

# 理解深化を促進する協調問題解決活動による問いの生成支援 —学校外の科学教室におけるSTEM授業を例に—

Question-generation through collaborative problem solving in STEM classes for conceptual change

齊藤 萌木・飯窪 真也・堀 公彦

東京大学高大接続研究開発センター

本研究では、問いの生成支援という側面に着目し、STEM教育における協調問題解決活動の効果的な活用のあり方について知見を得ることを目指す。目的の達成のために、小6・中1を対象とした学校外の科学教室において、「知識構成型ジグソー法」を用いて4つのSTEM授業を実践し、児童生徒に授業前後に本時の課題への解答を書かせると共に、授業後に見えてきた問いを記述させる実践研究を行った。1) 理解深化, 2) 問いの生成数, 3) 問いの内容, 4) 生成した問いと授業デザインとの関係という4つの観点から児童生徒の学習成果を分析した結果、教師が設定した課題を協調的に解決させる授業によって児童生徒の理解深化を促進することで、児童生徒の問いの生成を効果的に支援しうることを確認できた。一方で、児童生徒が生成する問いの個数や内容は授業によって異なり、問いの生成と授業デザインの関係については継続的な研究が必要であることが示唆された。

キーワード：質問生成, 協調問題解決, 知識構成型ジグソー法, 科学的探究

## 1. 主題の設定

本研究の目的は、学習者が自ら問いを見出すのを助ける「問いの生成の支援」という側面に着目し、STEM教育における協調問題解決活動の効果的な活用のあり方について知見を得ることである。

STEM教育は、Science・Technology・Engineering・Mathの教育の充実を国策として推進するために米国で用いられてきた概念であるが(NSTC,2013)、近年では、理数教育を、「科学的知識の実践」とおして資質・能力を育成する教育としてとらえ直す視点を提供する概念として日本においても注目されるようになってきている(松原・高阪, 2017)。ここでいう資質・能力とは、科学的知識とスキルを結びつけて探究や課題解決を進める力と位置づけられている。

こうした資質・能力を育成する観点から、STEM分野の教育実践において重要視されているのが、協調問題解決活動の活用である。米国においても、STEMの授業実践は「講義と『料理本方式』の実験・観察指導による正しい知識や思考法等の教授」から、協調問題解決活動を中心とした学習形態へと移行しつつある(Songer & Kali, 2014)。

協調問題解決活動の効果が注目されるようになった背景には、構成主義(Inhelder & Piaget, 1958)

の研究をとおして、科学の概念の深い理解と「科学的探究の過程」で求められるような高次の資質・能力が、人やモノとの相互作用の系統的な繰り返しをとおして、統合的に育っていくものであるという証拠が蓄積されたことがある(Karplus,1977; Brown, et.al., 1998; Songer,2006)。科学的探究とは、問いの生成と解決のサイクルをとおして説明モデルを構築し吟味するプロセスであり、こうしたプロセスを遂行する力の育成はSTEM教育において育成が目指される資質・能力の肝となるものである(NSTC,2013)。

他方で、1コマの授業あるいは単元のデザイン全体の中で、STEMの授業に協調問題解決活動をどのように位置づけるかについての具体的な指針は十分ではない。特に、協調問題解決活動を授業に取り入れる際に、学習者自身による問いの生成をどう支援するかは、しばしば難しい課題である。

例えば、資質・能力の育成を目指す日本の理科や数学の授業においては、学習者が見出した問いをもとに課題を設定し、対話しながら解決していくデザインが、1つの典型となっている(文部科学省,2008; 広島県教育委員会, 2017)。こうしたデザインでは、協調問題解決活動の最初に、驚き(=認知的不調和)を喚起する実験や事例を提示して児童生徒の疑問を引き出すなど、様々な支援方略によって問いの生成

を支援しようとしている。

しかし、既に先行研究において繰り返し指摘されているように、認知的不調和を喚起する方略を用いても、全ての児童生徒が教師の意図どおり驚きを自覚し、質の高い問いを見出すことは難しい (Chinn & Brewer, 1993)。そこで、ともすれば誰かから意図どおりの問いが出てくるまで、教師が誘導的な声かけを繰り返すような状況が生じることもある。

一方、問いの生成のプロセスやメカニズムを検討してきた認知科学の研究に目を向けると、「主題についてより深い理解につながる問いは、その主題についてある程度理解が深まってきたときに生まれやすい」ということが兼ねてより知られている (Miyake & Norman, 1979)。

主題に関する理解深化を促すことが、問いの生成支援になることは、STEMの授業における問いの生成支援方略に関する教育心理学研究からも示唆される。例えば瀬尾 (2005) は、数学の問題解決過程において、「問題文を数式で表させる」「関連する公式や定理を教科書で調べる」といった方略が、主題の内容理解に関する質問の生成量を増加させることを示した。また坂本ら (2016) は、小学校の理科の授業において、科学の原理・法則を適用範囲も含めて深く理解することを促す単元スパンのはたらきかけが、科学的原理・法則に基づく問いを生成できるようになることを示した。これらはいずれも、学習者の教科内容の理解深化にはたらきかけることによって、より深い科学的探究の萌芽となる問いを生成させた事例と位置づけることができる。

