

「運動の法則」の協同学習における領域知識の影響

教育心理学コース 小林 寛子

The acquisition of conceptual knowledge of the laws of motion through collaborative learning: The influence of domain-specific knowledge

Hiroko KOBAYASHI

The present study investigated the influence of students' domain-specific knowledge on the acquisition of conceptual knowledge of the laws of motion through collaborative learning. Individual pre-tests were administered to 36 eighth-grade students to establish their existing knowledge of the laws of motion. On the basis of their pre-test responses, the students holding wrong knowledge were placed in one of three intervention conditions: groups holding correct knowledge, groups holding different wrong knowledge, or groups holding similar wrong knowledge. The students worked in their groups on a task designed to obtain the counterevidence, and were subsequently post-tested. The pattern pre-post test change revealed that greatest advance among students in groups holding correct knowledge. Dialogue analysis showed the impact of domain-specific knowledge to be attributable to interpretations of the counterevidence.

目次

- | | |
|---------------------------|--------------|
| 1 問題と目的 | B 教育実践に対する示唆 |
| A 反例の提示が概念変化に及ぼす影響 | C 今後の課題 |
| B 概念変化における反例の提示の有効性に関わる条件 | 1 問題と目的 |
| C 「運動の法則」に対する先行概念 | |
| D 本研究の目的 | |
| 2 方法 | |
| A 実験参加者 | |
| B 課題 | |
| C 課題における事前解答と協同するグループの構成 | |
| D 協同による課題解決の状況 | |
| E 課題における事後解答 | |
| F 手続き | |
| 3 結果 | |
| A 課題における事後解答成績 | |
| B 課題解決過程の分析 | |
| 1 全発話のカテゴリー分析 | |
| 2 発話事例の解釈的分析 | |
| a C-WAグループ | |
| b WA-WBグループ | |
| c WA-WAグループ | |
| 4 考察 | |
| A 結果のまとめ | |

学校教育では、多くの科学的概念を学習する。しかし、これらの概念の中には、学習者が学校教育より先に日常経験を通じて構成している概念とは異なるものも多く、その場合、先行概念から科学的概念への変更は難しいことが知られている (e.g., 細谷, 1969¹; Posner, Strike, Hewson, & Gertzeg, 1982²)。そのため、「学習者の先行概念を科学的概念へいかに変化させるか」は、学校教育において重要な課題となっており、教育心理学研究においても様々な教授方法が提案されてきている (e.g., 細谷, 1976³; 板倉・上廻, 1965⁴; 麻柄・進藤・工藤・立木・植松・伏見, 2006⁵)。その一つとして、学習者の先行概念と矛盾するデータを提示するという方法が挙げられる。これは、学習者の認知的葛藤を導き、それを解消するために先行概念を変化させることを狙ったものである。しかし、先行概念の反例を提示されれば、それに適用し得る科学的概念を必ず構成できるというわけではない。科学的概念を支持する知識や経験等が不可欠であろう。本研究は、反例を提示されたときに、反例に適用し得る科学的概念を支持する領域知識を入手可能であることが、

概念変化にどのような影響を与えるかを検討する。

A 反例の提示が概念変化に及ぼす影響

反例の提示が概念変化に及ぼす影響については、これまでに多くの研究がなされてきている。主に、研究の初期においては、反例の提示は学習者の先行概念を修正する上で有効であると考えられていた。この考え方の背後には、学習者は、先行概念と矛盾するデータを提示されることで、認知的葛藤を生じ、その解消を模索する中で、概念を再構造化するだろうという思考過程が想定されている (e.g., Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982²⁾)。そして、多くの研究で、反例の提示は学習者の先行概念を修正する上で有効であることが実証的に示されている (e.g., Chi, 1992⁶⁾; 進藤, 1995⁷⁾)。また、教育実践においても、学習者の先行概念に基づく予想を結果として裏切ることになるような問題が意図的に用いられ、その有効性が報告されている (例えば、仮説実験授業 (板倉・渡辺, 1974⁸⁾; ドヒャー型ストラテジー (細谷, 1976³⁾)。)

