

科学授業における
思考力・判断力の育成に関する
実践的研究

研究報告書

平成12年3月

小倉 康

国立教育研究所

は し が き

今日、学校教育に「生きる力」の育成が求められている。伝統的な既成の知識伝授型の教育から、「いかに社会が変化しようと、自分で課題を見付け、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、行動し、よりよく問題を解決する資質や能力」を身に付けさせる教育への転換が必要とされる。しかし、文部省学習指導要領においても、各発達段階で身に付けるべき資質や能力は明確とされていない。なぜか。それは、資質や能力の中身も、その育成法も、具体的に検討されていないからである。この領域の研究が遅れていることは明らかである。

本研究では、認知研究を基礎として、とりわけ科学教育を通じて育成すべき思考力と判断力について理論的に検討した。そして、思考力と判断力の育成を目指して、中学校の理科で実際に活用できる授業法として「学習者実験計画反映法」を提案し、さまざまな題材で授業を構築し実践した。本報告書は、その成果をまとめ公表することで、諸氏の御批判を仰ぐとともに、これを広く活用していただけることを願って刊行したものである。より多くの教育実践者からの反響を期待する。そのため、実践研究編を第一部とし、第二部に基礎研究編を配置した。

本研究は、私の所属する国立教育研究所科学教育研究室での研究の一環であると同時に、これまで、2件の文部省科学研究費補助金を受け発展してきた。1つは、平成8～9年度の『物理実験の思考過程でのメタ認知促進による生徒の推理判断力の開発に関する研究』（文部省科学研究費補助金萌芽的研究：課題番号08878024）、他方は、平成9～11年度の『科学教育における思考力・判断力の育成と評価の研究』（文部省科学研究費補助金基盤研究B：課題番号09480029）である。後者は、初年度は私が、以後は上越教育大学の西川純助教授が研究代表者を務めたが、本報告書には、そのうち、私の分担した研究分野の中の思考力・判断力の育成に関わる研究成果が含まれている。思考力・判断力の評価に関わる研究も展開してきたが、本報告書で報告するに至らなかった。その成果については、別の機会に報告を行う。

本研究を推進するにあたり、埼玉県川口市の十二月田中学校、上青木中学校、幸並中学校、神奈川県川崎市の日吉中学校、宮内中学校、南大師中学校、菅生中学校、及び、広島県東広島市の八本松中学校に調査協力していただくとともに、それらの学校の谷口正夫、中井弘子、花岡まゑみ、小野瀬倫也、網屋直昭、久保田智、服部大、岡田大爾の8名の先生方に長期に渡り研究協力していただいた。本報告書に含まれていない実践研究を含め、各学校、協力者の先生方、及び、参加した生徒の皆さんには大変お世話になった。心より感謝申し上げる。

本報告書での実践事例の紹介は、それを見た理科の先生方や教師教育に携わる方々が、すぐにでも試せるような実践性の高いものとなるよう努めたが、決して完成されたものではなく、そこで見出された問題点や改善の視点なども合わせて報告されている。今後の発展のために、ぜひとも、読者の先生方の実践への適用や応用の結果などをお知らせいただければ幸いである。

なお、本報告書の執筆は、8件の実践報告については、それぞれの「総合的考察」の部分を除き、各授業者が行い、私が体裁を整えた。それ以外の部分の執筆は、私が行った。執筆内容に関する不適切な表現、誤りなどの責任は私にある。問い合わせ等は、下記にお願いしたい。

平成12年3月

国立教育研究所科学教育研究センター
科学教育研究室主任研究官
小倉 康

本研究報告書に関する問い合わせ先

〒153-8681 東京都目黒区下目黒 6-5-22	
国立教育研究所科学教育研究センター	
科学教育研究室 小倉 康	
電話	03-5721-5082
ファックス	03-3714-7073

目次

第一部 実践研究編

『「学習者実験計画反映法」による思考力・判断力の育成に関する実践研究』

1.1 「学習者実験計画反映法」について	1
1.1.1 ねらいと内容	1
1.1.2 授業の進め方	2
1.1.3 ワークシートの基本構造	2
1.1.4 実践研究報告の構成	4
1.2 実践報告「化学変化のしくみ」	5
1.3 実践報告「小球の位置エネルギーを調べる」	21
1.4 実践報告「回路がちがうと、電流と電圧はどうなるか」	35
1.5 実践報告「心臓のつくりと働き」	44
1.6 実践報告「電流の性質について調べる」	53
1.7 実践報告「物質の密度」	61
1.8 実践報告「種類の分からない気体」	78
1.9 実践報告「教室内の空気 1 cm ³ 中に含まれる水蒸気の質量を求めよう」	94
1.10 実践研究のまとめと評価	106

第二部 基礎的研究編

『科学教育における思考力と判断力の育成に関する考察』

2.1 科学的な思考力・判断力に関する考察	113
2.1.1 科学的な思考力・判断力はどう捉えられてきたか	113
2.1.2 「推理判断」と捉える理論的枠組み	114
2.1.3 「メタ認知」の重要性	118
2.1.4 「論理的思考力」と「科学のプロセススキル」	118
2.1.5 理科授業における科学的な思考力・判断力の育成への示唆	120

2.2	英米での科学カリキュラムに学ぶ	122
2.2.1	英国ナショナル・カリキュラム	122
2.2.2	米国スタンダード	128
2.2.3	米国ジョージア州フレームワーク	130
2.2.4	IEA第2回国際理科教育調査－実験テスト－ の観察実験能力の枠組み	133
2.2.5	米国FOSSカリキュラム	135
	【資料】FOSSカリキュラム・ワークショップ講演録	142
2.3	わが国の科学カリキュラムの見直し	151
2.3.1	資質・能力の育成へ向けた科学カリキュラムの見直し	151
2.3.2	資質・能力の育成へ向けた学習指導要領の提案	152

第一部 実践研究編

「学習者実験計画反映法」による 思考力・判断力の育成に関する実践研究

第一部ではまず、理科授業の中で学習者の科学的な思考力・判断力を積極的に伸張させるために開発に取り組んだ教授法「学習者実験計画反映法」(method for reflecting learners' planned experiments)のねらいとその内容、及びそれによる授業設計の観点について述べ、次に、これを理科授業へ適用した実践研究事例を報告する。

1. 1 「学習者実験計画反映法」について

1. 1. 1 ねらいと内容

本実践研究は、具象物を対象として直接体験による問題解決を重視する小学校理科に比べて、より抽象度が高い科学的知識や概念を理解したり確認したりすることが中心となり、生徒主体の問題解決的な学習場面が稀薄になりがちとなる中学校理科に焦点を当て、中学校の理科授業で主体的に思考したり判断する場面をいかに取り入れるかを課題として出発した。

その1つとして過去に開発してきたものに「思考過程観察評価法」^{*1}がある。これは、ある1つの班に代表して実験させることで、生徒の実験過程に対する批評的態度を喚起して生徒の推理判断力を向上させようとするものであり、実践的研究の結果は相応の効果を示したが、クラスの中で一つの班だけが実験することから、できるだけ生徒全員に活動させたい思いと矛盾してしまい、この授業形態を頻繁には活用できないという問題点があった。

したがって、生徒の科学的な思考力・判断力を着実に向上させていくためには、より高い頻度で授業に適用できるような、より実践性の高い教授法を開発することが必要と判断した。

そこで、本実践研究は、「生徒（班）自身が、課題に対して自分の予測ないしは見通しをもって、それを確かめるような実験を計画した上で、実験を熟考しつつ確実に実行し、結果を論理的に解釈するとともに、自他の実験について批評的に捉え、それらの問題点について考察する過程を重視した理科の教授法を開発すること」を主題とした。この教授法の理論的背景については、本報告書第二部の「2. 1 科学的な思考力・判断力に関する考察」を参照いただきたい。教授法の開発に先立ち、特に中学校段階での普及を考慮して以下の点に配慮した。

- ・ 新たな教育内容を提案するのではなく、現行の理科の内容に対する教育方法面での改善案として提案する。
- ・ 思考力と判断力を伸張させる教授学習過程を反映したワークシートを開発する。
- ・ 汎用的なワークシートを示すことによって、多くの教師が自らの授業に「学習者実験計画反映法」を適用または応用することを容易とする。
- ・ 実践に根ざした多様な活用例を示すことによって、他の教師が、それを直接に適用するだけでなく、別の題材に「学習者実験計画反映法」を移植することを容易とする。

そして、具体的な「学習者実験計画反映法」の中身として、理科授業の中で以下の点に留意した教授法の開発を目指した。

【生徒自身に、実験を計画させること】

教師ないしは教科書や実験プリントが指示した実験方法を正確かつ迅速に実行することは期待されない。生徒自身が、実験で明らかにしたい事柄（実験課題）に関して、他の生徒とも協力しながら、適切な実験方法を考案し、実行する。教師は、生徒が主体的に思考し活動できるように支援するとともに、生徒の考えた方法が危険が伴わないかに注意する。

【課題に対する予測を明確にさせること】

実験で明らかにしたい事柄に対する生徒自身や他の生徒の予測を明確にさせる。教師は、この作業や話し合いによって、生徒に実験結果の予測ないしは見通しが明確に意識されるように、また、その場しのぎ的な予測から、理由や根拠に基づいた合理的な思考を経た予測へと高まるものとなるように促す。

^{*1} 小倉 康『物理実験の思考過程でのメタ認知促進による生徒の推理判断力の開発に関する研究』平成9年度科学研究費補助金研究成果報告書、国立教育研究所、平成10年3月

【批評的思考とメタ認知を喚起すること】

生徒が自ら考案した実験方法によって、実験を遂行する。生徒の考えた方法に基づいた実験は、必ずしも信頼できる科学的データを提供するものとはならない。このことに、生徒自身が気づき、自分や他の生徒の思考過程と実験過程を反省的に捉えられるように支援することが教師に求められる。そのために、「思考過程観察評価法」で重視した、他の班での実験方法や実験の進め方に注目させたり、実験後に実験方法の適切性について検討させるようにする。

【論理的に判断させること】

実験結果と実験からわかったこと（結論）とを分けて考えさせる。生徒が実験によって観察したり測定したことがらとして実験結果を記録し、そこから、論理的な推論や計算処理によって、導かれたことがらとして結論づけることを強調する。さらに、実験ではわからなかったことや、実験の問題点などに考察を発展させることも重要である。

1. 1. 2 授業の進め方

実践的研究に先立って、暫定的に設定した基本的な授業の流れを以下に示す。

(1) 実験課題の理解

実験（観察も含む）の課題を明らかにする。実験によって何を明らかにしたいかを生徒に明確に把ませる。

(2) 実験の計画づくり

可能な条件の範囲で、生徒に実験を計画させる。生徒の意見を元に、批評的討論を促す。足りない情報を補った後、実行可能な実験計画をワークシートに記述させる。

(3) 実験結果の予測

実験に先だって、生徒にどのような結果になるかを予想させる。生徒たちに、自分の予想となぜそう思うのかの理由についても可能な限りワークシートに記述させる。課題によっては、「計画」と順序を入れ替え、結論を予想してから、計画づくりを行う。

(4) 実験の実施

各班で実験する。生徒が実験前に考えた実験方法を不適切か不十分であると判断した場合は、可能な限り方法を変更して実験を行わせる。

各班で、実験結果をワークシートに記述する。また、各自が実験の仕方についての自己評価を行い、ワークシートに記述する。

(5) 結果の考察と結論

各自が実験で分かったことを記述した後、全体で、それについて討議して、結論を導く。

1. 1. 3 ワークシートの基本構造

「学習者実験計画反映法」では、より科学的な思考や判断を促すためにワークシートを用いるが、実践研究に先だって、暫定的にワークシートの基本形を次ページのように設定した。

ワークシートの基本構造

実験テーマ _____

- 1 実験目標 (明らかにしたいこと)

- 2 使える材料 (あらかじめ記入されている)

- 3 実験方法
 - 1
 - 2
 - 3

- 4 予想

- 5 結果

- 6 実験の方法について
(とてもよかった ・ 少しよくなかった ・ よくなかった)
その理由

- 7 結果からわかったこと

1. 1. 4 実践研究報告の構成

以上のように「学習者実験計画反映法」を捉えた上で、多様な中学校理科の学習内容での授業実践にこれを適用し、その実用性と生徒の思考力・判断力の育成の可能性について検討することとした。研究代表者（小倉）とともに、研究協力者の中学校理科教諭が、それぞれの学校での実践研究に取り組んだ。

各授業者による研究報告は、基本的に以下の内容から構成されている。

(1) 授業題目

(2) 単元名（学年）

(3) 単元での位置づけ

単元の構成に関する記述。

(4) 授業のねらい

授業目標の記述。特に、この授業で、どのような思考力や判断力を伸ばそうとしているのか（問題発見力、要因分析力、仮説設定力、実験観察計画力、結果予測力、実験遂行力、実験批評力、データ解釈力、論理的考察力など）についての記述。中には、伸ばそうとする力に関する生徒の実態についての見解も含まれるものもある。

(5) 授業の構成

授業の流れについての記述。指導案の場合もある。さらに、授業のねらいを実現するために、授業の内容や展開、指導法でどのような工夫をしたかについて述べたものもある。

(6) ワークシート

各授業者が作成し、実際の授業で用いたワークシート。

(7) 授業記録

実施した授業の流れ、教師の働きかけ、生徒たちの活動についての詳細な記録。

(8) 授業者の所感

授業実践の結果は、授業のねらいに沿ったものだったか。実践結果からわかったこと、成果や問題点、今後の課題などの記述。

そして、各報告の終わりには、研究代表者が、各授業実践における生徒の思考力・判断力の育成の観点、ならびに授業法としての「学習者実験計画反映法」の開発の観点から「(9) 総合的考察」を付け加えた。

さらに、具体的な生徒の学習内容を把握するために、生徒の記入したワークシートのコピーを付した（「資料：生徒のワークシートの例」）。それに関する考察は、研究代表者が「(9) 総合的考察」で行った。

1. 2 実践報告「化学変化のしくみ」(2学年)

授業者：谷口 正夫

1 授業題目 化学変化のしくみ

2 単元名 化学変化と原子・分子（2学年）

3 単元での位置づけ

1章 物質の変化

- ① カルメ焼きはなぜふくらむか・・・ 3時間
- ② 物質はどこまで分解できるか・・・ 2時間
- ③ 物質はなにからできているか・・・ 2時間
- ④ 物質は結びつくか・・・ 3時間
- ⑤ 燃焼、酸化、還元とはなに・・・ 4時間

2章 化学変化の決まりと原子・分子

- ① 化学変化の前後で物質の質量はどうなるか・3時間（本展開）
- ② 化学変化に関する物質の質量の割合・・・ 4時間
- ③ 物質や化学変化を記号で表そう・・・ 2時間

4 授業のねらい

本授業では、与えられた課題を解決するための手段として、自分たちで実験を計画実施し、データを解釈していく過程を通して、化学変化の前後における反応物の質量の総和と生成物の質量の総和は等しいことをとらえさせる。

自分たちで実験を計画することにより、課題を自分のものとさせより主体的な取り組みをさせたい。

① 自然事象への関心・意欲・態度

化学変化の前後での物質の質量に関心を持ち、すすんで実験に取り組み質量の関係について探求していかうとする態度を育成する。

② 科学的な思考

実験で、質量が減ったり増えたりする原因を考え、開放系と閉鎖系に気づき、化学変化の前後での質量は変わらないという仮説を立てることができる。

③ 観察、実験の技能・表現

自分たちで立てた計画にそって実験を行い、結果を求めることができる。

④ 自然事象についての知識・理解

化学変化の前後における反応物の質量の総和と生成物の質量の総和は等しいことを説明することができる。

5 授業の構成

<第1時間目>

学習課題を提示： 物質が化学変化するとき、物質が変化する以外に何か変化するものはあるだろうか？

物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。

実験： A～Cの反応を観察させ、どのような変化が起こるか認識させる。

A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液

B 石灰石と塩酸

C 銅と酸素

準備： 硫酸銅水溶液、塩化バリウム水溶液、石灰石、塩酸、銅粉、ガスバーナー、ピーカー、ステンレス皿、るつぼばさみ

課題の選択： 班ごとに話し合っ、A～Cの実験を選択する。

実験方法の検討： 班ごとに、どのように方法で、反応前後の質量の変化を調べたらよいか話し合う。方法は、わかりやすく図などを用いてもよいことや、どうしてもわからない場合には、教科書、資料集を参考にしてもよいことにする。

- 結果の予想： 自分たちの班の結果を根拠を持って予想する。
- <第2時間目>
- 実験： 実験計画に沿って準備して実験を行う。
実験実施後、自分たちの実験について振り返り評価を行う。また他班の結果とも比較して自分たちの方法を振り返らせる。
また、得られた結果からわかることを班で話し合い班としての考えをまとめるとともに、自分の考えも明らかにしておく。
- 準備： 硫酸銅水溶液、塩化バリウム水溶液、石灰石、塩酸、銅粉、
上皿てんびん、プラスチックコップ、プリンカップ、
ガスバーナー、ステンレス皿、るつぼばさみ、薬包紙
- <第3時間目>
- 結論： 3つの実験結果をもとに、化学変化の前後での質量の変化について考察して結論を出していく。この課程で、解放系と閉鎖系の違いについてとらえさせていく。
- 実験： 実験Bについて、ペットボトルを用いて閉鎖系を作り、質量の変化を観察させる。
- 準備： 石灰石、塩酸、上皿てんびん、ペットボトル（500ml）
- まとめ： 化学変化の前後における反応物の質量の総和と生成物の質量の総和は等しい。

6 ワークシート（次ページ）

6 ワークシート

理 科	2 年 組	番 氏 名	6 結 果
1 テーマ	化学変化のしくみ		
2 目的	物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。		
3 用意	(次のA～Cから1つ選び実験を行う。)		
A	硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液		
B	石灰石と塩酸		
C	銅と酸素		
	上皿てんびん		
4 方法 (自分たちで考えよう。)			7 実験の仕方について (とてもよかった・少しよくなかった・よくなかった) その理由
			8 実験でわかったこと 班の考え
5 予想			自分の考え
			9 結論

7 授業記録

学習内容	教師のはたらきかけ	生徒の活動	補足説明・気づき等
① 課題の把握	物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。		
② 実験の演示	<p><演示実験></p> <p>A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液の混合</p> <p>B 塩酸に石灰石を加える</p> <p>C 銅粉の加熱</p>		<p>* どのような変化がみられるかは確認する。(目的がずれないようにするため。)</p> <p>* A~Cを希望優先して選択分担する。</p>
③ 課題の選択	取り組む実験の調整	どの実験を行い質量の変化を調べるか班内で話し合う。	<p>* A~Cを希望優先して選択分担する。</p> <p>* 生徒は、未経験のAに対する希望が強い。</p>
④ 実験方法の検討		実験方法を検討する。	<p>* 希望の調整を行い</p> <p>* はじめに行う実験を決める。</p> <p>* 途中で、方法がどうしてもわからない場合には教科書等を参考にしてもよいことを告げる。</p>
⑤ 結果の予想	自分の班で行う実験について根拠を持って予想するように指示する。	予想を立てて記録しておく。	*
⑥ 実験の実施	前時までの確認	実験に必要な道具を準備する。	* 予想の確認
⑦ 結果の集約	結果を黒板に記号で表すように指示する。	実験を行いデータの収集を行う。	<p>* 安全への配慮</p> <p>* 時間を決めてその範囲内であれ端の実験を行ってよいことを告げる。</p> <p>* O、△、×で表記させる。</p>
⑧ 方法の反省		自分たちの実験を振り返り評価する。	* 個人別に評価
⑨ 考察	実験評価について発表させる。	<p>実験からわかったことを班の考えと、自分の考えに分ける。</p> <p>とてもよかった</p> <p>少しよくなかった</p> <p>よくなかった</p>	<p>* 班と個人が同じでもよい。</p> <p>* 実験に対する評価では、実験方法よりも、協力できた、早く行えた、能率よくできたなど観念的なものが多くみられた。</p>

	<p>実験の方法はどうだったか振り返らせる。</p> <p>実験方法を説明してください。</p> <p>同じ実験で結果が違ってくるのはなぜだろう。</p> <p>このような操作の違いで結果は違ってきてしまうのでしょうか。</p>	<p>だいたいうまくできた。計画通りできた。みんなちゃんと計ったなど。</p> <p>金属を計り、加熱して冷やしてから上皿てんびんに乗せて重さを計りました。同じです。同じです。</p> <p>そういえば、皿と金属は別々に計りました。分銅は乗せたままにしてしまいました。</p> <p>はじめは、薬包紙ごと計りました。でも、実験後は薬包紙の重さを引いてあります。実験操作がちょっと違うようです。実験の誤差があったようです。</p>	<p>*自分たちの行った実験について方法そのものを具体的に振り返ることをすぐにできる生徒は少ない。</p> <p>*操作について大まかにしかとらえていない。誤差に対する認識がない。</p> <p>*同じ反応で、結果が違って来た場合には、そこを糸口に操作の違いを振り返らせることができる。</p> <p>*誤差に対する認識が出てくる。</p>
<p>⑩ 結論の検討</p>	<p>さてでは、結果からどのようなことがいえるでしょうか。</p> <p>ではBではなぜ質量が減ってしまったのでしょうか。</p> <p>Cではなぜ質量が増えたのでしょうか。</p>	<p>化学変化によって、違う。化学変化によって、質量の変わらないものもあれば、減るもの増えるものがある。</p> <p>気体がでてしまったから。二酸化炭素が逃げたから。</p> <p>酸素の分だけ重くなった。空気中の酸素が結びついたから。</p>	<p>*はじめは物質の出入りに気づかないか、実験で出ていってしまったり入ってくる物質は関係ないという意識がある。</p>
<p>⑪ まとめ</p>	<p>Aでは質量が変わらなかったのはなぜでしょう。</p> <p>酸素や二酸化炭素は化学変化に関係している物質ですかそれとも関係ない物質ですか。</p> <p>二酸化炭素や、酸素が入ったままの実験はできないのでしょうか。</p> <p>閉鎖系における実験の演示</p>	<p>物質の出入りがなかったから。</p> <p>関係するけれど、実験では重さを計ることができないから、やはり化学変化の質量は、反応によって変わる。</p> <p>できない。部屋ごと計ればよい。がそんなことはできない。袋の中に入れてしまえばできる。</p> <p>あ！そうか。変わらない。</p>	<p>*化学変化に関係する物質かどうかで再度考えさせる。</p> <p>*はじめは否定的であるが、何人かが閉じた系を思い浮かべはじめた。</p>
<p>化学変化の前後での質量はかわらない。</p>			

8 授業者の所感

実験方法を自分たちで考え実施するという経験は、これまでに無いようであり、はじめは意欲を持って取り組むが、どのようにすればよいか糸口が見つからない生徒たちは時間とともに多くなってきた。そこで、解決に手段として、教科書や資料集を参考にしてよいことを告げると多くの生徒たちは教科書の方法をそのまま受け入れていていた。しかし、教科書による実験方法は開放系によるもので、この方法では目的を達成することはできない。だが、失敗の中からの学習も重要であり、与えられたものに対する自分自身の確認の重要なことも学習できればと考えた。

また、これまでに用いてきた方法のいくつかは、測定誤差を増幅させやすい。例えば、上皿てんびんを用いて試薬を計る場合に、薬包紙を用いることやその薬包紙を左右に乗せること、あるいは薬包紙だけ計り全体から引くこと等、また、一つ一つの容器ごとに計るなど、感量100mgのてんびんで誤差を最小限にしていくためにはかなりの熟練を要する。そこで、いかに能率よく誤差を小さくする方法をとるかも重要なポイントであると考えた。

しかし、残念なことにこれまでに、基礎操作の指導の徹底（先入観の植え付け）や教科書への信頼（マニュアル依存）から、道具の活用の本質（利便性や能率の向上）を見極めたり、発想の転換を図ることができなかつたようである。

さらに、以前にも指摘したことであるが、「間違いの中からの学習」の重要性を再度考えたい。もし、自分たちの考えた方法で結果から結論が導き出せたのなら、実験に対する批評も通り一遍のことになってしまう可能性がある。このことは自分たちの実験の仕方を振り返る場面で、多くの生徒は実験計画の方法や技能といったものよりも、班内での協力や素早くできた、などといったことに視点を置いている生徒が多くみられたことからわかる。このことも、これまでの学習者の経験による価値基準であるように思われる。もしここで、それ相当の結論がでた場合や明らかなミス（こぼしたり、こわしたり）がない場合、実験の方法や技能に焦点が当てられることは少ないように感じた。ある学級で、同じ実験でありながら正反対の結果がでたにもかかわらず双方とも、はじめは自分たちのミスや操作の違いに気づいていなかった。特に、操作について説明を求めても、大筋の説明で終始し、他の班と同じですといったことが繰り返され、細部にわたって振り返ることは教師の追求や指摘がないとできなかつた。

これらのことから、自分で実験を計画・実施しそのことを振り返りながら結果を検討して結論を導き出していくという方法を経験させていくことは、実験計画力はもちろん分析力や思考力を伸ばすとともに、課題に対する主体的な取り組みと問題解決力の伸長に大変有効であると考えた。

しかし、このような方法はいつでも実施できるものではない。特に、安全面への配慮と問題解決が特殊な道具や装置（これまでに経験あるいは身近にある道具がよい）を使わずに解決できる、多少の困難が伴うことがより効果を上げるものと考えた。

このようなことを、中学校だけでなく小、中、高と計画的、発展的に実施していく必要がある。

（谷口 正夫）

9 総合的考察

本授業は、「物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう」という課題に対して、3つの実験テーマを設定し、生徒（班）にやりたいテーマを選択させたものである。いくつかの班は、2つのテーマを選択した。テーマを自主的に選ばせることが、その後の学習で自発的な意欲を喚起することは言うまでもない。

