

操作的思考課題の解決を含む学習活動が ルール獲得に及ぼす効果とそのプロセス

—中学校理科における状態変化の学習に着目して—

植 原 俊 晴*

(平成27年6月15日受付, 平成27年12月1日受理)

Effects of Learning by Solving Operational Thinking Task on the Acquisition of a Rule and its Mental Process : Focusing on Learning of 'State Change' in Junior High School Science

UEHARA Toshiharu *

This study examined the effects of learning that involved operational thinking tasks on the acquisition of a rule and the entailed mental process. Thirty-four middle school students performed these tasks and an experiment as the case example to learn the rule of “state change” in their science class, and they were tested on the recall and application of the rule. Results showed that the learning process including operational thinking tasks facilitated the recall and application of the rule, but the effect on the acquisition of the rule was restrictive. In addition, a protocol analysis revealed that a learner’s cognitive conflict was eliminated when the student’s prior knowledge could relate with the rule and be integrated into the framework of the rule. These findings suggest in order to promote the acquisition of a rule, it is necessary for teachers to design instruction that adequately connects learner’s prior knowledge with a rule.

Key Words : operational thinking task, acquisition of a rule, prior knowledge, junior high school science

I. 問題と目的

1. 操作的思考

学習者は、既有知識に基づいて授業で遭遇する様々な事象を解釈しており、学習者が科学的知識を獲得する際の困難さが指摘されている。この困難さを克服するために、従来から概念変容モデル (Hashweh, 1986)⁽¹⁾ や橋渡しモデル (Clement, 1993)⁽²⁾ などの教授学習法が提案されている。また、最近では、知識表象の変形に着目した研究も盛んに行なわれている (例えば、進藤・麻柄 (1999)⁽³⁾, 立木・伏見 (2008)⁽⁴⁾, 佐藤 (2008)⁽⁵⁾, 麻柄・進藤 (2011)⁽⁶⁾ など)。工藤 (2010)⁽⁷⁾ は、知識表象の形を変えることを「操作」とし、知識表象の操作に関わる思考を「操作的思考」と呼んでいる。そして、ルール命題に対する操作的思考を大きく「変数操作的思考」, 「関係操作的思考」, 「抽象度操作的思考」の3種類に分けている。本研究では、後述のように「粒子の動きが変化すれば、物質の状態は変化する」というルール命題を状態変化のルールと位置づけて授業実践を行っている。この状態変化のルールに即して、3種類の操作的思考を具体的に説明する。まず、変数操作的思考は、状態変化のルー

ルの前件の値である「粒子の動きが変化する」を「粒子の動きが強くなる」のようにルール命題の変数項の変動方向を変化させ、「粒子の動きが強くなれば、物質の状態は気体になる」というような別のルール命題を導く思考のことを指している。次に、関係操作的思考とは、ルール命題の関係項に操作を加えて、別のルール命題を導く思考のことであり、例えば、状態変化のルールの関係項の方向を逆転させる操作を行うことで「物質の状態が変化すれば、粒子の動きは変化する」というルール命題を導く思考のことを指している。最後に、抽象度操作的思考は、変数項に具体例を代入して抽象度の低い具体命題を導いたり、複数のルール命題を組み合わせ、より抽象度の高いルール命題を導いたりする思考を指している。例えば、前者では、「粒子の動きが変化する」に、その具体例である「粒子が自由に飛びまわる」に置き換え、「粒子が自由に飛びまわっていれば、物質は気体である」という具体命題を導くことである。一方、後者は、「熱したり冷やしたりすると、物質の状態が変化する」と「圧力を高くしたり低くしたりすると、物質の状態が変化する」から「粒子の動きが変化すれば、物質の状態は変化

* 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科学生 (Doctoral program student of the Joint Graduate School in Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education)

する」という本研究で状態変化のルールと位置づけたルール命題を導き出すような思考を指している。さらに、工藤（2010）⁽⁷⁾は、操作的思考を促すことにより、概念間のネットワーク構造の学習に結びつけることができれば、これまで知られている以上に広範囲な知識の一般化や転移が生じやすくなる可能性を指摘している。したがって、学習者の操作的思考を促すことで、科学的知識を獲得する際の困難さを低減させることが可能であると考えられる。

2. 操作的思考及びルール学習研究の成果と課題

麻柄・進藤（2011）⁽⁶⁾は、「日本海を通過するとき季節風はその距離に応じた量の水蒸気を吸い込む」という降雪量のルールを取り上げ、学習者の操作的思考を促す課題（以下、「操作的思考課題」と記す）を設定し、大学生を対象にした調査を行っている。その結果、操作的思考課題を実際に行わせたり、その課題の結果を示したりすることにより、事後調査で降雪量のルールの適用が促進されたという知見を得ている。これは、降雪量のルールを構成する2つの知識である「吸い込む水蒸気量」と「降雪量」の対応関係を導く思考を行わせることで、2つの知識間の関連が明確になり、2つの知識間に潜在的リンクが形成された結果であると考えられる（中島,1995）⁽⁷⁾。

しかしながら、教育実践学的視点から麻柄・進藤（2011）⁽⁶⁾の研究をとらえると、次の2点について、さらに検討する必要があると思われる。第1に、この研究では、調査用に作成した「読み物教材」を学習者に与え、それを読ませたあと操作的思考課題を課しており、当該教材で示されたルールの学習に及ぼす操作的思考課題の効果を測定している。これは、いわば“実験室的”に、学習者の操作的思考を促進させることの効果を検証していると考えられる。しかし、様々な要素が複雑に入り組んだ日常的な授業実践の場で、この研究で示された効果が同様に得られるかどうかは定かではない^(注1)。したがって、麻柄・進藤（2011）⁽⁶⁾も指摘しているように、実際の授業を対象として、操作的思考を促進させることによるルール学習への影響を検証することが必要と考えられる。

第2に、麻柄・進藤（2011）⁽⁶⁾を含めた従来の研究では、提示する事例や学習方略などの外的要因を統制し、それによって学習者のルール適用がどのように促進あるいは阻害されるかと言う遂行結果が主な関心であった。つまり、そこでは学習者がルールを獲得する内的プロセスについては焦点が当てられてこなかったと言える^(注2)。しかし、実際の授業では、同じ情報を提示し同様の働きかけを行っても学習者の反応が異なることは多々あり、その理由を明らかにするには学習者の内的プロセスを検討することが必要である。したがって、授業における個人差への対応やより効果的な教授方略の実現のために、学

