

博士論文

科学的問題解決における仮説評価活動
および概念形成活動を促す指導法の検討

小林 寛子

はじめに

小中学校の理科授業において、学習者は、しばしば、何らかの課題を与えられ、観察・実験を通してその答えを導くよう求められる。理科の教科書を開いてみると、「実験用でこのうでがつり合うときには、どのようなきまりがあるのだろうか」、「水中で浮力はどのようにはたっているだろうか」等様々な問題について、「実験しよう」、「実験結果から考えてみよう」といった指示が出されているのが目に入る（大日本図書株式会社発行「たのしい理科 6年・2」・「理科の世界 1年」より引用）。こうした授業を通じて、学習者は、「実験用でこのうでがつり合うときのきまり」や「浮力の大きさを変える要因」といった科学的知識を獲得するのみならず、解答を導くための科学的なスキルを身に付けることが期待されている。科学的なスキルとは、具体的には、「調べたい要因の他の要因は、条件をそろえて観察・実験する」とか、「観察・実験で得られたデータは、自らの仮説に対して確証となるのか反証となるのかを評価する」といった、科学的な手法を用いて問題を解くときに必要な幾つかの活動を行えることを指す。しかしながら、理科授業で問題解決を行わせれば自動的に科学的知識やスキルが獲得されるというものではない。大人になっても、様々な自然現象について誤った知識を持っていること、得られたデータは自らが予め抱いている仮説にとってどのような意味（確証／反証）があるのかを適切に判断することが難しく、科学的スキルが十分とは言えないことが、数多く報告されている。

こうした困難を克服し、人が様々な問題に対して科学的な手法を用いて適切に解を導いていけるよう促すためには、どのような介入が有効であろうか。こうした問題意識から、本論文では、科学的問題解決の促進をテーマとし、そこに必要な科学的な知識やスキルを学習していく年代である小中学生を対象として、彼らの抱える困難を明らかにした上で、それを克服するための指導法を開発していくことを目的とする。

科学的な知識やスキルは、一見、科学者や開発者等、科学を専門とする職業に就かない限り、用いることはないように思われるかもしれない。しかし、実際には、日常生活においても必要とされるものである。事実、2011年東日本大震災をきっかけとして福島第一原子力発電所の事故が起こって以来、多くの人々が、日常的に、放射能とは何かという知識を求め、放射能と健康の関係を示すデータを評価する活動をしてきたことだろう。科学的な知識やスキルの育成は、科学の発展のみならず、日常で生じうる問題に対し適切に解を導いていけるよう促す上でも、非常に重要であると言えることができる。

目次

はじめに

第 1 部 問題と目的

第 1 章 科学的問題解決の心理学的定義と教育場面での位置付け	1
1.1 心理学研究における科学的問題解決の定義	1
1.1.1 科学的問題解決を定義づける 3 つの過程と 2 つの知識	
1.1.2 科学的問題解決を扱った心理学研究の概観	
1.1.3 まとめ	
1.2 教育場面で求められる科学的問題解決力との関連	9
1.2.1 TIMSS の理科調査との関連	
1.2.2 PISA の科学的リテラシーとの関連	
1.2.3 学習指導要領理科の目標及び内容との関連	
1.2.4 まとめ	
第 2 章 科学的問題解決の難しさと従来の指導法	21
2.1 証拠の評価の重要性と難しさ	21
2.1.1 科学的問題解決のメカニズムからみた証拠の評価の重要性	
2.1.2 証拠の評価の難しさとその原因	
2.1.3 まとめ	
2.2 仮説評価活動の指導と問題点	29
2.2.1 授業提案研究の特徴と問題点	
2.2.2 仮説評価活動のトレーニング研究の特徴と問題点	
2.2.3 まとめ	
2.3 概念形成活動の指導と問題点	34
2.3.1 領域固有知識の教授研究の特徴と問題点	
2.3.2 仮説に関する領域一般知識の指導に関わる研究の特徴と問題点	
2.3.3 まとめ	
第 3 章 本論文の目的と構成	41
3.1 本論文の目的	41
3.2 本論文の構成	44

第 2 部 小中学生の科学的問題解決に関する実証研究

第 4 章 研究 1 科学的問題解決活動に対する教師の指導と有効性の認知が 活動の遂行に及ぼす影響	47
4.1 問題と目的	47
4.2 調査 1 学習者の科学的問題解決活動の構造	50
4.2.1 目的	
4.2.2 方法	
4.2.3 結果と考察	
4.3 調査 2 科学的問題解決活動に対する教師の指導と有効性の認知が 活動の遂行に及ぼす影響	53
4.3.1 目的	
4.3.2 方法	
4.3.3 結果と考察	
4.4 調査 3 教師が仮説形成・評価活動や概念形成活動を指導しない理由	60
4.4.1 目的	
4.4.2 方法	
4.4.3 結果と考察	
4.5 考察	64

第 3 部 仮説評価活動への介入研究

第 5 章 研究 2 仮説評価スキーマ教示と協同活動が科学的問題解決に及ぼす影響	67
5.1 問題と目的	67
5.2 方法	71
5.2.1 課題	
5.2.2 実験参加者	
5.2.3 条件	
5.2.4 手続き	
5.3 結果	74
5.3.1 課題成績	
5.3.2 科学的問題解決プロセス	
5.4 考察	82

第 6 章 研究 3 仮説評価スキーマ教示と協同活動が	
科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上に及ぼす影響	84
6.1 問題と目的	84
6.2 実験 1 従来の指導法との効果の比較	88
6.2.1 目的	
6.2.2 方法	
6.2.3 結果と考察	
6.3 実験 2 効果の生じるプロセス	95
6.3.1 目的	
6.3.2 方法	
6.3.3 結果と考察	
6.4 考察	101

第 4 部 概念形成活動への介入研究

第 7 章 研究 4 学習者の領域固有知識が科学的問題解決に及ぼす影響	103
7.1 問題と目的	103
7.2 方法	105
7.2.1 課題	
7.2.2 実験参加者と協同するグループの構成	
7.2.3 課題における事前解答と協同による課題解決の状況	
7.2.4 課題における事後解答	
7.2.5 手続き	
7.3 結果	107
7.3.1 課題における事後解答成績	
7.3.2 科学的問題解決プロセス	
7.4 考察	115
第 8 章 研究 5 教授された科学的知識を自分の言葉で説明し直す活動が	
科学的問題解決に及ぼす影響	117
8.1 問題と目的	117
8.2 実験 1 統制群との効果の比較	120
8.2.1 目的	

8.2.2	方法	
8.2.3	結果と考察	
8.3	実験 2 実践的検討	134
8.3.1	目的	
8.3.2	方法	
8.3.3	結果と考察	
8.4	考察	137
第 9 章	研究 6 概念の包括性に関する知識の教示が 科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上に及ぼす影響	141
9.1	問題と目的	141
9.2	方法	143
9.2.1	授業参加者	
9.2.2	理科授業	
9.2.3	テスト	
9.2.4	手続き	
9.3	結果	148
9.3.1	理科授業における学習課題解答	
9.3.2	作用・反作用の働きに関する確認テスト	
9.3.3	浮力の領域の科学的問題解決テスト	
9.4	考察	149

第 5 部 総合考察

第 10 章	本論文から得られる示唆と意義	153
10.1	結果のまとめ	153
10.2	心理学・理科教育学研究への寄与と示唆	157
10.2.1	科学的問題解決に関する研究への寄与と示唆	
10.2.2	関連する諸領域の研究への寄与と示唆	
10.3	教育場面への寄与と示唆	163
10.4	本論文の限界と今後の課題	166
おわりに		170

引用文献	171
付録	180
付録 A 研究 2 で用いた Big Track 課題で 仮説評価スキーマ教示群が提示された質問文	180
付録 B 研究 3・4 で用いたノート例	181
付録 C 研究 3 で用いた運動の規則性に関する確認テスト問題	185
付録 D 研究 3 で用いた浮力の領域の科学的問題解決テスト問題	188
付録 E 研究 5 実験 1 の教授セッションで用いた冊子	190
付録 F 研究 6 で用いたノート例	201
付録 G 研究 6 で用いた作用・反作用の働きに関する確認テスト問題	203

原論文一覧

謝辞

第 1 部

問題と目的

第1章

科学的問題解決の心理学的定義と教育場面での位置付け

第1章では、科学的問題解決に関する先行研究を概観する。まず、1.1節で、心理学研究において、科学的問題解決がどのように研究されてきたか、その結果として、どのように定義されてきたかを紹介する。次に、1.2節で、教育場面では、科学的問題解決を促進するためのどのような力の育成が目指されているかを、国際的な学力調査であるPISAやTIMMS、国内の学習指導要領を基に整理する。1.1節、1.2節各々で概観した知見を比較することによって、本論文で促進を目指す「科学的問題解決」の範囲を明確にする。

1.1 心理学研究における科学的問題解決の定義

冒頭「はじめに」で、小中学校の理科授業における問題解決を通じて、学習者は科学的な知識やスキルを身に付けることが期待されると述べた。そして、それら科学的知識やスキルは、科学の発展のためのみならず、より適切に日常生活を営んでいくためにも重要であると指摘した。それでは、小中学校の理科授業、科学という学問、日常生活という異なる場面で生じる活動に通底する「科学的問題解決」、そして、それに必要な科学的知識やスキルとは、どのようなものなのだろうか。この問いについて、本節では、心理学研究を基に検討していく。

1.1.1 科学的問題解決を定義づける3つの過程と2つの知識

「科学的問題解決」とは何かについて、まずは、小中学校の理科授業における問題解決を例に考えてみよう。「水中で浮力はどのようにはたしているだろうか」という課題を具体例として挙げる。

この課題を解くためには、第一に、「沈める物体の底面積が関係しそうだ。例えば水に直方体の箱を沈めるとして、面積の広い面を下にして沈めようとする、抵抗があっても沈められないけれど、面積の狭い面を下にして沈めれば、抵抗なくずっと水に入っていくと思うから」、「いやいや、沈める物体の重さの関係するだろう。重いものは沈んでし

まうよね」などと仮説を立てて、どんな要因について調べてみるかを決めるだろう。第二に、「まず、底面積が関係するかを調べよう。そのために、一つの直方体を、向きを変えて沈めて、それぞれ浮力を量ろう」と実際に実験して調べることになる。そして第三に、「実験の結果、底面積を変えても浮力の大きさは変わらなかった。どうやら沈める物体の底面積は浮力に影響しないらしい」と、実験結果から結論を導く。影響する要因が見つかるまで繰り返し、上記3過程を続けることになる。

この3過程が、「科学的問題解決」という事態の下位カテゴリーであることが、心理学研究において共通の見解となっている。事実、Klahr (2000) は、「科学的な手法を用いて問題を解く」という事態は、上記3過程に該当する「仮説の形成 (forming hypothesis)」、
「観察・実験の計画と遂行 (designing and running experiments and observations)」、
「証拠の評価 (evaluating evidence)」から成ること、各過程で「領域固有 (domain-specific)」と「領域一般 (domain-general)」の2種類の知識が必要とされることによって特徴づけられるとしている。以下、このKlahr (2000) の定義を、そこに至る過程を概観しながら、説明する。

1.1.2 科学的問題解決を扱った心理学研究の概観

心理学研究において、「科学的な手法を用いて問題を解く」という事態は、科学的問題解決 (scientific problem-solving) という名のもとだけでなく、科学的思考 (scientific thinking) や科学的推論 (scientific reasoning) などといったテーマ名で、幅広く研究されている¹。したがって、研究の目的も手法も扱う現象・内容も多岐に渡っている (レビューとして、Klahr, 2000)。そのうち、特に、科学的問題解決を上手く遂行するために必要な知識やスキルに着目した研究を取り上げてみても、その手法から2つに大別できると考えられる。1つは、心理学実験室で、参加者に何らかの課題を与え、観察・実験を通してその答えを導くよう求めて、活動を分析していく研究、もう1つは、科学者が実際に行っている活動を観察して、分析していく研究である。

まずは、心理学実験研究から概観していく。これらの研究における実験参加者は、科学者のみならず、大学生をはじめ、高校生・中学生・小学生と多様である。それに応じて、与えられる課題も、科学的に難しい問いから、先に挙げた「水中で浮力はどうのようにはた

¹ なお、Klahr (2000) では、「科学的思考 (scientific thinking)」という用語を用いている。本論文では、用語の混乱を避けるため、「科学的な手法を用いて問題を解く」という事態は全て「科学的問題解決 (scientific problem-solving)」と呼んで統一する。

らいているだろうか」といった小中学校の理科授業で出題されるような問い、「ケーキをおいしく焼くには何が必要か」といった日常的な問いまで様々である。こうした研究に対して、Klahr (2000) は、「実験室で作りに出される問題解決状況は、科学者が実際に行っている問題解決の偽物に過ぎず、そうした手法で得られた知見は、生態学的妥当性が低いとの批判もある」と述べた上で、「しかしながら、科学者の科学的問題解決の基礎となる日常的な問題解決を明らかにする上で重要な研究である」と述べて、科学者の活動から日常的な活動までの中に共通点があることを指摘し、得られた知見を整理している。

なお、心理学実験の重要性に関しては、Schunn & Anderson (1999) も、その長所を複数挙げて、主張する。Schunn & Anderson (1999) の挙げた心理学実験の長所は、(1) 実験室では、そこで生じる問題解決状況を実験者のコントロール下に置くよう準備できるため、関心のある事柄がよく観察できること、また、(2) 生態学的妥当性は高いとされる科学者の問題解決過程を観察する研究は、主に一事例を観察するので、得られた知見の一般化が困難であるのに対し、数多くの実験参加者の問題解決過程を観察できる心理学実験は一般化が容易であること、である。

心理学実験室の長所として挙げられたものの1つ、問題解決状況をコントロール下に置くことができることによるものか、心理学実験においては、科学的問題解決の様々な過程に特化した検討を行うものが多い。例えば、Kuhn, Amsel, & O' Loughlin (1988) は、観察・実験で得られた結果が、自分が予めもっていた仮説に対してどのような意味があるのかを考える「証拠の評価」過程に焦点を当てる。そのため、Kuhn らの実験では、実験参加者に、彼らの仮説の反証的証拠となる結果や確証的証拠となる結果を与えた上で、その結果から得られる結論は何かのみを問うている。その他、小学生に地球の形や、地球・太陽・月の動き、それら3つの天体の相対的な位置関係等をたずねて、小学生の天体に関する既有知識を明らかにした、いわば「仮説の形成」過程に焦点化した研究

(Samarapungavan, Vosniadou, & Brewer, 1996) や、「観察・実験の計画と遂行」過程に焦点を当て、交絡しない実験を計画できるよう介入した研究 (Kuhn & Angelev, 1976) などがある。

上記のような研究の特徴とそこで得られた知見を整理するために、Klahr (2000) は、先に述べた科学的問題解決の定義を提唱した。科学的問題解決を扱った先行研究を、各研究が焦点化した過程（「仮説の形成」・「観察・実験の計画と遂行」・「証拠の評価」）と、その過程で必要とされる知識（「領域固有」・「領域一般」）の2つの次元で整理し、それらの

総括を「科学的問題解決」と呼んだのである。2つの次元の組合せで構成される6タイプの焦点をTable 1-1に、その1タイプもしくは2~3のタイプを扱った研究例をTable 1-2に示す。

こうした先行研究の知見の総括から想定された「科学的問題解決」が、単に、科学的問題解決の様々な要素の寄せ集めではないことは、Klahr (2000) が自らの研究で証明している。Klahr (2000) は、先述のように「科学的問題解決」を定義した上で、その3つの過程と2種類の知識全てを通して解決されるような課題を用いて心理学実験を行い、3過程と2知識が相互に影響し合いながら科学的問題解決が進む様を明らかにした。具体的には、仮説の形成過程と、観察・実験の計画と遂行過程を、相互に関係し合うものとして有意義に行うために、観察・実験で得られた結果が予めもっていた仮説に対してどのような意味があるのかを考える証拠の評価過程が重要となってくること、また、人は主に領域一般知識を用いて、交絡しない実験を計画したり、証拠として示された2変数の共変関係を考慮したりするが、どの変数に着目するかといった点に領域固有知識が影響してくることなどが示されている。

Table 1-1 科学的問題解決の下位分類 (Klahr, 2000 より抜粋)

	仮説の形成	観察・実験の計画と遂行	証拠の評価
領域固有知識	A	B	C
領域一般知識	D	E	F

Table 1-2 科学的問題解決に関する先行研究例（Klahr, 2000 でレビューされていた論文について，筆者が，それぞれの実験で与えられた課題に着目し表を作成）

対象とするセル	出典	内容
A	McCloskey, Washburn, & Felch (1983)	「ボールをもって一定の速さで歩きながら，ボールを落とすと，ボールはどのように落ちるか」といった質問を提示して解答させ，物体の運動領域における既有知識を問う。
	Cary (1985)	「どのようなものが生きていないものか」といった質問を提示して解答させ，生き物における既有知識を問う。動物・ヒトなどの既有知識についても同様に行われている。
B	Tschirgi (1980)	「ケーキをおいしく焼くには砂糖よりも蜂蜜を入れた方が良い」といった，既有知識が豊富と考えられる日常場面における仮説を提示し，それを検証するための方法として，「どのようなレシピに基づいてケーキを焼き，その出来栄を比較すべきか」を考えさせ，交絡しない実験を計画できるかを問う。
E	Kuhn, & Angelev (1976)	「色（赤・緑・黄色）と，描いてある模様（丸・四角）の組合せが様々な箱がある。どのような箱に白い券が入っているか当てなさい」といった，既有知識の入り込まない仮想的な課題において，正解を導くために交絡しない実験を計画できるよう訓練を行う。
	Case (1974)	数種類の棒と数種類の箱が組み合わさったものを提示し，それらの重さを適切に比較することによって，どの種類の棒が重いかを発見させるような課題において，正解を導くために交絡しない実験を計画できるよう訓練を行う。
	Siegler, & Liebert (1975)	「電車を動かしたい。4つのスイッチのどれを on にして，どれを off にしたらよいか明らかにせよ」といった，既有知識の入り込まない仮想的な課題において，正解を導くために交絡しない実験を計画できるかを問う。
F	Shaklee, & Paszek (1985)	2×2 の表に，変数 A と変数 B の共変関係を表した証拠を提示し，その結果から得られる結論は何かを問う。変数 A と変数 B は，抽象的で恣意的なものを用いる。

Table 1-2 科学的問題解決に関する先行研究例・前頁の続き

対象とするセル	出典	内容
C & F	Amsel, & Brock (1996)	「植物が育つには、太陽の光が必要か」といった、既有知識が豊富と考えられる日常場面において仮説を形成させるとともに、「太陽の光があるときとないときで、植物がどうなったか」を示す証拠を提示し、その結果から得られる結論は何かを問う。
	Ruffman, Permer, Olson, & Doherty (1993)	参加者自身が知っていることと異なる証拠を提示する。その証拠をみた別の人（参加者のような知識は持たない）がどのように結論づけるかを問い、知っていることと証拠を分けて考えられるかを問う。
A & C	Vosniadou, & Brewer (1992)	「地球は丸い」という言語的な知識と、「地面は平らだ」という日常的な感覚の矛盾を解消して一貫した説明を作り上げていく思考過程を観察する。
	Koslowski, Okazaki, Lorenz & Umbach (1989)	仮説と証拠の矛盾を解消して一貫した説明を作り上げていく思考過程を観察する。結果として、証拠のサンプルサイズや、サンプリングした方法の考慮、証拠を説明する領域知識の有無の考慮が影響することを明らかにした。
D, E & F	Wason (1960)	「2-4-6 のような 3 つ組数字に関するルールを発見する」といった、既有知識の入り込まない仮想的な課題において、被験者にルールに関する仮説を形成させるとともに、それを検証するための事例となる 3 つ組数字を提示させ、それが真のルールに当てはまっているかどうかのフィードバックを与える。さらに、そのフィードバックをもとに仮説形成から検証を繰り返させ、解を導くことを求める。
	Mynatt, Doherty, & Tweney (1977)	「(架空の) 粒子の運動に関するルールを発見する」といった、既有知識の入り込まない仮想的な課題（コンピュータ上で行う）において、被験者にルールに関する仮説を形成させ、それを検証するための実験を行わせ、結果として解を導くことを求める。

さらに、ここまで概観してきた心理学実験という手法を用いた研究以外に、先に、科学的問題解決を上手く遂行するための知識やスキルに着目した心理学研究として挙げた「科学者が実際に行っている活動を観察して、分析していく研究」においても、科学的問題解決には3つの過程と2種類の知識が関わるということが支持されている。なお、こうした研究は、生態学的妥当性が高いと言われるが、科学者が実際に行っている活動を真に明らかにするためには、観察者が、観察対象となる科学者の許可を得て、活動の直中に入り込む必要があるのみならず、そこで起きている事柄を正確に理解するだけの科学的な知識を身に付けている必要があるという難点がある。それらの難しさ故か、科学者の活動の観察という手法を用いた研究の数は、決して多いとは言えない（レビューとして、Klahr, 2000; Schunn & Anderson, 1999）。そうした中で、Dunbar (1994) が、発生生物分野と病原体分野各々2つの実験室（一方は細胞レベルでの研究を、もう一方は分子レベルでの研究を行う）に入り込み、科学者達が、仮説を形成し（generate hypothesis）、実験を計画し（propose experiments）、証拠を評価する（evaluate results）際に、どのような領域一般的な知識を用いるのか、どのように領域固有の専門知識を反映させるのか等を明らかにすることを目的に観察を行っている。この目的、すなわち、観察内容を分析する視点となるものとして挙げられているのは、まさに3つの過程と2種類の知識である。実際、この視点からの分析により、科学的問題解決を促進する上で、仮説の反証的証拠が得られた時に仮説を棄却することがポイントとなっていることや、豊富な専門的知識により類似分野からの類推がよくなされていることなどが明らかとなっている。

1.1.3 まとめ

以上、科学的問題解決を上手く遂行するための知識やスキルとは何かという関心の下、Klahr (2000) を軸に心理学研究を概観し、科学的問題解決は「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識が必要とされることによって特徴づけられることを主張してきた。さらに「領域固有」・「領域一般」知識が具体的にどのようなものかに関しては、Table 1-2 に挙げたような先行研究において、何を測度としてデータをとっているか、すなわち、実験参加者が何をしたときに「科学的問題解決ができた」と評価しているのかに着目することによって、推し量ることができる。具体的には、「領域固有」知識は、一般に、物理学の知識、生物学の知識といった特定分野の知識や、日常生活など何らかの特定状況と結び付

いた知識であり、大抵の場合多く持っているほどよいと評価される。ある問題に関する領域固有知識を持っているほど、その解に近い仮説を予め形成することが可能であるし、それに合わせて観察・実験する変数を選択すること、さらには、観察・実験結果を解釈していくことが可能となるというわけである。一方、「領域一般」知識は、特定の分野や状況を越えて使用可能な知識であり、科学的問題解決においては、共変関係にあるとはどういう事態かといった一般概念や、交絡しない実験を計画する等の手続き的知識を指すものと考えられる。それら一般概念や手続き的知識をよりよく理解するというだけでなく、それらを用いて適切な活動を行えるほどよいと評価される。Table 1-2 に挙げた先行研究と、それを受けて行った Klahr (2000) の研究から、科学的問題解決の過程ごとに、領域一般知識、すなわち科学的問題解決に必要な活動の具体例を挙げて Table 1-3 に示す。

Table 1-3 科学的問題解決に必要な活動の例

過程	具体的活動例
仮説の形成	<p>既有知識の中から、課題に関係する情報を思い出す。</p> <p>仮説を考える。</p> <p>仮説が説明的・機能的・節約的かを考える。</p>
観察・実験の計画と遂行	<p>調べたい変数の値を変えて、観察・実験する。</p> <p>調べたい変数以外の変数は値を揃えて、観察・実験する。</p> <p>1つの変数の効果を、様々な条件下（他の変数の値を変えた状態）で検証する。</p>
証拠の評価	<p>観察・実験結果を記録する。</p> <p>観察・実験結果の妥当性・信頼性を考える。</p> <p>観察・実験結果には誤差があることを考慮する。</p> <p>いくつかの観察・実験結果を関係づけて考える。</p> <p>結果が仮説にとってどのような意味（確証／反証）があるのか考える。</p> <p>仮説が棄却された場合には、これまでの観察・実験結果を一般化した仮説を形成する。</p> <p>観察・実験結果を解釈する情報を取得する。</p>

まとめると、本節では、「人が様々な問題に対し科学的な手法を用いて適切に解を導いていけるよう促すためには、どのような介入が有効か」といった本論文の問題意識に基づき、まずは、科学的問題解決に必要な知識やスキルとは何かを明確するために、科学的問題解決の遂行過程に着目した心理学研究を概観してきた。結果、科学的問題解決は「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識が必要とされることによって特徴づけられた。「領域固有」知識は、特定の分野や状況に結び付いた知識であり、科学的問題解決の促進には、豊富なほどよいとされる。また、「領域一般」知識は特定の分野や状況を越えた知識であり、知識を持っているのみならず、それに基づいて適切な活動（Table 1-3 参照）を行えるほど、すなわち、スキルがあるほど、科学的問題解決が促進されると考えられている。

1.2 教育場面で求められる科学的問題解決力との関連

前節では、心理学研究において、科学的問題解決がどのように研究されてきたか、その結果としてどのように定義されてきたかを概観し、科学的問題解決に必要な知識やスキルとして何が挙げられるかを明確にしてきた。それら知識やスキルを重視して指導を考え、学習者が様々な問題に対し科学的な手法を用いて適切に解を導いていけるよう促すことが本論文の目的であるが、現状、理科教育において、前節で挙げたような知識やスキルはどのように位置付けられているのだろうか。

この問題について考える上で、国際的には国際数学・理科教育動向調査（Trends in International Mathematics and Science Study：以下 TIMSS とする）の理科に関する調査内容や、生徒の学習到達度調査（Programme for International Student Assessment：以下 PISA とする）の科学的リテラシーに関する調査内容が、国内では学習指導要領の理科の目標及び指導内容が、理科教育において、何を育成していくべきかの指針であり、参考になると考えられる。以下、各々の記述を紐解いていく。

1.2.1 TIMSS の理科調査との関連

まず、TIMSS について、TIMSS の HP (<http://timssandpirls.bc.edu/TIMSS2007/index.html>) と、国立教育政策所の「国際数学・理科動向調査の2007年調査（TIMSS2007）国際調査結果報告（概要）」 (<http://www.nier.go.jp/timss/2007/gaiyou2007.pdf>) を基に概観

する。TIMSSとは、国際到達度評価学会（International Association for the Evaluation of Educational Achievement：以下 IEA とする）が行う国際比較教育調査である。初等中等教育段階における算数・数学及び理科の教育到達度を国際的な尺度によって測定し、児童・生徒の環境条件等の諸要因との関係を、参加国間における違いを利用して組織的に研究することを目的としており、研究結果が世界各国の教育方針の決定に役立つことを期待している。具体的には、「9歳以上10歳未満の大多数が在籍している隣り合った2学年のうちの上の学年の児童」（日本では小学校4年生が該当）と「13歳以上14歳未満の大多数が在籍している隣り合った2学年のうちの上の学年の生徒」（日本では中学校2年生が該当）を対象に、4年ごとに、算数・数学及び理科の問題と、児童・生徒及び教師・学校へのアンケートを用いた調査が実施される。なお、1995年実施時には46ヶ国・地域、1999年実施時には38ヶ国・地域、2003年実施時には46ヶ国・地域、2007年実施時には59ヶ国・地域が参加しており、日本は1999年に小学校4年生には実施しなかったのを除いて全ての調査に参加している。

ここで、特に本論文と関係の深い理科調査のうち、現時点で結果まで全てが報告されている、最新の調査となる2007年調査の評価枠組みを見てみよう。TIMSS2007における評価の拠所として「科学的探究（scientific inquiry）」が掲げられている。すなわち、TIMSS2007では、科学的探究過程を、科学を学び、科学を行う上で肝要な要素であるともみなし、こうした探究過程に上手く従事するために必要な知識や能力を評価しようとしている。具体的には、生命科学、自然科学、地球科学、生物学、化学、物理学の各々の分野（content domain）について、認知的領域（cognitive domain）、すなわち、事実・手続き・概念等の知識を持っていること（「知ること（knowing）」と呼ばれる）、その知識を何らかの問題状況に応用できること（「応用すること（applying）」と呼ばれる）、さらにより複雑な問題状況にも対応し、証拠に基づいた説明を構築できること（「推論すること（reasoning）」と呼ばれる）といった期待される行動がどれほど見られるかを評価する。これはまさに、前節で心理学研究のレビューから定義したような科学的問題解決が遂行できることを重視し、評価しようとしていると言えるだろう。実際、Table 1-4に、最も高レベルの認知的領域である「推論すること」の具体的な行動として挙げられているものを記し、Table 1-3に挙げた、心理学の先行研究からリストアップした科学的問題解決に必要な活動と照合してみる。まず、「仮説を立てる（hypothesize）／予測する（predict）」カテゴリーに入る行動は、「仮説の形成」過程に必要な具体的活動にほぼ一致することがわ

かる。仮説を形成することと分けて、予測を立てることを挙げるといふ点で、より精緻に科学的問題解決に必要な活動を洗い出していると言える。次に、「計画する (design/plan)」カテゴリーに入る行動は、「観察・実験の計画と遂行」過程に必要な具体的活動にほぼ一致する。観察・実験する変数の統制だけでなく、観察・実験に用いる測度や手続きについても言及している点で、TIMSS の「計画する (design/plan)」カテゴリーに入る行動の方が詳しい。最後に、「結論を導く (draw conclusions)」、「一般化する (generalize)」、「評価する (evaluate)」、「正当化する (justify)」の各カテゴリーに入る行動であるが、これは「証拠の評価」過程に必要な具体的活動とほぼ一致する。カテゴリー数の多さからもうかがえるように、「証拠の評価」過程に必要な具体的活動をさらに分類して丁寧に記述している。

Table 1-4 TIMSS における「推論すること」で期待される具体的な行動

(TIMSS の HP を参考に筆者が表を作成)

問題を分析する／解く (analyze/solve problems)	当面の問題と関連する、関係 (relationships)、概念、問題解決のステップを決定するために問題を分析する。問題解決方略を考える。
統合する (integrate/ synthesize)	多数の異なる要因や関連する概念を考慮しなくてはならない問題に対して解を導く。 科学の異なった分野における概念間に関連を見出す。 科学の領域を越えて共通する概念、テーマについて理解する。 科学の問題に対する解の中に、数学的な概念や手続きを統合する。
仮説を立てる (hypothesize) ／ 予測する (predict)	調査によって解決可能な疑問を形成するために、科学の概念に関する知識と経験や観察から得た情報を結合する。 観察や、科学的な情報を分析することから得た知識と、概念的な知識を用いて、検証可能な仮説を形成する。 生物学的もしくは物理学的な状態が変化することの効果について、証拠と科学的な理解に照らして予測をする。

Table 1-4 TIMSS における「推論すること」で期待される具体的な行動・前頁の続き

計画する (design/plan)	<p>科学的な疑問に答える、もしくは仮説を検証するのに適した調査を計画する。</p> <p>測定もしくは統制されるべき変数や因果関係という観点からよく計画された調査の特徴を認識する。</p> <p>調査を行う際に用いるべき測度や手続き決定する。</p>
結論を導く (draw conclusions)	<p>データのパターンを検出し、データの傾向を要約し、データや与えられた情報から推測する。</p> <p>証拠と科学の概念に関する理解の双方もしくはどちらか一方に基づいて妥当な推論を導く。</p> <p>疑問や仮説に対する適切な結論を導き、因果関係を理解する。</p>
一般化する (generalize)	<p>実験状況、所定の状況を越えた一般的な結論を導く。</p> <p>結論を新たな状況に応用する。</p> <p>物理学的な関係を表す一般的な原則を導く。</p>
評価する (evaluate)	<p>複数の過程 (processes)、物質 (materials)、源泉 (sources) の長短を比較考慮する。</p> <p>科学や技術の生物学的もしくは物理学的システムへの影響力を評価するために、科学的、社会的な要因を考慮する。</p> <p>複数の説明、問題解決方略、問題への解答を評価する。</p> <p>結論を支持する十分なデータがあるかという観点から、調査の結果を評価する。</p>
正当化する (justify)	<p>説明や問題への解答を正当化するために、証拠と科学的な理解を用いる。</p> <p>問題への解答、調査からの結論、もしくは科学的な説明の妥当性を裏付ける根拠を構築する。</p>

以上のような対応関係が見られる一方、TIMSS の「問題を分析する／解く (analyzing/solve problems)」や「統合する (integrate/synthesize)」カテゴリーに含まれる行動と完全に一致するものは、前節で心理学研究のレビューから定義した科学的問題解決に必要な活動には含まれていない。しかしながら、問題を分析する活動は、与えられた問題が複雑であればあるほど、その問題の解に関する仮説を形成する前に大切な活動である。また、様々な概念を統合して考えていく活動は、仮説の形成、観察・実験の計画と

遂行，証拠の評価という全過程を通じて必要とされる。TIMSSにおいて指摘された上記2カテゴリーの活動に関しても考慮して，指導を考えていく必要があるだろう。

1.2.2 PISAの科学的リテラシーとの関連

次に，PISAについて，「経済協力開発機構（OECD）編著 国立教育政策研究所（監訳）（2010）. PISA2009年調査評価の枠組み：OECD生徒の学習到達度調査 赤石出版.」を基に概観する。PISAとは，経済協力開発機構（Organization for Economic Co-operation and Development：以下 OECD とする）加盟国政府の要請により，定期的に国際的に共通する枠組みで生徒の学習到達度を測定することによって，教育システムの成果をモニターするものである。また，将来の生活にとって実質的な価値のある技能についての見解を反映させた革新的な方法で，政策対話のための新たな基盤や，教育目標の策定，実施における協働の新たな基盤をもたらすことを目的としている。具体的には，OECD加盟国のみならず非加盟国も参加して共同で調査課題を開発し，ほとんどの国において義務教育終了段階にあたる15歳の生徒を対象に，基本として3年ごとに実施している。なお，2000年実施時には43ヶ国・地域（2002年に実施されたPISAプラスに参加した国と地域を含む），2003年実施時には41ヶ国・地域，2006年実施時には57ヶ国・地域，2009年実施時には65ヶ国・地域が参加しており，日本は2000年から全ての調査に参加している。調査は，読解力，数学的リテラシー及び科学的リテラシーの各分野にわたり，ただ単に生徒が特定の教科の知識を再生産できるかどうかといったことだけではなく，新しい状況において，学んできたことから推測したり，知識を適用したりすることができるかどうかを評価するのが特徴である。

ここで，特に本論文と関係の深い科学的リテラシーの定義を見てみると，「科学的な知識，及び，課題を明確にし，新しい知識を獲得し，科学的現象を説明し，科学に関する課題について証拠に基づく結論を導き出すためにその知識を活用すること，人間の知識と探求の1つの形態として科学の特徴を理解すること，科学・技術が我々の物的，知的，および文化的環境をいかに形作っているかを認識すること，科学のアイデアを持った思慮深い市民として，科学に関する課題に喜んで携わる能力」と記述されている。これは，以下のFigure 1-1に示す4つの相互に関係した観点から評価される能力と捉えられると言う。

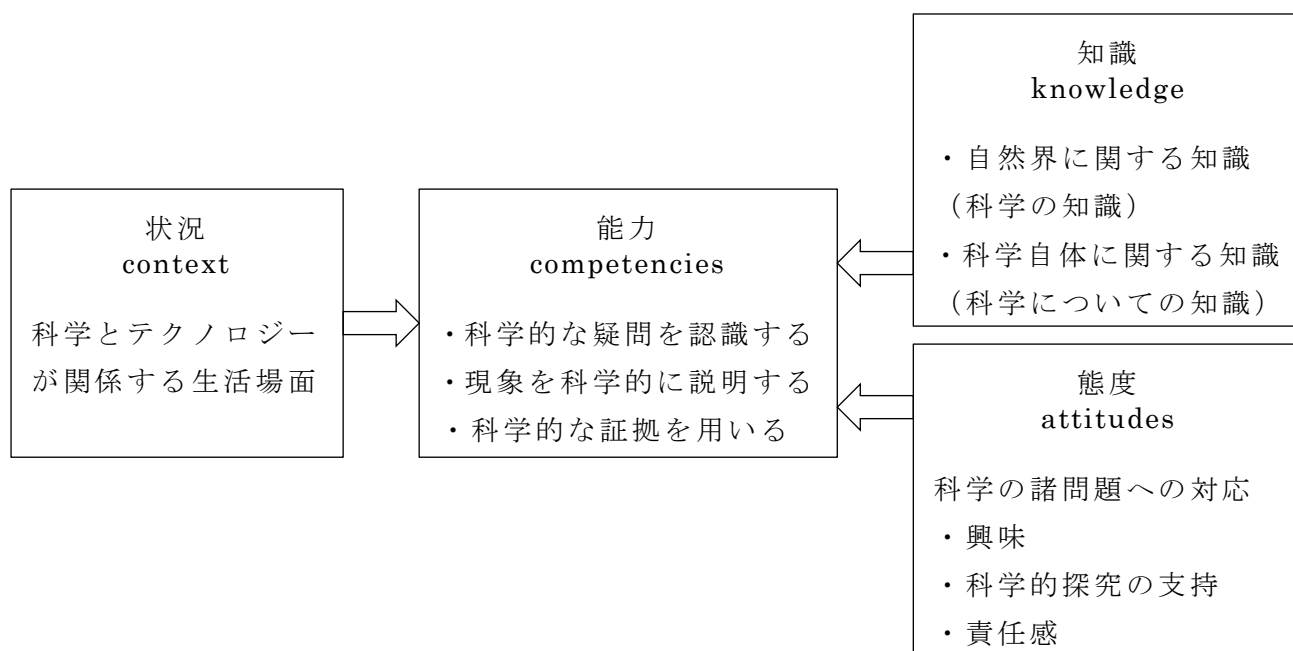


Figure 1-1 PISAにおける科学的リテラシーの評価の枠組み (OECD, 2010より抜粋)

これらのうち、「知識 (knowledge)」の「自然界に関する知識 (科学の知識)」は、物理的システム・生命システム・地球と宇宙のシステム・テクノロジーのシステムの下位カテゴリーに分けられるものとされ、前節で心理学研究のレビューから定義した科学的問題解決に必要な「領域固有」知識に該当する。一方、心理学研究のレビューから定義した科学的問題解決に必要な「領域一般」知識は、特定の分野や状況を越えた知識と、それを持っているのみならず、それに基づいて適切な活動ができることを指していた。これは、PISAにおける科学的リテラシーのうち、「知識 (knowledge)」の「科学自体に関する知識 (科学についての知識)」と、「能力 (competencies)」にほぼ該当すると考えられる。具体的には、「科学自体に関する知識」は、科学の手段としての「科学的探究」に関する知識と、「科学的説明」に関する知識の下位カテゴリーから成るものであり (Table 1-5)、「能力」は、「科学的に方向づけられた疑問を認識する能力、科学的知識に基づいて現象を記述したり、説明したり、予測したりする能力、証拠と結論を解釈する能力、意思を決定し、それを伝達するために科学的証拠を用いる能力」と説明されるものである。1つ1つを丁寧に見ていけば、PISAの「科学自体に関する知識」や「能力」と、心理学研究における「領域一般」知識は一致しないところもある。例えば、Table 1-5に挙げられた「科学的探究」の「発端」に該当するようなものは、Table 1-3に挙げた科学的問題解決に必要な活動の例には含まれていなかった。これは、PISAにおいて、「発端」は、科学者の科学的探究が

Table 1-5 PISA における「科学自体に関する知識」の下位カテゴリー

(OECD, 2010 を参考に筆者が表を作成)

科学的探究	<ul style="list-style-type: none"> ・発端（例：好奇心，科学的な疑問） ・目的（例：科学的な疑問に答えるのに役立つ証拠を得ること，探究を方向付ける今日的な発想やモデルや理論） ・実験（例：異なる疑問が異なる科学的調査を提案する，実験計画） ・データのタイプ（例：定量的（測定），定性的（観察）） ・測定（例：固有の不確実性，複製可能性，変動（変異）性，装置と手順の正確性と精度） ・結果の特性（例：経験的，試験的，検証可能な，反証可能な，自己修正的）
科学的説明	<ul style="list-style-type: none"> ・タイプ（例：仮説，理論，モデル，法則） ・構成（例：データの表現，既存の知識と新たな証拠の役割，創造性と想像力，論理） ・ルール（例：論理的に一貫しなければならない，証拠に基づく，歴史的知識と今日的知識） ・成果（例：新しい知識の生成，新しい手法，新しいテクノロジー，新しい疑問と調査を導く）

好奇心や科学的な疑問を抱くことから始まることを基に、重視されていると考えられるが、そもそも前節で挙げた Klahr (2000) やそこで引用された実験研究においては、課題を与えてその解を導くよう求めて科学的探究を始めさせていることに由来するものと推察される。また、上記 PISA の「能力」の定義における最終部分に挙げられている「意思を決定し、それを伝達するために科学的証拠を用いる能力」も、Table 1-3 に挙げた科学的問題解決に必要な活動の例の範囲外である。その他、PISA の「科学的説明」に挙げられている語句も、Table 1-3 に挙げた科学的問題解決に必要な活動の例には直接的には見られない。しかし、この点に関しては、「既有知識の中から、課題に関係する『情報』を思い出す」、「観察・実験結果を解釈する『情報』を取得する」と、単に「情報」とまとめられていたものの具体であると考えられる。

PISA における科学的リテラシーの評価の枠組みの 4 観点のうち、残る 2 つについて見ていこう。まず、「状況 (context) : 科学とテクノロジーが関係する生活場面」であるが、これは PISA 調査課題においては、学校生活に限定しない一般的な生活状況を設定することを意味する。この点に関しては、前節で挙げた実験研究の中でも、「ボールをもって一定の速さで歩きながら、ボールを落とすと、ボールはどのように落ちるか」(McCloskey,

Washburn, Felch, 1983) や、「何日もの間まっすぐに歩き続けたら、地球の果てにたどり着くだろうか」(Vosniadou & Brewer, 1992) のように、生活状況における課題を与えるものも多く、こういった場面での科学的問題解決を重視するかという方向性は、PISA と心理学研究で一致しているものと考えられる。一方、PISA の「態度 (attitudes)」に関しては、前節で定義した科学的問題解決の中には含まれていない。「態度」の具体である「興味」や「科学的探究の支持」、「責任感」は大切なものであるし、興味は、心理学研究においても、古くから動機づけに関わる心理的側面として研究されてきている (e.g., Hidi & Ainly, 2008)。しかしながら、Hidi & Ainly (2008) がモデル化した興味の4段階のうち、「特定の内容に対する興味」を喚起することは、与える課題の内容や課題への取り組みせ方といったいわば一授業内の指導で対応できても、「継続的で安定した個人特性としての興味」を持たせることは、より長期的に一授業を越えた方法を取らずして叶うことではない。したがって、興味を含む態度については重要性を認識はするものの、本論文においては指導の対象としては取り上げないこととする。

1.2.3 学習指導要領理科の目標及び内容との関連

最後に、国内の学習指導要領において、これまで本論文で取り上げてきたような科学的問題解決に必要な知識やスキルがどのように位置付けられているかを見てみよう。TIMSS や PISA が調査対象とする年齢が小学生や中学生であることを受け、小学校学習指導要領と中学校学習指導要領（平成 20 年 3 月告知）を検討する。まず、第 1 章・総則、第 1・教育課程編成の一般方針に、「学校の教育活動を進めるに当たっては、各学校において、児童に生きる力をはぐくむことを目指し、創意工夫を生かした特色ある教育活動を展開する中で、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させ、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむとともに、主体的に学習に取り組む態度を養い、個性を生かす教育の充実に努めなければならない」と記されている。本論文で促進を目指す科学的問題解決の指導も視野に入っていることがうかがえよう。

実際、第 2 章・各教科、第 4 節理科の目標 (Table 1-6) を見てみると、小学校 3 年生の理科の授業から、「調べ」、「追究」といった観察・実験の導入が指示されていることが見て取れる。5 年生になると、「条件に目を向けながら調べ」る、すなわち、実験する変数の統制といった「観察・実験の計画と遂行」過程 (Table 1-3 にまとめた、心理学の先行研究からリストアップした科学的問題解決に必要な活動を参照) における活動の導入が具

Table 1-6 小学校学習指導要領各学年・中学校学習指導要領各分野の目標

小学校 第3学年	<p>(1) 物の重さ、風やゴムの力並びに光、磁石及び電気を働かせたときの現象を比較しながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して、それらの性質や働きについての見方や考え方を養う。</p> <p>(2) 身近に見られる動物や植物、日なたと日陰の地面を比較しながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して、生物を愛護する態度を育てるとともに、生物の成長の決まりや体のつくり、生物と環境とのかかわり、太陽と地面の様子との関係についての見方や考え方を養う。</p>
小学校 第4学年	<p>(1) 空気や水、物の状態の変化、電気による現象を力、熱、電気の働きと関係付けながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して、それらの性質や働きについての見方や考え方を養う。</p> <p>(2) 人の体のつくり、動物の活動や植物の成長、天気の様子、月や星の位置の変化を運動、気温、時間などと関係付けながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究する活動を通して、生物を愛護する態度を育てるとともに、人の体のつくりと運動、動物の活動や植物の成長と環境とのかかわり、気象現象、月や星の動きについての見方や考え方を養う。</p>
小学校 第5学年	<p>(1) 物の溶け方、振り子の運動、電磁石の変化や働きをそれらにかかわる条件に目を向けながら調べ、見いだした問題を計画的に追及したりものづくりをしたりする活動を通して、物の変化の規則性についての見方や考え方を養う。</p> <p>(2) 植物の発芽から結実までの過程、動物の発生や成長、流水の様子、天気の変化を、条件、時間、水量、自然災害などに目を向けながら調べ、見出した問題を計画的に追及する活動を通して、生命を尊重する態度を育てるとともに、生命の連続性、流水の働き、気象現象の規則性についての見方や考え方を養う。</p>
小学校 第6学年	<p>(1) 燃焼、水溶液、てこ及び電気による現象についての要因や規則性を推論しながら調べ、見いだした問題を計画的に追及したりものづくりをしたりする活動を通して、物の性質や規則性についての見方や考え方を養う。</p> <p>(2) 生物の体のつくりと働き、生物と環境、土地のつくりと変化の様子、月と太陽の関係を推論しながら調べ、見いだした問題を計画的に追究する活動を通して、生命を尊重する態度を育てるとともに、生物の体の働き、生物と環境とのかかわり、土地のつくりと変化の決まり、月の位置や特徴についての見方や考え方を養う。</p>

Table 1-6 小学校学習指導要領各学年・中学校学習指導要領各分野の目標・前頁の続き

中学校 第1分野	<p>(1) 物質やエネルギーに関する事物・現象に進んでかかわり、その中に問題を見いだし意欲的に探究する活動を通して、規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる。</p> <p>(2) 物理的な事物・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに、身近な物理現象、電流とその利用、運動とエネルギーなどについて理解させ、これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。</p> <p>(3) 化学的な事物・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに、身の回りの物質、化学変化と原子・分子、化学変化とイオンなどについて理解させ、これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。</p> <p>(4) 物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め、科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。</p>
-------------	---

中学校 第2分野	<p>(1) 生物とそれを取り巻く自然の事物・現象に進んでかかわり、その中に問題を見いだし意欲的に探究する活動を通して、多様性や規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる。</p> <p>(2) 生物や生物現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに、生物の生活と種類、生命の連続性などについて理解させ、これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。</p> <p>(3) 地学的な事物・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに、大地の成り立ちと変化、気象とその変化、地球と宇宙などについて理解させ、これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。</p> <p>(4) 生物とそれを取り巻く自然の事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して生命を尊重し、自然環境の保全に寄与する態度を育て、自然を総合的に見るができるようにする。</p>
-------------	---

体的に指示されるようになる。6年生では「推論しながら調べ」という、「仮説の形成」や「証拠の評価」過程の活動も明確に見据えた観察・実験の導入が指示されている。さらに、中学校に入ると、観察・実験の導入にとどまらず、導入した中で「規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる」、「観察・実験技能を習得させ、観察・実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てる」というように、観察・実験といった科学的

Table 1-7 中学校学習指導要領における科学的問題解決に必要なスキルに関する記述

(中学校学習指導要領より抜粋して、筆者が表を作成)

科学的問題解決に必要なスキルに関する記述	対応する
	科学的問題解決過程
<ul style="list-style-type: none"> ・実験器具の操作（中略）などの技能を身に付けること（第1分野・内容（2）ア（ア））。 ・気体を発生させる方法や補修法などの技能を身に付けること（第1分野・内容（2）ア（イ））。 ・観察器具の操作（中略）などの技能を身に付け、生物の調べ方の基礎を習得すること（第2分野・内容（1）ア（ア））。 	観察・実験の 計画と遂行
<ul style="list-style-type: none"> ・光の反射や屈折の実験を行い、光が水やガラスなどの物質の境界面で反射、屈折するときの規則性を見いだすこと（第1分野・内容（1）身近な物理現象 ア光と音（ア））。 <p data-bbox="153 949 1118 1077">他、第1分野内容（2）身の回りの物質、（3）電流とその利用、（4）化学変化と原子、分子、（5）運動の規則性、（6）物質と化学反応の利用においても、「実験を行い、～見いだすこと」という記述あり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水圧や大気圧の実験を行い、その結果を水や空気の重さと関連付けてとらえること（第1分野・内容（1）身近な物理現象 イ力と圧力（イ））。 ・記録の仕方などの技能を身に付けること（第1分野・内容（2）身の回りの物質 ア物質のすがた（ア））。 ・化学変化についての観察、実験を通して、化合、分解などにおける物質の変化やその量的な関係について理解させるとともに、これらの事物・現象を原子や分子のモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う（第1分野・内容（4）化学変化と原子、分子）。 ・観察記録の仕方などの技能を身に付け、生物の調べ方の基礎を習得させること（第2分野・内容（1）植物の生活と種類 ア生物の観察（ア））。 ・観察記録に基づいて、花のつくりの基本的な特徴を見いだすとともに、それらを花の働きと関連付けてとらえること（第2分野・内容（1）植物の生活と種類 イ植物の体のつくりと働き（ア））。 <p data-bbox="153 1812 1118 1989">他、内容（2）大地の変化、（3）植物の生活と種類、（4）天気とその変化、（5）生物の細胞と生殖、（6）地球と宇宙、においても、「観察記録に基づいて、～見いだすとともに、それらを～と関連付けてとらえる」という記述あり</p>	証拠の評価

な手法を用いて問題を解くときに必要なスキルの育成が明確に目指されるようになる。具体的にどのようなスキルが挙げられているかについては、中学校学習指導要領の記述から取り出して Table 1-7 にまとめる。それらは、これまで本論文で取り上げてきたような科学的問題解決に必要なスキルとほぼ一致すると言える。

一方、学習指導要領には含まれている内容でも、本論文において「科学的問題解決」やそこで必要な「知識」や「スキル」として取り上げないものもある。Table 1-6 にまとめた理科の目標の記述に戻ろう。まず、「見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して」という記述が散見されるが、「問題を見いだす」ことや「ものづくり」は、前節で挙げた Klahr (2000) やそこで引用された実験研究から導かれる「科学的問題解決」、すなわち、「何らかの問題が与えられ、科学的な手法を用いてその解を導く」の範囲外である。また、本論文では科学的問題解決に必要な「知識」や「スキル」の指導を志向し、学習指導要領に述べられる「生物を愛護」したり、「生命を尊重」したりする「態度」については扱わないこととする。

1.2.4 まとめ

以上、本節では、本論文で指導を考える「科学的問題解決に必要な知識やスキル」が、現状、理科教育ではどのように位置付けられているかについて、国際的な学力調査である TIMSS や PISA、また国内の学習指導要領を基に概観した。結果、TIMSS や PISA、学習指導要領においては、本論文で扱う「科学的問題解決」やそこで必要な「知識」や「スキル」以外にも、「ものづくり」等多様な思考形態を重視し、また必要なものとして「態度」も含める傾向があるが、本論文で扱う「科学的問題解決に必要な知識やスキル」も育成すべきものとして捉えていることが明らかとなった。なお、TIMSS や PISA の調査対象は小中学生であり、小中学校の学習指導要領が育成していくべきとする内容にも科学的問題解決に必要な知識やスキルが存在する。このことは、小中学生が科学的問題解決に必要な知識やスキルを学習していく重要な年代であることを示唆するものとして、以降、本論文において、科学的問題解決の指導を考える際には、その対象は小中学生と想定することとする。

第2章

科学的問題解決の難しさと従来の指導法

第1章では、心理学研究の知見を基に、科学的問題解決を「与えられた問題に対し、科学的な手法を用いてその解を導くこと」と定義した。それは、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識を必要とする。なお、領域固有知識は、特定の分野や状況に結び付いた知識である。領域一般知識は、特定の分野や状況を越えた知識であり、領域一般知識を持っているのみならず、それに基づいて適切な活動を行えること、すなわち、スキルがあることを指す。さらに、こうした科学的問題解決に必要な知識やスキルを育成することは現状の理科教育においても重視されていることを、国際的な学力調査であるTIMSSやPISAの調査内容、国内の学習指導要領の目標及び指導内容から示した。

これを受けて、第2章では、科学的問題解決を促進する指導法について考えを進める。まず、2.1節で、科学的問題解決の3つの過程が各々どのような働きをして解を導くかというメカニズムをモデル化したKlahr(2000)の研究を紹介する。Klahr(2000)のモデルでは、証拠の評価過程が最も重要な働きを担うと言う。しかしながら、証拠の評価過程を上手く遂行することがいかに困難かを示した研究(e.g., Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1988)は多く、証拠の評価の難しさの原因についても概観する。続いて、その原因ごとに現在提案されている指導法を、2.2節、2.3節としてまとめる。

2.1 証拠の評価の重要性と難しさ

本節で、科学的問題解決のメカニズムをモデル化した研究として紹介するKlahr(2000)は、先に1.1節で、科学的問題解決を定義したとして概観した研究である。Klahr(2000)は、科学的問題解決に関する心理学研究をレビューした後で、そのメカニズムをモデル化している。以下では、Klahr(2000)のモデルを基に、証拠の評価過程の重要性を指摘するとともに、それを上手く遂行することがいかに困難かを示した研究を紹介する。

2.1.1 科学的問題解決のメカニズムからみた証拠の評価の重要性

Klahr (2000) のモデルでは、まず、科学的問題解決の3つの過程のうち、仮説の形成過程、観察・実験の計画と遂行過程を、各々、仮説空間の探索、実験空間の探索と呼び、その働きを定義する。すなわち、仮説空間の探索とは、様々な仮説を形成してはそのままのらしさを評価すること（仮説の形成）であり、より簡潔で普遍的な仮説を形成するために行われるとする。一方、実験空間の探索は、様々な実験を計画・実行すること（観察・実験の計画と遂行）であり、解釈可能な実験結果を求めて行われることであるとする。さらに、科学的問題解決の3つの過程のうち残された1過程である証拠の評価を、仮説空間の探索と実験空間の探索の2つをつなぎあわせる働きを持つものとして位置付ける。具体的には、仮説空間で形成された仮説を検証するために実験空間探索の方向を定め、実験空間の探索で得られた結果によって仮説空間で形成される仮説のもっともらしさを決定する働きを担うという。なお、2つの空間の探索を起点とするため、Klahr (2000) のモデルは *scientific discovery as dual search* (以下、SDDS とする) と名付けられている。

SDDS において、2空間の探索をつなぎあわせる働きをもつ証拠の評価過程は非常に重要である。先に、その働きを「仮説空間で形成された仮説を検証するために実験空間探索の方向を定め、実験空間の探索で得られた結果によって仮説空間で形成される仮説のもっともらしさを決定する」と述べた。これは具体的には、観察・実験で得られた様々な結果が、その時点で形成されている仮説を保持または棄却するのに十分であるかを判断した上で、次に進む過程を選択することにあたる。選択肢は以下の3つである。(1) 証拠が不十分であると判断した場合には、実験空間の探索、すなわち、次の観察・実験の計画と遂行に進む。(2) 証拠が十分で、かつ、それが仮説を棄却するものであった場合には、仮説空間の探索、すなわち、次の仮説の形成に進む。(3) 証拠が十分で、かつ、それが仮説を保持するものであった場合には、その仮説を最終解答として科学的問題解決を終了する。このように具体的に見てくると、証拠の評価過程は、仮説空間と実験空間の探索の2つをつなぎ合わせる働きによって、科学的問題解決の最終解答を導くことがわかる。その重要性は明白であろう。

2.1.2 証拠の評価の難しさとその原因

しかしながら、重要度の高さにもかかわらず、証拠の評価は困難であることも、Klahr

(2000) では示されている。Klahr (2000) は、先述のように科学的問題解決をモデル化した上で、大学生を対象にモデルの実証研究を行った。結果、対象者は、仮説を保持する結果が得られても仮説を棄却したり、仮説を棄却する結果が得られても仮説を保持したりする場合があること、それによって、科学的問題解決が阻害されることが示されたのである。なお、誤った判断を下す割合は、仮説を保持する結果が得られた場合で 25%、仮説を棄却する結果が得られた場合ではさらに多く、56%にも及んだ。

