

「水の温まり方」の科学概念形成を促す学習・指導方法に関する研究

柿 沼 宏 充 埼玉県羽生市教育委員会
高 垣 マユミ 津田塾大学学芸学部
清 水 誠 埼玉大学名誉教授

キーワード：概念形成、科学概念、認知的葛藤、話し合い、水の温まり方

1. 問題の所在

中島(1995)は、子どもは必ずしも新知識を既存知識に整合的に関連づけて概念を生成していないこと、科学的知識が日常的知識と関連づけられることなく、ばらばらに保持されている時期が長く続くと述べている。小学校第4学年で学習する「水の温まり方」の内容は、学習後であっても誤概念を多くの児童・生徒が保持しており、児童に科学的な概念を形成するのが困難であるとされてきた。例えば、概念調査を行った相場・柊原(2009)は、学習後の中学生のほとんどが「水が回転する動きが起こることであたたまると」という概念を選択していると述べている。公立小学校で高分子吸収剤を用いて「水の温まり方」の授業を展開した森藤ら(2009)は、授業の中で強調した「あたためられた水の上昇」とそれに伴って生じる「上層部の水の下降」を明確に指摘できる児童はほとんど見られず、同一の水が上昇と下降を繰り返すといった「まわる説」を支持する児童が増えていると述べている。学習後であっても、児童たちの多くが「水は回転しながらあたたまっていく」といった誤概念を保持していることが示唆される。

こうした問題を解決するために、鎌田・佐藤(2002)は、感温液晶を利用することで、自然対流伝熱と熱伝導との違いを視覚化できる実験法とその実践例を紹介している。しかし、2つの伝熱のプロセスが異なるものであることを児童に認識させることができたが、なぜ違いが生じたかについて理解できたことを意味するものではないと述べている。相場・柊原(2009)は、おがくずとサーモインクを利用した授業を行い、その教育効果を調べている。結果は、サーモインクは温度変化が視覚的にわかりやすく、水のあたためり方の正しい概念を身につけさせるのに有効な教材であるが、サーモインクを用いても科学的に正しい概念に到達できなかった児童も見られたと述べている。荻野・久保田・桐生(2014)もまた、相場・柊原が指摘するようにサーモインクの使用だけでは科学的な概念の形成には至らなかったと述べている。こうした先行研究からは、「水の温まり方」の内容で科学概念形成を図る指導方法が十分に成功してきたとは言えない。

本研究は、「水の温まり方」の学習後においても科学概念が十分形成されていない児童の不十分な概念を科学概念へと再構成を促す学習・指導方法を検討・適用し、その効果を検証することを目的とする。

なお、小学校学習指導要領解説理科編(2008)を踏まえ、「水の温まり方は、熱した部分が上方に移動して全体が温まっていく」と捉えたものを小学校4年生の科学概念とする。

たためり方を調べる。

第2時 第1時の学習を踏まえ、水のあたたまり方について再度予想させ、試験管に入れた水の一部分（上方）を熱して、あたたまり方を調べる。

第3時 あたためられた水は動くのかもしれないという仮説の下、茶葉を使ってその動きを可視化し、観察させた。あたためられた水は上へ移動し、あたたまっていない水が下に移動し、水が上からあたたまることをまとめる。

新たに検討され、加えられた第4時の授業は、図2に示すア～エの4つの流れからなるものである。ここで検討された授業は、実験群と呼ぶクラスの児童に実施する。

ア. 誤概念の存在に気づかせる

児童が保持する不十分な概念の存在に気づかせるため、教師が矛盾事象を提示し児童に認知的葛藤を生起させることで、概念の再構築の必要性を喚起する。

イ. 認知的葛藤を共有させ、問題を焦点化させる

アで児童に生起させた認知的葛藤を明確にするため、他者との話し合いの場を設定した。話し合いを通して、個の中で生じていた認知的葛藤を児童相互に共有化させ、何が問題なのかを焦点化させる。