習者のルール獲得プロセスについて検討することは教育実践学的に意義のあることと考えられる。

3. 研究の目的

これらの議論を踏まえ、本研究では、中学校理科の状態変化の学習^(注3)で操作的思考課題を設定し、その課題解決を状態変化のルール獲得のための手段とする授業を行う。そして、操作的思考課題がルールの適用と想起に与える効果と操作的思考課題の解決過程におけるルール獲得プロセスの検討を目的とする。本実践では、表1に示すような教授学習過程を通して、状態変化のルールである「粒子の動きが変化すれば、物質の状態は変化する」の獲得が促進されると予想した。このルール命題の特徴は、「粒子の動き」と「物質の状態」についての知識をたがいに関連づけ、「物質の状態」が「粒子の動き」に規定されることを説明していることである。また、「粒子の動き」も「物質の状態」に規定されるので、逆命題の「物質の状態が変化すれば、粒子の動きは変化する」が成り立つことも特徴と言える。

表 1 教授学習過程の概要

教授学習過程	具体的な学習活動
1. ルールの教示	・ ルールに関する説明を受ける。
2. ルールの読み取り	・ 変数操作的思考課題を行う。
3. 実験や観察	・ 食塩を融解させる実験を行う。
4. ルールの再読み取り	・ 関係操作的思考課題を行う。

これらの状態変化のルールの特徴を踏まえ、操作的思考課題として、変数操作的思考と関係操作的思考を促す課題（以下、それぞれを「変数操作的思考課題」、「関係操作的思考課題」と記す）を学習者に行わせることが操作的思考を促すのに効果的であると考えた。その理由を、本研究で行った授業実践を例にして具体的に述べる。

まず、「水を冷凍庫で冷やすと、水の状態はどのようなか」という変数操作的思考課題を課すことで、学習者は「冷やされることにより粒子の動きが弱くなるから、水は固体になる」という推論をはたかせることになる。つまり、学習者は「粒子の動き」に応じた「物質の状態」を導くことができ、これらの知識間の関連性を明確にできると考えた。

また、状態変化のルールでは「粒子の動き」≡「物質の状態」であり、2つの変数は共変関係にある。しかしながら、このような共変関係がある場合でも、学習者が誤って共変関係はないと判断してしまうことが指摘されている（Jennings,Amabile,&Ross,1982）⁽⁹⁾。そこで、「炭酸ガスを冷やすことなく加圧すると、どうして炭酸ガスは液体になるのか」という関係操作的思考課題を課せば、学習者は「炭酸ガスが液体になる事実から、粒子の動きが弱くなる」ことを予想すると思われる。つまり、「物質の状態」に応じた「粒子の動き」を推論することで、教示する状

状態変化のルールの逆命題が成り立つことを、学習者が理解できると考えられる。したがって、学習者は「粒子の動き」と「物質の状態」の間に密接な共変関係があると解釈し、ルールを適用しない要因の一つが取り除かれるため、状態変化のルールの信頼性が高まると期待される。その結果として、ルールの適用や想起を促し、ルールの獲得が促進されると考えた。

授業では、表1に示したように、操作的思考課題を解決する学習活動だけではなく、実際に物質の状態変化を観察する実験を行った。具体的には、食塩を事例とした実験を行い、学習者が既有知識に基づき状態変化をしないと考えているような物質でも状態変化することを示すことで、状態変化のルールを多くの物質に対して適用できるようにすると思われる（伏見,1995）⁽⁸⁾。

加えて、授業では個々の学習者が独立して学習活動を成立させているわけではない。つまり、学習者どうしの相互作用といった側面から授業における教授学習過程を捉えることが重要であると言える（高垣ら,2007）⁽¹⁰⁾。したがって、本研究でも協同的に操作的思考課題に取り組ませることで、教室で生起する相互作用という観点から授業分析することを企図した。また、学習者間で生起する対話を分析することで、操作的思考課題の解決過程における学習者のルール獲得プロセスを観察し得ると考えた。

以上のことから具体的には、次の2つの項目について検討を行う。①中学生を対象にした状態変化に関する授業の中に、操作的思考課題として変数操作的思考課題と関係操作的思考課題の2種類の課題を設定し、その解決を含む学習活動がルールの適用や想起に与える効果を検討する。②操作的思考課題を協同で解決させる過程で生起した対話を分析し、学習者のルール獲得プロセスを検討する。

II. 研究方法

1. 分析対象者

後述する3つのセッションに参加した中学2年生34名を分析対象者とした。

2. 手続き

事前調査（約10分）、授業（約50分）、事後調査（約10分）のセッションを実施した。事前調査の翌日に授業を行い、授業の当日に事後調査を実施した。なお、事前及び事後調査開始前には、調査に参加したくなければ、その意思を尊重するとした上で、調査の結果を個人の成績には影響させないことや分からないことは素直に分からないと記述してもよいことを説明した。

3. 各セッションの内容

a. 事前調査

調査の構成は、(1)状態変化のルールを適用できるかどうかを確かめる問題（以下、「ルール適用問題」と記す）、(2)状態変化すると考えた理由をたずねる問題、(3)状態変化のルールを想起できるかどうかを確かめる問題（以下、「ルール想起問題」と記す）であった。調査の概要を、図1に示す。上記(1)のルール適用問題では、8つの物質について、温度や圧力を変えたら実際に存在すると思う状態には「○」印を、存在しないと思う状態には「×」印のどちらかを必ずつけるよう求めた。また、上記(2)の理由をたずねる設問は、学習者が状態変化について、あらかじめどのような既有知識を持っているのかを明らかにするためのもので、(1)の設問で「○」あるいは「×」印をつけた主な理由の記述を求めた（以上、問題1）。そして、上記(3)のルール想起問題では、物質が固体のときについて粒子どうしの関係を説明した状態変化のルールに拠る例文を示し、その例文を参考に、物質が液体や気体のときについて粒子どうしの関係を説明するように求めた（以上、問題2）。なお、調査問題は、伏見（1995）⁽⁸⁾を参考に作成した。

問題1 次のモノの中で、温度や圧力を変えたら実際に存在するかもしれないものはどれでしょう。それぞれの()の中に、存在するかもしれないものには○印、存在しないと思うものには×印をつけてください。また、○や×にした主な理由を書いてください。

