

---

愛媛大学教育学部附属

# 科学教育研究センター紀要

Bulletin of the Center for Research in Science Education Faculty of Education Ehime University

---

2026年3月31日

愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター

# 目次

## 藍染めを題材とした授業実践の報告

..... 砂野 真人・石原 光・崎山 健・向 平和 1

## Integrating Scientific English and Life Science Learning to Foster Global Competence among High School Students

..... Aki KATO・Richard CULLETON・Ruth VERGIN 6

## A 市全小中学校の児童生徒を対象とした主観的幸福感および学力に関する要素の抽出と傾向分析

..... 篠原 大典・大西 義浩・山本 浅幸 13

## 愛媛大学ジュニアドクター育成塾の教育効果に関する一考察－2022 年度から 2024 年度までの第 1 段階受講生に対する調査に基づいて－

..... 小川 晃生 23

## 大西佐兵衛『雑題』の現代解について～第 8 巻 8-5, 8-6, 8-7, 8-8, 8-9～

..... 原本 博史・安部 利之 33

## 教員養成の観点からみた地域連携化学講座の構成と実践

..... 松浦 紀之・石原 光・砂野真人・崎山 健 43

## 再帰型ニューラルネットワークモデルを用いた脳卒中発症予測の検証

..... 戸田 真子・戸田 園乃・丸山広達・加藤 匡宏 48

## 持続可能なコミュニティづくりにおけるデジタルを介した遊びの可能性

..... 富田 英司・中川 勇介 53

## 数学的な知識・概念の共有過程における根拠に関する研究（I）

..... 吉村 直道 57

## 炭の多孔質構造に着目した教材開発と授業実践

..... 福本 愛姫・中野 雅斗・向 平和 66

## 生成 AI を活用した授業開発能力の熟達過程に関する実践的研究－数学教師志望大学院生と生成 AI との協働プロセスの分析－

..... 信夫 智彰・吉村 直道・安部 利之・園田 直之・高光 宗正・鶴原 さや・林 奈都美・久竹 翔子・山内 淳史・山本 彩加・和田 海都 78

## 生徒によるモデル生成と説明を促進する理科授業の実践

..... 足羽 光一・隅田 学・山本 浅幸 88

地域の可能性を大学を通じて深い学びにつなげるローステイク・バッジの機能 .....	富田 英司・河村 泰之	95
知的障害特別支援学校小学部における算数（図形領域）の課題の検討 .....	藤村 小桜・富田 享子	101
肱川の河原の石 .....	佐野 栄・平山 碧海・島田 咲絵・山崎 めい・吉田 樹・畠中彩佳理・中川晴臣・高橋 龍央	111
理科教員志望大学生における物質概念の理解の特徴－説明タイプの分析と教材提案－ .....	石原 光・砂野 真人・崎山 健・松浦 紀之・大橋 淳史・隅田 学	130
レジリエントな学習環境をデザインするための理論的拡張 .....	富田 英司	137
小学校国語科における生成 AI を用いた推敲場面の支援－修正判断の過程に着目して－ .....	中村 惇哉	145
小学校理科の考察における理由づけの形成を支える生成 AI の可能性 .....	中村 惇哉	152
データサイエンスの芽生えとなるプログラミングを用いた小学校算数科における授業開発 .....	中村 惇哉	161
2025 年度活動報告		

## 藍染めを題材とした授業実践の報告

### Report on a practical focusing on indigo dyeing

○砂野真人<sup>\*1</sup>, 石原光<sup>\*1</sup>, 崎山健<sup>\*1</sup>, 向平和<sup>\*2</sup>

SUNANO Manato<sup>\*1</sup>, ISHIHARA Hikaru<sup>\*1</sup>, SAKIYAMA Takeru<sup>\*1</sup>, MUKO Heiwa<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学大学院教育学研究科, <sup>\*2</sup>愛媛大学教育学部

<sup>\*1</sup>Graduate School of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup>Faculty of Education, Ehime University

**【要約】**本研究は、藍染めを題材とした理科授業の実践を通して、体験活動による学習効果と児童の理解の変容を検討したものである。大学生を対象とした模擬授業と、小学校5・6年生を対象とした授業実践を行い、ワークシートの自由記述や授業評価を分析した。授業では藍染めの体験活動を通して、染色後に空気に触れることで色が変化する現象を観察させ、その仕組みを解説した。その結果、児童や学生は藍染めの体験に強い興味・関心を示し、日本の文化や地域との関連にも気付く様子が見られた。一方で、色の変化を空気や酸素と結び付けて捉える記述は見られたものの、「酸化」などの化学的な現象を十分に理解されているとは言えない面も確認された。以上より、藍染めは理科と文化・造形活動を関連付けた教科横断的な学習に有効な教材である一方、現象を科学的概念へと結び付ける指導の工夫が必要であることが示唆された。

**【キーワード】** 藍染, 染色, STEAM 教育, 地域文化

## I. 研究の背景

藍染は、日本に古くから伝わる伝統的な染色技法の一つであり、衣服や生活用品などさまざまな場面で用いられてきた。とりわけ藍色は日本の文化や生活と深く関わってきた色であるが、具体的な内容に触れる機会は多いとはいえない。高校の「化学」でも「染料と染色」として扱われているため、重要な内容といえる。

羽賀・有内(2010)は、藍染体験によって論理的思考力と創造的思考力が増大したと示唆しており、授業で扱うことのできる内容であるといえる。また、西出(2002)は当たり前だと思われる現象にも、1つ1つ根拠を求め、確認してきた事実から、さらに課題を解決させるという方法は、学習者の意欲を高め、化学への興味・関心を引き出す糸口になるものと考えたと報告している。そこで本実践では大学生対象と小学生対象の2回に分けて藍染体験を扱った授業実践を行い、それをもとに受講生の理解の変容について検討する。

## II. 研究の方法

### 〈授業実践の対象〉

2025年12月10日に、大学1回生15名と大学2回生以上18名の合計33名を小学生に見立てて模擬授業を行った(以下、模擬授業とする)。その後、2026年1月31日に、小学校第5学年および第6学年13名に地域の科学教室において授業を行った(以下、授業実践とする)。

## 1. 授業の方法

### (1) 授業の導入

授業の実施時期がサッカーW杯の開催年と重なっていたことから、日本代表のユニフォームカラーに関連する「ジャパンプルー」という語を提示し、日本と青色の結びつきについて意識させた。その上で、「なぜ日本代表はユニフォームカラーが青色なのだろう」という問いを投げかけ、日本の伝統的な染色文化である藍との関連へと話題を接続した。さらに、地域性への接続として愛媛県の伝統工芸品である伊予絁に言及した。藍染めが歴史的・文化的価値を持つ技術であるということを示すことで、単なる体験活動にとどまらず、地域文化の継承という視点からも本授業の意義を位置付けた。

以上の導入を経て、藍の色がどのような仕組みで布に定着するのかを学ぶことを本時の目標とした。

### (2) 実験の方法

#### 〈使用器具〉

大和藍(藍熊染料株式会社)、手拭い、木製の球と直方体、ビー玉、輪ゴム、洗面器、ゴムべら、ピンチハンガー、ビニール手袋、調味料用プラカップ、新聞紙、キッチンペーパー、ゴミ袋、ケトル

#### 〈事前準備〉



## 2. 授業の効果の分析方法

両授業でワークシートに設けた自由記述の感想欄を株式会社ユーザーローカルが Web 上で公開している AI テキストマイニングを用いて分析した (<https://textmining.userlocal.jp/>)。

また、模擬授業では、ワークシートの感想欄とは別に Google Forms による授業評価を依頼した。各項目は以下の通りである。なお、自由記述の項目についてはテキストマイニングをしようして分析した。

- ① 観察・実験方法の理解について下記の中から選択 1 つしてください。(5 段階評価)
- ② 学習内容の理解について下記の中から 1 つ選択してください。(5 段階評価)
- ③ 総合評価について下記の中から 1 つ選択してください。(5 段階評価)
- ④ 本日の授業で教員になったときに役に立つと思ったことを記述してください。(自由記述)
- ⑤ 本日の授業でもっと学ぶべきと感じたことを記述してください。(自由記述)

## Ⅲ. 分析の結果

模擬授業で得られた結果を以下に示す。どの班も藍染めの空気酸化による色の変化を観察することができていた。

ワークシートの回収については大学 1 回生 15 名にお願いした。回収率は 53% (8 枚) で自由記述に記載があったワークシートの回収率は 27% (4 枚) であった。回収率が低かったため、テキストマイニングによる分析は省略した。自由記述の内容には、3 名の記述に空気酸化における色の変化とその仕組みに関する言及が確認できた。また、2 名が藍染めの歴史に関する言及をしていた。以上の点から理科と歴史の教科横断的な学習につながる可能性が示唆された。そのほかにも、2 名が藍染めを初めて行なったと記載しており、初等教育だけではなく、高等教育でも需要のある教材であることが考えられる。

Google Forms による授業評価は受講者全員に依頼し、回収率は 100% (33 件) であった。①~③の項目の結果と④、⑤に対してテキストマイニングを行った結果を以下に示す。

項目①~③ではどの項目においても 90%以上の受講者から肯定的な評価(段階 3~5)を得ることができた。その一方で、項目①と③については少数ながら否定的

な評価も見られた。実験方法の理解に関する否定的な評価については、実験中の細かな指示をワークシートや投影しているスライドに書いていなかったことに起因したものであると推測した。項目④では「印象深い」、「残りやすい」、「興味深い」などの語が見られ、受講者の興味・関心を十分に惹きつけることが可能な教材であることが読み取れる。また、「横断」、「オリジナリティ」という語も複数見られており、STEAM 教育を基盤とした教科横断的な学習を実践できる教材であることが読み取れた。項目⑤では「ロイコインジゴ」、「化学式」、「共鳴」などの解説に対する語が確認できた。これらの語が含まれていた全文を確認すると、化学式を伴った解説が理解しにくいという文脈で使われていた。また、「汚れる」、「飛び散る」、「こぼれる」などの実験台や衣類、手の汚れを問題視する語が確認できた。これらの意見から、化学変化を代表とする理科的な学びについてわかりやすく解説することと実験台などへの汚れを対策することなどの課題が確認できた。

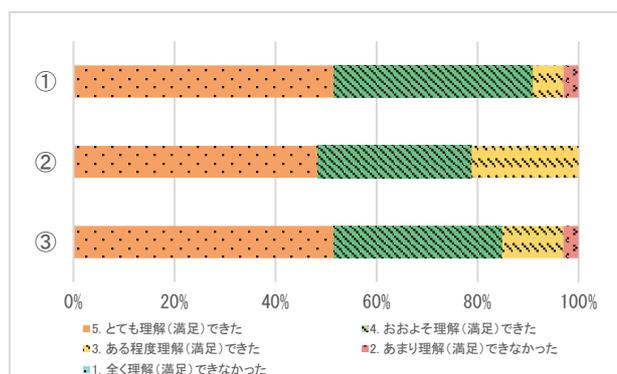


図4 授業評価の各項目における評価の分布 (n=33)

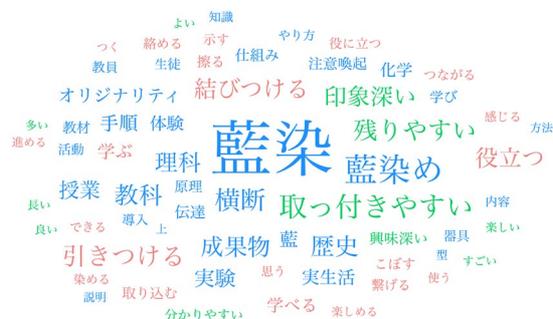


図5 項目④におけるテキストマイニングの結果

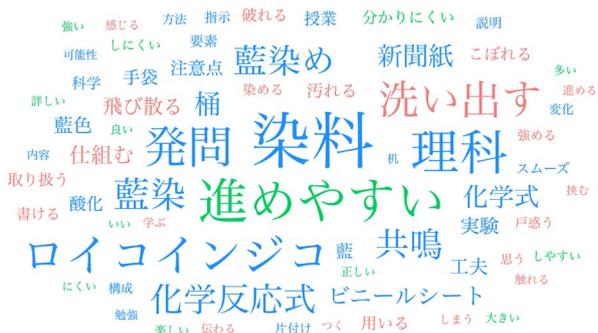


図6 項目⑤におけるテキストマイニングの結果

模擬授業から得られた課題を解決するために、授業実践では化学式を付した解説の代わりにイラストをしようとした。それに伴い、解説の理科的な学びを失わないようにするために空気酸化による色の変化をしっかり観察させ、色の変化の前後で何が起こったのかを実験操作を振り返りながら考えさせられるように意識した。この工夫により、染色液から引き上げることで、手拭いの周りの物質が水溶液から空気になっていることに気づき、空気による影響の可能性を上げる児童が見られた。また、汚れ対策のために児童の手の大きさに適したビニール手袋の購入やビニールと新聞紙を重ねて実験台を保護することを取り入れた。

授業実践のワークシートの分析結果を以下に示す。ワークシートの回収率は100%で(13枚)であった。

「藍染め」、「インジゴ」、「ジャパンプルー」など本授業で扱った語が多く見られており、児童にとって印象に残る体験であることが示唆された。また、「酸素」、「空気」、「仕組み」など変色の過程に興味や驚きを示す内容も見られた。その一方で、「空気に触れて変わった」という旨の感想は見られたものの、いずれの感想でも酸化や空気酸化という語は確認することができなかった。しかしながら、「空気に触れて色が変化する」という現象に言及する記述は複数確認された。

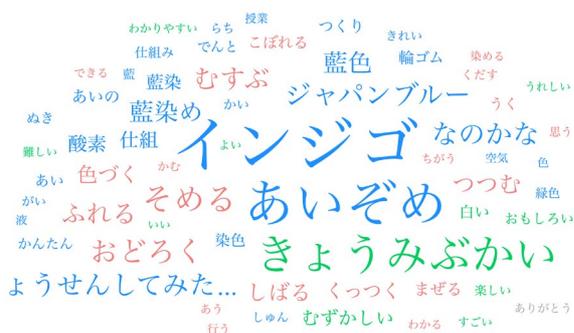


図7 自由記述欄のテキストマイニングの結果

#### IV. 総合的考察

本研究の結果から、藍染めを用いた授業は児童の興味・関心を高めることができる教材であることが示唆された。特に自由記述において「印象深い」「興味深い」といった語が確認されたことから、体験活動として学習内容が記憶に残りやすい教材である可能性が示された。さらに、藍染めの歴史や地域文化への言及も見られたことから、本教材は文化的・歴史的側面も扱うことができる教材である。加えて、手拭いを縛る位置や方法によって模様をデザインする活動は、児童が自ら表現を工夫する造形活動としての側面も有している。これらのことから、本教材は理科的な学習内容のみならず、藍染めの歴史や地域文化、造形表現を関連づけた教科横断的な学習につながる可能性が示唆された。

一方で、科学的な視点を踏まえた理解については課題も見られた。本授業では、染色後に手拭いを染液から取り出した際に生じる色の変化に着目させること徹底して進行した。この観察を通して、児童が色の変化の要因について考えることができるようにした。授業実践における自由記述では、「空気」、「酸素」、「仕組み」などの語が確認され、児童が染色後に色が変化する現象に対して興味や驚きを示している様子が見られた。このことから、空気に触れることで色が変化するという現象への気付きは一定程度生じていたと考えられる。しかしながら、「酸化」や「空気酸化」といった科学的な見方や考え方に関連する語は確認されなかった。この結果から、本授業は現象への気付きを促す点では一定の効果があるものの、その現象を科学的な視点から理解する段階には十分に結びついていない可能性が示唆された。

また、模擬授業では化学式を用いた説明に対して理解が難しいという意見が見られたため、授業実践ではイラストを用いた説明へと変更した。その結果、児童が空気による影響と仕組みに気付く様子が見られたが、科学的な視点からの理解を示す記述は見られなかった。このことから、イラストによる説明は現象理解を促す上では有効な可能性がある一方で、科学的な視点を踏まえた言語化を促すためには更なる指導の工夫が必要であると考えられる。したがって、今後は観察した現象を科学的な視点と結びつけるための振り返り活動や発問の工夫について検討する必要がある。

## V. おわりに

本研究では、藍染めを題材とした理科授業を実践し、体験活動を通じた学習の可能性について検討した。その結果、児童は藍染めの体験を通して理科と生活や文化との関連に関心を示す様子が見られた。一方で、藍染めに関わる酸化などの科学的な視点を踏まえた理解については十分に理解されているとは言えない面も見られた。また、本授業は限られた授業時間の中での実践であり、児童の理解の変容を十分に検証するまでには至っていない。特に、藍染めの仕組みに関わる科学的な過程では観察活動や説明の工夫を取り入れながら、より丁寧に扱う必要があると考えられる。今後は、藍染めの化学的過程に焦点を当てた授業構成を検討するとともに、体験活動を通して科学的理解を深める理科授業の在り方についてさらに検討していきたい。また、藍染めは地域文化や造形表現とも関わる題材であることから、他教科との関連を図った学習への展開についても検討する必要がある。

## VI. 謝辞

本実践にあたり、ご指導いただきました愛媛大学教育学部の松浦紀之先生に深く感謝申し上げます。また、実験器具を提供していただいた大橋淳史先生に心より御礼申し上げます。

## 文献

羽賀敏雄,有内則子 (2010) : 伝統技術を題材とした科学教育のための授業設計と実践,化学教育研究紀要, 34, 3, 268-279.

西出雅成 (2002) : 化学への興味を引き出す出前授業の試み,化学と教育, 50, 12, 802-804.

# Integrating Scientific English and Life Science Learning to Foster Global Competence among High School Students

Aki KATO<sup>\*1</sup>, Richard CULLETON<sup>\*2</sup>, Ruth VERGIN<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>Ehime University, <sup>\*2</sup>Proteo-Science Center, Ehime University

## Abstract

This study examines the educational effectiveness of an integrated science and English education program designed to foster global competence among high school students in a regional context. The program, implemented at Ehime University within the framework of the Japan Science and Technology Agency's Global Science Campus and the Next-Generation Science and Technology Challenge Program, combines scientific English instruction with life science learning and international engagement opportunities. Drawing on perspectives from Content and Language Integrated Learning (CLIL) and science communication education, the study explores how language-integrated science learning can support the development of intercultural competence and scientific communication skills. Participants included high school students who took part in the program between 2018 and 2024. Data was collected through rubric-based assessments and participant feedback. The evaluation focused on indicators such as intercultural understanding, logical expression, responsiveness in discussion, and communication ability in English. The results indicate that students who completed the program demonstrated measurable improvement in intercultural adaptability and increased confidence in communicating scientific ideas in English. Qualitative feedback also suggests that authentic experiences such as English-medium lectures, collaborative activities, and overseas research opportunities enhanced students' motivation toward global scientific engagement. These findings highlight the potential of regional universities to function as hubs for global science education and provide practical insights into the design of interdisciplinary programs that integrate language learning with authentic scientific practices.

**[Keywords]** Global science education, Scientific communication, Intercultural competence, CLIL (Content and Language Integrated Learning), Secondary science education

## I. Introduction

In recent years, the internationalization of science education has become an important issue in both secondary and higher education (OECD, 2018; Knight, 2004). Scientific research increasingly develops through global collaboration, requiring scientists not only to possess advanced disciplinary knowledge but also to communicate effectively in English and engage with diverse cultural contexts. Consequently, the development of global competence and scientific communication skills has become a key objective in science education (National Research Council, 2012). Educational programs that integrate language learning with scientific research are therefore attracting increasing attention.

One educational approach that has gained attention in this context is Content and Language Integrated Learning (CLIL), which promotes the simultaneous development of subject knowledge and language proficiency (Coyle, Hood, & Marsh, 2010; Marsh, 2002). Within science education, CLIL-based approaches allow students to engage with scientific concepts while using English as a medium of communication. Previous studies have suggested that such integrated learning environments can enhance students' motivation, communication skills, and intercultural understanding, particularly when learners participate in authentic scientific practices such as discussion, presentation, and collaborative research (Lemke, 1990; Mortimer & Scott, 2003).

In response to these educational demands, Ehime University has implemented a series of programs aimed at fostering globally competent scientific talent among high school students in the region. These initiatives began with the Global Science Campus program supported by the Japan Science and Technology Agency (JST) and have continued through the Next-Generation Science and Technology Challenge Program. A distinctive feature of these programs is the integration of scientific English instruction with life science learning and international experiences. Through lectures, group work, and overseas research opportunities,

students are encouraged to develop both scientific understanding and intercultural communication skills (Kato *et al.*, 2024).

The purpose of this study is to examine the structure and educational outcomes of this integrated science and English education program. This study investigates how language-integrated science learning and international experiences contribute to the development of intercultural competence and scientific communication skills among high school students. By analyzing the design and evaluation of the program, this research aims to provide insights into how regional universities can contribute to the internationalization of science education and the development of globally minded scientific talent (Fig. 1).

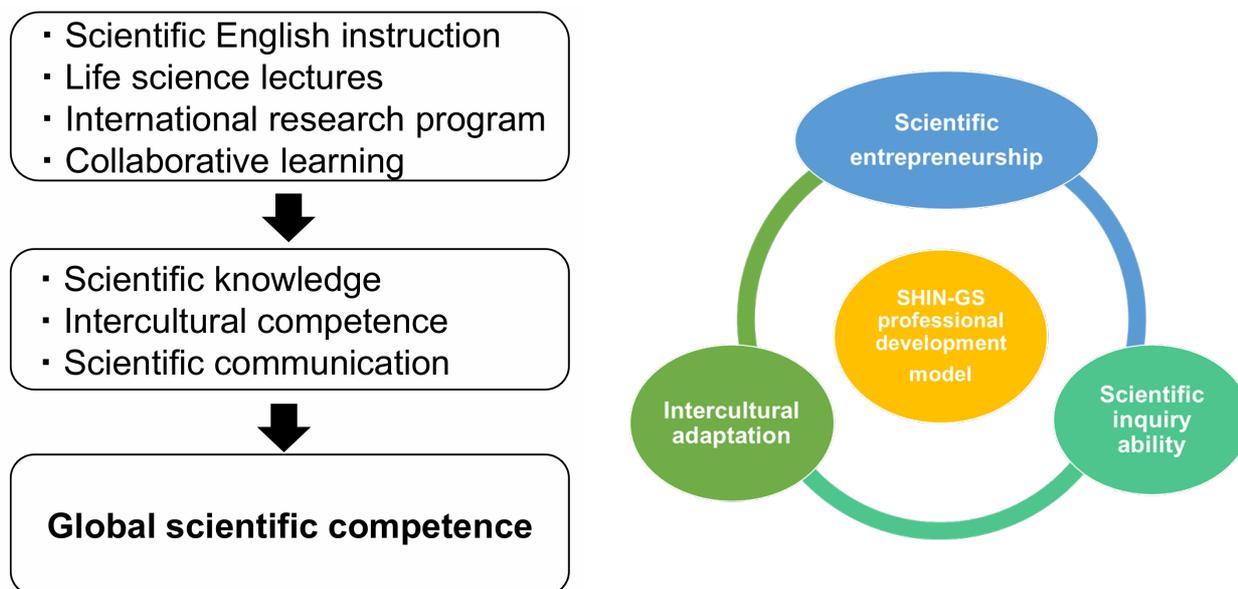


Fig. 1 Integrated educational model for fostering global scientific competence.

The program integrates scientific English instruction, life science learning, and international engagement opportunities to develop three core competencies: scientific knowledge, intercultural competence, and scientific communication skills.

## II. Methods

### 1. Participants and Data Collection Period

This study targeted high school students who participated in Ehime University's integrated science and English education program between 2018 and 2024. The program was implemented as part of the Japan Science and Technology Agency (JST) Global Science Campus initiative and its successor program, the Next-Generation Science and Technology Challenge Program. Participants were selected through an application process designed to identify students with strong interest in science and international learning.

Data used in this study were collected during the second phase of the program (2023–present), which included structured scientific English instruction, specialized lectures in life sciences, and opportunities for international engagement. The participants consisted of high school students from the Shikoku region who took part in these educational activities.

### 2. Program Design

The program was designed to foster globally competent scientific talent by integrating scientific English education with life science learning and international experiences. The curriculum adopted a two-tiered instructional structure to accommodate differences in students' English proficiency and scientific background.

Tier 1: Foundational Scientific English

The first stage focused on developing foundational scientific English skills, including grammar, vocabulary, and reading comprehension related to scientific topics. Online instructional materials were used to provide accessible learning opportunities regardless of students' geographic location. Through these activities, students became familiar with scientific terminology and basic forms of communication in English (Fig. 2).

➤ **Foundational Language Skills**

Focuses on basic grammar, vocabulary, and reading skills to build a solid scientific English foundation.

➤ **Accessible Online Instruction**

Classes use online platforms to allow students to access learning materials from any location.

➤ **International Student Interaction**

Interaction with international peers helps students acquire practical language skills naturally.

➤ **Flexible Educational Model**

Tier 1 offers a flexible approach suitable for a wide range of students as a first step in science English.



Fig. 2 Example of online scientific English class (Tier 1)

Tier 2: Specialized Scientific English and Life Science Learning

The second stage introduced more advanced scientific learning through English-medium lectures and collaborative activities (Fig. 3). A lecture on parasitology was conducted entirely in English and included group discussions, microscope-based observation activities, and question-and-answer sessions. These activities were designed to encourage students to engage with scientific content while simultaneously practicing communication in English.

In addition to classroom-based activities, the program provided opportunities for international engagement, such as participation in overseas research programs and interaction with international researchers. These experiences aimed to create authentic contexts for scientific communication and intercultural learning (Fig. 4).

➤ **Developing Advanced Language Skills**

Focus on advanced scientific vocabulary, logical sentence structuring, and academic presentation techniques.

➤ **Practical Communication Training**

Includes English discussions, research presentations, and peer-reviewed paper composition practice.

➤ **Preparing for Global Scientific Community**

Equips students with skills to present at international conferences and write English scientific papers confidently.

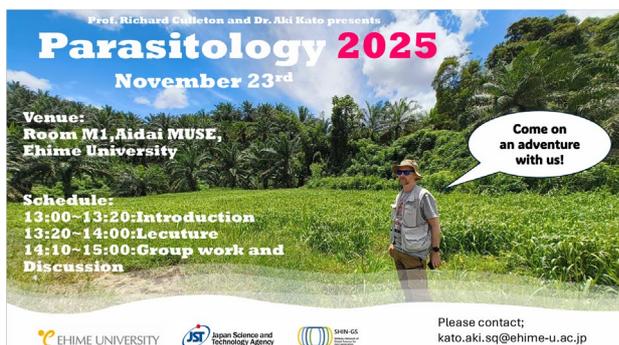


Fig. 3 Flyer of the English-medium parasitology lecture used in Tier 2

**Title:** Parasitology  
(*Ehime University Scientific English Lecture*)

**Context:**  
Implemented as part of Ehime University's internal program and JST "Global Human Resource Development" initiative

**Course Information:**

- **Lecture Time:** 2 hours
- **Language:** English (all teaching materials and reports in English)
- **Level:** First-year Medical School Students, Ehime University

**Content:**

- Transmission pathways of parasites

Problems and challenges in malaria-endemic regions



**Lecture**



**Group work**



**Discussion**

Fig. 4 Structure and schedule of the parasitology class

### 3. Evaluation Method

To evaluate the educational outcomes of the program, rubric-based assessments were conducted focusing on the development of intercultural competence and scientific communication skills. The evaluation criteria included intercultural understanding, logical coherence in scientific explanation, clarity of expression, responsiveness during discussions, and communication ability in English.

Participants' performance was assessed based on their participation in discussions, presentations, and collaborative activities conducted during the program. In addition, qualitative feedback from participants was collected to understand their perceptions of the program and its impact on their motivation toward international scientific engagement.

## III. Results

The results indicate that participation in the integrated science and English education program contributed to improvements in students' intercultural competence and scientific communication skills. Rubric-based evaluations showed that students who completed the program demonstrated higher scores in several categories, including intercultural understanding, logical explanation, clarity of expression, and responsiveness during discussions.

In particular, the rubric assessment indicated that students who completed the program showed approximately 1.2 times higher levels of intercultural adaptability (from rubric score 2.1 to 2.5) compared with their initial evaluations (Fig. 5).

Qualitative feedback also suggested positive educational outcomes. Several students reported increased confidence in communicating scientific ideas in English. Some participants noted that participation in English-medium lectures and discussions contributed to improvements in their English listening abilities, including preparation for the EIKEN examination.

Furthermore, participation in international activities appeared to enhance students' motivation toward global learning opportunities. In 2024, eight high school students participated in an overseas research program at Indiana University, where they attended lectures and presented their research findings in English (Table 1). Students submitted written reports after the parasitology lecture. The reports were evaluated using a rubric assessing scientific understanding and English expression.

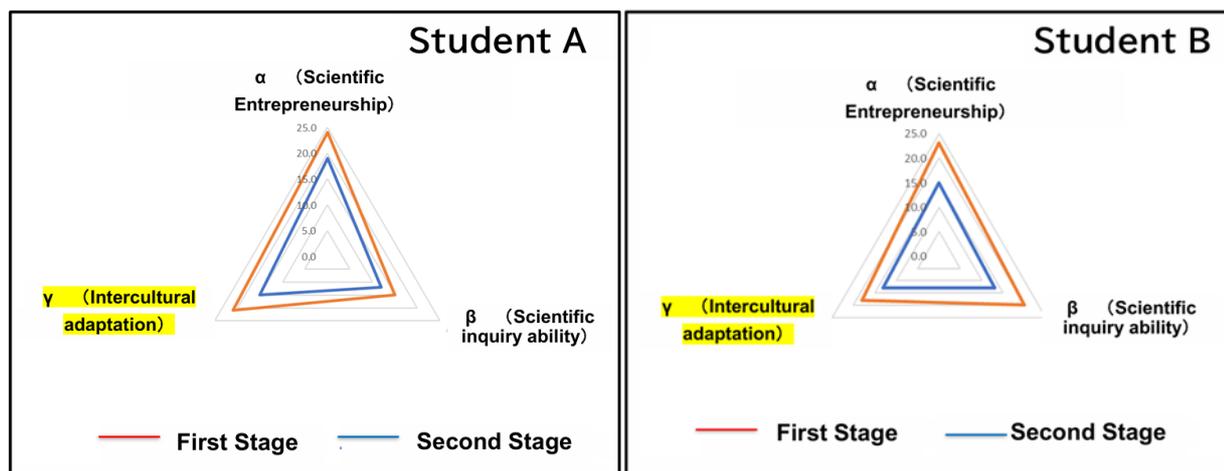


Fig. 5 Changes in students' intercultural adaptability based on rubric evaluation

Table 1 Evaluation results of parasitology report assignments

<p><b>Q1. What is a parasite?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Parasites is a creature that lives in other animals. They do host animal's harm. However, their selves can gain some benefits. Many parasites are discovered around the world.</li> <li>A parasite is an organism that lives on or in a host organism and gets its food at the expense of its host. Ectoparasites drink blood or feed on skin from the host's body surface. Endoparasites are active in the host's body.</li> <li>A creature that lives on the body surface or inside the body as a host for other creatures and uses the host to survive.</li> <li>An animal that lives as a parasite on another animal for a period or for life, absorbing nutrients from that animal.</li> </ul>	<p><b>Q4. Are parasites important?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Yes, parasites are important. It's because parasites play an important role in ecosystem. For example, they can control increasing dominant species. Then parasites make biological diversity grow.</li> <li>Yes, they are. In some cases, the host and the parasite have a cooperative relationship of interest.</li> <li>Yes. Not unimportant, as host-parasite symbiosis can occur.</li> <li>Yes, they're. They can pest control. If they don't exist, environment will change a lot.</li> </ul>
<p><b>Q2. Can you name some parasites of humans?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fleas, Flea eggs, Flea larvae, Flea pupae, Ticks, Mosquitoes, Sand flies, Mites, Lice</li> <li>There are about 200 types of human parasites in the world and about 100 in Japan.</li> <li>Caterpillars, tapeworms, fleas, lice, mites, Japanese lacertine striped worms, Japanese blood sucking worms and Manson's blood sucking worms</li> <li>For example, Anisakis, Mosquito, Malaria.</li> </ul>	<p><b>Q5. Should we eliminate all parasites from the world?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No, we shouldn't eliminate all parasites. It's because they give benefits to people and biological diversity. So, I think that we should symbiosis with a variety of parasites.</li> <li>No, we shouldn't. Some parasites are life-threatening, such as malaria, while others help other creatures live comfortably.</li> <li>We should not. Parasites harmful to human that we have not discovered may have some role to play in nature. Therefore, we think it is necessary to take measures such as creating vaccines to prevent infections and other diseases that are not harmful to humans.</li> <li>No, we should not. They have a role to pest control. In addition, they are useful for people. For example, they contributing to medical care. Furthermore, they have become one of the endangered animals. We should protect them!</li> </ul>

Assessment Item	Average Score
Scientific understanding	82
Logical explanation	84
English expression	81
Overall score	83

#### IV. Discussion

The findings of this study suggest that integrating scientific English instruction with disciplinary science learning can contribute to the development of global competence among high school students. The improvement observed in rubric-based evaluations indicates that students developed greater confidence in communicating scientific ideas in English and interacting in international learning environments. These results are consistent with previous studies emphasizing the importance of intercultural competence as a key outcome of internationalized education (Deardorff, 2006).

From the perspective of science education, the program demonstrates how language-integrated science learning can support students' participation in authentic scientific practices. Science learning is not limited to the acquisition of conceptual knowledge but also involves participation in scientific discourse and communication practices within scientific communities (Lemke, 1990; Mortimer & Scott, 2003). In the present program, students engaged in English-medium lectures, group discussions, and presentations, which provided opportunities to experience forms of communication like those used in international scientific contexts.

The results also support previous discussions on interdisciplinary STEM education that emphasize the integration of scientific knowledge with communication skills and global perspectives (Bybee, 2013). By combining scientific English instruction with life science learning and international experiences, the program created a learning environment that connected disciplinary knowledge with global scientific communication.

Another important implication concerns the role of regional universities in promoting global science education. International education initiatives are often concentrated in large metropolitan universities; however, this study suggests that regional universities can also function as effective hubs for global science education. Through collaboration with international researchers and overseas institutions, regional universities can provide students with opportunities to engage in global scientific learning environments.

Nevertheless, several limitations should be noted. The present study focused on participants in a specific educational program, and the sample size was relatively limited. Future research should examine the long-term impact of such programs on students' academic development and career trajectories in science. In addition, further studies could explore how language-integrated science education models can be adapted to different educational contexts and disciplines.

#### V. Conclusion

This study examined the educational impact of an integrated science and English education program implemented at a regional university. The findings suggest that combining scientific English instruction, life science learning, and international experiences can effectively support the development of intercultural competence and scientific communication skills among high school students. The results highlight the potential role of regional universities as important hubs for global science education. Future research should further explore the long-term impact of such programs and refine educational models that connect local science education with global scientific communities.

#### Acknowledgments

This work was supported by the Japan Science and Technology Agency (JST) through the Next-Generation Science and Technology Challenge Program. The authors would like to thank the participating students and collaborating researchers for their contributions to the educational program. Collaborative work between Ehime University and the University of Edinburgh was supported by Great Britain Sasakawa Foundation grant B147.

#### References

- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Coyle, D., Hood, P., & Marsh, D. (2010). *CLIL: Content and language integrated learning*. Cambridge: Cambridge University

Press.

- Deardorff, D. K. (2006). Identification and assessment of intercultural competence as a student outcome of internationalization. *Journal of Studies in International Education*, 10(3), 241–266.
- Kato, A., Schneider, P., O'Donnell, A. J., & Culleton, R. (2024). International collaboration to inspire future scientists: Hands-on parasitology activities in the classroom. *Bulletin of the Center for Research in Science Education, Ehime University*, 3, 23–30.
- Knight, J. (2004). Internationalization remodeled: Definition, approaches, and rationales. *Journal of Studies in International Education*, 8(1), 5–31.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- Marsh, D. (2002). *CLIL/EMILE: The European dimension—Actions, trends and foresight potential*. Brussels: European Commission.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- OECD. (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. Paris: OECD Publishing

# A 市全小中学校の児童生徒を対象とした主観的幸福感および学力に関する要素の抽出と傾向分析 Factor and Trend Analysis of Subjective Well-Being and Academic Achievement among Students in City A

○篠原大典<sup>\*1</sup>, 大西義浩<sup>\*2</sup>, 山本浅幸<sup>\*1</sup>

SHINOHARA Daisuke<sup>\*1</sup>, OHNISHI Yoshihiro<sup>\*2</sup>, YAMAMOTO Asayuki<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学大学院教育学研究科, <sup>\*2</sup>愛媛大学教育学部

<sup>\*1</sup>Graduate School of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup>Faculty of Education, Ehime University

【要約】本研究は、VUCA 時代における教育の目的をウェルビーイングの実現と捉え、その中核指標である主観的幸福感と学力の関連構造を実証的に検討した。A 市小中学生の大規模調査データを用い、非認知能力を基盤に、自己肯定感、健康状態、信頼関係、学習時間を媒介とする構造方程式モデルを分析した結果、非認知能力はこれら諸要素を通じて主観的幸福感と学力の双方に有意に関連していた。さらに多母集団同時分析により、関連構造の骨格は学校種や家庭環境にかかわらず概ね共通する一方、関連の強さには部分的差異がみられた。本研究は横断的分析や地域限定性といった課題を残すものの、主観的幸福感と学力について非認知能力を軸に統合的に捉える構造的知見を提示し、今後の縦断的・発展的研究および教育実践の検討に資する基盤を提供するものである。

【キーワード】主観的幸福感、学力、非認知能力、構造分析、小中学生

## I. 緒言

現代社会は、気候変動、グローバル化、AI 技術の急速な進展など、将来の予測が困難な VUCA 時代に突入している。このような社会において、子どもたちが持続可能な社会の担い手として自らの人生を主体的に切り拓いていくためには、知識や技能の習得にとどまらず、自己の存在を肯定し、他者とつながりながら意味ある人生を築こうとする力の育成が重要となる。

OECD (2020) では、「学びの最終目標は個人と社会のウェルビーイングの実現である」と明記しており、日本においても、文部科学省 (2023) は、「日本社会に根差したウェルビーイングの向上」を教育政策に関する基本的な方針として位置づけている。これらは、教育の目的が単なる知識の獲得や学力の向上にとどまらず、持続可能で公正な未来を構想し、行動できる力を育む方向へと転換しつつあることを示している。

このような背景のもと、児童生徒のウェルビーイングの中核概念として「主観的幸福感」が注目されている。Diener (1984) は、主観的幸福感を個人が自らの生活をどの程度肯定的に評価しているかを示す心理的充足の概念であり、人生満足度といった認知的側面と、ポジティブ感情の頻度やネガティブ感情の少なさといった感情の側面から構成されると定義している。さらに、目黒ら (2024) は、主観的幸福感がウェルビーイングの形成に大きく寄与することを指摘している。

以上から、主観的幸福感とは、児童生徒のウェルビーイングを具体的に把握する上で重要な指標であると位置付けられる。一方で、ウェルビーイングは多面的かつ包括的な概念であり、その全体像を単一の調査で精緻に測定することには方法論的な限界も存在する。そこで本研究では、先行研究においてもウェルビーイングの中核的心理指標として位置付けられてきた主観的幸福感に焦点を当て、これをウェルビーイングの代表する一側面として分析の対象とする。

このように、ウェルビーイングに焦点が当たる一方、児童生徒の学力の向上は、今日においても学校教育における中核的な役割であることに変わりはない。文部科学省 (2023) においても、ウェルビーイングと学力は対立的な関係にあるものではなく、両者を相互に関連づけながらバランスよく育成していく必要性が示されている。すなわち、子どもたちの内面的な充実と学力の保障は、いずれか一方を優先するものではなく、両立的に捉えられるべき教育課題であるといえる。

以上から児童生徒の主観的幸福感と学力を並列して捉え、それらの関連構造を実証的に明らかにすることが重要である。そこで本研究の目的は、A 市小中学校の児童生徒を対象としたアンケート調査データに基づき、主観的幸福感および学力に関係する要素を明らかにするとともに、学校種や家庭環境の違いによって、これらの関連構造がどの程度異なるのかを検証す

ることにある。本研究では以下の研究課題を設定する。

**RQ1**：小中学生の主観的幸福感および学力と諸要素の関連構造はどのように形成されているのか。

**RQ2**：学校種や家庭環境の違いは、関連構造にどのような変化をもたらすのか。

先行研究においては、児童生徒の主観的幸福感および学力に関連する要素として、非認知能力、自己肯定感、健康状態、信頼関係が挙げられている。これら要素の定義や関連性、ならびに学校種や家庭環境の違いによる比較の理論的妥当性については、本研究の分析枠組みに直接関わる重要な論点である。そこで、これらの点については、次章において先行研究を踏まえながら整理することとする。

本研究の学術的意義は、第一に、児童生徒の主観的幸福感と学力とを同一の構造モデルの中で捉え、両者の関連構造を統合的に検証する点にある。本研究は、非認知能力、自己肯定感、健康状態、信頼関係を含む構造を実証的に明らかにする点において、新たな知見を提供するものである。第二に、本研究は、学校種および家庭環境の違いに着目し、多母集団同時分析を用いて関連構造の差異を検証する点に特徴がある。これは、主観的幸福感および学力の関連が学校種や家庭環境によって変化する可能性についての示唆を与えるものである。さらに実践的意義として、本研究の成果は、児童生徒の主観的幸福感と学力を対立的に捉えるのではなく、両者をともに育成していく教育実践の在り方に対して示唆を与える点にある。ただし、こうした実践への因果的根拠の提示は、縦断データに基づく因果構造の検証を経て、初めて可能となる。本研究は、A市において3年間にわたり継続的に収集されてきた縦断データを活用した因果分析に先立ち、主観的幸福感および学力に関連する要素を構造的に整理・抽出する前段階の基礎的研究として位置づけられる。すなわち、本研究は、両者を育む教育実践の科学的根拠を将来的に確立するための基盤を形成する意義を持つ。

## II. 先行研究調査

### 1. 非認知能力の定義と下位因子

「非認知能力」の名称や定義は文献により異なる。OECD (2018) はこれを「社会情動的スキル」と呼び、学力テストや成績で測定される「認知的スキル」と対置される概念と説明している。国立教育政策研究所 (2017) は「非認知的 (社会情動的) 能力」とし、IQ

や学業達成水準とは異なる、直接測定が困難な広範な概念と整理している。石井 (2019) は、知識や思考、IQなどの認知的能力以外を指すとして、その定義や構成要素は必ずしも自明でないと指摘する。小塩 (2021) も、認知能力ではない多様な心理特性を含む広い概念であると述べている。このように整理は多様であるが、非認知能力は本質的に認知能力以外を指す包括的概念といえる。本研究では名称を「非認知能力」に統一する。また、下位因子として、文部科学省 (2022) の分類に基づき、知的好奇心、粘り強さ、レジリエンス、協働に対する態度、メタ認知的学習方略の5因子を設定した。これらの設定は本研究で用いた調査に基づくものであり、詳細は後述する。

### 2. 主観的幸福感および学力に関連する要素

#### a. 自己肯定感・健康状態・信頼関係と主観的幸福感

文部科学省 (2024a) は、全国規模調査の重回帰分析により、主観的幸福感が自己肯定感、健康状態、友人関係、教師サポートと安定して正の関連を示す一方、成績や社会経済的背景との関連は相対的に小さいことを報告している。露口 (2017) は、一般的信頼および特定化信頼が主観的幸福感を高め、友人・教師・地域住民とのつながりが学校における主観的幸福感を向上させることを示した。目黒ら (2025) も、小学生を対象に、友人関係や学級内の関係性が学校生活における主観的幸福感と正に関連することを報告している。さらに、喜多島ら (2021) は、主観的幸福感 (人生満足度) が自己受容と直接関連し、自尊心 (自己肯定感・自己有用感)、自己受容、個人的成長、および良好な信頼関係がその心理的基盤であると位置づけている。

#### b. 非認知能力と自己肯定感・健康状態・信頼関係

久保田ら (2022) は、社会情緒的コンピテンス (非認知能力) が高いほど自尊感情 (自己肯定感) が高く、この関係が友人関係によって媒介されることを示した。文部科学省 (2022) は、小中学生において非認知能力が精神的健康および生活満足度と正に関連し、とくにレジリエンスとの関連が強いと報告している。また、対教師関係や学級活動・特別活動・部活動の充実とも一貫した正の相関が認められることを示している。さらに、文部科学省 (2024b) は縦断調査により、小学6年時の社会情緒的能力が、中学1年時の学校生活および心身の健康に小さいな

がら有意な影響を及ぼすことを報告している。

### c. 非認知能力と学習時間・学力

文部科学省(2022)は、小中学生において非認知能力が学習時間およびクラス内成績と正に関連することを示している。福島県教育委員会(2025)は、休日学習時間と学力水準との正の関係に加え、対人的行動(聞く・話す)と学力との関連を報告している。埼玉県教育委員会(2025)は、努力調整方略の伸びおよび状況に応じた態度が学力の伸びと正に関連することを示した。鳥取県教育委員会(2025)は、自己肯定感や自己調整力などの非認知能力に肯定的な生徒ほど、学力調査の平均正答率が高い傾向にあると報告している。

## 3. 学校種および家庭環境の違いが及ぼす影響

文部科学省(2024b)は、全国学力・学習状況調査の児童生徒質問紙の分析から、小学6年生と中学3年生の間で、学習意欲、自己に関する意識、学習時間、学校生活に対する意識などに分布の差がみられることを報告している。お茶の水女子大学(2023)も、同調査および保護者調査の分析により、家庭の学習環境や保護者の関与が、学習時間、学力、非認知的側面と関連することを示している。しかし、学校段階の違いや家庭の学習環境、保護者の関与といった要因が、非認知的側面と学力・主観的側面との関連構造にいかなる影響を及ぼすかを、同一枠組みで体系的に検討した研究は、筆者の知る限り十分ではない。

## III. 調査の概要

愛媛大学はA市と地域協働研究支援事業研究協力を締結しており、令和3年9月以降、A市教育委員会と愛媛大学教職大学院がGIGAスクール構想下における教育課題の解決を目的とし、協働研究を続けてきた。本研究で用いたデータは、上記研究で先に収集されたものを、二次的に分析したものである。データの使用については、A市教育委員会およびA市小中学校校長会の承諾を得ており、個人が特定されない形で匿名化処理を施して分析を行った。調査の概要は以下の通りである。

【調査1】「学力とウェルビーイングを高めるための家庭でのタブレット端末の活用条件・方法の研究」に係る児童生徒アンケート(愛媛大学)

### a. 目的

タブレット端末の一人一台常時持ち帰り環境下での児童生徒の認知的能力・非認知的能力と主観的幸福感を高めるためのタブレット端末の有効な活用法を明らかにする。

### b. 調査時期と対象者

3年間の調査期間において、A市の全小中学校を対象に年1回ずつ計3回実施した。

令和4年2月：小学生(3~6年)1,561名、中学生(1~3年)1,135名

令和5年2月：小学生(3~6年)1,986名、中学生(1~3年)1,310名

令和6年2月：小学生(3~6年)1,797名、中学生(1~3年)1,232名

### c. 調査内容

児童生徒に対し、学習意欲、自己調整学習、協働的な学び、ICT活用、主観的幸福感、健康状態、信頼関係、将来志向、家庭環境などの実態を把握するための質問を用意し回答を得た。

## 【調査2】標準学力調査(東京書籍)

### a. 目的

児童生徒の認知能力を定量的に測り、比較・検証する。

### b. 調査時期と対象者

令和4~6年の5月に【調査1】と同じ対象者に対し実施した。

### c. 調査内容

小学3年生は2科目(国語・算数)、小学4・5年生は4科目(国語・社会・算数・理科)、小学6年生と中学生は5科目(国語・社会・算数(数学)・理科・英語)の試験を実施し、全国平均を50とした経年比較が可能な標準スコアを児童生徒個人の学力データとして取得した。

## IV. 分析

### 1. データセットの作成

分析準備として【調査1】と【調査2】を学校種・年度ごとに児童生徒の名前で突合した。ただし、特別支援学級の児童生徒は調査対象外としている。また、個人の回答の中ですべての項目が満たされていないデータ、および個人を識別する項目の入力ミス等により突合不能となったデータの除去処理を行った。なお、

ここで除去されたデータはアンケートへの回答に支援を必要とする児童生徒のものである可能性は否定できない。結果、各データセットのサイズは表1となった。

表1. 各データセットのサイズ

	小学生		中学生	
	採用数	欠損数	採用数	欠損数
令和4年	1,395 (89.3%)	166 (10.6%)	1,013 (89.3%)	122 (10.7%)
令和5年	1,599 (80.5%)	387 (19.5%)	1,151 (87.9%)	159 (12.1%)
令和6年	1,655 (92.1%)	141 (7.9%)	1,120 (90.9%)	112 (9.1%)

## 2. 質問項目の分類と整理

【調査1】では、児童生徒の学習活動、心理的側面、および生活状況に関する質問項目を用いて調査を実施した。本研究では、これらの質問項目の中から分析対象とする項目を抽出し、質問内容に基づいて、表2に示す6つの大枠に分類した。また、家庭環境に関する質問項目もあり、詳細は表3に示す。

【調査2】では、国語・社会・算数(数学)・理科・英語の標準スコアを基に平均値を算出し、個人の学力スコアとして変数化した。算出した平均値は、各教科の標準スコアと非常に高い相関(.80以上)を示しており、代表値としての妥当性が確認された。なお、受験科目の構成は学年によって異なる。

表2. 分類名と対応する主な構成内容について

分類名	主な構成内容	項目数
主観的幸福感	この1か月間、どれくらい幸せだと感じたか	1項目
非認知能力	知的好奇心、粘り強さ、レジリエンス、協同に対する態度、メタ認知的学習方略	5項目
学習時間	平日(学校の授業以外)・休日の学習時間	2項目
自己肯定感	自分は価値のある人間だ、誰かの役に立っている	2項目
健康状態	この1か月間、どれくらい健康と感じたか	1項目
信頼関係	家族・友だち・先生・地域の人との信頼関係	4項目

表3. 家庭環境に関する質問項目について

観点名	分類群
学習環境	1. デスクトップ・コンピュータ、ノートパソコンまたはタブレットと落ち着いて学習できる場所の両方がある
	2. デスクトップ・コンピュータ、ノートパソコンまたはタブレットがある
	3. 落ち着いて学習できる場所がある
	4. どちらもない
保護者支援	1. 保護者の希望や意見を強く言ってくる
	2. あなたの気持ちを大切にしながら相談にのる
	3. あなたにすべてをまかせて口出しをしない
	4. あなたの生活や学習についてきいていない

## 3. 各尺度の得点化

主観的幸福感は、「この1か月間、あなたはどれくらい幸せだと感じましたか」という質問に対し、0を「全く感じない」、10を「とても感じる」とする11段階で回答を得た。学習時間は、「1日当たりどれくらいの時間学習しているか」という質問について、平日と休日それぞれに対し、「4時間以上」「3~4時間」「2~3時間」「1~2時間」「30分~1時間」「30分以下」「まったくしない」の7段階で回答を得た。「4時間以上」を6点、「まったくしない」を0点として点数化し、平日と休日の平均値を算出した。自己肯定感は、「自分は価値のある人間だと思う」「自分は誰かの役に立っている」という質問で、4を「あてはまる」、1を「あてはまらない」とする4段階で回答を得て、2項目の平均値を算出した。健康状態は、「この1か月間、あなたはどれくらい健康だと感じましたか」という質問で0を「全く感じない」、10を「とても感じる」とする11段階で回答を得た。信頼関係は、家族・友だち・先生・地域の人のそれぞれについて「あなたはどれくらい信頼関係を感じますか」という質問で0を「全く感じない」、10を「とても感じる」とする11段階で回答を得て、4項目の平均値を算出した。非認知能力は、25項目の質問について、4を「あてはまる」、1を「あてはまらない」とする4段階で回答を得た。これらの項目を「知的好奇心」(6項目)、「粘り強さ」(5項目)、「レジリエンス」(2項目)、「協同に対する態度」(6項目)、「メタ

表 4. 11 指標の記述統計量, Cronbach の  $\alpha$  係数, および項目間相関係数

	M	SD	$\alpha$	相関												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1 主観的幸福感	7.01	2.55	.92	—												
2 学力 (標準スコア)	48.59	8.66	—	.02	—											
3 知的好奇心	3.12	.56	.81	.30	.22	—										
4 粘り強さ	3.14	.60	.80	.37	.13	.65	—									
5 レジリエンス	3.20	.74	.61	.28	.06	.53	.50	—								
6 協同に対する態度	3.30	.52	.80	.31	.23	.75	.66	.47	—							
7 メタ認知的学習方略	3.00	.60	.81	.30	.30	.71	.66	.44	.71	—						
8 学習時間	2.49	1.22	.72	.03	.22	.24	.18	.11	.22	.26	—					
9 自己肯定感	2.82	.86	—	.43	.09	.45	.57	.36	.46	.47	.10	—				
10 健康状態	7.05	2.49	.86	.48	.02	.27	.34	.25	.27	.29	.04	.32	—			
11 信頼関係	7.18	1.89	.77	.48	.02	.37	.39	.30	.36	.35	.05	.37	.38	—		

※Mは平均, SDは標準偏差を表す

認知的学習方略」(6項目)の5側面に分類し,それぞれについて平均値を算出した.以上の心理・行動指標に学力調査の標準スコアを基に算出した平均値を加えた11指標について,記述統計量,Cronbachの $\alpha$ 係数,および項目間相関係数を表4に示す.なお,レジリエンスについては $\alpha=.61$ であり,信頼性指標としてはやや低めの値であるが,2項目尺度であることを考慮し,項目間相関が $r=.45$ ( $p<.001$ )であることを確認した上で,分析に用いることとした.また,主観的幸福感と学力,および学力と信頼関係の項目間相関係数については,5%水準では有意ではなかった.一方で,その他の項目間相関係数はいずれも有意であった.

#### 4. 構造モデルの検討

本研究では,観測変数として,主観的幸福感,学力(標準スコア),学習時間,自己肯定感,健康状態,および信頼関係を用い,潜在変数として非認知能力を設定した.非認知能力は,知的好奇心,粘り強さ,レジリエンス,協同に対する態度,およびメタ認知的学習方略の5側面から構成されるものとした.なお,本研究で最終的に採用した構造モデルを図1に示す.

まず,非認知能力と主観的幸福感との関連について,非認知能力が自己肯定感,健康状態,および信頼関係を介して主観的幸福感に影響を及ぼす完全媒介構造を仮定したモデルと,非認知能力から主観的幸福感への直接効果を加えた部分媒介構造を仮定したモデル

を比較した.その結果,部分媒介構造における非認知能力から主観的幸福感への直接効果は統計的には有意であったものの( $\beta=.04, p<.01$ ),標準化係数の値は極めて小さかった.また,完全媒介構造の適合度は $CFI=.931, TLI=.908, RMSEA=.086, SRMR=.054$ であり,部分媒介構造の適合度( $CFI=.931, TLI=.906, RMSEA=.087, SRMR=.053$ )とほぼ同等であった.次に,非認知能力と学力との関連については,学習時間のみを媒介とする完全媒介構造と,学習時間による間接効果に加えて非認知能力からの直接効果も含む部分媒介構造を比較した.その結果,完全媒介構造の適合度は $CFI=.923, TLI=.896, RMSEA=.091, SRMR=.065$ と, $RMSEA$ および $TLI$ の値が基準をやや満たさない水準であったのに対し,部分媒介構造の適合度は $CFI=.931, TLI=.908, RMSEA=.086, SRMR=.054$ と,すべての指標において良好な値を示した.以上から,本研究では最終的に,主観的幸福感は,非認知能力から自己肯定感・健康状態・信頼関係を介して完全に媒介する構造で,学力については,学習時間による媒介効果に加えて,非認知能力からの直接効果も残る部分媒介構造として設定した.また,これらの媒介変数を調整変数とするモデルも考えられる.しかしながら,本研究では非認知能力が主観的幸福感および学力に与える間接効果を推定するために媒介変数モデルを採用した.なお,本モデルでは,主観的幸福感と学力の直接的な関連を検証することを目的とせ

ず、両者を非認知能力によって規定される成果変数として位置づけているため、両者間に直接パスは設定していない。

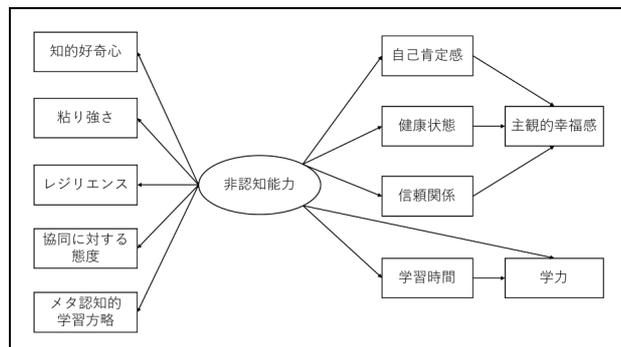


図1. 構造モデル

## 5. 分析の実施

上記の構造モデルに基づき、Stataを用いて、構造方程式モデリングを実施した。まず、小学生および中学生の3年分、計6つのデータセットを統合した全体データに対して単一の構造モデルを当てはめ、主観的幸福感および学力への関連構造の全体的な妥当性を検証した。この際、非認知能力が自己肯定感、健康状態、信頼関係、学習時間を介して主観的幸福感および学力に及ぼす間接効果については、ブートストラップ法(2000回反復)を用いて検証した。次に、学校種による関連構造の違いを明らかにすることを目的として、データセットを小学生と中学生の2群に分割し、それぞれに同一の構造モデルを適用した多母集団同時分析を実施した。このとき、まず両群で同一のパス構造のみを仮定した自由推定モデル(構成概念間の関係は共通だが係数は群ごとに推定)を推定し、続いて主要な構造パスに等値制約を課したモデルと尤度比検定により比較することで、どの経路に群間差が生じているかを探索的に検討した。最後に、家庭的要因が及ぼす影響を検討するため、学習環境および保護者支援の2つの観点に基づき群を形成し、同様に多母集団同時分析を行った。具体的な群の形成方法は次章で示す。本研究では、学習環境および保護者支援を連続変数としてではなく、「有無」によって文脈条件が異なるカテゴリカルな調整変数として位置づけた。これは、これらの要因が関連の強さを連続的に変化させるというよりも、関連構造そのものが成立する条件を分ける要因であると考えたためである。

以上の手続きにより、本研究では、全体としての関連構造の妥当性と、学校種および家庭的要因の違いに

よって、どの経路に関連構造の差異が現れるのかを探索的に検証した。なお、本分析では各年度のデータを統合した上で構造方程式モデリングを適用しているため、同一個人からの繰り返し測定が独立な観測として扱われている。その結果、推定された標準誤差が過小評価され、検定結果が過大に有意と判断される可能性がある。この点に対する補足的な検証として、本研究では同一年度ごとに母集団を分けて推定する多母集団同時分析を補足的に実施し、推定結果の妥当性を確認した。結果と考察は次章に示す。

## V. 結果と考察

### 1. 小中学生統合全体データに対する分析

A市小中学生(N=7,933)を対象に、各要素と主観的幸福感および学力との関連を検証した。モデルの適合度指標はCFI = .931, TLI = .908, RMSEA = .086, SRMR = .054であり、概ね許容範囲内の適合度を示した。また、主観的幸福感および学力との関連構造の年度差について検証するためにR4・R5・R6の各年度における多母集団同時分析も行った。モデル適合度は、それぞれR4:CFI = .931, TLI = .908, RMSEA = .087, SRMR = .053, R5:CFI = .930, TLI = .907, RMSEA = .086, SRMR = .055, R6:CFI = .930, TLI = .906, RMSEA = .087, SRMR = .054であり、いずれの年度においてもモデル適合は概ね許容範囲の適合度を示した。分析結果から非認知能力が自己肯定感、健康状態、信頼関係、学習時間に関連し、これらを介して主観的幸福感および学力に関連するという基本的な構造は、3年間にわたって一貫して確認された。各パス係数の大きさには年度ごとに若干の増減が見られたが、いずれの年度においてもすべての経路が有意に成立しており、本研究で想定した関連構造は特定の年度に依存しない安定した構造である可能性が高いと考えられる。なお、主な内生変数の決定係数は、自己肯定感で $R^2 = .346$ 、健康状態で $R^2 = .137$ 、信頼関係で $R^2 = .213$ 、学習時間で $R^2 = .065$ 、主観的幸福感で $R^2 = .335$ 、学力で $R^2 = .086$ であった。とりわけ、自己肯定感および主観的幸福感においては比較的高い説明率が示された一方で、学習時間および学力に関しては決定係数が小さく、本モデルでは十分に捉えきれていない他の要素が関与している可能性が示唆される。以上を踏まえ、図2に統合データに対する分析結果を示す。また、本構造モデルにおいて外生変数間の共分散については

Stata のデフォルト設定により推定されている一方、内生変数の誤差項間の相関については任意に設定を行っておらず、図中では誤差共分散は省略して表記している。さらに、すべての経路係数 $\beta$ （観測変数間の関連の大きさを表す数値）は統計的に有意であり（ $p < .001$ ）、図中および本文中では簡潔さのため有意水準の表記は省略した。

構造方程式モデリングの結果、非認知能力は自己肯定感、健康状態、および信頼関係のいずれとも有意に関連していた。また、自己肯定感、健康状態、および信頼関係はいずれも主観的幸福感と有意に関連しており、主観的幸福感がこの3要素と同時に関係していることが示された。学力については、非認知能力および学習時間のいずれとも有意な関連が認められた。加えて、非認知能力と主観的幸福感および学力との関連について、自己肯定感、健康状態、信頼関係、および学習時間を媒介変数とした間接効果を検証した。その結果、媒介経路のいずれにおいても、95%信頼区間に0を含まず、間接効果が有意であることが確認された。なお、パラメータ推定には、ブートストラップ法（2000回反復）を用いた。

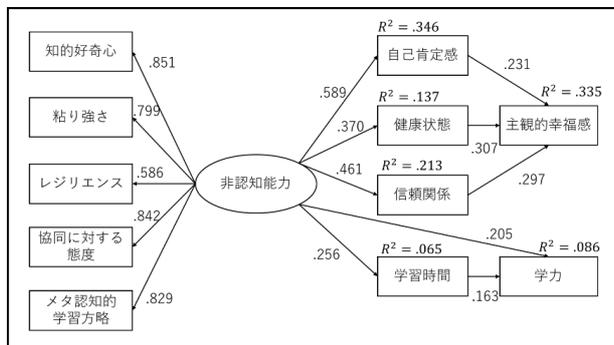


図2. 構造方程式モデリングの分析結果

## 2. 小中学生別モデルの比較

小学生（ $N = 4,649$ ）と中学生（ $N = 3,284$ ）に分けて多母集団同時分析を実施した結果、小学生モデルの適合度は、 $CFI = .942$ 、 $TLI = .922$ 、 $RMSEA = .078$ 、 $SRMR = .048$ である、概ね許容できる結果が得られたのに対し、中学校モデルの適合度は、 $CFI = .907$ 、 $TLI = .875$ 、 $RMSEA = .104$ 、 $SRMR = .065$ であり、 $RMSEA$ および $TLI$ の値から、モデルの当てはまりは相対的に低い水準にとどまった。この差異は、本研究で仮定した関連構造が、小学生においては当てはまりやすい一方で、中学生においては、必ずしも同一の構造で十分に説明しきれない可能性を示唆している。また、小学校

および中学校における $R4 \cdot R5 \cdot R6$ の各年度の構造モデルを比較した結果、各モデルの適合度は概ね許容できる結果が得られた。設定した関連構造の各経路係数の大きさには年度ごとの若干の増減が見られたものの、経路の方向性は共通していた。これらの結果から、本研究で想定した関連構造は、特定の年度に依存するものではなく、小学校段階および中学校段階の双方において概ね安定した構造として成立している可能性が高いと考えられる。これらに対し、まず自由推定モデルを推定し、これを基準として、逐次的に各パスへ等値制約を課したモデルを構築し、両者を尤度比検定により比較することで、群間差の有無を検証した。各パス構造と経路係数を表5に示す。なお、すべてのパスにおいて、経路係数は統計的に有意であった（ $p < .001$ ）。

小学校と中学校の多母集団同時分析の結果を比較すると、非認知能力から自己肯定感および信頼関係への関連、ならびに自己肯定感・健康状態・信頼関係から主観的幸福感への関連、さらに非認知能力および学習時間から学力への関連については、学校種による有意な差は認められず、小学生・中学生に共通した関連構造が成立していることが示された。一方で、非認知能力から健康状態への経路、非認知能力から学習時間への経路、および信頼関係から主観的幸福感への経路については、学校種による差異が存在することが確認された。経路係数を比較すると、非認知能力と学習時間の関連は中学校において相対的に高い値を示しており、中学生の方が非認知的側面と学習行動がより強く関連する可能性が示唆される。一方で、非認知能力と健康状態、信頼関係と主観的幸福感の関連は小学校において相対的に高い値を示しており、小学生の方が

表5. 小学生と中学生の経路係数の差の比較

パス	小学生	中学生	差の検定
非認知能力→自己肯定感	.586	.593	
非認知能力→健康状態	.379	.349	*
非認知能力→信頼関係	.471	.441	
自己肯定感→主観的幸福感	.209	.264	
健康状態→主観的幸福感	.290	.334	
信頼関係→主観的幸福感	.302	.286	*
非認知能力→学力	.190	.218	
非認知能力→学習時間	.220	.331	***
学習時間→学力	.156	.182	

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

表 6. 学習環境の違いによる経路係数の比較

パス	環境有群	環境無群	差の検定
非認知能力→自己肯定感	.563	.595	
非認知能力→健康状態	.346	.342	
非認知能力→信頼関係	.450	.422	
自己肯定感→主観的幸福感	.221	.239	
健康状態→主観的幸福感	.299	.309	
信頼関係→主観的幸福感	.278	.326	
非認知能力→学力	.220	.143	***
非認知能力→学習時間	.233	.238	
学習時間→学力	.148	.184	

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001.

非認知的側面と健康状態、および対人関係と主観的幸福感がそれぞれ強く関連する可能性を示す結果である。

### 3. 家庭環境別モデルの比較

#### a. 学習環境の観点

学習環境に関する回答を基に「落ち着いて学習できる環境」があると回答した群とないと回答した群の2群に分類し、多母集団同時分析を行った。以下、環境有群 (N=6,061) と環境無群 (N=1,872) と呼ぶ。それぞれの群に対するモデル適合度は、環境有群が CFI = .927, TLI = .902, RMSEA = .084, SRMR = .054, 環境無群が CFI = .927, TLI = .902, RMSEA = .091, SRMR = .060 であり、概ね許容できる結果が得られた。また、環境有群および環境無群における R4・R5・R6 の各年度の構造モデルを比較した結果、各モデルの適合度は概ね許容できる結果が得られ、設定した関連構造についても前節と同様に、いずれの群においても3年間にわたって安定していることが確認された。これらの結果から、本研究で想定した関連構造は、特定の年度に依存するものではなく、環境有群および環境無群の双方において概ね安定した構造として成立している可能性が高いと考えられる。これらに対し、前節と同様の方法で群間差の有無を検証した。各パス構造と経路係数を表6に示す。なお、すべてのパスにおいて、経路係数は統計的に有意であった (p < .001)。

比較した結果、非認知能力から自己肯定感・健康状態・信頼関係を介し、主観的幸福感に至る各経路、ならびに非認知能力から学習時間、学習時間から学力へ至る経路についてはいずれも群間差は認めら

れず、落ち着いて学習できる環境の有無に関わらず、安定した共通した関連構造が成立していることが示された。一方で、非認知能力から学力の経路においてのみ群間差が有意であることが確認された。経路係数を比較すると、落ち着いて学習できる環境があると答えた群の方が、相対的に高い値を示しており、この結果は、落ち着いて学習できる場所の有無が非認知能力と学力の関連に影響を与える可能性を示唆している。

表 7. 保護者支援の違いによる経路係数の比較

パス	支援関与群	非支援関与群
非認知能力→自己肯定感	.592	.580
非認知能力→健康状態	.370	.369
非認知能力→信頼関係	.457	.472
自己肯定感→主観的幸福感	.231	.231
健康状態→主観的幸福感	.319	.280
信頼関係→主観的幸福感	.282	.330
非認知能力→学力	.205	.205
非認知能力→学習時間	.265	.232
学習時間→学力	.159	.172

#### b. 保護者支援の観点

保護者支援に関する回答を基に「あなたの気持ちを大切にしながら相談にのる」の保護者が支援的に関与してくれる群と「保護者の希望や意見を強く言ってくる」「あなたにすべてをまかせて口出しをしない」「あなたの生活や学習について気にしていない」を統合した、保護者が支援的に関与してくれない群の2群に分類した。以下、前者を支援関与群 (N=5,486)、後者を被支援関与群 (N=2,447) と呼ぶ。それぞれの群に対するモデル適合度は、支援関与群が CFI = .935, TLI = .912, RMSEA = .085, SRMR = .052, 被支援関与群が CFI = .923, TLI = .896, RMSEA = .090, SRMR = .058 であり、概ね許容できる結果が得られた。また、支援関与群および非支援関与群における R4・R5・R6 の各年度の構造モデルを比較した結果、前節および前項と同様に、いずれの群においても3年間にわたって安定していることが確認された。これらの結果から、本研究で想定した関連構造は、特定の年度に依存するものではなく、支援関与群および被支援関与群の双方において概ね安定した構造として成立している可能性が高いと考えられる。各パス構造と経路係数を表7に示す。

なお、すべてのパスにおいて、経路係数は統計的に有意であった ( $p < .001$ )。

自由推定モデルと、全ての構造パスに等値制約を課したモデルとの尤度比検定を行った結果、LR  $\chi^2$  (9)=11.83,  $p=.223$  であり、両モデル間に統計的に有意な差は認められなかった。この結果は、少なくとも本研究のデータにおいては、支援関与群と非支援関与群との間で構造が異なるとする統計的証拠が得られなかったことを意味し、保護者の支援関与の有無にかかわらず、共通した構造として成立している可能性が高いと解釈される。

## VI. 結言

本研究は、A 市小中学校の児童生徒を対象とした大規模アンケート調査データを用い、主観的幸福感および学力に関連する要素の構造を、非認知能力を基盤として検証するとともに、学校種および家庭環境の違いによる関連構造の差異について、多母集団同時分析を用いて検討した。

RQ1「小中学生の主観的幸福感および学力と諸要素の関連構造はどのように形成されているのか」に関して、統合データに対する構造方程式モデリングの結果、非認知能力は、自己肯定感、健康状態、信頼関係、学習時間のいずれとも有意に関連し、これらを媒介して主観的幸福感および学力の双方と関連する構造が確認された。また、ブートストラップ法による間接効果の検証においても、非認知能力から主観的幸福感への経路は、自己肯定感、健康状態、信頼関係を介したすべての媒介効果が有意であり、学力に対しても学習時間を介した有意な間接効果が確認された。これらの結果は、主観的幸福感が自己肯定感、健康状態、対人関係と安定して関連すること (露口, 2017; 喜多島ら, 2021; 目黒ら, 2025)、ならびに非認知能力が自己肯定感、健康状態、信頼関係、学習行動を通じて、主観的幸福感および学力の形成に関与することを示した先行研究 (文部科学省, 2022; 久保田ら, 2022) を支持する結果である。なお本研究では、同一対象者に対する繰り返し測定が被験者間変動として扱われることによる推定の歪みを回避するため、年度ごとに分離したうえで、多母集団同時分析を実施する方法を採用した。これは、同一回答者の混在による標準誤差の過小評価や検定の自由度の過大推定を回避するための実務的対応であり、本分析結果の信頼性を担保している。

RQ2「学校種や家庭環境の違いは、関連構造にどのような変化をもたらすのか」に関して、本研究の結果は、「関連構造の骨格は共通である一方、その程度が文脈によって部分的に変調する」という特徴を示した。すなわち、小学校・中学校の比較においては、非認知能力を起点とし、主観的幸福感および学力へと至る構造は共通して成立していたが、非認知能力と学習時間の結びつきは中学校段階において相対的に強く、一方で非認知能力と健康状態、ならびに信頼関係と主観的幸福感との結びつきは小学校段階において相対的に強い傾向が確認された。この結果は、非認知能力と勉強時間および精神的健康、ならびに友人関係と主観的幸福感が小学生・中学生ともに関連していると示した先行研究 (文部科学省, 2022; 文部科学省, 2024) に対して、学校種によって関連の程度に差が生じる可能性を示唆した点で補足的な知見を提供するものといえる。また、学習環境の有無による比較においては、非認知能力から主観的幸福感へ至る経路および、非認知能力から学習時間・学力へと至る媒介構造はいずれも環境の有無にかかわらず安定して成立していた一方で、非認知能力と学力との直接的な結びつきのみが、学習環境の有無に応じて意味のある差を示すという結果が得られた。この結果は、家庭における学習環境が、児童生徒の非認知的側面と関連するとした先行研究 (お茶の水女子大学, 2023) と整合的であり、落ち着いて学習できる環境が、非認知能力と学力との関連を強める可能性を示した点で、先行知見を補足・発展させる結果を示したといえる。さらに、保護者支援の有無による比較では、関連構造全体に有意な群間差は認められず、本研究で想定した範囲においては、保護者支援の有無によって、非認知能力、主観的幸福感、学力の結びつきの枠組み自体が分岐することは確認されなかった。この結果は、保護者支援が重要であるという一般的な理解を否定するものではなく、少なくとも本研究の構造モデルにおいては、関連の程度を変化させる条件として統計的に検出されなかったことを意味している。

本研究の意義は、主観的幸福感と学力を同一の構造モデルで同時に捉え、非認知能力を基盤とする媒介構造として両者の関連を、先行研究と整合的に実証した点にある。すなわち、自己肯定感、健康状態、信頼関係が主観的幸福感と関連し、さらに学習時間を介して学力にも結びつく構造を示したことで、非認知能力を

軸に両者を統合的に捉える教育実践の可能性が示唆された。また、学校種および家庭環境に着目し、多母集団同時分析により、諸要素の関連が構造モデル上のどの経路に現れるのかを検証した点にも意義がある。一方、本研究には限界もある。第一に、横断的分析にとどまり、個人内変化を捉える縦断的因果分析には至っていないため、因果方向を確定するものではない。したがって、本研究で示された関連は、あくまで構造の関連を示す知見にとどまる。また、主観的幸福感と学力の双方向的関係の可能性そのものを否定するものでもなく、この点については今後、交差遅延モデル等を用いた縦断的分析により検討すべき課題である。第二に、本研究の対象はA市の小中学生に限定されており、地域の特性が結果に影響している可能性を否定できない。そのため、本研究の知見を一般化するためには、今後、他地域や異なる教育条件下における検証を積み重ねていくことが不可欠である。第三に、本研究では、性別や家庭の社会的経済的背景（家庭収入、保護者学歴等）といった個人属性および社会経済的要因を統制変数としてモデルに含めていない点も限界として挙げられる。これらの要因は、本研究で用いた要素に影響し得る交絡要因であり、得られた結果は、これら未統制の要因の影響を包含している可能性を否定できない。今後は、個人属性や社会経済的背景を統制したモデルを構築することにより、関連構造をより精緻に検討していく必要がある。ただし、本研究では同一個体を3年間にわたって追跡した縦断データを取得しており、この点は今後の分析における強みでもある。今後は、本研究で用いた構造モデルを基礎としつつ、同一個体内の変化を直接捉える縦断的分析を継続研究として進めることで、第一に挙げた限界を補完し、非認知能力、主観的幸福感、学力の関連を、時間的推移の観点も含めてより精緻に検討していくことが可能になると考えられる。

#### 付記・謝辞

本研究に協力してくださったA市教育委員会、A市立小中学校の児童生徒および教職員の皆様に感謝申し上げます。なお、本研究はJSPS 科研費22K02891の助成を受けたものです。

#### 文献

石井英真 (2019) 「非認知的能力の育て方を問う—スキル訓練を

- 超えて—」『日本教材文化研究財団研究紀要』49.
- 小塩真司 (2021) 『非認知能力 概念・測定と教育の可能性』北大路書房.
- 喜多島知穂・飛鳥井正道・末吉隆彦・磯崎隆司・前野隆司 (2021) 「主観的ウェルビーイングの分析と構造化—因子分析と偏相関関係分析を用いた心理的要因の関係分析—」『日本感性工学会論文誌』20(2), 129-139.
- 国立教育政策研究所 (2017) 『非認知的（社会情緒的）能力の発達と科学的検討手法についての研究に関する報告書』.
- 埼玉県教育委員会 (2025) 「令和6年度 埼玉県学力・学習状況調査報告書」.
- 鳥取県教育委員会 (2025) 「令和6年度 とっとり学力・学習状況調査報告書」.
- 福島県教育委員会 (2025) 「令和7年度 ふくしま学力調査報告書」.
- 文部科学省 (2022) 「質問紙調査に関する調査研究報告書」.
- 文部科学省 (2023) 「第4期教育振興基本計画」
- 文部科学省 (2024a) 「令和5年度 全国学力・学習状況調査 ウェルビーイングに関する分析報告書」.
- 文部科学省 (2024b) 「社会情緒的（非認知）能力の発達と環境に関する研究：教育と学校改善への活用可能性の観点から」
- 目黒幸士郎・水流卓哉・赤坂真二 (2025) 「小学生におけるウェルビーイングと共同体感覚の関連」『上越教育大学教職大学院研究紀要』12, 21-42.
- 露口健司 (2017) 「学校におけるソーシャル・キャピタルと主観的幸福感—『つながり』は子どもと保護者を幸せにできるのか?—」『愛媛大学教育学部紀要』64, 171-198.
- Diener, E. (1984). Subjective well-being. *Psychological Bulletin*, 95(3), 542-575.
- OECD 編著 (2018) 『社会情動的スキル—学びに向かう力』明石書店.
- OECD (2020) 『OECD ラーニング・コンパス（学びの羅針盤）2030: コンセプトノート〔日本語仮訳版〕』.