それぞれの班で、実験方法を考えさせたが、「所感」にあるように、当初、生徒たちだけの工夫で実験方法を構築するのは困難であった。彼ら自身には、必要な情報が欠けているのである。そこで、「教科書や資料集を参考にしてよい」という助言が、主体的な情報収集活動を導き、彼らの情報収集能力を育成するとともに、集めた情報を総合して実験方法を構築するという思考へと結びつけようとした。ただ、この段階では、教科書での実験方法をそのまま適用するという単純な思考で止まってしまった生徒が大半であった。これを、より高次の思考へと発展させるには、「失敗の中からの学習」を待たねばならないと授業者は判断した。すなわち、実験結果の考察の段階で、生徒にそれまでの思考過程について反省的に捉えさせ、より望ましい実験方法に気づかせることで、思考力の向上へ結びつけることにした。実際、系統誤差の発生しやすい実験課題では、生徒自身が実験に先立ってそれに留意するということは

期待が過ぎる結果となってしまう。しかし、この授業実践のように、よく練られた指導展開においては、失敗や他の班の結果との相違から、反省的に改善点を見いださせることができるのである。

授業者のねらい通りに、生徒たちの実験結果は、同じテーマを選択した班の間で矛盾することとなった。その段階では、生徒たちの実験の仕方に関する自己評価は、「大体うまくできた」「協力できた」といった漠然としたものであり、実験そのものを反省して具体的に評価することはむずかしかった。とりわけ「相当の結論がでた場合や明らかなミスがない場合」は、「細部にわたって振り返ること」はできなかった。これは、小倉(1993)が理系の大学生を対象として行った調査で、いったん思い込んでしまうと、矛盾した事態に陥っても、合理的に自らの思いこみを修正することはむずかしく、非合理的な理由づけでその思いこみを正当化しようとするのがわかっている。この授業の生徒たちも、これでよいと判断して行った実験方法を反省して修正することはできなかった。したがって、授業者の追求や指摘が必要であり、「同じ実験で結果が違ってくるのはなぜだろう」や「このような操作の違いで結果は違ってきってしまうのでしょうか」といった発問が、生徒の合理的な思考を誘発させるのに効果的であった。

この場面は、特に生徒のメタ認知(自らの認知に対する認知)を育成する上で非常に重要な場面である。生徒たちは、この場面を通じて、「自分の思いこみは、いつも正しいとは限らなくて、考え直すことが必要となる可能性がある」というメタ知識を獲得していく機会を得るのである。この種の認識は、理科学習あるいは学校での学習だけでなく、生活における問題解決場面でも効果的にはたらく可能性を秘めている。逆に、誤る可能性を排除した既成の実験方法にしたがって実験を行うだけの活動をしてきた生徒たちは、こうした認知能力を培う機会を持たないこととなる。

授業者自身、「学習者実験計画反映法」による授業が「実験計画力はもちろん分析力や思考力を伸ばすとともに、課題に対する主体的な取り組みと問題解決力の伸長に大変有効である」と実感して、「中学校だけでなく小、中、高と計画的、発展的に実施していく」ことを求めていることは注目される。

以下の生徒のワークシートを見ると、例えば、自己評価の欄では、当初、感覚的にしか捉えることが難しかった生徒たちであったが、ワークシートに記述する段階ではかなり分析的に評価することができたことがわかる。ただし、生徒5及び生徒6においては、まだ感覚的な表現にとどまっている。

生徒3については、質量が変わらなると予想して、理由が述べられていない。実験結果も、変わらないということで、質量が増えたという班の考えとの矛盾が見られるが、ワークシートからはその矛盾が解決されないままとなっているように思われる。こうした場合は、さらに、論理の矛盾について追求していくことが、この生徒の思考力・判断力を高めるために必要であろう。また、質量の増加が実験によってはっきりしなかったということは、実験操作に誤りがあったことになるが、この生徒は、操作のどこに問題があったかを理解していないようである。

多くの生徒が、わかったことに関する記述の欄に、結果から論理的に導かれることから飛躍して、わからないことまで記している。つまり、目に見えない酸素が銅と結合したかどうかまでは、この実験で確かめられていないし、酸素自体も測定していなかったのであるが、既存の知識ないしは先入観によって「酸素と結合したから重くなった」と判断しているのである。実験でどこまでわかり、どこからが解釈や判断なのかが区別できるように指導する必要があるだろう。例えば、ワークシートにおいて、さらに「どうしてそうなったのか考えられること」といった「考察」の項目を設けることで、その区別を明確にすることが可能であろう。

文献：小倉 康「物理問題解決場面における推論の合理性に関する研究—手続き的知識と科学概念との矛盾の解決方略—」
日本科学教育学会誌『科学教育研究』、第17巻4号、189～197頁、1993年

(小倉 康)

資料1：生徒のワークシートの例（その1）

理 科 2年 3組 番氏名

- テーマ 化学変化のしくみ
- 目的 物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。
- 用意 (次のA～Cから1つ選び実験を行う。)
 - A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液
 - B 石灰石と塩酸
 - C 銅と酸素

上皿てんびん ビンセット

~~セー~~

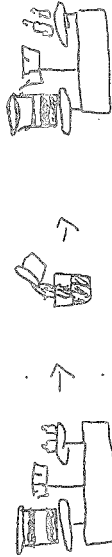
コップ

分銅

- 方法 (自分たちで考えよう。)

30gの、コップに、硫酸銅と塩化バリウムを入れた。
 その質量を計る
 その次に30gの硫酸銅と塩化バリウムをいっしょのコップに入れた
 その後化学変化した物質の質量を計る

① ② ③



予想

- 変わらなない。化学変化したただけだ。
- 変わらなない。化学変化で気体をした。質量が減る。
- 変わらなない。別に変わった物のがな。いから

6 結果

その質量 32.7
 化学変化後 32.7

- 実験の仕方について
 (とてもよかった。少しよくなかった。よくなかった)
 その理由

コップの質量を計るのを忘れていた。
 皿で意見が増えた。

- 実験でわかったこと
 班の考え

自分考えと同じ

自分の考え

化学変化しても質量は変化しない。

8 結論

Aは、化学変化した時に質量は変わりませんでした。しかし、硫酸銅と塩化バリウムを入れた時に、質量は32.7gになりました。これは、化学変化した時に、銅と酸素が結合したため、質量が増えたといえます。つまり、化学変化しても質量は変化しない。

質量保存の法則... 化学変化の前後での質量は変わらない。

生徒のワークシートの例 (その2)

理 科 2年3組 番氏名

1 テーマ 化学変化のしくみ

2 目的 物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。

3 用意 (次のA~Cから1つ選んだ実験を行う。)

A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液

B 石灰石と塩酸

C 銅と酸素

上皿てんびん、三角架、ステンレス皿、ろうほし、ガスバーナー

4 方法 (自分たちで考えよう。)

① 最初銅の質量を計る(8)

よよ、冷たいから、熱した後の酸化銅を計るの質量(8)

5 予想

A. かわらない ⇒ 理由

B. ぶえる ⇒ なんとよく

C. もつりよがぶえる。⇒

6 結果

熱す前 ⇒ 1.6g

熱した後 ⇒ ? 重くなった

熱す前よりも熱した後の方が重かった

7 実験の仕方について (とてもよかった。少しよくなった。よくなかった)

その理由

- ・熱した後、重さがはかれないかったこと。
- ・やくほうしにこびりが残っているから、ごさが大きくなる。
- ・ステンレス皿に載せ方が、ごさが出た(よ)。

8 実験でわかったこと

熱すると、重くなる。変わった。

自分の考え

熱したら、重くなった

A. 硫酸銅 + 塩化バリウム ⇒ 物質A + 硫酸バリウム

↓ 変わらない。これは両方ともはかっている。

B. 塩酸 + 石灰石 ⇒ 物質B + 二酸化炭素

熱した後、二酸化炭素をはかれない。だから、変わらない。

C. 銅 + 酸素 ⇒ 酸化銅

熱する前の酸素をはかれない。だから、変わらない。

化学
質量保存の法則
保存の法則
変化した後の質量を計る

生徒のワークシートの例 (その3)

理 科 2年 7組 番氏名

- 1 テーマ 化学変化のしくみ
- 2 目的 物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。
- 3 用 意 (次のA～Cから1つ選び実験を行う。)

- A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液
- B 石灰石と塩酸
- C 銅と硫酸**

上皿でんびん、プラスチックのカップ、三角架、るっぽ、さみ、がスパーサー、ステンス皿、三脚、銅。

- 4 方法 (自分たちで考えよう。)

- ① まずはじめに熱する前の銅粉末の量を上皿でたいておく。
- ② 銅粉末をステンス皿にのどき熱す。
- ③ その熱している時の酸化のよさを言葉で説明する。
- ④ ステンス皿をさみで割って、熱した後の銅粉末の質量をはかる。

5 予想

かわらん。

6 結果

熱する前 → 700mg(秤量)
 熱している時 → 赤茶から黒色
 熱し終え → 700mg

7 実験の仕方について

(とてもよかった・少しよくなった) よく変わった)

その理由

銅粉末を上皿でたいておくのは、長時間よくかわらなかつた。

8 実験でわかったこと

銅の質量
 銅は硫酸銅と銅びんくも、酸化して酸化銅になる。その質量は銅の半
 硫酸銅の分だけかわると思います。

自分の考え

熱する前より、熱した後は、たいて熱し終え、びんくも700mgになり、熱している時の色の変化が、あつた。

8 結論

銅粉末を秤量し、熱し、水酸化物を析出させた。
 化学変化の前後の質量は変わらない。

生徒のワークシートの例 (その4)

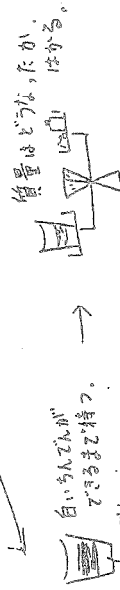
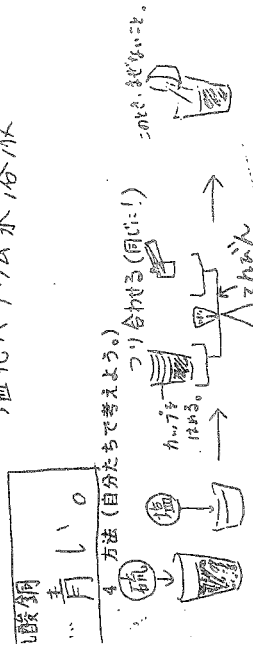
理 科	2年6組	番氏名
1 テーマ	化学変化のしくみ	
2 目的	物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。	
3 用 意	(次のA~Cから1つ選び実験を行おう。)	
A	硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液	
B	石灰石と塩酸	
③	銅と硫酸	
4 方法 (自分たちで考えよう。)	上皿てんびん・三角瓶・ガスバシ・銅・るつぼびとみ ステンレス皿・金おみ・やくばし	
5 予想	加熱することにより、酸素が結合 ついたので、質量は、加熱前より重くなると思う。	
6 結果	加熱前 約800mg 加熱後 約900mg 加熱後の銅の方が重い	
7 実験の仕方について	(とてもよかった(少しよくなかった)・よくなかった) その理由 ・ステンレス皿の質量を先にはかって いればかん算だったと思う。 ・加熱後の銅のにおいをかいでしまった。	
8 実験でわかったこと	銅を加熱すると、空気中の酸素が 銅に結びつき、質量も重くなる ことがわかった。	
9 結果	自分の考え 予想と同じで、重くなった。 100mgも酸素が結びついたのにはおどろいた。	
10 結論	A 変からない B へる C ふえる しかし、正確にはかったか? ↓ 酸素・二酸化炭素等の気体は、 空気中でははかることはできないので B・Cの結果は、ただしくない。 B 塩酸+石灰石 → 二酸化炭素+物質 Y・Z = へる (二酸化炭素を はかっていない) C 銅+酸素 → 酸化銅 = ふえる (酸素をはかっていない) つまり、へったりふえたりしたのは、生徒のせいだと考えられる だから、化学変化での前後のしつりょう = 質量保存の法則)	

生徒のワークシートの例 (その5)

理 科 2年7組 藤氏名

- 1 テーマ 化学変化のしくみ
- 2 目的 物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。
- 3 用意 (次のA~Cから1つ選び実験を行う) 質量... 変わらない。
 2つの容器: 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液 → シ... へる。
 C 銅と硫酸 → シ... 増える。

上皿でんびん、プラスチックのコップ、硫酸銅水溶液、塩化バリウム水溶液



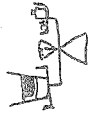
硫酸銅のカップに硫酸銅の溶液をのせてつり合わせる。因硫酸銅のカップに硫酸銅の溶液をのせてつり合わせる。再び上皿でんびんをのせてつり合わせる。質量が変化しないか調べる。

5 予題

質量は大きくなると思う。

6 結果

ちんぴんが質量は変わらなかった。(つり合った)
 (反応前と反応後と比べて質量は変わらなかった。)



7 実験の仕方について (とてもよかった(少しよくなかった)よくなかった) その理由

スミスに出来、二つの実験ができたから、でもBの実験で、石灰石を入れておきました。

8 実験でわかったこと 班の考え

まよっていません。

自分の考え 3つの実験の結果をみると、質量が大きくなるか、小さくなるかわからないか、

物質によつてちがうことがわかった。

B 結論 Bは二酸化炭素が気体になって逃げた分だけ質量がへった。

Cは化合物に分だけ質量が増えるだけであって、

「物質そのもの」の質量は変わらない。(質量保存の法則)

生徒のワークシートの例 (その6)

理 科 2年4組 香氏名

- 1 テーマ 化学変化のしくみ
- 2 目的 物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。
- 3 用意 (次のA~Cから1つ題の実験を行う。)
 - A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液
 - B 石灰石と塩酸
 - ③ 銅と酸素

上皿てんびん、三角架、ろつば、ガスバッチ、スリンス皿、ガスバッチ

- 4 方法 (自分たちで考えよう。)
 1. 金属の質量を上皿てんびんで計る。
 2. ガスバッチで熱する。
 3. さます。
 4. 銅の質量をさめてから計る。

- 5 予想

多分、A、B、Cそれぞれ 質量はふえている。

理由
なにかもまぜたりして化学変化しているから。

6 結果

物質	反応前の質量	変化のようす	反応後の質量
銅	1.7g	オロラみたいた はくは色はなやが 黒くこげた。	1.8g

- 7 実験の仕方について
 (どてちよかかった) 少しよくなかった・よくななかった)

その理由
オロラみたいたいなさかいな色とかが見えた。

- 8 実験でわかったこと
 量の考え
 酸素が結びついたから。

自分の考え
酸素が結びついたから。

- 8 結論
 A、B、Cの質量は変わらない。
 質量は変化する……化学変化の前後での
 質量は変わらない。

生徒のワークシートの例 (その7)

理 科 2年5組 番氏名

- 1 テーマ 化学変化のしくみ
- 2 目的 物質が化学変化するときの前後の質量を比べよう。
- 3 用意 (次のA~Cから1つ選び実験を行う。)
 - A 硫酸銅水溶液と塩化バリウム水溶液
 - B 石灰石と塩酸
 - C 銅と酸素

上面てんびん、石灰石、硫酸、コップ2、分銅、葉包紙

- 4 方法 (自分たちで考えよう。)

石灰石 → 同量2つ
 塩酸 →
 石灰石も上面てんびんで質量を計る
 塩酸も
 化学変化後の物も
 石灰石と塩酸の質量を、化学変化後の物の質量と比べる。

6. 結果

塩酸 4.3g
 石灰石 10.4g
 化学変化後 7.7g

- 7 実験の仕方について (とてもよかった。少しよくなかった。よくなかった)

その理由

質量を計るとき一回一回分銅をのぞいては、石灰石と塩酸をのぞくのをやめました。

- 8 実験でわかったこと

瓶の考え
 上面てんびんの低い方がびびりてある。と
 気体が出ていてしまったため質量が少なくな

自分の考え

自分の考え
 自分のできと他の班の結果を比較して
 質量の差があるからうさの差が大きい。

8. 結論

A 硫酸銅 + 塩化バリウム → 硫酸銅 + 塩化バリウム 葉包紙
 B 塩酸 + 石灰石 → 硫酸銅 + 二酸化炭素 減った
 C 銅 + 酸素 → 酸化銅 増えた

質量保存の法則... 化学変化の前後での質量は変わらない。
 Aは化学変化と化学変化の物質を2つと比べているので電気が
 出る。二酸化炭素が逃げたりと減る。
 Cは 空気中の酸素が逃げたりと増える。

1. 3 実践報告「小球の位置エネルギーを調べる」(3学年)

授業者：中井 弘子

1 授業題目 小球の位置エネルギーを調べる

2 単元名 運動とエネルギー（3年生）

3 単元での位置づけ

1章 運動と力

- | | |
|---------------|-----|
| 1. 物体が動かないとき | 2時間 |
| 2. 物体が動き出すとき | 4時間 |
| 3. 物体が動いているとき | 6時間 |

2章 エネルギー

- | | |
|------------------------|------------|
| 1. 仕事とは何か | |
| (1) 仕事 | 1時間 |
| (2) 道具を使ったときの仕事 | 2時間 |
| (3) 仕事率 | 1時間 |
| 2. エネルギーとは何か | |
| (1) 高いところにある物体の持つエネルギー | 3時間（本時1／3） |
| (2) 運動している物体の持つエネルギー | 1時間 |
| (3) エネルギーの移り変わり | 1時間 |

4 授業のねらい

生徒は、授業で与えられた学習内容には意欲的に取り組んでいる。中でも個人・グループを問わず観察、実験は多くの生徒が好きで、結果を求めてお互いに思ったことを言い合いながら協力して活動を続けることができる。さらに経験の積み重ねから、観察、実験でこれまでに使用した教材、教具は安全に目的に合わせて使用でき、授業中の班ごとの発表をはっきりと級友が聞きやすいように行うこともできる。しかし、観察、実験において数値の異なる抵抗や大きさ形の異なる器具を選択することはあるが、その方法を指示されないで計画することは全くといってよいほど経験がない。さらに、結果をグラフにするなどの処理を行うことは苦手で、班の結果が心配なときは教科書等のグラフに近いものを記録してしまう生徒もいる。

そこで本授業のねらいは、この「実験観察計画力」や「実験遂行力」をのばすために、

- ① 班ごとに調べる実験方法を計画することができる。
 - ② 計画に従って、実験を行い結果を求めることができる。
- こととした。


5 授業の構成

本時は「位置エネルギーについて調べる」という目的について、①本時の目的の確認→②位置エネルギーは何に関係するかを予想する→③班でお互いの予想を話し合う→④実験材料の提示→⑤実験方法を考える→⑥実験を行う→⑦班で結果をまとめる→⑧班で発表する→⑨結論をまとめる、という流れで進めた。

②では位置エネルギーについて何を調べるか自分の考えをまとめるために予想の時間をもうけた。さらに、班で活動を進めるためにはお互いの考えを知る必要があるので③を行った。④ではそれまで生徒が理科室で見たことのないビー玉や、木片、レールなどの提示に止め各自が身近にあるものは実験に持ってきて良いものとした。⑤では、何もなただ考えるのではなくその場にあるものは手にとって試しながら計画を練ることができるようにした。また、計画を綿密に立て器具も用意できるように実験は、次時に行うものとした。

<p>理科プリント</p>	<p>5 結果</p>		
<p>1 目的</p>			
<p>2 予想</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> <p style="font-size: small; margin-left: 20px;">理由</p>			
<p>3 準備</p>			
<p>4 方法</p>			
	<p>6 考察</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>		
	<p>7 感想</p> <div style="border: 1px solid black; height: 50px; width: 100%;"></div>		
	<p>8 自己評価</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; border: none;"> <p>ア 予想は立てられましたか。</p> <p>イ 予想から実験方法を考えられましたか。</p> <p>ウ 進んで実験できましたか。</p> <p>エ 予想にそった実験ができましたか。</p> <p>オ 今日の実験は楽しかったですか。</p> </td> <td style="width: 40%; border: none; text-align: center;"> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> </td> </tr> </table>	<p>ア 予想は立てられましたか。</p> <p>イ 予想から実験方法を考えられましたか。</p> <p>ウ 進んで実験できましたか。</p> <p>エ 予想にそった実験ができましたか。</p> <p>オ 今日の実験は楽しかったですか。</p>	<p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p>
<p>ア 予想は立てられましたか。</p> <p>イ 予想から実験方法を考えられましたか。</p> <p>ウ 進んで実験できましたか。</p> <p>エ 予想にそった実験ができましたか。</p> <p>オ 今日の実験は楽しかったですか。</p>	<p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p> <p>A B C D</p>		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%; text-align: center; vertical-align: middle;"> <p>網 番 氏 名</p> </td> <td style="width: 30%; text-align: center; vertical-align: middle;"> <p>共同実験者</p> </td> </tr> </table>	<p>網 番 氏 名</p>	<p>共同実験者</p>
<p>網 番 氏 名</p>	<p>共同実験者</p>		

理科プリント

- 1 自分の班の実験の仕方について
・とてもよかった
・よくなかった

*その理由を書きなさい。

- 2 実験でわかったこと

- 3 他の班の結果、発表で、よかったもの。

- 4 結論

- 5 実験方法を考えて。
*よかったこと

*よくなかったこと

- 6 これからの理科でやりたいこと、方法

3年 組 番氏名

学 習 内 容	教師のはたらきかけ	生 徒 の 活 動	補足説明や 気づきなど
①本時の目的の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・プリントの配布目的 		ワークシート 1
②予想をする	<ul style="list-style-type: none"> ・位置エネルギーは何に関係するでしょうか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・予想をワークシートに記入する。 	
③班で予想を出し合う	<ul style="list-style-type: none"> ・班で予想を出し合ってください。 	<ul style="list-style-type: none"> ・班で予想を出し合い、お互いの考えを知る。 	班の中で 予想が分かれたら別々に実験を計画するようにする。
④教材の提示	<ul style="list-style-type: none"> ・机上有るものを準備しています。また、家などにあるものを使用しても良いです。 ・レール・小球3種・木材 ・のこぎり・粘土 	<ul style="list-style-type: none"> ・使用できる教材について知る。 	簡単に説明する。
⑤実験の方法を計画する	<ul style="list-style-type: none"> ・予想にあった実験方法を話し合い、準備、方法などをプリントに記入しなさい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・予想から実験方法を考える。 <p>*1 (高さによって違うと予想)</p> <p>A 「どうしようか」</p> <p>B 「他の班と同じのはやめよう」</p> <p>A 「そうだよな」</p> <p>B 「できるだけ、簡単なのがいいよな」</p> <p>A 「なんかもっともないかな」</p> <p>B 「あ、あそこのはかり使えないかな」</p> <p>A 「待ってきて、試しにやってみよう」</p> <p>B 「データも正確なものがいいいし・・・」</p> <p>*2 (重さによって違うと予想)</p> <p>C 「重さによって違うんだから」</p> <p>D 「形が同じで質量が違うものがいいいんだよ」</p> <p>C 「できれば鉄の球と木の球とか・・・」</p> <p>D 「鉄の球・・・」</p> <p>C 「大きさも同じ重さで大きさが違うものとかがいいいんだよ」</p> <p>D 「そういうのが理科だよ」</p> <p>C 「じゃ、同じ大きさのビー玉とかと何かを用意しようよ」</p> <p>E 「あと、紙粘土とか」</p> <p>D 「こりやいいわ」</p>	理科室にある教材教具は 実際に試しながら計画する。

	<ul style="list-style-type: none"> ・計画ができれば、どのような実験か説明しに来てください。 ・では、次の時間にそれぞれの実験を行いましょう。 	<p>*3 (重さによって違ふと予想)</p> <p>F「粘土にのへこみ方で調べよう。球を落とすとその、穴があく」</p> <p>G「そうそう」</p> <p>H「でも、粘土のへこみ方じゃわかんない。もっとかるいもので穴があかなかつたら0になっちゃうの」</p> <p>F「それはその……、そうならない重いものにすればいい」</p> <p>G「そうそう」</p> <p>H「そうか。試してみよう」</p> <p>*計画された方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・レールに小球を転がし木片の移動距離を調べる (木片をそのままではなく削って、摩擦を少なくする) (木片を消しゴムにする) (レールにロウを塗る) 他 ・小球を落とし粘土に釘のささり方を調べる。 ・はかりに小球を落とし、目盛りを読む。 	<p>安全の確認をする。</p>
<p>⑥実験を行う</p> <p>⑦班で結果をまとめる</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・今日の実験の目的を確認しましょう。また、班の予想は何でしたか。 ・では、正確なデータを求められるように工夫をして実験を行ってください。 ・実験が終わったら、次の時間に発表できるようにまとめて下さい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・班で、目的とそれに対する予想をお互いに確認する。 ・計画に沿って実験を行う。 ・発表することを考えてわかりやすくまとめる。 	
<p>⑧班で発表する</p> <p>⑨まとめ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・班で順に発表を行ってもらいます。 	<ul style="list-style-type: none"> ・班ごとに発表する。 	<p>ワークシート2</p>

8 授業者の所感

実験を計画させるためには、まず内容が生徒にとって理解しやすいものにすることが大切であると感じた。授業で予想をするときに、高さ、質量という言葉は2つとも、あるいは1つだけの違いはあるにしろ全ての生徒が考えることができた。さらに、なかなか考えることが難しいその理由についても身近な物体へのこみ方など経験から考え出せる生徒が多くいた。

また、器具を試しながら考えることも有効であると感じた。遊びの経験が少ない生徒ほど実際に球などを手にしながら考えると、より現実的な考えが浮かんできたようである。また、不備な部分も試してみることで計画の段階で変更、工夫を加えた班が多かった。

次に、理科室の整備も大切であると改めて感じた。計画を立てる段階で、困ったときに教室を見渡して多くの教材教具が目に入り、そこから考えが進む生徒がいたように経験の少ない生徒にとって理科室そのものがヒントとなることもある。逆に、安全で適切な計画を立てても、それに適する教材教具がそろえられなければ、せっかくの意欲をそいでしまうことにもなりかねない。生徒にとって、学習の助けとなる理科室の工夫が必要である。

自由な計画は初めてだったので、すべてを考えることに自信がなく教科書の実験方法を参考にした班も多かった。しかし球の重さ、ぶつける物体の形状や材質など何かしら変化を与え全く同じことを計画した班がなかったことは興味深かった。さらに、時間がかかっても同じものでなく、他に何か考えられるものはないかと話し合い工夫をしていく班も数多くあった。どの生徒も、ほんの少しでも班なりの独自性を表したい、正確なデータが得られるようにしたいと真剣であった。