Klahr (2000) の指摘した証拠の評価の難しさは、証拠の評価過程に焦点化して行われた心理学実験研究や、科学的問題解決を取り入れた理科授業の実践研究等の中でも、古くから指摘されている。それらの指摘から推察される失敗の原因は、大別して 2 つあると考える。1 つ目は、証拠によって、既存の仮説が保持されることが確認できたり、場合によっては棄却したりしなければならないという、既存の仮説を評価する重要性の意識や、実際にそうした行動を行うことの不十分さである。証拠の評価という過程は、証拠と仮説の照合であり、証拠が棄却されることもあれば、仮説が棄却されることもある。この証拠と仮説の評価関係を、証拠の側から呼んだものが「証拠の評価」であり、仮説の側から呼べば「仮説の評価」となる。先に述べた Klahr (2000) の実証研究の結果、「仮説を保持する結果が得られた場合の 29%では仮説を棄却するという誤りを、仮説を棄却する結果が得られた場合の 56%では仮説を保持するという誤りをする」から考えると、人は概して証拠よりも仮説に甘く偏った評価をしがちであり、証拠の評価というよりは、「仮説評価活動」に問題があると推察される。2 つ目は、上記 1 つ目の問題を克服して仮説の評価が行われ、証拠から仮説を棄却した後に生じる問題である。新たな仮説を形成できない問題であり、これを「概念形成活動」における問題と呼ぶ。「(初期) 仮説形成」と区別し、既存の初期仮説を棄却して、新仮説を形成するにあたっては、仮説の拠り所となる概念の変化が要件となることが想定されるため、それを含意して「概念形成」と名付けた²。それでは、この 2 つの活動における問題は具体的にはどのような失敗なのだろうか。本論文の第 1 章で、科学的問題解決では領域固有と領域一般の 2 種類の知識が必要とされると定義したが、どの知識が欠如していることが原因で起こる失敗なのか。以降、証拠の評価の失敗を指摘した先行研究を基に、失敗の原因をいかなる知識の欠如かという観点から整理していきたい。

² 実際の科学的問題解決においては、既存の概念から仮説を立てて、観察・実験を計画して遂行し、その結果から新仮説を形成するという過程のみならず、まずは観察・実験を行って、結果からボトムアップに仮説を形成するという過程も見られる。そのような場合にも、初期にはなかった概念を形成することとなるので「概念形成」と呼んでいく。

2.1.2.1 仮説評価活動における問題

まず、失敗の原因の1つ目として、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」の不十分さを挙げる。これは、さらに、(1) 活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に分けられる。いずれも、科学的問題解決活動そのものに関わる領域一般知識の欠如と考えられよう。Kuhn, Amsel & O' Loughlin (1988) を例に挙げて説明する。Kuhn et al. (1988) は、小学校5年生から成人まで幅広い年齢層を対象に、Table 2-1のような結果を示し、「野菜、飲み物、デザート、お菓子はそれぞれ風邪のひきやすさと関連があると結論づけられるか」とたずねて、その解答を分析した³。すると、示された結果に言及せずに結論づける解答が多く見られたと言う。そうした結論の理由は、例えば、①「野菜が関係すると思うから」といった直観に基づくもの、②「テレビでピーマンは身体に良いと言っていたから」といった権威づけを行うもの、③「ピーマンを食べたら風邪をひかなくなったから」といった自身の経験に基づくもの、④「ピーマンはビタミンを多く含んでいるから」といったメカニズムを説くものに下位分類される。いずれも示された証拠に基づいた判断ではなく、対象者自身が予め持っている理論に基づいた判断である。このように、そもそも証拠に基づいた判断を行わないのであれば、証拠の評価に失敗し、最終的に誤った解答を導きやすいことは明らかである。

さらに、Kuhn, et al. (1988) は、証拠を基に仮説を保持するか棄却するかの判断をしようとしたとしても、その判断を間違いやすいことも指摘している。先に挙げた(2)活

Table 2-1 証拠の評価の課題例 (Kuhn et al., 1988 に基づき、湯澤, 1998 が作成)

	元気な子①	風邪をひく子①	元気な子②	風邪をひく子②
野菜	ピーマン	レタス	ピーマン	レタス
飲み物	コーラ	ファンタ	コーラ	ファンタ
デザート	みかん	みかん	ゼリー	ゼリー
お菓子	クッキー	クッキー	せんべい	せんべい

³ Table 2-1 は、Kuhn, et al. (1988) に基づいて湯澤 (1998) が作成したものである。Kuhn, et al. (1988) の課題とは、風邪をひかない子どもと風邪をよくひく子どものサンプル数、食べた物の具体例等が異なるが、日本人の感覚として湯澤 (1998) の表の方がわかりやすいので、この表を基に説明を行う。

動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題にあたる。具体的には、「野菜、飲み物、デザート、お菓子はそれぞれ風邪のひきやすさに関連があると結論づけられるか」という問いに、Table 2-1 に示されたような結果に言及して解答した対象者の中には、「元気な子はピーマンを食べ、風邪をひく子はレタスを食べている。だから、野菜は風邪のひきやすさに関連がある」のように結論づけた者が多かったと言う。しかしながら、この結論は間違いである。Table 2-1 で、元気な子と風邪をひく子で異なっている食べ物は、野菜だけではない。元気な子はコーラを、風邪をひく子はファンタを飲むという飲み物の違いもある。したがって、Table 2-1 の結果からは、「お菓子とデザートは風邪のひきやすさに関連がない。しかし、野菜と飲み物のいずれが風邪のひきやすさに関連があるかは結論づけられない」というのが正しい結論となる。このように、証拠を基に判断しているにも関わらず、証拠を客観的に見るなど判断の適切性がモニターできなければ、正しい結論にはたどり着けない。

2.1.2.2 概念形成活動における問題

次に、失敗の原因の2つ目として、証拠から仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成しようとする「概念形成活動」の際の問題を挙げる。これは、さらに、(1) 新たな仮説を形成できないという問題と、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題に分けられる。いずれも領域固有知識の欠如が大きな原因と考えられるが、(2) にはさらに領域一般知識の欠如も影響すると推察されるため、1つずつ丁寧に解説していこう。

まず、(1) 新たな仮説を形成できないという問題を取り上げる。こうした失敗は、理科教育場面で散見されるので、それらから例をとって説明する。例えば、曾我部(1985)は大気圧の授業実践記録を残している。その中に、注射器を提示し、中に20ccの真空ができていない状態でピストンを止めておくのと、30ccの真空ができていない状態でピストンを止めておくのとでは、大きな力が必要なのはどちらかを問う問題を出題した場面がある。この問題の正解は「同じ」である⁴が、多くの人には、「真空は物を吸い寄せる力を持つ」という誤概念を持っていることが指摘されており(宮下・村山, 1985)、曾我部(1985)の実践においても「真空部分が大きいほど吸い寄せる力も大きい」と考え、「30ccの方が大きな力が必要」と誤った解答をする学習者が多かった。しかも、これらの学習者は、実際に、注射器にばねばかりをつけて引っ張ってみることで、注射器の中の真空が20ccのと

⁴ 注射器の中は、どちらも真空なので押す力がない。一方、どちらの注射器も、外側には空気があり、空気によって押されている。これが正解の理由である。

きにも 30cc のときにも、ピストンをとめておくのに必要な力は同じであることを示し、教師が同じであると宣言した後でも、その結果を受け入れることに抵抗を示している。その理由は、学習者の「なんで、(真空 20cc のときよりも 30cc のときの方が、ピストンを止めておくのに必要な力が) ふえへんの? それがわからん」、「おれ、ふしぎやねん」といった発言に端的に現れていると言えるだろう。結果を説明する知識、すなわち、結果が生じるメカニズムに関する領域固有知識がないために、自分が予め持っていた仮説が間違いであるとわかった後でも、別の新たな仮説を形成することができないのである。上記と同様の、結果を説明することができないという発言は、振り子の概念学習の事例研究を行った高垣・田原・富田(2006)でも身受けられる。

さらに、新たな仮説を全く形成できないというわけではないものの、(2)元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題も存在する。こちらの失敗には、領域固有知識のみならず、領域一般知識の欠如も関わっていると考える。まず、失敗の具体からみてみよう。Chinn & Brewer(1993)は、科学史・心理学実験・科学教育上で見られた「予め持っている仮説に対して反証となる証拠を提示されたときに人が取る対処方法」を分類し、対処方法は、「反証的証拠の無視」、「反証的証拠の棄却」、「反証的証拠の排除」、「反証的証拠の棚上げ」、「反証的証拠の再解釈」、「理論の周辺的な変更」、「理論変更」の7つあると述べている。反証的証拠を基に仮説を棄却して新たに適切な理論や仮説を形成する対処はわずか1カテゴリーのみである。もちろん、反証的証拠の棄却や排除、棚上げ、再解釈には、それをすべき理由がある場合も多い。例えば、誤差や証拠を得る実験手続き上の問題など反証的証拠の正当性に問題がある場合や、反証的証拠の解釈が理論や仮説の説明範囲を超えている場合などである。しかし、そうした正当な理由がない場合であれば、反証的証拠の棄却や排除、棚上げ、再解釈と、反証的証拠の無視は、予め持っていた仮説を棄却しないという問題となり、先に、証拠の評価における失敗の原因の1つ目として挙げた、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」自体の不十分さの問題に該当すると考えられる。それに加えて、ここで証拠の評価における失敗の原因の2つ目、既存の仮説を棄却した後での新たな仮説を形成しようとする概念形成活動の際の問題として注目すべきは、「理論の周辺的な変更」である。証拠を基に仮説を棄却して、新たな仮説を形成しようとするものの、新たな仮説は元の仮説に、反証的証拠に特殊な条件を付加したものとどまってしまうというわけである。

これは、先に述べたような、新たな仮説を形成できないという問題とは異なるものの、

やはり領域固有知識の欠如が原因の一つとなるであろう。Chinn & Brewer (1993) は、「理論の周辺的な変更」の例として、Vosniadou & Brewer (1992) において、「地球は平らだ (flat)」という仮説を抱いていた子どもが、「地球は丸い (round)」という情報を得て、新たに、「地球は平らなディスク型だ (flat disk)」という仮説を形成することを挙げている。重力等の領域固有知識を持たない子どもが、仮説を形成することの限界を示した例と考えられる。

しかし、領域固有知識の欠如以外にも、元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題の原因は存在する。中島 (1997) の研究を挙げて説明する。中島 (1997) は、数字 (1 から 10 までの整数) と、数字を囲む枠 (三角か四角か) という 2 つの属性から成る記号同士の優劣関係を決定するルールを、複数の事例を観察することを通して発見するという人工的な課題を用いて、人のルール発見過程を検討している。正しいルールは「数字の値 + 枠の得点の値の大きい方が強い」というものであったが、初めの頃に観察した事例から「数字の値が大きいものほど強い。三角は四角より強い」といった仮説を形成した者の中には、「数字が同じで枠の形が異なる場合は、数字の大きい方が勝ち。枠の形が同じで数字の大きさが異なる場合は数字の大きい方が勝ち。数字も枠の形も異なる場合は、数字の大きい方が勝ち。ただし、三角枠に囲まれた数字が四角枠に囲まれた数字より 1 大きい数字の場合は例外的に引き分けになる」といった、既存の仮説の適用範囲を縮小し、反例記号対のみを説明するルールをつけ加える者が少なからずいたという (課題で提示された事例の一部を Figure 2-1 に記す)。中島 (1997) の課題は、物理学や生物学といった特定の領域に関する領域固有知識を必要としないことから、領域固有知識の欠如はさほど問題にはならない。事実、冗長ながら、観察された事例を説明できる仮説を形成できている。しかし、科学的な観点から考えれば、仮説は、証拠との不一致がないのはもちろんのこと、他の多くの現象を説明でき、その場しのぎの例外的説明を含まず (非アドホックで)、シンプルであり、論理的一貫性がある方が望ましい (Samarapungavan, 1992)。こうした仮説に関する知識 (領域一般知識) を持っていない、もしくは、持っていて使えないということも、元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題の一因となると推察される。

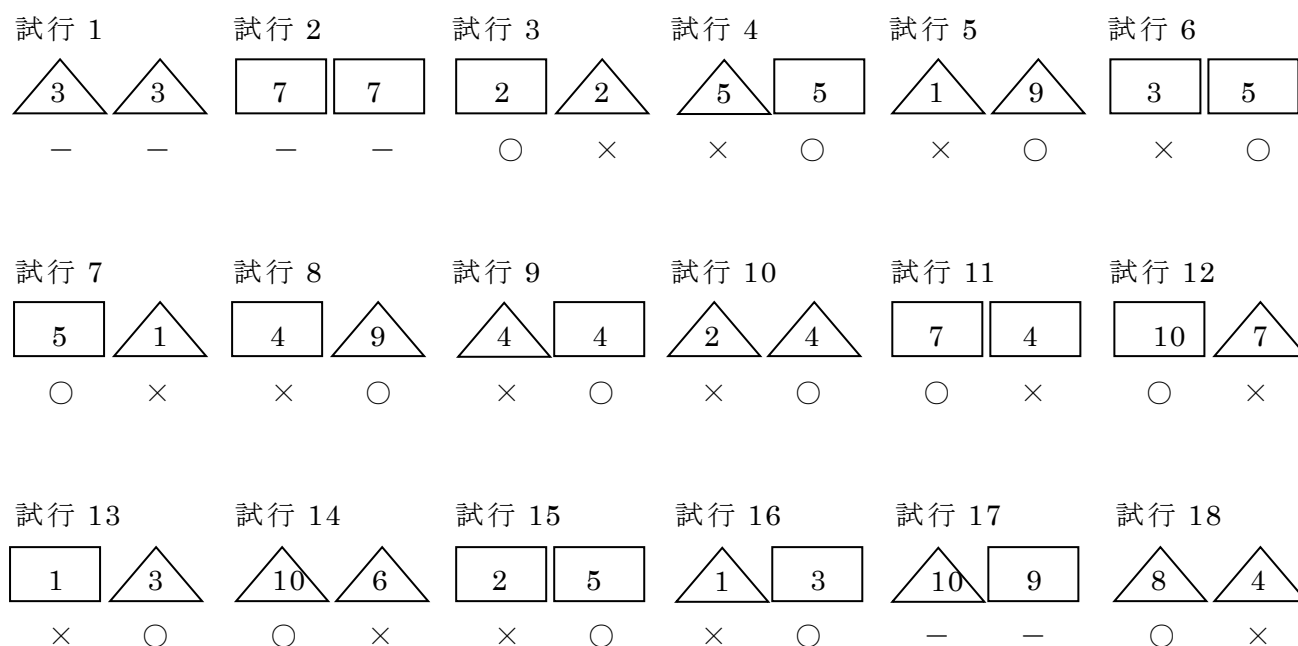


Figure 2-1 中島（1997）で使用された課題で提示された事例の一部

(○が勝ち・×が負け・—が引き分けを表す)

2.1.3 まとめ

以上、本節では、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識を必要とする科学的問題解決において、そのメカニズムに着目してモデル化した Klahr (2000) の SDDS を基に、最も重要なのは「証拠の評価」であることを指摘した。しかしながら、その難しさも示されていることに言及し、人が証拠の評価に失敗する理由について整理を進めてきた。結果、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」が不十分であるという問題と、証拠から仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成しようとする「概念形成活動」の際に失敗するという問題を指摘した。前者は、さらに、(1) 活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に分けられる。いずれも、領域一般知識の欠如と考えられた。後者は、(1) 新たな仮説を形成できないという問題と、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題に分けられ、共に、領域固有知識の欠如であり、(2) にはさらに領域一般知識の欠如も影響すると考えられることを示した。

2.2 仮説評価活動の指導と問題点

前節では、科学的問題解決において「証拠の評価」が重要であるにもかかわらず、人は、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」を十分に行えず、また、証拠から仮説を棄却した後で新たな仮説を形成しようとする「概念形成活動」の際にも失敗しやすい、という問題を指摘した。こうした問題を克服し、科学的問題解決を促進することが本論文の目的であるが、これまでも、心理学・理科教育学研究において様々な指導法が提案されている。したがって、本節以降では、既存の指導法について概観していく。その際、各指導法は、前節で指摘した仮説評価活動の問題と概念形成活動の問題のいずれに関わるものであるか、そして問題を十分に克服できるものであるかについて評価を行う。そうすることによって、既存の指導法に不十分な点を指摘し、本論文で取り組まなくてはならない課題を明確にすることを目指す。

まず、仮説評価活動の問題に関わる指導法を概観する。仮説評価活動の問題とは、証拠から仮説を保持したり棄却したりする活動が不十分であるという問題であった。この問題は、さらに、(1) 活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に分けられた。本論文では、いずれも、領域一般知識の欠如と捉えている。そこで、特定の分野や状況を越えた科学的問題解決の手続きに関する知識の教授や、そうした知識に基づいて適切な活動を行うスキルの育成を扱った研究を検索してみると、それらは主に、理科授業の実践研究や授業比較研究を行う理科教育学研究や、科学的問題解決の発達研究や指導法の開発研究を行う心理学研究において、実施されていることがわかる。理科教育学研究、心理学研究の順に整理していく。

2.2.1 授業提案研究の特徴と問題点

理科教育学研究の特徴は、科学的問題解決を促進する授業を提案するという点にあるだろう。すなわち、ある特定の知識やスキルに焦点を当てて指導するのではなく、様々な知識やスキルの指導に考慮して、その全体として科学的問題解決の促進を目指す。一つの例として、Palincsar, Collins, Marano, & Magnusson (2000) の提案する「GIsML (guided inquiry supporting multiple literacies)」を挙げる。GIsMLにおいては、学習者は、「探

究 (engage)⁵」,「調査 (investigate)」,「説明 (explain)」,「報告 (reporting findings)」のサイクルを繰り返して学習していく。ここで言う探究 (engage) とは, 検討すべき問いを立て, それを洗練すること, 仮説を形成することとされる。調査 (investigate) は, 仮説を検証するために, 観察・実験を行い, データを収集することである。説明 (explanation) は, 得られたデータを考察すること, 報告 (reporting findings) は, データから仮説を保持するか棄却するかを決めて新しい概念を作り上げていくことを指す。これらの定義から, GIsML のサイクルは, 科学的問題解決の過程に相当すると考えられる。このサイクルにおいて様々な指導がなされることが, GIsML の特徴である。例えば, 最初の探究においては, これから始まるサイクルを通して解決していく問題が与えられ, 解答に関する仮説を形成することが促される。その後の調査は, 教師からの問いかけや事象の提示によって方向づけがなされる。調査で得られたデータは, 説明や報告において, 言語や図など様々な方法でまとめるよう指導される。さらに, 説明はペアや小人数のグループで, 報告はクラス全体で行われることによって, 互いの説明や報告の矛盾点を指摘し合うことができるよう考慮されている, といった具合である。そもそも, 探究, 調査, 説明, 報告というサイクルを踏まえて学習することや, その中でもしっかりと仮説の形成やデータのまとめを促すことなどは, 科学的問題解決の手続きに関する知識を与え, 知識に基づいた適切な活動を促すことに当たり, 領域一般知識の指導と捉えることができるだろう。また, ペアやグループ, クラス全体での協同学習を取り入れて, 互いに活動の結果が不適切ではないかをモニターし, 不適切な場合には修正していくよう考慮されていることも, 科学的問題解決における適切な活動を促すものであるから, 領域一般知識に関わる指導と考えられる。一方, 調査を教師からの問いかけや事象の提示によって方向づけることは, その学習において解決すべき問題に必要な特定の情報を与えることに当たり, 領域固有知識の指導と言えるだろう。以上のように, GIsML では, 様々な知識やスキルの指導によって, 科学的問題解決の促進を目指す。そして, 事実, GIsML を取り入れた指導は, 学習障害の子どもの学習にも効果を上げ (Palincsar, et al., 2000), 健常児を対象としてもその効果が示された (高垣・田原・富田, 2006) ことがわかっている。

その他, 古くは, Karplus & Their (1967) によって提案された「探究 (engage)」,「調査 (explore)」,「説明 (explain)」,「応用 (extend)」の過程で構成される「LCM (learning cycle model)」を取り入れた授業 (授業効果の検証例として, Abraham, & Renner, 1986;

⁵ 「engage」の訳については, Palincsar, et al. (2000) で「engage」と定義されている内容を考慮し, 高垣 (2005) の訳「探究」を当てた。

Renner, Abraham, & Birnie, 1988) や, 1963年に板倉聖宣によって提案された「仮説実験授業」(「予想」, 「討論」, 「実験」の過程で構成される。板倉・上廻, 1965にその骨子が, 板倉・渡辺, 1974に授業例が解説されている), そして, 近年では, コンピュータを利用して, 協同による探究や知識構造学習をサポートする「CSCL (computer support for collaborative learning)」を取り入れた理科授業 (e.g., 竹中・稲垣・山口・大島・大島・村山・中山, 2004) など, 科学的問題解決を促進する授業は多数提案されている。授業ごとに, 取り入れられている指導は様々であるが, いずれも, ある特定の知識やスキルの指導を焦点化して行うのではなく, 様々な知識やスキルを指導して, 授業全体として科学的問題解決の促進を目指す点は共通である。

以上述べてきたような授業は, その複数の指導の総合という特性から, 高い効果を生んでいる。しかし, 授業の中で行われた指導の一つ一つがどのような効果を挙げたことによって, 高い効果につながったのかというプロセスを分析的に検討することは, 少なかったように思われる。もちろん, 先述した授業の多く (e.g., Palincsar, et al., 2000; Renner, et al., 1988; 板倉・渡辺, 1974; 竹中ら, 2004) が, 本節で問題としている仮説評価活動にも配慮しているであろうことは推察できる。例えば, 先に説明した GIsML では, 説明や報告において言語や図など様々な方法でまとめるよう促すことが証拠の吟味にあたり, 仮説評価活動の端緒となることから, 仮説評価活動自体が行われにくいという問題の解決の一部を担うと言えるだろう。さらに, 説明はペアや小人数のグループで, 報告はクラス全体で行わせることによって, 互いの説明や報告の矛盾点を指摘し合うことができるようにしていることは, 仮説評価活動の結果の適切性をモニターできないという問題に対処可能である。しかし, 実際にどれほどの効果があったのかということは, 明確になっていない。この点が, 理科教育学研究の課題と言える。なぜなら, 指導の効果が生じるプロセスが明らかでないことは, 研究を離れた理科授業において, 研究での提案を取り入れて良い授業を実践していこうとする際に障害となるからである。複数の指導の総合が良いということは, その提案を取り入れたいどの授業においても, 提案に含まれる全ての指導を取り入れなくてはならないということであり, 提案を柔軟に適応していくことが難しい。現実には, 授業やそれに参加する学習者の特徴に応じて, より強調すべき点, それほど働きかけなくても問題ない点があるだろう。にもかかわらず, 強調すべき点に関わる指導はどれなのか, それほど働きかけなくても問題ない点に関わる指導はどれなのかが明らかでないで, 指導を強調したり省略したりすることは困難なのである。以上のことを考慮し, 本論文では,

仮説評価活動の問題に焦点化した指導を提案して、その効果を考えることを目指したい。

2.2.2 仮説評価活動のトレーニング研究の特徴と問題点

しかしながら、仮説評価活動の問題に焦点化した指導の提案は皆無なのであろうか。ここで、領域一般知識に関して、心理学研究において提案されている指導法について概観する。心理学研究では、ある特定の領域一般知識の教示やそれを用いた活動の促進に焦点化した指導の提案が多いのが特徴である。中でも、焦点化されることが多いものは、CVS (control of variables strategy) であろう (e.g., Case, 1974; Chen & Klahr, 1999; Kuhn & Angelev, 1976)。CVS が使えるということは、交絡しない実験を計画するスキルがあるということであり、これは、観察・実験の計画と遂行過程に必要な領域一般知識の一つである。CVS に焦点化した指導の提案を行った研究例として、Chen & Klahr (1999) を挙げる。Chen & Klahr (1999) では、小学校 2, 3, 4 年生を対象として、CVS の指導法を検討した。結果、実験に用いる変数を適切にコントロールする必要があることとその理由、また、交絡しない実験をするためにはどうしたらよいかを明示的に説明し、かつ、学習者が実験する際には、何故そのような計画を立てたのか、適切な結果が得られたか、それは何故かを説明させて、CVS を使いこなすトレーニングを行うことが有効であることが明らかとなっている。

さらに、本研究において焦点化したい仮説評価活動の促進に関しても取り組んだ研究がある。Chinn & Malhorta (2002) は、人は予め持っている仮説に対して反証となる証拠を提示されたときにも仮説を棄却できないという問題に対して、「データを基礎とする教授的介入 data-based instructional intervention」と名付けた、データを公正に観察し解釈させるトレーニングを行う指導法を提案している。しかしながら、その効果は見られなかったという。

そこで、Chinn & Malhorta (2002) の提案した指導法の具体に目を向けてみる。まず、指導法について、「電流」に関する科学的問題解決を例に説明すると、以下のようになる。電流は、電池のプラス極からマイナス極に向かって流れ、途中で電球等を通過しても減少することなく、回路内を一定量で流れ続けるものである。これに対して、学習者の多くは、電流は電球等で消費されて少なくなると考えている。そこで、Chinn & Malhorta (2002) の指導法では、回路内の電球前後の 2 地点で電流量が異なるかの予測を立てさせた上で、複数の結果、すなわち、(1) 電球前の方が後より電流量が多い、(2) 電球前後で電流量は

同じ、(3) 電球後の方が前より電流量が多いといった結果が生じうることを示し、そうした結果が出た場合、どのように結論づけられるかを問う。さらに、「電球前後で電流量が『ほぼ同じ』(very closely readings on the meter)であった場合には、電流は電球等を通しても減少しないと結論づけてよいか」といった不明確な(borderline)結果についてどのように解釈するかも尋ねておくと言う。その際、必要であれば、測定誤差についても説明する。その上で、実際の結果を見せて、答えを導かせるのである。こうした指導法、すなわち、仮説評価活動を適切に行うための方法についてトレーニングを行った後で、学習者は「物体の運動」等、指導に用いたものとは別の科学的問題解決に自力で取り組むことを求められる。その解答の正確さによって、指導法の効果が検証された。

Chinn & Malhorta (2002) の指導法は、学習者の持つ仮説に対して反証となる証拠が得られたときに、学習者がそれを歪めて認識してしまうことを防ぐため、予め様々な結果が生じうることを考慮し、そのそれぞれに応じて結論が異なることを理解しておくことの大切さを教授することを狙ったと考えられる。しかしながら、「もしこのような結果が得られたとしたら、こういうことになる」という形で、仮定の証拠、自らの仮説とは切り離された結論を扱った指導の仕方は、現実感に乏しい。そのため、自らの仮説が、証拠に基づいて評価されていくべきものである、証拠によっては棄却されるべきものであるという意識までは生じにくかったのではないかと推察される。さらに、実際に結果を得る前に様々な結果が生じうる可能性を考えておくことや、そのそれぞれに応じて結論が異なることを考えておくことが大切であると認識し、科学的問題解決におけるスキルとして獲得していくことは困難だったであろう。こうした Chinn & Malhorta (2002) が提案した指導法の課題を考慮し、本論文では、学習者自らの仮説を証拠に基づいて評価させる活動を行うよう指導することを目指したい。

そのためには、科学的問題解決を行う中で、仮説評価活動の一連の手続きを教示し、それに基づいて活動するよう促すことが有用であろう。仮説評価活動とは、証拠から仮説を保持したり棄却したりする活動であるから、その手続きには、仮説と証拠各々を明確にすること、その上で両者を照らし合わせる必要が織り込まれている必要がある。したがって、(1) 自分の仮説が正しいか確かめるためには、どのような観察・実験をしたらよいのか(証拠収集の計画)、そして(2) どのような結果が得られたらよいのか(予測)を明確にしておくこと、(3) 結果が得られたら、その結果を記録して(結果の観察)、(4) そこから自分の仮説は正しかったのかを振り返る(結果の解釈)ことが、具体的な手続きとして

挙げられる。本論文では、この手続き的知識を「仮説評価スキーマ」と名付けて教示し、その重要性を説くとともに、それに基づいて活動するよう促すことを提案する。

2.2.3 まとめ

以上をまとめると、本節では、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動が不十分であるという問題、より具体的には、(1) 活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に関わる、既存の指導法を概観してきた。そして、主に理科教育学研究において提案される、様々な知識やスキルの複数の指導を統合した授業の提案と、心理学研究において提案される、特定の領域一般知識やスキルの指導の提案があることを述べた。そして、理科教育学研究では、仮説評価活動を促進するような指導や、ペアや少人数、クラス全体での協同によって、活動の結果の適切性をモニターさせるような指導が行われているものの、それらと他の多くの指導が組み合わせられ、総合としての授業を提案していることから、各指導がどのような効果を生じるのかは明確ではないことを課題として示した。したがって、まず、仮説評価活動を促進するような指導の効果や、協同が真に活動の適切性のモニターに有効かを明らかにする必要があることが指摘できる。

さらに、仮説評価活動を促進するような指導に関しては、これまでに提案されている Chinn & Malhorta (2002) の指導内容では、十分でないことが明らかとなった。それを受けて、本論文では、新たに「仮説評価スキーマ」という仮説評価活動に必要な手続き的知識を教示することを提案した。このスキーマの教示が、仮説評価活動自体が行われにくいという問題に対処可能かを検討していくことが必要である。

2.3 概念形成活動の指導と問題点

次に、概念形成活動の問題に関わる指導法を概観する。概念形成活動の問題とは、証拠から既存の仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成しようとする際に生じる失敗であり、(1) 新たな仮説を形成できないという問題と、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題に分けられた。本論文ではいずれも、得られた証拠のメカニズムや証拠を支える領域固有知識がないために生じる可能性があることを説明した。さらに、後者を生じさせる一因としては、「仮説は、証拠との不一致がないのはもちろんのこと、他の多く

の現象を説明でき、その場しのぎの例外的説明を含まず（非アドホックで）、シンプルであり、論理的一貫性がある方が望ましい（Samarapungavan, 1992）」といった、「仮説」というものに関する一般的な知識を持っていない、もしくは、持っているも使えないという問題もあることを挙げた。まず、領域固有知識の教授について扱った研究を、その後、仮説に関する領域一般知識の指導について扱った研究を、順に概説していく。

2.3.1 領域固有知識の教授研究の特徴と問題点

まず、領域固有知識の教授に関して検討する。この問題に示唆を与える研究として、素朴概念から科学的概念への概念変化を目指して、どのような知識をどのように与えるかという観点から行われた教授法研究が挙げられると考える。これらの研究を概観していくこととしよう。

教授法研究の主流の一つに、学習者に提示する事例、科学的問題解決における言い方をすれば、観察・実験結果、の種類と提示順の検討がある。古くは、細谷（1976）が「ドヒャー型」ストラテジーと「じわじわ型」ストラテジーとしてレビューしている。「ドヒャー型」ストラテジーとは、学習の初めに、学習者が予め構成している概念の反証的証拠となる事例を示す教授法である。反証的証拠によって、学習者は、自らの概念が誤りであると知って驚くとともに、自らの概念を科学的概念へと組み替えようとすることを期待する。一方、「じわじわ型」ストラテジーとは、学習者が比較的納得しやすい事例を用いて科学的概念を導入し、徐々に他の事例、例えば、学習者既存の概念に対しては反証的証拠となる事例、においても科学的概念を適用できるよう導く教授法である。

「ドヒャー型」ストラテジーは、概念変化理論（Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982）と軌を一にする。この理論では、概念変化の第一段階として、学習者が予め構成している概念では自然現象を上手く説明できないという不満を抱く必要があることが指摘されている。また、進藤（1995）は、「浮力」概念を例に、学習者既存の誤ったルール「浮いている場合には浮力が働いているが、沈んでいる場合には浮力は働いていない」に基づいて問題を解かせておき、それが誤りであることに直接的に触れながら、正しいルール「物体が水中にあれば、浮いていようが沈んでいようが、浮力を受ける」を提示することで、ルールの修正が進むことを実証している。

しかしながら、先に 2.1 節で述べたように、科学的問題解決に関するこれまでの研究では、反証的証拠を提示されても正答に至れない場合があることが指摘されている。この 2.3

節で、指導によって克服すべき問題として取り組んでいる「概念形成活動の際に生じる問題」、すなわち(1)反証的証拠から既存の仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成できない問題や、(2)形成しても、元の仮説の周辺的な変更で終わってしまう問題がその一例である。では、どうしたらよいのだろうか。これらの問題に対処可能な教授法が、「じわじわ型」ストラテジーと言える。具体的に、「じわじわ型」ストラテジーの特徴である「学習者が比較的納得しやすい事例を用いる」という方法が見られる Clement (1993) の橋渡し方略 (bridging analogy) をみてみよう。橋渡し方略では、学習者既存の概念からは反証的証拠となる事例だけでなく、学習者が比較的納得しやすい事例も示して、それとの類推から、反証的証拠となる事例も科学的概念に基づいて理解できるよう促そうとする。さらに近年では、反証的証拠となる事例の効果と、納得しやすい事例を導入する効果の双方を生かそうとする「融合法」も、進藤・麻柄・伏見 (2006) によって提案されている。

「じわじわ型」ストラテジーの他にも、概念形成活動の問題に対処可能な教授内容は存在する。教授法研究では、学習者に提示する事例、すなわち、これまでに述べてきた反証的証拠か否か、以外に、科学的概念に関してどのような情報を併せて与えるべきかという検討も行っている。具体例を挙げると、Tsai (2000) が、「電流」概念を例に、「科学的概念をサポートする知覚的な事象 (水流のアナロジー)」、「科学的概念に関連した他の適切な概念 (抵抗・電子・エネルギーの諸概念)」、そして、「科学的概念を裏付ける決定的な事象 (電流と電圧の関係：電流と電圧の機能は異なり、後者が消費されることによって電池性能が劣化する)」を提示する必要性を指摘している。これらは、学習者の持つ誤った概念 (電流消費概念) を修正するにあたり、電流に関連する諸概念のネットワークを構築することによって、科学的概念の活性化を高めようとするものと言える。

以上に述べた研究からは、「じわじわ型」ストラテジーに代表されるような事例や、その他の領域固有知識を教授することが、証拠から既存の仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成しようとする際に生じる失敗に対する指導として高い効果を生むことが期待できる。しかしながら、こうした教授の後には、学習者が教えられた内容を理解しているかを改めて確認しておくこともまた、重要であろう。事実、教えられてわかったつもりになっても、いざわかったことを自分の言葉で説明するよう求められると困難を示す学習者が多いという問題が幾つかの実践 (e.g., 市川, 1998) で示されている。さらに、市川 (2000) は、この「説明する」という行為は、理解の不十分な点を明確にするだけでなく、教えられた内容に立ち返って改めて知識を構築することにより、理解の深化も促すことが期待で

きるにもかかわらず、そうした行為を自発的に行う学習者は少ないと指摘している。また、授業で説明活動を取り入れているという実践報告は散見される(e.g., 森田, 2006)ものの、説明活動自体の効果を検証した研究は行われていないのが現状である。以上のことを考慮し、本論文では、先に概観した教授法研究で得られている知見を基に、領域固有知識を教えた上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入する。この指導法によって、その知識を基に学習者自身が考えることを取り入れた指導法を提案していくことを目指す。

2.3.2 仮説に関する領域一般知識の指導に関わる研究の特徴と問題点

続いて、仮説というものに関する領域一般知識の指導に関して概観する。こうした指導に関しては、指導法を提案する理科教育学・心理学研究はもちろん、子どもや初学者がどのように仮説や理論を立てるのか、どのように考えているのかについて扱った研究からも示唆を得ることができる。

子どもや初学者のもつ素朴概念とその改訂について扱った研究から説明しよう。素朴概念(naive theory)とは、日常経験を通じて構成される概念である。何らかの現象を予測したり、説明したりする機能を持っていることが、生物学(e.g., Inagaki & Hatano, 1987, 1991), 物理学(e.g., Clement, 1982; McCloskey, Washburn, & Felch, 1983), 天文学(e.g., Samarapungavan, Vosniadou, & Brewer, 1996)など様々な分野で数多く指摘されている。しかしながら、やはり素朴概念は科学的概念とは異なる。素朴概念は、予測・説明できる範囲が狭く、一貫性の低さが見られること、それらは、経験を重ねたり学校教育を受けたりすることによって変化していくことが、Vosniadou & Brewer (1992)等の研究で示されている。

子どもや初学者の持つ仮説に関する領域一般知識を、より直接的に扱った研究もある。例として、Pluta, Chinn, & Duncan (2011)を挙げよう。Pluta, et al. (2011)では、中学2年生が、科学的なモデルの良し悪しを判断する基準(epistemic criteria)として何を挙げるかを調査した。結果、モデルの説明機能、他者に了解されやすいかどうかというモデルの伝達機能、その他、証拠に基づくことなどが挙げられたと言う。そして、これら中学2年生が挙げた基準はいずれも、科学者が用いる基準と類似していることが示されている。しかしながら、全ての基準が、全ての調査対象者によって言及されたわけではない。例えば、証拠に基づくことなど、全対象者の約4分の1の対象者にしか言及されなかった

ものもあるし、対象者が所属しているクラスによっても、言及する基準の数や種類が異なっていた。

以上をまとめてみると、まず、子どもや初学者は、科学的な概念、理論、仮説など科学的な事柄に関する一般的な知識が不足している、少なくとも一般的な知識を用いて適切な概念、理論、仮説を立てることができないことを示した結果からは、一般的な知識を指導する重要性が示唆される。ここで、一般的な知識とは、「良い科学的概念、理論、仮説とはこういうものだ」という評価基準に当たるものを想定している。そこでさらに、中学2年生の持つ科学的なモデルの評価基準を調査した Pluta, et al. (2011) に目を向けてみると、評価基準は個人、または、個人の所属するクラスによって異なるという結果が得られていることから、指導が有効である可能性も高いことが推察されるだろう。なぜなら、特にクラス間差を生じさせる要因の一つとして、クラス担当教師の指導の仕方が考えられるからである。事実、Pluta, et al. (2011) の研究の対象となった複数のクラスの担当教師のうち数名は、調査以前に行われた授業で、科学的なモデルについて言及することがあったと述べられている。

それでは、実際に指導を行った研究はないのだろうか。科学的な事柄の良し悪しを判断する基準 (epistemic criteria) に関連して検索を進めてみると、Chinn, Duschl, Duncan, Buckland, & Pluta (2008) によって「モデルを基礎とする探究カリキュラム model-based inquiry curriculum」の一形態が提案されている。具体的には、証拠に基づいてモデルを構成し、他のモデルと比較するなどして評価し、改訂していくという過程に、協同で取り組むことを促すカリキュラムを、中学校で1年間実施したと言う。結果、協同においてモデルの良し悪しを検討することを通して、モデルを評価する複数の基準、具体的には、モデルの説明機能、他者に了解されやすいかどうかというモデルの伝達機能、証拠に基づくことなどが精練されていき、より良いモデルを用いることができるようになったことが示されている。こうした協同の効果が生じた理由は、先に述べた Pluta, et al. (2011) でモデルの評価基準は個人によって異なるという結果が示されたことから考察できる。協同の中では、各個人が持つ異なる評価基準を共有することができるし、互いに検証し合うことが可能というわけである。しかしながら、協同に参加した中学生だけを、その効果の要因と考えることは難しい。協同の中に様々な評価基準が持ち込まれているか、ある個人の独善的な考えに支配されていないかをチェックし、適切な評価基準を示して協同の流れを作ることも必要であろう。事実、Chinn, et al. (2008) のカリキュラムでも、様々な箇所

で教師が協同の足場作りを試みている。

教師の役割の有効性については、中島（1997）においても示されている。中島（1997）では、科学的な理論の評価基準、中でも、「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関する知識を、教示することを提案している。中島（1997）は、心理学実験として行われ、数字（1 から 10 までの整数）と、数字を囲む枠（三角か四角）という 2 つの属性から成る記号同士の優劣関係を決定するルールを、複数の事例を観察することを通して発見するという人工的な課題を用いて、教示あり群と教示なし群の課題遂行過程を比較した。結果、教示しない場合に比べて、教示を行った方が、汎用性の高いルールを形成する割合が高くなったと言う。

以上に述べた研究からは、教師による評価基準の教示が、仮説というものに関する領域一般知識の指導として高い効果を生むことが期待できる。なお、これまでの研究では、仮説を評価する多種多様な基準について 1 年間かけて指導を行ったという実践研究（Chinn, et al., 2008）と、理論の節約性に関する知識を教示した実験研究（中島, 1997）が存在している。そこで、本論文では、先に目的として掲げた、元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題への対処として、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する知識に絞って、教育実践場面での指導、すなわち、教師による教示を行い、その効果を検討することを目指す。

2.3.3 まとめ

以上、本節では、概念形成活動の問題、すなわち、証拠から既存の仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成しようとする際に生じる失敗であり、(1) 新たな仮説を形成できないという問題と、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題に関わる、既存の指導法を概観してきた。いずれも、得られた証拠のメカニズムや証拠を支える領域固有知識がないために生じる可能性があることから、領域固有知識の教授について扱った研究を概観した。具体的には、概念変化を促す教授法研究であり、教えるべき領域固有知識として、科学的概念について比較的納得しやすい事例や関連する様々な情報があること（e.g., Tsai, 2000）を挙げた。そして、それらを教授するのみならず、その知識を基に学習者自身が考えることを取り入れた指導法を提案していく必要があることを明らかにした。さらに、後者を生じさせる一因としては、「仮説は、証拠との不一致がないのはもちろんのこと、他の多くの現象を説明でき、その場しのぎの例外的説明を含まず（非アドホックで）、シン

プルであり，論理的一貫性がある方が望ましい (Samarapungavan, 1992)」といった，「仮説」というものに関する一般的な知識を持っていない，もしくは，持っていて使えないという問題もあることを挙げ，仮説に関する領域一般知識の指導を扱った研究を概観した。そして，教師による評価基準の教示，特に本論文で問題としている，元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題への対処としては，「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する知識の教示が，仮説というものに関する領域一般知識の指導として高い効果を生む可能性を導いた。

第3章

本論文の目的と構成

第1章で定義した「科学的問題解決」の促進を阻む要因として、第2章では、特に「証拠の評価」を適切に遂行する重要性があるにもかかわらず、それが困難であることを述べた。具体的には、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」が不十分であるという問題と、証拠から仮説を棄却した後で新たな仮説を形成しようとする「概念形成活動」の際に失敗するという問題を指摘した。さらに、これら2つの問題を、既存の指導法で十分に克服できるかについて評価を行い、残された課題を指摘した。それらを受けて、第3章では、科学的問題解決を促進する新たな指導法の提案に向けた本論文全体の目的と、構成について説明する。

3.1 本論文の目的

本論文では、科学的問題解決の促進をテーマとし、科学的問題解決に失敗する理由を特定した上で、それを克服するための指導法を開発していくことを目的とする。

第1章において、本論文では、科学的問題解決を「与えられた問題に対し、科学的な手法を用いてその解を導くこと」と定義することを述べた。それは、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識を必要とする。なお、領域固有知識は、特定の分野や状況に結び付いた知識である。領域一般知識は、特定の分野や状況を越えた知識であり、領域一般知識を持っているのみならず、それに基づいて適切な活動を行えること、すなわち、スキルがあることを指す。こうした科学的問題解決に必要な知識やスキルを育成することは、現状の理科教育においても重視されていることが、国際的な学力調査であるTIMSSやPISAの調査内容、国内の学習指導要領の目標及び指導内容から推察された。なお、TIMSSやPISAが調査対象とする年齢が小学生や中学生であることから、小中学生が科学的問題解決に必要な知識を学習していく重要な年代であることが示唆される。したがって、本論文では、指導の対象として特に小中学生を想定していく。

それでは、特にどのような知識やスキルの育成が必要であるのだろうか。第2章で述べたように、科学的問題解決においては、特に証拠の評価を適切に遂行することが重要である（Klahr, 2000）。にもかかわらず、人はその過程に失敗することが多い。失敗の様子を示した研究を概観し、失敗の原因は何かについて、先に述べた科学的問題解決で必要とされる2つの知識、すなわち領域固有知識と領域一般知識のいずれの欠如が原因となっているのかという観点から整理したところ、以下のようになった。

第一に、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」が不十分である。これはさらに、(1) 活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に分けられた。いずれも領域にかかわらず、科学的問題解決そのものに関する領域一般知識の欠如と考えられる。第二に、証拠から仮説を棄却した後で新たな仮説を形成しようとする「概念形成活動」の際に失敗する。これもさらに下位分類され、(1) 既存の仮説の反証的証拠が得られても、その証拠を説明するメカニズムや支える領域固有知識を持たないために、新たな仮説が全く形成できないという問題と、(2) 領域固有知識の欠如のみならず、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」といった仮説の包括性に関する領域一般知識を持たないことを一因として、元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題がある。

本論文では、各々の問題に対処する指導法を提案する。その概要を Figure 3-1 に示す。まず、仮説評価活動の問題に関して、2.2 節で概観した先行研究の知見から、(1) 活動自体が行われにくいという問題に対しては、その直接的な指導が必要であること、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に関しては、協同の導入が有用であろうことが示唆された。しかしながら、これまでに(1)を適切に指導しその結果を明確に示した研究はなく、本論文で新たに指導を提案する必要性が明らかとなった。そこで、本論文では、仮説評価活動を行う上で必要な一連の手続き的知識「仮説評価スキーマ」を教示する。この教示と協同活動の導入を併せて行う指導法（Figure 3-1 の指導法 1 に当たる）が有効かについて、指導法の効果が生じるメカニズムを検討するとともに、実践としての効果も示す。

次に、概念形成活動の問題に関しては、2.3 節で概観した先行研究の知見から、(1) 既存の仮説の反証的証拠が得られても新しい仮説を形成できない、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという2つの問題に影響する領域固有知識の欠如に関して、証拠を

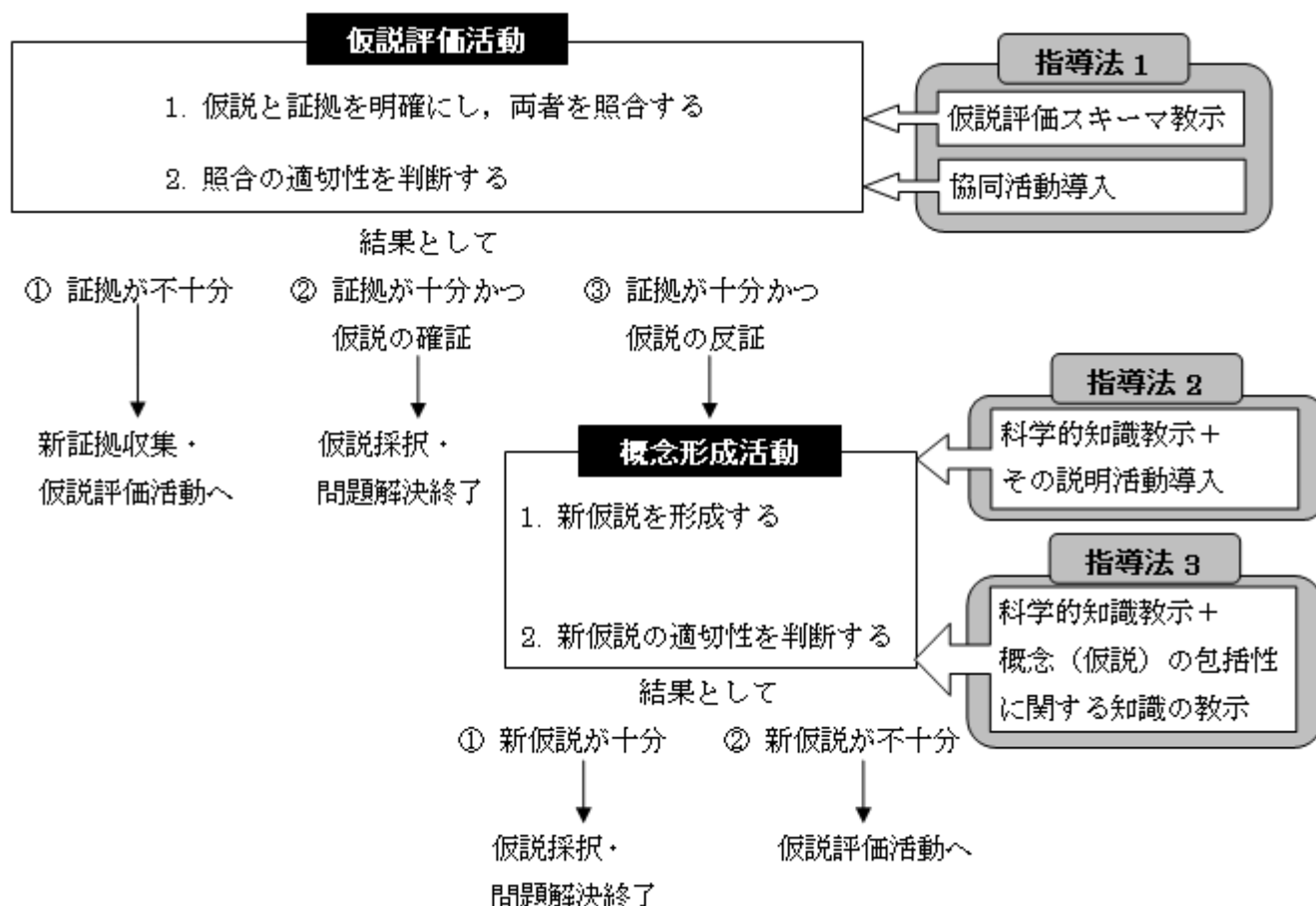


Figure 3-1 本論文で提案する指導法の全体像

説明するメカニズムや支える領域固有知識を教授する必要があることが明らかとなった。しかし、教授法研究の分野では、領域固有知識の教授で終わる場合が多く、教わった知識を理解・定着させていく場面の導入が課題であることも示唆された。そこで、まず、概念形成を支える領域固有知識を教授し、教授された内容を自分の言葉で説明し直させるという活動を導入する指導法（Figure 3-1の指導法2に当たる）を提案し、効果を検討する。さらに、(2)元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題には、領域固有知識の教授のみならず、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」といった仮説の包括性に関する領域一般知識の教示が有用であることも示唆されるため、そうした教示を行う指導法（Figure 3-1の指導法3に当たる）を提案し、効果を検討する。

以上、3つの指導法の提案を通じて、科学的問題解決に関わる研究および教育に対する提言をまとめたい。なお、本論文で提案する指導法が、これまでの研究が明らかにしてきたことと残された課題を踏まえて提案されたことは先述の通りであるが、教育場面でも必

要とされるものであるかを明らかにするために、指導法の実施と効果の検証に先立ち、教育場面における科学的問題解決の実態を調査した研究も紹介する。その結果も踏まえて、提案する3つの指導法の有用性を示す。

3.2 本論文の構成

前節の目的を受けて、改めて本論文の全体的な構成を述べる。ここまでの第1部が問題と目的にあたる。第2部が小中学生の科学的問題解決に関する実証研究、第3部と第4部が介入研究となる。各々、仮説評価活動に関する指導、概念形成活動に関する指導に対応する。そして、第5部が総合考察となる（Figure 3-2）。

第2部では、教育場面における小中学生の科学的問題解決の実態を明らかにすることを目的とする。先に述べたように、本論文では、科学的問題解決における仮説評価活動及び概念形成活動を促す指導法を提案する。それに先立ち、第4章研究1として、それらの活動が、教育場面でどの程度行われているのかを明らかにする。同時に、遂行の程度に影響する認知的要因についても検討する。具体的には、遂行の程度は教師に指導されていると思う認知や、それによって生じるであろう有効性の認知と関連するかを示す。さらに、関連するのであれば、教師が指導しない活動があるのはなぜか、その理由について検討を進める。以上、一連の検討により、小中学生の科学的問題解決活動の実態が明らかとなり、指導法の提案に向けた示唆を導くことが可能となると考える。

第3部では、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動に関する指導法を提案する。前節本文及び Figure 3-1 に示した指導法1の検討であり、具体的には、(1) 仮説評価活動自体が行われにくいという問題に対しては、その手続き的知識である「仮説評価スキーマ」の教示が、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に関しては、協同の導入が有効であるという仮説を立てて検討を行う。その際、まずは第5章研究2で、心理学実験によって指導法の効果が生じる過程の検討を行い、続いて第6章研究3で実験授業による指導法の効果の実践的検討を行う。

第4部では、証拠から仮説を棄却した後で新たな仮説を形成しようとする概念形成活動に関する指導法を提案する。概念形成活動の際に生じる問題には、(1) 既存の仮説の反証的証拠が得られても新たな仮説が形成できないという問題と、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題があり、いずれにも領域固有知識の欠如が影響していると

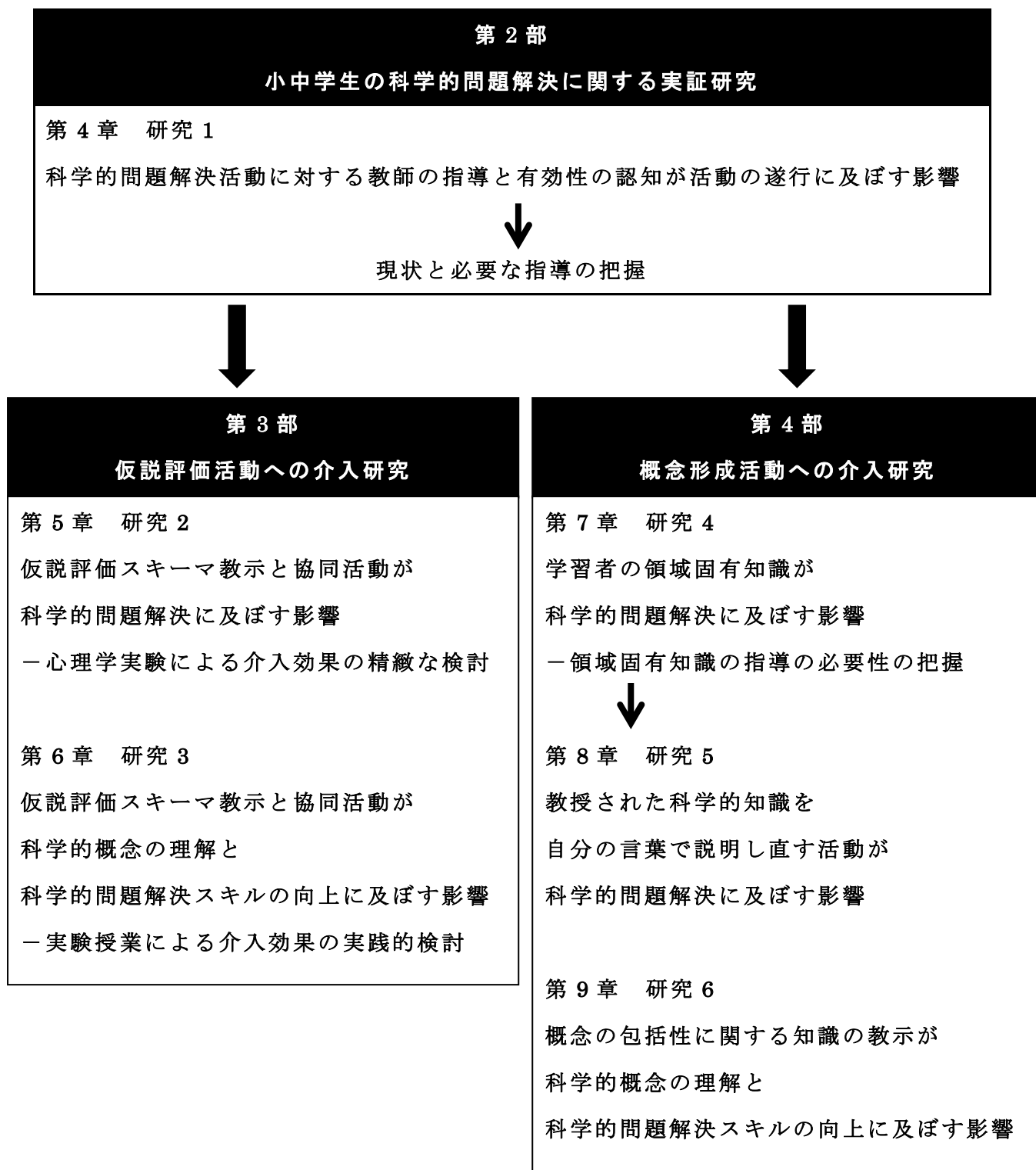


Figure 3-2 本論文の構成

考えられた。そこで、まず、第7章研究4として、領域固有知識の教授の必要性について実証する。続いて、領域固有知識を教授する指導法を2つ提案する。いずれも、これまでの教授法研究においては、証拠を説明するメカニズムや証拠を支える領域固有知識を教授

