

# 説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用 Socially Constructive Interaction Fostering Elaboration of Explanatory Model

齊藤 萌木  
Moegi Saito

東京大学  
The University of Tokyo  
saitomoegi@coref.u-tokyo.ac.jp

## Abstract

In order to clarify the nature and mechanism of socially constructive interaction, this paper presents an analysis of an Hypothesis-Experiment-Instruction(HEI) classroom discussion in which 21 third-graders collaboratively developed a rudimentary scientific concept of air. The lesson unit consisted of 11 problems whose answers were to be predicted and discussed one at a time. The analysis focused on the 8th class discussion, which is seen to be most critical for the conceptual change of the children.

The author adopted two analytic perspectives: the framework theory perspective and the knowledge-in-piece perspective. From the framework theory perspective, each child's model was unique. The diversity of the explanatory model in the class was maintained in the entire discussion. From the knowledge-in-piece perspective, every child actively engaged in the discussion, integrating various knowledge pieces into his/her model. Role change between task-doing and monitoring in a collaborative situation basically led children to elaborate their models. Particular type of monitoring aroused in the classroom played an interesting role in constructing a newer model.

**Keywords** — socially constructive interaction, collaborative learning, Hypothesis-Experiment-Instruction, explanatory model, conceptual change

※本稿は、認知科学23(3)特集「学校内外の学びをつなぐ」に採録の同名論文を一部要約したものである。

## 1. 主題の設定

本稿の目的は、小学校3年生21人が順に配列された11の問題の解を協調的に探究する活動をとおして空気概念を学んだ仮説実験授業『空気と水』(板倉, 1963; 仮説実験授業研究会, 1970)の記録を分析し、説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用の実態は、参加者一人ひとりが、自身の経験に依拠した固有の枠組みを持った説明モデルに、他者の発言をモニタリングすることによって様々な知識を取り

込んだり、関連づけたり、知識そのものを見直したりしながら、独自のモデルでありながらなおかつ精緻なモデルへと、説明モデルをそれぞれ変化させていくプロセスであるという知見を提示することである。

教科内容に関する知識の深い理解のために、児童生徒を協調問題解決活動に繰り返し従事させることが必要であるという知見は、これまで数多く蓄積されている(Hatano & Inagaki, 1991; Clark & Linn, 2003; Schwartz & Martin, 2004; Miyake, 2008)。しかし、教室における協調問題解決活動が一人ひとりの児童生徒の理解深化に資するメカニズムについては知見が十分でない。学習科学研究では、協調問題解決活動が理解深化に貢献するメカニズムを、社会的建設的相互作用をとおして一人ひとりの学習者が「説明モデル」を構成し、精緻化していく過程としてモデル化することが提案されている(CoREF, 2015)。また、説明モデル精緻化の過程において「概念的くさび」となりうる概念が、モデルの構成要素を統合するくさびとしての機能を果たすことも指摘されている(Hatano & Inagaki, 2003)。しかしこうしたメカニズムの実態を、教室の児童生徒の学習の実際と結び付けて明らかにした例は少ない。

## 2. 研究の枠組—知識の社会的構成モデル—

学習科学研究では、協調問題解決活動が教室の児童生徒の理解深化に貢献するメカニズムを、「社会的建設的相互作用」とおして一人ひとりの学習者が説明モデルを構成し、精緻化していく過程としてモデル化することが提案されている(表1)。

知識の社会的構成モデルは、協調問題解決活動は説明モデルの構成と精緻化につながる社会的建設的相互作用を引き起こすために、参加者の理解深化に貢献するという考えを示すものである。そこで本稿では、説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用の実態に焦点を当て、協調問題解決活動が学習者一人ひと

りの理解深化に貢献するメカニズムをもう一步詳細に明らかにすることを試みる。

表 1 知識の社会的構成モデル (CoREF, 2015)

レベル 3 科学者集団の合意	先生が教えたい, 教科書にのる 様々な知識	例) 熱力学の体系
レベル 2 「説明モデル」	他者が持っている知識も統一的 に説明できるような, 少し抽象的 で視野の広い知識	例) 動き回る粒の 図式
レベル 1 学習者一人ひとりが作ってきた 知識	学習者一人ひとりが作ってきた 知識 経験のたびに確認して強化され る/してしまう	例) ものを温めると 体積が増える

### 3. 仮説実験授業『空気と水』における理解深化のプロセス

#### 3. 1 仮説実験授業における問題解決手順

本稿で研究の題材とする仮説実験授業は, 社会的建設的相互作用を引き起こす授業デザインの典型の1つである (Roseman, et. al., 2008). 仮説実験授業は主題となる知識に関する様々な問題を, 1つひとつ順番を追って協動的に解決していく活動に学習者を従事させることによって科学の概念や法則を教える授業であり, その問題解決手順は表 2 のような一連のステップとして定式化されている。

表 2 仮説実験授業の問題解決手順と学習者が従事する活動

手順	従事する活動
1. 教師が, 問題 (予想選択肢があればそれも含) と実験手順を説明する	モニタリング
2. 実験結果を各自予想する (多くの場合 2-4 種類の選択肢から選ぶ)	課題遂行
3. 教師がそれぞれの予想を選んだ学習者に挙手を求め, 数を数え, 板書して分布を表示する	課題遂行と モニタリング
4. 予想の根拠や各予想への疑問点などを出し合い, 自由に討論する	課題遂行と モニタリング
5. 教師が実際に実験を行って問題の解を明らかにする	モニタリング
6. 実験の結果を各自の言葉で授業書に書き留める	課題遂行

#### 3. 2 『空気と水』の問題配列と期待される知識統合のプロセス

『空気と水』では, 様々な場面で空気と水の出入りを問う 11 の問題が準備されている。一連の問題を

おして様々な場面での水の動きを目に見えない空気存在やはたらきによって説明できることが目指されている。知識の社会的構成モデルに即して言えば, ねらいはレベル 2 の知識の構成と精緻化と言える。

