

研究動向

理科教育学における
科学概念の変容研究に関する研究動向と課題

片平 克弘*

Katsuhiko KATAHIRA

1. はじめに

概念変容 (conceptual change) 研究は、教育学、発達心理学、認知科学、科学論、科学哲学などの複数の専門領域にまたがる研究である^(註1)。教育の中で扱われる概念変容研究は構成主義^(註2)の発展とともに展開しており、児童・生徒の概念や認識の変容に焦点が当てられている。理科教育における概念変容に関しては、M. C. ウイトロック (1985) が、「概念変容のプロセスは他教科の学習と理科学習を識別する最も重要な特徴である」と述べている^(註3)。それは、近年の理科学習が、新しい知識を増やすプロセスではなく、生徒のミスコンセプション (misconception) を正しい科学概念に修正するプロセスとして、すなわち、新しい知識を生徒の認知構造の中に統合するプロセスとして捉えられているからである^(註3)。概念変容研究では、児童・生徒の概念の「何が変化するのか」、また、「どのように変容が生起するのか」、「なぜ変容が困難なのか」等々の問が繰り返し問われている。しかし、児童・生徒の概念変容は、科学理論の変化ほど合理的なものではなく、ゆるやかに解決に向かったり、また、解決が暫定的でかつ部分的だったりするために、厳密に言語化され、検証され、広く認められた理論がないのが実情である。

本項では、理科教育学の視点から、概念変容研究の史的展開と現在の研究動向を探り、今後の課題を述べる。

2. 概念変容研究の史的展開

(1) 概念変容に関する初期の主張

概念変容を説明する初期の認識論モデルでは、「理論は修正することができ、か

*筑波大学大学院人間総合科学研究科

つ仮のものである」]、とする科学理論の発展過程が、生徒の科学的知識の成長⁽³⁾⁽⁴⁾を記述する有力な手がかりとして扱われてきた。これは、T.クーンの科学史における理論変化の考え方を踏まえたものである。彼の主張に基づいた概念変容のアプローチは長年に渡り理科教育研究と実践を導いてきたものであり、このアプローチでは、子どもは科学者と同じような発想をする存在と見なされ、科学を学習する過程は、理論が置き換えられる合理的な過程と同じ過程を経るとされた。G. J.ポスナーら(1982)によれば、子どもの概念変容も科学の理論変化と同様ゲシュタルト的なものであり、科学概念への概念変容は矛盾から生まれた認知的な葛藤によって進むと主張された。また、構成主義では概念変容を意味の再構成と捉えており、認知的な葛藤はそのための有効な方略と捉えられた⁽⁵⁾。

しかし、J.ソロモン(1983)は子どもが行う認識の特殊性を踏まえ、G. J.ポスナーら(1982)の主張へ異論を唱えている。J.ソロモンは、子どもは簡単に概念を放棄したり採用したりすることはなく⁽⁶⁾、彼らは古い概念を失うことへの危惧感、あるいは、新しい概念に対する脅威を抱き、矛盾の多い古い概念を新しい概念と入れ換えるよりも、納得するための別の方法を発見することに力を注ぐと指摘した。しかも、矛盾した原理を上手く分類し、頭の中で同じ現象に対する異なった説明を平等に存在させようとする傾向があるとも付け加えている。J.ソロモンの主張を踏まえると、構成主義が唱える認知的な葛藤は直ちに概念変容を生じさせる契機とはならず、矛盾した事象や現象に基づく葛藤を概念変容の契機まで高めることは複雑なプロセスであり、多くの仮説の領域が存在していると考えられる。また、近年では、認知的な葛藤を生起させる際に用いる知識が、その後の学習過程の中で前向きに使用されることがない生徒の既有知識を用いていることが問題とされ、認知的な葛藤の使用は概念変容を引き起こすための最善の方略とは言えないとの指摘もある⁽⁷⁾。上述した批判以外にも、G. J.ポスナーら(1982)の主張に対しては様々な批判がなされたが、これらはT.クーンに対して浴びせられた科学哲学や科学史上の批判と本質的に重なっている⁽⁸⁾。以下、具体的な概念変容アプローチの史的展開を検討する。

(2) 概念変容アプローチの史的展開

概念変容アプローチは、構成主義の教授アプローチの中でも多くの研究者の関心を引いてきた。理科教育における概念変容の研究は、R.ドライバーとJ.イーリー(1978)、L.ピーネット(1979)らのミスコンセプションやオルターナティ

ヴフレームワークの研究から始まったと言われている^{(9) (10)}。J. D. ノバック (1977) によれば、このアプローチが出現した1970年代後半は、ピアジェの認知発達説から構成主義説へと移行が始まった時期⁽¹¹⁾であり、この時期の研究のほとんどは、ピアジェの認識論の影響を受けている⁽¹²⁾。

1980年に入り、科学概念の概念変容研究に大きな影響を与えたのはコーネル大学の研究者達である。とりわけ、P. W. ヒューソン (1981) は学習に係わる研究の中で概念変容を扱い、教育研究の中心に位置づけた人物である^{(13) (14) (15) (16) (17)}。また、既に述べたように、G. J. ポスナーら (1982) は科学史上の理論変化に着目し、T. クーンやI. ラカトッシュが科学史上の理論転換を説明するために提案した「通常科学」や「科学革命」の概念を、人間の概念変容を説明するための枠組みとして取り入れた。G. J. ポスナーらによって発表されたモデルは科学概念の変容研究に最も影響を与えたモデルである^{(18) (19) (20) (21)}。

