

論 文

## 科学的知識を活用した課題解決が中学生のメタ認知活性化と理科の学力の育成に及ぼす効果

－中学校理科生物的領域「生命を維持する働き」を事例として－

The efficiencies of subjective settlement through the practical application of scientific knowledge to the metacognition activation of junior high school students and the promotion of scholastic abilities

-As the biology case study, "the function of sustaining our life" in a junior high school-

草場 実（高知大学教育学部）<sup>1</sup>

福島 啓介（香美市立鏡野中学校）<sup>2</sup>

蒲生 啓司（高知大学教育学部）<sup>1</sup>

KUSABA Minoru<sup>1</sup>, FUKUSHIMA Keisuke<sup>2</sup> and GAMOH Keiji<sup>1</sup>

1 *Faculty of Education, Kochi University*

2 *Kagamino Junior High School, Kami City*

### ABSTRACT

The objective of our research is to investigate the efficiencies of subjective settlement through the practical application of scientific knowledge to the metacognition activation of junior high school students and the promotion of scholastic abilities. Using the biology case study, "the function of sustaining our life" in a junior high school, we have constructed a programme of observation and experimental activities to promote metacognition activities. In the case of two second year junior high school classes, one was supervised using the 'practical use of scientific knowledge' method, the other using the ordinary manner for controlling a group of students. As a result of the comparison, the acceleration of the metacognition and promotion of scholastic ability in the experimental group was preferred to those of the control group.

## 問題と目的

### 研究の背景

平成 27 年度全国学力・学習状況調査（中学校理科）の結果では、生徒が実験結果を数値で示した表から分析・解釈し、規則性を見いだしたり、課題に正対した実験を計画し考察したりすることに課題があることが指摘されている（国立教育政策研究所，2015）。このような課題の改善に向けて、現行の学習指導要領（文部科学省，2008）では、「生徒が、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工夫をすること」、すなわち、生徒のメタ認知活動促進やその能力育成を意図した授業実践の重要性が示されている。そして、文部科学省（2011）の「育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会（論点整理）」によれば、次期学習指導要領においても、メタ認知能力は、自身の学習活動の自己調整や内省、批判的思考の基盤となり、教科等を横断する汎用的スキルとして位置づけられている。

このように、メタ認知といった認知活動は、生徒自身の学習に対する進捗状況のモニタリングや課題解決に向けての認知活動のコントロールといったように、自己調整的な学習の基盤となるために、多くの研究者がメタ認知研究の意義を認めているところである（三宮，2008）。そして、中等理科教育における学習指導、特に、観察・実験活動に着目して、メタ認知活動促進やその能力育成を意図した介入研究が積極的に行われてきており、多くの実践的な研究成果が積み上げられている。例えば、木下（2006）は、中学校理科において、①自己統制方略の教示、②学習計画表の提示、③問いかけの工夫、④フラッシュカードの活用、⑤ワークシートの工夫、といった5つの学習指導を意図的に行うことが、中学生のメタ認知能力を育成することを実践的に明らかにしている。また、宮本ら（2015）は、高等学校化学において、生徒が必然的に自らの学習を振り返ることができる実験教材を開発し、さらに、次時の実験で即時的にモニタリングを行わせる学習指導が、生徒が具体的な実験操作を行っているといった実験中の場面において、高校生のメタ認知能力を育成することを実践的に明らかにしている。

ここで、本研究では、理科の観察・実験活動において、高校生のメタ認知能力の育成を目的とした草場ら（草場ら 2010a；草場ら，2010b；草場ら，2012；草場，2015）の研究に着目する。草場らは、従来の高等学校理科における観察・実験活動は、生徒が、これから学習しようとする科学的原理・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、これまでに学習した科学的原理・法則を、演繹的に検証するためだけの手段として位置づけられている場合が多いことを指摘している。このように位置づけられた

観察・実験活動は、高校生の科学的な見方や考え方を育成する上で必要な活動であることは認めつつも、一方で、生徒自身が科学的な根拠に基づいて、仮説を設定したり、仮説を検証するための実験方法を計画するといった活動になりにくいことを指摘している。そして、このような課題の解決に向けて、草場らは、観察・実験を、課題解決の手段として位置づけた教授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現実的な課題を生徒に提示した後、協同的に課題解決のための仮説を設定し、仮説を検証するための実験方法を計画し、クラス全体に実験結果を共有するといった内容である。そして、このような観察・実験活動によって、高校生のメタ認知を活性化し、さらには、理科の学力の育成が実現できることを実践的に実証している。