ウ. 科学概念を支持するサポート事象を提示する

保持している誤概念に気がついた児童に、科学概念を支持するサポート事象を提示した。サポート事象を提示することで、児童に自身の保有する誤概念の存在を自覚させる。

エ. 話し合いを通して概念の再構築を図る

児童が記述した考察について他者と話し合いをさせることで、科学概念へと導く。

図2 検討された第4時の授業の流れ

アは、一通りの学習を終えた後であっても水のあたたまり方を「水は回転しながらあたたまっていく」といった誤概念を形成している児童に、熱していないビーカーの中で茶葉は自重で沈むという矛盾事象を見せることにより、認知的葛藤を生じさせることを目的としている。

イは、「認知的葛藤」が生起した事象について、もう一度個人やグループでふり返り、自身の持つ概念を再吟味させるために実施する。

ウは、科学概念を支持するサポート事象としてサーモインクの実験を提示し、保持する概念（水は回転しながらあたたまっていく）が誤っていることを自覚させるために実施する。

エは、サポート事象をふまえて小グループで話し合いを行わせ、誤概念を含む不十分な概念から科学概念へと再構築を図るために実施する。

なお、統制群と呼ぶクラスの第4時の授業は、一通りの学習とする第3時までの授業の後に、教科書にも取り上げられている学習した知識の再確認を図ることを目的とした学習を行うことにした。授業は、次のア～エの4つの流れからなる。

ア. 前時の復習として、あたためられた水は上昇し、水は上からあたたまることを確認する。

イ. サーモインクの実験結果を予想（サーモインクは上が色が変わる）する。

ウ. サーモインクの実験を行う。

エ. サーモインクの実験結果を個人で考察した後、小グループでの話し合いを通して考察をまとめる。

4. 検討された授業の実施と効果の検証

4-1 対象・時期

埼玉県内の公立小学校第4学年2クラス52名に対し、2013年10月から1月にかけて検討された授業の実施と効果の検証を行った。対象のクラスを第4時に検討された学習・指導方法を適用するクラス（以下、実験群と呼ぶ）と第4時に知識の再確認を図ることを目的とした学習を行うクラス（以下、統制群と呼ぶ）に分けた。両群ともに1クラス26名おり、4名を1グループとして学習した。なお被験者52名は、すべての授業と調査に出席していた児童を対象とした。

4-2 調査

4-2-1 両群の等質性

学習前の両群の知識に関する学力の等質性及び科学概念の実態を調べるために図3で示した質問紙により調査を行った。問題は、2問からなる。小問一つにつき正答を2点、誤答を0点とし、4点満点とした。

4-2-2 学習終了後の児童が保持する概念

児童が保持する水のあたたまり方についての概念を調査するため、第4時終了後と全ての学習終了2ヶ月後に質問紙により調査を行った。

第4時終了後の概念調査に使用した質問紙は、図4に示した小問2問からなる。

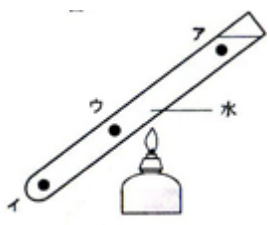
小問一つにつき正答を2点、誤答を0点とし、事後調査問題は4点満点とした。

学習終了2ヶ月後に実施した質問紙は、実態調査で使用した図1の問題を使用した。

4-2-3 児童が保持する概念に対する確信の度合い

概念を形成したとしても、児童がそ

問1 下の図のように水を入れた試験管をあたたため、水のあたたまり方を調べました。右の図について、ア・イ・ウの3つの場所で一番先にあたたまる場所を書きましょう。



問2 下図のように、ドラム缶のはしを火であたためました。ドラム缶の中の「水のあたたまり方」を絵と文章で書きなさい。

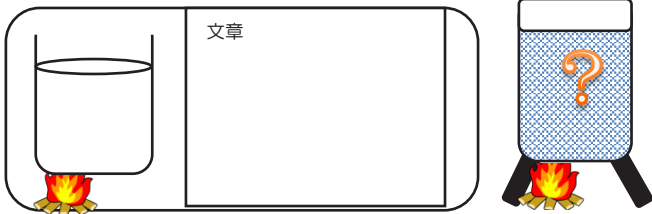
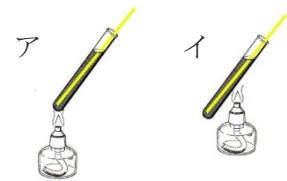


