

概念変化と発達段階

企画・話題提供 白水 始 (国立教育政策研究所)・益川弘如 (静岡大学)
 話題提供 三宅なほみ (東京大学); 村山 功 (静岡大学);
 田代直幸 (常葉大学大学院); 山口悦司 (神戸大学)

ワークショップの狙いと構成

認知科学のコミュニティでは、ピアジェの発達段階説は、知識の領域固有性や発達の社会文化依存性などの観点から顧みられなくなって久しいが、教育行政やそれに近い教育研究分野では依然根強く信奉されている。この一因は、認知科学の知見が十分に浸透していないことにもあるが、学校教育上、特定の教育内容をどの学校段階のどの学年に担当するかを根拠を教育関係者が求めていることにもある。本ワークショップでは、小中高の理科を対象に、学習指導要領ではどのように担当が決められているかを確認した上で、概念変化研究をもとに、建設的なオルタナティブが提案できるかを検討したい。

今回対象とするのは、ピアジェの4段階の発達説のように、順序性だけでなく「～歳になって初めて〇〇できる」と年齢による適時性まで定めたものである。ピアジェがモデルの一般化可能性をどれだけ信じていたのかは定かでないが(三宅, 本論文集), こうした適時性は教育内容の配列に好都合なため、今でも脳神経科学などと共に教育学の分野で引用されている(安彦, 2002)。引用されている側の神経科学は証拠の欠如を理由に知見の安易な利用に警鐘を鳴らし(森口, 2014), 発達心理学も社会文化学派の批判やネオピアジェシャンらによる乗り越え(まとめとして塚野, 1990)をもとに年齢の適時性自体は疑問視しているにも関わらず、である。科学教育分野でも「発達の段階に応じて」といった言説は、「～歳になるまで〇〇できない」という形で子供の潜在能力を過小評価し学習を抑圧する方向に働くことを批判する者は多い(Metz, 1995)。実際、認知科学では、領域に関する知識の量とその構造化が大人を凌ぐ記憶や推論を子供に可能にすることはよく知られている(Chi, 1978)。学習科学は、子供がその年齢で想定される以上に学ぶ力を持っていることを実証してきた分野だとすら言える。

しかし、警鐘を鳴らしているばかりでは、実際的な教育課程編成のニーズに応えられない。特に

学習指導要領など最近のスタンダードは、内容だけでなく、探究能力などまで系統的に育成しようとする傾向を持つため、人間が潜在的に有する認知能力を引き出すのではなく、年齢ごとに「積み上げる」教育に向かう恐れがある。

そこで今回は、対案として概念変化研究に着目する。概念変化を「物理、生物、天体などの仕組みについて、人が社会的文化的な文脈の中で作り上げた素朴理論を、学校教育における意図的教授などによって科学的な理論へと作り変えていく過程」と捉えると、その研究は教育内容の配列と密接に関係する。実際、概念変化研究が成熟するに従って(Vosniadou, 2013), それを基盤に理科教育の内容を配列する「ラーニング・プログレッションズ」が提案され、スタンダードに採用される動きが出始めている。そのような提案は、クラスのどの程度の子供が同じようなペース(年齢)や順序やコースで概念を変化させるのかという問いや、多様な概念変化に合わせてスタンダードが柔軟性を持っていた方が良いのではないかとといった新しい問いを生む。

本ワークショップでは、田代氏の学習指導要領と山口氏のラーニング・プログレッションズの概説を基調として、村山氏が「断片的知識論」、三宅氏が「社会的構成による概念変化」の観点から発達段階を見直した後、企画者の提案も含めて、フロアのみなさんと議論しながら、上に挙げたような問いへの答えを模索し、教育現場に役立つ発達段階の再定義や示し方について考えたい。

学習指導要領と発達の段階

田代直幸

1. はじめに

平成20年版学習指導要領の理科においては、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」という4つの柱で、理科の内容を系統づけて構成している。これらの柱で小学校、中学校、高等学校の理科の教育全体が見通せるようにしたものである(文部科学省,

2009)。また、小学校では問題解決（中・高等学校においては科学的な探究）に必要な能力についても整理している（文部科学省，2008）。

2. 「生命」を柱とした内容の構成

上記の4つの柱は、およそ物理、化学、生物、地学に対応している。しかし、そう示していないのは、例えば「エネルギー」という概念は、化学でも生物でも地学でも学ぶ際に関わるため、理科という教科を通じて「エネルギー」についての科学的な見方を育てるといったメッセージが込められたものである。柱は学問領域を示したものではなく、科学的な見方や概念を重視して構成されたものだといつてよい。

ここで、内容の構成の具体例として、図1に示した『「生命」を柱とした内容の構成』についてみていくことにする（中高は文部科学省，2009で見られる）。

理科の学習の鍵となる概念は、校種を超えて繰り返しスパイラルに指導される傾向がある。例えば、小学校第6学年では、「植物の養分と水の通り道」の中で「植物の葉に日光が当たるとでんぷんができること」を学ぶ。中学校では、第1学年の「植物の体のつくりと働き」の中で、“葉の働きについては、光合成を行う器官であることや、光合成は光のエネルギーを利用して、二酸化炭素と水からデンプンなどの有機物と酸素を生じる反応であることを理解させる”（解説）、高等学校では、「生物の特徴」の「細胞とエネルギー」の中で、“光合成によって光エネルギーを用いて有機物がつくられ、呼吸によって有機物からエネルギーが取り出されることを扱う。その際、生じたATPが、光合成の反応など生命活動に広く利用されること、光合成や呼吸の反応が酵素の触媒作用によって進むことにも触れる”（解説）と示さ