ところで、本研究のフィールドとなる高知県内の公立 A 中学校において、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（高知県教育委員会，2014）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・実験活動において、本校の生徒には次のような課題が見られた。一つ目は、これまでの理科授業で習得した知識に基づいて科学的に思考し、適切に表現することである。二つ目は、実生活で体験していることを実験結果や図表を基にして分析・解釈し、説明することである。そして、これらの課題は、次のようなことが原因であると分析した。一つ目は、単元や 1 単位時間の授業において、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ことである。二つ目は、科学的な根拠に基づいて、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ことである。三つ目は、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ことである。したがって、本校において、生徒のメタ認知活動促進やその能力育成を意図した、理科学習指導を開発し、実践することが大きな課題となっている。

以上の議論を踏まえ、本研究では、「理科授業で学習した科学的な知識を活用して課題を解決することは、中学生のメタ認知を活性化し、理科の学力を育成する」といった仮説を立てた。そして、本仮説を検証することは、A 中学校の課題の解決に対して、価値のある知見を与えることができる考えた。

### 本研究の目的

本研究の目的は、本仮説を実践的に検証するために、中学校理科において、仮説に基づく授業と、その比較となる授業の二つの介入授業を実践し、中学生のメタ認知活性化及び理科の学力を比較・検討することである。また、その結果から、中学校理科において、科学的知識を活用した課題解決の意義について示唆を与えることである。

## 方 法

### 本研究におけるメタ認知の定義

三宮（2008）は、メタ認知の定義や分類には依然として不統一的な部分があることを指摘しつつも、大きくは「メタ認知的知識」と「メタ認知的活動」に区別・整理している。「メタ認知的知識」は、人間の認知特性、課題、方略についての知識であるとしている。一方、「メタ認知的活動」は、Flavel（1987）とNelson&Narens（1994）に基づき、「メタ認知的モニタリング」と「メタ認知的コントロール」の二つに大きく分けた後、詳細に整理している。そして、「メタ認知的モニタリング」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り、その例として、認知についての気づき、感覚、予想、点検、評価などをあげている。一方、「メタ認知的コントロール」とは、メタレベルが対象レベルを修正することであると、その例として、認知についての目標設定、計画、修正などをあげている。本研究では、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」と捉えることにした。また、メタ認知活性化を、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、認知に対するモニタリングの活性化は、認知を対象とした気づき

（例：次にどのような実験をすればよいのか分かる）、感覚（例：良い結果になりそうだ）、予想（例：この実験をすれば仮説が検証できる）、点検（例：自分の実験操作を見直してみる）、評価（例：実験によって仮説を検証することができた）といった認知活動を促進することで実現されるとした。一方、認知に対するコントロールは、認知を対象とした目標設定（例：新しい仮説を検証する）、計画（例：仮説を検証するために実験方法を考える）、修正（例：この実験操作ではうまくいかなかったので、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実現されるとした。

### メタ認知を測定する項目の準備

中学校理科の観察・実験活動において、生徒のメタ認知活性化を測定するための項目を準備した。メタ認知を測定する項目には、本研究におけるメタ認知の定義を鑑み、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参考に作成した。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（資料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3つの要素（各2項目）から構成されており、「モニタリング」に対応できると判断した。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2つの要素（各2項目）から構成されており、「コントロール」

に対応できると判断した。なお、回答は6件法（1：全くあてはまらない、2：あてはまらない、3：あまりあてはまらない、4：少しあてはまる、5：あてはまる、6：非常によくあてはまる）で回答を求め、評定値をそのまま得点とした。

### 理科の学力を測定する調査問題の準備

#### 介入授業前の理科の学力を測定する調査問題

介入授業前の中学生の理科の学力の測定には、平成25年度高知県学力定着状況調査の理科の問題（以下、「調査問題①」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「自然現象についての知識・理解」、「観察・実験の技能」、「科学的な思考力・表現」を観点とした問題から構成されている。本研究では、「自然現象についての知識・理解」と「観察・実験の技能」を観点にした問題をまとめたものを「科学的知識」を測定するための調査問題として、「科学的な思考力・表現」を観点にした問題を「科学的思考力」を測定するための調査問題として用いることにした。そして、本研究では、理科の学力は「科学的知識」と「科学的思考」から構成されるものとした。なお、正答した場合を1点とし、「科学的知識」は0～14点、「科学的思考力」は0～11点、合計得点は0～25点であった。

#### 介入授業後の理科の学力を測定する調査問題

介入授業後の中学生の理科の学力を測定するための調査問題（以下、「調査問題②」とする）と採点基準を準備した（資料2, 3）。調査問題②は、まず現職中学校理科教員と中学校理科担当の指導主事が原案を作成した後、自然科学を専門とする大学教員、理科担当の指導主事及び高知CST（Core Science Teacher）中級認定者と検討し、作成した。よって、調査問題の内容的妥当性については、一定担保されていると判断した。なお、正答した場合を1点とし、「科学的知識」は0～2点、「科学的思考力」は0～3点、合計得点は0～5点であった。