- ① () 固体の銅 () 液体の銅 () 気体の銅
- ② () 固体の食塩 () 液体の食塩 () 気体の食塩
- ③ () 固体の窒素 () 液体の窒素 () 気体の窒素
- ④ () 固体のエタノール () 液体のエタノール
() 気体のエタノール
- ⑤ () 固体の水銀 () 液体の水銀 () 気体の水銀
- ⑥ () 固体の砂糖 () 液体の砂糖 () 気体の砂糖
- ⑦ () 固体の酸素 () 液体の酸素 () 気体の酸素
- ⑧ () 固体の水晶 () 液体の水晶 () 気体の水晶

問題2 あるモノ(物質)が、温度や圧力によって「固体—液体—気体」と変化したとします。あるモノが、液体のとき、気体のとき、そのモノをつくる粒子どうしの関係は、それぞれどうなっているでしょうか。例(固体のときの粒子どうしの関係)にならって説明してください。わからないときは、「わからない」とかいてください。

例) 固体のとき ひとつひとつの粒子の動きの強さよりも、粒子どうしを結びつける力の方がはるかに大きく、粒子どうしががっちり結びついている。

図1 調査問題の概要

b. 授業の概要

本実践の教授学習プロセスの概要は表1に示したとおりである。なお、操作的思考課題によるルール獲得プロセスをとらえるため、ルールの読み取りの段階に、変数操作的思考課題を協同で解決させる過程を導入し、グループの中で生起した対話を記録した。

(1) ルールの教示

本実践では、「粒子の動きが変化すれば、物質の状態は変化する」を状態変化のルールと位置づけた。具体的には、

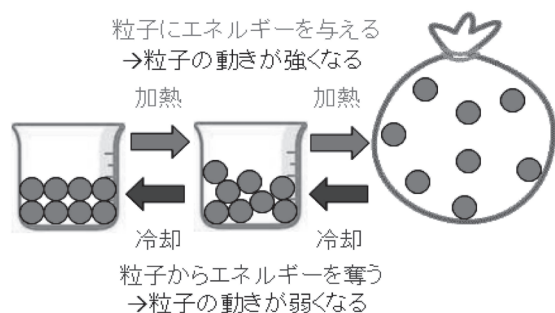


図 2 状態変化のルール

次の①～⑤の場合、下線で示した物質(モノ)の状態は、どのようになるでしょう。次のア～カから適切だと思う記号を1つ選んで、()に書き入れましょう。

- ア)固体になる イ)液体になる ウ)気体になる
エ)固体や液体になる オ)液体や気体になる
カ)変わらない

- ① 水を冷凍庫で冷やしたら、水は →()
なぜ、上の答えのようになるかという、水の粒子の動きが(a強くなる、b弱くなる、c変わらない)からです。
- ② お酒を温めると、エタノールは →()
なぜ、上の答えのようになるかという、エタノールの粒子の動きが(a強くなる、b弱くなる、c変わらない)からです。
- ③ ろうそくに火をつけると、ろうは →()
なぜ、上の答えのようになるかという、ろうの粒子の動きが(a強くなる、b弱くなる、c変わらない)からです。
- ④ 食塩の結晶をどんどん加熱したら、食塩は →()
なぜ、上の答えのようになるかという、食塩の粒子の動きが(a強くなる、b弱くなる、c変わらない)からです。
- ⑤ 鉄骨をどんどん加熱したら、鉄は →()
なぜ、上の答えのようになるかという、鉄の粒子の動きが(a強くなる、b弱くなる、c変わらない)からです。

図 3 変数操作的思考課題

まず、図2に示すスライドを提示し、水の状態変化を事例にして、粒子の動きが強くなると固体→液体→気体、粒子の動きが弱くなると気体→液体→固体と物質の状態が変化することを説明した。

(2) ルールの読み取り

次に、図3に示す課題を、3～4人のグループで取り組ませた。この課題は、状態変化のルールに即して、前件の値を「冷やす」、「温める」、「加熱する」などのように示した上で、後件の値である「固体になる」、「液体になる」、「気体になる」などを求める構造とした。これは、変動方向を仮定して別の命題を学習者に導かせたと言え、この課題を変数操作的思考課題と位置づけた。

(3) 実験や観察とルールの再読み取り

最後に、状態変化のルールに従って論理的に考えると、すべての物質が状態変化すると学習者は推論できるはずであるが、特に日常生活の範囲内で状態変化しない物質については、実験で確かめるまで納得できない学習者が存在することも事実である。そこで、物質が状態変化をするひとつの事例として、食塩を用いた実験を行い、食塩が固体から液体に変化することをグループごとに確か

めさせた。

その後、図4に示す課題に取り組み、ルールの教示の段階とは異なる文脈でも状態変化のルールを学習者が適用できることを目指した。この課題は、「炭酸ガスが液体になる」ことを示した上で、加圧することにより、「粒子の動きの強さ」がどのように変化するかを問う構造とした。これは、状態変化のルールの逆命題の前件の値を与えた上で、後件の値を求めさせており、この課題を関係操作的思考課題と位置づけた。

- ドライアイスは、二酸化炭素の固体です。ドライアイスの製造方法は、気体の二酸化炭素（炭酸ガス）を冷やして液体にし、さらに冷やして固体にするものではありません。
 - 炭酸ガスをおよそ^{※1}130気圧前後に^{※2}加圧して^{※3}液化させた後、粉末状の固体にした上で、それを成形して製造しています。
 - では、炭酸ガスを冷やすことなく、130気圧前後まで加圧すると、どうして炭酸ガスは液体になるのでしょうか。炭酸ガスを加圧する前と後で、「炭酸ガスの粒子の動きの強さ」が、どのように変化するかに注目して、粒子のモデルを用いて、説明しましょう。
- ^{※1}「130気圧」：通常の130倍の大きさの気圧
^{※2}「加圧」：圧力を加えて大きくすること
^{※3}「液化」：この文章では、気体を液体にすること