しかし、その一方で、反例を提示しても学習者の先行概念は修正されにくいという指摘が行われ始めた。Drefus, Jungwirth, & Eliovitch (1990)⁹⁾は、認知的葛藤によって学習者は先行概念を誤った別の概念に変える場合があることを指摘した。さらに、反例を提示された時の学習者の中には、先行概念の周辺的な変更に終始したり (e.g., 中島, 1997¹⁰⁾)、反例を曲解して先行概念を保持したり (e.g., Chinn & Brewer, 1993¹¹⁾) する者も多いことが報告されている。

このように、反例の提示は学習者の先行概念を修正する場合もあれば、修正しない場合もあるということが示されてきている。したがって、反例の提示が概念変化を促すためには、何らかの条件を満たす必要があることが推察される。

B 概念変化における反例の提示の有効性に関わる条件

では、どのような条件が整えば、反例の提示によって学習者の先行概念を修正することが可能なのだろうか。この解明には、反例の提示から始まる概念変化過程に着目した Tsai (2000)¹²⁾ の概念変化モデルが重要な手がかりになると考えられる。

Tsai (2000)¹²⁾ の概念変化モデルでは、概念変化過程を、(1)先行概念は、適用し得る事例が限定されることに気づく。(2)科学的概念は、現実世界におけるすべての事例に適用し得ることから、より一般性を有して

いることに気づく、という2段階の解決過程で説明する。そして、概念変化に至るためには、先行概念の反例を提示して、(1)の解決を導くだけでなく、「科学的概念に関連した他の適切な概念 (例として、科学的概念を補足説明するもの)」、「科学的概念を裏付ける決定的な事象 (例として、先行概念と科学的概念を結び付けるもの、科学的概念に関連した他の概念と一貫性のあるもの)」を提示して、(2)の解決を導く必要性を指摘している。すなわち、提示された反例に適用し得る科学的概念を支持し、科学的概念と先行概念の葛藤を解決するために必要な知識や経験を、学習者が入手可能な場合に、反例の提示が概念変化を導くと考えられる。

以上より、本研究は、反例を提示されたときに、反例に適用し得る科学的概念を支持する領域知識を入手可能であることが、概念変化にどのような影響を与えるかを検討する。ここで、上述のような知識のリソースとしては、教師と他の学習者の2者が挙げられる。そのうち、教師は、学習者に適切な知識や経験を与える能力が優れていると考えられる一方、指導的な役割を果たす傾向が強いため、学習者自らが与えられた知識や経験を吟味した上で概念を変化させていく過程が生じにくいことも指摘されている (e.g., Kruger & Tomasello, 1986¹³⁾)。そこで、本研究では、他の学習者をリソースとし、科学的概念とは異なる先行概念を持った学習者が、提示された反例に、科学的概念を持った学習者と協同で取り組んだ場合と、そうでない学習者と協同で取り組んだ場合の、概念変化の比較を試みる。

C 「運動の法則」に対する先行概念

さて、本研究で扱う、先行概念と矛盾する科学的概念は、運動の法則である。運動の法則とは、「物体が力を受けると、その力の働く方向に加速度が生じる。加速度は力の大きさに比例し、質量に反比例する」という法則である。この法則から、「落下する物体の質量は物体の加速度に影響しない」という結論が導かれるが、学習者にとってその理解は容易ではない。学習者は「落下する物体の質量が重い方が、物体の加速度は大きい」または「落下する物体の質量が軽い方が、物体の加速度は大きい」といった先行概念を持ちやすいことが指摘されている (e.g., 高垣, 2003¹⁴⁾)。

そこで、本研究では、学習者が実験を行い、その結果「落下する物体の質量は物体の加速度に影響しない」という反例を得て、それに基づいて先行概念を再

検討するという状況を設定する。さらに、実験結果が反例である、すなわち、自分の先行概念と矛盾するとの認識を確実にするために、小林 (2007)¹⁵⁾の提案する「仮説評価スキーマ」を採用する。仮説評価スキーマとは、実験を通して先行概念を変化させるためには、先行概念から導かれる仮説を検証する目的で実験を計画し、結果から仮説の妥当性を検討する「仮説評価活動」が重要である (Klahr & Dunbar, 1988¹⁶⁾) ことから、その手続きを知識としてまとめたものである。手続きとは、仮説を検証する目的で実験を計画する際に必要な「予測」・「証拠収集の計画」と、結果から仮説の妥当性を検討するために必要な「結果の観察」・「結果の解釈」の4つを指す。