### 介入授業の手続き

#### 調査協力者及び調査手続き

高知県内にある公立A中学校の第2学年137名（男子70名、女子67名）の中学生を対象とした。調査は、2014年10月中旬に実施された理科の授業で行われた。

#### 学習指導計画

本介入授業は、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）で実施された。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（68名）とし、処遇群を対象とした授業を処遇授業とした。処遇群に与える課題（図1）は、現職中学校理科教員、理科教育学を専門とする大学教員、自然科学を専門とする大学教員で協同的に作成した。一方、指導者が予め設定した観察・実験計画に基づいて学習を行う生徒を対照群

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)

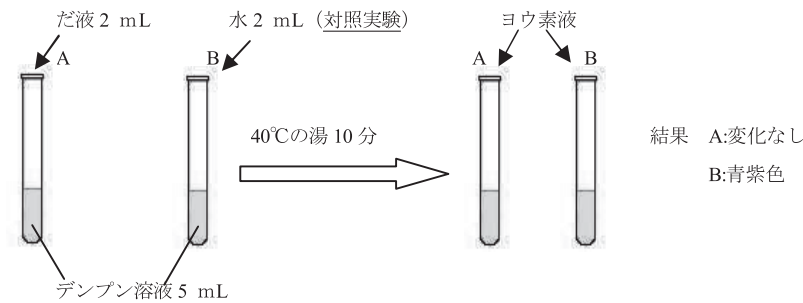


図1 処遇群に与えた課題

表1 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
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①	[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。	[観察・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。
	展開②	[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。	
第2次	展開③	[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。	[観察・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④	[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⑤	[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	[メタ認知の測定] 質問紙に記入する。 [理科の学力の測定] 調査問題②を解答する。	[メタ認知の測定] 質問紙に記入する。 [理科の学力の測定] 調査問題②を解答する。



## 酵素の働きを調べよう

### 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。

①1 %デンプン溶液を試験管 A, B, C に3 mL ずつ入れる。A にはパイナップル果汁 2 mL, B にはパイナップル缶詰の汁 2 mL, C には水 2 mL 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。

④A, B, C それぞれの色の変化を見る。

図 2 対照授業で用いたワークシート（抜粋）

(69 名) とし、対照群を対象にした授業を対照授業とした。なお、本介入授業における学習指導計画は表 1 に示した。対照群が使用するワークシート（図 2）は、現職中学校理科教員が作成した。

## 結果と考察

処遇群と対照群のメタ認知及び理科の学力の比較は、構造方程式モデリング・多母集団同時分析によって数量的に、また、授業における特徴的な発話内容や感想内容などによって解釈的に検討した。なお、統計解析には、IBM SPSS Statistics 22 と IBM SPSS Amos 23 を用いた。

### 分析対象者

欠損値のあるデータを除いた処遇群 64 名、対照群 65 名のデータを分析の対象とした。

### メタ認知に関する項目と適合度

中学生のメタ認知の因子構造を検討するために、介入授業前に実施したメタ認知に関する項目のデータを用いて因子分析を行った。具体的に、「自己評価」と「自己制御」の因子間に相関を仮定し、確認的因子分析（最尤法）を行った。各因子から負荷が高い項目を下位尺度の項目とした。各適合度指標における適合度は、GFI=.940, AGFI=.870, CFI=.965, RMSEA=.104 であり、RMSEA の値がやや高かったものの、その他の適合度指標では、十分な適合度を得られたと判断した。得られた下位尺度の項目は、「自己評価」4 項目 ( $M=3.40, SD=0.97, \alpha=.86$ ), 「自己制御」3 項目 ( $M=2.95, SD=1.23, \alpha=.86$ ) であった。

### 介入授業による中学生のメタ認知活性化の比較

構造方程式モデリング（SEM）によって、介入授業が、中学生のメタ認知活性化に及ぼす効果について検討する

ことにした。「自己評価」と「自己制御」の因子をまとめる高次の因子として「メタ認知」を仮定し、介入授業前のメタ認知を説明変数、介入授業後のメタ認知を目的変数とする因果モデルを構成した。そして、介入授業後の処遇群と対照群のメタ認知の切片の推定値を比較・検討するために、観測変数の切片に等値制約を課した下記の 4 つのモデルを設定し、多母集団同時分析を行った。

**モデル0：**潜在変数から観測変数へのパス係数が処遇群と対照群で異値。

**モデル1：**潜在変数から観測変数へのパス係数が処遇群と対照群で等値。

**モデル2：**モデル1の条件に加えて、潜在変数間のパス係数が処遇群と対照群で等値。

**モデル3：**モデル2の条件に加えて、潜在変数とその誤差変数の分散が処遇群と対照群で等値。

### モデルの検証

#### 適合度指標による適合度の比較

モデル 0~3 の 4 つのモデルに対して多母集団同時分析を行った。各モデルにおける主な適合度を表 2 に示した。AIC と BCC とともにモデル 3 が一番小さい値を示した。

