
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

2025 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

愛媛大学における高校生を対象とした次世代科学技術人材育成事業の全学的な取組とその成果 ・ ・ ・ ・ ・	加藤 晶・向 平和・高橋 亮治・宇野 英満	1
大西佐兵衛『雑題』の現代解について～第9巻全9問～ ・ ・ ・ ・ ・	吉岡 倖佑・村田 幹太・原本 博史・安部 利之	11
Current situation of recognition of twice exceptional (2E) children by teachers in charge of special support for children enrolled in regular classes and parents of children with developmental disabilities ・ ・ ・ ・ ・	Kosuke NAKANO・Mayuka WATANABE	21
岩石の風化に着目した「流れる水の働き」における防災教育の授業実践報告 ・ ・ ・ ・ ・	白方 憲伸・足羽 光一・山本 健太・川井 亮介・谷川 裕子・向平和	28
子どもの願いを形にするー小学校理科第4学年の学習を通してー ・ ・ ・ ・ ・	水口 達也・向 平和	35
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用いた心筋梗塞発症予測確率と地域健康教育への展開 ・ ・ ・ ・ ・	戸田 園乃・戸田 真子・岡田 英作・山内 加奈子・加藤 匡宏	39
シークワサー搾汁残渣精油の殺菌効果とそのメカニズムの推定 ・ ・ ・ ・ ・	岡本 拓実・岡本 威明	44
重信川の河原の石 ・ ・ ・ ・ ・	佐野 栄	49
数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究（Ⅲ） ー異なる学年，異なる単元でみる1年後調査結果の特徴についてー ・ ・ ・ ・ ・	吉村 直道	66
数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究（Ⅳ）ー第6学年「分数の除法」と小学校第5学年「部分の平均と全体の平均」に関する1・2・3年後調査結果についてー ・ ・ ・ ・ ・	吉村 直道	75
生活科の学習との関連を意識した「遊び」を通じた理科学習 ー小学校理科第3学年「磁石の性質」「音の性質」の学習を通してー ・ ・ ・ ・ ・	木下 理重子	85

中学校理科 光分野における教材開発ーりんごが赤い理由を実感できる教具ー	
・・	・稲垣 佑 89

2024 年度おむすび研究会の実施状況と今後の方針	
ー理系・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ー	
・・	・小川 晃生 96

理科探究学習における生成 AI 活用の実態分析ー肱川あらしの発生条件の探究における対話ログの考察ー	
・・	・真木 大輔・向 平和・大西 義浩 104

2024 年度活動報告	
-------------	--

愛媛大学における高校生を対象とした次世代科学技術人材育成事業の全学的な取組とその成果

Achievements of the Ehime University Framework for Training and Support for High School Students
as the Next Generation in Science and Technology

○加藤晶^{*1}, 向平和^{*2}, 高橋亮治^{*3}, 宇野英満^{*1}

KATO Aki^{*1}, MUKO Heiwa^{*1}, TAKAHASHI Ryoji^{*2}, UNO Hidemitsu^{*1}

^{*1}愛媛大学, ^{*2}愛媛大学教育学部, ^{*3}愛媛大学大学院理工学研究科

^{*1}Ehime University, ^{*2}Faculty of Education, Ehime University, ^{*3}Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

【要約】愛媛大学では国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の支援を受け、小中学生を対象としたジュニアドクター育成塾（平成 29 年度～）や高校生を対象とした「四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）」（グローバルサイエンスキャンパス（GSC）後継事業）を実施し、将来のイノベーションの担い手である地域の児童生徒の発掘を行い、様々な科学教育活動を通じて地域や世界で活躍する次世代の科学者・技術者を長期間育成している。令和 6 年度からは愛媛大学次世代人材育成拠点を中心にこれらの事業に全学体制で取り組んでいる。SHIN-GS 事業では、後継事業で構築した全学的な科学者技術者育成プログラムの実施体制「愛媛モデル」を礎として四国全域に高大接続事業を展開し、全国に先駆けた次世代人材育成の「四国モデル」構築に取り組んでいる。本稿では、本事業における全学的な取組や実施体制の構築について報告しその成果について実践例を取り上げ紹介する。

【キーワード】次世代人材育成事業、科学者技術者育成、科学教育プログラム、アントレプレナーシップ、国際性育成

I. はじめに

愛媛大学では全学組織である次世代人材育成拠点を中心に、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）による多くの事業助成を通じた様々な科学教育事業を実施している。人口減少・超高齢化社会、四国外への転出超過が長期的にわたって一貫して継続している現状など、四国地域が抱える課題は山積しており、将来地域や世界で活躍する次世代の科学者・技術者に加え、イノベーションの担い手を早期に育成・獲得することは、本学および本事業の大きな役割といっても過言ではない。愛媛大学ではこれまでに、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の支援を受け、小中学生を対象としたジュニアドクター育成塾（平成 29 年度～）や高校生を対象としたグローバルサイエンスキャンパス（平成 30～令和 3 年度）及び後継事業（令和 4 年度）を実施し、将来のイノベーションの担い手である地域の児童生徒の発掘を行い、様々な科学教育活動を通じて地域や世界で活躍する次世代の科学者・技術者を長期間育成している。

令和 4 年度からは、愛媛大学次世代科学人材育成室でプログラムを引き継ぎ、令和 6 年度からは愛媛大学次世代人材育成拠点が新たに設置され、全学組織である次世代人材育成拠点を中心に、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）による多くの事業助成を通じた様々な科学教育事業を全学体制で取り組んでいる。

また愛媛大学では「愛媛県全域がキャンパス」となっており、早くから地域に各センター等を設置し地域密着型の研究や教育に取り組んでおり、そのためにも地域の重要な拠点として本学が全学的な実施体制を維持し、長期的な企画

を継続することが重要である。

前事業である「愛媛大学グローバルサイエンスキャンパス（eGS）」では、特定領域に偏らない科学と技術の広範な領域の教育プログラムを提供するための全学的な実施体制「愛媛モデル」を構築した（加藤ら，2023）。前事業、特に後継事業に対する地域からの評価は高く、四国地域の高大接続事業の先駆者である本学が実施機関となり四国に事業を拡大することは、四国各地域の活性化につながる事が期待されている。前事業や後継事業の成果と発展性が評価され、令和 5 年度には、JST 新事業である次世代科学技術チャレンジプログラム（STELLA）（高校型）に採択され、「四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）」が開始した¹⁾。

本稿では、「四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）」における全学的な取組や実施体制の構築について報告し、その成果についていくつかの実践例を取り上げ紹介する。

II. 四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）について

1. プログラムの概要

本プログラムでは、令和 5 年度から JST 協定事業との実施協定に基づき「地域と世界の未来を創造するグローバルフロンティアリーダーの育成」というプロジェクトテーマで各年度の受講生に対して 1 年半以上継続した科学技術人材のための学習内容を提供している。本学の GSC 事業 I 期目及び後継事業で構築した全学的な科学者技術者育成プロ

グラムの実施体制「愛媛モデル」を礎として、四国全域に高大接続事業を展開させることで、地域と世界の未来を牽引する人材を育成し、魅力ある四国の未来創生に取り組んでいる。課題解決能力に秀でた人材を育成することは、地域での人材育成と地方創生の好循環を生み、全国に先駆けた次世代人材育成の「四国モデル」構築につながる。本事業では、地域と世界で活躍する「グローバルフロンティアリーダー」を育成するため、「科学アントレプレナーシップ」「科学的探究力」「異文化適応能力」の習得と向上を目指し、「科学者・技術者育成型」「アントレプレナー育成型」「早期育成型」の3つの育成型により、「地域に根を張り世界に挑む」多様な人材を大学と地域が連携し長期的に育成することを目標としている。

また本事業では令和4年度後継事業が開始した際に、本プログラムの受講を希望する全ての高校生を本学の科目等履修生として登録する新たな取り組みを取り入れた。最初の選抜をなくし、地域の高校生に対する科学の視野を広げる機会を提供している。本プログラムで取得した単位は愛媛大学入学後卒業要件単位として認定（最大2単位）可能とした。

2. 育てたい人材像と能力・資質の目標水準

本プログラムにおける「育てたい人材像」とは、「地域に根をはりながら、世界に挑む、各領域のグローバルフロンティアリーダー」である（図1）。

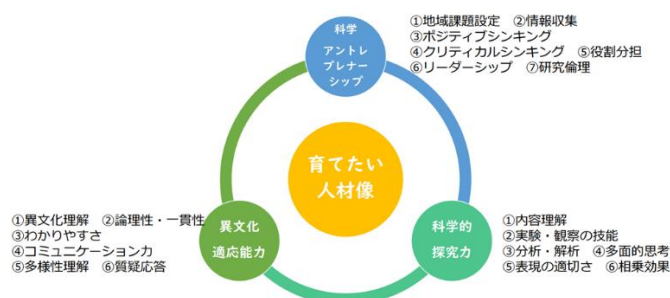


図1. 育てたい人材像

新しい時代にふさわしい人材を育成すべく、本プログラムでは育成プログラムを通じて、「科学アントレプレナーシップ」「科学的探究力」「異文化適応能力」の3つの能力の習得と向上を目指す。GSC事業では、世界で活躍する科学者・技術者を育成目標として掲げていたが、予測困難な現代社会で生き抜く力を兼ね備えた人材を育成することが必要であると考え新たに目標を設定した。これまでに蓄積した科学・技術分野における過去の高大接続事業及びGSC事業の実績を基盤に、今後必要とされる力について育成する。「科学アントレプレナーシップ」「科学的探究力」「異文化適応能力」を育てたい資質能力の大項目に設定している。それぞれの大項目は下記の通り設定した。

I. 科学アントレプレナーシップ

本プログラムにおける「科学アントレプレナーシップ」は、一般的にアントレプレナーシップに求められる力である、「従来の価値観に捉われず、新たな事業を創造し、リスクに立ち向かう精神・姿勢」に加え、「科学的要素」を加えることで、直面した課題に対して自らが解を見出す際に、科学的思考を持って解決できる力・精神と定義した。

II. 科学的探究力

前事業から継続して「科学的探究力」を持つ人材の育成に取り組んでいる。「科学的探究力」を強化することは、四国地域の課題解決のみならず、今後必要性を増すグローバルな考え方を踏まえつつ、国際社会で活躍する科学技術材を輩出することにつながる。情報やデータがあふれる現代社会においても「科学的探究力」を持つことで総合的な判断ができると考え設定した。

III. 異文化適応能力

多様な文化が交わる環境で、効果的に対応できる能力を身に着けることができれば、異なる文化背景を持つ人々と適切で効果的かつ円滑なコミュニケーションを取ることができる。この場合のコミュニケーション能力とは、ただ「〇〇語ができる」といった言語能力のことではなく、異なる言語・文化に興味を持ち、敬意を持って受容する能力である。国外だけでなく国内においても多様な文化が交わる環境で効果的に対応できる能力を発揮し、様々な異文化の背景を持つ人達と協働しながら成果を上げていくことが可能性となる。本事業では第0段階と第3段階の設定を考えている。そのため、本事業における育てたい能力・資質についてはシームレスで育成を考えている。そのため、第一段階の育成プログラムは、本事業の第0段階（基盤学習）～第1段階（展開学習・四国アントレ塾I）、第二段階の育成プログラムは、本事業の第1段階（展開学習）～第2・3段階（発展学習（課題研究））での育成となる。

3. 3つの育成型

I. 研究者・技術者育成型

GSC1期目の「国際的に活躍する科学技術人材」における将来の職務は基本的に「研究・開発」であり、その育成のためには「先行研究の理解」「情報と分析とオリジナルな研究の立案」「結果の解析と新たな発見」さらに「成果をグローバルに発信」という一連の流れを継承し、将来地域の課題解決や地域の特色ある研究に取組み地域や世界で貢献することのできる研究者・技術者の育成を目的としている。

II. アントレプレナー育成型

これからの社会に求められる「アントレプレナーシップ」についても積極的に人材を育成していく。本学の社会連携推進機構や各センターと連携しながらより実践的なプログ

ラムを展開する。地域が必要とするアントレプレナーはいわば「地方発ベンチャー企業の社長」である。「ベンチャー企業の社長」は、維持管理力・変更管理力・方針管理力の3つのマネジメント能力を備えたリーダーで、さらにはDXやグローバル競争におけるものづくりも求められる。そのため必要とされる力を身に着けるために後述する「四国アントレ塾Ⅰ」「四国アントレ塾Ⅱ」を開講し、地域から世界を変えるグローバルフロンティアリーダーの育成に特化したカリキュラムも併せて新設した。

Ⅲ. 早期育成型

愛媛大学では、「全世代型」を対象とした人材育成を目的としている。高校生に限定するのではなく、対象の学年以下の児童生徒から傑出した人材を生み出せるようなプログラムを企画していく。そこで本企画では、「早期育成型」を設け、現行のジュニアドクター育成塾及び小中型から突出した能力才能を持つ生徒を受け入れる。これまでのジュニアドクター育成塾との連携は本学ジュニアドクター育成塾修了生のGSC受講や課題研究に留まっていたが、今後は、四国を中心に全国各地のジュニアドクター育成塾生に、「飛び級」制度として高校型のプログラムを受講する機会を与え、早期人材育成についても本学ジュニアドクターと連携し全学体制で取り組む。

Ⅲ. 教育プログラムの取組み

1. 教育プログラムの全体像

教育プログラムは「基盤学習」「展開学習」「発展学習」で構成した。それぞれの実施時期については、4月から本プログラムの募集を開始し5月末で募集を締め切った。本プログラムでは最初の「基盤学習」については、受講希望者全員を本学の科目等履修生として登録する。そのため、受講希望者が在籍する学校長の推薦書を提出によって受講生として正式に認められる。第0段階である「基盤学習」を7月～8月に実施し、1次選抜後に第一段階の学習「展開学習」を9月もしくは10月に開始して、翌12月頃までを基本的な受講期間とした。これらのプログラムは相互に関係しており、例えば基盤学習は学部横断的に学び科学の視野を広げ、展開学習は基盤学習で習得した能力をさらに深める一方、実践的な講義により幅広い知識を基盤とした高い専門性を培い、発展学習に必要な能力を育成した(表1)。

表1. プログラムの実施スケジュール

時期	実施内容
4月～5月末	募集 ・JST ウェブサイトでの周知 ・SHIN-GS ホームページを通じた募集 ・四国4県教育委員会を通じた周知 ・四国4県理科部会会長訪問

科学教育研究センター紀要 Vol.4 (2025)	
	・高校訪問約40校
6月	愛媛大学科目等履修生(入学もしくは科目追加)登録
7月～8月	【第0段階】基盤学習 ・高大接続科目「人間科学入門」として開講 ・愛媛大学 Moodle を利用 ・科学の視野を広げ、学部横断的に学ぶ ・各学部・各分野を網羅した充実した学習プログラム ・「共通分野」「基礎科学分野」「応用科学分野」「地方創生分野」計30講座 ・連携機関(松山大学薬学部, 岡山理科大学獣医学部, 愛媛県産業技術所) およびコンソーシアム学外委員会(愛媛県総合科学博物館)の講義についても実施
9月上旬	1次選抜実施 ・単位取得状況や成績および研究申請書により選抜を実施 ・成績報告
9月中旬	1次選抜者決定 ・愛媛大学科目等履修生科目追加登録
9月下旬～11月	【第1段階】展開学習 ・高大接続科目「現代と科学技術」として開講 ・STEM教育に基づいた実習講義6講座を開講 ・実践的な講義により幅広い知識を基盤とした高い専門性を培う ・発展学習(課題研究)につながる学習 ・課題研究テーマの立案 ・コーディネータとの面談による研究申請書のブラッシュアップ ・研究室マッチング 【四国アントレ塾Ⅰ】 ・本学社会連携推進機構との共同開催 ・「起業」について基礎から実践までを学ぶことを目的 ・オンライン座学2日間 - 合宿研修2日間 ①体験型ワークショップ ②実践的な問題解決のプロセスを学ぶ
12月上旬	課題研究計画発表会
12月中旬	2次選抜実施 ・単位取得状況や成績, 研究申請書, 課題研究計画発表会の採点により選抜を実施 ・成績報告

12月中旬	2次選抜者決定
12月下旬～翌12月	【第2段階】発展学習（課題研究） ・課題研究などの研究活動や起業活動に1年間かけて取り組む ・大学学部、大学院レベルの研究活動 ・課題研究進捗報告会 ・科学英語オンラインクラス（月2回） ・国内外での学会発表 【四国アントレ塾Ⅱ】 ・ライフサイエンスの応用研究から起業を学ぶ ・対面開講 【海外渡航を伴う研究活動】 ・インディアナ大学（令和6年度実施分） ・海外選抜者8名が渡航し研究活動を実施
12月	課題研究成果報告会（修了式） ・学長名での修了書授与
修了後～高校在学期間	【第3段階】発展学習（課題研究） ・「研究延長申請書」及び委員会による面接により選抜 ・論文出版や国際学会での発表

2. 教育プログラムの主な内容

「基盤学習」では科学の視野を広げることを目的としているため応募時の選抜はないが、学校長の推薦書の提出が必須となっている。理・工・農・医・薬・教育・獣医・社会共創学部、データサイエンス、研究倫理を学部横断的に学ぶことを目的とした。それぞれの領域を、共通分野、基礎科学分野、応用科学分野、地方創生分野に振り分け、20講座以上の中から共通分野2科目を含む8講座以上受講することを受講条件とする。愛媛大学だけでなく、連携機関である松山大学・薬学部（松山市）や岡山理科大学・獣医学部（今治市）、愛媛県総合科学博物館（新居浜市）の講義を実施した。その際、対面講義は現地で実施し、メインキャンパス（松山市）から遠い受講生についても配慮した。多様性を重視し、講師の選定についても、各分野を1名以上の女性教員が担当し、ロールモデルとしての役割を担った。令和4年度分より、ほぼすべてが、オンデマンド（一部ハイフレックス対応）で受講可能となっているため、遠隔地の受講生や部活と両立して受講する高校生に配慮した取組とした。

「展開学習」においては、3つのスキル「テクニカル」「プロポーザル」「ディベート」の習得を意識した実践的な実習講義を6講座実施した。これらのスキルは、研究者・技術者・アントレプレナーにとって共通して必要な項目である。現時点では、令和4年度「展開学習」として開講した講義の2コースを1コースに統合し開講した。コースを統合したことにより、分野に偏ることなく実習講義を体験できるようにした。「テクニカル」については、従来実施してきたPCR

やゲノム編集などの実験、データサイエンスセンターからは、「AI・プログラミング」の講義を受講生に開講し、技術を幅広く身に着けるためのカリキュラムを提供した。展開学習では課題研究に繋がる学習を強く意識し実施した。研究計画の立案は、1次選抜の受講生全員を対象とした基盤学習～展開学習で育成する知識や技術、論理性、情報分析力、課題発見力の集約である。研究の実施は2次選抜された受講生を対象とし受講生が主体的に立案し、アドバイスを受けて修正した研究計画を主に大学の研究室で実施した。

「発展学習（課題研究）」においては、「研究者・技術者育成型」もしくは「アントレプレナー育成型」のいずれかを選択し課題研究を実施した。主に学会発表や英語による授業や海外渡航を伴う研究活動やアメリカの大学での研究発表などプレゼン力や国際性の育成、さらには科学アントレプレナーシップを付与する講座等を実施した。令和5年度課題研究生は16名、また課題期間を延長し研究に取り組む受講生が4名いる。

3. 受講生の募集と選抜の実施について

a. 募集について

本プログラムホームページ²内の募集サイトや、実績校、教育委員会を通じ、四国を中心に全国から受講生200名を募集することを目的として広報活動を行った。実績校だけでなく、新規校についてもコーディネータが県内外の約30校を訪問し、プログラムを周知した（4月中旬～下旬）。前年度に応募がなかった高校については、実施主担当者や実行委員会委員も直接訪問し、プログラムへの理解と応募について依頼した。令和5年度より従来の「個人応募」に加え、「学校応募」を追加したことにより、応募者の大幅な増加がみられた。その結果、令和5年度は愛媛県を中心に、高知県、香川県、岡山県、千葉県から計244名（29校）、令和6年度については関東や関西地区からも応募があり、計412名（49校）の生徒が集まった（図2）。

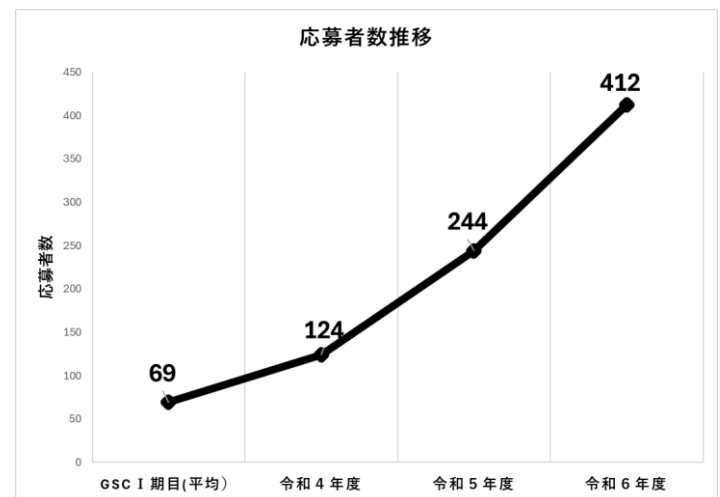


図2. 本事業の応募者数推移

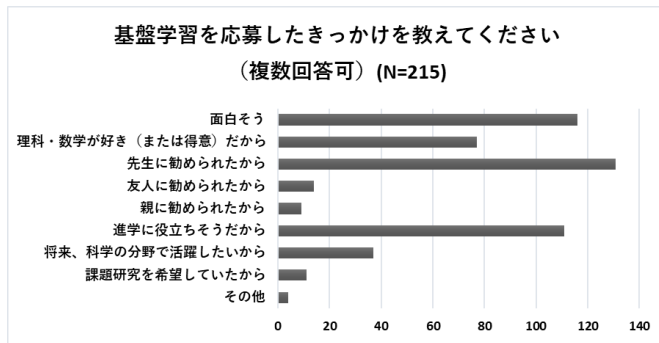


図3. 応募のきっかけ

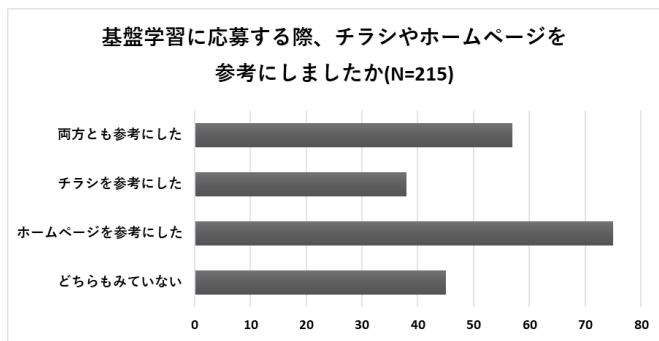


図4. 応募する際に参考にしたもの

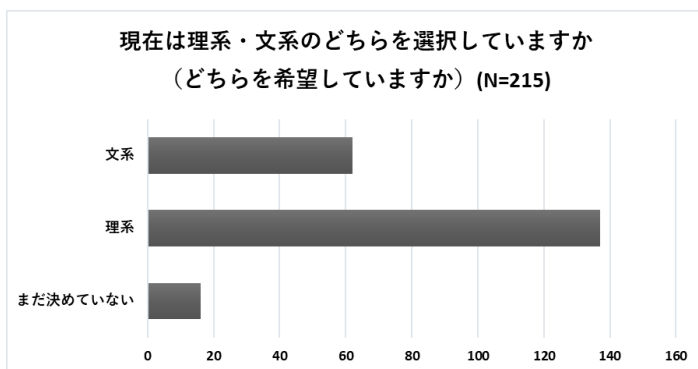


図5. 応募者の文理選択について

同様の事業を展開している他大学の実施機関では、応募者や受講生の獲得に苦戦しており(令和5年度GSC連絡協議会、ジュニアドクター育成塾連絡協議会報告)、少子化が深刻となっている中で多くの応募者がいるというのは、「愛媛大学のファン」獲得につながっていると考えられた。多くの受講生が集まっている大きな要因として、2つの取組みによる成果だと考えられた。1つ目は「学外メンター(高校教員)」の取組による高校現場と連携強化である。応募時のアンケート結果によると、応募のきっかけについて「先生に勧められたから」の回答が一番多かった(図3)。この結果からも受講生が多く集まっている要因の一つに、令和4年度から試行、令和5年度から本格的に取り組んでいる、「学外メンター」の制度が大きく貢献していることが示唆された。これまでの高校現場と本事業の連携は、「受講生の募集」「受講生の進捗状況の報告」「成績の通知」「選抜の結果」など「連絡事項」が多くを占めていた。令和4年度より受講生が在籍する学校にはGSC担当教員1名を配置して、これまでの

受講生がプログラムに入った後の「良くも悪くもプログラム任せ」という状況を解消し、高校教員との連携を深めてきた。こうした信頼関係をよりお互いにとって相乗的な効果がもたらせるよう貢献できるような企画を進めた成果だと考えられた。本取組を開始した令和4年度計28名、令和5年度計29名、令和6年度計49名の学外メンターが在籍し、本事業と高校教員とのネットワークの構築が進んでいる。次に2つ目の要因として、「科目等履修生」の取組みが挙げられた。GSC事業1期目においては、募集の段階で選抜(プレチャレンジ)を実施していたが、後継事業以降については募集の段階では選抜をせず、本学の科目履修生として受講生を受け入れた。学校長の推薦書の提出があった全員を愛媛大学の科目等履修生に登録した(6月中旬)。基盤学習については前学期開講の「人間科学入門」(高大接続科目)、展開学習については後学期開講の「現代と科学技術」(高大接続科目)の履修生として登録した。いずれの科目も取得した単位については愛媛大学入学後の卒業要件認定単位として認められており、「人間科学入門」「現代と科学技術」については学校長宛に成績証明書を発行した。「成果をかたちへ」こうした取組は、本プログラムを受講する高校生やサポートする高校教員にとっては成果物として評価されている。その他の点については、応募時にホームページを参考にして生徒が多いこと(図4)、基盤学習の学部横断的に学ぶ取組によって、文系の受講希望者が全体の約3割存在した(図5)。進路選択に本プログラムが受講生にどのような影響を与えるかについても今後検証していきたい。

b. 選抜の実施について

第1段階、第2段階についてはそれぞれの学習に対応した選抜基準を設定し選抜を実施した。第1段階の選抜においては、第0段階「基盤学習」(高大接続科目)の1単位が取得済であることが前提となっている。単位を取得した上で、「研究申請書」を期日までに提出し、SHIN-GS実行委員会で選抜を実施した。第2段階についても「展開学習」(高大接続科目)の1単位が取得済みであること、研究申請書の提出及び課題研究計画発表会で発表することを義務付け、SHIN-GS実行委員会で選抜を実施した。

IV. 実施体制および指導体制について

1. 実施体制について

GSC I期目事業の実施と令和4年度後継事業により、愛媛大学次世代科学人材育成室を中心とした全学実施体制が構築されており、令和6年度からは本学に新たに設置された「次世代人材育成拠点」において、これまでの全学体制を維持し事業を運営し、中高生(次世代人材)の科学技術人材の育成・支援体制の構築を担っている。本プログラムでは各学部から選出された委員で構成された実行委員会を週1回開催し、コーディネータが中心となって進捗状況を報告す

るとともに、委員会内で議論をしてプログラム運営の改善に努めた。実行委員会の進捗状況については実施担当者から次世代科学人材育成室ミーティングで報告した。各年度末に本事業のコンソーシアム委員会を開催し、企画で得られた成果の把握、効果検証の方針や進捗状況を評価していただいた。特に松山大学からは課題研究で受け入れた生徒が入学するといった実績により、学内における本プログラムの存在意義が高まっているとの報告を受けた。

2. 指導体制について

本プログラムでは受講期間を通じてコーディネータが主導となり受講生の指導やメンタルサポートを行っている。コロナ禍により整備されたオンライン設備やノウハウを活かし、「基盤学習」(第0段階)及び「展開学習」(第1段階)は同期型・非同期型を採用し、遠隔地の受講生に対しても配慮した取り組みを継続し、第2段階については居住地の近くで課題研究に取り組めるよう継続して取り組んだ。令和5年度課題研究テーマのうち3つが受講生の居住する地域に特化した研究となった。これまでも愛媛県内においては受講生の居住地近くの研究機関で課題研究を実施するなど事例はあるが、愛媛県外では事例が少ないため、今後受け入れ研究室の増加に努める。発展学習以降の課題研究については、令和5年度実施分までは基本的に本学および連携機関の教職員に指導を依頼し実施した。しかしながら、協力教員が特定の教員に偏らないよう配慮している。そのためにも課題研究受け入れ先の拡充の取組みは必要不可欠である。そのため、学内だけでなく、連携機関及び連携予定の機関についても受入れ研究先としての働きかけを開始した。既に連携機関となっている松山大学薬学部や岡山理科大学獣医学部については課題研究受け入れ先について了承を得ている。松山大学薬学部については、GSC I 期目から後継事業についても受入れ実績があり、修了生が松山大学薬学部に進学するなど本プログラムの存在意義(薬学への興味関心につながることを含め)について課題研究受け入れ教員側からも高い評価が得られた。松山大学薬学部で課題研究を実施した令和4年度課題研究生が松山大学薬学部に入学的たことによって、より一層本プログラムへの協力体制が強化された。岡山理科大学獣医学部については、令和5年度課題研究生を2名受け入れていただくなど課題研究を通じた連携の強化ができた。また愛媛大学内においても、「医農融合公衆衛生学環」所属の教員が新規受け入れ教員となるなど協力体制の拡充、愛媛県(愛媛県農林水産研究所)についても課題研究の助言や現地調査で協力していただけるなど県との連携も課題研究を通じて強化できている。

3. 受講生に対する評価手法の開発と実施

第1次選抜後の評価についてはすべての能力・資質について、本プログラムで開発した「SHIN-GS ルーブリック」

(図6)を用いた。また、第0段階～第二段階受講生を多面的に評価する為、Institution for a Global Society 株式会社が提供している「数理探究アセスメント分析」を用いて受講生に対する2つの評価手法を実施した。

4. SHIN-GS ルーブリックによる評価方法

本事業において、「科学アントレプレナーシップ」「科学的探究力」「異文化適応能力」を育てたい資質能力の大項目に設定している。「科学アントレプレナーシップ」には「地域課題設定」「情報収集」「ポジティブシンキング」「クリティカルシンキング」「役割分担」「リーダーシップ」「研究倫理」を、「科学的探究力」には「内容理解」「実験・観察の状態」「分析・解析」「多面的思考」「表現の適切さ」「総情報化」を、「異文化適応能力」には、「異文化理解」「論理性・一貫性」「わかりやすさ」「コミュニケーション力」「多様性理解」「質疑応答」の19の小観点を設定している。第1段階受講生については「課題研究計画発表会」(展開学習最終回)後に、第二段階受講生については「課題研究成果報告会(修了式)」後において、受講生自身が評価を行った。得られた結果から第一段階受講生と第二段階受講生の育成成果を比較した(図7)。「科学アントレプレナーシップ」については1.2倍、「科学的探究力」については1.3倍、「異文化適応能力」については、1.2倍、第二段階受講生の方が高かった。また全体を通して第二段階受講生の方が第一段階受講生に比べて平均して1.2倍高かったことから、1年間の課題研究期間を通じて本プログラムにより受講生が育成されたことが示唆された。今回、同一の受講生で評価を実施できなかったことから、次年度以降は学習ごとに評価を実施する。

5. 数理探究アセスメント分析による評価方法

SHIN-GS ルーブリック評価による評価方法では、本プログラムに参加し受講している生徒が全国的にどのレベルであるかを比較するのが難しい。そのため、主体的に問題発見を行い、思考を深めながら課題を解決するために有用となるさまざまなフレームワーク(思考法)や理数探究に特化したコンテンツ「数理探究アセスメント」を用いて、第0段階～第三段階受講生計256名を対象資質・能力である「課題設定力」「実験計画力総合レベル」「考察力レベル」「創造性レベル」を定量化した(図8)。4項目について各学習段階の受講生を比較すると、1年間の課題研究期間を経た受講生(R4 発展学習, R4 発展学習第3段階)が全ての項目について高かった。特に「考察力」については、課題研究を開始したばかりの受講生(R5 発展学習)を0.48ポイント上回っており、本プログラムの課題研究期間を通じて科学的素質が育成されたことが考えられた。本事業だけでなく受講生個人個人に受検結果をフィードバックし今後の探究力の向上に役立てていく。こちらについてもSHIN-GS ルーブリック同様に同一の受講生を対象に評価していく。

観点	評価項目	A 大変満足できる	B 十分満足できる	C おおむね満足できる	D 努力を要する	評価理由
α 科学アントレプレナーシップ	1 地域課題設定	A グローバルな視点で自分の研究の意義や特徴を説明でき、英語で表現できる。	B 地域の視点で研究の目的意識や仮説が明確であり、自分の研究の意義や特徴を理解している。	C 地域の視点で研究の目的意識や仮説がおおむね明確にされている。	D 研究の目的意識や仮説が不明確で、表面的な発想から課題が設定されている。	
	2 情報収集	A 国際的なジャーナルについてもよく調べて整理し、研究の位置づけや背景を理解している。	B 国内の先行研究や関連分野についてよく調べて整理し、研究の位置づけや背景を理解している。	C 先行研究や関連分野について調べ、初步的な資料を収集している。	D 先行研究や関連分野について調べていない。	
	3 ポジティブシンキング	A 海外での研究活動に従事するだけの前向きな仮説と検証方法を立案しできる。	B 地域の課題解決に対して前向きな仮説とその検証方法が明確で、設備や安全の面からも十分に研究を実行可能である。	C 仮説かその検証方法のいずれかにおいて不明確な部分があるが、おおむね実行可能である。	D 仮説が不明確で、検証する方法も不明確であり、研究の見通しがたっていない。	
	4 クリティカルシンキング	A グローバルな視点で俯瞰的に振り返り、学問的知識や専門家の意見により正確に対立させ、新たな視点を提示できる。	B 学問的知識や専門家の意見を取り入れ、整理しながら課題を抽出することができる。	C 対立する意見を取り入れ、用語の意味を正しく理解し、シンキングツールを使って考察している。	D 課題を自分流に解釈し、他の意見を取り入れていない。	
	5 役割分担	A 研究者と共同研究が実施できている。	B 大学院生・学生と役割分担ができるほど協働できている。	C 大学院生・学生とおおむね協働できている。	D 大学院生・学生と協働できていない。	
	6 リーダーシップ	A 海外の研究者に意見や成果を伝え、国際共同研究が可能レベルに達している。	B 研究室内等で、緒方案に意見や成果を伝え、他の研究者の意見をくみ取り、目的を共有している。	C 研究室内等で、おおむね目的を共有している。	D 研究室内等で、意見や成果を共有することができていない。	
	7 研究倫理	A 海外の研究倫理や生命倫理についても理解し、国際発表に対応できる配慮ができていいる。	B 研究倫理や生命倫理について理解し、遵守の意識をもって課題設定・研究計画が立てられている。	C 配慮が必要な部分があるが、研究倫理や生命倫理についておおむね理解している。	D 研究倫理や生命倫理についても理解しておらず、意識していない。	
β 科学的探究力	1 内容理解	A 研究テーマや関連分野に関して、英語表記の専門用語が理解できている。	B 研究テーマや関連分野に関して、背景知識が豊富で、高度な内容を理解している。	C 研究テーマや関連分野に関して、背景知識がある程度あり、内容をおおむね理解している。	D 研究テーマや関連分野に関して、背景知識に乏しく、内容を理解できていない部分が多い。	
	2 実験・観察の技能	A 国際発表でできるほど実験・観察や調査等にオリジナリティをもち、厳密な条件コントロールができていいる。	B 実験・観察や調査等の方法や条件コントロールが適切であり、自分なりの創意工夫が見られる。	C 実験・観察や調査等の方法や条件コントロールがおおむね適切にできている。	D 実験・観察や調査等の方法や条件コントロールに適切でない部分が多い。	
	3 分析・解析	A データについては適切な統計処理が行われており、英語表記で図や表等が作成できている。	B 豊富なデータや資料をもとに効果的な分析が行われている。適切な図、表等が作成されている。	C データや資料の分析はほぼ適切である。図、表等についてもおおむね適切に作成されている。	D データや資料の分析に不適切な部分が多い。必要と思われる図、表等が作成されていない。	
	4 多面的思考	A 研究者が見ても論理的飛躍がなく、学術的価値がある考察ができていいる。	B 個々のデータや結果を統合した論理的で独創的な考察ができていいる。	C 個々のデータや結果を踏まえておおむね適切に考察ができていいる。	D 個々のデータや結果を並べただけのもの、あるいは主観的な考察が多い。	
	5 表現の適切さ	A 英語による科学用語や図表、資料が表現でき、ネイティブの研究者が見てもわかる表現になっている。	B 豊富な科学用語や図表、資料が適切に扱われている。	C 科学用語や図表、資料の扱いがおおむね適切である。	D 科学用語や図表、資料の扱いについて、不適切な部分や不統一な部分が多い。	
	6 相乗効果	A 海外の研究者との交流を深め、良い考えや方法を取り入れ、研究を深めている。	B 他の研究室や領域の研究の違いを比較し、良い考えや方法を取り入れ、研究を深めている。	C 他の研究室や領域の研究の違いを比較し、良い考えや方法を見つけようとしている。	D 他の研究室や領域の研究に関心を示さない。	
γ 異文化適応能力	1 異文化理解	A 自己の文化的ルールや偏見について明確に知見を述べることで、異なる文化に、複雑な疑問を持っている。	B 自己の文化的ルールや偏見についての新しい視点を認識し、異なる文化に、より深い疑問を持っており、その答えを探索する。	C 自己の文化的ルールや偏見を見分けており、異なる文化に、単純な、あるいは表面的な疑問を持っている。	D 自己の文化的ルールや偏見をほとんど認識しておらず、異なる文化について学ぶことにほとんど興味を示さない。	
	2 論理性・一貫性	A 英文で論理展開がしっかりしており、説得力がある表現ができていいる。	B 論理展開に優れ、説得力がある。	C 情報不足な箇所があるが、おおむね論理的に一貫している。	D 論理的に飛躍している部分が多く、一貫性に欠ける。	
	3 わかりやすさ	A 研究で明らかにしたことを英語で明確に示しており、海外の研究者に伝わるように発表の内容や方法が工夫されている。	B 研究で明らかにしたことを明確に示しており、発表の内容や方法が工夫されている。	C 研究で明らかにしたことを発表のなかで、おおむね伝えられている。	D 素データや事実の羅列になっており、研究の流れや明らかにしたことが伝わらない部分が多い。	
	4 コミュニケーション力	A 言語及び非言語コミュニケーションに関する文化的な違いについて複合的に理解しており、明確に述べることでいいる。	B 言語及び非言語コミュニケーションに関する文化的な違いを認識し、共通の理解を得るために交渉ができていいる。	C 言語及び非言語コミュニケーションに関する文化的な違いを認識している。	D 言語及び非言語コミュニケーションに関する文化的な違いをほとんど認識していない。	
	5 多様性理解	A グローバルな視点で、多様性の意義が理解でき、さらに具体的な方策を提案できる。	B 集団において年齢、性別、人種、宗教、趣味嗜好などの多様性について説明ができていいる。	C 集団において年齢、性別、人種、宗教、趣味嗜好などの多様性について説明ができていいる。	D 集団において年齢、性別、人種、宗教、趣味嗜好などの多様性について理解できない。	
	6 質疑対応	A 海外の研究者からの質問にも的確に回答できている。	B 質問者の意図を明確に把握し、専門的な質問にも簡潔かつ的確に答えられている。	C 質問と答えが対応していない部分があるが、おおむね質問内容を把握して答えている。	D 無言やあいまいな答えに終始し、質問に答えられていない。	

図 6. SHIN-GS ルーブリック

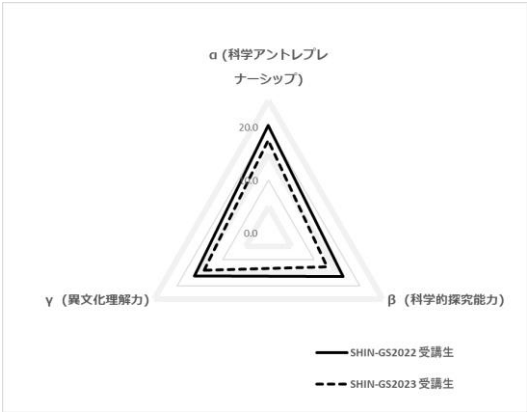


図 7. SHIN-GS ルーブリックによる受講生の育成の評価

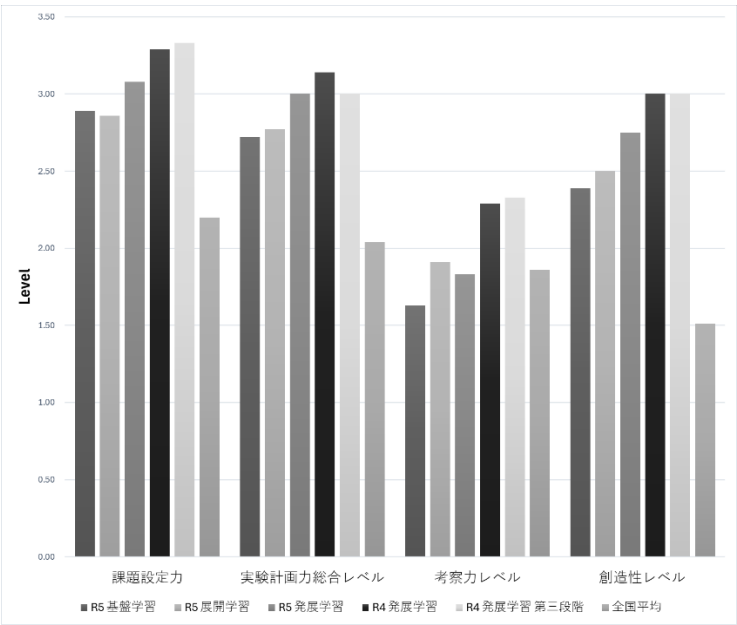


図 8. 数理探究アセスメント分析による評価

V. 地域の波及、独立した事業への発展性について

1. ホームページの活用

本事業のような取組みのノウハウ等の社会への普及・展開

に重要な役割を持つのは、独自の情報発信ツールである。本取り組みでは、タイムリーかつ柔軟な情報発信が可能なホームページ基盤を既に確立した。そのホームページを通じ、下記の取り組みの最新情報を公開することで、本事業で得られたノウハウ等を、四国に限らず、広く社会に普及・展開している。また前述した募集時に本プログラムのホームページが効果的であったことから今後も発信を続ける。

2. 高校教員・高校生の探究活動支援への情報支援

個々の展開学習、発展学習で培ったノウハウを「探究活動支援データベース」として項目毎に整理し、ホームページで公開していく。それにより、高校等で実施する探究活動支援につなげることができる。その際、新たに開発した方法を、可能な限り、論文、紀要等で発表した上で、ホームページ上に公開することで、成果の創出にもつなげることができる。学校教育への普及・展開することで、学部メンターの育成を通じた学校教員の課題研究指導力育成があげられる。SSH校も含めて四国全域に課題研究の指導力育成が拡がれば、地域の課題を解決する人材育成に直結し、地域振興に寄与できると考えられる。

3. 研修会、相談会、交流会等の直接支援

本学では、愛媛県の高校が連携した「えひめサイエンススキルアッププログラム」を既に実施している。「えひめサイエンススキルアッププログラム」で展開学習・発展学習で培ったノウハウを伝え、共有を行うところまでは実施できなかったが、SHIN-GS 実行委員会委員 4 名が数年間継続して「えひめサイエンスチャレンジ」の審査を担当しており、審査や質疑を通じて直接支援できた。

4. 地域の波及、独立した事業への発展性

本事業の実施で得られたノウハウは、次世代人材育成拠点で共有、発展させ、地域のインフォーマル・ノンフォーマル教育への活用を考えている。例えば、地域の自然観察会や科学工作の講座においては、実施担当者や講師の高齢化が進んでおり、継続が難しいという現状がある。また、地方ではリカレントを含む教育に対する価値観が低く、自己投資への意識も低いのが現状である。本事業を通して、ノンフォーマル教育の効果の顕在化を進めながら独立事業として成り立つように発展させていくことも考える必要がある。

5. 高校教員（学外メンター）からの評価

後述する進学先調査に加え、学会発表や各種コンテストの出場実績についても学外メンターである高校教員に記載していただき、受講生が高校で実施している課題研究等の成果についても把握を行った。また、受講生がプログラムを通じて理科・数学に対する学習意欲・能力が高まったかどうか

かについていくつかの設問を設け回答いただいた。

「Q1 受講生が SHIN-GS に参加し、取り組んだことによって理科・数学に対する学習意欲・能力が高まったと思われるか？」(図 9) の回答結果により、第 0 段階の受講生よりも育成期間の長い第 1 段階受講生について、理科・数学に対する学習意欲・能力が高まったと回答があった。また第 1 段階受講生については、「強くそう思う」が 57%、「そう思う」が 43%で否定的な意見は一切なかった。また、第 0 段階で「あまり思わない」や「全く思わない」と回答された受講生については、受講状況が芳しくなく高校教員とプログラムの間に相違はなかった。そのことから本プログラムを継続して受講することによって、理科・数学に対する学習意欲・能力が高まることが実証された。

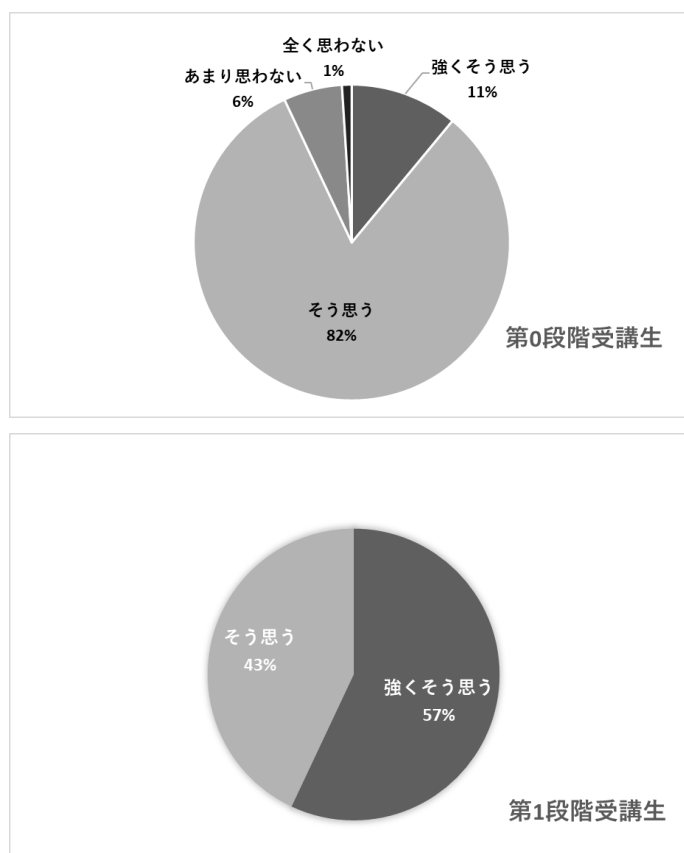


図 9. 受講生がプログラムを通じて理科・数学に対する学習意欲・能力が高まったか

「Q2. 受講生が SHIN-GS に参加して、以下のような理科・数学に関する能力が高まったと思われますか？」について高校教員に対して行った受講生の能力育成の評価に関する回答では、第 0 段階、第 1 段階受講生ともにほとんどの項目で「通常より少し高まった」「通常以上に高まった」と肯定的な回答が得られた(図 9, 10.1, 10.2)。一方で第 0 段階、第 1 段階における「外国語でのコミュニケーション力」については「通常程度しか高まらなかった」と半数の回答があった。国際性付与について、早い段階から取り組む必要があると考えられた。



図 10.1. 高校教員による令和5年度第0段階受講生の能力育成の評価 (令和6年3月実施 N=100)

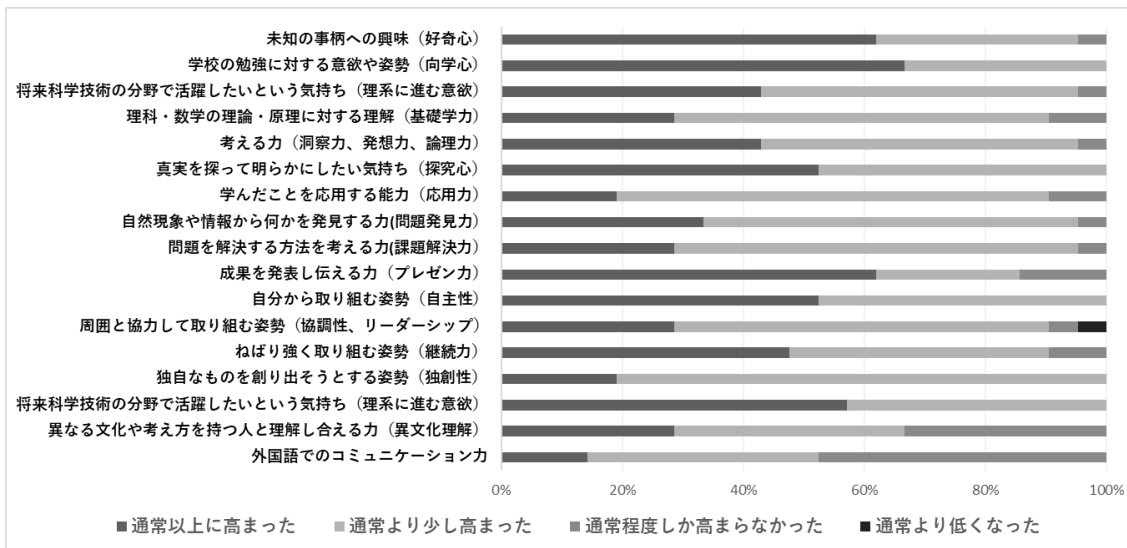
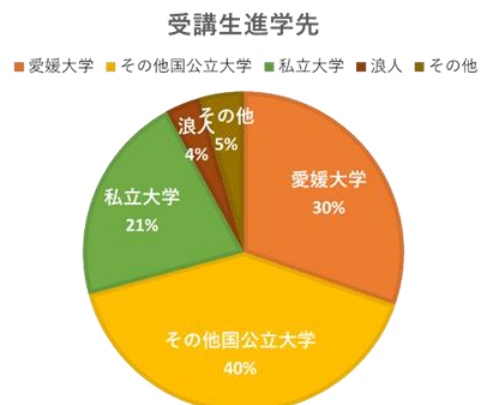


図 10.2. 高校教員による令和5年度第一段階受講生の能力育成の評価 (令和6年3月実施 N=21)

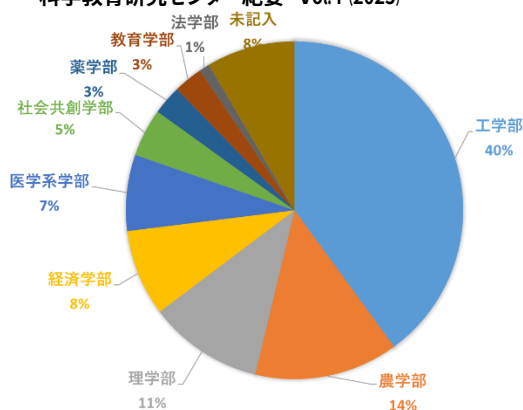
6. 受講生の進路先について

長期にわたる調査となるため、本学における「ジュニアドクター育成塾」や他の高大接続事業を展開している次世代人材育成拠点が本業務を担当する。令和4年度分は回答率80.2%，令和5年度分についても87.4%と2年連続して高い回答率を維持している。この回答率はJSTで同様の事業を実施している機関の平均である6割をはるかに超えている。このことは「学外メンター」制度が浸透している好事例の1つだと考えられた。また、約3～4割が愛媛大学へ進学している為、今後各部局を通じ、受講生リストをもとに追跡調査を実施する。また、今後、取得した単位を他大学で交換した受講生については、進学後の大学において追跡調査を依頼する。愛媛大学や各大学においては、就職先・進学先についても調査を依頼し、その結果についても成果把握調査に含めて、修了生の活躍状況の把握に努める。特に令和5年度の進路調査の結果では、本学に全体の30%，他の国公立大学に40%が進学しており、国公立大学進学に対する強い傾向がみられた(図11.1)。全体の学部別(専門分野別)では工学部が40%，また愛媛大学進学者の50%が工学部に進学しており、本学工学部の入学志願者倍率が下がる中、本プロ

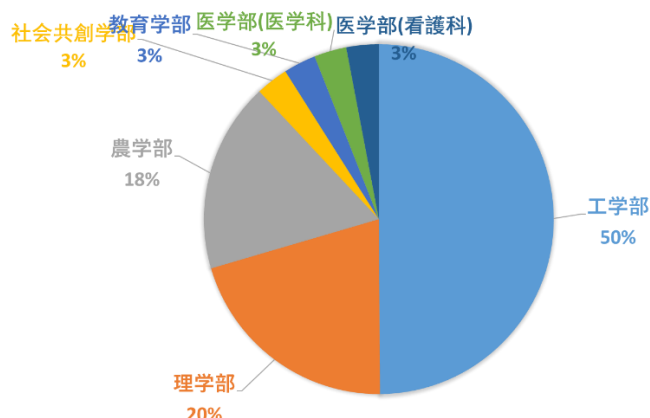
グラムが工学部進学者の増加に大きく貢献していることが考えられ(図11.2, 11.3)。その一因として、本事業がGSC I期目事業より継続して取り組んでいる「愛媛県が一体となり世界基準での科学技術への深い理解を養い、愛媛の資源や産業を基礎にしてグローバルな視点で科学技術にイノベーションを起こす傑出した科学技術人材の育成」の成果だと考えられる。また全体の8割が理系学部進学者であり、理系人材の育成にも本プログラムは貢献していることから、大学入学後も進路調査を継続し実施する。



1. 受講生進学先



2. 受講生進学先（学部別）



3. 愛媛大学入学者の進学先学部別

図 11. 受講生進学先調査

受講生・修了生からは「科学の視野が広がった」「今まで興味があった分野だけでなく、色々な分野に触れる事で多角的な視点を養う事ができるようになった」「この経験はおそらく今後の私の知的活動を支えてくれる」「分野を漠然と捉えていたが、課題研究を通じ進路を変えるインパクト」になったといった声が寄せられた。本学のジュニアドクター育成塾修了生から GSC への接続率は約 100%ということもあり、今後もジュニアドクター育成塾と連携しながら長期的な成果の把握に努めていく。

VI. おわりに

本プログラムの令和 6 年度愛媛大学進学者のうち、科目等履修生として単位を取得するなどした 22 人の入学者があった。本学教員が指導する課題研究、及び高大接続科目履修生として入学した者は 2 名で、本学の第 4 期中期目標に大きく貢献した。前述した、本学における工学部進学者への割合からも本プログラムの本学の存在意義は高く、新しい入学者および志願者確保につながっていることは間違いない。国際的に活躍する多くの科学技術産業を抱える愛媛県にとっても本事業を通じ地域で育てた人材を産官学が連携し早期に本学が確保することは、地域の若手人材の好循環を生み出す可能性が高い。全学体制での実施は 3 年目であるが、本事業の高校生に対する科学技術人材育成事業としての有

効性については、受講生の育成評価の結果や高校教員からのアンケート結果から非常に高かったことが示唆された。本プログラムが学内における 1 つの学部や部局に集中することなく、全学体制での取組みによって地域の高校生に対して幅広い科学領域の学習や課題研究の機会を設けたことが大きい。全学体制で実施することは容易いものではなく、SHIN-GS 実行委員会メンバーによる理解と協力によるものである。

また本プログラムを推進する上で、現場の高校教員の支援は必要不可欠である。本事業と高校教員とのネットワークの構築が進んでいることは追跡調査やアンケートの高い回答率からも、本取組が高校現場に浸透している成果の現れだと考えられた。またこれまでの「高校の課題研究→大学で発展・深化」から「プログラムの研究→高校で波及・共有」の流れを担っていただいている。受講生の活動を理解し支えるのは高校教員であり、本企画で立案した研究テーマを高校へ受講生が持ち帰り、他の生徒にも共有することで研究活動やプログラムの波及効果にもつながる。特に愛媛大学のメインキャンパス（松山市）から離れた地域の受講生にとっては、本取組が地域の特色を活かした課題研究の実施に非常に有効的だった。今後は、本学の次世代人材育成拠点を中心となって、地域で高い意欲能力をもつ生徒に対して発展的な長期探究活動へ移行・育成する体制を整備することが、将来のイノベーションの担い手を早期に発掘・育成につながることを期待される。このことは愛媛県が抱える多様な「地域課題」を、全国に誇る豊富な「地域資源」（地域課題＝地域資源）として活かすことのできる実践的な科学技術人材の育成につながる。人材育成事業というものは、長期に渡って波及していくものであるということを愛媛大学や地域が理解し、受講中だけの一過性のプログラムとせず、修了後の 10 年、20 年という年月をかけて本学が一丸となって支援していきたいと考えている。

謝辞

本事業は国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）次世代科学技術チャレンジプログラム（STELLA）の支援を受けて実施した。

引用文献

加藤晶，林秀則，向平和，高橋亮治（2023）：高校生を対象とした次世代科学技術人材育成プログラムの開発と実践，大学教育実践ジャーナル 22:77-89．

脚注

注 1：四国型次世代科学技術チャレンジプログラム令和 5 年度実施報告書（機関名：愛媛大学）。

注 2：四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）ホームページ（<https://www.ngeneration.ehime-u.ac.jp/eGS/>）

大西佐兵衛『雑題』の現代解について

～第9巻全9問～

Modern solutions for problems in “Zatsudai” by Sahei Onishi

吉岡倅佑^{*3}, 村田幹太^{*1}, 原本博史^{*2}, ○安部利之^{*1}YOSHIOKA Kosuke^{*3}, MURATA Kanta^{*1}, HARAMOTO Hiroshi^{*2}, ABE Toshiyuki^{*1}^{*1} 愛媛大学教育学部^{*2} 愛媛大学データサイエンスセンター^{*3} 愛媛大学教育学部 2024 年度卒^{*1} Faculty of Education, Ehime University^{*2} Center for Data Science, Ehime University^{*1} Faculty of Education, Ehime University, Graduated in 2024

[要約]：愛媛県のと算家大西佐兵衛の編集した『雑題』全 30 巻から、第 9 巻の全問題について解説する。

[キーワード]：和算 (Wasan, Japanese Mathematics), 2 次方程式 (Quadratic Equations), 3 次関数の極値問題 (Extreme Value Problem for a cubic function), 相似 (Similarity), 楕円 (Elliptic curves), デカルトの円定理 (Descartes' Circle Theorem), 課題研究 (Themed Research)

1 はじめに

論文 (吉平他, 2024) では、大西佐兵衛の編集した『雑題』の問題のうち第 10 巻の現代解について紹介したが、今回は第 9 巻の全 9 題について扱う。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。扱う問題については、浅山氏によりまとめられた資料 (浅山, 2019) を基本的に土台としている。この資料では、問題について、問題文、答曰く、術文を現代語に翻訳したものが列挙してある。そのため、和算の問題に初めて取り組む学生でも、少しの経験で問題を理解しその解法を考察することができる。一方で、問題の抜粋や翻訳の段階もしくは原典の段階において、術文と実際の解と齟齬が生じる場合がある。問題に取り組む際には、術文を導出することを目的としてはいるが、その術文が正しいものかどうかの検証も必要である。その検証においては、これまでの数学的知識の確認や術文に惑わされない正確な論証など、現代の数学的問題の解決に必要な力の育成への貴重な機会が提供される。

今回扱う各問題の解説は第 2 節で小節に区切って与えている。なるべく予備知識を想定しないように心がけているが、和算で頻繁に用いられる公式 (補題 2.1) やデカルトの円定理 (補題 2.2) は証明無しで用いている。ここで与えている解法以外にも様々な解法があると思われるが、紙面の関係上、執筆者の一人安部の主観に基づき解法を選択している。そのためわかりにく

い解法もあると思われるが、ご容赦いただきたい。

谷本賢治先生には、原稿に目を通し、有用な指摘をして頂いたことに感謝する。また本論文で扱った問題のいくつかについては、愛媛和算研究会の定例会において、発表の機会を与えて頂いた。問題に取り組み発表した学生達にあたたかなコメントをくださいました方をはじめ、ご参加いただいた方に、この場を借りて御礼申し上げます。

2 現代解の解説 (第 9 巻)

この節では、資料 (浅山, 2019) をもとに、第 9 巻の全問について解説する。第 9 巻については、(谷本, 2023) において、和算解及び算変座標を用いた現代解が紹介されている。ここでは、各問題について、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。

2.1 第 9 巻第 1 問

問題 1. (問題 9-1)

(問題文) 図 1 のように、長 - 平 = 14.7 寸、平 + 高 = 69.3 寸の箱がある。この箱の体積が最大のときの平はいくらか。

(答え) 平 44.1 寸。

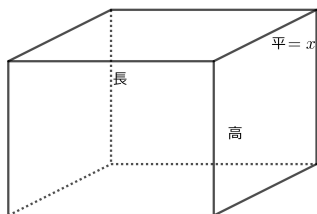


図 1. 問題 9-1 の配置

(術文) 長 - 平 = 又云数, 平 + 高 = 只云数, 只云数 - 又云数 = 極 とする. このとき,

$$\text{平} = \frac{1}{3} \left(\sqrt{\text{極}^2 + 3(\text{只云数} \times \text{又云数})} + \text{極} \right). \quad (2.1)$$

(解法). $x = \text{平}$ とし, $A = \text{長} - \text{平} (> 0)$, $B = \text{平} + \text{高} (> 0)$ とおく. このとき, $\text{長} = x + A$, $\text{高} = B - x$ である. 従って, 箱の体積 V は

$$\begin{aligned} V &= f(x) = x(x + A)(B - x) \\ &= -x^3 + (B - A)x^2 + ABx \end{aligned}$$

で与えられる. この 3 次関数 $f(x)$ の極値問題を考えればよいので, まず $f(x)$ を微分する.

$$f'(x) = -3x^2 + 2(B - A)x + AB.$$

$A, B > 0$ より, $f'(x) = 0$ の判別式は $D/4 = (B - A)^2 + 3AB > 0$ である. よって, 2 次方程式 $f'(x) = 0$ は異なる 2 つの実数解

$$x = \frac{(B - A) \pm \sqrt{(B - A)^2 + 3AB}}{3}$$

を持つ. 従って, x がこの 2 つの値であるとき, 関数 $f(x)$ は極値をとる. 増減表は省略するが, $f(-A) = f(0) = f(B) = 0$ であることと, x^3 の係数が負であることから,

$$x = \frac{(B - A) + \sqrt{(B - A)^2 + 3AB}}{3}$$

で極大であり, この極大値が $0 < x < B$ における $V = f(x)$ の最大値である. よって, 極 = $B - A$ であることより, 術文にある式 (2.1) が求める平の値であることがわかる.

