
外的リソースを導入した教授・学習方法
の開発と教師教育への適用

研究課題番号 20530801

平成20年度～平成22年度科学研究費補助金 基盤研究(C)

研究成果報告書

平成23年3月

研究代表者 清水 誠
(埼玉大学教育学部教授)

はじめに

認知科学の研究者達の間では、人間の認知が依存し、認知課題を実行する際に利用し得る資源としての外的資源 (external resource) の重要性が指摘されるようになった。外的資源については、植田 (2002) が「人間からみて外界に存在し、人間が問題解決や推論などの認知課題を実行する際に利用し得る資源のこと。記憶や頭の中に描く内的表象などの内的資源に対置される概念。外的資源の具体例は、考えていることの外化、図的表象などの外的表象、協同 (collaboration) インターフェース、社会的構成物や制度など多岐にわたる。」と定義している。主に内的資源の利用に関心を寄せてきた従来の認知科学研究に対するアフォーダンス理論や状況論からの批判以降、外界に存在する情報が持つ構造やそれが人間の認知あるいは内的表象に与える関心が高まってきたのである。背景には、Gibson (1979) らによる外界の提供する情報は決してばらばらな粗なものではなく、人間の適応的活動を促す (afford) 構造を持っているとする主張がある。人間の思考活動は、外の事物との相互作用として成立するものであり、頭の中だけで思考し、操作するものだけではなく、外の事物を必要に応じて利用しながら行われるものであるという考え方である。ここでは、人間の思考活動は外の事物との相互作用として成立するものであり、道具といった外的資源は人間の行動を誘発する情報を持つとされ、物理的環境、人工物、図、他者、社会、インターフェース等といった外界の情報を無秩序な異物と見なすのではなく、我々の認知が依存し、認知課題を実行する際に利用し得る資源として捉え直すようになったのである。また、外的資源が有効に機能する要因として、外的資源の持つ顕在性や操作可能性等の機能も指摘されるようになった。しかし、外的資源をいかに活用したら人間の認知や問題解決に有効に機能するのかについては理論的な指摘にとどまり、十分な実証データが得られていないのが現状である。理科教育学研究においても、優れた理科教師達が授業実践の中で外的資源を活用している事例は見られるが、児童・生徒の科学的な概念形成にどのように働くかを外的資源という視点から検討し、理論を体系化し実践を行った研究は見ることができない。

本研究は、理科授業の中で①児童生徒が関わる様々な外的資源が、思考活動にどのように作用し科学的な概念の形成に有効に働いていくのか、②児童生徒の外的資源の利用に問題はないのかを明らかにする。その結果を踏まえ、外的資源に基づく科学的な思考力や概念形成を促すための理論的なフレームワークをつくる。その上で、科学的な思考力や科学的な概念の形成を図るための理科の教授・学習方法を構築する。さらに、構築した教授・学習方法をインターネットや研修会の機会を活用しながら広く社会に提供していくことを目的としている。そこで、本研究では、物や人といった外的資源をキーワードに児童生徒の科学的な概念の形成を図るための教授・学習方法を確立し、次に、デザインされた教授・学習方法をもとに教師教育への適用を図ることを目標とした。研究は、研究者である清水らが小・中学校の教師とともに、フィールドワーク、アクションリサーチという研究方法を採用しながら、児童・生徒が外的資源を利用し科学的な概念の形成を深めていく過程

の数量的かつ質的分析を行いながら進めた。この研究において、理科学習における外的資源の効果を明らかにすることは、理科学習における思考活動や科学的な概念の形成が外的資源とどのように関わっているか、外的資源の利用に問題はないかを明確にすることができる。それは、外的資源が人間の認知や問題解決にどのように関わっているかを明らかにすることであり、子どもの学びを支援する作業に他ならない。

本報告書の内容は、これまでの研究を概観した第1章、大きく3つの研究の視点からまとめた第2章から第5章、第6章から第9章、第10章から第13章の各事例研究に分かれている。

第1章は、外的リソースを導入した教授・学習方法を開発するに当たり、研究者がどのように外的資源を捉えてきたのか。また、今日まで「外的資源」をとりあげた研究がどのように行われ、どこまで明らかにされてきたのかを示した。

第2章から第5章は、外的資源が持つと言われている顕在性や操作可能性の機能を利用することが科学的な概念の形成に与える効果について調べた研究である。第2章では、外的資源の持つ顕在性の機能が、学習者に観察すべき視点を促し、科学的な概念の形成に有効に働くことを示した。第3章では、外的資源の持つ操作可能性の機能は、学習者に操作を促し、操作することにより問題の解が可視化可能となることで科学的な概念の形成に有効に働くことを示した。第4章では、外的資源を使用する際に、イメージ・スキーマ（人間が身体的、知覚的に、経験を通じて、構造化された抽象的な枠組み）を持たせた上で外的資源を使用することが、それ自体は意味を持たない外的資源であっても解決者が問題に対してなんらかの解釈や意味をつくりあげ、問題構造、内容に関する表象を構築することにつながり、結果として科学的な概念の形成に有効に働くことを示した。第5章では、正と負の理解を促進する操作活動について検討した。

第6章から第9章は、外的資源としての他者が科学的な概念の形成に与える効果について調べた研究である。第6章は、植物の葉の観察の際に、学習者が観察結果をモデルやスケッチといった形で表す表し方の違いが顕在化の違いとして生じ、観察力の育成に違いが見られることを示した。第7章は、第6章の研究を受け、観察時に認知負荷を軽減する外化方法を用意することが、葉のつくりの規則性の発見を促し、他者という外的資源との関わりを促進し、そのことが概念の形成に有効に働くことを示した。第8章は、実験時の人数の違いによる効果を調べることで、認知をサポートする外的資源としての他者がいる授業づくりを導入することが概念の獲得に重要であることを示した。第9章は、相互教授という教授方法を検討する中で、外的資源としての他者との相互作用が知識構成や問題解決に及ぼす効果を示した。

第10章から第13章は、植田（2002）が外的資源の具体例として示す、考えていることの外化と他者との協同が科学的な概念の形成に与える効果について調べた研究である。第10章は、小・中学生が認知過程を外化することの有用性についてどう受け止めているか明らかにした。第11章では、予想時に見方や考え方を外化し、自分にも他者にもよく見えるように外の世界に表現し、他者と相互作用することは、概念的知識の一般化に有効であることを示した。第12章では、考察時に個人の考えを外化した「書いたもの」という資源があり、他者という外的資源と相互作用することが科学的な概念形成に有効に機能することを示した。第13章では、科学的な概念形成には、植田（2002）が外的資源の具体

例として挙げる個人内の考えを図などに書かせて外化することに加え、外化したものを他者という外的資源と議論しながら考えをまとめさせていくことが必要であることを示した。

ここで示した第2章から第13章からなる12の事例研究からは、理科学習において、物や人といった外的資源は、問題解決を促し、科学的な概念形成を図ることに有効に機能することを示すことができた。その大きな理由としては、外的資源があることで問題の解が可視化可能になるということであると考えられる。外的資源が操作可能であったり、多様な考えを明示することで、外的資源により解決に必要な制約が顕在化され、科学的な概念の形成を促すと考えることができる。

本研究の成果が、小・中学校の先生方の授業づくりの一助になればこのうえない喜びである。終わりに、本研究に科学研究費の補助が与えられたことを感謝するとともに、研究に協力して下さった多くの関係者に厚く御礼申し上げます。なお、各論文中に記載された研究に協力いただいた方々の所属は、論文発行時のものである。

2011年3月

研究代表者 清水 誠

- 1 研究課題 外的リソースを導入した教授・学習方法の開発と教師教育への適用
 2 研究種目 基盤研究(C)
 3 課題番号 20530801
 4 研究組織

研究代表者

清水 誠

埼玉大学教育学部 教授

研究分担者 (50音順)

高垣 マユミ

実践女子大学生生活科学部 教授

研究協力者 (50音順)

阿佐見 祐子

さいたま市立鈴谷小学校 教諭

大熊 彩有里

川口市立元郷南小学校 教諭

大高 綾子

さいたま市立城北小学校 教諭

大山 亨

栗橋町立栗橋西中学校 教諭

久保 厚彦

さいたま市立高砂小学校 教諭

紺野 雅弘

さいたま市立教育研究所 指導主事

田爪 宏二

鹿児島国際大学福祉社会学部 教授

中村 友之

さいたま市立大砂土小学校 教諭

肥田 幸則

川口市立戸塚南小学校 教諭

福田 健

清泉女子大学文学部 教授

牧野 正

幸手市立東中学校 教諭

安田 修一

蓮田市立黒浜中学校 教諭

山浦 麻紀

さいたま市教育委員会 指導主事

渡邊 文代

御前崎市立第一小学校 教諭

5 交付決定額 (配分額)

(金額単位：千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	1,500	450	1,950
平成21年度	1,000	300	1,300
平成22年度	900	270	1,170
総計	3,400	1,020	4,420

6 研究発表

(1) 学会誌等

1. 清水誠・大山亨・中村友之：「実験グループの人数が理科学習に与える影響」、『理科教育学研究』（日本理科教育学会・査読有り），Vol.49, No. 1, 65-72, 2008.
2. Shoko SAKATA・Mayumi TAKAGAKI・Seiji MATUURA・Kayoko MORI・Makoto SHIMIZU：「The Case Study of Rika Class Reflections by Video Analysis Through Fieldwork Activities」、『埼玉大学紀要教育学部（教育科学）』（査読なし），第58巻，第1号，9-13, 2009.

3. 渡邊文代・清水誠：「小・中学生がとらえる外化の有用性の実態－質問紙調査の結果から－」、『理科の教育』（日本理科教育学会・査読有り），Vol. 58, No. 680, 66-69, 2009.
4. 清水誠・安田修一・高垣マユミ：「相互教授を導入した授業における相互作用の効果－消化と吸収の学習を事例に－」、『理科教育学研究』（日本理科教育学会・査読有り）Vol.50, No. 2, 81-88, 2009.
5. 清水誠・久保厚彦・大高綾子：「質量保存概念形成を促す教授方法に関する研究－考えを外化し議論することの効果－」、『理科教育学研究』（日本理科教育学会・査読有り）Vol.50, No. 3, 109-116, 2010.
6. 清水誠：「科学的な概念形成を促す協同的な学習のデザイン」、『埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要』（査読なし），第9号，41-49, 2010.
7. 清水誠，牧野正：「外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究－慣性の法則の学習を事例に－」、『理科教育学研究』（日本理科教育学会・査読有り），Vol.51, No. 1, 75-81, 2010.
8. 清水誠・小森栄治・田中修平：「科学的リテラシー育成のための指導方法の開発」、『科学教育研究』（日本科学教育学会・査読有り），Vol.34, No. 2, 237-244, 2010.
9. 清水誠・肥田幸則・紺野雅弘：「外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に与える効果－台風の進路の学習を事例に－」、『理科教育学研究』（日本理科教育学会・査読有り），Vol.51, No. 3, 209-215, 2011.
10. Mayumi TAKAGAKI・Hirotsugu TAZUME・Makoto SHIMIZU：「The Development of Educational Methods Using Manipulative Activities to Promote the Understanding of Positive and Negative Integers」『埼玉大学紀要教育学部（教育科学）』（査読なし）第60巻，第1号，13-20, 2011.
11. 清水誠・阿佐見祐子・紺野雅弘：「考察時に考えを外化し議論することが科学的な概念の形成に与える効果－肺の働きの学習を事例に－」，埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要』（査読なし），第10号，59-65, 2011.

（２）学会発表

1. 清水誠・大高綾子・木田真貴子：「外化物を用いて話し合いをすることが質量の保存概念形成に与える効果－小学校5年ものものとけ方を事例に－」，日本科学教育学会第32回年会，2008年8月（於：岡山大学）.
2. 清水誠・阿佐見祐子・庄司晴恵：「考察時に図と話し合いを用いることが科学的な概念形成に与える効果－肺のはたらきを事例に－」，日本理科教育学会第58回全国大会，2008年9月（於：福井大学）.
3. 清水誠・大高綾子・庄司晴恵：「物質の保存概念獲得についての指導方法に関する研究」，日本理科教育学会第47回関東支部大会，2008年11月（於：千葉大学）.
4. 小森栄治・和田晃宣・清水誠：「ヘッドアースモデルの活用が方位概念の獲得に与える効果」，日本理科教育学会第47回関東支部大会，2008年11月（於：千葉大学）.
5. 小森栄治・田中修平・清水誠：「科学的リテラシー育成のための指導方法に関する研究」，日本理科教育学会第47回関東支部大会，2008年11月（於：千葉大学）.
6. 木田真貴子・清水誠：「考察する力を高める学習指導法の研究－話し合いを取り入れ

- ることの効果」, 日本理科教育学会第 47 回関東支部大会, 2008 年 11 月 (於: 千葉大学).
7. 牧野正・清水誠: 「外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究」, 日本理科教育学会第 47 回関東支部大会, 2008 年 11 月 (於: 千葉大学).
 8. 吉井規雄・清水誠: 「相互説明が科学的な概念の形成に与える効果についての研究」, 日本理科教育学会第 47 回関東支部大会, 2008 年 11 月 (於: 千葉大学).
 9. 小森栄治・田中修平・清水誠: 「調べ学習が科学的リテラシーの育成に及ぼす効果」, 第 3 回日本科学教育学会研究会・南関東支部会, 2009 年 3 月 (於: 東京学芸大学).
 10. 清水誠・牧野正・鶴貝昌弘: 「外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究」, 日本理科教育学会第 59 回全国大会, 2009 年 8 月 (於: 宮城教育大学).
 11. 清水誠・小森栄治・田中修平・黒川昇: 「調べ学習が科学的リテラシーの育成に及ぼす効果」, 日本科学教育学会第 33 回年会, 2009 年 8 月 (於: 同志社女子大学).
 12. 清水誠: 「科学教育の新しい方向性」, 日本科学教育学会第 33 回年会, 2009 年 8 月 (於: 同志社女子大学).
 13. 鶴貝昌弘・吉井規雄・清水誠: 「相互説明が科学的な概念の形成に与える効果」, 日本理科教育学会第 48 回関東支部大会, 2009 年 11 月 (於: 宇都宮大学).
 14. 清水誠・大熊彩有里: 「外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に与える効果―葉のつき方の学習を事例に―」, 日本理科教育学会第 48 回関東支部大会, 2009 年 11 月 (於: 宇都宮大学).
 15. 清水誠: 「外的資源の持つ操作可能性が問題解決に与える効果」, 日本理科教育学会第 60 回全国大会, 2010 年 8 月 (於: 山梨大学).
 16. 庄司晴恵・清水誠・野辺茂樹: 「分散化された認知が科学的な概念の形成に与える効果」, 日本理科教育学会第 60 回全国大会, 2010 年 8 月 (於: 山梨大学).
 17. 清水誠・黒川昇・中山秀人: 「小グループで議論を促すことが科学的に解釈する力の育成に及ぼす効果」, 日本科学教育学会第 34 回年会, 2010 年 9 月 (於: 山梨大学).

(3) 図書等

1. 清水誠: 「理科の改訂ポイントと対応課題」『教職研修総合特集: 新学習指導要領全文とポイント解説』, 教育開発研究所, 76-77, 2008.
2. 清水誠: 「中学校・新学習指導要領理科; 変わった点・変わらなかった点はどこか」『楽しい理科授業』, 明治図書, 10-11, 2008.
3. 清水誠: 「新学習指導要領の改訂の理念と要点」『理科の教育』(日本理科教育学会編集), 東洋館出版社 10-15, 2008.
4. 清水誠・中道貞子編著: 『中学校教育課程講座 理科』, ぎょうせい, 2009
5. 清水誠・熊野善介編著: 『中学校理科 重点指導事項の実践開発』, 明治図書, 2009
6. 清水誠: 「生命・地球の内容構成」『橋本健夫・鶴岡義彦・川上昭吾編著; 現代理科教育改革の特色とその具現化』東洋館出版社, 66-73, 2010.
7. 清水誠: 「活用に向けた理科授業の改善」『理科の教育』(日本理科教育学会編集) Vol.59, No. 691, 東洋館出版社, 14-17, 2010.
8. 清水誠: 「生命に対する科学的な見方や考え方を育てる」『理科の教育』(日本理科教育学会編集) Vol.61, No. 703, 東洋館出版社, 46-49, 2011

目 次

はじめに

- 第1章 外的資源に関する研究
・ ・ ・ ・ (清水誠・牧野正・大熊彩有里・肥田幸則) ・ ・ 1
- 第2章 外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究
－慣性の法則の学習を事例に－
・ ・ ・ ・ (清水誠・牧野正) ・ ・ 13
- 第3章 外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に与える効果
－台風の進路の学習を事例に－
・ ・ ・ ・ (清水誠・肥田幸則・紺野雅弘) ・ ・ 23
- 第4章 イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に与える効果
－外的資源が問題解決を促進する条件－
・ ・ ・ ・ (清水誠・鶴貝昌弘・安田修一) ・ ・ 34
- 第5章 The Development of Educational Methods Using Manipulative Activities to Promote the
Understanding of Positive and Negative Integers
・ ・ ・ (高垣マユミ・田爪宏二・清水誠) ・ ・ 44
- 第6章 モデルづくり及びスケッチの違いが観察力に与える効果
・ ・ ・ ・ (清水誠) ・ ・ 53
- 第7章 外的資源としての他者が科学的な概念形成に及ぼす効果
－葉の付き方の学習を事例に－
・ ・ ・ (清水誠・福田健) ・ ・ 63
- 第8章 実験時に他者と関わるものが理科学習に与える効果
・ ・ ・ (清水誠・大山亨・中村友之) ・ ・ 74
- 第9章 相互教授を導入した授業における相互作用の効果
－「消化と吸収」の学習を事例に－
・ ・ ・ (清水誠・安田修一・高垣マユミ) ・ ・ 85
- 第10章 小・中学生が捉える外化の有用性の実態
－質問紙調査の結果から－
・ ・ ・ ・ (渡邊文代・清水誠) ・ ・ 95
- 第11章 考えを外化し議論することが概念的知識の一般化に及ぼす効果
－花の働きの学習を事例に－
・ ・ ・ ・ (清水誠・山浦麻紀) ・ ・ 101
- 第12章 考察時に考えを外化し議論することが科学的な概念の形成に与える効果
－肺の働きの学習を事例に－
・ ・ ・ ・ (清水誠・阿佐見祐子・紺野雅弘) ・ ・ 114
- 第13章 質量保存概念形成を促す教授方法に関する研究
－考えを外化し議論することの効果－
・ ・ ・ ・ (清水誠・久保厚彦・大高綾子) ・ ・ 126

第1章 外的資源に関する研究

清水 誠・牧野 正・大熊 彩有里・肥田 幸則

1. はじめに

植田（2002）は、外的資源について「人間から見て外界に存在し、人間が問題解決や推論などの認知課題を実行する際に利用し得る資源」と定義し、認知主体の認知負荷の軽減をするという効果等について指摘している。本稿では、「外的資源」を各研究者はどのように捉えてきたのか。また、今日まで「外的資源」をとりあげたどのような研究が行われ、研究者たちからどこまで明らかにされてきたのかを概観する。

2. 認知負荷の軽減と外的資源

Norman（1990）は、人間がたとえ知識が不正確なものであっても、正確な行動を行うことができるのは4つの理由があるとしている。その一つは、情報は外界にあるためであるとする。ある課題を行うために必要な知識の多くは外界に存在し、行動は（頭の中の）記憶にある情報と外界にある情報を組み合わせることによって決定されるという考えである。二つ目は、極度の精密さを必要としないということである。三つ目は、自然な制約が存在するためであるとしている。外界の制約が許される行動を決めるということであり、どのようなものにも、例えば突起や窪みなどといった外形的な特徴があり、それらが他の事物との関係や、どんな操作ができるかなどの制限をつけており、操作の範囲はそのものの物理的な特徴によって制約されるというものである。四つ目は、文化的な制約が存在するためであるとしている。こうした自然の制約や人工的な制約のおかげで、ある場面における選択可能な選択肢の数も、人が必要とする記憶の量とその詳細さの程度も少なくて済むと述べている。

また、Norman（1991）は、人工物の中でも、特に「表現機能を目的とし、情報の保持、表示、および操作を可能にすることを目的としてデザインされた人工の道具」を認知的人工物と呼んでいる。原田（1997）は、外的資源にも含まれる人工物（artifacts）とは、人間が作成した「もの」全般をさす概念であり、道具など物理的な実体を持つものばかりでなく、制度や言語体系など、物理的実態を持たないものも含まれるとしている。また、人間の手で目的的に作成したものでなくても、人がそれを利用して何らかの行為を行う場合にはその対象は人工物に含まれるとしている。この定義からすると、電子手帳などの情報機器や

コンピューターだけでなく、メッセージボードや、Post-it のメモ用紙も認知的人工物に含まれるとし、大部分の人工物は、「人に使われるという側面」において、すべて認知的人工物であるとしている。このことは、情報機器の1つでもあるOHPの事例が挙げられる。これは、OHP本体の電源スイッチが、その色と形状からただの粋飾りにしか見えないため、どこに電源スイッチがあるのかわからないというような情報の表示に失敗しているというものである。この事例から考えると、OHPは二重の意味で認知的人工物であるといえる。ひとつは、いかにOHPを操作するか、使えるかという側面での「情報の表示」、すなわち手段としての情報表示である。これは、すべての人工物に共通している側面である。これに加えて、OHPは利用の目的自体が「情報の表示」である。つまり、手元のシートに書かれた文字・図表を拡大投射して、より多くの人に情報を表示し、共有するという新しい機能を提供する。つまり、本江（2005）は、大部分の人工物は認知的人工物としての側面を持ち、人に使われるという側面において認知的人工物であるとしている。

さらに、Norman（1991）は、こうした人間による道具利用に対して、System View と Personal View の2つの異なる見方があると指摘している。System View とは、計算に電卓を使用するときには、人間が単独で計算課題を遂行するのではなく、「人間+電卓」というシステムがこの課題を遂行するというシステムである。この見方においては、あくまでも課題は同一であり、変化するのはそれを遂行するシステムである。つまり、道具は一般に人間の能力を強化・拡大するため、課題の解決が容易に感じられるというのがこの見方である。一方、Personal View とは、System View のように「人間+道具」を課題解決の主体となるシステムとみなすのではなく、「道具+課題」が新たな課題になるとみなす見方である。つまり、道具を使用するときには同一なのは課題ではなく人間であり、変化するのは人間ではなく課題の方である。例えば、電卓を使うことによって、その人間がしなければならない課題が計算からボタン押しに変わり、道具によって課題の遂行が容易になったと感じられるのである。パーソナルビューの概念が示すように、人工物の介入は課題遂行の量的な変化（速くできる、一度にたくさんできるなど）ではなく、質的な課題変化を引き起こすのである。より速くより正確に答えが得られるということから、人工物によって認知的能力が増幅されたということができ、ユーザーにとって新しい人工物が導入されることは「能力の増幅」ではなく、新しい問題解決の方法、新しい認知的課題の発生を意味している。道具（外的資源）は人間の能力を強化・拡大するとまとめている。

3. 状況論と外的資源

従来の認知心理学では知識や意思決定などの頭の中の「表象」が具体的な行為のありようを決定しているとされてきた。これがいわゆる「表象主義」である。こうした考えに対し、Suchman（1987）は行為は常にローカルな状況とインタラクトしながら進められるものであり、頭の中の行為意図＝プランにすべて回収されてしまっては、現時のダイナミズムはみえてこないと批判している。こうした考えから、Suchman は、従来の「表象主義」原理に代わって、状況のなかで行為する仮定とみる認識論を提唱している。この Suchman の考えに代表されるような認識のとらえ方が「状況的認知」（situated cognition）、あるいは状況論的接近といわれているものである。佐藤（1996）は、Suchman のこのような考え

を受け、私たちの現実の生活の中での認識活動というのは、自分を取り巻いている外界の中にある道具や他者などと絶えず相互作用しているのであると述べている。例えば、先の目的地まで行くことにしても、頭の中で計画したものに完全に縛られて行動してはいない。交差点の信号のようすや、そもそも予定の時間に間に合わないならば歩くのをやめてタクシーを使うという、手段そのものまでも変更してしまうのである。ものを書くという行為にしても同じである。ある程度の執筆方針はもっていたとしても具体的に書き始めることからすべてがはじまるのであり、書いたことが次の書くべきものの方向づけもしてしまうのである。だから逆に書いてみることで何が書きたかったことなのかがはっきりするという、まるでプランニングの考え方とは逆方向のことさえ起きているのであるとしている。このように、Suchman は日常の生活の中での認知的活動に目を向け、いかに人間の認知的活動が社会・文化的状況や道具の有無に規定されているかということをも明らかにしているのである。

こうした考えに立ったときに、自分の外界にある道具や他者などを利用できる資源としてとらえる外的資源と状況論を切り離して考えることはできない。

4. アフォーダンス理論から見た外的資源

外的資源について検討していくためには、アフォーダンス理論についても明らかにしておく必要がある。仮屋園(2000)が、「人間の思考活動は、外の事物との相互作用として成立するものであり、頭という器の中で表象し、操作するだけのものではなく、外の事物を必要に応じて利用しながら行われるものである」と述べているように、こうした考え方を生み出したものの1つとして、アフォーダンス理論がある。

アフォーダンス (affordance) とは、Gibson (1979) の造語であり、「～ができる、～を与える」などの意味を持つ動詞のアフォード (afford) の名詞形である。Gibson によると、自動車、避難所、水、火、物、道具、他の動物、人工物などの環境が動物に価値や意味をアフォードしている。つまり、環境のアフォーダンスとは、環境が動物に提供する (offers) もの、良いものであれ悪いものであれ、用意したり備えたりするもの (provide or furnish) であるとしている。例えば、もしも陸地の表面がほぼ水平 (傾斜しておらず) で、平坦 (凹凸がなく) で、十分な広がり (動物の大きさに対して) をもっていて、その材質が堅い (動物の体重に比して) ならば、その表面は支える (support) ことをアフォードする。それは、支える面であり、我々はそれを土台、地面、あるいは床とよぶ。しかし一方で、他の動物にとっては、大地の表面は、よじ登れるもの、落っこちるもの、つかめるもの、突き当たりうるものである。異なった配置は動物が異なれば異なった行動をアフォードし、かつ異なった機械的動作をアフォードする。このように、環境にあるさまざまに異なる物質は食物や製品に関し異なるアフォーダンスをもっている。環境の異なる対象は操作に関しても異なるアフォーダンスをもっているとしている。外部情報を我々の認知が依存し、利用する資源と捉えている点にある。Gibson は、アフォーダンスを「動物との関係において規定される環境の特性」と定義しているが、これは知覚を事物の物理的特性でも、知覚者の主観が構成するものでもないもの、つまり、動物と環境との相互依存関係と捉え、そのような相互依存関係から規定される環境の意味をアフォーダンスと呼んでいる。これに対し、

Norman(1988)は、アフォーダンスを事物の知覚された特徴、あるいは現実の特徴、人間にとってそのものがどのように使え、行為でき、機能し得るかを決定する最も基礎的な特徴を指すものであるとし、過去の知識や経験に基づいて事物を心理的に解釈することから生じるものであるという見方をしている。両者のアフォーダンスの違いの1つとして、手がかりが挙げられる。Gibsonは直接知覚の立場から、知覚とは外界に存在する情報の抽出であり、刺激の解釈や構成ではないとした。しかし、Normanは事物を心理的に解釈することから生じるものであり、その解釈は私達のまわりの事物を知覚する際に使われた過去の知識や経験に基づいたものであるとしている。つまり、Normanは、人間はデザインされた人工物の意味を理解するために、そのアフォーダンスを獲得することになり、人間は否応なく過去の知識や経験を動員して事後的に解釈せざるを得ないと述べている。一方、Gibsonは知覚は外物の特性と人間の特性が相互に依存し合った関係として成立するのであり、外物が人間に知覚を迫るものでも、人間が(脳)で外物を解釈・構成して知覚を生み出すのではないと考えている。Gibsonのいうアフォーダンスでは、生活体と環境との相互依存関係においてのみ規定されるのであって、人間から切り離して事物のアフォーダンスだけを取り出すことはできないとしている。

以上のことから考えると、Normanは「人間が意図的にデザインした人工物の特徴や行為、操作性から、見いだされる情報のありようを示すという考え」であり、Gibsonは「周囲の環境の中に実在する知覚者にとって価値のある情報であり、それは事物と知覚者の両者における相互依存関係によって規定されるとする考え」ととらえることができる。しかし、両者のとらえかたに違いは見られるが、「情報を与える」という観点については共通している。これは、ある課題を考えるときに内的資源だけではなく、外部の事物から得られる情報を活用して新たな見方につなげていけるという相互作用を促す効果につながると考えられ、普段の学習活動のなかで様々な事物が教材として活用されていることから理解することができる(本江, 2005)。

このように、すべての道具は人間の特定行動を誘発するような情報をもっており、外部の情報が我々に働きかけているというアフォーダンス理論から見た場合、外部の情報を利用できる資源として捉える外的資源も、我々に情報をアフォードしているものと考えることができる。しかし、外的資源という視点から見た場合、必ずしも外的資源が自分が目的とする情報をアフォードしているとは限らない。人間が外的資源を利用する場合、外的資源に実在している情報の中から必要な情報をうまく抽出できるように情報が表示されていることが必要だと考えることが妥当であろう。

5. 外的資源の効果をとり上げた研究

5-1. 外的資源と認知主体の認知負荷を軽減に関する研究

村山(1995)は、従来の研究を考察する中で、外的資源が認知主体の認知負荷を軽減するものとして捉えられてきたとしている。軽減される認知負荷としては、外部記憶の利用による「記憶負荷の軽減」と、図を用いた推論などの「計算負荷の軽減」があるとし、Beach(1988)やWainer(1992)・Larkin & Simon(1987)の研究を次のようにまとめている。

(1) 記憶負荷の軽減を扱った研究

記憶負荷の軽減を扱った研究として Beach(1988)の研究を挙げることができる。Beachは、バーテンダーの養成学校で観察を行い、注文されたカクテルを想起するための記憶法略には2種類あることを明らかにしている。1つは、注文されたカクテルの名前を何度も頭の中に記憶して維持しようとする方略、もう1つは、グラスを手がかりとする方略である。これを検証するため、Beachは養成学校に在学中の未熟なバーテンダーと熟練したバーテンダーに対して、注文されたカクテルを作らせる実験を行っている。課題遂行中、それぞれの被験者にたいし注文数とは無関係な計算をさせる作業を取り入れると、未熟なバーテンダーは注文の憶え違いが増加したが、熟練者は変わらなかったという結果を得ている。しかし、グラスを不透明な黒いグラスに統一して、グラスを手がかりにする記憶法略を妨害すると、未熟なバーテンダーには影響がないが、熟練したバーテンダーは注文の憶え違いやカクテルの作り間違いが増加するという結果が得られたとしている。熟練したバーテンダーが外部記憶を上手く利用していることを示している。通常バーテンダーは、カクテルが注文されると頭の中に記憶するのではなく、それに対応したグラスをカウンターに置くといった方法を利用している。グラスの形や色が異なるので、カウンターに並んだグラスを見れば何が注文されたかがわかるという方法である。こうした結果から、Beachはグラスを利用して記憶負荷を減らせば、注文以外のことにも意識を向けることができるが内部資源だけに依存する方法では客と話したりすることが課題の遂行を妨げることになってしまうと指摘している。

(2) 計算負荷の軽減を扱った研究

計算負荷の軽減とは、目的とする情報を得るまでに必要な計算量を減らすことであり、図やグラフなどは主としてこの機能をもっていると考えられている。図を用いた推論の例として Wainer(1992)が挙げた例がある。Wainerは、19世紀にロンドンでコレラが流行したときに、地図上に死者の位置をプロットしていくことによって汚染源となっていた井戸を特定していった。これは、コレラによる死者の住所一覧を見て分布の中心を見出すよりも、地図上にプロットして作成した分布図を見た方がコレラの中心を特定しやすく、計算負荷を軽減していることを示している。図に限らず特定の表現が持つ利点を考えるために、Larkin & Simon(1987)は、情報論的等価 (informational equivalence) と計算論的等価 (computational equivalence) という概念を用いている。2つの表現から推論される情報の総量が等しい場合に、それらは情報論的に等価であり、これに加えて明示的に与えられた情報から推論の容易さ・速さが等しい場合に、それらは計算論的に等価であるという。この用語を使えば、図やグラフは文章や表などと情報論的に等価である場合でも、計算論的には等価ではないということになる。つまり、外的資源による計算負荷の軽減とは、情報の顕在性によるものと考えられる。情報の顕在性は、表現それ自体のデータ構造のみによって決まるのではない。Larkin & Simonは、データ構造、プログラム、注意制御システムの3つによって計算論的な認知負荷が決定すると主張している。例として、幾何の証明問題と滑車を用いた力学の問題を取り上げている。あるロープがおもりを釣り下げている場合、おもりを釣っているロープが1本だけならロープの張力はおもりに加わる重力に等しいが、2本のロープで釣られているなら1本のロープの張力は半分になる。こうした問題では、図がある場合にはおもりを見ればロープの本数はすぐにわかるが、文章のみ

であれば最悪の場合には全体を読み直さなければならない。つまり、図では関連情報が局在化しているために情報検索のための注意制御が容易であるが、文章では分散しているため情報の検索が困難なのであるとしている。

5-2. 分散問題空間に関する研究

Zhang & Norman(1994)は、外的資源を含んだ問題を認知主体の内部と外部とにわたる分散認知課題と捉え、それを分析するために問題空間を内部問題空間と外部問題空間とに分かれた分散問題空間として考えることを主張している。そして、その両者の機能を区別することによって外的資源の役割を明らかにしようと試みている。つまり、外的資源による課題の変化を問題空間の変化と捉えることにより、従来の問題解決研究の枠組みを拡張する形で外的資源を扱おうとしている。Zhang & Norman は、実験課題としてハノイの塔のパズルの同型問題を使用している。通常ハノイの塔のルールは問題文中に記述されており、被験者はそれを頭の中に入れて問題に取り組む(注1)。この場合、問題空間は内部問題空間だけとなる。これに対して Zhang らの同型問題は、コーヒーの入った大きさの異なるカップを上下に重ねたりするもので、ルールを記述していなくてもルールに従った操作しかできないようになっている(注2)。つまり、この場合、問題空間の一部が外部問題空間となっている。通常ハノイの塔課題では、ある操作がルール違反であるかどうか頭の中で判断しなければならないのに対し、この同型問題では、そもそもルールに違反する操作ができず、考えるまでもなく操作をしていくことができる。そのため、解決者が内的に保存しなければならなかったルールの1つが、外的に表示されたことで必要とされなくなり、問題解決が著しく容易になったといえる。

このように、問題の情報を内的なものとの外的なものに分散して表象することで、問題解決の方法は異なる効果が期待できる。問題中の情報を人間にとって外的な表象とすることで、内的に保持しておくために使われる認知的な処理、記憶負荷の軽減が行われることになる。軽減された分の認知資源を、ほかの処理に用いることができ、思考に余裕が生じることから、問題解決が促進することにつながると考えることができる。

(注1) Zhang らが検討したハノイの塔のパズル等の内容について紹介すると次のようになる。まず、ハノイの塔である。図1に示したような真ん中に穴が開いたディスクと3本

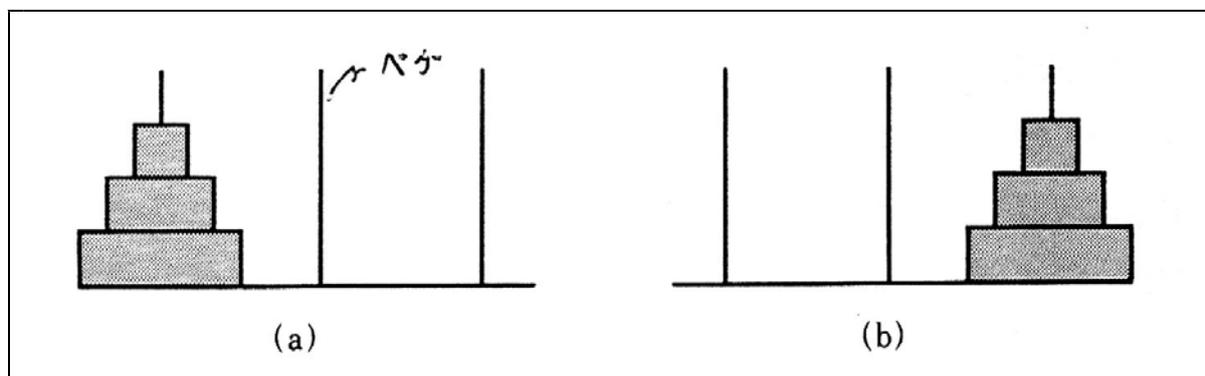


図1 ハノイの塔のパズル (鈴木, 2002 より引用)

の棒 (ペグ) がついている台を使い, ディスクを図 1 の (a) の状態から, 図 1 の (b) の状態に移動させるというものである。ただし, ディスクの移動は下記のように 3 つのルールにしたがって行われる。

- ① 一度に一枚のディスクしか動かしてはならない。
- ② 移動先には移動するディスクより小さな円盤があってはならない (小さなディスクの上に大きなディスクをのせてはならない)。
- ③ 同じペグに複数のディスクがあるときには, そのなかで最も小さなディスクのみ移動できる (上に何かののっているディスクは移動できない)。

図 1 の (a) は初期状態であり, 図 1 の (b) は目標状態, ゴールとなる。オペレータ (初期状態をゴールに近づけるための行為) 考えてみると, 円盤の種類 (3) × 移動先 (3) で 9 種類存在する。オペレータの制約は, 前に述べた 3 つのルールであり, これにしたがうことで 1 つの状態に対して適応可能なオペレータを考えていくと, 初期状態に適応可能なオペレータを繰り返していくと, ハノイの塔のすべての状態, 問題空間ができあがる。これを示したものが図 2 である。

図中の 20 が初期状態であり, ゴールは 1 である。問題解決とは初期状態からゴールまでのオペレータの系列を見つけ出すことになる。図からわかるように, 最適な経路はこの

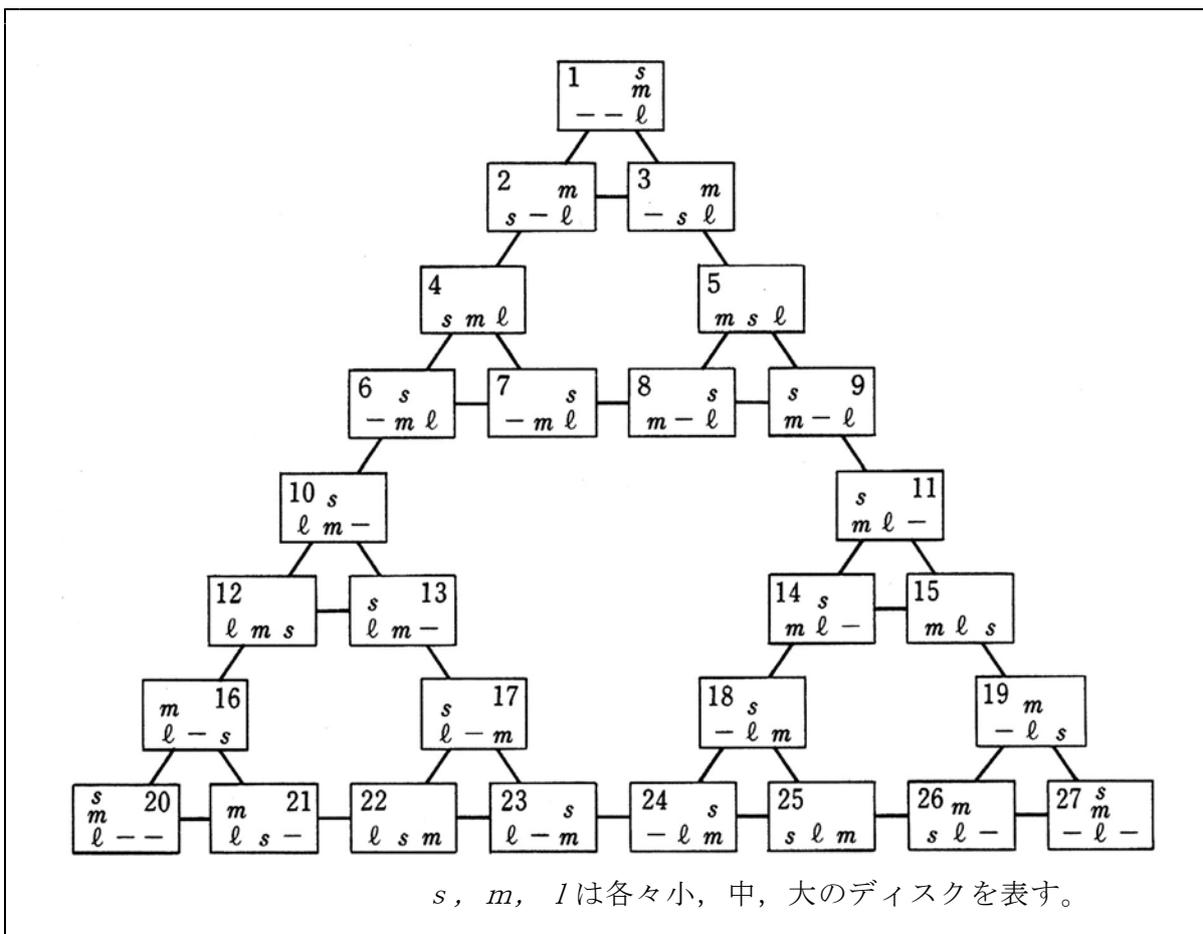


図 2 ハノイの塔の問題空間 (鈴木, 2002 より引用)

三角形の左側の辺にある状態をだとることになり，7回の移動でゴールにたどりつくことになる。

ハノイの塔の問題では，必要なことはすべて問題文に書かれており，問題空間が一意に決まる問題である。しかし，実際は問題空間を頭に思い浮かべ，考えるわけではなく，物理的にディスクを移動させながら解決しようとする。つまり，ディスクの移動によって生じる新たな知覚情報を利用して，外界と相互作用しながら問題を解いていることになる。もし，ディスクを動かさず頭の中だけで考えたら，解決は極端に難しくなると予想される。

(注2) コーヒーカップ問題とは，次のようなものである。

ここにコーヒーの入った大中小3つのカップが図3のように積み重ねられています。この状態のカップを左側に大きなカップ，真ん中に中くらいのカップ，右に小さなカップがくるように配置し直さなければならない図4。ただし，移すときには，次の3つのルールにしたがって移さなければならない。

- ① 一度に1つのカップしか移動させることができない。
- ② 移動しようとするカップは移動先に置かれたカップより大きくなければならぬ。
- ③ 複数のカップが置かれている場合は，そのなかで最も大きなカップのみが移動できる。

客の注文どおりの状態するには，どのようにカップを移動させたらよいだらうか。



図3 コーヒーカップ問題 (初期状態) (鈴木, 2007 より引用)



図4 コーヒーカップ問題 (目標状態) (Norman.D.A, 1993 より引用)

考え方は，「逆ハノイの塔」の問題と同じ (同型問題) なのであるが，Zhang & Norman は，コーヒーカップ問題のほうが簡単であるという結果になったと指摘した。その理由として，パズルのルール (オペレータ適応制約) が内的に表象されているか，外的に表象されているかに関係していると指摘している。

5-3. 外的資源の利用と課題

外的資源を利用することで誰にとっても課題が容易になるのかという疑問に対して、村山(1995)は食品分析ソフトウェアの実践例を取り上げ、課題のどの部分が困難であるかは認知主体によって異なる可能性がある」と指摘している。課題全体は容易な方向へ変化するとしても、それによって課題全体の難易度がどれだけ変化するかは認知主体によって異なることになる。さらに課題が変化すれば、要求されるスキルも変化する。つまり、主体との関係において考えれば、外的資源の利用によって課題が容易になるためには、新たなスキルの獲得がほとんど不要でなければならない。メモなどの外部記憶として利用することで課題が容易になるというのは、読み書きができる(読み書きのスキルがある)ことを前提としているからである。また、グラフについても、グラフをどう読み取りどう解釈するかに関してある程度の学習が不可欠であり、誰にでも容易にできるものではない。このように、認知主体の側から考えていけば、外的資源の効果はそれを利用するスキルと表裏一体であり、この意味で外的資源は単純に人間の外部に存在するものとして認知主体と独立に考えることはできないとしている。