**愛媛大学ジュニアドクター育成塾の教育効果に関する一考察**  
**—2022年度から2024年度までの第1段階受講生に対する調査に基づいて—**  
 A Consideration of the Educational Effects of Ehime University Junior Doctor Program  
 -Based on the Investigation of First Step Students from 2022 to 2024-

○小川晃生<sup>\*1</sup>

OGAWA Akio<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学教育学部

<sup>\*1</sup>Faculty of Education, Ehime University

**[要約]** 本稿では2022年度から2024年度にかけての愛媛大学ジュニアドクター育成塾第1段階受講生を対象として著者が行った追調査の結果の概要を示し、統計解析を行いその結果を考察した。統計解析は、第1段階に加えて第2段階を受講したかどうかによる回答の傾向の違いが存在するか分析するためのフィッシャーの正確確率検定と残差分析、総合評価に関する回答結果を2値の名義尺度とみなして目的変数とし他のいくつかの回答結果を説明変数とするロジスティック回帰分析、を行った。前者の結果は、第2段階を経験した回答者は本育成塾で「協働する力」が育まれたと感じる傾向が弱い一方で、他のいくつかの回答結果で第1段階だけの受講生より「強く感じる」等を選択する傾向が強いことを示唆した。後者の結果は、「考える力」が育まれたと「強く感じる」等のいくつかの回答結果が回答者にとっての本育成塾の総合評価を高めることに寄与していることを示唆した。

**[キーワード]** ジュニアドクター育成塾 量的調査 統計解析

## I. はじめに

愛媛大学は国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の次世代人材育成事業の一つであるジュニアドクター育成塾の実施機関に採択されている。愛媛大学ジュニアドクター育成塾では次世代ゼネラリスト育成を目指して、選抜された小中学生に対して支援が行われている<sup>(1)</sup>。本育成塾は第1段階と第2段階に分かれる。第1段階では各教員が提供する講座を受講する。第2段階では受講生が各自の研究を教員の指導の下で行う。第2段階には第1段階修了生のうちの希望者が参加する。本育成塾は2017年度から2021年度まで第1期が実施され、2022年度から第2期が実施されている。第2期は2026年度で終了する予定である。最終年度に向けて、2022年度から2024年度にかけての第1段階受講生を対象とした追調査<sup>(2)</sup>を著者が行った。本稿ではその結果を分析し、考察する。

## II. 追調査の方法と結果

### 1. 調査方法の概要

前述した追調査を行うにあたって調査対象者に研

究協力依頼書、質問紙、返信用封筒を郵送した。殷爽・向平和・中本剛・加納正道・立川久美子(2023)は2017年度から2021年度までの第1期愛媛大学ジュニアドクター育成塾の受講生を対象とした追調査を行っているが、本調査で利用した質問紙はこの調査で用いられたものを加筆修正したものである。対象者は回答を記した質問紙を郵送するか、研究協力依頼書にリンクが記載されたGoogleフォームによって質問紙と同じ内容に回答するか、2つの方法で回答することができる。調査期間は2026年2月5日から25日までである。ただし調査期間を過ぎてから到着した質問紙1通を受理した。質問紙は4つの質問項目から構成される。質問項目(一)では回答者の基本情報を質問した。回答者がどの年度のどの段階を受講したか、および現在に所属について質問した。質問項目(二)では回答者にとって本育成塾の受講体験がどのようなものを感じられたのかに関する質問を行った。それらの質問は以下の3つに大別される。本育成塾でのどのような体験が印象に残ったのかという質問、本育成塾が定める目標を回答者がどの程度達成できたと感じられるのかに関する質問、本育成塾

での経験が回答者にとってどの程度役に立ったと感じられるかに関する質問、である。質問項目(三)では進学先と職種に関する回答者の進路希望と、本育成塾での経験が回答者の進路希望にどの程度影響したと感じられるかについての質問を行った。進学先については分野の違いを中心とした選択肢を作成した。職種についても具体的な種類ではなく分野別の選択肢を作成した。最後に質問項目(四)では本育成塾に関する回答者の総合的な評価に関する質問を行った。

## 2. 調査結果の概要

調査の結果の概要を提示する<sup>9)</sup>。本調査の対象者は135名であり、そのうち回答を得られたのは80名である。回収率は59.3%である。本調査では選択肢を1つだけ選ぶ質問と、複数選択可能な質問が混在する。また対象者の属性に応じて回答すべき質問がいくつか異なる。本調査では、選択肢を1つだけ選ぶ質問で複数の選択肢を選んだり、回答してはいけない質問に回答したり、回答すべき質問に回答しなかったり、といった場合がいくつか見られた。本稿ではこうした場合が含まれる質問紙をすべて有効だと見做して以下の結果を提示する。そのため無効だとされた質問紙は存在しない。

質問項目(一)の結果を以下の表1, 2に示す。愛媛大学ジュニアドクター育成塾は小学5年生から中学3年生までが対象であるため、2022年度から2024年度にかけて第1段階を受講した調査対象者は2026年2月の時点で小学6年生から高校3年生である。そのため表1の高等専門学校は中等教育段階に相当する学年である。他方で、中等教育学校に関してはどの段階に相当するか表1だけでは分からない。表1の結果は中学校およびそれに相当する段階に所属する回答者が最も多いことを示す。表2では第1段階に関する回答結果のみを提示した。表2の結果から回答者が第1段階を受講した年度は大きく偏っていないと考えられる。

表1 回答者の所属

小学校	中学校	中等教育学校	高等学校	高等専門学校	未回答
5	46	10	14	3	2

表2 回答者の受講状況

2022年度第1段階	2023年度第1段階	2024年度第1段階	年度不明(未回答)
22	31	23	4

質問項目(二)には今も印象に残っている第1段階の講座を尋ねる質問がある。この質問は回答の複数選択が可能である。結果は次の表3, 表4, 表5に示す。愛媛県上浮穴郡久万高原町において8月に1泊2日の日程で実施されるサイエンスキャンプはどの年度を受講生にも人気である。

表4 印象に残った第1段階講座(2022年度受講生)

サイエンスキャンプ	14
岩石・鉱物の観察と標本観察	12
動物園の役割について学ぼう!(研究倫理教育を含む)	10
飲み物の糖度を測定してみよう!	10
ヒトのがん遺伝子を用いたがん治療の選択と治療法の開発	8
考古学:古代の生活を科学しよう!	8
ミクロの世界	7
熱電変換を体験しよう!~熱電素子を用いた霧箱の作成と放射線の観察~	7
ハイブリッドロケット~ペットボトル・ハイブリッド・ロケット(PHR)を作り、飛ばしてみよう!	6
微生物を見てみよう!	6
春秋戦国時代を「統一」しよう!	6
移動水族館:おさかな館の生き物や四万十川の生き物について学ぼう	4
ロボットの機構	3
情報のまとめ方(新聞作成等)	3
数学ゲームにチャレンジ!	3
きれいなスケッチの描き方を習得しよう!	2
マイコンボードを使ったプログラミングをしよう!	2
スポーツの中のサイエンスを探そう!	1

表5 印象に残った第1段階講座(2023年度受講生)

サイエンスキャンプ	22
スケッチの描き方を習得しよう!	13
ハイブリッドロケット~ペットボトル・ハイブリッド・ロケット(PHR)を作り、飛ばしてみよう!	13
マイコンボードを使ったプログラミングをしよう!	12

ロボットの機構	11
岩石・鉱物の観察と結晶成長実験	11
春秋戦国時代を「統一」しよう！	11
熱電変換を体験しよう！～熱電素子を用いた霧箱の作成と放射線の観察～	11
動物園の役割について学ぼう！（研究倫理教育を含む）	10
移動水族館：おさかな館の生き物や四万十川の生き物について学ぼう	10
飲み物の糖度を測定してみよう！	10
考古学：古代の生活を科学しよう！	9
ヒトのがん遺伝子を用いたがん治療の選択と治療法の開発	7
数学ゲームにチャレンジ！	7
ミクロの世界	6
博物館の企画展示に学んで楽しむ科学	6
微生物を見てみよう！	6
情報のまとめ方（新聞作成等）	5

表 6 印象に残った第 1 段階講座（2024 年度受講生）

春秋戦国時代を「統一」しよう！	16
サイエンスキャンプ	15
移動水族館：おさかな館の生き物や四万十川の生き物について学ぼう	13
ハイブリッドロケット	12
動物園の役割について学ぼう！（研究倫理教育を含む）	9
飲み物の糖度を測定してみよう！	9
“がん”て何だろう？そして治療は？	8
スケッチの描き方を習得しよう！	8
数学ゲームにチャレンジ！	8
マイコンボードを使ったプログラミングをしよう！	7
微生物を見てみよう！	6
考古学：古代の生活を科学しよう！	6
岩石・鉱物の観察と結晶成長実験	5
磁気と電気のマリアージュ～電磁誘導～	5
ミクロの世界	4
博物館の企画展示に学んで楽しむ科学	4
ロボットの機構	3

質問項目（二）では第 2 段階の受講経験がある回答者に対して第 2 段階で特に印象に残ったことを尋ねた（回答の複数選択可）。その結果が次の表 7 である。毎年 3 月に行われる閉校式での研究成果の最終発表が

最も印象に残ったことだとされた。表中のおむすび研究会は研究倫理教育やプレゼンテーション技術指導に関する講座で、2024 年度は著者が担当した。

表 7 第 2 段階で特に印象に残ったこと

閉校式での最終発表会	18
おむすび研究会	16
担当教員による普段の研究指導	15
学会発表など外部での活動	2

本育成塾は「なぜを問う力」、「考える力」、「表現する力」、「協働する力」の 4 つの力を育成することに重点をおく<sup>(4)</sup>。本育成塾での経験を通してこれらの力が育まれたと回答者がどの程度感じているかについて質問項目（二）で尋ねた。その結果が次の表 8 である。「強く感じる」の割合が最も高いのは「考える力」、その次が「協働する力」であることが確認できる。

表 8 4 つの力に関する質問の結果

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
なぜを問う力	43	34	3	0	0
考える力	54	19	6	1	0
表現する力	43	30	7	0	0
協働する力	49	25	4	2	0

質問項目（二）では、本育成塾に参加したことで、自然観、科学観、世界観、職業観、人生観、の 5 つの認識がどう変化したのか回答者に尋ねた。その結果が次の表 9 である。質問紙では自然観を「価値判断の根底にある自然への価値観のこと、環境、生物などへの認識」、科学観を「科学というものをどう見ようかという見方や考え方」、世界観を「世界を一体的に意味づける見方」、職業観を「仕事に関する知識や考え方の習得」、人生観を「人間ひとりひとりが、自分自身の人生や人間全般の人生について抱く諸観念のこと」、と定義した<sup>(5)</sup>。他と比べて自然観と科学観の「大きく変わった」の割合が高い。なお、人生観についてのみ 1 人が未回答である。

表9 認識の変化に関する質問の結果

	大きく変わった	少し変わった	どちらとも言えない	あまり変わらない	全く変わらな
自然観	42	31	4	2	1
科学観	44	31	1	3	1
世界観	29	35	11	4	1
職業観	24	36	14	6	0
人生観	29	32	9	7	2

質問項目(二)では、本育成塾での経験が普段の生活にどの程度生かされていると感じているか、学校での教科学習や受験にどの程度役に立ったと感じているか、という質問を行った。回答の結果が次の表10、表11である。家庭(地域)生活と比べて、学校生活の方が生かされていると「強く感じる」割合が高い。また、役立っていると「強く感じる」割合が最も高い教科は理科、その次が総合的な学習・探求の時間である。

表10 普段の生活

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
学校生活	44	22	7	5	2
家庭(地域)生活	19	37	14	7	3

表11 学校での教科学習や受験

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
算数・数学	33	21	13	11	2
国語	10	31	20	14	5
理科	59	17	4	0	0
社会	22	32	14	7	5
英語	4	25	23	14	14
総合的な学習・探求の	39	26	10	1	2

時間					
----	--	--	--	--	--

質問項目(三)では、小中学生およびそれに相当する学年の回答者に対して中学校卒業後に希望する進路を尋ねた。その結果が次の表12である。高校生およびそれに相当する学年の回答者に対しては高校卒業後に希望する進路を尋ねた。その結果が次の表13である。小中学生の回答者が後者の質問に回答した例が散見されたが、表13にはその回答も含まれている。理系の進路希望が多いことが分かる。

表12 小中学生の進路希望

高等学校に進学して理系科目を重視した勉強に取り組む	36
高等学校に進学して文系科目を重視した勉強に取り組む	3
高等学校に進学して芸術や体育などその他科目を重視した勉強に取り組む	2
高等学校に進学してバランスよく色々な科目の勉強に取り組む	15
高等専門学校に進学する	4
就職	0
その他	0

表13 高校生の進路希望

大学(理学部、工学部、農学部、医学部、薬学部、情報学部などの理系学部)に進学	28
大学(法学部、経済学部、商学部、経営学部、心理学部、社会学部、文学部などの文系学部)に進学	4
大学(芸術学部、体育学部などその他学部)に進学	0
高等専門学校に継続して在籍	2
専門学校(理系)に進学	0
専門学校(文系)に進学	0
専門学校(その他)に進学	0
就職	0
その他	0

質問項目(三)では、本育成塾での経験が上記の進路希望にどの程度影響したと感じるかという質問を行った。その結果が次の表14である。「強く感じる」と「少し感じる」を併せて75%に達する。

表 14 本育成塾の進路希望への影響

強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない	未回答
35	25	4	11	3	2

質問項目（三）では将来従事したい職種に関する進路希望を回答者に尋ねた（回答の複数選択可）。その結果が次の表 15 である。回答者 80 名のうち表 15 の 1 番目の選択肢を 47 名が選択していることから、理系の専門知識を必要とする職業を視野に入れている回答者が過半数に達していることが分かる。ただし上から 4 番目の選択肢を選んだ回答者が 15 名いることから、一定の割合で文系の専門知識を必要とする職業を視野に入れている回答者が存在することが示唆される。

表 15 将来の進路希望

理学、工学、農学、薬学、情報学などの専門知識が必要とされる職業	47
医学、歯学、獣医学などの専門知識が必要とされる職業	30
看護学、社会福祉学などの専門知識が必要とされる職業	2
法学、経済学、商学、経営学などの専門知識が必要とされる職業	15
心理学、社会学、文学、教育学などの専門知識が必要とされる職業	7
芸術学の専門知識が必要とされる職業	5
体育学の専門知識が必要とされる職業	1
その他	2

質問項目（三）では最後に、本育成塾での経験が将来従事したい職種に関する進路希望にどの程度影響したと感ずるか尋ねた。その結果が次の表 16 である。「強く感じる」と「少し感じる」を併せて 82.5%である。

表 16 本育成塾の将来の進路希望への影響

強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
35	25	4	11	3

35	31	6	5	3
----	----	---	---	---

質問項目（四）では 2 つの質問を行った。1 つは本育成塾に参加した経験がどの程度良かったと感じるかについての質問である。もう 1 つは本育成塾の OB・OG としての活動の依頼があった場合に参加したいかという質問である。それらの結果が次の表 17、表 18 である。表 17 において、回答者の大半が「強く感じる」と「少し感じる」のどちらかを選択した。表 18 において、「参加したい」を選択した回答者は 55% である。

表 17 本育成塾を良かったと感じるか

強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
68	9	3	0	0

表 18 OB・OG としての活動に参加したいか

参加したい	参加したくない	わからない
44	8	28

### Ⅲ. 第 2 段階の教育効果に関する統計解析<sup>⑥</sup>

#### 1. 第 2 段階を経験したかどうかの分類

最初に述べたように愛媛大学ジュニアドクター育成塾は第 1 段階と第 2 段階に分かれる。第 1 段階では各教員が提供する講座を受講し、第 2 段階では指導教員の下で研究に従事する。第 1 段階修了生の一部が第 2 段階に進む。第 2 段階を経験したかどうかで追調査の結果が変化する可能性がある。そこで第 2 段階を経験したかどうかで回答者を分類し、回答結果を統計的に検討する。

分類には質問項目（一）の結果を利用した。ただし、この質問の結果だけに基つけば第 1 段階しか経験していないはずなのに表 7 の質問に回答している回答者が 1 名いた。その回答者は第 2 段階経験者として分類した。また、質問紙の回答をすべて検討しても分類できない回答者が 1 名いた。その回答者は分類から除外した。分類の結果、第 1 段階のみの回答者は 49 名、第 2 段階を経験した回答者は 30 名、であった。

#### 2. 統計解析の結果と考察

第2段階を経験したかどうかの分類に基づいて表8の結果からクロス集計表を作成した。次の表18, 表19, 表20, 表21である。第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するかどうかを検定するために、「どちらとも言えない」、「あまり感じない」、「全く感じない」の3つのカテゴリーを1つに統合したうえでフィッシャーの正確確率検定を各表に対して行った<sup>7)</sup>。その結果のp値は順番に、 $p=.916$ ,  $p=.936$ ,  $p=.424$ ,  $p=.083$ , である。いずれの結果も5%水準で有意ではなく、第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するとは言えない。ただし、「協働する力」に関してのみ10%水準では有意である。この項目のクラメールの連関係数は.249であり、効果量は大きくない。この項目は第1段階のみを経験した回答者の70%以上が「強く感じる」を選択したのに対して、第2段階を経験した回答者は46.7%に過ぎなかった。この項目に対して残差分析を行うと、調整済み標準化残差は「第1段階のみ」の「強く感じる」が2.201, 「第2段階を経験」の「強く感じる」が-2.201, であった。これら2つの項目の調整済み標準化残差が5%の有意水準である1.96を上回ったことから、第2段階を経験した回答者の方が愛媛大学ジュニアドクター育成塾での経験で「協働する力」が育まれたと強く感じる傾向が少ないと考えられる。

表18 「なぜを問う力」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	25	22	2	0	0
第2段階を経験	17	12	1	0	0

表19 「考える力」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	32	12	4	1	0
第2段階を経験	21	7	2	0	0

表20 「表現する力」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちら	あまり	全く感
--	-------	-------	-----	-----	-----

	じる	じる	とも 言 えない	感じ ない	じ ない
第1段階のみ	25	18	6	0	0
第2段階を経験	18	11	1	0	0

表21 「協働する力」のクロス集計表

	強く感 じる	少し感 じる	ど ち ら と も 言 え な い	あ ま り 感 じ な い	全 く 感 じ な い
第1段階のみ	35	11	2	1	0
第2段階を経験	14	13	2	1	0

前述した分類に基づいて表9の結果からもクロス集計表を作成した。次の表22, 表23, 表24, 表25, 表26である。第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するかどうかを検定するために、「どちらとも言えない」、「あまり変わらない」、「全く変わらない」の3つのカテゴリーを1つに統合したうえでフィッシャーの正確確率検定を各表に対して行った。その結果のp値は順番に、 $p=.288$ ,  $p=.933$ ,  $p=.573$ ,  $p=.483$ ,  $p=.664$ , である。すべての結果が10%水準で有意ではなく、第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化したと統計学的には言えない。

表22 「自然観」のクロス集計表

	大きく 変わった	少し変 わった	ど ち ら と も 言 え な い	あ ま り 変 わ ら な い	全 く 変 わ ら な い
第1段階のみ	24	22	1	2	0
第2段階を経験	17	9	3	0	1

表23 「科学観」のクロス集計表

	大きく 変わった	少し変 わった	ど ち ら と も 言 え な い	あ ま り 変 わ ら な い	全 く 変 わ ら な い
第1段階のみ	26	20	0	3	0
第2段階を経験	17	11	1	0	1

表 24 「世界観」のクロス集計表

	大きく変わった	少し変わった	どちらとも言えない	あまり変わらない	全く変わらない
第1段階のみ	20	19	6	4	0
第2段階を経験	9	15	5	0	1

表 25 「職業観」のクロス集計表

	大きく変わった	少し変わった	どちらとも言えない	あまり変わらない	全く変わらない
第1段階のみ	16	19	11	3	0
第2段階を経験	8	16	3	3	0

表 26 「人生観」のクロス集計表

	大きく変わった	少し変わった	どちらとも言えない	あまり変わらない	全く変わらない
第1段階のみ	19	17	7	4	1
第2段階を経験	10	14	2	3	1

前述した分類に基づいて表 10 の結果からクロス集計表を作成した。次の表 27, 表 28 である。第 2 段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するか検定するために、カテゴリーの統合を行わずにフィッシャーの正確確率検定を各表に対して行った。その結果の p 値は順番に、 $p=.045$ ,  $p=.189$ , である。前者の結果は 5%水準で有意であり、第 2 段階を経験したかどうかで回答の分布が変化したと統計学的には言える。前者におけるクramerの連関係数は .33 であり、効果量は大きくない。残差分析を行うと、表 27 において調整済み標準化残差は「第 1 段階のみ」の「強く感じる」が-2.469, 「どちらとも言えない」が 2.168, 「第 2 段階を経験」の「強く感じる」が 2.469, 「どちらとも言えない」が-2.168, であった。これら 4 つの項目の調整済み標準化残差が 5%の有意水準である 1.96 を上回ったことから、第 2 段階を経験した回答者の方が本育成塾での経験が学校生活に生かされていると感じる傾向が強いと考えられる。

表 27 「学校生活」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	22	15	7	4	1
第2段階を経験	22	6	0	1	1

表 28 「家庭(地域)生活」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	11	21	9	7	1
第2段階を経験	8	15	5	0	2

前述した分類に基づいて表 11 の結果からクロス集計表を作成した。次の表 29, 表 30, 表 31, 表 32, 表 33, 表 34 である。第 2 段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するか検定するために、カテゴリーの統合を行わずにフィッシャーの正確確率検定を各表に対して行った。その結果の p 値は順番に、 $p=.593$ ,  $p=.355$ ,  $p=.921$ ,  $p=.636$ ,  $p=.864$ ,  $p=.892$ , である。すべての結果が 10%水準で有意ではなく、第 2 段階を経験したかどうかで回答の分布が変化したと統計学的には言えない。表 34 において「どちらとも言えない」、「あまり感じない」、「全く感じない」の 3 つのカテゴリーを 1 つに統合したうえでフィッシャーの正確確率検定を行うと、その結果の p 値は  $p=.740$  であり、こちらも 10%水準で有意ではない。

表 29 「算数・数学」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	22	14	7	5	1
第2段階を経験	11	6	6	6	1

表 30 「国語」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	22	14	7	5	1
第2段階を経験	11	6	6	6	1

			えない	い	
第1段階のみ	4	21	14	7	3
第2段階を経験	6	10	5	7	2

表31 「理科」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	35	11	3	0	0
第2段階を経験	23	6	1	0	0

表32 「社会」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	13	20	7	6	3
第2段階を経験	9	11	7	1	2

表33 「英語」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	2	14	15	8	10
第2段階を経験	2	11	8	5	4

表34 「総合的な学習・探求の時間」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	23	17	5	1	1
第2段階を経験	15	9	5	0	1

前述した分類に基づいて表14、表16の結果からクロス集計表を作成した。次の表35、表36である。第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するか検定するために、カテゴリーの統合を行わずにフ

ィッシャーの正確確率検定を各表に対して行った。その結果のp値は順番に、 $p=.354$ 、 $p=.125$ 、である。どちらの結果も10%水準で有意ではなく、第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化したと統計学的には言えない。ところが、両表において「どちらとも言えない」、「あまり感じない」、「全く感じない」の3つのカテゴリーを1つに統合したうえでフィッシャーの正確確率検定を行うと、その結果のp値は $p=.170$ 、 $p=.048$ であり、後者は5%水準で有意である。後者におけるクラメルの連関係数は.282であり、効果量は大きくない。後者について残差分析を行うと、調整済み標準化残差は「第1段階のみ」の「強く感じる」が-2.198、「統合されたカテゴリー」が2.013、「第2段階を経験」の「強く感じる」が2.198、「統合されたカテゴリー」が-2.013、であった。これら4つの項目の調整済み標準化残差が5%の有意水準である1.96を上回ったことから、第2段階を経験した回答者の方が、本育成塾での経験が将来従事したい職種に関する進路希望に影響を与えたと強く感じる傾向が大きいと考えられる。

表35 「進路希望」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	18	16	4	8	2
第2段階を経験	17	9	0	3	1

表36 「将来の進路希望」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	17	20	5	5	2
第2段階を経験	18	10	1	0	1

最後に、前述した分類に基づいて表17、表18の結果からクロス集計表を作成した。次の表37、表38である。第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化するか検定するために、表37については「どちらとも言えない」、「あまり感じない」、「全く感じない」の3つのカテゴリーを1つに統合し、表38に

についてはカテゴリーの統合を行わずに、フィッシャーの正確確率検定を各表に対して行った。その結果のp値は順番に、 $p=.298$ ,  $p=.109$ , である。どちらの結果も10%水準で有意ではなく、第2段階を経験したかどうかで回答の分布が変化したと統計学的には言えない。ただし後者はp値が $p=.10$ に近い水準である。後者におけるクラメールの連関係数は.246であり、効果量は大きくない。後者について残差分析を行うと、調整済み標準化残差は「第1段階のみ」の「強く感じる」が-2.003, 「第2段階を経験」の「強く感じる」が2.003, であった。これら2つの項目の調整済み標準化残差が5%の有意水準である1.96を上回ったことと、上述したp値から、第2段階を経験した回答者の方がOB・OGとして活動に参加したい傾向が強い可能性がある。

表37 「本育成塾を良かったと感じるか」のクロス集計表

	強く感じる	少し感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	全く感じない
第1段階のみ	39	7	3	0	0
第2段階を経験	28	2	0	0	0

表38 「OB・OGとして活動に参加したいか」のクロス集計表

	参加したい	参加したくない	わからない
第1段階のみ	23	7	19
第2段階を経験	21	1	8

#### IV. 総合評価に関する統計解析

表17では愛媛大学ジュニアドクター育成塾に参加してどの程度よかったと感じるかの総合評価の回答結果を示した。この結果と他の調査結果との関係性を解明するためにロジスティック回帰分析を実施した<sup>6)</sup>。解析にあたって、表17の結果は「強く感じる」を1, それ以外を0とする2値の名義尺度と見なして目的変数とした。説明変数として投入した調査結果についても同様の処理を行った。説明変数として投入されたのは、表39では表8の結果、表40では表9

の結果、表41では表10の結果、表42では表11の結果、表43では表14と表16の結果、である。

表39 ロジスティック回帰分析の結果1

	推定値	p値	指数変換
切片	.064	.908	1.066
なぜを問う力	.969	.307	2.636
考える力	3.227	.006	25.196
表現する力	.211	.810	1.235
協働する力	-.017	.983	.983
Hosmer-Lemeshowの適合度検定: $p=.820$			

表40 ロジスティック回帰分析の結果2

	推定値	p値	指数変換
切片	.148	.767	1.160
自然観	1.502	.086	4.490
科学観	2.132	.015	8.436
世界観	-.582	.535	.559
職業観	.126	.906	1.134
人生観	2.083	.089	8.028
Hosmer-Lemeshowの適合度検定: $p=.712$			

表41 ロジスティック回帰分析の結果3

	推定値	p値	指数変換
切片	1.211	.003	3.358
学校生活	.796	.253	2.217
家庭(地域)生活	.998	.380	2.713
Hosmer-Lemeshowの適合度検定: $p<.001$			

表42 ロジスティック回帰分析の結果4

	推定値	p値	指数変換
切片	.379	.420	1.461
算数・数学	.978	.451	2.659
国語	-1.044	.370	$3.521 \times 10^{-1}$
理科	2.272	.019	9.695
社会	-.435	.698	$6.476 \times 10^{-1}$
英語	14.671	.994	$2.354 \times 10^6$
総合的な学習・探求の時間	.187	.840	1.206
Hosmer-Lemeshowの適合度検定: $p=.956$			

表 43 ロジスティック回帰分析の結果 5

	推定値	p 値	指数変換
切片	1.094	.003	2.985
進路希望	.279	.779	1.322
将来の進路希望	2.207	.080	9.090
Hosmer-Lemeshow の適合度検定 : p= .596			

解析結果から、表 39 の「考える力」、表 40 の「科学観」、表 42 の「理科」の回帰係数の推定値が 5%水準で有意である。また、表 40 の「自然観」と「人生観」、表 43 の「将来の進路希望」が 10%水準で有意である。この解析結果から、本育成塾での経験によって「考える力」が育まれ、「自然観」と「科学観」と「人生観」が大きく変わり、本育成塾での経験が「理科」の普通の勉強に役立ち、「将来の進路希望」に影響したことが、本育成塾に対する回答者の総合評価を高めたと考えられる。

## V. おわりに

本稿では 2022 年度から 2024 年度にかけての愛媛大学ジュニアドクター育成塾第 1 段階受講生を対象として著者が行った追調査の結果を示した。そして、第 2 段階を受講したかどうかによる回答の傾向の違いを分析し、総合評価に関する回答結果と他の質問の回答結果との関係性を分析した。

前者の結果から、第 2 段階を経験した回答者は本育成塾で「協働する力」が育まれたと感じる傾向が弱く、本育成塾での経験が学校生活に生かされていると感じる傾向が強く、将来従事したい職種に関する進路希望に本育成塾が影響を与えたと感じる傾向が強く、本育成塾の OB・OG として活動したい傾向が強い、ということが示唆された。また後者の結果から、本育成塾での経験によって「考える力」が育まれ、「自然観」と「科学観」と「人生観」が大きく変わり、本育成塾での経験が「理科」の普通の勉強に役立ち、「将来の進路希望」に影響したことが、本育成塾に対する回答者の総合評価を高めたことが示唆された。本稿が本育成塾の第 2 期最終年度の成功に役立つことを願う。

## 註

- (1) 小川晃生 (2025:96) を参照。
- (2) 調査対象者が未成年であるため愛媛大学教育学部研究倫理委員会の審査を受け、2026 年 1 月 26 日付で承認された (R7-64)。
- (3) 調査結果の記述と解析には R を利用した。
- (4) 殷・向・中本・加納・立川 (2023) を参照。
- (5) この定義は殷・向・中本・加納・立川 (2023) の調査で使用された質問紙におけるものと同一である。
- (6) 統計解析の結果を表記する際に数字を丸めて少数点以下 3 桁までの表記とした。また、APA スタイルに準拠した。
- (7) 平井明代・岡秀亮・草薙邦広 (2022:207-208, 212-213) を参照。
- (8) 川端一光・岩間徳兼・鈴木雅之 ([2018]2023:262-284) を参照。

## 謝辞

本稿を執筆するにあたり愛媛大学ジュニアドクター育成塾の支援を受けている。

## 文献

- 平井明代・岡秀亮・草薙邦広 (2022) : 教育・心理系研究のための R によるデータ分析, 東京図書。
- 川端一光・岩間徳兼・鈴木雅之 ([2018]2023) : R による多変量解析入門, オーム社。
- 小川晃生 (2025) : 2024 年度おむすび研究会の実施状況と今後の方針—理系・文系の境界にとらわれないゼネラリスト育成をめざして—, 科学教育研究センター紀要, Vol.4, 96-103。
- 殷爽・向平和・中本剛・加納正道・立川久美子 (2023) : 愛媛大学ジュニアドクター育成塾の教育効果に関する研究—修了生への追跡調査の結果を中心に—, 科学教育研究センター紀要, Vol.2, 23-30。
- R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

## 大西佐兵衛『雑題』の現代解について

～第 8 巻 8-5, 8-6, 8-7, 8-8, 8-9～

Modern solutions for problems in “Zatsudai” by Sahei Onishi

原本博史\*<sup>1</sup>, ○安部利之\*<sup>2</sup>HARAMOTO Hiroshi\*<sup>1</sup>, ABE Toshiyuki\*<sup>2</sup>\*<sup>1</sup> 愛媛大学データサイエンスセンター\*<sup>2</sup> 愛媛大学教育学部\*<sup>1</sup>Center for Data Science, Ehime University\*<sup>2</sup>Faculty of Education, Ehime University

[要約]：愛媛県の和算家大西佐兵衛の編集した『雑題』全 30 巻から、第 8 巻の後半について解説する。

[キーワード]：和算 (Wasan, Japanese Mathematics), 2 次方程式 (Quadratic Equations), 指数関数と対数関数 (Exponential functions and logarithmic functions), 相似 (Similarity), 楕円 (Elliptic curves), 複素数平面 (Complex plane), 球 (Spheres), 課題研究 (Themed Research)

## 1 はじめに

これまで、大西佐兵衛の編集した『雑題』の問題のうち第 8 巻の前半部分について (宮崎他, 2023) において解説したが、本論文では第 8 巻の後半の問題について解説する。大西佐兵衛及び雑題については、(宮崎他, 2023) を参照いただきたい。また、引き続き、浅山氏によりまとめられた資料 (浅山, 2019) を用いた。

今回扱う問題について簡単に解説する。第 5 問は、数列に関する問題であるが、演繹的に導く方法が不明であったため、具体的な数値を用いて議論した。第 6 問は、和算で良く知られた公式を用いる問題である。第 7 問は、複数の球が互いに接する問題である。容易に円の問題に帰着でき、高校までの知識で考察可能であるが、場合分けやその考察過程が非常に複雑な問題であったため、多くの紙面を割くこととなった。第 8 問は、初等幾何的にも解くことができるが、ここでは複素数を用いて解法を与えた。第 9 問は楕円の問題であるが、1 つの軸に関する引きのばしを考えることで、円の問題に帰着することで解くことができる。ここでは、小寺先生のまとめた天生法百景の問題を援用した。

本論文で扱った問題については、現代解の発表していないが、和算解については、愛媛和算研究会定例会において、谷本賢治先生が講演された。第 7 問については、第 54 回愛媛和算研究会において、本研究をもとに発表した。今回も、取りまとめの安部が解法を精査している。分かりにくい部分も多々あると思われるが、ご容

赦頂きたい。

本稿は、惜しくも 2025 年 7 月にご逝去された、小寺裕先生に捧げます。ご冥福をお祈り申し上げます。

## 2 現代解の解説 (第 8 巻)

この節では、資料 (浅山, 2019) に挙げられた問題、答え、術文を紹介し、その現代解及び注意点、補足について述べる。誤植等については、修正したものを挙げ、補足に修正箇所を指摘した。

以下円径は全て円の直径を表すものとする。また計算ソフトとしては Maxima を用い、描画ソフトとしては GeoGebra を用いた。

## 2.1 第 8 巻第 5 問

## 問題 1. (問題 8-5)

(問題文) 今、長方形が数知れずある。その面積が  $92.224 \text{ 寸}^2$ 、長辺の和  $33.616 \text{ 寸}$ 、短辺の和  $12.203125 \text{ 寸}$ 。只云う、長辺は  $\frac{1}{5}$  ずつ小さくなり、又云う、短辺は  $\frac{1}{4}$  ずつ小さくなる時、各長方形の大きさはいくらか。

(答え) 第 1 : 長 10 寸, 短 4 寸。

第 2 : 長 8 寸, 短 3 寸。

第 3 : 長 6.4 寸, 短 2.25 寸。

第 4 : 長 5.12 寸, 短 1.6875 寸。

第 5 : 長 4.096 寸, 短 1.265625 寸。

(術文) 無し

(解法). 1つ目の長方形の長辺の長さを  $x$ , 短辺の長さを  $y$  とする. また長方形の縮小率を長辺  $r$ , 短辺  $s$  ( $0 < r < s < 1$ ) とし, 長辺の総和を  $A$ , 短辺の総和を  $B$ , 面積の総和を  $S$  とおく.

今,  $k$  個の長方形が題意をみたすとすると,

$$x(1 + r + r^2 + \dots + r^{k-1}) = A,$$

$$y(1 + s + s^2 + \dots + s^{k-1}) = B,$$

$$xy(1 + (rs) + (rs)^2 + \dots + (rs)^{k-1}) = S$$

が成り立ち,

$$(1 - r^k)x = (1 - r)A =: \alpha, \quad (2.1)$$

$$(1 - s^k)y = (1 - s)B =: \beta, \quad (2.2)$$

$$(1 - (rs)^k)xy = (1 - rs)S =: \gamma \quad (2.3)$$

と表される. (2.1)–(2.3) より,  $r^k x = x - \alpha$ ,  $s^k y = y - \beta$ ,  $(rs)^k xy = xy - \sigma$  となるので,  $(x - \alpha)(y - \beta) = xy - \sigma$  が得られ, これを整理した,  $\frac{x}{\alpha} + \frac{y}{\beta} = 1 + \frac{\sigma}{\alpha\beta}$  に, (2.1), (2.2) を代入して,

$$\frac{1}{1 - r^k} + \frac{1}{1 - s^k} = 1 + \frac{\sigma}{\alpha\beta}$$

が得られる. ここで,  $r > s$  より,

$$\frac{1}{1 - s^k} < \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\sigma}{\alpha\beta} \right) < \frac{1}{1 - r^k}$$

となり, 逆数を取り整理すると,

$$s^k < \frac{\sigma - \alpha\beta}{\sigma + \alpha\beta} < r^k \quad (2.4)$$

が成り立つことがわかる.

ここからは具体的な数値を用いる. まず  $r = \frac{4}{5}$ ,  $s = \frac{3}{4}$  より,  $r > s$  である. そして,  $A = \frac{33616}{1000}$ ,  $B = \frac{12203125}{10^6}$ ,  $S = \frac{92224}{1000}$ . これより,  $T := \frac{\sigma - \alpha\beta}{\sigma + \alpha\beta} = \frac{119117}{417459}$  が得られる. そこで,  $T - s^k$ ,  $r^k - T$  を計算すると,  $k < 5$  であれば,  $T - s^k < 0$ ,  $k > 5$  であれば,  $r^k - T < 0$  となる. 従って,  $k = 5$  が解の候補であるが,  $k = 5$  のとき,

$$\frac{1}{1 - r^5} + \frac{1}{1 - s^5} = \frac{2}{1 - T} = \frac{417459}{149171}$$

となり, 適することが確認できる. (2.1), (2.2) より,  $x = 10$ ,  $y = 4$  が得られ, (答え) が得られる.  $\square$

**補足 1.1.** 原典において, 長辺の和が 32.616 寸とあるが, 答えにある長辺の和は

$$10 \frac{1 - (\frac{4}{5})^5}{1 - \frac{4}{5}} = 33.616$$

であるので, 正確には問題文にある通りである.

## 2.2 第8巻第6問

**問題 2.** (問題 8-6)

(問題文) 今, 図 1 のように, 直角三角形内に逐次に円を容れる. 只云う, 勾若干, 又云う, 股若干として, 各円径を得る術を問う.

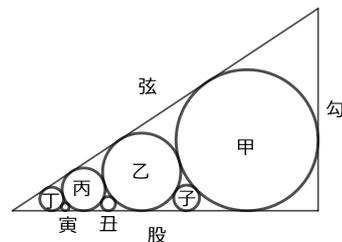


図 1. 問題 8-6 の配置

(答え) 左 (術文) の如し.

(術文) 別に弦は求める.

$$\text{勾} + \text{股} - \text{弦} = \text{甲円径},$$

$$\frac{3 \text{弦} - (\sqrt{8(\text{弦} - \text{股}) \text{弦}} + \text{股})}{\text{股} + \text{弦}} = \text{周率}$$

とする.

$$\text{甲円径} \times \text{周率} = \text{乙円径},$$

$$\text{乙円径} \times \text{周率} = \text{丙円径}.$$

逐次, このようにして各円径を得る. 次に,  $2((1 - \text{周率}) \text{股} + \text{乙円径}) = \text{法}$ ,  $\text{甲円径} \times \text{乙円径} = \text{実}$  とし,  $\frac{\text{実}}{\text{法}} = \text{子円径}$ .

$$\text{子円径} \times \text{周率} = \text{丑円径},$$

$$\text{丑円径} \times \text{周率} = \text{寅円径}.$$

逐次, 同様にして各円径を得る.

(解法). 甲円径と乙円径の比 (周率) を求めれば, 甲円径及び子円径に周率を繰り返し掛けることで, 累円径を求めることができる.

図 2 のように, 勾, 股, 弦をそれぞれ  $a, b, c$  とおき, 甲円の中心を  $O$ , 半径を  $R$ , 乙円の中心を  $P$ , 半径を  $r$  とする. 以下,  $a^2 + b^2 = c^2$  は断りなく用いる.

甲円, 乙円と股の接点をそれぞれ  $M, N$  とする. よく知られているように,

$$R = \frac{a + b - c}{2} \quad (2.5)$$

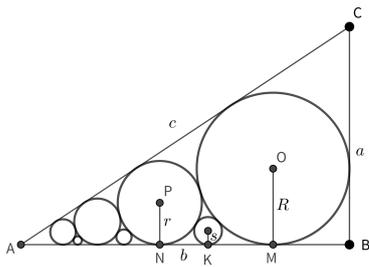


図 2. 問題 8-6 の解法の配置

である. 次に  $\triangle AOM$  と  $\triangle APN$  は相似であり, その相似比

$$x := \frac{AN}{AM} = \frac{r}{R}$$

が求める周率である.

今,  $AM = b - R$  であり,  $MN = 2\sqrt{Rr}$  なので,  $AN = b - R - 2\sqrt{Rr}$  である. 従って,

$$x = \frac{AN}{AM} = \frac{b - R - 2\sqrt{Rr}}{b - R} = 1 - \frac{2R}{b - R}\sqrt{x} \quad (2.6)$$

が得られる. ここで,  $\frac{R}{b-R}$  に (2.5) を代入し,  $a + b + c$  を分母分子にかけることにより,  $\frac{R}{b-R} = \frac{a}{b+c}$  が得られる. 従って,  $\sqrt{x}$  は 2 次方程式  $\sqrt{x}^2 + \frac{2a}{b+c}\sqrt{x} - 1 = 0$  を満たす.  $\sqrt{x}$  は, この方程式の正の解なので,

$$\sqrt{x} = \frac{-a + \sqrt{2c(b+c)}}{b+c}$$

である. 従って, 両辺を 2 乗して,  $a^2 = (c-b)(c+b)$  を代入すれば,

$$x = \frac{3c - b - \sqrt{8c(c-b)}}{b+c}$$

となり, 術文の周率を得る.

最後に子円の半径を  $s$ , 子円と股の接点を  $K$  とすれば,  $NK + KM = NM$  なので,  $2\sqrt{sr} + 2\sqrt{sR} = 2\sqrt{Rr}$  である. 両辺を  $R$  で割れば,

$$\sqrt{\frac{s}{R}}(\sqrt{x} + 1) = \sqrt{x}.$$

よって,

$$\frac{s}{R} = \frac{x}{(1 + \sqrt{x})^2} \quad (2.7)$$

を得る. ここで, (2.6) より,

$$\sqrt{x} = \frac{(1-x)(b-R)}{2R}$$

より,

$$\begin{aligned} (1 + \sqrt{x})^2 &= 1 + x + 2\sqrt{x} \\ &= 1 + x + \frac{(1-x)(b-R)}{R} \\ &= \frac{2Rx + (1-x)b}{R} \end{aligned}$$

を得る. 以上より,  $Rx = r$  に置き換えると,

$$2s = \frac{(2R)(2r)}{2((1-x)b + 2r)}$$

となり, 術文の式が得られる. □

**補足 2.1.** 勾股弦から求めるだけであれば難くはないが, 弦と股のみを用い, 勾を消去する方法に気付くことが少し難しい問題である. 直角三角形の辺に関する様々な関係式が現れ, 和算の醍醐味を感じさせる問題である.

### 2.3 第 8 卷第 7 問

#### 問題 3. (問題 8-7)

(問題文) 今, 図 3 のように, 大球内に 9 球をおく (甲球 4 個は互いに接し, 丙球も同じ. 甲, 丙球は大球に各接し, 乙球は接しない). 甲球径 30 寸, 乙球径 15 寸, 丙球径 12 寸のとき, 大球径はいくらか.

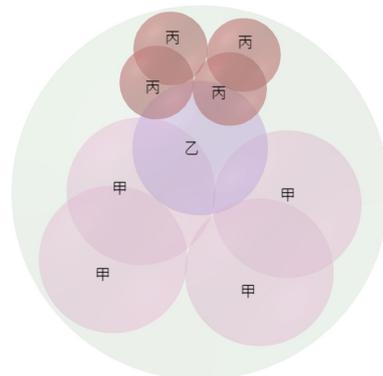


図 3. 問題 8-7 の配置

(答え) 大球径 85 寸.

(術文) 甲球径 + 丙球径 = 天 (以下, 球径の 2 字を略す).

$$\begin{aligned} 2 \text{天} \times \text{乙} - (\text{甲}^2 + \text{丙}^2) &= \text{地}, \\ (\text{天} - \text{乙}) \text{乙} - \text{甲} \times \text{丙} &= \text{人}. \end{aligned}$$

$$\frac{(\sqrt{2 \text{地} \times \text{乙}^2 + \text{人}^2} + \text{人}) \times \text{天}}{\text{地}} + \text{乙} = \text{大球径.}$$

この術解を導くために、まず次の補題を準備する。

**補題 2.1.**  $a, b \in \mathbb{R}, a > b > 0$  に対し、

$$f(x) = \sqrt{x^2 + 2ax - a^2} + \sqrt{x^2 + 2bx - b^2},$$

$$g(x) = \sqrt{x^2 + 2bx - b^2} - \sqrt{x^2 + 2ax - a^2}$$

と定める。また

$$\lambda = \sqrt{2} + 1, \quad r_{-1} = -\lambda a, \quad r_1 = \lambda^{-1} a$$

とし、 $I^- := (-\infty, r_{-1}]$ ,  $I^+ = [r_1, +\infty)$  とする。このとき次が成り立つ。

- (1) (i) 関数  $f(x)$  は  $I^-$  で単調減少,  $I^+$  で単調増加な連続関数である。
- (ii) 関数  $g(x)$  は  $I^-$  で単調増加,  $I^+$  で単調減少な連続関数である。

- (2) (i)  $r \in I^+$  に対し、 $f(x) = f(r)$  が異なる 2 つの実数解をもつ必要十分条件は、

$$r \geq r_3, \quad r_3 = \frac{\lambda a - b}{\lambda a + b} a$$

である。

- (ii)  $\lambda b \leq a$  のとき、 $r \in I^+$  に対し、 $g(x) = f(r)$  が実数解をもつ必要十分条件は、

$$r_2 < r \leq r_3, \quad r_2 = \frac{a^2 + b^2}{2(a + b)}$$

であり、その解は  $I^-$  にただ 1 つ存在する。

- (iii)  $\lambda b > a$  のとき、 $r \in I^+$  に対し、 $g(x) = f(r)$  が実数解をもつ必要十分条件は、

$$r_1 \leq r \leq r_3$$

であり、その解は  $I^-$  にただ 1 つ存在する。

- (3) (2) (i) の  $f(x) = f(r)$  の解  $x = r$  以外の解及び、(2) (ii)–(iii) の  $g(x) = f(r)$  の解は、いずれも

$$x = -r - \frac{(a+b)(f(r)^2 + (a-b)^2)}{f(r)^2 - (a-b)^2}$$

$$= -r + \frac{(a+b)(r^2 - (a+b)r + ab - \sqrt{d(r)})}{2(a+b)r - a^2 - b^2},$$

$$d(r) = (r^2 + 2ar - a^2)(r^2 + 2br - b^2) \tag{2.8}$$

である。

参考のために、関数  $y = f(x)$  のグラフ (実線) と  $y = g(x)$  のグラフ (波線) を提示する (図 4)

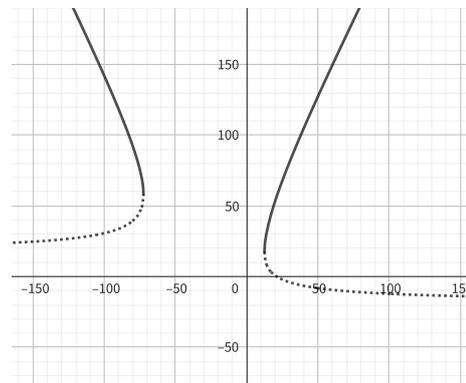


図 4.  $a = 30, b = 12$  のときの関数  $y = f(x)$  のグラフ (実線) と  $y = g(x)$  のグラフ (波線)

(証明).

$$A(x) = x^2 + 2ax - a^2, \quad B(x) = x^2 + 2bx - b^2$$

とおく。  $a > b$  より、関数  $y = f(x) = \sqrt{A(x)} + \sqrt{B(x)}$  及び  $y = g(x) = \sqrt{B(x)} - \sqrt{A(x)}$  は、 $A(x) \geq 0$  の定める範囲、つまり  $I^- \cup I^+$  で定義される。

(1) (i)–(ii) は微分し、その符号を確認することで、証明できる。詳細は省略するが、 $a = 30, b = 12$  の場合は図 4 でも確認できる。また、

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} g(x) = \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{(b-a)(2x + (a+b))}{\sqrt{x^2 + 2ax - a^2} + \sqrt{x^2 + 2bx - b^2}}$$

$$= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{(b-a)(\pm 2t + (a+b))}{\sqrt{t^2 \pm 2at - a^2} + \sqrt{t^2 \pm 2bt - b^2}}$$

$$= \mp(a-b)$$

であるので、 $y = a - b$  が  $y = g(x), x \in I^-$  の漸近線であり、 $y = -(a - b)$  が  $y = g(x), x \in I^+$  の漸近線であることがわかる。

(2)

$$f(r_{-1}) = g(r_{-1}) = \sqrt{B(-\lambda a)} = \sqrt{(a-b)(\lambda^2 a + b)},$$

$$f(r_1) = g(r_1) = \sqrt{B(\lambda^{-1} a)} = \sqrt{(a-b)(\lambda^{-2} a + b)}$$

である。グラフ (図 4) より、 $y = k$  は (i)  $k \geq f(r_{-1})$  のとき、曲線  $y = f(x)$  と 2 点で交わり、(ii)  $a - b < k \leq f(r_{-1})$  であれば、 $y = f(x)$  及び  $y = g(x)$  と 1 点ずつ、または  $y = g(x)$  と 2 点で交わる。

この補題の主張においては、 $r \in I^+$  に対し、 $y = f(x)$  と  $y = f(r)$  が少なくとも 1 点で交わる場合を考えている。  $y = f(x)$  が  $y = f(r_{-1})$  と 2 点で交わる場合、 $f(x) = f(r_{-1})$  の  $x = r_{-1}$  ともう一つの解を  $x = r_3$  とすれば、

$$r_3 = \frac{\lambda a - b}{\lambda a + b} a$$

であることを後で確認する。そして、 $r \geq r_3$  のとき、 $f(x) = f(r)$  の解は  $x = r$  以外に  $I^-$  に 1 つ存在する。

$y = k$  が  $y = f(x)$ ,  $y = g(x)$  と 1 点ずつで交わる場合は、少し状況が複雑であり、 $f(r_1)$  と  $a - b$  の大小関係によって、状況が変わる。

$$(\lambda^{-2}a + b) - (a - b) = 2\lambda^{-1}(\lambda b - a)$$

より、補題の (2) (ii) の場合、 $f(r_1) \leq a - b$  であり、直線  $y = f(r_1)$  は  $y = g(x)$  の漸近線  $y = a - b$  と等しいかまたは下部にあることがわかる。直線  $y = a - b$  は、後で確認するように、 $x = r_2 = \frac{a^2 + b^2}{2(a+b)}$  のときに、 $y = f(x)$  と交わる。このとき、

$$r_2 - r_1 = \frac{\lambda^{-2}(\lambda b - a)^2}{2(a+b)} \geq 0$$

であるので、 $r_2 < r \leq r_3$  に対し、 $y = f(r)$  は  $I^+$  において  $y = f(x)$  と交わり、 $I^-$  において  $y = g(x)$  と交わることがわかる。

最後に、(2) (iii) の場合、直線  $y = f(r_1)$  は漸近線  $y = a - b$  の上部にあるので、 $r_1 \leq r \leq r_3$  に対し、 $I^-$  において、 $y = f(r)$  と  $y = g(x)$  は 1 点で交わることがわかる。

(3)  $y \geq a - b$  に対し、方程式  $y = f(x)$ ,  $y = g(x)$  を解く。この 2 つの方程式  $y - \sqrt{B(x)} = \pm \sqrt{A(x)}$  の両辺を 2 乗して移項すると、 $2y\sqrt{B(x)} = y^2 - 2(a-b)x + a - b$  が得られる。さらに両辺を 2 乗して、整理すれば、 $x$  の方程式

$$4(y^2 - (a - b)^2)x^2 + 4(a + b)(y^2 + (a - b)^2)x - (y^2 + (a - b)^2)(y^2 + (a + b)^2) = 0 \quad (2.9)$$

を得る。

$y = f(r)$ ,  $r \in I^+$  について、方程式 (2.9) は高々 2 個の解を持つ。その 1 つの解は  $x = r$  であるので、 $y > a - b$  の範囲では、もう 1 つの解  $x$  が  $y = f(x)$  または、 $y = g(x)$  の解として得られる<sup>1</sup>。

<sup>1</sup>任意の  $y(\neq \pm(a - b))$  に対し、(2.9) は異なる 2 つの実数解を常にもつ。それは方程式 (2.9) が、 $y = f(x)$ ,  $y = g(x)$  以外にも、

今、 $x = r$  以外のもう 1 つの解を  $x = s(r)(\in I^-)$  とおけば、解と係数の関係より、

$$s(r) = -r - (a + b) \frac{f(r)^2 + (a - b)^2}{f(r)^2 - (a - b)^2} \quad (2.10)$$

となる。更に、 $d(r) = A(r)B(r)$  とおき、第 2 項の分母分子に  $A(r) + B(r) - (a - b)^2 - 2\sqrt{d(r)}$  をかけ、有理化することにより、

$$s(r) = -r + (a + b) \frac{r^2 - (a + b)r + ab - \sqrt{d(r)}}{2(a + b)r - a^2 - b^2} \quad (2.11)$$

が得られる。

一方で、 $y = a - b$  のとき、方程式 (2.9) の解は  $x = r_2$  であることがわかる。(2) (ii) の場合では、 $y = a - b$  と  $y = f(x)$ ,  $x \in I^+$  が  $(r_2, a - b)$  において交わり、 $r \leq r_2$  の範囲では、 $f(r) \leq a - b$  となるため、 $f(x) = f(r)$  が  $x = r$  のみを解を持ち、 $g(x) = f(r)$  は解を持たないことがわかる。また、 $r = r_{-1}$  のとき、 $d(r_{-1}) = 0$  であるので、(2.11) より、 $r_3 = s(r_{-1}) = \frac{\lambda a - b}{\lambda a + b} a$  が得られる。

最後に、 $r \in I^+$ ,  $f(r) > a - b$  のとき、 $x = s(r)$  が、(2) (i)–(iii) の各場合に従って、 $f(x) = f(r)$  または  $g(x) = f(r)$  の解であることを確認する。ただ、計算は非常に煩雑であるので、ここでは要点のみを提示する。まず、Maxima を用いた直接計算によって、

$$A(s(r))(f(r)^2 - (a - b)^2)^2 = 4h(r)^2, \quad (2.12)$$

$$B(s(r))(f(r)^2 - (a - b)^2)^2 = 4k(r)^2 \quad (2.13)$$

が得られる。ここで、 $h(r)$ ,  $k(r)$  は関数

$$\begin{aligned} h(x) &= 2(x^2 + 2bx - a^2)\sqrt{A(x)} \\ &\quad + 2(x^2 + (a + b)x + ab - 2a^2)\sqrt{B(x)} \\ k(x) &= 2(x^2 + 2ax - b^2)\sqrt{B(x)} \\ &\quad + 2(x^2 + (a + b)x + ab - 2b^2)\sqrt{A(x)} \end{aligned}$$

の  $x = r$  での値である。このとき、

$$2(h(r) + k(r)) = f(r)(f(r)^2 - (a - b)^2) \quad (2.14)$$

が成り立つ。従って、 $r \in I^+$  に対し、 $h(r)$ ,  $k(r)$  の符号を確認すればよい。まず、 $r^2 + 2ar - b^2 = A(r) + a^2 - b^2 > 0$  である。また、 $y = x^2 + (a + b)x + ab - 2b^2$  の

$y = -f(x)$ ,  $y = -g(x)$  でも成立するからである。つまりこの方程式の解から、直ちに  $y = f(x)$  または  $y = g(x)$  の解が得られるとは限らない。しかし  $y > a - b$  の条件のもとでは、 $x = r$  以外の解は、 $y = f(x)$  または  $y = g(x)$  を満たす。

ラフは下に凸で,  $x = -\frac{a+b}{2} < 0$  上に頂点を持つので,  $I^+$  で単調増加であり,  $x = r_1$  で最小値をとる. そして,  $a > b$  なので,  $r \in I^+$  に対し,  $r^2 + (a+b)r + ab - 2b^2 \geq r_1^2 + 2br_1 - b^2 = B(r_1) > 0$  である. 従って,  $k(r) > 0$  である. 特に  $\sqrt{B(s(r))}(f(r)^2 - (a-b)^2) = 2k(r)$  である.

以下,  $h(x)$ ,  $x \in I^+$  の符号について考える. まず,  $x^2 + 2bx - a^2$ ,  $x^2 + (a+b)x + ab - 2a^2$ ,  $\sqrt{A(x)}$ ,  $\sqrt{B(x)}$  は全て  $I^+$  で単調増加であるので,  $h(x)$  は  $I^+$  上単調増加連続関数である.

方程式  $h(x) = 0$  となる  $x \in I^+$  は, 方程式 (2.12) より,  $A(s(x)) = 0$  を満たすので,  $s(x) \in I^-$  より,  $s(x) = r_{-1}$  である. 従って,  $x = r_3$  であることがわかる.  $h(x)$  は  $x \in I^+$  において  $x = r_3$  のみを零点に持つが, 十分大きな  $x$  に対し,  $h(x) > 0$  であるので,  $h(x)$  が単調増加であることから,  $x > r_3$  なら  $h(x) > 0$ ,  $x < r_3$  なら  $h(x) < 0$  であることがわかる. 従って,

$$2h(r) = \begin{cases} \sqrt{A(s(r))}(f(r)^2 - (a-b)^2) & r \geq r_3, \\ -\sqrt{A(s(r))}(f(r)^2 - (a-b)^2) & r < r_3 \end{cases}$$

である. 以上より,

$$2h(r) + 2k(r) = \begin{cases} f(s(r))(f(r)^2 - (a-b)^2) & r \geq r_3, \\ g(s(r))(f(r)^2 - (a-b)^2) & r < r_3 \end{cases}$$

が得られ, (2.14) より,

$$\begin{cases} f(s(r)) = f(r) & r \geq r_3, \\ g(s(r)) = f(r) & r < r_3 \end{cases}$$

が成り立つことがわかる. □

**(問題 3 の解法).** 大球の中心を  $O_{\text{大}}$  とし, 乙円の中心を  $O_0$  とする. また軸  $\ell$  を甲球の中心  $O_1$ , 丙の中心  $O_2$  を含むようにとる. 甲球, 丙球は軸  $\ell$  に関する  $90^\circ$  回転で固定されるように配置されている. 更に, 1つの甲円の中心と, 1つの丙円の中心及び軸  $\ell$  は同一平面上にあると仮定してもよい. このとき, この平面で切断した図形は図 5 のようになる.

大球, 甲球, 丙球, 乙球の半径を  $R, a, b, r$  とする. また  $a > b$  と仮定する. 4つの甲球(丙球)の中心を取る平面と軸  $\ell$  との交点を  $M_1$  ( $M_2$ ) とすると, 図 6 のようになる.  $O_1M_1 = \sqrt{2}a$ ,  $O_2M_2 = \sqrt{2}b$  であり,

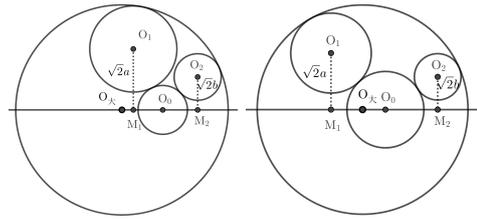


図 5. 切断面(縦)の図. 左が (Case 1), 右が (Case 2)

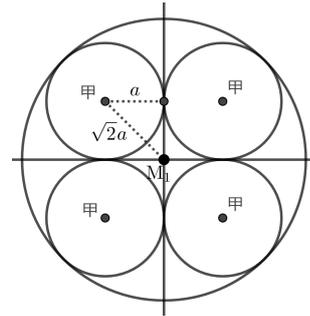


図 6. 切断面(横)の図

$O_0O_1 = r + a$ ,  $O_0O_2 = r + b$  なので,

$$O_0M_1 = \sqrt{r^2 + 2ar - a^2} = \sqrt{A(r)},$$

$$O_0M_2 = \sqrt{r^2 + 2br - b^2} = \sqrt{B(r)}.$$

同様に  $O_{\text{大}}O_1 = R - a$ ,  $O_{\text{大}}O_2 = R - b$  より,

$$O_{\text{大}}M_1 = \sqrt{R^2 - 2aR - a^2} = \sqrt{A(-R)},$$

$$O_{\text{大}}M_2 = \sqrt{B(-R)}$$

である.

球の配置としては, 次の場合が考えられる.

(Case 1)  $O_{\text{大}}$  が線分  $M_1M_2$  の両端または外分する場合. この場合,  $a > b$  より,  $M_1O_{\text{大}} = A(-R) < B(-R) = M_2O_{\text{大}}$  であることがわかる. よって,

$$\begin{aligned} M_1O_0 + O_0M_2 &= M_1M_2 \\ &= M_2O_{\text{大}} - O_{\text{大}}M_1 \end{aligned}$$

となり,  $f(r) = g(-R)$  が成り立つ. 従って, 補題 2.1 より,  $x = -R$  は  $g(x) = f(r)$  の  $x \in I^-$  における解であり,  $R = -s(r)$  を得る.

(Case 2)  $O_{\text{大}}$  が線分  $M_1M_2$  内部にある場合. この場合,

$$\begin{aligned} M_1O + OM_2 &= M_1M_2 \\ &= M_1O_{\text{大}} + O_{\text{大}}M_2 \end{aligned}$$

となる. よって,  $f(r) = f(-R)$  が成立している. 従って, 補題 2.1 より,  $x = -R$  は  $f(x) = f(r)$  の  $x \in I^-$  における解であり,  $R = -s(r)$  を得る.

いずれの場合も,  $R = -s(r)$  であり,

$$R = r + \frac{(a+b)(-r^2 + (a+b)r - ab + \sqrt{d(r)})}{2(a+b)r - (a^2 + b^2)} \quad (2.15)$$

であることがわかる. □

術文と比較する. 天 =  $2(a+b)$  である. また

$$\begin{aligned} \frac{\text{地}}{4} &= 2(a+b)r - (a^2 + b^2), \\ \frac{\text{人}}{4} &= (a+b-r)r - ab \\ &= -r^2 + (a+b)r - ab. \end{aligned}$$

このとき,

$$\begin{aligned} \frac{\text{人}^2 + 2 \text{地乙}^2}{16} &= r^4 + 2(a+b)r^3 + (4ab - a^2 - b^2)r^2 \\ &\quad - 2ab(a+b)r + a^2b^2 \\ &= d(r) \end{aligned}$$

である. これを (2.15) に代入することで, 術文の式が得られる.

**補足 3.1.** (浅山 2019) では,  $2 \text{天} \times \text{乙} - (\text{甲}^2 + \text{乙}^2) = \text{地}$  とあったが, 正しくは  $2 \text{天} \times \text{乙} - (\text{甲}^2 + \text{丙}^2) = \text{地}$  である.

**補足 3.2.** この問題は神壁算法 P36(藤田 1807)にある問題で, 算法天生法指南第 201 題 (藤井 1997) にも和算解がある.

**補足 3.3.** 状況の場合分けが非常に複雑な問題であった. 高校生には, 難しい問題であると考えられる.

## 2.4 第 8 卷第 8 問

### 問題 4. (問題 8-8)

(問題文) 今, 図 7 のように, 六面体内に 3 矢を設け, 3 筒の正方形を容れる. 六面体の一辺 1666 寸, 矢各平面 2499 寸のとき, 正方形の一辺を求めよ.

(答え) 正方形の一辺 809 寸 000 有奇.

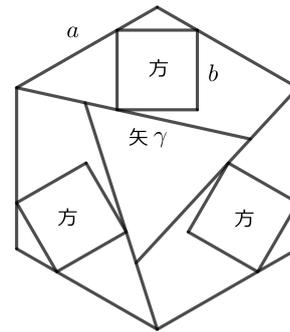


図 7. 問題 8-8 の配置

(術文)  $4(4 \text{六角面}^2 - \text{矢}^2) = \text{乾}$ ,  $\sqrt{\text{乾}} + 3 \text{矢} = \text{坤}$  とし,

$$\frac{\text{六角面}}{\left(\frac{\text{坤}}{\sqrt{3 \text{乾}}} + \frac{1}{2}\right)} = \text{方面}.$$

この問題は初等幾何的に解くことも可能 (谷本 (2023)) であるが, 複素数を用いた解法を紹介する.

**(解法).** 正六角形の 1 辺の長さを  $a$ , 矢を  $\gamma$  とする. 3 つある正方形は合同であるので, ひとつの正方形に着目する. 正六角形の隣り合う 2 辺と, 矢を含む四角形を複素数平面に表すと, 図 8 のようになることがわかる.

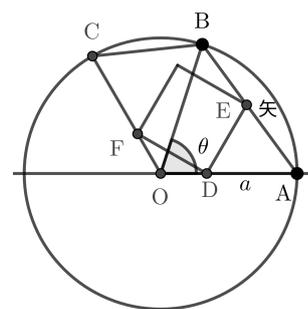


図 8. 問題 8-8 の解法の配置

実際, 図 8 において, 点 C, O, A が正六角形の (3 つの隣り合う) 頂点であり, 点 B は 2 つの矢の交点である. また,  $\angle ABC = \angle AOC = \frac{2\pi}{3}$  であるので, 円周角の定理の逆から, A, B, C は O を中心とする半径  $a$  の円周上にあることがわかる. 今, 複素数平面において,  $O = 0$  とし,  $\angle AOB = \theta$  とおく. このとき,  $A = a$ ,

$B = ae(\theta)$ ,  $C = ae(\frac{2\pi}{3})$  である. ただし,

$$e(\phi) = e^{i\phi} = \cos \phi + i \sin \phi$$

とおいた. 従って,

$$\begin{aligned} \gamma^2 &= AB^2 = a^2|e(\theta) - 1|^2 \\ &= a^2(2 - e(\theta) - e(-\theta)) = 2a^2(1 - \cos \theta) \end{aligned}$$

を得る. よって,

$$\cos \theta = 1 - \frac{\gamma^2}{2a^2}, \quad \sin \theta = \frac{\gamma\sqrt{4a^2 - \gamma^2}}{2a^2}$$

次に,  $D = x(> 0)$  とおくと,  $F = xe(\frac{2\pi}{3})$  であり,

$$E = x + (-i) \left( xe \left( \frac{2\pi}{3} \right) - x \right) = x \left( 1 + i + e \left( \frac{\pi}{6} \right) \right).$$

一方,  $E$  は線分  $AB$  上にあるので, 実数  $0 < r < 1$  を用いて,

$$x \left( 1 + i + e \left( \frac{\pi}{6} \right) \right) = (1 - r)a + rae(\theta)$$

と表される. 実部, 虚部を比較して,

$$\left( 1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) x = a + ra(\cos \theta - 1) = a - \frac{r\gamma^2}{2a},$$

$$\frac{3x}{2} = ra \sin \theta = \frac{r\gamma\sqrt{4a^2 - \gamma^2}}{2a}.$$

従って,  $r = \frac{3ax}{\gamma\sqrt{4a^2 - \gamma^2}}$  であり,

$$\left( 1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) x = a - \frac{3\gamma x}{2\sqrt{4a^2 - \gamma^2}}.$$

よって,

$$\left( \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{2\sqrt{4a^2 - \gamma^2} + 3\gamma}{2\sqrt{4a^2 - \gamma^2}} \right) x = a.$$

最後に  $b$  を方面とおけば,  $b = FD = \sqrt{3}x$  より, 術文

$$\left( \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{4(4a^2 - \gamma^2)} + 3\gamma}{\sqrt{12(4a^2 - \gamma^2)}} \right) b = a$$

を得る. □

**補足 4.1.** 資料(浅山, 2019)では, 問題の矢が 499 とあったが, 原典では 2499 であったため修正した.  $a = 1666$ ,  $\gamma = 2499$  とすると,

$$b = 809.0006812025923 \dots$$

で(答え)と合う.

**補足 4.2.** この問題は神壁算法上巻 P37(藤田 1807)にある問題である.

## 2.5 第 8 巻第 9 問

**問題 5.** (問題 8-9)

(問題文) 今, 図 9 のように, 直角三角形内を 2 斜で隔て, 楕円 2 箇(2 つは同形)を容れる. 只云う, 股 149 寸に対し, 長径 59 寸(長径 =  $\frac{59}{149}$  股)のとき, 勾でもって短径を除した数はいくらか.

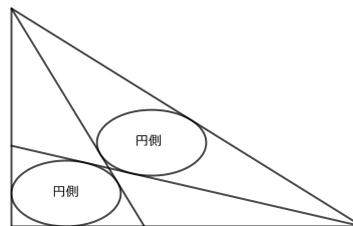


図 9. 問題 8-9 の配置

(答え) 勾でもって短径を除した数 0.2000 寸有奇.  
(術文)

(4 分母 - 分子) 分子 = 陰

(2 分母 + 分子) 分母 - 陰 = 陽

とし,

$$\frac{2(\sqrt{(\text{分母} - 2 \text{分子}) \text{分母} \times \text{陰} + \text{陽}^2} - \text{陽})}{\text{陰}} = \frac{\text{短径}}{\text{勾}}.$$

この問題に取り組むために, 和算解では, 楕円が円の場合を考える. ここでは, 天生法百景第 18 番で取り上げられている問題を紹介し, その公式を用いる.

**補題 2.2.** (二代目 2018) 図 10 において,

$$\text{甲乙} - (\text{三和}) \text{乙} + \text{三和}(\text{全} - \text{甲}) = 0. \quad (2.16)$$

である. ただし, 三和 = 勾 + 股 + 弦 であり, 全 = 勾 + 股 - 弦 である.

この問題の解法では, 図 11 のように設定する.

**補題 2.2 の証明.** 図 11 のように甲円の中心を  $D$ , 半径を  $r$ , 乙円の中心を  $F$ , 半径を  $s$ , 勾, 股, 弦をそれぞれ,  $a, b, c$  とおく.  $A$  から引いた甲円, 乙円における共通接線との接点をそれぞれ  $L, N$  とおき,  $C$  から引いた甲円, 乙円の共通接線との交点をそれぞれ  $K, M$  とおく. そして 2 つの共通接線の交点を  $O$  とし,  $k = MO$ ,  $j = LO$ ,  $AN = h$  とおく.

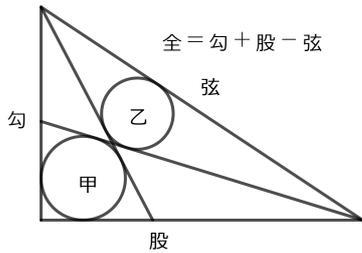


図 10. 補題 2.2 の配置

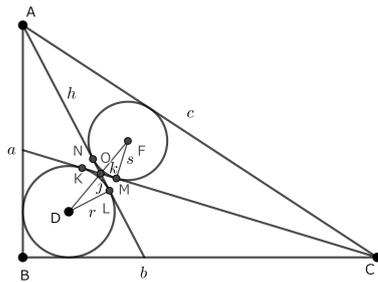


図 11. 補題 2.2 の証明の配置

AN + CM = c なので, CM = c - h である. また AL = a - r, CN = b - r である. MK = NL = k + j なので, h + k + j = a - r, c - h + k + j = b - r. これより,

$$k + j = \frac{R - 2r}{2}, \quad h = \frac{a + c - b}{2} \quad (2.17)$$

を得る. ここで, R = a + b - c である.

今, ΔFOM について, tan(∠FOM) =  $\frac{s}{k}$  であり, ΔDOL について, tan(∠DOL) =  $\frac{j}{r}$  である. 更に, ∠FOM = ∠FON = ∠DOL なので,

$$t := \tan(\angle FOM) = \frac{s}{k} = \frac{r}{j}$$

である. 従って, k =  $\frac{s}{t}$ , j =  $\frac{r}{t}$  となり, k + j =  $\frac{r+s}{t}$  となる. よって, (2.17) より,

$$t = \frac{2(r + s)}{R - 2r} \quad (2.18)$$

であることがわかる. 以上より,

$$h = \frac{a + c - b}{2}, \quad c - h = \frac{b + c - a}{2}, \quad k = \frac{s(R - 2r)}{2(r + s)}$$

を得る. T = a + b + c とおくと, TR = 2ab, T - R = 2c なので,

$$\begin{aligned} c + k &= \frac{T - R}{2} + \frac{s(R - 2r)}{2(r + s)} \\ &= \frac{(T - R)r + s(T - 2r)}{2(r + s)} \end{aligned}$$

及び

$$\begin{aligned} h(c - h)k &= \frac{(c^2 - (a - b)^2)s(R - 2r)}{8(r + s)} \\ &= \frac{2abs(R - 2r)}{8(r + s)} \\ &= \frac{TRs(R - 2r)}{8(r + s)}. \end{aligned}$$

従って, s は ΔOCA の内接円の半径なので, (愛媛算額 (2017)) 補助定理 13 (3) より, s<sup>2</sup>(c + k) = h(c - h)k が成り立ち, r, s は方程式

$$\begin{aligned} 4(T - 2r)s^2 + 4(T - R)sr - TR(R - 2r) \\ = (2(T - 2r)s - T(R - 2r))(2s + R) = 0 \end{aligned}$$

を満たすことがわかる. 2s + R > 0 より,

$$4rs - 2T(r + s) + TR = 0$$

が得られ, 甲 = 2r, 乙 = 2s, T = 三和, R = 全 より, これが求める式である. □

(問題 8-9 の解法). 問題 8-9 は楕円であるが, λ =  $\frac{\text{長径}}{\text{短径}}$  とおき, 直角を中心に勾を含む軸方向に λ 倍する. この変換で, 短径は λ 倍されて長径と等しくなるが, 勾と短径の比  $\frac{\text{短径}}{\text{勾}}$  は一定のままであることがわかる. 以上より, 変形後の直角三角形の勾の長さを 勾' (= λ勾) とおけば,

$$\frac{\text{短径}}{\text{勾}} = \frac{\text{甲}}{\text{勾'}} =: X$$

となり, 楕円が円の場合に帰着されることがわかる.

この場合は補題 2.2 の甲円径 = 乙円径の場合を考えれば良い (和算解もそのように考えている). 全は直角 3 角形の内接円であり, その直径も全と表す. 三和 = 勾 + 股 + 弦 であり, 全 = 勾 + 股 - 弦 となる. 更に今の場合, 甲 = 乙 であるので, 三平方の定理 (勾弧弦の術) を用いると, (2.16) は,

$$\text{甲}^2 - 2(\text{勾} + \text{股} + \text{弦}) \text{甲} + 2 \text{勾股} = 0 \quad (2.19)$$

となる.

今, a =  $\frac{\text{甲}}{\text{股}} = \frac{\text{分子}}{\text{分母}}$ , x =  $\frac{\text{勾}}{\text{股}}$  とおく. a は 0 < a <  $\frac{1}{2}$  を満たすことに注意する. このとき, (2.19) の両辺を 股<sup>2</sup> で割って, 方程式 a<sup>2</sup> - 2(x + 1 +  $\sqrt{x^2 + 1}$ )a + 2x = 0 を得る. 2a $\sqrt{x^2 + 1}$  を移項後, 両辺を 2 乗し整理すると.

$$4(1 - 2a)x^2 - 4a(a^2 - 3a + 2)x + a^4 - 4a^3 = 0.$$

最後に、両辺を  $a^2$  で割り、 $X = \frac{a}{x}$  とおけば、 $X$  の 2 次方程式  $a(4-a)X^2 + 4(a^2 - 3a + 2)X - 4(1-2a) = 0$  が得られる。 $a(4-a) > 0$  であり、 $-4(1-2a) < 0$  なので、この 2 次方程式の 2 つの解の符号は異なり、正の解は、

$$X = \frac{-2(a^2 - 3a + 2) + 2\sqrt{(a^2 + 2)(a^2 - 4a + 2)}}{a(4-a)}$$

であることがわかる。

ここで、術文と比較する。

$$\frac{\text{陰}}{\text{股}^2} = (4-a)a, \quad \frac{\text{陽}}{\text{股}^2} = (2+a) - \frac{\text{陰}}{\text{股}^2} = a^2 - 3a + 2$$

である。そして、

$$\begin{aligned} & \frac{(\text{分母} - 2 \text{分子}) \text{分母} \times \text{陰} + \text{陽}^2}{\text{分母}^4} \\ &= (1-2a) \frac{\text{陰}}{\text{股}^2} + \frac{\text{陽}^2}{\text{股}^4} \\ &= (1-2a)a(4-a) + (a^2 - 3a + 2)^2 \\ &= (a^2 + 2)(a^2 - 4a + 2) \end{aligned}$$

を得る。よって、

$$\frac{\text{甲}}{\text{勾}} = X = \frac{2(-\text{陽} + \sqrt{(\text{分母} - 2 \text{分子}) \text{分母} \times \text{陰} + \text{陽}^2})}{\text{陰}}$$

が得られる。□

**補足 5.1.** (浅山 2019) では、

$$\frac{2\sqrt{(\text{分母} - 2 \text{分子}) \text{分母} \times \text{陰} + \text{陽}^2} - \text{陽}}{\text{陰}} = \frac{\text{短径}}{\text{勾}}$$

とあったが、正しくは、上述の通りである。実際に与えられた値を代入すると、

$$\frac{\text{短径}}{\text{勾}} = 0.2000068886278283\dots$$

が得られる。

**補足 5.2.** この解法は谷本 (2023) で紹介された和算解と同じ方針である。

**補足 5.3.** この問題は神壁算法上巻 P37(藤田 1807)にある問題である。

### 3 終わりに

本論文では、愛媛和算研究会で発表の無かった雑題第 8 巻の後半部分の現代解を与えた。和算解については、

2023 年 2 月 16 日に開催の第 48 回愛媛和算研究会の定例会において谷本氏によりまとめられており、いくつかの問題は、解法が類似している。今回紹介した問題については、問題 8-7 の解析に時間を要したため、第 10 巻 (吉平他 (2024)) の後での公表となった。現在、愛媛和算研究会では、第 11 巻～第 20 巻の読みを行っている。今後、その成果についても継続してまとめていきたいと考えている。

今回取り組みの結果、やはり多くの問題について高等学校までの知識で十分対応可能であると考えられる。楢円や複素数については、現行のカリキュラムでは高校生に十分な力を付けることは難しいと思われるが、これらの問題を通して、それらの単元に慣れるきっかけとなれば幸いである。

### 参考文献

藤田貞資 (1807), 神壁算法上巻, 京都大学貴重資料デジタルアーカイブ

<https://rmda.kulib.kyoto-u.ac.jp/item/rb00028551?page=37>

大西佐兵衛 (不明), 『雑題』, 愛媛県立図書館 (所蔵).

二代目 福田理軒 (2018), 『天生法百景』.

愛媛算額 (2017): 愛媛の算額研究～現代解法を通して～, 平田浩一, 谷本賢治 編, 愛媛和算研究会.

藤井康生 (1997): 『算法天生法指南』(全五巻) 問題の解説, 大阪教育図書株式会社.

浅山秀博 (2019): 『雑題』三十巻 (大西佐兵衛著) を読むにあたって (その 1), 愛媛和算研究会.

谷本 賢治 (2023): 巻八 [8-7][8-8][8-9] の和算解について, 第 48 回愛媛和算研究会発表資料.

宮崎智也, 吉岡倅佑, 原本博史, 安部利之 (2023): 大西佐兵衛『雑題』の現代解について～第 8 巻第 1 問から第 4 問～, 科学教育研究センター紀要 **2**, 17-22, 愛媛大学教育学部附属科学教育センター.

吉平善晴, 保木隆之介, 牟田口正虎, 原本博史, 安部利之 (2024): 大西佐兵衛『雑題』の現代解について～第 10 巻全 5 問～, 科学教育研究センター紀要 **3**, 9-15, 愛媛大学教育学部附属科学教育センター.

