世界探究パラダイムのための新しい教材研究

—教員養成における「ブルソーの推測ゲーム」の探究を事例に—

大滝　孝治　袴田　綾斗
北海道教育大学釧路校　　高知大学

要　約

世界探究パラダイムの実装と維持は，教師の仕事（メチエ）の変化を前提とする．筆者らはこれまで，探究指導に必要な教師の専門性を育成するための初期教師教育 (initial teacher education) について研究を進めてきた．本稿の目的は，これまでの成果を「教材研究」の視点から再構成し，事例に基づきながら紹介することである．研究の基本的なアイデアは，教授人間学理論（ATD）において提案されている「教師教育のための SRP (study & research path)」を日本の教員養成コース向けにアレンジするというものであり，結果として「SRP 型教材研究」(SRP-KK) と呼びうるものになった．事例は「推測ゲーム」と呼ばれる題材を用いて行われた統計領域に関わる探究である．数学科指導法（教育法）で展開された SRP-KK において，学生は必要に応じて数学知識を勉強しながら探究を進め，探究後の反省では教授学の知識を利用して探究を自己分析した．探究の経験と探究指導に必要な知識の双方を得ることができる SRP-KK は，新たなパラダイムにおける教師の専門性開発に資するものと期待される．

キーワード：SRP，勉強と研究の往還，探究と反省の往還

1．はじめに

新しい「世界探究パラダイム」(Chevallard, 2015) のための教師教育を構想する上で，特に日本という文脈では，旧来の「作品訪問パラダイム」(ibid.) における教師の職能成長を支えてきた「授業研究」という職業文化的な条件を無視することはできない．本稿の目的は，特に授業研究の中心的な要素である「教材研究」に焦点をあて，世界探究パラダイムにおけるそのあり方の一例を，筆者らのこれまでの実践事例（特に Hakamata et al. (2024)に記載したもの）に基づいて提供することである．

2．教材研究のアップデートの必要性

作品訪問パラダイムと世界探究パラダイムとでは，教師が研究すべき「授業」の捉えが大きく異なる．作品訪問パラダイムのもとでは，授業は予め定められた知識の小作品を勉強する場である．ここで知識の小作品とは，それがもともと位置づいていた知識体系から抜き出され，独立して扱われるようになったものを指す．知識の小作品はそれ単独で価値のある「記念碑」として扱われ，生徒は教師のガイドのもと，予め定められた順番で記念碑を巡るようにその小作品を勉強する．一方，世界探究パラダイムにおける授業は問いを探究する場になる．生徒は教師の支援のもと，使えるメディアは何でも利用し，必要になった知識はその都度習得し，納得のいく回答を得るために問いを探究する．

以上のように教授パラダイムの移行は授業に革新的な変化をもたらすため，必然的に教師の教材研究も大きく変わることになる．例えば，これまでの教材研究では，教材の数学的な価値や有用性（よさ）を見出す，ということが行われていた．これは作品訪問パラダイムの特徴を如実に反映している．学習指導要領（カリキュラム）や教科書に示された

知識は，生徒にとっても，そして教師によっても所与の数学作品である．この小作品は元来の知識体系から抜き出されたものであり，もともとの体系の中での存在理由は，矮小化されるかあるいは失われてしまっている．しかし教師は，道具的な機能を持たない小作品をそのまま提示するわけにはいかないため，カリキュラムの範囲内での知識のつながりや，現実的応用例を参照することで，その小作品に価値を見出そうとする．価値や有用性を見出さなければならいという事実そのものが，その小作品が「記念碑化」されていることを表しており，作品訪問的な教材研究の現れといえるだろう．

一方，世界探究パラダイムのもとでは，教えるべき作品は事前には定められておらず，教師に求められているのは生徒の探究を支援することである．したがって，これまでに教材研究として必要とされてきたこと，合理的であったことの多くはそうではなくなる．実際，上に例示した「よさの分析」は世界探究パラダイムにおける教材研究では副次的なものとなる．探究で使用される作品は，「問いに答える」という存在理由を伴うため，その道具性は明らかだからである．そして，本稿が例示するように，これまであまり考慮されてこなかったことが教材研究の重要な要素に位置づくことになる．

