

科学的な概念形成を促す協同的な学習のデザイン

Design of collaborative learning that promotes the formation of scientific concepts

清水 誠*

Makoto SHIMIZU

I. 問題と目的

認知科学の研究者達は、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 (Crook, 1995) ことや説明生成は理解を促進する中心的な役目を果たす (Chi ら, 1994) こと等を明らかにしてきた。我が国の科学教育研究においても、学びを他者との関わりの中で見直そうとする研究が数多く見られるようになった。

(例えば、稲垣・山口・上辻; 1998、森本・瀧口・八嶋; 1999、太田・西川; 2001、高垣; 2004、久保田・西川; 2004、大黒・稲垣; 2006、山下; 2007)。しかしながら、Li (2003) は協同することは学習内容を理解したり科学的発見のスキルを獲得することを促すものとして期待されるものの、何が協同による発見を促すのかと言うと、そうした効果が証明されているとは言い難いとする。また、亀田 (2000) は、協同を行うグループの問題解決のパフォーマンスについて調べた結果、機械的な集約のみを行うグループのパフォーマンスを有意に上回らないどころか、下回る場合さえあるとしている。どのような協同的な学習をデザインすれば、科学的な概念を形成することができるようになるかを明らかにしていくことは大きな課題といえる。Bransford ら (1999) は、協同的な学習デザインとして抽象的な知識の獲得には具体的な行動や図表などの外的な表象との相互作用が有効であるとし、認知活動場面における外化 (externalization)¹⁾ の重要性を述べている。大浦・白水 (2004) は、思考過程の全てが心の中で行われているわけではなく、表象はしばしば外的な形態をとる。内的に保持された表象を変換することは大きな心的労力を要するため、言語化などといった方法で外化することで思考が促進される場合が多いと指摘する。協同的な学習場面で多様な考えを外化した形で集めることは、それをどうみるかという見立ての言語化を引き出し、複数の形をまとめる機会を保証し、各学習者の見立ての再吟味と深化を可能にするとしている。こうした研究からは、協同的な認知活動を有効にするには学習者自身の考えを外化させるといった学習デザインを考えていくことが重要であると考えられる。科学教育研究においても協同的な学習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、大黒ほか: 2007)。しかしながら、これまでの研究は科学的な概念の形成に外化することが有効に働いているのか、他者との相互作用が有効に働いているのか定かではない。

本研究は、筆者がこれまで執筆してきた6つの論文を総括し、他者との相互作用が科学的な概念の形成に有効に機能するのか、外化することは科学的な概念形成にどのような効果をもたらすのかを考察し、児童生徒の科学的な概念形成を促す協同的な学習デザインを検討する。

* 埼玉大学教育学部理科教育講座

II. 他者と関わることの効果

検討する論文は、清水・大山・中村（2008）及び清水・福田（2006）の二つの論文である。

1. 清水・大山・中村（2008）論文からの考察

ア. 論文の概要

本論文は、実験を行う際の人数の違いが科学的な概念の形成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、「消化と吸収」の授業で行っている。公立中学校2年生を、2人組で実験を行う群（2人組実験群）と1人で実験を行う群（個別実験群）に分けている。2人組実験群の被験者は2学級62人、個別実験群の被験者は2学級63人である。2人組実験群の授業は、教師が学習課題「なぜ、だ液はデンプンを糖に変えるのか」を提示し、生徒に課題に対する個人の予想をワークシートに記述させた後、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、予想を検証するための実験方法を教師が提示し、2人で一つの実験道具と材料を使って実験を行っている。グループは、クラスの生活グループをもとに男女別の2人で編成している。実験時のグループ内の役割は、特に設けていない。実験後、生徒に個人で考察したことをワークシートに記述させた後、その考察を発表させ、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ている。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ている。

イ. 論文の結論

生徒のワークシートの記述からは、2人組実験群が個別実験群に比べ結果を科学的に解釈できた生徒が多く見られたことが明らかにされている。また、実験時の発話プロトコルを調べた結果からは、2人組実験群が個別実験群に比べ発話数が多いこと、相手の発話を受け止め積極的に他者に応答する発話や話し合いの進行を調節するといった相互作用の強い発話が時間、発話数ともに多く見られるということが明らかにされている。