術文の式に具体的な設定値を代入することで, 答えが導かれる. $\square$

補足 1.1. この問題は標準的な 3 次関数の極値問題であり, 数学 II の範囲の内容で解くことができる. 微分法を用いた極値問題の解法については, 和算家達も用いており, 適盡 (てきじん) 法と呼ばれている.

2.2 第 9 巻第 2 問

問題 2. (問題 9-2)

(問題文) 今, 図 2 のように, 直角三角形内に楕円を容れる. 只云う股 17 寸, 長径 9 寸, 短径 5 寸のとき, 勾はいくらか.

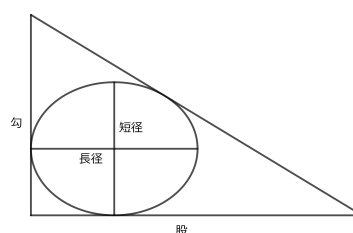


図 2. 問題 9-2 の配置

(答え) 勾 $7\frac{13}{16}$ 寸.

(術文) $(2 \text{ 股} - \text{長径}) \times \text{短径} = \text{実}$ とし,

$$\frac{\text{実}}{2(\text{股} - \text{長径})} = \text{勾}.$$

以下, 座標平面を用いた 2 通りの解法を紹介する. 解法 1 では, x 軸方向に拡大縮小することで, 楕円を円に変形する方法であり, 解法 2 は楕円の方程式を用いる方法である.

(解法 1). 長径 = s , 短径 = t , 勾 = a , 股 = b , 弦 = c とする. また, 直角三角形の左下の頂点の座標を $(0, 0)$, 右下の頂点の座標を $(b, 0)$, もう 1 つの頂点の座標を $(0, a)$ とすることで, 直角三角形を座標平面に配置する. このとき変換 $(x, y) \mapsto (\frac{t}{s}x, y)$ によって, この直角三角形は $(0, 0)$, $(\frac{tb}{s}, 0)$, $(0, a)$ を頂点とする直角三角形に移るが, 内接していた楕円はこの直角三角形に内接する円に移る. この円の直径は t なので, (愛媛の算額, 2017, 補助定理 2) より

$$t = \frac{tb}{s} + a - \sqrt{\frac{t^2 b^2}{s^2} + a^2}.$$

従って

$$\left(\frac{tb}{s} + a - t\right)^2 = \frac{t^2 b^2}{s^2} + a^2$$

であり, 整理すると,

$$2\frac{abt}{s} - 2\frac{bt^2}{s} - 2at + t^2 = 0.$$

これより, $2(b-s)a = t(2b-s)$. 従って,

$$勾 = a = \frac{t(2b-s)}{2(b-s)}$$

が得られる. これが術文の式である. $\square$

(解法 2). (解法 1) のように座標平面に直角三角形を配置する. 簡単のため, $s = 2c$, $t = 2d$ とおく. このとき斜辺を含む直線の方程式は

$$y = -\frac{a}{b}x + a,$$

であり, 楕円の方程式は

$$\frac{(x-c)^2}{c^2} + \frac{(y-d)^2}{d^2} = 1$$

である. この 2 つの 2 次方程式から y を消去し, x について整理すると, $u = \frac{x}{bc}$ の 2 次方程式

$$(a^2c^2 + b^2d^2)u^2 - 2(a^2c + bd^2 - acd)u + (a-d)^2 = 0$$

が得られる. 斜辺は楕円に接しているので, この 2 次方程式は重解をもつ. よってその判別式 $D/4$ は 0 である. 従って,

$$\begin{aligned} \frac{D}{4} &= (a^2c + bd^2 - acd)^2 - (a^2c^2 + b^2d^2)(a-d)^2 \\ &= abd^2(2ac - ab + 2bd - 2cd) = 0 \end{aligned}$$

となる. これを a について解くと

$$a = \frac{(2b-2c)d}{b-2c} = \frac{(2b-s)t}{2(b-s)}$$

が得られる. $\square$

2.3 第 9 巻第 3 問

問題 3. (問題 9-3)

(問題文) 今, 図 3 のように, 大, 小円の接する間に累円を容れる. 只云う, 大円径若干, 小円径若干として, 累円径を得る術を問う.

(答え) 以下の通り.

(術文) 円径の 2 字を略す.

$$\frac{\text{大}}{\text{小}} = \text{極}$$

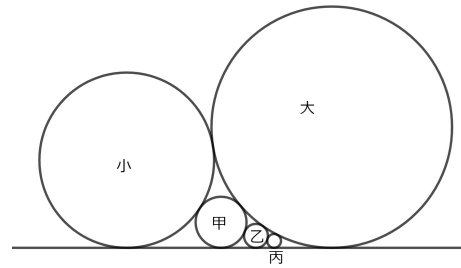


図 3. 問題 9-3 の配置

とし,

$$\frac{\sqrt{4 \text{大} \times \text{小}}}{\text{小}} + (\text{極} + 1) = \text{甲法}$$

$$(2 \text{甲法} + 2) - \text{甲法} = \text{乙法},$$

$$(2 \text{乙法} + 2) - \text{乙法} = \text{丙法},$$

$$(2 \text{丙法} + 2) - \text{丙法} = \text{丁法},$$

...

逐々同様にして各法を求め, 大を通実として,

$$\frac{\text{大}}{\text{甲法}} = \text{甲}, \quad \frac{\text{大}}{\text{乙法}} = \text{乙}, \quad \frac{\text{大}}{\text{丙法}} = \text{丙}, \dots$$

この問題では, 和算においてよく知られている次の補題を用いる. 証明は省略する.

補題 2.1. (愛媛算額, 2017: 補助定理 3) $r, s > 0$ とする. 半径 r, s の 2 つの円が互いに外接しているとする. このとき共通外接線において, 接点間の長さは $2\sqrt{rs}$ である.

(解法). 大円径 (大円の直径) を r , 小円径を s とおく. 大円と小円及びその 1 つの外接線 ℓ で囲まれた部分において, 大円, 小円, 及び接線すべてに接する円を C_1 とし, その直径を t_1 とおく. 以下, n 番目の累円 C_n を, 大円と円 C_{n-1} と接線 ℓ で囲まれた部分において, すべてに接する円として帰納的に定義する. 円 C_n の直径を t_n とおく.

補題 2.1 より, 大円と小円について, ℓ との接点間の長さは $\sqrt{rs}$ であり (直径であることに注意), 同様に大円と C_1 では $\sqrt{rt_1}$, 小円と C_1 では $\sqrt{st_1}$ である. 従って, $\sqrt{rs} = \sqrt{rt_1} + \sqrt{st_1}$ が得られる. この式を $\sqrt{st_1}$ で割れば,

$$\sqrt{\frac{r}{t_1}} = \sqrt{\frac{r}{s}} + 1 \quad (2.2)$$

を得る. 今, 大円径と小円径の比を $u = \frac{r}{s}$ とおく. また, 大円径と円 C_n の直径の比を

$$u_n = \frac{r}{t_n}, \quad n = 1, 2, \dots,$$

とおけば, (2.2) より,

$$\sqrt{u_1} = 1 + \sqrt{u}$$

が成り立つ. 従って,

$$\begin{aligned} u_1 &= \left(1 + \sqrt{\frac{r}{s}}\right)^2 = \frac{\sqrt{4rs}}{s} + \frac{r}{s} + 1 \\ &= \frac{\sqrt{4 \text{ 大 小 }}}{\text{小}} + \text{極} + 1 \end{aligned}$$

である.

次に u_n について考える. 求められているものは, C_n の直径を大円径及び小円径から導く式であるが, C_{n-1} を小円とみなすことで, 数列 $\{\sqrt{u_n}\}$ の漸化式

$$u_0 = u, \quad \sqrt{u_n} = 1 + \sqrt{u_{n-1}}, \quad n \geq 1 \quad (2.3)$$

が得られる. これは初項 $\sqrt{u}$, 公差 1 の等差数列なので, 容易に $\sqrt{u_n} = n + \sqrt{u}$ が成り立つことがわかる. 従って,

$$u_n = (n + \sqrt{u})^2$$

であり,

$$t_n = \frac{r}{(n + \sqrt{u})^2}$$

が得られる. $\square$

補足 3.1. 術文にある「(2 甲法 + 2) - 甲法 = 乙法」では正しい乙法が求まらない. $u = u_1$ が甲法であり, u_2, u_3, u_4 がそれぞれ乙法, 丙法, 丁法に対応している.

2.4 第 9 卷第 4 問

問題 4. (問題 9-4)

(問題文) 今, 図 4 のように, 大小円の両円の間に累円 (その数は分からないが仮に 3 個描く) がある. 大円径若干, 小円径若干, 未円径若干として, 容円数はいくらか.

(答え) 下の通り.

(術文)

$$\sqrt{\frac{\text{大}}{\text{未}}} = \text{定}$$

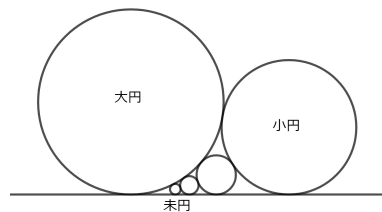


図 4. 問題 9-4 の配置

とする. この時,

$$\text{定} - \sqrt{\frac{\text{大}}{\text{小}}} = \text{容円数}.$$

(解法). 第 3 問より, 未円が n 番目の容円とすれば, 大円径を r , 小円径を s , 未円径を m , とすることで,

$$m = \frac{r}{(n + \sqrt{u})^2}, \quad u = \frac{r}{s}$$

が得られる. よって, 容円数 n は

$$n = \sqrt{\frac{r}{m}} - \sqrt{\frac{r}{s}} \quad (2.4)$$

である. $\square$

補足 4.1. (2.4) の右辺は整数にならないように思われるが, ここでは, 未円径が与えられていることが前提であるので, 右辺は自然数値となる.

2.5 第 9 卷第 5 問

問題 5. (問題 9-5)

(問題文) 今, 図 5 のように, 正方形内を斜で隔て, 甲, 乙, 丙円を容れる. 甲径 + 乙径 + 丙径 + 2 斜 + 方面の六和があるとき, 方面はいくらか.

(答え) 下の通り.

(術文) 方面 = $\frac{\text{六和}}{5}$.

(解法). 方面 = x , 甲円, 乙円, 丙円の直径をそれぞれ R, S, T とし, 図 6 のようにおく. また 斜 = s とし, 図 6 において, $CE = a$, $CF = b$, $EF = c$ とおく. このとき (愛媛算額, 2017: 補助定理 2) より

$$R = x + (x - a) - s = 2x - a - s,$$

$$S = x + (x + b) - (s + c) = 2x + b - c - s.$$

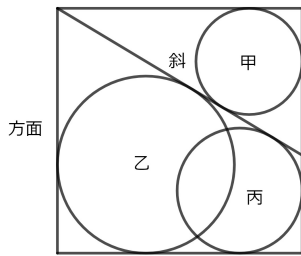


図 5. 問題 9-5 の配置

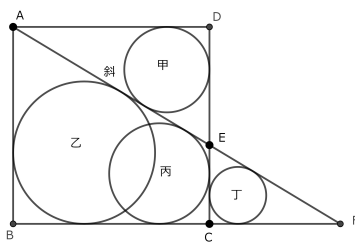


図 6. 問題 9-5 の解法の配置

次に丙円の面積を求める．丁円と EF の接点を P, 丙円と EC の接点を Q とすると, (愛媛算額, 2017: 補助定理 16) より,

$$T = 2CQ = 2EP = a + c - b.$$

以上より,

$$\begin{aligned} \text{六和} &= R + S + T + 2u + x \\ &= 2x - a - u + 2x + b - c - u \\ &\quad + a + c - b + 2u + x \\ &= 5x. \end{aligned}$$

よって術文の式が得られる. $\square$

補足 5.1. この問題は (浅山, 2019) において, 「問題文がなく, 意味がはっきりしません. 略します」と記載があった. 原典 (大西, 不明) においても, 答曰くや術文の記載がなく, 解義が始まっている. その点は (谷本, 2023) で指摘され, 補足されている. 上の, 術文は, 解義の最後の式である.

2.6 第 9 卷第 6 問

問題 6. (問題 9-6)

(問題文) 今, 図 7 のように, 甲と乙の 1 辺が与えられたとき, 戊の 1 辺を求めよ.

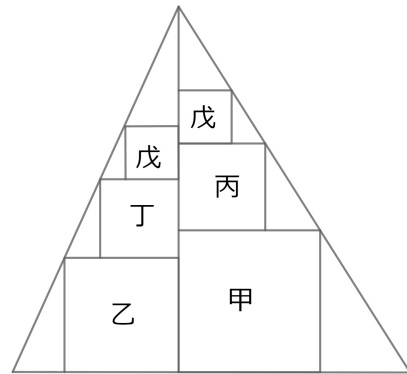


図 7. 問題 9-6 の配置

(答え) 下の通り

(術文) 天 = $\sqrt{\frac{\text{甲}}{\text{乙}}}$, 地 = 天 + 1 とおくと,

$$\text{戊} = \frac{\text{甲}}{(\text{地} - \text{天})^2}. \quad (2.5)$$

(解法). 図 7 では, 次の配置 (図 8) を見出すことができる. この配置において, $\triangle AKJ$, $\triangle AHG$, $\triangle AFD$ は

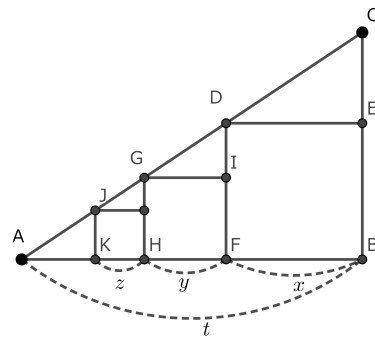


図 8. 問題 9-6 の解法の配置

相似なので,

$$(t - x) : x = (t - x - y) : y = (t - x - y - z) : z.$$

これより,

$$yt = x(t - x), \quad zt = x(t - x - y)$$

が得られる. これから y を消去して,

$$(x - z)t^2 - 2x^2t + x^3 = 0$$

が得られる. この t についての 2 次方程式の解は

$$t = \frac{x^2 \pm x\sqrt{xz}}{x-z} = \frac{x\sqrt{x}(\sqrt{x} \pm \sqrt{z})}{x-z}$$

である. 符号が $-$ の場合は, $t < x$ となり, 不適であり,

$$t = \frac{x\sqrt{x}(\sqrt{x} + \sqrt{z})}{x-z} = \frac{x\sqrt{x}}{\sqrt{x} - \sqrt{z}} \quad (2.6)$$

を得る. ここで, $x_1 = \text{甲}$, $z = \text{戊}$, $t = \text{中}$ とし, (2.6) を適用すると,

$$t = \frac{x_1\sqrt{x_1}}{\sqrt{x_1} - \sqrt{z}}$$

が得られ, $x_2 = \text{乙}$, $z = \text{戊}$, $t = \text{中}$ とし, (2.6) を適用すれば,

$$t = \frac{x_2\sqrt{x_2}}{\sqrt{x_2} - \sqrt{z}}$$

となる. 従って,

$$\frac{x_1\sqrt{x_1}}{\sqrt{x_1} - \sqrt{z}} = \frac{x_2\sqrt{x_2}}{\sqrt{x_2} - \sqrt{z}}$$

が成り立つ. よって,

$$(x_1\sqrt{x_1} - x_2\sqrt{x_2})\sqrt{z} = (x_1 - x_2)\sqrt{x_1x_2}$$

となる. 以上より, $a = \sqrt{\frac{x_1}{x_2}}$ とおけば,

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{z}{x_1}} &= \frac{(x_1 - x_2)\sqrt{x_2}}{x_1\sqrt{x_1} - x_2\sqrt{x_2}} \\ &= \frac{(\sqrt{x_1} + \sqrt{x_2})\sqrt{x_2}}{x_1 + \sqrt{x_1x_2} + x_2} \\ &= \frac{a+1}{a^2+a+1} \\ &= \frac{a+1}{(a+1)^2-a} \\ &= \frac{1}{a+1-\frac{a}{a+1}} \end{aligned}$$

となり両辺を 2 乗し, 更に x_1 をかけることにより,

$$z = \frac{x_1}{(a+1-\frac{a}{a+1})^2}$$

が得られる. 天 $= a$, 地 $= a+1$ より, これが求める (2.5) であることがわかる. $\square$

補足 6.1. (浅山 : 2019) では, この問題について「問題文がないので略します」と記載があったが, 原典 (大西, 不明) をあたることで, 問題, 答え, 術文を得た.

補足 6.2. この問題の解法は, 3 角形の相似と 2 次方程式のみで得られている. しかし, 2 次方程式の解のうち一方のみが適していることに気付くことが少し難しいと思われる. 和算解では, このような吟味をせずに, 当然のように適解を選択している.

2.7 第 9 巻第 7 問

問題 7. (問題 9-7)

(問題文) 今, 図 9 のように, 円内を斜で隔て, 4 円を容れる. 乙円径 4 寸, 丙円径 3 寸のとき, 丁円径 1 寸のとき, 甲円径はいくらか.

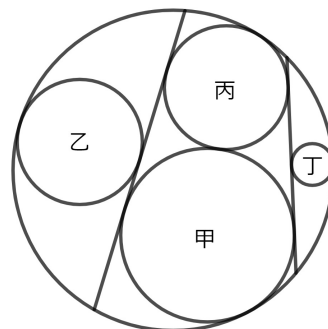


図 9. 問題 9-7 の配置

(答え) 甲円径 6 寸.

(術文) 円径を略す.

$$\frac{\text{丙}}{\frac{\text{丙}}{\sqrt{\text{乙} \times \text{丁}}} - 1} = \text{甲円径}.$$

補足 7.1. 乙円と丁円は, 共通外接線と外円と甲円, 丙円の無い部分で接しているもののうち直径が最大になるものである. 従って, それぞれの円と共通外接線との接点はちょうど外円と共通外接線との 2 つの交点の中点である.

(解法). 外円の半径を R , 甲円, 丙円の半径を r, s とする. 甲円, 丙円の 1 つの共通外接線と外円の中心 O との距離を t とする. また共通外接線と甲円, 丙円とのそれぞれの接点の間の距離を ℓ とする. このとき

$$\begin{aligned} \ell &= \sqrt{(R-r)^2 - (r-t)^2} \\ &\quad + \sqrt{(R-s)^2 - (s-t)^2}. \end{aligned}$$

甲円と丙円は接しているため, 補題 2.1 より, $\ell = 2\sqrt{rs}$ である. よって,

$$\begin{aligned} 2\sqrt{rs} &= \sqrt{R^2 - 2(R-t)r - t^2} + \sqrt{R^2 - 2(R-t)s - t^2}. \end{aligned}$$

また、この式の逆数をとって、

$$\begin{aligned} & \frac{(R-t)(s-r)}{\sqrt{rs}} \\ &= \sqrt{R^2 - 2(R-t)r - t^2} - \sqrt{R^2 - 2(R-t)s - t^2}. \end{aligned}$$

従って、

$$\begin{aligned} & \sqrt{R^2 - 2(R-t)r - t^2} \\ &= \frac{1}{2} \left(2\sqrt{rs} + \frac{(R-t)(s-r)}{\sqrt{rs}} \right). \end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned} R^2 - 2(R-t)r - t^2 &= rs + (R-t)(s-r) \\ &+ \frac{(R-t)^2(s-r)^2}{4rs}. \end{aligned}$$

整理すると、

$$\frac{(r+s)^2}{4rs}(R-t)^2 + (2R-r-s)(R-t) + rs = 0.$$

$X = R - t$ とおけば、 X は、2 次方程式

$$X^2 + \frac{4rs(2R-r-s)}{(r+s)^2}X + \frac{4r^2s^2}{(r+s)^2} = 0 \quad (2.7)$$

の解である。今、 t はひとつの共通外接線を固定したときの、外円と共通外接線との距離なので、2 つある共通外接線各々に対し t が定まる。そしてそれらの t に対し、 $R - t$ は、乙円の直径 (乙と書く) と丁円径の直径 (丁と書く) であることがわかる。従って、乙、丁は方程式 (2.7) の 2 つの解である。

特に、解と係数の関係より、

$$\text{乙丁} = \frac{4r^2s^2}{(r+s)^2}$$

である。従って、 $\sqrt{\text{乙丁}}(\text{甲} + \text{丙}) = \text{甲丙}$ が得られ、これを甲についてとくと、

$$\text{甲} = \frac{\sqrt{\text{乙丁}}\text{丙}}{\text{丙} - \sqrt{\text{乙丁}}} = \frac{\text{丙}}{\frac{\text{丙}}{\sqrt{\text{乙丁}}} - 1}$$

を得る。 $\square$

補足 7.2. この問題は神壁算法上巻 P45(藤田 1807)にある問題である。

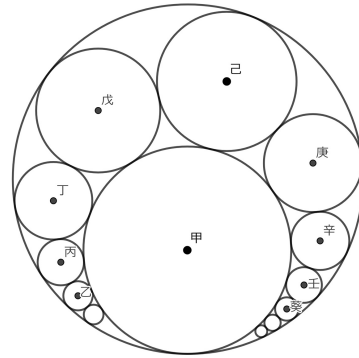


図 10. 問題 9-8 の配置

2.8 第 9 卷第 8 問

問題 8. (問題 9-8)

(問題文) 今、図 10 のように、円内に累円を容れる。只云う、外円径若干、甲円径若干、乙円径若干とし、累円径を得る術を問う。

(答え) 下の通り。

(術文) $\frac{\text{外}}{\text{甲乙}} = \text{天}$, $\frac{\text{外}}{\text{甲}} = \text{地}$ とし、

$$\sqrt{4 \left(\frac{\text{外}^2}{\text{甲乙}} - (\text{天} + \text{地}) \right)} + 1 = \text{人},$$

$$2(\text{地} - 1) = \text{増率},$$

$$\text{天} + \text{地} - \text{人} = \text{丙径法},$$

$$2 \text{ 丙径法} + \text{増率} - \text{天} = \text{丁径法},$$

$$2 \text{ 丁径法} + \text{増率} - \text{丙径法} = \text{戊径法},$$

$$2 \text{ 戊径法} + \text{増率} - \text{丁径法} = \text{己径法},$$

...

逐次、同様にして各法を求め、

$$\frac{\text{外径}}{\text{各法}} = \text{各円径}.$$

補足 8.1. (浅山, 2017) では、

$$\sqrt{4 \left(\left(\frac{\text{外}}{\text{甲乙}} \right)^2 - (\text{天} + \text{地}) \right)} + 1 = \text{人},$$

とあるが、正しくは、

$$\sqrt{4 \left(\frac{\text{外}^2}{\text{甲乙}} - (\text{天} + \text{地}) \right)} + 1 = \text{人},$$

である。

ここではデカルトの円定理を用いた解法を与える．デカルトの円定理の証明は省略する．

補題 2.2. 図 11 において，円 A, B, C, O の半径をそれぞれ， a, b, c, R とおく．このとき，

$$\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} - \frac{1}{R}\right)^2 = 2\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} + \frac{1}{R^2}\right).$$

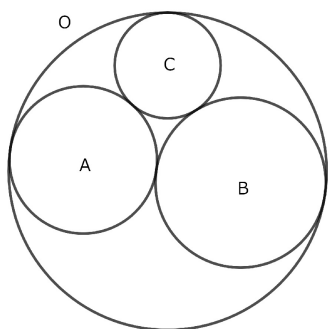


図 11. デカルトの円定理の配置

(解法)．補題 2.2 を $\frac{1}{c}$ に関する 2 次方程式と考えると，

$$\begin{aligned} \frac{1}{c^2} - 2\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{R}\right)\frac{1}{c} \\ + 2\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{R^2}\right) - \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{R}\right)^2 = 0. \end{aligned}$$

よって，

$$\begin{aligned} \frac{1}{c} &= \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{R}\right) \\ &\pm \sqrt{2\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{R}\right)^2 - 2\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{R^2}\right)} \\ &= \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{R}\right) \pm 2\sqrt{\left(\frac{1}{ab} - \frac{1}{aR} - \frac{1}{bR}\right)}. \end{aligned}$$

従って，両辺に R をかけると，

$$\frac{R}{c} = \left(\frac{R}{a} + \frac{R}{b} - 1\right) \pm 2\sqrt{\left(\frac{R}{a} - 1\right)\left(\frac{R}{b} - 1\right)} - 1$$

が得られる．ここで， $A = \frac{R}{a} - 1, B = \frac{R}{b} - 1, C = \frac{R}{c} - 1$ とおけば，

$$C = A + B \pm 2\sqrt{AB} - 1$$

となることがわかる．この符号の違いは，図 11 において， A, B, O に接する円は C ともう 1 つあることに起因する．

今，甲円を O_0 ，外円を O_∞ とし，壘円を $O_n, n \in \mathbb{Z}$ とおく．このとき，図 11 において，円 $A = O_0, B = O_n, O = O_\infty$ と考えると，円 O_{n+1} の半径が

$$\frac{R}{r_{n+1}} = \left(\frac{R}{a} + \frac{R}{r_n} - 1\right) - 2\sqrt{\left(\frac{R}{a} - 1\right)\left(\frac{R}{r_n} - 1\right)} - 1$$

で定まっているとすれば，円 O_{n-1} の半径が

$$\frac{R}{r_{n-1}} = \left(\frac{R}{a} + \frac{R}{r_n} - 1\right) + 2\sqrt{\left(\frac{R}{a} - 1\right)\left(\frac{R}{r_n} - 1\right)} - 1$$

であることがわかる．従って，辺々足すことで，3 項間漸化式

$$\frac{R}{r_{n+1}} - 2\frac{R}{r_n} + \frac{R}{r_{n-1}} = 2\left(\frac{R}{a} - 1\right), \quad n \in \mathbb{Z} \quad (2.8)$$

が得られ，これが術文の各法に関する式を与えている．実際に，図 10 において， O_0 を乙円， O_1 を丙円と順次定めると，各円径法はこの漸化式によって，順次計算できる．

また，仮定より，

$$\frac{R}{r_2} = \frac{R}{a} + \frac{R}{b} - 1 - 2\sqrt{\left(\frac{R}{a} - 1\right)\left(\frac{R}{b} - 1\right)} - 1$$

であるが，術文では， $\frac{R}{b}$ = 天， $\frac{R}{a}$ = 地， $2(\frac{R}{a} - 1)$ = 増率， $\frac{R}{b}$ = 丙径法，

$$1 + 2\sqrt{\frac{R^2}{ab} - \frac{R}{a} - \frac{R}{b}} = \text{人}$$

に対応している．

□

補足 8.2. (谷本, 2023) では，(平田, 2022) に沿って算変座標を用いた解法を与えている．

補足 8.3. 3 項間漸化式 (2.8) において， $u_n = \frac{R}{r_n} - \frac{R}{r_{n-1}}, n \geq 2$ とおけば， $u_{n+1} = u_n + 2(\frac{R}{a} - 1)$ となり，数列 (u_n) は等差数列である．よって，一般項 $\frac{R}{r_n}$ は具体的に求めることができる．ただ，ここでは一般項は明示しない．

2.9 第 9 巻第 5.5 問

問題 9. (問題 9-5.5)

(問題文) 今，図 12 のように，全円弧内に甲円，乙円，丙円，丁円を入れる．全円径，甲円径，矢が若干のとき，乙円径，丙円径，丁円径を得る術を問う．

(答え) 下の通り．

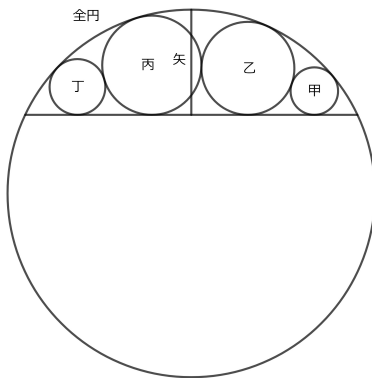


図 12. 問題 9-5.5 の配置

(術文) 全 - 矢 = 天, 全 + 矢 = 地, $2\frac{\text{地}}{\text{天}}$ = 因法,

$$\sqrt{\text{全}(\text{矢} - \text{甲})} = \text{商}$$

とする.

$$\frac{\text{天}}{\text{甲}} = \text{甲法}, \quad \frac{\text{地}}{\text{甲}} - \frac{2 \text{商}}{\text{甲}} - 1 = \text{乙法},$$

$$\text{因法} \times \text{乙法} - \text{甲法} - 2 = \text{丙法},$$

$$\text{因法} \times \text{丙法} - \text{乙法} - 2 = \text{丁法}$$

とする.

$$\text{乙} = \frac{\text{天}}{\text{乙法}}, \quad \text{丙} = \frac{\text{天}}{\text{丙法}}, \quad \text{丁} = \frac{\text{天}}{\text{丁法}}.$$

(解法). 全円の半径を R とし, 矢 $= \gamma$ とする. 問題設定と合わせるため, $\gamma < R$ と仮定する. この問題では, 初等幾何的に解こうとすると, 全円の中心と弦と弧に接する円 (甲円や乙円等) の中心の位置関係で場合分けとなる. その場合分けを明示するために, 座標空間で考える. 弦を含む直線を x 軸とし, 全円は x 軸と, $(\pm\sqrt{R^2 - (R - \gamma)^2}, 0)$ で交わっているとする. また全円の中心は y 軸上の点 $(0, \gamma - R)$, $\gamma - R < 0$ にあるとする.

以下, 術文を導くための解説をする. そのために乙円から出発する. 乙円の中心を (s_0, t_0) , $t_0 > 0$ と, 甲円, 丙円の中心をそれぞれ (s_{-1}, t_{-1}) , (s_1, t_1) とする. ここで, $s_1 < s_0 < s_{-1}$ としておく.

甲, 乙, 丙円それぞれはこの順で接しており, 全て x 軸に接しているので, 補題 2.1 より,

$$s_{-1} - s_0 = 2\sqrt{t_{-1}t_0}, \quad s_0 - s_1 = 2\sqrt{t_0t_1}$$

が成り立つ. よって,

$$s_{-1} = s_0 + 2\sqrt{t_{-1}t_0}, \quad s_1 = s_0 - 2\sqrt{t_1t_0} \quad (2.9)$$

である.

またすべて全円にも接しているので,

$$s_i^2 + (t_i + R - \gamma)^2 = (R - t_i)^2$$

が得られ,

$$s_i^2 = (\gamma - 2t_i)(2R - \gamma), \quad i = -1, 0, 1 \quad (2.10)$$

を得る. ここで, 乙円と丙円に固定して考えると,

$$(s_0^2 - 2\sqrt{t_0t_1})^2 = s_1^2 = (\gamma - 2t_1)(2R - \gamma) \quad (2.11)$$

となり, $\sqrt{t_1}$ の方程式として整理すると

$$(2t_0 + 2R - \gamma)\sqrt{t_1}^2 - 2\sqrt{t_0t_1}s_0 - t_0(2R - \gamma) = 0 \quad (2.12)$$

となる. この $\sqrt{t_1}$ の 2 次方程式としての判別式は

$$\begin{aligned} D/4 &= t_0s_0^2 + t_0(2R - \gamma)(2t_0 + 2R - \gamma) \\ &= t_0(\gamma - 2t_0)(2R - \gamma) + t_0(2R - \gamma)(2t_0 + 2R - \gamma) \\ &= 2Rt_0(2R - \gamma) \end{aligned}$$

である. 以上より,

$$\sqrt{t_1} = \frac{\sqrt{t_0}s_0 \pm \sqrt{2Rt_0(2R - \gamma)}}{2t_0 + 2R - \gamma}.$$

ここで, s_0 の符号を

$$\varepsilon_0 = \begin{cases} 1 & s_0 > 0, \\ 0 & s_0 = 0, \\ -1 & s_0 < 0 \end{cases}$$

によって定めると, $s_0 = \varepsilon_0\sqrt{(\gamma - 2t_0)(2R - \gamma)}$ となるので, $2R > \gamma - 2t_0$ に注意すると,

$$\begin{aligned} \sqrt{t_1} &= \frac{\sqrt{t_0(2R - \gamma)}(\varepsilon_0\sqrt{\gamma - 2t_0} + \sqrt{2R})}{2t_0 + 2R - \gamma} \\ &= \frac{\sqrt{t_0(2R - \gamma)}(\varepsilon_0\sqrt{\gamma - 2t_0} + \sqrt{2R})}{(\sqrt{2R} + \sqrt{\gamma - 2t_0})(\sqrt{2R} - \sqrt{\gamma - 2t_0})} \\ &= \frac{\sqrt{t_0(2R - \gamma)}}{\sqrt{2R} - \varepsilon_0\sqrt{\gamma - 2t_0}}. \end{aligned}$$

次に乙円と甲円に固定して考えると, 上記と議論で乙円と丙円を入れ替えた議論ができる. このときの違

いは, (2.9) における $2\sqrt{t_0 t_1}$ の前の符号だけであり, そのことに注意すれば,

$$\sqrt{t_{-1}} = \frac{\sqrt{t_0(2R-\gamma)}}{\sqrt{2R+\varepsilon_0}\sqrt{\gamma-2t_0}}.$$

となることがわかる.

最後に,

$$\sqrt{\frac{2R-\gamma}{t_{\pm 1}}} = \sqrt{\frac{2R}{t_0}} \mp \varepsilon_0 \sqrt{\frac{\gamma-2t_0}{t_0}}$$

であり, 両辺を 2 乗して,

$$\frac{2R-\gamma}{t_{\pm 1}} = \frac{2R+\gamma-2t_0}{t_0} \mp 2\varepsilon_0 \frac{\sqrt{2R(\gamma-2t_0)}}{t_0}$$

が得られる. これより,

$$\frac{2R-\gamma}{2t_1} + \frac{2R-\gamma}{2t_{-1}} = 2\frac{2R+\gamma}{2t_0} - 2 \quad (2.13)$$

が成り立つことがわかる.

ここで, 文字に置き換えれば, $2R = \text{全}$, $\gamma = \text{矢}$ である. 従って, $2R-\gamma = \text{天}$, $2R+\gamma = \text{地}$, $2\frac{2R+\gamma}{2R-\gamma} = \text{因法}$, $\sqrt{2R(\gamma-2t_{-1})} = \text{商}$ であり, $\frac{2R-\gamma}{2t_0}$ が乙法, $\frac{2R-\gamma}{2t_{-1}}$ が甲法, $\frac{2R-\gamma}{2t_1}$ が丙法である. よって,

$$\text{甲法} + \text{丙法} = \text{因法} \times \text{乙法} - 2$$

となり, 術文の式が得られる.

以上の議論では, s_0 の符号は限定しなかった. それは, 丙円の中心を (s_0, t_0) , とし, 丁円の中心を (s_1, t_1) , 乙円の中心を (s_{-1}, t_{-1}) として同様の議論をするためである. そうすると, s_0 の符号にかかわらず, (2.13) が成り立ち, 術文の式

$$\text{乙法} + \text{丁法} = \text{因法} \times \text{丙法} - 2$$

が得られることがわかる. $\square$

補足 9.1. (谷本, 2023) で指摘されているように, この問題は, 原典 (大西, 不明) では, (浅山, 2017) の問題 9-5 と 問題 9-6 の間にある問題である. ただ, 問題文, 答曰く, 術文の記載がなく, 解義のみが記載されている. (谷本, 2023) では, 問題文, 答曰く, 術文を推測し, 記載しており, ここではその記述に従った. 問題番号は, (浅山, 2017) に合わせるために, 問題 9-5.5 として設定しているが, 追加の問題ということで, 最後に解説を与えた.

3 終わりに

本論文では, 2023 年 7 月 30 日に開催の第 49 回愛媛和算研究会の定例会において発表した解法を含めた形でまとめている. 今回紹介した問題は, 雑題の第 9 巻の全 9 問であるが, すべての問題の解説を作成することにより多くの時間が必要であったため, 第 10 巻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, その成果も公表する予定であるが, 継続して紹介したいと考えている.

今回取り組みの結果, 今回取り上げたほとんどの問題について高等学校までの知識で対応可能であると考えられる. その意味では, 問題の数値や設定を変えれば, そのまま高等学校までの教材に使用することも可能であり, 本論文が 1 つの教材のヒントとなることを期待したい.

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). 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.

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): 『雑題』巻九～巻十を読む [第 6 回], 第 49 回愛媛和算研究会発表資料.

沖本貫成, 吉岡倅佑, 村田幹太, 吉平善晴, 保木隆之介 (2023): 「雑題」7-1, 9-1, 9-3, 10-2, 10-5 の現代解, 第 49 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.

Current situation of recognition of twice exceptional (2E) children by teachers in charge of special support for children enrolled in regular classes and parents of children with developmental disabilities

Kosuke NAKANO^{*1}, Mayuka WATANABE^{*1}

^{*1}Faculty of Education, Ehime University

Abstract

This study asked teachers who routinely work with children with developmental disabilities about their experience with so-called 2E children, who have both developmental disabilities and giftedness, and at the same time surveyed parents of children with developmental disabilities about whether they recognized that their children were gifted or not. The results showed that about half of the professional teachers surveyed had experience with 2E children, and about half of the parents' responses indicated that they recognized that their children were gifted. In both surveys, ASD children were significantly more common in the cases of 2E children who were identified. Both teachers and parents expressed a desire for more flexible educational opportunities that would allow for the development of giftedness, and a desire for increased recognition and support systems at school and in the real world.

Keywords: 2E children, developmental disabilities, gifted, Autism Spectrum Disorder

Introduction

A new system of education for children with disabilities in Japan was established under the name of “special support education” as a result of a legal revision in 2006. The purpose of this system is to provide an individualized and optimized education based on the characteristics of each child who needs support. As a result of the reforms, children with so-called developmental disabilities such as ADHD, LD, and ASD without intellectual disabilities, which had not been officially recognized as disabilities in the previous education system for children with disabilities, were recognized as the main target of support. The government has also positioned the promotion of inclusive education as a top priority, and has decided to strengthen measures for children in need of support who are enrolled in regular classrooms. In fact, according to a 2022 the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) survey, approximately 8.8% of children with developmental disabilities are enrolled in regular classes in Japan (2022, MEXT), making the promotion of inclusive education in regular classes, including universal design of classes, an urgent task.

On the other hand, it has long been known that some children are uniquely gifted, and it has been pointed out that they deserve an individualized education (Renzulli, 1977). And while some children with exceptionalities may be too intellectually gifted in certain areas, they are also known to be relatively maladjusted to the educational environment of their age group (2010, Sumida). For this reason, some countries and regions take measures such as “early learning” by allowing children to enroll or take courses beyond their original grade level, or by taking them out individually and providing them with a different menu of education. In 2021, MEXT recommended the need for educational support for gifted children at the “Expert Committee on the Way of Guidance and Support in Schools for Students with Unique Talents in Specific Fields” (2021, MEXT), but in Japanese public education, the educational system to develop exceptional talent However, the current situation is that the educational system for developing exceptional talent has not yet been established in Japanese public education.

It has long been recognized that there are a small number of gifted children who are not only exceptionally gifted, but also have developmental disabilities such as learning difficulties, hyperactivity and

impulsivity, and interpersonal difficulties (Baum, 1983) (Baum, Owen, 1988). Of course, there are often cases in which developmentally disabled children are discovered to have a combination of talents that would make them gifted children. Such children with both exceptionalities and developmental disabilities are called twice exceptional (2E) children, and are characterized by the need for both educational support as gifted children and support for the challenges caused by their developmental disability characteristics (Cooper et.al, 2004) (Gilman BJ, 2004) (Gilman BJ. et.al, 2013). Despite the fact that support systems for either characteristic are still developing, it is believed that there is insufficient awareness among teachers and other stakeholders regarding 2E in the first place.

Objectives

In Japan, there is a form of “classroom instruction” in which children with disabilities who are enrolled in regular classes attend a separate classroom for about one session per week, where a special teacher for special needs education provides individualized instruction. This system is hereafter referred to as a “resource room. Since the inception of special support education, the number of children using resource rooms has increased rapidly in line with the growing recognition of developmental disabilities. In this study, we will survey teachers in charge of resource rooms to find out how many children with both giftedness and developmental disabilities they have worked with. In parallel, parents of children with developmental disabilities will be asked whether their children have exceptional talents, and if so, what kind of talents and abilities they have. The purpose of this study is to compare the differences in the cognitive realities of the two groups.

Questionnaire Survey

1. Survey of teachers in charge of resource rooms

A questionnaire created by google form was sent to 24 teachers in charge of resource rooms at elementary and junior high schools in A City, via a QR code sent through the schools, and we asked them to answer the questions. The questions are shown in Table 1.

Table 1: Questions for Teachers

QT1	Years in charge of resource room
QT2	Number of 2E children
QT3	Types of Disability
QT4	Types of Talents
QT5	Specific Details
QT6	Education conducted
QT7	Ideal education:Support room
QT8	Ideal education:Whole school

2. Survey of parents of children with developmental disabilities

A questionnaire created with google form was sent to members of a family association for developmentally disabled children in B Prefecture through a representative via e-mail for members. Although it was difficult to ascertain the number of family members who could receive the e-mail, it was expected to be in the dozens. The questions are shown in Table 2.

Table 2: Questions for Parents

QP1	2E or not
QP2	Types of Disability
QP3	Types of Talents
QP4	Specific Details
QP5	Education conducted outside of school
QP6	Education conducted at schools
QP7	Education expected from school
QP8	System you want for your children
QP9	Ideal education:School
QP10	Preferred Support System

Results

1. Results of survey of resource room teachers

The survey was distributed to 24 respondents, and responses were received from a total of 21. The response rate was 87.5%.

Figure 1 shows the results of the number of teachers by years of experience in the QT1 resource room.

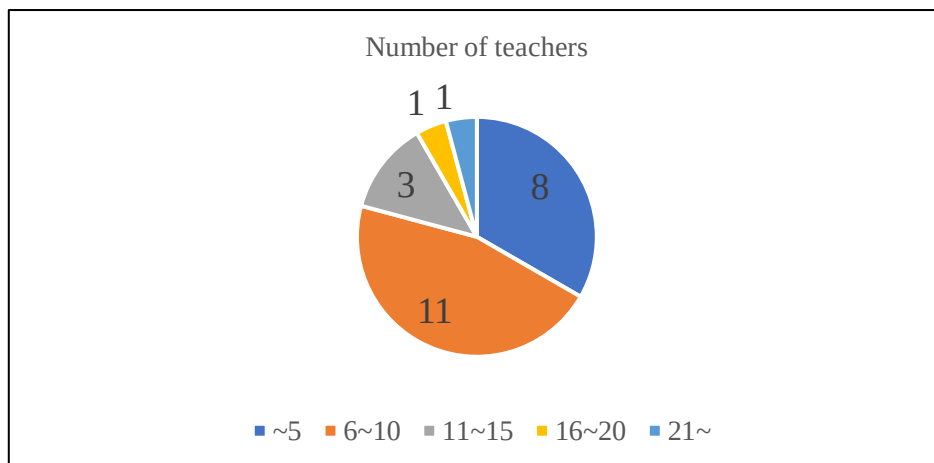


Figure 1: years of experience in resource room

QT2 Figure 2 shows the results of the number of children assigned with special talents.

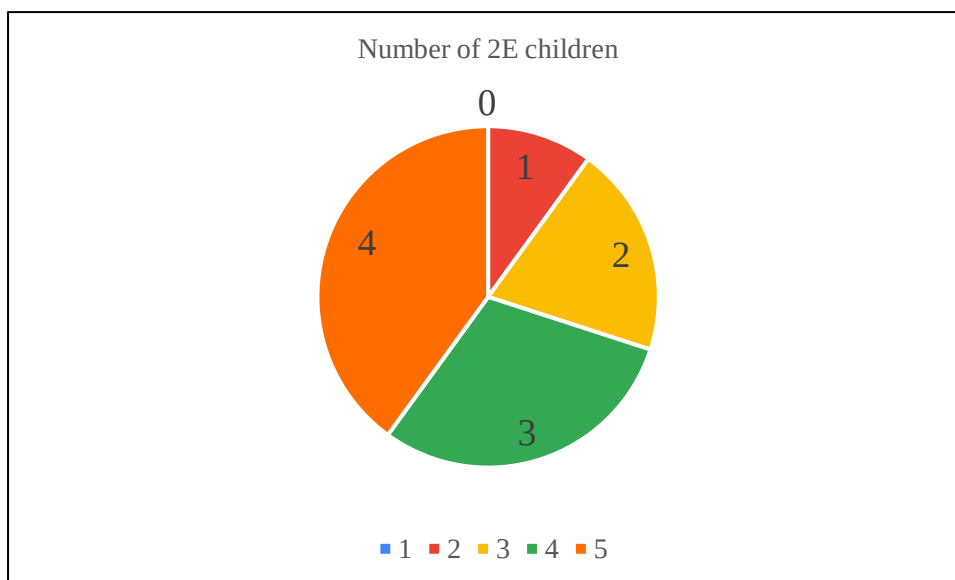


Figure 2: Number of children assigned with special talents

QT3-QT6 Table 3 shows the disability types of gifted children, areas of giftedness, appearance, and results of education provided at school.

Table 3: types of disability, types of talents, specific details, and education conducted at school before

No	Types of Disability	Types of Talents	Specific Details	Education conducted
1	ASD	Knowledge of interests	Train and car types	Learning letters by vehicle name
2	ASD,LD	Knowledge of interests	World history and international affairs	Asked about history and praised it.
3	ASD	Nonspecific memory	Memorize all conversations and statements	support sort out excessive memories
4	LD	Knowledge of interests	International affairs news	Listening and knowledge addition support
5	ASD	Arts Related	Painting ability	Design-related career support
6	ASD	Arts Related	Painting ability	Use pictures for communication
7	ASD	Arts Related	Crafting ability	Opportunities to teach other students
8	ASD	Arts Related	Painting ability	Art classes according to his wishes.
9	ASD	Knowledge of interests	History	Creation of historical illustrated book
10	ASD,ADHD	Science	Solutions and chemical reactions	Internet learning and presentation
11	ADHD	Science	Biology	Creation of illustrated book
12	ADHD	Science	Water creatures	Production of aquariums
13	ADHD	Knowledge of interests	World Geography and Flags	Used to motivate another study

QT7 and QT8 Table 4 shows the ideal teaching outcomes that teachers would like to achieve in the resource room and throughout the school.

Table 4: Ideal teaching that teachers would like to do in the resource room and throughout the school.

Resource room	Whole school
Develop the talents	Enabling education tailored to individual characteristics
Increase self-esteem	Collaboration with external experts such as universities
Dealing with Difficulties	Dealing with Difficulties
Communication and SST	Allowing children to choose what they want to learn
Monitoring and dialogue	Environment that respects diversity
	Allowing students to skip grades
	Expanding school options

2. Results of a survey of parents of children with developmental disabilities

Twenty-seven respondents responded to the survey, but the response rate is unknown because the number of respondents who received the survey e-mail cannot be ascertained.

Figure 3 shows the results of QP1, “Do you think your child has a special talent, and how many is it?”

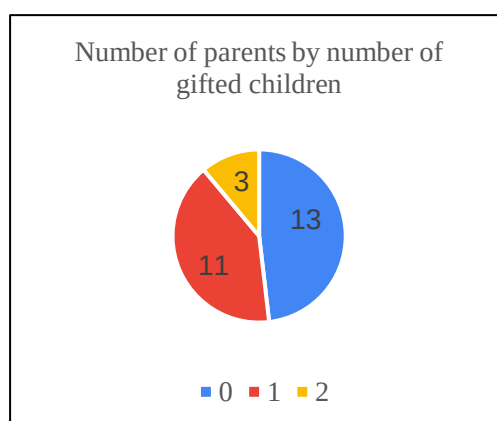


Figure 3: Results of 27 parents asked about the number of gifted children.

QP2-QP8 Table 5 shows the results of parents' responses regarding their own children's talents.

Table 5: Results of Parents' Responses Regarding Their Child's Talents

No	Types of Disability	Types of Talents	Specific Details	Education conducted	Education conducted at schools	Education expected from school	System you want for your children
1	ASD	Arts Related	Accurately identify chords heard	Enjoy Piano Class	nothing	Difficult	Work-Related Education
2	ASD	Math	Unparalleled mathematical ability	Attend a math tutoring school	nothing	Develop the talents	Opportunities to showcase your talents
3	ASD	Memory	Outstanding in reading and learning	Cram schools and special clubs	nothing	Develop the talents	Opportunities to showcase your talents
4	ASD	Knowledge of interests	Extremely knowledgeable about railroads	Participation in railroad events	nothing	Tailored to interests	Participation in college classes
5	ASD	Arts Related, Memory	Perfect pitch, Painting, Memorize everything	Taking piano lessons	nothing	Respected by classmates for their talents	unstated
6	ASD	Arts Related, Memory	Painting, Memorize everything	Learning piano, drums, painting, and English	nothing	Free choice of study content	Tools to evaluate talent
7	ASD	Math	9999 times 9999 at age 7	Learning with tablet apps	nothing	Let him learn as he likes	Skipping grades
8	ASD	Language	Outstanding language skills	(Undocumented)	nothing	Stop boring repetition	Tools to evaluate talent
9	ASD	Memory	Memorize everything	(Undocumented)	nothing	Situations where talent is demonstrated	Environment for developing talent
10	ADHD	Arts Related	(Undocumented)	Music school	nothing	Let him learn as he likes	unstated
11	LD	Memory	Listen once and memorize completely	(Undocumented)	nothing	unstated	unstated
12	ASD, ADHD	Memory	Memorize everything, good at card games	Upper grade learning, Programming	nothing	Presentation of Favorite Things	Facilities where children can develop their talents
13	ASD, Intellectual dis.	Knowledge of interests	Amazing Anime Knowledge	Upper Grade Learning	nothing	Situations where talent is demonstrated	Counseling Center on Talent
14	ASD, ADHD	Arts Related	Painting and Crafts	Not implemented	art club	Education to recognize individuality	Where life skills are developed.
15	ASD, ADHD	Arts Related	Listen once and play the guitar precisely	Learn from guitarists and voice trainers	Performances at cultural festivals	Opportunities to play guitar	Performing Stage
16	ASD, ADHD	Science, Math	Explaining the Environment with Science	Math and Kanji Qualifications, Experiment	Set up individual tasks	Teachers' understanding and free choice	Facilities where children can develop their talents
17	ADHD	(Undocumented)	(Undocumented)	What the Family Association recommends	nothing	unstated	Counseling Center on Talent

Table 6 shows the results of responses to QP9 and QP10 parents about the ideals they want for schooling and society.

Table 6: Results of responses regarding the ideals that parents seek in school education and society.

Ideal education:School	Preferred Support System
Enabling education tailored to individual characteristics	Places and opportunities to showcase talents
Collaboration with external experts such as universities	Choice of schools where you can develop your talents
Dealing with Difficulties	Employment Support
Allowing children to choose what they want to learn	Financial support
Environmentst that respects diversity	Get together with similar children
Allowing students to skip grades	Enlightenment of gifted children
Expanding school options	Reduce the urban-rural divide
Do not force them to be like others	Government and University Collaboration

Analysis and Discussion of Survey Results

Not only in Japan, but also through the enactment of the Law for the Support of Persons with Developmental Disabilities and the launch of special support education, there has been an increase in awareness and systems to recognize children with developmental disabilities and provide them with the necessary support. However, support for gifted children and support systems for children with both developmental disabilities and giftedness have not yet been established, and even recognition itself is insufficient. One reason for this may be that the concept of gifted children is difficult to incorporate into the health care, disability welfare, and education systems because it does not have formal criteria like those for determining illness or disability (Reis SM, et. al., 2014).

However, the most significant feature of Japanese special-needs education is its emphasis on rational consideration that does not necessarily presuppose a formal diagnosis or recognition of disability, and on the development of an educational environment based on the concept of universal design. In response to such a trend of the times, the summary of the Expert Committee on the Ideal Future of Guidance and Support in Schools for Students with Special Talents in Specific Fields was issued in 2022, and it is highly significant that the government has formally indicated its policy that it attaches great importance to this issue. This study is an attempt to extract the actual situation of 2E children from the local community, where there are few reports on the actual situation of 2E children because they are not subject to disease, disability, or special support education, and there is no formal definition of 2E. One of the objectives of the study was to make both the teachers in charge of the resource room and the parents of children with developmental disabilities aware of the survey.

First, from the results of QT2, about half (11) of the 21 respondents who were teachers in charge of the resource room experienced a child who was considered to be 2E. Also, from the results of QP1, about half (14) of the 27 parents who responded recognized that their child was gifted. Since Japanese resource room personnel are responsible for a total of more than 10 developmentally disabled children per year, this figure can be said to be about one in several dozen, taking into account the number of years they have been in charge. It is expected that future data could change as recognition of gifted and 2E children becomes more widespread and criteria for judgment are established. On the other hand, the results show that about half of the children with developmental disabilities recognize that their child is gifted, but there are two reasons why this cannot be simply compared to the number of experiences in the resource room. The first is that parents may have low standards for judging what their children are good at as “talent. Second, it is possible that the more parents who believed that their children were gifted in the first place, the more likely they were to respond to this survey.