D 本研究の目的

以上に述べた問題に基づき、本研究では、反例の提示が運動の法則への概念変化を促すという点について、提示された反例に協同で取り組む学習者間の概念レベルの差異が影響するかについて検討を行う。具体的には、「落下する物体の質量が重い方が、物体の加速度は大きい」という先行概念を持つ学習者が、提示された反例に、(1) 予め「落下する物体の質量は物体の加速度に影響しない」という科学的概念を持っている学習者と協同で取り組む場合、(2) 「落下する物体の質量が軽い方が、物体の加速度は大きい」という異なった先行概念を持っている学習者と協同で取り組む場合、(3) 「落下する物体の質量が重い方が、物体の加速度は大きい」という同じ先行概念を持っている学習者と協同で取り組む場合の、概念変化の程度を比較する。

2 方法

A 実験参加者

東京都内の国公立中学校2年生36名。

B 課題

運動の法則に関する課題を設定した。具体的には、「台車を斜面に滑らせるとき、台車の質量が異なる (1 kg/500g) と、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか」を問う課題を作成した。

C 課題における事前解答と協同するグループの構成

各実験参加者の先行概念を特定するために、課題正答を予想させ、予想の根拠を述べさせた。課題正答の

予想として、(1) 台車の質量が違っても、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化に違いはない、(2) 台車の質量が重い (1 kg) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である、(3) 台車の質量が軽い (500g) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である、の3つが想定された。このうち、(1) が科学的概念に基づく正答である。そこで、(1) の解答をした実験参加者をC (Correct) 群、(2) の解答をした実験参加者をWA (WrongパターンA) 群、(3) の解答をした実験参加者をWB (WrongパターンB) 群の、3カテゴリーに分類した。その結果、C群3名、WA群30名、WB群3名となった。そして、各群から、C-WAグループ (C群1名とWA群3名の4名グループ) 3組12名、WA-WBグループ (WA群3名とWB群1名の4名グループ) 3組12名、WA-WAグループ (WA群4名グループ) 3組12名にランダムに割り当てた。

D 協同による課題解決の状況

「台車を斜面に滑らせるとき、台車の質量が異なる (1 kg/500g) と、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか」を問う課題を、実際に実験して確かめることを通して解決させた。さらに、実験結果が反例である、自分の先行概念と矛盾するとの認識を確実にするために、小林 (2007)¹⁵⁾の提案する仮説評価スキーマを教示した。すなわち、先行概念から導かれる仮説を検証する目的で実験を計画し、結果から仮説の妥当性を検討する仮説評価活動の重要性と、それを行う上で必要な一連の手続きを教えた。具体的には、「ある事柄について自分がどう考えているかに関係なく、客観的な事実が存在します。自分の考えが正しいかどうかを、客観的な事実と比べて確かめることが大切です。事実を集める方法として実験がありますが、実験は、無計画に行うのではなく、次の2つのことに気をつけて行う必要があります。2つのことは、(1) 自分の考えが正しいか確かめるためには、どのような結果が得られたらよいのか (予測)、どのような実験をしたらよいのか (証拠収集の計画) を考えて、実験を計画すること、(2) 結果が得られたら、その結果をきちんと見て (結果の観察)、そこから自分の考えは正しかったのかを振り返る (結果の解釈) こと、です。」という教示を与えた。また、実験中に仮説評価スキーマに基づいた手続きが省略されないように、各手続きを経たか否かを問う質問文を書いた用紙を与え、回答を記入させた。質問文は、①「どのような結果が得られると予想できますか。それはどうしてですか (予測)」

②「①のような予測が正しいか確かめるためには、どのような実験を行えばいいと思いますか。それはどうしてですか（証拠収集の計画）」、③「どのような結果が得られましたか。図にしてみましょう（結果の観察）」、④「台車の質量が異なると、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化は異なると思いますか（結果の解釈）」の4つである。4つの質問文の回答は、各実験参加者が記入後、グループで見せ合い、話し合って1つの答えに集約することを求めた。