## 教員養成の観点からみた地域連携化学講座の構成と実践 Educational Design and Practice of Regionally Collaborative Chemistry Workshops from the Perspective of Teacher Education

松浦紀之<sup>\*1</sup>, 石原光<sup>\*2</sup>, 砂野真人<sup>\*2</sup>, 崎山健<sup>\*2</sup>

MATSUURA Noriyuki<sup>\*1</sup>, ISHIHARA Hikaru<sup>\*2</sup>, SUNANO Manato<sup>\*2</sup>, SAKIYAMA Takeru<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学教育学部, <sup>\*2</sup>愛媛大学大学院教育学研究科

<sup>\*1</sup>Faculty of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup>Graduate School of Education, Ehime University

**【要約】** 本稿は、愛媛県教育委員会主催「えひめ科学特別授業」において、2025年10月18日に愛媛大学教育学部で実施した地域連携化学講座の実践を、教員養成の観点から報告する。小学生講座（参加30名）では、触媒反応、熱伝導、展性、形状記憶、銀鏡反応、表面処理（エッチング・メッキ）を演示と班実験、制作活動として構成し、金属の性質を多面的に体験させた。中学生講座（参加15名）では、試飲による予想とキレート滴定法による硬度測定を関連付け、さらに居住地域の水源・硬度の解説を加えて学習内容を生活圏へ接続した。授業運営は、教員養成の学修機会として教職大学院生が中心となって担い、学部生が補助した。事後アンケートには肯定的な受け止めが多く、丁寧な支援への謝意が複数見られ、教職大学院生・学部生による学習支援の意義が示唆された。

**【キーワード】** 教員養成, 地域連携, 学習支援, 学修機会, 金属の性質, 硬度測定, 化学実験

### I. はじめに

地域の子どもたちに科学への興味・関心を喚起し、探究的な学びへの入口を提供することは、学校教育を補完する科学教育の重要な機能である。とりわけ化学領域は、日常生活と深く関係しながらも、反応の過程や物質のふるまいが直接には見えにくい場合が多く、体験を伴う学習機会を設計することが、理解や動機づけの形成において大きな意味を有する(河野ら, 2022)。加えて、大学が地域・行政と連携して科学講座を実施することは、学習者への支援にとどまらず、教員養成段階の学生にとっても、安全管理を含む授業運営や学習者理解の経験を蓄積する機会となる。

愛媛県教育委員会主催の「えひめ科学特別授業」は、将来教師を目指す大学院生・大学生等が指導に参画し、小・中学生を対象に科学特別授業を実施する取組として位置づけられている。本稿は、愛媛県教育委員会主催「えひめ科学特別授業」の化学講座として実施した小学生講座と中学生講座を対象とする。講座の構成と実施の概要を整理し、受講後の反応を踏まえて運営上の示唆を検討することを目的とする。あわせて、本実践は、教職大学院生・学部生が企画から指導までを担うことで、教員養成段階における授業づくりと学習支援の学修機会として位置づけられる点にも意義がある。

### II. 実践方法

#### 1. 実践概要

本実践は、愛媛県教育委員会主催の「えひめ科学特別授業」において、愛媛大学教育学部が共催として実施した化学講座である。実施日は2025年10月18日であり、愛媛大学教育学部・理科学学生共同実験室1で実施した。参加者募集は、愛媛県教育委員会が事前に関係校へ案内文を送付して行った。小学生講座「ふしぎがいっぱい！金属のヒミツをさぐろう！」の受講生は30名であり、中学生講座「この水、飲みやすいのはなぜ？—硬度のヒミツを解き明かそう—」の受講生は15名であった。

指導体制は、教員（松浦）に加え、教職大学院生3名および学部生4名（3回生1名、2回生3名）から構成した。教職大学院生と学部生を総称して学生スタッフとする。企画・準備ならびに当日の説明・実演・進行は教職大学院生が中心となって担い、学部生は班活動の補助、安全確認、器具準備等を担当した。教員は全体統括と安全管理の最終的な責任を負い、必要に応じて補足説明を行った。このような学生主導の運営は、説明・安全管理・学習支援を含む授業運営を実地に学ぶ教員養成上の学修機会として位置つけた。なお、受講生（小・中学生）の学びを「学習」、学生スタッフが指導を通して得る学びを「学修」として区別し、両者の学びの機会を区別して整理した。

## 2. 講座の構成

小学生講座（120分）は、金属の性質を多面的に体験できるようにすることを目的として、演示実験と児童による班活動を組み合わせて構成した。具体的には、触媒による燃焼現象、熱の伝わりやすさ、変形しやすさ、温度に伴う性質変化、化学反応による金属生成、および表面処理を扱い、観察と体験を通じて金属の多様な性質に気づかせる流れとした。

中学生講座（120分）は、ミネラルウォーターの飲みやすさ（味覚）と、硬度（ $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の総量、全硬度）という定量的指標を関連付けることを目的として、導入の説明、試飲活動、EDTA（エチレンジアミン四酢酸）によるキレート滴定、結果の比較と解釈、および受講生の居住地（愛媛県内の市町）に対応した水源・硬度の解説から構成した。

## 3. 評価方法（事後アンケート）

講座終了後に、参加児童生徒を対象とした事後アンケートの結果を用いた。アンケートは愛媛県教育委員会により、本事業の実施状況の把握および今後の改善に資することを目的として実施されたものである。本稿では、講座改善に関わる受講生の反応の傾向を把握する目的で取り扱い、記述は必要最小限にとどめた。あわせて、指導に参画した学生スタッフに対して、授業準備・運営・安全管理・説明の支援に関する振り返りを行い、小学生講座と中学生講座ごとに、運営上の課題と改善点を整理した。

## Ⅲ. 小学生講座「ふしぎがいっぱい！金属のヒミツをさぐろう！」

### 1. ねらい

小学生講座では、身の回りに存在する金属を題材に、金属の性質が様ではなく、観点によって多様に現れることを体験的に理解させることをねらいとした。具体的には、①反応の起こり方（燃焼・触媒）、②熱の伝わりやすさ、③変形しやすさ（展性・延性）、④温度に伴う性質変化（形状記憶合金）、⑤化学反応により金属が生成する現象（銀鏡反応）、⑥金属表面を加工する技術（エッチング・メッキ）を取り上げ、演示実験と児童による実験を組み合わせた。特に、観察結果を言葉にして共有する場面を適宜設定し、「見たこと」を「気づいたこと」へと整理することを重視した。

### 2. 学習活動の流れ

導入では、金属製品が生活のさまざまな場面で用い

られていることを確認し、「金属にはどんな性質があるのか」「金属によって性質は同じなのか」といった問いを提示した。

まず、白金箔を触媒として用いた水素の燃焼（急激な反応）演示を行い、物質が反応する速さや起こり方が条件によって変化すること、また触媒が反応に与える影響を、視覚的に理解できるようにした（図1(a)）。続いて、鉄板と銀板を氷ブロック上に置き、銀板の方が早く氷を切り進む現象（熱伝導）を示した（図1(b)）。代表児童が前方で実施する形式とし、金属によって熱の伝わりやすさが異なることを、観察から導いた。

次に、スズ粒を金床上でつぶす演示を通して、金属が割れるのではなく、つぶれて広がる性質（展性）を体感させた（図1(c)）。さらに、形状記憶合金をビーカー内の温水に入れると形が変化する活動を行い、温度変化が材料の性質に影響しうることを示した。

児童が主体的に取り組む活動として、4名班で銀鏡反応を実施した。溶液の変化と銀の析出を観察し、化学反応によって金属が生成する現象を経験させた。最後に、銅板ネームプレート制作を行った（日本化学会、1987）。銅板に油性マーカーで図案を描いてマスキングしたのち、塩化鉄(III)水溶液に浸してエッチングし、取り出してエタノールでマーカーを除去した。さらに、亜鉛粉末と水酸化ナトリウム水溶液を用いて加熱し亜鉛メッキを行い、その後バーナーで加熱して真鍮へと変化させた（図1(d)）。完成品は持ち帰り可能な成果物として提示し、金属表面の加工が見た目や性質に関わることを、体験と結びつけて理解させた。

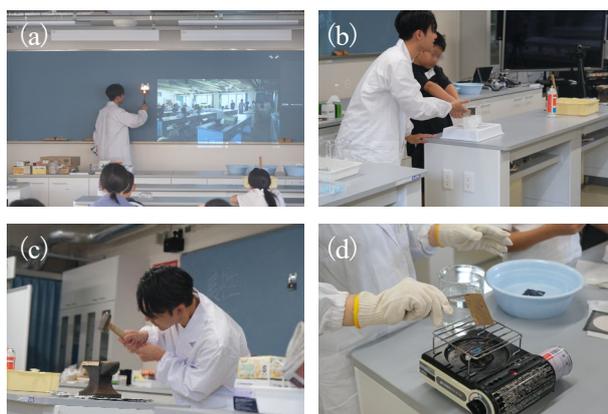


図1 小学生講座の活動の様子

- (a) 白金箔を触媒として用いた水素の燃焼（演示）、  
 (b) 鉄板と銀板を用いた熱伝導の比較（演示）、(c) スズ粒の展性（演示）、(d) 銅板ネームプレートの作製（亜鉛メッキ後の加熱による真鍮化）。

### 3. 運営上の工夫と安全管理

小学生講座では、演示実験により現象を全体で共有した後、班活動で操作を伴う活動を行う構成とし、安全確保と学習効果の両立を図った。薬品や加熱器具を扱う場面では、事前に注意点を明確に示し、学生スタッフが班ごとに配置されて操作の補助と安全確認を行った。特にネームプレート制作では、薬品の取扱い、手袋・保護具の着用、飛散防止、廃液回収の手順を定め、児童が不安なく取り組める環境の整備を重視した。

## IV. 中学生講座「この水、飲みやすいのはなぜ？—硬度のヒミツを解き明かそう—」

### 1. ねらい

中学生講座では、日常的な飲料であるミネラルウォーターを題材に、飲みやすさ（味覚・印象）と硬度を関連付け、身近な現象を化学的指標で説明する見方を育てることをねらいとした。特に、硬度をEDTAによるキレート滴定法により定量し、得られた数値と試飲時の印象を照合する活動を通して、感覚的理解と定量的理解の往還を促す構成とした。加えて、受講生の居住地域に対応した水源や硬度の情報を提示し、「自分の生活圏の水」を科学的に捉え直す契機をつくることを意図した。

### 2. 学習活動の構成と流れ

導入では、硬度が水中のカルシウムイオン  $\text{Ca}^{2+}$ 、マグネシウムイオン  $\text{Mg}^{2+}$  に由来すること、硬度の大小により軟水・硬水と呼称されること、および硬度が地域の地質や水源環境の影響を受けることを概説した。ここでは、生活経験（飲料水の好み、料理との相性）と結びつけながら、硬度を身近な水の個性を表す指標として位置づけた。

次に、複数のミネラルウォーターと水道水を対象に試飲活動を行い、受講生が「ミネラル分が多い（硬度が高い）」と感じる順に順位付けする課題を設定した。試飲後ただちに数値を示すのではなく、先に各自の予想を形成させることで、感覚に基づく仮説を明確化し、のちの測定結果との比較が意味をもつように設計した。

測定活動では、EDTA 標準溶液を用いたキレート滴定法により硬度を定量した（日本分析化学会北海道支部, 2005）。指示薬としてエリオクロムブラック T (BT 指示薬) を用い、pH をアンモニア-塩化アンモニウム緩衝液 (pH 10) で調整した条件下で滴定を行った (図

2)。終点は溶液の色調変化を手がかりに判定し、滴定に要した EDTA 標準溶液の体積から硬度（炭酸カルシウム  $\text{CaCO}_3$  換算）を算出した。操作手順は、①ビュレットの共洗いと先端部の気泡除去、②検査水の一定量採取、③緩衝液と指示薬の添加、④滴定操作、⑤終点判定と体積の読み取り、⑥計算、の順に整理し、はじめて扱う受講生でも作業の見通しがもてるようにした。

結果の整理では、試飲での予想順位と、滴定から得られた硬度値とを照合し、「予想が当たった点」「ずれた点」を共有した。ここでは、味の印象が硬度以外の要因（温度、炭酸の有無、個人差など）にも左右されうることに触れ、数値化できる指標の有用性と限界の両面を扱った。

最後に、受講生の居住地域ごとに水源の特徴や硬度に関する情報をスライドで示し、地域差が生じる理由を概説した。測定したミネラルウォーターの硬度と、自分の生活圏の水の硬度とを対比することで、「学んだ概念を自分の環境に適用する」段階まで学習を拡張できるようにした。これにより、単発の分析実験にとどまらず、環境と暮らしの接点として化学的指標を位置づける学びをねらった。



図2 キレート滴定の操作（中学生講座）

### 3. 運営上の工夫と安全管理

中学生講座では、中学生を主対象としつつ、小学生の参加も含まれたため、操作難易度と安全性の確保を重視した。具体的には、ビュレット操作や終点判定の場面で学生スタッフが支援に入り、体積読み取りや器具の保持、滴下速度の調整等の要点を適宜確認した。また、薬品およびガラス器具を扱う活動であることを踏まえ、保護具の着用、薬品が皮膚に付着した場合の対応、器具破損時の行動などを事前に明示し、安心して参加できる環境の整備を行った。廃液は所定の方法で回収し、実験室のルールに基づき適切に処理した。

## V. 考察

### 1. 小学生講座における学習の特徴

小学生講座は、金属という身近な素材を軸にしつつ、触媒による燃焼、熱の伝わりやすさ、展性、形状記憶、銀鏡反応、表面処理（エッチング・メッキ）という複数の観点から金属の性質を扱った点に特徴がある。金属を「磁石につく・つかない」のような一つの観点だけで説明するのではなく、現象の多様性として提示したことで、児童は金属の性質を総体として捉えやすい構成となった。こうした構成により、複数の性質を比較する視点が促された。特に、演示実験で現象を全体で共有した後に、班活動（銀鏡反応）や制作活動（ネームプレート）へ移行する流れは、観察と操作の双方を経験させる上で有効であったと考えられる。

また、ネームプレート制作を成果物として持ち帰れる形にしたことは、活動を単なる体験に終わらせず、学習経験を手元に残す点で教育的意義が大きい。エッチングやメッキの工程は、金属表面の加工が見た目や性質に関係することを実感させ、化学的操作とものづくりを接続する契機となる。児童期の理科への動機づけは理解の正確さだけでなく、「おどろき」や「できた」という達成感によっても支えられる側面があり、本講座はそうした要素を取り入れた構成であったといえる。

### 2. 中学生講座における学習の特徴

中学生講座は、飲みやすさという身近な感覚を入口として、硬度という指標を用いた測定活動へつなげ、得られた数値をもとに解釈する学習過程を組み込んだ点に特徴がある。試飲により各自が予想を立てた後、EDTA 滴定で硬度を定量し、予想と測定結果の一致・不一致を比較する流れは、直感的な判断を検証可能な形に整理し、科学的説明の必要性を立ち上げやすい。すなわち、先に数値を提示して理解させるのではなく、予想を形成したうえで測定へ進む構成が、学習の主体性を支えたと考えられる。また、予想と結果のずれを振り返る場面を設けた。

さらに、受講生の居住地域に基づく水源や硬度の情報提示は、測定結果をその場限りの数値にとどめず、生活圏の水へと視点を広げる契機となった。理科の学習内容が教室内で完結しやすいという課題に対し、自分の地域の水を手がかりに概念を捉え直す要素を加えた点は、学習内容の関連付けを促す工夫として位置づけられる。

### 3. 運営上の工夫

中学生講座には小学生の参加も含まれ、ビュレット操作や終点判定など技能的負荷の高い活動を扱った。こうした状況でも講座が成立した要因として、学生スタッフが近接して支援に入り、操作の要点（体積読み取り、滴下速度、終点判定）を適宜確認しながら進めた点が挙げられる。学年が異なる受講生が同席する状況では、理解度や技能差が活動停滞につながりやすいが、本講座では役割分担と支援体制により、安全確保と学習機会の両立を図った。これらの運営上の工夫は、今後、同様の地域連携講座を計画する際の留意点となる。

また、本講座の運営は、受講生の学習を支えるだけでなく、学生スタッフにとっても授業運営を学修する機会となった。具体的には、説明の焦点化、支援に入るタイミング、安全確認といった観点で、自らの関わりを見直す視点を獲得する契機となった。地域連携の場を教員養成に接続する上では、役割分担に加え、振り返りを促す仕掛けを組み込むことが重要であると考えられる。

### 4. 受講生の反応

受講後、愛媛県教育委員会により事後アンケートが実施され、本事業の実施状況の把握と今後の改善のために用いられた。本稿では、個人が特定されない形で回答を取り扱い、講座改善に関わる反応の概況を把握する目的で、必要最小限の範囲で参照した。

アンケートでは、全体として満足度や分かりやすさに関する肯定的回答が多く、受講生が意欲的に参加したことが示唆された。自由記述にも同様の傾向が見られた。記述には「丁寧に教えてくれてうれしかったです」「分かりやすく説明してくれてありがとうございます」など、指導者の関わりに関する肯定的な言及が見られた。また、「優しく話しかけてくださったおかげで安心して楽しめた」等の記述もあり、学生スタッフによる支援が参加者の安心感に寄与した可能性が考えられる。一方、中学生講座に関連して「ビュレットを初めて使ってみて、目盛りが上から0から始まるのがびっくりしました」のような記述も見られ、器具操作の新規性が印象に残ったことがうかがえる。なお、本アンケートは小学生講座と中学生講座で共通の質問紙を用いているため、回答の解釈には一定の限界がある。

## VI. まとめと今後の課題

本稿では、愛媛県教育委員会主催「えひめ科学特別授業」において実施した化学講座について、小学生講座「ふしぎがいっぱい！金属のヒミツをさぐろう！」と中学生講座「この水、飲みやすいのはなぜ？—硬度のヒミツを解き明かそう—」を一体的に報告した。小学生講座では、触媒反応、熱の伝わりやすさ、展性、形状記憶合金、銀鏡反応、表面処理（エッチング・メッキ）を演示実験、班活動、制作活動として構成し、金属の性質を多面的に体験させた。中学生講座では、試飲による予想を手がかりに、キレート滴定法により硬度を定量し、結果の比較・解釈に加えて居住地域の水源・硬度の解説を行うことで、学習内容を生活圏へ接続することをねらった。いずれの講座においても、教職大学院生および学部生が学習支援に参画し、安全管理と操作支援を含む授業運営を分担した。

愛媛県教育委員会が実施した事後アンケートの自由記述には、学習活動を肯定的に受け止める記述や、学生スタッフの関わりに対する謝意が複数見られた。一方で、中学生講座で扱った器具操作の新規性に言及する記述もあり、操作の見通しを支える説明や支援の在り方が、受講生の経験に影響しうることが示唆された。以上より、本実践は、地域・行政・大学の連携のもとで、体験的な化学学習の機会を小学生・中学生段階に提供しうること、また学生スタッフが参画することにより、学習支援と安全確保を支えることを示した。

今後の課題は次の3点である。①講座運営と安全確保に関わる手順を、担当者間で共有可能な形で明文化する必要がある。本実践では、事前の注意喚起、学生スタッフの配置、回収・廃液処理等により安全に配慮して運営したが、地域連携講座は参加人数や進行が変動しやすい。安全指導の要点、器具・薬品の配置、班の動線、切り替え手順をチェックリスト等として整理し、条件変動にも対応できる形で蓄積する必要がある。②学習の見通しを支える教材・説明資料の改善が挙げられる。小学生講座では、多様な現象の中で「何を比べるか」「何に気づくか」を短い言葉や記録用紙で支える工夫が有効となる。中学生講座では、終点判定や計算の意味づけ等をつまづきやすい箇所があるため、要点の可視化や結果の整理の枠を整える必要がある。導入で問いを明確化し、まとめで気づきの言語化を促す構造を強めたい。③学習支援を担う学生スタッフの育成と振り返りの仕組みを整える必要がある。事前リハ

ーサル、役割分担、声かけや説明の統一、ヒヤリ・ハットの共有等により支援の質を高め、実施後の振り返り（気づいた点、改善点）を簡潔に記録して講座改善へつなげたい。今後も、以上の点を踏まえて講座改善を継続する。

## 謝辞

本実践の実施にあたり、「えひめ科学特別授業」を主催し、受講生募集および運営全般にご尽力いただいた愛媛県教育委員会義務教育課の関係各位に深く感謝申し上げます。

## 文献

- 河野桃代, 吉富勇人, 下川恵輔, 松岡雅忠 (2022) : 油脂の劣化を実感させる実験教材の開発—ろ紙への塗布による空気酸化の加速—, 化学と教育, 206-209.
- 日本分析化学会北海道支部 (2005) : 水の分析第5版, 化学同人.
- 日本化学会訳編 (1987) : 実験による化学への招待, 丸善.

## 再帰型ニューラルネットワークモデルを用いた脳卒中発症予測の検証

### Validation of prediction probability of an occurrence of stroke using recurrent neural network model

○戸田真子<sup>\*1</sup>, 戸田園乃<sup>\*2</sup>, 丸山広達<sup>\*3</sup>, 加藤匡宏<sup>\*4</sup>

TODA Mako<sup>\*1</sup>, TODA Sono<sup>\*2</sup>, MARUYAMA Kotatsu<sup>\*3</sup>, KATO Tadahiro<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学大学院連合農学研究科, <sup>\*2</sup>愛媛大学大学院医農融合公衆衛生学環, <sup>\*3</sup>愛媛大学大学院農学研究科, <sup>\*4</sup>愛媛大学大学院教育学研究科

<sup>\*1</sup>The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University, <sup>\*2</sup>Integrated Medical and Agricultural School of Public Health, Ehime University, <sup>\*3</sup>Graduate School of Agriculture, Ehime University,

<sup>\*4</sup>Graduate School of Education, Ehime University

**[要約]** われわれは、愛媛県 O 市における脳心事故発症調査を実施するために、1996 年～1998 年に健康診断に参加し同意が得られた 5161 人をベースライン集団とする O 市コホート I を設立した。ベースライン集団については、毎年、脳心事故発症および異動状況を追跡している。さらに、O 市の基幹病院における脳心事故発症者を採録することで、脳卒中の発症を把握した。脳心事故採録調査は、O 市の基幹病院で実施されているため、脳卒中の発症漏れが少なく、極めて信頼性の高いデータであると考えられる。本稿では、健診項目に欠損値のない 5021 人を対象として、機械学習を用いて脳卒中発症者と健常者の予測を行った。さらに、脳心事故採録に基づく実際の脳卒中発症者と突合させることによって、機械学習による脳卒中発症予測の感度および特異度を検証することを目的とした。

**[キーワード]** ニューラルネットワークモデル, 脳卒中発症予測, 健康診断, 脳心事故疾病登録

## I. 問題の所在

近年、様々な分野で AI が導入され、機械学習への期待が高まっている。疫学分野においても、機械学習を活用した新たな取り組みが進められている。高齢化が進行する日本では、疾患の早期発見・重症化予防による健康寿命の増進が求められている。特に、脳卒中や心筋梗塞等の疾患は、生活習慣から起因していると考えられ、その予防に向けた画策が立てられている。

現在、日本では生活習慣病の予防を目的として、特定健康診査および特定保健指導が実施されている。包國・麻原 (2013) は、生活習慣改善の方法を共に創るためには、生活習慣病予防を自分のこととして考えられるようにすることが重要なプロセスの 1 つであることを報告している。そのため、生活習慣病予防の重要性の理解を得るために、疾病の発症リスクを高い精度で予測し、その結果を基に保健指導を実施することが必要であると考えられる。

われわれは、愛媛県 O 市における脳心事故発症調査を目的として、1996 年～1998 年に健康診断を受診した 5161 人をベースライン集団とする「O 市コホート I」を設立した。5161 人のベースライン集団に関しては、同意を得ているため、毎年、脳心事故発症および

異動状況を追跡することが可能である。また、脳心事故発症を確定するために、O 市の基幹病院において採録調査を実施している。基幹病院での採録調査によって、脳心事故の発症漏れが少なく、極めて信頼性の高いデータであると考えられる。

本稿では、ベースライン集団 5161 人のうち、健診項目に欠損値のない 5021 人のデータを用いて、脳卒中の発症の有無を予測する。そして、予測結果と脳心事故発症採録に基づく実際の発症者を突合し、機械学習による脳卒中発症予測の感度と特異度を調べることを目的とした。

## II. 研究の方法

### 1. 倫理的配慮

O 市における脳心事故発症登録は、愛媛大学医学部研究倫理委員会 (承認番号 14-1, 20-1) および愛媛大学教育学部研究倫理委員会 (承認番号 R4-34-1) の承認を得て実施した。また、疾病登録を実施する各病院については疾病登録データの利用に関するオプトアウトを実施している。研究参加者については、脳心事故発症に関する疾病登録データおよび転出・死亡に関する異動情報の利用について、書面による同意を得てい

る。

## 2. 研究デザイン

1996年～1998年にO市コホートI調査に参加し、老人保健法に基づく成人病基本健康診査を受診した5161人において、性別、年齢、身長、体重、血圧、血清総コレステロール、HDLコレステロール、中性脂肪（随時）、血糖値（随時）、ウエスト周囲長（臍周囲）、飲酒状況、喫煙状況を確認することが可能であった。

また、われわれは住所地在O市にあり、外傷性脳血管障害を除く入院患者を対象に所定の調査票(山海他, 1992)を用いて、1996年から2023年までの27年間にわたり脳心事故発症登録を実施してきた。そのため、O市コホートIの研究参加者5161人における脳卒中の発症を確認することができる。

## 3. 機械学習による脳卒中発症者の予測

深層学習は、層の数が多い階層的なニューラルネットワークによってデータから抽象度の高い内部表現を獲得させる方法として知られている(麻生, 2013)。ニューラルネットワークは、生体の神経細胞を模した人工ニューロンを基本構成要素とし、生体の神経回路網と同じように人工ニューロンがシナプスで結合したネットワーク構造を作った計算アルゴリズムである(神田, 2018)。ニューラルネットワークにおける「学習」とは、重み係数(シナプス結合の強さ)やバイアス(活動電位の発火閾値)を最適化することを示す(神田, 2018)。

本稿では、単層型ニューラルネットワークを用いて、脳卒中発症者の予測確率を算出した。研究の流れを示した模式図・手順を以下に示す。

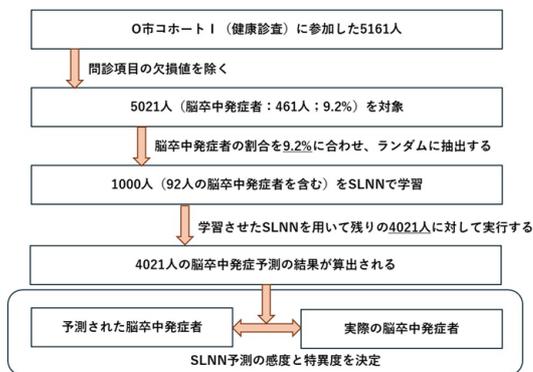


図1 研究の流れ

### a. 環境設定

モデルの訓練と予測値の推定にWindows10, 64ビット, CPUCorei7, メモリ16GBのスペックのコンピュータを使用した。モデルの実装はDeep Learning (DL) 向けのライブラリであるTensorflow (Google) の仮想環境下において、Keras (Python2.6), numpy, pandas, Matplotlib, Scikit-learning を用いた。Anaconda 2.4の環境下でJupyter notebookを用いてDL学習によるモデル構築と疾病発生予測を実施した。再帰型ニューラルネットワーク (Recurrent Neural Network; RNN) モデルとしては、中間層1層からなる単層ニューラルネットワーク (Single Layer Neural Networks: 以下SLNNと略す) を用いた。入力層から隠れ層へのDenseは10, 隠れ層から出力層へのDenseは2, Batch Sizeは20, Epoch数は300としてモデルを構築し、学習を行った。

### b. データセットの準備

本稿では5161人のデータセットから欠損値を除いた5021人を対象とした。27年間にわたる疾病登録の結果、5021人のうち、脳卒中発症者は461人(くも膜下出血33人, 脳梗塞341人, 脳出血87人)であり、発症割合は9.2%であった。5021人の性年齢別階級別の分布を表1に示す。

	参加者(N=5021)	
	男(N=1723)	女(N=3298)
30～39	109 (6.3)	364 (11.0)
40～49	195 (11.3)	442 (13.4)
50～59	209 (12.1)	628 (19.0)
60～69	667 (38.7)	1098 (33.3)
70～79	442 (25.7)	651 (19.7)
80～89	97 (5.6)	114 (3.5)
90～	4 (0.2)	1 (0.0)

表1 5021人の性年齢階級

5021人のデータセットから、ランダムに抽出した1000人の健診データを用いて予測モデルの構築を行った。さらに、1000人のうち、脳卒中発症者は92人(9.2%)となるように設定した。

健診データは、性別、年齢、BMI (Body Mass Index), 最大血圧, 最小血圧, 血液データの総コレステロール, HDLコレステロール, 中性脂肪, 血糖, 飲酒, 喫煙である。それぞれの項目に関しては、特定保健指導の区分(異常なし: 0, 要指導 a: 1, 要

指導 b : 2, 要医療 : 3) に準じてダミー変数を作成した。

Python code では, `train_size=0.8` と設定し, 1000 人の健診データをランダムに選択したうえで, 800 人 (80%) の健診データは学習用データ (train), 200 人 (20%) をテスト用データ (test) に分割した。すなわち, 研究参加者のデータをランダムに並べて最初の 800 人を用いて SLNN の重みを更新し, 残りの 200 人を用いて汎化性能を評価した。train と test の一致率に基づき, モデルの適合度を決定した。

### c. 単層ニューラルネットワークを用いたアルゴリズムの決定

Batch Size を 20 と設定したため, 1 回に処理するサンプル数は 20 である。Epochs は 300 と設定したため, 学習の繰り返し回数は 300 回である。Batch Size 20 とは, 機械学習におけるミニバッチ学習を設定し, 1 回の SLNN 更新に使われるデータ数が 20 であることを意味する。すなわち, SLNN の訓練に使用する 800 人の健診データすべてを一度に処理するのではなく, 800 人の健診データセットからランダムに抽出された 20 人分の健診データを使って SLNN を訓練し, その後パラメーターを更新する。

このプロセスを繰り返しながら, 最終的にデータ全体 (ランダム選択による train 用健診データ 800 人, test 用健診データ 200 人) を活用した SLNN において, Accuracy は 0.90, loss function は 0.34 であった。

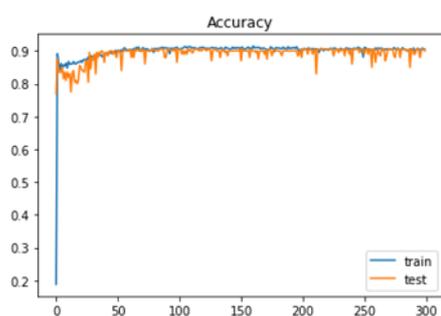


図 2 正確率

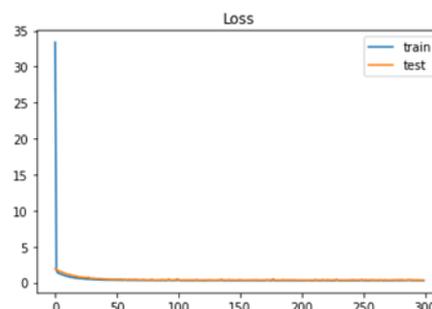


図 3 損失率

### d. 実測値と比較することで得られる予測値の適合度の決定

c. で構築したアルゴリズムを用いて, 5021 人から 1000 人を除いた 4021 人に対して脳卒中発症予測を行った。SLNN から得られた脳卒中発症予測者と脳心事故疾病採録調査に基づく実際の脳卒中発症者を比較した。

## III. 結果

本稿において, 5021 人のうちランダムに抽出した 1000 人を用いて SLNN のパラメーターを学習させ, その後, 残りの 4021 人に学習済み SLNN を適用し, 個人の脳卒中発症予測確率 (発症の有無) を計算した。

学習済み SLNN による予測では, 4021 人のうち 61 人が脳卒中を発症すると予測された。予測された 61 人について脳心事故発症の疾病登録情報と照合したところ, 8 人が実際に脳卒中を発症していた。これより, SLNN の感度は 13.1% であった。

一方, 学習済み SLNN は 4021 人のうち 3960 人を「脳卒中を発症しない」と予測した。疾病登録情報と比較した結果, 3960 人のうち 3599 人が実際に脳卒中を発症していなかった。これより, 特異度は 90.9% であった。

なお, 4021 人における実際の脳卒中発症者は 369 人であり, SLNN はそのうち 361 人の脳卒中は予測できなかった。

## IV. 考察

現代の日本では, 健康寿命の延伸が重要課題として掲げられ, 疾病予防・重症化予防の取り組みが強化されている (厚生労働省, 2020)。その中で, 生活習慣から起因すると考えられる脳卒中の発症予防の構築は極めて重要である。近年, 健康診断データをもとに, 機

械学習を用いた疾病の発症予測に関する研究が報告されており (Tsunekawa M, et al. 2019 ; 大場他, 2020 ; 道庭他, 2022), 発症予防に着目した取り組みに期待されていることが明白である。

われわれは, 脳卒中発症を予測し, その結果を特定保健指導に活用することで地域の健康づくり活動の推進に寄与できる可能性を検討してきた (戸田他, 2025). 本稿の SLNN の感度は 13.1%, 特異度は 90.9% であり, 感度が低い結果となった. しかし, 今後, パラメーター決定に用いる変数の追加やモデル構造の改善を行うことで, 感度向上の余地があると考えられる. 一方で, SLNN による脳卒中発症の予測は脳卒中のリスク因子と脳卒中発症との因果関係を考慮せず, パラメーターとノード数のみで判定する手法である. そのため, エビデンスを基盤とした疾病予測モデルではない. 因果関係の解明には, 従来のコホート研究 (追跡調査) を実施し, Cox 比例ハザードモデルを用いた解析が不可欠である.

日本には, 生活習慣病における危険因子を明らかにし, 日本人の生活習慣病予防と健康寿命の延伸に資することを目的とした国立がん研究センターによる多目的コホート研究 (JPHC 研究) が存在する. Yatsuya et al. (2013) は, JPHC 研究の追跡調査結果を用いて, リスクスコアによる脳卒中発症確率を算出し, 発症予測モデルを開発している. 本稿では, Python を用いた SLNN によって脳卒中発症を予測したが, Yatsuya et al. のように, コホート研究でのリスク評価を取り入れたモデルこそが, 医学的エビデンスの高い発症確率が算出できると考えられる.

脳卒中発症を予防するためには, 日常的に健康意識を高め, 規則正しい生活をするのが重要である. 脳卒中発症予測モデルによって算出された脳卒中発症確率を特定保健指導の場で提示することは, 健康意識向上の動機付けとして有効である可能性がある.

今後は, 蓄積された健康診断データや健康関連データを活用し, より精度の高い脳卒中発症予測モデルを開発することで, 地域のヘルスプロモーションに新たな視点から疾病予防政策を提示できると考える.

## V. おわりに

O 市コホート I 参加者 5021 人のうち脳卒中発症者 92 人を含む 1000 人を用いて SLNN の学習を行い, 最適化したパラメーターを実装した学習済み SLNN

により, 残りの 4021 人の脳卒中発症予測を実行した. その結果, SLNN の感度は 13.1%, 特異度は 90.9% であった.

## 付記・謝辞

本稿におけるベースライン調査ならびにコホート研究の基盤は, これまでに文部科学省科学研究費補助金により構築してきた ((基盤 C (2008–2010) 研究代表者: 斉藤功「自律神経系機能と耐糖能異常に関する疫学研究」(課題番号 20590647); 基盤 C (2010–2012) 研究代表者: 加藤匡宏「自律神経系機能と循環器疾患とのコホート研究」(課題番号 22590587); 基盤 C (2014–2016) 研究代表者: 斉藤功「自律神経系機能の低下と糖尿病発症に関するコホート研究」(課題番号 26460767); 基盤 C (2017–2021) 研究代表者: 加藤匡宏「首尾一貫感覚 (SOC) と循環器疾患発症および総死亡・死因別死亡のコホート研究」(課題番号 17K09204)). 研究代表者: 加藤匡宏「深層学習を用いた脳心事故発生予測モデルの構築と検証に関する研究」(課題番号 22K10557); 基盤 C (2022–2027)). さらに, 研究の一部は JSPS 科研費 JP12345678 の助成を受けている.

## 文献

- 麻生 英樹 (2013). 多層ニューラルネットワークによる深層表現の学習, 人工知能学会誌, 28 (4), 649–659.
- 道庭 賢一・田中 孝浩・春木 耕祐 (2022). 健康診断データに基づく機械学習による疾病リスク予測 AI 及び生活習慣改善 AI, 東芝レビュー, 77 (1), 48–51.
- 神田 寛行 (2018). Deep learning (深層学習) の基礎知識と, 医療応用に向けた課題, 視覚の科学, 39 (3), 75–79.
- 包國 幸代・麻原 きよみ (2013). 対象者中心の保健指導を実践する保健師の技術, 日本看護科学会誌, 33 (1), 71–80.
- 厚生労働省 (2020). 予防・健康づくりについて [https://www.mhlw.go.jp/content/12401000/00061286\\_2.pdf](https://www.mhlw.go.jp/content/12401000/00061286_2.pdf) (2026 年 3 月 3 日閲覧)
- 大場 勇貴・手塚 太郎・讃岐 勝也 (2020). 健康診断データを用いた疾患予測における解釈可能なモデルの構築, 第 12 回データ工学と情報マネジメ

ントに関するフォーラム(DEIM2020)予稿集.

山海 知子・磯 博康・嶋本 喬他 (1992). CT 所見を中心とした脳卒中の疫学的研究--コホート内症例対照研究による脳出血ならびに脳梗塞の病型別発生要因の検討, 日本公衆衛生雑誌, 7, 410-420.

戸田 園乃・戸田 真子・岡田 英作他 (2025). 再帰型ニューラルネットワークモデルによる健康診断データを用いた脳心事故発症予測確率と地域健康教育への展開, 科学教育研究センター紀要, 4, 39-43.

Tsunekawa M, Oka N, Araki M, et al. (2019). Prediction of the Onset of Lifestyle-related Diseases Using Regular Health Checkup Data, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019, 1-4.

Yatsuya H, Iso H, Yamagishi K, et al. (2013). Development of a Point-based Prediction Model for the Incidence of Total Stroke Japan Public Health Center Study, Stroke, 44(5), 1295-1302.

## 持続可能なコミュニティづくりにおけるデジタルを介した遊びの可能性 Potential of Digitally Mediated Play in Building Sustainable Communities

富田英司

TOMIDA Eiji

愛媛大学教育学部

中川勇介

NAKAGAWA Yusuke

愛媛大学大学院地域レジリエンス学環

Faculty of Education

Interfaculty Graduate School of Regional Resilience, Ehime University

**【要約】** 本稿は、現代社会における関係性の希薄化や世代間断絶という課題に対し、「遊び (Play)」を媒介としたコミュニティ形成と Web3 テクノロジーの融合がもたらす地域レジリエンスの可能性を論じる。オルポートの接触仮説を理論的背景とし、アイ・オー・データ機器、愛媛県西条市、ファニームービー社の先進的な企業実践を分析した。その結果、企業や行政が単なる提供者ではなく、環境を整備する「黒子」として参加者の熱量を共有することが、自律的なコミュニティ形成に不可欠であることを明らかにした。さらに、この熱量を一過性で終わらせず、SBT をはじめとする NFT を用いて個人の貢献度を可視化し、分散型自律組織へと接続する「アジャイルかつ分散型のコミュニティデザイン」を次世代のソーシャルキャピタル構築の実践的モデルとして提示する。

**【キーワード】** 遊び, 橋渡し型ソーシャルキャピタル, Web3, NFT, 自律分散型組織

### 1. 社会課題としての「孤立」と「遊び」の再定義

現代の地域社会や組織において、核家族化や社会活動の低下に伴う「関係性の希薄化」は深刻な課題である。Putnam (2000) が指摘するように、地縁・血縁に基づく旧来の「結合型ソーシャルキャピタル」が衰退する中、異なる背景を持つ人々を繋ぐ「橋渡し型ソーシャルキャピタル (Bridging Social Capital)」の構築が急務となっている。しかし、従来型のトップダウンによるイベント誘致やハコモノ行政は、参加者の内発的動機づけに乏しく、継続性に限界を抱えている。

本研究は、この課題を突破し、人々の自発的な繋がりを構築する上で、「遊び (Play)」が効果的な社会的機能を持つツールであると位置づける。Huizinga (1938) が名著『ホモ・ルーデンス (遊ぶ人)』で論じたように、遊びは文化や社会秩序の源泉であり、人々を日常の利害関係や社会的制約から解放し、新たな連帯を生み出す力を持つ。

近年、この「遊び」の社会的機能は実証的に示されつつある。中川 (2026) は、愛媛県松前町での実証研究を通じ、e スポーツが年齢や身体的制約を超えて多世代を繋ぐ可能性を指摘し、それが Allport (1954) の「接触仮説」が定める 4 条件 (対等な地位、共通の目標、協力、制度的支持) を満たしやすい場であることを示した。また、水國 (2022) は、高齢者を対象とし

た実証研究において、e スポーツが認知機能の維持・向上 (認知トレーニング) に有効であることを示すとともに、多世代との交流がゲームへの参加意欲や自己効力感の形成に大きく寄与することを報告している。

本研究では、これらの理論的枠組みを起点とし、アイ・オー・データ機器、愛媛県西条市、ファニームービー社の先進的な企業実践、さらに NFT を中心とした Web3 テクノロジーによる実装可能性を交え、持続可能でレジリエントなコミュニティ形成の条件を考察する。

### 2. 接触仮説を満たす「遊び」のコミュニティ実装例

McGonigal (2011) は、ゲームが持つ「自発的な参加」と「明確な目標」が、現実世界の複雑な課題解決やコミュニティ形成に寄与すると指摘している。企業や行政がコミュニティを形成する際、提供者としての「鎧」を脱ぎ、「遊び」を共有する共創者へと立ち位置を変容させることが不可欠である。

#### 2.1 体験と熱量を共有し場を提供する企業

企業が地域やユーザーとの間にコミュニティを形成する際、ハードウェアメーカーであるアイ・オー・データ機器の広報宣伝部部長・西田谷直弘氏は、製品 (モノ) そのものではなく「ゲームという体験 (遊び)」にフォーカスする価値共創の戦略をとっている。西田

谷 (2025) は、IT 機器は本来「生活や仕事の不便を解決するための黒子」であり、商品自体を主語にするのではなく、顧客が商品を通じて得ている「体験価値」に目を向けるべきだと指摘する。この視点は、企業が単なる「提供者」という上位の立場（鎧）を脱ぎ捨て、ユーザーと「同じ目線で遊ぶ側」へとパラダイムシフトを図るものである。

具体的な実践として、同氏はオンラインゲームのイベントにおいて、自らゲーム内キャラクターのコスプレをして製品販売を行った。この行動は、企業側の人間が一人のファンとしてコミュニティの内部に完全に溶け込むことを意味する。結果として、プレイヤー層からの共感と信頼を獲得し、大きな反響と経済効果を生み出した（地域レジリエンス学環, 2025）。これは、企業と消費者という本来非対称な関係性の間に、「遊び（作品への愛の共有）」を媒介とすることで、Allport (1954) の接触仮説における「対等な地位」を構築した好例と言える。

さらに、同社が石川県で立ち上げた地域ゲーミング拠点「WACHA-WACHA」の事例は、自治体主導のトップダウン型施設整備（ハコモロ行政）が陥りがちな継続性の課題を克服している。同社は自らがコミュニティを主導するのではなく、半年間をかけて地域でゲームに対する「純粋な愛と熱量」を持つコミュニティリーダー（キーマン）を発掘した。そして、企業はあくまでキーマンのビジョンを実現するための環境整備（黒子）に徹したのである。この企業による「裏方としての伴走」は、接触仮説を成立させるための「制度的支持」として機能する。自発的な熱量を持つ個人の「遊び」を、企業という制度的基盤が後押しすることで、一過性のイベントに留まらない、持続可能で自律的な橋渡し型ソーシャルキャピタルが地域社会に実装されているのである。

## 2.2 行政主導の地域貢献ゲーミフィケーション

地域社会における「遊び」の社会実装事例としては、愛媛県西条市が展開する地域ポイント「LOVE SAIJO ポイント」が挙げられる。西条市役所で本事業の立ち上げを牽引した愛媛大学大学院地域レジリエンス学環の大久保武氏は、SDGs 推進や地方創生において、市民がまちづくりを「自分ごと化」し、継続的に参画できるプラットフォームの重要性を指摘している（大久保・曾我部, 2024）。

LOVE SAIJO ポイントの最大の特徴は、単なる店

舗でのキャッシュレス決済（経済的インセンティブ）に留まらず、地域のボランティア活動、エコ活動、防災イベントへの参加といった「地域への貢献（ソーシャルグッドな行動）」に対してポイントが付与される仕組みを構築している点にある。大久保は、地域ポイントの運用において「市民の興味関心の波を乗り越えるためには、常に新鮮な情報と刺激を与えなければならない」と述べている。この視点に基づき、これまで無償の奉仕や「義務」として捉えられがちだった地域貢献活動を、ポイントを獲得し地域内で循環させるという「ゲーミフィケーション（遊び）」へと見事に変換している。

この「遊び」の要素が組み込まれることで、年齢や職業といった属性の壁が取り払われ、多様な市民が「対等なプレイヤー」として地域課題の解決という「共通の目標」に向かって参加しやすくなる。さらに、個人の善意や名もなき熱量がデジタル上のポイントとして可視化・蓄積される仕組みは、参加者の自己効力感を高め、Allport (1954) の接触仮説における自発的な「協力」を誘発する。結果として、このデジタル基盤は、地域住民と市外の関係人口をシームレスに繋ぐ「橋渡し型ソーシャルキャピタル」を生み出し、持続可能で強靱な地域コミュニティの形成に大きく寄与しているのである。

## 2.3 「協力関係」を生み出すエンターテインメント

エンターテインメントやコンテンツ制作の領域において「遊び」を社会実装し、独自のファンコミュニティを形成している先進的な事例として、アニメーション制作を手掛ける株式会社 FUNNYMOVIE（ファニムビ）のアプローチが挙げられる。同社は、大ヒット SNS アニメ『モモウメ』などに代表されるように、ユーモラスで「遊び心」に溢れたコンテンツを起点として、視聴者を巻き込んだネットワークを構築している。

同社の代表であり映像クリエイターの中道一将は、企業の「伝わりにくい想い」を、笑いを軸とした「ファニーなストーリー」へと変換することの重要性を掲げている。中道は、アニメや映像の力を用いて企業のメッセージを「話題になる物語」へと変え、エンターテインメントの力で課題を解決するアプローチを実践している（株式会社 FUNNYMOVIE, 2026）。その戦略の核心は、完成された隙のない情報（スペックや宣伝文句）を一方向的に提供するのではなく、視聴者が

思わず「あるある」と共感し、SNSでツッコミを入れたいような意図的な「余白(遊び)」をコンテンツ内に残す点にある。中道は『モモウメ』の制作手法について、職場の人間関係の悩みといったリアルな感情にフォーカスし、とことん感情移入(共感)できるキャラクター設定と笑いを組み込んでいると語っている(アニメ!アニメ!, 2020)。

企業側から消費者への一方的な情報伝達(トップダウン)になりがちなPR媒体のなかで、この「笑い」と「余白」の介在によって状況は大きく変わる。視聴者は、自らの実体験と重ね合わせてSNS上でコメントやシェアという形のアクションを起こすことができる。これにより、視聴者は単なる受動的な「消費者」から、コンテンツを共に盛り上げ、物語の価値を拡張していく「協力者」へと立場を移行させることができる。このプロセスは、Allport(1954)の接触仮説における「共通の目標(コンテンツを面白く成立させること)」と「協力」の条件を、デジタル空間上で自然発生させるコミュニティデザインであると言える。

### 3. モノとデジタルを繋ぐインフラ：NFT

「遊び」を通じた熱量を、一部の愛好家の集まりで終わらせず、持続的な地域社会の「関係人口」へと昇華させるためには、デジタル技術の活用が不可欠である。特に、リアルな場での「参加」や「貢献」をデジタルな価値として刻むNFT(非代替性トークン)の活用は、次世代のソーシャルキャピタルを可視化する上で大きな可能性を持っている。

#### 熱量と貢献のデジタル証明(SBTの応用)：

松前町公民館でのeスポーツ交流会のようなリアルな遊びへの参加や、コミュニティ運営への貢献に対して、参加証明としてのNFTを発行する。特に、他者へ譲渡不可能なNFTである「SBT(Soulbound Token)」は、個人の社会的関係性や所属を証明する基盤として注目されている(Weyl et al., 2022)。これまで履歴書には書けなかった「名もなき熱量や地域への貢献度」が、偽造不可能なデジタル資産として個人に蓄積される。なお、現在大学での学習歴証明や資格でも注目されているオープンバッジもSBTの1つに位置づけられる。

#### 分散型基盤への接続とDAO的自律運営：

西田谷(2025)が指摘するように、Discord等の分散型ツールは特定のテーマでコミュニケーションを

深めるのに優れている。XやLINE等の身近なSNSで「遊び」の認知を広げ、獲得したNFTを「鍵」としてDiscord内の深いプロジェクト運営(DAO的運用)へと段階的に誘導する。これにより、リアルの熱量を保ったまま、シニア層を含めた多様な関係人口を自律的なコミュニティ運営へと巻き込むことが可能になる。

### 4. 本研究の限界と今後の課題

本稿では、「遊び」を核としたコミュニティ形成とNFTによる価値の可視化という理論的枠組みおよび実践的モデルを提示したが、いくつかの限界点も存在する。

第一に、デジタルディバイド(情報格差)の課題である。NFTやDiscordといったWeb3の基盤やツールは、シニア層やデジタルネイティブではない層にとって参入障壁が高い。既存のSNS(LINE等)やリアルな接点(公民館等)からの段階的な誘導が必須であるが、摩擦なくデジタルウォレットを導入し、SBTを発行・管理するためのユーザーインターフェースの社会実装は途上段階にある。

第二に、提示した事例が主に企業(B2C)のプロモーションや特定のファンコミュニティに基づくものであり、これをそのまま地方自治体などの公共的な市民コミュニティに適用できるかについては、さらなる実証が必要である。エンターテインメントの文脈における「熱量」と、防災や福祉といった公共課題における「熱量」の性質の違いを精査しなければならない。

したがって今後の課題として、中川(2026)が実施した愛媛県松前町などの実際の地域フィールドにおいて、eスポーツ等の「遊び」を介した交流会で試験的にNFT(参加証明バッジ)を発行し、その保有行動が地域への愛着や共助行動(レジリエンス)にどのような定量的・定性的変化をもたらすかを、縦断的(Longitudinal)に測定・分析するアクションリサーチが求められる。

### 5. 結論：「遊び」と「NFT」が紡ぐ地域レジリエンス

Aldrich(2012)は、災害からの復興や地域のレジリエンス(回復力)を決定づけるのは、物理的なインフラ以上に、地域住民間に築かれた「ソーシャルキャピタル」であると実証している。「遊び」は決して無駄な娯楽ではなく、人々の警戒心を解き、共通の目標に向

かって協力させるための高度な社会的インフラである。

防災などの重い課題解決を目的に、興味関心の異なる既存のコミュニティを巻き込むことは一般的には困難である。しかし、「WACHA-WACHA」が異なるゲームを愛するコミュニティを横並びに配置し、互いを認知させたように、「遊び」を通じて他者を知る地道な仕掛けは、コミュニティ融合の第一歩となる。

今後、地域社会が真のレジリエンスを獲得していくためには、人々の内発的動機である「遊び」をコミュニティの触媒とすべきである。地域のキーマンが持つ「熱量」を発掘し、企業や大学は黒子として伴走する。そして、そこで生まれた信頼関係を NFT 等の Web3 テクノロジーを用いて可視化し、持続可能なエコシステムとして定着させる「アジャイルかつ分散型のコミュニティデザイン」は、次世代の社会を支える不可欠な基盤となるだろう。

## 6. 引用文献

Aldrich, D. P. (2012). *Building Resilience: Social Capital in Post-Disaster Recovery*. University of Chicago Press.

Allport, G. W. (1954). *The Nature of Prejudice*. Addison-Wesley.

アニメ！アニメ！（2020）. SNS アニメ『モモウメ』誕生秘話！共感の嵐を呼ぶ“あるあるネタ”はどう生まれる？ スタッフが明かす【インタビュー】2020年9月5日配信記事 . <https://animeanime.jp/article/2020/09/05/56103.html> (取得日: 2026年3月13日) .

Huizinga, J. (1938). *Homo Ludens: A Study of the Play-Element in Culture*. (高橋英夫訳『ホモ・ルーデンス』中央公論新社, 1973年) .

株式会社 FUNNYMOVIE (2026). 中道一将 プロフィール・代表メッセージ 株式会社 FUNNYMOVIE 公式ウェブサイト . <https://funnymovie.co.jp/about/nakamichi/> (最終閲覧日: 2026年3月14日) .

McGonigal, J. (2011). *Reality is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. Penguin Press. (妹尾堅一郎監修『幸せな未来は「ゲーム」が創る』早川書房, 2011年) .

中川勇佑 (2026). e スポーツによる多世代間交流ネ

ットワークの変容 愛媛大学大学院地域レジリエンス学環修士論文.

西田谷直弘 (2025). ゲームに学ぶコミュニティの作り方 地域レジリエンス学環 学生企画セミナー 講演記録, 愛媛大学.

大久保武・曾我部智弥 (2024). 地域ポイントサービスプラットフォームで SDGs の取り組み推進と地域活性化を实践 Spaceship Earth <https://spaceshipearth.jp/saijo/> (取得日: 2026年3月13日) .

Putnam, R. D. (2000). *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*. Simon & Schuster. (柴内康文訳『孤独なボウリング—米国コミュニティの崩壊と再生』柏書房, 2006年) .

水國照充 (2022). 高齢者を対象としたeスポーツによる認知トレーニングの効果検証と参加意欲に関する研究 国際ICT利用研究会論文誌, 5(1), 3-16.

Weyl, E. G., Ohlhaver, P., & Buterin, V. (2022). *Decentralized Society: Finding Web3's Soul*. SSRN Electronic Journal.

謝辞 本研究は愛媛大学若手研究者リサーチユニット創生支援事業に 2024 年度に採択された「コミュニティ・オーガナイザー育成のための連携体制モデルの構築 —社会的課題解決を目指す教育プログラムの開発と実践を通して—」(代表: 井上昌善) の支援を受けておこなわれた。

また、本論文は、2025年11月11日(火)午後6時より愛媛大学 E.U. Regional Commons 1階 NP 地域交流ルームにて開催された地域レジリエンス学環学生企画「ゲームに学ぶコミュニティの作り方」にご登壇いただいた西田谷直弘様(株式会社アイ・オー・データ機器広報宣伝部部長)の講演を契機として執筆されました。この講演会の実現にあたっては最上千佳子様(株式会社 IT プレナーズジャパン・アジアパシフィック取締役)に多大なるご協力を賜りました。西田谷様と最上様に心より御礼申し上げます。

# 数学的な知識・概念の共有過程における根拠に関する研究（Ⅰ）

## Research on the reason of the sharing process of mathematical knowledge and concepts（Ⅰ）

吉村 直道

YOSHIMURA Naomichi

愛媛大学教育学部

Faculty of Education, Ehime University

**【要約】** 本研究の目的は、一般的に客観的と考えられる数学的な知識・概念であっても、学習者が当初構成する知識は主観的・個人的なものであることをどのように理解すればよいかを明らかにすることである。そのため、学習者が構成した知識・概念を可視化して捉える枠組みとしてトゥールミンモデルを、算数・数学の学習過程で用いやすいように修正した「論理的な主張のレイアウト」を提案した。6名の数学系大学院生へのアンケート調査にこのレイアウトを用いた結果、同じコミュニケーション過程であっても、条件(D)・理由付け(W)・主張(C)の構成が異なったり、条件が同じでも理由付けの違いによって主張が変化したりするなど、学習者の知識・概念は主観的・個別的であることが確認され、提案したレイアウトを通してその個別性を明確にすることができた。今後は、このレイアウトを授業に組み込み、個別性を尊重しつつ準客観的な知識・概念に洗練させる方法の検討が必要である。また、小規模調査であるため、対象者の拡大や背景要因の分析、再現性の検証が課題である。

**【キーワード】** コミュニケーション研究, 論理的な主張のためのレイアウト, トゥールミンモデル, 根拠, 数学的な知識・概念の共有過程

### I. 研究目的

数学（以下、算数を含めて数学と表現）の学習で構成する知識・概念と言えど、当初は主観的で個人的なものであり、それらが洗練されていくことで他者にも通用する知識・概念と成り得て準客観の意味での客観性を有していくと考えることができる。それを明らかにするために、本稿では、数学的な知識・概念を対象化する枠組みを構築し、その枠組みを用いたアンケート調査で、当初構成される数学的な知識・概念がなぜ個別的で主観的と成り得るかについての構造を明らかにすることが、本稿の研究目的である。

### II. 学習で構成した知識・概念を可視化する枠組み

数学の学習場面では、授業者のコーディネートのもとと数学的な議論が展開され学習が進んでいく。本研究では、数学の授業という同一のコミュニケーション活動に参加した上で、各学習者たちがどのような知識・概念を構成したかに注目する。

#### 1. 議論のレイアウト（トゥールミンモデル）

議論を分析的にみる際のモデルとして有用なものが、1958年に出版された『議論の技法（The Use of Argument）』において提示された「議論のレイアウト」、

後に「トゥールミンモデル」と呼ばれ広まったものである（渡部, 2023, p.54）。図1がトゥールミンモデルを表したものである。

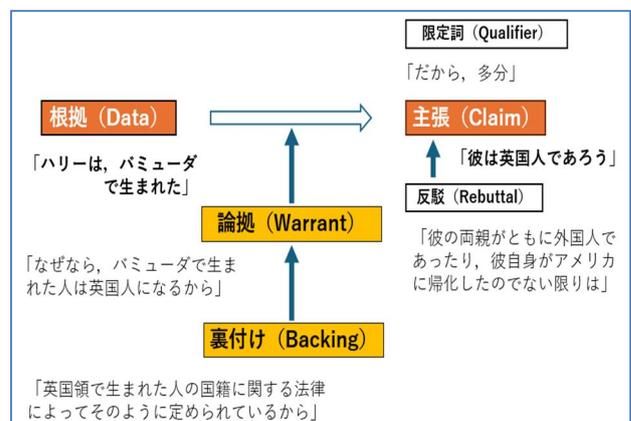


図1: 「議論のレイアウト」の事例「ハリーの国籍」

※渡部 (2023), 福澤 (2002) を参考に筆者修正

このトゥールミンモデルを用いて議論の一場面を記述することができ、その主張の正当化の構造を顕在化することができる。隠れた根拠を、論拠 (Warrant)、裏付け (Backing) として対象化するとともに、裏付け (Backing) の存在がその主張 (Claim) の正当性を制限しながら強めることになり、限定詞 (Qualifier) と反駁 (Rebuttal) が必要となるものである（渡部, 2023, p.56）。

## 2. 論理的主張のレイアウト (修正トゥールミンモデル)

日常生活の蓋然的な論証である「実質的論証」と、「ソクラテスは人間である (D). すべての人間はいつか死ぬ (W). ゆえに、ソクラテスは死ぬ (C)」と言った演繹三段論法のような疑いの余地なく分析的に議論できる論証の2つに、このトゥールミンモデルは適用可能である。加えて、論拠 (Warrant), 裏付け (Backing) の多様さは論証の場 (分野や文脈, 用いられている状況) によって異なることが認められており、様々に適用可能であり議論を記述的に分析するのに有用である (渡部, 2023, p.57)。

しかしながら、トゥールミンモデルは議論、主張の応答、言明のレレーションを記述するモデル (複数人の主体者による複数の会話ターンの記述) であるが、本研究において対象化しようとするのは、数学の学習において構成された各学習者の知識・概念であり、個々の主張 (言うなれば、1ターンの言明) である。一つの主張も掘り下げれば、それを生み出すきっかけの根拠と、その主張の正当さを確かなものとするために数々の制限を含み持つものであり、一主張だけをトゥールミンモデルで記述することも可能であると考えられる。ただし、ある問題解決の場面での個々の主張の記述や、自身の考えや理解が曖昧なまま認識され表現されている場面での記述であったりもするので、必ずトゥールミンモデルのすべての要素でその言明の構造が記述されるわけではない。

本研究の立場では、数学の概念も相対的であり、修正・改善を経て準客観的な性格を帯びるものと捉えている。併せて、個人の概念形成は素朴な段階からより洗練されたものへと移行すると捉えている。そのため、学習における概念形成のプロセスを記述しようとする取り組みにおいては、「根拠 (Data)」や「論拠 (Warrant)」といった洗練された理由と言ったものばかりではない。よって、モデルの構成要素をもう少しおおらかに緩く定義していきたい。

本稿の研究では、単なる主張、理由のない主張への適用は考えていない。発信者にとって理由があり論理的と考えている主張 (論証) を、「論理的な主張」 (他者や他者を超えて準客観的な理解を求める主張、「根拠」「論拠」「裏付け」などの要素を伴って構造化された主張) とし、本稿研究の対象とする。

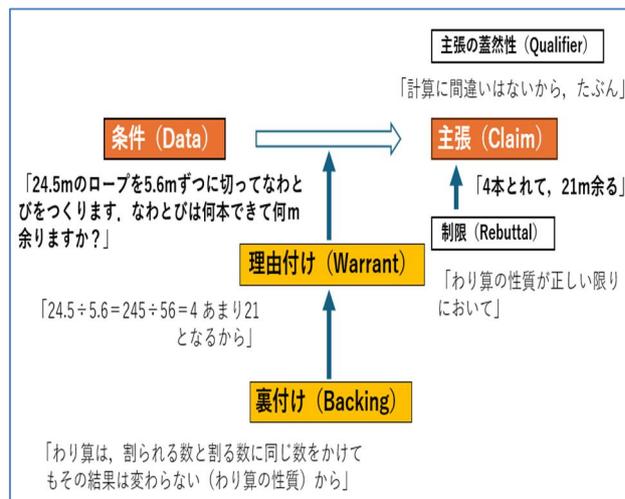


図2：論理的な主張のレイアウト

よって本稿では、図2の示す通り、「論理的な主張のレイアウト」としてトゥールミンモデルの修正版を用いることとする。数学の学習場面で用いるこの修正版トゥールミンモデルでは、問題場面や問題状況・設定そのものを条件 (D) とし、その条件 (D) から主張 (C) として答えが導かれるとして、その過程を記述することが可能となるものである。

図2の論理的な主張のレイアウトは、次の①～⑥から成り立つ (具体例は、図2中に記述)。

- ①**条件 (Data)** : 主張を導き出す具体的な言明。  
「～のとき/～であるとき」「～ならば/～であるならば」
- ②**主張 (Claim)** : 条件 (D) から導かれる特定の言明。  
「～である」「～となる」
- ③**理由付け (Warrant)** : 条件 (D) から主張 (C) を導き出す理由 (根拠, 証拠, 事実, 背景事情, 動機, 感情※論理的でないものも含む)。  
「～だから」「一般的に～だから」「～と考えられるから」「なぜなら～だから」
- ④**裏付け (Backing)** : 理由付け (W) を支える理由付け。  
「(なぜなら) ～だから/と考えられるから」
- ⑤**主張の蓋然性 (Qualifier)** : 主張が導かれる確かさの程度。主張の正当性をより強固にするための制限。  
「おそらく」「たぶん」「きっと」等

- ⑥制限 (Rebuttal) : 正当性を強めるために、反駁の事実を自覚するとともに、主張の正当性の保留条件の明示。  
「～でない限りにおいて」「～の範囲内で」

図2中の具体例は、妥当でない主張の例である。この主張の発信者にとっては理由があり論理的とみなしている主張であり、その点で本稿では(発信者にとって)「論理的」と言っているにすぎない。つまり本研究においては、「論理的」にも、自分自身だけが再現性をもって主張を導出できるものから、他者にも理解され他者間においても再現性を有してその主張が変わらず導出できる意味での準客観性を有するレベルまで、「論理的」には漸次的特徴があると認めている立場である。

ここで、ここまでに登場した用語について、本稿での扱いを整理する。それが図3である。

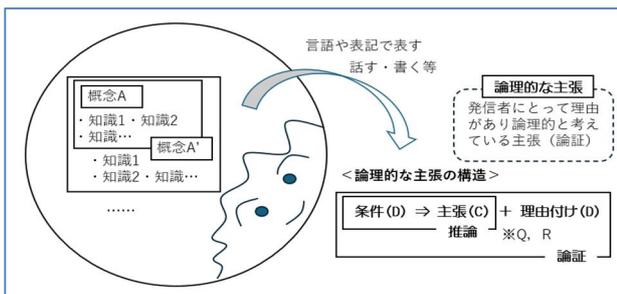


図3：知識・概念と論理的な主張の関係

本稿では、「概念」を数学的な対象を理解する枠組みとし、「知識」をその概念を使って得られる事実・定理・手続きや具体例と捉えることとする。知識・概念は基本的に主体者の頭の中に存在するものであり、言語や表記で対象化・可視化され理解されるものであり、言語や表記を用いることで健在化されるものである。そして、概念と知識の一連のネットワークが新しい概念枠となり、更なる知識群を生み出す階層的構造を特徴としてもつ。

そして本稿では、たとえ数学的に誤っていたとしても、発信者にとって理由があり論理的と考えている主張(論証)を研究対象としており、言語を用いてそれを明文化したものを「論理的な主張」と定義する。しかもその主張(論証)の構造を修正ツールミンモデルで記述したとき、さらに細かく対象化する必要がある場合、「条件(D)⇒主張(C)」の構造を「推論」とし、その推論に理由付け(W)、主張の蓋然性(Q)及

び反駁(R)まで含めたものを「論証」と区別するものとする。

### 3. 妥当な主張の記述の可能性

本研究で規定した「論理的な主張のレイアウト」を用いてどのようなタイプの妥当な主張が記述できるか、戸田山(2022)がまとめている「論証形式のまとめの表」(p.193)を基に、ここに整理する。

#### ○論理的な主張のレイアウトを用いた、妥当な論理的な主張の構造

- ア：肯定式推論 D「Aである」+W「AならばBである」⇒C「Bである」
- イ：否定式推論 D「Bではない」+W「AならばBである」⇒C「Aではない」
- ウ：場合分けによる証明 D「AかBのどちらかである」+W「AならばCである。BならばCである」⇒C「いずれにせよCである」
- エ：背理法 D「今Bである。Aでないと仮定すると矛盾(notB/A/これまでの定理の否定)」+W「排中律を認めるから/論理的に不整合が起きるから」⇒C「Aである」
- オ：転換法 D「一群の定理  $A_1 \Rightarrow B_1, A_2 \Rightarrow B_2, \dots, A_n \Rightarrow B_n$ 」+W「 $A_1, A_2, \dots, A_n$ が対象とする事柄のすべての場合を尽くして、 $B_1, B_2, \dots, B_n$ が互いに排反である」⇒C「一群の定理  $B_1 \Rightarrow A_1, B_2 \Rightarrow A_2, \dots, B_n \Rightarrow A_n$ が成り立つ」
- カ：同一法 D「 $A \Rightarrow B$ 」+W「A, Bを満たすものがそれぞれちょうど1つしか存在しない」⇒C「逆命題  $B \Rightarrow A$  が成り立つ」
- キ：帰納的論証 D「Aもpである。Bもpである。Cもpである」+W「特別でない限り、次もそうだろう/ほとんどがそうだから、次もそうだろう/偶然ではなく必然と考えるのが自然だろう/経験に基づく蓋然的推測(必ずそうなるとは言えないが、かなりの確率でそうだと考えられる推測)から」⇒Q「おそらく」+C「みんなpである」+R「反例が見つからない限り」
- ク：アブダクション D「仮説HでAが説明できる」+W「何かしらの原因があつてAが起こるから」⇒Q「たぶん」+C「仮説Hは正

しい」+R「H以上にAを説明できる仮説がない範囲において」

ケ：仮説演繹法 D「仮説H(A⇒B)」+W「AのときBであったから」⇒Q「たぶん」+C「Hは正しい」+R「I事例の確かめの範囲内で/仮説の正当性の範囲内で」

コ：類推 D「AはBと似ている」+W「BはCである」⇒Q「たぶん」+C「AもCである」+R「一般化しない範囲内で」

上記の通り、具体例を示しながら「論理的な主張のレイアウト」を用いて、いろいろなレポーターをもつ妥当な主張が記述できることを確かめた。ただし、キ〜コの4つのレポーターについては、主張の正当化は弱いレベルであり、主張の蓋然性(Q)と制限(R)が必要となることには注意が必要である。

#### 4. 個人的・主観的な性質をもち妥当性が疑問視される記述の可能性

次に、いろいろな主張には、論理的な主張であっても個人的・主観的な性質を有し、主張の妥当性に疑問の余地があるものがある。それらについても論理的な主張のレイアウトによって記述できるかどうかを検討する。

理由付け(W)は、基本的に、他者にも共有されるような時間的・空間的・文化的にもその正当性が認められ、他者と共通した意味をもつような理由付けでなければならないが、日常においては、得てして自分の経験や思考、感情が先立ち、それらを理由とした主張になることがある。つまり、ア：理由付け(W)が当該の個人やその主体者の主観に依拠していて、当該の推論と無関係で関連性が薄い場合がある。

例) D「家の玄関の置物のカエルと目があつた」+W「以前にも何度か目があつた後、雨が降ったから」⇒C：「もうすぐ雨が降る」

などである。理由付け(W)が実に個人的でその主体者のみでしか確認できないものであるが、こうしたものについても、論理的な主張のレイアウトによって例示可能である。

理由付け(W)は個人的・主観的なものでなければよいというわけではない。たとえ、それが客観的な言

明であっても、条件(D)から主張(C)が客観的に導出可能でないといけない。例えば、ア：肯定式推論であれば、その理由付け(W)は単称命題では十分ではなく、事実の一例でもその用を果たさない。つまり、イ：理由付け(W)が事実や事例の一例の提示にすぎずその確証性が薄い場合がある。

例) D「ソクラテスは人間である」+W「ソクラテスは死ぬ」⇒C：「人間は死ぬ」

また、条件(D)と理由付け(W)はいずれも「〜だから」や「〜とき」でCに連結できるものであり、DとWが入れ替わっても違和感をもたないことがある。主体者にとってどちらかをどのタイミングで明示するかでDにもWにも成り得る可能性があり、論証の型が人によって変わり得る特徴を持つ。この場合も、次の例のように論理的な主張のレイアウトによって例示可能である。つまり、ウ：条件(D)と理由付け(W)が曖昧に理解されており、混同されて論理的な主張が展開されることがあり、不十分な論証となることがある。

例) D「ソクラテスは人間である」+W「人間は死ぬ」⇒C「ソクラテスは死ぬ」

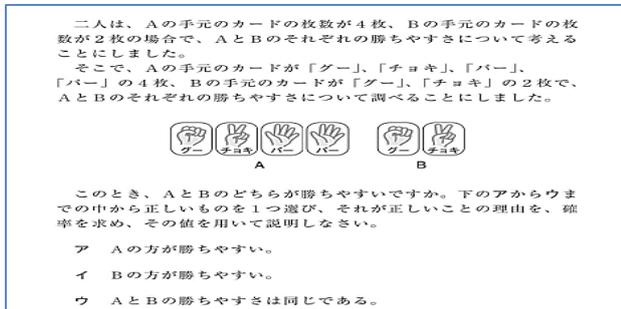
例) D「人間は死ぬ」+W「ソクラテスは人間である」⇒C「ソクラテスは死ぬ」

加えて子どもの主張が時にそうであるように、分析的に構造化されずに自分の知識・概念が理解されるとき、「CだからCなの」と主張(C)そのものが理由付け(W)になってしまうことがある。いわゆる循環論法に陥っているケースである。発信者が理由をもった主張と意思していても、このように主張(C)が強力に意識されるためか、エ：理由付け(W)が主張(C)で満たされていたり、条件(D)や理由付け(W)が欠落した論理的な主張のレイアウトとなることがある。

例) W「ソクラテスは死ぬ」⇒C「ソクラテスは死ぬ」

また、数学の学習過程における理由は問題場面や問題状況、あるいは、学習展開によってある程度制限されるため、個人的・主観的な様相は減じるものの、そ

の理由については基本、主体者にその選択権がある。  
オ：日常世界・数学世界・自分世界のどの世界の事柄からその事由を導出するかは個人によって多様であり、数学の学習過程における論理的な主張と云えど、



理由付け (W) が個人的・主観的に成り得る場合がある。

図3：じゃんけんカードゲームの問題

図3の令和7年度全国学力・学習状況調査（中学校数学）大問7(2)（国立教育政策研究所，2025，p.30）の解答を論理的な主張のレイアウトで記述すると、正答の例が

例①) D「Aが4枚、Bが2枚のカードのとき」＋  
W「P(A) = 3/8, P(B) = 3/8だから」  
⇒ C「AとBの勝つ確率は同じである」

となるとき、理由付け (W) が個人的・主観的なものである主張（論証）として、

例②) D「Aが4枚、Bが2枚のカードのとき」＋  
W「同じ確率でないとゲームは面白くないから」  
⇒ C「AとBの勝つ確率は同じである」

と、論理的な主張のレイアウトを用いて表現可能である。

以上より、主張の正当性が確かなものに加え、主張の正当性に疑問を呈するようなものであっても、提案する論理的な主張のレイアウトを用いてそれらの知識・概念は論証の形式で記述可能である。

### Ⅲ. 調査

数学の学習場面において、学習者が認識する自身の知識・概念が「論理的な主張のレイアウト」を用いて実際にどのように記述できるかを調査した。

## 1. 調査内容・方法

### (調査目的)

- ・数学の学習後、学習主体者はどのような知識・概念を得るのか。
- ・実際の学習場面において、論理的な主張のレイアウトを用いて、学習者が構成した知識・概念を記述することができるか。

### (対象)

- ・2026年3月7日に愛媛大学附属高等学校で開催した「みんなで考える数学講座」に参加した大学院生6名※全員、理学部数学科出身

### (内容)

- ・数直線の連続に関する講義（授業者は筆者）を受講し、①受講前段階での連続に関する理解、②9が限りなく続く0.99...と1の大小比較に関する理解、③数直線の連続や切断に関する理解の3つに対して自身が構成した知識・概念を調査した。

### (調査方法)

講義終了後すぐに、紙面にて調査票を配り、研究目的等を説明し任意で研究協力をお願いした。了承を確認した上で、アンケート調査を実施した。調査票は巻末資料の通りである（A3判両面刷り）。

講義の際に配布したレジュメに自身が書き込んだメモを見ながら、調査票で指定した講義のタイミングで自身が認識した知識・概念を、「条件（ ）⇒主張（ ）」の形式で問うた。得られた他者の知識・概念と比較しやすいようにするために、予めそこで登場しそうな言明を語群として用意し、語群から適当なものを選んで回答するか、語群にふさわしいものがない場合は自身で自由に記述し回答する形とした。

その際、そう考える理由も記述式で回答するよう求めた。その際、記号「⇒」は、「ならば」や「のとき」と読みかえて判断するよう依頼した。

## 2. 調査結果と考察

まず講座自体の感想を5件法で問うた。

「講座の内容や説明はわかりやすかったか？」については6名中2名が「5:たいへんわかりやすかった」、4名が「4:わかりやすかった」。「講座の内容は面白い、興味深いものでしたか？」は「5:たいへん面白い」が5名、「面白い」が1名。「講座に参加した満足度は？」については「5:たいへん満足」の回答を全員の6名から得た。

総じて、講義自体の評価は高く、その理解についても参加者自体不安や消化不良を起こしたようなものではなかったと推測される。

**a. 「連続」に関する既存の知識・概念**

本格的に本講座の講義に入る前の段階で、「連続」に関する知識・概念として、どのようなものを有しているかを調査表の4①にて問うた（巻末資料参照）。

その結果、対象の6人から10個の回答で「連続」に関する講座前の知識・概念が得られた。ただし理由付け(W)については、回答のままでは冗長かつわかりにくさもあるため、筆者が意を変えないように要約して表1に整理している。

表1：調査表4①の回答結果（要約）

回答①	条件(D)	のとき／ならば	主張(C)	理由付け(W)	特徴
1	ア すき間や切断がない	⇒	ウ つながっている	ウであるためにはアでないといけないから	循環論法
2	ア	⇒	ウ	ウであるためにはアでないといけないから	循環論法
3	ア	⇒	ウ	図の様子から	考えた視点や契機
4	ア	⇒	ウ	図の様子から	考えた視点や契機
5	ア	⇒	ウ	※無記入	
6	イ すき間や切断がある	⇒	エ つながっていない	イだとエだから	循環論法
7	イ	⇒	エ	イだとエだから	循環論法
8	イ	⇒	エ	回答⑩10の対偶より	数学世界での知識から
9	イ すき間や切断がある	⇒	ウ つながっている	飛び飛びでもつながっていると考えられるから	循環論法 ※本時の講座内容の影響か？
10	ウ つながっている	⇒	ア すき間や切断がない	すき間の有無は条件になれず、結論になるから	他の事例との関係から

表1より、回答された10個中5個の推論が同じで、理由付け(W)まで同じものが2個、2個あった。1個は理由なしであった。6人中5人が同じ知識・概念を有しているものの、その理由まで含めるとまったく同じであるわけではないことがわかる。数学の知識に関わるものであり、かつ、数学を中心に研究する大学院生であるという特徴を考慮すれば、理由まで同じという論証となることは、当然のことのように思われる。その一方で、理由として表現される内容が異なったり、理由付け(W)が条件(D)から主張(C)を繰り返し言っているにすぎないものがあったり、自分たちの理解が必ずしも客観的に整理されたものではないことがよくわかる。

また、同じ条件(D)から導出される主張(C)は、

特に数学に関するものであれば、大抵同じであると予想されるが、同じイを条件(D)にして、主張(C)がエとウの2つに異なって表現されていることも特徴的である。ただし、この質問は講義前の知識・概念を問うものであるが、このアンケートが講座終了後に行っているために、回答⑨は講座内容が影響した知識・概念についての論証を表現している可能性もある。

表1から、理由付け(W)の内容について、目に見えるメタファーの中でのその理由を構築しているのが多く、回答⑧のように、数学世界の知識・概念を適用して理由にするものは少ないこともわかる。

**b. 講座で構成した知識・概念1**

講座の講義が本格的に始まった段階で構成した知識・概念を1人1つ以上2つまでで問うた。その結果、4人が2つ、2人が1つ回答したので、計10個の回答を得ることができた。その要約が表2である。

表2：調査表4②の回答結果（要約）

回答②	条件(D)	のとき／ならば	主張(C)	理由付け(W)	特徴
1	コ 差があってもその差が十分に小さい	⇒	サ 数学的に同じ	差が0.00...となり、差が十分に小さいから	条件が理由に。
2	コ	⇒	サ	差が十分小さいと同じとするから	循環論法
3	コ	⇒	サ	差が十分小さいと同じとするから	循環論法
4	コ	⇒	サ	差が十分小さいと同じとするから	循環論法
5	エ 0.99...と1は同じ	⇒	サ	$x = 0.99...$ において方程式を解くと、 $0.99... = 1$ となるから	事実・事例の提示
6	ア 0.99...と1がある	⇒	サ	9が無数に続くと同じと見なせるから	循環論法
7	ア	⇒	ウ 1の方が大きい	現実的に考えて、1の方が大きいから	主張や結論が理由に。
8	ア	⇒	エ 0.99...と1は同じ	$x = 0.99...$ において方程式を解くと、 $0.99... = 1$ となるから	事実・事例の提示
9	ア	⇒	ソ 同じとみなす	$1/3 = 0.33...$ であり、3倍すると、 $1 = 0.99...$ となるから	事実・事例の提示
10	ウ 1の方が大きい	⇒	カ 差を求める	差があると認めて、初めて差を求めることができるから	循環論法

同じ学習、同じコミュニケーション過程に参加し構成した知識・概念であるにもかかわらず、同じ条件ア(D)で主張(C)が異なるものが4個あり、主張サ(C)が同じ(6個)で条件(D)が異なるものがある(4個、1個、1個)あることが確認できる。

前述した通り、同じ条件(D)でも理由付け(W)が異なれば導出される主張(C)は異なる場合があるのが前述の4つである。実際、該当の4回答の理由付け

(D) はすべて異なっており、同じ条件 (D) から異なる主張が導かれることは調査からも明らかとなった。

数学に関わる知識・概念であれば、一般的には、主張 (C) が同一のとき、それを導き得る条件 (D) は人に依らず同じと想像されるのが自然である。6 人中 4 人が同じ推論「コ ⇒ サ」を選択していることもそれを支持している。主張 (C) としてサを選択している人たちの中で、条件 (D) として多くの人と異なるエやアを選択している人はそれぞれ異なる理由付け (W) を認識しており、その条件 (D) と理由付け (W) との組み合わせから、結果として同じ主張 (C) を捉えていると、これらの例から確認できた。

### c. 講座で構成した知識・概念 2

講座の最終段階で「数直線の切断や連続」について講義を行った。その段階で構成した知識・概念について、調査表の 4③で問うた。その結果が表 3 である。

表 3：調査表 4③の回答結果（要約）

回答③	条件 (D)	のとき/ ならば	主張 (C)	理由付け (W)	特徴
1	オ 数直線の切断を 考える	⇒	コ どこを切っても一つの数 があり、その数はどちら かの端点として出現する	すべての数は唯一つ存在し、その数 が数直線を構成するから	講義の前提2
2	オ	⇒	コ	すべての数は唯一つ存在し、その数 が数直線を構成するから	講義の前提2
3	オ	⇒	コ	異なるけれども、値としては同じ大き さをもつ数が存在するから	講義の前提1
4	オ	⇒	コ	異なるけれども、値としては同じ大き さをもつ数が存在するから	講義の前提1
5	タ 実数の直線がある	⇒	コ	すべての数は唯一つ存在し、その数 が数直線を構成するから	講義の前提2
6	シ 点、点からなる 直線がある	⇒	セ 有理数からなる 直線がある	稠密を考えることで 導くことができるから	条件と主張の共通性を指摘 ※類推的な発想
7	キ 数で埋め尽く されている	⇒	セ	稠密を考えることで 導くことができるから	間違った言明 逆なら正しい
8	セ 有理数からなる 直線がある	⇒	ウ 穴があく	稠密の特徴から	数学世界での議論
9	コ どこを切っても一つの数 があり、その数はどちら かの端点として出現する	⇒	サ どこを切っても一つの数 があり、その数は端点の いずれにも出現しない	どこを切っても数があるから	条件と主張が矛盾 (支離滅裂)
10	オ 数直線の切断を考える	⇒	ケ どこを切っても一つの数 があり、その数は両方の 端点に出現する	すべての数は唯一つ存在し、その数 が数直線を構成するから	間違った言明

表 3 にあるように、条件 (D)、主張 (C) とともに同じ推論が 10 個中 4 個 (6 人中 4 人) あった。この推論は、講座で講義した内容でも中心的なものであり、6 人中 4 人に意識されていたのは妥当に思える。ただし、講座ではその推論を支えるための理由としては前提を

2 つ確認し、その 2 つの前提の上でその推論を講義していたが、理由付け (D) として表されていたのは、4 人も 2 つの前提の内どちらか一方だけであった。

また、その 4 つの推論以外の他の 6 つは、主張 (C) が同じ回答③ 6 と 7 を除いて、条件 (D) と主張 (C) がすべて異なっており、同じコミュニケーション過程での学習にもかかわらず、学習者で構成され、強く認識している知識・概念は学習者ごとに異なることがここでも明らかとなった。

他にも、数学的な知識・概念かつ数学を一般の人よりも注力して学習してきた数学系の院生であるにもかかわらず、数学的に間違った言明であったり、理由付け (D) が類推的な説明に留まる弱い正当性で論証を表現していたり、そもそも条件 (D) と主張 (C) が矛盾していて言明自体が支離滅裂であったりした。数学的な知識・概念、そして、同一のコミュニケーション過程による学習であっても、各学習者が構成する知識・概念は客観的なものとは言えず、主観的で個人的なものであることが、論理的な主張のレイアウトによる記述で確認された。

## IV. まとめと今後の課題

数学の学習で得られた知識・概念を記述する枠組みを構築し、その枠組みを適用して、その枠組みの可能性を確認することが、本稿の研究目的であった。

トールミンモデルの構成要素について名称とその適用範囲を柔軟に修正することで、数学の学習過程において適用しやすくした「論理的な主張のレイアウト」を提案したことが成果の一つである。

「論理的な主張のレイアウト」を用いて数学の問題解決過程を分析したとき、数学の問題解決であるために、理想的には、条件 (D) は固定的、準客観的に共有され、そこから主張 (C) も固定的、準客観的に導出されると考えれば、「条件 (D) ⇒ 主張 (C)」の推論は同じ学習過程、同じコミュニケーション過程に参画する学習者たちにおいては同一のものと想定される。理由付け (W) においても、学習や解決の過程において集団の中で顕在化した根拠であれば、他者と共通となり準客観的な様相を持ちやすい。しかしながら、理由付け (W) には学習者自身の主導権が大いに存在し、他者と共有した理由だけでなく学習者自身によって理解された理由が理由付け (W) として採用される可能性もある。それ故、数学的な推論における論証におい

でも、理由付け (D) において学習者主体の様相が大きくなり、個人的で主観的な様相を呈する可能性をもつと説明できる。

実際、アンケート調査をして「論理的な主張のレイアウト」で構成した知識・概念を表現してもらったところ、次の特徴などが確認された。

- ・同じ講義・同じコミュニケーション過程でも、学習者が構成する「条件 (D)・理由付け (W)・主張 (C)」は大きく異なる。
- ・条件 (D) が同じでも理由付け (W) が違えば主張 (C) が変わり、理由付け (W) が異なることで主張 (C) が同じでも条件 (D) が異なることがある。

これらの特徴からもわかるように、数学的な知識や概念であっても、学習者の構成する概念は客観的に一致するものではなく、主観的で個別的であることがあらためて明らかとなるとともに、その個別性・主観性を「論理的な主張のレイアウト」を用いることで可視化されたことがもう一つの成果である。

今後の課題としては、この「論理的な主張のレイアウト」を授業にどう組み込むか、そして、数学は客観的な体系であるにもかかわらず、学習者が構成する知識は主観的で個別的であることが明らかになったことから、数学の知識や概念の「(準)客観性」をどのように学習者に獲得させるか、当初の構成した知識・概念の個別性・主観性を考慮しつつ、誤りを修正し他者と共通理解するしくみをどう意図的に工夫するかが問題である。言い換えれば、構成的な学習と数学の厳密性をどう両立させるかについて考察する。その際、学習者間の理解の差を埋め準客観的な知識・概念となりうるためコミュニケーションに、教師を含めすべての学習主体者がどのように当該の学習者に相互作用していくかの検討が必要と考えている。

加えて、本研究は6名の数学系大学院生を対象とした小規模調査であり、得られた知見を一般化するには慎重な検討も必要である。

その点を考慮したとき、まず調査対象の拡大と多様化が求められる。対象者数を増やし、学習背景や専攻の異なる学習者を含めることで、知識・概念の構成に見られた個別性が一般的傾向であるかを検証する必要がある。また、今回確認された条件 (D)・理由付け

(W)・主張 (C) の多様性が、既有知識や推論スタイル、メタ認知能力などの背景要因に由来する可能性がある。これらの要因を明らかにするため、事前テストや学習歴調査、インタビュー等を組み合わせた分析が今後の課題となる。

さらに、講座の進め方やコミュニケーション環境が結果に影響している可能性も否定できないため、別環境での再現性の検証が必要である。

以上の課題に取り組むことで、学習者が構成する数学的知識の主観性と個別性をより精緻に理解し、教育的支援のあり方を検討するための基盤が整うと考えられる。

#### 付記・謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP25K06150 の助成を受けたものである。

アンケート調査に協力してくれた大学院生6名のみなさまに感謝申し上げます。

#### 文献

- 福澤一吉 (2002) :『議論のレッスン』, 日本放送出版協会.
- 国立教育政策研究所 (2025), 『令和7年度全国学力・学習状況調査 解説資料 中学校数学』, 国立教育政策研究所教育課程研究センター.
- 戸田山和久 (2022) :『最新版 論文の教室』, NHK 出版.
- 渡部竜也 (2023) : 社会科におけるツールミンモデルの継承と課題, 東京学芸大学紀要人文社会科学系, 74, pp.53-82.