11 の問題は性格の異なる 2 つの問題群に分けられる。2 つの問題群をまたいで社会的建設的相互作用を繰り返させることで, 説明モデルの構成と精緻化を支援している。11 の問題とその図式を図 1 に示す。

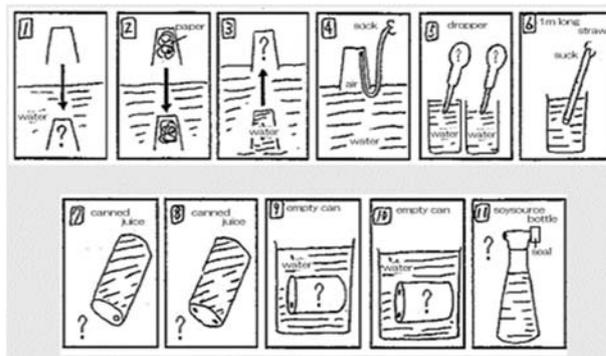


図 1 『空気と水』の問題の内容配列(筆者作成)

P1~6 (P=問題) は, 空気に関する日常の知覚経験と結びつきやすい難易度の低い問題となっている。対して, P7 以降はそうした経験と結びつきにくく, 経験則を活用しづらくなる。P7 以降の問題のこのような性質は, 説明モデルの吟味を活発化させ, 説明モデルの精緻化を促すと考えられる。齊藤 (2014) は, 教材デザインから期待されるプロセスが実際に生じることを, 授業記録の分析によって確認した。説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用は, 特に P8 において集中的に生じていたのである (図 2)

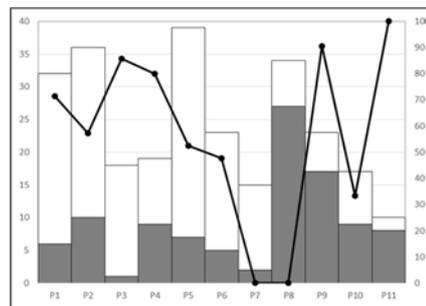


図 2 各問題における発言の数と正答率 (齊藤, 2014) 発言の数は左軸の棒グラフに示す(単位は発言数)グレーの部分が説明モデルを問題解決に活用しながら吟味する発言の数, 白い部分がその他の発言数を示す. 正答率は右軸折れ線グラフに示す (単位は%)

## 4. 仮説と方法

### 4.1 仮説

先行研究により、仮説実験授業『空気と水』による一連の授業では、P8の討論において、説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用が特に活発に起こっていることが示唆された。そこで、本稿では、P8の討論の場で生じた社会的建設的相互作用の実態を分析する。

分析に際し、「P8における社会的建設的相互作用の実態は、参加者一人ひとりが、固有の枠組みを持った説明モデルに、他者の発言に影響を受けて様々な知識を取り込んだり、組み替えたり、知識そのものを変化させたりしながら、独自のモデルでありながらもなおかつP8の実験結果をより精密に説明できるモデルへと、説明モデルを変化させていくプロセスである」という仮説を設定する。

先行研究では、協調問題解決活動が学習者の理解を深化させるプロセスは、参加者が知識を共有して考えを1つの方向へ向けて変化させていく過程であるという知見と、一人ひとりがそれぞれに特徴を持った固有のプロセスで考えを変化させていく過程であるという知見が示されている。Roschelle(1992)は、速度と加速度を学んだ高校生ペアの15分間の会話を、話者間での知識の共有に着目して分析した。Roschelleは、片方の生徒が説明に用いる語句が、会話を経てもう1人の生徒にも用いられるようになっていくことを確認し、協調課題解決過程ではそれぞれの学習者の知識が相手に共有されて2人の知識が全体として変化し、1つの科学者集団の合意に近づく方向に収斂していくという結論を導いている。

一方、Shirouzu & Miyake(2002)は、Roschelleのデータを、発言の変化に着目して話者ごとに再分析した。その結果、速度と加速度の関係を説明する2人の生徒の発言には最初から最後まで違いがあり、その生徒だけが用いる特徴的な語句が含まれることを確認し、協調課題解決過程において各人には固有の知識構成のプロセスがあり、やり取りを経ても個人の知識の固有性は維持されるという知見を提示している。Miyake(2008)はこの分析から、Roschelleが分析対象とした2人の生徒は、最後まで「各自異なったモデルを持っていた」と結論づけている。

Miyake(2008)は、一見対立的に見えるRoschelleと、Shirouzu & Miyakeのアプローチは相補的であると述べている。しかし、相補性がいかなるものであるかにつ

いてはこれまで詳細な検討が行われていない。そこで、本稿では、RoschelleとShirouzu & Miyakeの知見は、協調問題解決活動が学習者の理解を深化させるプロセスの相補的な2つの側面を明らかにしたものであるという解釈に基づき、仮説を設定した。日常経験に照らして考えても、やりとりをとおして理解が深まるプロセスは、知識を共有しながら考えを変化させていく過程であると同時に、自身の考えをある程度一貫性の取れた固有のものとして整備していく過程でもあるという2つの側面を持ったプロセスとして経験される。Roschelleの分析は、学習者が互いに影響を与えあって知識を変化させるプロセスとしての側面に光を当てており、Shirouzu & Miyakeの分析は、一人ひとりの学習者が固有性のある知識構造を整備するプロセスとしての側面に光を当てている。このようにとらえると、知識の共有および考えの変化が起きているという解釈と、やりとりを経ても個人に固有の説明モデルが維持されているという解釈は、矛盾せず、相補的なものだとみなすことが可能となる。