その具体例は次節以降で示すが，代表的な差異は教材研究の問い方に現れる．作品訪問パラダイム下での教材研究の主たる問い方は，「P_1：どのようにこの小作品を教えるか」というものであった．一方，世界探究パラダイムにける教材研究のそれは，「P_2：どのようにこの問いの探究をサポートするか」というものになる．もちろん，従来の教材研究も P_2 を問わないわけではない．しかし，そこでの探究は既定の作品を“教える”方便であり，P_2 は P_1 に従属する形で二次的な問いになる．反対に，世界探究パラダイムにおける教材研究でも，後述するように勉強が不要になるわけではなく，そのため P_1 もなくなりはしない．重要なのは教材研究の問い方のヒエラルキーが教えるべき内容の変化に伴って逆転するということである．

３．SRP としての教材研究と SRP-TE

(1) SRP としての教材研究

世界探究パラダイムにおける教材研究において，教師は生徒の探究を支援する能力をつけておく必要がある．それは例えば，問いの探究に登場しそうな様々な作品を理解しておく（少なくとも理解できるようにしておく），といったことが考えられる．このことは実質的に，世界探究パラダイムにおける教材研究が教師による当該の問いの探究を主な要素として含む，ということを示唆している．

ATD では探究を SRP (study & research path) という表現で特徴づけるが (cf. Bosch, 2019)，この探究観の特徴の一つは，勉強を探究の一部として捉える点にある．SRP では事前に決められた作品の勉強こそ想定されないものの，問いの研究に役に立ちそうな作品の勉強はむしろ必須となる．学習指導要領には「習得・活用・探究という学びの過程」という表現があり，探究というと習得済みの作品を用いて行うものというイメージが学校教育では強いかもしれないが，研究者の探究を参照すれば明らかなように，「勉強と研究の往還 (dialectic of study and research)」(cf. Chevallard, 2024) は探究の不可欠な側面なのである．

特に数学に関わって，作品訪問的な教材研究と比べたとき，世界探究的な「SRP としての教材研究」において特徴的なのは，「未知の数学」を勉強することも教師の活動の中核に位置づくようになることである．従前のパラダイムにおいては，勉強はもっぱら生徒が占有する活動であった（少なくとも「教師は勉強済み」が建前である）．しかし，探究が生徒だけでなく教師の活動にもなる新たなパラダイムにおいては，探究に必然的に含まれる勉強も，教師と生徒が共有することになる．

なお，「未知の数学」という表現は，二つのものを意味しうる．一つは，素朴な意味での「知らない内容」である．それは例えば，「数学 III を履修していない高校生は三角関数の微分を知らない」という意味での未知である．このような意味での未知の作品を積極的に勉強する態度は，「前進認知的」と形容される (Chevallard, 2015)．もう一つは「既知の事柄を深めることで生じる未知」である．例えば，ある高校生が三角関数の微分を既に学んでいたとしても，彼女は ε-δ 論法による関数の極限の取り扱いや幾何的なイメージに頼らない三角関数の定義

を知らないという意味で，三角関数の微分を「知らない」のである．このような意味での未知の作品を勉強する姿勢は，「開かれた (exoteric)」態度と呼ばれる(ibid.)．なお，ここでの「exoteric」は初学者・入門者といったニュアンスで，「自分は未熟者である」と常に想定する知的な謙虚さを含意している．

SRP としての教材研究を想定する場合，教師も問いを探究するわけであるが，それは問いに答えるという素朴な意味での「研究 (research)」だけを意味するものではない．それは研究に必要な知識を前進認知的で開かれた態度に基づいて「勉強 (study)」する活動をも含んでいるのである．

