

生成 AI を活用した授業開発能力の熟達過程に関する実践的研究

- 数学教師志望大学院生と生成 AI との協働プロセスの分析 -

A Practical Study on Enhancing Expertise in Mathematics Lesson Design via Generative AI: Analyzing the Interaction Processes of Preservice Teachers

○信夫智彰^{*1}, 吉村直道^{*1}, 安部利之^{*1}, 園田直之^{*2}, 高光宗正^{*2}, 鶴原さや^{*2}

林奈都美^{*2}, 久竹翔子^{*2}, 山内淳史^{*2}, 山本彩加^{*2}, 和田海都^{*2}

SHINOBU Tomoaki^{*1}, YOSHIMURA Naomichi^{*1}, ABE Toshiyuki^{*1}, SONODA Naoyuki^{*2},
TAKAMITSU Hiromasa^{*2}, TSURUHARA Saya^{*2}, HAYASHI Natsumi^{*2}, HISATAKE Shoko^{*2},
YAMAUCHI Atsushi^{*2}, YAMAMOTO Ayaka^{*2}, WADA Kaito^{*2}

^{*1}愛媛大学教育学部, ^{*2}愛媛大学大学院教育学研究科

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

[要約] 本研究は、数学科の授業開発において、教師志望の大学院生が生成 AI といかに協働し、その過程で自身の授業開発能力をどのように変容させていくのかを明らかにすることを目的とした実践研究である。実践として数学教師志望大学院生を対象に「生成 AI を活用した授業開発」をテーマとした 1 年間の継続的な演習プログラムを実施した。プロンプトの質的・量的な変容、および学生自身の省察を分析した結果、①学生は新規性の高い教材と、数学教育が目指す理念の実現を目指した内容が含まれた授業を開発しており、高度な授業開発能力を醸成する機会になっていた。②プロンプトは質量ともに大きく変容しており、実践の後半では教師としての働きかけや指導意図を提示し、授業構成を練り上げるための「共創のパートナー」として活用し始めていた。③生成 AI との対話が教師の省察、探究を生む契機となり、これが授業開発能力の背景になっていたことが示唆された。

[キーワード] 生成 AI, 授業開発, 数学教育, プロンプト分析

I. 課題の所在と研究の目的

本研究は、「生成 AI を活用した授業開発能力」の熟達過程について調査することを目的とした実践研究である。数学教師志望大学院生を対象に生成 AI を活用した数学の授業開発の講義、演習を 1 年間行い、開発された授業案と生成 AI との協働プロセスの変化に注目して、その成果を報告する。

生成 AI の台頭は、教育現場における「道具の導入」に留まらず、教師の専門的実践である「授業開発・教材研究」の在り方そのものに変容を迫っている。従来の教材研究は、教科書や先行事例を基盤とした教師個人の経験知やリサーチに依存してきた。しかし、生成 AI との対話は、教師の思考を拡張し既存の枠組みを超えた教材案や授業構成を生成することを可能にした。これにより、教師には「生成 AI を操作する」技術以上に、自身の数学的専門性と生成 AI の生成能力を掛け合わせ、より高度な学びを設計する「生成 AI と協働する力」が新たな専門性として求められている (Mishra & Warr, 2023)。

一方、そのような生成 AI と協働する力を高めるた

めには生成 AI との「対話スキル」「プロンプト設計能力」の向上が必要である。例えば文部科学省の初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン(2023)でも、児童生徒の生成 AI の利活用場面の 1 つとして、「使い方を学ぶ場面 (より良い回答を引き出すための生成 AI との対話スキル, ファクトチェックの方法等)」が挙げられている(p.17)。特に授業開発のような専門的業務においては、一般的な生成 AI 利用に必要なとされる以上の高度な対話スキルが求められる。数学教育において、授業開発は数学的本質の抽出と生徒の認知プロセスの調整を伴う高度に創造的な営みであり、教科内容、学習指導要領の意図、学級の実態、学習者の反応の予測といった複合的な文脈を適切に生成 AI へ提供し、出力を批判的に評価・再構成する能力が不可欠となる。さらに、教師が有する専門的知識や暗黙知に基づく判断を精緻に言語化しプロンプトとして設計する能力を要する。また、生成 AI が提示する案は必ずしも学習者の実態や教育課程の整合性に適合するとは限らず、教師が取捨選択し、授業の素材として再構成する力も求められる。

このように授業開発における生成 AI 活用場面に必要とされる対話スキルはより高度で専門的な能力として捉える必要がある。生成 AI を活用した授業開発が今後のスタンダードになることが想定される中で、教員養成課程において生成 AI を活用した授業開発能力の育成を図ること、その熟達過程について調査することは喫緊の課題である。

教員養成課程における生成 AI 利用の熟達化に関する実践、研究として、例えば中西 (2025) は、教職大学院における授業実践の中で生成 AI (ChatGPT など) を活用し、その教育効果を検証した。特に、生成 AI の「利用想定」、すなわちどのような使い方を前提として演習を設計するかの違いに着目し習成果や学習者の理解・行動への影響を比較している点に特徴がある。また、堤 (2023) は、教員養成学部の学生を対象に生成 AI を活用した授業実践を行い、その仕組みや安全で効果的な利用方法の学習をした後、教員における活用可能性についての議論をおこない、学生が校務における情報収集や文書等の作成、授業準備等に生成 AI の活用を見出したことを示している。