ただし、先行研究においては、STEMの授業における協調問題解決活動の導入と問いの生成支援の関係については明確な知見は示されていない。そこで、本研究では、協調問題解決活動に児童生徒に従事させることそのものが問いの生成支援になるという可能性に着目したい。

先行研究が示唆するように、理解深化を促す支援が同時に問いの生成支援として機能するならば、主題に関する理解深化を促す協調問題解決活動をデザインできれば、より多くの児童生徒が教科内容の理解深化につながる問いを自分で見出しやすくなると考えることができる (三宅, 2016)。

実際に、米国におけるSTEM分野の授業実践では、単元の最初に学習活動を駆動させる「駆動質問」を提示し、関連する実験や事例を協調的に探究する「課題

解決型学習」が問いの生成を含む科学的探究のスキル育成に対して有効であることを示す事例もある (Krajcik & Shin, 2014)。こうした例を参考にすれば、教師の設定した課題の協調的解決の先に自分たちの問いたい問いを見出させるような授業デザインが、結果としてより多くの児童生徒の自然な問いの生成を促し、より質の高い次の学びを生み出す可能性が指摘できる。

以上より、本研究では、コンテンツについて理解深化を目指して教師が設定した課題を協調的に解決する授業において、児童生徒が課題解決を通じてコンテンツについて理解を深めるとともに、次の学びにつながる問いを自分たちで見出すことができるかを確認する実践研究をとおして、研究目的の達成を目指す。

なお、以下、問題に関する語として、「問い」と「課題」を使い分ける。「問い」という語は、その問題を意識している人がまだ解の見通しを明確な言葉にできないような疑問や気づきを意味する語として用いる。対して、「課題」という語は、何らかの解の見通しを伴って意識される問題を意味する語として使用する。例えば、授業の際に教師から提示される問題は教師が何らかの解を期待して提示するものなので「課題」、これに対して、課題の解決過程で生まれる疑問などは「問い」と呼び分ける。

## 2. 研究の手順

本研究では、以下の2つの課題を解決することによって、STEM教育における協調問題解決活動の効果的な活用のあり方について知見を得ることを目指す。

課題1) 理解深化を促す協調問題解決活動に学習者に従事させることが、学習者が次の学びにつながる問いを生成するための支援となるかを確認すること  
課題2) 課題1をふまえ、授業のデザインと生成される問いの数や内容にどういった関係があるかを検討すること

研究の手順を以下に示す。

手順1: 「知識構成型ジグソー法」の手法を用い、STEMの一分野である科学のコンテンツについての理解深化に主眼を置いた授業をデザインする (4実践分)。

手順2: 授業を実践し、児童生徒に本時の課題への解答 (授業前後) と今日の授業で「疑問に思ったこと/

もっと知りたくなったこと」(授業をとおして見えてきた問い)を記述させる。

手順3:「分析1 理解の深まり」,「分析2 問いの生成数」,「分析3 生成した問いの内容分類」,「分析4 生成した問いと授業デザインとの関係」4つの分析を行う。分析1～3により,「教科内容の理解深化を目指して教師が設定した課題を協調的に解決する授業をとおして,児童生徒は,課題解決をとおして教科内容について理解を深めるとともに,次の学びにつながる問いを自分たちで見出すことができるか」を確認する。分析4により,授業のデザインと生成される問いの数や内容にどういった関係があるかについて検討する。

本研究では,理解深化を促進する協調問題解決活動を取り入れた授業法として,「知識構成型ジグソー法(KCJ)」(三宅,2011)を用いた。KCJとは,図1に示す5つのステップで協調問題解決活動を設定する授業手法である。この手法では,各学習者が課題に対して「異なる視点や考え」を持っている状況を明示的に作り(エキスパート活動),児童生徒がよりよい答えをつくるためお互いに持っている考えを「伝えたい」「聞きたい」と実感しやすい状況の中で問題解決を行う(ジグソー活動)。「伝えたい」「聞きたい」実感を持った学習者間の対話のなかで,「異なる視点や考え」を組み合わせ,行きつ戻りつしながらよりよい答えをつくり上げていく「一筋縄ではいかない」プロセスを生まれやすくし,協調問題解決活動を理解深化に結びつきやすくすることが意図されている(東京大学CoREF,2018)。

実際にこうした意図がSTEMの授業実践においても実現することは,東京大学CoREFと自治体との連携による大規模実践研究プロジェクトによる1000以上の事例研究をとおして既に検証されている(東京大学CoREF,2018)。そこで,今回の実践研究でもKCJを用いた。