(2) 教員養成での新たな教材研究の展開：SRP-TE

教員養成段階において，学生に SRP としての教材研究を経験させる方法として注目されるのが「教師教育のための SRP (SRP for Teacher Education: SRP-TE)」である (Barquero, Bosch & Romo, 2018). SRP-TE は数学教師の専門性を育成するために提案されたアプローチで，「［教師の実践の発展に影響を与える］専門的な問いが教師教育プログラムの中核になるだろう」(Barquero & Romo-Vázquez, 2022, p. 125,［］内筆者補足) という考えに基づいている．また，「教育研究によって得られた新たな知識と教室の現実とのつながりを促進し，これらの専門的な問いに取り組む」(ibid. p, 125) ためのツールを提供することを目的の一つとしている．

SRP-TE は次の 5 つのモジュール（M0-M4）から構成される探究である (cf. Barquero, Bosch & Romo, 2018).

- M0：「統計をどう教えるか？」のような，教師の実践に関する専門的な問いを設定する．
- M1：M0 における専門的な問いに答えるための方法として，実際の教室で行われ得る探究（SRP）を，探究者の立場となって経験する．
- M2：M1 で展開した SRP を分析し，その結果に基づいて授業を設計する．この授業設計にあたって，生徒の探究活動のアプリオリな分析（実施前の設計・予想）が行われることになる．
- M3：M2 で設計した授業を実施し，アプリオリ分析の結果を参照しながら，リアルタイムで生徒の探究を把握し支援する（インビボ分析）．
- M4：実際の授業で生じたことを，アプリオリ分析と比較して振り返る．その中で明らかになった制度的な制約とその影響を考察し，授業設計を改善したり，新たな専門的問いを立てたりする．

SRP-TE の特徴の一つは，その参加者が二つの役割を演じることになる点である．M1 において，参加者は探究の実践者として，数学教師であれば数学に関わる探究を行う一方，M2 において，参加者は観察者として，自らの SRP を反省的に分析する．こうした「探究と反省の往還 (dialectic of inquiry and reflection)」(Otaki, 2024) は，探究に登場する数学作品の「内容的な理解」ばかりでなく，「認識論的な理解」（作品の意義や価値や機能性の理解）をも深めることにつながると期待される．後者は当該の探究における知識の働きを捉えることであり，探究の指導と深く関わっている．なぜなら認識論的な理解は，探究者がどのような知識をどのような状況で利用しようとしているかの見取りや，ある状況でどのような知識が利用可能であるかの予測に必要だからである．筆者らはこうした効果がまさに新しい教材研究に要請されるべきものであると考えている．そこで M1 と M2 の部分を新しい教材研究の主たる要素として本稿では捉える．本稿では，SRP-TE の M1 と M2 を通して実施される教材研究を「SRP 型教材研究」と呼び，*Kyozai-Kenkyu* にちなんで SRP-KK と表記する．

４．SRP-KK の基本設定

以下，事例に基づいて新しい教材研究としての SRP-KK の可能性を示す．なお，本論文で報告する実践は，Hakamata et al. (2024) で分析されたものである．この先行研究も，推測ゲームを題材とする SRP-TE を部分的に展開したものであるが，その主たる関心は，異なる制度的条件における M1 のあり方の記述と比較にあり，本稿が扱う SRP-KK とは異なる．5 章 1 節で実際に展開された SRP-KK の M1 を記述する際には，同論文に基づいて概要を報告することとし，M2 における探究の自己分析については，5 章 2 節で詳細を論じることとする．

(1) 背景

本論文で紹介する事例は，学部の教職課程において開講された数学科指導法（教育法）の中で展開

された SRP-KK である．この SRP-KK は, Hakamata et al. (2024)の日本チームによって共同で設計され，2020 年から第 2 著者によって毎年実施されており，年によって多少の違いはあるものの，基本的に 15 コマすべてを SRP-KK として組織したものである．（なお，第 1 著者も 2021 年より，同様の実践を毎年行っている.）

この SRP-KK においても, M1 における探究の動機づけのために, 導入として M0 が設定された. そこで専門的な問いとして提示されたのは,「統計にはどのようなよさがあるか」「統計はどのような場面でどのように使われるか」のようなものであった. これらの問いは, 形式的には上述したよさの分析に関する問いと似ているが，それは P_1 に連ねられた問いとして提示されておらず，特定の小作品の指導に関する問いではないという点で，機能の面では大きく異なるものである．これらの問いを設定したねらいは，統計という知識の大きな体系の存在理由を学生に実感させ，いろいろな問いの探究に役立ち得る便利な道具の一つとしてそれを認識させることである．つまり，それらは P_2 から派生している問いなのである．そのため M0 においては，近年の統計教育の充実を背景として問いが提示され，次のことが強調された.