それに対し本実践は「生成 AI を数学の授業開発に活用する力」の習得に留まらず、数学教師が「自身の専門性と AI をいかに融合させ、既存の枠組みを超えた授業開発を行うか」という、高度な専門職教育に踏み込んだプログラムである。大学における生成 AI 利用に関する、実践、研究は盛んに行われている一方で、生成 AI を活用した授業開発能力を対象とする実践、熟達過程の調査は限定的である。

そこで本研究では、数学教師志望大学院生を対象に「生成 AI を活用した授業開発」をテーマとした 1 年間の継続的な講義、演習プログラムを実施し、生成 AI を活用した授業開発能力の熟達過程について調査する。開発された授業案と生成 AI との協働プロセスの変化に注目して、その成果を報告する。

II. 研究の方法

1. 実践の方法

本実践は、数学教師志望大学院生 8 名(すべて筆者、学生 A,B,C,D,E,F,G,H)と大学教員 3 名(すべて筆者)の計 11 名で 1 年間にわたり実施する。実践は大学院開講科目「教科指導力高度化演習 基礎」「教科指導力高度化演習 発展」の中で行われる。講義の目的は生成 AI を活用した授業開発を通して、教科指導力、授業構想

力を高めることである。開発する授業のテーマは全体で統一し、1 年間で 4 つのテーマに取り組む。週 1 回の頻度で学生が作成した成果物や授業案を全体で共有し、生成 AI との対話過程を振り返りながら次週に向けた改善点を協議する。使用する生成 AI は ChatGPT(Open AI 社)である。

年間の教材研究は 4 つのテーマで構成する。第 1 テーマ (4 月 30 日～6 月 2 日) は「欠落角の二等分線」(図 1)である。欠落角とは「角の頂点付近が欠けている角」を指し、その二等分線の作図方法は一通りに定まらず複数考えられる点に数学的な広がりがある。本テーマは当該内容の授業実践経験をもつ大学教員から提示され、学生各自が作図方法を構想・共有した後、2～3 名の 3 グループに分かれて授業案を生成 AI と対話しながら作成する。なお、本テーマのみグループで授業案を作成し、協働的に生成 AI を活用する過程を検討の対象とした。

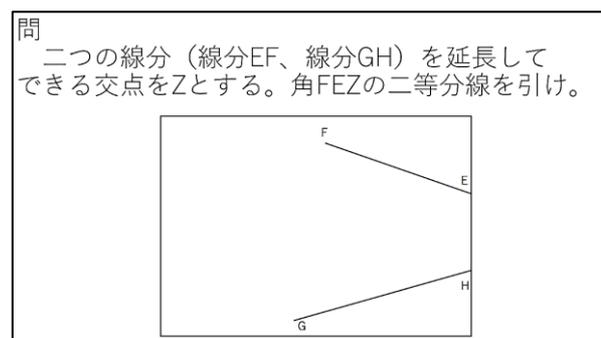


図 1 欠落角の二等分線の問題

第 2 テーマ (6 月 3 日～7 月 7 日) は「相加平均・相乗平均・調和平均」である。「往路 100km/h、復路 50km/h のときの平均の速さ」という問題を出発点に、3 つの平均の意味や適用場面の違いを生成 AI と対話しながら検討する。平均の図示や大小関係の可視化、等比関係に着目した比較方法などを探究する。

第 3 テーマ (7 月 8 日～11 月 17 日) は「素数」である。4 桁の自然数が素数かどうかの判定や、ある素数が何番目の素数であるかを特定する方法を扱う授業案を構想する。素数は「1 より大きい自然数で、1 とその数以外に正の約数をもたない数」と定義し、1 番目の素数は 2 とする。高校生を対象とし、個人で授業案を作成する。

第 4 テーマ (11 月 18 日～12 月 15 日) は自由課題である。各自が題材を設定し、生成 AI を活用して教材研究および授業案作成を行う。学校種や分野に制限

は設けず、関心のある領域、教材を用いて授業開発をする。

具体的な活動は、①テーマ提示、②生成 AI との対話による教材研究、③授業案の作成、④成果物(授業案)と対話履歴の共有、⑤教員や学生による協議、助言、⑥改善の手順で行う。授業開発は講義以外の時間に各自で行い、講義の時間では④成果物と対話履歴の共有、⑤教員や学生による協議、助言を中心に行う。

生成 AI の活用についての基本的な講義は最初の段階で大学教員から行うが、授業開発場面におけるプロンプト設計は大学院生が個々に行い、自分で設計する。同一テーマでは1つのスレッドで対話を継続し、活動終了後に対話履歴を保存する。

2. 分析の方法

本実践の教育効果を検証するために、授業案、生成 AI との対話履歴、振り返り記述をデータとして分析を行う。具体的に、以下の a~d の4つのアプローチによる分析を行う。

a. 授業案の分析

まず、成果物である授業案の質的評価を行う。ここでは、教材、テーマの新規性や、数学教育として目指すべき理念が授業にどのように反映されているかに

ついて分析する。

b. プロンプトの比較分析(質的分析)