れている。このように、校種段階が上がるごとに葉の働きである「光合成」という概念が深められていくように構成されている。

3. 内容の構成と発達の段階

これらの内容の構成はどのようにして決定されるのだろうか。前節で見たように、理科の学習は大切な概念については繰り返し指導されることから大幅に指導する順番や内容が変わることはない。しかし、例えば、生物の内容である「遺伝」や「進化」のように、中学校で指導していたものが高等学校へ移行されたり、中学校へ戻ったりが繰り返されている学習項目も存在する。

過去にエビデンスとして用いられているものとしては、教育課程実施状況調査等の国レベルの学力調査における児童生徒の実現状況の把握がある。これらのデータを基にして、児童生徒に定着が困難な内容は上位の学年や校種に移動されることがあった。また、指導主事会等や学校現場の教師からの聞き取りなどからも児童生徒の実現状況や学習指導要領の改訂による長所・短所などの情報を把握している。日本には、「文部科学省→都道府県・政令指定都市教育委員会→教育事務所→市区町村教育委員会→学校現場」と、トップダウンの流れがあり、逆経路でボトムアップの情報収集もされるが、やはりこのルートだけでは収集できる情報は限られている。そこで、教科調査官等が学校視察を行い、幅広く学校の実態の把握を行うようにしている。また、特に2000年以降は、PISA調査やTIMSS調査などの国際調査の結果についても学習指導要領の改訂に大きな影響があらわれるようになってきている。理数教育については、グローバルな視点で教育課程を見ていくことが近年益々重要になってきている。

校種	学年	生 命			
		生命の構造と機能	生物の多様性と共通性	生命の連続性	生物と環境のかかわり
小学校	第3学年	昆虫と植物 ・昆虫の成長と体のつくり ・植物の成長と体のつくり			身近な自然の観察 ・身の回りの生物の様子 ・身の回りの生物と環境とのかかわり
	第4学年	人の体のつくりと運動 ・骨と筋肉 ・骨と筋肉の働き（関節の働きを含む）	季節と生物 ・動物の活動と季節 ・植物の成長と季節		
	第5学年			植物の発芽、成長、結実 ・種子の中の養分 ・発芽の条件 ・成長の条件 ・植物の受粉、結実	動物の誕生 ・卵の中の成長☆ ・水中の小さな生物 ・母体内の成長☆
	第6学年	人の体のつくりと働き ・呼吸・吸収 ・消化・吸収 ・血液循環 ・主な臓器の存在（脳、胃、小腸、大腸、肝臓、腎臓、心臓）	植物の水と養分 ・水の通り道 ・でんぷんができる方法 ・水の通り道		生物と環境 ・生物と水、空気とのかかわり ・食べ物による生物の関係

図1 小学校理科の「生命」を柱とした内容の構成

4. 能力の構成

平成 20 年版学習指導要領の理科においては、育てる能力についても部分的にはあるが、小・中・高等学校を見通して提案している。

小学校では、『小学校理科の観察、実験の手引き』指導資料（文部科学省，2011）の中で「問題解決の過程」を次の 8 つのプロセスで示している。

- ①自然事象への働きかけ
- ②問題の把握・設定
- ③予想・仮説の設定
- ④検証計画の立案
- ⑤観察・実験
- ⑥結果の整理
- ⑦考察
- ⑧結論の導出

実際には、この過程の流れはモデルである。したがって、このようにきれいにモデルどおりに児童の思考や授業が流れるわけではないことに注意は必要である。しかしながら、このような問題解決の過程を体験する中で、問題解決の能力が育成されていくことは期待される。すなわち、児童が自然の事物・現象に触れ、そこから問題を見だし、自らもった予想や仮説の基に観察、実験などを行い、結果を整理し、考察し、結論として科学的な見方や考え方をもつようになる過程の中で、問題解決の能力が育成されるのである。

このように小学校では、問題解決の過程のモデルを示し、問題解決の過程を体験的に学ぶ中で、学年を通して重点的に育成する問題解決の能力というものを示している。これらの能力は、従前の学習指導要領の解説から示され、今回の学習指導要領の改訂においても一部修正を加えて踏襲されている（下線は、筆者による）。

[第3学年] 身近な自然の事物・現象を比較しながら調べる

[第4学年] 自然の事物・現象を働きや時間などと関係付けながら調べる

[第5学年] 自然の事物・現象の変化や働きをそれらにかかわる条件に目を向けながら調べる

[第6学年] 自然の事物・現象についての要因や規則性、関係を推論しながら調べる

小学校で育成する能力を踏まえて、中学校では、観察、実験の結果を分析し解釈するという「分析・解釈」という能力を位置付けている。これらをまとめたのが、表 1 である。

小学校では、観察・実験を実施する前の見通しの

段階で問題解決の能力を使う場面が多くなるし、重要度も高い。中学校になると、観察・実験の見通しが十分になっていることが前提で、観察・実験後の「分析・解釈」の能力を育成していくことになる。

また、小学校では能力として育てていた「比較」「関連付け」「条件制御」などは、中学校・高等学校になるにつれ、すでに身についた技能（スキル）として行使していくことが求められるようになっていく。このことが小・中学校の指導の違いとなって表れる面もあるだろう。

