

論 文 題 目

理科教育におけるメタ認知能力育成に関する研究

—観察・実験活動を中心にして—

松 浦 拓 也

## 目次

### 序章 研究の背景と目的

第1節	メタ認知研究の今日的状況と理科教育	2
第2節	本研究の目的と方法	4

### 第1章 観察・実験とメタ認知に関する基礎的考察

第1節	メタ認知の概念規定	8
第2節	問題解決	23
第3節	問題解決活動としての観察・実験	30
第4節	観察・実験に影響を及ぼす要因とその構造の解明	32
第5節	まとめ	40

### 第2章 観察・実験におけるメタ認知的技能の影響（Ⅰ）

第1節	問題解決におけるメタ認知能力の測定	42
第2節	調査の概要	47
第3節	調査の結果	52
第4節	結果のまとめと含意	60

### 第3章 観察・実験におけるメタ認知的技能の影響（Ⅱ）

第1節	調査の概要	63
第2節	質問紙の妥当性の検討と被験者の抽出	69
第3節	調査の結果	72
第4節	結果のまとめと含意	78

## 第4章 メタ認知能力の育成を志向した指導過程の提案

第1節	メタ認知能力の育成を志向した観察・実験の指導過程	81
第2節	初等理科教育で育成を目指す能力	82
第3節	教師の役割	86
第4節	観察・実験における記録の意義とその指導	89
第5節	学習指導過程の提案	92
第6節	まとめ	107

## 終章 本研究の総括と今後の課題

第1節	本研究の成果	109
第2節	今後の課題	113

引用・参考文献	115
---------	-----

付属資料	123
------	-----

謝辞	137
----	-----

## 序章 研究の背景と目的



## 第1節 メタ認知研究の今日的状況と理科教育

近年、「メタ認知能力」が理科教育においても注目されている。これは、科学リテラシー (scientific literacy) の獲得や概念の再構築にメタ認知能力が重要な役割を果たしているという考えによるものである。

このメタ認知という概念は、1970年代の Flavell や Brown の研究によって認知心理学や教育心理学の領域において急速に広まった。そして、メタ認知という概念は研究者間によって必ずしも一致してはいないが、メタ認知はメタ認知的知識とメタ認知的技能 (活動/調整) という2つの側面からとらえられていることが多いようである。また、Brown (ブラウン, 1978/1984) が、一観察されるルーチンはその基礎をなす力を映し出しており、その力のしるしであり、随伴現象である—と述べているように、問題解決における様々な活動はメタ認知の随伴現象ととらえることができる。このため、メタ認知研究は問題解決という文脈と密接に結びついて行なわれてきたといえる。例えば数学教育においては、メタ認知は「解けない」状態から「解ける」状態への認知的移行を促す推進力としてとらえられている (岩崎・山口, 1998)。このような流れは現在においても続いており、問題解決におけるメタ認知の役割のより広範かつ詳細な解明が求められている (Davidson & Sternberg, 1998)。

このようにメタ認知が注目されている背景には、特に動的側面であるメタ認知的技能が獲得されるとその能力が般化し、転移が生じるのではないかという期待がある。このため、メタ認知能力に関する研究は多くの研究者が様々な視点から行っている。しかし、現在のところいつ転移が達成され、またどのような時に達成されないのか予期することは困難である。また、領域固有の知識とメタ認知的知識の関係などについても統一した見解は得られていない。このため、1つの統一された理論的枠組みを構築することや、メタ認知測定のための方法論やデータ分析のガイドラインを定めることの必要性などが指摘されている (Schraw, 2000)。また近年、教師の助言やそれらの相互作用を通じたメタ認知的過程の教授に注目が集まっている (Davidson & Sternberg, 1998)。これは、特定の調査課題ではなく、より自然な教授・学習状況においてメタ認知研究を行うことにより、学校教育に対して有益かつ実践的な示唆を得ることの有意性に対する認識が高まっているからであると考えられる。

このような状況の中、理科教育においてもメタ認知の有用性は注目されており、これまでに様々な研究が行われている。例えば、Bairdら (Baird & White, 1982 ; Baird, 1986 ; Baird & Mitchell, 1987 ; Baird et al., 1991) は、子ども達に、学習を自分自身で制御する能力を育成することでメタ認知を高めることができると考え研究を行っている。その結果、教師の態度、観念、能力などが生徒のメタ認知の育成に影響するという知見を得ている。そして、さらに子ども達が獲得したメタ認知的な能力が、他の問題解決場面へ転移することは困難であるという知見を報告している。

また Koch (2001) は、物理学のテキストの読解においてもメタ認知を高める必要があると考え研究を行っている。その結果、自己モニタリングの訓練としてテキストの読解を指導することによってメタ認知的技能が育成できるという知見を得ている。この他にも、メタ認知的な考え方が、概念地図法を用いた研究 (Novak & Gowin, 1984) や認知的方略の枠組みによる研究 (市川ら, 1995 ; 堀・市川, 1997) などにおいて適用されている。しかし、理科学習においてきわめて重要な問題解決活動を行う観察・実験をメタ認知という視点からとらえ、観察・実験とメタ認知の関係やその特徴を明らかにした研究はみられないようである。

この観察・実験においては、自然事象に関する知識や観察・実験の操作技能とともに、観察・実験の目的を明確にするという「目的の明確化」、目的を達成するための妥当な観察・実験の「操作手順の検討」、観察・実験の目的という文脈上での結果の「検討」「考察」といった思考活動が重要である。このため、観察・実験を通してメタ認知能力を育成することは、円滑な思考能力、そして問題解決能力の育成につながると考えることができる。

なお、本研究では、Flavell (1976) や Brown & Campione (1981)、岩合 (1990) らの考えをもとに、メタ認知とは「認知についての認知」であるととらえた。そして、「人が自分の認知的資源や学習者としての自分自身と学習自体との適合性についてもっている知識」をメタ認知的知識と呼び、「学習あるいは問題解決を目指して進行している試みの間に行われている自己調整の機制」をメタ認知的技能と呼ぶことにする。

## 第2節 本研究の目的と方法

前節で述べた理科教育におけるメタ認知研究の状況より、本研究は、理科において重要な問題解決活動を行う観察・実験をメタ認知という視点からとらえ、観察・実験とメタ認知の関係やその特徴を明らかにするとともに、観察・実験を通じたメタ認知能力の育成方法を探ることを目的とする。ところで、メタ認知能力は大きく二つの側面に分かれており、それら全てを詳細にとらえることは困難である。そこで、本研究では、観察・実験において特に重要と考えられるメタ認知的技能(認知に関する調整の能力)を中心に考察を行うことにする。具体的には、以下の項目に分けて、それらについて検討する。

- (1) 観察・実験とメタ認知に関する基礎的考察 (第1章)
- (2) 観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因とその構造の解明  
(第1章)
- (3) 観察・実験とメタ認知的技能の関係の解明 (第2章、第3章)
- (4) メタ認知能力の育成を志向した観察・実験の指導過程の提案 (第4章)

なお、上述の各項目の研究は以下のように行う。

まず、メタ認知能力の理論的研究として、メタ認知能力に関する心理学、算数・数学教育学及び理科教育学などの先行研究の成果を検討する。そして、理科教育、その中でも特に観察・実験においてメタ認知能力を育成することの意義を抽出する。また、メタ認知や観察・実験が強く関わる「問題解決」について、その基本的諸概念を概観する。(第1章)

次に、観察・実験におけるメタ認知的技能の実行過程を明らかにする第一段階として、観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因とその構造を明らかにする質問紙調査を実施する(調査I)。具体的には、メタ認知及び問題解決に関する先行研究の成果より、観察・実験における思考活動に影響を及ぼすと考えられる要因の抽出を行う。次に、得られた要因をもとに調査問題を作成・実施する。そして、得られた結果をもとに SEM (Structural Equation

Modeling) を用いて因果モデルを作成し、その構造を明らかにする。(第1章)

また、上述の調査Ⅰは質問紙調査のみによるものであった。このため、実際の観察・実験活動そのものを直接研究の対象としてはいない。そこで、学習者が独力で実施可能な観察・実験である結晶課題(調査Ⅱ)や電磁石課題(調査Ⅲ)を取り挙げることにする。これらの調査においては、レポートやワークシート、面接によって観察・実験の各過程においてメタ認知的技能が生じたか否かを測定する。そして、これらメタ認知的技能の生起の様相と成功的な観察・実験の関係を検討する。(第2章、第3章)

最後に、各調査研究や理論的研究の結果をもとに、観察・実験活動においてメタ認知能力を効果的に育成する方法を検討する。そして、得られた知見より、観察・実験におけるメタ認知能力の育成を志向した指導過程を提案する。具体的には、メタ認知能力の育成に適した単元・教材を検討・開発し、その展開を提案する。(第4章)

また、本研究における調査対象は、中学生である。その理由は、以下の2点である。

- (1) 被験者個人で観察・実験を行いワークシートやレポートを作成する必要があるため、小学生よりも文章能力の優れた中学生の方が適していること
- (2) 小学校段階における理科の学習を全て終えているため、適度に試行錯誤の必要な課題が設定しやすいこと

なお、本研究における分析には、SPSS10、S-PLUS6 及び Amos4 を使用した。

以上に述べてきたことから本研究の特色をまとめると、以下のようになる。

本研究の第1の特色は、観察・実験をメタ認知という視点からとらえ、問題解決活動としての観察・実験過程の分析にメタ認知的視点を導入した点である。

また、第2の特色は、観察・実験の過程を調査によって詳細に分析し、モニタリングやコントロールの成否と実験結果の関連を検討することから観察・実験とメタ認知的技能の関係を構造的に、かつ質的に解明する点である。

そして、第3の特色は、調査で得られた知見より、理科教育において観察・実験を中心にしたメタ認知能力の育成を志向した指導過程を導出し、それを具体的な実践的事例として提案する点である。

今まで述べてきた本研究の全体的な枠組を図示すると、図0-1のようになる。

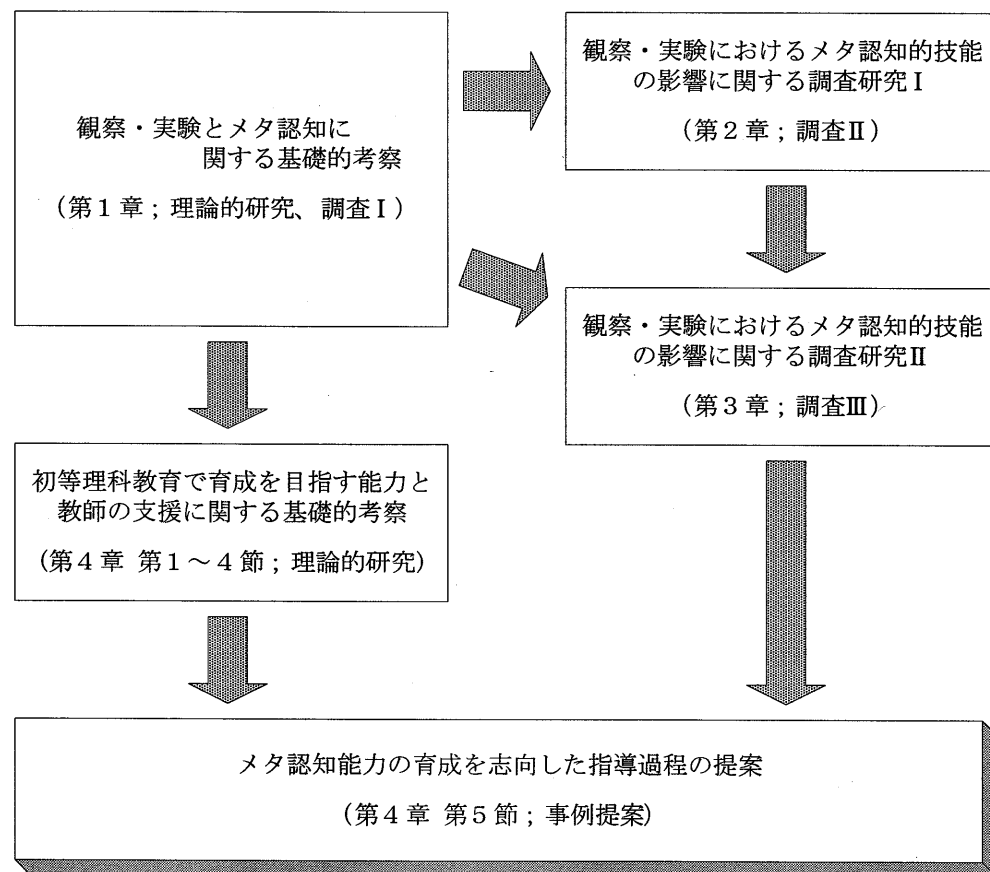


図0-1 本研究の全体的な枠組

## 第 1 章 観察・実験とメタ認知に関する基礎的考察

## 第1節 メタ認知の概念規定

「メタ認知」は、心理学者の Flavell が記憶発達の研究において、メタ記憶 (metamemory)、つまり「自分の記憶状態について知る」という能力に着目して、子どもの記憶発達の実際を解明しようとしたのが始まりといわれている。そして、1970年代以降 Flavell や Brown などの認知心理学や教育心理学の研究者を中心に多くの研究がなされている。また、Flavell が主に注目したのは「認知についての知識」という静的な側面であったのに対し、Brown は動的な視点からメタ認知を捉え「認知についての調整・制御」に注目していたといえる (岩崎・山口, 1998)。

以下では、メタ認知の創始者として挙げられる Flavell 及び Brown のメタ認知に対する初期の頃のとらえ方を中心にまとめる。また、数学教育及び理科教育における先行研究の成果を概観し、理科教育においてメタ認知能力を育成することの意義や価値を抽出する。

### 1-1 J. H. Flavell

「メタ認知」という言葉を最初に用いたとされる Flavell は、この言葉を次のように定義している。

メタ認知とは、その人自身の認知過程と所産、あるいは、それらに関連したことすべて (たとえば、学習に直接関係する情報やデータの属性) に関する知識を指している。たとえば、自分には B の学習よりも A の学習の方が難しいことに気づく、C を事実として受け入れる前に二度点検しておくべきであるという考えが念頭に浮かぶ、多肢選択型の課題で最善のものを選ぶ前にすべての選択肢をそれぞれ詳しく吟味した方がよいと考える、実験者が私に本当は何をするように望んでいるかが確かではないと気づくようになる、D ということを忘れてしまうかもしれないのでそれを書きとめておいた方がよいと感じる、E を正しく理解しているかどうかを知るために、それについて誰かに尋ねてみようとする、といったようなそ

れぞれの場合に、人はメタ認知（メタ記憶、メタ学習、メタ注意、メタ言語もしくはその他のあらゆるメタ）に携わっているのである。このような例は、限りなく増やすことができる。人間はまた人間外の環境でのどんな種類の認知的営みにおいても、多様な情報処理活動が行われるだろう。とりわけ、メタ認知とは、認知過程がかかわっている認知の対象あるいはデータとの関連で、通常は何らかの具体的な目標や目的にしたがって認知過程を積極的にモニターし、その結果として認知過程を調整し、編成することを指している。（Flavell, 1976）

現在においてもメタ認知に対する見解は様々であり、統一された定義はないようである。しかし、上記の Flavell の定義は研究者間でほぼ共通の理解が得られている解釈のようである。

また、Flavell（フラベル, 1981）は「成人のどのような知識や行動がメタ認知や認知的モニタリングの分野で子どもたちのめざす発達目標となるのか」という自身の問いに対して次のようなモデルを示している。

- (a) メタ認知的知識
- (b) メタ認知的経験
- (c) 目標（または課題）
- (d) 行為（またはストラテジー）

以下に、このモデルに対する彼の見解を整理したものを示す。

(a) メタ認知的知識

メタ認知的知識とは、主として、どのような要因や変数が作用したり、相互作用したりして認知的営みの過程や結果に影響を及ぼすかということについての知識や見解である（例えば、ある子どもが自分は他の多くの友達と違って、字を書くことよりも算数の方が得意であると思ひこむに至った場合の知識）。そして、このような要因または変数の主たるカテゴリーとして、人、課題、方略の3つを挙げることができる。



①人カテゴリー

人カテゴリーは認知的処理をする者としての自分自身と他の人々の性質について抱く考えすべてを含む。そして、このカテゴリーはさらに、認知の個人内差異、個人間差異および普遍的特性についての見解などのサブカテゴリーに分けられる。

②課題カテゴリー

課題カテゴリーは、次に示す2つのサブカテゴリーに分けられる。その1つは、認知的営みの間に利用できる情報（例えば、よく知っていることか知らないことか、よく構造化されているかあまり構造化されていないか、信頼できるかできないか等）に関係している。そして、もう1つは課題で何が要求されているか、何が目標かということについてのメタ認知的知識である。

③方略カテゴリー

方略カテゴリーは、ある認知的営みにあたって、目標およびその下位目標を達成するためには、どのような方略が有効であるかといったことに関して獲得され得る知識が属する。

そして、ほとんどのメタ認知的知識は実際には、これら3変数の2つまたは3つの相互作用や組み合わせにかかわっている。

(b) メタ認知的経験

メタ認知的経験とは、知的営みに伴う意識的な認知的または感情的経験のことである。この経験の多くは、人が認知的な営みのどの段階にあるか、どんな進歩をしているかまたは進歩できそうかということに関係がある。

(c) 目標（または課題）

目標（または課題）とは、認知的営みの目的である。

(d) 行為（またはストラテジー）

行為（またはストラテジー）とは、目標を達成するための認知やその他の行動である。

以上、Flavell の見解を示したが、このようなモデルによると、認知的モニタリングはメタ認知的知識、メタ認知的経験、目標や課題、行為や方略などの活動とこれらとの相互作用を通して進行するということになる。

なお、彼は基本的に心理学者であり教育的側面に関心があったとは言い難い。そのため、このモデルがメタ認知的知識を中心に構成されていることから分かるように、静的な知識に主眼を置いているといえる。そして、当初は子どもたちがいつ頃メタ認知能力を獲得し、いつ頃から自身の認知的営みをモニターできるようになるのかといったことに関心があったようである。しかし、彼は Brown らの研究に触れ、メタ認知の研究から発達的な示唆だけではなく、教育的な示唆を得ることもできると考えるようになっていく。

## 1-2 A. L. Brown

Brown は、科学的な操作やモデルを構成するという教授・学習の視座から、メタ認知に強い関心を寄せていた。そして、メタ認知的活動を以下に示す2つの側面から捉えている (Brown & Campione, 1981)。

認知についての知識 (knowledge about cognition) :

人が自分の認知的資源や学習者としての自分自身と学習自体との適合性についてもっている知識

認知の調整 (regulation of cognition) :

学習あるいは問題解決を目指して進行している試みの間に行われている自己調整の機制

この2つの側面のうち、Brown が特に着目したのは後者である。彼女は、後にメタ認知的技能と呼ばれることの多いこの認知の調整を発達的にとらえると

ともに、点検 (checking)、計画立案 (planning)、モニタリング (monitoring)、検査 (testing)、修正 (revising)、評価 (evaluation) という実行過程が、広い範囲の学習事態における効率的な思考の基本的特徴ではないかと考えている。また、効率的な問題解決の要点として次に示す6つの能力を挙げている (ブラウン, 1978/1984)。

(問題解決システムにおいて、) その実行部には、

- (一) システムの容量の限界を予言する能力
- (二) 発見的なルーチンのレパートリーとそれらを利用するのに適した領域に気づく能力
- (三) 当面する問題を同定し、その特徴を記述する能力
- (四) 適切な問題解決方略を立案し、その使い方の予定をたてる能力
- (五) 実行部が使うために呼び出したルーチンの有用性をモニターし、管理する能力
- (六) 方略的な活動を終える時期が計画的に定められるように、成功あるいは失敗を前にしてこれらの操作を力動的に評価する能力

が含まれていなくてはならない。

これらは、問題解決において学習者自身に必要と考えられる一連の能力を示したものと見ることができる。そして、Flavell のモデルと大きく異なる点は、この一連の能力が動的なものであるという点である。そのため、Brown はこれらの能力が獲得されるとともに、般化、転移することを期待したようである。実際、自分自身で問題を見出し、解決していくことができる力の育成という今日的な教育の課題と、この Brown が示した一連の能力は同じ方向を目指しているといえる。

また、彼女はメタ認知の歴史的起源について検討し、(a) 認知過程についての言語報告 (verbal reports)、(b) 情報処理モデルにおける実行系の制御 (executive control)、(c) 自己調整 (self-regulation)、(d) 他者調整 (other-regulation) という4つのルーツを示している (Brown, 1987)。これらのルーツについては、三宮 (1996) が Brown のこの研究を以下のようにまとめている。

- ① 19世紀の終わりから20世紀の初めにかけての、自らの認知プロセスについての言語報告、すなわち内観 (introspection) にもとづく研究。
- ② 1970年代を中心とした、情報処理モデルの中央実行系 (central executive) による認知のコントロールに関する研究。
- ③ 1930年代から60年代を中心とした、認知の自己調整 (self-regulation) に関するピアジェ (J. Piaget) の認知発達研究。
- ④ 1920年代から30年代にかけての、認知の他者調整 (other-regulation) から自己調整への移行に関するヴィゴツキー (L. S. Vygotsky) の認知発達研究。

このように複数のルーツを持つことが、メタ認知の概念をやや複雑にしているといえる。また、三宮はメタ認知概念の歴史的探索をさらに推し進めていくと、古代ギリシアのソクラテスにまでさかのぼることができるとしている。

### 1-3 メタ認知と認知

ここで、「メタ認知」と「認知」の関係について整理するために、これらの関係について検討した研究を概観する。

Sternberg (1982) は知的発達のためのメカニズムの考察において、M: メタ成分 (metacomponents)、A: 習得成分 (acquisition components)、R: 保持成分 (retention components)、T: 転移成分 (transfer components)、P: 実行成分 (performance components) という5つの成分の構造を図1-1のように示している。このモデルでは、メタ成分が他の成分よりも一段高次に位置

づけられており、メタ成分のみが直接他の成分を活性化させたり、他の成分からのフィードバックを受け取ったりすることが出来る。このため、システムの全ての制御はメタ成分から直接行われていることになる。

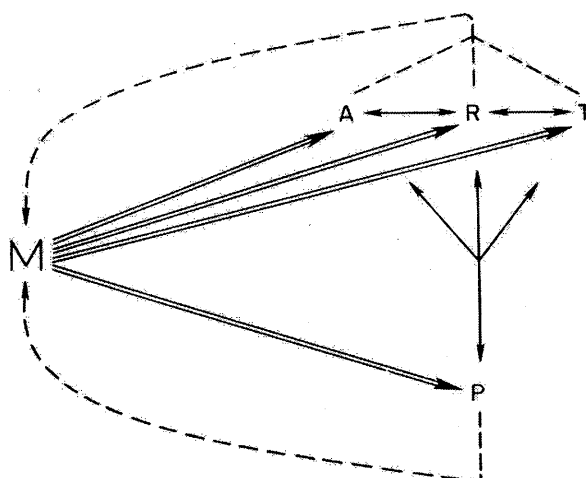


図 1 - 1 Sternberg のモデル

原著註釈：

異なる機能を扱う成分の相互関係。“M”はメタ成分を示す、“A”は習得成分を表わす、“R”は保持成分を表わす、“T”は転移成分を表わす、“P”は実行成分を表わす。一つの成分からもう一つの成分への直接の働きかけは、二本線の矢印によって示される。一つの成分からもう一つの成分への間接の働きかけは、一本線の矢印によって示される。一つの成分からもう一つの成分への直接のフィードバックは一本線の破線によって示される。一つの成分からもう一つの（又は同じ）成分への間接のフィードバックは一本線の矢印によって示される。

また、Nelson & Narens (1994) は、モニタリングとはメタレベルが対象レベルから情報を得る (informed) ことであり、コントロールとはメタレベルが対象レベルを修正 (modify) することであるとしている。そして、三宮 (1995) はこの Nelson & Narens の考えにもとづいて図 1 - 2 に示すモデルを作成している。このモデルでは、Nelson & Narens が示したモデルに、メタ認知研究で用いられる概念である「気づき」「感覚」「予想」「点検」「評価」がメタ認知的モニタリングとして、「目標設定」「計画」「修正」がメタ認知的コントロールとして位置づけられている。

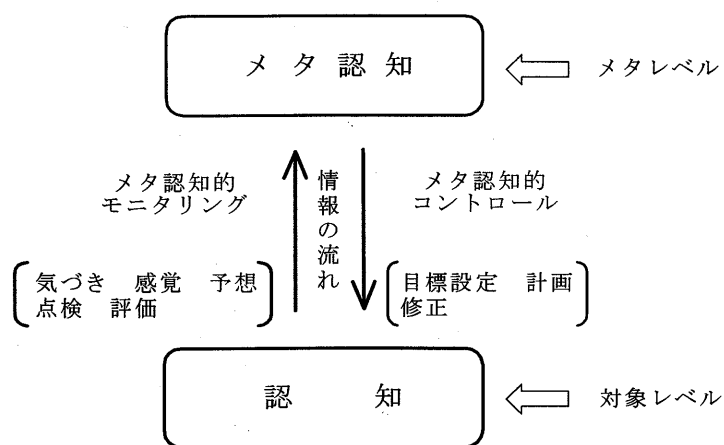


図1-2 メタ認知的活動のモデル (三宮, 1995)

このようにメタ認知の存在は、対象レベルにおける認知や活動を司り、「熟達した活動に必要な領域固有の知識や技能以上の何か (Bruer, 1993)」として示されているといえる。

#### 1-4 メタ認知研究の意義

上述してきたように、メタ認知研究は様々な視点から行われている。このように多くの研究者に注目されているメタ認知研究の意義について秋田 (1991) は次の4点を挙げている。

- (1) 領域固有、文脈依存の知識をこえた領域普遍の一般的な知識、領域間を結合するような知識がいかにして生じうるのかという心理学的問題に答える1つの鍵として、メタ認知概念がとり上げられたと考えられる。
- (2) 理論的関心に加え、個々の内容知識だけでなく、より汎用性のある思考様式を生徒に身につけさせるには何をどのように教えたらよいか、自らが自分で学んでいく自己統制学習の力を養うには一体何を培えばよいかという教育実践的な関心からも、メタ認知の機能が重視されてきている。

(3) 私たちは自分の心の働きについてどのような概念をもっているのか、「心の理論 (theory of mind)」を明らかにする研究としてメタ認知研究が重視されてきている。

(4) いかにして理解は深まるのか、その過程を明らかにするのに、メタ認知、特にモニタリングが重視されていると考えられる。

これらのうち、教科教育学的視点からメタ認知を研究する意義としては、特に(2)と(4)が挙げられる。これは、理解の深化の過程をメタ認知という視点から分析し、学習者が自ら学び、自ら問題を解決していく能力を獲得するための教授方略を検討することは、実践としての教授・学習に対して優れた示唆を与える可能性があるからである。

次項では、メタ認知に関する研究が多く行われている算数・数学教育の先行研究を概観するとともに、理科教育においてメタ認知を扱うことの意義について検討する。

## 1-5 理科、算数・数学教育におけるメタ認知

### (1) 算数・数学教育におけるメタ認知

算数・数学教育においては、1980年代以降多くのメタ認知に関する研究が行われている (Schoenfeld, 1985, 1992; Silver, 1985; 岩合, 1990; 重松, 1990; 清水, 1996; 加藤, 1999 など)。これらの研究は、岩崎・山口 (1998) が「問題解決によってメタ認知を育成する理論的展望の構築こそ、優れて数学教育的な課題になったはずである」と述べているように、主に問題解決という文脈の中で取り扱われている。そして、「数学的な問題解決の文脈において、多くの研究者がメタ認知に着目したのは、問題解決に行き詰まった子どもの「解けない」状態の打開策を、メタ認知に求めたからに他ならない。メタ認知は、「解けない」状態から「解ける」状態への認知的移行を促す、推進力 (driving force) として捉えられていた。」と岩崎・山口が述べているように、メタ認知が問題解決を推進する機能を持つのではないかと考えられている。Brown にも「円滑な問題