第1テーマ時と第4テーマ時におけるプロンプトの比較分析を行い、プロンプト設計傾向の変化や生成 AI に対する認識の変化を抽出する。

c. MSPT 分析

プロンプトの量的な比較分析を行うために筆者が考案した「MSPT 分析」を行う。MSPT 分析とは、プロンプトを授業設計の M:教材, S:生徒, P:目的・目標, T:教師, の4つの軸で分類する枠組みである。そのコーディング規則は表1の通りである。プロンプトによっては重複するものも出現するが、基本的に1つのプロンプトに1つのコードを付与する。コーディングは①生成 AI(ChatGPT)によるコーディング、②筆者ら2名(大学教員とプロンプト設計者本人)によるチェック、の順に行う。

本実践の第1~第4テーマにおける各学生の活動の中で、プロンプトの回数、文字数、平均、および MSPT 各カテゴリの構成割合がどのように推移したかを算出する。これにより、学生が生成 AI との対話において「数学の専門性 (M)」と「教育的配慮 (S, P, T)」をいかに統合させ授業設計へと至ったのかを量的に分析する。

表1 MSPT 分析コーディング規則

観点(Code)	定義・運用基準	判定のためのキーワード・文脈例
M: 教材	「教える内容・素材」に関する記述 ・具体的な問題, 単元名, 用語の定義 ・資料 (PDF), 図形, 数式	・「2 次関数の問題を作って」 ・「PDF の資料を読んで」 ・「この図形において...」
S: 生徒	「学習者の実態・内面」に関する記述 ・既有知識, 誤答の傾向, つまずき ・興味・関心, 意欲, 感情 (楽しむ等) ・認知プロセス (どう考えるか)	・「数学が苦手な生徒にはどう?」 ・「ここは生徒が退屈しそうだ」 ・「まだ証明を習っていない生徒」 ・「自力では解けない子がいる」
P: 目的 目標	「授業のねらい・価値」に関する記述 ・育成する資質・能力 ・授業の意義 ・本時の目標, 評価基準	・「論証の意義を感じさせたい」 ・「指導要領のねらいに沿って」 ・「思考力を育てたい」 ・「この活動の目的は...」
T: 教師	「教師の意図的行為」に関する記述 ・発問 (問いかけ), 指示, 説明 ・授業展開の工夫, 時間の使い ・机間指導, グループ分け, 支援方法	・「ここでどのような発問をすべき?」 ・「グループワークの時間をどう取るか」 ・「教師がどこまで介入すべきか」 ・「板書の構成は...」

d. 振り返り記述の分析

最後に学生による振り返り記述から、生成 AI 活用

方法やその熟達化に関すること、および授業開発に関する自己認識を把握する。

III. 結果

1. 開発された授業

第1テーマでは、中学校第2学年「図形の性質」における「欠落角の二等分線」の作図をテーマとした授業を開発した。例えば、ひし形の性質を活用した作図課題の解決と、試行錯誤を通じた粘り強い態度の育成に重点を置いた授業案では、導入において詳細な作図手順を提示せず、生徒が既習の性質を想起し、多様な補助線を模索するプロセスを重視した授業が開発された。授業中の活動としてグループ交流での比較検討を行い、解法の多様性への気づきと思考の深化を企図したものが取り入れられていた。また、作図の正当性に関する論理的な証明と説明能力の向上を主眼とした授業案では、既に見出された作図法に対し、合同条件や三角形の五心の性質等の数学的根拠を用いた証明を課し、その過程を言語化させる授業が開発された。

第2テーマでは、相加平均、相乗平均、調和平均をテーマとする授業の開発を行った。多くの授業案で、「平均時速」の問題を導入に用い、単純な算術平均の適用が不適切な場面を示すことで学習者の動機付けを図っていた。例えば、幾何学的探究と数理的抽象化に重点を置く授業案では、相似や方べきの定理を用いた各平均の図示や、座標と三角関数による幾何的性質の証明を試みていた。

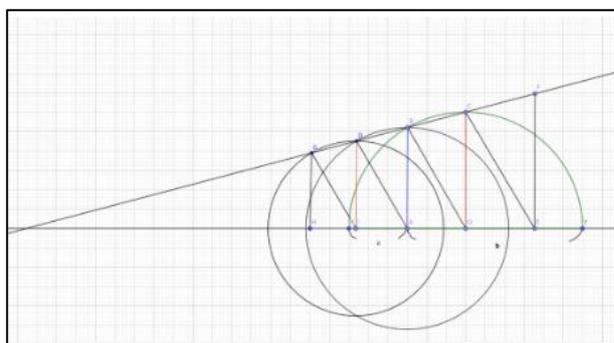


図2 各平均の図示

さらに、ヘルダー平均による概念の一般化や等比数列の公比としての考察など、高度な数学的背景への深掘りがされていた。また、指導の構造化と応用の広範さに特徴がある授業案も作成された。成長率や作業効率等の実社会への適用や、積分を用いた関数の平均やルベーグ積分への拡張など、多角的な視点から授業が

