

# 学 位 論 文

メタ認知を育成する理科学習指導に関する実践的研究  
－高等学校化学領域の観察・実験活動に着目して－

広島大学大学院教育学研究科 学習開発専攻

草 場 実

# 一 目 次 一

<b>第1章</b>	高等学校理科の観察・実験活動におけるメタ認知研究の意義	1
<b>第1節</b>	本研究の背景	2
<b>第2節</b>	本研究におけるメタ認知とメタ認知活性化の定義	3
<b>第3節</b>	理科教育におけるメタ認知研究の現状と課題	8
<b>第4節</b>	本研究の目的	11
<b>第2章</b>	観察・実験活動における高校生のメタ認知の実態に関する調査研究（研究1）	12
<b>第1節</b>	目 的	13
<b>第2節</b>	方 法	14
<b>第3節</b>	結 果	17
<b>第4節</b>	考 察	21
<b>第3章</b>	メタ認知を活性化する学習指導が高校生の理科学習に及ぼす効果	24
<b>第1節</b>	メタ認知を活性化する観察・実験活動が科学的知識の理解に及ぼす効果 —高等学校化学「混合物の分離・同定」を事例として—（研究2）	25
<b>第1項</b>	目 的	25
<b>第2項</b>	方 法	26
<b>第3項</b>	結 果	33
<b>第4項</b>	考 察	38
<b>第2節</b>	メタ認知を活性化する観察・実験活動が科学的知識の定着に及ぼす効果 —高等学校化学「中和滴定」を事例として—（研究3）	41
<b>第1項</b>	目 的	41
<b>第2項</b>	方 法	41
<b>第3項</b>	結 果	48
<b>第4項</b>	考 察	52

第3節	メタ認知を活性化する観察・実験活動が実験観の変容に及ぼす効果 －高等学校化学「化学反応と量的関係」を事例として－（研究4）	56
第1項	目的	56
第2項	方法	57
第3項	結果	66
第4項	考察	72
第4章	本研究の総括と今後の課題	75
第1節	本研究の成果	76
第2節	総合的考察と教育的意義	77
第3節	残された課題	78
引用・参考文献		80
付属資料		87
謝辞		

## 第 1 章 高等学校理科の観察・実験活動におけるメタ認知研究の意義

## 第1節 本研究の背景

文部科学省（2010）は、OECD（経済協力開発機構）による PISA 調査などの各種国際学習調査から、日本の児童・生徒は、思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式問題、知識・技能を活用することに課題があることを指摘している。そして、このような課題の改善に向けて、今回の高等学校理科の学習指導要領改訂では、科学的な思考力・判断力・表現力の育成や、その土台となる科学的原理・法則に関する知識の理解と定着を目的として、観察・実験活動を充実させることを基本方針としている。しかし、中等理科教育に関わるあらゆる文脈の中で、高等学校の理科授業における観察・実験活動の重要性については指摘されつつも、高校生の「理科嫌い」や「理科離れ」、さらには「理工系大学への進学者の減少」の問題が深刻化しているのが現状である（松原，2001；村上，2005，2007；笹尾，2005，2007；市村，2006；槌間，2007）。このような状況の中で、私たちは、高等学校理科の観察・実験活動において、どのような学習指導を志向すべきかについてもっと活発に議論していく必要がある。

観察・実験活動は、情報の収集、仮説やモデルの設定、実験方法の計画、実験計画に基づく具体的な操作・作業、実験による検証、さらには、実験データからの科学的な原理・法則の導出といった、体験的な学習活動である（文部科学省，2010）。その主な目的は、このような学習活動を通して、生徒の科学に対する興味・関心、意欲を高め、科学的原理・法則に関する知識を理解させ、科学的な思考力・判断力・表現力を高め、さらには、身近な自然の事物・現象について、生徒が主体となって問題を見だし解決するといった問題解決能力を育成することである（例えば、利安，2001；角屋，2006；小林，2006）。

では、高等学校理科の観察・実験活動において、どのような学習指導を行えば、高校生の問題解決能力を効果的に育成することができるであろうか。本研究では、Flavell（1971，1976）によって概念化された「メタ認知」

という認知活動に着目することにした。

## 第2節 本研究におけるメタ認知とメタ認知活性化の定義

### 2.1. 本研究におけるメタ認知の概念定義

メタ認知という概念は、幼児がなぜ記憶方略を使用するようになるのかということを説明する概念として、Flavell (1971) によって最初に用いられた。しかし、メタ認知の概念定義には、未だ不明確な部分が残っていることも指摘されている（例えば、三宮，1996）。

Wellman (1983) は、メタ認知の最も包括的で幅広い概念定義として、①認知過程に関する知識、②自己の認知状態やその過程の評価、③認知過程や方略の制御、④認知活動に関連した感情的評価の四つが含まれているとしている。

また、三宮 (1996) は、メタ認知が「認知についての知識」といった知識的側面と、「認知のプロセスや状態のモニタリングやコントロール」といった活動的側面とに大きく分かれるという点で、研究者間でほぼ一致を見ることを示している。そして、メタ認知的知識とは、自分自身あるいは他者に固有の認知傾向、課題の性質が認知に及ぼす影響、あるいは方略の有効性に関する知識であるとし、一方、メタ認知的活動とは認知プロセスや状態のモニタリング、コントロール、あるいは調整を実際に行うことであるとして、メタ認知の概念を整理している（**図 1-1**）。

また、岡本 (1999) は、多くの研究者がメタ認知の概念定義に含めている部分をまとめて、メタ認知とは、「メタ認知的知識とよばれる人の認知活動に関する知識と、メタ認知的制御とよばれる認知活動を統制する過程のことを指しており、このメタ認知的知識とメタ認知的制御が相互に関連し合いながら認知活動を統制する過程である」と定義している。

ところで、高等学校理科の観察・実験活動において、「中和滴定の実験では、中和点を過ぎないように何度も点検しながら、標定した水酸化ナト

リウム水溶液を滴下しよう」,「炭酸カルシウムと塩酸を化学反応させて,化学反応式における係数比と物質質量比が同じになることを検証する実験を計画しよう」といった場面が見られる。これらの観察・実験活動の場面では,まさに,認知活動を統制する認知活動が働いており,観察・実験活動にはメタ認知が大きく関わっていることが推測される。

本研究では,メタ認知の概念定義に関する先行研究 (Flavell, 1976; Brown & Campione, 1981; Brown, 1987; Nelson & Narens, 1994; 三宮, 1996; 岡本, 1999; 松浦, 2001; 木下・松浦・角屋, 2005; 平嶋, 2006) に基づき,「メタ認知的知識とよばれる人の認知過程についての知識と,メタ認知的活動とよばれる認知活動を統制する過程」とを区別し,メタ認知を後者の過程,すなわち「認知を観察 (monitoring) ※<sup>1</sup>および制御 (control) ※<sup>1</sup>の対象とした認知」と捉えることにした。

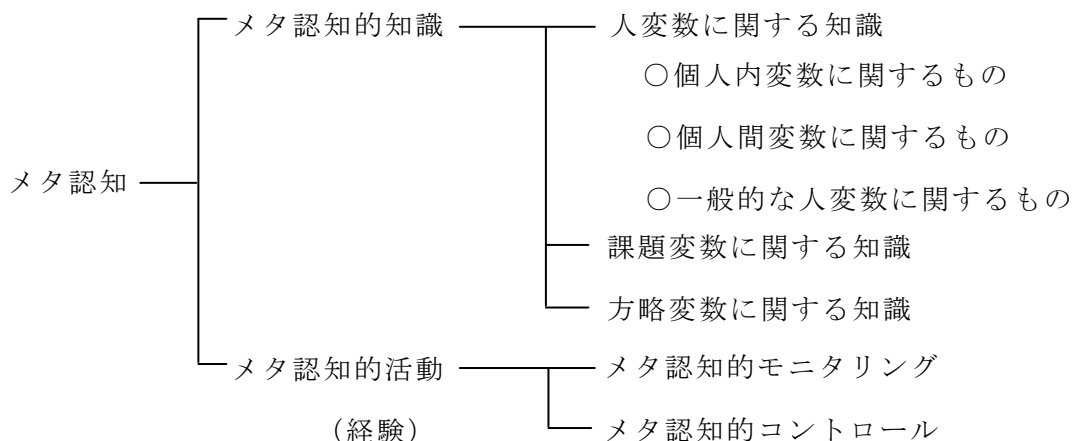


図 1-1 メタ認知概念の内容 (三宮, 1996)

※<sup>1</sup> 観察は「メタ認知的モニタリング」や「モニタリング」,制御は「メタ認知的コントロール」や「コントロール」といった表現がなされる場合が多いが,本稿では平嶋 (2006) を参考に,「観察」と「制御」という表現を用いることにした。

## 2.2. 本研究におけるメタ認知活性化の概念定義

三宮（1995）は、Nelson & Narens（1994）のメタ認知のモデルを基に、メタ認知的活動についてモデルを作成した（図 1-2）。Nelson & Narens によれば、メタ認知的モニタリング（観察）とはメタレベル（meta-level）が、対象レベル（object-level）から情報を得ることであるとし、メタ認知的コントロール（制御）とは、メタレベルが対象レベルを修正することであるとしている。また、観察には、認知を対象とした「気づき（awareness）」、「感覚（feeling）」、「予想（prediction）」、「点検（checking）」、「評価（assessment）」といった認知活動が含まれ、一方、制御には、認知を対象とした「目標設定（goal setting）」、「計画（planning）」、「修正（revision）」といった認知活動が含まれとしている。

また、平嶋（2006）は、メタ認知を、認知を「観察」と「制御」の対象とした認知として位置づけており、三宮と同様に、Nelson & Narens のメタ認知のモデルを基に、メタ認知活性化の方法について提案している（図 1-3）。ここで、観察や制御の対象となる認知とは、具体的に、思考や推論といった認知活動そのものや、認知活動の産物としての知識や記憶などを指す<sup>\*2</sup>。このモデルによれば、観察と制御を活性化することが、メタ認知を活性化することになるとしている。しかし、一方で、観察と制御の活性化の困難性も指摘している。具体的に、観察が活性化されにくいのは“観察”そのものが困難であるからとし、制御が活性化されにくいのは、制御の必要性やその効果が分かりにくいからであるとしている。よって、観察しやすくすることがメタ認知の活性化の達成につながり、また、制御の必要性やその効果を分かりやすくすることがメタ認知の活性化の達成につながるとしている。そして、そのための具体的な支援方法として、①リフレクション（reflection）の支援、②自己説明（self-explanation）の支援、③外化（externalization）の支援を挙げている。

①リフレクションの支援は、外発的にメタ認知の観察対象を可視化する方法として“観察の支援”として位置づけられている。また、自己説明と



は知識などを評価し、その妥当性を判断することを求める課題であり、②自己説明の支援は、制御を課題化する方法として“制御の支援”として位置づけられている。さらに、③外化の支援は、認知を「外化すること自体」と「外化された結果」に分けたうえで、「外化すること自体」は、自身の知識や記憶などのある種の記法に合わせて外界において表現する課題であり、その対象となる知識などの評価と再構成を伴うものと捉え、制御を課題化する方法として“制御の支援”として位置づけられている。一方、「外化された結果」の利用は、観察対象の可視化としての意義をもっており、“観察の支援”として位置づけられている。

本研究では、三宮（1995）と平嶋（2006）の先行研究を基に、メタ認知活性化を、リフレクション支援、自己説明支援、あるいは外化支援などによって、観察対象の可視化、および課題の制御化が達成されることで、「科学的な思考や推論といった認知活動そのものや、認知活動の産物である科学的な知識や推論などの観察や制御を活性化させること」とした。具体的に、認知の観察は、認知を対象とした気づき（例：この実験方法の意味が理解できていない）、感覚（例：実験の目的がなんとなく分かってきた）、予想（例：この実験計画であれば課題が解決できそう）、点検（例：実験データの解釈はこれでいいのか）、評価（例：実験の仮説が検証できた）といった認知活動を促進することで活性化されることにした。また、認知の制御は、認知を対象とした目標設定（例：一つひとつの実験手続きを完璧に理解しよう）、計画（例：まず試薬の調整からはじめよう）、修正（例：この実験計画ではだめだから、別の方法を考えよう）といった認知活動を促進することで活性化されることにした。

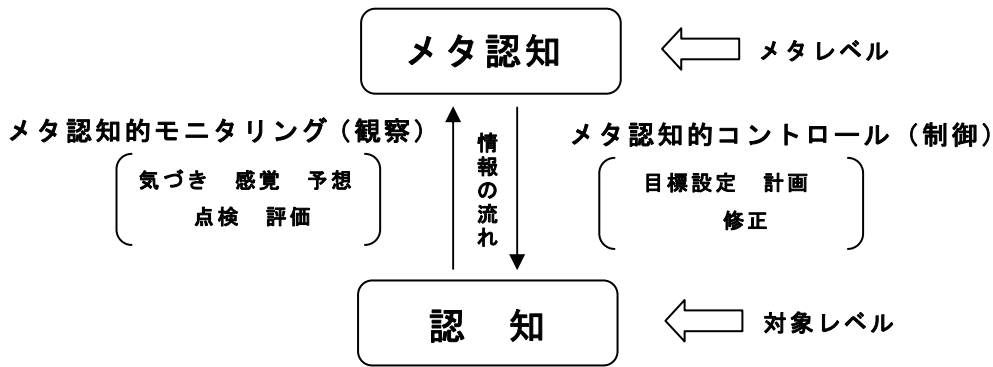


図 1-2 メタ認知的活動のモデル (三宮, 1995)

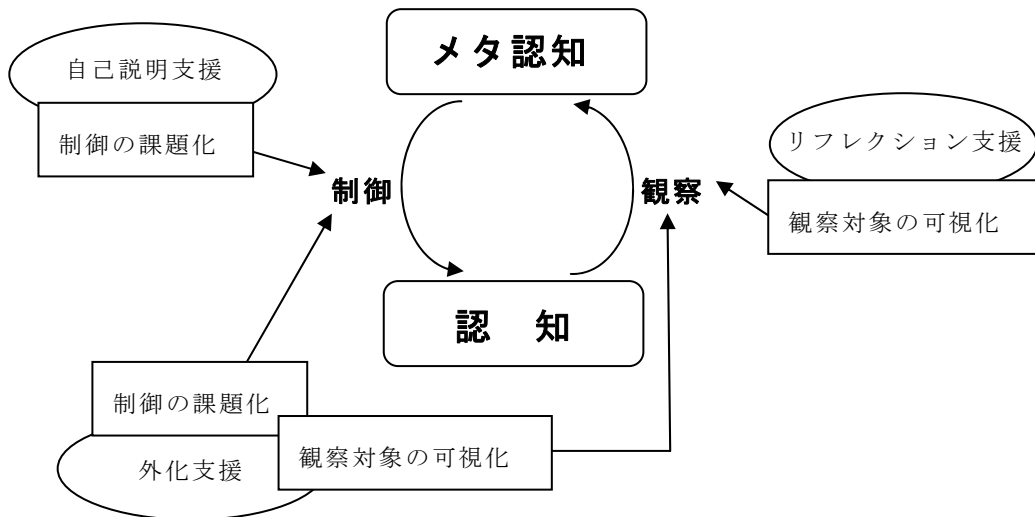


図 1-3 メタ認知のモデルとメタ認知活性化方法の位置づけ (平嶋, 2006)

\*2 平嶋 (2006) は、このモデルの認知とは、思考や推論といった認知活動自体や、認知活動の産物である知識や記憶などであるとしている。よって、本研究では、認知とは科学的な思考や推論といった認知活動自体や、科学的な知識や記憶などといった認知活動の産物とする。また、観察による「認知」→「メタ認知」への流れは、“科学的な思考・推論、知識・記憶など”に関する情報であり、制御による「メタ認知」→「認知」への流れは、観察した情報によって“科学的な思考・推論、知識・記憶など”を制御するための情報であることにする。

## 第3節 理科教育におけるメタ認知研究の現状と課題

### 3.1. 教科教育におけるメタ認知研究

最近のメタ認知研究は、認知心理学の領域における概念定義やその機能に関するものよりも、教授や学習プログラムの開発に関する実際的な教授・学習場面の文脈において、メタ認知を活用していこうとするものが増加している（例えば、三宮，1996；岡本，2002）。これは、メタ認知が教授・学習場面において重要な意味があると考えられているからである。

例えば、算数・数学教育において、岡本（1992）は、小学校5年生の算数を対象に、刺激再生インタビュー法を用いて、児童が文章題を解いている時に、自分自身の問題解決活動をメタ認知的に制御しているかどうかを調べた。その結果、同じ5年生の児童でも、算数の成績が高い子どもの方が、成績の低い子どもよりもメタ認知的な制御を行っていることを明らかにしている。また、Schoenfeld（1985）は、問題解決活動をメタ認知的な視点から分析しており、岩崎・山口（1998）は、問題解決の文脈において、メタ認知を問題解決に行き詰った子どもの「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捉えている。

また、高等学校英語において、伊藤・大和（2005）は、高校生を対象に、計画・準備、モニタリング（観察）、振り返り、評価といったメタ認知的活動を取り入れた授業を実践したところ、「時制」に関する言語知識の習得に効果があったことを明らかにしている。

これらの先行研究は、学校教育における教科教育の文脈において、メタ認知の育成を目的とした学習指導が、児童・生徒の学習に効果があることを示唆しているものである。

### 3.2. 理科教育におけるメタ認知研究

理科教育においても教授・学習場面におけるメタ認知の重要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。

Braidらは (Braid & White, 1982 ; Braid, 1986 ; Braid, et al., 1991), 子どもたちに学習を自分自身で制御する能力が身につけば, メタ認知が高まることを明らかにしている。一方で, 子どもたち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が困難であることも示唆している。また, 手塚・片平 (2003) は, 中学生を対象として, メタ認知的な能力がイオン概念の獲得に有効な影響を及ぼしていることを実践的に明らかにしている。また, 鈴木 (1997) は, 小学生・中学生・高校生を対象として, 認知的方略のメタ認知が, 自己効力感の重要な下位概念であることを調査的に明らかにしている。さらに, 鈴木 (1997) は, 理科学習における自己効力感と認知的方略のメタ認知との間に比較的強い相関があること, さらに, 小学生・中学生・高校生を対象として, 理科学習における認知的方略のメタ認知が, 学年が進むにつれて低下することを調査的に明らかにしている。

特に, 観察・実験活動に着目したメタ認知に関する研究として, 松浦 (2001) が挙げられる。松浦は, 中学生に結晶作成課題を与え, その課題作成の結果に及ぼす要因構造についてメタ認知の視点から実践的に明らかにしている。さらに, 松浦 (2002) は, 中学生に電磁石作成課題を与え, その課題作成の結果とメタ認知活動の関係について検討し, 課題に成功する生徒は, 課題に成功しない生徒よりも, 「やり直し (実験計画との対応, 操作ミスの検討)」, 「予想 (結果の検証, 修正方法の考案)」, 「まとめ (実験の目的と, 予想との対応)」といったメタ認知的活動が高くなることを実践的に明らかにしている。そして, 松浦・柳江 (2009) は, 観察・実験活動における協同的な発話場面の分析を通して, メタ認知が機能されると, 課題に対する吟味・検討といった論証フェーズが生成されることを実践的に明らかにしている。また, 木下ら (2005, 2007a, 2007b) は, 小学生と中学生を対象として, 観察・実験活動におけるメタ認知の下位概念を抽出し, その因果構造を調査的に明らかにしている。その結果, 小学生・中学生ともに, 観察・実験活動におけるメタ認知には, 「自分自身によるメタ

認知」と「他者との関わりによるメタ認知」という二つの因子が抽出された。さらに、その結果をもとに、メタ認知を育成する学習指導法を開発し、小学5年生を対象として、「ものの溶け方」を事例に、その効果について実践的に検討している。

ところで、角屋・木下・佐伯（2007）は、小学校・中学校の理科担当教師を対象として、観察・実験活動によって育成される力の因子構造を調査的に検討したところ、中学校の理科担当教師において、「科学的な原理・法則の理解」因子が抽出された。よって、特に中学校の理科担当教師は、観察・実験活動を通して、生徒に科学的原理・法則に関する知識を理解させることを大きな学習目標としていることが推測される。しかし、観察・実験活動に着目した一連のメタ認知研究では、観察・実験活動におけるメタ認知の機能の検討や、観察・実験活動を通じたメタ認知育成の実践を主たる目的としているため、メタ認知の育成が、例えば、観察・実験活動の学習目標である、生徒の科学的原理・法則に関する知識の理解や定着、さらには科学的な思考力・判断力・表現力等の育成といった理科学習に及ぼす効果については十分に検討できていない。

さらに、高等学校理科の観察・実験活動に焦点をあてたメタ認知研究は皆無に等しい。その理由の一つは、臼井・松原・堀（2003）が指摘するように、高等学校は、小学校・中学校と比べて、学習動機や学業成績といった様々な差異が学校間に存在するために、教育学的研究によって得られる研究成果の一般化が困難であることが考えられる。また、鈴木（2002）は、伝統的な進学校の理系コースに在学する生徒は、教育困難校に在学する生徒に比べて、自己効力感を構成する様々な下位概念の得点平均値が高いことを明らかにしており、このことは、臼井らの指摘を裏付けているものである。

しかし、これまで概観してきたように、学校教育における教授・学習場面において、児童・生徒のメタ認知の有用性が示されている中で、高等学校理科の観察・実験活動の文脈において、メタ認知を育成するための学習

指導法の開発や、その学習効果の実践的な検討を行うことが必要である。

#### 第4節 本研究の目的

本研究は、高等学校理科、特に化学領域の観察・実験活動に着目して、メタ認知を育成する学習指導法を開発し、その学習効果について実践的に検討することを目的とする。

研究は、高校生のメタ認知に関する調査研究と実践研究の二つで構成されている。前者では、前節まで概観したメタ認知に関する先行研究を基に、高等学校理科の観察・実験活動における高校生のメタ認知の実態について調査的に明らかにする。さらに、その結果から、メタ認知を活性化させる学習指導法を開発する。本稿における第2章がそれに該当する。後者では、開発した学習指導（独立変数）が、高校生の科学的な思考力・判断力・表現力の土台となる、科学的原理・法則に関する知識の理解や定着、さらには、観察・実験活動に対する考え方や行動（以下、「実験観」と表現する）の変容に及ぼす効果について実践的に検討する。本稿では、従属（目標）変数として、科学的知識の理解を対象としたものが第3章の第1節、科学的知識の定着を対象としたものが第3章の第2節、実験観の変容を対象としたものが第3章の第3節にそれぞれ該当する。本稿は、これらの研究を通して、高等学校理科の観察・実験活動におけるメタ認知の育成の意義を明らかにしようとするものである。

## 第 2 章 観察・実験活動における高校生のメタ認知の実態に関する調査研究(研究 1)

## 第1節 目的

### 1.1. 問題の所在

三宮(1995)は、Nelsonら(1994)の先行研究をもとに、メタ認知を「認知についての知識」というメタ認知的知識と、「認知のプロセスや状態の観察(気づき、感覚、予想、点検、評価)および制御(目標設定、計画、修正)」というメタ認知的活動に分類している。特に、メタ認知的活動を高等学校理科(化学領域)の観察・実験活動の文脈に応用するならば、例えば、「中和滴定の実験では、中和点を過ぎないように何度も点検しながら、水酸化ナトリウム標準水溶液を滴下しよう」、「クロマトグラフィーで光合成色素を分析するために、それぞれの色素の  $R_f$  値を調べるための実験を計画しよう」といった場面がある。このように、科学的な思考や推論といった認知活動そのものや、認知活動の産物である科学的な知識や記憶などを対象とした観察や制御を活性化する認知活動が見られるであろう。よって、観察・実験活動とメタ認知は深く関連していると考えられる。

観察・実験活動におけるメタ認知に関する研究として、松浦(2001)は、中学校理科における観察・実験活動を、問題解決過程として位置づけ、メタ認知の視点から、問題解決の結果に及ぼす要因構造を明らかにしている。また、木下ら(2005, 2007a)は、メタ認知を、観察・実験活動において育成する問題解決能力の重要な要素として捉え、小学校理科と中学校理科での観察・実験活動で、メタ認知を高める学習指導法を開発するために、小学生・中学生を対象とした質問紙調査を行った。その結果、①小学生・中学生ともに、観察・実験活動において、「自分自身によるメタ認知」と、友人や教師といった「他者との関わりによるメタ認知」の二つの因子が抽出されたこと、②「自分自身によるメタ認知」は、仮説やモデルの設定・実験方法を計画するといった場面(以下、「実験前」とする)や実験結果から科学的原理・法則を導出する場面(以下、「実験後」とする)よりも、具体的な操作や作業を行っている場面(以下、「実験中」とする)におい



で働いていること，③「他者との関わりによるメタ認知」は，実験中や実験後よりも，実験前において働いていることを調査的に明らかにした。

このように，小学校理科や中学校理科では，観察・実験活動におけるメタ認知に関する研究成果が蓄積されているものの，高等学校理科では，観察・実験活動におけるメタ認知の機能や実態，さらにはメタ認知の育成のための学習指導法の開発や実践については充分には検討されていないことが課題である。

## 1.2. 研究1の目的

研究1の目的は，質問紙調査によって，高等学校理科の観察・実験活動における高校生のメタ認知の実態を明らかにし，その結果から，メタ認知を活性化するための学習指導法の開発への示唆を得ることである。この目的を達成するため，まず，高校生のメタ認知の下位概念を明らかにした（**分析1**）。次に，明らかにしたメタ認知の下位概念をもとに，中学校と高等学校（以下，「学校種」とする）の比較を通して，高校生のメタ認知の働きについて分析した（**分析2**）。

## 第2節 方法

研究1では，まず，メタ認知とメタ認知活性化の定義を行った。そして，高校生のメタ認知を測定するための質問紙（以下，「メタ認知尺度」とする）を準備した。以下にその詳細について記す。

### 2.1. メタ認知およびメタ認知活性化の定義

研究1におけるメタ認知およびメタ認知活性化の定義は，それぞれ第1章の第2節2.1項と2.2項による。

## 2.2. メタ認知尺度の準備

本研究では、観察・実験活動における高校生のメタ認知の実態を調べるために、まず、前述のメタ認知の定義とほぼ同定義のもとで木下ら（2005）が開発したメタ認知尺度を準備した（表 2-1）。これは、中学生用に開発されたものであり、具体的に、メタ認知の下位概念である「自分自身によるメタ認知」に関する計 7 項目（項目 1～7）、「他者との関わりによるメタ認知」に関する計 7 項目（項目 8～14）の合計 14 項目から構成されている。そして、これらの項目内容は、観察・実験活動における授業の展開（以下、「実験場面」とする）に対応して作成されている。具体的には、項目 1, 2, 8, 9 は「実験前」の場面に、項目 3～5, 10 は「実験中」の場面に、項目 6, 7, 11～14 は「実験後」の場面に対応している。本尺度の高校生への使用については、調査対象校の高等学校理科教師 4 名で検討し、そのまま適用できると判断した。