以上より、『空気と水』のP8における社会的建設的相互作用をとおした説明モデルの精緻化プロセスも、個々の学習者がやりとりをとおして知識を共有しながらモデルを変化させていくプロセスであると同時に、討論開始時までに構成されつつあった説明モデルをある程度一貫して自身の予想を正当化できるような固有の説明体系として整備していくプロセスでもあると考えられる。そこで、本節冒頭に提示した仮説を設定した。

### 4.2 方法

本稿では「要素」と「枠組み」という2つの着眼点を設定してP8の討論における児童の発言を分析し、説明モデルの精緻化のプロセスの2つの側面を描出することを目指す。「要素」に照準を合わせた分析法によって、個々の学習者がやりとりをとおして知識を共有しながらモデルを変化させていくプロセスを描出し、「枠組み」に照準を合わせた分析法によって、相互作用を経ても保持される各自の説明モデルの固有性を描出する。

分析方法は、概念変化研究における概念変化過程の描出法を参考に設定した。説明モデルの精緻化のプロセス、すなわち問題に対する解をより精密に説明できるモデルへと説明モデルを変化させていく過程は、知識の構造的な変化を伴う学習のプロセスであり、認知科学研究において「概念変化」と呼ばれるプロセスの

1つである。概念変化の基本的なメカニズムに着目する研究では、概念変化のプロセスの記述の仕方として、要素 (elements) と呼べるような様々な小さな知識の組み合わせが変化するプロセスとして記述する方法と、枠組み理論 (framework theory) に立脚した説明体系のゆるやかな変化のプロセスとして記述する方法が並存してきた。

前者の記述法は、1つの問題の解決過程や1時間の授業、インタビュー中といった比較的短いスパンでの概念変化プロセスを記述する方法として使用されてきた (diSessa, 1988, 2013; Minstrell, 1989; Williams, Hollan & Stevens, 1983)。

Roschelle(1992)が高校生ペアに「共有される知識」として着目していたのも、「要素」と呼べる知識である。それぞれの研究例では、着目する小さな知識に「自律的オブジェクト」、「p-prim」、「ファセット」といった名前を付けている。名前は異なるが、ここで着目している知識は、断片的で独立して使うことができ、知覚経験から自然に獲得され、それ自体変化するという特徴を備えたものとして想定されている。

「ものを押せば縮み、離せばもとに戻る (弾性)」などがそうした知識の一例である。これは抽象的な知識ではあるが、複雑な構造を持たない知識であり、自覚的な学習を伴わずに自然に獲得され、この知識を使う学習者にとって深く吟味せずに受け入れられる。表1の「経験則」の領域における、直感的で素朴な「知識の群」と位置づけることできるだろう。「要素」に着目した描出法では、小さな知識が主題や学習環境に応じて組み上げられたものとして説明モデルを描きだすことができ、その精緻化は、モデルを構成する小さな知識やその関係性が変化するプロセスとして描きだすことができる。Roschelle(1992)は、こうした描出法を用いることによって、知識を共有しながら考えを変化させていくプロセスとして、やりとりをとおした理解深化過程を描出したと言える。

一方、後者の記述法は、幼児から学齢頃までの発達の過程といった比較的長いスパンでの概念変化プロセスを記述する方法として使用されてきた (Carey, 1985; Vosniadou, 2013; Wellman & Gelman, 1992)。これらの研究例では、説明モデルの背景には、ある程度整合性の取れた概念構造があると説明されている。

Vosniadou とその同僚による「地球」の説明モデルに関する一連の研究はその典型である。ここでは、幼児が「地球」とはどのようなものであるかについて

「半円形」「長方形」などの「誤った」説明モデルを持つとき、説明モデルの背景には、ものの存在や動きに関する素朴な理論（「軽いものは上、重いものは下で安定する」「ものは支えられて安定する」など）を基底とする概念構造があると説明している。基底となる理論は、「地球」に関する経験以外にも包含する適用範囲の広い理論であり、説明モデルの基本的な性格を特徴づける。言わば、説明モデルに「枠組み」を与える理論である。そこで「枠組み理論 (framework theory)」と呼ばれる。枠組み理論は様々な物理的事象に関する経験則と関連づけられているため、容易に変化しない。しかし、社会文化的制約のもとで長期に亘る学習経験を積み重ねることで、ゆるやかに変化していく。枠組みに着目する描出法では、説明モデルを、何らかの「理論」を枠組みとして構成、精緻化される、ある程度整合性の取れた説明体系として描きだし、その精緻化は、長期的には『誤概念』から『科学的概念』への変化」と表現されるようなゆるやかで大きな変化のプロセスとして描きだすことができる。

枠組みに着目する描出法は、1つの問題解決の過程などの短期的なプロセスの分析に用いれば、固有の説明体系が維持される様子を描き出すことができると考えられる。Shirouzu & Miyake(2002)が着目した、2人の「固有性」は、力の合成を「加算」とみなす数学的な考え方と、「加速度が速度を引き出す」ととらえる物理的な考え方という説明モデルの基本的な性格の「固有性」である。ここでは、分析の着眼点は「枠組み」にあり、それによって、一人ひとりの学習者が固有性のある知識構造を整備しているプロセスを描出できたと言えよう。

「要素」に着目する記述の仕方と、「枠組み」に着目する記述の仕方は、相互に排他的であると考えられてきた。しかし近年、「要素」に着目する記述の仕方と、「枠組み」に着目する記述の仕方は、概念変化プロセスへの接近度の違いであり、俯瞰的に全体像をとらえようとしたか (zoom out)、接近して微視的にとらえようとしたか (zoom in) というピントの合わせ方の差であるという見解が示されている (Clark & Linn, 2013)。Clark らによれば、2つの描出法は、概念を関連する様々な知識から構成されるものとみなし、その変化を描きだそうとする点では同一である。しかし、異なる照準で概念変化のプロセスにアプローチしているために、描出されるものが異なるという。

