

科学教育におけるディープ・アクティブラーニング —概念変化の実践と研究に焦点をあてて—

松下 佳代

京都大学高等教育研究開発推進センター

Deep Active Learning in Science Education: Focusing on the Practice and Research of Conceptual Change

Kayo MATSUSHITA

Center for the Promotion of Excellence in Higher Education, Kyoto University

Active learning has been promoted as a key for national educational reform from elementary to higher education for the past few years. However, MEXT is replacing it with the phrase “independent, dialogical, and deep learning” in the new National Course of Study with a view to articulating more clearly the intention of the present reform. We can say the idea of deep active learning advocated by Matsushita et al. (2015) has had some impact on the attention to deep learning by MEXT. The purpose of this paper is to explore deep active learning in science education focusing on the practice and research of conceptual change, which have been trying to combine deep conceptual understanding with dialogue in the classroom. First, we reviewed Hypothesis-Experiment-Instruction as a representative practice of deep active learning in the history of Japanese science education and identified three problems. Then we showed that we can find some solution to them in recent conceptual change research. Finally, by examining several assessment methods related to conceptual change, we proposed that Toulmin’s argument model would be effective to guide and assess the product as well as the process of conceptual change.

Key words: deep active learning, conceptual change, science education, argument, Hypothesis-Experiment-Instruction

1. はじめに

2014年11月の次期学習指導要領についての諮問以来、「アクティブ・ラーニング」は日本の教育改革のキーワードとして、大きなブームを巻き起こしてきた。大学図書館に所蔵された本のデータベースであるCiNii Booksで「アクティブ・ラーニング」を検索すると、初出が2010年であるにもかかわらず244件ヒットし、そのうち2015年以降に出版されたものが228件に上る（2017年3月現在）。

だが、2017年2月に公表された「次期学習指導要領（案）」（以下「改訂案」）では、「アクティブ・ラーニング」という言葉は消え、すべて「主体的・対話的で深い学び」に置き換えられた。もっとも、その理由が「小・中学校においては、これまでと全く異なる指

導方法を導入しなければならないと浮足立つ必要はなく、これまでの教育実践の蓄積を若手教員にもしっかり引き継ぎつつ、授業を工夫・改善する必要」（「改訂のポイント」）があるということなのだと思えば、これはむしろ歓迎すべきことなのかもしれない。

とはいえ、「主体的・対話的で深い学び」と置き換えられたことによって、アクティブ・ラーニングの実践がやりやすくなったかといえば、決してそんなことはない。「主体的な学び」「対話的な学び」「深い学び」はそれぞれに多様な意味をもち、また、三者の間でときには葛藤を起こすことすらあるからだ。

私は仲間とともに、『ディープ・アクティブラーニング—大学授業を深化させるために—』という本を2015年1月に刊行した。教育政策用語としての「ア

クティブ・ラーニング」は、いち早く大学教育で取り入れられたが、グループワーク、ディスカッション、プレゼンテーションなどの授業形態ばかりが目され、初等・中等教育で以前から問題視されてきた「活動あって学びなし」になることが危惧された。そこで、学習の形態に焦点をあてるアクティブ・ラーニングと学習の質や内容に焦点をあてるディープ・ラーニングを組み合わせで作ったのが「ディープ・アクティブラーニング」という概念である。「深さ」に着目する学習論の系譜としては、「深い学習」（あるいは「学習への深いアプローチ」）、「深い理解」、「深い関与（deep engagement）」に着目した（松下, 2015）。この「ディープ・アクティブラーニング」の提案は次期学習指導要領の審議でも参照され、とりわけ「深い学び」という文言に反映されることになった。

理科は、観察・実験・フィールドワークなど、「教員による一方的な講義形式」ではない学習形態を豊かに含み、「自然なアクティブ・ラーニングが取り入れやすい教科」とされる。が、同時に「活動あって学びなし」の授業もやはりみられることが報告されている（山口, 2016）。そこで、本稿では、科学教育におけるディープ・アクティブラーニングの可能性について、とりわけ「深い学び」が「対話的な学び」とどう両立しうるのか、という観点から検討したい。

