

# 協調的な概念変化を目指す小学校理科の授業における 個人の学習プロセス

## Conceptual Change of each student through Socially Constructive Interaction in the Classroom

齊藤 萌木  
Moegi Saito

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

### Abstract

In order to investigate the mechanism of collaborative learning in a larger group, this paper presents analysis of a classroom discussion in which 21 third-graders collaboratively discussed predictions about the results of a series of experiments as a whole class over 12 course hours and became able to grasp a rudimentary scientific concept of atomic theory.

Our analysis revealed that all the children succeeded in expressing their grasp of rudimentary atomic theory, yet their routes to this achievement were individualistic and diverse. A preliminary qualitative analysis of two most active children's utterances indicates that two preserved their differences and never converged to the same model at the end of class. Yet this diversity among the children could have contributed to the successful conceptual change. Diversity could be the source of prolonged discussion, allowing learners to revise their models.

**Keywords — Conceptual change, Constructive interaction, Collaborative learning, HEI**

### 1. はじめに

本稿では、「協調学習 (collaborative learning)」を通じた科学的な概念の獲得の過程における個々の学習者のメンタルモデルの変化に着目し、学習者間の相互作用を通じた概念変化の過程においても学習者個々の学習プロセスは多様であること、教室全体が「正しい解」に収束するような学習が起こった場合でも「正しい解」の背景に個々が持っているメンタルモデルは多様であることを示す。また、このメンタルモデルの多様性が学習者個々の概念変化のリソースとして機能しうることを「建設的相互作用」[1]の枠組みを用いて論じたい。多くの先行研究では、他者と考えを出し合いな

がら自身の理解を深化させる「協調学習」が、科学の理論の獲得に対して有益であることが指摘されている[2]。

このとき、「協調学習」を通じた個々の学習者の学習プロセスについては、参加する複数の学習者の考えが正しい解へと「収斂」するプロセスであるとみなす立場[3]と学習者一人ひとりに固有の学習プロセスが見出されるとする立場[4]が存在している。

本稿では、「仮説実験授業」[5]によって目に見えない空気の存在とはたらきについて学んだ小学校3年生のクラス討論の記録の分析から、協調的な概念変化のプロセスにおいて、参加する複数の学習者の考えが主題とする科学の理論に関する問題に「正しい解」を出せるというレベルにおいて「正しい解」へと「収斂」している一方、最終的に「正しい解」を選んだ個々の学習者が用いているメンタルモデルにも多様性がみられることを明らかにする。また、学習者のメンタルモデルがひとつに収束してない一方で、個々の学習者のメンタルモデルの変化に着目した場合、その変化には他者との相互作用の影響を見てとることができる。

こうした「協調学習」を通じた学習者の概念変化について本稿では、一人ひとりが自分なりに納得できる理解を作り上げていく「建設的相互作用」のプロセスとして説明する。

「建設的相互作用」は、これまでペアや少人数の学習場面における理解深化を説明するための枠組みとして用いられてきたが[6]、クラス討論のような多人数の相互作用における理解深化のメカニ

ズムを説明できる可能性もある。本稿の分析をこの可能性を検証する一助としたい。

また、教室の場における「協調学習」による概念変化が「建設的相互作用」としての性格を持っていることを明らかにすることは、学習者中心型の授業の運営における教師による学習の支援やまための適切なスタイルやタイミング等についての実践的な示唆をもたらすものであると考えられる。本稿の最後に、若干の示唆を提起したい。

## 2. 「仮説実験授業《空気と水》」における概念変化

本稿で分析対象とするのは、公立小学校3年生21人の教室で2002年度に行われた「仮説実験授業《空気と水》」[7]の12時間分の記録である。

仮説実験授業は、「課題共有・各人の予想・予想の理由についてクラス全体での自由な討論・実験による結果の確かめ」というシーケンシャルな協調的学習活動を中心とした科学の授業である。

ある概念に関するいくつかの実験の結果を問う問題の解をクラス全体で吟味し合う活動を繰り返し、一連の問題の解を正しく予想するための科学的概念を学習者自らが「仮説」として構成することをねらっている。

