

機関番号：12401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20530801

研究課題名（和文） 外的リソースを導入した教授・学習方法の構築と教師教育への適用

研究課題名（英文） The Development of the Teaching and Learning Method to the effect of external resources on the formation of scientific concepts and the Application to the Teachers' Education

研究代表者

清水 誠 (SHIMIZU MAKOTO)

埼玉大学・教育学部・教授

研究者番号：30292634

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、児童生徒が関わる様々な外的リソースが科学的な概念の形成に有効に働いていくのかを明らかにし、その上で、科学的な概念の形成を図るための理科の教授・学習方法を構築し、教師教育へ提供していくことである。12の事例研究を行った結果からは、物や人といった外的資源を用意することで問題の解決に必要な制約が顕在化され、科学的な概念形成に有効に機能することを示すことができた。こうした成果を公開し、教師教育への適用を図った。

研究成果の概要（英文）：We examine the effect of an external resources on the formation of scientific concepts. Then, we apply the teaching and learning method that we built to teacher education. From the result of 12 case studies that we performed, the external resource such as a thing and the person promoted a solution to the problem. This suggests that the visual representation of external resources has the effect of directing the student's attention towards certain aspects, which aided them in the efficient formation of the scientific concept. We showed these results to the teachers and planned an application to their training.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究代表者の専門分野：理科教育学

科研費の分科・細目：教育学・教科教育学・理科

キーワード：外的リソース、理科学習、操作可能性、顕在性、概念形成

### 1. 研究開始当初の背景

PISA 調査（2003）等の各種調査から、我が国の児童・生徒の科学的な思考力や科学的な概念の形成を図り、確かな学力を育むための教授・学習方法の開発が課題になっている。そうした中、認知科学では、物、他者、社会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。背景には、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。しかしながら、問題解決等に外的資源が有効に機能する可能性が指摘されているが、理論的な指摘にとどまり、実証データが得られてい

ない。理科教育学研究においても、外的リソースが児童・生徒の科学的な概念の形成にどのように働くかは明らかにされていない。外的リソースを効果的に活用した教授・学習方法を構築し、小・中学校等の授業実践におおした研究が求められている。

## 2. 研究の目的

- (1) 児童・生徒の科学的な概念形成を図る外的リソースを導入した教授・学習方法を構築する。
- (2) 構築された教授・学習方法をもとに、教師教育への適用を図る。

## 3. 研究の方法

研究は、①人間の認知活動に外的リソースがどのように働くかを明らかにする、②外的リソースを導入した実験的な授業からその効果を検証する、③外的リソースを活用した教授・学習方法の構築を行う、④教師教育への適用方法を図るという手順で進めた。具体的な研究の方法は、下記のようなものである。

- (1) 外的リソースが思考力や概念形成をどのように促すかを調べた先行研究を総括する。
- (2) 人がどのようにして外的リソースと関わりながら問題を解決し、科学的な概念を形成していくのか、その要件や働きは何かをフィールドワーク、アクションリサーチという研究方法を採用し明らかにする。
- (3) 外的リソースを効果的に活用した教授・学習方法の構築を図る。
- (4) 外的リソースを導入した教授・学習方法により検証授業を行い、その成果を明らかにする。
- (5) 研究成果をまとめ教師教育へ適用する。

## 4. 研究成果

研究成果は、これまでの研究を概観した研究と3つの研究の視点からまとめた12の事例研究からなる。研究の視点の一つ目は、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。二つ目は、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。三つ目は、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。なお、ここからは外的リソースという言葉で理科の学会等で発表してきた外的資源という言葉で統一する。研究の詳細は、研究成果を公開した下記のホームページに掲載してある。

[http://sucra.saitama-u.ac.jp/modules/xo\\_nips/detail.php?id=KK20530801](http://sucra.saitama-u.ac.jp/modules/xo_nips/detail.php?id=KK20530801)

以下、研究成果の概要を述べると次のようである。

(1) 「外的資源」をとりあげた研究の概観  
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 & Simon 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。Norman 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 Norman 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 & Parkins 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ことが分かった。(2) 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結果は次のようである。

ア. 外的資源が科学的な概念の形成に与える効果

ここでは、外的資源の持つ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した。授業での検証は、慣性の法則の学習において実施した。外的資源としては、発砲スチロール球を用意した(図1)。学習者への課題は、「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」というものである。



図1 発砲スチロール球の入ったボウル

結果は、外的資源を用意した生徒たちは、用意しなかった生徒たち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。発砲スチロール球を用意した生徒たちは、発砲スチロール球を意識して観察していたり、水の速さに着目して観察できていることが発話プロトコルや面接調査から確認できた。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が示唆された。

イ. 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

ここでは、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について検証することを目的とした。授業は、台風の進路の学習内容で実施した。外的資源として、実験群は気象衛星画像(図2)に加えクリアシートとカラーシールを用意した。統制群は、気象衛星画像のみを用意した。

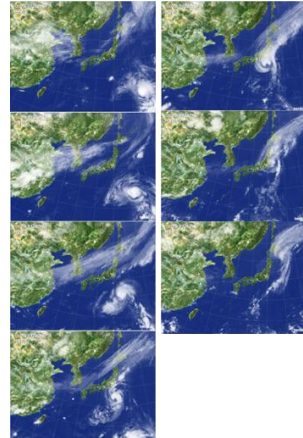


図2 気象衛星画像



図3 クリアシートを全て重ねた様子

学習を行った結果は、実験群が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。実験群の児童たちには、クリアシートを重ねる行動(図3)や、重ねることで台風の動きが顕在化したことに気付いた発話が多く見られた。また、重ねたクリアシートをもとに台風の動きを他者と比較・検討している発話を多く確認することができた。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が示唆された。