わが国において、「深い学び」と「対話的な学び」を結びつけた科学教育実践の蓄積として、まず想起されるのは仮説実験授業である。仮説実験授業の原則的な考え方は、①「科学上の最も基本的な概念や原理・原則を教えるということを意図した授業である」、②「科学的認識は、対象に対して目的意識的に問いかけるといふ意味における『実験』を通してのみ成立する」、③「科学的認識は社会的な認識である」（板倉, 1977）であり、①は「深い学び」、③は「対話的な学び」につながるものである（②は「主体的な学び」に対応すると考えられる）。近年でも、認知科学の分野では仮説実験授業が取り上げられ、社会的相互作用を通じて理解深化を促す方法として肯定的な評価を受けている（波多野・稲垣, 2006；齊藤, 2016）。また、アメリカを中心として大学の科学教育に広く普及している「ピア・インストラクション（Peer Instruction）」（Mazur, 1997）も、その構成や問題は仮説実験授業とよく似ている。しかしながら、上島・廣木（2009）の調査によれば、仮説実験授業の広がりや1975年頃に

ピークを迎え、現在の20代の教師のほとんどは仮説実験授業を知らず、仮説実験授業を実践した経験をもつ30代以上の教師の多くも現在では実践していない、という。もちろん、上島らが指摘するように、仮説実験授業が教科書とは異なる教材やカリキュラムを用いているために使いにくいということもその一因だろう。だが、仮説実験授業の蓄積を「対話的で深い学び」につないでいくときに、他に考慮すべき点はないのだろうか。

仮説実験授業が行ってきたのは、子どもが日常生活の中で経験的に形成してきた概念をふまえながら科学の基本的な概念⁽¹⁾を獲得させることであり、認知科学・心理学の用語でいえば「概念変化（conceptual change）」にあたる。概念変化とは、「核となる概念、概念表象および概念表象化（ルールやモデル、理論を含む）における変化」（稲垣・波多野, 2005, p. 178）を意味している。近年の概念変化研究の知見と照らし合わせたときに、仮説実験授業にはどんな問題点があると考えられるのか。また、それは概念変化研究の中でどう取り組まれてきたのだろうか。さらにいえば、学習者に概念変化が生じたかどうかを私たちはどのようにして把握し評価することができるのだろうか。

本稿では、仮説実験授業を含む概念変化の実践と研究を中心に、科学教育におけるディープ・アクティブラーニング（特に対話的で深い学び）について検討することとする。まず、ディープ・アクティブラーニングの代表的事例としての仮説実験授業について再検討し（Ⅱ）、そこで浮かび上がった問題点について、近年の概念変化研究の知見と照らし合わせながら、そうした問題点への応答がどう導き出されるのかを考える（Ⅲ）。最後に、概念変化のプロセスと結果についての複数の評価方法の検討を通じて、「対話的で深い学び」の評価のあり方を考察する（Ⅳ）。

Ⅱ. 仮説実験授業の再検討

1. 仮説実験授業とピア・インストラクション

ハーバード大学の物理学者エリック・マズール（Mazur, E.）が開発したピア・インストラクション（Mazur, 1997；マズール, 2015）は、200人規模の大教室で行われるアクティブ・ラーニングの方法として、大学の科学教育の一つのスタンダードになっている（Redish, 2003；Kober, 2015）。ピア・インストラクションの手順は以下のとおりである（図1参照）。

- ①短い講義
- ② ConcepTest の提示 (ConcepTest はマズールの造語。扱っているテーマに関する概念を問う短い多肢選択問題)
- ③予想選択 (1 回目)
- ④ (正答率が30~70%のとき) 討論
 - * (正答率が30%未満のとき) 概念を再説明し、②に戻る
 - * (正答率が70%以上のとき) 討論せずに説明
- ⑤予想選択 (2 回目)
- ⑥説明

マズールは仮説実験授業を知らずにピア・インストラクションを開発したのだが、両者の手続きはきわめてよく似ている。仮説実験授業の「問題」と ConcepTest にもかなりの類似性がみられる。一方、相違点としては、ピア・インストラクションでは挙手の代わりにクリッカーやその進化形である Learning Catalytics⁽²⁾ が用いられること、1 回目の予想選択の結果に応じてその後の進め方が変わることで、予想選択後は実験ではなく説明が行われること、などが挙げられる。だが、これらの相違点は主として、ピア・インストラクションが大人数講義で行われることに起因するものであり、注目されるのは核となる概念の理解を図るための科学教育法としての類似性の高さの方である。

ピア・インストラクションが科学教育——いまでは人文・社会科学系の科目にも広がっている——のスタンダード的な位置を占めるに至っていることは、それと類似性の高い仮説実験授業が、学校段階や国や分野の違いをこえて、かなりの汎用性をもたらすことの傍証となる。