表 2 モデル 0~3 における各適合度指標における適合度

モデル	RMSEA	CFI	AIC	BCC
モデル0	.085	.900	462.935	517.374
モデル1	.084	.896	459.610	509.100
モデル2	.084	.893	460.274	507.978
モデル3	.083	.893	454.280	498.202

#### 等値条件の検定におけるモデルの比較

モデル 0~3 の 4 つのモデルに対して等値条件の検定結

果を表3に示した。モデル0のもとでのモデル1~3に対する検定の結果、有意差は見られなかった。モデル1のもとでのモデル2・3に対する検定の結果、有意差は見られなかった。モデル2のもとでのモデル3に対する検定の結果、有意差は見られなかった。

以上の適合度及び等値条件の検定による結果、最終的にモデル3を採択し、モデル3における因果モデルを図3に示した。

表3 モデル0~3に対する等値条件の検定結果

モデル	$\chi^2$ 値(df)	p値	等値条件の検定	p値
モデル0	T <sub>0</sub> =286.935(150)	.000		
モデル1	T <sub>1</sub> =299.610(158)	.000	T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> =12.675(8)	.124
モデル2	T <sub>2</sub> =306.274(161)	.000	T <sub>2</sub> -T <sub>0</sub> =19.339(11)	.055
			T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> = 6.664(11)	.083
モデル3	T <sub>3</sub> =312.280(167)	.000	T <sub>3</sub> -T <sub>0</sub> =25.345(17)	.087
			T <sub>3</sub> -T <sub>1</sub> =12.670(9)	.178
			T <sub>3</sub> -T <sub>2</sub> = 6.006(6)	.423

平均構造モデルによるメタ認知の平均値及び切片の比較

処遇群と対照群のメタ認知活性化を比較するために、メタ認知の平均値と切片の推定及び検定を行った。表4に対照群のメタ認知の平均値と切片の推定値を0としたときの処遇群の平均値と切片の推定値及び検定結果を示した。その結果、処遇群と対照群の介入授業前のメタ認知の推定平均値には有意差は見られなかったが、介入授業後の処遇群のメタ認知は有意に高かった。