ウ. 清水・大山・中村論文からの考察

清水・大山・中村論文からは、実験を2人組で行う教授方法は個別で行う教授方法に比べ、互いの関わりが強く生まれることや科学的な概念の形成に有効であることが示されている。他者と関わるのが科学的な概念形成に重要であることが示唆される。

2. 清水・福田（2006）論文からの考察

ア. 論文の概要

本論文は、モデルづくりを通して観察した群がスケッチにより観察させた群よりも多くの葉の付き方の規則性を発見できる（清水、2003）とする原因を、児童相互の話し合いの様子から探ることを目的としている。被験者は、公立小学校6年生（モデルづくり群、スケッチ群ともに35人）である。葉の付き方を観察させる際、茎に見立てた丸棒に紙で作成した葉をさしていく作業を行う際の観察時の発話プロトコルを分析するという形で進められている。

イ. 論文の結論

観察中の発話プロトコルを調べた結果は、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く、葉の付き方の規則性についてより多く話題としているということであっ

た。観察者が葉の付き方をどのように見ているかが他者からよく見えるモデルづくりは、他者との間に話し合いが生まれやすく、概念の形成に有効に働くと考えられるとしている。

ウ. 清水・福田論文からの考察

本論文からは、他者がいて他者と関わりやすい学習環境があると、他者との相互作用が生まれやすくなり、結果として科学的な概念の形成が促進されると考えることができる。

3. 清水・大山・中村論文及び清水・福田論文からの考察

清水・大山・中村論文では、ペアをつくることで他者との関わりが強く生まれ、結果として科学的な概念形成に有効であるといえた。また、清水・福田論文からは他者と関わりやすくすると、他者との相互作用が促進され、結果として科学的な概念の形成に有効であると考えられる。二つの論文からは、科学的な概念の形成には他者との関わりが重要であることが示唆される。

Ⅲ. 小グループによる話し合いの効果

検討する論文は清水・佐國（2003）及び清水・石井・海津・島田（2005）の二つの論文である。

1. 清水・佐國（2003）論文からの考察

ア. 論文の概要

本論文は、小グループでの話し合いを授業に取り入れることが児童の学びにどのような効果が見られるかを調べたものである。公立小学校6年生2クラス（各33人）を対象に、小グループで話し合いを行わせた群と教師が進行役となり教室全員で話し合いながら授業を進める群で比較している。授業課題は、「新しいいものデンプンはどこでできるか」である。小グループは、清水・小峰（2002）の研究結果を受けて、考えの異なる児童によりグループ編成を行っている。

イ. 論文の結論

科学的な概念が形成されたかを調べた質問紙調査の結果は、学習終了後において両群で有意な差は見られなかったが、自分の考えに「自信がある」かを調べた結果は、小グループで話し合いをした群が教室全員で話し合いをした群に比べ多いことが分かった。小グループで話し合いをさせることは、形成された概念に対して児童に自信を持たせることができるとしている。

ウ. 清水・佐國論文からの考察

本論文からは、小グループで話し合いをさせることで児童が形成された科学的な概念に対してコミットメントしている様子を伺うことができる。概念の形成が意味の記憶に加えてコミットメントの構成とその発展（森本、1993）と捉えるなら、小グループでの話し合いは科学的な概念の形成に有効であるといえる。

2. 清水・石井・海津・島田（2005）論文からの考察

ア. 論文の概要

本論文は、小グループでの話し合いを授業に取り入れることが科学的な概念形成に及ぼす効果を調べたものである。話し合い方法は、清水・佐國（2003）論文に比べ二つの点で改善している。一点目は、話し合いの際に各自の考えを明確化するためワークシートに考えを記述させているこ