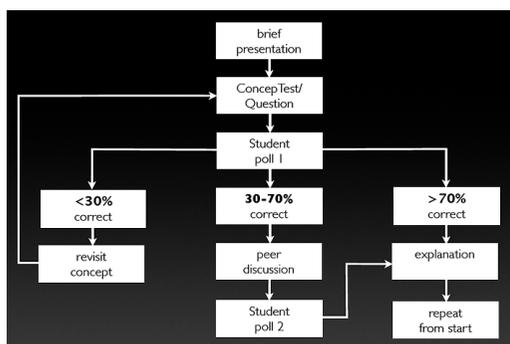


図1 ピア・インストラクションの手順
(出典) Schell & Lukoff (2012) より抜粋。

2. 仮説実験授業の問題点

では、仮説実験授業に問題点があるとすれば、それはどのようなものだろうか。「ばねと力」は仮説実験授業の中でも代表的な授業書の一つである(板倉, 1974)。東京都内の小学校6年生のクラスで行われた「ばねと力」の授業についての詳細な分析と批評が、学びへの転換がいわれ始めた1980年代の終わりに、4名の教育学者・認知心理学者によって行われている(佐伯ほか, 1989)。

問題は、く左右に同じ重さのおもりをつりさげてつりあっているばねがある。一方のおもりをはずして、ばねのはじを台に結びつけると。ばねはどのくらい伸びるか。ア. 前のときの半分くらい、イ. 前のときと同じくらい、ウ. 前のときの2倍くらい」というものである(文意を変えないよう要約)。子どもの誤概念(素朴概念)が現れやすい、「ばねと力」でも最もよく知られる問題の一つである。

この授業は、子どもの予想が分かれ、白熱した討論が展開され、討論後は正解のイへ多くの子どもが予想変更したという点で仮説実験授業のよさがよく表れた授業であると高く評価された。が、同時に、下記のような仮説実験授業の問題点も指摘されている。

- <1> 予想と仮説(理論)は必ずしも対応しない。誤った仮説(理論)の組み合わせで、正しい予想にたどり着く場合もある。
- <2> 実験の後に、子どもに実験結果を解釈させたり、教師が説明したりしないので、子どもには実験によって何が確証・反証されたかがわかりにくい⁽³⁾。
- <3> その結果、実験によって、子どもの既存の概念・理論を覆すことが難しくなっている。「『事実』で理論は倒せない」(村上, 1979)といわれるように。

もちろん、仮説実験授業の成否を知るには、一つの「問題」だけでなく、授業書全体を終えた後の子どもの認識をみる必要がある。だが、庄司(1971)でも、最終テストでの正答率が約9割であったクラスが、6ヶ月後の追跡調査では6割程度に落ちた(それでも仮説実験授業の非体験者よりは10%前後高いのではあるが)という報告があることをみれば、上記の問題点は1時間の授業の分析に限定されたものとはいえないだろう。

上記の問題点は結局、仮説実験授業は概念変化を引き起こすための有効な授業デザインであるか、ということである。いいかえれば、白熱した議論が行われる

という点で「対話的」であったとしても、「深い学び」になっていたか、ということである。そこで、IIIでは、現在の概念変化研究が、こうした問題点に対してどのように応答しうるかを考えることにしよう。

III. 科学教育における概念変化研究

1. 概念変化研究の知見

「概念変化」とは、概念や概念間の関係が個人の発達や科学の歴史の中で変化するプロセスのことである。概念変化研究は、認知発達心理学、科学教育、科学史・科学哲学などの交叉する領域で行われてきた。

「概念獲得」「概念形成」と対比したとき、「概念変化」という用語には、次のような含意がある。

- ・人は、学校で自然科学を学ぶ以前から、日常生活を通じて、何らかの概念を形成している。
- ・しかし、その概念は、科学的概念と比べると、誤概念（素朴概念）であることが多い。
- ・誤概念（素朴概念）は、科学史上に現れた旧理論と類似していることがあり、また、誤概念（素朴概念）から科学的概念への変化も、科学史においてクーン（Kuhn, 1962）が提唱したパラダイムシフトと似ている。
- ・誤概念（素朴概念）は日常経験で得られる事実・データと合致していることが多く、したがって、学校教育においてもなかなか変えがたい。

もっとも、クーンのパラダイムシフト論ではシフト前後の概念・理論は「通約不可能」とであるとされるのに対し、概念変化の場合はより緩やかな変化も含まれている。稲垣・波多野（2005）によれば、概念変化は次の4タイプに分類できる（pp. 178f）。