高等学校では、一通りの科学的な探究の過程を経験してきたことを前提として、科学的な探究の技能に強弱をつけてトレーニングする「探究活動」という項目を学習指導要領上に設定している。また、生徒自身がサポートを受けながらも自ら見つけた課題を追究する科目「理科課題研究」を選択科目として設定している。これは、授業の中で実施する理科の「自由研究」であるといってもよいだろう。

5. おわりに

理科においては、小・中・高等学校の全体を見通した内容と科学的な探究の能力の系統性が意識された上で、平成 20 年度版学習指導要領が作成されている。これらの意図が正しく学校現場まで伝わり、義務教育 7 年間と高等学校を併せて計 10 年間の理科教育全体を見据えて、子供一人一人の能力が伸長されていることが期待される。また、今後の学習指導要領の改訂の際にも、これらのよい面は踏襲され、より一人一人の児童生徒の科学的な能力を高める理科教育を創造していくことが期待されている。

学習指導要領は、公教育を担うものであり、一人一人の児童生徒に個別カリキュラムを組むようなことは教師の負担や力量面から考えても難しいことが予想される。しかし、一人一人の学びがどのように構築されるかという認知科学をはじめとする学問上の知見は、学習指導要領の作成の際の大きなエビデンスの一つとして、今後活用されることが期待されるものであると想像する。学校現場との共同研究、学校現場での実証を伴う研究などの推進をぜひともお願いしたい。

表 1 問題解決（科学的な探究）の能力

小学校第 3 学年	比 較
小学校第 4 学年	関係付け
小学校第 5 学年	条件制御
小学校第 6 学年	推 論
中学校第 1～3 学年	分析・解釈

ラーニング・プログレッションズと発達段階

山口悦司

1. はじめに

理科教育研究においては、2000年代後半より、「ラーニング・プログレッションズ」をキーワードとした研究が台頭してきている(Alonzo, 2012; Alonzo & Gotwals, 2012; Duncan & Rivet, 2013; National Research Council, 2007; 山口・出口, 2011)。本稿では、ワークショップのテーマである発達段階という視点から、ラーニング・プログレッションズとは何か、その新規性や有用性はどこにあるのかを考察する。ラーニング・プログレッションズ研究は、概念変化研究を主要な基盤として、Piagetの発達段階に依拠した従来の科学教育カリキュラムを批判的に問い直すとともに、Piagetとは異なる「発達段階」を想定した新しいカリキュラムに資する研究成果を提案してきているからである。

2. ラーニング・プログレッションズとは

ラーニング・プログレッションズとは、適切な教育の下で概念やスキルがどのように発達しうかについての、学術研究のエビデンスに基づいて構築された仮説的なモデルである。このモデルの構成要素は、次の3つである。(1) 発達のスタート：学習前において学習者が獲得している素朴概念ならびに単純で洗練されていない素朴な科学的探究スキル、(2) 発達のゴール：理科で教える内容の背景にある科学の学問領域(例えば、物理学や生物学)における重要概念ならびに複雑で洗練された科学的探究スキル、(3) 発達の中間点：スタートからゴールまでの途中の状態にある概念やスキル。

これら3つの構成要素は、次のように想定される。1つ目の「発達のスタート」については、1970年代終盤以降、学習者が学校での体系的な教育を受ける前から、あるいは、体系的な教育を受けた後においても保持する素朴な概念やスキルが明らかにされており、多様な概念や各種のスキルについて、その実態に関する研究成果が蓄積されている。発達のスタートは、このような研究成果を基盤としている。

2つ目の「発達のゴール」に関しては、物理学等の科学の学問領域には、その根幹となる概念が存在する。例えば、物理学では原子論・分子論、生物学では進化論である。また、科学者が実践している科学的探究には、その探究を進める際に活用されているスキルがある。科学者や科学実践を対象とした科学の社会的研究などの成果とともに、理科教育に対

する社会的要請を踏まえて、学習者に獲得させたい概念やスキルが発達のゴールとして想定される。

3つ目の「発達の中間点」については、年齢の経過に伴う概念やスキルの変化を縦断的・横断的に探る「発達色の強い」研究成果とともに、教育実践をデザインする中で概念やスキルの獲得を意図的に促進する「教育色の強い」研究成果の蓄積がある。これらの蓄積から、スタートからゴールにかけて連続的に変化する概念やスキルのスナップショットが抽出される。その中には、発達のゴールとして設定されている概念やスキルとは関係がない、もしくは、単に誤っているだけのように見えるが、そうではなく、ゴールの概念やスキルに到達するために生産的な役割を果たす状態の概念やスキルが含まれている。このような複数の中間点がスタートからゴールまでに順番に配列されることによって、個々の概念やスキルの「発達段階」となっている。

3. ラーニング・プログレッションズの新規性・有用性

ラーニング・プログレッションズの新規性ならびに有用性は、次の3点にある。第一に、ラーニング・プログレッションズで想定されている発達段階は領域固有である。1970年代以降の概念変化研究の成果を基盤としていることもあり、領域普遍の発達段階というものは想定されていない。複数の概念同士や概念とスキルの関連性に焦点を当てた研究もあるが、発達段階は個々の概念やスキルごとに独立して想定されている。第二に、発達段階が教育と不可分であることを明示している。概念やスキルの発達は、自然発生的な変化、つまり、どのような教育が行われようとも、そのように発達するものとは想定されていない。適切な教育が行われた場合において、ラーニング・プログレッションズの「発達の中間点」として想定されている概念やスキルの変化が生じる。不適切な教育が行われたとすれば、ラーニング・プログレッションズとは異なった変化をたどる。第三に、発達段階が単線型ではなく複線型である。発達のゴールは単一であるとしても、発達のスタートにおける学習者の概念やスキルは単一ではない。また、中間点も、教育の影響を受けるために単一ではない。したがって、個々の概念やスキルの発達段階には複数のバリエーションがありうる。