平常の授業においても、観察、実験は意欲的に進めていく生徒達であるが、自分で計画するというのを聞いたとたんに、「やるぞ」という気持ちがより強くなったようである。

そして、その意欲は計画だけでなく実験結果にも大きく反映した。普段1回の実験で結果を終わらせている班が、時間の中で何度も何度も同じ測定を行い誤差をできるだけ減らすよう努力したり、予想と大きく異なる数値がでた場合には器具の改善を図るなど姿勢が異なっていた。これまでも器具1つでも選択することができる実験とできない実験とでは生徒の取り組みの意欲は異なっていたが、今回は特に話し合いの段階から積極的な姿勢が見られ、いろいろな考えがぶつかり、まとまっていった。

本授業展開は3年生で初めて行ったが、もう少し早い学年で段階的に計画を立てさせるなどの取り組みを経験させていけば、今回以上に自由な発想をもとにしたさらに深い授業展開ができたのではないかと反省する。すべての観察、実験で可能なことではないがために、3年間を見通してより計画的に、数多くの経験を生徒がすることでこれらの力を伸ばしていくようにしたい。

(中井 弘子)

9 総合的考察

本実践は、小球の「位置エネルギーは何に関係するでしょうか」という課題に対して、それを調べるための実験方法を班別に考えさせ、それぞれの方法に従って、実験を実行させたものである。

生徒にとって方法を自由に計画することは初めてであったが、「授業者の所感」では、生徒たちの学習への取り組みがとても意欲的で積極的なものとなったことが強調されている。たとえ教科書の実験方法を参考とした場合でも、生徒が独自の工夫を凝らして「全く同じことを計画した班がなかった」。ここまで意欲が高まった生徒たちは、通常、いい加減な妥協では納得しない。可能な努力を惜しまず、熟考して、最善の判断を目指す。思考力・判断力を育成する学習の場として、これは最適の状況である。

この効果的な学習状況を可能とした要因として、授業者は「内容が生徒にとって理解しやすいもの」であること、「器具を試しながら考えること」、及び「理科室の整備」を上げている。どの生徒にも明確な課題づくりは、教師が皆苦勞するところであるが、この授業では、課題が生徒にとって身近な事象であったことが、生徒の思考を促進した。また、実際に事物に触れながら考えさせることが、より効果的であるという指摘も注目される。特に直接体験に乏しい子どもたちは、事物の性質や変化に関する予測や見通しがむずかしい。粘土のようによく知っている事物であっても、粘

土が小球によってへこむかどうか、といった新たな状況では予測は立てにくい。実際に手にとって、どのような反応が起こりそうか、試しながら、具体的な計画を立てることは、究めて自然な知的探究過程であると考えられる。さらに、生徒が自由に実験計画を立てることができるということは、これまでとは異なった理科室の整備のあり方を意味していることも指摘されている。従来は、理科室の備品や消耗品は、それぞれが特定の観察実験目的をもって、購入され教師によって管理されているもので、使用は極めて制限されていた。ところが、生徒が独自の実験計画を立てるために使えるものを整備するとなると、従来にはなかった備品や消耗品を導入することも必要であろう。さまざまな工夫が実現できるような多様な素材が求められる。しかし、一斉授業のように、すべての班が同じものを使用するわけではないから、数量的には少なくともよいこととなる。独自性や創造性を育む理科とは、このような実験室の整備を必要とするであろう。

この授業が3時間から構成されていることも重要な要因である。教科書通りに実験をして確かめるのであれば、1時間で可能な内容である。しかし、実験計画を立てるまでに1時間、実験に1時間を費やし、さらにまとめを次の時間に行うという流れで、2～3倍の時間をかけているのである。このことが持つ意味は極めて重大である。時間的な保障が無くては、生徒たちは、考えることや工夫すること、じっくりと考えを試すことは不可能である。もし時間を余計に費やすことに否定的な読者がいれば、生徒の思考力や判断力を育成する教育における授業時間の捉え方は、既成の事実や概念を教えてきた従前のカリキュラムにおける捉え方とは異なることを理解して欲しい。過去、一方的に授業時間数が削減されてきたことは事実であるが、その中でも生徒の思考力や判断力を育成する可能性を探ることは大切である。同時に、授業時間数を増やすことも主張すべきである。それが結果的に、より多くの生徒の意欲的で生産的な学習に結びつくことを我々の実践は示している。

さて、生徒たちのワークシートの例を検討する。ワークシートⅠ、Ⅱともに4例上がっているが、それぞれが独自に工夫した様子がうかがえる。ワークシートⅠの例の1と2では、ほぼ同様な実験方法と思われるが、用いた小球や、高さ、あるいは角度といった点で違いが見られる。例の3と4は、より独自性の高い計画を立てたものである。どの例も、相応の結果を得て、ほぼ論理的な考察を展開できている。ワークシートⅡの「実験でわかったこと」でも、論理的飛躍はほとんど見られない。生徒の「感想」の欄とワークシートⅡの「実験方法を考えて」の欄からは、自分で実験方法を考えたことが、いかに生徒たちにとって自主的、刺激的、かつ知的な活動であったかを示している。ワークシートⅡの「自分の班の実験の仕方について」では6段階尺度法を用いているが、4つの例のいずれも完璧（「とてもよかった」）とは答えてなくて、生徒たちは何らかの問題点を感じていることがわかる。しかし、記述からはその理由は明確ではなく、6段階が比較可能な数値を示しているとは思われない。実験の仕方のどこに問題を感じるかの反省的な検討を、言葉に表現できるように促すことが必要であろう。尺度法の信頼性については、ワークシートⅠの「自己評価」における4段階尺度による5つの質問も十分機能しているようには見えない。また、2枚のワークシート中の一部の項目は重複した内容について尋ねるものとなっていて、生徒にとって、それらの違いが必ずしも明確でなかったのではないかと思われる。これらの点が、本授業実践で用いられたワークシートの改善点であると考えられる。

(小倉 康)

資料1：生徒のワークシート1の例（その1）

12 / 6 ~ 7

理科プリント

1 目的
小球の位置エネルギーを調べよう。

2 予想

高さが高いほど大きく、質量が大きいほど大きい。
理由 高い所から物を落とすと下に落ちるスピードが速いから、その物体の位置が高ければ下に落ちるスピードが速いから。

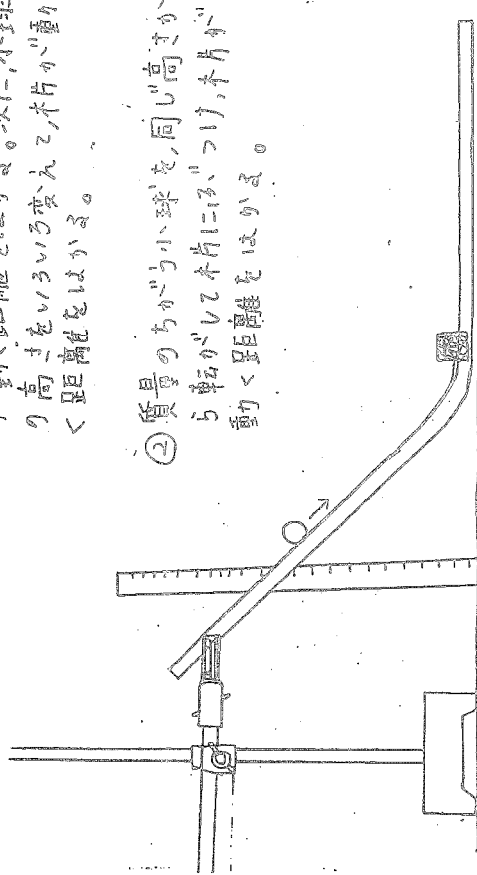
3 準備

レール、ビー玉、スパーボール、木、ちのこし、二本

4 方法

- ① 小球をある高さからレール上に転がして木片にぶつけ、木片が動く距離をはかる。次に、小球の高さをいろいろ変えて、木片が動く距離をはかる。

- ② 質量のちがう小球を、同じ高さから転がして木片にぶつけ、木片が動く距離をはかる。



ビー玉		(5.9g)		スパーボール (8.6g)	
高さ	木片の長さ	木片の長さ	傾斜角	木片の長さ	傾斜角
20°	6cm	11.5cm	20°	15cm	30cm
25°	6cm	12.5cm	25°	10cm	25°
30°	5.5cm	11cm	30°	9cm	30°
35°	5cm	9cm	35°	8cm	35°
40°	4.5cm	9cm	40°	4.5cm	40°

5 結果

6 考察

ビー玉の「高さ」が「出た高さ」より「思った高さ」より低かった。位置の高さが高ければ、高ければ、小球の位置エネルギーは大きい。物体の位置エネルギーは、高さのみによると思おう。

7 感想

今回の実験は自分で考えて考えた方がいい。だから、今回の実験で、高さ、角度、質量、大さでしよう。

8 自己評価

- 予想は立てられましたか。 A ⊙ C D
 予想から実験方法を考えられましたか。 A ⊙ C D
 進んで実験できましたか。 A B ⊙ D
 予想にそった実験ができましたか。 A B ⊙ D
 今日の実験は楽しかったですか。 A B C D

組 氏名 _____

共同実験者 _____

生徒のワークシート1の例(その2)

127

理科プリント

1 目的 小球の位置エネルギーを調べよう。

2 予想

位置エネルギーは、高さが高いほど大きいと思う。

4 前の実験で斜面で斜面からおろしたとき、たんとたんと速さをまじりながら落ちてきた。

3 準備

小球 (3種類)、ビーク、スーパーボール、ビークマタ、レール、ものさし(2)

4 方法

- ① 小球をある高さから、レール上に転がして、木片にぶつけ、木片が動く距離を測る。
- ② 高さ、小球の高さをいろいろ変えて、木片が動く距離を測る。
- ③ 質量のちがう小球を、同じ高さから転がして木片にぶつけ、木片が動く距離を測る。

高さ	スーパーボール	21gのビー玉	6gのビー玉
20 cm	12.5	30	4.5
30	21	36.5	8.5
40	26	56	9.5
50	29	71.5	13
60	40	83	17

6 考察

予想通り、高さは高いほど、木片の動く距離は長かった。そして、小球の質量も重いものの方が、木片の動く距離は長い。実験の結果を見ると、木片の動く距離は一定でない。けれど、たいてい、比例の関係になっていっていると思う。

7 感想

今回は、列座ごとに実験のやり方が違うので、他の列座の発表を聞くのがとても楽しかったです。いろいろ試して実験で、とても楽しかったです。

8 自己評価

- ア 予想は立てられましたか。
- イ 予想から実験方法を考えられましたか。
- ウ 進んで実験できましたか。
- エ 予想にそった実験ができましたか。
- オ 今日の実験は楽しかったですか。

A B C D
A B C D
A B C D
A B C D
A B C D

組 番 氏 名	共同実験者
---------	-------

生徒のワークシート1の例 (その3)

12/6

理科プリント

1 目的 小球の位置エネルギーを調べる。

2 予想

○ 小球は高ければ高いほど位置エネルギーが大きくなると思われる。

理由 ○ 高ければ高いほど小球の落下時の勢いが増えるから。

3 準備 ○ おもり (2種類), ばねさし, はかり

4 方法

○ ばねさしにおもりを高さの異なる位置で静止させ、おもりの落下をストップウォッチで計測する。

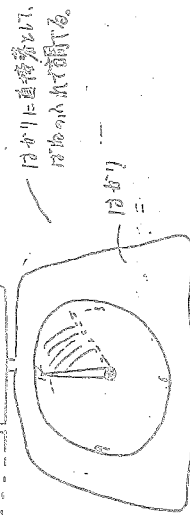


図 1

結果	おもりの質量	高さ	針のふれ
①	30.0g	10cm	34.0g
②	30.0g	20cm	52.0g
③	50.0g	10cm	72.0g
④	50.0g	20cm	100g

5 考察

○ 質量が30.0gと50.0gとそれぞれ10cm, 20cmの高さから落とすと、針のふれが20cmから10cmを引くと、30.0g, 50.0gと針のふれが1.5倍と2倍に増えた。また、質量が50.0gと30.0gと針のふれが1.5倍と2倍に増えた。つまり、質量と高さの両方が1.5倍と2倍になると、針のふれは1.5倍と2倍に増える。

7 感想

○ 他の班とはおもりが異なるので、実験結果が異なることに気づいた。また、おもりの質量が異なることに気づいた。

8 自己評価

- ア 予想は立てられましたか。 A B C D
- イ 予想から実験方法を考えられましたか。 A B C D
- ウ 進んで実験できましたか。 A B C D
- エ 予想にそった実験ができましたか。 A B C D
- オ 今日の実験は楽しかったですか。 A B C D

組 番 氏 名	共同実験者
---------	-------

生徒のワークシート1の例 (その4)

理科プリント

12/6~7

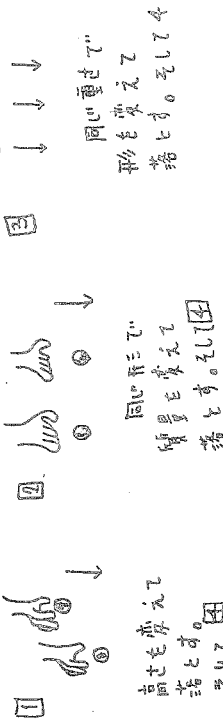
1 目的 小球の位置エネルギーを調べよう

2 予想

位置エネルギーは、物体が高いところにあるほど、
 大きい程、それに伴って大きくなると思う。
 理由 高いところにあるほど、重い物体にかかる。

3 準備 ねん土、ビーズ、ピンポン玉、ゴルフボール、
 はかり、ものさし、

4 方法



① ねん土の A エンドは長さを計る。

結果	質量	高さ	形状	大きさ	落下時間の長さ	A エンドの長さ
1	35g	170cm	球	3cm	2.9cm	0.1cm
2	32g 30.2	75cm	球	3.2cm	2.8cm	0.4cm
3	32g	75cm	球 長方形 三角柱 円柱	2.8cm ↓ "	2.5cm 2.4 2.5 2.5	0.3cm 0.4 0.3 0.5

3 球の位置エネルギーは高さによって異なる。
 が、質量が高ければ、落下速度も速くなる。
 高さも質量も同じであれば、落下速度は同じ。
 質量が同じであれば、落下速度は同じ。
 高さも質量も同じであれば、落下速度は同じ。

7 感想

実験方法を自分で考えてみるのが楽しかった。
 思ったより、落下速度は速かった。

8 自己評価

- ア 予想は立てられましたか。 (A) B C D
- イ 予想から実験方法を考えられましたか。 (A) B C D
- ウ 進んで実験できましたか。 (A) B C D
- エ 予想に合った実験ができましたか。 (A) B C D
- オ 今日の実験は楽しかったですか。 (A) B C D

組番 氏名

共同実験者

資料2：生徒のワークシートIIの例（その1，2）

理科プリント

1 自分の班の実験の仕方について



*その原因を書きなさい。

実験方法はほかの班とかなり異なっていたので、結果がちゃんとしているのかどうか証明できませんでした。

2 実験でわかったこと
おもりの重さでも、位置エネルギーが変わるのか面白いし、発見が

3 他の班の結果、発表で、よかったもの。

9クラスの発表が、全体目にもとまってる、飽きてない感じ、と思った。細かい所まで、かなり説明して、納得できる発表だった。

4 結論

他の班はグラフまで作って「比例した」と言っていたので、私の班のしかなさそうにわかって痛。

5 実験方法を考えて、

*よかったこと
楽になった。うれしかった。気持ち良かった。

*よくなかったこと

ちゃんと実験目で見られておもしろかった。

6 これからの理科でやりたいこと、方法

。自分で実験方法を考えたい。実験 again。

理科プリント

1 自分の班の実験の仕方について



*その原因を書きなさい。

テーパーが大体変化の一定のものかといわれたがどうも。これは、テーパーがどうもなかった。

2 実験でわかったこと
位置エネルギーは高さの質量によって変化する。変化のしがたは比例していると思う。

3 他の班の結果、発表で、よかったもの。

9クラスの発表で、他の班は比例すると言っていたのに、自分たちのテーパーが「物体の種類」によって異なるのではないか、と聞いていたのと同じように思っています。

4 結論

他の班の結果も質量と高さによって比例するということから、自分の班もほとんど同じだったから、位置エネルギーは質量と高さによって変化する、と聞いています。

5 実験方法を考えて、

*よかったこと
教科書とから自分が家で実験ができたこと。

*よくなかったこと

実験のとき、まわりの音（水音）を落とすように音を落とすには、水に落とすことができたこと。

6 これからの理科でやりたいこと、方法

いろいろ自分で実験をしてみたい。

3年 組 学 氏 名

3年 組 学 氏 名

生徒のワークシートIIの例 (その3, 4)

理科プリント

1 自分の班の実験の仕方について



グラフをかける程のデータがとれたかったので。

2 実験でわかったこと

高さも質量で位置エネルギーは変化する。

高さか高ければエネルギーは大きく、質量が大さければ、エネルギーも大きいら
形がかわらうたので、⁴関係はよほどいい。

3 他の班の結果、発表で、よかつたもの。

6班、発表のイネ方が、聞いていて

(大さければ大きく、高ければ高い)

4 結論
位置エネルギーは、高さ、質量によつて変化する
たから、高さも質量の上比例の関係にある。

5 実験方法を考えて。

*よかつたこと
とても着目目的に参考にでき、
班の指導力性を深まると思われ、結果がともよよく
わかつた。

*よくなかつたこと
実験をするとき、難しくて、大変でした。
ほかの班が、よいデータをとれませんでした。

6 これからの理科でやりたいこと、方法
また、自分で実験方法も考えてやりたいです。

3年 組 氏名

理科プリント

1 自分の班の実験の仕方について



実験結果のデータはあまり丁寧

自分達で方法を考えてできたので良かったと思います。

2 実験でわかったこと

位置エネルギーは、高さも質量に関係があり

質量、高さが同じならば別の関係がないうことがわかつた

3 他の班の結果、発表で、よかつたもの。

9班がグラフなどで、質量も高さの関係がわかつた
あつたあと、他の班の人の話を聞いていろいろわかつた事
ありました。

4 結論

高さ、高さが2倍、3倍にならば位置エネルギーも2倍、3倍にな
らなかつたから位置エネルギーは、質量、高さとは比例すると思
う。

5 実験方法を考えて。

*よかつたこと
ほとんど他の班の理よりわかつたところ
よかつた

*よくなかつたこと
みんなのつづれ集いでやったので、誤差がわりか
いばりしがつた。

6 これからの理科でやりたいこと、方法
植物のことについて

3年 組 氏名

1. 4 実践報告「回路がちがうと、電流と電圧はどうなるか」
(2 学年)

授業者：花岡 まるみ

1 授業題目 回路がちがうと、電流と電圧はどうなるか

2 単元名 電流（2年生）

3 単元での位置づけ

1章 電流の流れ	13時間
1 電流はどのように流れるか。	4時間
(1) 電流の流れる道筋	
(2) 電流の強さ	
(3) 電流を流すはたらき	
2 電流と電圧にはどんな関係があるか。	3時間
実験1 電流と電圧の関係を調べよう。	
3 回路がちがうと、電流と電圧はどうなるか。	4時間（本時1～2）
実験2 直列回路の電流と電圧を調べよう。	
実験3 並列回路の電流と電圧を調べよう。	
4 電流の正体は何か。	2時間
(1) 放電と電流。	
(2) 金属中を流れる電流。	
2章 電流のはたらき	9時間
1 電流による発熱は何に関係するか。	3時間
実験4 発熱量は何に関係あるか調べよう。	
2 電流と磁界には、どんな関係があるか。	5時間
(1) 磁石にまわりに磁界	
(2) 電流による磁界	
実験5 コイルに電流を流して、そのまわりの磁界を調べよう。	
(3) 電流が磁界の中で受ける力	
実験6 磁界の中にあるコイルに電流を流してみよう。	
(4) コイルと磁石で電流が流れるか。	
実験7 コイルに磁石を出し入れして、電流が流れるか調べよう。	
3 直流と交流はどのようにちがうか。	1時間
実験8 乾電池の電流と伝統の電流のちがいを調べる。	

4 授業のねらい

- ① 自然事象への関心・意欲・態度
 - ・直列・並列回路の各点の電流の強さや各部分の電圧に関心を持ち、進んで調べようとする。
- ② 科学的な思考
 - ・直列・並列回路の各点の電流の強さや各部分の電圧を予想できる。
 - ・実験結果から、直列・並列回路の回路全体の値をオームの法則を使って求め、各抵抗の値と比較できる。
- ③ 観察・実験の技能・表現
 - ・直列・並列回路の各点の電流の強さや各部分の電圧を調べる実験を行い、結果をまとめることができる。
- ④ 自然事象についての知識・理解
 - ・直列・並列回路の電流・電圧・抵抗の関係を説明でき、それぞれの値を求めることができる。

直列回路と並列回路における電流の流れ方や電圧のはたらきに興味を持ち、各回路のどの点に電流計、電圧計を置いたら求めようとする結果が得られるか考えさせる。（実験観察計画力）また考えた実験方法により、どのような結果がでるか予想させる。（結果予測力）

5 ワークシート

実験ノート

回路がちがうと電流や電圧はどうなるか

1 実験目標

2 使える材料

抵抗器	電源装置	電圧計
クリップつき導線	電流計	スイッチ

3 実験方法 (測定場所をしっかりと記入すること)

- 1
- 2
- 3

4 予想
自分の予想

組 班 氏名 _____

他の人の予想

5 結果

6 実験の方法について
(とでもよかった。 少しよくなかった。 よくなかった)

その理由

7 結果からわかったこと

6 授業の構成

学 習 内 容	教師のはたらきかけ	生 徒 の 活 動
① 本時の目的の確認	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">回路がちがうと電流と電圧はどうなるか</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 直列回路・並列回路の確認 ・ 電源装置の説明 <ul style="list-style-type: none"> ・ どちらかの回路を選択しどの部分に電流計・電圧計を置けばよいか考えさせる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電流計・電圧計の置く場所を考える。 ・ 結果を予想する <ul style="list-style-type: none"> ・ 自分の考えと比較する。また自分の行わない実験方法と予想を記録する
② 実験器具の提示		
③ 実験方法を考える		
④ 方法・予想を発表する		
⑤ 実験を行う		<ul style="list-style-type: none"> ・ 結果をまとめる
⑥ 班で発表する		<ul style="list-style-type: none"> ・ 班ごとのまとめる
⑦ 結論をまとめる		

・電流の単元は、生徒にとって好き嫌いが激しいため、できるだけ器具に慣れさせ回路（直列、並列）がわかるように、前時までの実験は個別で行わせた。得意な生徒が班内でできない生徒を援助することにより、単純な回路における電流、電圧の測定は大多数の生徒ができるようになった。本時は、測定場所が複数なため、班（4人）で行わせた。その際班内での話し合いを十分にさせることにより、目的意識を高め、実験観察計画、結果の予測をさせた。

7 授業記録

学習内容。教師のはたらきかけ	生徒の活動
課題提示	
回路がちがうと電流や電圧はどうなるか	
回路の確認	
T どんな回路があるか	S 直列回路 並列回路
T どちらの回路を実験したいか	S 班で話し合う
	1班 直 2班 直 3班 直
	4班 直、並 5班 直 6班 並
	7班 並 8班 並 9班 並
T 電流計、電圧計の置くところを、班内で話し合いなさい 回路図は大きく書かせる	
回路図を板書させる	S 代表者が板書
T 測定場所、測定値を予想しなさい	直列回路
	1班 電流計 3ヶ所とも同じ
	電圧計 3ヶ所とも同じ
	理由 電池の数が同じ
	3班 電流計 3ヶ所とも同じ
	電圧計 6ヶ所とも同じ
	理由 抵抗が同じ
	5班 電流計 4ヶ所とも同じ
	電圧計 4ヶ所とも同じ
	理由 電源のところが
	小さく後は同じ
	並列回路
	6班 電流計 A1とA4は同じ
	A2とA3は同じ
	電圧計 同じ
	理由 電流はは分かれていますから
	9班 電流計 A1とA6は同じ
	A2とA3は同じ
	A4とA5は同じ
	電圧計 3ヶ所とも同じ
	理由 電圧は以前やった
	とき同じだったから。
	電流は分かれていますから
	S 実験開始
	S どの部分の電流は同じ
	電圧はV3はV1とV2を足したのになる
	S 電流は抵抗の前と後ろは同じ
	枝分かれしたところの電流を足すと全体の電流の大きさになる
	電圧はどの部分とも同じ
	T まとめてみよう

・ 直列回路における電流の大きさはどこで測定しても同じである。総電圧は部分電圧の和になる。
 ・ 並列回路における総電流は、部分電流の和になる。電圧はどの部分も同じである。

8 授業者の所感

「回路がちがうと電流と電圧はどうなるか」という課題に対して電流計と電圧をどこに置いたらちがいがわかるかを考えさせた。抵抗を2つ使うのは初めての試みだが、直列回路における電流計・電圧計の置く場所はすぐに考えられた。並列回路の場合、抵抗を並列につなげその前後に電流計を置くだけという班が一班あった。その班に自由に行わせた結果、班内で考え直し抵抗の前後にも電流計を置くことを考えた。今までのように決められた実験方法で実験を行わせると、班内で考え直すという行動は見られなかった。生徒は自ら計画を立て実験していく中で実験のねらいが何であるかを認識し、自ら目的意識を高め、意欲的に実験を進めることができると感じた。自ら実験計画を立て実験を行い、考察していくことで、「自ら調べる能力と態度の育成」を図っていきたい。

(花園 まるみ)

9 総合的考察

本実践は、2つの抵抗を直列や並列に接続したときの電流と電圧の状態を調べる実験方法を生徒(班)に考えさせ、結果を予想させてから実験をし、その結果を全体でまとめたものである。

生徒たちは、直列か並列のいずれか、あるいは両方を選択して、回路図を描くことで実験方法を具体化している。ここで、回路図を板書して、他の班の回路図とも見比べるという過程が組み込まれている。この過程によって、回路図が電気回路に関する思考と表現を容易にすることを生徒に実感させたものと思われる。生徒自身が、思考と表現のツールとして、科学的な記号を用いることに習熟させる機会である。また、同じ直列回路や並列回路でも、回路図の描かれ方は1つではないこともわかる。これは、見た目の違いを超えて、機能的な同等性を認識する能力を育成することにもつながる。