図3 等質性調査に用いた問題

問1 試験管の中で水が早くあたたまるのはア、イのどちらか。



問2 下図のように、ビーカーの中央を火であたためました。ビーカーの中の「水のあたたまり方」を絵と文章で書きなさい。

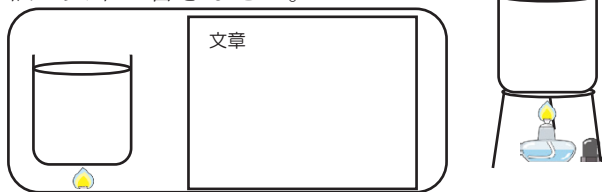


図4 第4時終了後の概念調査に用いた問題

の概念に確信を持っているかは分からない。そこで、実験群及び統制群の児童が保持する概念に対する確信の度合いを、第4時学習前、全ての学習終了2ヶ月後に調査した。第4時学習前、全ての学習終了2ヶ月後の確信の度合いの調査は、図5に示す質問紙により行った。

加えて、実験群の児童に対し、第4時の指導過程アの認知的葛藤を生じさせた時点及び指導過程ウのサポート事象を提示した直後の児童が保持する概念に対する確信の度合いを調査した。調査は、ワークシートに記述させることで行った。確信の度合いの尺度は、「自分の考えは絶対正しい」、「自分の考えはたぶん正しい」、「自分の考えは違うかもしれない」、「自分の考えが違っているか不安だ」の4つの段階からなり、一つを選択させた。さらに、第4時終了後の実験群の児童が再構築した科学概念に対する確信の度合いについて、ワークシートの記述により調査を行った。確信の度合いの尺度は、「5. 自信あり」、「4. 少し自信あり」、「3. どちらともいえない」、「2. 少し不安」、「1. とても不安」の5つの段階からなり、一つを選択させた。

問 Aさんは、水を熱したときのあたたまりかたを①、②のようにまとめました。①、②に自分の考えと比べて合う記号（正しいと思ったら◎、たぶん正しいと思ったら○、たぶんまちがっていると思ったら△、まちがっていると思ったら×）をつけましょう。

①あたためられた水は上に移動する

②あたためられた水はまわるように動いている

図5 概念に対する確信の度合いを調べる質問紙

4-3 結果とその分析

4-3-1 両群の等質性

知識に関する学力の等質性を調べるため質問紙調査を行った結果が表1である。

F検定により両群が等分散であることを確認後、t検定を行った結果、両群の平均の差に有意な差は見られなかった（両側検定： $t(50)=0$ $p=1.00$ ）。なお、科学概念を構成していると考えられる全問正解した児童は両群共に見られなかった。

表1 等質性調査の結果

	実験群	統制群
N (人)	26	26
\bar{X} (点)	2.15	2.15
SD	1.26	1.58

4-3-2 児童が保持する概念

(1) 第4時終了後

第4時終了後に、「水のあたたまり方」に関する質問紙調査を両群に実施した結果が表2である。

F検定で等分散であることを確認した後、t検定を行ったところ、両群の平均の差は有意であった（両側検定： $t(50)=2.64$ $p=0.01$ ）。この問題に関しては、実験群の児童の方が、統制群に比べ優れた成績をあげたといえる。また、小問すべてを正答した児童の数は実験群が19名、統制群が8名と実験群が多かった。等質性調査に比べ、新たに実験群では14名、統制群では2名が目標とする科学概念に相当する解答ができていたことが分かる。

