

概念的理解の深化における既有知識の意義

教育内容開発コース 後藤 慎 弥

Significance of Prior Knowledge in Deepening Conceptual Understanding

Shinya GOTO

Results of international comparative surveys and other studies have shown that Japanese children have problems with conceptual understanding of the content they study at school. In order to overcome this problem, this paper discusses ways to promote children's deepening of conceptual understanding of subject matter in classroom situations. Since deepening conceptual understanding is the process of constructing conceptual structures and mental representations by linking various types of knowledge, including prior knowledge, this paper summarizes how prior knowledge has been treated in conceptual change research and deepening understanding research. In the conceptual change research, I will summarize the way in which prior knowledge is treated in Clement's explanatory model and in Carey's Quinian bootstrapping. In deepening understanding research, we review the findings of several studies on "collaborative inquiry learning" to promote deepening of conceptual understanding and its background and review the results of recent studies. Through the above, we will discuss the points that should be clarified in future research as the relationship between deepening conceptual understanding and prior knowledge.

目 次

- 1 はじめに
- 2 概念変化と既有知識
 - A. 説明モデルについての進化的アプローチ
 - B. ブートストラッピング
- 3 理解深化と既有知識
 - A. 概念的理解の深化を促進する授業デザイン：「協同的探究学習」
 - B. 利用する既有知識の違いによる概念的理解の深化の様相の違い
- 4 おわりに

引用文献

1 はじめに

日本の子どもたちの学力の特質として、手続き的知識・スキル (procedural knowledge) の水準は比較的高い一方で、概念的理解 (conceptual understanding) やそれに関連する思考プロセスの表現に課題があることが、PISA 調査などの国際比較調査や全国学力・学習状況調査の結果の分析から明らかになっている (藤村, 2012; 藤村・橘ら, 2018)。また、TIMSS2019の公開問題の分析 (国立教育政策研究所, 2021) を見てみると、多くの定型問題 (routine problem) については日本の

子どもたちの正答率は国際平均を上回っているものの、多様な知識を関連づけて推論を行う必要がある非定型問題 (non-routine problem) の中には、日本の子どもたちにとっての課題であるような問題が存在する。例えば、中学2年生対象に実施された「緑地と二酸化炭素の量」問題 (庭の数を増やすことが、空気中の二酸化炭素の量を減らすことにどのように役立つかを問う問題) では、日本の正答率は国際正答率よりも低い (日本: 41.8%, paper TIMSS: 43.7%, e TIMSS: 51.4%)。あるいは、同じく中学2年生対象に実施された「新聞の売り上げ」問題 (与えられたグラフをもとにして、登場人物の主張が誤りである理由を説明する問題) では、日本の正答率は国際正答率よりも高い (日本: 35.0%, paper TIMSS: 12.3%, e TIMSS: 17.5%) もの、その正答率は他の既習の問題と比べて低くなっている。これらの結果から、現代の日本の子どもたちは、学校で学習する様々な概念に関する概念的理解や、それをもとにした思考プロセスの表現に向上の余地があると推察される。

この課題を克服するためには、学校教育において子どもたちが学習内容に関する概念的理解の深化を達成する必要があると考えられる。それでは、概念的理解の深化は授業場面においてはどのようにして達成されるのだろうか。概念的理解とは、既有知識を含めた多

様な知識を結びつけて、概念構造や心的表象を構成するプロセスであり(藤村, 2012), 学習科学 (learning sciences) における「深い学習 (deep learning)」と対応づけることができる(藤村・橘ら, 2018)。Sawyer (2014) は、深い学習に必要な要件の1つとして、「学習者が自らの知識を、相互に関係する概念システムと統合することである」と指摘している。したがって、学習者が持つ既有知識 (prior knowledge) を授業場面で利用することが、概念的理解の深化を達成するような深い学習を授業場面で実現するための要件の1つとして挙げられるだろう。