検討された。

第3テーマでは高校生を対象とした素数の性質や探究学習をテーマとする一連の授業案を作成した。エラトステネスのふるいや、平方根を用いた効率的な判定法を段階的に指導する授業が開発された。素数の規則性について、双子素数や等差数列の探索、素数生成式の検証をテーマにし素数の分布や間隔の変化、双子素数等の未解決問題について考察する授業が開発された。合同式による論証や Python を用いた検証を導入している授業もあった。また、発展的内容として、メルセンヌ素数やグリーン・タオの定理も紹介、フェルマーの小定理に基づく RSA 暗号の仕組みを体験的に学習する授業も考案された。

第4テーマでは個人でテーマを決め、授業案を作成した。最終的に作成された授業は以下の通り。

- ・群数列の規則性の探究

規則的に並ぶ数列を「群」というまとまりで捉える授業。数列をピラミッド状に並べるなどの視覚化を通じ、第 n 群の初項や項数の規則性を発見します。既習の公式を利活用して問題を解決する力を養う。

- ・互除法の試行回数とフィボナッチ数列

ユークリッドの互除法で計算回数が最大になる2桁のペアを探究する。商が1続きになる時に回数が増える構造に気づかせ、フィボナッチ数列との深い繋がりを、Python 等の可視化ツールを用いて多面的に理解する活動を仕組む。

- ・複素数係数における解と係数の関係

実数係数では共役な複素数解を持つ二次方程式を、複素数係数まで拡張して考察する。係数に変化しても解と係数の関係が成り立つ普遍性を検証し、判別式が使えない等の条件変化を深く探究する構成となっている。

- ・方程式と比例式の解法の選択

コーヒー牛乳の濃度問題などを題材に、方程式と比例式の両面からアプローチする授業。複数の解法を比較し、問題の特徴や自分にとっての計算のしやすさに合わせて、最適な解決方法を主体的に判断する力を養うことを目指す。

- ・三次関数の係数とグラフの形状

三次関数の係数 a, b, c, d がグラフに与える影響を、ソフトを用いて探究する。 a は端の振る舞い、 b は変曲点、 c は極値、 d は上下移動に対応することを、微分や二次関数の知識と結びつけて視覚的に理解する。

・関数の成長と大小関係の比較

指数・対数・多項式関数の大きさを比較し、交点の位置を推測する授業. 式で解けない問題に対し、二分法や微分法を用いて交点の範囲を絞り込み、関数の増減や極限の視点から論理的に説明する手法を考える.

・パスタ本数の数理モデル化

重さからパスタの本数を予測するため、密度や形状に仮定を立てて数理モデルを構築する授業. 実測値との「ズレ」を分析し、太さの二乗(断面積)に比例する改良モデルへと洗練させるモデリングのサイクルを体験する.

・4集合のベン図の作成と再定義

円では4つの集合(16領域)を描ききれないことを自力で発見させる授業です. ベン図を「 2^n の領域を区別できる図」と再定義し、円以外の図形を用いて、情報の分類に適した表現方法や見やすさを数学的に探究する.

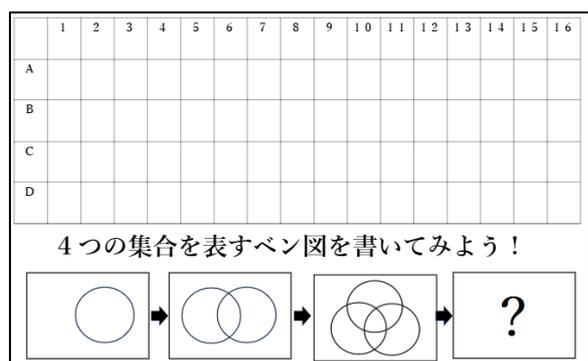


図3 4集合のベン図の授業のワークシート案

2. プロンプトの事例

プロンプトの事例として、2名の学生(学生Aと学生C)の第1テーマ1と第4テーマにおけるプロンプト事例(抜粋)を以下に示す.

(学生A, 第1テーマ)

- ・角の二等分線の作図方法は?
- ・交点が分からない角の二等分線の作図方法は?
- ・図を見せてください
- ・他の作図方法はありますか?
- ・数学の指導案作りをお願いします.

(学生A, 第4テーマ)

- ・3つのベン図は教科書で紹介されていますが、4つのベン図は紹介されていません. 4つのベン図はかけるのかという授業をしたいと考えていますが、いいと思いますか? 批判的に考察して下さい.

- ・4つのベン図を絵でかけない理由はなぜですか?

・4つのベン図を円でかけるのか、という授業をしたいと思います. 授業構成は時間です. 1時間目は、①3つの場合のベン図をかいてみる. ②4つの場合でもかけるはず、だからかいてみよう、という問題提示をしてみます. ③授業終了10分前に、「ほんとにかくことができる?」という問いにして、次回につなげる. 2時間目は、生徒が、なぜ円ではかけないのか、また、他の図形ではかけるのか?という探究を行いたいと考えています. この授業案を、批判的に考察してください.

- ・指導案の中に予想される生徒の質問、指導案外に授業者が期待する生徒の反応や、生徒の活動を記述してください.

