探究における数学教師の専門性

小川　俊彦　　宮川　健
早稲田大学　　早稲田大学

要　約

探究を取り入れた数学の授業や探究を前提とした数学に関わる授業は，従来の数学の授業とは異なる形態をとるため，教師の営み，役割，および専門性にも大きな違いが生じる．このような授業において，数学教師にどのような専門性が求められるのか．本稿では，本研究が依拠する教授人間学理論（ATD）の視点から，探究型授業において数学教師に求められる専門性を多角的に検討し，今後の研究の方向性を示す．具体的には，まず，本研究が前提とする探究のモデル Study and Research Path（SRP）を概説し，その事例として高等学校「総合的な探究の時間」での授業実践を紹介する．この事例をもとに，授業中や授業準備で必要となる教師の知識や技能，および教師に大前提となる研究者の態度について考察する．

キーワード：数学教師の専門性，探究型学習，教授人間学理論（ATD）

1．はじめに

近年，日本国内外において，探究型学習（Inquiry-Based Learning; IBL）に大きな関心が寄せられている（Artigue & Blomhøj, 2013）．一方，「探究」といっても，従来の数学授業における活動から，「総合的な探究の時間」や「理数探究」での自由度の高い活動まで幅広く，研究者や実践者により想定されるものが異なる．そうした中，本創成型課題研究を企画する筆者らの研究グループでは，教授人間学理論（ATD）で提案されている Study and Research Path（SRP）（Chevallard, 2019）と呼ばれる探究のモデルの可能性を探ってきた．SRP は，生徒が探究者として，書籍やインターネットなど使えるものはなんでも活用し，必要な数学を必要に応じて学びつつ，仲間と協力して問いや疑問を追究していくといった，研究者の活動に近いものである．

SRP のような探究を取り入れた授業の展開は，当然ながら，特定の知識の習得を目標とし，そのために利用するツールが限定された従来の数学授業とは大きく異なる．教師が授業をコントロールし特定の内容を指導するというよりは，生徒が自律的に探究を進め，生徒によって異なる方向に探究が進み，最終的には成果発表を行う形態がとられる．さらに，教師の営みや役割等にも変化が生じ，授業中では生徒の探究をサポートする役割を担うだけでなく，授業準備でも従来の数学授業とは異なった営みが想定される．そうであれば，SRP のような探究を取り入れた授業を進めるにあたって，教師に求められる知識や技能，専門性についても，必然的に従来の数学授業とは大きく異なると考えられる．ここに筆者らの研究の関心がある．すなわち，そうした数学教師の専門性がいかなるものかを明確にしたいと考えるのである．実際，「理数探究」などで数学的な探究をどのように進めれば良いのかわからないという声や，生徒の活動が調べ学習にとどまり探究が十分に深まらないという声などを学校現場でしばしば聞くことがある．さらに，教員養成においても，数学の探究型授業の指導法についての授業はあまり見られないであろう．

そこで本稿では，本研究が依拠する ATD の視点

から，探究型授業において数学教師に求められる専門性について多角的に検討することを目的とする．そこから，今後の研究の方向性を具体的に示したい．以下では，まず本創成型課題研究が前提とするSRPという探究について概説し，その事例として実際の高等学校での実践を紹介する．次に，ATDの視点から，授業中や授業準備において必要となるであろう知識や技能，および教師に大前提となるであろう研究者の態度について考察する．

２．探究とは

本創成型課題研究で前提とする探究は，前述のように，使えるものは何でも使い，必要な知識を必要に応じて学ぶといった，より開かれた前向きの探究である．ATDでは，このような探究は，「世界探究パラダイム」という考えにもとづいたSRPとして定式化される（Chevallard, 2019）．「世界探究パラダイム」は，教育についての考えを表すものであり，探究という方法を通して，以下で述べる「研究者の態度の獲得」を目標とする教授パラダイムである（シュバラール，2016）．

SRPは，ATDで「メディア」と呼ばれるあらゆるリソースの利用を前提として展開される．通常，探究は素朴な最初の問い（Q_0）から始まり，Q_0を追究することで新たな問いが発生していく．これらの問いに取り組むことにより探究は深化し，最終的な自らの回答 $A^{♥}$を作り上げていく（宮川他，2016）．この過程は，「問いと回答の往還」として特徴づけられ，SRP の根源的な仕組みを示している（Winsløw et al., 2013）．