それでは、授業場面において子どもたちの持つ既有知識をどのように利用すれば、学習内容に関する子どもたちの概念的理解の深化をより促進しうるのだろうか。本稿では、概念変化研究と理解深化研究のこれまでの知見を整理することで、それを明らかにすることを目的とする。具体的には、まず、人がいろいろな事象に関する知識枠組みを、他領域の事象の既有知識も用いた類推 (analogy) を通じて変化させていくプロセス(「説明モデルについての進化的アプローチ」や「ブートストラッピング」)についての概念変化研究の理論を整理する(2)。そして、多様な子どもたちの既有知識を利用して特定の概念に関する概念的理解の深化を促進することを目的とした教授・学習研究の知見を整理し、そこから分かることを明らかにすることで、授業場面で子どもたちの既有知識をどのように利用すれば、子どもたちの概念的理解の深化を促進しうるかを明らかにする(3)。そして最後に、概念的理解の深化と既有知識の関係性に関して、今後必要となる研究について考察する(4)。

2 概念変化と既有知識

概念変化 (conceptual change) に対しての認知的なアプローチには、理論アプローチと断片的知識アプローチという2つの立場が存在する(村山, 2011)。それらの関連については村山 (2011) が整理しているため、本稿では、子どもたちが発達させている知識の集まりがある程度の一貫性を持つ理論なのか、それとも状況毎に呼び起こされるような断片的知識なのかを議論することはしない。ただ、本稿は、概念的理解とは既有知識を含めた多様な知識を結びつけて知識の枠組みを再構成していくプロセスであるという立場にある。そのため、主として理論アプローチとして捉えられる概念変化研究を整理していく。特に、本校の目的

は授業場面で学習内容に関する概念的理解の深化を達成する方法を明らかにすることであるため、理論アプローチの中でも教科の学習に関連の深いものにおける既有知識の扱われ方を整理したい。以上の理由から、本稿では、村山 (2011) で紹介されていないClementの説明モデル (explanatory models) についての進化 (evolution) 的アプローチや、Careyのブートストラッピング (bootstrapping) における既有知識の扱われ方を整理することとする。

A. 説明モデルについての進化的アプローチ

Clement (1989) は科学において用いられる知識を、経験的であるか理論的であるかの観点から4つのレベル(レベル1: 観察から得られるデータ, レベル2: 経験的な法則の仮説: 観察で得たパターンに対する数学的または言語的表現, レベル3: 説明モデル, レベル4: 形式的原理)に分類している。例えば熱力学における気体分子の運動の領域では、加熱された気体中の単一の圧力の変化のデータがレベル1の知識、測定器で観測されたパターンである状態方程式 $PV=kT$ がレベル2の知識、衝突弾性粒子モデルがレベル3の知識(説明モデル)、熱力学の原理がレベル4の知識に相当する。すなわち、説明モデルとは、科学的現象が具体的にどのようなメカニズムで起きているかを説明するような知識である。また、レベル4の知識が必ずしもレベル3の知識を内包しているわけではない。形式的原理を表面的に知っていたからと言って、説明モデルが表現するような理論の意味や具体的なメカニズムを理解しているとは限らないからである。Clement (2013) は、説明モデルとは「理論が意味を持つための手段とみなされ、柔軟に使用されれば、理論に、その対象が見たことのない新しい事例を説明し、予測する力を与える」ものであり、この説明モデルをより精緻なものに変化させていくことが、最も重要な概念変化のタイプの1つであると考えている。

説明モデルを変化させるうえで重要な要素は、既有知識からの情報提供と新たな観察または思考実験による不整合 (dissonance) と制約 (constrain) である。Clement (2013) は、学習者が有する初期モデル (initial model) が、新たな観察または思考実験の結果を説明できない(不整合が生じる)場合にそれを説明できないという制約を受けたより精緻なモデルに変化するプロセスと、既有知識や類推事例からの情報提供によってより精緻なモデルに変化するプロセスの2種類が組み合わさって、最終的な説明モデルに進化していくと考

える。このような概念変化のアプローチを教師と生徒が使用する場合、教師は矛盾する質問をしたり類推の使用を促したり、生徒に説明を要求したりすることで、生徒はより洗練された説明モデルを構成していく(協同構成: co-construction)。

それでは、教師はその協同構成においてどのような介入を行えばよいのだろうか。Clement & Steinberg (2002) は、生徒が電気回路に関する説明モデルを精緻化させていくプロセスの分析を通して、複雑な説明モデルを構成するためには調整された「小さい」類推と「小さい」不整合を組み合わせるような教師の介入が重要であることを明らかにしている。この結果は、不整合単体では概念変化につながらないという指摘(Smith, diDessa & Roschelle, 1993) や、類推自体が自発的には起こりにくいこと(Gick & Holyoak, 1980) もふまえると、生徒自身が不整合の克服と類推を無理なくかつ自発的に行えるような教師の介入が概念変化において必要であることを示していると考えられる。