しかしながら、ラーニング・プログレッションズ研究は発展途上であるために、ラーニング・プログレッションズは理論的にも実証的にも確立

されていない。理論的な側面に関しては、例えば、モデルの構成要素の3つ目「発達の間接点」は、“precursor ideas”, “stepping stone”, “messy middle”などと多様に表現されているが、その内実についての総合的な検討は今後の課題とされている。また、スタートの年齢やゴールの年齢をどのように設定するかという発達の期間や、スタートからゴールまでにいくつの段階を想定するかという発達の粒度についても、それぞれの研究において独立して決定されており、ラーニング・プログレッションズ研究としての標準的な見解はまだない。さらには、概念変化研究との関連で言えば、ほとんどの研究は概念の「理論説」を採用しているが、概念の「断片説」からの批判的検討はようやく始まったばかりである。ラーニング・プログレッションズにおいて、概念を説明するための粒度も検討課題である。実証的な側面に関しては、多様な概念や各種のスキルに関して発達の間接点を網羅的に設定するためのエビデンスとなる研究成果は不十分であるために、ラーニング・プログレッションズ研究を通してそのような研究成果が蓄積されているという現状にある。この他にも、「適切な教育」を長期的かつ大規模に実施して、仮説的なモデルとしてのラーニング・プログレッションズの信頼性や妥当性を検証することが今後の研究展開に対して求められている。

断片的知識論とその教育への示唆

村山 功

1. 現象と説明の粒度

Piagetの発達段階説では、本来なら領域横断的な大変化が一斉に生じるはずであるが、実際には領域によって発達の進捗が異なることが知られており、これは水平的デカラージュと呼ばれている。このとき、領域横断的な大変化という大きな現象を説明するために、水平的デカラージュをアノマリーとして後回しにするか、領域依存性があるのだからそちらを優先して説明するか、という選択が可能である。これは、どの粒度で対象を切り取って説明するかの違いだといえる。

(少なくともある時期までの) 認知科学においては、人が持っている知識構造によってその人の認知行動を説明する。そのため、この認知行動や知識構造をどの粒度で説明するかという問題が生じる。一連の認知行動をまとめて説明できるよ

うに知識構造を大きく捉えると、その知識構造がどのように作られたか、どのようなプロセスを経て新しい知識構造に変化するか、なぜ文脈による認知行動の多様性が生じるか、が説明しにくい。一方、小さな要素知識が組み合わせられることによって認知行動が生み出されると考えると、知識の起源を経験に求めやすく、知識構造の漸進的な変化を扱え、文脈依存性を説明しやすい利点がある。

ここでは断片的知識論として、diSessaのp-prim理論とLawlerのmicroworld理論を紹介し、その教育的示唆を考察する。

2. diSessaのp-prim理論

p-prim

p-prims (phenomenological primitives) とは、物理的世界の現象の観察を通して獲得される、単純な要素知識である。例えば、バネを押すと縮み、放すと戻るという現象から、「弾性」というp-primが獲得される。このような要素知識は、観察に基づいて多様な現象から大量に作り出される。その内容は単純であり、保有している人間にとっては直観的で、自明で、説明が不要なものである。

個々のp-prim自体は単純なものであり、それ単独で複雑な思考を説明するようなものではなく、p-prims間の関係によって説明を行う。その仕組みが、呼び出しの優先度と信頼性の優先度である。

- ・呼び出しの優先度 (cuing priority) : 人間が自然現象を見たとき、それに関連すると思われるp-primが呼び出される。観察された現象に関連するp-primが複数あっても、呼び出されるのは優先度の高いp-primであるため、持っているp-primsに変化がなくても、優先度が変われば、同じ現象を見たときに呼び出されるp-primは変わる。つまり、現象がどのように認識され、どのような推論が行われるかが変わる。

- ・信頼性の優先度 (reliability priority) : 呼び出されたp-primを使うかどうかを決定する。p-primsの呼び出しは状況との単純なマッチングによって行われるため、呼び出されたp-primは必ずしもその状況に適切とは限らない。より適切なp-primを選ぶのが信頼性の優先度である。

p-prims獲得後の学習

落下した物体が跳ね返ったとき、弾むp-primが呼び出される。その現象についてさらに考える必要がある場合、より上位のp-primへのリンクをた

どる。それが弾性 p-prim か剛性 p-prim か、あるいはそれ以外の p-prim かは、人によって異なる。現象を説明するには弾性の方が強力であるため、学習が進めば弾性 p-prim が上位にくる。

素人や初心者の推論が、提示される現象によって大きく変わるのは、特に呼び出しの優先度が文脈に依存しているからである。日常生活の様々な場面において、場面特有の p-prim が作り出されるため、多様な状況に対応することができる。しかし、それは場面ごとの個別対応であり、文脈に敏感な推論とならざるをえない。一群の物理現象を同じ理論によって統一的に説明するようなことは異なる。その一方で、信頼性の優先度が安定していくにつれて、p-prim 間の関係は組織化されていくことになる。これにより、文脈による多様性を保ちながら、体系性を示すことができる。