G. J. ポスナーらの概念変容モデル (Conceptual Change Model: 以下, CCM) は、学習を新しい概念と既存の概念間の相互作用として捉えている。特に、概念の性格によって決められる「地位」と、概念が生成したり消滅したりする「生態環境」という観点から概念変容をモデル化している。概念の地位を考える際のポイントは、概念の理解しやすさ、概念の信頼性、概念の有益性にあり、これらは人々が概念の価値を決める際に着目する観点でもある。この観点に従えば、概念が受け入れられ、新たな発見に寄与した時、概念の有益性は高まると考えられる。すなわち、概念の地位は理解のしやすさや新たな発見への寄与に比例して上がるのである。また、高い地位に位置付く概念は常に首尾一貫しており、それを持っていることに価値がある。CCMの主張を踏まえると、概念変容は概念の相対的な地位の変化と捉えることができる。たとえば、もし、高い地位にある既存の概念と矛盾する新しい概念が現れても、既存の概念の地位が下がらない限り、新たな概念が受け入れられる可能性は低いのである。したがって、概念変容は個人が自らの既存の概念に不満や限界を感じ、その地位を下げ始めない限り生じないと捉えられている。

次に、概念の生態環境について分析する。これは、概念を生徒の経験や社会的相互作用の成果物と考えるためのメタファーとして機能している。CCMではこのメタファーを使用して、新しい情報が与えられた時に、自らの概念が個人の認識にどのような影響を及ぼすかを考察している。一般に、われわれは知識の本質

や物理現象の本質に対してある種の信念を持っており、それを基に世界を理解している。CCMでは、概念の生態環境へ新しい概念が入り込み、その良さを説明しようとする際には、個人の認識論的かつ形而上学的な信念が影響すると捉えている。また、概念の生態環境の中に位置づく概念には、一つ概念が変化すると他の概念も変化するというネットワーク化された関係性が見られる。すなわち、概念の生態環境下では、ある概念に対する見方が変われば、他の概念に対する見方も変わってしまうのである。さらに、概念の生態環境下では、生態的な地位を確保するために概念同士は競い合っているのである。したがって、生き残った概念は、例外の理論や考え方とうまく調和し、それを取り込みながら個人の認識論的な立場を満す概念として勝ち残った概念と捉えることができる。

ところで、P.W.ヒューソンは概念変容のプロセスや社会的相互作用は意志的なものであると主張している。学習の中には、機械的プロセスを経るものや偶然のプロセスで達成されるものもあるのだが、彼は概念変容を、ある種のバイアスが加わった教師の意図的行動を学習者が意志的に行うプロセスと捉えている。特に、彼は、このプロセスを経て学習者が獲得する知識は、概念の生態環境の中から意志的に選択されたものであり、学習を経ることによってその妥当性は高まっていくと捉えている。

また、CCMの研究者たちは、概念変容のプロセスを進めたり、遅らせたりしてしまう社会的要因に関しても探っている。K.A.ストライクとG.J.ポスター(1992)は、概念変容に影響を与える広範な要因を探るためには、学習動機、教授目標、教授・学習の制度的要因、概念の社会的起源なども探る必要があると述べている⁽²³⁾。次に、社会構成主義の立場からの概念変容アプローチを検討する。

(3) 社会構成主義の立場からの概念変容アプローチ

1) 科学知識の構成に対する社会構成主義の主張

1980年代の古典的アプローチは、社会文化的な変数にはあまり注意を払ってこなかったが、1990年代になると、社会構成主義はそれらに着目し始めた。社会構成主義は、概念変容が個人の頭の中だけで行われるとする個人構成主義(一般に、これが「構成主義」と呼ばれている)の理論の限界を指摘し、概念変容を頭の中の内在的な機構と見るだけでなく、複雑な社会文化的な世界の中に位置づけられた活動と捉えた⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。これは奇しくも、科学理論が個人的な思考から、科学者共同体の査定を受けて、科学理論として認められるというT.クーンによる科学知

識の社会的構成の理論とも一致している。

社会構成主義の理論は、学習の社会的性格を強調しており、個人の思考に影響を及ぼす幾つかの社会的要因を明らかにしている。特に、J. L. レムケ (2001) は、孤立した環境のもとで個人の学習を考えることはできない、とまで主張している⁽²⁶⁾。さらに、L. S. ヴィゴツキーの伝統からは、学習の中心に社会的な相互作用が位置づけられ、それが単なる補助的なものではないことが強調されている⁽²⁷⁾。この考え方の根底には、T. クーンが言うような科学理論の構成は「科学者の活動の社会的組織化と不可分」⁽²⁸⁾であり、それと同様に、教室という共同体における知識構成も「学習者の活動の(社会的)組織化と不可分」であるとする考え方があからずである。したがって、このような知識論は、構成主義の授業の形態として表出される共同学習やグループ学習を支持する根拠になっていると言える。この知識論では、知識構成の始まりを個人の頭の中と限定する個人構成主義者の主張は否定されている。

ところで、社会構成主義者が絶対的な真実があるとする客観的な知識観へも挑戦している点についてだが、これは西欧科学の知識観への批判とも捉えることができる。しかしその一方で、社会構成主義者は児童・生徒達に対しては「科学の本質」や「科学的に知る」という科学の本性について、より多くの時間を割いて学ぶべきだと主張している。これは、彼らが、科学の本質や科学的知識に関する学習を通して、科学をより人間のかつ社会的営為として捉えることができるようになると考えている証でもある。言い換えれば、社会構成主義者は「科学を学習する」ということを科学者コミュニティの中で認められた社会的な知の方法を学ぶことであり、そこででの推論や議論の仕方を身につけ、科学的な談話や表現の中で生徒が文化化されること、と捉えている。

