

高等学校における数学と情報の 教科横断的な探究型学習に関する研究

根津 雄一

上越教育大学大学院修士課程 2 年

1. はじめに

次期学習指導要領では、「探究」という言葉がしばしば用いられ、中学校数学科においては、数学的な見方・考え方を習得・活用・探究という学びの過程で働かせるような指導を行うことが強調される。また、高等学校においても新科目として創設された「理数探究」や「総合的な探究の時間」に代表されるように、教科の枠組みを越えた資質や能力の育成が重視されることとなった（文部科学省, 2018）。

こうした背景のもと、わが国の学校教育では、STEM 教育の視点から教科横断的な学習を導入する動き（松原・高阪, 2017）など、新たな学習活動が検討されている。そこで、本研究ではプログラミングや数値計算、機械学習等に代表されるような数学と情報学の学問的な親密さに着目し、それらを横断する学習の可能性を検討することとした。

そうした学習活動を探るにあたって、筆者は、世界探究パラダイムに基づいた SRP (Study and Research Paths) という探究活動に着目した。SRP とは、最初の問い Q_0 から始まり、インターネット等（メディアと呼ばれる）の使えるものは何でも使い、必要な知識は必要に応じて学習しながら自らの回答 A^* を作り上げるという研究者の主体的な探究活動をモデル化したものであり、問い

への探究を通じて、研究者の態度の育成を目的とする（シュバルール, 2016）。先行研究では、教科横断型 SRP によって、教科横断的な学習や主体的な学習が生じることなど様々な可能性が示されている（葛岡・宮川, 2018）。

そこで、本研究では、高等学校の数学科と情報科の教科横断型 SRP においていかなる「探究」が起こり、いかなる「教科横断」が可能となるのか、その詳細を明らかにすることを目的とし、次のような方法で研究を進めた。

まず、わが国の探究や教科横断に関する先行研究と SRP に関わる先行研究について取り上げ、本研究の位置づけを明確化した。次に、新たな SRP を設計する上でいかなる最初の問い Q_0 を設定すべきかを探った。これまでの研究で示された問いの事例等を整理し、わが国の数学教育で扱われてきた問いとの比較を行うことで Q_0 の問いとしての性格を考察した。そして、数学と情報の教科横断型 SRP を実践するための Q_0 を設計し、教授実験を行った。さらに、そこで収集した実験データを理論的な枠組みに基づいて「探究の様相」や「探究の中で生じる知識とその学習」に焦点を当て分析・考察した。

本稿では、教授実験の内容やデータの分析・考察に焦点を当て、その成果の概要を示したい。詳細は、筆者の修士論文を参照

されたい。

2. わが国での先行研究

本研究の位置づけを明確化するため、「探究型学習」と「教科横断的な学習」に関わる先行研究を振り返る。

(1) 数学科における探究型学習

「探究」に関わるわが国の数学教育の先行研究では、「探究」は様々な解釈がなされている。その一つは、「数学的探究」である。関口 (2002)では、「探索・評価活動」と「数学的議論の展開」とが相互作用することを数学的探究と捉え、さらにそれらが「数学的共同体の営み」であるとしている。また、渡辺 (2011)では、観察や問題の発見、仮説の検証といった「科学的探究」のプロセスを拠り所とし、問題解決型の統計教育との関係や統計的思考力の育成の重要性を指摘している。さらに、SRPと同様に、研究者の探究活動に着目した研究者の探究についての研究もわが国では見られる。その代表的な例として、RLA (Researcher-Like Activity) と呼ばれる学習活動が挙げられる (市川, 1998)。RLAでは、実際の研究者が行っている活動の縮図的活動を行うことで学習者の意欲を引き出そうとするものである。

こうした先行研究を踏まえると、わが国の数学教育には様々な「探究」が存在しており、どのような活動が「探究」なのかということには必ずしも明確な定義があるわけではないことがわかる。