学習に対する示唆

- 1) 個々の p-prim 自体について正しいとか間違っていると言うのは意味がない。その現象を扱うのに適切な p-prim が呼び出されれば正答し、不適切な p-prim が呼び出されれば誤答する。
- 2) 学習のどの時点においても、同じような p-prim を含んでいる。根本的な概念変化が起きたとしても、p-prim の総入れ替えは生じない。たとえば、運動方程式あるいはエネルギー保存則や弾性係数によって、物体の跳ね返りの運動が計算できるようになったとしても、弾むという現象を見たときに弾む p-prim が働くことに変わりはない。そうでないと、現象と科学的概念をつなぐものがなくなってしまう。(→形式的知識の分散符号化)
- 3) 科学的概念の獲得は学習の終了を意味しない。科学的概念を正しく獲得しても、それが必要な現象に適用されるかは呼び出しの優先度の問題。たとえば、ガラス板の上に鉄の玉が落ちる場合でも、そこに弾性は存在している。しかし、日常的な考え方では、この現象から「剛性」や「壊れる」という p-prim は呼び出されても、「弾性」や「弾む」という p-prim は呼び出されない。このことは、弾性についての科学的概念が獲得されていても、この場面には適用されないということを意味している。

形式的知識の分散符号化 (distributed encoding)

形式的知識は知覚システムから直接活性化されない。まず知覚システムによって p-prim が活性化され、そこから形式的知識が活性化される。形式的知識が p-prim を必要とすることを、形式的知識の

分散符号化と diSessa は呼んでいる。

3. Lawler の microworld 理論

加算についての知識とは数を加えることに関するひとまとまりの知識であり、様々な加算の問題をこの同一の知識を使って解いているように思える。しかし、Lawler は、加算に関する知識が断片的な知識のあつまりであると考え、Lawler は自分の娘ミリアムの加法の学習を丁寧に追いかけて、これを示した。

ミリアムは 75+26 という同じ問題に対して、数え上げ (図 1)、お金の計算、筆算という 3 つの方法を使って答えている。しかも、問題の提示のされ方によってどの方法が適用されるかが変わるといふ、文脈依存性を示している。さらに、直前に求めた結果を別の形式の計算で使っていない。このことから、3 つの方法が断片的で相互に独立した知識構造であると考えられる。

つまり、どの問題に対しても加算という一つの知識を適用しているのではなく、お金の問題にはお金の加算専用の知識構造が、筆算の問題には筆算専用の知識構造が、それぞれ独立に働いている。この知識構造は diSessa の p-prim よりも粒度が大きいものの、加算というひとまとまりの知識よりも断片的である。こうした断片的な知識構造が相互に関連を持たず、競合して働いている。

このようなマイクロワールドは経験から得られる。お金の加算を扱う MONEY は COUNT から生まれたが、硬貨の単位を含んでいるという違いがある。また、お気に入りのガム (15 セント) は 2 個で 30 セントであるなど、MONEY の「既知の結果」はかなり特殊である。COUNT の「数えられる対象」に対して、硬貨の持つ不規則な単位を被せたものが MONEY の perspective であり、MONEY は COUNT が経験によって精緻化された子孫であるとされる。2 桁同士の加算を扱う DECADAL は Logo の経験から生まれた。

詳述は避けるが、学習の形態には以下の 3 通りがある。

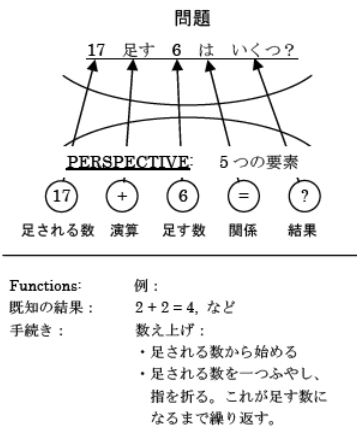


図 1 COUNT のマイクロワールド

- ・経験によってあるマイクロワールドが精緻化されて別のマイクロワールドになる (MONEY)
- ・独立したマイクロワールドの上位に、それらと呼び出す新たな制御要素が作られる (SERIAL)
- ・複数のマイクロワールドの対応関係についての知識が作られる (CONFORMAL)

4. 教育に対する示唆

断片的知識論と対立する考え方として、以下のものを考える。

- ・知識が一般性を持っており、新たな知識を付加していくことによって、より複雑で体系的な知識構造を形成していく
- ・獲得されるべき知識がひとまとまりのものとして考えられないこと、学習者が持っている知識の多様性が重要であること、そしてこれらの知識間の関連づけが必要であること

このような考え方に対して、断片的知識論から以下のような問いかけが可能である。

- ・知識がひとまとまりのものならば、それを教えることを授業の目標とし、その知識を使って解ける問題で学習の結果を評価することができる。
- 人間の理解が文脈に敏感な小さな知識のかたまりによるものとしたら、学習者がどうなったときに我々は「教えた」ということができるのだろうか。学習目標をどのように立て、どのような方法で評価すればいいのだろうか。
- ・知識がひとまとまりのものであるならば、学習者の理解状態を記述し、その上に新たな知識を積み上げていくことができ、そのためにもっとも適切な例を選んで教えることができる。
- 学習者の理解状態は小さな知識のネットワークであり、単なる知識の有無によって学習者を記述することはできないのではないか。また、知識を知識の上に積み上げるといふ比喩自体も、意味を持たなくなるのではないか。そして、ネットワークは局所的に漸進的に変化していくため、「ここまでわからせる」という教授行為を想定することもできなくなるのではないか。
- ・もし、知識がひとまとまりのものならば、それを教えることが授業における一つの大きな区切りとなり、次は使えるようにすることが目標となる。
- diSessa の分散符号化の考えに沿うならば、このような「まず習得、次に活用」という段階的な