Although, although having some kind of disability or difficulty is a prerequisite for formal use of the resource room in Japan, the classroom is not necessarily a place where only disabilities or difficulties are addressed, and one of the purposes of the program is to develop strengths and strengths by making use of strengths and strengths. From the specific outcomes that parents perceive, these are not necessarily abilities that are naturally discovered by the resource room teacher. It is necessary for teachers and parents to share more information about strengths when developing individualized instructional plans.

A total of 13 2E children experienced by the resource room personnel had a total of 7 ASD alone, 3 ADHD alone, 1 ASD+LD, 1 ASD+ADHD, and 1 LD alone disability type. A χ^2 goodness-of-fit test of the frequency distribution of these results showed a predominance of ASD alone with $\chi^2=10.4$, $p<0.05$. Two other respondents had ASD comorbidity. On the other hand, among the 17 2E children whose parents responded, 9 had ASD alone, 2 had ADHD alone, 4 had ASD + ADHD, 1 had ASD + intellectual disability,

and 1 had LD alone. Similarly, a χ^2 goodness-of-fit test showed a predominance of ASD alone with $\chi^2=13.3$, $p<0.01$. Another five children had comorbid ASDs, and both the resource room and the parents were predominantly ASDs in the 2E children. These findings may be related to the fact that ASDs are sometimes associated with extraordinary memory abilities and that Overexcitabilities, which Dąbrowski proposed as a characteristic common in gifted children, is similar to sensory sensitivity in ASDs (Dąbrowski, 1972). This may not be unrelated to the tendency of gifted children to want to talk about areas of interest to them, but to have difficulty forming peer groups. Katagiri also reported that it is important to assess 2E children's maladaptive status to determine whether it is due to high giftedness or developmental disability characteristics (Katagiri, 2023). Supporters and educators need a perspective that assesses each child's individual life and learning support needs, regardless of talent or difficulty.

Many of the results of QT7 "Education I would like to have in a resource room" and QT8 "Ideal school system" asked of teachers and QP9 "What I would like to see in a school" asked of parents were similar. Specifically, they were "development of talents," "opportunities for success," "development of self-confidence and self-esteem," "response to difficulties," and "individual optimization or learning that allows the student to choose. These are all important items for the promotion of inclusive education, and the knowledge of special needs education and inclusive education should be applied to the education of 2E children.

In QP10, "Social support system for 2E children," the parents shared the same opinion as the teachers regarding "regional cooperation, including universities," but their opinions regarding "employment support" and "financial support" were more sincere and unique to them. It can be said that a major challenge is the lack of sufficient support systems and social resources to maximize the development of children with developmental disabilities, even if they are gifted. In order to improve these resources, it is essential that the reality that there are many children who have both developmental disabilities and talents be better known, and that practical research be conducted through the provision of individually optimized learning.

References

- Baum S. (1984) Meeting the needs of learning disabled gifted students. *Roeper Review*, 7, 16-19
- Baum S., Owen S.V. (1988) High Ability/Learning Disabled Students: How Are They Different? *Gifted Child Quarterly* 32(3):321-326
- Cooper C.R, Baum S, Neu T.R (2004) Developing Scientific Talent in Students With Special Needs: An Alternative Model for Identification, Curriculum, and Assessment *Journal of Secondary Gifted Education*, 15(4), 162-169
- Dąbrowski, K. (1972) : *Psychoneurosis is Not an Illness*. Gryf, London.
- Gilman DJ, Lovekey DV, Kearney K, Peters DB, Wasserman JD, et.al. (2013) Critical Issues in the Identification of Gifted Students With Co-Existing Disabilities: The Twice-Exceptional. *SAGE Open*. 1-16
- Katagiri,M (2023) Gifted and Developmental Disabilities *Jpn. J. Learn. Disabilit.*, 2023, 32(4), 236-243.
- MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) (2022) Results of a Survey on Children with Special Educational Needs Enrolled in Regular Classrooms
- MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) (2021) Expert Committee on Guidance and Support in Schools for Students with Specific Talents in Certain Fields: Arrangement of Issues
- Reis SM, Baum SM, Burke E. (2014) An Operational Definition of Twice-Exceptional Learners: Implications and Applications. *Gifted Child Quarterly* 58(3) 217-230
- Renzulli, J.S. (1977). *The enrichment triad model: A guide for developing defensible programs for the gifted and talented*. Mansfield Center, CT: Creative Learning Press.
- Sumida,M (2010) Identifying Twice-Exceptional and Three Gifted Styles in the Japanese Primary Science Classroom *International Journal of Science Education* vol.32,No.15,2097-2011

岩石の風化に着目した「流れる水の働き」における防災教育の授業実践報告

A practical report on disaster prevention education in the "function of flowing water" class focusing on the weathering of rocks

○白方憲伸^{*1}, 足羽光一^{*1}, 山本健太^{*1}, 川井亮介^{*1}, 谷川裕子^{*1}, 向平和^{*2}

SHIRAKATA Kenshin^{*1}, ASHIWA Koichi^{*1}, YAMAMOTO Kenta^{*1}, KAWAI Ryosuke^{*1}, TANIGAWA Yuko^{*1},
MUKO Heiwa^{*2}

^{*1}愛媛大学大学院教育学研究科, ^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Graduate School of Education, Ehime University, ^{*2}Faculty of Education, Ehime University

【要約】 本研究では、小学生を対象に「流れる水の働き」の授業を実施し、真砂土と腐葉土といった本物の土を用いた実験を通して土砂災害の仕組みを理解させたうえで、「花崗岩」「真砂土」「西日本豪雨における土砂災害」を関連付けて理解させることを目的として行った。2018年の西日本豪雨による広島県の土砂災害を題材に、花崗岩が風化した真砂土の保水性の低さが災害の原因であることを考えさせる教材を作成した。授業では、真砂土と腐葉土を用いた斜面崩壊モデル実験と保水性の実験を行い、水の流れ方や崩れ方の違いを観察させた。模擬授業と小学生に行った授業実践の結果、ほとんどの児童が「花崗岩」「真砂土」「西日本豪雨における土砂災害」を関連付けて理解できたと考える。今後の課題として、斜面崩壊モデルの再検討と、実験結果が想定と異なる場合でも、このような結果になったのか児童自身が考察できるような授業法を身につける必要がある。

【キーワード】 土砂災害, 西日本豪雨, 真砂土, 腐葉土, 花崗岩

I. 研究の背景

日本では様々な自然災害が起きていて、その一つに土砂災害が含まれる。2018年7月には西日本豪雨により、広島県で土砂災害が起きた。これは、そこに分布している土(真砂土)が水を保てず、水とともに流れ出したことが原因のひとつであると考えられる。真砂土は花崗岩が風化してできた土であり、腐葉土に比べ、保水性が低い。

今回、取り扱う単元は小学5年生対象の流れる水の働きという単元である。先行研究では、発砲などのモデル実験を通して理解させるものが多く、本物の土を使っているものはほとんどない。よって、土砂災害を再現するモデルを真砂土と腐葉土といった2種類の土で作成し、粒の流れ方・水の流れ方・保水性がどう違うのか理解できるようにした。この教材を用いて、西日本豪雨を絡めることで、児童に土砂災害の仕組みを理解させ、「花崗岩」「真砂土」「西日本豪雨における土砂災害」の関係について児童に考えさせることを目的として、授業を実践した。

II. 研究の方法

〈研究の対象〉

大学生29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、小学生4~6年20名に授業を行った(以下、授業実践とする)。

1. 授業方法

(1) 授業の導入

2018年に広島県で起きた土砂災害の動画を観せ、この土砂災害の原因は何か考えさせた。その際、大雨や地震だけではなく、地質も関係していることを伝え、地質に注目させた。広島県の地質図から、広島県全体は花崗岩質であることを読み取らせ、花崗岩と真砂土を説明し、花崗岩と真砂土と土砂災害にどんな関係があるのかを考えさせることを本時の目標とした。

(2) 実験方法

2つの実験を行った。

実験①: 斜面崩壊の様子を観察する

〈使用器具〉

土を混ぜる容器(2lペットボトルを横半分に切ったもの)、プラスチック製の箱(側面1か所切り抜き、養生テープを貼ったもの)、スタンド、真砂土、腐葉土、分度器、水を入れた霧吹き、トレイ

〈あらかじめしておくこと〉

- ① 容器に真砂土を300g、水40gをはかり取り、よくかき混ぜた。

- ② プラスチック製の箱に手順1で混ぜたものを厚さ2 cm程度平らになるようにのせ、傾けても落ちない程度に固めた。
- ③ 斜面が35度になるようにスタンドの高さを調整して、手順2で作成した試料を図1のように乗せた。

〈学生の実験操作〉

- ① 斜面の角度が35度になっているかを確認する。
- ② 霧吹きで雨を降らす。
- ③ 霧吹きのプッシュ数を数えながら崩れるまでの様子や崩れす瞬間の様子を観察する。



図1. 斜面崩壊モデル実験

〈観察するポイント〉

- ・大きな粒と小さな粒でどちらが先に流れたか
- ・水はどのように流れたか(土の上を流れたか、下を流れたか)

〈教材作成のポイント〉

現実の土砂災害に近づけるために以下の4点に注意した。

- ・プラスチック製の箱の底面に養生テープを貼ることで、土と斜面との摩擦力を高めた。
- ・霧吹きを使用することで現実の雨に近づけた。
- ・土砂災害が起こりやすい条件の一つに斜面の角度が30度以上というのがあったため、斜面を35度にした。
- ・真砂土と腐葉土で実験結果を比較させ、土砂の崩れ方や水の流れ方などの違いに着目させた。
(模擬授業では、真砂土のみを行い、腐葉土は実験の様子を動画視聴させた。)

実験②：真砂土と腐葉土の保水性の違いを観察する

〈使用器具〉

横に半分に切った500ml ペットボトル(飲み口側・底側の両方を準備)、水100ml、真砂土、腐葉土、キムワイプ、輪ゴム

〈あらかじめしておくこと〉

- ① ペットボトルの飲み口部分にキムワイプを被せ、輪ゴムを巻いて固定した。(2セット作った)
- ② 手順1の試料の片方に真砂土、もう片方に腐葉土を体積が50 mL程度になるように入れた。
- ③ 手順2の試料を、飲み口部分が下になるように、底側のペットボトルにセットした。

〈学生の実験操作〉

土の全体にかかるように、回しながら水をゆっくり注いだ。

真砂土と腐葉土の保水性の違いを観察した。(図2)



図2. 真砂土と腐葉土の保水性を確かめる実験

〈教材作成のポイント〉

水の落ち具合を比較して、腐葉土は真砂土に比べて、保水性が高いことを理解させた。

(3) 土砂災害のメカニズム

2つの実験後、水の流れる通道の違いについて図3のモデルを用いて説明した。

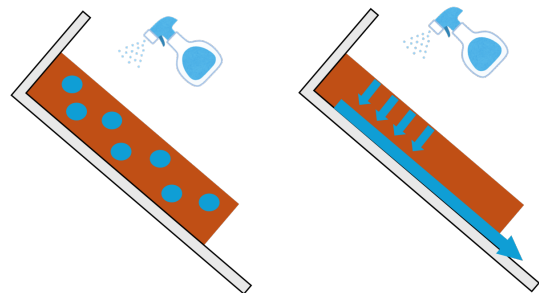


図3. 腐葉土と真砂土の水の流れのモデル図

図3について、左図が水を保ち続けることができる腐葉土、右図が水をふくんだあと土が水をためず、土の下を水が流れる真砂土であることを説明した。

その後、図4を用いて、土砂災害が起こる仕組みについて水の動きに着目させた説明を行った。

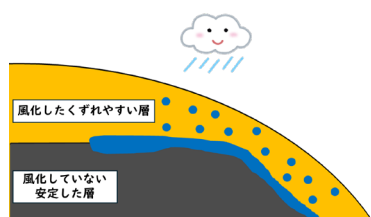


図4. 土砂災害が起こる仕組み

図4から、風化した崩れやすい層（真砂土）は水を保つことができず、風化していない安定した層との間に水が溜まっていき、風化した崩れやすい層に浮力がはたらき、水とともに崩れると説明した。風化していない安定した層は実験1でいう養生テープであることを説明した。

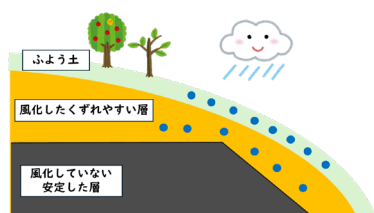


図5. 腐葉土の役割

図5から、自然界には、真砂土の上を腐葉土が覆っており、水を吸収する役割だけでなく、真砂土のさらなる風化を防いでいる役割があることを説明した。

2. 分析方法

模擬授業で使用したワークシートを評価し、その評価・分析をもとに授業案を改訂し、授業実践を行った。

模擬授業の評価・分析について、学習指導要領に示されている学力の3要素(知識・技能、思考力・判断力・表現力等、主体的に取り組む態度)に基づいて行った。

模擬授業で使用したワークシートは以下の通りである。

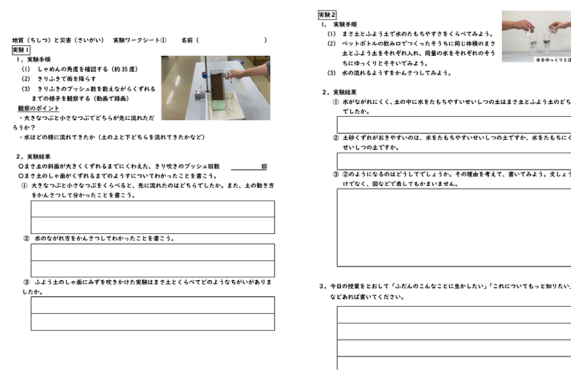


図6. 模擬授業で使用したワークシート

ワークシートの質問は以下の通りである。

・実験①：土砂災害の様子を観察する

- まさ土の斜面が大きくくずれるまでに加えた、きり吹きのプッシュ回数
- 大きなつぶと小さなつぶをくらべると、先に流れたのはどちらでしたか。また、土の動き方をかんさつして分かったことを書こう。
- 水の流れ方をかんさつしてわかったことを書こう。
- ふよう土のしゃ面に水を吹きかけた実験はまさ土とくらべてどのようなちがいがありましたか。

・実験②：真砂土と腐葉土の保水性の違いを観察する

- 土の中に水をたもちやすいせいしつの土はまさ土とふよう土のどちらでしたか。
- 土砂くずれがおきやすいのは、水をたもちやすいせいしつの土ですか、水をたもちにくいせいしつの土ですか。

・実験①、②を通して分かったこと

- F) のようになるのはどうしてでしょうか。その理由を考えて、書いてみよう。文しょうだけでなく、図などで表してもかまいません。
- 今日の授業をとおして「ふだんのこんなことに生かしたい」「これについてもっと知りたい」などあれば書いてください。

このA～Hまでの質問の記入内容を評価した。評価対象は個人記入欄や行動観察の内容であり、以下の通りとする。

(1) 真砂土の観察【知識・技能】

Q① 土の動き方を観察して分かったことについて記載があるか。

Q② 小さい粒子の方が先に流れたことについて記載があるか。

Q③ 水が土の下を流れたことについて記載があるか。
(2) 土砂災害の考察ワークシートの記入や行動観察によって、以下の項目の達成状況を評価する。(1項目につき1点)【思考・判断・表現】

Q④ 腐葉土が真砂土よりも保水性が高いことについて記載がある。

Q⑤ 腐葉土よりも真砂土の方が土砂災害は起こりやすいことについて記載がある。

Q⑥ 土砂災害が起こる場合に水が土砂中を流れ、それによって土砂が侵食・運搬されることについて記載がある。

ワークシートの記入や行動観察によって、以下の項目の達成状況を評価する。(1項目につき1点)【主体的に取り組む態度】

Q⑦ 自ら他者と協力して観察・実験に取り組むことができたか。

Q⑧ 防災に対する理解に対して変容が見られたか。

Q⑨ ワークシートをすべて埋めることができているか。

Q⑩ 花崗岩の性質について学ぶことを通し、地域のことについて積極的に学ぼうとする態度が見られたか。

模擬授業のルーブリック評価をもとにしてワークシートを作り、授業実践を行った後、同様にQ①～⑩で評価した。

ワークシートは以下の通りである。

図7. 授業実践で使ったワークシート

模擬授業で作成したワークシートの質問を以下に示す。(穴抜きは除く)

④花こう岩が身近にどんなところで使われているでしょうか？

⑤まさ土の斜面が大きくくずれるまでにくわえた、きり吹きのプッシュ回数

⑥大きなつぶと小さなつぶをくらべると、先に流れたのはどちらでしたか。また、土の動き方をかんさつして分かったことを書こう。

⑦どしゃやかけた水は、どのようにながれたか。(真砂土と腐葉土でそれぞれ記入)

⑧水がながれにくく、土の中に水をたもちやすいせいの土はまさ土とふよう土のどちらでしたか。

⑨実験 1、2 の結果から土によってどしゃくずれの起きやすさに違いがある理由を考えてみよう。水の流れる道を書いてみよう。

⑩今日の授業をととして「ふだんのこんなことに生かしたい」「これについてもっと知りたい」など、あれば書いてください。

Ⅲ. 研究結果

模擬授業で得られた結果を以下に示す。実験①の霧吹きプッシュ回数は、最も少ない班で120回、多い班だと800回以上でも崩れなかった。崩れなかったのは、土を固めすぎたことが原因であると考えられる。一方、実験②では腐葉土が真砂土に比べて保水性が高いことを導き出せていた。

ワークシートの分析結果を以下に示す。

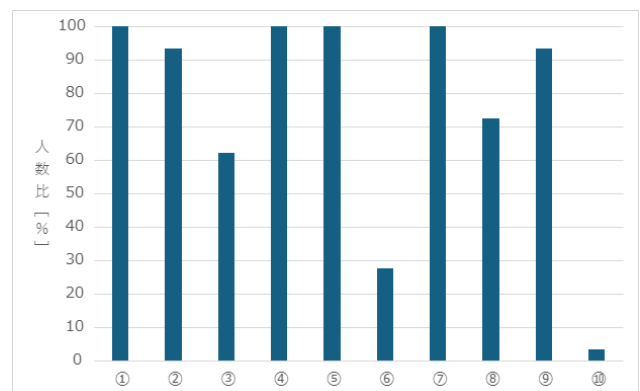


図8. ルーブリック評価に基づく達成率

図8は学生が記入したワークシートから、授業評価であるQ①～⑩が達成できているかを分析したデータである。

Q①、Q②はワークシートの問いB), C) で評価した。土の動き方については設問に誘導があり、すべての人が回答できていた。9割以上の人が小さい粒が大きい粒よりも先に流れることを書いていた。Q③は問いD)

で評価した。Q③を達成していない学生の回答としては、「水がしみこむまでに時間がかかった」「水が大量に流れだした」など、水のしみこみ方に関する記述や、水の量に関する記述が見られた。Q④、Q⑤はそれぞれ問いD、Eで評価した。全ての人が腐葉土が真砂土よりも保水性が高いこと、腐葉土よりも真砂土の方が土砂災害は起こりやすいことについて記載していた。Q⑥は問いGで評価した。Q⑥を達成していない学生の回答としては、浸食・運搬の両方に関する記述がないものも多く、さらには実験①を全く考えずに、実験②のみを考慮している回答も複数あった。Q⑦は実験に取り組む大学生の様子を観察して評価を行った。全員が実験に主体的に取り組んでいた。Q⑧は問いHで評価した。良い回答としては、「今回の授業から、土砂崩れが起きやすいところや起きにくいところの土の性質が分かったため、自分の身を守るためにも、自分の住んでいる地域の地形や地質を理解していきたい」「土砂崩れは、地面の奥深いところから崩れることが分かったので、地面だけを見て判断するのではなく、早めに避難したいと思った。」などがあり、地質や土砂崩れの観点から防災意識を高めていた。授業者の意図とずれた回答としては、「自宅付近の地質を調べ、腐葉土と真砂土を選び分けて住む場所を決めたい。なるべく腐葉土のところに住みたい。」「土砂災害を防ぐために腐葉土を使うことが大切である。」「山が近いことに住まない。」などといった真砂土を否定する考えになっている記述が見られた。問9はワークシート全体を見て、全体が埋まっているかで評価した。

Q⑩もQ⑧同様に問いHで評価した。Q⑩を達成した人は29人中1人のみで、唯一花崗岩についての記述があった。他の学生は花崗岩に対する記述が一切なく、「真砂土」「腐葉土」「土砂崩れ」に関する記述ばかりであった。また、花崗岩(真砂土)がマイナスなイメージでしか記述されていなかった。

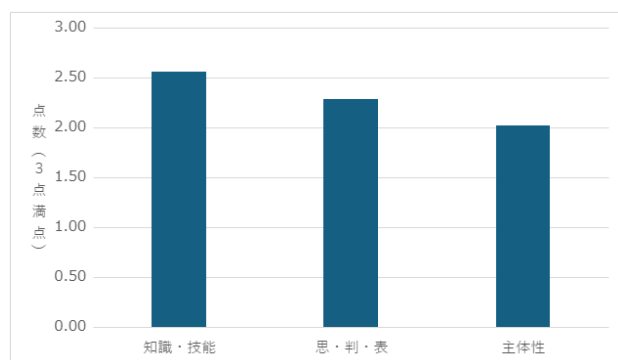


図9. 評価に基づく達成率(3項目に分類)

図9は評価を3項目に分類したものである。主体性のみ4項目(4点満点)であったため、3点満点になるように換算した。主体性(主体的に取り組む態度)が低いのはQ⑧、⑩の影響である。

授業実践で得られた結果を以下に示す。実験①を真砂土で行ったとき、霧吹きのプッシュ回数は多い班で660回、少ない班で97回と班によって大きく異なる結果となった。一方、腐葉土で行ったときは真砂土ほど班によって差は出なかったものの多い班と少ない班でプッシュ数が3倍近く異なっていた。また、真砂土と腐葉土の実験結果を比較したとき、プッシュ数にほとんど差が出ていない班や、腐葉土のほうが少ないプッシュ回数になっている班がほとんどであった。実験②の結果は模擬授業同様、腐葉土のほうが保水性が高いことを理解できる結果となった。

ワークシートの分析結果を以下に示す。

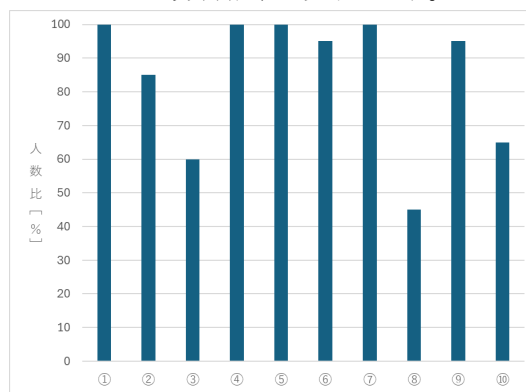


図10. ルーブリック評価に基づく達成率Ⅱ

図10は、図8と同様に学生が記入したワークシートから、授業評価であるQ①～⑩が達成できているかを分析したデータである。

Q①、Q②はワークシートの問いC、Dで評価した。土の動き方についてはすべての人が回答できていた。問いCはニュアンスはあっているが、問題文が読めておらず、「細かい土と混ざり合って流れた」「細かい土から流れた」「泥が先に流れていた」などの粒や粒子といった言葉がない回答が見られた。Q③は問いDで評価した。Q③の達成率は6割で他の項目に比べて低かった。Q③を達成していない学生の回答としては、「水のしみこみ方に関する記述のみ」「下から流れたしか

書いていない」「水の流れに関する記述がない」の3パターンあった。Q④、Q⑤はそれぞれ問い⑤、⑥、まとめの穴抜きで評価した。全ての人が腐葉土が真砂土よりも保水性が高いこと、腐葉土よりも真砂土の方が土砂災害は起こりやすいことについて記載していた。Q⑥はまとめの穴抜きで評価した。一人を除いて土砂が浸食・運搬されることを正しく書けていた。Q⑦は実験に取り組む児童の様子を観察して評価を行った。全員が実験に協力し、観察し、ワークシートに一生懸命記録していた。Q⑧、Q⑩は問い⑥で評価した。達成率は45%と全質問の中で最も低かった。Q⑧、Q⑩の達成の関係を図11に示す。

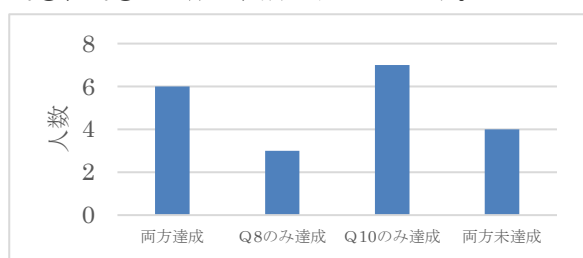


図11. Q⑧、Q⑩の達成の関係

問い⑥で多かった回答は、花崗岩についての記述で、「花崗岩が風化して真砂土になることは知らなかった」「花崗岩のでき方を初めて聞いてびっくりした」などの感想があった。「自然災害では、ハザードマップをみることも大切ではあるが、土地もしっかり見ようと思った」や「土砂災害がどれだけ危険かが分かった」などの防災に関する記述が見られた生徒もいたが、図11から、花崗岩のみの記述になっている児童も多くいたことが分かった。Q⑨はワークシート全体を見た。1人を除く全員がすべての設問に回答できていた。

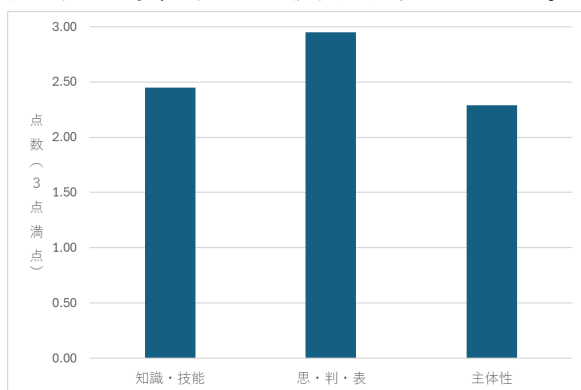


図12. 評価に基づく達成率Ⅱ (3項目に分類)

図12は、図9と同様に評価を3項目に分類したものである。Q③、Q⑧、Q⑩が低いため、思考・判断・表現に比べ、他の要素が低くなっている。

IV. 研究の考察

模擬授業の実験①の結果から、土を固めすぎず、傾けても落ちない程度に固める必要があると考えたため、予備実験を行い、100～200回プッシュで崩れるように固め方を調整した。図8から、Q⑥、Q⑩は他の項目に比べて達成率が著しく低いことが分かる。Q⑥はまとめのところに引っかかり抜きで記入させるようにし、土の下を通った水によって浸食・運搬されることを理解させるようにした。Q⑩の達成率が低かったのは、地質や土砂崩れに比べて花崗岩の印象が薄かったのだと考えられる。また、真砂土の記述にはマイナスのイメージが多く書かれていた。よって、真砂土や花崗岩等の地質と共存することが大切であることを理解させるような内容にすることや花崗岩の良さを説明するということが課題であると考えた。図9から主体的に取り組む態度が最も低いことが分かる。

これらの課題を解決するために、以下の2点で大きく授業を改善した。

- ・花崗岩について理解を深め、より身近に感じられるように、花崗岩の成因や花崗岩が身近に使われている場面について、より詳しく取り扱った。
- ・日常生活を理科的な見方で捉えさせるため、また、地域のことについて積極的に学ぼうとする態度を育むために、愛媛でダイヤモンドが採れたことなどを題材に、地質や災害についての身近なクイズを行った。

また、全体的に設問によって、答えにくい要素があると点数が下がる傾向があった。問い方を単純化することによって、評価結果が改善されることがあるため、記述ばかりだったワークシート全体(図6参照)を回答しやすいように工夫した。(図7参照)

以下、授業実践の考察、授業実践と模擬授業を比較したときの考察を述べる。

授業実践の実験①の結果から、本来、真砂土の方が早く崩れるところを腐葉土の方が早く崩れた。この要因として、腐葉土に水を含ませすぎたこと、霧吹きをかける位置とかかり具合などが考えられる。授業者は、この結果は間違いで腐葉土のほうが水を保つといった説明をしたが、この通常とは逆の結果が起こった理由を考えさせることで理科的な見方・考え方の向上に繋がったのではないかと考える。図8と図10を比較すると、Q⑩の達成率が大きく伸びていることが分か

る。このことから、授業改善のポイントである花崗岩の理解を深め、身近に感じてもらうという項目は達成できたと考える。しかし、逆にQ⑧の達成率が大きく減少した。図11より、Q⑩のみを達成した人が多いことが分かる。これは、模擬授業の時とは逆で、地質や土砂災害よりも花崗岩のほうが印象に残ったからであると考え。その一方で、土砂災害と花崗岩の両方を書けている児童が6人いたため、模擬授業よりは花崗岩と土砂災害の関連を伝えられたと考える。もしくは、土砂災害を理解しているが、花崗岩のことを話しすぎて、花崗岩のことだけで書くことが埋まったのではないかと考える。

図9、図12を比較すると思考・判断・表現と主体的に取り組む態度が上がっていることが分かる。知識・技能は多少下がってはいるものの、模擬授業に比べたら、教育的効果は高かったのではないかと考える。

V. まとめ

本研究では、「花崗岩」「真砂土」「平成30年7月豪雨における土砂災害」の関係について児童に考えさせることを目的として行ったが、西日本豪雨の動画や花崗岩の紹介、実験などを通して、これらの関係性を児童に理解してもらえることができたのではないかと考える。実験本番では教師側が想定していた結果と異なる場合もある。その時に、失敗という形にするのではなく、なぜこのような結果になったのか子供たちに考えさせることがより深い学びとなるだろう。

文献

- ・一般社団法人 日本応用地質学会 災害地質研究部会編/土砂災害の疑問55(成山堂書店) P5.P6.P81.P82
- ・土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会/実験で学ぶ土砂災害(丸善出版) P26～P30

子どもの願いを形にする —小学校理科第4学年の学習を通して—

Making children's wishes come true
-Through the Study in 4th Grade Elementary School Science Class-

水口 達也^{*1}・向 平和^{*2}

Tatsuya Minakuchi^{*1}・Heiwa Muko^{*2}

^{*1}愛媛大学教育学部附属小学校・^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Ehime University Elementary School・^{*2}Faculty of Education, Ehime University

【要約】 学習する過程で「～の実験・観察をしたい」「～のようなものをつくりたい」といった子どもの願いが表れる。それは子どもが主体的に学習に取り組んでいる証である。しかし、その願いを実現したくとも様々な制約が現場には存在する。それでも、教師の工夫により実現に近付けることができる。そこで、4年生「季節の生き物」「人の体のしくみと運動」において、子どもの願いを実現させ、その中での子どもの姿を考察した。失敗や挑戦を繰り返すことで子どもの主体性はより高まり、理科を学ぶ楽しさや試行錯誤する大切さを感じる事ができた。また、そういった経験はその後の学習意欲にもつながっていった。

【キーワード】 願いの実現、教師の工夫、試行錯誤、主体性

I. 問題の所在

子どもは、学習への主体性が高まっていくほどにいろいろな実験や成果発表の方法を考え出す。それは喜ばしいことであるが、時間的・環境的な制約によって実現できないことが多い。1年間の内に全ての内容を履修するためには、計画的に学習を進めていく必要がある。ある単元だけ時数を大きくしてしまうと、残りの単元を縮小することになってしまう。学習内容に優劣はなく、どの単元も大切に学んでいきたい。そう思うからこそ、ある単元にだけじっくり時間をかけたり、蛇足と思われること、遊び心のあることなどになかなか手を伸ばしづらかったりするのである。また、環境によっても学習方法は変わってくる。学校で生き物を探しばらば校外に出ていきたい。しかし、近くにもそういった環境がない。また、誰かから知恵を借り、協働的に学習を進めたいが、自分にはそういったつながりがなかったり、相談できる場所も思いつかなかったりする。

しかし、「できない」と大人が決めている場合も多い。理科だけの時間が難しければ他教科と関連させてみる。環境がなければつくってみる。人とかかわりがなければ、中学校や動物園、大学を頼ってみる。こちらが工夫したり、試行錯誤したりすることで、少しでも子どもの願いに沿った学習展開にすることは可能ではないだろうか。

II. 授業実践の目的・方法

1. 目的

時間的・環境的な工夫を行うことで、子どもが試行錯誤を繰り返すことができる場を設定し、挑戦することの意義や実現できることの喜びを感じさせ、主体的に問題解決に取り組む態度を高める。

2. 方法

a. デジタル植物図鑑をつくり、ホームページで公開する

「生物と季節」の学習で、年間を通して観察した植物の観察記録をホームページで公開する。

b. 観察池をつくり直す

観察池を一度リセットし何もない状態にする。そして、呼びたい生き物に合った環境を調査し、観察池をつくり直す。

c. 動物園と連携する

「人の体のつくりと運動」の学習で、動物の体の仕組みについて学ぶ際、愛媛県立とべ動物園の方に話をしてもらったり、骨格標本を用意してもらったり連携を行う。また、現地見学を行う。

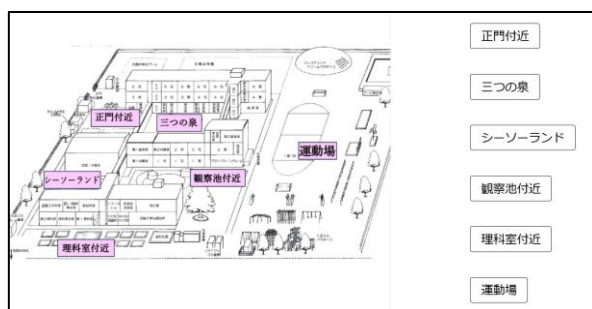
Ⅲ. 授業実践の実際

1. デジタル植物図鑑をつくり、ホームページで公開する

コンテンツを制作するデザインツール「Adobe Express」を利用して Web ページを作成した。



写真やテキストを入れるだけで簡単に Web ページを作成できるとともに、URL を共有すれば誰でも閲覧することができる。また、「Google Drive」と連携することで、子どもが作成した観察記録を見ることができるようにした。下の図にあるそれぞれの場所のボタンをクリックすることで、そこにある植物の観察記録が見られるようになっている。



植物を継続観察した記録を最後どうするか相談すると、「図鑑にする」「他の学年や親に見てもらう」といった考えが出た。そこで、私の方から「見てもらうなら観察記録をホームページで公開するのはどうだろう?」と問い掛け、本格的に記録用紙を作成することになった。ただの観察では面白くないということで、「見つけやすさ」「花の豆知識」「四季による変化」などオリジナルな要素を盛り込むことにした(資料1)。

そして、作成した Web ページを本校のホームページにて公開した。校内放送や家庭への連絡によって周知するとともに、本校である研究大会時に来校してくださった方々にチラシ(資料2)を作成し配布した。



資料1 植物観察記録カード



資料2 配布したチラシ

2. 観察池をつくり直す

本校は数年をかけて耐震工事を行った。その際、もとあった観察池は手入れができなくなり、水生植物が密集したり、アメリカザリガニの大量発生により生態系がくずれたりするなど、本来のビオトープの役目を果たせない状態であった。子どもからは「生き物が全然見えない」「どんな生き物がいるの」「水がにごって汚い」といった声が聞こえていた。



そこで、まずは池の水や泥をなくしリセットした。子どもは生き物を救出しながら圧倒的にアメリカザリガニが多いこと、それでもメダカやドジョウがいたことなどに驚いていた。土や水生植物は人手と重機を使って撤去した。きれいになった観察池で夏休みにヨーヨー釣りを開催し、観察池に全校の関心を向けるようにした。



その後、新しい観察池にどんな生き物を呼びたいのか。そして、呼ぶために、そこで生きていくためにどのような環境を用意しなければいけないのか考えた。調べていく中で、それぞれの生き物が食物連鎖でつながっていたり、それぞれの役割があったりすることに気付いていった。



水生植物や生き物を観察池に入れていくのは、温かい春になってからである。その前に、土などを入れて準備をして、1年間の活動を終えた。



3. 動物園と連携する

「人の体のつくりと運動」の学習では、単元の始めに他の動物の体の仕組みについて考えるようにした。そうすることで、動物の体と比較しながら自分たち人の体について深く追究できると考えたからである。そこでまずは、愛媛県立とべ動物園の方に話をさせていただくのと合わせて様々な動物や部位の骨格標本を用意していただいた。本物に出会う子どもの目や表情は生き生きとしてくる。



それぞれの骨格標本を見ながら「他の動物も何か特徴があるのかな」「体の仕組みと動物の生活にはどんな関係があるのか」といった問いを見だし、追究が始まった。本物に勝るものがないことを体験している子どもはすぐ「動物園に行って見てみたい」と言った。動物園や大学の先生と連携しながら実地観察を実現することができた。

実地観察では、学校では見られなかった全身骨格をもとに話をしていただいた。また、園内のガイドでは、動物の動きや生活環境と、体の仕組みをうまく関係付けながら示していただいた。



さらに、普段はなかなか入られないキリン舎内で観察を行った。キリンのかかとの位置や歩き方、首の長さや骨の数など、本物を前に説明を受けると感動を味わいながら理解することができた。



IV. 結果と考察

環境を整え、人や施設とつながることによって子どもの願いを実現することができた。また、最初から願いを持っていくとも、教師から子どもの活動範囲を広げることで、「こんなことをしたい」という考えをどんどん出すようになった。以下、それぞれの振り返りの一部である。

＜デジタル植物図鑑をホームページで公開する＞

- ・自分が5月から時間をかけて観察して作った観察日記が、世の中に出たのでとても達成感がありました。友達も見て、みんないろいろな植物を調べていて、ぼくと違った見方で観察をしていた日記もあったので、次の観察では、そういった見方も入れてみようと思いました。
- ・私はホームページに載るということに驚きました。ドキドキ感もありました。完成して実際にホームページを見るとすごいと思いました。お母さんにもほめられました。学級目標の「進化」が私のクラスはできたと思います。

＜観察池をつくり直す＞

- ・ぼくも観察池をきれいにしたいと思っていました。実際に生き物を救出してみるとたくさんの生き物がいて、特にドジョウが出てきてびっくりしました。そのあと僕はドジョウチームに入って、どんな生き物なのか調べました。
- ・どうすればドジョウが自分で生きられる環境ができるかをみんなで考えて調べました。実際にその環境を作ったらどんな結果になるのかを考えながら調べたので、ドジョウがこれから繁殖して観察池の大きさに合った数のドジョウが生きていけることに自信があります。

- ・観察池はこれから他の学年がどのように観察してくれるのか楽しみです。あの狭い空間で生き物たちがどう生きる工夫をするのか調べてみたいです。

＜動物園と連携（動物園に行った後の振り返り）＞

- ・動物園に行って骨の形や筋肉の付き方、歯の構造など、「こういう環境で過ごしているからこうなんだ」と、自分のめあて（問題）に関することが分かったし、学校でお話してもらったゾウの足など本当だと確かめることができた。
- ・今日はネットで調べられないことを調べられました。特に、スタッフの方の話でチンパンジーの骨の意味が分かってすごくよかったです。次にした観察では、本当の動物の体の形や発達具合がちゃんと分かりました。
- ・自分からキーパーに質問しに行っているいろいろな話を聞けました。本物のシカの角はとても大きくて、硬くて迫力がありました。シカのエリアに行くと、キーパーが日々の生活について教えてくれ、考察がはかどりました。

このように、子どもの願いを形にする活動は、子どもの学ぶ主体性や、成果を残すことができたという達成感などにつながっていった。本物に出会い、体感することで、心を動かす姿が見られた。

V. おわりに

子どもの授業と同じように、教師の教材研究や単元構想もまずはやってみることが大切だと思う。子どもの願いを何とか形にしていこうとする努力は子どもに伝わり、それだけよい経験を積ませることができる。授業の中で教師も子どもと同じように失敗すればいいし、失敗してもなんとか次につなげたり解決策を考えたりできればいい。完璧を目指さずとも、子どもとともに試行錯誤して、授業を楽しむのもいいと感じた。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号：23K20749）の支援で実施した。

文献

文部科学省 (2018), 小学校学習指導要領解説 理科編, 株式会社東洋館出版社。

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用いた心筋梗塞発症予測確率と地域健康教育への展開

Application of a resident's predicted probability of an acute myocardial event derived from the data of an annual medical examination using a recurrent neural network model to community health education

○戸田園乃^{*1}, 戸田真子^{*2}, 岡田英作^{*3}, 山内加奈子^{*4}, 加藤匡宏^{*5}

TODA Sono^{*1}, TODA Mako^{*2}, OKADA Eisaku^{*3}, YAMAUCHI Kanako, KATO Tadahiro^{*5}

^{*1} 松山大学経済学部, ^{*2} 愛媛大学大学院連合農学研究科 ^{*3} 高野山大学文学部密教学科 ^{*4} 福山市立大学教育学部 ^{*5} 愛媛大学大学院教育学研究科

^{*1}Faculty of Faculty of Economics, Matsuyama University, ^{*2}The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University, ^{*3}Department of Esoteric Buddhism, Koyasan University, ^{*4}Faculty of Education, Fukuyama City University, ^{*5}Graduate School of Education, Ehime University

【要約】われわれは、脳卒中および心筋梗塞（脳心事故）の危険因子を特定するために、愛媛県の中規模市である O 市において 2 つのコホート集団を設立した。(1) 第 1 期 O 市コホート I（1996 年から 1998 年：5161 人）(2) 第 2 期 O 市コホート II（2010 年から 2012 年：3600 人）である。(1)(2)のコホート集団は脳心事故発生をエンドポイントとし、1996 年より約 27 年にわたり O 市基幹病院において脳心事故の疾病登録を実施した。また、脳心事故死亡も把握してきた。心筋梗塞(既)発症者データを用いて再帰型ニューラルネットワークモデル(RNN)を構築し、健診受診者の将来の心筋梗塞発症を予測した。O 市コホート I および II 参加者が発症したかどうかについて 2023 年以降に採録した脳心事故(新)発症者を比較検討し、O コホート研究によって RNN モデルと学習済み重みデータが実際に心筋梗塞を予測できるかどうかを明らかにした。

【キーワード】ニューラルネットワークモデル、心筋梗塞発症予測、地域健康教育、ヘルスプロモーション

I. 問題の所在

われわれは、脳卒中および心筋梗塞（以下脳心事故と称する）の危険因子を特定するために愛媛県の中規模市である O 市（人口約 5 万人規模）において以下(1)(2)の 2 つのコホート集団を設立した。最初に (1) 第 1 期 O 市コホート I（1996 年から 1998 年：5161 人）においては、老人保健法に基づく成人病基本健康診査受診結果データと食生活習慣を含む脳心事故に関連する危険因子に関する問診等の健康関連項目を 3 年間で蓄積した。次に (2) 第 2 期 O 市コホート II 集団（2010 年から 2012 年：3600 人）においてはメタボリック症候群予防の特定健康診断結果データ、飲酒、喫煙、日常身体活動量、睡眠など様々な生活習慣の状況、首尾一貫感覚(Sense of coherence 以下 SOC と略す)を含む詳細問診項目、自律神経系機能検査、各種バイオマーカ一等の脳心事故危険因子に関するベースラインデータを 3 年間で蓄積した。(1)(2)のコホート集団は脳心事故発生をエンドポイントとする調査であるために 1996 年より約 27 年にわたり、O 市基幹病院において脳心事故の疾病登録を実施し、脳心事故発生および死

亡の動向を把握している。1996 年 4 月 1 日から 2022 年 12 月 31 日までの脳心事故疾病登録データを採録しており、2 つのコホート集団のベースラインデータをマッチング解析することにより脳心事故発生の危険因子を明らかにしてきた(斉藤, 2007)(斉藤, 2022)。

地域における疾病予防活動では、リスクの大小にかかわらず集団全員を対象とした「ポピュレーション戦略」に力を入れ、特に教育や啓発を中心とした一次予防の活動を行なってきた。また、疾病発症リスクの高い集団には「ハイリスク戦略」として早期発見・早期治療という二次予防策を取ってきた。しかし、ハイリスク戦略は、すでにリスクが上昇している集団を対象とするために、被介入者が治療対象者になってしまうことが多く、予防活動となりにくいことが多い。

われわれは機械学習のプラットフォーム基盤の確立することによって O 市で設立した 2 つのコホート集団(1)O 市コホート I および (2) O 市コホート II のベースラインデータおよび(3)脳心事故発生の疾病登録情報を再帰型ニューラルネットワークモデル(RNN)モデルによるディープラーニング(Deep Learning 以下 DL

と略す)手法によって健診受診者一人ひとりひとりに脳心事故の発症予測確率を算出する試みを開始している。そこで、ポピュレーション戦略の教育や啓発として、過去に集積された脳心事故疾病登録データと健診データから RNN モデルを持いて、健診受診者各個人に対して脳心事故の発症確率を提示することができれば、健診受診後に実施される保健指導のエビデンスを提供することができ、健診受診者が脳心事故発症のハイリスク者になる前に早期の積極的な介入することができる考えた。本研究においては、脳心事故発症のうち心筋梗塞発症予測確率の正解率(精度)と損失率を求めることを目的とした。

II. 研究の方法

1. 対象と期間

(1)倫理的配慮

本研究は、愛媛大学教育学部研究倫理委員会での承認(R4-34-1)を経て実施している。

(2)研究デザイン

われわれの研究デザインを図1に示す。

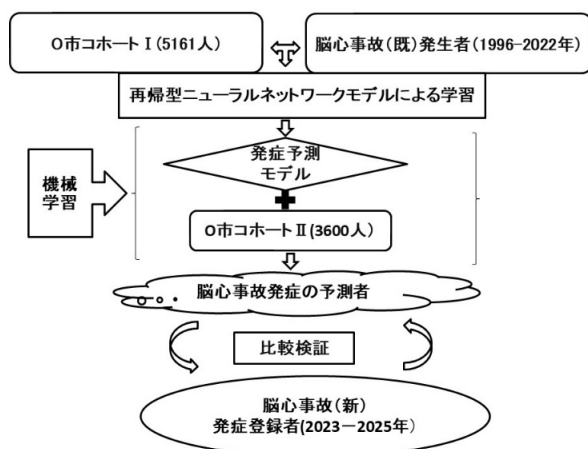


図1 研究デザイン

O市で設立した2つのコホート集団である(1)第1期O市コホートI(1996年から1998年:5161人)に蓄積された成人病基本健康診査データと循環器疾患に関連する危険因子等の健康関連データと(2)第2期O市コホートII集団(2010年から2012年:3600人)に蓄積されたメタボリック症候群予防のメタボリック症候群予防の特定健康診断結果データおよび喫煙、飲酒、日常身体活動量、睡眠など様々な生活習慣の状況やSOCを含む詳細な問診、TAS-9を用いた心電図のRR間隔スペクトラム解析から導出される自律神経系機能、各種バイオマーカーなど脳心事故発生に関連す

る健康関連データおよび(3)1996年からO市の主要病院で実施継続している脳心事故(既)発症者データを用いてRNNモデルを構築し、DLを用いて対象者の将来の脳心事故を予測した。O市コホートIおよびII参加者が発症したかどうかについて、2023年以降に採録した脳心事故(新)発症者を比較検討し、Oコホート研究によってRNNモデルと学習済み重みデータが実際に脳心事故を予測できるかどうかを明らかにする。

(3) 脳心事故発症の疾病登録

われわれは、1996年からO市においてポピュレーションベースで循環器疾患の疫学研究を推進してきた。O市の主要病院における脳心事故の発症登録を行い、WHO MONICA研究のプロトコールに基づいた医療情報について把握してきた。心筋梗塞に関しては、心筋梗塞の疾病登録は、発症までの臨床経過につき心筋梗塞の発症に合致するエピソードがあったかどうかを確認して採録した。すなわち、発症後の心電図、症状、血液データの値(白血球数、Aspartate aminotransferase (AST)、Lactate dehydrogenase (LDH)、Creatine kinase (CK)、Creatine kinase-MB (CK-MB)、トロポニンT)、心筋梗塞の既往歴を確認した。これらに加え、冠状動脈造影、超音波心臓検査の所見を採録から、心筋梗塞の新規発症者を採録した。加藤らそれら得られた医療情報から診断基準に基づき、心筋梗塞の確実・可能性例に再分類を行い、発症数を特定している(加藤, 2021)。

2. 分析方法

RNNモデル実装環境

上記(1)(2)(3)のデータを使用したRNNモデル作成のパイロットプログラムの実装環境を以下に示す。モデルの訓練と予測値の推定にWindows10、64ビット、CPU Core i7、メモリ16GBのスペックのコンピューターを用いた。モデルの実装は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。anaconda2.4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。RNNのモデルは中間層1層のネットワーク(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、エポック数は300、バッチサイズは20でモデルを構築し、訓練をおこなった。O市コホート集団

I と II のデータから欠損値を除いた 2088 名のうち、2022 年 12 月末までに心筋梗塞を発症した人 33 名、発症していない人 2055 名の健診データを用いて心筋梗塞予測モデルの作成を検討した。心筋梗塞発症の有無および健診データとしては、性別、年齢、身長、体重、BMI (Body Mass Index)、最大血圧 (収縮期血圧) 最小血圧 (拡張期血圧)、血液データの GOT, GPT, γ GTP, 総コレステロール, HDL コレステロール, 中性脂肪,, ヘモグロビン A1c, クレアチン, 尿酸,喫煙の有無の 17 項目を利用した。

III. 結果

(1)SLNN モデル適正 (データ標準化なし)

第一作業として 2022 年 12 月末までに心筋梗塞を発症した人 33 名、発症していない人 2055 名の健診データを学習後に汎化性能を確かめるテストデータ(test)として切り分け、ニューラルネットワークの重みを更新する学習データ(train)とし、正解率 (精度) と損失 (図 2 と図 3) からモデル適正を決定した。

正解率 (精度) は正解率が 0.98564, 損失率は 0.0843 であった。これら図 2 と図 3 は、データの標準化(前)の計算結果である。

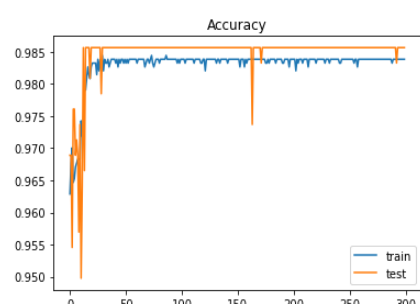


図 2 標準化 (前) 正解率 (精度)

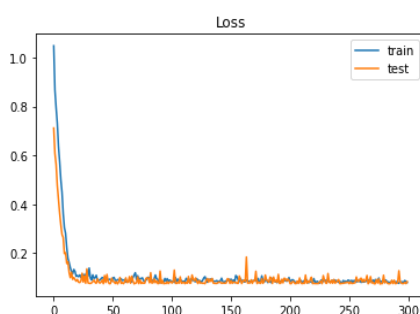


図 3 標準化 (前) 損失率

(2)SLNN モデル適正 (データ標準化あり)

機械学習においては、データ値の大小によって、

正解率と損失率が影響を受けることから、学習させるデータを 0-100 のパーセントに標準化させ、学習させることがなされる傾向にある。これら図 3 と図 4 は、データの標準化(後)の計算結果である

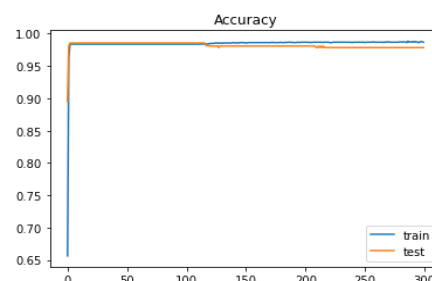


図 3 標準化 (後) 正解率 (精度)

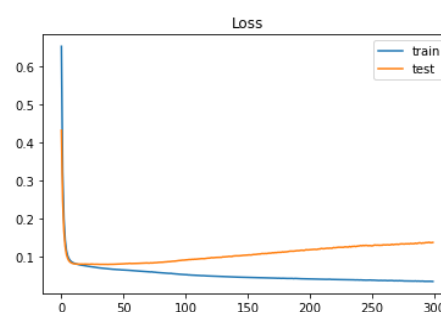


図 4 標準化 (後) 損失率

(3)心筋梗塞の発生の検証

第二作業は、第一作業のモデルと学習済み重みデータを用いて、観察集団 (コホート II) において「実際に心筋梗塞を発症していない」住民の新規データ 2421 名について、predict 関数で予測させたところ、発症する (yes) と予測した人は 0 人であり、発症しない(no)と予測した人は 2421 人 (うち実際に発症しなかった人 2415 人) となり正解率は、 $2415 \div 2421$ で求められ 0.99752 となった。

(4)疾病登録の心筋梗塞による死亡者と厚生労働省の死亡小票との一致

1996 年から 2022 年の 27 年間に、われわれの実施した 0 市コホート I (参加者 5161 人) および 0 市コホート II (参加者 3600 人) の心筋梗塞発症登録では、コホート I において 128 人の発症、コホート II では、19 人の発症を確認することができた。厚生労働省から入手した 27 年間の心臓疾患での死亡者数 (ICD コード I20 -25, I50, I00- 02.0, I05-09, I30 -52) は 2899 人であった。0 市コホート I およびコホート II を併せた 8161 人の中で、厚生労働省の死亡票から確認した心筋梗塞による死亡者数

は50人であった。さらに、疾病登録において、心筋梗塞で死亡した人数は32人あり、心筋梗塞で死亡した参加者が厚生労働省の死亡票の病名として登録されている割合は64%であった。

IV. 考察

近年、機械学習・深層学習による電子カルテデータを用いた糖尿病の発症予測 (Thomas, 2018)や RNN を用いた複数年にわたる健康診断データを用いて健康診断で測定される測定値の予測が試みられている (Han-Gyu, 2017)。

健康診断が主な対象としている生活習慣病は、感染症とは異なり、発症までに時間がかかることから、健康診断データを用いて疾患を発症する前の段階である未病段階における疾患の進行について予測を行う機械学習による解釈可能な予測モデルの構築が必要となることが指摘されている (大場, 2020)。すなわち、O市コホート I と II のベースラインは脳心事故発生の危険因子を抽出するための詳細な健康診断であったとしても、研究参加者全員に脳心事故発症の危険因子が見つかるわけではない。O市コホート I と II 健康診断データセットは、健康な受診者と脳心事故発症の危険因子を持つ受診者の人数差が大きい不均衡なデータセットとなっている。

本研究においては、少しでも脳心事故発症の高い予測確率を得るために健康診断の間診項目のように脳心事故を発症したかどうかを聞き取る調査ではなく、主要基幹病院における脳心事故の疾病登録データを用いた信頼性の高い医療情報を用いてエンドポイントを決定している。

特に、われわれが使用した脳心事故発症の疾病登録結果をエンドポイントとして使用する手法は、従来の疫学指標として一般的に使用されている脳心事故の危険因子のトレンド検定、相対危険度と集団寄与割合を算出することができ、従来の疫学指標を用いて RNN による脳心事故の発症予測確率を検証可能な地域はごく限られており学術的にも有意義と考えられる。本研究の特徴は O市コホート I と II の研究参加者の脳心事故発症予測確率を算出するとともに、2023 年以降に本当に脳心事故が発生したかどうかについては、脳心事故新発症者発症登録と突合させることによって脳心事故発症予測確率の確度を検証することができる。

一方、SLNN モデルから算出された脳心事故の発症予測確率を一般の健康診断受診者の健診結果に提示することは、疾病予防のポピュレーション戦略における健康の保持増進に説得力を持たせるとともに健診受診者の疾病予防の動機づけを高めることができると考えている。

O市コホート I および II 研究から得られる脳心事故発生の危険因子に関する従来の疫学指標と SLNN モデルによる脳心事故疾病発症確率とを比較することによって、社会医学研究における AI の位置づけ、課題を明らかにし、今後社会医学における AI 研究の発展に寄与できると考える。

疾病登録の限界

われわれの脳心事故の疾病登録に以下の限界がある。われわれは、脳心事故が原因となる病院到着時死亡や在宅死亡について詳細な疾病情報を得ることはできていない。また、救急搬送情報については、個人情報保護の観点から、救急隊の情報を入手することはできない。O市 Cohort I および II の参加者については脳心事故が原因となる死亡原因は、愛媛県 Y 保健所にある死亡票で死因の確認が可能である。しかしながら、O市 Cohort I および II の参加者以外の住民が脳卒中および心筋梗塞で死亡した場合については、個人情報保護の観点から、保健所にある死亡票で氏名の確認をすることができない。また、O市 Cohort I および II の参加者であっても、脳心事故が原因となり、寝たきり状態から肺炎によって死亡した場合は、死因が変更されている可能性がある。O市 Cohort I および II の参加者が脳心事故によって死亡した場合は、Y 保健所での死亡票と照合し、疾病登録の精度を管理してきた。しかしながら、訪問診療による在宅死亡もしくは警察官による検視による急性心不全や心臓内因死という死因の中に、急性心筋梗塞による不整脈死や心筋破裂が内在しており、即死する急性心筋梗塞における疾病登録の悉皆性を担保していることを確認できていない。また、救急搬送については、医師が同乗すれば O市以外に搬送することが可能であるため、O市以外に搬送された生存者数は不明であるため疾病登録の実際の精度は不明である。

V. おわりに

地域健康教育への展開

われわれの生活を脅かす脳心事故を予防するため

には、地域における健康づくりを推進していかなければならない。集団全体に働きかける方法をポピュレーションアプローチと呼ばれ、疾患発症の予防効果が期待される(厚生労働省, 総論)。そこで重要となってくるのが効果的な保健指導の実施である。大森 (2012) は、保健指導が (1) 病気や療養行動に関する知識の向上 (2) セルフマネジメント行動の習得を可能となることを報告している。冠動脈の狭窄による別部位での心筋虚血による心筋梗塞の再発や陳旧性心筋梗塞が原因となる心不全の予防に貢献すると考えている。われわれが作成したエビデンスに基づいた脳心事故発生予測モデルを健診に用いることで、疾病予防のポピュレーションアプローチに新たな展開を提示することができる。今後、蓄積された健康診断データ、健康関連データから脳心事故発症について精度の高い予測モデルを開発するために必要な学習データ項目を明らかにすることによって地域のヘルスプロモーションに新しい切り口での疾病予防政策を提示することができ、公衆衛生学的にも重要な方略となる。

付記・謝辞

本研究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、これまで以下の文部科学省科学研究費補助金により構築してきたを報告する。(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) からの研究助成を得ている。研究の一部は JSPS 科研費 JP12345678 の助成を受けている。

文献

大場勇貴, 手塚太郎, 讃岐勝, ほか 1 名 (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 DEIM2020 I2-2(day1) p58.