また、Clement (1989) は、専門家がモデル構築を行う際のプロトコルを分析することで、モデルが精緻化されていく過程にはモデルの生成(generation)、モデルの精緻化(evaluation)、モデルの修正(modification)の3つからなるサイクルがあることを明らかにした(GEMサイクル)。Clement (2013) は、「すべての科学モデルが、学習のために多くのGEMサイクルによる進化的アプローチを必要とするわけではない」と留保したうえで、対象のモデルが複雑であったり、複数の誤解が存在したりする場合には、モデル変化のためにGEMサイクルが有効であると主張している。その後、Williams & Clement (2014) は、高等学校の物理の授業場面における電気に関する説明モデルの教師と生徒たちとの協同構成過程の発話を分析することで、教師の発話のカテゴリーは、GEMカテゴリーの3つに加えて、観察(observation)の合計4つのマクロカテゴリーと、下位の15のミクロカテゴリー(例えばモデルの生成は、モデル構築の要求や提供、具体的な観察結果を説明するためのモデルの要素の要求や提供、モデルの新たな詳細の要求や提供、効果の空間的方向性の要求や提供、類推の要求や提供の5つのミクロカテゴリーが存在する)に分類されることを明らかにした。このような発話は、教師が単に精緻な説明モデルを教示するのではなく、生徒の持つ既有知識から出発して、かつ生徒自身が教師の発問をもとにしてより精緻なモデルを目指していくという点において、まさしく協同構成的な発話と考えられる。

以上をまとめよう。Clementの説明モデルの進化的アプローチでは、概念変化は科学的現象を説明する説明モデルの精緻化として捉えられる。そこにおいて重要なのは、生徒自身の既有知識から出発し、不整合の克服や類推といったプロセスを通じて、生徒と教師と精緻な説明モデルを協同構成していくことである。これにもとづけば、科学的概念に関する概念的理解の深化においても、生徒の既有知識をもとにして、教師と生徒が協同で知識の枠組みを変化させていくことが重要であると推察される。

B. ブートストラッピング

ブートストラッピングとは、先行する記号や概念がプレースホルダー(placeholders)として機能し、それらと後続する経験を関連づけることによって、より複雑な概念を構成していくプロセスである。Carey (2009) は、このクワイン的ブートストラッピング(Quinian bootstrapping; 以後、ブートストラッピング)が不連続な概念発達(discontinuous conceptual development)において重要な役割を果たす認知プロセスであると述べる。

ブートストラッピングの具体例を示そう。Carey (2009) は子どもが1, 2, 3, …という数の列の表象を獲得する過程をブートストラッピングで説明している。子どもが数の列の概念を理解するためには、1, 2, 3, …という数の列と、それを表す記号の列(“one”, “two”, “three”, …)を対応づける必要があり、かつその列自体が数を表象している(例えば新たな記号“eleven”を学んだ時にその意味を推論できるようになる)ことを学習する必要がある。子どもにとって“one”, “two”, “three”という記号の列は初め無意味な語彙の列である。子どもたちはこのような記号の列を学習する能力を持ち、それがのちに数の概念を構成するためのプレースホルダーとして機能すると述べる。そして、この記号は線の長さのような「連続的な大きさの表象」(analog magnitude representations)や、{i}, {j, k}, {m, n, o}という集合のような「増加する並列個体の表象」(representations of enriched parallel individuation)と類推的な写像(analogical mappings)によって関連づけられて、不連続的に数概念が構成されていく。これら2つの表象は「非演繹的なメカニズムであり、類推に気づいたり帰納的あるいはアブダクション的な飛躍をしたりする」点で、ブートストラッピングであるとCarey (2009) は述べる。1つめの表象が利用される場合には「数の列における後ろの数」と「連

統的な大きさによって表象されるより大きな数」の間で類推的な写像を用いる必要がある。2つ目の表象が利用される場合には「数のリストにおける次の数」と「集合に1つの要素が追加された状態」の間で類推的な写像を用いる必要がある。いずれの場合においても、子どもたちは連続する“one”, “two”, “three”という数字が、+1という操作と関連し、かつ数えていく中で出てくる数字がすべてそれと関連していることを帰納的に導くことを求められている。