・この問いは, 統計が利用されているものごとを調べることでも一定程度解決かもしれないが，それでは統計を使えるようになるための指導はできないこと
・この授業（数学科指導法）でも，実際に何らかの問いに対して統計を使って答えを作り出す探究活動を重視すること

このような文脈の共有の後, 次の M1 に移行し, 推測ゲームが導入された.

(2) ブルソーの推測ゲーム

推測ゲームとは，1970 年代にフランスのブルソー夫妻によって設計・実施された，小学校の確率・統計指導のための一連の問題状況である (Brousseau et al., 2002)．事例では，オリジナルの設定からやや改変し，次のような状況を設定した：

> 中身の見えないボトルの中に，大きさや重さの等しい 5 個の玉が入っている．どの玉も赤色か白色かのいずれかである．プレイヤーは,「ボトルから玉を一つだけ取り出し色を確認して戻す」という操作を任意の回数行うことができる.

これに対し，学生には M1 における最初の問い Q_0 として「ボトルの中には赤玉と白玉が何個ずつあるか？」が提示された.

(3) 「探究」の説明

授業のオリエンテーションでは，この Q_0 の探究を始めるにあたり,「探究する」という活動について教師側が期待していることを可能な範囲で明示的に説明するようにした．探究は多くの学生にとって新しい教授スタイルであるため，それがどのような活動を指しているのかがあいまいなままだと，学生が教師の期待を探るようになる可能性がある．つまり,「教師は私たちに何をすることを求めているのか」が学習（探究）の対象にシフトすることになり，問いという本来の対象が隠れてしまう. このような対象の移行を極力避けるため, 探究がどのような特徴をもつ活動であるかを提示することにした.

探究の特徴を説明する際には，ATD で用いられている次の概念を示しながら，教師の期待を共有した : 世界探究パラダイム，SRP，往還（問いと答え，メディアとミリュー，勉強と研究)，探究の態度（問題化，ヘルバルト的，前進認知的，開かれた態度など)，教授契約．また，種々の往還や態度に関連して，探究に用いる知識は学校数学の範囲内に限定する必要はなく，自分自身が納得のいく回答を洗練させられるよう，必要に応じて勉強を進めるよう指示を出した. 加えて, 探究の評価についても, 上記のような態度で臨み, 種々の往還を経て, 自分たちなりの答えを作り出すことができているかどうかが評価規準であることを説明した.

ATD の研究では，世界探究パラダイムにおける教育目標として，研究者や科学者の態度を育成することが言及されることが多い. しかし, この比喩にはやや注意が必要である．現実社会の研究者や科学者には，彼女らの研究結果に新規性が求められる. 一方で, 世界探究パラダイムで強調されるのは，探究者が自らの責任のもとで自分たちが納得できる回答を作り出すことである. 本研究では, この違いも踏まえ，探究の評価において回答の数学的水準は主な基準にならないことも伝えた．上記

の態度や往還による探究の質の水準と，探究結果である回答の数学的水準には一定程度の相関が認められるかもしれないが，本研究における探究の「よさ」の程度は，前者によって捉えられている．

５．SRP-KK の実際

(1) M1：推測ゲームの探究

本節では，Hakamata et al. (2024) に基づいて，学生による推測ゲームの探究の実際を要約的に示す．ただし，ここで示される探究は，同論文で分析対象となった事例のみに関わるものではない．すなわち，筆者らがこれまでに実践してきた他の SRP-KK においても，類似した探究過程が観察されている．以下で示される探究の概略とその過程で構築されるミリュー，つまり勉強（学習）され利用される知識は，当該の事例に固有のものというよりもむしろ，中等数学科の教員養成課程で推測ゲームを扱う際の典型的なものとして捉えられるものである．