考え方はできないのではないか。

断片的知識論は、この粒度で現象を扱い、説明すべきだと主張しており、発達もしくは発達段階という区分けは粒度が大きすぎて、説明の直接的な対象とはなりえない。

社会的構成による概念変化モデルと授業デザインからみた「発達段階」

三宅なほみ (東京大学)

1. これからの学びのゴール

今学校での学びは新しいゴールを目指している。これからの社会が単に知識を覚えていることではなく、分かっていることを組み合わせて新しい知識を作り出すことを求めるようになってきたからである。先生が答えを差し出すのではなく、生徒同士が自分たちで考え、分かっていることを集めて編集してひとりひとり納得のいく答えを作り出し、その答えを足場にして次の問いを引出して行けるようにしたい。そうやって一人ひとりの学習者が、自分自身の経験則に基づきながら、他人の考えやより科学的な考えに触れ、それらを自分で統合して、自分の理解で予測できることからの範囲を広げ、他人にとっても役に立つ知識や理解の提供者にもなることが求められている。協調的な学習は、そういう場を教室の中に準備して、学びの主権を生徒たち自身にゆだねるために考え出されてきた学習形態でもある。決まった答えを知っているかどうかで人の価値が定まった学習より、この方が健全でやりがいのある楽しい学習だと言えるかもしれない。楽しむにはしかし、好奇心や探究心に支えられた知的なたくましさが必要である。協調的な学習は、そういった知的なたくましさを育て、たくましさは活きるための雰囲気作り、コミュニティづくりを目指してもいる。

そういう授業を組み立てるには、人がいかに学ぶものか、その仕組みについての見通しが必要になる。私たちは、私たち自身についても、生徒たちについても、どう学んできて今何を知っているのか、これからどんな経験をしたらどう学んで行けるのかの仕組みを見極めるデータをまだ十分には持っていない。生徒たちが先生の説明を熱心に聞き、黙って正解してくれても、そこからは彼らの学びの実態を知るために欲しいデータは出てこない。同じ問いに答えるために話し合い、仮の答えを少しずつ作り変えて行く「過程」がつかまえられるれば、それはほんの少しだけれど、仕組みを分析する対象になる。生

徒同士の会話を促す協調的な学習方法は、学習過程を理解するためのデータ収集方法としてもかなり有望である。生徒たちが話し合うことばそのものや表情、資料に引く線、説明用を書くメモ、そういった観察結果をまとめた表やグラフがあれば即そのままそれらが、彼らの学びの過程を覗き見る窓を開けてくれる。そういうデータは、私たちが、そもそも学習とはどのようにして起きるものかを今より良く理解して、どの段階で何をどう支援するのが良さそうかを今よりうまく判断して、総体としての教育の質を上げるために役立つだろう。

2. 学び続ける仕組み

図1は、知識や理解が社会的に構成される様子を図式的に示したものである。人は、生まれ落ちてすぐ外界を一定のやり方で切り取る装置を持って生まれる。回りのものの見方や、それへの関わり方が一定の方向で起きるよう制約されている。この制約によって、小さい子どもでも、日々経験することに対して一つの予測を持ちながら、自分の予測を確かめて行くことができる。そうやって、小さい子ども、経験をまとめて予測のための経験則を作る。これが図の一番下にあるレベル1の理解である。



図1 知識と理解の社会的構成

子どもは毎日、新しく経験したことを少しずつその中に取り込んで、この経験則を強化したり、少しずつ変えたりしている。家の応接間で柔らかいボールをそっと蹴って遊んでいた子は、「ボールをこのくらい蹴るとあそこまで行く」という経験則を作って、段々行かせたい所までボールを行かせる蹴り方ができるようになるだろう。その子がある時、外の公園でもっと堅いボールを蹴ることになると、最初どの位の力をいれて蹴ったらいいかを決めるには、応接間で作った経験則を使うかもしれないが、外で何回かやるうちに、応接間モデルが特定の公園モデ

ルに「適用範囲を広げて」行くだろう。この子は、応接間に戻れば応接間モデルも使えるだろうから、「適用範囲を広げている」と言える。これがすべて、レベル1で起きること、である。

やがてこの子が学校に上がり、物理学を学び始めると、経験則とはかなり違う「新しい考え方」に触れることになる。極端にいうと、物質に一定の質量がある時、一定の力を加えると、物質は等速運動をする。子どもの経験ではこういうことは起きないが、これが今この子が「学ばなければならない」レベル3の科学的知識、「教科書にある考え方」である。

この二つをつなぐのが、レベル2で起きる学習過程である。科学者は、ここに恐ろしい程長い時間と、もう記録に残っていないたくさんの人々を巻き込んでその人たちの間でなされてきた情報交換、実験、結果を元にした抽象化、抽象化された証拠を元にした仮説づくり、仮説を実体化して工学的に得られた証拠などを経て、科学的知識を「社会的に構成」した。ここでレベル3の考え方がわかっている教師が「わかりやすい説明」をすると、それはそれだけ独立した、経験則とは別の知識として取り込まれる可能性が高い。ここ30年程の学習科学研究の成果を見ると、こういう「独立してレベル2」空間に浮遊する知識は、一定程度学習者の頭の中に留まるものの、使わなくなれば消えてしまう。何より少し別の文脈で取り出されて使われ続けることがほとんどない。