Carey (2009) は概念変化の根底にブートストラッピングがあると述べる。例えば密度のような内包量に関する物理的理論 (PT: physical theory) を子どもたちが理解する際には、密度=質量/体積のような、有理数概念やその稠密性まで含んだ記数法 (NS: numerical system) の概念と、「この鉄球はこの大きいアルミニウムの球と同じ重さである」、「すべての物質は質量を持つ」といった主張がプレースホルダーとなる。生徒が密度概念と質量 (あるいは重さ) 概念を区別するまで、これらの数式や主張は既に表象された概念という意味で、良くて部分的に解釈されるにとどまる。認知的モデリングのプロセスが、数学的表象と物理的世界間の類推的な写像を構成しながらこれらのプレースホルダーに意味を与えていき、そして実験や限定的な場合に対して考察するようになる」と述べている。

以上とClementの説明モデルについての進化的アプローチの2つをふまえて、概念変化研究における既有知識の扱われ方を整理しよう。Clementの説明モデルについての進化的アプローチでは、子どもたちはある現象について説明するための初期モデルを持っている。その初期モデルを、不整合や類推を用いながら変化させていくプロセスを概念変化と捉えている。一方で、Careyのブートストラッピング理論においては、子どもたちが学習した記号や数式などの表象に意味があるとは限らず、後にそれがプレースホルダーとして機能して、既有知識からの類推的な写像によって意味が付加されていき、概念が精緻化していくことを想定している。そして、そのプロセスを概念変化として捉えている。両者は異なる概念変化のプロセスを想定しているが、子どもたちが持つ知識が類推のような認知的プロセスによって変化していくのであり、白紙の状態から新たな概念が構成されるわけではないと考えている点には共通点があるだろう。その意味で、概念変化において既有知識は重要な役割を担うと考えられる。

3 理解深化と既有知識

説明モデルについての進化的アプローチやブートストラッピングといった概念変化研究の知見から、子どもたちが新たな概念を構成する場合、全くの白紙にその概念が生じたり、言われたことをそのまま学習したりするのではなく、既有知識に対して様々な情報を関連づけていく中で少しずつ概念を修正していくということが明らかになった。このことから、学校で学習するような様々な概念を子どもたちが理解する際にも同様のメカニズムが働きうると考えられる。実際、子どもたちは学校での学習以前でも、日常経験などをもとにして学習内容に関する知識の枠組みを豊かに発達させている。例えば、「成長」という観点に基づいて生物・無生物の概念を幼児が発達させていること (Inagaki & Hatano, 1996) や、日常的な経験に基づく既有知識や教科学習を通じて獲得した既有知識に基づいて、商品の価格の決定因のような経済学的概念を発達させていること (藤村, 2002) が明らかになっている。このことと、先述のような概念変化研究の知見をもとにすれば、子どもたちが豊かに発達させている既有知識をもとにして、いかに学習内容に関する知識の枠組みを変化させていくかが、学習内容に関する概念的理解の深化において重要であると推察される。

それでは、学習内容に関する概念的理解の深化を促進することを目的とした研究において、子どもたちの既有知識はどのように扱われているのだろうか。それを明らかにするために、ここでは教授・学習場面を中心として、子どもたちの様々な概念に関する概念的理解の深化を促進することを目的とした研究の知見を整理する。

A. 概念的理解の深化を促進する授業デザイン: 「協同的探究学習」

概念変化研究だけでなく、様々な教授・学習研究も、子どもたちが有する既有知識を利用することが概念的理解の深化を促進するために有効であることを示している。例えば、Fujimura (2001) は内包量に関する概念的理解の深化を促進するために、混み具合に関する子どもたちの既有知識が利用可能な操作的モデル (manipulatives) を使用することが有効かどうかを、濃度の比較課題に対する方略分析によって検討している。Fujimura (2001) の実験1では、内包量に関する概念的理解の深化を促進するための介入として、問題状況が表象可能になるための図と、単位あたり量が表象可能