解決」を念頭に研究を進めているが、数学教育においてはより具体的な機能をメタ認知に見出しているといえる。

また、岩合（1990）は Flavell や Brown といった心理学者の先行研究をふまえて、「認知現象についての知識や信念」に関わる因子を「メタ認知的知識」、また、「認知行動の調整や制御」に関わる因子を「メタ認知的技能」と呼び、以下の表1-1のように類型化している。

表1-1 メタ認知の類型（岩合, 1990）

メ タ 認 知	メタ認知的知識	人
		課題
		方略
	メタ認知的技能	自己監視
		自己評価
		自己制御

この表1-1に示した類型のうち、メタ認知的知識については Flavell が示したモデルをそのまま使用しているといえる。このことから、数学においても静的な側面であるメタ認知的知識を、「人」「課題」「方略」の3つの下位カテゴリーで構成することが妥当とされているといえる。また、この類型におけるメタ認知的技能については Brown が示した「認知の調整」という考え方を基盤にして3つの下位カテゴリーを設定している。これらは、Brown & Campione が示した、計画立案、点検、モニタリングといった6つの実行過程をもとに「自己監視」「自己評価」「自己制御」という3つの下位カテゴリーを設定していると考えられる。

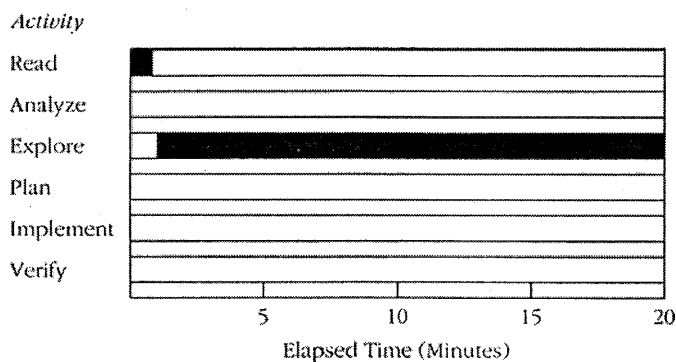
算数・数学教育における具体的な調査としては、一人ひとりの被験者を詳細に分析し、深く多面的な結果を得ることを目的としたエピソード分析（Schoenfeld, 1985, 1992）や、「メタ認知的知識に関する質問紙」に対する反応の程度によって、被験者のメタ認知的知識を数値化することを目的とした質問紙法（Swanson, 1990；岡本, 1991；清水, 1996 など）などが行われている。

エピソード分析では、まず問題解決者のプロトコルを「エピソード」と呼ばれる行動のかたまりに区分する。次に、エピソードのそれぞれに、読み、分析、探求、計画、実行、検証といったラベルをはる。そして、これらエピソードを



時間軸（横軸）とラベル軸（縦軸）に沿って並べることから、問題解決過程を検討していくというものである（図1-3）。この分析を用いた結果、熟達者はメタ認知的な制御を多く行っているが、初心者はそうではないという知見を明らかにしている。

(a) 初心者



(b) 熟達者

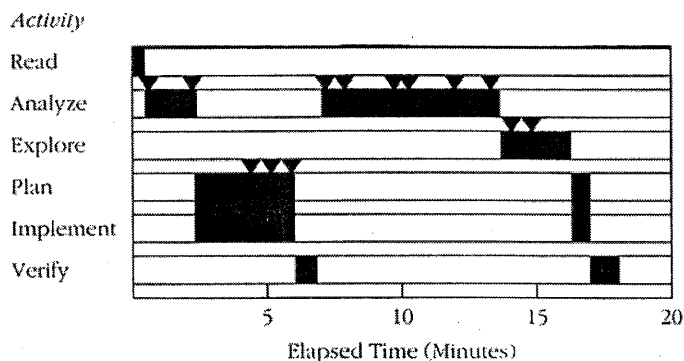


図1-3 エピソード分析 (Schoenfeld, 1992)

また、質問紙を用いた清水の研究では、例えば「あなたは算数の文章題を解いた後で答えを確かめますか？」という質問に対して「はい/いいえ」という回答をさせている。そして、そのように回答を行った理由を自由記述させている。記述の内容に応じてそれぞれ得点が設定されており、この得点をもとに数値化を行っている。

このように、数学教育の領域においては、具体的な数学的問題解決の場面を設定し、面接法による質的な調査や質問紙法による量的な調査など、多面的視

点から研究が行われている。

## (2) 理科教育におけるメタ認知

上述したように、算数・数学教育という視点におけるメタ認知に関する研究には、メタ認知の概念的側面を対象としたものも見られる。一方、理科教育という視点においてはメタ認知の概念的側面に関する研究は少ないようである。また、日本においてはメタ認知そのものに焦点を当てた理科教育の研究は極めて少ないといえる。

理科における問題解決能力について研究を行っていた Novak ら (1983, 1984) は、メタ学習とメタ知識という概念により子どもたちの学習改善の方策を提起している。彼は、人間には開発されないまま残されている学習のための潜在的可能性があると考え、メタ学習やメタ知識に関する知見から知的潜在力を引き出そうとしている。そして、有意味学習など Ausubel の理論及び認識論に由来するアイデアから出発して、「概念地図法 (concept mapping)」と呼ばれる方略を開発している。これは、図 1-4 に示したように新しい命題の付加によって概念の意味の漸進的分化を図示するために使用できるものである。

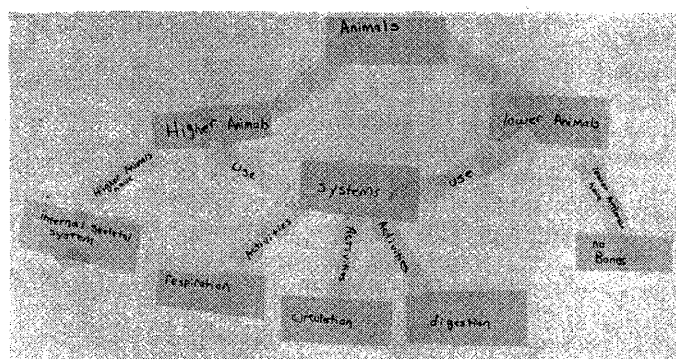


図 1-4 コンセプトマップ (Novak et al., 1983)

現在、この概念地図法は理科教育における様々な場面において用いられている (山口ら, 1997; 堀ら, 1999; 里岡, 2000 など)。

Baird (1986) は、6ヶ月間の理科の授業を通してメタ認知の育成に関する研究を行っている。彼は、メタ認知を3つの側面 (知識、認識、制御) からとらえ、それらを訓練することによって中等段階の生徒の学習を改善しようと試

みている。この研究は、長期的な実際の授業を通してメタ認知の育成を試みている点の特徴である。そして、Bairdはこの研究をもとにWhiteらとPEEL(The Project for Enhancing Effective Learning)プロジェクトとして、理科以外の多くの教科と連携し、共同で生徒達自らが自分の学習をコントロールするというメタ学習の促進を試みている(Baird & Mitchell, 1987; Baird et al., 1991)。そして、このプロジェクトでは、自分で問題を書き出す、問題を分類する、概念地図を作成する、学習成果を自己評価する、適切な行動のチェックリストを作成する、理解できなかった内容を教師に伝える、教師の考え方を控えて生徒たちに議論させ彼らなりに検証させる、といった内容を提唱、実践している。そして、教師の態度、観念、能力などが生徒のメタ認知の育成に影響するという知見を得ている。また、彼らは子ども達が獲得したメタ認知的な能力が、他の問題解決場面へ転移することは困難であるという知見を得ている。

この他にも、化学の授業においてメタファーを用いることで生徒のメタ認知を高めることができるとした研究(Thomas & McRobbie, 2001)や、物理学のテキストの読解においてもメタ認知を高める必要性があるとする研究(Koch, 2001)などがある。

また、White(1988a)は、理科学習により形成される能力について考察するなかで、認知的方略(cognitive strategy)に注目している。これは、認知的方略は知能などと異なり学習可能な能力ととらえることができるという考えに基づいている。そして、彼はこの方略を「評価」「計画」「(情報)処理」の3つに分けてその内容を吟味している。この認知的方略とメタ認知的方略の厳密な区別は困難であるが、辰野(1997)はこれらの関係について以下のように述べている。

「認知的方略」は、認知的進歩を促すために意図的に行う心的操作や活動であり、「メタ認知的方略」は、認知的進歩を意図的に監視するために行う心的操作や活動である。(中略) このように両者は区別できるが、両者を含めて認知的方略と広義に用いることもある。

このWhiteの研究が原因かどうかは定かではないが、理科教育においては認知的方略という表現も以後多く用いられているようである。このため、日本に

においてはメタ認知を認知的方略という枠組みの中で捉えている研究が見られる。例えば、市川・堀ら（1995, 1997）は、「音」や「電流回路」といった具体的な学習内容を取り上げ、それらを通した認知的方略（メタ認知）の育成を模索している。しかし、科学的な問題解決方略を提示したり、ワークシートを用いて生徒自身に学習前後での変容を意識させたりするにとどまっており、どのようなメタ認知能力の育成を目指しているのかについての言及はなされていない。

また、鈴木（1997, 1999, 2000）は、学習意欲の構造などを研究する中で、自己効力観や認知的方略としてのメタ認知、メタ記憶などにも着目している。彼の研究では、心理学で用いられた測定項目や尺度を理科的な内容へと改変して使用している。例えば、認知的方略のメタ認知の質問紙による測定においては、Parisら（1990）が示した「認知的自己評価」と「認知的自己制御」というメタ認知の類型をもとに表1-2に示すような分類を行っている。この類型は、先に示した岩合（1990）の類型におけるメタ認知的技能に相当すると考えられる。彼は、このような項目設定のもとに質問紙を作成している。しかし、これらの設問は、理科全般に関する項目が多くを占めており、直接各学習内容と関連付けられてはいない。

表1-2 メタ認知の測定における分類（鈴木, 1997）

メ タ 認 知	自己評価	学習課題の把握
		学習状況の把握
		自己目標の設定
	自己制御	問題解決のプランニング
		問題解決の情報処理

### （3） 理科教育におけるメタ認知能力の育成

算数・数学教育、及び理科教育におけるメタ認知研究を概観した結果、以下のことが明らかとなった。まず、算数・数学教育においては、FlavellやBrownが示したメタ認知の類型を詳細に検討し、その枠組みの中で問題解決における推進力の役割を見出しているといえる。一方、理科教育においては、メタ認知が問題解決の過程において重要な役割を果たすという認識は同様であるが、「メ

メタ認知的知識」や「メタ認知的技能」といったメタ認知の理論的な側面はあまり意識されずに各研究が進められているといえる。また、理科に特有の活動であり、理科における問題解決活動の多くを行う場面となる「観察・実験」をメタ認知という視点からとらえ、観察・実験とメタ認知の関係やその特徴を明らかにした研究はみられないようである。

この観察・実験においては、自然事象に関する知識や観察・実験の操作技能とともに、観察・実験の目的を明確にするという「目的の明確化」、目的を達成するための妥当な観察・実験の「操作手順の検討」、観察・実験の目的という文脈上での「検討」「考察」といった思考活動が重要である。このため、観察・実験を通してメタ認知能力を育成することは、円滑な思考能力、問題解決能力の育成につながると考えられる。

## 第2節 問題解決

前節で述べたように、メタ認知研究はその性質上問題解決という文脈と密接に結びついて行なわれてきたといえる。White (1988b) は1980年代のメタ認知の台頭を以下のように分析しているが、このような動向が問題解決という文脈で多くの研究が行われてきた背景にあるものと考えられる。

教育学者がメタ認知に注目し、知能や Piaget の段階説から離れる決定的な理由は、後の2つが能力を改良するための教育的介入の価値を否定している点にあった。両者において、能力は比較的固定した性格を持つことになるが、メタ認知の考え方は、これとは対照的に、ほとんどどんな年齢でも、自分の将来の学習の質が向上するように人々を訓練する可能性を約束している。

本節では、このようにメタ認知が強く関わることになる「問題解決」について、その基本的諸概念を概観する。

### 2-1 問題解決とメタ認知

問題解決という言葉は近年においてよく耳にする言葉であるが、その研究は古くから数多く行なわれている。この問題解決の意味について、例えば辰野(1970)は、それまでの問題解決に関する研究をまとめた著書の中で以下のようにまとめている。

#### ○問題解決

目的とか目標はわかっているけれども、それに達する手段や方法のわからない問題場面（あるいは課題場面）にであったとき、過去の経験を利用したり、場面の状況を分析したりして、いろいろのことを関係づけ、一定の手段や方法を見つけて、目標に到達しようとする。問題解決というのは、問題場面において、一定の目標に到達する手段を見出す働きである。

## ○思考作用

この働きの中心は、思考である。思考は簡単にいえば、「一般的関係を知ること」であるが、これは、さらに、次のように分けることができる。

－抽象作用：二つ以上の事象を比較し、その類似点または関係を知る働きである。このような抽象により、取り出された同類の特質だけをまとめてつくった代表的表象を概念という。これは、ふつう、ことばで表わされる。このように、比較、抽象、概括、命名の過程を経て概念をつくる働きを概念作用という。

－判断作用：これは、二つ以上の概念間の関係を定める働きである。

－推進作用：よく知られている事実と事実とのあいだの関係から、一つの結論を導き出す働きである。この際、一般的判断から出発して、これと特殊の判断との関係を見つける働きを演繹推理、特殊の判断から出発して、その中にある一般的判断を発見する働きを帰納推理、特殊な場合から他の特殊な場合を推測する働きを類比推理という。

このように、問題解決というのは、問題場面において一定の目標に到達する手段を見出す働きであり、その過程においては思考作用が重要な働きをしているといえる。

また、問題解決の過程に関する研究は、J. Dewey にまで遡ることができる。彼は、20世紀初頭に発表した多くの著書において、探究 (inquiry) の過程がどのような諸要素ないし諸相から成るかをいく通りか示している (牧野, 1964)。例えば、彼の著書である思考の方法 (1910/1933: 植田(訳), 1950) においては、反省的思惟の五つの側面 (phases) もしくは局面 (aspects) として以下のものを挙げている。

- ①暗示 (suggestion)
- ②知性的整理 (intellectualization)
- ③仮説 (hypothesis)
- ④推理作用 (reasoning)
- ⑤行動による仮説の検証 (testing the hypothesis by action)

また Polya (1945) は、問題解決法の古典としてよく知られている「いかに問題を解くか」という著書の中で問題解決の過程として次の4段階を挙げている。

- ①問題を理解すること
- ②計画を立てること
- ③計画を実行すること
- ④振り返ること

Polya が示したこの問題解決の過程は、現在においても通用する考え方である。しかし、問題解決の過程の検討のみでは、学習者をより良い問題解決者へと導くことができないことは明らかである。

安西 (1985) は、問題解決の過程のみでなく、問題解決のためにきわめて重要な役割を果たす思考の方法についてまとめている。そして、類推的思考や論理的思考よりも大切なものとして因果的思考を挙げている。この因果的思考とは、原因から結果を考えるような思考の仕方、結果から原因を探ったり、理由づけをするような思考の仕方である。また、安西は因果的思考について以下のように述べている。

「自分の目的を果たすために、自分に関心のあるできごとを、因果的に一貫したかたちで関連づける」ことができるということ、因果的思考に基づくこの関連づけの働きこそ、私たちが問題解決者たらしめるきわめて大切な機能なのである。

一方、1970年代後半に提案されたメタ認知という考え方は、その性質上、問



題解決と密接につながることになる。Brown の表現を借用すると、問題解決とメタ認知の関係は次のようになる。

— 観察されるルーチンはその基礎をなす力を映し出しており、その力のしるしであり、随伴現象である — (ブラウン, 1978/1984)

つまり、問題解決における様々な活動はメタ認知の随伴現象ということになる。このような考え方は認知心理学を中心に広く受け入れられており、問題解決に関する研究などにおいてメタ認知的な視点が取り入れられている。例えば Schunk (1996) は、問題解決の熟達者は初心者に比べて次のような特色を持つとしている。

1. より多くの宣言的知識をもつ
2. 階層的によりよく体制化された知識をもつ
3. より多くの時間を計画や分析に費やす
4. 問題の形式をよりたやすく認知する
5. 問題の遂行をより注意深く監視する
6. 問題をより深いレベルにおいて把握する
7. 活動をより注意深くモニタする
8. 方略使用の価値をよりよく理解する。

また、Borkowski ら (2000) は、方略にもとづく優れた学習を行う子どもを “Good Information Processor” と呼んでいる。そして、認知的側面のみでなく意欲的側面なども含めて、“Good Information Processor” である子どもの 10 の主な特徴を以下のように示している。

1. 有用な学習方略を多く知っている
2. それらの方略が、いつ、どこで、なぜ必要なのかを理解している
3. 方略を賢明に選び、モニタする。そして、とても思慮深く、計画的である。
4. 知性の発達に関することに執着する

5. 注意深く行われた努力を信頼する
6. 本質的にやる気があり、課題志向であり、高い目標を持つ
7. 失敗を恐れない — 実際は、失敗は成功のもとであることを理解しているため、テストを気にしない — むしろ、それらを学習の機会であるとみている
8. 将来における希望や不安という “possible-selves (可能性自体)” の具体的で多様なイメージを持っている
9. 多くのトピックスについてよく知っており、その知識へのアクセスが早い
10. 両親や学校、社会によって、上記のすべてにおいて援助を受けている

このように、優れた問題解決者となるためには、メタ認知的知識やメタ認知的技能を有する必要があることが示されている。また、問題解決においては、問題を解決しようとする意欲や態度もメタ認知能力が機能するか否かに影響を及ぼしていることは十分に考えられる。このため、優れた問題解決能力を育成するためには、Borkowskiらが示しているように、メタ認知能力に関する側面のみでなく、情意的、意欲的側面についても配慮する必要がある。

## 2-2 問題解決と教育実践

上述してきたように、問題解決に関する研究は古くから多く行われており、教育の実践の場においても問題解決学習としてその成果が取り入れられている。しかし、橋本（1975）は理科教育における問題解決学習の活動を振り返って、以下のような問題点を挙げている。

- ①問題解決の学習が形式的に受けとめられ、課題——児童の問題意識——予想——予想を検証するための構想——予想を検証するための実験・観察——結果の吟味・考察・一般化といった段階を形式的にふみ、授業の質的な深まりに教師の目が開かれず問題解決の学習が、形骸化されていた。

②問題解決の学習が、はたして子どもひとりひとりのものになっていたか。こういう視点で見直した時、一部の優良児の発言によって授業が進行し、ひとりひとりの問題解決になっていない結果となっていたという事実である。

③問題解決が、試行錯誤の連続であったり、はいまわる問題解決に終わっていたのではなかったろうか。結果として目標に到達できず、教師が無理してまとめてしまう。

このように、すでに 1970 年代において問題解決学習の形骸化が指摘されており、その実践の困難さがうかがえる。また橋本は、上述のような形骸化が指摘される問題解決学習の改善を目指して以下のような3つの柱を示している。

「問題解決の深化」を目指した3つの柱

(1) 問題の意識化とその持続

対象に対する精神的な興味、知的好奇心といった学習意欲に係わる側面を考慮し、具体的な場を設定する。

(2) 目標の明確化とそれにふさわしい素材の教材化

子どもが問題を意識化し、探究への主体的活動が起こり感覚・思考・行動を通して、自然認識にたち向かう活動を価値あらしめるため、目標を明確化する必要がある。

(3) ひとりひとりを生かす教師の手だて

子どもの主体的活動を推進し、ひとりひとりの個性に応じた発想・考え方・行動を尊重すると共に、これを生かすことが大切である。

この3つの柱はメタ認知能力の育成を意識したものではない。しかし、深化のある問題解決を行うためには、学習者の認知状態を指導者の側が十分に把握し、その状態に応じた指導を行うことができるスキルが教師に要求されているといえる。また、このような3つの柱は今日的状況においてもそのまま必要と

されている内容であるといえる。

### 第3節 問題解決活動としての観察・実験

本節では、本研究が対象とする問題解決活動を行う観察・実験について、その定義や理科教育における意義について概観する。

八杉（1979）は、自然科学の方法について解説する中で、観察と実験について次のように述べている。

実験とは、

<人為的に設定した条件下でおこる現象を観察し測定することである>

又は、

<人為的に条件を設定してある現象を起こさせ、その現象を観察し測定することである>

このように、実験は人為的なものであり、基本的には仮説を確かめる、つまり検証するためになされるものであるとしている。また彼は、観察と実験の区別について次のように述べている。

空の雲や虹のいろいろな状態を見たり、動植物に特別の実験の操作は加えずに生きたままあるいは解剖してしらべるのを、観察とよび、実験と区別する言葉の使い方が、かなり広くとられている。しかしこの区別は、正しいとはいわれない。実験も、それによっておこった現象を観察するためになされるのである。その意味では実験は観察のための手段であり、同時に、実験のなかに観察があるということにもなる。

観察や実験そのものの意味が検討されることは少ない。しかし、この八杉の説明は本質を端的に説明したものであり、今日においても通用するものであるといえる。

また、Hodson（1998, p.10-11）は『意識に入ってくる感覚データは、私たちが持っている既有知識、信念、期待、経験などによって「解釈」されているのだ。』『科学的な探究とそれに伴う実験や観察は選択的な過程であって、どこ

かに焦点を当てるといふ操作、あるいは目的が必要である。科学者には、ある観察を他の観察とは区別して選択したいという動機が必要なのだ。』と述べ、観察は理論に依存するものであるとしている。このような考え方は、Hanson (1958) の『・・・《見ること》は、“理論負荷的な” 試みなのだ、という言い方に一つの意味がでてくる。x についての観察は、x について予めもっている知識によって形成される。・・・』という観察の理論負荷性の考え方にもとづくものである。近年においては、このような認識は多くの研究者間に共通のものとなっている。

そして、このような特質をもつ観察・実験のうち、特に理科教育における観察・実験の意義を、西岡 (1992) は以下のようにまとめている。

#### 観察・実験の意義

##### ①観察・実験を通して、自然認識を深めること

科学者が観察・実験を通して、自然の法則を見つけ出し、自然の認識を深めたと同じように、子どもたちも理科学習で観察・実験を行うことによって、自然認識を深め発展させることができる。

##### ②自然認識の方法を学ぶ

観察・実験を通して、自然についての知識・理解を深めると同時に、その知識を獲得する方法、すなわち科学の方法についても学ぶことができる。

##### ③人間形成に役立つ

このような「発見型実験」は、理科教育における人間形成にとっても、大いに役立つ実験方法だと思われる。

このように、観察・実験においては自然認識を深めさせるとともに、知識を獲得する方法を学ぶことが挙げられている。そして、新しい知識を獲得し、それまで保持していた概念体系を再構築していくためには、メタ認知能力が機能する必要があると考えられる。このため、観察・実験活動全体の成否が、メタ認知能力と密接に関わっているといえる。

## 第4節 観察・実験に影響を及ぼす要因とその構造の解明

本節では、観察・実験におけるメタ認知的技能の実行過程を明らかにする第一段階として、観察・実験における思考活動と、この観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因の関係を、SEMを用いて構造的に検討した。その詳細を以下に示す。

### 4-1 調査の目的

本章の第1節及び第2節で述べたように、メタ認知は学習や問題解決において重要な役割を果たしていると考えられており、多くの領域で研究されている。そして、前述したこれまでに行われてきた研究は、理論的枠組みを構築するための一般的な課題によるもの、メタ認知のある特定の機能のみに着目したもの、計算過程とメタ認知の関係に着目したものと考えることができる。このため、理科学習できわめて重要な問題解決活動である観察・実験とメタ認知の関係を明らかにした研究は見られないようである。

この観察・実験においては、自然事象に関する知識や観察・実験の操作技能とともに、観察・実験の目的を明確にするという「目的の明確化」、目的を達成するための妥当な観察・実験の「操作手順の検討」、観察・実験の目的という文脈上での「検討」「考察」という思考活動が重要である。このため、観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因を検討することは、メタ認知的技能に影響を及ぼす要因を検討することの一助につながるといえる。そこで、調査Iでは、観察・実験におけるメタ認知的技能の実行過程を明らかにする第一段階として、観察・実験における思考活動と、この観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因の関係を、SEM (Structural Equation Modeling) を用いて明らかにすることを目的とした。

## 4-2 方法

### (1) 調査・分析方法

調査 I では、まず、先行研究をもとに観察・実験における思考活動に影響を及ぼすと考えられる要因を検討した。そして、各要因の構成項目の妥当性の検討には因子分析を、観察・実験における思考活動と各要因との関係解明には SEM を用いることにした。このため、調査 I では質問紙法を用いることにした。

観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因の検討は、以下に述べる手順で行った。まず、観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因を、Polya が示した①問題を理解すること、②計画を立てること、③計画を実行すること、④振り返ること、という4つの心的操作の過程をもとに検討した。これら4つの過程を観察・実験活動に対応させると、①が「目的把握」、②③④が「思考スキル」に対応するといえる。また、辰野（1997）は学習に影響を及ぼす要因を明らかにする研究において、学習技能などに加えて自主的態度や根気強さという観点をを用いている。観察・実験は多くの時間を要する活動であるため、このような「粘り強さ」という要因を考慮する必要があると考えた。そこで、調査 I では目的把握、思考スキル、粘り強さの3つを観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因とした。なお、各要因の構成項目は Miller(1992)、Manzano(2000)、松浦(2000)の研究をもとに8項目から構成した。

一方、観察・実験における思考活動は、この思考活動に対する好嫌に影響を受けると考えた。つまり、観察・実験における思考活動を好むほど、この思考活動が円滑に行われると考えた。そこで、この思考活動が円滑に行われるか否かを測定する項目として、観察・実験における思考活動の好嫌に関する3項目を想定した。

以上のことから、観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因に関する8項目と、観察・実験の思考活動の好嫌に関する3項目、計11項目を用いて質問紙を作成した。なお、これらの各項目はすべて5件法で構成した。質問紙に用いた項目の詳細を次頁の表1-3に示す。



表1-3 質問項目

	項 目	尺 度
粘り強さ	<p>○以下の項目に対して、あなたの考えはどうか。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 他の誰かの助けを借りずに、自分自身で物事を解決するのが好きである。</li> <li>2. 正しい答えが得られるまで、問題に取り組むのが好きである。</li> <li>3. 正しい答えが得られる前にあきらめるより、その問題と格闘している方が好きである。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①まったく違う</li> <li>②違う</li> <li>③どちらともいえない</li> <li>④その通り</li> <li>⑤まったくその通り</li> </ol>
思考スキル	<p>○問題に出会ったとき、次のようなことを、どのくらいしたことがありますか。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. すじ道を立てて考えたり、多くの点からまとめて考えたりする。</li> <li>5. 表やグラフ、図を使って、数や量の関係を見る。</li> <li>6. 見つけたしたことを、ほかの問題にあてはめる。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①まったくない</li> <li>②あまりない</li> <li>③すこしはある</li> <li>④よくある</li> <li>⑤とてもよくある</li> </ol>
目的把握	<p>○理科の学習において、次のような経験を、どのくらいしたことがありますか。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. 何を学習しているのか、よく分からない。</li> <li>8. 実験や観察の目的が、よく分からない。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①まったくない</li> <li>②あまりない</li> <li>③すこしはある</li> <li>④よくある</li> <li>⑤とてもよくある</li> </ol>
思考活動	<p>○理科の学習に関する以下の項目に対して、どう思いますか。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>9. 実験や観察の、予想や仮説をたてること。</li> <li>10. 実験や観察の、結果をまとめること。</li> <li>11. 実験や観察の結果をもとに、考察をすること。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①とても嫌い</li> <li>②少し嫌い</li> <li>③どちらでもない</li> <li>④少し好き</li> <li>⑤とても好き</li> </ol>