概念を様々な関連知識から構成される構造物とみな

したとき、その構造物に接近して記述すれば、構成要素となる小さな知識の要素単位の変化に照準が合う。これが、「要素」に着目した描出法である。対して、ズームアウトすると、構造物全体の形状に照準が合う。この照準で全体の形状を特徴づける理論を描出しようとするのが「枠組み」に着目する記述の仕方である。このようにとらえると、これまで対立的にとらえられていた2つの描出法は、相補的で併用可能だということになる。「要素」に照準を合わせた微視的なレンズを用いた分析法では、文脈に応じた知識の変化を描出することができるが、説明モデルの全体像を描出することが難しい。対して、「枠組み」に照準を合わせると、各人の説明モデルがどのような理論を基底として組み上げられているかその全体像を把握できる。「枠組み」に着目した分析は、より長いスパンで行えば、説明モデルの全体像を基底する理論のゆるやかな変化を描出することもできるだろう。しかし、巨視的なレンズのみでは、変化の端緒となりうる小さな変化を描出することは難しい。2つの描出法を併用することにより、概念変化プロセスのより詳細な実態が明らかになると考えられる。

本稿では、2つのレンズを併用してP8の討論における説明モデルの精緻化の過程にアプローチする。1つ目の分析では、説明モデルを構成する基本単位となるような知識を「要素」と呼んで焦点化する。「要素」に照準を合わせた分析により、児童が既存知識やその場に提供される様々な知識のうちどんなものを取りあげて説明モデルに取り込んでいくのか、やりとりによる説明モデルの変容を微視的に描写する。また、説明モデルの基本的な性格を基底する理論を「枠組み」と呼び、もう1つの分析視点とする。「枠組み」に照準を合わせた分析では、それぞれの児童がやりとりをしながら構成、精緻化しようとしている説明モデルの特徴を巨視的にとらえる。

## 5. データおよび分析手続き

### 5.1 分析対象データ

本稿では齊藤(2014)の事例①と同じ授業の記録を分析対象とする。授業は、2002年の5月から6月にかけて、45分の授業12コマを使い、小学校3年生の1学級で、21人の児童を対象に行われた。授業が行われた学校は一般的な公立小学校、実践者は仮説実験授業の実践経験豊富な50代女性である。実践に際し、問題を飛ばす、加える、問題解決手順を省略する等の意図的

な変更を行っていないことが確認できている。

授業記録は、自身の授業の振り返りのために実践者が作成し、のちに筆者が譲り受け、分析する許可を得たものである。従って分析対象とするデータは、全て学習過程で自発的に生じた外化物であり、研究目的のために意図的に採取したデータを含まない。ゆえに、本データには量・質共に制限がある。しかし、教師が日常の業務の一環として採取できるデータでどこまで児童生徒の認知過程にアプローチできるかの限界を確認することは、教育実践と認知科学の連携のあり方を考える手がかりになるのではないだろうか。

授業の記録に含まれるデータは、予想分布、討論中の発言記録、授業后感想文、事後テスト点数の4種類である。今回は、4種類のデータのうち「討論中の発言記録」を主に使用する。これは、討論における児童の発言を実践者がMDに録音して書き起こしたものであり、録音された発言の全てを起こしたことが確認できている。話者の区別のため、21人の児童には、総発言数の多い順にA～Uのアルファベットを付す。

P8は12時間の授業中9時間目に1コマを使って授業されており、討論中の発言数は34発言である。「発言数1」とは児童が、1人の児童が発言をし始めてから他の児童が発言をし始めるまでに行われた一連の発話を意味し、文や語の数は様々である。

### 5.2 分析の手順

分析は、P8の討論において特に発言数が多く、認知過程を想定しやすい児童4名(児童ABCE)を中心に行い、以下2つの手続きによって、説明モデルの精緻化の過程にアプローチする。それぞれの児童がP8において選んだ予想と討論中の発言回数を表5に示す。

表5：分析対象児童がP8で選んだ予想と発言回数

児童	選んだ予想	発言回数
A	イ でてこない	5
B	ウ ぼとぼとつづいてでてくる	7
C	イ でてこない	6
E	イ でてこない	3

※P8の選択肢は

ア ジュースはいきおいよくでてくる

イ ジュースは、でてこない

ウ ジュースは、ぼとぼとつづいてでてくる

の3つであり、正解は「ア」。

#### 5.2.1 説明モデルの構成要素に着目した分析

はじめに、説明モデルの構成要素に着目した分析の手続きを説明する。構成要素に着目した分析では、様々な要素のうちでも、特に空気に関する諸要素に

焦点を当てる。空気という概念は、この授業の説明モデル精緻化の過程において「概念的くさび」(Hatano & Inagaki, 2003) としての機能を果たす概念である。概念的くさびとは、説明モデルの要となる概念であり、説明モデル精緻化の過程において様々な要素を強固に結びつけるくさびの役割を果たす。そこで、空気という概念に焦点を当てることで、説明モデルの中核的な構造の変化を描出できると考えられる。

分析の際、空気の概念に関する説明モデルの構成要素として、6つの要素を抽出する(表6)。6つの構成要素は、空気に関する知識で、4.2で検討した小さな知識の要素に共通する特徴を備える知識とした。要素はP1-P7までの討論中の児童の発言と、「空気」の概念の発展に関する科学史研究(三宅, 2011)、および発達心理学研究(永盛, 2008)を参考に、児童が活用しそうな要素を6種類設定した。

要素はElementの頭文字を採用し、E1~6と略記する。1~6に序列は設けていない。また、6つの要素は説明モデルの構成要素を網羅するものではなく、説明モデルの中核となる「空気」の概念に関する構成要素として設定している。齊藤(2014)では、「空気」という単語が説明モデルを活用しながら吟味する発言と連動して児童に使用されることが示されている。そこで、発言者が「空気」という単語をどのような語句と結びつけているかを指標に、空気の概念に関する説明モデルの構成要素の種類、関連づけ、要素そのものの意味をとらえる。