- ① $A \rightarrow A'$ ：同じ領域内で古い理論（A）から新しい理論（A'）が出現するもので、AはA'に包摂されたり、置き換えられたりする。
- ② $A \rightarrow A' \& A$ ：同じ領域内で古い理論（A）から新しい理論（A'）が出現するが、古い理論も存在し続ける。
- ③ $A \rightarrow A \& B$ ：新しい理論が古い理論から分化する形で出現するもので、両理論は異なる領域での知識体系を代表し、分化後は別々に発達する。
- ④ $A \& B \rightarrow C$ ：新しい理論（C）が古い下位理論（AとB）の統合によって生じる。

①を「代替」、②を「共存」、③を「分化」、④を「統合」と呼ぼう。厳密な意味でクーンのいうパラダイム

シフトと一致するのは①の「代替」だが、概念変化にはそれ以外のタイプも含まれることがわかる。科学教育研究では「概念転換」「概念変換」といった語が使われることが多いが、その場合は、概念変化の中でも、とりわけ①の「代替」に焦点化しているといえるだろう。

では、概念変化を意図的に引き起こすことは可能なのだろうか。ストライクとポズナー（Strike & Posner, 1985）は、概念変化の条件として以下の4つを挙げている。

- (a) dissatisfaction：既存の概念に不満がある。
- (b) intelligible：新しい概念は理解できる。
- (c) plausible：新しい概念は説得力がある。
- (d) fruitful：新しい概念は実り豊かなものである（既存の概念の変則例を説明できるなど）。

クーンのパラダイム論は、〈自然世界の科学的理解の変化は漸次的増加的な進歩としてみるべきではなく、より最近の概念の方が以前の概念よりも優れているということもできない〉と論じるラディカルな理論であるため、対象世界の科学的理解の向上を求める学校教育とは本来なじまない。上の4条件は、科学史を「革命（revolution）」とみるクーンよりも、「進歩（evolution）」とみるトゥールミン（Toulmin, 1972）の立場に近いといえよう（Chen & Wang, 2016）。概念変化を概念間の生存競争とみなす「概念の生態学（ecology of concepts）」という捉え方である。

2. 理科での概念変化の実践

このような概念変化の条件を教室で具体化したものとして注目されるのが、遠西らのグループの一連の研究である（福田・遠西, 2016；福田・大嶋・遠西, 2013；遠西, 2012）。このグループは、概念転換、すなわち「代替」タイプの概念変化を中心に、授業におけるそのプロセスの分析、授業デザイン・評価法の提案などを行っている。

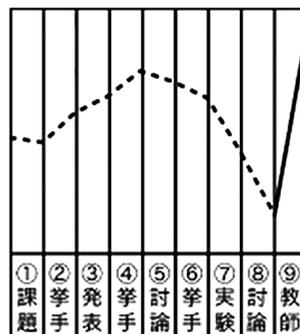
福田・遠西（2016）は、高校2年の物理の授業（単元「物体の運動とつり合い」）の分析を通して、概念転換が学習者によって多様なプロセスをたどるものの、そこには共通して、(1)「既存の理論に対するコミットメントの弱化とそれに続く理論切り換えによる新しい理論の受容」と(2)「新しい理論へのコミットメントの強化」という2段階の構造が認められることを指摘している。ここでいうコミットメントとは、「生徒自身が保持する理論に対する自信や信頼の程度」(p. 46)

のことである。認知的だけでなく情意的にも理論に関与している度合い、としかえすることもできよう。この2段階の構造を、前述の概念変化の条件と照らし合わせると、(1)は(a) dissatisfactionと(b) intelligible、(c) plausible、(2)は(d) fruitfulにほぼ対応するといつてよいだろう。

さらに、福田らは、個々の生徒の概念転換のプロセスの分析から、(1)と(2)がどのような授業局面で生じているかを探ろうとしている。そこで用いられたのは、まず、授業局面を9つ(①課題：課題の提示、②挙手：挙手による理論グループの人数確認、③発表：理論グループごとの意見発表、④挙手、⑤討論：異なる理論間での討論、⑥挙手、⑦実験：演示実験による事実の確認、⑧事後討論、⑨教師によるまとめ(解説))に分節化し、その9局面のどこで保持する理論の転換が生じたのか、コミットメントがどう変化したのかを「運勢ライン法(fortune line method)」(White & Gunstone, 1992; 遠西, 2012)によって把握するという方法である(図2)。この運勢ラインの分析結果から、福田らは、(1)については、生徒どうし・生徒と教師による「社会的相互作用」が、(2)については「実験」が有効であることを見いだしている。すなわち、理論切り換えは社会的相互作用において生じ、実験はコミットメントを変える、というのが、彼らの結論である。