6. 問題解決場面における外的資源の持つ機能を捉えた研究

(1) Beveridge & Parkins の研究

ゲシュタルト心理学者の Duncker (1945) が考案した洞察問題に、放射線問題がある。それは、次のようなものである。

ここに胃癌の患者がいます。ある事情から手術によって患部を切除することができないので、この治療に放射線を使おうと思います。しかし、治療に十分な量の放射線を照射すると、正常な細胞まで破壊してしまいます。また、正常な細胞を破壊しない量の放射線では癌細胞を破壊することはできません。どのように治療すればよいか。

この問題は難しく、ヒントなしで解ける人はほとんどいなかったようである。そこで、Gick & Holyoak(1980)はこの問題を類推的に解決できないか、ヒントあり群となし群を設定し検討している。その結果、ヒントあり群では、92%の被験者が問題を解決したが、なし群では20%の被験者しか解決できなかったという。このことからいえることは、理解が困難である課題に取り組ませるためには、問題のヒントとなるようなものが必要であり、そうした理解を助ける、思考を促すといったものを活用することは効果的であるということである。これに対して、Beveridge & Parkins (1987)はGick & Holyoakが行ったヒントを与えて類推的に問題解決を進めるという方法に対して、Color Stripという道具を用いた問題解決について研究している。それは、被験者が操作できるColor Strip(Strip:細長い小片)と呼ばれる道具(図5)の有無により放射線問題の解決活動にどのような影響を与えるかを調べらものである。この実験ではまず、放射線問題を解く前に、イメージ・スキーマ(対象がもっている本質的な特性を模式的、抽象的に表現したイメージ)として類似問題(火事問題)を取り上げ、その後、放射線問題を解かせている。Color Stripを提

示された被験者群は、提示されなかった群に比べ、放射線問題に対する高い正答率を示したとしている。しかし、Beveridge & Parkinsの研究では、外在化された道具の有効性は実証されているものの、外的資源が問題構造やルール、問題内の対象などの、どのような面と対応していれば効果があるのか、あるいは、問題構造の各要素、少なくとも最低どのような面が外在化される必要があるのかという部分は明らかにされていない。



図5 Beveridge & Parkinsの研究で用いられた Color Strip

(2) 荷方・海保の研究

荷方・海保(1998)は、Beveridge & Parkins(1987)の研究に基づき、外的資源のどのような面に問題解決機能があるのかという点について理論的に考察し、外的資源は問題表象を構築する際に必要な知識や問題構造、ルールといった内的制約を外に「顕在化」する機能や、問題内の対象(問題内に現れる物体、人、操作手段)の物理的な操作、特性、効果の理解を容易にさせる機能があると述べている。このように、問題解決場面での外的資源の機能として「顕在化」、「操作可能性」を明らかにしたことが荷方・海保の研究である。また、問題解決を行う人間の知識の中に「道具性」と呼ばれる要素が存在し、それを利用できるようにすることが思考や問題解決に促進的な影響を与えることを指摘している。知識の道具性を形成する要素としては、解決に必要な知識が制約として顕在的に表示されること、知識や制約が解決者にとって操作可能であるように提示されていること、課題の中で制約として組み込まれた内容が解決者にとって熟知したものであることの3つを挙げることができる。しかしながら、荷方・海保の研究では、外的資源の機能について理論的に指摘はしているが、実証データが得られていない。

(3) 仮屋園の研究

仮屋園(2000)は、問題解決場面における外的資源の活用にはどのような側面が有効であるのか、荷方・海保(1998)の指摘を踏まえ顕在性と操作可能性の側面から放射線問題を用いてさらに検討している。具体的には、被験者に対し顕在性の要因(半透明 Strip とカラー Strip との2水準)×操作可能性要因(操作可能と操作不可能との2水準)を設定し、その効果について調べている。結果は、半透明 Strip・操作可能群では16名中14名が Strip を重ね合わせるという行為を自発的に行っていたが、カラー Strip・操作可能群では重ね

る行為を行った被験者は 16 名中 3 名しかいなかったとしている。一方、半透明 Strip を使った場合でも、操作が可能でない場合（操作不可能群）は Strip を重ねることをイメージした被験者は 4 名にとどまっていたとしている。半透明 Strip・操作可能群の問題の解の得点が、突出して高い結果となったということが分かる。つまり、制約が単に視覚的に顕在化されただけでは解決促進的操作は生じず、外的資源を工夫する自由及びその工夫によって問題の解が可視化可能とならなければ問題解決には至らなかったといえる。仮屋園は、このような結果になった要因として、半透明 Strip が重ねるといふ行為を誘発する特徴を持っているためであると述べている。アフォーダンス理論で言えば、半透明 Strip を重ねると重なった部分が濃くなるという性質が解決促進的操作をアフォードする働きをもつというのである。実験からの考察として、外的資源を用いることで対象の変化が生じることや問題の解が可視化可能となるといった外的資源が持つ性質が解決促進の機能を有している。さらに、外的資源の活用が物理的な操作を容易にするという物理的操作が可能になるには、解決促進的操作をアフォードするような性質をいかに外的資源に組み込むかという点が重要であることが明らかになったとしている。

以上のことから、外的資源が問題解決に有効に機能するためには、外的資源により解決に必要な制約が顕在化され、その外的資源が操作可能であり、問題の解が可視化可能となることが必要であると考えられる。

引用・参考文献

- Beach, K, D. : 「The role of external mnemonic symbols in acquiring an occupation. In M.M.Gruneberg, P.E.Morris, & R.N.Sykes (Eds.) Practical aspects of memory: Current research and issues, Vol.1 Memory in everyday life, Chichester, NY: John Wiley & Sons.
- D.A. Norman, 野島久男訳：「誰のためのデザイン？－認知科学者のデザイン原論－」，新曜社，pp. 88-90, 1990
- D.A. Norman, 佐伯胖監訳，岡本明・八木大彦・藤田克彦・嶋田敦夫訳：「人を賢くする道具－ソフトテクノロジーの心理学－」，新曜社，1993
- D.A. Norman, 野島久雄訳，「認知科学ハンドブック」，共立出版，p.66-67, 1992
- Gibson, James Jerome : 「The ecological approach to visual perception」，Houghton Mifflin, 337-342, 1979.
- 原田悦子：「人の視点から見た人工物研究『対話における使いやすさとは』」，共立出版，8 - 12, 1997.
- 本江正茂：「建築 I T コミュニケーションデザイン論」，東北大学，2005
- Jijie Zhang : 「The Nature of External Representations in Problem Solving」，Cognitive Science 21 (2), 179-217, 1997.
- Jill H. Larkin & Herbert A. Simon : 「Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words」，Cognitive Science 11, 65-99, 1987.
- 仮屋園昭彦：「問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件」，鹿児島大学教育学部研究紀要 人文・社会学編 51, 131-149, 2000.

- 国立教育政策研究所教育課程研究センター：「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査ペーパーテスト調査集計結果」，2005
- M. Beveridge&E. Parkins：「Visual representation in analogical problem solving」，*Memory&Cognition* 15(3)，230-237，1987.
- 村山功：「外的資源による課題と認知主体の変化」，*認知科学* 2(4)，共立出版，28 - 38，1995.
- 野島久雄：「データベースとしての社会；外部知識としての他者の役割」，*認知科学* 2(4)，共立出版，93-101，1995.
- Norman, D. A.：Cognitive artifacts. 「Paper presented in the workshop on cognitive theory and design in human-computer interaction」，1990.
- 荷方邦夫，海保博之：「問題解決支援における制約がもたらす知識の道具性」，*筑波大学心理学研究* 20，69-75，1998.
- 境敦史，曾我重司，小松英海：「ギブソン心理学の核心」，勁草書房，2002.
- 佐々木正人：「アフォーダンスー新しい認知の理論」，*岩波科学ライブラリー No. 12*，岩波書店，1994
- 佐藤公治：*認知心理学からみた読みの世界 — 対話と協同的学習をめざして*，北大路書房，1996.
- Suchman, Lucille Alice：Plans and situated actions the problem of human-machine communication, Cambridge University Press，199-207，1987.
- Suchman, Lucille Alice 著；上野直樹，水川喜文，鈴木栄幸訳：*プランと状況的行為 人間-機械コミュニケーションの可能性*，産業図書，1999.
- 鈴木宏昭：「『特集ー認知における内的，外的資源』編集にあたって」，*認知科学* 2(4)，共立出版，3-6，1995.
- 鈴木宏昭：「認知過程研究」，*放送大学教育振興会*，67-78，2002.
- 鈴木宏昭：「認知過程研究」，*放送大学教育振興会*，73-103，2007.
- 植田一博：「外的資源」，*認知科学辞典*，共立出版，110，2002.
- Wainer, H.：「Understanding graphs and tables」，*Educational Researcher* 21(1)，14-23.
- Zhang, J. &Norman, D. A.：「Representations in distributed cognitive tasks」，*Cognitive Science* 18，87-122，1994.

第2章 外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究

—慣性の法則の学習を事例に—

清水 誠・牧野 正

I. 問題の所在

従来の認知科学研究においては、人間の認知、思考活動は頭の中に知識や表象が生成、獲得され、それらがある規則にしたがって、処理、操作する活動という見方がとられてきた。しかし、アフォーダンス理論や状況論を踏まえる研究者からは、人間の思考は状況の中で生成され、周囲の環境と切り離すことはできないと考えられるようになってきた。

仮屋園¹⁾は、「人間の思考活動は、外の事物との相互作用として成立するものであり、頭という器の中で表象し操作するだけのものではなく、外の事物を必要に応じて利用しながら行われるものである」と述べている。近年の認知科学研究では、外的資源 (external resource) があることで、思考活動を進める際に頭の中だけで考えるよりも、効率的な学習活動が進められることが期待できると考えられるようになった。外的資源について、植田²⁾は「人間からみて外界に存在し、人間が問題解決や推論などの認知課題を実行する際に利用し得る資源のこと」としている。外的資源の例としては、考えていることの外化、図的表象などの外的表象、協同、社会的構成物など多くが挙げられている。こうした外的資源の活用は、理科学習においても生徒の科学的な概念形成に有効であると考えられることができる。

外的資源の問題を取り上げた Larkin & Simon³⁾ は、外的資源としての図の持つ性質が探索、再認、推論のプロセスでどのように働くかを調べる中で、認知主体の認知負荷を軽減することを明らかにしている。Norman⁴⁾ は、人間がたとえ知識が不正確なものであっても、正確な行動を行うことができるのは、外界にある知識に依存することにより学習時間を最小にすることができるためであるとする。外的資源を道具としてとらえ、人間の能力を強化・拡大すると考える Norman⁵⁾ は、電卓を例に、電卓を使用することで計算能力が向上し課題の解決が容易になり、電卓を活用することで計算するという課題がボタンを押すという容易な課題に変わることを示している。Beveridge & Parkins⁶⁾ は、Color Strip (Strip: 細長い小片) という道具を用いた問題解決について研究し、外的資源としての Color Strip の持つ顕在性と操作可能性が問題解決に効果があることを明らかにしている。荷方・海保⁷⁾ は、Beveridge & Parkins の研究に基づき、外的資源のどのような面に問題解決機能があるのかという点について理論的に考察し、外的資源は問題表象を構築する際に必要な問題構造、ルールといった内的制約を外に顕在化する機能や問題内の対象の物理的

な使い方、特性、効果の理解を容易にさせる機能があるとする。また、問題解決を行う人間の知識の中に道具性と呼ばれる要素が存在し、利用できるようにすることが思考や問題解決に促進的な影響を与えることを指摘し、解決に必要な知識が制約として顕在的に表示されること、知識や制約が解決者にとって操作可能であるように提示されていることが知識の道具性の要素としている。近年の認知科学研究においては、こうした外的資源が持つ顕在性、操作可能性という機能により、内部と外部の双方向の視点からの検討が可能になり、また、問題が分散することで課題の変化を起し、その結果、問題解決のプロセスを減らし、認知負荷の軽減につながると指摘されるようになってきた。これらの考えの特徴は、外部情報を我々の認知が依存し、利用する資源としてとらえている点にあり、すべての道具は人間の特定行動を誘発するような情報を持つと考えていることである。

しかし、これまでの外的資源の効果を調べた研究は、学校教育の中では見られない。理科教育学研究においても、外的資源の効果という視点から科学的な概念形成に有効であるかを調べた研究は見られない。

一方、中学校3年生を対象に、「慣性の法則」について理解しているかを調べた平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査⁸⁾の冊子C、問題番号1の結果をみると、設定通過率65%に対し実際の通過率は21.5%と低く、他の問題と比較しても極めて低い通過率であることが分かる。小池⁹⁾は、慣性の法則について文言を知識として記憶することは簡単であり、中学生でも十分に扱えるが、その概念形成については難しいとする。山崎・宮脇¹⁰⁾も、慣性の法則について生徒はイメージを頭の中で柔軟に操作するような思考操作が難しく、自分自身の思考にねじれがあってもその存在に気づきにくいとしている。

そこで、本研究では、中学校3年で学習される「慣性の法則」を事例に、外的資源の機能とされる顕在性に着目し、外的資源の顕在性の機能が科学的な概念の形成に与える効果について検証することを目的とする。

II. 研究の方法

1. 調査対象及び時期

授業は、埼玉県内の公立中学校の3年生、2クラス52名を対象とした。対象の被験者は、外的資源として発泡スチロール球を使用する群（以下、実験群と呼ぶ）と発泡スチロール球を使用しない群（以下、統制群と呼ぶ）に分けた。実験群の被験者は1クラス26名（7グループ）、統制群の被験者は1クラス26名（8グループ）である。実験群は、理科室の7つの実験台に3～4名で着席している。統制群は、理科室の8つの実験台に3～4名で着席している。本研究では、この実験台に各学級での生活班を基に着席している生徒達をそれぞれ1グループとして分析を行っている。そのため、グループ数が実験群と統制群で異なっている。調査は、2008年6～9月に実施した。

2. 授業の概要

検証授業は、第1分野「運動とエネルギー」の「慣性の法則」において実施した。

実験群で実施した授業の主な流れは、次のア～カのようである。授業は、共同研究者の牧野が行った。

- ア. 「水の入った容器を回して急に止めると、中の水はどんな状態になるでしょうか」という課題提示を教師が行い、注目すべきものは「水の動き」であることを確認した。
- イ. ワークシートに、各個人の予想を記入させた。
- ウ. 図1のように、発泡スチロール球を水の入ったボウルに数個入れ、ボウルを回転台の上のせて10回ほど回転させた後、ボウルの回転を止めたときのボウルの中の水の動きを観察する実験を2回行った。

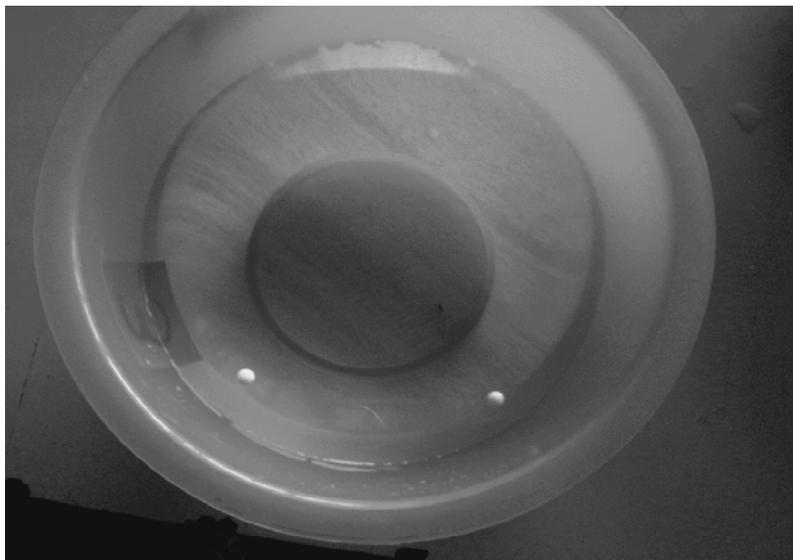


図1 発泡スチロール球の入ったボウル

- エ. 実験結果について個人で考察をさせ、ワークシートに記入させた。その際、生徒が学習している実験机内のグループの自然発生的な会話は制限しなかった。
- オ. 教師が慣性についてのまとめとして、「物体に力が働かない場合、はじめ静止していた物体は、いつまでも静止し、運動している物体は、そのままの速さで等速直線運動を続ける。」を行った。
- カ 検証授業後、1単位時間を使って教師が、オの慣性についてのまとめをもとに、宇宙空間の物体の運動、エレベーターや電車の中での運動、スケートを例に摩擦の少ない面での水平運動について説明を加えた。
- なお、統制群では、ウの実験をする際、発泡スチロール球を水の中に入れずにボウルの中の水の動きを観察する実験を2回行った。その際、水を透明なボウルに入れて回したのでは水の動きを確認しにくいと考え、水の動きの指標となるよう透明なボウルではなく青色のついたボウルを実験群、統制群ともに使用した。それ以外の授業の流れ及び条件は、実験群と同じである。

3. 調査

(1) 両群の等質性

検証授業の約2週間前に質問紙を利用して、小学校での既習事項である検証授業と同じ領域の図2に示す内容について調査した。時間は、10分間である。

質問1. 野球選手がバットでボールを打つとき、重いバットと軽いバットでは、ふつう、どちらの方が遠くに飛びますか。

質問2. 同じブランコに、体重の軽い人と重い人が乗ったとき、ブランコのふれるはやすさはどうなりますか。

図2 等質性調査に使用した質問紙

(2) 科学的な概念の形成

ア. 授業実施時

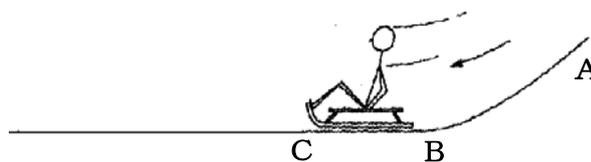
外的資源の有無が、科学的な概念の形成に与える効果をみるため、授業の概要エで生徒がワークシートに記述した考察の内容を分析した。

イ. 授業実施2ヶ月後

授業実施2ヶ月後に、R.オズボーン&P.フライバーグ¹⁾が調査した質問紙を使用して、生徒に科学的な概念が形成されているかを調査した。質問紙の内容は、図3のとおりである。

質問1. ソリに乗った人が雪山の上から、図中のA→Cのように滑り降りてきました。ソリがAB間、BC間を運動しているとき、速さについて正しく説明しているのは下記のどれですか。AB間、BC間についてそれぞれ選び、また、そう答えた理由も書きなさい。ただし、地面との摩擦はないものとします。

ア. どんどん速くなっていく。
 イ. だだいに遅くなっていく。
 ウ. 一定の速さで進む。
 エ. すぐに止まってしまう。
 オ. 速くなったり、遅くなったりする。



(R. オズボーン&P. フライバーグ (1988) より引用)

質問2. M君は自転車に乗っています。こぐのをやめるとタイヤと地面との摩擦力でそのうち自転車は止まってしまう。では、タイヤと地面との摩擦力と同じ大きさの力で自転車をこいでいたとすると、自転車の進む速さはどうなると思いますか。下記の中から1つ選びなさい。

- ア: 速くなる。
 イ: 遅くなる。
 ウ: 一定の速さで進む。
 エ: 止まる。
 オ: 速くなったり、遅くなったりする。

図3 2ヶ月後調査に使用した質問紙

(3) 外的資源が科学的な概念形成に及ぼす影響

外的資源があることが科学的な概念形成にどのような影響を及ぼしているかを見るため、実験中に見られた生徒の自然発生的な発話の調査及び生徒が実験中にどのようなことを考えていたか面接調査を行った。その方法は以下の通りである。

ア. 実験中の発話

実験中（20 分間）の各実験グループの生徒の会話をステレオマイク付きのMDレコーダーで録音し、発話プロトコルの分析を行った。

イ. 面接調査

面接調査は、授業日の放課後に行った。被験者は、実験群の中から 11 人、統制群の中から 8 人を無作為に抽出した。被験者の生徒に対し個別に、デジタルビデオカメラレコーダーで実験中の様子を録画した画像を見せながら、教師が図 4 にある質問を行った。そのときの会話をステレオマイク付きのMDレコーダーで録音し、発話プロトコルの分析を行った。

質問 1. これは、この間の実験の様子です。実験中、〇〇さんはどこを見ていましたか。

質問 2. ボウルの中の水の様子を見ていて気がついたことは何ですか。

図 4 面接時に使用した質問内容

Ⅲ. 結果とその分析

1. 両群の等質性

生徒の回答を、質問 1 については、「重いバット」（衝突したときの働きは重い方が大きいから）を正答とし、それ以外を誤答とした。質問 2 については、「変わらない」（ふりこのふれる速さは重さには関係しないから）を正答とし、それ以外を誤答とした。その結果が、表 1 である。

2 つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、質問 1、質問 2 ともに有意差は見られなかった（いずれも両側検定： $p=0.9999$ ）。物理領域の運動量・慣性質量に関する知識に関しては、両群等質であるといえる。

表 1 等質性調査の結果

	質問 1		質問 2	
	正答	誤答	正答	誤答
実験群 (N=26)	22 (85)	4 (15)	2 (8)	24 (92)
統制群 (N=26)	21 (81)	5 (19)	1 (4)	25 (96)

注. 単位は、人数。() 内の数字は%。

2. 科学的な概念の形成

(1) 授業実施時の結果

授業を通して生徒につけたい概念は、「物体に力が働かない場合、はじめ静止していた物体は、いつまでも静止し、運動している物体は、そのままの速さで等速直線運動を続ける。」である。そこで、授業実施時の考察時のワークシートに書かれた生徒の記述について、「水が回転している」や「止めた後も水が回り続ける」といった水の動きのみについて記述したものをB基準とした。また、B基準の水の動きについての記述に加え、「回して止めると、2つの球が同じぐらいの速さで動いていた。水は一定の速さで流れることが分かった」といった水の速さについても記述できたものをA基準とした。さらに、A基準、B基準以外の「予想外に揺れが少なかった」といったような内容に関係がない記述をC基準として分類した。その結果が、表2である。

表2 考察時の記述

	A基準	B基準	C基準
実験群(N=26)	8(30)	12(46)	6(24)
統制群(N=26)	1(3)	18(70)	7(27)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

実験群と統制群について、A基準まで記述できた人数とそれ以外を記述した人数を直接確率計算 2×2 で検定してみると有意差があることが分かる(両側検定: $p=0.0237$)。外的資源として発泡スチロール球を使用した実験群のほうが、A基準で記述できた生徒が多いと言える。

(2) 授業実施2ヶ月後調査の結果

質問紙の質問に対し、質問1では、AB間でAを選択し、理由として進行方向と同じ向きの力が働き続けているといった記述がなされており、またBC間ではUを選択し、理由として力は働いていないので加速しないと記述がなされているものを正答とした。質問2では、Uを選択しているものを正答とした。その結果が、表3である。

表3 2ヶ月後調査の結果

	質問1		質問2	
	正答	誤答	正答	誤答
実験群(N=26)	24 (92)	2 (8)	23 (88)	3 (12)
統制群(N=26)	17 (65)	9 (35)	15 (58)	11 (42)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

質問1の生徒の回答を、2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、有意差が見られた(両側検定: $p = 0.0384$)。また、質問2の生徒の回答を、2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、有

意差が見られた（両側検定： $p = 0.0265$ ）。外的資源として発泡スチロール球を使用した実験群のほうが、正答者が多いと言える。

3. 外的資源が科学的な概念形成に及ぼす影響

(1) 実験中の発話

実験中（20 分間）の生徒の発話数と発話時間は表 4 のようであった。

表 4 実験中の発話数と発話時間

	実験群	統制群
総発話数	164.8 個	104.8 個
及び総発話時間	237.7 秒	150.8 秒
内容に関する発話数	36.9 個	19.3 個
及び発話時間	63.1 秒	34.3 秒

注．表中の発話数及び発話時間は、各グループの平均。

発泡スチロール球を使用した実験群では、話し合いが多く生まれており、内容に関する発話数及び発話時間ともに発泡スチロール球を使用しなかった統制群に比べ多いことが分かる。

内容に関する発話の中で、どのようなことが多く話されているかを見るため、発話を動く（回る）といった発話、向きに関する発話、速さに触れた発話、実験の操作に関する発話、その他の 6 つのカテゴリーに分類し、その数を数えた。その結果が表 5 である。

表 5 キーワードによる発話の分析結果

	実験群	統制群
動く（回る）といった発話	18.1	13.0
向きに関する発話	0.7	0.5
速さに触れた発話	6.6	1.1
操作に関する発話	6.6	0.6
その他	4.9	4.0

注．単位は、個数。表中の数字は、各グループの平均。

表 5 からは、発泡スチロール球を使用した実験群では、統制群に比べ、動く（回る）といった発話や速さに触れた発話、実験の操作に関する発話が多く見られていることが分かる。

速さに触れた発話例を、発泡スチロール球を使用する実験群 5 班の発話プロトコルを見ると図 5 のようである。

259C	何で、ばらばらに入れたのに、一緒になるの。
260C	結果だよね。
261D	2 つとも同じに回った。

262A 同じ速さ・・・で回った。
 263D ばらばらに入れたのに、同じように回転していた。
 264A 同じ・・・なんだろう。
 265B うん。

図5 実験群5班の発話プロトコルの一部

生徒達は、観察を通して、261Dの発話から分かるように発泡スチロールの2つの球が同じ動きをしていることに気づいたことを示している。また、262Aの発話からは生徒達が「速さ」に注目している様子を見ることができる。

(2) 面接調査の結果

質問1の「実験中、〇〇さんはどこを見ていましたか。」という質問に対する生徒の回答を、ボールと水、ボールの中の水、ボールの中の球、その他の4つのカテゴリーに分類し集計したものが表6である。

表6 面接調査の結果（質問1）

	実験群 (N=11)	統制群 (N=8)
ボールと水	0	2
ボールの中の水	5	4
ボールの中の球	6	-
その他	0	2

注. 単位は、人数。

質問1の結果からは、発泡スチロール球を使用した実験群の生徒の約半数がボールの中の球を意識して観察していた様子が分かる。

次に、質問2の「ボールの中の水の様子を見ていて気がついたことは何ですか。」という質問に対する生徒の回答を、水の動きのみに着目した回答、水が回る向きにも着目した回答、水の速さに着目した回答、その他の4つのカテゴリーに分類し集計したものが表7である。なお、表7に示した、水の動きのみに着目した回答とは、「水が（渦を巻いて）回っていた」といったものである。また、水が回る向きにも着目した回答とは、水の動き

表7 面接調査の結果（質問2）

	実験群 (N=11)	統制群 (N=8)
水の動きのみに着目した回答	2	6
水が回る向きにも着目した回答	0	2
水の速さに着目した回答	8	0
その他	1	0

注. 単位は、人数。

を向きに着目し「ボウルを回した向きに水が回る」といったものである。さらに、速さに着目した回答とは、水の動きを水の速さにも着目し「同じ速さで回っていた」といったものである。

質問2の結果からは、統制群が「水の動きのみに着目」した回答が多いのに対し、実験群では統制群には見られない「水の速さにまで着目」した回答が11名中8名と多いことが分かる。

IV. 考察

科学的な概念が生徒に形成されているかを調べた授業実施時のワークシートの記述や授業実施2ヶ月後調査の結果からは、発泡スチロール球を使用する実験群が発泡スチロール球を使用しない統制群に比べ科学的な概念の形成に有効であることが分かった。外的資源として活用した発泡スチロール球の水の動きを顕在化する機能が、学習者に水の速さに気付かせ、「慣性の法則」という科学的概念の形成に有効に作用したと考える。

このことは、実験中、発泡スチロール球を入れた実験群に、動く（回る）といった発話や速さに触れた発話が自然発生的に多く生じていることから推察できる。また、面接調査の結果においても、実験群の生徒達が、ボウルの中の球を意識して観察していた生徒が多く、統制群の生徒達が着目できなかった水の速さにまで着目できた回答が多く見られたことから推察できる。

V. 研究のまとめ

本研究からは、検証授業の範囲内という限定付きではあるが、外的資源の持つ顕在性の機能が「慣性の法則」という科学的な概念の形成に有効であるという結果を示すことができた。外的資源の持つ顕在性の機能は、学習者に観察すべき視点を明確に促し、科学的な概念の形成に有効に働くことが示唆された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、授業の実施にご快諾をいただき協力いただいた幸手市立東中学校の校長先生、理科担当の先生方、生徒の諸君に心から感謝申し上げます。また、データ整理を手伝ってくれた埼玉大学大学院教育学研究科1年の鶴貝昌弘君に感謝します。

註・引用文献

- 1) 仮屋園昭彦：「問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件」, 鹿児島大学教育学部研究紀要人文・社会科学編, 51, 131-149, 2000
- 2) 植田一博：「外的資源」『認知科学辞典』, 110, 共立出版, 2002
- 3) Larkin, J.H. & Simon, H.A. : Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99, 1987

- 4) D.A.Norman(野島久男訳)：「誰のためのデザイン？－認知科学者のデザイン原論－」新曜社，1990
- 5) D.A.Norman(佐伯胖監訳，岡本明・八木大彦・藤田克彦・嶋田敦夫訳)：「人を賢くする道具－ソフトテクノロジーの心理学－」，新曜社，1993
- 6) Beveridge,M & Parkins,E：Visual representation in analogical problem solving, *Memory & Cognition* , 15(3), 230-237, 1987
- 7) 荷方邦夫・海保博之：「問題解決支援における制約がもたらす知識の道具性」，筑波大学心理学研究 20, 69-75, 1998
- 8) 国立教育政策研究所教育課程研究センター：「平成 15 年度小・中学校教育課程実施状況調査ペーパーテスト調査集計結果」，2005
- 9) 小池幸雄：「慣性の法則と論理的思考」，長岡工業高等専門学校研究紀要, 34, 9-18, 1998
- 10) 山崎昭久・宮脇亮介：「等速直線運動と慣性の学習に おいてみられる子ども達の誤解に関する調査」，福岡教育大学紀要, 56, 155-163, 2007
- 11) R.オズボーン& P.フライバーグ編(森本信也・堀哲夫訳)：「子ども達はいかに科学理論を構成するか－理科の学習論－」，東洋館出版社，1988

第3章 外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に 与える効果

— 台風の進路の学習を事例に —

清水 誠・肥田 幸則・紺野 雅弘

I. 問題の所在

Larkin & Simon¹⁾ は、力のつり合いの学習の事例を挙げ、図があると文章のみの場合に比べ情報が分かりやすいとし、解決ルールとして内的に処理すべき情報が図という外的資源 (external resource)²⁾ として外在化することによって、内的処理の負担が減り、問題の解決が容易になることを指摘している。また、Beach³⁾ はバーテンダーが注文されたカクテルを想起するための記憶法略として注文に対応したグラスをカウンターに置き外部記憶を上手く利用しているとし、外的資源が認知主体の記憶負荷を軽減するとしている。こうした外的資源に関する研究には、Norman⁴⁾ による外的資源を道具としてとらえ、道具は人間の能力を強化・拡大するとした研究、Beveridge & Parkins⁵⁾ や荷方・海保らによる外的資源が問題解決に促進的な影響を与えることを調べた研究、Zhang & Norman⁶⁾ や村山⁷⁾ らによる外的資源の効果を課題や認知主体の変化から検討した研究等、多くの研究を見ることができ、理科の教授学習においても外的資源を活用することは学習者の思考や問題解決を支援し科学的な概念の形成を促進する上で重要であることを伺うことができる。

外的資源が問題解決に促進的な影響を与えるかを調べた Beveridge & Parkins⁸⁾ は、Color Strip (Strip: 細長い小片) という道具を用いて放射線問題の解決活動に与える効果を検証し、外在化された道具の有効性を実証している。この研究で Color Strip を用いることがなぜ問題解決に有効であったのかを検討した荷方・海保⁹⁾ は、外的資源には問題表象を構築する際に必要な知識や問題構造、ルールといった内的制約を外に顕在化する顕在性の機能 (この場合は、放射線という目に見えないものを Strip という目に見える形でおきかえることができる) や、問題内の対象の物理的な操作、特性、効果の理解を容易にさせる操作可能性の機能 (この場合は、放射線が Strip 化されることにより物理的に操作しやすくなる) があるためであるとしている。仮屋園¹⁰⁾ は、Beveridge & Parkins の研究で使用された Color Strip を改良した半透明の Strip を使用して放射線問題の解決活動に与える効果を再検証し、半透明 Strip・操作可能群の問題解決の得点が高かったとしている。その理由として、半透明 Strip は被験者に重ねるという行為を誘発する特徴を持っていること、被験者に操作する自由が与えられていたためであるとしている。

しかしながら、我が国の理科教育学の研究において外的資源という視点からその有効性を検証した研究は見られない。本研究では、小学校5年で学習する「台風の進路」の学習を事例に、荷方・海保¹¹⁾ や仮屋園¹²⁾ が検討してきた外的資源の持つ操作可能性に着目し、外的資源を使用することが科学的な概念の形成に与える効果を調べることを目的とする。

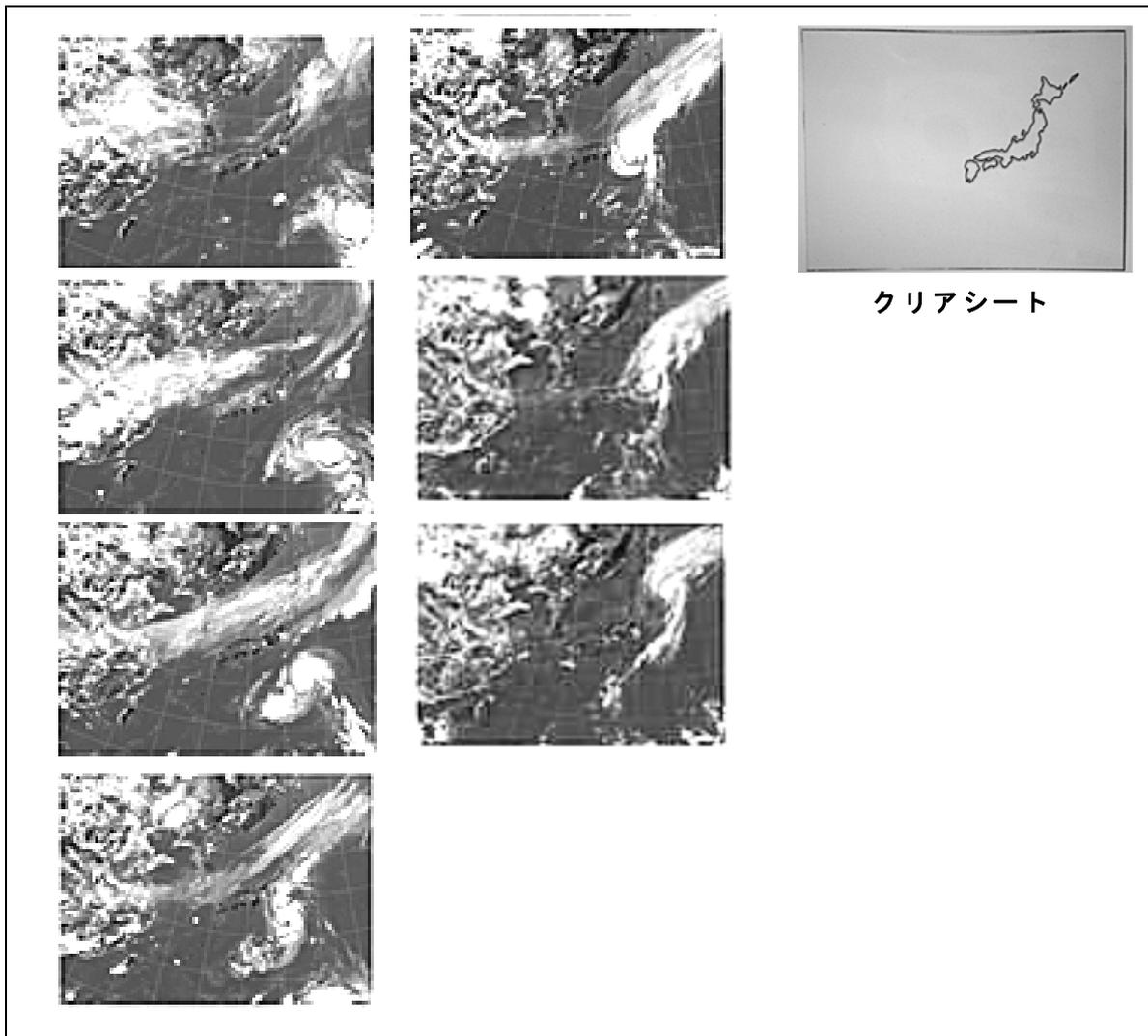


図1 気象衛星画像とクリアシート

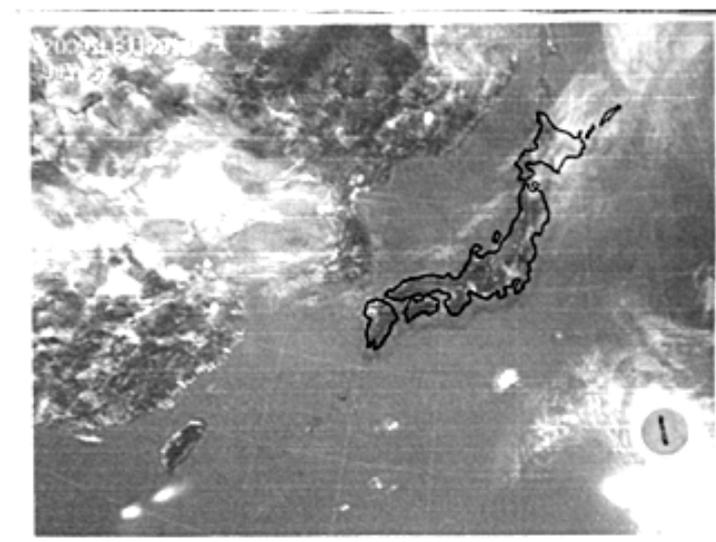


図2 クリアシートを重ねシールを貼ったもの

3. 調査

(1) 両群の等質性

検証授業の2日前に質問紙を利用して、小学校での既習事項である検証授業と同じ領域の図3に示す内容について調査した。時間は、10分間である。

下のグラフは、10月10日と20日の気温の変化を表したものです。

時刻	気温 (°C)
9時	15
10時	15
11時	15
12時	15
1時	14
2時	13
3時	12

時刻	気温 (°C)
9時	15
10時	18
11時	21
12時	24
1時	25
2時	25
3時	24

10月10日の気温の変化 **10月20日の気温の変化**

質問1. この2つのグラフを見て、正子さんと太郎さんは次のように話し合いました。

正子：「この（ア）と（イ）のグラフの形は、ちがっているね。」

太郎：「うん. 10月10日と10月20日では、天気がちがうんだよ。」

正子：「そうね. 一日中同じような天気だったけれど、それぞれの天気は・・・。」

正子さんが続けて言った言葉は、次のア～エまでのうちどれでしょうか。あなたの考えに近いものを1つ選びなさい。

- ア. 10月10日はくもりで、10月20日もくもりだと思う。
- イ. 10月10日は晴れで、10月20日はくもりだと思う。
- ウ. 10月10日はくもりで、10月20日は晴れだと思う。
- エ. 10月10日は晴れで、10月20日も晴れだと思う。

質問2. 質問1で選んだ理由について、あなたの考えに近いものを下記の中から1つ選びなさい。

- ア. 晴れの日には、気温の変化のグラフが大きな山型になるから。
- イ. くもりの日は、気温が高いから。
- ウ. 晴れの日には、気温の変化があまりないから。
- エ. 気温と天気は関係がないから。

図3 等質性調査に使用した質問紙

(2) 科学的な概念の形成

ア. 授業実施時

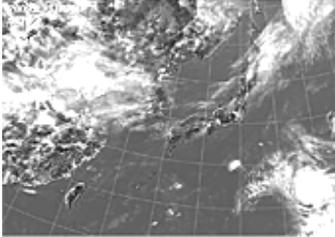
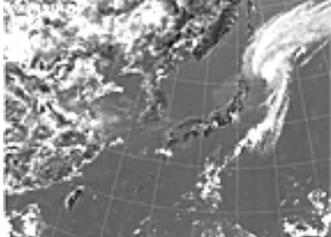
外的資源の有無が、科学的な概念の形成に与える効果を見るため、授業の概要エで生徒

がワークシートに記述した考察の内容を分析した。

イ. 授業実施2ヶ月後

授業実施2ヶ月後に、図4に示した質問紙を使用して、児童に台風の動きについての概念が形成されているかを調査した。

太郎さんは、10月の天気記録の中から、台風が日本に接近している時の、気象衛星が写した雲の写真を3日分用意しました。しかし、2日目の雲の写真をなくしてしまいました。

1日目	2日目	3日目
		

質問. 1日目の雲の写真で見られる台風は、日本付近をどのように動いていったと考えられますか。その台風の動きを下の図に書いて下さい。また、台風の動きを言葉でも説明して下さい。なお、図中の①は、1日目に台風があった場所です。

	<言葉での説明>
---	-----------------------

図4 2ヶ月後調査に使用した質問紙

(3) 外的資源が科学的な概念形成に及ぼす影響

授業の概要ウ及びエで示した時間(20分間)に児童が外的資源をどのように活用しているかを探るため、児童の行動の分析と自然発生的に生まれている発話の分析を行った。その方法は以下の通りである。

① 行動の分析

各グループごとに観察者を1人配置し、児童が資料写真やクリアシートをどのように活用しているのか観察結果を記録し、分析した。

② 発話の分析

実験群、統制群共に、児童が学習している理科室の8台のそれぞれの実験台にステレオマイク付きのMDレコーダーを置き、発話を記録し、分析した。なお、各実験台には両群共、教室での生活班で着席している。発話を記録したグループ数は、実験群が16グループ、統制群が8グループであった。

Ⅲ. 結果とその分析

1. 両群の等質性

児童の回答を、質問1については、選択肢ウを正答とし、それ以外を誤答とした。質問2については、選択肢アを正答とし、それ以外を誤答とした。その結果が、表1である。

表1 等質性調査の結果

	質問(1)		質問(2)	
	正答	誤答	正答	誤答
実験群 (N=61)	58 (95)	3 (5)	58 (95)	3 (5)
統制群 (N=29)	27 (93)	2 (7)	25 (86)	4 (14)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、質問1 (両側検定: $p=0.9999$)、質問2 (両側検定: $p=0.2059$) ともに有意差は見られなかった。この問題に関しては、両群等質であると言える。

2. 科学的な概念の形成

(1) 授業実施時の結果

小学校学習指導要領解説理科編¹³⁾では、「台風の進路については西から東へ変化していくという規則性が当てはまらないことをとらえるようにする」と記述されている。そこで、考察時のワークシートに書かれた児童の記述についての評価基準を、台風が南から北へ動くことのみについて記述したものをB基準とした。また、B基準の台風の動きについての記述に加え、「台風は、始めは西の方へ動き、やがて北や東の方へ動く」といった台風が南から西に動いた後、北や東に動くことについて記述したものをA基準とした。A基準、B基準以外の記述については、C基準として分類した。その結果が、表2である。

表2 考察時の記述

	A基準	B基準	C基準
実験群(N=61)	41(67)	13(21)	7(12)
統制群(N=29)	11(38)	12(41)	6(21)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

実験群と統制群について、A基準まで記述できた人数とそれ以外を記述した人数を直接確率計算 2×2 で検定してみると有意差があることが分かる (両側検定: $p=0.0119$)。実験群の方が、A基準で記述できた児童が多いと言える。

(2) 授業実施2ヶ月後調査の結果

質問2は、これまでの学習をもとに台風の動きを予想し答える問題である。図示及び言葉での説明の評価基準は、考察時のワークシートの記述で使用した分析基準と同様の基準

で分類することにした。図示及び言葉での説明による回答結果をクロス集計した実験群の結果が表 3，統制群の結果が表 4 である。

表 3 実験群：図示及び説明による回答のクロス集計

実験群 (N=61)		言葉での説明		
		A 基準	B 基準	C 基準
図示	A 基準	36(59)	10(16)	5(8)
	B 基準	0(0)	3(5)	3(5)
	C 基準	0(0)	0(0)	4(7)