【巻末資料／アンケート調査票】

**「数学講座」受講アンケート**

現在、私は数学の知識・概念の構成・理解に関わる論拠研究に取り組んでいます。つきましては、本講座で得た考えについて、その納得の様子を教えてくださいたいと思います。  
 次のことをお約束しますので、問題がなければアンケートにご協力ください。※回答をもって、参加の同意を得たものとさせていただきます。  
 答えにくい質問があれば、次の質問に進んで構いません。そして、途中で止めても構いません。アンケートで、わからないことや心配なことがあれば、遠慮なく授業者に聞いてください。ご協力をよろしくお願いします。

[所用時間] 8分程度(見込み)

【プライバシー・ポリシー】

この調査では、みなさんのプライバシーを尊重し、個人情報取り扱いに十分配慮するとともに、入手した情報については適切に管理いたします。  
 ・集めた情報は統計的に処理することを基本とし、個人について言及することはありません。  
 ・個人情報が流出したり、個人が特定される形で情報を公開したりすることはありません。  
 ・研究終了後、この調査用紙はシュレッダにかけて廃棄いたします。

<問い合わせ先>  
 愛媛大学教育学部 吉村 直道 (数学教育学)  
 E-mail: [naomichi@ehime-u.ac.jp](mailto:naomichi@ehime-u.ac.jp)

【調査内容】

1 講座の内容や説明はわかりやすかったですか？ 5段階で評価し、 を記入してください。

1	2	3	4	5
わかりにくい				たいへんわかりやすい

2 講座の内容は面白い、興味ぶかいものでしたか？ 5段階評価。

1	2	3	4	5
面白くない				たいへん面白い

3 講座に参加した満足度はいかがでしたか？ 5段階評価。

1	2	3	4	5
不満				たいへん満足

[ウラ面があります]

② レジュメ見出し①と② この2つのブロックで最終的に得た知識・概念を、指定された構造で1つ以上2つまで教えてください。

語群

ア：9が限りなく続く0.999…と1がある	イ：9が限りなく続く0.999…と1がない
ウ：1の方が大きい	エ：0.999…と1は同じ
オ：1の方が小さい	カ：差を求めない
キ：差を求めない	ク：差が出ない
ケ：差が出る	コ：差があってもその差が十分に小さい
サ：数学的に同じ	シ：数学的に同じではない
ス：異なる	セ：異なる
ソ：同じとみなす	タ：同じとみなさない

回答1 ( ) ⇒ ( )  
 その根拠 \_\_\_\_\_

回答2 ( ) ⇒ ( )  
 その根拠 \_\_\_\_\_

③ レジュメ見出し④と⑤ この2つのブロックで最終的に得た知識・概念を、指定された構造で1つ以上2つまで教えてください。

語群

ア：数直線がある	イ：数直線がない	ウ：穴があく	エ：穴がない
オ：数直線の切断を考える	カ：数直線の切断を考えない	キ：数で埋め尽くされている	ク：数が存在しない所がある
ケ：数直線のどこを切っても一つの数があり、その数は両方の端点に出現する	コ：数直線のどこを切っても一つの数があり、その数はどちらかの端点として出現する	サ：数直線のどこを切っても一つの数があり、その数は端点のいずれにも出現しない	シ：点、点からなる直線がある
ス：点、点からなる直線がない	セ：分数で表される数からなる直線がある	ソ：分数で表される数からなる直線がない	タ：実数の直線がある
チ：実数の直線がない			

回答1 ( ) ⇒ ( )  
 その根拠 \_\_\_\_\_

回答2 ( ) ⇒ ( )  
 その根拠 \_\_\_\_\_

これで終了です、ありがとうございました。

4 この講座を受けてどんな知識・概念を理解したかを「条件 ⇒ 主張」の形式で問います。条件と主張については、自分で下記の語群から該当するものを自由を選んで回答するか、ふさわしいものがない場合は自由に記述して教えてください。同じ語を、同一の回答内や複数の質問・回答内で、条件と主張に繰り返し使っても構いません。  
 理由については、そう考える根拠を記述してください。  
 記号「⇒」は、「ならば」や「のとき」と、読みかえて判断してください。

【参考例】 語群：  
 ア ソクラテスは人間である    イ 人間はソクラテスである  
 ウ ソクラテスは死ぬ    エ ソクラテスは死なない

回答例 ( ア ) ⇒ ( ウ )  
 その根拠 人間は必ず死ぬから

レジュメの見出しごと、そのタイミングでどんな知識・概念を理解したかを問います。

① レジュメ見出し① このブロックで最終的に得た知識・概念を、指定された構造で1つ以上2つまで教えてください。

語群

ア：すき間や切断がない	イ：すき間や切断がある
ウ：つながっている／連続である	エ：つながっていない／連続でない
オ：点、点がある	カ：点、点がない

回答1 ( ) ⇒ ( )  
 その根拠 \_\_\_\_\_

回答2 ( ) ⇒ ( )  
 その根拠 \_\_\_\_\_

## 炭の多孔質構造に着目した教材開発と授業実践

Development and practice of teaching material focusing on the porous structure of charcoal

○福本愛姫<sup>\*1</sup>, 中野雅斗<sup>\*2</sup>, 向平和<sup>\*1</sup>

Fukumoto Aki<sup>\*1</sup>, Nakano Masato<sup>\*2</sup>, Muko Heiwa<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学教育学部, <sup>\*2</sup>愛媛大学大学院教育学研究科

**【要約】**本研究は、中学校理科において物質の構造と性質の関係を理解させることを目的に、炭の多孔質構造に着目した教材を開発し、その教育的有効性を検討した。簡易製炭実験、水溶液の浄化実験、気体の脱臭実験を組み合わせ、炭が液体・気体の両方に対して吸着作用を示すことを体験的に理解できる教材を構成した。これを中学生対象のノンフォーマル教育の場で実践し、生徒の発言やワークシートを分析した結果、多くの生徒が炭の働きを多孔質構造と関連付けて説明できるようになり、構造と機能の関係に基づいた理解が深まったことが確認された。また、学習内容を日常生活や環境・防災と結び付けて考える姿も見られた。一方で、多孔質構造の理解を補助する視覚的教材や、学習成果を定量的に評価する方法の充実が今後の課題として示された。

**【キーワード】**炭の多孔質構造, 吸着作用, 教材開発, ノンフォーマル教育

### I. はじめに

中学校理科においては、身近な自然現象や物質を科学的に捉え、観察・実験を通して理解を深めることが重視されている。しかし、物質の性質や構造といった内容は抽象的になりやすく、生徒にとって日常生活との繋がりを実感しにくいという課題がある。そのため、学習内容を生活経験と関連付け、具体的な事象を通して理解させる授業づくりが求められている。

炭は、浄水器や脱臭剤など、日常生活の様々な場面で利用されている身近な材料である。中学校理科においても、炭は燃料や物質の性質を扱う文脈で取り上げられることがあるが、炭が水や空気を浄化する理由について、構造と性質の関係に着目して学ぶ機会はずしも多くない。炭の浄化作用の背景には、炭が有する多孔質構造とそれに伴う高い吸着性が関係する。

炭を題材として構造と機能の関係を理解することは、中学校理科における物質の本質を学び、科学的な見方・考え方を育成する上で重要であると考えられる。そこで本研究では、中学校理科における学習内容を踏まえ、炭の多孔質構造に着目した教材を開発するとともに、その教材を用いた事業実践を行い、生徒の見方・考え方の変容について検討する。

### II. 研究の背景と目的, 方法

#### 1. 研究の背景

中学校理科では、物質の性質や変化を観察・実験を通して理解させることが求められる。だが、実験活動が操作の理解や結果の確認にとどまり、物質の構造と

性質との関係にまで十分に踏み込めていない場合も見られる。このような状況では、生徒が得た知識を別の現象に適用するのは困難であると考えられる。

炭を扱った学習においても同様の課題がある。炭は浄化や脱臭といった身近な用途を持つ材料であるが、その働きの理由について多孔質構造という観点から理解する学習は限定的である。炭の利用例の紹介までで、構造的特徴と吸着減少との関係を実験的に検討する機会は十分とは言えない。

また、炭の吸着性を扱った教材や授業実践の多くは水溶液または気体のいずれか一方かに焦点を当てており、異なる現象を関連付けて扱った実践は多くない。水中と空気中という異なる条件下で同一材料の性質を比較することは、物質の性質をより一般化して理解する上で有効であると考えられる。

中野(2024)の卒業論文では、愛媛県の製炭業に着目し、炭焼き体験や浄化実験を通して、ESDや環境問題と関連付けた教材開発および授業実践が行われている。地域資源としての炭の価値やカーボンニュートラルの考え方を扱う点において、炭を社会的・環境的文脈で位置づけた意義ある実践である。一方で、炭の性質については主として利用例の理解に重点が置かれており、炭の多孔質構造と吸着現象との関係を物質の科学的観点から系統的に扱う点については十分に検討されていない。

近年、多孔質材料は吸着や分離などの分野において重要性が高まり、その構造と機能の関係はノーベル賞を受賞した研究においても評価されている。このよう

な現代科学の視点に対し、学校理科では構造と性質を関連付けて理解する教材は必ずしも多くない。

そこで本研究では、身近な材料である炭を用い、生徒が物質の性質を一般化して捉えるとともに、現代科学につながる視点を中学校理科に導入することを目指す。

さらに、学校外の学習の場においても炭を用いた体験活動は行われているが、学校教育との接続を意識した教材設計や学習評価については十分に検討されていない。学校教育とノンフォーマル教育の双方で活用可能な教材の在り方を検討することには理科教育の充実という観点から意義がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、炭の多孔質構造に着目した教材を開発し、中学生を対象としたおもしろ理科教室において実践することで、その教育的有効性を検討することである。

また、本研究を通して、液相および気相といった異なる条件下において同一材料の性質を扱うことが生徒の物質観の形成にどのように寄与するのかを検討する。

## 3. 研究の方法

本研究は、炭の多孔質構造に着目した教材開発、授業実践、評価・考察の三段階で構成した。教材開発にあたっては、炭の多孔質構造と浄化作用との関係を生徒が体験的に理解できることを重視した。開発した教材は中学生3学年を対象とした理科の授業において実践した。授業は3時間構成とし、導入、実験活動、結果の整理、まとめの流れで行った。

水溶液の浄化を扱う教材として、炭を添加することで水溶液の状態が変化の様子を視覚的に確認できるようにし、炭の吸着性を観察できるように構成した。次に、小空間の脱臭を扱う教材として、水溶液の浄化での学習内容と関連付けながら、液体と気体の違いによらず同一材料が浄化作用を示すことを意識させるようにした。

授業実践における生徒の理解の変容を把握するため、授業中の発言、ワークシートの記述内容を分析対象とした。特に、炭の構造と浄化作用との関係についての記述に着目し、理解の深まりを質的に検討した。

## Ⅲ. 教材開発に向けた基礎的研究

### 1. 製炭方法の研究

#### a. 工業的製炭方法

工業的製炭方法とは、木材などの原料を酸素の供給を制限した条件下で加熱し、安定した品質の炭を大量に生産する方法である。近年では、温度や加熱時間を制御した製炭装置が用いられており、用途に応じた炭の製造が可能となっている。

工業的製炭方法では、原料の乾燥、熱分解、炭化といった工程が段階的に進行する。加熱温度や保持時間は製炭装置によって管理されており、水分や揮発性の成分などの除去、炭素含有量の増加が効率的に行われる。このような工程管理により、炭の品質が均一化せられる点に特徴がある。

工業的に製造された炭は、原材料の有機物が熱分解されることで内部に多数の細孔を有する多孔質構造を形成する。この構造により秘境面積が大きくなり、吸着性に優れた性質を示す。工業的製炭方法では、製造条件が一定に保たれるため、得られる炭の多孔質構造も比較的安定している。

このように、工業的製炭方法によって得られる炭は、多孔質構造と高い吸着性を安定して示す材料である。そのため、炭の性質と多孔質構造を扱う教材においても、再現性の高い実験結果が得られる点で有用である。本研究における教材開発では、このような工業的製炭方法による炭の特徴を踏まえ、生徒が炭の構造と性質との関係を理解しやすい実験材料として炭を用いることとした。

#### b. 簡易製炭実験

授業で実践可能な規模かつ室内で行うことができる簡易製炭の実験として、宮内(2014)試験管の中で割りばしを燃焼させる乾留の実験を参考にし、実施した。この実験は製炭の上で重要な密閉状態を作り出したうえで、炭化の過程を観察することができるという利点がある。

〈準備物〉

- ・スタンド ・試験管(大) ・ガラス管 ・ゴム管
- ・ガスバーナー ・マッチ ・炭材(割りばし)
- ・ペトリ皿

①割りばしを約2cmに切り、試験管の中に入れて図1のように設置する。

- ②ガスバーナーを点火し、割りばしのある試験管下部を熱する。この際、発生した液体が逆流することによる試験管の破損を防ぐために試験化の口を下に傾けて設置し、熱する。
- ③試験管から気体が発生しなくなったら、火を止めペトリ皿に中身を取り出す。この際に熱して熱くなっている試験管の取扱いに十分に注意する。



図 1 簡易製炭実験の様子

〈実験の結果と考察〉

本実験では木炭と木酢液が作成できた。試験管内の割りばしは加熱によって次第に黒色へと変化し、最終的には原形を保ったまま炭化した固体となった。加熱中には試験管内で白色の煙が発生し、試験管内の内側には液体が付着する様子が観察された。これらの気体の発生は加熱の進行とともに減少し、最終的にはほとんど確認されなくなった。

本実験では、密閉に近い状態で木材を加熱することで、燃焼ではなく乾留による炭化が起こすことができた。加熱中に観察された気体や液体は、木材中の有機物が熱分解される過程で生成した揮発成分であると考えられる。これらが放出され、炭素を主成分とする固体が残り、炭が生成されたと推察される。

本実験は、簡易な器具を用いながらも製炭に必要な「酸素を遮断した状態での加熱」という条件を視覚的に示すことができる点で、教材として有効であると考えられる。一方で、ガスバーナーや高温の試験管を扱う必要があるため、安全指導を十分に行うことが不可欠である。以上のことから、本実験は製炭の原理や炭の性質を簡潔に理解させる教材として適しており、後

続の炭の吸着実験へと発展させやすい構成であると考えられる。

## 2. 炭の性質の研究

### a. 炭の吸着性

炭は、古くから人々の生活の中で身近に利用されてきた材料である。例えば、飲料水の浄化、冷蔵庫や下駄箱における脱臭、室内空気の改善など、炭の性質を利用した製品は現在でも広く用いられている。このような用途に共通しているのは、炭が周囲の水や空気中に存在する物質を取り込み、環境を改善する働きを持つ点である。本節では、このような日常生活における炭の利用を踏まえ、炭が示す吸着性の原理について実験を行い、考察する。

### b. 炭の多孔質構造による水溶液の浄化実験

炭は水中の臭いや汚れなどの不純物を吸着するとともに、炭素繊維の間にいる微生物がそれらを分解することで、水を浄化する効果がある。そこで水質の浄化の変化を可視できるメチレンブルーを使った色素吸着の水溶液での浄化実験を行った。

〈準備物〉

- ・メチレンブルー水溶液 (0.001%) 50ml
- ・ろうと台
- ・ろうと
- ・乳鉢
- ・乳棒
- ・ビーカー
- ・ろ紙
- ・木炭 5g

- ①木炭 5g を乳鉢で砕き、メチレンブルー水溶液に入れる。
- ②時々軽く振って、5分間放置する。
- ③放置後、ろ過し、変化を観察する。

〈実験の結果と考察〉

以上の実験の結果は図2のようになった。炭の吸着効果によってメチレンブルー水溶液の色素を吸着し、溶液の着色が減少することが確認された。このことから、本実験は炭が水溶液の浄化に寄与していることを示唆できるといえる。炭によるメチレンブルーの除去は炭が有する多孔質構造と比表面積の大きさに起因すると考えられる。炭の表面や細孔内にメチレンブルーの分子が物理吸着されることで、水溶液中の色素濃度が低下したと推測される。

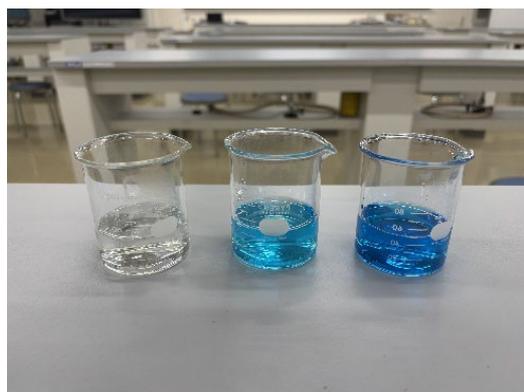


図 2 浄化実験の結果

一方で、本実験ではろ過操作にろ紙を使用しており、ろ紙自体によるメチレンブルーの僅かな吸着の可能性も考慮する必要がある。ろ紙は主成分がセルロースであり、表面に存在する水酸基などの影響により、メチレンブルーが弱く吸着される可能性がある。そのため、ろ過後の溶液の着色低下は、炭による吸着効果とろ紙による吸着効果の双方が寄与している可能性がある。しかし、炭を入れない条件と比較として、炭を入れた条件ではより顕著な着色の減少が観察されたことから、主な要因は炭による吸着であると考えられる。ろ紙による影響は補助的で、実験結果の本質を大きく左右するものではないと判断できる。

以上より、本実験において炭はエチレンブルー水溶液の浄化に有効であることが示された。一方で、ろ紙による吸着という要因も存在するため、ろ紙を用いない分離方法を用いることで、炭単独の吸着効果をより正確に評価できると考えられる。

### c. 炭の多孔質構造による小空間の脱臭実験

炭の多孔質構造による小空間の脱臭実験の検討にあたって、バークによるアンモニア吸着および脱臭特性に関する実験的研究(2)を参考にした。この研究では繊維構造かつ細孔を持つ天然多孔質構造である樹皮のバークが接触初期に急激なアンモニア濃度の低下をもたらし、高い吸着性能があることが示されている。アンモニアは極性分子であるため、多孔質材料に存在する微細孔内に拡散し、物理吸着されるのである。また、バークの有機成分との反応や微生物作用によって、吸着したアンモニアはアンモニア態窒素から亜硝酸や硝酸態窒素へと変換される。この研究から、バークと同様の多孔質材料である木炭においてもアンモニアの物理吸着が期待できるのではないかと推測し、木炭に置き換えてアンモニアの脱臭実験を検討した。バークに見られるアンモニアの硝化や脱窒といった

化学反応と微生物反応は木炭では期待できないと想定した。主として木炭表面の官能基との相互作用や細孔内の物理的固定によってアンモニアが除去されると考えられる。

本研究ではアンモニア水を使用し、簡易的な炭による小空間の脱臭実験を実施した。

〈準備物〉

- ・ 蓋付きの透明な容器
- ・ 木炭 (250 g)
- ・ アンモニア水 (0.08%)
- ・ 気体検知管
- ・ 気体採取器

①容器内にアンモニア水を滴下した小皿を設置し、その後 10 分間放置することで容器内

の小空間を気化したアンモニアで満たす。

②気体検知管で容器内のアンモニア濃度を測定し、その値をはじめの数値とする。

③2 分間隔でアンモニア濃度を測定し、濃度変化を調べる。

〈実験の結果と考察〉

以上の実験の結果が表 1、図 3 である。始めの 2 分でアンモニア濃度は半減し、その後も徐々に僅かではあるが、アンモニア濃度の低下が見られた。この結果から、木炭によるアンモニアの脱臭効果は比較的短時間で高い効果が得られることが明らかとなり、アンモニアが速やかに多孔質材料表面に吸着されることを示した。

表 1. 脱臭実験の結果

時間 [分]	濃度 [ppm]
0	50
2	23
4	19
6	18
8	16
15	14
20	12

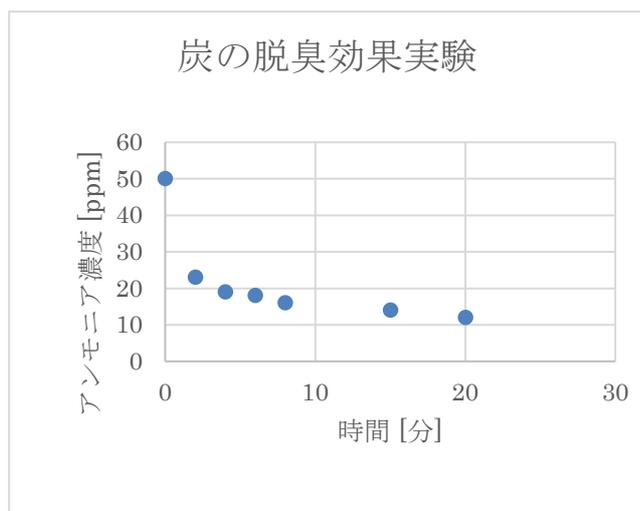


図 3. 脱臭実験の結果

### 3. 炭に着目した多孔質構造の教材の提案

本研究では、簡易製炭実験、水溶液中のメチレンブルーの浄化実験、ならびにアンモニアを用いた小空間の浄化実験を行った。これらの実験はいずれも対象や方法は異なるものの、炭が示す吸着性という共通の性質に基づいている。

簡易製炭実験により得られた炭は、木材の構造を保持したまま炭化しており、内部に多数の細孔を有する多孔質構造を形成していることを示した。水溶液および小空間の浄化実験では、この多孔質構造に由来する表面積の大きさが、物質の吸着に寄与していると考えられる。

以上の実験結果を踏まえ、本研究では炭の多孔質構造を中心概念とした教材の構成を提案する。本教材では、「炭はなぜ浄化できるのか」という問いを軸に、炭の生成から性質、利用へと学習を段階的に展開する。具体的には、製炭実験を通して炭の生成過程を理解させた後、水溶液および気体の浄化実験を行うことで、炭の多孔質構造が吸着性を生み出していることを実感的に理解させる構成とする。このように、異なる状態の物質に対する浄化作用を比較することで、炭の性質をより包括的に捉えることが可能となる。

本教材は、中学校理科における物質の性質や化学変化の学習内容と関連付けて扱うことができると考える。特に、物質の構造と性質の関係を考察する活動は、理科における思考力・判断力の育成につながる。

また、身近な材料である木材や炭を用いることで、日常生活との関連を意識した学習が可能となる点も特徴である。さらに、学校外においても炭は浄水器や

脱臭材などとして利用されており、本教材はノンフォーマル教育との接続も図りやすいと考えられる。

以上のことから、炭の多孔質構造に着目した本教材は、学校教育と日常生活、さらにはノンフォーマル教育をつなぐ教材として有効であるといえる。

## IV. 炭の多孔質構造に着目した教材開発の授業実践

### 1. 実施記録

炭の多孔質構造に着目した教材開発の有効性を検討するため、2025年11月22日に県内の中学生を対象とした「おもしろ理科教室」（参加人数14名、授業時間3時間）において教材の実践を行った。本授業は「炭のちから～においを消す秘密～」を単元名とし、炭の製造過程や性質を実験を通して理解させることを目的とした。

授業は実験活動を中心として構成し、炭の製造方法を扱う簡易製炭実験、炭の浄水効果を調べるメチレンブルー水溶液を用いた水溶液実験、ならびに炭の脱臭効果を調べるアンモニアを用いた気体実験の3段階で実施した。本授業のねらいは、第一に炭の作られ方や炭が持つ性質について、実験を通して理解を深めることである。第二に、実験結果をもとに炭の働きについて考察し、その内容を表現する力を育成することである。第三に、炭に関する学習を主体的に行うことで、身近な生活とのつながりを見出し、科学への興味・関心を高めることである。

3つの実験を通して、生徒が「炭の表面には小さな孔が多数存在する」「その孔によって表面積が大きくなり、物質を吸着する」という構造と機能の関係を理解できるよう教材を設計した。また、最終的には炭以外の多孔質材料として2025年のノーベル化学賞を受賞した金属有機構造体(MOF)を紹介することで、学習内容を現代科学や社会的課題と関連付け、学びの広がりを持たせることをねらいとした。

以下、授業実践の様子と教材の教育的効果について記載する。

#### 〈1. 簡易製炭実験〉

まず、炭の働きの根拠となる「多孔質構造」に着目し、炭の製造過程から性質の理解へと段階的につなげる教材構成を行った。まず、簡易製炭実験を通して、木材を空気の少ない状態で加熱することにより炭が生成される過程を観察させ、木(薪)との違いを明確にした。この実験により、炭が単なる黒い物質ではなく、

製造条件によって性質が変化する物質であることを理解させることをねらいとした。

授業の導入として、炭と木の違いについて問いかけ、現時点での生徒の炭に関する認識を確認した。下の表3が生徒の回答である。

表 2 生徒別の既有知識に関する回答

生徒A	炭は木を燃やしたもの。
生徒B	含む炭素の量の違い。炭の方が多く含んでいる。
生徒C	炭は一度焼いてそれを乾燥させているもの。
生徒D	薪が燃えたら炭になる。薪だけではなく、肉とかも燃えすぎたら炭になる。

表3より、多くの生徒が炭は一度加熱されているものだと認識していた。また、炭素の含有量に目を向け、成分の観点で炭と木の違いを捉えている生徒や製炭方法について部分的に知っている生徒がいた。そこで、木と炭の成分の違いを問いかけたところ、解凍は「木に含まれている余分な成分がなくなった」といった程度で具体的な名称までは出てこなかった。これらの生徒の既有知識をもとに簡易製炭実験を行い、結果を考察した。

・生徒A

**ワークシート①**  
炭を作ってみよう

**結果**



<結果>

- ・果物が腐った匂い
- ・軽い力で壊れる
- ・茶色の液体が出てきている(ネバネバ)

<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？  
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？

- ・燃やす前は硬いけれど燃やした後はポロポロ
- ・液体が出てきている(水分が出た？)
- ・手で潰すと炭が手につく

・生徒B

**ワークシート①**  
炭を作ってみよう

**結果**



<結果>

燃やすと割り箸から煙が発生し、黒く変化した。  
火を当てている場所の煙は黒っぽい但是当てていない場所は白っぽい。  
出してみると舌い臭い匂いの液体が出て来た。その液体は焦げた。

<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？  
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？

空气中で燃やすと火がついて燃えるなるが、この方法だと火はつかずに煙だけ出る。空气中だと液体は出ない。  
発生した液体は焦げるので水ではない。  
発生した物質と液体は少し香ばしいが臭い匂いがする。

・生徒C

**ワークシート①**  
炭を作ってみよう

**結果**



<結果>

燃やしていたときに白い気体と水ができていた。そして、燃やし終わったときにはほほ炭になった。燃やしたときにどろっとした液体が発生した。1つだけ燃えたところと燃えなかったところがあった。

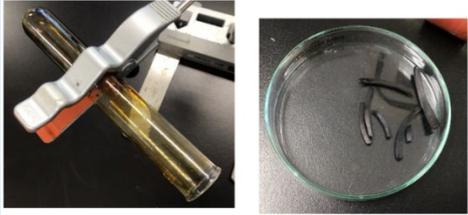
<考察> 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？  
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？

空气中で燃やした時は炎をあげてけむりを出して燃えるけれど、ガラス管で熱したときは炎はあがらず  
水ができて白いけむりを少しあげて燃えた。  
物を燃やしやすい成分を含んでいると思った。

・生徒 D

**ワークシート①**  
炭を作ってみよう

**結果**



**<結果>**  
気が燃え始めた時に発生した気体の臭いがキツかった。炭を作るとに発生した水分が油のようなものだった。空气中で燃やした時より、炭を作るときにできた煙の色が少し違っていました。普通に木を燃やした時より煙の量が少なかったです。

**<考察>** 空气中で燃やした時とどんな違いがあるだろう？  
発生した物質はどんな成分を含んでいるだろう？  
空气中で燃やした時と炭を作るときに燃やした時では、煙が少し違った。ので、燃やしたときに発生する気体のなかに含まれている成分が違うと思います。

図 4 生徒別結果考察シート

生徒からは「果物が腐ったような匂いのする液体が出てきた」「燃やす前は硬かった木片が、加熱後はボロボロになり、手が触ると黒くなった」といった観察が見られた。また、「煙が白っぽい」「空气中で燃やすと火が出るが、この方法では火はつかず、煙だけが出ている」といった発言から、通常の燃焼との違いに気づく様子が確認された。



図 5 簡易製炭実験の様子

さらに、発生した液体について「焦げたにおいがす

るため、水ではないと思う」「白い気体と液体が同時に発生している」といった意見が出され、複数の物質が生成されていることを捉えようとする姿が見られた。これらの観察の結果は、空気量を制限して加熱することで、木材が完全に燃焼せず、炭へと変化していく過程を理解する手がかりとなった。

実験後の考察では、空气中で燃焼させた場合との違いに着目し、「火が出ないこと」や「煙や液体が発生すること」を根拠として、炭がどのような条件で作られるのかについて整理する様子が見られた。

〈2. 炭の浄化実験〉

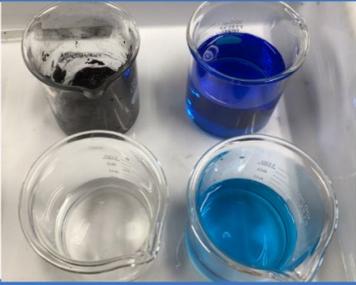
炭の浄水効果について、メチレンブルー水溶液を用いた実験を行った。実験では、炭を入れた条件と入れない条件を設定し、水溶液の変化を比較させた。水溶液の色の変化は視覚的に捉えやすく、炭が水中の物質を除去する働きを持つことを生徒が実感的に理解できる教材である。さらに、ろ過操作を伴う実験とすることで、中学校の授業で実践した技能を活かす機会とすることができると考えた。そして、単なるろ過との違いに気づかせ、炭特有の働きに意識を向けさせる工夫を行った。

炭の浄水実験を行い、生徒が記録、作成したワークシートが図5である。

・生徒 A

**ワークシート②**  
炭の浄水作用を調べよう

**結果**



**<結果>**  
炭を入れている方では、黒色から全く違う無色透明になりましたが、炭を入っていない方では、色が少し薄くなっただけでした。

**<考察>** 炭がどのようにして浄水したのだろう？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？

このような結果で、炭には汚い水をろ過して浄水することがわかりました。この炭を使って無人島などにある汚いお水も炭があれば綺麗なお水に変わると思いました。

・生徒 B

**ワークシート②**  
炭の浄水作用を調べよう

**結果**



<結果>

炭を入れたものは明らかに薄くなった

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろうか？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろうか？

炭が青い物質を吸収、または吸着した可能性が高い。

ろ過に使用した炭から、ろ過した物質を取り出せるのではないか。

炭には小さい穴が無数に空いていると聞いたことがある→それが関係？

・生徒 D

**ワークシート②**  
炭の浄水作用を調べよう

**結果**



<結果>

- 炭を入れたものは一番薄い水色になった。
- ろ過したメチレンブルー液はろ過をしていないものより青色が薄くなった。(ろ紙に色を吸い取られた?)

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろうか？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろうか？

- 断水の時に綺麗な水を作ることができる
- 混ぜて黒くなった時に色を吸収した？

・生徒 C

**ワークシート②**  
炭の浄水作用を調べよう

**結果**



<結果>

濾過していないもの	濃い青
濾過	青
濾過+炭	うすい青

<考察> 炭がどのようにして浄水したのだろうか？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろうか？

炭が汚れと結びついた？

図 6 結果・考察シート

実験結果について、生徒からは「炭を入れたものは明らかに色が薄くなった」「炭を入れたものは黒色から全く違う無色透明になったが、入れない方は色が少し薄くなっただけだった」といった発言が見られた。また、「少しろ過に色を吸い取られたのではないか」といった意見も出され、単なるろ過と炭の働きとの違いに目を向けようとする姿が確認された。



図 7 浄水実験の様子

考察の場面では、炭がどのようにして水を浄化したのかについて、生徒はさまざまな観点から考えを述べていた。「炭が汚れを結び付いたのではないか」「炭には浄水する力がある」といった意見に加え、「炭には小さな穴が無数にあいていると聞いたことがあり、それが関係しているのではないかと、炭の構造に着目し

た考察も見られた。

さらに、この炭のちからをどのように生活に活かすことができるかという問いに対しては、「断水の時にきれいな水を作ることができる」「無人島生活などで安全な水を確保する仕組みに関係していると思った」といった、日常生活や非常時を想定した発想が示された。また、「吸着した炭から、吸着した部室を取り出すことができるのではないかと。炭の再利用や機能の可逆性に関わる視点を持つ生徒もあり、炭の浄水効果を多面的に捉えようとする様子が見られた。

これらの考察から、生徒は水溶液の色の変化を根拠として、炭が水中の物質を吸着する働きを持つことに気づき、炭の構造と機能との関係について理解を深めていったと考えられる。

### ③. 炭の脱臭実験

炭の脱臭効果を扱うため、アンモニアを用いた気体実験を実施した。実験では、炭を用いた条件におけるアンモニア濃度の時間変化を測定し、空気中の物質に対する炭の働きを調べた。水溶液中だけでなく、気体中においても炭が物質を吸着することを数値の変化として捉えることで、炭の働きが特定の条件に限られたものではないことを理解させることを意図した。水溶液と気体という異なる対象を扱うことで、多孔質構造が持つ汎用性について考えさせることができると考えた。

以下、炭の脱臭実験を行い、生徒が記録、作成したワークシートが図7である。

・生徒A

**ワークシート③**  
炭の脱臭作用を調べよう

**結果**

時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	25%	4%	4%	1%

<結果>  
空気中の大気汚染やにおいも炭は浄化することができる。

<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろう？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？  
空気中の汚れやにおいも炭に吸着した。  
少しだけなら大気汚染も綺麗にできるかもしれない

・生徒B

**ワークシート③**  
炭の脱臭作用を調べよう

**結果**

時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	20	2	0	0

<結果>  
4分の時点でだんだんと減っていた。8分から0になった。

<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろう？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？  
炭に空いている小さな穴がアンモニアの匂いを吸収した

・生徒C

**ワークシート③**  
炭の脱臭作用を調べよう

**結果**

時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	25%	4%	4%	1%

<結果>  
炭を使うと21%程4分間の間に減り、アンモニアの濃度が非常に低く保たれた

<考察> 炭がどのようにして脱臭したのだろう？  
この炭の力をどのように活かすことができるだろう？  
出来る。ただし炭の一個単位には限界がある。

・生徒 D

**ワークシート③**  
炭の脱臭作用を調べよう

結果				
時間 (分)	0	4	8	12
アンモニア濃度 (%) 写真				
アンモニア濃度 (%)	35%ぐらい	5%未満	5%	5%
<b>&lt;結果&gt;</b>				
炭によってアンモニア濃度が下がった				
<b>&lt;考察&gt;</b> 炭がどのようにして脱臭したのだろうか？ この炭の力をどのように活かすことができるだろうか？				
炭は気体でも液体と同じように吸着することができる				
ガスマスクに利用できると考えられる				

図 8 結果・考察シート

実験結果について、生徒からは「空気中の汚染やにおいも炭は浄化できる」という発言が見られた。また、測定結果をもとに、「4分の時点でだんだんと濃度が減っていき、8分からは0になった」「炭を使うと、4分間で濃度は2.1%減り、アンモニアの濃度が非常に低く保たれた」といったように、数値の変化を根拠として結果を捉える様子が確認された。これらの発言から、生徒が時間の経過と濃度変化の関係を意識しながら実験結果を整理していることがうかがえた。



図 9 脱臭実験の様子

考察の場面では、炭がどのようにして脱臭したのかについて、「炭は気体でも液体と同じように吸着する

ことができる」「炭に空いている小さな穴がアンモニアの臭いを吸着した」といった意見が出され、浄水実験での学びを踏まえて、吸着作用の共通の仕組みとして捉えようとする姿が見られた。

また、この炭のちからをどのように活かすことができるかという問いに対しては、「ガスマスクに利用できると考えられる」「少しだけなら大気汚染もきれいに行えるかもしれない」といった応用に関する発想が示されていた。一方で、「脱臭はできるが、炭の一個単位には限界がある」といった意見も見られ、炭の働きの有効性だけでなく、量や条件による制約に目を向ける様子も確認された。

これらの考察から、生徒は炭が気体中の物質に対しても吸着作用を示すことを理解し、水溶液実験との共通点を見出しながら、炭の多孔質構造と脱臭効果との関係について理解を深めていったと考えられる。

## V. おわりに

### 1. 多孔質構造の教材としての効果

本授業実践を通して、炭の多孔質構造に着目した教材は、生徒が炭の働きを構造と機能の関係から理解する上で有効であったと考えられる。簡易製炭実験、浄水実験、脱臭実験を段階的に行うことで、生徒は炭がどのように作られ、どのような性質を持ち、その性質がどのような場面で発揮されるのかを一連の流れとして捉えることができた。

成果の一つとして、実験結果を根拠として考察しようとする姿が多く見られた点が挙げられる。簡易製炭実験では、煙や液体の発生、木片の状態変化といった観察結果から、空気の量によって燃焼の仕方が異なることに気づく生徒が見られた。浄水実験では、炭を用いた条件と用いない条件を比較し、色の変化の違いから炭の働きを説明しようとする姿が確認された。さらに脱臭実験では、アンモニア濃度の数値変化を根拠として、炭が気体中の物質にも作用することを捉える生徒が見られた。このように、観察や測定結果をもとに考察を行う活動を通して、科学的に考える力の育成につながったと考えられる。

また、多くの生徒が炭の働きを「吸着」という共通の仕組みで説明しようとし、水溶液と気体という異なる対象に対しても、同じ構造が機能していることに気づいていた点は重要な成果である。特に、「炭には小さな穴が無数にあいている」「その穴が汚れやにおいを取

り込む」といった発言から、多孔質構造と炭の性質とを結びつけて理解している様子が見られた。

さらに、生徒は炭に働きを日常生活や非常時の場面に結びつけて考えており、断水時の浄水や脱臭剤、ガスマスク、大気汚染対策など、炭の活用可能性について主体的に発想する姿が見られた。このことから、本教材は理科の学習内容を生活や社会と関連付ける点においても有効であったと考えられる。

一方で、課題も明らかとなった。多孔質構造そのものは目に見えないため、生徒によっては理解が概念的な説明にとどまる場面も見られた。そのため、図や模式、拡大図などの視覚的な教材を併用することで、より具体的な理解を促す必要があると考えられる。また、脱臭実験においては、「炭の量には限界がある」といった意見も見られたことから、条件を変えた追加実験を行うことで、炭の働きの限界や条件依存性について、より深い理解につなげる余地がある。

以上のことから、炭の多孔質構造に着目した本授業実践は、生徒が炭の性質を暗記的に学ぶのではなく構造と機能の関係から理解することを可能にする教材であったといえる。今後は、教材の改良や実験条件の工夫を通して、より一層理解を深める授業実践へと発展させていくことが課題である。

## 2. 炭に関する意識や知識の変化

本授業を通じて、生徒の炭に対する意識や知識には大きな変化が見られた。授業前の炭に対するイメージは「バーベキューで使うもの」「燃料」「消臭剤として使われているもの」など、生活の中で断片的に触れている知識にとどまっていた。しかし、簡易製炭実験、浄水実験、気体の脱臭実験という一連の体験的な学習を通して、炭の働きを構造的・化学的に捉え直す姿が多くの子に見られるようになった。

授業後のワークシートには、「炭には小さな穴が無数にあいていて、そこに粒子やにおいがくっつくことで、水や空気をきれいにできる」「多孔質構造によって液体や気体中の汚れを吸着できる物質である」といった記述が多く見られ、炭の性質を“多孔質構造”と関連付けて理解していることがうかがえた。これは、単なる結果の理解にとどまらず、現象の背後にある仕組みへと生徒の思考が発展していることを示している。

また、「断水時にきれいな水を作ることができる」「無人島生活や災害時に役立つ」「ガスマスクや消臭

剤に使える理由が分かった」など、炭の働きを日常生活や災害対策、環境問題と結びつけて捉える記述も多く見られた。これらの記述から、生徒が炭を単なる実験材料としてではなく、社会や生活と深く関わる有用な材料として認識するようになったことが分かる。

さらに、「教科書には載っていないことを実験で確かめられた」「学校の理科ではここまで深堀しない内容で楽しかった」「実験が多く、他の生徒と意見を比べながら考えられた」といった感想からは、体験を重視した授業構成が生徒の主体的な学びや探究心を高めたことが示唆される。炭という身近でありながら奥深い教材を用いたことで、「自分で確かめ、考え、生活と結びつける教科」として捉え直すきっかけとなったと考えられる。

以上より、本授業実践は、生徒の炭に対する理解を表面的な知識から科学的・構造的な理解へと深化させるとともに、環境問題や防災、日常生活との関連を意識させる点で有効であったといえる。

## 3. 授業実践を踏まえたノンフォーマル教育の教育的効果と検討

今回、学校教育の枠組みの中で行われる教育とは異なる「おもしろ理科教室」というノンフォーマル教育の場で授業実践を実施した。ノンフォーマル教育は、学習指導要領に厳密に縛られない柔軟な学習形態をとることができ、学習者の興味・関心や主体性を重視した学びを実現しやすいという特性を持つ。本研究においても、この特性を活かした授業構成が、生徒の理解や学習意欲に影響を与えたと考えられる。

まず、教育的効果の一つとして体験的な学習を十分に確保できた点が挙げられる。本授業では、簡易製炭実験、浄水実験、脱臭実験の三つの実験を連続して行い、生徒が自ら観察・操作・考察を行う時間を多く設定した。ワークシートの記述には、「学校の授業ではここまで深く実験を行うことができない」「教科書に載っていない内容を実験で確かめることができた」といった感想が多く見られ、十分な実験時間の確保が、生徒の理解の深まりや満足感につながったことが推測される。

次に、学習内容と生活や社会との結び付けが容易であった点も、ノンフォーマル教育ならではの効果である。炭の浄水・脱臭効果を、断水時の水の確保や災害対応、消臭剤、環境問題と関連付けて扱うことで、生徒は学習内容を自分事として捉えるようになった。ワー

クシートには、「災害時に役立つ」「環境問題に関係している」「家で使っている消臭用の炭の仕組みが分かった」といった記述が見られ、理科の学習が生活や社会と直結していることを実感している様子が確認された。

また、学校や学年の異なる生徒が協力して学習に取り組む環境も、学習に肯定的な影響を与えたと考えられる。生徒同士が意見を比較したり、異なる視点に触れたりする中で、自身の考えを再構築したり、理解を深めたりする姿が見られた。このような学び合いの場は、固定された学級集団では得にくい経験であり、ノンフォーマル教育の場ならではの価値である。

一方で、ノンフォーマル教育としての課題も考えられる。自由度が高い反面、学習内容や到達度の評価が難しく、学びの成果をどのように可視化するかという点には検討の余地がある。また、時間を十分に確保できる一方で、内容が高度になりすぎると、生徒によって理解に差が生じる可能性もある。そのため、学習内容の段階性や補助資料の工夫など、理解を支える支援の在り方については今後の課題である。

以上のことから、本授業実践は、ノンフォーマル教育の特性を活かすことで、生徒の主体的な学びや科学への興味・関心を高め、理科の学習を生活や社会と結び付ける上で高い教育的効果をもつことが示唆された。今後は、学校教育との接続を意識しながら、ノンフォーマル教育の強みを理科教育にどのように取り入れていくかを検討していく必要があると考える。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では、炭の多孔質構造に着目した教材開発、ノンフォーマル教育の場における授業実践、その教育的効果についての検討をし、論じた。簡易製炭実験、浄水実験、脱臭実験を通して、生徒は炭の働きを結果として捉えるだけでなく、その背景にある構造や仕組みを考察する姿を見せた。特に、多孔質構造と吸着作用を関連付けて理解しようとする記述が多く見られ、構造と機能を結び付けた学習が促進されたといえる。

また、炭の性質を日常生活や災害対策、環境問題と関連付けて捉える生徒の姿から、本教材が理科の学習を社会や生活と結び付ける点で有効であり、さらにノンフォーマル教育の特性を活かし、十分な実験時間や自由な意見交換の場を確保したことが、生徒の主体的な学びや科学への興味・関心を高める要因となった。

一方で、本研究は限られた時間と条件のもとで行われた実践であり、学習成果を定量的に評価する点には課題が残る。今後は、理解度調査や事前・事後比較を取り入れることで、教材の有効性をより客観的に検証する必要がある。また、多孔質構造をより直感的に理解させるためのモデル教材や視覚的資料の充実も検討課題である。

以上より、炭の多孔質構造に着目した本教材は、生徒の科学的理解を深めるとともに、理科を生活や社会と結び付ける学習を実現する教材として、今後の理科教育において活用可能性の高いものであると結論づけられる。

#### 付記

「おもしろ理科教室」において本実践に参加してくれた生徒の皆さん、ならびに実施にあたりご協力いただいた関係者の皆様にも、厚く御礼申し上げます。

最後に、所属研究室の皆様には、多岐にわたるご助言、ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

本報告は中野（2024）および福本（2026）を総合して加筆・修正して発表している。

#### 文献

- 福本愛姫（2026）：炭の多孔質構造に着目した教材開発と授業実践，愛媛大学教育学部令和7年度卒業論文。
- 樋口隆哉（2008）：パークによるアンモニア吸着および脱臭特性に関する実験的研究，におい・かおり環境学会誌，39巻，1号，p17-23。
- 宮内卓也（2014）：閉鎖系における木炭の燃焼，化学と教育，62巻，6号，p292-293。
- 中野雅斗（2024）：ESDに資する炭づくりを中心とした市域教材の開発，愛媛大学教育学部令和5年度卒業論文。

## 生成 AI を活用した授業開発能力の熟達過程に関する実践的研究

### - 数学教師志望大学院生と生成 AI との協働プロセスの分析 -

#### A Practical Study on Enhancing Expertise in Mathematics Lesson Design via Generative AI: Analyzing the Interaction Processes of Preservice Teachers

○信夫智彰<sup>\*1</sup>, 吉村直道<sup>\*1</sup>, 安部利之<sup>\*1</sup>, 園田直之<sup>\*2</sup>, 高光宗正<sup>\*2</sup>, 鶴原さや<sup>\*2</sup>

林奈都美<sup>\*2</sup>, 久竹翔子<sup>\*2</sup>, 山内淳史<sup>\*2</sup>, 山本彩加<sup>\*2</sup>, 和田海都<sup>\*2</sup>

SHINOBU Tomoaki<sup>\*1</sup>, YOSHIMURA Naomichi<sup>\*1</sup>, ABE Toshiyuki<sup>\*1</sup>, SONODA Naoyuki<sup>\*2</sup>,  
TAKAMITSU Hiromasa<sup>\*2</sup>, TSURUHARA Saya<sup>\*2</sup>, HAYASHI Natsumi<sup>\*2</sup>, HISATAKE Shoko<sup>\*2</sup>,  
YAMAUCHI Atsushi<sup>\*2</sup>, YAMAMOTO Ayaka<sup>\*2</sup>, WADA Kaito<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学教育学部, <sup>\*2</sup>愛媛大学大学院教育学研究科

<sup>\*1</sup>Faculty of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup>Graduate School of Education, Ehime University

**[要約]** 本研究は、数学科の授業開発において、教師志望の大学院生が生成 AI といかに協働し、その過程で自身の授業開発能力をどのように変容させていくのかを明らかにすることを目的とした実践研究である。実践として数学教師志望大学院生を対象に「生成 AI を活用した授業開発」をテーマとした 1 年間の継続的な演習プログラムを実施した。プロンプトの質的・量的な変容、および学生自身の省察を分析した結果、①学生は新規性の高い教材と、数学教育が目指す理念の実現を目指した内容が含まれた授業を開発しており、高度な授業開発能力を醸成する機会になっていた。②プロンプトは質量ともに大きく変容しており、実践の後半では教師としての働きかけや指導意図を提示し、授業構成を練り上げるための「共創のパートナー」として活用し始めていた。③生成 AI との対話が教師の省察、探究を生む契機となり、これが授業開発能力の背景になっていたことが示唆された。

**[キーワード]** 生成 AI, 授業開発, 数学教育, プロンプト分析

### I. 課題の所在と研究の目的

本研究は、「生成 AI を活用した授業開発能力」の熟達過程について調査することを目的とした実践研究である。数学教師志望大学院生を対象に生成 AI を活用した数学の授業開発の講義、演習を 1 年間行い、開発された授業案と生成 AI との協働プロセスの変化に注目して、その成果を報告する。

生成 AI の台頭は、教育現場における「道具の導入」に留まらず、教師の専門的実践である「授業開発・教材研究」の在り方そのものに変容を迫っている。従来の教材研究は、教科書や先行事例を基盤とした教師個人の経験知やリサーチに依存してきた。しかし、生成 AI との対話は、教師の思考を拡張し既存の枠組みを超えた教材案や授業構成を生成することを可能にした。これにより、教師には「生成 AI を操作する」技術以上に、自身の数学的専門性と生成 AI の生成能力を掛け合わせ、より高度な学びを設計する「生成 AI と協働する力」が新たな専門性として求められている (Mishra & Warr, 2023)。

一方、そのような生成 AI と協働する力を高めるた

めには生成 AI との「対話スキル」「プロンプト設計能力」の向上が必要である。例えば文部科学省の初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン(2023)でも、児童生徒の生成 AI の利活用場面の 1 つとして、「使い方を学ぶ場面 (より良い回答を引き出すための生成 AI との対話スキル, ファクトチェックの方法等)」が挙げられている(p.17)。特に授業開発のような専門的業務においては、一般的な生成 AI 利用に必要なとされる以上の高度な対話スキルが求められる。数学教育において、授業開発は数学的本質の抽出と生徒の認知プロセスの調整を伴う高度に創造的な営みであり、教科内容、学習指導要領の意図、学級の実態、学習者の反応の予測といった複合的な文脈を適切に生成 AI へ提供し、出力を批判的に評価・再構成する能力が不可欠となる。さらに、教師が有する専門的知識や暗黙知に基づく判断を精緻に言語化しプロンプトとして設計する能力を要する。また、生成 AI が提示する案は必ずしも学習者の実態や教育課程の整合性に適合するとは限らず、教師が取捨選択し、授業の素材として再構成する力も求められる。

このように授業開発における生成 AI 活用場面に必要とされる対話スキルはより高度で専門的な能力として捉える必要がある。生成 AI を活用した授業開発が今後のスタンダードになることが想定される中で、教員養成課程において生成 AI を活用した授業開発能力の育成を図ること、その熟達過程について調査することは喫緊の課題である。

教員養成課程における生成 AI 利用の熟達化に関する実践、研究として、例えば中西 (2025) は、教職大学院における授業実践の中で生成 AI (ChatGPT など) を活用し、その教育効果を検証した。特に、生成 AI の「利用想定」、すなわちどのような使い方を前提として演習を設計するかの違いに着目し習成果や学習者の理解・行動への影響を比較している点に特徴がある。また、堤 (2023) は、教員養成学部の学生を対象に生成 AI を活用した授業実践を行い、その仕組みや安全で効果的な利用方法の学習をした後、教員における活用可能性についての議論をおこない、学生が校務における情報収集や文書等の作成、授業準備等に生成 AI の活用を見出したことを示している。

それに対し本実践は「生成 AI を数学の授業開発に活用する力」の習得に留まらず、数学教師が「自身の専門性と AI をいかに融合させ、既存の枠組みを超えた授業開発を行うか」という、高度な専門職教育に踏み込んだプログラムである。大学における生成 AI 利用に関する、実践、研究は盛んに行われている一方で、生成 AI を活用した授業開発能力を対象とする実践、熟達過程の調査は限定的である。

そこで本研究では、数学教師志望大学院生を対象に「生成 AI を活用した授業開発」をテーマとした 1 年間の継続的な講義、演習プログラムを実施し、生成 AI を活用した授業開発能力の熟達過程について調査する。開発された授業案と生成 AI との協働プロセスの変化に注目して、その成果を報告する。

## II. 研究の方法

### 1. 実践の方法

本実践は、数学教師志望大学院生 8 名(すべて筆者、学生 A,B,C,D,E,F,G,H)と大学教員 3 名(すべて筆者)の計 11 名で 1 年間にわたり実施する。実践は大学院開講科目「教科指導力高度化演習 基礎」「教科指導力高度化演習 発展」の中で行われる。講義の目的は生成 AI を活用した授業開発を通して、教科指導力、授業構想

力を高めることである。開発する授業のテーマは全体で統一し、1 年間で 4 つのテーマに取り組む。週 1 回の頻度で学生が作成した成果物や授業案を全体で共有し、生成 AI との対話過程を振り返りながら次週に向けた改善点を協議する。使用する生成 AI は ChatGPT(Open AI 社)である。

年間の教材研究は 4 つのテーマで構成する。第 1 テーマ (4 月 30 日～6 月 2 日) は「欠落角の二等分線」(図 1)である。欠落角とは「角の頂点付近が欠けている角」を指し、その二等分線の作図方法は一通りに定まらず複数考えられる点に数学的な広がりがある。本テーマは当該内容の授業実践経験をもつ大学教員から提示され、学生各自が作図方法を構想・共有した後、2～3 名の 3 グループに分かれて授業案を生成 AI と対話しながら作成する。なお、本テーマのみグループで授業案を作成し、協働的に生成 AI を活用する過程を検討の対象とした。

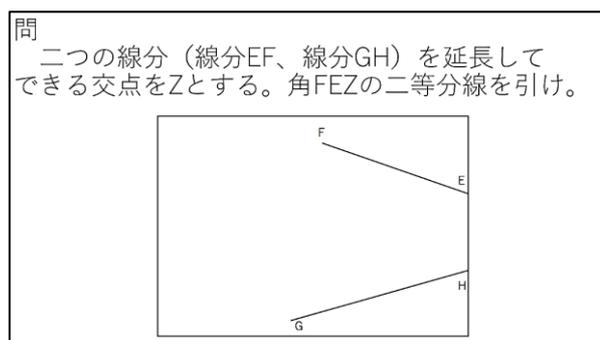


図 1 欠落角の二等分線の問題

第 2 テーマ (6 月 3 日～7 月 7 日) は「相加平均・相乗平均・調和平均」である。「往路 100km/h、復路 50km/h のときの平均の速さ」という問題を出発点に、3 つの平均の意味や適用場面の違いを生成 AI と対話しながら検討する。平均の図示や大小関係の可視化、等比関係に着目した比較方法などを探究する。

第 3 テーマ (7 月 8 日～11 月 17 日) は「素数」である。4 桁の自然数が素数かどうかの判定や、ある素数が何番目の素数であるかを特定する方法を扱う授業案を構想する。素数は「1 より大きい自然数で、1 とその数以外に正の約数をもたない数」と定義し、1 番目の素数は 2 とする。高校生を対象とし、個人で授業案を作成する。

第 4 テーマ (11 月 18 日～12 月 15 日) は自由課題である。各自が題材を設定し、生成 AI を活用して教材研究および授業案作成を行う。学校種や分野に制限

は設けず、関心のある領域、教材を用いて授業開発をする。

具体的な活動は、①テーマ提示、②生成AIとの対話による教材研究、③授業案の作成、④成果物(授業案)と対話履歴の共有、⑤教員や学生による協議、助言、⑥改善の手順で行う。授業開発は講義以外の時間に各自で行い、講義の時間では④成果物と対話履歴の共有、⑤教員や学生による協議、助言を中心に行う。

生成AIの活用についての基本的な講義は最初の段階で大学教員から行うが、授業開発場面におけるプロンプト設計は大学院生が個々に行い、自分で設計する。同一テーマでは1つのスレッドで対話を継続し、活動終了後に対話履歴を保存する。

## 2. 分析の方法

本実践の教育効果を検証するために、授業案、生成AIとの対話履歴、振り返り記述をデータとして分析を行う。具体的に、以下のa~dの4つのアプローチによる分析を行う。

### a. 授業案の分析

まず、成果物である授業案の質的評価を行う。ここでは、教材、テーマの新規性や、数学教育として目指すべき理念が授業にどのように反映されているかに

ついて分析する。

### b. プロンプトの比較分析(質的分析)

第1テーマ時と第4テーマ時におけるプロンプトの比較分析を行い、プロンプト設計傾向の変化や生成AIに対する認識の変化を抽出する。

### c. MSPT分析

プロンプトの量的な比較分析を行うために筆者が考案した「MSPT分析」を行う。MSPT分析とは、プロンプトを授業設計のM:教材、S:生徒、P:目的・目標、T:教師、の4つの軸で分類する枠組みである。そのコーディング規則は表1の通りである。プロンプトによっては重複するものも出現するが、基本的に1つのプロンプトに1つのコードを付与する。コーディングは①生成AI(ChatGPT)によるコーディング、②筆者ら2名(大学教員とプロンプト設計者本人)によるチェック、の順に行う。

本実践の第1~第4テーマにおける各学生の活動の中で、プロンプトの回数、文字数、平均、およびMSPT各カテゴリの構成割合がどのように推移したかを算出する。これにより、学生が生成AIとの対話において「数学の専門性(M)」と「教育的配慮(S,P,T)」をいかに統合させ授業設計へと至ったのかを量的に分析する。

表1 MSPT分析コーディング規則

観点(Code)	定義・運用基準	判定のためのキーワード・文脈例
M: 教材	「教える内容・素材」に関する記述 ・具体的な問題, 単元名, 用語の定義 ・資料(PDF), 図形, 数式	・「2次関数の問題を作って」 ・「PDFの資料を読んで」 ・「この図形において...」
S: 生徒	「学習者の実態・内面」に関する記述 ・既有知識, 誤答の傾向, つまずき ・興味・関心, 意欲, 感情(楽しむ等) ・認知プロセス(どう考えるか)	・「数学が苦手な生徒にはどう?」 ・「ここは生徒が退屈しそうだ」 ・「まだ証明を習っていない生徒」 ・「自力では解けない子がいる」
P: 目的 目標	「授業のねらい・価値」に関する記述 ・育成する資質・能力 ・授業の意義 ・本時の目標, 評価基準	・「論証の意義を感じさせたい」 ・「指導要領のねらいに沿って」 ・「思考力を育てたい」 ・「この活動の目的は...」
T: 教師	「教師の意図的行為」に関する記述 ・発問(問いかけ), 指示, 説明 ・授業展開の工夫, 時間の使い ・机間指導, グループ分け, 支援方法	・「ここでどのような発問をすべき?」 ・「グループワークの時間をどう取るか」 ・「教師がどこまで介入すべきか」 ・「板書の構成は...」

### d. 振り返り記述の分析

最後に学生による振り返り記述から、生成AI活用

方法やその熟達化に関すること、および授業開発に関する自己認識を把握する。

### III. 結果

#### 1. 開発された授業

第1テーマでは、中学校第2学年「図形の性質」における「欠落角の二等分線」の作図をテーマとした授業を開発した。例えば、ひし形の性質を活用した作図課題の解決と、試行錯誤を通じた粘り強い態度の育成に重点を置いた授業案では、導入において詳細な作図手順を提示せず、生徒が既習の性質を想起し、多様な補助線を模索するプロセスを重視した授業が開発された。授業中の活動としてグループ交流での比較検討を行い、解法の多様性への気づきと思考の深化を企図したものが取り入れられていた。また、作図の正当性に関する論理的な証明と説明能力の向上を主眼とした授業案では、既に見出された作図法に対し、合同条件や三角形の五心の性質等の数学的根拠を用いた証明を課し、その過程を言語化させる授業が開発された。

第2テーマでは、相加平均、相乗平均、調和平均をテーマとする授業の開発を行った。多くの授業案で、「平均時速」の問題を導入に用い、単純な算術平均の適用が不適切な場面を示すことで学習者の動機付けを図っていた。例えば、幾何学的探究と数理的抽象化に重点を置く授業案では、相似や方べきの定理を用いた各平均の図示や、座標と三角関数による幾何的性質の証明を試みていた。

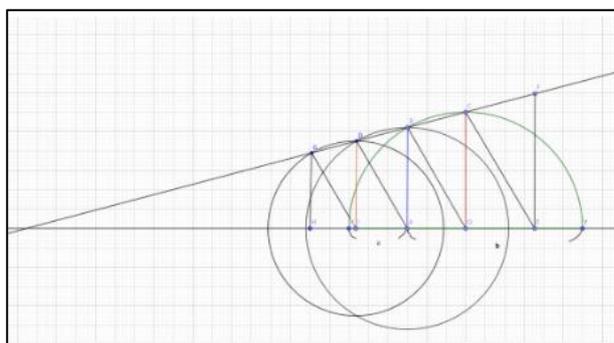


図2 各平均の図示

さらに、ヘルダー平均による概念の一般化や等比数列の公比としての考察など、高度な数学的背景への深掘りがされていた。また、指導の構造化と応用の広範さに特徴がある授業案も作成された。成長率や作業効率等の実社会への適用や、積分を用いた関数の平均やルベーグ積分への拡張など、多角的な視点から授業が

検討された。

第3テーマでは高校生を対象とした素数の性質や探究学習をテーマとする一連の授業案を作成した。エラトステネスのふるいや、平方根を用いた効率的な判定法を段階的に指導する授業が開発された。素数の規則性について、双子素数や等差数列の探索、素数生成式の検証をテーマにし素数の分布や間隔の変化、双子素数等の未解決問題について考察する授業が開発された。合同式による論証や Python を用いた検証を導入している授業もあった。また、発展的内容として、メルセンヌ素数やグリーン・タオの定理も紹介、フェルマーの小定理に基づく RSA 暗号の仕組みを体験的に学習する授業も考案された。

第4テーマでは個人でテーマを決め、授業案を作成した。最終的に作成された授業は以下の通り。

- ・群数列の規則性の探究

規則的に並ぶ数列を「群」というまとまりで捉える授業。数列をピラミッド状に並べるなどの視覚化を通じ、第  $n$  群の初項や項数の規則性を発見します。既習の公式を利活用して問題を解決する力を養う。

- ・互除法の試行回数とフィボナッチ数列

ユークリッドの互除法で計算回数が最大になる2桁のペアを探究する。商が1続きになる時に回数が増える構造に気づかせ、フィボナッチ数列との深い繋がりを、Python 等の可視化ツールを用いて多面的に理解する活動を仕組む。

- ・複素数係数における解と係数の関係

実数係数では共役な複素数解を持つ二次方程式を、複素数係数まで拡張して考察する。係数に変化しても解と係数の関係が成り立つ普遍性を検証し、判別式が使えない等の条件変化を深く探究する構成となっている。

- ・方程式と比例式の解法の選択

コーヒー牛乳の濃度問題などを題材に、方程式と比例式の両面からアプローチする授業。複数の解法を比較し、問題の特徴や自分にとっての計算のしやすさに合わせて、最適な解決方法を主体的に判断する力を養うことを目指す。

- ・三次関数の係数とグラフの形状

三次関数の係数  $a, b, c, d$  がグラフに与える影響を、ソフトを用いて探究する。 $a$  は端の振る舞い、 $b$  は変曲点、 $c$  は極値、 $d$  は上下移動に対応することを、微分や二次関数の知識と結びつけて視覚的に理解する。

・関数の成長と大小関係の比較

指数・対数・多項式関数の大きさを比較し、交点の位置を推測する授業。式で解けない問題に対し、二分法や微分法を用いて交点の範囲を絞り込み、関数の増減や極限の視点から論理的に説明する手法を考える。

・パスタ本数の数理モデル化

重さからパスタの本数を予測するため、密度や形状に仮定を立てて数理モデルを構築する授業。実測値との「ズレ」を分析し、太さの二乗（断面積）に比例する改良モデルへと洗練させるモデリングのサイクルを体験する。

・4集合のベン図の作成と再定義

円では4つの集合（16領域）を描ききれないことを自力で発見させる授業です。ベン図を「 $2^n$ の領域を区別できる図」と再定義し、円以外の図形を用いて、情報の分類に適した表現方法や見やすさを数学的に探究する。

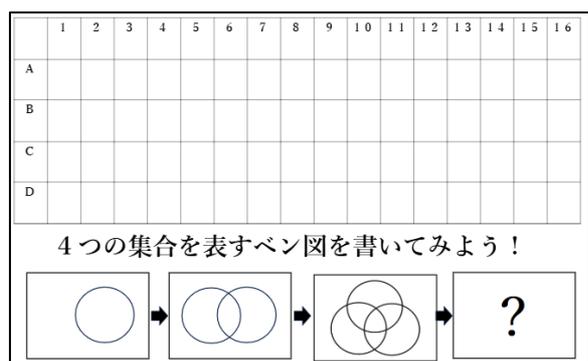


図3 4集合のベン図の授業のワークシート案

2. プロンプトの事例

プロンプトの事例として、2名の学生(学生Aと学生C)の第1テーマ1と第4テーマにおけるプロンプト事例(抜粋)を以下に示す。

(学生A, 第1テーマ)

- ・角の二等分線の作図方法は？
- ・交点が分からない角の二等分線の作図方法は？
- ・図を見せてください
- ・他の作図方法はありますか？
- ・数学の指導案作りをお願いします。

(学生A, 第4テーマ)

- ・3つのベン図は教科書で紹介されていますが、4つのベン図は紹介されていません。4つのベン図はかけるのかという授業をしたいと考えていますが、いいと思いますか？批判的に考察して下さい。

- ・4つのベン図を絵でかけない理由はなぜですか？

・4つのベン図を円でかけるのか、という授業をしたいと思います。授業構成は時間です。1時間目は、①3つの場合のベン図をかいてみる。②4つの場合でもかけるはず、だからかいてみよう、という問題提示をしてみます。③授業終了10分前に、「ほんとにかくことができる？」という問いにして、次回につなげる。2時間目は、生徒が、なぜ円ではかけないのか、また、他の図形ではかけるのか？という探究を行いたいと考えています。この授業案を、批判的に考察してください。

- ・指導案の中に予想される生徒の質問、指導案外に授業者が期待する生徒の反応や、生徒の活動を記述してください。

(学生C, 第1テーマ)

- ・角の二等分線の特徴は？
- ・もっと詳しく教えてください。
- ・平行ではない2つの線分から等しい距離にある直線の作図方法は？
- ・欠落角の授業案を提案してください。
- ・細かく1時間の授業案を提案してください

(学生C, 第4テーマ)

- ・現在、自分自身で素材を探し、AIとの対話で高校数学の授業づくりを行っています。今までにあまりない新しい発想で、数学の内容を深掘り、広げ、生徒の理解を深めるような授業をつくりたいと考えています。そこで、さまざまな題材を探し・考えているのですが、本を読んでいて、確率（3つの扉、じゃんけんであいこ、誕生日のパラドックス）、正多面体の種類、円周率、四平方の定理などを考えてみました。しかし、より多くのアイデアが欲しいです。どのような内容が考えられますか？数学の分野であればよいです。このほかに10個ほど案を出してほしいです。
- ・少し方向を変えます。いろいろな視点で考えることのできる、いくつかの要素が絡み合った数学の問題や数学の内容を20個ほど提案してください
- ・気になった部分について、追加で聞きたいです。まず、この数どこかで見たことある？ですぐにパスカルの三角形に結びつくのか少し怪しいと思いました。1,4,6,4,1の数字の角位置を工夫して、三角形をイメージできるような感じで板書すると気付く生徒はいるかもしれません。次に、 $(a+b)^n \times (a+b) =$

(a+b)<sup>n+1</sup> から係数の加法関係を説明. について, どのように生徒は説明するのか, 説明すると予想できるのか教えてください. 私にはまだ想像がつかません. また, 教師が式で整理: の部分は, 行列を学んでいない生徒にとって, その表記は難しすぎると思いました. 別の方向でお願いします. そして, 授業では, パスカルの三角形で二項定理や組み合わせ, それらに関する等式を証明できるような, 本質を理解できるような授業にしたいのですが, 実現可能ですか? それらを生徒が考え, 最終的に理解できるような授業の展開, 生徒の活動, 板書を考えていきたいです.

- 授業案を作成しました. 批判的に評価してください.
  - 自分の考えている授業構成 (1 時間目: 素数判定, 2 時間目: 素数を表す式・探し方) はどうだろうか. 改善点はあるか.
    - 生徒の数学的活動は十分か
    - 教師の説明中心にならないか
    - 生徒が自力で理解できる流れか
    - 身に付けさせたい力は適切か
    - その力は本当に身に付くか
- という視点で判断してほしい.

### 3. MSPT 分析の結果

本実践で生成 AI に入力された文字数の合計は 57532 文字, プロンプトの総数は 1085 回であった. テーマごとの対象学生全員の文字数, プロンプト総数, 平均を表 2 に示す.

表 2 テーマごとの文字数, プロンプト総数, 平均

テーマ	文字数	プロンプト 総数	文字数/プロンプト数
第 1	1664	86	19.35
第 2	11237	278	40.42
第 3	16192	336	48.19
第 4	28439	385	73.87
合計	57532	1085	53.02

次にテーマごとの M, S, P, T の出現率を算出し, 8 人の平均を図 4 に示す.

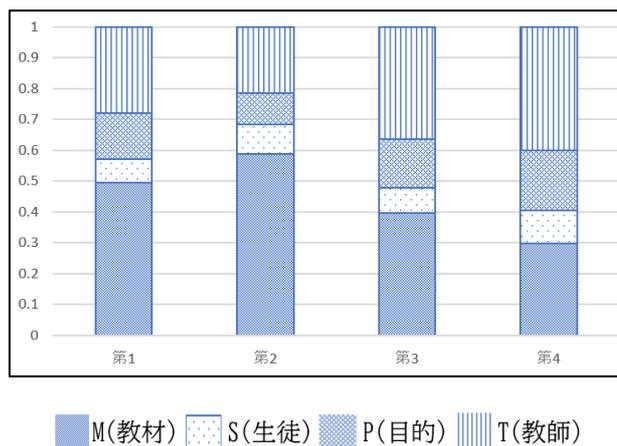


図 4 各テーマごとの MSPT の出現率

さらに, MSPT のうち変化の大きい M (教材) と T (教師) の出現割合に注目し散布図にして分析する. 4 つのテーマすべてに参加した学生 6 名の 4 回の変化について図 5 に示す.

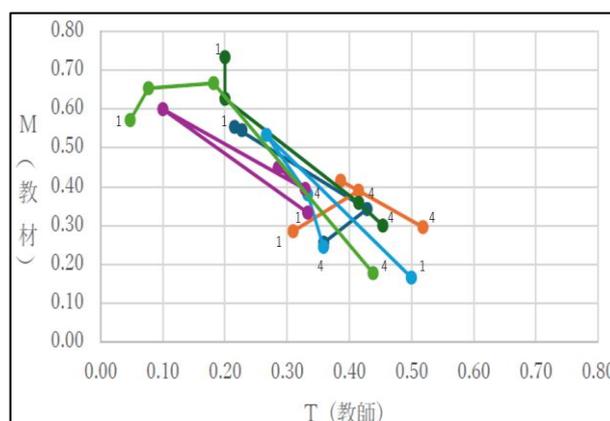


図 5 学生 6 名の M と T の出現割合の変化 (図中の「1」が第 1 テーマ時の結果, 「4」が第 4 テーマ時の結果を表す.)

### 4. 振り返り記述

本実践を通して, 授業開発における生成 AI の活用方法の変化について記述してもらったもの(抜粋)を以下に示す.

- 自分が聞きたい質問を一方向的に聞いて, 受け取る解答も自分の欲しい解答だけを参考にしていましたが, チャット GPT の返答に対してそれは本当に正しいのか尋ねることや, 内容を詳しく聞き返すなど検索相手から会話相手に変わっていった.
- どんな授業を作りたいのか, どんなことを大事にしているのかなどの自分の考えをはじめに示すようになった.

- どのような生徒を対象としているかを入れて授業案を作るようになった。(習熟度, 話し合いが活発, その単元が苦手な生徒, 類似問題や関連内容)
- 生成 AI が出してくれた提案してくれた活動の実施する意義やメリット, その活動を行うことによってつくりを尋ねるようになった。
- プロンプトの内容が詳しくなったことから, 短文から長文を投げるように変化した。
- 肯定的な意見が多いため, 否定的な意見を求めるようなプロンプトの打ち方になった。
- 改めて様々な数学内容に関する知識や内容ごとの関連性を学びなおそうと思った。
- AI からの返答に深掘りをしたり誤りを指摘したり, 自分の考えに対してどう思うのか AI に意見を聞いてみたりするように変化した。AI と一緒に授業案を作成する姿勢に変化したと感じる。
- 生成 AI が作成した指導案はたたき台として, そこからの改良は自分自身が行い, 生成 AI の提案の良い部分を取り入れた自分の考えている授業案にしていくようになった。
- AI からの返答は情報量が多く, AI の提案のまま授業づくりを進めると, 詰め込み型の授業になりがちである。生徒の数学的活動の少ない, 型の決まった授業になりがちである。
- 生徒の数学的活動は, 教員が意識して取り入れ, AI の考えた授業案をそのまま使うのではなく, 教員がアレンジを加えながら, その学校その生徒に応じた授業案に変更していくことが求められる。
- 情報や活動の取舍選択, どこに焦点を当てるのか, AI の提案からさらに活動を絞っていく必要がある。
- 自分の意見をまず明示してから対話をするようになった。
- AI を使う際には答えを出すためだけでなく思考を深めるためのものとして扱うようにし, 自分で考えることを大切にしたいと感じた。
- 大まかな軸決めや構想は自分で考えて, アイデア出しを AI に任せるようになった。

#### IV. 考察

##### 1. 開発された授業案

まず, 開発された授業案から本実践の成果を検討する。最終段階である第4テーマの成果物として提示さ

れた8つの授業案を見ると, 既存の教科書の枠組みを超えた新規性のある教材を含むことはもちろん, 数学教育が目指す理念の実現を目指した内容が含まれており, 大学院生の授業案として少なからず評価できる。これは, 生成 AI との協働が, 学生の数学的専門性を触発し, 教科書の枠を超えた授業構想力を引き出した結果と捉えられる。

まず, 教材, テーマに明確な新規性が見出させる。

「4集合のベン図」「複素係数への拡張」「フィボナッチ数列と互除法」など教科書にない授業であることはもちろん, 数学教育研究の文脈でも十分に吟味されていない教材, テーマが含まれている。これは, 学生の数学的専門性が生成 AI との協働によって触発, 拡張された結果である。実際, 生成 AI の提案には学生にとって初めて見るものも多く, その理解に時間を費やす様子が観察されており, 生成 AI との対話を通して自己の数学の専門性や教材観が拡充する機会になっている。課題の新規性が高いため, 実際の授業での実施, 指導困難性も課題として残るものの, 新たな数学教育の創出を目指した新規性, 提案性のある授業案であり, それを開発する機会になっていることは本実践の成果と位置付けられる。

また, 新規性の高い教材を開発するだけでなく, その教材を用いて数学教育が目指す理念を踏まえた授業設計が行われている。例えば, 数学的対象を「既知の事実」として受容するのではなく, その定義を再構築・拡張しようとする数学的態度の育成が目指された授業が開発されている。「4集合のベン図」の実践は, 生徒が抱く「ベン図=円」という既存の概念イメージを揺さぶり, 数学的な概念定義 (Concept Definition)

(Tall & Vinner, 1981)へと立ち返らせる設計となっている。また, 「複素数係数への拡張」は, 定理の適用範囲を問う活動であり, 定理の拡張, 一般性の追究といったプロセスを含んでいる。これらは, 単なる解法の習得を超え, 事象の本質的な構造に着目させる「数学的な見方・考え方」の高度な発現を意図した活動として評価できる。さらに, ICTを認知的拡張 (Cognitive Tool) (Pea, 1985)として位置づけ, 探究の質を深化させる授業が開発されている。「フィボナッチ数列と互除法」や「三次関数」の事例では, Pythonや動的幾何ソフトが活用されている。これらは, 人間のみでは困難な「膨大な試行」や「連続的なパラメータ変化」の可視化を可能にしておき, Drijvers (2015) が指摘す

るように、テクノロジーを思考の「再構成」の手段として使いこなしている。これにより、生徒は現象の背後にある数学的規則性の洞察に集中できる設計となっており、これは優れた授業設計として評価できる。他にも数理モデリング能力の育成に対するアプローチも見える。「パスタの数理モデル化」は、「数学的モデリングサイクル」(Blum, 2015)が設計に組み込まれている。現実の複雑な事象を数学の土俵に乗せるための「仮定の構築」を重視したものであり、「真正なモデリング活動」として評価できる。

このように、新規性の高い教材を数学教育が目指す理念に基づいた指導、活動の中に埋め込まれた授業が開発されているのであり、その過程では生成 AI と協働の中で新しい教材を価値ある学びへと翻訳する経験を得たと考えられる。これは高度な授業開発能力を醸成する機会として評価できる。

それでは、このような授業案は生成 AI とのいかなる相互作用から生み出されたのか。次節では、プロンプトの質的な変容からそのプロセスを解明する。

## 2. プロンプト事例を基にした分析

学生 A および学生 C の第 1 テーマ時と第 4 テーマ時におけるプロンプトの比較を通じ、生成 AI との協働がどのように変化したかを質的に考察する。

まず、第 1 テーマ時における両者のプロンプトは、「～の方法は？」「～を提案してください」といった、生成 AI に正解や構成を委ねる問いかけが多かった。そこには教師自身の意図や対象となる生徒の状況が欠落しており、検索の延長線上の利用に留まっている。しかし、第 4 テーマ時では、学生 A は「4 つのベン図を円でかけるのかという問い」、学生 C は「パスカルの三角形と二項定理の本質的理解」というように、授業の核となるアイデアを教師自身が保持している。自らの状況や授業構想を提示した上で、その妥当性を問う形へと変容しているものであり、授業設計の主導権が生成 AI から教師へと移行したことが読み取れる。

特筆すべきは、第 4 回において両名とも生成 AI に対し「批判的な評価・考察」を明示的に求めている点である。学生 A が「いいと思いますか？批判的に考察してください」、学生 C が「教師の説明中心にならないか」等の具体的な 5 つの評価視点を提示している。これは、生成 AI の肯定的なバイアスを警戒し、あえて「弱点」を指摘させる戦略である。さらに、学生 C

の第 4 テーマプロンプトに見られる「行列を学んでいない生徒にとって難しすぎる」「別の方向でお願いします」といった拒絶や修正の指示は、教師としての判断が生じた場面である。

このような第 1 テーマと第 4 テーマのプロンプトの質的な変容は、生成 AI の活用スキルの向上という枠を超え、教師が授業設計の主導権を確立していくプロセスとして捉えられる。生成 AI を「検索エンジン」「答えを教える先生」ではなく、自らの設計をブラッシュアップするための「批判的対話相手」「共創のパートナー」として扱っているものであり、生成 AI の提案を鵜呑みにせず、生徒の既習事項や認知レベルと照らし合わせて判断、却下する姿勢は AI 時代における教師の専門性ともいえるものである。それが本実践の過程で醸成されていたと考えられる。

## 3. MSPT 分析の結果

さらに前節の質的な変化が全体の傾向としてどのように表れているかを、全 1,085 回のプロンプトを対象とした MSPT 分析(M:教材, S:生徒, P:目的・目標, T:教師)の結果に基づき、量的に考察する。

まず、表 2 が示す通り、第 1 テーマ時から第 4 テーマ時にかけて総文字数は大きく増加し、特に 1 プロンプトあたりの平均文字数は 19.35 文字から 73.87 文字へと約 4 倍の増加を見せた。これは、プロンプト事例にもあるように、初期の「単発的な質問」から自身の教育的意図や授業の文脈を詳細に記述する、状況説明を伴う対話へと変化し、教育的意図の言語化に伴い、プロンプトの文字数が増加したことが要因として挙げられる。

出現割合の平均を見ると、全体的に M, T の出現率が高く S の出現率は低い。S は生徒に関する記述・既有知識、誤答の傾向、つまり、興味・関心、意欲についてのプロンプトである。S が低い要因として、対象となる大学院生は現場経験が乏しく、生徒の実態を想定することに関して経験が不足していたことが挙げられる。一方 T は「教師の意図的行為」に関するプロンプトであり、生徒の実態を想定するのが難しい代わりに教師としてどのように行動、発問すべきかについて生成 AI に質問したと考えられる。

さらに図 4 「MSPT 分析の結果」および図 5 「M と T の出現割合の変化」に注目すると、実践を重ねるごとに M (教材) の割合が減少し、代わって T (教師)

の割合が増加するという負の相関傾向が確認できる。第1回・第2回ではM(教材)の割合が多く、生成AIに対して数学的内容の解説や素材の提示を求める「知識獲得型」の活用が中心であった。それに対し第3回・第4回ではMの割合が低下し、T(教師)およびP(目的)の割合が相対的に高まっている。この変化は、学生が生成AIを単なる「数学情報の供給源」としてではなく、教師としての働きかけや指導意図を議論し、授業構成を練り上げるための「パートナー」として活用し始めたことを示唆している。初期は生成AIから出力される数学的内容(M)に依存していた学生が、演習後半では「自分はこう教えたい(T)」「この力を身に付けさせたい(P)」といった教師の意図、文脈をプロンプトにし、生成AIから情報や評価を引き出すようになっていく。すなわちこのMSPTの構成比の変化こそが、生成AI活用の熟達化、教師の専門性を核とした「生成AIとの共創」へと至る変容のプロセスを表しているといえることができる。

逆に第1テーマの時点では生成AIの活用スキルが未成熟な状態であったといえる。すなわち、本実践を通してその変容が見られたことは、生成AIを活用した授業開発能力の習熟にも段階があり、その活用スキルを高めるための講義、演習プログラムが必要、有効であることを示唆する。

#### 4. 振り返り記述

最後に、演習後の振り返り記述の質的分析に基づき、対象学生が自身の変容をどのように意味づけているかについて考察する。

まず、教材研究における文脈の提示と、それに伴う言語化能力の向上を自己の変容として位置づけている。振り返りの中で多くの学生が「自分の考えや対象生徒の情報をまず明示するようになった」と述べている点は重要である。これは前節の考察を裏付ける記述であり、生成AIとの協働に必要な対話の戦略に気づいた振り返りとして捉えられる。

さらに、生成AIの限界を認識したことにより、生成AIとの協働に必要な教師の専門性、役割に気づいている。具体的に「AIの提案のままでは詰め込み型の授業になる」「数学的活動が損なわれる」といったリスクを察知し、「取捨選択やアレンジは教師の役割である」という結論に至っている。また、「数学の内容や関連性を学びなおす必要性」を痛感したという記述や

「答えを出すためではなく、思考を深めるためのもの」と再定義した記述があり、これは生成AIの高度な提案に対する理解や、新たな情報から生じた多面的な検討、誤った情報の修正等の過程で生まれたと推察される。言い換えれば生成AIとの対話が教師の省察、探究を生む契機となっていたのであり、これが開発された授業案やその授業開発を通して醸成された授業開発能力の背景にもなっている。このような教師の省察が発生したことは、生成AIとの協働が「省察的实践者」(Schön, 1983)としての成長に寄与する可能性を示すものとして捉えられる。

このように、対象大学院生の振り返り記述にも生成AIを活用した授業開発の過程で生じた変容や学び、気づきが表れている。生成AIとの協働を通じて自身の教育観や教材研究の在り方を言語化し、振り返り記述としての自己の変容をメタ認知できている状態もまた、本実践がもたらした授業開発能力の変容、発達として結論付けられる。

#### V. 結論と展望

本研究は、中高数学教師志望大学院生を対象とした1年間の授業開発講義、演習を通して、大学院生が生成AIと協働し、その過程で自身の授業開発能力をどのように変容させていくのかについて実践的に検証した。

実践の分析から、以下の3点が結論づけられる。

第1に、学生は新規性のある教材と、数学教育が目指す理念の実現を目指した内容が含まれた授業を開発しており、高度な授業開発能力を醸成する機会になっていた。第2に、プロンプトは質量ともに大きく変容しており、実践の後半では教師としての働きかけや指導意図を提示し、授業構成を練り上げるための「共創のパートナー」として活用し始めていた。第3に、生成AIとの対話が教師の省察、探究を生む契機となり、これが授業案や高度な授業開発能力の背景になっていたことが示唆された。

これらの知見は、AI時代の数学科教員養成・研修プログラムにおいて、単なるツール操作に終始するのではなく、「生成AIとの共創的な教材研究プロセス」を経験させることの重要性を示唆している。本実践は、生成AIの活用が教師の専門性を代替するのではなく、むしろ教師の専門性を触発、拡張するための有効な手立てとなることを実証した点において意義を持つ。

今後は、現職教員や他教科の教師に対する本プログラムの汎用性を検討し、生成 AI と協働する時代の新たな教師教育モデルとして精緻化していく必要がある。また、本実践で開発された高度な授業案を実際の教育現場で実践し、生徒の数学的学力や探究心にどのような変容をもたらすかを実証的に検証することが挙げられる。

AI 時代を生きる教員に必要とされる力を育むためにも実践、研究を継続する所存である。

## 注

本稿は、本実践に参加した大学院生と講義を行った大学教員が協働して分析、考察し、分担して執筆したものである。

## 文献

Blum, W. (2015): Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education, 73-96.