仮説実験授業は、「協調的な学習環境デザインの典型」して欧米でも評価の高い授業であり、概念変化に対する高い効果が指摘されてきた[8]。この事例でも、12時間の協調的な学習を通して、全員が教材のねらいとする「正しい解」へたどりついていた。

分析対象とした授業の主題は《空気と水》である。《空気と水》は、目に見えない空気の存在とはたらしを考える教材であり、仮説実験授業では科学入門の授業として位置づけられている。授業は、コップやスポイトストローなどの器具を使って空気と水の動きを予想する11の問題について、「課題共有・予想・討論・実験」を行うことを中心に展開する。問題の配列は表1の通りである。

表1 仮説実験授業《空気と水》の問題構成

| 番号 | 課題                                      | 解         |
|----|-----------------------------------------|-----------|
| 1  | 空のコップを逆さまにして水の中にいれると？                   | 水は入らない    |
| 2  | 前問で、コップの中に紙をつめておく？                      | 紙はぬれない    |
| 3  | 水のはいったコップを水中で逆さまにして持ち上げると、コップの中は？       | 水が入ったまま   |
| 4  | 水の上に逆さまに立てたコップの中の空気を管で吸い出すと？            | 水があがってくる  |
| 5  | スポイトを深く入れるのと浅く入れるのでは、どちらがたくさんの水を吸い上げるか？ | どちらも同じくらい |
| 6  | 1mの管でも水を吸い上げることができるか？                   | 水は上まであがる  |
| 7  | 1つだけ穴をあけた缶を逆さまにするとジュースはでてくるか？           | でてこない     |
| 8  | 穴を2つにするとジュースはでてくるか？                     | 勢いよくでてくる  |
| 9  | 1つだけ穴をあけた空き缶を水の中に入れると？                  | 水は入らない    |
| 10 | 前問で穴を2つにすると？                            | 水はたくさん入る  |
| 11 | しょうゆさしの穴を1つふさぐと？                        | うまく出てこない  |

授業のねらいは、「自然は真空を嫌う（空気があるとすると水は入れないが、空気が出るとその分だけ水が入る）」という、空気的作用を説明するモデルの獲得と活用である。11の課題は、子どもたちが日常的な経験則を用いて実験結果を正しく予想しやすい課題から（問題1 - 問題6）、難易度の高い問題に移行し（問題7 - 10）、最後にもう一度日常的な場面に戻る（問題11）という流れで配列され、ターゲットとするモデルの形成と精緻化を支

援することが意図されている。授業の際は通常1時間（45分）に1つか2つの問題を扱い、10数時間程度をかけて11問を順に学習する。本事例では12時間で11の問題を扱った。

授業は、研究の目的とは独立に行われたもので、筆者は授業者によって授業の振り返りのために採取されたデータをのちに譲り受けた。

データに含まれるのは、12時間の授業中の発話と各学習者が選んだ予想の記録、各授業時間後に

各学習者によって書かれたコメントである。

これまでの調査によれば、小学校3年生にとって目に見えない空気の動きとはたらきをとらえることは必ずしも簡単な課題ではない[9]。にもかかわらず対象クラスの場合、最終問題では、21人の学習者全員が実験の結果を正しく予想できるようになっていた。なおかつ、「協調的な概念変化モデル」[10]に基づいて児童の討論中の発言と授業後のコメントを分析した結果、21人の学習者のうち20人が「自然は真空を嫌う（空気があるところに水は入れないが、空気が出るとその分だけ水が入る）」ことを理解しているとみなせる発言やコメントを行えるようになっていた[11]。例えば、ある学習者は、「しょうゆさしの穴を1つふさぐとどうなるか？」を問う問題11の討論において、「ぼくはもう一方の穴から空気が入り込んで、空気がここにたまっしょうゆを押して出ると思う」のように自身の考えを説明することができた。

また授業終了後1週間後に問題1～11に改めて予想をたてさせ、全問に正しい予想を選べた場合を満点として正否を採点したところ、平均点は94点であった。授業を通して学習者の多くが、教えたようにした科学の理論に関する問題に正しい答えを出せるようになっていたと言える。