図 4 関係操作的思考課題

c. 事後調査

調査の構成は、事前調査の「状態変化すると考えた理由をたずねる問題」を省いた以外は、事前調査の構成と同じであった。

Ⅲ. 結果と考察

1. 事前調査

a. ルール適用問題について

ルール適用問題(問題1)の正答者数を表2に示す。なお、表では事後の正答者数とのクロス集計の結果を示している。事前調査で、正答者数が最も少ないのは水晶の気体7人(20.6%)であり、反対に正答者数が最も多いのは砂糖の固体31人(91.2%)であった。学習者の授業前における知識の状態を調べるために、事前調査の各問について直接確率計算を行った。その結果、まず、固体が存在するかどうかについては、銅、食塩、砂糖、水晶で正答者数が有意に多く($ps<.01$)、窒素とエタノールでは正答者数が有意に少なかった($ps<.05$)。次に、液体が存在するかどうかについては、エタノールと水銀で正答者数が有意に多く($ps<.01$)、酸素で正答者数が有意に少なかった($p<.05$)。最後に、気体が存在するかどうかについては、窒素と酸素で正答者数が有意に多く($ps<.01$)、銅、食塩、水銀、砂糖、水晶で正答者数が有意に少なかった($ps<.05$)。全体的な傾向として、それぞれの物質について日常生活の条件下で観察できる状態に関する問の正答者が多く、日常生活の条件下では観察できない状態についての正答者は少なかった。具体的には、常温・常圧で固体の物質(銅、食塩、砂糖、水晶)では固体が存在するかどうかという問、常温・

表 2 ルール適用問題の正答者数の変化(人)

問	事前	事後					
		固体		液体		気体	
		正	誤	正	誤	正	誤
銅	正	25 (73.5)	2 (5.9)	23 (67.6)	0 (0)	8 (23.5)	1 (2.9)
	誤	7 (20.6)	0 (0)	8 (23.5)	3 (8.8)	14 (41.2)	11 (32.4)
食塩	正	29 (85.3)	1 (2.9)	22 (64.7)	1 (2.9)	7 (20.6)	1 (2.9)
	誤	3 (8.8)	1 (2.9)	11 (32.4)	0 (0)	22 (64.7)	4 (11.8)
窒素	正	7 (20.6)	3 (8.8)	16 (47.1)	0 (0)	25 (73.5)	2 (5.9)
	誤	18 (52.9)	6 (17.6)	13 (38.2)	5 (14.7)	5 (14.7)	2 (5.9)
エタノール	正	8 (23.5)	2 (5.9)	26 (76.5)	1 (2.9)	17 (50.0)	1 (2.9)
	誤	16 (47.1)	8 (23.5)	7 (20.6)	0 (0)	13 (38.2)	3 (8.8)
水銀	正	17 (50.0)	2 (5.9)	25 (73.5)	1 (2.9)	8 (23.5)	2 (5.9)
	誤	11 (32.4)	4 (11.8)	8 (23.5)	0 (0)	18 (52.9)	6 (17.6)
砂糖	正	31 (91.2)	0 (0)	19 (55.9)	2 (5.9)	7 (20.6)	1 (2.9)
	誤	2 (5.9)	1 (2.9)	13 (38.2)	0 (0)	17 (50.0)	9 (26.5)
酸素	正	9 (26.5)	2 (5.9)	9 (26.5)	1 (2.9)	27 (79.4)	2 (5.9)
	誤	15 (44.1)	8 (23.5)	16 (47.1)	8 (23.5)	3 (8.8)	2 (5.9)
水晶	正	28 (82.4)	1 (2.9)	14 (41.2)	4 (11.8)	5 (14.7)	2 (5.9)
	誤	4 (11.8)	1 (2.9)	11 (32.4)	5 (14.7)	16 (47.1)	11 (32.4)

注) 括弧内数字は%

常圧で液体の物質（エタノール、水銀）では液体が存在するかどうかという問、常温・常圧で気体の物質（窒素、酸素）では気体の状態が存在するかどうかという問に対する正答者数がそれぞれ有意に多かった。また、常温・常圧で固体の物質では気体が存在するかどうかという問、窒素については固体が存在するかどうかという問、酸素については液体が存在するかどうかという問に対する正答者数がそれぞれ有意に少なかった。そこで、問題1で「○」あるいは「×」と判断した理由を分類すると、「○」の理由としては、「見たことがある」など学習者自身の実体験に基づく記述が12件と最も多かった。一方、「×」の理由としては、「見たことがない」など学習者の実体験に基づく記述が7件と最も多かったが、次いで「想像できない」など学習者の推論に基づくと思われる記述が6件あり、さらに「酸素は目に見えないすごく小さなものなので、固体にはならない」というような粒子に関する記述が5件あった。これらのことより、状態変化するかどうかについて実体験に基づいて判断している学習者が多く存在する一方で、「目に見える物質（固体と液体）と目に見えない物質（気体）とは、異なる粒子でできている」というような粒子に関する誤った既有知識を持つ学習者の存在を想定することもできる。つまり、この知識を適用し

て問題解決をした学習者は、状態変化について、「もともとと気体の物質は固体や液体にはならない」や「もともとと固体や液体の物質は気体にはならない」という考えに至ると思われる。

b. ルール想起問題について

次に、ルール想起問題（問題2）の正答者数を表3に示す。問1では、「粒子の動きの強さと粒子どうしを結びつける力の大きさがほとんど変わらない」こと、問2では、「粒子の動きの強さが、粒子どうしを結びつける力よりも十分大きい」ことを記述できていればそれぞれ正答とした。なお、表3では事後の正答者数とのクロス集計の結果を示している。事前調査における各問の正答者数は、液体については8人（23.5%）、気体については11人（32.4%）であった。事前の各問について、直接確率計算を行ったところ、問1で正答者数が有意に少なかった（ $p<.01$ ）。また、いずれの問にも正答した学習者（以下、「完全正答者」と記す）は7人（20.6%）と少なく、「粒子の運動」と「物質の状態」という知識間のリンクを顕在化し、「粒子の運動の動きが変化すれば、物質の状態は変化する」というルールを想起して状態変化について考えている生徒は少ないと考えられる。

表 3 ルール想起問題の正答者数の変化(人)

問	事前	事後	
		正	誤
1. 液体のとき	正	8(23.5%)	0(0%)
	誤	16(47.1%)	10(29.4%)
2. 気体のとき	正	11(32.4%)	0(0%)
	誤	12(35.3%)	11(32.4%)