する必要があることが明らかとなっているが、領域固有知識の教授で終わっている場合が多いという問題に配慮して提案する。まずは、前節本文及び Figure 3-1 に示した指導法 2 であり、概念形成を支える領域固有知識を教授し、教授された内容を自分の言葉で説明し直させるという活動を導入する指導法である。この効果の検討を、第 8 章研究 5 の目的とする。さらに、第 9 章研究 6 においては、特に (2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題に対処するため、領域固有知識の教授のみならず、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」といった仮説の包括性に関する領域一般知識の教示も行う指導法（前節本文及び Figure 3-1 に示した指導法 3）を提案し、その効果を検討する。

第 2 部

小中学生の科学的問題解決に関する実証研究

第4章 研究1

科学的問題解決活動に対する教師の指導と有効性の認知が 活動の遂行に及ぼす影響

本論文では、科学的問題解決において証拠の評価に失敗しやすいという問題に対して指導法を提案し、その効果を検討していくことを目的とする。先に第2章で述べたように、証拠の評価の失敗は、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動が十分になされないという問題と、証拠から仮説を棄却した後で、新たな仮説を形成しようとする概念形成活動に失敗するという問題が原因となっていることが示唆される。したがって、本論文で提案する指導法は、仮説評価活動及び概念形成活動を促すものとなる。それに先立ち、研究1では、提案する指導法が、研究としてのみならず、実際の教育場面でも必要とされるものであるかを明らかにするために、小中学生の科学的問題解決の実態について、調査していく。

4.1 問題と目的

科学的問題解決は、「与えられた問題に対し、科学的な手法を用いてその解を導くこと」と定義され、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識を必要とする。2種類の知識のうち、領域一般知識は、特定の分野や状況を越えた知識であり、その知識を持っているのみならず、知識に基づいて活動を行えることが重要である。一方、領域固有知識は、特定の分野や状況に結び付いた知識であり、活動の適切性に影響を与える。どのような分野や状況に関する知識が不足しがちかということも大切な情報であるが、研究1では、本論文で提案しようとする指導法が教育場面で一般に行われているか否かを問題としているため、理科授業全体での傾向として科学的問題解決に必要な活動として何が行われ、何が行われていないのかに焦点化する。すなわち、科学的問題解決に必要な活動を下位分類した上で、活動の実態を明らかにし、活動を促す指導の提案に向けた示唆を導くことを目的

とする。具体的には、(1) 科学的課題解決を遂行するために必要な活動にはどのような種類があるのか、そのうち、(2) 小中学生はどの活動を行っていないのか、活動の遂行と、その活動を教師に指導されていると思う認知や有効だと思ふ認知とは関連するのか、もしそうであるとするならば、(3) 教師はどのような理由で指導しないことがあるのかを検討していく。以下、各検討事項について、より詳細に述べる。

小中学校の理科授業において、学習者は、しばしば、科学的問題解決、すなわち、何らかの課題を与えられ、観察・実験を通してその答えを導くことを求められる。しかし、観察・実験を行えば必ず正答に至れるというわけではない。観察・実験の具体的な操作に夢中になって目的を見失ってしまったり、適切な結果が得られなかったりと様々な理由から、正答に至らないことも多いだろう。したがって、科学的問題解決をより具体的な活動のカテゴリーへ下位分類し、カテゴリーごとに活動の実態を明らかにして、活動を促す指導の提案に向けた示唆を導くことは重要である。では、科学的問題解決において、具体的にどのような活動が必要なのだろうか。この点に関しては、先に第1章で述べたように、心理学におけるこれまでの研究において様々に指摘されている。さらに、Klahr (2000) に代表されるように、それらの活動は、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程に分けて整理されることが多い (Table 4-1)。こうした整理は各活動の機能を考える上で大変意義深いものであるが、一つの過程にまとめられた活動内容の多様さからは、その全てが学習者にとって共通なものとして捉えられ、同程度に行われているとは考えにくいという可能性がうかがえる。そこで研究1では、調査1において、科学的問題解決に必要な活動がどのような下位カテゴリーに分けられるかを、学習者を対象とした質問紙調査を行い、因子分析によって検討する。これによって、後に指導を考える際、その目標となる活動を正確に定められるようになることを期待する。

調査1の結果を踏まえ、調査2で、どのようなカテゴリーに分類される活動かによって学習者の遂行に違いが見られるか、また、活動の遂行と、その活動を教師に指導されていると思う認知や有効だと思ふ認知は関連するかを検討する。これまでも、科学的問題解決や、観察・実験の重要性は研究・教育場面で指摘され、指導例も多数報告されている (e.g., Abraha & Renner, 1986; Palincsar, et al., 2000; Renner, et al., 1988; 高垣ほか, 2006; 竹中ほか, 2004)。しかし、本研究のように指導の前提となるべき学習者の実態を調査した研究となると、その数は多いとは言えない。厳密に言えば、観察・実験結果の考察プロセスの活動 (木下・松浦・清水・寺本・角屋, 2012) や、観察・実験活動を把握するメタ

Table 4-1 科学的問題解決に必要な活動の例 (Table 1-3 の再掲)

過程	具体的活動例
仮説の形成	<p>既有知識の中から、課題に関係する情報を思い出す。</p> <p>仮説を考える。</p> <p>仮説が説明的・機能的・節約的かを考える。</p>
観察・実験の計画と遂行	<p>調べたい変数の値を変えて、観察・実験する。</p> <p>調べたい変数以外の変数は値を揃えて、観察・実験する。</p> <p>1つの変数の効果を、様々な条件下（他の変数の値を変えた状態）で検証する。</p>
証拠の評価	<p>観察・実験結果を記録する。</p> <p>観察・実験結果の妥当性・信頼性を考える。</p> <p>観察・実験結果には誤差があることを考慮する。</p> <p>いくつかの観察・実験結果を関係づけて考える。</p> <p>結果が仮説にとってどのような意味（確証／反証）があるのか考える。</p> <p>仮説が棄却された場合には、これまでの観察・実験結果を一般化した仮説を形成する。</p> <p>観察・実験結果を解釈する情報を取得する。</p>

認知活動（木下・松浦・角屋，2007）に着目して，それらの活動をどの程度遂行しているかを，学習者に質問紙で尋ねることによって調査する研究は行われている。しかし，科学的問題解決の具体的な活動を網羅的に取り上げて，どの程度遂行しているかを尋ね，さらに，そうした遂行の認知と教師の指導や有効性の認知との関連についても検討した研究は行われていない。

しかしながら，活動を促す指導の提案に向けて，活動に対する教師の指導や有効性の認知といった要因についても焦点を当て，研究を進めていくことは重要である。事実，学習活動は，学習者が目的意識をもって行った場合，「学習方略」と呼ばれる（辰野，1997）が，学習方略が遂行されるには，まず，どのような方略があるかという知識を持っていることが重要であり，さらに方略に対する有効性の認知が高いことが影響することが示されている（村山，2003；佐藤，1998）。科学的問題解決活動についても同様に，その遂行が，活動についての知識を持つ，すなわち，教師に「行うように」と指導されていると認知し

ていることや、活動を有効だと認知していることとの関連が見られれば、そうした認知を高めることを、活動を促す一指導として考えていくことができるだろう。

調査2において、学習者の活動の遂行にカテゴリー差が見られ、遂行と教師の指導の認知との関連が見られた場合に、調査3として、教師はどのような理由で指導しないのかについても検討を進める。調査1・2により、どのような活動の指導が必要かが明らかになると想定される。しかし、現状で何故指導していないのかを考慮することなしに、真に有効な指導に向けた示唆は得られないと考えるためである。

以上、一連の検討により、科学的問題解決に必要な活動の実態が明らかとなり、指導の提案に向けた示唆を導くことが可能になると考える。なお、これまでに、結果が仮説によって確証か反証かを考える活動の遂行率は小学6年生よりも中学生で高い(Kuhn, et al., 1988)等と活動能力の学年差が示されている一方、理科授業場面では、仮説を設定する活動は中学生よりも小学生が多い(木下ほか, 2012)等の実態があることを考慮して、校種差についても検討を行うこととする。

4.2 調査1 学習者の科学的問題解決活動の構造

4.2.1 目的

科学的問題解決に必要な活動に関する質問紙を作成して学習者を対象に実施し、因子分析によって活動をいくつかのカテゴリーに分類する。

4.2.2 方法

4.2.2.1 調査対象者

公立中学生 204名 (中1男子 54名, 女子 45名, 中2男子 52名, 女子 53名)。

4.2.2.2 調査内容

まず, Klahr (2000) と, Klahr (2000) がレビューしている心理学の実験研究 (第1章 Table 1-2 参照) を参考に, 科学的問題解決に必要な活動をリストアップした (Table 4-1)。その上で, それらの活動は, 理科授業で行う場合にはどのようなになるかを考え, 24項目を作成した。次に, 作成した項目について, 小中学校教師 15名に, わかりにくい項目や答

えにくい項目があるか、また、挙げられている以外の活動を行うかを尋ねた。結果、2項目を除外し、新たに1項目を加え、わかりにくさの指摘された部分を修正して、23項目を調査項目とした。各項目について、普段理科授業で観察・実験をするときに、どれくらいよく行っているか、5件法（1. まったく行っていない～5. よく行っている）による評定を求めた。

4.2.2.3 調査手続き

調査内容を記した質問紙を、授業時間などを利用して一斉に配布し、回答してもらった。

4.2.3 結果と考察

23項目について、主因子法・プロマックス回転による因子分析を行った。因子数に関していくつかの解を探索した結果、固有値の推移（第1因子から順に、8.72, 2.05, 1.29, 1.18, .94以下省略）ならびに解釈可能性から、4因子が最も適切な因子数と判断した。そこで、因子数を4に指定した上で、因子負荷が低い項目（「これから調べる事柄について、本やインターネットなどで情報を集める」、「問題を解決するためにどのような観察・実験をしたらよいか計画を立てる」、「1つの観察・実験で得られた結果が、他の条件でも成り立つか調べる」）や、複数の因子に負荷している項目（「観察・実験結果は予想と同じだったかチェックする」）を取り除き、最終的に残った19項目について、再度、主因子法・プロマックス回転による因子分析を行った。回転後の因子負荷量をTable 4-2に示す。

第1因子に高く負荷している項目を見てみると、観察・実験にあたり、自分が持っている知識を呼び出して仮説を立て、結果の予想をして、結果からその真偽を確かめようとする活動であることがわかる。第1因子は「仮説形成・評価」とした。第2因子は、観察・実験結果を記録したり、そこから何が言えるかを考えたりする活動が高く負荷したため、「結果まとめ」と名付けた。第3因子は、観察・実験結果を説明する仮説を新たに構築しようとする活動であり「概念形成」と命名した。最後に、第4因子に高く負荷している項目を見てみると、観察・実験に合った道具を選んだり、観察・実験の条件を制御したりする活動が該当している。第4因子は「観察・実験の計画と遂行」とした。なお、各因子の α 係数は、第1因子から順に、.85, .82, .72, .83と十分な値であり、尺度としての内的整合性は確認されたとと言える。

Table 4-2 科学的問題解決活動に関する質問紙の因子分析結果

項目	F I	F II	F III	F IV	共通性
・自分が立てた予想は、どういう理由で成り立つと思うか説明する	.79	.02	-.11	.01	.57
・自分の説明が間違えていた場合には、どのような結果になるか予想する	.73	.04	-.02	-.01	.54
・自分の考えた説明の他に、よい説明はないか考える	.65	-.13	.10	.17	.57
・予想の理由の説明におかしなところはないかチェックする	.57	-.06	.16	.00	.42
・観察や実験をする前に、どのような結果になるか予想する	.57	.24	-.15	-.02	.41
・理科で習ったことや、自分で勉強したことの中からこれから調べることがらに関係する情報を思い出す	.47	.05	.18	.04	.40
・観察・実験結果が予想と異なっていた場合には、予想の理由の説明のどこが間違っていたのか考える	.41	.13	.32	-.11	.43
・観察・実験結果を、図や表に表す	-.14	.82	.05	.07	.66
・観察・実験結果を、ことばや数値で記録する	-.02	.71	-.19	.07	.50
・観察・実験結果から、どんなことがわかったかまとめる	.09	.56	-.03	.13	.46
・観察・実験結果には、ばらつきがあることを考える	.18	.52	.12	-.01	.45
・いくつかの観察・実験結果を比べたり、関係づけたりする	.06	.46	.33	-.07	.41
・観察・実験結果を見直す	.22	.45	.15	-.02	.42
・観察・実験結果について、本やインターネットなどで情報を集める	-.12	-.01	.74	-.04	.44
・観察・実験結果の説明におかしなところはないかチェックする	.17	-.05	.58	.11	.53
・理科で習ったことや自分で勉強したことで、観察・実験結果を説明する	.27	-.01	.52	.08	.55
・調べたいものの条件を変えて、観察・実験する	-.04	.01	.09	.85	.76
・調べたいものの他は条件をそろえて、観察・実験する	.01	.19	.04	.68	.68
・観察・実験に合った道具を選ぶ	.15	.12	-.13	.59	.50
因子間相関	F I	F II	F III	F IV	
F I	—	.48	.54	.54	
F II		—	.29	.55	
F III			—	.38	
F IV				—	

以上のことから、科学的問題解決に必要な活動は学習者に4カテゴリーのものとして捉えられていることが明らかになった。調査1で用いた質問紙の基となった Klahr (2000) に代表される研究では、科学的問題解決に必要な活動は、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程に分けて整理されることが多かった。そのうち、「証拠の評価」としてまとめられていた活動が分かれて、「結果まとめ」や「概念形成」となり、「仮説の形成」とまとまって「仮説形成・評価」となった。学習者の認識に沿った形での分類が明らかとなったことにより、今後、どのような活動が遂行されにくいかを明確に把握し、指導目標を正確に定めることが期待できるようになったと言える。

4.3 調査2 科学的問題解決活動に対する教師の指導と有効性の認知が活動の遂行に及ぼす影響

4.3.1 目的

調査1で見出された19項目の科学的問題解決に必要な活動に関する質問紙調査を行い、以下の2点を検討する。

- (1) 活動カテゴリーや校種によって、問題解決活動を遂行している程度に違いが見られるか。
- (2) 問題解決活動を遂行している程度と、その活動を教師に指導されていると思う認知や有効だと思う認知とは関連するか。学習者の教師の指導に対する認知は、教師自身が指導していると考えている程度と一致しているかについても確認する。

4.3.2 方法

4.3.2.1 調査対象者

公立小学生351名（小5男子68名、女子78名、小6男子105名、女子100名）およびその理科担任教師10名（男性9名、女性1名。教職経験年数14年から32年、平均21.70年）。また、調査1とは別の公立中学生288名（中1男子78名、女子50名、中2男子65名、女子95名）、およびその理科担任教師5名（男性5名、女性0名。教職経験年数1年から28年、平均16.20年）。

4.3.2.2 調査内容

小中学生に対しては、これから「どのように理科の観察・実験を行っているか調べる」ことを伝え、調査1で見出された19項目の科学的問題解決に必要な活動に関し、「遂行の認知」、「教師の指導の認知」、「有効性の認知」の3観点から、各々5件法による評定を求めた。1つの観点について全項目に評定した後、次の観点で評定してもらう形式をとった。それぞれの観点に関する質問紙の教示を以下に示す。

- (1) 遂行の認知：「これらの観察・実験を通して問題を解くときの方法を、それぞれ、あなたは、どれくらい行っていますか？」。
- (2) 教師の指導の認知：「これらの観察・実験を通して問題を解くときの方法それぞれについて、あなたが授業を受けている理科の先生は、あなたに『行うように』とどれくらい言っていますか？」。
- (3) 有効性の認知：「これらの観察・実験を通して問題を解くときの方法は、それぞれ、観察・実験を通して問題を解くときに、どれくらい役に立つと思いますか？」。

教師に対しては、小中学生に示したものと同様の19項目について、「指導の認知」の観点から5件法による評定を求めた。質問紙の教示は以下の通りである。

- (1) 指導の認知：「これらの観察・実験を通して問題を解くときの方法それぞれについて、先生は、児童・生徒さん達に『行うように』とどれくらい指導されていますか？」。

4.3.2.3 調査手続き

小中学生には、調査内容を記した質問紙を、授業時間などを利用して一斉に配布し、回答してもらった。教師には、都合の良い時間に記入するよう依頼した。

4.3.3 結果と考察

4.3.3.1 科学的問題解決の構造の確認

まず、調査1で示された4因子構造が、小学生を含めた学習者に適用可能であるかを検討する必要がある。さらに、調査2では、遂行と教師の指導や有効性の認知との関連を明らかにするという目的から、全観点到共通の因子構造を想定して分析を進めていくことになるため、その想定が妥当かについても確認するべきであろう。そこで、調査2で、小中学生が、観察・実験を通した問題解決活動に関して評定した、「遂行の認知」、「教師の指導

の認知」, 「有効性の認知」の各観点での結果において, 調査1で得られた4因子構造を仮定して確認的因子分析(最尤法)を行った。観点ごとに, 算出された適合度を Table 4-3, 活動カテゴリーの α 係数を Table 4-4に示す。適合度では, GFI, AGFI, CFIがある程度高く, RMSEAは低い。また信頼性も十分に高いことから, 調査1で示された4因子構造を, 小学生を含めた学習者の上記3観点に仮定することの妥当性を保証すると言える。

4.3.3.2 活動カテゴリーや校種による遂行の認知の差異

各活動カテゴリーに分類された項目の「遂行の認知」得点の平均値と標準偏差を Table 4-5に, また平均値のグラフを Figure 4-1に示す。活動カテゴリーと校種による得点の平均値の差を検討するため, 活動カテゴリー(4:「仮説形成・評価」・「結果まとめ」・「概念形成」・「観察・実験の計画と遂行」)×校種(2:小学生・中学生)の, 活動カテゴリーを調査対象者内要因とする二要因混合計画分散分析を実施した。結果, 活動カテゴリーの主効果($F(3,1911)=354.47, p<.01$), 校種の主効果($F(1,637)=67.26, p<.01$), 交互作用効果($F(3,1911)=7.46, p<.01$)が有意であった。交互作用効果が有意であったことから, 各要因の単純主効果を分析した結果, Table 4-6に示す通りとなった。なお, 校種の各水準における活動カテゴリーの単純主効果については, Holm法による多重比較の結果, 小中学生いずれにおいても全ての活動カテゴリーの平均の差が有意であり($MSe=.29, p<.05$),

Table 4-3 確認的因子分析における観点ごとの適合度

	GFI	AGFI	CFI	RMSEA
遂行の認知	.91	.88	.92	.07
教師の指導の認知	.86	.81	.88	.09
有効性の認知	.91	.88	.94	.07

Table 4-4 各観点・活動カテゴリーごとの α 係数

	仮説形成・評価	結果まとめ	概念形成	観察・実験の 計画と遂行
遂行の認知	.85	.81	.78	.73
教師の指導の認知	.86	.86	.78	.84
有効性の認知	.89	.88	.80	.86

その大小関係は「観察・実験の計画と遂行」>「結果まとめ」>「仮説形成・評価」>「概念形成」であった。

Table 4-5 小・中学生の活動の遂行および指導や有効性の認知の平均値

	小学生 (n=351)			中学生 (n=288)		
	遂行の認知	教師の指導の認知	有効性の認知	遂行の認知	教師の指導の認知	有効性の認知
仮説形成・評価	3.36 (.74)	3.55 (.81)	3.70 (.76)	3.03 (.78)	3.10 (.74)	3.24 (.77)
結果まとめ	3.64 (.69)	3.88 (.77)	3.92 (.77)	3.33 (.76)	3.53 (.83)	3.59 (.78)
概念形成	3.07 (.89)	3.34 (.96)	3.63 (.90)	2.51 (.82)	2.71 (.84)	3.13 (.86)
観察・実験の 計画と遂行	3.98 (.83)	4.13 (.85)	4.06 (.86)	3.49 (.87)	3.68 (.91)	3.54 (.86)

上段が平均値，() 内が標準偏差

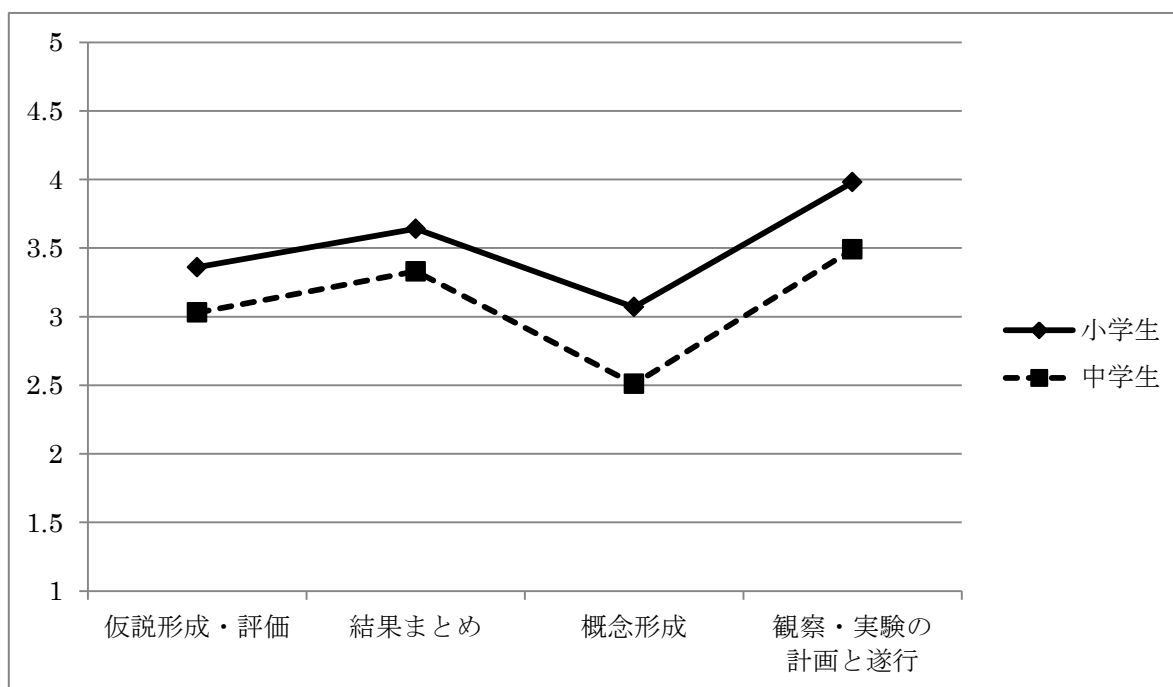


Figure 4-1 小・中学生の遂行の認知の平均値

Table 4-6 校種×活動カテゴリーの交互作用の分析表

要因	SS	df	MS	F
校種 at 仮説形成・評価	17.32	1	17.32	30.36**
(対象者 at 仮説形成・評価)	363.39	637	.57)	
校種 at 結果まとめ	16.00	1	16.00	30.55**
(対象者 at 結果まとめ)	333.72	637	.52)	
校種 at 概念形成	48.97	1	48.97	66.00**
(対象者 at 概念形成)	472.66	637	.74)	
校種 at 観察・実験の計画と遂行	37.47	1	37.47	51.78**
(対象者 at 観察・実験の計画と遂行)	460.99	637	.72)	
活動カテゴリー at 小学生	142.92	3	47.64	163.03**
活動カテゴリー at 中学生	174.37	3	58.12	198.90**
(対象者 × 活動カテゴリー)	558.43	1911	.29)	

** $p < .01$, * $p < .05$, † $p < .10$

4.3.3.3 遂行と教師の指導や有効性の認知との関連

各活動カテゴリーについて、小中学生別に、教師の指導の認知および有効性の認知を独立変数、遂行の認知を従属変数とする重回帰分析を行った。各変数間の相関は Table 4-7 に、重相関係数、調整済み決定係数および標準偏回帰係数は Table 4-8 に示す。全活動カテゴリーにおいて、小中学生ともに、回帰式は 1%水準で有意であり、標準偏回帰係数も、教師の指導の認知と有効性の認知ともに、1%水準で有意であった。教師の指導や有効性が高く認知される活動ほど、遂行されやすいと言える。

なお、指導における教師評定の結果は Table 4-9 と Figure 4-2 に示す通りであった。その得点の傾向は、学習者の評定と概ね一致している。活動カテゴリー（4:「仮説形成・評価」・「結果まとめ」・「概念形成」・「観察・実験の計画と遂行」）×校種（2:小学生・中学生）の、活動カテゴリーを調査対象者内要因とする二要因混合計画分散分析の結果は、活動カテゴリーの主効果のみが有意であり（ $F(3,39)=13.26$, $p < .01$ ）、校種の主効果（ $F(1,13)=.58$, n.s.）、交互作用効果（ $F(1,13)=.78$, n.s.）は有意でなかった。活動カテゴリーの主効果が有意であったことから、Holm 法による多重比較を行ったところ、「概念形成」カテゴリーの平均が他の 3つのカテゴリーの平均よりも有意に小さかった（ $MSe=.30$,

$p<.05$)。

Table 4-7 各活動カテゴリーの3つの観点間の相関行列

(左下三角は小学生・右上三角は中学生)

仮説形成・評価

	遂行の認知	教師の指導の認知	有効性の認知
遂行の認知	—	.67**	.60**
教師の指導の認知	.69**	—	.62**
有効性の認知	.60**	.63**	—

結果まとめ

	遂行の認知	教師の指導の認知	有効性の認知
遂行の認知	—	.62**	.62**
教師の指導の認知	.68**	—	.65**
有効性の認知	.62**	.66**	—

概念形成

	遂行の認知	教師の指導の認知	有効性の認知
遂行の認知	—	.47**	.47**
教師の指導の認知	.65**	—	.38**
有効性の認知	.47**	.50**	—

観察・実験の計画と遂行

	遂行の認知	教師の指導の認知	有効性の認知
遂行の認知	—	.48**	.50**
教師の指導の認知	.62**	—	.54**
有効性の認知	.60**	.64**	—

** $p<.01$, * $p<.05$, † $p<.10$

Table 4-8 各活動カテゴリーの重回帰分析結果

	仮説形成・評価		結果まとめ		概念形成		観察・実験の 計画と遂行	
	小学生	中学生	小学生	中学生	小学生	中学生	小学生	中学生
教師の指導の認知	.52**	.48**	.47**	.39**	.55**	.34**	.39**	.30**
有効性の認知	.27**	.30**	.31**	.36**	.20**	.34**	.36**	.34**
重相関係数	.72	.71	.72	.68	.67	.56	.68	.56
調整済み決定係数	.52	.50	.51	.46	.45	.31	.45	.31

** $p < .01$, * $p < .05$, † $p < .10$

Table 4-9 小中学校教師の活動の指導の認知の平均値

	小学校教師 (n=10)	中学校教師 (n=5)
仮説形成・評価	3.61 (.70)	3.51 (.40)
結果まとめ	4.02 (.68)	4.07 (.36)
概念形成	3.10 (1.06)	2.60 (.49)
観察・実験の計画と遂行	4.17 (.72)	3.73 (.49)

上段が平均値, () 内が標準偏差

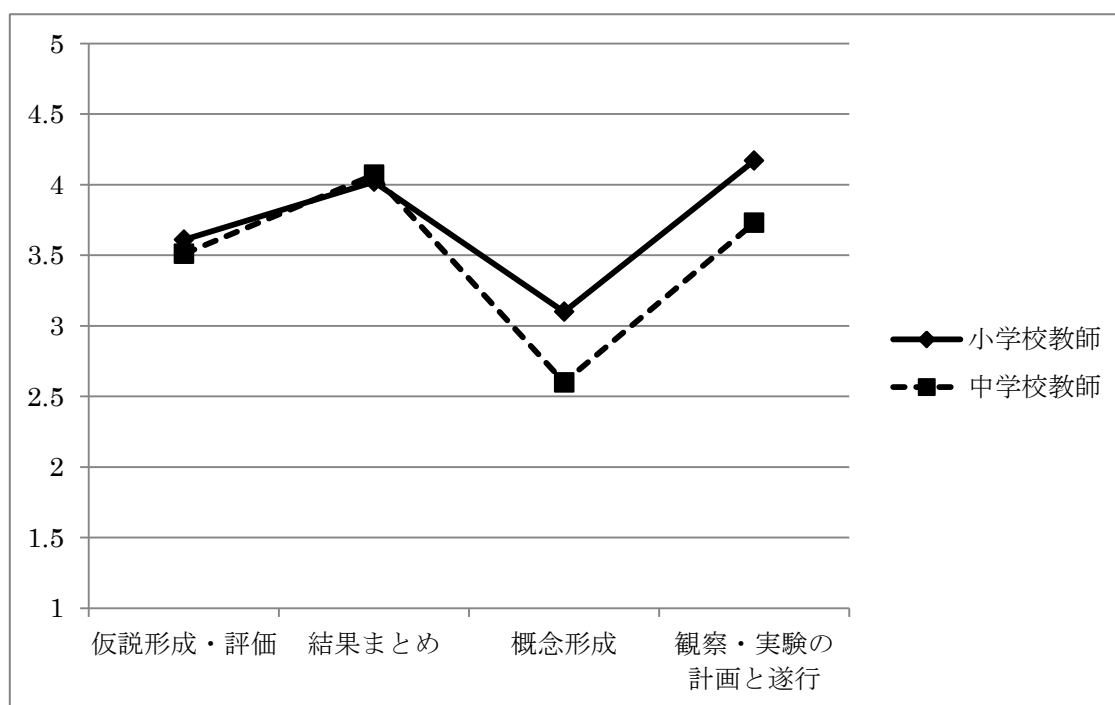


Figure 4-2 小中学校教師の活動の指導の認知の平均値

4.4 調査3 教師が仮説形成・評価活動や概念形成活動を指導しない理由

4.4.1 目的

教師が「指導していない」と回答する活動カテゴリについて、指導していない理由を探索的に調査する。

4.4.2 方法

4.4.2.1 調査対象者

調査2とは別の、公立小学校教師6名（男性3名，女性3名。教職経験年数1年から27年，平均15.00年），私立小学校教師1名（男性。教職経験年数22年）と，公立中学校の理科担当教師5名（男性3名，女性2名。教職経験年数1年から26年，平均13.40年）。小学校教師は全員5年生ないし6年生の理科授業を担当している。

4.4.2.2 調査内容

表計算ソフトを用いて，3つのシートで構成されるファイルを作成した。まず，問1と名付けた1つ目のシートには，調査1で見出された19項目の活動を示した。教師には，各項目に対し，「指導の認知」の観点から5件法による評価を行い，評価値を入力してもらった。問2と名付けた2つ目のシートにも，問1と同じ19項目の活動を示した。こちらのシートでは，教師には，各項目に対し，「有効性の認知」の観点から5件法による評価を行い，評価値を入力してもらった。問1・2のシートで評価値を入力すれば，問3と名付けた3つ目のシートには，19項目を調査1・2で見出された4カテゴリに分けて，各カテゴリの「指導の認知」の平均点と「有効性の認知」の平均点が，教師一人ひとり自動算出されるよう，予め数式を入力してある。そこで，問3と名付けたシートでは，教師には，各カテゴリについて，「有効性の認知」の平均点が4以上であった場合には「有効だと思う理由」を，4未満であった場合には「有効ではないと思う理由」を入力してもらった。さらに，「有効性の認知」の平均点が4以上であるにもかかわらず，「指導の認知」の平均点が4未満である場合には，「有効だと思いながらあまり指導していない理由」の入力も求めた。

4.4.2.3 調査手続き

ファイルをメールに添付して送信して、都合のよい時間に問1から順に入力し、返信するよう依頼した。

4.4.3 結果と考察

まず、活動カテゴリーごとに、「指導の認知」観点における平均点が4以上であった教師は高群、4未満であった教師は低群に分類した。「有効性の認知」観点においても同様である。2観点の高低によるクロス集計の結果をTable 4-10に示す。特に、「仮説形成・評価」と「概念形成」カテゴリーでは、「指導（低）」に分類された対象者が多く、その傾向は調査2の結果と同様である。

以下では、この2カテゴリーに着目して、教師の回答を検討していく。具体的には、まず、教師が回答した「有効ではないと思う理由」、「有効だと思う理由」、「有効だと思いながらあまり指導していない理由」それぞれについて、共通する回答をまとめてグループ化する。さらに、グループ同士の類似性を基に、可能な場合には上位グループを作成する。なお、筆者がグループと上位グループを作成して回答を分類した後、その信頼性を確認するために、行動科学専攻の大学生に、回答がどのグループにあてはまるかをコーディングしてもらった。筆者との一致率は88%であり、評価の信頼性は確保できたと考えられる。

Table 4-10 各活動カテゴリーの指導の認知と有効性の認知の高低による人数分布

	仮説形成・評価		結果まとめ		概念形成		観察・実験の計画と遂行	
	小学校教師	中学校教師	小学校教師	中学校教師	小学校教師	中学校教師	小学校教師	中学校教師
指導（高）・ 有効性（高）	1名	1名	6名	5名	2名	0名	5名	0名
指導（高）・ 有効性（低）	0名	0名	0名	0名	0名	0名	0名	0名
指導（低）・ 有効性（高）	6名	1名	1名	0名	4名	4名	2名	4名
指導（低）・ 有効性（低）	0名	3名	0名	0名	1名	1名	0名	1名

評価が異なったものについては協議の上、どのグループとするか決定した。

4.4.3.1 有効ではないと思う理由

「指導（低）・有効性（低）」に分類される教師は「有効ではないと思う理由」を回答している。その回答をグループ化したものを Table 4-11 に示す。「仮説形成・評価」や「概念形成」カテゴリーの活動は、授業時間が足りない、その時間内で指導する活動の優先順位を考えると、相対的に低い位置になるという趣旨の回答が得られ、その活動を行わせること自体が有効ではないという回答は見られなかった。

4.4.3.2 有効だと思う理由

次に、「指導（高）・有効性（高）」、「指導（低）・有効性（高）」に分類される教師が回答した「有効だと思う理由」をグループ化したものを Table 4-12 に示す。この回答は、グループ間に類似性が見られ、「問題解決する上での有用性」、「スキルとしての有用性」、「態度を形成する上での有用性」の上位グループにまとめられた。

第一に、「問題解決する上での有用性」に関して述べる。どのように「問題解決する上での有用性」があるかはカテゴリーで異なった。「仮説形成・評価」は、観察・実験を通して問題解決の際の考える枠組みとなること、既有知識と結び付けることで解答の説得力を高められることが挙げられている。「概念形成」では、わかったことを言語化することで、

Table 4-11 「仮説形成・評価」と「概念形成」活動が有効ではないと思う理由

回答（例）	回答者数（該当者中の割合）	
	小学校教師	中学校教師
仮説形成・評価		
【時間が足りない】（予想の時点で理由や説明に時間をかける余裕がない）	—	2名 (67%)
【限られた時間の中での優先順位は低い】（限られた時間を仮説の評価に当てるとかという観点で、そこに時間をとることは有効ではない）	—	1名 (33%)
概念形成		
【時間が足りない】（新たな知識の構築まで授業でやっていると余裕がない）	—	1名 (100%)
無回答	1名 (100%)	—

Table 4-12 「仮説形成・評価」と「概念形成」活動が有効であると思う理由

(注 複数回答あり。)

回答 (例)	回答者数 (該当者中の割合)		
	小学校教師	中学校教師	
仮説形成・評価 問題解決 する上で	【考える枠組みとなる】(観察・実験の視点を 持って活動に取り組むことを保障する)	4名 (57%)	1名 (50%)
	【既有知識と結び付く】(既習事項を取り入れ て説明をすることによって、説得力が高まる)	2名 (29%)	1名 (50%)
	スキルとして 【実生活で生きるスキルである】(この活動 は、実生活に頻繁に活用する)	1名 (14%)	0名 (0%)
態度を形成 する上で	【主体性を促す】(実験の主体者であるとの自 覚を促す)	1名 (14%)	0名 (0%)
概念形成 問題解決 する上で	【知識が定着する】(わかったことを言語化す ることで、理解を確かにし、思考を深める)	3名 (50%)	3名 (75%)
	スキルとして 【科学的に重要なスキルである】(既存の知識 から、新規の知識を生み出すことは必要)	2名 (33%)	1名 (25%)
	【説明する力がつく】(正確に内容を伝える力 がつく)	1名 (17%)	0名 (0%)
	態度を形成 する上で	【主体性を促す】(自主的に学習を進める態度 を育てる)	1名 (17%)

思考が深まるために有効であるとの意見が挙げられている。

第二に、「スキルとしての有用性」と「態度を形成する上での有用性」について述べる。これらは、「問題を解くときに有効だと思う理由」に対する回答として想定していたものとは、やや異なった。まず、「スキルとしての有用性」では、「何故、問題を解くときに有効か」ではなく、「何故、その活動を指導することが有効か」という「指導すること(授業でその活動を取り上げる)の有用性」が回答されている。その活動が、科学的に重要であるのみならず、実生活で生かせたり、説明力の育成につながったりと、観察・実験を通して問題を解く場面を越えて応用可能性が高いために、(指導することが)有効であると言う。次に、「態度を形成する上での有用性」は、その活動を通して、学習者が学習内容に関

心を持ち、自ら問題解決に取り組もうとする態度を形成するために有効であるとの回答になる。態度は、問題解決などの思考や知識の獲得等と相互に関連し合うものとして重要である。したがって、「スキルとしての有用性」のように、態度の形成自体が重要であるので、その指導をすることが有効だ、もしくは、問題解決に関連する、言い換えれば、間接的に良い影響を与えるので有効だという回答と推察される。

4.4.3.3 有効だと思いながらあまり指導していない理由

続いて、「有効性の認知」が高いにも関わらず「指導の認知」は低い場合がある理由について検討した。「指導（低）・有効性（高）」に分類された教師の「有効だと思いながらあまり指導していない理由」への回答をグループ化したものを Table 4-13 に示す。2 カテゴリーに共通して見られる理由に、限られた時間の中での優先順位は低いというものがある。また、「仮説形成・評価」の回答「結果を出したとき、誤りや説明がつかない場面に直面したら、その時にこうした活動を通せばよい」にあるように、常に行わせないのではなく、必要に応じて指導する工夫をする教師がいることがわかる。なお、こうした指導の工夫の重要性については、「指導方法の勉強不足」といった回答からもうかがえた。

4.5 考察

研究1では、小中学生の科学問題解決活動の実態を明らかにし、活動を促す指導の提案に向けた示唆を導くことを目的として、3つの調査を行った。調査1では、中学生に科学的問題解決に必要な活動の遂行の程度を尋ねる質問紙調査を実施して、因子分析を行い、活動を「仮説形成・評価」、「結果まとめ」、「概念形成」、「観察・実験の計画と遂行」の4カテゴリーに分類した。これまでの研究では、科学的問題解決に必要な活動は、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程に分けて整理されることが多かった（e.g., Klahr, 2000）が、この調査1で、学習者の認識にそった形での分類を示したことにより、今後、どのような活動が遂行されにくいかを明確に把握し、指導目標を正確に定めることが期待できるようになった。

調査2・3では、調査1で見出されたカテゴリーを用いて調査を進めた。その結果、まず調査2では、小中学生ともに「観察・実験の計画と遂行」、「結果まとめ」、「仮説形成・評価」、「概念形成」の順によく行っていること、また、遂行の程度は、その活動に対する教師の指導や有効性の認知と関連することを示した。学習者が目的意識を持って意図的に

**Table 4-13 「仮説形成・評価」と「概念形成」活動が
有効であると思いながらあまり指導していない理由**

回答（例）	回答者数（該当者中の割合）		
	小学校教師	中学校教師	
仮説形成・評価	【限られた授業時間の中での優先順位は低い】（どこを削るか考えたとき、実験・考察は削りたくないのに、必然的に仮説の場면을減らす）	3名 (50%)	0名 (0%)
	【十分な時間が取れないならやらない方がよい】（予想を吟味する時間が取れない、根拠のない中途半端な予想ならしない方がマシだと思う）	0名 (0%)	1名 (100%)
	【必要ではない場合もある】（結果を出したとき、誤りや説明がつかない場面に直面したら、その時にこうした活動を通せばよい）	1名 (17%)	0名 (0%)
	【指導方法の勉強が不足していた】（指導方法の勉強不足。今回問われて「有効である」と思ったが、今までは意識することがなかった）	2名 (33%)	0名 (0%)
概念形成	【限られた授業時間の中での優先順位は低い】（使える時数を踏まえると、そこまで手を広げたり子どもに促したりする余裕はない）	3名 (75%)	3名 (75%)
	【指導方法の勉強が不足していた】（指導方法の勉強不足。今回問われて「有効である」と思ったが、今までは意識することがなかった）	1名 (25%)	0名 (0%)
	【設備が不足している】（施設面の整備が課題）	0名 (0%)	1名 (25%)

行う活動である学習方略を扱った研究においては、学習方略を使用しない理由として、まず、その方略に関する知識を持っていないことを挙げている（村山，2003；佐藤，1998）。さらに、佐藤（1998）では一般的な学習方略を用いて、村山（2003）では歴史の学習方略を用いて、その使用に有効性の認知が影響することを示している。本調査2では、科学的問題解決に必要な活動においても、その遂行が、知識を与えること、すなわち教師の指導

や、有効性の認知に影響されることが示され、学習方略研究の方向性に一定の支持を与える結果が得られたと言えるだろう。

さらに調査 3 では、「仮説形成・評価」や「概念形成」活動は、小中学校教師に限られた時間の中での優先順位は低いとみなされ、あまり指導されない場合があること、しかしながら、教師はそうした活動の有効性を認め、限られた時間内でも必要な場合を見極めて指導する工夫の必要性を認識していることが示唆された。調査 3 は、探索的に調査することを目的としたため、量・回答内容ともに多少負担のかかる調査を、少人数に実施している。したがって、結果として得られたものが全てとは言えないが、各活動をあまり指導していない教師が存在し、その理由が明らかになったことは、今後につながる有益な知見であると考えられる。

以上、研究 1 の結果から、特に「仮説形成・評価」や「概念形成」活動を促す必要があること、そのための指導法を提案する必要性が推察された。

第 3 部

仮説評価活動への介入研究

第5章 研究2

仮説評価スキーマ教示と協同活動が

科学的問題解決に及ぼす影響

第2部では、小中学生の科学的問題解決の実態について調査し、その結果を報告した。主要な結果として、科学的問題解決に必要な活動は、「仮説形成・評価」、「結果まとめ」、「概念形成」、「観察・実験の計画と遂行」の4カテゴリーに分類できることが示された。さらに、小中学生は「観察・実験の計画と遂行」、「結果まとめ」、「仮説形成・評価」、「概念形成」の順によく行っていることが示された。これらの結果から、特に「仮説形成・評価」や「概念形成」活動を促す指導法を提案する必要性が推察された。このことは、これまでの研究から、人は仮説評価活動や概念形成活動に失敗しやすいことが明らかとなっていることを受け、それを克服する指導法の提案を目指そうとする本論文が、実際の教育場面でも重要であることを示唆する。

これを受けて、第3部では、まず、仮説評価活動を促す指導法の提案を行う。具体的には、第5章で、指導法の提案をし、心理学実験の手法を用いて指導法の効果が生じる過程の検討を、第6章で、実験授業を行って効果の実践的検討を行う。

5.1 問題と目的

科学的問題解決を、そのメカニズムに着目してモデル化した Klahr (2000) の SDDS、そして、仮説評価活動を促す必要性については、2.1節で詳しく述べたが、ここで改めて概説する。

SDDS では、科学的問題解決の「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程のうち、仮説の形成過程と観察・実験の計画と遂行過程を、各々、仮説空間の探索、実験空間の探索と呼び、その働きを定義している。すなわち、仮説空間の探索とは、様々な仮説を形成してはそのままらしさを評価すること（仮説の形成）であり、より簡潔で普遍的な仮説を形成するために行われるとする。一方、実験空間の探索は、

様々な実験を計画・実行すること（観察・実験の計画と遂行）であり、解釈可能な実験結果を求めて行われることであるとする。さらに、科学的問題解決の3つの過程のうち残された1過程である証拠の評価を、仮説空間の探索と実験空間の探索の2つをつなぎあわせる働きを持つものとして位置付け、重視する。具体的には、観察・実験で得られた様々な結果が、その時点で形成されている仮説を保持または棄却するのに十分であるかを判断した上で、次に進む過程を選択する働きをする。次に進む過程とは、(1) 証拠が不十分であるから、さらに実験空間を探索して、新たな観察・実験結果を得る、(2) 証拠が十分で、かつ、それが仮説を棄却するものであるから、仮説空間を探索して、新たな仮説を形成する、(3) 証拠が十分で、かつ、それが仮説を保持するものであるから、その仮説を最終解答として科学的問題解決を終了する、のいずれかである。すなわち、証拠の評価過程が、科学的問題解決の最終解答を決定することになり、重要というわけである。

しかし、Klahr (2000) では、重要性とともに、このような証拠に基づいて次に進む過程を正しく選択することがいかに困難かということについても指摘されている。具体的には、Klahr (2000) は、大学生に科学的問題解決に取り組みせ、その様子を観察した結果、仮説を保持する証拠が得られても仮説を棄却したり、仮説を棄却する証拠が得られても仮説を保持したりする場合があったことを示している。特に、仮説を棄却する証拠が得られても仮説を保持する場合は多く、仮説を棄却する証拠が得られたうちの56%にも及んだと言う。証拠の評価という過程は、証拠と仮説の照合であり、証拠が棄却されることもあれば、仮説が棄却されることもある。この証拠と仮説の評価関係を、証拠の側から呼んだものが「証拠の評価」であり、仮説の側から呼べば「仮説の評価」となる。先に述べた Klahr (2000) の実証研究の結果「特に、仮説を棄却する証拠が得られても仮説を保持する場合は多い」から考えると、人は概して証拠よりも仮説に甘く偏った評価をしがちであり、証拠の評価というよりは、「仮説の評価」に問題があると推察される。

こうした「仮説評価」の問題について、より詳細にうかがえる研究が Kuhn, Amsel, & O'Loughlin (1988) である。Kuhn, et al. (1988) は、まず、元気な子と風邪をひきがちの子がよく食べる野菜、飲み物、デザート、お菓子に関する証拠を示し、「野菜、飲み物、デザート、お菓子はそれぞれ風邪のひきやすさと関連があると結論づけられるか」と尋ねたところ、示された証拠に言及せずに結論を導いた人が多くいたことを示している。これは、証拠を基に仮説を評価する「仮説評価活動」そのものを行わないという問題である。仮説評価活動の重要性やその手続きを知らないのではないかと推察される。次に、Kuhn, et

al. (1988) は、示された証拠に言及して結論を導いた人の中にも、結論に誤りがあったことを示している。証拠を基に仮説を評価しているものの、証拠を客観的に見るなど、活動の適切性をモニターしコントロールすることができないという問題があることが推察される。

以上のことを整理すると、科学的問題解決を促進するために、(1) 仮説評価活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてその結果が不適切であるというモニター・コントロールの問題という、仮説評価活動に纏わる2つの問題を克服する必要があることが指摘できる。そこで、研究2では、以下の2つの指導を導入する。(1) 仮説評価活動の一連の手続きを教示して、それに基づいて活動するよう促すこと、さらに、(2) 協同活動の導入によって、活動の適切性をモニター・コントロールさせることである。

まず、仮説評価活動に関する知識の具体について説明する。先に述べたように、仮説評価活動とは証拠から仮説を保持したり棄却したりする活動であるから、その手続きには、仮説と証拠各々を明確にすること、その上で両者を照らし合わせる必要が織り込まれている必要がある。したがって、(1) 自分の仮説が正しいか確かめるためには、どのような観察・実験をしたらよいか（証拠収集の計画）、そして(2) どのような結果が得られたらよいか（予測）を明確にしておくこと、(3) 結果が得られたら、その結果を記録して（結果の観察）、(4) そこから自分の仮説は正しかったのかを振り返る（結果の解釈）ことを、具体的な手続きとして挙げる。この手続き的知識は「仮説評価スキーマ」と名付ける。

次に、協同活動の効果について説明する。協同活動の導入は、仮説評価活動の適切性をモニター・コントロールさせるための働きかけとして、理にかなったものであると考える。なぜなら、Miyake (1986) は、一般に問題解決を行うとき、協同で取り組むという状況は、メンバー一人ひとりの思考プロセスの外化を促し、外化された内容は、他のメンバーの意識的な再吟味を受けると指摘している。そして、それは、批判的な視点や考え方の生成を導くことを実証的に示してきた (Miyake, 1986; Shirouzu, Miyake, & Masukawa, 2002)。それならば、協同で科学的問題解決にあたる中で、一人が証拠から仮説を保持するか棄却するかを判断する際に誤ることがあっても、他のメンバーがその誤りに気づき、修正できると考える。

仮説評価スキーマの教示と協同活動の2つの指導を取り入れることによって科学的問題解決が促進されるのか、また、促進は、2つの指導が各々、想定している問題を克服する

からかについて検討を行うために、研究2では、科学的問題解決を要する micro-world 課題を用いて、(1) 教示（仮説評価スキーマ教示条件・統制条件）と (2) 問題解決形態（単独条件・協同条件）で構成される4群の遂行を比較する実験を行う。

ここで、課題として、科学的問題解決を要する micro-world 課題を用いる理由について述べておく。先に1.1節でも述べたように、心理学実験室で、参加者に何らかの課題を与え、観察・実験を通してその答えを導くよう求めて、活動を分析していく研究は、これまでも数多くなされてきた。それらの大半は、参加者に、科学的問題解決の3過程である「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」のうち、ある1過程もしくは2過程に特化した活動を求めるものであった。そうした研究は、各過程における活動を詳細に明らかにする上で非常に重要であるが、一方で、科学的問題解決の3つの過程が各々どのような働きをして解を導くのかという検討もまた必要である。この3過程の関わりも含めた科学的問題解決のメカニズムをモデル化したものが Klahr(2000)の SDDS であり、Klahr らによって科学的問題解決の全過程を通して解決されるような課題（micro-world 課題）が開発されている。なお、そうした課題を用いた研究では、個人の科学的問題解決過程に焦点を当てる（e.g., Dunbar, 1993; Klahr, 2000; Klahr, Fay, & Dunbar, 1993）のみならず、協同での科学的問題解決過程に焦点を当てることも行われている（e.g., Teasley, 1995; Okada & Simon, 1997）。Okada & Simon（1997）では、大学生を対象として協同条件と単独条件を比較する実験を行い、両条件の科学的問題解決結果のみならず、過程についても、問題解決中の発話や活動を基に詳細に検討した。結果として、協同条件では、対立仮説を考慮したり、また、証拠から仮説が保持されるかどうか判断したりといった説明活動が多く行われ、問題解決も促進されたことが明らかとなっている。科学的問題解決における協同の効果を明らかにした Okada & Simon（1997）の研究は、本研究（研究2）を行う上で非常に参考になる。Okada & Simon（1997）で見られたような協同活動の効果は、子どもを対象とした場合にも見られるのだろうか。証拠から仮説が保持されるかどうか判断することが重要だということやその手続きを学習する只中にある子どもには、活動の重要性や手続きに関する指導と協同を組み合わせることによって、一層の効果が生じるのではないだろうか。その場合、協同の役割をより詳細に見ていくことができるのではないか。

以上より、本研究（研究2）では、科学的問題解決を要する micro-world 課題を用いて実験を行う。仮説は、仮説評価スキーマ教示と協同活動の導入という2点を取り入れた指

導が有効であるというものであり，(1) 教示（仮説評価スキーマ教示条件・統制条件）と
 (2) 問題解決形態（単独条件・協同条件）で構成される4群の課題遂行を比較する。遂
 行成績のみならず，遂行中の発話や活動を基に遂行過程についても検討を行う。

5.2 方法

5.2.1 課題

Klahr らが，科学的問題解決過程を調べるために開発した micro-world 課題である Big Track 課題を用いる（e.g. Klahr, Fay, & Dunbar, 1993）。この課題では，パーソナルコンピュータ上に実験システムが構築される。Figure 5-1 はシステムの表示例である。コンピュータ上には，Big Track と呼ばれる宇宙船とキーパッドが表示され，Big Track はキーパッド上のキーで入力される指示通りに動く。実験参加者は，「繰り返し（RPT）」キーが意味する指示内容とは何かという問いに対する解答を導くことを求められる。

具体的には，この課題では，まず，繰り返しキー以外のキーが意味する指示内容が告げられる。繰り返しキー以外のキーには，「前進」・「後退」・「右回転」・「左回転」・「発砲」の5種類があり，どのキーも，1，2桁の数字と共に用いて，各動作を数字の回数分実行するという指示を出す。例として，「発砲+3=3回発砲する」などが挙げられる。また，キーは組み合わせて用いることが可能であり，組み合わせた指示の例としては「(発砲+3) + (前進+2) + (後退+1) = 3回発砲した後，2回前進し，その後1回後退する」などを挙げるができる。

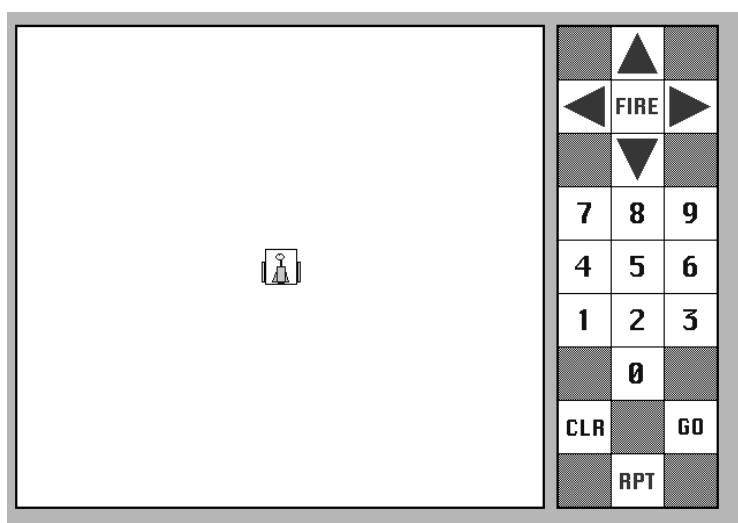


Figure 5-1 実験システムの表示例

繰り返しキー以外のキーについて学習した後、実験参加者は、繰り返しキーを提示され、その指示内容とは何かを尋ねられる。繰り返しキーは、他のキーと同様、1, 2桁の数字と共に用いる。しかし、他のキーとは異なり、必ず繰り返しキー以外のキーと組み合わせて用いること、その際には組み合わせの最後にのみ用いること、という2つの制限を課されている。

実験参加者は、繰り返しキーの指示内容に関する仮説を形成する。その際に、繰り返しキー以外のキーの指示内容を手がかりとして、「繰り返しキー+数字 n の指示内容は、全ての指示内容を n 回繰り返すものである」と考える傾向がある。しかし、正解は、「繰り返しキー+数字 n の指示内容は、最後から n 個分の指示内容をもう 1 回繰り返す」というものである（例として、「(発砲+3) + (前進+2) + (後退+1) + (繰り返し+2) = 3 回発砲, 2 回前進, 1 回後退, 2 回前進, 1 回後退」)。よって、正解に至るためには、形成した仮説を検証するために実験を行い、実験結果に従って自身の仮説を修正し、修正した仮説を検証するために再度実験を行うというプロセスを繰り返していかなければならない。ここで、実験とは、実験参加者がキーボード上のキーを用いて Big Track への指示を入力することを意味する。Big Track は指示内容に沿って動き、その動きが実験結果に相当する。

5.2.2 実験参加者

私立 E 中学の 2 年生 54 名が実験に参加した。各実験参加者は、2 (教示：仮説評価スキーマ教示条件・統制条件) × 2 (問題解決形態：単独条件・協同条件) で構成される 4 群に割り当てられた。仮説評価スキーマ教示・単独群 9 名、仮説評価スキーマ教示・協同群 9 組 18 名、統制・単独群 9 名、統制・協同群 9 組 18 名であった。なお、協同条件に割り当てられた実験参加者は、同性の友人同士で組を構成した。

5.2.3 条件

実験要因は、(1) 教示、(2) 問題解決形態である。

前者の要因に関しては、仮説評価スキーマ教示条件、統制条件を設定した。仮説評価スキーマ教示条件では、まず、科学的問題解決の達成を決定する局面としての仮説評価活動の重要性と、それを行う上で必要な一連の手続きを理解させるために、以下のような教示

を与えた。「ある事柄について自分がどう考えているかに関係なく、客観的な事実が存在します。自分の考えが正しいかどうかを、客観的な事実と比べて確かめることが大切です。事実を集める方法として実験がありますが、実験は、無計画に行うのではなく、次の2つのことに気をつけて行う必要があります。2つのこととは、(1) 自分の考えが正しいか確かめるためには、どのような実験をしたらよいのか(証拠収集の計画)、そしてどのような結果が得られたらよいのか(予測)を明確にして、実験を計画すること、(2) 結果が得られたら、その結果を記録して(結果の観察)、そこから自分の考えは正しかったのかを振り返る(結果の解釈)こと、です。」また、問題解決中に仮説評価スキーマに基づいた活動が省略されないように、各活動を経たか否かを問う質問文を書いた用紙(付録A)を与え、実験を1つ行う度に口頭で自問自答させた。質問文は、①「次に Big Track にどのような指示を出そうと思いますか。それはどうしてですか(証拠収集の計画)」、②「次の指示を出した結果、Big Track はどのように動くと予想できますか(予測)」、③「Big Track はどのように動きましたか(結果の観察)」、④「繰り返しキーと数字の指示で、Big Track はどのように動くと考えられますか(結果の解釈)」の4つである。一方、統制条件では、上述のような教示は行わずに、自由に問題解決に取り組むことを求めた。

