

授業における対話の構造と学習者の知識獲得

Conceptual change through social interaction in the classroom

齊藤 萌木
Moegi Saito

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

Abstract

In order to guide the design and assessment of successful intentional conceptual change at school, we examined third graders' learning processes using Hypothesis-Experiment-Instruction. All 21 students in the class successfully learned the target concept. Our analysis revealed that they gradually developed theory-like concepts by repeatedly discussing their predictions to be confirmed with experiments. Further analysis of the dialogue contents indicated that some small-group discussions were effectively monitored and utilized by the rest of the class, to assure achievement of the entire class.

Keywords — Conceptual change, Constructive interaction

1. はじめに

「学習環境をインタラクティブにデザインすることが、学習者の知識獲得に効果的である」という考えが広く受け入れられるようになって久しい。しかし、学習環境がインタラクティブにデザインされていても、学習の過程を分析すると「全くインタラクティブでない」場合もある[1]。Barron[2]によれば、インタラクティブな学習環境においてその学習者グループがよい成果を出せるかどうかは個々の学習者の学力や発話の総量ではなく、対話のパターンに因るといふ。そこで本論ではインタラクティブにデザインされた学習環境、具体的には教室での科学的概念獲得を目指した事例を対象に、学習者が知識獲得を効果的に達成した場合の対話の構造を明らかにするとともに、対話の構造と各学習者の知識獲得の関係について考察する。

2. 題材について

2.1 仮説実験授業の学習環境デザイン

本論では、仮説実験授業を行う教室における対

話の構造を分析する。仮説実験授業は、「科学上の最も基本的な概念や原理・原則を教える」ことを目的とした授業理論であり、インタラクティブな学習環境デザインの1つの基本形として高い評価も受けている[3]。

仮説実験授業は、学習者に問題を提示し、その問題に対して予想をたて、その理由を出し合って討論し、多くの場合実際に実験して答えを明らかにするという「予想—討論—実験」の三つの活動を中心として進められる。普通 10 数コマ程度の授業時間で、主題となる概念や原理に関する複数 10 数題から数 10 題の問題を順に生徒たちに提示して実践される。問題の系列は、一連の問題について「予想 - 討論 - 実験」繰り返すことによって、「最後の問題では、生徒の全員がそこで教育目標とされている概念・法則・理論を正しく用いて正しい予想がたてられるようになる」ことをねらってデザインされている [4]。

2.2 授業書《空気と水》による事例

本論では、2002年に公立小学校3年生で行われた仮説実験授業の予想分布と討論の発言記録を分析対象として、そこで起きた知識獲得と対話の構造との関係を明らかにする。データは、授業者によってテープレコーダーと授業中のメモを用いて採取された。授業者は仮説実験授業の実践経験豊富な50代女性である。授業は主に理科の時間を利用し、5月半ばから6月半ばまで、45分×12コマを使って行われた。机の配置はコの字型、授業の形式は一斉授業である。クラスの人数は21人で、仮説実験授業を初めて受ける児童である。

授業名は《空気と水》で、「目に見えない空気の動き」を主題としている。《空気と水》では以下の

11 の問題を用い、「自然は真空を嫌う」という原理を獲得させることをねらっている。

表 1 《空気と水》の問題構成[5]

〔問題 1〕 空のコップを逆さまで水の中に入れてと？
〔問題 2〕 前問で、コップの中に紙をつめておくと？
〔問題 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？
〔問題 4〕 水の上に逆さまに立てたコップの中の空気をストローで吸い出すと？
〔問題 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？
〔問題 6〕 1m の管でも水を吸い上げられるか
〔問題 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？
〔問題 8〕 前問で穴を 2 つにすると？
〔問題 9〕 1 つだけ穴をあけた空き缶を水に入れると？
〔問題 10〕 前問で穴を 2 つにすると？
〔問題 11〕 醤油さしの穴を 1 つふさぐと？

《空気と水》は比較的日常の経験で正しい予想をたてやすい状況で、目に見えない空気存在を意識させる問題(1,2)からはじまり、空気と水の不思議な現象を用いて「自然は真空を嫌う」ことを意識させる問題(3,4)へと進む。更に、スポイトやストローという「自然は真空を嫌う」という原理を使った道具を使った問題へ移る(5, 6)。次に、問題状況は大きく変化し、穴を開けた空き缶を使って、目に見えない空気と水の出入りをイメージする段階へ進む(7, 8, 9, 10)。そして最後に、空き缶の実験結果と、その背景にある「自然は真空を嫌う」という原理を日常的な道具で再確認する問題で終わる。