と、話し合い後に付箋紙に自分の名前を書いて黒板に貼り考えを確認していることである。二点目は、小グループでの話し合いでは、各自の考えが反映され、参加者関係が同時にあちこちで起きる話し合いが生まれるよう話し合いの仕方が書かれたカードを用意し、司会者を立てて話し合いをさせていることである。検証授業は、水の状態変化についての学習内容について行っている(34人)。授業課題は、「お湯の中から出る泡は何？」である。授業は、課題に対する各自の予想について小グループで話し合いをさせ、話し合い後の自分の考えをワークシートに記述させた。児童には、教師が板書したいくつかの予想の中で最も自分の考えに近いと考える予想に各自の名前を貼らせた。実験後、個人での考察をもとに小グループで話し合いを行わせ、話し合いの結果をもとに各自が考察をまとめた。その後、教師が発生した泡は水蒸気であるとまとめを行っている。比較に用いた小グループによる話し合いを行わない群(148人)の授業は、教師が実験方法を説明し、実験により三角フラスコの中で発生している泡をビニール袋に集め、ビニール袋がその後どうなるかを考察し、教師がクラス全体でまとめるという授業である。

イ. 論文の結論

授業2ヶ月後の概念調査からは、水を熱した時に水中から出てくる泡是水蒸気であると回答した実験群の児童の割合(88.2%)が統制群(61.5%)に比べ多いこと。また、その理由を科学的な根拠に基づいて回答できた児童数は、実験群(38.2%)が統制群(15.5%)に比べ多いことが見られたとしている。さらに、実験群の小グループの発話プロトコルを見ると、生徒が自身の既存の概念に対し見直しや再吟味を行っている様子を伺うことができたとしている。こうした結果から、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。

ウ. 清水・石井・海津・島田論文からの考察

本論文からは、話し合いの方法を改善すれば、小グループで話し合いをさせる教授方法は、科学的な概念の形成に有効な教授方法となり得ると考えることができる。

3. 清水・佐國論文及び清水・石井・海津・島田論文からの考察

二つの論文から、小グループで話し合いをさせる教授方法は、形成した概念に対して児童に自信を持たせることができ、科学的な概念の形成に有効に働く可能性があるといえる。

IV. 考えを図等により外化させ、話し合いをすることの効果

検討する論文は、清水・山浦(2006)及び清水・久保・大高(2010)の二つの論文である。

1. 清水・山浦(2006)論文からの考察

ア. 論文の概要

本論文は、学習者の内的な理解状態を他者にもよく見えるように明示させながら相互作用を促すことが科学的な概念形成に効果があるかを調べたものである。手続きとして、予想時に生徒が小グループで議論を行う際に、個人の考えがよく見えるように画用紙という道具を使って議論をする群と個人の考えを口頭でのみ発表する群に分け比較している。検証授業は、花の働きについての内容である。学習課題は、「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？」である。被験者は、公立中学校1年生の4クラス144人（実験群：71、統制群：73）である。実験群は、課題に対する自分の予想を画用紙に記述させ、次に、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させている。統制群では、ワークシートに書いた各自の予想を口頭で発表しながら議論をさせている。その後、両群ともに話し合い後の自分の考えをワークシートに記述、発表させ、教師が予想をまとめたものを板書した後、いろいろな花の観察をさせている。観察後は、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、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、ワークシートに書かれた自分の予想と比較・確認させた後、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ている。なお、話し合いでは各自の考えが反映されるよう司会者を立てている。

イ. 論文の結論

科学的な概念が形成されたかを調べた2ヶ月後の質問紙調査の結果は、学習後の生徒でも概念が形成されにくいとされる植物でも子孫を残すため花が咲くと理由まで記述できた生徒が実験群の生徒に多く見られた。また、実験群の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いることが見られたとしている。こうした結果から、考えを可視化しながら議論をさせる教授方法は、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的知識の一般化に有効に働くこと、その要因として考えに対する疑問、葛藤による問いの創出や説明構築が生まれていたことが考えられるとしている。