分析の例を表7に示す。発言中の指標とした語句に下線を記している。分析結果は「要素」の欄に、構成要素の記号と、加算記号を使って表現する。この発言は「空気」を主語とした1つの文であり、「泡になって上に出ていく」という語が空気と結びついていると言える。「空気」が主語となっているところから、空気が存在しているという知識が発言の前提にあると分析できる。「泡になって」という言葉から、空気は泡という形態を取りうるという要素が使われていると分析できる。更に「上に出ていく」という言葉から、空気は運動するものであるという要素、上昇する特性を持つという要素が使われていると分析できる。結果として、この発言時、この児童の説明モデルはE1, E3, E4, E6という要素が結びついて構成されていると解釈できる。

このような分析を発言ごとに行うことで、要素の変化を描写することができると考えられる。分析では、変化を3種類に区別して描出する。新しい要素が加味さ

表6 「空気」という概念に関する説明モデルの構成要素

記号	要素
E1	空気というものが存在している
E2	空気は空間を満たす
E3	空気は水中で泡になる
E4	空気は動く
E5	空気は力を持つ
E6	空気の持つその他の特性についての知識

表7 構成要素に着目した分析の例

発言	分析	要素
空気は泡になって/上に出ていくんだ。	「空気」 空気というものが存在している(E1) 「泡になって」 空気は泡という形態を取りうる(E3) 「上に出ていく」 空気は運動する(E4), 空気は上昇する特性を持つ(E6)	E1+E3+E4+E6

れるなど、説明モデルを構成する要素の種類の変化を「取り込み」、要素どうしの関連づけの変化を「組み替え」、要素の適用範囲の広がりや、要素を表現する言葉の変化など、要素そのものの内実に変化が想定されるものを「充実」と呼ぶ。

### 5. 2. 2 説明モデルの枠組みに着目した分析

次に、P8において児童A, B, C, Eの説明モデルの枠組みに着目した分析の手続きを説明する。3.2節および4節で検討したように、児童の説明モデルはこれまでの授業(P1-P7)をふまえて構成、精緻化されることが考えられる。だとすればP8において児童は、日常体験から作り上げる素朴な理論で、P1-P7までの実験結果を一貫して説明できる児童なりの理論を枠組みとして、説明モデルを構成・精緻化すると考えられる。

ここでは分析に際し、そうした枠組みで児童が採用しそうなものを、3種類仮定し、発話を分析する。

表8 説明モデルの枠組み

枠組み	着眼点	指標となる語句
位置関係枠組み	空気と水の相対的位置関係(上下) 空気と水の運動の向き	上/下/あがる/さがる
相互作用枠組み	水と空気力の及ぼし合い	力/押し出す/入り込む
出入り口枠組み	出入り口の数や大きさ 空気と水の出入り口でのふるまい	一方/両方/入れない/出れない/ふた/満杯

位置関係枠組みは、軽いものは上、重いものは下に動くという枠組みである。この枠組を採用すると、(軽い)空気は(重い)水より上にいこうとして動き、(重い)水は(軽い)空気の下にいこうとして動く、水が相対的に空気より下にあれば安定するという説明モデルを構成できる。

相互作用枠組みは、運動は力の及ぼしあいで起こる

という枠組みである。この枠組みを採用すると、空気と水の動きは互いに相手に対して力を及ぼしており、力がつりあえば運動は生じず、どちらかの力が弱い／強い時は運動が生じるという説明モデルを構成できる。

出入り口枠組みは、空気の入出りと水の入出りはセットであり、出入りが起こるかは出入り口の有無による枠組みである。この枠組みを採用すると、出入り口があれば／なければ空気と水の入れ替わりが起こる／起こらないという説明モデルを構成できる。

分析の際、その枠組みによる説明モデルを活用して P8 の実験結果を説明しようとした場合に予想される着眼点と、着眼点の指標となる語句を設定し、それぞれの児童の発言中にどの語句が多く含まれるかを確認する。確認の結果、最も多く含まれる語句から採用している枠組みを推定し、その後、他の指標の使用例にも注目して、枠組みの転換や統合の可能性を検証する。

## 6. 分析結果

2つの視点から発言を分析した結果、P8における社会的建設的相互作用による説明モデルの精緻化のプロセスの二面性を描出できた。以下、構成要素に着目した分析と、説明モデルの枠組みに着目した分析のそれぞれについて結果の概要を記述する。詳細な分析結果は、掲載論文を参照のこと。

### 6.1 説明モデルの構成要素に着目した分析の結果

説明モデルの構成要素に着目した分析からは、それぞれの児童が、他者の発言をモニタリングすることによって、説明モデルに新しい要素を結びつけたり、要素を組み替えたり、要素そのものを充実させたりして、説明モデルを変化させていく様子を描出することができた。討論を経て説明モデルの構成要素が変化しなかった児童はいなかった。

児童 A は、討論をとおして、児童 B、児童 C、児童 F などの発言から影響を受け、説明モデルの構成要素を組み替えたり、新たな要素を取り込んだり、要素そのものを充実させたりしていた。児童 B は、主に討論の前半において、児童 A、児童 C、児童 E の発言に影響を受け、説明モデルの構成要素の組み替えと、新たな要素の取り込みを短期間で頻繁に行っていた。

児童 C は、討論の前半では、説明モデルの構成要素を組み替えたり、新たな要素を取り込んだりはせず、要素そのものを充実させる変化が中心であった。しかし、討論の終盤で児童 B への質問 (21) をきっかけとして新たな要素を取り込んだ。