Drijvers, P. (2015). Digital technology in mathematics education: Why it works (or doesn't). Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education, 135-151.

Mishra, P., & Warr, M. (2023). TPACK 2.0: Rethinking the TPACK framework in the age of generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 227-235.

文部科学省(2023)：初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン(Ver2.0)，文部科学省。

中西一雄 (2025). 教育における生成 AI の利用に関する教職大学院での授業実践と効果の検証：利用想定  
の異なる演習の差異に着目して. 福岡教育大学紀要,  
第 74 号, 第 4 分冊, 137-145.

Pea, R. D. (1985). Beyond amplification: Using the computer to reorganize mental functioning. *Educational Psychologist*, 20(4), 167-182.

Tall, D., & Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 151-169.

堤健人, 阿濱茂樹, 新田拓也, 川崎徳子, 友清祐子, 野村厚志, 中田充, 鷹岡亮 (2023). 教員養成学部における生成 AI の活用に関する授業実践と考察. *日本情報科教育学会誌*, 16(1), 57-65.

## 生徒によるモデル生成と説明を促進する理科授業の実践 Practices in Science Instruction that Promote Student - Generated Models and Explanations

○足羽光一<sup>\*1</sup>, 隅田学<sup>\*2</sup>, 山本浅幸<sup>\*2</sup>

ASHIWA Koichi<sup>\*1</sup>, SUMIDA Manabu<sup>\*2</sup>, YAMAMOTO Asayuki<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>愛媛大学教職大学院, <sup>\*2</sup>愛媛大学教育学部

<sup>\*1</sup>Graduate School of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup>Ehime University Faculty of Education

【要約】学習者が現象や事象を説明するためにモデルを構築・活用する力は、国際的にも重視されているが、日本の理科授業、特に生命領域における協働的モデリングの研究は十分とはいえない。そこで本研究は、中学校理科の光合成を題材に、生徒が個人で作成したモデルを基に班で議論し、協働を通じたそのモデルの変容について、具体的な授業実践に基づき明らかにすることを目的とした。その結果、多くの班でモデルの変容や評価の向上が見られた一方、協働の質には班の間で差があり、相互にモデルを比較・統合した班や、特定のモデルを写し取るにとどまる班が認められた。また、実験結果と整合しないモデルが共有された事例等から、生徒自身によるモデル評価や教師による適切な介入の必要性が明らかとなった。さらに、構造モデルと機能モデルを区別し、説明の目的に応じてモデルの適切性を判断させる指導の必要性が示唆された。

【キーワード】中学校理科, 協働的学習, モデル生成, モデルの変容, 生命領域

### I. 研究の背景および目的

学習者がモデルを構築したり、そのモデルを使用して説明したりする能力の育成が国際的に求められている。例えば、アメリカのNext Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013) では、「期待される学習成果」にある「科学的・工学的な実践」の8つの実践の中に、「モデルの開発と使用」と「説明の構築」がある。これらについて、NGSSを開発するために作成されたフレームワーク (National Research Council, 2012) では、「生徒の目標は、論理的に首尾一貫した現象の説明を構築することである。そのとき、科学に対する生徒自身の現在の理解、またはそれを表すモデルを取り入れ、利用可能な根拠と矛盾のない、説明をつくることである」と記されている。

日本でも、実験や観察を通して事象を説明するモデルをつくり、モデルの修正を繰り返しながら自身の理解を吟味していく実践が行われている (モデルベース学習)。猪口・和田 (2024) は、モデル生成による事象の説明を加味した小学校理科における課題解決活動の中で、自己のモデルだけでなく、他者のモデルの変容や特徴をメタ認知することでモデルの理解が促進することを明らかにしている。

以上より、モデル生成による事象の説明を目指す理科授業の必要性が高まっており、その際、協働的な学習により学習効果が高まることが期待されている。一

方でモデル生成の分野として生命領域における生徒のモデリングに関する先行研究は限られている。また、生徒が協働する場面では、それぞれの生徒が有するモデルの種類、グループ内でのモデルの組み合わせが相互作用を左右する可能性があるが、その詳細は十分に検討されていない。そこで本研究は、中学校の光合成に関するモデル生成を題材として、グループでのディスカッションを通して生徒のモデルがどのように変容するのかを明らかにすることをリサーチクエスチョンとした。

### II. 授業実践の概要

#### 1. 授業実践の時期

2025年9月に授業者として授業実践を行なった。

#### 2. 授業実践の対象と単元

松山市立の中学校2年生29名を授業実践の対象とした。授業の単元は、「植物のからだのつくりとはたらき (葉のはたらきについて)」であった。

#### 3. 学習の流れ

現行の中学校学習指導要領理科は、「葉のはたらき」について、以下を理解させることをねらいとしている (文部科学省, 2017)。

- 光合成を行う器官であること
- 光合成は光のエネルギーを利用して、二酸化炭素と水からデンプンなどの有機物と酸素を生じる

反応であること

- 光合成が細胞中にある葉緑体で行われていること

本研究では、以上の内容に物質とエネルギーの視点を加え、学習者自身が自身の理解に基づいてモデルをつくり、光合成を説明することを授業の目標として設定した。

本授業で使用したワークシートの一部を図1に示す。本授業では、光合成に関する知識やモデルを教師から一方的に伝えて整理させるのではなく、生徒自身が自分の理解している内容を可視化し、他者と共有しながら説明を練り直していくことを重視した。そのため、個人でのモデル生成と、班での話し合いによるモデルの検討・修正を組み合わせた学習過程を設定した。これにより、生徒が自他のモデルを比較し、説明としての分かりやすさや妥当性について考える機会を確保するようにした。

授業の流れとして、まず、葉の光合成を説明する上で必要な情報として、光合成に関係する物質とエネルギーをまとめさせた。次に、そもそもモデルとはどのようなものかを説明した後、個人で葉の光合成のモデ

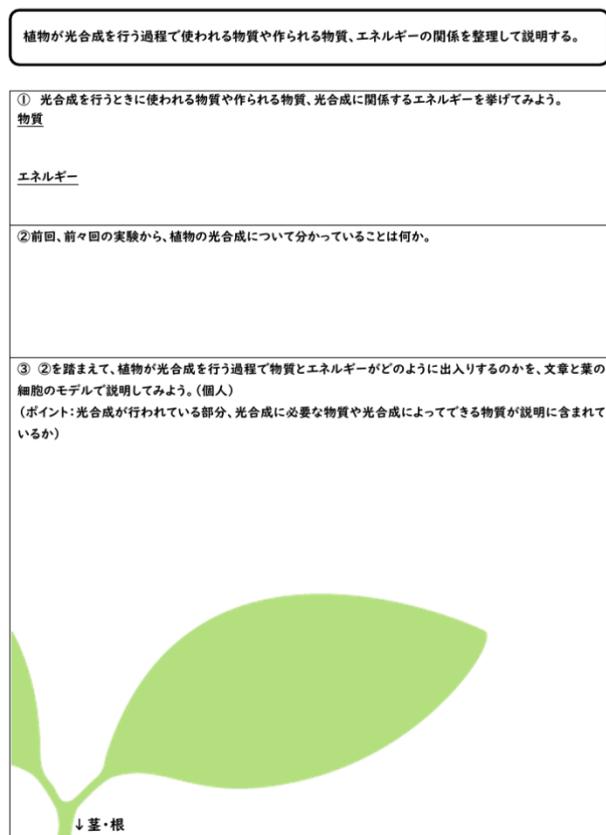


図1 本授業で使用したワークシート（一部）

ルをつくらせた。そして、各班3~5人の班に分け（合計7班）、グループディスカッションを行った後、各自でモデルを修正させた。

#### 4. モデルの評価・分析の方法

生徒による葉の光合成のモデルの評価規準を独自に開発した（表1）。そして、授業中における修正前と修正後の両方のモデルについて評価を行った。

表1 葉の光合成のモデルの評価規準

① 光合成が葉緑体で行われていることを説明している	・①と②-1, 2を両方満たしていればA
②-1 光合成の材料（二酸化炭素と水）と生成物（酸素とデンプンなど）がすべて説明に含まれている	・①または②-1, 2を満たしていればB ・②-1のみを満たしていればC
②-2 光合成の材料（二酸化炭素と水）と生成物（酸素とデンプンなど）の流れを全て正しく説明している	・全て満たしていなければD
文章による補足説明もしている	（上記の評価）+
物質とエネルギーを分けて、エネルギーの流れについても説明している	（上記の評価）○

#### 5. モデルの評価例

- A<sup>○</sup> 評価（図2）

光合成が葉緑体で行われていることを説明している。また、光合成の材料と生成物が全て説明に含まれており、それらの流れを正しく説明している。さらに、物質とエネルギーを分けて、エネルギーの流れについても説明している。

- B<sup>+</sup> 評価（図3）

光合成が葉緑体で行われていることを説明しており、光合成の材料と生成物がすべて説明に含まれている。また、文章による補足説明をしている。

- C 評価（図4）

光合成の材料と生成物がすべて説明に含まれているが、葉緑体がかかれておらず、デンプンについての内容が実験結果と異なる。

- D 評価（図5）

二酸化炭素と酸素のみがかかれており、葉緑体や水、デンプンがかかれていない。

### Ⅲ. 結果

表2に授業中における班での話し合いの前後にお

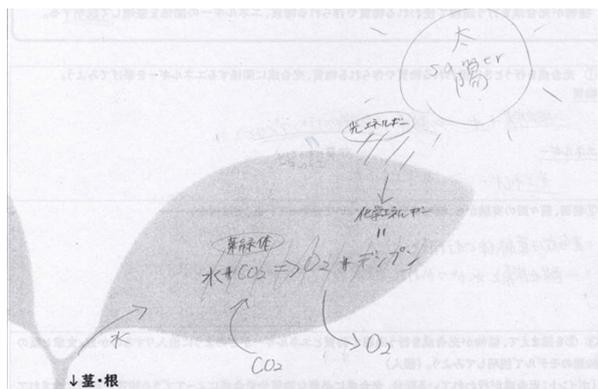


図2 生徒がかいたA<sup>0</sup> 評価のモデル

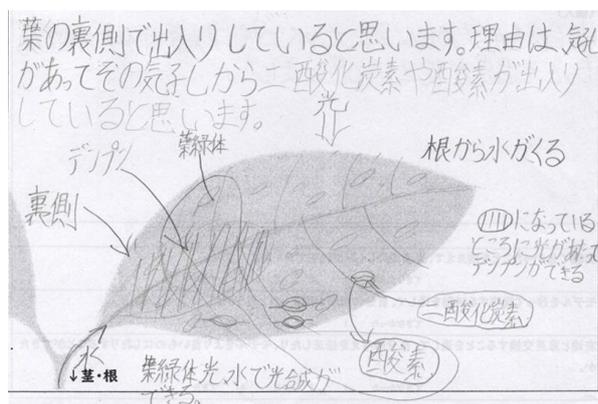


図3 生徒がかいたB<sup>+</sup> 評価のモデル

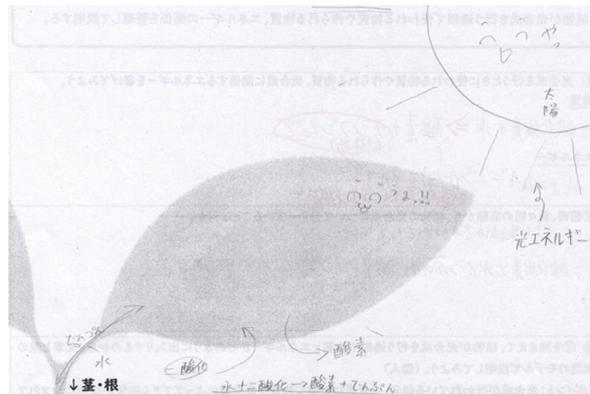


図4 生徒がかいたC 評価のモデル

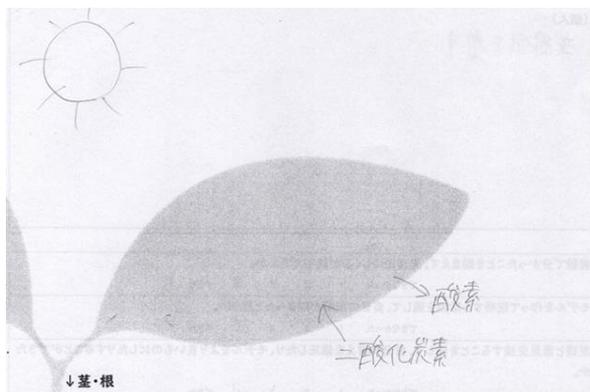


図5 生徒がかいたD 評価のモデル

ける生徒のモデルに対する評価結果を整理して示す。また、表2のA, B, C, Dをそれぞれ4, 3, 2, 1ポイント、+と○を0.5ポイントとして、班ごとに、修正前（前）と修正後（後）の平均値、前の平均値と後の平均値の差（後 - 前）、前と後の分散、前と後の分散の差（後 - 前）を求めた。その結果を表3に示す。平均値の差は、班全体で評価がどれだけ変化したかを表し、分散の差は、班の中での評価の差がどれだけ変化したかを表す。

表2 修正前後の生徒のモデルに対する評価

班 (n)	修正前	修正後	班 (n)	修正前	修正後
G1 (3)	B	B <sup>○</sup>	G5 (4)	C	A <sup>○</sup>
	B	B <sup>○</sup>		D	B
	B	B		D	B
		D		C	
G2 (4)	A	A	G6 (5)	B	A
	B <sup>+</sup>	B		B	B <sup>○</sup>
	D	A <sup>+</sup>		B	B
D	A	B		B	
		D		D	
G3 (4)	B <sup>○</sup>	B <sup>○</sup>	G7 (4)	B	B
	D	B <sup>○</sup>		B	B
	D	B <sup>○</sup>		D	B
		D		B	
G4 (5)	B	B <sup>○</sup>			
	B	B <sup>○</sup>			
	B	A <sup>○</sup>			
	D	A			

表3 修正前後のポイントの平均値と分散

班 (n)	平均値		平均値の差	分散		分散の差
	前	後		前	後	
G1(3)	3.0	3.3	0.3	0.0	0.083	+0.083
G2(4)	2.4	3.9	1.5	2.6	0.40	-2.2
G3(4)	1.5	3.5	2.0	1.6	0.0	-1.6
G4(5)	2.2	3.7	1.5	1.2	0.33	-0.88
G5(4)	1.3	3.1	1.9	0.25	1.1	-0.81
G6(5)	2.6	2.9	0.3	0.80	1.3	+0.50
G7(4)	2.0	3.0	1.0	1.3	0.0	-1.3

IV. 考察

### 1. 協働を通じた光合成モデルの変容

表3より、グループ2は班での話し合いを通して、平均値の差が比較的大きくなっており、分散は最も小さくなっていることがわかる。そこで、グループ2の生徒の修正前のモデルを図6に、修正後のモデルを図7に示す。図6、7より、修正前の生徒①の気孔について

ての説明や、生徒③の葉緑体の中で起きている反応についての説明が、班での話し合いを通して統合されたモデルとして生成されていることがわかる。このことからグループ2では、生徒が自他のモデルを見比べながら、より説明しやすいモデルについて個人または班で考え、修正した様子が推察できる。

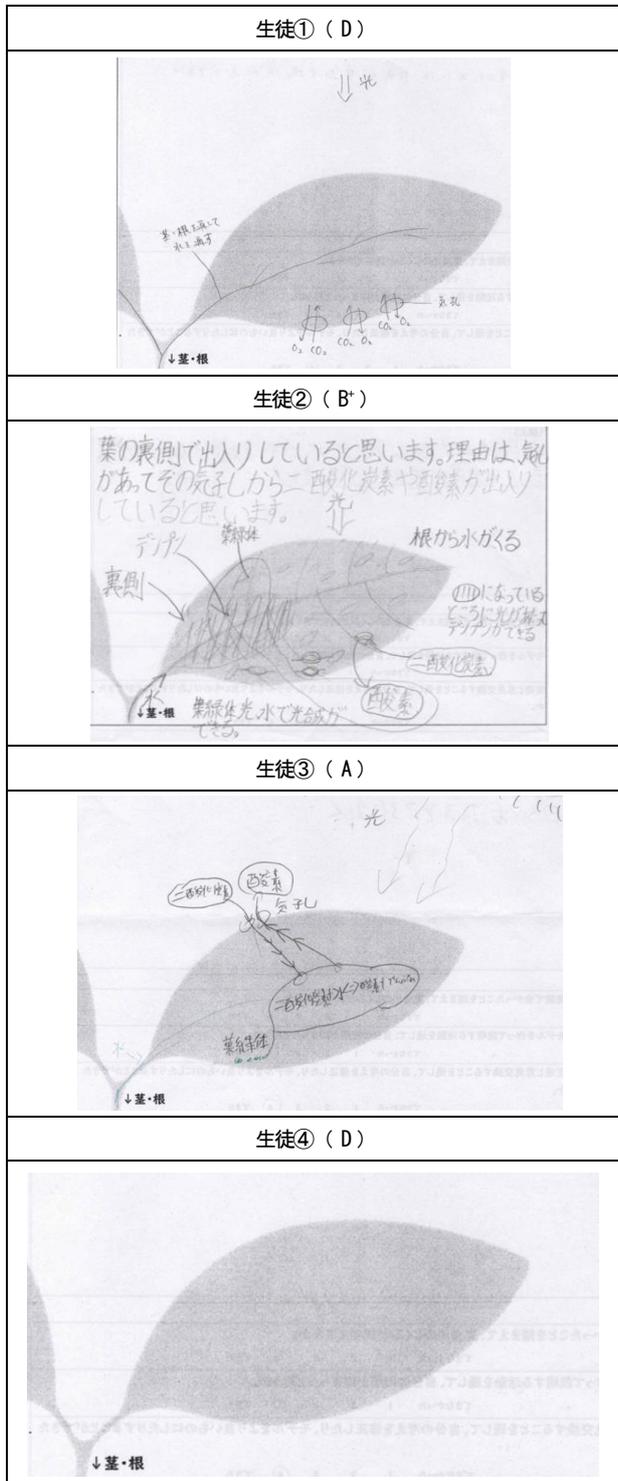


図6 グループ2の生徒のモデル (修正前)

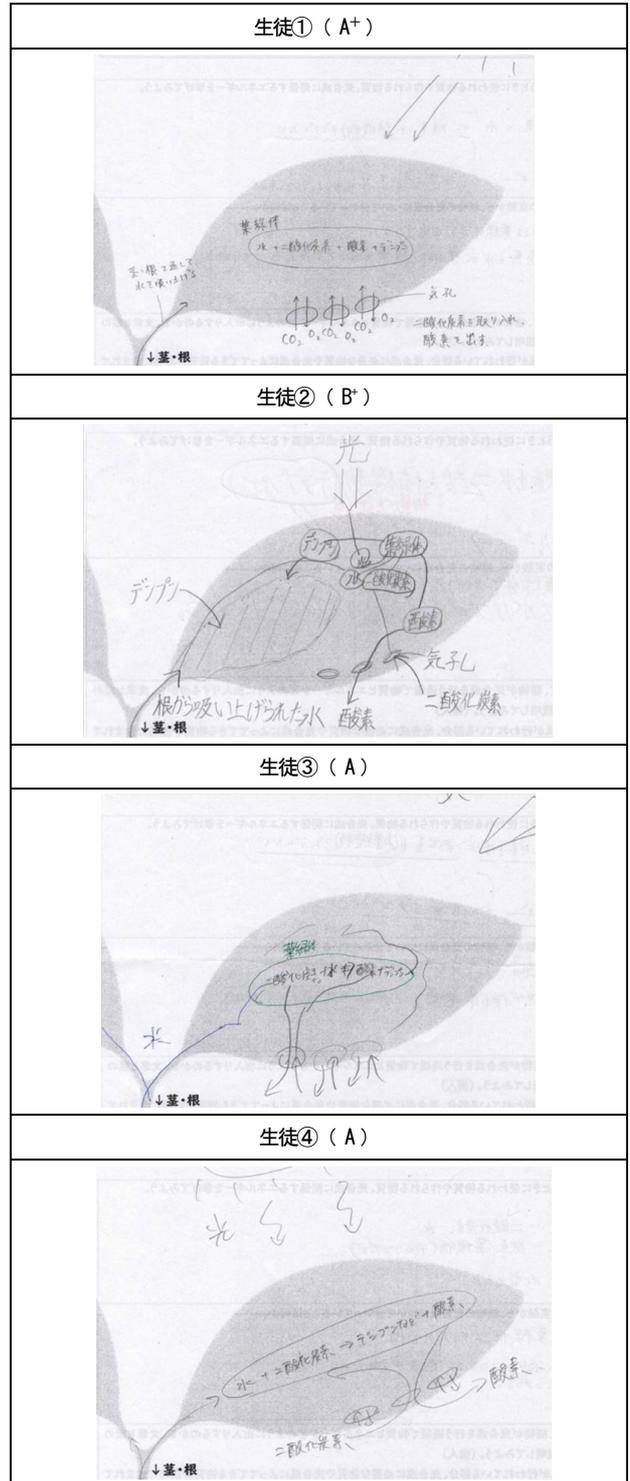


図7 グループ2の生徒のモデル (修正後)

次に、表3において、平均値の差が最も大きくなっており、分散は2番目に小さくなっているグループ3の生徒の修正前のモデルを図8に、修正後のモデルを図9に示す。図8において、修正前は生徒⑤のモデル

のみが比較的詳しく説明できていることがわかる。このグループについては、班での話し合いにおいて、生徒⑤のモデルを他の班員がそのまま写し取ったことが推察される。

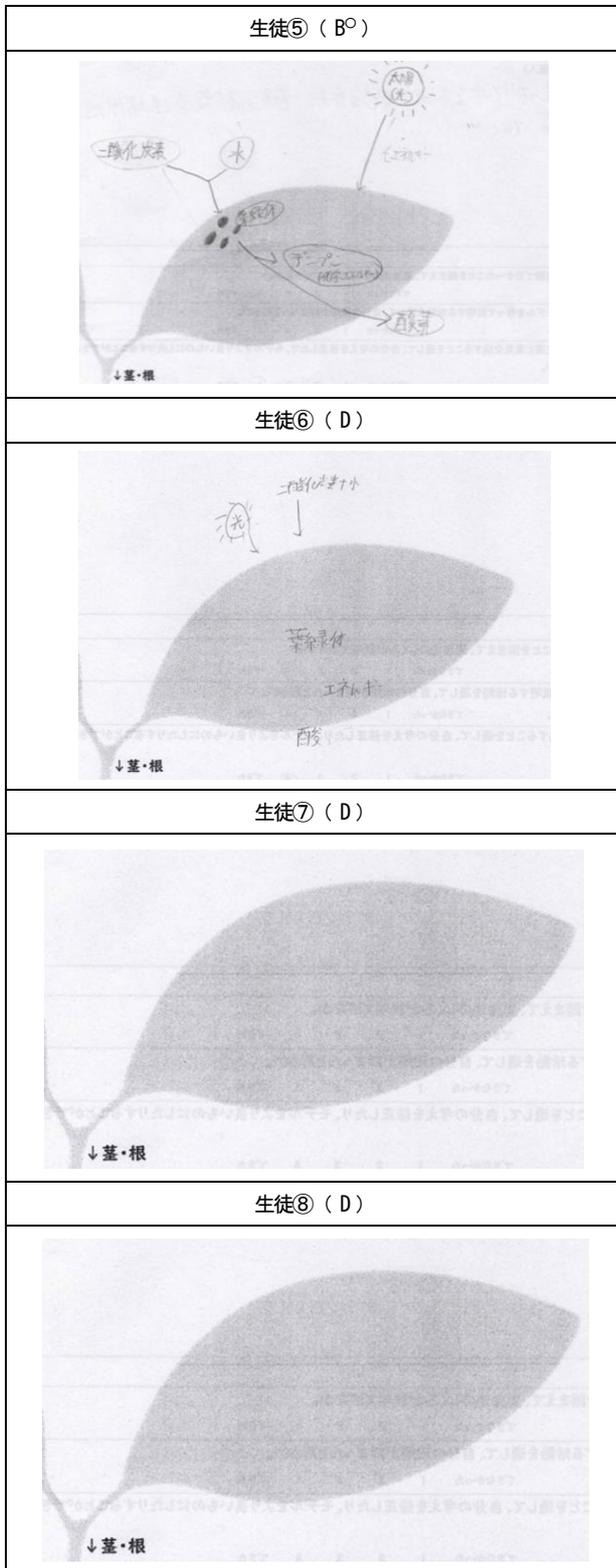


図8 グループ3の生徒のモデル（修正前）

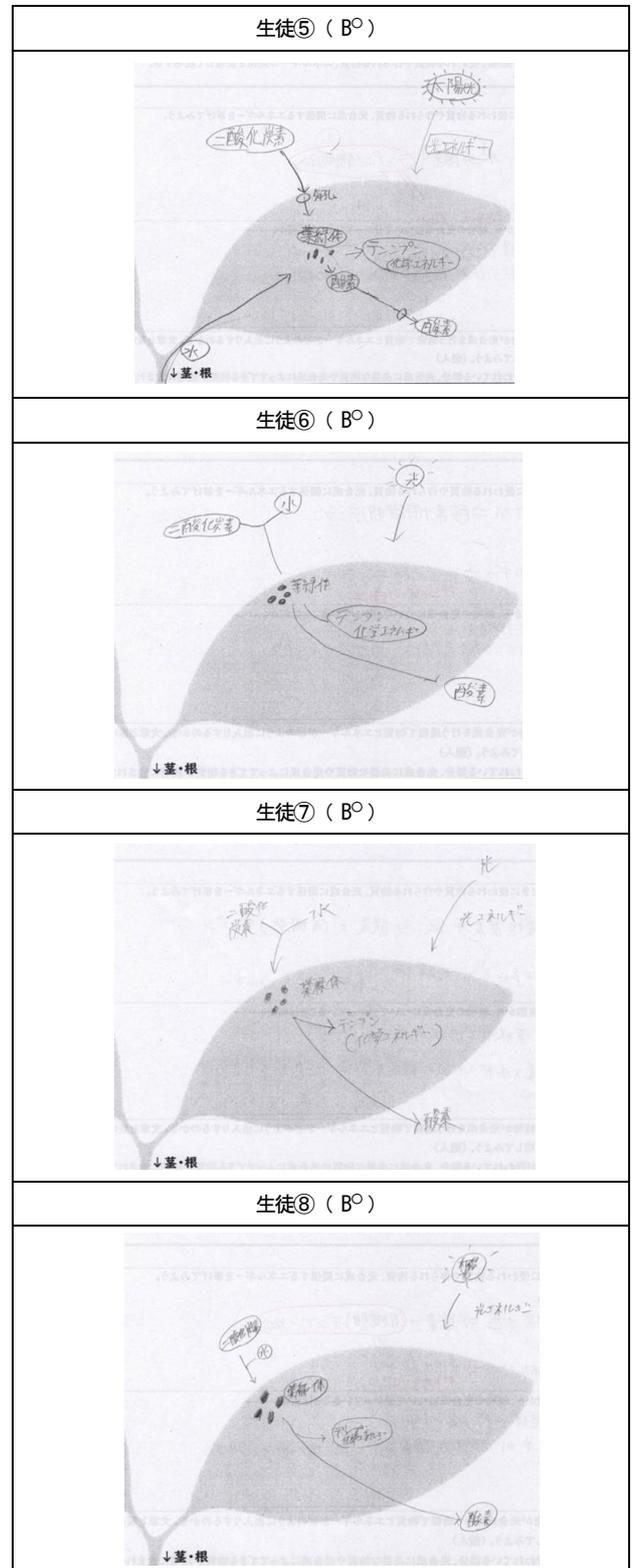


図9 グループ3の生徒のモデル（修正後）

すなわち、モデルの平均や分散による評価だけではわからない、班による協働の質の違いが明らかになった。また、いわゆる授業後のモデルの評価のみでは、本当に生徒の思考が深まっているか判断が難しいことも考えられる。協働の質を高めたり、生徒の思考を深めたりするような支援と評価が必要である。

## 2. 協働の質を規定する要因に関する仮説的検討

本研究の結果から、協働的なモデル生成においては、班によって協働の質の違いが生じていたことが明らかとなった。これらの違いは、単に学力差やモデルの完成度の差によるものではなく、協働の進め方や、班内で共有された視点の違いが影響していた可能性がある。具体的には、グループ2のように、複数の生徒のモデルを比較しながら、それぞれの良さを統合しようとする話し合いが行われた班では、モデルの質の向上とともに、班内の評価のばらつきも小さくなっていった。一方で、グループ3のように、特定の生徒のモデルをそのまま写し取る形で協働が進んだ班では、表面的には評価が向上したものの、モデルの妥当性を吟味する過程は十分とは言えなかったと考えられる。

これらのことから、協働の質を規定する要因として、①複数のモデルを比較・検討する視点が共有されていたか、②モデルと実験結果との整合性を確認する観点話し合いの中で意識されていたか、③説明の目的に応じてモデルの適切性を問い直す働きかけがあったか、といった点が影響していた可能性が示唆される。

## 3. 学習者によるモデルに関する自己評価の必要性

本授業前に行った理科実験では、光合成により葉緑体中にデンプンがつくられていることが確認できていた。一方、図8の生徒⑤のモデルはデンプンが葉緑体の外に出ており、実験結果とは異なるモデルをかいいていた。グループ3はこのモデルを他の班員が写し取ったために、修正後も全員のモデルが不十分なままと考えられる。協働的な学習を行う場合であっても、学習者自身がモデル評価を行い、実験結果と一致するかを考える必要がある。

これについて、学習者が自身でモデルを評価することは、モデリング能力を高めるうえで重要なスキルであることが指摘されている (Cheng et al., 2021)。一方、松井ら (2025) より、中学生が溶解現象のモデリングを評価する活動において、得られた実験結果とモデルが一致するかを考える活動は、生徒にとっては難しいことも明らかにされている。したがって、モデル

生成による事象の説明を目指す協働の際には、生徒だけで話し合うのではなく、実験や観察の結果と異なる部分があるモデル等を教師がとりあげ、生徒自身に評価をさせる活動が有効であろう。

## 4. モデルのタイプと適切性

河野ら (2019) は、教科書には、構造を説明するための構造モデルと、機能を説明するための機能モデルがあると指摘している。東京書籍の理科の教科書に記載されている植物細胞のモデルと葉の光合成のモデルには、構造モデルと機能モデルがある。これらのモデルは、それぞれ区別して理解する必要があり、モデル生成による事象の説明を目的とする授業では尚更であると考えられる。

図10は、本授業で見られたある生徒のモデルの変容である。図10のモデルの変容は、単なる表現の修正ではなく、構造モデルと機能モデルという異なる性質のモデル間の移行として捉えることができる。構造モデルは、細胞や葉緑体といった構成要素の位置関係を捉えるうえで有効である一方、光合成における物質やエネルギーの流れを説明するには限界がある。これに

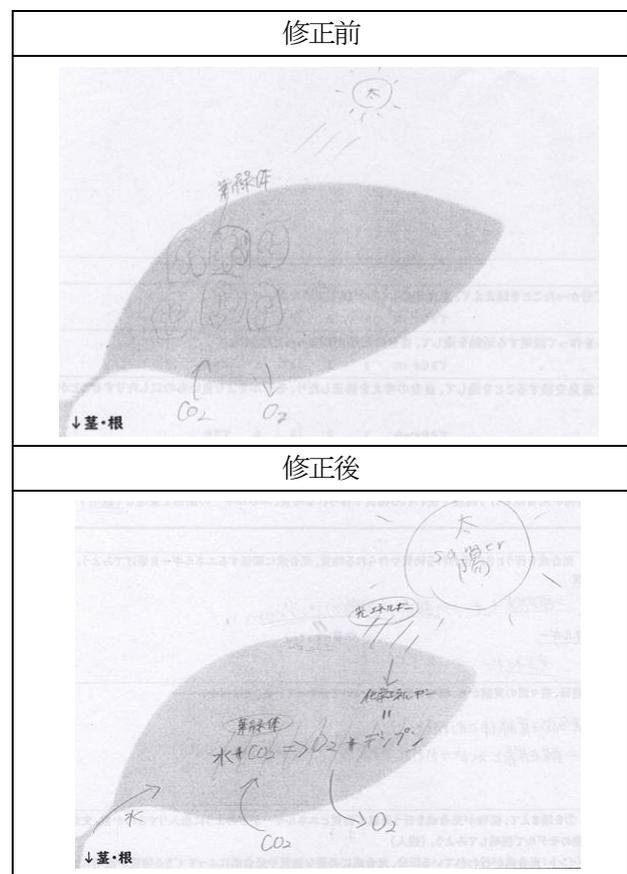


図10 ある生徒の構造モデルから機能モデルへの変容

対し、機能モデルは、現象の過程や関係性を説明するのに適している。本実践では、協働的な話し合いを通して、説明の目的に対して構造モデルだけでは不十分であることに気づき、機能モデルへと説明の枠組みを移行させた生徒が見られた。このことから、生命領域におけるモデル生成では、構造モデルと機能モデルを区別して扱い、説明の目的に応じて両者を使い分けたり、関連付けたりする支援が重要であると考えられる。

## V. おわりに

本研究は、生命領域における協働的なモデル生成において、成果としてのモデルだけでなく、具体的な実践例に基づき、協働の質がモデルの変容に与える影響を示した点に新規性がある。先行研究におけるモデルベース学習は、単元を通して、実験や観察を通して事象を説明するモデルをつくり、モデルの修正を繰り返しながら自身の理解を吟味していく実践であった。本実践は1時数のみであったため、今後は単元を通じた実践も行いたい。一方で、全ての単元においてモデルベース学習が効果的とは限らない。特に生命領域では、分子-細胞-個体といった階層構造があり、単一のモデルで事象を説明するのは難しく、モデルの適切性の判断自体が難しい。今後モデルベース学習を実践する際には、効果的なモデルの種類やその生成のタイミングも含め、検討を行なっていきたい。

本研究で行った協働的なモデル生成は、生徒が互いのモデルを見比べながら、どのモデルがより説明に適しているかを検討し、修正していく学習活動であった。授業実践は、授業経験が浅い授業者による、ある学校の一クラスでの実践のみであることから、結果の一般化には限界がある。しかしながら、教師には、生徒同士の話し合いを任せきりにするのではなく、モデルと実験結果との整合性や、説明の目的に対するモデルの適切性に目を向けさせる働きかけが求められることが明らかとなった。特に、特定のモデルを写し取ることにとどまっている場合には、複数のモデルを比較させたり、説明の観点を問い返したりするなど、協働の質を高めるための意図的な介入が重要である。また、本研究において示唆された協働の質を規定する要因については、今後、授業中の発話や記述の分析を通して、より詳細に検討していく必要がある。

## 文献

- Cheng, M., Wu, T., & Lin, S. (2021). Investigation the relationship between views of scientific models and modeling practice. *Research in Science Education*, 51(1), 307-323.
- 猪口達也・和田一郎(2024) : 小学校理科における科学的な問題解決を促進するモデリング学習サイクルとメタ認知機能の関連についての事例的研究, *理科教育学研究*, 第65巻, 第2号, 309-322.
- 河野慶太郎・森藤義孝・甲斐初美(2019) : 中学校理科におけるモデルの取扱いに関する研究, *日本科学教育学会研究会研究報告*, 第34巻, 第2号, 33-36.
- 松井淳・山根悠平・稲田結美(2025) : 溶解現象のモデルの評価能力に関する中学生の実態, *理科教育学研究*, 第66巻, 第1号, 163-174.
- 文部科学省(2017) : 中学校学習指導要領解説 理科編  
National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academic Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.

## 地域の可能性を大学を通じて深い学びにつなげるローステイク・バッジの機能 Function of Low-stake Badges to Connect Potential of Local Communities to “Deep Learning” through Universities

富田英司

河村泰之

TOMIDA Eiji KAWAMURA Yasuyuki

愛媛大学教育学部

Faculty of Education

**【要約】** 社会の急激な変化に伴い、高等教育機関では学位を補完するマイクロクレデンシャルやオープンバッジの導入が急速に進んでおり、愛媛大学等においても厳格な質保証を伴う公式証明（ハイステイク・バッジ）の制度化が行われている。しかし、厳密な評価を前提とする証明プロセスは、市民のインフォーマルな学習や自発的な地域活動の機動的なレコグニションには限界がある。本研究は、大学が発行する厳格な公式証明と並行して、評価よりも「つながりの可視化」に特化した「ローステイクバッジ」を機動的に展開するデュアルモデルを提案した。本稿では、ローステイクバッジを空間・時間・対象の3軸からなる全12象限のマトリクスとして体系化し、1時間にも満たない学修時間の「ナノラーニング」や微小な地域貢献である「ナノコントリビューション」を承認の対象に包含した。さらに、これらの微小な承認がデジタルウォレットにスタックされ、ハイステイクな学修履歴へと接続・昇華されるメカニズムと技術的展望、そして実装上の課題を検討した。本モデルは、大学をハブとして地域の隠れたソーシャルキャピタルを発掘し、持続可能な地域レジリエンスと創造的ネットワークを構築するための実践的基盤となる。

**【キーワード】** オープンバッジ、マイクロクレデンシャル、ローステイクバッジ、オープン・レコグニション

### 1. はじめに

#### 1.1 高等教育における学修歴証明の転換

社会の急激な変化と知識基盤社会の進展に伴い、高等教育機関には従来の学位というマクロな証明に加えて、より粒度が細かく生涯学習の文脈に即した「マイクロクレデンシャル」の発行が求められている(OECD, 2023)。マイクロクレデンシャル普及の背景には、急速な社会変化に取り残されないための継続的な知識のアップデートと、産業界のニーズと大学教育の間に存在するスキルギャップを埋めるという強い社会的要請が存在する(Pawilen, Tomida & Eugenio, 2023)。マイクロクレデンシャルは、経験的かつ実践的でコンピテンシーに基づいた学習証明であり、学習者に個別最適化された学びや柔軟な生涯学習へのアクセスをもたらすものとして位置づけられる。

このような潮流はアジア地域においても急速に制度化されつつある。例えばフィリピンでは、高等教育委員会(CHED)が2025年にマイクロクレデンシャルに関する国家的なガイドラインを策定し、リスキリング・アップスキリングを推進する枠組みを確立した

(CHED, 2025)。日本国内においても、井上(2024)は、マイクロクレデンシャルが学習者本位の多様な学びを可能にし、従来の高等教育システムに「第三段階教育の革新」をもたらす中核的な役割を果たすと論じている。

さらに井上(2022, 2025)は、教育の新しい仕組みである「マイクロクレデンシャル」と、それをデジタル空間で流通させるための国際的な技術標準である「オープンバッジ」の概念的区別と連携の重要性を強調している。すなわち、マイクロクレデンシャルという教育的価値(中身)を、偽造や改ざんを防ぐ技術に裏打ちされたオープンバッジというデジタル証明の仕組み(器)に載せて発行することで、国境や機関を越えた質保証と流動性が担保されるのである。この技術的裏付けにより、日本国内の大学においても、学生の正課・正課外の学修歴の証明や、社会人のリカレント教育の可視化ツールとして、オープンバッジの導入が急速に拡大している。

#### 1.2 日本の大学におけるオープンバッジ導入事例

国内の高等教育機関において、オープンバッジは単なる「デジタル化された修了証」という枠組みを超え、各大学の教育理念や戦略に基づいた多様な展開を見せている。本研究の独自のフレームワークを提示する前提として、国内で先駆的な取り組みを行っている代表的な大学の動向を整理する。

#### 芝浦工業大学：自動発行基盤の構築

国内の大学におけるオープンバッジ発行の最初の本格的な取り組みとして特筆すべきは、芝浦工業大学の事例である。同大学は2020年から学修歴証明書やデジタルバッジの発行実証実験をいち早く開始し、国内のデジタル証明推進を牽引してきた。学内においては「デジタル学修歴証明運用規程」を整備し、オープンバッジの定義や運用ルールを厳格化している。2024年度からは履修証明等のデジタルバッジ自動発行も開始し、正課授業だけでなく正課外活動（海外派遣や研修など）を通じた多様な学びの成果を、学生自身がバッジとして受け取り、就職活動等で活用できる環境を整えている。単なる単発の発行にとどまらず、システム連携による「自動発行」の基盤を確立し、学修者の主体的な証明手段として社会に開いている点は、他大学のモデルケースとなっている。

#### サイバー大学：学位プログラム全体への体系的導入

完全オンライン大学であるサイバー大学は、2024年度のカリキュラム改編に伴い、学位プログラム全体のなか「ブロンズ」「シルバー」「ゴールド」「プラチナ」の4段階のランクで学修成果を証明する全29種類の積み上げ型マイクロクレデンシャルを定義した。単発のプログラムではなく、学位プログラム全体で体系的にマイクロクレデンシャルを採用した点は国内初の取り組みであり、第2回オープンバッジ大賞では教育機関として初の大賞を受賞している。AIやビジネスといった特定のクラスター（科目群）を修了するごとに上位のバッジを取得できる設計は、学習者の明確な目標設定と継続的なモチベーション維持に直結している。

#### 追手門学院大学：独自アプリとの連携

追手門学院大学は、「教育の質保証」と「学修成果の可視化」の一環として2025年4月よりオープンバッジの運用を開始した。同大学の大きな特徴は、全学部生が履修可能な共通教育科目（数理・データサイエンス・AI教育プログラム、グローバルコミュニケーション、チームで協働する力）を対象としている点に加え、

学生が獲得したバッジを標準の「オープンバッジウォレット」だけでなく、大学独自開発の「OIDAIアプリ」上でも確認できるシステム連携を実現したことである。学生の日常的なデジタル接点であるスマートフォンアプリに学習証明を統合することで、より身近でシームレスな学習体験を提供している。

#### 東北大学：リカレント教育とキャリア設計の支援

国立大学の先進事例として、東北大学は2022年7月にオープンバッジを導入した。「社会とともにある大学」という理念のもと、産業界や社会の変化に応じた社会人の学び直しの機会（リカレント教育・リスキリング）の展開と、学生が学位とは別に身につけた知識やスキルを学修履歴として明示できるようにすることを目的としている。個人の学修成果を可視化することで、今後の学習プランやキャリア設計の構築を支援する、包括的なクレデンシャル戦略を展開している。

### 1.3 デュアルモデルの提案

こうした全国的なマイクロクレデンシャルの普及と高度化の潮流の中、愛媛大学においても全学的な制度基盤の整備が進められている。本学では、令和7年3月に「愛媛大学公式オープンバッジに関する要項」が施行された。この要項は、本学が提供する教育プログラム等（本学の学生以外の者を対象とするプログラムを含む。）の受講生の学習モチベーションを向上させるとともに、本学の学習成果証明の国際通用性向上に寄与することを目的としている。

この公式オープンバッジは、本学が機関登録された一般社団法人オープンバッジ・ネットワークの発行サービスにより発行される。対象とする教育プログラム等の決定は、ICT推進室長への申請に基づきICT推進室の議に諮られた後、学長が決定するという厳格なプロセスを経る。これは、教育プログラムの修了証明として高い信頼性と質保証を担保する「ハイスティック」なアプローチであり、オープンバッジの社会的信頼を高いものにしていく。

その一方で、前述の他大学の事例も含め、厳密なアセスメントを前提とするマイクロクレデンシャルは、権威ある証明となる一方で発行のハードルが高く、地域市民のインフォーマルな学習や自発的な参画を機動的にすくい上げるには限界がある。

そこで本研究では、評価の厳密性よりも「参加の承認」と「つながりの可視化」に特化した「ローステイ

クバッジ」という概念を導入する。本研究は、科研費プロジェクトによって独自導入したオープンバッジプラットフォーム (OBP) と自律的発行システムを活用し、厳格な公式ハイスティックバッジを「コア」とし、機動的なロースティックバッジをそこへ至る「周辺」の入り口として機能させるデュアルモデルの有効性を検証し、地域社会におけるレジリエンス構築への寄与を考察する。

## 2. 理論的枠組み

本研究におけるロースティックバッジの機能は、以下の3つの理論的枠組みに依拠する。

### 「評価」から「承認」へ

本研究のロースティックバッジは、能力の評価ではなく、インフォーマルな経験やコミュニティへの参加を承認する「オープン・レコグニション」の実践として位置づけられる。

### 境界オブジェクト (Boundary Object) としての機能

Star & Griesemer (1989) が提唱した「境界オブジェクト」の概念を援用する。バッジは、大学、地域住民、自治体、高校生といった異なるアクター間において、「誰がどのような活動に参加したか」という共通言語を形成する媒介となる。

### ソーシャルキャピタルと正統的周辺参加

地域のレジリエンスを高めるためには、人々の間の信頼やネットワークといった「ソーシャル・キャピタル」(Putnam, 2000) の蓄積が不可欠である。Lave & Wenger (1991) の「正統的周辺参加」の理論に基づき、バッジという小さな成功体験 (ゲーミフィケーション要素) が動機づけとなり、コミュニティの中心的な活動への継続的な関与を促す。

本研究では、地域社会に向けて発行されるロースティックバッジを「空間 (場所に依存/非依存)」「時間 (同期/非同期)」「対象 (自分/他者/モノ・技術)」の3軸からなる全12象限 (2×2×3) のマトリクスとして体系化した。特に、年単位・月単位の学習を評価する既存のクレデンシャルに対し、本フレームワークは数分単位の「ナノラーニング」や、日常の微小な地域貢献である「ナノコントリビューション」をも承認の対象として包含する。

## 3. ロースティックバッジの体系化

表1は、本研究で定義したロースティックバッジによ

る多様な承認 (レコグニション) の形態を、空間・時間・対象の3つの次元から全12象限にマッピングしたものである。本マトリクスは、地域社会におけるインフォーマルな学習や参加のコンテキストを網羅的に捉え、それぞれの特性に合致したシステム実装 (技術仕様) を導き出すためのフレームワークとして機能する。

マトリクスを構成する各軸の意図と特徴は以下の通りである。第一に、「空間 (場所に依存/非依存)」と「時間 (同期/非同期)」の2軸の交差は、学習や活動が行われる文脈のグラデーションを示している。例えば、①「場所依存×時間依存」の象限は、特定の会場に集い熱量を共有するイベントの活動を指す。対極にある④「場所非依存×時間非依存」の象限は、いつでもどこでもオンライン経由で実行可能な、日常に溶け込んだ微小な活動を意味している。本研究は、これら①から④までの時空間をシームレスにつなぐことを企図している。

第二に、「対象」の軸は、学習者の志向性 (エンゲージメントの向かう先) を3つの次元で示している。「自分」は知識の獲得や内省といったインプットの側面を、「他者」は他者との交流やコミュニティ形成といった相互作用的側面を、「モノ・テクノロジー」は地域資源やデータへの働きかけといったアウトプットの側面を表す。

本マトリクスにおいて、特に地域レジリエンス構築の中核を担うのが、表内に太字で示した5つのカテゴリである。例えば、防災訓練等における「隠れたソーシャルキャピタルの発掘」や、ハッカソンでの「イノベーション誘導」は、①の象限 (場所依存×時間依存×他者) に位置づけられる。ここでは、その場にいることの熱量を即座に可視化するため、動的QRコードを用いた即時発行システム (シンクロナス型) という技術仕様が必然的に求められる。

一方、地域の文化財や避難所を巡る「地域資源とのネットワーク構築」は、②の象限 (場所依存×時間非依存×モノ) に該当し、静的QRやGPSを用いた非同期なスタンプラリー型の発行スタイルが適している。

さらに、本研究が独自に焦点を当てる日常の「ナノラーニング (自分)」と「ナノコントリビューション (モノ)」は、④の象限 (場所非依存×時間非依存) に位置づけられ、Webサイトのスクロールや外部APIとの

連動による自動トラッキング機能によって承認される。

このように、本マトリクスは、地域のレジリエンスが単一のイベント参加だけでなく、日常の微小なイン

プットとアウトプットの循環によって構築されることを示している。同時に、どの象限の活動を承認するかによって、必要となる OBP との連携手法やシステム要件が論理的に決定されることを裏付けている。

表 1：ローステイクバッジの 12 象限マトリクスと技術仕様

空間 × 時間	対象	バッジの役割と体験例	実現するためのシステム実装例
① 場所依存 × 時間依存 (現地・同期)	自分	現地での講義受講や深い内省の承認 例：対面ワークショップ参加	動的 QR コード(会場スクリーン投影)
	他者	地域人材のスキル発掘・イノベーション誘導 例：防災訓練での交流、ハッカソン	動的 QR コード + 役割選択・推薦フォーム
	モノ	現地資源への集団での直接介入 例：一斉海岸清掃	動的 QR コード(活動完了時に現場で提示)
② 場所依存 × 時間非依存 (現地・非同期)	自分	現地資源への集団での直接介入 例：各自での海岸清掃	静的 QR コード + GPS 位置情報検証
	他者	場所を介した非同期の交流 例：交流ノートへの書き込み	静的 QR コード + コメント投稿 Webhook 連動
	モノ	地域資源と個人のネットワーク構築 例：名所・避難所のスタンプラリー	静的 QR コード + 現地パスコード/GPS 検証
③ 場所非依存 × 時間依存 (遠隔・同期)	自分	リアルタイムの遠隔学習 例：オンライン防災セミナー視聴	時限付き発行リンクを自動配布
	他者	遠隔地間での同期的な交流 例：オンラインワークショップでの議論	発行用パスコードを口頭伝達
	モノ	デジタル空間での共同作業 例：データソン等での同時編集作業	共同編集ツールの API/Webhook 連動
④ 場所非依存 × 時間非依存 (遠隔・非同期)	自分	日常のナノラーニング 例：Web 記事の読了、防災動画の視聴	Web サイトのスクロール完了イベントフック
	他者	日常的な他者サポート 例：SNS でのイベント情報拡散	掲示板システム / SNS の Webhook 連携
	モノ	日常のナノコントリビューション 例：ハザードマップの更新	外部データサービスの更新 API トリガー

#### 4. ローステイクからハイステイクへの接続モデル

前章で定義した 12 象限のレコグニションセルは、単体では微小な証明に過ぎないが、これらが蓄積され組み合わせることで、愛媛大学が規定する公式オープンバッジ (ハイステイク・マイクロレデンシヤル) へと質的転換を遂げる。そのメカニズムを以下の 3 点で示す。

#### スタッキング・モデル

「知る (インプット)」「交わる (インタラクション)」「実践する (アウトプット)」という異なる次元のセルをバランスよく収集 (スタッキング) した際に、上位の公式バッジの申請要件を満たすよう設計する。

#### RPL (先行学習の承認) エビデンス・モデル

公式要項において、教育プログラム等の修了者が不適

格であることが判明した場合、実施責任部局等の長は当該修了者に発行した公式オープンバッジの失効を申請しなければならない。このようなミスマッチを防ぐため、ローステイクバッジ群は改ざん不可能なメタデータを持つ「検証可能なeポートフォリオ」として機能し、大学外でのインフォーマルな経験を客観的に評価する強固なエビデンスとなる。

### 成長軌跡の証明

学習者が「自分に向かう（自己学習）」象限からスタートし、徐々に「他者に向かう」「モノに向かう」象限へと活動を高度化させていく。このマトリクス上を横断・移行した軌跡そのものが、共同体への深いコミットメント（熟達）を示し、ハイスティックなクレデンシャル授与の正当性を裏付ける。

## 5. API を活用した実装可能性と技術的課題

本フレームワークは理論上の構想にとどまらず、既存OBPのAPIを活用した独自システム開発によって実装可能である。一方で、アーキテクチャに起因する課題も存在する。

### 5.1 API によるレコグニションセルの実装

OBP が提供する発行用 API を利用することで、独自に開発したフロントエンドからの信号をトリガーとし、システムが自律的にバッジを発行できる。例えば、表1の「①場所依存×時間依存（会場での即時発行）」を実現するため、数秒ごとに新しいURLトークンを生成する動的QRコードを会場スクリーンに投影するWebアプリを構築する。これにより、不正なURL共有を防ぎつつ、参加者のスマートフォンからAPI経由で摩擦なく即時発行することが可能となる。また、APIリクエストに動的な証拠を含めることで、役割やコンテキストをメタデータとしてバッジに焼き込むことができる。

### 5.2 現在のシステム仕様における技術的課題

#### 完全な「ピア・ツー・ピア（P2P）承認」の困難さ

OBP の提供する API は発行組織の中央集権的な認証キーを用いるため、学習者間で直接バッジを贈り合う純粋な P2P 承認メカニズムをネイティブに実装することはできず、中央システムを経由したプロキシ（代理）発行とならざるを得ない。

#### ナノレコグニションによるバッジ疲労

日常のナノコントリビューションをすべて個別のバッジとして発行すると、デジタルウォレットが極小のバッジで埋め尽くされる。現在の一般的な OBP には「同一バッジの内部ステータス（経験値等）だけを更新する」機能がいまだ実装されていないと考えられるため、フロントエンド側でこれらをグループ化して見せる複雑な UI/UX 設計が求められる。

### コンテキストの真正性担保

独自システムを用いた自動発行において、GPS の偽装や遠隔からの QR コード読み取りといった不正を完全に防ぐことは難しい。ローステイクバッジが最終的にハイスティックなクレデンシャルへの接続要件となる以上、トラストモデルの体系的な担保が今後の課題である。

## 6. 結論と今後の展望

本研究は、大学をハブとしたローステイクバッジの機動的展開が、地域の隠れたソーシャルキャピタルを発掘し、創造的ネットワークを形成するための有効な手段であることを論じた。ハイスティックなオープンバッジを中心とした時、補完的な非公式システムによって展開されるローステイクバッジ群は、市民が日常の中で無理なく地域や大学と関わり続けるための「周辺の入り口」として機能する。

今後は、構築したマトリクスに即したシステム等のプロトタイプ開発と実践事例を積み重ね、本研究が提案したデュアルモデルの有効性を実証していくことが求められる。

## 7. 引用文献

- OECD (2023). Micro-credentials for lifelong learning and employability: Uses and possibilities. OECD Education Policy Perspectives, No. 66, OECD Publishing. [https://www.oecd.org/en/publications/micro-credentials-for-lifelong-learning-and-employability\\_9c4b7b68-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/micro-credentials-for-lifelong-learning-and-employability_9c4b7b68-en.html) (取得日: 2026年3月13日)
- Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social*

- Studies of Science, 19(3), 387-420.
- Putnam, R. D. (2000). *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*. Simon & Schuster.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.
- Pawilen, G. T., Tomida, M., & Eugenio, J. A. (2023). Proposed Typology and Inter-university Collaboration Model for Designing and Implementing Micro-credentials in Japan and the Philippines. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 15(3), 1692-1715. <https://ijci.net/index.php/IJCI/article/view/1372> (取得日: 2026年3月13日)
- Commission on Higher Education (CHED). (2025). CHED Memorandum Order (CMO) No. 01, Series of 2025: Guidelines for Micro-credential Development, Approval and Recognition in Higher Education. Republic of the Philippines.
- 井上雅裕 (2024). 「マイクロクレデンシャル」がもたらす第三段階教育の革新. *高等教育研究*, 27, 105-124. [https://doi.org/10.32116/jaher.27.0\\_105](https://doi.org/10.32116/jaher.27.0_105) (取得日: 2026年3月13日)
- 井上雅裕 (2025). マイクロクレデンシャルの標準化と国際連携 -生涯にわたる多様な学びの実現-. *工学教育*, 73(1), 1\_8-1\_15.
- 井上雅裕(編著) (2022). *大学のデジタル変革—DXによる教育の未来—*. 東京電機大学出版局.
- 芝浦工業大学. (2023). 芝浦工業大学デジタル学修歴証明運用規程. [https://www.shibaura-it.ac.jp/assets/sit\\_digital.pdf](https://www.shibaura-it.ac.jp/assets/sit_digital.pdf) (取得日: 2026年3月13日)
- サイバー大学. (2024). サイバー大学が国内の教育機関で初めて「オープンバッジ大賞」の「大賞」を受賞. <https://www.cyber-u.ac.jp/information/y240925.html> (取得日: 2026年3月13日)
- 追手門学院大学. (2025). 「オープンバッジ」導入で学修成果を可視化。大学独自アプリ「OIDAI アプリ」にも表示、新たな学びの証明に！ <https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000000385.00034112.html> (取得日: 2026年3月13日)
- 東北大学. (2022). 東北大学オープンバッジを導入しました. [https://www.dx.tohoku.ac.jp/news\\_20220721/](https://www.dx.tohoku.ac.jp/news_20220721/) (取得日: 2026年3月13日)
- 謝辞 本研究は、科学研究費補助金（海外連携研究）「状況に即応するマイクロクレデンシャルのためのプログラム開発モデルとその実装」(23KK0044)の助成を受けておこなわれた。

知的障害特別支援学校小学部における算数（図形領域）の課題の検討  
 Examination of Challenges in Arithmetic (Geometry Domain) in the Elementary Division  
 of Special Needs Schools for Students with Intellectual Disabilities

○藤村小桜, 富田享子

FUJIMURA Koharu, TOMITA Kyoko

愛媛大学教育学部

Faculty of Education, Ehime University

【要約】 知的障害特別支援学校小学部の教員が、算数科、特に図形領域の指導に対してどのような課題意識をもっているのかを明らかにし、その指導を充実させるための方策を検討することを目的とした。質問紙調査の結果、算数科の指導に対して感じる困難さについて、90%以上の教員が「とても難しい」または「難しい」と回答していた。また、知的障害特別支援学校小学部算数科学習指導要領に示された5領域について、図形領域は、数と計算領域と比較して、学習で身についたことを日常生活で使う場面が具体的に想起しづらいという結果が得られた。本研究の結果から、知的障害特別支援学校小学部教員においては、算数科の指導に困難さを感じている教員が多いことが明らかとなった。特に図形領域の指導にあたっては、教員が、図形領域の学習を日常生活のどのような場面で使うことができるか具体的に思い浮かべ、学習内容を日常生活と結び付けて指導を行う重要性が示唆された。

【キーワード】 知的障害特別支援学校, 小学部, 算数科, 図形領域

## I. 問題と目的

算数を学ぶ意義について、杉山(2012)は、実生活の問題を解決するというような「実用的価値」、ものの考え方の育成や人間形成というような「陶冶的価値」、数学そのものの美しさや価値を知るというような「文化的価値」の3つの視座から説明している。これを受けて、道圓・鳥越(2017)は、算数を学ぶことによって生活を豊かにするという目的は、「生きる力」の育成にもつながるものであり、通常の学級においても特別支援学級においてもその意義は変わらないと考えられるとしている。岡田・高橋(2009)は、知的障害者である児童生徒に対する教育を行う特別支援学校(以下、知的障害特別支援学校)における算数科の指導について、ものの見方や考え方を獲得し、それらを高めていく上で、数量・図形の感覚は極めて重要であると指摘している。

特別支援学校学習指導要領解説各教科等編(文部科学省, 2019)では、知的障害特別支援学校における各教科の指導は、学年ではなく段階別に内容を示している。知的障害のある児童は、発達期における知的機能の障害が同一学年であっても個人差が大きく、学力や学習状況も異なるため、段階を設けて示すことにより、個々の児童生徒の実態等に即して、各教科の内容を精

選して、効果的な指導ができるようにしている。小学部の各教科は、各教科の目標の下に、3つの段階の内容が示されている。算数科の学習に関して、特別支援学校学習指導要領(知的)「算数科」の領域は、1段階は「A 数量の基礎」、 「B 数と計算」、 「C 図形」、 及び「D 測定」の4つの領域がある。2段階と3段階は「A 数と計算」、 「B 図形」、 「C 測定」、 及び「D データの活用」の4つの領域がある。

知的障害特別支援学校において教科に関する指導形態には、教科別に指導を行う場合と各教科を合わせて指導を行う場合がある。特別支援学校学習指導要領各教科等編(小学部・中学部)では、以下のように示されている。教科別の指導とは、教科ごとの時間を設けて指導するものである。各教科等を合わせて指導を行う場合とは、各教科、道徳科、特別活動、自立活動及び小学部においては外国語活動の一部又は全部を合わせて指導を行うことをいう。知的障害者である児童生徒に対する教育を行う特別支援学校においては、児童生徒の学校での生活を基盤として、学習や生活の流れに即して学んでいくことが効果的であることから、従前から、日常生活の指導、遊びの指導、生活単元学習、作業学習などとして実践されてきており、それらは「各教科等を合わせた指導」と呼ばれている(文部

科学省, 2019).

このように、知的障害のある児童生徒に対する指導に関しては、生活の流れに即した形で学ぶ重要性が示されている。一方で、知的障害のある児童の算数科の課題として、道圓・鳥越 (2017) は、「具体物の使用」によっても、「生活の中での学習」を工夫して指導しても学習内容が定着しにくいことを指摘している。

知的障害児を対象とした算数の実践研究や、実践例の報告に関しては、数と計算の領域に関するものが多くみられる (河野, 2011; 藤原・柘植, 2015; 大貫・野口・熊井戸・二井・土井, 2021; 宮野, 2023; 田中・梅永・金森, 2023; 佐々木・田中, 2024)。しかし、図形領域については、数と計算領域と内容項目数がほぼ同様であるにもかかわらず、先行研究が少ない。藤澤・朝倉・西浦・松本・横田・恵羅・松島 (2021) は、図形領域については、生活単元学習などの教科等を合わせた指導のなかで実際の生活場面に即した具体的な活動を行うことが中心となり、図形に関する資質・能力の獲得についてはこれまで検討が不十分であったと指摘している。

また、算数科の指導に関して、渡邊 (2008) は、通常の学級を対象として、現役教員の算数指導力の向上を目的に研究を実施している。その中で、現場の教員から「算数は苦手だから何をしたら良いかわからない」といった意見が出されたこと、実際の授業においてはテクニカル部分に関する努力が多く、教員自身が数学的内容の本質を理解できていないことを課題として挙げている。関連して、公開授業後の反省でも、算数の数学的な教育内容 (本質) 部分の議論まで深まらなことが多くと指摘している。これらの課題を総合し、系統性が強い学問である算数 (数学) で、「如何に教えるか」のみに終始した指導に偏ることは、子どもの算数・数学の躓きの原因を作ってしまうことになると示している。このように、算数科の指導において、教師の算数の得意・不得意の意識と算数科の指導に関連があることが示唆されるが、これは通常の学級を対象とした調査であり、知的障害特別支援学校における、教員の算数・数学科の指導に対する意識や困難さの実態については明らかになっていない。

そこで本研究では、知的障害特別支援学校の教員が、算数科、特に図形領域の指導に対してどのような課題意識をもっているのかを明らかにし、その指導を充実させるための知見を得ることを目的とする。

## II. 方法

### 1. 調査の対象と期間

対象は、X 県内の知的障害特別支援学校 5 校の小学部教員 195 名であった。調査方法は質問紙調査であり、Google フォームでアンケートフォームを作成し、QR コードを印刷して、郵送で各校に配布した。回答はフォーム上で回収した。質問項目は、渡邊 (2008)、道圓・鳥越 (2017)、窪田・藤井 (2020)、香月 (2023) を参考に作成し、知的障害のある児童に対して算数科の指導を行った経験のある教員を対象とした予備調査を経て確定した。質問項目を表 1 に示した。渡邊 (2008) は、算数に対する苦手意識を有する教員が、「何をしたらよいかわからない」と感じている実態があることを示していたため、算数科の指導の困難さについて、教員の算数科・数学科に対する得意不得意の意識との関連も検討することとした。1 基本情報に関する質問、2 知的障害特別小学部の算数科の指導の実態に関する質問の (1) から (5)、3 教員の算数・数学科に対する意識に関する質問は、選択式回答で回答を求めた。2 知的障害特別小学部の算数科の指導の実態に関する質問の (6) から (8)、4 図形領域における子どもの課題については、記述式回答で回答を求めた。選択式回答は 4 件法とした。調査期間は 2025 年 7 月下旬から 9 月上旬であった。研究の実施にあたっては、愛媛大学教育学部倫理審査委員会の承認を受けた (R7-31)。

表 1 特別支援学校教員への質問項目

質問項目
1 基本情報に関する質問 (全 2 問)
(1) 知的障害特別支援学校での指導年数
(2) 知的障害特別支援学校の小学部で現在担任している学年
2 知的障害特別小学部の算数科の指導の実態に関する質問 (全 8 問)
(1) 知的障害特別支援学校における算数科の指導の難易度
(2) 算数科の内容を扱う授業形態として、現在担任されているクラスで、最も多い授業形態
(3) 特別支援学校における算数科【数量の基礎】【数と計算】【図形】【測定】【データの活用】の 5 領域の指導について、領域ごとの指導の充実度
(4) 特別支援学校における算数科の指導について、5 領域の中で教えることに自信のある領域、自信のない領域
(5) 算数科の学習で身についたことを子どもたちが日常生活で活用できていると感じているか
(6) 子どもたちの算数科に関する学習内容の定着を評価している場面
(7) 算数科に関する指導を行う際に工夫・意識していること
(8) 知的障害特別支援学校小学部において、算数科に関わる指導を実施する上での課題
3 教員の算数・数学科に対する意識に関する質問 (全 3 問)
(1) 算数は得意か
(2) 数学 (中学校以降) は得意か
(3) 算数科の各領域の学習が日常生活にどう活用できるかを思い浮かべられるか
ア 【数量の基礎】 エ 【測定】
イ 【数と計算】 オ 【データの活用】
ウ 【図形】
4 図形指導に関する質問 (全 1 問)
図形領域における子どもの課題

### 2. 分析方法

選択式回答は、HAD18 (清水, 2016) を用いて統計的に処理を行った。自由記述の回答は、KJ 法 (川喜多, 1967) を参考にカテゴリーに分けた。手順としてはま

ず、記述内容をデータ化し、データをラベルに転記した。内容の似たラベルを集めて小グループ化しさらに大きなグループに集約した。一文が複数のラベルに分類できると判断した場合には、一文を区切って、二つ以上のラベルに分けた。カテゴリ名の横に、それぞれのカテゴリに含まれる記述内容の個数を () で示した。また、分類したデータの4分の1を無作為に抽出し、本研究に関与していない特別支援教育を学ぶ大学生に分類を依頼し妥当性を検討した。一文が複数の意味内容を含む可能性があることを踏まえ、一文の記述から複数のラベルに分類した場合、両者が付与したラベルのうち少なくとも1つが一致した場合を一致と定義し、一致率を算出した。一致率は、90%であったため、この分類は妥当であると判断した。

### Ⅲ. 結果

#### 1. 回答数

知的障害特別支援学校小学部教員 38 名から回答が得られた。回収率は 19.5%であった。また、不完全な回答用紙については、無回答とせず、項目毎に有効回答とした。

#### 2. 回答者の属性

回答者の特別支援教育経験年数は、平均 8.4 年 (SD = 8.8), 中央値 5.0 年であった。また、現在担任している学年は、1 年生が 3 名, 2 年生が 6 名, 3 年生が 8 名, 4 年生が 10 名, 5 年生が 4 名, 6 年生が 5 名であった。

#### 3. 算数科の指導に対して感じる困難さ

知的障害特別支援学校小学部における算数科の指導に対して感じる難易度について、選択式で回答を求めた結果、6 名 (15.8%) が「とても難しい」、30 名 (78.9%) が「難しい」、2 名 (5.3%) が「あまり難しくない」と回答した。

#### 4. 算数科の指導の指導形態

指導形態について、「教科別の指導として位置づけている」と回答した教員が 21 名 (55.3%), 「各教科等を合わせた指導の中で実施している」と回答した教員が 17 名 (44.7%) であった。

#### 5. 算数科の指導の指導形態と算数科の指導の困難さ

算数科の指導の指導形態による、算数科の指導の困難さを比較したところ、教科別の指導として位置づけている教員 (21 名) のうち、3 名 (14.3%) が「とても難しい」、16 名 (76.2%) が「難しい」、2 名 (9.5%) が「あまり難しくない」と回答した。それに対し、各教

科等を合わせた指導の中で実施している教員 (17 名) のうち、3 名 (17.6%) が「とても難しい」、14 名 (82.4%) が「難しい」と回答した。指導形態によって、算数科の指導の困難さに差があるのかを検討するため、マンホイットニーの U 検定を行ったところ、指導形態による指導の困難さには統計的な有意差は見られなかった ( $U=198.500, p=.397$ )。

#### 6. 算数科の 5 領域の指導の充実度

特別支援学校における算数科「数量の基礎」「数と計算」「図形」「測定」「データの活用」の 5 領域の指導について、領域ごとの指導の充実度の結果を表 2 に示した。さらに、算数の各領域の指導の充実度を比較するため、フリードマン検定を実施した。なお、「対象の児童がいない」項目については欠損値 (ND) として扱い、有効なデータのみを用いて分析を行った。その結果、算数科の 5 領域の間で、指導の充実度に有意な差が見られた ( $\chi^2(4) = 45.037, p=.000, p < 0.001, \eta^2 = .417$ )。

事後検定として行った、多重比較 (Holm 法) の結果を表 3 に示した。「数量の基礎」および「数と計算」の順位は、「測定」および「データの活用」よりも有意に高かった (調整済み  $p = .000, p < 0.01$ )。また、「図形」の順位も「データの活用」に比べて有意に高かった (調整済み  $p = .000, p < 0.001$ )。一方、数量の基礎、数と計算、図形の間には、有意な差は見られなかった。

表 2 算数科の 5 領域の指導の充実度の結果

カテゴリ	「数量の基礎」	「数と計算」	「図形」	「測定」	「データの活用」
とても指導できている	5	2	2	1	1
指導できている	21	19	18	8	2
あまり指導できていない	12	16	15	24	17
全く指導できていない	0	1	3	5	7
対象の児童がいない	0	0	0	0	11
計	38	38	38	38	38

表 3 算数科の 5 領域の指導の充実度の多重比較

水準の組	順位之差	効果量 $r$	$p$ 値	調整 $p$ 値
「数量の基礎」 - 「数と計算」	0.259	.082	.475	.475
「数量の基礎」 - 「図形」	0.537	.170	.139	.416
「数量の基礎」 - 「測定」	1.444	.457	.000	.000***
「数量の基礎」 - 「データの活用」	2.019	.638	.000	.000***
「数と計算」 - 「図形」	0.278	.088	.444	.888
「数と計算」 - 「測定」	1.185	.375	.001	.007**
「数と計算」 - 「データの活用」	1.759	.556	.000	.000***
「図形」 - 「測定」	0.907	.287	.012	.062
「図形」 - 「データの活用」	1.481	.468	.000	.000***
「測定」 - 「データの活用」	0.574	.182	.114	.454

注 \*\*:  $p < 0.05$ , \*\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*\*:  $p < 0.001$

#### 7. 算数科の指導について、5 領域の中で教えることに自信のある領域、自信のない領域

特別支援学校における算数科の指導について、教え

ることに自信のある領域を選択式で回答を求めた。回答は複数回答可とした。その結果、「数量の基礎」が23名(31.5%)、「数と計算」が23名(31.5%)、「図形」が13名(17.8%)、「測定」12名(16.4%)、「データの活用」が2名(2.7%)であった。自信のない領域についても同様に選択式で回答を求めた結果、「数量の基礎」が4名(6.3%)、「数と計算」が7名(10.9%)、「図形」が9名(14.1%)、「測定」が12名(18.8%)、「データの活用」が32名(50.0%)であった。

### 8. 子どもたちが算数科で身に付けた力を日常生活で活用することに関する教師の認識

算数科の学習内容を子どもたちが日常生活で活用できていると感じているか、選択式で回答を求めた結果、2名(5.3%)が「とても活用できていると感じている」、26名(68.4%)が「活用できていると感じている」、10名(26.3%)が「あまり活用できていないと感じている」と回答した。

### 9. 子どもたちの算数科に関する学習内容の定着を評価している場面

子どもたちの算数科に関する学習内容の定着を評価している場面について記述式で回答を求めた。評価場面について、各カテゴリーに含まれる回答の中から代表的なものを一部抜粋し、表4に示した。カテゴリーは、特別支援学校学習指導要領解説各教科等編(文部科学省, 2019)で示されている算数科の目標、知的障害特別支援学校小学部の教育課程を参考にした。本

表4 子どもたちの算数科に関する学習内容の定着を評価している場面

「カテゴリー」	回答(代表的なものを1部抜粋)
各教科等を合わせた指導(16)	・買い物学習 ・校外学習の場面 ・制作活動 ・給食の配膳
数に関わる場面(16)	・数字を書く ・具体物の数を数える場面。 ・数字を読めたとき。
日常生活・遊びの場面(9)	・生活の場面で算数的な知識や技能が活用できているかチェックする。 ・日常のふとした場面(何かを配るときや成長観察するときの言動など)で算数的な言動が見られたとき。
算数科に関する授業・課題での評価(7)	・授業中、算数科の内容や難易度を少しずつ変化させながら、繰り返し実施することを通して、定着度合いを評価する。 ・授業中、事前に設定した評価の場面。
ものともとの対応させる場面(7)	・目印を手掛かりにして一対一対応で物を集める、配るなどをする。
大きさや量に関わる場面(5)	・1対1対応ができています。 ・好きなお菓子やジュースを選ぶときに多い方を選んだとき。 ・好きなものであれば量や大きさを比べてより大きい方を選んだとき。 ・大小、長短などの識別。
形に関わる場面(2)	・丸を描ける。 ・色や形、(数字)のマッチングができています。
ものの類別や分類・整理に関わる場面(1)	・物を分ける
興味関心(1)	・同じ道具を集める ・興味関心を示したとき

文中ではカテゴリー名を【 】で表記した。

教員が算数科に関する学習内容の定着を評価している場面として、【各教科等を合わせた指導】に関する記述と【数にかかわる場面】に関する記述が16件であった。

### 10. 算数科に関する指導を行う際に工夫・意識していること

算数科に関する指導を行う際に工夫・意識していることについて記述式で回答を求めた。算数科に関する指導を行う際に工夫・意識していることについて、各カテゴリーに含まれる回答の中から代表的なものを一部抜粋し、表5に示した。カテゴリーは、特別支援学校学習指導要領解説各教科等編(文部科学省, 2019)で指摘されている知的障害のある児童生徒の学習上の特性を参考にした。本文中ではカテゴリー名を【 】で表記した。

算数科の指導を行う際に工夫・意識していることは、【生活場面に即した学習】に関する記述が19件、【興味・関心を活かす】が11件と続いた。具体的には、日常生活に使える活動と結びつけるための教材選定や学習内容を日常生活で活用するための授業についての回答があった。

### 11. 算数科に関わる指導を実施する上での課題

知的障害特別支援学校小学部において、算数科に関わる指導を実施する上での課題について記述式で回答を求め、各カテゴリーに含まれる回答の中から代表的

表5 算数科に関する指導を行う際に工夫・意識していること

【カテゴリー】	回答(代表的なものを1部抜粋)
生活場面に即した学習(19)	・日常生活に使える活動と結びつけるような教材。 ・学習したことをいかに生活に般化されるか。 ・日常生活場面で学んだことが活用できるように言葉掛けや場面設定をする。 ・生活に役に立つ算数を教えること。
興味・関心を活かす(11)	・興味がある物を使った題材を利用して、興味を引くよう意識している。
視覚化・具体化・操作的な教材教具(8)	・具体物を使う。 ・見て、操作して分かるようにする。
実態把握(6)	・適切な実態把握をしたりすること。 ・個々の理解度を正確に把握するよう努めること。 ・ITで児童の実態を把握すること。
実態に応じた支援・指導(6)	・最低限の支援で児童が活動できるような教材教具を、児童の実態を考慮して作成すること。 ・同じ教材を使っても、個々に応じた課題となるように扱う数や形の種類を変えるなどして難易度を調整する。
授業形態の工夫(5)	・友達同士による学びの気づき合い。 ・児童の思考の流れを考えて、児童自身が気付いたり、考えたりする場面と、教師が教える場面のバランスを考えて計画。
段階的な指導(3)	・スモールステップ。 ・各発達段階に応じた表現方法や教材を用意すること。
継続的な指導(2)	・繰り返し学習する。 ・授業以外の学習時間や宿題などを活用した反復学習の実施。
その他(3)	・分かりやすいデジタル教材の作成。 ・視線の誘導。

なものを一部抜粋し、表6に示した。カテゴリーは、窪田・藤井(2020)の、学級担任が感じる知的障害の教科の指導における困難や不安を参考にした。

算数科に関わる指導を実施する上での課題については、実態差への対応に関する記述が10件であった。

【実態差への対応】に関する具体的な記述として、学級やグループ内での実態差が大きく一斉授業をすることが難しいとの回答や、実態、ねらいが大きく異なる場合の個々の目標設定についての記述があった。

12. 知的障害特別支援学校における算数科の5領域の日常生活での使用場面

算数科の5領域の学習で身についたことを、日常生

活のどのような場面で使うことができるか具体的に思い浮かべることの困難さについて選択式で回答を求めた結果を表7に示した。フリードマン検定を行った結果、算数科の5領域の間で、日常生活のどのような場面で使うことができるか具体的に思い浮かべることの困難さに有意差が見られた( $\chi^2(4)=32.204, p=.000, p<0.001, \eta^2=.212$ )。事後検定として、多重比較(Holm法)を行った。その結果を表8に示した。「数と計算」の順位は、「図形」よりも有意に高かった(調整済み $p=.020, p<0.05$ )。

13. 教員の算数・数学科に対する意識

教員自身の、算数科・数学科に対する得意・不得意

表6 算数科に関わる指導を実施する上での課題

「カテゴリー」	回答(代表的なものを1部抜粋)
実態差への対応(10)	・実態に合わせてグループを構成しているがグループの中でも実態差があり、一斉授業をすることが難しいと感じること。 ・実態、ねらいが大きく異なる児童に時間における指導を行う際の学習内容、各々の目標の設定。 ・学級での実態差が大きいと全体での授業が難しい。
教員の力量、知識不足、経験による差(7)	・教員の知識不足。 ・各先生の力量や指導方法に委ねられているように感じる。 ・教員は、自分たちが受けてきた算数教育、つまり通常学級の小1からの算数だと指導内容を考えやすい。しかし、それ以前の段階の子どもに算数を教えるということへのイメージが持ちにくく、経験年数によって、教え方に大きな差ができてしまうこと。
実態に応じた支援・指導(7)	・児童の発達段階によってどのように指導すればよいか、悩むことが多い。 ・実態によって、指導が難しい領域がある。
児童の学習上の特性に関すること(5)	・学習の定着 ・般化の難しさ
実態把握・段階の把握(4)	・第一段階の児童に対して、実態把握と次のステップ、課題の選別が難しい。 ・本人の実態、どこまでが分かっているか。
日常生活と結び付ける難しさ(4)	・日常生活に結びつきにくい。 ・感染症やアレルギー、肥満の子の増加のため、買い物学習や調理の機会が減っている。わかりやすく活かす場面は減っているのではないかと思う。
興味・関心を引く題材の選定(3)	・同じ集団で学んでいる全員が面白いと感じる授業を行うことが難しい、まだできていないと感じる。
系統的な指導(3)	・年間、または6年間を見通して、系統立てた指導をすること。 ・生活に生かすためには生活単元学習のなかに盛り込むのが良いと思うのだが、最近は算数科として授業するシステムになっており、果たして生活に生かされているのかどうか疑問を持つ。
教育課程に関する課題(3)	・算数科に関わる指導の時間が少ない。 ・児童の思考の流れを考えて、児童自身が気付いたり、考えたりする場面と、教師が教える場面のバランスを考えて計画。
その他(1)	・経験不足。

表7 算数科5領域の使用場面の想起しやすさ

カテゴリー	「数量の基礎」	「数と計算」	「図形」	「測定」	「データの活用」
とてもできる	10	14	2	9	10
できる	27	23	28	26	18
あまりできない	1	1	8	3	8
できない	0	0	0	0	2
計	38	38	38	38	38

表8 算数科5領域の使用場面の想起しやすさの多重比較

水準の組	順位差	効果量 $r$	$p$ 値	調整 $p$ 値
「数量の基礎」・「数と計算」	-0.237	-.075	.514	1.000
「数量の基礎」・「図形」	0.882	.279	.015	.136
「数量の基礎」・「測定」	0.197	.062	.586	.586
「数量の基礎」・「データの活用」	0.605	.191	.095	.571
「数と計算」・「図形」	1.118	.354	.002	.020*
「数と計算」・「測定」	0.434	.137	.231	1.000
「数と計算」・「データの活用」	0.842	.266	.020	.162
「図形」・「測定」	-0.684	-.216	.059	.415
「図形」・「データの活用」	-0.276	-.087	.446	1.000
「測定」・「データの活用」	0.408	.129	.261	1.000

注 \*: $p<0.05$ ,\*\*: $p<0.01$ ,\*\*\*: $p<0.001$

表9 算数（数学）科に対する意識に関する回答

カテゴリー	算数の度数（人）	数学の度数（人）
とても得意	9	4
得意	15	14
あまり得意ではない	8	9
全く得意ではない	6	11
計	38	38

表10 算数と数学の得意度の対応関係

算数\数学	とても得意	得意	あまり得意ではない	全く得意ではない
とても得意	4	5	0	0
得意	0	8	6	1
あまり得意ではない	0	1	3	4
全く得意ではない	0	0	0	6

表11 算数科の意識と算数科の指導の困難さの関係

算数科の指導の困難さ\算数に対する意識	とても得意	得意	あまり得意ではない	全く得意ではない
とても難しい	0	2	1	3
難しい	8	12	7	3
あまり難しくなく	1	1	0	0
難しくなく	0	0	0	0

表12 数学科の意識と算数科の指導の困難さの関係

数学科の指導の困難さ\算数に対する意識	とても得意	得意	あまり得意ではない	全く得意ではない
とても難しい	0	0	3	3
難しい	3	13	6	8
あまり難しくなく	1	1	0	0
難しくなく	0	0	0	0