筆者らは以前、本事例を用い、学習への参加の仕方の観点から、討論での各学習者の発言数に注目して学習のプロセスを分析した[12]。その結果、12時間の総発言数には、学習者によって大きな差があることが明らかになった。最も多くの発言をした学習者は、12時間を通して44回、最も発言の少なかった学習者は12時間を通して1回の発言を行っていた（1人あたりの平均発言数は12）。21人の学習者は、最終的にはみんな同じように「正しい解」にたどりついていたが、授業中に自身の理解を言語化する回数とそのタイミングは多様だったのである。この結果は、「正しい解」の裏にそれぞれ固有な概念変化のプロセスがある可能性を示唆すると言えよう。

本稿ではこの結果をふまえ、クラスで特に発言数の多かった2人の学習者（コウタロウとリョウ（仮名：以下本稿に登場する児童の名前は全て同様である））を取り上げ、予想の推移パターンと討論での発言から想定されるメンタルモデルの変化に着目し、概念変化の観点から学習プロセスの多様性を示す。コウタロウとリョウは、発言数がそれぞれ44と42で、21人の参加者中1番目と2番目に発言数の多い学習者であり、学習への参加の仕方は比較的似通っている。

3. 予想の推移パターン

はじめに、コウタロウとリョウの予想の推移パターン及び、全11問におけるクラス全体の予想分布（討論前）を示す(表2・3)。

表2 コウタロウとリョウの予想推移パターン

| コウタロウ |     |                    |    | リョウ     |                               |    |         |
|-------|-----|--------------------|----|---------|-------------------------------|----|---------|
|       | 選択肢 | 内容                 | 正否 |         | 選択肢                           | 内容 | 正否      |
| P1    | イ   | コップの中に水はほとんどはいらない。 | ○  | イ       | コップの中に水はほとんどはいらない。            |    | ○       |
| P2    | イ   | 紙はぬれない。            | ○  | イ       | 紙はぬれない。                       |    | ○       |
| P3    | ア   | コップの中には、水がはいったまま。  | ○  | ア       | コップの中には、水がはいったまま。             |    | ○       |
| P4    | イ   | コップの中には、水があがってくる。  | ○  | イ       | コップの中には、水があがってくる。             |    | ○       |
| P5    | ウ   | どちらも、ほとんど同じくらい。    | ○  | ウ       | どちらも、ほとんど同じくらい。               |    | ○       |
| P6    | ウ   | 上まで上がってくる。         | ○  | ウ       | 上まで上がってくる。                    |    | ○       |
| P7    | ウ   | ジュースはぼとぼと続いて出てくる。  | ×  | ウ       | ジュースはぼとぼと続いて出てくる。             |    | ×       |
| P8    | イ   | ジュースは出てこない。        | ×  | ウ       | ジュースはぼとぼと続いて出てくる。             |    | ×       |
| P9    | ウ   | 水はほとんど入らない。        | ○  | ウ       | 水はほとんど入らない。                   |    | ○       |
| P10   | ア   | 今度は水がたくさんはいる。      | ○  | イ→<br>ア | 水は、半分くらいはいる→<br>今度は水がたくさんはいる。 |    | ×→<br>○ |
| P11   | イ   | うまくでてこない           | ○  | イ       | うまくでてこない                      |    | ○       |

表 3 全 11 問におけるクラス全体の予想分布（討論前）

|     | ア | イ  | ウ  | エ  | 備考   |
|-----|---|----|----|----|------|
| P1  |   | 4  | 15 | 2  | 0    |
| P2  |   | 0  | 12 | 9  |      |
| P3  |   | 18 | 0  | 3  |      |
| P4  |   | 0  | 16 | 4  | 1人欠席 |
| P5  |   | 7  | 3  | 11 |      |
| P6  |   | 0  | 11 | 10 |      |
| P7  |   | 5  | 0  | 16 |      |
| P8  |   | 0  | 13 | 8  |      |
| P9  |   | 0  | 2  | 19 |      |
| P10 |   | 7  | 6  | 8  |      |
| P11 |   | 0  | 21 |    |      |