なお、回答方法は、先行研究に準拠し、「1. 当てはまらない」、「2. あまり当てはまらない」、「3. どちらでもない」、「4. 少し当てはまる」、「5. 当てはまる」の 5 件法を用いた。

表 2-1 メタ認知尺度の項目内容（木下ら，2005）

---

### 自分自身によるメタ認知

- 1 これから何を調べるのか、考えるようにしている（実験前）
- 2 今までに習ったことを思い出しながら、予想を立てるようにしている（実験前）
- 3 計画通りに進んでいるかどうか、確認するようにしている（実験中）
- 4 次に何をするのか考えながら、観察や実験をするようにしている（実験中）
- 5 大事なところはどこか、考えるようにしている（実験中）
- 6 計画通りにできたかどうか、振り返るようにしている（実験後）
- 7 自分は何を調べたのか、振り返るようにしている（実験後）

---

### 他者との関わりによるメタ認知

- 8 グループの話し合いで友だちの意見を聞いて、自分の意見を考え直すことがある（実験前）
- 9 先生のアドバイスを聞いて、自分の意見を考え直すことがある（実験前）
- 10 先生と話をしているうちに、自分の考えがはっきりしてくることがある（実験中）
- 11 グループの話し合いで、友だちの意見と自分の意見を比べながら聞くようにしている（実験後）
- 12 グループで話し合いをしていると、自分の考えがまとまることある（実験後）
- 13 先生の説明と自分の意見を比べながら聞くようにしている（実験後）
- 14 先生の説明を聞いて、自分の考えがまとまることある（実験後）

---

※ （ ）は実験場面を示す。

### 2.3. 調査対象者

**分析 1** では、K 県内にある四つの公立高等学校 A 高校 123 名、B 高校 206 名、C 高校 116 名、D 高校 271 名、合計 716 名（1 学年 280 名、2 学年 330 名、3 学年 106 名）の高校生を調査の対象とした。

A 高校は、K 県の都市部にある伝統的な進学校である。B 高校は、K 県の郡部に位置する進学校である。C 高校は、K 県の都市部に位置し、卒業後は四年制大学をはじめ、短期大学、専門学校、就職など、多様な進路選択をする生徒が多い学校（以下、「進路多様校」とする）である。D 高校は、K 県の郡部に位置する進路多様校である。

**分析 2** では、T 県の公立中学校 248 名（1 学年 68 名、2 学年 87 名、3 学年 93 名）の中学生<sup>※3</sup>と、A 高校 123 名（2 学年）と D 高校 271（1 学年 124 名、2 学年 113 名、3 学年 34 名）の高校生を調査の対象とした。

なお、A 高校の高校生を対象に実施した進路希望調査では、85%以上の生徒が国公立大学への進学を希望していた。したがって、大学受験を中心とする進路選択が、理科学習への動機づけの要因の一つとなっていることが推測される。

一方、D 高校の高校生を対象に実施した進路希望調査では、四年制大学・短期大学約 30%、専門学校約 40%、就職約 10%、未定約 20%であり、生徒は多様な進路を希望していた。したがって、A 校の生徒と比べて、必ずしも大学受験を中心とする進路選択が、理科学習への動機づけの要因となっていないことが推測される。

### 2.4. 調査時期

調査は、中学校は 2005 年 2 月に、A 高校～D 高校は 2006 年 5 月～7 月の時期に、理科授業の中で実施した。

---

<sup>※3</sup> 木下ら（2005）のデータを用いた。

## 第3節 結果

まず、因子分析によって、観察・実験活動における高校生のメタ認知の下位概念を確認した（分析 1）。次に、分析 1 の結果をもとに、観察・実験活動におけるメタ認知の働きに対する学校種（中学校と A 高校と D 高校）と実験場面（実験前と実験中と実験後）の関係について検討した（分析 2）。なお、統計的分析には SPSS14.0 を用いた。

### 3.1. 高校生のメタ認知の下位概念（分析 1）

まず、メタ認知の下位概念を確認するために、メタ認知尺度における 14 項目に対して因子分析（主因子法・プロマックス回転）を行った。ここで、本調査で用いた尺度の項目は、「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」という二つの下位概念から作成されている。したがって、二つの因子が確認されると考え、因子数を 2 に指定して因子分析を行った。その結果を表 2-2 に示す。表 2-2 に示した因子分析結果において、因子負荷量が .40 以上の項目を因子構成項目とした場合、二つの因子に含まれる項目が尺度の構成の意図とそれぞれ一致した。第 1 因子は「他者との関わりによるメタ認知」であり、第 2 因子が「自分自身によるメタ認知」である。また、これらの因子の信頼性係数（Cronbach  $\alpha$ ）は、それぞれ .85 と .80 であり、二つの因子の構成項目は、十分な内的整合性を備えていると判断した。

以上の結果から、観察・実験活動における高校生のメタ認知の下位概念には、木下ら（2005, 2007a）の小学生と中学生を対象とした先行研究と同様に、「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」の 2 因子が確認された。

表 2-2 メタ認知尺度の因子分析結果（主因子法・プロマックス回転）

項目内容／因子	F1	F2
<b>F1：他者との関わりによるメタ認知（<math>\alpha=.85</math>）</b>		
先生と話しているうちに、自分の考えがはっきりしてくることがある（実験中）	.81	-.12
先生の説明を聞いていると、自分の考えがまとまることがある（実験後）	.68	.05
先生のアドバイスを聞いて、自分の意見を考え直すことがある（実験前）	.65	.09
グループの話し合いで、友だちの意見と自分の意見を比べながら聞くようにしている（実験後）	.65	-.02
グループの話し合いで友だちの意見を聞いて、自分の意見を考え直すことがある（実験前）	.65	-.12
グループで話し合いをしていると、自分の考えがまとまる（実験後）	.57	.07
先生の説明と自分の意見を比べながら聞くようにしている（実験後）	.56	.22
<b>F2：自分自身によるメタ認知（<math>\alpha=.80</math>）</b>		
大事なところはどこか、考えるようにしている（実験中）	-.09	.72
自分は何を調べたのか、振り返るようにしている（実験後）	.06	.66
次に何をするのか考えながら、観察や実験をするようにしている（実験中）	-.02	.65
これから何を調べるのか、考えるようにしている（実験前）	-.05	.63
計画通りにできたかどうか、振り返るようにしている（実験後）	.06	.58
今までに習ったことを思い出しながら、予想を立てるようにしている（実験前）	-.01	.52
計画通りに進んでいるかどうか、確認するようにしている（実験中）	.09	.46
	因子間相関	F2 .60

N=716名

### 3.2. 学校種と実験場面によるメタ認知の違い（分析 2）

#### 3.2.1. 「自分自身によるメタ認知」の違い

中学校と A 高校と D 高校で、実験場面における「自分自身によるメタ認知」の働きに違いがあるのかどうかについて検討するために、実験前（項目 1・2）、実験中（項目 3～5）、実験後（項目 6・7）の回答の平均値（標準偏差）を求めた。その結果を表 2-3 に示した。また、図 2-1 には、中学校、A 高校、および D 高校の実験場面における「自分自身によるメタ認知」の平均値の推移を示した。そして、学校種（中学校と A 高校と D 高校）と実験場面（実験前と実験中と実験後）の 2 要因混合計画の分散分析を行った（表 2-4）。分散分析の結果、まず交互作用について検討したところ有意な差が見られた（ $F(2, 1272) = 5.33, p < .01$ ）。そこで、学校種において単純主効果の検定を行ったところ、実験前と実験中において有意な差が見られた（それぞれ、 $F(2, 636) = 5.00, p < .05$ ； $F(2, 636) = 4.89, p < .05$ ）。したがって、それぞれの実験場面について多重比較（Bonferroni 法、5%水準、以下、多重比較については同様の手続きを用いた）を行ったところ、実験前では、中学校の平均値が D 高校のそれよりも有意に高かった。また、実験中では、A 高校の平均値が中学校や D 高校のそれよりも有意に高かった。

次に、実験場面において単純主効果の検定を行ったところ、すべての学校種（中学校、A 高校、D 高校）において有意な差が見られた（それぞれ、 $F(2,636) = 40.5, p < .01$ ;  $F(2,636) = 46.5; p < .01$ ,  $F(2,636) = 31.3, p < .01$ ）。したがって、それぞれの学校種について多重比較を行ったところ、中学校では、実験前と実験中の平均値が実験後のそれよりも有意に高かった。また、A 高校と D 高校では、実験中の平均値が実験前や実験後のそれよりも有意に高かった。

以上の結果から、「自分自身によるメタ認知」は、実験前では、D 高校の高校生は、中学生より働きが低いことが示された。また、実験中では、A 高校の高校生は、D 高校の高校生や中学生よりも働きが高いことが示された。さらに、中学生では、実験前と実験中が、実験後よりも働きが高いのに対して、A 高校と D 高校の高校生では、実験中が、実験前と実験後より働きが高いことが示された。

### 3.2.2. 「他者との関わりによるメタ認知」の違い

中学校と A 高校と D 高校で、実験場面における「他者との関わりによるメタ認知」の働きに違いがあるのかどうかについて検討するために、実験前（項目 8・9）、実験中（項目 10）、実験後（項目 11～14）の回答の平均値（標準偏差）を求めた。その結果を表 2-3 に示した。また、図 2-2 には、中学校と A 高校と D 高校の実験場面における「他者との関わりによるメタ認知」の平均値の推移を示した。そして、学校種（中学校と A 高校と D 高校）と実験場面（実験前と実験中と実験後）の 2 要因混合計画の分散分析を行った（表 2-4）。分散分析の結果、まず交互作用について検討したところ有意な差が見られなかった（ $F(2,1272) = 0.17, n.s.$ ）。よって、主効果について検討したところ、学校種と実験場面のそれぞれについて有意な差が見られた（それぞれ、 $F(2,636) = 6.40, p < .05$ ;  $F(2,1272) = 62.9, p < .01$ ）。したがって、まず学校種において多重比較を行ったところ、A 高

校と中学校の平均値が、D高校のそれよりも有意に高かった。次に、実験場面において多重比較を行ったところ、実験前の平均値が実験中と実験後のそれよりも有意に高かった。

以上の結果から、「他者との関わりによるメタ認知」は、実験場面に関わらず、A高校の高校生は、D高校の高校生より働きが高く、D高校の高校生は、中学生より働きが低いことが示された。さらに、学校種に関わらず、実験前は、実験中と実験後より働きが高いことが示された。

表 2-3 中学校，A校，D校のメタ認知の下位尺度の各実験場面の平均値（標準偏差）

下位尺度	中学校 N=248			A高校 N=123			D高校 N=271			
	実験前	実験中	実験後	実験前	実験中	実験後	実験前	実験中	実験後	
自分自身によるメタ認知	Mean (SD)	3.43 (0.87)	3.53 (0.83)	3.13 (0.88)	3.35 (0.89)	3.78 (0.78)	3.18 (0.88)	3.15 (0.98)	3.51 (0.88)	3.10 (0.94)
他者との関わりによるメタ認知	Mean (SD)	3.78 (0.92)	3.40 (1.04)	3.47 (0.80)	3.85 (0.84)	3.43 (1.09)	3.49 (0.77)	3.56 (0.95)	3.19 (1.01)	3.28 (0.84)

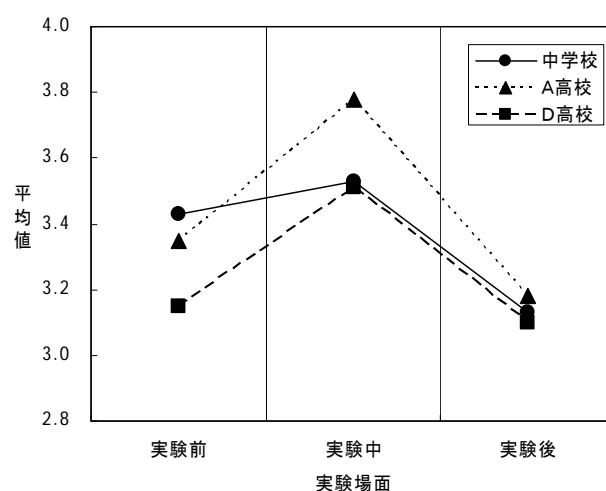


図 2-1 実験場面における「自分自身によるメタ認知」の平均値の推移

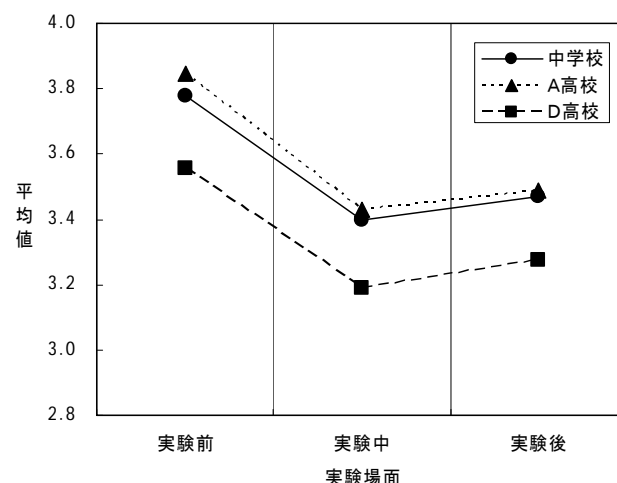


図 2-2 実験場面における「他者との関わりによるメタ認知」の平均値の推移

表 2-4 中学校，A 校，D 校のメタ認知の下位尺度の平均値の分散分析結果

下位尺度	主効果		交互作用 F 値 (2,1272)	多重比較	
	学校種 F 値 (2,636)	実験場面 F 値 (2,1272)		学校種	実験場面
自分自身による メタ認知	2.91	86.4**	5.33**	[実験前] 中学校>D高校 [実験中] A高校>中学校, D高校	[中学校] 実験前, 実験中>実験後 [A高校・D高校] 実験中>実験前, 実験後
他者との関わり によるメタ認知	6.40*	62.9**	0.17	A高校, 中学校>D高校	実験前>実験中, 実験後

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

## 第 4 節 考 察

### 4.1. 「学校種」におけるメタ認知活性化の課題

学校種における大きな課題は、観察・実験活動において、D 高校の高校生が、中学生や A 高校の高校生に比べて、メタ認知が十分に活性化されていないことである。

その理由の一つとして、高等学校理科は、中学校理科と比べて、学習内容が多くなるために、観察・実験活動に十分な時間をとれないという現状がある（例えば、笹尾，2007）。そのため、高等学校理科では、仮説やモデルの設定、実験方法の計画を教師が中心となって行う傾向にあることが



推測される。このような観察・実験活動の手続きでは、高校生は他者との関わりの中で、認知を対象とした観察や制御を行う場面が少なくなると考えられる。

しかし、一方で、このような観察・実験活動の手続きでも、A高校の高校生は、教師や友人といった他者との関わりの中で、認知を対象とした観察や制御を積極的に行っていることが推測される。よって、観察・実験活動に対する学習意欲や、観察・実験活動に関する科学的知識の理解が、高校生のメタ認知の活性化に影響を与えることが推測される。

#### **4.2. 「実験場面」におけるメタ認知活性化の課題**

実験場面における大きな課題は、観察・実験活動において、A高校、D高校の高校生ともに、実験後のメタ認知が十分に活性化されていないことである。

その理由の一つとして、中等理科教育における観察・実験活動の位置づけに課題があると考えられる。特に高等学校理科では、観察・実験活動は、学習する科学的原理・法則を帰納的に導出するための、あるいは学習する科学的原理・法則を演繹的に説明した後に、検証するための手段として位置づけられている場合が多い（例えば、堀，2001；笹尾，2005）。このような観察・実験活動の位置づけでは、生徒が観察・実験活動によって導出、あるいは検証した科学的原理・法則を主体的・協同的に活用する場面が少ない。その結果、実験後において、他者との関わりの中で認知を対象とした観察や制御を行う場面が少なくなると考える。

#### **4.3. 研究1のまとめ**

以上により、高校生のメタ認知を活性化させるためには、まず、特に進路多様校において、観察・実験活動に対する意欲を高め、観察・実験活動に関する科学的知識を十分に理解させることが重要であると考えられる。

そして、進学校、進路多様校ともに、観察・実験活動を、科学的な知識

を活用するための手段となるよう課題解決的に位置づけ、そのための解決方略を協同的に計画・実行し、さらに、得られた課題解決結果について他者と議論し、科学的な知見の共有を図る（以下、このような観察・実験活動を「本学習指導」とする）ことが重要であると考えます。このような、観察・実験活動の位置づけは、メタ認知の育成のみならず、近年、日本の生徒の学力の課題とされる活用力の育成にも貢献することが期待できます。

次章では、本学習指導に基づいた、高等学校理科の実践事例を開発し、観察・実験活動における高校生のメタ認知の活性化、および理科学習に及ぼす効果について実践的に検討します。

### 第3章 メタ認知を活性化する学習指導が高校生の理科学習に及ぼす効果(研究2～研究4)

## 第1節 メタ認知を活性化する観察・実験活動が科学的知識の理解に及ぼす効果 —高等学校化学「混合物の分離・同定」を事例として—（研究2）

### 第1項 目的

#### 1.1. 問題の所在

研究1では、観察・実験活動において、学校種や実験場面によっては、高校生のメタ認知が十分に活性化されていない実態を調査的に明らかにした（草場・木下・松浦・角屋，2009）。

その理由の一つとして、理科学習における観察・実験活動の位置づけに大きな課題があることが考えられる。特に、高等学校理科における観察・実験活動は、学習する科学的原理・法則を帰納的に導出するための手段として、あるいは学習する科学的原理・法則を演繹的に説明した後に、検証するための手段として位置づけられている場合が多い（例えば、長倉ら，2005a，2005b，2005c；野村ら，2005a，2005b）。そのような位置づけに対して、湯澤・山本（2002）は、中学生を対象として、生徒の科学的知識の理解に効果的な観察・実験活動の位置づけについて検討している。具体的に、定比例の法則を粒子モデルによって演繹的に説明した後、観察・実験活動を現実的な課題を解決する授業を受けた実験群の生徒は、定比例の法則を帰納的に導出する授業を受けた統制群の生徒に比べて、定比例の法則に関する知識の理解が促進されることを実践的に実証している。

同様に、初等理科教育においても、科学的知識を帰納するために位置づけた観察・実験活動に対して、予習などによって予め学習した科学的知識を活用するための観察・実験活動が、小学生の理解や動機づけに有効であることが示されている（市川・鎗木，2007，鎗木，2007）。このように、観察・実験活動を、科学的知識を活用する手段として位置づけることは、児童・生徒のメタ認知を育成させ、その結果、科学的知識の理解を促進させることが予想される。また、このような位置づけは、近年、日本の児童・

生徒の学力の課題とされる活用力の育成に貢献することも期待される。しかし、これらの先行研究では、科学的知識の理解促進の根拠について、観察・実験活動と深く関わりがあると推測されるメタ認知の観点から実践的に実証したものは見られないようである。

## **1.2. 研究 2 の目的**

研究 2 の目的は、高等学校理科において、メタ認知を活性化する観察・実験活動が、高校生の科学的知識の理解に効果があることを実践的に検討することである。また、その結果から、高等学校理科の観察・実験活動において、メタ認知の育成の意義について明らかにしようとするものである。

## **第 2 項 方 法**

研究 2 では、まず、メタ認知とメタ認知活性化の定義を行った。そして、高等学校理科（化学領域）において、メタ認知を活性化するための観察・実験活動をデザインし、実践事例を開発した。さらに、メタ認知の活性化を量的に測定する尺度と科学的知識の理解を測定する評価テストを準備した。以下にその詳細について記す。

### **2.1. メタ認知およびメタ認知活性化の定義**

研究 2 おけるメタ認知およびメタ認知活性化の定義は、それぞれ第 1 章の第 2 節 2.1 項と 2.2 項による。

### **2.2. メタ認知を活性化する観察・実験活動のデザイン**

本研究の対象となる事例として、化学 I 「物質の構成」の中の小単元「物質の成りたち」における「混合物の分離・同定」の観察・実験活動を取り上げた。

まず、本事例において、高校生のメタ認知を活性化するための観察・実

験活動をデザインした（表 3-1-1）。本学習指導に基づく理科授業を処遇授業とし（以下，処遇授業を受ける生徒を「処遇群」とする），一方，処遇授業の効果を検証するための比較となる授業を対照授業とした（以下，対照授業を受けた生徒を「対照群」とする）。具体的には，対照授業を，学習する科学的原理を観察・実験活動によって帰納的に導出する授業として設定した。それは，従来の理科授業における多くの観察・実験活動は，科学的原理を帰納的に導出するものとして位置づけられているからである。

また，観察・実験活動における実験場面は，仮説やモデルを設定し，実験方法を計画するといった実験前の場面，具体的な操作や作業を行っている実験中の場面，実験結果から科学的原理・法則を導出する実験後の場面に分けることができる。表 3-1-1 には処遇授業の三つの実験場面における，メタ認知活性化のための目標とする認知活動とその具体的活動の関係について整理した。また，本研究では，授業時数の違いによる影響を排除するために，処遇授業と対照授業は，ほぼ同じ授業時間数で実施した。なお，処遇授業と対照授業はともに平成 19 年 4 月下旬に実施した。

表 3-1-1 メタ認知を活性化する観察・実験活動の（処遇授業）のデザイン

実験場面	処遇授業	対照授業
実験前	（メタ認知活性化のための目標とする認知活動） 学習した科学的知識を活用して、現実的な課題を解決するための仮説やモデルを設定し、実験を計画することで、観察（予想・点検）や制御（目標設定・計画・修正）を活性化させる。	（具体的活動） 生徒たちは、混合物の分離法について学習した後に、指導者が設定した仮説と実験計画を確認する。
	（具体的活動） 生徒たちは、混合物の分離法について学習した後に、既成のクロマトグラムを用いて、薄層クロマトグラフィー（TLC）の原理を学習する。その後、学習したTLCの原理を活用して、味の素の成分を分離し、主成分であるアミノ酸を同定する計画を行う。さらに、異なるグループで2回の実験計画を行うこととし、2回目の実験計画では、1回目の実験計画について班員に説明する。	
実験中	（メタ認知活性化のための目標とする認知活動） 自身が計画した実験手続きを一つひとつ振り返りながら実験活動を行うことで観察（点検・気づき）や制御（計画・修正）を活性化させる。	（具体的活動） 生徒たちは、TLCによって、化学構造が規則的に変化する直鎖状のアミノ酸を展開し、その結果から、TLCの原理を導出する。
	（具体的活動） 生徒たちは、自身が計画した実験手続きに従い、TLCの原理を活用して、味の素の主成分であるアミノ酸を同定するための実験を行う。	
実験後	（メタ認知活性化のための目標とする認知活動） 他者との議論を通して、課題解決結果を導出することで、観察（気づき・評価）や制御（修正）を活性化させる。	（具体的活動） 生徒たちは、指導者が設定した考察手続きに従って、TLCの原理について帰納する。
	（具体的活動） 生徒たちは、各グループで議論し、味の素の主成分であるアミノ酸を同定する。さらに、各グループの実験結果をクラス全体に発表し、実験方法や考察手続きをリフレクションする。	

### 2.3. 授業の参加者

本研究の対象となる処遇群と対照群には、公立高等学校（普通科）の化学 I を選択している 2 年生 2 クラスを割り当てた。処遇群の生徒数 18 名（男子 7 名，女子 11 名），対照群の生徒数 30 名（男子 18 名，女子 12 名）であった。

本校は、K 県の郡部に位置する進路多様校であり、本校の生徒に実施した進路希望調査では、四年制大学・短期大学約 30%，専門学校約 40%，就職約 10%，未定約 20%であり、生徒は多様な進路を希望していた。よって、処遇群と対照群は、例えば、進学校の生徒と比べると、理科学習に対して多様な要因によって動機づけられていることが推測される。

## 2.4. 処遇授業と対照授業の展開

草場の先行研究（2002）に基づいて開発した観察・実験教材を用いた処遇授業と対照授業の展開を**表 3-1-2**に示す。両授業ともに、混合物の分離法（ろ過，蒸留，抽出，ペーパークロマトグラフィー）について学習した後，第1～3次で観察・実験活動を行った。ただし，処遇授業では，第2次の終了後，アミノ酸の発色を同日の昼休みの時間に約10分程度で行った。一方，対照授業では第1次と第2次を同じ日に行った。また，両授業ともにアミノ酸の展開のために2～3時間放置した。また，数グループの生徒の観察・実験活動中の発話についてICレコーダーを用いて記録した。

さらに，観察・実験活動後に，今回の観察・実験活動に対する自身の考え方や行動などについて自由に記述させた。なお，**表 3-1-3**には処遇群に提示した課題を，**図 3-1-1**には処遇群のワークシート（以下，「WS」と略す）に記入された実験計画事例を示す。また，**表 3-1-4**には，対照群の考察手続きを示す。