## (2) 被験者及び調査時期

調査は、広島県内及び山口県内の中学1、2年生 134名を対象に、2000年12月から2001年1月にかけて実施した。

## 4-3 調査及び分析の結果

調査項目の妥当性を検討するために因子分析を行った結果、因子構造と想定した調査項目の構造が一致した。そこで、観察・実験における思考活動を各要因で説明する因果モデルを構成した。但し、項目7、項目8は内容の関係上否定的質問文となっているため、分析の前に値を反転させている。この詳細を以下に示す。

## (1) 調査項目の妥当性と信頼性の検討

まず、調査項目の妥当性を検討するために、11項目に対する134名の反応について因子分析を行った。また、回転にはSEMによる分析を行うことを考慮し斜交解（プロマックス）を用いた。その結果、表1-4のようになった。この表1-4に示すように、因子負荷量が0.500以上を因子構成の項目とした結果、因子1は項目9、10、11、因子2は項目1、2、3、因子3は項目4、5、6、因子4は項目7、8から成る。そして、項目9、10、11は思考活動、項目1、2、3は粘り強さ、項目4、5、6は思考スキル、項目7、8は目的把握とそれぞれ対応している。これら因子構成項目と各要因の対応関係から、調査項目は妥当であるといえる。なお、有効回答者数は130名であった。

表1-4 因子負荷量 (N=130)

項目	因子1	因子2	因子3	因子4
1.	0.305	<u>0.571</u>	0.309	0.049
2.	0.226	<u>0.888</u>	0.296	0.151
3.	0.220	<u>0.683</u>	0.120	0.062
4.	0.385	0.316	<u>0.675</u>	-0.041
5.	0.325	0.187	<u>0.621</u>	0.108
6.	0.294	0.172	<u>0.748</u>	0.104
7.	0.312	0.201	0.075	<u>0.819</u>
8.	0.241	-0.028	0.070	<u>0.667</u>
9.	<u>0.743</u>	0.313	0.470	0.477
10.	<u>0.744</u>	0.260	0.387	0.251
11.	<u>0.910</u>	0.278	0.375	0.312

主因子法（プロマックス回転）

また、これら各因子における信頼性係数(Cronbach  $\alpha$ )を算出した。その結果を、各項目の平均値、標準偏差とともに表1-5に示す。この表1-5に示すように、 $0.70 \leq \alpha \leq 0.83$ であるため各因子の項目間において内部一貫性があると考えることができる。

表1-5 平均値、標準偏差及び信頼性係数 (N=130)

因子	項目	平均(S.D.)	$\alpha$
因子1 (思考活動)	9	2.42(1.08)	0.83
	10	2.62(1.09)	
	11	2.41(1.02)	
因子2 (粘り強さ)	1	3.13(0.91)	0.75
	2	2.90(0.92)	
	3	2.82(0.98)	
因子3 (思考スキル)	4	2.43(0.86)	0.71
	5	2.38(0.93)	
	6	2.58(1.10)	
因子4 (目的把握)	7	3.42(0.88)	0.70
	8	3.37(0.87)	

※  $\alpha$  : Cronbach  $\alpha$

## (2) 思考活動と影響要因の関係の解明

思考活動 (= 観察・実験における思考活動の積極性) を目的把握、思考スキル、粘り強さの3構成概念で説明する因果モデルを作成するために SEM を用いた。このモデルを分析した結果を図1-5及び表1-6、1-7に示す。

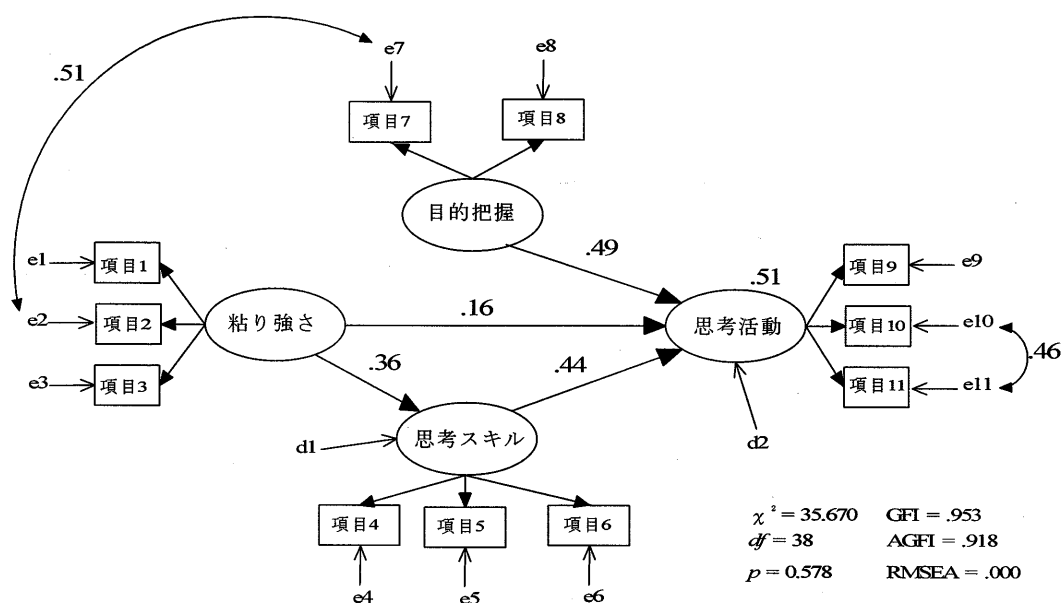


図1-5 観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因の構造

表1-6 推定値の詳細

				標準化 推定値	非標準化 推定値	標準誤差	検定統計量
係数	思考スキル	<..	粘り強さ	0.355	0.420	0.147	2.849
	思考活動	<..	思考スキル	0.443	0.698	0.179	3.891
	思考活動	<..	目的把握	0.488	0.671	0.169	3.969
	思考活動	<..	粘り強さ	0.158	0.294	0.188	1.569
	項目1	<..	粘り強さ	0.582	1	—	—
	項目2	<..	粘り強さ	0.850	1.456	0.269	5.404
	項目3	<..	粘り強さ	0.673	1.241	0.222	5.596
	項目4	<..	思考スキル	0.726	1	—	—
	項目5	<..	思考スキル	0.611	0.913	0.171	5.343
	項目6	<..	思考スキル	0.680	1.194	0.212	5.633
	項目7	<..	目的把握	0.813	1	—	—
	項目8	<..	目的把握	0.655	0.797	0.187	4.254
	項目9	<..	思考活動	0.922	1	—	—
	項目10	<..	思考活動	0.579	0.637	0.113	5.633
項目11	<..	思考活動	0.722	0.746	0.111	6.747	
共分散	e2	<..>	e7	0.512	0.125	0.045	2.795
	e10	<..>	e11	0.455	0.282	0.083	3.412

表 1-7 思考活動に対する標準化効果

	直接効果	間接効果	総合効果
目的把握	0.488	—	0.488
粘り強さ	0.158	0.158	0.316
思考スキル	0.443	—	0.443

図 1-5 に示したように、モデルの適合度の検討を行った結果、カイ 2 乗検定の結果は  $\chi^2=35.670$ 、 $df=38$ 、 $p=0.578$  であった。また、モデルの適合度指標 (GFI) は 0.953、修正適合度指標 (AGFI) は 0.918、RMSEA は 0.000 である。このことから、作成したモデルと標本データが十分適合しているといえる。このため、本分析において構成したモデルは調査結果をよく説明しているといえる。また、表 1-6 に示したように、最尤推定法による各推定値も有意な値を示している。このため、思考活動の決定係数も 0.51 と十分大きな値を示している。

本モデル及び表 1-7 に示した思考活動に対する標準化効果の値から次のことがいえる。まず、観察・実験における思考活動には目的把握、思考スキルが強く影響している。これに対して、観察・実験における思考活動に粘り強さは直接的にはあまり影響していないといえる。しかし、観察・実験における思考活動に対する粘り強さの直接効果は 0.16 と小さいが、間接効果を加えた総合効果は 0.32 となる。このため、粘り強さも間接的には観察・実験における思考活動に影響しているといえる。

次に、観察・実験における思考活動に影響を及ぼす 3 要因の間の関係は以下のようなになる。まず、目的把握には粘り強さが影響していないが、思考スキルには粘り強さが強く影響している。また、目的把握と思考スキルは互いに影響を及ぼしていないということが明らかになった。

#### 4-4 結果のまとめと含意

本調査は、観察・実験におけるメタ認知的技能の実行過程を明らかにする第一段階として、観察・実験における思考活動と、この観察・実験における思考

活動に影響を及ぼす要因の関係を、SEMを用いて明らかにすることを目的とした。その結果、観察・実験における思考活動には、目的把握、思考スキルが強く影響していること、粘り強さは間接的に影響していることが明らかになった。

ここで、観察・実験の思考活動には目的把握や思考スキルという要因が強く影響しているという結果の含意について、メタ認知的技能と対応させて考える。観察・実験の目的・目標を把握し、この目的・目標を達成するために妥当な実験計画の立案を行うという過程は、メタ認知的技能の計画立案や点検といった実行過程に対応している。換言すると、メタ認知的技能が円滑に機能するためには、これら目的把握や思考スキルが十分に実行される必要があるといえる。

また、得られた知見より次のことが理科の授業に対する含意として導出できる。まず、観察・実験における思考活動を子どもたちが行うためには、目的の把握を十分に行わせる必要があるといえる。このため、「何のために」「何を」という観察・実験の目的、目標を子どもたちに明確に意識させる必要がある。また、観察・実験における思考活動を子どもたちが行うためには、問題を解決するために必要な思考のスキルを子どもたちがあらかじめ習得している必要があるといえる。このため、筋道を立てて考えること、表やグラフ使って多面的に問題や結果をとらえること、得られた結果を他の問題へ適用することなどの技能を問題解決のスキルとして、子どもたちに繰り返し教授する必要がある。

## 第5節 まとめ

本章では、まず、メタ認知の創始者として挙げられる **Flavell** や **Brown** が示したメタ認知に対する考えをまとめた。そして、メタ認知能力は主に問題解決という文脈において注目されていることを示した。また、算数・数学教育や理科教育におけるメタ認知の取扱いをまとめ、これら教科教育においてもメタ認知能力が注目されていることを示した。

そして、上述のように先行研究をまとめた結果、問題解決活動としての観察・実験に注目し、この観察・実験とメタ認知能力の関係を検討することの必要性を示した。また、観察・実験を通じたメタ認知能力の育成の価値について述べた。

第2節以降では、メタ認知と問題解決の関連について検討するために、**Dewey** や **Polya** の示した問題解決の過程など問題解決に関するこれまでの研究を概観した。また、観察・実験の定義や、理科教育において観察・実験を行うことの意義について簡潔にまとめた。

そして最後に、観察・実験におけるメタ認知的技能の実行過程を明らかにする第一段階として、観察・実験における思考活動と、この観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因の関係を、**SEM** を用いて検討した。その結果、観察・実験における思考活動には、目的把握、思考スキルが強く影響していること、粘り強さは間接的に影響していることを明らかにした。

## 第 2 章 観察・実験におけるメタ認知的技能の影響 ( I )



本章では、観察・実験とメタ認知的技能の関係を検討するために、まず、メタ認知能力の測定方法について、次に、調査Ⅱとして結晶課題を用いて行った調査とその結果について述べる。

## 第1節 問題解決におけるメタ認知能力の測定

前章でも述べたように、メタ認知の測定には多様な方法が用いられている。本研究で対象としているのは教科学習としての理科における観察・実験であるため、メタ認知の測定においては、教科の学習指導に対応した測定方法を用いることが必要であると考えられる。

重松（1990）は、学習指導の枠組みにおけるメタ認知を考察する中で、個人的な問題解決におけるメタ認知の測定方法について以下の5点にまとめている。

### < 1 > 児童・生徒自身による解決過程の記述

従来の解答用紙に書いたような式と答えだけでなく、思いついたことをすべて紙上に表現させる。できれば、消しゴムを使わずに、答案用紙に書いた部分と頭の中で思いついたり、考えたことを各部分に分けて記述させてみたい。記述されたものからメタ認知を推察することができる。

欠点としては、思考過程をすべて記述させることは不可能であり、あまりよい情報がない場合がある。

### < 2 > 思考の言語化（think aloud）

紙に表現させるのではなく、テープレコーダやビデオレコーダに記録できるように、思いついたことをすべて言葉にしながら活動させるものである。

欠点として、思考の自然さが失われることが指摘されている。

### < 3 > 協同問題解決法

二人で一つの問題を解決するプロセスをビデオレコーダやテープレコーダで記録して、メタ認知の働きを分析する。両者が協力して解きながら、お互いをモニターとしてメタ認知の機能の働く過程を表現させる。ただ、年齢によって協同体制がうまく行かない場合がある。

#### < 4 > 反応潜時測定法

課題が与えられてから反応をするまでの時間によって思考の特徴を測定しようとするものである。一時この方法は問題があるとして使用されなくなったが、最近再び見直されている。

#### < 5 > 縦断的変化の記録

今までの方法が短期間の変容過程についてのものであるのに対して、この方法は長期間（一般的には12～15週間）の変容過程を対象に教育効果を測定するものである。ここでは、テープレコーダやビデオレコーダを用いて記録し、事前、事中、事後の変化を分析する。

重松自身も述べているように、これらの方法のいずれがベストかということとは状況によって変わってくるといえる。また、用いる課題の選択も大切になってくるといえる。

また、メタ認知の測定においては、メタ認知的知識とメタ認知的技能のどちらを対象にするのかによってその方法や用いる課題が異なるといえる。調査においてよく用いられる質問紙法を例にその理由を示すと以下ようになる。例えば、ある質問紙において「あなたは、理科の観察・実験を行う時に、手順を間違えていないかどうかよく確認しながら操作をするようにしていますか？」という質問項目が設定されていたとする。ここで、「手順を間違えていないかどうかよく確認する」ということ自体はメタ認知的技能に関係する行為である。しかし、質問紙によって被験者に問い掛けているため、質問への回答は被験者自身の持つメタ認知的知識によってなされることになる。以下においては、先行研究で用いられた質問紙によるメタ認知能力の測定について概観する。

質問紙を用いてメタ認知的知識を測定した研究としては、例えば、Swanson（1990）や岡本（1991）の研究がある。Swanson は、第4学年及び第5学年の子どもの問題解決に関するメタ認知的知識の測定に、表2-1に示す項目を用いている。また、岡本はこのSwansonの用いた質問項目を参考にして、算数に関するもの6問、一般的な学業に関するもの6問の合計12問からなる質問紙を、小学校5年生の児童用に作成している。その内容を表2-2に示す。

表 2-1 メタ認知的知識に関する質問項目 (Swanson, 1990)

1. 人を実際に賢くするのは何か？
2. 先日、問題を解くのが非常に得意な人と話しをした。そのとき、彼（あるいは彼女）に、読むことが得意かどうかを尋ねた。  
彼（あるいは彼女）は何と言ったと思うか？それはなぜか？
3. ジムは、推理小説を読み、殺人事件を解決するよう求められた。その本の長きは約 1000 ページであった。トムは、100 ページの長さのミステリーを読んだ。犯人を見つけるのが難しかったのはどちらか？そのミステリーをより正しく解決したのはどちらと思うか？それはなぜか？
4. ある集団の各人が、コンピュータに関する問題を解こうとしていた。ある人には自分の家にコンピュータがある。コンピュータを持っていない人にとって、その問題を解決することは、コンピュータを持っている人よりも易しいと思うか、それとも、難しいと思うか？それはなぜか？
5. ジムは、クラスのだれよりもうまく、ピアノがひけ、絵が描け、数学の問題を解くことができる。彼がクラスでもっとも賢い人と思うか？それはなぜか？
6. サリーは、ある人にお金を借りている。彼女はその人に、貧乏でお金が返せないで、お金を借りるといった。先日、彼女はある友達のために食べ物を買った。サリーは問題を解決できたか？それはなぜか？
7. 図を描かなくても数学の問題を解ける人と、その問題の図を描くのに時間をかける人とで、より賢いのはどちらか？それはなぜか？
8. ジェフが、ある卵が 50 個入った袋を持っていると仮定する。1 つの卵が茶色で、他の全ての卵は白色である。ジェフは、卵の袋を頭にのせて、川にかけてある丸太をわたる。彼が丸太の真ん中にいるとき、突然、だれかが「通り過ぎる前に、茶色の卵を見せてくれ」という。その人は「すぐに茶色の卵をみたい」という。ジェフにとってどのようなことが問題となると思うか？
9. 彼は、その問題をいかにして解決することができるか？それはなぜか？
10. アンは、森で迷子になり、「正直族」と「うそつき族」という 2 種類の人がいる町に来た。アンが話しかけた最初の人は、家への方向を教えてくれた。彼女が話しかけた 2 番目の人は、違う方向を教えた。アンが解決しなければならない問題はあるか？それはなぜか？
11. アンはその問題をいかにして解決できるか？
12. ジェフの問題とアンの問題とでは、どちらの問題の方がより簡単に解決できるか？それはなぜか？
13. 何かをする方法のように、子ども達は物事をいかにして解決するか？
14. ある人が、燃料代を節約できるように、家に新しいヒーターをとりつけた。彼（あるいは彼女）は、燃料代が半分になったので、お金が節約できたことがわかった。彼（あるいは彼女）はうれしかったので、燃料代が 0 になるだろうと考えて、別の新しいヒーターをとりつけることを決めた。その人はその問題を解決したと思うか？それはなぜか？
15. 売るための絵を描くジェリーと、会社の売店のために数学の問題を解くジョンとではどちらがより賢いか？それはなぜか？
16. 大人が子どもよりも、より賢い理由はあるか？それはなぜか？
17. ライアンは、5 才で、恐竜について何でも知っている。ライアンのお父さんは恐竜についてほとんど知らない。ライアンと彼のお父さんが恐竜についての本を読むと、多くのことを覚えているのはどちらか？それはなぜか？

表2-2 メタ認知的知識に関する質問項目（岡本，1991）

- ①あなたは算数の問題を解くとき何度も読み直しますか。（はい いいえ）  
また、それはどうしてですか。
- ②あなたは算数の計算問題で間違いやすいところに気づいていますか。（はい いいえ）  
それはどんなところですか。
- ③算数の問題を解く時に、あきら君はいつもスピードに気を付けてすばやく解いていきます。  
まさる君は問題を解く時に時間をかけてゆっくりと考えます。どちらの方がうまく解けると  
思いますか。  
（あきら まさる）  
それはなぜですか。
- ④あなたは算数の文章題を解いた後で答を確かめますか。（はい いいえ）  
また、なぜ確かめなければならないのですか。
- ⑤次郎君は算数文章題を読み終わるとすぐに解いていきます。正男君は読み終わって少し考  
えてから解いていきます。どちらの方が問題をうまく解きますか。（次郎 正男）  
なぜそう思うのですか。理由を書いて下さい。
- ⑥算数文章題を解くとき太郎君は図を描いて解きますが、花子さんは図を描いたことはいち  
どもありません。どちらが上手に解くことができますか。（太郎 花子）  
また、それはどうしてですか。理由を書いて下さい。
- ⑦洋君は5才で恐竜についてなんでも知っています。洋君のお父さんは恐竜についてはほとん  
ど知りません。もし、洋君とお父さんが恐竜の本を読んだら、どちらがよく内容を覚えてい  
るでしょう。  
（洋 洋のお父さん）  
なぜそう思うのですか。理由を書いて下さい。
- ⑧すすむ君は推理小説を読んで、犯人を見つけるように頼まれました。本の長さは約1000ペ  
ージでした。隆君は100ページの推理小説の本を読んで犯人を見つけようと思いました。どち  
らの少年の方が犯人を見つけるのがむづかしいのでしょうか。（すすむ たかし）  
また、それはなぜですか。理由を書いて下さい。
- ⑨あなたは物語を読むときはどんなことに注意して読みますか。物語を読むときに注意してい  
ることがあれば書いて下さい。
- ⑩あなたはテストのときどんな点に注意していますか、良い点をとるために工夫していること  
があれば書いて下さい。
- ⑪しげる君とさとし君が模型飛行機を作っています、太郎君は何度か模型飛行機を作ったこと  
があります。次郎君は初めて作りました。どちらの方がうまく模型を作ることができるで  
しょうか。  
（しげる さとし）  
また、それはなぜですか。
- ⑫花子さんは遠足について作文を書くことになりました。作文を書く前にどんなことをよく考  
えておけばよいでしょうか。

これらの表に示したように、各質問項目はメタ認知的知識を測定するために、各問いに対する回答のみでなく、そのように考えた理由も併せて回答を求めている（Swansonの一部を除く）点の特徴であるといえる。この他にも、各質問項目に対して4件法で回答を求めている質問紙（鈴木, 1997）も見られる。

また、問題解決におけるメタ認知能力の測定においては、パズルを用いた課題（Kluwe, 1987）など単純な構成のものから、数学の文章題（加藤, 1999）など実践的で複雑なものへと用いられる課題が変化してきている。これは、単純な課題を用いた研究から得られた知見では、多様で複雑な様相を示す実際の学習場面におけるメタ認知能力を説明できないからである。

## 第2節 調査の概要

### 2-1 調査目的

前章第4節で述べたように、調査Iでは観察・実験における思考過程にはどのような要因が影響しているのかを検討した。その結果、目的を把握する力や思考スキルの有無が、観察・実験における思考過程に影響を与えることが明らかとなった。Brownの考え方によると、メタ認知的技能は計画立案、点検、モニタリングといった一連の実行過程である。観察・実験における思考活動に影響を与える要因の調査では、この一連の実行過程に対する背景要因を検討したが、計画立案、点検、モニタリングといった一連の過程を直接とらえてはいない。

そこで、観察・実験とメタ認知的技能の関係を検討するためには計画立案、点検、モニタリングといった一連の過程を実際の観察・実験活動の詳細な分析から明らかにする必要がある。このため調査IIでは、観察・実験課題を用いて調査を行い、SEMを用いて分析を行うことで観察・実験とメタ認知的技能の関係を構造的に検討することを目的とした。

### 2-2 方法

#### （1）調査・分析方法

調査IIでは、観察・実験とメタ認知的技能の関係を検討するために、メタ認知的技能の一連の実行過程を実際の観察・実験活動の分析から明らかにする必要がある。そこで、本調査では、調査課題となる観察・実験活動としてミョウバン（硫酸アルミニウムカリウム： $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ）の結晶作りを用いることにした。本調査においてこの課題を用いることの利点としては、被験者一人ひとりで行うことができる、自宅で行うことが可能であるために十分な試行錯誤の時間を確保することができる、結晶という形で結果が明確に現れるため客観的な評価が容易である、比較的安全であるなどの点が挙げられる。但し、家庭で行うために、観察・実験の行われている様子を直接観察することが出来な

い、被験者間の環境を統制することが事実上不可能であるといった欠点が存在する。しかし、実験室において短時間で行われる観察・実験や計算課題などでは測定することのできない実践的なデータを得ることができると考えた。なお、本調査課題の詳細は表2-3に示す。

表2-3 課題の出題文

<p>ミョウバンの結晶を作ってみよう (固体を過飽和の溶液から取り出す方法による)</p> <p><b>[解説]</b> 溶液の温度が下がると、やがて飽和溶液の状態になる。さらに温度が下がると、溶解度を越える質量の分だけは固体となって析出するはずであるが、ごく静かに放置された場合はしばらく析出してこない。このように、一時的には飽和溶液よりも濃い状態になっている溶液を「過飽和溶液」という。過飽和溶液は不安定な状態であるので、さらに冷却したり、液をかくはんしたり、溶液の(以下略)</p> <p><b>[方法]</b></p> <p><u>I. 種結晶を作る。</u></p> <p>① コップ半分くらいの水を暖め(約50℃)、これにミョウバンを溶かす。</p> <p>② この溶液を皿に入れて放置冷却すると、1日くらいで小さな結晶ができる。糸でしばれるくらいに成長したら、取り出して乾燥させる。これを種結晶として、次のIIの実験に用いる。</p> <p>⇒ ①で溶かすミョウバンの量は、溶解度を参考にして考えること。種結晶の作り方は、この方法だけではないので、別の方法を調べて行っても良い。</p> <p><u>II. 結晶を成長させる。</u></p> <p>① 鍋(できればホウロウ鍋または、加熱可能なガラス製の容器)に水をいれて暖め(約50℃)、これにミョウバンを溶かす。ミョウバンの量は水100cm<sup>3</sup>あたり20gくらいがよい(水の量と鍋の大きさのバランスに注意!)</p> <p>② このミョウバン溶液を、びんに入れて放置冷却する。びんの大きさは、溶液の量を考えて選ぶこと。</p> <p>③ 糸(釣り糸)で種結晶をしばり、溶液が室温くらいまで下がったら、静かに吊り下げる。</p>	<p>⇒ 種結晶を吊り下げたら、そのあとは溶液を動かしたり急に冷却したりしないようにすること。そのショックで、小さな結晶が容器の底や糸の途中にたくさんできてしまうことがある。</p> <p>⇒ 溶液をよーくすかして見ると、結晶からもやのような流れが出ているのを見ることができる。これが結晶から上方に出ているときは結晶が成長中であり、下方に出ているときは結晶が溶けて小さくなっているところである。</p> <p><b>[レポートについて]</b></p> <p>ただ結晶を作るのではなく、大きな結晶をつくる、きれいな結晶を作るなど自分の目標を決めて行うこと。そして、このミョウバンの結晶作りをレポートにまとめて提出すること。レポート作成においては、<u>目的・目標、どのような資料・本を調べたか、工夫したこと、失敗したこと、分かったことなどを分かりやすくまとめる。</u>結晶のみの提出は認めません。</p> <p><b>[その他]</b></p> <p>ミョウバンは、一人30gずつ配ります。足りない人は各自で購入してください。薬局などで購入できます。</p> <p>ミョウバンの正式名称： 硫酸アルミニウムカリウム (AlK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12H<sub>2</sub>O)</p> <p>ミョウバンの水溶液：弱酸性</p> <p>※基本的に無害です。もし目に入った時は、あわてずに流水でよく洗い流すこと。</p> <p>説明にも書いていますが、各自で資料を集めて試行錯誤してください。失敗も大事なことです。どのように失敗して、どのように改良したかきちんと記録をとり、レポートにまとめましょう。</p>
---	---

また、本調査におけるメタ認知の測定、評価には、レポート及び観察・実験の結果である結晶を用いた。これは、本調査で用いる課題は長時間にわたる観察・実験であるため、質問紙や面接による評価方法は適していないからである。このため、観察・実験活動におけるメタ認知的技能の評価は、まず被験者が作成したレポートを用いて行うことにした。この評価においては、以下に示す3つの観点を設定し、それらが行われているか否かを判断した。そして、それぞれ3段階で得点化を行った。この得点化における評価基準の詳細を表2-4に示す。

検 討：実験の途中経過や結果に対してモニタリングや評価を行い、次の操作をコントロールしたり実験全体をまとめる。

やり直し：実験のやり直しをする。

条件制御：室温、冷却方法、溶解させる量などのコントロールをする。

また、観察・実験の結果である結晶の出来具合に関しては、「形」「大きさ」「美しさ」の3つの観点からそれぞれ5段階で得点化した。なお、この結晶の評価は客観性を確保するために2名で行った。

表2-4 評価基準の詳細

評価観点	評価基準
検 討	○実験の途中経過や結果に対してモニタリングや評価を行い、次の操作をコントロールしたり実験全体をまとめる。 3点 - 明確に行っている。 2点 - なんとなく行っている、行っているが解釈や検討が不十分。 1点 - 行っていない。
やり直し	○実験のやり直しをする。 3点 - 改良の視点などを持ち、明確な目的をもって行っている。 2点 - なんとなく行っている、行ったかどうか曖昧。 1点 - 行っていない。
条件制御	○室温、冷却方法、溶解させる量などのコントロールをする。 3点 - 明確に意識して行っている。 2点 - なんとなく行っている、手順・方法が曖昧。 1点 - 行っていない。