表2 第4時終了後調査の結果

	実験群	統制群
N (人)	26	26
\bar{X} (点)	3.31	2.38
SD	1.58	1.61

(2) 全ての学習終了2ヶ月後

全ての学習終了2ヶ月後に、「水のあたたまり方」に関する質問紙調査を両群に実施した結果が表3である。

F検定で等分散であることを確認した後、t検定を行ったところ、両群の平均の差は有意であった(両側検定:t(50)=3.56 p=0.00)。この問題に関しては、実験群の児童の方が、統制群に比べ優れた成績をあげたといえる。また、小問すべてを正答した児童の数は実験群が18名、統制群が7名となっており、実験群が多かった。等質性調査に比べ、新たに実験群13名、統制群1名が目標とする科学概念に相当する解答ができたといえる。

表3 2ヶ月後調査の結果

	実験群	統制群
N (人)	26	26
\bar{X} (点)	3.31	2.00
SD	1.26	2.24

4-3-3 児童が保持する概念に対する確信の度合い

(1) 第4時学習前の児童が保持する概念に対する確信の度合い

「①あたためられた水は上に移動する」及び「②あたためられた水はまわるように動いている」に回答した児童の人数は、表4、表5のようであった。

表4 ①あたためられた水は上へ移動する

	実験群	統制群
◎の回答	12 (46.2)	16 (61.6)
○の回答	12 (46.2)	8 (30.8)
△の回答	0	1 (3.8)
×の回答	2 (7.7)	1 (3.8)

注. 両群ともN=26 単位は人数 ()内の数字は%

表5 ②あたためられた水はまわるように動いている

	実験群	統制群
◎の回答	16 (61.5)	19 (73.1)
○の回答	5 (19.3)	5 (19.3)
△の回答	4 (15.4)	1 (3.8)
×の回答	1 (3.8)	1 (3.8)

注. 両群ともN=26 単位は人数 ()内の数字は%

「①あたためられた水は上に移動する」については、「正しい」と「たぶん正しい」を選択した人数を合計すると両群とも24人となり、最も多いことが分かる。しかし、あたためられた水は上へ移動すると考えている児童も、実験群では46.2%、統制群では30.8%は「正しい」と確信をもっているわけではないことが分かる。また、「②あたためられた水はまわるように動いている」には5人、統制群は2人となり、誤答である「正しい」と「たぶん正しい」を選択した児童に比べついでには、正答である「まちがっている」、「たぶんまちがっている」の人数を合計すると実験群両群共に少ないことが分かる。あたためられた水はまわるように動いているといった誤った考えに確信をもっている児童が両群共に多いことが分かる。

(2) 全ての学習終了2ヶ月後の児童が保持する概念に対する確信の度合い

「①あたためられた水は上に移動する」及び「②あたためられた水はまわるように動いている」に回答した児童の人数は、表6、表7のようであった。

「①あたためられた水は上に移動する」については、正しいを選択した児童は、実験群が88.5%、統制群が84.7%と両群共に高い回答をしていることが分かる。また、「②あたためられた水はまわるように動いている」については、実験群では正答である「まちがっている」を選択した児童は57.7%と多く、「たぶんまちがっている」を選択した児童も加えると84.6%となる。それに対して統制群の児童は誤答である「正しい」を選択した児童が69.2%と最も多く、「たぶん正しい」を選択した児童も含めると88.5%となることが分かる。

表6 ①あたためられた水は上へ移動する

	実験群	統制群
◎の回答	23 (88.5)	22 (84.7)
○の回答	3 (11.5)	3 (11.5)
△の回答	0	1 (3.8)
×の回答	0	0

注. 両群ともN=26 単位は人数 ()内の数字は%

表7 ②あたためられた水はまわるように動いている

	実験群	統制群
◎の回答	2 (7.7)	18 (69.2)
○の回答	2 (7.7)	5 (19.3)
△の回答	7 (26.9)	0
×の回答	15 (57.7)	3 (11.5)