また,本研究においてKCJを使う利点として,授業前後に本時の課題について一人ひとりが自力で答えを出してみるステップが組み込まれている点がある。分析1では,この利点を活かし,授業前後に児童生徒が出した答えを比較することによって,授業をとおして主題とする教科内容についての理解がどのように深まったかを見とることを試みる。これにより,理解の深まりの度合いと生まれる問いの数や中身の関連について明確な知見を得やすくなる。

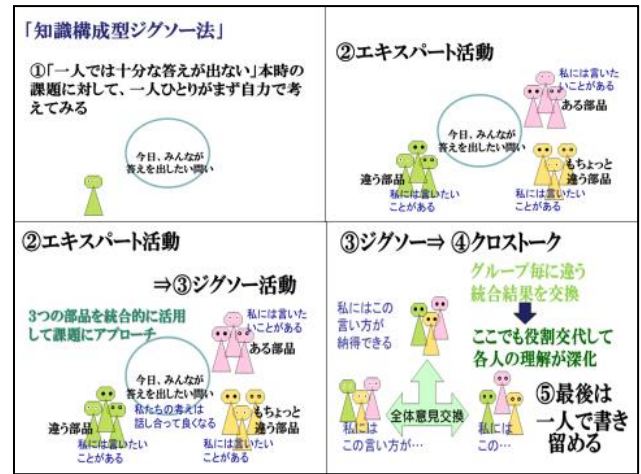


図1「知識構成型ジグソー法」(東京大学CoREF,2018)

加えて,本研究では,KCJの授業をデザイン・実践し,実践後に今日の授業で「疑問に思ったこと/もっと知りたくなったこと」を記述させるという手順によって,児童生徒の協調学習とそれに伴う問いの生成を引き出して見とる機会を設定した。分析2～4では,この機会から得られたデータを授業デザインと関連づけて分析する。教師がデザインした協調問題解決活動においても,協調学習を引き起こすことで,児童生徒が教科内容について理解を深めるとともに,次の学びにつながる問いを自分たちで見出せることを確認する。

### 3. 授業デザインの概要

授業は,月1回開催する学校外の科学教室において行った。4つの授業のデザインの概要を表1～4に示す。4つの授業の主題はどれも,STEM教育において重要視される「科学的知識の実践」(松原・高阪,2017)の要素を含むものである。

表中の項目のうち「日時/対象」は授業を実践した日付と授業を受けた児童生徒の学年と人数である。

「課題」は,「本時にみんなで答えを出してみる問い」である。図2のステップに即して言えば,授業の前に各自が自力で考えてみて(①),③のジグソー活動において協調的に探究し,最終的に各自で納得のいく答えを出してみる(⑤)課題ということになる。課題は,授業の最初に,教師から児童生徒へ向けて,動画や演示等も用いて丁寧に提示された。

「期待する解答の要素」は,授業後の課題に対する解答に含まれてほしい知識として,授業のねらい

をもとに設定した。授業において児童生徒に提示されたわけではなく、授業をとおして出てくる解の評価規準をあらかじめ明らかにしておくために授業デザインの段階で準備されたものである。

#### 4. 分析

本節では、4つの実践事例について、理解の深まり、問いの生成数、生成した問いの内容分類、生成した問いと授業デザインとの関係という4つの観点から分析を行う。分析により、教科内容の理解深化を目指して教師が設定した課題を協調的に解決する授業において、児童生徒が、課題解決をとおして教科内容について理解を深めるに伴って次の学びにつながる問いを自分たちで見出すことができるかを確認する。併せて、授業のデザインと生成される問いの数や内容にどういった関係があるかを検討する。

##### 4.1. 理解の深まり：授業前後の課題に対する解答の変化（分析1）

分析1では、授業前後の課題に対する解答の変化から各授業における児童生徒の理解の深まりの様子を確認する。

授業前後の解答の分析は、表1～4中の「期待する解答の要素」への言及に着目し、筆者2名が協議のうえで行った。「授業前」は教師が課題を提示した時点で各自がワークシートに書いた解答（文と図）を、「授業後」はエキスパート活動、ジグソー活動、クロストークを経て最後に各自がもう一度ワークシートに書いた解答（文と図）を分析対象とした。

分析例を表5に示す。これは「酸と塩基」の授業を受けた児童（同一人物）の授業前後の課題への解答を分析したものである。解答と「期待する解答の要素」を対照すると、授業前の解答には4つの「期待する解答の要素」への言及と見られる記述が1つも含まれないのに対し（要素数0）、授業後には4つの「期待する解答の要素」への言及と見られる記述が含まれていると分析できる（要素数4）。例えば「めんにつくまれているかん水」という記述と、「かん水＝アルカリ性」という記述は、「中華麺にはアルカリ性を示す成分が含まれる」ことへの言及とみなすことができる。