2) 認知発達に対する社会構成主義研究の影響

1990年代には、認知心理学者が行う概念変容研究の中にも、状況的な文脈や社会文化の役割が研究対象として加わった。その後、現在に至るまで、認知心理学における概念変容研究は社会的・文化的プロセスの中で導かれ、強化され続けている。これは、アメリカに出自がある「学びの共同体」論によって、学校教育の中に持ち込まれた考え方である。当時は「認知革命」などの用語が生み出され、学習の本質を、協同を通じた文化的実践と捉えることが声高に叫ばれ、学びや学習の見方の変革が迫られた。たとえば、J. レイブとE. ウェンガー (1991) が主

張した「正統的周辺参加」では、西アフリカの仕立屋の徒弟制を例に取り上げ、そこでの学びを語っている⁽²⁹⁾。徒弟が親方のもとで学びながら仕事に熟達し、最後には親方として自立していく過程がフィールドワークのデータを基に分析された。仕立屋の親方は弟子に対しては権威的な存在であり、その権威のもとで、まねさせることを通して知識が伝授されていることが詳細に描かれている。このように、社会構成主義者は教師に対して仕立屋の親方のような役割⁽³⁰⁾を期待している。文化化の視点からの教師像は、「目標として設定された認知的モデル」であり、ここでは助言者にも指導者にもなりうる教師像が仮定されている。この徒弟制に見られる教師像は、現在教育界で求められている教師像に重なるものの、このような徒弟的な学び方は、集団を対象とする学校教育の中では条件整備を行うことが非常に難しい。

さらに、この「学びの共同体」論は、柴田が指摘しているように、情報化時代の学習論としてはあまりにも素朴な学習論と考えられる。柴田は、学習を協同的な実践とする学習観は、「大正デモクラシーの時代からの長い生活指導・生活教育の実践と研究の貴重な遺産を受け継ぎ、発展させてきた日本の教師の立場からみれば、ごくあたりまえのことを新しく言い換えただけのこと」であり、特別に新しい学習観ではないと指摘している⁽³¹⁾。また、「協同の文化的実践」、「文化的実践への参加」という考え方は、1960年代からわが国で広く読まれてきたL. S. ヴィゴツキーの「文化的—歴史的な精神発達の理論」の中ですでに言われてきたことに過ぎないのである⁽³²⁾。これらの点を踏まえると、「学びの共同体」論で強調される「正統的周辺参加」や「徒弟制」の考え方は、これからの授業デザインを検討する際には、あくまでも、特殊例として位置づくものと考えられる。

3. 理科教育における概念変容アプローチ

(1) 概念変容を促進する要因と展開

初期の構成主義に基づく教授法では、生徒は合理的に思考する存在だと仮定されており、科学者同様、生徒は合理的かつ正当な理由がない限り、今ある考え方を保持し続けると考えられた。そこでCCMでは、生徒が自らの考え方や概念システムを変えるための条件を提示した。この観点は、科学者が自らの理論を変える際の基準から導かれている⁽³³⁾。

(ア) 既存の概念では不十分である。

(イ) 新しい概念は分かりやすい (intelligible)。

(ウ) 新しい概念は妥当性が高い (plausible)。

(エ) 新しい概念は、今後の追及において有益である (fruitful)。

(ア) ~ (エ) の4条件は教授法の枠組みとは言えないものにもかかわらず、分かりやすく、生徒が概念や信念をどの基準のもとで比較したら良いかについて1つの完成したモデルを提供している。この4条件は、T.クーンとI.ラカトツシュの両者の考え方を参考にしてはいるが、彼らの研究で用いた社会学的枠組みが、個人の学習に単純に転移できるとは考えられず、また、科学史研究との関係性も不明瞭である。さらに、この4条件は認識論的なものであり、心理学的条件が反映されていない。

(ア) の指摘に関しては、T.クーンの主張を借りれば、既存の概念 (理論) がいろいろな例外に対応できないことが条件となる。これは心理学的条件に書き換えた「学習者が既存の概念 (理論) に不満を持っている」と同義である。(エ) に関しては、I.ラカトツシュの主張を借りれば、新しい概念 (理論) はパラダイムを発展させるものでなければならないという条件である。特に、(エ) は心理学的な立場からは十分に研究されていない条件である。新しい概念の有益性を学習者にいかに意識してもらうかは、難しいテーマであるが、この解決のためには、

- ①新しい科学知識を、彼らのミスコンセプションと十分に比べてみることを進める。
- ②新しい科学知識が、いかに自らのミスコンセプションとかけ離れたり、矛盾したりしているかに気づかせる。
- ③科学知識が、現実世界の経験や信念からかけ離れたものである事に気づかせる。

ことが必要となる。

(2) 概念変容を目指した教授アプローチ

CCMが発表された同時期に、J.ナスバウムとS.ノビック (1981)⁽³⁴⁾によって、初期の概念変容の教授ストラテジーが発表されている。その展開は次の通りである。