(学生C, 第1テーマ)

- ・角の二等分線の特徴は?
- ・もっと詳しく教えてください.
- ・平行ではない2つの線分から等しい距離にある直線の作図方法は?
- ・欠落角の授業案を提案してください.
- ・細かく1時間の授業案を提案してください

(学生C, 第4テーマ)

- ・現在、自分自身で素材を探し、AIとの対話で高校数学の授業づくりを行っています. 今までにあまりない新しい発想で、数学の内容を深掘り、広げ、生徒の理解を深めるような授業をつくりたいと考えています. そこで、さまざまな題材を探し・考えているのですが、本を読んでいて、確率(3つの扉、じゃんけんであいこ、誕生日のパラドックス)、正多面体の種類、円周率、四平方の定理などを考えてみました. しかし、より多くのアイデアが欲しいです. どのような内容が考えられますか? 数学の分野であればよいです. このほかに10個ほど案を出してほしいです.
- ・少し方向を変えます. いろいろな視点で考えることのできる、いくつかの要素が絡み合った数学の問題や数学の内容を20個ほど提案してください
- ・気になった部分について、追加で聞きたいです. まず、この数どこかで見たことある? すぐにパスカルの三角形に結びつくのか少し怪しいと思いました. 1,4,6,4,1の数字の角位置を工夫して、三角形をイメージできるような感じで板書すると気付く生徒はいるかもしれません. 次に、 $(a+b)^n \times (a+b) =$

($a+b)^{n+1}$ から係数の加法関係を説明. について, どのように生徒は説明するのか, 説明すると予想できるのか教えてください. 私にはまだ想像がつかません. また, 教師が式で整理: の部分は, 行列を学んでいない生徒にとって, その表記は難しすぎると思いました. 別の方向でお願いします. そして, 授業では, パスカルの三角形で二項定理や組み合わせ, それらに関する等式を証明できるような, 本質を理解できるような授業にしたいのですが, 実現可能ですか? それらを生徒が考え, 最終的に理解できるような授業の展開, 生徒の活動, 板書を考えていきたいです.

- 授業案を作成しました. 批判的に評価してください.
 - 自分の考えている授業構成 (1 時間目: 素数判定, 2 時間目: 素数を表す式・探し方) はどうだろうか. 改善点はあるか.
 - 生徒の数学的活動は十分か
 - 教師の説明中心にならないか
 - 生徒が自力で理解できる流れか
 - 身に付けさせたい力は適切か
 - その力は本当に身に付くか
- という視点で判断してほしい.

3. MSPT 分析の結果

本実践で生成 AI に入力された文字数の合計は 57532 文字, プロンプトの総数は 1085 回であった. テーマごとの対象学生全員の文字数, プロンプト総数, 平均を表 2 に示す.

テーマ	文字数	プロンプト 総数	文字数/プロンプト数
第 1	1664	86	19.35
第 2	11237	278	40.42
第 3	16192	336	48.19
第 4	28439	385	73.87
合計	57532	1085	53.02

次にテーマごとの M, S, P, T の出現率を算出し, 8 人の平均を図 4 に示す.

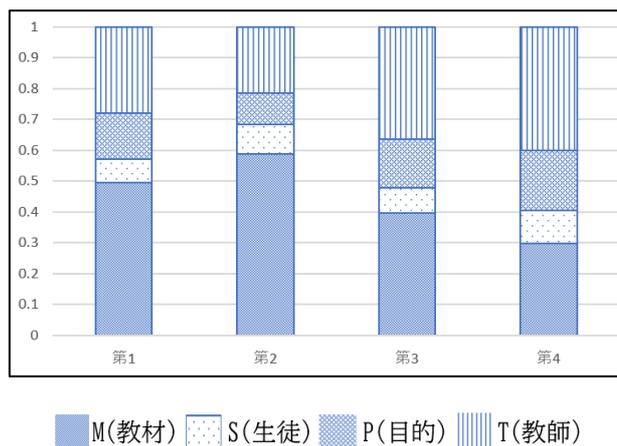


図 4 各テーマごとの MSPT の出現率

さらに, MSPT のうち変化の大きい M(教材)と T(教師)の出現割合に注目し散布図にして分析する. 4つのテーマすべてに参加した学生 6 名の 4 回の変化について図 5 に示す.

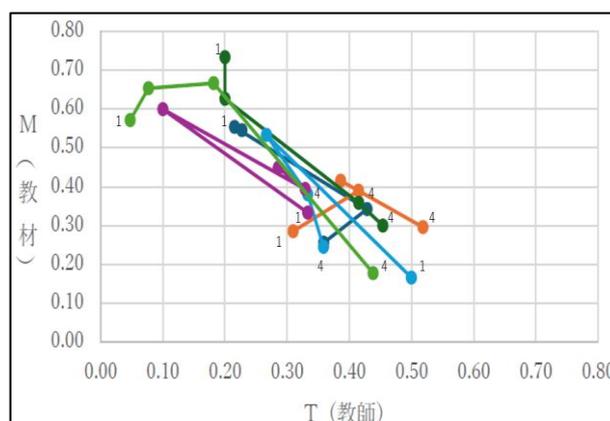


図 5 学生 6 名の M と T の出現割合の変化 (図中の「1」が第 1 テーマ時の結果, 「4」が第 4 テーマ時の結果を表す.)