2.2 《空気と水》における知識獲得の過程

上記のように、《空気と水》では日常生活経験では得られない目に見えない空気の動きについての科学的概念を獲得させることを狙いとしている。そこで本論では、対象クラスでの《空気と水》の 12 時間の授業における学習者の知識獲得の過程を、単なる知識の量的増大でなく、知識の再構造化を目指す概念変化の過程として分析する。

はじめに対象クラスにおける 21 人の学習者が、どの程度目指す概念変化を達成したかを、各問題における予想の正解率の変遷と、各学習者の討論中の発言や授業後コメントの分析によって示す。発言とコメントの分析は「協調的な概念変化モデル」(表 2)に即して行った。具体的には「自然は真空を嫌う」というモデルを用いて、各問題における空気と水の動きについて説明できている発言やコメントを、「協調的な概念変化モデル」における「抽象的な説明モデル(レベル 3)」を獲得できていると判断した。たとえば〔問題 11〕の場合、「ばくは片方の穴から空気が入り込んで、空気がここにたまったしょうゆを押してでると思う」といった発言をレベル 3 以上とした。発言者の予想の正否は問わず、モデルを用いた発言であれば、レベル 3 以上とカウントした。コーディングは 2 名が行い、一致率は 94%であった。

分析の結果、対象クラスでは、最終問題での正解率は 100%であり、21 人中 20 人が少なくとも 1 度はレベル 3 以上の発言あるいはコメントを行っていた(図 1)

表 2 協調的な概念変化モデル[6]

他人の意見も統合した理論	Lv.4. 形式理論原則
	Lv.3. 説明モデル
個人でできる観察	Lv.2 経験的法則
	Lv.1 一回性の観察記録

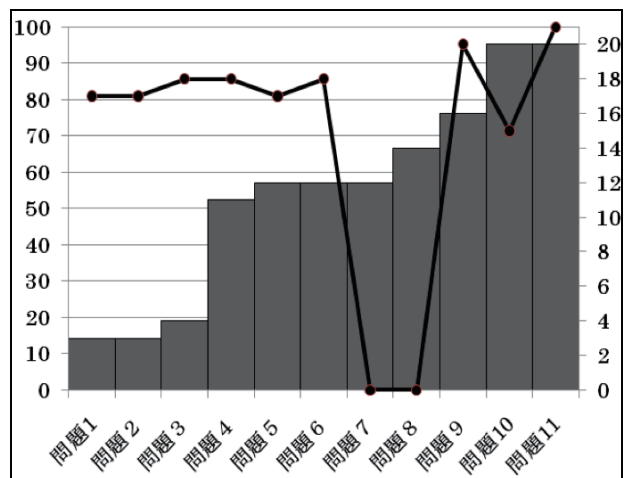


図 1 《空気と水》の授業における各問題の正解率(折れ線)とその問題までにレベル 3 以上の言語化を行った学習者の数(棒)

3. 対話分析の枠組みと仮説

本事例では 12 時間の授業を通して全ての学習者が「自然は真空を嫌う」という原理に関する具体的な問題状況において正しい予想をたてられるようになり、ほとんどの学習者がその原理について抽象的な理解を獲得していることがうかがわれる。

それでは、学習者はどのようにしてこのような概念変化を達成したのだろうか。11 の問題について「予想 - 討論 - 実験」を繰り返すことは、自分自身の考えを言語化し、他者の考えや新しい知識との相互作用を通して自分自身の理解を変えていくという協調的なプロセスだと言える。だとすれば、協調的な認知過程のメカニズムに関する認知科学研究の枠組みを用いることによってこのプロセスを分析することが可能であろう。そこで本論では「建設的相互作用」[7]の枠組みを用い、仮説実験授業による協調的な概念変化の過程を分析する。

「建設的相互作用」によれば、協調的な学習の場においては、話し手(task doer)と聞き手(monitor)の役割交代を通して、各自の理解が抽象化すると説明できる。「建設的相互作用」は、これまでペアか小グループでの学習を対象に論じられており[8]、比較的少人数の学習者による対話において生じると考えられるが、Miyake[6]は、教室のように多くの学習者が参加する場においても、同様のメカニズムが機能する可能性を指摘している。

そこで、本論では対象の授業における児童の抽象的な理解の獲得が建設的相互作用に基づいているとの仮定から、教室における建設的相互作用の型として次の2つを想定し検証した。

