

観察・実験を通し、科学的思考を育む理科の指導と評価の在り方についての研究

～メタ認知活性化を意図した学習指導の事例開発と学習効果～

香美市立鏡野中学校 教諭 福島 啓介
高知大学教育学部 教授 蒲生 啓司
高知県教育センター 指導主事 玉野井 英二

本研究の目的は、中学校理科において、課題解決の手段として位置付けた観察・実験活動が、中学生のメタ認知を活性化し、さらに科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす効果について実践的に検討することであった。この目的を実現するために、次の二つのことを検討した。まず、第一に質問紙調査によって、A市立B中学校の生徒132名を対象とし、メタ認知の下位構成要素を確認した後、メタ認知が科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす影響について統計的分析により検討した。第二に、中学校理科において、生徒のメタ認知活性化を意図した学習指導の事例開発を行い、A市立B中学校第2学年の生徒67名を対象に、科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす効果について実践的に検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 中学生のメタ認知は、「モニタリング」と「コントロール」の二つの構成要素からなる。さらに、メタ認知は、科学的知識の習得を媒介して科学的思考力の育成に影響を及ぼす。
2. 課題解決の手段として位置付けた観察・実験活動は、中学生のメタ認知を活性化し、さらに科学的思考力を育成する。

<キーワード> 中学校理科、メタ認知、モニタリング、コントロール、科学的知識、科学的思考力

1 研究目的

OECD（経済協力開発機構）が実施したPISA調査などの国際学力調査では、日本の児童生徒には、思考力・判断力・表現力等を問う読解力、記述力、活用力などに課題があることが見いだされた。また、平成25年度高知県学力定着状況調査における理科の結果では、高知県の児童生徒には、「観察・実験の際には、目的に沿った実験を計画したり、根拠を示して考察すること」、「予想や考察などで自分の考えを書いたり、説明すること」、「学習したことを普段の生活の中で活用することができないか考えたり、説明したりすること」に課題があることが見いだされた。現行の学習指導要領では、児童生徒の学習内容の定着や思考力・判断力・表現力等の育成を図ることを目的として、「学習の見通しを立てたり、学習したことを振り返ったりする活動を計画的に取り入れる」ための学習指導が重要とされている。すなわち、各教科においては、自分自身の学習の進捗状況を、自己調整的にモニタリングしながら、課題解決に向けて認知活動をコントロールするといったメタ認知を活性化させる学習指導が求められる。このような視点から、初等中等理科教育において、児童生徒のメタ認知活性化と理科学習に及ぼす効果に関する先行研究は数多く見られる（例えば、松浦・角屋、2001；木下・松浦・角屋、2007；草場・角屋・森、2012）。これらの先行研究では、メタ認知は、自己調整的な学習のための核となる要素であること、科学的知識の習得といった学力の育成にポジティブな影響があることが示唆されている。

本研究のフィールドであるA市立B中学校においては、第1学年を対象とした平成25年度高知県学力定着状況調査理科の「科学的な思考・表現を評価の観点とする問題」の結果から、理科の観察・実験において、①根拠に基づいて科学的に思考し、適切に表現すること、②実生活で体験していることを実験結果や図を基にして考察・説明すること、といった課題が見いだされた。そして、これらの課

題が生じた要因として、①単元や1単位時間の学習において、生徒自身に、これまでの学習への「振り返り」をさせながら、これからの学習に対する「見通し」をもたせる学習指導が十分にできていなかった、②根拠に基づいて、観察・実験の予想や仮説を立てさせる学習指導が十分にできていなかった、③実験計画を生徒自身に立てさせる学習指導が十分にできていなかった、といったことが原因であると分析した。すなわち、教師は、生徒のメタ認知活性化を意図しながら、学習指導を計画し、実践できていなかったことが主な要因であると考えられる。ここで、中等理科教育における生徒のメタ認知活性化を意図した学習指導に関する先行研究を概観すると、例えば、草場・角屋・森（2012）らの研究が挙げられる。従来の中学校理科における観察・実験は、学習する科学的原理・法則を帰納的に導出するためだけの手段として、あるいは学習したことを演繹的に検証するためだけの手段として位置付けられている場合が多い。このような観察・実験では、生徒自身が根拠に基づいて、予想や仮説を設定したり、実験方法を計画するといった活動になりにくい。それに対して、草場らは、観察・実験を課題解決の手段として位置付けた学習指導方略を提案している。具体的に、これまでの理科授業で習得した知識や技能を活用して解決できる課題を生徒に提示した後、協同的に課題解決のための予想を行い、仮説を設定し、実験方法を計画する、といった内容である。このような先行研究で得られた知見に基づき、本研究では、生徒のメタ認知活性化と科学的思考力の育成に焦点を当て、以下の2点を検討することを目的とした。

まず第一に、中学校理科において、中学生のメタ認知が科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす影響について統計的分析によって明らかにすること。第二に、中学校理科において、メタ認知活性化を意図した学習指導の事例を開発し、中学生の科学的知識の習得や科学的思考力の育成に及ぼす効果について実践的に検討することである。

2 研究仮説

中学校理科において、科学的知識を活用して課題解決を行う学習指導は、生徒のメタ認知が活性化し、科学的知識を習得させ、科学的思考力を育成する。

本研究では、この仮説を検証するために、以下のことを検討する。

- ・中学校理科における中学生のメタ認知が科学的思考力の育成に及ぼす影響について調査・分析する。
- ・中学校理科の観察・実験においてメタ認知を活性化するための学習指導の事例を開発する。
- ・中学校理科の観察・実験において授業実践を行い、生徒のメタ認知活性化及び科学的思考力の育成について検討する。