E 課題における事後解答

各実験参加者の概念変化の程度を測定するために、最終的な課題解答とその理由を述べさせた。

F 手続き

課題は、夏休みに、国立T大学の教室において、集団的に実施した。まず、課題における事前解答を、テスト形式で質問した。その解答によってグループを構成し、グループごとに実験を通した課題解決を行った。その際、課題解決過程の分析に用いるために、1グループに1台のテープレコーダーを設置して音声記録を採取した。課題遂行に要した時間は約20分であった。最後に、課題における事後解答を、テスト形式で質問した。一連の手続きの終了後には、教育的配慮から、全実験参加者に本研究の目的と課題正答が説明された。

3 結果

A 課題における事後解答成績

各実験参加者が出した最終的な課題解答に対して、正答か誤答かを判定した。台車の質量が違っても、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化に違いはないという解答を正答に、その他は誤答に分類した。C-WAグループ、WA-WBグループ、WA-WAグループの、WA群の正答者数を調べた結果、C-WAグループで9名中9名、WA-WBグループで9名中3名、WA-WAグループで12名中0名であった。3グループによる正答率の差を分析したところ、C-WAグループの正答率が高い傾向が見られた ($\chi^2(2)=21.67, p<.01$)。

B 課題解決過程の分析

反例の提示が運動の法則への概念変化を促すという点について、提示された反例に協同で取り組む学習者の概念レベルが高いことが有効であることが示された

が、それは課題解決過程におけるどのような影響を経て現れたのだろうか。仮説評価スキーマを教示して行うよう促すという状況を設定した結果、反例が自分の先行概念と矛盾すると認識されたのか、それにもかかわらず、反例に適用し得る科学的概念を支持する領域知識を入手可能でない場合には、課題解決に失敗してしまうのかという具体的なプロセスを検討する必要があるだろう。分析に際しては、まず、実験参加者の発話に現れる課題解決過程の特徴を捉えるカテゴリーリストを作成し、それらの出現頻度から、協同で取り組む学習者の先行概念に差のある3グループに特徴的な課題解決活動を探索する。その後、発話事例を詳細に分析し、領域知識と課題解決がどのように関連しているのか、さらに、課題解決状況（仮説評価スキーマの教示）はどのような役割を果たしたのかを考察する。

1 全発話のカテゴリー分析 課題解決活動を分析する枠組みとして、「課題解決を行う際に必要となる仮説評価活動」や「課題解決の材料となる情報や知識」などに焦点を当てた、Klahr & Dunbar (1988)¹⁰、小林(2007)¹⁵、Chinn & Brewer (1993)¹¹の分析カテゴリーリストを、本研究の観察対象に適したカテゴリーリストとして再構成して用いた (Table 1)。分析対象となる発話は、録音記録をもとに、全て書き起こされ、発話の空白や発話主体の切り替えを手掛かりに分割された。平均発話数は、C-WAグループで42.33 ($SD=6.02$)、WA-WBグループで40.67 ($SD=25.72$)、WA-WAグループで21.67 ($SD=2.87$)であった。分割された発話がそれぞれどのカテゴリーに当てはまるかが、筆者を含む2名の評定者によって判定された。この2名の評定者が独立してコーディングを行った結果、一致率は、81.21%であった。不一致の部分は協議して、当てはまるカテゴリーを決定した。

グループによって各カテゴリーの発話生起数が異なるかどうかを検討した (Table 2)。各カテゴリーに対して、分散分析を行った結果、「課題解決の材料となる情報や知識」の下位カテゴリー「先行概念(正)」すなわち、課題正答の根拠となる先行経験や概念に言及する発話についてのみ、グループ間に有意な差が見られた ($F(2,6)=9.00, p<.05$)。「先行概念(正)」は、C-WAグループにのみ出現していることがわかる。一方、「課題解決を行う際に必要となる仮説評価活動」の各下位カテゴリーにおいて、グループの発話生起数に有意な差は見られなかった。すなわち、仮説評価スキーマを教示して行うよう促すという状況を設定した