※グレーのセルは、正解の予想。斜線は選択肢が存在しないことを示す。

表 2・表 3 の P1-P11 は問題番号である。予想は問題ごとに 2 つから 4 つの選択肢から選ぶことになっており、1 つが正解でその他の 1~3 つの選択肢は不正解である。コウタロウとリョウ、それぞれの選んだ予想は「選択肢」として示した。「内容」は選んだ選択肢の内容である。「正否」の欄はそれぞれの選んだ予想が正解か不正解を示し、○は正解の予想×は不正解の予想を選んでいることを意味する。また、一旦選んだ予想は、討論において他者の意見を聞く過程での変更が認められていた。そこで、予想の変更があった場合は「→」で変更前と変更後の予想をそれぞれ示す。P10 のリョウの場合がその例である。

リョウとコウタロウの選んだ予想選択肢は、前半完全に同じであったが、授業後半で異なり、最終問題で再び一致するというパターンで推移していた。クラス全体の予想分布と照らすと、2 人の選んだ選択肢は比較的多くの児童が選んだものと一致する傾向にある。

P1 から P7 では、リョウとコウタロウの予想は一致している。対して P8 と P10 では違う予想を選んでいる。授業が進むにつれて考えが収斂するというよりは、むしろ授業が進むにつれて考えの違いが明らかになってきているようにも見える。

しかし最終問題では再び同じ予想を選んでいる。予想推移パターンからは、リョウとコウタロウは授業開始から P7 まではある程度似通ったプロセスで学習を進め、P8 から P10 で別のプロセスを経て、最後に「正しい解」へと収斂していったようにみ

える。

#### 4. コウタロウとリョウのメンタルモデル

次に 2 人が討論中に行った発言からメンタルモデルを想定してみる。分析の結果、12 時間の授業を通して、コウタロウは空気と水の相対的な位置関係に着目したモデル、リョウは空気と水の相互作用に着目したモデルをそれぞれ構成し精緻化させながら、空気と水とをめぐる現象について「自然は真空を嫌う（空気が出れば水が入り、空気が入れば水が出る）」という認識に向かって自分なりに理解を深化させていった様子がみられた。

授業を通してコウタロウとリョウは、「空気が出れば水が入り、空気が入れば水が出る」ということを共通に理解していったが、それぞれの持つメンタルモデルには常に差異が認められ、しかもそれぞれがそれぞれのモデルを精緻化していく過程において、そのモデルの差異はよりはっきりしてきている。

まず P1-P7 では、コウタロウもリョウも日常経験を参照しながら予想の根拠を説明している。「水の出入り」を「空気の存在」と対応させた説明をしばしば行っているところから、「空気が出れば（入れば）その分水が入る（出る）」という単純な入れ替わりのモデルを用いていることがうかがわれる。2 人の選んだ予想の一致は、このモデルの類似に裏付けられていると考えられる。

ただし、2 人が使う言葉に注目すると、P1-P7

においても既にわずかな違いが見出された。コウタロウは「水の上がれる空間ができれば水が上がってくる」(P4) などのように、水の動きを表現する際に「上がる」という言葉を頻繁に用いている。対してリョウは、「水がある」(P1) といった言葉を一貫して用い、「上がる」は用いていない。この差は、2 人の予想が初めて実験結果によって反証された P7 を経て、P8 以降の討論でより目立つようになっていく。

表 4 に、P8 の討論におけるコウタロウとリョウの最初の発言と、発言から想定されるメンタルモデルを示す。発言中、それぞれのモデルの特徴が

現れていると判断できる語句に筆者が下線を付した(以下同様)。メンタルモデルの図は筆者が作成した。

P8 は「2 つの小さな穴をあけた缶をさかさまにするとジュースは出てくるか」という問題であり、コウタロウは「ジュースは出てこない」、リョウは「ジュースはぼとぼと続いて出てくる」という予想をそれぞれ選んでいる。正解は「ジュースは勢いよく出てくる」で 2 人の選んだ予想はどちらも間違いであるが、リョウのほうが比較的正解に近い考えをしていると言える。