3 研究方法

(1) メタ認知の定義

メタ認知の概念定義に関する先行研究（例えば、木下ら、2005）によれば、メタ認知は、「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」に区別される。そこで、メタ認知を後者の過程、すなわち「認知をモニタリング及びコントロールの対象とした認知」と捉えた。また、メタ認知活性化を、三宮（1995）、平嶋（2006）に基づき、「認知に対するモニタリングやコントロールを活性化すること」とした。つまり、認知のモニタリングの活性化は、認知を対象とした気づき（例：どんな実験をすればいいのか）、感覚（例：なぜ実験をするのか分かってきた）、予想（例：この実験をすれば問題が解決しそう）、点検（例：予想と結果を比べてみよう）、評価（例：実験をして問題が解決できた）といった認知活動を促進することで実現されるとした。また、認知のコントロールは、認知を対象とした目標設定（例：実験の方法を理解する）、計画（例：まず実験器具の準備からはじめる）、修正（例：この実験計画ではだめだから、別の方法を考える）といった認知活動を促進することで実現されるとした。

(2) メタ認知を測定する尺度の準備

中学校理科の観察・実験において、生徒のメタ認知を活性化するための学習指導を検討するために、質問紙調査によって、中学生のメタ認知と科学的知識の習得や科学的思考力の育成の関係について分析する。中学生のメタ認知の測定には、鈴木（1997）が開発した中学生用理科教育認知的方略のメタ認知測定尺度を用いることにした。本尺度は Paris（1990）らの認知的方略の分類を基に尺度化が図られており、「自己評価」と「自己制御」の下位尺度（positive 10 項目）から構成されている（表 1）。さらに、「自己評価」は「学習課題の把握」、「学習状況の把握」、「自己目標の設定」の三つの要素（各 2 項目）から構成されており、一方、「自己制御」は「課題解決のプランニング」、「課題解決の情報処理」の二つの要素（各 2 項目）から構成されている。本研究では、メタ認知測定尺度の下位尺度である「自己評価」と「自己制御」を、それぞれメタ認知の下位構成要素である「モニタリング」及び「コントロール」として対応させることにした。なお、回答方法は、「6. 非常によくあてはまる」、「5. あてはまる」、「4. 少しあてはまる」、「3. あまりあてはまらない」、「2. あてはまらない」、「1. 全くあてはまらない」の 6 件法を用いることにした。

(3) 科学的思考力を測定する尺度の準備

中学生のメタ認知と科学的思考力の育成の関係を検討するために、科学的思考力の測定には、平成 25 年度高知県学力定着状況調査の理科の問題（以下、「県版理科調査問題」とする）を用いることにした（高知県教育委員会小中学校課，2014）。本調査問題は「自然事象についての知識・理解」、「観察・実験の技能」、「科学的な思考力・表現」を評価の観点とした問題から構成されている。本研究では、「自然事象についての知識・理解」と「観察・実験の技能」を評価の観点にした問題をまとめたものを、「科学的知識」を測定するための尺度として、「科学的な思考力・表現」を評価の観点にした問題を、「科学的思考力」を測定するための尺度として用いることにした。

また、メタ認知活性化を意図した学習指導の効果を検討するために、中学生の科学的知識と科学的思考力を量的に測定するための尺度（以下、「調査問題」とする）を準備した（図 1）。また、本調査問題の採点基準を表 2 に示した。なお、準備した調査問題の内容的妥当性については、大学教授（理学博士）、理科担当の指導主事、高知 CST（Core Science Teacher）中級認定者と検討し、一定担保されていると判断した。

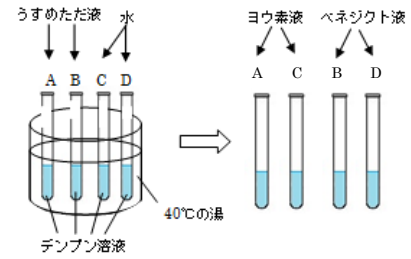
表 1 中学生用理科教育認知的方略のメタ認知測定尺度（鈴木、1997 を修正）

自己評価	
学習課題の把握	
項目 1	私は、今どんな理科の勉強をしているのかわかります。
項目 2	理科の授業の内容は、私にはかんたんです。
学習状況の把握	
項目 3	理科の授業が分からないとき、私にはそのわけがわかります。
項目 4	理科の実験がうまくいかないとき、私には何がダメなのかわかります。
自己目標の設定	
項目 5	理科の実験がうまくいかないとき、私は次に何をすればよいかわかります。
項目 6	私は、理科の授業が分からないとき、次にどうすればよいかわかります。
自己制御	
課題解決のプランニング	
項目 7	理科では実験がうまくいくように、私はいつも準備しています。
項目 8	家に帰っても、私は理科の勉強をしています。
課題解決の情報処理	
項目 9	理科の実験がうまくいかないときは、私は必ず予習や復習をしています。
項目 10	理科の授業で分からないところは、私は先生に聞いたり本で調べます。

だ液のはたらきについて調べるために、次のような実験を行った。これをもとに、以下の各問いに答えなさい。

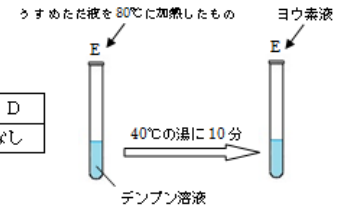
【実験Ⅰ】

- ①デンプン溶液 5 cm³を入れた試験管 A～D を準備し、A と B には水でうすめただ液を、C と D には水を、それぞれ 2 cm³ 加えた。
- ②試験管 A～D を 40℃ の湯に入れ、10 分間そのままにしておいた。
- ③試験管 A と C にはヨウ素液を加え、試験管 B と D にはベネジクト液を加えてガスバーナーで加熱し、色の変化を記録した。