後者の要因に関しては、個人で問題解決に取り組む単独条件と2人で一緒に取り組む協同条件を設定した。科学的問題解決のプロセスを捉えるために、単独条件には、問題解決中に考えたことや思ったこと、思い浮かべたことを全て言語化するよう教示した。そうした発話思考を可能にするために、本課題遂行の前に、発話思考の練習課題をおいた。練習課題は、本課題とは関連のない虫食い算であった。また、協同条件には、2人で十分話し合い、その合意で問題解決に取り組むよう教示した。それらの発話は、実験参加者の許可を得て全て録音された。

5.2.4 手続き

課題は、土曜日に、国立T大学の教室において、群ごとに集団的に実施した。その際、他の実験参加者または実験参加者組の発話に気を取られないよう、席の配置を考慮した。課題遂行の制限時間は、予備実験を基に20分間に設定された。課題遂行終了後には、教育的配慮から、全実験参加者に、本研究の目的、仮説評価スキーマの定義やそれに期待される効果と、協同に期待される効果、課題正答が説明された。

5.3 結果

5.3.1 課題成績

まず、それぞれの群における課題成績の比較を行う。

実験参加者の最終仮説を対象として、正解に一致しているかどうかを評価した。評価は、著者と教育心理学専攻の大学院生1名が独立に実施した。その後、評価の信頼性を検討するために評者間一致率を求めたところ、94%という値が得られた。よって、評価の信頼性は確保できたと考えられる。なお、評価が異なった部分に関しては、協議の上、最終的な評価を決定した。

最終仮説の評価の結果、正解に至った実験参加者は、仮説評価スキーマ教示・単独群で0名、仮説評価スキーマ教示・協同群で7組、統制・単独群で0名、統制・協同群で3組であった。群別に、正答率を算出して（Figure 5-2）、逆正弦変換法による検定を行った。結果、問題解決形態の主効果（ $\chi^2(1)=12.43, p<.01$ ）が有意であり、教示の主効果（ $\chi^2(1)=2.73, p<.10$ ）と、教示と問題解決形態の交互作用効果（ $\chi^2(1)=2.73, p<.10$ ）がそれぞれ有意傾向であった。交互作用効果が有意傾向であったことから、教示の各水準における問題解決形態の単純主効果の検定も行った。結果、仮説評価スキーマ教示条件においてのみ問題解決形態の主効果が有意であり、単独条件<協同条件となった（ $\chi^2(1)=13.41, p<.01$ ）。

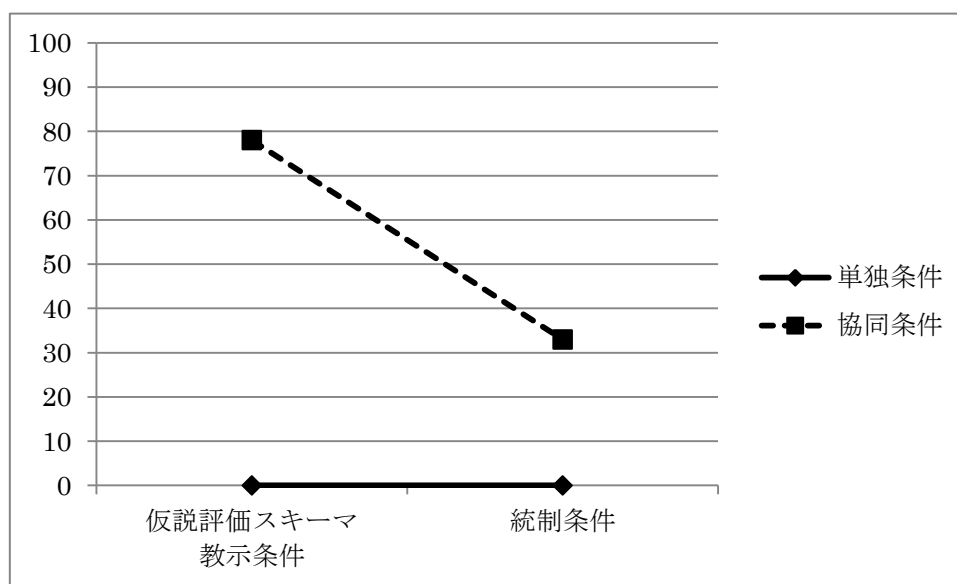


Figure 5-2 正解者の割合（群別）

このことから、仮説評価スキーマの教示の下、相談しながら協同で科学的問題解決に取り組むことで、正解を導きやすくなるということが出来る。

5.3.2 科学的問題解決プロセス

それでは、仮説評価スキーマを教示されて、協同で科学的問題解決に取り組んだ群は、実際にはどのようなプロセスを経て、発見に至ったのであろうか。この点について、問題解決時の発話と活動を用いて、検討を行った。まず、録音した発話を全て書き起こし、発話の空白や発話主体の切り替えを手がかりに分割した。平均発話数は、仮説評価スキーマ教示・単独群で 29.00 ($SD=12.89$)、仮説評価スキーマ教示・協同群で 132.22 ($SD=59.17$)、統制・単独群で 69.11 ($SD=63.98$)、統制・協同群で 212.33 ($SD=124.70$) であった。次に、分割された発話がそれぞれどのような活動を反映しているのかについてコード化を行った。コード化の各項目は、SDDS に沿って作成され、「証拠の評価」・「仮説空間の探索」の2カテゴリーに大別される。なお、教育心理学専攻の大学院生1名が、著者とは独立に、単独条件の4名分と協同条件の4組分の評定を行ったところ、評者間の一致率は83%であった。したがって、著者の評定結果には信頼性があると考え、それに基づいて検討を行った。また、「実験空間の探索」の様子については、コンピュータに入力された Big Track への指示記録を用いて、検討を行った (Table 5-1)。

5.3.2.1 証拠の評価

科学的問題解決においては証拠の評価が重要である (Klahr, 2000)。しかしながら、証拠の評価は困難であり、(1) 証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動が行われにくいという問題や、(2) 活動をしてその結果が不適切であるというモニターの問題があることが明らかになっている。そうした問題を克服するために、研究2では、仮説評価スキーマを教示する、そして、協同させるという2つの働きかけを行うことを提案した。仮説評価活動の生じにくさという問題は、仮説評価スキーマの教示で克服でき、協同することによって、証拠から不適切な判断を下してしまうという問題も克服できると考えたためである。したがって、まず、そうした働きかけが本当に有効であったかを明らかにする。

第1に、仮説評価活動が生じにくいという問題を克服できたかを検討した。検討の対象となったのは、仮説空間と実験空間の探索をつなぐという仮説評価活動の目的に合った活

動，すなわち（1）仮説を検証するために実験を計画した活動，および（2）結果から仮説の妥当性を検討した活動が生じたかである。（1）の活動は，「繰り返しキーと共に用いる数字の値を変えても，同じことが言えるかやってみる」などという発話に，（2）の活動は，「Big Track は～と動いたから，やっぱり～だと思おう」などの発話に反映されているものと捉えられる。したがって，各々，実験参加者がそうした発話をしながら行った実験の数は，その者が行った全ての実験数に対してどれくらいの割合かを分析した。各割合の群ごとの平均値と標準偏差を Table 5-1 に示す。分散分析の結果，（1）仮説を検証するために実験を計画した割合に関しては，有意な教示の主効果（ $F(1,32)=12.17, p<.01$ ）と，問題解決形態の主効果（ $F(1,32)=16.99, p<.01$ ）が確認され，それぞれ，統制条件<仮説評価スキーマ教示条件，単独条件<協同条件であった。また，（2）結果から仮説の妥当性を検討した割合に関しては，教示の主効果が有意であり，統制条件<仮説評価スキーマ教示条件となった（ $F(1,32)=19.29, p<.01$ ）。以上の分析から，仮説を検証するために実験を計画することは，協同するだけでも促進される。しかし，結果から仮説の妥当性を検討すると

Table 5-1 科学的問題解決プロセスに関する各変数の平均値（群別）

		教示条件		統制条件		
		単独条件 (<i>n</i> =9)	協同条件 (<i>n</i> =9)	単独条件 (<i>n</i> =9)	協同条件 (<i>n</i> =9)	
証 拠 の 評 価	仮説検証目的で 実験計画した割合(%)	54.11 (28.93)	74.22 (19.80)	16.89 (22.37)	59.00 (17.83)	
	結果から 仮説の妥当性を検討した割合(%)	57.00 (31.84)	75.78 (23.46)	29.11 (20.72)	34.11 (16.27)	
	反証的証拠に従って 仮説を棄却した割合(%)	42.43 (38.79)	87.50 (18.90)	41.88 (19.80)	46.32 (31.83)	
	仮 説 空 間 の 探 索	仮説を形成した回数	1.89 (0.60)	3.67 (1.58)	2.33 (0.87)	2.67 (1.32)
		実 験 空 間 の 探 索	実験を計画し実行した回数	9.33 (5.22)	8.33 (3.54)	17.78 (9.40)
正解を弁別できる結果が 生じる実験の実施割合(%)	22.06 (25.44)		28.72 (18.62)	16.56 (25.44)	23.92 (25.27)	

上段が平均値，（）内が標準偏差

いうことも含めて全体的な検討を行うと、仮説評価スキーマを教示することによって、仮説評価活動の生起確率が高められることが、確認できた。

第2に、活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題を克服できたかを検討した。この問題は、特に、反証的証拠が得られた時に仮説を保持してしまうという形で多く見られる (e.g., Chinn & Brewer, 1993; Klahr, 2000; Kuhn, Amsel, O'Loughlin, 1988)。したがって、各実験参加者の実験前にもっていた仮説に対して反証となる実験結果が得られた場合に着目し、反証的証拠に従って自身の仮説を棄却するという活動 (「Big Track は～と動いたから、繰り返しキーと数字の指示は～ではない」などの発話に反映されるもの) が生じるかを対象に分析した。Table 5-1 には、反証的証拠が得られた実験数のうち、結果を受けて仮説を棄却したと捉えられる発話 (例として、「間違っただ」、もしくは、他の仮説を形成する発話など) があつた実験数の割合の、群ごとの平均値と標準偏差を示す。分散分析の結果、有意な教示の主効果 ($F(1,30)=4.40, p<.05$) と、問題解決形態の主効果 ($F(1,30)=6.17, p<.05$) が確認され、交互作用効果 ($F(1,30)=4.14, p<.10$) に有意な傾向が見られた⁶。また、問題解決形態の単純主効果は、仮説評価スキーマ教示条件においてのみ確認され、単独条件<協同条件となった ($F(1,30)=10.21, p<.01$)。すなわち、仮説評価スキーマの教示の下で、協同で問題解決に取り組むことにより、反証的証拠を基にした適切な判断が下されやすくなると言える。さらに、仮説評価スキーマ教示・協同群以外の群では反証的証拠が得られても仮説を棄却しない場合が多い (Table 5-1 より、仮説評価スキーマ教示・単独群で 57.57%, 統制・単独条件で 58.12%, 統制・協同条件で 53.68%) が、その中でも群ごとに次のような特徴があることが推測された。すなわち、統制・単独群と統制・協同群の実験参加者は、実験結果を検討しないなど、反証的証拠を自分もっている仮説を検証する証拠として使用しようとしめない傾向がある (それぞれ反証的証拠に従って仮説を棄却できない場合の 74% と 59%)。一方、仮説評価スキーマ教示・単独群の実験参加者は、仮説を守るために反証的証拠を無視したり歪めて解釈したりするなど、反証的証拠の解釈に失敗する傾向の方が強い (反証的証拠に従って仮説を棄却できない場合の 70%)。したがって、仮説評価活動に積極的に取り組むことは非常に困難であり、また、仮説評価活動に取り組んだとしても、個人で取り組んだ場合には、反証的証拠を基にした判断を誤ってしまうということが改めて示唆された。

⁶ 仮説評価スキーマ教示・協同群における 1 組 2 名、統制・単独群における 1 名の実験参加者は、実験前にもっていた仮説に対して反証となる実験結果が得られた場合が存在しなかったため、本分析の対象から除外した。

以上を整理すると、仮説評価活動に関する2つの問題のうち、仮説評価活動自体の不足は仮説評価スキーマの教示で克服できることが明らかになった。また、仮説評価活動をしなくてもその結果が不適切であるというモニターの問題は、仮説評価スキーマの教示の下、協同で科学的問題解決に取り組むことによって克服できる。したがって、仮説評価活動に関する問題の克服法として、研究2で示した仮説評価スキーマを教示する、そして、協同させるという2つの働きかけが有効であることが示唆された。

5.3.2.2 仮説空間の探索

仮説評価活動により、反証的証拠から既存の仮説が棄却されると、次の活動として、新たな仮説空間の探索、すなわち、新仮説を形成することが必要となると推察される。そこで、仮説評価スキーマの教示の下で協同させた群では、どれくらい新仮説を形成していくことができたのかを検討した。

検討の対象となった活動は、これまでにない新たな仮説を形成するという活動であり、最終仮説に至るまでに新仮説を形成した発話（例として、「繰り返しキーと数字の指示は、～かもしれない」など）の数の、群毎の平均値を算出した（Table 5-1）。分散分析の結果、有意な問題解決形態の主効果（ $F(1,32)=7.48, p<.05$ ）が見られ、交互作用効果（ $F(1,32)=3.50, p<.10$ ）に有意な傾向が見られた。問題解決形態の単純主効果は、仮説評価スキーマ教示条件においてのみ確認され、単独条件<協同条件となった（ $F(1,32)=10.61, p<.01$ ）。

この結果から、仮説評価スキーマの教示の下で、協同で問題解決に取り組むことによって、より多くの仮説が形成されるようになったことが示唆された。

5.3.2.3 実験空間の探索

それでは、仮説評価スキーマを教示されて協同で科学的問題解決に取り組んだ群の実験空間の探索は、どのような特徴をもっていたのであろうか。最後に、この点について、検討していく。

第1に、実験空間の探索量、すなわち、どれくらい多くの実験を計画・実行したのかを検討した。検討の対象となった活動は、実験を計画し実行するという活動であり、最終仮説に至るまでにBig Trackへの指示を入力した回数の群毎の平均値を算出した（Table 5-1）。分散分析の結果、教示の主効果（ $F(1,32)=11.96, p<.01$ ）が有意であった。すなわち、仮説評価スキーマを教示することにより、実験を計画・実行する量は減少することが明らかになった。この結果は、仮説評価スキーマ教示条件においては、実験を1つ行う度に「予

測」や「結果の解釈」などという活動が求められたことを考慮すると、当然の結果であると言えるだろう。統制条件に比べ、1つの実験に関わる時間が長くなったために、実験数の減少が起こったと推察できる。

第2に、実験空間の探索の質を検討する。この検討は、以下に述べる Big Track 課題の性質に基づいて行われた。Big Track 課題では、実験を構築する次元のうち、「繰り返しキーと共に用いる数字」と「繰り返しキーより前に入力された指示の数」という2次元の組み合わせ方によって、結果が正解を弁別できる度合いに違いが生じる。具体的には、繰り返しキーと共に用いる数字が2以上で、かつ、繰り返しキーより前に入力された指示の数未満である場合には、正解以外の全ての仮説が反証される。しかし、そうでない場合は、不適切な仮説も確証される（例として、「(発砲+3) + (繰り返し+1) =6回発砲」は、「繰り返しキー+数字 n の指示内容は、全ての指示内容を n 回繰り返すものである」という仮説でも説明できる）。そこで、実験参加者の計画・実行した実験を、実験の質を対象として、分析した。上述の分析で全実験数に差が見られたことを考慮し、全実験数に対する正解を弁別できる結果が生じる実験数の割合の、群ごとの平均値を算出して (Table 5-1)、分散分析を行った。結果、群による違いは見られなかった。しかし、仮説評価スキーマ教示・協同群では、正解を弁別できる実験結果をより有効に使用していることが推測された。すなわち、仮説評価スキーマ教示・協同群の実験参加者は、自分もっている仮説を検証する目的で正解を弁別できる結果が生じる実験を計画したり、正解を弁別できる実験結果から仮説の妥当性を検討したりする傾向がある（それぞれ正解を弁別できる結果が生じる実験を実施した場合の77%と92%。なお、仮説評価スキーマ教示・単独群では65%と41%、統制・単独群では8%と59%、統制・協同群では50%と33%であった）。さらに、正解を弁別できる実験結果が、そのときもっていた仮説の反証的証拠であった場合には、仮説を棄却することもできる（正解を弁別できる実験結果が仮説の反証的証拠であった場合の83%。なお、仮説評価スキーマ教示・単独群では50%、統制・単独群では27%、統制・協同群では44%であった）。したがって、科学的問題解決を促進するために大切なことは、単に正解を弁別できる結果が生じる実験を数多く行うことではなく、そうした実験結果と仮説の適合を図ることであると推察される。仮説評価スキーマの教示の下で協同させるといふ働きかけによって、適切な仮説評価を促すことの有効性が改めて示唆された。

以上、実験空間の探索について整理すると、仮説評価スキーマを教示することで、実験

数が減少することが示唆された。しかし、そうした働きかけや協同することによる、実験空間の探索の質の向上は見られなかった。

5.3.2.4 課題成績と科学的問題解決プロセスの関連

科学的問題解決プロセスの検討から、仮説評価スキーマを教示する、そして、協同させるという2つの働きかけは、適切な仮説評価と、さらには、多くの仮説形成をも促すことが明らかとなった。その結果として、正解を導くことが推察される。この推察についてより明確な証拠を得るために、以下では、科学的問題解決プロセスの各局面と課題成績の関係を検討する。

科学的問題解決プロセスの検討に用いた各項目について、正解者・不正解者別の平均値を求めた (Table 5-2)。*t* 検定の結果、仮説を検証するために実験を計画した活動の割合、

Table 5-2 科学的問題解決プロセスに関する各変数の平均値 (正解者・不正解者別)

		正解者 (<i>n</i> =10)	不正解者 (<i>n</i> =26)	<i>t</i> 値
証拠の評価	仮説検証目的で実験計画した割合(%)	69.80 (21.90)	43.85 (30.45)	<i>t</i> (34)=2.45*
	結果から仮説の妥当性を検討した割合(%)	64.90 (29.89)	42.89 (27.64)	<i>t</i> (34)=2.09*
	反証的証拠に従って仮説を棄却した割合(%)	79.63 (21.29)	44.67 (32.63)	<i>t</i> (32)=2.99**7
仮説空間の探索	仮説を形成した回数	3.10 (1.29)	2.46 (1.27)	<i>t</i> (34)=1.34
実験空間の探索	実験を計画し実行した回数	9.70 (5.62)	14.73 (9.41)	<i>t</i> (34)=1.58
	正解を弁別できる結果が生じる実験の実施割合(%)	35.39 (23.06)	17.99 (21.71)	<i>t</i> (34)=2.57*

上段が平均値、() 内が標準偏差 ***p*<.01, **p*<.05, † *p*<.10

7 正解者である仮説評価スキーマ教示・協同群における1組2名、不正解者である統制・単独群における1名の実験参加者は、実験前にもっていた仮説に対して反証となる実験結果が得られた場合が存在しなかったため、本分析の対象から除外した。

結果から仮説の妥当性を検討した活動の割合，反証的証拠に従って仮説を棄却した割合，正解を弁別できる結果が生じる実験の実施割合の4項目について，正解者の方が，有意に出現割合が高かった。

ここで，前3変数の出現割合が正解者で高いことは妥当な結果である。注目すべきは，正解を弁別できる結果が生じる実験の実施割合が正解者で有意に高いことである。なぜなら，正解を弁別できる結果が生じる実験を計画・実行する割合は，仮説評価スキーマの教示の下で協同させる働きかけによっては高まらないからである。にもかかわらず，課題成績に影響するのであれば，働きかけに不足がある可能性が考えられる。

しかし，この結果からだけでは，正解を弁別できる結果が生じる実験を多く行うことが正解を導くのか，逆に，一旦正解に一致した仮説を形成すると，それに対する確信度を高めるために適切な実験を行うのかを結論づけることはできない。そこで，科学的問題解決プロセスの検討に用いた各項目について，正解者が正解に一致した仮説を形成した時点以前に限定した値を算出し，不正解者のそれと比較した（Table 5-3）。*t*検定の結果，仮説を検証するために実験を計画した活動の割合，結果から仮説の妥当性を検討した活動の割合，反証的証拠に従って仮説を棄却した割合の3項目については，正解者の方が有意に出現割合が高かったが，正解を弁別できる結果が生じる実験の実施割合に関しては，有意な差は見られなかった。先の分析で見られた，正解を弁別できる結果が生じる実験の実施割合と課題成績との関係は，正解者が，正解に一致した仮説を形成した後で，それを確かめるために適切な実験を行うことによって生じたものであると解釈できる。したがって，科学的問題解決を促進する条件は，正解を弁別できる結果が生じる実験を多く行うことではなく，適切な仮説評価を行うことであると言えよう。適切な仮説評価は，仮説評価スキーマの教示の下で協同させるという働きかけで促進されることが示されており，その働きかけの有効性が，改めて確認された。なお，実験を計画し実行した回数についても有意差が見られたが，これは，正解者の科学的問題解決プロセスを正解に一致した仮説を形成した時点以前に限ったために，その実験数が減少したことを考慮すると，当然の結果と言えるだろう。

以上の結果から，仮説評価スキーマを教示する，そして，協同させるという2つの働きかけは，適切な仮説評価を促すというプロセスを経て，科学的問題解決を促すことが支持された。

Table 5-3 科学的問題解決プロセスに関する各変数の平均値

		(正解者の正解前・不正解者別)		
		正解者の 正解前 (n=10)	不正解者 (n=26)	t 値
証拠の 評価	仮説検証目的で実験計画した割合(%)	65.90 (17.94)	43.85 (30.45)	t (34)=2.14*
	結果から仮説の妥当性を検討した割合(%)	73.40 (27.46)	42.89 (27.64)	t (34)2.97**
	反証的証拠に従って仮説を棄却した割合(%)	78.70 (21.70)	44.67 (32.63)	t (32)=2.90** ⁸
仮説空間 の探索	仮説を形成した回数	2.10 (1.29)	2.46 (1.27)	t (34)=0.76
実験空間 の探索	実験を計画し実行した回数	7.10 (5.04)	14.73 (9.42)	t (34)=2.42*
	正解を弁別できる結果が 生じる実験の実施割合(%)	25.30 (20.84)	17.99 (21.71)	t (34)=1.31

上段が平均値，() 内が標準偏差 ** $p<.01$, * $p<.05$, † $p<.10$

5.4 考察

研究 2 では、科学的問題解決過程において、(1) 仮説評価活動の一連の手続き的知識である「仮説評価スキーマ」を教示して、それに基づいて活動するよう促すこと、さらに、(2) 協同活動の導入によって、活動の適切性もモニター・コントロールさせることの 2 点を取り入れた指導が有効であるかを検討した。その結果、仮説評価スキーマの教示の下で、協同で科学的問題解決に取り組んだときに、正解に至りやすくなるという結果が得られた。

また、仮説評価スキーマの教示の下、協同で科学的問題解決に取り組むことによって、

⁸ 正解者である仮説評価スキーマ教示・協同群における 1 組 2 名、不正解者である統制・単独群における 1 名の実験参加者は、実験前にもっていた仮説に対して反証となる実験結果が得られた場合が存在しなかったため、本分析の対象から除外した。

正解に至るプロセスは、以下のようになることが示唆された。まず、仮説評価スキーマの教示によって、仮説評価活動の生起確率が高められる。仮説評価スキーマとは、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動を行う上で必要な一連の手続きを時系列に沿ってまとめたものであり、仮説と証拠各々を明確にすることと、その上で両者を照らし合わせる事が織り込まれている。具体的には、証拠収集の計画、予測、結果の観察、結果の解釈の4つの手続きからなる。次に、仮説評価スキーマ教示によって仮説評価活動を行う際、協同で取り組むことによって、反証的証拠の適切な解釈が促進される。この効果は、協同するという状況においては、メタ認知的な活動が他のメンバーによっても担われ、十分に機能する（e.g., 清河, 2002; Miyake, 1986）ことによるものと考えられよう。

以上のように、科学的問題解決過程において、(1) 仮説評価活動の一連の手続き的知識である「仮説評価スキーマ」を教示して、それに基づいて活動するよう促すこと、さらに、(2) 協同活動の導入によって、活動の適切性もモニター・コントロールさせることの2点を取り入れた指導の有効性を示したことは、理科教育学や心理学における授業・指導法開発研究や、教育実践への示唆が大きいと言える。しかし、研究2の心理学実験という場面は、やはり実践場面とは異なる。したがって、今後は、実際の授業場面を用いて、指導の効果の実践的効果を検討する必要があるだろう。

第6章 研究3

仮説評価スキーマ教示と協同活動が

科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上に及ぼす影響

第5章では、科学的問題解決過程において、(1) 仮説評価活動の一連の手続き的知識である「仮説評価スキーマ」を教示して、それに基づいて活動するよう促すこと、さらに、(2) 協同活動の導入によって、活動の適切性もモニター・コントロールさせることの2点を取り入れた指導が有効であることを、心理学実験の手法を用いて明らかにした。心理学実験の利点の一つに、統制された状況下で実験参加者の活動を詳細に観察できることがある。そのため、第5章では、仮説評価スキーマの教示と協同活動の導入に効果があったということのみならず、効果がどのように生じるのかといったプロセスも明かされた。具体的には、仮説評価スキーマの教示によって、証拠から仮説を保持したり棄却したりする活動が多く生じるようになること、その上で、協同で活動に取り組むことによって、反証的証拠をもとに誤った仮説を適切に棄却できるようになることが示された。

しかしながら、実験室における科学的問題解決状況は、実際の教育場面で生じる状況の一部を取り出して模したものに過ぎない。そこで、第6章では、仮説評価スキーマの教示と協同活動の導入の効果が、実際の教育場面でも見られるかについて検討を行う。

6.1 問題と目的

研究3では、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を、実際の理科授業で実施し、実践としての効果を検討する。具体的には、従来の指導法との比較を、科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上という観点から試みる。以下、比較対象とする従来の指導法と、指導法の効果を評価する観点について、概説する。

まず、比較対象とする従来の指導法について述べる。それに先立ち、改めて確認すると、科学的問題解決において証拠の評価過程は困難であり、その一因として、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動の問題点が指摘されている (e.g., Chinn &

Brewer, 1993; Klahr, 2000; Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1988)。具体的には、(1) 仮説評価活動自体が行われにくい、すなわち、活動の重要性や手続きを知らないという問題 (e.g., Chinn & Brewer, 1993; Kuhn, et. al., 1988) と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に分けられる (e.g., Kuhn, et. al., 1988)。こうした問題を克服するために、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を提案する。仮説評価スキーマの教示とは、仮説評価手続きに関する知識の教示であり、仮説評価を行うためには仮説と証拠を各々明確にすること、その上で両者を照らし合わせる必要があると考えられることから、(1) 自分の仮説が正しいか確かめるためには、どのような観察・実験をしたらよいか (証拠収集の計画)、(2) どのような結果が得られたらよいか (予測) を明確にしておくこと、そして、(3) 結果が得られたら、その結果を記録して (結果の観察)、(4) そこから自分の仮説は正しかったのかを振り返る (結果の解釈) ことの4つの手続きを教示する。この教示によって、先に述べた、仮説評価活動の問題点(1) 仮説評価活動自体が行われにくいという問題の克服を試みる。また、協同活動の導入によって、仮説評価活動の問題点(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題を克服しようとする。その根拠として、一般に問題解決を行うとき、協同で取り組むという状況では、メタ認知的な活動が他のメンバーによっても担われ、十分に機能すると言われる (e.g., 清河, 2002; Miyake, 1986) ことが挙げられる。

こうした仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の比較対象とすべく、従来どのような指導法が行われてきたかについて、理科授業における科学的問題解決の位置付けを基に概観する。教育場面において「問題解決」は頻出する用語の一つである。特に、1990年代、いわゆる「ゆとり教育：知識重視型の詰め込み教育ではなく、経験重視のゆとりある教育」が目指された時代には、「指導より支援」、「子ども主体」などと並んで「問題解決」もキーワードとなっていた。市川(2008)によれば、その当時は、新しい概念については、教師はあまり教えずに、学習者に具体的操作活動を行わせて、そこから帰納的に導かせようとする授業が多く見られたという。理科授業において考えれば、学習者に科学的問題解決を行わせて、自力で科学的概念を導くことを期待する授業が行われたということであろう。しかしながら、学習者の自力解決に頼るだけでは、問題解決過程で行き詰まりが生じる可能性が高く、十分な学習効果は得られないのが事実である。前出の市川(2008)は、学習者の自力解決では、正解にたどりつけず、基礎的な科学的概念が理解できない学習者が大量に生まれやすいことを指摘している。さらに、別の著書(市川, 2004)

では、観察・実験を通してどのようなスキルが身についたのか実感が持てないことも問題としている。他、小川（1988）も、観察・実験において、学習者の意識はその具体的操作のみに集中しやすいこと、そのため、観察・実験の結果が何を意味するのか分からなくなってしまうと懸念している。

こうした「自力問題解決」を取り入れた授業の対極には、それを奨励するゆとり教育が問題とみなした「知識重視型の詰め込み教育」における授業がある。観察・実験を行うとしても、その帰結として理解すべき科学的概念と、そのみならず、科学的概念に至る模範的な過程までも、教師から一方的に教えられるという授業が考えられよう。なるほど、こうした授業であれば、学習者はその解決過程で行き詰ることはない。しかしながら、こうした授業においては、観察・実験は、もはや問題解決の方法ではなく、教師の説明の手段である。観察・実験を通して科学的に調べるスキルを学習しているという実感は得られにくいだろう（庄司，1965）。また、学習者は、教師に教えられた科学的概念を理解したように見えていても、教えられる際に自力問題解決で生じるような情緒的な記銘や知的興味の上昇は生じにくいと、把持率は低いとの指摘もなされている（田口，1978）。

以上のことから、自力問題解決か模範的問題解決過程の教示かといった対立ではなく、学習者が主体となって科学的問題解決に取り組める程度に、教師が教授する指導法を検討していく必要があることがうかがえる。こうした問題意識に対処できるのが、先に、第2章で概観した、理科教育学研究や心理学研究において提案されている指導法であろう。中でも、Chinn & Malhorta（2002）は、学習者が主体となって科学的問題解決に取り組むときにつまずきやすい仮説評価活動の促進を目指して指導を行った。その方法は、学習者の持つ仮説に対して反証となる証拠が得られた時に、学習者がそれを歪めて認識してしまうことを防ぐため、予め様々な結果が生じうることを考慮し、そのそれぞれに応じて結論が異なることを理解しておくことの大切さを教授することをねらったものであった。こうした「予め様々な結果が生じうること、そのそれぞれに応じて結論が異なることを理解しておくこと」を重視した指導は、他でも見ることができる。具体的には、板倉が創始した仮説実験授業においては、観察・実験を行うにあたり、その結果を予想して、予想を立てた理由についてしっかり討論しておけば、観察・実験の結果何がわかったかは明らかだという考え方に立って、観察・実験結果を予想する活動を重視する（板倉・上廻，1965）。さらに、実際の理科教育場面においても、観察・実験結果を予想する活動が重視されているという調査結果が見られる（木下・松浦・清水・寺本・角屋，2012）。しかしながら、

Chinn & Marhorta (2002) によれば、こうした指導法の効果は明らかではない。

ここでやはり、本研究で提案する仮説評価スキーマの教示の有用性がうかがえる。繰り返しになるが、仮説評価スキーマとは、(1) 自分の仮説が正しいか確かめるためには、どのような観察・実験をしたらよいのか(証拠収集の計画)、(2) どのような結果が得られたらよいのか(予測)を明確にしておくこと、そして、(3) 結果が得られたら、その結果を記録して(結果の観察)、(4) そこから自分の仮説は正しかったのかを振り返る(結果の解釈)といった手続き的知識を示す。これが、Chinn & Marhorta (2002) や多くの実践のように、観察・実験前の指導を行うだけでなく、観察・実験後にも実際に得られた結果と仮説の照らし合わせを行うよう指導することにあたり、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動をより促進すると考えられるからである。

以上の議論を踏まえ、本研究で提案する指導法と比較する従来の指導法は、第1に、学習者の自力問題解決に頼って教師は特別な働きかけをしない指導法、第2に、教師が模範的な問題解決過程を教示する指導法、第3に、観察・実験前の予想とその理由を述べることを促す指導法とする。なお、理科授業の科学的問題解決は、問題解決に必要な器具・労力などといった制約からも、通常、協同で取り組まれることが多い。そこでいずれの指導法においても協同活動は導入することとし、以下、研究の具体では、特別な働きかけをしない指導法を用いる群を「協同群」、模範的な問題解決過程を教示する指導法を用いる群を「模範過程教示・協同群」、観察・実験前に予想とその理由を述べることを促す指導法を用いる群を「予測教示・協同群」と名付ける。また、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入する指導法を用いる群を「仮説評価スキーマ教示・協同群」と名付けることにする。

次に、提案する指導法の効果を評価する観点について述べる。仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法は、科学的問題解決を促進することを目的に提案するものである。そして、理科授業において、科学的問題解決は、その帰結である科学的概念と、帰結を導くための科学的問題解決スキルを、学習者に身に付けさせる一つ的手段として取り入れられている。事実、国内の学習指導要領においても、小学校学習指導要領(平成20年3月告知)第2章・各教科、第4節理科の目標において、「自然に親しみ、見通しをもって観察、実験などを行い、問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り、科学的な見方や考え方を養う」、中学校学習指導要領(平成20年3月告知)第2章・各教科、第4節理科の目標において、「自然の事物・現象に進んでかかわり、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探

究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う」といった記述が見られる。以上のことから、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の効果が、実際の理科教育場面でも見られるかについて検討を行う研究3においては、その効果を評価する観点として、科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上を取り上げることとする。より具体的には、科学的概念の理解は、研究3で具体的に行う理科授業において扱われる単元「運動の規則性」に関する概念（詳細は、第6章6.2節実験1の方法で後述）の理解として評価する。また、科学的問題解決スキルの向上は、特に、研究3で提案する仮説評価スキーマの教示と協同活動の導入を取り入れた指導法が直接的に働きかける仮説評価活動におけるスキル、すなわち、(1) 仮説評価活動を行う、(2) その活動の適切性をモニターしコントロールすることができるかによって評価する。

6.2 実験1 従来の指導法との効果の比較

6.2.1 目的

仮説評価スキーマの教示と協同活動を取り入れた理科の指導法を考案し、科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上の観点から、従来の指導法と比較する。具体的には、仮説評価スキーマの教示と協同活動を取り入れた指導法を行う「仮説評価スキーマ教示・協同群」の効果を、学習者の自力問題解決に頼って教師は特別な働きかけをしない指導法を行う「協同群」、教師が模範的な問題解決過程を教示する指導法を行う「模範過程教示・協同群」、観察・実験前の予想とその理由を述べることを促す指導法を行う「予測教示・協同群」の効果と比較する。なお、各群の効果は、以下の2つの観点から、授業後のテストにより検討する。(1) 授業で学習した科学的概念の理解。(2) 科学的問題解決スキルの向上。(2)は、第1に、仮説評価活動を行えること、第2に、仮説評価活動の適切性をモニターし、コントロールできることとする。

6.2.2 方法

6.2.2.1 授業参加者

国立T大学で開催された「夏休み学習ゼミナール」に参加した中学2年生140名。「夏

休み学習ゼミナール」は、筆者を含む大学院生が夏休みに開催した実験的な学習教室である。東京都文京区在住の中学2年生と国立T大学附属学校の中学2年生に郵送などで参加を呼びかけ、応募者の中から全日程参加可能と述べた者を授業の参加者に選択した。各参加者は4つの群にランダムに割り当てられた。協同群34名、模範過程教示・協同群36名、予測教示・協同群34名、仮説評価スキーマ教示・協同群36名であった。

6.2.2.2 理科授業

理科第1分野「運動の規則性」の一部の授業を3時間実施した。この授業では、「物体に力が働く運動及び力が働かない運動についての観察・実験を行い、力が働く運動では物体の速さなどが変わること及び力が働かない運動では物体は等速直線運動をすることを見いだすこと」がねらいとされている（中学校学習指導要領，平成20年3月告知）。Table 6-1は、3時間の授業における学習内容の概略を示したものである。

各1時間の授業は、(1) 授業者が、課題を提示する、(2) 参加者が、課題を解決するために、小集団（3～5名グループ）⁹で実験を行う。実験中に参加者個人が考えたことやグループの話し合いのまとめは、ノート（例として、付録B）に書き込むよう教示する、(3) 参加者が解答を発表し合い、授業者が正答、すなわち、導かれるべき科学的概念を説明する、という3段階で展開された。4群の授業では、参加者が小集団で実験を行うときの授業者の教示内容が、異なっている。

Table 6-1 「運動の規則性」の学習内容（全3時間）

主題と参加者に提示した課題	
1h	力の働く方向と摩擦力の存在 「表面の滑らかな机の上で質量1kgの箱と台車各々を手でおして滑らせる。どちらの方が小さい力で動くか？」
2h	力が働いているときの物体の運動 「台車を斜面に滑らせる（摩擦力はないと仮定する）。 1. 台車の滑り落ちる速さは、時間が経つにつれてどうなるか？ 2. 斜面の角度が異なる（10度/20度）と、斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか？ 3. 台車の質量が異なる（500g/1kg）と、斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか？」
3h	力が働いていないときの物体の運動 「表面の滑らかな机の上で台車を手でおして滑らせた場合、手から離れた台車の速さは時間が経つにつれてどうなるか？（摩擦力はないと仮定する）」

⁹ 小集団は、男女が半々になることにのみ留意して、座席（氏名の五十音順による出席番号順）を基に構成した。

A. 協同群

授業者は、参加者に自由に実験させた。

B. 模範過程教示・協同群

授業者が、課題について仮説を形成し、実験を計画して実行し、その結果から仮説を評価する、という模範的な解決過程と、それによって導かれる科学的概念を教示した。そして、それに倣って実験することを、参加者に求めた。

C. 予測教示・協同群

課題についての仮説を形成し、さらに、他にはどのような仮説があるのかを、実験前に理解しておくことを重視する。したがって、授業者は、各参加者に、課題の正答を予想させ、その予想を立てた理由を言わせた上で、小集団で討論することを求めた。その後、予想変更の有無を確認し、実験を始めさせた。

D. 仮説評価スキーマ教示・協同群

課題についての仮説を形成し、他にはどのような仮説があるのかを実験前に理解しておくだけでなく、実験後にも実際に得られた結果と仮説の照らし合わせを行うよう促すことが、証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動を促進する上で重要だと考える。したがって、授業者は、各参加者に、実験を行うときには仮説評価活動の一連の手続きをとることを求めた。具体的には、(1) 自分の考えが正しいか確かめるためには、どのような結果が得られたらよいのか(予測)、どのような実験をしたらよいのか(証拠収集の計画)を明確にしておくこと、(3) 結果が得られたら、その結果を記録して(結果の観察)、(4) そこから自分の考えは正しかったのかを振り返る(結果の解釈)こと、を行わせた。

なお、全群に対して同一の授業者(筆者)が授業を行った。実験者バイアスを避けるために、授業者が参加者に伝える情報は、あらかじめできる限り統制し、授業者は、黒板の前で話をする以外は参加者の質問に対して答えるのみとした。

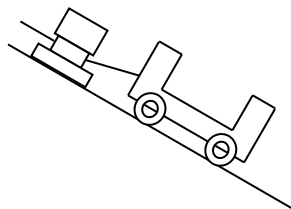
6.2.2.3 テスト

目的で挙げた2つの観点から指導法の効果を検討するため、運動の規則性に関する確認テストと浮力の領域の科学的問題解決テストを作成して、実施した。

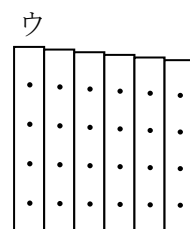
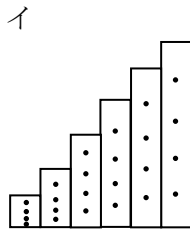
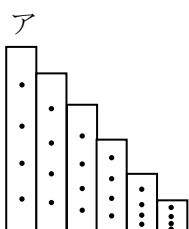
A. 運動の規則性に関する確認テスト

授業で学習した運動の規則性を理解していることの指標として、運動の規則性に関する確認テスト(Figure 6-1, 付録 C)の各問題に対して正答を導出できた場合を1点とした。得点の最大値は15であった。

下図のように、斜面の上に質量 1 kg の台車をのせて滑らせ、そのときの運動のようすを記録タイマーで記録しました（記録タイマーは1秒間に50打点するものとします）。次の問いに答えなさい。



- (1) 台車の滑り落ちる速さは、時間が経つにつれてどうなりますか。
- (2) 次のア～ウのテープのうち、斜面上を滑り落ちる台車の運動を表しているのはどれですか。



- (3) 斜面の傾きが大きくなると、台車の滑り落ちる速さの変わり方はどうなりますか。そう考える理由も答えなさい。
- (4) 質量 2 kg の台車を用いてこの実験を行うと、台車が斜面を滑り落ちるのにかかる時間はどうなりますか。次のア～エからもっとも適切なものを選び、記号を○で囲みなさい。質量 1 kg の台車が斜面をすべりおちるのにかった時間の {ア. 約 4 倍 イ. 約 2 倍 ウ. (変化なし) エ. 約 2 分の 1} になる。

Figure 6-1 運動の規則性に関する確認テストの問題例

B. 浮力の領域の科学的問題解決テスト

科学的問題解決スキルが向上したかどうかの指標として、浮力の領域の科学的問題解決テスト (Figure 6-2, 付録 D) を用いて、授業時に参加者が取り組んだ課題 (運動の規則性) とは異なる領域の科学的問題解決における解決プロセスを分析した。具体的には、参加者に、「水中にある物体の浮力に影響する要因は何か。物体を沈める深さか、物体を沈め

る向きか、物体の体積か」を問う3つの問題に対して、解答と解答に至るプロセスを記述させた。そして、第1に、仮説評価活動を行えたかを検討した。仮説評価を行うためには仮説と証拠を各々明確にするだけでなく、両者を照らし合わせる必要があることから、(1) 課題に対する仮説を立て、それを検証するために実験を計画する活動、および(2) 実験結果を明確にし、それを基に課題解答を決める活動が生じたかである。そうした記述があった場合に、各1点を与えた。第2に、仮説評価活動の適切性をモニター・コントロールできたかを検討した。これは、正答を導出できたかに反映されるものとし、正答を導出できた場合に、1点を与えた。したがって、テスト得点の最大値は9であった。

6.2.2.4 手続き

理科授業、テストの順に、群単位で実施した。3時間の理科授業は、1時間ずつ、1～4日の間隔で行われた。テストは、3時間目の授業の2日後に実施された。テスト終了後には、教育的配慮から、全参加者に、実験の目的、仮説評価スキーマの定義やそれに期待される効果と、テストの正答が説明された。

6.2.3 結果と考察

研究3のように、小集団で課題を遂行するような実験計画においては、測定値の独立性の仮定が満たされないという問題点が指摘される(吉田, 1995)。そこで、以下の分析では、小集団を1つの測定単位とみなし、各小集団の平均値を測定値とする方法(Blair, Higgins, Topping, & Mortimer, 1983)を用いた。また、本研究では、仮説評価スキーマ

水がいっぱいに入った水そうに直方体の物体を入れ、浮力の大きさに関係するものは、(1)沈める深さ(水面から底面まで10cm/20cm)、(2)沈める向き(たて向き/横向き)、(3)沈める物体の体積($6\text{cm}^3/48\text{cm}^3$)のいずれかを調べたいと思います(物体は水中に完全に沈めるものとします)。

(1) 沈める深さで浮力の大きさは変わるでしょうか？

(2) 沈める向きで浮力の大きさは変わるでしょうか？

(3) 物体の体積で浮力の大きさは変わるでしょうか？

Figure 6-2 浮力の領域の科学的問題解決テスト

教示・協同群と他の3群（協同群，模範過程教示・協同群，予測教示・協同群）の違いを検討することを目的とする。したがって，対比の検定（高橋・大橋・芳賀，1989）を行い，仮説評価スキーマ教示・協同群に3，協同群，模範過程教示・協同群，予測教示・協同群それぞれに-1という係数を割り当てた¹⁰。

6.2.3.1 運動の規則性に関する確認テスト

運動の規則性に関する確認テストにおける各群の平均値と標準偏差を Table 6-2 に，また平均値のグラフを Figure 6-3 に示す。平均値に関して対比の検定を行ったところ，仮説評価スキーマ教示・協同群と他の3群との対比が有意であった（ $F(3,29)=3.78$, $p<.05$ ）。すなわち，仮説評価スキーマ教示・協同群が，他の群よりも，授業で学習した内容をよりよく理解していることが示唆された。

Table 6-2 各群におけるテスト得点の平均値

	協同群 (n=8)	模範過程教示 ・協同群 (n=9)	予測教示 ・協同群 (n=8)	スキーマ教示 ・協同群 (n=8)
確認テスト	8.63 (1.22)	8.76 (1.24)	7.24 (1.47)	9.48 (1.04)
科学的問題解決 テスト	5.43 (1.43)	5.80 (1.81)	4.55 (1.85)	7.63 (1.21)

上段が平均値，（）内が標準偏差

¹⁰ 仮説評価スキーマ教示・協同群，協同群，模範過程教示・協同群，予測教示・協同群の平均値をそれぞれ， \bar{y}_1 ， \bar{y}_2 ， \bar{y}_3 ， \bar{y}_4 ，とすると，仮説評価スキーマ教示・協同群と他の

$$\bar{L}_1 = 3\bar{y}_1 - 1\bar{y}_2 - 1\bar{y}_3 - 1\bar{y}_4 = 3 \left[\bar{y}_1 - \left(\frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{3} \right) \right]$$

3群の対比の平均値は，
 いては，対比の母平均が0であるという帰無仮説を検定した。

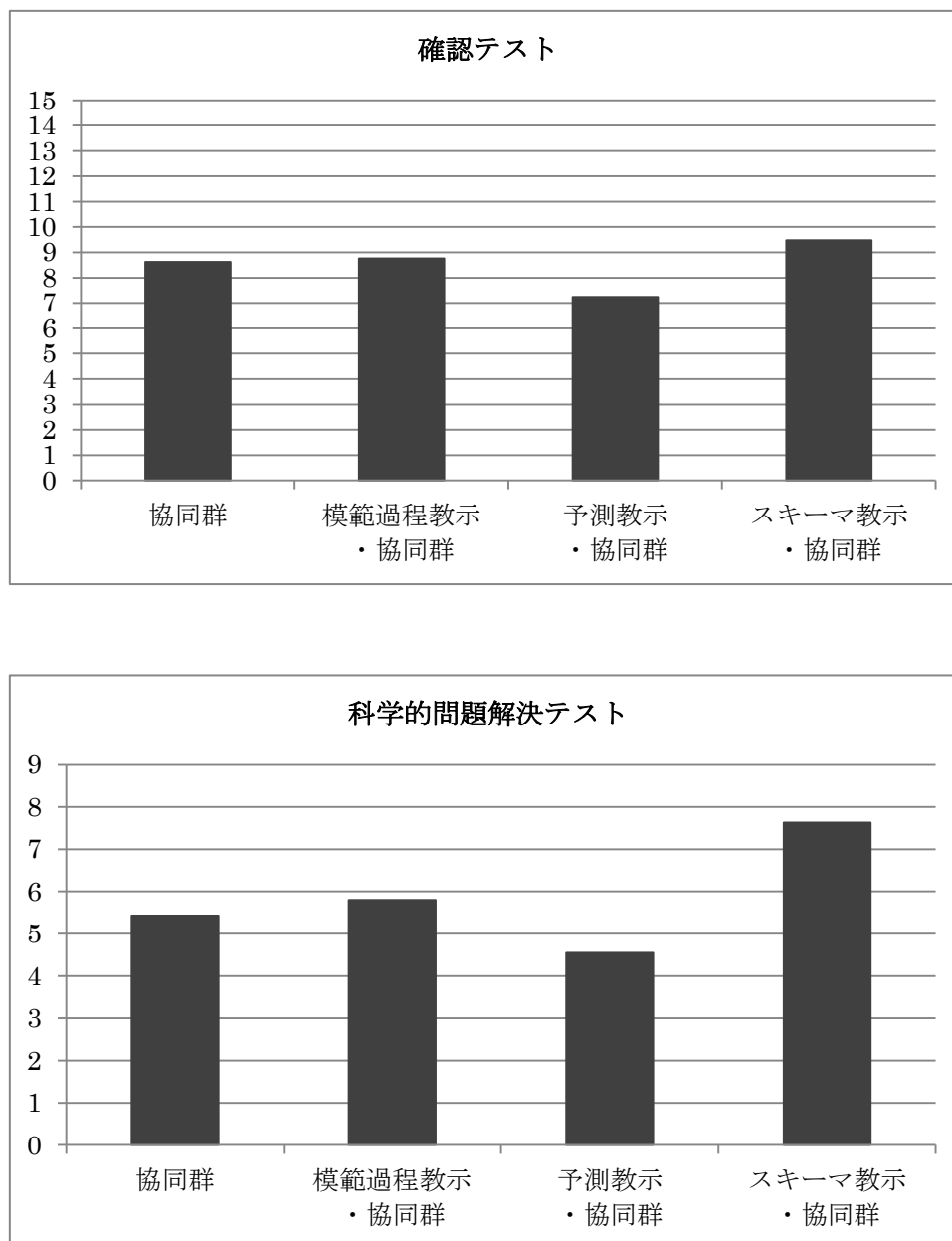


Figure 6-3 各群におけるテスト得点の平均点

6.2.3.2 浮力の領域の科学的問題解決テスト

浮力の領域の科学的問題解決テストにおける各群の平均値と標準偏差を Table 6-2 に、また平均値のグラフを Figure 6-3 に示す。平均値に関して対比の検定を行ったところ、仮説評価スキーマ教示・協同群と他の 3 群との対比が有意傾向であった ($F(3,29)=2.35$, $p<.10$)。すなわち、仮説評価スキーマ教示・協同群が、他の群よりも、科学的問題解決スキルが向上する傾向が示された。

実験 1 の結果をまとめると、実際の理科授業において、仮説評価スキーマの教示と協同

活動を導入するという指導法を行った場合に、協同活動は導入するものの、学習者の自力問題解決に頼って教師は特別な働きかけをしない指導法や、教師が模範的な問題解決過程を教示する指導法、観察・実験前の予想とその理由を述べることを促す指導法を行った場合よりも、学習者は、導かれた科学的概念をよりよく理解するという結果が得られた。また、仮説評価活動を行い、その適切性をモニターして、コントロールできるという科学的问题解決スキルが向上する傾向も示された。しかし、実験1では、科学的问题解決過程における学習活動は明らかになっていない。学習者は、教師から教示された仮説評価スキーマを用いたか、協同活動においてはどのような相互作用が生じたか、それらの結果として、科学的概念が導かれたのかという具体的なプロセスを検討する必要があるだろう。

6.3 実験2 効果の生じるプロセス

6.3.1 目的

実際の理科授業において、科学的问题解決遂行時に、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を行った場合の学習者の活動を反映する指標として、発話とノートへの書き込みに注目して分析することにより、指導法の効果が生じるプロセスを評価する。

6.3.2 方法

6.3.2.1 授業参加者

国立T大学で開催された「冬季学習ゼミナール」に参加した中学2年生17名。

6.3.2.2 理科授業

実験1の仮説評価スキーマ教示・協同群と同じである。

6.3.2.3 テスト

実験1と同じである。

6.3.2.4 手続き

実験1に準ずる。異なるのは、学習活動の分析に用いるために、1グループに1台のビ

デオカメラとテープレコーダーを設置して映像・音声記録を採取したことと、そのスペースを確保するために、全4グループを2グループずつの2クラスに分けて少人数授業を行ったことのみである。

6.3.3 結果と考察

6.3.3.1 テスト成績

運動の規則性に関する確認テストの平均値は、9.19 ($SD=1.55$)、浮力の領域の科学的問題解決テストにおける平均値は、6.11 ($SD=1.84$)であった。平均値に関して、実験1の仮説評価スキーマ教示・協同群以外の3群と比較する対比の検定を行ったところ、運動の規則性に関する確認テストでは有意傾向であり ($F(3,25)=2.55, p<.10$)、浮力の領域の科学的問題解決テストでは有意な差は見られなかった ($F(3,25)=0.90, n.s.$)。すなわち、仮説評価スキーマ教示・協同群は、他の3群よりも、授業で学習した科学的概念の理解の点で優れている傾向が示されたが、科学的問題解決スキルの向上の点ではその優位性はみられなかった。以下の分析では、限定的ではあるが有効であることが示唆された仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の下での学習活動の検討を行う。

6.3.3.2 学習活動の分析

仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法が有効であるのは、その指導法下で、参加者がどのような活動を行っていたからだろうか。この点について検討するために、的確な学習活動を捉えることのできる発話を抽出して、解釈的に分析した。そして、そのような学習活動が授業を通じて起きていたかどうかを、発話とノートへの書き込みをカテゴリーに分けて分析した。

A. 発話事例の解釈的分析

2時間目の授業における課題3では、「台車を斜面に滑らせるとき、台車の質量が異なると、斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか」が問われた。この課題では、「斜面を滑り落ちる物体の質量が大きい方が、物体の加速度も大きい」と予測した参加者が多く、「斜面を滑り落ちる物体の質量は物体の加速度に影響しない」という科学的法則を導くためには、適切に仮説評価を行うことが重要である。したがって、まず、この課題の解決過程が、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の効果をよりの確に提示しうると考えた。そして、当該場面における4グループの発話のうち、予測の段階からグループ

全員が「斜面を滑り落ちる物体の質量は物体の加速度に影響しない」で一致した1グループを除き、残り3グループのうち、理科授業後の運動の規則性に関する確認テストの平均値が最も高かった1グループを、理科授業中により良い学習活動を行ったグループとして選択し、その発話の解釈的分析を行った (Table 6-3)。

Table 6-3 物体の質量と滑落加速度の関係に関する課題 (2h・課題3) における発話事例

<予測>

A1: うん。今度じゃあ、B君から話さない?

B1: 変わらない。

A2: 変わらない? 理由は?

B2: 理由は、体重が重かろうが、あ、重かろうが軽かろうが、坂を下るっていう点では、えーと、速さは変わらない。

A3: じゃあ、C君。

C1: ええ? 変わると思うんですけど。

A4: どっちの方が速くなると思う?

C2: え? 1キロ。

A5: ああ。理由は? 理由は?

C3: なんつうんですか? ま、綿と鉛じゃ全然違う。

《中略》

A6: え、なんか重い方が加速がつきそう。

B3: だって、これで、加速度同じだもん。50キロのリンゴ、物を落とすと、急にぶつかってきて、それが人に当たると50キロの方が全然痛いとかはあるけれども、スピードは変わらない。

A7: うん.....。

B4: 10キロの人がぶつかった方が確かに痛くないけど、スピードは変わらない。

A8: うん、じゃあ、よくわからないから、どっちも。

<証拠収集の計画>

C4: 10度の斜面に質量500gの台車を乗せて滑らせたときと、10度の斜面に質量1kgの台車を乗せて滑らせたときの結果を比べればいい。

B5: 理由はありませんか?

C5: さっき (= 滑落加速度に角度が影響するかを調べたいのなら、角度以外の要因である物体の質量は一定にし、角度の要因だけを変えて調べなくてはならない) の逆です。

B6: 何故、10度の斜面なんですか?

C6: 20度はまあ、速いから。まあ、ゆっくりの方が。

B7: 比べやすいってこと?

C7: そうですね。

B8: はい、わかりました。

《以下略》

Table 6-3 物体の質量と滑落加速度の関係に関する課題(2h・課題3)における発話事例・前頁の続き

<結果の観察と解釈>

B9: じゃあ、まず、これが、角度が20度の、えーと、角度が20度で、おもり、あ、台車が1キロのと、えーと、20度の、20度で500gのグラフです。え、違うっていうときは、これが、10度のやつで、500gなんですよ。台車500gなんですけれども、これ(=角度10度で台車500gと角度20度で台車500gのグラフ)を見ても、明らかにこっち(=角度20度で台車500gのグラフ)のが速いっていうのがわかるけれども、こっち(=角度20度で台車500gのグラフ)とこっち(=角度20度で台車1kgのグラフ)を見ても、大して差がないなっていう感じで、変わらないと思いました。

D1: (角度10度で台車500gと角度10度で台車1kgのグラフを比較しながら) えっと、まず、これ、これらのグラフを見ていただきたいのですが、まず、えっと、これは6打点です。6打点なので、ホントのグラフはこれです。

A9: はい。

D2: で、これとこれを、えっと、比べてみると、明らかにこっち(=角度10度で台車1kgのグラフ)の方が長いことが、見てわかると思っています。はい。

E1: (Bが提示したグラフを見ながら) 最初明らかに、1キロの方が速い。2枚目……合計で。

《中略》

E2: 微妙、微妙に勝ってる? 1キロのほうが。

D3: ていうか、僕も今思ったんですけど、このところ(=テープを貼る位置)にも微妙なずれがある。これを長くしていいんじゃないかな〜って。思ったんですけど。もうだめだ。間違いない。同じです。

C8: 何かそのテープ貼るところの距離が間違い。

授業者: 何で、さっきは違うと思って、今度同じなんですか? はい。

D4: ええとですね。このグラフは点が6個あります。で、この点が6個分を、だから、だから、っていうか、あの、同じのがあるんですよ。あの、違う実験でやったやつと比べると、これは明らかに、あの、明らかに。

B10: っていうか、最初の滑り出しの速度が違うだけで、後の加速度の率は同じだろう?