Table 1 発話の分類カテゴリーと発話事例

上位カテゴリー	下位カテゴリー	内容	発話事例
課題解決を行う際に必要となる仮説評価活動	予測	何が課題の正答かを前もって見当をつける発話	【実験前に】 1キロの方が速いと思う。
	証拠収集の計画	予測が正しいか確かめるためには、どのような実験をしたらよいかを考える発話	(斜面の) 角度だけ同じにして、(台車の) 質量を変える。
	結果の観察	実験結果に言及する発話	これ(台車1kgの結果)とこれ(台車500gの結果)を比べる。
	結果の解釈	課題解答の結論を出す発話	【実験後に】 同じってことだよ。
課題解決の材料となる情報や知識	結果	課題解答(正答・誤答含む)の根拠となる実験結果に言及する発話	【2枚のグラフを重ね合わせて】 これで透かして見ればわかるはず。ちゃんと線を合わせろよ。
	先行概念(正)	課題解答(正答のみ)の根拠となる先行経験や概念に言及する発話	現実には、摩擦力があるから。
	先行概念(誤)	課題解答(誤答のみ)の根拠となる先行経験や概念に言及する発話	重い方ががーって何か引っ張られていく感じがするじゃん。

Table 2 発話のカテゴリーの平均生起数(グループ別)

上位カテゴリー	下位カテゴリー	C-WA (n=3)	WA-WB (n=3)	WA-WA (n=3)
課題解決を行う際に必要となる仮説評価活動	予測	5.00 (1.63)	5.00 (1.63)	2.67 (0.94)
	証拠収集の計画	1.33 (0.94)	1.33 (1.25)	3.00 (0.82)
	結果の観察	0.33 (0.47)	2.67 (1.89)	2.67 (1.70)
	結果の解釈	4.33 (3.40)	1.00 (0.82)	1.33 (1.25)
課題解決の材料となる情報や知識	結果	2.00 (2.16)	0.67 (0.94)	1.67 (1.70)
	先行概念(正)	3.00 (1.41)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
	先行概念(誤)	0.00 (0.00)	2.00 (2.16)	0.67 (0.47)

上段が平均値、() 内が標準偏差 * $p < .05$

結果、どのグループにおいても同程度に、反例が自分の概念と矛盾すると認識されたことが推察される。

2 発話事例の解釈的分析 上記の分析で見出された、C-WAグループに特徴的な課題解決活動が、いかに課題解決結果に結びついたのかを探るためには、より詳細な談話分析が必要である。そこで、各グループにおいて、その典型的な課題解決活動を示し、課題解決結果に至るプロセスを発話データから端的に捉えることができる発話を行った1グループを特定し、以下での詳細な分析の対象とした。

a C-WAグループ (Table 3)

A1~D3を見ると、物体の質量と滑落加速度の関係

について、参加者一人ひとりが実験の結果を予測していることがわかる。予測の中には、「台車の質量が500gでも1kgでも、台車が斜面を滑り落ちる速さの増え方は変わらない」という正答が出現し(B1)、予測を立てた理由が「ニュートン(正確にはガリレオ)が行った実験とその結果」に関する既有知識を用いて説明されている(B2・B3)。この説明は、予測の時点では、他の学習者に受け入れられる様子は見られなかった(A5~D3)。しかし、斜面に500gの台車と1kgの台車を滑らせる実験を行い、その結果が、記録タイマーを用いて「各台車の滑落距離が0.1秒単位でどのように変化していくのか」という形でグラフ化されて、滑り落ちる物体の質量は滑落加速度に影響しな

Table 3 C-WAグループの発話事例

 <質問文①における発話>

- A 1: はい。
 B 1: ないと思う。
 A 2: え, 俺, あると思う。
 C 1: 私もあると思う。
 A 3: じゃあ, ある人?
 C 2: ない?
 B 2: ない。エッフェル塔でね, ニュートンがね, 手摺から, 羽と木の球を落としたんだって。
 C 3: あ, 知ってる。
 B 3: そしたら, 同じに落ちたって。
 A 4: 俺はあると思う。
 C 4: 私もあると思う。
 D 1: 同じじゃないと思う。
 B 4: 同じじゃないと思う (笑)。
 C 5: はい, ある人? じゃあ, あると思う人, はい。
 B 5: ないと思う人, はい。
 D 2: 理由。ニュートンが実験をした。
 A 5: もう一回, あると思う人, はい。
 B 6: 3人。3対1。
 A 6: 3対1。え, 俺, 絶対あると思ったんだけど。
 D 3: 同じって何, ニュートンが?
 <以下略>