4. 振り返り記述

本実践を通して, 授業開発における生成 AI の活用方法の変化について記述してもらったもの(抜粋)を以下に示す.

- 自分が聞きたい質問を一方向的に聞いて, 受け取る解答も自分の欲しい解答だけを参考にしていましたが, チャット GPT の返答に対してそれは本当に正しいのか尋ねることや, 内容を詳しく聞き返すなど検索相手から会話相手に変わっていった.
- どんな授業を作りたいのか, どんなことを大事にしているのかなどの自分の考えをはじめに示すようになった.

- どのような生徒を対象としているかを入れて授業案を作るようになった。(習熟度, 話し合いが活発, その単元が苦手な生徒, 類似問題や関連内容)
- 生成 AI が出してくれた提案してくれた活動の実施する意義やメリット, その活動を行うことによってつくりを尋ねるようになった。
- プロンプトの内容が詳しくなったことから, 短文から長文を投げるように変化した。
- 肯定的な意見が多いため, 否定的な意見を求めるようなプロンプトの打ち方になった。
- 改めて様々な数学内容に関する知識や内容ごとの関連性を学びなおそうと思った。
- AI からの返答に深掘りをしたり誤りを指摘したり, 自分の考えに対してどう思うのか AI に意見を聞いてみたりするように変化した。AI と一緒に授業案を作成する姿勢に変化したと感じる。
- 生成 AI が作成した指導案はたたき台として, そこからの改良は自分自身が行い, 生成 AI の提案の良い部分を取り入れた自分の考えている授業案にしていくようになった。
- AI からの返答は情報量が多く, AI の提案のまま授業づくりを進めると, 詰め込み型の授業になりがちである。生徒の数学的活動の少ない, 型の決まった授業になりがちである。
- 生徒の数学的活動は, 教員が意識して取り入れ, AI の考えた授業案をそのまま使うのではなく, 教員がアレンジを加えながら, その学校その生徒に応じた授業案に変更していくことが求められる。
- 情報や活動の取舍選択, どこに焦点を当てるのか, AI の提案からさらに活動を絞っていく必要がある。
- 自分の意見をまず明示してから対話をするようになった。
- AI を使う際には答えを出すためだけでなく思考を深めるためのものとして扱うようにし, 自分で考えることを大切にしたいと感じた。
- 大まかな軸決めや構想は自分で考えて, アイデア出しを AI に任せるようになった。

IV. 考察

1. 開発された授業案

まず, 開発された授業案から本実践の成果を検討する。最終段階である第4テーマの成果物として提示さ

れた8つの授業案を見ると, 既存の教科書の枠組みを超えた新規性のある教材を含むことはもちろん, 数学教育が目指す理念の実現を目指した内容が含まれており, 大学院生の授業案として少なからず評価できる。これは, 生成 AI との協働が, 学生の数学的専門性を触発し, 教科書の枠を超えた授業構想力を引き出した結果と捉えられる。

まず, 教材, テーマに明確な新規性が見出させる。「4集合のベン図」「複素係数への拡張」「フィボナッチ数列と互除法」など教科書にない授業であることはもちろん, 数学教育研究の文脈でも十分に吟味されていない教材, テーマが含まれている。これは, 学生の数学的専門性が生成 AI との協働によって触発, 拡張された結果である。実際, 生成 AI の提案には学生にとって初めて見るものも多く, その理解に時間を費やす様子が観察されており, 生成 AI との対話を通して自己の数学の専門性や教材観が拡充する機会になっている。課題の新規性が高いため, 実際の授業での実施, 指導困難性も課題として残るものの, 新たな数学教育の創出を目指した新規性, 提案性のある授業案であり, それを開発する機会になっていることは本実践の成果と位置付けられる。

また, 新規性の高い教材を開発するだけでなく, その教材を用いて数学教育が目指す理念を踏まえた授業設計が行われている。例えば, 数学的対象を「既知の事実」として受容するのではなく, その定義を再構築・拡張しようとする数学的態度の育成が目指された授業が開発されている。「4集合のベン図」の実践は, 生徒が抱く「ベン図=円」という既存の概念イメージを揺さぶり, 数学的な概念定義 (Concept Definition)

(Tall & Vinner, 1981)へと立ち返らせる設計となっている。また, 「複素数係数への拡張」は, 定理の適用範囲を問う活動であり, 定理の拡張, 一般性の追究といったプロセスを含んでいる。これらは, 単なる解法の習得を超え, 事象の本質的な構造に着目させる「数学的な見方・考え方」の高度な発現を意図した活動として評価できる。さらに, ICTを認知的拡張 (Cognitive Tool) (Pea, 1985)として位置づけ, 探究の質を深化させる授業が開発されている。「フィボナッチ数列と互除法」や「三次関数」の事例では, Pythonや動的幾何ソフトが活用されている。これらは, 人間のみでは困難な「膨大な試行」や「連続的なパラメータ変化」の可視化を可能にしており, Drijvers (2015) が指摘す