- ①学習者に自らのオルターナティブフレームワークを明らかにさせる。
- ②オルターナティブフレームワークに合わない証拠を示し学習者に不満を生じさせる。

③正しい科学に基づいた新しいフレームワークを提示する。そして、以前のも
のを例外としてどのように見なせるか（解釈できるか）を教師が説明する。

このストラテジーは今から約30年前に提案された素朴なものだが、いまだに概念変容の一般的なアプローチとして使用されている。このアプローチでは、学習者のオルターナティブフレームワークに合わない証拠（反証）を概念変容のきっかけとして位置づけており、そこでこの不満をきっかけに、既存の概念と新しい概念の間で葛藤状態を作り、そこで両者の違いをより鮮明にさせて葛藤を解決するという手法を採っている。

また、R. ドライバー（1989）も概念変容の教授アプローチを提案している⁽³⁵⁾。そこには数段階のステップがあり、まず初めのステップでは、生徒の素朴な考え方を引き出す（elicitation of prior ideas）ことが行われる。次に、少人数のグループによる説明やそれぞれの考え方の交換が行われる。その後、矛盾する状況へ接近、続いて、新しい考え方を構成していくステップへと展開する。これらのステップは、生徒の理解の進行の様子を検討することによって追試が可能である。R. ドライバー以前の構成主義アプローチは、カリキュラムのシークエンスやペースの改善に関するものがほとんどだったが、R. ドライバーの教授アプローチでは、「子ども達に対し、学習は自分の思考方法の変化を含むかもしれないことをはっきりと気づかせる」⁽³⁶⁾点を強調しており、子ども自身に自分の知識スキーマの変更を促している点に特徴がある⁽³⁷⁾。

この事に関しては、W. L. サウンダース（1992）も、認知的な再構造化のための必要条件は、無傷な知識スキーマという選択肢をもはや維持できないことに気づき、「唯一できる選択が、自分の経験（データ、測定値、観察結果）により一致したものとなるように自らの認知構造を修正することだと実感するために、事象や現象に対して繰り返して行える探索的・探究的な行動をするための機会である。」⁽³⁸⁾（Saunders, 1992, 138）と述べている。

以上、概念変容の代表的な教授ストラテジーの展開を概観したが、生徒が科学者と同じような行動をとるかどうかに関わらず、「既存の概念と新しい概念の間に葛藤がある時、生徒は葛藤を解決しようとする」という仮説や、生徒が「一人で情報を理解し、知識スキーマを修正する」という仮説については、一層の検討が必要と考える。

また、このような教授ストラテジーの特徴に対し、R. ミラーは、構成主義は構

成主義の教授を必然的には伴っておらず、「考えを引き出し、説明し、新しい考えを構成する過程は、生徒の頭の中で内面的に行われる。これは学習が上手くいく時はいつもそうであり、教授の形態には依存しない。」⁽³⁹⁾と、教授に係わらない生徒の理解の様態があることを指摘している。

(3) 概念変容アプローチとミスコンセプション

S.ケアリー (1985) は、概念の発達を「単に既存の構造を豊かにすることではなくて、構造の本質的な再組織化や再構築を含む。」⁽⁴⁰⁾と主張し、概念変容アプローチを擁護している。このS.ケアリーの考え方は概念形成を目指した古典的アプローチの文脈でよく見かける考え方であり、ミスコンセプションの急激な変容が含意されている。S.ケアリーは、構成主義の立場を踏まえ、構造の再組織化や再構築では、認知的な葛藤を最も必要なものと仮定している。また、構成主義者は、生徒のミスコンセプションが学習の中で繰り返し現れることを指摘し、生徒は科学知識を受け入れるためにミスコンセプションを歪めること、さらに、学校知といわれる特別な知識の中にそれを隔離することによって了解してしまうことをあげている。

ところで、現在はミスコンセプションを捉える見解が大きく二つに分けられる。一つは、ミスコンセプションは「一貫しており、統合されたもの」とする見解であり、もう一つは、「断片化されたもの」とする見解である。前者に関しては、構成主義研究の初期から、生徒のミスコンセプションは一貫しており、強固に統合されたものとする見方が優勢を占めていた。この前提のもとでは、ミスコンセプションを解消するための手立ては、教授を通して、生徒に自らの見方や考え方を手放すよう説得するしかないことになる。さらに、教科書に書かれている知識や概念、あるいは、科学者が主張する知識や概念が受け入れるに足るものであることを納得させなければならない。このようにミスコンセプションを統合されたものと捉える立場からは、「説得し納得させる」ことが唯一の対処法であり、この対処法の一つが上述した概念変容アプローチである。

しかし後者では、概念変容アプローチを否定する立場から、生徒に概念の変化を強いる必要はなく、適切な説明を作り上げるために、断片化している知識をより良く組織化することを求めれば良いとされる。知識を「断片化されたもの」と捉える研究者達は、ミスコンセプションを却下する代わりに、生徒の知識や概念のうち、生産的なものを選び出し、それを精緻化させ規範的な概念に仕立てるこ

とが概念形成のより重要な目標だと主張する。また、断片化した知識は精緻化や再構築を経て正しい概念へと導かれる基盤であり、合理的な予測をするためには欠かせないものとも捉えている。とりわけ、A. A. デイセサは、生徒を概念変容の対象と見ることを止め、断片化された知識の設計者と捉えることを強調している⁽⁴⁾。以下、A. A. デイセサの知識論を検討する。