ひとつは、小グループにおける建設的相互作用と同様の構造が順に生起する型であり、これを「グループ討論型」と呼ぶことにする。学習者 1 人ひとりをアルファベットで区別して示すとすると、この型では、 $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B \dots D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow F$ のように少数の学習者間で発言者が推移することになる。

もうひとつは、 $A \rightarrow R \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow H \dots$ のように全員が順に発言する型であり、これを「個人連鎖型」と呼ぶことにする。建設的相互作用の枠組みが、全ての学習者に個人として両方の役割に従事することを要求すると考えると、この型では1人の「話し手」に対して、教室全体が「聞き手」となり、すべての児童が交代で「話し手」となることが予想される。

仮説実験授業では「討論は発言を求めたもののみについて行わせる」[4]ということを実験運営の原則としているが、教師によっては「1 時間の授業中に 1 人 1 度は発言すること」をルールにし、挙手などによって発言を求めない児童に発言を行わせた事例もある[10]。このような方略は、クラス全員が両方の役割に平等に従事する「個人連鎖型」の建設的相互作用を志向するものと言える。しかし一方で、授業においては、一部の子どもだけが活発に発言している場面もしばしば生じる。このような小グループでの討論の場で、他の学習者が話を聞きながら考えを深めている可能性もある。だとすれば本事例において「グループ討論型」の建設的相互作用が重要な役割を果たしていることも考えられる。

対象事例の場合、討論は挙手した児童を教師が順に指名して進行した場面と、教師の指名すらく、子どもたちが自発的に発言を重ねて進行した場面があった。教師は上記の原則に従い、挙手しない児童を意図的に指名したり、特定の児童に挙手を促したりはしていなかった。そこで発言者の推移は、仮説実験授業《空気と水》の学習過程で自然に生じた対話の構造とみなすことができる。

4. 分析の結果と考察

4.1 建設的相互作用の型

図 2 は、21 人の学習者に発言総数順に A から U までのアルファベットを付し、問題ごとに発言者の推移を示したものである¹。左端の数字は発言

¹分析対象とした発言は、IC-R で判別可能なものから、歓声(i.e.ワーイ)と、教師の指名を除いたものである。

	問題1	問題2	問題3	問題4	問題5	問題6	問題7	問題8	問題9	問題10	問題11
1	J	N	K	I	I	J	C	B	I	K	F
2	F	D	J	H	K	D	N	K	F	N	B
3	C	?	A	F	D	E	J	F	M	D	A
4	B	M	H	G	C	P	H	L	G	A	E
5	H	H	B	A	H	N	E	S	C	H	G
6	D	F	L	?	N	I	G	P	A	M	M
7	A	B	G	A	A	K	A	M	D	O	A
8	G	D	E	?	L	Q	B	D	C	I	F
9	E	E	A	A	B	C	D	J	A	L	A
10	B	A	L	D	D	K	P	C	C	T	F
11	U	Teacher	A	A	J	E	T	A	A	G	
12	F	B	B	H	E	G	J	E	C	E	
13	A	?	A	B	I	A	E	B	A	B	
14	B	E	E	A	K	O	B	A	C	C	
15	D	O	A	Teacher	O	B	Teacher	E	L	B	
16	B	P	E	all	H	C	A	B	?	A	
17	D	N	A	Teacher	R	Teacher		C	E		
18	B	R	E	S	A	J		M	C		
19	A	?		I	D	?		B	B		
20	B	C		A	B	A		A	A		
21	A	B		C	C	C		C	I		
22	B	D			B	Teacher		B	Q		
23	K	B			?	H		C	C		
24	C	C			A	D		A			
25	B	B			D	A		B			
26	C	C			C	Teacher		C			
27	B	D			A			I			
28	I	A			Teacher			F			
29	B	B			A			H			
30		C			E			E			
31		B			D			C			
32		C			L			B			
33		B			A			F			
34		?			B			A			
35		C			D						
36		F			C						
37		Teacher			G						
38					B						
39					J						
40					E						

図 2 : 《空気と水》の各〔問題〕における役割交代の型

番号である。「Teacher」は教師の発言を示す。教師の発言は授業の進行や実験方法についての質問に答えるもののみであり、(i.e. 「予想変更がなければ実験しましょう」〔問題 2〕の 37)、学習者の発言内容に対する干渉は行っていない。