しかし、結晶課題のレポートによる評価のみでは、計画立案の過程までを評価することは困難である。そのため、結晶課題とは別に自由記述によって実験計画を作成させることから、計画立案の能力として実験計画技能を測定することにした。なお、この自由記述による調査課題は、「未知の液体を調べる」「植物の光合成について調べる」の2つのテーマを設定し、2回に分けて行った。また、評価においては「目的の設定」「適切な実験の計画」「目的と計画の整合性」の3つの観点を設定し、それぞれ3段階で得点化を行った。

上述の考えのもとに、本研究においては、実験計画技能及び観察・実験における検討、やり直し、条件制御をメタ認知的技能の実行過程である計画立案、点検、モニタリングに対応させることとした。

また、この観察・実験活動においては理科の知識・理解も影響することが予想できる。このため、特に結晶作りに影響を及ぼすと考えられる、中学校理科1分野の化学領域の知識・理解を測定する調査を併せて行った。これら調査課題及びその評価方法についてまとめたものを表2-5に示す。

表2-5 調査Ⅱの評価観点

	調査内容・評価観点
観察・実験	○結晶（ミョウバン）作り ・レポートより、検討、やり直し、条件制御について3段階で評価 ・出来た結晶より、形、大きさ、美しさについて5段階で評価
実験計画技能	○実験計画の作成（2種） 「未知の液体を調べる」 「植物の光合成について調べる」 ・目的の設定、適切な実験の計画、目的と計画の整合性について3段階で評価
理科の知識・理解	○中学校理科1分野化学領域を中心とした知識・理解に関する問題 ・計4回の調査の得点を合計し、その得点を基に5段階で評価

（2）被験者及び調査時期

調査対象は、広島県内の中学2年生 39名であった。また、調査は2000年7月から2001年1月にかけて実施した。

### 第3節 調査の結果

#### 3-1 結果の分析

実験計画技能、検討、やり直し、条件制御、理科の知識・理解（以下、理科の知識と略記）と観察・実験の結果（以下、結晶の出来と略記）の関係を構造的にとらえるために、まず、各項目間の相関係数を算出した。そして、この結果をもとに観測変数の構造方程式モデルを構成し適合度の検討を行った。但し、実験計画技能、結晶の出来に関する項目にはそれぞれの合計得点を使用している。この分析の詳細を以下に示す。

##### （1）レポート、結晶の評価

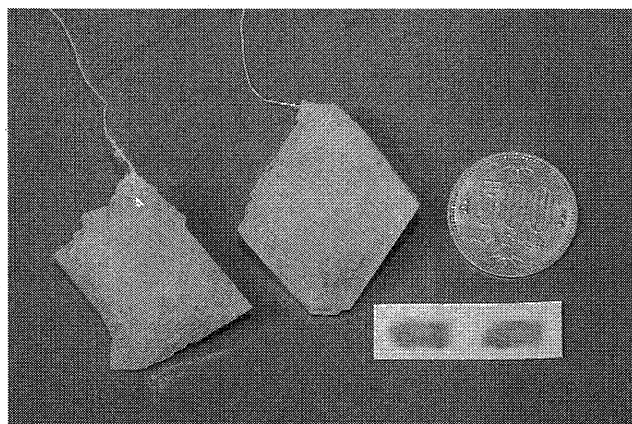


図2-1 ミヨウバンの結晶（例）

観察・実験の結果であるミヨウバンの結晶は、図2-1に示したように被験者一人ずつ写真に記録した。そして、結晶の出来具合を「形」「大きさ」「美しさ」の3つの観点からそれぞれ5段階で得点化した。なお、この結晶の評価は客観性を確保するために2名で行い、合計点をその結晶の得点とした。

また、レポートの評価においては「検討」「やり直し」「条件制御」の3つの評価観点から複数回検討し、それぞれ3段階で得点化した。なお、評価においては結晶そのものも確認しながら行った。提出されたレポートの一例を図2-2a、bに示す。

## ミョウバンの結晶作り

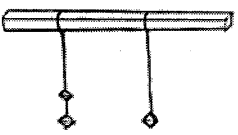

目標：大きければ何なり形の...結晶を作ること

1. 種結晶を作る

- ・手順
  - (1) ビーカーの中に 30℃の水 (100g) と 20g のミョウバンを入れる。
  - (2) とけ残ったものはそのまゝ底に残し、その中に割り箸にかけた糸を 2本垂らす。糸には何もつけない。  
(糸の下端に結び目を作る。おむりの代わり)
  - (3) 室温まで下がったら、底に残った結晶の中の大きめのものをいくつか取り出す。

・結果

- ・糸... たくさん結晶が付着していた。  
↓  
大きめの結晶3つを残して、小さい結晶ははずした。(右図)
- ・底... 一面に結晶が出た。  
↓  
大きめの結晶を数個取り出した

◎ 分かったこと

底の結晶がホウ酸に似ていたので、家にあったミョウバンを同様にして結晶にしてみた。  
↓  
同じ形にはいたので、ミョウバンの結晶は最初はこのように形になることが分かった。

上でできた結晶はまだ小さかいため、上のミョウバン水を再びあたため、さらに5gのミョウバンを加えてとかし、その中に上の結晶を入れて大きくした。  
↓  
糸に付いていたミョウバンがとて大きくなったので、この3つを大きくすることにした。

◎ 工夫したこと

(ビーカーだけだと一気に温度が下がるため、1リットルの湯にビーカーをつけて、途々に温度が下がるようにした。一気に冷えると底に結晶が出てはいい種があまり成長しない)

図 2-2a (例) 提出されたレポート (1/2)

## 2. 結晶を成長させる

- ・手順
- (1) ビーカーの中に  $40^{\circ}\text{C}$  の水  $400\text{cm}^3$  と 70名のミョウバンを入れる。
  - (2) このビーカーを  $40^{\circ}\text{C}$  の水が入ったバケツに入れておく。
  - (3) それ以上とけなくなったら、 $35^{\circ}\text{C}$  ぐらいまで温度が下がるまで待ち、そこに結晶の種をつるす。
  - (4) 室温まで下がったらバケツからビーカーを取り出し、バケツだけを火にかける。
  - (5) 沸騰しはじめたら火からおろし、その中に再びビーカーをつけて、底に残ったミョウバンをとく。(湯せん)
  - (6)  $40^{\circ}$  以下になったらまた結晶の種をつるす。
  - (7) これを15回ぐらい繰り返す。  
(途中でミョウバンをつぎ足す)

## ・工夫したこと

- ① 成長させる途中で、結晶をつるす向きをかえた。  
(上側の表面がボコボコになるから)  
↳ どのほりの数は増えたが、全体的にはだらかになった。
- ② 成長する途中で、まわりについたでこぼれ部分を手で削りすずけずして、きれいな形になるように整えた。  
↳ 削らずと、いる部分まで壊れてしまった。  
だから、もう触らないようにした。

## ・分かったこと

- ・ミョウバンは大きくするほど形が変になる。
- ・結晶の大きかたは形は、小さい頃のままなので、小さい形の結晶を最初にまはなければならぬ。

・結果 約65名の結晶が3つ完成した。

感想: 形はあまり良くないけれど、大きい結晶ができてうれしかったです。成長するにつれて、結晶がかわいく思えてきて、何だかわる感じがしました。

参考にした本: 理科の教科書

図2-2b (例) 提出されたレポート (2/2)

図2-2a、図2-2bに示したレポートを3つの観点から分析すると、以下のようになる。

「検討」：3点

種結晶、及び結晶の成長の様子をよく観察し、観察の結果にもとづいて実験操作を行っている。また、実験を通して種結晶の形の重要性に気づき、考察にまとめている。

「やり直し」：3点

種結晶を作る時に、出来た結晶の形に疑問を持ち、もう一度種結晶を作って確かめている。また、結晶の成長中の失敗をその後の操作に生かしている。

「条件制御」：3点

結晶を成長させる時に、ビーカーに溶かすミョウバンの量と水温を一定にすると共に、種結晶をビーカーにつるす時の温度も一定にしている。また、ビーカーの温度変化に着目し、ゆっくり温度が下がるように制御している。

このように、レポートから「検討」「やり直し」「条件制御」に相当する操作や考察を抽出し、各被験者のレポートの評価を行った。

（2）項目間の相関

各項目に対する39名の得点をもとに相関係数を算出した。その結果を表2-6に示す。表2-6より、相関係数の値が有意に高い組み合わせに着目すると、検討、やり直し、条件制御が結晶の出来具合に直接的に影響していると考えられる。また、検討はすべての項目と関連があるといえる。なお、有効被験者数は33名であった。

表 2 - 6 項目間の相関係数 (N=33)

	実験計画技能	条件制御	やり直し	検討	結晶の出来
条件制御	0.227	1			
やり直し	0.325	0.292	1		
検討	0.482**	0.483**	0.350*	1	
結晶の出来	0.130	0.465**	0.399*	0.499**	1
理科の知識	0.576**	0.260	0.209	0.412*	0.297

\*\* : p&lt;0.01, \* : p&lt;0.05

## (3) 観察・実験活動の構造の検討

結晶の出来を、実験計画技能、検討、やり直し、条件制御、理科の知識で説明するモデルを観測変数の構造方程式モデルによって構成した。この逐次モデルを分析した結果を図 2 - 3 及び表 2 - 7 に示す。また、各項目の結晶の出来に対する標準化効果(直接効果、間接効果、総合効果)の値を表 2 - 8 に示す。

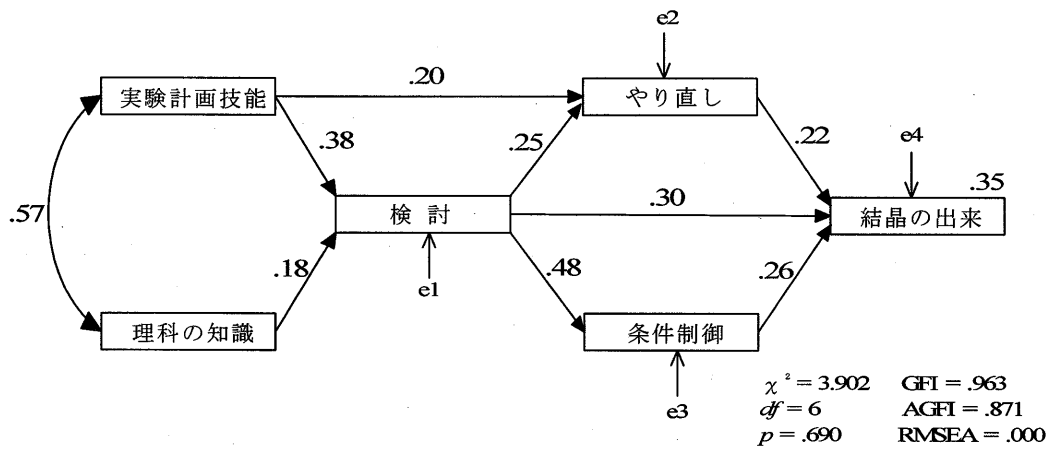


図 2 - 3 結晶の出来に影響を及ぼす要因構造

表 2 - 7 推定値の詳細

			標準化 推定値	非標準化 推定値	標準誤差	検定統計量
係数	検討	<-- 計画技能	0.378	0.079	0.039	2.033
	検討	<-- 理科知識	0.181	0.090	0.092	0.974
	条件制御	<-- 検討	0.483	0.549	0.176	3.124
	やり直し	<-- 検討	0.253	0.273	0.200	1.362
	やり直し	<-- 計画技能	0.203	0.046	0.042	1.096
	結晶	<-- やり直し	0.221	1.444	0.999	1.446
	結晶	<-- 条件制御	0.259	1.615	1.018	1.587
	結晶	<-- 検討	0.300	2.123	1.215	1.747
	共分散	計画技能	<--> 理科知識	0.571	2.697	0.962

表 2 - 8 結晶の出来に対する標準化効果

	直接効果	間接効果	総合効果
理科の知識	—	0.087	0.087
実験計画技能	—	0.227	0.227
検討	0.300	0.181	0.481
やり直し	0.221	—	0.221
条件制御	0.259	—	0.259



図2-3から、次のことがいえる。まず、カイ2乗検定の結果は $\chi^2=3.902$ 、 $df=6$ 、 $p=0.690$ であった。また、モデルの適合度指標 (GFI) は0.963、修正適合度指標 (AGFI) は0.871、RMSEAは0.000である。このことから、作成したモデルと標本データが十分適合しているといえる。このため、本分析において構成したモデルは調査結果をよく説明しているといえる。また、「結晶の出来」の決定係数は0.35となっており、十分に高いとはいえないが、本モデルで用いた変数によって「結晶の出来」が説明できているといえる。

しかし、本調査では有効被験者数が33名と少ないため、図2-3に示したモデルの解が安定していない可能性がある。そこで、母集団分布を仮定する必要がなく、大規模なケース数も要求されないノンパラメトリックな手法 (岸野, 1992; 山本・小野寺, 1999) とされるブートストラップ (Bootstrap) 法によりシミュレーションを行うことで、最尤法によって推定した各係数の誤差の評価を行った。その結果を、表2-9に示す。なお、被験者数が少ないためシミュレーション回数は500回とした (奥村, 1986)。

表2-9に示すように、500回のシミュレーションを行った結果、シミュレーションから得られた係数の平均とデータから求められた係数 (推定値) との差である Bias の値が-0.015~0.013の間に収まっている。このため、有効被験者数が33名であることも考慮すると、推定した係数の誤差は許容できる範囲

表2-9 ブートストラップ標本の概要

標準化係数			Bootstrap (N=500)					
			推定値	S.E.	S.E.	Mean	Bias	S.E. Bias
検討	<--	計画技能	0.378	0.169	0.005	0.373	-0.005	0.008
検討	<--	理科知識	0.181	0.183	0.006	0.186	0.005	0.008
条件制御	<--	検討	0.483	0.118	0.004	0.490	0.006	0.005
やり直し	<--	検討	0.253	0.172	0.005	0.252	-0.001	0.008
やり直し	<--	計画技能	0.203	0.197	0.006	0.210	0.007	0.009
結晶	<--	やり直し	0.221	0.143	0.005	0.206	-0.015	0.006
結晶	<--	条件制御	0.259	0.171	0.005	0.272	0.013	0.008
結晶	<--	検討	0.300	0.154	0.005	0.293	-0.007	0.007

Bollen-Stine Bootstrap :  $p = 0.735$

であると考え。また、Bollen-Stine のブートストラップ検定を併せて行った。その結果、観測優位水準が  $p=0.735$  となりモデルが真であるという帰無仮説が採択された。

このように、Bias の値が比較的小さく、シミュレーションによる検定結果も有意であり、また、モデルの構成が解釈上有意味であることから考案したモデルは本調査事例において妥当であると考えた。

この結果、図 2-3 に示したモデル及び表 2-8 に示した結晶の出来に対する各効果から以下のことがいえる。まず、実験計画技能が検討とやり直しに影響しており、その直接効果はそれぞれ 0.38、0.20 である。一方、理科の知識の検討に対する直接効果は 0.18 であり、あまり影響を及ぼしているとはいえない。しかし、実験計画技能との間には 0.57 と比較的強い相関関係がある。そして、実験計画技能から大きく影響を受ける検討は、結晶の出来に直接影響しているとともに、やり直し、条件制御を経て結晶の出来に間接的にも影響している。このため、結晶の出来に対する総合効果が 0.48 と最も大きくなっている。

#### 第4節 結果のまとめと含意

本調査は、観察・実験（結晶の出来）と実験計画技能、検討、やり直し、条件制御、理科の知識の関係を、SEMを用いて明らかにすることから、観察・実験とメタ認知的技能の関係を構造的に検討することを目的とした。その結果、主に、実験計画技能が検討、やり直しに影響していること、さらに、検討がやり直し、条件制御に影響を及ぼすことによって成功的な観察・実験活動が行われるという構造が明らかとなった。

この結果を、計画立案、点検、モニタリングなどのメタ認知的技能の一連の実行過程との関係から検討すると次のようになる。まず、計画立案に対応する実験計画技能が、点検、モニタリングに対応する検討、やり直し、条件制御のうち、検討に影響を及ぼしている。そして、検討がやり直し、条件制御、結晶の出来に影響を及ぼしていることからことから、点検、モニタリングが行われるためには目的を把握し、その目的に沿った問題解決の計画を立てる能力が学習者に必要であるといえる。また、点検、モニタリングによって学習者が問題解決の状況を把握し、より良い解決方法を考案しているといえる。これらのことから、観察・実験において、メタ認知的技能は重要な役割を果たしているといえる。

また、問題解決の結果である結晶の出来には、検討、やり直し、条件制御という過程が直接影響を及ぼすという結果は、岡本（1999, p.56）が Swanson（1990）の研究に対して述べた『たとえ基礎能力が劣っていたとしても、自分自身の認知や思考に気づき、制御することができれば十分に効果的な認知活動や思考活動を行うことができる』という見解とも一致しているといえる。このことから、成功的な問題解決には検討、やり直し、条件制御という過程が影響するといえる。

なお、やり直し、条件制御が検討へ影響を及ぼしていることも十分考えられるが、本調査においては明確な影響は見られなかった。

次に、本調査で用いた結晶課題を、教材としてとらえ直した場合の有効性について考える。本調査で使用した結晶課題は調査方法の説明でも述べたように、結晶という形で結果が明確に現れるという特徴がある。また、一人ひとりが十分な時間をかけて行うことができる。そのため、子どもが、自身の見通しと観

察・実験の結果の一致、不一致を容易に確認することができる。そして、自身の見通しと観察・実験の結果が一致しなかった場合には、結晶を溶かして何度でもやり直すことが可能である。子どもたちは、このような活動を経験する中で、計画立案、点検、モニタリングといった一連の過程の重要性を認識するようになり、メタ認知的な技能が育成されるのではないかと考える。このことを傍証するため、ある被験者がレポートの最後に記した感想を次に示す。

「—この実験で分かったことは、実験を一回で成功させるのが難しいことだ。失敗を経験し、それを改良して成功させることが大切なのだと思います。結晶づくりも簡単ではないなと実感させられた。—」

この被験者は、問題解決の一連の過程すべてを自分自身でやり遂げることの困難さを実感しているといえる。そして、失敗の原因を分析し、再び実験を行うことで問題を解決していくことの大切さを、この実験を通して実感しているといえる。

また、本課題は個人によって行うものであったが、問題解決においては、協同（collaboration）という視点からも多くの研究が行われている。これらは、「構成員の協力した結果が、相互作用によって、構成員個々の成果の総計以上のものになる」といった相互作用、相互依存による問題解決の有用性について検討している（植田・岡田，2000）。個人による問題解決、協同による問題解決どちらにも、それぞれ独自の良さがあるため、課題の特性や問題解決の目的に応じて学習形態を使い分ける必要があると考える。

### 第 3 章 観察・実験におけるメタ認知的技能の影響（Ⅱ）

本章では、まず、質問紙法と面接法によって測定したメタ認知的技能の関連について検討した。次に、観察・実験とメタ認知的技能の関係をより詳細に検討するために、モニタリングやコントロールの成否と実験結果の関連を検討した。以下では、これらの詳細について述べる。

## 第1節 調査の概要

### 1-1 調査目的

これまで、メタ認知的技能の測定には面接法が多く用いられている。また、メタ認知的知識の測定においては面接法や質問紙法が用いられている。しかし、メタ認知的知識がメタ認知的技能に影響を及ぼし得ると考え、数学的問題解決におけるメタ認知的技能の測定として質問紙法が用いられた研究も見られる(清水, 1996)。このため、観察・実験におけるメタ認知的技能の測定においても質問紙を用いることが可能であれば、教授・学習過程において学習者のメタ認知的技能を把握することが容易になると考える。そこで、まず、質問紙法によって測定したメタ認知的技能と面接法によって測定したメタ認知的技能の関連を明らかにすることを調査Ⅲの第一の目的とした。

また、前章で述べたように実験レポートなどの評価を通して観察・実験とメタ認知的技能の関係を検討した結果、観察・実験過程とメタ認知の関係を構造的に示すことができた。さらに、観察・実験活動を通じたメタ認知的技能の育成の方略を検討するためには、観察・実験の各過程とモニタリングやコントロールの成否の関係をより詳細に明らかにする必要があることが明らかとなった。そこで、被験者一人ひとりの観察・実験の過程を面接調査によって詳細に測定し、モニタリングやコントロールの成否と実験結果の関連を検討することから観察・実験とメタ認知的技能の関係を質的に明らかにすることを調査Ⅲの第二の目的とした。

## 1-2 方法

本調査では、被験者が実際に行う実験課題として電磁石に関する実験を用いた。また、メタ認知的技能の自己評価に関する質問紙、電磁気領域の知識・理解に関する質問紙の2種類を事前調査として行った。具体的な調査の方法を以下に示す。

### （1）被験者及び実施時期

質問紙調査の対象は、広島県内の中学1年生148名であった。また、面接調査の対象は、第一の目的を検討するために行ったメタ認知的技能の自己評価に関する質問紙の結果を用いて18名（6名×3群）を層別抽出した。なお、調査は2002年2月から3月にかけて実施した。

### （2）調査・分析方法

面接調査を実施する被験者を層別抽出し、第一の目的を検討するために、メタ認知的技能の自己評価に関する質問紙調査を事前調査として行った。本研究で用いたメタ認知的技能の自己評価に関する質問項目の詳細を表3-1に示す。これら合計10問からなる質問項目は、Brown & Campioneが示したメタ認知的技能の具体的な活動をもとに、観察・実験における各活動と対応させて作成した。なお、本質問紙では5件法を用いた。

また、実験対象領域の知識・理解は実験結果に対して影響を及ぼすと考えられる。このため、合計10問からなる電磁気領域の知識・理解に関する調査問題を作成し、メタ認知的技能の自己評価に関する質問と併せて調査を行った。その調査項目の詳細を表3-2に示す。本研究における被験者は中学校の電磁気領域を未学習であるため、調査項目の内容は小学校卒業程度のものとした。ただし、実験課題に直接関わる内容は出題しないものとした。また、配点は正解1問あたり1点の10点満点とした。

面接調査における実験課題は、電磁石を完成させる条件と、電磁石をさらに強くするための条件を予想し、実際に実験を行って検証するものとした。本調査においてこの課題を用いることの利点としては、被験者一人ひとりで行うことができる、暗記した知識のみで達成することが難しい、被験者が自由に操作

を行っても安全であるの3点が挙げられる。また、実験終了後に刺激再生インタビューを行い、実験の各過程においてどのような点に注意しながら操作を行ったのかを確認することにした。なお、実験中の被験者の行動及びインタビューの内容は分析に使用するためにそれぞれVTR、ICレコーダーに記録した。

また、被験者が実験の予想や計画、結果などを記入するための用紙として、ワークシートを用いた。使用したワークシートの詳細を図3-1に示す。また、実験を開始する前に被験者に提示した実験器具の一覧を表3-3に示す。面接調査においては、図3-1に示したワークシートをA3版の用紙に印刷して配布した。また、表3-3に示した実験器具を被験者にすべて見えるように並べて提示した。そして、ワークシートを説明しながら出題文を読み、予想、計画等の欄を記入しながら実験を進めるように指示を行った。制限時間の設定は行わなかった。

なお、面接調査による評価に際しては、実験中にメタ認知的技能が働いているか否かの判断を慎重に行う必要がある。このため、分析の視点として「予想・計画」「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」の4つを設定し、VTR、ワークシート、インタビューの結果を総合的に用いて判断することにした。



表 3 - 1 メタ認知的技能の自己評価に関する質問

(質問) 理科の観察や実験において、M1~M10のようなことを、どのくらいしたことがありますか。
(選択肢) 5 - とてもよくある、4 - よくある、3 - すこしはある、2 - あまりない、1 - まったくない
M1 観察や実験を行う時、その目的を自分なりによく理解してから始める。
M2 観察や実験を行う時、その方法や計画を自分なりによく考えてから始める。
M3 観察や実験を行っている時、計画通りに操作ができていのかどうか確認しながら操作をする。
M4 観察や実験の操作が終わったら、計画通りに操作ができていたかどうかを確認する。
M5 観察や実験の方法や計画に問題があった場合、改善方法を考えたり、計画を立て直したりする。
M6 観察や実験が計画通りにできなかった時、もう一度操作をやり直す。
M7 観察や実験を行っている時、今自分が何をしているのかを把握するように心がける。
M8 観察や実験の結果をまとめる時、方法や計画に問題が無かったかどうか検討する。
M9 観察や実験の結果をまとめる時、目的が何だったかをよく考えながら考察する。
M10 観察や実験が終わった時、目的が達成できているかどうかを考える。

表 3 - 2 電磁気領域の知識・理解に関する調査項目

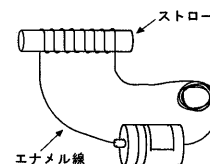
領域	問題数／問題の詳細
電 気	7 問 (電流の向き、乾電池のつなぎ方と豆電球の明るさ、直列回路における豆電球の明るさの比較、電流計の使い方 など)
電磁気	3 問 (磁化した鉄くぎの極性、コイルに流れる電流と磁界の関係 など)

この実験は、あなたの学校の成績に一切関係ありません。

年 月  
日 No.