になるための割り算の計算およびその商を記入する空欄のあるワークシートを用いる数値記入条件 (filling-in condition), 児童の持つ均等配分や混み具合といった既有知識が利用可能で, 児童自身が具体的に操作可能なモデルを用いるモデル操作条件 (manipulative condition), 分数の加法といった計算課題に取り組む統制条件の3つの条件を設定した。そして, 濃度比較課題に対して子どもたちが使用する方略を単位あたり方略 (unit strategy): 単位あたり量の比較により濃度の比較を行う方略, 調節方略 (coordination strategy): 溶質と溶媒の2つの量に着目しているが, 単位あたり量を比較していない方略, 同次元方略 (unidimensional strategy): 溶質または溶媒の一方の量にしか着目していない方略の3種類に分類し, それぞれの条件の前後で子どもたちが使用する方略がどのように変化するかを分析したところ, モデル操作条件において単位あたり方略の使用が促進され, 数値記入条件や統制条件ではモデル操作条件に比べて子どもたちの方略変化に対してわずかな影響しか及ぼさないことが明らかになった。この結果は, 子どもたちが自らの既有知識を利用しながら具体的に操作可能なモデルを用いることが, 内包量のような理解が困難な数学的概念に関する概念的理解の深化を促進することを示していると考えられる。

また, 藤村・太田 (2002) では, 内包量に関する概念的理解の深化を促進するための授業として, ①一方の量が共通, ②他方の量が共通の2題に取り組んだ後に, ③2量ともに共通でない課題を導入することで, 内包量概念の必要性に気づかせて理解を深めることを目指す授業 (指導法A) と, 多数の子どもたちが既有知識として既有知識として有している方略 (倍数操作方略) を用いることもできるような, 比較的平易な数値設定の難易度の問題を最初に実施し, そこで出現する多様な解法の共通点・相違点を探究することで, 一方の量をそろえるという内包量概念の本質を子どもたちが自発的に見出し, 最後に単位あたり方略で解決可能な課題を導入することで, 内包量概念の理解を深めることを目指す授業 (指導法B) の2つを構成した。そして, 速度, 濃度の領域の比較課題と, 授業時の題材と同一領域である混み具合の比較課題に対して子どもたちが用いる方略が, それぞれの指導法の前後でどのように変化するかを分析した。その結果, 指導法Bの方が指導法Aよりも, 混み具合に関する内包量の比較課題の通過率が高くなることが明らかになった。一方で, 他領域の内包量の比較課題に対する単位あたり方略の適用率の変化には, 指導法A, 指導法Bともに

差がなかった。この結果は, 子どもたちが既有知識にもつ方略をもとにして, 子どもたちがその概念の本質を自発的に見出すことが, より精緻な方略を理解することを促進することを示している。

以上のように, 概念的理解の深化を促進するための授業において, 子どもたちの多様な既有知識を利用することが有効であることはFujimura (2001) や藤村・太田 (2002) が示している。これらを含む多様な教育心理学の研究の知見をもとに提案されているのが「協同的探究学習」(e.g., 藤村, 2012; 藤村・橘ら, 2018) である。協同的探究学習 (collaborative inquiry learning) とは, ①子どもの多様な既有知識を活性化する「非定型問題」の設定, ②一人ひとりが多様な知識を関連づける「個別探究」場面の組織, ③クラス全体の「協同探究」における多様な考えの関連づけと本質の追究, ④「再度の個別探究」場面の組織の4つを特質とする授業デザインである。このデザインに基づく実証的な研究 (e.g., 小田切, 2012; 藤村・橘ら, 2018; 青柳, 2021) によって, 様々な教科の学習内容に関する概念的理解の深化が促進されることが明らかになっている。

協同的探究学習の理論的背景には様々な認知心理学・発達心理学・教育心理学の知見が存在しており (藤村, 2012), 子どもたちの既有知識を利用するという要因1つだけで概念的理解の深化が促進されるわけではない。一方で, 協同的探究学習の特徴の1つは, 「導入問題」と呼ばれる1つの問題に対するアプローチを子どもたちが個別で考える (②) とともに, そこで生じた多様なアプローチを協同で関連づけることを通して, その学習内容の本質に迫る (③) ところである。したがって, 子どもたち自身の多様な既有知識を活性化させるような非定型問題を開発することが, 協同的探究学習を通じて子どもたちの学習内容に関する概念的理解の深化を促進できるかどうかを左右する大きな要因の1つであると考えられる。