こうした分析を全員について行った結果として、4つの授業実践それぞれの授業前後の解答における

「期待する解答の要素」への平均言及数（以下、「平均要素言及数」）を表6に示した。

表6から、児童生徒の理解の深まりについて3点を指摘したい。1点目にどの授業でも児童生徒の多くが授業をとおして理解を深めたこと、2点目に課題の難度は授業によって異なること、3点目に授業をとおしての理解深化の幅は授業によって異なることである。

1点目については、4つの授業全てにおいて、授業前よりも授業後のほうが「平均要素言及数」が多いところから、どの授業でも、授業後に授業を受ける前に比べて「期待する解答の要素」をふまえた解答を書けた児童が多いことがわかる。このことから、全ての実践で、授業をとおして課題について理解を深めた児童生徒が多かったと解釈できる。

他方、授業前の「平均要素言及数」に着目すると、「酸と塩基」「電話の仕組み」では授業前から1.1の要素が言及されていたのに対し、「電磁誘導」「滑車の働き」では要素への言及がほぼない。授業前に「期待する解答の要素」への言及が少ない後2者は比較的難度の高い課題だったといえる。

また、授業前後での「平均要素言及数」の変化の幅に注目すると、「電磁誘導」で特に変化の幅が大きく、「電話の仕組み」で特に小さい。この結果から、「電磁誘導」の授業では授業内での理解深化の度合いが大きく、「電話の仕組み」では相対的に小さくならなかったとみなせる。

##### 4.2. 問いの生成数：今日の学習で「疑問に思ったこと/もっと知りたくなったこと」の個数（分析2）

分析2では、今日の学習で「疑問に思ったこと/もっと知りたくなったこと」に記載された問いの個数から、授業をとおして児童生徒が問いを自分たちで見出すことができたかを確認する。分析の対象としたのは、授業後に本時の課題に対する答えを各自で記入するワークシートに設けられた「今日の学習で疑問に思ったことやもっと知りたくなったことを書いてください」という欄の記述（文と図）である。授業中、児童生徒には、必ずこの欄を埋めるようには指示しておらず、「疑問に思ったことや知りたくなったことが特になければ書かなくてもよい」という指示でワークシートを配っている。

各授業で生成した問いの個数についての分析結果を表7に示す。上段に1授業あたりにクラス全体で生まれた問いの総数、下段には、それぞれの授業で

表1 「酸と塩基」の授業デザイン

対象	小学6年生(8名)
課題	①紫キャベツでヤキソバを作ります。そのまま作ったら、緑色になりました。それはなぜでしょう？ ②赤色にするには、どんな調味料を入れればいいでしょう。それはなぜでしょう？
期待する解答の要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・紫キャベツの色素アントシアンは、酸性で赤色、中性で紫色、アルカリ性で青・緑色に変化する</li> <li>・中華麺にはアルカリ性を示す成分が含まれる</li> <li>・レモン汁や酢は酸性を示す</li> <li>・酸性とアルカリ性は中和するが、酸性を更に多く加えると酸性を示すようになる</li> </ul>

表2 「電磁誘導」の授業デザイン

対象	中学1年生(9名)
課題	電磁調理器の上に導線につないだ豆電球をのせたとき、流れた電流はどのようにして発生したのだろうか？
期待する解答の要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁調理器内のコイルには、一定周期で向きが変わる交流電流が流れている</li> <li>・電磁調理器内のコイル周辺には電流の向きの変化に応じて向きが変わる磁界が発生する</li> <li>・向きが変わる磁界の発生に応じ、電磁調理器上の導線には誘導電流が流れる</li> </ul>

表3 「滑車のはたらき」の授業デザイン

対象	小学6年生(5名)
課題	動滑車や定滑車を使うと、どんなことが起こるでしょう？
期待する解答の要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動滑車を使うと、少ない力でものを同じ高さまで持ち上げることができるようになる</li> <li>・動滑車を使うと、ひもを引く距離は、直接持ち上げたときより長くなる</li> <li>・定滑車を使うと力を加える向きを変えることができる</li> </ul>

表4 「電話の仕組み」の授業デザイン

対象	中学1年生(7名)
課題	電話はどのようにして声を遠くまで伝えるのだろうか？
期待する解答の要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・声(音)の正体は空気の振動である</li> <li>・電話器内では、空気の振動と電気を変換している</li> <li>・空気の振動を電気に変えると遠くまで速く届く</li> <li>・電気は途中で弱まるが、各地の電話局で増幅される</li> </ul>