注. 両群ともN=26 単位は人数 ()内の数字は%

(3) 実験群の第4時を学習中の児童が保持する概念に対する確信の度合い

ア. 指導過程アの認知的葛藤を生じさせた時点

認知的葛藤を生じさせた場面における児童が持っていた概念に対する確信の度合いを4段階で評価させた結果が表8である。

「自分の考えは違うかもしれない」、「自分の考えが違っているか不安だ」を選択している児童が、合わせると73.1%と多いことが分かる。矛盾事象を提示したことで児童が保持していた概念に対し不安を感じていることが示唆される。

表8 保持する概念に対する確信の度合い

絶対正しい	たぶん正しい	違うかも	不安
0 (0)	7 (26.9)	15 (57.7)	4 (15.4)

注. N=26 単位は人数 () 内の数字は%

イ. 指導過程ウのサポート事象を提示した直後

サポート事象を提示した直後の保持する概念に対する確信の度合いを調べた結果が表9である。「自分の考えが違っているか不安だ」が80.8%と最も多く、「自分の考えは違うかもしれない」も含めると96.2%の児童が自分の考えに不安を抱いていることが分かる。サポート事象を提示したことで実験群の児童は自分の保持する概念に対して大きな不安を抱いていることが読み取れる。

表9 保持する概念に対する確信の度合い

絶対正しい	たぶん正しい	違うかも	不安
0 (0)	1 (3.8)	4 (15.4)	21 (80.8)

注. 単位は人数, () 内の数字は%

(4) 実験群の児童が第4時終了後に再構築した科学概念に対する確信の度合い

児童全員がワークシートに「水の温まり方は、熱した部分が上方に移動して全体が温まっていく」とまとめた科学概念に対する確信の度合いを5段階で評価させた結果が表10である。

児童が再構築した科学概念に対する確信の度合いは、「5. 自信あり」が50.0%と最も多く、「4. 少し自信あり」を合わせると80.8%に達することが分かる。一方、「2. 少し不安」、「1. とても不安」を選択した児童はいなかったことが分かる。

表10 授業後の科学概念に対する確信の度合い

5	4	3	2	1
13 (50.0)	8 (30.8)	5 (19.2)	0 (0)	0 (0)

注. 単位は人数, () 内の数字は%

5. 考察とまとめ

学習後であっても科学概念とは異なる不十分な概念を児童が保持している状態を改善するため、本研究では、「水の温まり方」の学習内容において、教科書を使用して学習した児童が科学概念を形成しているか実態調査を行った。次に、科学概念の再構成を促す学習・指導方法を検討・実施し、その効果を調べた。

実態調査の結果からは、これまでも指摘されてきたように、児童たちは学習後であっても科学的な概念の形成が十分なされておらず、その多くが「水は回転しながらあたたまっていく」といった誤概念を保持していることが示唆された。

一通りの学習を終えた児童たちに科学概念を形成するために検討された授業を実施し、効果を検証した結果からは、次のことが言えた。「水のあたたまり方」の科学概念の形成は、第4時終了後、学習終了2ヶ月後のいずれにおいても実験群の児童たちが統制群の児童たちに比べ有意に優れた成績をあげている。また、第4時学習前の児童が保持する概念に対する確信の度合いについての