このような知見は、仮説実験授業の問題点に回答するものになっていると考えられる。問題点〈1〉については、常に予想よりも仮説(理論)に焦点をあてることによって(局面②③④⑤⑥)、予想と仮説(理論)の不一致から生じる問題を防ぎ、〈2〉については、実験後に事後討論と教師によるまとめを入れて(局面⑧⑨)、実験によって何が確認・反証されたかを確認している。〈3〉については、「事実で理論を倒そうとする」のではなく、生徒どうし・教師と生徒の社会的相互作用によって概念切り換えを実現し、実験にはコミットメントの強化という別の役割をあてている。

冒頭に述べたように、松下(2015)では、「深さ」に着目する学習論の系譜として、「深い学習」、「深い理解」、「深い関与」を挙げた。概念転換は、学習を知識の断片に暗記にとどまらず自分で概念を理解することとみなし、カリキュラムでも知の構造の深いところにある概念や原理・一般化を重視している点で「深い学習」や「深い理解」と合致し、また、コミットメントは情意的な関わりを重視している点で「深い関与」



生徒Sの運勢ライン

図2 運勢ライン法によって描かれたある生徒の概念転換のプロセス

(注) 破線は誤った理論の保持を、実線は科学理論の保持を示している。また、右上がりとはコミットメントの強化を、右下がりとは弱体化を示している。

(出典) 福田・遠西(2016, p.47)より抜粋。

と通底している。このように、この授業では、これら3つの意味での「深い学び」が、生徒どうし・教師と生徒の社会的相互作用と実験を通じて「対話的な学び」と結びつけられているといえる⁽⁴⁾。

IV. 「対話的で深い学び」の評価

1. 概念変化のプロセスや結果の評価

では、概念変化のプロセスや結果をどのようにして私たちは把握し評価することができるのだろうか。

III-2で取り上げた授業実践で運勢ライン法という評価方法が用いられているように、「対話的で深い学び」をめざす授業では、授業の中に評価が埋め込まれていることが多い。例えば、仮説実験授業では、問題ごとの2回の「予想選択」が形成的評価、単元(授業書)最後の終末テストとアンケート(おもしろかったか、自信がついたか)が総括的評価の機能を果たしている。ピア・インストラクションでは、クリッカーなどを使うことによって、予想の変化や分布が自動的に記録され、評価データとなる。

知識構成型ジグソー法では、授業の前後で同じ問題(例:「カール5世はなゼルター派を容認したか」)を問うことで、授業によって概念理解にどんな変化が生じたかが可視化される(三宅ほか, 2016)。また、グループでの対話をトランスクリプトに起こし、Knowledge Building Discourse Explorer (KBDEx) などを使ってそのプロセスを評価する、といったことも行われている

(遠藤ほか, 2015). ただ, 対話を文字起こしする手間などを考えると, このような形でのプロセス評価は, 研究としては有意義であっても, 日常的な実践としては実施困難だろう.

上述の運勢ライン法は, 生徒どうしの対話のプロセスは可視化できないが, 対話によって引き起こされる個々の生徒の概念変化のプロセスを可視化する上で, 有効な方法である. 生徒自身に記入させることで自分の保持する理論やそれに対する自信についてのメタ認知を促すこと, 評価負担が小さく実行可能性(feasibility)が高いことも, 大きなメリットである.

堀(2013)による「一枚ポートフォリオ評価」も同様に, 比較的小さな評価負担で, 授業前後の概念変化とそのプロセスを可視化し, 生徒のメタ認知を促す評価方法である. 一枚ポートフォリオ評価とは, 「教師のねらいとする授業の成果を, 学習者が一枚の用紙(OPPシート)の中に授業前・中・後の学習履歴として記録し, その全体を学習者自身に自己評価させる方法」(堀, 2013, pp.20-21)である. 単元の最初と最後に, 「『力』という言葉を使って文章を3つ書いてください. 3つ以上書いてもよいです」といった同一の課題や問いが与えられて, その記述内容の違いから概念変化が可視化され, 単元の途中(毎授業後)には, 生徒自身がその時間の最重要点を書くことで学習履歴を残す. 最後に, それら全体を振り返りながら自分の変化や自分にとっての意味などを記述することで, 自己評価を行うことになっている.