児童 E は児童 A,B,C に比べ、討論中の役割交代の頻度が低いのが特徴的であるが、長いモニタリングの後の3番目の発言では要素の変化を確認できた。

### 6.2 説明モデルの枠組み

一方、説明モデルの枠組みに着目した分析の結果、児童 A、B、C、E は P8 において、それぞれ別々の枠組みを採用していると解釈できた。また、討論をとおして枠組みが1つの方向に収斂しているとは解釈できなかった。語句の使用数から、児童 A、B および E は「位置関係枠組み」、「相互作用枠組み」、「出入り口枠組み」を主に採用していると解釈できた。しかし、児童 C については、「相互作用枠組み」の指標となる語句と「出入り口枠組み」の指標となる語句を同数用いていた。そこで発言をより詳細に分析した結果、社会的相互作用をとおして相互作用枠組みと出入り口枠組みを統合した等と解釈するよりも、児童 C 自身の固有な枠組みを維持していたと解釈することが妥当であることが確認できた。指標となる語句の使用法から、児童 C の枠組みは、「領域不可侵枠組み」と呼ぶことができる。

## 7. 結論

以上により、仮説実験授業『空気と水』の P8 において生じた説明モデルの精緻化を支える社会的建設的相互作用の実態は、参加者一人ひとりが、自身の経験に依拠した固有の枠組みを持った説明モデルに、他者の発言をモニタリングすることによって様々な知識を取り込んだり、組み替えたり、知識そのものを充実させたりしながら、独自のモデルでありながらなおかつ P8 の実験結果をより精密に説明できるモデルへと、説明モデルをそれぞれ変化させていくプロセスであると結論づけることができる。

説明モデルの構成要素に着目した分析からは、それぞれの児童が、他者の発言のモニタリングをきっかけとして自身の説明モデルに様々な知識を結びつけたり、知識を組み替えたり、要素そのものを充実させたりしながらモデルを変化させていく様子を描出することができた。討論を経て説明モデルの構成要素が変化しなかった児童はいなかった。

他方、説明モデルの枠組みに着目した分析からは、児童 A、B、C、E が P8 において、活用、吟味している説明モデルには、それぞれ異なった枠組みがあることを確認できた。児童はそれぞれ討論中に主に着目するポイントが異なっており、相互作用をとおして各自の枠組みが1つの方向に収斂する、別の児童の枠組み

と統合されるなどは確認できなかった。枠組みは、日常経験とP1-P7の実験結果に即した素朴な理論であり、科学の形式理論原則（レベル3）に照らすと間違いを含みながらも、P8という新しい文脈とこれまでの学校内外の経験のある程度一貫して説明できる説明体系へと、説明モデルを精緻化していくことを支える知識であった。

## 8. 考察

以下では、本稿で得られた結論が、協調問題解決活動が学習者の理解を深化させるメカニズムに関する知見をいかに精緻化するのかについて考察し、概要を示す。考察の詳細については掲載論文を参照のこと。

結論から、社会的な建設的相互作用の場面では、一人ひとりの学習者の認知過程において、枠組みレベルで固有の説明体系が、要素レベルでの知識の変化によって整備されていくことにより、一人ひとりの学習者が、他者の持つ知識を統一的に説明できるような「説明モデル」を、自ら構成、精緻化していくことが可能になるという示唆が得られる。学習者一人ひとりが固有の枠組みを採用することによって、自身内での一貫した説明体系の構成と精緻化という安定したゴールを目指した学習が可能になる。このとき、説明モデルの構成要素の単位では、知識の充実や、組み替え、新しい知識の取り込みが活発に起こっている。社会的建設的相互作用に従事することで、各学習者の認知過程においてこうしたプロセスが進行するために、主体的に自分たちのペースでやりとりしつつも、課題を共有する別の学習者の持つリソースを有効に活用し、説明モデルを少しずつレベル3に近づけていくというプロセスを実現させることができると考えられる。

更に、本稿の分析結果からは、建設的相互作用の建設性を担保する2つの重要な学習活動のうちモニタリングの機能についても新たな示唆を得ることができる。建設的相互作用において、モニタリングは発言の見立て直しや視点の転換を伴う能動的な知識構成の活動であると位置づけられてきた(Shirouzu et al., 2002)。しかし、モニタリングにおける能動的な知識構成活動の実態は、特に3人以上の他者が課題を共有して考えを出し合うときに起こる社会的な建設的相互作用の場合では、詳しく明らかにされているとは言えなかった。

ここでは、本稿の分析結果をもとに、社会的建設的相互作用におけるモニタリング中の知識構成活動の機能について仮説を提示したい。すなわち、社会的建設

的相互作用におけるモニタリングの機能は、説明モデルを構成要素となる知識の1つを充実させる活動（知識の充実）、知識の連関を組み替える活動（知識の組み替え）、新しい知識を取り込む活動（知識の取り込み）の3つに区別でき、更に、知識の取り込みには、他者が活用している知識を自身の説明モデルに取り入れる場合（知識共有型）と、自身の既存の知識構造を探索してその議論の場で誰も言及していない新しい知識を説明モデルと関連づける場合（知識想起）の2つがありうるという仮説である。

## 9. 実践への示唆

最後に、教室において児童生徒の理解深化を支える協調問題解決活動のデザインについて、本稿からいかなる示唆を見出せるかを検討したい。本稿の結論をふまえると、協調問題解決活動を授業に参加する多様な児童生徒が説明モデルを構成し、精緻化する学習につながるには、要素と枠組み両方のレベルで学校内外の学びを結びつけるデザイン戦略が必要であるという示唆が得られる。