注．単位は，人数。() 内の数字は%。

表 4 統制群：図示及び説明による回答のクロス集計

実験群 (N=29)		言葉での説明		
		A 基準	B 基準	C 基準
図示	A 基準	9(31)	8(28)	2(7)
	B 基準	1(4)	4(14)	0(0)
	C 基準	0(0)	3(10)	2(7)

注．単位は，人数。() 内の数字は%。

実験群及び統制群で図示及び言葉での説明がともに A 基準である人数（実験群：36，統制群：9）とそれ以外的人数（実験群：25，統制群：20）について，直接確率計算 2×2 で検定してみると有意差があることが分かる（両側検定： $p=0.0232$ ）。実験群の方が，図示及び言葉での説明がともに A 基準である児童が多いと言える。

3. 外的資源が科学的な概念形成に及ぼす影響

(1) 行動の分析

7 枚の気象衛星画像の台風の目の位置にカラーシールを貼った児童は，できあがった 7 枚のクリアシートを重ねる様子を見ることができた（図 5）。

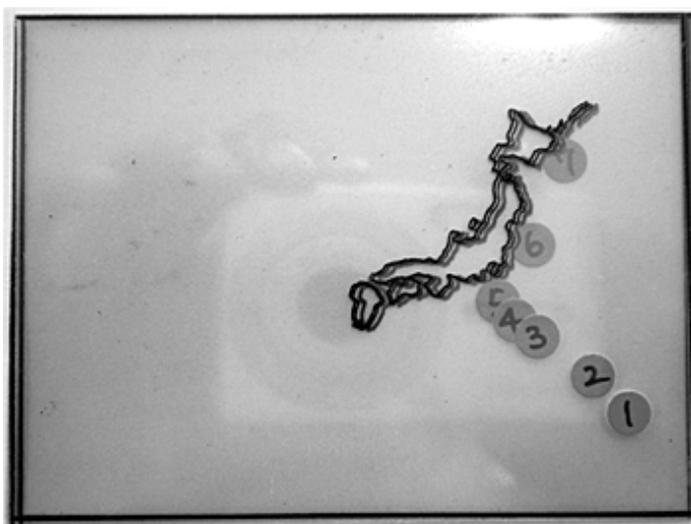


図 5 クリアシートを全て重ねた様子

実験群の児童（N=61）が、クリアシートを全て重ねるまでの活動開始時刻からの時間と人数を記録した結果が表5である。

表5 クリアシートを全て重ねるまでの時間と人数

時間	人数（累計）	割合
3分後	1（1）	2%
4分後	7（8）	13%
5分後	7（15）	25%
6分後	6（21）	34%
7分後	6（27）	44%
8分後	14（41）	67%
9分後	6（47）	77%
10分後	5（52）	85%
11分後	2（54）	89%
12分後	1（55）	90%
13分後	3（58）	95%
14分後	3（61）	100%

注．割合は、累計を実験群の人数（61人）で割ったもの。

教師からクリアシートを重ねるという操作を指示していないにも関わらず、活動開始3分後にはクリアシートを7枚全部重ねる児童が表れ、14分後には実験群の児童全員がクリアシートを重ねて使用していたことが分かる。

(2) 発話の分析

作業中（20分間）の児童の発話を学習内容に関する発話と、学習内容に関しない発話に分類し、それぞれの発話数を分析した結果が、表6である。

表6 作業中の発話数

	実験群	統制群
総発話数	190.5 個	156.8 個
内容に関する発話数	125.8 個	103.3 個
内容に関しない発話数	64.7 個	53.5 個

注．表中の発話数は、各グループの平均。

気象衛星画像に加えクリアシートとカラーシールを使用する実験群の方が、クリアシートとカラーシールを使用しない統制群に比べ、内容に関する発話数が多く、話し合いが多く生まれていたことが分かる。内容に関する発話例を、実験群7班の発話プロトコルを見ると図6のようである。

22A あれ、3がずれてる

23D 何でもない、シールなくしたかなって

- 24A えっ何で？
- 25C 4がずれてる
- 26A いいのか，うあーお
- 27B こんな感じに動いた？
- 28A ななめったかな
- 29C こんな感じだよね？ く の字になっている
- 30D こんなふうに
- 31A こんな感じ，こんな感じ
- 32B エビ反り
- (中略)
- 48B こうやったら，分かりやすいな。重ねてやったら。
- 49C ね。
- (中略)
- 95B 6から7の時に急激に動いている
- 96C なんじゃいそれ
- 97A ほら，6から7のところ形くずれてるじゃん
- 98B 確かに
- (中略)
- 106D 最後の方にいたるにつれてスピードが速くなっている

図6 実験群7班の発話プロトコル

実験群7班の発話プロトコルからは，48Bで児童Bが「こうやったら，分かりやすいな，重ねてやったら」と述べ，49Cで児童Cが「ね」と児童Bの発話を受けているように，児童たちがクリアシートを重ねて使用している様子が分かる。児童がクリアシートを重ねている様子は，他にも6班の「117D：すごい！！これ重ねたの，118A：そうだよ，119C：こんなふうになってるんだあ，うちも重ねてみよう」といった発話プロトコル等からも見ることができた。こうした重ねると分かりやすいといったクリアシートを重ねる操作をすることで台風の動きが顕在化することに気付いた発話が，実験群では16班中9班（56％）で見ることができた。「重ねる」といった言葉は見られないが，27B「こんな感じに動いた？」や30D「こんなふうに」の発話に見られるような台風の目の位置にシールを貼ったクリアシートを児童たちが他者のものと比較・検討している様子が見られる発話は16班全ての班で見ることができた。

また，実験群7班の発話プロトコルからは，22Aで児童Aが「あれ，3がずれてる」，25Cで児童Cが「4がずれてる」と述べているように，台風の進路について動きに変化があったことに気付いた様子が分かる。30Cや33Bの発話からは，児童Cが「くの字になっている」，児童Bが「エビ反り」というように，台風の進路がカーブを描いていることに気付いた様子も確認できる。ワークシートの考察の記述でA基準としたものに該当する発話は，実験群では16班中10班（63％）に見られたが，統制群では8班中3班（38％）でしか見られなかった。

さらに、95Bに見られる発話からは児童Bが「6から7の時に急激に動いている」と台風の速さが急激に変化したことに気付いた様子が分かり、106Dに見られる発話からは児童Dが「最後の方にいたるにつれてスピードが速くなっている」と台風の速さが日本列島を進むにつれて段々と速くなっていることに気付いた様子が分かる。このような台風の速さに着目した発話は、実験群では16班中10班(63%)で見られたが、統制群では見られなかった。

IV. 考察

科学的な概念が児童に形成されているかを調べた授業実施時のワークシートの記述や授業実施2ヶ月後の台風の動きの定着を調べた質問紙調査の結果からは、気象衛星画像に加えクリアシートとカラーシールを使用する実験群が気象衛星画像のみを使用しクリアシートやカラーシールを使用しない統制群に比べ科学的な概念の形成に有効であることが分かった。その理由としては、外的資源として用意したクリアシートは学習者に重ねるという行為を誘発する特徴を持っており、重ねることで台風の動きが顕在化されたこと。また、台風の動きが顕在化され問題の解が可視化可能となったことで、他者と情報を共有できるようになり、自身の認知活動の再吟味や議論が促され、概念形成に有効に機能したと考えることができる。

クリアシートが学習者に重ねるという行為を誘発する特徴を持っていることは、実験群の児童が教師からクリアシートを重ねるという操作を指示されていないにも関わらず全員がクリアシートを自発的に重ねて使用していたことから推察できる。また、クリアシートを重ねることで台風の動きが顕在化され問題の解が可視化可能になったことに気付いている様子や重ねたクリアシートをもとに他者と情報を共有している様子は、統制群に比べ実験群の児童に内容に関する発話が多いこと、ワークシートの記述の分析をする際にA基準としたものに該当する発話が統制群に比べ実験群に多いことから推察できる。

V. 研究のまとめ

本研究からは、外的資源の持つ操作可能性の機能は、学習者に操作を促し、操作することにより問題の解が可視化可能となることで学習者の問題解決を促し、科学的な概念の形成に有効に働くということが示唆された。検証授業の範囲内という限定付きではあるが、解決者に操作を誘発する機能を有する外的資源を用意することは、理科学習において科学的な概念の形成に有効であるという結果を示すことができた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、授業の実施をご快諾をいただいたさいたま市立与野本町小学校の校長先生、授業に取り組んでくれた児童の皆さんに心から感謝申し上げます。

註・引用文献

- 1) Larkin, J.H. & Simon, H.A. : Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99, 1987
- 2) 外的資源については、植田が認知科学辞典（共立出版，2002）の中で、「人間から見て外界に存在し人間の問題解決や推論などの認知課題を実行する際に利用しうる資源」と定義しており、本研究もこの定義に準拠している。
- 3) Beach, K. D. : The role of external mnemonic symbols in acquiring an occupation. In M.M.Gruneberg, P.E.Morris, & R.N.Sykes (Eds.) *Practical aspects of memory : Current research and issues, Vol.1 Memory in everyday life*, Chichester, NY : John Wiley & Sons, 1988
- 4) D.A. Norman, 野島久男訳 : 「誰のためのデザイン？－認知科学者のデザイン原論－」新曜社, 88-90, 1990
- 5) Beveridge, M & Parkins, E : Visual representation in analogical problem solving, *Memory & Cognition*, 15(3), 230-237, 1987
- 6) 荷方邦夫・海保博之 : 「問題解決支援における制約がもたらす知識の道具性」, 筑波大学心理学研究 20, 69-75, 1998
- 7) 村山功 : 「外的資源による課題と認知主体の変化」, 認知科学 2(4), 共立出版, 28-38, 1995
- 8) 前掲書 5)
- 9) 前掲書 6)
- 10) 仮屋園昭彦 : 「問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件」, 鹿児島大学教育学部研究紀要人文・社会科学編, 51, 131-149, 2000
- 11) 前掲書 6)
- 12) 前掲書 10)
- 13) 文部科学省 : 「小学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, 2008

第4章 イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に与える効果

— 外的資源が問題解決を促進する条件 —

清水 誠・鶴貝 昌弘・安田 修一

I. 問題の所在

近年の認知科学研究では、外的資源 (external resource) があることで、思考活動を進める際に頭の中だけで考えるよりも、効率的な学習活動が進められることが期待できると考えられるようになった。それ自体は意味をもたない外的資源であっても、解決者が問題に対してなんらかの解釈や意味をつくりあげ、問題構造、内容に関する表象を構築するとき、外的資源は問題解決を促進すると考えることができる。外的資源の問題を取り上げた Wainer¹⁾ や Larkin & Simon²⁾ は、外的資源としての図の持つ性質が探索、再認、推論のプロセスでどのように働くかを調べる中で、認知主体の計算負荷を軽減することを明らかにしてきた。計算負荷の軽減とは、目的とする情報を得るまでに必要な計算量を減らすことであり、図やグラフなどは主としてこの機能をもっていると考えられている。Wainer³⁾ は、19世紀にロンドンでコレラが流行したときに、地図上に死者の位置をプロットしていくことによって汚染源となっていた井戸を特定していった。これは、コレラによる死者の住所一覧を見て分布の中心を見出すよりも、地図上にプロットして作成した分布図を見た方がコレラの中心を特定しやすく、計算負荷を軽減していることを示している。Larkin & Simon⁴⁾ は、外的資源による計算負荷の軽減とは、情報の顕在性によるものと考え、図では関連情報が局在化しているために情報検索のための注意制御が容易であるが、文章では分散しているため情報の検索が困難なのであるとしている。一方、多様な図的表現の中に具体性 (specificity) よりも抽象性 (abstractness) が存在するものがあるとしている植田⁵⁾ は、抽象的なイメージを従来の図的推論で対象とされてきた具体的な図と区別するために Lakoff⁶⁾ や Johnson⁷⁾ にならって、イメージ・スキーマと呼んでいる。植田は、このイメージ・スキーマの可塑性が類推的問題解決を促進し得ることを見だし、ターゲット問題と視覚的に類似したイメージ・スキーマは、かりにターゲット問題がイメージとしてではなく、文章で表現されている場合でも、ターゲット問題の解を生成する手がかりを付与する場合があるとしている。特定の意味をもたない、あるいはベース問題で別の意味づけがなされたイメージ・スキーマが解決者の頭の中に存在すると考える仮屋園⁸⁾ は、ベース問題解決時に適切な外的資源を提示し、それを被験者が適切に操作した経験があれば、外的資源によって可視化されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題に有効に機能し得るとしている。イメージ・スキーマを作成するという作業は、問題解決を促進するための

命題の可視化であり、命題の可視化に手がかりを与えると考えることができる。しかし、これまでの外的資源の効果を調べた理科教育学研究⁹⁾には、イメージ・スキーマが問題解決を促進し、科学的な概念形成に有効であるかを調べた研究は見られない。

そこで、本研究では、中学校3年で学習される「月の見え方」を事例に、外的資源を使用する際に、イメージ・スキーマ¹⁰⁾を持たせることが、科学的な概念の形成にどのような効果を与えるのかを明らかにすることを目的とする。

II. 研究の方法

1. 調査対象及び時期

授業は、埼玉県内の公立中学校の3年生、3クラス102名を対象とした。対象の被験者は、イメージ・スキーマを持たせるための授業を行った群（以下、実験群と呼ぶ）とイメージ・スキーマを持たせるような授業をしなかった群（以下、統制群と呼ぶ）に分けた。実験群の被験者は2クラス70名、統制群の被験者は1クラス32名である。調査は、2010年11月に実施した。

2. 授業の概要

検証のための授業は、中学校学習指導要領第2分野(6)イ(1)の「月の運動と見え方」の内容について実施した。この授業は、月の公転と見え方を関連付けてとらえることがねらいである。そこで、このねらいを生徒が達成できるようにするため、「月の運動と見え方」の授業前に実験群にイメージ・スキーマを持たせる授業（以下、授業1と呼ぶ）を20分間行った。「月の運動と見え方」についての概念が形成できたかを検証するための授業（以下、授業2と呼ぶ）では、外的資源として竹串に刺した発泡スチロール球を使用した。実験群で実施した授業の主な流れは、次のようである。授業は、共同研究者の安田が行った。

<授業1の概要>

- ア. 「どうして雲は白色や灰色に見えるのだろうか」という課題提示を教師が行った。
- イ. ワークシートに個人の予想を記入させた。
- ウ. モデル図を提示し、そのときに見える雲の様子をワークシートに記入させた。
- エ. 雲模型を使い、白くなっている部分、灰色になっている部分を確認した。
- オ. ウと同様にモデル図を提示し、ウとは見る位置を変えて、そのときに見える雲の様子をワークシートに記入させた。
- カ. エと同様に雲模型を使い、白くなっている部分、灰色になっている部分を確認した。
- キ. 教師によるまとめをした。

<授業2の概要>

- ア. 「月はどのように満ち欠けをするのだろうか」と課題提示を教師が行った。
- イ. 簡単に予想をさせた後、この実習についての説明をした。
- ウ. 個人による実習を行い、実習中に見えた月の形をワークシートに記入させた。
- エ. 教師によるまとめを行った。

なお、統制群では、〈月の運動と見え方の授業〉から行い、それ以外の授業の条件は、全て実験群と同じである。

3. 調査

(1) 両群の等質性

授業2を実施する1週間前に質問紙を利用して、知識およびイメージ・スキーマの使用の状況を調べた。知識に関する問題は、既習事項である検証授業と同じ領域の図1に示す内容について調査した。

また、イメージ・スキーマを使用して問題解決ができるかどうかについて、図2に示すBeveridge & Parkins¹¹⁾が使用した放射線問題をもとに、仮屋園¹²⁾が行った消火問題を組み合わせ実施した。

1. あなたは今、南の方角を向いています。このときあなたの左側の方向はどの方角になりますか、下のア～エから1つ選びなさい。

ア. 東 イ. 南 ウ. 西 エ. 北

2. 図1の左側の大きな円は地球です。×印は北極を表しており、この図は地球を北極の真上から見たものです。右にあるのは、太陽です。地球上にいるA君は、地球が自転するとともに①→②→③→④の場所へと移動します。

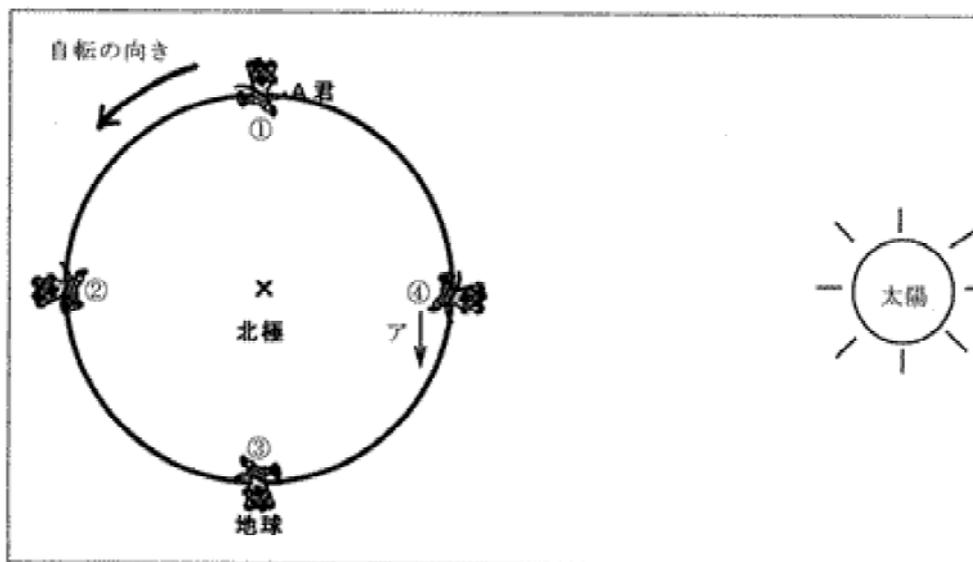


図1

- (1) 図1のように太陽が地球を照らしているとすれば、日の入り(夕方)を迎えているのはどの位置になりますか。図1の①から④から一つ選び、その番号を書きなさい。

- (2) A君が図1の④の位置にいる時、矢印のアの方向は東・西・南・北のどの方角になりますか。東・西・南・北から一つ選び、書きなさい。

図1 知識に関する質問紙

あなたは、胃に悪性のガンがある患者を受け持つ医者です。患者に手術をすることはできません。けれども、何らかの手段でガンを取り除かなくてはその患者は死んでしまいます。その手段の1つとして、放射線治療が考えられます。一度に強い放射線を照射すれば、悪性のガンを死滅させることができますが、同時に周りの健康な細胞も破壊してしまいます。弱い放射線を照射すると、健康な細胞に危険はありませんが悪性のガンには効果がありません。悪性のガンを死滅させ、なおかつ健康な細胞を破壊しないためには、どのような方法で放射線治療を行えばよいでしょうか。

回答は文章と図の両方を書いてください（どちらかしかかけない場合は、どちらか一方でもかまいません）。あなたが、こんなふうにしたら良いと思う方法を自由に書いてください。

<文章>

<図>



※ ヒントをみてから付け加える場合には、赤色のペンで記入をしてください。

《ヒント》

ある日、ビルが火災に見舞われ、大火事となりました。かけつけた消防士は、一度に大量の水を火元へ放水すれば火が消えることを知っていました。実際、現場ではたくさんポンプが使えたのですが、多くのポンプから出る大量の水を一度に放水できるほど十分に太いホースが現場にはありませんでした。そこで、消防士がとった方法は、細いホースを使って、いろいろなところから水を放水し、火元に水を集結させるという方法でした。

図2 イメージ・スキーマの使用に関する質問紙

(2) 科学的な概念の形成

イメージ・スキーマの提示の有無が、科学的な概念の形成に与える効果を見るために、授業2の実施時のモデルを使っての観察後にワークシートの中で生徒に質問した内容を分析した。質問は、3つあり、地球と月と太陽の位置関係からどのような見か

けの月が見えるかを書かせた。

(3) イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に及ぼす影響

生徒がイメージ・スキーマを使用して月の見え方について考えているかを探るため、自然発生的に生まれている授業 2 の実施時の発話の分析とその授業後に面接調査を行った。方法は、以下の通りである。

ア. 発話の分析

実験群、統制群共に、生徒が学習している理科室の各実験台に IC レコーダーを置き、発話を記録し、分析した。発話を記録したグループ数は、実験群が 16 グループ、統制群が 8 グループであった。

イ. 面接内容の分析

実験群 8 名、統制群 4 名を無作為に抽出し、以下の質問を行い、回答を分析した。

〈質問 1〉

「今日の授業を考えると、以前に似たような経験をしたことがありましたか。」

〈質問 2〉 (質問 1 で「ある」と回答した生徒のみ)

「どのようなところが似ていましたか。」

Ⅲ. 結果とその分析

1. 両群の等質性

(1) 知識に関する質問紙

生徒の回答を、質問 1 については選択肢アを正答とし、それ以外を誤答とした。質問 2 については、選択肢①を正答とし、それ以外を誤答とした。質問 3 については、選択肢の「西」を正答とし、それ以外を誤答とした。結果は、表 1 のようであった。

表 1 知識に関する等質性調査の結果

	問 1		問 2 (1)		問 2 (2)	
	正答	誤答	正答	誤答	正答	誤答
実験群 (N=70)	57 (81.4)	13 (18.6)	41 (58.6)	29 (41.4)	35 (50.0)	35 (50.0)
統制群 (n=32)	26 (81.3)	6 (18.7)	19 (59.3)	13 (40.7)	14 (43.8)	18 (56.2)

注. 単位は人数。() 内の数字は%。

両群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、質問 1 (両側検定: $p=0.9999$)、質問 2 (1) (両側検定: $p=0.9999$)、質問 2 (2) (両側検定: $p=0.5277$) と、いずれも有意な差は見られなかった。

(2) イメージ・スキーマの使用に関する質問紙

また、イメージ・スキーマを使用して問題解決ができるかどうかを調べる問題では、表 2 に示す評価基準を作成し、生徒の回答を分類した。その結果が、表 3 である。

表2 評価基準

	内 容	回答例
A基準	1. 「弱い」あるいは「何回かに分けて」という内容が含まれている。 2. 「いろいろなところから一点に集める」。 という、1及び2の内容の両方が含まれている。	・弱い放射線をいろいろな場所から照射させてガンを死滅させる。 ・強い放射線ではなく、弱い放射線で、いろいろな角度で、ガンにあてていく。
B基準	上記1、2のどちらか一方の内容が含まれている。	・何回かに分けて放射線を照射する。
C基準	A、B基準以外のもの。	・薬等で散らしてしまうのではなく、少し軽めの薬がポンプに詰まっていたとして、それを吸って軽くした方がよいと思います。

表3 イメージ・スキーマの使用に関する等質性調査の結果

	A基準	B基準	C基準
実験群 (N=70)	34 (48.5)	19 (27.1)	17 (24.4)
統制群 (N=32)	15 (46.9)	9 (28.1)	8 (25.0)

注. 単位は人数。()内の数字は%。

2つの群のA、B、C基準の生徒数について、カイ二乗検定を行ったところ、有意な差は見られなかった ($p = 0.3669$)。

これらの結果から、この問題に関しては、両群等質であると言える。

2. 科学的な概念の形成

授業2の実施時のワークシートの中で生徒に質問した内容を分析した結果が表4である。質問1では三日月を正答、質問2では上弦の月を正答、質問3では満月を正答とした。各質問ともそれ以外は、誤答とした。

表4 ワークシートへの記述

	質問1		質問2		質問3	
	正答	誤答	正答	誤答	正答	誤答
実験群 (N=70)	62 (88.6)	8 (11.4)	59 (84.3)	11 (15.7)	67 (95.7)	3 (4.3)
統制群 (n=32)	21 (65.6)	11 (34.4)	23 (71.9)	9 (28.1)	26 (81.3)	6 (18.8)

注. 単位は人数。()内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、質問1（両側検定： $p=0.0120$ ）及び質問3（両側検定： $p=0.0255$ ）は5%水準で有意な差が見られ、質問2（両側検定： $p=0.183$ ）は有意傾向が見られた。実験群の方が科学的な概念の形成がなされていると言える。

3. イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に与える効果

(1) 発話の分析

授業2の生徒の発話プロトコルを分析した。実験群第2班を例に、発話プロトコルを見ると図3のようである。

3a：太陽が右にあるんでしょ。
4b：うん。
5a：右にあるんでしょ。
6a：こうだよ。
7b：これが？
8c：どうすればいいの？あ、こうか。
9d：できてるよね。
10b：うん。
11d：普通に、ここでしょ？
12c：え、どこ？
13d：ここ。
14d：太陽が西に見えてて。
15c：あー。
16d：あ、そこだね。
17c：これは、三日月だね。
18d：そうみたいだ。
19c：こんな形。
20d：そうだね。
21c：これってこの間の雲と同じってことでしょ？
22d：うん。
23c：細くて。
24a：どんな感じ？
25c：細くて、こんな感じ。

図3 実験群第2班の発話プロトコル

生徒dは、9dで「できてるよね」と発言している。このことから、月モデルを用いて満ち欠けを再現する中で、どのような月が見えているのか気付いた様子が分かる。また、生徒bも10bで「うん」と生徒dに同調しており、どのような月が見えているのか気づいたことが分かる。このことは、14dや16dで生徒cに説明している様子からもうかがえる。一方で、生徒cは12cで「え？どこ？」と聞き返していることから、ど

こに見えているのかが分かっていない様子がうかがえる。しかし、その後の、生徒 d とのやりとりを通し、17c の「これは三日月だね」や 19c の「こんな形」と発言をしていることから、三日月であることを確認したことが分かる。また、生徒 c は 21c で「これってこの間の雲と同じってことでしょ？」と発言していることから、事前に生成したイメージ・スキーマを想起している様子が伺える。こうした様子は、実験群のすべての班で見ることができた。

(2) 面接内容の分析

質問 1 及び質問 2 に対する両群の 12 名の回答をまとめたところ、表 5 のようになった。

表 5 面接内容

	生徒	質問 1 の回答	質問 2 の回答
統 制 群	A	いいえ	美術の時間に、描いていたバレーボールに太陽の光が当たり、後ろに影ができたこと。
	B	いいえ	
	C	いいえ	
	D	はい	
実 験 群	E	はい	理科の授業で、太陽に当たっている部分は、月でも雲でも白くなったこと。
	F	はい	理科の授業で、光の当たり方によって、見え方が変わったこと。
	G	いいえ	理科の授業で、雲と同じように光が当たっている部分は明るく、当たっていない部分は影になっていたこと。 理科の授業で、光の当たり方によって見え方が変わったこと。 理科の授業でみた、雲に対する光の当たり方。 理科の授業で、太陽の光の当たり方によって、明るくなる場所と暗くなる場所が変わったこと。 理科の授業で、光があたった部分は明るく、当たっていない部分は影になったこと。
	H	はい	
	I	はい	
	J	はい	
	K	はい	
	L	はい	

統制群では、質問 1 に対し、生徒 D のみが「はい」と回答し、生徒 D は質問 2 に対し「バレーボールに太陽の光が当たり、後ろに影ができたことが似ていた」と回答している。一方、実験群では、質問 1 に対し、8 名中 7 名が「はい」と回答している。質問 2 に対し、「はい」と回答した回答者は、「イメージ・スキーマ生成をねらった雲の授業」を挙げ、「光の当たり方によって、見え方が変わる事」や「光が当たっている部分は明るく、当たっていない部分は影になっていること」等の回答をしている。実験群の生徒は、授業前に獲得したイメージ・スキーマを使用して月の見え方について考えていたと考えることができる。

IV. 考察

授業2の授業後の科学的な概念の形成が生じたかを調べた結果からは、イメージ・スキーマを与えた実験群が統制群に比べ科学的な概念が形成された生徒が多いことが分かった。両群においてイメージ・スキーマを生成させる授業を行ったか否かという条件以外は同一の内容であるため、差が生じた要因として、イメージ・スキーマが影響を与えたと考えることができる。このことは、発話プロトコルの分析から、イメージ・スキーマを想起している発話や、授業直後の面接調査において、「似たような経験をしたことがありますか」という質問に対し、実験群8人中7人がイメージ・スキーマに関する事柄を挙げていたことから伺うことができる。授業2の学習前に具体的に可視化された雲模型から、光を発する物体と光が当たる対象の位置関係により、明るく見える部分に変化するという抽象的なイメージ・スキーマを生成することが、問題解決を促進したと考えることができる。授業2の授業前に提示されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題（本研究においてはワークシートの問題）の解を生成する手がかりとなっていたと考えられる。

以上のことから、理科における問題解決においても、仮屋園¹³⁾が述べるようにベース問題解決時に適切な外的資源を提示し、それを被験者が適切に操作した経験があれば、外的資源によって可視化されたイメージ・スキーマは、ターゲット問題の問題解決を促し、科学的な概念の形成に有効に機能すると言える。

V. 研究のまとめ

本研究からは、イメージ・スキーマを持たせた上で外的資源を使用することは、外的資源に対する見方や考え方をもちこたせることにつながり、結果として科学的な概念の形成に有効に働くことが示唆された。検証授業の範囲内という限定付きではあるが、授業で身につけさせたい科学的な概念と共通するイメージ・スキーマを持たせることは、理科学習において科学的な概念の形成に有効に働くことが示唆された。

註・引用文献

- 1) Wainer, H. : 「Understanding graphs and tables」, *Educational Researcher* 21(1), 14-23.
- 2) Larkin, J.H. & Simon, H.A. : Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99, 1987
- 3) 前掲書1)
- 4) 前掲書2)
- 5) 植田一博 : 「イメージ・スキーマによる問題解決とその支援の可能性」, *認知科学*, 2(4), 76-92, 1995.
- 6) Lakoff, G. : *Women, Fire, and Dangerous Things.*, University of Chicago Press (池上嘉彦監訳 : 「認知意味論 言語からみた人間の心」, 紀伊國屋書店, 1993), 1987.
- 7) Johnson, M. : *The Body in the Mind, The bodily basis of meaning, reason and imagination,*

University of Chicago Press (菅野盾樹監訳：「心の中の身体 想像力へのパラダイム転換」，紀伊國屋書店，1991)，1987.

- 8) 仮屋園昭彦：「問題構造を表す外的資源が問題解決を促進する条件」，鹿児島大学教育学部研究紀要人文・社会科学編，51，131-149，2000.
- 9) 理科教育学研究の中で外的資源に触れた研究には，清水・牧野が外的資源の持つ顕在性が科学的な概念の形成に有効に働いていることを明らかにした研究や清水・肥田による外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に有効に働いていることを明らかにした研究を見ることができる。しかし，これらの研究ではイメージ・スキーマに触れていない。
清水誠，牧野正：「外的資源が科学的な概念の形成に与える効果についての研究－慣性の法則の学習を事例に－」，理科教育学研究，51(1)，75-81，2010.
清水誠・肥田幸則・紺野雅弘：「外的資源の持つ操作可能性が科学的な概念の形成に与える効果－台風の進路の学習を事例に－」，理科教育学研究，51(3)，209-215，2011.
- 10) イメージ・スキーマとは，Johnson (1987) によれば，「人間が身体的，知覚的に，経験を通じて，構造化された抽象的な枠組み」と定義されている。本研究においても，この定義を採用している。」
- 11) Beveridge, M & Parkins, E : Visual representation in analogical problem solving, *Memory & Cognition* , 15(3), 230-237, 1987.
- 12) 前掲書 8)
- 13) 前掲書 8)

第 5 章

The Development of Educational Methods Using Manipulative Activities to Promote the Understanding of Positive and Negative Integers

TAKAGAKI, Mayumi

Hirotsugu, TAZUME

SHIMIZU, Makoto

Abstract

In March 2008 a revision of the Course of Study for Lower Secondary Schools was announced, calling for more mathematical activities to be added to the traditional curriculum. These were designed to promote the fun and pleasure of mathematics though connecting mathematical activities to actual life. Going beyond traditional educational methods, this study discusses materials for teaching positive and negative integers to seventh grade students. It focuses on card games, a mathematical activity connected to actual life, that promote understanding of the principles underlying the manipulation of the signs of positive and negative in arithmetic. The card games are used in a series of practical lessons focusing on mathematical activities.

Results of pre- and post-tests suggest that the games aid in discovering mathematical principles and promote fun and pleasure in learning, as well as meaningful understanding through formal comprehension.

Key Words : Positive integers, Mathematical activities, Conceptual understanding, Card games,
Seventh grade

1. Introduction

In March 2008 a revision of the Course of Study for Lower Secondary Schools was announced, calling for “the use of mathematical activities to deepen the understanding of the basic concepts, principles, and rules of figures and quantities, to promote the learning of mathematical processing and expression, and to increase the abilities for mathematical representation of phenomena through realizing the fun of mathematical activities and the pleasure of mathematics, and thereby cultivate a demeanor that can apply these through thinking and assessment.” To the prior formulation of the Course of Study for Lower Secondary Schools (December 2008), this revision added “using mathematical activities” and “abilities for mathematical representation” and changed “knowing the pleasure of mathematical viewpoints and thinking” to “realizing … the pleasure of mathematics,” and “cultivating a demeanor that can apply these” to “apply these through thinking and assessment.”

These revised points, aimed to engage motivated learning, call for the development of the ability for clear and concise expression, efficient processing, and reflective consciousness of learning processes. These revisions aim to go beyond class-work that simply communicates mathematics, to promote observation of and rule application to other phenomena, as well as encourage mathematical induction through concrete manipulative activities. They anticipate that the experience of learning mathematics through “activities promoting development of figures and numbers” will expand lessons based on the fun of experiencing the creativity, wonder, and excitement of learning mathematics (Ohta, 2009; Yamasaki, 2009; Kunimoto & Yamamoto, 2004).

The 2009 National Survey on the Situation of Academic Ability and Learning (carried out in April 2008), given to sixth graders at Japanese public and private elementary and special education schools and ninth graders at junior high and special education schools, revealed that the average score for students on “knowledge” was 62.7%, but that only a very low 30.6% of students answered that “the things learned in mathematics class will be helpful in the future when I go out into society.” These results show that awareness of the utility of mathematics for tasks in various everyday life situations is insufficient, and suggest that the problem is the lack of teaching methods for the enriching this line of study. That is, the problem concerns not the amount of mathematical knowledge, but mathematical activities connected to everyday life.

This study uses “positive and negative integers,” part of the first-year program of the Course of Study for Lower Secondary Schools, to examine teaching methods designed to enrich mathematical activities connected to actual life that will promote the understanding of arithmetic rules and principles of positive and negative integers. The “positive and negative integers” examined here are learned in mathematics classes at the beginning of junior high school. Many teaching units include algebraic calculations, which form the bridge between elementary and junior high school mathematics education. Elementary school mathematics establishes and utilizes an understanding of the number zero, positive integers, and positive fractions, and addresses the meaning and significance of doing arithmetic with integers. Junior high school mathematics builds on what was learned at elementary school, expanding the range of numbers to include negative fractions. After reviewing integers as a mathematical concept, their arithmetic possibilities are introduced.

However, when the numbers students know are expanded as they move from elementary to junior high school, several problems emerge in the practical education of positive integers. The degree of simplicity in explaining the meaning of and introducing positive integers to students are of central importance in the teaching unit. Previous textbooks have used a number line to introduce positive integers as a vector, with the plus side (+), or the temporal future, moving towards the right from a cardinal point, and the minus side (-), or the temporal past, moving towards the left. Explanation of the computational principles of integers is based on vector computational principles (Todani, 2007). Expressed concretely, the instruction of methods of adding and subtracting positive integers uses the directionality and size of vectors, and multiplying and dividing uses velocity. As it is, students have difficulty grasping the conceptual meaning of positive and negative through this method, and calculation principles are difficult to learn

(Yanagimoto, 1990). Pointing to the positive integers in the calculation exercises of the teaching units, Kuroda (2004) argues that that even if the students understand how to “answer” the calculations expanding on class-work, they do not grasp the “formal” meaning or “things expressing that relationship.”

The present study attempts to rectify the above problem in applied education by taking into account Kuroda’s (2004) point that “formulas are the language of mathematics, and learning begins when there is an appropriate context for expressing that language,” and suggesting card games that express the importance of formulas to promote the understanding of positive integers. Working with the “positive and negative integers” section of first year of the New Course of Study for Lower Secondary Schools, the goal of the study is to design mathematical activities linked to everyday life through devising teaching methods using card games to promote the understanding of the principles and rules of signs used in arithmetic with positive and negative integers.

2. Method

2.1 Participants

The participants consisted of a class (20 people) of seventh grade junior high school students at a private school in Kanagawa Prefecture. The study was carried out over the five hours of the instructional unit on “positive and negative integers” taught from the middle to the end of July.

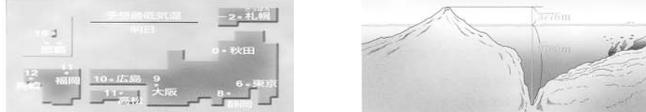
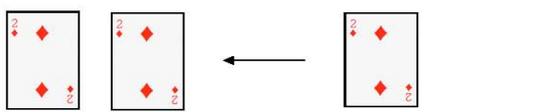
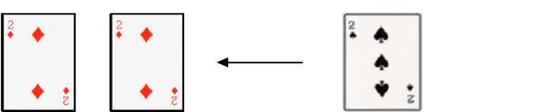
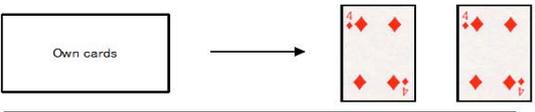
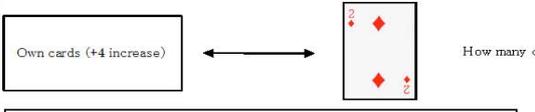
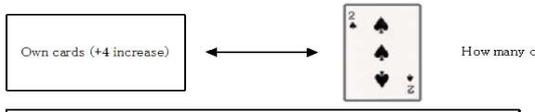
2.2 Teaching method

The instructional method engaged the attribution of meaning to and the handling of the numerical formulas in the arithmetic manipulation of positive and negative integers through card games. An example of the teaching method is displayed on Table 1. First, participants were divided into groups of four and decks of twenty cards using the ace through five of every suit were prepared. Five cards were given to each participant. The red suits (hearts and diamonds) were defined as plus and the black suits (clubs and spades) were defined as minus, and the participants were to take one card each, following along the lines of the card game “old maid.” After five rounds were finished, the students were told to stop, and the participant with the largest number of points on their cards was declared the winner. Modifying the game to include mathematical expressions, drawing a card from another person was expressed as “plus” (+) and having a card taken by another person was expressed as “minus” (-). Next, the cards were used for mathematical computations applying the significance of mathematical expressions.

(1) For addition, when the total number of points held was +3, the player took four red cards from the neighboring player, yielding +3 (+4). After taking the cards, the player revealed them, showing +7.

(2) For subtraction, when the total number of points held was +3, four black cards were taken by the neighboring player, yielding +3 – (-4). After the cards were taken, the player revealed the hand, showing +7.

Table 1. An Outline of a Educational Method for Promoting the Understanding of Positive and Negative Integers through Introducing Manipulative Activities

<p>1h</p>	<p>Creating the connection between positive and negative integers</p> <p>Educational Goal: Thinking about how positive and negative integers are used in everyday life.</p> <p>Example: thermometer markers, depth tables, yearly comparisons of expectations of crowding during holidays</p> 	
<p>2h</p>	<p>Addition total (same sign) of positive and negative integers Example: $(+4) + (+2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that the value of the sum of two numbers with the same sign through the commonality of the symbols, is the sum of the absolute value of the two. Also learned through the game is that negation occurs in the case of differing signs for the same numbers.</p>	<p>Addition total (different signs) of positive and negative integers Example: $(+4) + (-2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that the value of the sum of two numbers with different signs takes the sign of the number with the largest absolute value and that the result is derived by subtracting the absolute value of the smaller number from the absolute value of the larger number.</p>
<p>3h</p>	<p>Subtraction total (same sign) of positive and negative integers Example: $(+4) - (+2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that it is possible to calculate the subtraction of two numbers with the same sign by changing the sign of the subtracted number and adding them. Concretely, the case above shows that the formula $(+4) - (+2)$ can be calculated by changing it to $(+4) + (-2)$.</p>	<p>Subtraction total (different signs) of positive and negative integers Example: $(+4) - (-2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that it is possible to calculate the subtraction of two numbers with different signs by changing the sign of the subtracted number and adding them. Concretely, the case above shows that the formula $(+4) - (-2)$ can be calculated by changing it to $(+4) + (+2)$.</p>
<p>4h</p>	<p>Multiplication total (same sign) of positive and negative integers Example: $(+4) \times (+2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that the value of multiplying two numbers with the same sign is always positive and is equal to multiplying the absolute value of the two numbers. In the above case, two +4 cards are taken and the total of the cards held is + (plus).</p>	<p>Multiplication total (different signs) of positive and negative integers Example: $(+4) \times (-2)$</p>  <p>Educational goal: Using a card game to learn that the value of multiplying two numbers with different signs is always negative and the value is equal to multiplying the absolute value of the two numbers. In the above case, two +4 cars are taken away and the total of the cards held is - (minus).</p>
<p>5h</p>	<p>Division total (same sign) of positive and negative integers Example: $(+4) \div (+2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that the value of dividing two numbers with the same sign is always positive and is equal to dividing the absolute value of the two numbers. Concretely, if $(+4) \div (+2)$ is understood multiplicatively, it can be changed to $(+4) = (+2) \times []$ of $[]$ to</p>	<p>Division total (different signs) of positive and negative integers Example: $(+4) \div (-2)$</p>  <p>Educational goal: Using a game to learn that the value of dividing two numbers with different signs is always negative and the value is equal to dividing the absolute value of the two numbers. Concretely, if $(+4) \div (-2)$ is understood multiplicatively, it can be changed to $(+4) = (-2) \times []$</p>

Through this card game, the students not only cultivated the sense that when minus cards are taken away, the result is a plus score for the player, but also the sense of the equivalence of $+3 - (-4)$ is the same as $+3 + (+4)$. Concretely, they learn that “taking four black (minus) and “having four red (plus) cards taken” are equivalent, and that “having four black (minus) cards taken

” and “taking four red (plus) cards” are equivalent. Expressed mathematically, this is $-(-4) = +(+4)$, $+(-4) = -(+4)$. This method both attributes an easy-to-understand significance to and promotes the learning of the principle rules of arithmetic with positive and negative integers. Furthermore, abbreviating the plus signs in the total amount is connected to algebraic summation, and because each card is taken as one item and because items of the same kind are interchangeable, the exercise is connected to a mathematical way of thinking about the interchangeability of items.

(3) The game rules were changed for multiplication, and the cards were taken twice to convey the mathematical meaning of multiplication. For example, having -4 cards taken twice by a neighboring player, mathematically expressed, is $-4 \times (-2)$, and having the minus cards taken two times lends to the main player the experience that the total becomes a plus. Thus, they learn that same signs become a plus in multiplication (in this case, the negative integer \times the positive integer).

(4) For division, to achieve the value of $(+4) \div (+1)$, the equivalence of $(+4) = (+1) \times [\quad]$ of $[\quad]$ was used. As in the case of significance attribution in multiplication, the meaning of the mathematical process is based on understanding that an increase of the score by 4 is equivalent to receiving four +1 cards.

In this way, a mathematical activity using cards, based on thinking about the movement of things and experimenting with them to see how they work, is connected to increased intellectual capacity. In this real-life situation, manipulating physical objects, thinking about the activity and explaining it are connected, and reciprocal activation becomes possible.

2.3 Pre- and post-tests

Pre- and post-tests were used to directly compare understanding before and after the session. The tests used the same contents and form, and required about ten minutes to answer. The content of the test aimed to examine the transferal of the subject of the lesson to the students. Furthermore, the pre- and post-test questions were designed to assess conceptual understanding by creating a venue using subtraction and multiplication with a combination of plus and minus signs. The first question was “explain the mathematical expression $2 - (-1)$ using familiar things,” and the second question was “explain the mathematical expression $2 \times (-1)$ using familiar things.”