ウ. 清水・山浦論文からの考察

清水・山浦論文からは、科学的な概念形成を図るには、各自の見方や考え方を自分にも他者にもよく見えるように外の世界に表現し、他者と相互作用させることは有効な方法であるといえる。同様な結果は、清水・阿佐見・庄司（2008）が小学校6年生を被験者に、肺の働きの学習の考察時に図を用いて個人の考えを外化させ話し合いをさせた授業でも認められている。また、学習内容が異なるため一概に比較はできないが、清水・佐國（2003）や清水・石井・海津・島田（2005）のような小グループでの話し合いのみの授業に比べ、他者によく見えるように外化させ話し合いをさせる教授方法は科学的な根拠をもとに説明できる児童生徒の割合が多く見られる傾向にあるといえる。

2. 清水・久保・大高（2010）論文からの考察

ア. 論文の概要

本論文は、質量保存概念形成を図るために、個人内の考えを図示により外化させる教授方法（検証授業1）の有効性と、外化された図を使って他者と議論する教授方法（検証授業2）の有効性を検証することを目的としている。授業は、「単元名：ものの溶け方」の学習で実施された。

<検証授業1>

検証授業1は、水に溶けて見えなくなった溶質を目に見える形で図示させ、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、その有効性を検証したものである。被験者を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。被験者は、公立小学校5年生の3クラス106人（図示あり群：70、図示なし群：36）である。学習課題は、「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」である。図示あり群では、各個人に予想をさせた後、食塩が水に溶けている様子を図（説明もつけ加えさせた）に書かせた。実験後の考察では、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。まとめの活動では、児童が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。図示なし群では、予想時・考察時ともに図の代わりに文章に書かせた。その後、教師が「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。

< 検証授業2 >

検証授業2は、児童の考えを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となるのではないかと考え、その有効性を検証したものである。小グループで議論をする群（議論あり群）と議論をしない群（議論なし群）の二つに分け検討している。被験者は、公立小学校5年生の3クラス107人（議論あり群：72、議論なし群：35）である。検証授業2も検証授業1と同じ流れで実施しているが、議論あり群が予想時に食塩が水に溶けている様子を図に書かせた後、各人の考えた食塩が水に溶けている様子を表した図を明示させながら重さについて小グループで議論をさせたこと及び考察時に各個人が考察したことについて予想時の図を見ながら小グループで議論させたことが議論なし群と異なる。

イ. 論文の結論

検証授業1の効果を調べるため、授業2ヶ月後に科学的な概念形成ができているかを調べた質問紙調査の結果は両群の間で有意差が見られなかった。このことから、図により各自の考えを外化しても科学的な概念への変容は難しいとしている。一方、検証授業2の効果を調べるため授業実施2ヶ月後に検証授業1と同じ質問紙で科学的な概念が形成されているかを調べた結果は、議論あり群が議論なし群に比べて正答者が多く有意差が見られている。このことから、外化された図を使って他者と議論をさせることが質量保存概念の形成に有効であるとしている。

ウ. 清水・久保・大高論文からの考察

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ように見える。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ことが分かる。個人内で外化した考えが定着していくためには、児童相互の交流といった他者及び個人内での対話が必要であると考えることができよう。

3. 清水・山浦論文及び清水・久保・大高論文からの考察

清水・山浦論文からは、科学的な概念の形成には各自の見方や考え方を文章により外化し、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が有効であるということであった。一方、清水・久保・大高論文からは、個人内の考えを外化するだけでは科学的な概念形成を十分図ることができず、外化した図に加えて他者と議論させることが有効な教授方法であることが明らかになった。二つの論文からは、科学的な概念形成を図るには、各自の考えを他者によく見える形で外の世界に表しながら議論をさせることが有効な教授方法であるといえる。

V. 全体的な考察

清水・大山・中村論文及び清水・福田論文からは、他者との関わりが生まれるような学習環境があると他者との相互作用が促進され、科学的な概念の形成に有効に働くということを見ることができた。清水・佐國論文及び清水・石井・海津・島田論文からは、小グループで話し合いをさせることは、話し合いの方法を改善していくことで科学的な概念の形成に有効に機能することができると見ることができた。清水・山浦論文及び清水・久保・大高論文からは、科学的な概念の形成には各自の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が有効であるということを見ることができた。加えて、他者との関わりを持たずに個人内の考えを外化する教授方法は科学的な概念の形成を十分図ることができないということも見ることができた。各論文で検証されている学習内容が異なるため一般化することが困難ではあるが、6つの論文からは、科学的な概念の形成を図るには、他者との関わりを持たせることが有効であること、その際の教授方法として小グループでの話し合い方法を改善し、個人の見方や考え方を自分にも他者にもよく見えるように外化させ、他者と話し合いを通して関わりを持たせることが重要であることが示唆される。