表 3-1-2 処遇授業と対照授業の学習指導の展開

時間	展開	処遇授業	対照授業	指導上の留意点
第1次	導入	<b>【E1：混合物の分離法の復習】</b> 混合物の分離法である、ろ過、蒸留、抽出、ペーパークロマトグラフィーを復習する。	<b>【C1：混合物の分離法の復習】</b> 処遇授業と同じ。	<b>【導入】</b> 今回の実験は、いろいろな試薬や器具を用いることを告げ、WSや筆記用具以外のもの（教科書やノートなど）は、実験台の上に置かないよう指示する。
	(5分)	<b>【E2：WSの配布】</b> 処遇群用のWSを配布し、実験上の注意点を説明する。	<b>【C2：WSの配布】</b> 対照群用のWSを配布し、実験上の注意点を説明する。	
	展開Ⅰ	<b>【E3：TLCの原理の説明と課題提示】</b> 既成のクロマトグラムを用いて、TLCの原理（WSに記載）を説明し、課題（WSに記載）を提示する。	<b>【C3：TLCの原理の帰納のための手立て】</b> 各種アミノ酸を水に溶解させ、溶解の規則性を観察し、WSに結果を記入する。	<b>【展開Ⅰ・Ⅱ】</b> 展開液には、ブタノールが入っていることを告げ、吸引しないよう取り扱いには十分に留意するよう指示する。また、TLCシートの表面（シリカゲル層）を触らないよう指示する。さらに、展開時はメスシリンダーを倒さないよう留意させる。なお、メスシリンダーにはゴム栓を用いる。
	(15分)			
	展開Ⅱ	<b>【E4：第1回実験計画】</b> 各グループで味の素に含まれるアミノ酸をTLCで分離・同定する実験を計画する。	<b>【C4：アミノ酸の展開】</b> WSの実験方法に従い、各種アミノ酸の純物質と混合物をTLCで展開する。	
第2次	展開Ⅲ	<b>【E5：第2回実験計画】</b> 1回目の実験計画を班員に説明した後、2回目の実験計画を行う。	<b>【C5：実験結果の導出】</b> アミノ酸を2～3時間程度展開した後、アミノ酸を発色させる。得られたクロマトグラムから、各種アミノ酸のRf値を算出し、結果を記入する。	<b>【展開Ⅲ・Ⅳ】</b> 展開液中のブタノールは、環境に有害であることを説明し、展開液については、回収用の容器を準備し、その中に入れるよう指導する。なお、アミノ酸の発色は、教師がニンヒドリン溶液をドラフト内で噴霧した後、生徒がドライヤーを用いて乾燥させる。
	(25分)			
	展開Ⅳ	<b>【E6：アミノ酸の展開】</b> 各グループの実験計画の手順に従い、アミノ酸を展開する。		
	(20分)	アミノ酸を2～3時間程度展開した後、アミノ酸を発色する（昼休みに実施）。		
第3次	展開Ⅴ	<b>【E7：実験結果の導出】</b> 味の素の主成分を同定する。	<b>【C6：TLCの原理の帰納】</b> 各種アミノ酸の純物質と混合物のRf値を比較し、TLCの原理を導く。	<b>【展開Ⅴ】</b> TLCが混合物の分離・同定の一つの手法であること、また、TLCの有用性について説明する。
	(25分)	<b>【E8：授業のまとめ】</b> 味の素の主成分はグルタミン酸であることを説明し、再度、TLCの原理について確認する。	<b>【C7：授業のまとめ】</b> TLCの原理について確認する。	
	評価	<b>【E9：メタ認知尺度の実施】</b> 調査用紙に記入する。 <b>【E10：授業に対する自由記述】</b> 本授業に対して自由に記述する。 <b>【E11：評価テストの実施】</b> 評価テストを実施する。	<b>【C8：メタ認知尺度の実施】</b> 処遇授業と同じ。 <b>【C9：授業に対する自由記述】</b> 処遇授業と同じ。 <b>【C10：評価テストの実施】</b> 処遇授業と同じ。	<b>【評価】</b> メタ認知尺度の結果は、成績とは無関係であることを告げ、素直な気持ちで回答するよう指示する。さらに、評価テストでは他の生徒と相談しないように真剣に解答するように指示する。

表 3-1-3 処遇群に示した課題（WS より抜粋）

【課題】

みなさんはアミノ酸という物質を聞いたことがあるでしょうか。最近では、アミノ酸入りの食品が商品化されるようになりました。しかし、本来、アミノ酸はいろいろな食べ物の中に多く入っています。魚、豚、牛、鶏などの肉類や、そば、小豆、大豆などの豆類には、特にアミノ酸が多く含まれております。それぞれの食べ物に、それぞれの特有の味があるのは、その食べ物に入っているアミノ酸の種類が異なるからなのです。つまり、食べ物のお味成分は、まさに“アミノ酸”であるのです。食べ物の中に、どのような種類のアミノ酸が含まれているのかを調べるには、この薄層クロマトグラフィー（TLC）が有用な手法となります。食品化学などの分野では、現在でも、このTLC法による分析が用いられています。さて、みなさんに、ある食べ物の中に含まれるアミノ酸を調べてほしいと思います。その食べ物とは「味の素」です。「味の素」はみなさんの食卓にもあるかと思いますが。「味の素」は複数の物質が混じった混合物ですが、あるアミノ酸が多く含まれていることが分かっています。ここで少しヒントを与えます。実は、「味の素」には、ここにある、グルタミン酸、アミノ酪酸、バリン、ロイシンのいずれかが多く含まれています。実験方法を参考にして、TLCで「味の素」に多く含まれているアミノ酸を調べる（同定する）実験を班で話し合い、計画・実施して下さい。

【第1回 実験計画】 ( ) 班

**実験計画**

味の素水溶液を作る。  
TLCシートに味の素水溶液をつける。(スポットする)  
その横に、グルタミン酸、アミノ酪酸、バリン、ロイシンもスポットする。  
味の素水溶液が移動した所と同じ位置にある物質が一番多く含まれていると分かる。

**予測する結果(根拠)**

純物質の溶解性や吸着性は  
混合物の状態でも変化しないから  
問題なし!!!

【第2回 実験計画】 ( ) 班

**実験計画**

- TLCシートの点の上(1)に、細引ガラス管を用いて、左から順に味の素水溶液、グルタミン酸、バリン、ロイシンの各水溶液のとこを小さな点をスポットする。
- 展開液の入ったメスシリンダーの中に、ピンセットを用いて、TLCシートを静かに入れる。
- 展開液が10cm程度(約2時間)展開した後、メスシリンダーからTLCシートを静かに取り出し、ドライヤーで乾燥させる。乾燥後、ドラフト内でニヒドリン溶液をTLCシートに噴霧し、ドライヤーで乾燥させる。

**予測する結果(根拠)**

系果	展開液の高さ 50cm程度		
	X (cm)	Y (cm)	Rf値
・ロイシン	12	7.1	0.59
・バリン	12	5.5	0.46
・アミノ酪酸	12	4.5	0.38
・グルタミン酸	12	3.0	0.25
・味の素	12	3.0	0.25

**【実験結果】**

( ) 班の実験では、「味の素」に多く含まれるアミノ酸は(グルタミン酸)であると同定しました。  
その理由は(味の素水溶液とグルタミン酸のRf値が同じであるから)です。

図 3-1-1 処遇群の生徒の実験計画事例

表 3-1-4 対照群の考察手続き（WS より抜粋）

- (1) アミノ酸のRf値と水への溶解性とはどのような関係があると思いますか？
- (2) TLCシートには、水に似た性質もツリカゲルという物質が薄く塗られています。この物質に対する吸着性とRf値にはどのような関係がありますか？
- (3) アミノ酸(純物質)のRf値と混合物中のアミノ酸のRf値にはどのような関係がありますか？
- (4) TLCでは、純物質のどのような性質を利用して、混合物を分離・同定することが可能となるのでしょうか。

## 2.5. メタ認知尺度の準備

本研究では、処遇群が対照群と比較して、メタ認知を活性化しているか否かを量的に確認（デザインチェック）するために、研究1で用いたメタ認知尺度を準備した（表 2-1）。本尺度の高校生への使用については、実践校の授業を担当する理科教師が検討したところ、そのまま適用できると判断した。

なお、回答方法は、先行研究に準拠し、「1. 当てはまらない」、「2. あまり当てはまらない」、「3. どちらでもない」、「4. 少し当てはまる」、「5. 当てはまる」の5件法を用いた。

## 2.6. 評価テストの準備

評価テストは、草場・竹本・松下（2007）の先行研究を基に、処遇群と対照群の授業を担当する理科教師2名と化学を専門とする大学准教授で作成した。

評価テスト（図 3-1-2）の問題1は、混合物、純物質、混合物の分離・同定に関する正しい科学的知識を空所に補充する課題（以下、「空所補充テスト」とする）である。問題2は、混合物、純物質、TLCの原理（以下、「TLC原理」と略す）に関する正しい科学的知識の正誤を判別する課題（以下、「正誤判別テスト」とする）である。問題3は、TLC原理の理解が、他のクロマトグラフィーの原理の理解に転移するかどうかを調べる課題（以下、「転移テスト」とする）である。それぞれ問題に対して正答した場合、問題1は各1点（計5点）、問題2は各1点（計7点）、問題3は2点であった。なお、問題3については授業を担当する理科教師2名が話し合いのうえ採点した。

**問題1** 以下の①～⑤の文中の（ ）に適切な語句を入れなさい。

- ① 2種類以上の物質が混じり合っているものを（ ）という。
- ② 1種類の物質からできているものを（ ）という。
- ③ 2種類以上の物質が混じり合っているものを、それぞれの物質に分ける操作を（ ）するという。
- ④ 不純物を取り除いて、より高純度の物質を得るための操作を（ ）するという。
- ⑤ 試料中の成分を判定することを（ ）するという。

**問題2** 以下の①～⑦の文が正しいものには○を、誤っているものには×をしなさい。

- ① 純物質は、融点・沸点などの性質が決まっている。（ ）
- ② 混合物は、融点・沸点などの性質が決まっている。（ ）
- ③ 純物質が混じり、混合物になったとき、それぞれの物質が相互に反応しなければ、純物質の性質は変化しない。（ ）
- ④ 混合物の分離には、混合物中の純物質の性質の差を利用する。（ ）
- ⑤ 薄層クロマトグラフィーを用いると、混合物を分離することはできるが、純物質を同定することはできない。（ ）
- ⑥ 薄層クロマトグラフィーによる混合物の分離には、純物質の展開液に対する相互作用(溶けやすさ)の差やTLCシートに塗られている物質への相互作用(吸着力)の差などを利用している。（ ）
- ⑦ 薄層クロマトグラフィーにおけるRf値は物質の固有値であるので、実験条件を変えても変化しない。（ ）

**問題3** ペーパークロマトグラフィーは、物質のろ紙（ペーパー）に対する吸着力の差などを利用して、混合物を分離・精製を行う手法の一つである。例えば、アルコールに複数の色素を混ぜて溶かし、ろ紙の端を展開液にひたすと、ろ紙上で色素を分離することができる。Aさんが、黒インクに含まれる色素を、ペーパークロマトグラフィーによって分離したところ、以下のような結果が得られた。「青色」、「赤色」、「オレンジ」のそれぞれの色素の、ろ紙に対する吸着性の大きさの違いについて説明しなさい。ただし、それぞれの色素の展開液に対する相互作用（溶けやすさ）は同じものとする。

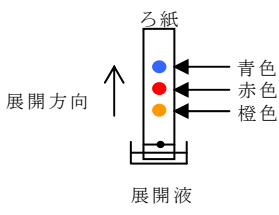


図 3-1-2 評価テスト

### 第 3 項 結 果

まず、処遇群と対照群のメタ認知活性化について、メタ認知尺度を用いて量的に検討し、発話事例、記述事例、および実験計画事例を用いて質的に検討した。次に、処遇群と対照群の科学的知識の理解について、評価テストを用いて量的に検討した。なお、統計的分析には SPSS14.0 を用いた。

#### 3.1. メタ認知活性化の量的分析結果

まず、メタ認知尺度を用いて、処遇群と対照群の「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」、およびそれぞれ下位尺度の各実験場面の平均値（標準偏差）を表 3-1-5 に示した。次に、事前のメタ認知尺度の得点（平成 19 年 4 月上旬に実施）を共変量<sup>\*4</sup>、授業（処遇授業と対照授業）を独立変数、メタ認知尺度の下位尺度の得点を従属変数とする共分散分析<sup>\*4</sup>を行ったところ、「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」のいずれも、処遇群の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった（それぞれ、 $F(1,45) = 4.81, p < .05$  ;  $F$

(1,45) = 6.02,  $p < .05$ )。さらに、それぞれの下位尺度の各実験場面における平均値について、事前のメタ認知尺度の得点を共変量とする共分散分析を行ったところ、「実験前の自分自身によるメタ認知」と「実験後の他者との関わりによるメタ認知」の処遇群の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった（それぞれ、 $F(1,45) = 15.8, p < .01$ ;  $F(1,45) = 8.64, p < .01$ ）。

次に、IC レコーダーに記録された数グループの観察・実験活動中の発話について分析したところ、すべてのグループにおいて、実験前に他者との関わりの中で、課題解決の計画について活発に議論していることが特徴的であった。その発話事例を表 3-1-6 に示す。第 1 回目の課題解決の計画の場面では、生徒 A が、同じグループの生徒 B に対して、自身が考えた課題解決方略を積極的に説明する様子 (A1, A2, A3, A4) が、生徒 B が生徒 A の説明に対して同調する様子 (B1, B5) が、生徒 B が新しいことに気づく様子 (B3, B4) が見られた。また、第 2 回目の課題解決の計画の場面では、生徒 A が、新しいグループの生徒 C と生徒 D に対して、第 1 回目に最終的に計画した課題解決方略を説明する様子 (A10) が、生徒 D が生徒 A の方略に対して示唆を与える様子 (D2) が、生徒 A と生徒 D が味の素のアミノ酸を予想する様子 (A13, D5) が見られた。

---

※4 本研究の対象校は進路多様校であるために、生徒は理科学習に対して多様な要因によって動機づけられていることが推測される。また、処遇群と対照群はサンプルサイズや男女比が大きく異なるため、2つの生徒群は質的に異なるグループであることが推測される。したがって、メタ認知尺度の平均値の有意差の検定には共分散分析を用いることにした。なお、共変量の測定は、理科の授業中に実施し、生徒には、これまでの自身の観察・実験活動を振り返って回答するよう指示した。また、評価テストの平均値の有意差の検定においても同様の手続きを行うことにした。

さらに、観察・実験活動に対する処遇群と対照群の特徴的な記述事例を表 3-1-7 に示す。処遇群・対照群ともに多くの生徒が、観察・実験活動に対してポジティブな反応を示していた。特に処遇群の感想では、友人や教師といった他者との関わりによる課題解決の計画に関する内容が多いことが特徴的であった。一方、対照群では、アミノ酸や TLC 原理に関する内容が多いことが特徴的であった。

表 3-1-5 メタ認知の下位尺度と各実験場面の平均値（標準偏差）および共分散分析結果

下位尺度	処遇群		対照群	F 値 (1,45)	実験場面	処遇群		対照群	F 値 (1,45)
	N=18	N=30	N=30			N=18	N=30		
自分自身によるメタ認知	Mean (SD)	4.08 (0.59)	3.64 (0.52)	4.81*	実験前	Mean (SD)	4.06 (0.78)	3.15 (0.66)	15.8**
					実験中	Mean (SD)	4.09 (0.66)	3.92 (0.59)	0.00
					実験後	Mean (SD)	4.08 (0.67)	3.72 (0.67)	3.02
他者との関わりによるメタ認知	Mean (SD)	4.21 (0.66)	3.64 (0.53)	6.02*	実験前	Mean (SD)	4.36 (0.68)	3.77 (0.73)	1.89
					実験中	Mean (SD)	4.06 (0.94)	3.70 (0.79)	1.67
					実験後	Mean (SD)	4.18 (0.67)	3.57 (0.61)	8.64**

※ 共変量には事前のメタ認知尺度の得点を用いた。

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

表 3-1-6 処遇群（グループ）の第1回目と第2回目の課題解決の計画時（実験前）における発話事例

【第1回 課題解決の計画】

(前略)

T1 : それでは、1回目の実験計画に入ります。9時40分まで、しっかり話し合ってください。

(中略)

A1 : もし、[味の素の中に] こんなか《4種類のアミノ酸》のどれか1つしか [アミノ酸が] 入ってないがやったら、このアミノ酸じゃない味の素の水溶液に混ぜて、ちよん《スポット》てやったら、混合液はそれぞれ分かれて点《ニンヒドリン反応で発色したアミノ酸》がつくじゃん。

B1 : うんうん。

A2 : 1個しか点がつかんかったら、それが含まれているということやないが。でも2個ついたら、混ぜたものと、味の素は違う成分ていうことやないが。

B2 : 難しいこと考えちゃうね。

A3 : えーと、[アミノ酸が] 1個やったら、点は1個しかつかんやん。でも [アミノ酸を] 4つ混ぜた液をここにちよんとすると・・・。

B3 : そうか。分かれるが。

A4 : そうそうそう。味の素に、1つのもの《アミノ酸》がおもいきり入っているがやったら、もし味の素をここにうったら《スポットすれば》、味の素に含まれるアミノ酸の点しかつかんわけやん。

B4 : そうか。これ全部混合物やき目安ながやこれが。

A5 : それぞれが分かれて、ここから進んで《展開して》いって、グルタミン酸ここで止まるし、グルタミン酸じゃない別のやつ《アミノ酸》は、どんどん進んで、上に点がつけていく。てことは、これが味の素として混ぜたとして。もし味の素と違う液体を混ぜて、点てやったら《スポットすれば》、点が2つつくじゃん。でも、これが味の素と同じ液体だったら、点は1個しかつかんやん。ていうふうにする。とか？

B5 : [アミノ酸を] 全部を混ぜるといことやね。

A6 : ううん [否定]。[アミノ酸を] 全部混ぜたら分からなくなるじゃん。全部混ぜたら点いっぱいつくじゃん。

B6 : 1個だけか？

A7 : そうそう。だから、味の素と別のやつ《アミノ酸》を混ぜる。で、もし味の素とその混ぜた別のやつがいっしょなら点は1個。でも、もし別のものをまぜちゃったら、点はもう1個できるよね。味の素の点とその混ぜたものの点・・・。ていゆうふうにするとか？

(中略)

T2 : 第1回目の実験計画の話し合いは、これで終了します。次の時間は、他の班に移動した人が、まず班員に、今回の実験計画を説明するところから始めて下さい。説明をする人は、それまでに、しっかりまとめておいて下さい。それでは、終わります。

(後略)

【第2回 課題解決の計画】

(前略)

T3 : それでは、2回目の実験計画には入ります。まず、新しい班に移動した人が、前回の実験計画を説明するところからはじめて下さい。10時20分から実験ができるように、しっかり話しあってください。

(中略)

A8 : [Cに向かって] 書いた前回のやつ《実験計画》？

C1 : 書いてない。

A9 : [Eに向かって] 書いた？

D1 : いやー・・・。

A10 : えーとね。どうやって、混ぜているかっていうのを確かめるには、まず、細長い紙《TLCシート》があったじゃん。あれに、えーと、味の素のやつをうって《スポットして》・・・、純物質をうって・・・、もし、あつ、これで《WSで》説明した方が分かりやすい。もし、味の素をここ《TLCシートの原線》にうって、バリンが多かったら、バリンのところだけ色がつく《ニンヒドリン反応で発色する》じゃん。そしたらバリンは点がどこにでるのか、ロイシンはどこに点がでるのか、というのはいち見たら分かるやん。それで、どれが多いかっていうのを確かめるということです。それを《実験計画を》書かないといけないんですけど、まだ書いてないです。

C2 : でどうするの？ .....

A11 : 家庭教師みたいやね。.....

D2 : 実験はそれでいいと思うがやけど。ただ予測する結果って・・・。予測ってどうやるん。ある程度根拠を書くやん。無理やん。

A12 : グルタミン酸みたいな味がするからグルタミン酸ということ？.....

D3 : 食べてみるということ？

C3 : ぜったいどれかが含まれちゃうはずがやき。食べてみても大丈夫よ。

D4 : 危ない。危ない。.....

A13 : グルタミン酸っぽいけどね。何かグルタミン酸って聞いたことがある、通販で。土曜日の昼間に通販やりようやん。あれの健康食品で何か聞いたことがあるグルタミン酸って。

D5 : アミノ酸酸じゃない？

(中略)

T4 : それでは、2回目の実験計画を終了にしたいと思います。引き続きこの班で実験をしていきます。実験の準備をするようにして下さい。

(後略)

※ Tは教師の発話、A～Dは生徒の発話、数字は発話番号を示す。なお、[ ]は分析者による補足、《 》は分析者による下線部の置換、・・・は短い沈黙、.....は長い沈黙、?は上昇音調を示す。

表 3-1-7 処遇群と対照群の観察・実験活動に対する記述事例

処遇群	対照群
<p>E1 今回は、一番初めに実験方法を班で話し合った。今までは、教科書を見ての実験や、先生の説明を聞いてからの実験だったが、先生のヒントから、どういう方法を使えば結果がでるのかなど、いろんなことを考えて、自分たちで実験をした。つまづくこともあったが、周りの人の意見なども聞き、実験の計画を立てることができて楽しかった。身近なものを調べたので、結果がでるのがとても楽しみだった。TLCシートに指紋の跡 [手のアミノ酸で発色したもの] があり、手にもアミノ酸が含まれていたことが分かった。今回の実験はとても楽しかった。また、機会があればこういった実験をしたいです。</p>	<p>C1 アミノ酸にはたくさんの種類があって、それぞれTLCシートに対する吸着性が違うし、Rf値を計算で出せることがよく分かりました。私はそんなに慎重じゃないけれど、リーダーを任せられたので、失敗しないようにがんばりました。また、実験をする機会があるのかどうかわかりませんが、その時はもっとその実験に対しての考えや予想などを自分なりに立てて、やってみたいです。薬品などを使う実験は危険がともなうと思いますが、高校生が扱える物ならぜひしてみたいです。薬品の性質を知ることでもあると思うし、興味もわくと思います。</p>
<p>E2 実験方法を考えたのは、初めてだったので難しかったけど、他の人の意見を聞いていて、ちゃんと計画を立てることができてよかったです。実験では、細引きガラス管に [アミノ酸溶液が] つまったりしたけど、一番面白かったです。不思議に思ったのは、[アミノ酸を] 薄層クロマトグラフィーで展開するとき、味の素の点が、グルタミン酸しか出なかったことです。</p>	<p>C2 [アミノ酸の] 種類が違うだけで、こんなにもRf値に差がでるとは思わなかった。やったことのない実験だったので、というより実験はあまり好きなものではなかったが、この実験は面白い実験だと思った。てまひまがかかったが、それだけやる価値があった実験だと思いました。なにが分からないが、すごいひきよせられるものがあった。今後も、このようなひきよせるもののある実験ができればいいと思っているのでよろしくお願いします。</p>

※ [ ] は分析者による補足を示す。

### 3.2. 科学的知識の理解の測定

処遇群と対照群の生徒の科学的知識の理解に関する空所補充テスト、正誤判別テスト、および転移テストの平均値（標準偏差）を表 3-1-8 に示した。そして、1年次の学年末の定期考査の得点（平成19年3月上旬に実施）を共変量、授業（処遇授業と対照授業）を独立変数、各テスト形式の得点を従属変数とする共分散分析<sup>\*4</sup>を行ったところ、空所補充テストと転移テストにおいて、処遇群の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった（それぞれ、 $F(1,45) = 4.11, p < .05$ ;  $F(1,45) = 14.0, p < .01$ ）。



表 3-1-8 各課題の平均値（標準偏差）および共分散分析結果

テスト形式		処遇群 N=18	対照群 N=30	F 値 (1,45)
空所補充	Mean (SD)	4.33 (1.03)	3.47 (1.04)	4.11*
正誤判別	Mean (SD)	5.78 (1.11)	5.10 (1.67)	1.12
転移	Mean (SD)	1.50 (0.79)	0.50 (0.86)	14.0**

※ 共変量には定期考査の得点を用いた。

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

## 第 4 項 考 察

### 4.1. メタ認知の活性化

メタ認知尺度で測定した結果より、本学習指導によれば、メタ認知の下位概念である「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」とともに活性化されることが確認された。特に「実験前の自分自身によるメタ認知」と「実験後の他者との関わりによるメタ認知」が活性化されることが確認された。

それは、実験前の場面では、発話事例と記述事例が示すように、処遇群の生徒は、対照群と比べて、課題解決を計画することによって、実験結果を予想し、純物質概念、混合物概念、アミノ酸の性質、あるいは TLC 原理に関する知識を対象とした気づき (B3, B4) や予想 (A13, D5) が積極的に行われた。その結果、自身の科学的知識の観察が活性化されたと考える。また、発話事例において、生徒 A のグループは、第 1 回目の課題解決の計画を修正していた (A1→A10)。よって、自身の科学的知識の制御も活性化されたと考える。

また、記述事例 (E1, E2) が示すように、処遇群の生徒は、教師や友人といった他者との協同的な活動に関する内容の記述が多かった。よって、実験後の場面において、処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、他者による外化支援によって科学的知識を活用して課題解決することで、自身の

認知活動や科学的知識などの観察対象が可視化と課題の制御化が達成されたと考える。

しかし、一方で、実験中の場面では、処遇群と対照群にはメタ認知の活性化に差異は見られなかった。したがって、具体的な操作や作業を行っている場面では、科学的知識を帰納するために位置づけた観察・実験活動によっても、生徒はメタ認知を活性化させることが推測される。

#### 4.2. 科学的知識の理解

科学的知識の理解について、評価テストで測定した結果より、メタ認知を活性化する観察・実験活動によれば、純物質概念、混合物概念、TLC原理に関する知識の理解が促進されることが示唆された。特に、空所補充テストや転移テストにおける知識の理解が促進された。

よって、メタ認知を育成する観察・実験活動は、科学的知識の理解を促進させ、さらにその知識を転移させる能力を身につけさせることが示唆された。それは、処遇群の発話事例や記述事例が示すように、生徒が主体的・協同的に課題解決のための実験方法を考え、実験結果を考察することが、観察・実験活動直後の科学的知識の理解に大きな影響を与えているためだと考える。

#### 4.3. 研究2のまとめ

高等学校理科（化学領域）の観察・実験活動において、メタ認知を活性化させ、さらに科学的知識の理解のみならず、日本人生徒の苦手とする活用力を育成するためには、従来行われてきたような帰納のための観察・実験活動だけでは十分ではなく、学習した科学的知識を、実際の課題で協同的に解決する必要がある。本研究では、そのような機会としての観察・実験活動の有効性が示唆されたと言える。以上の知見によれば、例えば、土佐（2002）が開発した観察・実験教材のように、TLCを用いてコンブ中のグルタミン酸を協同的に分析することは、TLC原理の理解にも効果がある

ことが十分に推測できる。また、高等学校理科（化学領域）では、中和反応の原理を応用して、食酢中の酢酸濃度を測定する実験が紹介されている（例えば、長倉ら，2005b；野村ら，2005a）。その観察・実験活動において、教師が中和反応の原理を説明した後、生徒に協同的に食酢中の酢酸濃度を測定するための実験を計画・実行させ、結果を導出させるといった指導も効果的であろう。