【実験Ⅱ】

- ①水でうすめただ液を 80℃ に加熱したあと、40℃ 以下に冷やした。
- ②デンプン溶液 5 cm³を入れた試験管 E を準備し、①の液を 2 cm³ 加えた。
- ③試験管 E を 40℃ の湯に入れ、10 分間そのままにしておいた。
- ④試験管 E にヨウ素液を加えて色の変化を記録した。



【結果】

試験管	A	C	E
ヨウ素液による色の変化	なし	あり	あり

試験管	B	D
ベネジクト液による色の変化	あり	なし

- 問1 だ液に含まれている消化酵素の名称を書きなさい。
- 問2 実験Ⅰの③において、下線部の操作を行うとき、試験管の中に沸とう石を入れる。これはなぜか、理由を書きなさい。
- 問3 実験Ⅰについて、実験結果をまとめた次の文中の に最もよく当てはまるものを下のア～カから一つ選び、その記号を書きなさい。
 の結果を比較することで、だ液のはたらきでデンプンがなくなることがわかった。
 ア 試験管 A と試験管 B イ 試験管 A と試験管 C ウ 試験管 A と試験管 D
 エ 試験管 B と試験管 C オ 試験管 B と試験管 D カ 試験管 C と試験管 D
- 問4 実験Ⅰと実験Ⅱの結果から、温度とだ液のはたらきの関係について、どのようなことがいえるか、書きなさい。

図1 調査問題の内容

表2 調査問題の採点基準

問	得点	評価の観点	採点基準	解答事例
1	1	科学的知識	正答している。	アミラーゼ
2	1	科学的知識	正答している。	突沸を防ぐため。
3	1	科学的思考力	正答している。	(イ)
4	2	科学的思考力	関係について、論理的に記述している。	高温になると、だ液がはたらかなくなること。
	1		関係について、記述している。	温度によって、だ液がはたらいたり、はたらかなくなったりすること。
	0		誤答および無記入	

(4) 検証授業の計画

本研究の仮説を検証するために、以下の検証授業を設定した。

【単元名】中学校理科第2学年理科「動物の生活と生物の進化」(全3単位時間)

【実施時期】平成26年10月20日～24日

【対象生徒】A市立B中学校第2学年67名(処遇群33名、対照群34名)

科学的知識を活用して課題解決を行う学習指導を受ける生徒を処遇群とし、処遇群を対象とした授業を処遇授業とした。一方、指導者があらかじめ設定した観察・実験計画に基づいて学習を行う生徒を対照群とし、対照群を対象にした授業を対照授業とした。なお、検証授業計画は表3に、処遇授業で用いたワークシート(抜粋)は図2に、対照授業で用いたワークシート(抜粋)は図3に示した。

表3 処遇授業と対照授業の学習指導計画（中学校理科第2学年「動物の生活と生物の進化」）

時間	展開	処遇授業	対照授業
第1次	確認	【酵素の性質の確認】 酵素の性質について、確認する。	【酵素の性質の確認】 酵素の性質について、確認する。
	展開Ⅰ	【課題提示】 酵素のはたらきについて応用した課題を（ワークシートに記載）を提示する。	【実験活動の説明】 パイナップルにデンプンやタンパク質を分解する酵素がふくまれているか調べる実験方法について説明する。
第2次	展開Ⅱ	【第1回 課題解決の計画】 各グループで、パイナップルにふくまれる酵素を調べる実験を計画する。	
	展開Ⅲ	【第2回 課題解決の計画】 1回目の実験計画を他のグループと協議した後、2回目の実験計画を行う。	【実験の実施】 パイナップルにデンプンやタンパク質を分解する酵素がふくまれているか調べる実験をし、結果をまとめる。
	展開Ⅳ	【課題解決の実験】 各グループの実験計画に従いパイナップルにふくまれる酵素を調べる実験を実施する。	
第3次	展開Ⅴ	【課題解決】 実験結果から考察し、パイナップルにはタンパク質を分解する酵素がふくまれていることを確認する。	【授業のまとめ】 実験結果から考察し、パイナップルにはタンパク質を分解する酵素がふくまれていることを確認する。
	評価	【メタ認知測定尺度の実施】 調査用紙に記入する。 【調査問題の実施】 思考力測定テストを実施する。	【メタ認知測定尺度の実施】 処遇授業と同じ。 【調査問題の実施】 処遇授業と同じ。

これまで、動物であるわたしたちヒトは、デンプンを分解するアミラーゼ、タンパク質を分解するペプシン、脂肪を分解するリパーゼなどの酵素を使って、食物を分解することで、養分を体内に吸収しやすくしていることを学んだ。では、動物と同様に植物は、酵素をもっているのだろうか。例えば、植物であるパイナップルを食べたとき、舌がピリピリした経験があると思う。実は舌がピリピリした原因は、酵素によるものである。そこで、パイナップル果汁や加熱処理されたパイナップルの缶詰の汁を使って、今まで学習してきたデンプンやタンパク質を分解する酵素が含まれているか 自分たちで実験を計画し、調べてみよう。 → **実験方法** パイナップル果汁やパイナップルの缶詰の汁は、それぞれ次の（ア）～（カ）のどれになるだろうか。（複数の場合もある。） → **予想・考察**

- （ア）デンプンを分解する酵素がふくまれる
- （イ）デンプンを分解する酵素をふくんでいたが、加熱によりはたらきがなくなっている
- （ウ）タンパク質を分解する酵素がふくまれる
- （エ）タンパク質を分解する酵素をふくんでいたが、加熱によりはたらきがなくなっている
- （オ）デンプンとタンパク質の両方を分解する酵素がそれぞれふくまれる
- （カ）ヨウ素デンプン反応を阻害する物質がふくまれる

準備できるもの（すべて使う必要はない）

1%デンプン溶液、ヨウ素液、ベネジクト液、ネガフィルム、お湯、こまごめピペット、ビーカー、試験管、パイナップル果汁、パイナップル缶詰の汁、水、温度計、加熱器具、沸とう石、試験管ばさみ