さて、回路のどこに電流計、電圧計を置けばよいかは、電流計と電圧計の使い方とはたらしきについての理解ができていなければ難しい問題である。しかし、授業者は、この実践に先だって、個別の実験を通して、「単純な回路における電流、電圧の測定は大多数の生徒ができる」状態とした。このことは、本実践を行う基礎として不可欠な要素となっている。

「所感」に述べられているように、必ずしもすべての班で電流計の置き方が正しいわけではなかったが、その場合でも、「自由に行わせた結果、班内で考え直し抵抗の前後にも電流計を置くことを考えた」といった自発的な計画修正がなされた。これは、「決められた実験方法で実験を行わせると」見られなかった行動である。このことは、教授学習を捉える上で、重要な示唆である。つまり、教師が指示してばかりでは、学習過程を自発的に修正し改善していく行動は育たないということを示唆しているのである。生徒の行為に誤りがあることに気づいた教師にとって、指示すれば簡単に済んでしまうことがらを、指示しないで、生徒自らが誤りに気づくまで待つことが求められている。ただ待つだけで成功するものではないが、本実践では、生徒自身が計画を立てることが、それに結びついた。その過程を、授業者は、生徒が「自ら計画を立て実験していく中で実験のねらいが何であるかを認識し、自ら目的意識を高め、意欲的に実験を進めることができると感じた」と表現している。つまり、自ら計画を立てるということが、逆に、実験のねらいをより明瞭に認識させることにつながり、それによって、目的を達成しようとする意欲が高まったということである。

生徒のワークシートの例を見ると、まだ論理的な表現や分析的な表現が十分にできていないことがわかる。何度か経験を積むことも必要であろうが、どのような記述がより正確な表現となるかについての事例的な学習を検討してはどうか。教師の作成した記述例や、ある生徒の記述例に基づいた具体的な検討を生徒とともに行うことが、より正確な表現の仕方を習得させるのに有効ではないかと考える。

(小倉 康)

資料1 : 生徒のワークシートの例 (その1)

実験テーマ

回路がちがうと電流や電圧はどうなるか

1 実験目標
抵抗を直列・並列にしないで、電流や電圧の強弱のちがいを調べよう

2 使える材料
抵抗器 電源装置 電流計 電圧計
クリップつき導線 スイッチ

3 実験方法 (測定場所をしっかりと記入すること)
1 回路を考える
2 予想を立てる
3 実験をする
4 電流・電圧をはかる
5 結果を書く

4 予想
自分の予想
<並列>
電流や電圧は、電池にちがいはない
<並列>
抵抗のとなりにある二つの電流はちがわない

1 級 4 班 氏名

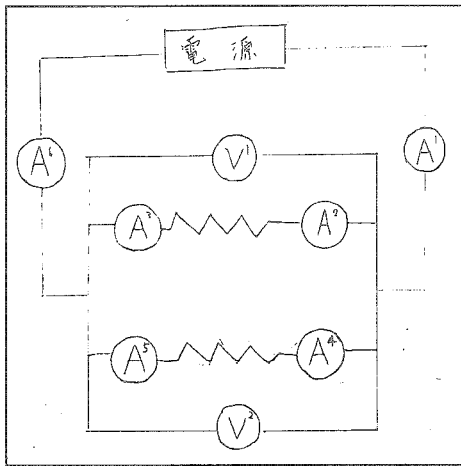
他の人の予想 <並列>
ちがうよ
<並列>
電流は抵抗のとなりとなり二つはちがう

5 結果
<並列>
① 100mA ② 1.2V
③ 40mA ④ 2.12V
⑤ 150mA ⑥ 40mA
⑦ 40mA ⑧ 90mA
⑨ 90mA ⑩ 100mA
⑪ 1.6V

6 実験の方法について
(とてもよかった・少しよくなかった・よくなかった)

その理由 電流計・電圧計の置く場所がわるかった。
並列の場合は抵抗の両端にあってはいい
最初のやりかたじゃわるかったのでもう一つの
7 結果からわかったこと
各電熱線と流れる電流の流るの和は、全体を流れる電流の強さに等しい。
各電熱線に流れる電流は、電源の電圧に等しい

本人が書いた回路図



生徒のワークシートの例 (その2)

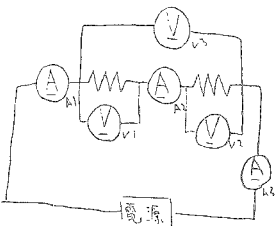
実験テーマ

回路がらうと電流や電圧はどうなるか

1 実験目的
抵抗を並列にしながら電流計や電圧計をいろいろと所々置いて、電流や電圧のさかじをしらべよう

2 使える材料
抵抗器 電源装置 電流計 電圧計
クリップつき導線 スイッチ

3 実験方法 (測定場所をしっかりと記入すること)
1
2
3



4 予想
自分の予想
電流 3ヶ所とも同じ 電圧 3ヶ所とも同じ

⑦ 電池の数が変わらなから

1 組 1 班 氏名

他の人の予想
2班 位置を変えても、電流や電圧は変わらない。

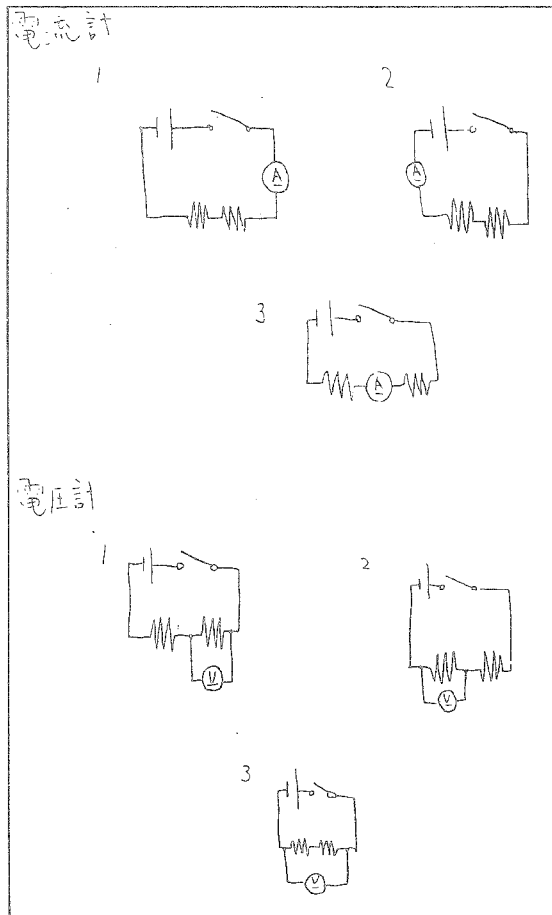
5 結果
A1 → 50 mA V1 → 1.3 V
A2 → 50 mA V2 → 0.8 V
A3 → 50 mA V3 → 2.1 V

6 実験の方法について
(とてもよかった 少しよくなかった よくなかった)

その理由
はじめて、結果とはさかじ予想をしていたので、この実験をして、ちかじして、結果がわからなから、よくなから。

7 結果からわかったこと
・電流の強さは、回路中のどこでも同じである。
・V1とV2の電圧の和は、V3の電圧と等しい。
電圧の大きさは、抵抗によらなから。

本人が書いた回路図



生徒のワークシートの例 (その3)

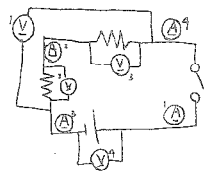
実験テーマ

回路がちがうと電流や電圧はどうなるか

1 実験目標
抵抗を直列につないだ時の電流と電圧を調べる。

2 使える材料
抵抗器 電源装置 磁流計 電圧計
クリップつき導線 スイッチ

3 実験方法 (測定場所をしっかりと記入すること)
1 回路図を書く
2 回路をつなげてほめる
3 結果を書く



4 予想
自分の予想
電流 → 4つとも同じ
電圧 → 4つとも同じ

⇒ 電源(乾電池)が1こだから

7 組 2 班 氏名

並列 他人の予想
どこにあってても電流・電圧の大きさは変わらない。(9班)
電流の強さは変わらないが電圧は変わる。(7班)

① A1とA6が79mA A2~A5までは67mA (9班)
電圧は全部同じ。電流は2.3mA (7班)

1① 65mA	1④ 3V	他の班
2② 40mA	2④ 2.2V	1① 50.36, 2④ 1.3, 1.1, 1.1
3③ 65mA	3④ 3.2V	2② 50.36, 2④ 0.8, 1.5, 1
4④ 50mA	4④ 3.2V	3③ 50.36, 2④ 3.2V, 2.6, 1.1

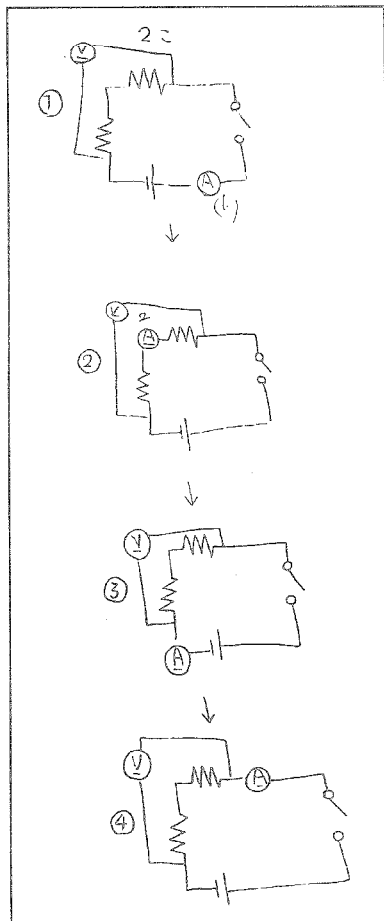
電流は9.8mA同じ

6 実験の方法について
(とてもよかった 少しくなかった よくなかった)

その理由
早くでき、いっぺんに電流を調べる事もできたから。

7 結果からわかったこと
抵抗の間、電流は一番弱かった。
スイッチの電源と抵抗までの電流は同じだった。
抵抗のまわりの電圧は、少なかった(特に2回目)
※電流はどの部分も同じ
電圧は各抵抗の電圧の和…総電圧

本人が書いた回路図



1. 5 実践報告「心臓のつくりと働き」（2学年）

授業者：網屋 直昭

1 授業題目 心臓のつくりと働き

2 単元名 動物の世界（2年生）

3 単元での位置づけ

1章 動物の行動とからだ

- ① 動物はどのようにして食物をとるか・・・1時間
- ② 動物はどのようにしてまわりの状態を感じとるか・・・1時間
- ③ 脳と神経はどのようににはたっているか・・・1時間
- ④ 動くためのしくみはどうなっているか・・・1時間

2章 生命を支えるためのしくみ

- ① 食物をとり入れるしくみはどうなっているか・・・5時間
- ② 動物はどのようにして酸素をとり入れるか・・・1時間
- ③ 血液はどのようにして生命を支えているか・・・4時間（本時3～4/4）
- ④ 不要物はどのようにしてとり除かれるか・・・1時間

3章 動物のなかま

- ① 動物はどのようにしてなかま分けできるか・・・1時間
- ② セキツイ動物にはどんななかまがいるか・・・2時間
- ③ 無セキツイ動物にはどんななかまがいるか・・・2時間

4 授業のねらい

① 自然事象への興味・関心

ニワトリの心臓の解剖実験を通して、心臓のつくりや働きに興味を持ち、生命の不思議に関心を寄せ、これを尊重する態度を育てる。

② 科学的思考

血液の循環のしくみや心臓のしくみから、血液の出入りや心房・心室の位置を予想し、予想からメスを入れる位置を考えながら実験を進めることができる。

③ 観察・実験の技能・表現

「心臓のつくやはたらきを調べる」というねらいを理解し、これを意識した実験計画を立て、進めることができる。また、レポートを通して実験方法や観察結果・考察が表現できる。

④ 自然についての知識・理解

実験を通して、血液の循環を体感し、右心室と左心室の壁の厚さの違いや、心房と心室の境の弁を観察することから、心臓のつくりと働きを理解する。

5 ワークシート

実験・観察のときには、「実験メモ」（次ページ）を用いて、メモを取りながら進めるようにしている。そして、実験・観察が終了した後、各自でレポートを作成し、提出するように指導している。

6 前時からのつながり

生徒は前時までの学習の中で、心臓の仕組みや働き、血液の循環や成分について図などを用いて学習している。このことにより、動脈には心臓から出てくる血液が流れ、静脈には心臓に戻ってくる血液が流れていること、また、心室や心房の位置関係や左心室と右心室の壁の厚みに違いがあることなどを知識として知っている。

7 授業展開

学習内容	教師のはたらきかけ	生徒の活動	補足説明や気づきなど
<p>課題の提示</p> <p>予想をする</p> <p>予想の発表</p> <p>実験計画を立てる</p>	<p>課題</p> <div data-bbox="496 349 1023 450" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ニワトリの心臓を使い、 その働きやしくみを調べる。</p> </div> <p>「予想を発表用紙に記入して下さい」</p> <p>「予想はねらいを満たすものですか」</p> <p>「予想を確かめるため、実験計画を立てて下さい」</p>	<p>課題を知る</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 班ごとに予想を話し合う 「弁が見えるだろう」 「手触りはかたいだろう」 「手触りは柔らかいだろう」 「表面はざらざらしているだろう」 「つくりは人と似ているだろう」 「心室の壁はかたいだろう」 「色は赤茶色だろう」 「水を入れると出てくるだろう」 「水を入れると膨らむだろう」 「4つの部屋があるだろう」 <p>予想を確認し合う</p> <ul style="list-style-type: none"> 「焼くのはねらいから外れている」 <p>準備するものや方法を話し合う</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実験メモに記入する 	<p>心臓のはたらきと仕組みを調べることを意識する</p> <p>12班編成で実施をする</p>
<p>実験を行う</p>	<p>「実験計画を確認してから実験を始めて下さい」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 準備するものをそろえる ・ 実験計画を確認しながら実験を行う 「手触りはどうだろうか」 「色はどうだろうか」 「血管はどこにあるだろうか」 「血管に水を入れるとどうなるだろうか」 「どこを切ると心室が見えるだろうか」 「弁は見えるだろうか」 「心室の壁の厚みはどうだろうか」 	
<p>まとめ</p> <p>ブタの心臓の観察</p>	<div data-bbox="496 1485 1023 1585" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>ブタの心臓を使い、 その働きやしくみを観察する。</p> </div> <p>「ブタの心臓でしくみを確認しよう」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 静脈、左心房、左心室、動脈に一連のつながりがあることを観察する ・ 静脈、右心房、右心室、動脈に一連のつながりがあることを観察する ・ 心房と心室の境に弁があることを観察する ・ 左心室と右心室の壁の厚さに違いがあることを観察する 	
<p>レポートの提出</p>	<p>「レポートで実験のまとめをしよう」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実験のまとめとしてレポートを提出することを確認する 	

8 授業者の所感

生徒は、この単元に入るとき「解剖実験はするのか」と興味を持って聞いてくることがある。生命尊重を考えると、むやみに解剖実験をして生命を絶つことは、避けなければならないことと考える。しかし反面、解剖実験を通して生命の不思議を感じ、その尊重を深める場合も多々あるであろう。そこで、食品であるニワトリのハツとして、スーパーマーケットでも簡単に購入できる心臓を教材にして、解剖実験を行った。

事前に学習した心臓のしくみや働きの知識を使い、実験計画を立て、実験を進めていく姿は、まさに自ら考えているものであると感じた。スポイトにより血液の循環を確かめる方法や、心房・心室の位置を予想してメスを入れていく方法を考えるのは、生徒には難しいものだと思っていたが、既習の知識を生かしながら、実験を進めていくことができることが確認できた。

なかには、「心臓を焼いてみたらどうなるか」といった、ねらいから逸脱した計画をたてた実験班もあった。しかし、実験計画を発表し検討していく中で、ねらいから逸脱していることに自ら気づき、計画を修正することもできた。

「心臓のつくりと働きを調べる」という共通のねらいを達成するため、生徒はさまざまな計画を立てた。その計画を立てる中で、自ら目的意識を高め、意欲的に実験を進める姿につながっていったのだと感じた。

自ら実験計画を立て実験を行い、考察していくことを習慣化することで、「自ら調べる能力と態度の育成」を図っていきたい。

(網屋 直昭)

9 総合的考察

本実践は、ニワトリの心臓（ハツ）という手軽な素材を教材として用い、心臓のつくりと働きを調べることを課題として、生徒に予想を確かめるような解剖を計画させ実行させたものである。

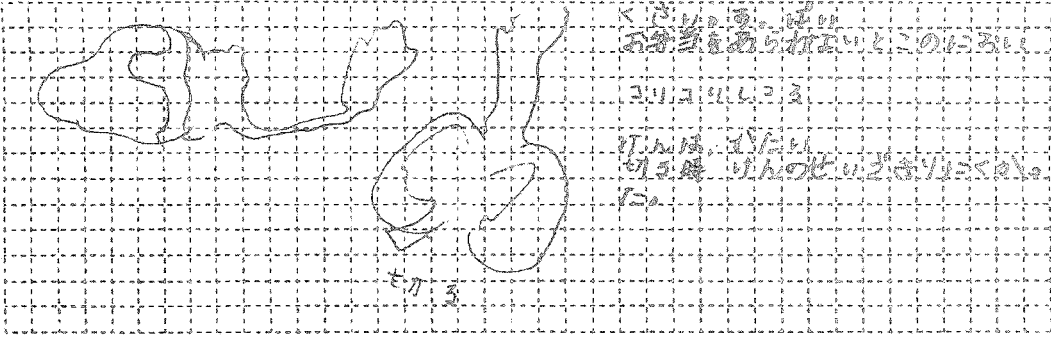
動植物のつくりは、生物の歴史の中で、その目的に適合するように進化してきた。いろいろな器官を学習する中でも、特に心臓は新鮮な血液を絶えず体内に循環させるための弁や4種類の室といった物理的な構造を有していることが解剖によって直接確認できる。生徒たちは、前時までの学習で、心臓のしくみや働きを学習していて、心臓のしくみを予想するための基礎的な知識を持っているが、具体的にニワトリの心臓がどのようになっているかは定かでない。予想の段階で生徒から出てきたさまざまな予想は、生徒の頭の中で、心臓の物理的構造に関する初歩的な認知的モデル（メンタルモデル）を構築させることに役だったであろう。多くの生徒たちが、まだ見ぬニワトリの心臓の様子を、それなりに具体的にイメージできたのではないだろうか。

ニワトリの心臓に関する初期的な認知的モデルが構築されれば、それを手がかりに解剖の手順を想定することが可能となる。まったく認知的モデルが無ければ、むやみやたらに切除してしまっただけで、構造がどうなっていて、どこの部分に注意して観察すべきなのかがわからないで終わってしまったであろう。実験観察に先立って認知的モデルを構築させたことで、生徒たちは課題を鮮明に意識することができたようである。授業記録には、実験観察のねらいが達成されるように、予想を確認しあったとある。授業者は、「計画を立てる中で、自ら目的意識を高め、意欲的に実験を進める姿につながっていったのだと感じた」と述べている。

ワークシート（実験メモ）では、予想の欄に「考えられる結果とその理由（もし～すると～だろう）」と記入されている。この促しは効果的であったようで、生徒1と生徒2のいずれも、かなり具体的に記述することができている。予想の記述は、どのような認知的モデルを構築しているかを推測させる。さまざまな状況に応じた予想が可能であれば、それだけ高度化した認知的モデルを有しているであろう。これらの生徒の場合は、外見的な特徴や触感が中心で、「水を入れたらふくらむ」といった漠然とした予想をしていることから推測すると、弁や4種類の室の様子や肉厚の違いといったところまで精緻化された認知的モデルを持っていたわけではないようである。

実験の結果は、「実験レポート」によくまとめられている。授業時間中にはなかなかできないことであるが、それが宿題であったとしても、課題意識が明確で意欲的な学習活動を行った生徒たちは、往々にして、より正確でかつ自分らしさのある表現に努めてレポートを作成する。生徒2が最後に指摘しているように、この実験観察では、心臓のしくみは理解できても、確かに心臓の働きについてはよくわからないであろう。こうした表現からも、生徒がこの授業の課題を正確に理解していたことがわかる。

(小倉 康)

テーマ	心臓の大きさ <実験7>	
ねらい	ニワトリの心臓を使いその構造やしくみを調べる	
予 想【考えられる結果とその理由(し〜すど〜だう)】	<ul style="list-style-type: none"> ・やわらかそう ・赤いにおいがあがる ・切ったら人間と同じ、ほろい ・形は丸い ・色は赤茶 ・水を入れたら、泡が出る ・水は出るに似ている! → あげればOK出る 	
準 備	<ul style="list-style-type: none"> ・ピンセット ・メス 	<ul style="list-style-type: none"> ・ジャージ ・心臓 ・スポンジ ・水
方 法	スタート 0分 ① さわる、においをかぐ、形を見る ② スポンジに水を含ませる ③ きる → ①と同じことをやりかえす ④	
片付け まとめ	分 分	
結 果【測定した数値や観察したようすを記録】	 <p> 心臓は、丸い形をしていて、赤い色をしています。また、においも悪臭がします。スポンジに水を含ませると、心臓からは泡が出てきます。これは、心臓が呼吸器と関係していることを示していると思います。 </p>	
考 察【結果から考えられること】		

資料2：生徒1の作成した「実験レポート」

1 ページ目

1. 実験目的
 はなりの心臓を
 使用の働きや仕組みを調べる。

2. 材料
 ビンセット、カミソリ、スポイト、ワタ、水、心臓、スライドガラス

3. 実験手順
 ① 心臓をスライドガラスの上に置く。
 ② スライドガラスを左手に握る。心臓の表面は、どうなっている？
 ③ 切る。切り口は、どうなっている？

2 ページ目

結果
 形 色 赤
 さわりゴツゴツ
 やわらかい
 心臓に
 水をいれ
 たら

＜心臓を切る前の
 かんづめのまわめ＞

色	色
さわり	さわり
かたち	かたち

内には、肺動脈
 から入る。だから
 大静脈から出ました。
 ※スライドガラスに、水を
 いれ、心臓の肺動脈が入れ
 られた。

3 ページ目

観察
 形 小間と
 ない
 様子 血のかたまりが
 たくさんある。
 (血液がとまる所に)

心臓を切る前の
 まわめ

色	色
さわり	さわり
かたち	かたち
切ったとき	切ったとき
まわめ	まわめ

＜心臓切った後の
 かんづめのまわめ＞

4 ページ目

…考察…

心臓は、中心の部分が切りにくいと思いましたが、
 半分が切りにくかったのがある！
 心臓は、ちゃんと動かなくても血管からスポイト
 に入れば、ちゃんと血管から出ると
 においは、小さい、セカともっと小さいけど……。
 右心室と左心室のかわのあつさは、せんせんちが
 う。右心室より左心室の方がせんせんちが
 あついその理由は、左心室は、体、全身に、切
 えきをまわけておけるから……。(さわる
 とかたい)
 切ると、血のかたまりがたくさん出ました！
 切ったままに血をしてみくとかたまるんだ。

感想
 心臓の実験は、おもしろいよ、
 どの実験も……。
 けど、どうも手が小さくて、
 切れない、切れない。心臓のにおいも
 かんじがしつや。小さい……。
 ちがうの、やりたーい。
 心臓と、心臓から……。
 どのように……。

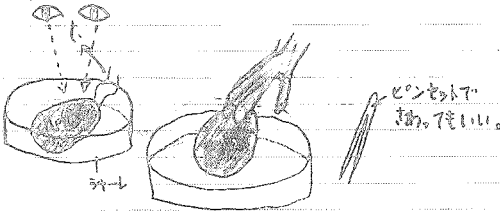
<p>テーマ <u>心臓の観察</u> <実験7></p>
<p>ねらい ニワトリの心臓を使い、その働きやしくみを調べる。</p>
<p>予 想【考えられる結果とその理由(仮説)】 さね、おろし... せわりかい。 においがない(生臭さ、血臭い) き、みず... 人間と同じように作り。 水をいれたい... ほしい 形は... 丸い。色は... 赤茶・たん色 心臓マッシャーをたいてみるかも</p>
<p>準 備 ピンセット・メス・ゴム手袋・心臓・スポイト・水(お湯)</p>
<p>方 法 ステップ ① 調べてみる(においをかぐ・形をみる) ② スポイトで水をいれてみる(心臓マッシャーを試みよう) ③ 心臓を切る。→かみそ(形をみる)</p>
<p>結果 </p>
<p>結 果【測定した数値や観察したようすを記録】</p> <p> </p>
<p>考 察【結果から考えられること】</p>

資料4：生徒2の作成した「実験レポート」

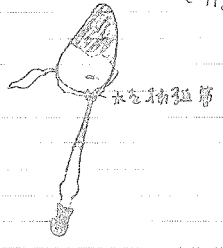
1 ページ目

由緒： ニワトリの心臓を洗い、その厚さ、その組織を調べる

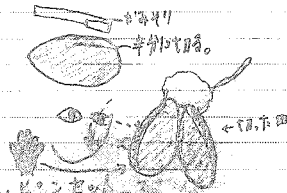
予想： ①形を見る。にふいふがで、ずわ、ずわ、色を見る。



②スポイトで水を滴れず。→水は出てくるから、まず心臓を押しとどめよう。



③心臓を切り、観察する。



結果： ニワトリの心臓、シト、ピンセット、スポイト、水、ハサミ、つまようじ。

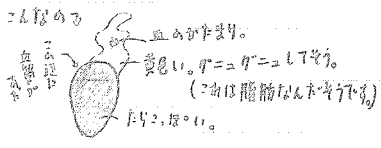
2 ページ目

予想： ①形を見る。にふいふがで、ずわ、ずわ、色を見る。形は丸く、下は少しは血臭い、ずわ、ずわ、色は赤、ほろい色だと思う。

② スポイトで水を滴れず。心臓はふたつある。水は下へいって、押せば出てくるはずはない。

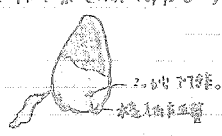
③ 心臓を観察。人間と同じような作りをしていて、(右心房、右心室、左心房、左心室があるはず)