M1 における推測ゲームの探究は，10 コマ程度の時間をかけて展開された．まず，Q_0 に対して「どのようにボトルの中身を推定するか」という問い Q_1 が派生し，さらに「何回試行すればよいか」という問い Q_2 が立てられた．ここで「試行」とは，与えられたボトルに対する「ボトルから玉を一つだけ取り出し色を確認して戻す」という操作を指す．学生は実験を通じて，ボトルに入っている玉がすべて同じ色の場合とそうでない場合とで必要な試行回数，すなわちサンプルサイズが変わってきそうだと判断し，「中身がすべて赤玉/白玉である場合はどうか」や，「そうでない場合はどうか」というサブクエスチョンを探究していった．これらの問に対しては，仮説検定の考え方や区間推定を用いて，「はじめから 11 回連続して同じ色の玉が出たとき，ボトルの中身はすべてその色の玉だと判断する」という判定法や，「67 回試行すれば，信頼区間の幅が十分狭くなり，ボトルの中身を推定できる」という答えが導かれた．

この過程では，学生はウェブサイトや教科書などのメディアを参照したり，教師の支援を受けたりしながら，確率分布や条件付き確率などの知識を含むミリューを構築していった．プログラミングを用いたシミュレーションが有効に働いたことや，仮説検定に関する当初の誤った理解が探究を促進したことなど，特徴的な現象も観察された (cf. Hakamata et al., 2024).

試行回数に関する問い（Q_2）と並行して，尤度を用いた方法に関する問い（Q_3）や，ベイズの定理を用いた方法に関する問い（Q_4）も派生した．実際に明確に言語化されたわけではないが，Q_3 は例えば，「どのような中身のとき，このようなデータが得られやすくなるか」のように表現され得るものである．また，Q_4 は例えば「このようなデータが得られたとき，中身が…である確率は何か」のような，より直接的な確率の求値に繋がる問いである．学生は表計算ソフトを用いて，尤度やいわゆる「原因の確率」を求めるためのワークシートを作成し，得られたデータから確率を根拠としてボトルの中身を判断する方法を構築していった．

(2) M2：学生自身による探究の自己分析

モジュール M2 では，教師がオリエンテーションで提示した探究における態度や往還に改めて触れながら，探究を学生に自己分析させるための課題が課された．実施年度によって若干の相違はあるものの，学生に対して「どのような態度で探究を進められていたか」や「どのような往還が探究を進展させていたか」，そして「推測ゲームの探究でどのような数学知識を学んだり使ったりしたか」を分析させるような課題設定であった．

例えば，自身の探究の「Q-A マップ」(cf. Bosch, 2019)を書かせて問いと答えの往還を可視化し，それぞれの問いや答えを次のような観点から分類させた：

- その問いは自身で立てたものか，あるいは，他者から提示されたものか
- その問いには可能な限り立ち向かえたと思うか，あるいは，何らかの理由で探究を断念したか
- その答えは自分がつくった答えであったか，あるいは，（他者がつくった）既存の答えであったか
- その答えには納得できているか（自分の責任のもとで他者に説明できるか），あるいは，納得できていない部分が大きいか

この分類観点は，主に問いを立てることそのも

のを重視する問題化の態度と，可能な限り問いに答えようとするヘルバルト的態度に対応させて設定している．ここで，メディアから提示された問いや既存の答えが，自身による問いや答えに比べて一概に価値が低いわけではないことに留意が必要である．メディアの利用は前進認知的な態度や開かれた態度と関係しており，探究を進展させるための重要な活動である．前進認知的な態度に支えられた探究では，既有知識のみならず未知のものも積極的に用いようとする．また，開かれた態度は「何事も完璧に熟達することはない」という知識の捉え方につながり，未知の領域に入ることへの抵抗感を減らす．このように，前進認知的で開かれた態度は未知の知識の勉強と利用に関わっており，メディア参照とミリュー構築を進める上で重要な態度である．分析に際しては，学生にもこのことを伝え，メディアとミリューの往還による探究の進展を可視化することで，自身の探究が実際に往還を経て進展したことを観察することができるようにした．

