

観察・実験を通し、科学的思考力を育む理科の指導と評価の在り方についての研究

～生徒の学習方略に着目した科学的思考力育成のための有効な学習指導を探る～

高知県立中村中学校 教諭 松岡 綾
高知大学教育学部 教授 蒲生 啓司

本研究の目的は、中学校理科において、生徒の学習方略に着目した科学的思考力育成のための有効な学習指導を探ることであった。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、研究Ⅰにおいては、A中学校の生徒131名を対象とした質問紙調査によって、中学生の学習方略の下位構成要素のうち、科学的思考力育成に影響を及ぼす要素を検討した。次に、研究Ⅱにおいては、A中学校の第2学年70名を対象とした介入授業によって、研究Ⅰで要因候補になると判断した要素の活性化を意図した学習指導が、中学生の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。

研究Ⅰでは、学習方略の「意味理解方略」から「科学的思考力」へ有意なパスが見られ、研究Ⅱでは、「グループ学習を基盤とし、生徒の既有的知識や考えを活用する課題を設定し、思考する時間を十分に確保した学習指導」は、中学生の学習方略の使用を促進させたことが明らかになった。一方で、研究Ⅱの介入授業では、学習方略の「暗記反復方略」から「科学的思考力」へ有意なパスが見られるといった実践的な示唆が得られた。

<キーワード> 科学的思考力、学習方略、暗記反復方略、意味理解方略、中学校理科

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、活用力などについて課題があることが指摘されている。また、平成26年度高知県学力定着状況調査における中学校理科の結果では、「観察・実験の結果から法則や関係を説明すること」、「与えられた条件の中で、既習内容を活用して科学的に考察すること」に課題があることが見出された。これらの学力調査における児童生徒の課題の解決に向けて、観察・実験を通した思考・表現活動を充実させていくことが重要だと言われている。また、A中学校での、平成26年度高知県学力定着状況調査の結果においても、「自然現象についての知識・理解を評価の観点」とする問題では、一定の定着が見られたが、「科学的な思考・表現を評価の観点」とする記述式問題の正答率が低く、無回答の生徒も見られたことが課題である。知識（知識・理解、技能）と活用（思考・表現）の正答率の差は1学年で23.05%、2学年で35.05%であり、その差が大きくなっている2学年で領域別に正答率を見ると、エネルギー54%、粒子53%、生命70%、地球64%であり、第2分野に比べ第1分野の方が、生徒の苦手意識が高いことが伺える。特に、エネルギー領域である「電流とその利用」の単元の問題では、知識理解の正答率は、7割を超えているのに対し、実験の過程を問う問題や直列回路と並列回路での電流・電圧の規則性を用いながら思考する問題では、正答率は3割弱であり、実験方法の理由を問う記述式問題では、無回答率が15.2%と他の問題と比べると非常に高い数値となっている。これは、単純に電流や電圧の規則性や公式は暗記しているが、なぜそのような式が導き出されたのか、また、実験から導き出された規則性が、どのような意味を示しているのかは十分に理解できていない結果だといえる。つまりは、この単元において、観察、実験における「考察」が十分に機能していない結果だと考えられる。

また、学校教育法第30条第2項においては、子どもたちの現状をふまえ、「生きる力」を育むという理念のもと、学力の重要な要素として、知識や技能の習得、思考力・判断力・表現力などの育成が重視されるとともに、学習意欲もそのうちのひとつとして明記されている。A中学校は、併設型中高一貫教育校であり、6年間というゆとりのある学校生活の中で、様々な体験や学習を通して、個性や創造性を伸ばし、豊かな人間性を育むことを目指している。学習意欲に関しては、高校入試という大きな外発的動機づけがない中、いかに生徒の内発的動機づけを高めるか、指導方法の工夫が課題となっている。そこで、昨年度は生徒の学習意欲を高めるため、授業の導入を工夫したり、観察・実験をできるだけ多く取り入れるようにした。生徒は、観察・実験にも真面目に取り組み、以前より観察や実験に対する技能は身に付いているように感じられる。しかし、一方で観察・実験に意欲的に取り組んでいるように見える生徒でも、観察・実験で得られた結果から考察したりする思考活動には消極的で、結果を分析したり、解釈し表現する力は弱い面も見られた。また、理科の観察や実験に関しての学力を測る「特定の課題に関する調査」(国立教育政策研究所;2007)の結果からも、実験や観察が好きな児童生徒の割合は80%と高い傾向にあるが、見直しをもって自ら観察・実験の方法を考案することや、観察・実験の結果やデータをもとにして考察し、結論を導き出すことに課題があるという報告が得られた。これらのことから、観察・実験に対する学習意欲を高めることはもちろん大切だが、意欲を高めるだけでなく、その意欲を持続させ、学習成果へとつなげるためにも、生徒が主体的に考え、取り組むことができるような学習指導を計画していく必要があると考えられる。また、次期学習指導要領では、「何ができるようになるか、何を学ぶか、どのように学ぶか」の視点から改訂の検討がなされており、ますます生徒が主体的・能動的に学ぶことが重要になってくると思われる。教育心理学研究の「自己調整学習」理論では、生徒の主体的な学びの三要素として、「学習意欲」「学習方略」「メタ認知」をあげている。言い換えれば、学習者にこの三要素が備わっていれば、自ら目標を設定し、学習を主体的に進め、成果につなげることができるとしている(図1)。

また、学習意欲に関する先行研究からは、堀野・市川ら(1997)によれば、学習意欲が直接的に学習成果に結びつくとは考えにくく、学習意欲が高まると何らかの学習行動(学習方略)を引き起こし、学習成果へと結びつけていると考えるのが一般的であると言われている。これらのことより、学習意欲から、学習成果へとつなげるためには、学習方略やメタ認知といった要素が重要な役割をしているということが考えられる。メタ認知に関する研究では、調査研究だけではなく、学校現場においてより実践的な研究も報告されている。しかし、学習方略に関する先行研究では、効果的な学習方法に結びつく要因の検討や指導方法の検討が行われてきているが、実践的な学習指導に関する研究や科学的思考力との関係に焦点を当てた研究はほとんど見られない。そこで、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、生徒の学習方略に着目し、中学生の理科の学習方略から科学的思考力の育成に及ぼす影響を明らかにするとともに、生徒の学習方略に着目した科学的思考力育成のための有効な学習指導を探ることを目的とした。