大森豊緑 (2012) [https://mhlw-](https://mhlw-grants.niph.go.jp/project/18151)

[grants.niph.go.jp/project/18151](https://mhlw-grants.niph.go.jp/project/18151) (2025 年 1 月 19 日確認)

加藤匡宏, 丸山広達, 斉藤功 (2021) 愛媛県 0 市における 25 年間の脳卒中および虚血性心疾患の疾病登録調査 愛媛大学教育実践センター紀要 39 巻, 23-33.

厚生労働省, 総論

https://www.mhlw.go.jp/www1/topics/kenko21_11/pdf/s0.pdf (2025 年 1 月 19 日確認)

Han-Gyu Kim, Gil-Jin Jang, Ho-Jin Choi, (et al.) (2017) Recurrent neural networks with missing information imputation for medical examination data prediction. 2017 IEEE

International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp) Jeju, 2017-02-13/16, IEEE, 2017, 317-323.

斉藤功, 小西正光, 渡部和子, ほか 3 名 (2007) 地域集団におけるメタボリックシンドロームの脳卒中罹患に及ぼす影響について 日本公衆衛生雑誌 54 巻, 10 号, 677-683.

斉藤功, 山内加奈子, 山泉雅光, ほか 1 名 (2022) メタボリックシンドロームと脳卒中罹患 : 18.6 年間のコホート研究 日本公衆衛生雑誌 69 巻, 5 号, 394-402.

Thomas Garske (2018) Using deep learning on EHR data to predict diabetes. University of Colorado at Denver. 2018, Ph.D. thesis

シークワサー搾汁残渣精油の殺菌効果とそのメカニズムの推定

Bactericidal effect of essential oil of Shiikuwasha squeezed juice residue and estimation of its mechanism

○岡本拓実^{*1}, 岡本威明^{*2}

OKAMOTO Takumi^{*1}, OKAMOTO Takeaki^{*2}

^{*1}愛媛大学農学部, ^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Faculty of Agriculture, Ehime University, ^{*2}Faculty of Education, Ehime University

【要約】 沖縄県の特産品であるシークワサーは現在、果肉を利用したジュースなど果汁加工品として主に利用されており、その過程で果皮などの搾汁残渣は大量に廃棄されている。本研究ではシークワサー搾汁残渣から低温真空乾燥法により精油を抽出し、精油による殺菌効果とその活性成分について検討した。その結果、希釈率2倍以下の精油において濃度依存的な殺菌効果が認められた。また、その活性成分を検討した結果、精油の香気成分のうち高い割合を占めているリモネンと γ -テルピネンに浸漬した試験区において大腸菌群のコロニー数が減少した。よって、これらの香気成分が精油における殺菌効果の活性成分となることが推察された。また、それら2種を混合することで1種類のための香気成分を作用させた場合よりも強い殺菌効果が発揮されることが確認された。

【キーワード】 シークワサー、搾汁残渣、精油、殺菌効果

I. 研究の背景と目的

シークワサー (*Citrus depressa* Hayata) とは、沖縄県で主に生産されている香酸柑橘の総称である。沖縄県園芸振興課の資料によると令和元年度のシークワサーの販売量は2,554 tであり、そのうち加工用が2,404 t、生果用が150 tである。販売量の90%以上が加工用に販売されており、ジュースやポン酢など果汁を加工した商品に利用されている。しかし、シークワサーの搾汁効率は50%程度であり、毎年1,200 t程度が廃棄されている。そのため、加工後の搾りかすである搾汁残渣から低温真空乾燥法で精油を抽出し、機能性を付与することを考えた。

また、微生物における食品の腐敗は健康被害や食品廃棄などの問題にもつながり、我々の生活においても身近かつ重大な問題である。日本でも、毎年、病原性大腸菌やサルモネラ菌による食中毒が発生している。そして、一般生菌や大腸菌、大腸菌群は衛生指標菌として、食品汚染の評価基準にもなっている。さらに、そのような食品腐敗菌に対する抗菌効果がティーツリーオイルなどさまざまな精油において認められており(Carson. *et al.*, 2006)、その効果に関する研究も広く行われている。

よって、本研究ではモヤシ表面上に常在している大腸菌群に対するシークワサー搾汁残渣精油の殺菌効果とその活性成分を検討した。また、これらの研究成果をもとに、シークワサー搾汁残渣精油に機能性

を付与し、付加価値のある製品の開発の一助となることを目的とした。

II. 研究の方法

1. 材料と実験機器

<試薬>

シークワサー搾汁残渣から低温真空乾燥法により抽出した精油は、(株) 沖縄アロエから提供された。リモネンは、富士フイルム和光純薬から購入した。 γ -テルピネンは、Sigma-Aldrich から購入した。ホホバオイルは、生活の木(オンラインショップ)で購入した。酢(ミツカン)は、松山市内のスーパーで購入した。

<サンプル及び細菌の培養方法>

松山市内のスーパーで購入したモヤシ表面上の細菌をフードスタンプ® XM-G 寒天(ニッスイ)を用いて、カルチャーインキュベーターFI-280(アイキューブ)で培養した。

2. 分析方法

a. シークワサー搾汁残渣精油の殺菌効果の検討

シークワサー搾汁残渣精油(原液, 2倍希釈溶液, 4倍希釈溶液), 酢(positive control), ホホバオイル(negative control) 各10 mlに約4 cmに切断したモヤシを1分間浸漬した。その後、浸漬したモヤシを大腸菌および大腸菌群を特異的に増殖させる培地であ

るフーズスタンプに押し付け、24~48 時間 37℃で培養し、1 cm²あたりのコロニー数を計測した。

b. 香気成分の成分分析

シークワサー搾汁残渣精油を(株)一十八日に依頼して、ガスクロマトグラフィーによる香気成分の成分分析を行った。

c. 香気成分に着眼した活性成分の検討

シークワサー搾汁残渣精油に含まれている香気成分であるリモネン(原液, 2 倍希釈), γ -テルピネン(原液, 3 倍希釈), 酢, ホホバオイルにモヤシを押し付け、前述と同様の条件で培養した。

さらに、殺菌効果を示す活性成分の検討をより詳細に行うため、リモネン, γ -テルピネン, ホホバオイルの比が5:3:2になるよう混合したものにモヤシを1分間浸漬し、前述と同様の条件で培養した。

Ⅲ. 結果

1. シークワサー搾汁残渣精油の殺菌効果の検討

シークワサー搾汁残渣精油に浸漬したモヤシ表面上の大腸菌群のコロニー数を計測した結果、ホホバオイルの試験区は138 個、精油原液の試験区は48 個、精油2 倍希釈の試験区は99 個、精油4 倍希釈の試験区は134 個確認された(図1, 写真1, 2, 3, 4)。原液の試験区と2 倍希釈の試験区のコロニー数を比較すると、原液の試験区は、その半分程度に減少していた。

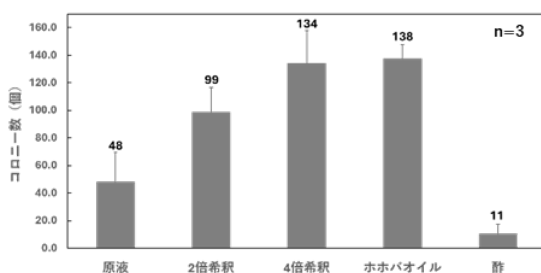


図1 精油の殺菌効果コロニー数



写真1 精油原液

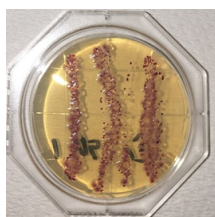


写真2 精油2 倍希釈

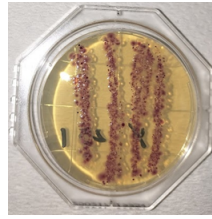


写真3 精油4 倍希釈

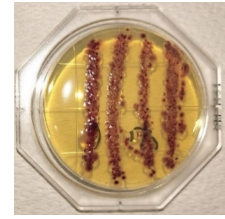


写真4 ホホバオイル

2. 香気成分の成分分析

シークワサー搾汁残渣精油における香気成分の組成をガスクロマトグラフィーによって分析した。その結果、リモネンが約47%, γ -テルピネンが約30%, p-シメンが約7%, その他5%未満の香気成分が約25%であった(表1)。

表1 精油中の香気成分

香気成分	割合
リモネン	47.4%
γ -テルピネン	30.3%
p-シメン	7.2%
α -ピネン	4.2%
β -ピネン	2.7%
ミルセン	1.6%
その他の香気成分 (1%未満)	6.6%
合計	100%

3. 活性成分となる香気成分の検討

各種香気成分に浸漬したモヤシ表面上の大腸菌群のコロニー数を計測した結果、リモネン原液の試験区は66 個、リモネン2 倍希釈の試験区は105 個、 γ -テルピネン原液の試験区は48 個、 γ -テルピネン3 倍希釈の試験区は142 個、ホホバオイルの試験区は138 個確認された(図2, 写真5, 6, 7, 8)。

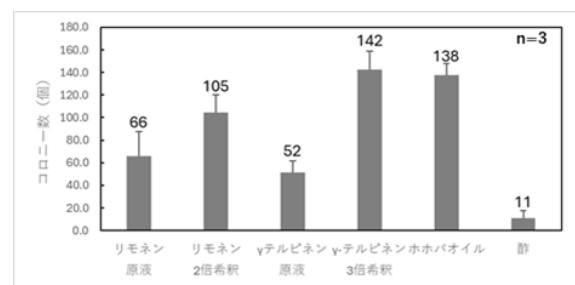


図2 香気成分による殺菌効果①



写真5 リモネン原液



写真6 リモネン2倍希釈

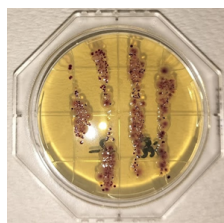


写真7 γ-テルピネン原液

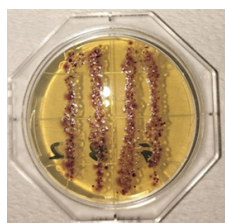


写真8 γ-テルピネン3倍希釈

さらに、リモネン、γ-テルピネン、ホホバオイルを5:3:2の割合で混合した試験区は67個のコロニーが確認された(図3、写真9)。1種類の香気成分のみの試験区と比較すると、混合した試験区の方がコロニー数は減少していた。

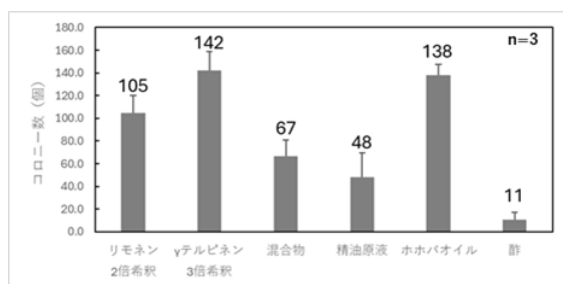


図3 香気成分による殺菌効果②

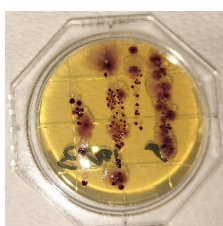


写真9 リモネン・γ-テルピネン・ホホバオイル混合液

IV. 考察

1. シークワーサー搾汁残渣精油の殺菌効果の検討

シークワーサー搾汁残渣精油に浸漬したモヤシを押し付けたフードスタンプでは、対照群と比較して2倍希釈以下の濃度で明らかな殺菌効果が見られた。さらに、その効果は希釈倍率が小さいほど殺菌効果は大きくなることから、濃度依存的に殺菌効果は上昇する

と推察された。

また、精油の殺菌効果のメカニズムの推定のため、シークワーサー搾汁残渣精油と同様にリモネンとγ-テルピネンを多く含んでいる仏手柑精油を用いた Liらの研究を調査した。その研究において、仏手柑精油の細菌に対する抗菌効果が認められ、そのメカニズムとして、大腸菌と黄色ブドウ球菌の細胞膜の破壊と細胞膜の破壊に伴う細胞内物質の漏出によって引き起こされることが示唆されている。また、精油による細菌の細胞の変形が用量依存的に発生しており、さらに、仏手柑精油で処理した大腸菌は細胞膜の透過性が上昇し、細胞膜が破壊されることが確認された。これにより、細胞膜の破壊とそれに伴う核酸とタンパク質の漏出によって細胞死が引き起こされることが示唆されている (Li, *et al.*, 2019)。そのため、同様の香気成分を含むシークワーサー搾汁残渣精油においても、同様のメカニズムで殺菌効果が発揮されるのではないかと推察された。

また、リモネンとγ-テルピネンの原液に浸漬したモヤシを押し付けたフードスタンプにおいても対照群と比較してコロニーが明らかに減少していたため、リモネンとγ-テルピネンには殺菌効果があると考えられた。さらに、精油に含まれている各種香気成分の濃度程度(リモネン 50%, γ-テルピネン 33%)まで希釈すると、リモネン単独ではコロニー数が減少していたが、γ-テルピネン単独では対照群とほぼ同程度の数のコロニーが確認された。しかし、2種類の香気成分を混合すると、各種香気成分1種類のみの試験区よりもコロニー数が減少し、精油原液に浸漬したときのコロニー数に近づいた。以上のことから、シークワーサー搾汁残渣精油の殺菌効果は、主にリモネンとγ-テルピネンの2種類の香気成分の働きで引き起こされたと推察された。

また、各種香気成分を混合した試験区のコロニー数は、リモネン2倍希釈あるいはγ-テルピネン3倍希釈で変化したコロニー数の総和よりも多く減少していた。よって、この2種類の香気成分の相乗効果により、シークワーサー搾汁残渣精油は強い殺菌効果を発揮したと考えられる。実際、多くの香気成分は1種類作用させた時よりも複数種類を組み合わせた場合において殺菌効果が増強されることも報告されている (Baginska, *et al.*, 2023)。

2. 殺菌効果のメカニズムの推定

本研究の結果から、リモネンと γ -テルピネンの香気成分によりシークワサー搾汁残渣精油は殺菌効果を示すことが推察された。そのため、各種香気成分における殺菌効果の作用機序を先行研究の調査により検討した。

まず、Chueca らの研究によるとリモネンは、TCA 回路の活性化による電子伝達系の過剰な活性化、電子伝達系を介した NADH の枯渇およびフェントン反応による活性酸素の生成を引き起こす。この活性酸素により DNA や生体膜が損傷されることで、殺菌効果が発揮されることが示唆されている (図 4) (Chueca, *et al.*, 2014)。

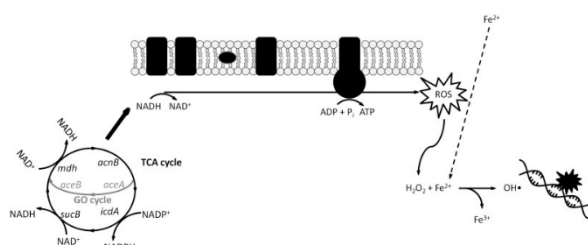


図4 リモネンの殺菌効果メカニズム

また、リモネンは活性酸素の生成のほか、走化性、酵素阻害、タンパク質合成阻害、細菌外膜の変化または破壊、細胞壁合成阻害、細胞内容物の漏出、内膜の脱分極、核酸合成阻害などさまざまなメカニズムで大腸菌への殺菌効果が発揮されることも報告されている (Chen, *et al.*, 2024)。

そして、 γ -テルピネンやリモネンなどモノテルペン類は微生物の細胞膜の脂質画分をかき乱すことにより、膜特性の変化を引き起こし、抗菌効果をもたらすことが認められている。さらに、モノテルペン類は細胞膜を通過して細胞内部に浸透し、抗菌活性に関与する細胞内の標的部位と相互作用することも示唆されている (Cristani, *et al.*, 2007)。

以上のことから、シークワサー搾汁残渣精油の殺菌効果の作用機序は、まず、リモネンや γ -テルピネンなどモノテルペン類の香気成分が細胞膜に作用し、細胞膜の損傷を引き起こす。その後、 γ -テルピネンとリモネンが細胞内に侵入し、細胞内のミトコンドリアなどさまざまな標的部位に作用する。これらの作用により、細胞膜の破壊と活性酸素の産生を引き起こし、シークワサー搾汁残渣精油は強い殺菌効果を示すと推測された。

また、疎水性の高さを示す数値である LogPow（オクタノール-水分配係数）は、リモネン 4.57 (ChemicalBook, 2024)、 γ -テルピネン 5.4 (ChemicalBook, 2024) である。そのため、モノテルペン類の細胞膜の損傷作用において、疎水性が高い γ -テルピネンはリモネンよりも細胞膜に作用しやすく、リモネンよりも先に細胞膜を破壊すると推測された。

V. おわりに

本研究では、シークワサー搾汁残渣精油において濃度依存的な殺菌効果が認められた。さらに、その活性成分は主としてリモネンと γ -テルピネンであり、その相乗効果によって強い殺菌効果が発揮されることが確認された。今後は、リモネンあるいは γ -テルピネンのみを 80%になるよう調製した溶液を用いて実験を行い、本研究のデータとの比較検討を行う必要がある。また、各種香気成分の混合比によって殺菌効果に変化する可能性があるため、様々な混合比条件下でのデータを蓄積していく。さらに、シークワサー搾汁残渣精油による殺菌メカニズムの検討を行うため、シークワサー搾汁残渣精油で処理した細菌の細胞膜損傷レベルの評価等も行う必要があると考える。

本研究で明らかとなった精油の殺菌効果の活用として、将来的に、精油の香りのよさと精油の殺菌効果とを組み合わせた除菌スプレーなどの除菌・抗菌グッズへの利用を考えている。

謝辞

本研究は第 23 回愛媛大学学生による調査研究プロジェクト (プロジェクト E) の助成を受けて実施した。

また、シークワサー搾汁残渣及びその精油の提供において(株)沖縄アロエの皆様、精油抽出において(株)協栄産業の皆様、ガスクロマトグラフィーの実施において(株)一十八日の皆様の協力を得た。深く感謝の意を表す。

文献

C F Carson A Hammer, T V Riley K. (2006). Melaleuca alternifolia (Tea Tree) Oil: a Review of Antimicrobial and Other Medicinal Properties. Clin Microbiol Rev. 2006 Jan;19(1):50–62.

Baginska, Golonko, Swislocka, *et al.*, . (2023).

MONOTERPENES AS MEDICINAL AGENTEXPLORING THE PHARMACEUTICAL POTENTIAL OF p-CYMENE, p-CYMENENE, AND γ -TERPINENE. Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research, Vol. 80 No. 6 pp. 879-892.

ChemicalBook. (2024 年 5 月 9 日). 安全データシート (+)-リモネン. 参照先: ChemicalBook: <https://www.chemicalbook.com/msds/jp/5989-27-5.pdf>

ChemicalBook. (2024 年 1 月 24 日). 安全データシート γ -テルピネン. 参照先: ChemicalBook: <https://www.chemicalbook.com/msds/jp/99-85-4.pdf>

Chueca, Pagán, García-Gonzalo. (2014). Differential Mechanism of Escherichia coli Inactivation by (+)-Limonene as a Function of Cell Physiological State and Drug's Concentration. PLoS One. 2014 Apr 4;9(4):e94072.

ChenDing, Guan, Zhou, *et al.*, (2024). The Pharmacological Effects and Potential Applications of Limonene From Citrus Plants: A Review. Natural Product Communications Volume 19(5): 1-12.

Cristani, D'Arrigo, Mandalari, *et al.*, (2007). Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes: implications for their antibacterial activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007, 55, 15, 6300-6308.

LiCai, Liu, Sun, *et al.*, (2019). Antibacterial Activity and Mechanisms of Essential Oil from Citrus medica L. var. sarcodactylis. Molecules 2019, 24(8), 1577

重信川の河原の石

Riverbank Stones Observed in the Shigenobu River

佐野 栄^{*1}SANO Sakae^{*1}^{*1} 愛媛大学教育学部地学^{*1} Earth Science Laboratory, Faculty of Education, Ehime University

〔要約〕 愛媛県中予，松山平野を流れる重信川の河原で採集できる岩石の図版集を作成した．重信川の河原では，北側の領家帯カコウ岩類と変成岩類，平野部の和泉層群を構成する碎屑岩類，そして中央構造線を挟んで南側の三波川変成帯の結晶片岩類，新第三紀中新世火山岩類等，多様な岩石を観察することができる．この図版を片手に河原に出かけ，様々な岩石を探してみたい．

〔キーワード〕 河原の石，カコウ岩類，碎屑岩類，変成岩類，領家帯，和泉層群，三波川帯

I. はじめに

河原の石は，上流の地質・岩石がどのようなものから構成されているのかを知る良い情報源である．また，専門家が野外における地質調査で調べる「露頭」は，落石などの危険を伴ったりアクセスが悪かったり等，一般的な岩石採集・野外観察には不向きなことが多い．これに対して，河原の石は，地質学的な背景を理解することと併せて活用すれば，学校現場等で十分価値のある教材となりうる．本稿では，松山平野を流れる重信川の河原で観察できる岩石を網羅的に図版としてまとめた．これから岩石採集をしようと考えている方々の参考になることを期待している．

II. 重信川水系の地質学的背景

重信川は，松山平野北東部に位置する東三方ヶ森（標高 1233m）を源流域とし，総流域面積が 445 km²の河川である（国土交通省，2007）．松山平野で，表川，本谷川，拝志川，御坂川，砥部川，石手川などの支流を合流し，伊予灘に達する（第1図）．第1図に示すように，重信川水系の河川は，松山平野北部の高縄山地と，南部の三坂峠～皿ヶ嶺～石墨山からなる皿ヶ嶺連峰に端を発する，多様な地質体を後背地としている．

松山平野の南部には中央構造線が東西に走り，それを境に日本列島の地質は，南側を西南日本外帯，北側を西南日本内帯に分帯される．西南日本内帯側は，主に領家帯を構成する岩石が分布する．領家帯は，後期三畳紀～ジュラ紀付加体構成物が，後期白亜紀のカコウ岩類の貫入により熱変成作用を受けて形成された

変成帯である．付加体を構成する岩石は，チャートや緑色岩，砂岩，泥岩などを原岩とする．これらの付加体構成岩類は，近畿地方の丹波帯や中部地方の美濃帯を構成する諸岩石に対比される．高縄半島ではこの後期三畳紀～ジュラ紀付加体構成岩類が約 9000 万年前（Kagami *et al.*, 1988）のカコウ岩質マグマの活動により熱変成作用を被り，ホルンフェルスや片麻岩などの変成岩類がつけられた．また領家帯を構成するカコウ岩類及び変成岩類は，白亜紀後期の和泉層群を構成する碎屑岩類に不整合で覆われている．和泉層群は，松山平野北部と南部地域に広く分布する，重信川流域の主要地質体である．

一方，松山平野南部では，中央構造線の南側に三波川変成岩類，新生代新第三紀中新世に活動した火山岩類が分布する．三波川帯を構成する変成岩類には，泥岩を起源とする泥質片岩（黒色片岩）や玄武岩質火成岩を起源とする苦鉄質片岩（緑色片岩），チャートを起源とする珪質片岩などが分布する．さらに，石鎚山などに代表される新生代新第三紀中新世の火山活動による安山岩，流紋岩などからなる酸性火砕岩類や溶岩などが三波川結晶片岩を覆っている．

III. 重信川の河原の岩石

本稿で取りあげた河原の石は，主に東温市横河原の河原と重信川の河口付近の河原で採集した．第1図に示されるように，重信川水系は松山平野を流れる河川のほぼ全域を占めている．そのため，周辺を構成する様々な地質に由来する岩石が上流から運ばれてくる．

領家帯のカコウ岩類や高温型変成岩類，和泉層群の碎屑岩類，三波川帯の結晶片岩類，そして新生代新第三紀中新世に活動した火山岩類等が，重信川の河原で観察できる。

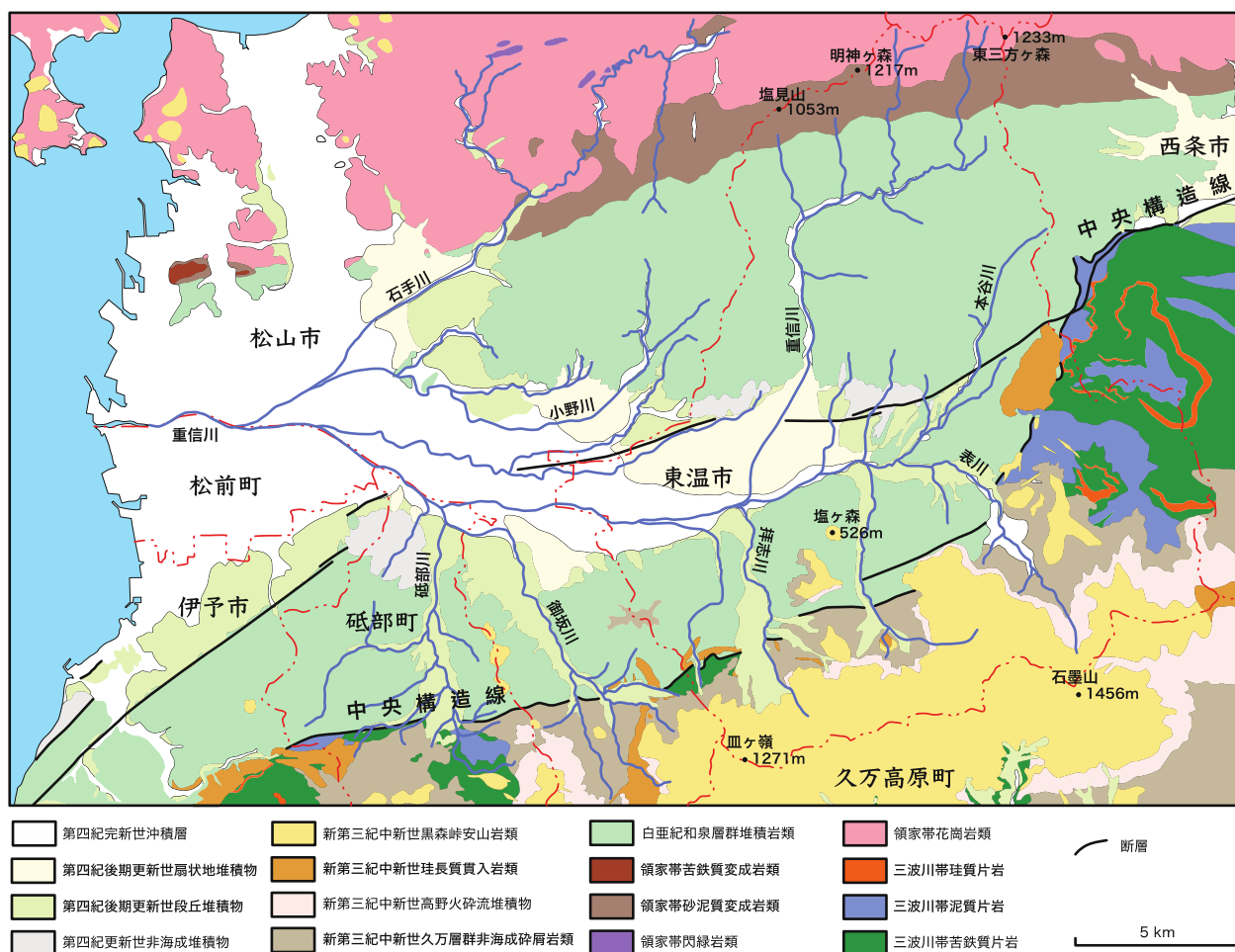
本稿では，重信川で観察・採集できる河原の石を写真と偏光顕微鏡観察によりまとめた。採集した岩石の写真を図版に示した。図版ではⅠ～Ⅲが火成岩，Ⅳ～Ⅶが堆積岩，Ⅷ～Ⅺが変成岩である。採集した岩石のうち，代表的なものについては偏光顕微鏡観察のための薄片を作成した。その写真を合わせて掲載した。偏光顕微鏡写真は直交ポーラー（クロス）と下方ポーラーのみ（オープン）の2種類の写真を掲載している。偏光顕微鏡は，岩石や鉱物を観察するために開発された顕微鏡で，薄片の上下に偏光板をセットして，その光学的特徴から岩石に含まれている鉱物の判定をしたり岩石の組織を観察したりするために用いられる。

偏光顕微鏡の使い方は黒田・諏訪（1983）に詳しく説明がなされているので興味のある方はそちらを参照されたい。また，教育現場であれば，既存の透過型生物顕微鏡の試料台（ステージ）の上下に，偏光板を偏光方向が直交する位置関係にセットすれば容易に直交ポーラー（クロス）の簡易偏光顕微鏡として活用することができる。

以下，重信川の河原で採集した岩石について，火成岩，堆積岩，変成岩の順に紹介する。

1. 火成岩（図版Ⅰ～Ⅲ）

重信川の河原では，その上流部に領家帯のカコウ岩体が広く分布するため，しばしば様々なカコウ岩類を観察することができる。カコウ岩類は，広い意味での酸性～中性の深成岩類の総称で，重信川の河原で観察できるカコウ岩類は，具体的には，カコウ岩，カコウ



第1図 松山平野周辺の地質。産総研地質調査総合センター（2024）によるシームレス地質図V2から当該エリアの地質情報を基に簡略化・再描画した。中央構造線以南の古第三紀～新第三紀火山岩類の分布並びに地質区分については吉田他（1993）を引用した。

閃緑岩，閃緑岩に大別できる．

・カコウ岩類（図版Ⅰ～Ⅱ）

松山平野北部の高縄半島に分布する領家帯を構成する花崗岩は，中生代白亜紀の酸性マグマの活動により形成された．狭義のカコウ岩には，ピンク～ベージュ色を呈する正長石（カリ長石）が多く含まれるのが特徴で，岩石全体がベージュがかってみえることが多い（図版Ⅰ Sg-55 など）．さらにカコウ岩には，白色の斜長石及び透明（灰白色）の石英が含まれる．比較的石英が多くなると岩石全体が灰色っぽくなることがある（図版Ⅰ Sg-58）．カコウ岩に含まれる有色鉱物は黒雲母である（図版Ⅰ）．またカコウ岩に多く含まれる正長石は，偏光顕微鏡で観察すると曹長石の離溶組織（カコウ岩の場合にはパーサイト構造ということがある）が観察できる．カコウ岩中の正長石中の離溶組織は，まるで「霜降り肉」のような模様を示すことが多い（図版Ⅰ）．カコウ閃緑岩は，正長石の含有量が相対的に少なく，無色鉱物は石英と斜長石が多い．有色鉱物は，黒雲母に加え角閃石が含まれることが多くなる．カコウ閃緑岩は，重信川の河原で最も多く観察できる深成岩である．カコウ閃緑岩には時々細粒の閃緑岩質岩石の包有物（暗色包有物）が含まれることがある．図版Ⅱ Sg-53 に示されるように，暗色包有物とカコウ閃緑岩との境界は不明瞭で，両者の成因関係はよく分かっていない．閃緑岩質の暗色包有物はその母岩のカコウ閃緑岩よりも明らかに細粒で，斜長石と角閃石を主体とし，黒雲母を含むことがある．閃緑岩は重信川の河原で探すことは難しいが，斜長石と角閃石の割合が多くなり，全体に黒っぽい色合いが強くなる（図版Ⅱ Sg-54）．まれに石英や黒雲母が含まれることがある．このほか，細粒のアプライトも観察できる（図版Ⅲ Sg-16, 42）．アプライトとは，カコウ岩質マグマの結晶化に伴い，残液が結晶化して形成されたと考えられる優白色細粒の火成岩である．アプライトは野外では粗粒のカコウ岩類を岩脈状に貫入して産出することが多い．顕微鏡下での観察では，アプライトは石英や斜長石等の無色鉱物からなり，これらの構成鉱物は 1mm 程度の細粒で，有色鉱物をほとんど含まない．

・火山岩（図版Ⅲ）

松山平野の南側に位置する皿ヶ嶺連峰には多くの火山岩類が分布する．これらの火山岩類は約 1200 万～1500 万年前の新生代新第三紀中新世の火山活動に

より形成された（吉田他，1993）．重信川の河原に産出する火山岩類は，多くが熱水による変質作用を受け脱色した安山岩～流紋岩である（図版Ⅲ Sg-47～49）．従って，典型的な安山岩や流紋岩とはかけ離れた岩相を呈するため，注意が必要である．脱色して白色化した火山岩は，斑晶が抜け落ちて仮晶となっていることが多い（図版Ⅲ Sg-47～49）．また石英や黒雲母が斑晶として残存している場合もある．Sg-48 では，斑晶の仮像が認められるが，その形から，抜け落ちた斑晶は石英であったことが推測される．また，熱水変質作用で再結晶化が進行しているものの，細粒の石英を主体とした石基，斑晶鉱物が認められることから，斑状組織を示す火山岩であったことが伺える．火山岩の熱水変質作用で脱色が進行したものは，砥部焼の原料（陶石）として利用されている．Sg-48 に観られるような縞模様は，しばしば堆積岩の層理面と間違われることがあるので注意が必要である．Sg-48 の顕微鏡写真に示されるように，赤茶けた縞模様は，化学的風化作用により形成された酸化鉄あるいは水酸化鉄（鉄さびの一種）であり，流紋岩質のマグマが冷え固まる段階で作られる流理構造とは明らかに異なる．

2. 堆積岩（図版Ⅳ～Ⅶ）

重信川の河原では，レキ岩，砂岩，泥岩（頁岩），砂泥混在岩等の碎屑岩類が観察できる．これらの碎屑岩類は，その起源として，白亜紀後期の和泉層群を構成する地層に由来するもの，美濃-丹波帯に相当する領家帯の非変成-弱変成部をなす三畳紀後期～ジュラ紀付加体構成物に由来するものに大別される．和泉層群は第1図に示されるように，中央構造線の北側に，東西に細長い「雨どい」状に分布する地質体である．白亜紀後期の中央構造線の左横ずれ運動によって形成された細長い堆積盆のような構造場が想定されている（Taira *et al.*, 1983 など）．このため風化侵食作用によって陸上から運搬された碎屑物が主体となっている．和泉層群は，レキ岩，砂岩，泥岩（頁岩）が整合的に重なってできた地層からなる．特にタービダイト（徳橋，2002）に由来する砂岩泥岩互層が最もよく観察される．レキ岩は和泉層群の最下部に多く分布する．時々，砂岩泥岩互層はスランプ褶曲をみせることもある．一方，領家帯由来の碎屑岩は，一般的に不均質なものが多く，砂岩と泥岩が複雑に入り交じった，“海底地滑り”によって形成されたような砂泥混在岩が多い．

この砂泥混在岩は、付加体の基質を構成するものと考えられる。さらに砂泥混在岩は、後述するように様々な程度の熱変成作用によりホルンフェルス化しているものが多い。

・レキ岩 (図版Ⅳ)

重信川の河原で観察される礫岩の多くは和泉層群を構成する岩石である。和泉層群の礫岩は、その分布域の最北端、領家帯を構成するカコウ岩類や変成岩を不整合に覆って産出したり、砂岩層を構成する粒子が特に粗粒になって礫層を形成したりする場合がある。礫岩を構成する粒子は、亜角礫から亜円礫が多く粒径が3~4mm から7~8mm で淘汰が悪いものが多い。礫種は、酸性凝灰岩あるいはチャートと考えられる細粒の石英粒子の集合体や、カコウ岩、砂岩、泥岩などからなる (図版Ⅳ Sg-22)。また、礫サイズの岩片が砂岩の基質中に散在する含礫砂岩も多く認められる (図版Ⅳ Sg-1, Sg-18)。

・砂岩 (図版Ⅳ~Ⅵ)

重信川の河原で最も多く観察できる岩石で、ほとんど和泉層群に属する。構成する砂粒が肉眼で十分に確認できる粗粒砂岩から粒子がようやく肉眼で認められる程度の細粒砂岩まで、多様な砂岩が観察できる。また、風化の著しい茶褐色の砂岩や、比較的風化の影響を免れている灰色のものなど、風化の程度の違いによって、いろいろな色の砂岩が観察できる。砂岩を偏光顕微鏡で観察すると角ばった石英粒やその基質の泥質部から構成されることが分かる (図版Ⅴ Sg-30)。このような構成物からなる砂岩をワッケという。砂岩は構成粒子の大きさが1/16mm~2mm 程度の碎屑粒子からなる岩石で、その粒子の大きさの違いに基づき、粗粒砂岩、中粒砂岩、細粒砂岩に区分される。一口に砂岩といっても粒度の違いや風化による色の変化など、様々な砂岩を並べてみると意外と多様性がある興味深い。また、砂層と泥層が互層を示すものや (図版Ⅵ Sg-15) 級化層理を示すような岩石 (図版Ⅵ Sg-6) も観察できる。

・泥岩 (頁岩) (図版Ⅵ)

重信川の河原で観察できる泥岩 (頁岩) は、和泉層群に属するものがほとんどであるが、後述するように砂粒あるいは砂層を含み不均質な“砂泥混在岩”も少なからず観察される。和泉層群に属する泥岩は、続成作用が進行して頁岩になっていることが多い。通常、熱変成作用を受けておらず、黒色で均質な岩相で特徴

付けられる (図版Ⅵ Sg-28, 32, 45)。風化の影響を受けやすいため、河川での運搬の過程で細かく碎かれることが多い。河原では、運搬されて定置した頁岩にしみ込んだ水が蒸発したり再び水がしみ込んだりして、岩石の膨張収縮が繰り返されることによる物理的風化過程を被った破壊の様子を観察することができる (図版Ⅵ Sg-32)。

・砂泥混在岩 (図版Ⅵ, Ⅶ)

さらに重信川の河原では、泥と砂が複雑に入り交じって固まった岩石も観察できる。この泥と砂が混ざった岩石を砂泥混在岩と呼ぶことにする。砂や泥は、元々陸上の岩石が侵食作用によって削られ河川をつうじて海まで運搬されて海底に堆積する。比較的陸地に近い大陸棚や陸棚斜面に堆積する。海底に堆積した未固結あるいは半固結状態の碎屑物は、地震が発生して海底が揺れることによって海底斜面をより深い海溝に向かって流れ下る。これは海底地滑りと呼ばれる。海底地滑りによって運ばれた未固結あるいは半固結状態の碎屑物は、粒の粗い砂質の部分と細かな泥質の部分が複雑に入り交じって再堆積する。これが砂泥混在岩となる (図版Ⅶ)。言い換えれば、砂泥混在岩は“海底地滑りの化石”ともいえる。図版Ⅶ Sg-46 に観られるように、砂混じり泥岩の顕微鏡観察では、泥質部と砂質部が複雑に入り交じっている様子が観察できる (図版Ⅶ Sg-46)。さらに顕微鏡下では微細な黒雲母が形成されており、すでに弱い熱変成作用を被っていることが分かる。

この砂泥混在岩は、上述のように海底地滑りによって形成されたものと推定されるが、同様の岩石は近畿地方の丹波帯や中部地方の美濃帯にも産出し、これらはジュラ紀付加体の基質部を構成する岩石と考えられている (平, 1990)。領家帯を構成する泥質岩や砂泥混在岩からはジュラ紀を示す放散虫化石が見つかり、岩石の年代や構成岩類の類似性などから、領家帯は美濃-丹波帯の西方延長部に相当する付加体構成岩類の泥質基質部に相当すると考えられている。さらに白亜紀のカコウ岩質マグマの貫入によって熱変成作用を受けたものが領家帯変成岩類になる。非常に弱い変成作用を受けている部分は、肉眼では変成作用を受けているかどうか識別が難しいため堆積岩として分類されることが多い。岩石を分類する上で、堆積岩と変成岩の境界ははっきりしないことが多い。

3. 変成岩 (図版Ⅷ～Ⅺ)

重信川の河原で観察できる変成岩は、松山平野北東部の重信川源流域に位置する領家変成岩類と、中央構造線を挟んで平野の東部及び南部の三波川変成岩類に由来する (第1図)。

高縄半島に産出する領家変成岩類は、カコウ岩質マグマの活動時期にほぼ等しい変成年代を示すことから、カコウ岩質マグマ貫入による周囲の岩石の高温低圧型変成作用 (接触変成作用) により形成された岩石である。代表的な領家変成岩類は、片麻岩やホルンフェルスであり、高縄半島周辺では、主に、砂泥質の堆積岩を原岩とするものが多い。

一方、中央構造線以南に産出する三波川変成岩類は、プレートの沈み込みに伴う低温高圧型の変成作用により形成された結晶片岩からなる。変成作用を受ける前の原岩の種類によって様々な結晶片岩がつくられる。例えば、海底火山の産物である玄武岩質溶岩や火山砕屑物、火山灰等が変成作用を受けると緑色片岩 (苦鉄質片岩) になり、泥岩が変成作用を受けると黒色片岩 (泥質片岩) が形成される。さらにチャートが変成作用を受けると再結晶した石英が多く含まれる珪質片岩になる。

・片麻岩 (図版Ⅷ)

片麻岩の原岩は砂岩や泥岩であることが多く、優白色の部分と優黒色の部分が互層をなすことが多い。この層状あるいは板状の構造を片麻構造という。砂泥互層のような堆積構造がそのまま片麻構造に変成していることもある。優白色部は主に石英や長石が、優黒色部は黒雲母やザクロ石が形成されていることが多い。図版Ⅷ中の Sg-21 に示されるように、いくつかの片麻岩中には、片麻構造の中に暗黒色の斑点が認められる。この斑点は、偏光顕微鏡で観察すると堇青石の斑状変晶であることが伺える。図版Ⅷに掲げた片麻岩中には、斑状変晶の堇青石の他に、代表的な変成鉱物として、黒雲母、電気石、ザクロ石等が認められる。

斑状変晶は変成作用の進行に伴い、温度圧力条件に相応して大きく再結晶化する鉱物のことである。変成岩では変成度の上昇に伴い鉱物の再結晶化が進行するが、一般に、温度が高くなるに従い結晶は大きく成長し、粗粒の鉱物から構成される岩石になる傾向がある。原岩が砂岩泥岩互層の Sg-63 では、泥質部は変成作用によって黒雲母を主体とした茶褐色の層になっており、細粒のザクロ石が多く形成されている。これ

に対し、砂質部は石英を主体とする淡褐色の層に再結晶化している。含まれる変成鉱物の種類に応じた色合いを呈することが分かる。

・ホルンフェルス (図版Ⅸ～Ⅺ)

重信川の河原で観察できるホルンフェルスは、原岩が砂泥混在岩であったものが多い。熱変成作用を受けると変成鉱物として黒雲母が形成される。岩石中に微細な黒雲母が形成されると、元々黒色を呈する泥質岩は、岩石全体の色合いが茶褐色～紫茶色がかった黒色になる。さらに熱変成作用により岩石は全体として非常に固く緻密になり、ハンマーで叩いても容易には割れない。そのため破断面が角ばった形状になる。ホルンフェルスは、Hom (ドイツ語で「角」の意) と Fels (ドイツ語で「岩」の意) が語源である。

図版Ⅸ Sg-60 は、砂質部と泥質部が複雑に混ざった砂泥混在岩の典型的な例である。肉眼では堆積岩に分類されそうであるが、偏光顕微鏡下ではすでに変成鉱物である黒雲母や電気石が形成されていて、立派な変成岩であることがわかる。さらに Sg-62 は、岩石の色合いが赤みを帯びて、ホルンフェルスらしさが増している。偏光顕微鏡下では、黒雲母の他に堇青石が観察できる。Sg-59 のホルンフェルスも原岩が砂泥混在岩で、変成鉱物として黒雲母、電気石が認められる。さらにこの岩石には炭質物やジルコンが観察できる。炭質物は元々植物片などの有機物が細かくなって泥質堆積物中に多く含まれる物質であるが、それが変成作用を被ると石墨になる。さらに、ジルコンは変成作用によって形成された鉱物ではなく砕屑性で、変成岩になる前のジルコンが辿った形成履歴を保持していることが多く、岩石の年代測定に非常に役立つ鉱物である。U-Pb 放射年代測定法を用いると原岩の形成年代を求めることができる。

さらに重信川の河原では、原岩の砂岩泥岩互層が褶曲した様子や堆積構造を保持しているホルンフェルスも見つけることができる。図版Ⅺの Sg-17 は、砂層と泥層が、まだ未固結あるいは半固結状態で褶曲 (スランプ褶曲) したと考えられる砂岩泥岩互層で、柔らかい状態のまま褶曲したことを表す泥質部の層内移動や層が引きちぎられた様子が記録されていて興味深い。また、Sg-64 では砂質部と泥質部が斜交葉理 (クロスラミナ) を形成している様子が保持されている。これもホルンフェルスである。

・結晶片岩 (図版Ⅺ)

支流の砥部川や重信川河口付近でよく観察することができる。重信川の河原で観察できる結晶片岩は、変成度がそれほど高くなく結晶度の低いものが多い。変形を伴う圧力主体の変成作用のため、片理を示す結晶片岩となる。片理は変成作用（変形作用）によって鉱物が面状に定向配列することによって形成される構造で、従って結晶片岩は薄く剥がれやすい性質を示すことが多い。また変成度の低い結晶片岩の片理面は堆積岩が起源の場合には層理面と片理面が一致する（層面片理面）ことがある。図版 XI には珪質片岩と緑色片岩を示した。Sg-50 の偏光顕微鏡写真のように、変成度が低い結晶片岩は再結晶化があまり進行しておらず構成鉱物は細粒のものが多い。

IV. おわりに

各種イベントや出前授業等をつうじて、岩石や鉱物に興味を持つ子どもたちが多くことに驚かされる。さらにその保護者や学校現場で理科を担当する教員の中にも、岩石収集を趣味にしたり、地域の岩石を授業で活用したいなど、興味を示す人が多いことに気づかされる。しかしながら、実際に野外に出かけて岩石採集をしてもなかなか岩石名を自分で決めることが難しいのが現状である。本稿はそのような岩石好きの人々に、少しでも岩石名を自分で決定できるようにするための一助になればと思い、図版を中心にして執筆を行った。本文は若干専門的な内容で難解な部分もあるかもしれないが、図版に多くの岩石を掲載し、写真を見ることで岩石名を決定しやすくした。例えば、砂岩を例にすると、一口に砂岩といっても粒度や色合いによって多様な岩相を示す。砂岩にもいろいろな顔つきがあることを理解してもらいたい。このため、複数の砂岩を写真で示すことによって理解を深めることができるようにした。また、岩石の写真だけでは物足りない人のために、偏光顕微鏡による岩石組織や岩石を構成する鉱物の写真を同時に掲載し、岩石の成因についても理解が深まるようにした。

重信川の河原では本稿で取りあげたように火成岩から変成岩まで、学校の授業で扱う基本的な岩石から、日頃なじみの薄い変成岩まで、多様な岩石を観察・採集することができる。ぜひ皆さんも、本稿の図版を片手に重信川の河原を散策してみたい。

愛媛県には、中予の重信川水系の他に広い流域面積を有する南予の肱川水系がある。広い流域面積を持つ

ため、肱川では重信川では観察することのできない、異なった種類の岩石がたくさん産出する。次号では肱川の河原の石について紹介する予定である。

文献

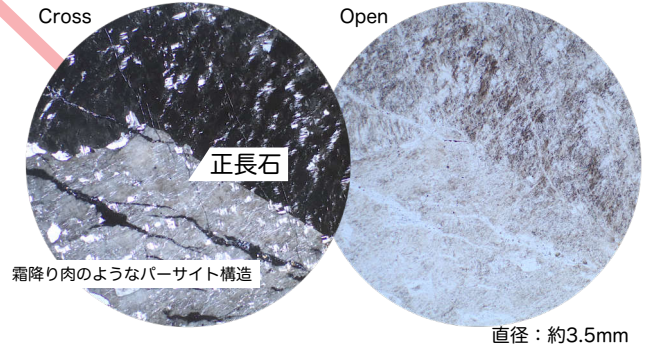
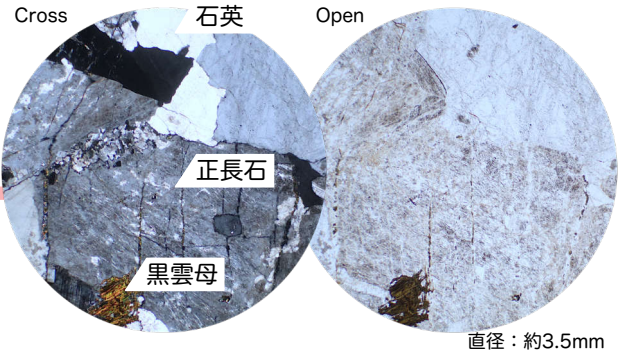
- Kagami, H., Honma, H., Shirahase, T. and Nureki, T. (1988) Rb-Sr whole rock isochron ages of granites from northern Shikoku and Okayama, Southwest Japan: Implications for the migration of the Late Cretaceous to Paleogene igneous activity in space and time. *Geochem. Jour.*, **22**, 69-79.
- 国土交通省河川局 (2007) 重信川水系の流域及び河川の概要. 77 ページ.
- 黒田吉益・諏訪兼位 (1983) 偏光顕微鏡と岩石鉱物 [第 2 版]. 共立出版株式会社.
- 産総研地質調査総合センター (2024) 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/> (閲覧日:2025 年 2 月 3 日).
- 平 朝彦 (1990) 日本列島の誕生. 岩波新書 148, 岩波書店.
- Taira, A., Saito, Y. and Hashimoto, M. (1983) The role of oblique subduction and strike-slip tectonics in the evolution of Japan. *AGU/GSA Geodyn. Ser.*, **II**, 303-316.
- 徳橋秀一 (2002) 徳橋秀一編著: タービダイトの話 (「地質ニュース」復刻版). 実業公報社.
- 吉田武義・村田 守・山路 敦 (1993) 石鎚コールドロンの形成と中新世テクトニクス. 地質学論集, **42**, 297-349.