ここで、処遇群のあるグループの2回目の実験計画場面

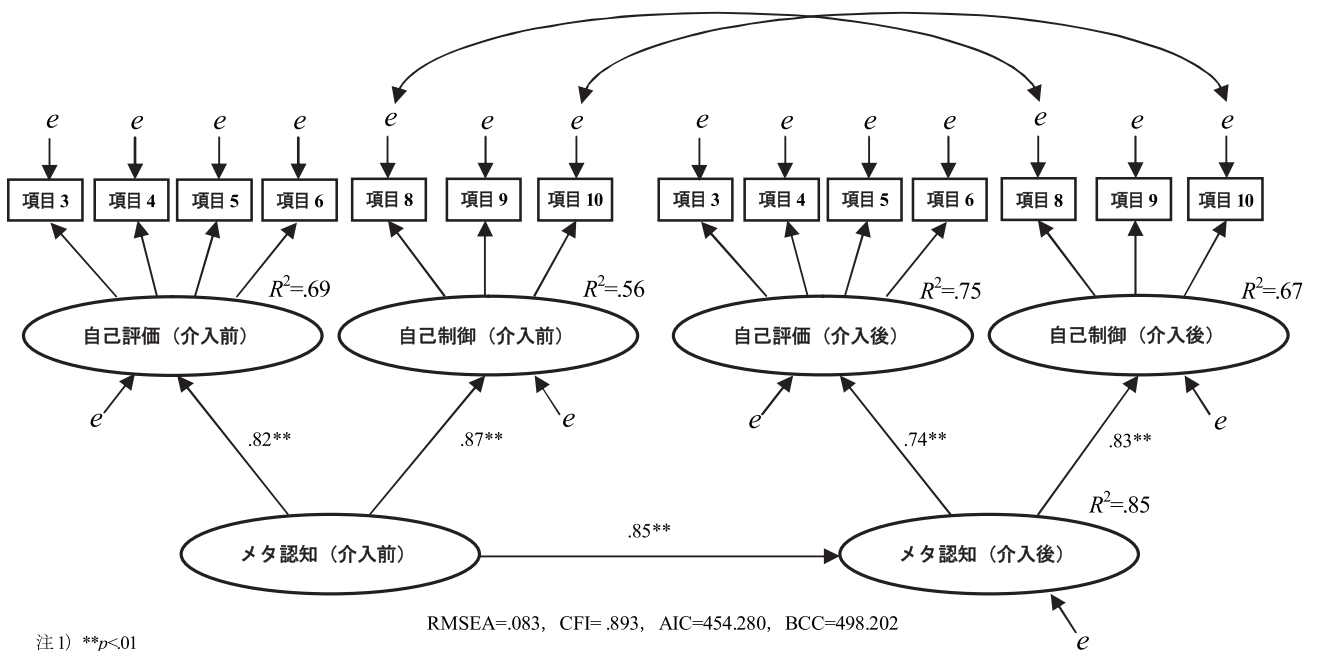
表4 処遇群の因子の平均値及び切片の推定値と検定結果

因子	推定値 <sup>※</sup>	標準誤差	z値
メタ認知(介入前)	-.130	.206	.528
メタ認知(介入後)	.311	.125	2.491*

※対照群の因子平均を0としたときの推定値

\*p<.05

における特徴的な発話事例(表5)に着目する。2回目の実験計画場面では、生徒Aには、どのような実験から始めるとよいのかといった「計画」や、実験操作に関する「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には、どんな実験をすればよいのかといった「気づき」の場面が見られた。さらに、生徒Cには、1回目の実験計画ではなく、課題を解決するための別の方法を考えるといった「修正」の場面が行われている様子が見られた。そして、その修正内容は、ワークシートにも反映されていた(図4の枠が込みの部分)。同様に、課題解決に向けて実際に実験を行っている場面(表6)においても、「点検」、「気づき」、「目標設定」、「計画」といった場面が見られたように、処遇群の生徒は、モニタリングやコントロールといった認知活動を積極的に行っていたことが推測される。次に、授業後の処遇群と対照群の感想事例(表7)に着目した。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、観察・実験に対する自律的・協調的な活動についての内容が多く見られた。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かった。



注1) \*\*p<.01

注2) R²は重相関係数の平方、eは誤差変数

図3 モデル3におけるメタ認知の因果モデル

表5 処遇群の2回目の実験計画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たい(計画)。パイナップル果汁、缶詰の汁、水は全部2mLやき(点検)。  
 D : [ワークシートに]2mL書いてある。  
 A : デンブンは2mLずつなので、忘れんように。必ず10分おくことね(点検)。こっちは《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。ビベットみたいなので[ヨウ素液を]入れるが？  
 A : ヨウ素液はピンについているので入れる。  
 D : ああ。  
 A : こういうの[ヨウ素液]は、こまごめビベットで入れたらいいかもしれん。ピ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。パッチリ(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]5mLにしたら、ちょうど出るようになってるのですか？  
 T : ネガフィルムは液体が5mLなら出るようになってるよ。  
 A : 7mLやったらどうなる？  
 T : 7mL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3mLやない(気づき)。  
 D : そうやろう。  
 T : 3mLに変えてもいいよ。  
 C : [デンブン溶液]3mLと[パイナップル果汁、缶詰の汁、水は]2mLにしよう(修正)。

Tは教師の発話、Aと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、( )はモニタリングやコントロールと推測される活動

表6 処遇群が実験を行っている場面における特徴的な発話事例

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。  
 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と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、( )はモニタリングやコントロールと推測される活動

このような、観察・実験場面における生徒の認知活動や授業に対する感想は、高校生を対象にして授業実践した草場らの研究(草場ら, 2010a; 草場ら, 2010b; 草場ら 2012)でも同様に見られた。したがって、科学的知識を活用した課題解決は、中学生や高校生といった発達段階に関係なく、生徒自身の、あるいは他者との関わりといった社会的相互作用の中で、メタ認知を活性化することが示唆された。以上、数量的・解釈的な検討により、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たと推測する。

介入授業による中学生の理科の学力の比較

構造方程式モデリング(SEM)によって、介入授業が、中学生の理科の学力に及ぼす効果について検討することにした。介入授業前の理科の学力を説明変数、介入授業後の理科の学力を目的変数とする因果モデルを構成した。そ