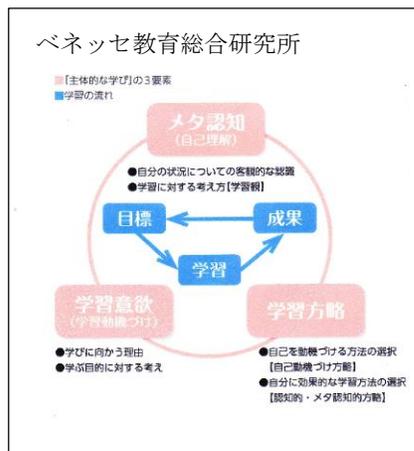


図1 「主体的な学び」の学習モデル

2 研究仮説

中学校理科において、生徒の学習方略を高めるための学習指導は、科学的思考力を育成する上で有効である。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。

- ・研究Ⅰとして、中学生の理科の学習方略から科学的思考力の育成に及ぼす影響について、構造方程式モデリング(SEM)によって検討し、科学的思考力を育成するための介入研究への示唆を導出する。
- ・研究Ⅱとして、中学校理科において、研究Ⅰで学習方略の下位構成要素のうち理科の科学的思考力の育成に影響を及ぼすと判断した要素の活性化を意図した学習指導を行い、中学生の理科の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。

3 研究 I (調査研究)

(1) 目的

中学生の理科の学習方略から科学的思考力の育成に及ぼす影響について構造方程式モデリング (SEM) によって検討する。さらに、その結果から中学生の科学的思考力を育成するための介入研究 (検証授業) への示唆を導出することを目的とした。

(2) 方法

ア 調査協力者及び調査手続き

高知県内にある A 中学校の第 1 学年 69 名 (男子 32 名、女子 37 名)、第 2 学年 68 名 (男子 33 名、女子 35 名)、第 3 学年 67 名 (男子 27 名、女子 40 名)、合計 204 名の中学生を対象とした。学習方略測定尺度に関する質問紙調査は、2015 年 5 月に実施された理科授業中に、各クラス集団で行われた。また、理科の科学的思考力は、平成 26 年度高知県学力定着状況調査 (理科) の科学的な思考・表現を問う問題の第 1 学年 (現第 2 学年) 及び第 2 学年 (現第 3 学年) のデータを用いた。

イ 理科の学習方略の定義及び項目の準備

本研究では、学習方略を堀野・市川 (1997) の先行研究を基に、「学習効果を高めることを目指して意図的に行う心的操作、あるいは活動」と定義した。中学生の理科における学習方略を測定する項目には、市原・新井が用いた数学の学習場面における学習方略に関する項目を理科の文脈にあうように修正したものをを用いることにした。本項目は、「暗記反復方略 (くり返ししながら学習を行う) 8 項目」と「意味理解方略 (意味を理解しながら学習を行う) 5 項目」の二つの下位要素から構成されている (資料 1)。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) で求め、評定値をそのまま得点とした。

ウ 理科の学力の定義及び調査問題

中学生の理科の学力の測定には、平成 26 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」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・表現」を観点とした問題から構成されている。本研究では、「自然事象についての知識・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・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「科学的思考力」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、第 1 学年では「科学的知識」は 0~14 点、「科学的思考力」は 0~6 点、第 2 学年では「科学的知識」は 0~12 点、「科学的思考力」は 0~8 点、いずれも合計得点は 0~20 点であった。

(3) 結果と考察

まず、中学生の学習方略の因子構造を確認した。次に、中学生の理科の学力と学習方略の関係について検討し、科学的思考力の育成に影響を及ぼす可能性のある因子を明らかにした。なお、統計解析には、IBM SPSS Statistics 22 と IBM SPSS Amos 23 を用いた。以下にその詳細について記す。

ア 中学生の学習方略の因子構造

(ア) 分析対象者

第 1 学年 69 名 (男子 32 名、女子 37 名)、第 2 学年 68 名 (男子 33 名、女子 35 名)、第 3 学年 67 名 (男子 27 名、女子 40 名)、合計 204 名のデータ (欠損値なし) を対象とした。

(イ) 理科の学習方略尺度の項目と適合度

「暗記反復方略」と「意味理解方略」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 (表 1)。各適合度指標における適合度は、GFI=.958, AGFI=.921, CFI=.982, RMSEA=.067 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「暗記・反復方略」4項目 ($M=3.83$, $SD=0.99$, $\alpha=.90$)、「意味理解方略」4項目 ($M=3.58$, $SD=1.03$, $\alpha=.85$)であった。

(ウ) 中学生の理科の学習方略と学力の関係

a 分析対象者

欠損値のあるデータを除いた第2学年66名(男子32名, 女子34名)、第3学年65名(男子26名, 女子39名)、合計131名のデータを対象とした。

b 理科の学習方略と学力の関係

構造方程式モデリングによって中学生の理科の学習方略と理科の学力の関係について検討することにした。理科に対する学習方略を説明変数(潜在変数)、理科の学力を基準変数(観測変数)とする因果モデルを構成した。そして、SEMによって変数間のパス係数について検討したところ、「暗記反復方略」から「科学的知識」へのパス係数が有意であった(標準化推定値=.34, $p<.05$)。また、「意味理解方略」から「科学的思考力」へのパス係数が有意であった(標準化推定値=.32, $p<.05$)。よって、中学校理科において、生徒の学習方略の「意味理解方略」(意味を理解しながら学習を進めていく)の積極的な使用を促すことは、中学生の理科の「科学的思考力」の育成に効果がある可能性が示唆された。