カコウ岩の偏光顕微鏡下での組織

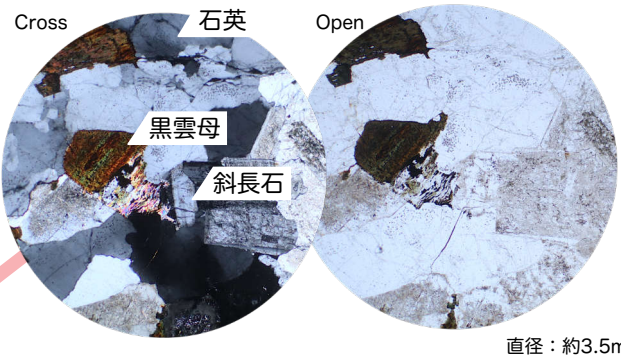
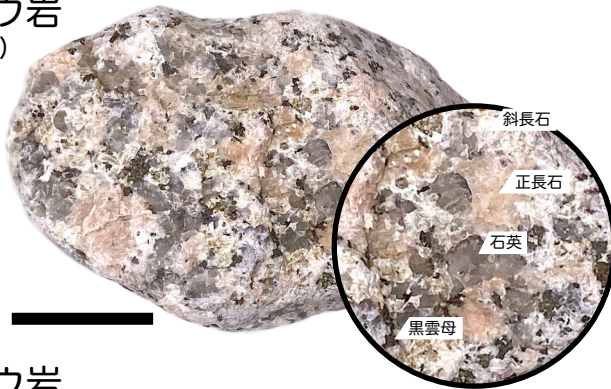
カコウ岩
(Sg-55)



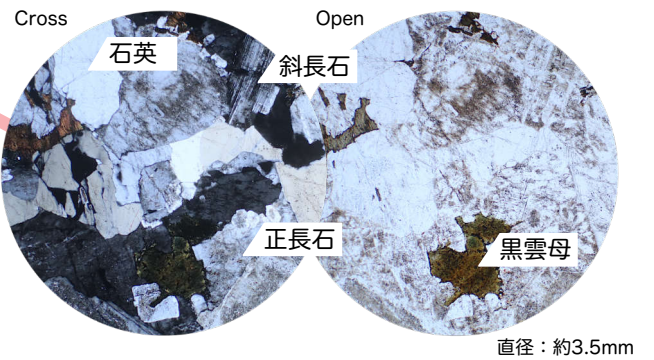
カコウ岩には、風化するとベージュ～ピンクがかった色合いになる正長石が含まれている。カコウ岩中の正長石は顕微鏡下でしばしば曹長石を離溶したパーサイト構造が発達している。



カコウ岩
(Sg-57)



カコウ岩
(Sg-56)



カコウ岩
(Sg-58)



カコウ岩
(Sg-61)



カコウ閃緑岩
(Sg-36)



カコウ閃緑岩

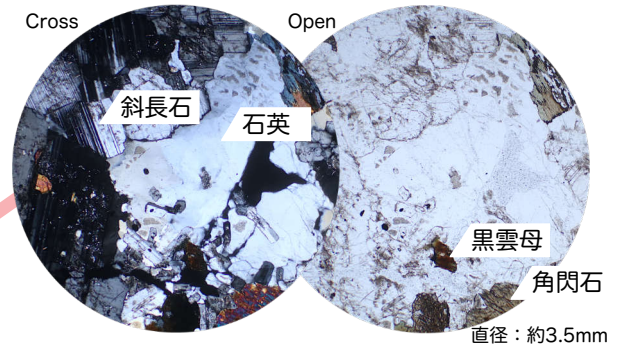
(Sg-53)



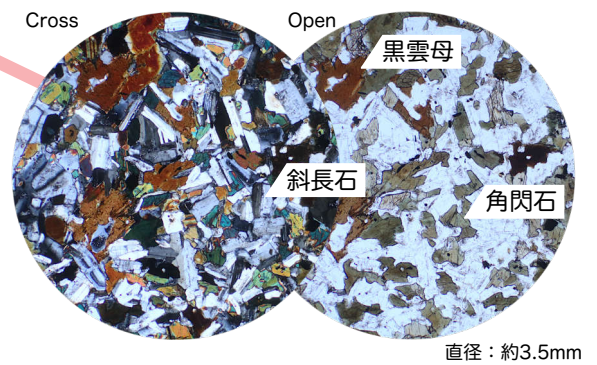
閃緑岩質暗色包有物

カコウ岩（カコウ閃緑岩）中には、時折、細粒の閃緑岩質の包有物が含まれることがある（暗色包有物）。

カコウ閃緑岩の偏光顕微鏡下での組織



暗色包有物の偏光顕微鏡下での組織



カコウ閃緑岩

(Sg-13)



カコウ閃緑岩

(Sg-33)

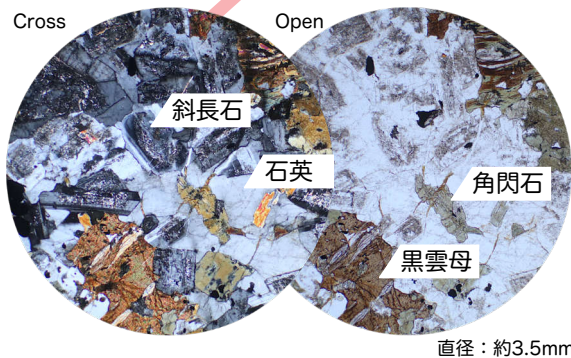


閃緑岩

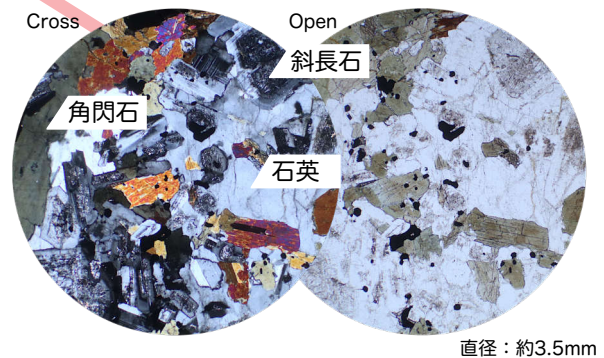
(Sg-54)



閃緑岩の偏光顕微鏡下での組織



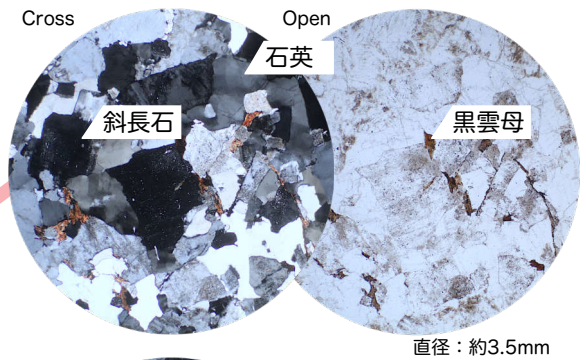
閃緑岩の偏光顕微鏡下での組織



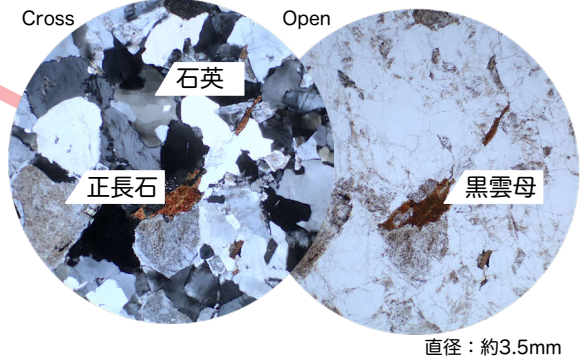
アプライト (優白質細粒カコウ岩)
(Sg-42)



アプライトの偏光顕微鏡下での組織



アプライト (優白質細粒カコウ岩)
(Sg-16)



変質した流紋岩
(Sg-47)



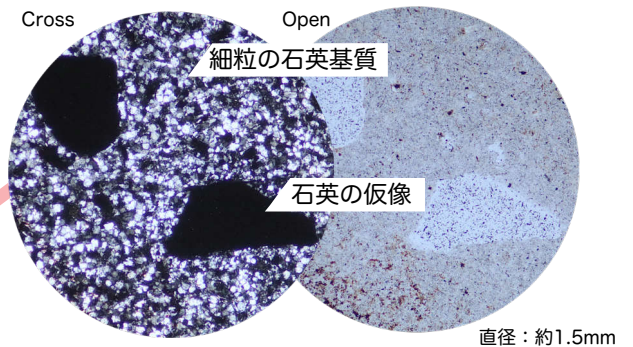
変質した流紋岩
(Sg-49)



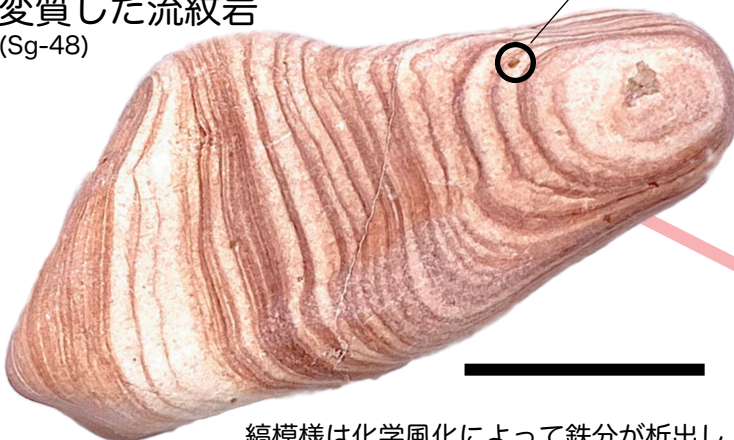
熱水変質作用によって
石英基の部分には細
粒の石英が形成され
ている。また斑晶の
石英は抜け落ちて空
洞になっている。

斑晶の石英が抜けた穴

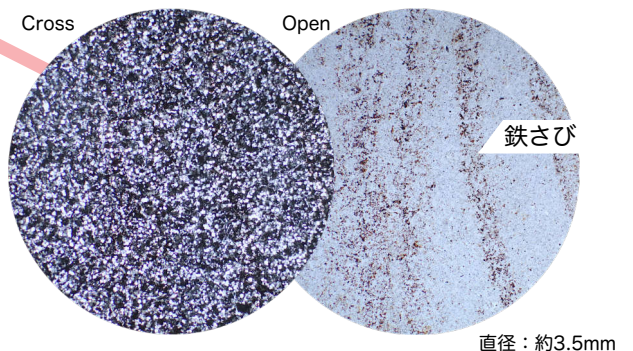
変質した流紋岩の偏光顕微鏡下での組織



変質した流紋岩
(Sg-48)



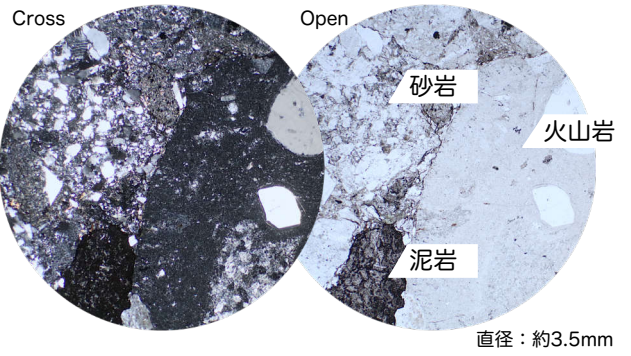
縞模様は化学風化によって鉄分が析出
して形成されている。岩石本来の縞模様
ではない。



レキ岩
(Sg-22)

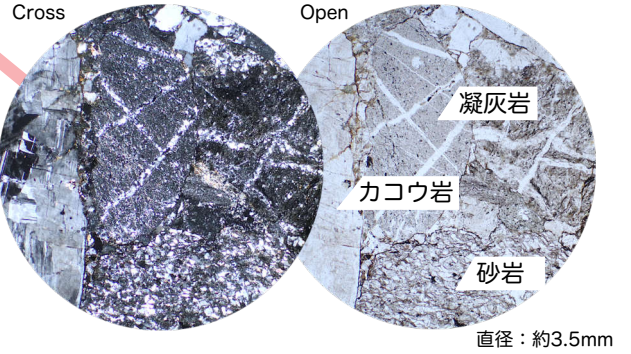


レキ岩の偏光顕微鏡下での組織



レキ岩には、砂岩、泥岩、凝灰岩、火山岩など、様々な種類の岩片が含まれている。

レキ岩
(Sg-11)



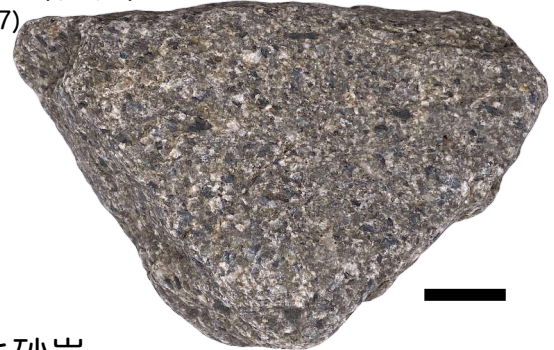
レキ岩
(Sg-9)



砂岩（粗粒）
(Sg-8)



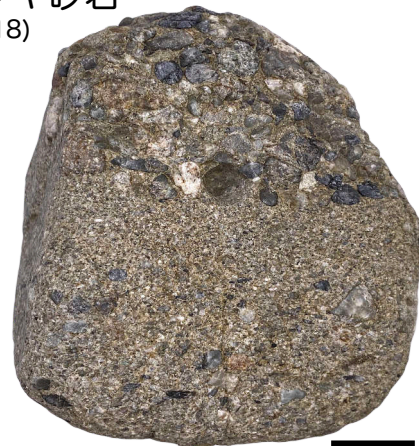
砂岩（粗粒）
(Sg-7)



含レキ砂岩
(Sg-1)



含レキ砂岩
(Sg-18)

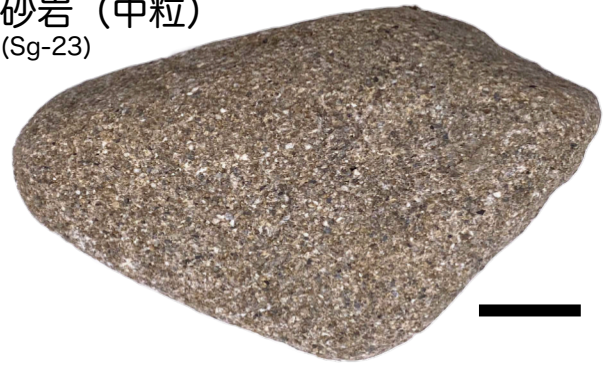


砂岩層とレキ岩層の境界部分か？上位のレキ層と下位の砂層境界付近では砂の粒子が細くなり、級化層理のような構造が認められる。

砂岩（中粒）
(Sg-27)



砂岩（中粒）
(Sg-23)



砂岩（中粒）
(Sg-31)



砂岩（中粒）
(Sg-37)



砂岩（細粒）
(Sg-20)



砂岩（細粒）
(Sg-38)



砂岩は大きさが1/16mm-2mm程度の構成粒子からなる碎屑岩である。一口に砂岩といっても粗粒、中粒、細粒と、その岩相は多様である。こうして砂岩を並べてみると粒の大きさ、色合いの違いなど多様で面白い。

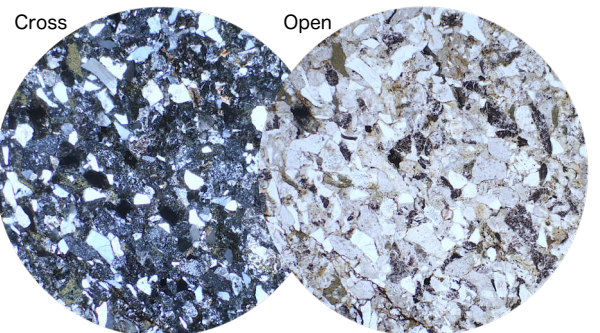
砂岩（細粒）
(Sg-25)



砂岩（細粒）
(Sg-30)



砂岩の偏光顕微鏡下での組織

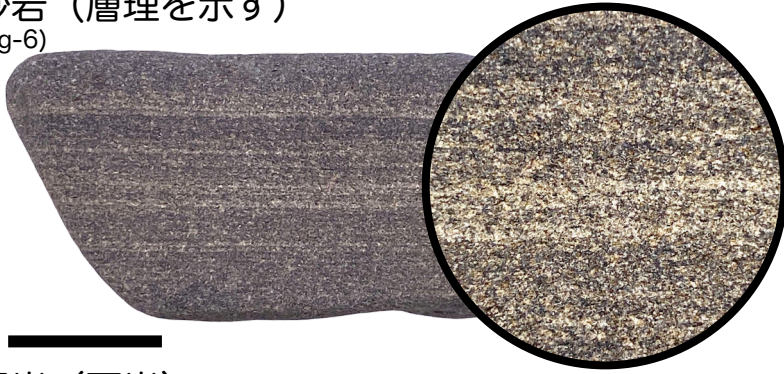


直径：約3.5mm

角ばった細粒の石英粒が多い。泥質基質が比較的多いことからこの砂岩は石英質ワッケに分類される。

砂岩（層理を示す）

(Sg-6)



砂岩と泥岩の互層

(Sg-15)



泥岩（頁岩）

(Sg-32)



泥岩（頁岩）は、物理的風化（膨張と収縮）により、容易に亀裂が発生する。この岩石では亀甲状の亀裂が認められる。

泥岩（頁岩）

(Sg-28)



泥岩（頁岩）

(Sg-45)



これらの泥岩（頁岩）は、中央構造線の北側に細長く伸びた、白亜紀後期に堆積した和泉層群の堆積岩である。砂泥混在岩のような未固結時変形を受けておらず、整然とした岩相を示すものが多い。

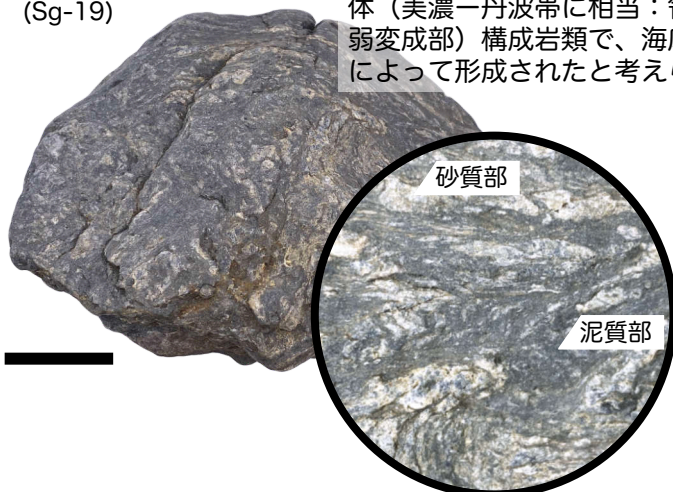
砂混じり泥岩

(Sg-14)



砂泥混在岩

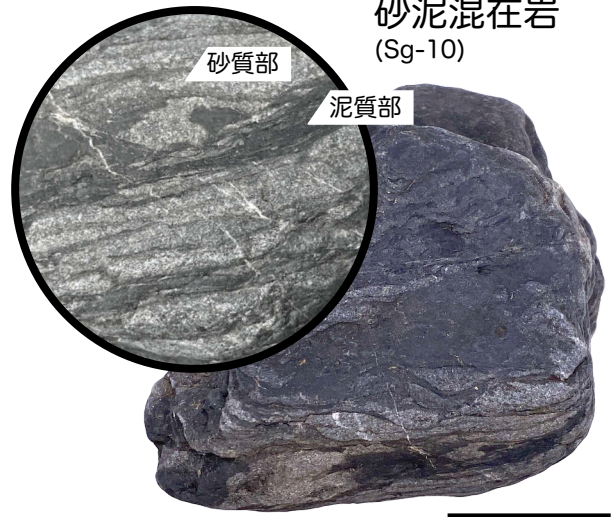
(Sg-19)



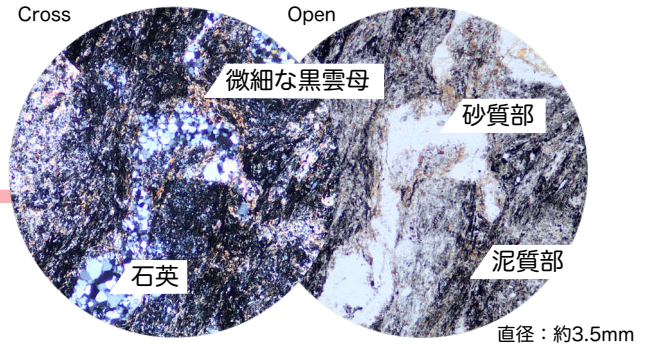
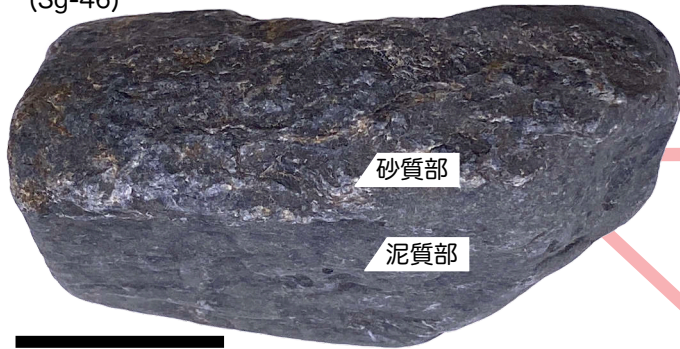
砂泥混在岩、砂混じり泥岩は、和泉層群の泥岩（頁岩）とは異なり、不均質な岩相を示す。これらの堆積岩は、ジュラ紀後期に形成された付加体（美濃一丹波帯に相当：領家帯の弱変成部）構成岩類で、海底地滑りによって形成されたと考えられる。

砂泥混在岩

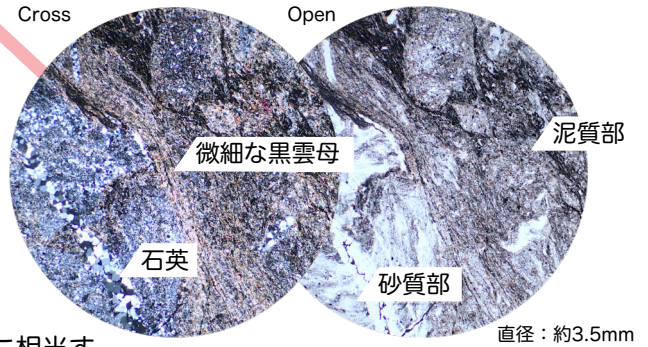
(Sg-10)



砂混じり泥岩（頁岩）（弱変成）
(Sg-46)



砂泥混在岩（弱変成）
(Sg-40)



領家帯の弱変成部に相当する岩石。肉眼では堆積岩に分類することが多いが、顕微鏡で観察すると、微細な黒雲母が形成されており、弱い熱変成作用を受けていることが分かる。この意味では、これらの岩石は堆積岩ではなく、変成岩に分類することもできる。

砂泥混在岩（弱変成）
(Sg-29)



砂泥混在岩（弱変成）
(Sg-5)

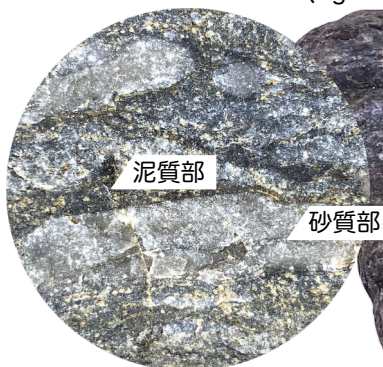


砂泥混在岩（弱変成）
(Sg-39)

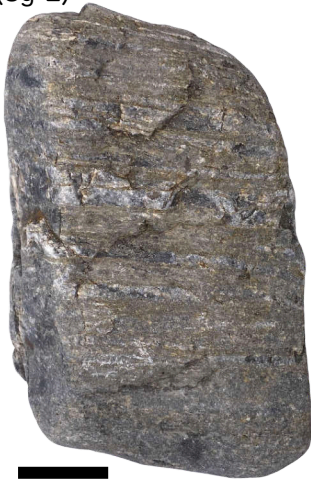


砂泥混在岩は、ハンマーで叩くと普通の泥岩（頁岩）よりも硬い。これは砂泥混在岩が熱変成作用を受けたことによる。元々砂質の部分は、石英の集合体となっている。また泥質部には微細な黒雲母が形成されている。

砂泥混在岩（弱変成）
(Sg-34)



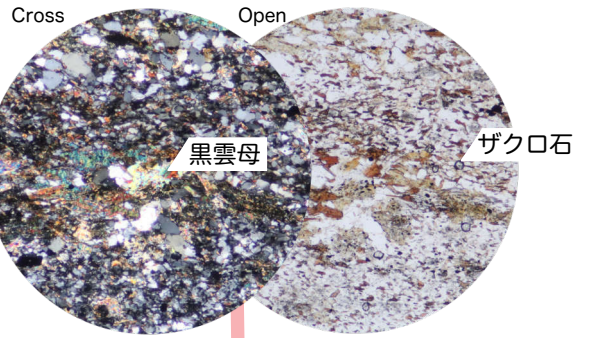
片麻岩
(Sg-2)



片麻岩
(Sg-52)



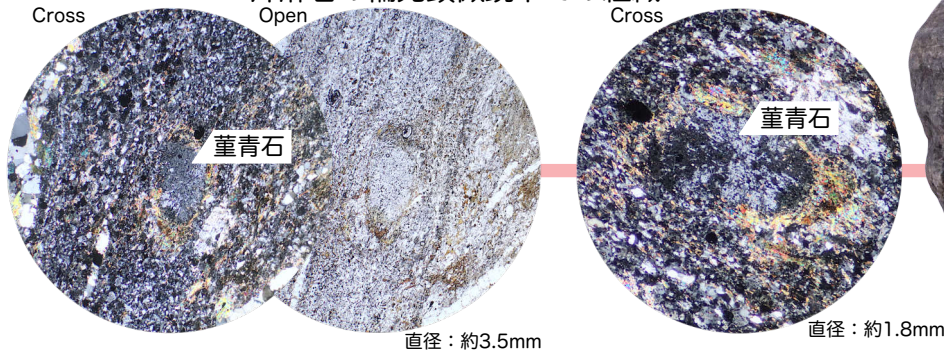
片麻岩の偏光顕微鏡下での組織



片麻岩
(Sg-21)



片麻岩の偏光顕微鏡下での組織

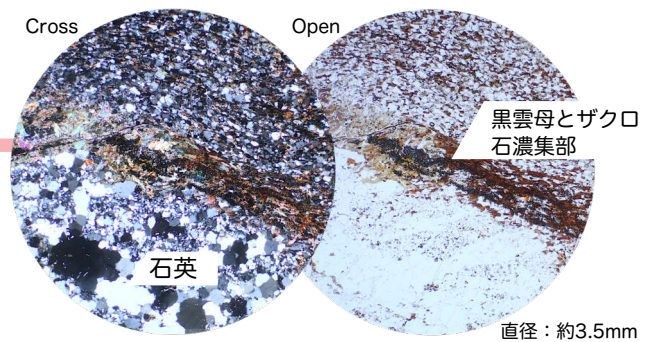


片麻岩
(Sg-63)



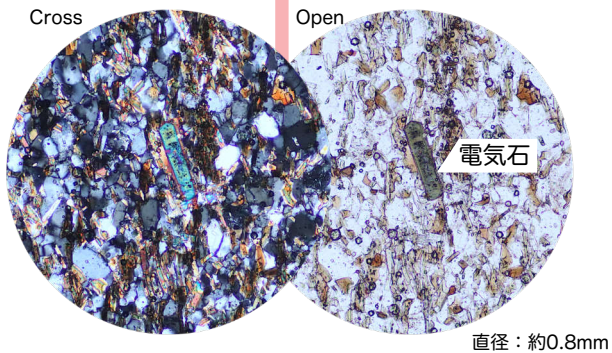
この片麻岩は、元々の岩石（砂岩泥岩互層）の構造がそのまま引き延ばされてきたような片麻構造を示している。

片麻岩の偏光顕微鏡下での組織

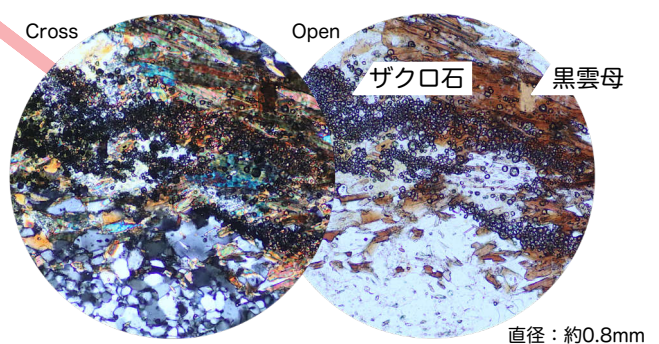


この片麻岩中には細粒のザクロ石がたくさん集合して黒雲母と共に層を形成している。

片麻岩の偏光顕微鏡下での組織



電気石は、オープンニコルで観察すると濃緑青色～淡黄色の顕著な多色性を示す。



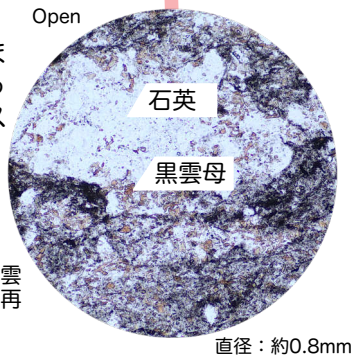
上の顕微鏡写真を拡大したもの。粒状のザクロ石がたくさん濃集している。

ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥混在岩） (Sg-60)

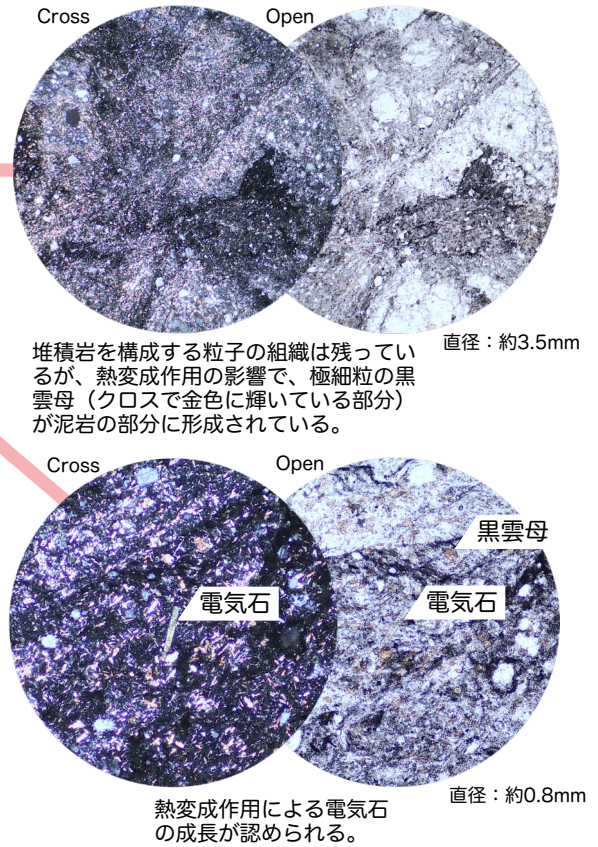


岩石組織は砂泥混在岩のままだが、全体に赤紫がかっているのがホルンフェルスの特徴（弱変成）。

茶色の細かい鉱物が黒雲母。熱変成作用による再結晶化で形成された。



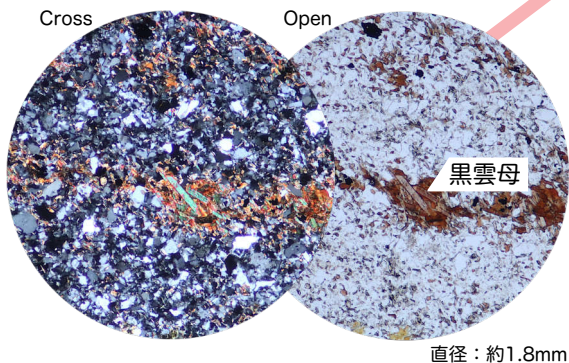
ホルンフェルスの偏光顕微鏡下での組織



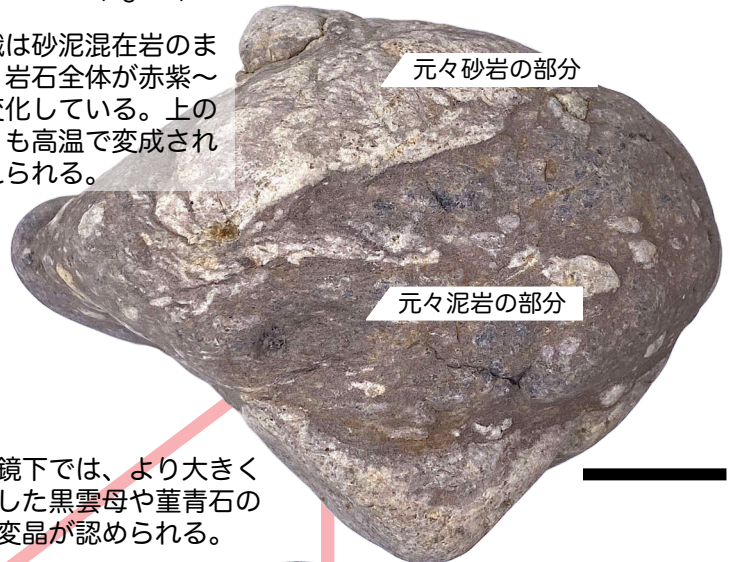
ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥混在岩） (Sg-3)



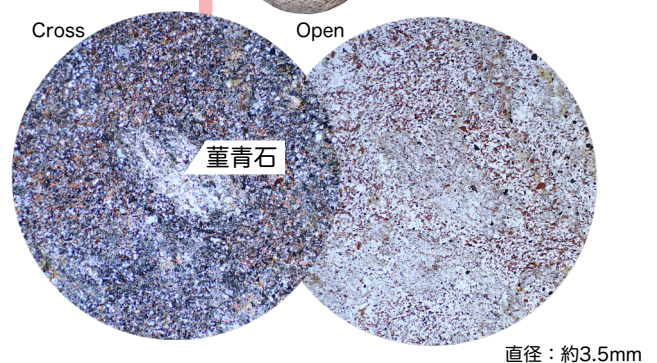
岩石組織は砂泥混在岩のままだが、岩石全体が赤紫～茶色に変化している。上の岩石よりも高温で変成されたと考えられる。



ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥混在岩） (Sg-62)



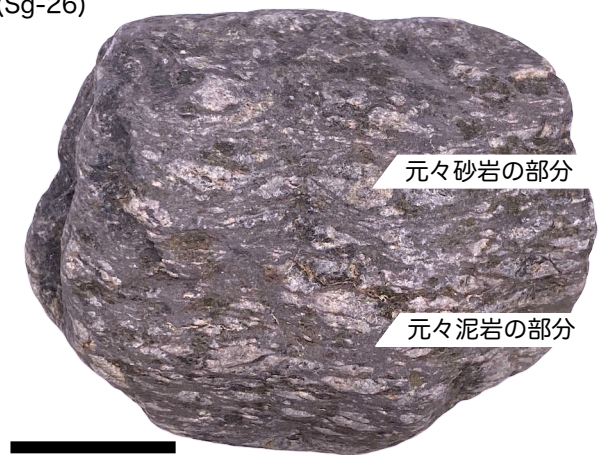
顕微鏡下では、より大きく成長した黒雲母や堇青石の斑状変晶が認められる。



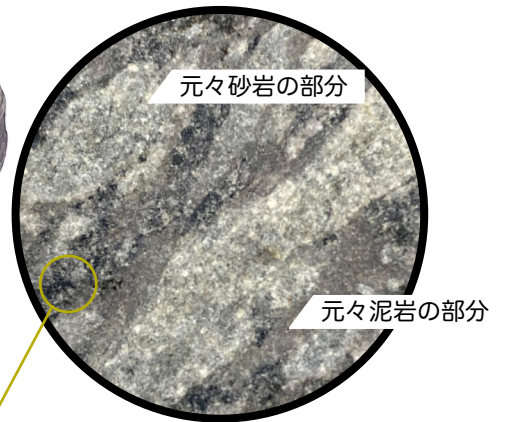
ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥混在岩） (Sg-12)



ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥混在岩） (Sg-26)

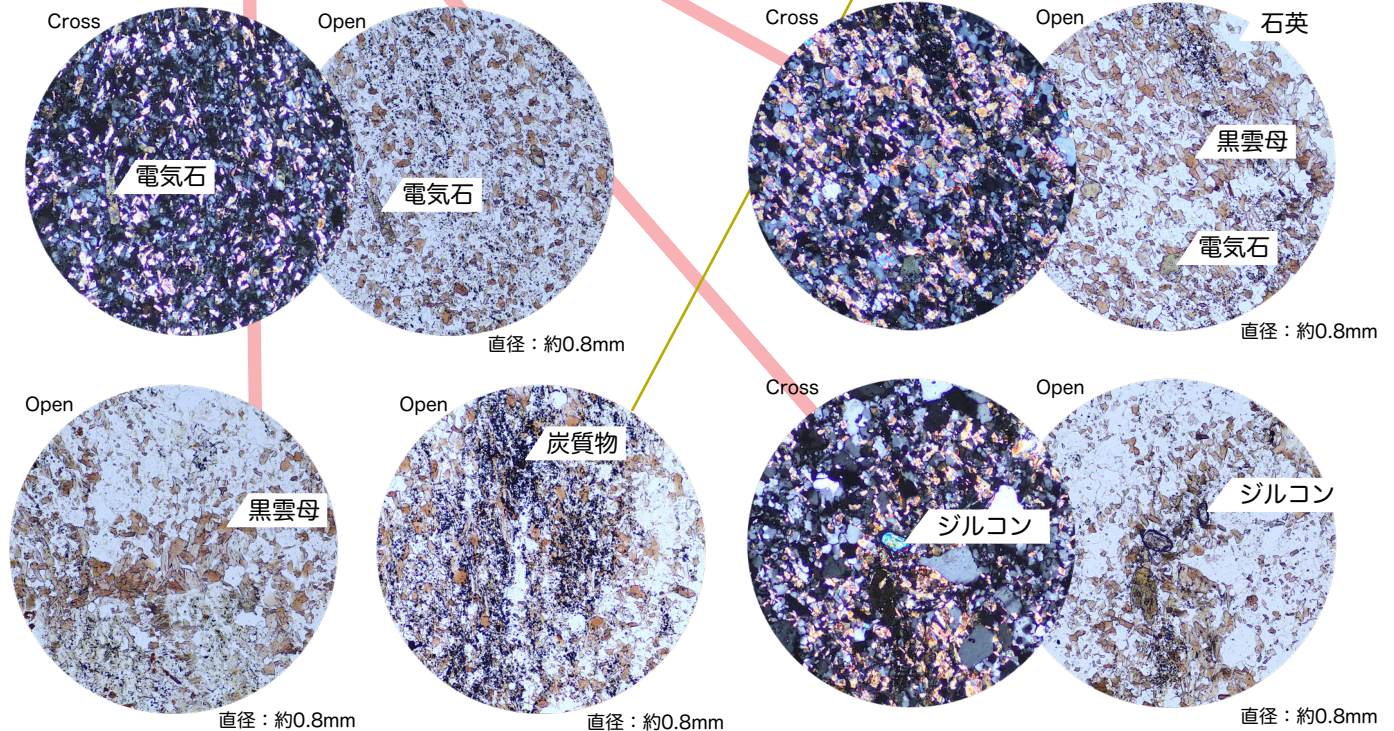


ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥混在岩） (Sg-59)



変成作用を受ける前の砂と泥が入り交じった様子をよく保存しているホルンフェルス。砂（優白色の部分）が泥（赤茶色の部分）の中にパッチ状に含まれている。

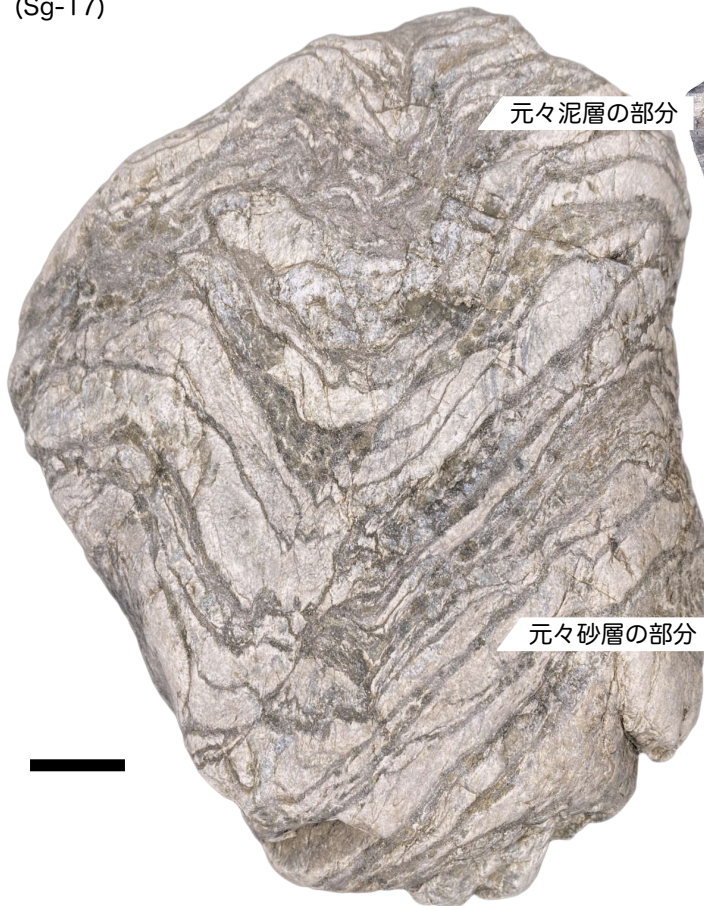
ホルンフェルスの偏光顕微鏡下での組織



原岩が泥質の部分には石墨化した炭質物が認められる。岩石中の黒い部分が炭質物。元来植物片等の有機物が細くなり泥質堆積物中に入り、それが泥岩となり、更に変成作用を受けてホルンフェルス中では石墨となって存在している。

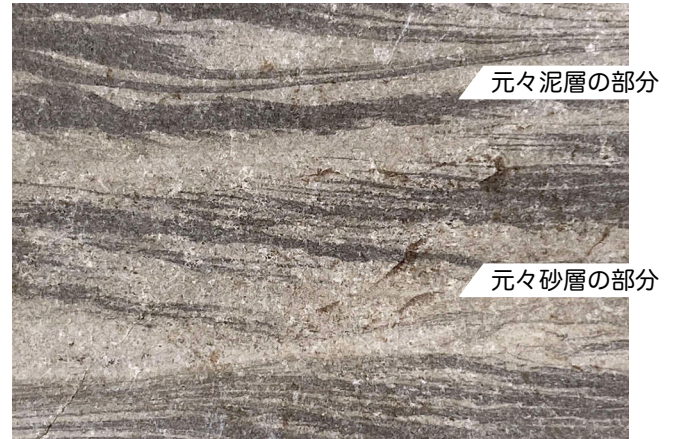
変成岩中には時折ジルコンが含まれることがある。このジルコンは碎屑性で、変成岩になる前の形成履歴を保持していることが多い。ジルコンのU-Pb放射年代法を用いると原岩の形成年代を求めることができる。非常に有用な鉱物である。

ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥互層？） (Sg-17)



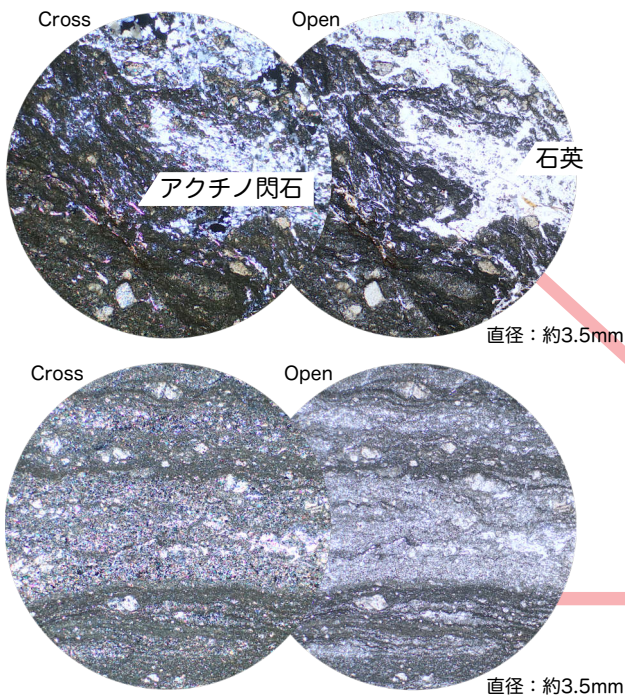
砂層と泥層がまだ未固結あるいは半固結状態で褶曲したと考えられる。その後熱変成作用を被った。原岩は砂泥互層ではなくチャートの可能性もある。

ホルンフェルス（熱変成作用を受けた砂泥互層） (Sg-64)



砂泥互層中にみられる斜交葉理（クロスラミナ）がそのまま残っているホルンフェルス。

緑色片岩の偏光顕微鏡下での組織



重信川の河原でみられる結晶片岩は変成度がそれほど高くなく結晶度の低いものが多い。結晶片岩は、通常プレートの沈み込みに伴う低温高圧型の変成作用で形成され、変形を強く受け方向性が顕著な片理を示すものが多い。

珪質片岩 (Sg-51)

重信川の河原で時々観察される結晶片岩。中央構造線の南側に由来する三波川変成帯を構成する岩石。



苦鉄質片岩（緑色片岩） (Sg-50)



図版XI 重信川の河原で観察できる石

変成岩

※岩石の下スケールバーは全て2cm

数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究（Ⅲ）

— 異なる学年，異なる単元でみる1年後調査結果の特徴について —

A Comparative Study on Fixation of Learning Experience through Constructive Learning and Instructional Learning in Mathematics Class (III)

○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，学習者同士の話し合いを重視した「構成的な学習」と教師による解説を中心とした「教授的な学習」の2つについてそのそれぞれの優位性を整理することである。本稿では，小学校第5学年の「速さ」と第6学年の「比例のグラフ」，そして中学校第1学年の「最短経路の作図」について，令和3年度と令和4年度，2学年分の学習者たちに，1年後その学習経験がどのように捉えられているかをアンケート調査して明らかにした。その結果，学習経験の印象の定着ならびに学習内容の理解や実際の解決については，1年後という経過があっても，2つの学習方法の別によらずほぼ同様の結果であったことが確認された。また，問題解決に至った理由の再現性に関しては，学習内容に複雑さや捉えにくさがないようなものであれば構成的な学習の方が，そうでなければ教授的な学習の方がその解決のプロセスや理由についてはよく覚えているということが確認された。

【キーワード】 構成的な学習，教授的な学習，学習経験の定着，速さ，最短経路，比例のグラフ，パネル調査

I. 研究の概要と本稿の位置づけ

1. 研究の目的

筆者は，学習は基本的にコミュニケーション（自己内対話も含む）を通して展開されると考えており，数学学習において対話的な学習が大切であると考えている。しかし，教師による理論的な説明を中心とした授業も否定されるものではないと考えており，対話的な学習の推進を批判的に見直し，双方の学習を学習した時点での評価ではなく，数年後経過した中でその学習の効果にどのような違いがあるかといった実利的な面で比較したいと考えた。

そこで，学習者同士の話し合いを重視した「構成的な学習」と教師による解説を中心とした「教授的な学習」を，通常の学習単元の教育活動に取り入れ，そのときの学習内容が数年を経てどの程度印象深く記憶に留まり，そのときの学習経験がどのように変容しているかを，小中学生に対して追跡調査，いわゆるパネル調査を行う。パネル調査を通して，学習経験の定着の観点から義務教育段階での構成的な学習と教授的な学習の成果を比較し，それぞれの優位性を整理することが，本研究全体の目的である。

2. 研究の全体計画

本研究は，ある国立大学法人の附属小・中学校に協力依頼をした。多くの児童が同じキャンパスの附属中学校に進学することを活かし，小5～中1の児童生徒を対象に「A 数と計算」「A 数と式」「B 図形」「C 変化と関係」といった多様な領域の学習内容について，特設授業として異なる方法で学習し，その学習者たちが1年から3年といった時間経過のスパンの中で，どのようにその学習経験が印象に残り定着しているかを，小6～中3を対象にアンケートにてパネル調査を行った。その研究計画が，次の表1である。

表1 研究の全体計画

No.	学年	単元	特設授業（クラス数）			パネル調査		
			R 3	R 4	R 5	R 4	R 5	R 6
1	小6	分数の除法		3				1年後,中1
				3				2年後,中2
			3					3年後,中3
2	小5	部分平均から 全体平均		3				1年後,小6
				3				2年後,中1
			3					3年後,中2
3	小6	比例のグラフ		3			1年後,中1	1年後,中1
			3			1年後,中1*		
					4			1年後,中2
4	中1	最短経路の作図		4			1年後,中2	
			4			1年後,中2**		
					4			1年後,中2
5	中1	柱体の体積		中止				中止
			4				2年後,中3	
					3			1年後,小6
6	小5	速さ		3			1年後,小6	
			3			1年後,小6**		

No.3,4,6の太字・色塗り部分が本稿での発表対象。 *吉村（2023），**吉村（2024）で発表済み

なお、表1中のNo.5の「中止」は、特設授業の協力依頼をした学校の諸事情により実施することが出来なかったことと、それに伴ってアンケート調査ができなかったことを表す。

3. 本稿の目的と位置づけ

本稿では、小学校第5学年の「速さ」と第6学年の「比例のグラフ」、そして中学校第1学年の「最短経路の作図」について、令和3年度と令和4年度、それぞれ2つのタイプの授業、教授的な学習と構成的な学習で取り組んだ学習者たちに、1年後その学習経験がどのように捉えられているかアンケート調査した結果を、研究の対象とする（表1中のNo.3・4・6の太字・色塗り部分）。それらの結果をもとに、単元や学年に関わらず1年経過後の2つの学習方法ごとの特徴について明らかにすることが、本稿の研究目的である。

令和3年度に特設授業を実施したものについて、単元毎の考察は吉村（2023, 2024）ですでに発表済みである。

本稿では、令和4年度に特設授業を実施したものについての結果と令和3年度の結果を合わせて、2年分、つまり、異なる学習集団に対して2つの学習方法による学習経験の定着について考察をする。考察の展開としては、まず、単元ごとに1年後経過した時点での2つの学習方法の違いをまとめる。その後、単元ごとの特徴を対象として、単元に関わらず1年経過に共通して捉えられる2つの学習方法による学習経験の定着についての特徴を整理する。

II. 研究方法とその結果

1. 2つの特設授業の要件

本研究では、特設授業において2つの方法、構成的な学習と教授的な学習に取り組む。その2つの学習方法の違いは主として、教師から疑問視を用いた発問の後、考える間（ま）をとり学習者に考えさせるまでは同じであるが、その後、構成的な学習では学習者からの回答を基本として授業を展開させるのに対し、教授的な学習では学習者からの回答の機会を特に設けず教師がそれについての考えを説明し授業を展開させるところにある。

ただし、構成的な学習において、すべて学習者からの回答だけで授業を展開すると、授業時間内におさまりにくくなかったり当初予定していた学習目標、学習内

容に迫ることができなかつたりするため、適宜、授業者は介入し、クラス全体での了解、確認を取りながら授業を展開していくことを基本とした。

＜本研究での構成的な学習の要件＞

- ・授業者による発問→考える間→学習者からの回答
- ・教師による介入は有り

＜本研究での教授的な学習の要件＞

- ・授業者による発問→考える間→授業者による説明

特設授業の授業者は、中高の数学教諭として12年の経験をもつ、本研究の実施者の筆者が行った。日常の学習内容を利用しての研究遂行であるので、学習内容に大きく差が出ても協力校の日常の教育活動に悪影響が及ぶとともに、異なる学習方法での実施でなければ比較研究も出来ないことから、研究協力校側の視点と研究遂行側の視点を総合的に判断しながら常に特設授業の展開を柔軟に変化させていく必要があるため、研究の実施者が特設授業を行った。

2. 特設授業の実際

本稿の研究では、令和3・4年度にそれぞれ3つの単元で行った特設授業を対象として考察する。特設授業の実施に関する基礎情報は表2である。

表2：特設授業の基礎情報

学年	単元	実施年月日		クラス数（人数）	
		年度	月日	教授型	構成型
小6	比例のグラフ	令和3	11月8日	1 (30)	2 (29, 29)
		令和4	10月27日	1 (30)	2 (28, 28)
中1	最短経路の作図	令和3	12月13・14日	2 (31, 30)	2 (31, 30)
		令和4	12月13～15日	2 (32, 32)	2 (30, 30)
小5	速さ	令和3	2月24日	2 (32, 30)	1 (29)
		令和4	1月17日	2 (29, 29)	1 (30)

3つの単元で教授型の学習と構成型の学習に取り組んでいるが、表3に示す議論の通り、教授型の学習では授業者による発問の後、考える間をとった後、授業者が解説する形をとり、構成型の学習においては授業者の介入もありながらクラス全体での理解を図り合意形成を得た。それら以外の部分では、2つの授業ともほぼ同様の授業展開を行った。

それぞれの授業で協議した主な議論と合意形成の概略が表3である。

表3：特設授業における議論と合意形成

比例	教授型	構成型
令和3・4	比例：y=2xのグラフは本当に連続か？穴はあいていないか？	
令和3		(Y組) すぐ間にも点があって、穴がさらにふさがっていくから、連続、繋がっている。 (Z組) だいたい、ほぼ直線だから、見た目直線だから、つながっていて直線をひいて良い。
令和4		(X組) xで表している水の量が、ずっと途切れず一定の割合で入って入っているの、xに穴がなくて、yはxの2倍で2倍になっているだけだから、yも穴がなくて連続。 (Z組) 水が一定の割合でずっと入っているの、点、点、点のグラフにはならず、ズリズリ動いた一直線のグラフになる。
最短経路	直線ℓを境界線としたとき、同じ側に2点A、Bがある。ℓ上に点Pがあるとき、AP+PBが最短となる点Pはどこか？	
令和3・4	教授型・構成型	点Bを直線ℓに対して対称移動した点を点B'としたとき、PB=PB'だから、AP+PB=AP+PB'となる。点A、P、B'に注目したとき、それらが一直線になるときが明らかに最短だから、直線AB'と直線ℓとの交点Qが求める点Pとなる。※令和3・4年ならびに教授型・構成型を問わず、ほぼ同じ協議であった。
速さ	なぜ(道のり)÷(時間)で速さを求めることができるのか？	
令和3・4	教授型	実際には速さは刻々と変わっている。また、ゴールの瞬間の速さをみるのか、最速の速さを見るのか、どこに注目するかで速さの比較は変わる。道のりの時間の情報だけで算数として、平等に公平に比較するためには、等速と仮定して単位時間あたり同じ速さ、同じ道のりを進んでいると考え、単位時間あたりの道のり分で比較するため、道のりを時間で等分する。
令和3・4	構成型	単位時間ごと、同じ速さで比較しないといけないことに気づき、全体の時間を時間で等分すれば良いと結論づけた。※年度ごと、紆余曲折のプロセスは異なるものの、ほぼ同様の協議であった。

3. アンケート調査

特設授業の後、1年後にアンケート調査を行い、特設授業のことがどれだけ印象に残っているか、授業で共有した合意形成がどのように変わっているかを調べた(参考資料1～3を参照)。

アンケート調査の実施に関する基礎情報は、表4の通りである。

表4：アンケート調査の基礎情報

単元	実施年月	クラス	回答数	学習の別
比例	令和4年11月	旧X組	22	教授型
		旧Y・Z組	40	構成型
	令和5年11月	旧Y組	20	教授型
		旧X・Z組	40	構成型
最短経路	令和4年12月	旧X・W組	49	教授型
		旧Y・Z組	55	構成型
	令和5年12月	旧Z・W組	62	教授型
		旧X・Y組	60	構成型
速さ	令和5年1月	旧X・Z組	59	教授型
		旧Y組	26	構成型
	令和6年1月	旧X・Y組	57	教授型
		旧Z組	30	構成型

4. アンケート調査の結果

単元ごとアンケート調査で、a:1年前の特設授業を覚えているか(特設授業の印象度)、b:学習内容は理解できているか(学習内容の理解)、c:特設授業で協議した議論について共有した結論の理由が説明できるか(理由の説明)について調査した。以下、前述のa～cごと、その結果を記述する。

a. 特設授業の印象度

3つの単元ともに、「特設授業をどの程度覚えていますか?」という内容で、「ア:よく覚えている」「イ:まあまあ覚えている」「ウ:少し覚えている」「エ:覚えていない」の4択で回答を求めた。その結果が表5～7である。

表5：特設授業の印象度(比例のグラフ)

比例	実数(人)	割合(%)	実数(人)	割合(%)
令和4	教授型		構成型	
ア	3	77.3	9	72.5
イ	14		20	
ウ	4	22.7	6	27.5
エ	1		5	
計	22		40	
令和5	教授型		構成型	
ア	2	55.0	6	45.0
イ	9		12	
ウ	7	45.0	9	55.0
エ	2		13	
計	20		40	

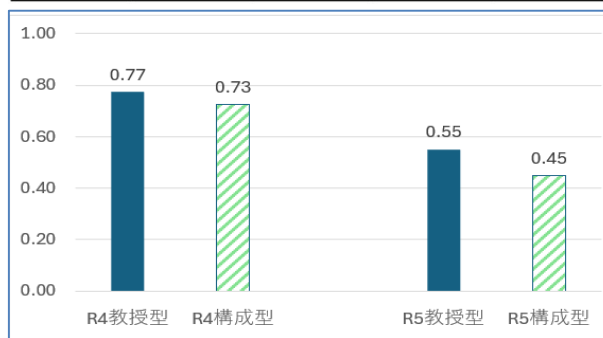


図1：肯定的な印象度に関する割合(比例のグラフ)

年度ごと教授的な学習と構成的な学習の肯定的な反応(ア・イ)の割合をグラフに表したものが図1～3である。

表5、図1より、単元「比例」においては年度ごとに特設授業の印象度は異なるとともに、同一年度において学習の別によって大きな差はないと言える。

表6：特設授業の印象度(最短経路)

最短経路	実数(人)	割合(%)	実数(人)	割合(%)
令和4	教授型		構成型	
ア	16	85.7	20	78.2
イ	26		23	
ウ	4	10.2	9	21.8
エ	1		3	
無回答	2	4.1	0	0.0
計	49		55	
令和5	教授型		構成型	
ア	15	64.5	15	78.3
イ	25		32	
ウ	19	35.5	11	21.7
エ	3		2	
計	62		60	

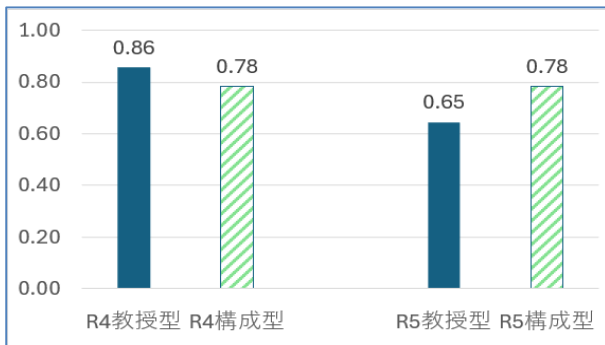


図2：肯定的な印象度に関する割合（最短経路）

図2より、単元「最短経路」においては、令和4年と令和5年の教授型の結果の肯定的な回答の比率に差がありそうであるが、統計的な有意差まではない。単元「最短経路」においても、学習の別による差はほとんどないことがわかる。

表7：特設授業の印象度（速さ）

速さ	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
令和5		教授型	構成型	
ア	12	50.8	9	76.9
イ	18		11	
ウ	24	45.8	3	23.1
エ	3		3	
無回答	2	3.4	0	0.0
計	59		26	
令和6		教授型	構成型	
ア	7	54.4	3	43.3
イ	24		10	
ウ	21	45.6	15	56.7
エ	5		2	
計	57		30	

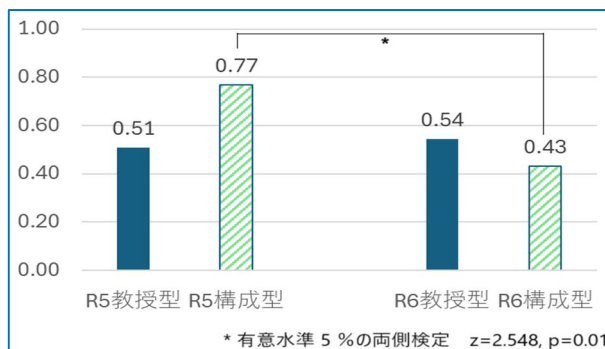


図3：肯定的な印象度に関する割合（速さ）

図3より、単元「速さ」においては、令和5年の構成型の肯定的な回答の比率が令和6年の構成型と比べて統計的に有意に高く、他の3つより顕著に高いものの有意に高いまでには至らない。

b. 学習内容の理解

アンケート調査において、単元「比例」では、比例

を表す式 $y=6x$ のグラフを正しく選択できるか、単元「最短経路」では、AP+PBの値が最小となる地点を選ぶことができるか、そして単元「速さ」では、速さを求める公式を記述できるかと具体的に速さを求めることができるかについて調べた。その結果が表8～10、図4～7である。

図4・5より、「比例」と「最短経路」とともに、学習の別や年度の別にかかわらず、学習内容の理解は高い。わずかなではあるが、「比例」は令和4・5年とも教授型の方が高く、「最短経路」は令和4・5年ともに構成型の方が高い。単元ごとに、学習の別について相性があるのかもしれない。

表8：学習内容の理解（比例のグラフ）

比例	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
令和4		教授型	構成型	
正解	17	77.3	27	67.5
それ以外	4	18.2	10	25
無回答	1	4.5	3	7.5
計	22		40	
令和5		教授型	構成型	
正解	17	85	29	72.5
それ以外	3	15	10	25
無回答	0	0	1	2.5
計	20		40	

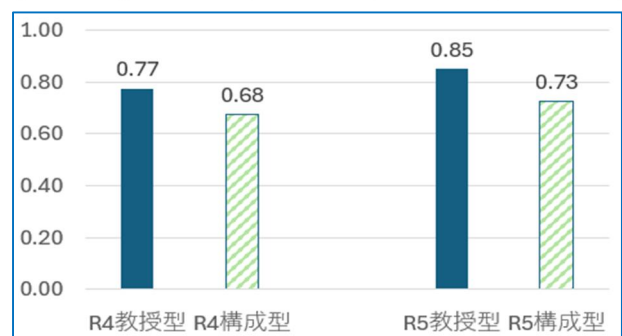


図4：学習内容の理解に関する正解の割合（比例）

表9：学習内容の理解（最短経路）

最短経路	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
令和4		教授型	構成型	
正解	46	93.9	55	100
それ以外	2	4.1	0	0
無回答	1	2	0	0
計	49		55	
令和5		教授型	構成型	
正解	53	85.5	54	90
それ以外	9	14.5	5	8.3
無回答	0	0	1	1.7
計	62		60	

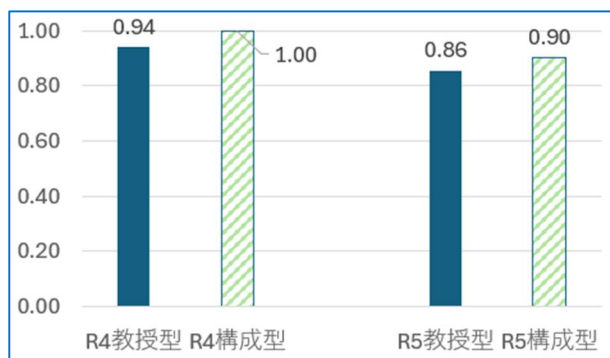


図5：学習内容の理解に関する正解の割合（最短経路）

表10：学習内容の理解（速さ）

速さ		実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
令和5		教授型		構成型	
公式	道のり÷時間	55	93.2	26	100
	それ以外	4	6.8	0	0
	計	59		26	
速さ	正解	55	93.2	24	92.4
	それ以外	4	6.8	1	3.8
	無回答	0	0	1	3.8
令和6		教授型		構成型	
公式	道のり÷時間	53	93	27	90
	それ以外	4	7	2	6.7
	無回答	0	0	1	3.3
速さ	正解	54	94.7	26	86.7
	それ以外	3	5.3	3	10
	無回答	0	0	1	3.3
算出		57		30	

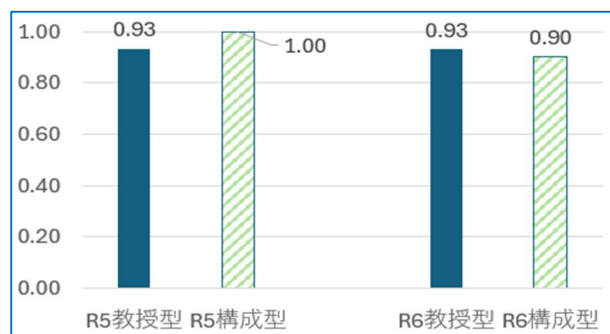


図6：学習内容の理解に関する割合（速さ公式）

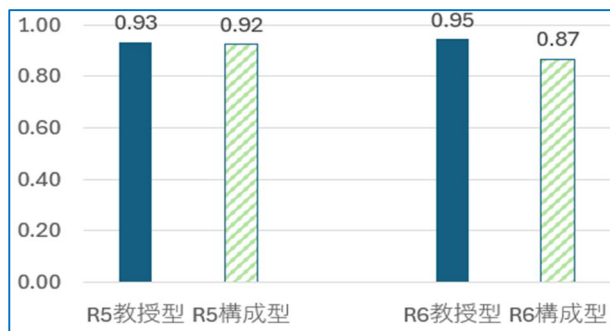


図7：学習内容の理解に関する割合（速さ算出）

表10, 図6・7を見る限り, 単元「速さ」においては学習の別による学習内容の理解および公式の定着については大きな差があるとは言えず, いずれも高い割合で解決できたり公式を再現できたりしている。