しかし、観察・実験活動の従属変数である科学的知識の理解については、観察・実験活動直後に測定したものであり、その定着については十分に検討できていない。また、メタ認知の活性化や科学的知識の理解については、観察・実験活動の内容や生徒の学習動機の実態といった文脈に依存することも十分に考えられる（例えば、鈴木，2002）。また、今回、処遇授業の効果を検証すべく対照授業には帰納的に位置づけた学習指導を用いた。しかし、高等学校理科（化学領域）では、例えば、「中和滴定」の観察・実験活動のように、科学的原理・法則を演繹的に説明した後、観察・実験活動によって検証する場合もある（例えば、長倉ら，2005b；野村ら，2005a）。

次節では、メタ認知を活性化する観察・実験活動が、理科学習に及ぼす効果の一般化を目的に、本学習指導が、①科学的知識の定着に及ぼす効果について、②学習内容の異なる観察・実験活動（例えば、定量実験）における効果について、③本研究の実践校とは学業成績や学習意欲が質的に異なると推測される高校生（例えば、進学校の高校生）を対象とした場合の効果について実践的に検討する。

## 第 2 節 メタ認知を活性化する観察・実験活動が科学的知識の定着に及ぼす効果 —高等学校化学「中和滴定」を事例として—（研究 3）

### 第 1 項 目 的

研究 2 では、メタ認知を活性化した処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、観察・実験活動直後において、科学的知識の理解が促進されることを実践的に実証した（草場・湯澤・角屋，2010）。研究 3 では、メタ認知を活性化する観察・実験活動が、高校生の科学的知識の定着に及ぼす効果について実践的に検討する。併せて、このような観察・実験活動が、学校種や実験種の違いによっても同様の効果を達成できるかについても検討することにした。後者を達成するために、研究 3 では、研究 2 に対して、以下のような研究デザインを用いた。まず、研究 2 では、進路多様校の生徒を対象としたのに対して、研究 3 では進学校の生徒を対象とした。さらに、研究 2 では、「混合物の分離・同定」といった定性実験を観察・実験活動の事例としたのに対して、研究 3 では「中和滴定」といった代表的な定量実験を観察・実験活動の事例とした。

### 第 2 項 方 法

研究 3 では、まず、メタ認知とメタ認知活性化の定義を行った。そして、高等学校理科（化学領域）において、メタ認知を活性化するための観察・実験活動をデザインし、実践事例を開発した。さらに、メタ認知の活性化を量的に測定する尺度と科学的知識の理解や定着を測定する評価テストと定期テストを準備した。以下にその詳細について記す。

#### 2.1. メタ認知およびメタ認知活性化の定義

研究 3 おけるメタ認知およびメタ認知活性化の定義は、それぞれ第 1 章

の第2節2.1項と2.2項による。

## 2.2. メタ認知を活性化する観察・実験活動のデザイン

本研究の対象となる事例として、化学I「物質の変化」の中の小単元「酸と塩基」における「中和滴定」の観察・実験活動を取り上げた。

まず、本事例において、高校生のメタ認知を活性化するための観察・実験活動をデザインした(表3-2-1)。本学習指導に基づく理科授業を処遇授業とし、一方、処遇授業の効果を検証するための比較となる授業を対照授業とした。具体的には、対照授業を、学習する科学的知識を観察・実験活動によって検証する授業として設定した。また、観察・実験活動における実験場面は、仮説やモデルを設定し、実験方法を計画するといった実験前の場面、具体的な操作や作業を行っている実験中の場面、実験結果から科学的原理・法則を導出する実験後の場面に分けることができる。表3-2-1には処遇授業の三つの実験場面における、メタ認知活性化のための目標とする認知活動とその具体的活動の関係について整理した。なお、処遇授業と対照授業はともに平成20年6月下旬に実施した。

表 3-2-1 メタ認知を活性化する観察・実験活動（処遇授業）のデザイン

実験場面	処遇授業	対照授業
実験前	(メタ認知活性化のための目標とする認知活動) 学習した科学的知識を活用して、現実的な課題を解決するための仮説やモデルを設定し、実験を計画することで、観察（予想・点検）や制御（目標設定・計画・修正）を活性化させる。	(具体的活動) 生徒たちは、中和反応の量的関係と中和滴定の原理について学習した後、指導者が設定した仮説と実験計画を確認する。
	(具体的活動) 生徒たちは、中和反応の量的関係と中和滴定の原理について学習した後、中和滴定に用いる試薬を標準溶液によって標定することで、中和滴定の実験手続きについて習得する。その後、中和滴定を活用して、食酢中に含まれる酢酸のモル濃度を測定するための実験計画を行う。	
実験中	(メタ認知活性化のための目標とする認知活動) 自身が計画した実験手続きを一つひとつ振り返りながら実験活動を行うことで観察（点検・気づき）や制御（計画・修正）を活性化させる。	(具体的活動) 生徒たちは、中和滴定によって標準溶液を標定した後に、食酢中の酢酸のモル濃度を測定する。
	(具体的活動) 生徒たちは、自身が計画した実験手続きに従い、食酢中の酢酸のモル濃度を測定する。	
実験後	(メタ認知活性化のための目標とする認知活動) 他者との議論を通して、課題解決結果を導出することで、観察（気づき・評価）や制御（修正）を活性化させる。	(具体的活動) 生徒たちは、指導者が設定した考察手続きに従って、中和反応における量的関係について検証する。
	(具体的活動) 生徒たちは、食酢中の酢酸のモル濃度を検討する。さらに、各グループの実験結果をクラス全体に発表し、実験方法や考察手続きをリフレクションする。	

### 2.3. 授業の参加者

本研究の対象となる処遇群と対照群には、公立高等学校（普通科）の化学 I を選択している 2 年生 2 クラスを割り当てた。処遇群の生徒数 26 名（男子 14 名，女子 12 名），対照群の生徒数 32 名（男子 22 名，女子 10 名）であった。本校は、K 県の都市部に位置する進学校であり、平成 20 年 5 月上旬に実施した進路希望調査では 80%以上の生徒が国公立大学への進学を希望していた。なお、平成 20 年 5 月下旬に実施した定期テストの平均値（標準偏差）は、処遇群は 74.1 (12.5)，対照群は 76.8 (14.2) であり、両群に有意差は見られなかった ( $F(1,56) = 0.57, n.s.$ )。

## 2.4. 処遇授業と対照授業の展開

処遇授業と対照授業の学習指導の展開を**表 3-2-2**に示す。両授業ともに、第1次で、中和反応の量的関係と中和滴定の原理について学習した後、第2・3次で観察・実験活動を行った。ただし、第2・3次は、処遇授業は異なる日に、一方、対照授業は連続して行った。また、数グループの生徒の観察・実験活動中の発話についてICレコーダーを用いて記録した。

さらに、処遇群・対照群ともに、観察・実験活動後に、今回の観察・実験活動に対する自身の考え方や行動などについて自由に記述させ、第4次に提出させた。なお、**表 3-2-3**には処遇群に提示した課題を、**図 3-2-1**には処遇群の実験計画事例を示す。なお、処遇群には、第3次の観察・実験活動までにWSに実験計画を記入させ、授業を担当する理科教師に提出させた。また、**表 3-2-4**には、対照群の考察手続きを示す。

表 3-2-2 処遇授業と対照授業の学習指導の展開

時間	展開	処遇授業	対照授業	指導上の留意点
第1次	説明 (45分)	<b>【E1：中和滴定の説明】</b> 中和滴定（中和反応における酸と塩基の量的関係を応用して、濃度未知の酸または塩基の濃度を求める操作）の原理を説明する。	<b>【C1：中和滴定の説明】</b> 処遇授業と同じ。	<b>【説明】</b> 中和反応における量的関係と中和滴定の原理を関連づけて理解できるよう指導する。
	第2次	展開Ⅰ  (10分)	<b>【E2：WSの配布】</b> 処遇群用のWSを配布し、実験上の注意点を説明する。  <b>【E3：実験活動の説明】</b> 中和滴定によって、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を測定することを説明する。	<b>【C2：WSの配布】</b> 対照群用のWSを配布し、実験上の注意点を説明する。  <b>【C3：実験活動の説明】</b> 中和滴定によって、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を測定し、さらに、食酢中に含まれる酢酸のモル濃度を測定することを説明する。
第3次		展開Ⅱ  (35分)	<b>【E4：中和滴定】</b> シュウ酸標準溶液を用いて、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を測定する。  <b>【E5：課題提示】</b> 中和滴定を原理を活用して、食酢中に含まれる酢酸のモル濃度を測定する課題を与える。	<b>【C4-1：中和滴定】</b> シュウ酸標準溶液を用いて、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を測定する。
	展開Ⅲ  (40分)	<b>【E6：課題解決】</b> 各グループの実験計画に従い、食酢中の酢酸のモル濃度を測定する実験を実施する。  <b>【E7：授業のまとめ】</b> 中和滴定を活用すれば、濃度未知の酸または塩基のモル濃度が測定できることを確認する。	<b>【C4-2：中和滴定】</b> 標定した水酸化ナトリウム水溶液を用いて、食酢中の酢酸のモル濃度を測定する。  <b>【C5：授業のまとめ】</b> 中和滴定によって、濃度未知の酸または塩基のモル濃度が測定できることを確認する。	
第4次	評価  (5分)	<b>【E8：メタ認知尺度の実施】</b> 調査用紙に記入する。	<b>【C6：メタ認知尺度の実施】</b> 処遇授業と同じ。	<b>【評価】</b> メタ認知尺度の結果は、成績とは無関係であることを告げ、素直な気持ちで回答するよう指示する。評価テストは、他者とは相談せずに、真剣に考えて回答するよう指示する。
	展開Ⅳ  (10分)	<b>【E9：評価テストの実施】</b> 評価テストを実施する。	<b>【C7：評価テストの実施】</b> 処遇授業と同じ。	



表 3-2-3 処遇群に示した課題（WS より抜粋）

【課題】

皆さんの食生活において、調味料としてよく使われる食酢には、酢酸と呼ばれる酸が含まれていることはご存知でしょうか。今回の実験は、君たちに、これまでの授業で学習してきた中和滴定という実験手法を用いて、食酢に含まれる酢酸のモル濃度を測定するという課題を解決してほしいと思います。ただし、食酢に含まれる酸は、すべて酢酸であるものとして下さい。また、食酢の中和滴定には、正確に10倍希釈したものを用いて考えて下さい。さらに、中和滴定に用いる塩基の水溶液には、前回の実験で、君たちがシュウ酸標準水溶液によって標定した正確な濃度の水酸化ナトリウム水溶液を用いて下さい。さて、食酢中の酢酸のモル濃度は???

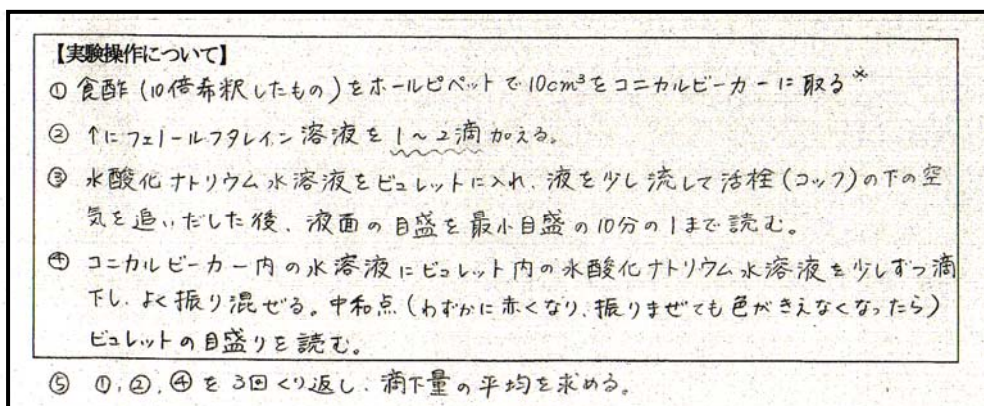


図 3-2-1 処遇群の生徒の実験計画事例（WS より抜粋）

表 3-2-4 対照群の考察手続き（WS より抜粋）

- (1) ①の数値や希釈条件から、シュウ酸水溶液のモル濃度は何mol/Lか。
- (2) ⑥の結果から、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何mol/Lか。
- (3) 食酢とその希釈液の密度を $1.00\text{ g/cm}^3$ 、食酢中の酸をすべて酢酸(分子量60)として、⑧の結果から食酢中の酢酸のモル濃度と質量パーセント濃度(%)を求めよ。  
モル濃度:  
質量パーセント濃度:  
(以下、略)

## 2.5. メタ認知尺度の準備

本研究では、処遇群が対照群と比較して、メタ認知を活性化しているか否かを量的に確認（デザインチェック）するために、研究1・2で用いたメタ認知尺度を準備した（表 2-1）。本尺度の高校生への使用については、実践校の授業を担当する理科教師が検討したところ、そのまま適用できる

と判断した。

なお、回答方法は、先行研究に準拠し、「1. 当てはまらない」、「2. あまり当てはまらない」、「3. どちらでもない」、「4. 少し当てはまる」、「5. 当てはまる」の5件法を用いた。

## 2.6. 評価テストと定期テストの準備

評価テストと定期テストは、処遇群と対照群の授業を担当する理科教師2名で作成した。

評価テスト（**図 3-2-2**）の問題1は、中和反応における量的関係や中和滴定の原理や操作に関する正しい科学的知識を空所に補充する空所補充テストである。問題2は、中和滴定に関する正しい科学的知識の正誤を判別する正誤判別テストである。問題3は、中和反応や中和滴定に関する科学的知識が、異なる実験手続きや濃度の試薬を用いた場合の定量計算に転移するかどうかを調べる転移テストである。それぞれ問題に対して正答した場合、問題1は各1点（計4点）、問題2は各1点（計4点）、問題3は各2点（計4点）とした。また、定期テスト（**図 3-2-3**）は、評価テストと異なる内容の転移テストであり、問題に正答した場合2点とした。

なお、評価テストの問題3と定期テストについては授業を担当する理科教師2名が話し合いのうえ採点した。また、評価テストは第4次に、定期テストは第4次から14日後に実施した。

**問題1** 次の①～④の文章の [ ] には化学式を、( ) には適当な語句を記入せよ。

- ① 酸と塩基が過不足なく中和するとき、酸からの [ ] の物質質量と、塩基からの [ ] の物質質量は等しくなる。
- ② 酸と塩基が過不足なく中和するとき、中和の完了した点を ( ) という。
- ③ 水溶液のpHが変化すると、色調が変化する色素を ( ) という。
- ④ 酸と塩基のどちらか一方の濃度がわかっていれば、中和の量的関係を利用して、中和に要した体積から、もう一方の水溶液の濃度を求めることができる。このような操作を ( ) という。

**問題2** 次の①～④の文章が正しければ○を、誤っていれば×を ( ) に記入せよ。

- ① 純水で濡れたホールビュレットは、はかりとる水溶液で中を数回すすいだ後に使用する。( )
- ② 純水で濡れたビュレットは、はかりとる水溶液で中を数回すすいだ後、加熱乾燥させて使用する。( )
- ③ コニカルビーカーは、純水で洗浄した後、濡れたまま使用してもよい。( )
- ④ メスフラスコは、純水で洗浄した後、濡れたまま使用してもよい。( )

**問題3** 以下の①、②の問いに答えよ。

- ① 0.10mol/Lの酢酸水溶液10mLを、濃度不明の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、中和点までに5.0mLを要した。水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何mol/Lか求めよ。  
(計算欄)
- ② 正確に10倍に希釈した塩酸10mLを、0.10mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、中和点までに10mLを要した。薄める前の塩酸のモル濃度は何mol/Lか求めよ。  
(計算欄)

図 3-2-2 評価テスト

食酢に含まれる酢酸の濃度を測定するための実験に関する次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、食酢に含まれる酸はすべて酢酸とし、同じ番号には同じ語句が入るものとする。市販の食酢10mLを(①)を用いて(②)に取り出し、水を加えて100mLとした(これを試料溶液とする)。この試料溶液に対して、以下の操作を3回行った。まず、(①)を用いて試料溶液10mLを(③)に取り出し、pH指示薬として(A)を加えた。次にこれを(④)に入れた0.10mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定した。

滴定3回の水酸化ナトリウム水溶液の平均値は7.3mLであった。希釈する前の食酢中の酢酸のモル濃度は何mol/Lになるか答えよ。

※ 他の問題は省略

図 3-2-3 定期テスト

### 第3項 結果

まず、処遇群と対照群のメタ認知活性化について、メタ認知尺度を用いて量的に検討し、発話事例、記述事例、および実験計画事例を用いて質的に検討した。次に、処遇群と対照群の科学的知識の定着について、評価テストと定期テストを用いて量的に検討した。なお、統計的分析にはSPSS14.0を用いた。

#### 3.1. メタ認知活性化の量的分析結果

まず、メタ認知尺度を用いて、処遇群と対照群の「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」、およびそれぞれ下位尺度の各実験場面の平均値(標準偏差)を表 3-2-5 に示した。次に、事前のメタ

認知尺度の得点（平成 20 年度 4 月上旬に実施）を共変量，授業（処遇授業と対照授業）を独立変数，メタ認知尺度の下位尺度の得点を従属変数とする共分散分析を行ったところ，「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」のいずれも，処遇群の平均値が，対照群のそれよりも有意に高かった（それぞれ， $F(1,55) = 4.92, p < .05$ ； $F(1,55) = 6.39, p < .05$ ）。さらに，それぞれの下位尺度の各実験場面における得点について，事前のメタ認知尺度の得点を共変量とする共分散分析を行ったところ，「実験前の自分自身によるメタ認知」と「実験後の他者との関わりによるメタ認知」の処遇群の平均値が，対照群のそれよりも有意に高かった（それぞれ， $F(1,55) = 10.6, p < .01$ ； $F(1,55) = 6.00, p < .05$ ）。

次に，IC レコーダーに記録された数グループの観察・実験活動中の発話について分析したところ，すべてのグループにおいて，実験後に他者との関わりの中で，課題解決結果について活発に議論していることが特徴的であった。その発話事例を表 3-2-6 に示す。実験後では，課題解決の目標を確認する様子（A1）が，自身の科学的知識を評価している様子（B1～B3）が，課題解決の手続きをお互いに確認する様子（A3～A8，C1，C3～C5）が，友人に課題解決の手続きの示唆を与える様子（C4）が，教師のヒントによって課題解決の手続きが整理されている様子（C8，C9）が見られた。

また，観察・実験活動に対する処遇群と対照群の特徴的な記述事例を表 3-2-7 に示す。処遇群・対照群ともに多くの生徒が，観察・実験活動に対してポジティブな反応を示していた。特に処遇群の記述では，友人や教師といった他者との関わりによる課題解決の計画に関する記述が多いことが特徴的であった。一方，対照群では，中和滴定の操作に関する記述が多いことが特徴的であった。

表 3-2-5 メタ認知の下位尺度と各実験場面の平均値（標準偏差）および共分散分析結果

下位尺度	処遇群		F値 (1,55)	実験場面	処遇群		F値 (1,55)		
	N=26	N=32			N=26	N=32			
自分自身によるメタ認知	Mean (SD)	3.97 (0.60)	3.63 (0.66)	4.92*	実験前	Mean (SD)	4.00 (0.77)	3.45 (0.70)	10.6**
					実験中	Mean (SD)	4.10 (0.54)	3.79 (0.70)	3.42
					実験後	Mean (SD)	3.73 (1.04)	3.56 (0.91)	0.10
他者との関わりによるメタ認知	Mean (SD)	3.82 (0.72)	3.53 (0.46)	6.39*	実験前	Mean (SD)	4.13 (0.73)	3.84 (0.67)	2.01
					実験中	Mean (SD)	3.42 (1.10)	3.21 (0.71)	0.93
					実験後	Mean (SD)	3.76 (0.81)	3.45 (0.49)	6.00*

※ 共変量には事前のメタ認知尺度の得点を用いた。

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

表 3-2-6 処遇群（グループ）の課題解決の計画時（実験後）における発話事例

（第3次 35分後）

- A1 : 求めるのは酢酸のモル濃度やろ？  
 B1 :  $Z_A$ 《酸の価数》とか、 $V_A$ 《酸の体積》とか全く分かん。  
 A2 : どっちかのモル濃度が分かんよと、なんか解けんよね。あつ分かったかも。今回使った水酸化ナトリウムは、・・・聞いてみよう。・・・・・・。  
 C1 : どれくらいになった？  
 B2 : 計算の仕方が全く分かん。  
 C2 : 大丈夫かい？  
 A3 : これよう、0.1mol？水酸化ナトリウム。  
 C3 : 0.1mol。  
 A4 : そうなが。  
 B3 : 俺、 $Z_A$ とか全く分かんがって。 $Z_A$ ってなんなが？  
 C4 :  $Z_A$  価数。 $Z_A$ ,  $Z_B$ 《塩基の価数》両方1。 $V$ 《体積》がこれやったら10mL。 $V_B$ 《塩基の体積》は、さっき入れた7.5とか7.45mL。で、 $C$ 《モル濃度》だしたらいい。  
 A5 : えっ、[酢酸のモル濃度が] めっちゃ小っちゃくなる。  
 C5 : たぶん、0.745で。  
 A6 : おれ、0.745なった。  
 C6 : モル濃度高いね。  
 A7 : 高い？  
 C7 : だって、水酸化ナトリウム0.1やもん。でねー。俺、0.748になったで。  
 A8 : こんなもん？まあ、こんなもん・・・。上の式から考えよう。  
 B4 :  $Z_B$ ってなんやった。  
 A9 :  $Z_B$ は1。  
 B5 : 水酸化ナトリウムの価数って何ぼやった？  
 A10 :  $Z_A$ ,  $Z_B$ って両方1やろ。  
 B6 : 両方1でね。  
 A11 :  $C_B$ 《塩基のモル濃度》は0.1。水酸化ナトリウムの濃度やき。  
 B7 : 0.1なが。・・・。前回の[水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を] 求めないかんが？  
 A12 : 前回の・・・。これなぞ多い。  
 T1 : いいかい。今回の実験は、前回の実験と関係しているんだよ。  
 C8 : そうか。・・・。あつ、よし、[水酸化ナトリウム水溶液の体積が] 10.5とか今考えたら、おかしい数字やん。  
 T2 : 今回、10倍希釈しているよ。いいかね。食酢は10倍希釈しているの、それを忘れないでね。  
 C9 : 最後10倍せないかん。

※ Tは教師の発話、A～Cは生徒の発話、数字は発話番号を示す。なお、[ ]は分析者による補足、《 》は分析者による下線部の置換、・・・は短い沈黙、・・・・・・は長い沈黙、？は上昇音調を示す。

表 3-2-7 処遇群と対照群の観察・実験活動に対する記述事例

処遇群	対照群
<p><b>E1</b> 今回の実験は前回の実験と違って、かなりの緊張感の中で行うことができました。それは、おそらく準備以外のことは、ほぼ全て自分たちでやらないといけなかったからだと思います。今回の実験までの休み時間を使って、僕たち3人は毎度、毎度集まって、「ここは何だ?」「こっちは何だ?」というように話し合っていました。</p>	<p><b>C1</b> 実験道具の取り扱いとかも、[ガラス器具を] 割りそうでこわかったけど、何とか無事に実験できたし、ビュレットとホールピペットは共洗いしたら使えるとか、いろんなことが分かってよかったです。</p>
<p><b>E2</b> はじめは、この実験は何をしているのか分かりませんでした。何を目的としているのかを十分に読み取ることができていなかったのので、実験本番になるまで何も考えていませんでした。つまり、1回目の実験は実験の意図も分からずやっていて、あまり自分のためになっっていなかったと思います。中和滴定をして、未知の濃度を調べるという目的が分かった2回目の実験は、1回目に比べてものすごく充実した1時間だったと思います。自分で考えて、みんなと協力してやった実験はとても楽しかったです。2回目の実験は、よく考えて行動したせいか、今でもハッキリ覚えていて、ためになりました。</p>	<p><b>C2</b> [ガラス器具の] 共洗いや実験道具の使い方など、化学の実験は本当に厳密に慎重にしないといけないと思った。中和点が近くなってきた時に、[水酸化ナトリウム水溶液を] 1滴ずつくらい滴下するのが難しく、何回もいきすぎて濃いピンク色になってしまったので、もっとビュレットをうまく使ったら良かった。中和点の前のときに、[ユニカルビーカーを] ふったら色がもどったけれど、その色はどこに行ったのか不思議に思った。</p>
<p><b>E3</b> 今回の実験は、今までただなんとなくやっていた実験とは違い、自分や班のみんなと考えることが出来たので、実験の後は、「どうしてこの結果になったのか」や、自分で次の実験の計画を立てることで、より内容が頭に入ってきて良かったです。考えて実験するのと、ただ実験するのでは全く後に得る物は違うと改めて感じました。</p>	<p><b>C3</b> シュウ酸 [標準溶液] に、フェノールフタレインを入れただけで、水酸化ナトリウム [水溶液] を入れると赤く変わり、しかもビーカーの中身を混ぜると、すぐにまた透明に戻ったのは、ただ純粋に驚きました。</p>

※ [ ] は分析者による補足を示す。

### 3.2. 科学的知識の定着の測定

観察・実験活動後の処遇群と対照群の生徒の科学的知識の理解に関する空所補充テスト、正誤判別テスト、転移テストの平均値（標準偏差）を表 3-2-8 に示した。評価テストについて、授業（処遇授業と対照授業）を独立変数、各テスト形式の得点を従属変数とする分散分析を行ったところ、転移テストにおいて、処遇群の平均値が対照群のそれよりも有意に高かった ( $F(1,56) = 10.5, p < .01$ )。さらに、定期テストについて、授業（処遇授業と対照授業）を独立変数、転移テストの得点を従属変数とする分散分析を行ったところ、処遇群の平均値が対照群のそれよりも有意に高かった ( $F(1,56) = 4.62, p < .05$ )。

表 3-2-8 各課題の平均値（標準偏差）および分散分析結果

テスト形式	評価テスト			F 値 (1,56)	定期テスト		F 値 (1,56)
	処遇群	対照群			処遇群	対照群	
	N=26	N=32			N=26	N=32	
空所補充	Mean (SD)	2.27 (1.00)	2.31 (0.86)	0.03	-	-	-
正誤判別	Mean (SD)	3.04 (1.08)	3.31 (0.54)	1.59	-	-	-
転移	Mean (SD)	2.19 (1.70)	0.86 (1.41)	10.5**	1.19 (0.80)	0.75 (0.76)	4.62*

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

## 第 4 項 考 察

### 4.1. メタ認知の活性化

メタ認知尺度で測定した結果より、本研究で提案する学習指導によれば、「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」が活性化されることが確認された。特に、「実験前の自分自身によるメタ認知」と「実験後の他者との関わりによるメタ認知」が活性化されることが確認された。