ここで試みたくするのが、もともと科学者がレベル1とレベル3をつないだ「社会的構成」法である。これを、学び方の一つとして抽出できれば、学校の教室で似た過程を再現できる可能性がある。これが今世界的に実践され、検討されている協調学習という取り組みである。

3. 教室で対話を通して概念変化を引き起こす

報告者は長年、本シンポジウムの企画、話題提供に関わっている共同研究者と、社会的構成を引き起こす一つの原理としての「建設的相互作用」という考え方の精緻化に取り組んできた（経緯は三宅・三宅、2014に詳しい）。以下ではこの考え方を、現実の教室での学びを引き起こす型<知識構成型ジグソー法>として捉えた実践を紹介する。

通常のジグソー・クラスでは、学生たちは最初グループになり、課題が何かを理解して、各自分担を決めて「専門家グループ」に分かれて教材の分担部分を検討し、そこから戻ってきて、わかったことを持ち寄って「ジグソー活動」を行う。これに対して、知識構成型のジグソー方式は、専門家グループに分

かれて調べたことを統合して課題に答える、より高度なプロジェクトを設定することによって、知識を高め理解を促進する知的な協調的活動の方略としても有効に機能することが狙われている。筆者が最近関わっている小中高等学校での授業を変えるプロジェクトでは、この知識構成型のジグソー法をベースに、先生がここは生徒にしっかり理解しておいて欲しいと感じる課題を取り上げ、

- 1) その課題を解くのに必要な部品を教科書等から抜き出し、専門家グループに分かれて担当して他人に説明できるようにその内容を理解する
- 2) 準備ができたなら専門家グループから一名ずつ集まって新しいジグソーグループを作り、そこで部品の内容を交換し合って課題に答えを出し、なぜその答えで良さそうか、話し合う
- 3) ジグソーグループで出た答えをクラス全体で発表し合い、同じ課題への答えでもその表現の仕方にはいろいろあることをモニターすることによってひとりひとりが自分にとってもっとも納得できる答えを作る
- 4) クラス全体でどのグループでも段々答えが見つかってきたら、お互いに今考えている答えを発表し合って、全体としてお互いの表現を高め合う

という4段階の活動を引き起こす。専門家グループで理解したことをジグソーグループで持ち寄って課題に答えを出すことで、参加者一人ひとりに課題遂行とモニターの両方の役割をとるチャンスがある。さらに解答をクラス全体で発表・検討できると、そこでも各ジグソーグループが交代で課題遂行するのを他のメンバーがモニターすることで、全員に建設的相互作用を体験するチャンスがある。筆者らのプロジェクトでは、現場でこういった授業が展開されるようになって、児童生徒がこれまで以上に自らの学びの主体として活躍する姿が見られるようになって来た(大学発教育支援コンソーシアム推進機構, 2014 他 <http://coref.u-tokyo.ac.jp/>)。例えば、

- ・ 答えの根拠が説明できるようになる
- ・ 先生から見て「確かに内容をつかんでいる」と感じられる発言が増す
- ・ 授業3ヶ月後での学習内容の保持もかなり良い
- ・ 学習成果としての動機付けが向上する
- ・ わかった先にある疑問への気付きが起きる
- ・ 学力に関わらず、ひとりひとりが伸びる
- ・ 自分の「学び方」への自覚、「自分でどこまでわかっているかがわかる」などの発話に見られる内

省が起きると同時に、教師にとってもこの形式は、児童生徒の会話を聞くことにより彼らが何をどこまで考えているのかが捉えやすく、次の授業の展開の仕方が考えやすくなるなど利点があることが指摘されている。

4. 対話による概念変化と発達段階

こうやって対話を重ねながら自らの「わかり方」を作り上げてゆく子どもたちの実態にふれてみると、今「授業」という仕掛けで行われていることと子どもたちのわかり方の間に二つの方向性でずれがあるらしいことが見えてくる。一つは、子どもが教員の想定を超えて「わかってくと気になり始めること」を掴んで「次の学び」へ行こうとする方向性、もう一つは教師が教えたはずのことで、子どもの行動からみてその行動の背景に存在しているはずの「理解」が実は存在しないという方向でのずれである。前者を誘発できると、「学び続ける能力」の育成につながる可能性が高いだろう。後者が疑われる場合、その詳細な見直しから「人はいかに学ぶか」についての理論、ないし、像の見直しが起こせらるだろう。

こういう学びの現実から発達段階とは何だったのかを見直す試みも大切なのではないか。Piaget が考えていた発達段階は、一つの、いわば理学的な「理論」構築上の産物だったと考えてみたらどうか? 理学上成り立つことはそのまま現実に適応できることは少なく、理論上の整合性を求めて精緻化される。その中で、人個人の発達の過程が「支援可能なほどよくわかってくる」ということは、本来期待すべきではないのではないか。反対に Vygotsky の提唱した発達の最近接領域という考え方は、アメリカに輸入され、批判を浴びながらも社会構成主義として対話による理解深化支援など、実際に教室で実践可能で、結果として成果の評価が可能なデータの世界を作り上げていったとも考えられる。理学に対する、いわば工学的な適用と発展である。文部科学省や学習研究者が、どちらの立場から現実の一人一人の子どもの学びを、その本人が「学び続け、賢くなり続ける」ことを一つのゴールとして支援しようとするのか、と問われれば、私は後者だと思う。その意味で学習研究は高度に工学的であり、実践からデータを得てこれから構築されるべき面が多い。