C. 理由の説明

特設授業で展開された主要な議論は年度・集団ごと異なる（参照, 表3）。その議論に対してクラス全体で共有した理由をアンケートによって確認した。その結果が表11～13, 図8～10である。

表11：理由の確認（比例のグラフ）

比例	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
令和4	教授型		構成型	
正しく保有	6	30	16	41
それ以外	14	70	23	59
計	20		39	
令和5	教授型		構成型	
正しく保有	6	17.1	17	25.4
それ以外	29	82.9	50	74.6
計	35		67	

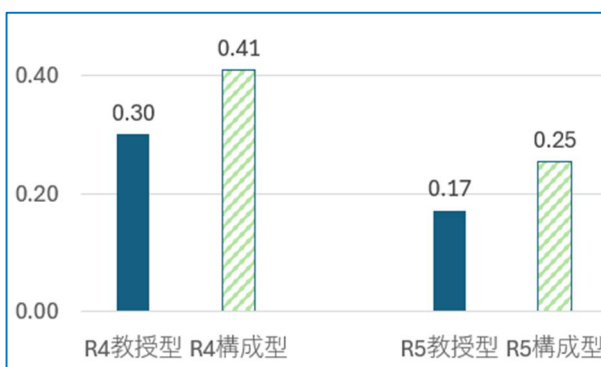


図8：理由に関する再現割合（比例のグラフ）

表12：理由の確認（最短経路）

最短経路	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
令和4	教授型		構成型	
保持	39	79.6	53	96.4
それ以外	2	4.1	0	0
無回答	8	16.3	2	3.6
計	49		55	
令和5	教授型		構成型	
保持	43	69.4	45	75.0
それ以外	19	30.6	15	25.0
計	62		60	

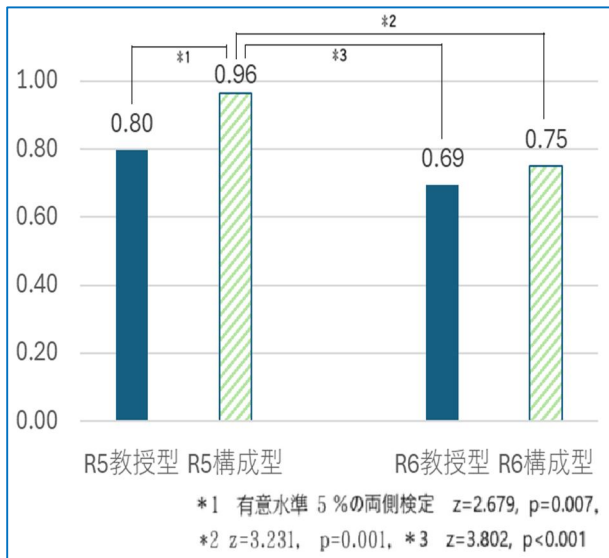


図9：理由に関する再現割合（最短経路）

表13：理由の確認（速さ）

速さ	実数（人）	割合（%）	実数（人）	割合（%）
令和5	教授型		構成型	
保持	30	50.8	12	46.2
それ以外	26	44.1	12	46.2
無回答	3	5.1	2	7.6
計	59		26	
令和6	教授型		構成型	
保持	26	45.6	13	43.3
それ以外	28	49.1	13	43.3
無回答	3	5.3	4	13.4
計	57		30	

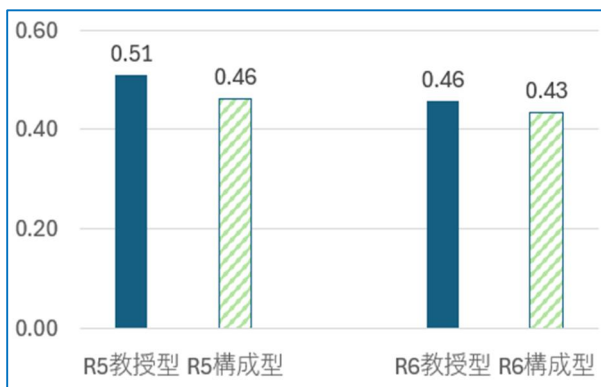


図10：理由に関する再現割合（速さ）

表11～12, 図8～9より, 「比例」と「最短経路」においてはどの年度においても構成型の方が教授型と比べて, 特設授業での共有した理由を再現でき保持している割合が多い。

図9に示す通り, とりわけ「最短経路」においては

令和5年の構成型が他の3つに比べていずれも統計的に有意に多い割合で再現し保持していた。

「速さ」については, 令和5年, 令和6年ともに教授型の割合が多いものの, その差は小さくほぼ同様の結果を表している。

Ⅲ. 考察

これまでの吉村 (2003, 2004) から, 学習経験の印象度については,

R1：構成的な学習における授業記憶の自信度について, 肯定的な反応が比較的高い (吉村, 2024, p. 76)。

R2：構成的な学習は, 自分たちで展開した感が強く, 「よく覚えている」という印象が残りやすい反面, 事前に用意された理路整然とした論理展開ではなくその場で行ったり来たりしながらつくられた論理展開であるので「覚えだしにくい」「覚えていない」という感覚に陥りやすくなるのかもしれない (吉村, 2023, p. 89)。

R3：教授的な学習では, 教師の説明が自分にとって納得がいくものであるか否かで, その授業が好印象で想起しやすいものとなるかそうでないかが決まると想像され, 授業記憶の自信度については否定的な反応の割合も出やすいと考えられる。学習内容に難しさがあるような場合は, 特にその傾向は強いのではないかと考えられる (吉村, 2024, p. 76)。

などの考察が得られている。今回の研究と吉村 (2023, 2024) の違いは, 同じ単元の特設授業であっても実施した年度が異なっており, 単元それぞれにおいて別の学習集団に対してリサーチしていることにある。これまでは, 教授型, 構成型の別は問わず特設授業の印象度は70%程度の高い割合で肯定的な反応結果であったが, 図1～3にあるように, 肯定的な反応が50%台, 40%台の割合のものもあったことが特徴である。とりわけ, 教授的な学習においては, 年度や集団が変わってもほぼ同様の展開で特設授業は行われているにもかかわらず, そのような結果となっている。

また図3に注目すると, 学習経験の肯定的な印象度の割合は, 令和5年の構成型が76.9%, 令和6年の構成型が43.3%でその差が大きいことがわかる。構成的

な学習は、授業の展開に自分たちが寄与するのが大きく印象に残りやすい反面、紆余曲折しながらの展開になるため、場合によっては思い出しにくいものになることが推察されその影響が大きく出てしまっていると考えられる。

本稿の結果を受けて、新しく学習経験の印象度について主張できる内容を整理したものが次の2つである。

＜学習経験の印象＞

R4：教授的な学習ならびに構成的な学習ともに、50%～80%の比較的高い割合で肯定的な反応が得られており、同じ年度の学習においてはほぼ変わりはないと言えるであろう。

R5：教授的な学習ならびに構成的な学習、いずれも年度ごと、集団ごと、実際の授業展開によって学習経験の印象度については異なり、その差は教授的な学習よりも構成的な学習の方が大きくなる可能性がある。

次に、2つの学習方法による学習内容の理解や実際の解決についてである。これまでの研究では、「簡単な問題解決においては、2つのタイプの学習ともにほぼ同様の傾向で問題解決できており、ともに高い割合で1年後でも正解に至っている。」(吉村, 2024, p. 76)ことが確認されていた。令和6年度調査を加えた今回の研究でも、同様の結果が得られており、学習内容の理解や実際の問題解決において、2つの学習方法の違いによる差はないものと言えるであろう。

最後に、特設授業内で問題解決に至った理由を保持しているか否かについてである。これまでの研究(吉村 2023, 2024)では、「僅差ではあるが、学習内容に複雑さや捉えにくさがないもの、例えば「最短経路の作図」については、理由の定着は構成的な学習の方が肯定的な反応が多く、学習内容に複雑さや捉えにくさがあるもの、例えば「速さ」は教授的な学習の方が肯定的な反応は多い。」(吉村, 2024, p. 76)ことが確認されている。

今回の結果を考慮すると、同年度ごとで見たとき、理由の定着については、ほぼ同様か、どちらかと言えば構成的な学習の方が肯定的な反応は多い。そして、図9にあるように、構成的な学習が極めて肯定的な反応が多くなるときが確認されたことが特徴的である。

「最短経路の作図」については、対称移動をつかっ

て、考察の対象となっている経路の長さが折れ線の線分和となる経路と直線の経路とを比較するという一通りの方法、アイデアで考えるしかなく、比較的紆余曲折の機会が少ない。思考の筋道がおおよそ決まっており自分たちでも考えを進めていきやすく、そのプロセスから得られた理解の強さは授業者から解説され理解していったものよりも大きいのであろう。比較的単純、展開が制限されているような学習内容であれば、構成的な学習の方が好結果を生みやすいと思われ、これらの結果はこれまでの研究と整合的と言える。

IV. まとめと課題

本稿では、3つの単元「比例のグラフ」「最短経路の作図」「速さ」で、単元ごとに1年後経過した時点での2つの学習方法による学習経験の定着についての捉えをそれぞれ2学年分調査した。

その結果、学習経験の印象の定着ならびに学習内容の理解や実際の解決については、1年後という経過があっても、2つの学習方法の別によらずほぼ同様の結果であったことが確認された。ただし、学習経験の印象について、「教授的な学習ならびに構成的な学習、いずれも年度ごと、集団ごと、実際の授業展開によって学習経験の印象度については異なり、その差は教授的な学習よりも構成的な学習の方が大きくなる可能性がある」ことが確認されており、構成的な学習は実際の授業展開が年度ごと集団ごとで異なり、その影響を受けやすく変動が激しい。学習経験の印象において、たとえ構成的な学習に否定的な反応があったとしても、学習内容の理解については教授的な学習によるものと比較して遜色ないものであり、特に大きな問題はないものと考えられる。

また、教授的な学習で取り組んだ学習内容はそれ以降改めて学習し直すことが少ない一方、構成的な学習で取り組んだ学習内容は場合によっては不完全であったりわかりにくいものであったりするために改めて学習し直したり、自分で思考した内容であるから修正改造したり、学習が継続する可能性があることが指摘(吉村, 2019)されており、新たな学習の機会を生み出すことも期待される。

特設授業内で問題解決に至った理由に関しては、これまでの研究(吉村, 2023, 2024)と同じく「いずれも僅差ではあるが、学習内容に複雑さや捉えにくさがないようなものであれば構成的な学習の方

が、そうでなければ教授的な学習の方がその解決のプロセスや理由についてはよく覚えている」ということが今回の調査でも確認できた。問題解決のプロセス自体に価値があり解決をつくりあげていく理由、根拠自体も学習目標とするのであれば、単元ごと学習内容の複雑さに応じて学習方法の別を検討することも必要であろう。

ただしこれらの主張は、基本、対象の集団や授業展開の実際のやりとり依存するものであり、対象の集団に限定される考察である。単純に一般化できるものではない。こうした課題は、人文社会・社会科学系に係わる臨床的な研究に内在する困難さであり、複数の単元、複数の集団において、丁寧にその臨床的な学習過程の報告を積み重ねるとともに、他の多くの研究者も同様の調査研究を重ね報告することで、一般的な主張が導出されていく。

今後は、他の単元に関する調査報告ならびに2・3年後に関する調査報告を引き続き行う予定である。

付記

本研究は、JSPS 科研費 JP20K02888 の助成を受けたものです。

【参考資料1：アンケート調査（比例）】

附属中学校1年生のみなさんへ

愛媛大学教育学部（数学教育学）
吉村 直道

「比例のグラフ」（小6）の学習について

この調査は、大学での算数の研究のために行います。集めた情報は統計的に処理することを基本とし、みなさんの個人情報が出たり、個人について言及したりすることは決してありませんので安心してください。学校での成績にも影響ありません。研究終了後、この調査用紙はシュレッダにかけ廃棄いたします。

ご協力よろしくお願いいたします。※所要時間 5分程度

① 今日の日にちを教えてください。 _____ 月 _____ 日

② 今の所属クラスを教えてください。 _____ 年 _____ 組

③ 漢字で、お名前を教えてください。 _____

④ ひらがなで、お名前を教えてください。 _____

⑤ 小学校6年生のときの学校を、丸で囲んで教えてください。

ア：愛媛大学教育学部附属小学校 イ：それ以外

⑥ 小学6年生のときに、「比例の関係を表すグラフは、直線で、たて軸とよこ軸の交わる点を通る。」ことを学習しました。そのときの学習、授業を覚えていますか？ 丸で囲んで教えてください。

ア：よく覚えている イ：まあまあ覚えている ウ：少し覚えている エ：覚えていない

次のページがあります。

⑦ 例えば $y=2x$ のグラフをかくとき、 x と y の対応する値の組を表に整理し、表にしたがって x 、 y の値の組を表す点を図にかきこみ、そのグラフが直線になることを勉強したと思います。そのとき、なぜ点と点の間も直線で結ぶことができるか、あるいは、点と点の間に穴がなく、なぜつながっていると考えたか、説明をしてください。

⑧ 図1～6の中で、 $y=6x$ を表すグラフはどれですか？ ア～カを丸で囲んで教えてください。

図1

図2

図3

図4

図5

図6

ア：図1 ※点(0, 6)を通る イ：図2 ※点(6, 1)を通る ウ：図3 ※点(3, 2)を通る
エ：図4 ※点(2, 3)を通る オ：図5 ※点(1, 6)を通る カ：図6 ※点(6, 0)を通る

これでアンケートは終わります。ありがとうございました。

【参考資料2：アンケート調査（速さ）】

附属小学校6年生のみなさんへ

愛媛大学教育学部（数学教育学）
吉村直道

「速さ」（小5）の学習について

この調査は、大学での数学の研究のために行います。集めた情報は統計的に処理することを基本とし、みなさんの個人情報が流出したり、個人が特定されたりすることは決してありませんので安心してください。学校での成績にも影響ありません。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。

ご協力よろしくお願いします。 ※所要時間 7分程度

1 今のクラスを教えてください。 6 年 組

2 漢字で、お名前を教えてください。

3 ひらがなで、お名前を教えてください。

4 5年生のときのクラスを、丸で囲んで教えてください。

5月 5花 5星

5 5年生のとき、「速さ」の最初の授業を大学の先生が行いました。そのときの授業をどの程度、覚えていますか？ 丸で囲んで教えてください。

ア：よく覚えている イ：まあまあ覚えている ウ：少し覚えている エ：覚えていない

6 速さを求める公式（ことばの式）を書いてください。

（速さ）＝

次のページがあります。

7 なぜそのような公式で、速さを求めることができるか、説明してください。

8 次の速さを求めましょう。

2400mを2分間で走った自動車の速さは、分速何mですか？

（式）

（答え）

9 前問8で求めた速さは、どんな速さを表すものですか。

次のア～ヘの中から、自分の考えにあてはまるものを、すべて丸で囲んで教えてください。（複数回答可）

ア：スタートしたときの速さ	イ：走っているまん中くらいのときの速さ
ウ：ゴールしたときの速さ	エ：一定のスピードに落ち着いたらときの速さ
オ：走っているときの速い遅いを同じ速さになるように平均した（ならした）速さ	
カ：最も速いときの速さ	キ：最も遅いときの速さ
ク：スタートから1分たったときの速さ	ケ：スタートから2分たったときの速さ

これでアンケートは終わりです。ありがとうございました。

【参考資料3：アンケート調査（最短経路）】

附属中学校2年生のみなさんへ

愛媛大学教育学部（数学教育学）
吉村直道

「平面図形」（中1）の学習について

この調査は、大学での数学の研究のために行います。集めた情報は統計的に処理することを基本とし、みなさんの個人情報が流出したり、個人について言及したりすることは決してありませんので安心してください。学校での成績にも影響ありません。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。

ご協力よろしくお願いします。 ※所要時間 5分程度

1 今日の日にちを教えてください。 月 日

2 中1のときの所属クラスを教えてください。 1 年 組

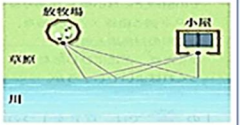
3 漢字で、お名前を教えてください。

4 ひらがなで、お名前を教えてください。

5 中学1年生のときに、次のような問題に取り組んだと思います。そのときの学習、授業を覚えていますか？ 丸で囲んで教えてください。

羊が、放牧場を出て川で水を飲んでから、小屋へ帰ります。

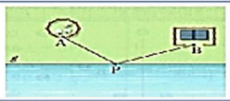
放牧場から川によって小屋へ帰るには、さまざまなコースが考えられますが、羊が歩く道のりを最短にするには、どこで水を飲まなければならないのでしょうか。



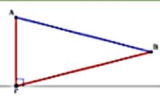
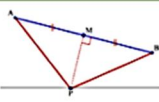
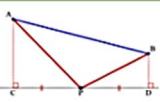
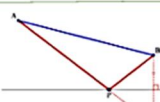
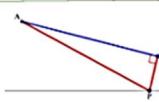
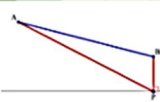
ア：よく覚えている イ：まあまあ覚えている ウ：少し覚えている エ：覚えていない

次のページがあります。

6 右の図で、放牧場を点A、小屋を点Bとします。また、草原と川の境目（直線）を直線ℓとみたとし、羊が水を飲む地点を、ℓ上の点Pとします。このとき、AP+PBが最短となる点Pの位置を求めなさい。



この問題の答えである、AP+PBが最短となる点Pを表す図は、下のア～カのどれですか？ 丸で囲んで教えてください。

 ア：点Aから直線ℓを下ろした点	 イ：ABの垂直二等分線と直線ℓの交点	 ウ：点A、Bからそれぞれ直線ℓに垂線を下ろした点C、Dの中点の点
 エ：点Bを直線ℓに関して対称移動した点Fをとり、AFと直線ℓとの交点の点	 オ：点BからABに対して垂線を立て、その垂線と直線ℓとの交点の点	 カ：点Bから直線ℓに垂線を下ろした点

7 問6の答えについて、なぜそれが最短となるか、その理由を教えてください。

数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究 (IV)
 — 第6学年「分数の除法」と小学校第5学年「部分の平均と全体の平均」に関する
 1・2・3年後調査結果について —

A Comparative Study on Fixation of Learning Experience through
 Constructive Learning and Instructional Learning in Mathematics Class (IV)

○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、学習者同士の話し合いを重視した「構成的な学習」と教師による解説を中心とした「教授的な学習」の2つについてそのそれぞれの優位性を整理することである。本稿では、小学校第6学年の「分数の除法」と第5学年の「部分の平均と全体の平均」について、令和3・4・5年度に特設授業を取り組み、3年後、2年後、1年後その学習経験がどのように捉えられているかをアンケート調査をして明らかにした。その結果、学習経験の印象の定着ならびに学習内容の理解や実際の解決については、経年の別に関わらず2つの学習方法ともにほぼ同様の結果であったことが確認された。また、問題解決に至った理由の再現性に関しては、学習内容に複雑さや捉えにくさがないようなものであれば構成的な学習の方が、そうでなければ教授的な学習の方がその解決のプロセスや理由についてはよく覚えているということが確認され、これまでの研究成果と整合的であった。

【キーワード】 構成的な学習、教授的な学習、学習経験の定着、部分の平均、分数の除法、パネル調査

I. はじめに— 研究の概要と本稿の位置づけ —

1. 研究の目的

筆者は、学習は基本的にコミュニケーション（自己内対話も含む）を通して展開されると考えており、数学学習において対話的な学習が大切であると考えている。しかし、教師による理論的な説明を中心とした授業も否定されるものではないと考えており、対話的な学習の推進を批判的に見直し、双方の学習を学習した時点での評価ではなく、数年後経過した中でその学習の効果にどのような違いがあるかといった実利的な面で比較したいと考えた（吉村 2019, 2023）。

そこで、学習者同士の話し合いを重視した「構成的な学習」と教師による解説を中心とした「教授的な学習」を、通常の学習単元の教育活動に取り入れ、そのときの学習内容が数年を経てどの程度印象深く記憶に留まり、そのときの学習経験がどのように変容しているかを、小中学生に対して追跡調査、いわゆるパネル調査を行う。パネル調査を通して、学習経験の定着の観点から義務教育段階での構成的な学習と教授的な学習の成果を比較し、それぞれの優位性を整理することが、本研究全体の目的である。

2. 研究の全体計画

本研究は、ある国立大学法人の附属小・中学校に協力依頼をした。多くの児童が同じキャンパスの附属中学校に進学することを活かし、小5～中1の児童生徒を対象に「A 数と計算」「A 数と式」「B 図形」「C 変化と関係」といった多様な領域の学習内容について、特設授業として異なる方法で学習し、その学習者たちが1年から3年といった時間経過のスパンの中で、どのようにその学習経験が印象に残り定着しているかを、小6～中3を対象にアンケートにてパネル調査を行った。その研究計画が、次の表1である。

本稿で考察の対象とするのは、表1中のNo.1, 2の2単元である。2単元それぞれについて、令和6年度、1年後、2年後、3年後経過した学年にパネル調査を行った。

なお、表1中のNo.5の「中止」は、特設授業の協力依頼をした学校の諸事情により実施することが出来なかったことと、それに伴ってアンケート調査ができなかったことを表し、中学校第1学年の「柱体の体積」については本研究の対象から除外した。

表 1 研究の全体計画

No.	学年	単元	特設授業(クラス数)			パネル調査		
			R 3	R 4	R 5	R 4	R 5	R 6
1	小6	分数の除法			3			1年後,中1
				3				2年後,中2
			3					3年後,中3
2	小5	部分の平均と全体の平均			3			1年後,小6
				3				2年後,中1
			3					3年後,中2
3	小6	比例のグラフ			3			1年後,中1***
				3		1年後,中1*		
			3					
4	中1	最短経路の作図			4			1年後,中2***
				4		1年後,中2***		
			4			1年後,中2**		
5	中1	柱体の体積		中止	4			1年後,中2
			4			2年後,中3		中止
6	小5	速さ			3			1年後,小6***
				3		1年後,小6***		
			3			1年後,小6**		

No.1, 2が本稿での考察対象。*吉村 (2023), **吉村 (2024a), ***吉村 (2024b) で発表済み。

3. 本稿の目的

本稿では、小学校第6学年の「分数の除法」と第5学年の「部分の平均と全体の平均」について、令和3年度・4年度・5年度にそれぞれ2つのタイプの授業、教授的な学習と構成的な学習で取り組んだ学習者たちに対して令和6年度にアンケート調査を行い、3年経過、2年経過、1年経過した際に学習経験がどのように捉えられているかを調べた(参照, 表1のNo.1・2)。それらの結果をもとに、当該の2単元において、経過年数の別によって2つの学習方法による学習経験の定着に違いがあるのか明らかにすることが、本稿の研究目的である。加えて、最後に本研究全体を通してのまとめも整理する。

II. 研究方法とその結果

1. 2つの特設授業の要件

本研究では、特設授業において2つの方法、構成的な学習と教授的な学習に取り組む。その2つの学習方法の違いは主として、教師から疑問詞を用いた発問の後、考える間(ま)をとり学習者に考えさせるまでは同じであるが、その後、構成的な学習では学習者からの回答を基本として授業を展開させるのに対し、教授的な学習では学習者からの回答の機会は特に設けず教師がそれについての考えを説明し授業を展開させるところにある。

ただし、構成的な学習において、すべて学習者から

の回答だけで授業を展開すると、授業時間内におさまりきらなかったり当初予定していた学習目標、学習内容に迫ることができなかったりするため、適宜、授業者は介入し、クラス全体での了解、確認を取りながら授業を展開していくことを基本とした。

<本研究での構成的な学習の要件>

- ・授業者による発問→考える間→学習者からの回答
※教師による介入は有り

<本研究での教授的な学習の要件>

- ・授業者による発問→考える間→授業者による説明

特設授業の授業者は、中高の数学教諭として12年の経験をもつ本研究の実施者の筆者が行った。日常の学習内容を利用しての研究遂行であるので、学習内容に大きく差が出ても協力校の日常の教育活動に悪影響が及ぶとともに、異なる学習方法での実施でなければ比較研究も出来ないことから、研究協力校側の視点と研究遂行側の視点を総合的に判断しながら常に特設授業の展開を柔軟に変化させていく必要があるため、研究の実施者が特設授業を行った。

2. 特設授業の実際

本稿の研究では、令和3・4・5年度にそれぞれ2単元で行った特設授業を対象として考察する。特設授業の実施に関する基礎情報は表2である。

表 2 : 特設授業の基礎情報

学年	単元	実施年月日		クラス数(人数)	
		年度	月日	教授型	構成型
小6	分数の除法	令和3	6月1日	1(30)	2(32, 30)
		令和4	6月21日	2(30, 30)	1(30)
		令和5	6月12・13日	2(30, 30)	1(30)
小5	部分平均から全体平均	令和3	11月4日	1(30)	2(30, 30)
		令和4	10月17日	2(30, 31)	1(29)
		令和5	10月19日	1(29)	2(30, 30)

2単元で教授的な学習と構成的な学習に取り組んでいるが、表3に示す議論の通り、教授的な学習では授業者による発問の後、考える間をとり授業者が解説をする。構成的な学習においては授業者の介入もありながらクラス全体での理解を図り合意形成を得た。それら以外の部分では、2つの授業ともにほぼ同様の授業展開を行った。

それぞれの授業で協議した主な議論と合意形成の概略が表3である。

表3：特設授業における議論と合意形成

分数の除法		分数のわり算は、なぜわる数の分子でわって分母をかけるのか？ (式) $\frac{6}{5} \div \frac{2}{3}$
令和3・4・5	教授型	(2本の数直線図を使って) 分数や小数のわり算は1あたりの量を求める計算であることを確認した上で、まず単位分数あたりの量を求めるために、わる数の分子でわる。単位分数あたりの量がわかれば、1あたりの量を求めるには、わる数の分母の数だけ倍すればよい。
令和3	クラス1 構成型	(面積図を使いながら) 1あたりの面積を求めるために、 $\frac{6}{5}$ を2でわって $\frac{1}{3}$ あたりがわかり、求めたいのはその3倍だから、わる数の分母をかけるから。
	クラス2 構成型	(計算で考える) わる数が整数だったらできるので、わり算の性質をつかって、わられる数とわる数に15をかけて、わる数を整数にすると、結果的に2で割って3かけたことと同じ。
令和4	構成型	(テープ図で考えて) $\frac{6}{5}$ がどこになるのか、1がどこになるのかを確認し、1dLにあたる量を求めるためには、 $\frac{6}{5}$ の部分を2等分して $\frac{1}{3}$ の量を求め、これを3倍すれば1あたりの量がわかる。
令和5	構成型	(計算で考える) わる数が整数だったらよい。わり算は、わられる数とわる数に同じ数をかけても答えは変わらないので、3をかけて $\frac{18}{5} \div 2$ となり、その半分だから $\frac{9}{5}$ である。

部分の平均と全体の平均		普通に平均したら、なぜいけないのか？
令和3・4・5	教授型	(棒グラフに表すことで) 二つの部分の平均a、bが同じ個数に対するものであれば普通にそれらの値の真ん中で、二数の大小を一樣にならした値を意味する平均になるが、二つのグループの個数が異なるため、左右の広がりには違いがあり、左右の広がりに応じて一樣にならず位置が変わるから、横の広がりには違いがあるときは普通に平均して考えてはいけない。基本に戻って、すべての合計とすべての個数を求めて、全体の平均を求めなければならない。
令和3	クラス1 構成型	普通に平均すると、そのときの人数は2人であり、2つ平均を求めてしまっている。全員の平均を求める必要があるから、全員分の個数を求め、全員の人数で割らなければならない。
	クラス2 構成型	同じ人数なら普通に平均してもいいけど、人数が違うからダメ。Aの平均×Aの人数、Bの平均×Bの人数を計算して、全体の個数を出して、全体の人数でわる。人数が同じときは、ちょうど真ん中だけど、人数が違うと少しどちらかにズレる。
令和4	構成型	うかつに平均すると間違える。全体の合計を求め、全体の個数でわらなければならない。
令和5	構成型	今は2でわっているけど、全体は2人ではない。全体は30人だから、全体の合計を求めて、全体の個数、人数でわる。

3. アンケート調査

令和3年度に特設授業を行ったものは3年後に、令和4年度に行ったものは2年後に、令和5年度に行ったものは1年後にアンケート調査を行い、特設授業のことがどれだけ印象に残っているか、授業で共有した合意形成がどのように変わっているかを調べた(参考資料1, 2を参照)。

アンケート調査の実施に関する基礎情報は、表4の通りである。

表4：アンケート調査の基礎情報

単元	実施年月	経過年	実施学年	回答数	学習の別
分数の除法	令和6年6月	3年後	中3	23	教授型
				37	構成型
		2年後	中2	38	教授型
				24	構成型
		1年後	中1	40	教授型
部分の平均と全体の平均	令和6年10・11月			19	構成型
		3年後	中2	23	教授型
				38	構成型
		2年後	中1	39	教授型
				18	構成型
		1年後	小6	27	教授型
				56	構成型

4. アンケート調査の結果

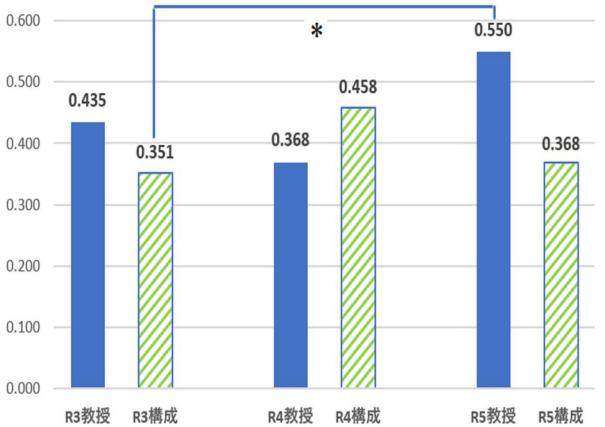
単元ごとアンケート調査で、a:数年前に実施した特設授業を覚えているか(特設授業の印象度)、b:学習内容は理解できているか(学習内容の理解)、c:特設授業で協議した議論について共有した結論の理由が説明できるか(理由の説明)について調査した。以下、前述のa〜cごと、その結果を記述する。

a. 特設授業の印象度

2つの単元ともに、「特設授業をどの程度覚えていますか?」という内容で、「ア:よく覚えている」「イ:まあまあ覚えている」「ウ:少し覚えている」「エ:覚えていない」の4択で回答を求めた。その結果が表5、6である。

表5：特設授業の印象度(分数の除法)

分数の除法	実数(人)	割合(%)	実数(人)	割合(%)
21年授業	教授型 23人		構成型 37人	
ア	3	43.5 %	4	35.1 %
イ	7		9	
ウ	6	56.5 %	13	64.9 %
エ	7		11	
無答	0	0.0 %	0	0.0 %
計	23		37	
22年授業	教授型 38人		構成型 24人	
ア	4	36.8 %	5	45.8 %
イ	10		6	
ウ	18	63.2 %	8	54.2 %
エ	6		5	
無答	0	0.0 %	0	0.0 %
計	38		24	
23年授業	教授型 40人		構成型 19人	
ア	6	55.0 %	0	36.8 %
イ	16		7	
ウ	14	45.0 %	5	57.9 %
エ	4		6	
無答	0	0.0 %	1	5.3 %
計	40		19	

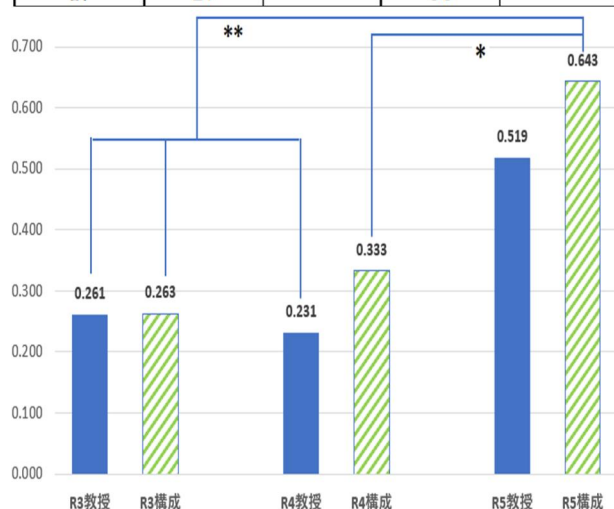


*有意水準5%の片側検定 z=1.749, p=0.040

図1：肯定的な印象度に関する割合(分数の除法)

表6：特設授業の印象度（平均）

平均	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
21年授業	教授型 23人		構成型 38人	
ア	3	26.1 %	2	26.3 %
イ	3		8	
ウ	13	73.9 %	14	73.7 %
エ	4		14	
計	23		38	
22年授業	教授型 39人		構成型 18人	
ア	0	23.1 %	3	33.3 %
イ	9		3	
ウ	14	76.9 %	7	66.7 %
エ	16		5	
計	39		18	
23年授業	教授型 27人		構成型 56人	
ア	4	51.9 %	6	64.3 %
イ	10		30	
ウ	9	48.1 %	14	35.7 %
エ	4		6	
計	27		56	



*有意水準5%の片側検定 R5 構成・R4 構成 $z=2.306$, $p=0.011$

**R5 構成・(R4 教授, R3 構成, R3 教授) $z=3.957, 3.614, 3.091$, $p<.001$

図2：肯定的な印象度に関する割合（平均）

年度ごと教授的な学習と構成的な学習の肯定的な反応（ア・イ）の割合をグラフに表したものが図1、2である。

表5、図1より、単元「分数の除法」においては年度ごとならびに学習の別で特設授業の印象度は異なっている。母比率の差の検定を調べると、令和5年度の教授型と令和3年度の構成型については、有意水準5%でP値が $P<0.05$ であり、教授型と構成型の肯定的な印象度に関する割合に有意差はあるものの、他の組み合わせにおいて大きな差は認められない。

表6、図2より、単元「部分の平均と全体の平均」においては、令和5年から令和3年と見たとき、その割合は減少傾向にあると読み取れ、特設授業を行ってから年数が経つにつれ、その印象度は小さくなっていることがわかる。ただし、図1にそのような状況は見

られないため、単元や学習内容の質等によってその結果は変わるものと考えられる。

また、令和5年の構成型の肯定的な回答の比率が令和3年、4年のいずれと比べても統計的に有意に高い。

b. 学習内容の理解

アンケート調査において、単元「分数の除法」では、

① $\frac{3}{5} \div \frac{2}{3}$ を計算する問題と② $\frac{2}{5} \div \frac{3}{4}$ を計算する問題、

単元「部分の平均と全体の平均」では「2つのグループA、Bがペットボトルのキャップを集めました。A、Bの人数はそれぞれ18人、12人です。集めたキャップの一人平均の個数はAが15個、Bが10個のとき、A、Bを合わせた全体では、一人平均何個のキャップを集めたことになりますか？」という問題を求めることができるかについて調べた。その結果が表7、8、図3、4である。

表7：学習内容の理解（分数の除法）

分数の除法	実数（人）	割合（％）	実数（人）	割合（％）
21年授業	教授型 23人		構成型 37人	
計算①	23	100 %	36	97.3 %
誤答・無答	0	0.0 %	1	2.7 %
計算②	23	100 %	35	94.6 %
無答	0	0.0 %	2	5.4 %
22年授業	教授型 38人		構成型 24人	
計算①	36	94.7 %	23	95.8 %
誤答・無答	2	5.3 %	1	4.2 %
計算②	37	97.4 %	23	95.8 %
無答	1	2.6 %	1	4.2 %
23年授業	教授型 40人		構成型 19人	
計算①	40	100 %	18	94.7 %
誤答・無答	0	0.0 %	1	5.3 %
計算②	39	97.5 %	17	89.5 %
無答	1	2.5 %	2	10.5 %

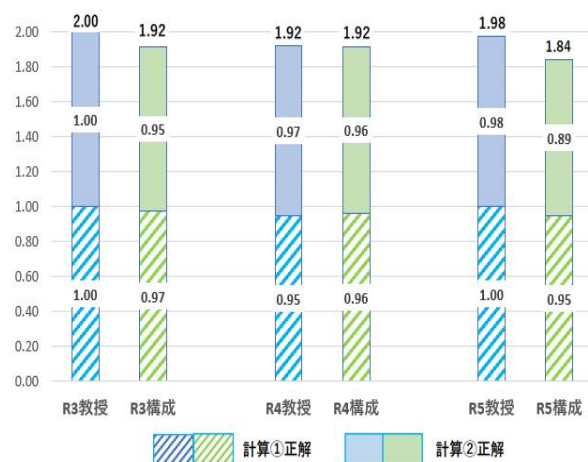
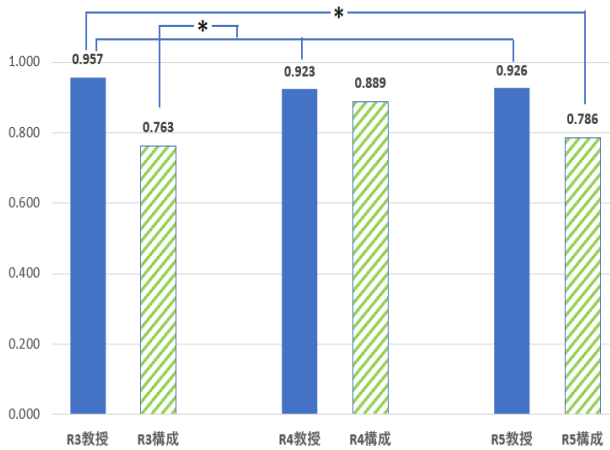


図3：学習内容の理解に関する正解の割合（分数の除法）

表 8 : 学習内容の理解 (平均)

平均	実数 (人)	割合 (%)	実数 (人)	割合 (%)
21年授業	教授型 23人		構成型 38人	
正解	22	95.7 %	29	76.3 %
それ以外	1	4.3 %	8	21.1 %
無回答	0	0.0 %	1	0.0 %
計	23		37	
22年授業	教授型 39人		構成型 18人	
正解	36	92.3 %	16	88.9 %
それ以外	3	7.7 %	2	11.1 %
無回答	0	0.0 %	0	0.0 %
計	39		18	
23年授業	教授型 27人		構成型 56人	
正解	25	92.6 %	44	78.6 %
それ以外	2	7.4 %	12	21.4 %
無回答	0	0.0 %	0	0.0 %
計	27		56	



*有意水準5%の片側検定 R3 教授・R5 構成 $z=1.725$, $p=0.042$

*R3 構成・(R3 教授, R4 教授, R5 教授) $z=1.977, 1.934, 1.860$, $p<0.05$

図 4 : 学習内容の理解に関する正解の割合 (平均)

表 7, 図 3 より, 単元「分数の除法」の内容理解, 簡単な問題への反応については, 学習の別や経年の別による変化はほぼないと言える。

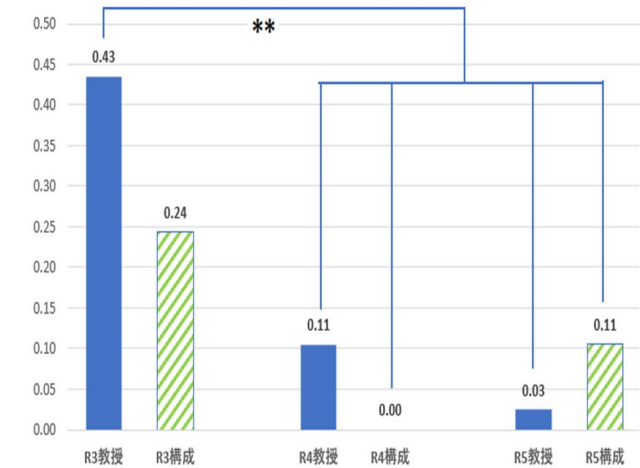
表 8, 図 4 では, 令和 3 年度の構成型の正解の割合が教授型のどの年度の結果と比べても顕著に低く, また, 令和 5 年度の構成型の結果は令和 3 年度の教授型と比べて有意に低いことがわかる。

C. 理由の説明

特設授業で展開された主要な議論は年度・集団ごと異なる (参照, 表 3)。クラス全体で共有した理由をアンケートによって確認した。その結果が表 9, 10, 図 5, 6 である。

表 9 : 理由の確認 (分数の除法)

分数の除法	実数 (人)	割合 (%)	実数 (人)	割合 (%)
21年授業	教授型 23人		構成型 37人	
保持	10	43 %	9	24.3 %
それ以外	9	39 %	19	51.4 %
無答	10	43.5 %	16	43.2 %
22年授業	教授型 38人		構成型 24人	
保持	4	10.5 %	0	0.0 %
それ以外	23	60.5 %	19	79.2 %
無答	13	34.2 %	8	33.3 %
23年授業	教授型 40人		構成型 19人	
保持	1	3 %	2	10.5 %
それ以外	30	75.0 %	11	57.9 %
無答	15	37.5 %	9	47.4 %



*有意水準5%の片側検定 R3 教授・(R4 教授, R4 構成, R5 教授, R5 構成)

$z=2.966, 3.641, 4.125, 2.353$, $p<0.05$

図 5 : 理由に関する再現割合 (分数の除法)

表 10 : 理由の確認 (平均)

平均	実数 (人)	割合 (%)	実数 (人)	割合 (%)
21年授業	教授型 23人		構成型 38人	
保持	15	65.2 %	22	57.9 %
それ以外	2	8.7 %	7	18.4 %
無答	6	26.1 %	9	23.7 %
22年授業	教授型 39人		構成型 18人	
保持	27	69.2 %	8	44.4 %
それ以外	3	7.7 %	2	11.1 %
無答	9	23.1 %	8	44.4 %
23年授業	教授型 27人		構成型 56人	
保持	16	59.3 %	38	67.9 %
それ以外	8	29.6 %	12	21.4 %
無答	3	11.1 %	6	10.7 %

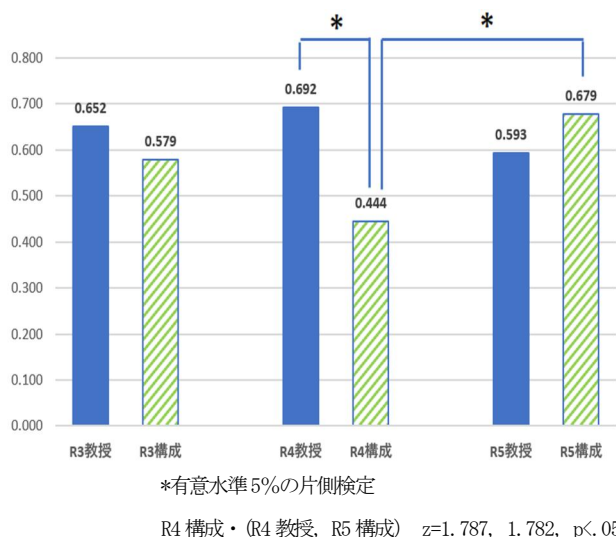


図6：理由に関する再現割合（平均）

表9, 図5より, 単元「分数の除法」における理由の再現については, 令和5年の構成型が令和5年の教授型よりも高い結果となっているものの, 全体的に構成型の結果の方が教授型の結果と比べて低いことがわかる。令和3年の教授型の結果が, 令和4年・5年のいずれの学習の型と比べても高いことが特徴的である。

表10, 図6では, 令和4年度の構成型の結果が他と比べて低く, 特に令和4年の教授型ならびに令和5年の構成型と比べて有意に低いことがわかる。

Ⅲ. 考察

これまでの吉村 (2023, 2024a, 2024b) から, 学習経験の印象度については, 「構成的な学習における授業記憶の自信度について, 肯定的な反応が比較的高い」(吉村, 2024a: 76) 一方で, 「構成的な学習は, 自分たちで展開した感が強く, 「よく覚えている」という印象が残りやすい反面, 事前に用意された理路整然とした論理展開ではなくその場で行ったり来たりしながらつくられた論理展開であるので「覚えだしにくい」「覚えていない」という感覚に陥りやすい」(吉村, 2023: 89) 面があることも確認されている。そして, 「教授的な学習ならびに構成的な学習, いずれも年度ごと, 集団ごと, 実際の授業展開によって学習経験の印象度については異なり, その差は教授的な学習よりも構成的な学習の方が大きくなることもある」(吉村, 2024b) などの考察が得られている。

今回の研究と吉村 (2023, 2024a, 2024b) の違いは,

同じ単元の特設授業を, 1年後, 2年後, 3年後といった経年の差によって考察できることであったが, 今回の調査結果においても, 学習経験の印象度については, 単元「部分の平均と全体の平均」で令和5年の構成型が他と比べて顕著に高いなど, 年度ごと, 学年ごと, 具体的な学習活動の質によってその結果が変わりやすいといった傾向があると推察される。

また図2に注目すると, 経年の年数が大きくなるにつれその印象度も小さくなるように見ることができ, 図1にはそのような傾向はない。3年という経年の幅では, 経年の影響よりも, 学年の集団や学習活動の質によって受ける影響が大きいと考えられる。

次に, 2つの学習方法による学習内容の理解や実際の解決についてである。

これまでの研究では, 「簡単な問題解決においては, 2つのタイプの学習ともにほぼ同様の傾向で問題解決できており, とともに高い割合で1年後でも正解に至っている。」(吉村, 2024a: 76) ことが確認されており, 学習内容の理解や実際の解決において2つの学習方法による差はないであろうと指摘されていた。しかし今回の調査では, 図4にあるように, 構成型の結果が教授型のものと比べて低く, 正しく問題を解答できている割合が低い。

これまでの吉村 (2023, 2024a, 2024b) で学習内容の理解や実際の解決について問う質問は「〇〇を計算しなさい。」「ふさわしいものを選びなさい。」などといった単純な思考によって解決できるものが問われているものが多く, 今回の単元「分数の除法」の問いも同様であった。それに対し, 単元「部分の平均と全体の平均」の問は, A, Bの平均を使って, ①Aのグループの合計, ②Bのグループの合計, ③全体の合計を算出し, ④その全体の合計を全体の個数でわって答えを導く, といういくつかのプロセスを経て問題に答えるものであり, その点でこれまでの問題に比べて若干の複雑さを有するものであった。この複雑さが, これまでのものと異なる結果を生じさせたのかもしれない。

とは言え, 2つの単元ともにそれぞれの年度で構成型の結果の方が教授型よりも低くなっており, 大きな差はないものの, 教授型の方が学習内容の理解や実際の解決については良い結果を生じていることは否めない。

最後に, 特設授業内で問題解決に至った理由を, 1年～3年の経年後保持しているか否かについてである。

これまでの研究(吉村, 2023, 2024a)では、「僅差ではあるが、学習内容に複雑さや捉えにくさがないもの、例えば「最短経路の作図」については、理由の定着は構成的な学習の方が肯定的な反応が多く、学習内容に複雑さや捉えにくさがあるもの、例えば「速さ」は教授的な学習の方が肯定的な反応は多い。」(吉村, 2024a: 76)ことが確認されている。

今回の結果を考慮したときまず注目したいのが、図5にある令和3年度の二つの学習いずれもが、令和4年、令和5年のものよりも高い割合でその理由が保持されていることである。この結果をみても、3年という経年の幅程度であれば、経年によって自然に忘却する以上に、学習活動の質や学習集団によってその保持は変わるのだろうと推察される。そして図5, 6を見る限り、構成型の方が高い割合で保持されていることもあれば、教授型の方が高い割合で保持されていることもあることが確認できる。

これまでの研究によれば、(思考のプロセスが)比較的紆余曲折の機会が少なく思考の筋道がおおよそ決まっていれば、自分たちで考えを進めていきやすいものであれば、構成型の方が学習したときのプロセスや解決の根拠に関する理解については好結果を得ることが多いとされていた(吉村, 2024b)。

今回の調査で対象とした単元「分数の除法」は大きく、わり算の性質を利用して代数的に理解する方法と、説明する図は二本の数直線図や面積図、テープ図など異なるものの単位分数あたりの量を求めてから1あたりの量を求める方法の二つがあり、使用する図の多様さも考慮するといろいろなアプローチによって問題解決することができる。それに比べて、単元「部分の平均と全体の平均」は、普通に平均すると問題状況に合わないことを確かめながら、全体の平均を求めたいのであれば、基本にもどって全体の合計と全体の個数をきちんと計算しなければならないとするものであり、その展開について比較的レパートリーが少なく制限的なものであった(参照, 表3)。

それらの特徴を考慮すると、図5, 6に見るように、理由の再現では、「分数の除法」では教授型の方が好結果を生み、「部分の平均と全体の平均」では構成型が良い結果とそうでない結果の両方を表しながらも、全体としては教授型と差ほど変わらない結果を生み出していることは、これまでの研究報告と整合的であり、これまでの指摘を支持する結果となっている。

IV. 研究全体のまとめ

本研究では、構成的な学習と教授的な学習を5つの単元「分数の除法(小6)」「部分の平均と全体の平均(小5)」「比例のグラフ(小6)」「最短経路の作図(中1)」「速さ(小5)」について取り組み、そのときの学習内容が数年を経てどの程度印象深く記憶に留まり、その学習経験がどのように変容しているかを調査した。その調査を通して、学習経験の定着の観点から、義務教育段階での構成的な学習と教授的な学習の成果を比較し、それぞれの優位性を整理することが目的であった。

吉村(2023, 2024a, 2024b)と本稿の考察より、学習経験の印象度について確認できたことは、下記の2つである。

- 教授的な学習と構成的な学習ともに、比較的高い割合で肯定的な反応が得られており、2つの学習方法の違いでそれらの結果に大きな差はない。
- 構成的な学習は、自分たちで展開した感が強く「よく覚えている」という印象は残りやすい反面、紆余曲折した学習展開になることがあり、分岐点も多く複雑さが多くなり「覚えだしにくい」「覚えていない」という感覚に陥りやすくなることがある。
- 3年という経年の幅程度であれば、1年、2年、3年の経年による影響は少ないと思われる。それ以上に実際の学習活動の質等の影響の方が大きいと予想される。

学習内容の理解や実際の簡単な問題解決の出来に注目して得られた主張が、次である。

- 簡単な問題解決においては、2つのタイプの学習ともに、ほぼ同様の傾向で問題解決できており、1年、2年、3年の経年に関わらずともに高い割合で正解に至っている。

最後に、授業内で問題解決に至った根拠、理由の定着についてわかったことは、次の3つである。

- 構成的な学習では、自分たちでつくり展開したものであるから定着しやすく、高い割合の肯定的な反応を得ることがあるとともに、変更しやすい可

能性を持ち、更なる学習へと進む余地がある。

○教授的な学習は受け身的であり他者の理解の説明であるために、腑に落ちた理解であればそれでの学習は満足し完結終了してしまうことが多く、また、真に理解されていなければ忘れやすく、かつ、自分で再現しにくいことが予想される。

○学習内容に複雑さや捉えにくさがないようなものであれば構成的な学習の方が、紆余曲折が多く思考の筋道に複雑さがある場合は教授的な学習の方が、その解決のプロセスや理由についての定着は高い。

以上より、1年～3年という経年幅の研究では、教授的な学習も構成的な学習も、学習経験の印象度の定着や、知識・技能の定着ならびに簡単な問題での適用については同様の成果であり、全体として差はないと言える。

本研究において調査した項目において違いがあり、今後の教育活動の参考にしたら良いと言える点は、教授的な学習の側から言うと、教授的な学習は構成的な学習と比べれば、その結果が比較的安定的に好結果を生み出しやすく、学習内容に複雑さがある場合は、教授的な学習を選択した方が良いであろうということである。

そして構成的な学習については、学習のプロセスに紆余曲折の機会が少なく、思考の筋道がおおよそ制限される場合は、自分たちで考えを進めやすく肯定的な反応を得られやすくなり、その成果は高いと予想されるため、構成的な学習を選択するのが良いと思われる。そして、構成的な学習はその学習の終末部分も自分たち自身の学習であり、それをもとにして学習が継続される／思考が変容していく可能性を有しており、その意義は大きいと考えられる。

V. おわりに — 教育活動への応用と今後の課題 —

本研究を通して、教授的な学習と構成的な学習は学習のプロセス、過程自体において、教師からの理路整然とした解説を聞きながら理解を構成していくのと、学習者同士の話し合いを通して理解を構成していくといった違いはあれ、1年後、2年後、3年後といった経年変化の中でそれらの成果に大きな差はないのではないかということがわかった。そのような差がないからこそ、その時々々の学習において何を

大切にするか、その学習目標等に応じて、学習の別を選択すれば良いと考える。必ずしも、構成的な学習が是で、教授的な学習が非ということではないのであろう。

構成的な学習は教授的な学習と比べて、その時々々の学習者や活動に影響を受けやすく変動が激しい。安定的でないことが特徴である。この特徴は弱点のように捉えられがちである反面、強みとも考えられる。不完全であつたりわかりにくいものであつたりするために、改めて学習し直したり、自分で思考した内容であるから修正改造したり、学習が継続する可能性があり、新たな学習の機会を生み出すことも期待されるからである（吉村，2019）。

教授的な学習と構成的な学習について、ほぼ同様の成果が期待されるのであれば、学習者の状況と単元や教材の質に応じて、学習者の話し合いや主体性や想像性を重要視する場合は構成的な学習を、特にそれらに重きをおく必要がなく知識・技能の定着をはかる授業であれば教授的な学習を選択するなど、臨機応変に使い分ける柔軟さもあつて良いと考える。

ただし本研究の主張は、基本、対象の集団や授業展開の実際のやりとりに依存するものであり、対象の集団に限定される考察である。単純に一般化できるものではない。こうした課題は、人文社会・社会科学系に係わる臨床的な研究に内在する困難さであり、複数の単元、複数の集団において、丁寧にその臨床的な学習過程の報告を積み重ねるとともに、他の多くの研究者も同様の調査研究を重ね報告することで、一般的な主張が導出されていくと考えている。本研究の趣旨と同じ研究が現れ、事例の分析が数多くなされ、本研究の是非の検討が進むことを願っている。

付記

本研究は、JSPS 科研費 JP20K02888 の助成を受けたものです。

謝辞

本研究において、特設授業の実施とアンケート調査に協力していただきました小学校、中学校のみなさまに感謝申し上げます。

文献

吉村直道 (2019) : 数学学習における構成的な学習と教授的な学習による理解の定着についての比較研究 (4) —2 か月後, 半年後, 1 年後, 2 年後, 3 年後の変容に注目して—, 全国数学教育学会, 第 51 回研究発表会発表資料, 2019 年 12 月 15 日.

吉村直道(2023) : 数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究 (I) —小学校第 6 学年「比例のグラフ」に関する 1 年後調査結果について—, 愛媛大学教育学部, 『愛媛大学教育学部紀要』, 第 70 巻, pp.83-89.

吉村直道(2024a) : 数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究 (II) —小学校第 5 学年「速さ」と中学校第 1 学年「最短経路の作図」に関する 1 年後調査結果について—, 愛媛大学教育学部附属科学教育センター, 『科学教育研究センター紀要』, 第 3 巻, pp.69-76.

吉村直道 (2024b) : 数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究 (3) —異なる学年, 異なる単元でみる 1 年後調査結果の特徴について—, 全国数学教育学会第 61 回研究発表会, 2024 年 12 月 15 日.