E3: 同じだと思う。

A1~A8を見ると、物体の質量と滑落加速度の関係について、参加者一人ひとりが実験の結果を予測し、その予測を立てた理由を述べていることがわかる。予測の中には、「台車の質量が500gでも1kgでも、台車が斜面を滑り落ちる速さの増え方は変わらない」という正答が出現した(B1)にも関わらず、その発言者は自分の予測の正当性を十分に説明することができなかった(B3・B4)。同時に、聞き手にも、発言者の説明を受け入れる様子は見られなかった(A8)。そこで、当該グループは、どの予測が正しいか確かめるためには、どのような実験をしたらよいかを話し合い始める。結果、物体の質量と滑落加速度の関係性を見出すためには、台車の質量のみを変数とする実験を行う必要があることが確認された(C4~B8)。実験は記録タイマーを用いて行われ、「台車の滑落距離が0.1秒単位

でどのように変化していくのか」がグラフ化された。グラフは、「結果の観察と解釈」の段階で、予測の正否を判断する結果として有用であった。一人では教示された仮説評価スキーマを用いることができずにグラフに言及しなかった参加者もいたが、グラフにこだわる発話（B9～D2）に影響を受け、グラフを基に判断するという活動に取り組み始めている（E1）。また、他者の判断や自己の判断の吟味・見直しをする発話が生成され（D3～E3）、その結果、当該課題に関する解答として「斜面を滑り落ちる物体の質量は物体の加速度に影響しない」という科学的法則が主体的に導かれたことがわかる。

一連の発話から、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を行った場合、参加者は仮説評価スキーマに基づいて、何が課題の正答かを前もって見当をつける「予測」、その予測が正しいか確かめるためには、どのような実験をしたらよいのかを考える「証拠収集の計画」と、実験結果から明らかになることを説明する「結果の観察と解釈」という活動を行うことが確認できる。さらに、結果の解釈として出された自己もしくは他者の主張やその根拠となる結果の見方に揺さぶりをかけて説明し直す「結果の観察と解釈における検討」が生じると想定できる。その結果、「課題の正答」、すなわち、科学的法則が導かれるのだろう。

B. 発話とノートへの書き込みのカテゴリー分析

発話事例の解釈的分析の結果から、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法が効果的であるときに出てくる学習活動を想定した。Table 6-4 の左欄に、その学習活動カテゴリーを挙げる。

Table 6-4 想定される学習活動とその発生数（課題別）

	1h	2h	2h	2h	3h
		課題 1	課題 2	課題 3	
予測 ($n=17$)	17 名	16 名	16 名	16 名	16 名
証拠収集の計画 ($n=17$)	13 名	12 名	14 名	14 名	15 名
結果の観察と解釈 ($n=17$)	7 名	5 名	14 名	14 名	13 名
結果の観察と解釈における検討 ($n=17$)	0 名	4 名	3 名	13 名	9 名
課題正答 ($n=4$)	4group	4group	4group	4group	3group

当該学習活動が授業を通じて起きていたかどうかを分析するために、実験2で得られた全ての映像・音声記録とノートへの書き込みを用いて、検討を行った。まず、参加者の全ての発話を書き起こし、発話の空白や発話主体の切り替えを手がかりに分割した。次に、分割された発話が、それぞれの学習活動カテゴリーに当てはまるかを判定した。発話意図が不明な点や発言しなかった参加者の学習活動は、映像記録やノートへの書き込みからできる限り明らかにした。結果を、Table6-4の右欄に、「予測」・「証拠収集の計画」・「結果の観察と解釈」・「結果の観察と解釈における検討」といった活動を行った参加者数と、「課題の正答」を導くことができたグループ数といった形で、課題別に示す。

1時間目の授業で行われた課題から、多くの参加者が、「予測」・「証拠収集の計画」を行っていたことがわかる。「結果の観察と解釈」を行った参加者数は、授業の後半に行われた課題で増加する。これは、発話やノートへの書き込みの内容を詳細に分析したところ、授業の前半に行われた課題では、結果とは無関係に予測の正否を判断する参加者が多かったが、授業の後半に行われた課題では、結果を基に予測の正否を判断する参加者が増加したためであることが明らかになった。「結果の観察と解釈における検討」（例として、「速くなるってどういうことですか。実験の結果、打点の間隔が広がっているから、速くなっているということだよね」、もしくは、「さっきの考えだと、少し微妙でも変わっているってことですか。（僕は）これぐらいなら変化はないっていう考えなんですけど」など）を行った参加者数は、授業の後半に行われた課題で増加し、各グループに1人以上存在した。また、「課題の正答」を導くことができたグループ数から、発見が起きなかったのは、3時間目の授業における課題で1グループのみであったことがわかる。

実験2の結果をまとめると、実際の理科授業において、科学的問題解決遂行時に、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を行った場合に、学習者は、教師から教示された仮説評価スキーマに基づいて、「予測」・「証拠収集の計画」や、「結果の観察と解釈」といった活動を行うことが示唆された。また、協同活動では、結果の解釈として出された自己もしくは他者の主張やその根拠となる結果の見方に揺さぶりをかけて説明し直す「結果の観察と解釈における検討」が生じ、その結果として実験結果の不適切な解釈が修正された。こうした活動を通して、学習者は、主体的に科学的法則を導いたため、それをよりよく理解できるようになったと解釈できる。

一方、科学的問題解決スキルの向上の点では、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の優位性が必ずみられるというわけではなかったが、その理由として

は、仮説評価スキーマの適用の仕方に個人差があり、それが指導法全体としての効果に影響した可能性が推測される。具体的には、「結果の観察と解釈」を行った参加者が授業前半に行われた課題では少なかったことから、仮説評価スキーマを即座に適用することが困難な学習者は多く、そうした学習者が仮説評価スキーマを内化して、他の科学的問題解決場面でも適用できるようになるには、授業時間が十分ではなかったと考えられるだろう。

6.4 考察

研究3では、実際の理科授業において、科学的問題解決遂行時に、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法は、協同活動は導入するものの、学習者の自力問題解決に頼って教師は特別な働きかけをしない指導法や、教師が模範的な問題解決過程を教示する指導法、観察・実験前の予想とその理由を述べることを促す指導法といった、従来の指導法よりも、指導法下で学習した科学的概念の理解の点で優れている傾向が示された。先に行われた研究2でも、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の有効性は示されていた。しかしながら、それは心理学実験場面でのことであり、研究3において改めて、教育実践場面においても指導法の効果を確認できたということは、研究成果の教育への応用可能性という観点から、非常に意義深いと言えるだろう。

また、研究3では、提案する指導法によって科学的概念の理解が深まるプロセスについても検討された。まず、仮説評価スキーマの教示によって、仮説評価活動が生起する。仮説評価活動を行うことは、実験結果から採択される仮説は何かを説明することを導く。その際、協同活動によって、説明の誤りが修正されることが明らかとなった。これは、協同活動においては、活動の適切性のモニター・コントロールというメタ認知的な活動が他のメンバーによっても担われ、十分に機能する(e.g., 清河, 2002; Miyake, 1986)ということによるものと考えられよう。以上のプロセスを経て、科学的概念が導かれる。科学的概念を導く際、主体となっていたのは学習者であることから、導かれた科学的概念は学習者により深く銘記された(田口, 1978)と解釈できる。

一方、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法は、科学的問題解決スキルの向上の点では、一貫した優位性がみられなかった。これは、仮説評価スキーマの適用の仕方の個人差によるところが大きいと考えられる。仮説評価スキーマの教示によって、学習者はそれに基づいて活動を行い、その過程で仮説評価活動の重要性を強く意識す

るとともに、その手続きを獲得していくと考えられる。しかしながら、実際の学習者の活動を分析した結果、仮説評価スキーマの一部である「結果の観察」や「結果の解釈」を行った学習者は授業前半に行われた課題では少なかったことから、仮説評価スキーマを即座に適用することが困難な学習者は多いと推察される。授業を通じた活動の変化は漸進的であり、授業前半に仮説評価スキーマに基づく活動ができなかった学習者は、授業を通じて徐々に仮説評価スキーマを適用できるようになっても、その般化に十分至らなかったと考えられるだろう。したがって、今後は、学習者の発達段階や学力差などの個人差変数に焦点を当てて検討を進め、指導法の改善を試みていくことが課題となるだろう。

第 4 部

概念形成活動への介入研究

第7章 研究4

学習者の領域固有知識が科学的問題解決に及ぼす影響

第3部では、科学的問題解決における仮説評価活動を促す指導法を提案し、その効果を検討した。具体的には、まず、(1) 証拠から仮説を保持したり棄却したりする仮説評価活動は行われにくいという問題を克服するために、仮説評価の手続き的知識を「仮説評価スキーマ」と名付けて教示し、それに基づいて活動するよう促した。さらに、(2) 仮説評価活動を行っても、その結果が不適切であるというモニターの問題を克服するために、協同活動を導入した。これは、一般に問題解決を行うとき、協同で取り組むという状況は、メタ認知的な活動が他のメンバーによっても担われ、十分に機能する (e.g., 清河, 2002; Miyake, 1986) との指摘に基づく。こうした仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法の効果は、心理学実験場面のみならず、実際の理科授業場面において、科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上という観点からも検討された。

以上のように、科学的問題解決に失敗する原因の一つである仮説評価活動の問題を克服する指導法は提案されたが、未だ概念形成活動の問題は残されている。概念形成活動の問題とは、証拠から仮説を棄却した後に生じる問題で、具体的には(1) 新たな仮説を形成できないという問題や、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題が挙げられる。いずれにも領域固有知識の欠如が大きく関わっていると推察される。そこで、第7章では、まず、領域固有知識が科学的問題解決に与える影響について実証すべく、検討を進める。

7.1 問題と目的

学習者が、仮説評価活動を行い、結果として、証拠から仮説を棄却したとしよう。科学的問題解決を進めるには、証拠と合う仮説を新たに形成する必要がある。しかしながら、こうした概念形成活動に失敗するという例が数多く示されている。先にも述べたように、曾我部 (1985) では、大気圧の授業を行い、学習者の「真空は物を吸い寄せる力を持つ」という誤概念の反証的証拠となる結果を示したが、学習者は「何故そうした結果になるの

かわからない」といった意味の発言を繰り返し、先に進めなかったと言う。結果を説明するための領域固有知識がないために、自分が予め持っていた仮説が間違いであるとわかった後でも、別の新たな仮説を形成することができないと推察される。また、Vosniadou & Brewer (1992) においては、「地球は平らだ (flat)」という仮説を抱いていた子どもが、「地球は丸い (round)」という情報を得て、新たに、「地球は平らなディスク型だ (flat disk)」という、元の仮説の周辺的な変更に過ぎない仮説を形成すると述べられているが、これも、重力等の領域固有知識を持たない子どもが、新たな仮説を形成することの限界を示した例と言えよう。

そこで、研究4では、反証的証拠から既存の仮説を棄却した後に、反証的証拠を説明する領域固有知識を入手可能であることが、科学的問題解決に及ぼす影響について、実証的に検討する。具体的には以下の通りである。まず、仮説評価活動を行って、証拠から仮説を棄却したという状況を作るために、第3部で提案した仮説評価活動を促す指導法、すなわち仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を行う。指導する科学的問題解決課題も、第3部の研究3で用いた「運動の規則性」に関する課題とする。具体的には、「台車を斜面に滑らせるとき、台車の質量が異なると、斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか」という課題である。学習者は「斜面を滑り落ちる物体の質量が大きい方が、物体の加速度も大きい」と考える場合が多く、「斜面を滑り落ちる物体の質量は、物体の加速度に影響しない」という正解を導くためには、反証的証拠から適切に仮説を棄却することが重要である。このように適切に仮説を棄却するという状況を整えた上で、研究4の目的である、反証的証拠を説明する領域固有知識を入手可能かによって科学的問題解決が異なるかが検討できる。具体的には、「斜面を滑り落ちる物体の質量が大きい方が、物体の加速度も大きい」という誤概念を持つ学習者が、(1) 予め「落下する物体の質量は、物体の加速度に影響しない」という科学的概念を持っている学習者と協同で取り組む場合、(2) 「落下する物体の質量が小さい方が、物体の加速度は大きい」という別の誤概念を持っている学習者と協同で取り組む場合、(3) 「落下する物体の質量が大きい方が、物体の加速度は大きい」という同じ誤概念を持っている学習者と協同で取り組む場合の、正解への到達度の違いを比較する。

7.2 方法

7.2.1 課題

運動の規則性に関する課題を設定した。具体的には、「台車を斜面に滑らせるとき、台車の質量が異なる（1kg/500g）と、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか」を問う課題を作成した。

7.2.2 実験参加者と協同するグループの構成

東京都内の国公立中学校 2 年生 46 名に対し、各々の予め持っている概念を特定するために、課題正答を予想させ、予想の根拠を述べさせた。課題正答の予想として、(1) 台車の質量が違っても、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化に違いはない、(2) 台車の質量が重い（1kg）方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である、(3) 台車の質量が軽い（500g）方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である、の 3 つが想定された。このうち、1 番が科学的概念に基づく正答である。そこで、1 番の解答をした実験参加者を C（Correct）群、2 番の解答をした実験参加者を WA（Wrong パターン A）群、3 番の解答をした実験参加者を WB（Wrong パターン B）群の、3 カテゴリーに分類した。その上で、C 群から 3 名、WA 群から 30 名、WB 群から 3 名をランダムに抽出し、C-WA グループ（C 群 1 名と WA 群 3 名の 4 名グループ）3 組 12 名、WA-WB グループ（WA 群 3 名と WB 群 1 名の 4 名グループ）3 組 12 名、WA-WA グループ（WA 群 4 名グループ）を構成した。

7.2.3 課題における事前解答と協同による課題解決の状況

「台車を斜面に滑らせるとき、台車の質量が異なる（1kg/500g）と、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化は異なるか」を問う課題を、実際に実験して確かめることを通して解決させた。さらに、仮説評価活動を行い、結果として、証拠から仮説を棄却するという状況を作るために、第 3 部で提案した仮説評価活動を促す指導法、すなわち仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を行った。具体的には、「ある事柄について自分がどう考えているかに関係なく、客観的な事実が存在します。自分の考えが正しいかどうかを、客観的な事実と比べて確かめることが大切です。事実を集める方法として実験があ

りますが、実験は、無計画に行うのではなく、次の2つのことに気をつけて行う必要があります。2つのこととは、(1) 自分の考えが正しいか確かめるためには、どのような結果が得られたらよいのか(予測)、どのような実験をしたらよいのか(証拠収集の計画)を明確にして、実験を計画すること、(2) 結果が得られたら、その結果を記録して(結果の観察)、そこから自分の考えは正しかったのかを振り返る(結果の解釈)こと、です。」という教示を与えた。また、課題解決中に仮説評価スキーマに基づいた手続きが省略されないように、各手続きを経たか否かを問う質問文を書いたノート(付録B【仮説評価スキーマ教示・協同群】)を与え、回答を記入させた。質問文は、①「どのような結果が得られると予想できますか。それはどうしてですか(予測)」, ②「①のような予測が正しいか確かめるためには、どのような実験を行えばいいと思いますか。それはどうしてですか(証拠収集の計画)」, ③「どのような結果が得られましたか。記録しましょう(結果の観察)」, ④「実験の結果からどのようなことが考えられますか(結果の解釈)」の4つである。4つの質問文の回答は、各実験参加者が記入後、グループで見せ合い、話し合っって1つの答えに集約することを求めた。

7.2.4 課題における事後解答

各実験参加者に、最終的な課題解答とその理由を述べさせた。

7.2.5 手続き

課題は、夏休みに、国立T大学の教室において、集団的に実施した。まず、課題における事前解答を、テスト形式で質問した。その解答によってグループを構成し、グループごとに課題解決を行った。その際、課題解決過程の分析に用いるために、1グループに1台のテープレコーダーを設置して音声記録を採取した。課題遂行に要した時間は約20分であった。一連の手続きの終了後には、教育的配慮から、全実験参加者に本研究の目的と課題正答が説明された。

7.3 結果

7.3.1 課題における事後解答成績

各実験参加者が出した最終的な課題解答に対して、正答か誤答かを判定した。台車の質量が違っていても、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化に違いはないという解答を正答に、その他は誤答に分類した。C-WAグループ、WA-WBグループ、WA-WAグループの、WA群の正答者数を調べた結果、C-WAグループで9名中9名、WA-WBグループで9名中3名、WA-WAグループで12名中0名であった（Figure 7-1）。3グループによる正答率の差を分析したところ、C-WAグループの正答率が高い傾向が見られた（ $\chi^2(2)=21.67, p<.01$ ）。

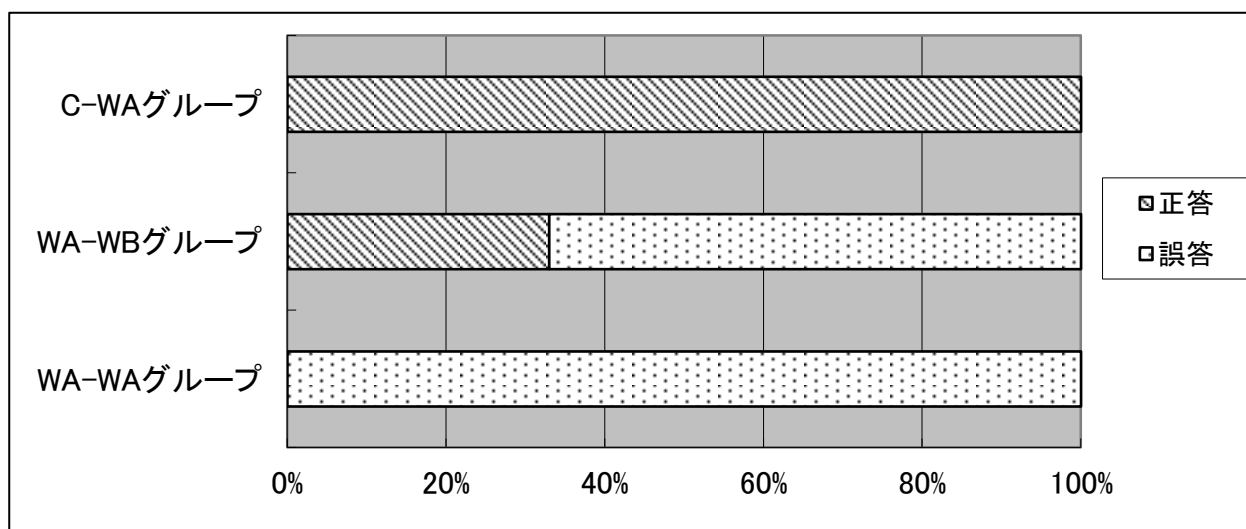


Figure 7-1 正答者の割合（グループ別）

7.3.2 科学的問題解決プロセス

領域固有知識を入手可能であることが科学的問題解決に影響することが示されたが、それは問題解決過程におけるどのような影響を経て現れたのだろうか。仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法のもとで、反証的証拠の得られた仮説は棄却できたのだろうか。その上で、反証的証拠を説明し得る領域固有知識を入手可能できない場合に、問題解決に失敗してしまうということなのか。こうした具体的なプロセスを検討する必要があるだろう。分析に際しては、まず、実験参加者の発話に現れる問題解決過程の特徴を捉えるカテゴリーリストを作成し、それらの出現頻度から、協同で取り組む学習者の

予め持っている概念に差のある3グループに特徴的な問題解決活動を探索する。その後、発話事例を詳細に分析し、領域固有知識と問題解決がどのように関連しているのか、さらに、問題解決状況（仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法）はどのような役割を果たしたのかを考察する。

7.3.2.1 全発話のカテゴリー分析

問題解決活動を分析する枠組みとして、「仮説評価活動」や「概念形成活動の（反証的証拠を説明する）材料となる情報や知識」やなどに焦点を当てた、Klahr (2000) や Chinn & Brewer (1993) の分析カテゴリーリストを、本研究の観察対象に適したカテゴリーリストとして再構成して用いた (Table 7-1)。分析対象となる発話は、録音記録をもとに、全て書き起こされ、発話の空白や発話主体の切り替えを手掛かりに分割された。平均発話数は、C-WA グループで 42.33 ($SD = 6.02$), WA-WB グループで 40.67 ($SD = 25.72$), WA-WA グループで 21.67 ($SD = 2.87$) であった。分割された発話がそれぞれどのカテゴリーに当てはまるかが、筆者を含む2名の評定者によって判定された。この2名の評定者が独立してコーディングを行った結果、一致率は、81.21%であった。不一致の部分は協議して、当てはまるカテゴリーを決定した。

その後、グループによって各カテゴリーの発話生起数が異なるかどうかを検討した (Table 7-2)。各カテゴリーに対して、分散分析を行った結果、「先行概念 (正)」, すなわち、課題正答の根拠となる先行経験や概念に言及する発話についてのみ、グループ間に有意な差が見られた ($F(2,6)=9.00, p<.05$)。「先行概念 (正)」は、C-WA グループにのみ出現していることがわかる。一方、「仮説評価活動」の各下位カテゴリーにおいて、グループの発話生起数に有意な差は見られなかった。すなわち、仮説評価スキーマを教示して行うよう促すという状況を設定した結果、どのグループにおいても同程度に、仮説評価活動が生じ、仮説と証拠の照合が行われたことが推察される。

Table 7-1 発話の分類カテゴリーと発話事例

上位カテゴリー	下位カテゴリー	内容	発話事例
仮説評価 活動	予測	何が課題の正答かを前も って検討をつける発話	【実験前に】 1キロの方が速いと思う。
	証拠収集の計画	予測が正しいか確かめる ためには、どのような実 験をしたらよいのかを考 える発話	(斜面の) 角度を揃えて、 (台車の) 質量を変える。
	結果の観察	実験結果に言及する発話	これ(台車 1kg の結果)と これ(台車 500g の結果) を比べる。
	結果の解釈	課題解答の結論を出す発 話	【実験後に】 同じってことだよ。
	結果	課題解答(正・誤含む)の 根拠となる実験結果に言 及する発話	【2枚のグラフを重ね合わ せて】 これで透かして見ればわか るはず。ちゃんと線を合わ せろよ。
	先行概念(正)	課題解答(正答のみ)の 根拠となる先行経験や概 念に言及する発話	現実には、摩擦力があるか ら。
先行概念(誤)	課題解答(誤答のみ)の根 拠となる先行経験や概念 に言及する発話	重い方ががーって何か引っ 張られていく感じがするじ ゃん。	

Table 7-2 発話のカテゴリーの平均生起数（グループ別）

		C-WA (<i>n</i> =3)	WA-WB (<i>n</i> =3)	WA-WA (<i>n</i> =3)	<i>F</i> 値
仮説評価 活動	予測	5.00 (1.63)	5.00 (1.63)	2.67 (0.94)	$F(2,6)=1.33$
	証拠収集の計画	1.33 (0.94)	1.33 (1.25)	3.00 (0.82)	$F(2,6)=2.78$
	結果の観察	0.33 (0.47)	2.67 (1.89)	2.67 (1.70)	$F(2,6)=1.63$
	結果の解釈	4.33 (3.40)	1.00 (0.82)	1.33 (1.25)	$F(2,6)=1.47$
仮説評価に 必要な 情報や知識	結果	2.00 (2.16)	0.67 (0.94)	1.67 (1.70)	$F(2,6)=0.34$
	先行概念（正）	3.00 (1.41)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	$F(2,6)=9.00^*$
	先行概念（誤）	0.00 (0.00)	2.00 (2.16)	0.67 (0.47)	$F(2,6)=1.27$

上段が平均値，（）内が標準偏差 ** $p<.01$ ，* $p<.05$ ，† $p<.10$

7.3.2.2 発話事例の解釈的分析

上記の分析で見出された、C-WA グループに特徴的な問題解決活動が、いかに問題解決結果に結び付いたのかを探るためには、より詳細な談話分析が必要である。そこで、C-WA グループ 3 組のうち、最も「先行概念（正）」、すなわち、課題正答の根拠となる先行経験や概念に言及する発話が多く見られた 1 組を抽出して、分析を行った。また、比較のために、WA-WB グループ、WA-WA グループからも 1 組抽出して、分析を行った。WA-WB グループ、WA-WA グループから 1 組抽出する基準は、C-WA グループで抽出した 1 組と「先行概念（正）」以外の発話の出現頻度が最もよく似ていることとした。

A. C-WA グループ（Table 7-3）

A1～D3 を見ると、物体の質量と滑落加速度の関係について、参加者一人ひとりが実験

の結果を予測していることがわかる。予測の中には、「台車の質量が 500g でも 1kg でも、台車が斜面を滑り落ちる速さの増え方は変わらない」という正答が出現し (B1), 予測を立てた理由が「ニュートン (正確にはガリレオ) が行った実験とその結果」に関する既有知識を用いて説明されている (B2・B3)。この説明は、予測の時点では、他の学習者に受け入れられる様子は見られなかった (A5~D3)。しかし、斜面に 500g の台車と 1kg の台車を滑らせる実験を行い、その結果が、記録タイマーを用いて「各台車の滑落距離が 0.1 秒単位でどのように変化していくのか」という形でグラフ化されて、滑り落ちる物体の質量は滑落加速度に影響しないことが示されたときに、その現象を既有知識で説明することにより、物体の質量と滑落加速度の関係をもっともらしいものとして受け止めることを可能にしている (A8)。一連の発話から、C-WA グループでは、自らの既有知識によって、実験結果を正しく説明する実験参加者が存在すること、その説明づけによって、課題の正

Table 7-3 C-WA グループの発話事例

＜予測＞	
A 1:	はい。
B 1:	ないと思う。
A 2:	え、俺、あると思う。
C 1:	私もあると思う。
A 3:	じゃあ、ある人？
C 2:	ない？
B 2:	ない。エッフェル塔でね、ニュートンがね、手摺から、羽と木の球を落としたんだって。
C 3:	あ、知ってる。
B 3:	そしたら、同じに落ちたって。
A 4:	俺はあると思う。
C 4:	私もあると思う。
D 1:	同じじゃないと思う。
B 4:	同じじゃないと思う (笑)。
C 5:	はい、ある人？じゃあ、あると思う人、はい。
B 5:	ないと思う人、はい。
D 2:	理由。ニュートンが実験をした。
A 5:	もう一回、あると思う人、はい。
B 6:	3人。3対1。
A 6:	3対1。え、俺、絶対あると思ったんだけど。
D 3:	同じって何、ニュートンが？
	《以下略》

Table 7-3 C-WA グループの発話事例・前頁の続き

<証拠収集の計画>	
D 4:	誰が言う？10度の斜面に500gの。
B 7:	10度で500のときと、10度で1キロのとき。
C 6:	はい、終わり、終わり。
<結果の観察と解釈>	
B 8:	まあ、最初の勢いが全然違うからさ。
A 7:	1キロの方が速かったんじゃないの？
D 5:	万有引力の法則は。
	《中略》
D 6:	これは、摩擦力が入っちゃってるから。
A 8:	おんなじ風に落ちるの、質量が違ってても、落ちるのは同じだもん、なあ。
B 9:	大いに間違ってるね、これ。
A 9:	1キロの方が速かった以外の意見の人？
B10:	はい。
A10:	じゃあ、それで。

答が導かれることが確認できる。

B. WA-WB グループ (Table 7-4)

WA-WB グループでは、予測の時点では、正答は出されず、「台車の質量が重い (1kg) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」と、「台車の質量が軽い (500g) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」の相反する予測が出された (E1～E7)。そうした状況で、滑り落ちる台車の質量は滑落加速度に影響しないことを示した実験結果が得られたことに、実験参加者が当惑する様子が見受けられる (F12・F14・F15)。そのようなときに典型的に見られる反応が、実験結果を詳細に観察するという活動である (F15・E16)。このことは、予測と異なる実験結果を受け入れるためには、実験結果が明瞭であることが納得できるまで確かめてみることを重要であることを示唆している。観察の際には、2枚のグラフを揃えてみることで、その一致が明瞭となり、実験結果を受け入れていった様子がわかる (E16・F16)。しかし、実験結果を説明する概念は形成されず、そのために、最後まで納得しきれないのではないかと考えられる。

Table 7-4 WA-WB グループの発話事例

<予測>

- E 1: えー、何だっけ。えーと、理由は何となくで。
 F 1: ああ？
 E 2: 1キロの方が何となく速い。何となく。
 F 2: どっち？
 E 3: 1キロの方が速い。あ、違いがあるか、違いがあるか、違いがあるか、か。
 F 3: 違いがあるか。
 E 4: だから、ある。だから、違いがある。
 F 4: 理由は何となくで、ある（笑）。
 G 1: じゃあ、あるのね、ある。
 E 5: ある。ここまで聞いて、はい。
 F 5: だめじゃん、班長。
 H 1: 違いはあるで、軽い方が最初は速度がつきやすい。
 E 6: えーと。
 F 6: もう一回言ってくれる？ごめんね。
 H 2: え？違いはあるで、軽い方が最初は速度がつきやすい、最初から速そうだけど。
 F 7: 最初だけ、軽い方。
 E 7: 理由は、何となくでもよさそうだよな。

<証拠収集の計画>

- E 8: えー、じゃあ、今のうち。10度の斜面に、質量。まあ、いいや。じゃあ、角度だけ同じにして、質量を変える。50 じゃねえや、500, 500, 500。
 F 8: うん。やったー、終わった。終わりじゃない？
 E 9: 終わり、終わり、終わり。

<結果の観察と解釈>

- F 9: え、500g は？500 g。これ？
 E10: 500 はこれ。これは、1キロで、あ、10度だ。
 F10: 500 と1キロ比べた時。
 E11: これが、20度で、500g だ。
 F11: え、じゃあ、これが500g？
 G 2: え、どれとどれが、比べればいいのか？
 E12: えっとね、これとこれ。多分。
 F12: これ、何て書けばいいのか？ 班長。書いてだつて。

《中略》

- E13: で、2つとも20度で。
 F13: 20度？
 H 3: なんでもいいんだよ。

Table 7-4 WA-WB グループの発話事例・前頁の続き

E14:	実験は 20 度でやったかたら。20 度で、500g と 1 キロ。上と下で。で、その答えは、1 キロの方が速かった。
F14:	1 キロの方が速かった？（笑）
E15:	まあ、終わったでいいや。終わった。
F15:	大丈夫？...これ。...どっち？
E16:	セロファンテープで貼り付けたところか...
F16:	よくわかんない。同じって書きなよ。素直に。間違っただよ。

C. WA-WA グループ (Table 7-5)

WA-WA グループでは、実験参加者全員が「台車の質量が重い (1kg) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」という予測を持って、実験を始めている (J1・J2)。その結果が、滑り落ちる台車の質量は滑落加速度に影響しないことに、当惑を示す様子が見て取れる (I6)。ここでも、実験結果を詳細に観察する活動が生じる (I7~J9)。しかし、WA-WA グループにおいては、最終的に「台車の質量が重い (1kg) 方が、台車が斜面を滑り落ちる速さの変化が急である」という結論に終わってしまった。

このように問題解決に失敗する要因を探るヒントになるのが I8・J9 の発話である。実験参加者は、「しょぼい差がある。微妙に異なっている」と主張している。すなわち、先行概念に対する反証的証拠を受けて、それに適用し得る新しく正しい概念を構成するのではなく、先行概念によって反証的証拠をも解釈しようとしている。このため、滑り落ちる台車の質量は滑落加速度に影響しないことを示した実験結果は、実験参加者の先行概念に従った方向に曲げて解釈されてしまったと考えられる。

Table 7-5 WA-WA グループの発話事例

	＜予測＞
I1:	Jちゃん。
J1:	同じだよ、全部同じだよ。何て書いた？
	《中略》
J2:	同じだ、あとみんな。

Table 7-5 WA-WA グループの発話事例・前頁の続き

< 証拠収集の計画 >	
J 3:	2枚目って何て書いた？
I 2:	え？ 2枚目何も書いてない。
J 4:	同じだよね，コロコロコロ。
I 3:	またそれか。
	《 中略 》
J 5:	理由も，同じ，これ。
I 4:	同じ，書いてあります。
J 6:	なんか，何書こう？いいよね，同じなんだから。
I 5:	うん。ああ，肩こった。
< 結果の観察と解釈 >	
I 6:	これ，どうなった？ 同じ（答え）？
J 7:	同じだよ，これとこれ。
I 7:	どれ比べればいいの？
J 8:	これか。なんだこれ？
I 8:	しょぼい。
J 9:	しょぼい差だ。
I 9:	速いじゃん。1キロの方が。

7.4 考察

研究4では、反証的証拠から既存の仮説を棄却した後に、反証的証拠を説明する領域固有知識を入手可能であることが、科学的問題解決に及ぼす影響について、実証的に検討した。その結果、「落下する物体の質量が大きい方が、物体の加速度は大きい」という誤概念を持つ学習者が、(1) 予め「落下する物体の質量は、物体の加速度に影響しない」という科学的概念を持っている学習者と協同で科学的問題解決に取り組んだ場合に、(2) 「落下する物体の質量が小さい方が、物体の加速度は大きい」という別の誤概念を持っている学習者や、(3) 「落下する物体の質量が大きい方が、物体の加速度は大きい」という同じ誤概念を持っている学習者と協同で科学的問題解決に取り組んだ場合に比較して、正解に到達しやすいという結果が得られた。

また、協同相手の持つ高いレベルの領域固有知識は、実験結果が反証的証拠であると認識し、既存の仮説を棄却した後で、重要な役割を果たすことが示唆された。本研究では、

全学習者に仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法を行うことで、仮説評価活動を行わせた。その結果、学習者が実験結果を受けて認知的葛藤を示す様子が多く見られた。これは、実験結果が既存の仮説の反証的証拠であるという認識を持ったことによるものと推察される。しかしながら、そうした多くの学習者の中で、認知的葛藤を解決して課題正答にたどり着けたのは、協同相手から実験結果を説明するために必要な領域固有知識を入手できた学習者で有意に多かったと言える。

以上、研究4の結果から、「概念形成活動」を促す必要があること、その際には領域固有知識の教授にも心がけることの必要性が推察された。

第8章 研究5

教授された科学的知識を自分の言葉で説明し直す活動が 科学的問題解決に及ぼす影響

第7章では、領域固有知識が科学的問題解決に及ぼす影響について、検討した。その結果、反証的証拠から既存の誤った仮説を棄却できても、反証的証拠を説明する領域固有知識がないと、新たな仮説を形成して科学的問題解決を進めていくことは困難であることが示された。このことは、新たな仮説を形成していく「概念形成活動」を促す必要があること、その際には領域固有知識の教授にも心がける必要があることを示唆する。概念形成活動の指導の必要性は、先に第2章で述べたように、これまでの心理学研究や理科教育学研究からも推察されるとともに、第4章で行った小中学生の科学的問題解決に関する実証研究でも、実際の理科教育場で「概念形成活動はあまり行われていない」ことが示されたことから支持される。

これを受けて、第8章と第9章では、概念形成活動を促す指導法の提案を行う。まず、第8章では、領域固有知識を教授するとともに、その知識を自分の言葉で説明し直すことにより理解・定着させ、問題解決に用いることを可能にすることを目指した指導を行う。

8.1 問題と目的

領域固有知識の教授について示唆を与える研究として、素朴概念から科学的概念への概念変化を目指して行われる教授法研究が挙げられる。先に、第2章でも述べたように、これらの研究では、「どのような知識をどのように与えるか」という観点から様々な教授法が提案されてきた。その観点を端的に表す、教授法研究の主流の一つに、学習者に提示する事例、科学的問題解決における言い方をすれば、観察・実験結果の提示順の検討がある。これについては、古くは、細谷（1976）が「ドヒャー型」ストラテジーと「じわじわ型」ストラテジーとしてまとめている。「ドヒャー型」ストラテジーとは、学習の初めに、学習者が予め構成している概念の反証例となる事例を示す教授方略である。反証例によって、

学習者は自らの概念が誤りであると知って驚くとともに、自らの概念を科学的概念へと組み替えようとするのが期待される。一方、「じわじわ型」ストラテジーとは、学習者が比較的納得しやすい事例を用いて科学的概念を導入し、徐々に他の事例－学習者既有の概念に対しては反証となる事例－でも科学的概念を適用できるよう導く教授方略である。

教授法研究のもう一つの流れとして、科学的概念に関して与える情報の検討もある。例えば、Tsai (2000) は、「電流」を取り上げ、「科学的概念（電流保存概念）」そのものだけでなく、「科学的概念をサポートする知覚的な事象（水流のアナロジー）」、「科学的概念に関連した他の適切な概念（抵抗・電子・エネルギーの諸概念）」、そして、「科学的概念を裏付ける決定的な事象（電流と電圧の関係：電流と電圧の機能は異なり、後者が消費されることによって電池性能が劣化する）」を提示する必要性を指摘している。これらは、学習者の持つ誤った概念（電流消費概念）を修正するにあたり、科学的概念に関連する諸概念のネットワークの中に位置付けることによって、その妥当性を高めようとするものと言える。中でも、「水流のアナロジー」は、電流のように目に見えない現象を扱う際にイメージを使って説明するモデルの役割を果たす。こうしたモデルの提案は、古くから、他の多くの概念でも検討され、その有効性が示されてきた（e.g., Clement, 1993）。

以上に述べたような教授法研究からは、科学的問題解決における領域固有知識の教授の仕方について豊かな示唆を得ることができる。具体的には、反証的証拠だけでなく、学習者が科学的概念について比較的納得しやすいであろう証拠を与えることや、モデルを用いて科学的概念を説明することなどである。こうした教授法は、科学的概念の内包的定義を理解させ、誤概念の修正を促そうとする試みと言える。しかしながら、教えられてわかったつもりになっただけでも、いざ教えられた内容を自分の言葉で説明するよう求められると、困難を示す学習者は多い（市川, 1998）。こうした学習者は、教授された科学的概念の内包的定義に十分な注意を払っていないのではないかと推察される。内包的定義に注意を向けさせ、要点を押さえた学習を促していくことが重要であろう。にもかかわらず、現状では、学習した内容について説明してみようとする学習方略が身につけている者は少なく（市川, 2000）、説明を促す指導の提案とその検証は未だ不十分であると言える。そこで、研究5では、教師が丁寧に教えた上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入する。この指導法によって、その後の科学的問題解決が促進されるかを検討することが目的である。

ここで、ありうるかもしれない批判に答えておきたい。それは、説明が学習効果を高めることは、Chi, DeLeeuw, Chiu, & LaVancer (1994) が「自己説明 (self-explanation)」を提唱して以来、数多くの研究によって示されているのではないかという批判である。研究5で検討しようとしている「説明」はChiらの「自己説明」とは異なる。研究5における「説明」では、先に述べたような概念変化を促す教授法の研究で得られた知見を活かし、教授者側が十分と考えられる形で教授活動を行った上で、学習者にその内容を改めて自分の言葉で説明して求めることを求める。それに対し、「自己説明」では、与える情報に不十分な点を意図的に残し、その点を学習者が推論によって補いながら説明を構築することを期待している。事実、Chi, et al. (1994) の研究では、情報が省かれていることによって学習者が推論する余地が生まれるとして、学習者に、「循環系」に関する幾つかの情報が省かれたテキストを与えている。そして、そのテキストを読解中に自己説明をするよう促された群は、そうでない群よりも理解度が高かったこと、さらに、自己説明群の中でもより多く説明を産出した学習者は、推論によってテキストに書かれている以上の知識を多く産出していたことを結果として示している。その後、Chi, et al. (1994) を踏まえた多くの研究でも、不十分なテキストが用いられ、高いテスト成績を示す学習者ほど自己説明の中で推論を多く行っているという結論が得られている (レビューとして、Roy & Chi, 2005)。

しかしながら、この推論を重視する自己説明の効果を一般化しようとする際には、幾つかの無視できない点があると考えられる。一つは、用いられたテキストの難易度である。難度が高い場合、潜在的に推論が可能であったとしても、現実的には自己説明の中で推論が生じることは多くの場合望めないだろう。もう一つは、学習者の既有知識である。正しく推論するために必要な知識を有していない学習者は、自己説明を求められても、理解が進まない可能性が高い。すなわち、Chi, et al. (1994) の研究で自己説明が有効なのは、テキストの難易度や学習者の既有知識が一定の適切な範囲にある場合であるからということになる。

こうした問題に鑑みると、これまでのように意図的に不十分なテキストを与えた上で推論を期待する自己説明ではなく、十分と考えられる内容を教授した上で学習者に改めて自分の言葉での説明を求めることも、一つの学習形態として考えていく必要があると言えるだろう。特に、研究5で対象とする、学習者が誤った概念を持っている前提での学習の場合には、このような学習形態が学習効果を生む可能性が高い。

なお、そのような説明が有効である根拠としては、記憶研究において示されてきた生成効果（e.g., McElroy & Slamecka, 1982; Slamecka & Graf, 1978）が指摘できる。生成効果とは、与えられた学習材料をそのまま読んで処理する場合よりも、何らかの手がかりに基づいて学習材料を生成して処理した場合の方が、後の保持が良いという現象を指す。生成効果を説明する理論の一つである意味活性化仮説では、学習材料を生成するには、ただ読むのに比べて意味記憶に貯蔵している学習材料やそれに関係する事柄の表象をより強く活性化しなければならず、そのことによって記憶の程度が高くなるのだと述べている（レビューとして、多鹿・原，1990）。このような考えに照らすと、説明の構築は、教えられた内容を活性化しながら行われると考えられるため、結果として、教えられた内容が、よりよく記憶されることが期待できる。新たな事例・問題に出会ったときにも、その記憶に立ち返って思考を進めていくことが可能となり、学習効果は高いと言えるだろう。

以上の議論を踏まえ、研究5では、学習者が誤った概念を持っている内容を取り上げ、教師が概念変化を生じさせるのに必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入する。こうした説明活動の導入が、その後の科学的問題解決の促進にもたらす効果について実証的に検討することが目的である。

8.2 実験1 統制群との効果の比較

8.2.1 目的

学習者が誤った概念を持っている内容を取り上げ、教師が概念変化を生じさせるのに必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入する。学習者自身が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す「説明群」と、説明を行わない統制群として、教えられた内容を書き写す「書写群」を設定し、両群の学習効果を比較する。

8.2.2 方法

8.2.2.1 実験参加者

私立 A 女子大学で認知心理学の講義を受講した 1・2 年生 106 名。「説明群」(52 名)と「書写群」(54 名)の 2 群にランダムに割り当てられた¹¹。

8.2.2.2 学習内容と教授方針

学習内容として大気圧を取り上げた。大気圧とは「空気の押す力」であり、吸盤が壁にくっつく、ストローでコップのジュースを飲む等、様々な現象の原因となっている。しかし、それらの現象について、大気圧以外の原因を想定して説明を行う場合が大人であっても多いことが示されている(宮下・村山, 1985)。例えば、「注射器に 3cc の真空ができている状態でピストンを止めておく場合と、5cc の真空ができている状態でピストンを止めておく場合に必要な力はどちらが大きいか」という問題では、「5cc の方が大きい力が必要」と解答する者が多い(e.g., 麻柄, 1996)。こうした解答をする者は、「真空はものを引き寄せる。したがって、真空部分が大きいほど引き寄せる力は大きい」と考えていることが推察される(実際には「同じ」が正答である)。

この内容を扱った先行研究の中に、曾我部(1985)の授業がある。曾我部(1985)は、(i)石油缶の中の空気を抜いて、石油缶をつぶす実験等を行い、(ii)空気中にある物体は空気(気体分子)によって押しつけられており、気体分子の密度の大きい方が圧力は大きくなると説明した後で、(iii)先述の注射器問題を出題した。すなわち、(i)が学習者が比較的納得しやすい事例、(ii)がモデルを用いた科学的概念の内包的定義に関する説明にあたり、共に、後続の(iii)注射器問題の解決において、用いることのできる内容となる。しかし、この授業では、学習者は、先の(i)、(ii)の内容を(iii)の注射器問題と結び付けることができず、実験結果を見た後でも教師の説明を受け入れることに抵抗を示したことがわかっている。

この結果を参考にして、本研究では、以下の教授方針を採用した(教授に用いた冊子を Figure 8-1, 付録 E に示す)。

¹¹ 中学生を対象として、統制群を設けた実験授業を行う場が設けられなかったため、大学生を対象として実験を行った。実験は講義の一環として行われ、参加者は、実験を体験した後に、実験の趣旨を説明され、体験を振り返って考察を行うことにより、統制群が不利を受けないよう、考慮した。

(1) ペットボトルの事例と分子モデル

私たちの周りには、どこにでも空気がたくさんあります。空気の中では「大気圧」がかかります。普段は意識しないこの力によって生じる1つの現象を見ていきましょう。

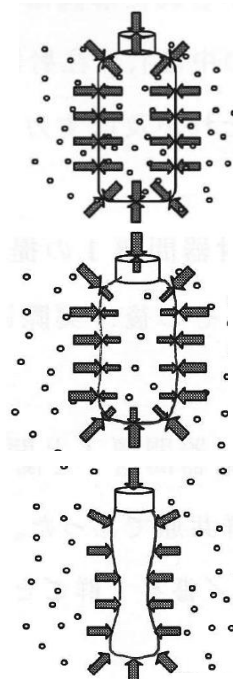
ここに空のペットボトルがあります。ポンプを使って、中の空気を抜くと、ペットボトルはどうなるのでしょうか？（実演する）。中の空気を抜くと、ペットボトルはつぶれます。

実は、空気は、無数の小さな粒（分子）でできています。空気の粒は激しく運動していて、ペットボトルの内外の壁に絶えず衝突し、壁を押ししています。これが空気の力—大気圧—です。地球上の通常の大気圧の大きさを1気圧と言い、その大きさは、 1cm^2 あたり約1kg重の力です（図略）。

さて、ペットボトルの中に空気が入っているとき、ペットボトルの内外で、空気の粒のつまりぐあいは同じです。したがって、ペットボトルの壁にぶつかる空気の粒の数も同じです。ペットボトルの内外で押す力のバランスがとれているので、ペットボトルはつぶれないでいます。

しかしながら、ペットボトルの中の空気を抜いていくと、ペットボトルの中の空気の粒が抜け、中の壁にぶつかる空気の粒が減ります。それに対して、外の壁にぶつかる空気の粒は多いままです。したがって、ペットボトルの内外で押す力のバランスが崩れ、押す力の大きい外側から押され始めます。

最終的に、ペットボトルの中の空気がなくなると（真空になると）、ペットボトルの中の壁にぶつかる空気の粒は0になります。中から押す力は0です。それに対して、外側は変わらず、空気の粒があります。こうして、外側から押す力だけになった結果、ペットボトルは、外側から押されてつぶれてしまうのです。



ペットボトルがつぶれる理由がわかりましたか（5段階で評定）。

(2) 注射器問題1の提示

問題1

注射器の中は真空です。3ccの真空ができている状態でピストンを止めておくのと、5ccの真空ができている状態でピストンを止めておくのとでは、大きな力が必要なのはどちらでしょうか（図略）。

あなたの予想はどれでしょうか（1. 3ccの方 2. 5ccの方 3. どちらも同じ）。理由も書いてください。

実際に実験してみましょう。ピストンにバネばかりをつけて引っばってみます。3ccの真空ができているところで、ピストンを止めました。バネばかりのめもりは、約3kgを指しています。さらに引っばって、5ccのところまで、ピストンを止めました。バネばかりのめもりは、今度も約3kgです（実演する）。

実験結果は、どうでしたか（1. 3ccの方 2. 5ccの方 3. どちらも同じ）。どうしてそうなるのか、その理由を考えて、書いてください。

(3) 注射器問題1の解説

「ペットボトルをつぶした空気の力」を思い出してみましょう。注射器も、「中が真空で、外は空気がある」という点で、ペットボトルと同じです（ペットボトルの図略）。

Figure 8-1 教授セッションで用いられた解説（抜粋）と問題

<真空 3cc 分>

真空：
空気の粒・なし
⇒ 方向に押す力・なし

空気：
空気の粒・あり
⇐ 方向に押す力・あり

<真空 5cc 分>

真空：
空気の粒・なし
⇒ 方向に押す力・なし

空気：
空気の粒・あり
⇐ 方向に押す力あり

(4) 注射器問題 1 解説の説明／書写

<説明群>の場合
 どうして、必要な力は同じなのでしょう。説明を考えて書いてみましょう。「注射器の中は～」「注射器の外は～」という書き出しをヒントにしてください。

<書写群>の場合
 問題 1 の解説のまとめです。注射器の中は、どちらも真空なので、空気の粒がなく、ピストンに空気の粒が衝突しないため、押す力がありません。一方、どちらの注射器も、外側には空気があり、空気の粒によって押されています。したがって、必要な力は同じです。
 二重下線部を以下に書き写しておきましょう。

(5) 注射器問題 2 の提示

問題 2
 今度は太さの異なる 2 本の注射器を、どちらも 5cc のところまで引っばって止めます。中は真空です。ピストンを止めるのに大きな力が必要なのはどちらでしょうか (図略)。
 あなたの予想はどれでしょうか (1. 細い方 2. 太い方 3. どちらも同じ)。理由も書いてください。

実際に実験してみましょう。ピストンにバネばかりをつけて引っばってみます。細い注射器のピストンを、5cc の真空ができていところで止めました。バネばかりのめもりは、約 3kg を指しています。太い注射器のピストンも同様にしたところ、バネばかりのめもりは、約 5kg を指しました (実演する)。
 実験結果は、どうでしたか (1. 細い方 2. 太い方 3. どちらも同じ)。どうしてそうなるのか、理由を考えて、書いてください。

(6) 注射器問題 2 の解説

ピストンをはさむ 2 つの空間のうち、真空がピストンを押す力は、細い注射器でも太い注射器でも「0」で同じです。しかし、空気がピストンを押す力は異なります。太い注射器は面積が大きいので、衝突する空気の粒が多くなり、空気の粒がピストンを押す力も大きくなります。したがって、太い注射器の方が大きな力が必要になります。(図略)

(7) 注射器問題 2 解説の説明／書写

<説明群>の場合
 どうして、太い注射器の方が大きい力が必要なのでしょう。説明を考えて書いてみましょう。「細い注射器の中は～」「太い注射器の中は～」「細い注射器の外は～」「太い注射器の外は～」という書き出しをヒントにしてください。

<書写群>の場合
 問題 2 の解説のまとめです。注射器の中は、どちらも真空なので、空気の粒がなく、ピストンに空気の粒が衝突しないため、押す力がありません。一方、どちらの注射器も、外側には空気があり、空気の粒によって押されています。特に、太い注射器は面積が大きいので、衝突する空気の粒が多くなり、空気の粒がピストンを押す力も大きくなります。したがって、太い注射器の方が、大きな力が必要になります。
 二重下線部を以下に書き写しておきましょう。

Figure 8-1 教授セッションで用いられた解説 (抜粋) と問題・前頁の続き

(1) 納得しやすいと考えられる事例の利用：曾我部（1985）の石油缶と同様に，学習者がその現象に納得しやすいと考えられる実験「ペットボトルは，中の空気を抜くと，つぶれる」を行う。

(2) 分子モデルの図示：ペットボトルがつぶれる理由として，「空気の押す力」を説明する際に，気体の分子モデルを図解して示す（参考として，藤田，2005；進藤・麻柄・伏見，2006）。曾我部（1985）ではこのような図示は行われていないが，図示することで「空気の押す力」の理解のみならず，「真空には押す力がない」ことの意味も促されると考えた¹²。

(3) 分子モデルによる注射器問題の解説：注射器問題を気体の分子モデルを使って解説し，ペットボトルの事例との共通性に着目させる。これによって，真空に関する誤概念から誤った予想をすることが想定される注射器問題に対しても，大気圧の概念が適用できることの意味を促そうと試みた。

8.2.2.3 教授セッション

以上に述べた教授方針の基に行われた教授セッションの概要を以下に示す¹³。なお，教授セッションの所要時間は30分程であった。

(1) ペットボトルの事例と分子モデル：「ペットボトルは，中の空気を抜くと，つぶれる」という事例を示した。そして，ペットボトルがつぶれる理由を「分子モデル」で説明した。最後に，説明が，どの程度理解できたかを5段階（1.全く理解できない，2.あまり理解できない，3.どちらとも言えない，4.少し理解できた，5.よく理解できた）で評定させた。

(2) 注射器問題1の提示：注射器問題1を提示して解かせた。学習者には，問題を一読した段階で，予想とそう考える理由を，その後，実際にどうなるかを実験で示した後で，何故そうなったと思うかを書かせた。

(3) 注射器問題1の解説：ペットボトルの事例と関連づけて，分子モデルを用い，注射器問題1の解説を提示した。以上（1）から（3）は，2群共通であった。

(4) 注射器問題1解説の説明／書写：説明群では，注射器問題1の解説を自分の言葉で作成するよう求めた。先に提示された解説は見返さないよう指示した¹⁴が，考えるヒントとして説明の書き出し「注射器の中は」，「注射器の外は」を与えた。この活動によって，

¹² 本研究では，学習者のわかりやすさを考慮して，真空を気体の分子が全く存在しない理想状態を仮定して示した。

¹³ （1）から（7）の見出しは，Figure 8-1に対応している。実際に用いた冊子（付録 E）には見出しはつけていない。

¹⁴ 見返しを禁じることによって，自分の言葉での説明が促されるため，これは当然の措置であった。

注射器の内外の状態とそれが及ぼす力に注意を向けさせ、教えられた内容を活性化させることを試みた。一方、書写群では、解説を、注射器の内外の状態とそれが及ぼす力に焦点化してまとめた文章を提示し、書き写すよう求めた。書き写すという活動の性質上、書写群では、説明群と比べて教えられた内容の活性化の程度が低いと考えられる。

(5) 注射器問題 2 の提示：注射器問題 1 の提示と同様である。2 群共に注射器問題 2 を出題し、予想とそう考える理由、その後、実際にどうなるかを実験で示した後で、何故そうなったと思うかを書かせた。

(6) 注射器問題 2 の解説：注射器問題 1 と関連づけて、分子モデルを用い、注射器問題 2 の解説を提示した。解説は 2 群共通であった。

(7) 注射器問題 2 解説の説明／書写：群ごとに説明や解説の書写を行った。

8.2.2.4 テスト

効果測定のために、以下のテストを行った。

A. 事前テスト

教授セッションの 1 週間前に事前テストを行った。教授セッションで用いた注射器問題 1・2 と、その応用問題である注射器問題 3 と問題 4 (吸盤問題) の計 4 問を出題した (Figure8-2)。注射器問題 3 は、注射器問題 1・2 とカバーストーリーが同じであり、問題 4 (吸盤問題) は異なる。しかし、注射器問題 3 は、「真空には押す力がなく、空気には押す力がある」ということだけでなく、空気の押す力の大小に影響する要因 (空気に触れる面積) への注目も問題としている点で難度が高い。一方、問題 4 (吸盤問題) は、「真空には押す力がなく、空気には押す力がある」ということだけで、空気の押す力の大小は問題としていない点では難度が低いと想定される。なお、問題 4 は、麻柄 (1996) で使用された問題のうちの一つであった。所要時間は、1 問あたり 5 分、計 20 分であった。また、2 群の事前の学習能力や知識の等質性を測る 1 指標として、物理の得意度を 5 段階 (1. 苦手, 2. どちらかといえば苦手, 3. 普通, 4. どちらかといえば得意, 5. 得意) でたずねた。

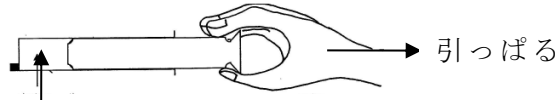
B. 直後テスト

教授セッションに続いて直後テストを行った。使用した問題は事前テストの注射器問題 3 と問題 4 (吸盤問題) である。1 問あたり 5 分と時間を区切って実施した。

問題 1 (注射器問題 1)

ピストンを注射器に押し込み、空気を追い出して口をふさいでから、ピストンを引っばりました。注射器の中は真空（空気が無い状態）です。3cc分の真空ができていた状態でピストンを止めておくのと、5cc分の真空ができていた状態でピストンを止めておくのとでは、大きな力が必要なのはどちらでしょうか。