また，SRP における教育目標は，何かしらの指導前に定められた数学的知識の習得ではなく，研究者の態度の獲得にある．その態度として次に示す五つがあげられている（Chevallard & Strømskag, 2022）．一つ目は「問題発見的態度」であり，経験や観察を通して状況の問題性を認識し，問いや疑問を投げかける態度を指す．二つ目は「ヘルバルト的態度」であり，どのような問いや疑問に対しても逃げることなく，粘り強く追究する態度である．三つ目は「前進認知的態度」であり，探究に必要なものはたとえ未知のものであっても，必要に応じて前向きに学ぶ態度を意味する．四つ目は「開かれた態度」であり，自らの無知を認識し，どのような領域であろうと自らの無知を避けない態度を指す．五つ目は「百科事典編者の態度」であり，あらゆる分野や領域の知識を自分に関わるものとみなし，それを記録・整理し続ける態度である．

さらにSRPでは，探究が深まる仕組みについても，「往還（dialectic）」の概念により定式化される．往還とは，探究に大きな影響を与える 2 つの極となる制約の間を行き来することで，探究が進展する仕組みを指す．これまでに複数の種類の往還が提案されているが，特に「メディア・ミリューの往還」が中心的なものとされている（宮川他, 2016）．この往還は，インターネットや書籍などのメディアとの相互作用によって探究に必要な情報を得る活動と，メディアから得た情報をもとにミリューと相互作用して探究を深める活動との間を行き来することで，探究が進展することを示す．

３．高等学校での実践事例

本章では，高等学校で実践された事例を通して，本研究課題が想定している探究を示す．

(1) 授業の概要

本実践は，公立高等学校の「総合的な探究の時間」の科目で，1 年間（合計 53 単位時間）にわたり，数学教師が行なったものである．対象は，文系および理系が混在する 3 年生 22 名であり，7 班に分かれ，各班が異なるテーマの探究に取り組んだ．

授業の全体は表 1 に示すようなものであった．1 学期（20 時間）では，生徒たちは最初の 8 時間で探究テーマを決め，残りの 12 時間で実際に探究活動を進めた．2 学期（23 時間）では，生徒は探究をさらに進展させ，中間発表会にて進捗状況を報告し，その後学期後半に開催されたポスター発表会でも探究成果を発表した．加えて，2 学期終盤から最終レポートの作成に着手し，3 学期（5 時間）にもその作業を継続した．

(2) 授業の実際：特定の班の探究過程

授業で見られた具体的な探究活動を示す．A 班は，「Q_0：円周率を小数第 20 位まで手計算で求めるには？」というテーマで探究を開始した．この班が 1 年間にわたり取り組んだ探究の過程を，Q-A マップ（Winsløw et al., 2013）を用いて図 1 に示し

表１　１年間の授業のフェーズ

	フェーズ	時間
1学期 20時間	オリエンテーション リサーチ活動	8
	探究	12
夏休み 課題（①1学期のまとめ，②夏休みの問い）		
2学期 28時間	夏課題①の確認，発表	2
	探究	5
	発表スライド作成 質問力向上WS	3 1
	中間発表会	2
	探究	3
	ポスター作成	3 授業外
	ポスター発表会	1
	探究	4
	レポート作成	4
冬休み 課題（レポート10,000字）		
3学期 5時間	レポート作成	5 授業外

た．図 1 では，教師が提示した問いおよび回答は「黒色」，生徒によるものは「白色」，他者との相互作用によって生じたものは「灰色」で表記した．A 班の主要な問いは以下の四つであった．

Q_1：円周率はどのように求められるか？

Q_2：円周の長さをいかに正確に求めるか？

Q_3：円周率を 20 桁近似する正多角形の範囲は？

Q_4：π を使わないで円周率を求める方法はあるのか？

はじめに，A 班はラマヌジャンの円周率公式を用いて手計算に取り組んだが，計算の複雑さにより途中で断念した（$A_{1.8.1.1}$，$A_{1.8.1.2}$）．次に，インターネット上で見つけた「円は正 65537 角形である」という情報をもとに，円に内接する正多角形の周の長さに着目し，その周の長さを用いた近似方法を検討した（$Q_{2.1}$ 以降）．この段階から「手計算」という条件を一旦除外し，教師が提供した数値計算ソフトを用いることで，正 400 億角形程度で円周率を 20 桁まで近似できることを明らかにした（$A_{2.2.1}$，$A_{2.2.2}$）．その後，教師の問い「Q_3：円周率を 20 桁近似する正多角形の範囲は？」を契機に，さらに探究を進め，およそ正 90 億角形から正 442 億角形の範囲で 20 桁の近似が可能であることを確認した（$A_{3.2.1}$，$A_{3.2.2}$）．最終的に，発表会の質疑応答において，この方法では議論が循環してしまうことを確認し（Q_4），それを避けるために Taylor 展開や逆正接関数などを用いた方法に着目した（$A_{4.1.1.2}^{\diamond}$，$A_{4.1.1.3.1}^{\diamond}$～$A_{4.1.1.3.3}^{\diamond}$）．それらの方法を学習していた途中で探究は終了となった．