2. 概念変化の評価方法としてのアーギュメント評価の可能性

以上みてきた評価方法は, いずれも, 概念変化のプロセスを評価するとともに, 概念変化の結果として獲得された科学的概念(理論)を, 多肢選択や短い記述式などの比較的シンプルな形で評価するものである. だが, 現在の科学教育において科学的リテラシーの育成がめざされていることを考えれば, 根拠にもとづいて科学的な主張を行うことを求めるような, より統合的な形の評価方法も考えられてしかるべきだろう.

そのような観点から注目されるのが, 「アーギュメント評価」である. アーギュメント(argument)とは, 「主張, データ, 論拠, 限定詞, 例外の条件や反駁といった, 論証を構成するための一連の言葉の構成要素からなる形式」(Toulmin, 1958; 山本, 2014)の

ことである. ツールミンがこれらの要素間の関係を示すために提案した「ツールミン・モデル(Toulmin model)」は, さまざまな教科や日常生活における論証に幅広く用いられてきた.

ツールミン・モデルには, 〈主張(claim)・データ(data)・論拠(warrant)〉からなる基本モデルと, その他の要素もあわせた拡張モデルがある(ふつう, ツールミン・モデルといえば拡張モデルを指す). 理科教育では, McNeill & Krajcik (2011)をふまえて, 主に, 基本モデルが, 〈主張・証拠(evidence)・理由づけ(reasoning)〉(坂本ほか, 2012; 山本, 2014)という形で用いられており, この十年足らずの間に数多くの研究が蓄積されている.

ただ, 概念変化研究の知見をふまえ, そのプロセスを反映した論証を生徒に行わせるのであれば, 拡張モデルを使うことも考えられる. 私は, 大学生のアカデミック・ライティングの指導で, ツールミン・モデルや牧野(2008)の「論理のしくみ図」「十字モデル」を援用した論証モデル(図3)を使っている(松下ほか, 2013). アカデミック・ライティングは, 設定した「問題」に対して複数の「主張」を組み合わせて「結論」を導くものだが, 単一の主張であれば, ①〈主張-論拠-事実・データ〉(基本モデル)と②〈主張-反駁-対立意見〉だけを考えればよい. 科学教育の文脈でいえば, ①は, 実験結果や既知の事実から, 何らかの理論を論拠として主張を導くこと, ②は, 対立する理論(素朴概念)に対し反駁して主張を導くことにあたる. III-2で取り上げた実践研究の知見にもとづけば, 概念変化の結果を記述させるには, 基本モデルだけでなく, 対立意見とそれへの反駁まで入れることで

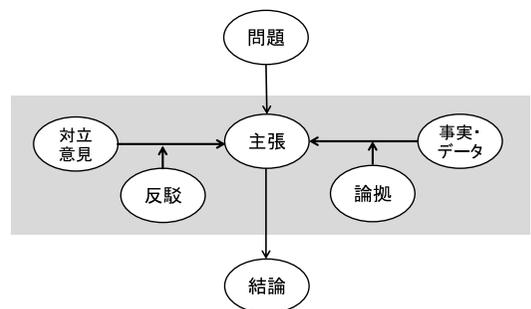


図3 アカデミック・ライティングのための論証モデル
(注) 灰色部分が, ほぼツールミン・モデルに対応する.

論証を組み立てることが有効なのではないだろうか。

秋田大学教育文化学部附属中学校で昨年6月に参観した中1理科「大地の変化」の授業は、概念変化と論証の関係を考える上で興味深いものであった。まず、生徒たちに「私たちの住む秋田県はどのような力が働いてきたのだろうか」という学習課題が提示された。写真から読み取った「秋田県には断層・褶曲がある」という事実・データに対して、生徒たちの仮説は、仮説A「縦向きの力が働くと断層や褶曲が生じる」、仮説B「横向きの引かれる力が働くと断層や褶曲が生じる」、仮説C「横向きの押される力が働くと断層や褶曲が生じる」の3つに分かれた。仮説ごとに、地層モデルを使ってシミュレーション実験した結果、断層と褶曲の両方ができたのは横向きの押される力を働かせた場合だけであり、仮説Cが支持された。この授業は、素朴概念から科学的概念へという典型的な概念変化の授業ではないが、対立意見をもつ生徒との対話によってC以外の仮説(理論)のコミットメントが弱化しCへの切り換えに傾いたこと、実験によってCへのコミットメントが強化されたことは、III-2の知見と合致している。