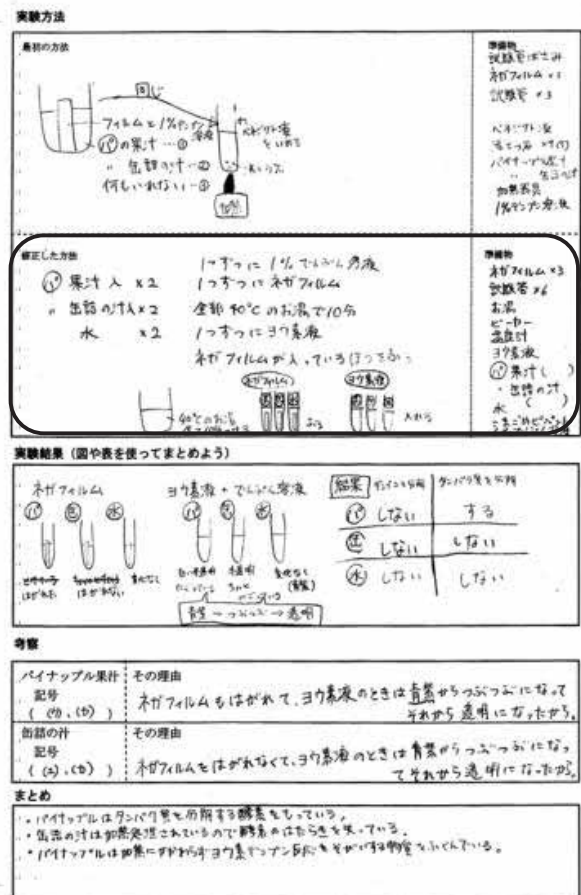


図4 処遇群の生徒Cのワークシートの記述内容

して、介入授業後の処遇群と対照群の理科の学力の切片の推定値を比較・検討するために、観測変数の切片に等値制約を課した下記の4つのモデルを設定し、多母集団同時分析を行った。

モデル0: 潜在変数から観測変数へのパス係数が処遇群と対照群で異値。

モデル1: 潜在変数から観測変数へのパス係数が処遇群と対処群で等値。

モデル2: モデル1の条件に加えて、潜在変数間のパス係数処遇群と対照群で等値。

モデル3: モデル2の条件に加えて、潜在変数とその誤差変数の分散が処遇群と対照群で等値。

モデルの検証

適合度指標による適合度の比較

モデル0~3の4つのモデルに対して多母集団同時分析を行った。各モデルにおける主な適合度を表8に示した。AICとBCCともにモデル3が一番小さい値を示した。

等値条件の検定におけるモデルの比較

モデル0~3の4つのモデルに対して等値条件の検定結果を表9に示した。モデル0のもとでのモデル1~3に対する検定は有意にならなかった。モデル1のもとでのモデル

表7 授業後の処遇群と対照群の特徴的な感想事例

処遇群	対照群
<ul style="list-style-type: none"> <li>・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のも、とても記憶に残りました。</li> <li>・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。</li> <li>・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を湧いたし、いつもより理解するのが早かった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。バイナップルの授業で、分かりやすくプリントに絵をかいいたりして、とても楽しかったです。</li> <li>・バ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。</li> <li>・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。バイナップルがめちゃ食べたくなりました。</li> </ul>

表8 モデル0~3における各適合度指標における適合度

モデル	RMSEA	CFI	AIC	BCC
モデル0	.000	1.000	50.296	54.372
モデル1	.000	1.000	47.870	51.631
モデル2	.000	1.000	45.894	49.484
モデル3	.000	1.000	42.214	45.462

表9 モデル0~3に対する等値条件の検定結果

モデル	$\chi^2$ 値 (df)	p 値	等値条件の検定	p 値
モデル0	T <sub>0</sub> =2.269 (4)	.686		
モデル1	T <sub>1</sub> =3.870 (6)	.694	T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> =1.601 (2)	.449
モデル2	T <sub>2</sub> =3.894 (7)	.792	T <sub>2</sub> -T <sub>0</sub> =1.625 (3)	.654
			T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> = .024 (1)	.875
モデル3	T <sub>3</sub> =4.214 (9)	.897	T <sub>3</sub> -T <sub>0</sub> =1.945 (5)	.857
			T <sub>3</sub> -T <sub>1</sub> = .344 (3)	.952
			T <sub>3</sub> -T <sub>2</sub> = .320 (2)	.852

表10 処遇群の因子の平均値及び切片の推定値と検定結果

因子	推定値*	標準誤差	z 値
理科の学力 (介入前)	-.130	.206	.528
理科の学力 (介入後)	.311	.125	2.491*

※対照群の因子平均を0としたときの推定値

\*p<.05

モデル2・3に対する検定は有意にならなかった。モデル2のもとでのモデル3に対する検定は有意にならなかった。

以上の適合度及び等値条件の検定による結果、最終的にモデル3を採択し、モデル3における因果モデルを図5に示した。

#### 平均構造モデルによるメタ認知の平均値及び切片の比較

処遇群と対照群のメタ認知活性化を比較するために、メタ認知の平均値と切片の推定及び検定を行った。表10に対照群のメタ認知の平均値と切片の推定値を0としたときの処遇群の平均値と切片の推定値及び検定結果を示した。その結果、処遇群と対照群の介入授業前の自己評価の推定平均値には有意差は見られなかったが、介入授業後の処遇群の理科の学力が有意に高かった。