発言者の推移が「個人連鎖型」とみなせる場合は白いセル、「グループ討論型」とみなせる部分は黒いセルとした。「グループ討論型」の判断の基準は、2~4 人の学習者が交互に発言を行っており、かつその発言内容が連続していることである。たとえば、〔問題 8〕の発言番号 17~26 の場合、学習者 ABC が「2 つの缶の穴からの空気とジュースの出入り」について発言を繰り返しているため、黒いセルとした。一方、発言番号 18 は学習者 M

による「あ、そうか!」という連続性の不明な発言であったため、「グループ討論型」から除外した。

図 2 より、《空気と水》の討論では、「個人連鎖型」の割合が高いこと、「個人連鎖型」と「グループ討論型」両方の型が交互に生起していることが特徴として指摘できる。よって、教室における「建設的相互作用」は、「個人連鎖型」の役割交代を基本として生起すると考えられる。同時に、教室における「建設的相互作用」において「グループ討論型」の生起が一定の役割を果たしていることが推察される。

また、図 2 には A から U までのアルファベットが全て表れていることから、全員の学習者が一度は「話し手」になっていることがわかる。ただし、各学習者の発言回数には大きな差がある。発言数は、もっとも多い A で 44、もっとも少ない U で 1 である。全ての学習者が個人として両方の役

割に従事しているものの、どちらの役割にどれだけ従事したかは各学習者によって異なっている。

さらに、各〔問題〕における2つの型の生じる割合に注目すると、4割以上の割合で「グループ討論型」の役割交代が生じているのは〔問題1〕、〔問題8〕である。図1と対照すると、「グループ討論型」が多く生じた〔問題8〕の直前の〔問題7〕で正答率が急落し0%になったことが指摘できる。すなわち、授業の最初や正解率の急落といった認知的不調和が喚起される状況において生起する活発な「理解活動」[9]が、「グループ討論型」の対話構造であることが推察される。

このことを確かめる1つの手段として、各〔問題〕の討論における全発言数と「自然は真空を嫌う」という原理に即して空気と水の動きについての抽象的な説明を行った発言(前述のレベル3)の数を図3に示す。

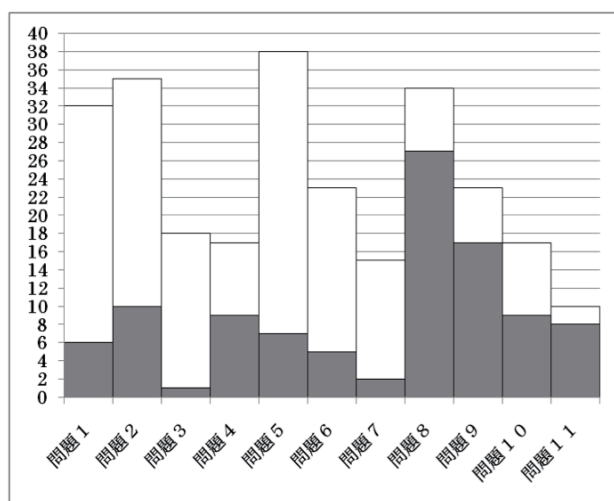


図3 各〔問題〕の討論における発言数(グレーは、「自然は真空を嫌う」という原理に即して空気と水の動きについての抽象的な説明を行う発言)

図3から、〔問題1〕と〔問題8〕の両方において討論の全発言数が多いこと、また、〔問題8〕の討論では、「自然は真空を嫌う」という原理に即して空気と水の動きについての抽象的な説明を行う発言が急激に増加していることが指摘できる。さらに〔問題8〕以降、抽象的な説明を行う発言の

割合が一貫して高くなっていることがわかる²。

4.2 〔問題8〕における「グループ討論型」の対話と概念変化

〔問題8〕は「穴を2つあけた空き缶を逆さまにするとジュースは出てくるか」を問うものである。《空気と水》の問題構成(表1)では、上述のように〔問題7〕から問題の性格が大きく変化している。缶をかたむけるという場面設定では、まず、それまでのコップ、スポイト、ストローを使った問題に比べて空気と水の出入りを視覚や触覚に基づいてイメージすることが難しくなる。更に、「空気がある」(1, 2)あるいは「空気を出した」(3, 4, 5, 6)ことがわかっている状況で水の動きを予想することから、空気が出るか出ないかをもイメージした上で対応する水の動きを予想する必要がある。