B. 利用する既有知識の違いによる概念的理解の深化の様相の違い

これまでの議論から, 概念的理解の深化を促進する授業における既有知識の重要性が明らかになり, それを利用した「協同的探究学習」という授業デザインが提案されていることを述べた。それでは, 学習者が有するどのような既有知識を利用したとしても, 学習内容に関する概念的理解は深められるのだろうか。既有知識をもとにした問題解決の代表例である類推研究では, 物理学に疎い高校生や大学生は, 電流についての

問題解決のためのアナロジーのベースとなる既有知識が「水流」なのか「群衆」なのかによって、解決が可能になる問題の種類が異なることが明らかになっている (Gentner & Gentner, 1983)。この結果のように、同一の学習内容であっても、その学習において用いる既有知識が異なるのであれば、その学習内容に関する概念的理解の深化の様相も異なるのであろうか。それを明らかにするために、後藤 (2023) は、一般化された指数に関する概念的理解を深めるための授業として、日常的に起きる事象 (平らな場所でボールが跳ねる様子) に関する既有知識を活性化させる協同的探究学習 (指導法 A) と、既習の数学的概念 (等比数列) に関する既有知識を活性化させる協同的探究学習 (指導法 B) の 2 つを構成した。そして、指数関数的変化をする事象 (細胞分裂や細菌の増殖) に関する求値問題に対する記述の質が、それぞれの授業の前後でどのように変化するかを、指数関数的変化の特質である「倍率一定性」が記述されているかどうかをもとにして分析することによって、実験参加者の一般化された指数に関する概念的理解がどのように変化するかを検討した。その結果、指導法 A を受けた群では「跳ねるたびに跳ねる % が変わるのをおかしい」という倍率一定性に関する発言が協同探究場面において見られ、かつ、指導法 B を受けた群よりも、倍率一定性を事後テストの記述において明記する子どもの割合の増加が大きかった。また、指導法 B においても、協同探究場面においてクラスで検討した解法や考え方を関連づけ、展開問題解決場面で倍率一定性に基づく推論を自ら行った生徒は、一般化された指数に関する概念的理解の深化の程度に影響を及ぼす可能性が示唆された。この結果は、日常経験から獲得されてきた既有知識を利用して根拠の説明が行われる方が、教科の学習によって獲得されてきた既有知識を利用して根拠の説明が行われるよりも、より多くの子どもが深い概念的理解を達成する傾向にあることを示唆していると考えられる。このことは、数学的表象 (指数関数的変化をする数値の列) に対して日常的経験 (ボールの跳ねる高さの変化についてこれまで得てきた経験) の構造が写像されることにより、より豊かな知識構造が子どもたちに構成されるという、Carey のブートストラッピング理論とも対応する結果である。

しかし、日常事象に関する既有知識を単に活性化するだけでは概念的理解の深化が達成されないことも明らかになっている。石橋・藤村 (2020) の実験 I では、酸化反応に関する概念的理解の深化を、酸化反応と日

常的事象 (「リンゴの変色」や「10円玉のさび」) を関連づけて促進するためのはたらきかけとして、ある日常的物事の数時点における状態を写真で提示して、その日常的物事が時間とともに変化していく理由を尋ねるといってはたらきかけ (実験条件) と、時間情報は与えずに写真を提示して、その日常的物事の色が異なる理由を尋ねるといってはたらきかけ (統制条件) の 2 つを設定した。そして、酸化反応に関わる具体的な事象の理由 (ハサミのさびが生じる理由、橋に塗装をする理由、カイロが発熱する理由) に関する実験参加者の説明の水準 (水準 0: 酸化反応の媒介要因に着目しない説明、水準 1: 酸化反応の媒介要因のみに着目した説明、水準 2: 酸化反応の媒介要因と反応プロセスの両方に着目した説明) が、それぞれのはたらきかけの前後でどのように変化するかを分析することによって、実験参加者の酸化反応に関する概念的理解がどのように変化するかを検討した。その結果、実験条件は統制条件よりも酸化反応に関する概念的理解の深化が深められることを明らかにしている。また、特に、実験条件のはたらきかけ内での実験参加者の推論において、酸素と金属の結合といった「要素の結合」と、金属が別の物質に変化するといった「結合後の要素の変化」の 2 つに着目した説明が行われた場合、事後課題の 2 課題以上で水準 2 の説明が生じることにつながることを明らかにしている。この結果は、単に日常事象に関する既有知識を活性化するだけではなく、それをもとにして子どもたちが精緻な推論をするような発問を行わなければ、概念的理解の深化は促進されないことを示している。Clement & Steinberg (2002) が、「小さい」不整合と「小さい」類推を組み合わせるような教師の介入の重要性を指摘しているように、子どもたちが概念的理解の深化を促進するためには、適切な既有知識の活性化に加えて、適切な教師の発問が必要であると考えられる。