<質問文②における発話>

- D 4: 誰が言う? 10度の斜面に500gの。
 B 7: 10度で500のときと, 10度で1キロのとき。
 C 6: はい, 終わり, 終わり。

<質問文③・④における発話>

- B 8: まあ, 最初の勢いが全然違うからさ。
 A 7: 1キロの方が速かったんじゃないの?
 D 5: 万有引力の法則は。
 <中略>
 D 6: これは, 摩擦力が入っちゃってるから。
 A 8: おんなじ風に落ちるの, 質量が違ってても, 落ちるのは同じだもん, なあ。
 B 9: 大いに間違ってるね, これ。
 A 9: 1キロの方が速かった以外の意見の人?
 B10: はい。
 A10: じゃあ, それで。
-

いことが示されたときに, その現象を既有知識で説明することにより, 物体の質量と滑落加速度の関係をもっともらしいものとして受け止めることを可能にしている (A8)。一連の発話から, C-WAグループでは, 自らの既有知識によって, 実験結果を正しく説明する実験参加者が存在すること, その説明づけによって, 課題の正答が導かれることが確認できる。

b WA-WBグループ (Table 4)

WA-WBグループでは, 予測の時点では, 正答は出されず, 「台車の質量が重い (1 kg) 方が, 台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」と, 「台車の質量が軽い (500g) 方が, 台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」の相反する予測が出された (E1 ~ E7)。そうした状況で, 滑り落ちる台車の質量は滑

Table 4 WA-WBグループの発話事例

 <質問文①における発話>

- E 1: えー, 何だっけ。えーと, 理由は何となくで。
 F 1: ああ?
 E 2: 1キロの方が何となく速い。何となく。
 F 2: どっち?
 E 3: 1キロの方が速い。あ, 違いがあるか, 違いがあるか, 違いがあるか, か。
 F 3: 違いがあるか。
 E 4: だから, ある。だから, 違いがある。
 F 4: 理由は何となくで, ある (笑)。
 G 1: じゃあ, あるのね, ある。
 E 5: ある。ここまで聞いて, はい。
 F 5: だめじゃん, 班長。
 H 1: 違いはあるで, 軽い方が最初は速度がつきやすい。
 E 6: えーと。
 F 6: もう一回言ってくれる? ごめんね。
 H 2: え? 違いはあるで, 軽い方が最初は速度がつきやすい, 最初から速そうだけど。
 F 7: 最初だけ, 軽い方。
 E 7: 理由は, 何となくでもよさそうだよ。

<質問文②における発話>

- E 8: えー, じゃあ, 今のうち。10度の斜面に, 質量。まあ, いいや。じゃあ, 角度だけ同じにして, 質量を変える。50じゃねえや, 500, 500, 500。
 F 8: うん。やったー, 終わった。終わりじゃない?
 E 9: 終わり, 終わり, 終わり。

<質問文③・④における発話>

- F 9: え, 500gは? 500g。これ?
 E10: 500はこれ。これは, 1キロで, あ, 10度だ。
 F10: 500と1キロ比べた時。
 E11: これが, 20度で, 500gだ。
 F11: え, じゃあ, これが500g?
 G 2: え, どれとどれが, 比べればいいのか?
 E12: えっとね, これとこれ。多分。
 F12: これ, 何て書けばいいのか? 班長。書いてだつて。
 <<中略>>
 E13: で, 2つとも20度で。
 F13: 20度?
 H 3: なんでもいいんだよ。
 E14: 実験は20度でやったから。20度で, 500gと1キロ。上と下で。で, その答えは, 1キロの方が速かった。
 F14: 1キロの方が速かった? (笑)
 E15: まあ, 終わったでいいや。終わった。
 F15: 大丈夫? …これ。…どっち?
 E16: セロファンテープで貼り付けたところか…。
 F16: よくわかんない。同じって書きなよ。素直に。間違っただよ。
-

落加速度に影響しないことを示した実験結果が得られたことに, 実験参加者が当惑の様子が見受けられる (F12・F14・F15)。そのようなときに典型的に見られ

る反応が, 実験結果を詳細に観察するという活動である (F15・E16)。このことは, 予測と異なる実験結果を受け入れるためには, 実験結果が明瞭であることが

納得できるまで確かめてみる事が重要であることを示唆している。観察の際には、2枚のグラフを揃えてみることで、その一致が明瞭となり、実験結果を受け入れていった様子がわかる (E16・F16)。しかし、実験結果を説明する概念は形成されず、そのために、最後まで納得しきれないのではないか (F16) と考えられる。

c WA-WAグループ (Table 5)