結果： 形はこんな感じ。血の作り。黄い。アサレ。アサレ。(これは脂肪はたまりやすい。アサレ、ほろい。)



にふいふがで、ずわ、ずわ、色は赤、ほろい色。さあ、おかん。赤いところ、コリコリして。黄色いところ、やわらかい。おかん、おかん。

スポイトで水を滴れず。→



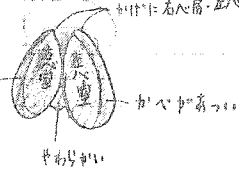
- 水が下へるとき、水が出る直前の瞬間、ふたつ。
- 出てきた水は血、ほろい色。(茶色、ほろい色)と見た。
- 心臓押すと、血が出た。

おかん、おかん、おかん。水をスポイトで滴れず、心臓を押しとどめよう。

3 ページ目

心臓を切り、みた。切りこむは刺身肉を切り、切りこむ。みた。

アサレ、アサレ。おかん、おかん、おかん。



重なる。おかん、おかん。肺にいく動脈 → すごい。全身へいく → すごい。

心臓の内側には血管の網がみえた。また、右心室から右心室へ、左心室から左心室へとつながっているのを見た。血管の太さが違うのを見た。

考察： ニワトリの心臓は毛むくんと右心房、右心室、左心房、左心室があることわかった。人間の心臓とあまり変わりはないと思った。心臓の内部には血管の網は心臓の4つの部屋の間、血管の太さが違う。血管の太さが違う。おかん、おかん、おかん。おかん、おかん、おかん。

1. 6 実践報告「電流の性質について調べる」(2 学年)

授業者：服部 大

1 授業題目 電流の性質について調べる

2 単元名 電流と回路（2学年）

3 単元での位置づけ

- | | |
|-------------|--------------|
| 1 電流が流れる道すじ | 3時間（本時は1時間目） |
| 2 回路を流れる電流 | 2時間 |
| 3 回路に加わる電圧 | 2時間 |
| 4 電圧と電流との関係 | 3時間 |
| 5 直流と交流 | 1時間 |

4 授業のねらい

本単元の学習内容は、生徒の好き嫌い、あるいは得意不得意の傾向が強く現れることが多い。そこで、小単元のスタートである電流が流れる道すじについて、出合いの場を設定し、生徒の問題意識を高揚させ、解決のための見通しを持たせていけるような授業内容としたい。本時では、回路の違いによる豆電球の明るさと、電流の流れ方の関係を、生徒の疑問を生かしながら、実験結果を通して考えさせたい。

5 授業の構成

	指導内容	学習活動	指導上の留意点
導入	<ul style="list-style-type: none"> ・出合いの場の提示 「乾電池2個、豆電球2個で回路を作ってみよう。」 ↓ ・自分たちの班で考えた回路を紙に書かせ、黒板に掲示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・予想される生徒の活動 (a) 乾電池、豆電球を直列につなぐ回路。 (b) 乾電池のみ並列につなぐ回路。 (c) 豆電球のみ並列につなぐ回路。 (d) 乾電池、豆電球を並列につなぐ回路。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実験グループ毎によく相談し、作業を行わせる。 ・*提示した条件を生かして回路を考えさせ、他の班との回路と比較から、計4つのパターンがあることに気づかせる。これをもとに回路についての疑問を考えさせる。
展開	<ul style="list-style-type: none"> ・話し合いの設定 「4つの回路の違いは何かをくわしく調べてみよう。」 ↓ ・豆電球の明るさの違いに気付かせる。 ・実験 ・机間指導 ↓ ・いくつかの疑問を持たせる。 ・実験結果の発表と考察 ↓ ・4つの回路の電流の流れ方に違いがあることに気付かせていく。 	<ul style="list-style-type: none"> ・話し合いの内容説明。 ・ワークシートへの記入 →発表する。 ・実験へのアプローチ。 ・豆電球の明るさの違いに焦点を絞り、実験を行う。 ・明るさの違いの原因について、班で疑問に思ことを話し合わせ、班の意見をまとめる。 ・実験結果について班ごとに発表する。 ↓ ・実験結果や、まとめから回路による豆電球の明るさの違いについて考えさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・班で考えたことを自由にワークシートに記入させ、発表させる。 ・*安全に注意して、再度実験を行わせる。 ・実験を通して新たな疑問を持たせていく。 ・それぞれのグループの実験結果をお互いに交換しあえるようにする。 ・実験に対する結論を実験グループ毎に考えさせる。
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・豆電球の明るさの違いと、電流の流れ方の違いについて考えてみよう。」 ↓ ・次時の予告を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・疑問点を、各自のワークシートにまとめる。 ↓ ・ワークシートの提出。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実験を通して新たな疑問を持たせていく。 ・それぞれのグループの実験結果をお互いに交換しあえるようにする。 ・実験に対する結論を実験グループ毎に考えさせる。 ・まとめの内容について実験グループ毎に考えさせる。 ・*各グループの協力の成果を評価する。 ・片づけの指示。

6 ワークシート (課題実験プリント)

— 理科課題実験プリント —

年 組 番 氏名

平成 年 月 日 () 天気 気温 ℃ 場所 教室・理科室

<p>課題 乾電池2個、豆電球2個で回路を作ってみよう。</p>	<p>発表 他の班の回路(図)から発見した回路を書いてみよう。</p>
<p>作った回路(図)を書こう。 *豆電球の明るさにも注意し記録する。 (例)明るさは大、中、小で表そう。</p>	<p>発見した回路(図)</p>
<p>実験結果のまとめ(作った回路について) 1、豆電球の明るさについて。 2、気づいたことや調べてみたいこと。 3、その他(疑問点など) *グループで話し合ったことをまとめよう。</p>	<p>他の班の回路(図)を見て。 1、自分たちの班と比較し気づいたこと。 2、調べてみたくなったこと。 3、その他(疑問点など) *形式にとらわれず自由に書いてみよう。</p>

7 授業記録

	教師のはたらきかけ	子どもの反応	その他(授業の中で)
導 入	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出合いの場の提示 「乾電池2個、豆電球2個で回路を作ってみよう。」 ↓ * 自分たちの班で考えた回路を紙に書かせ、黒板に掲示した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実際の生徒の活動 (a) 乾電池、豆電球を直列につなぐ回路。 (b) 乾電池のみ並列につなぐ回路。 (c) 豆電球のみ並列につなぐ回路。 (d) 乾電池、豆電球を並列につなぐ回路。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実験グループ毎に相談させ、作業を行わせた。 * 提示した条件から回路を考えさせたが、4つの回路全てを発見できたのは数班であった。他の班との回路の比較により、計4つのパターンがあることに気づいた。共通認識の中で回路についての疑問を考えさせた。
展 開	<ul style="list-style-type: none"> ・ 話し合いの設定 「4つの回路の違いは何かをくわしく調べてみよう。」 ↓ * 豆電球の明るさの違いに気付かせた。 ・ 実験 ・ 机間指導 ↓ * いくつかの疑問を持たせた。 ・ 実験結果の発表と考察 ↓ * 4つの回路の電流の流れ方に違いがあることに気付かせていった。 	<ul style="list-style-type: none"> 作業に時間がかかった。 ・ 話し合いの内容説明。 ・ ワークシートへの記入 → 発表した。 ・ 実験準備。 * 豆電球の明るさの違いに焦点を絞り、実験を行った。 * 明るさの違いの原因について、班で疑問に思うことを話し合わせ班の意見をまとめた。 ・ 実験結果について班ごとに発表した。 ↓ * 実験結果や、まとめから回路による豆電球の明るさの違いについて考えた。 ・ 疑問点を各自のワークシートにまとめた。 ・ ワークシートの提出。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 班で考えたことを自由にワークシートに記入させ、発表させた。 * 豆電球の明るさの違いには気づいているが、その原因についてはなかなか思い浮かばないようであった。 ・ それぞれのグループの実験結果を交換することで徐々に気づき始めた。 ・ 実験に対する結論を実験グループ毎に考えていけるようになった。
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> 「豆電球の明るさの違いと、電流の流れ方の違いについて考えてみよう。」 ↓ 次時の予告。 	<ul style="list-style-type: none"> * 実験結果や、まとめから回路による豆電球の明るさの違いについて考えた。 ・ 疑問点を各自のワークシートにまとめた。 ・ ワークシートの提出。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ まとめの内容について実験グループ毎に考えていけるようになった。 ・ 全員提出した。

8 授業者の所感

今回の実践では、小単元のスタートである電流が流れる道すじについて、出合いの場を設定した。このことを実践するために、乾電池2個、豆電球2個で回路を自由に作らせる作業を取り入れ、生徒の問題意識を高揚させたつもりであったが、なかなか4つの回路を見つけ出せない班もあり、次の段階である4つの回路の豆電球の明るさの違いについての実験にいくまでに非常に時間がかかってしまった。そのため、本実験の目的である「解決のための見通し持つ」ところまでは完全に到達しなかった。

ただ、回路の違いによる豆電球の明るさの違いは実験を行うことによって気づかせることができ、電流の流れ方の関係についても、実験グループ毎に考えていくことができたようである。今後の課題として、生徒の疑問に対する解決の見通しを持たせるための実験時間の調整や、教師側の適切な支援が大切になってくると思われる。

(服部 大)

9 総合的考察

本時は、乾電池2個と豆電球2個で4種類の回路が作れることを見つけさせ、それらの回路の質的な違いを調べさせようとしたものである。生徒が課題に対して見通しを持って実験を計画する「学習者実験計画反映法」とは異なった展開であるが、授業の始めで、活動の中から生徒に追究すべき回路を見つけさせようとする展開は、生徒自身の努力によって課題解決につなげようとする意図が見られる。

しかし実際の授業では、乾電池2個と豆電球2個とから生徒たちが4種類の回路を見出すというのは、授業者の予期に反してかなり困難であったようだ。各班から発表された数多くの回路は、活動に「非常に時間がかかってしまった」のに加えて、話し合いによって一般化するには余りにも多様で要因も複雑であった。そのため、結果的に4種類の回路を教師が誘導することとなり、生徒自身が導いたものとはならなくなった。「乾電池2個と豆電球2個でどんな回路が作れるか」の課題そのものは明確であったが、活動をどうまとめ上げるかの過程は改善を要すると考えられる。時間も含めて、生徒の思考を促すための工夫が必要である。

授業の終わりに、豆電球の明るさが異なることに着目させて、4つの回路での電流の流れ方に目を向けさせようとしたが、乾電池2個を用いた回路では、電流とともに電圧の違いも考慮せねばならず、展開に無理が見られた。生徒たちは、さまざまな要因が絡んで頭の中が混沌としたまま授業を終えてしまった感がある。

生徒の「課題実験プリント」の例では、自分の班での活動と、他の班の活動とを対比させているが、一方が、電池の直列と豆電球の並列接続の組み合わせ、他方が、電池の並列と豆電球の直列接続の組み合わせで、直接に比較できないものとなっている。電池か豆電球の一方だけが異なる組み合わせであれば比較は容易であろう。また、活動をまとめるためには、4種類の回路が記述できて後の学習にも使えるようなワークシートを準備する必要があるだろう。

本時は「学習者実験計画反映法」の実践的研究として計画実施されたものではないが、思考力や判断力の育成には日々の積み重ねが必要である。その意味で、この

授業は、課題づくりの重要性や、活動結果から論理的に結論を見出させること、思考時間を保障すること等で改善の可能性があることを示唆している。

(小倉 康)

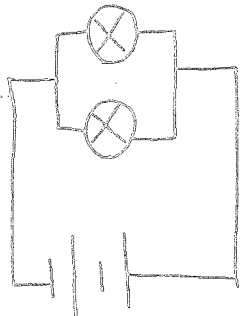
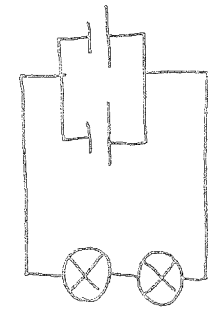
資料1：生徒の作成した「課題実験プリント」例

理科課題実験プリント

2年 4組 番 氏名

検

平成 11年 11月 5日 (金) 天気はれ 気温 20℃ 場所 教室・理科室

<p>課題 乾電池2個、豆電球2個で回路を作ってみよう。</p>	<p>発表 他の班の回路(図)から発見した回路を書いてみよう。</p>
<p>作った回路(図)を書こう。 豆電球の明るさにも注意し記録する。 (例)明るさは大、中、小で表そう。</p> 	<p>発見した回路(図)</p>  <p>明るさ中</p>
<p>実験結果のまとめ(作った回路について)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 豆電球の明るさについて。 2. 気づいたことや調べてみたいこと。 3. その他(疑問点など) <p>グループで話し合ったことをまとめよう。</p>	<p>他の班の回路(図)を見て。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 自分たちの班と比較し気づいたこと。 2. 調べてみたくなったこと。 3. その他(疑問点など) <p>形式にとらわれず自由に書いてみよう。</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. 大 2. 直列よりもよく光る 3. どうして直列よりも光るのが。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 私の班も、これに似たものを作ったけど、片方だけ光らなかった。 2. 電池の向きをかえると、明るさは変わるのさ。というコトをしらべたい。 3. 明るさをかえるには、どう工夫すればいいのさ。

1. 7 実践報告「物質の密度」(1 学年)

授業者：小野瀬 倫也

1 授業題目 物質の密度

2 単元名 身のまわりの物質の変化（1年生）

3 単元での位置づけ

1章 物質のとけかた

- ① 物質が水にとけるようす
- ② 一定量の水にとける物質の量
- ③ 水溶液の濃さの表し方

2章 物質の状態の変化

- ① 状態の変化と体積・質量
- ② 状態の変化と物質の温度
- ③ 状態の変化と物質の密度・・・・・・・・・・本時（2時間）

3章 気体の発生

- ① 二酸化炭素・酸素
- ② 水素・アンモニア・窒素

4 授業のねらい

生徒は、これまでに溶解度、再結晶、融点と沸点の学習を通して、純粋な物質にはそれぞれ特有の性質があることを学んできた。そして物質の性質が、その物質が何であることを特定する手がかりになることを学んだ。本単元では、さらに物質の特徴の1つに密度の違いがあり、それを調べることから、その物質が何であることを特定できることを学ばせたい。

また、本単元の学習を通して、実験計画から考察に至る一連の方法を獲得し、その過程の中から密度の概念を導き出すことをねらいとした。この実験計画から考察に至る過程の中に問題発見力、仮説設定力、実験観察計画力、実験遂行力があると考え、これらの力を伸ばして行きたい。なお、生徒が1学年であることを考慮し生徒の活動を支援する意味でのワークシートの作成を試みた。また、ワークシートの作成にあたっては出来るだけ汎用性があるものを作ることを考慮した。

5 前単元からのつながり

生徒は、物質の状態変化の学習において、状態変化における体積の変化から氷は水に浮き、固体のロウは液体のロウに沈むことを学んでいる。この際、液体よりも軽い固体は浮き、重い固体は沈むという生活経験からの判断をしているが、密度の概念が導入されていないため大まかな知識となっている。

次に、物質には固有の融点と沸点があることから、これが物質を同定する為の手がかりになることを学んでいる。本単元では、物質を同定する手がかりの一つとして密度の概念があることを発見させたい。そこで、生徒には、「1円玉と10円玉では、どちらが重い材質でできているか？」という課題を与え、予想からそれを確かめるための実験方法を考え、実験の実施、考察、実験方法の見直しという一連の流れを5名を1つの班として行う形をとることとした。

6 ワークシート

説明

- ・実験テーマ「1円玉と10円玉では、どちらが重い材質でできているか？」
- ・予備知識として生徒に1円玉や10円玉について知っていることをあげさせ、それを集約することで最終的な実験の目的を「アルミニウムと銅では、どちらが重いか」を調べることにした。
- ・汎用性を持たせることにした。これによって、予想の欄を複数用意した。
- ・生徒の活動であることを意識して時間の配分を記入する欄を設けた。

- ・結果のまとめ記入欄は表やグラフに対応出来るようにした。
- ・考察欄には、表現の文例をつけた。
- ・自己評価欄を設け、振り返りの機会としたが、不十分さを感じ、「振り返りカード」を作成した。
- ・準備するものの欄は、計画に沿って記入できるよう配置した。
- ・考察・・・「～ということから～といえる（疑問点なども含む）」という補助的文章表現を付しデータ解釈力、論理的考察力の育成につながるよう配慮した。
- ・実験方法の見直し・・・予想～実験～実験結果の解釈という過程を振り返り、また、他班の様子にも触れることによって実験方法を客観的に見る機会とした。

(ワークシートは次のページ)

実験レポート

年 組 男・女 姓 氏 名

<p>実験テーマ</p>	<p>時間 計 ス 0分</p>	<p>実験の目的（何を明らかにするのか）</p> <p>予想短縮</p> <p>予想とその理由</p> <p>予想①： 理由：あなたが、そう考える理由，根拠。</p> <p>予想②： 理由：あなたが、そう考える理由，根拠。</p> <p>やっでばならぬ</p> <p>仮定予エック</p>	<p>実験方法（図）</p> <p>実験するもの</p>
		<p>片づけ（な）を 実験結果のまとめ</p>	<p>考察（結果・疑問点も含む） 「...ということから...といえる。」</p>
		<p>予想に対する実験方法は、適切でしたか(5・4・3・2・1)理由： 実験は、正しい方法でおこなえましたか(5・4・3・2・1)理由： 予想を確かめることができましたか (5・4・3・2・1)理由：</p>	<p>実験結果</p>

7 授業展開の記録 (2 時限)

1 時限目			
学習内容	教師の はたらきかけ	生徒の活動	補足説明や気づきなど
課題の提示	プリントの配布 課題の提示	・説明を聞く	
予備知識の確認	「自分たちが知っていることをあげてください」	・プリントへの記入と発表 「1円玉はアルミニウムでできている。」 「1円玉は1gである。」 「10円玉は銅でできている。」	
ねらいの確認	今日の課題は「アルミニウムと銅ではどちらが重いのか。」を調べるといことになります。		多くの生徒の考えではアルミニウムの方が軽く、銅の方が重いと考えている。それを、証明することが今回の実験の目的である。
予想の発表	「予想とその理由を発表してください」	・プリントへの記入と発表 「銅の方が重い」 持った感じがそうだから。 「アルミニウムの方が重い」 同じ大きさにしたらそうなる。	
実験計画を立てる	「それでは、班毎に実験計画を立ててください」	生活班 (5名×6班) 単位で実験計画を立てる。 ・話し合い ・各自のプリントへの記入 ・画用紙に記入	
実験計画の発表 班の活動の確認		班毎に発表する ・体積を同じにして質量を比べる。 ・質量を同じにして体積を比べる。 ・水中での落下速度を比べる。	発表は、画用紙に記入し、黒板に貼った後、代表者が全体に説明する。 基本は、この2通りが出てきた。
2 時限目			
学習内容	教師の はたらきかけ	生徒の活動	補足説明や気づきなど
課題の確認	今日は、前時の計画にしたがって実験を行い結果を発表してもらいます。	・説明を聞く	
実験の実施	実験が終了したら、プリントをまとめ、発表用の画用紙に記入してください。	・実験計画にしたがって実施する。 ・実験の過程をプリントに記入する。 ・プリントに結果をまとめる。 ・実験の結果を画用紙に記入する。	・器具は自由に使う。 ・計画の誤りや、途中での気づきからの変更、追加は教師に報告後実施させる。

<p>結果のまとめと発表</p> <p>実験計画の見直し</p>	<p>他班への質問や意見はありますか。</p> <p>他の班の発表も参考にし振り返りカードを記入してください。</p>	<p>班毎に発表する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">発表は、画用紙に記入し黒板に貼った後、代表者が全体に説明する。</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1円玉12枚と10円玉9枚で同じ体積。上皿天秤にのせたら、10円玉の方に傾いた。 ・ 1円玉9枚と10円玉2枚で同じ質量。体積をはかったら、1円玉の方が大きかった。 ・ 1円玉9枚と10円玉2枚で同じ質量。セロハンテープでくっつけて水中で落下させたら10円玉の方が早く落ちた。 ・ 同じことをやって違う結果になった班があります。 →記録の間違いでした。 ・ カードへの記入 	<p>発表のポイントを示す</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実験の方法 ・ 実験結果 ・ わかったこと ・ 工夫した点 ・ 失敗した点 <p>・ これについては、生徒から異議が出なかったため教師から、判断の根拠が曖昧であることを指摘した。</p> <p>・ 指摘された班は、記録の間違いに気づき修正した。</p>	
<p>密度の導入</p>	<p>問題の提示</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">さて、次に50円玉や100円玉と比較したらどうなるでしょう。あるいは、ここには無い金属と比較するときにはどうしますか。やはり、比べるもの2つを常に計り直さないといけませんか。</div> <ul style="list-style-type: none"> ・ はかる物質の体積を1cm³あたりにすれば良いと思います。 ・ この意見については、4クラスで実施したが3クラスからそれぞれ1～2名の意見として出された。 		
		<p>そうですね、でも1gあたりでも良いかも知れません。次回はこのことについて考えましょう。</p>		

☆写真1と2（次のページ）は、各班が実験結果を発表した様子。画用紙に実験方法が説明されて、黒板に実験結果が書かれている。

写真1

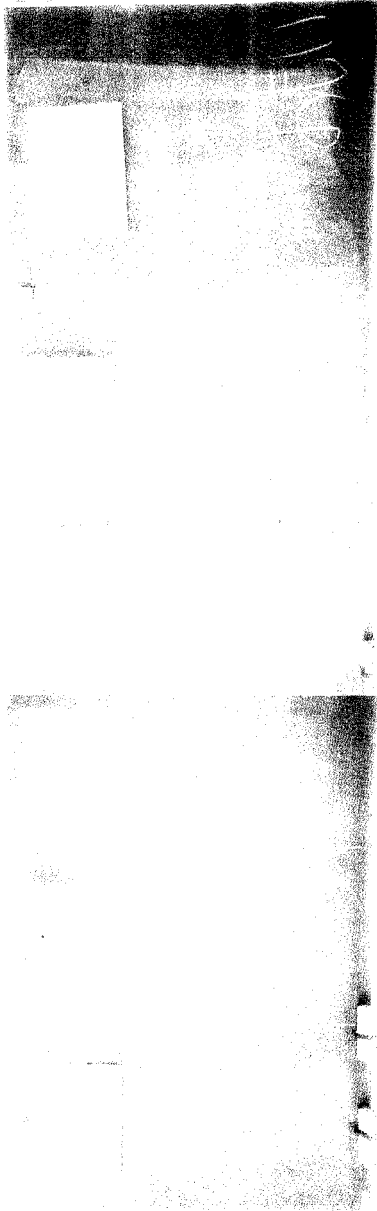
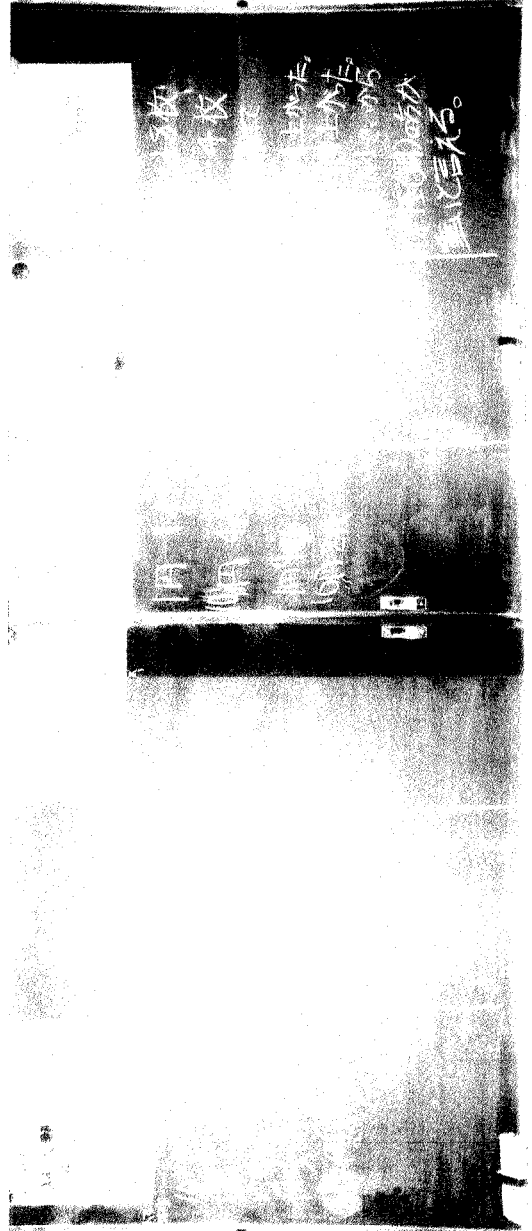


写真2



8 授業者の所感

生徒は、物質の密度について、日常的に扱っているものの中から体験的に判断する段階に達している。例えば、「木片は水に浮くけれど、鉄は水の中に入れると沈んでしまうことから、鉄は木よりも重い物質である。」というように表現することができる。また、同じ質量の木片と鉄を比べると木片の方が体積が大きいことに気づいている。密度の概念が導入されていない段階の生徒に、この質量と体積を的確に表現させ、意識することで密度の考え方につなげるということが、この授業のねらいである。

また、「実験計画から考察に至る一連の方法を獲得する」ことがもう一つのねらいである。密度の概念が導入されていない生徒にとって「どちらが重い材質からできているか」という表現を用いたが、これは生徒にとってわかりやすい表現になっていたと考えられる。身近な材料である1円玉と10円玉を用いたこと、またこれらがアルミニウム、銅から出来ていることは生徒の既知のものであり「アルミニウムは軽い金属である」という知識も半数以上の生徒がもっていたことが、生徒にとって与えられたテーマが受け入れやすい課題になっていたと考えている。生徒が立てた予想では、科学的な根拠には乏しいものが多かったが、体験的裏付けがあった為にそれぞれ自信をもって立てていた。このことが次の実験計画を立て、遂行していく意欲につながっていた。「結果にはかなり自信をもってしているから、こうすれば出来るはず」という具合である。