草場ら(2015)は、中学生を対象にした質問紙調査によって、メタ認知を説明変数、理科の学力を目的変数とする因果モデルを構成した。そして、構造方程式モデリング

(SEM)によって、メタ認知から理科の学力の要素である科学的知識に有意な正のパスがでていることを明らかにした。この結果は、中学生のメタ認知の高まりが、学力の育成に影響を与える可能性があることを示唆したものであるが、本研究によって実践的に実証されたといえよう。また、このようなメタ認知活性化による理科の学力の育成については、高校生を対象にして実践した草場らの研究(草場ら, 2010a; 草場ら, 2010b; 草場ら, 2012)でも同様に見られた。このことから、中学生や高校生といった発達段階に関係なく、生徒自身、あるいは他者との関わりといった社会的相互作用の中で、メタ認知が活性化され、その結果、理科の学力の育成を実現できたことが推測される。

#### 本研究の成果と今後の課題

中学校理科生物的領域「生命を維持する働き」を事例として、本仮説「理科授業で学習した科学的な知識を活用して課題を解決することは、中学生のメタ認知を活性化し、理科の学力を育成する」は検証できたと考える。本仮説に基づく先行研究(例えば、草場, 2010a)では、高校生を対象としたものであるために、中学生といった発達段階に関係なく、同様の効果が見られることを検証できたことは意味があったと考える。しかし、中学校理科において、本仮説に基づく理科授業の意義や価値について、より一般化を図るためには、本仮説に基づく多くの事例を開発し、実践的に検証し、研究成果を積み上げていくことが必要である。

ところで、三宮(2008)は、学習研究の文脈において、メタ認知研究は、効果的な学習指導のあり方を追究するための切り口を提供するといった実用的意義を認めつつ、一方で、メタ認知研究についての多くの課題も整理している。本研究では、質問紙を用いて中学生のメタ認知を測定した。しかし、とりわけメタ認知は高次の認知活動であるために、通常の認知活動にくらべて、より観測困難な構成概念を変数の対象としている。したがって、今後、メタ認知の測定方法について検討していく必要がある。また、本研究では、メタ認知をメタ認知的活動の側面から、分析・解釈してきた。しかし、理科の課題解決の文脈において、課題を解決するための自分自身の認知特性に関する知識、課題そのものの対する知識、課題の解決方略に関する知識、といったメタ認知的知識は、課題解決に大きく寄与することが推測



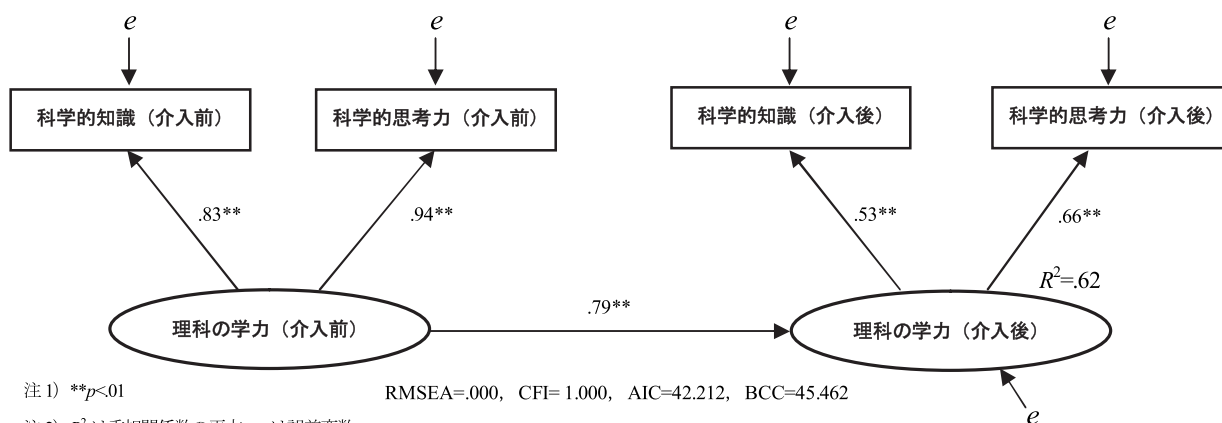


図5 モデル3における理科の学力の因果モデル

される。したがって、課題解決に関するメタ認知的知識の分析や解釈、さらにはメタ認知的知識を獲得させるための教授方略に関する研究を進めていく必要があり、今後の研究課題としたい。

【謝辞】

調査にご協力いただきましたA中学校の生徒の皆様、ならびに理科担当の先生の皆様へ深く感謝申し上げます。また、高知県教育センター・玉野井指導主事には研究指導をいただきましたことに深く感謝申し上げます。

【付記】

- 1) 本研究は、著者の一人である福島が、平成26年度高知県教育公務員長期研修生(留学生)として報告(福島ら, 2014)したものを、再度、研究の目的・方法を整理し、データを再分析したものである。
- 2) 本研究は平成27~31年度科学研究費補助金(基盤研究C:研究代表者:草場実)(課題番号15K04448, 研究課題「メタ認知能力を基盤とした科学的思考力育成のための理科学習指導法の開発」)により行った。

【参考・引用文献】

Flavell, J. H. (1987) : Supeculation about the nature and development of metacognition, In F.E.Weinert & R.H.Kluwe (eds.) , Metacogniton, motivation, and understanding.Hillsdale, NJ: Lawrence Erlblam Associates. pp.21-29.