(エ) 研究Ⅱへの示唆

研究Ⅰの結果より、学習方略の「意味理解方略」から「科学的思考力」への有意な影響が見られた。学習方略の「意味理解方略」とは、公式や法則は、どうしてこのような形になるのかを考える等、意味を理解しながら学習を行う方略である。そこで、生徒に「意味理解方略」を積極的に遂行させるために、授業の中で、公式や法則の意味を考えたりする等、意味理解方略を積極的に使用できるような学習指導の計画を行う。

表1 学習方略の測定で用いた項目

学習方略	
暗記・反復方略	
項目1	私は、理科で分からない問題は、何回もくり返し練習しています。
項目2	私は、理科では何度も同じ問題を解いています。
項目3	私は、理科で特に苦手なところは、くり返し勉強しています。
項目4	私は、理科で間違えた問題に、集中的に取り組んでいます。
意味理解方略	
項目9	私は、理科の法則や式は、ただそれを覚えるだけでなく、なぜそのようになるのかを考えています。
項目10	私は、理科の法則や式は、自分でそれを導き出せるようにしています。
項目11	私は、理科では、ある方法で問題を解いた後で、他の方法でも問題が解けるかどうかを考えています。
項目12	私は、理科では、どうすれば問題が解けるようになるのかを考えています。

4 研究Ⅱ (検証授業)

(1) 目的

研究Ⅰ(調査研究)の結果より、『中学校理科において、学習方略における「意味理解方略」を高める学習指導によれば、生徒の理科の科学的思考力を育成することができる』といった仮説を設定した。研究Ⅱでは、本仮説を実践的に検討することを目的とした。

(2) 方法

ア 調査協力者及び調査手続き

高知県内にあるA中学校の第2学年70名(男子34名, 女子36名)の中学生を対象とした。検証授業は、2015年10~11月に実施された理科授業で行われた。

イ 検証授業の構想

(7) 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「電流とその利用」（全13単位時間）

【実施時期】平成27年10月5日～11月10日

【対象生徒】A中学校第2学年70名

現行の学習指導要領には、中学校理科の目標に「自然の事物・現象に進んでかかわり、目的意識を持って、観察・実験などを行い（以下略）」とある。A中学校でこれまで行ってきた授業における観察・実験を振り返ると、生徒は前向きに取り組んでいるように見えたが、観察・実験の結果やデータを基にして考察し、結論を導くことを苦手とする生徒が減少していないことより、観察・実験が生徒にとって十分に目的意識を持って取り組むものになっていなかったのではないかと考えた。中学校学習指導要領解説理科編には、生徒が目的意識を持つための活動として、「観察や実験を何のために行うか、観察や実験ではどのような結果が予想されるかを考えさせる」と記されている。このことより、生徒に観察・実験への目的意識を持たせるためには、学習過程の中の「予想」を立てる場面で、課題に対する自分の考えを明確にさせることが必要ではないかと考えた。また、中等理科教育における生徒の意味理解方略の積極的な使用を意図した学習指導に関する先行研究を概観すると、例えば田中（2014）の研究が挙げられる。田中は、中学校1年生～3年生を対象に行った質問紙調査より、学習指導法と意味理解方略、価値的興味（学習意欲の下位構成要素）の関係について検討している。これによれば、意味理解方略と価値的興味には、関連性が見られ、両者とも同じ学習指導法と正の相関がみられた。その学習指導法は、「学習内容を既習事項や身近な内容と関連付ける」ことや「生徒自身で考える時間を十分に与える」とこととしている。以上のことを踏まえ、生徒の既有的知識や考えを活用する学習課題を設定し、学習過程の中の予想の場面で思考する時間を十分に確保することで、課題に対する自分の考えを明確にさせることを意図した学習指導を計画することとした。これにより、意味理解方略の積極的な使用を促すとともに、生徒は目的意識を持って観察・実験に取り組むことができ、その結果、観察・実験から何が分かり、何が言えるのかが明確となるため十分な考察ができるようになるのではないかと考えた。

そして、Johnson & Johnson(1985, 1989)の先行研究から、グループ学習と個人による学習における学習課題の遂行状況について比較検討し、グループ学習の方がより正確に課題が行われていたことを見いだし、同様に、協同で学習する方が学力を向上させる効果があることも実証している。このことより、思考する時間に生徒が十分に考えることができるようになるための手立てとして、個人で思考した後、小グループで考えを交流させる機会を設定することとした。個人で思考する時間も大切だが、グループで意見交流をし、自分の考えとは異なった考え方にふれることで、より深く考えることができるのではないかと考えた。そこで、男女混合の3～4人を基本としたグループを編成し、小集団での学習を1時間の授業の中に位置づけ、自分の考えを発表させるだけでなく、他のグループと情報交換をし、その意見を基に再度自分たちのグループで話し合うなど、グループ内で意見交流する機会を意図的に増やした。さらに、活動の際には、担当を決め自分の役割を明確にさせたり、まとめや前時の振り返りの場面では、生徒のワークシートの記述を例としてあげ、個々の考えや記述の仕方について、できるだけ多く全体で共有できるようにした。

また、この単元の学習は、電流（自由電子）そのものが目に見えないことから、実験結果の予想が立てづらく見通しが持ちにくいことや実験結果がそのまま電流や電圧の規則性となり、考察がしづらい点などが苦手意識の原因だと考えられている。そこで、生徒が「予想」や「考察」の場面で、考えるための手助けとして横山（2008）の実践記録を基に、電流を人の動きに例えた「モデル」（図2）を活用した。このモデルは、電流の本質である電子（エネルギーをもつ粒子）の働きに似ている点、電流・電圧・抵抗を分けて考えることができる点から、電流の科学的な概念を生徒が習得する手助けになると同時に、目に見えない電流を擬人化することで根拠を持った予想を立てることができるのではないかと考え、導入した。そして、毎時間の授業で課題となる回路の写真をA3のファイルに挟み