るように、テクノロジーを思考の「再構成」の手段として使いこなしている。これにより、生徒は現象の背後にある数学的規則性の洞察に集中できる設計となっており、これは優れた授業設計として評価できる。他にも数理モデリング能力の育成に対するアプローチも見える。「パスタの数理モデル化」は、「数学的モデリングサイクル」(Blum, 2015)が設計に組み込まれている。現実の複雑な事象を数学の土俵に乗せるための「仮定の構築」を重視したものであり、「真正なモデリング活動」として評価できる。

このように、新規性の高い教材を数学教育が目指す理念に基づいた指導、活動の中に埋め込まれた授業が開発されているのであり、その過程では生成 AI と協働の中で新しい教材を価値ある学びへと翻訳する経験を得たと考えられる。これは高度な授業開発能力を醸成する機会として評価できる。

それでは、このような授業案は生成 AI とのいかなる相互作用から生み出されたのか。次節では、プロンプトの質的な変容からそのプロセスを解明する。

2. プロンプト事例を基にした分析

学生 A および学生 C の第 1 テーマ時と第 4 テーマ時におけるプロンプトの比較を通じ、生成 AI との協働がどのように変化したかを質的に考察する。

まず、第 1 テーマ時における両者のプロンプトは、「～の方法は？」「～を提案してください」といった、生成 AI に正解や構成を委ねる問いかけが多かった。そこには教師自身の意図や対象となる生徒の状況が欠落しており、検索の延長線上の利用に留まっている。しかし、第 4 テーマ時では、学生 A は「4 つのベン図を円でかけるのかという問い」、学生 C は「パスカルの三角形と二項定理の本質的理解」というように、授業の核となるアイデアを教師自身が保持している。自らの状況や授業構想を提示した上で、その妥当性を問う形へと変容しているのであり、授業設計の主導権が生成 AI から教師へと移行したことが読み取れる。

特筆すべきは、第 4 回において両名とも生成 AI に対し「批判的な評価・考察」を明示的に求めている点である。学生 A が「いいと思いますか？批判的に考察してください」、学生 C が「教師の説明中心にならないか」等の具体的な 5 つの評価視点を提示している。これは、生成 AI の肯定的なバイアスを警戒し、あえて「弱点」を指摘させる戦略である。さらに、学生 C

の第 4 テーマプロンプトに見られる「行列を学んでいない生徒にとって難しすぎる」「別の方向でお願いします」といった拒絶や修正の指示は、教師としての判断が生じた場面である。

このような第 1 テーマと第 4 テーマのプロンプトの質的な変容は、生成 AI の活用スキルの向上という枠を超え、教師が授業設計の主導権を確立していくプロセスとして捉えられる。生成 AI を「検索エンジン」「答えを教える先生」ではなく、自らの設計をブラッシュアップするための「批判的対話相手」「共創のパートナー」として扱っているであり、生成 AI の提案を鵜呑みにせず、生徒の既習事項や認知レベルと照らし合わせて判断、却下する姿勢は AI 時代における教師の専門性ともいえるものである。それが本実践の過程で醸成されていたと考えられる。

3. MSPT 分析の結果

さらに前節の質的な変化が全体の傾向としてどのように表れているかを、全 1,085 回のプロンプトを対象とした MSPT 分析(M:教材, S:生徒, P:目的・目標, T:教師)の結果に基づき、量的に考察する。

まず、表 2 が示す通り、第 1 テーマ時から第 4 テーマ時にかけて総文字数は大きく増加し、特に 1 プロンプトあたりの平均文字数は 19.35 文字から 73.87 文字へと約 4 倍の増加を見せた。これは、プロンプト事例にもあるように、初期の「単発的な質問」から自身の教育的意図や授業の文脈を詳細に記述する、状況説明を伴う対話へと変化し、教育的意図の言語化に伴い、プロンプトの文字数が増加したことが要因として挙げられる。

出現割合の平均を見ると、全体的に M, T の出現率が高く S の出現率は低い。S は生徒に関する記述・既有知識、誤答の傾向、つまり、興味・関心、意欲についてのプロンプトである。S が低い要因として、対象となる大学院生は現場経験が乏しく、生徒の実態を想定することに関して経験が不足していたことが挙げられる。一方 T は「教師の意図的行為」に関するプロンプトであり、生徒の実態を想定するのが難しい代わりに教師としてどのように行動、発問すべきかについて生成 AI に質問したと考えられる。

さらに図 4 「MSPT 分析の結果」および図 5 「M と T の出現割合の変化」に注目すると、実践を重ねるごとに M (教材) の割合が減少し、代わって T (教師)

の割合が増加するという負の相関傾向が確認できる。第1回・第2回ではM(教材)の割合が多く、生成AIに対して数学的内容の解説や素材の提示を求める「知識獲得型」の活用が中心であった。それに対し第3回・第4回ではMの割合が低下し、T(教師)およびP(目的)の割合が相対的に高まっている。この変化は、学生が生成AIを単なる「数学情報の供給源」としてではなく、教師としての働きかけや指導意図を議論し、授業構成を練り上げるための「パートナー」として活用し始めたことを示唆している。初期は生成AIから出力される数学的内容(M)に依存していた学生が、演習後半では「自分はこう教えたい(T)」「この力を身に付けさせたい(P)」といった教師の意図、文脈をプロンプトにし、生成AIから情報や評価を引き出すようになっていく。すなわちこのMSPTの構成比の変化こそが、生成AI活用の熟達化、教師の専門性を核とした「生成AIとの共創」へと至る変容のプロセスを表しているといえることができる。