さらに、石橋・藤村 (2020) の実験 II の結果も興味深い。実験 II では実験条件・統制条件ともに、時間の経過とともにリンゴが変色する様子を写真ではなく実物を提示するという点で実験 I と異なるはたらきかけを行った。その結果、実験 II での実験条件・統制条件の比較は実験 I と同様の結果が得られた。さらに、実験 I 実験条件と実験 II 実験条件の間で、実験参加者の説明の水準がそれぞれのはたらきかけの前後でどのように変化するかを比較したところ、実験 II 実験条件の方が実験 I 実験条件よりも水準の変化が大きいたことが明らかになった。すなわち、写真を見せるよりも現実

の酸化現象を実際に提示する方が、子どもたちの思考の質が高まることが明らかになった。この結果は、田中 (2002) の述べる4つの知識のレベル (レベル0: 主体によって知覚可能な現物, レベル1: 模型といった, 現物そのものではないが現物を指し示す「サイン」, レベル2: 現物に対して恣意的につけた「ラベル」, レベル3: 一定の文化圏の中で通じる, 現物に対してつけられた「シンボル」) のうち, レベルの低い知識をもとにする, すなわち現物そのものの知覚を利用して既有知識を活性化させた方が, より概念的理解の深化が促進されるという可能性を示唆している。

以上の研究から, より多くの子どもたちの概念的理解の深化を促進するためには, 単にその学習内容に関連するような既有知識を活性化させればよいというわけではなく, その学習内容に関連している具体的かつ日常的な事象に関する既有知識を活性化させていくことが必要であると考えられる。

4 おわりに

初めに述べたように, 概念的理解の深化を促進するために, 学習者の既有知識を利用すること自体は今日では一般的な考え方と考えられる。本稿では, その考え方に基づいて, 概念変化研究や理解深化研究でどのように学習者の既有知識が扱われてきたかを整理した。その結果, 概念的理解の深化を促進するためには, その学習内容に関連している具体的かつ日常的な事象に関する既有知識を, 操作可能なモデルや実物を用いて活性化させていくことが必要であることが有効であることを明らかにした。

では, なぜ「具体的かつ日常的な事象」の、「モデルや実物を利用する」ことが必要なのであろうか。Carey & Spelke (1994) は「概念変化は領域間の写像を通して生起する可能性がある」と述べながら、「子どもや大人が発展した科学や数学の不在の中でも自発的に測定器具や数直線を発明し」, それらの道具といった物理的領域から数の領域への写像によって概念を変化させるのではないかという説を主張している。あるいは, Lakoff, G. & Johnson, M. (1980) の概念メタファー (conceptual metaphor) 理論は, 人間が持つ様々な抽象的概念は, 方向性や存在といった, 具体的な身体経験を基盤とするメタファーによって支えられていると主張する。これらの考え方に基づけば, 抽象的な概念の学習においても, 具体的かつ日常的な身体経験に基づいた題材をもとにして, その概念に関わる

操作的なモデルや実物を用いることが, 概念的理解の促進のために有効であると考えられる。しかし, 例えば教授・学習の文脈で具体的な身体経験をもとにした題材を利用したとき, 授業のどのような場面で, あるいは子どもたちの認知プロセスのどのような点で違いが生じるのか, その違いが子どもたちの概念的理解の深化の様相にどのように影響するのかといった点に関する議論は, まだ十分に尽くされていない。学校教育において, より多くの子どもたちが学習内容に関する概念的理解を深めるためにも, どのような題材を用いることが有効であるかを理論的に明らかにすることが, 学校教育に対する教育心理学の大きい役割の1つであると考えられる。