(2) 数学と他教科の横断的な学習

今日の学校教育では、理数探究の導入も相まって、教科の枠組みを超えた学習活動の検討も活発となっている。先述のようなSTEM教育に基づいた教科横断的な学習の検討 (松原・高阪, 2017) だけでなく、「科学技術的意思決定」の観点からEU圏で取り組まれる数学と科学での横断的な指導・

学習を目指したCOMPASSプロジェクトで扱われる教材から授業開発の指針を得ようとする動きも見られる (西村ほか, 2015)。

さらに、野添・天野 (2016)では、「密度」を題材とした中学校理科における授業実践を通じて、理科と数学との相関カリキュラムの開発が試みられる等、理科教育の視点からも数学学習を取り入れようという動きも見られる。このように、「理数探究」の導入に先駆けて、数学と理科との間では、様々なアプローチから教科横断的な学習が検討され、その中でいかなる資質・能力を育成していくべきか議論が重ねられている。長崎ほか (2008) によって示された現在の学問や職業で使われている算数・数学を鑑みると、あらゆる分野の学習と数学の学習は横断可能であろう。

本研究でSRPに着目する理由は、探究活動の仕組みが諸概念によって、どのような活動が「探究」なのかが明確化されていることにある。さらに、世界探究パラダイムが研究者の態度の育成を目的としたものであることを踏まえると、SRPは、今日の学校教育への要請にも適合しうるものと考えられる。

3. 理論的枠組み

先述のように、教科横断型の探究活動を設計・分析するにあたって、世界探究パラダイムに基づいたSRPを理論的枠組みとする。以下では、この枠組みの概要を述べる。

(1) 世界探究パラダイム

ATDでは、何を学習すべきか、それらをどのように学習するのかを暗黙理に規定する規則の集まりを「教授パラダイム」と称する (シュバラール, 2016)。世界探究パラダイムは、問いについての回答を作り上げるために必要となった知識や技能を必要に応じて学習する教授パラダイムである。「問い」への探究を通じ、「ヘルバルト的」(未知の問いや未解決の問題に対しても怯まずに

立ち向かう態度),「前進認知的」(前向きに新たな知識を獲得しようとする態度),「開かれた人」(いつまでも学習し続けようとする態度)の3つの研究者の態度の育成を目的としている。これらが,今日の社会においても持ち合わせるべき態度と考える。

(2) SRP について

SRP は,世界探究パラダイムに基づいた研究者の探究活動を定式化したものである。SRP における研究者の探究の解釈は,最初の問い Q_0 に対して回答を作り上げるために,使えるものは何でも使い,必要なものは必要に応じて学習するものである。そうした特徴は以下に示す往還により説明される。

①問いと回答の往還

SRP では,「問いと回答の往還」という形で問いと回答が連鎖しながら進んでいく研究者の探究過程を定式化する。最初の問い Q_0 から最終的な回答 A^* の過程が図1のような図式で表すことで,探究の広がりや深まりといった様相を映し出すことも可能となる。

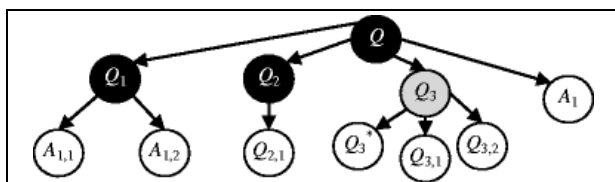


図1 SRP の樹形構造

(Winsløw et al., 2013, P. 271)

②メディア・ミリューの往還

SRP の特徴に,インターネット等のメディアの活用が前提となっていることがある。メディアの情報(データ D や回答 A^0)とミリューと呼ばれる学習者が収集した情報や既習の学習内容・知識等で組織されたものとを往還することによって回答が作り上げられる過程は,「メディア・ミリューの往還」と呼ばれ,探究を特徴付ける営みとされる。

4. 教授実験

次に,本研究で実施した教授実験の概要

と生徒の探究活動の様子について述べる。

(1) 実験の概要

以下では,本研究における教授実験にてどのような問いを設定し,それらをいかに実践したのかを述べる。

①問いの設定

SRP における最初の問い Q_0 は,探究者が疑問に思うような自然 (lively) な問いであり,そこから新たな多くの問いが生まれるような生成的 (generative) な問いであるとされる(宮川, 2017)。本研究では,以下のような日常の「待ち」を題材とした複数の Q_0 を設定した。

- ・ 渋滞の待ちに関する問い

Q_0 : 渋滞に巻き込まれるとどれくらいの時間を損する?