逆に第1テーマの時点では生成AIの活用スキルが未成熟な状態であったといえる。すなわち、本実践を通してその変容が見られたことは、生成AIを活用した授業開発能力の習熟にも段階があり、その活用スキルを高めるための講義、演習プログラムが必要、有効であることを示唆する。

4. 振り返り記述

最後に、演習後の振り返り記述の質的分析に基づき、対象学生が自身の変容をどのように意味づけているかについて考察する。

まず、教材研究における文脈の提示と、それに伴う言語化能力の向上を自己の変容として位置づけている。振り返りの中で多くの学生が「自分の考えや対象生徒の情報をまず明示するようになった」と述べている点は重要である。これは前節の考察を裏付ける記述であり、生成AIとの協働に必要な対話の戦略に気づいた振り返りとして捉えられる。

さらに、生成AIの限界を認識したことにより、生成AIとの協働に必要な教師の専門性、役割に気づいている。具体的に「AIの提案のままでは詰め込み型の授業になる」「数学的活動が損なわれる」といったリスクを察知し、「取舍選択やアレンジは教師の役割である」という結論に至っている。また、「数学の内容や関連性を学びなおす必要性」を痛感したという記述や

「答えを出すためではなく、思考を深めるためのもの」と再定義した記述があり、これは生成AIの高度な提案に対する理解や、新たな情報から生じた多面的な検討、誤った情報の修正等の過程で生まれたと推察される。言い換えれば生成AIとの対話が教師の省察、探究を生む契機となっていたのであり、これが開発された授業案やその授業開発を通して醸成された授業開発能力の背景にもなっている。このような教師の省察が発生したことは、生成AIとの協働が「省察的实践者」(Schön, 1983)としての成長に寄与する可能性を示すものとして捉えられる。

このように、対象大学院生の振り返り記述にも生成AIを活用した授業開発の過程で生じた変容や学び、気づきが表れている。生成AIとの協働を通じて自身の教育観や教材研究の在り方を言語化し、振り返り記述としての自己の変容をメタ認知できている状態もまた、本実践がもたらした授業開発能力の変容、発達として結論付けられる。

V. 結論と展望

本研究は、中高数学教師志望大学院生を対象とした1年間の授業開発講義、演習を通して、大学院生が生成AIと協働し、その過程で自身の授業開発能力をどのように変容させていくのかについて実践的に検証した。

実践の分析から、以下の3点が結論づけられる。

第1に、学生は新規性のある教材と、数学教育が目指す理念の実現を目指した内容が含まれた授業を開発しており、高度な授業開発能力を醸成する機会になっていた。第2に、プロンプトは質量ともに大きく変容しており、実践の後半では教師としての働きかけや指導意図を提示し、授業構成を練り上げるための「共創のパートナー」として活用し始めていた。第3に、生成AIとの対話が教師の省察、探究を生む契機となり、これが授業案や高度な授業開発能力の背景になっていたことが示唆された。

これらの知見は、AI時代の数学科教員養成・研修プログラムにおいて、単なるツール操作に終始するのではなく、「生成AIとの共創的な教材研究プロセス」を経験させることの重要性を示唆している。本実践は、生成AIの活用が教師の専門性を代替するのではなく、むしろ教師の専門性を触発、拡張するための有効な手立てとなることを実証した点において意義を持つ。

今後は、現職教員や他教科の教師に対する本プログラムの汎用性を検討し、生成 AI と協働する時代の新たな教師教育モデルとして精緻化していく必要がある。また、本実践で開発された高度な授業案を実際の教育現場で実践し、生徒の数学的学力や探究心にどのような変容をもたらすかを実証的に検証することが挙げられる。

AI 時代を生きる教員に必要とされる力を育むためにも実践、研究を継続する所存である。

注

本稿は、本実践に参加した大学院生と講義を行った大学教員が協働して分析、考察し、分担して執筆したものである。

文献

Blum, W. (2015): Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education, 73-96.

Drijvers, P. (2015). Digital technology in mathematics education: Why it works (or doesn't). Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education, 135-151.

Mishra, P., & Warr, M. (2023). TPACK 2.0: Rethinking the TPACK framework in the age of generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 227-235.

文部科学省(2023)：初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン(Ver2.0)，文部科学省。

中西一雄 (2025). 教育における生成 AI の利用に関する教職大学院での授業実践と効果の検証：利用想定
の異なる演習の差異に着目して. 福岡教育大学紀要, 第 74 号, 第 4 分冊, 137-145.

Pea, R. D. (1985). Beyond amplification: Using the computer to reorganize mental functioning. *Educational Psychologist*, 20(4), 167-182.

Tall, D., & Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 151-169.

堤健人, 阿濱茂樹, 新田拓也, 川崎徳子, 友清祐子, 野村厚志, 中田充, 鷹岡亮 (2023). 教員養成学部における生成 AI の活用に関する授業実践と考察. *日本情報科教育学会誌*, 16(1), 57-65.