WA-WAグループでは、実験参加者全員が「台車の質量が重い (1 kg) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」という予測を持って、実験を始めている (J1・J2)。その結果が、滑り落ちる台車の質量は滑落加速度に影響しないことに、当惑を示す様子が見て取れる (I6)。ここでも、実験結果を詳細に観察する活動が生じる (I7~I9)。しかし、WA-WAグループにおいては、最終的に「台車の質量が重い (1 kg) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」という結論に終わってしまった。

このように課題解決に失敗する要因を探るヒントになるのがI8・I9の発話である。実験参加者は、「しよ

ぼい差がある。微妙に異なっている」と主張している。すなわち、先行概念に対する反例を受けて、それに適用し得る新しく正しい概念を構成するのではなく、先行概念によって反例をも解釈しようとしている。このため、滑り落ちる台車の質量は滑落加速度に影響しないことを示した実験結果は、実験参加者の先行概念に従った方向に曲げて解釈されてしまったと考えられる。

4 考察

まず、結果のまとめを行い、次いで、教育実践に対する示唆、今後の課題の順に考察を行う。

A 結果のまとめ

本研究では、反例の提示が運動の法則への概念変化を促すという点について、提示された反例に協同で取り組む学習者間の概念レベルの差異が影響するかについて検討を行った。その結果、「落下する物体の質量が重い方が、物体の加速度は大きい」という先行概念

Table 5 WA-WAグループの発話事例

<質問文①における発話>

- I1: ライちゃん。
 J1: 同じだよ、全部同じだよ。何て書いた？
 <<中略>>
 J2: 同じだ、あとみんな。

<質問文②における発話>

- J3: 2枚目って何て書いた？
 I2: え？2枚目何も書いてない。
 J4: 同じだよ、ね、コロコロコロ。
 I3: またそれか。
 <<中略>>
 J5: 理由も、同じ、これ。
 I4: 同じ、書いてあります。
 J6: なんか、何書こう？いいよね、同じなんだから。
 I5: うん。ああ、肩こった。

<質問文③・④における発話>

- I6: これ、どうなった？ 同じ (答え) ?
 J7: 同じだよ、これとこれ。
 I7: どれ比べればいいの？
 J8: これか。なんだこれ？
 I8: しよぼい。
 J9: しよぼい差だ。
 I9: 速いじゃん。1キロの方が。

を持つ学習者が、(1)予め「落下する物体の質量は物体の加速度に影響しない」という科学的概念を持っている学習者と協同を行った場合に、(2)「落下する物体の質量が軽い方が、物体の加速度は大きい」という異なった先行概念を持っている学習者と協同を行った場合や、(3)「落下する物体の質量が重い方が、物体の加速度は大きい」という同じ先行概念を持っている学習者と協同を行った場合に比較して、運動の法則への概念変化が促されるという結果が得られた。

また、協同相手の持つ科学的概念は、実験結果が反例である、すなわち、自分の持つ概念と矛盾すると認識した後で、反例を説明する新たな概念を構築しようとする際に重要な役割を果たすことが示唆された。本研究では、全学習者に仮説評価スキーマを提示することで、先行概念から導かれる仮説と実験結果の整合性を検討させ、実験結果が反例であるという認識を持たせた。結果、学習者が実験結果を受けて認知的葛藤を示す様子が多く見られた。しかしながら、そうした多くの学習者の中で、認知的葛藤を解決して運動の法則という科学的概念に変化できたのは、協同相手から実験結果を説明するために必要な知識を入手できた学習者のみであった。

先行研究で得られている知見は、反例の提示が概念変化を促すというものもあれば、そうではないというものもあって、一貫していない。したがって、本研究において、反例の提示が概念変化を促す条件の一つとして、提示された反例に適用し得る科学的概念の構成に必要な知識を特定できたことは、先行研究における知見の矛盾の解明につながる有用な結果であろう。