ミリューに含まれるのは問いと答えだけでなく，探究過程で動員される（数学）知識も重要な要素である．探究の進展に伴うミリュー構築の様子を自己分析させるために，各局面で学ばれたり使われたりした知識をまとめさせた．具体的には，自身が作成した Q-A マップについて，どの局面でどのような知識が関わっていたかを列挙させることで，問題状況あるいは活動場面と数学知識とを対応づけるようにさせた．図 1 はある学生による探究の分析の一部である．この例では，当該の学生は Q-A マップを用いて問いと答えの派生関係を構造化し，その過程で用いられた数学知識をあげる中で，条件付き確率と尤度，そしてベイズの定理（ベイズ更新）が，自身の探究においてどのような機能や有用性をもつものであったかを理解することができていたといえる．

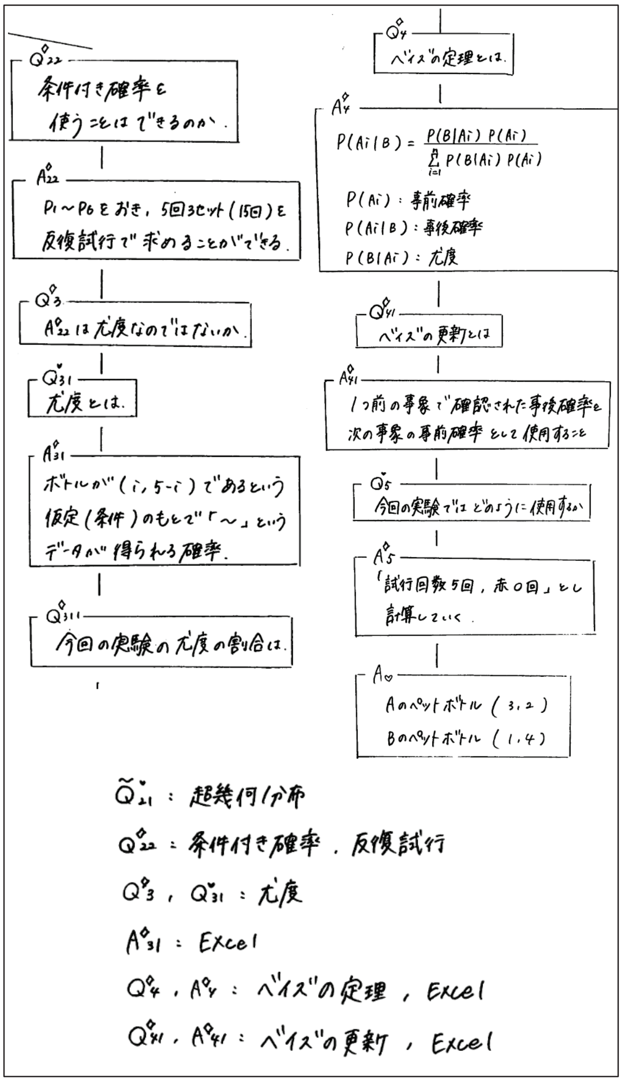

図 1 Q-A マップを用いた探究の自己分析の例

5．新たな教材研究における勉強の二重性

学部授業の中で SRP-KK を展開することで，学生は探究を経験し，また探究の指導に必要な知識を勉強することができる．世界探究パラダイムにおいて教師は探究指導ができることが要請されるが，そのためには自身が探究を経験しておく必要がある．5 章 1 節で示したように，学生は M1 において，勉強と研究の往還といった様々な往還によって進展していく探究を経験した．また，探究の指導にあたっては，生徒が何を問うているか，何を勉強しようとしているかを見取り，それに応じて今後の展開の可能性を探る必要がある．そのためには，利用可能な数学知識を想定しておいたり，場合によって教師自身がそれを勉強したりすることが重要である．M1 における探究は，このような内容的な知識の勉強を生じさせる．さらに，探究を見取るためには漫然とその様子を眺めるのではなく，探究に関する認識論的な知識を用いた観察が必要になるだろう．M2 における反省では，教授知識を利用した探究の自己分析が行われる．