(4) A. A. デイセサの知識論

1) A. A. デイセサによる p プリムズ (phenomenological primitives) 論⁽⁴²⁾

A. A. デイセサ (1993) は、生徒の見方や考え方は、内面的に矛盾のない理論的なフレームワークから構成されてはならず、「ばらばらな知識」から成り立っていると指摘する。彼によれば、概念変容は個人の知識の再組織化であり、断片化している知識をよりより良く組織化することにある。また、彼は、学習とは生徒の知識や概念のうち生産的なものを選び出し、それを精緻化させ規範的な概念に仕立てることと捉えている。すなわち、これは、自らの知識表現の中に素朴な知識を組織化していくことであり、自らのメンタルな基盤の上にいるいろいろな要素間のつながりを構築することである。このような A. A. デイセサの知識観は、「学習者の知識は全体がきちんと整合されたものではなく、それぞれがある程度独立した要素群から構成されている」とする見方であり、この複雑な知識体系は概念生態系と呼ばれている。この概念生態系に存在する要素群は、phenomenological primitives (現象学的プリミティブズ、略称；p プリムズ) と名付けられており、これは、生徒が持っている素朴なスキーマに他ならない。この p プリムズは物理的なりアリティーに対する表面的な解釈物であり、生徒が物理的現象を説明する際には重要な役割を果たす知識である。p プリムズは小さくて、単純で、自然に感じ取られた知識の小片であり、生徒は経験を理解するための手助けとして活用している。

A. A. デイセサは、p プリムズが構造的なものへと組織化される過程を概念変容と考えている。その展開過程をみると、学習の初期段階では、生徒はこの p プリムズと呼ばれる直感的知識を持っている。そして、p プリムズは概念変容が進行する過程の中で複雑な説明体系の中に統合されていくのである。A. A. デイセサは、多くの p プリムズが効果的な場所におさまる時、それは、科学法則が特殊で効果的な場合に知覚される時と同じように、p プリムズもそのような状況や場面で知覚されるようになると述べている。したがって、p プリムズが露呈す

るメカニズムは、p プリムズの単純な削除や置き換えの過程ではなく、複雑な統合と再組織化の過程の中にあると考えられる。また、p プリムズは、単独では説明的な機能は果たさないが、より大きな体系の一部となると有効性を発揮するようになる小片と捉えることができる。

A. A. デイセサの主張を借りれば、概念変容はp プリムズの再組織化に他ならず、ある現象の説明に役立つp プリムズが内面的な一貫性を高めたり、組織を増加したりする過程と考えられる。以上のことを踏まえると、「ばらばらな知識」であるp プリムズは、提示された科学概念に対して何ら抵抗することはないのである。したがって、断片化された知識に対しては、認知的葛藤を生じさせようとする教授的な介入は全く意味をなさないことになる。

2) p プリムズの取り扱いの課題

生徒が持つミスコンセプションをp プリムズの集合と捉えると、概念変容の教授方略やプロセスが大きく変わってくる。古典的アプローチでは、ミスコンセプションを根底から修正しなければならなかったが、ミスコンセプションをp プリムズとする立場に立てば、反証を利用する概念変容は必要とされず、断片化している知識をより良く組織化することのみが求められる。

p プリムズを認識の構成要素と捉えると、ミスコンセプションはp プリムズを活性化させる優先度によって働き出すと考えることができる。すなわち、生徒が異なる状況で異なる解答をするのは、この合図を出しているか出していないかの違いにあり、概念変容研究では、p プリムズに対する分析が欠かせないものとなる。言い換えれば、「p プリムズが、状況に依存しながら、その意味を変えずに活性化の優先度によって変化している」ことの解明がとりわけ重要となる。さらに、p プリムズの吟味では、「長期間にわたる複数文脈の蓄積と調整」と捉える概念変容も検討すべき課題となる。

4. 近年の概念変容研究の動向

概念変容は有意味な学習を行うための鍵であるが、近年、概念変容の理論は古典的アプローチで主張された包括的な理論から、心理学や社会学の特定の立場に焦点化した理論へと変化している。古典的アプローチで主張された、「ある理論的枠組みから他の枠組みへの概念変容は短期間で処理されるような不意で唐突な変化」⁽⁴³⁾という即時的な立場は否定され、多くの経験上の証拠から、根本的な概念

変容の道筋はゆっくりとした過程であることが報告されてきている。長い目で見ればゲシュタルト的な概念変容が生じることを主張する研究者達でさえ、概念変容の道筋はゆっくりとしたものであることを認めている⁽⁴⁰⁾。

以下の(1)～(3)で検討する3人の研究者は、どちらかと言うと、古典的なアプローチを否定する立場に立った研究者達である。ここでは、概念変容に対する研究アプローチの相違を明らかにするために、S.ボスニアドァウの「統合的意味論 (synthetic meaning view)」、M. T. H. チィラの「ミスコンセプション修復論 (misconception repair view)」、J. アイバーソンとJ. ショルツとR. サルジオの「社会文化論 (sociocultural view)」の3つの立場について分析する。

(1) S.ボスニアドァウの統合的意味論⁽⁴⁵⁾

S.ボスニアドァウは、学習者を「ある体系がどう機能するかに関して、筋の通った説明の枠組みを構成する存在」と捉えており、概念形成は学習者の意識の内部で生じているものと捉えている。ここでは、学習者は知識の統合者であり、モデルの構築者である。彼女は、概念変容とは新しい情報が学習者自らの説明的な「枠組み (framework)」に統合され、メンタルモデルが構成される試みと述べている。