表5 授業前後の解答の分析例(「酸と塩基」より) ※原文ママ

	授業前	要素数	授業後	要素数
課題①	むらさきキャベツのせい分がヨウ素液のような働きをして、めんの中のでんぷんの色が変わった。	0 / 4	<u>めんにふくまれているかん水が、アントシアンのせいしつで、青、緑系の色にへんかしたから。</u> <u>かん水=アルカリ性</u> <u>アルカリ性=青・緑系</u>	4 / 4
課題②	す：なんとなく		<u>す、レモン汁：中和の性しつを利用して、す、レモン汁をすこしずつくわえていくと赤色になるから。</u>	

表6 授業前後の「期待する解答の要素」への言及数の平均（個）

授業	酸と塩基 (要素の数 4)		電磁誘導 (要素の数 3)		滑車のはたらき (要素の数 3)		電話の仕組 (要素の数 4)	
	授業前	授業後	授業前	授業後	授業前	授業後	授業前	授業後
解答場面								
要素言及数の平均	1.1	3	0.1	2.3	0.2	1.6	1.1	2.4

表7 それぞれの授業をとおして生まれた問いの個数

授業	酸と塩基 (N=8)	電磁誘導 (N=9)	滑車のはたらき (N=5)	電話の仕組 (N=7)	平均
総数	6	16	3	11	9
個/人	0.75	1.8	0.6	1.6	1.2

表8 授業をとおして生まれた問いの内容分類カテゴリと例

カテゴリ	サブカテゴリ	定義	例(原文ママ)
1 確認		本時に提示した資料等の不明点を確認しようとする問い	モジュージャックの仕組をもっと知りたい
2 深化	2a 解の妥当性検証	本時の課題の解そのもの妥当性を検証しようとする問い	本当に中で電磁誘導がおきているのか
	2b 解成立の理由追究	本時の課題の解がなぜ成立するのかを追究しようとする問い	電気はどうやって言葉（注：音声としての言語）に変化したのかをもっとしりたい
3 適用		本時の課題の解を別の条件や題材に適用しようとする問い	定滑車と動滑車を例えば10個にしたりしたらどうなるのか 家でいろいろな物を入れてカラフルなやきそばを作れるか
4 発展		本時の課題の解を前提に、課題と別領域の知識や経験を関連付けようとする問い	電線を通る電波もフレアの影響を受けるのか

表9 授業をとおして生成した問いの内容分類

	酸と塩基 (N=8)	電磁誘導 (N=9)	滑車のはたらき (N=5)	電話の仕組 (N=7)
1 確認	0	1	0	3
2 深化	2a 解の妥当性検証	0	3	0
	2b 解成立の理由追究	2	7	2
3 適用	6	3	3	3
4 発展	0	2	0	3

表10 課題の難度、理解深化の度合いと問いの生成の関係

	酸と塩基	電磁誘導	滑車のはたらき	電話の仕組
授業前の要素数 (=小さければ課題の難度が高いと見なす)	1.1 / 4 (27.5%)	0.1 / 3 (3.3%)	0.2 / 3 (6.7%)	1.1 / 4 (27.5%)
要素数の変化 (=大きければ理解深化が大きいと見なす)	1.9 / 4 (47.5%)	2.2 / 3 (73.3%)	1.4 / 3 (46.6%)	1.3 / 4 (32.5%)
問いの生成 (個/人)	0.75	1.8	0.6	1.6

1人あたり平均何個の問いが生まれたかを示した。

表7から、2点を指摘する。1点目に、問いが生まれなかった授業はなく、4授業の平均では1人1問以上の問いが生まれている点である。どの授業でも半数以上の児童生徒が、協調問題解決活動をおとした理解の深まりに伴い、問いを見出していた。

他方、2点目として、生まれた問いの数には授業によって差があることも指摘できる。「電磁誘導」・「電話の仕組」では、1人あたり1つ以上の問いが生まれているのに対し、「酸と塩基」・「滑車のはたらき」では、それほど多くの問いは生まれていない。参加人数等を考慮しても、授業によって問いが多く生まれやすい授業と相対的に問いが生まれにくい授業があったとすることができる。

#### 4.3. 生成した問いの内容：今日の学習で疑問に思ったこと/もっと知りたくなったことの内容（分析3）

続いて、分析3として生成した問いを内容に着目して分類する。ここでは、問いと本時の課題との関係に即して、表8の4つのカテゴリを設定した。認知科学研究では、人の学びを課題解決に伴う理解深化のサイクルからなるプロセスとみなしている

(Bransfordら, 2001 ; Griffinら, 2012 ; 国立教育政策研究所, 2016)。こうした知見に即せば、1つの学習活動を基点に考えたときの「次の学び」とは、1つの課題にいったん解を見出し、さらにその一歩先を志向して進む学びであると説明することができるだろう。したがって、「次の学びにつながる問い」とは、その日の課題にとりあえず納得しうる解を見出して一歩先へ向かう学びの萌芽、次のゴールへ向かう学びの出発点になりうる問いと位置づけることができる。その際、「一歩先」の方向性は、一旦出してみた解及びその前提情報の確認や妥当性の検証のようにコンテンツ内ということもありうるし、解の別の題材への適用や他の領域との関連づけなどコンテンツ外へ向かうことも考えられる。そこで、今回は「確認」「深化」「適用」「発展」の4カテゴリによって問いの内容分類を試みた。内容分類は、筆者のうち2名が協議のうえで行った。