表 4 P8 の討論におけるコウタロウとリョウの最初の発言と、想定されるメンタルモデル

|       |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                       |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| コウタロウ | 今回は <u>下</u> に 2 つあるわけで、ぼくはその 2 つの穴の <u>一方が上</u> にあれば、 <u>上から</u> だったら空気は入りやすいから <u>下から</u> ジュースが出ると思うんだけど、でも穴は 2 つとも <u>下</u> になってるし、中のジュースは <u>下</u> に行ってるから、 <u>下から</u> 空気が入り込めない。つまり、空気が外にあるのでジュースが出ることもないし、空気が入り込むこともできない。ちょうど缶の底で分かれている。 |   |
| リョウ   | ぼくはどっちから出てもいいんだけど、ここから空気が <u>入り込ん</u> <u>で</u> 、缶の中は空気が半分まで来て、こっちの穴からジュースが <u>押し出</u> <u>されて</u> ぼたぼた出てくる。                                                                                                                                     |  |

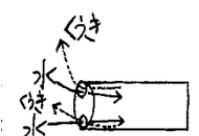
コウタロウは缶に開けられた 2 つの穴の位置を区別している。「上からだったら空気は入りやすい」、「下から空気は入り込めない」と述べているところから、<空気は上に動き、水はその下に動く>という空気と水の相対的位置関係に着目したモデル(以下、「位置関係モデル」と呼ぶ)を持っていることがうかがわれる。

一方リョウは「どっちから出てもいい」と述べているところから空気と水の位置関係には着目していない。かわりに「空気が入りこんで、…ジュースが押し出される」という言葉から、<空気と水は力を及ぼし合う>という空気と水の相互作用

に着目したモデル(以下、「相互作用モデル」と呼ぶ)を持っていることがうかがわれる。

コウタロウとリョウは、P8-P10 の学習の過程で、一貫してそれぞれの異なるモデルを用いていた。2 人の言葉が次第に洗練されていったこと、P9, P10 で予想が当たるようになっていくことから、2 人のモデルはそれぞれ精緻化されていったと考えられる。しかし 2 人の用いるモデルが同じモデルに収斂することはなかった。そのことを端的に示すのが、P10 の討論の最後の発言である(表 5)。

表 5 P10 におけるコウタロウとリョウの最後の発言

|       |                                                                                                                                                                                                                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| コウタロウ | <p>予想のグループはリョウ君と同じなんだけど、 空気は水が来るとあわになるでしょう。それで、あわは<u>上に</u>どんどん行くから、<u>上に</u>たまって<u>上の穴</u>から出れる。<u>下の穴</u>は空気は出なくて水が入る。<u>下</u>は水優先。</p>  |
| リョウ   | <p>両方あけたんだから、たぶんたくさん入ると思う。こういうふうに水が入ってきて空気が<u>飛び出して</u>いくと思う。</p>                                                                          |

P10 は「2 つ穴を開けた空き缶を水に沈めたらどうなるか」である。討論の最後で、コウタロウとリョウはそれぞれ黒板に図示をしながら、「水がたくさん入る」ことについて意見を述べている。図は黒板に 2 人が描いたものを教師が写し取ったものである。

コウタロウは依然として「上の穴」、「下の穴」という言葉を使って空気と水の位置関係に焦点を当てた説明を行っている。図にははっきりと表れているように＜空気は水の上にある＞というモデルは保たれている。リョウも「空気が飛び出していく」といった言葉づかいから、＜空気と水は力を及ぼし合う＞という相互作用モデルにもとづいて説明を行っていることが明らかであると言えよう。

彼らは授業の最終段階まで、それぞれ異なるモデルを用い、それを精緻化させていると言える。コウタロウは「予想のグループはリョウ君と同じなんだけど…」と述べているところから、予想選択のレベルで考えの一致しているリョウとの間に考えの差異があることを自覚しているようである。

リョウもまた予想が同じでありながら、図示までして自身のモデルを表明している点から、考えの差異を自覚していると考えられる。2 人の持つメンタルモデルの差異は、授業の最終段階で本人たちにも自覚されてきたのである。