3. Results and Analysis

3.1 Quantitative analysis

A pre- and post-test assessing the difference in level of conceptual understanding (hereafter, “understanding level”) of positive and negative integers was used to examine the degree of change in the understanding of positive and negative integers (subtraction, multiplication). The understanding level of each student was assessed using the answers on the pre- and post-test. What level of understanding the student had attained was determined synthetically based on their answers to questions 1 and 2.

Table 2 displays the assessment criteria for each understanding level and examples of correct and incorrect answers, as well as the pre- and post-test understanding levels for each student.

Table 2-1. Change in Understanding Level

	Understanding level of positive and negative integer concepts						total
	0		I		II		
Question 1 (subtraction)	19	(95.0)	1	(5.0)	0	(0.0)	20 (100.0)
Question 2 (multiplication)	20	(100.0)	0	(0.0)	0	(0.0)	20 (100.0)

Note: the percentage of students in each group is denoted within the parentheses

	Understanding level of positive and negative integer concepts						total
	0		I		II		
Question 1 (subtraction)	4	(20.0)	5	(25.0)	11	(55.0)	20 (100.0)
Question 2 (multiplication)	1	(5.0)	2	(10.0)	17	(85.0)	20 (100.0)

Note: the percentage of students in each group is denoted within the parentheses

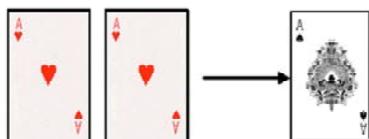
Table 2-2. Change in Understanding Level

Student descriptive examples

<subtraction example> form explanation of $(+2) - (-1)$

level 0 : before understanding

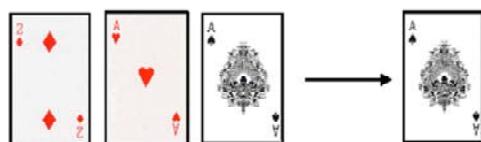
(descriptive example)



The total of cards held is +2, consisting of two +1 cards. However, when three cards are distributed to one person, three cards have to be lost. Looking only at the formula from this, the background (rule) is not understood.

level I: formal understanding

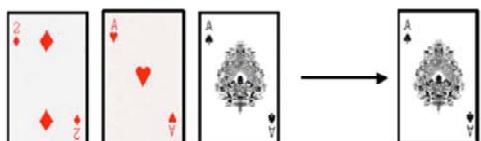
(descriptive example)



A -1 card is taken from another player and the effect on the total of one's own cards is an increase of +1. Introducing relational forms, the same results can be expressed by the formula $(+2) - (-1) = (+2) + (+1)$.

level II: meaningful understanding

(descriptive example)



A -1 card is taken by another player, leaving a +2 card and a +1 card for a total of +3 in one's own hand.

<multiplication example> form explanation of $(+2) \times (-1)$

level 0 : before understanding

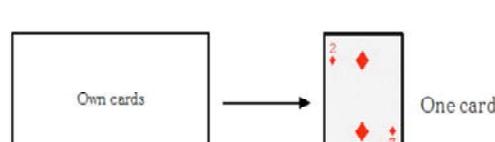
(descriptive example)



Understanding that the total in the previous move is achieved by a +2 addition/subtraction method, it is understood that the other player takes +2 cards from the total in one's own hand as an overall numerical formula. But the prior move and the following move are not understood as a numerical formula.

level I: formal understanding

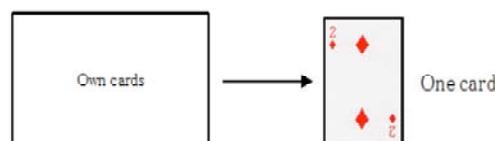
(descriptive example)



One +2 card is taken by another player and the effect on one's own cards is a decrease by -2.

level II: meaningful understanding

(descriptive example)



One +2 card is taken by another player, effecting the total of cards in one's own hand by a decrease of -2.

Examination of bias in the headcount for the understanding levels in the pre-test yielded significant results (question 1: $\chi^2 = 34.4$, $p < 0.01$, question 2 $\chi^2 = 40.0$, $p < 0.01$), and for each question, level 0 had the most respondents (question 1: 19 people (95%), question 2: 20 people (100%)). Examination of bias in the headcount for level II had the most respondents (question 2: 17 people (85%)). Furthermore, in order to understanding levels in the post-test investigate bias in the headcount for conceptual levels in each of the questions in the pre- and yielded significant results for question 2 (multiplication) (question 2: $\chi^2 = 24.10$, $p < 0.01$), and post-tests, a χ^2 test was carried out on the expected frequency of people in the pre-test and the observed frequency in the post-test.

The results revealed a bias in the headcount (question 1: $\chi^2 = 264.21$; $p < 0.01$, question 2: $\chi^2 = 603.61$, $p < 0.01$; because there was a cell with 0 people in the expected frequency (pre-test), 0.5 was added to all cells for convenience before carrying out the test)). For the level of conceptual understanding of positive integers, the results revealed that level 0 had the greatest number of people for both question 1 (subtraction) and question 2 (multiplication), that there was no bias in the headcount for the conceptual level on question 1 (subtraction) in the post-test, and that level II had the greatest number of people for question 2 (multiplication). Furthermore, the results of examining bias in the headcount of the understanding level between the pre- and post-tests revealed that a great number of students had reached level II on question 1 (subtraction) and question 2 (multiplication).

3.2 Qualitative analysis

Moving from level 0 to level 1 captures the shift in students' understanding of the application of mathematical expressions to phenomena in everyday life and the ability to grasp the mathematical principles from everyday phenomena. The results of the students' answers revealed some inconsistency in applying mathematical expressions to phenomena. Take, for example, a descriptive example of subtraction: "In applying the mathematical expression $(+2) - (-1)$ to everyday phenomena, taking the example of cards, the idea of the mathematical expression can be seen as another player taking a -1 card from a person with a total of +2 cards. However, if one looks at the students' descriptive answers, they do not write that the total of the cards held is +2, but they write that two of the +1 cards are chosen, and do not include that the -1 cards the other player is supposed to take." See also a descriptive example of multiplication: "In applying the mathematical expression $(-2) \times (-1)$ to everyday phenomena, taking the example of cards, the mathematical meaning is that another person takes one -2 card. However, looking at the descriptive answers, from the -2 total of the cards held, +1 goes to the other player." These descriptive examples show that in mathematical activities using cards, the meaning of the mathematical expression in antecedent mathematical expressions is determined based on mathematical operations, and that the level of recognition of mathematical operations

by students is low.

In the shift from level I to level II, principles are adduced via everyday phenomena, and the correct interpretation of mathematical expressions can be shown. In looking at the students' answers, taking + (plus) and - (minus) cards from another player in a game, and having those cards being taken by another player, the mental situation in calculating the total amount of the cards employs pictures and words in establishing a descriptive answer. See the following descriptive example of subtraction: "Expressing the mathematical formula $(+2) - (-1)$ with playing cards means that another player takes a -2 card. Another player holding a -2 card then influences the total of the cards held by oneself, which increases by +2, and thus the physical circumstances are one of a plus." From this descriptive example, students discover mathematical principles through a mathematical activity of a card game, which can be seen as an important learning activity.

This study introduced a card game to promote understanding of arithmetic principles, and suggests that this method promotes a shift from formal understanding to meaningful understanding. In this process, students learn both the mathematical formulation of phenomena in everyday life and society, and come to understand the results of processing through mathematical methods while experiencing the fun and pleasure of mathematics. However, the study did not capture how students transfer to everyday activities the knowledge and concepts gained after a class using a card game as a mathematical activity. This problem needs to be the subject of further research.

References

- Ohta Hiroyuki (2009). Improving Lessons Based on the Outline of the New Course of Study for Lower Secondary Schools. *Journal of the Japanese Society of Mathematical Education*, 63, 2-11.
- Yamazaki Hiroji (2009). Improving Junior High School Mathematics Classes through Mathematical Activities: Expectations and Responsibilities. *Journal of the Japanese Society of Mathematical Education*. 63, 41-50.
- Kuroda Takumi (2004). Development of Practical Lessons Strengthening Students' View of Form through Game Activities: The Process of Introducing Algebra to Seventh Graders in Teaching Units on "Positive and Negative Integers." *Practical Education Research*, 14, 45-50.
- Yanagimoto Fusamichi (1990). The Fundamental Rules of Arithmetic for Positive and Negative Integers: A Contrast of Three Instructional Methods. *Journal of the Japanese Society for Mathematical Education*, 72, 21-31.
- Todani Akiko (2007). Textbook Analysis of the Addition and Subtraction of Positive Integers and the Separation of Arithmetic and Mathematics from the Viewpoint of Cognitive Research. *Joetsu Mathematical Education Research*, 22, 163-174.
- Kunimoto Kagehisa, Yamamoto Nobuya, translators (2004). From Improving Arithmetic and

- Mathematics Classes to Educational Reform. Tokyokan Publishers.
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology (2008). Outline of the New Course of Study for Lower Secondary Schools, Explanatory Mathematics Edition.
- Sawada Toshio (2007). Junior High School Mathematics 1. Education Publishers.
- National Institute for Education Policy Research (2009). Results of the 2008 Survey of Japanese Learning and the Circumstances of Study. (<http://www.nier.go.jp/08chousakekka/index.htm>.)

第6章 モデルづくり及びスケッチの違いが観察力に与える効果

清 水 誠

I. はじめに

観察力を育成することは、理科学習での重要な活動の一つである。自然を認識する手段として、生物の観察ではスケッチと観察文の併用が多く用いられてきた。古谷(1978)は、観察力を養うためには、ただ観察するだけではなく、必ず観察事項をその場で記録させることであると述べる。また、スケッチという行為を行わなければ高度な観察眼を持たせることは不可能であると述べている。

観察を記録との関わりにおいて調べた先行研究を見ると、観察中にメモすることの観察結果に及ぼす効果を分析した高野(1964)、スケッチの効果と観察事実の認識との間の関係を調べた田村・高野(1984)、児童のイメージ記憶に対するメモ及びスケッチの教育効果について調べた西川・川上(1996)、イメージ記憶及び言語記憶に対するメモ及びスケッチの効果を調べた西川・古市(1997)の研究を見ることができる。

一方、自然の事物・現象を理解したり、説明するためにはモデルが重要であるとされてきた。庭野(1993)は、モデルは自然の事物・現象を単に説明し、理解するために有用であるばかりではなく、新しい問題を発見し、将来の予測をする際に力を発揮すると述べている。しかしながら、これまでの研究にはモデルづくりを通して観察力が育成されるかを調べた研究は少ない。小学校3年生の観察スキルを調べた平野ら(1997)は、児童は直接目に見えない諸現象を観察したとき、経験などをもとに推論やモデル化を行い現象を説明していたとする。しかし、平野らの研究は観察力を持たせるためにモデルが有効であるかを検証したものではない。小学校1年生のアサガオの観察指導場面でモデル導入を行った馬場(1986)は、児童の興味・関心を喚起しイメージ化に役立ったとする。しかし、この指導事例はモデル使用の効果を探っているが観察力の育成に有効であったかどうかを検証していない。

そこで、本研究では観察者が観察の結果を外界に示す資源としてのモデルづくり及びスケッチといった違いが観察力の育成にどのような違いとなって表れるかを検討することにした。

II. 調査の目的

モデルづくりを通しての観察とスケッチによる観察のどちらに児童の気付き(観察事実の指摘)が多いか、小学校6年生を対象にした葉序が互生の植物の葉のつき方の学習の場

合について明らかにする。

なお、本研究で使用するモデルは、庭野（1993）が自然科学で用いられるモデルを単純化モデル、構成モデル、同型モデル、相似モデルの4つに分類した中の単純化モデル（対象を単純化したモデル）に属する。

Ⅲ. 調査の方法

1. 調査対象

調査を目的とした授業は、埼玉県内の公立小学校3校で実施した。A小学校は筆者、B小学校は40歳代前半の教師、C小学校は30歳代後半の教師によって受け持たれた。なお、B・Cの学校の教師は共に埼玉県の長期研修教員等の研修を終了した理科を専門とする教師である。調査対象児童に対し、授業及び質問紙調査を以下の要領で実施した。

(1) 調査対象

小学校6年生、公立小学校3校の各2学級、計6学級で調査を実施した。

(2) 調査人数

① 葉のつき方をモデルづくりをしながら観察する群（以下、モデルづくり群という）を各学校から1学級ずつ選んだ（男48人、女41人の計89人）。なお、2ヶ月後の調査では欠席者が2人いたため調査人数は87人である。

② スケッチをしながら観察する群（以下、スケッチ群という）を各学校から1学級ずつ選んだ（男51人、女43人の計94人）。なお、2ヶ月後の調査では欠席者が1人いたため調査人数は93人である。

(3) 調査時期

授業は、3校共に2002年7月に実施した。また、同一児童に対し、授業を実施してから2ヶ月後の2002年9月に質問紙調査を実施した。

2. 授業の概要

授業は、前時に行った日光を受けた葉はデンプンをつくっていることを確認した後、ア～エの流れに沿って学習を進めた。

ア. 課題の確認をする。

「植物は、日光を受けやすいように、どのように葉をつけているのだろうか。」と教師から課題を提示し、「日光」と「葉の付き方」との関係を学習することを明確にした。

イ. 予想を自分の言葉と図でワークシートに記述する。

ウ. 友達の代表的ないくつかの予想を聞き、自分の考えと比べる。

エ. 観察の方法について確認し、観察をする。

* 共通の説明

・ 互生の草本（ヒメジョオン、セイタカアワダチソウ、ヒメムカシヨモギ、シロザ、オオイヌタデ、クワクサ）の中から2種類選び、観察する。観察時間は20分とする。

<モデルづくり群>

・ 植物を横から見たり、上から見たりしながら茎に見立てたポリエチレンフォームでできた丸棒（直径23mm）に紙で作成した葉（葉の形をした厚紙に、葉柄に見立てた楊枝をつけたもの）をさしていく。

・ できあがったモデルから気付いたことをワークシートにメモをとる。

- ・葉の大きさを変えたい場合は、大きさを変えて良い（ハサミの用意）。

<スケッチ群>

- ・植物を観察し、横から見た図、上から見た図をワークシートにスケッチし、スケッチをしていて気付いたことはメモをとる。

なお、スケッチにメモを併用させた理由は、西川・川上（1996）が高学年ではメモを観察に併用することが有効であるとする報告を踏まえてのものである。

オ. まとめをする。

<モデルづくり群>

- ・葉のつき方にどんなきまりがあるか、つくったモデルとメモをもとに気付いたことをワークシートにまとめ、記述する。

<スケッチ群>

- ・葉のつき方にどんなきまりがあるか、スケッチとメモをもとに気付いたことをワークシートにまとめ、記述する。

その後、両群ともに観察によって得られた児童の代表的な気づきを発表させ、学習のまとめとした。

3. 授業時間と活動場所

調査を目的とした授業は、調査対象校の授業時間（1単位時間）45分で実施した。また、45分間では児童が野外に出て植物を自ら探し、葉のつき方の観察をすることは時間的に難しいと考え、事前に教師が校地内で採集した植物を使って教室の中で実施した。

しかし、野外でないと気づきにくい葉のつき方の規則性もあるため、授業時間と教室内で観察することの是非を探る目的で事前調査を行った。

事前調査を目的とした授業は、2001年7月に埼玉県内の公立小学校6年生2クラス各33人に対し、同一の教師により実施した。授業は、2. 授業の概要で示したと同じ流れで実施した。本調査の授業と異なる点は、授業時間が90分であること、葉のつき方の観察を教室内ではなく野外（校地内）で実施し、植物も野外の植物の中から児童に2種類採集させたことである。なお、児童が植物を採集する際の留意点として、直立型で葉序が互生の草本を2種類選ぶとした。植物を選んだ後の実質の観察時間及びまとめの時間は、本調査の授業と同じ時間とした。

事前調査の結果は、モデルづくり群では葉の重なり方に関する記述が25個、葉面の向きに関する記述が13個、葉の大きさに関する記述が10個、葉の間隔と密度に関する記述が4個、光が当たる方に葉が多いという記述が2個、その他の記述が3個であった。また、スケッチ群では葉の重なり方に関する記述が21個、葉面の向きに関する記述が10個、葉の大きさに関する記述が7個、光が当たる方に葉が多いという記述が1個、その他の記述が3個であった。この結果からは、「光が当たる方に葉が多い」といった野外での観察でないと気付くことが困難な記述は両群ともにごく少数であることが分かった。また、児童が指摘した葉の重なり方、葉の大きさ、葉面の向き、葉の間隔と密度などは室内でも観察可能な内容であることが分かった。教室での観察でも野外での観察と大きく変わらない観察結果を得ることができると判断できる。むしろ、野外での観察では、多くの児童が指示された2種類の植物をなかなか探せず教師からの支援が必要であったこと、日光が降り注ぐ野外では観察を目的として採集した場合植物が観察中に見る間にしおれて観察しにくい等

の問題点が見られた。一方、野外での観察のために要した時間を除くと、2. 授業の概要で示した授業の流れに要した時間は45分間の範囲内であった。

以上の事前調査の結果から、授業時間は45分間で実施し、教師が採集した植物を使って教室内で授業を行うことは、モデルづくり及びスケッチによる観察の効果の調査には大きな問題がないと判断した。

4. 調査方法

(1) 2つのグループの等質性

葉のつき方のきまりについてどれだけ正しい予想を書くことができるか、ワークシートに言葉と図で記述された予想をもとに比較した。

(2) モデルづくりを通しての観察とスケッチによる観察の効果

観察の結果、ワークシートのまとめに記述された児童の記述内容と記述数を比較した。

モデルづくり群のワークシートのまとめの指示は、「葉のつき方にどんなきまりがありましたか？つくったモデルを見ながら、気付いたことをたくさん書いてね。」というものである。また、スケッチ群のワークシートのまとめの指示は、「葉のつき方にどんなきまりがありましたか？スケッチを見ながら、気付いたことをたくさん書いてね。」というものである。

(3) 2ヶ月後の学習の保持

学習2ヶ月後の児童の学習の保持の様子を調査した。調査は、両群ともに質問紙に記述させ、記述内容を比較した。質問紙の内容は、「葉のつき方について勉強しましたが、つき方にきまりはありましたか。きまりがあるとする人もきまりがないとする人も植物の葉のつき方を書いてください。」というものである。

IV. 結果とその分析

1. 予想での記述数

葉のつき方のきまりについてワークシートに書かれた記述数（複数回答）は、表1に示したようにモデルづくり群では合計93個、スケッチ群では合計96個の記述が見られた。

表1 予想時の記述数

	モデルづくり群	スケッチ群
葉の重なり方（位置）	44 (49.4)	45 (46.9)
葉の大きさ	13 (14.6)	16 (17.0)
葉面の向き（角度）	7 (7.9)	9 (9.6)
葉の間隔と密度	0 (0)	1 (1.1)
葉柄の長さ	6 (6.7)	0 (0)
小 計	70, N=66	71, N=69
日に当たりやすく	7 (7.9)	11 (11.7)
規則性はない	8 (8.9)	8 (8.5)
関係のない記述	6 (6.7)	5 (5.3)
記述なし	2 (2.2)	1 (1.1)
小 計	23, N=23	25, N=25
合 計	93, N=89	96, N=94

注. 単位は個数。()内の数字は、各群の調査対象者の総数に対する比率%を示す。

児童の記述内容は、両群とも日光と葉のつき方について具体的に記述された内容と「日に当たりやすく」といった漠然とした記述や「規則性はない」といった日光と葉のつき方について関連が見られない記述の2つに大きく分けることができた。日光と葉のつき方について具体的に記述された内容をカテゴリー分けすると、葉が交互につくといった「葉の重なり方(位置)」について書かれたもの、茎の下の方の葉が大きいといった「葉の大きさ」について書かれたもの、葉の表面が太陽に向いているといった「葉面の向き(角度)」について書かれたもの、下の葉柄ほど長いといった「葉柄の長さ」について書かれたもの、茎の上の方は葉が多く下の方では葉がまばらにつくや葉と葉の間隔が上の方がせまいといった「葉の間隔と密度」について書かれたものの5種類に分けることができた。

児童が予想した各カテゴリーと記述数の割合の関係を示したものが図1である。

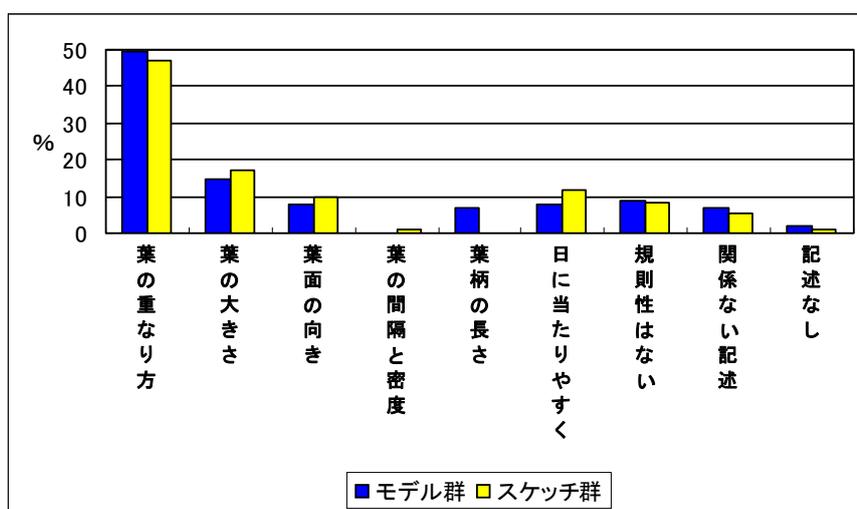


図1 児童の予想

モデルづくり群とスケッチ群を比較すると、書かれた各記述数の間には大きな差はないといえる。

また、日光と関連した葉のつき方を予想できた児童は、モデルづくり群では66人(74.2%)で合計70個の記述、スケッチ群では69人(73.4%)で合計71個の記述が見られた。2群間で葉のつき方を予想できた児童・予想できなかった児童の割合を直接確率計算で比較すると有意な差は見られない(両側検定: $p=0.9999$)。

葉のつき方のきまりを予想した人数の割合及び記述数には、モデルづくり群とスケッチ群との間に大きな差は見ることができず、学習前の両群はほぼ等質の集団と考えることができる。

2. 観察後の記述数

両群のワークシートに書かれた記述数(複数回答)は、表2に示したようにモデルづくり群では合計219個、スケッチ群では合計147個の記述が見られた。

日光と関連した葉のつき方について指摘できた児童は、モデルづくり群では88人(98.9%)で合計218個の記述、スケッチ群では82人(87.2%)で合計135個の記述が見られた。モデルづくり群では、日光と関連した葉のつき方について指摘できた児童の割合が多

い。2群間で指摘できた児童・指摘できなかった児童の割合を直接確率計算で比較すると

表2 観察後の記述数

	モデルづくり群	スケッチ群
葉の重なり方 (位置)	83 (93.2)	66 (70.2)
葉の大きさ	57 (64.0)	44 (46.8)
葉面の向き (角度)	47 (52.8)	16 (17.2)
葉の間隔と密度	28 (31.5)	9 (9.6)
葉柄の長さ	2 (2.2)	0 (0)
光が当たる方に多い	1 (1.1)	0 (0)
小 計	218, N=88	135, N=82
日に当たりやすく	1 (1.1)	0 (0)
規則性はない	0 (0)	8 (8.5)
関係のない記述	0 (0)	2 (2.1)
記述なし	0 (0)	2 (2.1)
小 計	1, N=1	12, N=12
合 計	219, N=89	147, N=94

注. 単位は個数。()内の数字は、各群の調査対象者の総数に対する比率%を示す。

統計的に有意な差が見られた (両側検定: $p=0.0025$)。

観察前後の児童が日光との関連から気付いたさまりの記述数の変化を児童1人当たりの気付いた個数で表したものが図2である。

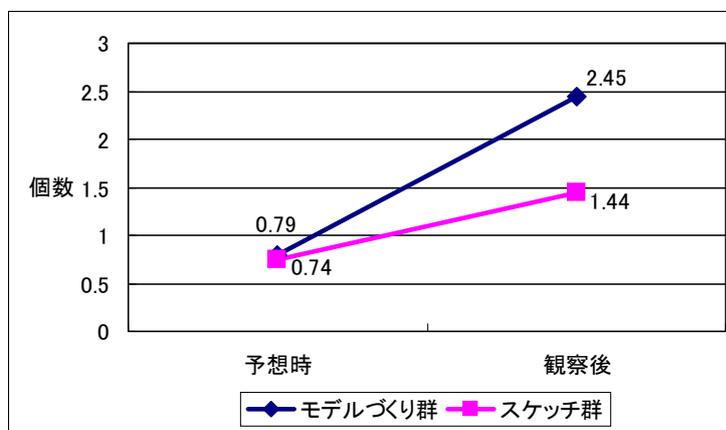


図2 気付いた個数の変化

どちらの群も観察を通して児童に多くの気づきが見られることが分かるが、1人当たりの平均の記述数で見ると、モデルづくりを通して観察させた群の方が2.45個とスケッチ群の1.44個に比べ1個ほど多く、日光と関連した葉のつき方のきまりにより多く気付いていることが分かる。

日に当たりやすくといった漠然とした表記でなく、日光と関連した葉のつき方に注目して書かれた記述をその内容から分けると、モデルづくり群では葉の重なり方 (位置)、葉の大きさ、葉面の向き (角度)、葉の間隔と密度、葉柄の長さ、光が当たる方に葉が多い

の6種類の内容に、スケッチ群では葉の重なり方（位置）、葉の大きさ、葉面の向き（角度）、葉の間隔と密度の4種類の内容に分けることができた。両者に共通した記述内容の4つを比較してみると図3のようになった。

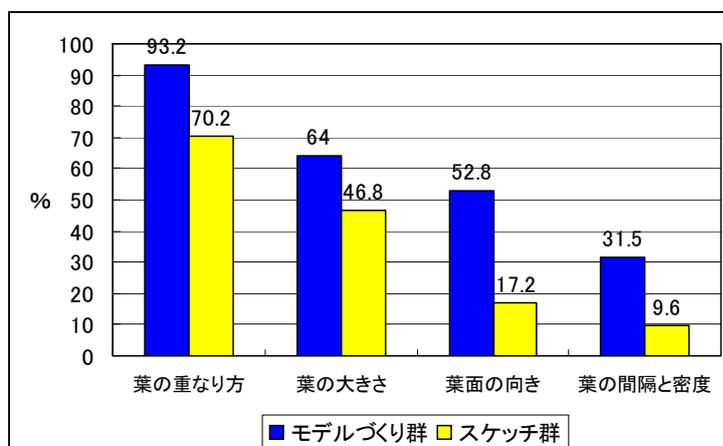


図3 葉のつき方の規則性の気付き

葉の重なり方、葉の大きさ、葉面の向き、葉の間隔と密度のいずれもモデルづくり群の方がスケッチ群に比べ指摘できた割合が多いことが分かる。2群間で各カテゴリーごとに指摘できた児童・指摘できなかった児童の割合を直接確率計算で比較すると、葉の重なり方（両側検定： $p=.0000$ ）、葉の大きさ（両側検定： $p=.0255$ ）、葉面の向き（両側検定： $p=.0000$ ）、葉の間隔と密度（両側検定： $p=.0002$ ）といずれのカテゴリーも統計的に有意な差が見られた。

また、葉の重なり方の記述内容をさらに詳細に見ると、モデルづくり群では、らせん状についているといった記述や一つの葉がついてからしばらく間をあけてからその上に葉がつくといった葉の開度への気付きを思わせる記述が16人（26%）見られ、スケッチ群に見られる同様の記述の4人（6%）に対し質的により深い気付きが見られた人数も多かった。

さらに、葉の付き方について指摘できていない記述をみると、予想時に比べ観察後は日に当たりやすくや葉の付き方に関係のない記述が両群ともに減少しているが、規則性はないとする記述はモデル群では0になっているがスケッチ群では変化が見られなかったことが分かる。

3. 2ヶ月後の学習の保持

学習により気付いたきまりを児童が2ヶ月後にどの程度保持しているかを調べた。両群のワークシートに書かれた記述数（複数回答）は、表3に示したようにモデルづくり群では合計123個、スケッチ群では合計106個の記述が見られた。

日光と関連した葉のつき方について指摘できた児童は、モデルづくり群では71人（81.6%）で合計102個の記述、スケッチ群では55人（59.1%）で合計66個の記述が見られた。観察後と同様に、モデルづくり群が、日光と関連した葉のつき方について指摘できた児童の割合が多い。2群間で指摘できた児童・指摘できなかった児童の割合を直接確率計算で比較すると統計的に有意な差が見られた（両側検定： $p=.0011$ ）。

また、葉の重なり方、葉面の向きでモデルづくり群の方がスケッチ群に比べ指摘できた

割合が多いことが分かる。2群間で各カテゴリーごとに指摘できた児童・指摘できなかった

表3 2ヶ月後の記述数

	モデルづくり群	スケッチ群
葉の重なり方(位置)	63 (72.4)	45 (48.4)
葉の大きさ	16 (18.4)	12 (12.9)
葉面の向き (角度)	17 (19.5)	3 (3.2)
葉の間隔と密度	4 (4.6)	3 (3.2)
葉柄の長さ	2 (2.3)	1 (1.1)
光が当たる方に多い	0 (0)	2 (2.2)
小 計	102, N=71	66, N=55
日に当たりやすく	6 (6.9)	9 (9.7)
規則性はない	6 (6.9)	13 (14.0)
関係のない記述	8 (9.2)	16 (17.2)
記述なし	1 (1.1)	2 (2.2)
小 計	21, N=16	40, N=38
合 計	123, N=87	106, N=93

注. 単位は個数。()内の数字は、各群の調査対象者の総数に対する比率%を示す。

た児童の割合を直接確率計算で比較すると、葉の重なり方（両側検定： $p=0.0013$ ）、葉面の向き（両側検定： $p=0.0005$ ）で統計的に有意な差が見られた。

一方、日光と関連した葉のつき方について記述をした児童数がモデルづくり群、スケッチ群ともに学習後に比べ減少しているだけでなく、スケッチ群では予想時に比べても減少している。モデルづくり群の規則性はないと回答した児童の記述を見ると、「いろいろな植物があるから」、「すべての植物につき方にきまりがあるとは考えられない」、「植物によってタンポポやチューリップのように葉の付き方が違う植物があるから」といった理由も付して書かれた記述が3人見られた。スケッチ群でも同様な記述が4人見られた。今回の質問紙の結果からは、その内実まで詳細に踏み込むことができないが、規則性はないと回答した児童の中には、学習後に多くの植物を観察し、葉の付き方の規則性と多様性に気付く、考えを広く植物一般に置き換えた児童がいたということも考えられる。

V. 結果の考察

本研究では、観察者が観察の結果を外界に示す資源としてのモデルづくり及びスケッチといった違いが観察力の育成にどのような違いとなって表れるか、植物の葉を観察させ、その効果を調べた。

その結果、観察後に日光と関連した葉のつき方を具体的に指摘できた児童数はモデルづくり群がスケッチ群に比べ多く見られた。また、記述数においてもモデルづくり群がスケッチ群に比べ記述数で上回っていることが分かった。さらに、指摘できた記述内容を比較してみると、葉面の向きや葉の間隔と密度でモデルづくり群がスケッチ群に比べて多く見られた。予想時と比較すると観察後では、1人当たりの記述数を見るとモデルづくり群では0.79個から2.45個へと増加しており、スケッチ群の0.74個から1.44個の増加より多い。

また、各カテゴリーごとに観察後と予想時の記述数の割合の差をモデルづくり群とスケッチ群で比較しても、モデルづくり群が葉面の向きで 37.3 %、葉の間隔と密度で 23.0 %、葉の重なり方で 20.5 %、葉の大きさで 19.6 %、葉のつき方について指摘できた児童の割合が多く見られた。2ヶ月後の児童の学習の保持を見ても、日光と関連した葉のつき方について記述をした児童の割合は、モデルづくり群の児童数の方がスケッチ群に比べ多く、葉の重なり方や葉面の向きでもモデルづくり群の記述数の方が多く見られた。モデルづくりを通して観察することは、スケッチを通しての観察に比べ、観察後も学習後時間が経過しても、より多くの児童が葉のつき方のきまりを具体的により多く指摘できるといえる。また、人数は少ないが、規則性はないとする児童が観察後、モデル群では全員が規則性があるとしているのに対し、スケッチ群では変化が見られなかったことから、モデルづくりを通して観察することは規則性の発見にも効果が認められる。

こうした結果からは、観察の結果を外の世界に表した物の違いが、観察からどれだけ多くの事柄を見いだすことができるかの違いとして表れたと考えることができる。

VI. まとめ

本研究からは、葉のつき方のきまりを調べる学習では、児童にモデルづくりを通して観察をさせると、スケッチにより観察させるよりも多くの規則性を発見できることが分かった。モデルづくりを通しての観察は、観察力を高める上で有効な方法の一つであるといえる。

高野（1960）は、観察は現象のありのままの把握、いかえれば記述的観察を基礎としながら、現象の中にひそむ法則的なものの発見に到達してこそ、その機能を十分に果たすことになるとする。本研究で得られた知見の一つは、葉のつき方といった3次元のものをモデルづくりといった作業を通して観察することは、2次元で表すスケッチや言葉で表現しながら観察するといった頭の中で思考の枠組みをつくりながら観察することに比べ認知負荷が低いため、現象の中にひそむ法則的なものに、容易に気付くことができるという点であろう。また、参与観察の結果では、モデルづくり群の児童はスケッチ群の児童に比べ、隣の児童とできあがったモデルを見合い、会話をしている様子を多く認めることができた。今回の調査では、児童のプロトコルをとっていないので明確なことがいえないが、モデルというより具体的に外化した資源があるため児童同士の学び合いが生じ、他者という資源を通してモデルづくり群の児童が葉のつき方のきまりに気付いていった可能性も考えることができる。

一方、葉柄の長さについてはスケッチ群と同様にモデルづくり群でも観察後に指摘できた児童が少ない。理由として、今回使用した葉のモデルが葉柄の長さを自由に変えにくい制約があったことが原因している可能性がある。教師が児童に与えたモデルには、こうした問題も含まれていると考える。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、授業の実施をご快諾いただいた上尾市立上尾小学校の宮崎四郎校長先生、さいたま市立大宮小学校の船越忠男校長先生、高後仁先生、新座市立片山小学校の民辻善國校長先生、塚田昭一先生に多大なるご協力をいただきました。また、事

前調査では熊谷市立三尻小学校の新井民男校長先生，佐國勝先生に多大なるご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

引用文献

馬場恒夫：「小学校1年『あさがお』の指導」，理科の教育，22-25，1986.

古谷庫造：「生物領域における実験観察とその指導」，『日本理科教育学会編；現代理科教育大系6』，24-25，東洋館出版社，1978.

平野一彦・河合希枝子・内木勝巳・石上裕子・菅野忠彦・岩井徳二・八木橋幹夫・木暮周平・塚田庸子・武村正輝・貫井正納「小学校理科授業における観察スキルの変遷（Ⅱ）」，千葉大学教育実践研究4，73-85，1997.

文部省：「小学校指導要領解説理科編」，11-14，東洋館出版社，1999.

西川純・川上洋子：「イメージ記憶に対するメモ及びスケッチの教育効果の比較研究ーアブラナの花の観察を事例にしてー」，日本理科教育学会研究紀要36（3），37-43，1996.

西川純・古市恵：「イメージ記憶及び言語記憶に対するメモ及びスケッチの教育効果の比較研究」，日本理科教育学会研究紀要37(3)，15-23，1997.

庭野義英：「自然認識方法論」，『日本理科教育学会編；理科教育学講座8』，239-241，東洋館出版社，1993.

高野恒夫：「理科教育における観察の機能に関する実験的研究（第12報）」，茨城大学教育学部紀要，10，pp.183-195，1960.

高野恒夫：「理科教育における観察の機能に関する実験的研究（第18報）」，茨城大学教育学部紀要14，79-100，1964.

田村直明・高野恒夫：「理科教育における観察・記録に関する実験的研究Ⅰーアジサイとクリの葉を用いた観察・スケッチについてー」，日本理科教育学会研究紀要25(2)，27-33，1984.

第7章 外的資源としての他者が科学的な概念形成に及ぼす効果

―葉の付き方の学習を事例に―

清水 誠・福田 健

I. 問題と目的

科学的な概念を形成していくには、他者と相互に関わることが重要であることが指摘されるようになった。鈴木（1995）は、他者は認知をサポートする外的資源とみなすことができるとする。三宅（2002）は、こうした協調的な認知作業場面では、それぞれの参加者の考えを表す文章、図、モデル等の外化物¹⁾があると、いろいろな人の視点からの再解釈が導入されやすくなるとする。学校という学習の場は、意図的であれ無意図的であれ協調的な学習環境が生まれやすい環境にあり、人が理解を深めたり概念を獲得していくには協調的な学習の場での外的資源である他者の重要性が予測される。また、内部で生じる認知過程を発話、図、文章化、モデル化等の観察可能な形で外界に表すことを外化（三宅・白水，2002）という。外化することで内省や知識再編成という活動が生まれるため、思考や理解深化が促進される場合が多く、吟味の手続きを共同で行うことも可能になることが知られている（三宅・白水，2003；波多野・大浦・大島，2004）。

理科教育研究においては、これまで観察場面でメモやスケッチといった方法で観察結果を学習者に外化させることの効果を調べた多くの先行研究を見ることができる（例えば、高野，1964；田村・高野，1984；西川・川上，1996；西川・古市，1997）。また、モデルづくりとスケッチによる観察の効果の違いを調べた研究（清水，2003）も見ることができる。こうした研究では、高野（1964）が観察中にメモすることの効果を示し、西川・古市（1997）がスケッチはメモによる言語化を阻害するため小学校の観察ではメモを積極的に併用することが有効であることを示している。また、清水（2003）は、葉の付き方のきまりを調べる学習では、児童にモデルづくりを通して観察させると、スケッチを通して観察させるよりも多くの法則性を発見できることを示している。こうした研究は、観察における外化や外化物の違いによる教育効果について調べたものであることが分かる。しかしながら、これまでの研究では、観察したことを外化物として外化することや外化方法の違いがなぜ教育効果を高めたり制約するのか、その原因については十分な言及がなされていない。そこで、本研究は、参加者の考えを表す異なる外化物を作成することの違いが教育効果に違いを生じさせる原因を外的資源としての他者の効果から探ることを目的とする。具体的には、葉の付き方を調べる学習を事例に、清水（2003）がモデルづくりを通して観察することがスケッチにより観察させるよりも多くの規則性を発見できたとする原因を、児

童相互の話し合いの様子から探る。

II. 調査の方法

1. 調査

調査は、小グループの中で個々にモデルづくりやスケッチをしている児童同士の間で自然に生まれる発話の様子を記録した。

(1) 調査対象

埼玉県内の公立小学校2校の各2学級、計4学級の小学校6年生を対象とした。各学校から1学級（2校で2学級）は、葉の付き方をモデルづくりをしながら観察する学級（以下、モデルづくり群）とし、残りの1学級（2校で2学級）を葉の付き方をスケッチをしながら観察する学級（以下、スケッチ群）とした。

(2) 調査人数

観察時の児童同士の間で自然に生まれる話し合いの様子を探る対象として、2つの小学校のモデルづくり群、スケッチ群の中から、それぞれ5グループをランダムに抽出した。なお、グループを抽出する際には、授業者や参観していた授業学級の担任の教師からのリヴォイス（質問、補足、支援の言葉かけ）が見られたグループは事前に除外した。

調査対象となった両群の人数は、A小学校はモデルづくり群16人、スケッチ群17人、B小学校はモデルづくり群19人、スケッチ群18人である。2校の合計は、各群ともに計10グループ（35人）である。

(3) 調査時期

授業は、2校とも2003年9月に実施した。授業時間は、いずれも45分間で行った。

2. 授業の概要

授業は、A小学校は研究者の清水、B小学校は、40歳前半の教師によって受け持たれた。実施された授業の主な流れは、ア～エのようである。これは、清水（2003）が実施した授業展開と同じである。

ア. 課題の確認をする。「植物は、日光を受けやすいように、どのように葉を付けているのだろうか。」と教師から課題を提示した。

イ. 予想を自分の言葉と図でワークシートに記述する。その後、友達の代表的ないくつかの予想も聞き、自分の考えと比較した。次に、教師が児童の予想をカテゴリー分けして板書し、各児童は自分の予想が該当する板書の記述に自分の名前を書いた付箋紙を貼った。

ウ. 観察の方法について確認し、互生の草本を約20分間観察する。

観察する互生の草本（セイタカアワダチソウ、ヒメムカシヨモギ、オオイヌタデ、ヒメジョオン、シロザ）は、教師が用意した。植物を各個人が選択する場合は、各小グループでできるだけ違う種類の植物を選ぶようにさせた。なお、観察の際には、授業者である教師は児童同士の話し合いに介入しないようにした。また、小グループの編成は、通常の授業で行われている生活グループからなる。

モデルづくり群とスケッチ群の観察は、下記のように行った。

<モデルづくり群>植物を観察しながら、茎に見立てたポリエチレンフォームでできた丸棒に紙で作成した葉をさしていく。できあがったモデルから気付いたことをワークシートにメモをとる。葉の大きさは、変更可とした。

<スケッチ群>植物を観察しながら、ワークシートにスケッチし、気付いたことをメモにとる。

なお、初学者には適切なスケッチをすることがそもそも難しい。そのことが、モデルづくり群を有利にする可能性もある。そこで、スケッチをすることの負荷を軽減するため²⁾、葉を1枚書いた例をワークシートに示した(図1)。

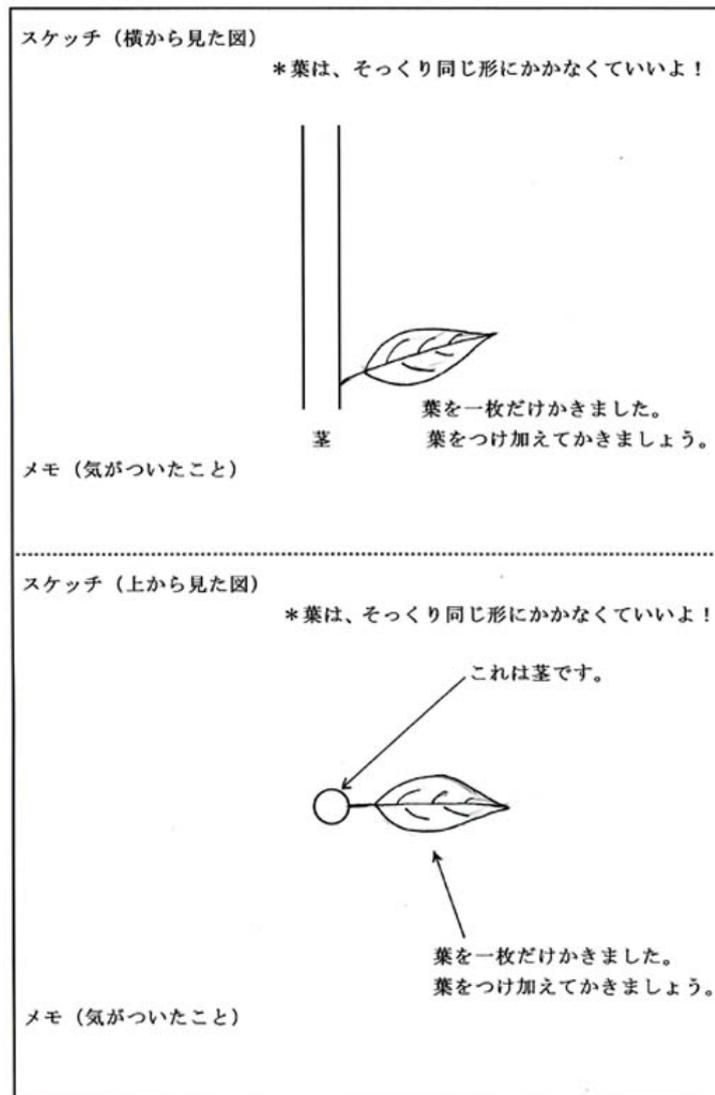


図1 葉の付き方のワークシート (スケッチ) 一部

エ. 葉の付き方にどんなきまりがあるか、気付いたことをワークシートにまとめた。

3. 分析の手続き

(1) 両群の等質性

両群の等質性は、児童がワークシートの予想の欄に記述した葉の付き方についての記述数を比較した。記述は、清水(2003)が分類した葉の付き方のカテゴリーに従い分類した。