ヒント

- ・ネガフィルムの表面にぬられたゼラチン（タンパク質）膜が試験管内で分解されると、膜がはがれて底にたまる。
- ・実験方法の復習（だ液によってデンプンは分解されるか）

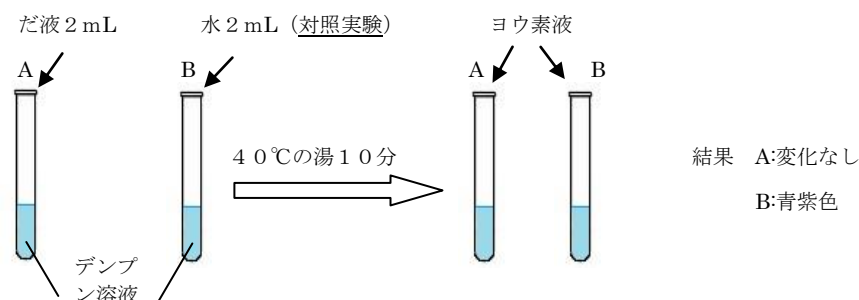


図2 処遇授業で用いたワークシート（抜粋）

酵素のはたらきを調べよう

酵素の性質

実験：パイナップルにふくまれる酵素について調べる。

1. パイナップル果汁と加熱処理されたパイナップル缶詰の汁が、デンプンを分解するか調べる。
 - ① 1%デンプン溶液を試験管A、B、Cに3mLずつ入れる。Aにはパイナップル果汁2mL、Bにはパイナップル缶詰の汁2mL、Cには水2mLを加える。
 - ② 試験管A、B、Cを40°Cくらいの水に10分間入れておく。
 - ③ 試験管A、B、Cそれぞれに、ヨウ素液を1～2滴加える。
 - ④ A、B、Cそれぞれの色の変化を見る。

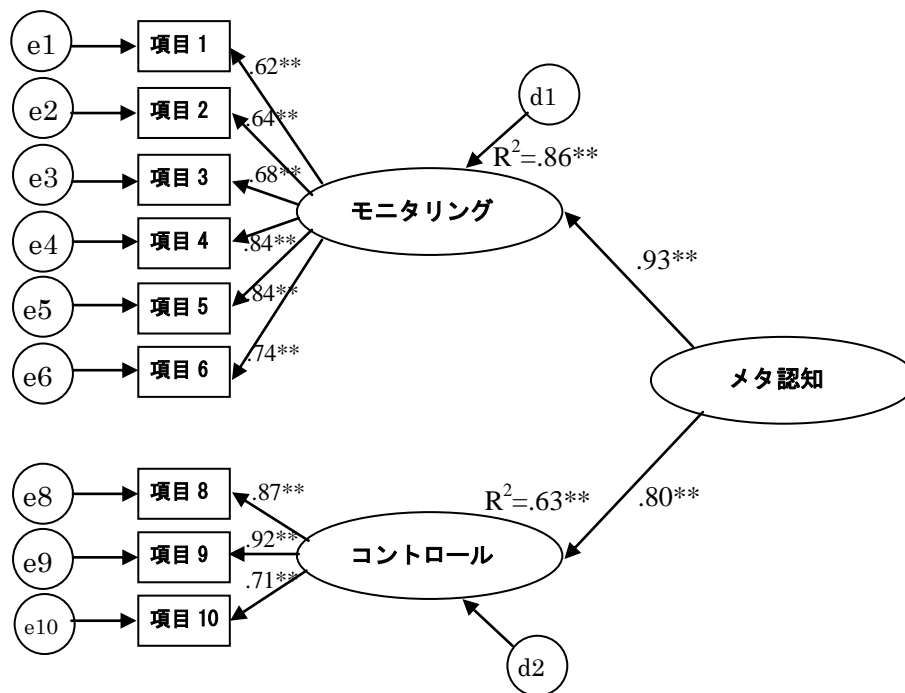
図3 対照授業で用いたワークシート（抜粋）

4 結果と考察

まず、中学生のメタ認知が科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす影響について統計的分析によって検討した。そして、処遇授業と対照授業が、中学生のメタ認知活性化、科学的知識の習得、及び科学的思考力の育成に及ぼす効果について、メタ認知測定尺度と調査問題を用いて数量的に検討した。さらに、授業中の発話や授業後の感想の記述事例を用いて、メタ認知の活性化について解釈的に検討した。なお、統計的分析にはIBM SPSS Statistics 22及びIBM SPSS Amos 22を用いた。以下にその詳細について記す。

(1) 中学生のメタ認知が科学的思考力に及ぼす影響

メタ認知の因子構造モデルの妥当性を検討するために、検証授業の参加者であるA市立B中学校第2学年の生徒から得たデータに基づき確認的因子分析を行うことにした。なお、統計的分析の手続きについては、草場・山下・蒲生（印刷中）を参考にして行った。欠損値のあるデータを除いた132名の生徒（男子69名、女子63名）のデータ（有効回答率94.3%）について、2因子10項目を1次因子とし、それらの因子をまとめる高次の因子として「メタ認知」を推定した2次因子分析モデルの検討を行った。なお、調査時期は平成26年10月であった。その結果、適合度指標はGFI（Goodness of Fit Index）=.895、AGFI（Adjusted Goodness of Fit Index）=.830、RMSEA（Root Mean Square Error of Approximation）=.098であった。次に、因子構造モデルの適合度を上げることを目的に、項目7を削除し、再度2次因子分析を行ったところ、適合度指標はGFI=.918、AGFI=.858、RMSEA=.087に改善されたため、1次因子を「モニタリング」と「コントロール」、2次因子を「メタ認知」とする因子構造モデル（図4）について、一定の妥当性が担保されていると判断した。よって、本研究では、メタ認知測定尺度から項目7を除いた「モニタリング」6項目及び「コントロール」3項目の二つの下位尺度からなる尺度をメタ認知測定尺度として用いることにした。なお、表4には下位尺度間の相関係数及び信頼性係数について示した。