1. 3ccの方 2. 5ccの方 3. どちらも同じ。そう思う理由も書いてください。



真空 3cc 分

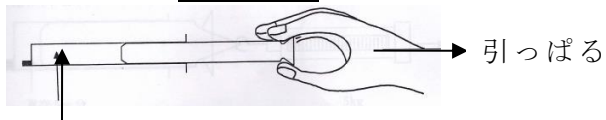


真空 5cc 分

問題 2 (注射器問題 2)

今度は太さの異なる 2 本の注射器を使います。それぞれ、ピストンを注射器に押し込み、空気を追い出して口をふさぎました。どちらも 5cc のところまで引っばって止めます。注射器の中は真空です。ピストンを止めておくのに大きな力が必要なのはどちらでしょうか。

1. 細い方 2. 太い方 3. どちらも同じ。そう思う理由も書いてください。



細い・真空 5cc 分

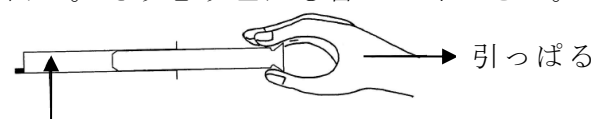


太い・真空 5cc 分

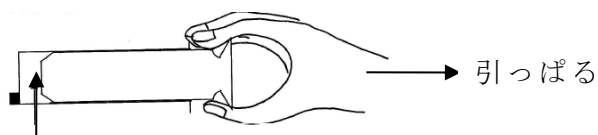
問題 3 (注射器問題 3)

今度も太さの異なる 2 本の注射器を使います。それぞれ、ピストンを注射器に押し込み、空気を追い出して口をふさぎました。細い方は、5cc 分の真空ができていた状態でピストンを止めておきます。太い方は、3cc 分の真空ができていた状態でピストンを止めておきます。ピストンを止めておくのに大きな力が必要なのはどちらでしょうか。

1. 細くて 5cc の真空ができていた方 2. 太くて 3cc の真空ができていた方 3. どちらも同じ。そう思う理由も書いてください。



細い・真空 5cc 分



太い・真空 3cc 分

問題 4 (吸盤問題)

吸盤を平らな壁に押し付けると、壁から外れなくなります。どうして吸盤は壁から外れないのでしょうか。

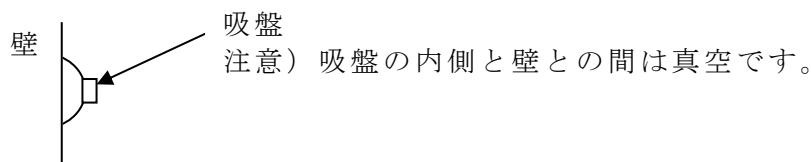


Figure 8-2 テスト問題

(注 問題 1~3 の下線部は正解を示す。)

理由の記述や問題 4 の解答の評価基準は Table 8-1 に示す。)

C. 事後テスト

教授セッションと直後テストの行われた日から1週間後に事後テストを行った。事後テストは、物理の得意度を問わないという点を除いて、内容も手続きも事前テストと同じであった。

8.2.3 結果と考察

事前テストから事後テストまでに出題された問題への、学習者の解答を評価した。その際、注射器問題1～3では、正しい選択肢を選び、かつその理由が正しいもののみを正答と見なした。理由の評価の基準をTable 8-1に示す。Table 8-1の4水準に分類後、水準3以上を正しい理由とみなした。問題4（吸盤問題）の解答についても、注射器問題1～3の

Table 8-1 解答水準の判定基準と解答例

判定基準	解答の具体例
水準0 非論理的な説明 状態を記述しただけの説明。説明が途切れているものや、無回答も含む。	<ul style="list-style-type: none"> ・真空の量が多い方が大きい力が必要だから。 ・真空の量が多いから
水準2 空気以外の要素を原因とする説明 吸引力、元に戻ろうとする力、粘着力のような力が、空気以外のものから発生することで現象が生じると説明する解答。	<ul style="list-style-type: none"> ・真空の元に戻ろうとする力が大きいから。 ・真空状態をなくそうと抵抗する力が、5ccの方が大きくなるため。
水準3 一方の空間の圧力による説明 力を生み出す源を、空気（もしくは真空）に帰属させ、そこから押す力が生じる（もしくは生じない）ことで現象が生じると説明する解答。隔てられた空間間の相対的な気圧の差には言及していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・注射器の外から押される力是一緒だから。 ・真空3ccも5ccも注射器の中が真空で空気が無い状態なのは変わらないから。
水準4 2つの空間の圧力差による説明 空気と真空の両方に言及し、空気のある側から、真空側に向かって押す力が生じていることへの言及が見られる解答。	<ul style="list-style-type: none"> ・注射器の中に空気はないので、中から押す力はない。外には空気があって、どちらも同じように押す力を受けるから。

解答理由と同様の基準と手続きで評価した。なお、評者間一致率を算出するため、教育心理学専攻の大学院生1名に、著者とは独立に、説明群18名と書写群18名のデータについて評価してもらった。評者間一致率は $\kappa=0.74$ で、著者の評価には信頼性があると想定されたため、以下の検討には著者の評価を用いた。

また、分析において、正答か否かの群間差については、基本的には χ^2 検定を用い、5未満の期待値がある場合にはフィッシャーの直接確率計算法を用いた。平均値の群間差は、 t 検定を用いて分析した。

8.2.3.1 事前テスト

結果をTable 8-2に示す。正答率は総じて低かった。注射器問題1~3の誤答ではそれぞれ選択肢2, 3, 1を選ぶものが多く（順に、誤答中53%, 67%, 72%）、注射器の中に真空部分が多いほどピストンを止めておくのに大きな力が必要と考えていることがうかがえた。これは、ピストンを止めておくのに力が必要な原因として、大気圧ではなく真空を想定していることを示唆する。問題1~4の正答率と物理の得意度の平均値はいずれも、2群間で有意な差はなく、ほぼ等質な群が構成されたと言える。

8.2.3.2 教授セッション

結果をTable 8-3に示す。

(1) ペットボトルがつぶれる理由の理解度評定の値は高く、この事例の説明として分子モデルが理解しやすかったことが示唆された。両群の評定値に有意差はなかった。

(2) ① 注射器問題1を一読した後の「予想とそう考える理由の記述」での正答率は低く、

Table 8-2 各群における事前テストの正答者数（正答率）

	書写群 ($n=54$)	説明群 ($n=52$)	統計量
注射器問題1正答者数(%)	0名(0%)	1名(2%)	$\chi^2(1)=1.05$
注射器問題2正答者数(%)	2名(4%)	6名(12%)	$\chi^2(1)=2.33$
注射器問題3正答者数(%)	2名(4%)	5名(7%)	$\chi^2(1)=1.50$
吸盤問題正答者数(%)	5名(9%)	6名(12%)	$\chi^2(1)=0.15$
物理の得意度平均(SD)	1.59(0.81)	1.75(1.00)	$t(104)=0.15$

** $p<.01$, * $p<.05$, † $p<.10$

Table 8-3 各群における教授セッション中の各問題の正答者数（正答率）

		書写群 (<i>n</i> =54)	説明群 (<i>n</i> =52)	統計量
ペットボトル	理解度平均(SD)	4.28(0.83)	4.38(0.68)	<i>t</i> (104)=0.72
注射器問題 1 正答者数 (%)	予想	9名(17%)	8名(15%)	$\chi^2(1)=0.03$
	結果後	21名(39%)	26名(50%)	$\chi^2(1)=1.33$
	解説後	—	48名(92%)	—
注射器問題 2 正答者数 (%)	予想	12名(22%)	21名(40%)	$\chi^2(1)=4.08^*$
	結果後	30名(56%)	38名(73%)	$\chi^2(1)=3.54^\dagger$
	解説後	—	45名(87%)	—

***p*<.01, **p*<.05, † *p*<.10

両群で有意な差は見られなかった。この時点では、学習者は、ペットボトルがつぶれる理由として、導入した分子モデルを自発的に使用することはできていない。

② 実際にどうなるかを実験して示した後での「どうなったか、何故そうなったと思うかの記述」における正答率は上昇したが半数以下に留まり、この段階でも分子モデルを使用できず、問題解決に失敗する学習者が多かった。正答率に群間差は見られなかった。

③ 解説提示後には、説明群では、48名(92%)の学習者は正しい説明を自分の言葉で作成できていた。具体的には、「注射器の中は、真空状態であり、空気が動き回り衝突することはない。それは3ccでも5ccでも同じことである。したがってどちらとも同じ0の状態。注射器の外は、注射器を押す力のみ働いている。注射器の周りの空気の量は3ccも5ccもかわりないので、同じ大きさの力がかかっている」、または、「注射器の中は、その空気の粒がない状態なので、ピストンを押す力がありません。ないんだから一緒。注射器の外は、空気の粒がある状態なので、たえずピストン（注射器も含む）を押している」など、事前に提示された解説の中から注射器の内外の状態とそれが及ぼす力をまとめて書き記したものである。事前に提示された解説の機械的な再生ではなく、それぞれの学習者がそれぞれの言葉で説明を試みていた。内容的には、「書写群」に書き写させた文章とほぼ一致する正確なものである。なお、書写群は全員が与えられた文章を正確に書き写した。

(3) ① 注射器問題 2 を一読した後の「予想とそう考える理由の記述」での正答率は、説明群 21 名 (40%)，書写群 12 名 (22%) であり， χ^2 検定の結果，比率の差が有意であった ($\chi^2(1) = 4.08, p < .05$)。

② 実際にどうなるかを実験して示した後での「どうなったか，何故そうなったと思うかの記述」における正答率は，説明群 38 名 (73%)，書写群 30 名 (56%) であり， χ^2 検定の結果，比率の差が有意傾向であった ($\chi^2(1) = 3.54, p < .10$)。

以上①②の結果は，説明群の方が，書写群よりも，注射器の内外の状態とそれが及ぼす力に注意を向けて，後続の問題を考えられるようになっていることを示唆する。

③ 解説提示後には，説明群では，45 名 (87%) の学習者は正しい説明を自分の言葉で作成できていた。具体的には，「細い注射器の中は，真空であり，ピストンを押す力は 0 である。太い注射器の中は，真空であり，ピストンを押す力は 0 であり，細い注射器も太い注射器も中から押してくる力は 0 であり，同じである。細い注射器の外は，注射器の表面の面積の分だけ，空気の粒が押してくる。太い注射器の外は，細い注射器に比べて空気の粒が押してくる面積が広いため，より止めておくのに力が必要である」，または，「細い注射器の中は，真空状態なので，空気のモノを押す力は 0 だ。太い注射器の中は，こちらも真空状態のため，モノを押す力は全くない。細い注射器の外は，空気があたる面積が小さいので，モノを押す力も小さい。太い注射器の外は，空気と接している面積が大きいので，モノを押す力がより大きくなる」など，事前に提示された解説の中から，太さの異なる 2 本の注射器各々の内外の状態とそれが及ぼす力をまとめて書き記したものである。事前に提示された解説の機械的な再生ではなく，それぞれの学習者がそれぞれの言葉で説明を試みていた。内容的には，「書写群」に書き写させた文章とほぼ一致する正確なものである。なお，書写群は全員が与えられた文章を正確に書き写した。

8.2.3.3 直後テスト

結果を Table 8-4, Figure 8-3 に示す。注射器問題 3 の正答率は，説明群 42 名 (81%)，書写群 30 名 (56%) で， χ^2 検定の結果，比率の差が有意であった ($\chi^2(1) = 7.73, p < .01$)。問題 4 (吸盤問題) の正答率には，群間差は見られなかった。注射器問題 3 の結果から，説明群の方が，書写群よりも，学習内容を使って後続の問題を考え，結果として解決できるようになっていると推察される。問題 4 (吸盤問題) の正答率に差がないことから，上述の説明群の効果のさらなる解釈として 2 つの可能性が考えられる。1 つは，説明群の効果が，既に学習した問題 (注射器問題 1・2) とカバーストーリーが同じで，学習内容を

Table 8-4 各群における直後テストの正答者数（正答率）

	書写群 (n=54)	説明群 (n=52)	統計量
注射器問題 3 正答者数(%)	30 名(56%)	42 名(81%)	$\chi^2(1)=7.73^{**}$
吸盤問題正答者数 (%)	42 名(78%)	41 名(79%)	$\chi^2(1)=0.01$

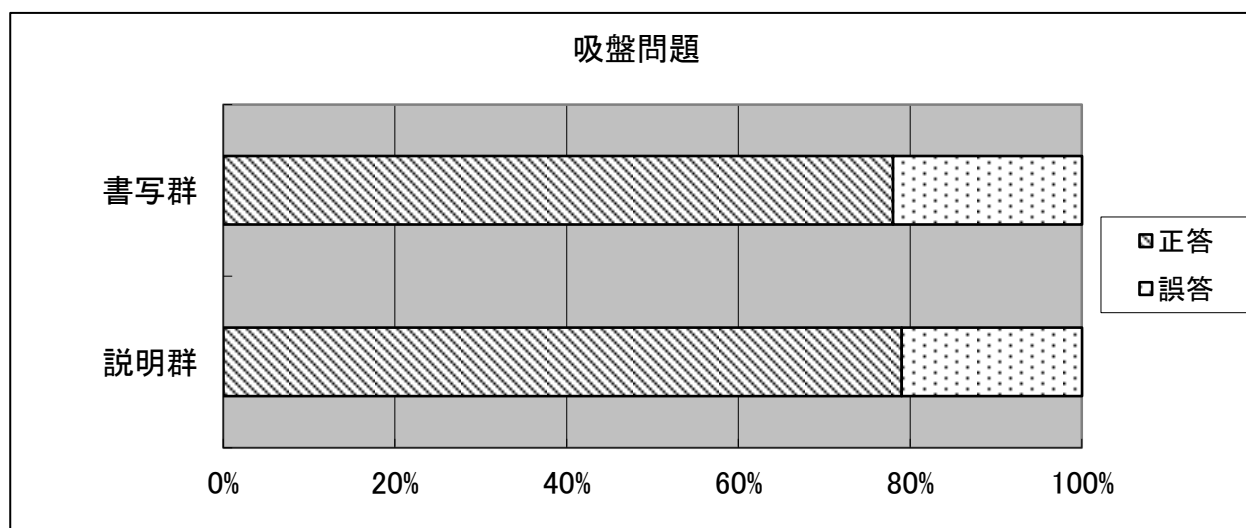
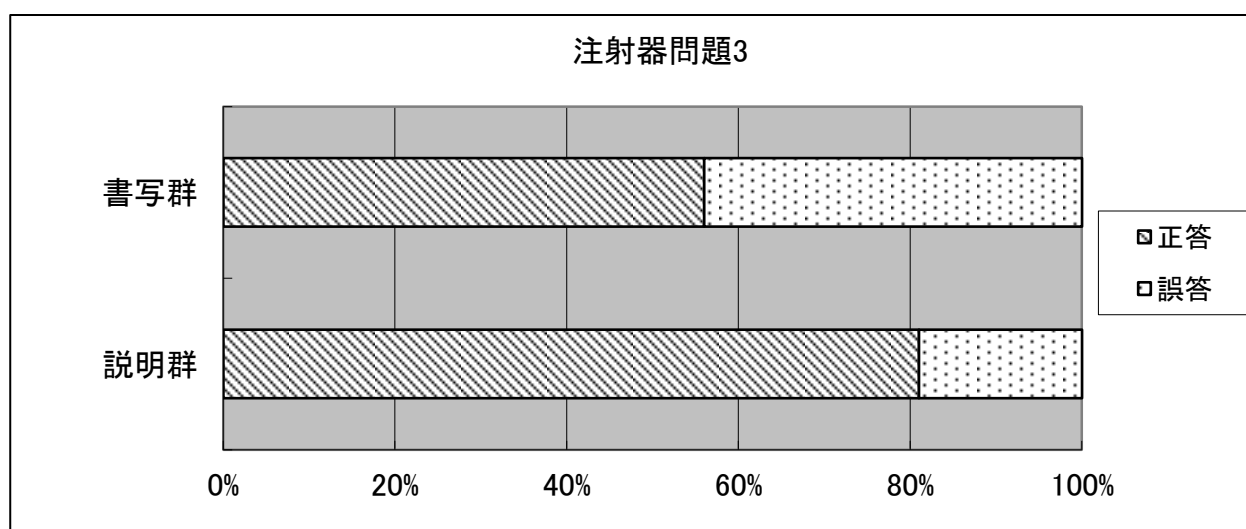
** $p<.01$, * $p<.05$, † $p<.10$ 

Figure 8-3 各群における直後テストの正答率

転移させやすい問題を解く場合に限られる可能性である。しかし、問題 4 の正答率は 2 群とも高いことを考慮すると、もう 1 つの可能性として、より困難な問題を解く場合に説明

群の効果が見られるとも考えられる。言い換えると、説明群、書写群ともに教授を受けているためにある程度の理解は形成されている。その上で、説明するという行為には、教えられた内容を活性化して、より深い理解を形成することを期待した。したがって、説明群には、科学的概念がより深く理解されたために、難度の高い問題に出会ったときにそれに立ち返って考え、正答する結果につながったのではないかと考えられる。

8.2.3.4 事後テスト

結果を Table 8-5, Figure 8-4 に示す。どの問題でも正答率は説明群の方が高い。特に注射器問題 3 の正答率は、説明群 39 名 (75%)、書写群 32 名 (59%) で、 χ^2 検定の結果、比率の差が有意傾向であった ($\chi^2(1)=2.97, p<.10$)。教授セッションの 1 週間後に行われた事後テスト正答率においても説明群が書写群を上回る傾向が見られ、説明群の効果が示唆された。

実験 1 の結果をまとめると、教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直すことが、教師の説明を書き写すより、その後の科学的問題解決の促進に有効であることが示された。

Table 8-5 各群における事後テストの正答者数 (正答率)

	書写群 (<i>n</i> =54)	説明群 (<i>n</i> =52)	統計量
注射器問題 1 正答者数(%)	37 名 (69%)	41 名 (79%)	$\chi^2(1)=1.45$
注射器問題 2 正答者数(%)	40 名 (74%)	42 名 (81%)	$\chi^2(1)=0.68$
注射器問題 3 正答者数(%)	32 名 (59%)	39 名 (75%)	$\chi^2(1)=2.97^\dagger$
吸盤問題正答者数(%)	37 名 (69%)	37 名 (71%)	$\chi^2(1)=0.09$

** $p<.01$, * $p<.05$, † $p<.10$

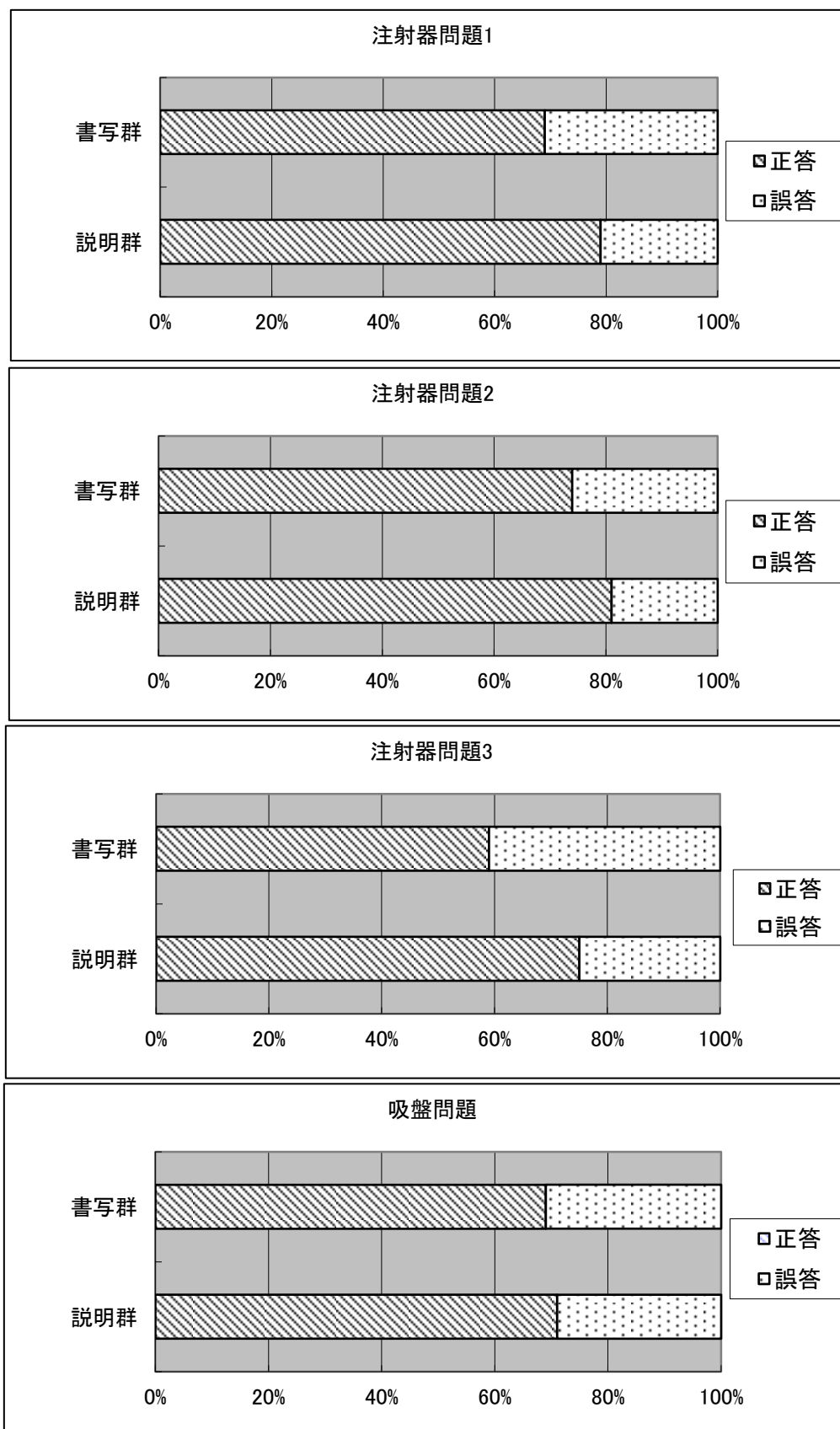


Figure 8-4 各群における事後テストの正答率

8.3 実験 2 実践的検討

8.3.1 目的

教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入するという指導法を、実際の理科授業で実施し、実践としての効果を検討する。

8.3.2 方法

8.3.2.1 授業参加者

京都府京都市の公立中学校 1 年生 35 名。正規の理科の授業として実施した¹⁵。

8.3.2.2 学習内容と教授方針

実験 1 と同じである。

8.3.2.3 教授セッション

実験 1 の説明群に準ずる。2 授業時間 (50 分×2) を用いて、教授セッションを行った。授業参加者の学校の時間割上、2 つの授業時間の間は、2 日間空いた。

最初の 1 授業時間で、(1) ペットボトルの事例と分子モデルを行った。すなわち、「ペットボトルは、中の空気を抜くと、つぶれる」という事例を示し、ペットボトルがつぶれる理由を「分子モデル」で説明した。さらに、対象となった中学生は、大気圧の学習も分子という概念の学習も初めてであることを考慮して、その理解を促すために、ペットボトル以外の現象(「中の空気を抜くと一斗缶でもつぶれる」、「簡易真空容器の中に風船を入れておき、容器の空気を抜くと風船が膨らむ」)も追加して、「分子モデル」で説明を試みた。なお、説明がどの程度理解できたかの評価は行わなかった。

次の 1 授業時間で、(2) 注射器問題 1 の提示から (7) 注射器問題 2 解説の説明までを行った。問題に取り組む手順は、次の 1 点を除いて、実験 1 の説明群と同じであった。異なった 1 点目は、問題で問われていることが実際にどうなるかを教師が実験で示したのみならず、対象者も自分で実験して、皆で問題の正答となる選択肢を確認したことである。

¹⁵ 学校長の許可を得た。効果が低いと考えられる書写群を実際の理科授業で設定することは倫理的に問題であるので、全員を説明群として実施した。

このため、結果を見た後の記述では、正答となる選択肢を改めて問うことはせず「何故そうなると思うか」のみとなった。

8.3.2.4 テスト

教授セッションの前日に事前テストを、4日後に事後テストを行った。内容と所要時間は、実験1と同じである。なお、教授セッションで授業時間が終了したため、直後テストは行わなかった。

8.3.3 結果と考察

事前テストから事後テストまでに出題された問題への学習者の解答を、実験1と同様の基準で評価した。

8.3.3.1 事前テスト

結果を Table 8-6, Figure 8-5 に示す。正答率は総じて低かった。注射器問題 1~3 の誤答ではそれぞれ選択肢 2, 3, 1 を選ぶものが多く（順に、誤答中 71%, 45%, 68%）、注射器の中に真空部分が多いほどピストンを止めておくのに大きな力が必要と考えていることがうかがえる。これは、ピストンを止めておくのに力が必要な原因として、大気圧ではなく真空を想定していることを示唆する。

8.3.3.2 教授セッション

注射器問題 1 を一読した後の「予想とそう考える理由」が正しく記述できた対象者は 0 名（0%）であった。また、実際にどうなるかを実験して確かめた後で「何故そうなったと思うか」が正しく記述できた対象者は、13 名（37%）であった。いずれも正答率は低い。

Table 8-6 事前・事後テストの正答者数（正答率）

N=35

	事前	事後	統計量
注射器問題 1 正答者数(%)	0 名(0%)	22 名(63%)	<i>CR</i> =4.48**
注射器問題 2 正答者数(%)	0 名(0%)	22 名(63%)	<i>CR</i> =4.48**
注射器問題 3 正答者数(%)	2 名(6%)	15 名(43%)	<i>CR</i> =3.10**
吸盤問題正答者数(%)	7 名(20%)	23 名(66%)	<i>CR</i> =3.53**

***p*<.01, **p*<.05, † *p*<.10

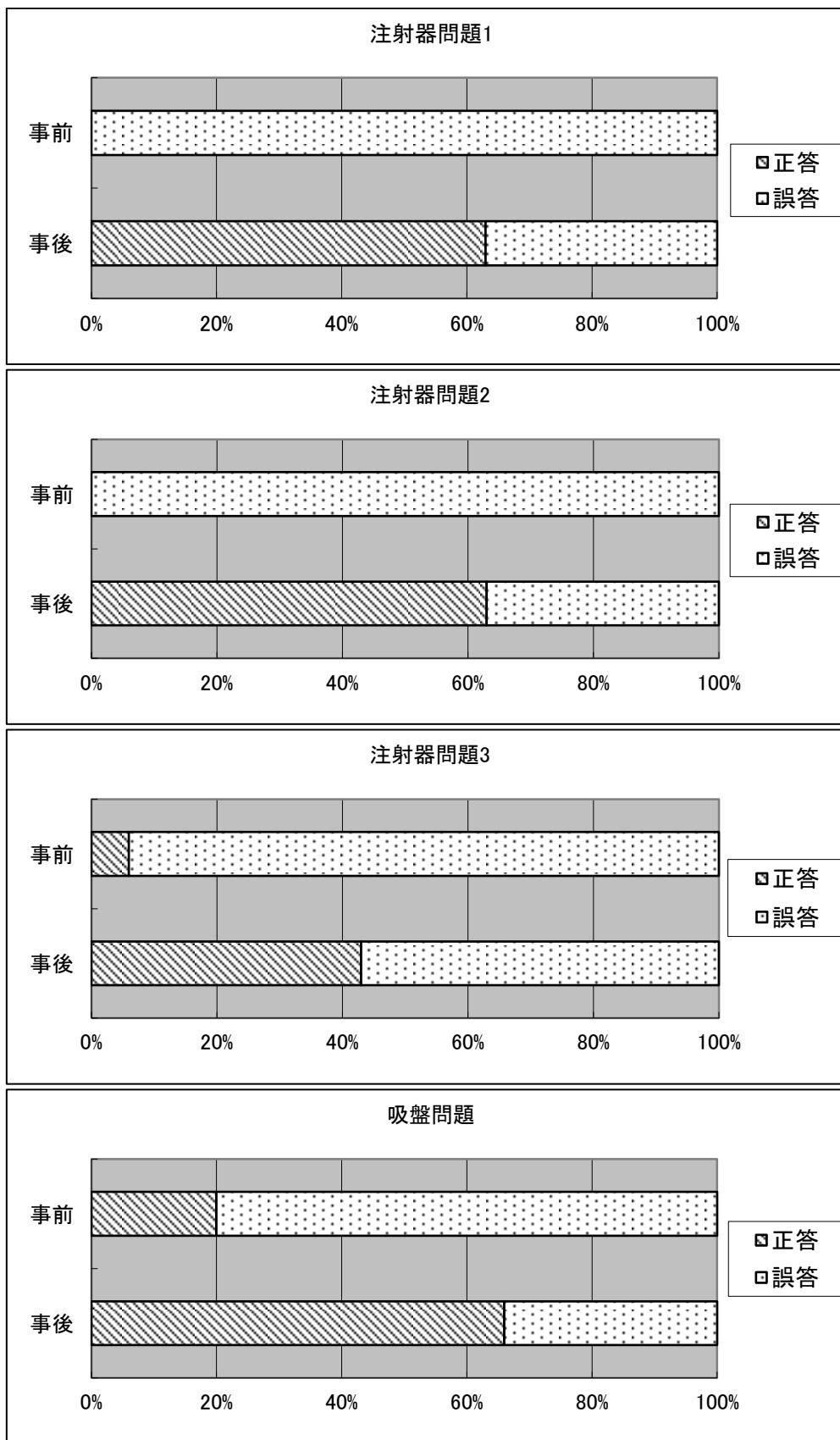


Figure 8-5 事前・事後テストの正答率

これは、実験1の説明群とも類似の結果であり、この時点では、ペットボトルがつぶれる理由として導入した分子モデルを自発的に使用することはできていない。

注射器問題1の正しい解説が提示された後で、改めて自分の言葉で解説を作成するよう求められた際には、33名(94%)の対象者が正しい解説を作成できた。

続く注射器問題2では、「予想とそう考える理由の記述」が正しく書けた対象者は14名(40%)であり、実験1の説明群と同じ割合であった。教えられた内容を使って後続の問題を考えられるようになっていくことが推察される。しかし、実際にどうなるかを実験して確かめた後の「何故そうなったと思うかの記述」が正しく書けた対象者は15名(43%)に留まった。注射器問題1の経験から、直後に解説が示されることがわかっており、それを待っていた対象者が多かった可能性もあり、その理由については今後の検討が必要である。

最後に、解説提示後に改めて作成した解説が正しかった対象者は、35名(100%)全員であった。

8.2.3.3 事後テスト

結果をTable 8-6, Figure 8-5に示す。正答率は43~66%であった。臨界比を用いた検定の結果、いずれの問題でも正答率は事前より事後で有意に高かった。

実験2の結果をまとめると、教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入するという指導法の効果が、実際の理科授業場面でも見られることが確認された。

8.4 考察

研究5では、教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直すことが、教師の説明を書き写すより、その後の科学的問題解決の促進をもたらすことを示した。より具体的に、説明群と書写群の学習・問題解決過程をまとめると以下ようになる。まず、説明群では、教授セッションにおいて、注射器問題1の解説提示後に自分の言葉で正しい説明を作成できた者が多かったことがわかっている。そして、その後の注射器問題2では、問題を一読した後の「予想とそう考える理由の記述」の正答率で書写群を有意に上回った。実際にどうなるかを実験して示した後での「何故そうなったと思うかの記述」の正答率も同様である。さらに、

注射器問題 2 の解説提示後にも、再び自分の言葉で正しい説明を作成できた者が多かった。そして、その後に行われた直後テストの注射器問題 3 においては、やはり、選択理由も含めた解答の正答率で書写群を上回った。こうした説明群の優位性は、教授セッションや直後テストの 1 週間後に行われた事後テストにおいても見られた。説明群、書写群ともに教授を受けているために、ある程度の理解は形成されていると想定されるが、さらに、説明群では、注射器の内外の気圧とそれが及ぼす力という、いわば「大気圧」の概念の内包的定義に明確に基づいて、新たな問題を解けるようになっていることが推察されるだろう。

また、説明活動を導入した指導法が、実際の理科授業場面でも有効であることも明らかにした。したがって、教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入することは、高い学習効果を生むと言える。本研究の書写群のように、教師がまとめを板書等で示し、それを学習者がノートに書き写すという学習形態は、通常の授業においてよく見られるものである。一方、学習者自身に説明を求めることは、幾つかの実践で散見されるものの(e.g., 森田, 2006)、一般的なものとはなっていないのが現状であろう。このような状況に鑑み、本研究の結果は、教育実践に対して 1 つの有効な示唆を与えるものと言える。

併せて付言すると、以上のような説明の効果は、Chi らの自己説明研究で指摘されてきた効果とは異なる。自己説明研究では、情報が意図的に省かれたテキストを与えて、その不十分な点を学習者が説明中に推論によって補うことが効果の原因となっていると指摘されてきた(レビューとして、Roy & Chi, 2005)。こうした Chi らの自己説明で学習者に推論が可能となるためには、学習内容が難しすぎないことや学習者が一定の既有知識を持っていることが必要と考えられる。そして、この必要性を満たすことは、学習者が誤概念を持っているという事態では困難であると言えるだろう。学習者の誤概念を修正しようとする場合には、研究 5 で提案した形の説明、すなわち、十分と考えられる内容を教授した上で、それを説明し直させるという形の説明が有用と考えられる。

こうした説明の効果は、記憶研究において指摘されてきた生成効果(e.g., McElroy & Slamecka, 1982; Slamecka & Graf, 1978) 同様、意味活性化仮説から解釈可能である。意味活性化仮説では、与えられた学習材料をそのまま読んで処理する場合よりも、学習材料を生成して処理する場合の方が、意味記憶に貯蔵している学習材料に関係する事柄の表象をより強く活性化しなければならず、それによって記憶の程度が高くなるとする(レビューとして、多鹿・原, 1990)。このような考えに照らすと、説明群の学習者は自分なりの

説明を作成する際に、先に教えられた内容をより強く活性化したと考えられる。具体的には、注射器問題の結果や、その解説で示された、「真空」や「空気」、そこにおける空気の粒の有無、それによる押す力の有無などの情報が活性化され、さらには、それらと関係するペットボトルの事例やその解説にも活性化は拡散したことだろう。こうした活性化によって、教えられた内容がよりよく記憶された、概念変化として言い換えれば、「大気圧」の概念の内包的定義が明確に押さえられたと推察される。さらに、その学習に基づいて、新たな問題も解けるようになっていることがわかる。

なお、研究5は、学習者に学習材料として生成させるものが、いわゆる「単語 (word)」、すなわち、「概念のラベル」ではなく、「命題として表現され得る原理の知識」であること、また、学習材料の再生や再認ではなく、問題解決における適用を求めていることの2点において、これまでの記憶研究における生成効果を発展させていると位置付けることができるだろう。

最後に、研究5の限界について述べる。研究5の、本論文での位置付けは、科学的問題解決における概念形成活動を促す指導法の提案であった。先に、第2章において、学習者は、反証的証拠から既存の誤った仮説を棄却できたとしても、(1) 新たな仮説を形成できない、もしくは、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題を抱えていることを指摘した。こうした問題に対処するために、反証的証拠を説明する領域固有知識の教授方法を提案することを目指したのが研究5である。研究5で提案した指導法は、教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入するというものであり、こうした指導法によって、学習者は教えられた知識をよく理解し、その後の科学的問題解決に適用できるようになることが示された。しかしながら、適用は、当初問題としていた、科学的問題解決における概念形成活動においてのみ見られたわけではない。学習者の中には、指導後に与えられた課題の予想の段階から、学習した知識を用いていた者もいたことが、実験1の教授セッションにおける注射器問題2の「予想とそう考える理由」の結果から推察される。もちろん、同問題の「結果と何故そうなったと思うか」の記述では、「予想とそう考える理由」の記述より正解者が増えていることから、学習した知識の適用が概念形成活動時に見られた者もいることはうかがえる。以上のことから、研究5において、領域固有知識の指導法が提案され、そのことが科学的問題解決を促したというのは意義のある結果であるとしつ

つも、指導法が直接的には科学的問題解決のどの過程に効いたのかという点に関しては、慎重に考察し、より詳細なプロセスの検討を今後の課題としたいと考える。

第9章 研究6

概念の包括性に関する知識の教示が

科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上に及ぼす影響

第8章では、科学的問題解決に先立ち、教師が必要と考える領域固有知識を教授した上で、学習者が教えられた知識を自分の言葉で説明し直す活動を導入するという指導法が、科学的問題解決を促進することが明らかとなった。この領域固有知識の指導は、概念形成活動において、(1) 新たな仮説を形成できない、または、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題を克服することを目的として、提案されたものであった。

しかしながら、概念形成活動における上記2つの問題のうち、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題には、領域固有知識の欠如のみならず、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する領域一般知識の欠如も関わりと推察される。そこで、第9章では、この領域一般知識の指導について検討していく。

9.1 問題と目的

改めて、「何らかの課題を与えられ、観察・実験といった科学的な手法を通してその答えを導くよう求められた」場合を考えてみよう。課題に対し、学習者が予め誤った仮説を形成していたとすると、観察・実験の結果、反証となる証拠が得られたときに、既存の仮説を棄却せざるを得なくなる。そして、証拠と合う新たな仮説を形成する必要があるわけだが、この「概念形成活動」において学習者はしばしば失敗することが指摘されている(e.g., 曾我部, 1985; Vosniadou & Brewer, 1992)。その原因として、まず挙げられるのは、得られた証拠を説明する領域固有知識を持たないということだろう。どうしてそのような結果となるのかわからないので、仮説の立てようがないというわけである。しかし、領域固有知識の欠如以外にも原因は考えられる。

中島（1997）の研究を挙げて説明しよう。中島（1997）は、数字（1から10までの整数）と、数字を囲む枠（三角か四角か）という2つの属性から成る記号同士の優劣関係を決定するルールを、複数の事例を観察することを通して発見するという人工的な課題を用いて、人のルール発見過程を検討している。正しいルールは「数字の値+枠の得点の値の大きい方が強い」というものであったが、初めの頃に観察した事例から「数字の値の大きいものほど強い。三角は四角より強い」といった仮説を形成した者の中には、「数字が同じで枠の形が異なる場合には、数字の大きい方が勝ち。枠の形が同じで数字の大きさが異なる場合は数字の大きい方が勝ち。数字も枠の形も異なる場合は、数字の大きい方が勝ち。ただし、三角枠に囲まれた数字が四角枠に囲まれた数字より1大きい数字の場合には例外的に引き分けになる」といった、既存の仮説の適用範囲を縮小し、反例記号対のみを説明するルールを付け加える者が少なからずいたという。中島（1997）の課題は、物理学や生物学といった特定の領域に関する領域固有知識を必要としないことから、領域固有知識の欠如はさほど問題にはならない。事実、冗長ながら、観察された事例を説明できる仮説を形成できている。しかし、科学的な観点から考えれば、仮説は、証拠と不一致がないのはもちろんのこと、他の多くの現象を説明でき、その場しのぎの例外的説明を含まず（非アドホックで）、シンプルであり、論理的一貫性がある方が望ましい（Samarapungavan, 1992）。こうした「仮説」というものに対する領域一般知識を持っていない、もしくは、持っていても使えないということも、概念形成活動における失敗の原因として挙げられるだろう。

以上のことを踏まえ、中島（1997）では、仮説というものに対する領域一般知識を教示するという介入研究も行っている。結果、教示を行った場合に、行っていない場合に比べて、汎用性の高いルールを形成する割合が高くなったという。しかしながら、人工的な課題を用いて行った実験における状況は、実際の教育場面とは異なる。そこで、研究6では理科の授業場面で科学的問題解決を行う際に、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する知識を教示し、教示しない場合と比べた効果を検討する。なお、理科授業場面での科学的問題解決を対象とするので、効果を評価する観点は、科学的概念の理解と科学的問題解決スキルの向上とする。これは、先に第6章で述べたように、理科授業において、科学的問題解決は、その帰結である科学的概念と、帰結を導くための科学的問題解決スキルを、学習者に身に付けさせる一つ的手段として取

り入れられていることによる。科学的概念の理解は、より具体的には、研究6で行う理科授業において扱われる単元「運動の規則性」の中の「作用・反作用の働き」に関する概念（詳細は、第9章9.2節方法で後述）の理解として評価する。また、科学的問題解決スキルの向上は、特に、研究6で教示する仮説の包括性に関する知識をどの程度理解し、使えるかによって評価する。

9.2 方法

9.2.1 授業参加者

国立T大学で開催された「夏休み学習ゼミナール」に参加した中学2年生65名。「夏休み学習ゼミナール」は、筆者を含む大学院生が夏休みに開催した実験的な学習教室である。東京都文京区・台東区内の公立中学校の2年生と国立T大学附属学校の中学2年生に、学校を通して参加を呼びかけ、応募者の中から全日程参加可能と述べた者を授業の参加者に選択した。各参加者は、3クラスにランダムに割り当てられた。そのうち2クラス44名を教示群、残る1クラス21名を統制群とした。

9.2.2 理科授業

理科第1分野「運動の規則性」の一部の授業を3時間実施した。この授業では、「物体の運動についての観察・実験を行い、運動には速さと向きがあることを知ること」がねらいとされている（中学校学習指導要領，平成20年3月告知）。さらに，中学校学習指導要領解説（平成20年7月）には、「物体に働く力と物体が運動することに関連して，力は物体同士の相互作用であることに気付かせ，物体に力を加えると力が働き返されることを日常生活や社会の経験と関連付けて理解させる。例えば，ローラースケートをはいた人同士で，一人がもう一人に力を働かせると二人とも動き出すことなどの体験と関連させ，互いに力が働きあうことに気付かせ，作用・反作用の働きについて触れる」とある。しかしながら，多くの学習者は，力は「物体が何かに働きかける結果として生じるものである」というように，「一方的に働きかけるもの」と捉えてしまう傾向がある（e.g., 高垣・中島，2003）。

この内容を扱った先行研究の中に、Clement (1993) の橋渡し方略 (bridging analogy) がある。この教授方略を概説しよう。先に述べたように、学習者は力を「一方的に働きかけるもの」と捉えてしまう傾向がある。しかし、手でバネを押している事例において、バネは手を押しているかと問えば、押していると答える。この答えは「作用・反作用の働き」に照らして正しい。そこで、Clement (1993) の橋渡し方略では、手でバネを押すという事例から始め、学習者の誤った考えが生起しやすい、テーブルの上に本が置かれているという事例との類似性を強調していくことで、全ての場合において「作用・反作用の働き」を考えられるよう導いていく。

これを参考に、研究6では、3時間の授業において、Table 9-1のように、実験を配列した。実験1では、「手が椅子を押す力が働く」という、力は一方的に働きかけるものだという考えが生起しやすいが、実験2から4へと進むにつれて、「作用・反作用の働き」で考えやすくなる。実験間の類似性から、全ての実験を包括的に説明できる仮説を形成することが可能となる。

なお、教示群と統制群では、参加者が課題に取り組むときの授業者の教示内容とノート(付録F)が、異なっていた。

A. 教示群

まず、実験ごとに導かれる仮説を明確にするために、各実験前に、予想とそう考える理由を、その後、実際にどうなるかを実験で示した後で、なぜそうなったと思うかを書かせた。その上で、3時間目終了時に、課題「2つの物体の間にはどのような力が働いているか」について解答をまとめさせる際、「どの実験も、2つの物体の間に働く力についての実験でした。こうした実験の結果を一つの考えで説明できる、そうした考えが良い考えです」と、仮説の包括性に関する知識を教示した。なお、実験や、課題解答のまとめには、小集団(4~5名グループ)¹⁶で取り組ませた。これは、理科授業において、通常、協同活動が多いことを考慮したこと、また、実験スペース等の現実的な制約が主な理由であった。

B. 統制群

実験や課題解答のまとめに、小集団(4~5名グループ)という活動形態をとる以外には、自由に取り組ませた。

¹⁶ 小集団は、男女が半々になることにのみ留意して、座席(氏名の五十音順による出席番号順)を基に構成した。

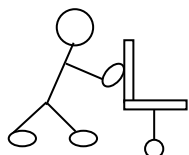
Table 9-1 「作用・反作用の働き」の学習内容（全3時間）

主題と参加者に提示した課題

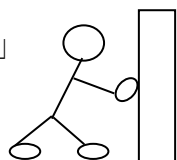
1h ・「2つの物体の間にはどのような力が働いているか」を課題として提示し、現時点での考えをまとめる。

・以下の2つの実験を行う。

「実験1 下図のように手で椅子を押す。手と椅子の間にはどのような力が働いているか？」

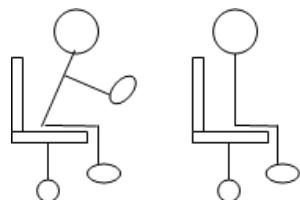


「実験2 下図のように、手で壁を押す。手と壁の間にはどのような力が働いているか？」

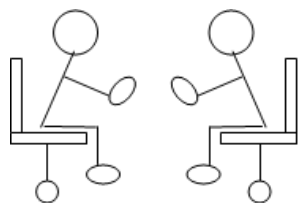


2h ・新たに以下の2つの実験を行う。

「実験3 下図のようにして、AがBを押す。AとBの間にはどのような力が働いているか？」



「実験4 下図のようにして、AとBが押し合う。AとBの間にはどのような力が働いているか？」



3h ・課題解答をまとめる。

・授業のまとめを行う。

9.2.3 テスト

目的で挙げた2つの観点から指導法の効果を検討するため、作用・反作用の働きに関する確認テストと浮力の領域の科学的問題解決テストを作成して、実施した。

9.2.3.1 作用・反作用の働きに関する確認テスト

授業で学習した作用・反作用の働きを理解していることの指標として、作用・反作用の働きに関する確認テスト（Figure 9-1, 付録 G）を作成した。テストは、(1) 授業で行った実験と同じ問いで構成される「共通問題」と、(2) 授業で行った実験と類似した状況と文脈を持つ問いで構成される「類似問題」、(3) 授業で行った実験と構造は同じだが、状況や文脈が異なる「転移問題」の、3種類の問題で構成された。共通問題は、その中の4問の各課題において、作用・反作用各々の力の矢印を正しい位置に描けるごとに1点、2本の矢印の長さを同じにし、力の大きさが同じであることを表せているごとに1点を与えて、1課題あたり3点を満点とした。共通問題全体での得点の最大値は12であった。類似問題も同様である。また、転移問題「なぜ、ロケットは進むのでしょうか。その原理を説明しなさい」に関しては、「ロケットがガスを押し出すとき、ガスもロケットを逆向きに同じ力で押している。その力でロケットは進む。」を正答とし、「ロケットがガスを押し出す」力、「ガスがロケットを押している」力、「先に述べた2つの力が同じであること」について各々触れている場合に1点を与え、合計3点を最大値とした。

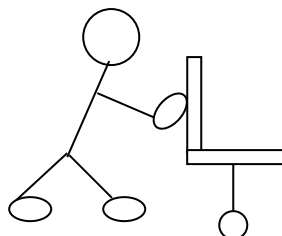
9.2.3.2 浮力の領域の科学的問題解決テスト

科学的問題解決スキルが向上したかどうかの指標として、浮力の領域の科学的問題解決テストを用いて、授業時に参加者が取り組んだ課題（作用・反作用の働き）とは異なる領域の科学的問題解決における解決プロセスを分析した。具体的には、参加者に、「浮力は何によって決まるか」を問う課題を提示した。この課題では、パーソナルコンピュータ上に実験システムが構築される。参加者は、5つの要因の各々2つの値を選んで物体を沈める状況を構築し、結果として、その状況における浮力を知ることができる。5つの要因とその2つの値とは、しずめる物体の底面積（広い・狭い）、重さ（70g重・60g重）、体積（ 30cm^3 ・ 35cm^3 ）、物体をしずめる深さ（深い・浅い）、しずめる液体の密度（水 1g/cm^3 ・油 0.8g/cm^3 ）であった。このうち、浮力に影響する要因は、物体の体積と、しずめる液体の密度である。

<共通問題：授業で行った実験と同じ問い>

下図のように、手で、いすを押します。

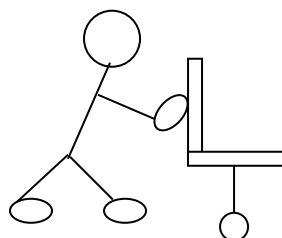
手といすの間には、どのような力がはたらいっているでしょうか？ 矢印で表しなさい。



<類似問題：授業で行った実験と類似した状況と文脈を持つ問い>

下図のように、手で、いすを引きます（地面と平行に、右に引きます）。

手といすの間には、どのような力がはたらいっているでしょうか？ 矢印で表しなさい。



<転移問題：授業で行った実験と構造は同じだが状況や文脈が異なる問い>

なぜ、ロケットは進むのでしょうか？ その原理を説明しなさい。

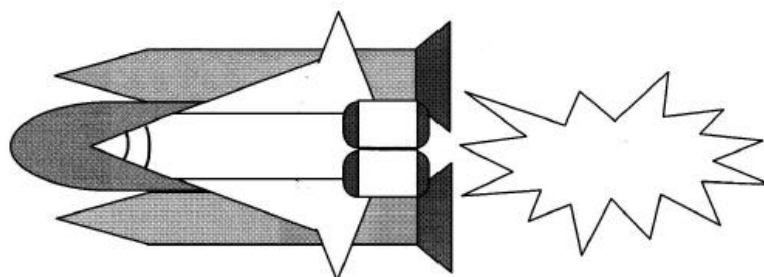


Figure 9-1 作用・反作用の働きに関する確認テストの問題例

研究6では、科学的問題解決スキルの向上として、特に、仮説の包括性に関する知識を使えるかを評価するため、課題解決中に、(1) 5つの要因のそれぞれの影響を過不足なく調べることができ(1つの要因について調べられるごとに1点)、(2) 浮力に影響する要因

を2つ指摘でき（各々指摘できるごとに1点）、かつ、(3) その2つの要因の関係についても述べられる（1点）ことによって得点化した。(3) が最も重要であり、その他は(3)を達成するための手段とみなされる。得点の最大値は8であった。

9.2.4 手続き

3時間の理科授業は、1時間ずつ、2日の間隔で行った。作用・反作用の働きに関する確認テストは、3時間目の授業の4日後に集団で実施した。浮力の領域の科学的問題解決テストは、理科授業後約2か月の間に、参加者個人の都合の良い日を設定して、個別に実施した。テスト終了後には、教育的配慮から、全参加者に、実験の目的、仮説の包括性に関する知識の定義やその教示に期待される効果と、テストの正答が説明された。

9.3 結果

9.3.1 理科授業における学習課題解答

各実験参加者グループが、理科授業3時間目にまとめた、学習課題「2つの物体の間にはどのような力が働いているか」についての解答を評価した。実験参加者グループの考えを、その内容によって分類したものを Figure 9-2 に示す。 χ^2 検定の結果、比率に群間差は見られなかった ($\chi^2(2)=2.37, n.s.$)。

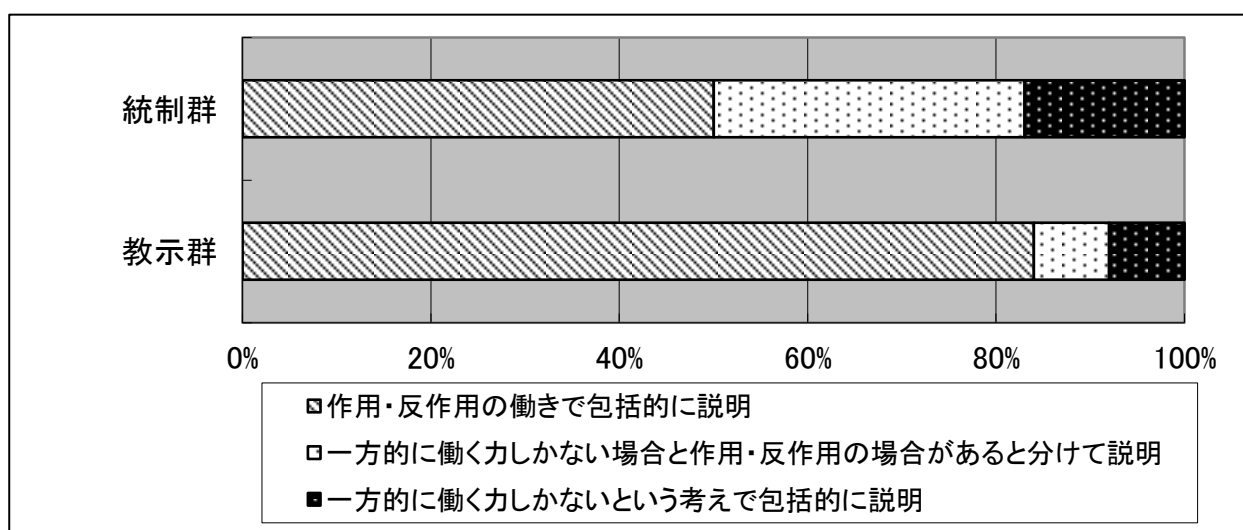


Figure 9-2 学習テーマについての記述の分布

9.3.2 作用・反作用の働きに関する確認テスト

研究6のように、小集団で課題を遂行するような実験計画においては、その後に個人でテストを受けたとしても、測定値の独立性の仮定が満たされないという問題点が指摘される(吉田, 1995)。そこで、以下の分析では、小集団を1つの測定単位とみなし、各小集団の成員のテスト成績の平均値を測定値とする方法(Blair, Higgins, Topping, & Mortimer, 1983)を用いた。その上で、作用・反作用の働きに関する確認テストにおける群ごとの平均値と標準偏差を求め、Table 9-2とFigure 9-3に示す。 t 検定を行ったところ、共通問題では両群に有意な差は見られなかったが、類似問題と転移問題で教示群の方が統制群より有意に高かった(類似問題: $t(16)=1.98, p<.05$, 転移問題: $t(16)=2.05, p<.05$)。すなわち、教示群が、統制群よりも、授業で学習した内容をよりよく理解していることが示唆された。

9.3.3 浮力の領域の科学的問題解決テスト

作用・反作用の働きに関する確認テストと同様、浮力の領域の科学的問題解決テストにおいても、各小集団の平均値を測定値とする方法(Blair, Higgins, Topping, & Mortimer, 1983)を用いた。その上で、群ごとの平均値と標準偏差を求め、Table 9-2とFigure 9-3に示す。平均値に関して t 検定を行ったところ、教示群の方が統制群より有意に高かった($t(16)=2.20, p<.05$)。すなわち、教示群が、統制群よりも、科学的問題解決スキルが向上する傾向が示された。

9.4 考察

研究6では、実際の理科授業において、科学的問題解決遂行時に、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する知識を教示することの効果、教示しない場合と比較して検討した。仮説の包括性に関する知識は、学習者は科学的問題解決において概念形成活動に失敗する、すなわち、証拠から既存の仮説を棄却した場合に、(1)新たな仮説を形成できない、または、(2)元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題のうち、特に後者を克服する目的で教示されたものである。したがって、まずは、教示下で行われた「作用・反作用の働き」に関する課題において、全

Table 9-2 各群におけるテスト得点の平均値

	統制群 (<i>n</i> =6)	教示群 (<i>n</i> =12)	<i>t</i> 値
確認テスト	共通問題	9.83 (1.32)	<i>t</i> (16)=0.07
	類似問題	6.38 (2.28)	<i>t</i> (16)=1.98*
	転移問題	0.43 (0.43)	<i>t</i> (16)=2.05*
問題解決テスト	1.83 (0.64)	2.93 (1.15)	<i>t</i> (16)=2.20*