(2) 話し合いの分析

話し合いの分析は、研究の目的である外の世界を捉える手だての違い（モデルづくり、スケッチ）が、小グループで学習している仲間との相互作用にどのような影響があるのかを調べるために行われた。

話し合いの分析時間は、モデルづくり群とスケッチ群いずれも、授業概要のウで示した観察時間の中から教師が観察開始と児童に指示した時間から 1000 秒間³⁾とした。話し合いの様子は、各グループにステレオマイクのついたMDレコーダーを設置し、記録した。これをもとに、発話プロトコルを作成した。

書き起こされた発話プロトコルは、佐藤（1996）の作成した 14 個の発話カテゴリー「提案」、「主張」、「反論」、「反対」、「質問」、「支持」、「自説精緻化」、「他説精緻化」、「追加」、「自説繰り返し」、「他説繰り返し」、「否定的評価」、「説明」、「理由」に、「進行」、「内容に関するその他」、「内容に関しないその他」を付け加え 17 個の発話カテゴリーに分類した。

分類は、発話プロトコルが読み上げられ、分析協力者 4 人の合意によって決定された。その後、各カテゴリーごとの発話数、発話時間を求めた。

分類された発話カテゴリーは、さらに「内容に関しないその他」を「内容に関しない発話」、17 個にカテゴリー分けした発話の中から「内容に関しないその他」を除いた発話を「内容に関する発話」として発話数、発話時間を求めた。また、「内容に関する発話」の中から「反論」、「自説精緻化」、「他説精緻化」の 3 つをあわせた発話を特に「社会的相互作用の強い発話」として発話数、発話時間を求めた。

III. 結果とその分析

1. 両群の等質性

葉の付き方のきまりについてワークシートに 1 つでも正しい予想を記述できた児童数と正しい予想を記述できない児童数を表 1 に示す。なお、正しい予想とは清水（2003）が児童の記述をもとに分類した葉の重なり方（位置）、葉の大きさ、葉面の向き（角度）、葉の間隔と密度、葉柄の長さといったことに着目して書かれた記述をいう。また、正しい予想を記述できない児童には、「日にあたりやすく」といった漠然とした記述や日光と葉の付き方について関連が見られない記述をした児童を含む。

予想時のワークシートに 1 つでも正しい予想が記述できた児童と記述できなかった児童について、A 小学校と B 小学校のモデルづくり群同士及び A 小学校と B 小学校のスケッチ群同士の間に有意な有意な差が見られるか直接確率計算 2×2 で調べてみた。結果は、モ

表 1 正しい予想が記述できた児童数

	モデルづくり群		スケッチ群	
	A小	B小	A小	B小
記述できた児童	12	13	15	13
記述できない児童	4	6	2	5

注. 単位は人。

デルづくり群（両側検定： $p=0.72$ ）、スケッチ群（両側検定： $p=0.40$ ）ともに2つの学校の間で有意な差は見られなかった。

次に、2校のモデルづくり群とスケッチ群について正しい予想が記述できた児童と記述できなかった児童をそれぞれ合計し、両群の間に有意な差が見られるか直接確率計算 2×2 で調べてみた。結果は、モデルづくり群とスケッチ群の間に有意な差は見られなかった（両側検定： $p=0.58$ ）。

さらに、清水（2003）が分類した5つの葉の付き方のカテゴリー分けに基づき児童が記述したものを分類し、両校のモデルづくり群とスケッチ群の記述を集計した人数を示したものが表2である。なお、予想を複数記述している児童がいるため、各カテゴリーの計は表1の記述できた児童数とは一致していない。

表 2 予想時の葉の付き方についての記述

	モデルづくり群	スケッチ群
葉の重なり方（位置）	11	15
葉の大きさ	7	5
葉面の向き（角度）	3	6
葉の間隔と密度	4	3
葉柄の長さ	2	1

注. 単位は人。両群ともに $N = 35$ 。

各カテゴリーごとに記述できた人数について直接確率計算 2×2 で調べてみた。両側検定した結果は、葉の重なり： $p=0.46$ 、葉の大きさ： $p=0.75$ 、葉面の向き： $p=0.48$ 、葉の間隔と密度： $p=0.99$ 、葉柄の長さ： $p=0.99$ であり、いずれも有意な差は見られなかった。記述内容についても両群に差は見られない。

2. 観察中に見られた発話数と発話時間

予想時の記述からは学習前の葉の付き方についての知識は、A小学校とB小学校のモデルづくり群同士及びスケッチ群同士等質であると考えられる。そこで、2校のモデルづくり群、スケッチ群それぞれのグループの1000秒間の観察中に見られた発話プロトコルを「内容に関する発話」「内容に関しない発話」の2つに分け、発話数と発話時間を求め、両群それぞれ10グループについて合計したものが表3である。

表 3 観察中に見られた発話数と発話時間

	モデルづくり群	スケッチ群
内容に関する発話数	657 個	343 個
及び発話時間	1898 秒	807 秒
内容に関しない発話数	1251 個	1172 個
及び発話時間	2862 秒	2597 秒
発話数の合計	1908 個	1515 個
及び発話時間の合計	4760 秒	3404 秒

注. 10グループの観察時間の合計は、両群ともに10000秒間。

A小学校とB小学校の各群 10 グループの児童は、内容に関する発話をモデルづくり群では発話数で合計 657 個、発話時間で合計 1898 秒（観察時間全体の約 19 %）、スケッチ群では発話数で合計 343 個、発話時間で合計 807 秒（観察時間全体の約 8 %）行っていることが分かる。モデルづくり群とスケッチ群を比べると、発話数ではモデルづくり群が 1.9 倍多く、発話時間ではモデルづくり群が 2.4 倍長い。また、内容に関する発話と内容に関しない発話を合計すると、モデルづくり群では発話数で 1908 個、発話時間で 4760 秒（観察時間の約 48 %）、スケッチ群では発話数で 1515 個、発話時間で 3404 秒（観察時間の約 34 %）行っていることが分かる。観察中に発話をしていない鼻歌等も含めた沈黙の時間を見ると、スケッチ群が 6596 秒、モデルづくり群が 5240 秒となり、スケッチ群が長いことが分かる。

モデルづくり群とスケッチ群の 10 グループの観察中（各グループ：1000 秒間）に見られた内容に関する発話数の平均（ \bar{X} ）と標準偏差（SD）を示したものが表 4 である。

表 4 モデルづくり群・スケッチ群の発話数

	モデルづくり群	スケッチ群
N	10	10
\bar{X}	65.7	34.3
SD	35.8	17.7

注. 表中の数字は、個数。

分散の大きさが等質とみなせないため、ウェルチの法による t 検定を行なってみた。結果は、両条件の平均の差には有意な差が見られた（両側検定：t (13) = 2.36, .05 < p < .01）。モデルづくり群では、スケッチ群に比べ内容に関する話し合いを多く行っていることが分かる。

次に、モデルづくり群とスケッチ群の 10 グループの観察中（各グループ：1000 秒間）に見られた内容に関する発話時間の平均（ \bar{X} ）と標準偏差（SD）を示したものが表 5 である。

表 5 モデルづくり群・スケッチ群の発話時間

	モデルづくり群	スケッチ群
N	10	10
\bar{X}	189.8	80.7
SD	101.9	37.8

注. 表中の数字は、秒。

発話数と同様に分散の大きさが等質とみなせないため、ウェルチの法による t 検定を行なってみた。結果は、両条件の平均の差には有意な差が見られた（両側検定：t (11) = 3.01, .05 < p < .01）。モデルづくり群では、スケッチ群に比べ内容に関する話し合いを長時間行っていることが分かる。

次に、A小学校とB小学校の各群 10 グループの観察中に見られた特に社会的相互作用

の強い発話数及び発話時間をモデルづくり群，スケッチ群ごとに合計したものが表6である。

児童同士の相互作用という視点から特に社会的相互作用の強い発話が生まれているグループを探ると，モデルづくり群が6グループに生まれているのに比べ，スケッチ群は3グループと少ないことが分かる。また，発話数，発話時間もモデルづくり群が多い。しかし，モデルづくり群においても発話時間は1グループあたりにすると，1000秒間の中の8.0秒（0.8%）とごくわずかである。観察時にモデルづくりやスケッチをしている中から自然に発生する話し合いには，社会的相互作用の強い発話はあまり生まれていないことが分かる。

表6 社会的相互作用の強い発話数と発話時間

モデルづくり群			スケッチ群		
班	発話数	発話時間	班	発話数	発話時間
A 2	7	25	A 1	0	0
A 3	0	0	A 2	2	8
A 4	0	0	A 3	0	0
A 5	4	14	A 5	0	0
A 6	1	1	A 6	1	3
B 1	0	0	B 1	2	6
B 2	6	16	B 2	0	0
B 3	0	0	B 3	0	0
B 4	1	2	B 4	0	0
B 6	5	22	B 6	0	0
計	24	80	計	5	17

注. 各グループの観察時間は，1000秒間。A2とは，A小学校2班を指す。

3. 観察中の話題

観察時に見られた話し合いの中で，葉の付き方のどのような内容が話題となっていたかを，葉の重なり方（位置），葉の大きさ，葉面の向き（角度），葉の間隔と密度，葉柄の長さの5つのカテゴリーに分け，発話プロトコルを分析したものが表7である。なお，表

表7 各10グループの中で話題となった内容

	モデルづくり群	スケッチ群
葉の重なり方(位置)	8	8
葉の大きさ	6	2
葉面の向き（角度）	6	2
葉の間隔と密度	5	1
葉柄の長さ	0	1

注. 表中の数字は，例えば葉の重なりについて10グループの中の8グループが観察中に話題にしていたことを示す。

中の数字は観察中に一度でも小グループ内で話題になった場合は1回とし、同じ内容について再度話題になった場合でも複数のカウントはしていない。

表7からは、モデルづくり群がスケッチ群に比べ、葉の大きさ、葉面の向き、葉の間隔と密度といったことについて、より多くのグループが話題にしていることが分かる。モデルづくり群で、話題となった発話プロトコルの一部を記述すると次のようである。

<事例1 葉の重なり方についてのプロトコル>

- 183A よし、できたぞ。
184D あー、少しかぶさっちゃった。
185D 上行けばここにもう1本だ。
187C あー。
188D なんかこれ階段みたいじゃない？
189B そお？
190C あー…。

事例1に見られた話し合いは、B小学校2班に見られた発話プロトコルである。児童Aは、葉が茎についている様子をモデルをつくる作業の中で188D:「なんかこれ階段みたいじゃない」と気付いたことが分かる。児童Cは、児童Dの気付きを受け190C:「あー…」と声をあげている。重なり方の違いに気付いたことは、この少しあとに「ホントに、見事に重なっていないよね」という発話が現れることから分かる。

<事例2 葉の向きや間隔についてのプロトコル>

- 12A こんな感じでいいの？ ねえ、これ、さげていいの？…ね、ね、これ、たれさげていいんでしょ？こうやって…。
13B …犬のしっぽよりも少し上向いている。こんな感じで。
14A すげえな。
(中略)
122A 比べましょう。
(A, B, お互いのモデルを見比べる。)
123B 違うね。
124A 上の方が、もっと、ぱーってついている。
125B えー。

事例2に見られた話し合いは、A小学校5班に見られた発話プロトコルである。児童Aが植物を観察しながら、その付き方を児童Bに問いかけている。児童Bが自分のモデルを見せながら葉が斜め上に向かって付いていると述べると、児童Aは14A:「すげえな」と葉の付き方に感動している様子を見ることが出来る。また122Aでは、児童AとBがお互いのモデルを見比べている。児童Aが、茎の上の方に葉がたくさん付いていることを指摘すると児童Bは125B:「えー」と驚いた様子を見て取ることが出来る。

<事例3 葉の大きさについてのプロトコル>

- 32B あの一、ここってこんな感じでいいのかな。
33A みて、これって細くない。
34B 切るの？
35A 切るんでしょ。

事例3に見られた話し合いは、A小学校の6班に見られた発話プロトコルである。児童Bは、32B:「ここって、こんな感じでいいのかな」と作成したモデルを児童Aに見せた。すると、児童Aは児童Bが作成したモデルの葉について「これって細くない」と大きさを指摘している。指摘を受けて児童Bはモデルの葉を小さく切る必要があることを確認している。モデルを見合いながらの話し合いを通して、児童Bが葉の大きさに気付いていく様子を見ることができる。

事例1～3からは、児童同士が作成しているモデルを見合う中から葉の付き方に気付いていく様子を見ることができる。こうしたことは、モデルづくり群すべての発話プロトコルの中に見ることができる。一方で、スケッチ群の発話プロトコルは次のようであった。

<事例4 スケッチ群A小1班のプロトコル>

34B うーん。長さ違うねえ。

35A しかも、太さが違う。

36A こういう、虫喰いの痕も書いた方がいいのかねえ？自然的でいいよね、それ。

37B いや、いらんんじゃない？

38A いや、でも、うちの書きたい気分なん。

39B じゃ、どうぞ…

事例4からは、実際に見ている植物から葉の規則性に気付いていく様子を見ることができるが、作成しているスケッチを見合いながら葉の付き方を話題にしてはいない。スケッチをお互いに見合いながら規則性を発見しているプロトコルは、スケッチ群の1つの班を除くと他には見ることができなかった。スケッチを見合っただけの話し合いは、ほとんど生まれていない。

IV. 考察

モデル、スケッチという異なる外化方法を採用して植物の葉の付き方を観察させた違いが、学習にどのような違いを及ぼすかを分析した結果からは、観察中の内容に関する発話時間や発話数はモデルづくり群がスケッチ群に比べ多いことが分かった。また、モデルづくり群のほうがスケッチ群に比べ、葉の付き方の規則性について作成しているモデルを見合いながらより多くのカテゴリー（内容）について話題としていることも分かった。こうした結果からは、他者にもやっていることがよく見える外的資源としての外化物が学習環境にあったことが相互作用を促進し、仲間からの認知をサポートし、結果として科学的な解釈を生むことができたのではないかと考えることができる。発話プロトコルの分析結果が示唆することは、考えていることや表現していることを他者によりよく見え、操作できる外化物を用意したこと（本研究では、モデルを用意したこと）が、他者との話し合いを促し、規則性の発見につながっていったのではないかとということである。三宅（2002）は、解への一次案や特に解決プロセスそのものが外化、公開されて、相互吟味の対象となっていることが他者との共有のために望ましいとするが、葉の付き方のモデルはスケッチに比べ他者がやっていることや考えていることがよく見え、共有できたことで他者との関わりを活性化させ、規則性の発見に有効に働いているのではないかと考える。葉の付き方をモデル化する外化方法は、スケッチに比べ他者にもやっていることがよりよく見える外

化物をつくり、そのことが小グループの話し合いを促し、認知をサポートする外的資源として有効に機能すると解釈することができよう。西川・古市（1997）は、メモとスケッチを併用した場合、スケッチがメモによる言語化を阻害することを明らかにしているが、本研究の結果からはスケッチという外化方法を学習に取り入れることは、モデルをつくるという外化方法に比べ他者との関わりが生まれにくいという問題点があることが分かる。

V. 研究のまとめ

本研究では、学習者が認知活動を外化物を使って外の世界に表象することが学習にどのような効果を及ぼすかを調べた。その結果、考えていることや表現していることが他者によりよく見え、操作できる外化物（ここでは、モデル）があると、観察対象に対する話し合いが生まれやすいことが明らかになった。このことが、清水（2003）がすでに明らかにしているスケッチによる観察よりもモデルづくりを通しての観察のほうが、葉の付き方の法則性の発見に有効であった理由の1つとなることを示すことができた。実験授業の範囲内という制約付きではあるが、他者に認知過程がよく見え、操作できる外化物を用意することで、他者との間に学習している内容についての話し合いが生まれやすくなり、結果として概念の獲得に有効に働くと考える。観察時に認知負荷を軽減する外化方法を用意することは、葉のつくりの規則性の発見を促し、他者という外的資源との関わりを促進し、そのことが概念の形成に有効に働いたと考えることができる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、2006年1月にご逝去された波多野誼余夫先生には貴重なご示唆をいただきました。謹んで哀悼の意を表します。また、授業の実施をご快諾いただいた上尾市立上尾小学校の宮崎四郎校長先生、さいたま市立大宮小学校の船越忠男校長先生、同校の高後仁先生に多大なるご協力をいただきました。資料の整理、発話プロトコル分析の際の妥当性の検討等では、さいたま市立大成小学校の豊田由香先生、熊谷市立荒川中学校の吉田順一先生、吉川市立関小学校の矢野聖也先生、埼玉大学大学院生の吉田恭子さん、渡邊文代さん、4年生の今田剛君、上吉原悠貴君、佐久間千絵さん、藤井宏君、島寄亜津子さん、島田直也君、中村友之君には多大な協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

註

- 1) 本研究では、外化物とは三宅（2002）を踏まえ、内部で生じる認知過程が「見える」形で外の世界に表されたものとする。文章、記号、図、モデル等が考えられ、学習者が認知課題を実行する際に利用可能な資源となる。本研究での葉の付き方のスケッチや作成したモデルは、いずれも外化物である。
- 2) 村山（1995）は、初学者はそもそも適切な図を書くこと、それらを理解すること自体に困難があるとする。また、村山は、外的資源を利用することが認知主体の認知的負荷を軽減するのに有効だとする Larkin & Simon（1987）に対し、力学の図を例に外的資源の効果はそれを利用するスキルと表裏一体であり、図を描くこと自体が困難な課題の場

合は、それによって得られる外的資源が全体の課題の解決を容易にしないとする。そこで本研究では、児童の負荷を軽減するためにスケッチの仕方をワークシートに示し、モデルづくりの負荷と変わらないような手続きをとった。

- 3) 授業計画では、観察時間を 20 分としたが、児童から観察をもう少ししたい等の要望により、すべての学級を 20 分間にそろえることができなかった。しかし、本研究の目的（モデル、スケッチという異なる外化物を採用して観察させた違いが、2つの群の間で法則性を発見する違いを生んだ原因を探る）からすると 20 分間の発話プロトコルを必ずしも分析する必要はない。そこで、本研究では 1000 秒間の発話数と発話時間を比較することにした。

引用文献

- 波多野誼余夫・大浦容子・大島純：学習科学，放送大学教育振興会，107-108，2004.
- 三宅なほみ：学習における協調「波多野誼余夫・永野重史・大浦容子：教授学習過程論－学習の総合科学をめざして－」，放送大学教育振興会，2002.
- 三宅なほみ・白水始：認知科学辞典，共立出版，2002.
- 三宅なほみ・白水始：学習科学とテクノロジー，放送大学教育振興会，2003.
- 村山功：外的資源による課題と認知主体の変化，認知科学 2(4)，共立出版，28-38，1995.
- 西川純・川上洋子：イメージ記憶に対するメモ及びスケッチの教育効果の比較研究－アブラナの花の観察を事例にして－，日本理科教育学会研究紀要 36(3)，37-43，1996.
- 西川純・古市恵：イメージ記憶及び言語記憶に対するメモ及びスケッチの教育効果の比較研究，日本理科教育学会研究紀要 37(3)，15-23，1997.
- 佐藤公治：認知心理学からみた読みの世界－対話と協同的学習をめざして－，北大路書房，165，1996.
- 清水誠：モデルづくり及びスケッチによる観察の効果についての比較研究，科学教育研究 27(3)，179-185，2003.
- 鈴木宏昭：特集－認知における内的，外的資源編集にあたって，認知科学 2(4)，共立出版，3-6，1995.
- 高野恒夫：理科教育における観察の機能に関する実験的研究（第 18 報），茨城大学教育学部紀要 14，79-100，1964.
- 田村直明・高野恒夫：理科教育における観察・記録に関する実験的研究 I－アジサイとクリの葉を用いた観察・スケッチについて－，日本理科教育学会研究紀要 25(2)，27-33，1984.
- Wertsch, J.V. & Toma, C. : Discourse and learning in the classroom ; A sociocultural approach, In L.P. Steffe & J.Gale (Eds.) Constructivism in education, Hillsdale, NJ : LEA, 1995.

第8章 実験時に他者と関わることで理科学習に与える効果

清水 誠・大山 亨・中村友之

I. 問題の所在

理科授業における実験の効果を取り上げたこれまでの研究を見ると、児童・生徒が実験をすることの成果を調べた研究と実験時のグループ内の児童・生徒の役割や取り組みについて調べた研究に大きく分けることができる。前者の研究には、戸北・鈴木¹⁾が実験を取り入れたクラスと実験を取り入れないクラスを比較した結果、実験を取り入れたクラスは多様な気づきが見られるとする研究がある。また、木下・松浦・角屋²⁾が観察・実験とメタ認知の関係を調査し、観察・実験の前では他者との関わりによるメタ認知の働きが高く、観察・実験中は自分自身によるメタ認知の働きが高いが、実験後はどちらも十分ではないとする研究を見ることができる。後者の研究には、相原・西川³⁾が理科の実験時のグループ内で自発的に発生した役割を分析し、通常の授業に全員参加の話し合い活動を取り入れることが協同的学習を活発化することを明らかにした研究がある。また、西川⁴⁾により、実験内容に関らずグループ内の実験役、モニター役、傍観者役が固定しており、実験役の子どもを集めてグループを編成しても3ヶ月後には実験役、モニター役、傍観者役が発生すること、グループ編成の仕方を変えても役割の比率はほぼ一致していること、傍観者は実験に関わろうとしているにも関わらず無視されることによって発生すること等を報告した研究を見ることができる。さらには、湯本・西川⁵⁾による女子児童が実験に積極的に参加しにくい実態と男子児童が女子児童の行動を阻害しているのみならず、女子児童自身が実験を放棄している実態を明らかにした研究などを見ることができる。しかし、個別に実験することとグループで実験することの効果と比較し、実験方法の定着や概念の獲得に与える影響、他者との相互作用に与える影響等について調べた研究は、清水ら⁶⁾が小学校5年生を対象に調査を行った小グループで実験を行う方が児童相互の関わりを活性化するという報告を除くと、日本理科教育学会の研究紀要「理科教育学研究」や科学教育学会の研究紀要「科学教育研究」には見られない。

グループで実験することの効果について調べたものではないが、仲間と学習することの効果調べた研究を見ると、Crook⁷⁾は仲間と協同することはアイデアの明確化、葛藤、協同による説明構築といった過程であるため、認知的な効果をもたらすとしている。また、鈴木⁸⁾は、他者は認知をサポートする外的資源とみなすことができるとしている。理科教育の研究においても、外的資源の効果として研究を進めているものではないが、他者と協

調して関わることで学習の効果を上げることが多くの先行研究⁹⁾で明らかにされてきた。

そこで、本研究では、生徒が理科実験を行う際に、グループで行う実験方法と個別で行う実験方法といった実験時の他者との関わりの違いが、理科学習における科学的な概念の獲得や生徒同士の相互作用に与える効果を調べていくことから認知をサポートする外的資源としての他者の働きを明らかにすることを目的とした。

II. 研究の方法

1. 調査対象及び時期

埼玉県内の公立K中学校の2年生125人を対象とした。対象の被験者を、実験を行う際に2人組で実験を行う群（以下、2人組実験群と呼ぶ）と1人で実験を行う群（以下、個別実験群と呼ぶ）に分けた。2人組実験群の被験者は、2学級の合計62人（31グループ）である。また、個別実験群の被験者は、2学級の合計63人である。

2人組で実験グループをつくった理由は、Johnsonら¹⁰⁾が「たとえ小さなグループであっても、それを効果的に機能させるのに必要な社会的技能をもつ生徒はそれほどたくさんいるわけではなく、大きいグループほど難しくなるためまずペアではじめることである」に従ったものである。なお、両実験群ともに、実験は4人がけの実験機で行った。

調査は、2006年9月に実施した。

2. 授業の概要

調査の対象となる授業は、2人組実験群、個別実験群ともに「消化と吸収」についての学習を共同研究者の大山が50分で行った。2人組実験群の授業の概要をまとめると次のア～オのようである。

ア. 前時の学習内容「だ液がデンプンを糖に変えること」を確認した。

イ. 学習課題「なぜ、だ液はデンプンを糖に変えるのか」を提示し、課題に対する個人の予想をワークシートに記述させ、各自の予想についてグループで話し合いをさせた。その後、学級全体に学習課題に対する予想を発表させ、多くの生徒の予想である「腸で吸収しやすくするため」といった考えに注目させた。

ウ. 予想を検証するための実験方法を教師が提示し、2人で1つの実験道具と材料を使って実験を行った。実験内容は、袋状にした豚の腸にデンプンと糖の入った混合液を入れ、腸の膜を通過する物質を調べるものである。グループは、ホームルームの生活グループを理科室の実験機に機械的に着席させた男女別の2人で編成した。実験時のグループ内の役割は、特に設けずに「協力して進めるように」とだけ指示をした。

エ. 実験結果をもとに、個人で考察をさせ、考察したことをワークシートに記述させた。

オ. 各自の考察を発表させ、学級全体での話し合いを通して教師が授業のまとめを行った。

なお、2人組実験群、個別実験群の授業の違いは、個別実験群が、予想を検証するための実験を1人に1つの実験道具と材料で行ったことである。それ以外の条件は、両群ともに同じである。なお、個別実験群も3～4人の生徒が同じ実験機で実験を行った。

3. 研究の方法

(1) 実験群・統制群の等質性

両群の等質性を調べるため、実験授業を行う前に小学校での既習内容である消化の働きについての知識及び実験技能について質問紙調査を実施した。質問紙の内容は、図1のとおりである。

- ① 消化とはどのようなことですか。説明してください。
- ② 小学校で「だ液の働き」を調べる実験をしました。実験方法を書いてください。
- ③ 消化された食べ物は、どこから吸収されますか。次のア～エから選んでください。
ア. 胃 イ. 腸 ウ. 心臓 エ. その他 ()

図1 既習内容について調べた質問紙の内容

(2) 実験にかかる時間

2人組実験群、個別実験群の実験効率を調べるため、実験にかかる時間を調べた。実験にかかる時間の記録は、5人の授業参観者により行った。記録の正確さを図るため、生徒には実験が終わったら挙手をするよう授業者が促した。

(3) 実験結果の解釈と他者との相互作用

ア. ワークシートの記述による調査

実験を行った生徒が、結果をもとに正しい解釈ができるかを調べるため、考察時の考えをワークシートに記述させた。

イ. 質問紙による調査

実験方法が定着しているかを調べるため、実験授業が終わった2ヶ月後に質問紙を使って調査した。質問の内容は、「デンプンと糖では、どちらが小腸で吸収しやすいかを調べる実験方法を記述しなさい。図を使って、記述してもかまいません。」というものである。

ウ. 他者との相互作用

実験中にグループ内に自然発生的に生じる発話をステレオマイクのついたMDレコーダーで記録した。なお、他者と会話をするを両群ともに制限をしていない。MDレコーダーは、2人組実験群、個別実験群ともに各実験机に1台設置した。なお、各実験机にいる生徒を便宜的に通常の理科授業と同じように1班から9班と呼称し、2人組実験群の生徒は2グループずつ1～8班と名前をふった各実験机に、個別実験群の生徒は3～4人ごとに1～9班と名前をふった各実験机に着席している。

記録された発話は、学習内容に関する発話と相互作用に関する発話の2つの観点から分析を行った。

学習内容に関する発話は、「次はデンプンを入れるんだよね」といった実験方法に関する発話、「緑って言うか、深緑って感じだね」といったヨウ素液や糖試験紙の色の变化など実験結果に関する発話、「変化がないってことはデンプンが通過していない」といった実験結果を考察する発話、「気持ち悪い」などといったその他の発話の4つに分類した。

相互作用についての分析は、発話を末吉(1983)の6つのコミュニケーション分析カテゴリーの一部を改変した図2に示す分析カテゴリーにより行った。なお、発話プロトコルの分析は、授業の際にグループに参与者が立ち会えた2人組実験群、個別実験群の各1ク

ラス（2人組実験群 28人，個別実験群 29人）について行った。

1. 独り言，つぶやき等，受け手のない単なる発話
2. 相手の発話を受け止めた積極的な発話
3. 相手の発話に対する簡単な応答
4. 自分の発話に何らかの関係はあるが，それをはっきりと受け止めていない発話
5. 実験の進行等を含む，話し合いの進行を調節する発話
6. 意見を否定したり阻害する発話

図2 コミュニケーション分析カテゴリー

Ⅲ. 結果とその分析

1. 両群の等質性

質問紙の質問①の回答内容は，次の5つに分類できた。

分類1. 小腸で物質を吸収しやすいようにすること。

食べた物質を小さな粒に分解していくこと。

分類2. だろだろにとかすこと。（曖昧な表現）

分類3. 体に必要なものと不要なものに分けること。

分類4. 消化とは小腸で吸収すること。（消化と吸収を混同した表現）

分類5. その他

分類1にあたる記述内容を正答とし，正答と誤答（正答以外を誤答と呼ぶ）の割合を，研究者3人の合意の上分類した結果が表1である。

表1 消化についての知識

	正答	誤答
2人組実験群 (N=62)	11	51
個別実験群 (N=63)	12	51

注. 単位は，人数。

質問②の回答内容は，次の4つに分類できた。

分類1. 「デンプン」「だ液」「ヨウ素液」の3つの用語を使い，実験方法を説明している。

分類2. 「デンプン」「だ液」「ヨウ素液」の3つの用語のうちいずれかが不足し，実験方法を説明している。

分類3. だ液の採取についてのみ記述しているもの。

分類4. その他

分類1にあたる記述内容を正答とし，正答と誤答（正答以外を誤答と呼ぶ）の割合を，研究者3人の合意の上分類した結果が表2である。

表 2 実験方法に関する知識

	正答	誤答
2人組実験群 (N=62)	8	54
個別実験群 (N=63)	8	55

注. 単位は, 人数。

質問③の正答は, これまでの学習からは選択肢イ. 腸である。正答と誤答の割合は, 表3のようであった。

表 3 栄養を吸収する器官

	正答	誤答
2人組実験群 (N=62)	40	22
個別実験群 (N=63)	39	24

注. 単位は, 人数。

質問①～③について, 正答である生徒と誤答である生徒数について, 直接確率計算 2×2 で比べてみると, いずれも両側検定の結果は $p=0.999$ となり, 両群の間に有意な差はない。

2. 実験にかかる時間

2人組実験群及び個別実験群の生徒が実験にかかった時間を示したものが表4である。

実験にかかった時間の平均は, 2人組実験群が478秒 (SD=96), 個別実験群が597秒 (SD=136) であった。2人組実験群では, 最も早く実験を終えたグループが339秒, 最も遅く実験を終えたグループは720秒であった。個別実験群では, 最も早く実験を終えた生徒が300秒, 最も遅く実験を終えた生徒は839秒であった。最も遅く終わった生徒は, 個別実験群が2人組実験群に比べ2分ほど多くかかっていることが分かる。2人組実験群は, 実験開始後9分には約8割の生徒が実験が終了していることが分かる。それに対し, 個別実験群では2人組実験群より3分ほどたってから約8割の生徒が実験を終了していることが分かる。2人組実験群の方が, 個別実験群より実験を早く終了する生徒が多いと言える。

表 4 実験にかかった時間

実験時間	2人組実験群 (N=31グループ)	個別実験群 (N=63人)
5分～	1	4
6分～	11	6
7分～	4	3
8分～	8	5
9分～	3	10
10分～	2	10
11分～	1	15
12分～	1	7
13分～	0	3

注. 単位は, 2人組実験群がグループ数。個別実験群は人。

3. ワークシートの記述

学習課題「なぜ, だ液はデンプンを糖に変えるのか」を解決するために行った実験結果が

正しく考察できているかを調べたワークシートの記述は、次のように分類することができた。なお、実験は豚の腸の膜の中にデンプンと糖の混合液を入れ、腸の膜を通過する物質は、「デンプン」「糖」どちらなのかを調べるものである。生徒は、糖試験紙とヨウ素液を用いて色の変化を確認している。

- 分類 1. 豚の腸の膜を通過した物質と腸での吸収の関係を、「デンプン」「糖」の物質の性質を推論した記述。
- 分類 2. 豚の腸を通過した物質と腸での吸収の関係を説明した記述。
- 分類 3. 糖試験紙とヨウ素液の色の変化といった、実験結果のみしか書かれていない記述。
- 分類 4. 「糖は腸で吸収されやすい」など具体的な理由付けがない記述。
- 分類 5. その他

この分類に基づき、生徒の記述を研究者 3 人の合意の上分類した結果が表 5 である。

表 5 ワークシートに見られた考察時の記述

	2人組実験群 (N=62)	個別実験群 (N=63)
分類 1 を記述	15 (24.2)	1 (1.6)
分類 2 を記述	11 (17.7)	13 (20.6)
分類 3 を記述	20 (32.3)	20 (31.7)
分類 4 を記述	8 (12.9)	25 (39.7)
分類 5 を記述	8 (12.9)	4 (6.3)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

分類 1 と分類 2 を記述した生徒が、実験結果をもとに正しい解釈ができた生徒とし、これ以外の記述をした生徒数とについて直接確率計算 2×2 で比べてみた。両側検定の結果は、 $p=0.022$ ($p<.05$) となった。2人組実験群が個別実験群に比べ、実験の結果をもとに科学的な解釈ができた生徒が有意に多いと言える。

4. 2ヶ月後の質問紙調査の結果

実験方法の定着の様子を調べるため、実験授業が終わった2ヶ月後に実施した質問紙調査の記述は、次のように3つに分類することができた。

- 分類 1. 「腸」「デンプン・糖」「ヨウ素液」「糖試験紙」などの用語を用い、適切に実験方法が書かれているもの。
- 分類 2. 「腸」「デンプン・糖」「ヨウ素液」「糖試験紙」などの用語の一部が書かれているが、曖昧な記述。
- 分類 3. その他意味が不明な記述（未記入を含む）。

この分類に基づき、生徒の記述を研究者 3 人の合意の上分類した結果が表 6 である。

分類 1 を記述した生徒が実験方法を正しく記述できたとし、これ以外の記述をした生徒数とについて直接確率計算 2×2 で比べてみた。両側検定の結果は、 $p=0.074$ ($.05<p<1.0$)、片側検定で $p=0.044$ ($p<.05$) となった。2人組実験群が個別実験群に比べ、より多くの生徒が実験方法を記憶していることが分かる。

表6 2ヶ月後の実験方法の記述

	2人組実験群 (N=62)	個別実験群 (N=63)
分類1を記述	38(61.3)	28(44.4)
分類2を記述	6(9.7)	9(14.3)
分類3を記述	18(29.0)	26(41.3)

注. 単位は, 人数。()内の数字は%。

5. 他者との相互作用

(1) 発話時間

分析の対象としたクラスの実験時間(ここでは,最後に実験を終えた生徒を教師が確認し,実験の終了を学級の生徒全員に指示するまでの時間)は,2人組実験群が767秒,個別実験群が853秒であった。実験時間の違いは,生徒全員が実験を終了したことを教師が確認した上で実験を終了したためである。なお,MDレコーダーに不具合があり,実験機8班の記録がとれなかった。2人組実験群と個別実験群の各実験時間中の生徒の発話時間は表7,表8のようであった。

2人組実験群では,生徒1人あたりの発話時間の平均は88.1秒。個別実験群では,生

表7 2人組実験群(N=28)の生徒の発話時間

	生徒A	生徒B	生徒C	生徒D	平均
1班	76	84	78	190	107.0
2班	88	115	73	26	76.5
3班	78	105	90	76	87.3
4班	131	93	20	6	62.5
5班	88	171	83	102	111.0
6班	110	83	105	85	95.8
7班	65	65	82	98	77.5

注. 単位は, 秒。生徒Aと生徒B, 生徒Cと生徒Dが実験グループをつくっている。

表8 個別実験群(N=29)の生徒の発話時間

	生徒A	生徒B	生徒C	生徒D	平均
1班	67	47	26		46.7
2班	30	74	140	46	72.5
3班	122	62	101	153	109.5
4班	83	18	129	63	73.3
5班	40	35	85		53.3
6班	91	0	14	41	36.5
7班	74	68	85	173	100.0
9班	29	3	21		17.7

注. 単位は, 秒。

徒 1 人あたりの発話時間の平均は 66.2 秒である。実験時間では個別実験群の方が 2 人組実験群に比べ 86 秒も長いにもかかわらず、発話時間では、3 班や 7 班の実験機のように多くの発話が見られる班もあるが、全体的には 2 人組実験群に比べ発話時間が短く、話し合いがなされていないことが分かる。個々人の発話時間を分析すると、2 人組実験群では、4 班の実験機の生徒 C と生徒 D の実験グループ以外は多くの発話をしていることが分かる。個別実験群では、全く発話をしない生徒が存在しているが、2 人組実験群では、存在しない。また、個別実験群の方が発話をしている生徒としていない生徒のばらつきが大きい。

(2) 発話内容

実験中の発話を、実験方法に関する発話、実験結果に関する発話、結果を考察する発話、その他の発話の 4 つの分類に基づき発話時間と発話数を分析した結果が表 9 である。なお、発話内容を分析した時間は 2 人組実験群が 767 秒、個別実験群が 853 秒である。

表 9 発話内容と発話時間・発話数

	2 人組実験群 (N=28)	個別実験群 (N=29)
実験方法	1152 (586)	962 (470)
実験結果	474 (246)	251 (133)
結果を考察	159 (68)	74 (33)
その他	681 (423)	634 (374)
合 計	2466 (1323)	1921 (1010)

注. 単位は、秒。() 内の数字は発話数。

2 人組実験群が個別実験群に比べ実験時間が短いにもかかわらず、実験に関する発話は 2 人組実験群が発話時間 1785 秒、発話数 900 個と個別実験群の発話時間 1287 秒、発話数 636 個に比べ多いことが分かる。なかでも、実験結果や結果を考察する発話に大きな差が見られることが分かる。なお、個別実験群に比べグループ実験群に実験方法や実験結果の解釈に関する発話が多く見ることができることは、清水ら¹¹⁾の調査結果と同じであった。

(3) 相互作用

6 つのコミュニケーション分析カテゴリーに基づき発話時間と発話数を分析した結果が表 10 である。なお、発話内容を分析した時間は 2 人組実験群が 767 秒、個別実験群が 853 秒である。

相手の発話を受け止め積極的に他者に応答するカテゴリー 2 及び話し合いの進行を調節するカテゴリー 5 を相互作用の強い発話として合計した。結果は、2 人組実験群では発話時間 1913 秒、

表 10 各カテゴリーごとの発話時間・発話数

	2 人組実験群 (N=28)	個別実験群 (N=29)
カテゴリー 1	395 (226)	494 (246)
カテゴリー 2	1806 (957)	1233 (640)
カテゴリー 3	47 (45)	11 (11)
カテゴリー 4	89 (67)	96 (69)
カテゴリー 5	107 (42)	77 (35)
カテゴリー 6	26 (16)	15 (9)

注. 単位は、秒。() 内の数字は発話数。

発話数 999 個，個別実験群では発話時間 1310 秒，発話数 675 個である。2 人組実験群が個別実験群に比べ，実験時間が短いにもかかわらず発話時間，発話数ともに多いことが分かる。

IV. 考察

本研究からは，2 人組実験群の方が個別実験群に比べ，実験を早く終了することができる。結果を考察する際に科学的な解釈ができる生徒が多い。2 ヶ月後においても実験方法を記憶している生徒が多い。2 人組実験群には個別実験群に比べ，実験に関する話し合いが多く生まれていることが分かった。

実験が早く終了できたり，実験方法を記憶している生徒が多い理由は，2 人組実験群に実験方法に関する発話や相互作用の強いとした発話が発話時間，発話数ともに多く見ることができたことから説明できよう。その発話例として，2 人組実験群 2 班の生徒 A と B の話し合いの一部を取り上げると次のようであった。

-
- 50A 結構，いいんじゃない？
51B これぐらいでいいのかなあ。
52A もうちょっと。あ，それぐらい，それぐらい。
53B ふふ。
54A それで。
-

2 人組実験群には，2 班の発話例に見るような 51B「これぐらいでいいのかなあ。」，52A「もうちょっと。あ，それぐらい，それぐらい。」といったカテゴリー 2 の相手の発話を受け止め積極的に他者に応答したり，カテゴリー 5 の実験の進行を調節する発話が数多く見られたと言うことである。2 人で道具を共有して行うことで，生徒達は，互いに話し合いながら協同して実験方法を確認したり，実験方法についての知識や技能の不十分な部分を補うことができたと言える。その結果，実験時間の短縮や実験方法の記憶の差が生まれたものと考えられる。

また，考察時のワークシートの記述において，2 人組実験群が個別実験群に比べ科学的な解釈ができた生徒が多く見られた理由は，実験中の発話に実験結果や結果を考察する発話が多いということから考えることができよう。その発話例として，2 人組実験群 4 班の生徒 A と B の話し合いの一部を取り上げると次のようであった。

-
- 87B 豚の中，豚の中に全部あるってことは通過していないんじゃない。
88A いや，通過すんだよ。そそ，この実験は，するもんじゃないの？
89B そうか。
90A じゃ，ちょっと考えてその・・・
91B んじゃ通過するでいいんじゃないね。
92A ほら，こっちがわに・・・でてんじゃない。
-

Bは 87B で豚の腸膜の中にあるブドウ糖の存在のみを見て、糖が腸膜から外に出ていないのではないかと考えたが、Aは 88A で実験の予想から「通過すんだよ・・・この実験は」と述べている。Bは 91B で「んじゃ通過するでいいんじゃないね。」と受けている。このことを確認するため、Aは 92A で腸の膜の外側の液が糖試験紙に反応した結果をもとに「ほら、こっちがわに・・・でてんじゃん。」と補足していることが分かる。2人組実験群が、相互に関わりながらカテゴリー2にあたる相手の発言を受け止めた積極的な話し合いを個別実験群に比べ数多くしていることが実験結果を科学的に解釈できる生徒が多いという結果になったものと考えられる。さらに、2人組実験群の方が個別実験群に比べ実験を早く終了することができたグループが多いことも影響していると考えられる。2人組実験群では実験開始後9分に約8割の生徒が実験を終了しているが、個別実験群では約8割の生徒が実験を終了した時間は実験開始後12分であった。一方、教師が実験に確保した時間は、2人組実験群が767秒(12.8分)、個別実験群が853秒(14.2分)であった。2人組実験群の生徒の方が実験を早く終えることで、実験結果をふり返り解釈する時間が実質的に多くとれたことも原因の1つと考えることができる。

V. まとめ

本研究では、グループ実験と個別実験という実験時の人数の違いが、科学的な概念の獲得や生徒同士の相互作用に与える影響を明らかにすることを目的とした。消化と吸収の学習の結果から、本実験授業の範囲内という限定つきではあるが、生徒がグループで行う実験方法は、実験を早く終了することができる、実験結果を科学的に解釈できる生徒が多い、実験方法を長期に記憶しているという点で効果があると言える。こうした効果を生む原因の一つとして、生徒同士の話し合いがグループには多く生まれていることにあると考える。本研究からは、認知をサポートする外的資源としての他者がいる授業づくりを導入することが概念の獲得に重要であることが示唆された。

付記

本研究を進めるにあたり、授業の実施にご快諾をいただいた栗橋町立栗橋西中学校の鈴木佐一校長先生、データの収集に協力していただいた蓮田南中学校の安田修一先生、与野本町小学校の紺野雅弘先生、さいたま市立大成小学校の豊田由香先生、上尾市立上尾小学校の石井都先生、清水研究室の学生達に心から感謝申し上げます。