- ・ インターネットの待ちに関する問い

Q_0 : インターネットの高速化によって待ち時間はどれくらい減少したのか?

- ・ 行列の待ちに関する問い

Q_0 : (ラーメン店の) 客の待ち時間を減らすにはどのようにすれば良いか?

これらは,誰しも一度は遭遇したことがある「待ち」の場面であり,生徒自身も疑問に思うような問いであると考えた。また,深めようとするれば意外に深い探究が可能なものでもある。渋滞に関する問いは,渋滞のメカニズムを研究対象とする渋滞学という分野でも扱われうる問いであり,行列に関する問いは,待ち行列理論としてオペレーションズ・リサーチの研究分野に通ずるものである。さらに,インターネットの高速化による効果の検証も一つの研究対象となりうる。よって, Q_0 の一般的な条件である素朴さと生成力を併せ持った問いであると思われる。

②授業の概要

授業は,公立高校第3学年を対象とし,情報科「社会と情報」の中で全8時間の授業を

実施した。1クラス27名を対象として、3名1組のグループごとに探究活動を行った。授業展開は、以下のとおりであった。

第1時：授業説明、プレ探究

第1時は、まず、研究者の探究とはどのようなものか、そして本授業における教師の役割を生徒に説明した。また、本時はプレ探究という位置づけで行い、取り組むテーマは定めず、それぞれの待ちの場面に関して「なぜ待つのか？」といった素朴な疑問に自由に取り組ませる形をとった。

第2-5時：グループ活動

2時間目には、先述の Q_0 とそれらに関連する素朴な問いを幾つか提示し、各グループでそれぞれの関心に応じたテーマを1つ定めて探究することとした（4時間）。各グループが取り組んだテーマの内訳は、行列：3グループ、渋滞：2グループ、インターネット：4グループであった。

大半のグループは、 Q_0 に関連する問いについて、まずインターネットを用いて調べるといった活動が展開された。探究が進むに連れて、自ら計算して待ち時間を求めようとするグループやインターネット上に正解が必ずあると考え、終始調べ学習的活動を行うグループ等、様々な活動が見られた。教師は、探究活動のサポーターという役割に徹し、学習者の疑問を引き出したり、活動が停滞しているグループに、補助発問を与えたりした。

第4時の冒頭では、生徒に待ち時間の算出に目を向けさせるため、「どれくらい？」ということ意識して取り組むよう促した。それにより、メディアの探索が中心だったグループも数値を自分たちで計算するというような活動が起こった。第5時は探究活動のまとめの時間とした。

第6-7時：発表資料の作成

本実践では、プレゼンテーションソフト（以下、パワーポイント）を用いて生徒に

第5時までの探究活動の成果をまとめさせる時間を設けた。この学習は、そもそも情報科「社会と情報」の指導内容であった。

さらに、第6時のはじめに、発表のイメージを掴ませるため、SSHの研究発表や実際に研究者が行っている研究発表の映像を流し、より良い発表を目指すよう促した。資料の作成にあたっては、文字や図表の挿入・アニメーションの付け方等について、インターネットや情報の教科書を活用し、必要に応じて学びながら発表資料を作成する生徒の姿が見られた。

第8時：発表

最終時には、どのような問いに取り組み、最終的な回答はいかなるものになったのかといった各グループの探究成果を発表する活動を行った。発表の終わりには、質問タイムを設け、他の生徒から質問を募った。