実験前の場面において、処遇群が対照群と比べて、自分自身によるメタ認知が活性化されたのは、実験方法の計画の違いによるものだと考える。処遇群には、設定された課題について、自身で解決方略を計画させたのに対して、対照群には指導者が計画した手続きを与えた。記述事例（表 3-2-7）や実験計画事例（図 3-2-4）が示すように、処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、自身で実験方法を計画する中で、認知の観察や制御を活性化する認知活動が積極的に行われていたことが推測される。

また、実験後の場面において、処遇群が対照群と比べて、他者との関わりによるメタ認知が活性化されたのは、実験結果の考察手続きの違いによるものだと考える。処遇群には自身で計画した実験計画から課題解決結果を導出させたのに対して、対照群には指導者が実験結果の考察手続きを与えた。記述事例（表 3-2-7）が示すように、処遇群は、対照群と比べて、

友人や教師といった他者との関わりの中で課題解決を行った。また、発話事例（表 3-2-6）が示すように、処遇群では、中和滴定によって濃度未知の酢酸のモル濃度を測定するために必要な科学的知識を対象とした気づき（A2, C8）、感覚（C6）、点検（A3, A9, A10, A11, B4~B6, C3）、評価（B1~B3）が積極的に行われた。また、処遇群では、課題解決のための目標設定（A1）、計画（C4）、修正（B7, C9）が積極的に行われた。その結果、処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、認知の観察や制御を活性化する認知活動が積極的に行われていたことが推測される。

しかし、一方で、実験中の場面では、処遇群と対照群にはメタ認知の活性化に差異は見られなかった。したがって、具体的な操作や作業を行っている場面では、科学的知識を検証するために位置づけた観察・実験活動によっても、生徒はメタ認知を活性化させることが推測される。

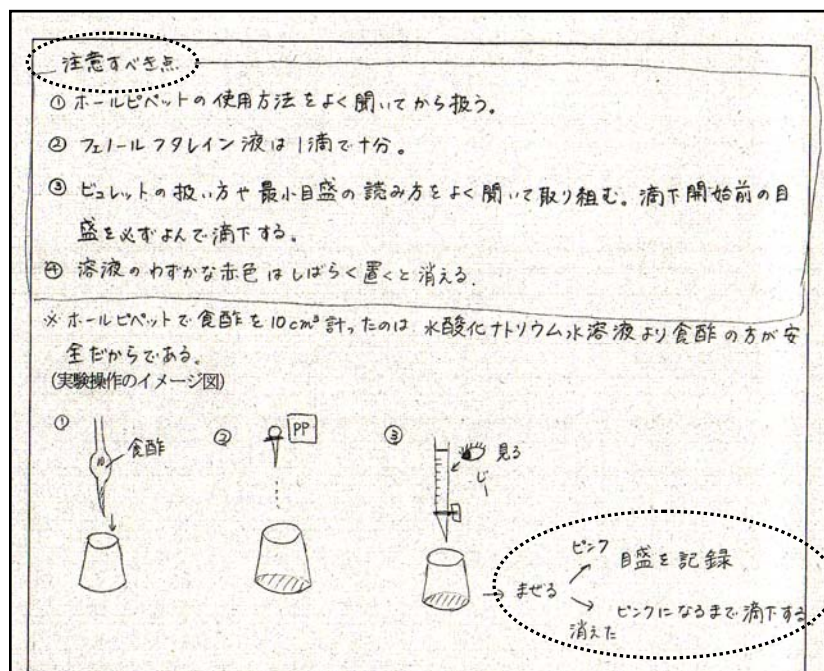


図 3-2-4 処遇群の生徒のメタ認知活動が見られる実験計画事例

※          は認知の観察（点検）や制御（目標設定）に関する記述



## 4.2. 科学的知識の定着

科学的知識の定着について、まず、評価テストで測定した結果より、メタ認知を活性化する観察・実験活動では、転移テストにおいて、高校生の中和反応の量的関係や中和滴定に関する知識の理解が達成されることが示めされた。さらに、定期テストで測定した結果より、同様のテスト形式において、高校生の中和反応の量的関係や中和滴定に関する知識の定着が達成されることが示めされた。

よって、メタ認知を育成する観察・実験活動は、学習した科学的知識を異なる実験方法や異なる濃度の試薬を用いた定量計算に転移させる能力を身につけさせ、さらには、その能力を定着させる可能性があることが示唆された。それは、処遇群の発話事例や記述事例が示すように、生徒が主体的・協同的に実験方法を考え、実験結果を考察することが、観察・実験活動直後の科学的知識の理解や、その定着に大きな影響を与えているためだと考える。

## 4.3. 研究3のまとめ

研究2と研究3の二つの研究事例から得られた知見を基に、高等学校理科（化学領域）における観察・実験活動におけるメタ認知活性化の意義について考察する。

これらの研究より、科学的知識を活用するための手段として位置づけた観察・実験活動では、学校種（進学校と進路多様校）、実験種（定性実験や定量実験）に関わらず、「自分自身によるメタ認知（特に、実験前）」と「他者との関わりによるメタ認知（特に、実験後）」が活性化された（表3-2-9）。さらに、そのような観察・実験活動では、転移テスト形式によって測定される科学的知識の理解や定着が達成されることが明らかとなった。よって、高等学校理科（化学領域）の観察・実験活動において、メタ認知を活性化させ、さらに科学的知識の理解と定着を達成するためには、従来行われてきたような科学的知識の帰納のため、あるいは検証のための

観察・実験活動だけでは十分ではなく、学習した科学的知識を、実際の課題で活用して、主体的・協同的に解決する必要がある。一連の研究事例では、そのような機会としての観察・実験活動の有効性が示唆されたと言える。

また、角屋ら(2007)は、小学校・中学校の理科担当教師を対象として、観察・実験活動を通して児童・生徒に育成する力について因子論的に分析した。その結果、同じ中等教育課程である中学校では、「科学的な原理・法則の理解」因子が抽出された。よって、本学習指導によれば、観察・実験活動を通して、中学校の理科担当教師が目標とする、生徒の科学的原理・法則に関する知識の理解が達成されることも期待できると考える。

次節では、本学習指導が、理科学習に及ぼす効果についてさらなる一般化を図るために、観察・実験活動そのものに対する考え方や行動といった実験観に及ぼす効果について実践的に検討する。

表 3-2-9 処遇群のメタ認知尺度に基づくメタ認知の活性化

観察・実験活動の内容 (学校種・実験種)		自分自身によるメタ認知				他者との関わりによるメタ認知			
		全体	実験前	実験中	実験後	全体	実験前	実験中	実験後
混合物の分離・同定 (進路多様校・定性実験)	有意差	*	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	**
中和滴定 (進学校・定量実験)	有意差	*	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , n.s. no significant

### 第3節 メタ認知を活性化する観察・実験活動が実験観の変容に及ぼす効果 —高等学校化学「化学反応と量的関係」を事例として—（研究4）

#### 第1項 目的

##### 1.1. 問題の所在

研究2と研究3では、メタ認知を活性化した処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、学校種や実験種に関わらず、科学的知識の理解と定着が達成されることを実践的に実証した（草場・湯澤・角屋，2010；草場・湯澤・角屋・森，印刷中）。しかし，いずれの研究も観察・実験活動の従属（目標）変数としての科学的知識といった知識的側面に着目したものであり，メタ認知を活性化する観察・実験活動が，観察・実験活動そのものに対する考え方や行動といった態度的側面に及ぼす効果については十分に検討できていない。

##### 1.2. 研究4の目的

研究4では，高等学校理科において，メタ認知を活性化する観察・実験活動が，高校生の観察・実験活動そのものに対する考え方や行動といった実験観の変容に及ぼす効果について実践的に検討しようとするものである。また，その結果から，高等学校理科におけるメタ認知の育成の新たな意義について述べようとするものである。

ここで，研究4と研究2・3の継続点と差異点について（表3-3-1）に整理する。まず，研究2・3との継続点は，独立変数には科学的知識を活用させる学習指導を，媒介変数にはメタ認知の活性化を位置づけたことである。このような継続点を設定する目的は，本学習指導が，異なる内容の観察・実験活動においても，高校生のメタ認知を活性化させることを導くことにある。また，研究2・3との大きな差異点は，学習指導の従属変数として，研究2では観察・実験活動直後の科学的知識の理解，研究3では科

学的知識の定着という、いずれも知識的側面に対する効果を位置づけたのに対して、研究4では、実験観という態度的側面に対する効果を位置づけたことである。このような差異点を設定することの目的は、観察・実験活動におけるメタ認知の育成の新たな学習効果を導くことである。

**表 3-3-1** 研究4と研究2・3の継続点と差異点

研究	継続点		差異点
	独立変数	媒介変数	従属変数
研究4	科学的知識を活用する 学習指導	メタ認知の活性化	実験観の変容
研究2・3			科学的知識の理解と定着

## 第2項 方法

研究4では、まず、質問紙調査によって、高校生の実験観の因子構造を明らかにし、実験観尺度を開発した。そして、メタ認知とメタ認知活性化の定義を行った。次に、高等学校理科（化学領域）において、メタ認知を活性化するための観察・実験活動をデザインし、実践事例を開発した。さらに、メタ認知の活性化を量的に測定する尺度を準備した。以下にその詳細について記す。

### 2.1. 実験観の因子構造の検討

#### 2.1.1. 実験観尺度の開発

高校生の実験観の因子構造を明らかにするために、市川・堀野・久保（1998）の学習観尺度を基に、実験観を測定する尺度を開発することにした。市川らの開発した学習観尺度は、「失敗に対す柔軟性」、「思考過程の重視」、「方略志向」、「意味理解志向」の四つの下位尺度から構成されている。それぞれの項目内容を参考にして、理科の観察・実験活動の文脈に適

合するように表現を改めて項目を作成した。また、観察・実験活動は体験的な学習プロセスであり、「新しい発見や気づきの過程」といった因子も抽出できるのではないかと想定し項目を追加することにした。なお、項目内容は、高等学校理科教師 3 名、心理学を専門とする大学教授で検討し、作成した。

質問紙調査では、「理科の観察・実験についてあなたの考え方や行動について質問します。次の質問について、あなたに一番当てはまるもの 1 つに○をつけてください。」と教示した。なお、回答方法は、「1. 当てはまらない」、「2. あまり当てはまらない」、「3. どちらでもない」、「4. 少し当てはまる」、「5. 当てはまる」の 5 件法を用いた。

### 2.1.2. 高校生の実験観の因子の抽出

高校生の実験観の因子を抽出するために、K 県内にある 3 つの公立高等学校 A 校 231 名、B 校 43 名、C 校 115 名、合計 389 名（1 学年 169 名、2 学年 165 名、3 学年 55 名）の高校生のデータを用いた。

A 校は、K 県の郡部に位置する進学校である。B 校は、都市部に位置し、卒業後は四年制大学をはじめ、短期大学、専門学校、就職など、多様な進路選択をする生徒が多い進路多様校である。C 校は、K 県の郡部に位置する進路多様校である。なお、調査は、A 校～C 校ともに、平成 18 年 10 月～12 月の時期に理科授業の中で実施した。まず、作成した実験観に関する 35 項目に対して、項目分析を行った。その後、実験観の下位概念を抽出するために、因子分析（主因子法・プロマックス回転）を行った。因子負荷量が.40 以上の項目を因子とし、固有値の推移と因子の解釈可能性から 6 因子が妥当であると判断した。2 つ以上の因子に負荷が見られた項目を削除し、計 20 項目について再度因子分析を行った。その結果を表 3-3-2 に示す（以下、本 20 項目を「実験観尺度」とする）。

第 1 因子は、「A3：実験がうまくいっているのかを、よく確認しながら実験をしている」といった項目をはじめ計 4 項目から構成されており、点

検、評価、修正によって観察・制御するといった方略を志向する、という内容から、「メタ認知的方略志向」と命名した。第2因子は、「A5：仮説を検証するための実験方法になっているのかをよく考える」といった項目をはじめ計3項目から構成されており、観察・実験活動が仮説を検証するといった方略を志向する、という内容から「仮説検証方略志向」と命名した。第3因子は、「A8：なぜそうなるかはあまり考えず、実験をしてしまうことが多い（逆転項目）」といった項目をはじめ計4項目から構成されており、一つひとつの実験方法の意味を理解するといった方略を志向する、という内容から「意味理解方略志向」と命名した。第4因子は「A12：図や表で整理しながら実験をしている」といった項目をはじめ計2項目から構成されており、観察・実験結果を図や表を用いて可視化するといった方略を志向する、という内容から「可視化方略志向」と命名した。第5因子は、「A14：実験をしていると、新しいことに気づくことがある」といった項目をはじめ計5項目から構成されており、観察・実験活動は発見や気づきのプロセスである、という内容から「新しい発見や気づき」と命名した。第6因子は「A19：実験方法の意味が分からなくても、実験が成功していればいいと思う（逆転項目）」といった項目をはじめ計2項目から構成されており、結果だけではなく観察・実験活動のプロセスが大切である、という内容から「実験プロセスの重視」と命名した。

また、これらの因子の信頼性係数（Cronbach  $\alpha$ ）は、第1因子～第5因子は.72～.86であり、それぞれの因子内の項目は、十分な内的整合性を備えていると判断した。ただし、第6因子については $\alpha$ 係数が若干低い（.6前半）が、許容の範囲であると判断した<sup>\*5</sup>。

表 3-3-2 実験観尺度の因子分析結果（主因子法・プロマックス回転）

項目内容/因子	F1	F2	F3	F4	F5	F6
<b>F1: メタ認知的方略志向 (<math>\alpha=.75</math>)</b>						
A1 実験に失敗したとき、実験方法を見直している	.74	-.04	-.04	-.08	-.10	-.02
A2 実験で思ったような結果がでないときは、その原因をつきとめようとする	.65	-.14	.13	.05	.07	.01
A3 実験がうまくいっているのかを、よく確認しながら実験をしている	.54	-.05	-.01	.13	.14	.02
A4 実験が成功しているグループの実験計画を参考にしている	.52	.19	-.01	.11	-.01	-.05
<b>F2: 仮説検証方略志向 (<math>\alpha=.75</math>)</b>						
A5 仮説を検証するための実験方法になっているのかをよく考える	-.04	.88	-.01	-.08	.01	-.01
A6 実験結果を予測しながら、実験方法を計画している	.07	.73	-.05	.10	-.02	-.07
A7 ある実験方法で成功したあとでも、別のより良い実験方法をさがして試みることもある	-.02	.50	.22	-.05	-.05	.00
<b>F3: 意味理解方略志向 (<math>\alpha=.86</math>)</b>						
A8 なぜそうなるかはあまり考えず、実験をしてしまうことが多い (R)	.07	.03	.92	-.01	-.01	-.11
A9 実験方法の意味が分からなくても、あまり気にせずに実験をしている (R)	-.08	.01	.84	-.06	.09	.00
A10 実験方法の意味が分からなくても、あまり気にならない (R)	.13	.02	.77	-.06	-.04	.07
A11 実験方法の意味をあまり考えずに、実験をすることが多い (R)	-.15	-.04	.50	.27	.03	.15
<b>F4: 可視化方略志向 (<math>\alpha=.72</math>)</b>						
A12 図や表で整理しながら実験をしている	.05	-.03	.04	.80	-.10	-.02
A13 実験結果は、図や表で整理して理解しようとしている	.01	.02	-.07	.72	.09	.02
<b>F5: 新しい発見や気づき (<math>\alpha=.75</math>)</b>						
A14 実験をしていると、新しいことに気づくことがある	-.06	.04	.08	-.05	.80	.05
A15 新しいことに気づくので、実験はおもしろい	-.01	.12	-.04	.03	.78	-.03
A16 授業よりも、実験のほうがたくさんの発見がある	.01	-.02	-.02	-.11	.54	-.13
A17 思いもよらない発見があるから、実験はおもしろい	-.15	.16	.23	-.07	.53	.00
A18 実験をしても、新しい発見はあまりない (R)	-.07	.00	.21	.11	.46	.14
<b>F6: 実験プロセスの重視 (<math>\alpha=.63</math>)</b>						
A19 実験方法の意味が分からなくても、実験が成功していればいいと思う (R)	-.05	-.10	-.09	-.01	.06	.81
A20 実験方法の意味より、実験が成功していたかどうか気になる (R)	.19	.07	.11	-.10	-.11	.54
因子間相関						
	F2	.58				
	F3	.35	.44			
	F4	.61	.56	.33		
	F5	.50	.49	.22	.34	
	F6	.11	.23	.47	.16	.13

※ R:逆転項目, N=389

## 2.2. メタ認知およびメタ認知活性化の定義

研究 4 おけるメタ認知およびメタ認知活性化の定義は、それぞれ第 1 章の第 2 節 2.1 項と 2.2 項による。

## 2.3. メタ認知を活性化する観察・実験活動のデザイン

本研究の対象となる事例として、化学 I 「物質と化学反応式」の中の小単元「化学反応と量的関係」における「化学反応と量的関係」の観察・実験活動を取り上げた。

※<sup>5</sup> 第 6 因子の  $\alpha$  係数が若干低いこと、第 3 因子、第 6 因子の項目がすべて逆転項目になっていることなど、実験観尺度については、さらなる洗練が必要であると考えられる。

まず、本事例において、高校生のメタ認知を活性化するための観察・実験活動をデザインした（表 3-3-3）。本学習指導に基づく理科授業を処遇授業とし、一方、処遇授業の効果を検証するための比較となる授業を対照授業とした。具体的には、対照授業を、学習する科学的知識を観察・実験活動によって検証する授業として設定した。また、観察・実験活動における場面は、仮説やモデルを設定し実験方法を計画するといった実験前の場面、具体的な操作や作業を行っている実験中の場面、実験結果から科学的原理・法則を導出する実験後の場面に分けることができる。表 3-3-3 には処遇授業の三つの実験場面における、メタ認知活性化のための目標とする認知活動とその具体的活動の関係について整理した。また、本研究では、授業時数の違いによる影響を排除するために、処遇授業と対照授業は、同じ授業時間数で実施した。なお、処遇授業と対照授業はともに平成 22 月 5 月上旬に実施した。



表 3-3-3 メタ認知を活性化する観察・実験活動（処遇授業）のデザイン

実験場面	処遇授業	対照授業
実験前	(メタ認知活性化のための目標とする認知活動) 学習した科学的知識を活用して、現実的な課題を解決するための仮説やモデルを設定し、実験を計画することで、観察（予想・点検）や制御（目標設定・計画・修正）を活性化させる。	(具体的活動) 生徒たちは、粒子モデルを用いて、化学反応式における係数比と物質質量比が同じになることを学習した後、指導者が設定した仮説と実験計画を確認する。
	(具体的活動) 生徒たちは、粒子モデルを用いて、化学反応式における係数比と物質質量比が同じになることを学習する。その後、学習した化学反応における量的関係に関する知識を活用して、白い粉（炭酸カルシウム）の成分物質を調べるための実験計画を行う。さらに、異なるグループで2回の実験計画を行うこととし、2回目の実験計画では、1回目の実験計画について班員へ説明する。	
実験中	(メタ認知活性化のための目標とする認知活動) 自身が計画した実験手続きを一つひとつ振り返りながら実験活動を行うことで観察（点検・気づき）や制御（計画・修正）を活性化させる。	(具体的活動) 生徒たちは、炭酸カルシウムと塩酸を化学反応させて、二酸化炭素の質量を測定する。
	(具体的活動) 生徒たちは、自身が計画した実験手続きに従い、白い粉（炭酸カルシウム）の成分物質を調べるための実験を行う。	
実験後	(メタ認知活性化のための目標とする認知活動) 他者との議論を通して、課題解決結果を導出することで、観察（気づき・評価）や制御（修正）を活性化させる。	(具体的活動) 生徒たちは、指導者が設定した考察手続きに従って、化学反応式における係数比と物質質量比が同じになることを検証する。
	(具体的活動) 生徒たちは、白い粉（炭酸カルシウム）の成分物質が何であるかを検討する。さらに、各グループの実験結果をクラス全体に発表し、実験方法や考察手続きをリフレクションする。	

## 2.4. 授業の参加者

本研究の対象となる処遇群と対照群には、公立高等学校（普通科）の化学 I を選択している 2 年生 3 クラス（処遇群 2 クラス，対照群 1 クラス）を割り当てた。処遇群の生徒数 75 名（男子 35 名，女子 40 名），対照群の生徒数 35 名（男子 14 名，女子 21 名）であった。なお，本校は，K 県の都市部に位置する進学校であり，平成 22 年 5 月上旬に実施した進路希望調査では 80%以上の生徒が国公立大学への進学を希望していた。

## 2.5. 処遇授業と対照授業の展開

処遇授業と対照授業の学習指導の展開を**表 3-3-4**に示す。両授業ともに、第1次で、化学反応と量的関係について学習した後、第2・3次で観察・実験活動を行った。また、数グループの生徒の観察・実験活動中の発話についてICレコーダーを用いて記録した。

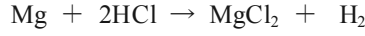
さらに、観察・実験活動後に、今回の観察・実験活動に対する自身の考え方や行動などについて自由に記述させた。なお、**表 3-3-5**には処遇群に提示した課題を、**図 3-3-1**には処遇群の実験計画事例を示す。また、**表 3-3-6**には対照群の考察手続きを示す。

表 3-3-4 処遇授業と対照授業の学習指導の展開

時間	展開	処遇授業	対照授業	指導上の留意点
第1次	説明 (45分)	<b>【E1：化学反応と量的関係の説明】</b> 粒子モデルを用いて化学反応における量的関係（係数比と物質質量比が同じになること）を演繹的に説明する。	<b>【C1：化学反応と量的関係の説明】</b> 処遇授業と同じ。	<b>【説明】</b> 今回の実験は、危険な試薬を用いることを告げ、WSや筆記用具以外のもの（教科書やノートなど）は、実験台の上に置かないよう指示する。
	展開Ⅰ  (15分)	<b>【E2：WSの配布】</b> 処遇群用のWSを配布し、実験上の注意点を説明する。  <b>【E3：課題提示】</b> 化学反応の量的関係を応用した課題（WSに記載）を提示する。	<b>【C2：WSの配布】</b> 対照群用のWSを配布し、実験上の注意点を説明する。  <b>【C3：実験活動の説明】</b> 実験活動を通して、化学反応式における係数比と物質質量比が同じになることを検証することを説明する。	<b>【展開Ⅰ】</b> 塩酸の取り扱いには十分に留意するよう指示する。実験中は保護メガネをかけて実施するよう指導する。
第2次	展開Ⅱ  (30分)	<b>【E4-1：第1回課題解決の計画】</b> 各グループで、白い粉（炭酸カルシウム）と塩酸との化学反応により、白い粉の成分を同定する実験を計画する。  <b>【E4-2：第2回課題解決の計画】</b> 1回目の実験計画を班員に説明した後、2回目の実験計画を行う。	<b>【C4：実験結果の導出】</b> 数種の質量の炭酸カルシウムと塩酸を化学反応によって発生した二酸化炭素の質量を測定する。	<b>【展開Ⅱ】</b> 炭酸カルシウムと塩酸の化学反応では塩酸が飛び散る危険性があることを告げ、皮膚や電子天秤につかないように十分に注意するよう指導する。皮膚についての場合の対処法について説明する。
	展開Ⅲ  (30分)	<b>【E5：課題解決】</b> 各グループの実験計画に従い、白い粉の成分物質を同定する実験を実施する。  <b>【E6：授業のまとめ】</b> 白い粉の成分物質は炭酸カルシウムであることを説明し、再度、化学反応と量的関係について確認する。	<b>【C5：化学反応と量的関係の検証】</b> 炭酸カルシウムと塩酸との化学反応で測定した二酸化炭素の質量を物質質量に換算する。  <b>【C6：授業のまとめ】</b> 化学反応式の物質質量比と係数比は同じになることを確認する	<b>【展開Ⅲ】</b> 白い粉（炭酸カルシウム）と塩酸との化学反応では塩酸が飛び散る危険性があることを告げ、十分に注意するよう指導する。皮膚についての場合の対処法について説明する。
第3次	評価  (15分)	<b>【E7：メタ認知尺度の実施】</b> 調査用紙に記入する。  <b>【E8：理科実験観尺度の実施】</b> 調査用紙に記入する。  <b>【E9：授業に対する自由記述】</b> 本授業に対して自由に記述する。	<b>【C7：メタ認知尺度の実施】</b> 処遇授業と同じ。  <b>【C8：理科実験観尺度の実施】</b> 処遇授業と同じ。  <b>【C9：授業に対する自由記述】</b> 処遇授業と同じ。	<b>【評価】</b> メタ認知尺度と理科実験観尺度の結果は、成績とは無関係であることを告げ、素直な気持ちで回答するよう指示する。

表 3-3-5 処遇群に示した課題 (WS より抜粋)

これまでに、化学反応式における係数比と物質質量比は同じであることを学習しました。例えば、塩酸にマグネシウムを加えると、



で表される化学反応が起こりましたね。この化学反応式から、1.0molのマグネシウムが反応すると、1.0molの水素が生成することが分かりますね。ここで、君たちに課題を与えたいと思います。各班に配ったサンプル管の中に白い粉末が入っています。これから、この粉末を“X”としましょう。今回の実験で用意した塩酸とXを化学反応させて、Xの正体を調べてほしいと思います。ここで、少しヒントを与えます。

<ヒント>

- ① Xと塩酸が化学反応すると、二酸化炭素が発生します。その際、反応するXと生成する二酸化炭素の物質質量比は1:1となります。
- ② このXは、次の物質のいずれかです。  
炭酸リチウム $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 、炭酸カリウム $\text{K}_2\text{CO}_3$ 、  
炭酸カルシウム $\text{CaCO}_3$ 、炭酸水素ナトリウム $\text{NaHCO}_3$

ヒントを参考にして、各班で、Xの正体を調べる実験を計画し、実行してほしいと思います。実験計画は、【実験計画上の注意】と【解決のヒント】をよく読んで行って下さい。さて、このチョークの主成分“X”の正体は何でしょうか？

【第1回 実験計画】(10)班

実験計画

炭酸リチウムの式量 (74)  
炭酸カリウムの式量 (138)  
炭酸カルシウムの式量 (100)  
炭酸水素ナトリウムの式量 (84)

100% 炭酸リチウムの式量 = 炭酸水素ナトリウムの式量  
 $14 = 0.5g = 44 = X$

0.2gとXとおいて  
比の式を計算して  
1:20.2(5に近いものか)  
111

0.2gは確率の値には限らないため、  
二酸化炭素の重さと言は炭酸塩に  
何回か行い平均値。その値に近いものか  
答えは1:1

予測する結果(複数を書くと)

10X)の計算式  
 $X(0.5g) + \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ が“出たんだ”  
一番値が近い  $\text{CaCO}_3$  とだ。

【第2回 実験計画】(9)班

実験計画

3g 炭酸塩5.0g!!