4つの授業において生まれた問いを表8の内容分類カテゴリに沿って分類した結果を表9に示す。

いずれの授業でも「次の学びにつながる問い」の生成が確認できた。他方、問いの生成数が比較的小なかった2つの実践、「酸と塩基」・「滑車のはたら

き」では、生まれた問いが「適用」に該当するものに偏っているという共通の特徴が見出された。対して問いの生成数が多かった「電磁誘導」・「電話の仕組」では、全てのカテゴリに該当する問いが生まれている。もちろん、総数が多いほうが該当数0のカテゴリが生じる確率は下がるが、だとしても、「酸と塩基」・「滑車のはたらき」の2授業において、生まれた全ての問いが「本時の課題の解を別の条件や題材に適用しようとする」内容だったということは、特徴的なことだと言えるだろう。

#### 4.4. 生成した問いと授業デザインとの関係（分析4）

4つの実践事例では、児童生徒が課題解決をとおして教科内容について理解を深めるとともに、次の学びにつながる問いを自分たちで見出していた。

他方、児童生徒が生成する問いの個数や内容は、授業によって差があった。「電磁誘導」・「電話の仕組」では、1人あたり1つ以上の問いが生まれており、内容も多様だったのに対し、「酸と塩基」・「滑車のはたらき」では、それほど多くの問いは生まれておらず、内容も「適用」に偏っていた。

これらの結果から授業デザインと問いの生成との関係についてどのようなことが言えそうだろうか。

単純な仮説としては、例えば「児童生徒にとって課題の難度が高く、理解の深まりの幅が大きい授業のほうが、やはり探究中に疑問も多く湧くだろうから、問いが生まれやすいのではないか」あるいは「授業中により理解が深まった授業の方が問いが生まれやすいのではないか」ということが考えられる。

そこで、児童生徒にとっての課題の難度及び本時を通じての児童生徒の理解深化の度合いと問いの生成数を対応し、表10に示す。

ここでは、児童生徒にとっての課題の難度を授業前の段階で言及できた「期待する解答の要素」の数で、本時を通じての理解深化の度合いを授業の前後で児童生徒が言及できた「期待する解答の要素」数の変化で推定することとする。

表10からは、特に疑問が多く生まれた2つの授業のうち、「電磁誘導」は児童生徒にとっての課題の難度、理解深化の度合い、共に高い授業であった。一方、「電話の仕組」は児童生徒にとっての課題の難度、理解深化の度合い、共に低い授業であったことが指摘できる。この結果からは、授業デザインと問いの生成について、上記のような単純な仮説は成り立ちにくいことが分かる。

## 5. 結論

### 5.1. 分析結果のまとめ

分析結果に基づき、STEM教育における協調問題解決活動の効果的な活用のあり方について得られた知見を3点にまとめて示す。

1点目は、「教科内容の理解深化を目指して教師が設定した課題を協調的に解決する授業において、児童生徒は、課題解決をとおして教科内容について理解を深めるとともに、次の学びにつながる問いを自分たちで見出すことができる」という仮説は、STEMの授業における協調問題解決活動の効果的な活用を考える際、引き続き検討するに値する仮説であるということである。本研究で分析できた事例数は少ないが、KCJを使った4つの授業では、どの授業においても児童生徒の半数以上が、教師が提示した課題に対する協調問題解決活動を通じて理解を深めるとともに、「問い」を生成することができた。また、協調問題解決活動をとおして児童生徒が生成した「問い」は「次の学びにつながる」内容であった。

2点目は、児童生徒が生成する問いの個数や内容は、授業デザインによって変わるということである。本研究で扱った4つの授業のうち「酸と塩基」及び「滑車のはたらき」では、児童生徒が見出した問いの個数が少なく、内容も「解を別の条件や題材に適用しようとする」方向に偏っていた。それに対し、「電磁誘導」及び「電話の仕組み」では、児童生徒が見出した問いの個数が多く、内容も多様であった。4つの授業は、どれもKCJという共通の手法を使ったが、児童生徒に提示する課題や、期待する解答の要素の性質、提示した資料など、授業の具体的なデザインはそれぞれ異なっていた。こうした授業デザインの諸要素が、児童生徒の生成する問いの個数や内容に影響していたと考えられる。