表13 図形領域における子どもの課題

【カテゴリー】	回答（代表的なものを1部抜粋）
日常生活と結び付ける	・日常生活の場面に生かしく、力が身に付きにくい。
難しさ(10)	・その場(活動や問題プリント)で分かった、できた、と実感できたとしても、学んだことが日常で使いにくい。
児童の学習上の特性に関すること(9)	・形の認識、動かした時にその図形と一致できてない。
関すること(9)	・立体や空間をイメージする力が不足している児童が多いと感じる。
形への着目が困難(6)	・子どもたちは、身の回りにあるものの形を構成する要素のうち、どこに注目すればよいのか分かりづらい。 ・子どもは、図形以外の要素（色、形、大きさ、用途など）の方が注目しやすく、図形の要素を抜き出して注目することはなかなか難しい。
名称と概念の一致(5)	・言葉と形が一致していない。 ・体験的に図形を認識し、本能的に活用している児童がいる。それを丸、三角、四角などの用語に当てはめて考えたり、いわゆる「算数科」っぽい学習まで繋げることが難しい。 ・丸などの名称と形が結びつかないとき。
実態に応じた支援・指導(5)	・形の定義など、個々の実態に合わせて分かりやすく伝えることは難しい。 ・児童一人ひとりに合わせた学習内容の選定に迷うことがある。
興味・関心を引く(4)	・興味がない児童への学習課題に悩むことがある。 ・図形に興味関心がある子どもと興味関心がない子どもの差があり、興味関心があまりない子どもに対して十分に引き出してあげていない事、効果的な指導を勉強していきたい。
系統的な指導(4)	・形の弁別から次の発展的な学習に結び付けるのが難しい。 ・系統立てた学習の最後にたどり着かない。
実態把握・段階の把握(2)	・正確な実態把握。 ・力をはかりかねるところがある。
評価の難しさ(2)	・算数科に関わる指導の時間が少ない。 ・児童の思考の流れを考えて、児童自身が気付いたり、考えたりする場面と、教師が教える場面のバランスを考えて計画。
児童の図形領域に関する経験が少ない(2)	・意図的に形に触れる機会を設定しないと、あまり触れる機会がないこと。
実態差への対応(1)	・「まる、さんかく、しかく」の学習で、正方形と長方形は同じ形ではない「しかくの仲間」というのをスッと捉える子もいればそうでない子もいる。辺の数に着目して「1.2.3.4!線が4つ!」と丸め込みながら教室での同じ形探しをしたが、どうしたら良かったのか。
その他(3)	・手指の巧緻性などの自立活動とも関連づけた連携した取り組みが必要。 ・図形の弁別ができる児童は多かったが、図形を自分で書いたり、組み合わせたりして新たな形を創造したりすることは難しかった。

の意識について選択式で解答を求め、それぞれの回答の度数を表9に示した。算数については、9名が「とても得意」、15名が「得意」、8名が「あまり得意ではない」、6名が「全く得意ではない」と回答した。数学

については、4名が「とても得意」、14名が「得意」、9名が「あまり得意ではない」、11名が「全く得意ではない」と回答した。また、算数と数学の得意度の対応関係を表10に示した。

#### 14. 知的障害特別支援学校小学部教員の算数・数学科に対する意識と算数科の指導の困難さ

算数科に対する意識と算数科の指導の困難さの関連についてスピアマンの順位相関係数を算出した結果、両者の間には有意な弱い負の相関が認められた ( $r = -0.390, p < .05$ )。数学科に対する意識と算数科の指導の困難さの関連についてスピアマンの順位相関係数を算出した結果、両者の間には有意な比較的強い負の相関が認められた ( $r = -0.425, p < .01$ )。

次に、知的障害特別支援学校小学部教員の算数・数学科に対する意識と算数科の指導の困難さについて、算数、数学のそれぞれが「とても得意」「得意」の群を合わせて、「得意群」とし、「あまり得意ではない」「全く得意ではない」の群を合わせて「不得意群」として、「得意群」と「不得意群」の2群で、マンホイットニーのU検定を行い、知的障害特別支援学校小学部教員の算数(数学)科に対する意識によって、算数科の指導の困難さに差があるのかを検討した。

知的障害特別支援学校小学部教員の算数科に対する意識と算数科の指導の困難さについて、有意差は見られなかった ( $U = 212.000, p = .058$ )。知的障害特別支援学校小学部教員の数学科に対する意識と算数科の指導の困難さについて、有意差が見られ、数学科の「得意群」と「不得意群」では、知的障害特別支援学校小学部における算数科の指導の困難さに差があった。 ( $U = 112.000, p = .005, p < .01$ )。

算数科、数学科それぞれの意識と算数科の指導の困難さの関係を表11、表12に示した。算数科の指導の困難さについて、「あまり難しくない」と回答した2名のうち、1名は、算数科、数学科の両方について「とても得意」と回答しており、もう1名は、算数科、数学科の両方について「得意」と回答していた。

#### 14. 知的障害特別支援学校小学部教員から見た、図形領域における子どもの課題

知的障害特別支援学校小学部教員から見た、図形領域における子どもの課題について記述式で回答を求めた。課題について、各カテゴリーに含まれる回答の中から代表的なものを一部抜粋し、表13に示した。

図形領域における子どもの課題について、【日常生活と結び付ける難しさ】が多く挙げられていた。

また、【名称と概念の一致】に課題が見られることについて、言葉と形が一致していないことが挙げられていた。【形への着目が困難】であるという課題につい

て、子どもたちは、身の回りにあるものの形を構成する要素のうち、どこに注目すればよいのか分かりづらいことや、今は形よりも色や大きさに着目している児童が多く、どうやって形に着目させるのか、入り方が難しいことが挙げられていた。

#### IV. 考察

本研究では、知的障害特別支援学校の教員が、算数科、特に図形領域の指導に対してどのような課題意識をもっているのかを明らかにし、その指導を充実させるための知見を得ることを目的として質問紙調査を行った。

その結果について、算数科の指導を実施する上での課題、算数科の学習内容を日常生活で活用するための課題、教員の算数・数学科に対する意識と算数科の指導の困難さの関連、図形領域の課題の4つの視点から考察する。

まず、算数科の指導を実施する上での課題について考察する。今回の質問紙調査の結果から、知的障害特別支援学校小学部における算数科の指導に対し、困難さを感じている教員が多いことが明らかになった。

窪田・藤井(2020)は、知的障害特別支援学校の教員は、教科指導にあたり個々の児童生徒の実態に合った指導を行うことの困難を感じており、自分自身の指導に対する不安があったと指摘している。今回の調査で、算数科の指導においても、教員は、知的障害のある児童の特徴を踏まえた指導を工夫・意識しており、【実態把握】や【実態に応じた支援・指導】を行うことを意識しているものの、【実態把握・段階の把握】を行い、【実態に応じた支援、指導】を行うことに困難を感じており、実践において十分に機能させることに課題があると考えられる。算数科の課題として【実態差への対応】に困難さを感じる教員が最も多かった。子どもの実態把握ができたとしても、授業づくりを行う際に実態差がある集団において、子ども一人ひとりの実態に合った目標を設定することや集団での学習活動を考えて授業を行うことの難しさが挙げられていた。飛坂・勝二・田原(2022)は、実態把握の結果を活かした目標設定をしていくために、子どもの実態から学習指導要領で示される段階との対応づけをスムーズにつなげられるツールを開発することで、段階ごとに示される目標や内容の理解が深まると指摘している。また、加藤(2022)は、特別支援学校において一斉に学

ぶ授業形態に加え、ティームティーチングを活用して、児童の実態に合わせて集団を2つのグループに分け、学習集団を小さくしてグループ別に学ぶ授業形態を取り入れ実践を行った。グループ別に学ぶ授業形態を取り入れたことで、学習経験や実態差に応じた内容が少人数で指導可能となり、理解度が向上したと示唆している。

これらのことから、実態差のある集団で子どもの実態を把握し、実態に合った目標や学習活動の設定を行うために、子どもの実態と学習指導要領で示される段階との対応づけ、授業形態の工夫についても検討する必要があると考えられる。

次いで、算数科の学習内容を日常生活で活用するための課題について考察する。

道圓・鳥越(2017)は、「具体物の使用」によっても、「生活の中での学習」を工夫して指導しても学習内容が定着しにくいと指摘している。一方で、本研究の質問紙調査の結果、学習内容を生活場面で活用できているかという項目においては、「とても活用できていると感じている」、「活用できていると感じている」と回答した教員が多かった。算数科に関する学習内容の定着を評価している場面について日常生活での場面を回答した教員は、「数量の基礎」や「数と計算」の領域に関するものが中心であり、他の領域については日常生活の中で学習内容の定着を評価している場面を具体的に回答した教員は少なかった。このことから、教員は、算数科の学習内容を子どもたちが日常生活で活用できていると感じているものの、実際に学習内容の定着を評価している場面は領域によって偏りがあり、学習内容の定着の難しさについては5領域の間で差があることが示唆される。

次に、教員の算数・数学科に対する意識と算数科の指導の困難さの関連について考察する。

教員の算数科に対する得意不得意の意識と算数科の指導の困難さには弱い負の相関があり、算数科に対して得意ではないと思っている教員ほど、算数科の指導に困難さを感じている可能性が示された。教員の数学科に対する得意不得意の意識と算数科の指導の困難さには比較的強い負の相関が見られ、数学科の「得意群」と「不得意群」の2群の間には算数科の指導の困難さに差があった。算数科に対する得意不得意の意識よりも数学科に対する得意不得意の意識が、指導の困難さと関連していると考えられた。算数科の指導の困

難さについて、「あまり難しくない」と答えた2名は、算数・数学科に対する意識は「得意群」であり、算数・数学科が不得意だと感じている教員の中に、算数科の指導が難しくないと回答している教員はいなかった。この結果から、教員が算数・数学に対して苦手意識をもっている場合、算数科の指導にも困難を感じやすい可能性が示唆された。渡邊(2008)は、算数が苦手な教員が、算数の指導において何を教えればよいのか分からないと感じることがあると指摘している。窪田・藤井(2020)は、教師が、【教科の専門性】が教科指導の充実のために必要であると感じていること指摘している。このことから、算数・数学が苦手な教員は、算数の指導において何を教えればよいかわからないことや、教科の専門性が不十分であることから、指導への困難さを感じている可能性がある。本研究では、算数科にかかわる指導を実施する上での課題の中に、特別支援学校における算数科の指導は、教員自身が受けてきた算数教育を行う前の発達段階である指導を行うことがあり、指導のイメージが持ちにくいことが挙げられている。算数・数学が不得意な教員でも、知的障害のある児童の算数に関する認知発達や指導方法について学ぶことで、知的障害のある児童における算数科の専門性を高めることができ、指導の困難さを改善することにつながるのではないかと考える。

算数科に対する意識よりも数学科に対する意識が、算数科の指導の困難さと強く関係する結果となったことについては、算数・数学科の得意不得意の意識を「得意群」と「不得意群」の2群に分けた際に、算数科よりも数学科の方が、「不得意群」が多かったことが関係していると考えられる。

最後に、図形領域の課題を考察する。図形領域の指導の充実度については、半数程度の教員が指導できていないと感じており、指導をより充実させていく必要があると考える。教員に、算数科の5領域の学習で身についたことを、日常生活のどのような場面で使うことができるか具体的に思い浮かべることの困難さについて回答を求めたところ、「図形」の領域は、「数と計算」の領域と比較して、有意な差が見られた。また、「とてもできる」と回答した教員の数は、5領域の中で最も少なく、「あまりできない」と「できない」と回答した教員の人数の合計は、「データの活用」の領域に次いで多かった。このことから、教員は、図形領域の学習内容を日常生活の中でどのように活用するかとい

う視点を持つことが難しいことが考えられる。算数科に関する学習内容の定着を評価している場面について日常生活での場面を回答した教員は、「数量の基礎」や「数と計算」の領域に関するものが中心であったこともあわせて考えると、「数量の基礎」や「数と計算」の領域は、買い物学習や校外学習など日常生活の場面が比較的想起しやすいのに対し、図形領域では、図形の名称理解や図形を描くことができているか確認することが中心となり、図形領域の学習内容が日常生活の場面においてどのように活用されているのかが意識されにくいと考えられる。藤澤ら(2021)は、学習した概念をどのような場面で活用するかを具体的な活動の中で経験することが、図形学習において効果的であることを示唆している。図形指導をより充実させるためには、教員は、図形領域の内容を日常生活の中でどのように活用するかという視点を持つ必要があると考えられる。自由記述による分析から、図形領域における子どもの課題について、【日常生活と結び付ける難しさ】が挙げられていた。図形領域の学習内容を日常生活の中でどのように活用するかという視点を持つことが難しいことが、図形領域の学習内容と日常生活を結び付ける難しさに関係しているのではないかと考えられる。岡田・高橋(2009)は、図形指導にあたって、子どもたちの好みの形を教師が大事にするために、日頃から子どもたちの生活を観察し、子どもがどんな形に触れているのか、どんなときに形に注目しているのかを観察し、その子にとって馴染みのある形を発見していくことが肝要であると示している。よって、図形領域の指導にあたっては、図形領域の内容と日常生活を結び付けるために、教員が、図形領域の内容が生活のどのような場面に含まれているかを捉える視点を持ち、子どもたちの生活を観察することが必要なのではないかと考える。

また、図形領域の課題として、【形への着目が困難】であること、【名称と概念の一致】に課題が見られることが挙げられていた。これらの課題は、目標が児童の実態に合っていないために、教員が立てている目標を児童が達成できていない可能性があると考えられる。例えば、【形への着目が困難】であることについて、子どもは、図形以外の要素(色、形、大きさ、用途など)の方が着目しやすく、図形の要素を抜き出して着目することはなかなか難しいと回答している教員がいた。特別支援学校学習指導要領解説各教科等編では、図形領

域の内容の中に、「形に着目して区別すること」だけではなく「具体物に注目して指を差したり、つかもうとしたり、目で追ったりすること」、「似ている二つものを結びつけること」など複数の内容が示されている。図形の要素を抜き出すことが難しい場合には、図形領域の内容から児童に合った内容を選定し、形の区別を行うために必要な力を身につけられるような指導を考えることも一つの方法であると考えられる。図形以外の要素(色、形、大きさ、用途など)を統一することで、図形の要素に着目できるような工夫も考えられる。【名称と概念の一致】については、丸や三角、四角という名称を知ることが、2段階の内容であることから、1段階の内容が定着しているかを確認し、児童にあった目標を考えることが必要である。知的障害のある児童の特性に応じて、児童が興味・関心を示す題材を使用したり、繰り返し指導したりすることを通して児童にとって定着しやすい指導方法の検討も求められる。これらのことから、図形領域において、児童の個々の実態を把握するだけではなく、児童の実態に合わせて目標を立て、学習活動や指導内容を設定し、教材や手立てを工夫したりすることが重要であると考えられる。図形領域の学習内容は日常生活の場面においてどのように機能しているのかが意識されにくい。そのため、日常生活を観察しても、児童の実態を的確に把握することが難しいと考えられる。算数科の課題として、子どもの実態と学習指導要領で示される段階との対応づけを行うツールの必要性が示唆された。これらを総合して考えると、学習指導要領で示される図形領域の各段階の内容が生活のどのような場面に含まれているかを捉える視点を整理し、日常生活を観察することで、学習内容と日常生活を結び付けるだけではなく、児童の適切な実態把握につながると期待される。

## V. 結語

本研究の結果から、知的障害特別支援学校における算数科の指導について、教員は、実態差があるグループにおいて、個々の実態に応じた指導を行うための指導方法の検討を行っていく必要があると考えられた。そのために、子どもの実態と学習指導要領で示される段階とを対応づけることと、授業形態の工夫について検討することが必要である。特に、図形領域については、図形領域の学習内容と日常生活で図形領域に関する言動との関連が想起されにくいことが課題であると

考える。そのため、日常生活の中で学習指導要領に示されている図形領域の学習内容と関連のある言動を整理し、教員が図形領域に関する内容を日常生活の中で観察できる視点を定めることが必要であると考え。このように、視点を定めることで、日常生活を観察し適切な実態把握を行えるとともに、日常生活と学習内容を結び付けることにつながり、図形領域の指導を充実させることにつながると考える。

なお、質問紙調査については、地域を限定した調査であり、回答者が少ないため、本研究の結果を一般化することには限界がある。今後は、対象地域を広げ、対象者を増やして調査し、知見を確かなものにしていくことが必要である。

## 謝辞

本研究の質問紙調査を遂行するにあたり協力していただいた X 県内特別支援学校小学部の先生方に感謝申し上げます。

## 文献

道圓桃子・鳥越隆士 (2017) : 知的障害特別支援学級在籍児童に対する算数科指導の実態と教師による工夫に関する調査, 兵庫教育大学学校教育学研究, 30, 133-139.

藤澤麻子・朝倉由里乃・西浦修平・松本裕美・横田香織・恵羅修吉・松島充 (2021) : 知的障害特別支援学校における系統的な図形指導の検討 - 小学部・中学部・高等部の学びをつなぐ学習内容の充実を目指して -, 香川大学教育実践総合研究, 43, 27-39.

漆畑千帆 (2015) : 「認知」領域情報をとりこんで整理し、日常生活に活用する力を育てる, 藤原義博・柘植雅義編, 特別支援教育のとおきおき授業レシピ, 100-119, 株式会社学研教育出版.

飛坂陽子・勝二博亮・田原敬 (2022) : 知的障害特別支援学校における学習指導要領の活用とその課題 - 若手教員と指導教員への聞き取り調査から -, 特殊教育学研究, 60, 3, 147-157.

Kalenine, S., Pinet, L., & Gentaz, E. (2011) : The visual and visuo-haptic exploration of geometrical shapes increases their recognition in preschoolers. *International Journal of Behavioral Development*, 35, 1, 18-26.

加藤達也 (2022) : 知的障害特別支援学校高等部外国語科における学習経験の違いや実態差に応じた指導

の工夫 - ハイブリッドな授業形態と多感覚アプローチを, 群馬大学大学院教育学研究科専門職学位課程教育実践高度化専攻課題研究報告書要旨集, 1 - 5. 川喜多二郎 (1967) : 発想法 - 創造性開発のために, 中央公論新社.

河野一郎 (2011) : 知的障害のある児童生徒の算数・数学の指導 (2) - ある事例からの検討 -, 山梨障害児教育学研究紀要, 5, 54-66.

香月真紀子 (2023) : 知的障害特別支援学校における算数・数学についての実態把握に関する一考察, 佐賀大学大学院学校教育学研究科紀要, 7, 389-403.

窪田幸子・藤井和子 (2020) : 知的障害教育における教科指導の実態と困難に関する調査研究, 上越教育大学研究紀要, 39, 2, 447-456.

文部科学省 (2019) : 特別支援学校学習指導要領解説各教科等編 (小学部・中学部), 開隆堂出版株式会社.

宮野雄太 (2023) : 知的障害のある児童を対象にした学習評価の効果的な進め方についての探索的検討 - 算数科「2位数の加法の筆算」の一事例に対する分析をもとに -, 教育デザイン研究第, 14, 109-118.

岡田明子・高橋玲 (2009) : 知的障害児に対する図形指導の実践例-「図形に対する感覚」を視点に-, 群馬大学教育実践研究, 26, 287-295.

佐々木浩江・田中敦士 (2024) : 知的障害児の分数学習の一考察: シュタイナー教育の分数授業を取り入れた実践, 東京学芸大学附属学校研究紀要, 51, 161-169.

清水裕士 (2016) : フリーの統計分析ソフト HAD : 機能の紹介と統計学習・教育, 研究実践における利用方法の提案, メディア・情報・コミュニケーション研究, 1, 59-73.

杉山吉茂 (2012) : 確かな算数・数学教育を求めて一杉山吉茂 算数・数学教育論選集, 東洋館出版社.

熊谷恵子 (2023) : C-4「計算する・推論する」の指導, 田中容子・梅永雄二・金森克浩編, 特別支援教育の理論と実践[第4版] II 指導, 93-110, 株式会社金剛出版.

渡邊伸樹 (2008) : 現職教員の算数指導力の向上を目指して - 認識調査を活かした教材研究の校内研修を通して -, 数学教育学学会, 49, 1-2, 17-31.

## 肱川の河原の石

### Riverbank Stones Observed in the Hijikawa River

佐野 栄<sup>\*1</sup>・平山碧海<sup>2</sup>・島田咲絵<sup>2</sup>・山崎めい<sup>3</sup>・吉田 樹<sup>2</sup>・畠中彩佳理<sup>4</sup>・中川晴臣<sup>4</sup>・高橋龍央<sup>5</sup>  
 SANO Sakae<sup>\*1</sup>, HIRAYAMA Ami<sup>2</sup>, SHIMADA Sae<sup>2</sup>, YAMASAKI Mei<sup>3</sup>, YOSHIDA Itsuki<sup>2</sup>, HATANAKA Akari<sup>4</sup>,  
 NAKAGAWA Haruomi<sup>4</sup> and TAKAHASHI Ryuo<sup>5</sup>

<sup>\*1</sup> 愛媛大学教育学部地学

<sup>\*1</sup> Earth Science Laboratory, Faculty of Education, Ehime University

<sup>2</sup> 愛媛大学教育学部学校教育教員養成課程初等教育コース 3 回生

<sup>2</sup> Third-year student, Primary School Teacher Training Course, Faculty of Education, Ehime University

<sup>3</sup> 愛媛大学教育学部学校教育教員養成課程特別支援教育コース 3 回生

<sup>3</sup> Third-year student, Special Education Course, Faculty of Education, Ehime University

<sup>4</sup> 愛媛大学教育学部学校教育教員養成課程科学教育サブコース 2 回生

<sup>4</sup> Second-year student, Science Education Sub-course, Faculty of Education, Ehime University

<sup>5</sup> 愛媛大学教育学部学校教育教員養成課程言語社会教育サブコース 2 回生

<sup>5</sup> Second-year student, Language and Social Studies Education Sub-course, Faculty of Education, Ehime University

**【要約】** 愛媛県中予～南予地域を流れる肱川の河原で採集できる岩石の図版集を作成した。肱川水系には、北側から順に、三波川変成帯、御荷鉾緑色岩類、秩父帯北帯、黒瀬川構造帯、秩父帯南帯など、東西に延びる様々な地質体が南北に帯状に分布するため、多様な岩石を観察することができる。三波川変成帯は、緑色片岩や黒色片岩、赤色片岩などから構成される。御荷鉾緑色岩類は、三波川帯の南縁部に分布し、肱川流域では主に変ハンレイ岩が産出する。秩父帯北帯及び南帯は、主に付加体構成岩類で特徴付けられ、様々な時代や起源を持つ緑色岩や石灰岩、チャート、砂岩、泥岩などからなる。黒瀬川構造帯を構成する岩石は、日本列島でも最も古い時代に形成されたカコウ岩類や角閃岩などが、蛇紋岩と共に産出する。肱川の河原、特に肱川町から大洲市周辺の河原で容易に観察できる岩石を図版化した。この図版を片手に肱川の河原に出かけ、様々な岩石を探してみたい。

**【キーワード】** 河原の石、付加体、変成岩、三波川変成帯、御荷鉾緑色岩類、秩父帯、黒瀬川構造帯

### I. はじめに

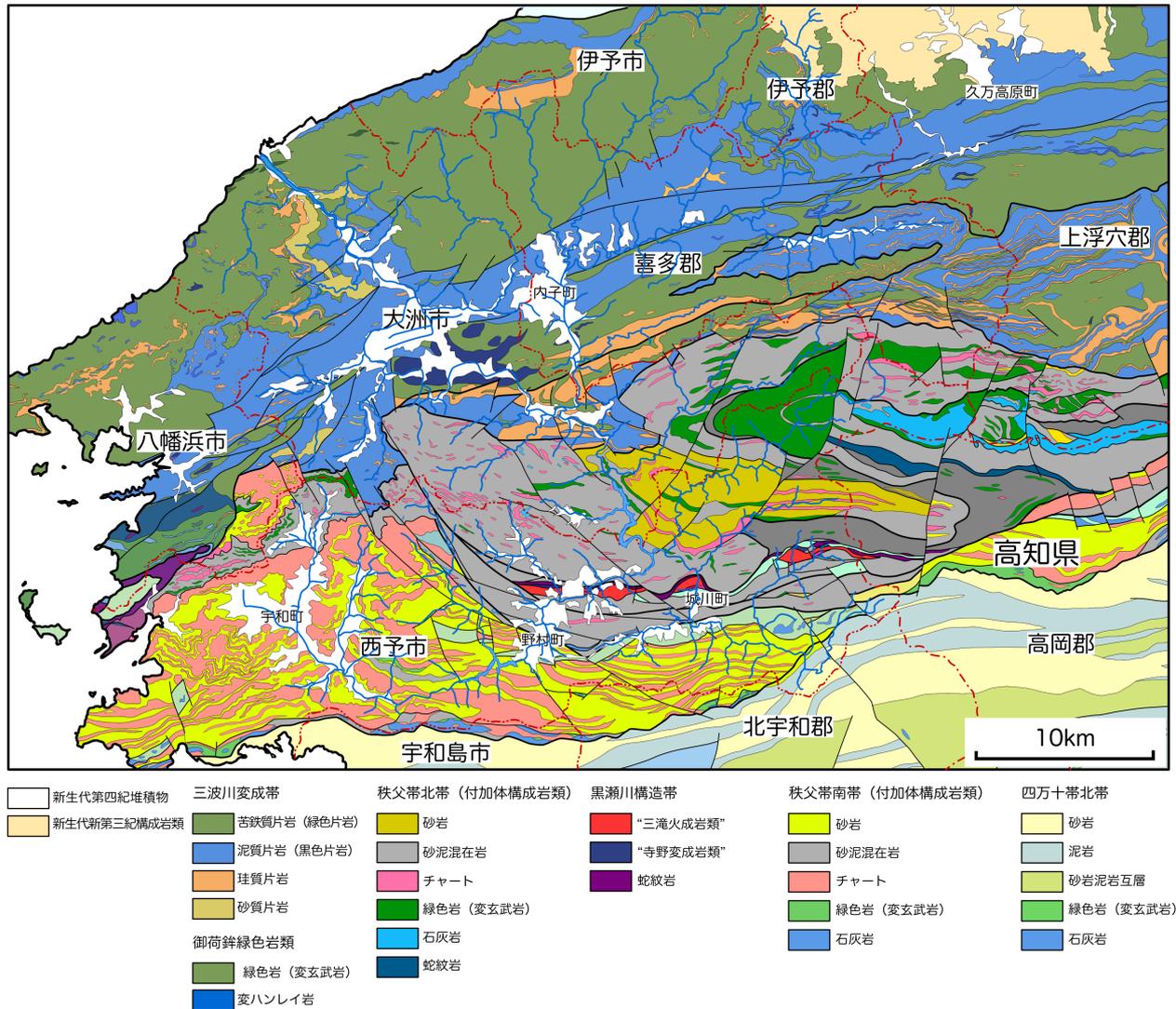
河原の石は、その川の上流にどのような岩石が分布するのか、その情報を提供してくれる。河原で観察できる石は、河川ごとに実に様々である。例えば、愛媛県松山平野を流れる重信川の河原では、礫岩、砂岩、泥岩、カコウ岩、ホルンフェルスなどを観察できる(佐野, 2025)。また、東予地方を流れる関川では、結晶片岩や角閃岩、エクロジャイト、カンラン岩など、他の河川では産出しない珍しい岩石を観察することができる。河川ごとに異なった石を観察することができるため、「この川の河原ではどのような石が見つかるのだろうか?」とワクワクさせられるものである。今回は、愛媛県中予から南予地域にかけて広い流域面積を

持つ肱川の河原で観察できる岩石を紹介する。

### II. 肱川水系周辺の地質学的背景

愛媛県中予～南予地域を流れる肱川は、その流域面積が県内最大の 1210km<sup>2</sup> で、支川数 474 の範囲をもつ河川である(四国地方整備局, 2026)。流域面積が広いため、その後背地となる地質体は多様である。

第 1 図に肱川水系周辺の地質図を示す。肱川水系周辺部では、北から三波川変成帯、御荷鉾(みかぶ)緑色岩類、秩父帯北帯、黒瀬川構造帯、秩父帯南帯の地層や岩石が分布する。さらに、肱川水系の南縁部は、仏像構造線に境されて、四万十帯北帯の地層・岩石が分布する。



第 I 図 肱川水系の地質図 シームレス地質図 (産総研地質調査総合センター, 2025) から再描画。凡例は主要な地層・岩石のみ示している。また、秩父帯北帯、秩父帯南帯を構成する岩石については、付加体を構成する岩石のみ凡例を示している。

上述の地質体のうち、秩父帯北帯と南帯は、基本的に付加体から構成される。ここで付加体について簡単に説明する。

付加体とは、海洋プレートが海溝付近で沈み込む際に、海溝に堆積していた泥や砂などの陸源堆積物 (碎屑物あるいは碎屑岩) や、遠洋性の海山や海洋島を形成していた玄武岩 (緑色岩) がはぎ取られ、陸側に付け加わって形成された地質体をいう。海山の頂きには、しばしばサンゴ礁などが起源の石灰岩が付随する。また、深海底で放散虫の遺骸が堆積して形成された軟泥 (固結するとチャート) も海山等と同時に陸側に付け加わることになる。この場合、海山を構成する玄武岩、深海底に堆積する放散虫軟泥、海溝に堆積する碎屑物は、形成された年代が異なることが多い。付加体構成

物が陸側に付加したタイミングは、泥などの碎屑物中に含まれる放散虫化石から得られた年代で決定することができる。一般に、緑色岩、石灰岩、チャートの形成年代は、泥などの陸源碎屑物よりも古い。付加体は、日本列島の骨格の大部分を形成しており、大陸形成の重要な概念に位置付けられる。

### 1. 三波川変成帯

三波川変成帯は、中生代白亜紀後期から新生代古第三紀にかけて、プレートの沈み込みによって形成された低温高圧型の変成帯である (青矢・遠藤, 2017; Endo *et al.*, 2024; Knittel *et al.*, 2024)。三波川変成帯中、最も変成度の高い岩石は、愛媛県東予地域の新居浜周辺に産出する。ザクロ石角閃岩やエクロジヤイ

トといった珍しい岩石の産出で特徴付けられる。肱川流域に分布する三波川変成帯には、そのような高変成度岩類は出現せずに、結晶片岩が主な岩種である。結晶片岩は、強い変形を伴って形成される岩石のため、片理面が良く発達する。そのため結晶片岩は、河原では、薄く割れ扁平した石として見つけることができる。特に肱川の下流域から河口周辺の河原で広く観察できる。

## 2. 御荷鉾緑色岩類

御荷鉾緑色岩類は、三波川変成帯の南縁部に沿って分布する。変ハンレイ岩や、玄武岩質溶岩、角礫凝灰岩などからなる緑色岩類から構成される(鈴木, 1967; 榊原・岩崎, 1996)。肱川流域では、御荷鉾緑色岩類は大洲市内の富士山や神南山周辺に分布する。御荷鉾緑色岩類は、ジュラ紀後期～白亜紀前期に、海洋プレート上に噴出・貫入した玄武岩質の火成岩類からなる海台を起源とすると考えられている(Kimura *et al.*, 1994; Ichiyama *et al.*, 2014)。さらに、この海台がプレート境界で地下 15~30km の深さまで引きずり込まれ、低温高圧下での変成作用(緑色片岩～パンペリー石アクチノ閃石相)を受けたと考えられている(牧本・竹内, 1992)。

## 3. 秩父帯北帯

秩父帯北帯は、主としてジュラ紀付加体で構成される地質体である。北側を三波川変成帯(または御荷鉾緑色岩類)、南側を黒瀬川構造帯(または秩父帯南帯)に挟まれている。秩父帯北帯は、海洋プレートが沈み込む際に削り取られた堆積物や海洋地殻の断片が積み重なった構造をしている(松岡ほか, 1998)。主な構成物は、泥岩、砂岩、チャート、石灰岩、緑色岩(玄武岩)およびこれらが混じり合った混在岩(メランジュ)である。緑色岩(玄武岩)、チャートから碎屑岩(砂岩・泥岩)へと移行する、海洋プレートの移動に伴う堆積の歴史を反映した層位関係が断層によって繰り返される構造を海洋プレート層序という。秩父帯北帯の岩石は、三波川変成作用の影響を受け、弱い低圧～中圧型の変成作用を被っている(榊原ほか, 1998)。付加体としての形成(碎屑岩の堆積)は、主に中生代ジュラ紀である。メランジュ中に含まれるチャートや石灰岩のブロックからは、より古いペルム紀や三畳紀の放射虫・フズリナなどの化石が産出し、緑色岩は古生

代石炭紀からペルム紀の放射年代が得られている。

## 4. 黒瀬川構造帯

黒瀬川構造帯は、ジュラ紀付加体(秩父帯北帯)中に、それよりも遥かに古い時代の岩石が「蛇紋岩メランジュ」としてレンズ状に分布する特異な地帯として位置付けられる。その起源と形成場について、近年の碎屑性ジルコンの U-Pb 年代測定により、黒瀬川構造帯の構成岩類は、かつての南中国(揚子)地塊の東縁(活動的な前弧域)で形成されたことが指摘されている(Aoki *et al.*, 2015; Hara *et al.*, 2018)。黒瀬川構造帯には、日本列島の「基盤」を知る上で重要な古い岩石が含まれている。最も古い岩石は、寺野変成岩類およびその相当岩類で、カンブリア紀からデボン紀(約 5.4 億年～3.6 億年)の年代が得られている(Yoshikura *et al.*, 1981; 小山内ほか, 2000; Aoki *et al.*, 2015)。また火成岩では三滝火成岩類から、オルドビス紀からシルル紀の年代が得られている(Hada *et al.* 2000)。

黒瀬川構造帯がどのようにして現在の秩父帯の中に定置したのか、大きく 2つの考えが提唱されている。1つは、構造的に最上位にあった古い地塊が、浸食によってより新しい地質体の上位にナップとして残ったとする考え方(磯崎・丸山, 1991)、もう 1つは、白亜紀に大陸縁辺で生じた大規模な左横ずれ断層によって、南方から北上して現在の位置に定置したとする考え(Hada *et al.*, 2001)である。

## 5. 秩父帯南帯

秩父帯南帯は、ジュラ紀から白亜紀初頭にかけて形成された付加体であり、北側の黒瀬川構造帯と南側の四万十帯に挟まれた領域に位置する。別名「三宝山帯(さんぼうさんたい)」とも呼ばれている。秩父帯南帯は、主にチャート、石灰岩、玄武岩(緑色岩)などの遠洋性の海洋地殻断片と、それらを包み込む陸源性の砂岩・泥岩などの碎屑岩類から構成される。秩父帯南帯は、北側と南側の 2つのユニットに区分(松岡, 1998)され、これらのユニットは、北から南に向かって、付加した年代が順次若くなる構造が認められる。

## Ⅲ. 肱川の河原の石

肱川の河原では多様な岩石が観察できる。それは、肱川水系がつくる広い流域面積と、四国の地質分布に

寄るところが大きい。肱川の川原で観察できる岩石は、その起源により、以下のように分類できる。

## 1. 石灰岩

石灰岩は、秩父帯北帯、秩父帯南帯、黒瀬川構造帯に分布する。このうち、秩父帯北帯中、ペルム紀付加体には、四国カルストを形成する石灰岩が含まれる。四国カルストを構成する石灰岩には、約3億年前の古生代ペルム紀を示すフズリナ（紡錘虫）の化石が伴われることがある。また、西予市城川町を流れる黒瀬川では、約4億年前のシルル紀を示すハチノスサンゴやクサリサンゴなどを含む石灰岩がみつがっているが、肱川の河原では、これらの化石を含むような石灰岩はほとんど見つけることができない。

図版Iに示されるように、石灰岩は、化学的風化作用を被りやすいため、表面が溶けたようになめらかになっていることが多い（図版I Hj-45, Hj-84）。さらに、上流から運搬される過程で、他の岩石と衝突を繰り返すことによるキズが多く認められることが多い（Hj-01, Hj-13など）。図版中の石灰岩の多くは、白い斑点状のキズが多く認められる。

肱川の河原で観察される石灰岩は、化石を全く含まないものが多いことから、海水中に溶存していたカルシウムイオンが二酸化炭素と結びついて、炭酸塩として析出したものが海底に沈殿してできた化学岩であると考えられる。偏光顕微鏡で石灰岩を観察すると、細粒の方解石が結晶化している様子が確認できる（図版I Hj-47）。

## 2. チャート

チャートは、秩父帯北帯、南帯、黒瀬川帯中に分布する。チャートは、古生代後半のペルム紀、中生代三畳紀、ジュラ紀など、様々な形成年代を示すものが見つがっている。

チャートは、一般的に、二酸化ケイ素の殻をもつ海洋性プランクトン（放散虫）の死骸が海底に堆積して固まってできた岩石で、非常に硬い。そのため、風化作用に対して抵抗性が高く、表面がゴツゴツした、角ばった形態を示すことが多い。チャートには、図版IIのように赤茶けた色を示す赤色チャートや、灰白色から暗灰色を示すチャート（図版III Hj-95）などがある。赤色チャートは酸化的な環境で形成されるが、暗灰色のチャートは、酸素が不足する還元的な環境で形成さ

れたものと考えられている。古生代末の生物の大量絶滅の原因として超酸素欠乏事件（スーパーアノキシア）が知られているが、その証拠の1つとして、古生代末から中生代初頭に形成されたチャートの色相変化があげられる。

赤色チャートを顕微鏡で観察すると、50~100 μm程度の放散虫化石が含まれていることがある（図版II Hj-07, Hj-10）。放散虫は、微化石ながら、進化の過程でその形態変化が著しいため、強力な準化石として役立つことが多い。複数の放散虫化石の組み合わせ（群集）から、放散虫を含む岩石あるいは地層の堆積年代を詳細に決定することができる。20世紀後半には、この放散虫を用いた生層序学が確立され、付加体としての日本列島の形成過程が明らかになった。

また図版IIIにはチャートと緑色岩の接触部の岩石を掲示した（Hj-11）。緑色岩とは、海底火山の噴出物が固まってできた玄武岩質岩石が海底で風化作用を受けたり熱水による変質作用を受けたりして形成された岩石で、古生代や中生代の海底火山を構成する岩石のほとんどは緑色岩かしている。Hj-11は、そうした海底火山噴出物がまだ未固結の放散虫軟泥（チャートになる前の海底堆積物）と混ざって形成されたものであると考えられる。Hj-11の顕微鏡写真に示されるように、深海底の軟泥部は、おそらく豊富な有機物が溶岩の熱の影響で黒っぽい色になっているものと思われる。また、溶岩部は、海底での急冷化によりガラス質の基質の岩石が形成されるが、海底風化作用などの二次的過程によって脱ハリ化が進行している。

二酸化ケイ素を主体とするチャートは、変成作用を受けると石英粒子の再結晶化が容易に進み、Hj-94のような珪岩になることが多い。珪岩は肱川の河原で観察できる代表的な岩石の1つである。

さらに、肱川の河原では赤色チャートと非常によく似た赤色頁岩も観察できる。しばしばチャートと間違えられることがある。図版IIIのHj-02に示されるように、赤色頁岩の中には色合いがチャートとそっくりなものがある。顕微鏡で観察すると、細かい碎屑粒子が含まれていることが分かる。赤色頁岩については別の図版IVで詳細に説明する。

## 3. 碎屑岩類

碎屑岩とは、造山運動などによって陸上に露出した岩石が、浸食され、河川をつうじて運搬、そして海底

に堆積した粒子が続成作用によって固結したものである。粒子の径が 2mm より大きければ礫岩、粒子径が 1/16mm~2mm であれば砂岩に、1/16mm より小さければ泥岩というように、その粒径によって区分される。いずれにしても碎屑岩は、その粒子の起源が陸上にあることが重要である。

図版Ⅳ~Ⅵに様々な碎屑岩を掲載した。肱川の河原では、様々な碎屑岩を観察できる。図版Ⅳには砂岩を示している。砂粒が肉眼でも観察できる中粒砂岩(Hj-08, Hj-17, Hj-30)や、礫サイズの泥岩の岩片がイレギュラーに含まれる砂岩(Hj-52, Hj-76)などを示している。砂岩を顕微鏡で観察すると、その構成粒子は角ばったものが多く、石英や斜長石粒子の間を泥質基質が充填するワッケ質の砂岩が多い。これらの砂岩は、おそらく、秩父帯北帯あるいは秩父帯南帯に由来するものと考えられる。

図版Ⅴには、主に泥岩(頁岩)を掲載した。肱川の河原で観察できる泥岩は、中生代以前に形成されたものがほとんどであるため、続成作用で形成された泥岩がさらに埋没変成作用等によって固化が進行し、硬く黒い岩石になっている(Hj-31, Hj-35, Hj-44)。このような岩石を一般に頁岩と呼ぶ。頁岩からもしばしば放射虫化石が発見され、その形成年代は、ジュラ紀の年代を示すものが多い。頁岩も砂岩と同様に、秩父帯北帯並びに南帯に由来するものと考えられる。

さらに頁岩にはHj-28に示すように、細かく砕かれたものが固まってできたようなものや、砂粒子が混在するようなもの(Hj-15, Hj-18)が存在する。これらの岩石は、大陸棚の縁辺部あるいは陸棚斜面等の未固結あるいは半固結状態の泥や砂が、海底地滑りなどによって海底斜面を流れ下って、海溝などのより深い海底に再堆積して形成されたものと考えられている。図版Ⅴから図版Ⅵには、砂泥混在岩を掲載している(Hj-15, Hj-73)。図版ⅥのHj-73の砂泥混在岩を顕微鏡で観察すると、砂岩部は、破碎されたような組織を示し、構成粒子である石英が細かく砕けて泥質基質中に散在する様子が確認できる。上述のように、こういった砂泥混在岩は、海底地滑りの産物と考えられているが、プレート境界等で巨大地震の発生にともなって海底の斜面を流れ下って形成されるため“地震の化石”といえるかもしれない。

図版Ⅵには赤色頁岩も示している(Hj-59, Hj-62)。赤色頁岩は、比較的陸に近い深海性の堆積物で、陸上

での火山噴出物が海面に降り注ぎ、その噴出物が海底の泥と混ざり合って堆積したものと考えられている。火山噴出物には鉄分が多く含まれているため、その酸化によって赤色を呈する。Hj-59のように、層理面が発達することがある。また、チャートと較べて柔らかいため、鉄くぎやカッターナイフ等で容易に傷をつけることができ、チャートと区別することができる。

#### 4. 緑色岩・変ハンレイ岩類

緑色岩は、秩父帯北帯及び南帯に分布する。特に四国カルストをつくる石灰岩台地の基盤を形成したり、碎屑岩中のブロック状岩体として産出したりする。

図版Ⅶ及び図版Ⅷに様々な緑色岩の写真を掲載した。図版に示されるように緑色岩は実に様々な色合いや表面組織を示すことが分かる。緑色岩は、中生代や古生代などの地質時代に活動した火成作用によって形成された海山や海洋島を構成する玄武岩を主体とする岩石である。海中で噴出した溶岩であるため、長い時間経過の中で、海水と接触することにより海底風化作用や熱水変質作用、さらにプレートの沈み込み等による変成作用などにより、玄武岩は緑色岩化する。緑色岩は、これらの二次的な作用によって、緑泥石や緑簾石などの緑色の鉱物が形成されたり含まれる鉄分が酸化したりして緑色や紫色の岩石となる。

緑色岩は、上述のような二次的作用の際に元素の移動が生じて元々の玄武岩とは異なった化学的な特徴を示すことがある。しかしながら、顕微鏡で観察すると、元々の玄武岩の組織を保有していることもある。図版Ⅶ Hj-19の赤紫色に変色した緑色岩は、顕微鏡で観察すると、緑色岩化する前の元々の玄武岩に特徴的な、カンラン石微斑晶と長柱状の斜長石からなる間粒状組織が保存されている。また図版Ⅷ Hj-40を顕微鏡で観察すると、この岩石の変質の程度は著しく、Hj-19のようなはっきりとした火山岩の組織は示さないものの、変質した長柱状の斜長石がモザイク様に充填したサブオフィティック組織が残存している。

また緑色岩の中には、図版Ⅷ Hj-54やHj-87に示されるように、まだら状の組織を持つものも認められる。特にHj-87では、淡緑色の丸い形をした部分が紫色の基質中に分布しているのが明確である。こういったまだら状の組織を示す岩石は、その化学組成に基づくと、アルカリ玄武岩で、さらに Sr・Nd 同位体組成の検討から、両者は同一起源のマグマに由来していることが

明らかになっている (Sano *et al.*, 2004). これは、おそらくアルカリ玄武岩質マグマの液相不混和現象によって形成された可能性があることが指摘されている。

図版Ⅷの下段に変ハンレイ岩の写真を示す (Hj-24, Hj-92, Hj-93). 変ハンレイ岩は、主に三波川変成帯の南縁部に分布する御荷鉾緑色岩類の主要な構成岩類である。代表的な産地としては、大洲市の富士山 (とみすやま) が挙げられる。変ハンレイ岩は、粗粒の淡緑色の部分と濃緑色部からなり、変質作用あるいは変成作用を被る前のハンレイ岩の組織が残存している。しかしながら顕微鏡の観察では、淡緑色部は元々斜長石であったと思われるが、完全にソーシュライト化している。また濃緑色の部分は元々の輝石が二次的な角閃石の形成を伴いながらも残存している様子が観察できる。さらに、二次的な変成作用によって、顕著な薄紫～青色の多色性を示すアルカリ角閃石が成長している。このアルカリ角閃石は、おそらく藍閃石あるいはクロス閃石だと考えられ、このことは変ハンレイ岩が低温高压型の変成作用を被ったことを示している。

## 5. 結晶片岩類

結晶片岩類は、三波川変成帯を構成する岩石の主要メンバーである。肱川の河原では主に緑色片岩や赤色片岩を観察することができる。図版Ⅸに緑色片岩を、図版Ⅹに赤色片岩を提示した。結晶片岩は、海洋地殻を構成するプレートが、海溝付近で沈み込む際に形成される低温高压型の変成岩である。海洋地殻をつくる玄武岩等がこの変成作用を受けると緑色の結晶片岩 (緑色片岩) になる。玄武岩には鉄やマグネシウムが多く含まれるため、玄武岩が変成作用を受けると、生成される鉱物も鉄やマグネシウムに富むものが結晶化する。緑泥石やアクチノ閃石、緑簾石といった緑色系の鉱物である。このため玄武岩が変成作用を受けると緑色の結晶片岩になる。

図版Ⅹに赤色片岩を示す。赤色片岩はチャートが変成作用を受けて形成されたと考えられている。そのため、赤色片岩の主要鉱物は石英である。微細な石英を主体として、赤鉄鉱や紅簾石が含まれる。赤鉄鉱や紅簾石が赤い鉱物であるため、全体として赤みを帯びた赤色片岩となる。赤色片岩は、石英が多いため、珪質片岩と呼ばれることもある。Hj-97 は石英の多い珪質

片岩である。一方、Hj-70 は、石英が少なく微細な赤鉄鉱や紅簾石が層をなし、縮緬皺 (ちりめんじわ) 状の微褶曲を形成している。この岩石は、比較的変成度の低い“準片岩”と呼べるような岩石である。またHj-77 やHj-61, Hj-66 は石英を主体とする層と赤紫色の紅簾石あるいは赤鉄鉱からなる層が重なり合った片理面が顕著である。Hj-71 の赤色片岩は、顕微鏡では、微細な石英からなる層と炭質物や雲母等からなる層が互いに褶曲している様子が観察できる。

結晶片岩は、強い変形を伴って形成されることが多く、片理面が発達する。そのため、結晶片岩は片理面に沿って薄く割れやすい性質をもつことが多い。

## 6. 黒瀬川構造帯を構成する岩石

黒瀬川構造帯には、古生代シルル紀の年代を示すカコウ岩類 (三滝火成岩類) や変成岩類 (寺野変成岩類)、石灰岩などが、蛇紋岩に伴って産出する。このような古い年代を示す岩石は、日本国内でも稀であり、黒瀬川構造帯は日本列島で最も古い岩石が産出する地帯の1つとして注目を浴びている。

図版Ⅺに肱川の河原で観察できる黒瀬川構造帯由来の岩石を提示した。肱川の河原では、主に、黒瀬川構造帯由来と考えられるカコウ岩類と変成岩類が観察できる。一方、黒瀬川構造帯由来のシルル紀石灰岩は肱川の河原で見つけることは難しく、西予市城川町を流れる肱川支流の黒瀬川で観察することができる。黒瀬川の河原ではクサリサンゴやハチノスサンゴなどの化石を含む石灰岩が見つかることがあるが、これらの石灰岩は非常に貴重なものであるため観察のみに留め、採集はしない。

三滝火成岩類は、西予市城川町三滝山周辺に露出することからこの名前が付けられている。Hada *et al.* (2000) は、カコウ岩に含まれるジルコンの U-Pb 年代法により 450-430Ma の放射年代を報告した。瀬戸内地域や中国地方に広く露出する見慣れたカコウ岩類とは明らかに異なった岩相を示すため、一見、見逃してしまいそうな岩石である。形成されてから4億年以上経過した古い岩石であるため、時間の経過に伴う二次的な作用によって、緑がかった色調を示すものが多い (Hj-51, Hj-67, Hj-96, Hj-98)。Hj-51 は、河原で観察できる最も一般的なカコウ岩で、顕微鏡下の観察では、構成鉱物である斜長石は変質が進行している。石英は風化などの二次的作用に対して強いため、クリ

アな鉱物として残存していることが多い。

肱川の河原で観察できるカコウ岩類には、三滝火成岩類に由来するものが含まれるが、カコウ岩は黒瀬川構造帯の、より新しい時代に形成された陸棚堆積層にも礫として含まれる（波田, 2023）ため、必ずしも全てのカコウ岩が4億年以上前のものであるとは限らない。

寺野変成岩類は、西予市城川町寺野集落周辺に分布する角閃岩相から一部グラニュライト相の変成作用を被った岩石である。城川町周辺の寺の変成岩類からはまだ直接放射年代の報告はなされていないが、高知市宗安寺のグラニュライト相を示す角閃岩から  $409 \pm 21\text{Ma}$  (Yoshikura *et al.*, 1981) の、また黒瀬川構造帯の西方延長に位置する九州八代地域の変成岩類からは  $420\text{--}540\text{Ma}$  の Sm-Nd アイソクロン年代が得られている（小山内ほか, 2000）。

肱川の河原で観察できる寺野変成岩類を図版 XI Hj-39, Hj-86 に示す。これらの岩石には、斜長石や輝石（単斜輝石）が含まれることから、グラニュライト相の変成作用を経て形成された角閃岩であると考えられる。

三滝火成岩類や寺野変成岩類は、蛇紋岩と密接に関連して産出する。蛇紋岩（Hj-90）は、元々マントルを構成するカンラン岩が、水との相互作用により蛇紋石が形成されてできた岩石である。蛇紋岩は非常に流動性に富むため、黒瀬川構造帯のような脆弱な構造帯に貫入することが多い。

#### IV. おわりに

愛媛県の河原で観察できる岩石のうち、今回は中予～南予地域を水系とする肱川の河原で観察できる岩石を紹介した。肱川水系の後背地は、三波川変成帯、御荷鋳緑色岩類、秩父帯北帯、黒瀬川構造帯、秩父帯南帯と多岐にわたるため、川原で観察できる岩石種も豊富である。とりわけ興味深いことは、肱川の河原では、「付加体」という日本列島を形作る土台となる岩石種を全て観察できることである。さらに、肱川の河原では、日本列島を構成する岩石で最も古い時代を示す岩石、「黒瀬川構造帯」を構成する岩石を見つけることができるかもしれない。様々な起源の様々な石を観察し、その形成過程を想像してみたい。

#### 付記

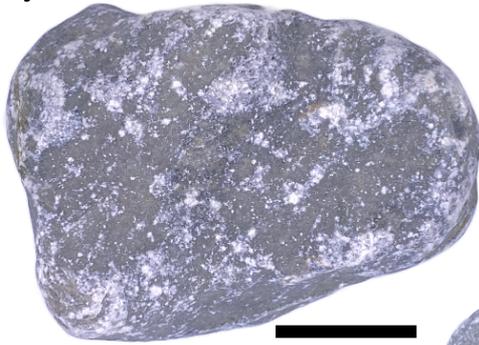
本報告は、2025年度教育学部で開講された「地学演習 I・II」の内容をまとめたものである。

#### 文献

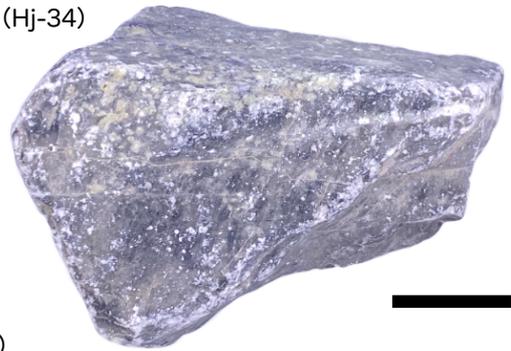
- Aoki, K., Isozaki, Y., Atsushi Yamamoto, A., Sakata, S. and Hirata, T. (2015) Mid-Paleozoic arc granitoids in SW Japan with Neoproterozoic xenocrysts from South China: New zircon U–Pb ages by LA-ICP-MS. *Journal of Asian Earth Sciences*, **97**, 125-135.
- 青矢睦月・遠藤俊祐（2017）初期三波川変成作用の認識、及び後期白亜紀三波川沈み込み帯の描像。地質学雑誌, 123, 677–698.
- Endo, S., Kouketsu, Y. and Aoya, M. (2024) Sanbagawa Subduction: What Went in, How Deep, and How Hot did it Get? *Elements*, **20**, 77–82. DOI: 10.2138/gselements.20.2.77.
- 波田重熙（2023）四国中・西部黒瀬川帯の構成岩類とその起源。神戸女子大学文学部紀要, **56**, 113-134.
- Hada, S., Yoshikura, S. and Gabites, J.E. (2000): U-Pb zircon ages for the Mitaki igneous rocks, Siluro-Devonian tuff, and granitic boulders in the Kurosegawa terrane, Southwest Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **56**, 183-198.
- Hada, S., Ishii, K.-I., Landis, C.A., Aitchison, J. and Yoshikura, S. (2001) Kurosegawa Terrane in Southwest Japan: Disrupted Remnants of a Gondwana-Derived Terrane. *Gondwana Research*, **4**, 27-38.
- Hara, H., Hirano, M., Kurihara, T., Takahashi, T. and Ueda, H. (2018) Permian arc evolution associated with Panthalassa subduction along the eastern margin of the South China block, based on sandstone provenance and U–Pb detrital zircon ages of the Kurosegawa belt, Southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **151**, 112–130.
- Ichiyama, Y., Ishiwatari, A., Kimura, J., Senda, R. and Miyamoto, T. (2014) Jurassic plume-origin ophiolites in Japan: accreted fragments of oceanic plateaus. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **168**, 1019.
- 磯崎行雄・丸山茂徳（1991）日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分。地学雑誌, **100**, 697-761.
- Kimura, G., Sakakibara, M. and Okamura, M. (1994) Plumes in central Panthalassa? Deductions from accreted oceanic

- fragments in Japan. *Tectonics*, **13**, 905–916.
- Knittel, U., Tokiwa, T., Tsutsumi, Y., Endo, S. and Wallis, S.R. (2024) Geochronology of the Sanbagawa Belt: Younger and Faster than Before. *Elements*, **20**, 89–95. DOI: 10.2138/gselements.20.2.89.
- 牧本 博・竹内圭史, 1992, 寄居地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 136p.
- 松岡 篤 (1998) 四国西端部秩父累帯の地体構造区分. 地質学雑誌, **104**, 565-576.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎 (1998) 付加体地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. 地質学雑誌 **104**, 634-653.
- 小山内康人・濱本拓志・加賀美寛雄・大和田正明・堂山大助・安東努 (2000) 九州黒瀬川帯に産するザクロ石-単斜輝石グラニュライトおよびザクロ石角閃岩の原岩と同位体年代. 地質学論集, **56**, 199-212.
- 榊原正幸・岩崎正夫 (1996) 御荷鉾緑色岩類 (項目説明). 地学団体研究会編「新版地学事典」, p1276, 平凡社.
- 榊原正幸・大山ゆかり・梅木美妙・榊原 光・正野英憲・後藤真一 (1998) 四国西部における北部秩父帯の地体構造区分と広域変成作用. 地質学雑誌, **104**, 604-622.
- 佐野 栄 (2025) 重信川の河原の石. 愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター紀要, **4**, 49–65.
- Sano, S., Sakakibara, M. & Higashimura, M. (2004) Large-scale liquid immiscibility in the Jurassic Sorachi HIMU basalt of the Kamuikotan accretionary complex, Hokkaido, Japan: Petrology and geochemistry. 32nd International Geological Congress. Abstract volume (T27.01 76-26).
- 産総研地質調査総合センター (2025) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2, オリジナル版. <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (2026.3.9 閲覧).
- 四国地方整備局 (2026) 1. 肱川の概要. [https://www.skr.mlit.go.jp>office>ksk1\\_gaiyo](https://www.skr.mlit.go.jp>office>ksk1_gaiyo) (2026.3.9 閲覧).
- 鈴木堯士 (1967) 四国におけるみかぶ緑色岩類. 地質学雑誌 **73**, 207-216.
- Yoshikura, S., Shibata, K. and Maruyama, S. (1981) Garnet-clinopyroxene amphibolite from the Kurosegawa Tectonic Zone, near Kochi City - Petrology and K-Ar age -. *Journal of the Association of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, **76**, 102-109.

(Hj-13)

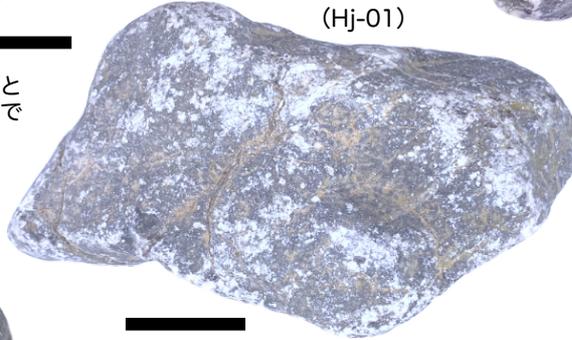


(Hj-34)



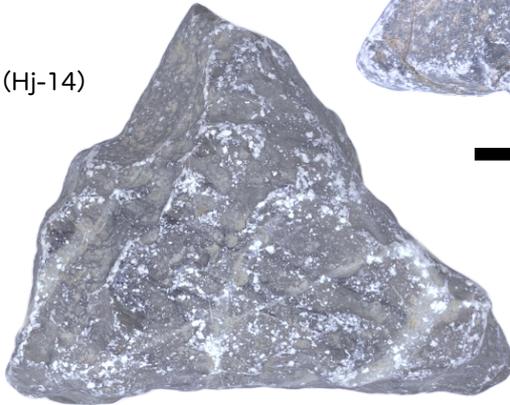
川の流れによる運搬の際、他の石とぶつかってたくさんの白いキズができています。

(Hj-01)



石灰岩は、化学的風化作用を受けやすい岩石である。そのため、しばしば表面が溶けたようになめらかになることが多い。また、川の上流から運搬される際、他の岩石と衝突して白くキズが付くことが多い。

(Hj-14)



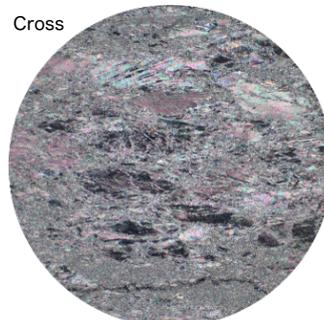
(Hj-80)



(Hj-78)

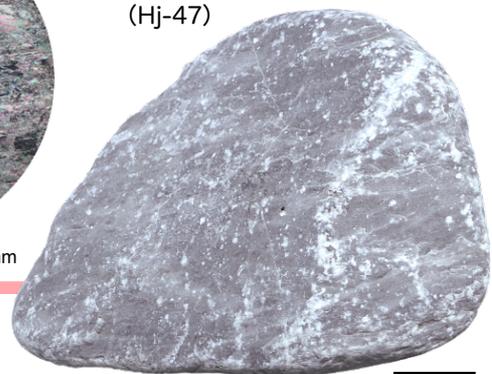


Cross



直径：約3.5mm

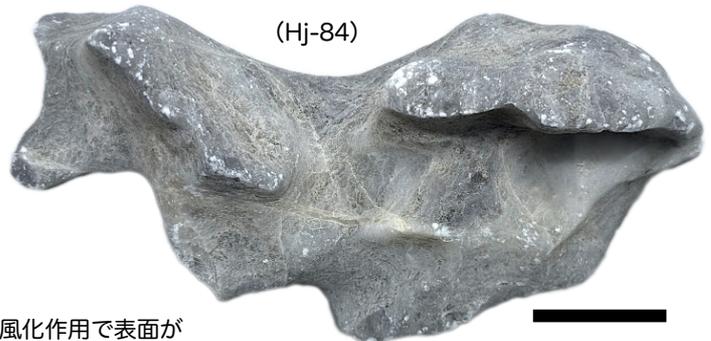
(Hj-47)



(Hj-45)



(Hj-84)



化学的風化作用で表面が溶けた様子。

図版Ⅰ 肱川の河原で観察できる石 石灰岩

※岩石の下のスケールバーは全て2cm

# 赤色チャート

(Hj-53)



(Hj-03)

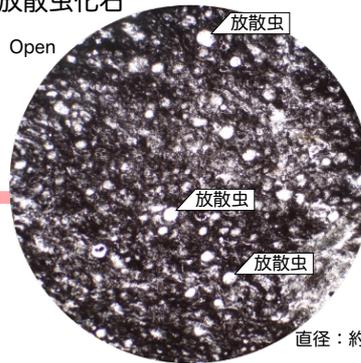


(Hj-07)



放散虫化石

Open



チャート中にみられる放散虫化石。丸く穴が空いたようにみえる部分がすべて放散虫。放散虫の大きさはおよそ50~100 μm。放散虫の周りの黒っぽい部分は有機物からなる泥質基質からなる。

直径：約3.5mm

一般的にチャートは硬く緻密な岩石である。そのためこの拡大写真のように、表面がツルツルしていることが多い。

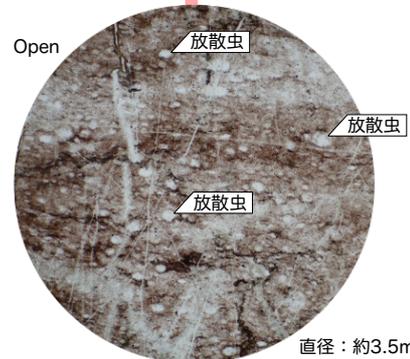


(Hj-10)



放散虫化石

Open



直径：約3.5mm

(Hj-50)



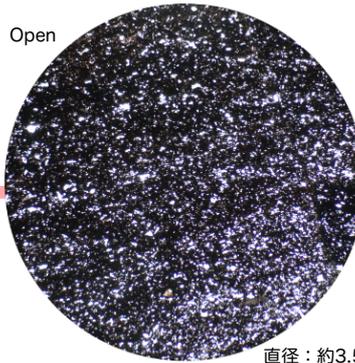
このチャートにも放散虫がたくさん含まれている。楕円の白い部分が放散虫。このチャートは上のHj-07とは異なり、基質部が、細粒の石英に再結晶化している。

チャートは、二酸化ケイ素の殻を持つ放散虫というプランクトンの死骸が海底に堆積して造られた岩石である。二酸化ケイ素は石英と同じ成分なので、チャートは、非常に硬い岩石となる。そのため、風化作用に対して非常に強く、ゴツゴツとした形の岩石になることが多い。

## 図版 II 肱川の河原で観察できる石 チャート

## チャートと間違えやすい赤色頁岩

(Hj-02)

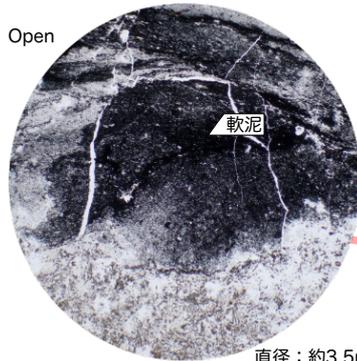


直径：約3.5mm

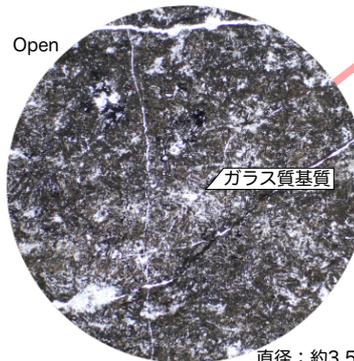
チャートに非常によく似ている赤色頁岩。頁岩で特徴付けられる層理面が発達していない場合、チャートとの区別が付けにくい。顕微鏡では、細かな碎屑粒子（白い部分）が含まれている様子が観察できる。黒い部分は泥質基質である。

## チャートと緑色岩との接触部

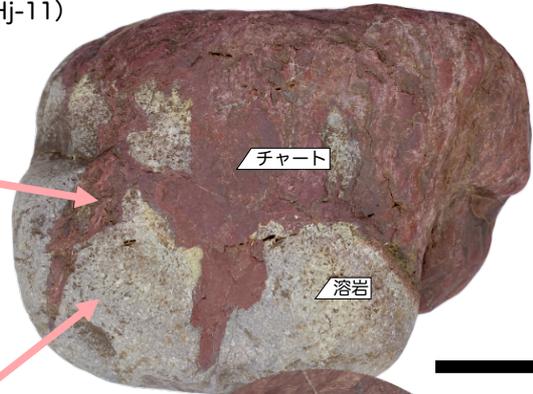
(Hj-11)



直径：約3.5mm



直径：約3.5mm



深海底に堆積した放散虫軟泥に海底火山から噴火した溶岩が接触して形成された部分。赤い部分は、おそらく溶岩の熱で焼かれて有機物が黒くなっているものと考えられる。淡緑色の溶岩の部分は、海底での急冷によりガラス化し、現在は更なる変質作用を被って脱ハリ化している。

## 黒色チャート

(Hj-95)



## 珪岩（変成したチャート）

(Hj-94)

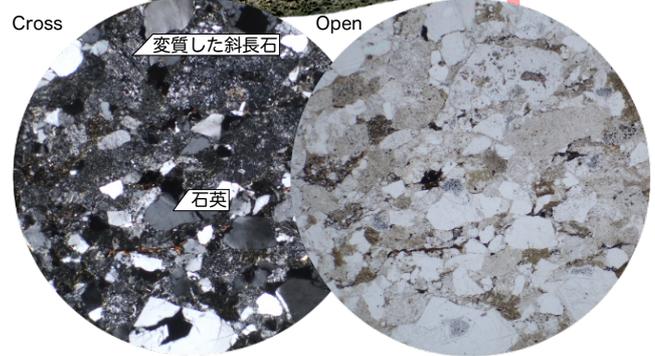


チャートには赤色を示さず、灰色～灰黒色を示すものがある。赤色チャートが酸化的な環境で形成されるのに対し、このような色のチャートは還元的な環境で形成されたと考えられている。

砂岩 (中粒)  
(Hj-08)



含レキ砂岩  
(Hj-52)



砂岩 (中粒)  
(Hj-17)



含レキ砂岩  
(Hj-76)

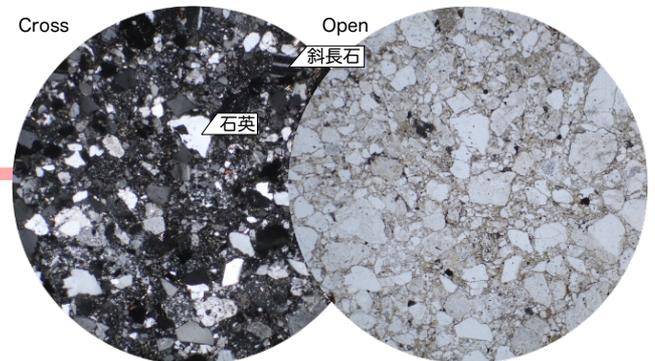


砂岩 (中粒)  
(Hj-30)



碎屑岩類のうち砂岩は、おそらく秩父帯北帯あるいは南帯に由来する。顕微鏡下での観察では、泥質基質が多く、斜長石や石英の角ばった粒子が多く含まれることから、フック質の砂岩が卓越するものと考えられる。

砂岩 (中粒)  
(Hj-58)



図版IV 肱川の河原で観察できる石 碎屑岩類

頁岩  
(Hj-31)



砂岩頁岩接触部  
(Hj-20)



砕屑岩類のうち頁岩（泥岩）は、おそらく秩父帯北帯あるいは南帯に由来する。多くの泥岩は、含まれる放射虫化石からジュラ紀の堆積物であることがわかっている。

頁岩  
(Hj-35)



破碎された頁岩  
(Hj-28)



頁岩（泥岩）は、微細粒子の集合体で、有機物が多く含まれたりするため黒色を呈する。また、層理面が発達しないものが多い。

頁岩  
(Hj-44)



頁岩は、細かく砕かれたり（破碎された頁岩）、砂が混在したりすることがある（砂泥混在岩）。これらの岩石は、未固結あるいは半固結状態の泥や砂が、海底地滑りなどによって海底斜面を流れ下って、再堆積して形成されたものと考えられている。



砂泥混在岩  
(Hj-15)



砂混じり頁岩  
(Hj-18)

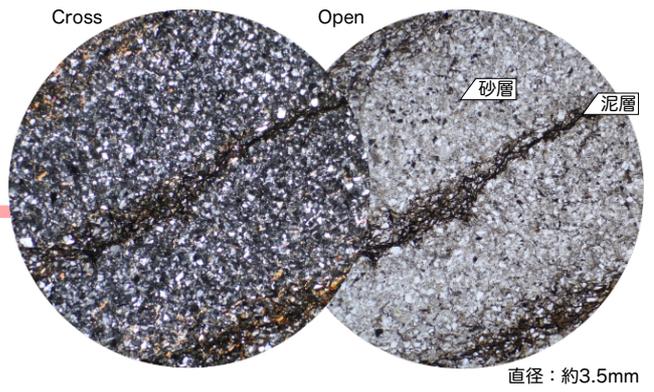
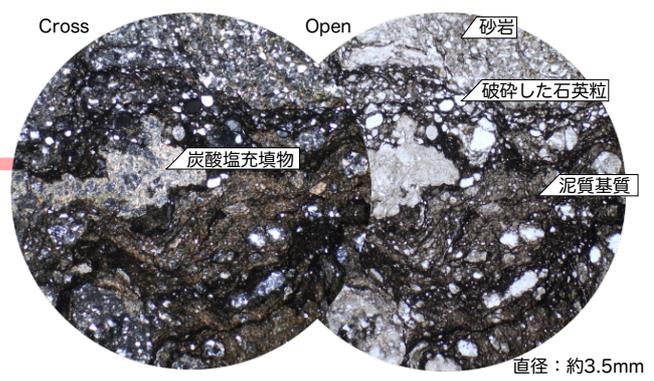


砂泥混在岩  
(Hj-73)



砂泥混在岩は、海底地滑りの産物であると考えられている。プレート境界等で巨大地震が発生すると、陸棚斜面等に不安定に堆積していた堆積物が流れ下って形成される”地震の化石”といえるかもしれない。

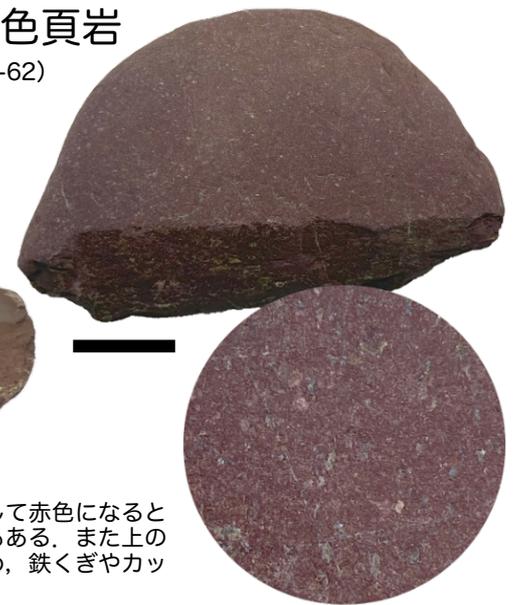
砂岩泥岩互層  
(Hj-43)



赤色頁岩  
(Hj-59)



赤色頁岩  
(Hj-62)



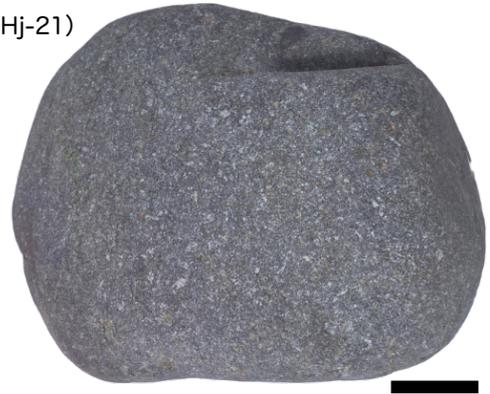
赤色頁岩は、比較的陸に近い深海性の堆積物で、陸上での火山噴出物が混入して赤色になると考えられている。時折右の写真のように、やや粒度のあらい粒子を含むこともある。また上の写真のような層理面が発達することもある。チャートとくらべて柔らかいため、鉄くぎやカッターナイフ等で簡単にキズをつけることができる。

緑色岩は、中生代や古生代など地質時代に活動した火成岩で、主に海底での火成活動で形成された玄武岩質岩石が多い。長い時間の経過の中で、岩石は熱水変質作用や海底風化作用、さらにはプレートの沈み込み等に伴って変成作用を被ることがある。このように緑色岩は、噴出後、様々な二次的作用を被り、緑色や紫色の岩石となる。

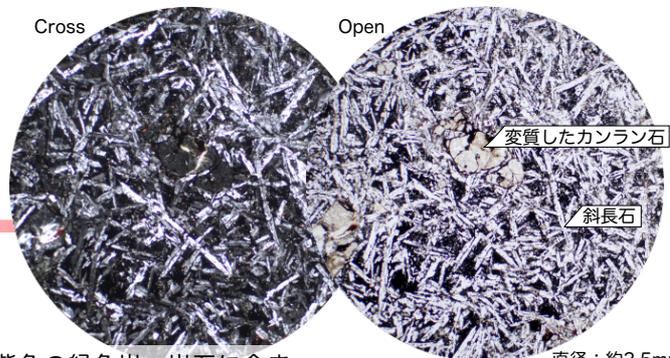
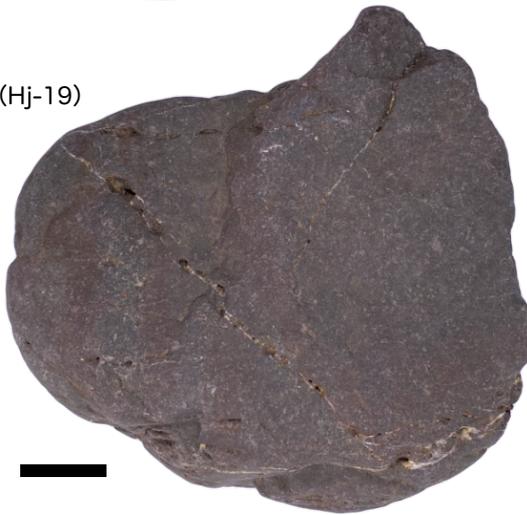
(Hj-06)



(Hj-21)



(Hj-19)



赤紫色の緑色岩。岩石に含まれる鉄分が酸化して赤紫色になっている。顕微鏡で観察すると、玄武岩に特徴的な、カンラン石微斑晶と長柱状の斜長石からなる間粒状組織が認められる。

直径：約3.5mm

(Hj-22)



(Hj-23)



(Hj-38)



(Hj-25)



図版VII 肱川の河原で観察できる石 緑色岩

(Hj-54)



(Hj-40)



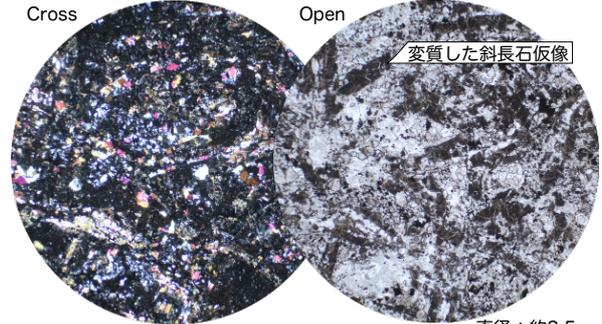
秩父帯には、緑色岩が多く産出するが、左の写真のような2種類の異なった岩石がまだら状に混ざったようなものも観察できる。この緑色岩はアルカリ玄武岩質で、液相不混和現象によってこのような模様が形成された可能性がある。

(Hj-87)



Cross

Open



変質した斜長石仮像

直径：約3.5mm

変ハンレイ岩

(Hj-92)



変ハンレイ岩

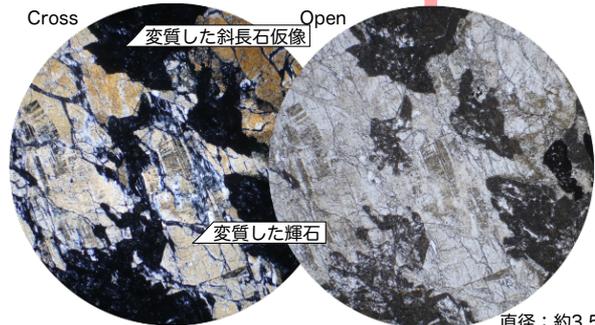
(Hj-24)



変ハンレイ岩は三波川変成帯の南縁部に分布し、写真のような変ハンレイ岩が特徴的に産出する。変ハンレイ岩中には変質した斜長石や輝石が含まれている。

Cross

Open



変質した斜長石仮像

変質した輝石

直径：約3.5mm

変ハンレイ岩

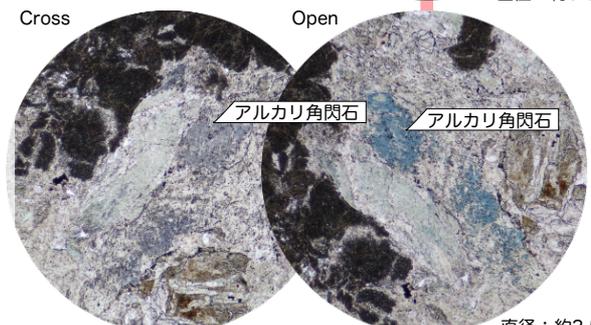
(Hj-93)



変ハンレイ岩の中には、右の写真のような青～薄紫の多色性を示すアルカリ角閃石（クロス閃石？）が形成されることがある。これは変ハンレイ岩が低温高圧型の変成作用を被ったことを示している。

Cross

Open



アルカリ角閃石

アルカリ角閃石

直径：約3.5mm

図版VIII 肱川の河原で観察できる石 緑色岩・変ハンレイ岩

(Hj-12)



結晶片岩は、海洋地殻を構成するプレートが海溝付近で沈み込む際に形成される低温高圧型の変成岩である。海洋地殻をつくる玄武岩等がこの変成作用を受けると緑色の結晶片岩（緑色片岩）になる。

(Hj-48)



(Hj-68)



結晶片岩は、強い変形を伴って形成されることが多く、片理面が発達する。片理面に沿って薄く割れやすい性質をもつ。

(Hj-75)



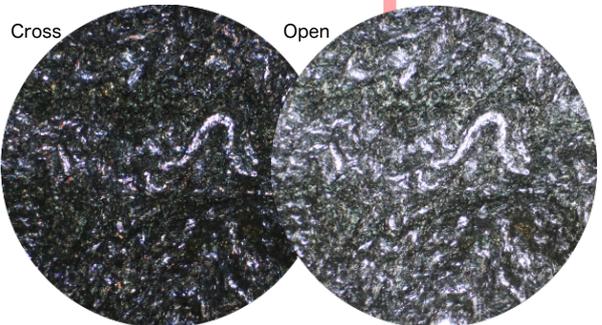
(Hj-64)



(Hj-63)



(Hj-65)



細かな褶曲（微褶曲）が発達した片理。

直径：約3.5mm

(Hj-74)



変成鉱物として黄緑色の緑簾石（リョクレン石）が脈状に発達している。

緑簾石

(Hj-60)



図版IX 肱川の河原で観察できる石 結晶片岩1：緑色片岩

赤色片岩は、チャートが変成作用を受けて形成されたと考えられている。そのため主要構成鉱物は、微細な石英である。赤鉄鉱や紅簾石が含まれると赤い色合いの岩石になる。

(Hj-97)



(Hj-16)



(Hj-85)



(Hj-70)



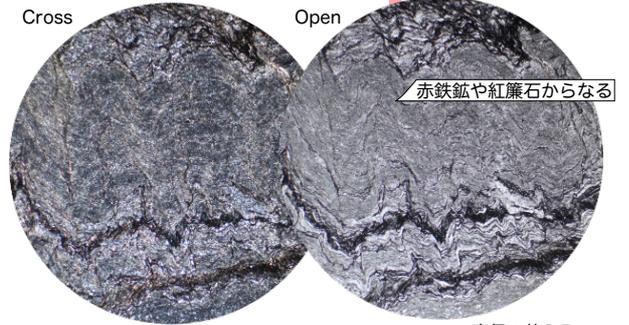
右の岩石は比較的変成度の低い準片岩ともいえる岩石である。顕微鏡では、縮緬皺状の微細な褶曲構造が観察できる。

(Hj-77)



Cross

Open



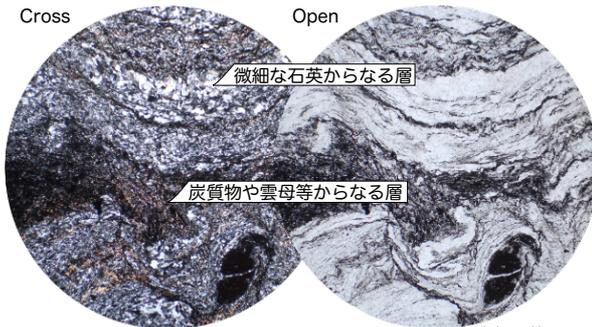
赤鉄鉱や紅簾石からなる

直径：約3.5mm

赤色片岩には石英の多い白っぽい層と赤鉄鉱や紅簾石の多い赤い層が互層を形成することがある。

Cross

Open



微細な石英からなる層

炭質物や雲母等からなる層

直径：約3.5mm

(Hj-71)



(Hj-61)



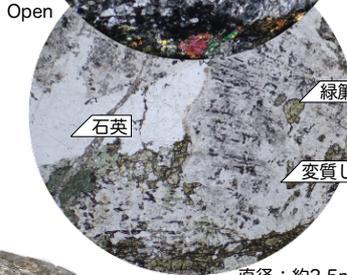
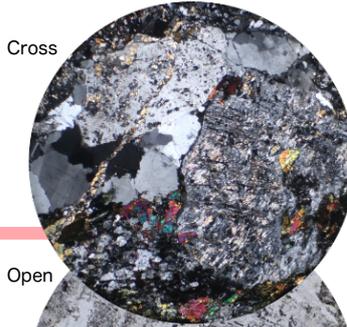
(Hj-66)