## 5. メンタルモデルの変化と相互作用 －「建設的相互作用」の枠組みに基づく分析－

上述のように、コウタロウとリョウは、12 時間の授業を通してそれぞれ「位置関係モデル」と「相互作用モデル」という自分なりのモデルを用いていた。彼ら個々の学習プロセスはそれぞれ異なる知識構成のプロセスだったと言えよう。

一方で、彼らのモデルの精緻化には、他者との相互作用が重要な役割を果たしていた。コウタロウもリョウも、様々な学習者が自由に考えを出し合う討論の場で、自身のモデルを別の言葉で説明し直してみること、他者の考えを聴いて自身のモデルに統合することを交互に繰り返し、それぞれのモデルをより精緻で一般性の高いものへと進化させていったのである。以下、P8 の討論に焦点を当て、2 人のメンタルモデルの変化と相互作用の様子を「建設的相互作用」の枠組みに基づいて描きだしたい。

まずリョウに注目してみよう。P8 の討論の後半では、リョウがコウタロウの位置関係モデルの影響を受け、空気と水の位置関係に関する説明を自身のモデルに組み込んでいる。リョウは P8 の討論の後半で「空気はそこ（水）を通り抜けて上に行って、上の空気の力で下から出ると言いました」というように、2 つの穴の位置関係をふまえて空気と水の力の及ぼし合いを説明している。リョウのこの時点のモデルは、図示すれば図 1 のようになるであろう。

リョウの発言に「上」「下」の語が登場したのはこれが初めてである。



図 1 相互作用モデルに位置関係モデルを統合した，P8 の後半におけるリョウのモデル

「建設的相互作用」の枠組みによれば，自身の理解を言語化する活動（課題遂行）と，他者の考えを聴きながら自身の理解を深化させる活動（モニタリング）を頻繁に交代することにより，学習者の考えはより一般性，抽象度の高い理解に変化していくと説明されている。

リョウは P8 で少数派となった予想を選んでいため，討論中に質問や反論を多く受けることになった。そこで，課題遂行とモニタリングの活動を頻繁に行き来することになり，結果としてモデルを精緻化させたと考えられる。

一方コウタロウは，P8 の討論中，リョウに比べて発言数が少なく，課題遂行とモニタリングの活動をそれほど頻繁には交代しなかった。コウタロウのモデルの精緻化は，リョウとアカネという別の学習者の間でかわされたやり取りを聞くことをきっかけとして起こっていた。

討論の中盤，表 3 に示したリョウの発言を受け，アカネが疑問を提示した。アカネは，「両方の穴から空気が入る」と考えており，「一方の穴から空気が入り，一方の穴から水が出る」というリョウの予想に対して，「両方から空気が入るはずなので，水は出られないのではないかと指摘したことで，リョウは「もし両方から入っても，空気は透けて上から入れます」と，空気が水中を移動する説明をすることになった。

このやりとりの直後，コウタロウは「あ，そうだ。空気は泡になって上に出ていくんだ」という発言をしている。表 3 で示したように，コウタロウは P8 の討論の最初の発言では，缶の中での空

気の動きについて言及はなかった。この発言は，討論中に気づきを得てモデルを精緻化させたことを示すものと言えるだろう。この時点でのコウタロウのモデルは，図示すれば以下になるであろう。



図 2 位置関係モデルに缶の中の空気の動きという要素を組み込んだ，P8 の中盤におけるコウタロウのモデル

コウタロウ自身は P8 の討論中，最初の発言以来発言をしていなかった。しばらくの間課題遂行を行っていなかったのである。にもかかわらずモデルの精緻化が起こっているという事実は，多人数の相互作用の場において，他者間のやりとりを聞くという形でのモニタリングが重要な機能を果たす可能性を示すと言える。

## 6. 結論と課題

本稿での分析の結果，コウタロウとリョウの概念変化のプロセスはそれぞれ固有な知識構成のプロセスであることが示唆された。12 時間の授業を通して，コウタロウは空気と水の相対的な位置関係に着目したモデル，リョウは空気と水の相互作用に着目したモデルをそれぞれ構成し，精緻化させながら，「自然は真空を嫌う（空気が出れば水が入り，空気が入れば水が出る）」ということに関する自分なりの理解を深化させていったと言えるだろう。