註及び引用文献

- 1) 戸北凱惟・鈴木久米男：「子どもの学びの検証としての観察、実験の位置づけ」、日本理科教育学会編、『これからの理科授業実践への提案』, 128-131, 東洋館出版社, 2002.
- 2) 木下博義・松浦拓也・角屋重樹：「観察・実験活動における生徒のメタ認知の実態に関する研究－質問紙による調査を通して－」, 理科教育学研究, 46(1), 25-34, 2005.
- 3) 相原豊・西川純：「理科におけるグループ構成と協同的学習の研究－生徒の傍観者傾向に対する効果的方策－」, 日本教科教育学会誌, 23(1), 57-65, 2000.
- 4) 西川純：「協同場面における学びの人間関係－不真面目になりたい生徒はいない－」,

- 『これからの理科授業実践への提案』, 日本理科教育学会編, 78-81, 東洋館出版社, 2002.
- 5) 湯本文洋・西川純:「理科実験における学習者の相互行為の実態と変容に関する研究」, 理科教育学研究, 44(2), 83-93, 2004.
- 6) 清水誠・中村友之・大山亨:「道具の数の違いが概念獲得に与える影響」, 日本理科教育学会第56回全国大会発表論文集, 94, 2006.
- 7) Crook, C.: On resourcing a concern for collaboration within peer interaction., *Cognition and Instruction*, 13(4), 541-548, 1995.
- 8) 鈴木宏昭:「特集－認知における内的, 外的資源編集にあたって」, *認知科学* 2(4), 共立出版, 3-6, 1995.
- 9) 仲間との協同が学習の効果を挙げることについて調べた研究には, 次に示す研究等多くの研究がある。
- Blumenfeld, P.C., Marx, R.W., Soloway, E. and Krajcik, J., *Learning with peers : From small group cooperation to collaborative communities*, *Educational Researcher*, 25(8), 37-40, 1996.
- Carol K.K. Chan : *Problem-centred inquiry in collaborative science learning*, *認知科学*, 3(4), 44-62, 1996.
- 山口悦司・稲垣成哲・野上智行:「理科授業におけるインタラクションに関する研究; コンセプトマップを表現のリソースとして使用した協同的な学習を事例にして」, 日本理科教育学会研究紀要, 37(3), 1-14, 1997.
- 清水誠・佐國勝:「理科授業におけるスモールグループでの話し合いの効果」, 埼玉大学紀要教育学部(教育科学), 52(2), 17-25, 2003.
- 高垣マユミ:「協同的な理科学習を通じた電気回路における衝突モデル克服のプロセスの事例」, *科学教育研究*, 28(3), 197-205, 2004.
- 清水誠・石井都・海津恵子・島田直也:「小グループで話し合い, 考えを外化することが概念変化に及ぼす効果－お湯の中から出る泡の正体の学習を事例に－」, *理科教育学研究*, 46(1), 53-60, 2005.
- 10) Johoson D.W., Johoson R.T., Holubec E.J. : *Circles of Learning, Cooperation in Classroom, Interaction Book Co.*, 1984 (杉江修治・石田裕久・伊藤康児・伊藤篤訳: *学習の輪－アメリカの協同学習入門－*, 60-62, 二瓶社, 1998)
- 11) 前掲書 6)

第9章 相互教授を導入した授業における相互作用の効果

－「消化と吸収」の学習を事例に－

清水 誠・安田 修一・高 垣 マユミ

I. 問題の所在

近年、学習者同士の相互作用による学習効果を期待した協同的な学習が注目され、学習者が教師を含めた構成メンバーとの相互作用を通して知識を協同的に構成していくことが明らかにされてきた（例えば、稲垣・山口・上辻：1998，高垣：2004，久保田・西川：2004^a，久保田・西川：2004^b，森本・小野瀬：2004，清水・山浦：2006，清水・福田：2006）¹⁾。波多野・稲垣²⁾は、学級集団においては子ども同士の相互交渉によって理解が一層深まるとする。しかしながら、協同による学びが知識構成や問題解決に有効に作用することは明らかにされてきたが、外的資源である他者との相互作用を促す教授方法が十分に確立されてきたとはいえない。

Brown ら³⁾は、相互教授（Reciprocal Teaching）と呼ぶ教授方法を提案している。相互教授とは、議論の過程を学習に位置づけ、小グループの中で生徒同士が役割分担をしながら交代で教師の役になって討論を進めていく教授方法である。Palincsar・Brown⁴⁾は、説明文の読解果が得られることを示している。また、Herrenkohl ら⁵⁾において、「分からない語の明確化」、「文章に基づく質問」、「後続の文の予測」、「文章の要約」といった個人の内的な読解処理の過程をグループの成員同士の議論の過程として取り入れた相互教授を行っている。その結果、教師による直接的な教授による場合に比べて高い学習効は、相互教授と呼ぶ教授方法を科学領域でも適用可能とするため、議論の過程として科学者が探究的に研究を進めていく過程で取るような「予想と理論化」、「発見の要約」、「証拠と予想・理論の調整」を設定し、小学校4年生の「ものつり合い」の理科授業に導入している。その結果、科学的な概念の獲得に効果が見られたとする。

相互教授に見られる生徒同士が教師の役になって授業を進めていく効果を調べた研究には、理科教育学研究では小林・西川⁶⁾や三崎・綿谷⁷⁾を見ることができる。議論の過程や役割分担を取り入れた研究ではないが、グループの中で教え手と学び手の学習者が交互に相互作用しながら学び合いが成立することが報告されている。また、協同学習の中でのグループ員の役割の分担を取り上げた研究には、議論の過程を取り入れてはいないが、清水・吉澤⁸⁾や大黒・稲垣⁹⁾の研究がある。清水・吉澤は、Johnson ら¹⁰⁾が開発した Learning Together と呼ぶ、与えられた課題をグループの仲間全員が理解し、役割分担をしながら取り組む教授方法を理科学習に導入することで、生徒間に認知的な葛藤が生じたり、自分の

考えを整理することができたとする。大黒・稲垣は、Johnson ら¹¹⁾が提唱する協同学習の基本的構成要素（相互協力関係、対面的・積極的相互作用、個人の責任、小集団での対人技能、グループの改善手続き）を取り入れることは、実験技能の習熟や理解を高めることに有効であったとする。高垣・田原¹²⁾は、Herrenkohl らの研究は概念獲得についての検討であることから、Herrenkohl らの相互教授に概念変容の教授方略を開発し、その教授効果を検討している。その際、個人の内的処理をする役割設定に改善の余地があるとして、課題に直接働きかける「リーダー役」、「レポーター役」、「記録役」と活動をモニター及びコントロールする処理を行う「聞き役」、「評価役」といった役割設定の見直しを行っている。小学校4年生に実施した結果、開発した教授方法が電流概念の変容を促進させたとする。しかし、1学級のみを対象とした研究であり比較研究法をとっていないため、その知見を一般化できるかは明らかでない。また、Herrenkohl らが開発した相互教授の方法を中学校の理科授業に導入し、議論の過程と役割分担を取り入れることが科学的な概念形成に与える効果を調べた研究は、日本理科教育学会や日本科学教育学会の研究紀要にはない。

一方、Barron¹³⁾は、相互作用の質が学びに影響を与え、問題解決のパフォーマンスの違いが問題を解くことに影響するとしている。相互作用の活動が効果を持つためには、情報の提示、質問と説明、相互の批判、精緻化といったクリティカルな話し合いが生まれてくることが重要であるとする佐藤¹⁴⁾は、相互作用の分析に発話を提案、主張、反論、反対、質問、支持、自説精緻化、他説精緻化、追加、自説繰り返し、他説繰り返し、否定的評価、説明、理由の14の発話カテゴリーに分け、発話カテゴリーから見られる児童の文学教材の読解の変化を探っている。佐藤は、子ども同士の相互作用が活発に展開される場面では、反論、反対、支持、あるいは否定的評価といった応答的な発言が多いとする。しかし、これまでの相互教授の研究は、こうした相互作用がどのように生まれているかを発話の特徴から探っていない。

本研究は、Herrenkohl らが開発した科学的に探究を進めていく学習過程に、高垣・田原が改善した役割設定を取り入れた相互教授の方法を中学校の理科学習に導入し、相互教授の教授方法のみを操作した群と通常の授業を実施した群と比較することで科学的な概念の形成に効果があるかを検討する。加えて、相互教授という教授方法を検討する中で、外的資源としての他者との相互作用が知識構成や問題解決に及ぼす効果を分析することを目的とする。

II. 研究の方法

1. 調査対象及び時期

授業は、埼玉県内の公立M中学校の2年生、116名を対象とした。対象の被験者は、相互教授の方法を導入する群（以下、相互教授あり群と呼ぶ）と相互教授を導入しない従来の授業を行う群（以下、相互教授なし群と呼ぶ）に分けた。相互教授あり群の被験者は、2つの学級の61名である。また、相互教授なし群の被験者は、2つの学級の55名である。

調査は、2006年の10月～11月に実施した。

2. 授業の概要

授業には、相互教授の方法である予想と理論化、発見の要約、証拠と予想・理論の調整という議論の場を導入した。また、参加者の構造として、小グループでの議論の際にリーダー役（教師役を任せられ、質問を生成したり、対話をリードする）、レポーター役（グループの活動を要約し、クラス全体に報告する）、記録役（レポーター役が報告する情報を適切にまとめる）、聞き役（リーダー役の貢献をチェックする）、評価役（グループ員相互のやりとりの良い点や改善すべき点に即時にフィードバックを与える）という参加者の役割設定を導入した。授業は、「消化と吸収」の学習を4時間計画で実施した。第1時と第2時で課題1「だ液にはどのような働きがあるのだろうか」の学習、第3時と第4時で課題2「なぜ、だ液でデンプンを糖にしなければならないのか」の学習を行った。相互教授あり群で実施した授業の主な流れは、ア～チのようである。

<第1時>

ア. ご飯を噛むと甘みを感じるという体験を行った。次に、学習課題1「だ液にはどのような働きがあるのだろうか。」を提示し、個人で予想を立てた。

イ. 小グループで「予想と理論化」の議論を行った。

ウ. 予想した結果について、クラス全体に発表した。

<第2時>

エ. だ液の働きを確認する実験を行った。

オ. 実験結果について小グループで「発見の要約」の議論を行った。

カ. 個人で考察を行った。

キ. 小グループで「証拠と予想・理論の調整」の議論を行い、議論後に自分の考察をまとめた。

ク. 教師が生徒の発表をもとに、学習のまとめを行った。

<第3時>

ケ. 学習課題2「なぜ、だ液でデンプンを糖にしなければならないのか」を提示し、個人で予想を立てた。

コ. 小グループで「予想と理論化」の議論を行い、議論後に自分の予想の修正を行った。

サ. 予想について発表した。

シ. デンプンと糖のどちらが小腸の壁を通過するか調べる実験を行った。

ス. 実験結果について小グループで「発見の要約」の議論を行った。

<第4時>

セ. 予想と実験結果をもとに、個人で考察を行った。

ソ. 小グループで「証拠と予想・理論の調整」の議論を行い、自分の考察をまとめた。

タ. 考察した内容をクラス全体に発表した。

チ. 教師が生徒の発表をもとに学習のまとめ「消化と吸収は、食物を分解してからだの内側にとりこむはたらきです」を行った。

なお、相互教授なし群ではイ、オ、キ、コ、ス、ソを行わなかった。また、ウ、ク、サ、タで相互教授あり群がグループ内で行われた議論の内容を発表したのに対し、相互教授なし群では個人の考えを発表させた。また、相互教授あり群が行う議論にかかる時間の調整は、相互教授なし群で個人の考えをまとめる時間と個人の考えを発表する時間を長く取ることで、両群の授業が同一時間となるようにした。また、相互教授なし群では、予想や考

察は個人で行わせたが、その際、実験グループ内の他の生徒との間で自然発生的に生じる会話は制限しなかった。それ以外の条件は、両群共に同じである。

3. 研究の方法

(1) 両群の等質性

両群の等質性は、授業実施の1ヶ月前に質問紙により調査した。質問は、2つからなる。質問1は、小学校で学習した「だ液の働きによって、デンプンはどうなるか」というものである。解答は、「デンプンは変化しない」、「デンプンはなくなり、他のものに変化する」、「デンプンはなくなり、消えてしまう」「その他」の4つの選択肢から1つを選択させた。質問2は、「消化とはどのようなことか」というものである。記述と図示により解答させた。

(2) 生徒の考えの変容

相互教授による科学的な概念形成の効果を調べるため、第4時の学習直後に質問紙による調査を行った。質問内容は「消化とはどのようなことか。」というものである。これに対して記述と図示により解答をさせた。

(3) 相互作用

グループ成員間の相互作用の効果を調べるため、本研究では科学的な概念の形成に重要と考えられる「証拠と予想・理論の調整」の場面の発話を収集し、その発話プロトコルの分析を行った。分析を行ったのは、相互教授あり群では、授業の概要のソの時間である。相互教授なし群ではそのクラス全体に発表するまでの時間にグループごとに座っている各実験机の中で自然発生的に生まれた発話である。時間は、いずれの群も10分間である。発話の収集は、各グループにステレオマイクの付いたMDレコーダーを設置し、記録した。書き起こされた発話プロトコルは、佐藤が読解変化を探った14の発話カテゴリー¹⁵⁾をもとに清水・福田¹⁶⁾が改良した17個の発話カテゴリー「提案」、「主張」、「反論」、「反対」、「質問」、「支持」、「自説精緻化」、「他説精緻化」、「追加」、「自説繰り返し」、「他説繰り返し」、「否定的評価」、「説明」、「理由」、「進行」、「内容に関するその他」、「内容に関しないその他」に分類した。その後、各カテゴリーごとの発話数、発話時間を求めた。

III. 結果とその分析

1. 両群の等質性

(1) だ液の働きについての知識

質問紙の中の「デンプンはなくなり、他のものに変化する。」という選択肢を正答としそれ以外の解答を誤答とした。両群の正答誤答の解答に分類した結果が、表1である。

表1 小学校で学習した知識

	正答	誤答
相互教授あり群 (N=61)	37 (60.7)	24 (39.3)
相互教授なし群 (N=55)	28 (50.9)	27 (49.1)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接率計算 2×2 で検定を行ったところ、有意差は見られなかった（両側検定： $p=0.3501$ ）。

(2) 消化に対する考えの記述と図示

「消化とはどのようなことか。」という質問に対する記述内容をカテゴリー分けした結果が表2である。

表2 学習前の消化に関する記述

	相互教授あり群 (N=61)	相互教授なし群 (N=55)
小さくする 変化する	13 (21.3)	9 (16.4)
とける 液状になる	19 (31.1)	12 (21.8)
消える なくなる	14 (23.0)	14 (25.5)
吸収する	10 (16.4)	14 (25.5)
その他 未記入	5 (8.2)	6 (10.9)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

分析に使用したカテゴリー内で特に際だって多いカテゴリーもないことから、生徒が学習前に持っている消化に対する考え方は、多様であることが分かる。2つの群の解答について検定を行ったところ、有意な差は見られなかった ($\chi^2(4)=2.763$, $\Phi=0.154$)。

次に、生徒が消化に対するイメージを図示したものをカテゴリー分けした結果が表3である。なお、「吸収を中心に描いた図」とは、図1のように吸収の様子を図示しているが物質の変化の様子には触れていない図である。「食物の変化を中心に描いた図」とは、図2のように物質が消化液により分解された様子や物質の変化を描き、分解されたものが小腸の壁を通過していることを描いた図である。

表3 学習前の消化に関する図示

	相互教授あり群 (N=61)	相互教授なし群 (N=55)
吸収を中心に描いた図	46 (75.4)	39 (70.9)
食物の変化を描いた図	8 (13.1)	5 (9.1)
意味不明な図及び未記入	7 (11.5)	11 (20.0)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。



図1 吸収を中心に描いた図

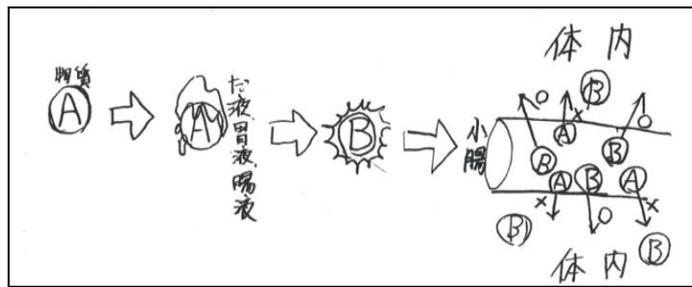


図2 物質の変化を中心に描いた図

「吸収を中心に描いた図」が相互教授あり群で 46 人 (75.4 %), 相互教授なし群で 39 人 (70.9 %) と非常に多いことが分かる。2つの群の解答を χ^2 検定で検定を行ったところ, 有意な差は見られなかった ($\chi^2(2)=1.852$, $\text{Phi}=0.126$)。

2. 生徒の考えの変容

(1) 消化についての言葉による記述

質問紙に対し, 「消化は消化液によって物質が変化すること」, 及び「消化によってできた物質は小腸で吸収されやすくなること」の両方を指摘できた記述を正答とし, それ以外の記述及び未記入を誤答とした。結果は, 表4のようである。

表4 記述の分析結果

	正答	誤答
相互教授あり群 (N=61)	33 (54.1)	28 (45.9)
相互教授なし群 (N=55)	19 (34.5)	36 (65.5)

注. 単位は, 人数。() 内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ, 有意な差 (両側検定: $p=0.0409$) を見ることができた。相互教授あり群に正答者が多いといえる。

(2) 消化についての図示

描かれた図は, 事前調査の図1にも見られた人体の消化管を描き, 吸収の様子を図示しているが物質の変化の様子には触れていない図と事前調査の図2のように物質が消化液により分解された様子や物質の変化を中心に描き, 分解されたものが小腸の壁を通過していることを描いた図に分けることができた。図2のような物質の変化を中心に描いた図は, 授業で学習した課題1と課題2の学習内容を結びつけ, 消化の働きをより深く捉えることができていると考えることができる。そこで, 図2のように物質の変化の様子が描かれた図をA基準, 図1のように物質の変化の様子が描かれていない図をB基準, 意味不明な図と未

記入をC基準とした。生徒の図示の割合を表したのが表5である。

表5 図示の分析結果

	A基準	B基準	C基準
相互教授あり群 (N=61)	18 (29.5)	36 (59.0)	7 (11.5)
相互教授なし群 (N=55)	8 (14.5)	31 (56.4)	16 (29.1)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

A基準とB基準を合わせた人数と、C基準の人数について直接確率計算2×2を行った結果、有意な差(両側検定： $p=0.0207$)を見ることができた。相互教授あり群が相互教授なし群に比べ、実験結果をもとに消化と吸収ということについて図に描くことができた生徒が図を描くことができない生徒より多いことが分かる。また、A基準の人数と、B基準とC基準を合わせた人数について直接確率計算2×2で検定を行った結果、有意傾向(両側検定： $p=0.0740$)が見られた。相互教授あり群は、相互教授なし群に比べ、物質が変化して体内に取り込まれていく様子までも描くことができた生徒が多い傾向にあることが分かる。

3. 相互作用

発話プロトコル分析の結果、両群における17個の発話カテゴリーの発話数と発話時間は表6のようになった。

表6 発話時間と発話数

	相互教授あり群 (N=61)	相互教授なし群 (N=55)
提案	5 (24)	1 (1)
主張	166 (736)	41 (121)
反論	16 (40)	0 (0)
反対	9 (21)	4 (8)
質問	64 (136)	33 (73)
支持	50 (61)	16 (21)
自説精緻化	6 (42)	1 (10)
他説精緻化	12 (48)	0 (0)
追加	3 (6)	0 (0)
自説繰り返し	20 (68)	0 (0)
他説繰り返し	23 (58)	3 (7)
否定的評価	39 (68)	7 (6)
説明	39 (81)	14 (22)
理由	8 (50)	0 (0)

進行	88 (138)	0 (0)
内容に関するその他	199 (306)	52 (78)
内容に関しないその他	832(1399)	649(1116)

注．単位は，個。（ ）内の数字は秒。

表6から，17個全てのカテゴリーにおいて議論をさせた相互教授あり群の方が発話数，発話時間ともに多いことが分かる。発話の特徴としては，「主張」が相互教授あり群が相互教授なし群に比べ，発話数で4倍，発話時間で6倍になるなど，自分の考えをグループ内の成員に伝えていることが伺える。続いて，「質問」，「支持」，「否定的評価」，「説明」などが発話数，発話時間ともに多い。それに対し，自然発生的に会話をしていた相互教授なし群では，「反論」，「他説精緻化」，「追加」，「自説繰り返し」，「理由」，「進行」の6つのカテゴリーで発話が確認されなかった。このことは，相互教授なし群ではグループの成員に質問を投げかけ，その説明が返ってくるという単調な会話のやりとりが多いのに対し，相互教授あり群では多様な形で相互作用が行われていることが伺えた。

IV. 考察

授業後の質問紙調査の結果からは，消化と吸収の意味を正しく記述できた生徒は，相互教授あり群が相互教授なし群に比べ多いことが分かった。また，消化と吸収に関する図示でも，図に描くことができた生徒が相互教授あり群に多いことが分かった。さらに，消化と吸収についてより深い理解がなされていると考えられる物質の変化の様子までも描けた生徒が相互教授あり群に多い傾向にあることが分かった。このことから，相互教授あり群が行った予想と理論化，発見の要約，証拠と予想・理論の調整という議論の場を授業の中に導入することは，中学生においても科学的な概念の形成に有効に働くということができる。比較研究法を採用した今回の調査結果からは，本研究で取り上げた相互教授の方法は科学的な概念の形成を促す教授方法として一般化できる可能性が高いと考える。

また，外的資源である他者との相互作用の効果を調べた発話プロトコルの分析結果からは，相互教授あり群は相互教授なし群に比べ，佐藤¹⁷⁾が相互作用分析に用いた発話カテゴリーにおいて相互作用が活発に展開される部分で多いとする反論，反対，支持，否定的評価といった応答的な発話が発話時間，発話数ともに多いことが分かる。また，相手の意見と絡めながら自分の考えを述べる主張，質問，自説繰り返しといった発話も発話時間，発話数ともに多いことが分かる。相互教授の教授方法を取り入れたことがこうした発話を促したと考える。相互教授あり群の生徒が科学的な概念の形成を促した理由の一つとして，グループ員に応答したり，相手の意見と絡めながら自分の意見を述べる議論が活発に生まれていることを挙げることができよう。

V. 研究のまとめ

本研究では，理科学習に相互教授の教授方法を導入し，他者との相互作用が知識構成や問題解決に及ぼす効果を分析するとともに，科学的な概念の形成と小グループの成員内で生じる相

相互作用の効果を検証した。相互教授を導入した議論の場では、考えを主張したり、支持したり、他者へ質問したり、評価するといった発話が多く見られるなど外的資源である他者との相互作用が活発に行われていることが示された。実験授業の範囲内という条件付きではあるが、相互教授を取り入れた教授方法は、他者という外的資源を利用して科学的な概念の形成に有効に働くといえる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、授業の実施にご快諾をいただき協力いただいた蓮田市立蓮田南中学校の斉藤充正校長先生、理科担当の先生方、生徒の諸君に心から感謝申し上げます。

註・引用文献

- 1) 稲垣成哲・山口悦司・上辻由貴子：「教室における言語コミュニケーションと理科学習－社会文化的アプローチ」, 理科教育学研究, 39(2), 61-79, 1998
高垣マユミ：「協同的な理科学習を通じた電気回路における衝突モデル克服のプロセスの事例」, 科学教育研究, 28(3), 197-205, 2004
森本信也・小野瀬倫也：「こどもの論理構築を志向した理科の教授スキームの分析とその検証」, 理科教育学研究, 44(2), 59-70, 2004
久保田善彦・西川純：「小集団学習における科学的意味の構築－小集団に見られるオーバーラップ発話から－」, 理科教育学研究, 44(3), 1-12, 2004^a
久保田善彦・西川純：「教室全体の発話の成立に関わる子どもの相互作用－ローカル発話との関連から－」, 理科教育学研究, 45(2), 9-18, 2004^b
清水誠・山浦麻紀：「考えを外化し、話し合いすることが概念的知識の一般化に及ぼす効果－花の働きの学習を事例に－」, 理科教育学研究, 47(1), 35-43, 2006
清水誠・福田健：「外化物の違いが学習者同士の相互作用に与える影響－葉の付き方の学習を事例に－」, 科学教育研究, 日本科学教育学会, 30(2), 70-77, 2006
- 2) 波多野誼余夫・稲垣佳世子：「知力と学力－学校で何を学ぶか－」, 岩波書店, 1984
- 3) Brown, A.L. et al. : Interactive learning and individual understanding ; The case of reading and mathematics. In L.T. Landsmann (Ed.) Culture, schooling, and psychological development. Ablex, 1991
- 4) Palincsar, A.S., & Brown, A.L., Reciprocal Teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. Cognition and Instruction, 1, 117-175, 1984
- 5) Herrenkohl, L.R., Palincsar, A.S., DeWater, L.S., & Kawasaki, K., Developing scientific communities in classrooms : A sociocognitive approach. Journal of the Learning Sciences, 8, 451-493, 1999
- 6) 小林秀樹・西川純：「中学校理科における異学年の学び合い」, 臨床教科教育学会誌, 2(1), 18-28, 2003
- 7) 三崎隆・錦谷泰：「小学校理科授業に見られる豆先生 (gatekeeper) と学習者 (end user) の学び合いに関する 事例研究－自由な探究を促した観察・実験場面のプロトコルから－」, 日本理科教育学会全国大会発表論文集第3号, 261, 2005

- 8) 清水誠・吉澤勲：「理科学習へのコーオペレーティブ学習導入の効果－相互協力関係から生じる相互作用の分析－」，埼玉大学紀要教育学部（教育科学），48(2)，27-42，1999
- 9) 大黒孝文・稲垣成哲：「中学校の理科授業における協同学習の導入とその学習効果の検討－ジョンソンらの協同学習論を手がかりとして－」，理科教育学研究，47(2)，1-12，2006
- 10) Johoson D.W., Johoson R.T. : Handbook of Cooperative Learning Methods, Greenwood Press, 51-81, 1994
- 11) Johoson D.W., Johoson R.T., Holubec E.J. : Circles of Learning, Cooperation in Classroom, 1984, Interaction Book Co. (杉江修治・石田裕久・伊藤康児・伊藤篤訳：学習の輪－アメリカの協同学習入門－，1998，二瓶社)
- 12) 高垣マユミ・田原裕登志：「相互教授が小学生の電流概念の変容に及ぼす効果とそのプロセス」，教育心理学研究，53(4)，551-564，2005
- 13) Barron, B., When smart groups fail, The journal of the learning sciences, 12(3), 307-359, 2003
- 14) 佐藤公治：「認知心理学からみた読みの世界－対話と協同的学習をめざして－」，北大路書房，1996
- 15) 同掲載書 14)
- 16) 同掲載書 1)
- 17) 同掲載書 14)

第10章 小・中学生がとらえる外化の有用性の実態

－質問紙調査の結果から－

清水 誠・渡邊 文代

I. はじめに

近年、理科教育においても外化の有用性に焦点をあてた研究が数多く見られるようになった¹⁾。三宅・白水²⁾は、外化とは内部で生じる認知過程を、発話、メモ、図、文章化、モデル化といった手段を使って、観察可能な形で外界に表すこととする。また、外化のメリットとして外界に固定されることで記憶を保持すると同時にそれ自体が操作の対象となることによって情報処理の負荷を軽減したり、自身の認知活動の再吟味、他者との共有や新たな視点の獲得などが生まれることを挙げている。植田³⁾は、外的資源の具体例の一つとして考えていることの外化を挙げている。外化によって外界に表されたもの（以下、外化物という）を外的資源として広く捉えるなら、村山⁴⁾が Larkin らの研究をレビューしているように、外化物も認知主体の認知負荷を軽減するといえる。しかしながら、小・中学生が外化をどのように行っているのか、また、認知過程を外化したり外化物があることの有用性をどのように感じ、考えているか調べた調査研究は見られない。そこで、本研究では、小・中学生が行う外化という行為の実態と外化することの有用性をどう受け止めているか明らかにすることを目的とする。

II. 調査の方法

1. 調査対象及び調査時期

埼玉県内の公立小学校2校の第3学年（計248名）及び埼玉県内の公立中学校2校の第2学年（計414名）を対象に、2005年2月に実施した。

2. 調査方法

質問紙により調査を行った。調査時間は20分である。回答は、選択肢の中から自分の意見に最も近いものを選択させるとともに、選択理由を記述させた。質問項目は、1. 外化の頻度、2. 外化の手段、3. 思考のしやすさ、4. 振り返りやすさ、5. 相互作用のしやすさの5項目である。小学生と中学生の質問紙の内容に差はない。

III. 結果とその分析

1. 外化の頻度

外化ということをお・中学生がどの程度行っているか調査した質問である。質問は、「頭の中で思いつきがあったり考えていることを、絵や図、文章などに書いたりしたことがありますか？」というものである。選択肢は、「とてもよくする、よくする、少しする、あまりしない、全くしない」の5つである。結果は、表1のようになった。

表1 外化の頻度

	小学校	中学校
とてもよくする	37(14.9)	25(6.0)
よくする	53(21.4)	77(18.6)
少しする	113(45.6)	168(40.6)
あまりしない	35(14.1)	107(25.8)
全くしない	10(4.0)	35(8.5)
無記入	0(0)	2(0.5)

注. 単位は人数, ()内の数字は%。

外化ということをよく行っている小・中学生は3割前後であることがわかる。小・中学生の回答数を χ^2 検定により比較すると、「とてもよくする」を選択した小学生の方が中学生に比べ有意に多い。一方、「全くしない」「あまりしない」を選択した中学生が小学生に比べ有意に多い。 $(\chi^2_{(6)} = 30.2, p < .01)$ 。小学生の方が中学生に比べ、外化する頻度が高いことがわかる。

2. 外化の手段

どのような方法で外化をすることが多いのかを調査した質問である。質問は、「それは、どんな方法ですることが多いですか？一番多いものに○をつけてください」というものである。選択肢は、「文章に書く、口に出したりして話をする、絵などに書く、粘土などの道具を使う、その他の方法」の5つである。「1. 外化の経験」で、「全くしない」と回答した小・中学生はこの質問には回答していない。結果は、表2のようであった。

表2 外化の手段

	小学校	中学校
文章に書く	45(18.9)	96(25.5)
話をする	35(14.7)	87(23.1)
絵などに書く	135(56.7)	172(45.6)
道具を使う	11(4.6)	0(0)
その他	12(5.0)	12(3.2)
無記入	0(0)	10(2.4)

注. 単位は人数, ()内の数字は%。

小・中学生ともに「絵などに書く」という手段を最も多く選択しており、続いて「文章に書く」、「話をする」の順であることがわかる。一方、「道具を使う」という手段は非常に少なく小学生に僅かに見られる程度である。「絵などに書く」とこれ以外の小・中学生

の人数を直接確率計算 2×2 により比較すると、中学生は小学生よりも有意に少ない（両側検定： $p=0.0016$, $p<.01$ ）。外化の手段として小・中学生は「絵などに書く」手段を最も多く活用しているが、小学生から中学生へと学年が上がると、絵に書いて外化する生徒は減少し、文章で書いたり、話をするという手段で外化する生徒が増えてくることがわかる。

次に、外化する頻度の差によって用いる手段が異なるか調べてみた。「とてもよくする」「よくする」「少しする」「あまりしない」の4つの各カテゴリーを選択した小・中学生がどのような外化の手段をとっているか調べたものが図1である。外化の経験の多い児童・生徒ほど「絵などに書く」という手段を用いることが多いことがわかる。

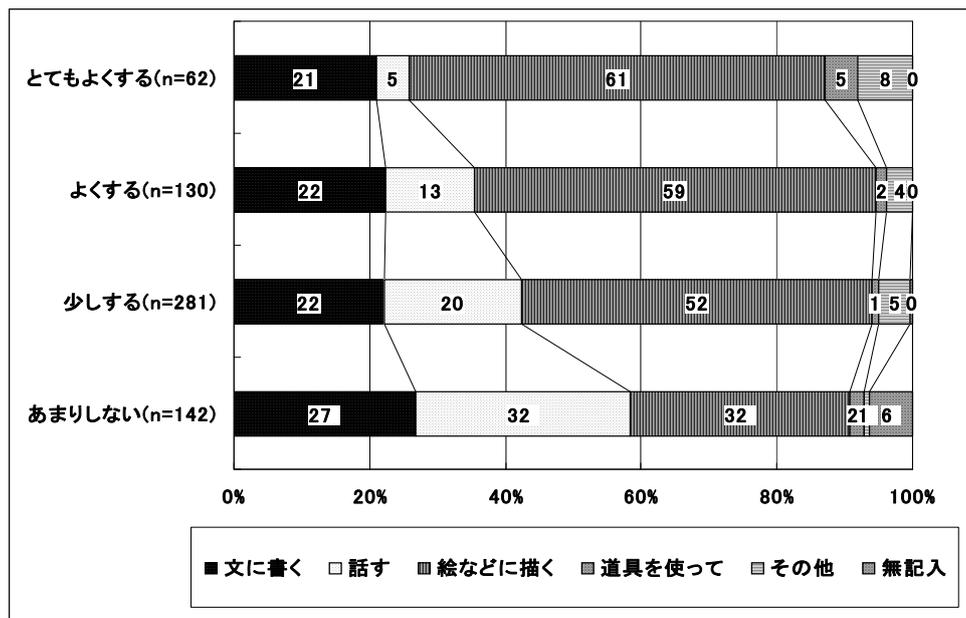


図1 外化の経験と手段

3. 外化することと思考のしやすさ

自身の頭の中で考えていることを一度見えるものとして外化することで、考えやすくなると実感しているかどうかを調査した。

(1) 思考のしやすさ

質問は、「何かを考えるときに、絵にしたりものをつくったりすると考えやすいと感じますか？」というものである。選択肢は、「とてもよく感じる、よく感じる、少し感じる、あまり感じない、全く感じない」の5つである。結果は、表3のようであった。

表3 思考のしやすさ

	小学校	中学校
とてもよく感じる	53 (21.4)	45 (10.9)
よく感じる	82 (33.1)	142 (34.3)
少し感じる	74 (29.8)	130 (31.4)
あまり感じない	30 (12.1)	67 (16.2)
全く感じない	9 (3.6)	25 (6.0)
無記入	0 (0)	5 (1.2)

注. 単位は人数, () 内の数字は%。

全体的には、「とてもよく感じる」「よく感じる」と思考のしやすさを感じている小・中学生の方が「あまり感じない」や「全く感じない」と思考のしやすさを感じていない生徒よりも多いことがわかる。小・中学生の回答数を χ^2 検定により比較すると、「とてもよく感じる」を選択した小学生の方が中学生に比べ有意に多い($\chi^2_{(5)} = 18.3, p < .01$)。

(2) 回答理由

「とてもよく感じる」「よく感じる」「少し感じる」と回答した生徒の理由を多かつた順に5つ示すと表4のようであった。

表4 主な回答理由

記 述 内 容	小学校 N=209	中学校 N=317
見るとわかりやすくなる	33 (15.8)	81 (25.6)
書くと頭の中が整理される	20 (9.5)	65 (20.5)
書いてあると忘れずにいられる	7 (3.3)	37 (11.7)
書いたものをあらためてみるとひらめく	25 (12.0)	16 (5.0)
口では説明できなくても伝えられる	25 (12.0)	7 (2.2)
その他(無記入を含む)	99 (47.4)	111 (35.0)

注. 単位は人数, () 内の数字は%。

外化すると自身の認知活動を客観的に見ることができたり, 記憶の負荷を軽減したり, 他者へ伝える手段としての利便性を感じていることがわかる。特に, 中学校で「見るとわかりやすくなる」と回答している生徒が他に比べ多く, 外化することで自身の認知活動が見えやすくなることに気付いている生徒が多くいることがわかる。しかしながら, 小・中ともに「その他」が多く, 何のために外化しているかをよくわからずにいる小・中学生も多いといえる。

一方, 「あまり感じない」「全く感じない」を選択した小・中学生の理由を多かつた順に見ると「上手く表すことができない」が小学生5人(12.8%), 中学生13人(14.1%), 次に「やったことがない」小学生5人(12.8%), 中学生9人(9.8%)となっていた。思考しやすいと感じていない小・中学生の多くは, 「上手く表すことができない」といったスキルの問題を挙げていた。

4. 振り返りやすさ

外化物があることで, 記憶負荷の軽減をすると感じているかを調査した質問である。質問は, 「自分の考えをもう一度ふりかえるとき, 自分が書いたりつくったりしたのがあると振り返りやすくなりますか?」というものである。選択肢は, 「とてもよくなる, よくなる, 少しなる, あまりならない, 全くならない」の5つである。結果は, 表5のようであった。

表5 振り返りやすさ

	小学校	中学校
とてもよくなる	68(27.4)	67(16.2)
よくなる	84(33.9)	166(40.1)
少しなる	74(29.8)	120(29.0)
あまりならない	15(6.1)	38(9.2)
全くならない	7(2.8)	19(4.6)
無記入	0(0)	4(1.0)

注. 単位は人数, ()内の数字は%。

「とてもよくなる」「よくなる」を加えると振り返りやすさを感じている小・中学生は、小・中学校ともに半数を超え、「全くならない」や「あまりならない」と有用性を感じていない小・中学生を大きく上回っていることがわかる。小・中学生は、自身の考えを表した外化物があることで振り返りやすくなると感じていることがわかる。小・中学生の回答数を χ^2 検定により比較すると、「とてもよくなる」を選択した小学生の方が中学生に比べ有意に多い($\chi^2_{(6)} = 16.8, p < .01$)。

5. 相互作用のしやすさ

外化物があるとき、自分のあるいは他者の考えをお互いに共有しやすいと感じているのかについて調査した質問である。質問は、「話し合いをするときに、友達の考えが絵や図、文章で書いたものやつくったものがあるとわかりやすいと思いますか?」というものである。選択肢は、「とてもそう思う、そう思う、どちらともいえない、あまりそう思わない、全くそう思わない」の5つである。結果は、表6のようであった。

「とてもそう思う」「そう思う」を合わせると7割近い小・中学生が回答しており、「全くそう思わない」「あまりそう思わない」と感じていない生徒を大きく上回っていることがわかる。小・中学生は、自身の考えを表した外化物があることで他者との相互作用がしやすいと感じているといえる。小・中学生の回答数を χ^2 検定により比較すると、「とてもそう思う」を選択した小学生の方が中学生に比べ有意に多い($\chi^2_{(6)} = 26.9, p < .01$)。小学生の方が、外化物があることでより相互作用しやすいと感じていることがわかる。

表6 相互作用のしやすさ

	小学校	中学校
とてもそう思う	93(37.5)	83(20.0)
そう思う	102(41.1)	197(47.6)
どちらともいえない	38(15.3)	89(21.5)
あまりそう思わない	9(3.6)	25(6.0)
全くそう思わない	5(2.0)	13(3.1)
無記入	1(0.4)	7(1.7)

注. 単位は人数, ()内の数字は%。

IV. 考察とまとめ

本研究では、小・中学生が外化することを日常場面でどのように行っているのか、また、植田⁵⁾が外的資源の具体例の一つとして挙げる認知過程を外化することの有用性についてどのように感じているのか調べた。限られた地域での限定された結果であるが、次のことがいえよう。

1. 小・中学生は、アイデアを書き出して紙面上で考えてみたり、紙に書いて計算をしたり、思いついたことなどを忘れないために書き留めるということをそれほど頻繁に行っていない。
2. 外化の経験のある小・中学生達は、外化の手段として「絵などに書く」が全体の約半数を占め多かった。中学生になると文章に書いたり、話をする手段が増加する。絵で表すことに比べ、文章化や言葉にして説明することが少ない理由は、認知的な負荷が大きいためと考える。
3. 「思考のしやすさ」、「振り返りやすさ」、「他者との相互作用のしやすさ」の3点について調べた質問紙の結果からは、いずれの項目においても外化することの有用性を感じている児童・生徒が多い。また、小学生の方が中学生に比べ、いずれの項目においても「とてもよく感じる」「とてもよくなる」「とてもそう思う」とする児童が多い。一方、「思考のしやすさ」を感じている理由を調べた結果からは、中学生の方が小学生よりも自身の認知活動を再吟味しやすいと捉えている。こうした原因の一つは、中学生では外化の有用性を感じてはいるが、内部で生じる認知過程が複雑になるために外化が上手くできずにいるためと考える。
4. 「思考のしやすさ」に有用性を感じていない小・中学生の理由を見ると、スキルの問題であったり、経験がないという理由であった。今回の質問紙調査の結果からは、認知過程をグラフや図といった形で外化するスキルやそれを解釈したり活用できるスキルを教師は学習を通して意図的に指導する必要があると考える。

註・引用文献

- 1) 例えば、竹内真希子・稲垣成哲・山口悦司・大島純・大島律子・村山功・中山迅・山本智一：科学教育研究 29(1), 25-38, 2005. や清水誠・山浦麻紀：理科教育学研究 47(1), 35-43, 2006. 等を見ることが出来る。
- 2) 三宅なほみ・白水始：「外化」, 認知科学辞典, 共立出版株式会社, 2002
- 3) 植田一博：「外的資源」, 認知科学辞典, 共立出版, 110-111, 2002.
- 4) 村山功：「外的資源による課題と認知主体の変化」, 『認知科学—特集「認知における内的・外的資源」』, 共立出版, 2(4), 28-38, 1995
- 5) 前掲3)

第11章 考えを外化し議論することが概念的知識の一般化に 及ぼす効果

—花の働きの学習を事例に—

清水 誠・山浦 麻紀

I. 問題の所在

中学校学習指導要領解説理科編では、花は種子を作る生殖器官であることを理解させるとある¹⁾。しかし、清水は、花の働きの学習した中学生や大学生であっても、シバやケヤキといった植物は花が咲いているのを見たことがないから花が咲かない植物だといった誤った知識を持っていることを指摘している²⁾。こうした学習者が、種子植物一般に当てはまるルールを過去の経験や他の知識をもとに実際より狭く捉える縮小過剰型の誤った知識を持つことは、球根やイモを植える植物には種子ができないとする大学生が多く見られることから指摘されてきた^{3) 4)}。改善のための教授方法として、麻柄は、大学生を対象にした実験から、誤った知識を修正する場合には誤りである証拠を示し正しい知識を教授するだけでは効果が少なく、誤った知識を適切に位置付ける説明が必要なことを示している⁵⁾。また、植松は、高校生を対象に、読み物教材として花が咲く植物では元の植物と同じ性質のものをつくるならば体の一部を植え、もっとすぐれた性質のものをつくるならば種をつくってまくといった範囲確定の情報をルール化して提示したところ、縮小過剰型の誤った知識の修正が促されたとする⁶⁾。

しかし、麻柄、植松の研究はすでに中学校で花の働きの学習をした大学生や高校生を対象とした研究であり、学習指導要領に内容が位置付けられている中学生を対象としたものではない。また、工藤は、麻柄の誤概念修正に関する研究⁷⁾で用いられた文章を使い、大学生に対し文の読みと課題に対する回答を行わせている。その結果、教授者側が概念学習に必要な情報を提供してもなお、学習者側がその情報を無視・脱落させ、もっぱら事例からの帰納学習に頼り、獲得した知識の一般可能性は限定されたとする⁸⁾。このことは、概念に関するルールを明示的に教授し、その説明を学習者が受容しても、事例に基づく帰納学習が生じる可能性を示唆している。

そこで、本研究では中学生を対象に、互いの考えがよく見えるように外化し、話し合いをさせ、概念の形成を図る学習方法を取り入れることが、学習者にとって個々の事例から導き出す概念を修正し、概念的知識の一般化を図る有効な方法となるのではないかと考えた。その理由を以下に述べる。