VI. 研究のまとめ

本研究では、学習場面における他者との関わりという視点から科学的な概念の形成を図るための教授方法について、6つの論文を整理した。その結果、以下の3点が明らかになった。

- (1) 他者との関わりが生まれるためには、意図的に小グループをつくる必要がある。また、各個人の認知過程がよく見えるようにすると、他者との関わりが生まれやすい。
- (2) 小グループで議論させることは、学習者が保持した概念に対して自信を持たせることができる。また、司会者を立てたり、話し合いの方法を明示して議論させることで、科学的な概念の形成を有効に図ることができる。
- (3) 各自の考えを他者によりよく見える形で外化しながら議論をすることは、科学的な概念形成を図る有効な方法である。

6つの論文の結果の範囲内という制約付きではあるが、学習者及び学習者相互の考えを互によく見える形で外化させたうえで小グループで議論を行い、他者との関わりの中で考えを吟味させる教授方法をデザインすることが科学的な概念を形成する有効な教授方法になり得るといえる。

註

- 1) 三宅・白水(2002)は、内部で生じる認知過程を観察可能な形で外界に表すこととしている。

引用文献

Bransford, J.d. et al. : How People Learn, 155-189, National Academy Press, 1999

Carol K. K. Chan : Problem-centred inquiry in collaborative science learning, 認知科学, 44-62, 1996

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

Crook, C. : On resourcing a concern for collaboration within peer interaction. Cognition and Instruction,

13(4), 541-548, 1995

大黒孝文, 出口明子, 山口悦司, 舟生日出男, 稲垣成哲: 協同学習における対面的-積極的相互作用の活性化, 理科教育学研究, 48(1), 35-49, 2007

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, 日本理科教育学会研究紀要, 39(2), 61-79, 1998

亀田達也: 協同行為と相互作用-構造的視点による検討, 50-70, 共立出版, 2000

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), 1-12, 2004

Lepper, M.R. and Whitmore, P.C.: Collaboration, 認知科学 3(4), 7-10, 1996.

森本信也: 子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件, 133-136, 東洋館出版社, 1993

森本信也, 瀧口亮子, 八嶋真理子: 「対話」として学習を志向した理科授業の事例的研究-小学校6年「燃焼」を通して-, 日本理科教育学会研究紀要, 40(1), 45-55, 1999

太田國夫, 西川純: 理科学習における話し合い活動に関する研究, 日本教科教育学会誌, 24(2), 45-54, 2001

大浦容子, 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, 放送大学教育振興会, 2004.

清水誠, 小峰香織: グループ構成が話し合いに及ぼす効果, 埼玉大学紀要教育学部(教育科学), 51(2), 1-8, 2002

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

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

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

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, 科学教育研究, 30(2), 70-77, 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), 35-43, 2006

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, 48(3), 65-72, 2008

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, 50(3), 109-116, 2010

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), 179-205, 2004

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

SUMMARY

Design of collaborative learning that promotes the formation of scientific concepts

Faculty of Education, Saitama University

Makoto SHIMIZU

This study examines teaching methods aiming at the formation of scientific concepts under the perspective of interaction with others in class by evaluating six articles. As a result, three points emerge:

- (1) The teachers must make an intentional effort at group-building so that relations among students may form. Furthermore, the teachers must enable students to perceive each others' cognitive processes.
- (2) Discussion in small groups can give students confidence in their own concepts. Furthermore, if there is a chairperson, who clarifies how contributions should be made and encourages participants to talk, scientific concepts can be effectively formed by discussion.
- (3) Externalizing their own ideas in front of others during discussion can be an effective method to help students form scientific concepts.

Key words : Collaborative learning, scientific conception, discussion, small group, externalization