【参考資料1：アンケート調査（分数の除法）】

2024 年 6 月

附属中学校 1・2・3 年生のみなさんへ

愛媛大学教育学部（数学教育学）
古 村 直 道

「分数の除法」（小 6）の学習について

この調査は、大学での算数の研究のために行います。集めた情報は統計的に処理することを基本とし、みなさんの情報が流出したり、個人について言及したりすることは決してありませんので安心してください。学校での成績にも影響ありません。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。

ご協力よろしくお願いします。※所要時間 7 分程度

1 今日の日にちを教えてください。

月日

2 漢字で、お名前を教えてください。

3 ひらがなで、お名前を教えてください。

4 小学校 6 年生のときの学校を、丸で囲んで教えてください。

ア：愛媛大学教育学部附属小学校 イ：それ以外

5 6 年生のときのクラス名を教えてください。（例：6 年 月組、6 年 1 組、6 年 A 組など）

年組

6 次の計算をしてください。

(1) $\frac{3}{5} \div \frac{2}{3}$

次のページがあります。

(2) $\frac{2}{5} \div \frac{3}{4}$

7 小学 6 年生のときに、「分数でわる計算の意味や計算のしかた」について学習しました。そのときの学習、授業を覚えていますか？ 丸で囲んで教えてください。

ア：よく覚えている イ：まあまあ覚えている ウ：少し覚えている エ：覚えていない

8 「なぜ、わる数が分数のわり算では、わる数の分子で割って分母でかけるのか？」、その理由を説明してください。例が必要なときは、次の問題を利用して説明してください。

(問題) $\frac{2}{3}$ dL で $\frac{3}{5}$ m² ぬれるペンキがあります。このペンキ 1 dL では何 m² ぬれますか。

(式) $\frac{3}{5} \div \frac{2}{3}$

【参考資料2：アンケート調査（部分の平均と全体の平均）】

2024 年 10・11 月

附属小学校 6 年生のみなさんへ
附属中学校 1・2 年生のみなさんへ

愛媛大学教育学部（数学教育学）
古 村 直 道

「グループごとの平均から全体の平均を求める」（小 5）の学習について

この調査は、大学での算数の研究のために行います。集めた情報は統計的に処理することを基本とし、みなさんの情報が流出したり、個人について言及したりすることは決してありませんので安心してください。学校での成績にも影響ありません。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。

ご協力よろしくお願いします。 ※所要時間 5 分程度

1 漢字で、お名前を教えてください。

2 ひらがなで、お名前を教えてください。

3 小学校 5 年生のときの学校を、丸で囲んで教えてください。

ア：愛媛大学教育学部附属小学校 イ：それ以外

4 5 年生のときのクラス名を教えてください。（例：5 年 月組、5 年 1 組、5 年 A 組など）

年組

5 次の問題に答えてください。

2 つのグループ A、B がペットボトルのキャップを集めました。A、B の人数はそれぞれ 18 人、12 人です。集めたキャップの一人平均の値数は A が 15 個、B が 10 個のとき、A、B を合わせた全体では、一人平均何個のキャップを集めたことになりますか？

(答え) 個

次のページがあります。

6 小学 5 年生のときに、問 5 のような「グループごとの平均から全体の平均を求める」ことについて学習しました。そのときの学習、授業を覚えていますか？ 丸で囲んで教えてください。

ア：よく覚えている イ：まあまあ覚えている ウ：少し覚えている エ：覚えていない

7 問 6 の授業で、いくつかの平均から全体の平均を求めるときには、単純にそれぞれの平均をたし算して平均を求めるのではなく、全体の数量を求めてそれを全体の個数でわって求めることを学習しました。

なぜそのようにしないといけないのか、その理由を説明してください。

これでアンケートは終わりです。ありがとうございました。

84

生活科の学習との関連を意識した「遊び」を通した理科学習 —小学校理科第3学年「磁石の性質」「音の性質」の学習を通して—

Learning Science Though “Play” with an Awareness of the Relevance to Life Science Studies
-Utilizing the Study of the “Nature of Magnets” and the “Nature of Sound” in Third Grade Elementary School Science Class-

木下 理重子

Rieko Kinoshita

愛媛大学教育学部附属小学校

Ehime University Elementary School

【要約】 小学校3年生になり、子どもたちは初めて「理科」という教科に出会う。期待と不安の中、学びを進めていくのだが、小学校1・2年生で学習した「生活科」での「遊び」の経験を関連付けながら「理科」の単元を構想することで、より自信を持って子どもたちは「理科」の学習に取り組むことができるのではないだろうか。また、発達段階を考えると、理科の「学び方」についても「教える」のではなく、子どもたちの思いや気付きを大切にしながら身に付けさせた方がよいのではないか。そこで小学校3年生のエネルギー領域で、特に「磁石の性質」「音の性質」の学習において、生活科で経験してきた「遊び」を通した単元を構想し、子どもの姿からよりよい「学び方」を見取り、それを価値付けていくという実践をした。それぞれの単元において、子どもたちの学習意欲は高く、「遊び」の中で見付けた不思議や疑問について主体的に解決しようとする姿が見られた。また、子どもたちの振り返りから、「理科」という教科の学び方を知り、自己調整しながら学習に取り組もうとする態度の育ちが感じられた。生活科の学習との関連を意識した「遊び」を通した理科学習を行い、よりよい理科の「学び方」を価値付けていくことによって、主体的に学習に取り組む態度を養うことができたのではないだろうか。

【キーワード】 生活科の学習との関連、遊び、主体的に学習に取り組む態度

I. 問題の所在

3年生では「エネルギー」の領域において、「風とゴムの力の働き」「光と音の性質」「磁石の性質」「電気の通り道」について学習し、3種類以上のものづくりを行うことで、主体的に問題解決しようとする態度を養うことを目標の一つとしている。

この「エネルギー」の領域における学習では、生活科の学習において子どもたちは「身近な自然を利用したり、身近にある物を使ったりするなどして遊ぶ活動を通して、その面白さや自然の不思議さに気付く」活動をしており、その「遊び」の経験を十分に生かすことができる。また、生活科では諸感覚を働かせながら活動しており、その学び方も生かすことができる。

しかし、理科と生活科では目標が異なり、子どもに身に付けさせたい資質・能力も違う。そこで、同じように「遊び」を通した単元の中で「理科」という教科の学び方を価値付けていくことで、子どもたちが「理科の見方・考え方」を働かせ、問題を追究することができるようになり、理科で目標としている資質・能力を身に付けることができると考えた。

II. 授業実践の目的・方法

1. 目的

生活科での経験を大切にしながら「遊び」を通した単元を構想することで、自信やこだわりを持って粘り強く学習に取り組む態度を育てる。また、「理科の見方・考え方」を働かせて問題解決しようとしている姿を見取り、価値付けすることによって、「理科」という教科の学び方を知り、自己調整しながら学習に取り組もうとする態度を育てる。

2. 方法

a. 「遊び」を通した単元構想

「磁石の性質」や「音の性質」の単元において、生活科の学習で経験してきた「遊び」を生かして、資質・能力を身に付けていく単元を構想する。

b. よりよい「学び方」への価値付け

振り返りとして毎時間書いている「理科日記」の記述から、「理科の見方・考え方」を働かせて問題を解決しようとしている姿を見取り、それに対して声掛けや朱書きによって価値付けする。

Ⅲ. 授業実践の結果

1. 「遊び」を通した単元構想

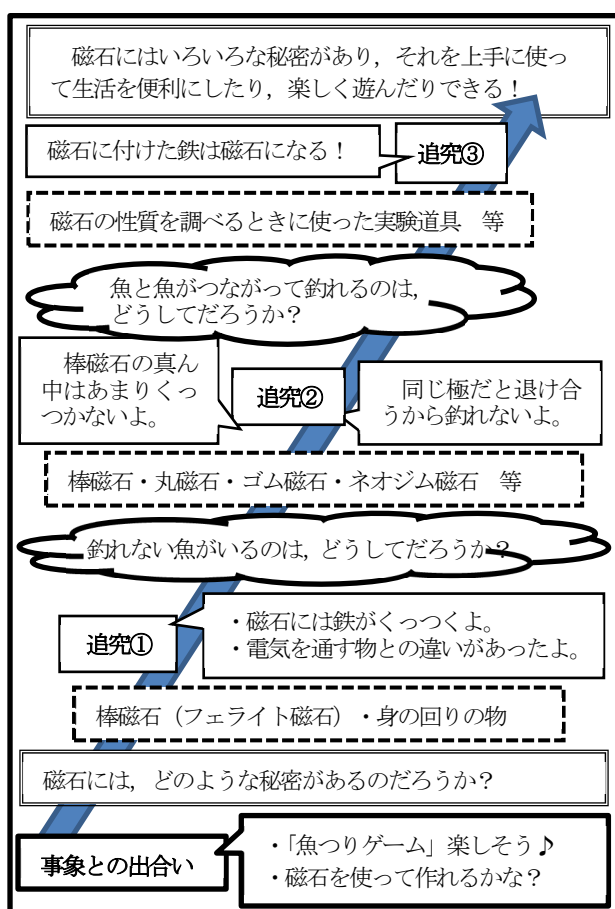
a. 「磁石の性質」

この単元では、子どもが磁石にたくさん触れながら遊んでいく中で、多くの不思議を感じることができるよう「水に浮かべて魚つりゲーム」(写真1)



写真1 水に浮かべて魚つりゲーム

を設定した。追究の過程で磁石に付く物と付かない物、様々な大きさや形の磁石などを比較しながら、差異点や共通点を見付け、磁石の性質を明らかにしていくことができるよう、単元を構想した。



<単元構想(12時間)>

「魚つりゲーム」をするために必要な物を準備する過程で、「磁石に付く物を魚に付けないといけないこと」に気付かせ、追究①の学習問題「磁石に付く物は何なのか？」と設定した。そして一人に一つ棒磁石（フェライト磁石）を持たせ、身のまわりにある物が磁石に付くのか付かないのかを調べた。

次に「魚つりゲーム」で遊んでいる過程で、「釣れない魚がいるのは、どうしてだろうか？」という疑問から追究②として様々な「磁石の性質」について調べた。例えば「同じ極同士を近づけると退け合い、違う極を近づけると引き合うこと」や「鉄を引き付ける力が強いのは、磁石の端の部分であること」、「磁石を水に浮かべるとN極が北を向き、S極が南を向くこと」などについて調べ、確かめることができた。

砂鉄オイル(写真2)を使うと、棒磁石の磁界を視覚的に捉えやすくなり、極に砂鉄が多く引き付けられる様子も観察することができた。



写真2 砂鉄オイル

また、「魚と魚がつながって釣れるのは、どうしてだろうか？」という疑問から追究③として「磁石に引き付けられた鉄が、磁石になるのかどうか」を調べた。追究②で学んだ「磁石の性質」についての知識・技能を生かして、子どもたち自身が実験方法を考え、確かめることができた。方位磁針に近づけたり(写真3)、水に浮かべたり(写真4)することで、磁石に引き付けられた釘にも磁石と同じようにN極とS極があることにも気付くことができた。



写真3 方位磁針での実験



写真4 水に浮かべて実験

最後に「水に浮かべて魚つりゲーム」を学級全員で楽しんで、単元を通した振り返りを行った。単元終了後も、さらに「魚つりゲーム」をレベルアップさせたり、磁石を使ったおもちゃづくりをしたりする子が見られた。

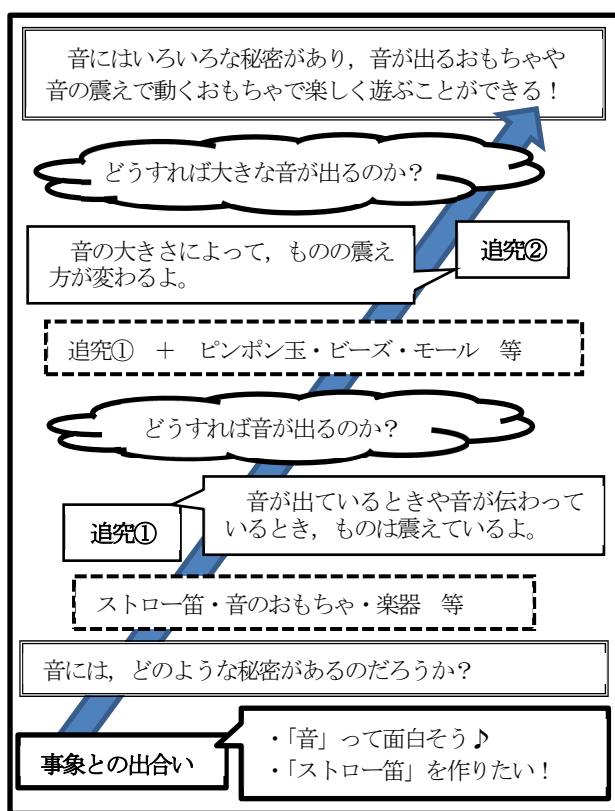
b. 「音の性質」

この単元では、「ストロー笛」(写真5)を主とした音のおもちゃを作り、様々な音にたくさん触れながら

遊んでいく中で、量的・関係的な見方や比較の考え方を働かせて、理科としての問題を見いだせるようにした。追究の過程では、「ストロー笛」の「音が出ない」「音が小さくて聞こえない」などの問題を解決するために、音を出したときの震え方に着目して、音の大きさを変えたときの違いを比較しながら調べることで、音の性質を明らかにしていくことができる。子どもたちが夢中になって遊びながら、理科としての問題を見だし、それを主体的に解決していくことができるよう、単元を構想した。



写真5 ストロー笛



<単元構想（8時間）>

単元の導入として、愛媛県総合科学博物館の出前講座を利用し、職員の方に来ていただいた。本単元で主に扱うストロー笛を演示していただき（写真6）、普通のストローにひと手間加え、息を吹き込むだけで音が出ることや様々なアレンジを加えていろんな音のおもちゃへと変身させることができることに子どもたちは驚いていた。身近な物を「たたく」「吹く」



写真6 ストロー笛の演示

「はじく」「こする」ことによって、音を出すことができることを知り、子どもたちの音のおもちゃ作りへの意欲は高まった。その後、自分たちで「ストロー笛」を作って遊ぶ中で「音が出ない」「音が小さい」という解決したい思いが生まれ、そこから追究①・追究②の学習問題を設定した。

追究①では、「音が出ない」ことから「どうすれば音が出るのだろうか？」という学習問題を設定した。「音が出ているとき、ストロー笛の先はどうなっているのか」ということに着目して調べることで、ものの震えを目で見て確認することができた（写真7）。また、笛の先に風船を取り付けることで、その震えをより感じていた（写真8）。他の音のおもちゃや楽器でも音が出ているときのものの震えを確認することで、より自信を持って結論を出すことができた。



写真7 震えを目で確認の様子



写真8 風船で震えを確認の様子

追究②では、「音が小さい」ことから「どうすれば大きな音が出せるのだろうか？」という学習課題を設定した。追究①で学んだ「音の性質」についての知識・技能を生かして、子どもたち自身が実験方法を考え、音が出ているときの震え方に着目しながら調べていた。その震え方の違いがはっきりと分かるようにピンポン玉やビーズなどの材料を使いながら実験する姿が見られた。ストロー笛の先に紙コップを取り付け、その上にビーズやモールを乗せると音による震えによって動くため、その震え方の違いを確認することができた（写真9）。



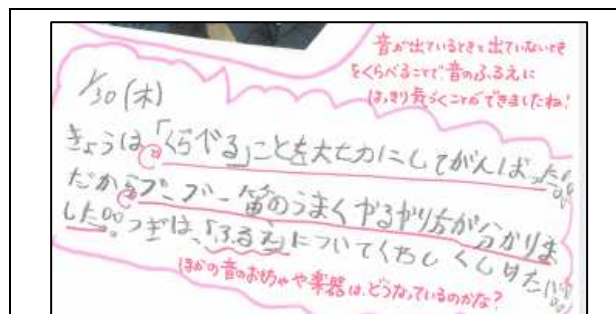
写真9 ビーズを使って震えを確認の様子

最後に、学習したことを生かして音が出るようになった「ストロー笛」を使って、音の出るおもちゃや音で動くおもちゃで遊んで楽しみ、単元を通した振り返りを行った。

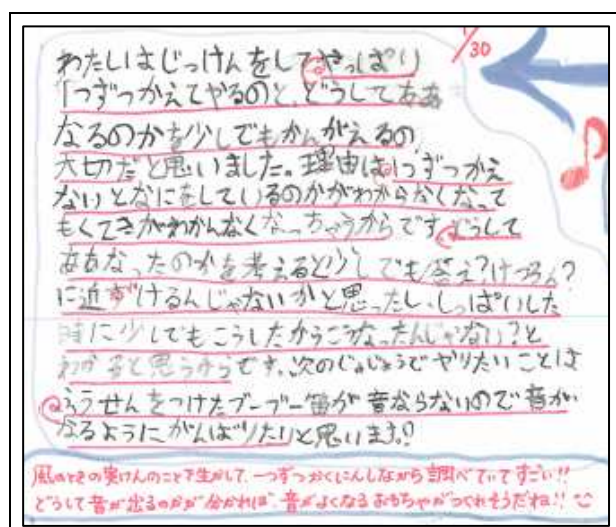
2. よりよい「学び方」への価値付け

理科の学習で大切にしたい「理科の見方・考え方」

について、教師が一方的に教えていくのではなく、子どもたちの気付きを大切にしながら指導していった。振り返りとして毎時間書いた「理科日記」の記述から、それらを見取り、それに対して声掛けや下の資料のように朱書きによって価値付けていった。「理科日記」は、一枚のワークシートに書くことで、子ども自身が自分の学びを振り返ることができるようにした。



「音が出ているとき」と「音が出ていないとき」を比較することによって、音によって物が震えていることに気付くことができた」と記述している。「比較する」ことのよさについて価値付けした。



「音の大小によるものの震えの違い」を調べるために、それ以外の条件は変えずに実験することの大切さに気付いている。「条件を制御する」ことのよさについて価値付けした。

IV. 結果・考察

「遊び」を通した単元構想を行ったことと、よりよい「学び方」の価値付けを行ったことによって、二つの効果があったと考える。

一つ目は、子どもたちが自信を持って活動に取り組むことができていたことである。「遊び」を通した単元

を構想したため、単元を通して子どもたちの学習意欲は高く、「遊び」の中で見付けた不思議や疑問を主体的に解決しようとしていた。学力診断テスト（CRT）の主体的に学習に取り組む態度に関する集計においても「教科に関する自信」の項目の得点率が全国平均を上回っており（学級 11.6, 全国 10.6, 全国指数 119）、生活科の学習での経験を生かし、「遊び」を単元の中心に据えた成果が感じられた。

二つ目は、「理科」という教科の学び方を知り、自己調整しながら学習に取り組もうとする態度の育ちが感じられたことである。学力診断テスト（CRT）の主体的に学習に取り組む態度に関する集計において「教科学習を自己調整しようとする態度」の項目の得点率が全国平均を上回っており（学級 11.2, 全国 9.5, 全国指数 127）、子どもたち自身が、よりよい学び方を意識しながら学習を進めていることが分かった。また、次のような感想を持った子どもがいた。

- ・予想することが大切だと思いました。その予想を確かめるための方法を考えたり、実験したりするからです。
- ・実験の結果を分かりやすくまとめることを頑張りました。結果をきちんとまとめておくと、考察するときに役に立つからです。

このように子どもたち自身が、理科の学び方や問題解決の過程の良さに気付くことができています。

V. おわりに

3年生の子どもたちは、初めて「理科」という教科に出会う。しかし、子どもたちは「理科について教えてあげないといけない存在」ではない。生活科の学習や普段の生活の中で、様々な経験を積んできている。また、こちらが教材を提示すれば「？」や「！」を抱き、「やってみたい」「調べてみたい」という学習意欲も持っている。大切なのは、そういう子どもの学習者としての力を信じ、子どもの主体性を生かしながら単元を構想する教師の心持ちだと思った。

文献

- 文部科学省（2018），小学校学習指導要領解説
理科編，株式会社東洋館出版社
文部科学省（2018），小学校学習指導要領解説
生活編，株式会社東洋館出版社

中学校理科 光分野における教材開発 -りんごが赤い理由を実感できる教具-

Development of Teaching Materials in the Optics Field of Junior High School Science
-A Teaching Aid to Help Students Understand Why Apples Are Red-

○稲垣 佑^{*1}

INAGAKI Yu^{*1}

^{*1}愛媛大学大学院教育学研究科

^{**1}Graduate School of Education, Ehime University

〔要約〕本研究では、中学1年生の理科「光」の学習において、光の基本法則の理解を深めるため、「りんごが赤く見える理由」を導入として授業を設計した。授業は国立中学校の1年生32名を対象に実施し、小集団での実験・考察を通じて学習を進めた。授業は(1)身近な風景から光の性質を考える、(2)光の基本法則を整理し、色の見え方の課題を設定する、(3)光の三原色と透過率の実験を行い考察する、の3ステップで展開。実験には、カラーフィルターを用いた自作教具とタブレットPC上のWebアプリ「JavaLab」を活用し、光源の色とフィルターの透過光の関係を観察した。結果として、生徒は光の透過に関する基本的な関係性を理解したが、吸収や反射の原理まで考察できたのは一部にとどまった。今後は、光の振る舞いをより深く理解できるよう、指導方法を工夫し、実験や考察のプロセスを強化する必要がある。

〔キーワード〕光、中学校、自作教具

I. 問題の所在

1. 教科書の現状

現行の学習指導要領では、中学校第1学年の第1分野では身近な現象として光と音の学習が位置付けられている。光と音の分野では、光の反射・屈折、凸レンズの働き、音の性質を学習する。いずれの学習内容においても「関係性や規則性を見いだして理解すること」と理科の見方・考え方が示されている。

また、ねらいや指導の重点として、「光の反射や屈折、凸レンズの働き、音の性質に関して問題を見だし見通しをもって実験を行い、その結果を分析して解釈し、規則性を見いだし、日常生活や社会と関連付けて理解させるとともに、光や音に関する観察、実験の技能を身に付けさせることが主なねらいである。」と示し、実験を通してその結果を分析し規則性を見いだすことを挙げている。

現在、松山市で使用されている理科教科書、東京書籍「新しい科学1」では身近な現象を、「単元3 身のまわりの現象」として取り扱っている。単元3は「第1章 光の世界」から始まっており、中学校1年生が初めて触れる物理の学習内容として「光の反射・屈折」を扱っている。

「光の反射・屈折」で扱う内容は、光の直進性、反射の法則、屈折の法則である。特に東京書籍では章の1時間目に、光の直進性に触れるほか、光源の存在を学んだり、物体が見える理由は光の反射であると学んだり、色について見える理由について学んだりする。その一文に「りんごが赤く見えるのは、りんごに当たった光の中で、赤い色をした光が多く反射し、私たちの目に届くからである」と記されている。

ここでの問題、単元の1時間目の関係性や規則性を見いだす活動として、子どもが課題意識を持てるテーマは何かということだった。子どもの学習観を整理すると、生活体験から導かれる常識、小学校での既習事項、他教科での既習事項にわけられる。章の1時間目で学習する内容をそれらに分ける。

小学校では鏡を用いて光を反射させたり、凸レンズで太陽の光を集めたりする経験をしている。それ以外にも、太陽と月の関係を見出す活動を通して、光の直進性やものを見るためには光源の存在が必要であることなどを理解しているはずである。

また中学校では、美術科で色の3原色とともに光の3原色にも触れるほか、技術科では植物の育成をパフォーマンス課題として行っており、白色光に触れる機

会が多い。社会科では日本の農業を学ぶことを通して、促成栽培で人工の光源で育成することを知る機会もある。

表 1 教科書の説明文と子どもの学習観の対応

教科書の記述（東京書籍「新しい科学1」から引用）	学習観
自ら光を出す物体を光源という。	・常識 ・小学校
光がまっすぐ進むことを光の直進という。	・常識 ・小学校
光源から出た光の一部が目が届くことで、私たちは光源の姿を見ることができる。	・常識
光源から出た光の一部が、物体の表面ではね返り目が届くからである。	・常識 ・小学校
物体の表面で光がはね返ることを光の反射という。	・常識 ・小学校
太陽の光は、複数の色の光が混ざり合っているため、白く見える。	・他教科 (技術科)
プリズムというガラスによって光の色が分かれたように虹	
りんごが赤く見えるのは、りんごに当たった光の中で、赤い色をした光が多く反射し、私たちの目が届くからである。	
葉などに含まれるクロロフィルという物質が、太陽光に含まれる緑色の以外の光を吸収しているからです。	・他教科 (技術科, 社会科)
テレビなどでは3原色の光を組み合わせてさまざまな色を再現しています。	・他教科 (美術科, 技術科)
実験1の結果から、入射角と反射角が等しいことを示している。これを光の反射の法則という。	・常識 ・小学校 ・他教科

そこで理科の学習では、1時間目でりんごが赤く見える理由について、屈折を取り扱う章でプリズムについて扱うことにした。子どもは、これまで当たり前だと思っていた現象の理由や新たに触れる現象へ興味と疑問を抱くと思った。

2. 教材化とその実験原理

りんごが赤いのは、りんご表面での光の吸収率と関連する。白色光が表面に当たったとき、光の3原色の青と緑が比較的多く吸収される。そのため、りんごは赤い光を反射し、私たちはそれを認知する。

この仕組みを教材化する上で3つの方法を考えた。それは、光源の色に着目する方法、物体表面に着目する方法、人の認知機能に着目する方法である。このうち、人間の認知機能に着目した実験は教材化が難しかった。そのため今回は、光の3原色を用いた光源と物体の関係を調べる活動を行える教材開発を行った。

教材化の発想としては、光の吸収率を、光の透過率として実感できないかというものである。りんごが赤く見えるように、光は吸収され、一部が反射する。一方で、スタンドガラスのように、光は吸収され、一部が透過することで色を認知することもある。これらの2つの現象を同様に重ね合わせ実験できないかと考えた。

実験は白色光及び、光の3原色のうち赤と青を使用して実施する。

白色光がフィルターに入射したとき、3色すべてのフィルターでフィルターと同じ色の光が透過する。例えば、赤色のフィルターであれば、白色光は赤、緑、青のまじりあった光なので、緑や青の光は赤いフィルターに吸収される。一方で、赤色の光は赤のフィルターを透過したり反射したりする。他の緑や青のフィルターでも同じ色の光で同様の現象が起きる。

赤色の光がフィルターに入射したとき、赤色のフィルターで他の2色のフィルターと比較して透過光の光量が大きくなる。

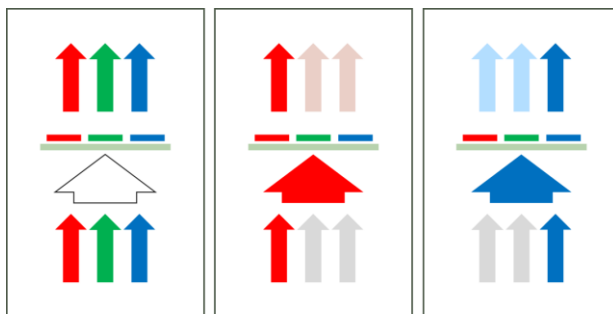


図 1 光源が白色、赤色、青色のときの透過率に関するモデル

この原理をもとに教材化を行った。

Ⅱ. 研究の方法

1. 対象と期間・分析方法

国立中学校 1 年生 2 クラスを対象に授業を実施した。時期は、10/21 (月)、10/30 (水) である。実施方法は 1 クラス 32 人を 8 班に分け、小集団による実験と考察である。

授業の達成度についての分析は、授業中の小集団での成果物であるホワイトボードによる記述と、授業後の個別の振り返りの記述によって行う。

2. 授業展開

本実験は中学校 1 年生理科の物理分野における 1 時間目に実施する。光分野においては、全 9 時間の 1 時間目である。

開発した教具を使用する実験は、以下の展開に示す 3 つ目のパートである。授業の序盤では、光に関する概念や簡単な法則性について確認し整理した。その後、私たちの見ている景色の色に着目させ、色づいて見える理由に対して課題意識を高めた。実験はその直後に実施した。

表 2 授業展開と子どもの姿

おもな活動	ねらいとした子どもの姿
1. 光に関する身近な風景を見させ、様々な概念を出させる。	・影や光の当たり方に着目して太陽の位置を推測する。 ・壁に反射した光が赤いことに気が付く。 ・光の強度や色について気が付く。ここで学習課題を提示する。
2. 簡単な法則を整理し、色について課題意識を高める。	1 で出た内容と、光に関する科学的概念を結びつける。{光の直進性, 光源, 反射} 壁が赤く色づいていることや、空が青いことに注目させ、色について課題意識を持つ。
3. 実験結果をもとに、班で考えをまとめる。	「光の三原色と透過率の実験」を行う。 結果をもとに、光源の色と見えた光の強さから科学的なきまりを見出し、その理由を考察する。

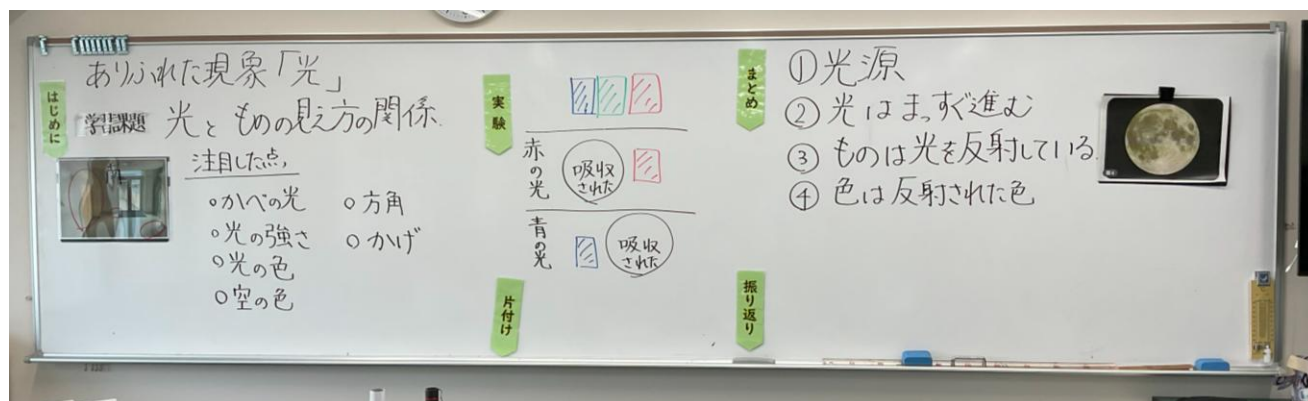


図 2 実際に授業した際の板書

Ⅲ. 実験に使用した自作教具について

1. 教具の全体と使用方法

作製した教具の次に示す。教具は 3 つの部品にわけられる。土台となる短い円筒、3 色 (青, 緑, 赤) のフィルター、覗き込むための長い円筒である。

使用法は、写真の通りである。タブレット PC の画面上に 3 つの部品を、短い円筒、フィルター、長い円筒の順に積み重ね、長い円筒の上部から片目で覗き

込む。タブレット PC の画面色を変化させられる Web アプリを使用する。画面色を赤や青と変化させ、フィルターの 3 色のうちどれが光を多く通しているか観察するものである。

使用した Web アプリは「JavaLab」というシミュレーション教材を扱うサイトの「カラーパネル」である。カラーパネルは、どのような端末であってもディスプレイを光の 3 原色を含む 7 色に変化させることができ

る。今回の実験では、当 Web アプリのカラーパネルの赤と青の2色を使用して実験した。

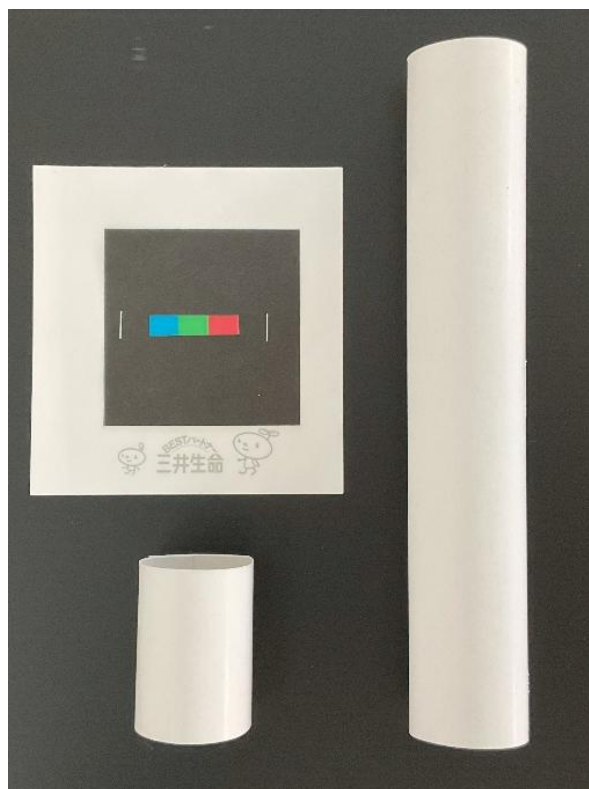


写真 1 開発した教具

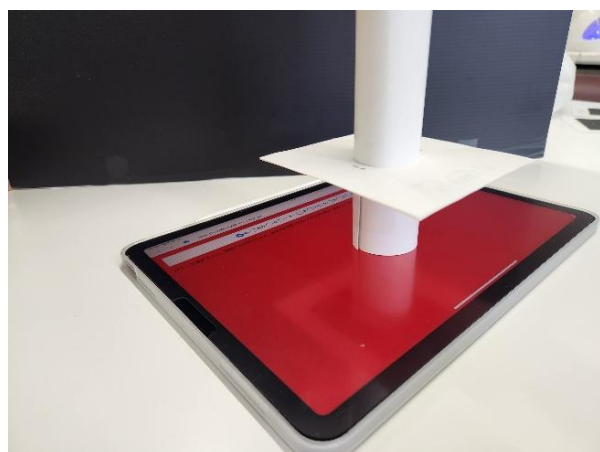


写真 2 教具を使用している様子

表 3 使用手順とその様子

1. 短い筒の上にフィルターをのせる フィルターの黒い面を下にむける。	
--	--

2. その上に長い円筒を乗せる	
3. タブレット PC で Web アプリを起動し、光源の色を変化させる	
4. 長い円筒の上部から除き、フィルターの光度の変化を観察する	

2. 作製に使用した材料

作製に使用した、材料を次に順に示す。

ア. 付箋

使用した付箋は、フィルムタイプの半透明なものである。これをカラーフィルターとして使用した。用意した付箋は、ダイソーの「ポップアップ式フィルムふせん」である。6色あるうち、光の3原色にあたる、赤、緑、青をカラーフィルターとした。

作製する際は、赤、緑、青の順に並べた。1色あたり3枚重ねて使用した。ふせんをフィルターとして1枚しか使用しなかった場合、光源の色によってはねらいとする実験結果を得られない。そのため枚数を増減させ予備実験したところ、3枚重ねて使用すると適切であると結論付けた。

イ. メモ帳

メモ帳は1辺9cm程度の正方形のメモ帳を使用した。これは、長い円筒から観察を行った際に光源を遮るために使用した。この遮光板としてのメモ帳は、フィルムふせんで作製したフィルターのみに光を透過させ、それ以外の部分から光源からの光が透過しないような厚みであればよい。今回は4枚重ね使用している。また、メモ帳の中心部分は切り抜かれており、フィルムのふせんを3色横並びにしたとき、カラーの部分のみに光源の光が当たるようになっている。

ウ. 画用紙（黒色）

黒色の画用紙は、フィルターの光源側（使用する際の下側）に使用した。短い円筒内での反射を抑え、フ

イルムふせんとメモ帳（遮光板）との隙間からの光の漏れ出しを防止する。

工. 厚紙 (菓子箱)

円筒として、丸めて使用した。作製時、ラップの芯などの円筒形の素材を用意できなかったため、厚紙を使用して作製した。用意できるのであれば、フィルムふせん3枚を横並びにした幅より太いラップの芯などが好ましいだろう。

長さは、短い円筒では高さ 5 cm、長い円筒では 20 cm である。短い円筒は、光源の光のみをフィルターに於ける役割をする。フィルターをタブレット PC の画面に直接置いた場合、太陽光や蛍光灯などの白色光が光源の光と混ざってしまう。すると明瞭な実験結果を得られない為、短い円筒を使用する必要がある。長い円筒は、観察の際に、フィルター周辺を暗くし観察しやすくする役割をする。この円筒は、長いことで観察者側（円筒上部）から入り込む光を減光する働きをもつ。短い場合、観察者側から入射する蛍光灯などの光がフィルターへ直接当たり大変見えづらい。そのため適切な長さで作製する必要がある。

用意できるのであれば、いずれの円筒も黒色の画用紙などを使用し、内側の反射光を抑制することが望まれる。

IV. 結果と考察

1. 小集団での話し合いを通じたホワイトボードの記述

授業のねらいである，科学的なきまりを見出すことについては，達成していると考える．一方で，その理由を考察することまでは，一部生徒は達成しているが，多くは達成できていないと考える．

授業では実験から考察されることを，ホワイトボードにまとめるようにした．生徒は，一班4人で実験の結果と考察を記述した．その記述が次の通りである．

記述は、「通る・通過する」「通らない(にくい)」といった表現が多用されている。生徒は、光源の色とフィルムを通過した色の関係について着目し記述している。そのことから、実験を通して光源とフィルムが同じ色であるとき、何か現象が起きていることに気が付いたと言える。

現象については、「ライトの色とフィルムが同じ色ならひかりが通る」や「赤+赤=赤 通りやすい」のような表現で光の通しやすさについて書かれていた。

生徒は、同じ色であれば明るくなっている（事実）と気が付いていた。その事実をもとに、一部の班では考察し、「他の色のものは通しにくい」「光の量がすくなくなる」のような表現で、フィルムの透過率に言及している様子が見られた。

一方で、「赤が明るい（強く見えた）」や「赤＋緑＝茶」のような事実段階で止まっている記述が頻繁に見られた。すべての班が透過率と吸収率について述べることはできておらず、解決すべきポイントであった。

表 4 小集団での成果物であるホワイトボードによる記述

5班	6班
光がフィルムを通過して5班 いるから 理由...通過することによって 理由は 赤+赤=赤 赤+青=紫 赤+緑=茶 になるから同じ色の光が同じ色 のフィルムを通過することによって、見	6班 光がつか! → 赤+赤=赤 通りやすい 赤+青=紫 赤+緑=茶 青+赤=紫 青+青=青 青+緑=青緑 青+赤=青紫 青+青=青 青+緑=青緑 考察②
7班	8班
7班 同じ色のものが通過しやすい 他の色のものはしにくい	8班 ライトの色と フィルムの色 が同じなら 光が通る ライトの色と フィルムの色 が違えば 通らない。 フィルムの色が違うと通る光の量 が少なくなるから暗くなる。

1. AI リフレクションの記述

授業を実施したクラスでは、生徒一人一人に授業毎で振り返りを記入させている。振り返りは「AI リフレクション」(真木 2025) のシステムを使用した。次に示すのは、生徒が入力した記述である。

教具を使用した成果は2点ある。1つ目は、実体験的な理解を促せたことである。2つ目は、色に対して興味を引き付けられたことである。

生徒は、振り返りの「実際に見たり考えたりしながら光について学ぶことができました。」や「赤の光の時、赤は光を通した。青は通さず、黄色は少し通した。」の記述のように、フィルターと光源の関係には通しやすい色の組み合わせがあることを体験した。多くの生徒は、実験を通し吸光率について体験的に理解している。

一部の生徒は、「目に見えている色は、その色だけ反射して見えているものということがわかりました。」や「見える光は見える光だけを反射させていることで、色が分かれて見えている。」というように記述してい

た。この生徒は、本実験を通して吸光されていることを理解し、それを光の反射と結びつけて理解したと考えられる。一方で「色は反射された色」というのを詳しく知っていきたいです。」のよう実験と結びつけられていない生徒もいる。

振り返りの課題や質問に対する回答として、「その原理がどのようなことなのか知っていききたいです。」と、実験から考察されることを超えた興味を示す生徒が見られた。

それだけでなく、「人はりんごが赤色に見えるけれど、犬は景色が白黒に見えるそうなので、犬はりんご＝赤色と認識できるのですか。」のように生物の光の認知機能に対する興味を持った生徒もいた。

表 5 授業後の個別の振り返りの記述

生徒 A	【学習内容】光① 光の道筋 【成果】赤い光は赤いフィルムにしか光を通さない事がわかって、赤以外のフィルムだと光を吸収している事がわかりました。同じ光には同じ色のフィルムを通し、それ以外は吸収する 【課題】 【質問等】赤に近いオレンジだと濁った色に見えるのはなぜですか？
生徒 B	【学習内容】光① 光の道筋 【成果】今日は自分たちの目に見える色は、その色だけ反射して見えているものということがわかりました。 【課題】その原理がどのようなことなのか知っていききたいです。 【質問等】
生徒 C	【学習内容】光① 光の道筋 【成果】私たちが普段、何気に見えている光には理由があることを知りました。班で赤い光でどうなるか、青い光でどうなるかを実験をして、確かめました。赤の光の時、赤は光を通した。青は通さず、黄色は少し通した。青の光の時、赤は光を通した。青

	も通し、黄色は少し通して緑色に近い色になった。結果を図でまとめることができるようになり、班で考察をし、緑の予想も立てることができました。 【課題】他の班はどのようにしているのかわかりませんでした。赤や青い光だけでなく、緑色の光も予想を立てたのでそこについて次回やっていききたいです。「色は反射された色」というのを詳しく知っていききたいです。 【質問等】
生徒 D	【学習内容】光① 光の道筋 【成果】光の直進や反射について学び、反射されるものや物の色が見えていることを新しく知ることができました。そして、実際に見たり考えたりしながら光について学ぶことができました。 【課題】今回の授業では、その写真を取った時間帯を写真を見て考えるとき、あまりアイデアが出ず苦戦してしまったので、これから光のことを今よりももっとたくさん理解できるように頑張りたいです。 【質問等】なぜ影が長くなるにつれて影の広さは広がっていくのか。 「見えている色は反射された色」について、人はりんごが赤色に見えるけれど、犬は景色が白黒に見えるそうなので、犬はりんご＝赤色と認識できるのですか。 光の直進などの法則については、どのようにして発見していったのか。

V. おわりに

りんごが赤い理由や、植物の葉が緑である理由を知っている子どもはいる。そのような子どもであっても、光の吸収によってそれらの色を認知しているという

仕組みを理解していたり、ましてや実感できていたりするとは思えない。

今回、開発した教具は、安価に、短い時間で作製できる。また、使用の際も直感的で簡単に使用できる。そのような観点から、実際の教育現場で導入しやすいのではないだろうか。

今回のような、子どもが日常生活で着目したことの無いような現象、体験できないような現象を、授業を通してこれからも提供し続けていきたい。

文献

文部科学省 (2017) : 中学校学習指導要領解説 理科編
東京書籍株式会社 (2023) : 新しい科学 1

今井泉 (2022) : 科学教育における教材としての「光と色と色覚」, 化学と教育, 70, 4, 196-199.

真木大輔・大西義浩・山本浅幸 (2025) : 中学校理科教育における生成 AI 活用モデルの構築—教員の指導支援および生徒の学習活用による実践的検証—, 愛媛大学教職大学院実践研究報告書, 18.

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—

The Status of Implementation and the Future Policy of “Omusubi Workshop”
-for the Nurturing of Generalists beyond the Boundary between Natural Science and Humanities-

○小川晃生^{*1}

OGAWA Akio^{*1}

^{*1} 愛媛大学教育学部

^{*1} Faculty of Education, Ehime University

【要約】本稿では2024年度「おむすび研究会」の実施状況を報告する。「おむすび研究会」は愛媛大学ジュニアドクター育成塾における第二段階受講生を対象とした会であり、「課題研究能力、プレゼンテーション技術の向上」、「第二段階受講生同士の交流」を目的とする。2024年度「おむすび研究会」は出席率が比較的高く、受講生は活発に議論に参加しており、上記の目的は果たされたと考えられる。次に、本稿では2025年度以降の「おむすび研究会」の方向性についても議論する。愛媛大学ジュニアドクター育成塾が目的とする「未来を切り開く次世代ゼネラリスト育成プログラムの開発」のためには理系・文系の境界に拘らずに様々な考え方を受講生に伝えることが望ましいと考えられる。そこで文系出身の「おむすび研究会」担当者だからこそ可能な試みの一例を本稿で紹介し、「人文的知性を涵養するきっかけを第二段階受講生に提供する」という「おむすび研究会」の第3の方針を提案する。

【キーワード】ジュニアドクター育成塾、おむすび研究会

I. はじめに

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）は「次世代人材育成事業」を実施している。この事業の一つに「ジュニアドクター育成塾」がある。ジュニアドクター育成塾では、科学技術イノベーションを牽引する人材を育成するために、選抜された小中学生の能力を伸ばすための支援が行われる¹。

愛媛大学におけるジュニアドクター育成塾では「未来を切り開く次世代ゼネラリスト育成プログラムの開発」が目的とされる²。これは理系だけにとらわれない様々な分野の学際的プログラムに基づいて「広い視野をもった次世代リーダー」の育成を目指すものである³。

ところで、愛媛大学ジュニアドクター育成塾は第一段階、第二段階、に分けられる。第一段階では授業や課外活動を通して発展的な学習に取り組む。それに対して、第二段階では指導教員の下で自分が設定したテーマに関する研究活動を行う。そして、第二段階受講生向けに「おむすび研究会」という名称の交流会が開かれる。「おむすび研究会」では受講生が各自の研究活動に基づく発表を行う。この会の目的は、「課題研究能力、プレゼンテーション技術の向上」、

「第二段階受講生同士の交流」、である⁴。

まず、本稿では上述した「おむすび研究会」の2024年度実施状況について報告する。実施方法、参加状況、実際の会の様子、等について記述する。次に、本稿では2024年度実施状況を踏まえた「おむすび研究会」の「今後の方向性」について検討する。この検討は「次世代ゼネラリスト育成」という愛媛大学ジュニアドクター育成塾の目的を踏まえたものとなる。

II. 2024 年度「おむすび研究会」の実施状況

1. 実施方法の概観

2024年度「おむすび研究会」を実施するにあたって8月にSlack⁵上で「案内」のPDFファイル⁶を配布し2024年度のスケジュールを第二段階受講生に周知した。第1回では科学論文の書き方、研究倫理などに関する講義が行われた。第2回では受講生による活動報告が行われた。第3回では担当者による講義が行われた。そして、第4回から第6回では受講生による研究発表が行われた。最後の第7回では、2024年度ジュニアドクター育成塾閉校式で第二段階受講生が行う研究報告の練習が希望者によって行われた。



(略称：むす研)

愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階受講生おむすび研究会

【趣旨】本研究会はジュニアドクター育成塾第2段階の受講生を対象として開催します。本研究会の目的は研究を通じた第2段階受講生同士の交流と、各自のプレゼンテーション能力を向上させることです。同時に、参加者が着実に研究を計画・実践できるように、研究構想発表会、研究中間発表会のセッションも設定しています。参加については自由ですが、できるだけ多くのおみなさんご参加をお待ちしております。



【時間】月1回、土曜日午後13時～16時

【形式】研究発表

【場所】愛媛大学教育学部2号館1階・オープンラボ教室

【申し込み】各回の実施2週間前に、Slackの「第2段階受講生2024」のチャンネルで参加申し込みの案内をします。そこで指定されたGoogle Formより参加申し込みをしてください。ご都合がございましたら、事前申し込みなし当日参加も可能です。

【スケジュール】

1回目 2024年8月31日(土)

13:00 第1部：研究を始める前に：科学論文、レポートの書き方について(担当 加納正道コーディネーター)

※ 第1部の内容は昨年と同じです。昨年聴いた人は、第2部からの参加でも結構です。

14:00 第2部：オリエンテーション：趣旨説明、自己紹介、注意事項など

テーマ 科学研究のルールについて学ぼう！(担当 小川晃生研究員)

2回目 2024年9月29日(日)10:30～12:00(通常と異なる曜日・時間ですので注意してください)

① 国際学会への参加発表について(尾玉澤子さんが10月の国際学会の発表について報告)

② 国際交流の参加報告(高石 渾さんが8月に参加したユースサミットについて報告)

3回目 2024年11月2日(土)

① 研究を始める前に(その2)：楽しい発表にするために(担当 小川晃生研究員) ② 研究構想発表

4回目 2024年12月14日(土)

発表会

5回目 2024年1月25日(土)

発表会

6回目 2024年2月15日(土)

発表会

7回目 2024年3月1日(土)

閉校式発表会の準備

図1 2024年度「おむすび研究会」の案内

各回の出欠確認や第4回以降の発表者の決定はGoogleフォームで作成したアンケートによって行った。発表予定者にはSlackで発表資料を担当者に前日までに提出させた。

第5回参加申し込みのご案内：愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階受講生おむすび研究会

開催地：愛媛大学教育学部2号館1階・オープンラボ教室

開催時刻：1月25日(土曜)の13時～16時。詳細は8月に配布した案内を必ず確認してください。

お問い合わせ：Slackのダイレクトメッセージで小川晃生までお願いします。

Googleにログインすると作業内容を保存できます。詳細

* 必須の質問です

第5回おむすび研究会に参加しますか？ *

☐ はい、参加します。☐ いいえ、参加しません。

参加者の名前を記入してください。 *

回答を入力

図2 第5回における出欠確認アンケート

第4回から第6回における受講生の発表は以下の流

れで進化した。司会は「おむすび研究会」の担当者である著者が行った。

1. 受講生の発表 (10分～15分程度)
2. 発表方法のどこが良かったか、どこをもう少し工夫すれば良かったか、などについて参加者で議論 (15分程度)

図3 第4回から第6回での受講生の発表の流れ

最後の第7回で行われた、閉校式における研究報告の練習は以下の流れで進化した。

1. 受講生の発表 (5分以内)
2. 質疑応答 (2分)
- 上記が閉校式の練習———
3. 受講生による自由な質問

図4 第7回での受講生の発表の流れ

2. 参加状況

第二段階受講生は26人である。学年別でみると、小6が4人、中1が10人、中2が7人、中3が5人である。また、新規生は17名、継続生は9名である。2月末日までの「おむすび研究会」の出席状況は表1の通りである。第3回、第6回を除けば各回の参加率(参加者数÷26)は0.50前後である。第3回については道路の冠水を伴う悪天候の影響だと考えられる。

表1 2024年度「おむすび研究会」の参加状況

	開催日	参加者数	参加率	発表者数
第1回	8.31	16	0.62	-
第2回	9.29	14	0.54	2
第3回	11.2	6	0.23	-
第4回	12.14	15	0.58	5
第5回	1.25	13	0.50	3
第6回	2.15	10	0.38	7
第7回	3.1	12	0.46	6

表2は学年ごとの参加率である。第3回、第7回を除けば中1の参加率が比較的高い。他方で、中2は全体的に参加率が低く、第5回における中3の参加率も低い。ただし、学年ごとの参加率の平均に違いがあるかどうかを対応なし1元配置分散分析で検討すると⁸、自由度(3, 24)のF値が2.99、p値が0.051、

効果量 η^2 が 0.27 であり, 5%水準で有意でない. ただし, 中1と中2間の効果量 Cohen's d は 1.46 と大きい.

表2 学年ごとの参加率⁹

	小6	中1	中2	中3
第1回	0.75	0.80	0.29	0.60
第2回	0.25	0.70	0.43	0.60
第3回	0.50	0.20	0.0	0.40
第4回	0.50	0.80	0.43	0.40
第5回	0.50	0.80	0.29	0.20
第6回	0.25	0.50	0.29	0.40
第7回	0.75	0.40	0.43	0.40
平均	0.50	0.60	0.31	0.43

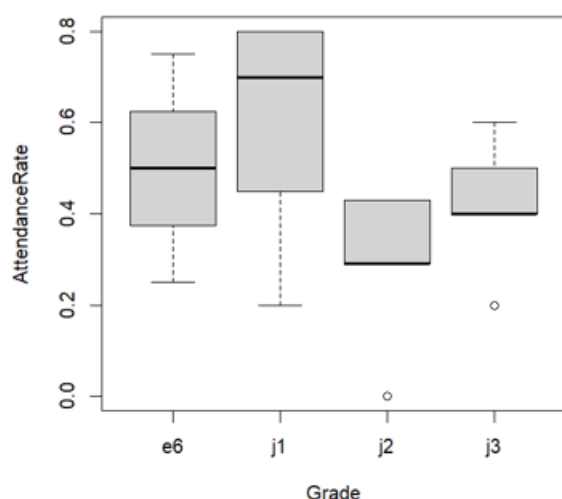


図5 表2の箱ひげ図¹⁰

表3は第二段階受講生を新規生と継続生に分けた際の参加率である. 「新規・継続」における参加率の平均に差があるかどうかを対応なしt検定で分析すると, 自由度12のt値が2.4, p値が0.034, 効果量 Cohen's dが1.28であった¹¹. p値は2.5%水準をやや上回っているが5%水準では有意であり, 新規生の方が継続生よりも全体的に参加率が高いと考えられる.

表3 新規・継続の参加率¹²

	新規	継続
第1回	0.71	0.44

第2回	0.53	0.56
第3回	0.35	0.0
第4回	0.76	0.22
第5回	0.59	0.33
第6回	0.41	0.33
第7回	0.47	0.44
平均	0.55	0.33

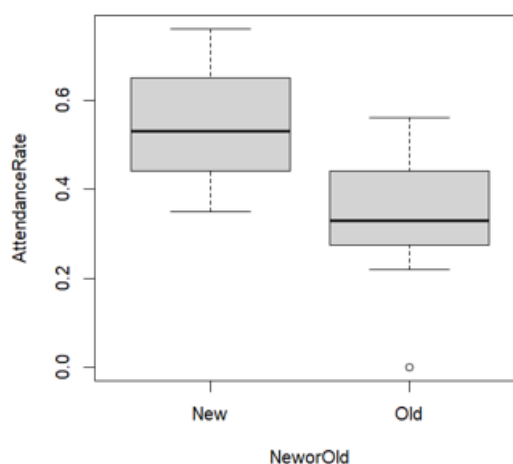


図6 表3の箱ひげ図¹³

以上から, 2024年度「おむすび研究会」の参加率は全体的に高いが, 中2の参加率が全体的に低い, 継続生の参加率が全体的に低い, といった課題も可視化された.

3. 研究会の様子

本節では2024年度「おむすび研究会」の様子について報告する. すでに述べたように, 「おむすび研究会」では受講生が各自の研究活動に基づく発表を行う. 各自の発表時間の目安は10分から15分程度であり, 発表の直後にプレゼンテーション技術などの視点から発表の良いところや改善点を参加者全員で議論する. 発表の様子は下の写真の通りである.



写真1 「おむすび研究会」の様子¹⁴

各自の発表の後に行われた受講生の議論の具体例を以下に示す.