○太郎君は電磁石を作ろうと考えて、クリップ、くぎ、乾電池、金属棒（アルミ、鉄、銅）、エナメル線を巻いたストロー（コイル）、豆電球、方位磁針などを用意しました。

- 1) 図のような状態まで作ったところで、クリップやくぎを近づけましたが、クリップやくぎは電磁石にくっつきませんでした。  
①この電磁石にクリップやくぎがくっつくようにするには、どのようにすればよいですか。②また、クリップやくぎがくっつくようになった電磁石を、さらに強くするにはどのようにすればよいですか。あなたならどのようにするか、その方法を簡単に書いてください。



①電磁石にクリップやくぎがくっつくようにするには？

②電磁石をさらに強くするには？

- 2) あなたが①や②で考えた方法で、本当に電磁石にクリップやくぎがくっつくようになったり、電磁石がさらに強くなったりするかどうかを、実際に実験を行って確かめてください。

実験の計画

結果

まとめ

図3-1 実験のワークシート

表3-3 準備した実験器具

コイル(巻数が異なる19種類,すべて長さ4mのエナメル線を使用),  
単一型乾電池(4個),電池ボックス(4個),リード線(4本),くぎ  
(大・小2種),クリップ(大・小2種),金属棒(鉄・銅・アルミ:  
各4本),豆電球とソケット(1組),方位磁針,紙やすり

## 第2節 質問紙の妥当性の検討と被験者の抽出

まず、事前調査で用いたメタ認知的技能の自己評価に関する質問紙の構成概念妥当性を確認的因子分析により検討した。面接対象者の抽出においてはこの自己評価をもとに層別抽出を行った。そして、抽出した被験者を対象に実験を伴う面接調査を行った。なお、有効被験者数は146名（面接対象者は18名）であった。この詳細を以下に示す。

### 2-1 事前調査

事前調査で用いたメタ認知的技能の自己評価に関する質問紙の構成概念妥当性を検討するために、1因子モデルによる確認的因子分析を行った。その結果、項目M3を取り除くことで適合度が有意な値を示した。分析の結果を図3-2に示す。この図3-2に示したように、メタ認知的技能の自己評価に関する9項目が一つの構成概念にまとまった。このため、これら9項目において構成概念妥当性が得られたと判断し、以後の層別抽出に使用することにした。

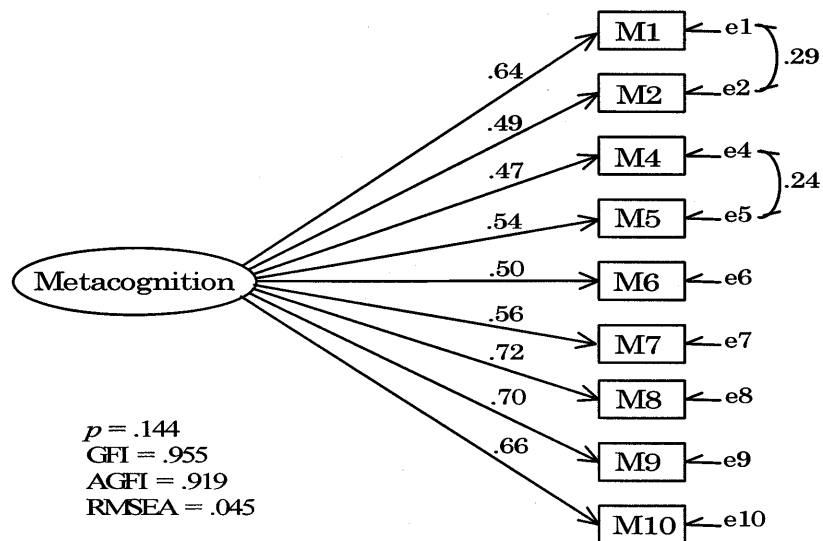


図3-2 確認的因子分析の結果

次に、電磁気領域の知識・理解に関する質問紙の得点を整理した。その結果を表3-4に示す。この表3-4に示したように、最低点は0点、最高点は9点であり満点（10点）を取った被験者はいなかった。また、平均は5.71点であった。

表3-4 知識・理解の基礎統計量（N=146）

	Mean	S.D.	Min.	Max.
電気領域	4.01	2.65	0	7
電磁気領域	1.69	0.67	0	3
合計	5.71	1.95	0	9

## 2-2 被験者の抽出

面接を行う被験者を層別抽出するために、メタ認知的技能の自己評価に関する9項目を合計したものを各被験者の自己評価得点とした。次に、この自己評価得点の高低にもとづいて被験者を人数のほぼ等しい三つの群に分け、低得点群から高得点群の順にそれぞれL群、M群、H群とした。そして、これら3つの得点群から被験者を6名ずつランダムサンプリングによって抽出した。なお、母集団（N=146）における自己評価得点と知識・理解の得点の相関は0.273と低い値であった。このため、抽出した18名において、自己評価の得点群による知識・理解の得点の平均に有意な差は見られなかった [ $F(2,15)=.113$ ]。

## 2-3 評価

実験中に生じたメタ認知を数値化することは困難である。このため、実験中におけるメタ認知的技能の分析においてはVTR、ワークシート、インタビューを用いて、設定した「予想・計画」「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」という4つの視点からその成否を被験者一人ひとり分析した。その評価基準を表3-5に示す。

表3-5 メタ認知的技能の評価の視点、基準

評価の視点 (内容) / 基準	出来ている	出来ていない	必要なし
予想・計画 (目的の把握、予想・目的に対応した計画)	A	a	—
やり直し (実験計画との対応、操作ミスの検討)	B	b	N
予想・計画の変更 (結果の検証、修正方法の考案)	C	c	N
まとめ (目的、予想との対応)	D	d	—

また、実験結果に対する評価は以下に示す基準を用いて行った。

- 5点 : 「鉄心の必要性」「コイルに巻くエナメル線の巻数を増やす」「乾電池を (直列に) 増やす」の3つ全てが検証できている。
- 4点 : 「鉄心の必要性」が検証されており、「コイルに巻くエナメル線の巻数を増やす」「乾電池を (直列に) 増やす」のどちらかが検証されている。
- 3点 : 「鉄心の必要性」のみが検証されている。
- 2点 : 電磁石にクリップやくぎをくっつけることはできたが、適切な変数制御が行われていない。
- 1点 : 何もできていない。

### 第3節 調査の結果

前節で示した基準を用いて、質問紙法及び面接法によって測定した結果の評価を行った。そして、質問紙によって測定したメタ認知的技能を基準にH群、M群、L群の群ごとに整理した。その結果を表3-6に示す。

質問紙法によって測定した自己評価得点と、面接法によって測定したメタ認知的技能の関連を検討するために、メタ認知的技能の4つの評価の視点について、L、M、H群それぞれにおいて「出来ている（含：必要なし）」と評価された人数に差があるか否かをフィッシャーの直接確率法（Fisher's exact test）により検討した。その結果、「予想・計画」「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」の全ての視点において有意な差は見られなかった（表3-7参照）。よって、本調査においてはメタ認知的技能の自己評価と実際の観察・実験におけるメタ認知的技能に有意な関連はなかったといえる。

表3-6 分析結果の一覧 a

ID	自己評価 得点	知識・理解	メタ認知的技能（面接）				実験結果
			予想・計画	やり直し	変更	まとめ	
7	H	6	A	B	C	D	4
1	H	6	a	b	c	d	2
18	H	8	A	b	C	d	1
15	H	4	A	b	c	D	1
10	H	8	A	b	c	d	1
6	H	0	a	b	c	d	1
2	M	8	A	B	N	D	5
14	M	8	A	B	N	D	4
17	M	4	A	B	C	d	4
13	M	5	a	B	C	d	2
12	M	4	A	B	c	d	1
9	M	5	A	b	c	d	1
4	L	5	a	B	C	D	5
11	L	1	a	B	C	D	4
16	L	4	A	B	N	D	4
8	L	7	a	b	c	d	2
5	L	7	A	b	c	D	1
3	L	6	a	b	c	d	1

表3-7 L、M、H群間の検定

	予想・計画		やり直し		変更		まとめ	
	A	a	B/N	b	C/N	c	D	d
H群	4	2	1	5	2	4	2	4
M群	5	1	5	1	4	2	2	4
L群	2	4	3	3	3	3	4	2
$p$ 註	0.350		0.112		0.836		0.589	

註：Fisher's exact test

単位：(人)

次に、面接法によって測定したメタ認知的技能と実験結果の関連を検討するために、実験結果の得点を基準に被験者を整理した。その結果を表3-8に示す。実験結果の得点が3点である被験者は存在しなかったため、実験成功群(5、4点)と実験非成功群(2、1点)の2群に分けて結果を分析すると次のようになる。

メタ認知的技能の4つの評価の視点について、実験成功群と非成功群のそれぞれにおいて「出来ている(含：必要なし)」と評価された人数に差があるか否かをフィッシャーの直接確率法により検討した。その結果、「予想・計画」では有意な差は見られなかった。しかし、「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」ではそれぞれ有意な差が見られた(表3-9参照)。このため、実験成功群では4つの過程全てにおいてメタ認知的技能がバランスよく機能する傾向にあるといえる。しかし、実験非成功群では「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」においてメタ認知的技能はあまり機能していないといえる。



表3-8 分析結果の一覧 b

ID	自己評価 得点	知識・理解	メタ認知的技能 (面接)				実験結果
			予想・計画	やり直し	変更	まとめ	
2	M	8	A	B	N	D	5
4	L	5	a	B	C	D	5
7	H	6	A	B	C	D	4
11	L	1	a	B	C	D	4
17	M	4	A	B	C	d	4
14	M	8	A	B	N	D	4
16	L	4	A	B	N	D	4
13	M	5	a	B	C	d	2
1	H	6	a	b	c	d	2
8	L	7	a	b	c	d	2
12	M	4	A	B	c	d	1
18	H	8	A	b	C	d	1
5	L	7	A	b	c	D	1
15	H	4	A	b	c	D	1
9	M	5	A	b	c	d	1
10	H	8	A	b	c	d	1
3	L	6	a	b	c	d	1
6	H	0	a	b	c	d	1

表3-9 2群間の検定

	予想・計画		やり直し		変更		まとめ	
	A	a	B/N	b	C/N	c	D	d
成功群	5	2	7	0	7	0	6	1
非成功群	6	5	2	9	2	9	2	9
$p$ 註	0.637		0.002		0.002		0.013	

註: Fisher's exact test

単位:(人)

また、実験結果と知識・理解の関連を検討するために、実験成功群と非成功群の知識・理解の平均を比較した。その結果、両群に有意な差は見られなかった [ $t(16)=.272$ ]。この原因は、実験成功群においても得点が低い被験者が見られる (ID=11、16、17) ためである。そして、このような知識・理解の得点が低いにもかかわらず実験に成功している被験者においては、知識・理解の得点

が高い被験者以上にメタ認知的技能が重要な役割を果たしていると考えられる。

そこで、このことを例証するために実験成功群の中で最も知識・理解の得点が低かったA君（ID=11）の結果を詳細に検討する。表3-10に、A君がワークシートに記入した実験の予想や結果を示す。また、実験におけるA君の行動の様子をVTRの分析によって書き起こしたものを表3-11に示す。

表3-10 A君のワークシートにおける記述

<p><u>予想</u></p> <p>① <del>コイルをつかうとつく。</del> 金属棒をストローの中に入れる。                  ② コイルをなんじゅうにもしてまく。</p> <p><u>実験の計画</u></p> <p>コイルとエナメル線をかんでんちにつけて、クリップやくぎがつくかをたしかめる。そのつぎに、コイルがたくさんまいてあるのをよういして、さらにつよいかやる。</p> <p><u>結果</u></p> <p>金属棒鉄を中にいれると1つだけどついた（コイル60回まき）                  200回まきですると、さっきの倍ついた（コイル200回まき）                  銅ですると、まったくつかなかった                  アルミでするとこれもつかなかった</p> <p><u>まとめ</u></p> <p>金属棒鉄はつくけど、銅、アルミはまったくつかなかった。鉄は、じしゃくになることが分かった。                  200回まきだと60回よりもたくさんつく。まいたかいすうがおおいければ、よりおおくのクリップくぎがつくことが分かった。</p>
---

表3-11 VTR分析によるA君の操作記録

<p><u>予想</u></p> <p>まず、問題文を読み返す。          少し考えてから、②から予想を開始する。          その後、悩みながら①を記入する（取り消しはこの時）。</p> <p><u>計画</u></p> <p>計画は比較的丁寧に行うが、やや具体性に欠ける。（金属棒を使用することが明記されていない。）</p> <p><u>実験操作・結果</u></p> <p>まず、60回巻きのコイルと乾電池1個、鉄芯、クリップ小1個使用する。          クリップがくっつく（複数回確認）。</p> <p>次に、200回巻きのコイルと乾電池1個、鉄芯、クリップ小2個を使用する。          クリップがくっつく（操作を複数回行って、くっつくことを確認）。          ここでいったん片付ける。</p> <p>しかし、まとめを書き始めたところで、金属棒でくくるのではなく、鉄、銅、アルミの違いを検討する必要があることに気が付く。</p> <p><u>まとめ</u></p> <p>鉄、銅、アルミの違いを検討し直して、結果を記入する。また、結果の欄の表記に加筆（実験に使用したコイルは何回巻きであったのか）しながら、まとめている。（＝目的や結果を確認しながらまとめている。）</p>
--

表3-10に示したワークシートの記述を、表3-11に示したVTRやインタビューの分析から得られた結果とともに解釈していくと次のようになる。

「予想」：①の予想において、最初は問題設定を理解していないかのような予想を書いている。しかし、②の予想を記入後しばらく考え直し、「金属棒をストローの中に入れる。」という予想に修正している。

「実験の計画」：金属棒の使用に関する記述が見られない。

「結果」「まとめ」：最初に金属棒として鉄を使用したため、問題なくクリップをくっつけることに成功している。ただし、コイル別にそれぞれ2～3回ずつ実験を行い、操作の正確性を確認している。

まとめを書き始めた段階で、銅やアルミの金属棒を使用していないことに気づき、再び実験を行っている。その結果、コイルの心に銅やアルミを使用したのではクリップはくっつかないこと、鉄であればくっつくことを実験によって確かめている。

また、エナメル線の巻数を増やすことで電磁石の磁力を強くすることができることを確認している。

このように、A君は各過程においてモニタリングを行うのみでなく、常にモニタリングの結果にもとづいたコントロールを行っているといえる。このため、知識・理解の不足や実験計画の不備を補うことができていると考えられる。

## 第5節 結果のまとめと含意

調査Ⅲでは、被験者一人ひとりの観察・実験の過程を面接調査によって詳細に分析することにより、観察・実験とメタ認知的技能の関係を質的に明らかにすることを目的とした。その結果、実験成功群では「予想・計画」「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」の全ての過程においてメタ認知的技能が機能していた。しかし、実験非成功群においては「やり直し」「予想・計画の変更」「まとめ」においてメタ認知的技能はあまり機能していなかった。また、実験成功群と非成功群における知識・理解の得点に有意な差は見られなかった。このため、成功的な観察・実験が行われるためには、つまずきの場面においてモニタリングとコントロールが機能することによって「やり直し」や「予想・計画の変更」が行われる必要があるといえる。また、知識・理解も必要ではあるが実験結果に対する直接的な影響は弱いと考えられる。この結果は、理科の知識は実験結果に間接的に影響を及ぼしているという調査Ⅱの結果とも一致するものである。

また、質問紙によって測定したメタ認知的技能と、面接によって測定したメタ認知的技能の関連を検討した。その結果、質問紙によって測定したメタ認知的技能と、面接によって測定したメタ認知的技能には関連が見られなかった。このため、観察・実験におけるメタ認知的技能を質問紙によって間接的に測定することは困難であると考ええる。しかし、メタ認知的技能に関する自己評価を授業に取り入れることで児童の学習成果が高まるという研究も報告されており（中川・守屋, 2002）、自己評価の使い方を再考する必要があると考ええる。

以上の結果をもとに、観察・実験活動を通してメタ認知的技能を育成する方略を検討すると次のようになる。メタ認知的技能の育成を目的とした観察・実験を行う際には、適度に難しい問題を設定することにより、学習者につまずきの機会を与える。そして、このつまずいた場面を援用しながら、学習者に冷静にモニタリングを行い、さらにモニタリングの結果に応じたコントロールを行うことの必要性を理解させる。このため、教師は観察・実験の結果のみを評価するのではなく、観察・実験の過程を丁寧に評価する必要がある。ただし、学習者自身が主体的、探究的に観察・実験を行うためには最低限の基礎的な知識や技能を修得している必要があるため、このようなつまずきを設定する観察・

実験を行う前に各学習単元の基礎的な内容を十分に修得させておく必要がある。

また、試行錯誤することによってつまずきを克服し、観察・実験が成功すると、学習者には達成感や充実感が得られると考える。問題解決において、学習者にこのような達成感や充実感を得させることにより、以後の問題解決場面における意欲や、思考活動に対する注意を喚起させることができると考える。このため、問題の設定においては、学習者が達成感や充実感を得ることが出来る内容となるように配慮する必要があると考える。

## 第 4 章 メタ認知能力の育成を志向した指導過程の提案

## 第1節 メタ認知能力の育成を志向した観察・実験の指導過程

本章では、前章までの調査研究及び理論的研究を踏まえ、メタ認知能力の育成を志向した学習指導過程を構想する。観察・実験という問題解決活動におけるメタ認知能力の育成を志向した学習指導過程の構想は、以下のような手順で行った。

まず、初等理科教育において育成しようとしている能力の確認を行うために、学習指導要領に示された小学校における理科教育の目標やその意図について問題解決という視点からまとめた。次に、メタ認知能力の育成を志向した指導過程における教師の役割について、関連のある先行研究を概観した。また、思考を行う場面を十分に確保した質の高い観察・実験を行うためには、得られた知見を的確に記録し整理できる能力を育成しておく必要がある。このような能力の育成もメタ認知能力の育成につながると考えられるため、実践的視座からノートやレポートの書き方の指導についてまとめた。

そして、学習指導過程の構想においては、小学校高学年を対象に行った。具体的には、小学校高学年段階においてメタ認知能力の育成に適していると思われる内容を抽出し、学習指導過程を検討した。また、発展的取扱いとして、長期的な観察・実験を行う学習指導過程も併せて検討した。

なお、小学校高学年を中心に学習指導過程を検討したのは、条件制御など中学校や高等学校段階における観察・実験においても基礎的かつ重要な能力を獲得する時期に相当するためである。



## 第2節 初等理科教育で育成を目指す能力

本節では、平成10年版の小学校学習指導要領理科に示されている理科教育の目標やその意図を分析し、初等理科教育において育成しようとしている能力について検討を加えた。具体的には、特に、問題解決という視点から学習指導要領解説に示された理科の目標の意図を抽出した。また、各学年の目標における意図についても抽出した。その詳細を以下に示す。

### 2-1 小学校学習指導要領 理科

小学校学習指導要領理科（1998）に示された理科の目標、小学校学習指導要領解説理科編（1999）に示された理科の目標に対する解説の一部を以下に示す。

- 理科の目標 -

自然に親しみ、見通しを持って観察、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・現象についての理解を図り、科学的な見方や考え方を養う。

（以下、解説編より）

#### ○自然に親しむこと

（前略）この文言は、児童が自然の事物・現象とのかかわることにより、問題を見だしそれを追究していく活動を行うようになることを含意している。したがって、理科の学習活動を展開するに当たっては、児童が自然にかかわる問題解決の活動を行うことができるように、児童の興味・関心や意識を高める必要がある。（以下略）

#### ○見通しをもって観察、実験などを行うこと

「見通しをもって」とは、児童が無目的に観察、実験などを行うのではなく、問題に対して予想や仮説、構想をもち、それらのもとに観察、実験など

の方法を工夫し、実際にそれを行うことである。(一中略一)

理科の観察、実験などの活動は、児童が自ら目的、問題意識をもって意図的に自然の事物・現象に問いかけていく活動である。(一以下略一)

#### ○問題解決の能力を育てること

児童が見通しをもって観察、実験などを行い、問題解決の能力を習得するためには、さらに、次のような過程が必要になる。

それは、児童が自然の事物・現象を観察し、事象に興味・関心をもち、そこに問題を見だし、それを解決する方法を考え、観察、実験などを実行することにより結果を得て、解決過程や結果について相互に話し合う中から、結論として科学的な見方や考え方をもちようになる過程である。(一以下略一)

#### ○自然の事物・現象についての理解を図ること

(一前略一) 児童が自然について個人内に抱いていた、イメージや概念などを基に、問題解決の活動を通して多くの人々が承認できる妥当なものに転換していくことが、自然の事物・現象についての理解に関する一つの考え方である。(一以下略一)

#### ○科学的な見方や考え方を養うこと

(一前略一) 科学の理論や法則は科学者という人間と無関係に成立する、絶対的・普遍的なものであるという考え方から、科学の理論や法則は科学者という人間が創造したのものであるという考え方に転換してきている。この考え方によれば、科学はその時代に生きた科学者という人間が公認し共有したものであるということになる。(一中略一)

見方や考え方とは、問題解決の活動によって児童が習得する方法や手続きと、その方法や手続きによって得られた結果及び概念の両方を意味する。(一以下略一)

以上、目標を構成している各文言の説明にあるように、目標の多くは問題解

決の活動を通して育成することが意図されていることがわかる。理科の学習における問題解決活動の多くは観察・実験を通して行われるため、観察・実験の一連の活動を通して多様な能力のみでなく、自然に親しむといった興味・関心や意識を高めることが目指されているといえる。

しかし、この理科の目標のみではより具体的な能力の抽出は困難である。このため、より具体的な文言で示されている各学年の目標がどのような意図で設定されているのかを検討した。この検討においては、小学校学習指導要領解説理科編に示された各学年の目標に対する解説をまとめた。その結果を表4-1に示す。この表4-1に示したように、各学年の学習の過程においては、以下に示す4つの資質・能力の育成が求められている。

第3学年：「違いに気付いたり、比較する」資質・能力

第4学年：「変化に関係する要因を抽出する」資質・能力

第5学年：「条件制御をともなった観察・実験を行う」資質・能力

第6学年：「多面的視点から観察・実験を行い結論を導く」資質・能力

このように、初等理科教育において育成を目指す資質・能力は、“比較”や“要因抽出”から“条件制御”や“多面的視点による観察・実験”へと段階的に高度なものへ移行している。また、これらの資質・能力は観察・実験活動を中心とした問題解決を行っていく上で重要なものとして位置づけられているといえる。

表4-1 各学年の目標の意図

学年	目標の意図
第3学年	<p>自然の事物・現象を差異点や共通点という視点から比較しながら調べ、問題を見だし、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、自然の事物・現象に見られる共通性や相互のかかわり、物質の性質や特徴、関係などについての見方や考え方を養う。</p> <p>特に、学習の過程において、<u>自然の事物・現象の違いに気付いたり、比較したりする資質・能力</u>を育成すること。</p>
第4学年	<p>自然の事物・現象の変化に着目し、変化とそれにかかわる要因を関係付けながら調べ、問題を見だし、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、自然の事物・現象の性質や変化、規則性、関係についての見方や考え方を養う。</p> <p>特に、学習の過程において、<u>自然の事物・現象の変化と関係する要因を抽出する資質・能力</u>を育成すること。</p>
第5学年	<p>自然の・事物現象をそれらにかかわる条件に目を向けたり、量的変化や時間的变化に着目したりして調べ、問題を見だし、見いだした問題を計画的に追究する活動を通して、生命の連続性や変化の規則についての見方や考え方を養う。</p> <p>特に、学習の過程において、前学年で培った、変化と関係する要因を抽出する資質・能力に加えて、<u>制御すべき要因と制御しない要因とを区別しながら、観察、実験などを計画的に行っていく資質・能力</u>を育成すること。</p>
第6学年	<p>身近に見られる自然の事物・現象の変化や働きをその要因と関係付けながら調べ、問題を見だし、見いだした問題を多面的に追究する活動を通して、自然の事物・現象の相互関係や規則性についての見方や考え方を養うこと。</p> <p>特に、学習の過程において、前学年で培った観察、実験などを計画的に行っていく資質・能力に加えて、<u>多面的な視点から観察、実験などを行い、結論を導く資質・能力</u>を育成すること。</p>

(下線筆者)

### 第3節 教師の役割

本節では、メタ認知と教育について論じている先行研究を概観することから、メタ認知能力の育成を志向した観察・実験における教師の役割について検討を行った。

メタ認知に関する基礎的な研究が多く積み重ねられてきた現在、教師の助言やそれらとの相互作用を通じたメタ認知的方法の教授といった教育的側面に注目が集まっている。また Bruer は、学習とメタ認知の関係について述べたその著書において、Perkins & Salomon (1989) が新統合理論 (new synthesis) と呼んでいる理論を次のように説明している (Bruer, 1993, p.52)。

(新統合理論は) 1980 年代初期に現れた理論で、熟達した行動の別の側面に注意を向ける。すなわち、この理論では、領域固有の知識が少なくても非常に効率的に新しい分野を学習し、新しい問題を解くことができる人が存在することに注目する。そのような、「知的な初心者 (intelligent novice-people)」とでも呼ぶべき人は、自分の思考過程をコントロールしてモニタし、一般的な方略と領域固有の方略や技能の両方を適切に利用する。このことは、熟達した活動には領域固有の知識や技能以上の何かが必要であることを示唆するものである。

(一中略一) 新統合理論に従えば、子どもが自分の思考や学習をモニタし、コントロールできるように計らいつつ、領域固有の教科内容の学習と一般的な思考技能の学習とを結びつけることが重要になる。

知識や技能、能力などの領域固有性や領域普遍性については様々な見解が見られる。しかし、この理論はどちらか一方に偏った主張をするのではなく、領域固有な知識や技能を認めた上で、それらをモニタしコントロールする「何か」としてメタ認知の存在を示唆するとともに、その育成の必要性を示しているという点において優れているといえる。

また Bruer は、学習者は日々多くの新しい問題 (学習課題) に直面しているため、学習者にとっては知的な初心者となることが非常に有益なのであると述

べている。知的な初心者となるためには、学習者はメタ認知的技能とその使用方法を学習する必要があるため、彼は「メタ認知的気づき (metacognitively aware)」のある教授法として次のような教授過程を示している (p.73)。

メタ認知的技能は、自分自身の問題解決に批判的になる能力と考えることができる。したがって、メタ認知的気づきのある教授法は、その批判的役割を教師から生徒に転移させようと試みる。この転移は段階的に起こる。最初に、教師は生徒に批判役のモデルを示す。生徒はしだいに、つまりいたときには教師に指導を受けながらも、自分自身で批判的役割を行えるようになる。さらにメタ認知的に熟達し、自己に批判的になれば教師は批判的役割を完全に生徒に譲る。

このように、学習者を知的な初心者へと変容させていく教授過程において、学習を支える足場作り (scaffolding) を行うことの必要性を示している。

メタ認知能力の育成を志向した観察・実験においても、教師が完全に主導権を握るのではなく、ある程度学習者が主導権をもつことが望ましいと考えられる。Hodson (1998, p.169) は、生徒に適度な主導権をもたせた場面における教師の足場作りについて、Jones & Kirk (1990) の研究をもとに次のようにまとめている。

- 焦点化する：興味・関心を引く、探究活動の重要な特徴に注意を向ける質問をする
- 探究する：生徒が自分の疑問を解決するために探究活動を行うとき、生徒を支援する
- 報告する：クラス全体場で、生徒が見いだしたことを報告するとき、批判者・討論者のリーダーの役を演じる
- 強化する：話題を展開するために、探究活動から得られた情報を活用する
- 応用する：生徒が発展的な探究活動を行えるような機会や、これまでに得られた新しいアイデアを用いて、書く活動を行えるような機会を創る

この足場作りの基本的な流れは、これまでの一般的な問題解決活動などにおける指導の流れと大きな違いは無い。しかし、上述の Bruer や Hodson が示した足場作りにもとづいて、メタ認知的気づきのある「インフォームド (informed) な」教授を行うことにより、学習者を知的な初心者へと近づけていくことができると考えられる (Bruer, 1993, p.67 ; Paris et al., 1982)。この「インフォームドな」教授というのは、「方略の教授には明示的な方略の解説、いつその方略が役に立つのかについての教授、そしてなぜそれらが役に立つかの説明が含まれているべきである」という考えにもとづいている。

#### 第4節 観察・実験における記録の意義とその指導

観察・実験においては、まず、得られた知見を記録し整理することが深まりのある思考を行う上で大切である。また、問題や目的の明確化、仮説の設定、観察・実験方法の検討などにおいても自己の考えを記録し整理することが大切である。このような記録や整理という過程は、自己の思考や活動を把握、確認、再考するという意味においてメタ認知が機能する過程といえる。このため、観察・実験活動を通じたメタ認知的技能の育成を行うためには、適切なノートやレポートの書き方の指導も必要である。そこで本節では、具体的な観察・実験の内容を検討する前段階として、実践的視座からノートやレポートの書き方の指導について考察する。

ノートなどを書くことの役割について、平原（1974）は以下の3点を挙げている。

1. 書くということは、対象についての分析抽象と総合による観察結果の外在化・固定化・対象化である。
2. 対象化された書かれたものと、事象との比較対照、対応づけによってさらに分析総合が深化する。
3. 得られたプロトコル文は、推論等総合のはたらきによって、対象である事象の認識へと再構成される。

また神田（1983）は、子どもが自分の考えをノートに記録しながら学習をすすめるときのノートの機能を、子どもと指導者それぞれの立場から以下のようにまとめている。

- 子どもの立場から -

- ア 正しく（くわしく）表現しようとするため、事象を細かく観察したり、見直しをしたりしやすくなる。
- イ 筋道をたてて自分の考えを整理できるため、理解を深めたり、発展的な学習をしたりしやすくなる。



ウ 学習の見直しをする資料ができるため、自分の考えの変容の様子を自分でとらえることができやすくなる。

エ 自分の考えを整理した記録が残るため、情報交換しやすくなる。

指導者の立場から -

ア 活動中の個々の子どものノートを見ることによって、子どもの考えをとらえることができるため、個々や全体の子どもに対して手だてをしやすくなる。

イ 指導後に、全体の子どものノートを点検することによって、子どもの理解やつまずきの様子、今後の活動の方向性（問題）などをとらえることができるため、次時からの指導計画の修正や立案に役立てることができる。

このように、書くという行為は単なる記録ではなく、観察・実験結果などが外在化・固定化・対象化されるという意味において非常に重要な活動であるといえる。そして、観察・実験結果などが外在化・固定化・対象化されることによって思考の対象が明確化され、より適切な思考活動が行われると共に、効率的なモニタリングやコントロールを行うことが可能になると考える。また、指導者にとっても子どもが何を理解し、何につまずいているのかを把握することができるため、子どもの状態に即した授業の展開を考えることができる。