2. 事後調査

a. ルール適用問題について

事前調査と比較すると（表2参照）、食塩の気体で正答者数の増加が最も多く（事前8人→事後29人）、酸素の気体では正答者数の増加が最も少ない（事前29人→事後30人）が、すべての問において正答者数の増加が見られた。そこで、正答者数の変化について McNemar 検定を行ったところ、銅の液体と気体、食塩の液体と気体、窒素の固体と液体、エタノールの固体と気体、水銀のすべて、砂糖の液体と気体、酸素の固体と液体、水晶の気体の各問において、事前から事後にかけて誤答から正答に転じた数が有意に増加していた（ $\chi^2(1) > 4.00, ps < .05$ ）。一方、正答者数の上昇が少なかった問は、日常生活の条件下で観察可能な状態に関するものであり、事前調査における正答者数が多かったためと考えられる。

また、事前調査ではすべての問に正答した者はいなかったが、事後調査の完全正答者数は14人（41.2%）に増加していた。調査の条件等が異なるので単純な比較はできないが、大学生を対象とした同様の調査における事前調

査の完全正答者数の割合は1割程度であったこと（伏見，1993）⁹⁾と比べると、状態変化をすでに学習している大学生よりも中学生の方が完全正答者数の割合が高かった。

以上のことから、本実践により、状態変化のルールの適用が促進されたと考えられる。しかしながら、事後においても完全正答者数が必ずしも多いとは言えないことに留意する必要がある。

b. ルール想起問題について

事前調査と比較し（表3参照）、問1の正答者数（事前8人→事後24人）、問2の正答者数（事前11人→事後23人）ともに増加していた。そこで、正答者数の変化についてMcNemar検定を行ったところ、問1、問2ともに事前から事後にかけて誤答から正答に転じた数が有意に多かった（ $\chi^2(1) > 10.08, p < .01$ ）。

また、完全正答者数の割合は伏見（1993）⁹⁾の調査では2割程度であったが、本研究では6割を超えていること（事前20.6%→事後64.8%）からも、本実践が状態変化のルールの想起を促進したと考えられる。

c. ルール適用問題とルール想起問題の関連

ルール適用問題（問題1）とルール想起問題（問題2）の事後調査における完全正答者数の関係を調べた。その結果を表4に示す。両方の問題に完全正答した学習者をルール獲得者とみなすと、その数は11人（32.4%）であり、全体の3分の1ほどである。ルール想起問題に完全正答した22人（64.8%）のうち、11人（32.4%）の学習者はルール適用問題に完全正答していない。このことは、これらの学習者が状態変化のルールを想起できているにもかかわらず、物質ごとにこのルールを適用したり、しなかったりしていることを示唆している。

表4 問題1と問題2の完全正答者数の関係(人)

問題2 (ルール想起問題)	問題1(ルール適用問題)	
	正	誤
正	11(32.4%)	11(32.4%)
誤	3(8.8%)	9(26.5%)

一方、ルール想起問題には完全正答していないが、ルール適用問題に完全正答している学習者が3人（8.8%）いる。これらの学習者は、必ずしも教示した状態変化のルールを獲得している訳ではなく、学習活動を通して「すべての物質は状態変化する」というようなルールを構成したと推察される。つまり、このルールを適用することにより、「粒子の動き」と「物質の状態」の関連が明確になっていなくても、物質の状態についてあり得る状態を正しく答えられたと考えられる。

3. グループ内討論の解釈的分析

図5は、変数操作的思考課題を解決する過程におけるあるグループ内討論の記録である。ただし、記録中の名

前は仮名である。佐藤（2012）⁽¹²⁾は、小グループをどう組織するのかについて、多様な個性や能力の子どもが偶発的に組織されることが好ましいとしている。このグループは、男子1人、女子2人の3人で構成されており、当該の中学校における理科の成績で上位層の者もいれば下位層の者もいた。このことより、学習者の多様性が担保されていると考え、このグループを分析対象とした。討論の記録を概観すると、このグループの討論の焦点は、全体的に「食塩がとけて液体となるのか、それとも液体にはならず気体になるのか」にあるように思われる。また、対話の特徴としては、和彦と千絵の発話を中心とし、晶子が千絵の意見に同調しながら討論が進んでいる点があげられる。事前と事後調査におけるルール適用問題の正誤（問ごとに完全正答したかどうか）とルール想起問題の正誤（完全正答したかどうか）を表5に示す。

a. 和彦について

この場面で和彦は、食塩や砂糖はとけないということ（発話1、3）と、とけるにしても食塩や砂糖は水にとけるもの（発話6）という既有知識を呼び出していると考えられる。一方で、状態変化のルールについては、粒子の動きの強さと物質の状態の関連について正しく指摘している（発話21）。したがって、エタノールを温めたり、ろうそくに火をつけたりすると粒子の動きが強くなり（発話24、30）、エタノールやろうそくが気体や液体になると考えている（発話24、28）。また、食塩の結晶を加熱した場合にも、粒子の動きが強くなることを指摘している（発話33）にもかかわらず、食塩が液体になることには同意せず（発話37）、気体になると主張している（発話35、39）。このように、和彦の主張に一貫性が見られないことから分かるように、和彦が呼び出した既有知識は、この場面では不適切であり、和彦は状態変化のルールと適用した既有知識との間に矛盾を抱え、認知的葛藤を大きくしていると考えられる。このことから和彦の中では、「粒子の動きが変化すると、物質の状態は変化する」という状態変化のルールと呼び出された既有知識がたがいに関連性のない独立した知識として構成されていることが窺える。そして、問題解決にあたってはルールと既有知識の両方を呼び出した上で、問題ごとに適用する知識を変えることで、認知的葛藤を解消せたと推察される。このことは、表5に示したように、事後で和彦はルール想起問題（問題2）に完全正答しているにもかかわらず、ルール適用問題（問題1）には完全正答せず、一貫正答している問が少ないことから分かる。

b. 千絵について

千絵は、大学いもを調理した経験から砂糖を熱するととけることを知っていた（発話5）ので、食塩も同じようにとけると考えている（発話2）。ただし、これは状態変化のルールを適用している訳ではなく、砂糖に関する