込んだものやミニホワイトボードを使い、各グループで課題に対する意見を出し合いながら、予想や考察を書きこみ、全体での共有やグループ間の意見交流に用いた。

検証授業は、3節「電流とその利用」第1章「電流」の中の「回路と電流・電圧」、「電流・電圧と抵抗」の二つの単元で行った。以下、授業の構成について具体例を基に示す。単元の導入時には、「回路の中を電流はどのように流れて、豆電球を光らせているんだろう」という課題を設定した。課題の把握が行いやすいように授業の導入では、シャープペンシルの芯に電流を流すと発熱し明るく光る様子を観察させ、「電流を流すと、発熱し光る。」という気づきや「なぜ、発熱するんだろう？」といった疑問を持ちやすい環境を整えた。そして、電流の向きや大きさに注目をさせ、何を考えるのかという視点を与え、課題に対する自分の考えを持たせるようにした。その際、描画法を用い、生徒の頭の中にあるイメージを言葉だけではなく、回路を示したイラストの中に流れる電流の様子を図でも表現させた。その後、グループで互いの考えを確認することで、「本当は、どうなんだろう？」とか「分かっているようで、分かっていたな」といった自分の考えの不確かさを実感させるように、予想の場面での時間の確保を行った。予想の場面で、生徒の既知の知識や自分の考えを明確化させ、グループで互いの考えを確かめ合う活動を設定することで、「それを確かめるためには、どうすればよいのか」といった投げかけができ、教師からの実験の提示ではなく、実験方法を全体で考えていくという流れをつくるようにした。実験方法を自分たちの言葉で、確認していくことで、観察・実験に対して目的意識を持って、取り組むことができるのではないかと考えた。さらに、条件を変えた場合などは、自分たちで実験を計画し、条件を変えても同じ結論が導き出されるのか検証した。自分の考えと実験結果を比較しながら考察を行うことで、現象の意味理解を図りたいと考えた。また、前時の振り返りの場面では、生徒のワークシートの記述を基に、実験によって明らかになったことやまだ分からないことを確認し、新たな課題へとつなげるようにした。以下同じように、電流や電圧の規則性についての学習においても、これまでの学習を踏まえて自分の考えを出すことができる学習課題を設定し、前時に考えたモデル図や実験結果を踏まえ、予想を立て、「それを確かめるためには、どの区間を測定すればよい」といった課題解決的な活動を増やし、生徒に探究や納得する場面を多く持たせるように考えた(図3)。

その際、描画法を用い、生徒の頭の中にあるイメージを言葉だけではなく、回路を示したイラストの中に流れる電流の様子を図でも表現させた。その後、グループで互いの考えを確認することで、「本当は、どうなんだろう？」とか「分かっているようで、分かっていたな」といった自分の考えの不確かさを実感させるように、予想の場面での時間の確保を行った。予想の場面で、生徒の既知の知識や自分の考えを明確化させ、グループで互いの考えを確かめ合う活動を設定することで、「それを確かめるためには、どうすればよいのか」といった投げかけができ、教師からの実験の提示ではなく、実験方法を全体で考えていくという流れをつくるようにした。実験方法を自分たちの言葉で、確認していくことで、観察・実験に対して目的意識を持って、取り組むことができるのではないかと考えた。さらに、条件を変えた場合などは、自分たちで実験を計画し、条件を変えても同じ結論が導き出されるのか検証した。自分の考えと実験結果を比較しながら考察を行うことで、現象の意味理解を図りたいと考えた。また、前時の振り返りの場面では、生徒のワークシートの記述を基に、実験によって明らかになったことやまだ分からないことを確認し、新たな課題へとつなげるようにした。以下同じように、電流や電圧の規則性についての学習においても、これまでの学習を踏まえて自分の考えを出すことができる学習課題を設定し、前時に考えたモデル図や実験結果を踏まえ、予想を立て、「それを確かめるためには、どの区間を測定すればよい」といった課題解決的な活動を増やし、生徒に探究や納得する場面を多く持たせるように考えた(図3)。

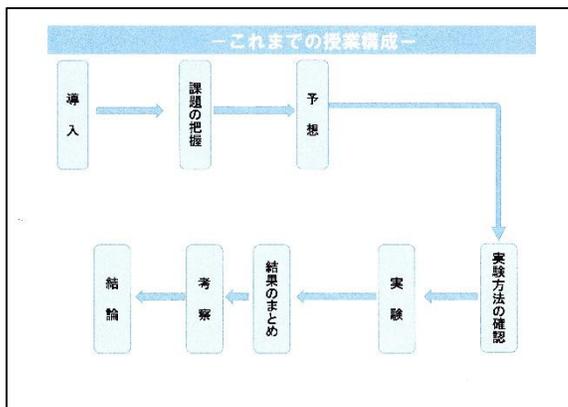


図3 授業の構成

し、新たな課題へとつなげるようにした。以下同じように、電流や電圧の規則性についての学習においても、これまでの学習を踏まえて自分の考えを出すことができる学習課題を設定し、前時に考えたモデル図や実験結果を踏まえ、予想を立て、「それを確かめるためには、どの区間を測定すればよい」といった課題解決的な活動を増やし、生徒に探究や納得する場面を多く持たせるように考えた(図3)。

また、「電流・電圧と抵抗」の単元の学習においては、各グループで二つの抵抗器にかかる電圧と電流の関係を調べ、グラフを作成した。これまでの学習では、このグラフを基に、電流と電圧が比例関係にあることを見いだすことをねらいとしていたが、それだけではなく、抵抗値の違いでグラフの傾きが違うことを見いださせた。そして、「グラフの傾きと抵抗値には、何か関係があるのでは？」という見通しを持たせ、「グラフの傾きと抵抗値の関係を明らかにして、比例の式を完成させよう」と課題を設定し、比例の式を完成させることから、オームの法則を表す公式につなげるようにした。そして、手回し発電機を使い、抵抗値の違いや発電機の回し方の違いで豆電球の光り方が違うことを観察させ、その理由を説明させることから、公式の意味理解につなげた。そして単元の終末部分の合成抵

抗を扱う学習では、「回路に流れる電流を半分、または2倍にするにはどんな回路をつくれればよい？」などの課題を設定し、公式を活用できるようにするとともに、これまでの「モデル」も想起させ、意味をともなった理解につなげたいと考えた。全体の単元計画については資料2に示した。