しかし、子どもは初めからこのような有効なノートを書くことはできないため、適切な指導を行う必要がある。子どもの状況によってどのような指導を行うのか判断する必要があるが、神田が示している以下の4点は基本的観点として大切であると考えられる。

1. ノートに記録することのよさ、大切さを教えたり、記録の仕方について約束したりする
2. 授業後にノートを点検し評価してやる
3. ノートの記録の仕方のよさを紹介し合う
4. 自分の考えを整理し、ノートに記録することができる「ゆとりのある理科学習」をする

このような観点から、小学校の早い段階においてノートに記録することの利点や大切さを実感させ、ノートへの記録を習慣化させることは理科に限らずどの教科にとっても大切な事項である。また、観察・実験においてはノートやワークシートなどに記録を取り、結果をまとめて考察を行うという一連の過程は児童生徒にとっては複雑な問題解決活動である。このため、日頃から明確な視点にもとづいた指導を行う必要があるといえる。

このような観察記録やノートづくりの指導において菅井（2000）は、観察・実験の視点を明確にするために「何を観察するのか」といった問題意識を持たせるとともに、「何をどのように記録するのか」という側面についても明確にしておく必要があるとしている。また、支援のポイントとして「表現のつたなさ、不正確さ、あいまいさなどを的確に指摘してあげること」「表現のきれいさに惑わされない。評価としてはどれだけ正確に事実を捉えそれをどこまで深く洞察できているかを見極める」という2点を挙げている。

## 第5節 学習指導過程の提案

本節では、まずこれまでに述べてきた理論的研究及び調査研究の結果より、メタ認知能力の育成を志向した指導過程導出への示唆をまとめる。

まず、本研究で行った調査研究の結果より、次のような示唆が得られている。

1. 適度に難しい問題を設定することにより、学習者につまずきの機会を与える
2. このつまずいた場面を援用しながら、学習者に冷静にモニタリングを行い、さらにモニタリングの結果に応じたコントロールを行うことの必要性を理解させる
3. このため、教師は観察・実験の結果のみを評価するのではなく、観察・実験の過程を丁寧に評価する必要がある

また、理論的研究の結果より、次のような示唆が得られている。

1. メタ認知的技能とその使用方法を指導するために、メタ認知的気づきのある「インフォームド (informed) な」教授を行う必要がある
2. 学習者を知的な初心者へと変容させていく教授過程において、学習を支える足場作り (scaffolding) を行う必要がある
3. 基礎的事項として、ノートやレポートの書き方の指導を日常的に行う必要がある

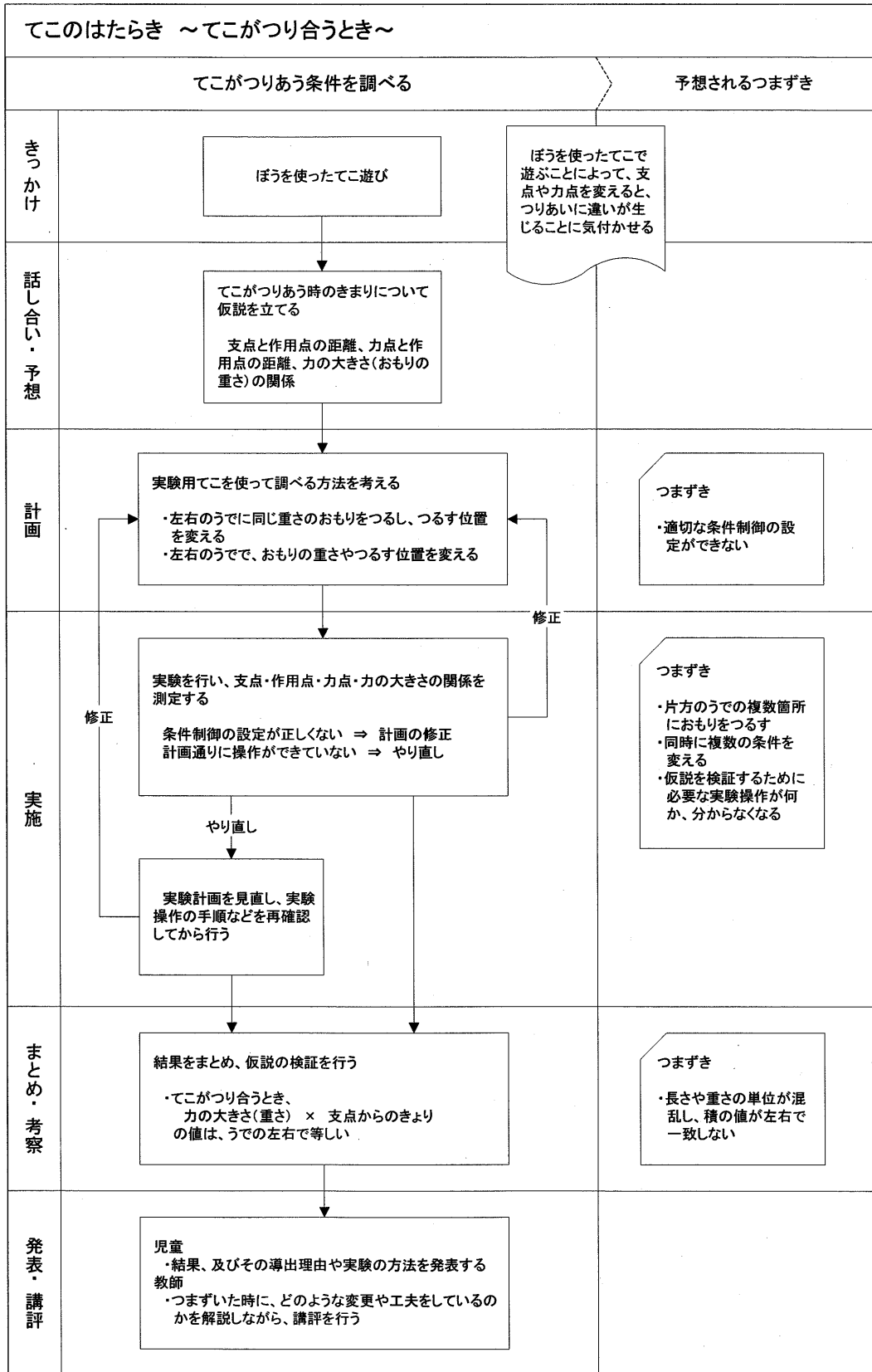
これらのうち、書き方の指導については指導過程導出への直接的な示唆ではない。このため、書き方の指導を除く5つの示唆を基底にして指導過程の導出を行った。

具体的には、まず小学校高学年段階で行われている理科学習指導において、代表的な事例を分析した。この分析においては、メタ認知能力の育成に適していると思われる事例を抽出した。次に、抽出した事例をもとにメタ認知能力の育成を志向した理科の学習指導過程を検討した。そして、検討した学習指導過程の結果を流れ図を用いてまとめた。なお、事例3及び発展事例は中学校段階

において用いることもできるものとした。

また、各学習指導過程の流れ図においては、予想される児童のつまずきを併せて示した。このつまずきに対する支援の方法については、各流れ図の解説においてそれぞれ検討した。これらの詳細を以下に示す。なお、提案を行ったこれらの事例は、小学校の理科の熟練教師によって妥当性の確認を行っている。

事例1：てこのはたらき ～てこがつり合うとき～



この流れ図は、萩島ら（1981）の指導細案や新観察・実験大辞典（2002）の事例などを参考に作成した。また、本事例では「違いに気付いたり、比較する」「変化に関係する要因を抽出する」「条件制御をともなった観察・実験を行う」などの資質・能力が各過程において必要となる。以下にこの図の説明を示す。

#### 〔きっかけ〕

学習者に、ぼうを使った簡単なてこの遊びを通して、ぼうの置き方やぼうを持つ場所が変わるとつりあいに違いが生じることを気づかせる。

#### 〔話し合い・予想〕

何が変わると、つりあいに違いが生じると思うか考える。てこにおいて、左右のうでのおもりの重さ（力の大きさ）と支点までの距離について、どのような関係があると思うか意見を出し合う。また、個人や班ごとに仮説を立てる。

#### 〔計画〕

仮説を検証するために、班（可能なら二人一組）ごとに実験用てこを使った観察・実験方法を考える。仮説を検証するためには、一方のうでにつるすおもりの場所や重さを一定にするなど適切な条件制御を行う必要がある。この計画の立案においては、条件を制御するといった発想が無い、適切な条件制御の設定を行うことが出来ないといったつまずきが予想される。

#### 〔実施〕

計画に沿って観察・実験を行う。計画段階では気づかなかつたつまずきにも、観察・実験の実施によって気づくことが多い。また、おもりを片方のうでの複数箇所と同時につるす、条件を一度に複数変化させるといった操作的なつまずきも生じる。このような操作を行っても結果はとりあえず得られるため、学習者はミスに気がつきにくい。このため、結果を集計する表などをあらかじめ作っておくと自己のミスに気がつきやすくなり、計画の修正や操作のやり直しへとつながる。条件制御の設定が正しくなかった場合は、計画の修正を行う。計画通りに操作ができなかった場合は、やり直しをする。

## 〔まとめ・考察〕

結果をまとめて、左右のうでのおもりの重さ（力の大きさ）と支点までの距離について、規則性の有無について検討する。この際、観察・実験の目的についても一度確認を行い、目的に対応した結果が得られているか、考察ができているか確認を行う。また、長さの単位（目盛の数、cm）や重さの単位（おもりの数、g）が混乱して、てこがつり合うときは力の大きさ（重さ）と支点からの距離の積の値が、うでの左右で等しいという規則性を発見できないというつまずきが予想される。

## 〔発表・講評〕

班ごとに、どのような手順で観察・実験を行い、どのような結果を得たのか発表する。その際、つまずいた点や工夫した点についても発表する。

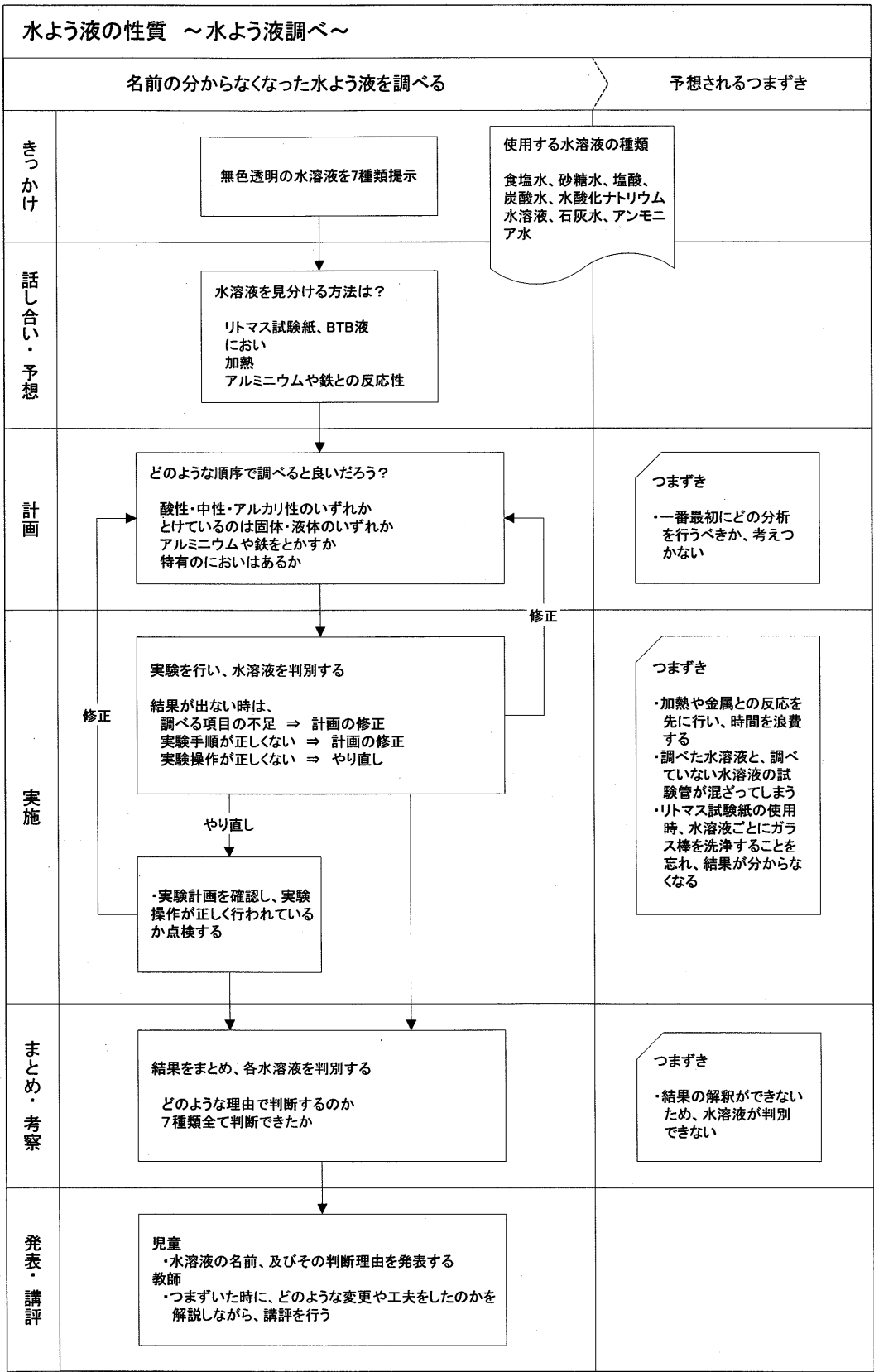
教師は、結果の解釈などに補足を加えるとともに、条件制御の必要性や意義についても説明を行う。そして、つまずいた点や工夫した点について言及し、すぐに結果が得られなくても計画などを修正しながら観察・実験を行っていくことの大切さや必要性について話をする。

## 【つまずきに対する支援】

本実験は、比較的容易にやり直しを行うことが可能である。このため、計画段階においては積極的な支援は行わない。児童が実験を行った後に、条件制御に問題がある場合は、「支点と作用点の距離、力点と作用点の距離、力の大きさ（おもりの重さ）の関係」を明らかにするという目的と実験結果を対比させる。そして、目的に対応した結果を導出するためには、どのような実験操作を行う必要があるのかについて再検討させる。一方、実験操作の手順などに問題がある場合は、計画を再確認させるなど一度の実験操作で終了しないように指導する。

また、考察において長さの単位（目盛の数、cm）や重さの単位（おもりの数、g）が混乱している場合は、児童が使用している単位に着目するよう支援する。

事例2：水よう液の性質 ～水よう液調べ～





この流れ図は、鈴木・吉田（1981）の指導細案などを参考に作成した。「違いに気付いたり、比較する」「変化に関係する要因を抽出する」「条件制御をともなった観察・実験を行う」「多面的視点から観察・実験を行い結論を導く」などの資質・能力が各過程において必要となる。以下にこの図の説明を示す。

#### 〔きっかけ〕

水溶液に関する学習を一通り終えた後、食塩水、砂糖水、塩酸、炭酸水、水酸化ナトリウム、石灰水、アンモニア水という7種類の無色透明の水溶液を、どれがどの水溶液か分からないようにして提示する。これら名前の分からなくなった水溶液を見分けるにはどうすればよいか、問いかける。

#### 〔話し合い・予想〕

これまでの学習をもとに、水溶液の性質を調べるにはどのような方法があったのかまとめる。そして、7種類の水溶液を効率よく調べるにはどのようにすれば良いと思うか意見を出し合う。

#### 〔計画〕

班（可能であれば二人一組）で7種類の水溶液の特徴を考えながら、効率よく調べる手順を考える。この計画の立案においては、初めにどのような分析を行い、続いてどのような分析を行うのかという手順を考えることができないといったつまずきが考えられる。このため、各分析方法の特徴について正しく理解しておく必要がある。

#### 〔実施〕

計画に沿って観察・実験を行う。最初に、各水溶液が酸性、中性、アルカリ性のいずれかであるかを確かめると効率がよい。ここでは、加熱を先に行う、アルミニウムや鉄との反応を先に行う、調べた水溶液と調べていない水溶液が分からなくなるといったつまずきが予想される。調べる項目が少ない、手順が違う場合は計画の修正を行う。また、調べた結果が分かりにくい、どれがどの水溶液か分からなくなった場合はやり直しをする。

〔まとめ・考察〕

結果をまとめて、各水溶液の名前を判断する。その際、調べた方法及びその結果など判断した根拠を明確にする。

〔発表・講評〕

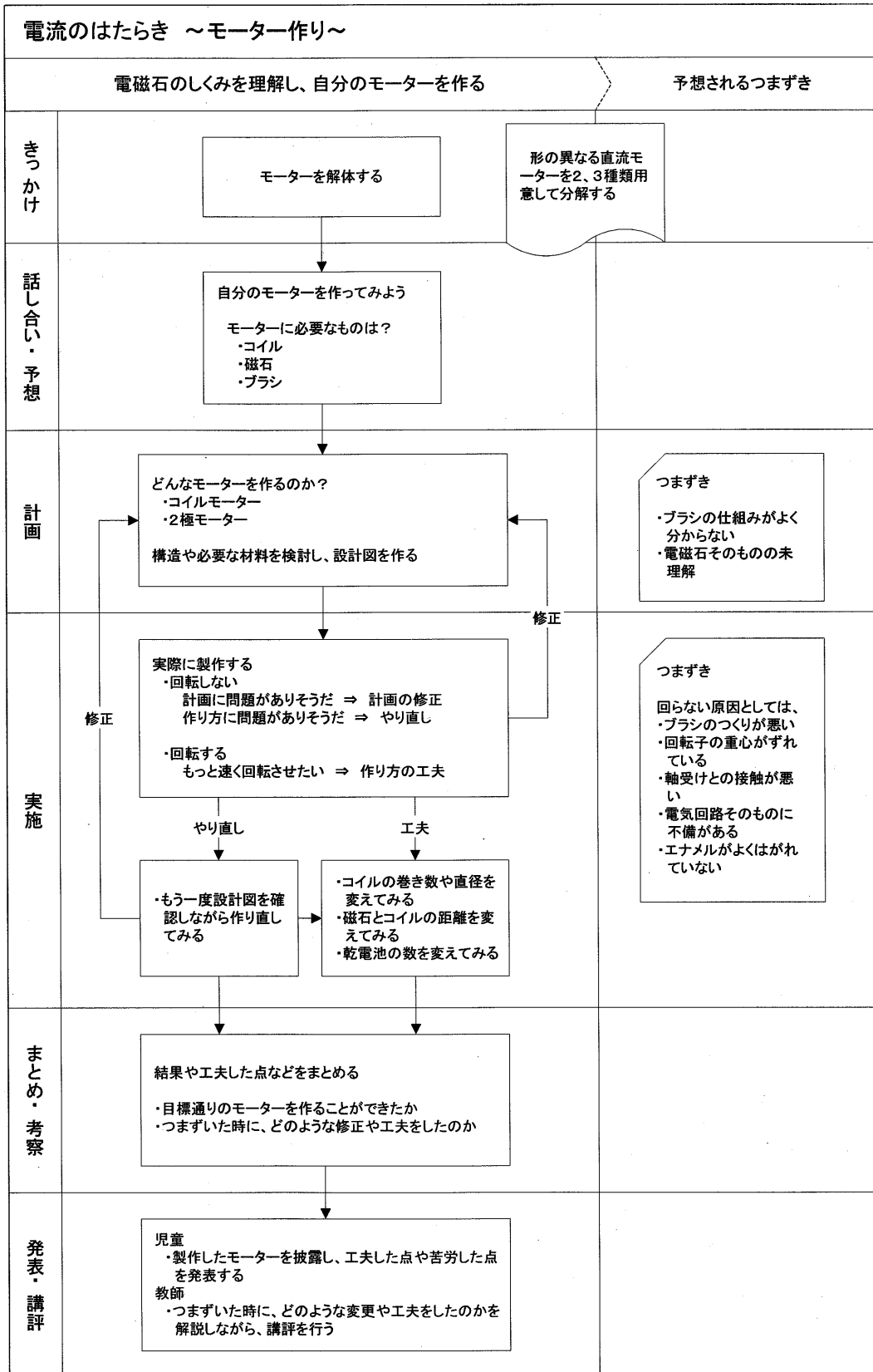
グループごとに、各水溶液の名前を発表する。その際、どのような手順で観察・実験を行い、どのような結果を得たのかも併せて発表する。また、つまづいた点や工夫した点についても発表する。

教師は、結果の解釈などに補足を加えるとともに、最初に見通しをもった計画を立案することの大切さについて話す。特に、本実験では同一の水溶液に対して複数の分析を行うため、予想される結果やその後の分析についてよく考えておく必要がある。

【つまづきに対する支援】

本実験では、まず分析を行う順序の検討段階においてつまづきが予想される。化学薬品を使用する実験のため、危険が伴うと判断される場合は計画段階での支援が必要となる。しかし、安全な操作の範囲においては自由に実施させる。実験の実施後、各水溶液の同定が出来ない場合は、実験計画と実験操作のどちらに不備があるのか切り分けを行う。そして、計画に不備がある場合は、分析方法とその順序についてグループごとにヒントを与えて再検討をさせる。実験操作に不備がある場合は、試薬の使用方法など実験操作に関する適切な情報を与える。

事例3：電流のはたらき ～モーター作り～



この流れ図は、後藤（2001）の実践例や新観察・実験大辞典（2002）の事例などを参考に作成した。「違いに気付いたり、比較する」「変化に関係する要因を抽出する」「条件制御をともなった観察・実験を行う」「多面的視点から観察・実験を行い結論を導く」などの資質・能力が各過程において必要となる。以下にこの図の説明を示す。

#### 〔きっかけ〕

電磁石に関する学習を一通り終えた後、身近な直流の模型用モーターなどを分解し、モーターの仕組みと電磁石の関係について興味をもたせる。

#### 〔話し合い・予想〕

自分達のモーターを作るために、モーターを作るために最低限必要な仕組みについて、分解した複数のモーターの部品を比較しながら話し合う。電磁石の仕組みが利用されていること、コイル・磁石・ブラシが必要なことを理解する。

#### 〔計画〕

個人（難しい場合は二人一組）で自分（達）だけのモーターを設計する。6年生の児童にとっては難しいため、参考になる資料を準備しておく。構造的には、コイルモーターや2極モーターなどが考えられる。この計画の立案においては、ブラシの仕組みが理解できない、電磁石そのものがまだ未理解である、適切な材料を検討することができないといったつまずきが考えられる。

#### 〔実施〕

計画に沿ってモーターを作る。ここではまず、モーターが回らない原因として、設計した電気回路そのものに不備がある、使用するコイルや磁石などの大きさのバランスが悪いといったつまずきが予想される。この場合は、計画の修正を行う。また、回転子の重心がずれている、軸受けとの接触が悪い、エナメル線がよくはがれていないといったつまずきも予想される。

なお、ただ単にモーターが回るようにするだけでなく、コイルの巻き数や直径を変える、磁石とコイルの距離を変えるなどの工夫を行うことによって、より速く回るモーターを作ることを目指すようにする。

〔まとめ・考察〕

はじめに作った設計図などをもとに、目標通りのモーターを作ることができたかどうか確認しながら考察を行う。また、つまずいた時にどのような変更や修正をしたのかを具体的にまとめておく。

〔発表・講評〕

グループごとに、作ったモーターを披露する。その際、モーターの特徴だけでなく、苦労した箇所や工夫した点についても発表する。

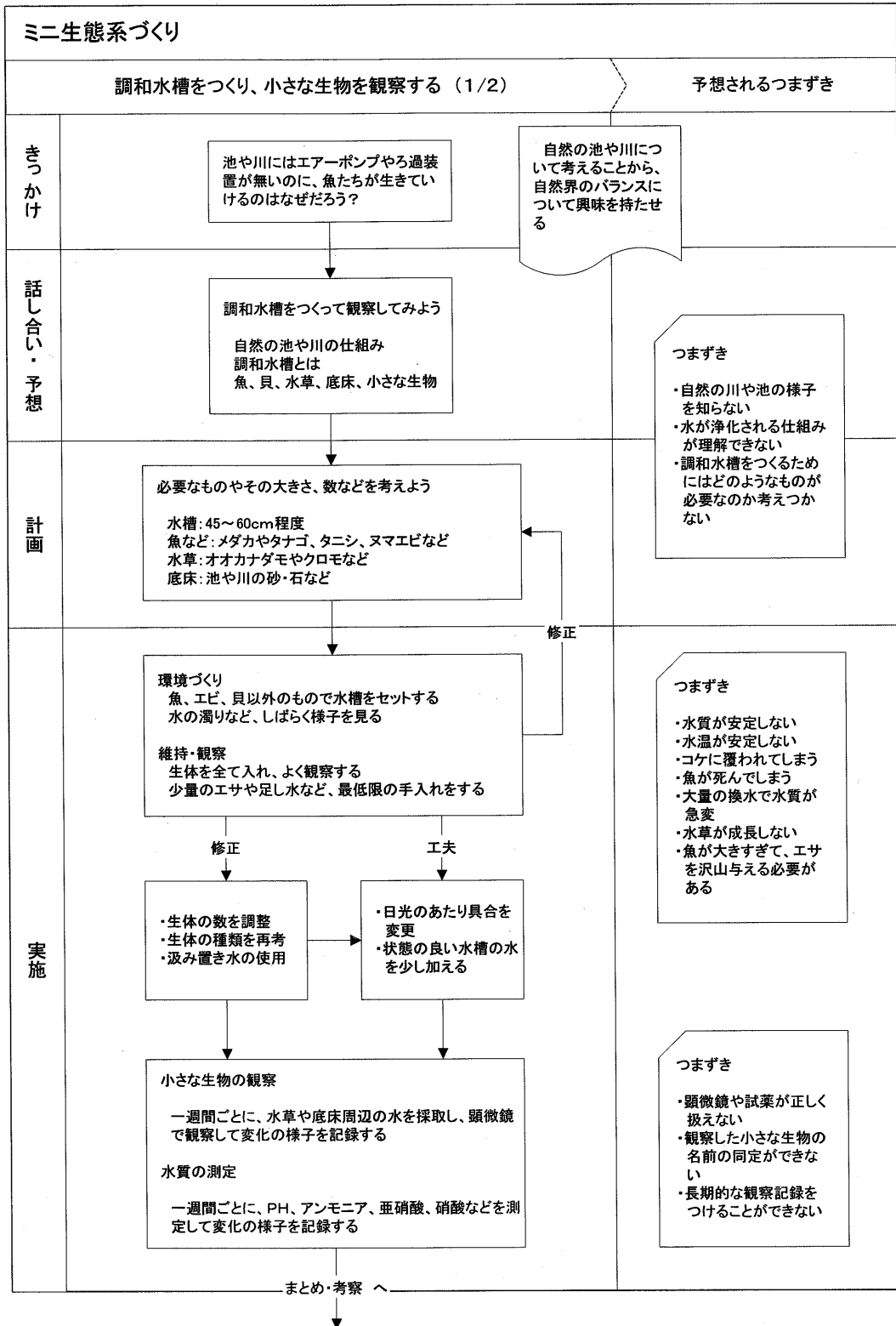
教師は、各モーターの工夫された箇所について評価するとともに、つまずいた時に、どのような変更や工夫をしているのかについて解説しながら講評する。また、より速く回るモーターの特徴などをまとめる。