福島啓介・蒲生啓司・玉野井英二 (2014) : 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について、平成26年度高知県教育センター研究紀要, pp.74-85.

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.

高知県教育委員会 (2014) : 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>

国立教育政策研究所 (2015) : 平成27年度全国学力・学習状況調査の結果, <http://www.nier.go.jp/15chousakekakahoukoku/summary.pdf>, p.3.

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.

草場実・湯澤正通・角屋重樹 (2010a) : メタ認知を活性化させる観察・実験活動が高校生の科学的知識の理解に及ぼす効果—高等学校化学「混合物の分離・同定」を事例として—, 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 (2010b) : メタ認知を活性化させる観察・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, Vol.33, No3, p.31-40.

草場実・角屋重樹・森敏昭 (2012) : メタ認知を活性化させる観察・実験活動が高校生の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—, 日本教科教育学会誌, Vol.34, No.4, pp.29-38.

草場実 (2015) : 21世紀の学びを創る: 学習開発学の展開 森敏昭監修, 藤江康彦・白川圭子・清水益治編集 第6章 初等中等教育における学び 4節メタ認知を基盤とした高等学校理科の授業実践の重要性—子どもたちの自律的・協調的な学びを目指して—, pp.118-127. 北大路書房

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, pp.97-104.

宮本樹・木下博義・網本貴一 (2015) : 高等学校化学における実験中のメタ認知育成に関する研究—酢酸エチ

ルの合成実験を用いた実践を事例として一，理科教育学研究，Vol.56，No.2，pp.213-224.

文部科学省（2008）：中学校学習指導要領，p.122.

文部科学省（2011）：育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会（論点整理），[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2014/06/03/1346335\\_01\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2014/06/03/1346335_01_1.pdf)

Nelson, T. O. and Narens, L. (1994) : Why Investigate Metacognition?, In J. Metcalfe & A. P. Shimamura (eds. ) Metacognition, pp.1-25, The MIT Press.

Paris, S, G, & Winograd, P., (1990) : How Metacognition Can Promote Academic Learning And Instruction Dimentions of Thinking And Cognitive Instruction. In B.F.Jones & L.Idol (Eds.) Dimentions of Thinking And Cognitive Instruction , Lawrence Erlbaum Associates , pp.17-18.

三宮真智子（2008）：メタ認知研究の背景と意義，三宮真知子（編）メタ認知 学習力を支える高次認知機能，北大路書房，pp. 1-16.

鈴木誠（1997）：理科教育における学習意欲の構造に関する研究（4）－児童や生徒の自己効力感，認知的方略のメタ認知及び社会的関係性の発達の変化について－，理科教育学会誌，Vol.38，No.1，pp.11-21.

資料1 メタ認知の測定に関する項目（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のかわかります。
- 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のかわかります。

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

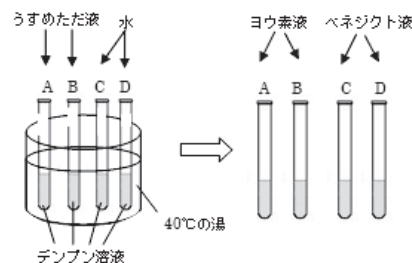
- 項目9 理科の実験がうまくいかないときは、私は必ず予習や復習をしています。
- 項目10 理科の授業で分からないところは、私は先生に聞いたり本で調べます。

資料2 調査問題②の内容

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。

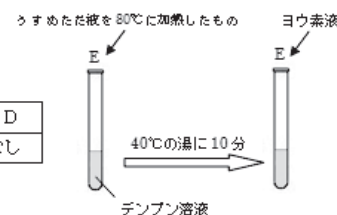
【実験Ⅰ】

- ①デンプン溶液 5 cm<sup>3</sup>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 cm<sup>3</sup>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 cm<sup>3</sup>を入れた試験管Eを準備し、①の液を2 cm<sup>3</sup>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变化	なし	あり	あり

試験管	B	D
ベネジクト液による色の变化	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「X」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。  
 「X」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。

資料3 調査問題②の採点基準

問題	観点	得点	採点基準	解答事例
問1	科学的知識	1	正しい酵素名が記述できている。	アミラーゼ
問2	科学的知識	1	正しい理由が記述できている。	突沸を防ぐため。
問3	科学的思考力	1	正答の記号が選択できている。	(イ)
問4	科学的思考力	2	温度が独立変数、酵素活性が従属変数として記述できている。	高温になると、だ液のはたらかなくなること。
		1	温度と酵素活性の関係について記述している。	温度によって、だ液のはたらいたり、はたらかなくなったりすること。
		0	誤答および無記入	