探究指導に必要な知識に関して，本稿の事例に

おいては仮説検定・区間推定・尤度（最尤推定）・ベイズ推定・確率変数・確率分布・条件付き確率などの数学知識（統計知識を含む）と，世界探究パラダイム・SRP・往還・態度・Q-A マップなどの教授知識が勉強の対象になった．数学知識と教授知識はそれぞれ主に M1 と M2 で学ばれ利用されていたが，これらは，それぞれ独立に用いられたのではなく，ある種の相互構成があったと捉えられる．

まず，M 1 における数学知識の構成のされ方は，作品訪問パラダイムにおけるそれとは質の異なるものであった．前進認知的で開かれた態度に支えられたメディア参照とミリュー構築を前提としなければ，このような知識構成は生じにくいだろう．特に確率・統計領域において，知識の記念碑化が進んだ状態であれば，頻度主義に基づくものとされている知識とベイズ主義に基づくものとされている知識が同時に，自然に関連付くものとして学ばれる機会はほとんどないと考えられる．今回の探究において，学生たちは仮説検定や区間推定の方法とベイズの定理を用いた方法を並行して構築していった．無論，このような知識構成のされ方は推測ゲームという状況設定の巧妙さに起因するところも大きいであろうが，それに加えて，世界探究パラダイムやそれに関連する教授知識がオリエンテーションで提示されていたことも大きな要因であろう．「探究とはこういうものである」「（数学）知識はこのように学ばれ使われるものである」という，新たな認識論に関する教授契約を取り交わすことで，M1 において，今回の事例で示したような知識構成がなされたと考えられる．

また，探究の分析を行った M2 においても，数学知識と教授知識の弁証法的な相互作用が生じていた．分析活動では，往還や態度といった探究に関わる概念や，Q-A マップといったツールなどの教授知識を利用して，探究における数学知識の機能や有用性が把握されていた．ここで，この自己分析は，終了済みの探究において生じた知識の単なる再確認と捉えられるべきではない．探究中の学生および教師は，その中で学ばれたり使われたりする知識について，その機能や有用性を認識しているとも限らないし，認識する必要もない．それらをある観点から浮き彫りにできるような教授知識を利用することで初めて，上記の数学知識の機能や有用性の理解が得られたのである．ある数学知識について，「どのような場面でどのような使い方ができるのか」を知ることは，当該の数学知識に関する理解を深めることである．すなわち，M2 における分析活動では，振り返りを通じた探究の構造の理解だけでなく，数学知識の理解の深まりも生じているのである．

以上のように，本研究で実践した SRP-KK では，M1 における実際の探究と M2 の反省的な自己分析によって，数学知識と教授知識の相互構成がなされた．探究と反省の往還を通して，これらを分離されたものとしてではなく密接に関連するものとして学ぶことができる SRP-KK では，探究とはどのような活動であるか，どのように見取ることができるか，そして，その中で数学知識はどのように学ばれていくのか，ということを，探究の経験を通して理解することができる．SRP 型教材研究は，世界探究パラダイムにおける教師の職能開発への一つの有効な方策である．

6．おわりに：
数学教師教育における大学数学の存在理由

本稿で提示した事例から，SRP としての教材研究においては，そこで勉強される知識の範囲・程度が，従来の教材研究よりも基本的に広範・高度になる傾向があることが予想される．特に数学教育の文脈では，未知の数学の勉強について，大学水準の数学知識が自然に含まれることが特徴的である．このことは，教師教育における大学数学のあり方について，大きな示唆を与えるものと考えられる．

大学数学教育の研究では，これまで教員養成における大学数学と学校数学の乖離が問題にされてきた (e.g., Winsløw & Grønbæk, 2014)．主な問題の一つは，大学で学ぶ理論的な数学知識が学校数学の指導と関連付けられないことである．これは，数学教師の有する知識の中で，大学数学が存在理由をもっていないとも言い換えられる．SRP としての教材研究は，この問題に対する一つの有望なアプローチになると考えられる．例えば，上述の探究では，尤度やベイズ更新など，大学で扱われるような内容が前進認知的に勉強されたし，条件付き確