注 1) ** $p < .01$
 注 2) R^2 は重相関係数の平方を、e, dは誤差変数を表した。
 注 3) □は観測変数を、○は潜在変数を表した。

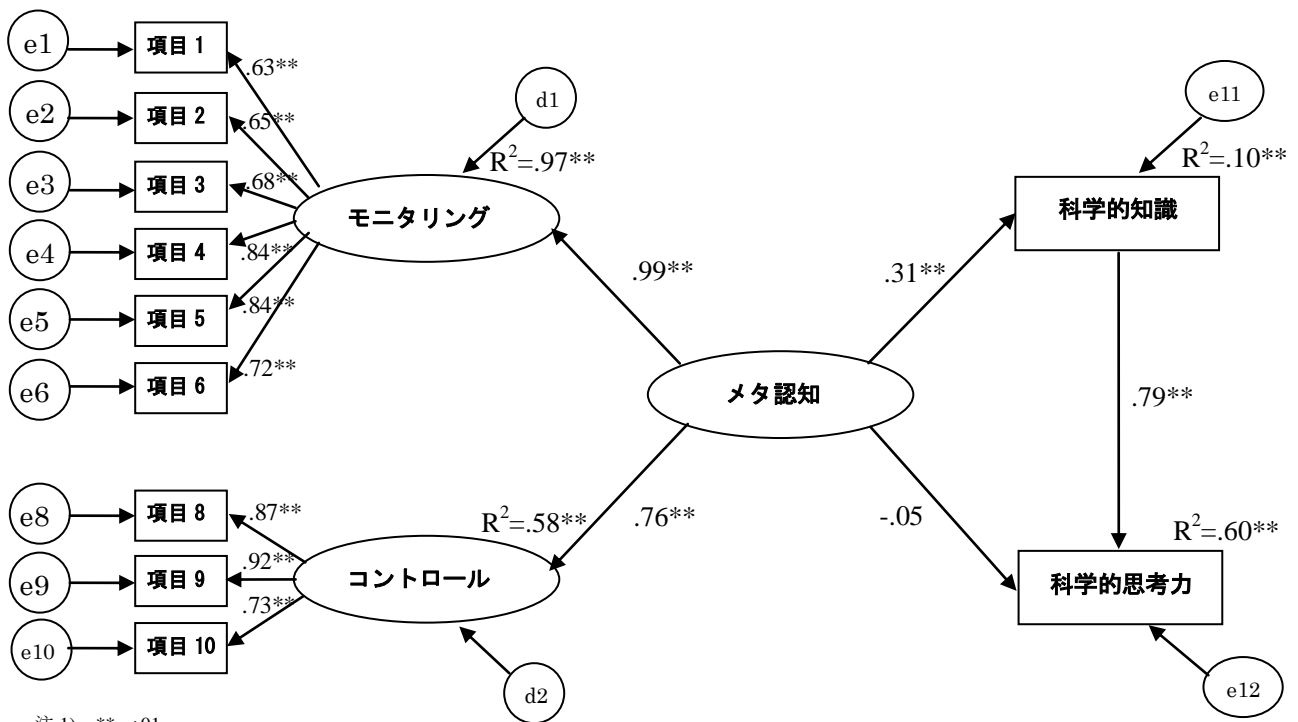
図 4 メタ認知の因子構造モデル

表 4 メタ認知測定尺度の下位尺度間の相関係数、信頼性係数及び記述統計量

	モニタリング	コントロール	α 係数	平均値	標準偏差
モニタリング	1.00		0.87	3.43	0.90
コントロール	0.69**	1.00	0.86	2.92	1.22

** $p < .01$

理科学習における中学生のメタ認知が、科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす影響について、「メタ認知」を潜在変数、「科学的知識」と「科学的思考力」を観測変数とする因果モデルを作成し、共分散構造分析を用いて検討することにした。具体的に、「科学的思考力」を「メタ認知」及び「科学的知識」の二つの要因で説明する因果モデルを作成し、適合度指標をもとに、因果モデルの妥当性について検討した。その結果、適合度指標は $GFI = .917$ 、 $AGFI = .870$ 、 $RMSEA = .063$ であったため、本因果構造モデルは一定の妥当性が担保されていると判断した(図 5)。次に、因果モデルのパス係数をもとに、メタ認知が科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす影響について検討したところ、「メタ認知」は「科学的知識」に .31 の有意な影響を示していたものの、「科学的思考力」に有意な影響は示さなかった。また、「メタ認知」の「科学的知識」を媒介とした「科学的思考力」の間接効果は .25 であった。よって、統計的分析の結果からは、中学生の「メタ認知」は、まず「科学的知識の習得」に影響を与え、それを媒介として「科学的思考力の育成」に影響を及ぼすことが明らかになった。



注 1) ** $p < .01$
 注 2) R^2 は重相関係数の平方を、e, dは誤差変数を表した。
 注 3) □は観測変数を、○は潜在変数を表した。

図5 メタ認知、科学的知識及び科学的思考力の共分散構造分析結果

(2) メタ認知活性化

メタ認知測定尺度を用いた、欠損値を除く処遇群と対照群の尺度全体、下位尺度、各項目の平均値（標準偏差）を表5に示した。次に、事前のメタ認知測定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、授業後のメタ認知測定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「メタ認知」、「コントロール」、「項目1及び10」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、 $F(1, 63) = 4.31, p < .05$; $F(1, 63) = 5.53, p < .05$; $F(1, 63) = 4.46, p < .05$; $F(1, 63) = 3.94, p < .05$ ）。