「建設的相互作用」の枠組みによれば，授業に参加する学習者の考えが最終的に「正しい解」へ収斂した場合でも，一人ひとりの学習プロセスは多様であり，「解」を裏づけるメンタルモデルも多様であると考えられる。学習者は，自身の理解を



言語化する活動（課題遂行）と、他者の考えを聴きながら自身の理解を深化させる活動（モニタリング）に交互に従事しながら、自身の理解を他の視点からチェックして修正したり、自身の理解を他者の理解と統合して抽象化したりすることによって、メンタルモデルを少しずつ変化させ、「正しい解」を出せる程度に一般性と抽象度の高いモデルを構築していくと想定される。

今回の事例の場合、リョウは他者の質問や反論を受けながら、自身のモデルを何度も説明してみようというように課題遂行とモニタリングを頻繁に交代することを通して自身の「相互作用モデル」を精緻化させている様子がみられた。他方コウタロウは、ともに学習する仲間どうしのやり取りをモニタリングすることを通して得た気づきから、自身の「位置関係モデル」に新しい要素を組み込んで精緻化させている様子がみられた。2人は12時間の授業を通して、自身の固有なモデルを保持したまま、相互作用の中で、最終的にこの教材がゴールとした「正しい解」を選べる程度にメンタルモデルを精緻化させていった。

授業の最終段階での2人のモデルを比較すると、コウタロウのモデルがより日常的・経験的であり、リョウのモデルがより一般的・科学的なモデルに近いといえることができるが、どちらのモデルも科学的に十分であるとは言えない。しかし、日常経験を参照しながら予想の根拠を説明していた授業の前半に比べ、2人の考えが、この授業で扱ってきた空気と水の動きに関する「科学的に正しい説明」（大気圧や表面張力の概念を用いた適切な説明）に近づいているのは確かである。もしここで教師が「科学的に正しい説明」をしたとすれば、十分受け入れることが可能であろう。

Schwartz & Bransford [13] は、教師の説明が学習者に効果的であるかどうかは、学習者が“time for telling”であるかどうかによって決まるため、“time for telling”をどのように創出するかが学習環境デザインの重要な課題の1つであると述べている。本稿の分析は、協調的な学習が、教室の多数の学習者の“time for telling”を作りだすことに貢献する

可能性を示していると言えるだろう。

もう1つここで注目したいのは、2人のモデルの精緻化のきっかけが異なっていたという点である。2人のモデルの精緻化はどちらも他者の考えをリソースとして起こっていたが、リョウは課題遂行とモニタリングの頻繁な交代、コウタロウは他者のやりとりのモニタリングが、それぞれ精緻化のきっかけであった。特に、コウタロウのような他者のやりとりのモニタリングによるモデルの精緻化は、多人数での協調学習の特徴と考えられる。

「建設的相互作用」に関する先行研究によれば、ペアでの協調的な学習場面において、状況を打開するような新しいアイデアが学習者から出てくるのは、モニタリングの活動に従事した際であることが多いという[14]。

多人数の相互作用においては、自身と対話をしている相手の考えを聞くだけでなく、他者と他者の対話を聞く、数人の学習者の間で行われている討論を聞くなど、多様な形態のモニタリングを行うことができる。コウタロウのモデルの変化と相互作用の分析からは、この多様なモニタリングが多人数の参加者が効果的に理解を深化させることに貢献している可能性を指摘できる。

実際、本事例についてのこれまでの分析では、討論中にほとんど発言しなかった学習者が、別の学習者たちの活発な討論を聞いた後、モデルの精緻化がうかがわれるような質の高い実験結果の解釈を書き残す場合がしばしばあることが見出されている。多人数の学習者が協調的な課題解決に取り組む場面での「建設的相互作用」のメカニズムを説明する上で、本事例で見出された多様なモニタリングの機能は検討を要するだろう。今後は、特に目に見える形で頻繁な役割交代を行わなかった学習者の学習プロセスに注目して検討を行う予定である。