上段が平均値, () 内が標準偏差 ***p*<.01, **p*<.05, † *p*<.10

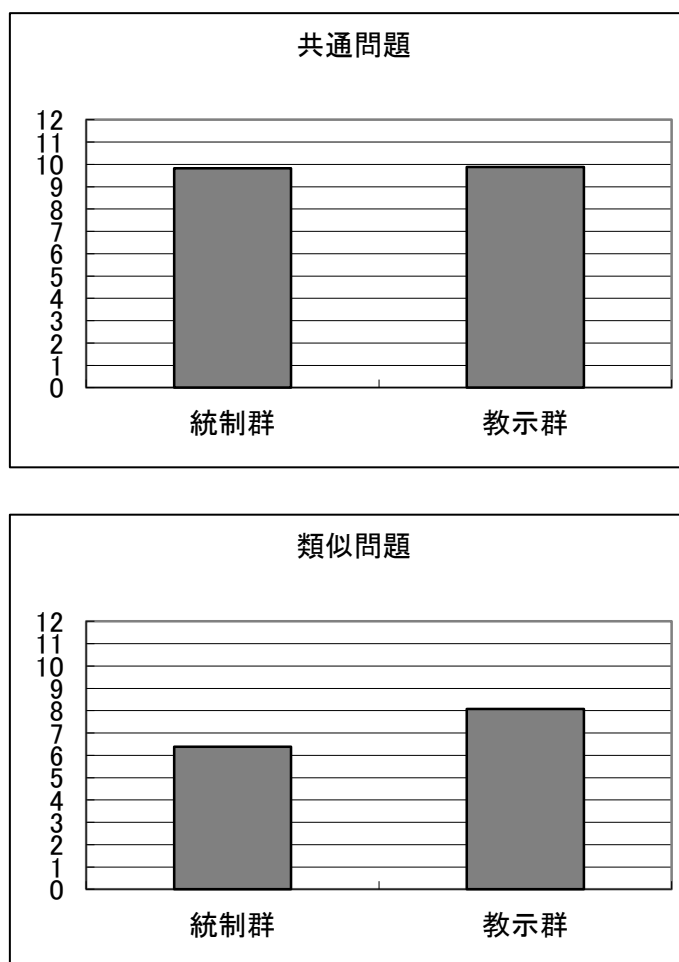


Figure 9-3 各群におけるテスト得点の平均点

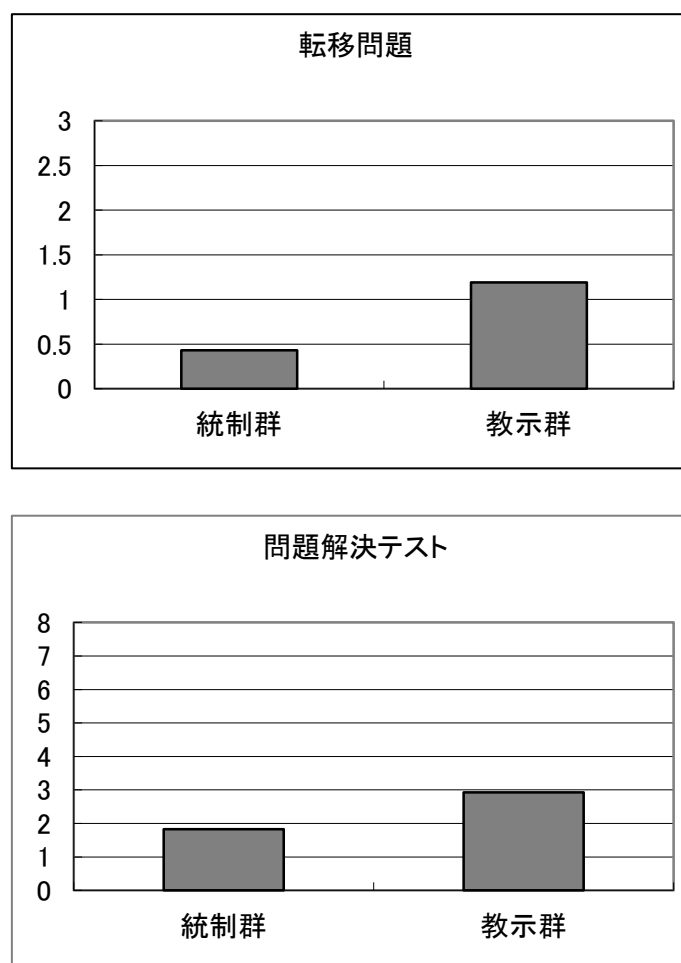


Figure 9-3 各群におけるテスト得点の平均点・前頁の続き

ての実験を「作用・反作用の働き」で包括的に説明できるようになることが期待された。しかし、課題解答は、教示群の方が「作用・反作用の働き」で包括的に説明できているように見受けられるものの、統計的に有意な差はなかった。その一方で、科学的问题解決の帰結として得られた「作用・反作用の働き」についての理解は促され、また、帰結を導くための一つのスキルとして仮説の包括性に関する知識を使えるようになったことが示された。

研究6で行ったような教示、すなわち、仮説に関する領域一般的知識の教示の効果は、先に中島(1997)によって示されている。しかしながら、それは人工的な課題を用いた心理学実験場面でのことであり、研究6において改めて、教育実践場面においても教示の効果を確認できたということは、研究成果の教育への応用可能性という観点から、非常に意義深いと言えるだろう。一方で、研究6では、教示下での課題解決が明白には促進されな

かったことから、教示の効果が生じるプロセスについては、今後、更なる検討が必要である。

また、研究6で教示した、仮説の包括性に関する知識は、仮説というものに関する領域一般知識の中の一つである。例えば、Pluta, Chinn, & Brewer (2011)では、中学2年生を対象に科学的なモデルの良し悪しを判断する基準(epistemic criteria)をたずね、結果、モデルの説明機能、他者に了解されやすいかどうかというモデルの伝達機能、その他、証拠に基づくことなど多くの回答が得られている。したがって、仮説というものに関する他の領域一般知識についても取り上げて指導を試みていくことも、今後の課題と言えるだろう。

第 5 部

総合考察

第10章

本論文から得られる示唆と意義

本論文では、科学的問題解決の促進をテーマとし、科学的問題解決に失敗する理由を特定した上で、それを克服するための指導法を開発し、その効果を検討してきた。それらを受けて、第10章では、得られた結果をまとめ、その研究・教育両場面への意義を考察するとともに、限界と今後の課題を指摘する。

10.1 結果のまとめ

再掲になるが、本論文では、科学的問題解決の促進をテーマとし、科学的問題解決に失敗する理由を特定した上で、それを克服するための指導法を開発することを目的とした。

科学的問題解決は「与えられた問題に対し、科学的な手法を用いてその解を導くこと」と定義され、それは「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識を必要とする。なお、領域固有知識は、特定の分野や状況に結び付いた知識である。領域一般知識は、特定の分野や状況を越えた知識であり、領域一般知識を持っているのみならず、それに基づいて適切な行動を行えること、すなわち、スキルがあることを指す。

それでは、そうした科学的問題解決の促進を阻む、科学的問題解決に失敗する理由は何であろうか。第2章で述べたように、心理学・理科教育学のこれまでの研究から、人は「証拠の評価」過程に失敗しやすいことが指摘されている。それらの指摘について、失敗の原因は何かを、先に述べた科学的問題解決で必要とされる2つの知識、すなわち、領域固有知識と領域一般知識のいずれの欠如が原因となっているのかという観点から整理したところ、以下のことが特定できた。第一に、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」が不十分である。これはさらに、(1) 活動自体が行われにくいという、活動の重要性や手続きを知らないという問題と、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に分けられた。いずれも領域にかかわらず、科学的問題解決そのものに関する領域一般知識の欠如と考えられる。第二に、証拠から仮説を棄却した後で新たな仮

説を形成しようとする「概念形成活動」の際に失敗する。これもさらに下位分類され、(1) 既存の仮説の反証的証拠が得られても、その証拠を説明するメカニズムや支える領域固有知識を持たないために、新たな仮説が形成できないという問題と、(2) 領域固有知識の欠如のみならず、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」といった仮説の包括性に関する領域一般知識を持たないことを一因として、元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題がある。

以上のことから、本論文では、仮説評価活動と概念形成活動各々の問題に対処する指導法の開発を目指した。それに先立ち、本論文第2部において、教育場面における小中学生の科学的問題解決の実態を調査し、指導法の開発の必要性を改めて指摘した。そして、第3部で仮説評価活動への介入研究、第4部で概念形成活動への介入研究を行った。本論文で得られた結果の概要を Figure 10-1 に示す。

まず、第2部では、研究1として、小中学生の科学的問題解決の実態を調査し、活動を促す指導の提案に向けた示唆を導くことを目的とした。結果、以下の3点が明らかになった。1点目に、小中学生に科学的問題解決に必要な活動の遂行の程度を尋ねる質問紙調査を実施して、因子分析を行い、活動は「仮説形成・評価」、「結果まとめ」、「概念形成」、「観察・実験の計画と遂行」の4カテゴリーに分類されることを示した。2点目に、そうした4カテゴリーの活動の遂行の程度は、「観察・実験の計画と遂行」、「結果まとめ」、「仮説形成・評価」、「概念形成」の順に高いこと、また、遂行の程度は、その活動に対する教師の指導や有効性の認知と関連することを示した。さらに、3点目として、小中学生の遂行の程度が低い「仮説形成・評価」や「概念形成」活動は、小中学校教師にも限られた時間の中での優先順位は低いとみなされ、あまり指導されない場合があること、しかしながら、教師はそうした活動の有効性を認め、限られた時間内でも必要な場合を見極めて指導する工夫の必要性を認識していることを示唆した。以上、研究1の結果から、特に「仮説形成・評価」や「概念形成」活動を促す必要があること、そのための指導法を提案する必要性が推察された。

続いて、第3部では、仮説評価活動に関する指導法を開発して、その効果を検討した。具体的には、(1) 仮説評価活動自体が行われにくいという問題に対しては、その手続きー証拠収集の計画、予測、結果の観察、結果の考察ーに関する知識である「仮説評価スキーマ」の教示が、(2) 活動をしてもその結果が不適切であるというモニターの問題に関しては、協同の導入が有効であるという仮説を立てて、検討を行った。その際、まずは研究2

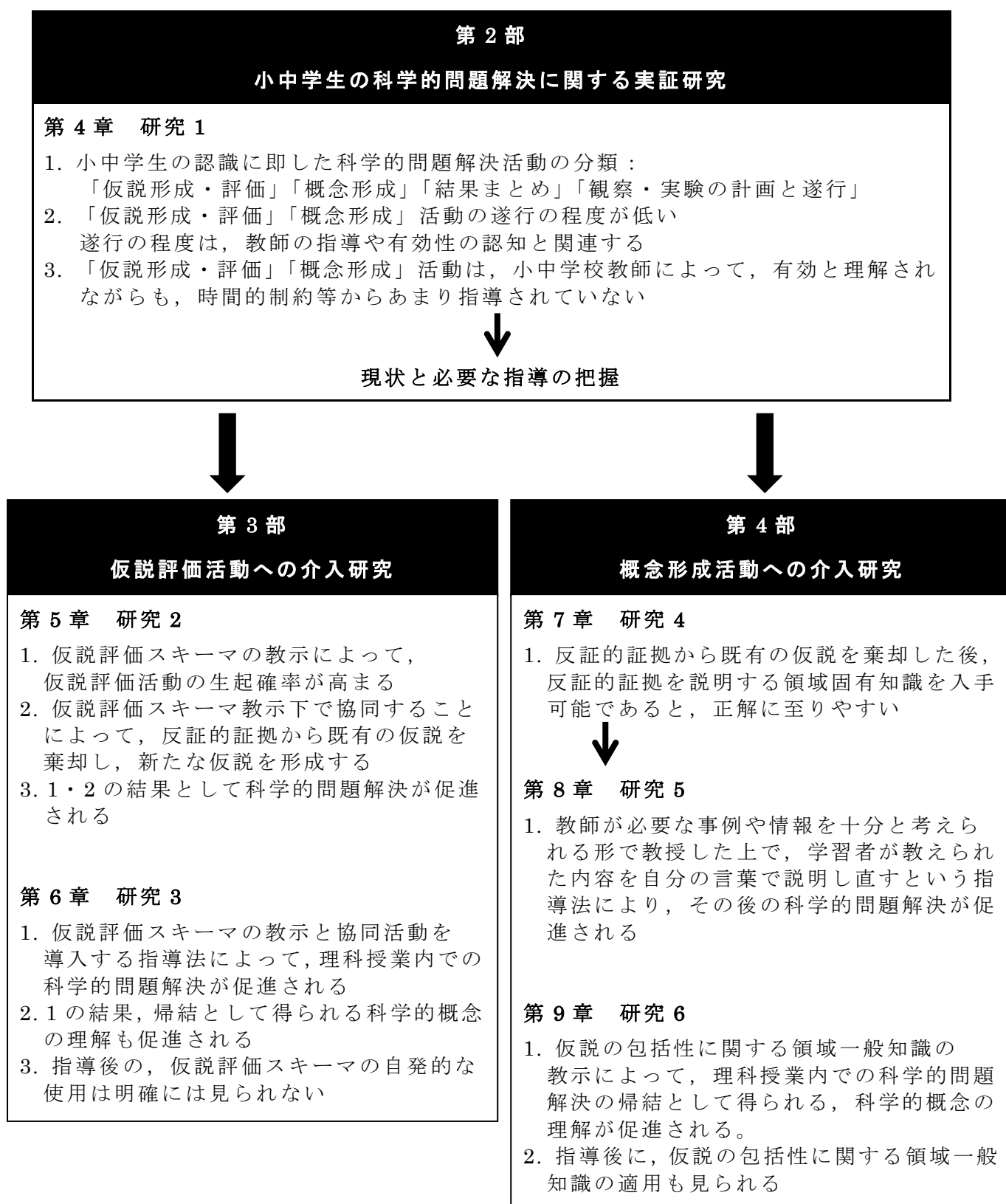


Figure 10-1 本論文で得られた結果

で、心理学実験によって介入効果が生じるプロセスの検討を行った。その結果、第一に、仮説評価スキーマの教示によって、仮説評価活動の生起確率が高められる、第二に、仮説評価活動を行う際、協同で取り組むことによって、反証的証拠を基に既存の仮説が棄却され、新たな仮説が形成されるというプロセスを経て、仮説評価スキーマの教示の下で協同で科学的問題解決に取り組んだときには、正解に至りやすくなるという結果が得られた。

続いて、研究 3 では、この介入効果の実践的検討が行われた。結果、理科授業において科学的問題解決遂行時に、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法は、協同活動は導入するものの、学習者の自力問題解決に頼って教師は特別な働きかけをしない指導法や、教師が模範的な問題解決過程を教示する指導法、観察・実験前の予想とその理由を述べることを促す指導法といった、従来の指導法よりも、指導法下で学習した科学的概念の理解の点で優れているという傾向が示された。指導法下で科学的問題解決が促進された結果、その帰結として得られた科学的概念は、学習者により深く理解されると推察される。しかし、提案した指導法によって、学習者が自発的に仮説評価スキーマを適用するようになるといった、いわば、科学的問題解決スキルの向上が見られるかに関しては、明確にはならなかった。

第 4 部では、概念形成活動に関する指導法を開発して、その効果を検討した。先にも述べたように、概念形成活動の際に生じる問題には、(1) 既存の仮説の反証的証拠が得られても新たな仮説が形成できないという問題と、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題があり、いずれにも領域固有知識の欠如が影響していると考えられた。そこで、まずは、研究 4 として、領域固有知識の教授の必要性について実証した。具体的には、反証的証拠から既存の仮説を棄却した後に、反証的証拠を説明する領域固有知識を入手可能であることによって、正解に至りやすくなることを明らかにした。

これを受けて、研究 5 では、教師が必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直すという指導法を提案して、その後の科学的問題解決に必要な領域固有知識を教授した。この指導法は、学習者が教えられた内容を書き写す場合と比較して、その後の科学的問題解決を促進することが示された。

続いて、研究 6 では、先に述べた、概念形成活動の際に生じる 2 つの問題のうち、特に後者「元の仮説の周辺的な変更で終わってしまう」という問題に着目した指導法の開発を行った。具体的には、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する領域一般知識を教示して、教示しない場合と比較した。検討は、理

科授業場面で行われ、教示によって教示下での科学的問題解決に統計的に有意な差は見られなかったものの、科学的問題解決の帰結として得られた科学的概念の理解の定着が見られることが明らかとなった。また、学習者が自発的に仮説の包括性に関する領域一般知識を適用するようになるといった、いわば、科学的問題解決スキルの向上も見られた。

10.2 心理学・理科教育学研究への寄与と示唆

本論文の学術的貢献としては、まず、科学的問題解決に失敗する理由を特定した上で、それを克服するための指導法を開発したことが挙げられる。その他、本論文のテーマと関連する諸領域へもいくつかの貢献がある。以下、各々について概説していく。

10.2.1 科学的問題解決に関する研究への寄与と示唆

科学的問題解決に関する研究への貢献は、科学的問題解決に必要な活動を小中学生の認識に沿った形で分類したことと、科学的問題解決を促進する具体的な指導法の提案に分けられる。

前者から説明する。研究1では、中学生に科学的問題解決に必要な活動の遂行の程度を尋ねる質問紙調査を実施して、因子分析を行い、活動を「仮説形成・評価」、「結果まとめ」、「概念形成」、「観察・実験の計画と遂行」の4カテゴリーに分類した。これまでの研究では、科学的問題解決に必要な活動は、理論的に、「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程に分けて整理されることが多かった(e.g., Klahr, 2000)。そのうち、「証拠の評価」として1つにまとめられていた活動が分かれて、「結果まとめ」や「概念形成」になったり、「仮説の形成」とまとまって「仮説形成・評価」になったりした結果である。先行研究より精緻に、そして学習者が認識しやすい形で分類することができたと言える。

関連して、後者、科学的問題解決を促進する具体的な指導法の提案について、説明する。研究1では、4カテゴリーの活動のうち、小中学生は「仮説形成・評価」や「概念形成」の活動をあまり行っていないことも明らかとなった。さらに、小中学校の理科担任教師を対象に行った調査の結果、それら2カテゴリーの活動について、教師は有効であるとは思いつつも、あまり指導できていないことが明らかとなった。しかしながら、それら2カテゴリーの活動は、もともと、科学的問題解決を扱った先行研究において、科学的問題解

決を促進する上で重要な働きを担うとされる「証拠の評価」過程にまとめられていた活動である。その上、重要性が高いにもかかわらず「証拠の評価」に失敗してしまう、その理由として、2.1節で難しさを指摘した「仮説評価活動」と「概念形成活動」にほぼ一致する。こうした状況に鑑み、研究2・3、5、6では、仮説評価活動と概念形成活動を指導するための方法を開発して効果を検討した。その概要を Figure 10-2 に示す。

まず、「証拠の評価」という過程は、証拠と仮説の照合であり、証拠が棄却されることもあれば、仮説が棄却されることもあるが、人は概して証拠よりも仮説に甘く偏った評価をしがちであり (e.g., Chinn & Brewer, 1993; Klahr, 2000; Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1998), 証拠の評価というよりは、「仮説の評価」活動に問題があると推察された。この「仮説の評価」を上手く行うためには、(1) 仮説と証拠を明確にし、両者を照合する重要性や手続きを知り、行えること、また、(2) その照合が適切かを判断できることが必要となる。

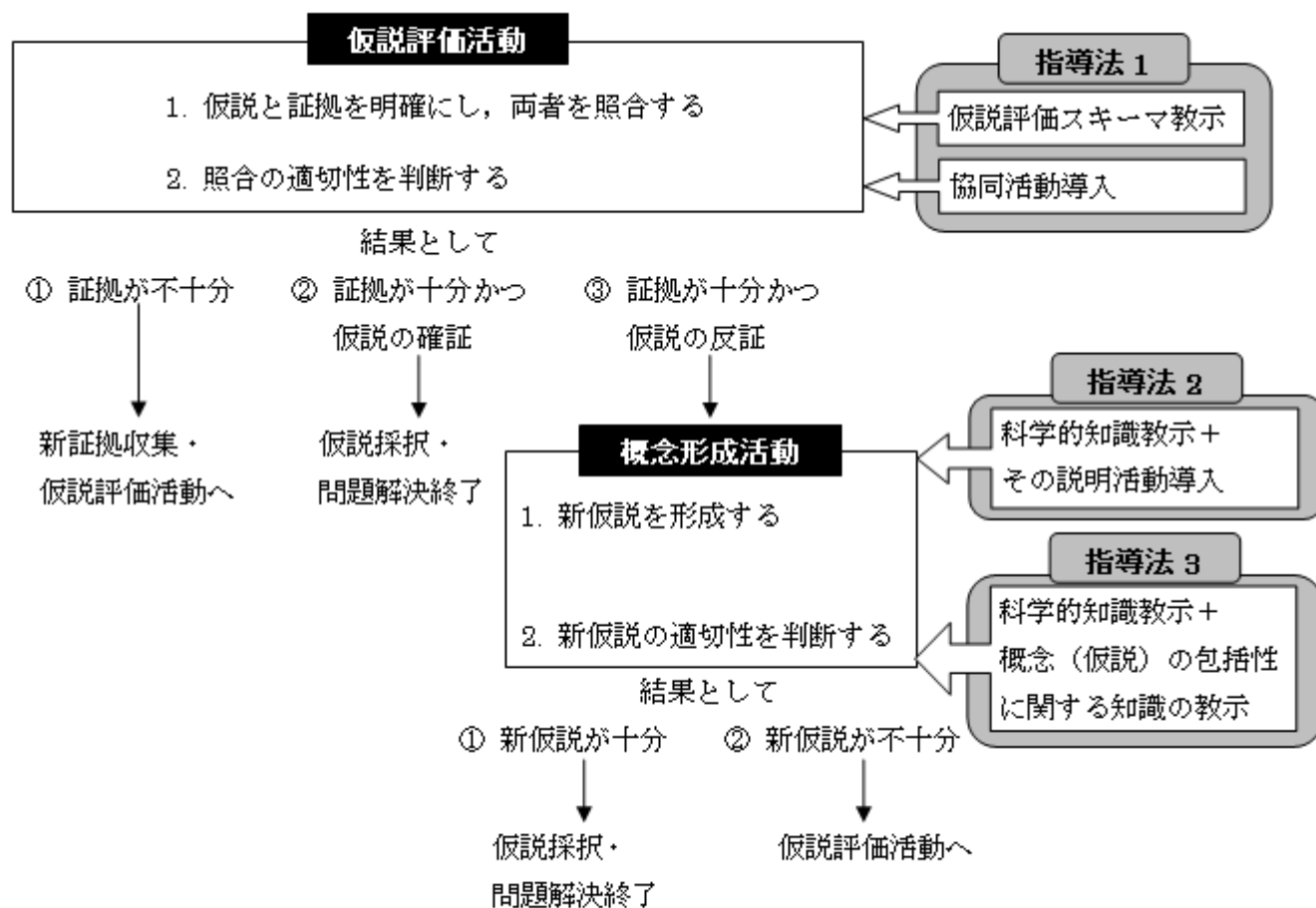


Figure 10-2 本論文で提案した指導法の全体像 (Figure 3-1 の再掲)

これらを促すため、(1) 証拠収集の計画、予測、結果の観察、結果の考察という仮説と証拠の照合手続きに関する知識として仮説評価スキーマを教示する、また、(2) 適切性のモニター・コントロールをする外的な視点を設けるために協同活動を導入するという指導を提案し、併せて行う効果を示した。仮説評価活動に関しては、これまで、この活動に特化して指導法を提案した研究自体数が少なく、提案を試みた研究でも思うような効果が得られていない (e.g., Chinn & Malhorta, 2002) という状況である。そうした中であって、有効な指導法を提案できたことは大きな意義があると言えるだろう。

さて、仮説を評価した結果、証拠の方が仮説を評価するのに不十分であった場合には、別の証拠を収集して、再び仮説評価活動を行うことになる。証拠が十分であり、かつ仮説を保持できるものであった場合には、その仮説を最終解答として科学的問題解決を終了できる。問題が生じやすいのは、証拠が十分であり、かつ仮説を棄却するものであった場合である。この場合、(1) 新たな仮説を形成し、なおかつ、(2) その仮説が適切でなくてはならないが、これには仮説の抛り所となる概念の変化、新しい「概念の形成」が要件となることが想定され、非常に難しい。数多くの理科教育実践や心理学研究によれば、(1) どうしても新たな仮説を形成できないという問題 (e.g., 曾我部, 1985 ; 高垣・田原・富田, 2006) や、(2) 元の仮説の周辺的な変更で終わってしまうという問題 (e.g., Chinn & Brewer, 1993 ; Vosniadou & Brewer, 1992) が指摘されている。これらの問題に対処するために、(1) 概念形成を支える領域固有知識を教授し、さらに教授された内容を自分の言葉で説明し直させるという活動の導入、(2) 新たに形成すべき仮説は包括的であるほうが好ましいという領域一般知識の教示を行い、その効果を示した。(1) の指導は、これまでの研究が「どのような領域固有知識をどのように与えるか」という観点のもと、知識を受け入れる学習者のあり方には無関心であったことを考慮し、学習者が教えられた知識を自分の言葉で説明し直すという活動も取り入れたことに特徴がある。(2) の指導で行った教示の効果は、中島 (1997) によって心理学実験場面で示されているものの、理科授業としての効果を検討した研究は未だ行われておらず、本論文で初めてその有効性が示された。ゆえに、概念形成活動に関する指導法の提案と効果の検討も、指導内容や効果検討の観点において、これまでの研究を越えるものであり、やはり意義があると言えるだろう。

さらに、提案した全ての指導法をまとめると、Figure 10-2 に示されるように、科学的問題解決を促進する上で重要な働きを担うと想定される場面において、そこに必要なステップとステップを順調に経ていくための知識やスキルをリストアップし、網羅的に指導を

開発していることが推察できる。科学的問題解決の指導研究として広く貢献できるものと言えるだろう。

10.2.2 関連する諸領域の研究への寄与と示唆

先に述べた科学的問題解決に関する研究への貢献の他に、本論文の学術的貢献として、本論文のテーマと関連する諸領域へのいくつかの貢献も挙げることができる。それらは、(1) 学習方略、(2) 協同、(3) 概念変化を促す教授法、(4) 説明、各々に関する研究への示唆である。順に述べる。

10.2.2.1 学習方略研究への寄与と示唆

まず、(1) 学習方略研究への示唆である。学習方略とは、学習の効果を高めることを目指して意図的に行う心的操作あるいは活動と広く定義されている(辰野, 1997)。したがって、学習方略に関する研究を概観すると、特定の教科において使用する目的で提案された方略、複数の教科において使用する目的で提案された方略など、様々なものが含まれる(レビューとして、瀬尾・植阪・市川, 2008)。そして、それら方略の使用には、まず、どのような方略があるかという知識を持っていること、その他、方略に対する有効性の認知が高いこと、方略使用のコストの認知が低いことが影響すると言われている。具体的には、歴史に特化した学習方略(村山, 2003)、「勉強するときは、内容を自分の知っている言葉で理解するようにする」などの教科横断的な学習方略(佐藤, 1998)を用いて実証されている。

こうした中であって、本論文の研究1では、科学的問題解決に必要な活動の遂行においても、どのような活動があるかという知識を持っていること、すなわち、教師の指導や、有効性の認知が高いことが影響することを示した。学習方略研究の方向性に一定の支持を与えるものと言えるだろう。

10.2.2.2 協同に関する研究への寄与と示唆

(2) 協同に関する研究への示唆について述べる。そもそも協同に関する研究は、古くは社会心理学の分野で精力的に行われ、一般的な期待に反して、協同は問題解決の正確さや意思決定の合理性を高めにくいという結果が得られてきたと言う(レビューとして、植田・岡田, 2000)。これに対して、Okada & Simon (1997)は、協同はやはり問題解決を促進するという結果を示し、その要因を、協同時に生じる説明活動に求めている。こうし

た協同の効果についての相反する知見を、どのように理解すればよいのであろうか。この点に関して、亀田（2000）は、協同、そしてその中で生じる相互作用に、高い自由度や即興性のある関係をむやみに想定せず、相互作用は、課題の構造や、人々の間に存在する相互依存の構造から制約を受けることを考えなくてはならないと指摘している。言い換えると、効果のある「相互作用」を可能にするためには、それに必要な課題や相互依存構造を見つけなくてはならないというわけである。

この指摘は、科学的問題解決や理科授業の指導法として協同を導入する際にも当てはまるだろう。事実、協同を導入しても良い結果が得られなかったという研究例は多い（e.g., Dimant & Bearison, 1991; Howe, Tolmie, Greer, & Mackenzie, 1995）。そうした現状にあって、本論文の研究2では、科学的問題解決において、仮説評価スキーマを教示した上で協同させた場合に、効果が得られることを明らかにした。その効果は、ただ協同させた場合よりも大きかった。この場合、仮説評価スキーマの教示は、協同が有効に機能するための働きかけと捉えることができる。したがって、協同に関する研究の分野において、その有効性を導く手段の一つを提案したとして、貢献できたと言えるだろう。

10.2.2.3 概念変化を促す教授法研究への寄与と示唆

次に（3）概念変化を促す教授法への示唆について述べる。学校教育において科学的概念が教えられるときに、学習者が予め日常経験を通じて構成している概念が障害となり得ることが知られている（e.g., Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982）。この学習者既存の概念は、一般に科学的概念とは一致しないものの、何らかの知識体系あるいは因果的説明の枠組みの中に埋め込まれて存在し、それなりの一貫性と日常生活での実用的な価値を持っている（e.g., Clement, 1982; 細谷, 1976）。そのため、単に科学的概念を説明する程度では、概念変化は期待できない。Posner, Strike, Hewson, & Gertzog（1982）の概念変化理論では、まず、学習者が予め構成している概念では自然現象を上手く説明できないという不満を抱く必要があることを指摘している。その上で、新しく導入する科学的概念は、その不満を解消するに足ることを理解することが重要であると言う。このPosnerらによる概念変化理論の提唱に沿った形で、概念変化を促す教授法の在り方が様々に検討されてきた。それらは2つに大別できる。すなわち、学習者に提示する事例の種類—学習者既存の概念の反証例か否か—とその提示順（e.g., Clement, 1993; 細谷, 1976; 進藤, 1995）や、科学的概念そのものだけでなく関連する諸概念を教授すること（e.g., Hashweh, 1986; 高垣・田爪・降旗・櫻井, 2008; Tsai, 2000;）である。

これら、概念変化のプロセスを考慮して、「教授者が、学習者にどのような情報をどのように与えるべきか」という観点から教授法を提案する試みは、教育実践場面に有用な示唆を与えるものである。しかしながら、概念変化には「教授者」と「教授内容」だけでなく、最終的に概念を変化させるべき「学習者」が関わる。したがって、教授の後には、学習者の中で想定した通りに概念変化が生じているか、学習者が教えられた内容を理解しているかを改めて確認し、理解を促す関わり方を指導することもまた、重要であろう。

こうした状況に鑑み、本論文の研究5では、教師が概念変化を生じさせるのに必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入した。そして、学習者がこのような説明活動を行った場合に、教師の説明を書き写した場合に比べて、学習効果が高まることを示した。こうして、「学習者が与えられた情報にどのように関わるか」についても明確に焦点を当てて研究を進めていくことが必要であることを明らかにしたことは、これまでの概念変化を目的とする教授法研究に新たな視座を開くものであり、大きな意義があると言えよう。

10.2.2.4 説明に関する研究への寄与と示唆

最後に(4)説明に関する研究への示唆について述べる。説明に関する研究の主流は、やはり Chi, DeLeeuw, Chiu, & LaVancer(1994)が提唱した「自己説明(self-explanation)」であろう。学習者がテキスト読解中に自己説明を行うことによって、推論が促され、テキストに書かれている以上の知識を生成するという効果は、非常に魅力的である。しかしながら、この推論を重視する自己説明の効果を一般化しようとする際には、幾つかの無視できない点がある。一つは、用いられるテキストの難易度である。難度が高い場合、潜在的に推論が可能であったとしても、現実的には自己説明の中で推論が生じることは多くの場合望めないだろう。もう一つは、学習者の既有知識である。正しく推論するために必要な知識を有していない学習者は、自己説明を求められても、理解が進まない可能性が高い。すなわち、Chi, et al. (1994)の研究で自己説明が有効なのは、テキストの難易度や学習者の既有知識が一定の適切な範囲にある場合であるからということになる。したがって、学習者が誤概念を持っているなど、上記の条件を満たせない場合には、推論を重視する自己説明の効果を期待することは困難であると言えるだろう。

では、そうした場合には、説明させる意味はないのであろうか。この問いに関しては、Chiらの自己説明とは異なる形態の「説明」があること、その効果が期待できることを、自信を持って薦めたい。まず、Chiらの自己説明とは異なる形態の「説明」とは何かであ

るが、これは、教えられた内容を自分の言葉で説明し直す、再生に近い「説明」である。「そのような説明はできて当たり前ではないか」という疑問があるだろうか。実際には、教えられてわかったつもりになっていても、いざわかったことを「自分の言葉で」説明するよう求められると、困難を示す学習者は多いことがいくつかの研究で指摘されている（e.g., 市川, 1998）。さらに、この「説明」に対しては、理解の不十分な点が明確になるだけでなく、教えられた内容に立ち返って改めて知識を構築し、深化させていくことにもつながるとの期待も寄せられているにもかかわらず、説明を自発的に行う学習者は少ないと言う（市川, 2000）。授業で説明を取り入れているという実践報告は散見される（e.g., 森田, 2006）が、説明自体の効果を検証した研究は行われていないのが現状である。

こうした中であって、本論文の研究5では、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動の効果を、教師の説明を書き写す場合と比べて、実証した。このことは、Chiらの自己説明とは異なった形態の「説明」の重要性を明確に示したものであり、説明研究において意義があると言えよう。

10.3 教育場面への寄与と示唆

本論文において得られた結果から、教育場面にどのような貢献を行うことができるだろうか。この問いに対して、以下の3つを挙げたい。

第一に、教育場面で適用可能性が高い指導法を提案したことである。適用可能性が高いとは、大別して2つの結果を得ていることによる。1つは、個別の働きかけが、どのような効果を生むのかを明らかにしたことである。具体的には、

- (1) 仮説評価スキーマの教示,
- (2) 協同活動,
- (3) 教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動,
- (4) 仮説の包括性に関する領域一般知識の教示,

各々が学習のどのようなプロセスを促すのかを、心理学実験の手法を用いたり、実験授業を行って統制群と比較したり、そして、学習プロセスの分析を行ったりすることによって示した。その一方で、もう1つ、個別の働きかけを取り入れた理科授業を行い、授業として効果があることも示している。この2つの結果、すなわち、個別の働きかけを提案してその効果を示し、また、個別の働きかけを一つもしくは複数取り入れた理科授業を提案し

てその全体としての効果を示したことは、本論文で得られた結果を教育場面において様々な方法で適用可能にする。なぜなら、教育場面において、理科授業として提案した指導法をそのまま行うことも、学習者や課題等様々な要因に考慮して個別の働きかけを選んで行うことも可能であるからである。こうした適用可能性の高い形で指導法を提案できたことが、本研究の一つの意義と言えるだろう。

第二に、科学的問題解決における領域一般知識や、それをを用いて活動を行うことを、より明示的に指導すべきであると提案して、教育場面への貢献の一つとしたい。理科教育において、特定の分野や領域を越えた領域一般知識があることや、さらに、それに基づいて適切な活動を行うスキルがあることが重視されていることは、第1章でも述べた通りである。国際的な学力調査である TIMSS では、科学的探究 (scientific inquiry) に上手く従事するために必要な知識や能力を評価しようとしているし、PISA でも、その科学的リテラシー評価の枠組みの中に「知識 (knowledge)」や「能力 (competencies)」を挙げている。一方、国内の学習指導要領の中には、「条件に目を向けながら調べ」るや、「推論しながら調べ」るなど、領域一般的な活動を促すものが、小学校3学年から見受けられるものの、その数は少なく、それらを統合した科学的問題解決に必要な知識やスキルの全体像も示されていない。これは、学習指導要領は、科学的問題解決に必要な知識やスキルについて語るよりも、科学的問題解決などを通して学習する内容、科学的概念に即して語られているためであろう。科学的問題解決に必要な知識やスキルは、科学的概念を獲得するための方法として、各教師が必要に応じて指導することが期待されているのかもしれない。

しかし、実際には、本論文の研究1で行われた小中学生の科学的問題解決に関する調査によれば、小中学生が理科授業であまり行っていないと考えている活動があること、そうした活動は教師に指導されていると思う認知や、有効性の認知も低いことが明らかとなった。遂行の程度が低いとされる活動は、具体的には「仮説形成・評価」や「概念形成」など、科学的問題解決を行う上で重要と捉えられるものであるにもかかわらず、である。こうした活動の重要性を明示的に教えるとともに、行うよう促していくことが必要と言えるだろう。

事実、本論文の研究2以降で提案した領域一般知識に関する指導は、仮説評価スキーマの教示や仮説の包括性に関する領域一般知識の教示など、その重要性を説くとともに、実際に使わせるという形をとった。その効果が得られていることから、科学的問題解決に

おける領域一般知識や、それを用いて活動を行うことを、より明示的に指導すべきであることが支持されると言えるだろう。

第三に、教えることと考えさせることのバランスを大切にすべきであると実証したことを挙げたい。「問題解決」はそもそも、1990年代、いわゆる「ゆとり教育：知識重視型の詰め込み教育ではなく、経験重視のゆとりある教育」が目指された時代に、「指導より支援」、「子ども主体」などと並んで、キーワードの一つとなっていた。市川（2008）によれば、その当時は、新しい概念については、教師はあまり教えずに、学習者に具体的活動を行わせて、そこから帰納的に導かせようとする授業が多く見られたと言う。理科授業において考えれば、学習者に科学的問題解決を行わせて、自力で科学的概念を導くことを期待する授業が行われたということであろう。しかしながら、学習者の自力解決に頼るだけでは、問題解決過程で行き詰まりが生じる可能性が高く、十分な学習効果は得られないのが現実である（e.g., 市川, 2004, 2008; 小川, 1988）。こうした現状に鑑み、本論文の研究2や3で提案した仮説評価スキーマの教示や、研究6で提案した仮説の包括性に関する領域一般知識の教示は、学習者の科学的問題解決を促進するサポートを教師が与えるという意味で重要な指導であり、それを提案し有効性を示した価値は高いと言えるだろう。

さらに、近年では、教師が教える内容を、領域一般知識に限らず、領域固有知識にも踏み込んで、教科書を開けば出ているような基本事項は教師から教えてしまった上で、理解を深める課題において問題解決を行うという「教えて考えさせる授業」（市川, 2004）が提案されている。「教えて考えさせる授業」の基本スタイルは以下のようなものである。(1)教科書を開けば出ているような基本事項は教師から教える。(2)教えられた内容について、子ども同士の相互説明や教え合い活動などを通して、理解の確認をはかる。その上でさらに、(3)理解を深める課題によって問題解決や討論などを行う。(4)授業の最後には、今日の授業でわかったこと、わからないことを自己評価として記述させる。このうち(3)理解を深める課題としては、教えられたことを使って考えさせる発展的な問題や、多くの学習者が誤解していそうな問題が用意されると言う。こうして考えると、本論文の研究5においてなされた、教師が概念変化に必要な事例や情報を十分と考えられる形で教授した上で、学習者が教えられた内容を自分の言葉で説明し直す活動を導入する、そしてその後に問題解決を行うという授業は、「教えて考えさせる」授業と軌を一にするものと考えられる。

「教えて考えさせる授業」は、現在、教育場面で数多くの実践として展開されている(e.g., 市川, 2008; 市川・鎬木, 2009)ものの、実践の蓄積がなされている段階であり、効果の検討や、既存の研究や学習理論と結び付けて研究としていく方向性などは弱いのが実情である。こうした状況に鑑みると、本論文の研究5で、既存の研究と結び付けて具体的な授業を提案し、その効果を実証できたことは、教育場面で期待されている、「教えて考えさせる授業」を支持し、発展させる一つの知見として重要であると言えるだろう。

10.4 本論文の限界と今後の課題

最後に、本論文の限界と今後の課題についてまとめる。本論文には、以下に挙げる5つの限界がある。

第一に、本論文の研究1で行われた、小中学生の科学的問題解決の実態調査の調査法の問題が2つ挙げられる。一つは、理科授業内の科学的問題解決時にどのような活動をどの程度行っているかについて、小中学生の実際の遂行の程度を観察するのではなく、小中学生自身がどの程度行っていると思っているかという「遂行の認知」を質問紙で尋ねたことである。実際に遂行していることと、遂行していると思っていることの関係については、犬塚(2002)が、読解をテーマとし、読解方略をどれくらい行っているかを尋ねる質問紙の結果と、実際に読解中の思考を発話させた結果を比較して、2つの結果が有意に関連していることを示している。しかし、犬塚(2002)自身も指摘しているように、質問紙による測定は、回答者の主観が入りこんでしまうという批判を避けることができない。今後は、学習者の理科授業内の科学的問題解決の様子を捉える観察法や行動指標を開発して、本論文で得られた結果について再検討する必要があるだろう。

もう一つ、本論文の研究1で行われた、実態調査の調査法の問題として、教師を対象とした調査3の問題がある。調査3では、探索的に調査することを目的に、量・回答内容共に多少負担のかかる調査を、少数の教師に実施した。結果として得られたものが全てとは言えないが、「仮説形成・評価」や「概念形成」活動を有効だと思っていない教師や、有効だと思いながら指導していない教師が存在し、その理由が明らかになったことは、今後につながる有益な知見であると考えられる。しかしながら、その一般化可能性については疑問が残る。今後は、今回の調査をもとに、回答内容を工夫した調査を計画し、多数の教師を対象に実施して、より一般化可能な結果を導いていく必要があるだろう。

第二に、本論文で提案した3つの指導法の効果の個人差や持続性について未検討であることが挙げられる。まず、個人差に関して、本研究で提案した指導法が、どの学習者にも一様に必要である、もしくは有効であるとは言い切れない。必要性に関して言えば、本論文で指導した知識やスキルを既に獲得していて、改めて必要とはしないという学習者もいるだろう。有効性に関しては、実際に、本論文の研究3において、仮説評価スキーマの教示と協同活動を導入するという指導法は、科学的問題解決スキル、すなわち、仮説評価スキーマの自発的な使用に関しては、確たる効果は見られなかった。この理由として、授業内で仮説評価スキーマを教えられても、すぐにはそれに基づいた活動ができなかった学習者もいたことから、仮説評価スキーマを即座に適用することが困難な学習者は多いと推察されている。こうした学習者は、授業を通じて徐々に仮説評価スキーマを適用できるようになったが、その般化には十分に至らなかったと考えられる。今後は、発達段階や学力差などの個人差変数に焦点を当てて、検討を進めていくことが課題であろう。

また、持続性に関する検討も行われていない。本論文で行った指導法の検討は、心理学実験においても、理科授業においても、時間的制約を受けて短期間に行われたものであった。そのため、指導法の効果の持続といった点に関する検討は十分ではない。この点に関して、特に授業効果に関しては、学校その他の教育機関との連携を図り、より丁寧に検討していくことが望まれる。

第三に、本論文で提案した指導法の中の協同活動について、より詳細な分析を行うことが挙げられる。本論文では、第5章研究2、第6章研究3に代表されるように協同活動を導入した指導法を多く提案し、導入によって効果があったことを示している。しかし、第7章研究4では、協同活動を行うという事態は同じでも、協同するメンバーの領域固有知識レベルの違いによって、協同活動の効果が異なることを示した。このことから、第5章研究2や第6章研究3においても、全体としては協同活動の効果が見られたものの、協同活動を行ったグループを個別に見れば、効果が大きかったグループもあればそうでないグループもあることが推察される。その差は何に起因するのか、やはり第7章研究4で示されたように、協同するメンバーの領域固有知識レベルの差異なのか、それとも、それ以外にも要因があるのか。こうした問いに答えていくことは、協同に関する研究に大きな示唆を与えると考えられる。したがって、協同活動を行った全グループの特徴と成果を個別に観察・分析していくことも、今後の課題の一つと言えよう。

第四に、概念形成活動の定義に関わる問題がある。本論文では、証拠を基に、既存の仮説を棄却して、新たな仮説を形成することを概念形成と呼んだ。この命名には、「(初期)仮説形成」と区別し、既存の初期仮説を棄却して新仮説を形成するにあたっては、仮説の拠り所となる概念の変化が要件となることが含意されている。しかしながら、本論文において、概念形成活動が生じたかどうかは、研究2・4においては(1)新仮説が形成できたかどうか、また、研究3・5・6においては(2)新しい概念(科学的概念)に基づくと正答できるような問題に正答できたかどうかによって、推察されているに過ぎない。こうした評価の仕方は、科学的問題解決に関する研究においては一般的と言えるが、概念変化に関する研究における方法とは異なる。例えば、子どもの持つ地球の形に関する概念がどのように変化するかを検討した Vosniadou & Brewer (1993) では、子どもに、「地球はどのような形をしているのか」に始まり、「地球の上には何があるのか」、「人はどこに住んでいるのか」といった地球の形概念そのものについて多様な観点から質問して、言語で解答させるのみならず図化させることも通して答えさせ、子どもがどのような概念を持っているかを明らかにしている。このような方法を参考に、本論文で見られた仮説の変化に先立ちその拠り所となる概念がどのように変化したのかについても検討を進めていくことが今後の課題である。

第五に、本論文で検討した「科学的問題解決」や、「科学的問題解決に必要な知識やスキル」の範囲の問題がある。第1章第1節で、心理学の先行研究を基に、本論文における「科学的問題解決」を「与えられた問題に対し、科学的な手法を用いてその解を導くこと」と定義し、それは「仮説の形成」、「観察・実験の計画と遂行」、「証拠の評価」の3つの過程から成り、各過程で「領域固有」と「領域一般」の2種類の知識を必要とすると述べた。その上で、人は「証拠の評価」に失敗しやすいことを指摘し、それを克服するのに必要な「領域固有」、「領域一般」知識の指導を提案してきた。しかし、それは、その他の過程における「領域固有」、「領域一般」知識の指導を軽視するものではない。例えば、「観察・実験の計画と遂行」において、適切な観察・実験器具を選んだり、適切な比較の仕方を考えたりすることは重要であり、それができるよう促す指導も必要であろう。さらに、本論文で「科学的問題解決」と定義した以外にも関連する思考活動は多い。例えば、第1章第2節で述べたように、理科教育場面においては、問題を与えられてその解を導くだけでなく、疑問の発生や問題の設定を重視することもある。本論文では、そうした過程については捉えきれていない。また、「科学的問題解決に必要な知識やスキル」に関しても、領域固

有と領域一般の知識のみならず，科学の諸問題への「態度」も重視されることがある（経済協力開発機構，2010）が，その育成には特に長期的な関わりが必要であると想定され，本論文では短期間の指導が多かったことから，関与していない。したがって，本論文で得られた結果の考察に当たっては，本論文が対象とした範囲を明確にしていくことが必要となるだろう。対象としなかった範囲についてもその重要性は明白であり，今後の検討課題としていきたい。

以上に述べた残された課題の追究とともに，本研究で提案した全ての指導を組み込んだ教育プログラムを提案し，より良い理科教育に貢献していくことが今後の課題である。

おわりに

本論文は、科学的問題解決の促進をテーマとし、そこに必要な科学的な知識やスキルを学習していく年代である小中学生を対象として、彼らの抱える困難を明らかにした上で、それを克服するための指導法を開発していくことを目的として、検討を進めてきた。具体的には、まず、心理学・理科教育学のこれまでの研究の概観から、人は「証拠の評価」に失敗しやすいことを明らかにした。この失敗の原因は、人は、証拠から仮説を保持したり棄却したりする「仮説評価活動」を十分に行えないことと、仮説評価活動を行った場合であっても、反証的証拠によって既存の仮説が棄却された後には、新たな仮説を形成する「概念形成活動」が適切に行えないことの2つに大別される。そこで、次に、これらの困難を克服するための指導法を開発して、その効果を実証した。仮説評価活動を十分に行えないという困難に対しては、仮説評価活動の手続きに関する知識である「仮説評価スキーマ」の教示と協同活動の導入が有効に働くことを示した。概念形成活動が適切に行えないという困難に対しては、必要な領域固有知識を教授した上で、その内容を学習者自身の言葉で説明し直させるという指導法や、「全ての観察・実験結果を包括的に説明する仮説が好ましい」という仮説の包括性に関する領域一般知識を教示するという指導法が、有効に働くことを示した。

本論文で指導したような科学的問題解決に必要な知識やスキルは、小中学校の理科授業において、もしくは、長じて、科学者や開発者等、科学を専門とする職業に就いた場合においてのみならず、日常生活においても必要とされるものである。そのことは、本論文の冒頭の例でも示したように、2011年東日本大震災をきっかけとして福島第一原子力発電所の事故が起こって以来、多くの人が、日常的に放射能とは何かという知識を求めたり、放射能と健康の関係を示すデータを評価したりして過ごす中で、実感しているものと思われる。科学的な知識やスキルの育成は、科学の発展のみならず、人が賢く日常生活を営めるよう促す上でも、非常に重要であるということができる。

本論文で得られた知見が、小中学校の理科授業の一助となり、学習者の成長を促すことにつながれば、幸いであると思う。

引用文献

- Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1986). The sequence of learning cycle activities in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, **23**, 121-143.
- Amsel, E., & Brock, S. (1996). The development of evidence evaluation skills. *Cognitive Development*, **11**, 523-550.
- Blair, R. C., Higgins, J. J., Topping, M. E. H., & Mottimer, A. L. (1983). An investigation of the robustness of the t test to unit of analysis violations. *Educational and Psychological Measurement*, **43**, 69-80.
- Case, R. (1974). Structures and strictures: Some functional limitations on the course of cognitive growth. *Cognitive Psychology*, **6**, 544-573.
- Cary S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge MA: MIT Press.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, **70**, 1098-1120.
- Chi, M. T. H., DeLeeuw, N., Chiu, M., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, **18**, 439-477.
- Chinn, C. A., & Brewew, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, **63**, 1-49.
- Chinn, C. A., Duschl, R. A., Duncan, R. G., Buckland, L. A., & Pluta, W. J. (2008). A microgenetic classroom study of learning to reason scientifically through modeling and argumentation. In *ICLS 2008: Proceedings of international society of the learning science*: Lulu.
- Chinn, C. A., & Malhorta, B. A. (2002). Children's response to anomalous scientific data: How is conceptual change impeded? *Journal of Educational Psychology*, **94**, 327-343.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American journal of Physics*, **50**, 66-71.

- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, **30**, 1241-1257.
- 大日本図書 (2011). たのしい理科 6年-2 大日本図書.
- 大日本図書 (2011). 理科の世界 1年 大日本図書.
- Dimant, R.J., & Bearison, D.J. (1991). Development of formal reasoning during successive peer interactions. *Developmental Psychology*, **27**, 277-284.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, **17**, 397-434.
- Dunbar, K. (1994). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sternberg and J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*, pp.365-395. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- 藤田敦 (2005). 複数事例の提示が概念の般化可能性に及ぼす影響: 気圧の力学的性質に関する概念受容学習過程 教育心理学研究, **53**, 122-132. (Fujita, A. 2005 Concept generalization: Multiple examples and reception learning of concepts about air pressure phenomena. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **53**, 122-132.)
- Hashweh, M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, **8**, 229-249.
- Hidi, S., & Ainley, M. (2008). Interest and self-regulation: Relationships between two variables that influence learning. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), *Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications*, pp. 77-110. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (ハイディ, S.・エインリー, M. 塚野州一 (編訳) (2009). 自己調整学習と動機づけ 北大路書房)
- 細谷純 (1976). 課題解決のストラテジー 藤永保 (編) 思考心理学 (pp.136-156) 大日本図書.
- Howe, C., Tolmie, A., Greer, K., & Mackenzie, M. (1995). Peer collaboration and conceptual growth in physics: Task influences on children's understanding of heating and cooling. *Cognition and Instruction*, **13**, 483-503.
- 市川伸一 (1998). 認知カウンセリングから見た学習の相談と指導 ブレーン出版.
- 市川伸一 (2000). 概念, 図式, 手続きの言語的記述を促す学習指導: 認知カウンセリング

- グの事例を通しての提案と考察 教育心理学研究, **48**, 361-371. (Ichikawa, S. 2000 Promoting verbal descriptions of concepts, diagrams, and procedures in learning: Suggestions and discussion through cases of cognitive counseling. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **48**, 361-371.)
- 市川伸一 (2004). 学ぶ意欲とスキルを育てる：いま求められる学力向上策 小学館.
- 市川伸一 (2008). 「教えて考えさせる授業」を創る 図書文化.
- 市川伸一・鏑木良夫編 (2009). 新版「教えて考えさせる授業」小学校 図書文化.
- Inagaki, K, & Hatano, G. (1987). Young children's spontaneous personification as analogy. *Child Development*, **58**, 1013-1020.
- Inagaki, K, & Hatano, G. (1991). Constrained person analogy in young children's biological inference. *Cognitive Development*, **6**, 219-231.
- 犬塚美輪 (2002). 説明文における読解方略の構造 教育心理学研究, **50**, 152-162. (Inuzuka, M. 2002 The structure of reading strategies for understanding expository text. *Journal of Educational Psychology*, **50**, 152-162.)
- 板倉聖宣・上廻昭 (1965). 仮説実験授業入門 明治図書出版.
- 板倉聖宣・渡辺慶二 (1974). ものとその重さ 国土社.
- 亀田達也 (2000). 協同行為と相互作用：構造的視点による検討 植田一博・岡田猛 (編著) 協同の知を探る：創造的コラボレーションの認知科学 (pp.50-77) 共立出版.
- Karplus, R., & Their, H. D. (1967). *A new look at elementary school science: Science curriculum improvement study*. Chicago: Rand McNally.
- 経済協力開発機構 (OECD) (編著) 国立教育政策研究所 (監訳) (2010). PISA2009年調査評価の枠組み：OECD生徒の学習到達度調査 赤石出版.
- 木下博義・松浦拓也・角屋重樹 (2007). 理科の観察・実験活動におけるメタ認知の実態とその要因構造に関する研究 日本教育工学会論文誌, **30**, 355-363. (Kinoshita, H., Matsuura, T., & Kadoya, S. 2007 A Research on Metacognition in Observational / Experimental Activities in Science and the Factor Structure. *Japan Journal of Educational Technology*, **30**, 355-363.)
- 木下博義・松浦拓也・清水欽也・寺本貴啓・角屋重樹 (2012). 理科における観察・実験結果の考察に関する子どもの学習実態と要因構造の分析：小学生と中学生との比較か

- ら 理科教育学研究, **53**, 29-35. (Kinoshita, H., Matsuura, T., Shimizu, K., Teramoto, T., & Kadoya, S. 2012 A structural analysis of the learning situation of children related to the observation and consideration of experimental results in science: From the perspective of comparison with elementary school students and junior high school students. *Journal of Research in Science Education*, **53**, 29-35.)
- 清河幸子 (2002). 表象変化を促進する相互依存構造: 課題レベル-メタレベルの分業による協同の有効性の検討 認知科学, **9**, 450-458. (Kiyokawa, S. 2002 The interdependence structure facilitating representational change: Collaborative problem solving dividing activities into a task level and a metatask level. *Cognitive Studies*, **9**, 450-458.)
- Klahr, D. (2000). *Exploring science*. Cambridge MA: MIT Press.
- Klahr, D., Fay, A.L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A development study. *Cognitive Psychology*, **24**, 111-146.
- Koslowski, B., Okazaki, L., Lorenz, C., & Umbach, D. (1989). When covariation is not enough: The role of causal mechanism, sampling method, and sample size in causal reasoning. *Child Development*, **60**, 1316-1327.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific reasoning skills*. CA: Academic Press.
- Kuhn, D., & Angelev, J. (1976). An experimental study of the development of formal operational thought. *Child Development*, **47**, 697-706.
- 麻柄啓一 (1996). 学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか 教育心理学研究, **44**, 379-388. (Magara, K. 1996 Why is it difficult to rectify a misconception in learners? *Japanese Journal of Educational Psychology*, **44**, 379-388.)
- McCloskey, M., Washburn, A., & Felch, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **9**, 636-649.
- McElroy, L. A., & Slamecka, N. J. (1982). Memorial consequences of generating nonwords: Implication for theories of the generation effects. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, **21**, 249-259.

- Miyake, N. (1986). Constructive interaction and the iterative process of understanding. *Cognitive Science*, **10**, 151-177.
- 宮下孝広・村山功 (1985). 気体の力学的性質の理解について 発達研究, **1**, 145-158.
(Miyashita, T., & Murayama, I. 1985 Students' understanding of the mechanical nature of gas. *Human Development Research*, **1**, 145-158.)
- 文部科学省 (2008). 中学校学習指導要領 東山書房.
- 文部科学省 (2008). 中学校学習指導要領解説理科編 大日本図書.
- 文部科学省 (2008). 小学校学習指導要領 東京書籍.
- 森田和良 (2006). 科学的読解力を育てる説明活動のレポーリー 学事出版.
- 村山航 (2003). 学習方略の使用と短期的・長期的な有効性の認知との関係 教育心理学研究, **51**, 130-140. (Murayama, K. 2003 Learning strategy use and short- and long-term perceived utility. *Japanese Journal of educational psychology*, **51**, 130-140.)
- Mynatt, C. R., Doherty, M. E., & Tweney, R. D. (1977). Confirmation bias in a simulated research environment: An experimental study of scientific inference. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **29**, 85-95.
- 中島伸子 (1997). ルール修正に及ぼす反例遭遇経験の役割：理論の節約性に関するメタ知識の教授の効果 教育心理学研究, **45**, 263-273. (Nakashima, N. 1997 The role of counterevidence in rule revision: The effects of instructing metaknowledge concerning non adhocness of theory. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **45**, 263-273.)
- 小川正賢 (1998). 「理科」の再発見：異文化としての西洋科学 農山漁村文化協会.
- Okada, T., & Simon, H.A. (1997). Collaborative discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, **21**, 109-146.
- Palincsar, A.S., Collins, K., Marano, N., & Magnusson, S.J. (2000). Investigating the engagement and learning of students with learning disabilities in guided inquiry science teaching. *Language, Speech, and Hearing Services in the schools*, **31**, 240-251.
- Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learner's epistemic criteria for good scientific models. *Journal of research in science teaching*. **48**, 486-511.

- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, **66**, 211 - 227.
- Renner, J. W., Abraham, M. R., & Birnie, H. H. (1988). The necessity of each phase of the learning cycle in teaching high school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, **25**, 39-58.
- Roy, M., & Chi, M. T. H. (2005). The self-explanation principle. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning*, pp. 271-286. Cambridge, U. K.: Cambridge University Press.
- Ruffman, T., Permer, J., Olson, D. R., & Doherty, M. (1993). Reflecting on scientific thinking: Children's understanding of the hypothesis-evidence relation. *Child Development*, **64**, 1617-1636.
- Samarapungavan, A. (1992). Children's judgments in theory choice tasks: Scientific rationality in childhood. *Cognition*, **45**, 1-32.
- Samarapungavan, A., Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1996). Mental model of the earth, sun, and moon: Indian children's cosmologies. *Cognitive Development*, **11**, 491-521.
- 佐藤純 (1998). 学習方略の有効性の認知・コストの認知・好みが学習方略の使用に及ぼす影響 教育心理学研究, **46**, 367-376. (Sato, J. 1998 Effects of learners' perceptions of utility and costs, and learning strategy preferences. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **46**, 367-376.)
- Schunn, C. D., & Anderson, J. R. (1999). The generality/specificity of expertise in scientific reasoning. *Cognitive Science*, **23**, 337-370.
- 瀬尾美紀子・植阪友理・市川伸一 (2008). 学習方略とメタ認知 三宮真知子 (編) メタ認知: 学習を支える高次機能 (pp.55-73) 北大路書房.
- Shaklee, H., & Paszek, D. (1985). Covariation judgement: Systematic rule use in middle childhood. *Child Development*, **56**, 1229-1240.
- 進藤聡彦 (1995). 誤法則を明確化する先行課題が法則の修正に及ぼす効果 教育心理学研究, **43**, 266-276. (Shindo, T. 1995 Effects of the preceding tasks clarifying

learners' own knowledge on the reform of their erroneous laws. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **43**, 266-276.)

進藤聡彦・麻柄啓一・伏見陽児 (2006). 誤概念の修正に有効な反証事例の使用方略: 「融合法」の効果 教育心理学研究, **54**, 162-173. (Shindo, T., Magara, K., & Fushimi, Y. 2006 How can we use counter evidence effectively in order to rectify learners' misconceptions?: Effectiveness of the "unified method". *Japanese Journal of Educational Psychology*, **54**, 162-173.)

Shirouzu, H., Miyake, N., & Masukawa, H. (2002). Cognitively active externalization for situated reflection. *Cognitive Science*, **26**, 469-501.

庄司和晃 (1965). 仮説実験授業 国土社.

Siegler, R. S., & Liebert, R. M. (1975). Acquisition of formal scientific reasoning by 10- and 13-years-olds: Designing a factorial experiment. *Developmental Psychology*, **10**, 401-402.

Slamecka, N. J., & Graf, P. (1978) The generation effect: Delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, **4**, 592-604.

曾我部教子 (1985). 大気圧 理科教室, **350**, 47-53.

田口則義 (1978). 精神薄弱児における発見型授業と説明型授業との比較 教育心理学研究, **26**, 12-22. (Taguchi, N. 1978 A comparative study between heuristic and explanative instructions in mentally retarded children. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **26**, 12-22.)

多鹿秀継・原幸一 (1990). 記憶の生成効果の解釈: 再考 愛知教育大学研究報告 (教育科学編), **39**, 95-116.

高垣マユミ (編著) (2005). 授業デザインの最前線: 理論と実践をつなぐ知のコラボレーション 北大路書房.

高垣マユミ・中島朋紀 (2003). 力学の概念形成におけるブリッジングアナロジー方略の教授効果 鎌倉女子大学紀要, **10**, 45-54. (Takagaki, M., & Nakashima, T. 2003 Effectiveness of the bridging analogies strategy on acquiring concept of force. *The Journal of Kamakura Womens' University*, **10**, 45-54.)

高垣マユミ・田原裕登志・富田英司 (2006). 理科授業の学習環境のデザイン: 観察・実験による振り子の概念学習を事例として 教育心理学研究, **54**, 558-571. (Takagaki,

- M., Tahara, H., & Tomida, E. 2006 Designing a learning environment for science education: GIsML and the Inclusive support tool for understanding the motion of swinging pendulums. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **54**, 558-571.)
- 高垣マユミ・田爪宏二・降旗節夫・櫻井修 (2008). コンフリクトマップを用いた教授方略の効果とそのプロセス：実験・観察の提示による波動の概念学習の事例的検討 教育心理学研究, **56**, 93-103. (Takagaki, M., Tazume, H., Furihata, S., & Sakurai, O. 2008 A conflict map teaching strategy to induce conceptual change in preconceptions about wave motion: Case study and interpretive analysis. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **56**, 93-103.)
- 高橋行雄・大橋靖雄・芳賀敏郎 (1989). SASによる実験データの解析 東京大学出版会.
- 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 (2004). CSCLシステムを利用した小学校の理科授業に関する実践的研究：オンライン上の相互作用とオフライン上の相互作用の分析 日本教育工学会論文誌, **28**, 193-204. (Takenaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Oshima, J., Oshima, R., Murayama, I., & Nakayama, H. 2004 The practical study of elementary science lesson using CSCL system: Analysis of on-line and off-line interaction. *Japan Journal of Educational Technology*, **28**, 193-204.)
- 辰野千寿 (1997). 学習方略の心理学：賢い学習者の育て方 図書文化
- Teasley, S.D. (1995). The role of talk in children's peer collaborations. *Developmental Psychology*, **31**, 207-220
- Tsai, C.C. (2000). Enhancing science instruction: The use of "conflict maps". *International Journal of Science Education*, **22**, 285 – 302.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, **51**, 1-10.
- 植田一博・岡田猛 (編著) (2000). 協同の知を探る：創造的コラボレーションの認知科学 共立出版.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental model of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, **24**, 535-585.
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **12**, 129-140.

- 吉田寿夫 (1995). 学校教育に関する社会心理学的研究の動向：研究法についての提言を中心にして 教育心理学年報, **34**, 74-84.
- 湯澤正通 (編著) (1998). 認知心理学から理科学習への提言 開かれた学びをめざして 北大路書房.
- 国際数学・理科動向調査の 2007 年調査 (TIMS2007) 国際調査結果報告 (概要)
<<http://www.nier.go.jp/timss/2007/gaiyou2007.pdf>>, 2012 年 3 月 20 日アクセス
- TIMMS 2007 <<http://timssandpirls.bc.edu/TIMSS2007/index.html>>, 2012 年 3 月 20 日アクセス

付録

付録 A 研究 2 で用いた Big Track 課題で仮説評価スキーマ教示群が提示された質問文

“くり返し”キーと数字を押すと？

ゲーム開始前の時点において、とを押すと、宇宙船はどのようにくり返すかについて、想像してみてください。まだ、何もしていないのですから、わからなくて当然です。この答えに正解・不正解はありませんので、想像できることを気楽に書いてください。

<あなたの考え>

とを押すと、

宇宙船は_____

質問に答えましょう

指示を出した結果宇宙船が動く様子が見られたら、その度ごとに、以下の質問文を一文ずつ読み上げ、さらにに自分の考えを入れて、声に出して、答えてください。

(1) 宇宙船はどのように動きましたか？

という指示を出した結果、

宇宙船は、と動いた。

(2) とを押すと、宇宙船はどのように繰り返すと考えられますか？

とを押すと、

宇宙船は、と考えられる。

(3) 次に、どのような指示を出そうと思いますか？

そのような指示を出そうと思うのは、どうしてですか？

次は、という指示を出そうと思う。

理由は、だからである。

(4) (3) で出した指示の結果、宇宙船はどのように動くと予想できますか？

宇宙船は、と動くと予想できる。

付録 B 研究 3・4 で用いたノート例

【協同群】

【問題 2】

斜面の上に台車をのせてすべらせることにします。
(まさつ力にはたっていないものと考えます。)
台車の質量が 500g のときと、1kg のときでは、台車のすべりおちる速さの変わり方に違いはありますか？

《 実験してみましょう 》

- ① 記録タイマーに紙テープを通し、紙テープの端を台車にはりつける。
(注意！ 台車にはりつけた紙テープがスムーズに動くように、紙テープと記録タイマーがほぼ水平になるようにする。)
- ② 斜面にそって台車を走らせ、その運動を記録する。
(注意！ 台車を受け止める係を決めておき、台車が壁に衝突して壊れることのないようにする。)
- ③ 記録された紙テープを 0.1 秒ごと (5 打点ごと) に切り、時間の順番に紙にはりつける。

《 グループで調べてみましょう 》

- * 調べたこと、考えたことを書いておきましょう。

【模範過程教示・協同群】

【問題2】

斜面の上に台車をのせてすべらせることにします。
(まさつ力をはたらいっていないものと考えます。)
台車の質量が 500g のときと、1kg のときでは、台車のすべりおちる速さの変わり方に違いはありますか？

《 実験してみましょう 》

- ① 記録タイマーに紙テープを通し、紙テープの端を台車にはりつける。
(注意！ 台車にはりつけた紙テープがスムーズに動くように、紙テープと記録タイマーがほぼ水平になるようにする。)
 - ② 斜面にそって台車を走らせ、その運動を記録する。
(注意！ 台車を受け止める係を決めておき、台車が壁に衝突して壊れることのないようにする。)
 - ③ 記録された紙テープを 0.1 秒ごと (5 打点ごと) に切り、時間の順番に紙にはりつける。
- * ①から③を、10度の斜面を 500g の台車がすべりおちる場合
10度の斜面を 1kg の台車がすべりおちる場合 で行う

《 実験の結果からわかること 》

500g でも 1kg でも速さの変わり方に違いはない。

【予測教示・協同群】

【問題2】

斜面の上に台車をのせてすべらせることにします。
(まさつ力にはたっていないものと考えます。)

台車の質量が 500g のときと、1kg のときでは、台車のすべりおちる速さの変わり方に違いはありますか？

《 予想してみましょう 》

- ① あなたの予想を書いてください。
また、そのように考えるのはどうしてか、理由も答えましょう。

<あなたの予想>

<理由>

- ② グループの友達の予想も聞いてみましょう。
皆の予想は、同じでしたか？
ちがった場合には、お互いどうしてそう考えたのか説明し合い、話し合っ
てグループの予想を決めてください。グループの予想は、いくつあっても
かまいません。

<グループの予想>

<理由>

《 実験してみましょう 》

- ① 記録タイマーに紙テープを通し、紙テープの端を台車にはりつける。
(注意！ 台車にはりつけた紙テープがスムーズに動くように、紙テープ
と記録タイマーがほぼ水平になるようにする。)
- ② 斜面にそって台車を走らせ、その運動を記録する。
(注意！ 台車を受け止める係を決めておき、台車が壁に衝突して壊れる
ことのないようにする。)
- ③ 記録された紙テープを0.1秒ごと(5打点ごと)に切り、時間の順番に紙に
はりつける。

* ①から③を、10度の斜面を500gの台車がすべりおちる場合
10度の斜面を1kgの台車がすべりおちる場合 で行う

《 実験の結果からわかること 》

500gでも1kgでも速さの変わり方に違いはない。

【仮説評価スキーマ教示・協同群】

【問題2】

斜面の上に台車をのせてすべらせることにします。
 (まさつ力にはたっていないものと考えます。)
 台車の質量が 500g のときと、1kg のときでは、台車のすべりおちる速さの変わり方に違いはありますか？

《 予想してみましょう 》

- ① あなたの予想を書いてください。
 また、そのように考えるのはどうしてか、理由も答えましょう。

＜あなたの予想＞

 <理由>

- ② グループの友達の予想も聞いてみましょう。
 皆の予想は、同じでしたか？
 ちがった場合には、お互いどうしてそう考えたのか説明し合い、話し合っ
 てグループの予想を決めてください。グループの予想は、いくつあっても
 かまいません。

＜グループの予想＞

 <理由>

《 実験してみましょう 》

- ① 記録タイマーに紙テープを通し、紙テープの端を台車にはりつける。
 (注意！ 台車にはりつけた紙テープがスムーズに動くように、紙テープ
 と記録タイマーがほぼ水平になるようにする。)
- ② 斜面にそって台車を走らせ、その運動を記録する。
 (注意！ 台車を受け止める係を決めておき、台車が壁に衝突して壊れる
 ことのないようにする。)
- ③ 記録された紙テープを 0.1 秒ごと (5 打点ごと) に切り、時間の順番に紙に
 はりつける。

- ① どのような実験をすると、問題の答えがわかるか、考えてください。
 また、その実験が良いと考えるのはどうしてか、理由も答えましょう。

＜あなたの考え＞

 <理由>

- ② グループの友達の考えも聞いてみましょう。
 皆の考えは、同じでしたか？
 ちがった場合には、お互いどうしてそう考えたのか説明し合い、話し合っ
 てグループの実験方法を決めてください。グループの実験方法は、いくつ
 あってもかまいません。

＜グループの実験方法＞

 <理由>

《 実験の結果から考えましょう 》

- ① 実験の結果はどのようなものでしたか？ 記録しましょう。
 また、実験の結果から、どのようなことが考えられますか？

実験の結果： _____
 ↓

答えは、

 であつた。

- ② グループの友達の考えも聞いてみましょう。
 皆の考えは、同じでしたか？
 ちがった場合には、お互いどうしてそう考えたのか説明し合い、話し合っ
 て、考えを1つにまとめましょう。

実験の結果： _____
 ↓

答えは、

 であつた。

付録 C 研究 3 で用いた運動の規則性に関する確認テスト問題

1. 質量 2kg の箱があります。この箱を、すべすべの机の上、もしくは、ざらざらの紙やすりの上で水平に動かしたいと思います。どちらの方が、小さい力で動くでしょうか。それとも、同じ力が必要ですか。そう考える理由も答えなさい。

答え： _____

理由： _____

2. 図 1 のように、水平な机の上の木片を、ばねばかりで引っばって、一定の速さで移動させました。木片にはたらくまきつ力の向きを表した矢印はどれでしょうか。図 1 のア～エからもっとも適切なものを 1 つ選び、記号を○で囲みなさい。

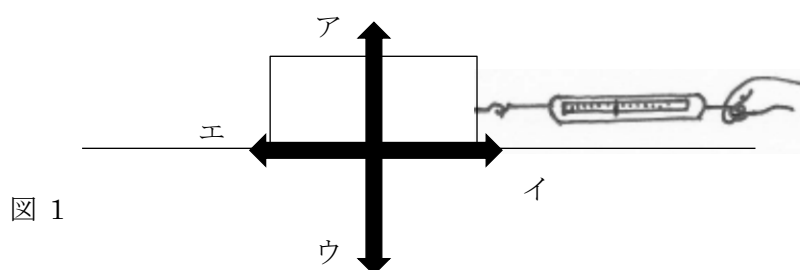


図 1

3. 図 2 のように、斜面の上に質量 1kg の台車をのせてすべらせ、そのときの運動のようすを記録タイマーで記録しました（記録タイマーは 1 秒間に 50 打点するものとします）。次の問いに答えなさい。

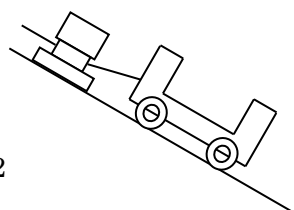
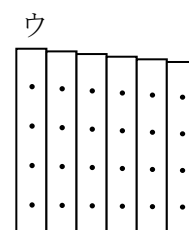
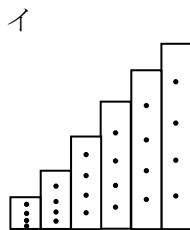
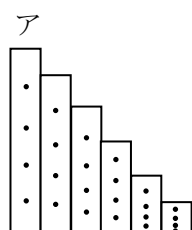


図 2

(1) 斜面上をすべりおちる台車の速さは、時間がたつにつれてどうなりますか。

(2) 次のア～ウのテープのうち、斜面上をすべりおちる台車の運動を表しているのはどれですか。もっとも適切なものを選び、記号を○で囲みなさい。



(3) 斜面の傾きが大きくなると、台車のすべりおちる速さの変わり方はどうなりますか。そう考える理由も答えなさい。

答え： _____

理由： _____

(4) 質量 2kg の台車を用いてこの実験を行うと、台車が斜面をすべりおちるのにかかる時間は、どうなりますか。次のア～エからもっとも適切なものを選び、記号を○で囲みなさい。

質量 1kg の台車が斜面をすべりおちるのにかった時間の

{ ア. 約 4 倍 イ. 約 2 倍 ウ. (変化なし) エ. 約 2 分の 1 } になる。

4. 図 3 のように、なめらかな水平面上で、物体 P を手でぼんとおし動かし、その運動のようすを記録タイマーで記録しました（記録タイマーは 1 秒間に 50 打点するものとします）。次の問いに答えなさい。

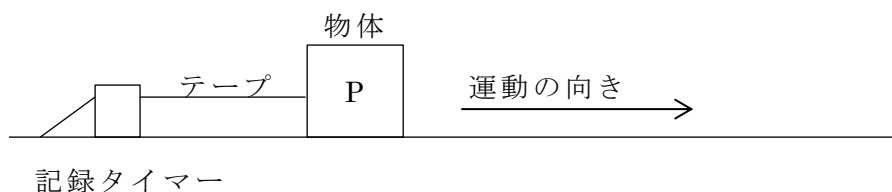


図 3

(1) 空気の抵抗もまさつもないとすれば、物体 P はどうなりますか。次のア～ウからもっとも適切なものを選び、記号を○で囲みなさい。

ア. 物体 P は、水平面上をどこまでもすべっていく。

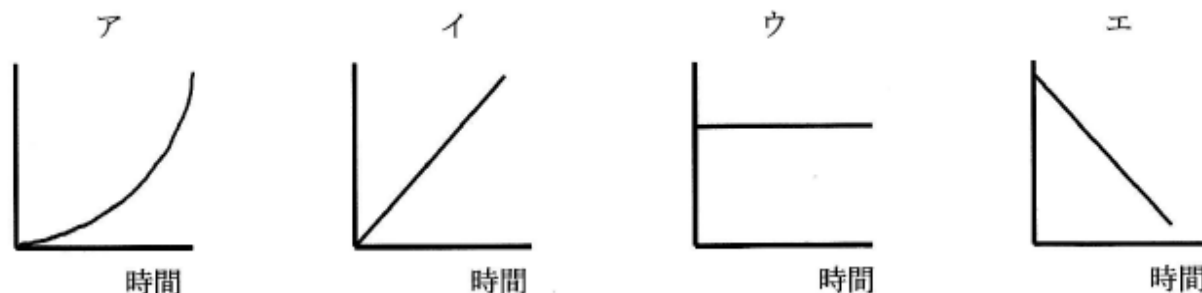
イ. 物体 P は、その重さのためにやがて止まる。

ウ. 物体 P は、その重さ以外の理由でやがて止まる（その理由も答えなさい。）。

理由： _____

(2) 物体 P の運動を何といいますか。

(3) 次のア～エのグラフのうち、物体 P の速さと時間の関係を表しているのはどれですか。もっとも適切なものを選び、記号を答えなさい。 _____



(4) (3) のア～エのグラフのうち、物体 P の移動距離と時間の関係を表しているのはどれですか。もっとも適切なものを選び、記号を答えなさい。 _____

5. 鉄球が落下するときの運動のようすを調べるため、次の実験を行いました。次の問いに答えなさい。

<実験> まず、500g の鉄球を持ち上げて 1.5m の高さで静止させました。そして、図 4 のように鉄球にテープをつけ、落下のようすを記録タイマーに記録しました（記録タイマーは 1 秒間に 50 打点するものとします）。

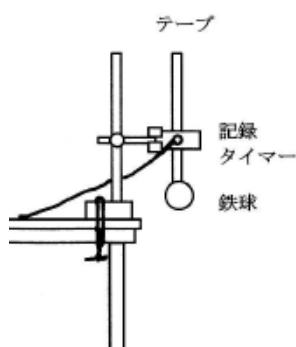


図 4

(1) この鉄球が落下しているとき、鉄球の速さは、時間がたつにつれてどうなりますか。そう考える理由も答えなさい。

答え： _____

理由： _____

(2) 500g の鉄球を 1 kg の鉄球にかえて、同じような実験を行ったとき、鉄球が落下する速さはどうなりますか。ア～エからもっとも適切なものを選び、記号を○で囲みなさい。

速さは { ア 2分の1 イ (変化なし) ウ 2 エ 4 } 倍となる。

付録 D 研究 3 で用いた浮力の領域の科学的問題解決テスト問題

プールやお風呂の中では、からだが軽く感じます。それは、水の中では浮力（水中にある物体にはたらく上向きの力）がはたらくからです。

浮力の大きさは、物体をばねばかりにつるして、空気中と水中で重さを測定し、その差で求めることができます。

例) 物体 P の空気中での重さは、150g 重でした。

物体 P を水に入れると、ばねばかりは 100g 重をしめしました。

$$\begin{array}{ccccccc} \rightarrow & \text{浮力 (g 重)} & = & \text{空気中での重さ (g 重)} & - & \text{水中での重さ (g 重)} & \\ & 50 & = & 150 & - & 100 & \end{array}$$

さて、水がいっぱいに入った水そうに、直方体の物体を入れ、浮力の大きさに関係するものは、(1) しずめる深さ（水面から底面まで 10cm・20cm）(2) しずめる向き（たて向き・横向き）(3) しずめる物体の体積（直方体ア 6cm³・直方体イ 48cm³）のいずれかを調べたいと思います（物体は水中に完全に投入するものとします）。

(1) 物体を水中にしずめるとき、しずめる深さで浮力の大きさは変わるでしょうか？

(2) 物体を水中にしずめるとき、しずめる向きで浮力の大きさは変わるでしょうか？

(3) 物体を水中にしずめるとき、物体の体積で浮力の大きさは変わるでしょうか？

【どのような実験をすると、質問の答えがわかるか、考えてください。また、それが良いと考えるのはどうしてか、理由も答えましょう。】

(1) について

答え： _____

理由： _____

(2) について

答え： _____

理由： _____

(3) について

答え： _____

理由： _____

実験の結果は、下のようになりました。

- ・ 直方体ア・水面から底面まで 10cm・たて向き ⇒ 浮力：6g 重
- ・ 直方体ア・水面から底面まで 10cm・横向き ⇒ 浮力：6g 重
- ・ 直方体ア・水面から底面まで 20cm・たて向き ⇒ 浮力：6g 重
- ・ 直方体ア・水面から底面まで 20cm・横向き ⇒ 浮力：6g 重
- ・ 直方体イ・水面から底面まで 10cm・たて向き ⇒ 浮力：48g 重
- ・ 直方体イ・水面から底面まで 10cm・横向き ⇒ 浮力：48g 重
- ・ 直方体イ・水面から底面まで 20cm・たて向き ⇒ 浮力：48g 重
- ・ 直方体イ・水面から底面まで 20cm・横向き ⇒ 浮力：48g 重

【実験の結果から、(1) (2) (3) の答えを考えましょう。また、そう考える理由も答えなさい。】

(1) について

答え： _____

理由： _____

(2) について

答え： _____

理由： _____

(3) について

答え： _____

理由： _____

付録 E 研究 5 実験 1 の教授セッションで用いた冊子

私たちのまわりには、どこにでも空気がたくさんあります。例えば、本のページのようなわずかな隙間にも空気はもぐりこんでいますし、私たちの頭の上、それも 10km くらい上空まで空気はあります。私たちは空気の中で生活しているのです。水中では水圧がかかるように、空気の中では「大気圧」がかかります。普段は意識しないこの力によって生じる 1 つの現象を見ていきましょう。

ここに空のペットボトルがあります。ポンプを使って、中の空気を抜くと、ペットボトルはどうなるでしょうか？

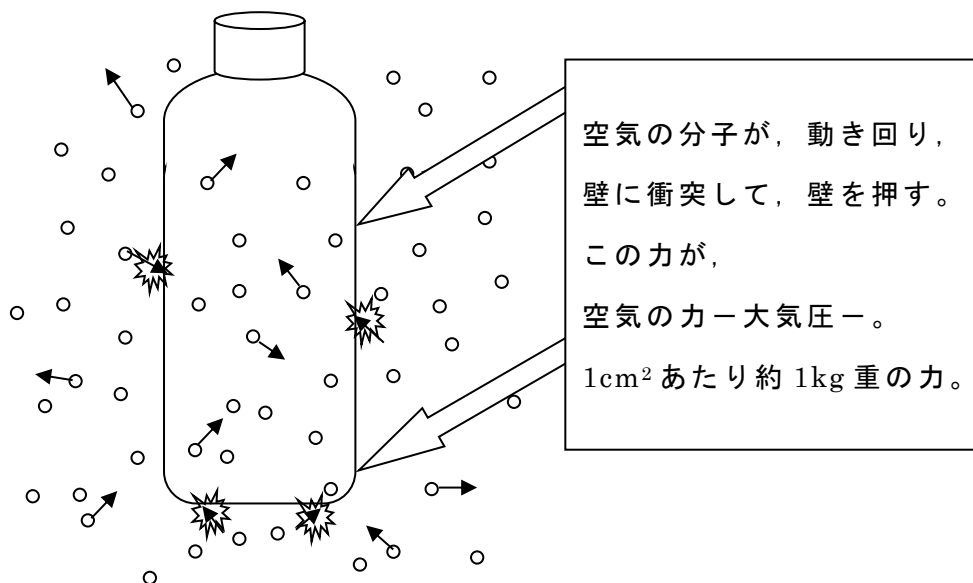
中の空気を抜くと、ペットボトルはつぶれます。

???? では、何故、中の空気を抜くと、ペットボトルがつぶれるのでしょうか????

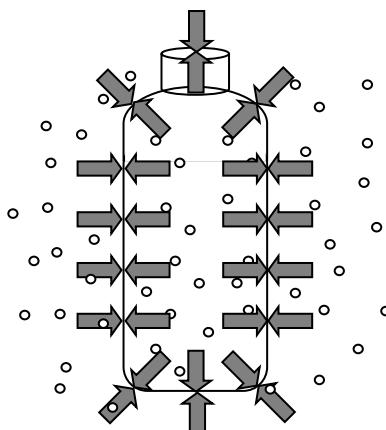
ペットボトルの中に空気が入っている状態から、考えてみましょう。

実は、空気は、無数の小さな粒（分子）でできています。空気の粒は激しく運動していて、ペットボトルの内外の壁に絶えず衝突し、壁を押ししています。これが空気の力—大気圧—です。

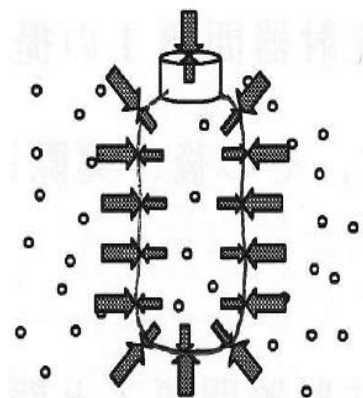
地球上の通常の大気の圧力の大きさを 1 気圧と言ひ、その大きさは、1cm²あたり約 1kg 重の力です。



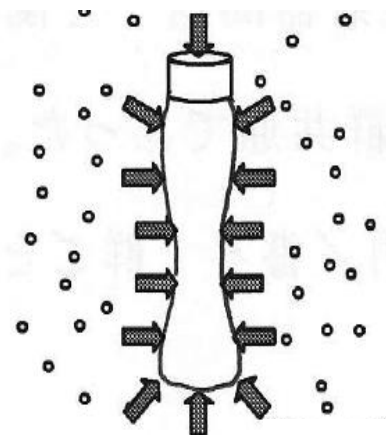
さて、ペットボトルの中に空気が入っているとき、
ペットボトルの内外で、空気の粒のつまりぐあいは同じです。
 したがって、ペットボトルの壁にぶつかる空気の粒の数も同じ
 です。ペットボトルの内外で押す力のバランスがとれているので、
 ペットボトルはつぶれないでいます。



しかしながら、ペットボトルの中の空気を抜いていくと、
ペットボトルの中の空気の粒が抜け、ペットボトルの中の壁に
ぶつかる空気の粒が減ります。 それに対して、外側は、
ペットボトルの外の壁にぶつかる空気の粒が多いままです
 したがって、ペットボトルの内外で押す力のバランスが崩れ、
押す力の大きい外側から押され始めます。



最終的に、ペットボトルの中の空気がなくなると（真空になると）
ペットボトルの中の壁にぶつかる空気の粒は0になります。
ペットボトルの中から押す力は0です。 それに対して、外側は、
変わらず、ペットボトルの外の壁にぶつかる空気の粒があります。
 こうして、外側から押す力だけになった結果、ペットボトルは、
外側から押されてつぶれてしまうのです。



【 質問 】

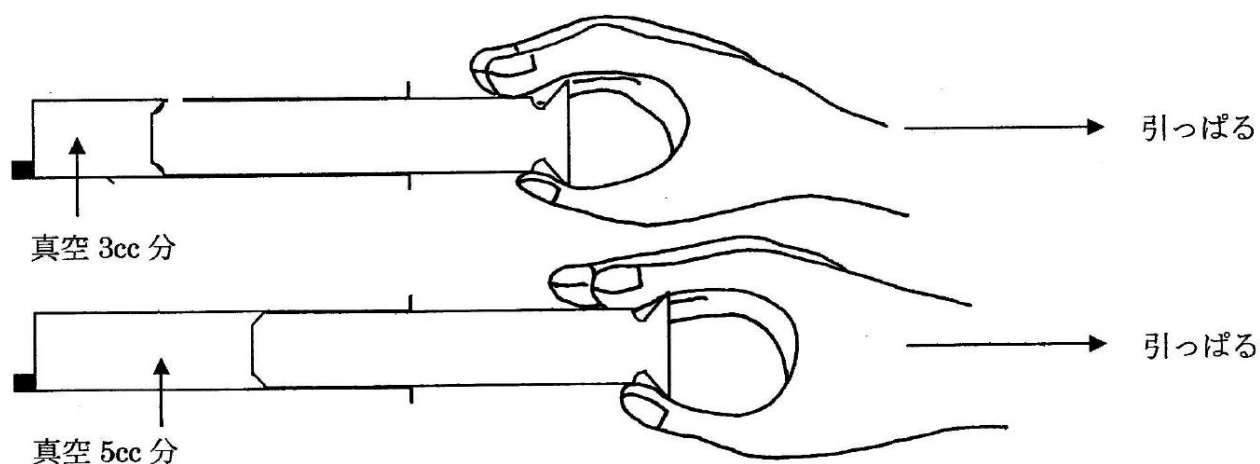
ペットボトルがつぶれる理由がわかりましたか。1つ選んで丸をつけてください。

- 1 全く理解できない 2 あまり理解できない 3 どちらとも言えない
 4 少し理解できた 5 よく理解できた

次の問題を考えてみましょう。

問題 1

ピストンを注射器に押し込み、空気を追い出して口をふさいでから、ピストンを引っばりました。注射器の中は真空（空気が無い状態）です。3cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのと、5cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのとでは、大きな力が必要なのはどちらでしょうか。

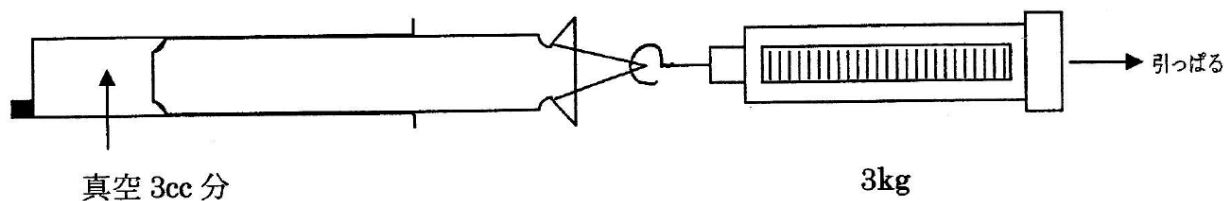


(1) あなたの予想はどれでしょうか。数字を丸で囲んでください。

- 1 3ccの方が大きい力が必要。
- 2 5ccの方が大きい力が必要。
- 3 どちらも同じ。

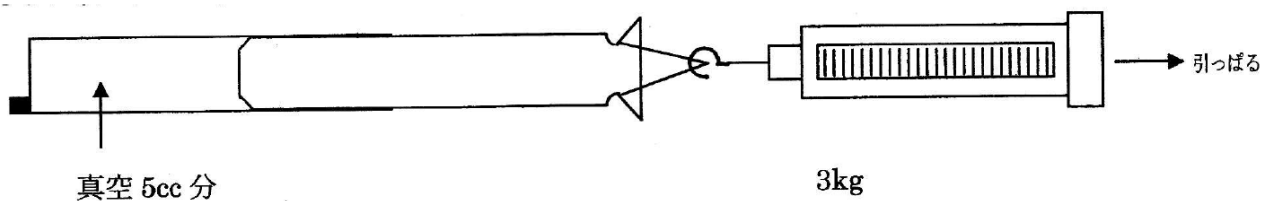
(2) (1)で答えた理由を書いてください（図を使ってもかまいません。できるだけ詳しく書いてください）。

実際に実験してみましょう。ピストンにバネばかりをつけて引っばってみます。



3cc の真空ができているところで、ピストンを止めました。バネばかりのめもりは、約 3kg を指しています。

さらに引っばって、5cc のところで、ピストンを止めました。



バネばかりのめもりは、今度も約 3kg です。

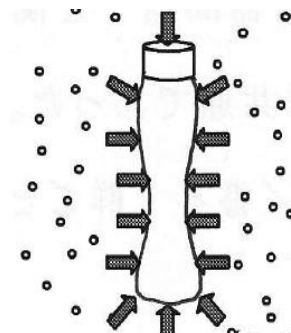
(1) 実験結果は、どうでしたか。数字を丸で囲んでください。

- 1 3cc の方が大きい力が必要。
- 2 5cc の方が大きい力が必要。
- 3 どちらも同じ。

(2) どうして、(1) のようになるのか、その理由を考えて、書いてください (図を使ってもかまいません。できるだけ詳しく書いてください)。

どうして、3cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、5cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、必要な力は同じなのでしょう。「ペットボトルをつぶした空気力」を思い出してみましょう。

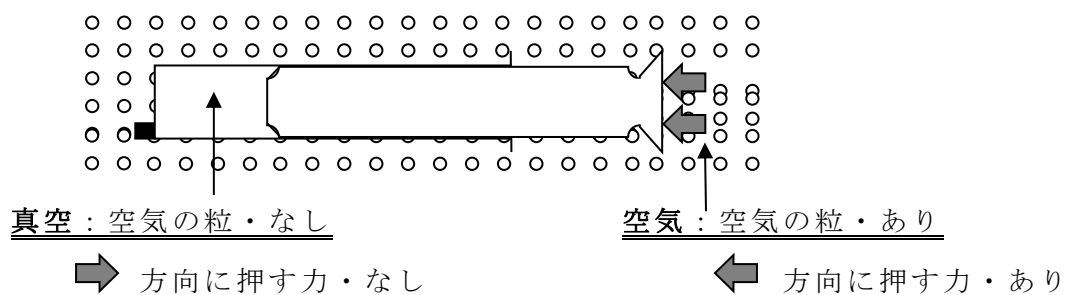
ペットボトルの中の空気がなくなると（真空になると）、
ペットボトルの中の壁にぶつかる空気粒子は0になります。
ペットボトルの中から押す力は0です。 それに対して、外側は、
変わらず、ペットボトルの外壁にぶつかる空気粒子があります。
 こうして、外側から押す力だけになった結果、 ペットボトルは、
外側から押されてつぶれてしまうのです。



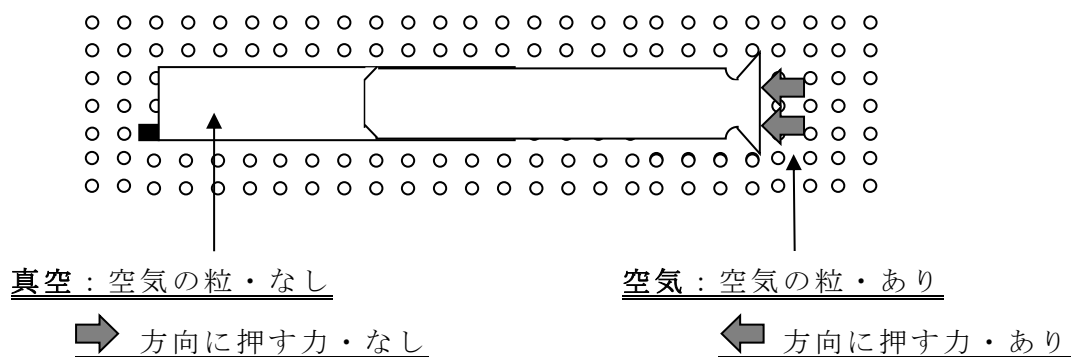
注射器も、「中が真空で、外は空気がある」という点で、ペットボトルと同じです。それでは、注射器の中に3cc分の真空ができている状態と、5cc分の真空ができている状態、それぞれにはたらく空気力を考えてみましょう。

いずれもピストンをはさむ2つの空間（真空と空気）があり、それぞれが及ぼす力は以下の通りです。

<真空 3cc分>

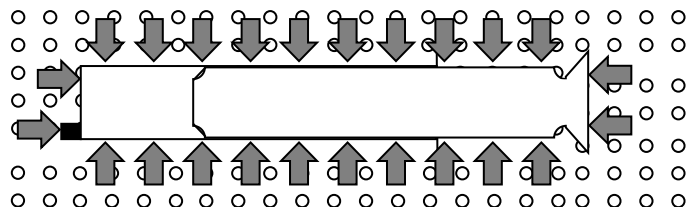


<真空 5cc分>



ピストンをはさむ 2 つの空間（真空と空気）それぞれがピストンを押す力は，3cc 分の真空ができていない状態でも，5cc 分の真空ができていない状態でも同じです。したがって，ピストンを止めておくのに必要な力は，どちらも同じということになります。

※ 参考までに



ペットボトルと同じように，
 注射器でも，外側のすべての面に，空気の粒がぶつかり，押しています。
 しかし，ペットボトルと違い，強い材質なので，つぶれてしまうことはありません。
 唯一，動くピストン部分にのみ，空気の力を見ることができます。

<説明群>の場合

(1) どうして、3cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、5cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、必要な力は同じなのでしょう。

①②の2つの文をつなぐ間の説明を考えて書いてみましょう。考えるヒントとして、「注射器の中は」「注射器の外は」という書き出しを与えています。

※注意！前のページに戻って解説を読んではいけません。自分の言葉で書いてみましょう。

① 空気は、無数の小さな粒でできていて、それが動き回り、衝突することでモノを押しします。

注射器の中は

注射器の外は、

② したがって、3cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、5cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、必要な力は同じになります。

<書写群>の場合

(1) 問題1の解説のまとめです。

空気は無数の小さな粒でできていて、それが動き回り、衝突することでモノを押しします。
注射器の中は、どちらも真空なので、空気の粒がなく、ピストンに空気の粒が衝突しない
ため、押す力はありません。一方、どちらの注射器も、外側には空気があり、空気の粒に
よって押されています。

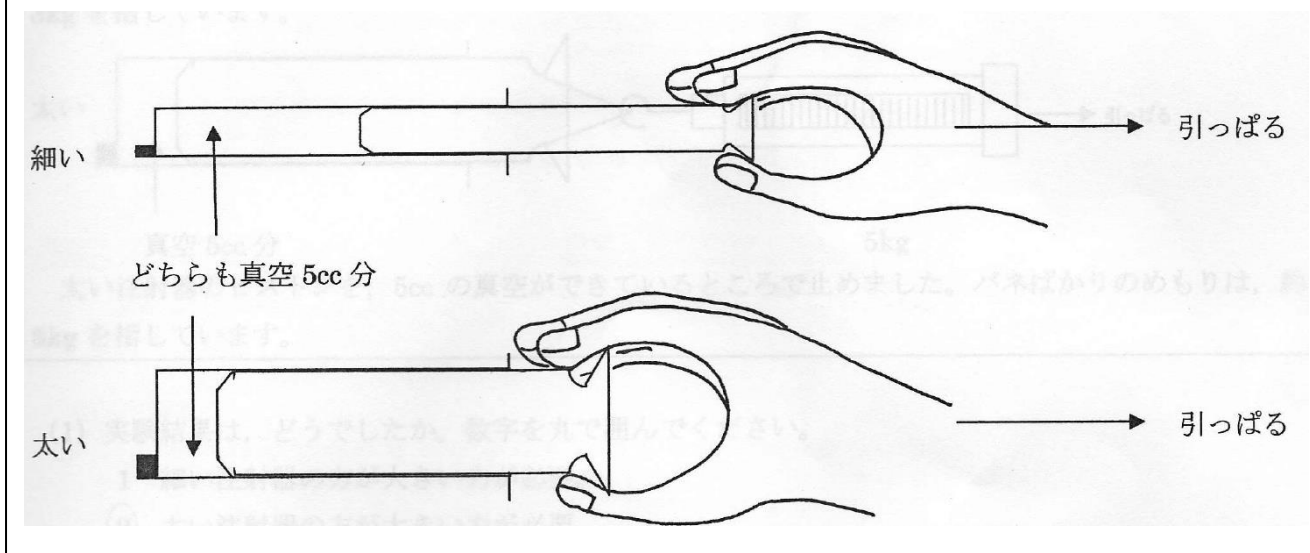
したがって、3cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、5cc分の真空ができている状態でピストンを止めておくのも、必要な力は同じになります。

まとめの二重下線部 を以下に書き写しておきましょう。

もう 1 問考えてみましょう。

問題 2

今度は太さの異なる 2 本の注射器を使います。それぞれ、ピストンを注射器に押し込み、空気を追い出して口をふさぎました。どちらも 5cc のところまで引っばって止めます。注射器の中は真空です。ピストンを止めておくのに大きな力が必要なのはどちらでしょうか。



(1) あなたの予想はどれでしょうか。数字を丸で囲んでください。

- 1 細い注射器の方が大きい力が必要。
- 2 太い注射器の方が大きい力が必要。
- 3 どちらも同じ。

(2) (1) で答えた理由を書いてください (図を使ってもかまいません。できるだけ詳しく書いてください)。

実際に実験してみましょう。ピストンにバネばかりをつけて引っばってみます。

細い注射器のピストンを、5ccの真空ができているところで止めました。バネばかりのめもりは、約3kgを指しています。

太い注射器のピストンを、5ccの真空ができているところで止めました。バネばかりのめもりは、約5kgを指しています。

(1) 実験結果は、どうでしたか。数字を丸で囲んでください。

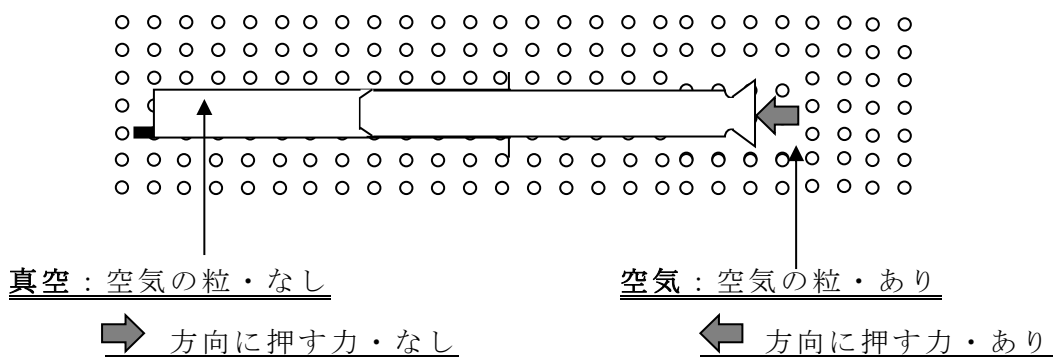
- 1 細い注射器の方が大きい力が必要。
- 2 太い注射器の方が大きい力が必要。
- 3 どちらも同じ。

(2) どうして、(1) のようになるのか、その理由を考えて、書いてください（図を使ってもかまいません。できるだけ詳しく書いてください）。

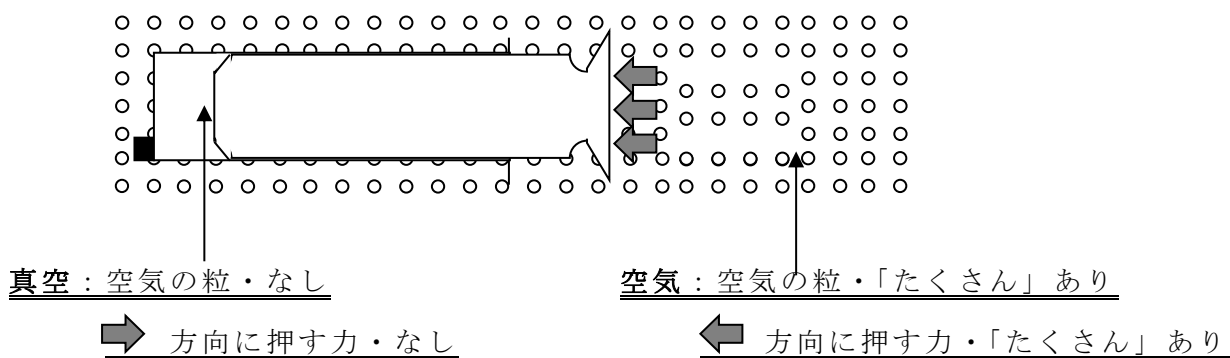
どうして、太い注射器の方が大きい力が必要なのでしょう。問題 1 のように、注射器にはたらく空気の力を考えてみましょう。

いずれもピストンをはさむ 2 つの空間（真空と空気）があり、それぞれが及ぼす力は以下の通りです。

< 細い注射器 >



< 太い注射器 >



※ 太い注射器は面積が大きいので、衝突する空気の粒が多い

ピストンをはさむ 2 つの空間のうち、真空がピストンを押す力は、細い注射器でも太い注射器でも、「0」で同じです。しかし、空気がピストンを押す力は、異なります。太い注射器は面積が大きいので、衝突する空気の粒が多くなり、空気の粒がピストンを押す力も大きくなります。したがって、ピストンを止めておくのに必要な力は、太い注射器の方が大きいということになります。

<説明群>の場合

(1) どうして、太い注射器の方が大きい力が必要なのでしょうか。

①②の2つの文をつなぐ間の説明を考えて書いてみましょう。考えるヒントとして、「細い注射器の中は」「太い注射器の中は」「細い注射器の外は」「太い注射器の外は」という書き出しを与えています。

※注意！前のページに戻って解説を読んではいけません。自分の言葉で書いてみましょう。

① 空気は、無数の小さな粒でできていて、それが動き回り、衝突することでモノを押しします。

【注射器の中は】細い注射器の中は、
太い注射器の中は、

【注射器の外は】細い注射器の外は、
太い注射器の外は、

② したがって、太い注射器の方が、ピストンを止めておくのに必要な力が大きくなります。

<説明群>の場合

(1) 問題2の解説のまとめです。

空気は無数の小さな粒でできていて、それが動き回り、衝突することでモノを押しします。
注射器の中は、どちらも真空なので、空気の粒がなく、ピストンに空気の粒が衝突しないため、押す力はありません。一方、どちらの注射器も、外側には空気があり、空気の粒によって押されています。特に、太い注射器は面積が大きいので、衝突する空気の粒が多くなり、空気の粒がピストンを押す力も大きくなります。

したがって、太い注射器の方が、ピストンを止めておくのに必要な力が大きくなります。

まとめの二重下線部 を以下に書き写しておきましょう。

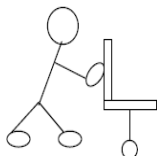
()

付録 F 研究 6 で用いたノート例

【教示群】

問題 1

下図のように、手で、いすを押します。
手といすの間には、どのような力がはたらいているでしょうか？
矢印で表しなさい。



《 実験のポイント① 》

自分の考えが正しいか確かめるためには、どのような実験をして、どのような結果が出たらよいか、考えてください。

＜実験方法＞

＜予想＞

グループの友だちの考えも聞いてみましょう。
みんなの考えは同じでしたか？
ちがった場合には、おたがいどうしてそう考えたのか、説明し合い、話し合っ
て、グループの実験方法をきめてください。
グループの実験方法や予測はいくつあってもかまいません。

＜実験方法＞

＜予想＞

《 実験のポイント② 》

実験の結果を記録しましょう。
また、実験の結果からどのようなことが言えるか考えてください。

＜実験結果＞

＜実験結果から言えること＞

グループの友だちの考えも聞いてみましょう。
みんなの考えは同じでしたか？
ちがった場合には、おたがいどうしてそう考えたのか、説明し合い、話し合っ
て、考えを1つにまとめてください。

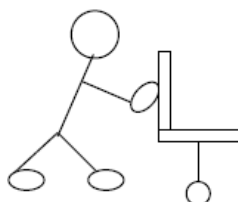
＜実験結果＞

＜実験結果から言えること＞

【統制群】

問題 1

下図のように、手で、いすを押します。
手といすの間には、どのような力がはたらいているでしょうか？
矢印で表しなさい。



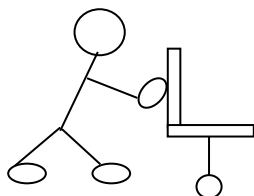
グループで考えてみましょう。
その際、調べたこと、考えたことは、この枠の中に書いてください。
どのようなことを書いてもかまいませんが、消さずに残しておきましょう。

付録 G 研究 6 で用いた作用・反作用の働きに関する確認テスト問題

【共通問題】

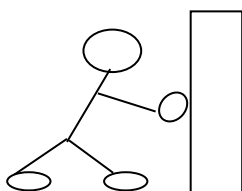
1. 下図のように、手で、いすを押します。

手といすの間には、どのような力がはたらいているでしょうか？ 矢印で表しなさい。



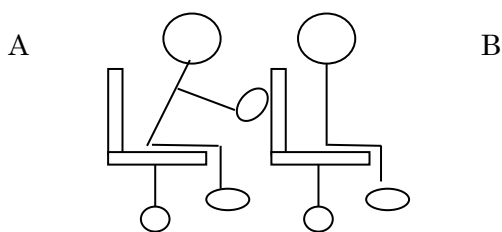
2. 下図のように、手で、かべを押します。

手とかべの間には、どのような力がはたらいているでしょうか？ 矢印で表しなさい。



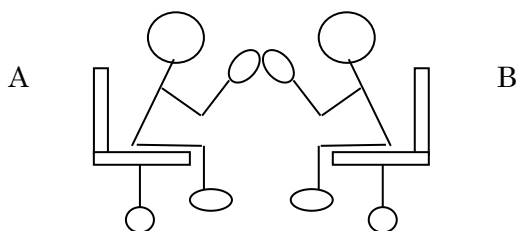
3. 下図のようにして、AがBを押します。

AとBの間には、どのような力がはたらいているでしょうか？ 矢印で表しなさい。



4. 下図のようにして、AとBが押し合います。

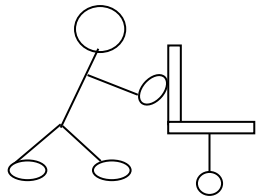
AとBの間には、どのような力がはたらいているでしょうか？ 矢印で表しなさい。



【類似問題】

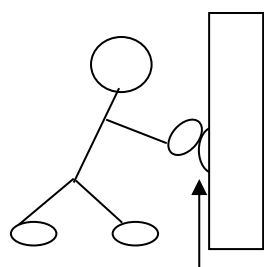
1. 下図のように、手で、いすを引きます（地面と平行に、右に引きます）。

手といすの間には、どのような力がはたらいているのでしょうか？ 矢印で表しなさい。



2. 下図のように、手でかべを引きます。

手とかべの間には、どのような力がはたらいているのでしょうか？ 矢印で表しなさい。

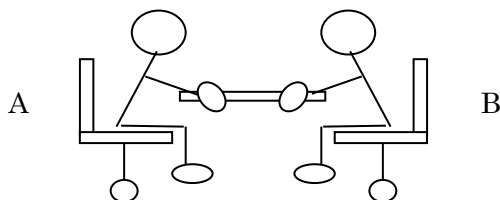


とって（とってをもって引く）

3. 下図のようにして、AがBを引きます。

AとBの間には、どのような力がはたらいているのでしょうか？ 矢印で表しなさい。

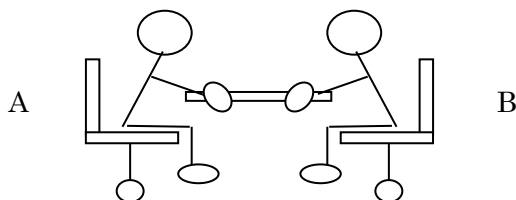
（間の棒の重さは考えないものとします）



4. 下図のようにして、AとBが引き合います。

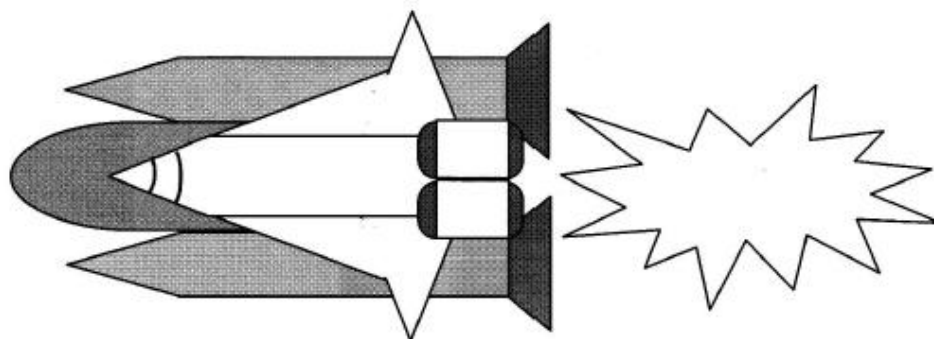
AとBの間には、どのような力がはたらいているのでしょうか？ 矢印で表しなさい。

（間の棒の重さは考えないものとします）



【転移問題】

なぜ、ロケットは進むのでしょうか？ その原理を説明しなさい。



原論文一覧

- 研究 1 小林寛子 (2013). 理科の観察・実験を通じた問題解決活動における教師の指導と有効性の認知の影響 日本教育工学会論文誌, **37**, 57-66.
- 研究 2 小林寛子 (2007). 協同的発見活動における「仮説評価スキーマ」教示の効果 教育心理学研究, **55**, 48-59.
- 研究 3 小林寛子 (2009). 「仮説評価スキーマ」教示と協同活動が科学的な法則や理論の理解と観察・実験スキルの向上に与える影響 教育心理学研究, **57**, 131-142.
- 研究 4 小林寛子 (2010). 「運動の法則」の協同学習における領域知識の影響 東京大学大学院教育学研究科紀要, **49**, 217-226.
- 研究 5 小林寛子 (2013). 教授された科学的知識を自分の言葉で説明し直す活動が概念変化に及ぼす影響－真空の概念変化を通して－ 教授学習心理学研究, **9**, 49-62.
- 研究 6 初出

謝辞

本論文をまとめるにあたって、多くのご指導とご支援を賜りました。

東京大学大学院教育学研究科の先生方には、研究の基礎からご教授いただき、論文執筆までお導きいただきました。市川伸一先生には、教育実践と研究をつなぐことの大切さと面白さを教えていただきました。先生のご研究に憧れて大学院に入学して以来長きにわたるご指導の下で、教育実践を視野に入れた自分の研究のあり方を確立することができました。秋田喜代美先生、岡田猛先生、金森修先生、藤村宣之先生には、本論文をご精読いただき、今後の研究につながる重要なご助言をいただきました。また、南風原朝和先生、針生悦子先生には、研究の構想や結果の分析など、折に触れ丁寧にご指導いただきました。誠にありがとうございました。

学外では、私が日本学術振興会特別研究員 PD として採用された際の指導教官として、私の研究に、教授学習心理学の新たな視座を開いてくださった、早稲田大学総合・教育学学術院の麻柄啓一先生に心より感謝申し上げます。また、埼玉県の公立小中学校の校長を務められた鏑木良夫先生には、教育実践に関わる上で考慮しなくてはならない要因について丁寧にご指導いただくとともに、私が実践に関われるようお力添えいただきました。

市川研究室の皆様には、研究に対するご支援はもとより、研究を進めていく過程を温かく見守っていただきました。尊敬できる先輩方、共に励まし合い助け合った同期のメンバー、そしていつも熱心で良い刺激を与えてくれた後輩のメンバー、皆様と日々学び合う中で研究したいことが生まれ、論文として実を結ぶまでになったのだと、心より感謝しています。研究室での学びの日々は、私にとってかけがえのないものでした。

学会や研究会を通じて私の研究に有益なご助言をくださった先生方、そして、貴重な時間を割いて研究にご協力くださった小中学生・先生方にも心より感謝申し上げます。

最後に、いつも私を支えてくれる、夫と二人の子ども達、そして両親に感謝したいと思います。家族は、いつも研究を応援し、続けられるようサポートしてくれました。そうした環境にいられる私は本当に幸せであると思います。

多くの方々に支えていただいて、本論文を提出できることに感謝し、今後ともひたむきに研究を続け、成長していきたいと思っています。ありがとうございました。

2013年 小林寛子