図版X 肱川の河原で観察できる石 結晶片岩2：赤色片岩

黒瀬川帯には、古生代シルル紀の年代を示すカコウ岩類（三滝カコウ岩）や変成岩類（寺野変成岩）、石灰岩などが、蛇紋岩に伴って産出する。このような古い年代を示す岩石は、日本国内でも稀であり、黒瀬川帯は、日本で最も古い岩石が産出する地帯として注目を浴びている。

“三滝カコウ岩”  
(Hj-51)



直径：約3.5mm

“三滝カコウ岩”  
(Hj-67)



顕微鏡では変質した斜長石や石英、二次鉱物の緑簾石などが観察できる。

“三滝カコウ岩”  
(Hj-98)

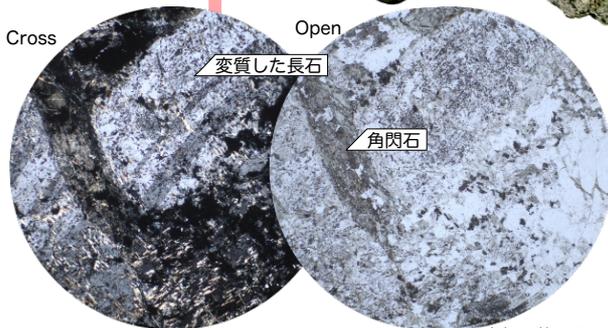


“三滝カコウ岩”  
(Hj-96)



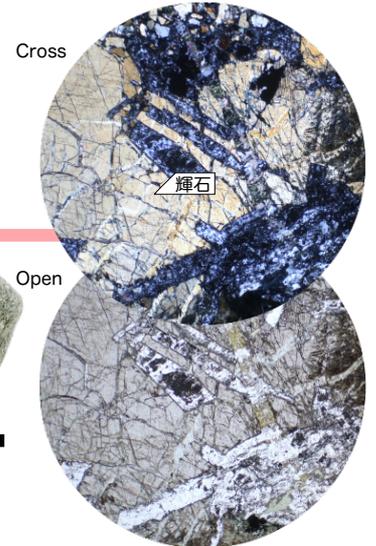
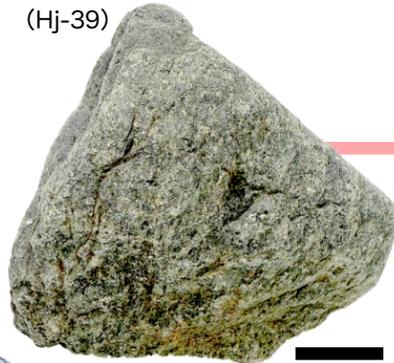
“三滝カコウ岩”は、主に、西予市城川町の三滝山を構成する岩石である。瀬戸内地域に産出するカコウ岩とは明らかに異なり、地質時代における二次的な作用によって通常のカコウ岩よりも緑がかった色調を示すものが多い。

“寺野変成岩”  
(Hj-86)



直径：約3.5mm

“寺野変成岩”  
(Hj-39)

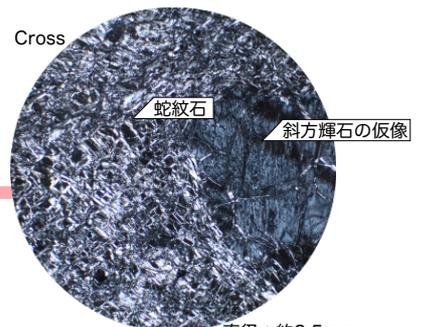


直径：約3.5mm

“寺野変成岩”は、西予市城川町寺野集落周辺に分布する変成岩である。稀にザクロ石が含まれることがある。角閃岩相から一部グラニュライト相の変成作用を受けて形成されたと考えられている。この変成岩類からも古生代シルル紀の年代が求められている。

蛇紋岩  
(Hj-90)

蛇紋岩は、元々マントルを構成するカンラン岩が、水との相互作用により蛇紋石が形成されてできた岩石である。非常に流動性に富むため、脆弱な構造帯に貫入することが多い。



直径：約3.5mm

図版XI 肱川の河原で観察できる石 黒瀬川構造帯を構成する岩石

## 理科教員志望大学生における物質量概念の理解の特徴 —説明タイプの分析と教材提案—

### Characteristics of Pre-service Science Teachers' Understanding of the Amount-of-Substance Concept: An Analysis of Explanation Types and Suggestions for Instructional Materials

石原光<sup>\*1</sup>, 砂野真人<sup>\*1</sup>, 崎山健<sup>\*1</sup>, 松浦紀之<sup>\*2</sup>, 大橋淳史<sup>\*2</sup>, 隅田学<sup>\*2</sup>

ISHIHARA Hikaru<sup>\*1</sup>, SUNANO Manato<sup>\*1</sup>, SAKIYAMA Takeru<sup>\*1</sup>, MATSUURA Noriyuki<sup>\*2</sup>, OHASHI Atsushi<sup>\*2</sup>,  
SUMIDA Manabu<sup>\*2</sup>

愛媛大学大学院教育学研究科<sup>\*1</sup>, 愛媛大学教育学部<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>Graduate School of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup> Faculty of Education, Ehime University

**【要約】**本研究では、高校化学の基礎概念でありながら学習者のつまづきが多い物質量について、理科教員志望大学生75名を対象に、概念理解の特徴と説明タイプを調査した。質問紙調査を実施し、物質量の説明に関する自由記述と正誤問題2問の回答を分析した。自由記述は説明タイプに分類し、高校時の履修科目パターンおよび教科書使用頻度との関連を検討した。その結果、履修パターンに関わらず新定義により説明され、物質量を計算の道具として捉える機能的説明が多かった。また、正誤問題では質量に関する理解は概ね良好であったが、粒子数と物質量の関係に曖昧さが残る回答が一定数みられた。以上を踏まえ、物質量が質量・粒子数をつなぐ変換の中心概念であることを視覚的かつ操作的に理解させる教材として、無限キューブを用いた物質量計算の教材、質量と粒子数の変換の理解を促進する教材、立方体型ケースを用いた物質量同定教材を試作した。

**【キーワード】**物質量 (mol), 概念理解, 理科教員志望大学生, 化学教育, 高等学校「化学基礎」

#### I. 研究の背景および目的

物質量 (mol) は、高等学校「化学基礎」において導入され、化学反応の量的関係、中和反応、気体や溶液の計算など、その後の学習内容を支える基礎概念として位置づけられている。化学では原子・分子・イオンといった粒子の視点に基づく体系的学習が求められるため、物質量概念の獲得は理系志向の学習者に限らず、化学を履修する多様な学習者にとって重要である。一方で、物質量は不可視で抽象度が高く、量と単位、質量・粒子数・体積等の変換を伴うことから、学習者のつまづきが生じやすい概念であることが指摘されてきた。

内ノ倉 (2009) は、高校生を対象とした調査により、物質量 (量) と mol (単位) の関係が十分に理解されず、両者が個別の概念として形成される可能性を示した。さらに、齋藤ら (2016) は、先行研究の質問紙を改良し、濃度や密度の理解と物質量概念の関連を検討した結果、質量から物質量や粒子数へ変換できないことが、物質量概念の獲得を阻害する要因になりうることを報告している。これらは、物質量概念の理解が「定義の理解」だけでなく、「変換関係の理解」や「量と単位の関係の理解」と関わることを示唆している。

また、物質量概念の理解を促すための教材開発も多数報告されている。例えば、石田ら (2023) は、物質量が異なる単位間の変換に関わることを示す立方体教材を提案し、小畑ら (2019) は、物質量が粒子数に基づく概念であることを具体物で捉えさせる教材を開発・実践している。このように、高校段階の学習者を対象とした概念理解や教材開発の知見は蓄積されつつある。

しかし、理科教員志望大学生が、物質量をどのように理解し、また高校生に対してどのような説明として言語化するのかについては、十分に明らかにされているとは言い難い。将来教員となる学習者が物質量概念をどのように説明するかを把握することは、教員養成における基礎概念の補強や指導改善の検討に資する。

そこで本研究では、理科教員志望大学生を対象に、物質量概念の理解状況を把握するとともに、高校生から「物質量とは何か」と問われた場面を想定した自由記述を分析し、説明タイプの特徴を明らかにすることを目的とした。さらに、得られた知見に基づき、誤概念の解消や概念の再構成を促す教材の方向性について検討を行った。

## II. 研究の方法

### 1. 調査対象

本研究では、2025年10月にA大学において教職課程科目「理科教育法II」を受講している理科教員志望の大学生77名を対象とした。内訳は教育学部12名、理学部40名、工学部10名、農学部15名であった。調査実施後、高等学校段階で「化学基礎」を履修していない回答者2名を除外し、最終的に75名を分析対象とした。

### 2. 調査時期および調査方法

調査は2025年10月に授業時間中に実施し、Microsoft Formsを用いた無記名のオンライン質問紙調査によって行った。調査への参加は任意とし、回答の有無や内容が授業成績等に影響しないことを説明した。あわせて、研究目的、データの保管・管理方法、研究目的以外には使用しないことを事前に説明し、同意が得られた回答のみを分析対象とした。

### 3. 調査内容

質問紙は、以下の3領域から構成した。

(1) 属性に関する項目として、所属学部、高等学校で履修した理科科目、授業中における教科書使用頻度等を設定した。教科書使用頻度については、0(全く使用しない)から10(常に使用する)までの11件法で回答させた。

(2) 物質概念に関する自由記述項目として、「高校生から『物質とは何ですか。どのような意味ですか』と尋ねられた場合、教員としてどのように説明するか」という設問を設定し、自由に記述させた。

(3) 物質に関する知識問題として、Sokolowski(2019)を参考に作成した正誤問題2問を設定した。設問は、「酸素2molの質量と窒素2molの質量は同じである」「鉄2molには亜鉛2molと同じ数の原子が含まれている」とし、各文の正誤を判断させた。表1に、Sokolowskiの設問と本研究で用いた設問の対応を示す。

表1 Sokolowski(2019)の設問と本研究で用いた設問の対応

Sokolowski(2019)	本研究で用いた設問
The mass of two moles of oxygen is the same as the mass of two moles of nitrogen	酸素2molの質量と窒素2molの質量は同じである
Two moles of iron contain the same number of atoms as two moles of zinc.	鉄2molには亜鉛2molと同じ数の原子が含まれている

## 4. 分析方法

自由記述による物質概念の説明については、回答内容を精査し、先行研究ならびに予備的コーディングを踏まえて、6つの説明タイプ(新定義、旧定義、比喩、機能的説明、誤概念、その他)に分類した。1名の回答に複数の説明タイプが含まれる場合はそれぞれカウントした。分類作業は3名が独立に行い、不一致が生じた箇所は協議により最終的に確定した。

属性項目については、高等学校での理科科目の履修状況に基づき、回答者を履修パターン別に分類した。また、教科書使用頻度については、評定値に基づき低・中頻度群(0~7)と高頻度群(8~10)に区分した。

各説明タイプの出現率を算出し、履修パターンおよび教科書使用頻度との関連について比較・検討を行った。なお、説明タイプは重複回答が含まれるため、履修パターン等との関係の検討には、各説明タイプの有無(当該タイプを含む・含まない)に基づくクロス集計を用いた。

## III. 結果と考察

### 1. 回答者の履修状況および教科書使用状況

分析対象75名の高等学校における理科科目の履修状況を図1に示す。履修状況に基づき、回答者を「物理・化学選択」「生物・化学選択」「物理・化学・生物選択」「化学未選択」の4グループに分類した。なお、本研究の分析対象は高等学校で「化学基礎」を履修している者に限定しており、未履修者2名は分析から除外した。

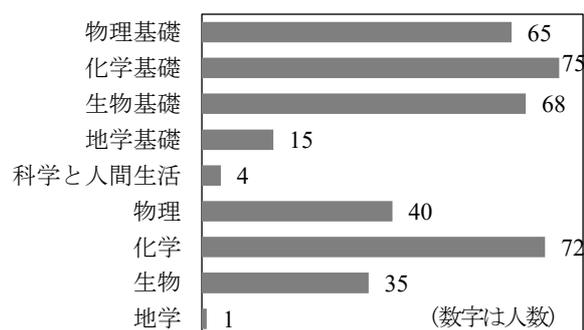


図1 調査対象学生の高等学校における理科科目の履修状況 (n=75)

授業中における教科書使用頻度(0~10の11件法)の分布を図2に示す。全体として高得点側に分布が偏っており、授業内で教科書が比較的高頻度で使用されていたことがうかがえる。

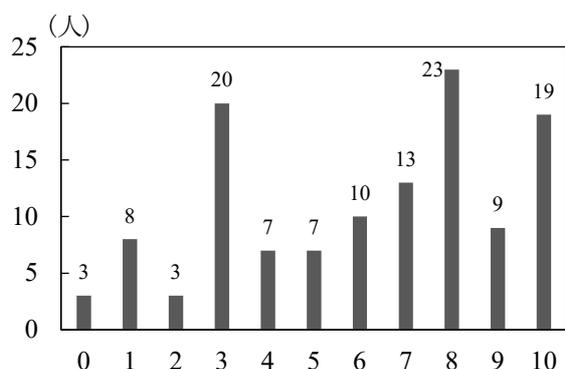


図2 授業中における教科書使用頻度の分布 (n=75)  
使用頻度については、「まったく使用しない」を0、「常に使用する」を10とする11件法で評定させた。

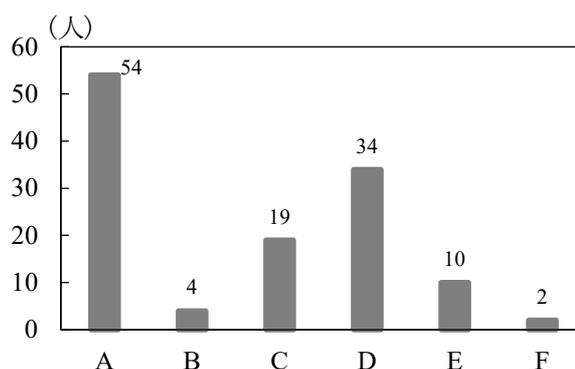


図3 物質質量概念の説明タイプの出現率 (n=75)  
記述1件に複数タイプを付与しているため、合計は75にならない。説明タイプの定義は表2参照。

## 2. 自由記述にみられる物質質量概念の説明タイプ

物質質量概念に関する自由記述の回答を、6つの説明タイプに分類した結果を図3に示す。分類は、先行研究で用いられた説明枠組み（例：新定義・旧定義・比喩・機能的説明）を基盤としつつ、本調査の回答に現れた特徴を踏まえて独自に説明タイプを設定した。ここでいう新定義は、国際単位系（SI）の改定（国際度量衡局, 2019）によりアボガドロ定数  $N_A$  を固定値として1 mol を定義する立場からの説明であり、旧定義は12 g の炭素 12 に含まれる原子数を基準とする定義に基づく説明である。各回答は記述内容に基づき、該当するタイプが複数含まれる場合は重複して分類した。分類基準および代表的記述例を表2に示す。

図3より、説明タイプA（新定義）に該当する記述が最も多く、次いで説明タイプD（機能的説明）が多かった。一方で、説明タイプC（比喩）や説明タイプ

B（旧定義）は相対的に少数であった。ここでのA（新定義）の多さは、回答が「高校生への説明」を想定した自由記述であることから、学習者がまず定義（あるいは定義に準じる表現）を起点に説明を構成しやすいことを反映している可能性がある。また、D（機能的説明）が多いことは、物質質量を化学量論や溶液計算等における計算上の道具として捉え、その利便性を強調する説明が一定数存在することを示している。

## 3. 履修パターン別・教科書使用頻度別の比較

高等学校の理科の履修パターンは、アンケートで回答された履修した理科科目の組合せに基づき、回答者を「物理・化学選択」「生物・化学選択」「物理・化学・生物選択」「化学未選択」の4群に分類した（図4）。主な2つの履修パターン「物理・化学選択」「生物・化学選択」について、説明タイプの出現率を比較した結果を図5に示す。両群に共通して、説明タイプA（新

表2 物質質量概念の説明タイプの分類と判定基準

略号	説明タイプ	判定基準 (要点)	記述例
A	新定義 (アボガドロ定数の固定)	1 mol をアボガドロ定数に基づき「 $6.022 \times 10^{23}$ 個」等で説明	「 $6.0 \times 10^{23}$ 個の集まり」
B	旧定義 ( $^{12}\text{C}$ 基準)	12 g の $^{12}\text{C}$ を基準に1 mol を説明	「12 g の炭素 12 が基準」
C	比喩 (身近な例え)	ダース等の身近なまとまりで説明	「ダースみたいな数え方」
D	機能的説明 (役割・使い方)	計算の便利さ、量の換算ツール等、機能を中心に説明	「計算を楽にする単位」
E	誤概念	mol を g と同一視、単なる数、単位混同など誤りを含む	「mol=g のこと」
F	その他	上記に当てはまらない、説明が成立しない、無回答	「わからない」、無回答

表注) 新定義：国際単位系 (SI) の定義改定 (2019 年) により、1 mol をアボガドロ定数  $N_A=6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  の固定値に基づいて定義する説明。旧定義：12 g の  $^{12}\text{C}$  に含まれる原子数を基準として1 mol を説明する定義 (改定前) に基づく説明。

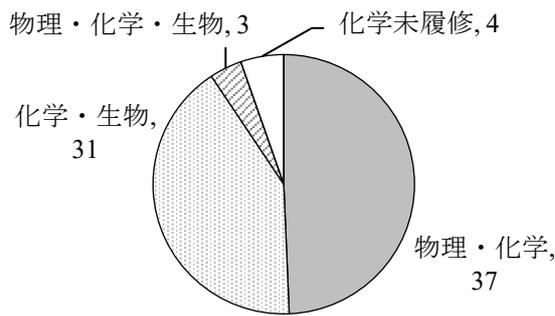


図4 高等学校における理科の履修パターン  
数字は人数。

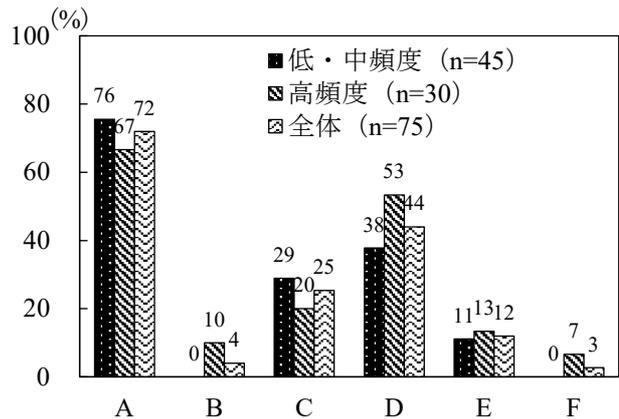


図6 教科書使用頻度別の説明タイプ出現率  
説明タイプの定義は表2参照。

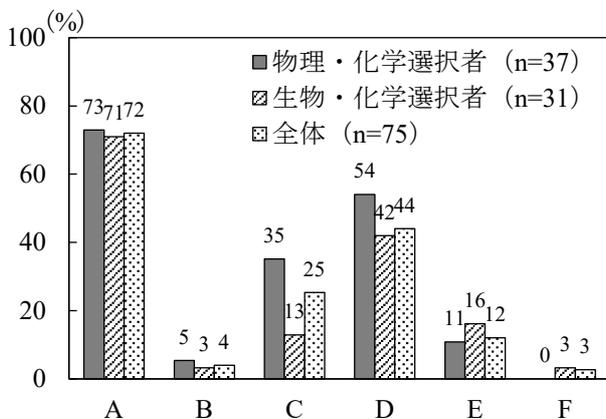


図5 履修パターン別の説明タイプ出現率  
説明タイプの定義は表2参照。

定義)の出現率が最も高く、説明タイプB(旧定義)はいずれの群でも低かった。さらに、物理・化学選択者では、説明タイプC(比喩)およびD(機能的説明)の出現率が相対的に高い傾向がみられた。

次に、授業中の教科書使用頻度を低・中頻度群(0~7, n=45)と高頻度群(8~10, n=30)に区分し、説明タイプの出現率を比較した結果を図6に示す。その結果、いずれの群でも説明タイプA(新定義)の出現率が最も高く、次いで説明タイプD(機能的説明)が高い傾向がみられた。群間の差は限定的であり、教科書使用頻度と説明タイプの出現の間には明瞭な関連は確認されなかった。

なお、本研究の説明タイプ分類は1名の回答に複数タイプを重複付与しているため、図6は「説明タイプの出現状況(含む・含まない)」を基に算出した出現率である。1名当たりの異なる種類の説明タイプの出現数は平均1.6種類であり、学習者が定義、機能、計算

式等の複数の視点を関連づけながら、自身の説明を構成している状況がうかがえる。一方で、説明タイプE(誤概念)やF(その他)も一定数確認されており、理科教員を志す学生であっても、基本概念に揺らぎが残る可能性が示された。

#### 4. 知識問題の正答率

知識問題2問の正答率について、問1(酸素2molと窒素2molの質量の比較)の正答率は97.4%であった一方、問2(鉄2molと亜鉛2molの粒子数の比較)の正答率は87.0%であった。問2では、「2molであれば物質に依らず粒子数が等しい」という物質量の定義的理解を要するため、質量に関する理解に比べて、粒子数と物質量の関係に関して理解が曖昧な回答者が一定数存在する可能性が示唆される。

#### 5. 統計的検討と限界

履修パターン等と説明タイプの関連についてクロス集計を行い、カイ二乗検定による検討を行ったが、統計的に有意な差は確認されなかった。もっとも、自由記述の内容には履修経験に応じた傾向差が示唆される部分もあり、今後はサンプル数の拡大に加え、説明の質(例:定義の正確性、変換関係への言及、例示の適切性)を含む精緻な分析が求められる。

また、本研究では物質量の計算能力についても把握する意図があったが、本稿では概念理解(説明)に関する分析に焦点を当て、計算技能の分析は行っていない。今後は、概念理解や説明と計算技能の関係を併せて検討できるよう、設問構成を精緻化した上で、追加的な分析を行う必要がある。

#### IV. 作製した教材について

III章の結果より、理科教員志望大学生の物質質量概念の説明には「新定義」や「機能的説明」が多くみられた一方で、粒子数と物質質量の関係に関して理解が曖昧な回答が一定数確認された。そこで本研究では、物質質量が質量・粒子数（必要に応じて体積）をつなぐ「変換のハブ」であることを、学習者が視覚的かつ操作的に捉えられる教材を試作した。本章では、作製した3種の教材の概要と活用方法を報告する。

##### 1. 無限キューブを用いた物質質量計算の教材

###### (1)教材のねらい

無限キューブは、物質質量を経由して質量・粒子数（必要に応じて体積）を相互に変換するという計算の道筋を、操作を通して確認させることをねらいとする。特に、計算手順が「公式の当てはめ」になりやすい学習者に対して、変換の順序と根拠（モル質量、アボガドロ定数等）を意識づけることを目的とした。

###### (2)教材の概要

厚紙に立方体の展開図を印刷して切り取り、糊付けして立方体を作製する。2×4の8ブロックをテープで連結して折り返す構造とし、操作により連続的に面が切り替わる（図7）。各面には、粒子数、物質質量、質量（必要に応じて体積）と、変換に用いる量（アボガドロ定数、モル質量等）を配置した。

###### (3)活用方法

計算問題に取り組む際に、学習者が「与えられた量→物質質量→求める量」の順で変換経路を確認しながら解くことを促す。例えば「粒子数から質量を求める」課題では、粒子数→物質質量→質量の経路をキューブ上でたどらせ、途中で用いる値（アボガドロ定数、モル質量）を明示する。

###### (4)教材の意義と留意点

本教材により、物質質量が変換の中心に位置づくこと、および計算が「どの量を、どの順に変換しているか」という構造として捉えられることが期待される。

一方で、本教材は計算の見通しを支える補助具であるため、操作のみで完結させず、式と単位の対応（単位がどのように消去されるか）を必ず言語化させる必要がある。

##### 2. 質量と粒子数の変換の理解を促進する教材

###### (1)教材のねらい

物質質量概念の理解においては、質量、物質質量、粒子数の関係を適切に結び付けて捉えることが重要であ

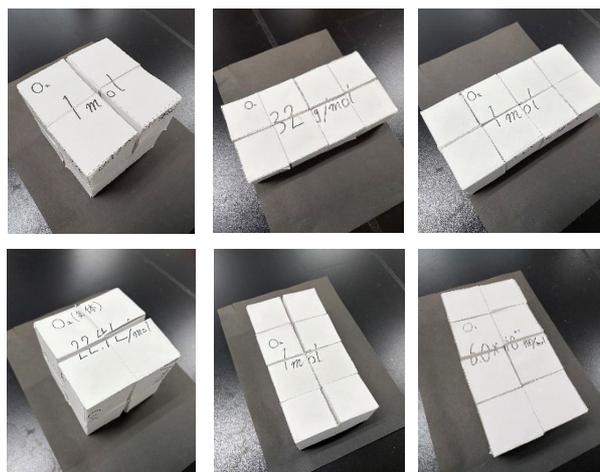


図7 無限キューブを用いた物質質量計算の教材

面を順に切り替えることで、粒子数→物質質量→質量などの換算手順を追える。

る。しかしながら、学習者はこれらの量の相互関係を十分に理解できず、計算手順を形式的に適用する傾向があることが指摘されている。齋藤ら（2016）は、物質質量概念の獲得を阻害する要因の一つとして、質量から物質質量、さらに原子数へと変換する過程に困難が生じることを示している。このような背景を踏まえ、本研究では質量と粒子数の変換関係を視覚的に示し、物質質量を中心とした量の関係を理解させることを目的として、物質質量変換ツールを試作した。

###### (2)教材の概要

物質質量変換ツールは、厚紙を用いた簡易なペーパークラフト教材であり、左右に設けた矢印付きのつまみを操作することで、変換経路が表示される構造となっている（図8）。つまみを引くと、中窓に、質量→物質質量→粒子数、粒子数→物質質量→質量、といった変換経路とともに、それぞれの変換に必要な量（モル質量、アボガドロ定数など）が表示される。これにより、質量と粒子数の変換が必ず物質質量を経由して行われることを視覚的に確認することができる。

###### (3)活用方法

授業では、計算問題に取り組む前段階として、本教材を用いて変換経路を確認させる。例えば「粒子数から質量を求める」課題では、まず粒子数から物質質量へ変換し、次に物質質量から質量へ変換するという順序を教材上で確認させる。その上で、対応する式と単位を記述させながら計算を行わせる。また、計算後には逆方向の変換（質量から粒子数など）を行わせることで、変換関係の理解を確かめる活動にも利用できる。

#### (4) 教材の意義と留意点

本教材は、質量と粒子数の変換関係を可視化し、物質質量がそれらの量を結び付ける中心的概念であることを理解させる補助教材として活用できる。また、厚紙によるペーパークラフトで作製できるため、安価で再現性が高く、授業で導入しやすい点も利点である。

一方で、本教材は計算の手順を支援する補助具であり、操作のみで理解が成立するものではない。そのため、変換に用いる式や単位の意味を言語化させる活動と併せて用いることが重要である。また、本教材では気体体積などの条件依存の量は扱っていないため、体積を含む変換については別途説明を補う必要がある。

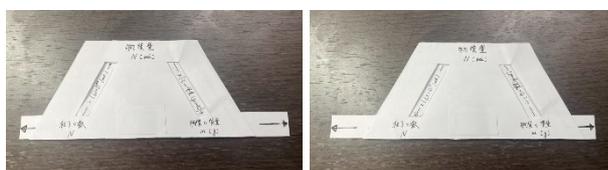


図8 質量と粒子数の変換の理解を促進する教材  
変換経路の先に必要な量が記載されている。

### 3. 立方体型ケースを用いた物質質量同定教材

#### (1) 教材のねらい

物質質量は、粒子数と質量を結び付ける化学の基本概念であり、化学量論計算の基盤となる。しかしながら、学習者は物質質量を計算上の単位として形式的に扱う傾向があり、物質質量の意味や量感を十分に理解できていない場合がある。特に、異なる物質において同じ質量であっても物質質量が異なることや、同じ物質質量であっても質量が異なることについては直感的に理解しにくい。

そこで本研究では、異なる物質の質量を測定し、モル質量を用いて物質質量を算出する活動を通して、物質質量の概念を具体的に理解させることを目的として、立方体型ケースを用いた教材を試作した。

#### (2) 教材の概要

本教材では、同じ外形・同じ体積をもつ透明な立方体型ケースを複数用意し、それぞれに異なる固体試料を封入する(図9)。ケースには試料名のみを表示し、学習者はまずケース内の試料の質量を電子天秤で測定する。その後、既知のモル質量を用いて物質質量を算出し、複数の試料の物質質量を比較する。

この活動により、見た目の量や質量だけでは物質質量の大きさを判断できないことを体験的に理解させるこ

とができる。また、同じ質量の試料でもモル質量の違いによって物質質量が異なることを確認することができる。

#### (3) 活用方法

授業では、まず複数の立方体型ケースを提示し、学習者に「どの試料の物質質量が最も多いか」を予想させる。その後、各試料の質量を測定し、モル質量を用いて物質質量を計算させる。計算結果を比較することで、質量と物質質量の関係を整理させる。

さらに、同じ物質質量になるように試料を準備した場合には、物質によって質量が異なることを確認させる活動も可能である。これにより、物質質量が粒子数に基づく量であることを、実感を伴って理解させることができる。

#### (4) 教材の意義と留意点

本教材は、物質質量を抽象的な計算概念としてではなく、質量測定と計算を通して具体的・感覚的に理解させることを目的としたものである。複数の物質を比較する活動を通して、物質質量が物質の種類によらず粒子数に基づく量であることを理解させる効果が期待される。

一方で、本教材を用いる際には、試料の選定と安全管理に配慮する必要がある。特に粉末試料を用いる場合には、漏出や誤飲を防ぐためにケースの密閉を十分に行う必要がある。また、固体試料の見かけの体積は充填状態によって変化するため、体積の大きさを直接比較する教材としてではなく、質量と物質質量の関係を理解する教材として活用することが適切である。

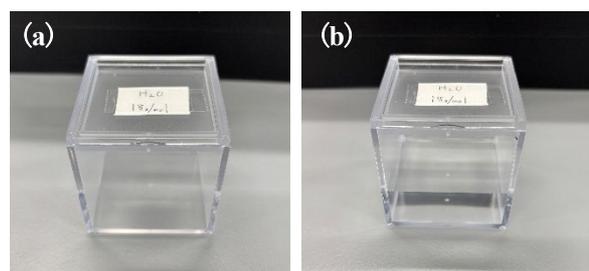


図9 立方体型ケースを用いた物質質量同定教材

(a) 物質が入っていない状態、(b) 物質(例: 水)が入った状態。

### V. まとめ

本研究では、理科教員志望大学生を対象として、物質質量概念の説明の特徴を調査するとともに、その理解を支援することを目的に3種類の教材の作製を試みた。

自由記述による説明の分析の結果、回答には 2019 年の国際単位系 (SI) の定義改訂に基づく新定義を用いた説明が多くみられた一方で、物質量を計算手続きの中で用いる量として捉える機能的説明も多く確認された。また、知識問題の結果からは、質量に関する理解に比べて、粒子数と物質量の関係に関する理解に曖昧さが残る可能性が示唆された。

これらの結果を踏まえ、本研究では物質量を中心とした量の関係を視覚的かつ操作的に理解させる教材として、①無限キューブを用いた物質量計算教材、②質量と粒子数の変換の理解を促進する教材、③立方体型ケースを用いた物質量同定教材の 3 種類を試作した。これらの教材は、それぞれ、計算経路の理解の促進、量の変換関係の可視化、物質量の量感 (スケール感) の形成という異なる側面から、物質量概念の理解を支援することを目的としている。理科教育において物質量は抽象的で理解が難しい概念とされることが多いが、本研究で試作した教材は、学習者が質量測定や操作活動を通して量を確認できる点に特徴がある。特に、計算手続きのみでは捉えにくい物質量の意味を、視覚的・操作的活動を通して理解させる教材として活用できる可能性がある。

一方で、本研究にはいくつかの限界がある。第一に、本研究で作製した教材は試作段階であり、実際の授業における学習効果の検証は行っていない。第二に、調査対象は一大学の理科教員志望学生に限定されており、結果の一般化には慎重な検討が必要である。今後は、これらの教材を授業実践に導入し、学習者の概念理解に与える影響を実証的に検討することが課題である。

## 附記

本論文は、日本理科教育学会四国支部大会 (2025 年 12 月:鳴門教育大学)において発表した内容について、加筆・再校正したものである。

## 文献

石田良仁, 弘田柊 (2023) : 1 mol の量を可視化する立方体教材の開発, 帝京科学大学紀要, 19, 31-39.  
 小畑直輝, 江原弘, 永富敬之, 桐生徹, 大島崇行, 小池守 (2019) : 物質量の理解を促進する教材開発と授業実践, 上越教育大学教職大学院研究紀要, 6, 71-80.

国際度量衡局 (2019) : 国際単位系 (SI) 第 9 版 (2019) 日本語版, 産業技術総合研究所計量標準総合センター.

齋藤幸江, 川村教一 (2016) : 高校生の物質概念の獲得を阻害する要因について, 日本科学教育学会研究報告, 31, 3, 17-20.

Sokolowski A. (2019) : Modeling the mole understanding with mathematical reasoning, *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 11, 4, 85-92.

内ノ倉真吾 (2009) : 高校生の物質量とモルの個別的概念形成—量と単位の関係性構築の視点から—, 静岡大学教育学部研究報告 (教科教育学篇), 40, 17-28.

## レジリエントな学習環境をデザインするための理論的拡張 Theoretical Extensions for Designing Resilient Learning Environments

富田英司

TOMIDA Eiji

愛媛大学教育学部/大学院地域レジリエンス学環

Faculty of Education/Interfaculty Graduate School of Regional Resilience, Ehime University

【要約】本研究は、急激な社会変動に伴うプレフィギュラティブ文化の到来を背景に、ヴィゴツキーの発達の最近接領域や文化歴史的活動理論の概念的拡張を試みるものである。これまでの発達理論が既存社会への適応に偏重していた限界を指摘し、Stetsenko は社会を協働で変革する主体を育む変容的活動家スタンスの視点を導入した。さらに本研究は、現代のZPD実装において見落とされてきた4つのミッシングリンクとして「情動的次元」「アイデンティティ次元」「テクノロジー次元」「生態学的空間次元」を指摘し、これらに世代間互惠性を組み込んだ「世代間多次元ZPD (IM-ZPD)」モデルを提案した。愛媛大学で実践された「愛媛大学放課後SDGs」と「愛大ゲームラボ」の2つの実践事例の分析を通じ、子どもと大人が非対称な権力勾配を解体し、互いにアンラーンを促しながら社会を共に創り変えていく共発達のダイナミズムとその実装要件を論じた。

【キーワード】世代間多次元ZPD, コフィギュラティブ文化, 変容的活動家スタンス, エージェンシー

### 1. プレフィギュラティブ状況な時代の要請

かねてより現在はVUCAの時代と言われてきたが、まさに世界はその通りの様相を見せており、気候変動、超大国間の覇権争い、高度に自由化された経済、生成AIの爆発的な高度化、グローバルに進行する少子高齢化などが絡み合っており、私たちが社会で生きていくために必要な能力が急速に変化しつつある。そのことから、社会において期待される教育の役割も変わりつつある。これまでの教育は、先行世代が蓄積した知識や技能を次世代へ伝達し、学習者を既存の社会構造へ「適応」させることを暗黙の前提としてきた。しかし、もはや技術的進展のスピードは1つの世代が知識や技能を蓄積するスピードを遥かに越えてしまっている。このような状況は、文化人類学者のマーガレット・ミードが半世紀前に概念化したものであり、現在もその意義は失われていない。

ミードは著書『文化とコミットメント』(1970)において、文化の伝達方向、すなわち「誰が誰から生き方のモデル(型、figure)を学ぶか」という観点から、社会変動を3つの位相に分類した。過去の経験がそのまま未来に通用し、若者が年長者をモデルとして生きる「ポストフィギュラティブ文化」、社会の変動によって親の経験が通用しなくなり、同世代の仲間同士で新しい適応の型を模索する「コフィギュラティブ文化」、そして、大きな変動の中で未知の社会状況が到来し、

大人が若者から学ばなければならない「プレフィギュラティブ文化」である。現代の学習環境が直面しているのは、まさにこのプレフィギュラティブな状況である。新しい技術環境や複雑化した社会の中で育つ若者たちは、来るべき時代の「型」を直感的に先取りし、言語化される前の「未来の萌芽」をその行為の中に予見する傾向にある。

一方で、旧来の知識体系や成功体験を持つ先行世代は、いわば「過去からの移民」として、自らの持つ前提の陳腐化に直面している。いま教育に求められているのは、先行世代の枠組みへの「適応」を期待するポストフィギュラティブな指導ではなく、プレフィギュラティブな若者の直感を潰さずに尊重しながら、先行世代が自らの過去の前提を彼らに当てはめてしまわないよう一旦判断を留保しつつ受け入れ、世代間で不確実性を抱え留めながら新たな実践を共同構築していく、いわば世代間でコフィギュラティブな社会を構築するための、レジリエントな関係性を作っていく社会的萌芽である。

このような社会の大きな転換は、人間の十全な発達に必要な環境の解明において理論的な先導を果たしてきた教育心理学および発達心理学の領域、とりわけL.S. ヴィゴツキーの「発達の最近接領域(ZPD)」や心理的・技術的ツールによる「媒介」(Vygotsky, 1978)についても、ひいてはこのヴィゴツキーの思想を祖と

する文化歴史的活動理論 (CHAT: Leont'ev, 1974)、Lave & Wenger の「正統的周辺参加 (LPP)」(Lave & Wenger, 1991) といった諸理論・概念に対してもアップデートを要求するものである。

本研究の目的は、(1)「プレフィギュラティブ文化」の全面的な到来によって、社会文化的アプローチにおける主要概念の拡張を、いまの社会文化的状況に即しておこなうこと、そして(2)世代間でコフィギュラティブな教育実践のための実践研究の事例をたたき台として、世代間で互恵的な教育実践を実装する環境において検討が必要な次元を提案することである。次節では、これまでのヴィゴツキー理論の発展を他の関連する理論とともに振り返り、それらの理論的限界点について明らかにしたい。

## 2. 理論的発展とその限界

### 2.1 文化歴史的活動理論の誕生と展開

ここで紹介する諸理論の展開は、人間の学習と発達を「個人の頭の中」の現象としてではなく、歴史的・文化的・社会的な文脈との相互作用の中で捉えようと試みてきた軌跡である。1920年代から30年代にかけて活躍した旧ソビエト連邦の心理学者 L. S. ヴィゴツキーは、人間の高次精神機能が、他者との社会的相互作用や文化的道具(言語など)の媒介を通じて形成されることを主張した (Vygotsky, 1978)。彼の著名な概念の一つが ZPD である。ZPD は、「子どもが自力で問題解決できる『現在の発達水準』と、大人からの指導やより能力の高い仲間との協同によって問題解決が可能になる『潜在的な発達水準』との間の差異」(ヴィゴツキー, 1975) として定義される。従来の心理学がテスト等によって測定可能な「既に完了した発達」のみに焦点を当てていたのに対し、ZPD 概念は、適切な足場かけ(あるいはスキヤフォールディング)があれば「明日には可能になる発達」を捉えようとした画期的な枠組みであった。この概念により、学習は個人の成熟を待つものではなく、社会的相互作用を通じて発達を牽引するものとして再定義されたのである。

ヴィゴツキーの早逝後、彼の思想は同僚の A.N. レオンチェフらによって引き継がれ、「活動理論 (Activity Theory)」として体系化された (Leont'ev, 1974)。レオンチェフは、心理学の分析の最小単位を、特定の目的(動機)を持った集団的なプロセスである「活動」に設定した。Leont'ev (1974) が引き合いに出した狩

りの例が示すように、個人の「操作」や「行為」は、集団全体の「活動」という文脈に位置づけて初めてその意味が理解できる (Wertsch, 1979)。さらに1980年代以降、フィンランドのエンゲストロームがこの理論を拡張し、主体、客体、道具、ルール、コミュニティ、分業といった要素からなる活動システム・モデルを提唱した (エンゲストローム, 1999)。エンゲストロームの「拡張的学習」の理論は、活動システム内に生じる「矛盾」こそが学習と発達の駆動力であり、人々が矛盾を克服するために新たな活動のシステムを創り出していく過程を学習として捉えた。このようにして、ヴィゴツキーの思想は「文化歴史的活動理論」として世界的に広がり、教育学や組織論など幅広い分野で応用されるようになった。

1990年代に入ると、CHATの潮流の中から、学習をより人類学的・社会学的な視点から捉え直す「社会実践理論」が提案された (Holland & Lave, 2001)。その代表格がレイヴとウェンガーが提唱した「正統的周辺参加 (LPP)」である (Lave & Wenger, 1991)。LPP 論は、学習を単なる知識の脳内への転送ではなく、「実践共同体 (CoP)」への参加過程として捉えた。新参者は共同体の「周辺」から参加し始め、熟達者の振る舞いを観察し、役割を担う過程を通じて次第に「中心」へと移行していく。このアプローチは、学習とアイデンティティの形成が不可分であることを指摘した点で極めて高く評価された。

### 2.2 変容を導く認知機能：リフレクションの系譜

コフィギュラティブな状況下で、大人と子どもが共に既存の社会構造を問い直し、新たな実践を創り出していくための必須の認知プロセスとなるのがリフレクション(省察)である。この概念は、経験から学ぶための実践的枠組みとして、教育学において豊かな系譜を形成してきた。

その源流は、ジョン・デューイ (Dewey, 1933) の反省的思考にある。デューイは、人が直面した困難や不確実性に対して、単なる盲目的な試行錯誤やルーチンの適用で済ませるのではなく、問題を明確化し、仮説を立てて経験を再構成する知的プロセスを「反省的思考」と呼び、これを教育の根幹に据えた。この思想を受け継ぎ、専門家(支援者)の実践論へと発展させたのが哲学者ドナルド・ショーン (Schön, 1983) である。ショーンは、複雑で不確実な実践現場において、専門

家はあらかじめ用意された理論を適用しているのではなく、状況と対話しながら即興的に行為を調整する「行為の中の省察 (Reflection-in-action)」と、事後に意味づけを行う「行為についての省察 (Reflection-on-action)」を行っていることを指摘した。

さらに、フレッド・コルトハーゲン (Korthagen, 2001) は、これらを教師教育理論の中心に据え、リフレクションの深さを構造化した「玉ねぎモデル」を提唱した。彼は、環境や行動といった表面的な省察にとどまらず、個人の「信念」、さらには「アイデンティティ (自分は何者か)」や「使命 (何のために生きるのか)」というコアレベルの省察を行うコア・リフレクションの重要性を説いた。

### 2.3 個人の省察から組織の省察へ

省察は個人の水準にとどまらず、他者との協働プロジェクトや組織的な活動を分析単位とすることもできる。したがって、リフレクションの機能もまた、個人から「組織・コミュニティ」の次元へと拡張可能である。Senge (1990) は、絶え間なく変化する環境の中で自らを適応・進化させ続ける集団を「学習する組織」と名付けた。センゲは、組織が学習するための不可欠な要素として、物事の全体的な繋がりを捉える「システム思考」や「共有ビジョン」の構築、そして「チーム学習」を挙げている。そして、この「学習する組織」を実現する上で最大の障壁となるのが、個人や組織に無意識に染み付いた「メンタルモデル (固定観念や前提)」である。特に、ポストフィギュラティブ文化で育った大人 (支援者) は、「教える側・教えられる側」という旧来の権力勾配のメンタルモデルを備えていることが多い。これを乗り越えるためのプロセスが「アンラーン」である (Hedberg, 1981)。アンラーンとは、過去の成功体験や既存の知識を意図的に捨て去り、新たな見方を受け入れるための余白を自らの内に創り出すプロセスを指す。

### 2.4 「適応」問題を越えて

これまで紹介してきた諸理論は、教育や学習のプロセスを理解するために人類が立ち上げた金字塔を構成する要素である。しかしながら、Stetsenko (2008) が指摘するように、これまでの文化歴史的活動理論や社会実践理論には、さらにはピアジェやデューイに至る諸理論も同様に、進化論的な世界観に依拠しており、

環境の変化への「適応」を発達と学習の中心的な原動力として位置づけている点に限界があった。つまり、学習を「既に成立したコミュニティに参加し、現状の環境に『適応』していく過程」として捉えがちであったのである。すでに存在する環境への適応は確かに重要な側面ではあるが、わたしたちは社会の一員として他者と協働し、社会を自ら構築していくという側面も同様に重要である。社会における様々な問題解決やそのための変革は、社会そのものにとっても重要であると同時に、それに取り組む一人ひとりの認知的および人格的発達過程としても欠かせないプロセスである (Stetsenko, 2008)。

この適応を巡る理論的境界に突破口を開いたのが Stetsenko が提唱した「変容的活動家スタンス (TAS)」である (Stetsenko, 2008)。TAS は、これまでの CHAT の基礎原理であった「適応」を退け、現状を批判的に読み解き、今はまだ達成していないより良い未来のあり方を目指して他者と協働する「協働的目的変容」を学習の基礎原理に据えた。TAS は存在論/認識論においても、新しい見方を提案している。ステセンコは、人間の発達において「外界を知ること (knowing)」「外界を変えること (acting)」「自分を知ること (being)」は独立したプロセスではなく、一つの有機的に結びついたシステムとして同時に創発すると主張した。さらに TAS は、パウロ・フレイレの批判教育学から「意識化」の概念を取り入れ、自らが置かれた社会的文脈の矛盾を理論的ツールを用いて批判的に捉え返すプロセスを重視している (フレイレ, 1979; 富田, 2018)。

TAS の枠組みにおいて、学習者は「既存の社会に受け入れられるための知識を消費する存在」から、「自らの実践を通じて社会を変革し、その過程で自らのアイデンティティを創造していく主体 (活動家)」へと大きなパラダイムシフトを遂げる。そのため TAS では、心理学的分析の最小単位を、受動的な状況参加ではなく、他者と協働して未来の実現を目指す「協働プロジェクト」に設定している (Blunden, 2014)。

## 3. 社会実装の上でのミッシングリンク

以上の諸理論に基づいた学習環境を実装するならば、直感的には、私たちの社会では既に子どもたちが他の世代と効果的に適応して、これからの社会を担っていくポテンシャルを不安無く発揮しているはずである。

しかし、現実の教育現場や家庭教育において、子どもたちは「多数派が選ぶ正解」をなぞるような他律的な選択を強いられている。事実、東京大学社会科学研究所・ベネッセ教育総合研究所(2022)の縦断調査によれば、子どもたちは学年が上がるにつれて「新しいことを知るのが嬉しい」といった内発的動機づけを低下させ、「テストで良い点を取るため」「怒られないため」という外発的・他律的な学習動機へと移行していくことが示されている。既存のルールの上で「唯一の正解」を求められる過剰な競争は、子どもたちから心理的安全性を奪い、未知への挑戦を躊躇させている。OECD(2019)のPISA生徒のウェルビーイング調査において、日本の生徒はOECD平均と比較して「失敗に対する恐れ」の指標が突出して高い。さらに、国立青少年教育振興機構(2021)は、用意されたルールから外れた多様な経験(自然体験や生活体験)が少ない子どもほど、困難を乗り越えるレジリエンスや自己肯定感が低い傾向にあることを明らかにしている。このような失敗を許容しない他律的な環境下で育った結果、子どもたちのエージェンシーは著しく損なわれていると考えられる。日本財団(2018)によれば、「自分で国や社会を変えられると思う」と答えた日本の若者はわずか2割弱にとどまり、調査対象となった9カ国中で最下位という結果が報告されている。

このような理論的理想と現実の大きな乖離はなぜ生じているのか。それは、これまでに紹介してきた発達理論が、社会実装の過程において、暗黙のうちに「既存の学校システムや価値観への適応」の枠内で運用されてしまったためであると考えられる。ヴィゴツキーからTASへと至る理論的發展を踏まえ、子どもたちを他律的な競争から解放し、未知の未来を共創するプレフィギュラティブな環境をデザインする上で、これまでのZPDの社会実装には以下の4つのリンクが欠けていたのではないだろうか。

第一は、情動的基盤の軽視である。従来の教育現場では、ZPDを「大人が設定した認知的・技能的な課題を達成させるための足場かけ」として狭義に捉えがちであった。その結果、他律的な競争下で子どもたちが直面している「失敗への恐れ」や不安をいかにケアし、自律的な「フロー」や「心理的安全性」をいかに回復させるかという情緒的次元の支援が抜け落ちていたのではないだろうか。情動的な安全性が担保されない関係性の中では、いかなる高度なツールを与えても自

律的なエージェンシーは起動しない。

第二は、適応を超えたアイデンティティ変容の欠落である。社会実践理論は実践共同体への参加を説いたが、教育現場ではそれが往々にして「既に完成した大人のシステムや既存のルールへの適応」として矮小化されてきた。これからの時代を生きる子どもたちに必要なのは、流動的なコミュニティの危機に対して自発的に解決策を提案し、自ら環境を創り変えていくプロセスであると考えられるが、そのための足場かけが十分に概念化されてこなかった。

第三は、権力勾配を逆転させるテクノロジーの導入である。教育へのICT導入が進む中でも、テクノロジーは依然として大人が子どもに効率よく教えるための便利な道具として扱われがちである。デジタルネイティブな子どもたちが先行世代を凌駕する文化資本を持ち得る領域において、テクノロジーが世代間の権力構造を逆転し、子どもを主導的な熟達者へと押し上げる機能の意義が見落とされてきた。

第四は、ハイブリッドな生態学的空間の設計である。これまで発達の足場かけは、特定の教室内や、固定化された対面的な人間関係の中に限定して考えられてきた。しかし、現代のデジタル技術ではオンラインの匿名空間がもたらす「何度でもやり直せる失敗への寛容さ」と、対面空間での「直接的な承認」が交差するハイブリッドなサードプレイス(第三の居場所)の共存が可能になった。このようなエコロジーこそが、子どもたちの新たなアイデンティティの安全な跳躍を支える物理的・空間的なアフォーダンスを提供するという視点が欠落していた。

本研究は、これら4つのミッシング・リンクを埋めあわせるための新たな枠組みとして、「世代間多次元ZPD(IM-ZPD)」モデルを提案する。このIM-ZPDモデルを実装することで、子どもたちがレッドオーシャンと化した既存のシステムへの他律的な適応から脱却し、自律的なエージェントとして協働的プロジェクトに没頭し、自己と社会を同時に変容させていくプロセスをデザインすることが可能になる。次節では、以上の理論的發展をサポートする実装事例として、愛媛大学をフィールドとして実施されたプロジェクトである「愛大ゲームラボ」「愛媛大学放課後SDGs」から得られた知見について検討を進める。

#### 4. 学習環境実装事例

本節では、上述した IM-ZPD モデルを構成する実践的基盤として、愛媛大学をフィールドに展開された2つのアクションリサーチ、「愛媛大学放課後 SDGs」および「愛大ゲームラボ」の実践事例を取り上げる。これらの事例は、ミクロな情動支援とマクロな環境設計がいかにして世代を超えたコフィギュラティブな学びの場を現出させるかを示すものである。これらは、愛媛大学教育学部の卒業論文として、または愛媛大学大学院地域レジリエンス学環の修士論文として執筆された未公刊文献であるため、以下にそれぞれの研究の文脈を含めて詳説したい。

「愛媛大学放課後 SDGs」は、地域の高学年児童や中学生を対象とし、SDGsに関わる課題であれば子どもの好きなテーマで進めることのできる子ども主導プロジェクトを支援する実践である。4月から2月までの年間を通じて、週2回大学キャンパスに放課後集まって1時間～1時間半ほどの活動時間を設けている。数名の大学教員と研究補助員2名、ボランティア学生数名によって運営されている。この活動では、単なる知識の習得や決まった活動の展開というよりも、社会課題に関連付ける形で子どもがそれぞれ自分のしたいことを明確化するところから進めていく。具体的には、廃材を活用したアップサイクル製品の企画・制作から、地域のクリスマスマーケット等のイベントにおける実際の販売に至るまで、現実世界でのアウトプットを伴う本格的な活動を展開している。正解のない社会課題に対して、子どもたちが自らの手で解決策を形にしていくプロセスは、真正性が高い一方で、意見の対立や作業の行き詰まりなど、学習者にかかる認知的・情動的負荷が極めて高い環境でもある。山田(2026)は、このプロジェクト型の実践を通して、学習者が課題解決の過程で直面する困難(認知的・技術的・感情的困難)からいかにして自律的な「没頭(フロー)」状態へと回復していくかという、ミクロな相互作用のメカニズムを検討した。従来の支援は、課題を達成させるための「構造化の足場かけ」に偏りがちであったが、この研究は、不安や自信喪失といった情動の揺らぎに対する「情緒的支援」が不可欠であることを定量的・定性的に実証している。さらに IM-ZPD の観点から特筆すべきは、支援者(大人や学生メンター)による「積極的な待機(見守りへの動的移行)」の重要性を指摘した点である。子どもがわずかでも目的意識や修正行動を見せた瞬間に、大人が意図的に介入を控

え、主導権を子どもに委ねる。これは、発達支援における「足場外し」、あるいは認知科学・学習科学において「フェイディング」と呼ばれるプロセスに該当する。これはまさに、第1のミッシング・リンクである「情動的没頭」を担保する技術であると同時に、支援者自身が「教え導く大人」というメンタルモデルをアンラーンし、子どものエージェンシーを信頼して自らの権力や統制を手放すという、世代間の微細な調整プロセスを体現している。このように「待つこと」の重要さは多くの大人が子どもとの関わりのなかで経験することであるが、そのことが綿密な行動観察を介した数量的な解析によってもサポートされたことの意義は大きい。

「愛大ゲームラボ」は、愛媛大学の学生が主体となって運営する、地域の児童生徒のためのサードプレイス(第3の居場所)実践である。現在小学校4年生から高校生とその保護者が年間を通して週1回参加している。令和7年度の会場は、松山市花園町にある松山アーバンデザインセンター・もぶるラウンジである。ここでは、世界的に普及しているサンドボックス型ゲームであるマインクラフトの JAVA 版を中心に、カードゲームやボードゲーム、TRPG(テーブルトーク・ロールプレイング・ゲーム:紙、鉛筆、サイコロ、ルールブックを使い、会話を通じて物語を進める対話型のゲーム)等を通して交流している。活動形態は、オンライン環境でのリモート交流と、もぶるラウンジでの対面活動を組み合わせたハイブリッド環境を採用している点が大きな特徴である。川上(2026)は、この実践の分析を通じ、マクロな環境設計がいかにして子どものコミュニティへのアイデンティティの変容を促すかを明らかにした。川上の研究によれば、子どもたちは最初、ゲームを楽しむ利用者として周辺的に参加するが、ハイブリッドな空間における心理的安全性の蓄積を経て、やがてイベントの BGM を担当したり、中心メンバーの卒業というコミュニティの存続危機に対して自発的に解決策を提案したりする主体的な参画者へと変容していく。ここで重要なのは、主体性のトリガーが大人からの理論的な指導や啓蒙ではなく、「自分たちの居場所を守りたい」という環境への愛着であったことである。マインクラフトというデジタル空間が持つ「匿名性」や「何度でもやり直せる失敗への寛容さ」が、物理的・空間的アフォーダンスとして機能していたのである。さらに、この環境下では、

子どものほうがゲームの熟達者であり、大学生を含む大人が「新参者」として振る舞うという、世代間の権力勾配の自然な逆転が生じている。大人が自らの「分からなさ」を開示して子どもから学び、共に遊ぶというこの空間構造は、ミードのプレフィギュラティブ文化の実装そのものであり、世代間で不確実性を共有しながら新たな実践を構築していくコフィギュラティブな関係性の萌芽を明確に示している。

これら2つの実践研究は、IM-ZPDモデルを構成する上で互いの知見を補完し合う関係にある。これらの事例は、既存の社会システムへの単なる「適応」に留まらず、自らが愛着を持つコミュニティの課題を発見し、アンラーンを経た大人たちと協働して解決策を創造していくという変容的活動家スタンスへと至るための、実践的かつ生態学的な足場かけがどのように成立するかを描きだしたと言える。次節では、これらの実践事例から見出された知見を、ZPDの多次元性という観点から整理したい。

## 5. IM-ZPDを構成する4次元

### 5.1 エージェンシーへと繋がる情動的次元のZPD

Wood, Bruner, & Ross (1976) は既に、最初の足場かけの概念化において、情動的なマネージメントの重要性を指摘していた。しかし、従来のそれはあくまで大人が設定した課題、あるいは自然発生的に取り組んだ課題を、大人の支援を得て完遂させるための手段に留まりがちであった。山田 (2026) は、この情動的支援を、決まった正解のない探究課題において、子どもが自らのエージェンシーを回復し、自律的なフロー状態へと回帰するための重要なメカニズムであることを指摘した。

### 5.2 アイデンティティ次元のZPD

Lave & Wenger (1991) のLPP論は、学習をアイデンティティの変容として捉えた点で画期的であった。しかし、その多くは「既に安定した大人の共同体への適応」を描くにとどまっていた。他方、川上 (2026) は、子どもたちが既存のシステムに適応するのではなく、流動的なコミュニティの危機に対して自発的に解決策を提案するという「防衛と共創のアイデンティティ」を獲得するプロセスを描き出した。

### 5.3 テクノロジー次元のZPD

デジタルゲーム制作やMinecraftを活用した探究あるいは遊びの文脈では、常に新しい学びが随時進行しており、様々なZPDが創発している。デジタルテクノロジーを含むあらゆるテクノロジーは、ZPDが生じやすくなる文脈を用意しているとも言える。これらテクノロジーの領域は子どもが先行世代を凌駕する文化資本を持つため、大人から「無知の開示」を引き出し、既存の世代間権力勾配を逆転させ、子どもが熟達者として場を主導しながらも大人もリソースを提供するようなコフィギュラティブな世代間関係性を生み出す装置として機能するのである。

## 5.4 生態学的空間次元のZPD

ZPDを生み出すのは、特定の間人間関係や内面的な情動にとどまらない。川上 (2026) が明らかにしたように、オンラインの匿名空間と対面での直接的な承認が交差する「ハイブリッド環境」は、その空間構造自体が子どもたちの心理的安全性を高め、参加の足場かけとして機能する。特定の教室内にとどまらず、大学の施設や地域のサードプレイスなど、多様なアクターが交差する物理的・仮想的な生態学的空間をいかに設計するかが、流動的な共同体における多次元的ZPDの創発を左右する。

## 6. 世代間互惠のZPD

子どもと大人の間に生起するZPDは、従来子どもの主体的取り組みに対して大人が記号的媒介を通して実現するものであると捉えられていた。それはある意味で双方向ではあるが、依然として大人は記号的に媒介された知的操作に長けた存在として相互作用に参加しているという点で、大人の権威性は確たるものである。しかし、上述のように、子どもが学んでいるときに大人も学んでいるし、その逆もまた言える。このことから考えると、ZPDは大人から子どもに関与するプロセスを通して生じる場合と、子どもから大人に関与するプロセスを通して生じる場合との2つの経路があると考えられる。この世代間互惠性は、上記に新しく提案した情動・アイデンティティ・テクノロジー・生態学的空間という4つのZPD次元に当てはめると以下のような示唆が得られる。

第一に、情動的次元におけるZPDは、子どもの自律的なフローの回復が、翻って大人の情動の変容を促す経路を持つ。大人が「積極的な待機」を選択し、子

どもが自らの力でエージェンシーを取り戻す瞬間を目の当たりにするとき、大人は自らが無意識に抱えていた「正解に導かなければならない」という焦りや不安を手放すことができる。子どもの情動的自立が、大人の持つ教育的執着を融解させ、待つことへの確信という新たな教育的信念を形成する足場となるのである。ただし、その逆もまたありうる。大人が「正解に導かなければならない」という焦りや不安を手放したときに、子どもの自発的なフロー回復を観察することができるという経路も存在するはずである。

第二に、アイデンティティ次元における ZPD は、子どもの変容が大人自身のアイデンティティのアンラーンを引き起こす。子どもがコミュニティの危機に対して自発的に解決策を提案し、「防衛と共創の主体」として振る舞い始める時、大人もまた「教え導く指導者」という固定化された自己像に留まることはできない。子どもの主体的跳躍は、大人を「すべてを知る者」から「未知の事態を共に面白がり、共に悩む対等な協働者」へと、自己のアイデンティティを再定義させる契機となる。

第三に、テクノロジー次元における ZPD は、子どもから大人への権力逆転を伴う学びの経路を顕在化させる。子どもがテクノロジーの熟達者として場を主導する文脈において、大人は自らの知識の陳腐化を受け入れ、子どもに対して素直に「無知の開示」を行い、教を請う姿勢を獲得する。これは、プレフィギュラティブな時代において大人が未経験の未来に適応するための、極めて実践的かつ不可欠な認知機能のアップデート過程である。

第四に、生態学的空間次元における ZPD は、子どもによる空間の「意味の書き換え」を通じて大人を学習させる。大人が設計したハイブリッド環境やサードプレイスにおいて、子どもたちはしばしば大人の想定を超えたルール創造や独自の文化を立ち上げる。大人はその創発的プロセスに巻き込まれることで、「環境を管理・設計する者」から、「子どもが書き換えた生態系のアフォーダンスを共に享受し、共生する者」としての在り方を学ぶことになる。

このように IM-ZPD 理論では、4つの次元すべてにおいて、子どもは単なる発達の受益者ではなく、大人のメンタルモデルを揺さぶり、アンラーンを導く「発達の媒介者」として機能することがモデル化されている。世代間相互性に基づく ZPD とは、決して大人から子

どもへの単方向の引き上げではなく、世代間で不確実性を共有しながら、双方が互いの変容の足場となり続ける共発達 (Co-evolution) のダイナミズムである。

## 7. 引用文献

- Blunden, A. (2014). *Collaborative projects: An interdisciplinary study*. Brill.
- Dewey, J. (1933). *How We Think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. D.C. Heath.
- エンゲストローム, Y. (山住勝広・百合草禎二・庄井良信・松下佳代・保坂裕子・手取義宏・高橋登 訳) (1999). *拡張による学習*. 新曜社.
- フレイレ, P. (小沢有作・楠原彰・柿沼秀雄・伊藤周 訳) (1979). *被抑圧者の教育学*. 亜紀書房.
- Hedberg, B. (1981). How organizations learn and unlearn. In P. C. Nystrom & W. H. Starbuck (Eds.), *Handbook of organizational design* (Vol. 1, pp. 3-27). Oxford University Press.
- Holland, D., & Lave, J. (2001). *History in person: Enduring struggles, contentious practice, intimate identities*. SAR Press.
- 川上瑞葉 (2026). 安心できる居場所から主体的に参画する居場所へ—愛大ゲームラボのハイブリッドな活動の実践分析—. 令和7年度愛媛大学教育学部卒業論文.
- 国立青少年教育振興機構 (2021). 青少年の体験活動等に関する意識調査 (令和2年度調査).
- Korthagen, F. A. J. (2001). *Linking practice and theory: The pedagogy of realistic teacher education*. Lawrence Erlbaum Associates. (コルトハーヘン, F.・武田信子 (監訳) (2010). *教師教育学: 理論と実践をつなぐリアリスティック・アプローチ*. 学文社)
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press. (レイヴ, J.・ウェンガー, E. 佐伯胖 (訳) (1993). *状況に埋め込まれた学習—正統的周辺参加* 産業図書)
- Leont'ev, A. N. (1974). The problem of activity in psychology. *Soviet psychology*, 13(2), 4-33.
- Mead, M. (1970). *Culture and commitment: A study of the generation gap*. Natural History Press.

- (ミード, M.・星野命 (訳) (1976). 文化とコミットメント: 世代差の探求. 紀伊國屋書店)
- 日本財団 (2018). 18歳意識調査 第1回: 国や社会に対する意識.
- OECD (2019). PISA 2018 Results (Volume III): What School Life Means for Students' Lives. OECD Publishing, Paris.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books. (シヨーン, D.A.・柳沢昌一・三輪建二 (訳) (2001). 専門家の知恵: 反省的実践家は行為しながら考える. ゆみ出版)
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Doubleday/Currency. (センゲ, P.M.・枝廣淳子他 (訳) (2011). 学習する組織: システム思考で未来を創造する. 英治出版)
- Stetsenko, A. (2008). From relational ontology to transformative activist stance on development and learning: Expanding Vygotsky's (CHAT) project. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 471-491.
- 東京大学社会科学研究所・ベネッセ教育総合研究所 (2022). 子どもの生活と学びに関する縦断調査 2015-2021.
- 富田英司 (2018). これからの教育心理学のための存在・認識論—アナ・ステセンコによる変容的活動家スタンス. *愛媛大学教育学部紀要*, 65, 127-136.
- ヴィゴツキー L.S. (柴田義松・盛岡修一 訳) (1975). 子どもの知的発達と教授. 明治図書.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wertsch, J. V. (1979). The concept of activity in Soviet psychology: An introduction. *The concept of activity in Soviet psychology*, 3-36.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of child psychology and psychiatry*, 17(2), 89-100.
- 山田美穂 (2026). 放課後 SDGs 活動における困難と支援からフロー状態への変容. 令和7年度愛媛大学大学院地域レジリエンス学環修士論文.
- 謝辞 本研究は愛媛大学若手研究者リサーチユニット創生支援事業に2024年度に採択された「コミュニティ・オーガナイザー育成のための連携体制モデルの構築—社会的課題解決を目指す教育プログラムの開発と実践を通して—」(代表: 井上昌善)の支援を受けておこなわれた。

# 小学校国語科における生成 AI を用いた推敲場面の支援 — 修正判断の過程に着目して —

## Supporting Revision with Generative AI in Elementary Japanese Language Arts: Focusing on the Process of Revision Decision-Making

中村 惇哉

NAKAMURA Junya

大阪市立豊里南小学校

Osaka City Toyosato Minam Elementary School

**【要約】** 本研究は、小学校国語科「書くこと」の推敲場面において、生成 AI を、児童が自らの文章を読み返し、評価し、修正が必要かどうかを判断することを支える対話的支援として活用した実践を対象とした。そして、その実践における児童の推敲過程を事例的に検討した。生成 AI には修正文を提示させず、評価観点のみを示すようプロンプトを設計した。事例分析の結果、児童は生成 AI の評価をそのまま受け入れるのではなく、文章を読み返ししながら修正の必要性や方向を自ら判断していた。生成 AI は修正を代行する存在ではなく、読み返しを促す視点を提供する評価環境として機能していた。本研究は、生成 AI 活用においては機能そのものよりも、学習者の判断を支えるプロンプト設計が重要であることを示唆する。

**【キーワード】** 生成 AI, 国語科, 書くこと, 小学校

### I. はじめに

#### 1. 問題の所在

文章を書く活動は、単なる知識や経験の表出ではなく、書き手が自らの考えを見直し、修正しながら意味を再構成していく過程であることが指摘されてきた。Flower & Hayes (1981) は、文章を書く過程を「生成—評価—修正」の循環的な過程として捉え、書き手が自らの文章を評価し、その評価をもとに書き進めていく点に特徴があると述べている。こうした見方は、その後の文章作成研究においても広く共有されている。

また、Zimmerman & Risemberg (1997) は、書くことを目標設定、自己評価、修正を含む自己調整的な活動として位置づけている。特に推敲は、文章を読み返し、修正が必要かどうかを判断する省察的な行為として整理されている。Graham (2006) も、計画や評価といった自己調整の働きを用いながら書くことが、書く力の発達に関わると述べている。

さらに、Butler & Winne (1995) は、自己調整学習において外部からのフィードバックが重要な役割を果たすことを示している。文章を書く過程においても、外的な評価観点は、学習者が自らの文章を見直し、修正するかどうかを考える際の手がかりとなる。

一方、学習者が修正するかどうかを、どのように判断しているのかという過程そのものを具体的に検討

した研究は多くない。

近年、生成 AI の教育利用が広がり、「書くこと」の学習への活用も報告されている（文部科学省，2023；吉田，2025a；吉田，2025b）。しかし、生成 AI が修正案を提示する形で用いられる場合、学習者がその内容を十分に吟味しないまま受け入れてしまう可能性も指摘されている（文部科学省，2023）。

とりわけ小学校段階においては、生成 AI が文章を直接改善する存在として機能するのではなく、児童が自ら文章を読み返し、修正が必要かどうかを判断する過程をどのように支えるかが重要である。

#### 2. 研究の目的

以上を踏まえ、本研究では、小学校国語科「書くこと」の学習において、生成 AI を、児童が自らの文章を読み返し、評価し、修正が必要かどうかを判断することを支える対話的支援として活用した実践を対象とする。そして、生成 AI との対話を通して、児童がどのように文章を省察し、自ら判断しながら推敲を進めていったのかを、事例的に明らかにすることを目的とする。

### II. 方法

#### 1. 対象と実践の概要

本研究は、公立小学校3年生1学級（29名）を対象

に実施した。実践は2025年11月から12月にかけて行い、全8時間で構成された国語科「書くこと」領域の単元実践である。本単元では、「クラスの思い出づくりのためにできること」を題材とし、児童が自分の考えを述べ、その理由を明らかにしながら文章として表現する活動を設定した。単元目標は、「自分の考えとその理由を明らかにして、文章を書くことができる」とした。単元では、文章作成前の思考整理にも生成AIを活用したが、本研究では推敲段階に焦点を当てた。

本研究では、単元全体の指導を踏まえつつも、完成した文章に対して生成AIから提示された評価を手がかりに、児童が文章を読み返し、修正が必要かどうかを判断する推敲段階の学習過程に焦点を当てた。

## 2. 生成AIの位置づけ

本研究における生成AIの活用は、文章を書く活動を代行したり、正解となる文章や修正案を提示したりすることを目的としたものではない。生成AIは、児童が自らの文章を見直し、修正が必要かどうかを判断する際の手がかりを提供する対話的支援として位置づけた。

児童は、教師や友達に相談することと同様に、必要に応じて生成AIを活用することができる環境で学習を行った。生成AIの利用は任意とし、使用の有無や頻度は児童の判断に委ねた。

生成AIとの対話には、コニカミノルタ社が提供する教育用生成AIツール「tomoLinks（トモリンクス）」

(図1)を使用した。実践校は、tomoLinksを活用した生成AIパイロット校として運用しており、日常的に生成AIを活用する環境が整備されている。本研究では、tomoLinksの「とも学」モードを使用した。「とも

学」は、教師があらかじめプロンプトを設定し、児童がその枠内で生成AIと対話を行う形式である。

## 3. 生成AIによる支援設計

本研究では、推敲を、誤字脱字の修正にとどまらず、書き手が自らの文章を読み返し、評価し、修正が必要かどうかを判断する過程として捉えた。そのため、推敲段階における生成AIの支援は、文章の改善案を直接提示するのではなく、児童が自分の文章を振り返るための観点を明確にすることを目的として設計した。

具体的には、生成AIに「小学校3年生の国語科・書くこと」単元における文章を評価する役割を与え、あらかじめ設定した評価基準に基づいて、児童の文章を点数化し、コメントを返すようプロンプトを設計した。評価基準は、「主張の明確さ」「理由の数と具体性」「考えと理由のつながり」「文章の組み立て（はじめ・中・おわり）」の4項目とし、単元で重視してきた観点と対応させた。

生成AIは、各項目についての点数と評価理由を示すとともに、「よい点」と「改善点」を具体的な言葉で提示するよう設計した。ただし、改善点においても、文章の書き換え例や修正文は提示しないよう制約を設けた。生成AIの役割は、児童が自分の文章を読み返し、修正の必要性を判断するための手がかりを示すことに限定した。これは、児童自身が判断しながら推敲を進める学習過程を確保するためである。

本実践における生成AIは、文章を直接改善する存在ではなく、評価を通して振り返りを促す学習環境の一部として機能するよう設計された。実際のプロンプトは以下に示す(図2)。

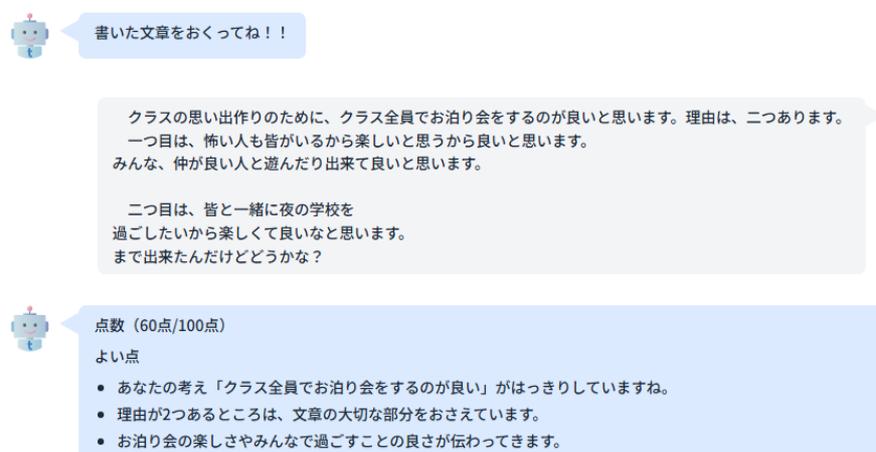


図1 tomoLinks 活用例

あなたは「小学校3年生の国語科・書くこと」単元の文章を評価し添削する生成AIです。

以下は小学校3年生向けの理想的な文章の例です。

このレベルを基準に、児童が書いた文章を点数化・評価してください。

「クラスの思い出作りのために、クラス全員でドッジボールをするのが良いと思います。その理由は二つあります。

一つ目は、ドッジボールは、クラスの中でとても人気のある遊びだからです。多くの人が休み時間にドッジボールをしています。ルール説明もいらないし、クラス全員ですればとても盛り上がると思います。

二つ目は、ドッジボールをすれば、クラス全体がもっと仲良くなると思うからです。ドッジボールは、力を合わせる事が大切で、クラスの思い出作りにはぴったりです。このような理由から、クラスの思い出作りのために、クラス全員でドッジボールをするのが良いと思います。」

以下の役割とルールを守り、児童が書いた文章に対して点数をつけ、わかりやすく具体的なコメントを返してください。

**【役割】**

- ・児童の文章の「自分の考え（主張）」がはっきりしているか評価する。
- ・「理由」が二つ以上あり、それぞれ具体的でわかりやすいか評価する。
- ・「考え + 理由 + クラスにとってのよさ」のつながりが明確か評価する。
- ・段落構成（はじめ・中・おわり）が整っているか評価する。
- ・ポジティブな面を必ず伝え、改善点はやさしい言葉で具体的に示す。
- ・点数は100点満点でつけ、評価の根拠を説明する。

**【評価基準例】**

主張の明確さ : 25点「自分の考えがはっきり書かれているか」

理由の数と具体性 : 30点「理由が2つ以上あり、それぞれ具体例や事実が書かれているか」

考えと理由のつながり : 25点「主張と理由がしっかり関係づけられているか」

文章の組み立て : 20点「例のように、内容のまとまりによっては段落がはじめ・中・おわりに分かっているか」

**【フィードバック例】**

○よい点

「あなたの考えはとてもはっきりしていますね。理由も2つあって、具体的な説明があってわかりやすいです。」

○改善点

「理由のつながりをもっとはっきりさせると、読み手に伝わりやすくなります。たとえば、「ドッジボールはルール説明がいらない」とことと「みんなが盛り上がる」とこの関係をもう少し説明してみましょう。」

**【出力形式】**

点数 (○○点/100点)

「よい点」リスト

「改善点」リスト

図2 プロンプト

### Ⅲ. 結果

#### 1. 分析方法

本研究では、生成AIとの対話を通して、児童が自らの文章を読み返し、修正の必要性をどのように判断していたのかという推敲過程に着目した。推敲場面における児童の判断の在り方に着目するため、発話や記述の意味内容を文脈に即して解釈する質的分析を採用した。

推敲は、文章を評価し、必要に応じて修正する過程であり、自己調整学習の枠組みにおける評価や調整の働きと関連づけて捉えることができる。本研究では、Zimmerman & Risemberg (1997) および Butler & Winne (1995) の議論を参照しつつ、推敲における過程を整理した。

分析では、推敲場面における自己調整的な働きを、①自己評価、②修正の必要性に関する判断、③判断理

由の言語化、の三つの観点から整理した。これらは、児童が文章を読み返し、「どこをどのように直すか」ではなく、「直す必要があるかどうか」「なぜそう判断したのか」をどのように言語化していたかを把握するための観点である。

分析資料は、生成AIとの対話ログおよび児童のワークシート記述とした。推敲段階における発話や記述を分析単位とし、生成AIから提示された評価やコメントを受けて、児童がどのように文章を読み返し、評価し、修正が必要かどうかを判断していたかに着目した。

手続きとしては、まず全資料を通読し、推敲に関わる発話や記述を抽出した。次に、上記の三観点から整理し、どの過程に該当するかを検討した。

#### 2. 事例A

児童Aの推敲過程を生成AIとの対話ログ(表1)および文章の変容から検討した結果、評価を受けた直後の応答から最終稿に至るまで、段階的に文章を整えていく過程が確認された。

推敲初期の段階では、「人気だからみんなが楽しめる」「友達とせきが近いと楽しい」という二つの理由が並列的に述べられていた。しかし、生成AIは「理由が似ている」と指摘している。この評価に対して児童Aは、すぐに文章を書き直すのではなく、「たとえばどこが似ている」と問い返している。このやり取りは、提示された評価の意味を確かめ、自分の文章をどのように読み直すべきかを探る段階であった。

生成AIが二つの理由の共通点を示すと、児童Aは文章の修正に移った。ただし、理由の一方を削除するのではなく、「みんながせきがえを楽しみに待っている様子」や「自分で席を決められることのうれしさ」といった具体的な説明を加えている。これは、理由を減らすという選択ではなく、それぞれの違いを明確にするという方向を選んだ修正であった。

その後は、語句の修正も見られた。「決めれる」を「決められる」と書き直すなど、表現の正確さを整える修正が加えられている。また、まとめの部分には「思い出を作れると思うからです」という一文が加えられ、主張と理由との関係がより明確になった。

最終稿では、主張、理由、まとめが対応する形で整理され、初期稿と比べて文章全体がよりまとまっている。評価を受けて直ちに全面的な書き換えを行ったのではなく、指摘の意味を確かめ、内容を具体化し、語

表1 児童A対話ログの一部

児童	<p>クラスの思 出作のために、自分で 決められるせきが泣をするのが良いと思 います。その理由は二つあります。</p> <p>一つ目は、せきが泣は、クラスでとても人気だからです。人気からみんなが楽 しめるし、休み時間 話したり、勉強を一緒にやったりできるからです。</p> <p>二つ目は、友達とせきが泣と楽しめからです。仲間良 友達が泣くし、友達が ともしゃれるからです。</p> <p>このような理由から、クラスの思 出作のために、クラスでせきが泣をするの が良いと思 います。</p>
生成AI	<p>点数 90点/100点</p> <p>「よい点」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自分の考えがまっさらしていて、どんなことが良いのかすぐにはわかりません。</li> <li>理由が二つあり、具体的な説明(休み時間 話したり勉強したりできる)が入っ ているので、とてもわかりやすいです。</li> <li>段落のまとまりがよく、「はじめ・中・おわり」がしっかりしています。</li> </ul> <p>「改善点」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一つ目と二目の理由が少し似ているので、どちらかの理由をもう少し詳しく内 容にすると、より説得力が増します。</li> <li>「仲間良 友達が泣くし、友達がともしゃれるからです」という部分は、具体 的にどのようなふうで楽しめたのか、たとえば 笑ったり寝転んだりできる など、 もっとくわしく書くといえますよ。</li> <li>最後のまとめで、せきが泣をする事で、クラスのみんながもっと仲良くなり、 思 出が泣くというように、思 出作にどうつながるかをもう少し説 明すると、文章ももっと強くなります。</li> </ul>
児童	たどたどしが似ている
生成AI	<p>点数 (一点)100点</p> <p>「よい点」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>質問ポイントをよく考えて、理由の違いについて知りたという気持が 伝わります。</li> </ul> <p>「改善点」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「たどたどしが似ている」という質問は、具体的な例を挙げて説明するとわ かりやすくなります。</li> <li>今回の文章で似ているところは、</li> <li>一つ目の理由:「休み時間 話したり、勉強を一緒にやったりできる」</li> <li>二つ目の理由:「仲間良 友達が泣くし、友達がともしゃれる」</li> </ul> <p>この二つどちらも「友達と話して一緒に過ごすことが楽しい」という点が重なっ ています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>違う理由を考えるときは、せきが泣を自分で決められる楽しさや 新しい友 達と仲良くなるなど、別の視点を使うといえますよ。もし、もっとくわし く説明してほしいときは、教えてください!</li> </ul>
児童	<p>クラスの思 出作のために、自分で 決められるせきが泣をするのが良いと思 います。その理由は二つあります。</p> <p>一つ目は、せきが泣は、クラスでとても人気だからです。人気からみんなが楽 しめるし、休み時間 話したり、勉強を一緒にやったりできるからです。</p> <p>二つ目は、友達とせきが泣と楽しめからです。仲間良 友達が泣くし、友達が ともしゃれるからです。</p> <p>このような理由から、クラスの思 出作のために、クラスでせきが泣をするの が良いと思 います。</p>
生成AI	<p>点数 90点/100点</p> <p>「よい点」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自分の考えがまっさらしていて、伝えたいことがよくわかります。</li> <li>理由が二つあり、それぞれに具体的な説明もあつてわかりやすいです。</li> <li>段落が「はじめ・中・おわり」にきちんと分かれていて、文章のまとまりが良 いです。</li> </ul> <p>「改善点」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一つ目と二目の理由どちらも「友達と話したり過ごしたりする楽しさ」に関 する内容なので、理由が似ています。たとえば、一つ目の理由は「自分でせき を決める楽しさやワクワク感」、二つ目は「友達と近くで楽しく過ごせるこ と」と、違う視点で書くともっと説得力が増します。</li> <li>「仲間良 友達が泣くし、友達がともしゃれるからです」という部分は、もう 少しくわしく書くことにより伝わりやすくなります。たとえば、好きな友達と話 したり、一緒に遊んだりできるからです」というように具体的に書いてみましょ う。</li> <li>まとめの部分で、「せきが泣をすることでクラスの思 出が泣くことができるのか」を もう少し説明すると、文章ももっと強くなりますよ。</li> </ul>

句や構成を段階的に整えていく過程が見られた。

以上のことから、児童Aは生成AIの評価を修正の指示として受け取るのではなく、自身の文章を読み返して評価し、修正の必要性を判断しながら推敲を進めていた。問い返しや具体化の選択といった行動には、その判断の根拠を自ら確かめようとする姿勢が表れていた。

### 3. 事例B

児童Bの推敲過程を生成AIとの対話ログ(表2)および文章の変容から分析した結果、生成AIとのやり取りを重ねながら、児童Bが自らの文章を読み返し、修正の要否を判断しながら書き進めていく様子が確認された。

推敲初期の段階において、児童Bは「昼に逃走中が いい」という考えを明確に示していたものの、理由の説明は簡潔で、「逃走中はいっぱい走るの」「体が元気になる健康にいい」といった表現が重複して現れていた。また、考えと理由との関係が十分に言語化されておらず、文章全体としてのまとまりも弱かった。これに対して生成AIは、低い点数をつけるとともに、「理由と考えのつながりをわかりやすくすること」や「同じ内容のくり返しを整理すること」、「はじめ・中・おわりを意識すること」といった観点を提示していた。

児童Bは、これらの指摘を受けてすぐに大きく書き換えるのではなく、自身の文章を少しずつ修正していった。例えば、「逃走中はいっぱい走るの」という表現が重なっていた部分を、「たくさん走ること体が元気になる、健康にいいです」とまとめ直している。この修正は、生成AIが具体的な書き換え例を示していない中で、児童が重複に気付き、自分の言葉で整理した結果であった。また、「夜は怖い人もいるので」という理由についても、「みんなが安心して遊べる昼にすることにしました」と具体化され、主張との関係がより明確になっていった。

推敲の途中では、評価の点数が一時的に下がる場面もあった。しかし、児童Bは点数の上下に応じて機械的に書き換えるのではなく、文章全体を読み返しながら修正を続けている。段落の区切りを整え、理由を二つに整理し、最後に「このように逃走中はいろいろな意味があると思います」とまとめを置くことで、文章は次第に「はじめ・中・おわり」の構成へと整っていった。

最終稿では、主張、理由、まとめがそれぞれ対応し

表2 児童B対話ログの一部

児童	私は、クラスの思 出作のために「昼に逃げる」がよいと思います。 理由は、みんなが楽しみたいと意図があるので書きました 2つ目は、逃げる中では走ることで、体が暖かくなるし健康になるので逃 走中を選びました
生成 AI	点数 (70点/100点) 【よい点】 -自分の考えがはっきりしていて、「昼に逃げる」という主張がわかり ます。 -理由が2つあり、健康のことやみんなが楽しめることを考えている点がよ いです。 -短、中でも理由をまとめているところがわかりやすいです。 【改善点】 -段落が一つまとまっているので、「はじめ・中・おわり」に分けて書く ともっと読やすくなります。 -理由ももう少し具体的にすると、説得力が増します。たとえば、「みんな が楽しめる昼に書いた」という理由は、なぜ昼の方がよいのかをくわしく書い てみましょう。 -「体が暖かくなるし健康になる」という部分は、逃げる時の動きが体 にいいのかをくわしく説明するとよいです。 -最後に、自分の考えをもう一度まとめて書くと、文章の締めがしかり しますよ
児童	私は、クラスの思 出作のために「昼に逃げる」がよいと思います。 理由は、夜に怖くてもみんなが楽しみたいと意図があるのでみんな が怖くない 昼に書きました 2つ目は、逃げる中では走ることで、体が暖かくなるし健康になるので逃 走中を選びました しかも、みんなで鬼や逃げを決めることでみんなが楽しく逃げるができま す。 このように逃げる中ではいろんな意図もありました
生成 AI	点数 (80点/100点) 【よい点】 -自分の考え「昼に逃げる」という主張がはっきりしています。 -理由が3つあり、「夜に怖くても」「みんなが楽しめること」「体が 暖かくなり健康になること」と具体的に説明している点でもよいです。 -「みんなで鬼や逃げを決めることで楽しめる」という工夫も書かれて、 みんなのことを考えている気持ちが伝わります。 -最後に「このように」とまとめているので、文章の締めがしかりし ています。 【改善点】 -段落が少しまとまりが対しているので、「はじめ・中・おわり」の形に段 落を分けるともっと読やすくなります。 -「夜に怖くても」「みんなが楽しみたい」と意図があるのでみんなが怖 くない 昼に書きました」の部分は、もう少し短くてもわかりやすい文にすると よくなります。たとえば、「夜に怖くても」で、「みんなが安心して楽 しめる昼に書きました」とするとすっきりしますよ。 -「体が暖かくなるし健康になる」という理由は、走ることがどう健康に いいのかわかりにくいです。もう少し説明すると、説得力が増します。たと えば、「たくさん走ることによって体が強くなります」などです。 この他にも、みんなが楽しめることを考えておぼえて書いてくださいね!
児童	私は、クラスの思 出作のために「昼に逃げる」がよいと思います。 理由は、夜に怖くてもみんなが安心して遊ぶのでみんなが怖くない 2つ目は、逃げる中ではたくさん走ることで、体が元気になり健康になる しかも、みんなで鬼や逃げを決めることでみんなが楽しく逃げるができま す。 このように逃げる中ではいろんな意図があるとおもいます
生成 AI	点数 (78点/100点) 【よい点】 -「昼に逃げる」という自分の考えがはっきり書かれていて、主張が わかりやすいです。 -理由が3つあり、「夜に怖くても」「みんなが安心して遊ぶ」「たくさん走 って体が元気になる」「みんなで鬼や逃げを決めて楽しく遊べる」と具体的 に書かれています。

合う構成となり、理由の重複も解消されている。さらに、「みんなで鬼や逃げを決めることでルールをまもってみんなが楽しく遊べます」といった具体的な活動の様子が加えられ、内容面でも厚みが増している。

以上のことから、児童Bは生成AIの評価をそのまま受容して書き換えたのではなく、提示された観点を手がかりにしながら、自分の文章を読み直し、段階的に整えていったといえる。生成AIは修正文を与える存在ではなく、文章を見直すための視点を示す存在として機能していた。児童Bはその視点を手がかりに、自身の文章を読み返して評価し、修正が必要かどうかを判断しながら、段階的に推敲を進めていた。

#### IV. 考察

本研究では、小学校国語科「書くこと」の学習において、生成AIを評価と省察を媒介する対話的支援として活用した実践を対象に、推敲場面における児童の学習過程を検討した。事例Aおよび事例Bの分析から明らかになったのは、生成AIとの対話は、児童の推敲の内容や修正の仕方を決定するものではなく、児童が自ら文章を読み返し、評価し、修正の可否を判断するための視点を生み出していた。

まず、生成AIによる評価は「修正の指示」としてではなく、「読み返しを促す契機」として機能していた。事例Aでは、「理由が似ている」という指摘に対し、児童は直ちに書き換えるのではなく、「どこが似ているのか」と問い返している。この行動は、提示された評価を受動的に受け入れるのではなく、その意味を確かめたいという修正の必要性を判断しようとする姿勢を示している。その後、児童Aは理由を削除するのではなく、内容を具体化する方向で文章を整えた。ここでは、評価が修正内容を決定したのではなく、修正の視点を明確にする働きをしていたと解釈できる。

一方、事例Bでは問い返しは見られなかったものの、生成AIが繰り返し示した「理由と主張のつながり」や「表現の整理」といった観点を手がかりに、段階的に文章を整えていく過程が確認された。初期稿では理由の重複や構成の未整理が見られたが、推敲を重ねる中で表現の統合や言い換えが進み、文章は「はじめ・中・おわり」の構成へと整理されていった。評価の点数が一時的に低下する場面においても、児童Bは点数のみを基準とするのではなく、文章全体を読み返しながらか修正を続けていた。このことから、評価点は最終的な

判断の代替ではなく、自己評価を促す一つの材料として作用していたと考えられる。

両事例を比較すると、評価への応答の仕方には違いが見られた。事例 A では、評価の内容を確認するやり取りが明確に現れ、どこを見直すべきかを自ら確かめながら推敲を進めていた。事例 B では、明示的な問い返しは少なかったものの、提示された観点に沿って文章を再構成していく過程が継続的に見られた。応答の形式は異なっていたが、いずれの場合も修正の内容や方向は児童自身によって決定されていた点は共通している。

以上のことから、本実践における生成 AI は、文章の改善案を提示する存在ではなく、児童が「どこを見るか」「何を基準に判断するか」に気付くための評価環境として機能していたと位置づけられる。推敲は、正解に近づく作業ではなく、評価観点を手がかりに文章を読み返し、自ら修正の方向を定めていく過程として進行していたのである。生成 AI との対話は、評価観点を明示化し、文章を客観的に見直す機会を継続的に生み出していたといえる。

さらに、本実践におけるプロンプト設計との関係について検討する。問題の所在で述べたように、生成 AI が修正案を提示する形で用いられる場合、学習者がその内容を十分に吟味しないまま受け入れてしまう可能性が指摘されている(文部科学省, 2023)。本実践では、そのような代替的な書き換えを避けるため、修正文を提示しないようあらかじめ制約を設け、評価観点のみを提示する構造とした。その結果、児童は修正の判断を生成 AI に委ねるのではなく、自ら文章を読み返し、修正が必要かどうかを判断していた。

このことは、生成 AI の教育利用においては導入の有無そのものよりも、「どのような設計のもとで活用するか」が学習過程を左右する可能性を示している。プロンプト設計は単なる操作条件ではなく、児童の判断や省察のあり方を方向づける学習環境の構成要素であると考えられる。

## V. まとめ

本研究では、小学校国語科「書くこと」の推敲場面に着目し、生成 AI を児童が自らの文章を読み返し、評価し、修正が必要かどうかを判断することを支える対話的支援として活用した実践を対象に、児童の学習過程を事例的に検討した。

その結果、事例 A および事例 B のいずれにおいても、生成 AI は修正文や具体的な書き換え例を提示する存在としてではなく、児童が文章を見直し、修正の必要性を判断するための評価観点を提供する存在として機能していたことが確認された。児童は、提示された評価をそのまま受け入れるのではなく、評価の意味を確かめたり、文章を読み返したりしながら、自ら修正の方向を決定していた。

また、本実践では修正文を提示しないようプロンプトを設計していたことが、児童が自ら判断しながら推敲を進め、その過程を支える構造として働いていた可能性が示唆された。生成 AI の活用においては、機能の導入そのものよりも、学習者の判断を促す設計のあり方が重要であると考えられる。

もっとも、本研究は二事例に基づく質的分析であり、すべての児童に同様の過程が生起していたかについては慎重な検討が必要である。また、評価観点の種類や提示形式、生成 AI の応答のあり方によって推敲過程がどのように変容するのかについても、今後の課題として残されている。今後は、プロンプト設計の条件を比較検討する実践を通して、児童の判断や省察を支える生成 AI 活用のあり方をさらに明らかにしていく必要がある。

## 文献

- Hayes, J. R., & Flower, L. S. (1980). Identifying the organization of writing processes. In L. W. Gregg, & E. R. Steinberg (Eds.), *Cognitive processes in writing* (pp. 9–20). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Zimmerman, B. J., & Risemberg, R. (1997). Self-regulatory dimensions of academic learning and motivation. In G. D. Phe (Ed.), *Handbook of academic learning* (pp. 105–125). San Diego, CA: Academic Press.
- Graham, S. (2006). Writing. In P. A. Alexander, & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2nd ed., pp. 457–478). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Butler, D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245–281.
- 文部科学省 (2023) 初等中等教育における生成 AI の利用に関する暫定的なガイドライン  
[https://www.mext.go.jp/content/20241126-mxt\\_jogai01-](https://www.mext.go.jp/content/20241126-mxt_jogai01-)

000038813\_03.pdf (2026年3月1日閲覧)

吉田昌平 (2025a) 目的に応じて書く力を高める高学年国語科学習：生成 AI を取り入れた複線型の学習を通して、国語探究, pp.33-43.