このようにして構成されたアーギュメントは、坂本他(2012)や山本(2014)が提案しているようなルーブリックを使って評価することもできる。

アーギュメント構成能力(論証能力)は、理科だけではなく、他の教科でも求められる汎用的能力である。汎用的能力は、まずは具体的な文脈の中で形成され、それがその文脈をこえて適用される中で汎用性を獲得していく。理科はアーギュメントを構成する各要素が明確で、アーギュメント構成能力を訓練するのに適した教科である。理科学習を通した汎用的能力の育成という点からも、アーギュメント構成能力は注目される。

V. おわりに

オックスフォード英語辞典が2016年の「今年の単語」に“post-truth”(ポスト真実の)を選んだことは記憶に新しい。“post-truth”とは、「世論を形成する上で、客観的な事実が感情へのアピールや個人の信念ほどの影響力をもたなくなる」という意味の形容詞である⁵⁾。

無垢の事実というものには存在せず、事実は理論負荷性をもつ。つまり、同一の物事を見ても、保持する理論が異なれば違った事実に見える。だが、だからこそ、どんな概念(理論)をもって事実を見るのかを他者と対話すること、その概念(理論)を使いながら対立す

る意見を反駁しつつ事実から主張を導く論証を行うことが、科学教育では重要である。post-truth時代において、その重要性はいっそう増している。

「対話的で深い学び」の追求は日本の科学教育実践の中に長い歴史をもつ。アクティブ・ラーニングの一時的なブームに振り回されることなく、それを理論的・実践的に彫琢していくことは、日本の科学教育の変わらぬ課題である。

注

- (1) 概念変化研究の対象には、理論変化も含まれるが、「概念変化」で総称される。仮説実験授業では、「概念や原理・原則」という表現がなされるが、本稿では、すべて「概念」で総称することとする。
- (2) Learning Catalyticsとは、マズール教授グループによって開発されたクラウドベースの学習分析・評価システムである。クリック以外のデジタルツール(スマホ、タブレット端末、ノートパソコンなど)でもレスポンスシステムとして使用でき、多肢選択式以外の問題も出題・回答・回答分布表示が可能で、グループ編成のための情報をリアルタイムで教員にフィードバックできる。Learning Catalyticsのウェブサイト(<https://learningcatalytics.com/>)参照。
- (3) もっとも、仮説実験授業でも、「教師は各予想の間の理由、考えのちがいを明瞭にさせて、あとで実験が行なわれたとき、それが討論のときに出されたどのような考え方を支持するものとなっているかということを感じ得るようにすればよい」(板倉, 1974, p. 38)とされており、「理由、考え」すなわち仮説と実験結果との対応関係を明確化することの重要性は認識されていた。
- (4) このような実践によって、単元終了直後だけでなく、終了後一定期間を経た後も——例えば、庄司(1971)のように6ヶ月後も——概念変化が維持されるかについては、追跡調査が望まれるところである。
- (5) オックスフォード英語辞典のウェブサイト(<https://en.oxforddictionaries.com/wordoftheyear/wordoftheyear2016>)参照。

引用文献

- Chen, Y. T., & Wang, J. H. (2016): Analyzing with Posner's conceptual change model and Toulmin's model of argumentative demonstration in senior high school students' mathematic learning, *International Journal of Information and Education Technology*, 6, 6, 457-464.
- 遠藤育男, 益川弘如, 大島純, 大島律子 (2015): 知識構築プロセスを安定して引き起こす協調学習実践の検証(教育実践研究論文), 日本教育工学会論文誌, 38, 4, 363-375.
- 福田恒康, 遠西昭寿 (2016): 概念転換のパターンと構造