三宅は、協調的な問題解決では参加者各自が考えていることや、やろうとしていることが「見え」たほうがよく、そのうえで互いに自由に様々なやり方が試せることが大切であ

るとする。また、協調的な過程で理解が深化するためには、他人の視点があることに気がつくこと、互いの考え方が「見える」形で外の世界に表現されていることも相互作用が起きるためには大切な要素であるとする⁹⁾。白水は、外化によって我々が頭の中に持つイメージを見直せるとし、客観的な見直しには外的な働きかけや見直しに足る情報の存在が必要だとする¹⁰⁾。こうしたことを可能にするものとして、テクノロジーを利用した教育を提案している。竹中らは、学習者の情報・アイディアの外化と他者の情報・アイディアへのアクセスを可能にするというシステム特性を有する Web-NF は、「書く」という言語化を電子掲示板を活用して公開することで解決プロセスなどを相互に吟味する学習環境が生まれ、学習者の概念変化を確実にもたらすアナロジーの方策になり得るとする¹¹⁾。しかし、これまでの理科における協調的な学習研究には、話し合いを取り入れるだけでなく、個人の考えを他者にもよく「見える」形で外化し相互作用させることが概念的知識の一般化にどのような効果を及ぼすかを調べた研究報告は、ほとんど見あたらない。

以上のことから、本研究での授業デザインでは、花の働きの学習を題材に、花の働きについて「どの植物にも種子ができるか」という点から生徒同士で議論させる。その際、予想時に単に口頭で発表しながら議論をするだけではなく、個人の考えが他者にもよりよく見えるように外化された「書いたもの」を示しながら議論をさせる。こうした各学習者の内的な理解状態を他者に明示させながら相互作用させることの違いが学習者にどのような変容を促し、植田¹²⁾が外的資源の具体例として挙げている他者が概念的知識の一般化にどのような効果をもたらすのかを調べていくことにする。

II. 調査の方法

1. 調査対象及び時期

埼玉県内の公立中学校1年生、4クラス144人（実験群：71，統制群：73）に対し調査を行った。授業は2004年5月、質問紙調査は2004年4～7月に実施した。

2. 調査の方法

(1) 実験群と統制群の設定

研究の目的を達成するため、予想時に小グループで議論をする際、個人の考えを画用紙に記述し、それを他者によく見えるように提示しながら発表する群（以下、実験群と呼ぶ）と個人の考えを口頭のみにより発表する群（以下、統制群と呼ぶ）とを用意した。それ以外の条件は同じにした。

(2) 生徒の実態及び実験群・統制群の等質性

学習前の生徒が種子植物の花とその働きについてどのような知識を持っているか及び両群の等質性を調べるため、学習前に質問紙により各クラスの調査を行った。質問紙は、清水の調査¹³⁾を踏まえ、種子植物の中から8種類の植物名を挙げ、花が咲くかどうかを尋ねた（図1）。ターゲット項目は、シバとケヤキ及び、シバと類似し同じイネ科の植物のササとケヤキと類似し樹木であるクヌギである。それ以外の植物はダミー項目として加えられた。

なお、花が咲かない植物とは、本来、シダ植物やコケ植物のような種子をつくらない植物を指すが、すべての種子植物に花が存在すると生徒が捉えているかを調べるのがここ

での調査目的であるため、種子をつくらない植物は選択肢から除外してある。また、事前調査で調べたシバやササは種名ではないが、生徒が名前から具体的に植物をイメージすることができると考えて取り上げた。

質問1. 花が咲かない植物にはどのような植物がありますか。下のア～カの中から、花が咲かないと思う植物を全て選び、○をつけてください。
ア. チューリップ イ. タンポポ ウ. アブラナ エ. エンドウ オ. ササ
カ. クヌギ (カブトムシが集まる木)

質問2. あなたは、シバ (芝生に生えている芝のこと) やケヤキ (埼玉県の木) は花が咲く、咲かないのどちらだと思いますか。それぞれの植物について、咲く・咲かないのいずれかに○をつけ、なぜそのように思うのか、その理由を書いてください。また、シバやケヤキのような植物を見せられたとき、見分けられるかどうかについても○をつけてください。
(回答欄略)

図1 事前調査用紙 (一部)

(3) 生徒の考えの変容と概念の形成

ア. ワークシートの記述及び質問紙による調査

学習を通して、概念的知識の一般化がどのように生徒に促されたかを、授業中に配布したワークシートの記述及び授業2ヶ月後に実施した質問紙 (図2) により調査した。

質問: あなたは、ササ (笹) やクヌギ (カブトムシが集まる木) は花が咲く、咲かないのどちらだと思いますか。それぞれの植物について、咲く・咲かないのいずれかに○をつけ、なぜそのように思うのか、その理由を書いてください。また、ササやクヌギのような植物を見せられたとき、見分けられるかどうかについても○をつけてください。
(回答欄略)

図2 事後調査用紙 (一部)

質問紙は、事前調査で扱ったシバやケヤキと同様に多くの生徒が花が咲かないとするササやクヌギについて質問を行い、子孫を残す (種子ができる) ためには 花が咲くはずだと回答できるかを調べた。なお、授業終了後から2ヶ月後の質問紙調査の間の教師からの両群への働きかけはない。

イ. 確信度の調査

本研究では、生徒が理解を深め、概念を形成していくには、波多野が述べている¹⁴⁾ ように新たな解釈が確信を持って採用されることが重要な要素の1つになると考えている。そこで、確信度という指標を使って予想2を記述した段階での生徒の内的な状態を探ってみた。予想2で記述したことが、「自信がある」「少し自信がある」「あまり自信

がない」のどれにあたるかを生徒に選択させた。

ウ. 発話プロトコルの収集

各自の考えていることが他者にもよく見えるようにして小グループで議論させたことによる生徒の変容の様子、及び概念的知識の一般化に果たす役割を調べるために、発話プロトコルの収集を行った。方法としては、実験群の予想時の話し合いの様子を各グループに設置したステレオマイクのついたMDレコーダーにより記録し、分析のため発話プロトコルを書き起こした。

3. 授業の概要

授業は、中学校学習指導要領（1998）第1学年の第2分野(1)イ(ア)の「花の働きを理解させる」という内容について50分で行った。本授業を受けた生徒達は、種子をつくらない植物については、この学習以前にも小学校においても学校では学習していない。授業は、実験群、統制群ともに、共同研究者の山浦が行った。授業の概要をまとめると、次のア～カのようである。なお、小グループでの議論では、各自の考えが反映されるよう、司会者（輪番制で行っている）を立てた。

ア. 既習内容（小学校学習指導要領（1998）第5学年A(1)エ）である「ヘチマやアサガオの花ではめしべのもとが実になり、実の中に種子ができる」ことを確認した。

イ. 学習課題「花の働きについて考えよう；どんな植物も種子ができるのだろうか？」を提示し、まず自分の考えをワークシートに記述させた（以後、この記述を予想1とする）。これは、三宅が協調的な学習環境が満たすべき条件として一人一人が自分の考えを持っていることが必要であると述べている¹⁵⁾ことに基づいている。実験群では、ワークシートに加え画用紙にもフェルトペンを使って記述させた。次に、個人で立てた予想1について小グループで司会を立てて議論をした。実験群では、画用紙に記述された考えが仲間に見えるようにして議論をした。統制群では、各自の予想を口頭で発表しながら議論をした。小グループでの議論の時間は、いずれの群も10分間である。その後、両群ともに話し合い後の自分の考え（以後、予想2と記述）をワークシートに記述させた。その際、自分の考えに対する確信度もワークシートに記述させた。

ウ. 予想2を発表させ、教師がカテゴリー分けし、まとめたものを板書した。

エ. 観察の目的「どんな植物も種子ができるか、いろいろな花の、めしべのものと部分を縦に切って断面を観察する」とめしべのものを切る方法を確認した。観察は、種子ができない植物があるとする反証としての観察である。観察した植物（一部、写真）は、パンジー・ウシハコベ・ジャガイモ・サクラ・エンドウ・サクラソウ・イネ・チューリップ・スイセンである。これらを班の中で分担して観察した。観察後、結果をワークシートに記述し、花の働きについて各自に考察させた。

オ. 各自が考察したことについて、クラス全体で話し合いを行い、議論の結果をまとめ、ワークシートに書かれた自分の予想と比較・確認させた。

カ. 教師が「(種子)植物は、子孫を残すために花を咲かせ種子をつくる」と花の働きのまとめを行った。

Ⅲ. 結果とその分析

1. 学習前の生徒の実態及び両群の等質性

(1) 花が咲かないとする植物

学習前の生徒が花が咲かないと回答した各植物についての人数を示したものが表1である。

表1 花が咲かないとする植物

	チューリップ	タンポポ	アブラナ	エンドウ	ササ	クヌギ	シバ	ケヤキ
実験群	0	0	1	15	68	58	64	53
統制群	0	0	3	18	71	59	65	56

注. 単位は、人数。調査対象者数は、実験群：N=71，統制群：N=73。

イネ科の植物であるササ、シバや樹木のクヌギ、ケヤキは花が咲かないとする生徒がどちらの群にも多く見られることが分かる。また、各植物ごとに花が咲かないとする両群の生徒数について、直接確率計算 2×2 で比べてみると、両側検定の結果はチューリップ： $p=1.00$ ，タンポポ： $p=1.00$ ，アブラナ： $p=0.62$ ，エンドウ： $p=0.69$ ，ササ： $p=0.68$ ，クヌギ： $p=1.00$ ，シバ： $p=1.00$ ，ケヤキ： $p=0.85$ であった。それぞれの植物について調べた結果は、両側検定で有意な差は見られない。花が咲くかどうかについての理解は、実験群と統制群の間には大きな差はないことが分かる。

(2) 花が咲く理由

シバやケヤキは花が咲かないと回答した結果は、清水の調査結果と同じである¹⁶⁾。そこで、シバとケヤキが花が咲くと回答した生徒が、理由も正しく記述できるかを調べた結果が表2である。

表2 理由を正しく記述できた生徒の割合

	シバ	ケヤキ
実験群 (N=71)	1 (1.4)	1 (1.4)
統制群 (N=73)	0 (0)	0 (0)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

子孫を残すために花が咲くといった理由まで正しく回答できた生徒は、両群ともにほとんどいないことが分かる。

2. 生徒の考え方の変容

(1) 予想時に種子ができるとした生徒

学習課題の「どんな植物も種子ができるのだろうか」という質問に対し、予想1及び予想2で種子ができると理由も含めて正しくワークシートに記述した生徒の割合は、表3のようである。

表3 どんな植物も種子ができるとした生徒の割合

	予想1	予想2
実験群 (N=71)	28 (39.4)	21 (29.6)
統制群 (N=73)	37 (50.7)	46 (63.0)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

実験群と統制群で、種子ができると予想した生徒数に差が見られるかを調べるため、直接確率計算 2×2 で有意差を調べてみた。結果は、予想 1 では両群の間に差は認められないが（両側検定： $p=0.19$ ）、予想 2（両側検定： $p=0.00$ ）では統制群のほうが種子ができるとする生徒が実験群に比べ多く見られることが分かる。

(2) 考察時に見られた生徒の考え

本時の学習の到達目標は、「花は種子をつくる生殖器官であり、花の働きは子孫を残すこと」が言えることである。そこで、ワークシートの「5. 何のために花が咲くのだろうか。学習課題をもとに考察してみよう」という欄の記述を調べてみた。「子孫を残すために花が咲く」や「種子をつくり絶滅しないため」といった回答を正答とし、それ以外を誤答として集計した結果が表 4 である。

実験群、統制群ともに約 80 % と多くの生徒が考察を記述した段階で、本学習での目標に到達していることが分かる。実験群と統制群で正答数に差があるかを直接確率計算 2×2 で調べてみると、実験群の生徒と統制群の生徒の間には差が見られないことが分かる（両側検定： $p=0.83$ ）。

表 4 考察の記述に見られた生徒の考え

	正答	誤答
実験群 (N=71)	58 (81.7)	13 (18.3)
統制群 (N=73)	58 (79.5)	15 (20.5)

注. 単位は、人数。() 内の数字は%。

(3) 正答者の割合の変化

予想 1 及び予想 2 で、理由も含めて正しく種子ができるとした生徒の割合の変化及び考察後の正答者の割合を表したものが図 3 である。なお、ここでは、被験者がこれまでの学習で種子のできる植物しか学習していないことから、種子ができると回答できた場合を正答としグラフを作成した。

種子ができるとする生徒の割合は、統制群は、予想 1 の時点の 50.7 % から予想 2 の時点で 63.0 % へと上昇していることが分かる。

一方、実験群では、予想 2 を記述する前に自分の考えを画用紙で示しながら他者と議論することにより、種子ができるとする生徒の割合が 39.4 % から 29.6 % へと予想 1 の時点に比べ減少していることが分かる。しかし、考察後には、花に種子ができるかをいろいろな植物で観察を行い、結果をクラス全体で議論し、まとめた結果、本時の学習の目標に到達している生徒の割合は、いずれの群も約 80 % と高い値を示し、実験群、統制群で差がない。

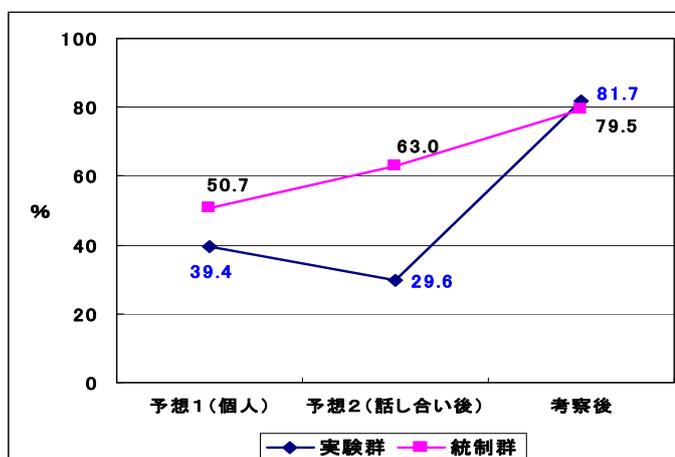


図 3 花の働き（正答者の割合）

3. 確信度

予想2の回答に自信があるかないかを調べたものが表5である。なお、ここでの自信ありとは、ワークシートに絶対自信がある、少し自信があると回答した生徒の合計である。

結果は、統制群の生徒は90.4%の生徒が自信ありとしており、実験群でも77.5%の生徒が自信があるとしている。多くの生徒が自分の予想に自信を持っていることが分かる。しかし、両群の間で確信度に差があるかを直接確率計算2×2で調べてみると有意差が見られ、実験群は統制群に比べ自分の予想に対し自信のない生徒が多いことが分かる（両側検定：p=0.04）。

表5 予想2の確信度

	自信あり	自信なし
実験群 (N=71)	55 (77.5)	16 (22.5)
統制群 (N=73)	66 (90.4)	7 (9.6)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

4. 2ヶ月後の質問紙調査の結果

種子植物であれば子孫を残すために花を咲かせるという概念の一般化が、2ヶ月後においても形成されているか調べるため、ササとクヌギについて調べた結果が図4である。なお、ササとクヌギはシバやケヤキと同様に事前調査で多くの生徒が花が咲かないとする植物であり、シバとササ、ケヤキとクヌギについて花が咲かないとする生徒の割合を直接確率計算2×2で両群それぞれについて調べたところ有意な差はない。ササとクヌギについて調査することは、事前調査と等価と考えた。

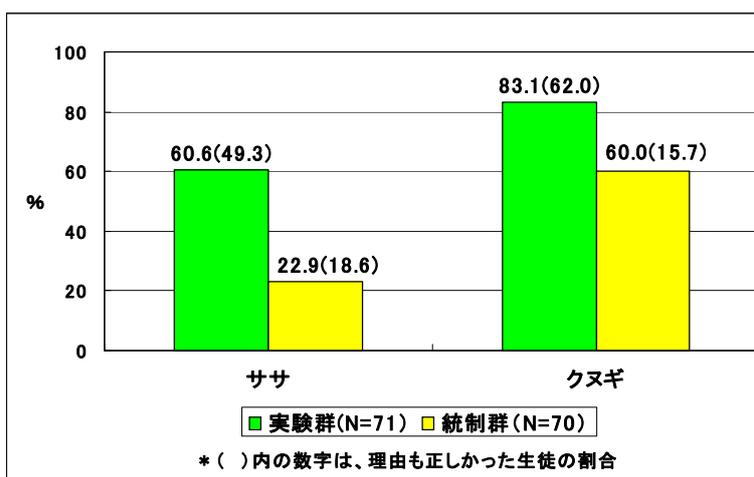


図4 2ヶ月後の結果（花が咲くとした生徒の割合）

結果は、ササ、クヌギともに2ヶ月後のほうが、授業前に比べ、花が咲くとする生徒が両群ともに増加していることが分かる。しかし、花が咲くとする生徒数は直接確率計算2×2で調べると統制群に比べ実験群のほうがササ（両側検定：p=0.00）、クヌギ（両側検定：p=0.00）ともに多く、有意な差があることが分かる。さらに、花が咲くとした生徒の中で子孫を残すためと理由まで正しく書けた生徒数も直接確率計算2×2で調べると統制群に比べ実験群のほうがササ（両側検定：p=0.00）、クヌギ（両側検定：p=0.00）ともに多く、有意な差があることが分かる。実験群の生徒は、統制群の生徒に比べ学習前に花が咲かないとしていた植物に対しても、学習したことを拡張できていることが分かる。

5. 発話プロトコルの分析

生徒が予想2で種子が「できる」から「できない」へと予想1の考えをどのようにして変更していったのかを探った結果は、次のようである。分析したものは、実験群の3人の生徒が所属する小グループの発話プロトコルである。なお、3人の生徒の予想2の変更した考えに対する確信度は、いずれも「あまり自信がない」であった。

(1) 3班の生徒 b

生徒 b のいるこの班は、予想1でどの植物も種子ができるとは限らないとする生徒 a と c、種子ができるとする生徒 d から構成されるグループである。

議論することで生徒 b が考えを変えたのは、発話プロトコルで見ると 40b の部分である(図5)。b は、その理由を 42b で「よく考えたら c 君たちの意見を聞いたように、雑草ってというのはわざわざ種をまかないと思うので、全ては種はできないと思いました。」としている。b は、13c で c が画用紙を見せながら「どの植物にも雄花・雌花があるとは限らないし、雑草は花が咲かないから種子はどの植物にもあるとは限らない」と発表したことや 26a で a が c の考えと似た考えだと述べたことにより考えを変えたことが分かる。生徒 b は、自分にはない考えに触れたことで考えを変えていることが分かる。しかしながら、確信度でもあまり自信がないとしているように、b は議論の中で変更した考えに十分確信を持ってはいない。b は、新たな考えを受け入れるため、69b、71b、73b で雑草には種ができないことを皆に説明することで自分の変更した考えに擁護を求め、さらに 109b、113b でも執拗に雑草のことにこだわり同意を求める発言をしている様子がうかがえる。

13c んっと一私の予想はできないって思います。・・・そう思う理由は、いろいろな植物があるけれど、どの植物にも雄花雌花またはめしべおしべがあるとは限らないし、しかも雑草は花が咲かないから種子はどの植物にもあるとは限らないと思います。

14a はい。次、お願いします。
(中略)

26a じゃあ、僕は少し c 君と似た意見なんですけどできないと思います。

27c 見えませーん。

28a できないと思います。

29a いちぶ、まだやんない。一部で種子を・・・種子をつくらない植物があると書いてある・・・ある本を読んだ、読んだことがあったような気が・・・
(中略)

37d まだ・・・

38b 反対意見。

39a じゃあ反対意見を。

40b はい・・・反対意見っていうか自分の意見を変えます。

41a はい、どうぞ。

42b えと、あたしはやっぱできないと思います。よく考えたら c 君たちの言うこと、意見を聞いたように、雑草ってというのはわざわざ種をまかないと思うので、っと全ては種はできないと思いました。
(中略)

- 69b やっぱりー雑草っていうのはわざわざ種は、まく必要ないと思うんですよ。例えばえっとー、一つの花を咲かせるために種を植えるじゃないですか。それ、そーするとその、植えた花だけの草が生えてくるとは限らないと思うんですよ。
- 70a あー
- 71b 余計な雑草も一緒に生えてくると思う。
- 72c なるほどね。
- 73b それは、わざわざ種まいたわ、まいていないと思うので、雑草っていうのは、よく分からないんですけど、種・・・種子からは生えてくるんじゃないかもしれないと・・・です。
(中略)
- 107d できないと思う。
- 108c あ、これはいいんだ。うん。
- 109b 雑草など・・・
- 110c いろいろな・・・雑草・・・
- 111T はーい、それではそこまでー。
- 112a うわあ、うわあ。
- 113b 雑草のように・・・

図5 3班の発話プロトコル (一部)

(2) 4班の生徒b

生徒bのいるこの班は、予想1でどの植物も種子ができるとは限らないとする生徒a・c・dから構成されるグループである。

議論することで生徒bが考えを変えたのは、発話プロトコルで見ると27bの部分である(図6)。bは、26aでaが「ちょっと待って、じゃあさ植物だから…」を受けて「うちもそう思ったの、今」としている。bが考えを変えた理由として、aが「シバなどは種ができないと思うし、種のないみかんがあるから」と議論の始めに画用紙を使って説明し、議論の中でaが16aで無性繁殖について話題を提供したこと、aが21aで「みんなおもてにして見えるようにしといて」と発言したことにより、このプロトコルにはないが、dが「シバなどは、種子ができないと思う」と書いた画用紙が見えるようにしたこと等が考えられる。しかしながら、bは議論の中で変更した考えに十分確信を持ててはいない。そのことは、31aでaが「決定ー。はい、理由書いてください。」と言ったことを受けて、bは55b, 57b, 59bで「どうやって理科で習ったん?」、「理科で習ったの?そうゆうふうに」等と新たな考えを受け入れるため、周りに質問することを通して自分の考えをより確かなものにしていこうとすることがうかがえる。

- 15a では、できないと思うで、理由は確か(聞き取れない)の時間にやったような気がするからです。
- 16a な・・・苗木だっけなあ。その木がずーっとそういうのつくるんじゃない?
- 17a なんか聞いたことない?種のないなんか。ほら、なんかずーっと木がそのまま生え

てて、そっから何回も何回もとれるってヤツ・・

(中略)

21a みんなおもてにして見えるようにしといて。

22a ない？

23a うちの・・・ないの？質問とか，反対とか。

24a 反対とかないと相手の・・・あ，違う一気に決まんないよ。

25c んーだってどー考えても・・・

26a ちっと待って，じゃあさ植物だから・・・・・・

27b うちもそう思ったの，今。

28a じゃあ変えていい？

29a できないと思うでいいですか？

30b 一ーで一ーす。

31a 決定一。はい，理由書いてください。

32c 理由はー？

(中略)

55b え，どう，どうやって理科で習ったん？

56a これはちっと理由にならないような。

57b 理科で習ったの？そうゆうふうに。

58a 習ってないけどーあの一教，ノートの裏の厚紙の部分に書いてあったよ。

59b え，理科でどういうふうに習ったの？

図6 4班の発話プロトコル (一部)

(3) 9班の生徒 a

生徒 a のいるこの班は，予想1でどの植物も種子ができるとは限らないとする生徒 c と d，種子ができるとする生徒 b から構成されるグループである。

自分の予想を記述した画用紙をもとに，c が「いろいろある植物の中でも種子ができる植物と何もできなくて葉しかできない植物もあると思うから」，d が「花の咲かない草があるから」，a が「種ができないと，その花が枯れた後に子孫を残せないから」，b が「植物は種から育つものなので種子はできると思う」と発表している。生徒 a は，発話プロトコルの 70a で「じゃ，あたしうつっちゃう・・・うつっちゃう」と考えを変えている (図7)。それは，d が 46d で画用紙をもとにした4人の発表内容が「2つに分かれちゃってる」と述べた発言をきっかけに，発話プロトコルの 55a で a に「あーどうしよ・・・なんかだんだん，なんか両方だって・・・できるのもあるけど，絶対とは言えない・・・」と考えが変容していることが分かる。また，b が 56b で「絶対あるわけでもないんだよな・・・」と考えがゆらいでいる発言をしたことを受けて a は，60a で「あたしこっちにうつっちゃうかな。うーんなんか，うーん」と考えを変えていく様子を見て取ることができる。しかしながら，b は議論の中で変更しようとする考えに十分確信を持ってはいない。そのことは，62a で「チューリップって・・・チューリップとかってさ球根なんだよね」，68a で「で，切り株なんかさ，この芽が出てくるそーそーそーだからさ・・・種が・・・うーん，

て感じだよね」と問いを発し、考えを擁護する発話をしながら変更していく様子を見ることが出来る。

- 46d 2つに分かれちゃってる。
47a ま・・・とね。
48b ふふっ。
49a 絶対自信がない・・・
50d ない。
51a よね・・・ふふ。
52a あーどうしよ・・・あーま・・・って。
53b っていうかあまり自信がないのに意見出してる意味もないしなー。
54c 少し自信がある。
55a あーどうしよ・・・なんかだんだん、なんか両方だって・・・できるのもあるけど、絶対とは言えない・・・
56b 絶対あるわけでもないんだよな・・・あまり自信がないんだと意見だしてるようじゃ・・・ない・・・
57c でもこれできると思うんだよ。な・・・
58b できないと思うほうの・・・
59d めしべの中になんかこのつぶつぶが種とかなっ・・・
60a あたしこっちにうつっちゃおうかな。うーんなんか、うーん。
61d でもこのやつってさー花が、花が咲く植物？
62a チューリップって・・・チューリップとかってさ球根なんだよね。
63b あ、花が・・・
64d じゃあできな一い意見でいい。
65b 花・・・花・・・
66a できないと思うけどさ。
67c 花の咲かない。
68a で、切り株なんかさ、この芽が出てくるそーそーそーだからさ・・・種が・・・うーん、て感じだよね。
69d このまま・・・(聴取不能)・・・って、大丈夫かなあ？
70a じゃ、あたしうつっちゃ・・・うつっちゃう。

図7 9班の発話プロトコル(一部)

IV. 考察

本研究では、各学習者の内的な理解状態が他者にもよく分かるように明示させながら相互作用を促すことが、概念的知識の一般化に有効に働くのではないかと考え調査を行ってきた。授業デザインとしては、予想時に単に口頭により議論をするだけでなく、個人の考えが他者にもよく見えるように「書いたもの」を示しながら議論をさせた。そのことによって、日常的な経験をもとにイネ科の植物や樹木は花が咲かないとする生徒の概念を変

容できるかを調べた。

種子植物であれば子孫を残すために花を咲かせるという概念の一般化が行われたかを調査した2ヶ月後の質問紙調査の結果は、授業前に花が咲くとする生徒が少なかったササやクヌギも花が咲くと理由も含めて正しく回答できた生徒は実験群に多く見られた。実験群のほうが、過去の経験を基に概念縮小を起こしやすいと考えられるササやクヌギといった植物に対しても、学習した概念を適用できた生徒が多かったといえる。本事例からは、概念的知識の一般化には、単に口頭により議論をさせることより、個々の考えが見えるように可視化できる道具を用意し議論させることがより有効であることが分かる。

こうした実験群の生徒に概念的知識の一般化を促した要因は、予想2で種子が「できる」から「できない」へと考えを変更した3人の発話プロトコルから考えることができる。3班の生徒bは、自分の考えと違う他者の考えに触れることで、知識の不足に気づき、新たな自分の考えを擁護したり同意を求める説明を行っていた。4班の生徒bも、知識の不足に気づき、問いを創出していた。9班の生徒aは、2つの対立意見に葛藤し、問いと擁護する説明を行っていた。Chanは、知識の不足の認識、問いの創出、説明構築といった協同による説明構築活動に従事することが、概念変化において重要な役割を果たしているとする¹⁷⁾。Crookは、仲間との協同が認知的な効果をもたらす理由として、アイディアの明確化、葛藤、協同による説明構築といった過程があるためとする¹⁸⁾。互いの考えを可視化しながら議論させた予想時の発話には、知識の不足の認識、葛藤による問いの創出や説明構築といったことが生まれており、これまで研究が十分行われてこなかった理科の学習場面においてもChanやCrookの知見を支持する結果を認めることができる。また、考えを可視化しながら議論をしたことが自分の考えに対する疑問を生じさせ、葛藤をより強く促しているのではないかということは、予想2で「種子ができる」と記述した生徒の割合が統制群では増加しているのに対し、実験群では逆に予想1よりも減少していたこと、確信度の調査で自信のない生徒が統制群に比べ実験群に多く見られたことから推論することができる。生徒が予想を立てる段階で考えを他者に可視化して提示し議論することは、知識の不足に気付かせ、認知的な葛藤を促し、そのことで考えを仲間や自身に向かって説明することや立てた予想の再吟味がなされ、こうした活動に従事したことが概念的知識の一般化に有効に働いたのではないかと考える。外化された「書いたもの」という外的資源があり、他者という外的資源があることは、概念的知識の一般化に有効であると言えよう。

V. 今後の課題

本研究は中学校1年生の「花の働き」の学習のみを対象としているため、ここでの考察は実験授業の範囲内という制約付きではある。しかしながら、見方や考え方を外化し、自分にも他者にもよく見えるように外の世界に表現し、他者と相互作用することは、概念的知識の一般化に有効であることを示せたことは教授方法を改善していくために重要な示唆となると考える。

しかし、小グループで考えを可視化しながら議論したことが生徒の考えにどのような影響を与えているかを調査した発話プロトコルの分析からは、発話をしない生徒が概念を変容させていく内的過程を探ることができない。学習者が自身の考えを変容させていく内的

過程の分析方法を検討し、分析を深めることは今後のさらなる課題である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、2006年1月にご逝去された波多野誼余夫先生には貴重なご示唆をいただきました。謹んで哀悼の意を表します。また、多くのご示唆をいただきました清泉女子大学の福田健先生、授業の実施をご快諾いただいたたま市立内谷中学校の佐藤久博校長先生、資料の整理をしてくれた渡邊文代さん、島寄亜津子さん、中村友之君に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 文部省：「中学校学習指導要領解説－理科編－」，大日本図書，1999.
- 2) 清水誠：「花の概念の定着状況と理科授業の課題」，生物教育 39(2)，91，1999.
- 3) 麻柄啓一：「誤った知識の組み替えに関する一研究」，教育心理学研究 38(4)，107-113，1990.
- 4) 植松公威：「縮小過剰型の誤った知識の修正に及ぼす範囲確定型ルール提示の効果－種子植物の生殖に関する文章教材を用いて－」，科学教育研究 26(4)，300-308，2002.
- 5) 前掲書 3)
- 6) 前掲書 4)
- 7) 前掲書 3)
- 8) 工藤与志文：「概念受容学習における知識の一般化可能性に及ぼす教示情報解釈の影響－事例にもとづく帰納学習の可能性の検討－」，教育心理学研究 51(3)，281-287，2003.
- 9) 三宅なほみ：「学習における協調」『波多野誼余夫・永野重史・大浦容子：教授学習過程論－学習の総合科学をめざして－』，101-122，2002，放送大学教育振興会.
- 10) 白水始：「思考における言語，イメージ，ジェスチャー」『波多野誼余夫・大浦容子・大島純：学習科学』，107-118，2004，放送大学教育振興会.
- 11) 竹中真希子・稲垣成哲・山口悦司・大島純・大島律子・村山功・中山迅・山本智一：「Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化：動物の発生と成長をテーマとした小学校の理科授業を事例にして」，科学教育研究 29(1)，25-38，2005.
- 12) 植田一博：「外的資源」，認知科学辞典，共立出版，110，2002.
- 13) 前掲書 2)
- 14) 波多野誼余夫：「問題解決と理解」『波多野誼余夫・永野重史・大浦容子：教授学習過程論－学習の総合科学をめざして－』，91-100，2002，放送大学教育振興会.
- 15) 前掲書 9)
- 16) 前掲書 2)
- 17) Carol K.K. Chan：Problem-centred inquiry in collaborative science learning，認知科学 3(4) 44-62，1996.
- 18) Crook, C.：On resourcing a concern for collaboration within peer interaction. Cognition and Instruction, 13 (4), 541-548, 1995.

第12章 考察時に考えを外化し議論することが 科学的な概念の形成に与える効果

—肺の働きの学習を事例に—

清水 誠・阿佐見 祐子・紺野 雅弘

1. はじめに

国立教育政策研究所が行った「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査結果の概要及び教科別分析—小学校・理科—」によると、呼気と吸気に含まれる酸素と二酸化炭素の量、肺の血管の血中に含まれる酸素と二酸化炭素の量の違いから肺の働きを推論する問題では、正答率が26.7%と低い結果となっており、子どもたちがつまずきやすいところであることが報告されている。また、「新しい理科6上教師用指導書研究編」（東京書籍）によると、「はき出した空気については、子どもはほとんど酸素が含まれていないと考えがちだが、実際には16～18%程度の酸素が含まれている。」とある。そこで、肺の働きを学習済みの大学生に対し質問紙調査を試みた（調査対象：理系の大学生；124名、文系の大学生；89名の計213名、調査時期は2007年）。呼気と吸気に含まれる気体名とその割合を記入させた結果は、正答16名（7.5%）、誤答197名（92.5%）となり、正答率が極めて低い結果となった。呼吸というと二酸化炭素がはき出されるイメージを持っているため、学習済みの大学生でも呼気・吸気中の気体の割合についての理解がなされていないと考えることができる。小学校で学習している酸素、二酸化炭素の量的なデータの結果と、肺の働きを結びつける有効な教授方法の検討が必要であると考えられる。

こうした教授方法の一つとしてChiら（1994）は、説明生成は理解を促進する中心的な役目を果たすことを明らかにしてきた。清水・佐國（2002）は、協同的な話し合い活動を取り入れることにより強い社会的相互作用が生まれ、子どもの見方・考え方を科学的な概念に構成していくことができると述べている。清水・石井・海津・島田（2005）も、小グループで話し合いをさせることは従来困難とされていた水の状態変化の学習において、児童の概念変化を促し、科学的な概念の形成に効果があると結論している。また、清水・山浦（2006）は、予想時に単に口頭により議論させることに比べ、自分の書いた物を示しながら議論することは、概念的知識の一般化に有効であることを明らかにしている。三宅は、協調的な問題解決では参加者各自が考えていることや、やろうとしていることが「見え」たほうがよく、そのうえで互いに自由に様々なやり方が試せることが大切であるとする。また、協調的な過程で理解が深化するためには、他人の視点があることに気がつくこと、互いの考え方が「見える」形で外の世界に表現されていることも相互作用が起きるためには大切な要素であるとする。白水は、外化によって我々が頭の中に持つイメージを見直せ

るとし、客観的な見直しには外的な働きかけや見直しに足る情報の存在が必要だとする。しかしながら、予想をもとに、考察する段階で自らの考えを外化し、議論することが科学的な概念の形成に有効に働くのかを調べた研究は十分になされていない。

そこで、本研究では、考察時に図を用いて自分の考えを外化し、議論することが肺の働きについての科学的な概念形成を促す有効な教授方法かどうかを検証する。それは、植田（2002）が外的資源の具体例として挙げている外化と他者が科学的な概念形成に有効に機能するかを調べることである。

II. 調査の方法

1. 調査対象及び時期

埼玉県内の公立小学校6年生、3クラス97人（実験群：1・2組計61人、統制群：3組36人）に対し調査を行った。両群の等質性を調べる調査及び検証のための授業を2007年6月に、学習により形成された概念の保持の状況を調べる調査を2007年12月に実施した。

2. 調査の方法

(1) 実験群と統制群の設定

研究の目的を達成するため、考察時に、個人の考えをホワイトボードに図を使って記述し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論する群（以下、実験群と呼ぶ）とホワイトボードも小グループでの議論も行わない群（以下、統制群と呼ぶ）を用意した。それ以外の条件は同じにした。

(2) 実験群・統制群の等質性

両群の等質性を調べるため、学習前に質問紙により「空気中の気体の割合について」調査を行った。質問紙は、図1に示す通りである。

質問1. 空気にはどのような気体が、どのくらいの割合でまじりあってできていますか。気体名とその割合を記入してください。
質問2. 人は息をしていますか、この働きを何といいますか。また、この働きが行われている場所を何といいますか。

図1 事前調査問題

(3) 児童の考えの変容と概念の形成

ア. 学習により形成された概念の保持の状況

本研究で児童に最終的に身に付けてほしいことは、酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、肺での働きを結びつけることができることである。そこで、学習を通して、「呼吸によって空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出している」という概念が形成され、保持できているかどうかを質問紙により調査した。質問紙は、図2に示す通りである。なお、質問1は、事前調査と同じ問題である。

質問1. 人は息をしていますか、この働きを何といいますか。また、この働きが行われている場所を何といいますか。

質問2. 吸う空気とはき出した空気の変化の例（空気中の気体の体積の割合）を帯グラフに表しました。正しいグラフを選び、その番号を書いてください。また、その番号を選んだ理由を書いてください。

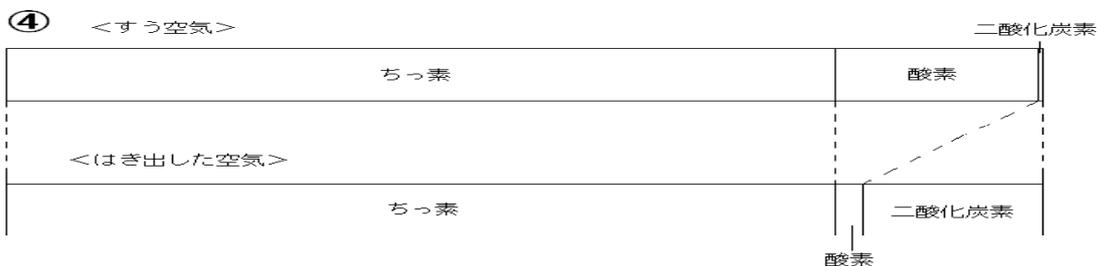
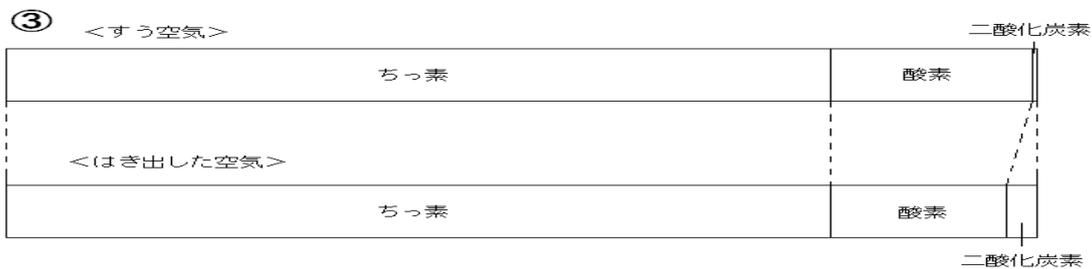
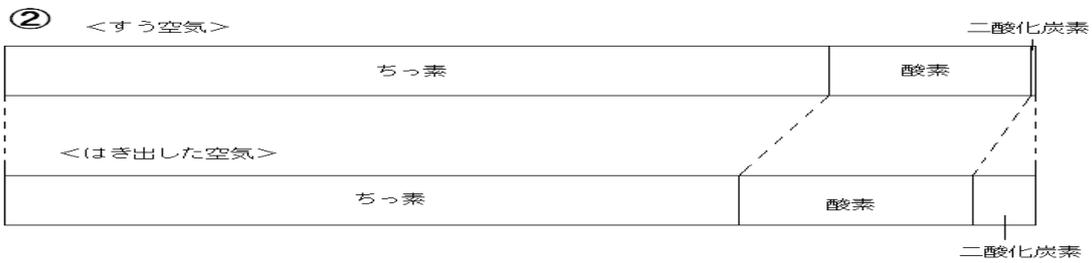
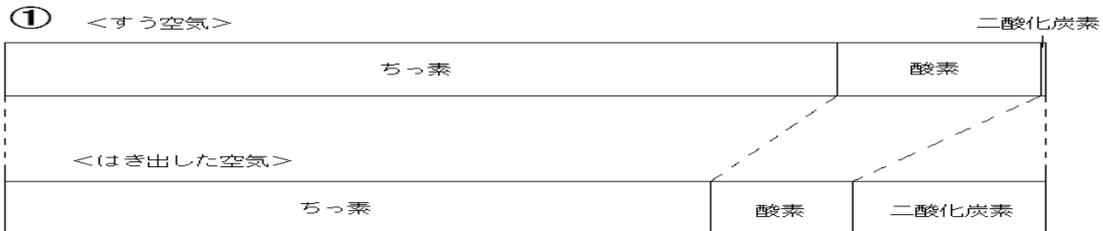


図2 事後調査問題

イ. 発話プロトコルの収集

各自の考えていることが他者にもよく見えるようして小グループで議論させたことによる児童の変容の様子、及び概念形成の様子を調べるため、発話プロトコルの収集を行った。

方法としては、実験群の考察時の話し合いの様子を各グループに設置したステレオマイクのついたMDレコーダーにより記録し、分析のため発話プロトコルを書き起こした。

3. 授業の概要

授業は、平成10年改訂の小学校学習指導要領第6学年のA(1)アの「体内に酸素が取り入れられ、体外に二酸化炭素などが出されていること。」という内容について45分で行った。

授業の流れは、以下のようである。

ア. 学習問題1「何を吸って、何をはいているのか調べよう」を確認した。

イ. 個人で問題1に対する自分の予想をワークシートに記入した。

ウ. 問題1の確認の実験を行った。

エ. 結果をワークシートにまとめた。

オ. 問題2「肺の中でどのようなことが起きているのだろう」を確認した。

カ. <実験群>

実験結果をもとに、個人で考察したことを図や言葉でまとめたホワイトボードを用いて小グループで議論し、議論の結果をもとに個人でワークシートに言葉や図でまとめた。

<統制群>

実験結果をもとに、個人で考えをまとめ、ワークシートに言葉や図でまとめた。

キ. 教師がクラス全体の考えをもとに、「人は肺で、呼吸によって空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出している」とまとめを行った。

III. 結果とその分析

1. 両群の等質性

図1で示した質問紙に対し、質問1では窒素約80%、酸素約20%、二酸化炭素約0.03%と記述した物を正答とした。質問2では、働きを呼吸、働きが行われている場所を肺、期間、口、鼻と記述した物を正答とし、それ以外を誤答とした。

結果は、表1のようになった。

表1 等質性調査の結果

		実験群 (N=61)	統制群 (N=36)
質問1	正答	26 (42.6)	18 (50.0)
	誤答	35 (57.4)	18 (50.0)
質問2 (働き)	正答	55 (90.2)	30 (82.4)
	誤答	6 (9.8)	6 (9.8)
質問2 (場所)	正答	41 (67.2)	28 (79.4)
	誤答	20 (33.8)	8 (10.6)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

質問1, 質問2について, 正答である児童と誤答である児童数について, 直接確率計算 2×2 を行ったところ, 両側検定で質問1 : $p=0.5247$, 質問2(働き) : $p=0.3381$, 質問2(場所) : $p=0.2422$ となり, それぞれ両群に有意な差は見られなかった。

2. 児童の考えの変容と概念の形成

(1) 学習により形成された概念の保持の状況

図2で示した質問紙に対し, 質問1では等質性調査と同様に, 働きを呼吸, 働きが行われている場所を肺, 期間, 口, 鼻と記述した物を正答とし, それ以外を誤答とした。質問2の番号の選択では, ③を選択した児童を正答とし, それ以外を誤答とした。また, 理由の記述では③を選択し, かつ「呼吸によって空気中の酸素の一部を取り入れ, 二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出している」といった記述が書けた回答者を正答とし, それ以外を誤答とした。

結果は, 表2のようになった。

表2 事後調査の結果

		実験群 (N=61)	統制群 (N=36)
質問1 (働き)	正答	56 (91.8)	36 (100.0)
	誤答	5 (8.2)	0 (0.0)
質問1 (場所)	正答	59 (96.7)	36 (100.0)
	誤答	2 (3.3)	0 (0.0)
質問2 (番号)	正答	38 (62.3)	13 (36.1)
	誤答	23 (37.7)	23 (63.9)
質問2 (理由)	正答	34 (55.7)	12 (33.3)
	誤答	27 (44.3)	24 (66.7)

注. 単位は, 人数。()内の数字は%。

質問1については, 等質性調査と同様に, 正答である児童と誤答である児童数について直接確率計算 2×2 を行ったところ, 両側検定で働きを問う質問に対しては $p=0.1539$, 場所について問う質問に対しては $p=0.5283$ となり両群に有意な差は見られなかった。一方, 質問2の番号を選択する問題で, 正答である児童と誤答である児童数について直接確率計算 2×2 を行ったところ, 両側検定で $p=0.0200$ ($p<.05$) となり有意な差があることが分かった。また, その理由の記述でも両側検定で $p=0.0376$ ($p<.05$) となり有意な差があることが分かった。考察時に, 個人の考えをホワイトボードに図を使って記述し, それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論した実験群のほうが学習したことをよく保持しているといえる。