また，図 1 に示される黒色の問いが一定数あり，教師により定期的な支援が行われていたことがわかる．このような支援を通じて，A 班含め各班の探究が展開された．

４．探究における数学教師の専門性

上のような探究型授業の実践にあたり，数学教師にはどのような専門性が求められるであろうか．

(1) 授業中の探究支援

従来の数学授業では，生徒が問いに正しい解答を与えられるようになることが目標であり，教師の主な役割は，生徒の解答の正誤を評価することであった．一方，探究では解答よりも問いが重要になる．これは，良質な問いや疑問を立てることにより，探究がさらに進展するためである．したがって，教師に求められる役割は，生徒の問いを適切に評価し，探究を促すことである．この点は，従来の数学授業での教師の役割と異なる．さらに，探究では，生徒がどのような問いに取り組むのかを事前に完全に予測することは困難であるため，教師にはその場の状況に応じた柔軟な対応が求められる．

また，生徒の活動が停滞した際の教師の支援についても，従来の授業とは異なる点が多い．従来の数学授業では，指導すべき内容が事前に定められており，教師はその内容を生徒が学習できるように問いかけをしたり，解答へ導くためのヒントを与えたりする．こうした教師の働きかけはあらかじめ設定されたゴールに向けたものであるため，それを採用すれば，生徒は目標とする数学的知識