5. 生徒の探究の分析

ここでは、本研究における実験データの分析方法と生徒の探究活動の様相について、その概要を述べる。

(1) 探究の分析手法

生徒の探究活動を分析する上では、まず、ATDの先行研究で用いられてきたQ-Aマップによる分析（Winslow et al., 2013；葛岡・宮川, 2018）を行い、生徒の探究の様相を包括的に捉えた。それらと併せて、探究活動において発生する知識とその学習を特徴づける新たな方法を検討した。具体的には、まず、プラクセオロジーの概念を拠り所に、数学科などの各教科で取り組むべきとされるプラクセオロジーと個々の生徒に取り組まれた私的なプラクセオロジーとで整理することで双方の関係を特徴づけ、いかなる教科学習が起こっていたのか分析した。そして、*didactic moment*の概念を拠り所とし、それらの学習の深まりを示した（詳細は修士論文を参照のこと）。

(2) 生徒の探究の様相

こうした分析手法に基づき、本研究では、渋滞・インターネット・行列の各テーマに取り組んだA班、B班、C班を抽出し、分析を行った。

以下では、各班の探究の概要をQ-Aマップで表し、その過程について述べていく。

① A 班の探究活動（渋滞）

まず、渋滞における待ちをテーマとしたA班の探究の様相について述べる。A班は、メディア・ミリューの往還が活発に起こり、新たな数学的知識を学習したり、表計算ソフト (Excel) といった情報科でも扱われるツールを活用したりしながら探究を進めていった。探究の過程で生じた問いと回答を分析した結果、彼らの探究は図2のようなQ-Aマップで表された。

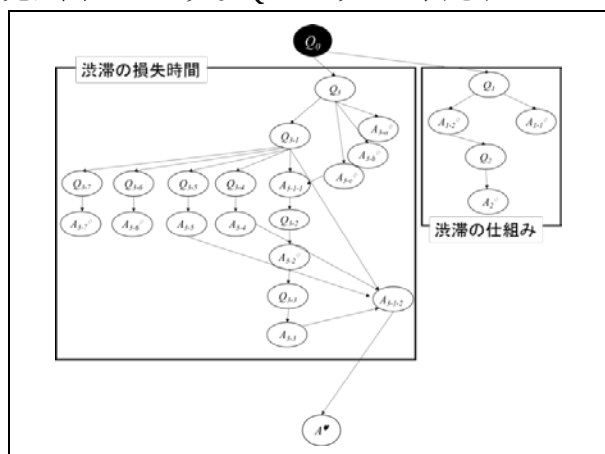


図2 A 班のQ-Aマップ

この探究過程を簡単に説明しよう。A班はまず、渋滞の仕組みに関心を持った。具体的には、Q1（渋滞とは何か？）やQ2（なぜ渋滞が発生するのか？）といった問いに対してメディアを探索しながら取り組んだ。またQ0に対する回答をインターネットから探る中で、学術論文や国土交通省のデータなどを参照し、「渋滞損失時間」といった渋滞学で扱われる専門的な用語と出会った。その後、教師から示されたQ3.1（渋滞が50km発生すると、渋滞に巻き込まれた人が損失する時間の総計はどれくらいか？）に取り組み、渋滞の損失時間を求める活動へと移った。それらを求めるにあたって、メディアの情報や比例式等を立てて計算した結果を基に、「渋滞時の速度は5km/hとする」、「50km

の区間には5714台の車がある」、「渋滞を抜け出すのには、1台後ろに行くごとに1.75秒かかる」といった条件を定めた。そこで、生徒たちは、 $1.75+3.5+5.25+\dots$ というように、5714台分の待ち時間を総計すれば良いのではないかという考えに至った。教師からサポートを受けながら、グループ内で等差数列の性質を用いて計算する者と表計算ソフトを用いて算出する者とに分かれ、それぞれで回答を作り上げた。

ここでは、生徒は数列に関する知識を未習であったため、教師から等差数列の一般項や和の算出に関する講義が行い、生徒は初項0、公差1.75、項数5714の等差数列の和を求めた。また、Excelではデータの入力やSUM関数による演算が行われ、待ち時間の総和が算出された。これらの結果が一致したため、A班は「50kmの渋滞における待ち時間の総和は28563571.75秒である」を最終的な回答A*とした。