ここで、処遇群のあるグループにおける2回目の実験計画場面の発話事例を表6に、課題解決のために実際に実験を行っている場面の発話事例を表7に示した。2回目の実験計画場面では、生徒Aが、どのような実験から始めるかといった「計画」や、実験に関する「点検」、そして実験の目標を確認するといった「目標設定」などを積極的に行っている様子が見られた。また、生徒B、Dは、どんな実験をすればよいのかといった「気づき」、生徒Cは、この実験計画ではだめだから、別の方法を考えるといった「修正」が行われている様子が見られた（資料1）。同様に、課題解決のために実際に実験を行っている場面でも、「点検」や「気づき」、「目標設定」や「計画」といったように、処遇群の生徒は、モニタリングやコントロールが積極的に行われる様子が推測される。

次に、授業後の処遇群と対照群の感想事例を表8に示した。処遇群の特徴的な感想として、「自分たちで考えて実験する」や「実験中も次に何をすべきかを考えながら進める」といった、自律的・協調的な内容のものが多く見られた。一方、対照群の特徴的な感想は、実験内容に関与することが多く、処遇群の感想と比較すると、モニタリングやコントロールに関する記述は少なかった。処遇群と対照群の感想事例の比較から、処遇群の生徒は、課題解決のために自分たちで実験を計画し実施する中で、モニタリングやコントロールが積極的に行われていたことが推測される。

以上の数量的・解釈的な分析により、処遇群の生徒は、対照群の生徒と比べて、メタ認知が活性化されていたことが推測される。

表5 メタ認知測定尺度の平均値（標準偏差）及び共分散分析結果

メタ認知尺度		処遇群 N=33		対照群 N=33		F 値 (1, 63)
		事前	事後	事前	事後	
		平均値				
メタ認知		3.26 (0.90)	3.46 (0.92)	3.35 (1.08)	3.31 (1.02)	4.31*
モニタリング		3.45 (0.92)	3.61 (0.94)	3.43 (1.07)	3.47 (1.01)	1.01
項目1	私は、今どんな理科の勉強をしているのか分かります。	4.09 (1.23)	4.45 (1.22)	4.41 (1.37)	4.09 (1.28)	4.46*
項目2	理科の授業の内容は、私にはかんたんです。	2.87 (1.24)	2.78 (1.16)	2.82 (1.29)	3.00 (1.29)	2.13
項目3	理科の授業が分からないとき、私にはそのわけが分かります。	3.39 (1.22)	3.60 (1.32)	3.47 (1.26)	3.57 (1.14)	0.21
項目4	理科の実験がうまくいかないとき、私には何がダメなのかが分かります。	3.39 (1.16)	3.66 (1.19)	3.26 (1.33)	3.57 (1.09)	0.00
項目5	理科の実験がうまくいかないとき、私は次に何をすればよいかが分かります。	3.39 (1.08)	3.54 (1.12)	3.29 (1.26)	3.48 (1.06)	0.01
項目6	私は、理科の授業が分からないとき、次にどうすればよいのか分かります。	3.57 (1.34)	3.51 (1.22)	3.48 (1.22)	3.39 (1.08)	0.40
コントロール		2.80 (1.11)	3.14 (1.12)	3.17 (1.34)	2.92 (1.41)	5.53*
項目8	家に帰っても、私は理科の勉強をしています。	2.81 (1.37)	3.06 (1.36)	3.20 (1.40)	3.06 (1.39)	1.45
項目9	理科の実験がうまくいかないときは、私は必ず予習や復習をしています。	2.51 (1.17)	2.93 (1.36)	2.94 (1.39)	2.78 (1.49)	3.21
項目10	理科の授業で分からないところは、私は先生に聞いたり本で調べます。	3.09 (1.44)	3.42 (1.60)	3.38 (1.63)	2.93 (1.56)	3.94*

* $p < .05$

(3) 科学的思考力の変容

調査問題を用いた、欠損値を除く処遇群と対照群の科学的知識、科学的思考力及び全体の平均値（標準偏差）を表9に示した。次に、10月中旬に実施した中間テストの得点（処遇群の平均値46.5、標準偏差23.6；対照群の平均値51.9、標準偏差26.7）を共変量、授業（処遇授業と対照授業）を独立変数、授業後の調査問題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「科学的思考力」及び「全体」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、 $F(1, 63) = 5.53$ 、 $p < .05$ ； $F(1, 63) = 4.95$ 、 $p < .05$ ）。

以上の結果から、中学校第2学年理科において、生徒のメタ認知活性化により、その産物である科学的思考力が育成されることが推測される。

5 成果と課題

(1) 成果

ア 中学生のメタ認知が、科学的知識の習得及び科学的思考力の育成に及ぼす影響

本研究で用いたメタ認知測定尺度は下位要素としてのモニタリングとコントロールを測定することが可能であることを確認した。また、「メタ認知」は、「科学的知識の習得」に影響を与え、それを媒介として「科学的思考力の育成」に影響を及ぼすことが明らかになった。

イ メタ認知活性化を意図した学習指導の事例の開発

中学校第2学年理科「動物の生活と生物の進化」の単元において、メタ認知活性化を意図した、科学的知識を活用して課題解決を行う学習指導の事例を開発した。

ウ 課題解決のために科学的知識を活用する学習指導の効果

課題解決のために科学的知識を活用する学習指導によれば、中学生のメタ認知、特にコントロールが活性化されることが、そして、その産物である科学的思考力が育成されることが示唆された。

表6 処遇群の2回目の実験計画の場面における特徴的な発話事例

A : [試験管] アはわたしがやるので、[試験管] イを〇〇君、[試験管] ウを〇〇さんお願いしていい。(計画) パイナップル果汁、缶詰の汁、水は全部2 mL やき。(点検)