概念変容が始まる前の段階では、個人の中には経験に基づいた説明的な枠組みが存在している。これは、あるものがどう機能するかについての枠組みである。彼女は、概念変容の初期段階では、学習者は科学的知識の獲得を導く説明的な枠組みを持つことを求められていると指摘する。一般に、この説明的な枠組みは、狭い範囲を対象とし筋が通ったものが多いが、安定性は乏しいと言われている。次の段階は、学習者が、自らの説明的な枠組みと矛盾する事象に遭遇する段階である。ここでは、学習者は自らの説明の枠組みと照らし合わせながら、新しい事象や新しい知識の意味を少しずつ理解することを求められる。そして、最終段階では、内面的矛盾の解決を求められる。S.ボスニアドァウは、この内面的矛盾の解決が概念変容であり、この変容を「新しく獲得した知識によって生み出される葛藤に対して、筋の通った新たなメンタルモデルを構築する試み」と定義している。このように、S.ボスニアドァウが主張する概念変容は、内面的矛盾の解決やメンタルモデルの発達に依存したものであり、この解決過程はゆっくりとした緩やかな過程である。この過程は独立した様々な知識の断片を体系化する過程ではなく、今ある思考構造に知識の断片を徐々に同化させ、再体系化する過程とも考

えられる。

以上のことをまとめると、概念変容は学習者の見方や考え方の急激な置き換わりを意味するものではなく、むしろ、現在の説明の枠組みに新しい科学的知識を徐々に同化させる過程と捉えることができる。このように、S.ボスニアドァウが主張する概念変容とは、同化の進展に伴い、次第に内面的矛盾が生じ、それを解決するために引き起こされる変化と考えられる。

(2) M. T. H.チイらのミスコンセプション修復論⁽⁴⁶⁾

M. T. H.チイらは、学習者を正確なメンタルモデルを構築する存在とし、自らの概念の変容を認識することができ、誤って分類された概念を再配置できる修復者と捉えている。また、概念変容は新たな知識の小片をある分類の中に追加したり、それから削除したりしながら、不完全なメンタルモデルを正しいメンタルモデルに変えることと定義している。したがって、M. T. H.チイらは、学習者が持っている初期のメンタルモデルはミスコンセプションからできており、学習する内容に対する深い理解や納得をめざすためには、それらすべてが置き換えられる必要があると捉えている。たとえば、ミスコンセプションは誤った分類の結果生じたものであり、概念変容に関しては「概念を正しい分類へ再び割り当てること」と述べている。したがって、概念変容は一つの存在論の区分から他の存在論の区分への移動であり、M. T. H.チイらは、同じ存在論の中で生じる再概念化に関しては、概念の「再編成 (reorganization)」と定義している。

次に、M. T. H.チイらが唱える概念変容の展開過程を検討する。まず、学習の初期段階に関しては、学習者は誤った素朴な知識や既存の概念を持っており、この段階では、教えられることによって簡単に取り除け、変更が容易な「先入観 (preconception)」と、意識して行われた教授の後でも保持される「ミスコンセプション」が共存していると指摘している。M. T. H.チイらは、簡単に変更できる先入観の修復は信念の改訂であり、これは学習の中でごく普通に見られる変化と考えている。そこで、この先入観の修復過程を「概念再建 (reconstruction)」, ミスコンセプションの修復過程を「概念変容」と定義している。以上の点を踏まえ、M. T. H.チイらは、ミスコンセプションの修復の心理的な過程は、誤ったカテゴリーから正しいカテゴリーへ概念を再分類することによって行われると捉えている。

この立場に立つと、概念変容を成し遂げるためには、学習者が誤って分類され

たミスコンセプションを持っていることに気づき、しかも、それらを再分類するために新たなカテゴリーを作り出すか、発見することが必要となる。この時、修復者にはメタ認知能力が求められることになる。そして、学習者は自らの概念の修復の過程に関わり、しかも、メタ認知することを通してミスコンセプションを強く自覚する時に概念変容が生じると考えられる。このようなカテゴリーへの再分類の過程は急速に行われる順応というよりは、むしろ、小さな小片の増進の過程と考えられ、これは、S.ボスニアドァウの主張する概念変容の過程と同様にゆっくりとした緩やかな過程である。

ところで、M. T. H. チィらは、学習者が自らのミスコンセプションを自覚できていない時や、ミスコンセプションの新しいカテゴリーが準備されていない時でも、学習者の見方や考え方は変化することがあり、このことが、ここでの概念変容の扱いをより一層難しいものに行っていると指摘している。これは、概念変容が、存在論の境界の移動のみならず、あらゆる変化する過程で生じており、しかも、局所的な見方だけではなく総合的な見方の変化を求めていることに起因していると考えられる。

(3) J. アイバーソンとJ. ショルツとR. サルジオの社会文化論⁴⁷⁾

J. アイバーソンらは、社会における人間の認知を、ある特定の目的のために道具が用いられている活動への参加を通じた社会への順応と述べている。道具は認知発達の重要な要素であり、道具の仲介的な意味は、人間の活動への参加や社会への順応を通して習得されると捉えている。すなわち、彼らの概念の発達を道具の利用と不可分なものとして捉えているのである。J. アイバーソンらのこの立場は「社会文化主義」と呼ばれ、概念変容が社会文化的な相互作用の中で生じることを強調している。彼らは、人間の認識は文化的な道具と切り離して考えることはできず、概念変容を社会的な活動や文化的実践の中で、概念などの知的道具や物理的道具を用いることによって生じる変化と定義している。したがって、概念変容は個人の頭の中だけでは起こらず、道具との相互作用によって生じると考えている。しかも、道具には知的道具と物理的道具の2つがあると指摘する。前者は科学概念や科学用語であり、後者は顕微鏡やルーペなどの教具である。J. アイバーソンらが定義する知的道具や物理的道具は、理科の実験観察においては日常的に使用されているものであり、今後、この立場からの授業研究は進展すると考えられる。