率に対する理解がより開かれた勉強観に基づいて深められた（Hakamata et al, 2024）．作品訪問的な教材研究においては，教えるべき内容が決まっているため，このような開かれた前向きの勉強は基本的には起こりづらい．しかし，世界探究的な教材研究においては，教育実践に関する専門的な問いに答えるために，それらの知識も必要なものとして必要性を伴って勉強される．

そもそも「大学数学」や「学校数学」という名称は旧来の作品訪問パラダイムの語法である．世界探究パラダイムにおいては，理念的には，もはやすべての数学の内容が生徒が出会い得るものであり，したがって教師が教材研究することになり得るものになる．何が必要になるかは，生徒が探究する問い次第であり，学校段階は原則的に関係ない．一見すると世界探究パラダイムにおける「教えるべき知識はない」という状況では，数学教師に必要とされる数学的な素養は従来よりも低くなりそうにみえる．しかし，筆者らの考えでは，実際は全くその逆であり，教師の数学力はより重要になってくるはずである．これからの数学教師は常に，新しい「数学に関わり得る問い(possibly mathematical questions)」を，自分なりに探究し続ける必要があるだろう．

付記

本論文の著者順は五十音順であり，貢献は同等である．本研究は JSPS 科研費 JP21H00924，JP21K18532，JP23K02415 の助成を受けたものである．

引用・参考文献

Barquero, B., Bosch, M., & Romo, A. (2018), Mathematical modelling in teacher education: Dealing with institutional constraints. *ZDM-Mathematics Education*, *50*, 31–43. https://doi.org/10.1007/s11858-017-0907-z

Barquero, B., & Romo-Vázquez, A. (2022). Study and research for teacher education: Some advances on teacher education in the paradigm of questioning the world. In Y. Chevallard et al. (Eds.), *Advances in the Anthropological Theory of the Didactic* (pp. 125–137). Birkhäuser. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76791-4_11

Bosch, M. (2019). Study and research paths: A model for inquiry. In B. Sirakov, P. N. de Souza, & M. Viana (Eds.), *Proceedings of the International Congress of Mathematicians: Rio de Janeiro 2018* (Vol. 3, pp. 4001–4022). World Scientific. https://doi.org/10.1142/9789813272880_0210

Brousseau, G., Brousseau, N., & Warfield, V. (2002). An experiment on the teaching of statistics and probability. *Journal of Mathematical Behavior*, *20*(3), 363–411. https://doi.org/10.1016/S0732-3123(02)00078-0

Chevallard, Y. (2015). Teaching mathematics in tomorrow's society: A case for an oncoming counter paradigm. In S. Cho (Ed), *Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education*. (pp. 173–187) Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12688-3_13

Chevallard, Y. (2024). *The humble seminar 2023–2024*. Retrieved from https://atd-tad.org/wp-content/uploads/2024/11/YC_HS202324.pdf

Hakamata, R., Fukuda, H., Otani, H., Otaki, K., Barquero, B., & Bosch, M. (2024). Potential of Brousseau's guessing game in teacher education: two complementary cases. *International Journal of Mathematics Education in Science and Technology*, Advance online publication. https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2321587

Otaki, K. (2024). The paradidactic: A (would-be) fundamental theory of noospheres. In I. Florensa, N. Ruiz-Munzón, K. Markulin, B. Barquero, M. Bosch, & Y. Chevallard (Eds.), *Extended abstracts 2022: Proceedings of the 7th International Conference on the Anthropological Theory of the Didactic (CITAD7)*, (pp. 45–56). Birkhäuser Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55939-6_3

Winsløw, C., & Grønbæk, N. (2014). Klein's double discontinuity revisited: contemporary challenges for universities preparing teachers to teach calculus. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *34*(1), 59–86. Retrieved from https://revue-rdm.com/2014/kleins-double-discontinuity-revisited/