説明モデルの精緻化が、一人ひとりの学習者の認知過程における要素単位での知識の変化と、固有の枠組みを持った説明体系の整備を同時に進行させる社会的建設的相互作用によって支えられているとすると、学習者の説明モデルの精緻化に資する協調問題解決活動をデザインするには、多様な児童生徒が要素を自由に出し合え、なおかつ、各自の枠組みを学校内に持ち込める必要があると考えられる。学校内外の経験という視点から、「要素」と「枠組み」を定義してみるならば、要素とは、学校内外の経験から自然に獲得している小さな知識であり、枠組みは児童一人ひとりが学校外の日常体験から作り上げている素朴な理論である。協調問題解決活動を授業に参加する多様な児童生徒が説明モデルを構成し、精緻化する学習につながるには、要素と枠組み両方のレベルで学校内外の学びを結びつけるための戦略が必要であると言える。

まず要素レベルでの結び付けに関する戦略について検討する。4.2節で述べたように、要素は、複雑な構造を持たない小さな知識であり、断片的で独立して使うことができるため、文脈に応じて柔軟に活用できやすい。そのため、全ての児童が課題遂行とモニタリングを行き来しやすい環境で問題の解決に取り組ませることが、多様な児童生徒が学校内外の経験から自然に獲得している要素を自由に出し合うための戦略として重

要と考えられる。

本稿で分析の題材とした仮説実験授業『空気と水』では、表2のような問題解決手順により、全ての児童が課題遂行とモニタリングを行き来しやすい環境を作っていた。こうした環境が、多様な児童生徒が要素を自由に出し合うことを可能にしたと考えられる。

仮説実験授業の問題解決手順が、要素レベルでの知識の変化に資することは、Hatano & Inagakiの一連の研究や、Toma & Wertchの先行研究によっても裏付けられる。Hatano & Inagaki (1991)は、討論の前に予想分布を確認させる手順は、「党派性 (partisanship)」を学習者に明示することにより、討論の場での理解深化を促進するという知見を提示している。党派性を明示することで、児童にとっては、自分と同じ予想を選んだ学習者に対して行われた発言を、自身に対して直接行われた発言として受け取りやすい環境が生まれる。こうした環境があれば、図3に示したようなモニタリングの多様な機能が実現するチャンスが増えるだろう。Hatano & Inagaki (1991)は、予想分布の確認によって党派性を明示したうえで討論させるという手順が、構成要素の単位での知識の変化が頻繁に起こりやすい環境をつくることを明らかにしたものと解釈することができる。

また、Toma & Wertsch (1995)は、討論の前に全員に問題の解を予想させ、予想の分布を確認したうえで他者の発言に出会う流れは、討論の場において行われる発言に「対話的機能 (dialogic function)」を持たせるといふ知見を提示している。対話的機能を持った発言は、考えの道具あるいは意味の発生器 (generator) としての役割を果たし、討論を単なる情報交換以上の協調的学びへと深化させる。発言が考えの道具や意味の発生器としての機能を持つということは、ある学習者の発言が、別の学習者にとって、知識の組み替えや、取り込みを促すツールになるということの意味する。知識の組み替えや取り込みは、モニタリングの中でも認知的過程に対する負荷の高い機能と位置づけられる。だとすればToma & Wertsch (1995)は、予想分布の確認の後に討論をさせる手順が、モニタリングの機能のうち負荷の高いものをも実現しやすくし、要素レベルでの知識の変化を促進することを明らかにしたものと解釈することができるだろう。

他方、枠組みレベルで学校内外の学びを結びつけるには、問題の内容に関する戦略が重要になると考えられる。枠組みとは、児童一人ひとりが学校外の日常体

験から作り上げている素朴な理論である。これを学校内に持ちこむには、児童の学校外の日常体験と結びつきうる文脈で、個別具体的な知識だけでは解決できない問題を課す必要がある。個別具体的な知識を再生することで正解できるような問題であると、説明モデルの枠組みとなるような理論を持ち込まずに探究が終わってしまうだろう。

また、重要なのは、枠組みを学校内に持ち込むための問題の内容に関する戦略を、説明モデルの構成と精緻化を促すための問題配列上の戦略と両立させることである。3節で検討したように、説明モデルの構成と精緻化を支援するには、経験則を活用して実験結果を正しく予想しやすい問題から経験則を活用しづらい問題へと、性格の異なる問題群を順に配列する戦略が有効であった。同時に、説明モデルの枠組みとなる理論を授業に持ち込むには、日常体験と結びつきうる文脈で問題が設定される必要がある。仮に、後半に難易度が高い問題を設定した場合でも、学習者の日常体験や既有知識と結びつかない問題であったりすれば、経験則は活用しづらいが、枠組みとなる理論を持ち込むことが難しくなってしまう。学習者一人ひとりが固有の枠組みを採用し、自身内での一貫した説明体系の構成と精緻化という安定したゴールを志向して説明モデルを精緻化させていくには、後半の難易度の高い問題群は、経験則を活用しても実験結果を正しく予想できず、なおかつ日常体験と結びつきうる文脈で設定される必要があるということになるだろう。

本稿で分析対象とした仮説実験授業『空気と水』では後半の難易度の高い問題でも缶ジュースという日常で出会うものを素材とし、日常体験との結びつきを持たせている。なおかつ、穴を開けた缶からの水の出入りという直接遭遇しづらい場面を取りあげることにより、経験則は活用しづらくなっている。こうした問題が、効果的なタイミングで配列されることにより、児童一人ひとりが学校外の学びをとおして構築してきた固有の枠組みを採用し、学校内の学びを含む自身の経験を統一的に説明できるある程度一貫した説明体系の構成と精緻化という安定したゴールを目指すことが可能になったと考えられる。

以上の検討からはまた、協調問題解決活動を授業に参加する多様な児童生徒が説明モデルを構成し、精緻化する学習につながるには、複雑で時間のかかるデザイン研究が必要であるという課題も見いだされる。問題解決の手順と問題の内容の両面からデザイン戦略を検