調査からは、「あたためられた水は上に移動する」の問いに対し「正しい、たぶん正しい」を選択した児童は両群共に約92%いる。しかし、一通りの学習を終えた児童であっても「あたためられた水はまわるように動いている」の問いでは「正しい、たぶん正しい」を選択した児童が実験群では80.8%、統制群では92.4%にもなることが分かった。さらに、確信をもって「あたためられた水はまわるように動いている」の問いに対し「正しい」を選択した児童が実験群では約61.5%、統制群では73.1%にもなることが分かった。従来からの教科書にある指導では、一通りの学習を終えた後でも、「②あたためられた水はまわるように動いている」といった誤概念を「あたためられた水は上に移動する」という概念と併存して保持していることが分かり、また誤概念に対して確信をもっている児童が多いと言える。加えて、「①あたためられた水は上へ移動する」の問いに対し「たぶん正しい」を選択した児童は実験群では46.2%、統制群では30.8%いることも分かった。この児童たちは回答に対して確信を持っているとは言えないことが推測できる。しかしながら、全ての学習終了2ヶ月後の確信の度合いの調査からは、「①あたためられた水は上へ移動する」の問題では両群共にほぼ全ての児童が「正しい、たぶん正しい」を選択しているにもかかわらず、「②あたためられた水はまわるように動いている」の問いに対して「正しい、たぶん正しい」を選択した児童は実験群では15.4%と少ないにも関わらず統制群では88.5%もいることがわかる。加えて、実験群では57.7%の児童が「まちがっている」を選択しており、②の考え方が間違っていることに確信を持って回答していることが分かる。また、第4時終了後の実験群の児童が再構築した科学概念に対する確信の度合いを調べた調査からは、児童が再構築した科学概念に対する確信の度合いは「自信あり」、「少し自信あり」を加えると80.8%と極めて高い結果を示している。このことが、学習終了2ヶ月後の児童に対して質問紙調査した結果、実験群の児童たちが統制群の児童たちに比べ有意に優れた成績をあげていることにつながったと考えることができる。

本事例からは、教科書に示された一通りの学習を行っても、多くの児童が科学概念とは異なる不十分な概念を保持しており、児童が保持している不十分な概念を改善するためには、一通りの学習後に、検討された4つの流れからなる学習・指導方法「①矛盾事象を提示し、保持する不十分な概念の存在に気づかせる。②認知的葛藤を共有させ、問題を焦点化させる。③科学概念を支持するサポート事象を提示し、保有する誤概念の存在を自覚させる。④他者との話し合いを通して概念の再構築を促す」を行うことが、科学概念の形成に有効であることが示唆された。

引用文献

- 相場博明・柘原礼士 (2009) 「小学校4年「水のあたたまり方」における誤概念と「サーモインク」教材の有効性」『理科教育学研究』第49巻、第3号、1-11
- 鎌田正裕・佐藤時子 (2002) 「小学校4年理科もののあたたまり方（自然対流伝熱）に関する2、3の考察と可視化実験法の開発」『科学教育研究』第26巻、第4号、309-314
- 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領解説理科編」、大日本図書
- 中島伸子 (1995) 「「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—地球の形の概念の場合—」『教育心理学研究』第43巻、113-124.
- 荻野伸也・久保田善彦・桐生徹 (2014) 「小学校4年生の水への熱の伝わり方の概念形成に関する事例研究—「ものの温まり方」単元における概念の関連から—」『理科教育学研究』第55巻、第1号、27-35

(2017年3月27日提出)

(2017年4月17日受理)

Research on a teaching methods to establish the Scientific Conception on “How Water Becomes Hot”

KAKINUMA, Hiromitsu

Hanyu City Board of Education, Saitama preecture

TAKAGAKI, Mayumi

Faculty of Liberal Arts, Tsuda College

SHIMIZU, Makoto

Saitama University, Emeritus Professor

Abstract

The purpose of this study is to develop a teaching strategy to reconstruct students' wrong scientific conception of “water is heated up as it swirls”, which is often conceived by many of the students, even after the classrooms lesson using the text book on the topic of “How the water becomes hot”. The teaching method based on this strategy is to show students with the wrong conception, the corroborated scientific understanding by supportive experiments, and let them discuss after making them experience cognitive conflicts between wrong conception and the phenomena that contradicts their ideas. The study proves that this method is more effective to convert wrong conception into scientifically correct conception than the method that the textbook shows.

Keywords: concept formation, scientific concept, cognitive conflict, discussion, how to warm water