1 和彦「とけるかこれ(食塩)？」
 2 千絵「だって塩(食塩)、だって砂糖もとけるやん。」
 3 和彦「砂糖、とけている？」
 4 晶子「(砂糖は)とける、とける。」
 5 千絵「砂糖、あっためたら、とけるやん。大学いも。」
 6 和彦「(砂糖を)水に入れている(とかしている)からやろ。」
 7 千絵「違うって。違うやん。砂糖とけるやん。」
 8 晶子「ちょっと、(砂糖が)とけているのどちがう。」
 9 千絵「やんな。ほら。」
 10 和彦「砂糖と塩(食塩)は違うやろ。」
 11 晶子「なんか、どれもとけそうやもん。そんな感じじゃないの？」
 (しばらく沈黙)
 12 千絵「(粒子の動きが)強くなるとか、弱くなるとかやろうよ。1番は。」
 13 和彦「1番、あれや、(粒子の動きは)弱くなる。」
 14 千絵「(粒子の動きは)弱くなるの？」
 15 晶子「(粒子の動きは)弱くなる。」
 16 和彦「(粒子の動きは)弱くなる。」
 17 千絵「2番は？」
 18 和彦「あれ(温める)やから、なんていうか(粒子の動きは)強くなる。何してるの？」
 19 晶子「水、びっしょびっしょ。」
 20 千絵「2番は？」
 21 和彦「(粒子の)動きが強いから、自由に動き回れるだけで、(粒子の動きが)弱いから凍っている(固体である)。」「
 22 千絵「じゃあ、気体になるのは何なの？(粒子の動きが)強くなるの？弱くなるの？変わらないの？」
 23 晶子「(気体になるのは粒子の動きが)弱くなるのどちがう。」

24 和彦「なんで、(粒子の動きが)強くなるからやろ。どんどんとけていくから、(粒子の動きは)強くなるのやろ。」
 25 千絵「食塩は？」
 26 和彦「ろうは、ろうはとぼそう。」
 27 千絵「あー。間違えた。ろうのところをやっていた。ろうは？」
 28 和彦「ろうは、あれやろ、液体になっていく。」
 29 千絵「(粒子の動きは)強くなるの、弱くなるの？」
 30 和彦「強くなる、粒子の動きはね。」
 31 晶子「ふーん。」
 32 千絵「で、食塩(の粒子の動き)は？」
 33 和彦「食塩も、(粒子の動きが)強くなる。」
 34 千絵「じゃあ、(食塩は)とけるの？じゃあ、液体にする？」
 35 和彦「(食塩は)気体じゃないの？」
 36 千絵「えー。食塩が気体になる？」
 37 和彦「何で、こんな固体(食塩)から液体出てくるの。」
 38 千絵「じゃあ、(食塩は)何になるのよ？」
 39 和彦「だから、(食塩は)気体って言ってるやん。」
 40 晶子「(食塩は)気体にならないよね？」
 41 千絵「何で塩(食塩)が気体になるの？」
 42 和彦「じゃあ、何で(食塩が)液体になるの？」
 43 千絵「だって、(食塩が)とける。」
 44 和彦「えー、水ないのに(食塩が)とけるはずない。」
 45 千絵「砂糖もとけるやん。砂糖もとける。大学いもは、砂糖を最初に引くからね。」
 46 和彦「それは(砂糖が)水にとけているのどちがう？」
 47 千絵「(砂糖は水に)とけてないよね。」
 (後略)

注) 括弧内の語は、筆者が補ったものである。

図 5 変数操作的思考課題の協同的解決過程におけるグループ内討論の記録

経験から類推した結果と考えられる。千絵が粒子の動きの強さについて何度も問いかけている(発話 12, 22, 29)ことから、ルールを教示されただけでは、粒子の動きの強さと物質の状態に関する知識の関連を十分に理解できていないことが分かる。しかし、グループ活動の中で何度も問いかけた結果、千絵は、砂糖を熱するととけることが状態変化のルールの範囲内で説明されることを理解し、食塩がとけて液体になるという考えに自信を深めたと思われる。そこで、食塩がとけるかどうかについて和彦との議論を試み(発話 32)、和彦から期待通りのことばを引き出すこと(発話 33)に成功している。ここで千絵は、すかさず食塩がとけて液体になることを主張する(発話 34)が、和彦はそれには同意しなかった。その後、砂糖を熱するととけること以外に、食塩がとけるという主張を補強できる別の事例を出せず(発話 45)、和彦との議論は平行線のまま終わった。しかし、千絵は和彦との対話を通して、熱を加えると砂糖がとけることを状態変

化のルールの一事例として組み入れたと思われる。つまり、教師から教示されたルールの中に呼び出された既有知識を統合することで、状態変化のルールを獲得したと考えられるが、表 5 に示した事後の正否パターンから「すべての物質は状態変化する」というような知識を別に構成し、砂糖がとけて液体になることをこの知識の一事例に加えた可能性も否定できない。

c. 晶子について

晶子は、熱すると砂糖がとけるという経験をしていないと思われる(発話 8)。また、粒子の動きの強さと物質の状態に関する知識の関連について、水のように状態変化が身近で見られる場合を除き(発話 15)、ルールを教示されただけでは、十分に理解しているとは言い難い(発話 23)。その後、晶子の発話はほとんど見られないが、和彦と千絵の対話を聞くことを通して、状態変化のルールに対する理解を深めていること(発話 31)が推察され、食塩が液体を経ずには気体にならないという主張をした

表 5 問題 1 の各問と問題 2 の正誤について

対象者		問題 1							問題 2
		銅	食塩	エタノール	水銀	砂糖	酸素	水晶	
和彦	事前	×	×	×	×	×	×	×	×
	事後	○	×	×	×	○	○	×	○
千絵	事前	×	×	○	×	×	×	×	×
	事後	○	○	○	○	○	○	○	×
晶子	事前	×	×	×	×	×	○	×	×
	事後	×	○	○	○	○	○	×	○

(発話 40) と考えられる。しかしながら、発話数が少ないため、晶子がどのようなプロセスでルールを理解したかについて、明確に述べることはできないが、表 5 を見る限り、ルールを正しく想起できているものの、和彦と同様にルール適用問題には完全正答していない。つまり、晶子も呼び出した既有知識とは別にルールを独立した知識として構成していると思われ、状態変化のルールを獲得したとは言い難い。

IV. 総合考察

本研究は、①中学生を対象にした状態変化に関する授業の中に、操作的思考課題として変数操作的思考課題と関係操作的思考課題の 2 種類の課題を設定し、その解決を含む学習活動がルールの適用や想起に与える効果を検討する、②操作的思考課題を協同で解決させる過程で生じた対話を分析し、学習者のルール獲得プロセスを検討する、という 2 点を目的として行った。