図1, 図3より、「穴を1つだけあけた空き缶を逆さまにするとジュースが出るか」を問う〔問題7〕では、「ジュースは出ない」という正しい予想をした児童は1人もおらず、討論での発言数も少ない。これは、このような問題の性格の変化を受け、児童がこれまでの授業から得た知識を使って予想をたてることが難しくなることと同時に、「穴の開いた入れ物をかたむければ中身が出てくる」という日常経験に根拠を求めた場合でも正しい予想を選べないためと考えられる。

〔問題8〕は、〔問題7〕と同様に「缶をかたむける」という場面設定で、穴の数だけが変わっている。児童の予想は「ジュースは出ない」が13名、「ぼとぼと出てくる」が8名であった。討論の前半では「個人連鎖型」の役割交代が生起し(図2)、児童は順に自分の予想の根拠を述べた。発言のレベルは、「自然は真空を嫌う」という原理に即して空気と水の動きについての抽象的な説明を行う発言(i.e.「1つの穴から空気が入って、もう1つの穴からジュースが出るかなと思って」(発言番号6))と、過去の問題の実験結果を参照する発言(i.e.「〔問題7〕ではジュースは出なかったから、2つあけてもいっしょじゃないかなと思って」(発

² 〔問題1〕～〔問題7〕では22.6%、〔問題8〕～〔問題11〕では72.6%。

言番号 7))がバラバラに行われ、論点の共有は起こっていなかった。

しかしこの後の発話内容を詳細に分析すると、この課題の回答についての議論を通して児童が各自、概念変化と呼べる原理の獲得を示唆する発言ができるようになってきていることがわかる。

まず発言番号 11 以降の「グループ討論型」の対話では、ほとんどの発言が、「自然は真空を嫌う」という原理に即して空気と水の動きについての抽象的な説明を行う発言となる。また、参加する少数の児童の間で論点の共有が起きている。

この実態をより詳細に検討するために〔問題 8〕における「グループ討論型」の対話の実際の展開を以下に示す(表 3)。ここではそれぞれ参加者の異なる「グループ討論型」の対話が 2 つ続いて生起しているため、A・E・B によって行われた前半の対話を「第 1 フェーズ」、C・B・A によって行われた後半の対話を「第 2 フェーズ」とする。

表 3 〔問題 8〕における「グループ討論型」の対話

第 1 フェーズ

11	A	今回は下に2つ(穴)あるわけで、ほくはその2つの穴の一方が上にあれば、上からだったら空気は入りやすいから下からジュースが出ると思うんだけど、でも穴は2つとも下になってるし、中のジュースは下にいてるから、下から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。ちょうど缶の底でわかれてる。
12	E	さっきBさんが「一方から空気が入る」って言ったんだけど、穴が空いているんだから、どっちも入るんじゃないの？どっちもから入れば、水は出れない。
13	B	もし両方から入っても、空気は透けて上に入れます。
14	A	あ、そうだ。空気は泡になって上に出て行くんだ。
15	E	でも一方から入るとはかぎらんよ。
16	B	ほくはここでも、ここでも、両方でもいい。空気が入ればジュースが出る。どこから出るかわからんけど。

第 2 フェーズ

17	C	ジュースが満杯で、空気があったら水とかジュースは入り込めないし、ジュースがあれば空気は入れなくて、空気は入ろうとしても、ジュースでふたされると思います。
18	M	あー、そうかー。
19	B	人の話、聞いてなかったな。だから、ジュースがいっぱいでも空気はそこを通りぬけて上に行って、上の空気のカで下から出ると言いました。
20	A	でも入る場所はないよ！ダイキさんが言ったみたいに缶の中はジュースがまんばいだよ。
21	C	ジュースがあれば空気は無理やり入り込めないんだよ。なぜジュースがあっても空気が入り込めるんですか？
22	B	ふつうの缶は上に少しスペースがあいています。
23	C	ふつうのびんとかのジュースなら確かにちよつとあいてるけど、こういうのは満杯まで入ってる。
24	A	うん、ふつうのジュースはプルトップをあげると確かに満杯まで入っているよ。
25	B	ほんの少しのスペースがあればいいのです。
26	C	ジュースは満杯なので、絶対！空気が入り込むことはありません！

表 3 の第 1 フェーズでは、「2 つ穴を開けた空き缶をさかさまにしてもジュースは出ない」と予想

した A と E, 「ジュースはぼとぼと出てくる」と予想をした B が討論を行っている。A・E・B は、「目に見えない空気の動き」という授業の主題に焦点をあて、「空気と水の出入り」という論点を共有して対話を進めている。