生徒が考えた実験方法は2つに集約された。

1. 質量を同じにして体積を比べる方法
2. 体積を同じにして質量を比べる方法

このほかに、水中で落下させる実験を考えた班があり、独創的な面は評価したが、根拠が曖昧で最後まで説明しきることにはつながらなかった。しかし、実験計画を立てる際の反省事項として他の班にも参考になっていたと考えられる。

実験の中での生徒の気づきとして、硬貨の体積をはかる場合に、枚数が少ないと読みとれないことから倍の枚数ではかるなど、適宜工夫をする様子が見られた。

この授業は、3クラスで実施し、各6班の合計18班が実施したが計画を立てられない班は無かった。結果については処理の仕方を誤った班があったがデータを他の班のやり方に当てはめることで正しい結果が得られた。

ワークシートについては、汎用性を重視した形で当初の目的はある程度満たしたと考えられるが、横書きである為に流れが分かりにくくなってしまった。

全体を通して、生徒達は意欲的に取り組み、学習の流れも無理なく密度の導入につなげることができた。今回の授業を通して、生徒が意欲的に活動を続けていける要素として「少し頑張れば解決できそうな課題である」こと、そうしたテーマの中に教師が意図する獲得課題を配置することが重要であると感じた。

(小野瀬 倫也)

9 総合的考察

本時は、多くの中学生が困難を感じる「密度」の学習に、「学習者実験計画反映法」を適用したものである。しかし、「密度」という抽象概念を獲得させるために、どのような課題を設定するかは容易ではない。いきなり異なった2種類の金属の質量と体積の関係を考えさせるのは、教え込み型の理科授業であり、これまで多くの生徒をつまずかせてきたやり方と変わらない。そこで、授業者は、まず「1円玉と10円玉では、どちらが重い材質からできているか」という、生徒が自らの知識や体験を活かして主体的に解決に取り組める課題として提示した。

生徒たちの意見を整理する中から、課題が「アルミニウムと銅とでは、どちらが重いのか」を調べるということであり、多くの生徒たちが「アルミニウムの方が軽く、銅の方が重い」と考えていることが共通理解されている。その上で、どのような実験を行えば、自分の考えを確かめることができるかを考えさせている。この一連の過程で、学習課題が生徒に内面化され、主体的な解決意欲を高め、生徒自身に課題に対して必然性のある実験計画を立てさせることに成功している。授業者

が指導した3学級の18班すべてにおいて、自主的な計画が立てられたことは、その過程の高い有効性を示している。

実験計画を画用紙に書かせて、実験前に全体で確認していることは、課題解決へのアプローチが1通りではないという科学観の育成とともに、他の班のアイデアがうまくいくものかどうか批評的に捉えることで批評的思考力の育成につながることを期待される。多様な理論や手法が社会的に議論され、科学的な事実によって淘汰されていくことは、科学の世界の本質でもある。理科の学習において、生徒たちにそうした科学の本質に迫る体験をさせ、それに相応しい思考力や態度を培うことは、科学的な知識や概念の習得と同じかそれ以上に重要なことである。

「密度」概念の習得の困難さは、体積と質量という異なる2変量を関連させて実体を伴わない変量を創り出すことが理解できない生徒が多いことにある。小倉(1999)は、中学生を対象とした面接調査の結果から、「密度」などの「比例的変量関係」を理解させようとする前に、変量自体の定性的な理解を重視すべきことを結論づけた。特に以下の点に留意した指導法が提案されている。

- (1) 生徒たちが必要な概念的実体を構築できるよう、実際的な経験（観察や実験、操作等）を組み込む。
- (2) 生徒たちに自らの概念的実体に基づいて、課題事象を定性的に理解させる。
- (3) 生徒たちが課題事象を完全に理解するまで、計算処理を導入しない。
- (4) 計算処理の妥当性を検討させる。
- (5) 計算処理に習熟させる。

本実践においては、課題が生徒にとって十分に身近で実際的な経験のある内容であったことが、上記指導法の(1)の点を満たしている。(2)がもっとも難しい点であるが、本実践では、実験計画を立てさせることに十分な時間を割いて、1円玉と10円玉という材質も形も異なるものが、どちらが重いかという複雑な課題に取り組みさせた結果、「体積を同じにして質量を比べる」、及び、「質量を同じにして体積を比べる」という大きく2通りの考え方に収束した。この表現が具体的にいかなる実験方法につながったかは、生徒のワークシートの例から知ることができる。つまり、体積はメスシリンダー、質量は天秤を用いて、1円玉と10円玉の個数を変えて、どちらか一方を等量にするのである。この時点で、生徒が考えるべきことは、もう一方の変量（体積ないしは質量）の大小だけでよい。つまり、課題が「体積が同じアルミニウムと銅は、どちらが重いか」あるいは「重さの同じアルミニウムと銅は、どちらの体積が大きいか」という、より単純な問いに置き換わっているのである。小倉(1999)の研究では、すぐに「 1 cm^3 当たりの質量」を比較できる生徒と、その考え方が理解できない生徒がいた。後者は、「35（の体積）を20個ほど分けちゃう」という視覚的に分割された立方体をイメージすることで、「 1 cm^3 当たりの質量」の定性的な理解を得ることができた。指導法の(2)は、このようにして「単位体積(1 cm^3)当たりの質量」や「単位質量(1 g)当たりの体積」といった考え方を定性的に理解することを求めている。本授業の最後で、密度の概念への導入が図られており、生徒から「はかる物質の体積を 1 cm^3 あたりにすれば良い」という意見が出されているが（生徒のワークシートの例のその2）、そうした生徒の人数が0～2名程度と少ないことからわかるように、指導法の(2)を満たすためには、さらに定性的な理解を促すための工夫が必要なのである。

各班が実験結果を発表する中で（写真1、2から黒板上で各班の方法と結果が比較できる様子がわかる）、生徒から「同じことをやって違う結果になった班があります」という指摘がなされ、指摘を受けた班が「記録の間違いでした」と誤りを認め訂正した場面は、この授業が、物事を批評的に捉える力や、論理的思考に裏付けられたコミュニケーションを展開する態度が育成されていることを示唆している。指摘をした側にも、された側にも、またそれを観ていた生徒にも、価値ある経験と考えられる。教師が間違いの無い方法や結果の考察を与えるやり方では、育まれることのない資質である。決してあってならないことは、教師側に誤りがあるかも知れない場面で、指摘を一方的に否定したり、原因を「誤差」や「偶然性」に帰着させたりする態度であり、教材研究が不十分であった可能性もあるのである。人間は誰でもいつでも間違える危険性があるという認識を尊重して、問題の有無を客観的に判断できる態度を示すことは、完璧な教師像を印象づけるよりも、はる

かに教育的な価値があるであろう。

授業記録には、水中での落下の速さによって、10円玉の方が重いと結論づけた班については、結果的に教師から「判断の根拠が曖昧であることを指摘」して、否定したことが記されている。生徒自らが組み立てた論理に従って導かれた結論が、他の生徒たちが納得している中で、教師から否定されねばならなかったのは残念である。時間が許せば、例えば「重いものの方が、速く落ちるのだろうか」という課題を設けて、該当の班に宿題で調べさせた後、授業で再検討するといった扱いも可能であろう。

ワークシートについては、汎用性を旨としたので、必ずしもこの実験課題に適合しているものとはなっていない。重要なことは、生徒たちはまだ十分に「実験方法」や「実験結果のまとめ」に書く事柄や、「考察（・・・ということから・・・といえる）」の書き方を理解していないということである。例のその2の生徒は、「実験結果のまとめ」に結論を書いている。その1の生徒は、「考察」に結論のみを書いている。その2とその3の生徒では、実験の目的と考察とが合っていない。目的に沿うならば、結論は「銅の方が重い」あるいは、「10円玉の方が、重い材質でできている」といった内容となる必要がある。実験の課題に対して、予想し、確かめるための実験方法を考え実施したのだから、結論は課題に答えるものである必要がある。

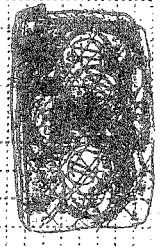
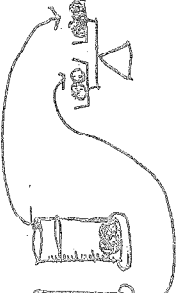
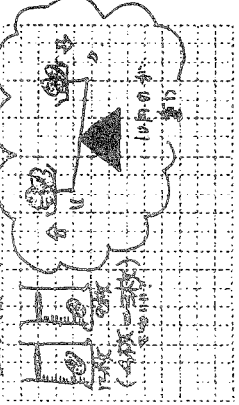
文献：小倉 康「理科的問題解決における生徒の比例的変量関係認識」日本科学教育学会誌『科学教育研究』、第23巻5号、309～321頁、1999年

(小倉 康)

資料1：生徒のワークシートの例（その1）

実験レポート 年月 日(日)

1年C組男(6) 長年

<p>質問シート</p> <p>1円たまたまと10円たまたまではどちらが重い材料をアテマテリるか？ 実験の目的（何を明らかにするのか） アテマテリと銅ではどちらが重い？</p> <p>予想結果</p> <p>1円たまたまはアルミでできているから軽い。10円たまたまは銅でできているから重い。</p> 	<p>実験計画図</p>  <p>10分</p> <p>5分</p>	<p>準備するもの</p>
<p>予想とせの理由</p> <p>理由①：10円（銅）のが重い！ 理由：あなたが、そう考える理由、根拠。 1円たまたまと10円1枚の重さをくらべても10円のが重いから！！</p> <p>予想②： 理由：あなたが、そう考える理由、根拠。</p>	<p>片づけ(3)分</p> <p>実験結果のまとめ</p>  <p>銅 (質量が異なる) ... ということから...といえる。]</p> <p>同じ量の銅とアルミでは銅の方が重い。</p>	<p>準備するもの</p>
<p>予想とせの理由</p> <p>理由③： 理由：あなたが、そう考える理由、根拠。</p> <p>予想④： 理由：あなたが、そう考える理由、根拠。</p>	<p>予想に準ずる実験方法は、適切でしたか(5) ④・3・2・1)理由： 実験は、正しい方法でおこなえましたか(6) ④・3・2・1)理由： 予想を確かめることができましたか (5) ④・3・2・1)理由：</p>	<p>準備するもの</p>

振り返りカード

1年C組 氏名

1. あなたが立てた予想を、あなたが考えた実験方法で確かめることができましたか？

確かめることができました・確かめることができなかつた

理由

たしかめることはできませんでした。でも他の班と

銅の方が重いという結果は同じだけれど、 $9 = 12$ と $100 = 14$

という差がでてきましたから！

2. あなたが立てた実験計画の通り実験を行うことができましたか？

計画通り実験できました・計画通りに実験できなかつた

理由で"まじけれど、ヒーターに10円と1円を入けて

同じ体積を取るときに、ふたがが"かみまうて"

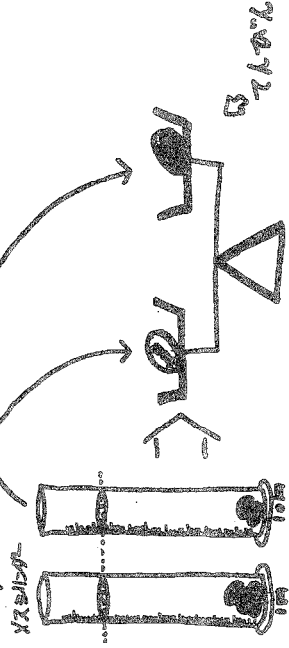
正にまじにできたか分からなかったから！

3. 実際の実験をやってみて改善すべきところや、他の班の様子からさらに良い方法を見つけたことができましたか？

(具体的に書いてください、国などがあるとわかりやすいです。)

ゆから取り！

3列目



同量の水に銅を入れたてんびんで、
体積を同じにね。くらべる量

生徒のワークシートの例 (その2)

実験レポート 月 日 ()

実験テーマ
1円玉と10円玉の重さを比べ、どちらが重いかな。
実験の目的 (何を明らかにするためのか)
アルミニウムと銅は、どちらが重いかな。
予想結果

0.1円玉は、アルミニウムか。
10円玉は、銅か。
50.100.500円玉は、アルミニウムか。
0.1円玉は、銅か。

予想とその理由
実験①: 10円玉
理由: あなたが、どう考える理由、假説。
10円玉の重さが、たまたま重い。
10円玉は、銅でできているから、アルミニウムより重い。
実験②:
理由: あなたが、どう考える理由、假説。

- やってみたいことがあっても、実際にやってみよう。
- 銅とアルミニウムの重さを比べてみる。
 - 実験の手順を自分で決める。
 - 実験の結果を自分でまとめる。
 - 実験の結果を自分で発表する。

実験① (15分)

1円玉と10円玉の重さを比べる。

1円玉と10円玉の1円分を計算と計算で比べる。

1cm²あたり何個が置けるか。

1円玉 約 2.5cm²
10円玉 約 3.5cm²

1円玉 10 20円玉 7.5g
10円玉 約 7.18g

[重さ÷体積]

実験② (10分)

1円玉 10円玉
0.1g 1.18g

10円玉の方が重い。

理由: 10円玉の方が重い。

実験法は、適切でしたか(①・②・③)理由: ...実験方法を自分で決めた。
実験は、正しい方法でおこなえたか(④・⑤・⑥)理由: 1cm²を測る式を覚えてきた。
予想を確かめたか (⑦・⑧・⑨)理由: 10円玉の方が重かった。

振り返りカード

1年D組 氏名

1. あなたが立てた予想を、あなたが考えた実験方法で確かめることができましたか？

確かめることができず、確かめることができなかった

理由

少しまちがいをしたら!!
自分が考えた方法でできたから。

2. あなたが立てた実験計画の通り実験を行うことができましたか？

計画通り実験できた。

理由

計画したとおりできましたし、
いちいち答えもでたから。

3. 実際に実験をやってみて改善すべきところや、他の班の様子からさらに良い方法を見つけたことができましたか？

(具体的に書いてください。困などがあるとわかりやすいです。)

とくに ありません。
6班のやった、実験方法(感度)は
よかったです。

木 1円玉と10円玉の重さを計るの
木 1円玉と10円玉の体積を計るの
木 1cm³あたり何gかくらへるの
(体積÷重さ)

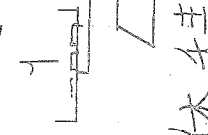
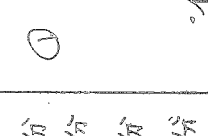
by 6ぼん

実験レポート

年月 日 (月)

時間	内容	観察するもの
0分		上皿天秤 メスシリンダー 水
5分		
10分		
15分		
20分		
25分		
30分		
35分		
40分		
45分		
50分		

10円玉と、10円玉の重さを、同じにする
 天秤で区別する。

①  ② 

・体積が小さい方が重い。

予想 (質問・疑問も含む)
 ...というところから...といえる。
 10円玉の体積が10円玉より大きい。
 10円玉の体積が10円玉より小さい。
 10円玉の体積が10円玉より大きい。

予想に対する実験方法は、適切でしたか()
 実験は、正しい方法でおこなえましたか()
 予想を確かめることができたか ()

実験の理由

実験①: 10円玉の方が重い。
 理由: あなたが、そう考える理由、推測。
 理由は、アルミニウムより金銀の方が重いから。

実験②: 10円玉の方が軽い。
 理由: あなたが、そう考える理由、推測。
 水に沈むから。

やってほしくない事



1班

① あなたが立てた予想を、あなたが考えた実験方法で確かめることができましたか？

確かめることができました。確かめることができなかった

理由

実験中にぶさけている人がいたのが
味しちれんと実験したかまてた。

② あなたが立てた実験計画の通り実験を行うことができましたか？

計画通り実験できた。計画通りに実験できなかった

理由

どろろでこぼれたこともあったけれど
ちゃんと計画通りに行えた。

③ 実際に実験をやってみて改善すべきところや、他の班の様子からさらに良い方法を
見つけることができましたか？
(具体的に書いてください。箇などがあるとわかりやすいです。)

玉虫虫がいたよと思ったけど
手拭いをついてこぼれかいたよと
かわからなかった。

1班

10円玉
1円玉
1円玉

10円玉
1円玉
1円玉

① 1円玉と10円玉の
重さを同じにする。
② スプリングで
体積を測れる。

体積が小さい方が重い。

1. 8 実践報告「種類の分からない気体」(1学年)

授業者：小野瀬 倫也

1 授業題目 種類の分からない気体

2 単元名 身のまわりの物質の変化（1年生）

3 単元での位置づけ

1章 物質のとけかた

- ① 物質が水にとけるようす
- ② 一定量の水にとける物質の量
- ③ 水溶液の濃さの表し方

2章 物質の状態の変化

- ① 状態の変化と体積・質量
- ② 状態の変化と物質の温度
- ③ 状態の変化と物質の密度

3章 気体の発生

- ① 二酸化炭素・酸素
- ② 水素・アンモニア・窒素・・・・・・・・・・本時（3時間）

4 授業のねらい

生徒は、これまでに身近な気体の性質の学習を通して気体を発生させる方法、回収方法を学んできた。本単元では、発生する気体は何であるかを予想し、予想される気体の性質をもとに、それを確かめる実験計画から考察に至る一連の方法を学び、その過程の振り返ることから、探究の方法を身につけさせるをねらいとする。

本時（2時限）での取り組みにおいては、生徒の活動を支援する意味でのワークシートの開発を目指した。よって授業で扱う実験は教科書にあるものをそのまま活用し、より一般的な授業で活用できる形とした。また、ワークシートの活用により、生徒の仮説設定力、実験観察計画力、実験遂行力、データ解釈力、論理的考察力などを伸ばしていくことを目標とした。

なお、使用した教科書は「啓林館 新訂 理科1分野 上」である。

5 前単元からのつながり

生徒は、物質の加熱や化学反応から気体が発生することを学んでいる。また、気体はその種類によって特有の性質を示すことから、その気体にあった回収方法と試薬を使ってその気体を同定する方法を学んでいる。本時では、これらの知識を活用して未知の気体を同定するための実験の予想から実験計画の作成までの過程を身につけさせたい。

6 ワークシートとその改善点

前章で行った「物質の密度」における反省点をふまえ、ワークシートの改善を試みた。改善した内容は以下の通りである。

- ・ワークシートを縦書きに改め、時間の流れに沿う形にした。
- ・実験テーマ・・・教科書にある実験テーマをそのまま
- ・実験の目的・・・テーマの内容をより具体化したもの。
- ・予想・・・一般的に「予想」とされている部分の表現を「考えられる可能性（予想）と予想される結果【もし～だったら～が起こるだろう】」とした。さらに、予想に対して「予想が正しければ何が起こりますか」という欄を設けた。このことにより、生徒が、予想に基づいた実験計画の作成に思考をつなげやすい形にした。

3つの予想を立てられる欄を設けた。

- ・時間の配分、準備については以前の形を踏襲した。
- ・実験方法・・・操作と手順を図などを用いて示すものとした。
- ・実験結果・・・観察の記録、測定値のみを示すものとした。生徒には、いわばメモ的に用いる欄であってデータの解釈や考察とは切り離して考えるよう指導した。
- ・実験結果のまとめ・・・「～をしたら～が～になった」という補助的文章表現を付し、原因と結果を明確にするよう配慮した。
- ・考察・・・「～ということから～といえる（疑問点なども含む）」という補助的文章表現を付しデータ解釈力、論理的考察力の育成につながるよう配慮した。
- ・実験方法の見直し・・・予想～実験～実験結果の解釈という過程を振り返り、また、他班の様子にも触れることによって実験方法を客観的に見る機会とした。

(ワークシートは次のページ)

実験テーマ：
 実験の目的：
 予備知識：

考えられる可能性（予想）と、予想される結果【もし~だったら~が起こるだろう】

	予 想	予想が正しければ何が起こりますか
①		
②		
③		

時間	準備するもの	実験方法（操作・手順）	実験結果 (観察の記録・測定値)
スタート 0分			
片づけ ()分			
まとめ ()分			
計 ()分			

実験方法の見直し	実験結果のまとめ (~をしたら~が~になった)	考 察 (～ということから～といえる) (疑問点なども含む)																																																																																																				
1. あなたの実験方法で予想を確かめることができましたか？ (はい・いいえ) 2. 計画通りに実験を行うことが出来ましたか？ (はい・いいえ) 3. 実験方法の改善点や他の道の結果から学んださらに良いと思う方法など。	<table border="1"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>																																																																																																				

7 授業展開の記録（3時限）

1時限目			
学習内容	教師のはたらきかけ	生徒の活動	補足説明や気づきなど
課題の提示	今日は2種類の薬品を混ぜ合わせ発生した気体が何であるかを調べてもらいます。 教科書を見てください。 実験テーマは「種類の分からない気体」です。 実験の目的は	説明を聞く。	
2種類の薬品、亜硝酸ナトリウムと塩化アンモニウムを混ぜ合わせて加熱したときに発生する気体が何であるかを調べる。			
予備知識	ということになります。 ・教科書にある実験方法から予想されることはありますか。	・薬品の名前からするとアンモニアかも知れない。 ・水上置換法を用いているのでアンモニアではないらしい。	・ここでの気づきは各置換法に適合する気体の復習が主である。 ・気づいたことも確かめるまでは決めつけてはならない。
予想を立てる	・今までの学習をもとに予想を立ててください。ただし、予想といっても確かな根拠は無いと思いますから、「予想が正しければ何が起こるか。」ということを考えてください。	予想と予想される結果 ・水素・・・マッチを近づけるとボンとなる。 ・酸素・・・線香の火が激しく燃える。 ・二酸化炭素・・・石灰水が白くにごる。水に溶かすと酸性になる。 ・アンモニア・・・においがする。フェノールフタレインが赤紫色になる。	・窒素の性質については既習事項であるが、予想にあげた量は少なかった。
実験計画の作成	・それでは、各班の予想と予想される結果に従って実験計画を立ててください。	・実験計画を立てる。	
机間指導	・「予想が正しければ何が起こりますか」の欄に書いた通り、例えば二酸化炭素が発生すると予想して石灰水が白くにごるはずだと思うならば、実験は発生した気体を石灰水に溶かしてみることになります。	・計画の立て方がよく分かりません。	・早く進められている生徒には実験結果の欄に、あらかじめ書き込めるように枠などを記入させておく。
予想、実験方法の発表	・それでは、予想と予想される結果、それを調べるための実験方法を発表してください。	・各班の発表を聞く。 ・発表を聞きながら自分たちがやるうとしていることに間違いがないか、発表者の活動におかしい所がないかチェックする。	

2 時限目			
課題の確認	<ul style="list-style-type: none"> 今日は、前回各班で立てた実験計画したがって実験を行ってもらいます。器具は、理科室にあるものを自由に使って構いませんが、今までに使ったことのないものを使う時には言ってください。それでは、始めてください。 	<ul style="list-style-type: none"> 説明を聞く。 	
実験の実施	<ul style="list-style-type: none"> 机間指導をする。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験計画にしたがって実施する。 実験の過程をプリントに記入する。 気体が発生しなくなりました。 お湯を替えて温度を上げるたらまた、勢いよく発生しました。 	<ul style="list-style-type: none"> 器具は自由に合わせる。 工夫している点は評価し、その点をプリントに記入させる。 情報を共有化させることで他の班も問題点が解決できた。
結果のまとめ	<ul style="list-style-type: none"> 実験が終了したら、プリントをまとめてください。 机間指導をする。 結果がまとまったら発表者を決めてください。 それでは、次回結果の発表してもらいます。 	<ul style="list-style-type: none"> プリントに結果をまとめる。 発表者を決める。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験結果の欄に実験結果のまとめを書く者が多かった。明確に分けさせ、考察につなげるよう指導した。

3 時限目								
課題の確認	<ul style="list-style-type: none"> 今日は、前回の実験結果の発表してもらいます。 発表者になった人は黒板に実験結果を記入してください。 黒板に枠を記入（6班分） <p style="text-align: center;">〈 板書 〉</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="width: 33%;">2 班</td> <td style="width: 33%;">3 班</td> <td style="width: 33%;">4 班</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">実験結果の事実と結論</td> <td></td> </tr> </table>	2 班	3 班	4 班		実験結果の事実と結論		<ul style="list-style-type: none"> 説明を聞く 発表者は黒板に記入する。
2 班	3 班	4 班						
	実験結果の事実と結論							
実験結果の発表	<ul style="list-style-type: none"> それでは、結果を発表してもらいます。他の班の結果と自分たちの結果の違いをよく聞いてください。 他の班に対して何か質問や意見はありますか。 では、他班の発表を聞いた後に気づいたことを加え自分たちの実験方法の見直しの欄を記入してプリントを提出してください。 	<ul style="list-style-type: none"> 結果を発表する。 石灰水に通したときに白くにごらなかった。 BTB 液は緑色だった。 BTB 液は青色に変化した。 においは無かった。 マッチに火は消えた。 線香の火は消えた。 以上の結果から発生したのは窒素であると言えます。 プリントを記入する。 仕上げて提出。 	<ul style="list-style-type: none"> BTB 液の変化については、水道水を使ったことで7割り性になったことに気づく。 アセトについて予想の時点から除外していた班が多く、指摘した。 データの不足から同定出来なかった班については、他班のデータとあわせて考察させた。 今回は特に出されなかった。 					

写真1

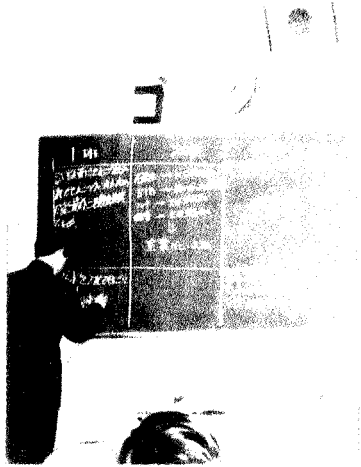
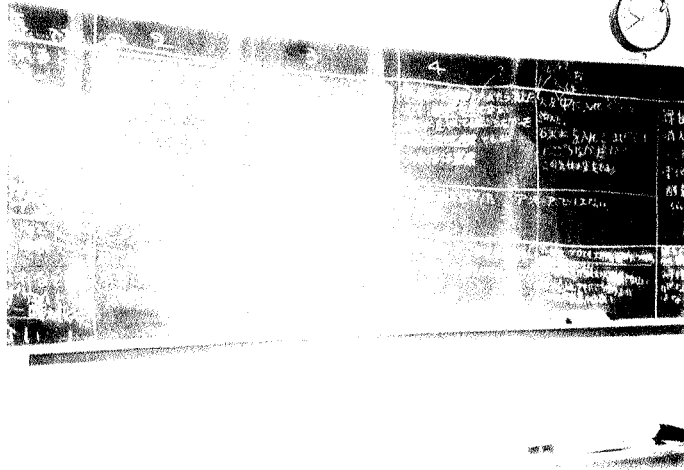