3点目は、本研究で扱った4つの授業において、児童生徒が生成する問いの個数や内容は異なっていたものの、問いの生成と児童生徒にとっての課題の難度や本時における理解深化の度合いとの間に単純な関係は見られなかったということである。本研究では、「酸と塩基」及び「滑車のはたらき」の2授業と、「電磁誘導」及び「電話の仕組み」の2授業との間で、問いの個数や内容について異なる傾向を確認できた。しかし、前者2授業と後者2授業の授業デザイン上の特徴を比べても、「難しい課題を出したほうが、課題解決をとおして生まれる問いの個数が多い」のよ

うな単純な原則を見出すことはできなかった。

### 5.2. 考察

では、課題の難度や理解深化の度合いと問いの生成との間に単純な仮説が成り立たないとすれば、何が問いの生まれ方に影響しているのだろうか。この点を検証することは、今後の課題である。

以下では、仮に、授業のデザインにおいて「期待する解答の要素」として設定された知識が、授業を受けた児童生徒にとって知覚的に実感しやすいかどうかによって、生まれる問いの個数や内容が左右されるという仮説を提示し、4つの授業のうち、それほど多くの問いが生まれず、その内容も「適用」に偏るといった共通の特徴を持っていた「酸と塩基」・「滑車のはたらき」の2つの実践に焦点を当てて考察する。これにより、今後の研究の指針を得たい。

表10に示すように、課題の難度の点では、2つの授業デザインの特徴は異なっている。そこで、もう少し違う視点から表1～表4の授業デザインを見直してみると、「酸と塩基」・「滑車のはたらき」に共通する特徴として、「期待する解答の要素」の性質が近いことを指摘できる。2つの授業において「期待する解答の要素」として設定されているのは、どちらも、五感をとおして知覚的に実感しやすい知識が中心である。それに対し、「電磁誘導」・「電話の仕組み」の授業における「期待する解答の要素」は、知覚的に実感しづらい内容が多いと言える。

だとすると、例えば、「酸と塩基」・「滑車のはたらき」では、「期待する解答の要素」が知覚と結びつきやすいものであったために、児童生徒がねらう解を出せたときに、「この課題についてはもうこれ以上探究の必要がない。わかった」という実感を持ちやすく、児童の関心は「解を別の条件や題材に適用しようとする」方へ集中し、その結果、問いの総数も少なかったと考えることができる。

対照的に、「電磁誘導」・「電話の仕組み」の授業では、「期待する解答の要素」が知覚的な実感と結びつきづらい分、同じように「期待する解答の要素」を踏まえた解答を出せるようになってきた段階でも、「本当にそうか?」「なぜこういう解になるのだろうか?」という感覚を持ちやすい傾向があり、解成立の理由や、別領域の知識や経験との関係が気になり、その結果問いが多く生まれ、内容も「深化」や「発展」など多様などを含む多様なものになった、と考えてみることはできるのではないだろうか。



### 5.3. 実践への示唆

本研究からは、STEM教育の実践の充実に向けては、具体的な授業実践について、授業のねらいと授業デザイン、実データに基づく学習成果の把握を連動させた丁寧な実践研究の蓄積が重要であることが示唆される。以下では、分析結果をもとに、本研究から見てきた実践への示唆を3点提示する。

1点目に、学習の最初に課題を発見させるデザインに対し、教師が設定した課題に自分たちで納得のいく答えを作ってみるような授業デザインでも、児童生徒一人ひとりがやりとりをとおして自分の考えの質を自分で上げていく理解深化の促進に留意することによって、結果としてより多くの児童生徒の自然な問いの生成を促し、より質の高い次の学びを生み出せる可能性が示唆される。

2点目に、「問いの生成を促す」という協調問題解決活動の機能を有効活用するためには、理解深化を促進する協調問題解決活動を授業に取り入れるだけでは必ずしも十分でなく、どんな「期待する解答の要素」を設定して、どんな課題を提示し、どんな手がかりを与えれば、ねらうポイントで次の学びにつながる問いが生成されそうか、授業の具体的なデザインを検討する必要があることが示唆される。

3点目に、「問いの生成は授業デザインによって変わる」というとき、「どういう授業デザインが、児童生徒の見出す問いの個数や内容にどういう影響を及ぼすのか」という問題は、一筋縄では解決できない問題だということが示唆される。

なお、「どういう授業デザインが、児童生徒の見出す問いの個数や内容にどういう影響を及ぼすのか」という課題について研究を継続する際には、「児童生徒が質の高い問いを多く見出すための最適な授業デザインの同定」というようなゴールを目指す研究とは異なるスタンスが必要になるだろう。それは、どのくらいの数、どんな内容の問いが生まれる授業が望ましいかという規準そのものが、その授業で育成を目指す資質・能力によって変わりうるものだからである。

表9に示したように、「酸と塩基」及び「滑車のはたらき」では、児童生徒が見出した問いの内容が「解を別の条件や題材に適用しようとする」方向に偏っていた。それに対し、「電磁誘導」及び「電話の仕組み」では、児童生徒が見出した問いの個数が多く、内容も多様であった。しかし、上述のように規準そのものが