討すると共に、1つの問題の解決手順と単元レベルでの問題の配列が学びに与える影響を微視的、巨視的に評価しながら授業デザインを見直していく過程は、認知科学の専門家や多様な経験を持つ実践者、コンテンツの専門家などの協働によってはじめて可能になるものであろう。学校の教室において理解深化に資する協調問題解決活動を日常化するためには、認知科学の知見を深化させると共に、授業のデザイン研究のあり方についても新たな枠組みを提案することが重要な課題になると言える。

## 参考文献

- [1] Carey, S.(1985).*Conceptual Change in Childhood*.MIT Press.
- [2] Clark, D. & Linn, M. C. (2003). Designing for Knowledge Integration: The Impact of Instructional Time. *Journal of the Learning Sciences*, 12 (4), 451-493.
- [3] Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 24 (4), 467-563.
- [4] Clark, D. B. & Linn, M. C. (2013). The knowledge integration perspective connections across research and education. In Vosniadou, S. (Ed.), *International Handbook of research on conceptual change*. London: Taylor & Francis Group.
- [5] Clement, J. (2008) The Role of Explanatory Models in Teaching for Conceptual Change. In Vosniadou, S. (Ed.), *International Handbook of research on conceptual change*. London: Taylor & Francis Group.
- [6] diSessa, A. A. (1988) .Knowledge in pieces. In Forman,G. & Pufall,P.(Eds.)*Constructivism in the computer age*.Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [7] diSessa, A. A. (2013). A Bird's-Eye View of the "Pieces" VS. "Coherence" Controversy (From the "Pieces" Side of the Fence). In Vosniadou, S. (Ed.) op.cit.
- [8] 東京大学大学発教育支援コンソーシアム推進機構 (CoREF). (2015). 『自治体との連携による協調学習の授業づくりプロジェクト平成 26 年度活動報告書』.
- [9] Hatano, G. & Inagaki, K. (1991). Sharing cognition through collective comprehension activity. In Resnick, B. Levine, J. M. &Teasley, S. D. (Eds.). *Perspectives on socially shared cognition*. Washington, DC: American Psychological Association.
- [10] Hatano, G , Inagaki, K. (2003). When is Conceptual Change Intended? A Cognitive-Sociocultural View. In Sinatra, G. M. , , Pintrich, P. R. (Eds.), *Intentional conceptual change*. Mahwah, NJ: Laurence Erlbaum Associates.
- [11] 板倉聖宣. (1963). 仮説実験授業の提唱. 『理科教室』 11月号.
- [12] 仮説実験授業研究会. (1970). 『授業書《空気と水》』. 仮説実験授業研究会: 東京.
- [13] Minstrell, J.(1989).*Teaching science for understanding*. In Resnick, L.B. & Klopfer, L.E.(Eds.). *Toward the Thinking Curriculum*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- [14] Miyake, N. (1986). Constructive interaction and the iterative process of understanding. *Cognitive Science*, 10, 151-177.
- [15] Miyake, N. (2008). "Conceptual change through collaboration." In Vosniadou, S. (Ed.), op.cit.
- [16] [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/095/shiryo/\\_icsFiles/afildfile/2013/06/07/1335220\\_01\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/095/shiryo/_icsFiles/afildfile/2013/06/07/1335220_01_1.pdf).
- [17] 三宅泰雄. (2011). 『空気の発見』. 東京: 角川学芸出版
- [18] 永盛善博. (2008). 空気と風に関する子どもの概念の分化過程. *教育心理学会第 50 回総会*, 702.
- [19] Roschelle, J. (1992) Learning by Collaborating: Convergent Conceptual Change. *Journal of the Learning Sciences*, 2 (3) , 235-276
- [20] Roseman, J. E. , Linn, M. C. , Koppal, M. (2008). Characterizing Curriculum Coherence, In Kali, Linn, Roseman (Eds.) *Designing Coherent Science Education*, New York, NY: Teachers College Press.
- [21] Saito, M. & Miyake, N. (2011). Socially constructive interaction for conceptual change. In Law, N. et al. , (Eds.), *Proceedings of CSCL 2011*, 96-103, Hong Kong.
- [22] 齊藤萌木. (2014). 学習記録に基づく学習環境デザインの機能の解明の試みー仮説実験授業『空気と水』における「説明モデル」の活用と吟味の生起に注目してー, 『科学教育研究』, 38 (2). 84-96.
- [23] Schwartz, D. M. & Martin, T. (2004). Inventing to prepare for learning: The hidden efficiency of original student production in statistics instruction. *Cognition & Instruction*, 22, 129-184.
- [24] Shirouzu, H. & Miyake, N. (2002) .Learning by Collaborating Revisited: Individualistic vs. Convergent Understanding The 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Washington, U.S.A. , 48.
- [25] Shirouzu, H. , Miyake, N. , & Masukawa, H. (2002) . Cognitively active externalization for situated reflection, *Cognitive Science*, 26, 469-501.
- [26] Shirouzu, H. (2013). Focus-based constructive interaction. In Suthers D. D. , Lund, K. , Rose, C. P. , Teplov, C. , & Law, N. (Eds.), *Productive Multivocality in the Analysis of Group Interactions (Computer-Supported Collaborative Learning Series 16)*, New York: Springer, 103-122.
- [27] Toma, C. & Wertsch, J.V. (1995) . Discourse and Learning in the Classroom: A Sociocultural Approach. In Steffe, L.P. & Gale, J. eds. *Constructivism in education*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- [28] Vosniadou, S. (2013). Conceptual Change in Learning and Instruction The Framework Theory Approach. In Vosniadou, S. (Ed.), op.cit.
- [29] Wellman, H.M. & Gelman, S.A.(1992). Cognitive development: Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.
- [30] Williams, M.D., Hollan, J.D., & Stevens, A.L.(1983). Human reasoning about a simple physical system. In Gentner, D. & Stevens, A. (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.