$\text{CaCO}_3$  (100 = 44 = 3 = 0.132) 0.22  
 $\text{K}_2\text{CO}_3$  (138 = 44 = 3 = 0.0956)

出たCO<sub>2</sub> = 二酸化炭素

物質	CO <sub>2</sub>
1回目	0.1
2回目	0.1

物質	CO <sub>2</sub>
1回目	0.2g
2回目	0.2g

0.3gの時、0.2gの時、  
 $\text{CaCO}_3$ と近い値と  
0.3gの時、0.2gの時、  
0.5gの時、 $\text{CaCO}_3$ と  
0.5gの時、 $\text{CaCO}_3$ と

予測する結果(複数を書くと)

白い粉の正体は...  $\text{CaCO}_3$ !!

0.5gを20mlのHClの中に入れた時の実験結果、  
値が1番近い  $\text{CaCO}_3$  とだぞと考へた。

$\text{CaCO}_3(0.5g) \rightarrow 0.22g$   
 $X(0.5g) \rightarrow 0.2g$

実験操作のイメージ

4回くらい同じ実験を繰り返して、平均値

20mlのHCl

0.3g 0.2g 0.5g 1.0g (X)

0.1gの時、CO<sub>2</sub>が0.2g出たこと  
調べる。

【各班の実験結果】

(9)班は実験結果より、Xの正体は( $\text{CaCO}_3$ )であると判断しました。その理由は、  
 $\left\{ \begin{array}{l} X \text{を} 20\text{mlの HClの中に入れた時、} 0.2\text{gの CO}_2 \text{を出したことから} \\ \text{CaCO}_3 \text{の CO}_2 \text{を出る値に一番近いことから Xの正体は } \text{CaCO}_3 \end{array} \right.$   
 であるからです。

図 3-3-1 処遇群の生徒の実験計画事例

表 3-3-6 対照群の考察手続き (WS より抜粋)

- (1) 炭酸カルシウム0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, 2.0 g の物質量はそれぞれ何molか。  
(原子量はC=12, O=16, Ca=40 を用いよ)
- (2) 【結果】から, 表を整理せよ。  
(表は略)
- (3) 加えた炭酸カルシウムの物質量と, 発生した二酸化炭素の物質量の関係をグラフで表せ。  
(グラフは略)

## 2.6. メタ認知尺度の準備

本研究では, 処遇群が対照群と比較して, メタ認知を活性化させているか否かを量的に確認 (デザインチェック) するために, 研究 1~3 で用いたメタ認知尺度を準備した (表 2-1)。本尺度の高校生への使用については, 実践校の授業を担当する理科教師が検討したところ, そのまま適用できると判断した。

なお, 回答方法は, 先行研究に準拠し, 「1. 当てはまらない」, 「2. あまり当てはまらない」, 「3. どちらでもない」, 「4. 少し当てはまる」, 「5. 当てはまる」の 5 件法を用いた。

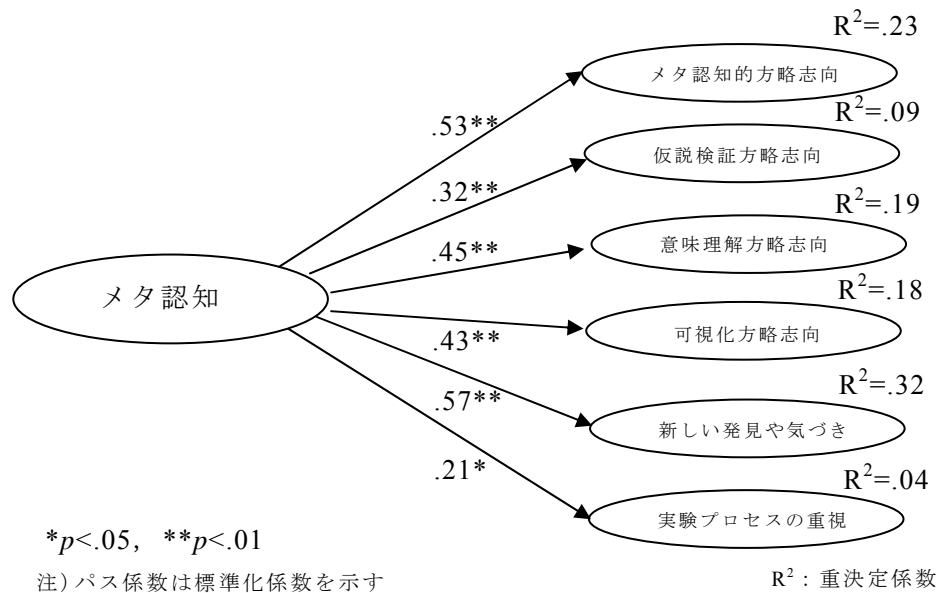
## 第 3 項 結 果

まず, メタ認知尺度と実験観尺度を用いて, 処遇群と対照群のメタ認知と実験観の因果関係, メタ認知の活性化, および実験観の変容について量的に検討した。そして, 発話事例と記述事例を用いて, 処遇群と対照群のメタ認知の活性化について質的に検討した。なお, 統計的分析には SPSS14.0 を用いた。

### 3.1 メタ認知と実験観の因果関係

まず, 授業の事前に測定した (平成 22 年 4 月中旬実施) メタ認知尺度と実験観尺度の得点の結果を用いて, 処遇群と対照群のメタ認知と実験観の因果関係を調べた。メタ認知を独立変数, 実験観の各因子を従属変数と

する回帰分析を行ったところ、すべての因子において、メタ認知からの有意なパスが見られた（**図 3-3-2**）。よって、観察・実験活動におけるメタ認知の活性化は、実験観の変容に影響を与えることが推測される。



**図 3-3-2** 観察・実験活動におけるメタ認知と実験観の回帰分析結果

### 3.2 メタ認知活性化の量的分析結果

まず、メタ認知尺度を用いて、処遇群と対照群の「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」、およびそれぞれ下位尺度の各実験場面の平均値（標準偏差）を**表 3-3-7**に示した。次に、事前のメタ認知尺度の得点を共変量、授業（処遇授業と対照授業）を独立変数、メタ認知尺度の下位尺度の得点を従属変数とする共分散分析を行ったところ、処遇群の「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった（それぞれ、 $F(1,107) = 7.43, p < .01$ ;  $F(1,107) = 23.8, p < .01$ ）。さらに、「自分自身によるメタ認知」について、各実験場面における平均値について、事前のメタ認知尺度の得点を共変量とする共分散分析を行ったところ、「実験

前と実験後の自分自身によるメタ認知」の処遇群の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった ( $F(1,107) = 12.7, p < .01$ ;  $F(1,107) = 5.06, p < .05$ )。また、「他者との関わりによるメタ認知」について、各実験場面における平均値について、事前のメタ認知尺度の得点を共変量とする共分散分析を行ったところ、すべての実験場面において、「他者との関わりによるメタ認知」の処遇群の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった (それぞれ、 $F(1,107) = 22.2, p < .01$ ;  $F(1,107) = 10.7, p < .01$ ;  $F(1,107) = 18.9, p < .01$ )。

表 3-3-7 メタ認知の下位尺度と各実験場面の平均値 (標準偏差) および共分散分析結果

下位尺度	処遇群 N=75	対照群 N=35	F 値 (1,107)	実験場面	処遇群 N=75	対照群 N=35	F 値 (1,107)		
自分自身によるメタ認知	Mean (SD)	4.10 (0.71)	3.79 (0.92)	7.43*	実験前	Mean (SD)	4.08 (0.82)	3.57 (1.07)	12.7**
					実験中	Mean (SD)	4.15 (0.72)	3.94 (0.92)	1.89
					実験後	Mean (SD)	4.07 (0.81)	3.78 (1.07)	5.06*
他者との関わりによるメタ認知	Mean (SD)	4.21 (0.72)	3.52 (0.82)	23.8**	実験前	Mean (SD)	4.38 (0.73)	3.57 (1.12)	22.2**
					実験中	Mean (SD)	3.97 (0.96)	3.37 (0.97)	10.7**
					実験後	Mean (SD)	4.06 (0.81)	3.54 (0.79)	18.9**

※ 共変量には事前のメタ認知尺度の得点を用いた。

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

### 3.3 実験観の変容の量的分析結果

処遇群と対照群の生徒の実験観の下位尺度の平均値 (標準偏差) を表 3-3-8 に示した。次に、事前の実験観尺度の得点を共変量、授業 (処遇授業と対照授業) を独立変数、授業後の実験観の得点を従属変数とする共分散分析を行ったところ、実験観の「仮説検証方略志向」において、処遇群の平均値が、対照群のそれよりも有意に高かった ( $F(1,107) = 18.1, p < .01$ )。

表 3-3-8 実験観尺度の下位尺度の平均値（標準偏差）および共分散分析結果

下位尺度		処遇群	対照群	F 値 (1,107)
		N=75	N=35	
メタ認知的方略志向	Mean	3.75	3.58	1.56
	(SD)	(0.77)	(0.64)	
仮説検証方略志向	Mean	3.47	2.93	18.1**
	(SD)	(0.75)	(0.77)	
意味理解方略志向	Mean	3.30	3.25	0.23
	(SD)	(0.88)	(0.84)	
可視化方略志向	Mean	3.05	3.31	0.24
	(SD)	(1.09)	(0.86)	
新しい発見や気づき	Mean	3.88	3.78	0.33
	(SD)	(0.62)	(0.61)	
実験プロセスの重視	Mean	3.07	2.90	0.28
	(SD)	(0.92)	(0.93)	

※ 共変量には事前の実験観尺度の得点を用いた

\*\* $p < .01$

### 3.4 観察・実験活動における発話事例と記述事例

次に、処遇群の1回目の課題解決を計画している場面（実験前）の発話事例を表 3-3-9 に、2回目の課題解決を計画している場面（実験前）の発話事例を表 3-3-10 に、観察・実験の具体的な操作や作業によって課題解決をしている場面（実験中）の発話事例を表 3-3-11 に、観察・実験結果を考察している場面（実験後）の発話事例を表 3-3-12 に示した。1回目の課題解決を計画している場面では、教師が与えたヒントによって、生徒の課題解決の方法がまとまろうとしている様子（T3→A7）などが見られた。そして、2回目の課題解決を計画している場面では、生徒が新しいグループの生徒に対して、1回目に計画した実験計画を説明する様子（B4）や、その意見によって実験計画を修正する様子（A10～A12）などが見られた。また、観察・実験の具体的な操作や作業をしている場面では、計画した実験方法ではうまくいかず、新しい実験方法を提案する様子（F7, H6）や、観察・実験結果を考察している場面では、友人とお互いに実験結果を確認しながら WS を作成する様子が見られた。さらに、観察・実験活動に対する処遇群のメタ認知活動や実験観の変容に関する記述事例を表 3-3-13 に示した。処遇群では、実験観が変容したことや科学的知識の活用に関する



記述（事例1）が、自身の認知活動の目標設定、評価に関する記述（事例2・5）が、他者との関わりによる認知活動の修正や点検に関する記述（事例3・4）が見られた。

**表 3-3-9** 処遇群の1回目の課題解決の計画時（実験前）における発話事例

（第2次開始 30分後）

- A1 : [Xの調べ方が] 分かったと思ったのに、よく考えたら分からん。●●[友人の名前]、結局どうなった？  
 B1 : わからん・・・。  
 A2 : 分かったような気がしたけどな。見えてきたは見えてきたけど・・・。  
 T1 : これ式量だしてあるの全部？  
 C1 : 式量だした。[炭酸リチウムは] 74, [炭酸カリウムは] 138, [炭酸カルシウムは] 100, [炭酸水素ナトリウムは] 84。  
 T2 : [二酸化炭素の分子量の] 44は決まっているのよね。  
 B2 : そう全部44。  
 A3 : 差が24。  
 B3 : 差は関係ない。  
 A4 : 差は関係ない？  
 C2 : この二つの関係が重要。  
 T3 : その二つの関係になっているやつを選べばどうやろう？特定できるんじゃない。これが74対44の関係になっていたら、おそらく、それは、炭酸リチウムということでは？  
 A5 : これを何対何にして・・・。  
 T2 : 実際使えることができるのは0.5gから3gまでだから・・・。  
 A6 : 分かった。0.5gつかったとき、どれぐらいCO<sub>2</sub>がでたかってこと？  
 T4 : 一個ずつ調べる？  
 A7 : その比を調べて、それを比にしたらええがって。きた一分かった。分かった。  
 C3 : 最小の比にしたらいいがや。直したらいいんや。  
 A8 : 分かった。

※ Tは教師の発話、A～Cは生徒の発話、数字は発話番号を示す。なお、[ ]は分析者による補足、・・・は短い沈黙、？は上昇音調を示す。

**表 3-3-10** 処遇群の2回目の課題解決の計画時（実験前）における発話事例

（第3次開始 5分後）

- B4 : ちらは、昨日 [の課題解決の計画で、反応させるXの質量を] 1gにしようかってよ。  
 A9 : 1gが計算しやすいかなと思って。  
 D1 : 私ら、それ《X》1.85g入れたときに [二酸化炭素が] 1.1g発生したら、そのまま比通りに《炭酸リチウムと二酸化炭素の比に》なるやんか。  
 B5 : けど、他のやったらどうするが？  
 D2 : 他のやつも [二酸化炭素が] 3.45 [g] と2.5 [g] と2.1 [g] 入れて [二酸化炭素が] 1.1 [g] 発生したら、いいがやない？  
 A10 : なるほどね。4つあるしねビーカー。  
 B6 : ほな、そうしょ。  
 A11 : [Xを] 1.85g入れる。  
 D3 : でもかまわんが、数字がちょっと違うけど。  
 A12 : いいと思う。

※ A, B, Dは生徒の発話、数字は発話番号を示す。なお、[ ]は分析者による補足、《 》は分析者による下線部の置換、？は上昇音調を示す。

表 3-3-11 処遇群の具体的な操作・作業時（実験中）における発話事例

（第3次開始 23分後）

- F1 : いい感じ。[発生する二酸化炭素は] なんぼになったらいいって？  
 G1 : 1.32 [g]。  
 H1 : えっ。3 [g] 引く1.94 [g] でね。  
 F2 : うん。ちょっと、こぼれたやつ《X》も考えていいがって。  
 H2 : オッケー、オッケー。3 [g] 引く1.92 [g]・・・1.08 [g] ぐらい？えっ？今何ぼっていったけ？  
 F3 : 1.32 [g]。  
 H3 : えっ。ちょっと [発生した二酸化炭素が] 少ない。えっ、まってよ。計算ミスったかもしれない？  
 F4 : [Xが] こぼれた  
 H4 : うん。でも1.32 [g] になるがやないうか。  
 F5 : まさか、あんなこぼれかたするとは思わなかったな・・・。  
 G2 : ほんまやね・・・・・・・・。  
 F6 : [Xが] 全部反応してない・・・。  
 H5 : あー本当や。[Xが] 多かった・・・。多かったがやと思う。もっと少なくやろう。  
 F7 : 1でやろう《Xを1gで反応させよう》。  
 H6 : 1でやろう。

※ F～Hは生徒の発話、数字は発話番号を示す。なお、[ ]は分析者による補足、《 》は分析者による下線部の置換、・・・は短い沈黙、・・・・・・・・は長い沈黙、?は上昇音調を示す。

表 3-3-12 処遇群の実験結果の考察時（実験後）における発話事例

（第3次開始 24分後）

- I1 : ①《炭酸リチウム》は [発生する二酸化炭素は] 1.6 [g] やったらよかったがよね。  
 J1 : いや違う。0.6 [g]。  
 I2 : そうか。0.6 [g]。  
 (WS作成)  
 K1 : ねえ、②《炭酸カリウム》は [発生する二酸化炭素は] 何ぼになったらよかったが？  
 (WS作成)  
 I3 : ②はね、2.35 [g]。  
 (WS作成)  
 K2 : ③《炭酸カルシウム》は結果が1.4 [g] やったらよかったよね。  
 I4 : うん。  
 (WS作成)  
 K3 : ④《炭酸水素ナトリウム》は結果が1 [g] になったらよかったが。  
 J2 : うん1 [g]。  
 (WS作成)  
 I5 : ねえ、どうしてこれって引くが？  
 K4 : 二酸化炭素が1.1 [g] やったらいいわけやんか。  
 J3 : やき、最初いれたときから1.1 [g] 出ていったらいいわけやき、それ引いたら、そのここに・・・。  
 I6 : あっ、そうか、ありがとう・・・。  
 J4 : 答え炭酸カルシウムやっけ？  
 K5 : そう。  
 (WS作成)

※ I～Kは生徒の発話、数字は発話番号を示す。なお、[ ]は分析者による補足、《 》は分析者による下線部の置換、・・・は短い沈黙、?は上昇音調を示す。

表 3-3-13 授業後の処遇群のメタ認知活動や実験観の変容に関する記述事例

<p>実験観の変容に関する記述 (事例1)</p>	<p>■今までの実験だと「AにBをCするとDになる」というふうになんか何をしていくのか始めから分かっていた。そして、今回はそのDの部分がかかっていませんでした。今まで何げなくやっていた実験が今回はすごく頭で理解して考えた中でやっていくものだったので、今回の実験で実験に対する考え方が変わった気がします。(男子)</p> <p>■今までの実験の手順や準備物などほとんど先生が指示してくれていて、それに従って実験を進めればよかったけれど、今回の実験を通して、自分で考え、自分で実験を進めることの難しさが分かった。でも自分で考えて実験を進めることで、今まで授業で習った知識を実際に利用することができたのでよかったです。そして、班の皆で考えを出し合って、実験を行う楽しさにも気付くようになりました。(女子)</p>
<p>1回目の課題解決の計画時 (実験前)に関する記述 (事例2)</p>	<p>■以前は実験のねらいとか、何のための実験とかは考えずに用意されていたものを、ただこなすことしか考えていなかったけど、今回、実験の前にそれを考え友だちと話し合うということをして、実験しながら考え、以前よりも楽しく集中して取り組むことができた。(男子)</p>
<p>2回目の課題解決の計画時 (実験前)に関する記述 (事例3)</p>	<p>■実験結果をいろんな角度から推測し、予想した。今までは今回ほど「予想を立てる」ことはしっかりやっていたので大事なことでと思った。班が入れ替わったことで意見を交換し、自分の考えを見直すことができた。(女子)</p>
<p>具体的な操作・作業時 (実験中)に関する記述 (事例4)</p>	<p>■実験をする時は、小さな所までしっかり予め決めておかないと、いざ始めた時に、手順が分からなくなってしまい混乱した。観察・実験時では、コミュニケーションを取り合う事と、細かいところまでお互いしっかり確認して行うことが大切だと思った。(男子)</p>
<p>観察・実験結果の考察時 (実験後)に関する記述 (事例5)</p>	<p>■実験からの結果は、2回ともあいまいで、スッキリする答えが出てこなかった。そのこともふまえて、次への課題を見つけることができました。そして、実験を何回もする中で、どうしたら失敗するのか、どうしたら上手くいくのかが分かるようになってきました。(女子)</p>

## 第4項 考察

### 4.1 メタ認知の活性化

メタ認知尺度で測定した結果より、本学習指導によれば、「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」が活性化されることが確認された。

まず、実験前の場面では、発話事例や記述事例が示すように、処遇群の生徒は、教師や友人といった他者との関わりの中で、課題解決を計画する

ことによって、化学反応と量的関係に関する知識を対象とした気づき(A6, A7)が積極的に行われた。その結果、自身の科学的知識の観察が活性化されたと考える。また、処遇群の生徒は、2回目の課題解決の計画において実験計画の目標設定(事例2)や修正(B6, 事例3)を行った。よって、自身の認知活動の制御も活性化されたと考える。

そして、実験中の場面では、発話事例や記述事例が示すように、処遇群の生徒では、他者との関わりの中で点検(F1, G1, H1, 事例4)や修正(F7, H6)が積極的に行われていた。よって、他者との関わりにといたった外化支援によって自身の科学的知識の観察や認知活動の制御が活性化されたと考える。

さらに、実験後の場面では、発話事例や記述事例が示すように、処遇群の生徒では、自身の認知活動に対する評価(事例5)や他者との関わりの中で認知活動の点検(I1, J1~J3)が積極的に行われていた。よって、自身の認知活動の観察が積極的に行われていたと考える。

## 4.2 実験観の変容

実験観尺度で測定した結果より、本学習指導によれば、「仮説検証方略志向」が変容することが示された。それは、処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、観察(気づき・点検・評価)や制御(目標設定・修正)によってメタ認知を活性化させながら、主体的・協同的に学習した科学的知識を活用して、課題解決のための仮説を設定していたためだと考える。さらに、他のグループの実験方法や、異なる実験方法に基づく実験結果を共有することで、どのような実験方法によれば、課題解決のための仮説を検証することができるのか、といった方略志向の必要性やその効果を実感したのではないかと考える。

しかし、一方で、科学的知識を活用して、メタ認知を活性化する観察・実験活動によっても、「メタ認知的方略志向」の変容は十分に達成できなかった。それは、処遇授業では、観察・実験活動の成功/失敗経験を通し

て、実験方法を再度見直（点検）したり、失敗の原因を追究（評価）したり、あるいは、成功しているグループを参考にして実験計画を修正したりすることの必要性やその効果を十分に実感できていなかったためだと考える。よって、メタ認知的方略志向の変容を達成させるためには、観察・実験活動の成功／失敗経験を通して、科学的知識の観察や制御を活性化させ、最終的には観察・実験活動の成功を体験させる必要があると考える。同様に、実験方法の一つひとつの手続きの意味を理解することや、実験結果を考察する際に図や表などを活用することや、実験の成功／失敗だけではなく実験プロセスを重視することの必要性やその効果を実感しなければ、「意味理解方略志向」、「可視化方略志向」、「実験プロセスの重視」の変容は十分に達成できないのではないかと考える。また、このような実験観を変容させることが新たな発見や気づきの過程となり、その結果「新しい発見や気づき」の変容の達成につながると考える。

#### 第 4 章 本研究の総括と今後の課題

## 第1節 本研究の成果

本研究は、高等学校理科，特に化学領域における観察・実験活動に着目して，メタ認知を活性化させる学習指導法を開発し，高校生の科学的知識の理解と定着，および実験観の変容に及ぼす効果について実践的に検討した。以下に，研究1～4のそれぞれの研究の成果について整理する。

研究1では，高等学校理科における観察・実験活動において，高校生のメタ認知の実態について質問紙を用いて調査的に検討した。その結果，進路多様校の高校生は，進学校の高校生や中学生と比べて，メタ認知が十分に活性化されていない実態が明らかとなった。さらに，進学校，進路多様校に関わらず，特に実験後のメタ認知が十分に活性化されていない実態が明らかとなった。

研究2では，研究1で得られた知見をもとに，メタ認知を活性化する学習指導法を開発し，「混合物の分離・同定（定性実験）」を事例として，本学習指導が，進路多様校の高校生の科学的知識の理解に及ぼす効果について実践的に検討した。その結果，本事例において，メタ認知を活性化する学習指導は，観察・実験活動直後において科学的知識の理解に効果があることが明らかとなった。

研究3では，「中和滴定（定量実験）」を事例として，本学習指導が，進学校の高校生の科学的知識の定着に及ぼす効果について実践的に検討した。その結果，本事例において，メタ認知を活性化する学習指導は，科学的知識の定着（2週間程度）に効果があることが明らかとなった。

研究4では，「化学反応と量的関係（定量実験）」を事例として，進学校の高校生の実験観の変容に及ぼす効果について実践的に検討した。その結果，本事例において，メタ認知を活性化する学習指導は，実験観の変容に効果があることが明らかとなった。

## 第2節 総合的考察と教育的意義

研究2～4より、本研究で提案した学習指導に基づく観察・実験活動が、メタ認知活性化に及ぼす効果について表4-1にまとめた。その結果は、すべての観察・実験活動において、処遇群の「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」が、対照群のそれと比べて有意に高かった。よって、本研究で提案する学習指導は、学校種（進学校と進路多様校）や実験種（定性実験と定量実験）に関わらず、高校生のメタ認知を活性化することが示唆された。

従来、高等学校理科（化学領域）における観察・実験活動は、学習しようとする科学的原理・法則を帰納的に導出したり、あるいは理論的モデルによって演繹した後、学習した科学的知識を検証するための手段として位置づけられる場合が多い（例えば、堀，2001；笹尾，2006）。このような観察・実験活動では、理科授業で獲得した科学的知識や記憶などを積極的に観察したり、科学的な思考や推論といった認知活動を積極的に制御したりする場面が少ない。

一方、科学的知識を活用するために位置づけた観察・実験活動では、他者との関わりの中で、課題解決方略を計画し、実際に課題を解決する過程を通して、自分自身の認知活動で獲得した科学的知識などを積極的に観察し、制御するといった場面が必要とされる。さらに、他者との関わりの中で、認知の外化支援が達成されて、メタ認知活性化がより促進されると考える。

以上の結果より、高等学校理科、特に化学領域の観察・実験活動において、本学習指導は、従来の学習指導と比べて、高校生のメタ認知を育成させ、さらには、高校生の科学的知識の理解や定着、および実験観のポジティブな変容をもたらすために、教育的意義のある学習指導であると考えられる。



表 4-1 処遇群のメタ認知尺度に基づくメタ認知の活性化

観察・実験活動の内容 (学校種・実験種)		自分自身によるメタ認知				他者との関わりによるメタ認知			
		全体	実験前	実験中	実験後	全体	実験前	実験中	実験後
混合物の分離・同定 (進路多様校・定性実験)	有意差	*	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	**
中和滴定 (進学校・定量実験)	有意差	*	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*
化学反応と量的関係 (進学校・定量実験)	有意差	**	**	n.s.	*	*	*	**	*

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , n.s. no significant

### 第3節 残された課題

残された課題はたくさんある。

第1に、メタ認知活性化を測定する手法についてである。本研究では、メタ認知活性化については、既に開発されたメタ認知尺度に基づく量的分析と、数人の発話事例、記述事例、および実験計画事例に基づく質的分析により検討した。その結果、小学生や中学生を対象とした先行研究（木下ら，2005；木下ら，2007a）と同様に、高校生のメタ認知は「自分自身によるメタ認知」と「他者との関わりによるメタ認知」の下位概念から構成されていることが明らかとなった。しかし、下位概念における各実験場面（実験前・実験中・実験後）の項目内容は異なるために、研究1においては、実験場面で若干質の異なるメタ認知を測定し、比較検討した可能性がある。

また、松浦ら（2009）は、観察・実験活動における協同的な発話分析を通して、メタ認知が機能されると、課題に対して吟味・検討しないといった非論証フェーズよりも、吟味・検討するといった論証フェーズが生成されることを明らかにしている。このことは、課題解決における議論の質とメタ認知活性化について、より詳細に分析する必要があることを示唆しているものである。よって、メタ認知尺度の洗練、さらにはメタ認知活性化の質的分析の改善を図る必要性がある。

第2に、設定した対照群への学習指導の妥当性についてである。本研究では、対照群への学習指導は、先行研究や使用している教科書を基に設定したために、すべての理科授業に当てはまるとは言い難い。よって、実際に授業を行っている高等学校理科教師の学習指導の実態を明らかにした後に、対照群の学習指導を設定する必要性がある。

第3に学習動機とメタ認知の関係についてである。研究1の結果から、観察・実験活動に対する学習動機とメタ認知には密接な関係があることは十分に推測される。しかし、本研究に参加した進学校と進路多様校の高校生の学習動機の質的な違いについては詳細には測定していない。高校生の学習動機の違いに対して、適切な学習指導を行うためにも、観察・実験活動における学習動機とメタ認知の関係を明らかにする必要性がある。

最後に、メタ認知の育成のための新しい学習指導法の開発についてである。研究4において、本学習指導でメタ認知の活性化が達成されても、実験観の下位概念の一つであるメタ認知的方略志向のポジティブな変容は達成されなかった。その原因として、本学習指導では、課題解決のための多様な解決方略を使用することが困難であるために、高校生がメタ認知的方略の使用の有用性や必要性が十分に実感できていないことが推測される。よって、メタ認知的方略志向を高めるための、ひいてはメタ認知の育成の新しい学習指導法を開発する必要性がある。

これらの多くの課題を解決していく中で、高等学校理科教師の観察・実験活動における学習指導観のポジティブな変容に影響を与えるべく、有意義な研究を遂行していきたいと考える。

## 引用·参考文献

- Braid, J. R. (1986) : Improving learning through enhanced Metacognition:a classroom study, *European Journal of Science Education*, Vol.8, No.3, pp.263–282.
- Braid, 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.
- Braid, 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.
- 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. (1987) : Metacognition, Executive, Control, Self-Regulation, and Other More Mysterious Mechanisms, *Metacognition, Motivation, and Understanding*, LEA, pp.65–116.
- Flavell, J. H. (1971) : First discussant's comments : What is memory development the development of, *Human Development*, Vol.14, pp.272–278.
- Flavell, J. H. (1976) : Metacognitive Aspects of Problem Solving. In Resnick, L. B. (ed), *The Nature of Intelligence*, LEA, pp.231–235.
- 平嶋宗 (2006) : メタ認知活性化支援, 人工知能学会誌, Vol.21, No.1, pp.58–64.
- 堀哲夫 (2001) : 化学の授業と学習の今日的課題, 化学と教育, Vol.49, No.5, pp.253–255.
- 市川伸一・鎚木良夫 (2007) : 教えて考えさせる授業 小学校ー学力向上と理解深化をめざす指導プラン, 図書文化, pp.60–84.
- 市川伸一・堀野緑・久保信子 (1998) : 学習方法を支える学習観と学習動機 : 市川伸一 (編著) 認知カウンセリングから見た学習方法の相談と指導, ブレーン出版, pp.186–203.