ところで、J.アイバーソンらは、S.ボスニアドァウらが概念変容をメンタルモデルの発展であると説明することにに対し疑問を呈している。たとえば、学習者が抱くメンタルモデルは、特定の状況下で仲介物として使用している道具の影響を必ず受けているからである。特に、J.アイバーソンらは、類推は使用する道具に根本的に依存しており、学習者は異なった種類の道具に接すると、異なった種類の類推をしてしまい、その結果、学習者の認知や理解は全く異なったものになってしまうと考えている。

以上、上述した構成主義に基づく概念変容に関する考え方のうち、S.ボスニアドァウとM. T. H. チィらのアプローチは古典的なアプローチを踏まえつつ、独自の視点から再構成したアプローチと考えられる。古典的なアプローチに関しては、個人の認知を重視した認識論に基づいていた点、情意や意欲といった要因を排除した点について批判が生じている。

他方、J.アイバーソンらは、人間の認知は文化的な道具と切り離して考えることはできず、概念変容が社会文化的な相互作用の中で生じることを強調している点に特色がある。特に、彼らは、概念変容が種々の道具との相互作用によって生じるとし、道具を用いた社会文化的な支援こそが、子どもの認識の発達、メタ認知の覚醒などに係わる能力を高めることができると考えている。

5. まとめと今後の課題

以上の分析から、概念変容研究の展開は、以下のようにまとめられる。

第一に、初期の概念変容研究の代表であるG. J. ポスナーら（1982）の構成主義アプローチの研究対象は個人一人ひとりの頭の中の知識構成であった。それに対し、現在の構成主義アプローチの研究対象は、社会文化的な環境の中でグループでの議論や共同学習を通じた知識構成へと移行している。

第二に、現在の構成主義アプローチは、学習の社会的性格を踏まえ概念変容も個人の頭の中の内在的な機構と見るだけでなく、複雑な社会文化的な世界の中に位置づけられた機構と捉えている。この根底には、「教室という共同体における知識構成が学習者の活動の社会的組織化と不可分」とする考え方があり、そこでは、学習の中心に社会的相互作用が位置づき、それが単なる補助的なものではないことが強調されている。

他方、今後の概念変容研究について展望すると、第一に、古典的アプローチが

認知面のみを重視する「冷たい (cold) 認識論」に基づいていたという反省に立ち、概念変容に影響を与える動機や感情という要因を研究対象に取り上げなければならない。

第二に、概念変容に関しては、多くの研究者がその過程はゆっくりとしたものであることを認めるようになってきており、授業を通した長期的支援によって、認知的な葛藤をどのように和らげていけば良いかを研究する必要がある。さらに、その成果をもとにした新たな教授アプローチの開発が求められる。

註および引用文献

註1) 本論文では以後、「Conceptual Change」の訳語として、対象が人間である場合には「概念変容」を、そして、対象が物や理論である時には「概念変化」を使用した。ここでは、あえて英語表記と日本語表記を1対1で対応させることをしなかった。さらに、対象が人間の場合、「Conceptual Change」の表記の“Conceptual”が意味するものには、Concept (概念) 以外に、Belief (信念) や Conception (見方・考え方) などの認識が含まれていると捉えた。

註2) 構成主義は、現実には構成されたものであり人間から独立した世界は存在しないという前提に立つ理論や実態の総体である。構成主義では、「知る」ことは人間が頭の中で世界を作りだす過程であり、知識は人間から独立した世界の現実を頭の中に写しとったものではないとする立場に立っている。この構成主義の知識観は、実証主義や客観主義の知識観に対立する新たな知識観である。教育における構成主義では、子ども特有の見方や考え方 (Conception) が学習を考える上で特に重要視され、多様な用語が使われている。Conception という英語は Conceive の名詞形で、ラテン語由来の「把握する」という意味がある。

註3) わが国の理科教育では、ミスコンセプションの訳語に「誤概念」を当てているが、これは、正しい「科学概念」に対比させようとしたための直訳である。本稿では誤訳と考えカタカナで表記することにした。本来のミスコンセプションの意味は、「正しい情報に基づかない信念や考え」のことを指しており、訳語に相応しいのは、「誤解」「思い違い」「誤った考え」「謬見」などである。本稿では、ミスコンセプションを「正しい情報に基づかない信念や考え方」を総称する用語として用いた。ところで、十分な情報や経験に基づかない「予断・先入観・偏見」などを強調する場合にはミスコンセプションに代わりプリコンセプションを使用する研究者もいる。

- (1) Wittrock, M.C. (1985) Learning science by generating new conceptions from old ideas. In L.H.T. West, A.L. Pines (eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press: 259–266.
- (2) Champagne, A.B., Gunstone, R.F. and Klopfer, L.E. (1985) Instructional consequences of