また、同じ教室で、12時間を通しての発言数が比較的近い2人ですらモデルの精緻化のきっかけが異なっているという事実は、科学の概念を教える際の支援についても示唆を与えるであろう。学



習者によってモデルの精緻化のきっかけが異なるのであれば、多人数の教室における概念変化を効果的に支援するには、多種多様なリソースを様々なタイミングで提供できる学習環境が必要だと考えられる。とはいえ、1人の教師が多種多様なリソースを学習者1人ひとりに対して適切なタイミングで提供するという事はほぼ不可能に近い。そこで期待されるのは、多様な考えを持つ学習者が自身の考えを出し合い、出し合われた考えを互いにリソースとしやすい環境を作ることであろう。

本稿で対象とした教室では、「仮説実験授業」の教材により、「予想を選ぶ」、「予想の理由を図示も交えて話し合う」、「コメントを書く」というように様々な形態で学習者が自身の考えを出し合える状況が用意されていた。討論の場でそれぞれの学習者が好きなタイミングで発言したり、発言せずに他者の話を聞いたりする自由が保障されている点も、考えを出し合いやすい状況を作っているであろう。また、累積的に協調による課題解決を行うことで、学習者が互いの意見を解釈しやすく、自身の考えと統合して理解深化のリソースとしやすい状況を作っているとも考えられる。

今後の分析を通して、科学教育に協調的な学習を効果的に活用するための学習環境デザインについても検討を深めたい。

## 参考文献

[1] Miyake, N.(1986)."Constructive interaction and the iterative process of understanding," *Cognitive Science*, 10, pp.151-177.

[2] Roschelle,J.(1992)Learning by Collaborating: Convergent Conceptual Change. *Journal of the Learning Sciences*2(3), pp.235-276

Howe, C., McWilliam, D. & Cross, G. (2005). "Chance favours only the prepared mind: Incubation and the delayed effects of peer collaboration. *British Journal of Psychology* 96, pp.67-93.

Miyake,N,(2008).Conceptual Change through Collaboration. In Vosniadou, S., ed. *International Handbook of Research on Conceptual Change*.

London, Taylor & Francis Group.

- [3] Roschelle,J.(1992)ibid.
- [4] Shirouzu, H., & Miyake, N. (2002). Learning by collaborating revisited: Individualistic vs. convergent understanding. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society, USA*, 1039
- 白水始 (2008) “学習者主体の概念変化”,JCSS 企画研究「概念変化」と学習研究: 認知の基礎過程を考え直す
- [5] 板倉聖宣(1963). "仮説実験授業の提唱“, *理科教室*, 11月号.
- [6] Shirouzu, H., Miyake, N., & Masukawa, H. (2002) Cognitively active externalization for situated reflection, *Cognitive Science*, 26(4), pp.469-501.
- [7] 仮説実験授業研究会(1970) 授業書『空気と水』
- [8] 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*. pp.331-348. APA
- Miyake,N,(2008).Conceptual Change through Collaboration. In Vosniadou, S., ed. *International Handbook of Research on Conceptual Change*. London, Taylor & Francis Group
- [9] 高野圭世, 堀哲夫, 平田邦男 (1991), “粒子概念の理解に関する研究-「空気の温度による体積変化」を事例にして-“, *日本理科教育学会研究紀要 vol.32 No.2*, pp.91-99
- [10] Miyake, N. (2009). Conceptual change through collaboration, Paper presented at AERA 2009, San Diego.
- [11] Saito, M., & Miyake, N. (2011) “Socially constructive interaction for fostering conceptual change,” *Proceedings of the 9th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning, (CSCL2011), Hong Kong*, pp.96-103.
- [12] Saito&Miyake,(2011), ibid.

- [13] Schwartz, D.L., & Bransford, J.D.(1998), “A time For Telling,” *Cognition and Instruction*, 16:4,pp.475-522.
- [14] Shirouzu, H., Miyake, N., & Masukawa, H. (2002) *ibid*