変わると考えると、こうした違いも絶対的な「優劣」と言えるものではないということになる。

先行研究では、STEM教育の目標となる資質・能力が、活用範囲によって「教科に固有な概念や個別スキル」「教科等を横断する概念や汎用的スキル」、「実世界での課題を解決する能力」と整理されている（松原・高阪, 2017）。この整理に即するならば、どの資質・能力に焦点を当てるかによっても、授業において児童生徒に生成させたい問いの内容は変わってくると言える。

例えば「教科に固有の概念や個別スキル」に焦点を当てる授業ならば、主題そのものの理解を着実に深めていくことに資する問いの生成が期待されると言える。本研究の内容分類で言えば「確認」や「深化」に該当するような問いがこれにあたるだろう。対して「教科等を横断する概念や汎用的スキル」を射程とするならば、本時の内容と別の内容の關係に着目する発展的な探究につながるような問いの生成が中長期的スパンでの目標達成に貢献すると考えられる。本研究の内容分類では「適用」や「発展」に該当するような問いがこれにあてはまるだろう。

### 謝辞

本研究で題材とした授業は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）「ジュニアドクター育成塾」の企画の一環として実践した。また、研究の遂行に際し、第一・二筆者に対する科研費基盤研究S17H06107の助成を受けた。

### 参考文献

- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (1999/2000) *How people learn: Brain, mind, experience, and school*, National Academy Press, Washington, D.C. (森敏昭・秋田喜代美監訳 (2002) 授業を変える: 認知心理学のさらなる挑戦, 北大路書房, 京都.)
- Brown, A., Ellery, S., & Campione, J.C.(1998) Creating zones of proximal development electronically. In Greeno, J.G. & Goldman, S.(Ed.), *Thinking practices in mathematics and science learning*, Lawrence Erlbaum Associates, NJ.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993) The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for

- science instruction, *Review of Educational Research*, 63, pp.1-49.
- Griffin, P., McGaw, B. & Care, E. (2012) *Assessment and teaching of 21st century skills*, Springer-Verlag, NY. (三宅なほみ監訳 益川弘如・望月俊男訳 (2014) 21世紀型スキル-学びと評価の新たなかたち, 北大路書房 京都.)
- 広島県教育委員会 (2017) 小学校及び中学校『課題発見・解決学習』実践のための事例集, 広島県教育委員会.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958) *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*, Basic Books, New York.
- Karplus, R.(1977) Science teaching and the development of reasoning, *Journal of Research in Science Education*, Vol.14, No.2, pp.169-175.
- 国立教育政策研究所編 (2016) 資質・能力 理論編, 東洋館出版社, 東京.
- Krajcik, J.S. & Shin, N. (2014) Project-based learning. In Sawyer, R.K. (Ed. ) , *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences Second Edition*, Cambridge University Press, New York.
- 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, *科学教育研究*, 41-2, pp.1-11
- 三宅なほみ (2011) 概念変化のための協調過程—教室で学習者同士が話し合うことの意味—, *心理学評論*, Vol.54, No.3, pp.328-341.
- 三宅なほみ (2016) 実践学としての教育工学へ, 大島純・益川弘如編, *教育工学選書II5 学びのデザイン: 学習科学*, pp.210—218. ミネルヴァ書房, 東京.
- Miyake, N. & Norman, D.A. (1979) To Ask a Question, One Must Know Enough to Know What is Not Known, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, pp.357-364.
- 文部科学省 (2008) 小学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編, 文部科学省.
- Committee on STEM Education National Science and Technology Council (NSTC) (2013) *FEDERAL SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND MATHEMATICS (STEM) EDUCATION 5-YEAR STRATEGIC PLAN*, Executive Office of the President, Washington, DC.
- 坂本美紀・山口悦司・村山功・中新沙紀子・山本智一・村津啓太・神山真一・稲垣成哲 (2016) 科学的な問いの生成を支援する理科授業-原理・法則に基づく問いの理解に着目して-, *教育心理学研究*, 64, pp.105-117.
- 瀬尾美紀子 (2005) 数学の問題解決における質問生成と援助要請の促進-つまずき明確化方略の教授効果-, *教育心理学研究*, 53, pp.441-455.
- Songer, N. B. (2006) BioKIDS: An animated conversation on the development of curricular activity structures for inquiry science, In R. Keith Sawyer (Ed.) *Cambridge handbook of the learning sciences* (pp.355-369). Cambridge University Press, NY.
- Songer, N.B. & Kali Y. (2014) Science Education and the Learning Sciences as Coevolving Species, In Sawyer, R.K. (Ed. ) , *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences Second Edition*, Cambridge University Press, NY.
- 東京大学 CoREF (2018) 自治体との連携による協調学習の授業づくりプロジェクト (平成29年度報告書), 東京大学CoREF. 東京.