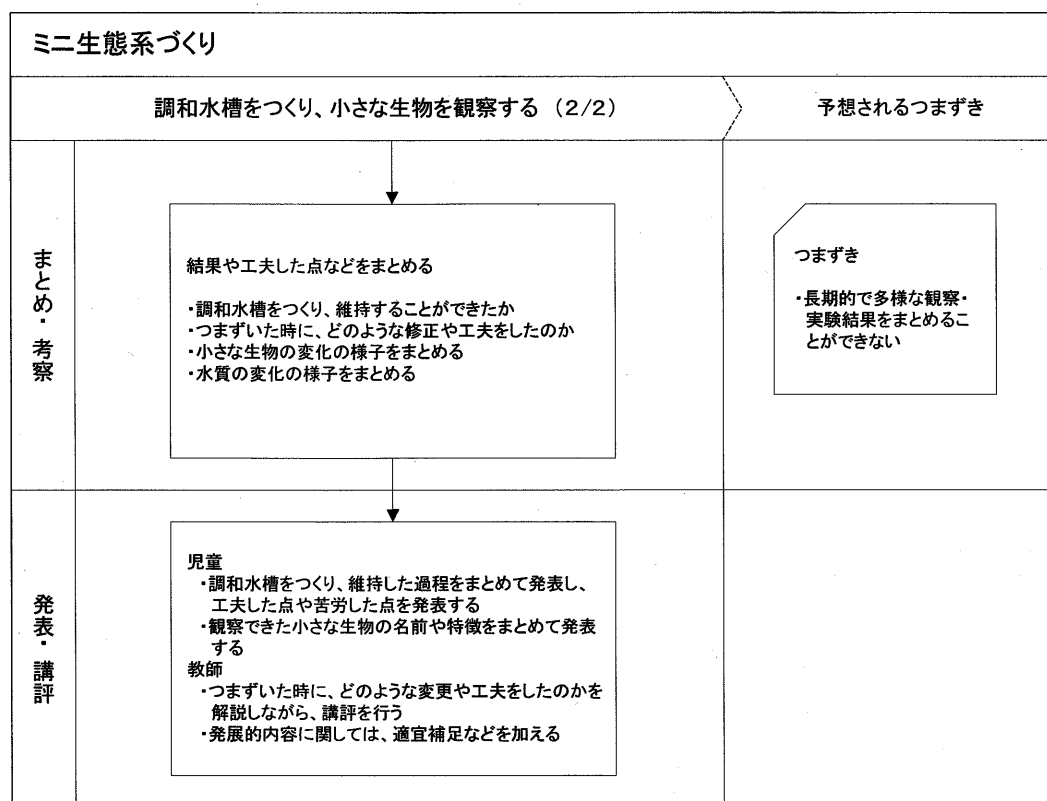
【予想されるつまずきに対する支援】

本実験は、電磁石の仕組みが未理解であると計画の段階でつまずきが生じると考えられる。また、ブラシの仕組みについても理解に時間を要すると考えられる。いずれもモーター作りの重要な原理となるため、話し合い・予想の段階で十分な時間を確保する。

実施段階において、モーターが回らない原因は多数考えられる。このため、試行錯誤しながら児童自身で解決できるよう資料等を準備して支援を行う。また、使用する部品の高さや重さのバランスなどについても児童が着目するように支援する。

発展事例：ミニ生態系づくり





この流れ図は、河野（2001）の実践例などを参考に内容を大幅に変更して作成した。なお、本事例では「違いに気付いたり、比較する」「変化に関係する要因を抽出する」「条件制御をともなった観察・実験を行う」「多面的視点から観察・実験を行い結論を導く」などの資質・能力が各過程において必要となる。以下にこの図の説明を示す。

〔きっかけ〕

“池や川にはエアープンプやろ過装置が無いのに、魚たちが生きていけるのはなぜだろう？”といった問いかけをして、自然の川や池について考えるきっかけをつくる。

（「魚のたんじょうと成長」に続けて取り扱う場合は、「魚が食べるもの」と結び付けてもよい。）

## 〔話し合い・予想〕

自然の池や川の生態系について自由に話し合いをさせた後、自然の池と同じ様な働きを利用して魚・水草・バクテリアなどがバランス良く生きている水槽として調和水槽を紹介する。自分達で調和水槽をつくるために気を付けなければいけない事項について話し合う。なお、光合成や有機物の分解の過程（有機物→アンモニア→亜硝酸→硝酸）などは児童にとっては難しいため、参考になる資料を準備しておく。水が浄化される仕組み、川に棲む魚と池に棲む魚の違いなどについても理解する。

## 〔計画〕

班ごとに、半年以上維持できる調和水槽をつくるための計画を立てる。ここでは、魚や水草といった生体だけでなく、底床に何を使うか、水槽をどこに置くかについてもよく検討する。使用する水槽の大きさについては、維持する期間や気温に応じて教師側が用意しておく。（水量が多いほど安定するまでに時間を要するが、安定してしまえば水温や水質の変化も緩やかなため維持が容易となる。バランス的には45・60cm程度の水槽が扱いやすい。）また、魚や水草、小さな生物（プランクトン）、水質の変化など、観察の目的や視点を明確にしておく。

本観察・実験は長期的なものであるため、日数が経過した後の完全なやり直しは行うことが難しい。このため、修正が困難な計画に対しては、実施の前段階から適宜教師がアドバイスをを行う。

## 〔実施〕

計画に沿って調和水槽をつくる。ここでは、水質が安定しない、魚が死んでしまう、水草が生長しないといったつまずきが予想される。この場合は、残留塩素の多い水を使っていないか、魚の数が多くないか、魚・エビ・貝の相性が悪くないかなどの検討を行い、修正したり工夫したりする。水質の測定においては、測定器具の誤用によって正しく測れないというつまずきが考えられる。また、小さな生物の観察においては、顕微鏡が正しく操作できない、採水場所が悪くて観察できないといったつまずきが考えられる。

なお、これらの記録は、最後のまとめに用いるだけでなく、時間の経過によ



る変化に気がつくための大切な資料となる。

〔まとめ・考察〕

観察・実験が長期にわたるため、記録した結果の量も多くなる。このため、自分たちで決めた観察の目的などを確認しながら記録をまとめないと、観察日記的な考察となってしまう。また、つまずいた時にどのような変更や修正、工夫をしたのか具体的にまとめておく。

〔発表・講評〕

班ごとに、つくった調和水槽の経過について発表する。その際、水槽のバランスを維持するために苦勞した箇所や工夫した点、観察できた小さな生物についても発表する。

教師は、観察された小さな生物などについて補足するとともに、各水槽の維持において工夫された箇所について評価する。また、つまずいた時に、どのような変更や工夫をしているのかについて解説しながら講評する。

【予想されるつまずきとその支援】

本実験は長期的なものであるため、完全なやり直しを行うことは困難である。このため、水槽や底床など途中の変更が困難な要素については計画段階において十分な確認を行い、極端に小さな水槽やサンゴ砂などを使用することにしていけば適宜指導を行う。その他に関しては、観察・実験を行いながら修正することが可能であるため、計画段階では積極的な支援は行わない。また、発展的な内容であるため、つまずいた時に児童自身で調べることが出来るように適切な資料を準備しておく必要がある。

## 第6節 まとめ

本章では、メタ認知能力の育成を志向した指導過程の提案を行うために、まず初等理科教育で育成を目指す能力について、問題解決という視点から小学校指導要領理科に示されている目標、及びその意図を整理した。また、メタ認知と教育について論じている先行研究を概観し、メタ認知能力の育成を志向した観察・実験における教師の役割について検討した。そして、観察・実験においても大切となる記録について、その意義と指導観点について概観した。

メタ認知能力の育成を志向した指導過程の提案においては、小学校高学年を対象に発展事例1つを含む4つの事例を提案した。これら「てこのはたらき ～てこがつり合うとき～」 「水よう液の性質 ～水よう液調べ～」 「電流のはたらき ～モーター作り～」 「ミニ生態系づくり」という4事例は、事例1から発展事例へと困難度が高いものとなっている。このため、事例3や発展事例は中学校において用いることも可能であると考ええる。

また、各事例では主に〔計画〕〔実施〕〔まとめ・考察〕において、予想される「つまずき」を示した。学習者はこのようなつまずきを通してモニタリングやコントロールの必要性について理解していくものと考ええる。そして教師の側は、このようなつまずきの場面においてメタ認知的技能や領域に応じた問題解決方略を、メタ認知的気づきのあるインフォームドな教授によって獲得させていく必要があると考える。

また、Jones & Kirk や Hodson が示した教師の足場作りにおいては、批判的に判断することの必要性が共通して述べられていた。本章で提案した学習指導過程においても、〔発表・講評〕において教師が批判者・討論者のリーダー役を演じることにより、観察・実験におけるつまずきの場면을援用した指導を行うこと目指している。

## 終章 総合考察

## 第1節 本研究の成果

### 1-1 本研究の成果と特色

本研究では、近年、理科教育においても注目されている「メタ認知能力」に着目した。そして、理科において重要な問題解決活動を行う観察・実験をメタ認知という視点からとらえ、観察・実験とメタ認知の関係やその特徴を明らかにするとともに、観察・実験を通じたメタ認知能力の育成方法を探ることを目的として研究を行った。本研究の結果をまとめると、以下のようになる。

まず、理論的研究として、メタ認知能力に関する心理学、算数・数学教育学及び理科教育学などの先行研究の成果を検討し、理科教育、その中でも特に観察・実験においてメタ認知能力を育成することの意義を抽出した。

また、観察・実験におけるメタ認知的技能の実行過程を明らかにする第一段階として、観察・実験における思考活動に影響を及ぼす要因とその構造を明らかにする質問紙調査を調査Ⅰとして実施した。その結果、観察・実験における思考活動には、「目的把握」「思考スキル」が強く影響していること、「粘り強さ」は間接的に影響していることを明らかにした。

次に、観察・実験とメタ認知的技能の関係を構造的に検討するために、調査Ⅱとして結晶課題を用いた調査を実施した。その結果、主に、「実験計画技能」が「検討」「やり直し」に影響していること、さらに、「検討」が「やり直し」「条件制御」に影響を及ぼすことによって成功的な観察・実験活動が行われるという構造を明らかにした。

そして、観察・実験とメタ認知的技能の関連をより詳細に検討するために、調査Ⅲとして電磁石課題を用いた詳細な面接調査を実施した。その結果、成功的な観察・実験が行われるためには、つまずきの場面においてモニタリングとコントロールが機能することによって「やり直し」や「予想・計画の変更」が行われる必要があるという知見を得た。また、観察・実験におけるメタ認知的技能を質問紙によって測定することが可能であるかどうかについても併せて検討した。その結果、本調査においては、質問紙によって観察・実験におけるメタ認知的技能を測定することは困難であるという知見を得た。

最後に、メタ認知能力の育成を志向した小学校段階における指導過程の検討を行うために、初等理科教育において育成しようとしている能力や、教師の役割などについて先行研究をまとめた。その結果、学習者を知的な初心者へと変容させていくために、学習を支える足場作り（scaffolding）を行い、メタ認知的気づきのあるインフォームドな教授を行うことが必要であるという知見を得た。そして、各調査研究及び理論的研究から得られた知見をもとに、メタ認知能力の育成を志向した学習指導方略を導出し、「てこのはたらき ～てこがつり合うとき～」「水よう液の性質 ～水よう液調べ～」「電流のはたらき ～モーター作り～」「ミニ生態系づくり」という4つの具体的な事例の提案を行った。これらの事例は、適度なつまずきが予想される内容を取り上げているため、教師がつまずきの場면을適切に援用することによって、児童・生徒にメタ認知能力を獲得させる機会を提供することができるものとなっている。

これらの結果より、本研究の成果をまとめると以下のようなになる。

## 1. 問題解決活動としての観察・実験におけるメタ認知的視点の導入

これまで認知心理や教育心理、算数・数学教育の領域で多く用いられてきたメタ認知という視点を、理科教育における観察・実験に導入した。そして、問題解決という文脈から観察・実験とメタ認知能力の関係を理論的に整理した。（第1章）

## 2. 観察・実験の過程とメタ認知的技能に関する調査による検討

観察・実験のどの過程においてメタ認知的技能が機能することが成功的な観察・実験につながるのか明らかになっていなかった。このため、結晶課題や電磁石課題を用いて調査を行い、成功的な観察・実験が行われるためには、実験操作などにおけるつまずきの場面においてモニタリングとコントロールが機能することによって「やり直し」や「予想・計画の変更」が行われる必要があるという知見を得た。（第2章、第3章）

### 3. 観察・実験を中心にしたメタ認知能力の育成を志向した指導方略の具体事例提案

本研究で行った調査研究、及び理論的研究から得られた知見をもとに、メタ認知能力の育成を志向した学習指導方略を導出し、4つの具体的な事例の提案を行った。これらの事例は、適度なつまずきが予想される内容を取り上げている。このため、教師がつまずきの場면을適切に援用することによって、児童・生徒にメタ認知能力を獲得させる機会を提供することができるものとなっている。(第4章)

#### 1-2 理科教育におけるメタ認知的視点の導入

本研究では、問題解決としての観察・実験過程の分析にメタ認知的視点を用いたことにその特色があることは前述した通りである。観察・実験に限らず、問題解決の過程において自己の思考や活動を振り返り、修正や調整を行うことの必要性については自明視されている感があるといえる。しかし、複雑で多様な思考や操作をともなう観察・実験とその一連の学習においては、他の問題解決場面へと転移しうる能力としてメタ認知を導入し、思弁ではなく科学的研究の成果として学習者を知的な初心者へと導く方略を検討することは非常に有意義なことであると考えられる。

近年においては、これまでのメタ認知研究の成果を様々な領域へと応用しようとする傾向がみられるが、その中でも教育の領域における実践的応用について強い関心が向けられているといえる (Schwartz & Perfect, 2002)。また、一方ではこれまで認知科学における理論研究と教育実践には大きな隔たりがあり、研究者と教師が共有の知識を構築する機会がほとんどなかったという反省から、理論研究と教育実践の橋渡しをすることの重要性が指摘されている (National Research Council, 2000)。このような観点からも、観察・実験におけるメタ認知能力の生起の様相をとらえるのみでなく、得られた知見を具体的な指導過程へと導入していくことは近年において求められている課題であるといえる。

また、このような理科教育におけるメタ認知能力の育成を志向した指導過程

においては、問題を設定し、学習者の支援を行う教師と、実際に問題解決を行う学習者との関係が鍵になってくる。つまり、Vygotsky 理論的な表現を用いるならば、学習者と教師（または他の学習者）との社会的空間としての「発達の最近接領域」をいかに敷設し、維持するかが重要ということになる。このため、学習者の理解の状況を的確に把握することが教師に求められる。なお、メタ認知研究においては、このような Vygotsky 理論の流れを汲むものも多く行われている（三宮, 1993 ; 田島, 1993 など）。

### 1-3 理科教育におけるメタ認知能力の測定

これまで本研究においても述べてきたように、メタ認知能力を正確かつ直接的に測定することは困難である。また、日々の教授・学習場面において面接を行い、学習者のメタ認知の様相を測定することも非現実的である。このため、日々の実践においては、どのようにして学習者のメタ認知の様相を把握するのかという検討とともに、どの程度把握できればよいのかという検討を併せて行っていく必要がある。このような検討においては、本研究の調査Ⅱや調査Ⅲで用いたレポートやワークシートの分析という手法が今後の研究に対して一つの示唆を与えてくれるのではないかと考える。

## 第2節 今後の課題

今後の課題としては、以下のものが挙げられる。

第1の課題は、前項でも述べたように、メタ認知能力の測定方法についてさらに研究を行い、教育実践の場で用いることが容易な測定方法を開発することである。どのような場面や状況で、どのようにして測定を行うのか検討することは、観察・実験におけるメタ認知の様相をより深く理解することに資するとともに、教授過程の評価を行うという観点からも意義があると考えられる。

第2の課題は、本研究で提案したメタ認知能力の育成を志向した指導過程の具体事例を実践し、さらなるその有効性の吟味と改良を行うことである。この吟味・改良においては、「計画」や「実施」といった各過程に必要な時数を検討することや、観察・実験を行うグループの適切な人数の再考などを行い、より具体的で完成度の高い指導過程へと発展させることが必要となる。

第3の課題は、本研究では個人で行う観察・実験のみを対象に調査を行っているため、他者との相互作用を考慮した調査方法の検討を行うことである。本研究において提案した指導過程においても、観察・実験はグループで行うものが中心である。グループにおける観察・実験では、必然的に状況に応じた役割分担が生じるため、メタ認知の柔軟な測定方法を開発する必要がある。

観察・実験を中心とした理科の学習をメタ認知的視点から分析し、学習指導過程へと応用していくためには、今後とも上述した様々な視点から研究を行い、これらの研究の成果を体系的に整理していくことが必要である。



引用·参考文献

- 秋田喜代美 (1991) 「メタ認知」『児童心理学の進歩 1991 年版』金子書房, pp.75-100.
- 安西祐一郎 (1985) 『問題解決の心理学』中央公論社, pp.84-126.
- Baird, J.R. & White, R.T. (1982). A case study of learning styles in biology. *European Journal of Science Education*, Vol.4, No.3, pp.325-337.
- Baird, J.R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition: a classroom study. *European Journal of Science Education*, Vol.8, No.3, pp.263-282.
- Baird, J.R. & Mitchell, I.J. (eds.)(1987). *Improving the Quality of Teaching and Learning: An Australian Case Study – the PEEL Project*. Monash University.
- Baird, J.R., Fensham, P.J., Gunstone, R.F., & White, R.T. (1991). The importance of reflection in improving science teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.28, No.2, pp.163-182.
- Borkowski, J.G., Chan, L.K. & Muthukrishna, N. (2000). A Process-Oriented Model of Metacognition: Links Between Motivation and Executive Functioning. In Schraw, G. & Impara, J.C. (eds.), *Issues in the Measurement of Metacognition*. Buros Institute of Mental Measurement, pp.1-41.
- ブラウン, A.L. (著)・湯川良三・石田裕久 (訳) (1984) 『メタ認知』サイエンス社.
- Brown, A.L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In Glaser, R. (ed.), *Advances in Instructional Psychology Vol.1*. LEA.
- Brown, A.L. & Campione, J.C. (1981). Inducing flexible thinking: The problem of access. In Friedman, M.P., Das, J.P. & O'Connor, N. (eds.), *Intelligence and Learning*. Plenum Press, pp.515-529.
- Brown, A.L., Bransford, J.D., Ferrara, R.A., & Campione, J.C. (1983). Learning, Remembering, and Understanding. In Flavell, J.H. and Markman, E.M. (eds.), *Handbook of Child Psychology Fourth Edition Vol.III Cognitive Development*. John Wiley & Sons, pp.77-166.

- Brown, A.L. (1987). Metacognition, Executive Control, Self-Regulation, and Other More Mysterious Mechanisms. In Weinert, F.E. & Kluwe, R.H. (eds.), *Metacognition, Motivation, and Understanding*. LEA, pp.65-116.
- Bruer, J.T. (1993). *Schools for thought: a science of learning in the classroom*. MIT Press.
- 森敏昭・松田文子 (監訳)『授業が変わる 認知心理学と教育実践が手を結ぶとき』北大路書房.
- Davidson, J.E. & Sternberg, R.J. (1998). Smart Problem Solving: How Metacognition Helps. In Hacker, D.J., Dunlosky, J. & Graesser, A.C. (eds.), *Metacognition in Educational Theory and Practice*. LEA, pp.47-68.
- デューイ, J. (著)・植田清次 (訳) (1950)『思考の方法』春秋社.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. D.C. Heath.
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive Aspects of Problem Solving. In Resnick, L.B. (ed.), *The Nature of Intelligence*. LEA, pp.231-235.
- フラベル, J.H. (著)・木下芳子 (訳) (1981)「メタ認知と認知的モニタリング」波多野誼余夫 (監訳)『現代児童心理学 3 子どもの知的発達』金子書房, pp.43-59.
- 後藤淳 (2001)「解体から原理を探る モノづくり例 \*モーターを解体しよう」『楽しい理科授業』Vol.33, No.423, pp.16-17.
- 萩島英毅・河田捷一・岡田孝雄・荒木勝雄・荒川忍・木村富美代 (1981)「てこのはたらき」武村重和・奥井智久 (編)『小学校理科指導細案 6年』明治図書, pp.178-200.
- 橋本庸 (1975)「主体的に問題を見出し、解決にたち向かう子どもたちを求めて」『問題解決の深化』初教出版, pp.12-18.
- Hanson, N.R. (1958). *Patterns of Discovery*. Cambridge University Press.
- 村上陽一郎 (訳)『科学的発見のパターン』講談社, p.41.
- 平原末男 (1974)「自主学習を伸ばすノート指導の機能」『自主学習を伸ばす理科ノート指導』明治図書, pp.7-32.
- Hodson, D. (1998). *Teaching and Learning Science*. Open University Press.
- 小川正賢 (監訳)『新しい理科教授学習論 子ども一人ひとりの見方・考え方を損なわずに科学を学ばせるには』東洋館.

- 堀哲夫・市川英貴（1997）「認知的方略の実態とその育成に関する研究—中学1年「音」の概念を事例にして—」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.37, No.3, pp.25-32.
- 堀哲夫・市川直貴・鈴木富美子・松本孝（1999）「コンセプトマップを用いた自己評価に関する研究—イオン概念の学習を中心にして—」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.39, No.3, pp.105-115.
- 市川英貴・戸北凱惟・堀哲夫（1995）「電流回路モデルによる中学生の認知的方略の育成」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.36, No.2, pp.21-31.
- 岩合一男（編）（1990）『数学教育におけるメタ認知にかかわる認識過程の総合的研究』平成元年度科学研究費補助金研究成果報告書.
- 岩崎秀樹・山口武志（1998）「メタ認知は教授・学習の成因か成果か—数学教育におけるメタ認知概念の拡張に関する考察—」『科学教育研究』Vol.22, No.4, pp.178-190.
- Jones, A.T. & Kirk, C.M. (1990). Introducing technological applications into the physics classroom: Help or hindrance to learning?. *International Journal of Science Education*. Vol.12, No.5, pp.481-490.
- 加藤久恵（1999）『数学的問題解決におけるメタ認知の機能とその育成に関する研究』広島大学学位論文.
- 神田功（1983）「たしかにとらえさせる「ノート」の指導技術」『よい授業を創る 理科教え方辞典』明治図書, pp.245-252.
- 岸野洋久（1992）『社会現象の統計学』朝倉書店.
- Kluwe, R.H.(1987). Executive Decisions and Regulation of Problem Solving Behavior. In Weinert, F.E. & Kluwe, R.H. (eds.), *Metacognition, Cognition, and Understanding*. LEA, pp.31-64.
- 河野晃（2001）「子どもを引き付ける楽しい実験アラカルト—不思議な水族館をつくろう—」『楽しい理科授業』Vol.33, No.414, pp.62-65.
- 牧野宇一郎（1964）『デューイ眞理観の研究』未来社.
- 松浦拓也（2000）「メタ認知的技能に影響を与える要因の検討」『日本教科教育学会全国大会論文集』.
- Manzano, V.U. (2000)『科学素養の生涯発達と社会的文脈の効果』平成 11・12 年度科学研究費補助金研究成果報告書.

- Miller, J.D. (1992). *LSAY Codebook*. Northern Illinois University.
- 文部省 (1998) 『小学校学習指導要領』大蔵省印刷局.
- 文部省 (1999) 『小学校学習指導要領解説理科編』東洋館.
- 茂呂雄二 (1999) 『具体性のヴィゴツキー』金子書房.
- National Research Council (ed.) (2000). *How People Learn -Expanded Edition-*. National Academy Press.
- 森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2002) 『授業を変える 認知心理学のさらなる挑戦』北大路書房.
- Nelson, T.O. & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition?. In Metcalfe, J. & Shimamura, A. P. (eds.), *Metacognition*. MIT Press, pp.1-25.
- 西岡正泰 (1992) 「理科授業における観察・実験の意義」日本理科教育学会 (編) 『理科教育学講座 第6巻 理科教材論 (上)』東洋館, pp.85-104.
- Novak, J.D., Gowin, D.B. & Johansen, G.T. (1983). The Use of Concept Mapping and Knowledge Vee Mapping with Junior High School Science Students. *Science Education*, Vol.67, No.5, pp.625-645.
- Novak, J.D. & Gowin, D.B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- 福岡敏行・弓野憲一 (監訳) (1992) 『子どもが学ぶ新しい学習法』東洋館.
- 岡本真彦 (1991) 「発達の要因としての知能及びメタ認知的知識が算数文章題の解決におよぼす影響」『発達心理学研究』Vol.2, No.2, pp.78-87.
- 岡本真彦 (1999) 「メタ認知と思考の自己制御」北尾倫彦 (編) 『自ら学び自ら考える力を育てる授業の実際』図書文化, pp.54-57.
- 奥村晴彦 (1986) 『パソコンによるデータ解析入門』技術評論社.
- Paris, S.G., Newman, R.S. & McVey, K.A. (1982). Learning the functional significance of mnemonic actions: a microgenetic study of strategy acquisition. *Journal of Experimental Child Psychology*, No.34, pp.490-509.
- Paris, S.G. & Winograd, P. (1990). How Metacognition can Promote Academic Learning and Instruction. In Jones, B.F. & Idol, L. (eds.), *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*. LEA, pp.17-18.

- Schwartz, B.L. & Perfect, T.J. (2002). Introduction: toward an applied metacognition. In Perfect, T.J. & Schwartz, B.L. (eds.), *Applied Metacognition*. Cambridge University Press, pp.1-11.
- Perkins, D.N. & Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound?. *Educational Researcher*. No.18, pp.16-25.
- Polya, G. (1945). *How to Solve It*. Princeton University.
- 柿内賢信 (訳) (1954) 『いかにして問題をとくか』 丸善.
- 里岡亜紀 (2000) 「目的意識を高めるための概念地図法の利用」『理科の教育』1月号, pp.25-27.
- 三宮真智子 (1993) 「集団思考の力を伸ばす」若き認知心理学者の会 (著) 『認知心理学者 教育を語る』北大路書房, pp.72-81.
- 三宮真智子 (1995) 「メタ認知を促すコミュニケーション演習の試み「討論編」—教育実習事前指導としての教育工学演習から—」『鳴門教育大学学校教育センター紀要』No.9, pp.53-61.
- 三宮真智子 (1996) 「思考におけるメタ認知と注意」市川伸一 (編) 『認知心理学4 思考』東京大学出版, pp.157-180.
- Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical Problem Solving*. Academic Press INC.
- Schoenfeld, A.H. (1992). Learning to Think Mathematically: Problem Solving, Metacognition, and Sense Making in Mathematics. In Grouws, D.A.(ed.). *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*. Macmillan, pp.334-370.
- Schraw, G. (2000). Assessing Metacognition: Implications of the BUROS Symposium. In Schraw, G. & Impara, J.C. (eds.), *Issues in the Measurement of Metacognition*. Buros Institute of Mental Measurements, pp.297-321.
- Schunk, D.H. (1996). *Learning Theories: An Educational Perspective 2nd ed.*. Merrill.
- 重松敬一 (1990) 「メタ認知と算数・数学教育—内なる教師の役割—」平林一榮先生頌寿記念出版会 (編) 『数学教育のパースペクティブ』聖文社, pp.76-105.

- 清水紀宏（1996）『数学的問題解決における方略的能力に関する研究』広島大学学位論文。
- 「新 観察・実験大辞典」編集委員会（編）（2002）「てこのつりあい」『新 観察・実験大辞典 [物理編] ①力学 エネルギー』東京書籍, pp.32-33.
- 「新 観察・実験大辞典」編集委員会（編）（2002）「モーターづくり」『新 観察・実験大辞典 [物理編] ③生活の物理 物づくり』東京書籍, p.61.
- Silver, E.A. (1985). Research on Teaching Mathematical Problem Solving: Some Underrepresented Themes and Needed Directions. In Silver, E.A. (ed.), *Teaching and Learning Mathematical Problem Solving*. LEA, pp.247-266.
- Sternberg, R.J. (1982). A Componential Approach to Intellectual Development. In Sternberg, R.J. (ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence Vol.1*. LEA, pp.413-463.
- 菅井啓之（2000）「上手な観察記録ノートづくりの指導」『楽しい理科教育』Vol.32, No.412, pp.32-34.
- 鈴木秀三郎・吉田豊（1981）「水溶液の性質」武村重和・奥井智久（編）『小学校理科指導細案 6年』明治図書, pp.34-57.
- 鈴木誠（1997）「理科教育における学習意欲の構造に関する研究（4）－児童や生徒の自己効力感、認知的方略のメタ認知、及び社会的関係性の発達的变化について－」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.38, No.1, pp.11-21.
- 鈴木誠（1999）「理科の学習場面における自己効力感、学習方略、学業成績に関する基礎的研究」『理科教育学研究』Vol.40, No.1, pp.11-23.
- 鈴木誠（2000）「理科の学習素材における自己選択効果と自己効力感に関する基礎的研究－メタ記憶能力からの一考察」『科学教育研究』Vol.24, No.1, pp.3-10.
- Swanson, H.L. (1990). Influence of metacognitive knowledge and aptitude on Problem Solving. *Journal of Educational Psychology*, Vol.82, No.2, pp.306-314.
- 田島信元（1993）「問題解決状況での他者の眼の役割」丸野俊一（編）『現代のエスプリ No.314 自己モニタリング』至文堂, pp.79-91.
- 辰野千壽（1970）『問題解決の心理学』金子書房, pp.3-16.