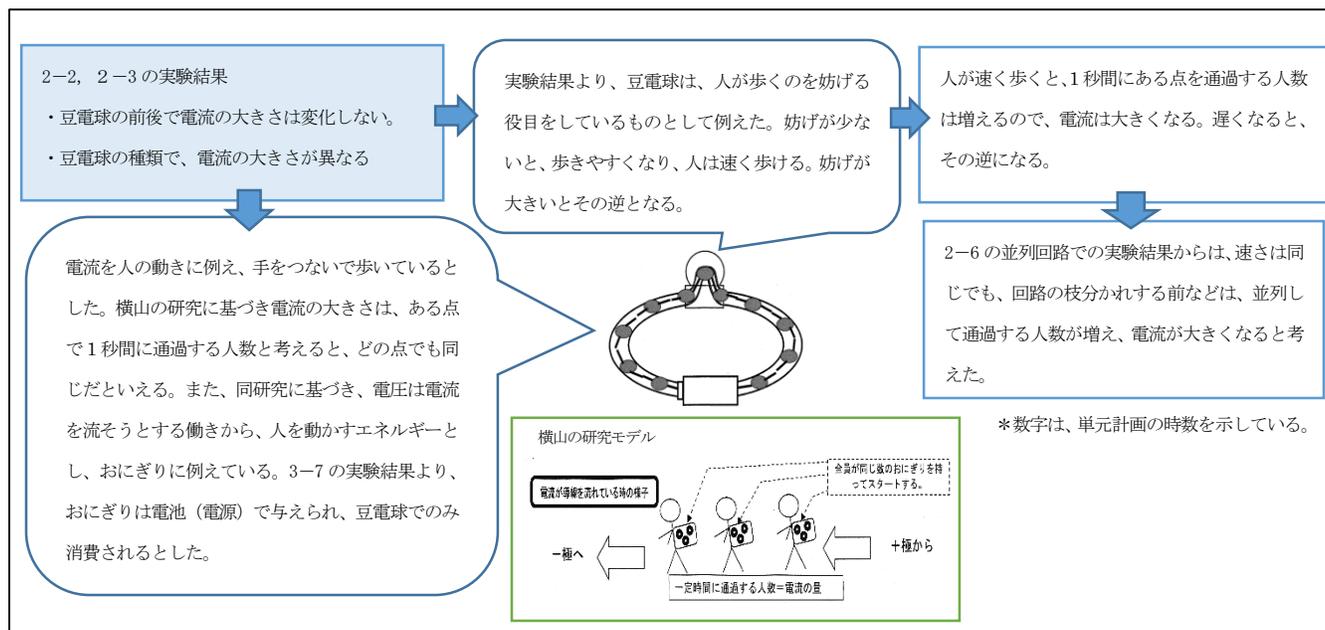


図2 本研究で使用した「モデル」【横山(2008)の研究に基づく】

(イ) 検証方法

学習方略尺度を用いた質問紙調査を検証授業前後において実施する。科学的思考力を測定する尺度には、平成26年度高知県学力定着状況調査を用い、授業前に生物分野、化学分野(各5問、合計10問)の問題を、授業後に物理分野の問題(資料3に調査問題、資料4に調査問題の採点基準を示す)を実施する。検証授業の前後の学習方略について比較・検討を行う。また、検証授業後の学習方略と理科の科学的思考力の関係について検討する。また、検証授業で用いたワークシートの記述内容や発話記録を分析する。

(3) 結果と考察

本学習指導における生徒の様子や反応を発話記録やワークシートの記述内容から振り返った。次に、本学習指導の前後における中学生の学習方略について比較・検討し、本学習指導後の学習方略と理科の科学的思考力の関係について検討した。なお、統計的分析にはIBM SPSS Statistics 22を用いた。以下にその詳細について記す。

ア 生徒の反応

単元の導入時に電流の向きや大きさについて、生徒の電流に対する自分の考えを明確化させたが、電流の向きについては、95%の生徒が小学校で学習したという理由から電源の+極から-極へ流れると考えていたが、電流の大きさについては、79%の生徒が「豆電球で電流が使われるので、豆電球を通りすぎた後は、電流は小さくなる」と考えていた。「電流の大きさは変わらない」と考えている生徒も15%いたが、理由についてはあいまいだった。生徒の頭の中にあるイメージを図や言葉で表すことは、教師が生徒一人ひとりの考えを把握することができる点でもよかったと思う。そして、グループや学級全体で考えを交流することで、理由を明確化することができたり、考えが変化し、自分の考えの不確かさを実感した生徒も見られた(表2, 生徒の原文を基に転写)。実際に電流の値を測定するには電流計があることを説明すると、電流計の使い方や目盛りの読み方なども注意深く聞いていた。自分の考えを確かめようとすることで、実験に対する目的意識が生まれ、測定器具の必要性も感じられたのだと思う。また、その後自分たちの考えを基に、条件を変えて豆電球の前後での電流の大きさを調べる実験を計画した。実験結果を図や表を使ってまと

め、「豆電球の種類を変えて実験を行うと、・・・乾電池の数を変えて実験を行うと、・・・。」といったように変えた条件を比較して結論を導いていたり、「多数の班が同じ結果であったことより」といったように他のグループと比較をしながら結論を導いている記述が多く、目的意識を持って取り組んでいる様子が見られる。また、新たな疑問や「なぜ、そうなるのか」という意味をさらに追及しようとする姿勢も見られ、現象の意味を深く考えようとする姿勢がうかがえた(図4)。また、図5は、並列回路での電流や電圧の規則性を調べる実験におけるグループで考えた予想図である。「モデル」を用いることで、「なんとなく」ではなく根拠を持った予想を立てることができ、各グループでA3のファイルに挟んだ回路図に、自分たちの意見を出しながら書き込む様子が見られた。「予想を確かめるためには、どこを測定すればよい」といった意見も出やすく、見通しを持って実験に取り組め、予想に基づいた考察(表3、生徒の原文を基に転写)を行うことができていた。しかし、電圧の規則性(並列回路)を調べる実験では、自分たちの予想と実験結果が異なる班が多く、実験結果を説明できるように、再度自分たちのモデル図の修正を行った。修正することでより意味を理解している生徒も見られたが、予想と結果の違いを修正するのに戸惑う生徒も見られた。モデル化することで、現象の理解の手助けにはなるが、「モデル」が全てに当てはまるとはいえない。事前に生徒から出されるであろう考えを予想したうえで、誤解を招くことがないように「モデル」を設定することが大切だと感じた。