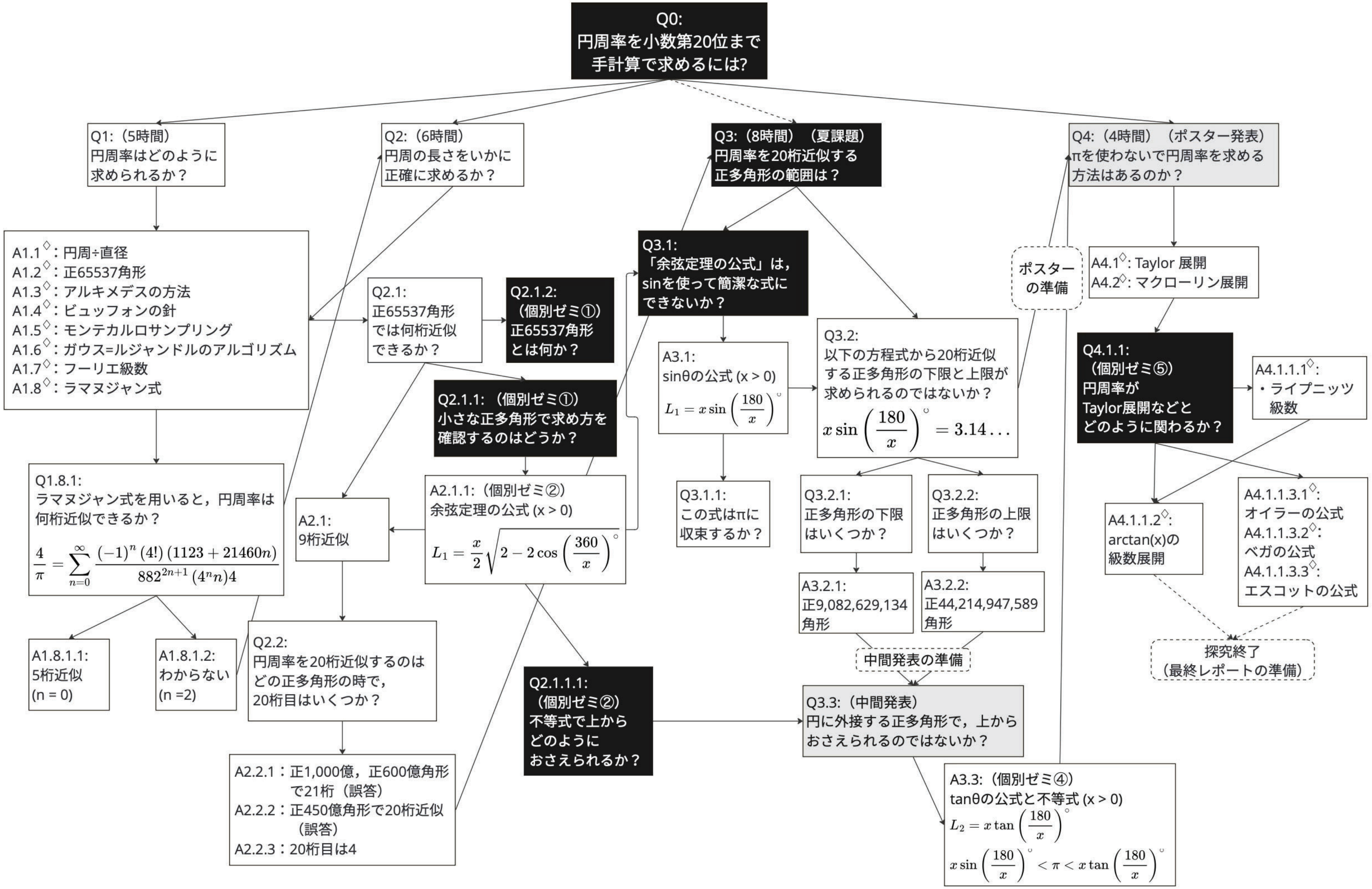

図１　Q-A マップ：A 班の探究過程

が習得できると期待される．一方，探究では学習すべき内容が事前に定まっていないため，探究の停滞時には，特定のゴールに導くのではなく，探究が深まり進展するための働きかけが必要となる．そのためには，教師は問いと回答の往還やメディア・ミリューの往還などの種々の往還を促すことが求められる（濱中，2024）．実際，ATD では，探究の停滞は生徒の活動が往還の一方の極に偏り，適切な相互作用が生じていない状態として捉えられる．このような状況で，例えば，教師が「補助的な問い（side questions）」（シュバラール，2016；Rasmussen, 2016）を提案することで，問いと回答の往還を促し，探究の停滞を打開することが期待される．

この点に関し今回の高等学校の事例では，特定の班と教師が 10 分間話し合う「個別ゼミ」が実施された．例えば，A 班の第一回目の個別ゼミでは，教師の中心的な支援は「小さな正多角形で求め方を確認するのはどうか？」および「正 65,537 角形とは何か，正 65,538 角形の方が円に近いのではないか？」の補助的な問いであった．前者は正多角形の周の長さの求め方に焦点化するための問いで，後者は正 65,537 角形に関する情報の背景や妥当性を問うものであった．いずれの問いも，ミリューへの相互作用を促し，A 班はこれらの問いを採用することで探究をさらに進展させた（$Q_{2.1.1}$，$Q_{2.1.2}$）．

したがって，授業中の探究支援において，その場の状況に応じて生徒の問いを適切に評価するための専門性や，特に探究の停滞時において，生徒の探究の進展を見守り，探究の往還を適切に促すことができる専門性が求められる．

(2) 授業準備

授業準備においても，教師に求められる営みは異なる．従来の数学授業では，指導すべき内容が事前に定められているため，教師は教科書等を用いて授業で扱う数学的知識を十分に理解し，生徒がそれらを習得できるようにするための導入活動を考案したり，説明のし方を工夫したりする．このような授業準備は，一般に「教材研究」と呼ばれる．一方，探究では，指導すべき内容が定められていないため，まずはどのようなテーマで探究を進めるのか，どのような最初の問いを設定するのかという点が検討事項となる．先の高等学校の事例では，研究テーマを検討するための「リサーチ活動」のフェーズを設け，生徒の興味・関心を引き出すとともに，教師はそこから探究が深まりそうな複数の Q_0 を準備した．例えば，A 班の「Q_0：円周率を小数第 20 位まで手計算で求めるには？」の問いは，このような授業準備を通して設定されたものである．

さらに，生徒の興味関心にもとづき探究の方向性が決定されるため，教師の想定を超えた方向に探究が進展し，時には教師自身が理解していない内容に及ぶ可能性もある．その際には，教師は授業準備として自ら探究を進めることが求められる．具体的には，生徒の探究の進展を予測し，探究を推進するための補助的な問いを検討する必要がある．

今回の高等学校の事例では，各授業の前後に授業準備のためのミーティングが実施され，そこで生徒の探究がどのような方向に進みうるのかが検された．例えば，ある授業後ミーティングでは，先の A 班がラマヌジャンの円周率公式を用いて手計算に取り組んでいた場面（図 1 の $A_{1.8.1.1}$，$A_{1.8.1.2}$）に関し，今後の探究として，複素関数論（ラマヌジャン公式の背景），無限級数の収束のオーダー，初等的な計算方法（和算等）の三つの可能性が検討され，さらに，その際に必要となる教師の補助的な問いも議論となった（Ogawa & Miyakawa, 2025）．