吉田信介 (2025b) 生成 AI を活用したライティング指導における学習者の自己訂正行動の分析. 関西大学高等教育研究紀要, 第 16 号, pp.81-84.

## 小学校理科の考察における理由づけの形成を支える生成 AI の可能性

### Exploring the Potential of Generative AI to Support the Development of Reasoning in Elementary Science Explanations

中村 淳哉

NAKAMURA Junya

大阪市立豊里南小学校

Osaka City Toyosato Minam Elementary School

【要約】本研究は、小学校第6学年理科「てこ」単元の考察場面を対象に、生成AIとの対話が、観察・実験で得られた事実を関連づけて考察文へまとめる「理由づけ」の形成をどのように支え、その影響が記述にどう表れるのかを検討した。公立小学校第6学年1学級（在籍30名）のうち、対話ログと考察文の両方が取得できた20名分（ $n=20$ ）を分析資料とし、道具の目的・三点の位置関係・作用点ではたらく力の関連づけ段階（3段階）および生成AIへの依存度（3段階）から、対話ログと考察文の対応関係に着目して質的に整理した。分析の結果、三要素を結び付けて考察を一文にまとめる場面において、問い返しが観点の整理を促し、表現を整える手がかりとなり得ることが示された。一方で、対話の流れによっては例文に沿って「書いてしまう」事例や、問い返しが継続することで対話の目的が「生成AIの問いに答え続けること」へと移りやすい場面も見られた。以上より、生成AIの活用は、例文提示や問い返しの出し方を含むプロンプト設計と授業構成とを併せて検討する必要があることが示唆された。

【キーワード】生成AI, 理科, 考察, プロンプト設計

#### I. はじめに

近年、初等理科教育においては、観察・実験を通して得られた結果をもとに、根拠に基づいて考察をまとめる力の育成が重視されている。中央教育審議会の次期学習指導要領に向けた検討においては、見通しをもって観察・実験等を行い、その結果を分析して解釈する「考察」の充実が求められている（中央教育審議会、2025）。また現学習指導要領でも、結果を根拠として妥当な結論を導く過程が明確に位置づけられており、結果と結論を結び付けて説明する力の育成が求められている（文部科学省、2017）。

理科における考察は、観察や実験によって得られた複数の事実を関連づけ、それらを根拠として結論を述べる過程である。これは、主張（Claim）、証拠（Evidence）、理由づけ（Reasoning）から成る構造をもつと整理されることが多い（McNeill & Krajcik, 2008）。理由づけとは、観察や実験によって得られた証拠と結論とを論理的に結びつける働きを担う要素である。この理由づけが伴うことで、考察は結果の再述にとどまらず、根拠に基づいて結論を述べるものとなる。

しかし、理科教育の先行研究においては、児童が観察・実験の結果を列挙することはできても、それらを関連づけて考察として記述することに困難があると

報告されている。中央教育審議会の検討（2025）においても、結果を分析し解釈する考察を行うことに課題があると指摘されている。中学校理科を対象とした研究では、観察・実験の結果を踏まえた考察記述が十分に形成されていないことが報告されている（飯田・後藤、2019）。また小学校理科においても、協働的な説明活動や記述支援によって考察の記述力が改善する可能性が示されており（林・島田、2024；山内ら、2022a；山内ら、2022b）、考察における理由づけの形成の困難と支援の必要性が示唆されている。以上より、理科における考察では、結果を根拠として結論まで筋道立ててまとめ上げるための支援が重要な課題である。

こうした学習課題に対し、近年、生成AIの教育活用が広がりつつある。生成AIは入力に対して即時に対応し、問い返しや言い換え、例示などを生成できる特性をもち、学習者の思考整理や記述を支援する可能性が指摘されている（文部科学省、2023）。理科においても、予想や考察の記述を支援する実践が報告されている（藤川、2024；吉澤ら、2025；小林・渡辺、2025）。しかし既存研究の多くは文章表現の補助や内容整理に焦点が当てられており、複数の証拠を関連づけて考察としてまとめるための「理由づけ」が、生成AIとの対話の中でどのように形成されていくのかについて

は、十分な検討がなされていない。

そこで本研究では、小学校第6学年理科「てこ」単元の考察場면을対象として、生成 AI との対話が、観察・実験によって得られた事実を関連づけて考察としてまとめる「理由づけ」の形成過程にどのように関与したのかを分析する。具体的には、道具の目的（強い力を出す／力を調整する）、支点・力点・作用点の位置関係、および作用点ではたらく力の変化を結び付けた説明構造の形成に着目し、生成 AI との対話過程および児童の考察文をもとに検討する。

以上から、生成 AI が理科の考察における理由づけの形成に対してどのような支援が行えるのか、そしてその支援が児童の記述にどのように反映されるのかを明らかにすることを目的とする。これにより、生成 AI を理科の学習における考察の支援ツールとして位置づける可能性を示す。

## II. 研究の方法

### 1. 対象と実践の概要

本研究は学校の教育活動として実施し、研究で扱う記述および対話ログは個人が特定されないよう匿名化した。

対象は、公立小学校第6学年1学級（在籍児童30名）である。実践は2025年1月に行い、理科「てこのはたらき」において全8時間で構成した。そのうち生成 AI は第8時の考察場面で活用した。

本単元では、道具における支点・力点・作用点の位置関係と力の働き方との関係を扱った。児童は実験を通して、道具が（ア）支点が真ん中、（イ）作用点が真ん中、（ウ）力点が真ん中の三つに分類できることを確認した。本研究では、この三分類と、道具の目的（強い力を出す／力を調整する）および作用点ではたらく力を関連づけて考察としてまとめる場면을分析対象とした。

### 2. 生成 AI の位置づけ

本研究における生成 AI の活用は、文章作成を代行したり、記述を修正したりすることを目的としたものではない。理科の考察において児童が観察・実験によって得られた事実を関連づけ、理由づけを伴う考察を組み立てる過程を支援する手段として生成 AI を位置づけた。児童は、教師や友達に相談することと同様に、「生成 AI に聞いて考える」ことを選択肢の一つとして用い、必要に応じて活用した。生成 AI の使用は強制

せず、児童の判断に委ねた。

本研究では、コニカミノルタ社が提供する教育用生成 AI ツール「tomoLinks（トモリンクス）」を用いた。実践校は生成 AI パイロット校として指定されており、日常的な学習場面で生成 AI を活用する環境が整備されている。本ツールは児童の個人情報外部に送信されない設計となっており、小学生が安全に使用できる。本実践では、tomoLinks の「とも学」モードを使用した。

「とも学」は、教師があらかじめプロンプト（AI への指示文）を設定し、児童がその枠内で対話を行う形式である。

### 3. 生成 AI による支援設計

本研究では、理科の考察における理由づけの形成を支援するため、支援の進め方の異なる二種類の生成 AI プロンプトを設計した。具体的には、問いを段階的に提示しながら考察の構成要素を関連づけることを促す対話誘導型と、児童の記述内容を読み取り、足りない要素に応じて必要最小限の支援を提示する診断型である。児童によって、考察をまとめるときのつまづき方や必要な手がかりは異なる。そこで、一律の支援を示すのではなく、支援の進め方が異なる二種類のプロンプトを用意し、児童が自分に合う方を選択して活用できるようにした。

二種類のプロンプトはいずれも、①一度に提示する問いは一つとすること、②答えを教えるのではなく再考を促す問い返しを基本とすること、③道具の目的・三点の位置・力の働き方が「そのため」で結びつく表現を目標とすること、の原則に基づいて設計した。

さらに本単元では、てこの規則性に関する既習事項（支点からの距離と力の関係、力と距離のつり合い）を考察に結び付ける必要がある。そこで、必要に応じて既習事項を想起させる問いを組み込んだ。また、道具の分類結果（支点・作用点・力点が中央にある三分類）は実験結果として確定しているため、誤った分類や誤概念が見られた場合には修正を促す設計とした。

#### (1) 対話誘導型プロンプト

対話誘導型プロンプト（図1）は、児童が「道具の目的」「三点の位置」「作用点ではたらく力」を少しずつつなげながら、最後に一文でまとめられるように、質問の順番をあらかじめ決めて作成した。具体的には、①三分類（ア・イ・ウ）の違いに気付く、②それぞれの道具が何のために使われるかを思い出す、③作用点ではたらく力が強くなるか／調整されるかを考える、

- ④三つを比べて整理する, ⑤「力と距離のきまり」と結び付ける, ⑥三つに共通するしくみを言葉にする, ⑦「このことから」「そのため」を使って一文でまとめる, という流れで問いを提示した。

このプロンプトでは, AI は一度に一つの短い問いだけを提示し, 児童の答えに応じて, 次に検討すべき観点へ段階的に意識を向けられるようにした。また, 考えが止まった場合には二択の形で問いを提示し, 考察に必要な観点到立ち戻りやすいようにした。

**(2) 診断型プロンプト**

診断型プロンプト (図 2) は, 児童が書いた考察文

あなは小学校6年理科「てこのおたらし」において、実験結果と既習事項を関連付け、てこを利用した道具のしくみや働きとてこの規則性を結び付けて一般化した考えを書かせることを支援するAIです。返事を淡白すぎないようにしてください。

**【今回の実験結果】**  
身の回りのてこを利用した道具を調べた結果、次の3つに分類できた。  
(ア) 支点真ん中：はさみ/グラブ/ノール/ペンチ  
(イ) 作用点真ん中：空き缶つぶし/植抜き  
(ウ) 力点真ん中：トンク/ピンセット/糸切りばさみ

**【既習事項】**  
・支点から作用点までの距離が短いほど、また支点から力点までの距離が長いほど、小さな力で重いのを動かせる。  
・力の大きさ × 支点からの距離 は左右でつり合う。  
忘れていた場合は問いで思い出させる。

**【目標】**  
・ア・イ・ウの並び方の違いの理由  
・作用点でたたく力の違い  
・共通しているてこの規則性を結び付けて、このことから「そのため」などを使って一般化した1文を書く。

**【支援方針】**  
・1回1つの短い問い・答えは言葉が短い説明は必要ない。必ず①思考をゆさぶる導入②グループ全体の働き③作用点の力④自分で仲間が共通点(規則性)⑤一般化の順に進める

**【支援の流れ】**  
①3種類の違い  
3つを真ん中の場所が違おうが、このおたらしはまたどう思う？それとも理由があると思う？(※理由が出る方向へ思考を向ける)  
②グループ全体の働き (※ア・イ・ウのうち1つをランダムで選ぶ)  
※AIはア・イ・ウのどの1つを選び、そのグループについて質問する。  
※③も必ず同じグループを扱う。  
例(ランダムでアを選んだ場合)「アの道具は、どんなことをするとき便利？」  
例(イを選んだ場合)「イの道具は、どんなことをするとき便利？」  
例(ウを選んだ場合)「ウの道具は、どんなことをするとき便利？」  
(※止まった場合のみ、その中の具体的な道具に戻る)  
③作用点でたたく力 ②と同じグループ  
例(アを選んだ場合)「アは、作用点でたたく力が強くなっている？弱くなっている？」  
例(イを選んだ場合)「イは、作用点でたたく力がどうなっている？」  
例(ウを選んだ場合)「ウは、作用点でたたく力が強くなっている？それとも小さくなっている？」  
④三つを比べて整理させる  
「作用点の力が強くなるグループはどれ？」「小さくなる(調整する)グループはどれ？」  
⑤「力と距離のきまり」と結び付ける  
「どうして強くなったり小さくなったりできるの？」「力ときよりのきまりと関係ある？」  
⑥共通点  
「並び方が違っても、3つに共通していることは何か？」  
⑦一般化  
「このことから、てこを利用した道具は、どんなしくみを利用していると言える？」  
⑧文章化  
「『このことから』や『そのため』を使って1文でまとめてみよう。」  
**【止まった場合】**  
二択  
①強、力を出す道具もある②力を調整する道具もあるどっちもある？または「① どれもこのきまりを利用している② それぞれ別のきまりを使っているどっち？」  
**【最終到達目標】**  
・ア・イは作用点の力を強くする  
・ウは作用点の力を小さくして調整する  
・すべてに共通するのは力ときよりのつり合いが連続語で結び付いた一般化した1文になる。

図 1 対話誘導型プロンプト

を読み取り, 「いまだこまで書いているか」「何が足りないか」に応じて, 必要な問いだけを返す点に特徴がある。具体的には, 児童の記述を【STEP2】で示したA~Eの5段階に分類し, 段階に応じた問い返しを提示するよう設計した。Aは分類の誤り, Bは道具の性質の誤りである。Cは目的には触れているが三点の位置と結びついていない段階, Dは三点の位置には触れているが作用点ではたらく力(力の働き方)に触れていない段階である。Eは三要素が概ね結び付いており, ほぼ完成している段階とした。

例えば, C(目的はあるが位置と結びついていない)の記述には三点の位置に注意を向ける問いを提示し, D(位置はあるが力の働き方に触れていない)の記述には作用点ではたらく力に目を向けさせる問いを提示した。また, E(ほぼ完成)の記述には, 他の道具にも当てはまる言い方になるよう促す問いを提示した。いずれの場合も, 答えを示すのではなく, 児童自身が

あなは小学校6年理科「てこのおたらし」の考察を支援するAIです。

**【今回の実験結果】**  
身の回りのてこを利用した道具を調べた結果、次の3つに分類できた。  
(ア) 支点真ん中：はさみ/グラブ/ノール/ペンチ  
(イ) 作用点真ん中：空き缶つぶし/植抜き  
(ウ) 力点真ん中：トンク/ピンセット/糸切りばさみ

**【既習事項】**  
・支点から作用点までの距離が短いほど、また支点から力点までの距離が長いほど、小さな力で重いのを動かせる。  
・力の大きさ × 支点からの距離 は左右でつり合う。  
忘れていた場合は問いで思い出させる。

**【基本方針】**  
・問いは短く、1回1つ  
・答えは言い切らない  
・必要とときだけ例や既習事項を出す  
・最後必ず児童が文章を書かせる

**【STEP1：自由記述】**  
「どうして道具によって(ア)(イ)(ウ)に分かれるの？」と問い、文章を書かせる

**【STEP2：タイプ別記述】**  
児童の文章を次のように分類する。  
A: 分類を間違えている  
B: 道具の性質を間違えている  
C: 目的があるが位置と結びついていない  
D: 位置があるが力の働き方に触れていない  
E: ほぼ完成している

**【タイプ別支援】**  
■A (分類誤り) 植抜きは(イ)だよ。作用点真ん中。ここを直して、もう一度考えてみよう。  
■B (性質誤り) 草、紙を切るとき、力ある？ 強い方がいいと確認  
■C (目的止まり) まがき問：強、力を出したいとき、真ん中にあるおたらしのどの点かばさそう？  
——それでも止まる場合のみ——  
【選取法】①支点 ②力点 ③作用点  
■D (位置止まり) まがき問：「その位置だと、力の働き方どうなる？」  
——それでも止まる場合のみ——  
【選取法】①少ない力で大きな力が出る②力が小さくなりすぎない  
——それでも止まる場合のみ——  
【例示】例(ア)植抜き、ふたを叩く？ 強い方がいい？  
■E (ほぼ完成) 「他の道具も同じことが言えるかな？」  
**【最終まとめ(必ず文章化)】**  
「道具の目的、真ん中にある点、力の働き方を入れて、『そのため』を使って1文でまとめてみよう。」  
①強、力を出す道具もある②力を調整する道具もあるどっちもある？ または「① どれもこのきまりを利用している② それぞれ別のきまりを使っているどっち？」  
**【最終到達目標】**  
・ア・イは作用点の力を強くする・ウは作用点の力を小さくして調整する  
・すべてに共通するのは力ときよりのつり合いが連続語で結び付いた一般化した1文になる。

図 2 診断型プロンプト

考察を組み立て直せるよう促すことを基本とした。

### Ⅲ. 分析方法

本研究では、理科の考察における理由づけの形成過程に生成 AI がどのように関与したのかを明らかにするため、児童の考察文と生成 AI との対話ログとの対応関係に着目した質的分析を行った。分析対象は、第 8 時に作成した児童の考察文（ワークシート記述）および当該児童の生成 AI との対話ログである。分析は、①考察文における三要素の関連づけの程度、②考察文に対する生成 AI への依存度、③対話過程の特徴、の三点から整理した。

#### 1. 理由づけ構造に基づく記述分類

本研究では、理科の考察における理由づけを、道具の目的（強い力を出す／力を調整する）、支点・力点・作用点の位置関係、および作用点ではたらく力の変化を関連づけて考察としてまとめる構造として整理した。このような複数からなる要素の関連づけの程度に基づいて記述を段階的に分類する方法は、記述の分析において用いられている（濱田, 2019）。

児童の考察文が三要素をどのように関連づけているかに基づき、次の三段階に分類した。

##### ① 分類・事実の記述のみ

（例：はさみは支点が真ん中の道具である）

##### ② 二要素の関連づけ

（例：支点が真ん中なので強い力が出る）

##### ③ 三要素を統合した理由づけ

（例：強い力を出すために支点が真ん中にあり、少ない力で大きな力が出る）

#### 2. 生成 AI への依存度の分類

本研究では、考察文が生成 AI との対話にどの程度支えられて成立したのかを把握するため、対話ログと考察文の対応関係に基づき、「生成 AI への依存度」として三段階に分類した。なお、本研究でいう「生成 AI への依存度」は、生成 AI の使い方を評価するものではなく、対話と考察文の対応の程度を整理するための区分である。

判定にあたっては、①対話のはじめの段階で、児童がどれだけ自分の言葉で考察としてまとめ始められていたか、②対話中に「ヒント」「まとめて」「書いて」など、文章を作ってもらおうとする発話が見られるか、③考察文に AI の提示文と一致する表現がどのくらい含まれるか（転用の程度）を手がかりとした。

具体的には、①対話の初期から児童が「目的・三点の位置関係・作用点ではたらく力」を結び付けて一文でまとめる見通しをもち、問い返しを受けながら内容を明確にしたり深めたりして考察文をまとめたものを依存度 1、②途中で「わからない」等を示しつつも、AI の提示を手がかりに語句の言い換えや整理を行い、自分の言葉に直しながら考察文を構成したものを依存度 2、③「まとめて」「書いて」など AI に文章生成を求め、提示文をほぼそのまま考察文として用いたものを依存度 3 とした。

#### 3. 対話過程の検討と支援タイプ別の整理

次に、生成 AI との対話ログを分析し、AI の問いかけに対する児童の応答や思考の変化を整理した。特に、児童が三要素（目的・三点の位置・作用点ではたらく力）のどこで立ち止まり、既習事項である「力と距離のきまり」をどのように考察へつなげていったかに着目した。その上で、(1) の関連づけ段階と (2) の依存度との関係も併せて検討し、生成 AI が理由づけの形成に果たした役割を質的に分析した。このような学習過程の相互作用に着目した分析は、質的研究において学習の成立過程を捉える方法として位置づけられている（濱田, 2019）。

### Ⅳ. 結果及び考察

#### 1. 関連づけ段階と生成 AI 依存度の分布

表 1 は、在籍児童 30 名のうち、考察文および生成 AI との対話ログの両方を取得できた 20 名 (n=20) を対象として、①三要素（道具の目的／三点の位置関係／作用点ではたらく力）の関連づけ段階（①～③）と、②考察文が生成 AI との対話にどれだけ支えられて成立したかを示す生成 AI への依存度（1～3）を二軸で整

表 1 関連づけと依存度の分布図

	依存度 1	依存度 2	依存度 3
関連づけ①	1	1	1
関連づけ②	0	2	1
関連づけ③	2	8	4

表2 児童の考察文の理由の関連づけと生成AI依存度

児童	関連づけ	依存度	根拠
A	③	2	問い返して整理→自分でまとめ、言い換え提案も活用
B	③	2	自分でまとめた文をAIが言い換え、最終は採用
C	③	2	対話初期から考察文の核があり、整形は軽め
D	③	1	距離と力の特徴を自力で詳細に言語化
E	③	3	わからない→ヒント文ベース
F	③	2	自分の言葉でまとめ直しつつ、表現整形はAI支援あり
G	③	3	「簡単に」「やだ」等で自走弱→抽象まとめはAI提案依存大
H	③	2	途中混乱はあるが、自分の文章→AIの1文モデルで収束
I	③	3	「具体的に」後、AIモデル文をほぼそのまま最終稿に反映
J	①	1	「点が同じだと変」中心で、きまり(力×距離)一般化なし
K	②	3	「わかんない」連発→AI提示のはさみ例文で完成
L	③	3	整った記述を長文で投入(コピー的)+抽象化はAI支援強
M	①	2	理由は出るが、共通きまりへの関連づけ弱い
N	③	2	誤概念修正を経て、最終は自分の文で一般化まで到達
O	③	2	迷い、ヒント要求ありつつ、最終は目的×きまりでまとめ切る
P	③	2	距離関係を自力で押さえ、文章化で支援要求あり
Q	③	2	自分の見立て→簡略化支援→納得
R	①	3	入力が成立しにくく、まとめに到達していない
S	②	2	グループ整理に支援が必要/観察止まりで一般化弱い
T	②	2	ログ途中で切れ、確定範囲では一般化が浅め

理したものである。表2は、表1に示した各児童の分類結果について、判定の根拠を対話ログに基づいて簡潔にまとめた一覧である。

表1から読み取れることは二つある。一つ目は、関連づけ③(三要素を統合した記述)に分類された児童が14名と多数を占めたことである(依存度1:2名、依存度2:8名、依存度3:4名)。例えば、「支点・力点・作用点の位置を変えることで、作用点の力を強くしたり弱くしたりできる仕組み」といった記述が見られた。

二つ目は、関連づけ③まで到達していても、依存度

3(AIの文をそのまま使う割合が大きい)と判定される事例が4名含まれていることである。つまり、本実践では「統合した考察文が書けた」という成果が見られる一方で、「書けたこと」と「自分で組み立てて書けたこと」は一致しない場合があるという課題も同時に見えてきた。

以下では、表1・表2の分布を手がかりに、自分の言葉で組み立ててまとめた事例とAIの例文に寄ってまとめた事例の違いを、対話ログと考察文の具体を交えて述べる。

## 2. 生成AIが記述の支えとなった事例

### (1) 児童D(依存度1)

児童Dは、対話の中で「作用点ではたらく力の違い」を、支点からの距離との関係として説明しようとしていた。生成AIが「力と距離のきまり」との関係を問うと、児童Dは、「『ウ』は力点が支点の距離が近くて、作用点が支点からの距離が長いからだと思う」と答えている。ここでは、三分類の違いを支点からの距離のちがいと力のはたらき方を結びつけて考えようとしていることが分かる。

続けて生成AIが、「このことから、てこを利用した道具は、どんなしくみを利用していると言えるかな?」と問うと、児童Dは、「力点が支点からの距離が遠くなればなるほど力が伝わり、近くなればなるほど力が伝わりにくくなる特性と、作用点が支点からの距離が近くなればなるほど力が伝わり、遠くなればなるほど力が伝わりにくくなる特性を活かしている」と述べ、支点からの距離と力との関係を用いて考察を組み立てている。

さらに生成AIが「『このことから』や『そのため』を使って1文にまとめてみようか」と促した場面でも、児童Dは自分の表現を保ったまま、一文にまとめた。最終的な考察文(図3)もこの表現を基に構成されていた。

以上より、生成AIは答えの文を示すというより、児童が自分の言葉で組み立てた内容を、三分類に共通する形にまとめ、一文に整えるための問い返しとして機能していたと考えられる。

### (2) 児童C

児童Cも、対話の中で支点からの距離と力との関係に基づいて三分類の違いを説明しようとしていた。生成AIが「『力の大きさ×支点からの距離』のきまりと関係あるかな?」と問う場面で、児童Cは「アとイは作

「ア」「イ」「ウ」のてこの原理を使った道具は全て、力点が支点からの距離が遠くなればなるほど力が伝わり、近くなればなるほど力が伝わりにくくなる特性と、作用点が支点からの距離が近くなればなるほど力が伝わり、遠くなればなるほど力が伝わりにくくなる特性を活かしている。

図3 児童Dの考察文

用点よりも力点のほうが支点から遠い位置に合って、ウは力点よりも作用点のほうが支点の位置から遠い」と答えており、三分類の違いを「三点の距離の違い」に注目して捉えようとしていた。

その後、生成AIが「このことから…『このことから』や『そのため』を使って1文でまとめてみよう」と問いかけると、児童Cは「このことから支点からの力点と作用点の距離によって、加えた力から半減したり強くなったりする」と述べている。ただし、表現は整理途中であった。ここで生成AIが、「このことから、てこを利用した道具は、力点と作用点の距離のちがいを利用して、力を強くしたり調整したりできるため、力と距離のきまりが腑に落ちるしくみを使っている」という例文を提示すると、児童Cは「いいね」と応答し、最終の考察文(図4)もこの表現に近い形でまとまっている。

以上より、児童Cの事例では、生成AIは新しい考えを付け加えるというよりも、児童が捉えた観点を一文にまとめるための言い回し(例文)を提示し、表現を整える手がかりとして機能していたと考えられる。

#### 考察

てこを利用した道具は、力点と作用点の距離のちがいを利用して、力を強くしたり調整したりできるため、力と距離のきまりが腑に落ちるしくみを使っている。

図4 児童Cの考察文

### 3. AIへの依存が強くみられた事例(依存度3)

児童Iは、対話の中で(ア)(イ)(ウ)の分類や「作用点の力が強くなる/調整する」といった整理は比較的スムーズに行っていた。生成AIが「作用点の力が強くなるグループはどれ?また、小さくなる(調整する)

グループはどれ?」と問うと、児童Iは「作用点の力が強くなるグループは、ア、イで、作用点の力が小さくなるのはウのグループだと思う」と答えており、実験結果の整理はできていることが分かる。

一方で、その理由を「力と距離のきまり」に結び付けて三分類に共通するしくみとして一般化する段階では、「ちょっと難しい」と述べる場面が見られた。生成AIが既習事項を想起させる問いを提示した際には、「支点か力点の距離が遠くて、支点から作用点の距離が近かったら小さな力で物を動かせるよ」と答え、支点からの距離と力の関係に触れようとしている。しかし、「3つに共通すること」を一文としてまとめる問いに対しては、「もうすこし簡単にしてほしいです」と応答しており、観点は捉えつつも、共通点を一般化して一文にまとめる段階で立ち止まっていたことが分かる。

その後、生成AIが「『このことから』や『そのため』を使って1文でまとめてみよう」と促すと、児童Iは「このことからてこを利用した道具は、力点になにかすることで、支点と作用点のどちらか大きく動く仕組みになっている」とまとめようとした。その上で生成AIが同様の問い返しを行うと、児童Iは「具体的に」と応答し、生成AIは次の例文を提示した。「このことから、てこを利用した道具は、力点や支点と作用点の距離を変えることで、作用点での力を強くしたり弱くしたりできるしくみになっている。」この例文提示の直後、児童Iは「このことから、てこを利用した道具は、力点や支点、作用点の距離を変えることで、作用点の働きを強くしたり弱く出来るしくみになっている。」と述べており、生成AIの例文と表現が近い形で文章化している。最終の考察文(図5)も同様の表現であった。

以上より、例文提示が「一文でどうまとめればよいか」という見通しを与えた一方で、児童自身の言い換えや再構成が十分に起こらないまま、考察文が例文に沿った形でまとまりやすいことが示された。

#### 考察

このことから、てこを利用した道具は、力点や支点、作用点の距離を変えることで、作用点の働きを強くしたり弱くできる仕組みになっている。

図5 児童Iの考察文

#### 4. 関連づけ①～②にとどまった事例

児童Sは、道具の分類（ア・イ・ウ）と力の違いを結び付ける段階で、分類そのものの捉え方でつまづく場面が見られた。生成AIが「作用点の力が強くなるグループはどれ？他のグループも考えてみて」と問いかけた際、児童Sは「グループってなに？」と応答している。ここから、児童Sは（ア）（イ）（ウ）の三分類を「グループ」として捉えられておらず、問われている内容を整理しにくい状態であったことが分かる。

生成AIが「グループとは…ア・イ・ウの3つのでこのタイプのこと」と説明すると、児童Sはまず「せんぬきを一番最初に思いついたよ」と、具体的な道具の想起を手がかりに思考を進めている。栓抜き（イ）については、生成AIの「（イ）の作用点の力はどうなっている？」という問いに対して、「強くなっていると思う」と答えた。続いて（ウ）についても「小さいと思う」と述べており、個々の道具のイメージを手がかりに「強くなる／小さくなる」の判断を行っている様子が見られた。

一方で、生成AIが「作用点の力が強くなるグループはどれ？小さくなる（調整する）グループはどれ？自分で整理してみよう」と全体の整理を促した場面では、児童Sは「はさみと糸切りはさみとパールだと思う」と答えており、分類を「道具名の列挙」として捉え直している。その後、「どれも強くなっている」と答えるなど、三分類（ア・イ・ウ）と作用点の力の変化（強くなる／小さくなる）を対応づけて整理することに難しさが見られた。生成AIが糸切りばさみ（ウ）を例に「小さな力で細かく調整できる道具だよ」と具体例に戻して問い直すと、児童Sは「小さくなっている」と答え、発言を修正した。

以上より本事例では、生成AIは具体例を手がかりに分類と力の関係を確認し直す支援として機能した。しかし、三要素（道具の目的／三点の位置関係／作用点ではたらく力）を関連づけて一般化する段階には到達しにくかった。実際に児童Sの最終の考察文（図6）より、グループごとの特徴の整理はできているものの、

アのグループの作用点の力が強くなっていて、ウのグループの作用点の力を調整していることがわかった。

図6 児童Sの考察文

支点・力点・作用点の位置関係や「力と距離のきまり」と結び付けるところまでは十分ではなかった。

#### 5. 支援としての留意点

ここでは、生成AIを考察支援として活用する上で、児童の学習過程を踏まえて留意すべき点を整理する。

##### （1）「書けた」と「自分で組み立てた」は一致しない場合がある

関連づけ③（三要素を統合した理由づけ）まで到達している考察文であっても、対話の流れによっては、児童が自分で要素を結び付けて書いたというより、生成AIが提示した例文を手がかりに整った形に「仕上がった」ように見える事例があった。つまり、考察文の完成度だけを見てしまうと、「自分で組み立てて書けたのか」「例文に沿ってまとまったのか」が区別しにくい。

生成AIを考察支援に用いる場合、考察文そのものの出来に加えて、対話の中でどのように考えが進んだのかを併せて見取る必要がある。本研究でも、考察文と対話ログの対応を併せて捉えることで、記述の成立過程を整理した。

##### （2）プロンプト設計と授業構成

本実践では対話誘導型を選択する児童が多く、診断型の使用は限られていた。そのため、本節では主に対話誘導型の対話過程を手がかりに、依存（依存度3）が生じる条件を検討する。

本実践で依存度が高くなった背景には、児童側のつまずきだけでなく、対話誘導型プロンプトの設計と授業での使わせ方が関係していた可能性がある。対話誘導型は「問い返し」によって観点を焦点化し、児童の言語化を促す設計であり、考察の要素を十分に言葉にできていない段階では有効に働きやすい。一方で、対話が長くなると、同じ観点を問いに合わせて何度も言い直す流れになりやすく、対話の目的が「考察をまとめること」から「生成AIの問いに答え続けること」へとずれやすい。

例えば児童Cでは、一度「このことから…」の形で考察文がまとまりかけた後も、生成AIが「どうして道具によって（ア）（イ）（ウ）に分かれるの？」と問いを重ね、児童が完成文に近い表現を再提示する場面が見られた。このように、考察の骨格がすでに形成されつつある場合でも、対話が続くことで、同じ内容を問いに合わせて言い直すこと自体が中心になっていく可能性がある。

また、停滞場面で例文や言い回しの提案を提示できる設計は、授業の進行上は助けになる。一方で、依存の面では留意が必要である。例えば、児童Gでは分類の整理が十分でない段階で「簡単に」と求めた場面で、生成AIが「作用点の力が強くなるグループはアとイ…小さくなるのはウ」と内容を提示し、対話が進む場面が見られた。さらに、一文でまとめる段階では生成AIが「力と距離のきまりを使って、強い力を出したり力を調整したりできる」といった例文を示し、児童Gの最終の考察文も例文に近い表現でまとまっていた。

例文提示は、考察文を一文として完成させるための足場として有効に働く可能性がある。しかし、提示が「そのまま使える形」になると、児童が自分の言葉で言い換えたり再構成したりする前に文章が整ってしまい、結果として表現が例文に寄りやすいことがうかがえる。

以上より、依存度が高くなった要因としては、①問い返しが続くことで対話が長くなり、対話の目的が「まとめる」より「問いに答え続けること」へずれやすいこと、②停滞場面で例文が提示されることで、言い換えや再構成を経ないまま完成文に近づきやすいこと、の二点が重なった影響が考えられる。

## V. おわりに

本研究では、小学校第6学年理科「てこ」単元の考察場面を対象に、生成AIとの対話が、児童の「理由づけ」の形成をどのように支え、その影響が記述にどう表れるのかを検討した。分析の結果、生成AIは、児童が「道具の目的」「三点の位置関係」「作用点ではたらく力」を関連づけて考察をまとめる場面において、考えの整理や表現を一文に整えることを支える手がかりとして機能する可能性が示された。とくに、支点からの距離と力の観点をを用いて組み立て始めている児童に対しては、問い返しが「どの点の位置関係を根拠にするのか」「力はどう変わるのか」といった観点を整理させ、考察文をまとめる手助けとなっていた。

一方で、考察文としては整っていても、対話の流れによっては生成AIの例文に沿って「書いてしまう」事例も見られた。すなわち、考察文の完成度だけでは、児童が自分で要素を関連づけて組み立てたのか、例文を手がかりにまとめたのが区別しにくい。生成AIを考察支援に用いる場合、完成した考察文だけでなく、対話の中でどのように観点が形成され、どの段階で表

現が整えられたのかも併せて捉える必要がある。

また、依存が強く表れた背景には、児童のつまづきだけでなく、プロンプト設計と授業構成が関係していた可能性が示唆された。問い返しが続くことで対話が長くなり、児童にとって「考察をまとめる」よりも「生成AIの問いに答え続けること」が中心になりやすい場面が見られた。さらに、停滞場面で例文や言い回しが提示されることは、一文の見通しを与える点で有効である。しかし、提示がそのまま使える形である場合には、児童の言い換えや再構成を経ないまま文章が整ってしまい、表現が例文に寄りやすいことがうかがえた。

以上より、生成AIは理科の考察において、理由づけの形成を支える学習環境として一定の役割を果たし得ると言える。一方で、問い返しの出し方や例文提示の位置づけによっては、「自分で組み立てる」過程が弱まり、依存が生じる課題も併せ持つことが示唆された。今後は、①例文提示を「そのまま使える完成形」としてではなく、言い換えや比較が生じる足場として位置づけること、②既習事項（力と距離のきまり）へ接続する観点を授業側で明確にし、対話の目的が「まとめ」に向かうように構成すること、③対話過程を踏まえた評価・見取りの方法を整えること、といった工夫を通して、考察支援としての効果を高められると考える。

## 文献

- 中央教育審議会 (2025) 理科に関する現状・課題の検討事項 [https://www.mext.go.jp/content/20251006-mext\\_kyoiku01-000045238\\_01.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20251006-mext_kyoiku01-000045238_01.pdf) (2026年3月1日閲覧)
- 文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領 (平成29年告示解説) 理科編。
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008) Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), pp.53–78.
- 飯田 寛志・後藤 顕一 (2019) 中学校理科実験における考察記述の論理的表現に関する一考察 —相互評価表を用いた授業実践を通して—, *理科教育学研究*, 60(2), pp.251–266.
- 林 康成・島田 英昭 (2024) 小学校理科における全体的協働による説明活動が考察の記述力に及ぼす効果—第5学年「ふりこの運動」を事例に一、理科教

育学研究, 65(3), pp.571-584.

山内 慎也・郡司 賀透・飯田 寛志・後藤 顕一 (2022a)  
中学校理科の考察における科学的な表現の育成に  
関する一考察—相互評価活動下において考察記述  
の定型化指導を組み込む学習活動を通して—, 理科  
教育学研究, 63(2), pp.399-414.

山内 慎也・郡司 賀透・飯田 寛志・後藤 顕一 (2022b)  
中学校理科における考察の意識に関する一考察—  
相互評価活動を用いた学習活動を通して—, 理科教  
育学研究, 63(3), pp.643-653.

藤川大裕 (2024) 初等中等教育実践における生成 AI の  
活用のあり方 —文部科学省「暫定的なガイドライ  
ン」前後の状況—, 千葉大学教育学研究紀要, 第 72 卷,  
pp.83-90.

吉澤日花里・井上信介・西本周平・志儀孝典 (2025)  
生成 AI パイロット校の活用実践に関する整理と  
考察 —2 年間の変遷を踏まえて—, 内田洋行教育  
総合研究所.

小林靖隆・渡辺理文 (2025) 生成 AI の活用による即  
時的フィードバックの実践 —小学校第 6 学年「電  
気の利用」を事例にして—, 理科教育学研究, 65(3),  
pp.573-583.

文部科学省 (2023) 初等中等教育における生成 AI の  
利用に関する暫定的なガイドライン  
[https://www.mext.go.jp/content/20241126-mxt\\_jogai01-000038813\\_03.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20241126-mxt_jogai01-000038813_03.pdf) (2026 年 3 月 1 日閲覧)

濱田秀行 (2019) 小グループの談話とワークシート記  
述の質的分析, 秋田喜代美・藤江康彦: これからの  
質的研究法: 15 の事例にみる学校教育実践研究, 東  
京図書, pp.42-57.

# データサイエンスの芽生えとなるプログラミングを用いた小学校算数科における授業開発 Class Development in Elementary School Mathematics using Programming that is the Seed of Data Science

中村 惇哉

NAKAMURA Junya

大阪市立豊里南小学校

Osaka City Toyosato Minam Elementary School

【要約】 Society5.0 時代を見据えた取り組みの一つとして、令和2年度から小学校プログラミング教育が必修化となった。また、内閣府からは、データサイエンス教育の必要性が提言されている。そこで本稿では、小学校第5学年算数科「D データ活用 D (2) 測定値の平均」において、算数科における見方・考え方を基盤としつつ、データサイエンス的な視点を取り入れたプログラミング活動を通じた授業開発及び実践を報告する。その結果、子どもたちは妥当な数値を求める測定値の処理の仕方を新たに知り、理解しようとし、プログラミングが身近であることに気付き、それを今後の学習や生活、社会に生かそうとする態度がみられた。よって、測定値の妥当性の学習やプログラミング活動を通して、データサイエンス的な考え方の素地を育むことができた。

【キーワード】 小学校プログラミング教育、算数科、データサイエンス、測定値の平均

## I. はじめに

平成29年度告示の小学校学習指導要領(2017)により、令和2年度から小学校プログラミング教育が必修化となった。また、令和2年の「令和の日本型学校教育の構築を目指して」(2021)と題する答申では、社会の在り方が現在とは非連続で急激に変わる状況が生じつつあり、その社会の変化である Society5.0 時代を見据えた取り組みを進める必要があると提起されている。次代を切り拓き、未来を創造する子どもを育成していく方策の一つとして、コンピュータを理解し上手に活用していく力を身に付け、子どもたちの可能性を広げるためにも、益々、小学校プログラミング教育の重要性が高まっている。

また、内閣府のイノベーション政策強化推進のための有識者会議「AI戦略2019～人・産業・地域・政府すべてにAI～」(2019)からは、デジタル社会の基礎知識(いわゆる「読み・書き・そろばん」的な素養)である「データサイエンス」に関する知識・技能を身につけ、持続可能な社会の創り手として必要な力を、全ての国民に育むことが求められている。そのために小学校・中学校では、データサイエンス・AIの基礎となる理数分野について様々な社会課題と理科・数学の関係性の理解と考察を行う機会を確保するという、データサイエンス教育の必要性が提言なされている。

本研究では、このような状況の中にある学校現場の

教育活動に資する取り組みとして、小学校における具体的な実践例を提案していくものである。本実践は令和3年度に実施されたが、その後も継続して応用され、現在のGIGAスクール環境においても有効性が確認されている。さらに近年では文部科学省が情報活用能力の育成を強化し、データサイエンスやAI活用の素地を初等教育段階から涵養することの重要性が高まっている。本稿では、当時の実践内容をもとに、その教育的意義を再評価・再整理し、持続可能な教育実践のあり方を検討する。

## II. 研究の背景

### 1. データサイエンス教育

「データサイエンス」とは、あらゆる種類のデータを処理・分析して、そこから有用な情報(価値)を引き出すための学問分野である(2021)。そこで上記の内容を踏まえ、データ分析のプロセスに必要な「データ」即ち「測定値」の処理に目を向けることとした。

学習指導要領解説算数編(2017)では、統計教育の充実として「データの活用」と題した内容が、各学年において体系的に学ぶことが明示されており、第5学年においては「D データ活用 D (2) 測定値の平均」が設定されている。内容は、主に下記の二つである。

- ① 測定した結果について平均を用いて、それを妥当な数値として示すことができるようにすること。

② より妥当な数値を示すための方法として、何度も測定を行うことや、測定した値から、何らかの理由で飛び離れた値や予想外の値があった場合には、それらを除いて平均を求めること。

①は、データ分析する際の基本的なことである。②は、データサイエンスの中では「前処理」と言われ、一般的に、データ分析業務の8割を占めるとされている(高木・鈴木2019;有賀・大橋2019)。これらのように算数科では、データサイエンスにおけるデータ(測定値)を扱う際の必要な素地が示されている。

また、データサイエンスにおいて、人やあらゆる「もの」から情報を収集するセンサの得られるデータ(値)が、ビッグデータとして今後重要性が増してくると述べられている(竹村ら2021;内閣府2021)。尚且つ、社会に出てデータ処理・分析する時、ここで言う平均の算出は、人の手で行われずにプログラミングされたコンピュータが自動で行っている。こうして、データの収集・処理のためにはコンピュータを用いる必要があり、データサイエンティストの必要な素地として、コンピュータ科学の知識が必要だと示されている(竹村ら2021)。

以上から本実践では、とくにデータの処理に着目した、プログラミング活動を取り入れた実践を行った。一般に「平均」の学習では、単純な演算処理に終始しがちであるが、本実践では、測定値の意味的吟味(異常値の除外)や前処理、そしてそれを支えるコンピュータの仕組みを児童が自ら構成する点に特徴がある。これにより、数学的な演算能力に加え、情報活用を含む論理的判断力が育まれることが、本実践の独自性である。

## 2. 小学校プログラミング教育

小学校プログラミング教育の目標(2021)では、「プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることなどに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育むこと」と、「各教科等の内容を指導する中で実施する場合には、各教科等での学びをより確実なものとする事」に加えて、必修化により最も注目された「プログラミング的思考」の育成が求められている。この「プログラミング的思考」とは、プログラミングを行う際の技能を習得することではなく、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を育てることである。

具体的には、「自分が意図する一連の活動を実現するた

めに、どのような動きの組み合わせが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組み合わせをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と定義されている。このような資質・能力を育むプログラミング教育の実施に向けて、各学校の創意工夫を生かした教育活動を展開することが期待されており、学校現場では円滑な実施に向けて、試行錯誤している状況にある。

そのプログラミング教育の必修化に伴って、様々な学術雑誌や教育情報誌において報告される実践事例は「プログラミング的思考」を重視したものが多く、市の小学校プログラミング教育の研究指定校である本実践校でも、ほとんどの授業実践が「プログラミング的思考」を重視したものである。

一つの実践事例として挙げると、国語科においてアンブラグド(コンピュータを使わずに、プログラミング的思考を活用する授業のことを指す)(2021)で実施されたものがある。それは、ある物語の続きを考えるという授業である。物語の続きを考えるという思考の仕方が「順次処理」と同じであると考え、コンピュータを活用せずに、プログラミング的思考を養うことを意図した実践となっている。

かたや、その「プログラミング的思考」の育成における課題として、阪東ら(2017)は「プログラミング的思考」の育成を重視した実践の場合、育成される力が「手続きを構築する力」に留まってしまい、現実世界の問題を解決する力は身に付かないと指摘している。

山崎ら(2020)は、小学校プログラミング教育の目標の一つであるプログラミング的思考の育成のみに関心を寄せる関係者が多いことを問題視し、学校内外を連続させた学びの必要性を指摘している。

これらのように、「プログラミング的思考」の育成に偏ってしまうと、次代を切り拓き、未来を創造する子どもの育成を目指す令和の日本型学校教育の姿としては、不十分になってしまう可能性があると言える。

以上から本実践では、算数科の学びを深めること及び、データサイエンティストの必要な素地を育成するために、プログラミング活動を取り入れることに留意した。

## III. 授業実践

### 1. 研究内容

データサイエンスとコンピュータの仕組みの一端

をうかがい知ること、Society5.0 時代を生きる力の素地を育てることを目的に、小学校第 5 学年算数科「D データ活用 D (2) 測定値の平均」において、算数科の学習で育まれる数学的な見方・考え方を基盤としつつ、プログラミングを通じてデータの妥当性や前処理といったデータサイエンス的な視点を取り入れた授業開発および実践を行った。

## 2. 授業概要

令和 3 年 11 月下旬に A 市 B 小学校の第 5 学年、21 人を対象に実施した。A 市では GIGA スクール構想による 1 人 1 台端末として、Windows10 搭載のタブレットパソコンが導入されている。B 小学校では、日常的にそのタブレットパソコンを使用する機会が多くある。プログラミング教育についても、実践の前年度の令和 2 年度から実施されており、本年度も社会科でプログラミング活動を取り入れた実践が行われている。そのため、タブレットやプログラミングソフトの操作に関して、子どもたちは問題なく行うことができる。本実践では、教科の目標とプログラミング教育としての目標の 2 つを設定した。

教科の目標は、「気温の測定値の差や飛び離れた値、予想外の値を通して測定値の妥当性のためにそれらの値を除いたりして平均を求める必要性が理解できる。」「教室の妥当な気温を求めることを通して、測定した結果を平均する方法について考察する。」「教室の妥当な気温を測定することを通して平均を学習や日常生活に生かそうとする。」とした。本実践に関する単元計画を表 1 に示す。

表 1 単元計画

時	学習内容
1	micro:bit を用いて教室の気温を計測する。
2	平均が自動で求まるプログラムを作成する。予想外の値があった場合の平均の求め方を考える。

本実践では、児童が普段授業を受けている教室の室温を題材として設定した。その理由は子どもたちにとって気温は身近なものだからである。鹿毛 (2008) は、学習意欲の構成要素の一つとして、「認知」の「内発価値」を挙げている。これは、興味がある、楽しい、好きといった内発的動機付けの認識のことである。つまり、子どもたちにとって身近であり興味を引く題材を

扱うことで、子どもの学習意欲を向上させることができる一つの要因となる。

実践当時は、気温変化が大きくなっている季節(11 月下旬)であり、普段から子ども同士で気温に関する会話をしていた。さらに、総合的な学習の時間において、地域の環境について学習を行っていた。この平均の単元が終わった後には、社会科で環境について学習していく単元もある。これらのように、本クラスの子どもたちは気温変化と環境について考える機会が複数みられ、気温を身近に感じ、学習意欲を高めることができると考えられる。

そのうえ、データサイエンスや統計学を学習する本等を多くみていると、データサイエンスを初学者が学ぶ際に、気温の測定値が題材として扱われることがよくある。やはり、データサイエンスや統計学の考え方に触れる、初学者である子どもたちにとって、適切な題材であると考えた。このことから気温を題材として、教室の妥当な気温を得るためにはどうすればいいのか考えさせる展開の下、授業を構想した。

## 3. プログラミング教材

本研究では 2 つのプログラミング教材を活用した。1 つ目はイギリスの BBC が主体となって作った micro:bit (図 1) である。



図 1 micro:bit

これは実践校のある A 市で、2 人に 1 台使用できるよう各小学校に 20 台ずつ導入されている。基板自体は有料であるが、ソフトウェア(Microsoft MakeCode)は無料で公開されており、ビジュアル言語であるブロックプログラミングとなっている。これは、ブロックをつなげてプログラミングを行う、プログラミング初学者でも扱えるソフトである。この基板に付属してい

る温度センサを用いてプログラミングを行い、温度計として教室の気温を計測した。

水銀温度計でなく、micro:bit で気温を計測した理由として、上述した通り、センサから得られるデータがビッグデータとして今後重要性を増してくると言われているからである。その意味を理解する導入として、データを得るためにはセンサが計測していることを子どもに気付かせるために活用した。

2つ目はMIT メディアラボが開発した Scratch (図2) である。こちらもソフトは無料で公開されている。平均を自動で求めるプログラムを作成する時と、予想外の数値があった場合に、どのようにその数値を扱うのか考える時に活用した。

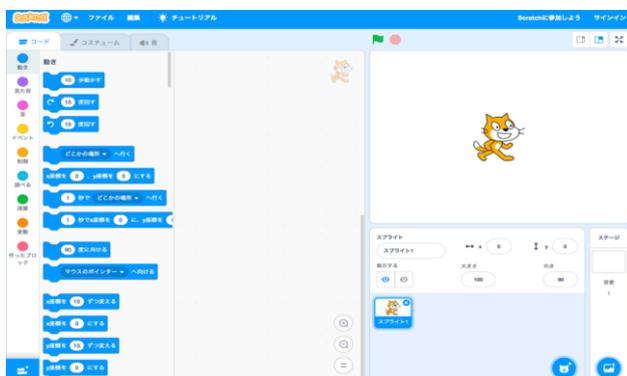


図2 scratch

#### IV. 結果及び考察

##### 1. 授業展開

初めに、教室の気温を測る際、子どもたちに、教室のどこの気温を測定したいか質問した。各々が測りたい場所を話した後に、「太陽の光が当たる窓際の気温は教室全体の気温となるのか。」と、その場所は教室の気温として妥当であるのか働きかけた。

そして、教室の気温として妥当な数値を得るためにはどうしたらいいのか考えた。色々な場所の気温の平均を求めたらいいということになり、ペアで教室のどこを測るのか、なぜそこを測るのか考えていった。そうして、水銀温度計ではなく、昨年度、一度使ったことがある micro:bit を活用して、温度計にするプログラムを作成してから教室の気温を測定した。

次に、ペアは測定した気温の平均を求め、教師が各ペアの教室の平均気温を聞いていく。その中で、少し平均気温にばらつきがあることに子どもたちは気付

いた。そこで、さらに教室の気温として妥当な数値を得るためにはどうすればいいのか働きかけた。これまでの平均の単元の既習事項で、部分の平均から全体の平均を見積もることを子どもたちは学習していることから、各ペアの平均の気温から平均を求める方法を思いつく。各ペアの平均値はたくさんの測定値が関わっていることから、ますます妥当性が高くなることに気付く。

よって、各ペアの平均値から平均の気温を求めようとする。だが、教師が、小数点もあって計算が大変であること、時間がかかることを子どもたちに働きかけた。そして、教師とのやり取りから、自動で計算する機械には、実はプログラミングされているということに子どもたちは気付く。平均の計算方法は既習していることから、自動で平均が求められるプログラムを作成していく流れとなる。プログラミングしている様子



図3 プログラミングしている様子

を図3に示す。

また、教師はコンピュータになされているプログラムに近いものとして、「リスト(日常生活では「買い物リスト」といえば、複数の買うべきものを書き出したメモを指す。これと同じように、複数のデータを一括して扱う仕掛けがリスト(list)である。複数のデータに順番をつけた上で一つのものとして扱えるようになる。)(喜多2020)」というものを活用したプログラムを紹介した。(図4参照)

最後に、図4のプログラムで平均値が求まるのか実演をした。子どもたちに前処理を意識させるため、わざと一つだけ誤入力をして平均値を求めた。誤入力など誤って操作した時にできた飛び離れた測定値や、センサの調子が悪くて測定した気温の中に異常値が入力された場合は、妥当な数値が得られないことに気付いた。そして、そのような数値が見つかった場合はどうすればいいのかと、子どもたちに働きかけた。



図4 教師が作成した平均のプログラム

併せて、平均が自動で求まるように、前処理のようなことも自動で行えたら便利であることにも働きかけ、子どもたちは図4を参考にしながらプログラムを考えさせた。ただ、子どもたちにとってはプログラミングすることが難しかった。そのため、一例として、



図5 飛び離れた値を取り除くプログラム

教師が用意したプログラムで、異常値があった時にも自動で平均が求まる様子を実演した。図5がそのプログラムになる。

このプログラムは最大値と最小値を取り除いてから平均値を算出するプログラムとなっている。数値を入力すると「小さい順」というリストの中に数値が格納されていき、入力した数値がもともと格納されている数値より大きいのか小さいのか判定している。つまり、入力した数値が、各々に格納されている数値との大小関係を調べ、入力した数値の順番を決定している。そして、最大値と最小値が分かったところでその二つの数字を取り除いて計算するプログラムとなっている。

### 1. 子どもの具体的な姿

授業中の子どもの具体的な姿からみていく。まず、ペアで教室のどこの気温を計測するのか考える際に、教室の妥当な気温を得るために「廊下側と窓側を測ろう!」「黒板側とロッカー側を測ってみよ!」「まずは自分の席と教室の4つの角の気温を測定しよ!」という発言が多くみられた。これは、教師の働きかけにより、特定の場所を測定するのではなく、色々な場所を何度も測定し、それらの平均値を求めることで妥当な数値が得られることに気付いたためであると考えられる。

また、ペアAは「4つの角の気温の平均を求めると真ん中らへんの気温になりそう」と話し合っており、教室の気温を空間的に捉えて、なぜその場所を測定するとより妥当な数値を得られるのかという理由までも思考している姿がみられ、主体的に問題解決に取り組んでいると考えられる。

さらにペアBは「下ばかり測ってるけど、天井の方も測定しないと」と話し合っていた。これまで教室を平面的に捉えた中で、教室の気温の妥当な数値を得るためにはどうしたら良いのか考えた結果、教室を立体的に見た時に理科の既習事項や生活経験等から、天井と床では気温差があるのではないだろうかかと疑問を持ち、こうした発言が出たと考えられる。

そして、ペアBが教師に許可をとって椅子に乗って天井周辺の気温を測ると、他のペアの子どもたちもその様子に気付き、多くのペアが天井と床周辺の気温も測定したことからも、子どもたちは問題解決に向けて主体的に取り組んでいると考えられる(図6)。

実際に、ワークシートの「測る場所を選んだ理由」記述欄においても、21人中19人が「東西南北、中心を測ると教室のほとんどの場所がわかるとおもったから。」「全方向をはかるため、なぜかという、全方向の気温が違ってくるかもしれないから。」「寒い所とあったかいところがあると思う。」という様に記



図6 天井付近の気温を測っている様子

述しており、教室の妥当な数値を得るためには教室の色々な箇所を測ることで、より妥当性が高い数値を得ることができることに気付いていることがみとれる。

一方で、残り2人は「中村先生の座っている場所が気になるから」と記述しており、なぜ色々な箇所を測定するのか、妥当な数値を得るために平均値を求めることの意味をあまり理解できておらず、問題意識としても醸成されていないと考えられる。

続いて、6つのペアの平均気温を聞いていった場面で、「全部足して6で割る」という発言がみられた。これは、既習事項をもとにして、より妥当な数値を得るためには、さらにたくさんの測定値が必要であることを理解していると考えられる。

その後には、ほとんどの子どもが「あっ!」「そっか!」「全部の平均が出る!」というように、理解を示した反応をみせていた。友達の発言が足場かけとなり、より妥当な数値を得るための方法に気付いていると考えられる。

そして、プログラミング活動に向かう場面では、教師が、小数点もあって桁が多くなり計算が大変になってしまうことや時間がかかってしまうことを子どもたちに働きかけると、複数人が「計算機」や「パソコン」、「電卓を使ったら良い」と答えた。

さらに、「マイクロビットで計算する!」という子どもの発言から、多くの子どもが「あぁ!」と反応をみせており、コンピュータや電卓が自動で計算できるのは、プログラミングされているからであることを理解

して、プログラミングが生活と密接に関わっていることに少しずつ気づき始めていると考えられる。

自動で平均値を求めるプログラムの作成時では、子どもたちは「演算」というブロックを使用し、平均の公式を作るようにしてプログラミングしていた。しかし、そのブロックの使い方に困難を示していた。

図7では、上のブロックが平均を求めることができるプログラムで、下は子どもたちが間違っていたプログラムである。違いとしては、「/ (割る) ブロック」

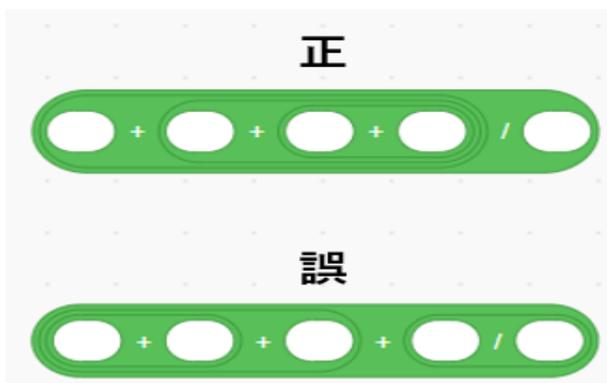


図7 平均のプログラム

を上ブロックは一番下に置いてあるのだが、下のブロックは「+ (足す) ブロック」の上に「/ ブロック」を置き、四則計算がうまくいかず、平均値が求まらなかったのである。平均値を求めるために使用するブロックを正確に選んでいたものの、その組み合わせ方を間違っているため、平均値を求めることができなかった。しかし、そのブロックの組み合わせ一つによってプログラムがうまく作動しないことを知れたことは、プログラミングの考え方や難しさの一端を知りきっかけができたと考えられる。

最後の異常値の処理の仕方考えた場面では、「ぬいたらいいんちゃうん?」という発言が多数みられた。これは、飛び離れた測定値をそのままにしておくと、妥当な数値になるのか考えて、そのような測定値は慎重に扱わなければならない、場合によっては値を取り除くことが必要であることに子どもたちは気付いたと考えられる。さらに、その際どういったプログラムを作成すれば良いのか併せて考えたことは、データサイエンスとしてデータを扱う際にはコンピュータやプログラム等が関係していることに、さらに気付くきっかけになったと考えられる。

#### 4.3 ワークシートの感想

平均は、真ん中の数を求めることができないだけでなく、正確な数も求めることができなかった。教室の気温は、思っていたより高かった。今度また機会があれば他の場所の気温も計ってみたい。今日、学んだことを生活に活かしたい。

プログラミングで計算で扱えるのがすごかったとしてもわかりやすくおしえてくれてうれしかったです。次にできる時があったらもっと便利なプログラミングを作りたいです。

平均の平均を求めるということが面白いと思った。  
 ・ペアとなって求めるのが楽しかった。  
 ・プログラミングすると、なれていくなにできる。

図8 授業後の児童の感想

続いて、授業後にワークシートの子どもたちの感想をみていく。図8に一部紹介する。

感想から、「Scratchで電たくのプログラミングができることは知らなかったの、知れてよかったのです。」「次にできる時があったらもっと便利なプログラミングを作りたいです。」という様な記述が13個みられた。クラスの過半数以上の子どもたちが、測定値やデータの扱いにはプログラミングが関わっていることや生活に身近なところで活用されていること、その便利さ等に気付き始めていると考えられる。

そのうえ、「工夫すれば三角形の面積が求められるのかな?と思った」「計算をするプログラミングをつくっていたとき、四捨五入をしないと答えがでないような計算でも答えをもとめられるのか気になりました」という記述がみられ、今回の授業を通して、プログラミングが他の計算式の中で活用することができるのか思考していたのだろう。つまりはプログラミングをこれからの学習や生活、社会に生かそうとする態度が養われつつあると考えられる。

また、「プログラムやScratchを使って算数の平均の勉強とマイクロビットで気温をはかるのが楽しかったです。」「プログラミングを作るだけで面白いことがいっぱいできた。」「これからもプログラミングをしていきいろんなこと考えていきたいと思いました。」という様な、プログラミングの楽しさや意欲の向上が

みられる記述が21個、すべての子どもの感想からみられた。

加えて、「平均は、真ん中の数を求めることができるだけでなく、正確な数も求めることができることが分かった」「教室の気温は、思っていたより高かった。今度また機会があれば他の場所の気温を計ってみたい。」といった測定値に関する記述は5個みられた。ここからも、子どもたちは妥当な数値を求めるために、多量な測定値の必要性や測定値の処理の仕方を新たに知り、理解しようとしていることが考えられる。

以上のことから、micro:bitを活用して気温を測定したりScratchで、自動で計算できるプログラムを考えたりする活動を取り入れたことで、子どもたちは意欲・関心を高めながら教室の気温として妥当な数値を得るためにはどうしたらよいか、対話を通して主体的に追究していることが示唆される。加えて、子ども自らが測定値(データ)を扱ったり処理したりする体験によって、データサイエンシ的な考え方の素地を育む上で効果的であったと考えられる。

## V. おわりに

本研究では、小学校第5学年算数科「D データ活用 D(2) 測定値の平均」において、算数科の学習で育まれる数学的な見方・考え方を基盤としつつ、プログラミングを通じてデータの妥当性や前処理といったデータサイエンシ的な視点を取り入れた授業開発および実践を行った。その結果、授業中の子どもの姿やワークシートの感想から、測定値の妥当性を得るためには多量な測定値の必要性や異常値の操作方法を学ぶことができた。併せてプログラミング活動を取り入れたことで、測定値やデータを扱う際にはプログラミングが関わっていることに気付き、データサイエンシ的な考え方の素地を育むことができた。さらにプログラミングをこれからの学習や生活、社会に生かそうとする態度もみられた。

一方で、この実践だけで終わってしまうと、子どもたちにとって単に楽しかったプログラミング活動として終始してしまう可能性がある。やはり、継続的にデータサイエンシ的な考え方に触れる実践をしなければならぬ。同学年の「D データ活用 D(1) 円グラフや帯グラフ」において、目的に応じたデータ収集の内容や統計的な問題解決の方法、つまりはデータサイエンシ的な考え方について学習する単元があ

る。そうした単元と系統性を意識したうえで、数学的な見方・考え方とデータサイエンス的な視点を関連付け、それらを児童が体験的に学べるような授業開発が今後の課題である。

本実践は令和3年度に行われたものであるが、その後も類似の授業実践が学級内・校内で継続されている。特に、児童が「データの妥当性」や「情報の扱い方」に敏感になる様子が他教科でも見られたことから、本実践が児童の情報活用能力や論理的思考に長期的な影響を与えたことが示唆される。4年の歳月を経て再提出する本稿は、単発的な授業の報告にとどまらず、「持続可能な実践」としての価値を再評価し、今日のGIGA スクール環境下でも応用可能な指導の在り方を提示するものである。

## 文献

- 文部科学省 (2017) : 小学校学習指導要領(平成 29 年告示)  
<http://www.shinkyousha.com/files/libs/177/201807191004142537.pdf> (2026 年 2 月 28 日アクセス)
- 中央教育審議会 (2021) : 「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現～  
[https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt\\_syoto02-000012321\\_2-4.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt_syoto02-000012321_2-4.pdf) (2026 年 2 月 28 日アクセス)
- 統合イノベーション戦略推進会議 (2019) : AI 戦略 2019～人・産業・地域・政府すべてに AI～  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/aisenryaku2019.pdf> (2026 年 2 月 28 日アクセス)
- 竹村彰通・姫野哲人・高田聖治・和泉志津恵・市川治・梅津高朗・北廣和雄・齋藤邦彦・佐藤智和・白井高・田聖治・竹村彰通・田中琢真・姫野哲人・榎田直木・松井秀俊 (2021) : データサイエンス大系 データサイエンス入門 第 2 版, 学術図書出版社.
- 文部科学省 (2017) : 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説算数編  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017\\_004.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_004.pdf) (2026 年 2 月 28 日アクセス)
- 高木章明・鈴木英太 (2017) : 図解入門 最新 データサイエンスがよ～くわかる本, 株式会社 秀和システム.
- 有賀有紀・大橋俊介 (2019) : R と Python で学ぶ [実践的] データサイエンス&機械学習, 株式会社技術評論社.
- 内閣府 (2016) : 第 5 期科学技術基本計画  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf> (2026 年 2 月 28 日アクセス)
- 文部科学省 (2021) : 小学校プログラミング教育の手引き (第三版)  
[https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt\\_jogai02-100003171\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf) (2026 年 2 月 28 日アクセス)
- 阪東哲也・黒田昌克・福井昌則・森山潤 (2017) : 我が国の初等中等教育におけるプログラミング教育の制度化に関する批判的検討, 兵庫教育大学学校教育学研究, Vol.30, pp.173-184.
- 山崎貞登・松田孝・二宮裕之・久保田善彦・磯部征尊・川原田康文・大森康正・上野朝大 (2020) : Society5.0 を支える STEAM/STREAM 教育の推進に向けた小学校教育課程の教科等構成の在り方と学習指導形態, 上越教育大学研究紀要, Vol.39, No.2 pp.525-538.
- 鹿毛雅治 (2008) : 学習意欲の構造から見た学校が取りうる方策—「状況意欲」に着目して教育環境のデザインを—, BRED, NO.13, pp.1-7.
- 喜多一 (2020) : プログラミング演習 Python 2019, 京都大学学術情報リポジトリ紅, pp.1-200.

No.	名称	実施者情報	役割	年月日情報	場所	主催	参加者情報	概要
1	和算の教材への活用研究	安部 利之	講師	①2025年7月26日(土) 13:30～16:00 ②2026年2月14日(土) 13:30～16:00	多目的講義室	教材研究フォローアップ講座 理科教育研修会	①16人 高校教員(4人) 大学教員(5人) 大学生・大学院生(6人) 和算研究者(1人)  ②6人 高校教員(2人) 大学教員(2人) 大学生・大学院生(1人) 和算研究者(1人)	和算研究会では愛媛大学や松山大学の教員・学生を始め現職教員も含めて研究活動を行っております。その活動や研究の紹介、そして教材として活用できる問題やその活用方法などを紹介したいと考えております。
2	春の植物観察 in えひめこどもの城（野外観察）	中村 依子 大高 茂範	講師	2025年4月19日（土） 9時半～12時	えひめこどもの城	教材研究フォローアップ講座 理科教育研修会	11人（大学生9人，大学院生2人）	えひめこどもの城を散策しながら，主に春の植物を観察します。植物の生態や名前の由来などについて知りたい方は，ぜひご参加ください。
3	愛媛の岩石標本づくり	佐野 栄	講師	2025年9月27日（土） 10時～12時	理科共同学生実験室3	教材研究フォローアップ講座 理科教育研修会	6人 （小学校教員：1人、塾講師：1人、大学院生：2人、学部生：2人）	愛媛は国内でも多様で珍しい岩石や鉱物を観察できる県です。それは県内を北から領家帯，三波川帯，秩父帯，四万十帯といった，日本列島を形成するほとんどすべての地質帯が帯状配列するからです。今回の研修では，特に南予地域に広がる秩父帯と四万十帯を構成する岩石の標本づくりを行う予定です。
4	新しい石けん教材を体験してみよう	向 平和 小原 孝昭	講師	2025年12月6日（土） 10時～12時	理科共同学生実験室1	教材研究フォローアップ講座 理科教育研修会	5名（大学教員3名，大学院生2名）	新しく開発された石けん教材について紹介します。本教材は愛媛県内の企業が特許をとった技術が採用されており，短時間でセッケンが作ることができます。反応の早さと激しさにびっくりすると思います。
5	企業が開発したSTEAM教育教材の紹介	隅田 学	コーディネータ	2026年2月21日（土） 10時～12時	理科共同学生実験室1	教材研究フォローアップ講座 理科教育研修会	17名（現職教員12名，学生5名）	STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics）教育は，その学びが社会とつながり，社会総出で協力することが重要です。愛媛大学は，産・学・官・公・教が連携してSTEAM教育を推進する一般社団法人「学びのイノベーション・プラットフォーム(PLIJ)」に特別会員として参画しています。本研修では，参加者とともに，PLIJ STEAM Learning Communityに公開されている企業が開発した教材を学び，その実践可能性について考えます。
6	技術の見方・考え方を働かせるための教材製作	大西義浩 玉井輝之 正田義明	講師	2025年12月6日（土） 13時～17時	技術多目的演習実習室2	教材研究フォローアップ講座 理科教育研修会	7人 内訳：公立中学校校長1人，松山市教委指導主事1人，公立中学校教諭5人	技術分野は単なる自然科学の応用ではなく，複数の側面から要求・条件を吟味し開発・利用することとされています。このような技術の見方・考え方を働かせるための教材を考えます。
7	モザンビーク・マプト教育大学訪問団への対応	向 平和 玉井輝之 正田義明	話題提供	2025年12月9日（火） 9時～12時	教育学部会議室・各種実験室等	国際連携課	マプト大学 FERRÃO Jorge学長 Arsénio José Mindú理学・数学部長 Ézar Nharreluga拡張・イノベーション部門長 Herieta Massangoエネルギー・環境修士課程ディレクター Amelia Munharo財務部長	モザンビークのマプト教育大学の愛媛大学の訪問に対応し，STEM教育についての意見交換などを行った。
8	青少年のための科学の祭典松山大会	中本 剛 向 平和 佐野 栄 松浦紀之 中村依子 玉井輝之	講師	2025年10月25日 （土）・26日（日） 9:30～16:00	教育学部2号館・3号館	青少年のための科学の祭典松山大会実行委員会	両日合わせて3000名	青少年のための科学の祭典松山大会を開催した。40以上のブースと科学ショーなどを実施した。
9	中堅研修1教科等指導研修「一次関数とみなして問題解決する学習のあり方」	吉村直道	講師	2025年8月4日	松山市教育研修センター	松山市教育委員会・松山市教育研修センター	中学校教員3名	中堅研修として，誰一人取り残さない学び，確かな学びを目指して，一次関数とみなして問題解決する事例の指導のしかたについて講義をする
10	令和7年度教科等研究大会講話「ICTの効果的な活用」	吉村直道	講師	2025年11月18日	今治市立国分小学校	今治市教育委員会	小中教員30名弱	小学校算数科，中学校数学科の学習におけるICTの活用について，ICTのメリット・デメリットを整理しながら効果的な活用のしかたについて解説をする。
11	データサイエンス入門	吉村直道	講師	2026年1月28日	愛媛大学附属高等学校	教育学部附属科学教育研究センター	高1生120名＋高校教員8名	課題研究に取り組むにあたり，有意差についての理解と研究倫理に基づいたアンケート調査の実施について解説する
12	日本生物教育学会四国支部第9回研究会シンポジウム	向 平和	コーディネータ	2026年3月7日（土） 15:00～17:00	理科共同学生実験室1	日本生物教育学会四国支部 理科教育研修会	高校教員を中心に30名程度	テーマ：生物教員の養成の現状と課題 フィールドに強い生物教員はこれから養成できるのか？ 話題提供：吉澤樹理（香川大学教育学部） 田川一希（鳴門教育大学） 中城 満（高知大学教育学部） 渡邊重義（熊本大学教育学部） コーディネータ：向 平和（愛媛大学教育学部）