② B 班の探究活動（インターネット）

次に、インターネットの待ちについて取り組んだB班の探究を取り上げる。彼らは、探究の中で数学的な活動はほとんど生じず、情報通信技術に関する調べ学習的な活動が中心であった。その様相は、図3のようなQ-Aマップで表すことができる。

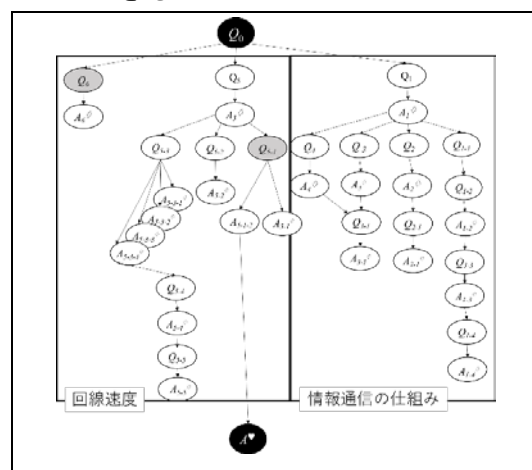


図3 B 班のQ-Aマップ

B班は、メディアを探索する中で「ギガ」や「パケット」、「クラウド」といった情報通信技術に関する様々な用語に次々と出会い、それ

らの意味を理解する活動が展開された。

こうした問いに答えつつ最初の問い Q_0 に答えるために、回線速度に着目し、生徒は活動を進めていった。メディアを探索する中で、通信速度を示すデータ（回線速度は 3G（下り 14.4Mbps, 上り 5.76Mbps）, 4G（下り 150Mbps, 上り 50Mbps）である）を得て、「4G は 3G の速さの 10 倍である」という回答に至った。その後も回線速度に関して様々な情報を探索したが、この回答は変更されず、「待ち時間がどれくらい減少したのか？」という最初の問いに答える事なく、発表資料の作成へと活動が移った。探究の中で生じた疑問は、主にメディアを用いて解決された。

③ C 班の探究活動（行列）

三つ目の事例として、行列における待ちに取り組んだ C 班の探究の様子を述べる。彼らは、まず行列の待ち時間についてメディアを用いて調べるという活動に取り組んだ。その後、モデル図を作成する等して待ち時間の算出を試みるといったミリューと相互作用する場面も見られたが、最終的には、メディアを探索し、そこで得た情報を整理し、発表の資料を作成した。これらの過程は図 4 のように示される。

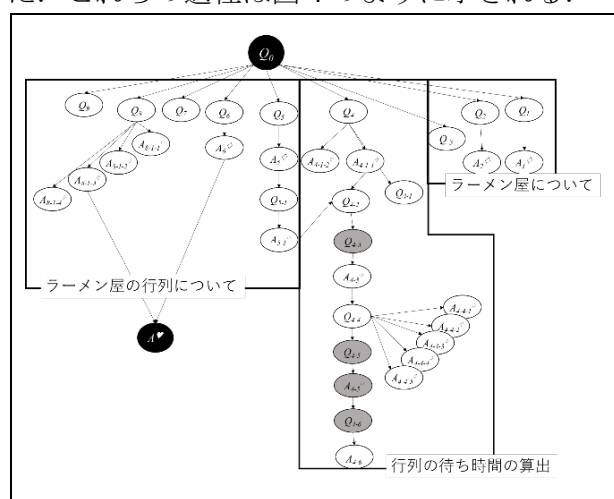


図 4 C 班の Q-A マップ

C 班は待ち時間を考えるにあたって、30 分～40 分の間であれば待てる人が多いというデータをメディアから入手し、その範囲で待ち時間が収まるような店の条件について考えた。リト

ルの公式という待ち時間を求める数式を活用しようと試みたり、営業時間や客数、食事の提供時間等の待ち時間の増減に関連するようないくつかの条件を定め、その中での待ち時間を求めようと、モデル図を作るなどする試行錯誤が起こったものの、算出することができず、結局 B 班と同様にメディアの情報を整理して発表資料を作成した。