D : [ワークシートに] 2 mL 書いてある。

A : デンブンは2 mL ずつなので、忘れんように。必ず10分おくことね。(点検) こっちも《3本とも》。10分たったらヨウ素液を入れる。1滴ずつね。(点検)

D : 10分たったら。オッケー。ピペットみたいなので[ヨウ素液を] 入れるが？

A : ヨウ素液はビンに付いているので入れる。

D : ああ。(気づき)

A : こういうの《ヨウ素液》は、こまごめピペットで入れたらいいかもしれん。ビーカーにお湯入れてきてくれる。

A : 最初にデンブンを調べるのやるで。先にヨウ素液を入れるのからやるで。(目標設定)

T : [実験] いけそう？

A : いけそう。バッチリ。(予想)

T : 計画もできている？

A : できた。
(中略)

A : 先生、ネガフィルムは初めから[液体を] 5 mL にしたら、ちょうど出るようになっているのですか？

T : ネガフィルムは液体が5 mL なら出るようになっているよ。

A : 7 mL やったらどうなる？

T : 7 mL やったら全部つかる。

B : じゃあまって。いかんろう。デンブン3 mL やない。(気づき)

D : そうやろう。

T : 3 mL に変えてもいいよ。

C : [デンブン溶液] 3 mL と [パイナップル果汁、缶詰の汁、水は] 2 mL にしよう。(修正)

Tは教師の発話、A～Dは生徒の発話を示す。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、()はメタ認知的な活動を示す。

表7 処遇群の実験を行っている場面の発話事例

B : 何で[試験管が] 1本余るが？7本ある。(点検)

C : 7本でいいがよ。(気づき)

D : 1本水くみ用やろう。(気づき)

A : こっちの[デンブンを調べる試験管] ア、イ、ウとそっちの[タンパク質を調べる試験管] ア、イ、ウの違いちゃんと分かってよ。(点検) 今から使うのは、こっち側のね。(目標設定)

B : まず、デンブンを入れよう。デンブン入れるで。(計画)

Tは教師の発話、A～Dは生徒の発話を示す。なお、[]は分析者による補足、?は上昇音調、()はメタ認知的な活動を示す。

表8 授業後の処遇群と対照群の特徴的な感想事例

処遇授業	対照授業
<ul style="list-style-type: none"> 自分たちで考えて実験することで、どのようなパターンだと結果を求めることができるかなど、色々予想しなければならなかったで、とても記憶に残りました。 自分たちで実験を考えるのは楽しかった。実験中も次に何をすべきかを考えながら進めるのも楽しかった。 今までの実験の中で一番内容が濃くて楽しかった。自分たちで実験の内容を考えたり実験することで、いろいろなことに興味が湧いたし、いつもより理解するのが早かった。 	<ul style="list-style-type: none"> 普通に面白い授業でした。少し分かりやすかったと思います。 久しぶりの先生の授業だったので、一年生に戻ったようでした。パイナップルの授業で、分かりやすくプリントに絵をかいたりして、とても楽しかったです。 パイナップルの実験などをして、楽しかったです。もっといろいろな実験をしたい。 とても先生の理科の授業は、わかりやすかったです。またきて、やってほしいです。パイナップルがめっちゃ食べたくなくなりました。

表9 科学的知識と科学的思考力の平均値(標準偏差)及び共分散分析結果

		処遇群 N=33	対照群 N=33	F値 (1, 63)
科学的知識	平均値	0.61	0.61	0.52
	(標準偏差)	(0.66)	(0.66)	
科学的思考力	平均値	0.94	0.54	5.53*
	(標準偏差)	(0.99)	(0.93)	
全体	平均値	1.55	1.15	4.95*
	(標準偏差)	(1.37)	(1.39)	

※科学的知識は2点満点、科学的思考力は3点満点

* $p < .05$

(2) 課題

ア モニタリングの活性化

本研究で提案する学習指導ではモニタリングが十分に活性化されなかった。よって、中学生が積極的に予想、自己点検、自己評価を促進するような工夫が必要であると考ええる。

イ 科学的知識の習得

統計的な分析結果からは、中学生のメタ認知活性化は「科学的知識の習得」に影響することが明らかになった。しかし、実践的な結果からは、「科学的知識の習得」には十分な効果が見られなかった。この結果については、いろいろなことが推測されるが、実際の授業では、例えば、「学習意欲」や「学習方略」といったメタ認知以外の変数が、科学的知識の習得や科学的思考力の育成に大きな影響を与えることが推測される。本研究では「科学的思考力」が育成されたが、それは、メタ認知活性化のみの影響だけではなく、その他の変数の影響があることも十分推測できる。よって、科学的思考力の育成に影響のある変数についてより詳細に分析する必要があると考ええる。

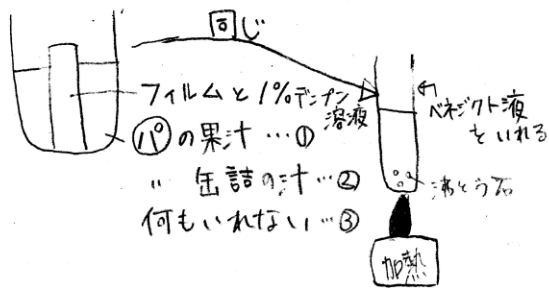

(3) 今後の取り組み

今後の取り組みとして、2点挙げた。1点目は、本研究では、中学校理科の生物的領域の単元で、学習指導の事例を開発した。よって、本学習指導の効果について一般化を図るためにも物理的領域や化学的領域など、他の領域における事例開発をしていきたい。2点目は、実際の理科の授業において学力に影響を与えると考えられる変数、例えば、学習意欲や学習方略といったものと、中学生のメタ認知や学力の関係について詳細に分析していきたい。