ウ. イメージ・スキーマが科学的な概念の形成に与える効果

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。ここでは、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した。検証のために、授業前に実験群にイメージ・スキーマを持たせる授業を行った。次に、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を行った。

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。また、発話プロトコルの分析からは、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何うことができた。理科における問題解決においても、仮屋園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ことが明らかになった。

(3) 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結果は次のようである。

ア. 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

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ている。ここでは、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した。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った。

結果は、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(有意差有り)ことが明らかになった(表1)。

表1 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。

観察時に認知負荷を軽減する外化方法を用意することで、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が示唆された。

イ. 実験時に他者と関わることで理科学習に与える効果

ここでは、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、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を目的とした。検証のための授業は、「消化と吸収」の学習で行った。

結果は、生徒がグループで行う実験方法は、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ことであった。実験中の発話時間や発話数を調べてみると、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った。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った。実験結果を科学的に解釈することができたり、実験方法を長期に記憶している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たことにあると考えることができる。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。

(4) 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結果は、次のようである。

ア. 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

ここでは、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、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した。

2ヶ月後にササヤクヌギといった植物に対しても花が咲くと考えることができるかを調べた結果からは、単に口頭により議論をさせることに比べ、自分の考えを書いたものを書き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が分かった(図4)。また、学習者が考えを変更していく過程では、

問いの創出や擁護、同意といった説明活動が生じていることも伺うことができた。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ことが示唆された。

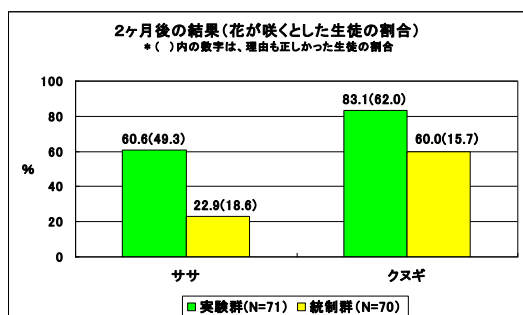


図4 花が咲くとした生徒の割合

#### イ. 考えを外化し議論することの効果

ここでは、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た。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した。それは、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。

結果は、砂糖が溶けた溶液の重さについて調べたところ有意差は見られず、質量保存概念形成には、児童の考えを図を使って外化させるだけでは有効な教授方法であるとは言えないことが分かった(表2)。

表2 砂糖が溶けた溶液の重さ

	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%。

一方で、外化した図を使って他者と議論させる方法では有意差が見られ、有効な教授方法であることが明らかになった(表3)。

表3 砂糖が溶けた溶液の重さ

	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%。

科学的な概念形成には、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が示唆された。

#### (5) 研究成果のまとめ

12の事例研究を行った結果からは、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。外的資源の持つ、操作することが可能であり、多様な考えを明示することができるということが、解決に必要な制約を顕在化し、科学的な概念の形成を促すと考えることができた。外的リソースを活用した教授・学習方法は、児童・生徒の科学的な思考力や科学的な概念の形成を図る有効な方法であるといえる。そこで、本研究で取り上げた教授・学習方法とその成果を大学での教職の講義のみならず、教員の研修等の場に広く公開し、教師教育への適用を図った。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計11件)

- ① 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、51(3)、2011、209-215
- ② 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、査読無、10、2011、59-65
- ③ 高垣マユミ、田爪宏二、清水誠、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)、査読無、60(1)、2011、1-8
- ④ 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、34(2)、2010、237-244
- ⑤ 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、51(1)、2010、75-81
- ⑥ 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、50(3)、2010、109-116
- ⑦ 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、査読無、9、2010、41-49

- ⑧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、50(2)、2009、81-88
- ⑨清水誠、渡邊文代、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、58(680)、2009、66-69
- ⑩坂田尚子、高垣マユミ、松浦静治、森嘉代子、清水誠、The Case Study of Rika Class Reflections by Video Analyses Through Fieldwork Activities、埼玉大学紀要(教育学部)、査読無、58(1)、2009、9-13
- ⑪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、49(1)、2008、65-72

[学会発表] (計 11 件)

- ①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. 9. 11、広島大学
- ②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. 8. 8、山梨大学
- ③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. 8. 7、山梨大学
- ④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、日本理科教育学会第 48 回関東支部大会、2009. 11. 1、宇都宮大学
- ⑤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. 8. 26、同志社女子大学
- ⑥清水誠、小森栄治、田中修平、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. 8. 25、同志社女子大学
- ⑦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. 8. 19、宮城教育大学
- ⑧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. 11. 15、千葉大学
- ⑨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. 11. 15、千葉大学

⑩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. 9. 14、福井大学

⑪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 年ものものつけ方を事例に—、日本科学教育学会第 32 回年会、2008. 8. 23、岡山理科大学

[図書] (計 2 件)

①清水誠(橋本健夫、鶴岡義彦、川上昭吾編著)、生命・地球の内容構成(現代理科教育改革の特色とその具現化)、東洋館出版社、2010、237(66-73)

②高垣マユミ、風間書房、認知的/社会的文脈を統合した学習環境のデザイン、2009、202

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：  
○取得状況(計 0 件)  
名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://sucra-rd.saitama-u.ac.jp/search/profile.do?lng=ja&id=OpSNyUyC>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 誠 (SHIMIZU MAKOTO)  
埼玉大学・教育学部・教授  
研究者番号：30292634

(2) 研究分担者

高垣 マユミ (TAKAGAKI MAYUMI)  
実践女子大学・生活科学部・教授  
研究者番号：50350567

(3) 連携研究者

なし