このように、生徒が取り組む問いによって生じる探究の様相（メディアの探索が中心、ミリューとの相互作用が活発となる等）が異なるということが明確となった。

5. 考察

実験データの分析結果をもとに、本研究では、教科横断型 SRP における「生徒の活動の様相」、「生じる知識とその学習」、「問いの条件」という大きく分けて 3 つの視点から考察を行った。本稿では、紙面の都合上、その一部であるどのような学習が展開されたのかを取り上げ教科横断型 SRP の秘める可能性について述べるとともに、探究の様相や学習の深まりといった視点から SRP の課題について検討する。

(1) 教科学習の視点から

本研究では、数学科・情報科の教科書を分析し、そこで取り組むことが期待される学習が本実験からどの程度生じていたのかを分析した。まず、各班の情報科の学習をまとめると表 1 のように表される。

表 1 各班の情報科の学習

A	・変化の速さが一定の現象についてモデル化する ・(Excel で) 連続したデータを入力する／関数を用いてデータの合計を求める
B	・情報通信技術に関わる基礎的な内容（パケット等）を理解する
C	・待ち行列をモデル化する
共通	・情報を検索する ・パワーポイントの作成

このように、情報科で期待されるような学習活動はある程度生じていた。一方、数学科で期

待されている活動がある程度活発であったのは A 班の探究のみであった。彼らは、渋滞の損失時間を求めるにあたって現実事象をモデル化し、等差数列とみなして回答を作り上げた。ここでは、等差数列の一般項や和の性質を教師から学んでいる。つまり、A 班は数学科と情報科の学習を伴いながら探究を進めており、教科横断的な活動になっていたと言えよう。複数の教科の学習内容が必要性をともなうて生じた点は、SRP をよりどころとした教科横断型の探究学習の特筆すべき点である。

教科横断型 SRP の実践によって、数学科と情報科の両者を横断するような探究活動が実現可能であることが示された一方で、単一教科の学習に留まってしまうという課題も浮き彫りとなった。本実践の場合、B 班や C 班の探究では数学的活動が弱かったため、教科横断が実現されなかった。

(2) 探究の様相について

それでは、B 班や C 班ではなぜ数学的活動が発生しなかったのだろうか。これには、授業時数による活動時間の制約や生徒の数学への情意面等、様々な要因が関わっているものと考えられる。そうした数学的活動を妨げるいくつかの要因について以下では考察する。

まず、教科の枠組みによって発生する教授学的契約 (Brousseau, 1997) の影響について述べる。これまでの SRP の実験では数学の授業の枠組みの中で行われてきたのに対し、本研究では情報科の授業として実践した。そのため、「数学の授業だから数学をやらなければいけない」といった数学の授業特有の契約は働かず、「数学は必ずしもやらなくても良い」というようなルールが働いていたと考えられる。より活発な探究活動を生じさせるにあたっては、どのような教科の枠組みで授業を実践していくのかも考慮に入れる必要がある。

その一方で、そうした状況下でも A 班の

ように新たに数学的知識を学ぶというような活動が生じていることから、取り組む問いによっては、教授学的契約の有無に関わらず数学的活動が発生しうることを示されている。つまり、最初の問い Q_0 の質が生徒の探究に大きな影響を与ええるだろう。実際、B 班のようにメディアから入手した既存の回答のみで十分であると判断されてしまうと、数学的活動に取り組む必要性は生じない。より活発な教科横断を実現するためにはどのような問いを設定すべきかについては今後の研究で明らかにしていくことが不可欠である。

また、A 班のように新たな数学的知識を獲得しながら探究を進めていった場合であっても、「なぜその方法で解決できたのか?」といった問いに取り組み、生じた知識を掘り下げていくというようにさらなる数学学習につながる活動は展開されなかった。より深い学習を生じさせる上では、そうした「なぜ?」を追究していく活動が不可欠である。そうした活動をいかに主体的に取り組ませるかという点も今後の大きな課題である。