B 教育実践に対する示唆

現行の理科の授業においては、観察・実験が多く取り入れられ、さらに、協同で取り組むことが通例となっている。しかし、協同による観察・実験を単に取り入れればよいわけではなく、どのような働きかけが必要かについては、これまで十分には明らかにされてこなかった。

この点について、本研究では、学習者が、観察・実験において、観察・実験の結果として得られた反例に適用し得る科学的概念を構成するために必要な知識を入手し得た場合に、その効果が得られることを明らかにした。このような結果は、授業の中で、協同による観察・実験活動を組織する際、どのようなグループの構成がより効果的であるのかに関して重要な示唆を与える。また、観察・実験から科学的概念を帰納させよ

うとするだけでなく、科学的概念自体やそれに関わる知識を直接的に学習する機会を導入することの必要性を示唆するものだと思われる。現行の理科の授業においては、教師が、学習者自身の観察・実験を通じた帰納過程を重視して、その帰納過程に深く踏み込む働きかけはできるだけ控えるあまり、学習者の概念が不十分なままになっているのではないかと指摘もなされている (e.g., 市川, 2004¹⁷⁾)。したがって、本研究によって、観察・実験を通じた帰納過程において、外部から知識が教授されることの有効性が実証的に示されたことは、授業を構成する上で重要な示唆を与えるものと言えるだろう。

C 今後の課題

本研究では、少数事例の詳細な分析を行い、反例の提示が概念変化を促す条件の一つとして、提示された反例に適用し得る科学的概念の構成に必要な知識を特定すると共に、その知識がどのように概念変化に影響するのかというプロセスも明らかにした。今後、本研究で得られた結果をより一般化するには、対象人数をさらに増やして検討することが課題となるであろう。

(指導教員 市川伸一教授)

引用文献

- 1) 細谷純 1969 教育目標のくだけた 児童心理 第266巻 pp. 56 - 61.
- 2) Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzeg, W.A. 1982 Accommodation of a science conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211 - 227.
- 3) 細谷純 課題解決のストラテジー 藤永保 編『思考心理学』大日本図書, 1976, pp.136 - 156.
- 4) 板倉聖宣・上廻昭 著『仮説実験授業入門』明治図書出版, 1965
- 5) 麻柄啓一・進藤聡彦・工藤与志文・立木徹・植松公威・伏見陽児 著『学習者の誤った知識をどう修正するかール・バー修正ストラテジーの研究』東北大学出版会, 2006
- 6) Chi, M.T.H. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R.N. Giere (Ed.), *Minnesota studies in the philosophy of science: vol.15. Cognitive models of science*. Minneapolis, MN: University of Minesota Press., 1992, pp. 129 - 185.
- 7) 進藤聡彦 1995 誤法則を明確化する先行課題が法則の修正に及ぼす効果 教育心理学研究 第43巻 第3号 pp. 266 - 276.
- 8) 板倉聖宣・渡辺慶二 著『ものとその重さ』国土社, 1974
- 9) Drefus, A., Jungwirth, E., & Eliovitch, R. 1990 Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change: Some implications, difficulties, and problems. *Science Education*, 74, 555 -

569.

- 10) 中島伸子 1997 ルール修正に及ぼす反例遭遇経験の役割—理論の節約性に関するメタ知識の教授の効果— 教育心理学研究 第45巻 第3号 pp.263-273.
- 11) 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 Psychology*, 63, 1 - 49.
- 12) Tsai, C.C. 2000 Enhancing science instruction: The use of "conflict maps". *International Journal of Science Education*, 22, 285 - 302.
- 13) Kruger, A.C., & Tomasello, M. 1986 Transactive discussions with peers and adults. *Developmental Psychology*, 22, 681 - 685.
- 14) 高垣マユミ 2003 大学生の「力と運動」の概念における説明的枠組みの制約 理科教育学研究 第44巻 第1号 pp.39-45.
- 15) 小林寛子 2007 協同発見活動における「仮説評価スキーマ」教示の効果 教育心理学研究 第55巻 第1号 pp.48 - 59.
- 16) Klahr, D., & Dunbar, K. 1988 Dual space search during scientific thinking. *Cognitive Science*, 12, 1 - 55.
- 17) 市川伸一 著『学ぶ意欲とスキルを育てる—いま求められる学力向上策—』小学館, 2004