表4 受講生の議論の具体例¹⁵

発話者	発言内容
A	グラフと票を使用していたのはとても見やすく良かったと思ったんですがもうちょっと文字文字なんかのなんか太さとかをちょっと変えたりとか大きさを變えたりとかして重要なところがもっと分かりやすいようにしたらもっと見づらくなんじゃないかな・・・んーもっと見やすくなるんじゃないかなと思います。
B	えーと※※※※※※※※だけかもしれないですけど、 えとモップ絞り器と足踏みだっこ・・・脱穀機を・・・えーと参考にした・・・えーと機械というのを試作したと思うんですけどそのなんでモップ絞り器と足踏み脱穀機を・・・えーと参考にしようと思ったのかっていうその動機みたいなのところあったのか・・・じゃないのかな
A	えーと実験・・・実験の結果に対する考察・・・考察なんかをもうちよっと丁寧にやったらいいのではないかなあと思います。
著者	ちなみになんだけれども、 なんかどのあたりでなんかもう少し・・・掘り下げ

A	たほうがいいと思う？ あー例えば例えば傘の材質とかそういうものとかあとは・・・古くなるにつれて傘のどの部分が劣化すると考えるのかっていうなんか欲しかったかな・・・撥水古いふる古くなったら撥水力が少なくなるっていう根拠・・・が・・・んと欲しかったかなあと思いました。
C	はいえーと・・・いまあの※※の画像の上に新しい左と古い傘右ってあの書いてあるんですけど・・・あの・・・この状態だとあの僕だけかもしれないんですけど・・・あの上に・・・文字が書いてあるだけでどっちが新しくどっちが古いてあの・・・僕だけかもしれないですけど・・・ぱっと見てわからないのであの・・・下に新しい古いみたいな感じで書いてると分かりますくなくと思います。

上記の具体例から分かるように、「おむすび研究会」において受講生は活発な議論を行っていたといえる。

II. 今後の方向性の検討

1. これまでの実施状況の課題

本稿の「はじめに」で触れたように、ジュニアドクター育成塾の目的は「科学技術イノベーションを牽引する人材を育成すること」である。この目的の達成に貢献するために、これまで述べてきたように「おむすび研究会」では第二段階受講生に対して「課題研究能力、プレゼンテーション技術の向上」のための支援を行ってきた。

他方で、同じく「はじめに」で触れたように、愛媛大学のジュニアドクター育成塾では「未来を切り開く次世代ゼネラリスト育成プログラムの開発」が目的とされる。これは理系だけでない広い視野を持った次世代リーダーの育成を目指すものである。実際、2024年度の第一段階受講生向け講座には古代中国史に関するもの、アートに関するもの、が含まれている¹⁶。

ところで、いわゆる理系と文系の区分は研究対象の相違に基づく区分である。理系（理学・工学・医学

など)は自然現象や自然現象に基づく物づくりを研究対象とし、文系(社会科学・人文学)は社会現象や人間らしさを研究対象とする。他方で、研究対象の相違が「研究とは何かに関する認識」の相違に帰結する場合もある。例えば、社会科学と人文学の境界領域に位置づけられる社会学という学問は、自然科学とは異なる「研究とは何かに関する認識」を持っていると、社会学者自身によって認識されている¹⁷。

「研究とは何かに関する認識」の分野ごとの相違を受講生に伝えることは、受講生の視野を広げて愛媛大学ジュニアドクター育成塾が目的とする「次世代ゼネラリスト育成」に貢献する。にもかかわらず、こうした取り組みはこれまで積極的には行われなかったと考えられる。そこで、2024年度「おむすび研究会」では、第3回において上述した社会学における「研究とは何かに関する認識」を講義した。本稿の次節でこの講義について紹介する。そして、今後の「おむすび研究会」が目指すべき方向性についてそのあとで検討する。

2. 第3回「おむすび研究会」における講義

前節で述べたように、第3回「おむすび研究会」では社会学という学問における「研究とは何かに関する認識」について自然科学と対比させつつ講義した¹⁸。

社会学は文字通り社会を研究する学問である。社会学は一般的に社会を総合的に分析する学問だと解釈される傾向があると考えられる。他方で、社会学者は社会学特有の方法によって社会を分析し解釈する学問だと社会学をみなしている。

社会学の特徴の一つとして相互行為(interaction)への注目があげられる。人間の振る舞いは行動(behavior)と行為(action)に区分することができる¹⁹。行動は人間が自分で制御することのできない無意識の振る舞いを含む。例えば条件反射²⁰がこれに該当する。これに対して、行為は「単数或いは複数の行為者が主観的な意味を含ませている限りの人間行動」

(Weber, 1922 = 2023[1972]: 8)であり、人間の意識的、主体的な振る舞いだけを指す。そして、複数の人間が行為をお互いに行うことを相互行為(interaction)と呼ぶ。社会学は社会(society)を相互行為のネットワークだと定義し、相互行為の様相を分析する学問である。

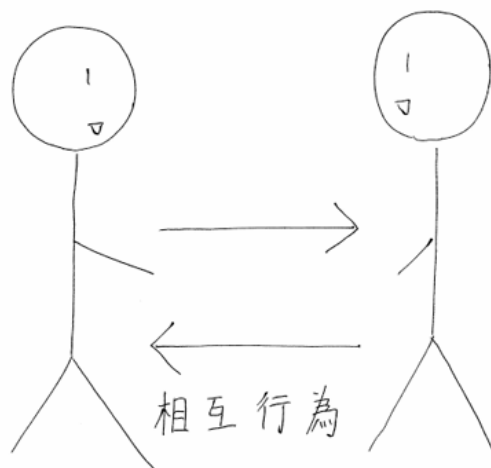


図7 相互行為²¹

社会学のもう一つの特徴は研究者と研究対象である社会との関係性である。社会学者もまた人間であり、相互行為ネットワークとしての社会に参加し、組み込まれている。したがって社会学者はその内側から社会を研究する²²。ここで問題になるのが研究の客観性である。社会学者は社会の内部にいて、研究対象である社会の影響を常に受けながら研究を進める。一人の人間としての社会学者は生まれてから社会の影響下で成長してきたため、この影響から逃れることができる社会学者は存在しない。この構造は社会学において、研究テーマの設定、研究方法の選択、分析結果の解釈の仕方、などにおける客観性・中立性を揺るがす²³。ここにおいて、社会学者は社会を客観的・中立的に研究することは不可能だという前提で社会を研究する。このとき社会学における研究の本質は、社会を研究する自分自身の客観性・中立性を常に疑い自省する哲学的態度である。

他方で自然科学においては、研究対象を支配する自然の法則は観察者から独立したものである。ある意味で、自然科学者はその外側から自然を研究する。例えばある生物の増殖を研究するとき、自然科学者は温度などの条件を変化せることでその生物の増殖の仕方を変えることはできる。しかし、自然科学者はその生物の増殖に関する法則それ自体を変容させることはできない。だからこそ、生物の増殖の仕方は微分方程式による近似などによって解析することができる²⁴。このとき自然科学において中心的な位置を占めるのは、客観的・中立的で科学的に正しい

方法で研究を遂行し続ければいつかは真理に到達できるはずだ、という信念だと考えられる。社会学とは異なり、こうした自然科学において要求される自省は客観的・中立的の研究が可能であることを前提としたその不十分さに対するものだと考えられる。

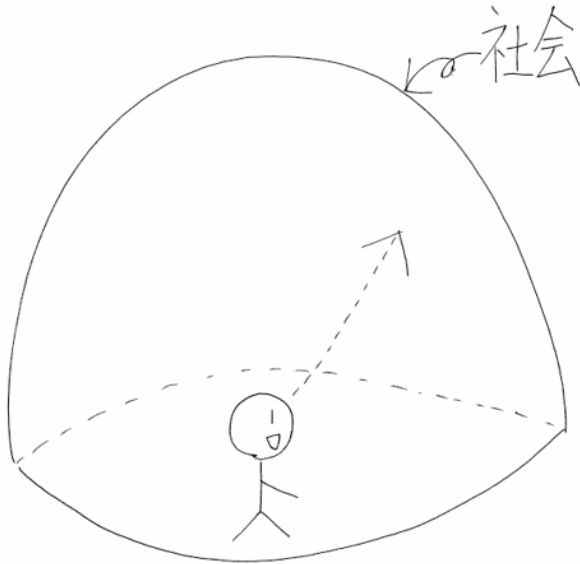


図8 社会学の構造²⁵

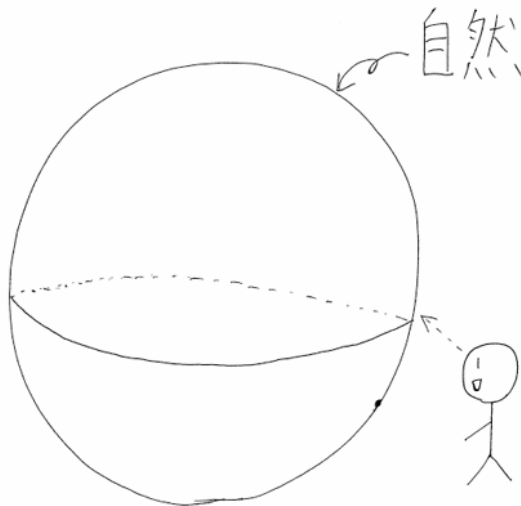


図9 自然科学の構造²⁶

これまで「研究とは何かに関する認識」の違いを自然科学と社会学とを対比させて述べてきた。しかし、例えば自然現象と人間社会との接点である「環境保護」のような分野では両方の考えが必要とされるはずで

ある。そして何よりも、愛媛大学ジュニアドクター育成塾が目指す「未来を切り開く次世代ゼネラリスト育成」のためには受講生に様々な考え方を知ってもらうことが望ましいと考えられる。だからこそ、第3回「おむすび研究会」では上述した内容の講義を行った。

3. 「おむすび研究会」の今後の方向性について

本稿ですでに述べたように「おむすび研究会」の目的は受講生の「課題研究能力、プレゼンテーション技術の向上」と「第二段階受講生同士の交流」である。「おむすび研究会」の最優先の目的はあくまでこの二つでなければならない。

他方で、おむすび研究会の担当者は2023年度、2024年度ともに「文系」出身であり、第二段階受講生の指導教員（大半が「理系」出身）とは異なる働きかけを第二段階受講生に対して行うことができる。本稿のⅡ-2で提示したのはそうした働きかけの一例である。

したがって、2025年度以降の「おむすび研究会」は以下の三つの方針の下で行われるべきだと提案する。

1. 「おむすび研究会」は愛媛大学ジュニアドクター育成塾第二段階受講生の課題研究能力、プレゼンテーション技術の向上に貢献するために行われる。
2. 「おむすび研究会」は第二段階受講生同士の交流を深めるために行われる。
3. 上記の二つの目的を妨げない範囲で、「おむすび研究会」は「未来を切り開く次世代ゼネラリスト」を目指すうえで必要な人文的知性を涵養するきっかけを第二段階受講生に提供する。

図10 2025年度以降の「おむすび研究会」への提案

Ⅲ. おわりに

本稿では2024年度「おむすび研究会」の実施状況を報告した。2024年度「おむすび研究会」は出席率が比較的高く、受講生は活発に議論に参加していた。したがって、「課題研究能力、プレゼンテーション技術の向上」、「第二段階受講生同士の交流」という「おむすび研究会」の目的は果たされたと考えられる。他

方で、本稿では2025年度以降の「おむすび研究会」の方向性についても議論した。2024年度の試みを紹介したうえで、「人文的知性を涵養するきっかけを第二段階受講生に提供する」という第3の方針を提案した²⁷。これは文系出身の「おむすび研究会」担当者だからこそ可能な働きかけである。

註

- 1 <https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/> (2025年2月3日閲覧) を参照。
- 2 「令和5年度連絡協議会：愛媛大学ジュニアドクター育成塾」 (https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/event/pdf/council_r5/r0406_ehimedaigaku.pdf) (2025年2月21日閲覧) を参照。
- 3 同資料を参照。
- 4 同資料および受講生に配布した「おむすび研究会」の「案内」(本稿に掲載) を参照。
- 5 メンバー同士でメッセージやファイルのやり取りができるアプリである。
- 6 PDFファイルのデザインは2023年度「おむすび研究会」で使用したものを流用した。2023年度のデザインに関しては殷爽・向平和・中本剛・加納正道・立川久美子(2024:63)を参照。
- 7 学年ごとの人数および新規生・継続生の人数は愛媛大学ジュニアドクター育成塾の内部資料に基づく。
- 8 対応なし1元配置分散分析はRによって著者が実施した。また分析にあたって平井明代・岡秀亮・草薙邦広(2022:88-93)を参照。
- 9 四捨五入して有効数字を二桁にしている。
- 10 Rによって著者が作成した。
- 11 対応なしt検定はRによって著者が実施した。また分析にあたって平井・岡・草薙(2022:63-66)を参照。
- 12 四捨五入して有効数字を二桁にしている。
- 13 Rによって著者が作成した。
- 14 2025年2月15日著者撮影。
- 15 2025年1月25日に実施された第5回「おむすび研究会」での一人目の発表に対する議論の録画を著者が書き起こし、著者の発言などを削除してその一部を掲載した。なお、音源から聞き取れなかった箇所については1文字ごとに「※」の表

記を使用した。

- 16 「2024年度(R6)愛媛大学ジュニアドクター育成塾開講スケジュール」(<https://ed.cheme-u.ac.jp/juniordocor/?p=2435>) (2025年2月21日閲覧) を参照。
- 17 佐藤俊樹(2011:37-49)を参照。
- 18 この講義で社会学という学問を解説するにあたって長谷川公一・浜日出夫・藤村正之・町村敬志(2007)、佐藤俊樹(2011)、Weber, M. (1922=2023[1972])を参照。
- 19 Weber (1922=2023[1972]:8)を参照。
- 20 条件反射については西川泰夫(1992[1988]:61-75)を参照。
- 21 イラストは著者が作成した。
- 22 佐藤(2011:42)を参照。
- 23 この問題と関連して佐藤(2011)は社会学において「常識をうまく手放す」(佐藤, 2011:1)ことの重要性を指摘する。
- 24 巖佐庸(1998:2-12)を参照。
- 25 イラストは著者が作成した。
- 26 イラストは著者が作成した。
- 27 本稿で触れたように「おむすび研究会」では受講生に対する研究倫理教育もまた行われる。倫理学が人文学の一種であることを考えても、この方針は「おむすび研究会」と親和的だと考えられる。

文献

- 長谷川公一・浜日出夫・藤村正之・町村敬志(2007): 社会学, 有斐閣
- 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
- 巖佐庸(1998): 数理生物学入門—生物社会のダイナミックスを探る, 共立出版
- 殷爽・向平和・中本剛・加納正道・立川久美子(2024): 小中学生の科学的探究につながる主体的・対話的で深い学びの教育方法の検討—「愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階受講生の研究会」の開発・実践を手がかりに, 科学教育研究センター紀要, Vol.3, 61-68.
- R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R->

project.org/>.

佐藤俊樹 (2011) : 社会学の方法—その歴史と構造, ミネルヴァ書房

西川泰夫 (1992[1988]) : 実験行動学 [行動から心へ], 第3刷, 講談社サイエンティフィク

Weber, M. (1922): Soziologische Grundbegriffe, *Wirtschaft und Gesellschaft*, Tübingen, J.C.B.Mohr (=清水幾太郎 [訳] (2023[1972]) : 社会学の根本概念, 第64刷, 岩波書店)

理科探究学習における生成 AI 活用の実態分析 — 肱川あらしの発生条件の探究における対話ログの考察 —

○真木大輔^{*1}, 向平和^{*2}, 大西義浩^{*2}

MAKI Daisuke^{*1}, MUKO Heiwa^{*2}, OHNISHI Yoshihiro^{*2}

^{*1} 愛媛大学教育学部附属中学校, ^{*2} 愛媛大学教育学部

^{*1} The Junior high school of Ehime University Faculty of Education, ^{*2} Ehime University Faculty of Education

【要約】本研究は、中学校理科「肱川あらしの発生条件」の探究学習において、生徒と AI 学習パートナーの対話ログを定量的および質的に分析し、生成 AI 活用の実態を明らかにすることを目的とした。愛媛県 A 中学校 2 年生 1 クラス (32 名) を対象に、掲示板形式の AI システムを用いた授業実践を行った。分析の結果、全 92 件の質問のうち「理由の説明」が 65% を占め、生徒が現象の根本原理やメカニズムの理解に強い関心を示していることが明らかになった。また、実験重視グループと理論重視グループの対話ログの質的分析から、生徒は実践と理論を往復しながら探究を深めていることが示唆された。今後の課題として、AI 活用を前提とした授業デザインの充実と、パフォーマンス課題のような実験やデータ解析など多様な学習活動での活用が求められる。

【キーワード】中学校、理科、生成 AI、対話ログ

1. はじめに

1.1 研究の背景

文部科学省は、教育での生成 AI (以下、AI) 活用の普及を背景に、2023 年 7 月に初等中等教育段階における暫定的な AI 利活用ガイドラインを策定し、全国の生成 AI パイロット校の先進事例を取りまとめた。さらに、2024 年 12 月に改訂版 (Ver.2.0) を公表し、AI を「有用な道具」と位置づけ、校務の効率化や各教科での具体的な活用方策を提示している。特に、児童生徒が AI を学習活動で利用する際には、「発達段階や情報活用能力の育成状況に配慮し、リスクや懸念に対する対策を講じた上で活用を検討すべき。その際、学習指導要領に定める資質・能力の育成に寄与し、教育活動の目的達成に資するかを吟味する必要がある」と述べている。

資質・能力の育成に向けた AI の利活用は重視されているが、実際の教育現場における生徒の AI 活用の実態については、依然として十分な知見が蓄積されていない。

1.2 先行研究

先行研究として、真木 (2025) は中学校理科教育における AI 活用モデルを構築し、「AI 授業案作成」「AI リフレクション」「AI 学習パートナー」の三つのシステムを開発・実践している。中でも「AI 学習パートナー」は、生徒の探究活動を個別に支援するため、以下

の三段階の支援を特徴としている。

1. 関連する科学概念を提示し、質問に対応する基礎知識や原理を分かりやすく説明する。
2. 「なぜ」や「どのように」といった問いを生成し、生徒の思考を促すことで、考察を深化させる。
3. 探究活動を提案し、実験や観察に関するアイデアを提供する。

このように段階的な支援を行うことで、生徒の科学的思考を深める工夫がある。「AI 学習パートナー」を用いた実践では、64 名の生徒を対象とした検証において、86.9% の生徒が学習成果の向上に役立ったと評価している。また、「学習内容の理解が深まった」「新しい知識や視点を得た」「即時フィードバックによる効率性」といった肯定的な評価がある一方で、「AI の回答が正しいとは限らない」「自分で考える力が育たない」といった課題も指摘されている。

1.3 本研究の位置づけと研究の目的

本研究は、真木 (2025) の「AI 学習パートナー」のシステムを改良した実践に基づき、AI 活用の実態を明らかにすることを目的としている。改良点として、生徒と AI の一対一の対話形式を掲示板形式に変更し、対話内容を学級全体で共有可能とすることで、個別支援ツールからグループ間の協働学習を促進するパートナーとしての AI 活用を目指した。

具体的には、以下の 2 点を明らかにする。第一に、

対話ログの質問テーマ分類による定量的分析から、生徒が探究過程のどの局面で、どのような目的で AI を活用しているのかを分析する。第二に、対話内容の質的分析から、生徒の探究活動における思考の特徴を考察する。これらの分析を通して、理科探究学習における AI 活用の実態を解明する。

2. 研究の方法

2.1 授業の実際

2.1.1 主題・ねらい

肱川あらしの発生条件を探究しよう（全3時間）

①肱川あらしの発生条件を探究し、霧や風の基本原理を関連づけて理解する。

②生徒が AI を協働パートナーとして活用しながら、自律的に学習を進めることができる。

2.1.2 学習の展開

本実践は以下の流れで行った。

①導入

肱川あらしの動画視聴を通して現象を直感的に理解させ、探究への動機づけを行う。

②AI 教えてくんと対話

AI が小学生の視点で「肱川あらし」に関する基礎的な質問を投げかけ、生徒は質問に答えながら既習内容を復習し、知識を整理する。

③グループ振り返り

グループで AI との対話内容を共有し、「霧の発生」「放射冷却」「風の仕組み」などの観点から「肱川あらしの発生条件」を整理する。

④探究活動

ミッション1：実験探究（図1）

- 水槽を使用した気温差による霧や冷気の流れの再現・観察
- 青カード（水の動き）、赤カード（水の動きの原因）を用いた整理

ミッション2：データ探究（図2）

- 気象データや地形図を用いた分析
- 放射冷却や霧、風との関係の考察
- 緑カード（実際のデータ）を用いた整理

⑤探究成果の報告

- グループ報告：教員への説明と質疑応答
- 個人報告：AI への説明と質疑応答

④ミッション1：実験で肱川あらしを再現しよう

・使用する道具：



・考えるポイント：

- 水の動き（循環）を青のカードで表そう。
- 水の動きの原因を赤のカードで表そう。

水の動きに
関すること
水の動きの原因
にすること

図1 ミッション1：実験探究の説明スライド

④ミッション2：データから肱川あらしの条件を確認しよう

・使用する資料：

- 気象データ（気温差や風の情報）
- 気象庁過去の気象データ
- 地形図（肱川周辺）
- 地理院地図 / GSI Maps | 国土地理院
- 肱川あらしの動画や写真
- 大洲市 肱川あらし（フォトライブラリ）

・考えるポイント：

- 霧ができる条件の検証：実験で再現した霧の発生条件が、実際の気象データに現れているか。
- 風の流れと霧の動きの比較：実験結果で観察した風の向きや霧の流れが、気象データ上でも再現されているか。
- 肱川風の現象の全体像：他の関連資料（地形図や現象の映像資料）から、肱川風がどのような気象条件で発生するのか、またその仕組みが実際のデータと一致するか。

実際のデータを
緑のカードで表そう。

実際のデータに
関すること

写真：大洲市 (https://www.city.ohsu.jp/kitei/movie-library/0235.html)

図2 ミッション2：データ探究の説明スライド

2.1.3 AI の活用

探究活動において、生徒が AI を効果的に活用できるよう、授業のグランドルールを授業前に生徒に提示した（図3）。特に、自分の考えを大切にすることや、他者から学ぶ姿勢の重要性を強調し、AI を含む様々な情報を活用しながら主体的に学習を進められる環境を提示した。本実践では、ミッション1とミッション2において、生徒は必要に応じて AI 学習パートナーを自由に活用しながら探究活動を進めた。

授業のグランドルール

- 自分の考えを大事に
 - どんな考えも大切な一歩。間違いや失敗は成長のチャンス。
 - わからないことも大事な気づき。
- 他者から学ぶことも大事に
 - 級友、先生、教材、AI、みんなの視点から学ぼう。
 - まねるだけじゃもったいない。最後は自分の考えを大切に。

そのために

- 席立ち、おしゃべり自由
 - 他のグループを見に行ったり、相談したりしてOK。
 - 邪魔にならないように配慮して。
- 教科書、参考書を見る、ネット検索、（指定の）AI の活用もOK
 - 情報をそのまま使うのではなく、必ず自分で考えよう



図3 授業のグランドルール

2.2 対象と期間

本研究の対象は、愛媛県 A 中学校第2学年に所属する1クラス、計32名（男子16名、女子16名）とした。実践期間は2025年2月6日、7日、12日の3時間の授業形式で実施した。

対象生徒は、社会科での AI ディベート、英語科での AI 英会話や AI 添削など、複数回、AI を利用した経験

を有していたが、その利用は授業内に限定されており、日常的な使用には至っていない。理科における AI 使用は本研究が 2 回目となり、前回は真木(2025)の生徒と AI が一対一で対話するチャットボットを用いて、根のない植物に関する探究活動を実施している。

2.3 システムの改良

2.3.1 AI 学習パートナーの概要

AI 学習パートナーは、生徒の探究活動中に生じる気づきや疑問に対して、生徒と AI が一対一の対話できる Web チャットボットである。システムの実装には、Google Apps Script (GAS) を使用し、ChatGPT API (ChatGPT4o-mini) との連携により、生徒と AI の対話を実現している。また、プロンプトや会話ログといったデータは Google スプレッドシート上で記録・管理される。図 4 は生徒用インターフェース画面、図 5 はプロンプトである。

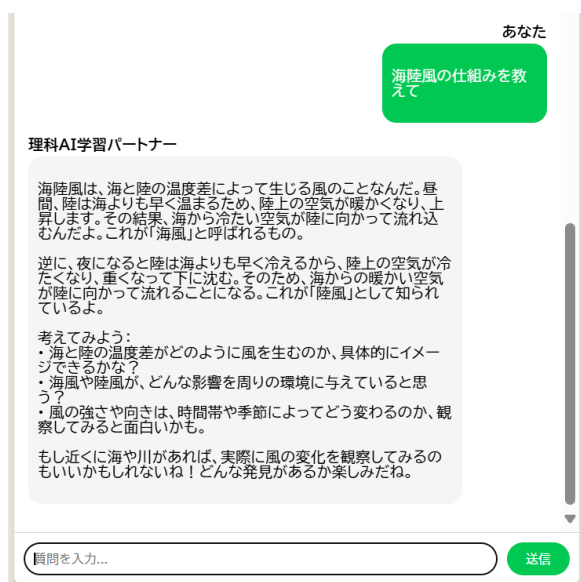


図 4 AI 学習パートナー生徒画面

中学生の理科学習サポートプロンプト

役割・目標

中学生の理科学習を支援する先輩として：

- 考えるきっかけを提供する
- 探究心を刺激するヒントを与える
- 科学的思考を促進する

視点・対象

- 日本の中学生向け
- 学年に応じた思考促進
- 親しみやすい言葉遣い

制約条件

- 回答は 400 字以内
- 直接的な答えは避ける
- 安全性に配慮
- オープンエンドな質問を含める
- 暴力的、差別的、性的な発言は「その問いには答えることができません。」とだけメッセージを返す

処理手順

1. 質問の本質を理解
2. 関連する現象や概念を想起
3. 思考を促すヒントを準備
4. 探究を促す質問を作成
5. 自主的な調査を奨励

出力例

光合成について質問された場合：

...

光合成って不思議だね。植物が太陽の光を使って何かを作り出しているんだ。

考えてみよう：

- ・ 晴れの日と曇りの日で、植物の様子に違いはあるかな？
- ・ 葉っぱの色が緑なのはなぜだろう？
- ・ 植物が出している気体って何だろう？

家にある植物で実験してみるのも面白いかも。例えば、一部の葉に日光が当たらないようにしてみるとか。

光合成が地球の環境にどんな影響を与えているか、考えたことある？どんなつながりがあると思う？

図 5 AI 学習パートナープロンプト

2.3.2 改良版 AI 学習パートナー（掲示板）

真木 (2025) の AI 学習パートナーでは、AI との対話ログは記録されるものの、リアルタイムでの確認が困難であり、また対話が生徒と AI の一対一で完結してしまうため、教員の指導やグループ活動での活用が制限されていた。そこで本研究では、以下の改良を行った。

① 対話形式の変更

従来の Web チャットボット形式を掲示板形式に変更し、対話内容のリアルタイム共有を実現した。これにより、個々の対話がグループ全体、さらには学級全

体での共有が可能となった。

② 質問受付方法の変更

生徒からの質問を Google フォームで入力する方式に変更し、氏名、質問の目的、質問内容を効率的にデータベース化した。これにより、質問の整理と管理が容易になり、分析に資するデータ収集が可能となった。

③ 対話内容の共有機能

生徒の質問およびAIの回答を Google スプレッドシート (図 6) 上で共有し、班や單元ごとにフィルター機能を実装することで、情報の整理とスムーズな共有を可能にした。

これらの改良により、生徒は自分の班の AI との質問・回答履歴を参照しながら探究活動を進めることが可能となった。また、他の班員の質問や気づきも共有され、協働的な学びを促進する環境を整備した。

2.4 対話ログの分析

2.4.1 分析対象

生徒と AI 学習パートナーとの対話ログを分析対象とした。分析対象となる対話ログは、掲示板形式のスプレッドシートに記録された以下のデータである。

- ①質問の日時
- ②質問者の情報 (学級, 班, 氏名)
- ③質問テーマ

④質問内容

⑤AI からの回答内容

⑥他者 (教員, クラスメート) からのコメント

2.4.2 分析方法

対話ログの分析は、以下の 2 つの観点から行った。

①質問テーマの分析

フォームで収集された各質問テーマ (「用語の意味について」「理由の説明」「考えの確認」など) の出現頻度を集計し、全体的な分布や各テーマの偏りを把握した。また、授業の進行に伴い、各グループにおける質問テーマがどのように変化したかを時系列的に分析し、時間経過とともにテーマの変化の傾向を検討した。

②対話内容の質的分析

グループの対話ログから質問を抽出し、内容の分類とその件数、また、生徒と AI とのやり取りの流れや対話の展開を分析した。

3. 結果

3.1 質問テーマの分析

質問テーマの出現頻度を表 1 に、班別テーマ推移比較を、図 7 に示す。

No	質問はここから	AI回答	私はこう思う1
3	02/06 (木) 13:57 名前: [redacted] 質問テーマ: 考えの確認(私の理解や説明が合っているか確認したい) 質問等: 脳川あらしの水の動きやその要因に関わることで、大洲盆地で空気が飽和と水蒸気量を超えるまで冷やされ、目に見えるようになった水の粒が高気圧の空気がよって長浜橋まで降りてくるんだよね?	脳川あらしについての理解がとて深いの! 脳川あらしは、特定の条件が揃ったときに起きる現象で、大洲盆地の特有の空気の動きと関係しているんだ。 あなたが触れた「空気が飽和水蒸気量を超える」というポイントがとても重要だよ。空気が冷やされると、水蒸気が凝結して小さな水滴になる。このプロセスによって霧や雲ができるんだ。高気圧の影響で空気が移動すると、その空気が降りてくることで、霧が特定の場所まで進むことができるんだね。 考えてみよう: ・長浜橋までの水の粒がどのように動くのか、具体的にイメージできるかな? どうして高気圧の空気が水の粒を引き寄せることができるのか、考えてみて。 ・大洲盆地についてもっと調べて、その地形や気候が脳川あらしにどのように影響を与えているか考えられるかな? ・他の地域での類似の現象についても考えてみて、どう違うと思う? このような自然現象を理解することは、科学の面白さを感じる素晴らしい機会だよ。自分なりの調査をして、脳川あらしについての知識をさらに深めてみてね! どんな新しい発見があるか楽しみだね。	
4	02/06 (木) 13:59 名前: [redacted] 質問テーマ: 理由の説明(なぜそうなのか、原理やメカニズムを知りたい) 質問等: なんで霧ができたならその霧が消えに風によって川までたどり着くことができる?	霧ができた後、それが川までたどり着く理由は、風の働きや周囲の環境の影響が重要なんだ。霧は、小さな水滴の集合体で、通常、湿度が高い状況で発生するよね。この霧が移動する過程にはいくつかの要素が関わっているんだ。 まず、風は霧を押し進める役割を果たしているよ。強い風が吹いていると、霧の水滴が流されやすくなるんだ。また、周囲の温度や湿度の変化も霧が消えるかどうかに影響を与える。たとえば、高温の空気に触れると霧は evaporate (蒸発) して消えやすくなるけど、再び冷えて湿度が保たれる場所に入ると、霧が残ったりする。 考えてみよう: ・霧が川までたどり着くには、風だけでなく、地形や周囲の環境も関係していると思う。どう思う?	

図 6 改良版 AI 学習パートナー (掲示板)

表 1 質問テーマの出現頻度

		合計	1 班	2 班	3 班	4 班	5 班	6 班	7 班	8 班
Theme1	用語の意味について（教科書の用語や難しい言葉を教えて）	14	3	5	3	－	－	1	1	1
Theme2	理由の説明（なぜそうなのか、原理やメカニズムを知りたい）	60	13	6	6	7	9	4	8	7
Theme3	考えの確認（私の理解や説明が合っているか確認したい）	8	2	3	－	－	1	1	1	－
Theme4	別の考え方（違う視点や別の方法を知りたい）	－	－	－	－	－	－	－	－	－
Theme5	実験・観察の方法について（手順や安全上の注意点を知りたい）	6	－	－	－	3	－	1	1	1
Theme6	学習記録の方法（レポートやノートの効果的な書き方を知りたい）	－	－	－	－	－	－	－	－	－
Theme7	生活との関連（日常生活でどのように活用されているか知りたい）	3	－	－	－	－	2	－	1	－
Theme8	他教科との関連（数学や社会などの教科とどう繋がっているか）	1	－	－	－	－	－	－	1	－
Theme9	発展的な学習（もっと詳しい内容や最新の研究について知りたい）	－	－	－	－	－	－	－	－	－
Theme10	その他（上記に当てはまらない質問や相談、雑談等）	－	－	－	－	－	－	－	－	－
合計		92	18	14	9	10	12	7	13	9

※縦軸がTheme番号, 横軸が時系列を表す

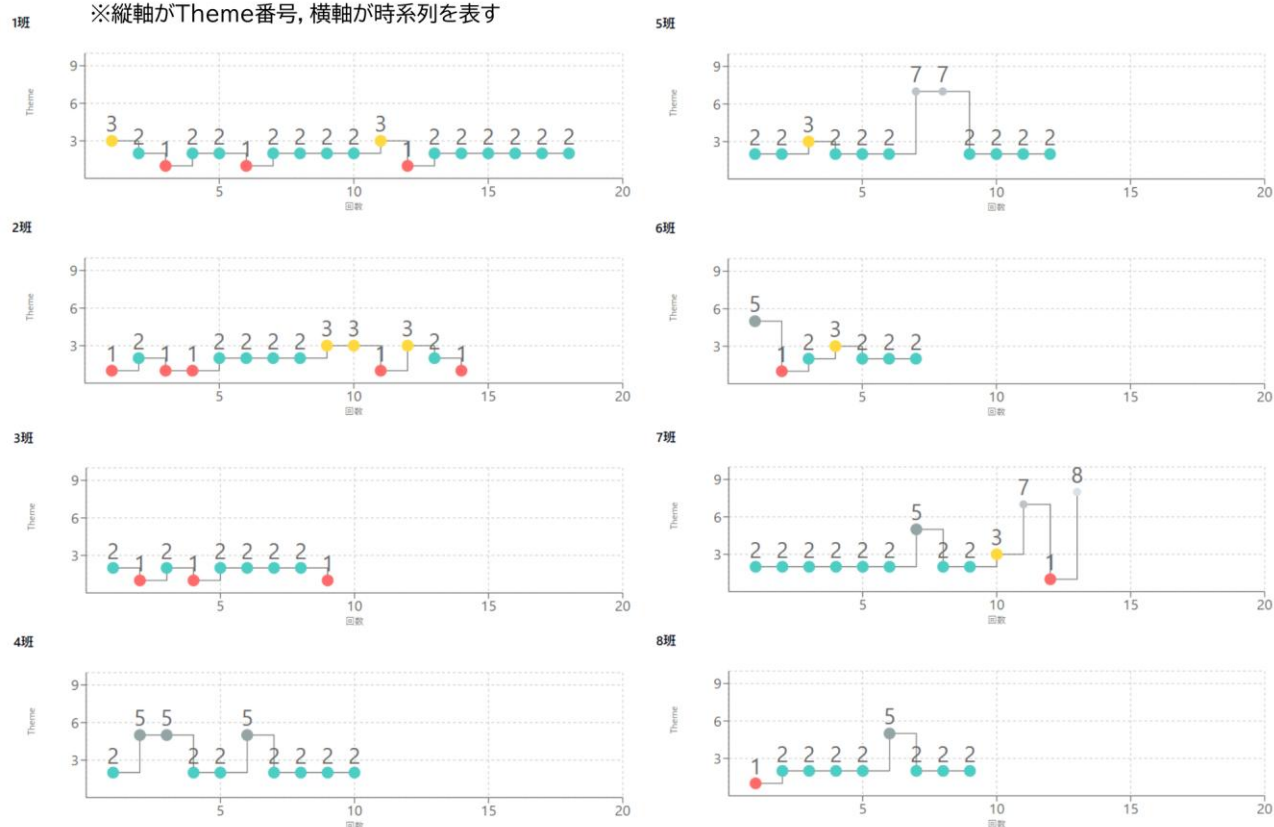


図 7 班別テーマ推移比較

3.2 対話内容の質的分析

対話内容の質的分析として、すべてのグループのAIの質問を時系列で抽出した。それが図8～図15である。AIからの回答入りのデータは図16で示す。

1. 肱川あらしの水の動きやその要因に関わることで、大洲盆地で空気が飽和水蒸気量を超えるまで冷やされ、眼に見えるようになった水の粒が高気圧の空気によって長浜橋まで降りてくるんだよね？
2. なんで霧ができたならその霧が消えずに風によって川までたどり着くことができる？
3. 霧とは
4. 山から空気が流れてくる原理とは
5. 朝の陸地と海はどちらの方が冷たい？
6. 陸風？や海風？昼風？夜風。の用語について教えて
7. 朝は陸風？海風？
8. 肱川あらしのメカニズムを教えてください
9. 冬の朝6時の陸地と海は、どちらの方が冷たい？
10. 冬の朝6時ごろは海風？陸風？
11. 朝は海の方が陸より暖かいよね？
12. 放射冷却とは
13. 肱川あらしは朝だけ？
14. 昼に起こる肱川あらしは海側からくる？陸側からくる？
15. 肱川あらしの発生条件と何月？
16. 昼に肱川あらしが起きない(海から陸に)理由を超絶わかりやすく教えてください！！頑固な人にもわかりやすくように
17. 肱川あらしが発生する詳しい時間帯を教えてください
18. 海と陸ではどちらの方が気圧が低い？高い？

図8 AIへの質問ログ(1班)

1. 霧って何？
2. どうやったら霧は生成されるの？
3. 海風と陸風
4. 海風と陸風教えてください！
5. なぜ晴れの日あと霧が出来るの？
6. なぜ晴れの日になると霧が出来る条件が達成されるの？
7. 海と陸の大気の流れって、朝と昼では違うんですか？海風と陸風と一緒に説明してほしいです”
8. どのような場合に大量の水蒸気は発生するのか？
9. 肱川あらしは、水分を多く含んだ空気が地表付近で冷やされてできるのであっていませんか？
10. 肱川あらしは前日との気温差が大きい日(前日より気温が下がった)日にできるのであっていませんか？
11. 蒸気圧って何？
12. 肱川あらしについてです。
肱川あらしは、前日と当日の気温差によって発生します。
前日の晴れで陸や海が温められて水分が蒸発し、上空に水蒸気が発生します。それが、当日、急激に寒くなり、海より陸の方が温度が変わりやすいから、陸の方が先に冷たくなります。その結果、陸で気温と飽和水蒸気量が下がって、湿度が高くなり、露天になって、陸で水蒸気水滴(霧)になります。また海の方が暖かいから海で上昇気流が起こって、低気圧になります。逆に陸は高気圧になります。その結果、霧が高気圧から低気圧に流れて、肱川あらしになります
あっていませんか？また質問があれば教えてください”
13. 肱川あらしは地表付近で水分を多く含んだ空気が冷やされてできるけど、その冷やされる水分を多く浮くんだ空気はどこから来るんですか？
14. 放射冷却って何？

図9 AIへの質問ログ(2班)

1. 霧のでき方
2. 霧とは何か
3. 晴れた次の日の朝に霧ができるのはなぜ
4. 霧と雲の違い
5. 風はどうして吹くのか
6. 霧をつくるにはどうしたらいいか
7. 肱川あらしが起きる理由
8. どこで霧はできるのか
9. 放射冷却とは

図10 AIへの質問ログ(3班)

1. 霧はどのようにしてできるのか。
2. どんなことをすれば霧ができるのか
3. 霧を再現する方法
4. たいていの川は海に近づくにつれて広がるのになぜ肱川は川が海に近づくにつれて、幅が狭くなっているのか。
5. なぜ霧はできるのか
6. 霧を再現できるのか
7. 霧を上昇させるにはどうすればいいのか
8. 水蒸気はどこからうまれるのか。
9. 肱川の霧はどうやって作られているのか
10. 大州の水蒸気はどこでできるか

図11 AIへの質問ログ(4班)

1. 霧はどうやって発生する。
2. 雲と霧の発生条件は同じ？
3. 霧の量と湿度は関係がありますか
4. なぜ霧が発生するのか
5. 霧ができるのと空気中の物体は関係がありますか？
6. 霧と海陸風の関係って？
7. 海に霧って発生する？
8. 肱川あらしは大洲城にあたりにも現れる？
9. 肱川あらしが観測できる場所をできるだけ教えてください
10. 肱川あらしが発生する場所は？
11. 肱川あらしは山の上の方で発生し、山を下って大洲市まで流れ込み、肱川を流れる？
12. 肱川あらしが発生する条件は？

図12 AIへの質問ログ(5班)

1. 肱川あらしを、線香の煙に見たててモデルを作りたい。その時の手順についてヒントが欲しい。
2. 霧とは何か
3. 霧の発生しやすい条件って何？
4. 霧と雲は一緒ですか
5. 霧の出来やすい条件って何？
6. 霧の出来やすい条件って何？
7. 風が起きメカニズムを教えてください

図13 AIへの質問ログ(6班)

1. 霧はどう発生するのですか？
2. なぜ霧ができる
3. そもそも霧はどうやってできる
4. なぜ霧ができるのか教えてください。
5. なぜ水は蒸発するのか？
6. 水上に肱川あらしのような気体が発生するメカニズムを教えてください
7. 肱川あらしのでき方
8. 霧にあつたかとか冷たいとかあるのか
9. なぜ霧ができるのか。
10. 肱川あらしは川の上流のほうにある盆地でできた。霧が暖かい水と冷たい地面の後期の流れによって、上流から下流に降りてくることによって起こる現象だと思うんだけどどうですか？
11. 肱川あらしがもたらす人々の影響
12. 霧って一体何なの？
13. 例年の肱川あらしの発生時期を箱ひげ図で表して

図14 AIへの質問ログ(7班)

1. 雪と霧の違い
2. 霧の流れは何に影響されるのか、実験の方法やヒント
3. なぜそうなのか根拠
4. どうして風は霧を動かすことができるのか、霧は動かさないのではないか
5. 霧は空気が暖かい方に流れていくのか？
6. マッチ、線香、氷、お湯、水槽、付箋やカード、スタンドを使って肱川あらしを作る方法
7. 霧のでき方を詳しく教えて
8. 盆地の一日の温度変化を教えて
9. 盆地から海に向かって風は吹くのか

図 15 AI への質問ログ(8 班)



図 16 AI 回答入り対話ログ

4. 考察

4.1 質問テーマの分析

質問テーマの分析結果は、表 1、図 7 のとおりである。

4.1.1 質問テーマの出現頻度の分析

表 1 の結果によれば、全 92 件の質問のうち、最も多かったのは「理由の説明（なぜそうなのか、原理やメカニズムを知りたい）」で、全体の 60 件を占めていることが明らかとなった。これは、生徒が探究活動において、単なる知識の確認だけでなく、現象の根底にある原理やメカニズムの理解を求めていることを示している。

また、「用語の意味について（教科書用語や難しい言葉を教えて）」や「考えの確認（私の理解や説明が合っているか確認したい）」に関する質問も一定の割合で見られ、基礎知識の整理と確認が学習の重要な側面として位置づけられていることが分かる。

グループ別の分析からは、以下の特徴が明らかとなった。まず、すべてのグループで「理由の説明」の割合が多く、現象のメカニズムや原理を深く理解しようとする活用が共通して存在している。しかし、その現れ方には班ごとの特徴が見られた。2 班や 3 班では、「用語の意味について」と「理由の説明」がバランスよく出現しているのに対し、4 班では「実験・観察の方法について（手順や安全上の注意点を知りたい）」が 3 件と、実践的な探究方法に関する質問が特徴的である。また、5 班、7 班、8 班では「理由の説明」を中心としながらも、他のテーマを含む多様な質問パターンを示している。

各班のテーマの組み合わせは、個々の学習状況や協働学習の仕組みに起因する部分があると

考えられ、これらの傾向は、AI を活用した探究学習における生徒の多様なアプローチを示すものと言える。

4.1.2 質問テーマの出現頻度の分析

図 7 の各班の推移を概観すると、「理由の説明」が複数回継続して登場する一方で、後半になると「実験・観察の方法について」や「生活との関連」が散発的に追加される班も存在する。

多くの班で後半になっても「理由の説明」が繰り返し質問されていることは、肱川あらしの発生条件やメカニズムについて、生徒がさらに深い理解を求めている可能性を示唆する。前半で基礎的な疑問や用語の整理が一通り完了した後、より原理的・根源的な説明に焦点が移っていると考えられる。

4 班の時系列データを見ると、「実験・観察の方法について」が一度登場した後、再び「理由の説明」へと戻り、その後に再び「実験・観察の方法について」が見られるといった往復的な動きが確認できる。これは、実験・観察の方法を模索し、その過程で生じた新たな疑問を解消するために、もう一度原理的思考や理由の説明へと戻り、理論面での確証や補足を得た上で再び実践に臨むという段階的・循環的な学習が行われていると推測される。

7 班の時系列推移を見ると、初期段階では「理由の説明」が連続して登場しており、肱川あらしや霧の発生に関する原理的な理解を深めようとする姿勢がうかがえる。後半では「生活との関連」「他教科との関連」など、学習の視点を広げるテーマが散発的に登場する。これらは、肱川あらしのような現象が他の文脈や生活の場面でどのように捉えられるかを意識し始めたことを示唆し、探究活動の最終段階において学習内容を多角的に結びつける動きが見られると考えられる。

4.2 対話内容の質的分析

4.2.1 質問内容の質的分析

全 92 件の質問を 8 つのカテゴリーに分類した結果、最も多くの質問が「霧関連」(36 件) および「肱川あらし関連」(24 件) に集中していることが明らかとなった。また、「風関連」(14 件) や「実験・再現方法」(5 件) など、それに関係する要因に関する疑問も一定数見受けられる(表 2)。

これらのカテゴリー別質問は、授業で設定した 2 つのミッションと密接に関連している。ミッション 1(図 1)では、水槽実験を通じて実際に霧や肱川あらしの再現に取り組む中で、霧の発生条件や風の役割、さらには実験手法そのものに関する疑問が生まれた。ミッション 2 では、気象データや地形図を用いて肱川あらしの発生条件を分析する活動が展開され、肱川あらしのメカニズムやそ

れに影響する温度差，放射冷却，さらには地形的要因（肱川あらし関連，陸海・盆地の温度差，放射冷却，大洲・肱川の地形）に関する疑問が提示された。

このように，実験的再現（ミッション 1）とデータ分析（ミッション 2）という 2 つの活動が，それぞれ実践的側面と理論分析的側面からの理解を促進した。これは，生徒が知識の受動的な習得に留まらず，実践と理論の両面から現象を探究する多角的な学習プロセスを形成していることを示唆している。

表 2 カテゴリー別質問内容

カテゴリー	件数
1. 霧関連 「霧とは何か」「なぜ霧ができるか」「霧の流れや量，湿度との関係」「雲や雪との違い」など，霧全般に焦点を当てた質問。	36
2. 肱川あらし関連 肱川あらしのメカニズム・発生条件・時期・場所・観測・影響など，直接「肱川あらし」に言及している質問。	24
3. 風関連 海陸風や山風，気圧差による風の発生原理，霧を動かす風の仕組みなど，「風」に焦点を置く質問。	14
4. 水蒸気・蒸気圧 水蒸気や蒸気圧の定義・発生条件，「水蒸気はどこから来るか」「なぜ水は蒸発するか」など。	5
5. 実験・再現方法 霧や肱川あらしを模型や実験で再現する手順・ヒント，実験の根拠などを問う質問。	5
6. 陸海・盆地の温度差 「朝や冬の陸地と海のどちらが冷たいか」「盆地の一日の温度変化」など，主に陸海・盆地の温度差に着目した質問。	4
7. 放射冷却 「放射冷却とは何か」「放射冷却の仕組み」など，放射冷却そのものを尋ねる質問。	3
8. 大洲・肱川の地形 肱川の川幅が海に近づくほど狭まる理由など，地形そのものに関する質問。	1

4.2.2 質問内容の質的分析

各グループの中でも，特徴的な 2 班を抽出して，実験重視の 4 班と理論重視の 1 班の対話ログを比較分析した。なお，4 班の AI との対話ログは図 17 に，詳細は図 16 のログにて示す。

4 班は，霧の生成や実験的再現に関する質問が中心である。「霧はどのようにしてできるのか」「霧を再現する方法」「霧を上昇させるにはどうすればいいのか」などの質問に対し，AI は霧の原理説明と具体的な実験手順を提示している。生徒は「どうすれば実際に霧をつくれるのか」「条件を変えるとどのような違いが出るのか」といった探究的な視点で AI を活用している。

これに対し，AI は霧の原理的な説明（空気中の水蒸気が冷やされて水滴になる過程）に加え，具体的な実験手順（温かい水と冷たい面の温度差を利用する方法）を提示している。こうしたやり取りからは，生徒が単なる知識の確認にとどまらず，「どうすれば実際に霧をつくれるのか」「条件を変えるとどのような違いが出るのか」といった探究的な視点で AI の回答を活用している様子がわかる。

また，「水蒸気はどこから生まれるのか」「肱川の霧はどうやって作られているのか」といった質問では，水循環の基礎的な仕組みについての理解を深めている。4 班の特徴は，実験による現象の再現と理論的理解を往復しながら探究を進めている点にある。

1 班は，「霧ができたらずに川まで届くのはなぜか」「山から空気が流れてくる原理とは」「朝の陸地と海はどちらが冷たいか」「冬の朝 6 時ごろは海風か陸風か」など，気温・気圧・風向きなどの気象条件が複合的に作用する仕組みに注目した質問が多く見られる。AI の回答は，霧の生成メカニズム（空気中の水蒸気が冷やされ水滴になるプロセス）や，陸地と海の温度差に伴う海風・陸風の原理，さらには肱川あらしに特有の地形・気圧配置を含めた要因を分かりやすく提示している。

特に，「なぜ霧が川まで到達するか」や「朝と昼で風向きが変わる理由」など，現象の空間的・時間的な見方に関する質問が多く，これに対し，AI の説明によって，夜間から朝方にかけて陸地が冷え込む一方で海水は温度を保ちやすいこと，冷たい空気が山から谷へ流れ落ちる地形的条件，高気圧や低気圧の配置などが霧や肱川あらしの移動を支えていることが回答された。さらに，放射冷却や気圧差の影響を踏まえながら，時間帯ごとの風向き（陸風・海風）の変化に着目するやり取りも見受けられ，現象の発生時刻や季節との関連を具体的に検討している。

両班の対話ログから，AI を活用することで，生徒が「実験・観察を通じた具体的な理解」と「気象・地形要因を総合的に捉える理論的理解」とを往復しながら学習を深めている様子がうかがえる。実践的探究と理論的考察の往復により，肱川あらしの仕組みをより多角的に理解していると考えられる。

Q1_霧はどのようにしてできるのか。

A1_霧がどのようにできるか、考えると面白い現象がたくさん隠れていますね。霧は、水蒸気が空気中で冷やされて小さな水滴になることで発生します。つまり、湿った空気が冷やされて、露点に達すると水滴ができるんです。

考えてみましょう：

- ・ いつ、どんな条件下で霧が発生しやすいのか、思い浮かびますか？
- ・ 霧が発生すると、どんな影響がありますか？視界の変化はどうなるのでしょうか？
- ・ 寒い時期と暖かい時期では、霧の様子は異なるのかな？

身の回りで霧が発生しているときに、どんな場面があるか観察してみるのも楽しいかもしれません。たとえば、朝の冷え込んだ日に霧が出るのは、どうしてでしょうか？

霧が空気中の水分とどのように関係しているか、そして環境への影響を考えると、もっと深く理解できるかもしれませんね！

↓

Q2_どんなことをすれば霧ができるのか

A2_霧ができる条件を考えるのは面白いですね！霧は、水蒸気が冷やされて小さな水滴になることでできます。そのためには、いくつかの要素が大事です。たとえば、空気中の湿度が高いこと、そして温度が下がることが必要です。

考えてみよう：

- ・ 夜間に地面が冷えると、周りの空気も冷やされ、霧ができやすくなるのはどうしてでしょうか？
- ・ 駅の近くや川のそばで霧をよく見ることがありますが、どんな環境が霧を助けているのか、考えたことはありますか？
- ・ 霧ができる場所や時間帯は異なると思いますが、どういう状況で霧が最も見られやすいのでしょうか？

自分で実験を考えるのも楽しいよ！たとえば、湿ったタオルを冷たい窓に当ててみて、しばらくすると水滴ができるか試してみるとか。霧ができたときに、周りの風景がどう変わるのかも観察してみてください。霧がどんな影響を与えているのか、知識が深まるかもしれませんね！

↓

Q3_霧を再現する方法

A3_霧を再現する実験を考えるのは素晴らしいアイデアです！実際には、霧は水蒸気が冷やされてできる小さな水滴の集まりなので、これを利用して簡単に再現できます。以下のヒントを参考にしてみてください。

まず、用意するもの：

温かい水

冷たい氷または冷水

透明な容器（ボウルや瓶など）

考え方：

温かい水を容器の中に入れます。このとき、水蒸気が発生することが重要です。

次に、冷たくした氷や冷水を容器の上に置いてみてください。冷たい面が温かい水蒸気に触れることで、水蒸気が冷やされ、水滴が生まれるはずです。容器の中に霧のような状態ができたなら、光を当ててみると、霧の様子がはっきり見えるかもしれません。

注意点：

安全のため、熱い水を扱う際は十分注意してね。火傷しないように。
実験中は周りをきれいにしておくと、霧の動きが見やすくなるよ。

この実験を通じて、霧がどのようにできるのかを感じることができよう。どんな環境でも霧ができるか、他の条件を変えて試してみるのも楽しいかもしれません！

↓

Q4_たいていの川は海に近づくにつれて広くなるのになぜ肱川は川が海に近づくにつれて、幅が狭くなっているのか。

A4_肱川のように、川が海に近づくにつれて幅が狭くなる現象は興味深いですね！多くの川が海に向かって広がるのは、土砂が流れ込んでいくためですが、肱川が逆に狭くなる理由を考えると、いくつかの要因が考えられます。

まず、地勢の影響があります。肱川の流れや周辺の地形は、河床や岸の状況によって変わることがあるからです。この場合、川が流れ込むときに、周囲の地形によって水の流れが変わり、狭く見えることがあります。

次に、河口海岸の特徴も大事です。波や潮の動きが、川の水の流れに影響を与えることがあります。このような環境下で、肱川がどのように変化しているのか考えてみるといいかもしれません。

では、どうしてこのような特異な現象が起こると思いますか？他の川と比較して、肱川の形成に関わる要因は何だと考えますか？

実際に肱川に足を運んで観察したり、周辺の資料を調べてみると、さらなる理解が深まるかもしれませんね。自然環境と地域の特性にどんなつながりがあるか、考えてみると面白い発見があるかもしれません！

↓

略

図 17 AI 対話ログ（4 班）

5. おわりに

本研究では、AI を活用した中学校理科探究授業における生徒と AI の対話ログを対象に、以下の 2 つの観点から分析を行った。

5.1 質問テーマの分析

フォームで収集された質問テーマ（例：「用語の意味について」「理由の説明」「考えの確認」など）について、出現頻度を定量的に集計し、生徒の AI 活用の傾向を明らかにした。その結果、全 92 件中、最も多く記録されたのは「理由の説明（なぜそうなるのか、原理やメカニズムを知りたい）」であり、全体の 65% を占めたことから、生徒は単に知識を確認するだけでなく、現象の根底にある原理やメカニズムの解明に強い関心を示していることが分かった。

また、授業の進行に伴い、各グループでの質問テーマの傾向を時系列的に検討した結果、初期段階では基礎的な疑問（例：用語の意味や初歩的な確認）が多かった一方、探究活動が進むにつれて、より高度な原理の説明や実験・再現方法に関する質問が見られるようになった。

5.2 対話内容の質的分析

各グループの対話ログから質問内容を抽出・分類し、生徒と AI とのやり取りの流れおよび対話の展開を分析した。その結果、特徴的な 2 つのグループの活動パターンが明らかとなった。

実験を重視した 4 班では、水槽実験を通じた霧の生成過程や実験手順に関する具体的な疑問が頻出し、AI はその原理説明と具体的手法を提示することで、生徒が実践的な理解を深める過程を補完していた。一方、理論的な探究を重視した 1 班では、気温・気圧・風向きといった気象条件や地形の影響について、複合的に現象を理解しようとする質問が多く見られ、AI はそれらの多面的要因を体系的に説明していた。

両グループの対話は、生徒が実験的検証と理論的考察を往復する形で、現象の本質に迫る探究学習を行っていることを示している。

5.3 今後の課題・展望

本研究は、生成 AI を活用した探究学習が、生徒の実践活動と理論的考察を往復させる効果を有することを示した。しかし、その成果を最大限に引き出すためには、以下のような今後の課題がある。

AI 活用を前提とした授業デザインの充実が不可欠である。AI は単なる情報提供ツールではなく、生徒が主体的に探究できる環境を構築するためのパートナーとして機能する。したがって、実験やデータ解析などパフォーマンス課題のような多様な学習活動を有する授業デザインが求められる。

また、本研究は対象クラス数や実践期間に限定されているため、今後は中長期的な検証が必要である。これらの検証を重ねることで、AI を効果的に活用するための指導法や生徒の生成 AI 活用の実態について、より実践的な知見が得られると期待される。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K01683 の助成を受けたものである。また、実践、資料作成等において、愛媛大学教育学部附属中学校の先生方にご協力いただいた。ここに記して深謝する。

参考文献

- 真木大輔・大西義浩・山本浅幸（2025）. 中学校理科教育における生成 AI 活用モデルの構築—教員の指導支援および生徒の学習活用による実践的検証—, 愛媛大学教職大学院実践研究報告書, Vol18.
- 文部科学省（2023）. 初等中等教育段階における生成 AI の利用に関する暫定的なガイドライン http://www.mext.go.jp/content/20230710-mxt_shuukyo02-000030823_003.pdf（アクセス日 2025/2/17）
- 文部科学省（2024）. 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（Ver. 2.0） http://www.mext.go.jp/content/20241226-mxt_shuukyo02-000030823_001.pdf（アクセス日 2025/2/17）
- OpenAI. (2025). ChatGPT (February17version) [Large language model]. <https://chat.openai.com>（アクセス日 2025/2/17）

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	香川県高等学校理科部会研修会	中本剛	講師	2024年7月5日	香川県立琴平高等学校	香川県高等学校理科部会	香川県高等学校理科教員約40名	物理分野の講演として、「物理学における発想の転換」という題目で実施
2	2024年度算数・数学夏季研究会兼愛媛県統計指導者講習会	吉村直道	講演者	2024年7月25日	松前総合文化センター	愛媛県教育研究協議会・公益財団法人愛媛県教育会	122名（県内小・中・高校教員）	演題「現代の学校教育において目指す統計的な問題解決の方法とは？」のもと講演する。この講演は愛媛県統計指導者講習会の研修を兼ねたものとなっている。
3	だしの魅力をさぐるう	岡本威明 ヤマキ株式会社	出張講義	2024年10月30日	愛媛県南宇和郡愛南町立城辺中学校	愛媛県南宇和郡愛南町立城辺中学校	中学1年生（36名）、教員（4名）、企業の方（4名）	かつお出汁の美味しさ、機能、活用性について、鰹節削り体験の実施や出汁の試飲、出汁を活用したピーマンの苦味抑制の体験を実際にさせながら、企業と連携して授業を行った。
4	熱電変換を理解しよう！	中本剛	講師	2024年6月15日	愛媛大学教育学部2号館2階理科共同学	理科教育研修会	中学校教員2名	「熱電変換を理解しよう！」という題目で、熱電変換の基礎と教材への応用について講義を行った。
5	2024年度今治・越智算数・数学夏季研究会兼第1回算数・数学同好会	吉村直道	講演者	2024年8月7日	今治地域地場産業振興センター	今治・越智算数・数学同好会	30名（小・中学校の算数・数学教員）	演題「算数・数学の学習におけるICTを活用した授業実践」にて講演を行う。
6	西条市教科研修会（中学校数学部会）	吉村直道	講師	2024年8月8日	西条市立東予東中学校	西条市教育委員会	30人強（中学校数学教師）	講師として、「ICTを活用した授業実践」について研修を行う。
7	データサイエンス入門	吉村直道	講師	2025年1月29日	愛媛大学附属高等学校	教育学部附属科学教育センター・愛媛大学附属	高1生123名＋高校教員10名	課題研究を展開するにあたり高校生及びその指導にあたる教員を対象に、データサイエンス入門として統計的な問題解決の手法をいくつか解説する。
8	和算の教材への活用研究	安部利之 原本博史	講師	2024年7月27日	愛媛大学教育学部2号館4階多目的講義	理科教育研修会	3(高3)	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。
9	愛媛の岩石標本づくり	佐野 栄	講師	2024年9月28日	教育学部3号館2階理科共同学生実験室	理科教育研修会	教員1名（附属小教員） 学生15名	愛媛は国内でも多様な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、それぞれの帯を構成する岩石を用いて、自分だけのオリジナル岩石標本作製し、日本列島の生い立ちについて考えます。
10	プロジェクトワイルド一般指導者講習会	向 平和	講師	2024年10月19日	教育学部2号館2階理科共同学生実験室	理科教育研修会	教員1名（附属小教員） 学生15名	アメリカで開発された環境教育プログラム「プロジェクトワイルド」の講習会を実施します。今年は新しい鳥編の内容も紹介したいと考えております。体を動かしながら環境について考えてみませんか？
11	理科教材の情報交流2024	佐野 栄 向 平和	講師	2024年12月7日	教育学部2号館2階理科共同学生実験室	理科教育研修会	13名（小学校教員，中学校教員，高校教員，学生）	教育現場で活躍されている先生方や大学教員等に，理科の授業他で活用できる教材の紹介をしていただきます。教材の紹介や情報交換を行い，大学と教育現場の繋がりを一層深めることを目的に開催します。誰でも気軽に参加できる交流会です。終了後には懇親会を開催する予定です。
12	「転写・翻訳に関する教材キットの活用ー生命の基本原理の理解にむけて」	林 秀則 中村依子	講師	2024年7月27日	教育学部2号館2階理科共同学生実験室1	理科教育研修会	小学校教諭1名	高校の生物基礎、生物には分子生物学的内容が多く含まれているが、関連した実習には遺伝子組換え生物を利用するものがあり、通常の教室、設備では実施できないことが多い。一方、愛媛大学で開発され、市販されている転写・翻訳のキットはコムギ胚芽抽出液を利用してタンパク質を合成するため遺伝子組換え実験には該当しない。本講座ではこのキットを利用してタンパク質の合成実験を体験し、セントラルドグマの理解に向けた学習プログラムについて検討する。
13	研究者の受け入れ	向 平和 加藤 晶	コーディネータ	2024年10月16日～18日	教育学部およびプロテオサイエンスセンター	アジア生物学教育協議会第29回隔年会議	インドからの博士課程大学院生	AABE2024終了後に，3日間受け入れた。教育学部の授業参観，プロテオサイエンスセンターの見学および研究者との懇談，環境教育実践演習で1時間講義も担当いただいた。