- 一社会的相互過程として見る概念転換一，理科教育学研究，57, 1, 45-52.
- 福田恒康，大嶋由加，遠西昭寿（2016）：天体の運動に関するホーリスティックな理解—地動説の優位性を実感する授業—，理科教育学研究，54, 2, 249-256.
- 波多野諄余夫，稲垣佳世子（2006）：概念変化と教授，大津由紀雄，波多野諄余夫，三宅なほみ編「認知科学への招待2」，95-110，研究社.
- 堀哲夫（2013）：教育評価の本質を問う一枚ポートフォリオ評価OPPA—一枚の用紙の可能性—，東洋館出版社.
- 稲垣佳世子，波多野諄余夫監訳（2005）：子どもの概念発達と変化—素朴生物学をめぐる—，共立出版. Inagaki, K., & Hatano, G. (2002): *Young children's naive thinking about the biological world*, New York: Psychology Press.
- 板倉聖宣（1974）：仮説実験授業—〈ばねと力〉によるその具体化，仮説社.
- 板倉聖宣（1977）：仮説実験授業のABC—楽しい授業への招待—，仮説社.
- Kober, L. (2015): *Reaching students: What research says about effective instruction in undergraduate science and engineering*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Kuhn, T. S. (1962): *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. クーン, T. S., 中山茂訳（1971）：科学革命の構造，みすず書房.
- 牧野由香里（2008）：「議論」のデザイナーメッセージとメディアをつなぐカリキュラム—，ひつじ書房.
- 松下佳代，小野和宏，高橋雄介（2013）：レポート評価におけるルーブリックの開発とその信頼性の検討，大学教育学会誌，35, 1, 107-115.
- 松下佳代（2015）：ディープ・アクティブラーニングへの誘い，松下佳代・京都大学高等教育研究開発推進センター編「ディープ・アクティブラーニング—大学授業を深化させるために—」，1-27，勁草書房.
- Mazur, E. (1997): *Peer Instruction: A user's manual series in educational innovation*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- マズール, E. (2015)：理解か，記憶か？—私たちは正しいことを教えているのか—，松下佳代・京都大学高等教育研究開発推進センター編「ディープ・アクティブラーニング—大学授業を深化させるために—」，143-164，勁草書房.
- 三宅なほみ，東京大学 CoREF，河合塾編著（2016）：協調学習とは—対話を通して理解を深めるアクティブラーニング型授業—，北大路書房.
- 村上陽一郎（1979）：新しい科学論—「事実」は理論を倒せるか—，ブルーバックス.
- Redish, E. F. (2003) : *Teaching physics with the Physics Suite*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. レディッシュ, E. F., 日本物理教育学会監訳（2012）：科学をどう教えるか—アメリカにおける新しい物理教育の実践—，丸善出版.
- 齊藤萌木（2016）：説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用，認知科学，23, 3, 201-220.
- 坂本美紀，山口悦司，西垣順子，山本智一，稲垣成哲（2012）：理科教育研究における記述のアーギュメントの評価フレームワーク，科学教育研究，36, 4, 356-367.
- 佐伯胖，大村彰道，藤岡信勝，汐見稔幸（1989）：すぐれた授業とは何か—授業の認知科学—，東京大学出版会.
- Schell, J., & Lukoff, B. (2012): *Peer Instruction and Learning Catalytics*. Harvard University IT Summit, May 31, 2012.
- Strike, K. A., & Posner, J. G. (1985): A conceptual change view of learning and understanding. In: L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, 211-231, Cambridge, MA: Academic Press. ストライク, A. K., ポスナー, J. G. (1994)：概念転換として見た学習と理解，ウェスト, L. H. T., バインズ, A. L. 編著，進藤公夫監訳「認知構造と概念転換」，259-284，東洋館出版社.
- 庄司和晃（1971）：主体的学習観の形成，成城学園初等学校研究双書13.
- 遠西昭寿（2012）：運勢ライン法，日本理科教育学会編著「今こそ理科の学力を問う」，254-260，東洋館出版社.
- Toulmin, S. E. (1958): *The uses of argument*, Cambridge, UK: Cambridge University Press. トゥールミン, S., 戸田山和久，福澤一吉訳（2011）：議論の技法—トゥールミンモデルの原点—，東京図書.
- Toulmin, S. E. (1972): *The collective use and evolution of concepts (Human understanding: Part I)*, Princeton University Press.
- 上島昌晃，廣木義久（2009）：仮説実験授業の再評価—教師の意識調査から—，大阪教育大学紀要（第V部門：教科教育），57, 2, 59-74.
- White, R., & Gunstone, R. (1992): *Probing understanding*, London: The Falmer Press. ガンストーン, W., 中山迅他訳（1995）：子どもの学びを探る，東洋館出版社.
- 山口晃弘編著（2016）：アクティブ・ラーニングを位置づけた中学校理科の授業プラン，明治図書.
- 山本智一（2014）：小学校理科教育におけるアーギュメント構成能力の育成（神戸大学博士（教育学）学位論文）（http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/D1006165）.

（受付日2017年4月2日；受理日2017年4月16日）

〔問い合わせ先〕

〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町
京都大学高等教育研究開発推進センター
松下 佳代
e-mail: matsushita.kayo.7r@kyoto-u.ac.jp