- 市村禎二郎 (2006) : 第 13 回化学教育フォーラム開催報告, 化学と教育, Vol.54, No.7, pp.372-373.
- 伊藤崇・大和隆介 (2005) : コミュニケーション活動と文法指導が融合したメタ認知的活動を伴う授業の実践とその効果に関する研究, 岐阜大学教育学部研究報告教育実践研究, Vol.7, pp.181-197.
- 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.
- 鈴木良夫 (2007) : 先行学習における理解や思考を深める教師の働きかけ-発問・課題作りの観点, 日本教育心理学会総会発表論文集, Vol.49, p.163
- 角屋重樹 (2006) : 科学的な知の創造を楽しみ, 問題解決能力を獲得していく, 理科の教育, Vol.55, No.2, pp.8-9.
- 角屋重樹・木下博義・佐伯貴昭 (2007) : 観察・実験を通して児童・生徒に育成される力の因子論的分析, 日本教科教育学会誌, Vol.29, No.4, pp.37-43.
- 木下博義・松浦拓也・角屋重樹 (2005) : 観察・実験活動における生徒のメタ認知の実態に関する研究-質問紙による調査を通して, 理科教育学研究, Vol.46, No.1, pp.25-31.
- 木下博義・松浦拓也・角屋重樹 (2007a) : 理科の観察・実験活動におけるメタ認知の実態とその要因構造に関する研究, 日本教育工学会論文誌, Vol.30, No.4, pp.355-363.
- 木下博義・松浦拓也・角屋重樹 (2007b) : 観察・観察活動における小学生のメタ認知育成に関する実践的研究-第 5 学年「もののとけ方」を例に, 理科教育学研究, Vol.48, No.1, pp.21-33.
- 小林辰至 (2006) : 理科教育における問題解決能力育成に係る実践研究の不易性, 科学教育研究, Vol.30, No.1, pp.1-2.
- 草場実 (2002) : 直鎖アルキルアミノ酸の薄層クロマトグラフィー-化学

- 構造と一般性を導く実験，化学と教育，Vol.50，No. 7，pp.540－541.
- 草場実・竹本めぐみ・松下至（2007）：高等学校理科におけるフラッシュクロマトグラフィーを教材とする実践的研究－生徒の混合物の分離・精製概念」の学習に及ぼす効果に着目して－，分取クロマトグラフィー研究会誌，Vol.1，No.3，pp.26－32.
- 草場実・木下博義・松浦拓也・角屋重樹（2009）：観察・実験活動における高校生のメタ認知の実態に関する調査研究，日本教科教育学会誌，Vol.32，No.1，pp.11－20.
- 草場実・湯澤正通・角屋重樹（2010）：メタ認知を活性化する観察・実験活動が高校生の科学的知識の理解に及ぼす効果－高等学校理科「混合物の分離・同定」を事例として－，理科教育学研究，Vol.51，No1，pp.39－50.
- 草場実・湯澤正通・角屋重樹・森敏昭（印刷中）：メタ認知を活性化する観察・実験活動が科学的知識の定着に及ぼす効果－高等学校化学「中和滴定」を事例として－，日本教科教育学会誌.
- 松原静郎（2001）：小学生－中学生－高校生の理科に対する意識の違い，化学と教育，Vol.49，No.5，pp.265－267.
- 松浦拓也（2001）：観察・実験活動とメタ認知的技能の関係－結晶作成課題を用いた場合，広島大学大学院教育学研究科紀要(第二部)，Vol.50，pp.17－23.
- 松浦拓也・角屋重樹・岡田大爾・檜山芳之（2002）：観察・実験活動とメタ認知的技能の関係（2）－電磁石作成課題の事例を通して，科学教育研究，Vol.26，No.5，pp.350－357.
- 松浦拓也・柳江麻美（2009）：協同的な学習におけるメタ認知に関する事例的研究－中学校理科における話し合い場面を中心にして－，理科教育学研究，Vol.50，No.2，pp.107－119.
- 村上忠幸（2005）：理科・化学の探究学習を実現するために必要なこと，化学と教育，Vol.53，No.1，pp.28－31.

- 村上忠幸 (2007) : 理科・化学の探究活動を実現するために必要なことー  
今, 私たちの探究はどこにあるのかー, 化学と教育, Vol.55, No.7,  
pp.324-327.
- 長倉三郎・竹内敬人編 (2005a) : 探究活動① 混合物の分離, 化学 I, 東  
京書籍, p.24.
- 長倉三郎・竹内敬人編 (2005b) : 探究活動⑦ 中和滴定, 化学 I, 東京書  
籍, pp.95-97.
- 長倉三郎・竹内敬人編 (2005c) : 探究活動④ 化学変化と物質質量, 化学 I,  
東京書籍, pp.60-61.
- Nelson, T. O. and Narens, L. (1994) : Why Investigate Metacognition? In J.  
Metcalf & A. P. Shimamura (eds.) *Metacognition*, pp.1-25, The MIT  
Press.
- 野村祐次郎編 (2005a) : 探究活動 食酢中の酸の定量, 高等学校化学 I,  
数研出版, pp.102-105.
- 野村祐次郎編 (2005b) : 観察&実験 3 化学変化と物質質量, 高等学校化学  
I, 数研出版, p.46.
- 文部科学省 (2010) : 高等学校学習指導要領解説理科編理数編.
- 岡本真彦 (1992) : 算数文章題の解決におけるメタ認知の検討, 教育心理  
学研究, Vol.40, No.1, pp.81-88.
- 岡本真彦 (1999) : 算数文章題の解決におけるメタ認知の研究, 風間書房,  
東京.
- 岡本真彦 (2002) : メタ認知と学習コミュニティーー何をどのように支援  
するかー, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.65, pp.31-  
34.
- 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」ー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, Vol.9, pp.53-61.
- 三宮真智子 (1996) : 思考におけるメタ認知と注意, 認知心理学 : 思考,

- 市川伸一編, pp.117-175.
- 笹尾幸夫 (2005) : 高等学校学習指導要領の留意点ー作成に関わる者からの思いー, 化学と教育, Vol.53, No.10, pp.526-527.
- 笹尾幸夫 (2007) : 高等学校理科の現状と課題, 理科の教育, Vol.30, No.2, pp.110-111.
- Schoenfeld, A. H. (1985) : *Mathematical Problem Solving*, Academic Press.
- 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), ー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ー, 日本理科教育学会研究紀要, Vol.38, No.1, pp.11-21.
- 鈴木誠 (2002) : 理科の学習における自己効力の違いが, 生徒の学習目標の設定に及ぼす影響, 理科教育学研究, Vol.43, No.1, pp.1-10.
- 土佐孝文 (2002) : コンブからグルタミン酸の結晶を取り上げるーアミノ酸の理解を深める実験方法の紹介, 化学と教育, Vol.50, No.2, pp.134-136.
- 手塚基子・片平克弘 (2003) : メタ認知能力の視点から探るイオン概念獲得に関する研究ー「化学変化とイオン」学習にみられる個々の中学生の変容過程を事例にー, 理科教育学研究, Vol.44, No.1, pp.29-37.
- 利安義雄 (2001) : 実験を通じての探究活動・課題研究のすすめ, 化学と教育, Vol.49, No.4, pp.191-193.
- 槌間聡 (2007) : 食品を題材とした実験授業の取り組み, 化学と教育, Vol.55, No.7, pp.328-331.
- 臼井豊和・松原静郎・堀哲夫 (2003) : 思考力の育成を重視したグループ討論に関する研究ー高等学校化学「沸騰と蒸気」の実験を事例にして, 理科教育学研究, Vol.43, No.9, pp.21-28.
- Wellman, H. M. (1983) : Metamemory revisited, *Contributions to Human Development: Trends in Memory Development*. Vol.2, pp.31-51, Academic Press.



湯澤正通・山本泰昌（2002）：理科と数学の関連づけ方の異なる授業が  
中学生の学習に及ぼす効果，教育心理学研究，Vol.50，No.3，pp.377  
－387.

## 付属資料

## 謝 辭

本論文の作成にあたり、多くの先生方と生徒のみなさんに大変お世話になりました。ここに記して心より感謝申し上げます。

主任指導教員である広島大学大学院教育学研究科・森敏昭先生には本論文の研究全般にわたり終始、懇切丁寧なご指導を賜りました。また、研究と高等学校教員という仕事との両立に対しまして格別のご配慮も賜りました。心より深く感謝申し上げます。

副指導教員である広島大学大学院教育学研究科・湯澤正通先生、柴一実先生、元副指導教員である国立教育政策研究所・角屋重樹先生には、本論文に対しまして理科教育学的・教育心理学的な視点から大変貴重なご示唆とご丁寧なご指導を賜りました。心より深く感謝申し上げます。

広島大学大学院教育学研究科・木下博義先生には、メタ認知尺度の利用をご快諾していただきましたこと、また、広島大学大学院教育学研究科・青木多寿子先生、松浦拓也先生には大変貴重なご示唆を賜りましたことに深く感謝申し上げます。そして、学習開発学講座を共にする森研究室の院生の皆様には貴重なご意見をいただきましたことに深く感謝いたします。

博士論文の作成では、広島大学大学院教育学研究科・田崎慎治先生には、大変お世話になりましたことに深く感謝いたします。

高知県立山田高等学校・山崎昭学校長には本学博士課程後期への進学をご快諾いただきましたこと、また、高知県立高知西高等学校・福永幹郎元学校長には本校に勤務しながらの研究に対しまして格別のご配慮いただきましたこと、そして、高知県立高知西高等学校の多くの先生方には多大なるご支援いただきましたことに心より深く感謝申し上げます。

調査研究・実践研究に際しましては、生徒のみなさんに協力をいただきましたこと、また、調査研究・実践研究の実施をご快諾していただきました池康晴先生、井口章一先生に心より深く感謝申し上げます。また、竹本めぐみ先生、武市健二郎先生、山崎雅之先生、田村真理先生をはじめ、多くの理科のご担当の先生方に大変お世話になりましたことに深く感謝いたします。

高知西高等学校英語科の3年7Hの生徒の皆さんには、たくさんのエネルギーをいただきました。君たちが3年前に高知西高等学校に入学した時、私は本学博士課程後期に進学しました。この3年間、大きな目標に向かって勉強するという意味においては、同じ次元の中で、君たちとともに過ごしてきたと思っています。3年間ありがとう。

最後に、広島大学大学院教育学研究科での5年間にわたる研究を、いつも心より励まし支え、応援してくれた妻である比呂子とお腹の中にいる子どもに心より感謝します。

二人に・・・・・・・・、本当にありがとう。

2011年1月24日

草 場 実

## 資料1 メタ認知尺度 (表紙)

高校生用

### 「理科の観察・実験」についてのアンケート

#### 注意

■ 質問は全部で 14項目あります。

- ① これはテストではありません。あなたの成績には全く関係ないので、思ったとおりに答えてください。
- ② 質問をよく読んで、あなたに一番よく当てはまるものを 1つ選び、番号に○をつけてください。
- ③ 必ず全部の質問に答えてください。

1. **学科**を記入して下さい。 → ( ) 科
2. **学年**と**組**を記入して下さい。 → ( ) 年 ( ) 組
3. **男・女**のうち、どちらかに○をつけてください。 → ( 男 ・ 女 )
4. この授業の**科目**に○をつけて下さい。
  - ① 理科総合 A・B → ( )
  - ② 物 理 I・II → ( )
  - ③ 化 学 I・II → ( )
  - ④ 生 物 I・II → ( )
  - ⑤ 地 学 I・II → ( )

## 資料2 メタ認知尺度 (1枚目)

理科の「観察や実験をする前」のことについて質問します

I. 次の質問について、あなたに一番当てはまるもの1つに○をつけてください。

	当てはまる	少し当てはまる	どちらでもない	あまり当てはまらない	当てはまらない
<b>観察や実験をする前</b>					
① これから何を調べるのか、考えるようにしている。	1	2	3	4	5
② 今までに習ったことを思い出しながら、予想を立てるようにしている。	1	2	3	4	5
③ <u>グループ</u> の話し合いで友だちの意見を聞いて、自分の意見を考え直すことがある。	1	2	3	4	5
④ <u>先生</u> のアドバイスを聞いて、自分の意見を考え直すことがある。	1	2	3	4	5

(次のページへ続く)

### 資料3 メタ認知尺度 (2枚目)

理科の「観察や実験をしている時」のことについて質問します

II. 次の質問について、あなたに一番当てはまるもの1つに○をつけてください。

	当てはまる	少し当てはまる	どちらでもない	あまり当てはまらない	当てはまらない
⑤ 計画通りに進んでいるかどうか、確認するようにしている。	1	2	3	4	5
⑥ 次に何をするのか考えながら、観察や実験をするようにしている。	1	2	3	4	5
⑦ 大事なところはどこか、考えるようにしている。	1	2	3	4	5
⑧ <u>先生</u> と話をしているうちに、自分の考えがはっきりしてくることがある。	1	2	3	4	5

(裏面へ続く)



## 資料4 メタ認知尺度 (3枚目)

理科の「観察や実験をした後」のことについて質問します

Ⅲ. 次の質問について、あなたに一番当てはまるもの1つに○をつけてください。

		当てはまらない	あまり当てはまらない	どちらでもない	少し当てはまる	当てはまる
観察や実験をした後						
⑨ 計画通りにできたかどうか，振り返るようにしている。	1	2	3	4	5	
⑩ 自分は何を調べたのか，振り返るようにしている。	1	2	3	4	5	
⑪ <u>グループ</u> の話し合いで，友だちの意見と自分の意見を比べながら聞くようにしている。	1	2	3	4	5	
⑫ <u>グループ</u> で話し合いをしていると，自分の考えがまとまることがある。	1	2	3	4	5	
⑬ <u>先生</u> の説明と自分の意見を比べながら聞くようにしている。	1	2	3	4	5	
⑭ <u>先生</u> の説明を聞いていると，自分の考えがまとまることがある。	1	2	3	4	5	

## 資料5 実験観尺度 (表紙)

高校生用

### 「理科の観察・実験」についてのアンケート

#### 注意

■ 質問は全部で 20 項目あります。

- ① これはテストではありません。あなたの成績には全く関係ないので、思ったとおりに答えてください。
- ② 質問をよく読んで、あなたに一番よく当てはまるものを 1 つ選び、番号に○をつけてください。
- ③ 必ず全部の質問に答えてください。

1. **学科**を記入して下さい。 → ( ) 科
2. **学年**と**組**を記入して下さい。 → ( ) 年 ( ) 組
3. **男・女**のうち、どちらかに○をつけてください。 → ( 男 ・ 女 )
4. この授業の**科目**に○をつけて下さい。
  - ① 理科総合 A・B → ( )
  - ② 物 理 I・II → ( )
  - ③ 化 学 I・II → ( )
  - ④ 生 物 I・II → ( )
  - ⑤ 地 学 I・II → ( )

## 資料 6 実験観尺度 (1枚目)

理科の「観察や実験」について、あなたの考え方や行動について質問します

次の質問について、あなたに一番当てはまるもの 1つ に○をつけてください。

		当てはまらない	あまり当てはまらない	どちらでもない	少し当てはまる	当てはまる
<b>「観察や実験」について、あなたの考え方や行動</b>						
① 新しいことに気づくので、実験はおもしろい。	1	2	3	4	5	
② 実験方法の意味をあまり考えずに、実験をすることが多い。	1	2	3	4	5	
③ 実験が成功しているグループの実験計画を参考にしている。	1	2	3	4	5	
④ 思いもよらない発見があるから、実験はおもしろい。	1	2	3	4	5	
⑤ 仮説を検証するための実験方法になっているのかをよく考える。	1	2	3	4	5	
⑥ 実験方法の意味が分からなくても、あまり気にせずに実験をしている。	1	2	3	4	5	
⑦ 実験がうまくいっているのかを、よく確認しながら実験をしている。	1	2	3	4	5	
⑧ 実験をしても、新しい発見はあまりない。	1	2	3	4	5	
⑨ 実験結果を予測しながら、実験方法を計画している。	1	2	3	4	5	
⑩ 実験方法の意味が分からなくても、あまり気にならない。	1	2	3	4	5	

(次のページへ続く)

## 資料 7 実験観尺度 (2枚目)

		当てはまらない	あまり当てはまらない	どちらでもない	少し当てはまる	当てはまる
<b>「観察や実験」について、あなたの考え方や行動</b>						
⑪ 実験結果は、図や表で整理して理解しようとしている。	1	2	3	4	5	
⑫ 実験に失敗したとき、実験方法を見直している。	1	2	3	4	5	
⑬ 実験をしていると、新しいことに気づくことがある。	1	2	3	4	5	
⑭ 実験方法の意味が分からなくても、実験が成功していればいいと思う。	1	2	3	4	5	
⑮ ある実験方法で成功したあとでも、別のより良い実験方法をさがしてみることがある。	1	2	3	4	5	
⑯ なぜそうなるかはあまり考えず、実験をしてしまうことが多い。	1	2	3	4	5	
⑰ 図や表で整理しながら実験をしている。	1	2	3	4	5	
⑱ 実験で思ったような結果がでないときは、その原因をつきとめようとする。	1	2	3	4	5	
⑲ 授業よりも、実験のほうがたくさんの発見がある。	1	2	3	4	5	
⑳ 実験方法の意味より、実験が成功していたかどうか気になる。	1	2	3	4	5	

化学 I

### 薄層クロマトグラフィーによる混合物の分離・同定

- “味の素”の成分を調べてみよう！ -

#### 【目的】

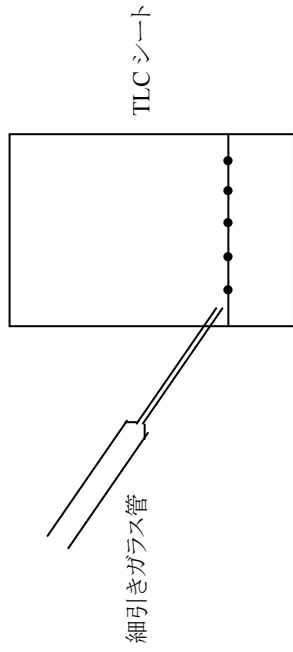
薄層クロマトグラフィー(TLC)によって、身近にある混合物の分離・同定を行うことで、TLCが混合物の分離・同定のための有用な手法となることを学習する。

#### 【準備】

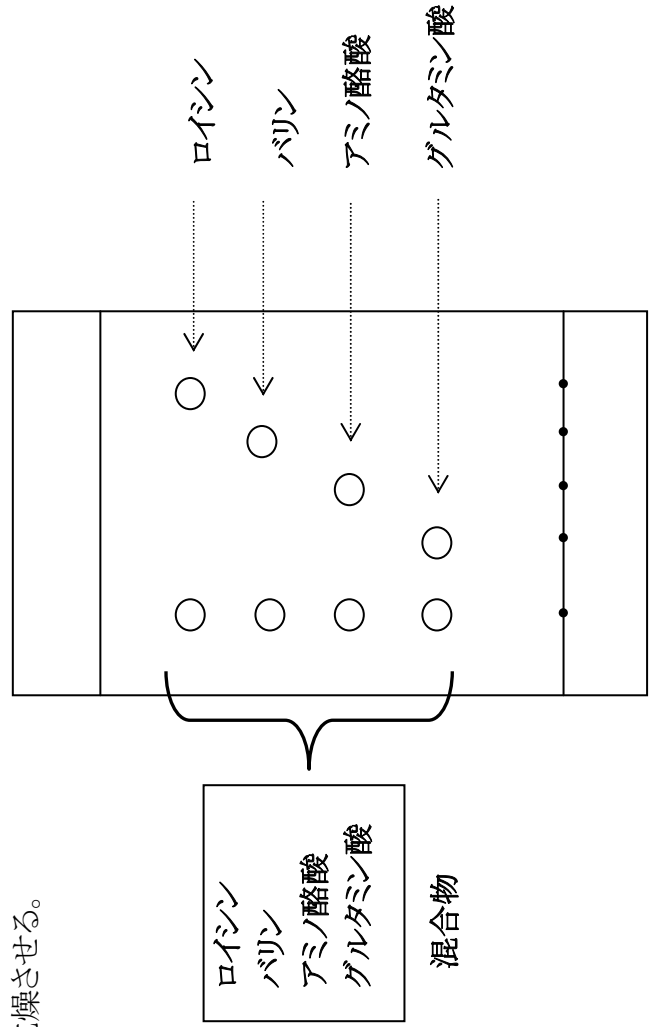
器具： TLCシート、細引きガラス管、ドライヤー、ピンセット、メスシリンダー、噴霧器、定規  
 試薬： 味の素、各種アミノ酸、各種アミノ酸混合水溶液、展開液、ニンヒドリン溶液  
 装置： ドラフト

#### 【実験方法】

1. 薄層クロマトグラフィー用シート(以下、TLCシート)の点の上に、細引きガラス管を用いて、左から順に、混合したアミノ酸、グルタミン酸、アミノ酪酸、バリン、ロイシン、の各水溶液のとても小さな点をつける。(\*この実験操作が実験結果に大きな影響を与えます。慎重に行いましょう)



2. 展開液の入ったメスシリンダーの中に、ピンセットを用いて、TLCシートを静かに入れる。
3. 展開液が10cm程度(約2時間)展開した後、メスシリンダーからTLCシートを静かに取り出し、ドライヤーで乾燥させる。乾燥後、ドラフト内でニンヒドリン溶液をTLCシートに噴霧し、ドライヤーで乾燥させる。

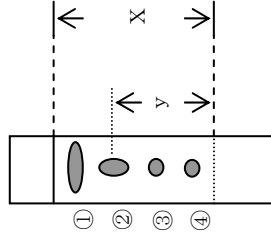


#### 【薄層クロマトグラフィー(TLC)の原理】

薄層クロマトグラフィー(TLC)では、純物質の展開液に対する**溶解性の差**やTLCシートに塗られている物質に対する**吸着性の差**などによって、混合物を分離することができます。純物質の溶解性や吸着性は**混合物の状態でも変化しません**。

また、このTLCでは、**実験条件が同じ**であれば、混合物・純物質の状態に関係なく、物質の**Rf値**がほとんど同じであるため、混合物を分離した後、その物質が何であるのかを調べることができ、このことを「**同定**する」と言います。以下のRf値の算出方法を参考にして、本実験方法で得たアミノ酸のRf値を算出してみましょう。

#### Rf値の算出方



$$\text{②の Rf 値} = \frac{y}{x}$$

アミノ酸 (例)	展開液の高さ(x)	各アミノ酸の高さ(y)	Rf値
①ロイシン	10cm	7.5cm	0.75
②バリン			
③アミノ酪酸			
④グルタミン酸			