Piaget の発達段階という考え方は、「子どもは、独自に、自分なりの理論を作り上げるものだ」ということを前提に出発している。Piaget が構築した理論のなかでもここは、理学を工学に適用する時の基

盤となる。今私たちが認知科学や発達心理学の研究の成果としてわかっていることの中にも、これに似た「理論的基盤」となる構成概念がある可能性もある。ことばによる抽象化の効果（例えば Humphrey, 2002）、できることとわかること、ものに働きかけて結果を出せることと言葉で説明できること（Karmiloff-Smith, 1992）などが示す一定の順序性を感じさせる現象については、それらの意味するところが、そもそも『学校で扱うコンテンツ』や『学力（スキル）』の順序性を規定するのかわからず吟味する必要があるだろう。

ビッグデータ時代の「発達段階」

白水 始・益川弘如

Piaget の領域普遍的発達段階説に対するオルタナティブとして、領域固有な発達段階を想定するか（山口）、それすら諦め、領域を絞って細粒度の知識の断片を書き出す（村山）というのは、認知科学のコミュニティに馴染みのあるアプローチである。前者は汎用的なフレームワークという「夢」をまだ与えるが、山口自身や三宅が指摘するように、教室に座る一人一人の子供に当てはまるのかが検証されたことはない。これに対して、後者は、人が一つの単元を学ぶのに関わる p-prims が数十から数百あると言われることからわかるように、全部書き出すと非現実的な規模の研究になると思われてきた。

翻って田代による学習指導要領の紹介を見ると、ラーニング・プログレッションズのような強固な仮説が根底にあるようには見えず、むしろ継続的に取り扱ってきた内容について、学年の間を出し入れしながら、全国学力調査や現場の声を踏まえて微調整する、ある種 data-driven science のように見える。ただし、肌理が粗い。これに対して、三宅が展開するような協調学習時の児童生徒の課題に対する説明や予測に関する発話から知識の断片を書き出し、組み合わせを推測し、その変化を追跡する試みができれば、分析可能なデータになってくるだろう。イメージとしては、田代の図1のボックスをクリックすると、その中に扱われた学習課題とそれに対する児童生徒の言動が時系列的に見えるものである。

このようなビッグデータが入手でき、Learning Analysts が恒常的にその意味分析をできるようになると、断片に見えていた知識が組み合わせられて安定して使われたり、逆に想定以上に多様なプログレッションズが見えてきたりなど、概念変化研究がも

う一段進む可能性がある。さらに、多様な軌跡のどこに共通性が見られるか、束ねられるかを示唆することで、「一般的な」枠組みや順序性として教育行政関係者が「仮説」としてのスタンダードを作り、教育現場が多様な実践を通してその継続的で柔軟な改訂を試みるプラットフォーム、かつ「人はいかに学ぶか」に関するデータベースにすることができるのではないか。その構想を当日議論したい。

謝辞：本研究は科研費基盤研究 A (26242014)、新学術領域研究 (21118001) の助成を受けたものである。

文献：

- 安彦忠彦 (2002). 『教育課程編成論—学校は何を学ぶところか』. 東京: 放送大学教育振興会.
- Alonzo, A. C. (2012). Learning progressions: Significant promise, significant challenge. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15, 95-109.
- Alonzo, A. C., & Gotwals, A. W. (Eds.). (2012). *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 73-96). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 大学発教育支援コンソーシアム推進機構 (CoREF) (2014). 『協調が生む学びの多様性 第4集—私たちの現在地とこれから— (平成24年度報告書)』.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- Duncan, R. G., & Rivet, A. E. (2013). Science learning progressions. *Science*, 339, 396-397.
- Humphrey, N. (2002). *The mind made flesh*. Oxford: Oxford University Press. (垂水雄二訳 (2004). 『喪失と獲得』. 東京: 紀伊國屋書店.)
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lawler, R. W. (1981). The progressive construction of mind. *Cognitive Science*, 5, 1-30.
- Metz, K.E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65 (2), 93-127.
- 三宅芳雄・三宅なほみ (2014) 『教育心理学概論』. 東京: 放送大学教育振興会.
- 文部科学省 (2008). 『小学校学習指導要領解説 理科編』. 東京: 大日本図書.
- 文部科学省 (2009). 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編』. 東京: 実教出版.
- 文部科学省 (2011). 『小学校理科の観察, 実験の手引き』. 文部科学省.
- 森口佑介 (2014). 『おきなごころを科学する: 進化する乳幼児観』 東京: 新曜社.
- National Research Council (2007). *Taking science to school*. Washington, DC: National Academies Press.
- 塚野弘明 (1990). 推論と活動の文脈. (佐伯 胖・佐々木 正人(編)) 『アクティブ・マインド』, pp. 261-288.
- Vosniadou, S. (Ed.) (2013). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. 2nd Edition. New York: Routledge.
- 山口悦司・出口明子 (2011) 「ラーニング・プログレッションズ: 理科教育における新しい概念変化研究」 『心理学評論』 54(3), 358-371.