また、「電流と電圧の関係」の学習における、グラフの傾きと抵抗値の関係を明らかにし、比例の式を完成させる場面での発話事例を表4に示した。グループ間で意見交流をすることで、何を求めるべきかに気づき、再度話し合うことができていた。比例の式(オームの法則を表す式)を自分たちで完成させることで、電圧の値にともなって変化する電流の値を表した表を見ながら、「電圧の値を、抵抗値で割ると電流の値になることから、同じ電圧なら抵抗値が大きい方が流れる電流は小さくなる」とグループ内で説明する姿や、公式を「モデル」に当てはめ、電流と電圧、電流と抵抗の関係を説明する生徒の姿などが見られた。

表2 【問い】「豆電球の前後で電流の大きさは、変化するのだろうか?」に対する生徒の考えの変容

個人の考え	他の意見を聞いて
変わらない。(理由の記入なし)	豆電球の前後を流れる電流の大きさは同じ。なぜなら、電流を川の流れ、豆電球を水車とすると川の流れは水車を回すが、水車の前後で水の量は変わらない。このことより、豆電球を光らす前後で電流の大きさは変化しない。
I_1 (豆電球の前の電流の大きさ) が I_2 (豆電球の後の電流) より大きい。なぜなら、豆電球で電流が消費されたから。	電流の大きさは変わらない。(電流は) 豆電球の中を通るだけであって、電流そのものは消費されていない?
I_1 の方が I_2 より大きい。なぜなら、豆電球が光るために電流を使ったため。	電流の大きさは豆電球の前後では、変化しない。電流が流れることで、豆電球が光るが、消費されるものは他のもので、電流自体は消費されない。

課題を明らかにするためには、何の条件を変化させるのかを明確にする

どこを測定すればよいのかを示す

他のグループと比較をしながら結論を導いている。

変えた条件を比較して結論を導いている。

新たな疑問やさらに追及しようとする姿勢が見られる。

図4 実験結果と考察の記述

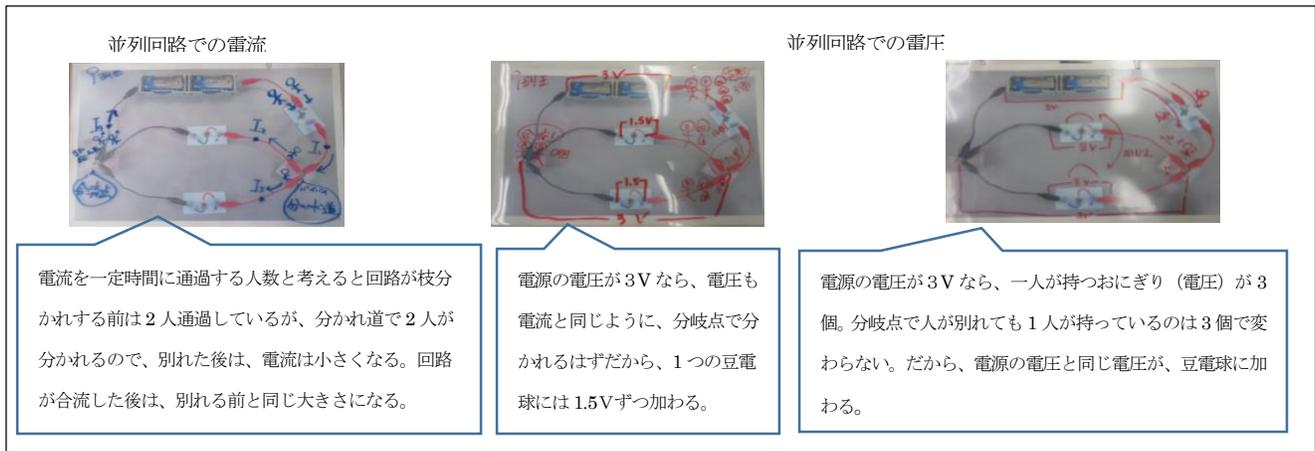


図5 グループでの予想図

表3 考察の記述例

直列回路での電流の考察	並列回路での電流の考察	並列回路での電圧の考察
<p>今回、前回の電流より小さい電流となった。この結果を私は次のように考える。<u>豆電球が1つ増え、2つになったことより、電流が豆電球を通過するまでの時間が増えた(遅くなる)ことにある</u>と思う。電流を1つ1つの粒子に例えて考えると、1つの粒子が全てを光らせおわるまでが長くなり、(電流計で)測った瞬間に通っている粒子の量が少なくなり、結果、<u>電流が小さくなるのだ</u>と思う。(中略)</p>	<p>並列回路では、I_1を通った電流が、端子で分かれ、I_2、I_3での電流を足して、I_1になる。そして、I_4ではまた、元の電流の大きさに戻る。(中略)</p> <p><u>直列回路では、電流は分かれることなく、一定に回るが、並列では途中で、いくつか道に分かれるため、I_1、I_4とI_2、I_3での電流の大きさが変わるのだ</u>と思う。</p>	<p>並列回路では、直列回路とは異なり豆電球にかかる電圧は全て電源の電圧と同じである。これは、<u>電源の電圧は、豆電球で使うので、直列の場合、豆電球の個数分電圧は分けられる。</u>でも、<u>並列の場合、1つの回路の中に豆電球は1個なので、1個の豆電球ですべて電圧が使われるから</u>だと思う。</p>