- students' knowledge about physical phenomena. In L. H. T. West, A.L.Pines (eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press: 61–90.
- (3) Hewson, P. W. (1981) A conceptual change approach to learning science, *European Journal of Science Education*, 3(4): 383–396.
 - (4) Novak, J. D. (ed.)(1987) *Proceeding of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Department of Education.
 - (5) Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. and Gertzog, W. A. (1982) Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, 66(2): 211–227.
G. J. ポスナーらが唱えたアプローチは、現在では「古典的アプローチ」と言われている。
 - (6) Solomon, J. (1983) Learning about energy: How pupils think two domains, *European Journal of Science Education*, 5(1): 49–59.
 - (7) Smith, J. P., diSessa, A. A. and Roschelle, J. (1993) Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition, *Journal of Learning Sciences*, 3(2): 115–163.
 - (8) Arabatzis, T. and Kindi, V. (2008) The problem of conceptual change in the philosophy and history of science, In S. Vosniadou (ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge: 345–373.
 - (9) Driver, R.(1989) Changing conceptions. In Adey, P. et al.(eds.) *Adolescent Development and School Science*, Falmer Press: 81.
 - (10) Driver, R. (1989) *Ibid.*: 81.
 - (11) Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds.)(1985) *Children's Ideas in Science*, Open university Press: 200.
 - (12) Saunders, W. L. (1992) The constructivist perspectives: Implications and teaching strategies for science, *School Science and Mathematics*, 92: 138.
 - (13) Hewson, P. W. (1982) The case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning, *European Journal of Science Education*, 4(1): 61–78.
 - (14) Strike, K. A., Posner, G. J. (1985) A conceptual change view of learning and understanding. In L. H. T. West, A. L. Pines (eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press: 211–31. K. A. ストライク, G. J. ポスナー 「概念変化として見た学習と理解」, L. H. T. ウエスト, A. L. バインズ監修, 進藤公夫監訳(1994) 『認知構造と概念転換』 東洋館出版社, pp. 259–285.
 - (15) Strike, K. A., Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl and R. Hamilton (eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Science, and Educational Theory and Practice*, Academic Press: 147–176.
 - (16) 拙稿 (1993) 「理科授業実践と概念変換 (conceptual change) 研究—子ども達の科学知識の変換と理科教師の教授知識—」 鳴門教育大学学校教育研究センター紀要, 7, pp. 97–103.

- (17) 堀哲夫 (1995) 「子どもの科学的概念の形成における概念の拡張・転化・転換」山梨大学教育学部研究報告, 46, pp.49-55.
- (18) Hewson, P. W. (1981) op.cit.: 383-396.
- (19) Hewson, P. W. (1982) op.cit.: 61-78.
- (20) Strike, K. A., Posner, G. J. (1985) op.cit.: 211-231.
- (21) Strike, K. A., Posner, G. J. (1992) op.cit.: 147-176.
- (22) Ibid.: 147-176.
- (23) Duit, R., Treagust, D. (1998) Learning in Science: From behaviourism toward social constructivism and beyond. In B. J. Fraser, K. G. Tobin (eds.) *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers: 3-25.
- (24) Tobin, K. (1998a) Issues and trends in the teaching of science. In B.J. Fraser, K.G. Tobin (eds.) *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers: 129-151.
- (25) Tobin, K. (1998b) Sociocultural perspectives on the teaching and learning of science. In M. Larochelle, N. Bednarz and J. Garrison(eds.) *Constructivism and Education*, Cambridge University Press: 195-212.
- (26) Lemke, J.L. (2001) Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3): 296-316.
- (27) Ibid.: 296.
- (28) Lemke, J.L. (2001) op.cit.: 296.
- (29) Lave, J., Wenger (1991) *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press. 佐伯胖訳 (1993) 『状況に埋め込まれた学習』産業図書.
- (30) Collins, A., Brown, J. S., and Newman, S. E. (1989) Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. In L.B. Resnick(ed.) *Knowing and Learning: Essays in Honor of Robert Glaser*, Erlbaum: 453-494.
- (31) 柴田義松 (2006) 『批判的思考力を育てる ; 授業と学習集団の実践』日本標準, p. 123.
- (32) 同上書, p. 124.
- (33) Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., and Gertzog, W. A. (1982) op.cit.: 211-227.
- (34) Nussbaum, J., Novick, S. (1981) Brainstorming in the classroom to invent a model: A case study, *School Science Review*, 62, 221: 771-778.
- (35) Driver, R. (1989) Changing conceptions. In P. Adey, et al.(eds.) *Adolescent Development and School Science*, Falmer Press: 81.
- (36) Ibid.: 81.
- (37) Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A.(eds.)(1985) *Children's Ideas in Science*, Open university Press: 200.
- (38) Saunders, W. L. (1992) op.cit.: 138.
- (39) Millar, R. (1989) Constructive criticism, *International Journal of Science Education*, 11: 589.
- (40) Cary, S. (1985) *Conceptual Change in childhood*, MIT Press. 小島康次, 小林好和訳 (1985) 『子どもは小さな科学者かーJ.ピアジェ理論の再考ー』ミネルヴァ書房.

- (41) diSessa, A. A. (1993) Toward an epistemology of physics, *Cognition and Instruction*, 10: 105–225.
- (42) Ibid.: 105–225.
- (43) S. Vosniadou et al. (2008) Conceptual change research: An introduction, In S.Vosniadou(ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge: x iii– xxviii.
- (44) Clement, J. (2008) The role of explanatory models in teaching conceptual change, In S. Vosniadou(ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge: 417–452.
- Wiser, M. and Smith, C. L. (2008) Learning and teaching about matter in grade K–8: When should the atomic-molecular theory be introduced ? In S. Vosniadou(ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge: 205–239.
- (45) Vosniadou, S. (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4(1): 45–70.
- (46) Chi, M. T. H., Slotta, J. D. (1993) The ontological coherence of intuitive physics, *Cognition and Instruction*, 10(2–3): 249–260.
- (47) Ivasson, J., Scholtz, J., and Saljo, R. (2002) Map reading versus mind reading: Revisiting children’s understanding of the shape of the earth. In M. Limon, L. Mason(eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice*, Kluwer Academic Press.