3. 考察時のホワイトボードの記述

実験群は, ホワイトボードに考えをまとめたうえで議論を行った。図1は, 1組7班が

実験結果をもとに肺の中で起きていることを描いた物である。この図では、児童たちは鼻から入った空気は「酸素の多い空気」で、肺の中で「酸素が吸収され二酸化炭素が出される」としている。また、「酸素が吸収される量の平均が約 4.54 %，二酸化炭素が出される量の平均が約 3.9225 %と記述している様子を見ることができる。図2は、2組2班の図である。空気の流れを矢印で、割合が分かるよう酸素と二酸化炭素を丸で描いている。丸の数で酸素・二酸化炭素の割合や量が視覚的に分かりやすく工夫している。



図1 1組7班のホワイトボード



図2 2組2班のホワイトボード

各グループのホワイトボードに記述されていた内容は、表3及び表4のようであった。

表3 1組の各グループの記述内容

班名	記述内容
1班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青，二酸化炭素を赤とし，矢印で吸気が肺を呼んで呼気が出ていくまでの道筋を描く。 二酸化炭素が鼻と口から入り，肺を一周すると酸素に入れかわっており，鼻と口から出ていく。
2班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を赤，その後の二酸化炭素の通り道を黒で描く。 酸素を肺の中へ入れて一回心臓に酸素をおくり出した物が二酸化炭素として出てくる。
3班	<ul style="list-style-type: none"> 吸う空気を青，はく空気を赤で描く。 吸う空気とはく空気の区別をしていると思います。
4班	<ul style="list-style-type: none"> 肺の中にこんな物があつてと，肺胞の絵を描く。

5班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を赤，二酸化炭素を青とし，肺に入るまでを赤，肺を一周しているところを黒，肺から鼻と口に出ていくまでを赤で描いている。 酸素の平均 16.4 %，二酸化炭素の平均 4 %，二酸化炭素は 10 倍になった。 鼻や口から酸素を入れ，何かの物質によって二酸化炭素になる。
6班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青，二酸化炭素を赤とし，鼻と口から入り，肺を通して他の内蔵へと行き，再び口から出されるまでの道筋を描く。
7班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻から入った空気は酸素の多い空気，途中で酸素が吸収され二酸化炭素が出され，肺から鼻へと出ていく。 酸素が吸収される量の平均約 4.54 %，二酸化炭素が出される量の平均約 3.9225 %
8班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻と口から空気が入り，右の肺には酸素，左の肺には二酸化炭素と描く。
9班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青，二酸化炭素を赤とし，鼻と口から入った酸素は肺を一周する道筋を描く。 吸った空気は，酸素だけ使い，二酸化炭素入らないのでたくさん出す。

表 4 2組の各グループの記述内容

班名	記述内容
1班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻と口から空気が入り，肺で酸素を取り込み，肺を通っている最中にだんだんと酸素が減った様子を描く。
2班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青丸，二酸化炭素を赤丸，空気の流れを黒線で描く。 肺の中には酸素と二酸化炭素が 7 : 1 の割合で描く。 酸素が吸収され，二酸化炭素が出される。
3班	<ul style="list-style-type: none"> 吸う空気を赤，はく空気を青とし，道筋を描く。 肺全体に空気を取り込み肺全体からいらなくなった空気をはき出していると思う。
4班	<ul style="list-style-type: none"> 入った空気を赤で，肺の途中から出ていく空気を青で描く。
5班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻と口から入っていく空気を青で，出ていく空気を青で描く。 酸素（赤）が吸収されて二酸化炭素が（青）。
6班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を黒，二酸化炭素を黒とし，道筋を描く。 酸素と二酸化炭素を黒丸と赤丸とし，5 : 4 の割合で描く。
7班	<ul style="list-style-type: none"> 取り入れる物を赤で，はく空気を青とし，肺の中をぐるぐる回って出る道筋を描く。
8班	<ul style="list-style-type: none"> 空気の流れまた必要な物が入っているときを赤，いらぬ物を出しているときを青とし，肺の中をぐるぐる回って出る道筋を描く。
9班	<ul style="list-style-type: none"> 吸う空気を赤，はき出した空気を青，通り道を黒とし，道筋を描く。 吸った空気は肺へ行く。はき出された空気は肺から地上へ出る。

ホワイトボードに記述された肺の図は，大きく次の3つに分けることができる。

- ① 1組1班や2組1班のように，酸素が取り込まれて減っていく様子や，二酸化炭素が多く含まれた空気が出ていく様子を色の変化を用い，空気の流れを矢印の道筋で描いた

物。

② 2組の2班や6班のように、酸素や二酸化炭素を丸で、空気の流れを矢印で描いた物。

③ 1組の5班や7班，2組の1班，2班，6班のように，実験結果に基づき，酸素や二酸化炭素の割合に着目した物。

しかしながら，ホワイトボードへの記述量にはグループによって差が見られた。記述が少なかったぐーぷでは，ホワイトボードに話し合いの内容を記述する際に，議論が活発になり，記述する時間が無くなってしまったことやどのように記述すればよいか話し合うことに時間が取られてしまったことなどが原因として挙げることができる。

4. 発話プロトコルの分析

実験群が行った考察時の議論の時間は，実験群の1組が681秒，実験群の2組が665秒であった。

図3は，図1のホワイトボードを描いた1組7班で議論されていた発話のプロトコルである。

- | | |
|-----|---|
| 1a | どういふのになつた？ |
| 2c | おれ？ |
| 3a | どういふのになつた？ |
| 4c | おれ，えつと酸素と二酸化炭素。 |
| 5a | 見せて。 |
| 6c | やだ。 |
| 7a | 見えないんだもん。 |
| 8c | おれの字きたないし小さいし。 |
| 9a | 見えるよ。 |
| 10c | 酸素と二酸化炭素を吸うでしょ，で一回ここで酸素と二酸化炭素が分かれて二酸化炭素がこっちにたまって，そう，こっちにたまって，どっちでもいいけど。 |
| 11a | うん。 |
| 12c | それで酸素を身体に取り入れて，さっき酸素だけがぬかれて二酸化炭素になつて，その二酸化炭素がこっちの二酸化炭素になつてはきだされる，で，そんときに吸つた酸素が。 |
| 13a | 見せて。 |
| 14c | いいよ，こっち説明してるから，そんときに吸つた酸素が3．なんなんとなかの，ね，だから，3．なんなんが二酸化炭素の0.4にかわれて，3．なんなんになるつていふのをおれは考えた。 |
| 15c | 今から出そう，酸素と二酸化炭素の平均。 |
| 16c | だから，D君は酸素と二酸化炭素の平均出して。
(中略) |
| 72b | 平均で酸素がどれくらい吸収されたかとか？ |
| 73c | ううん，違ふ，はき出した酸素が約16.46，16.4666666で。 |
| 74d | 二酸化炭素は3.9625。 |
| 75c | だつて見て3.9625これは数字を出すんじゃねえの？正解ねえし，正解分かんない |

- いし。
- 76c あ一つかれた。
- 77c 酸素の平均。
- 78c やべーもう 10 分たつんじゃね？酸素？
- 【16 秒間発話無し】
- 79d 二酸化炭素は 3.9625。
- 80c あ一つかれた。
- 81b はき出す空気も？
- 82c はき出す空気は 3.4625。
- 83b これが出たらどうなるの？
- 84c 知らん。
- 85b これを 21 から引いて、どれだけ吸収されるかにすればいいじゃん。
- 86a そうだよ。
- 87b それ引いて、21 から。
- 88c 3.9625 だ。
- 89b 酸素？二酸化炭素？
- 90c え、何？
- 91b 3.9625 って何の数字？
- 92c えーだから二酸化炭素をさっき実験した二酸化炭素の出てきた平均。
- 93b はき出した空気の平均？
- 94c そう、あ、違う、はき出した空気の平均は酸素と違う。
- 95b え？
- 96c あ、違う、二酸化炭素のほうのはき出した空気の平均が 3.9625。
- 97b じゃあ 3.9625 引く 0.04。
- 98c 0.04 ?あ、そだ、3.9625。
- 99b 酸素のほうもやっというて。
- 100c え。
- 101b 酸素のほうは吸う空気引くはき出した空気。
- 102c 吸う空気引くはき出した空気。

図 3 1 組 7 班の発話プロトコル

7 班の児童には、15c で「今から出そう、酸素と二酸化炭素の平均。」とあるように平均に着目する発言が見られた。72b で「平均で酸素がどれくらい吸収されたかとか?」。85b で「これを 21 から引いて、どれだけ吸収されるかにすればいいじゃん。」から、単なる平均だけでなく、その値が何を示しているかを話し合っていた様子が伺える。児童たちが酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、体内で起こっている肺での働きを結びつけながら議論している様子を見ることができた。

こうした呼吸によって、単に酸素が吸収され、二酸化炭素が出されるというだけでなく、空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出しているという深

い理解につながっていている様子を調べた議論の様子は7班だけでなく他の班にも認めることができる。図4び図5は、その事例である。

- 30a ずっと肺の中に空気が入ってたら、酸素が二酸化炭素になっちゃうのかな。
31b 外から二酸化炭素を入れて、二酸化炭素はいらないので二酸化炭素を出す？
32b かな？
33c 一回書いてみれば？
34c 酸素は体中にいって、二酸化炭素は門前払い
35a 出ていけ。
36c 酸素も出てるんだよね？
37b うん。
38b 酸素はちょっとだけ、はき出した空気には。
39a あ、そっか。
40b 酸素もはき出すけどね。
41a それに気づかなかった。
42c 二酸化炭素は完全にいりません、みたいな。
43c 酸素で間に合ってますから、みたいな。
44c この中には二酸化炭素もあるんでしょ？
45c まずさ、全体にこうピーってあるでしょ。
46a 空気中のやつを吸うんだから。
47b いったんここで下に書こう。
48a こっちも。
49b あれ？
50a これ動き方？
51b 動き方というか。
52a この中には二酸化炭素もあるんだっけ？
53a 二酸化炭素もちょっとはあるでしょ、だって空気中のなんとかかんとか。
54c 書いて。
55a 空気中はさあ、酸素も二酸化炭素も窒素があるんだからさあ。
56c だから、出せばいい。
57a うんうん、たくさんね、たくさん。
58a 酸素もちょっとは出るでしょ？

図4 1組9班の発話プロトコル

9班の発話プロトコルからは、39aで「あ、そっか。」、41aで「それに気づかなかった。」といった児童が酸素がはき出した空気にも存在することに気づいたことが分かる。さらに、38bで「酸素はちょっとだけ、はき出した空気には。」、44cで「この中には二酸化炭素もあるんでしょ？」、58aで「酸素もちょっとは出るでしょ？」といった発話に見られるように、児童たちがはき出した空気に酸素と二酸化炭素が含まれていることに気づいた様子

を伺うことができる。

- 86a うそ、どうして、酸素多くするの？
87b 二酸化炭素も増やせばいいじゃん。
88b こんなもんでいいだろう。おいおいおい。
89a 二酸化炭素もっといれるよ、普通。
90b 分かった。
91a このへん空けて。
92a このへんにもこのへんにも。
93b 増えすぎだろ。
94a いや、普通これぐらいあるよ。
95b 4パー5パーだよ。
96a いやあるよ、絶対あるよ。
97b ここ酸素でいい？
98a 二酸化炭素ないじゃん。
99b あるじゃん。
100b ありすぎや。
101a ありすぎじゃないよ。
102a このへんにも。
103b かなりあるね。
104b そんなにスペースが。
105b 言葉書けばいいだろう。
106b おっけい。
107b じゃあ、二酸化炭素が出ていくイメージ。
108a 酸素が出ていくイメージとか。
109b はい、酸素。
110a 一応酸素だって出てくるんだからね。

図5 2組2班の発話プロトコル

このグループの発話プロトコルからも、107bで「じゃあ、二酸化炭素が出ていくイメージ。」、108aで「酸素が出ていくイメージとか。」、110aで「一応酸素だって出てくるんだからね。」の発話に見られるように、酸素がはき出された空気に含まれていることを強調し、酸素が外呼吸により吸収されるだけでなく、はき出されることも描こうとしている様子を伺うことができる。

IV. 考察

本研究では、肺循環における酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、体内で起こっている肺での働きを結びつける有効なデータとして、考察時に図を用いて自分

の考えを外化し、話し合いをすることが子どもの概念形成に有効であるかを検証した。授業デザインとしては、考察時に、個人の考えをホワイトボードに図を使って記述し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論をさせた。事後調査の結果から、呼気・吸気中に含まれる気体の体積の割合を選択する問題において、両群に有意な差が見られた。考察時に、個人の考えを外化し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論すると学習したことをよく保持するといえる。

考察時の発話の分析からは、児童たちが酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、体内で起こっている肺での働きを結びつけながらホワイトボードを描きながら議論している様子を見ることができた。肺での呼吸は、酸素が吸収され二酸化炭素が出されるというだけでなく、空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出しているという深い理解につながっていている様子を多くの班に認めることができた。このことが、考えをホワイトボードに図を使って提示しながら小グループで議論をさせた実験群が事後調査で統制群を上回った原因ではないかと考える。考えを外化した「書いたもの」という資源があり、他者という外的資源と相互作用することが科学的な概念形成に有効に機能したと考えることができよう。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、授業の実施をご快諾いただいたさいたま市立与野本町小学校の柴崎信光校長先生、第6学年の児童の皆さんに大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

引用文献

Chi, M.T.H. de Leeuw, N., Chiu, M.H. & La Vancher, C. (1994) : Eliciting self-explanations improves understanding, *Cognitive Science*, 18(3), 439-477

三宅なほみ(2002) : 「学習における協調」『波多野誼余夫・永野重史・大浦容子 : 教授学習過程論－学習の総合科学をめざして－』, 101-122, 放送大学教育振興会.

清水誠, 石井都, 海津恵子, 島田直也(2005) : 小グループで話し合い考えを外化することが概念変化に及ぼす効果－お湯の中から出る泡の正体の学習を事例に－, *理科教育学研究*, 46(1), 53-60

清水誠, 佐國勝(2003) : 理科授業におけるスモールグループでの話し合いの効果, *埼玉大学紀要教育学部 (教育科学)*, 52(2), 17-25

清水誠, 山浦麻紀(2006) : 考えを外化し、話し合いすることが概念的知識の一般化に及ぼす効果－花の働きの学習を事例に－, *理科教育学研究*, 47(1), 35-43

白水始(2004) : 「思考における言語, イメージ, ジェスチャー」『波多野誼余夫・大浦容子・大島純 : 学習科学』, 107-118, 放送大学教育振興会.

植田一博 : 「外的資源」, *認知科学辞典*, 共立出版, 110, 2002.

第13章 質量保存概念形成を促す教授方法に関する研究

－考えを外化し議論することの効果－

清水 誠・久保 厚彦・大高 綾子

I. 問題の所在

平成15年度教育課程実施状況調査¹⁾によると、化学変化の前後で物質の質量が保存されることについての理解を問う問題において課題が見られることが報告されている。また、平成18年に調査された特定の課題に関する調査²⁾においても、小・中学校に共通する問題「食塩を水に溶かした後の全体の質量」について説明できた児童・生徒の通過率は、小学生が57%に対し中学生は54%であった。物質が溶けて見えなくなると質量は減少すると捉えている生徒の割合は、37%と小学校第5学年の児童の34%とほぼ同じであった。溶解時における質量の保存概念について調査した宗近³⁾も、水に溶けると軽くなると考える児童・生徒は、学習していない児童で約40%存在し、学習後はこの割合が減少するものの中学3年生でも33%存在するとしている。さらに、平田・井筒・降旗⁴⁾も、砂糖を水に溶かす問題の回答結果から、溶けてその姿形が見えなくなれば重さもなくなってしまうという考えに基づいた「溶けると軽くなる」という認識は高学年になっても根強く残っているとしている。いずれの調査からも、学習をしているはずの児童・生徒の物質の質量保存概念に課題があることが分かる。一方、平成20年3月に告示された学習指導要領の解説理科編⁵⁾では、科学の基本的な見方や概念の定着を図る観点から「粒子」を柱として小・中・高等学校を通じた内容の構造化を図ることが示されており、物質の質量保存概念定着を図ることが求められている。その際、留意すべきことは、遠西・横山⁶⁾が述べるように「食塩は溶けて見えなくなっても食塩水の中にある」といった、閉鎖系においては物質が保存されているという概念を育成することが重要であると考えられる。そこで、本研究では、「重さの保存」について学習がなされる小学生に、粒子という見方や考え方の育成を促しながら物質の質量保存概念形成を図る有効な教授方法を検討することにした。

物質の質量保存概念形成を促す教授方法に関する先行研究を見ると、中島・戸北⁷⁾は、溶解時の質量保存概念の獲得に葛藤教材を利用した教授方法を提案している。その結果、砂課題や木片課題の葛藤教材を同時に提示し、類推を働かせるような課題提示と教授方法が有効であるとしている。しかしながら、この教授方法は学習した児童に粒子的な見方ができているかは明確でない。教授方法を実際に検証したものではないが、堀・松森・兵田⁸⁾は溶質と溶媒から水溶液が構成されているという考え方ができていない児童がいるといった調査の結果をもとに、「溶ける」ということについて、「溶質」、「溶媒」、「水溶液」の考えを子どもがイメージできるような理科授業を構成することが必要であるとしてい

る。子どもがイメージできるような理科授業を構成することの効果を調べたものの一つに宗近⁹⁾の研究がある。宗近は、児童の溶解概念の変容を図る教授方法として、粒子的視点を教師が導入し、児童の考えを図や文章でポスターづくりさせる2つの方法を授業に取り入れることの効果を検討している。結果は、砂糖を水に溶かした時の重さを問う問題で、粒子的視点を導入しポスターづくりも行ったクラスと粒子的視点を導入したがポスターづくりは行わなかったクラスと比較すると、前者に食塩等を水に溶かしても重さは同じとする児童が多かったとしている。しかし、学習4ヶ月後では、粒子的視点を導入しポスターづくりも行ったクラスと粒子的視点の導入もポスターづくりも行わないクラスと比較すると有意な差が見られていない。粒子的視点を導入しポスターづくりをすることの効果が十分明らかになったとは言えない。宗近が、授業方法とした個人の内部で生じる認知過程を観察可能な形で図や文章に表すことを認知科学では外化と呼んでいる。三宅・白水¹⁰⁾は、「外化という活動には、自身の認知活動の再吟味による学習内容についての理解深化を促す他に、他者との共有、新たな視点の獲得などのメリットが生まれる」としている。大島¹¹⁾は、「コンピュータ支援による教育では、学習活動を他者と共有できるように外化することと、外化した知識や考えを他者と共有しながら、それらをもとにさらに新しい知識を構築する活動を共有することが必要である」としている。溶解の概念について検討を行った高垣ら¹²⁾も、「個人内で行われる処理を個人間の役割として外化し指導者から適宜援助を受けながら個人間でやりとりを行う相互教授と Hashweh が提案する概念変容モデルの教授方略を関連づけることで質量保存概念変化の促進を促すことができた」と報告している。他者との関わりについて Crook¹³⁾は、「仲間との協同において認知的な効果をもたらすのはアイディアの明確化、葛藤、協同による説明構築といった過程である」としている。Chan¹⁴⁾もまた、「概念変化において重要な役割を果たすのは、知識の不足の認識、問いの創出、説明構築といった協同による説明構築活動に従事することである」としている。今日、理科教育学研究においても協同的な学習環境での学習者の考えを外化させることが概念形成に有効であるとする研究が見られるようになった(例えば、竹中ほか:2005, 高垣・田原:2006, 清水・山浦:2006)¹⁵⁾。しかしながら、こうした研究では、個人内で自身の考えを図示させるといった方法で外化させることが概念形成に有効であるのか、図示などにより自身の考えを外化させていくことに加え他者との関わりを持たせることが概念形成に有効なのかは十分明らかにされていない。

そこで、本研究の目的を、粒子という見方や考え方の育成を促しながら物質の質量保存概念形成を図る教授方法として、始めに物質が溶ける様子を個人内で図示させるという外化方法をとることの有効性を調べる。次に、物質が溶ける様子を個人内で図示させるという外化方法に加え、外化された図を使って他者と議論をさせることの有効性を検証することとする。それは、植田¹⁶⁾が外的資源の具体例として挙げている外化と他者が科学的な概念形成に有効に機能するかを調べることである。

II. 個人内で図示をすることの有効性(検証授業1)

1. 調査目的

溶解時の質量の保存概念学習では、物質の存在と質量との関係を結びつけ、物質の保存

概念と質量の保存概念を獲得させることが重要であると考え。そこで、水に溶けて見えなくなった溶質の「質量」に着目させ、それを目に見える形で図示することでその存在を意識させることが物質の質量保存概念形成を図る有効な教授方法であると考え、その有効性を検証する。なお、宗近¹⁷⁾は教師が粒子的視点を導入しポスターづくりをさせているが、本研究では食塩が溶けている様子を図示させる際に必ずしも粒子で表現させるのではなく、児童が頭の中で考えているイメージを図により外化させることにした。

2. 調査方法

(1) 調査対象及び時期

授業は、公立小学校の5年生、106名を対象とした。対象の被験者は、図と言葉で説明する群(以下、図示あり群と呼ぶ)と言葉のみで説明する群(以下、図示なし群と呼ぶ)に分けた。図示あり群の被験者は、二つの学級70名である。また、図示なし群の被験者は、一つの学級36名である。調査は、2006年の10月～12月に実施した。

(2) 授業の概要

検証授業は、「単元名：ものの溶け方」の12時間計画の9時間目に行った。授業時間は、両群共に45分である。児童は、これまでにホウ酸は水の量を変えたり水の温度を変えたりすると溶ける量が変わること、食塩は水の量を変えると溶ける量も変わるが水温を変えても溶ける量はほとんど変わらないこと、食塩水を蒸発乾固すると食塩が取り出せることを学習している。図示あり群で実施した授業の主な流れは、次のア～オのようである。

ア。「食塩を水に溶かしました。溶けた食塩水の重さはどうなるのだろうか」という課題提示を教師が行った。

イ. 各個人に、予想を選択肢から選択させた後、食塩が水に溶けている様子を図(図には、説明となる言葉もつけ加えさせた)に書かせた。

ウ. 実験を行い、各グループの結果をワークシートに記入させた後、クラス全体で「溶けても重さの和は変わらない」ことを確認した。

エ. 考察では、溶けても重さが変わらない理由をワークシートに図と言葉を使って記述させた。その際、予想時に書いた図や言葉を見直すよう教師が指示した。

オ. まとめの活動では、児童がエでワークシートに記述した図と言葉を、教師がクラス全体で見比べさせながら、「食塩は、溶けて見えなくなっても存在しているので重さは変わらない」とまとめた。その際、教師は児童の図の統一は行わなかった。

図示なし群では、授業の流れイは図の代わりに文章に書かせた。エも、個人の考察を文章化させた。オでは、クラス全体で溶けた食塩の重さについてまとめた後、図示あり群と同様に「食塩は溶けて見えなくなっても存在しているので重さの和は変わらない」と教師が授業をまとめた。それ以外の条件は、図示あり群と同じである。

(3) 調査

ア. 両群の等質性

両群の等質性は、授業実施の1ヶ月前に質問紙により調査した。質問は、「ビーカーに水が100g入っています。この水の中に10gの砂糖を入れてかき混ぜました。すると、砂糖は全部溶けて見えなくなりました。砂糖を溶かした後の液全体の重さは何gになると思いますか。自分の考えに合うものを一つ選び記号を書いて下さい。」というものである。110gより重い、110g、110g～100g、100g、100gより軽いの5つからなる選択肢から選ばせ、

さらにその理由を記述させた。

イ. 児童の考えの変容

個人内での考えを図示させるという外化方法をとることが質量保存概念の形成に与える効果を調べるため、授業中の児童が書いたワークシートへの記述、授業2ヶ月後の質問紙への回答により調べた。2ヶ月後調査の質問紙は、砂糖が水に完全に溶けきる場合の問題1と食塩が水に溶け残る場合の問題2の2つの問題からなる。問題1は、等質性調査と同じ問題とした。問題2は、「ビーカーに水が入っています。ビーカーと水を合わせた全体の重さは100gです。この水の中に50gの食塩を入れて十分にかき混ぜました。しかし、食塩の一部はビーカーの底に溶け残ってしまいました。この時の全体の重さは何gになると思いますか。」という問題である。100gより軽い、100gである、100～150gである、150gである、150gより重い5つの選択肢から選択させた。

3. 結果とその分析

(1) 両群の等質性

110gを選択し、「砂糖が溶けて見えなくなってもなくなったわけではないから」という趣旨で理由を回答したものを正答とした。両群の正答誤答の解答に分類した結果が、表1である。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算2×2で検定を行ったところ、有意差は見られなかった（両側検定： $p=0.7876$ ）。

表1 砂糖が溶けた溶液の重さ

	正答	誤答
図示あり群 (N=68)	12 (17.6)	56 (82.4)
図示なし群 (N=33)	5 (15.2)	28 (84.8)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

(2) 児童の考えの変容

ア. 授業中のワークシートの記述

① 図示された溶解の様子

予想時に、児童が食塩が水に溶ける様子を書いた図は小さな「丸」や「点」で表す児童が87%と多く、次に、シュリーレン現象のようにもやもやとした線で様子を表す児童が9%見られた。考察時に児童が書いた図は、96%が小さな「丸」や「点」で表していた。

② 考察時のワークシートへの記述

図示あり群と図示なし群を比較するため、考察時の記述の評価基準を作成した。教師のまとめと同様の趣旨で「食塩は溶けて見えなくなっても存在しているので重さは変わらない」記述がなされているものをA基準とし、「たしたもの」や「水の重さ+食塩の重さ」といった記述しかなされていないものをB基準とし、それ以外をC基準とした。その結果が、表2である。

A基準まで書けた記述とそれ以外、A基準とB基準を加えたものとC基準について、それぞれ図示あり群と図示なし群についてその人数を直接確率計算2×2で検定してみると有意差が見られた（両側検定： $p=0.0178$, $p=0.0011$ ）。さらに、A基準の記述には「こまか

なくなった塩がちらばっているから重さは変わらない」といった粒子の存在に触れる記述も

表 2 考察時の記述

	A 基準	B 基準	C 基準
図示あり群 (N=68)	25 (36.8)	11 (16.2)	32 (47.1)
図示なし群 (N=33)	4 (12.1)	2 (6.1)	27 (81.9)

注. 単位は, 人数。() 内の数字は%。

見られた。考察時の記述を比較した結果からは, 児童が頭の中で考えているイメージを図に書かせることは質量が保存されることを児童に気づかせる有効な教授方法であることを示唆している。

イ. 2ヶ月後調査の結果

① 砂糖が溶けた溶液の重さ (問題 1)

問題 1 では, 選択肢の 110g を選択し, 等質性調査と同様に「砂糖が溶けて見えなくなってもなくなったわけではないから」という趣旨で理由を回答したものを正答とした。両群の回答を分類した結果が, 表 4 である。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ, 有意差は見られなかった (両側検定: $p=0.3950$)。

表 4 砂糖が溶けた溶液の重さ (問題 1)

	正 答	誤 答
図示あり群 (N=68)	40 (58.9)	28 (41.1)
図示なし群 (N=33)	16 (48.5)	17 (51.5)

注. 単位は, 人数。() 内の数字は%。

② 溶け残りがある食塩水全体の重さ (問題 2)

問題 2 では, 選択肢の 150g を選択し, 「見えなくなった食塩も溶け残った食塩も重さがあるから」という趣旨で理由を回答したものを正答とした。両群の回答を分類した結果が, 表 5 である。

表 5 溶け残りがある食塩水の重さ (問題 2)

	正 答	誤 答
図示あり群 (N=68)	37 (54.4)	31 (45.6)
図示なし群 (N=33)	16 (48.5)	17 (51.5)

注. 単位は, 人数。() 内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接率計算 2×2 で検定を行ったところ, 有意差は見られなかった (両側検定: $p=0.6721$)。

2ヶ月後の2つの調査結果からは, 考察時の結果と異なり外化することの効果を見るこ

とはできない。

Ⅱ. 外化された図を使って他者と議論をさせることの有効性（検証授業2）

1. 調査目的

検証授業1の考察時の記述からは、食塩が溶けている様子を個人内で外化させることは有効と思われた。しかし、2ヶ月後調査の結果は、図示なし群と差がないという結果であった。そこで、検証授業2では、個人内で外化させることに加え、外化された図を使って他者と議論することが物質の質量保存概念形成を図る有効な教授方法となるのではないかと考え、その有効性を検証する。

2. 調査方法

(1) 調査対象及び時期

授業は、公立小学校の5年生、107名を対象とした。対象の被験者は、各自の考えを図で外化させた後、小グループで議論をする群（以下、議論あり群と呼ぶ）と小グループでの議論はしない群（以下、議論なし群と呼ぶ）に分けた。議論あり群の被験者は、2つの学級の12グループ72名である。また、議論なし群の被験者は、1つの学級35名である。調査は、2007年の9月～12月に実施した。

(2) 授業の概要

検証授業2も検証授業1と同じ流れで実施した。授業時間は、両群共に45分である。議論あり群で実施した授業の主な流れは、次のア～オのようである。

ア. 「食塩を水に溶かしました。溶けた食塩水の重さはどうなるのだろうか」という課題提示を教師が行った。

イ. 各個人に、予想を選択肢から選択させた後、食塩が水に溶けている様子を図（説明となる言葉もつけ加えさせた）に書かせた。その後、各人の考えた食塩が水に溶けている様子を表した図を示させながら重さはどうなるのかを小グループで10分間議論をさせた。

ウ. 実験を行い、各グループの結果をワークシートに記述させた後、クラス全体で「溶けても重さが変わらない」ことを確認した。

エ. 考察では、始めに個人で溶けても重さが変わらない理由をワークシートに記述させた。

記述後、各個人が考察したことについて小グループで5分間議論をさせた。その際、予想時の図を振り返り、友達と意見交換しながら図と記述を修正するよう教師が指示した。

オ. まとめでは、児童が修正した図を教師がクラス全体で見比べさせながら、「食塩は溶けて見えなくなっても存在しているので重さは変わらない」とまとめた。その際、教師は児童の図の統一は行わなかった。

議論なし群は、イでは予想を選択した後、その理由を各個人に図（図には、説明となる言葉もつけ加えさせた）に書かせた。エでは、個人の図を実験結果をもとに修正させながら、溶けても重さが変わらない理由をワークシートに記述させた。オでは、クラス全体で溶けた食塩の重さについてまとめた後、議論あり群と同様に「食塩は溶けて見えなくなっても存在しているので重さは変わらない」と教師が授業のまとめを行った。それ以外の条件は、議論あり群と同じである。

(3) 調査

ア. 両群の等質性

両群の等質性は、授業実施の1ヶ月前に質問紙により調査した。質問紙の内容は、検証授業1の等質性を調べる問題と同じとした。

イ. 児童の考えの変容

個人内で図示させるという外化方法をとることが質量保存概念の形成に与える効果を調べるため、授業中の児童が書いたワークシートへの記述、授業2ヶ月後の質問紙への回答により児童の考えの変容を調べた。なお、2ヶ月後調査の質問紙の問題は2問である。問題1、問題2ともに検証授業1と同じ問題とした。

ウ. 相互作用

他者に説明し、議論することの効果調べるため、議論あり群の予想時及び考察時の発話の量的・質的分析を行った。発話の収集は、各グループにステレオマイクの付いたMDレコーダーを設置し、記録した。発話プロトコルの量的分析では、発話を内容に関する発話と内容に関しない発話に分類した。

3. 結果とその分析

(1) 両群の等質性

選択肢の110gを選択し、「砂糖が溶けて見えなくなってもなくなったわけではないから」という趣旨で理由を回答したものを正答とした。両群の正答誤答の解答に分類した結果が、表6である。

表6 砂糖が溶けた溶液の重さ

	正答	誤答
議論あり群 (N=72)	18 (25.0)	54 (75.0)
議論なし群 (N=35)	7 (20.0)	28 (80.0)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定を行ったところ、有意差は見られなかった (両側検定: $p=0.6334$)。

(2) 児童の考えの変容

ア. 授業中のワークシートの記述

① 図示された溶解の様子

予想時に、児童が食塩が水に溶ける様子を書いた主な図は検証授業1と同様に、小さな「丸」や「点」で表す児童が実験群65%、統制群74%とともに多く、次に、シュリーレン現象のようにもやもやとした線で様子を表す児童が実験群13%、統制群19%見られた。考察時に児童が書いた図は、実験群65%、統制群69%が小さな「丸」や「点」で表し、もやもやとした線で様子を表す児童が実験群11%、統制群11%見られた。

② 考察時のワークシートの記述

図示あり群と図示なし群を比較するため、考察時の記述の評価基準を作成した。評価基準は、検証授業1と同様に、「食塩は溶けて見えなくなっても存在しているので重さは変わらない」記述がなされているものをA基準とし、「たしたもの」や「水の重さ+食塩の

重さ」といった記述しかなされていないものをB基準とし、それ以外をC基準とした。その結果が、表7である。

表7 考察時の記述

	A基準	B基準	C基準
議論あり群 (N=72)	30 (41.7)	25 (34.7)	17 (23.6)
議論なし群 (N=35)	14 (40.0)	8 (22.9)	13 (37.1)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

A基準まで書けた記述とそれ以外、A基準とB基準を加えたものとC基準について、それぞれ議論あり群と議論なし群についてその人数を直接確率計算 2×2 で検定してみると、有意差は見られなかった(両側検定: $p=0.9999$, $p=0.1714$)。

イ. 2ヶ月後調査の結果

① 砂糖が溶けた溶液の重さ(問題1)

正答を検証授業1の2ヶ月後調査と同じ基準で求め、両群の回答を分類した結果が表8である。

表8 砂糖が溶けた溶液の重さ(問題1)

	正答	誤答
議論あり群 (N=72)	49 (68.1)	23 (31.9)
議論なし群 (N=35)	16 (45.7)	19 (54.3)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定してみると、有意差が見られた(両側検定: $p=0.0350$)。

② 溶け残りがある食塩水全体の重さ(問題2)

正答を検証授業1の2ヶ月後調査と同じ基準で求め、両群の回答を分類した結果が表9である。

表9 溶け残りがある食塩水の重さ(問題2)

	正答	誤答
議論あり群 (N=72)	45 (62.5)	27 (37.5)
議論なし群 (N=35)	14 (40.0)	21 (60.0)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

2つの群の正答数と誤答数について直接確率計算 2×2 で検定してみると、有意差が見られた(両側検定: $p=0.0382$)。

(3) 相互作用

ア. 予想時

予想時の議論における 12 グループの平均発話数と発話時間は、表 10 のようである。議論時間の 448 秒（75 %）を内容に関する議論をしていることが分かる。

表 10 予想時の議論（600秒）

	内容に関する発話	内容に関しない発話
発話数	102 個	30 個
発話時間	448 秒	98 秒

その予想時の発話プロトコルの 1 例として、2 組 1 班を取り上げてみると図 3 のようである。この 1 班では、議論前の個人の予想では全体の重さを A と B は選択肢のエ（水と食塩の重さの和の 110g）、C は選択肢のイ（100g）、D は選択肢のウ（100 ～ 110g）と予想をたてていた。しかし、議論後の班としての予想はイを選択している。

33A	食塩 10g 入れるんだよ
34B	10g だよ
35C	だけどー、水に、じゃあ、水とまじわっちゃうんじゃない
36B	水に混じってもー
37A	消えてなくなるわけじゃないんだよ
38D	うん、それは確かにそう
39C	だけどそうなのー
40A	見えなくなるだけで、消えてなくなるわけじゃない
41C	だけどー、溶けちゃうんだよ。溶けたら蒸発しないと出てこないじゃん
42A	蒸発させたら出てきたじゃん
43C	だから、でも、蒸発しないと出てこないじゃん
	(中略)
118B	あのさ、点点々って（書いた図をさして）
119C	ということは、塩は溶けないんですか
120A	なくなったわけじゃないんだよ
121D	成分は残ってる
122C	成分残ってるだから重さは消えちゃってるじゃん
123A	溶けて見えなくなってるんだよ
124C	溶けて見えなくなってるのに、何であるんですか？
125D	溶けてるんだよ
126C	ねえ、イ、イ、イ
	(中略)
139B	食塩水はなんでさ、しょっぱくなるの？
140D	塩入れたから
141C	だから成分だけ残る
142D	周りは溶けちゃうんだよな、塩の
143C	で、成分だけ残る
144B	溶けないんだ
145C	じゃあ味は変わらないはずだよ
146A	あーそう、じゃあイでいっか

図 3 予想時の発話例

1 班の予想時の発話からは、児童 A が 40A で「消えてなくなるわけじゃない」と正し

い考え方を主張しているのにもかかわらず、124Cに見られるような食塩の重さは溶けてなくなると主張する児童Cの発話により予想をエからイに変更していく様子を見ることが出来る。児童Bも118 Bで溶けている様子を書いた図を示しながら溶けてもなくならないことを説明しようとしているがCやDの発話により予想をエからイに変更している。

イ. 考察時

考察時の議論における12グループの平均発話数と発話時間は、表11のようである。議論時間の92秒(31%)を内容に関する議論をしていることが分かる。予想時に比べると児童相互の議論時間は少ない。

表11 考察時の議論(300秒)

	内容に関する発話	内容に関しない発話
発話数	22 個	25 個
発話時間	92 秒	89 秒

考察時の発話例として、予想時の例として取り上げた同じ2組1班を取り上げてみると図4のようである。

7A うわー、予想どおりじゃなかったね
 8B 予想どおりじゃなかったね
 (中略)
 25B 僕達合ってたぜ
 26D うってどうなるんだろう？はずれだよね？
 27B はずれだね
 (中略)
 32A 予想と結果をもとに、なぜそうなったかを理由をもとに、図と言葉で説明しなさいってあるから、考えてやってみて
 33C $100 + 10 = 110$
 (中略)
 65A 10g プラスされるだけ
 66B でした
 67A 入れた分の重さがプラスされて
 68D 水に食塩を入れて、なくなる…
 69A なくなるわけではない

図4 考察時の発話例

AとBは、グループでたてた予想がはずれていたことを7Aや8Bで確認し、自分達があっていたことを25Bや27Bで確信している。Aは、32AにあるようにCやDに実験結果がなぜそうなるのかを求め、69Aで「なくなるわけではない」と予想で述べていた考えをBとともに確認している。こうした他者や個人内での対話が、他にも例えば6班の「えーと、だから…見えなくなっても…」「うん、いいんだよ。水の中には…ちゃんと食塩が入っている」「だから、110gになった」といったように、すべての班で行われていた。

IV. 考察

検証授業1の2ヶ月後調査の結果からは、個人内で水に溶けている食塩の様子を図示をさせるという外化の手立てだけでは、宗近¹⁸⁾の研究と同様に質量の保存概念を形成させる十分な方法であるとは言えないことが明らかになった。一方、検証授業2からは、学習直後には差が見られないが、2ヶ月後調査の結果を見ると外化された図を使って他者と議論をさせることは質量保存概念の形成に有効であると言えた。

2つの検証授業の結果からは、次のことが考えられる。溶解概念を形成するには、児童に個人内の考えを図により外化させることは有効である。しかし、個人内だけの外化では、形成した概念を長期にわたって保持できない。検証授業2の予想時の発言からは、児童は外化した図などをもとに「水に溶けても消えてなくなるわけじゃない」と説明できていても他者の発言により考えを変更してしまう様子を見ることができた。個人内で外化した考えが定着していくためには、相互の交流といった他者及び個人内での対話により外化した考えに確信をもっていくことが必要であると考えることができよう。

V. 研究のまとめ

本研究では、質量保存概念形成を図る教授方法として、個人内の考えを外化する方法と、外化された図を使って他者と議論する方法の効果を検証した。研究の成果として、質量保存概念の形成には、個人内の考えを図に書かせて外化するだけでは有効な教授方法であるとは言えず、外化に加えて他者と議論させることが科学的な概念形成に必要であることが分かった。

実験授業の範囲内という条件付きではあるが、科学的な概念形成には、植田¹⁹⁾が外的資源の具体例として挙げる個人内の考えを図などに書かせて外化することに加え、外化したものを他者という外的資源と議論しながら考えをまとめさせていくことが必要であると言える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、授業を実施いただいた北本市立東小学校の百瀬直人先生、さいたま市立与野本町小学校の紺野雅弘先生に心から感謝申し上げます。

註・引用文献

- 1) 国立教育政策研究所教育過程研究センター：「平成 15 年度小・中学校教育過程実施状況調査結果の概要及び教科別分析」, 2005
- 2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター：「特定の課題に関する調査（理科）調査結果（小・中学校）」, 2007
- 3) 宗近秀夫：「小・中学生の溶解概念に関する実態調査」, 理科教育学研究, 40(3), 13-22, 2000
- 4) 平田昭雄・井筒みほ・降旗勝信：「小学生における重さの保存概念形成の学年推移に関する調査研究」, 東京学芸大学紀要第4部門数学・自然科学, 37, 93-104, 1985
- 5) 文部科学省：「小学校学習指導要領解説理科編」, 2008
- 6) 遠西昭寿・横山治郎：「水溶液における重さの保存に対する子どもの考え」, 日本理科

教育学会研究紀要, 34(2), 45-52

- 7) 中島稔・戸北凱惟：「葛藤教材の同時提示による溶解時の質量保存に関する学習者の理解」, 日本理科教育学会研究紀要, 39(1), 31-39, 1998
- 8) 堀哲夫・松森靖夫・兵田清彦：「水溶液概念の理解に関する基礎的研究－水溶液を二分したときの濃さを中心にして－」, 日本理科教育学会研究紀要, 38(3), 189-204, 1998
- 9) 宗近秀夫：「小学生の溶解認識における概念変容の研究」, 理科教育学研究, 43(2), 1-13, 2002
- 10) 三宅なほみ・白水始：「認知科学辞典」, 共立出版, 2002
- 11) 大島純：「コンピュータ・ネットワークの学習環境としての可能性」, 佐伯胖(編)『岩波講座現代の教育8：情報とメディア』, 岩波書店, 1998
- 12) 高垣マユミ・田爪宏二・村瀬歩：「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－溶解時の質量保存の事例的検討－」, 教育心理学研究, 55(3), 426-437, 2007
- 13) Crook, C. : On resourcing a concern for collaboration within peer interaction. *Cognition and Instruction*, 13(4), 541-548, 1995
- 14) Carol K.K. Chan : Problem-centred inquiry in collaborative science learning, *認知科学* 3(4), 44-62, 1996
- 15) 竹内真希子・稲垣成哲・山口悦司・大島純・大島律子・村山功・中山迅・山本智一：
「Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化：動物の発生と成長をテーマとした小学校の理科授業を事例にして」, *科学教育研究*, 29(1), 25-38, 2005
高垣マユミ・田原裕登志：「小学校 4 年理科水の状態変化の既有概念の変容過程における発話の解釈的分析」, *理科教育学研究*, 46(2), 29-38, 2006
清水誠・山浦麻紀：「考えを外化し話し合いをすることが概念的知識の一般化に及ぼす効果－花の働きの学習を事例に－」, *理科教育学研究*, 47(1), 35-44, 2006
- 16) 植田一博：「外的資源」, *認知科学辞典*, 共立出版, 110, 2002.
- 17) 同掲載書 9)
- 18) 同掲載書 9)
- 19) 同掲載書 16)

研究課題番号 20530801
平成 20 年度～ 22 年度科学研究費補助金（基盤研究（C））
研究成果報告書

外的リソースを導入した教授・学習方法の開発と教師教育への適用

平成 23 年（2011 年）3 月

発行者 埼玉大学教育学部教授
清水 誠

連絡先 〒 338-8570 さいたま市桜区下大久保 2 5 5
埼玉大学教育学部理科教育講座 電話 0 4 8 - 8 5 8 - 3 2 2 4
e-mail shimizum@mail.saitama-u.ac.jp

印刷 株式会社信陽堂