※下線部は、実験結果の理由を前回の結果と比較しながら考察を行っている。

表4 二つの抵抗値とグラフの傾きの関係を求める場面における特徴的な発話事例

B: 2つの関係って何?意味が分からん。掛けるってこと、割るってこと。
A: わかった。これ $\ll 5\Omega \gg$ に、4を掛けたら、これ $\ll 20\Omega \gg$ になるやん。
B: なんで4掛けるが?
A: ここ $\ll 5\Omega$ が 20Ω の \gg が4倍やけん。で、こっち \ll 傾きの0.2から0.05にするに \gg は4で割るがやない。
B: ああ、じゃあ[抵抗の値が]1.5やったら[抵抗の値が5のときの傾きの]1/3ってこと?
A: そう。
B: ああ。えー。でも2つの関係やろ。なんて書いたらえいが。
A: ああ。そうやね。
B: 同じもの \ll 数 \gg を掛けたり、割ったりする関係?(笑)ながいやろ。
(中略)
T: \ll 生徒Dのワークシートを指して \gg 分数でも表しちやうがやね。
B: やけん、[抵抗の値と傾きの数を]掛けて1やないが。
C: ああ。これ \ll 抵抗が5のときの傾き、1/5の5を指して \gg が抵抗の数ってこと?
T: そういう関係。
B,C: 逆数や。
T: そうやね。
A: え。何?
B: やけん。0.2を分数にしたら2/10で、あれ、簡単にしたら1/5やん。0.05を分数にしたら5/100で1/20。やけん、これ \ll 1/5と1/20の5と20を指し \gg が抵抗の数やけん。反対にきちやけん、[抵抗値と傾きの関係は]逆数。
C: $I=V/5$ で、 $I=V/20$ ってことやろ。これ \ll 抵抗の値 \gg が増えたら、[電流の値は]減るってことや。
(中略)
C: おにぎり[の数]が \ll 電圧の大きさが \gg 同じやったら、山が高い \ll 抵抗が大きい \gg ほど遅くなる \ll 電流が小さくなる \gg ってことでね。山[の高さ]が同じやったら、おにぎりの数が多いほどはよなるってことでね。
T: そうそう。
C: じゃあ、おにぎりが多くて山が高かったら帳消し?
T: どうも、そうなりそうやね。

Tは教師の発話、A~C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。

イ 学習指導前後における学習方略の比較・検討

(ア) 分析対象者

欠損値のあるデータを除いた第2学年68名（男子32名，女子36名）のデータを対象とした。

(イ) 学習方略の変容

本学習指導前（介入前）と本学習指導後（介入後）における学習方略の下位尺度得点の平均値と標準偏差を求めた。介入前と介入後における学習方略の下位要素の平均値について、対応のある t 検定を行ったところ、学習方略の「意味理解方略」の介入後の平均値が、介入前のそれとくらべて有意に高かった（表5）。このことより、本学習指導によれば、生徒の学習方略の「意味理解方略」の使用を促進させるうえで効果的である可能性が示唆された。また、同時に「暗記反復方略」も介入後有意に高まったことより、「暗記反復方略」「意味理解方略」の二つの下位要素の間には強い相関があることが推測される。

表5 学習方略の平均値（標準偏差）及び t 検定の結果

		平均値	標準偏差	$t(68)$
暗記反復方略	介入前	3.37	1.06	3.95**
	介入後	3.80	.86	
意味理解方略	介入前	3.16	.82	7.57**
	介入後	3.88	.82	

** $p<.01$

ウ 学習方略と理科の学力の関係の検討

(ア) 学習方略と科学的知識の関係の検討

介入前の「科学的知識」及び介入後の学習方略の各下位要素を説明変数、介入後の「科学的知識」を基準変数とする重回帰分析を行った。その結果、学習方略の各下位要素から、介入後の「科学的知識」への標準偏回帰係数は有意ではなかった（暗記・反復方略 $\beta=.12, n. s.$; 意味理解方略 $\beta=.13, n. s.$ ）。

(イ) 学習方略と科学的思考力の関係の検討

介入前の「科学的思考力」及び介入後の学習方略の各下位要素を説明変数、介入後の「科学的思考力」を基準変数とする重回帰分析を行った。その結果、学習方略の「暗記反復方略」から、介入後の「科学的思考力」への標準偏回帰係数は有意であったが、「意味理解方略」から、介入後の「科学的思考力」への標準偏回帰係数は有意ではなかった（暗記反復方略 $\beta=.29, p<.05$; 意味理解方略 $\beta=.23, n. s.$ ）。

以上のことより、学習方略から「科学的思考力」への影響が見られたことより、生徒の学習方略を高めることは、生徒の科学的思考力を育成する上でも効果がある可能性が示唆された。また、研究Ⅱの結果からは、学習方略の中でも「暗記反復方略」の高まりが「科学的思考力」の育成に影響を及ぼすことが示唆された。この結果を受け、生徒が実際にどのような学習方略の使用を行っていたか、質問紙調査の結果をより詳しく見るため、以下の生徒へのインタビューを実施し、その結果からも考察を行った。

エ 生徒へのインタビューから「学習

方略」に関して見えてくるもの

生徒が実際にどのような学習方略の使用を行っていたか、質問紙調査の結果をより詳しく見るため、生徒（15名）に半構造化法によるインタビューを実施した。インタビューの主な項目については、表6に示す。イ

表6 学習方略に関する主な質問事項

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">理科のテスト勉強をする際、どのように勉強を進めているか。理科の用語を覚えるとき、どのように覚えているか。分からない問題があった時、どうするか。毎日の家庭学習の中で、理科の学習をしようと思うときは、どのような時か。「モデル」は、電流についてイメージする（公式を理解する）時に役立ったか。授業中の課題を解決するために、どのように取り組んだか。 |
|--|