このように，授業準備では，適切な Q_0 を設計すること，多様な視点から生徒の探究の可能性を見通すこと，さらにカギとなる教師の補助的な問いを設計することができる専門性が重要となる．

(3) 研究者の態度

上述の授業中や授業準備のための教師の営みにおいて，Artigue & Blomhøj（2013）も指摘するように，教師自身が実際に探究を進める技能をもっていることが不可欠であろう．すなわち，教師が探究者としての経験や研究者の態度を備えていることが求められる．探究の経験がなく，探究がどのようなものか知らずに，授業で生徒の探究を適切に導くことは困難である．先にあげた「問題発見的態度」，「ヘルバルト的態度」，「前進認知的態度」，「開かれた態度」，「百科事典編者の態度」という五つの研究者の態度は，探究を通して育成すべき教育目標であると同時に，探究型授業を進める教師にとっても不可欠な要素なのである．

実際，問題発見的態度は，上述のように探究のテーマや最初の問いの設定，さらには教師の補助的な問いを得るために必要となる．また，今回の授業において，A 班のラマヌジャン公式に関する内容は，教師にとっても未知のものであった．その際，数式の複雑さや背景理論の難解さを理由に避けるのではなく，それに立ち向かい，未知のものを学ぼうとする姿勢が教師にも求められた．これは，まさにヘルバルト的態度や前進認知的態度が必要とされる場面である．さらに，特定の数学的内容にとどまらず，場合によっては数学外の分野にまで広げて多様な知識を検討することも求められる．この点は，百科事典編者の態度に関わるものである．

以上のように，授業中や授業準備を含む探究全般において，教師は探究内容と教授の両面に対し研究者の態度を発揮することが求められ，これらは教師の専門性の一部を構成するものである．

５．おわりに

本稿を通して，世界探究パラダイムにもとづいた探究を取り入れた授業を実践するためには，従来の数学授業で教師に求められてきた専門性とは異なる側面が多く含まれることがうかがい知れるのではないだろうか．探究のための教材研究のあり方や，授業中の教師の営みがどのようなものかといった詳細についてはさらなる研究が必要となる．さらに，このような教師の専門性をいかに育成するのか，という点も大きな研究課題となる．

付記

本研究は，JSPS 科研費 JP21H00924 の助成を受けたものである．

謝辞

本論文の執筆に際し，北海道教育大学釧路校の大滝孝治先生から貴重なご意見を賜り，深く感謝申し上げる．

引用・参考文献

Artigue, M., & Blomhøj, M. (2013). Conceptualizing inquiry-based education in mathematics. *ZDM Mathematics Education, 45*, 797–810. https://doi.org/10.1007/s11858-013-0506-6

シュバラール, Y.（2016）: 明日の社会における数学指導：来たるべきカウンターパラダイムの弁護（大滝孝治・宮川健訳），上越教育大学数学教育研究，31，73–87．（原著出版 2015 年）

Chevallard, Y. (2019). Introducing the anthropological theory of the didactic: an attempt at a principled approach. *Hiroshima Journal of Mathematics Education*, 12, 71–114. https://doi.org/10.24529/hjme.1205

Chevallard, Y., & Strømskag, H. (2022). Condições de uma transição para o paradigma do questionamento do mundo. In S. A. Almouloud, R. B. Guerra, L. M. S. Farias, A. Henriques, & J. M. V. Nunes (Eds.), *Percursos de estudo e pesquisa à luz da teoria antropológica do didático: Fundamentos teórico-metodológicos para a formação: Vol.1.* (pp. 27–58). Editora CRV. https://doi.org/10.24824/978652511946.5

濵中裕明（2024）．数学における探究型学習のファシリテートに関する一考察：教授人間学理論における探究の往還を視点として．全国数学教育学会誌数学教育学研究，30(2)，31–42．

宮川健・濵中裕明・大滝孝治（2016）．世界探究パラダイムに基づく SRP における論証活動(1)：理論的考察を通じて．全国数学教育学会誌数学教育学研究，22(2)，25–36．https://doi.org/10.24529/jasme.22.2_25

Ogawa, T., & Miyakawa, T. (2025, February, 4–8). *Mathematics teacher practice in inquiry-based lessons: A case study in a Japanese upper secondary school* [Paper presentation]. The 14th Congress of the European Society for Research in Mathematics Education, Bozen-Bolzano, Italy.

Rasmussen, K. (2016). The direction and autonomy of interdisciplinary study and research paths in teacher education. *REDIMAT*, *5*(2), 158–179.

Winsløw, C., Matheron, Y., & Mercier, A. (2013). Study and research courses as an epistemological model for didactic. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 2, 267-284. https://doi.org/10.1007/s10649-012-9453-3