上記①については、まず、事前と事後調査において、状態変化のルール適用問題では、「銅は気体になるのか」のように日常生活では観察できない状態についての問で正答者数が有意に増加していた。一方、日常生活で観察できる状態についての問は、事前及び事後調査のどちらにおいても正答者数が多かった。また、ルール想起問題では、両方の問について正答者数が有意に増加していた。このことから、本実践が変数操作的思考課題と関係操作的思考課題を解決することを通して、「粒子の動き」と「物質の状態」の共変関係を理解し、日常生活で観察可能かどうかにかかわらず、2 つの知識間に潜在的なリンクの形成を促したと考えられる。そして、問題解決場面で、知識間に形成されたリンクが顕在化し、その結果、学習者が状態変化のルールを適用することやルールを想起することを促進したと思われる。

また、本研究で行った学習活動には、操作的思考課題を解決するだけでなく、日常的には観察することのない食塩を溶解させる実験も含まれていた。伏見 (2013) ⁽¹³⁾ は、日常的ではなく一見しただけではルールが適用されないと捉えられてしまう事例を「抵触事例」と呼び、ルールの教示と教示する際に用いる事例の関係を検討している。その結果、抵触事例を用いてルールを教示すると、教示したルールが受け入れられやすくなるとする知見を得ている。授業で実験に使用した食塩は、抵触事例にあたると思われることから、ルールを教示する際の事例として用いた訳ではないが、本研究で示唆されたルールの適用や想起の促進に影響を及ぼしていると考えられる。

しかしながら、ルールの適用や想起が促進されたとは言え、ルール想起問題の完全正答者 22 人の半数しかルール適用問題には完全正答していなかった。このことから、全体の 3 分の 1 程度の学習者は状態変化のルールを正し

く想起できるにもかかわらず、それをルール適用問題のすべての問に適用していないことが分かる。このとき、diSessa (1993) ⁽¹⁴⁾ が知識は一貫した理論を成しているのではないと指摘しているように、これらの学習者は、ルールあるいは既有知識のどちらか一方を呼び出している訳ではなく、これらの知識をそれぞれ独立した別々の知識として呼び出していると考えられる。その結果、問題解決の段階で、学習者はルールを適用するのか、あるいは既有知識を用いるのかという選択に迫られていると思われる。このように、授業後であっても、呼び出した既有知識とルールを関連づけた知識として構造化することは容易ではなく、多くの学習者で状態変化のルールが一般化した知識として構成されたとは言い難い。以上のことから、本研究の操作的思考課題の解決を含む学習活動は、ルールの適用や想起を促したが、ルールの獲得（ルールを想起した上で適用できること）に対する促進的効果は限定的であったと結論づけられる。

次に上記②について、本実践における学習者の内的プロセスを推測しつつ考察する。それは概ね次のように考えられる。学習者は、変数操作的思考課題に対して、まずは、教示されたルールに基づく思考で解決しようとする。その一方で、学習者は状態変化に関わる知識を既に持っており、それがルールに基づく思考を阻害する。その結果、学習者は教えられたことと知っていることとの間で自己矛盾を抱え、認知的に葛藤した状態に陥る。最終的に、このような認知的葛藤状態は、高垣・中島 (2004) ⁽¹⁵⁾ が個人内の知識の変化について明らかにしているように、①日常生活の経験を通して獲得された知識に固執することで、ルールに含まれる情報と既有知識をそれぞれ独立した知識として構造化する（既有知識固執タイプ）、②既有知識の枠組みに合うような形で、科学的知識を解釈することで、既有知識の範囲内でルールを構成する知識を説明する（科学的知識のこじつけ的な取り込まれタイプ）、③科学的知識を枠組みとして既有知識を統合することで、ルールの範囲内で既有知識を説明する（科学的知識獲得タイプ）、のいずれかの様式で解消されると思われる。この枠組みで和彦、千絵、晶子の発話を捉えてみる。和彦は、食塩を加熱すると粒子の動きが強くなることを正しく指摘しているが、食塩が液体になることには同意していないことから、既有知識固執タイプと考えられる。千絵は、粒子の動きの強さについて何度も問いかけることを通して、ルールの範囲内で既有知識が説明されることを理解していることから科学的知識獲得タイプと思われる。そして、晶子については明確に述べることはできないが、表 5 で示した事後調査の結果から、和彦ほどの固執は見られないが、既有知識固執タイプと推察される。

では、なぜ、協同的に同じ課題に取り組んだにもかかわらず

ならず、個人内の知識の変化に、和彦（あるいは晶子）と千絵の間に見られるような違いが生じたのであろうか。その1つの要因として、変数操作的思考課題の解決場面で、それぞれが質的に異なる既有知識を呼び出していることが考えられる。例えば、千絵の呼び出した既有知識は、「熱すると砂糖はとける」だったのに対し、和彦では、「食塩は水にとける」であった。つまり、千絵の呼び出した既有知識は、状態変化のルールの一事例で問題解決を手助けする知識であるのに対し、和彦の呼び出した既有知識は、知識そのものに誤りはないが、この場面で問題解決に用いるには不適当であった。その結果、千絵の認知的葛藤は呼び出した既有知識をルールの枠組みの中に対話を通して統合することで解消されたと思われる。一方、和彦の認知的葛藤は教示されたルールを呼び出した既有知識とは異なる独立した知識として構成することで解消されたと考えられる。これらのことは、麻柄(1996)⁽¹⁶⁾が「仮にその情報が正しく取り入れられたとしても、その情報が既有知識と相互交渉を持ち得ず、それだけで孤立した知識を構成してしまう」と指摘しているように、千絵の場合には、呼び出した既有知識がルールの一事例であったので、意図せず既有知識とルールの相互交渉が十分になされ、呼び出した既有知識をルールの枠組みの中に統合できたが、和彦の場合には、問題解決に不適当な既有知識を呼び出していたために、ルールとの相互交渉が不十分なまま打ち切られてしまい、ルールと既有知識をたがいに孤立した知識として構成したと思われる。

以上の議論を踏まえ、今後の実践に向けた改善策と研究上の課題をあげておきたい。まず、工藤（2008）⁽¹⁷⁾は知識水準について、低次のものから順に「知識の直接的適用」、「知識の操作的適用」、「知識の制御的適用」の3水準に分けている。この枠組みで、ルール適用問題と想起問題を捉えると、前者はルールそのものをいかに使うかを、後者はルールそのものをいかに思い出せるかを問うており、ルール命題の操作やルール命題に基づく推論を必要としていない。つまり、これらの問題は「知識の直接的適用」にのみ対応していると考えられる。本研究では、操作的思考課題を解決することで、学習者がルールを適用したり、想起したりすることを促進することが示唆されたが、これは、「知識の直接的適用」の水準における測定に留まっている。したがって、操作的思考課題の効果をより高次の知識水準で検討する必要がある。