- 辰野千壽（1997）『学習方略の心理学－賢い学習者の育て方－』図書文化, p.13.
- 豊田秀樹（編）（1998）『共分散構造分析 [事例編]－構造方程式モデリング－』北大路書房.
- 豊田秀樹（1998）『共分散構造分析 [入門編]－構造方程式モデリング－』朝倉書店.
- 豊田秀樹（2000）『共分散構造分析 [応用編]－構造方程式モデリング－』朝倉書店.
- 植田一博・岡田猛（編著）（2000）『協同の知を探る』共立出版.
- White, R.T. (1988a). *Learning Science*. Basil Blackwell, pp.78-99.
- 堀哲夫・森本信也（訳）（1990）『子ども達は理科をいかに学習し教師はいかに教えるか 認知的アプローチによる授業論』東洋館.
- White, R.T. (1988b). Metacognition. In Keeves, J.P. (ed.), *Educational Research Methodology and Measurement: An International Handbook*. Pergamon Press, pp.70-75.
- 八杉龍一（1979）『科学とは何か』東京教学社, pp.127-132, 139-150.
- 山口悦司・稲垣成哲・野上智行（1997）「理科授業におけるインタラクションに関する研究：コンセプトマップを表現のリソースとして使用した協同的な学習を事例にして」『日本理科教育学会研究紀要』Vol.37, No.3, pp.1-13.
- 山本嘉一郎・小野寺孝義（編著）（1999）『Amosによる共分散構造分析と解析事例』ナカニシヤ出版.
- Yussen, S.R. (1985). The Role of Metacognition in Contemporary Theories of Cognitive Development. In Forrest-Pressly, D.L. et al.(eds.), *Metacognition, Cognition, and Human Performance; Vol.1 Theoretical Perspective*. Academic Press, pp.253-283.



付属資料

Appendix:A 質問紙(調査 I)

## アンケート

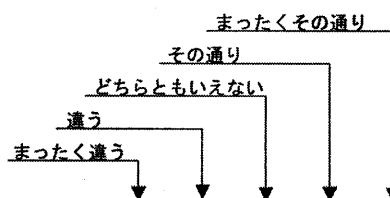
これは、テストではありません。あなたの成績にも一切関係ありません。ですから、素直に思うことを教えてください。ご協力、よろしくお願いいたします。

### 注意

1. 文章をよく読んで、もっともあてはまるものを、①②③・・・のうちから 1つ選び、番号に○をつけてください。
2. 回答は、この用紙に、直接、記入してください。

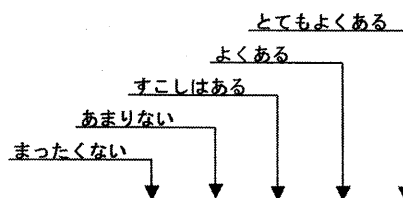
第1問 問題解決や、学習に対する考えについて、質問します。

問1 (1) ~ (3) に対して、あなたの考えはどうか。



- (1) 他の誰かの助けを借りずに、自分自身で物事を解決するのが好きである。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (2) 正しい答えが得られるまで、問題に取り組むのが好きである。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (3) 正しい答えが得られる前にあきらめるより、その問題を解こうと粘り強く挑戦する方が好きである。..... ① ② ③ ④ ⑤

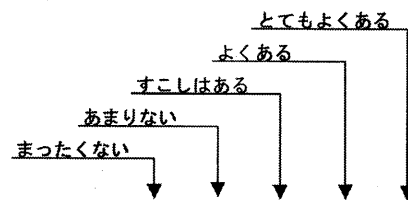
問2 問題に出会ったとき、(1) ~ (3) のようなことを、どのくらいしたことがありますか。



- (1) すじ道を立てて考えたり、多くの点からまとめて考えたりする。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (2) 表やグラフ、図を使って、数や量の関係を見る。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (3) 見つけたことを、ほかの問題にあてはめる。..... ① ② ③ ④ ⑤

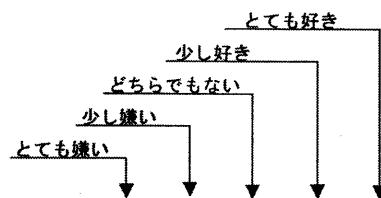
第2問 理科の学習について、質問します。

問1 理科の学習において、(1)～(2)のような経験を、どのくらいしたことがありますか。



- (1) 何を学習しているのか、よく分からない。…………… ① ② ③ ④ ⑤
- (2) 観察や実験の目的が、よく分からない。…………… ① ② ③ ④ ⑤

問2 理科の学習に関する(1)～(3)の項目に対して、どう思いますか。



- (1) 観察や実験の、予想やその理由を考えること。…………… ① ② ③ ④ ⑤
- (2) 観察や実験の、結果をまとめること。…………… ① ② ③ ④ ⑤
- (3) 観察や実験の結果をもとに、考察をすること。…………… ① ② ③ ④ ⑤

(ご協力ありがとうございました)

調査 I : 基礎集計表

設問番号	選択肢	A校			B校			C校			合計		
		度数	%	平均	度数	%	平均	度数	%	平均	度数	%	平均
1-1-1 (1)	1	1	2.6	3.38	1	4.5	3.14	2	2.8	3.00	4	3.0	3.14
	2	3	7.7		4	18.2		16	22.2		23	17.3	
	3	20	51.3		10	45.5		39	54.2		69	51.9	
	4	10	25.6		5	22.7		10	13.9		25	18.8	
	5	5	12.8		2	9.1		5	6.9		12	9.0	
1-1-2 (2)	1	1	2.6	3.21	1	4.5	2.82	7	9.7	2.75	9	6.8	2.89
	2	6	15.4		7	31.8		18	25.0		31	23.3	
	3	18	46.2		10	45.5		35	48.6		63	47.4	
	4	12	30.8		3	13.6		10	13.9		25	18.8	
	5	2	5.1		1	4.5		2	2.8		5	3.8	
1-1-3 (3)	1	3	7.7	3.10	2	9.5	2.71	9	12.7	2.72	14	10.7	2.83
	2	6	15.4		7	33.3		15	21.1		28	21.4	
	3	17	43.6		8	38.1		35	49.3		60	45.8	
	4	10	25.6		3	14.3		11	15.5		24	18.3	
	5	3	7.7		1	4.8		1	1.4		5	3.8	
1-2-1 (4)	1	1	2.6	2.90	3	13.6	2.36	15	21.1	2.17	19	14.4	2.42
	2	10	25.6		9	40.9		32	45.1		51	38.6	
	3	22	56.4		9	40.9		21	29.6		52	39.4	
	4	4	10.3		1	4.5		3	4.2		8	6.1	
	5	2	5.1		0	0.0		0	0.0		2	1.5	
1-2-2 (5)	1	3	7.7	2.72	3	13.6	2.50	19	26.8	2.15	25	18.9	2.38
	2	12	30.8		8	36.4		27	38.0		47	35.6	
	3	18	46.2		9	40.9		20	28.2		47	35.6	
	4	5	12.8		1	4.5		5	7.0		11	8.3	
	5	1	2.6		1	4.5		0	0.0		2	1.5	
1-2-3 (6)	1	3	7.7	3.10	5	22.7	2.45	18	25.4	2.32	26	19.7	2.58
	2	4	10.3		8	36.4		25	35.2		37	28.0	
	3	21	53.8		4	18.2		16	22.5		41	31.1	
	4	8	20.5		4	18.2		11	15.5		23	17.4	
	5	3	7.7		1	4.5		1	1.4		5	3.8	
2-1-1 (7)	1	1	2.6	2.90	5	22.7	2.09	6	8.5	2.55	12	9.1	2.58
	2	12	30.8		10	45.5		28	39.4		50	37.9	
	3	19	48.7		7	31.8		30	42.3		56	42.4	
	4	4	10.3		0	0.0		6	8.5		10	7.6	
	5	3	7.7		0	0.0		1	1.4		4	3.0	
2-1-2 (8)	1	1	2.6	2.90	2	9.1	2.32	8	11.3	2.56	11	8.3	2.62
	2	13	33.3		11	50.0		24	33.8		48	36.4	
	3	16	41.0		9	40.9		31	43.7		56	42.4	
	4	7	17.9		0	0.0		7	9.9		14	10.6	
	5	2	5.1		0	0.0		1	1.4		3	2.3	
2-2-1 (9)	1	7	17.9	2.41	0	0.0	2.82	21	29.6	2.28	28	21.2	2.41
	2	14	35.9		10	45.5		23	32.4		47	35.6	
	3	14	35.9		7	31.8		18	25.4		39	29.5	
	4	3	7.7		4	18.2		4	5.6		11	8.3	
	5	1	2.6		1	4.5		5	7.0		7	5.3	
2-2-2 (10)	1	4	10.3	2.74	1	4.5	3.00	18	25.0	2.43	23	17.3	2.62
	2	10	25.6		8	36.4		19	26.4		37	27.8	
	3	18	46.2		7	31.8		22	30.6		47	35.3	
	4	6	15.4		2	9.1		12	16.7		20	15.0	
	5	1	2.6		4	18.2		1	1.4		6	4.5	
2-2-3 (11)	1	6	15.4	2.67	2	9.1	2.64	21	29.6	2.18	29	22.0	2.40
	2	9	23.1		9	40.9		24	33.8		42	31.8	
	3	16	41.0		7	31.8		20	28.2		43	32.6	
	4	8	20.5		3	13.6		4	5.6		15	11.4	
	5	0	0.0		1	4.5		2	2.8		3	2.3	

Appendix: B 課題文(調査Ⅱ)

ミョウバンの結晶を作ってみよう

(固体を過飽和の溶液から取り出す方法による)

**[解説]** 溶液の温度が下がると、やがて飽和溶液の状態になる。さらに温度が下がると、溶解度を越える質量の分だけは固体となって析出するはずであるが、ごく静かに放置された場合はしばらく析出してこない。このように、一時的には飽和溶液よりも濃い状態になっている溶液を「過飽和溶液」という。過飽和溶液は不安定な状態であるので、さらに冷却したり、液をかくはんしたり、溶液の中に物を入れたり(種結晶を入れるなど)して、溶液にショックを与えると、余分な溶質はしだいに析出してくる。

ところで、溶質が析出してくるとき、その配列状態はそれぞれの物質によって決まっている。このため、溶質が析出して生じた固体は、規則的に整った多面体を示す。これが結晶である。

**[方法]**

I. 種結晶を作る。

- ① コップ半分くらいの水を暖め(約50℃)、これにミョウバンを溶かす。
- ② この溶液を皿に入れて放置冷却すると、1日くらいで小さな結晶ができる。糸でしばらくのうちに成長したら、取り出して乾燥させる。これを種結晶として、次のⅡの実験に用いる。

⇒ ①で溶かすミョウバンの量は、溶解度を参考にして考えること。  
種結晶の作り方は、この方法だけではないので、別の方法を調べて行っても良い。

Ⅱ. 結晶を成長させる。

- ① 鍋(できればホウロウ鍋または、加熱可能なガラス製の容器)に水をいれて暖め(約50℃)、これにミョウバンを溶かす。ミョウバンの量は水100cm<sup>3</sup>あたり20gくらいがよい(水の量と鍋の大きさのバランスに注意!)
- ② このミョウバン溶液を、びんに入れて放置冷却する。びんの大きさは、溶液の量を考えて選ぶこと。
- ③ 糸(釣り糸)で種結晶をしばり、溶液が室温くらいまで下がったら、静かに吊り下げる。

⇒ 種結晶を吊り下げたら、そのあとは溶液を動かしたり急に冷却したりしないようにすること。そのショックで、小さな結晶が容器の底や糸の途中にたくさんできてしまうことがある。

⇒ 溶液をよーくすかして見ると、結晶からもやのような流れが出ているのを見ることができる。これが結晶から上方に出ているときは結晶が成長中であり、下方に出ているときは結晶が溶けて小さくなっているところである。

## [レポートについて]

ただ結晶を作るのではなく、大きな結晶をつくる、きれいな結晶を作るなど自分の目標を決めて行なうこと。そして、このミョウバンの結晶作りをレポートにまとめて提出すること。レポート作成においては、目的・目標、どのような資料・本を調べたか、工夫したこと、失敗したこと、分かったことなどを分かりやすくまとめる。結晶のみの提出は認めません。

## [その他]

ミョウバンは、一人 30g ずつ配ります。足りない人は各自で購入してください。薬局などで購入できます。

ミョウバンの正式名称：硫酸アルミニウムカリウム ( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )

ミョウバンの水溶液：弱酸性

※基本的に無害です。もし目に入った時は、あわてずに流水でよく洗い流すこと。

説明にも書いていますが、各自で資料を集めて試行錯誤してください。失敗も大事なことです。どのように失敗して、どのように改良したかきちんと記録をとり、レポートにまとめましょう。

Appendix:C 質問紙1(調査Ⅲ)

## アンケート

これは、テストではありません。あなたの成績にも一切関係ありません。ですから、素直に思うことを答えてください。ご協力、よろしくお願いします。

### 注意

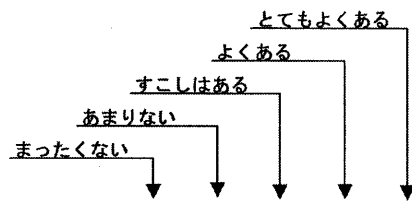
1. 文章をよく読んで、もっともあてはまるものを、①②③・・・のうちから1つ選び、番号に○をつけてください。
2. 回答は、この用紙に、直接、記入してください。

年 組 番 名前： \_\_\_\_\_



理科の学習について、質問します。

理科の観察や実験において、(1)～(10)のようなことを、どのくらいしたことがありますか。



- (1) 観察や実験を行う時、その目的を自分なりによく理解してから始める。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (2) 観察や実験を行う時、その方法や計画を自分なりによく考えてから始める。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (3) 観察や実験を行っている時、計画通りに操作ができていかどうか確認しながら操作をする。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (4) 観察や実験の操作が終わったら、計画通りに操作ができていたかどうかを確認する。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (5) 観察や実験の方法や計画に問題があった場合、改善方法を考えたり、計画を立て直したりする。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (6) 観察や実験が計画通りにできなかった時、もう一度操作をやり直す。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (7) 観察や実験を行っている時、今自分が何をしているのかを把握するように心がける。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (8) 観察や実験の結果をまとめる時、方法や計画に問題が無かったかどうかを検討する。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (9) 観察や実験の結果をまとめる時、目的が何だったかをよく考えながら考察する。..... ① ② ③ ④ ⑤
- (10) 観察や実験が終わった時、目的が達成できているかどうかを考える。..... ① ② ③ ④ ⑤

(ご協力ありがとうございました)

Appendix:D 質問紙2(調査Ⅲ)

## アンケート

これは、テストではありません。あなたの成績にも一切関係ありません。ですから、素直に思うことを答えてください。ご協力、よろしくお願いいたします。

### 注意

1. 文章をよく読んで、指示通りに回答してください。
2. 回答は、この用紙に、直接、記入してください。

年 組 番 名前 :

---

第1問 乾電池と豆電球をつないで、回路を作っています。

注：ここで使う豆電球はすべて同じものです。

- (1) 図1のように乾電池1つと豆電球1つをつなぐと、豆電球に明かりがつけました。この時、電流の向きはAとBのどちらですか。

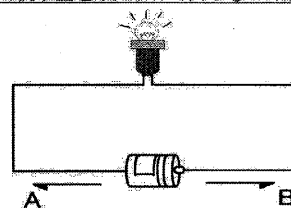
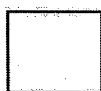
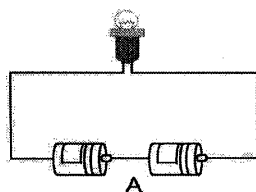
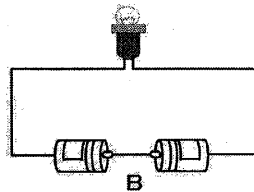


図1

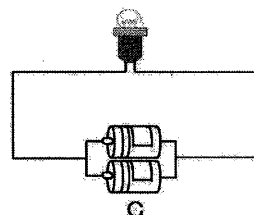
- (2) 以下の図のように、乾電池2つと豆電球1つをつないでA、B、Cの3種類の回路を作りました。図1の乾電池1つと豆電球1つをつないだ場合と比べて、豆電球の明るさが (i) つかない回路、(ii) ほとんど同じ回路、(iii) 明るくなる回路、をそれぞれA~Cの中から1つ選んで、その番号を口の中に入れてください。



A



B



C

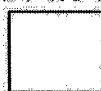
- (i) つかない回路



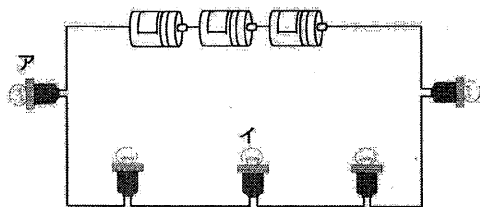
- (ii) ほとんど同じ回路



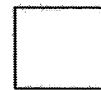
- (iii) 明るくなる回路



- (3) 次の配線図をみて、豆電球のつき方について、あなたの考えに近いものを下の①~③までの中から1つ選んで、その番号を口の中に入れてください。



- ①イの明るさは、アよりも明るい
- ②イの明るさは、アよりも暗い
- ③イの明るさは、アと同じ明るさ

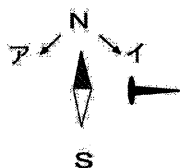
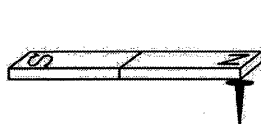


(4) 電流計を回路につなぐ時、どのようなつなぎ方をしたらよいですか。口の中に漢字二文字で書いてください。

(5) 3つの端子 (50mA、500mA、5A) を持つ電流計を回路につなぐ時、最初につないでみる端子を50mA、500mA、5Aの中から1つ選んで口の中に書いてください  
(※ mA: ミリアンペア、A: アンペア)

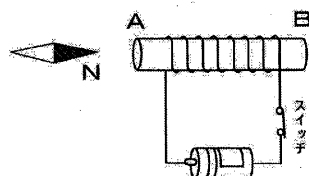
**第2問 磁石や電磁石の性質を調べています。**

(1) 下の図のように、磁石のN極にしばらくつけておいた鉄くぎを磁石から離し、方位磁針に近づけたら、方位磁針のN極はどのようになりますか。あなたの考えに近いものを下の①～③までの中から1つ選んで、その番号を口の中に書いてください。



- ①アの方へ動く
- ②イの方へ動く
- ③動かない

(2) 下の図は、電磁石の片側に方位磁針を近づけた時のようすを表しています。



(選択肢)

- ①N極になっている
- ②S極になっている
- ③N極、S極とはきまらない
- ④極はできない

i) 図中の乾電池の向きを逆にした時、Aの側はどうなっていますか。選択肢①～④までの中から1つ選んで、その番号を口の中に書いてください。

ii) 図の状態からスイッチを切った時、Aの側はどうなっていますか。選択肢①～④までの中から1つ選んで、その番号を口の中に書いてください。

(ご協力ありがとうございました)

調查Ⅲ：基礎集計表1

		Class1		Class2		Class3		Class4		Total	
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
M1	1	5	13.5	5	13.9	5	13.5	3	7.9	18	12.2
	2	11	29.7	17	47.2	12	32.4	9	23.7	49	33.1
	3	13	35.1	10	27.8	11	29.7	20	52.6	54	36.5
	4	7	18.9	2	5.6	8	21.6	4	10.5	21	14.2
	5	1	2.7	2	5.6	1	2.7	2	5.3	6	4.1
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M2	1	5	13.5	6	16.7	4	10.8	4	10.5	19	12.8
	2	10	27.0	10	27.8	10	27.0	12	31.6	42	28.4
	3	16	43.2	12	33.3	14	37.8	12	31.6	54	36.5
	4	3	8.1	6	16.7	8	21.6	9	23.7	26	17.6
	5	3	8.1	2	5.6	1	2.7	1	2.6	7	4.7
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M3	1	1	2.7	4	11.1	3	8.1	1	2.6	9	6.1
	2	6	16.2	3	8.3	6	16.2	4	10.5	19	12.8
	3	13	35.1	15	41.7	9	24.3	13	34.2	50	33.8
	4	13	35.1	7	19.4	15	40.5	15	39.5	50	33.8
	5	4	10.8	7	19.4	4	10.8	5	13.2	20	13.5
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M4	1	3	8.1	7	19.4	5	13.5	6	15.8	21	14.2
	2	15	40.5	11	30.6	12	32.4	12	31.6	50	33.8
	3	10	27.0	8	22.2	12	32.4	10	26.3	40	27.0
	4	8	21.6	5	13.9	5	13.5	9	23.7	27	18.2
	5	1	2.7	5	13.9	3	8.1	1	2.6	10	6.8
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M5	1	6	16.2	12	33.3	4	10.8	10	26.3	32	21.6
	2	17	45.9	9	25.0	11	29.7	12	31.6	49	33.1
	3	8	21.6	11	30.6	14	37.8	8	21.1	41	27.7
	4	5	13.5	4	11.1	7	18.9	5	13.2	21	14.2
	5	1	2.7	0	0.0	1	2.7	3	7.9	5	3.4
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M6	1	5	13.5	5	13.9	6	16.2	8	21.1	24	16.2
	2	10	27.0	10	27.8	9	24.3	9	23.7	38	25.7
	3	13	35.1	11	30.6	12	32.4	9	23.7	45	30.4
	4	8	21.6	6	16.7	6	16.2	9	23.7	29	19.6
	5	1	2.7	4	11.1	4	10.8	3	7.9	12	8.1
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M7	1	2	5.4	7	19.4	2	5.4	4	10.5	15	10.1
	2	9	24.3	4	11.1	9	24.3	12	31.6	34	23.0
	3	11	29.7	9	25.0	13	35.1	10	26.3	43	29.1
	4	13	35.1	9	25.0	11	29.7	9	23.7	42	28.4
	5	2	5.4	7	19.4	2	5.4	3	7.9	14	9.5
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M8	1	5	13.5	6	16.7	4	10.8	4	10.5	19	12.8
	2	16	43.2	13	36.1	16	43.2	17	44.7	62	41.9
	3	13	35.1	10	27.8	11	29.7	8	21.1	42	28.4
	4	2	5.4	6	16.7	5	13.5	6	15.8	19	12.8
	5	1	2.7	1	2.8	1	2.7	3	7.9	6	4.1
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M9	1	4	10.8	6	16.7	4	10.8	2	5.3	16	10.8
	2	12	32.4	11	30.6	9	24.3	9	23.7	41	27.7
	3	14	37.8	10	27.8	11	29.7	15	39.5	50	33.8
	4	6	16.2	9	25.0	11	29.7	10	26.3	36	24.3
	5	1	2.7	0	0.0	2	5.4	2	5.3	5	3.4
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0
M10	1	5	13.5	3	8.3	4	10.8	3	7.9	15	10.1
	2	9	24.3	10	27.8	8	21.6	9	23.7	36	24.3
	3	12	32.4	6	16.7	12	32.4	12	31.6	42	28.4
	4	7	18.9	9	25.0	12	32.4	11	28.9	39	26.4
	5	4	10.8	8	22.2	1	2.7	3	7.9	16	10.8
	合計	37	100.0	36	100.0	37	100.0	38	100.0	148	100.0

調査Ⅲ：基礎集計表2

		Class1			Class2			Class3			Class4			Total		
		N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
メ タ 認 知 的 技 能	M1	37	2.68	1.03	36	2.42	1.00	37	2.68	1.06	38	2.82	0.93	148	2.65	1.00
	M2	37	2.70	1.08	36	2.67	1.12	37	2.78	1.00	38	2.76	1.02	148	2.73	1.05
	M3	37	3.35	0.98	36	3.28	1.21	37	3.30	1.13	38	3.50	0.95	148	3.36	1.06
	M4	37	2.70	1.00	36	2.72	1.32	37	2.70	1.13	38	2.66	1.10	148	2.70	1.13
	M5	37	2.41	1.01	36	2.19	1.04	37	2.73	0.99	38	2.45	1.25	148	2.45	1.08
	M6	37	2.73	1.04	36	2.83	1.21	37	2.81	1.22	38	2.74	1.27	148	2.78	1.18
	M7	37	3.11	1.02	36	3.14	1.40	37	3.05	1.00	38	2.87	1.14	148	3.04	1.14
	M8	37	2.41	0.90	36	2.53	1.06	37	2.54	0.96	38	2.66	1.12	148	2.53	1.01
	M9	37	2.68	0.97	36	2.61	1.05	37	2.95	1.10	38	3.03	0.97	148	2.82	1.03
	M10	37	2.89	1.20	36	3.25	1.32	37	2.95	1.05	38	3.05	1.09	148	3.03	1.16
知 識 ・ 理 解	A1_1	37	0.92	0.28	36	0.86	0.35	37	0.92	0.28	38	0.97	0.16	148	0.92	0.27
	A1_2_1	37	0.92	0.28	36	0.86	0.35	37	0.81	0.40	38	1.00	0.00	148	0.90	0.30
	A1_2_2	37	0.54	0.51	36	0.53	0.51	37	0.51	0.51	38	0.66	0.48	148	0.56	0.50
	A1_2_3	37	0.57	0.50	36	0.58	0.50	37	0.49	0.51	38	0.66	0.48	148	0.57	0.50
	A1_3	36	0.36	0.49	36	0.39	0.49	37	0.54	0.51	38	0.55	0.50	147	0.46	0.50
	A1_4	37	0.32	0.47	36	0.31	0.47	37	0.24	0.43	38	0.34	0.48	148	0.30	0.46
	A1_5	37	0.22	0.42	36	0.22	0.42	37	0.38	0.49	38	0.39	0.50	148	0.30	0.46
	A2_1	37	0.54	0.51	36	0.50	0.51	37	0.65	0.48	38	0.42	0.50	148	0.53	0.50
	A2_2_1	37	0.41	0.50	36	0.47	0.51	37	0.49	0.51	38	0.50	0.51	148	0.47	0.50
	A2_2_1	37	0.78	0.42	36	0.67	0.48	37	0.54	0.51	38	0.79	0.41	148	0.70	0.46
	A_Total	36	5.56	1.87	36	5.39	2.13	37	5.57	1.99	38	6.29	1.71	147	5.71	1.94

謝 辭

## 謝 辞

本論文の作成にあたっては、角屋重樹教授に終始多くの指導を賜ったことをここに深く感謝いたします。また、中原忠男教授、森敏昭教授、池田秀雄教授、退官された落合洋教授には副審査委員として数多くの助言を頂きました。深く感謝いたします。

さらに、本研究の調査においては、小学校や中学校の先生方をはじめ、多くの子ども達の協力を得た。貴重な時間を割いて協力して頂いたことに感謝します。

最後に、学会発表から論文作成まで様々な支援を頂いた科学教育方法学研究室の仲間をはじめ、自然システム教育学講座の皆様に深く感謝いたします。