6. おわりに

本研究では、「待ち」を題材とした数学と情報の教科横断的な探究学習を設計・実践し、生徒の探究を分析することで、どのような活動が生じ、その中でどのような学習が実現されるのか、その可能性を探った。ねらいとする教科横断的な学習が生じる場合もあれば、調べ学習的に留まってしまう場合もあった。より豊かな学習を生じさせるような手立てを構築していくことが今後の大きな課題である。

引用・参考文献

- 市川伸一 (1998).『聞かれた学びへの出発—21 世紀の学校の役割』(子どもの発達と教育 6). 金子書房.
- 葛岡賢二・宮川健 (2018).「教科横断型 SRP

- における数学的な活動－「世界人口総和問題」を題材にした中学校での実践－. 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第 24 巻, 第 1 号, pp. 159-162.
- シュバラル (2016). 大滝孝治・宮川健訳 「《翻訳》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－」. 上越教育大学数学教育研究, 第 31 号, pp. 73-87.
- 関口靖広 (2002). 探究的活動のための証明.『数学教育論文発表会「課題別分科会」発表集録』. 日本数学教育学会. pp.181-184.
- 長崎栄三・国宗進ほか 17 名 (2006). 現在の学問や職業で使われている算数・数学「数学教育に関する研究者調査」の結果の分析-, 日本数学教育学会誌, 第 88 巻, 第 3 号, pp. 29-43.
- 西村圭一・松原憲治・上野耕史 (2015). 科学技術的意思決定能力の育成をめざす教科横断的アプローチに関する研究－COMPASS 教材の分析を通して－. 日本科学教育学会誌『科学教育研究』, 39 (2), pp. 77-85.
- 野添生・天野秀 (2016). 教科間連携を図った中学校理科における授業実践研究－「密度」を題材にした理科と数学の相関カリキュラムの開発を中心として－. 日本科学教育学会研究会研究報告, 31 (2), pp. 27-30.
- 濱中裕明・大滝孝治・宮川健 (2016). 「世界探究パラダイムに基づく SRP における論証活動 (2)－電卓を用いた実践を通して－」. 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第 22 巻, 第 2 号, pp. 59-72.
- 松原憲治・高阪将人 (2017). 資質・能力の育成を重視する教科横断的な学習としての STEM 教育と問い. 日本科学教育学会誌『科学教育研究』, 41 (2), pp. 150-160.
- 宮川健 (2011). 「フランスを起源とする数学教授学の「学」としての性格－わが国における「学」としての数学教育研究をめざして－」. 日本数学教育学会誌『数学教育学論究』, 第 94 巻, pp. 37-68.
- 宮川健 (2017). 「世界探究パラダイムに基づいた SRP と「問い」を軸とした数学学習」. 日本数学教育学会第 5 回春期研究大会論文集, pp. 173-180.
- 文部科学省 (2018). 『高等学校学習指導要領解説 総則編』. 東洋館出版社.
- 渡辺美智子 (2011). 科学的探究・問題解決・意思決定のプロセスを通して育成する統計的思考力. 日本科学教育学会誌科学教育研究, 35 (2), pp.71-83.
- Bosch, M., & Winsløw, C. (2016). Linking problem solving and learning contents: the challenge of self-sustained study and research processes. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 35 No.3, pp. 357-401.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of didactical situations in mathematics: Didactique des mathématiques 1970 - 1990*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chevallard, Y. (2002). Les TPE comme problème didactique. In T. Assude & B. Grugeon (Eds.) *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2001* (pp. 177-188). Paris: IREM de Paris 7 et ARDM.
- Chevallard, Y. (2004). Vers une didactique de la codisciplinarité. Notes sur une nouvelle épistémologie scolaire. *Journées de didactique comparée*, (Lyon, mai, 2004). (<http://yves.chevallard.free.fr>)
- Chevallard, Y. (2009). La notion de PER: problèmes et avancées. Texte d'un exposé présenté à l'IUFM de Toulouse le 28 avril 2009. (<http://yves.chevallard.free.fr>)
- Winsløw, C., Matheron, Y., & Mercier, A. (2013). Study and research courses as an epistemological model for didactic. *Educational Studies in Mathematics*, 83(2), pp.267-284.