また、ルール獲得のプロセスで示唆されたように、学習者の呼び出した既有知識とルールが十分に相互交渉した場合に、ルールの獲得が促進されていた。したがって、ルールの枠組みの中に既有知識を統合しルールを一般化した知識として獲得させるには、ルールと既有知識との相互交渉を学習者任せにするのではなく、積極的にルールと既有知識との相互交渉を促す教授学習活動をデザイ

ンすることが重要であると考えられる。また、本研究では、対話における各学習者の発話をもとに、学習者がルールを獲得するプロセスを明らかにすることを試みたが、晶子のように発話の少ない学習者については、それを推察することが困難であった。したがって、学習者の発話だけでなく、ワークシートなどを効果的に使用して、その記述内容を分析するなど、多面的に学習者の内的プロセスを捉える工夫が必要である。加えて、今回、分析対象としたグループは異なった個性や能力を持った学習者の集団と言え、多様な学習者が集まった教室で起こり得る学習プロセスの一端を表していると思われるが、さらに詳細な分析を進めるためにも、多くの事例を蓄積する必要性があると考えられる。

－謝 辞－

本論文をまとめるにあたり貴重なご意見、ご指導を頂きました鳴門教育大学教職大学院の川上綾子先生、構想の段階からご指導頂いた兵庫教育大学大学院の吉國秀人先生に深く感謝申し上げます。また、本研究にご協力頂いた中学生の皆様、本論文を作成するにあたりご支援頂きましたすべての皆様に、厚く御礼申し上げます。

－付 記－

本論文は、平成22年度兵庫教育大学附属中学校研究紀要の内容を、再分析し加筆・修正したものである。

－注－

- 1 中学校の授業を対象にした操作的思考の促進を扱った研究に岡田・麻柄（2013）⁽¹⁸⁾がある。これは、中学1年生を対象にした調査であり、図形の面積を求積する際に、操作的思考を促すことで、数字を用いずに求積できる学習者が増えたことを報告している。しかしながら、中学1年生にとって、図形の求積は既習事項であることや授業が「読み物教材」を読み進めていく形式で行われており、現実の授業実践において操作的思考を促した研究であるとは考えにくい。
- 2 概念変容の文脈では、高垣・田爪・森本・加藤（2008）⁽¹⁹⁾が授業過程における学習者の思考の変化を検討しているが、ルール学習の文脈では、そのような研究は見当たらない。
- 3 伏見（1995）⁽⁹⁾は、大学生でも「粒子の動き」と「物質の状態」を関連づけて状態変化を理解していない実態を報告している。また、物質一般の状態変化の学習は中学校段階で行われているので、本研究は、中学生の状態変化の学習を対象に行った。

－文 献－

- （1）Hashweh, M. Z. Toward an explanation of conceptual

- change. *European Journal of Science Education*, Vol.8, pp.229-249, 1986
- (2) Clement, J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.10, pp.1241-1257, 1993
- (3) 進藤聡彦, 麻柄啓一 「ルール適用の促進要因としてのルールの方向性と適用練習ー経済学の「競争と価格のルール」の教授法に関する探索的研究ー」『教育心理学研究』47 (4), pp.462-470, 1999
- (4) 立木徹, 伏見陽児 「テスト得点の伸びを抑制するのは本当に誤概念なのか?ー「論理操作の不十分さ」の可能性の検討ー」『教授学習心理学研究』4 (1), pp.10-16, 2008
- (5) 佐藤淳 「ルール適用の促進を意図した「判断の不確定性」低減方略の検討」『教育心理学研究』56 (1), pp.32-43, 2008
- (6) 麻柄啓一, 進藤聡彦 「ルール命題の操作による問題解決の促進」『教育心理学研究』59 (1), pp.1-12, 2011
- (7) 工藤与志文 「ルール学習と操作的思考ー概観と展望ー」『教授学習心理学研究』6 (1), pp.29-41, 2010
- (8) 中島伸子 「観察によって得た知識」と「科学的情報から得た知識」をいかに関連づけるかー地球の形の概念の場合ー」『教育心理学研究』43 (2), pp.113-124, 1995
- (9) 伏見陽児 『「概念」教授の心理学 提示事例の有効性』川島書店, pp.96-106, 1995
- (10) 高垣マユミ, 田爪宏二, 松瀬歩 「相互教授と概念変容教授を関連づけた学習環境の設定による概念変化の促進ー溶解時の質量保存の事例的検討ー」『教育心理学研究』55 (4), pp.426-437, 2007
- (11) Jennings, D., Amabile, T. M., & Ross, L. Informal covariation assessment : Data-based vs. theory-based judgments. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.) . *Judgment under uncertainty : Heuristics and biases*, Cambridge, UK : Cambridge University Press, pp.211-230, 1982
- (12) 佐藤学 『学校を改革する 学びの共同体の構想と実践』岩波書店, pp.34-35, 2012
- (13) 伏見陽児 『ルール学習と提示事例』東北大学出版会, pp.49-52, 2013
- (14) diSessa, A. A. Toward an Epistemology of Physics. *COGNITION AND INSTRUCTION*, Vol.10 (2&3), pp.105-225, 1993
- (15) 高垣マユミ, 中島朋紀 「理科授業の協同学習における発話事例の解釈的分析」『教育心理学研究』52 (4), pp.472-484, 2004
- (16) 麻柄啓一 「学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか」『教育心理学研究』44 (4), pp.379-388, 1996
- (17) 工藤与志文 「「誤前提課題」を評価課題として用いた教授学習実験の概観と展望」『教授学習心理学研究』4 (1), pp.40-49, 2008
- (18) 岡田いずみ, 麻柄啓一 「数字がなくても公式を使えるようにするにはどうすればよいかー中学生への操作的思考の援助ー」『教授学習心理学研究』9 (2), pp.63-74, 2013
- (19) 高垣マユミ, 田爪宏二, 森本信也, 加藤圭司 「「仮説検証型の問題志向の討論」を導入したグループの協同学習における概念変化過程の事例的検討」『教授学習心理学研究』4 (1), pp.17-28, 2008