写真2



8 授業者の所感

今回の実践においては、ワークシートの改善とそれを教科書を主とした授業への適用が一つのねらいであった。教科書を主とした授業では、与えられた課題を示されたとおりの実験・観察を通して考察するというパターンになりがちで、生徒も実験や観察そのものを工夫したり、課題解決に向けて実験そのものを考える場面が少ない。しかし、本来、理科の学習を通して生徒達に期待するものの一つとして、生活の場面において直面する様々な課題を自らの力で解決する方法を身につけることがあげられる。課題を解決するためには、多くの知識を身につけていることも必要だが、知識を具体的な場面に適用したり独創的な方法で解決にあたることができる力を獲得して欲しいと願っている。

ワークシートの改善点の効果として次の流れが非常にうまくつながっていたことを実感している。

実験の目的 → 予想を立てる → 実験計画を立てる → 実験結果をまとめる → 考察する

これは、「予想が正しければ何が起こりますか」という発問の効果であったと考えられる。生徒は、この問いに答えることによって何を調べる為の実験・観察を行うのかを明確にした。これが次の実験計画を立てやすくしている。そして、目的が明確にされたことで結果の分析、考察につながっている。

また、生徒の活動を観察していると、実験計画がよく理解されていることで比較的短時間で準備が完了した。教科書を読みながら必要な器具を1つ1つそろえろとか、教師にいちいち質問しながら準備をするという場面が減ったことを感じた。

このような学習の流れを繰り返し行っていくことで生徒の仮説設定力、実験観察計画力、実験遂行力、データ解釈力、論理的考察力が伸ばされていくものと考えられる。また、ワークシートの活用によって1学年の生徒にもわかりやすく受け止められていたようである。今回のワークシートを活用することは、教科書を主とした授業形態の中でも、授業時数に負担をかけることなく効果が期待できるものであると考えている。

(小野瀬 倫也)

9 総合的考察

本実践は、「2種類の薬品、亜硝酸ナトリウムと塩化アンモニウムを混ぜ合わせて加熱したときに発生する期待が何であるかを調べる」という課題を設定して、生徒たちに予想を立てさせ、それを確かめる実験を計画させ、実験させたものである。教科書に示されている気体を発生させる実験で発生する種類の分からない気体の正体を、生徒たちが自分たちの知識や技能、気体発生状況等に基づいて調べ方を考え、明らかにしていくのである。既存の知識や技能に差があっても、過程そのものは未知の化学物質を解明しようとする科学者の行為と変わらない。授業者は、「実験の目的 → 予想を立てる → 実験計画を立てる → 実験結果をまとめる → 考察する」という流れがうまくつながったと表現している。「実験の目的」を「問題の把握」とすれば、より一般的な科学的問題解決の過程と捉えることができる。その際に、各班での実験計画や実験結果の発表(写真1、2)を通じて、問題解決を社会的に進めていることも、以前の「物質の密度」の実践と同様、科学教育にとっての重要な構成要素である。

本実践の大きな特徴は、「予想を立てる」段階にある。複数の可能性(予想)を想定した上で、それぞれについて「予想が正しければ何が起こりますか」という結果の予測へとつなげたことで、「実験仮説」を導いた。実はこの実践の準備段階では、予想を1つだけ上げさせるものであった。しかし、未知の物質が何であるかを断定するための根拠が無い場合に、1つの可能性だけに限定することは不可能であり、論理的にも妥当でない。様々な可能性が考えられる場合には、それぞれについて実験仮説を設定し、それらの実験で得た結果を総合して、結論を導くことが必要である。例えば、「なぜ、一帯の松林が枯れたのか」を究明する取り組みで、酸性雨か、生態系の変化か、大

気汚染か、松食い虫か、といった可能な選択肢のいずれかしか検討しないのが妥当でないように、現実の科学的行為においては、問題事象を多面的に分析し、結果を総合して最終的な判断を下す必要がある。

本課題に関しては、生徒にとって、酸素、水素、二酸化炭素、アンモニア、及び、窒素という少なくとも5つの物質（気体）が予測可能である。ワークシートには、汎用性を考慮して3通りの可能性しか記入できないが、発生する気体が水上置換法で集められることから論理的に棄却されたアンモニアを除いて（においで確かめた班もいた）、実際には残りの4つの可能性のそれぞれを実験で確かめた班が多かったようである（生徒のワークシートの例を参照）。

ワークシート例の3の生徒のように、実験結果から未知の気体が「窒素」であると結論づけた班が多かったが、厳密には、予測された可能性の範囲で、「窒素」以外の物質は排除されたということから、「窒素でないとは言えない」とするのがより妥当な表現である。現実の世界では、予測された可能性のいずれも正しくなかったということが頻繁に起こりうる。「人が予測できる範囲が限られている」ということは大切な科学観である。昨年東海村の原子力施設で発生した臨界事故は、「臨界」が発生する危険性が想定されていなかったことを示し、また同時に、「人の予測していなかった可能性は深刻な危険を招き得る」ことも教えてくれる。台風が予測されていなかった経路を進んだために海難事故が発生したことも我々の記憶に新しい。

このように、考えられる複数の可能性を想定して、実験を計画し検証する学習は、理論的に起こるべきある事象を確認するために行う実験による学習とは、本質的に異なっており、はるかに重要な教育目的を内包している。「問題事象に遭遇した際に、自分の勝手な思い込みで原因を特定することが誤った行動を引き起こすことを理解し、多面的な可能性を考えることのできる思考力と、他人からの指摘を受け入れることができる態度を習得し、それぞれの可能性を科学的に分析した結果から、論理的に導かれた結論を認めつつ、検討されなかった可能性も考慮して、総合的に判断を下す資質の育成」が、今日の科学教育に求められる教育目標であると考えている。

☆ワークシートの改善と他の授業テーマでの活用について

授業者は、以前の「物質の密度」の学習で得られた改善視点に基づいて、ワークシートをより汎用的なものとして開発した。これは同時に、「学習者実験計画反映法」の汎用性を高めるものでもある。「予想」「実験計画」「実験結果」「考察」など、問題解決の重要な局面の記述が、生徒にとって容易に、かつ、より妥当なものとなるように、その構成や補助的な文章表現において工夫が施されている。

授業者は、この新たなワークシートの汎用性を確かめるために、他の授業テーマでも活用している。資料2は、ワークシートを「種類わからない気体」の別の実験で用いた例、資料3は、「光の屈折」の授業で用いた例（その1～その3）である。

こうして、汎用的なワークシートをいろいろな場面で繰り返して用いることは、このワークシートに反映されている科学的問題解決の過程に関する生徒の認識を、より確かなものとするにつなると予想される。資料3の生徒のワークシート例では、「実験結果のまとめ」や「考察」の書き方が、より相応しいものとなっている。結果と解釈が異なるものであるという認識を、すでに中学1年の段階でほぼ確立していることは高く評価できる。

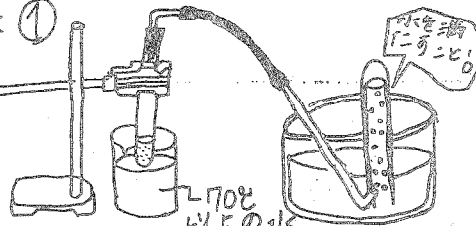
（小倉 康）

資料1：生徒のワークシートの例（その1）

実験レポート

1年A組男 氏名

実験テーマ： 種類のわからない気体	
実験の目的： 亜硝酸トリウムと塩化アンモニウムを合わせて加熱する時に発生する気体が何であるか調べる。	
予備知識： 水上置換法 直接加熱をしない（湯せん）	
考えられる可能性（予想）と、予想される結果（もし～だったら～が起こるだろう）	
予 想	予想が正しければ何が起こりますか
① 酸素	線香がエゲレくもえる。
② 水素	「ポン」という音がする。
③ 窒素	線香がきえる

時間	準備するもの	実験方法（添作・手順）	実験結果 (観察、記録、測定値)	
0分	ビーカー	 <p>① 70℃以上の水 試験管+2 水上置換法 で使うもの。 + 薬品 ② 70℃以上の水 ③ 集めた気体に せん線を入れる。 ④ もう一度①をやる。 ②と同じようにして マッチを近づける。 ⑤ においを手でかく。</p>	(観察、記録、測定値) ② 線香は 火がきえた。	
5分	水上置換法 で使うもの。 + 薬品		気体は 種類が わからない。 調べる。	③ マッチは 変化なし。
10分	③ 亜硝酸 トリウム 1.3g		④ においを手でかく。 必ず手で あおぐ。	
3分	③ 塩化アン モニウム 1.0g + 1cm ³ の水			
3分	せん線 マッチ			
片づけ (10分) まとめ (10分) 計(5分)				

実験方法の見直し	実験結果のまとめ(～は～が～に～は～)	考 察 「～ということから～といえる」 (疑問点なども含む)
1. あなたの実験方法で予想を確かめることができましたか？ (はい) (いいえ)	①の実験と②の実験から あてはまる気体は 窒素 である 《理由》 水素ならば③で「ポン」と音が するはず。酸素ならば ②で「エゲレくもえる」に す。⇒②③の実験から 窒素といえる。	線香の火がきえた ことから窒素といえ る。(亜硝酸は水上置換 法で集めた) マッチを入れて変化 がないことから酸素 か窒素といえる。 このことから水素では ないといえる。
2. 計画通りに実験を行うことが出来たか？ (はい) (いいえ)		
3. 実験方法の改善点や他の班の結果から学んださらに良いと思う方法など。 もっと協力が できると思う。		手に においを かく に お い い な く つ た 。

生徒のワークシートの例 (その2)

実験レポート

1年D組男・⑧ 氏名

実験テーマ: 種類のわからない気体	
実験の目的: 2種類の薬品(亜硝酸カリウムと塩化アンモニウム)を混ぜ合わせて加熱して発生する気体が何であるか調べる。	
予備知識: 水上置換法で集められる……アンモニアではない。(らしい) [フェニルワラシ……硝素……アルカリ性)にみ…… BTB……青 リトマス紙……青→赤 赤カンザシ(刺激臭)]	
考えられる可能性(予想)と、予想される結果【もし〜だったら〜が起こるだろう】	
予想	予想が正しければ何が起こりますか
① 二酸化炭素	火が消えたら石灰水を入れる。(にぞつたら二酸化炭素)
② 窒素	” (にぞつたから窒素)
③	
④	
実験計画(時間)	
時間(分)	実験方法(操作・手順)
0分	<p>水上置換法 セツト</p> <p>石灰水</p> <p>マッチ</p> <p>お線香</p> <p>しえから 入れ</p> <p>試験管 2本</p> <p>① 水上置換法で気体を集める。</p> <p>② 集めた気体の中に火をつけたお線香を入れる。</p> <p>火が消えたら—</p> <p>③ 試験管の中に石灰水を入れる。</p> <p>④ にぞつたら二酸化炭素 にぞつたから窒素</p> <p>~~~~~</p> <p>—火が燃えたら—</p> <p>③ 試験管の中に火をいれて爆発したら 水素</p> <p>④ 激しく燃えたら 酸素</p>
片づけ(分)	<p>① 水上置換法で気体を集める。</p> <p>② 集めた気体の中に火をつけたお線香を入れる。</p> <p>③ 試験管の中に石灰水を入れる。</p> <p>④ にぞつたら二酸化炭素 にぞつたから窒素</p> <p>~~~~~</p> <p>—火が燃えたら—</p> <p>③ 試験管の中に火をいれて爆発したら 水素</p> <p>④ 激しく燃えたら 酸素</p>
実験方法の見直し	実験結果のまとめ(〜は〜が〜に〜した)
<p>1. あなたの実験方法で予想を確かめることができましたか? (はい)・いいえ)</p> <p>2. 計画通りに実験を行うことが出来ましたか? (はい)・いいえ)</p> <p>3. 実験方法の改善点や他の薬品の結果から学んださらに良いと思う方法など。</p> <p>ちやんと何分かをきめてやった方がよかった。</p>	<p>・気体集めましてお線香を入れたら火が消えた。</p> <p>・その試験管の中に石灰水を入れたらにぞつた</p> <p>・火が消えた</p>
考 察 「〜ということから〜といえる」 (疑問点なども含む)	
<p>集めた気体の中に石灰水を入れたら白くにぞつたから二酸化炭素ではない。マッチと線香を気体の中に入れたら火がきえたから酸素ではないあとマッチの火を気</p>	

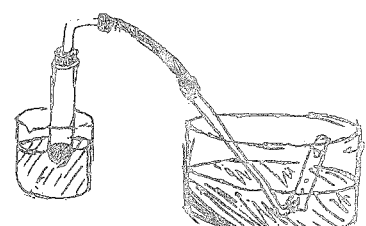


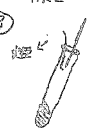
体にちかすけたら音がならなかった
たので水素ではない

生徒のワークシートの例 (その3)

実験レポート

1年B組男・② 香、氏名

実験テーマ: 種類の分からない気体	
実験の目的: 2種類の薬品(亜硝酸ナトリウム、塩化アモニウム)を混合合わせて加熱したとき、発生した気体は何からなるか	
予備知識: アンモニアではない、...水上置換法だから、湯せんしている、引火する可能性のあるもの。 (注意) 直接火で加熱してはいけない。	
考えられる可能性(予想)と、予想される結果【もしどったら〜が値こるだろう】	
予 想	予想が正しければ何が起こりますか
① 水素	BTB液を入れて、緑になる。
② 二酸化炭素	石灰水を入れると白くになる。
③	

時間 シート	準備するもの	実験方法(操作・手順)	観察結果 (観察の記録・測定値)
0分	亜酸化ナトリウム、 塩化アモニウム 70%以上の水 試験管(2) ビーカー ゴム栓 ガラス曲管 ストンド 水そう 線香 マッチ	① 集める (2回)  ② BTB液を入れる  ③ 石灰水を入れる  ④ 線香の火を近づけた。 	① 試験管にお湯を少し入れると、発生しやすかった。 ② 緑色になった。(中性) ⑤ 変化なし。 ③ 線香の火が消えた。

実験方法の見直し	実験結果のまとめ(〜から〜が〜に停止)	考 察 [〜ということから〜といえる] (疑問点なども含む)
1. あなたの実験方法で予想を確かめることができましたか? (はい) いいえ 2. 計画通りに実験を行うことが出来ましたか? (はい) いいえ 3. 実験方法の改善点や他の班の結果から学んださらに良いと思う方法など。 他に、学校の水が何性かを調べる。(アルカリ性) (BTBを使う場合は蒸留水を使う)	① BTB液を入れたら緑色になった。 ② 石灰水を入れたら変化しなかった。 ③ 線香の火を近づけたら火が消えた。	火を近づけて消えたので、水素と酸素ではない。 石灰水を入れると白くならなかったから、二酸化炭素ではない。 BTB液を入れたら、中性を示したので、従って亜酸化ナトリウムと塩化アモニウムを混ぜると窒素になる。

窒素になる。

資料3：同じワークシートと指導展開を他の学習場面へ応用した例2（その1）

実験レポート 1年D組男(仮) 番. 氏名

実験テーマ: **光の屈折**

実験の目的: **空気からガラスへ, また, ガラスから空気へ進む光の道すじ** (入射角と屈折角の関係)

予備知識: **差しこぼし角は入射角。**

考えられる可能性(予想)と, 予想される結果【もし~だったら~が起こるだろう】

予想	予想が正しければ何が起こりますか
①	空気~ガラス, 屈折角が小さくなる。入射角が 20° だと屈折角は 10° になる。
②	ガラス~空気, 屈折角が大きくなる。入射角が 20° だと屈折角は 40° になる。
③	

実験計画

時間	準備するもの	実験方法(自作・準備)	実験結果(図解の比較・測定値)
10分	光源装置 入射台 半円形 レンズ 分度器		空気~ガラス 入射角 屈折角 10° 5° 20° 10° 30° 15° 40° 20° ガラス~空気 入射角 屈折角 10° 15° 20° 30° 30° 45° 40° 60° 50° 全反射して しまう。
片づけ ()分 まとめ ()分 計()分			

実験方法の見直し	実験結果のまとめ (~をしたら~が~になった)	考察 (~ということから~といえる) (疑問点なども含む)
1. あなたの実験方法で予想を確かめることができましたか? 2. 計画通りに実験を行うことが出来たか? 3. 実験方法の改善点や他の班の結果から学んださらに良いと思う方法など。 もっといいよ!! 質問!! とけば!! よかった!! (角度)	空気~ガラス 入射角を 10° にしたら 屈折角は 5° になった。 ガラス~空気 (50°から入射) 入射角を 10° にしたら 屈折角は 15° になった。 (15°から入射)	空気~ガラス 入射角を 10° にしたから 屈折角は 5° ということから, 入射角 > 屈折角といえる。 ガラス~空気 入射角を 10° にしたから 屈折角は 15° ということから, 入射角 < 屈折角といえる。 空気~ガラスの屈折角と同じ角度で, ガラス~空気へ光を進ませると, 同じ 道すじをとる。


同じワークシートと指導展開を他の学習場面へ応用した例2 (その2)

実験レポート

1年(組男・女) 番、氏名

実験テーマ: 光の屈折

実験の目的: 水中ガラスを斜めに物を見ると、いかな見え方した。どうしてこのおきこが起ころのか、空気→ガラス
 予備知識: ガラス→空気へ進む直のりを言明する。

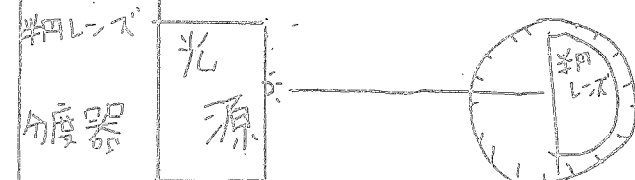


考えられる可能性(予想)と、予想される結果【もし~だったら~が起ころだろう】

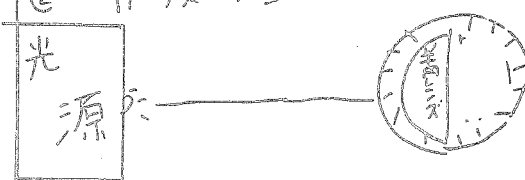
予想	予想が正しければ何が起ころりますか
① 空気 → ガラス	入射角 $30^\circ >$ 屈折角 20°
② ガラス → 空気	入射角 $30^\circ <$ 屈折角 40°
③	

実験方法(組内・年間)

① 空気 → ガラス



② ガラス → 空気




(測定の器具・測定値)
空気 → ガラス - ①

λ	0°	10°	20°	30°	40°	50°
屈	0°	8°	14°	22°	26°	29°
	60°	70°	80°			
	34°	37°	43°			

ガラス → 空気 - ②

λ	0°	10°	20°	30°	40°	50°
屈	0°	20°	30°	50°	80°	100°
	60°	70°	80°			
	120°	110°	100°			



ガラス → 空気に進むとき、入射角が ある角度まで
 いくと屈折しガラスから空気へ出る光がなくな
 くなって反射してしまう。これを **全反射** と呼ぶ

実験方法の見直し	実験結果のまとめ (~をしたら~が~になった)	考察 (~ということから~といえる) (疑問点なども含む)
1. あなたの実験方法で予想を確かめることができたか? (はい・いいえ) 2. 計画通りに実験を行うことが出来たか? (はい・いいえ) 3. 実験方法の改善点や他の班の指導から学んださらに良いと思う方法など。 少し、角度をつづけて見てたよう。	① 入射角を 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° にすると 屈折角が 0°, 8°, 14°, 22°, 26°, 29°, 34°, 37°, 43° になる。 ② 入射角を 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° にすると屈折角が 0°, 20°, 30°, 50°, 80°, 130°, 120°, 110°, 100° になる。	①は、入射角が 10°, 20°, 30° 反射角が 8°, 14°, 22° と入射角の 方が大きい。②は、10°, 20°, 30° 反射角が 20°, 30°, 50° となり 入射角の方が小さい。 入射角 > 反射角 (空気→ガラス) 入射角 < 反射角 (ガラス→空気) といえる

実験レポート

1年C組男・◎ 番、氏名

実験テーマ: 光の屈折

実験の目的:



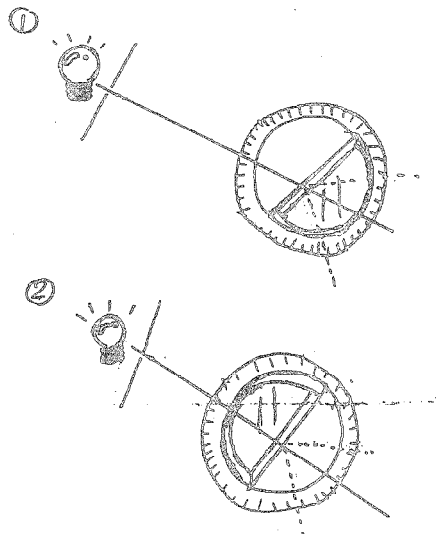
考えられる可能性 (予想) と、予想される結果 [もし~だったら~が起こるだろう]

予想	予想が正しければ何が起こりますか
① 空気 → ガラス	入射角より屈折角が <small>大きくなる</small>
② ガラス → 空気	入射角より屈折角が <small>小さくなる</small>
③	

準備するもの

- スリット台
- 円形レンズ
- 分度器
- セロハンテープ

実験方法 (操作・手順)



記録シート

		(入射角の記録・測定値)					
角④	0	10	20	30	40	50	60
角⑤	0	5	10	15	20	25	30
角④	0	20	20	30	40	50	60
角⑤	25	15	25	45	70		

片づけ () 分
 計 () 分

全体的

実験方法の見直し	実験結果のまとめ (～でしたら～が～になった)	考察 (～ということから～といえる) (疑問点なども含む)																																								
1. あなたの実験方法で予想を確かめることができましたか? (はい・いいえ) 2. 計画通りに実験を行うことが出来ましたか? (はい・いいえ) 3. 実験方法の改善点や他の組の結果から学んださらに良いと思う方法など。	<table border="1"> <tr> <td>角A</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>角B</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td colspan="8"> </td> </tr> <tr> <td>角A</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>角B</td> <td>25</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>45</td> <td>70</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	角A	0	10	20	30	40	50	60	角B	0	5	10	15	20	25	30									角A	0	10	20	30	40	50	60	角B	25	15	25	45	70			空 → ガは入射角が 10°・20°・30° のとき屈折角は 5°・10°・15° となることから屈折角の方が <small>小さい</small> といえる。 ガ → 空は入射角が 10°・20°・30° のとき屈折角は 20°・40°・60° になるので屈折角の方が <small>大きい</small> といえる。
角A	0	10	20	30	40	50	60																																			
角B	0	5	10	15	20	25	30																																			
角A	0	10	20	30	40	50	60																																			
角B	25	15	25	45	70																																					

1. 9 実践報告「教室内の空気 1 cm³中に含まれる
水蒸気の質量を求めよう」（2 学年）

授業者：岡田 大爾

訂正

ページ94～105の実践報告「教室内の空気 1 cm³中に含まれる水蒸気の質量を求めよう」について、タイトルも含め原稿中に現れる「cm³」は、すべて「m³」の誤りでした。ただし、98ページの「黒板にかかれた結果の表」下の注釈の部分は除きます。ご活用の際には、読み替えていただくようお願いいたします。

1 授業題目 「教室内の空気 1 cm³中に含まれる水蒸気の質量を求めよう。」

2 単元名 天気とその変化（2年）

3 単元での位置づけ

気象単元では、まず、生徒が天気の予測等の目標を設定して、身近な気象の観測を行う。その中で、さまざまな気象現象の各要素が相互に関連していることに気づき、天気変化の規則性を発見することによって、気象現象に対する興味関心が高まることが期待できる。また、観察、実験、観測を通して、天気の変化が、主として大気中の水の状態変化と大気の動きによって引き起こされることに気づき、さらに、気象現象を微視的な観点と巨視的な観点の両方から総合的に考察することの価値に気づいて感得していただく。

本小単元「大気中の水蒸気と雲」においては、雲・霧・気温・湿度、気圧などの身近な気象の観測や飽和水蒸気量・湿度・露点・気圧等の基礎・基本の学習をもとに、空気中に含まれる水蒸気の量や雲のでき方を推論し、それを検証する活動を通して、既存の経験や知識を縦横に駆使して、それぞれの方法・計画で主体的に学習を進めていくことが期待できる。

4 授業のねらい（どのような思考力や判断力をどんな状態からどんな状態に伸ばそうとしているか）

	実 態	目 標
実験観察計画力	実験・観察については、学期に1回くらい生徒達で計画を立てているだけで、普段は教科書を見たり、教師から方法を教えてもらったりしているため、生徒の多くは、実験方法を考えなくてはという気持ちはない。	普段から疑問に思ったことを確かめるために生徒達で主体的に実験方法及び、それを行う上での細かい留意点を考えることができる。
実験遂行力	自分達が考えたのではなく、教師から与えられた留意点に対しては、忘れて実験している生徒が必ず何人かいる。	自分達が考えた方法で正確なデータを求めようと留意点に注意しながら意欲的に実験を進めることができる。
実験批評力	実験操作についてあまり深く考えず、結果が自分達の予想通り出たら成功で、でなかったら失敗というような短絡的な見方をしてしまう生徒が少なくない。	実験中や実験後に、自分達の実験を振り返り、実験操作がうまくいっているか考える。
データの解釈力	目に見えるものに対してさえ、実験データからの解釈を主体的におこなわないこともある。目に見えないものについては、言われるまでデータ解釈を主体的におこなわない生徒がより多くなる。	実験データから解釈できることを主体的にさぐろうとする。 実験データから目に見えない水蒸気がメスシリンダの目盛りを使ってどのくらいあるか認識する。
要因分析力	自分達の班のデータが他の班のデータと比べて違うときは、単純に失敗したと考え、原因まで考えない生徒も見られる。データがどのようなことから影響を受けたか考える生徒もいるが多くない。	実験データを他の班と比較し、自分達の実験を振り返り、データがどんな影響を受けたか考える。 自分達の班や他の班のデータがどのようなことから影響を受けたかを考える。