引用文献

- 青柳尚朗 (2021). 社会的事象の本質を捉える思考を促進する授業の開発と検証 日本教育工学会論文誌, 45(1), 15-29. doi:10.15077/jjet.44105
- Carey, S. (2009). *The Origin of Concepts*, Oxford University Press, doi:10.1093/acprof:oso/9780195367638.001.0001
- Carey, S. & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change, Hirschfeld, L. A. & Gelman, S. A. *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Cluture* (pp.169-200). Cambridge University Press, doi: 10.1017/CBO9780511752902.008
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. J. Glover, R. Ronning, & C. Reynolds (Eds.) (1983). *Handbook of creativity: Assessment, theory and research* (pp.341-381). New York, NY: Plenum, doi: 10.1017/CBO9780511807916
- Clement, J. (2013). Roles for Explanatory Models and Analogies in Conceptual Change, Vosniadou, S. (2013). *International Handbook of Research on Conceptual Change 2nd edition* (pp.412-446) Routledge, doi:10.4324/9780203154472
- Clement, J. & Steinberg, M. (2002). Step-wise evolution of models of electric circuits: A "learning-aloud" case study. *Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 389-452. doi: 10.1207/S15327809JLS1104_1
- Fujimura, N. (2001). Facilitating children's proportional reasoning: A model of reasoning processes and effects of intervention on strategy change. *Journal of Educational Psychology*, 937(3), 589-603. doi:10.1037/0022-0668.3.93.3.589
- 藤村宣之 (2002). 児童の経済学的思考の発達: 商品価格の決定因に関する推理 発達心理学研究, 13(1), 20-29. doi:10.11201/jjdp.13.20
- 藤村宣之 (2012). 数学的・科学的リテラシーの心理学—子どもの学力はどう高まるか 有斐閣
- 藤村宣之・太田慶司 (2002). 算数授業は児童の方略をどのように変化させるか—数学的概念に関する方略変化のプロセス—教育心理学研究, 50, 33-42. doi:10.5926/jjep1953.50.1_33
- 藤村宣之・橘春菜・名古屋大学教育学部附属中・高等学校 (2018). 協同的探究学習で育む「わかる学力」豊かな学びと育ちを支える

ために ミネルヴァ 書房

- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.99-129). Hillsdale, NJ; Lawrence Erlbaum Associates.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1980). Analogical Problem Solving, *Cognitive Psychology*, 12, 306-355. doi: 10.1016/0010-0285(80)90013-4
- 後藤慎弥 (2023). 一般化された数学的概念に関する概念的理解を促進するための授業の実証的研究——利用する既有知識の違いに着目して—— 教育心理学研究, 71, 190-204. doi: 10.5926/jjep.71.190
- Inagaki, K. & Hatano, G. (1996). Young children's recognition of commonalities between animals and plants. *Child Development*, 67, 2823-2840. doi: 10.2307/1131754
- 石橋優美・藤村宣之 (2020). 中学生における概念的理解の促進過程——日常的事象に関連づけたはたらきかけが科学的概念の理解に及ぼす効果—— 児童学研究, 44, 51-61. doi:10.50990/jchild.44.0_51
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*, University of Chicago Press (渡部昇一・楠瀬淳三・下谷和幸 (訳) (1986)) レトリックと人生 大修館書店
- 村山 功 (2011). 概念変化についての諸理論 心理学評論, 54(3), 218-231. doi:10.24602/sjpr.54.3_218
- 国立教育政策研究所 (編) (2021). TIMSS2019 数学教育・理科教育の国際比較——国際数学・理科教育動向調査の2019年調査報告書—— 明石書店
- 小田切歩 (2012). 数学授業における協同過程が高校生の指数関数的変化の理解に及ぼす効果とそのプロセス 教育心理学研究, 60, 416-429. doi:10.5926/jjep.60.416
- Sawyer, R. K. (2014). Introduction, Sawyer, R. K. (Ed.) (2014). *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2nd edition) (pp.1-18). New York: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9781139519526 (森 敏昭・秋田喜代美・大島純・白水始 (監訳) 学習科学ハンドブック 第2版 第1巻 基礎/方法論 北大路書房)
- Smith, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163. doi: 10.1207/s15327809jls0302_1
- 田中俊也 (2002). 「教える」知識・「学ぶ」知識——知識表象の4つのレベル 教育科学セミナー, 44, 43-52
- Williams, G., & Clement, J. (2015). Identifying Multiple Levels of Discussion-Based Teaching Strategies for Constructing Scientific Models, *International Journal of Science Education*, 37(1), 82-107. doi: 10.1080/09500693.2014.966257

(指導教員 藤村宣之教授)