続いて第 2 フェーズでは A・B に加え、第 1 フェーズで「聞き手」であった C (予想は「出ない」) が、E と交代で議論に参加する。論点はより絞られ、「空気が入り込むとしたら、どこにどのように入り込むか、そしてジュースをどう出すか」をより詳細に、動的にイメージしている。第 2 フェーズでは、「空気が入ればジュースが出る」ことを前提として議論が進んでいるところから、議論の参加者は、「自然は真空を嫌う」という原理を正しく理解し、それに基づいて目に見えない空気の動きと対応する水の動きについて自分なりの説明を作っているとみなせる。

また、第 2 フェーズで C と代わってモニターとなった E は第 2 フェーズの議論が収束したのち、発言番号 30 において「水は空気のあるところへは入れないんだから、出ないんじゃないかなと思います」という発言を行い、「穴の外の空気が水の動きを妨げてしまう」という自分自身の理解を整理している。

さらに、興味深いのは、「グループ討論型」の議論に参加しなかった学習者にも、理解深化が起きていることがうかがわれる点である。〔問題 8〕の実験後のコメントにおいて、討論中に発言のなかった学習者 G は次のような記述を行っている。

表 4 〔問題 8〕における「聞き手」の授業後コメントの例 (記述は原文ママ)

今日、2 つ穴をあけたら、かた方からしかジュースは出なかったよ。じゃあ、ジュースが出なかったあなは、どうなっていたんだろう？わたしは、ジュースが出てないあなからは、たぶん空気が入っていたんだと思うよ。

G のコメントでは、片方の穴からジュースが出るという実験結果を、「ジュースが出てない穴から空気が入り込んでいる」という目に見えない空気

の動きと結び付けて説明しているところから、「聞き手」グループにおいても、「グループ討論型」の論点が共有されていたことがうかがわれる。

また「聞き手」グループの理解深化を示すもう1つの事実としては、[問題 8] から [問題 10] で、それまで発言やノートへの記載など観察できる形では主題についての抽象的な理解を獲得できていなかった8人の学習者が相次いでレベル3の言語化を行ったことも指摘できる(図1)。8人は全員が「聞き手」グループの生徒である。

以上から [問題 8] の「グループ討論型」の対話においては、1人の発言者が話し手としての役割を果たすだけでなく、少数の学習者が「話し手グループ」としての機能を果たし、グループ間でも建設的相互作用が生じることによって、「聞き手グループ」の学習者を含む、個々の学習者の概念変化が効果的に促進された可能性がある。

4. 今後の課題

今後、個々の学習者の発言内容をより詳細に分析することによって、1人ひとりの学習者の概念変化の過程を詳細に明らかにする。具体的には、「グループ討論型」の対話に頻繁に参加する発言数の多い児童、発言数の特に少ない児童、その中間の児童の間で、1人ひとりの概念変化の過程を比較検討する予定である。また、同じ教材を用いた他の教室の実践の記録を分析することによって2つの型の生起パターンと児童の知識獲得の関係をさらに検討する。

参考文献

- [1] Chi, M. T. H., (2009)., "Active-Constructive-Interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities." *Topics in Cognitive Science* 1(2009), 73-105.
- [2] Barron, B.,(2003), "When Smart Groups Fail." *The Journal of the learning sciences*.12(3), pp.307-359.
- [3] Roseman, J. E. & Linn, M. C. & Koppal, M.

- (2008). "Characterizing Curriculum Coherence", Kali, Y., Linn, M.C. & Roseman, J.E.(Eds.), *Designing Coherent Science Education*, 13-36. Teachers College Press
- [4] 板倉聖宣, (1974), "仮説実験授業の骨組み", 『仮説実験授業 授業書〈ばねと力〉によるその具体化』, 仮説社
- [5] 仮説実験授業研究会,(1970),授業書《空気と水》初版.
- [6] Miyake, N. (2008). "Conceptual change through collaboration." S. Vosniadou, (Ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. 453-478. New York: Routledge.
- [7] Miyake, N. (1986)."Constructive interaction and the iterative process of understanding." *Cognitive Science*, 10(2), 151-177.
- [8] Shirouzu, H. & Miyake, N.,& Masukawa, H. (2002). "Cognitively active externalization for situated reflection." *Cognitive Science*, 26, 469-501.
- [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*. 331-348. APA
- [10] 渡辺慶二, (1968), "討論ぎらいのクラスを改革する", 『子どもの変革と仮説実験授業』, 明治図書.