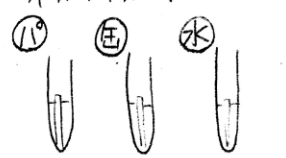
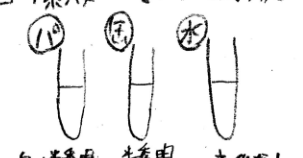
【参考・引用文献】

- 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.
- 石井雅幸 (2010) : 問題解決の過程における子どもが見通し・目的意識をもつことと振り返ることの意味、理科の教育、Vol. 59、No. 694、pp. 9-12.
- 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一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 (2006) : 中学生のメタ認知を育成するための学習指導法に関する実践的研究、広島大学大学院教育学研究紀要、第二部、第55号、pp. 43-52.
- 木下博義・松浦拓也・角屋重樹 (2007) : 観察・実験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一第5学年「もののとけ方」を例に一、理科教育学研究、Vol. 48、pp. 21-33.
- 北村雅夫・蒲生啓司・草場実 (2013) : 観察・実験を通し、科学的思考を育む理科の指導と評価の在り方についての研究一問題解決的な学習を通して科学的な思考力を育てる理科の指導一、平成24年度高知県教育センター研究報告書 高知県教育委員会 (平成26年) : 平成25年度高知県学力定着状況調査結果の概要
- 高知県教育委員会小中学校課 : 「<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/310301/kochi-kenban.html>」
- 草場実・角屋重樹・森敏昭 (2012) : メタ認知を活性化する観察・実験が高校生の実験観の変容に及ぼす効果一高等学校化学「化学反応と量的関係」を事例として一、日本教科教育学会誌、Vol. 34、No. 4、pp. 29-38.
- 草場実・山下太一・蒲生啓司 (2015) : 理科学習における中学生のメタ認知が科学的な知識とその活用に及ぼす影響の検討、高知大学教育学部研究報告、第75号 (印刷中)
- 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一高等学校化学「混合物の分離・同定」を事例として一、理科教育学研究、Vol. 51、No. 1、pp. 39-50.
- 草場実・湯澤正通・角屋重樹・森敏昭 (2010) : 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一高等学校化学「中和滴定」を事例として一、日本教科教育学会誌、Vol. 33、No. 3、pp. 31-40.
- 松浦拓也・角屋重樹 (2001) : 観察・実験活動とメタ認知的技能の関係一結晶作成課題を用いた場合一、広島大学大学院教育学研究科研究紀要、第二部、Vol. 50、pp. 17-23.
- 水落芳明 (2010) : 「見通し」をもつことで意味が変わる、理科の教育、Vol. 59、No. 694、pp. 5-8.
- 文部科学省 (平成20年) : 中学校学習指導要領解説 理科編
- Paris, S. G., & Winograd, P., (1990) : How Metacognition Can Promote Academic Learning And Instructional Dimensions of Thinking And Cognitive Instruction. In B. F. Jones & L. Idol (Eds.) Dimensions of Thinking And Cognitive Instruction, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 17-18.
- 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」一教育実習事前指導としての教育学演習から一、鳴門教育大学学校教育センター紀要、Vol. 9、pp. 53-61.
- 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)一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の变化について一、理科教育学会誌、Vol. 38、No. 1、pp. 11-21.
- 武内崇・蒲生啓司・草場実 (2014) : 観察・実験を通して、科学的思考を育む理科の指導と評価の在り方についての研究一OPPシートを活用した児童のメタ認知活性化に着目して一、平成25年度高知県教育センター研究紀要、pp. 74-83.

実験方法

<p>最初の方法</p> 	<p>準備物 試験管ばさみ ネガフィルム × 3 試験管 × 3 ネガフィルム液 沸かす石 × 9 (3) パイナップル果汁 缶詰の汁 加熱器具 1%テンパン溶液</p>
<p>修正した方法</p> <p>① 果汁入 × 2 " 缶詰の汁入 × 2 水 × 2</p> <p>1つずつに1% でんぷん溶液 1つずつにネガフィルム 全部 40°C のお湯で10分 1つずつにヨウ素液 ネガフィルムが入っているほうをみる</p> 	<p>準備物 ネガフィルム × 3 試験管 × 6 お湯 ビーカー 温度計 ヨウ素液 ① 果汁 () " 缶詰の汁 () 水 () まぎれびょうべつ 1% でんぷん溶液</p>

実験結果 (図や表を使ってまとめよう)

<p>ネガフィルム</p> <p>① ② ③</p>  <p>パイナップル果汁はがれた 缶詰の汁はがれない 変化なし</p>	<p>ヨウ素液 + でんぷん溶液</p> <p>① ② ③</p>  <p>白く濁る 半透明 変化なし (青紫) にこぼる ちりちり にこぼる</p> <p>青紫 → つぶつぶ → 透明</p>	<table border="1"> <tr> <th>結果</th> <th>デンプン分解</th> <th>タンパク質を分解</th> </tr> <tr> <td>①</td> <td>しない</td> <td>する</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>しない</td> <td>しない</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>しない</td> <td>しない</td> </tr> </table>	結果	デンプン分解	タンパク質を分解	①	しない	する	②	しない	しない	③	しない	しない
結果	デンプン分解	タンパク質を分解												
①	しない	する												
②	しない	しない												
③	しない	しない												

考察

<p>パイナップル果汁 記号 (ア)、(イ)</p>	<p>その理由 ネガフィルムもはがれて、ヨウ素液のときは青紫からつぶつぶになってそれから透明になったから。</p>
<p>缶詰の汁 記号 (エ)、(カ)</p>	<p>その理由 ネガフィルムもはがれなくて、ヨウ素液のときは青紫からつぶつぶになってそれから透明になったから。</p>

まとめ

- パイナップルはタンパク質を分解する酵素をもっている。
- 缶詰の汁は加熱処理されているので酵素のはたらきを失っている。
- パイナップルは加熱にかかわらずヨウ素デンプン反応を起こす物質をふくんでいる。