#### 【課題】

みなさんはアミノ酸という物質を聞いたことがあるでしょうか。最近では、アミノ酸入りの食品が高品質化されるようになりました。しかし、本来、アミノ酸はいろいろな食べ物の中に多く入っています。魚、豚、牛、鶏などの肉類や、そらまめ、小豆、大豆などの豆類には、特にアミノ酸が多く含まれており、それぞれ食べ物に、それぞれの特有の味があるのは、その食べ物に入っているアミノ酸の種類が異なるからなのです。つまり、食べ物の旨み成分は、まさに“アミノ酸”であるのです。食べ物の中に、どのような種類のアミノ酸が含まれているのかを調べるには、この薄層クロマトグラフィー(TLC)が有用な手法となります。食品化学などの分野では、現在でも、このTLC法による分析が用いられています。

さて、みなさんに、ある食べ物の中に含まれるアミノ酸を調べてほしいと思います。その食べ物とは「味の素」です。「味の素」はみなさんの食卓にもあるかと思いますが。「味の素」は複数の物質が混じった混合物ですが、あるアミノ酸が多く含まれていることが分かっています。ここで少しヒントを与えます。実は、「味の素」には、ここにある、**グルタミン酸、アミノ酪酸、バリン、ロイシン**のいずれかが多く含まれています。

実験方法を参考にして、**TLCで「味の素」に多く含まれているアミノ酸を調べる(同定する)実験**を班で話し合い、計画・実施して下さい。

【第1回 実験計画】( )班

実験計画

予測する結果(根拠)

実験日 H( )年( )月( )日  
実験者 ( )年( )組( )番 氏名 \_\_\_\_\_  
班員 (第1回) \_\_\_\_\_  
班員 (第2回) \_\_\_\_\_

【第2回 実験計画】( )班

実験計画

予測する結果(根拠)

【実験結果】

( )班の実験では, “味の素” に多く含まれるアミノ酸は( ) であると同定しました。  
その理由は( )です。

化学 I

## 薄層クロマトグラフィーによる混合物の分離・同定

### - 薄層クロマトグラフィーの原理を調べよう -

#### 【目的】

薄層クロマトグラフィー(TLC)の原理を調べる実験を行うことで、TLC が混合物の分離・同定のための有用な手法となることを学習する。

#### 【準備】

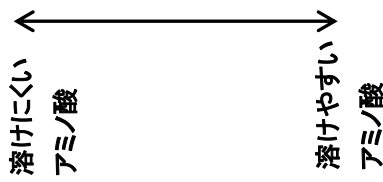
器具： TLC シート、ビーカー、ガラス棒、細引きガラス管、ドライヤー、ピンセット、メスシリンダー、噴霧器、定規

試薬： 展開液、各種アミノ酸水溶液、アミノ酸混合水溶液、ニンヒドリン溶液、蒸留水

装置： ドラフト

#### 【方法】

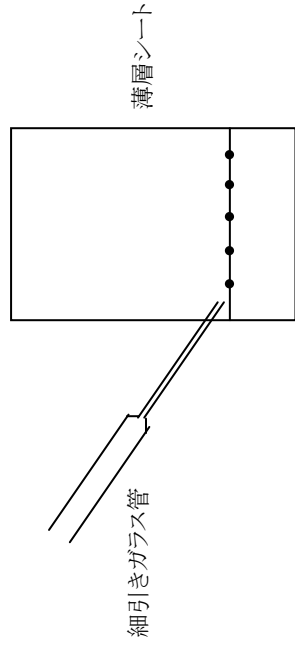
1. 蒸留水の入ったビーカーに、4 種類のアミノ酸(アラニン、アミノ酪酸、バリン、ロイシン)を入れ、ガラス棒を用いて、それぞれ溶かしてみる。アミノ酸の溶けやすさを観察してみよう。



\* 感じのままを記入すること

2. 薄層クロマトグラフィー用シート(以下、TLC シート)の点の上に、細引きガラス管を用いて、**左から順に、アミノ酸混合溶液、アラニン、アミノ酪酸、バリン、ロイシンのととも小さな点**をつける。

(\*この実験操作が実験結果に大きな影響を与えます。慎重に行いましょう)



3. 展開液の入ったメスシリンダーの中に、ピンセットを用いて、TLC シートを**静か**に入れる。  
4. 展開液が 10cm 程度 (約1時間) 展開した後、メスシリンダーから TLC シートを**静か**に取り出し、

ドライヤーで乾燥させる。乾燥後、ドラフト内でニンヒドリン溶液を TLC シートに噴霧し、ドライヤーで乾燥させる。

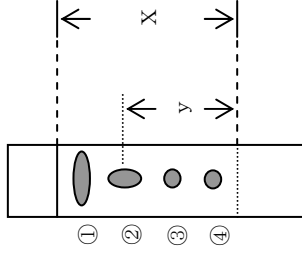
5. 赤色に発色した混合溶液のアミノ酸と各種アミノ酸の位置からRf値を算出し、混合溶液中のアミノ酸を調べる(同定する)。

6. 1と5の結果を比較する。

#### 【結果】

##### 純物質

##### Rf 値の算出方法



$$\text{②の Rf 値} = \frac{y}{x}$$

##### 混合物

各種アミノ酸	Rf値	水への溶けにくさ
ロイシン		
バリン		
アミノ酪酸		
アラニン		

アミノ酸の位置(高い順)	アミノ酸の Rf値	予想されるアミノ酸
1		
2		
3		
4		

#### 【考察】

1. アミノ酸の Rf 値と水への溶解性とはどのような関係があると思いますか？

2. TLCシートには、水に似た性質もツリカゲルという物質が薄く塗られています。この物質に対する吸着性とRf値にはどのような関係がありますか？

3. アミノ酸(純物質)のRf値と混合物中のアミノ酸のRf値にはどのような関係がありますか？

4. TLC では、純物質のどのような性質を利用して、混合物を分離・同定することが可能となるのでしょうか。

実験日 H( )年( )月( )日  
 実験者 ( )年( )組( )番 氏名 \_\_\_\_\_  
 班員 \_\_\_\_\_

化学 I 実験 1

中和滴定によって塩基の水溶液の濃度を調べる

【目的】 中和滴定によって水酸化ナトリウム水溶液の濃度を決定 (標定) する。

【準備】 シュウ酸二水和物 (COOH)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O (式量 126), 約 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液, 食酢, 蒸留水, フェノールフタレイン溶液, 50 cm<sup>3</sup> ビーカー (2), 100 cm<sup>3</sup> ビーカー (1), 保護眼鏡, 10 cm<sup>3</sup> ホールピペット (2), 100 cm<sup>3</sup> コニカルビーカー (3), ビュレット, ビュレット台

【操作】

① シュウ酸二水和物 0.63 g をビーカーに取り, 水 50 cm<sup>3</sup> 程度を加えて溶かし, メスフラスコに移す。用いたビーカーを少量の水で洗い, この液 (洗液) もメスフラスコに移す。メスフラスコの標線まで水を加えて 100 cm<sup>3</sup> とし, 栓をしてよく振る (一次標準溶液の調整)。

☆注意☆ 実際の操作では省略して, シュウ酸標準溶液 (0.050mol/L) を用いる。

② ホールピペットで①の溶液 10 cm<sup>3</sup> をコニカルビーカーに取る。

☆注意☆ ホールピペットの使用方法をよく聞いてから扱おう!

③ ②の水溶液にフェノールフタレイン溶液を 1~2 滴加える。

☆注意☆ フェノールフタレイン溶液は 1 滴で十分!

④ 水酸化ナトリウム水溶液をビュレットに入れ, 液を少し流して活栓 (コック) の下の空気を追い出した後, 液面の目盛を最小目盛の 1/10 まで読む。

☆注意☆ ビュレットの扱い方や最小目盛の読み方をよく聞いてから取り組もう!

滴下開始前の目盛を必ず読んでから滴下を始めよう!

⑤ コニカルビーカー内の水溶液にビュレット内の NaOHaq を少しずつ滴下し, よく振り混ぜる。中和点における (わずかに赤くなり, 振り混ぜても色が消えなくなったら) ビュレットの目盛を読む。

☆注意☆ 溶液のわずかな赤色は, しばらく置くと消える!

⑥ ②, ③, ⑤の操作を 3 回繰り返し, 滴下量の平均値を求める。



【結果】 NaOH aq の正確な濃度測定 (標定)

	ビュレットの目盛り		NaOHaq の滴下量 [cm <sup>3</sup> ] (b-a)
	滴下前 [cm <sup>3</sup> ] (a)	滴下後 [cm <sup>3</sup> ] (b)	
1回目			
2回目			
3回目			
平均値			

【考察】

(1) ①の数値や希釈条件から, シュウ酸水溶液のモル濃度は何 mol/L か。

(2) ⑥の結果から, 水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何 mol/L か

(3) ⑧の pH 指示薬にメチルオレンジ溶液は利用できるか否か, その理由も含めて答えよ。

(4) ビュレットやホールピペット, コニカルビーカーを純水で洗浄後に使いたいときはどのようにすればよいか, それぞれ理由を含めて答えよ。

ビュレット: \_\_\_\_\_

ホールピペット: \_\_\_\_\_

コニカルビーカー: \_\_\_\_\_

(5) 正確な濃度の NaOHaq をつくるためには, 一次標準溶液によって標定する必要がある。その理由を述べよ。

実験日 H( )年( )月( )日 提出日 H( )年( )月( )日

実験者 ( )年( )組( )番 氏名 \_\_\_\_\_

班 員 \_\_\_\_\_



化学 I 実験 2

中和滴定による課題解決

【課題】

皆さんの食生活において、調味料としてよく使われる食酢には、酢酸と呼ばれる酸が含まれてことにご存知でしょうか。今回の実験は、君たちに、これまでの授業で学習してきた中和滴定という実験手法を用いて、食酢に含まれる酢酸のモル濃度を測定するという課題を解決してほしいと思います。ただし、食酢に含まれる酸は、すべて酢酸であるものとして下さい。また、食酢の中和滴定には、**正確に 10 倍希釈したもの**を用いて考えて下さい。さらに、中和滴定に用いる塩基の水溶液には、前回の実験で、君たちがシユウ酸標準水溶液によって標定した**正確な濃度の水酸化ナトリウム水溶液**を用いて下さい。さて、食酢中の酢酸のモル濃度は???

【課題解決に向けて仮設を立ててみよう】

【準備するもの】

【実験操作について】

(実験操作のイメージ図)

【課題解決の結果は?】

実験日 H( )年( )月( )日 提出日 H( )年( )月( )日  
 実験者 ( )年( )組( )番 氏名 \_\_\_\_\_  
 班 員 \_\_\_\_\_

化学 I 実験 1

中和滴定によって食酢中の酢酸の濃度を調べる

**【目的】** 中和滴定によって水酸化ナトリウム水溶液の濃度を決定（標定）し、その水溶液を用いて、食酢中の酢酸の濃度を求める。

**【準備】** シュウ酸二水和物 (COOH)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O (式量 126)、約 0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液、食酢、蒸留水、フェノールフタレイン溶液、50 cm<sup>3</sup> ビーカー (2)、100 cm<sup>3</sup> ビーカー (1)、保護眼鏡、10 cm<sup>3</sup> ホールピペット (2)、100 cm<sup>3</sup> コニカルビーカー (3)、ビュレット、ビュレット台

**【操作】** I. NaOHaq の正確な濃度測定（標定）

- ① シュウ酸二水和物 0.63 g をビーカーに取り、水 50 cm<sup>3</sup> 程度を加えて溶かし、メスフラスコに移す。用いたビーカーを少量の水で洗い、この液（洗液）もメスフラスコに移す。メスフラスコの標線まで水を加えて 100 cm<sup>3</sup> とし、栓をしてよく振る（一次標準溶液の調製）。

☆注意☆ 実際の操作では省略して、シュウ酸標準溶液 (0.050mol/L) を用いる。

- ② ホールピペットで①の溶液 10 cm<sup>3</sup> をコニカルビーカーに取る。

☆注意☆ ホールピペットの使用方法をよく聞いてから振おう！

- ③ ②の水溶液にフェノールフタレイン溶液を 1～2 滴加える。

☆注意☆ フェノールフタレイン溶液は 1 滴で十分！

- ④ 水酸化ナトリウム水溶液をビュレットに入れ、液を少し流して活栓の下の空気を追い出した後、液面の目盛を最小目盛の 1/10 まで読む。

☆注意☆ ビュレットの扱い方や最小目盛の読み方をよく聞いてから取り組もう！

滴下開始前の目盛を必ず読んでから滴下を始めよう！

- ⑤ コニカルビーカー内の水溶液にビュレット内の NaOHaq を少しずつ滴下し、よく振り混ぜる。中和点における（わずかに赤くなり、振り混ぜても色が消えなくなったら）ビュレットの目盛を読む。

☆注意☆ 溶液のわずかな赤色は、しばらく置くと消える！

- ⑥ ②, ③, ⑤の操作を 3 回繰り返し、滴下量の平均値を求める。



II. 食酢中の酢酸濃度の決定

- ⑦ 食酢 10 cm<sup>3</sup> を、ホールピペットを用いて 100 cm<sup>3</sup> メスフラスコに取り、蒸留水を加えて 100 cm<sup>3</sup> とする（10 倍に希釈）。

☆注意☆ 実際の操作では省略して、事前に準備された 10 倍希釈の食酢を用いる。

- ⑧ I で標定した水酸化ナトリウム水溶液（二次標準溶液）を用いて、⑦の希釈液について、②～⑥と同様

の操作（中和滴定）を行う。

**【結果】**

I. NaOH aq の正確な濃度測定（標定）

	ビュレットの目盛り		NaOHaq の滴下量 [cm <sup>3</sup> ] (b-a)
	滴下前 [cm <sup>3</sup> ] (a)	滴下後 [cm <sup>3</sup> ] (b)	
1回目			
2回目			
3回目			
平均値			

II. 食酢中の酢酸濃度の決定

	ビュレットの目盛り		NaOHaq の滴下量 [cm <sup>3</sup> ] (b-a)
	滴下前 [cm <sup>3</sup> ] (a)	滴下後 [cm <sup>3</sup> ] (b)	
1回目			
2回目			
3回目			
平均値			

**【考察】**

- (1) ①の数値や希釈条件から、シュウ酸水溶液のモル濃度は何 mol/L か。

- (2) ⑥の結果から、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何 mol/L か

- (3) 食酢とその希釈液の密度を 1.00 g/cm<sup>3</sup>、食酢中の酸をすべて酢酸（分子量 60）として、⑧の結果から食酢中の酢酸のモル濃度と質量パーセント濃度（%）を求めよ。

モル濃度： \_\_\_\_\_

質量パーセント濃度： \_\_\_\_\_

- (4) ⑧の pH 指示薬にメチルオレンジ溶液は利用できるか否か、その理由も含めて答えよ。

- (5) ビュレットやホールピペット、コニカルビーカーを水洗直後に使いたいときはどのようにすればよいか、それぞれ理由を含めて答えよ。

ビュレット： \_\_\_\_\_

ホールピペット： \_\_\_\_\_

コニカルビーカー： \_\_\_\_\_

- (6) 正確な濃度の NaOHaq をつくるためには、一次標準溶液によって標定する必要性がある。その理由を述べよ。

実験日 H( )年( )月( )日 提出日 H( )年( )月( )日  
 実験者 ( )年( )組( )番 氏名 \_\_\_\_\_  
 班 員 \_\_\_\_\_

化学 I

化学反応式と量的関係

- 白い粉の正体?? -

【目的】

これまでの授業では、化学反応式の表す量的関係について学んだ。今回の観察・実験では、化学反応とその量的関係を応用して、白い粉の成分を調べてみよう。

【準備】

器具：電子天びん、葉包紙、葉さじ、コニカルビーカー、駒込ピペット、保護用メガネ  
 試薬：白い粉、4mol/L 塩酸

【課題】

これまで、化学反応式における係数比と物質質量比は同じであることを学習しました。例えば、塩酸にマグネシウムを加えると、



で表わされる化学反応が起こりましたね。この化学反応式から、1.0mol のマグネシウムが反応すると、1.0mol の水素が生成することがわかりますね。

ここで、君たちに課題を与えたいと思います。各班に配ったサンプル管の中に白い粉末が入っています。これから、この粉末を“X”としましょう。今回の実験で用意した塩酸とXを化学反応させて、Xの正体を調べてほしいと思います。ここで、少しヒントを与えます。

<ヒント>

① Xと塩酸が化学反応すると、二酸化炭素が発生します。その際、反応するXと生成する二酸化炭素の物質質量比は1:1となります。

② このXは、次の物質のいずれかです。

炭酸リチウム (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)      炭酸カリウム (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)  
 炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>)      炭酸水素ナトリウム (NaHCO<sub>3</sub>)

ヒントを参考にして、各班で、Xの正体を調べる実験を計画し、実行してほしいと思います。実験計画は、【実験計画上の注意】と【解決のヒント】をよく読んで行って下さい。

さて、“X”の正体は何でしょうか？

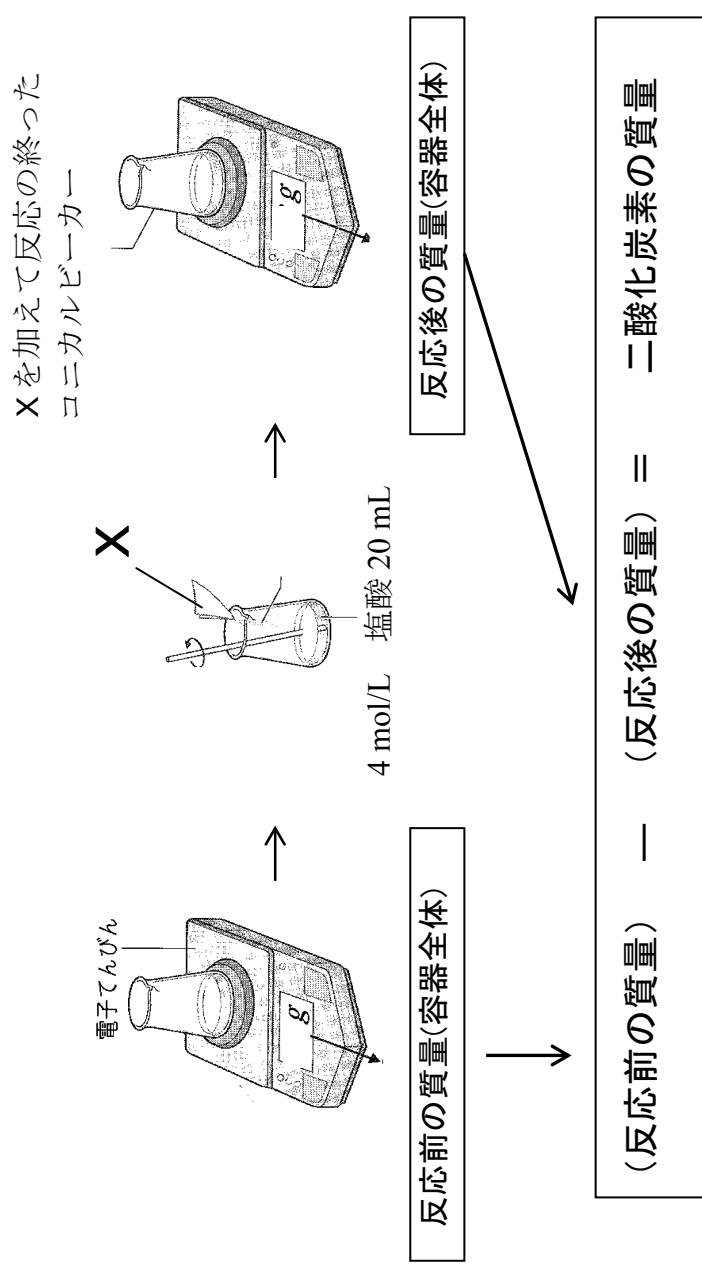
【実験計画上の注意】

- ① 実験を行う時は保護用メガネをつけること。
- ② Xと塩酸と化学反応させるときは、Xは 0.5g ~ 3.0g の質量の範囲内で行うこと。
- ③ 化学反応させる塩酸の体積 20mL として下さい。また、塩酸を取り扱うときには十分に留意すること。
- ④ Xと化学反応はコニカルビーカー内で行うこと。

【解決のヒント】

- ① 塩酸にXを入れると、ただちに二酸化炭素が発生します。よって、質量保存の法則より、反応前と反応後の質量の差から二酸化炭素の質量を調べることができます。
- ② 原子量は H=1.0, Li=7.0, C=12, O=16, Na=23, Mg=24, K=39, Ca=40 を用いて下さい。

【二酸化炭素の質量の測定方法】



実験日 H22年( )月( )日  
 実験者 ( )年( )組( )番 氏名 \_\_\_\_\_  
 班員 (第1回) \_\_\_\_\_  
 班員 (第2回) \_\_\_\_\_

【第2回 実験計画】（ ）班

実験計画

予測する結果(根拠も書く)

【第1回 実験計画】（ ）班

実験計画

予測する結果(根拠も書く)

【各班の実験結果】

（ ）班は実験結果より、Xの正体は（ ）であると判断しました。その理由は、

であるからです。

実験操作のイメージ図

化学 I

化学反応式と量的関係

- 化学反応式における係数比と物質比の関係を調べてみよう -

【目的】

これまで、化学反応式の表す量的関係について学んだ。今回の観察・実験では、炭酸カルシウムと塩酸の化学反応から、反応物と生成物の物質量の関係について調べてみよう。

【準備】

器具：電子天びん、薬包紙、薬さじ、ビーカー、メスシリンダー、駒込ピペット、保護用メガネ  
 試薬：炭酸カルシウム(粉末)、4mol/L塩酸

【仮説】

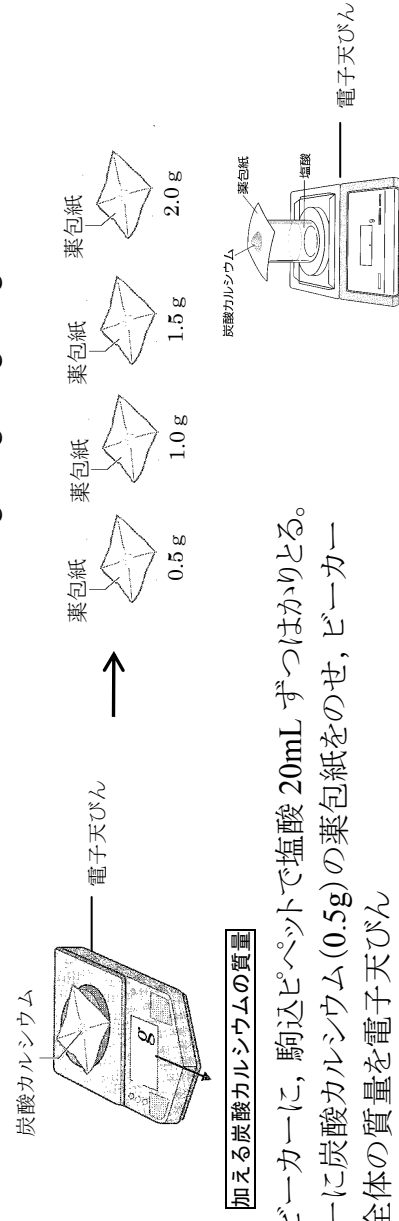
炭酸カルシウムに塩酸を加えると、



で表わされる化学反応が起こる。化学反応式の係数比と物質比は同じであることから、一定量の塩酸に加えた炭酸カルシウムの物質量と生成する二酸化炭素の物質量は、1:1となるはずである。

【検証実験】

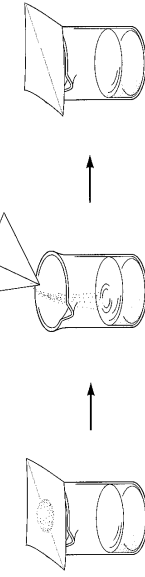
1. 電子天びんで、4枚の薬包紙に、炭酸カルシウムの粉末を0.5g、1.0g、1.5g、2.0gずつはかりとる



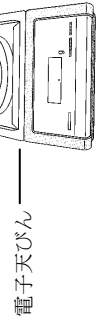
2. 1個のビーカーに、駒込ピペットで塩酸20mLずつはかりとる。

3. ビーカーに炭酸カルシウム(0.5g)の薬包紙をのせ、ビーカーごとに全体の質量を電子天びんではかる(記録1)。

4. ビーカーに炭酸カルシウムを少しずつ投入し反応させる。このとき、二酸化炭素が発生するので、内容物が飛び出さないように薬



5. 反応終了後、薬包紙のふたをしをばら取って、二酸化炭素を逃がした後、薬包紙とともに、ビーカーごとに全体の質量を電子天びんをはかる(記録2)。



6. 炭酸カルシウムの質量を1.0g、1.5g、2.0gにして、方法③～⑤を繰り返す。

【結果】 実験結果を表に整理せよ。

炭酸カルシウムの質量[g]	反応前の質量[g] (容器全体) ※記録1	反応後の質量[g] (容器全体) ※記録2	質量の減少量 (二酸化炭素の質量) [g]
0.5g			
1.0g			
1.5g			
2.0g			

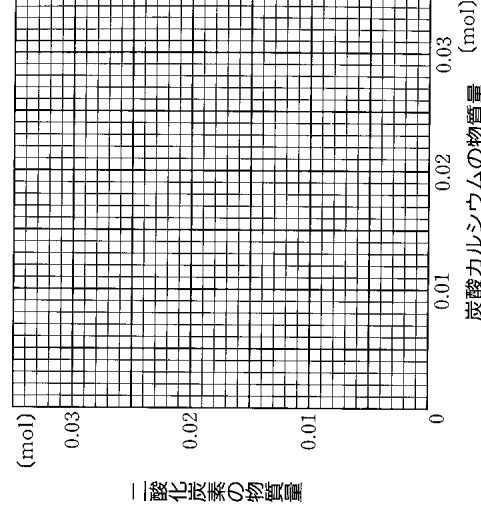
【考察】

1. 炭酸カルシウム 0.5g, 1.0g, 1.5g, 2.0gの物質量はそれぞれ何 mol か。  
 (原子量は C=12, O=16, Ca=40 を用いよ)

2. 【結果】 から、表を整理せよ。

炭酸カルシウムの質量[g]	炭酸カルシウムの物質量[mol]	二酸化炭素の物質量[mol]	物質量比 CaCO <sub>3</sub> : CO <sub>2</sub>
0.5g			:
1.0g			:
1.5g			:
2.0g			:

3. 加えた炭酸カルシウムの物質量と、発生した二酸化炭素の物質量の関係をグラフで表せ。



実験日 H22年( )月( )日

実験者 ( )年( )組( )番 氏名

班員