インタビューの対象生徒は、検証授業後、質問紙調査の「暗記反復方略」を測定する項目の高まりが見られ、平均値が3.5以上だった生徒及び、検証授業後質問紙調査の「意味理解方略」を測定する項目の高まりが見られ、平均値が3.5以上の生徒とした。インタビューの結果、a) 今回の学習では公式が表している意味を考えた b) モデル化したので、公式も自然と頭に入った c) 複雑な回路になるほど、解き方を考えるのが楽しかった d) 難しい回路になるほど、(モデルも思い出しながら) 意味を考えた e) 授業中に電流や電圧の規則性が導かれた理由や用語や現象を覚えるにも意味づけをしながら学習している等の意見が聞かれた。公式の意味を考えたり、学習した知識を使い解き方を考えたりしている様子が見られることから、「意味理解方略」の積極的な使用がインタビューを通して伺えた。しかし一方で、f) 複雑な回路になるとモデル化したものでは、イメージしにくかった g) 授業中の「課題」以外のいろいろな問題にふれることは少なく、同じ問題を繰り返して学習を行う h) 一度解決すると、別の課題解決の仕方や解き方を考えたりすることはあまりない等の意見も聞かれた。意味づけをしながらも、同じ問題を繰り返すことで解き方や考え方を習得しようとする生徒の姿が見られることや検証授業後、学習方略の「暗記反復方略」から「科学的思考力」への有意な影響が見られたことより、生徒は、「暗記反復方略」の有効性は認知しているが、「意味理解方略」の有効性の認知は低いのではないかと考えられる。このことより、生徒に「意味理解方略」の有効性を認知させることで、さらに「意味理解方略」の積極的な使用が促され、生徒の科学的思考力の育成に働きかけるのではないかと考えられる。

5 成果と課題

(1) 成果

本研究の成果は以下に要約される：

- ア 研究Ⅰの結果より、学習方略の下位構成要素の「意味理解方略」から「科学的思考力」へ有意な影響が見られることが分かった。
- イ 研究Ⅱの結果より、「グループ学習を基盤とし、生徒の既有的知識や考えを活用する課題を設定し、思考する時間を十分に確保した学習指導」は、生徒の学習方略を高める上で有効な働きをしており、生徒の学習方略を高めることは、科学的思考力を育成する上でも効果がある可能性が示唆された。
- ウ 学習方略から科学的思考力の育成に及ぼす影響については、研究Ⅰでは、学習方略の下位構成要素の「意味理解方略」から「科学的思考力」へ有意な影響が見られ、研究Ⅱからは、学習方略の下位構成要素の「暗記反復方略」から「科学的思考力」へ有意な影響が見られることが分かった。

(2) 課題

本研究では、学習方略の下位要素から科学的思考力への影響を検討したが、先行研究にあるように、学習意欲から学習方略を媒介として学力へ影響を及ぼしていると考えるのであれば、学習意欲と学習方略の関係についても検討すべき課題である。また、メタ認知などの変数も学力や学習方略に影響を与えると予測される。これらの点についても今後詳細に分析を行う必要がある。

(3) 今後の取組

生徒に学習方略の有効性を認知させることが、学習方略の積極的な使用を促し、生徒の科学的思考力に働きかけると考えられる。そこで、今後の取り組みとして、生徒に学習方略の「意味理解方略」の有効性を認知させるための手だてを2点あげる。1点目は、学習指導の更なる工夫・改善である。さらに学習課題を工夫し、課題解決的な活動を取り入れた学習指導を計画することによって、生徒が自分たちで解決することの楽しさや必要性を感じるとともに、理科の科学的思考力の育成を図っていきたい。2点目として、評価の工夫である。学校で行われる定期試験においても、単に授業で習得した知識や技能を問うのではなく、生徒が思考することによって課題を解決できるような設問を設定し、生徒自身が思考力・表現力の高まりを実感で

きるように評価の工夫を行っていききたい。

【参考・引用文献】

- 市原学・新井邦二郎 (2006) : 数学学習場面における動機づけモデルの検討—メタ認知の調整効果—, 教育心理学研究, Vol. 54, No. 2, pp. 199—210.
- 堀野緑・市川伸一 (1997) : 高校生の英語学習における学習動機と学習方略, 教育心理学研究, Vol. 45, No. 2, pp. 140—147.
- 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.
- 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—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—, 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・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
- 草場実・湯澤正通・角屋重樹 (2010) : 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 (2010) : 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, No. 3, pp. 31—40.
- 横山雅史 (2008) : 生徒が活用しやすいモデルを使った電流のイメージづくりの在り方—中学校2年生理科「静電気と電流」の指導を通して—, 平成20年度理数教育ステップアップ研修報告書
- 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—OPPシートを活用した児童のメタ認知活性化に着目して—, 平成25年度高知県教育センター研究報告書
- 福島啓介・蒲生啓司・草場実 (2015) : 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—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—, 平成26年度高知県教育センター研究報告書
- 市川伸一 (2001) : 学ぶ意欲の心理学, PHP新書171, 市川伸一 (2008) : 「教えて考えさせる授業」を創る—基礎基本の定着・深化・活用を促す「習得型」授業設計, 図書文化
- 市川伸一 (2000) 勉強法が変わる本—心理学からのアドバイス—, ジュニア新書
- 伊藤崇達 (2007) やる気を育む心理学, 北樹出版
- 出口拓彦・三島浩路・吉田俊和 (2002) : グループ学習の仕方に関する授業の実践研究, 名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要 (心理発達科学), 49, pp. 31—46.
- 出口拓彦 (2002) : グループ学習に対する教師の指導および児童の特性と学習中と発言頻度との関連, 教育心理学研究, 50, pp. 323—333
- 出口拓彦 (2001) : グループ学習に対する教師の指導と児童による認知との関連, 教育心理学研究, 49, pp. 219—229
- 田中瑛津子 (2014) : 理科授業における教師の授業スタイルが生徒の学習方略と興味に与える影響, 日本教育心理学会,
- ジョンソンD.W.・ジョンソンR.T.・ホルベックE.J. 杉江修治・石田裕久・伊藤康児・伊藤篤 (訳). (1998) : 学習の輪—アメリカの協同学習入門—二瓶社 (Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. 1993 Circles of learning: Cooperation in classroom. Minnesota: Interaction Book Company.)
- 伊藤崇達 (2009) : 自己調整学習の成立過程—学習方略と動機づけの役割, 北大路書房
- ベネッセ教育総合研究所 (2014) : 小中学生の学びに関する調査 (速報版)
- 伊藤崇達 (2008) : 「自ら学ぶ力」を育てる方略—自己調整学習の観点から—, ベネッセ教育総合研究所BERD, NO. 13