5 授業の構成

	指導・支援	学習活動	留意点
導入	1) 空気中に水蒸気があるか問う。 そのように思う理由を問う。 2) 空気 1 cm ³ 中に含まれる水蒸気の質量を求める方法を問う。	予想をあげ、その理由や水蒸気存在の検証法を考える。 ・ある(水たまりがなくなる。洗濯物が乾く。)大多数。 ・ない(目に見えない。)ほとんどいない。 ・吸湿剤で吸収・露点を測定・乾湿計で湿度を出す等	・生徒の課題になっているか。 ・あると言わせてその証拠を求めさせる。
展開	3) 希望する方法の班に分かれて、 実験方法や必要な物を話合わせ、ホワイトボードに書かせる。 4) 方法を吟味後、実験させる。	やりたい方法の班に分かれて方法を考え、実験する。 ・吸湿剤をホースに入れて空気を通し、増加分を測る。 ・缶やピーカーに氷水を入れて露点を測定して求める。 ・乾湿計を作り、飽和水蒸気量に湿度の%をかける。	・方法を十分吟味しているか。 ・全員が実験に積極的に参加しているか。
まとめ	5) 結果の批評会の司会をする。 6) ワークシートにしっかり批評しているか見守る。	実験データを黒板に書いて他の班のデータと見比べてデータがどのような影響を受けたかを考え、発表する。 自分達や他の班の実験方法や実施状況を批評する。	・討論に積極的に参加しているか。 ・真剣に批評したか。

6 ワークシート

ワークシート _____ 組 _____ 番 _____ 氏名 _____

実験テーマ _____	
1 実験目標 (明らかにしたいこと)	
2 使える材料	
3 実験方法	
1	
2	
3	
4 予想	実験班 ()
自分の予想	実験班の予想
5 結果	
6 実験の方法について (とてもよかった ・ 少しよくなかった ・ よくなかった) その理由	
7 結果からわかったこと	

7 授業記録

まず、教師が「空気中には水蒸気があると思いますか。」と問うたところ、生徒の反応は、次のようになった。

「あると思う。」 33人

「ないと思う。」 2人

「分からない。」 1人

あると答えた理由を問うと「水たまりがしばらくするとなくなるから。」「洗濯物が乾くのだから空気中に水分が入っているはず。」「湿度が高いとかいうから」等があがり、ないと答えた理由を問うと、「目に見えない。」「100℃を越えていない。」等があがった。これに対して、「水蒸気は透明だから見えないじゃないですか。」という反論もあり、「やっぱりある」ということになった。

そこで、本当に空気中に水蒸気があるなら、どのくらいあるかを求めることになった。生徒の表情を見ると、生徒は引きつけられて十分生徒の課題になっているようだったので、空気 1 cm³中に含まれる水蒸気の質量を求める方法を問うた。まず、ノートにそれぞれ自分の考えた方法を5分くらいで書かせた後、発表を受け付けたところ、次のような意見があがった。

- ・「水取り象さん（吸湿剤）で水分を吸収させればよい」
- ・「露点を測定してその温度の飽和水蒸気量から実際に含まれる水蒸気量が分かる。」
- ・「乾湿計で湿度を調べて、それから水蒸気量を計算で求める」

次に、自分で求めたい方法毎に集まって班を作るか、今の班のままでもやりたいものを選ぶか聞いたところ、後者が1人に対して、前者の方が圧倒的多数で、前者のやり方に決定した。そして、テーブル毎に実験方法を指定して、子ども達が自分のしたい実験方法のテーブルに集まり、班を構成した。

次に、実験方法毎に集まった新しい班に具体的な実験方法と準備物を問い、話合わせ、ホワイトボードに書かせた。

○乾湿計を利用する班：1・2班

乾湿計を作り、湿度を求め、その気温での飽和水蒸気量に湿度の%をかけて、水蒸気の質量を求める。

○露点を利用する班：3・4班

ビーカーに氷水を入れて、ビーカーのまわりに水滴ができたときの露点を測定して、その気温での飽和水蒸気量を求める。

○吸湿剤を利用する班：5・6班

段ボール箱に吸湿剤を入れて質量の増加分を測る。さらに、通した空気が何cm³か段ボール箱の体積から計算し求めて1cm³では、どれだけ水蒸気が含まれているのか計算する。

以上のような方法を90cm四方のホワイトボードに書いて発表し、みんなからアドバイスを受けた。その結果、次のような改善が見られた。

○乾湿計を利用する班

湿度を1箇所1回だけの測定では、誤差があると言われ、1班も2班も乾湿計を複数作り、湿度の平均を求めることになった。

○露点を利用する班

ビーカーだったらガラスで、熱が伝わりにくいから金属にした方がいいとアドバイスを受け、4班では、本当に違いがあるのか、ガラスと金属の両方の容器を使って比べることにした。

○吸湿剤を利用する班

段ボール箱に吸湿剤を入れても、小さい箱だと誤差がでやすいし、大きい箱だと本当にすべての水蒸気を吸い取れるのか心配というアドバイスを受けて、6班では、大きい箱の中に吸湿剤をトレイに入れて交互に重ねて高い場所にも低い場所にも吸湿剤をおくようにし、さらに各角にも吸湿剤を置くようにした。

また、5班では、ホースに吸湿剤を入れて空気を通し、段ボール箱の体積で何杯分かの空気を通し、質量の増加分を測るように根本的に装置を改良した。そして、通した空気が何cm³か段ボール箱の体積から計算し求めて、1cm³では、どれだけ水蒸気が含まれているのか計算するようになった。

それぞれが、主体的にアドバイスを取り入れ、実験方法を改良して、実験を行った。黒板に表を書いて、各

班の実験結果をかけるようにしておいた。実験データが書き込まれるたびに、自分達の班のデータと他の班のデータを見比べて感想を述べたり、自分達や他の班のデータがどのような影響を受けたかを考えたりしていた。

そして、それらをもとにワークシートに記入していた。教師は、ワークシートにしっかり批評しているか見守り、そして、全部の班が結果を記入し終わった段階で、教師の司会で結果の批評会を行った。生徒は、黒板に書かれた実験データを見て、他の班のデータと見比べて自分達のデータがどのような影響を受けたかを考え、積極的に発表した。

黒板に書かれた結果の表

班	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	平均	1m中に含まれる水蒸気量
1 乾湿計	80%	80%	80%	80%	80%	80%	90%	90%	82.5%	15.4g × 0.825=12.71g 12.7g
2 乾湿計	85%	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81.5%	16.3g × 0.815=13.28g 13.3g
3 露点	13℃	14℃	15℃	15℃	15℃	15℃	15℃	15℃	15℃*1	15℃の飽和水蒸気量は12.8g
4 露点 缶 ピーカー	13℃ 12℃	14℃ 13℃	15℃ 13℃	15℃ 13℃	15℃ 13℃	/	/	/	15℃*1 13℃*1	15℃の飽和水蒸気量は12.8g 13℃の飽和水蒸気量は11.3g
5 吸湿剤	3.4g	/	/	/	/	/	/	/	3.4g	3.4g × 3.7=12.58g 約 12.6g*2
6 吸湿剤	1.6g	/	/	/	/	/	/	/	1.6g	1.6g × 7.4=11.84g 約 11.8g*3

*1: 1回目は、あっという間に過ぎてしまったので、正式なデータとせず、平均の計算には入れなかった。

*2: 45cm×30cm×20cmの段ボール箱の空気を10回分ホース内の吸湿剤に通したので 45cm×30cm×20cm×10回=270000cm³ 1m³=1000000cm³より 1000000cm³÷270000cm³=3.7倍

*3: 段ボール箱 60cm×50cm×45cm=135000cm³の中に吸湿剤を入れた。1m=1000000cm³より 1000000cm³÷135000cm³=7.4倍

結果の批評会の中でかわされた主な意見は、次の通りである。(尚、方言は、できるだけ標準語に置換。()内は教師が加筆。) 教師が司会をしながら、乾湿計の班から順に質問はないか、聞いて、質問に対してその班に答えてもらう形で進めていった。

生徒「1班は、なぜ90%、80%と急に大きく変わったのですか。もう一つ、1班と2班の違いはどうして起こったのですか。」

1班: 乾湿計は自分達で2つ作ったのだけれど、乾球温度計は、両方とも18℃でしたが、湿球温度計は、一方が17℃で、もう一方が16℃だったので、それぞれ湿度表で90%、80%になりました。また、2つの乾湿計で湿球温度計のガーゼの量はほぼそろえましたが、水の量とかで少しは違うためかもしれません。あと、自分の班の中でも10%違うから、2班との違いは、それに比べてほとんどないと思います。

2班: 2つの乾湿計の乾球温度計は、両方とも19℃だったが、湿球温度計は、一方が最初17.5℃で、次から17℃、もう一方は最初から最後まで17℃だったので、それぞれ湿度表で85%、81%になりました。1班との違いは、誤差(の範囲)だと思います。

2班: 1回目が85%と高くでたのは、湿球温度計の測定をするためののぞき込んだとき、息がかかったために0.5℃くらいあがったのではないかと思います。もしかしたら、組み立てる時に手でさわったときの温度が残っていたのがあるかもしれません。でも、やっぱり時間がたっているのだから、その可能性は少ないと思います。

生徒「4班で、ピーカーの方が、露点が低いようなのですが、なぜですか。」

4班: ガラスの方が金属より熱が伝わりにくいからだと思います。

教師「なぜ、熱が伝わりにくいと露点の数字が低くなるのですか。」

4班: ピーカーの中の水の温度が下がってもそれがピーカーの外側に伝わるのがおそいため、実際に、水滴がピーカーにつき始めたときには、ピーカーの中は、もっと温度が低くなっていると思います。

4班：付け加えなのですが、もしかしたら、ピーカーの方が、かき混ぜ方がたりずに、下の方が冷たくて露点に達していても上の方がそれより暖かく、温度計には、実際より高くでてしまったかもしれないと思います。

3班：さっきの意見だけど、もしピーカーの方が、かき混ぜ方がたりずに、上の方がそれより暖かく、温度計には、実際より高くでたら、本当の露点はずっと低かったということで、逆だと思います。

生徒「6班は、片方のデータが失敗したって言っていましたが、原因は何ですか。」

6班：吸湿剤をシャーレに多く入れすぎて、水分を吸収したら水があふれて箱がぬれてしまったので、はかれませんでした。

生徒「5班や6班は、他の班より水蒸気量が少ないのですが、理由は何だと思いますか」

6班：5班のように吸湿剤の中に空気を送り込むようなやり方ではないので、箱の上のすみっこの方とか箱の中の空気に含まれる水蒸気を全部は吸収できなかったためだと思います。もう片方は、そのために多めに吸湿剤を入れておいたのですが、さっき言ったようにあふれてしまいました。

5班：僕たちも気をつけて実験したつもりですが、少しずつ空気が抜けていたので、他の班より少なくなつたと思います。

8 授業者の所感

(1) 授業のねらいに即して、授業実践の結果はどうだったか。

○実験観察計画力

吸湿剤、露点、乾湿計を利用するなど主体的にさまざまな方法およびその実験を行うために必要なものを考え、ホワイトボードに書いて発表し、みんなからアドバイスを受けた。そして、それぞれが、積極的にアドバイスを取り入れ、実験方法を改良していた。

○実験遂行力

生徒は、自分達が考えた方法で正確なデータを求めようと留意点に注意しながら意欲的に実験を進めることができた。普段の実験では、積極的になれない生徒が、6・7人の班の時に1名くらいいることが多いが、今回は、ほぼ全員が実験に積極的に参加していた。自分達が考えた実験であったことが大きな要因と考えられる。

○実験批評力

自分達の実験を振り返り、実験がうまくいったか考え、実験データを他の班と比較し、データがどんな影響を受けたか考えていた。みんなが違う方法で求めていたので、みんなが同じ方法でやる実験より、実験データが違っている原因を探るために自分達の班や他班の求め方の違いに着目し、1つ1つの操作のどこが影響したのかを考えていたのが印象に残った。

○データ解釈力

実験データから水蒸気量が約13gと聞いてもピントこなかったが、目に見えない水蒸気量をメスシリンドラ目盛りからどのくらいあるか知った時は、意外と多いと感じた生徒が多かったことと、また、理科室全体では、ものすごい量の水蒸気だということを知って驚いていた。

○要因分析力

今まで自分達の班のデータが他の班のデータと比べて違うときは、単純に失敗したと考え、原因まで考えない生徒も見られたが、今回は、実験データを他の班と比較し、自分達の実験を振り返り、データがどんな影響を受けたか考えていた。また、データに影響を与えたと考えられる具体的な要因について、ただ単語をあげるのではなく、その要因がどのように働いたために数値がどのように変わった可能性があるかについて詳しく考えており、思考力を伸ばす意味で大変有効であると感じた。

(2) 実践結果から考えられること

○教師が生徒に聞きながら実験方法を考えていく方法では、どうしても、3分の1以下の生徒の発表で進めていくことが多くなるのに対して、生徒が班に分かれて自分達で実験方法を考えることが、子ども達の多くを表舞台に出させることにつながった。

○自分達の実験方法・実施状況を振り返り、実験データを黒板に書いて他の班のデータと見比べてデータがどのような影響を受けたかを考え、発表することを通して、生徒同士の質疑応答がすすみ、みんなで考えることのよさや自分で考えて実験を行っていることのおもしろさを味わうことができた。

(3) 成果と問題点

○このように自分達が実験方法を主体的に考えたことが、その後も自分達の班の実験方法や実施状況を積極的に批評し、討論に積極的に参加することにつながったものと考えられる。

○普段から疑問に思ったことを確かめるために生徒達で主体的に実験方法を考える力はつきつつあるが、細かい留意点を考えることはなかなか難しい。

(4) 今後の課題

○授業場面で出てくる生徒の考えのおかしい所をとっておいて、できるだけ生徒に気づかせるようにもっていき、生徒に指摘できた喜びを味わわせる。しかし、細かい留意点やデータ解釈等のさまざまな場面で、生徒が深く考えず、通り過ぎそうな時には、これこそ教師が専門的知識を活かして「この状態で本当に大丈夫か」等の改善の示唆を与えていかななくてはならない。教師は、子どもの思考の流れや傾向をつかんで、この示唆をタイミングよく、より適度な刺激となるよう与えることに努めたい。

(岡田 大爾)

9 総合的考察

本実践の題目は「教室内の空気1cm³中に含まれる水蒸気の質量を求めよう」であるが、水蒸気の求め方を教えて、その通りに生徒に実験させるのでは、従来の教え込みの理科に過ぎない場面である。しかし、授業者はまず、「空気中には水蒸気があると思いますか」という、多くの生徒が既有的知識や経験から「ある」と信じている事柄を取上げて追究することで、「ゆさぶり」をかけている。実際に9割以上の生徒が「ある」と思っていたが、「ない」と思っている生徒も2人いて、この段階で、討論を通じて、生徒たちが空気中の水蒸気についてどう認識しているかが学級全体に明らかにされている。これにより、必ずしも明瞭な根拠を持たずに「ある」と信じていた生徒たちも、より理論的な根拠に裏付けられた確信に至ることができたであろうし、「ある」とは思わなかった生徒たちは、納得して見解を変更することができたであろう。

こうした学級全体での共通見解を得た上で、次なる「ゆさぶり」として、授業者は「本当に空気中に水蒸気があるなら、どのくらいあるかを求める」ことを課題とした。この授業展開は、人間が生きていく上で習得すべき基本的な科学的態度を育むものである。というのも、人間は、それが正しいことを確かめもしないで、見たり、読んだり、聞いたりして、実に多くの「知識」を獲得しており、それを使えることが賢明だと思われがちであるが、実はその「知識」自体が間違っていることも十分にあり得るのである。デュエイ(J. Dewey)の言葉を借りるならば、「われわれは、受けてきた教育のために、言葉を観念だと思って、いろいろな問題を使って処理するのだが、その処理は、実際には、われわれが困難にもはや気づかないようにするような、そういう知覚の曖昧化にすぎないのである」ことに敏感でなければならない。小倉(1998)は、人間が用いる真理性の根拠の不明確な論理(「非形式的な論理」)の多様なパターンを論じた(本報告書の第2部基礎研究編を参照)が、科学教育では、真理性の根拠の不明確さについて、正当に評価し判断できる思考態度(メタ認知)を育成するものでなくてはならない。社会に出た後に、例えば、○○博士の推薦や経験者の話しを鵜呑みにして、正体のわからない健康食品に高額な代金を払ってしまうようなことのない科学的知性を涵養する必要があるのである。そのためには、「たとえ教師が言ったことであっても、根拠が明確でなければ、単純に信じるべきでない」と生徒に言える教師である必要がある。

「生徒の表情を見ると、生徒は引きつけられて十分生徒の課題になっているようだった」とあることから、2度の「ゆさぶり」が生徒たちの課題に対する主体的な探究意欲を高めるのに効果的であったとともに、課題そのものも生徒の知的要求に相応しい内容であったと判断できる。

生徒たちから3通りの実験方法が提案され、それぞれの生徒が取り組みたい方法を選択して、班を再構成したことも、生徒の主体性を最大限に保障しようとする授業者の配慮である。しかも、そのこと自体も、生徒た

ちに自主的に決定させている。「決定するのは君たちだよ」という授業者の一環した教育姿勢が窺われる。さらに、各班でより独自性のある実験方法を工夫する過程は、生徒が独創性を発揮し伸張する機会でもある。

また、各班で練られた計画が発表され、他班の生徒たちから指摘や助言といった建設的な批評（アドバイス）がなされ、それが受け入れられて実験計画が改善された一連の過程は、批評した側の生徒も、された側の生徒も、また、それを見守っていた生徒たちも、考えや計画を批評的に捉え議論することが、その改善に役立ち、大切な意味をもつということを実感させる。そのような批評を体験していない人々は、批評を個人を攻撃する、ないしは個人の価値や尊厳を下げるものとして嫌うであろう。授業記録からは、生徒たちが他の班の実験計画がうまくいくかどうかを親身に考え、実質的に有意義な批評をし合えた様子が分かる。そのことは、実験結果の発表においても、より良い実験結果の考察へ向けた助け合いとして示されている。

思考力や判断力の観点として授業者の取り上げた「実験観察計画力」、「実験遂行力」、「データ解釈力」、及び、「要因分析力」は、授業のねらいに即して、それぞれに具体的な成果が得られたことから、資質・能力の育成により重点を置きつつあるこれからの科学教育の授業設計に有用な示唆を与えるものである。論理的に思考や考察を展開し信頼できる判断を下す「論理的考察力」も、本実践では随所で育成させていると思われる。しかし、生徒のワークシートの例からは、生徒たちはまだ実験結果を考察する力が十分には身に付いていない状況にあると考えられる。この点は継続的に留意し改善に取り組む必要がある。また、今後の実践の発展として、状況から問題を見出す「問題発見力」や、実験可能な仮説として問題を形式化する「仮説設定力」などの育成についても、別の仮説検証的な問題解決が相応しい授業課題での実践研究に取り組むことが期待される。

文献：

小倉 康『物理実験の思考過程でのメタ認知促進による生徒の推理判断力の開発に関する研究』（平成9年度科学研究費補助金研究成果報告書）、国立教育研究所、1998年

J. デューイ著、松野安男訳『民主主義と教育・上』岩波文庫、230頁、原著1916年

(小倉 康)

9 生徒のワークシート事例 (その1)

実験テーマ _____

- 実験目標 (明らかにしたいこと)
教室内の水蒸気の量
- 使える材料
温度計, ガーゼ, ビーカー, ヨシ(拭紙, 乾湿計)
- 実験方法
 - 乾湿計をつくり, 部屋の体積をはかる.
 - 乾湿計から, 湿度を計る.
 - 計算する.
$$\text{湿度} = \frac{\text{空気 } 1\text{m}^3 \text{ 中に含まれる水蒸気量}}{\text{その気温での飽和水蒸気量}} \times 100$$

温度計 → (?) ↓
- 予想

湿度 × 飽和水蒸気量
乾湿計の気温から
教科書の表現? 飽和水蒸気量
比の。

自分の予想
教室内の水蒸気量は 1m^3 中に 10~11g だと思ふ。

実験班 (乾工班)
実験班の予想
同じ
- 結果

湿度が 82.5% だ

$$1\text{m}^3 = 12705 \leftarrow 0.825 \times 15.4$$

その気温での飽和水蒸気量
- 実験の方法について

(とてもよかった・少しよくなかった・よくなかった)

その理由
乾湿計の見方がおなじみにならなかつた。湿度が正確じゃなかつた。
みんなが協力して実験のやりかたを計測ができた。
- 結果からわかったこと
教室は雨の日は約 83% の湿度があり、 1m^3 には 12705g の水蒸気
が含まれている。

実験テーマ 教室の水蒸気量について

- 1 実験目標 (明らかにしたいこと)
理科室の水蒸気量 and 実験の際に使うビーカーと缶の違い
- 2 使える材料
ビーカー, 缶, 氷, 水, 温度計, ガラス棒
- 3 実験方法
1 ビーカー or 缶に水を入れる。
2 ①に、氷を入れて、温度が一定になるように、ガラス棒で混ぜる
3 ビーカー or 缶の側面が白くなつた時の温度を計る。
4 ①~③をくり返して、平均を出す。
5 露点を出し、その時の水蒸気量を調べる。
6 ビーカーと缶との違いを調べる。

実験班 (4班)

4 予想

自分の予想
・教室の水蒸気量は、あまり多くない。
・缶の方が熱を通しやすいので、露点の温度が低い。

実験班の予想
・教室の水蒸気量はあまり多くない。
・ビーカーと缶の露点は、異なる。

5 結果

缶とビーカーでは、缶の方が熱を通しやすく、露点の温度がビーカーより高い。

缶	13℃	14℃	15℃	15℃	15℃	平均	15℃	15.2g/m ³
ビーカー	12℃	13℃	13℃	13℃	13℃	13℃	13.2g/m ³	⇒ 1m ³ あたりの教室の水蒸気量

6 実験の方法について

(とてもよかった ・ 少しよくなかった ・ よくなかった)

その理由

- これは { みんなが協力してやっていたので。
- よい { 実験の内容を理解しながらやっていたので。
- 悪い { 実験をする時に、水の量などを知らなかった

7 結果からわかったこと

教室の水蒸気量は 15.2g/m³ であった。

缶とビーカーでは、缶の方が熱を通しやすく、露点の温度がビーカーより高い。

水蒸気量が上下した原因の予想

- ・ 温度計をすぐ読んで、すぐ定めたから。(上)
- ・ 水がよく混ざってなかった。(上,下)
- ・ 同じ氷を使ったので、解り方に差があった。(上)
- ・ 二回目のすぐ定めの時のビーカー and 缶が、前のすぐ定めのために、冷えていた。(上,下)
- ・ 水の量に誤差があった。露点計の読みが違った。(上,下)

実験テーマ 乾燥剤を使って教室の水蒸気量を調べる。

1 実験目標 (明らかにしたいこと)
教室内の水蒸気量

2 使える材料
乾燥剤、ダンボール箱、シャーレ、電子てんびん、ガムテープ

3 実験方法

1. シャーレに乾燥剤のつづをわける。
2. シャーレごと、電子てんびんでおもりをはかる。
3. ダンボール箱の中に、乾燥剤をかけたシャーレを入れる。
4. ダンボール箱の中に空気とかはいらぬようにガムテープでふさぐ。
5. 数時間(教日問)教室はおいでおく。
6. シャーレごと、電子てんびんではかる。
7. 箱ではかったおもり - 2ではかった重さ \div するとふせた量ができる
 実験班 (6 班)

4 予想

自分の予想
 教室ではそこまでじめじめしてなかったのて、
 水蒸気量は少ない方だと思ふ。

実験班の予想
 あまりかわらないと思ふ。

5 結果

	ふせた量	$1m^3$ の時
1日目	1.6g	約14g
2日目	失敗	

$$\frac{\text{ふせた量} \times 1000000 \text{ cm}^3}{\text{箱の大きさ (cm}^3\text{)}} = 1m^3 \text{ 中の水蒸気量}$$

$$1.6 \times 1000000 \text{ cm}^3 = 1m^3$$

6 実験の方法について
(とてもよかった) ・ 少しよくなかった ・ よくなかった)

その理由
 ちゃんと公式みたいなもの
 分かったから。

7 結果からわかったこと

水蒸気量は意外に多かった。

写真1：2班の活動の様子



写真3：6班の活動の様子



写真2：5班、3班の活動の様子



1. 10 実践研究のまとめと評価

本報告書に掲載した7人の授業者による8件の実践研究で得られた成果や示唆された事柄についてまとめる。「学習者実験計画反映法」によって科学的思考力・判断力の育成に関して得られた主な知見を各実践報告中の「総合的学習」から抽出し、本実践研究のねらいである【生徒自身に、実験を計画させること】、【課題に対する予測を明確にさせること】、【批評的思考とメタ認知を喚起すること】、【論理的に判断させること】、及び、【全体に関わること】の5つの観点からまとめるとともに、本実践研究の評価を行う。

【生徒自身に、実験を計画させること】

- ・事例 1.2「それぞれの班で、実験方法を考えさせたが、・・・当初、生徒たちだけの工夫で実験方法を構築するのは困難であった。・・・「教科書や資料集を参考にしてよい」という助言が、主体的な情報収集活動を導き、彼らの情報収集能力を育成する」
- ・事例 1.2「教科書での実験方法をそのまま適用するという単純な思考で止まってしまった生徒が大半であった。これを、より高次の思考へと発展させるには、「失敗の中からの学習」を待たねばならない」
- ・事例 1.3「生徒にとって方法を自由に計画することは初めてであったが、・・・たとえば教科書の実験方法を参考とした場合でも、生徒が独自の工夫を凝らして「全く同じことを計画した班がなかった」
- ・事例 1.3「課題が生徒にとって身近な事象であったことが、生徒の思考を促進した」
- ・事例 1.3「実際に事物に触れながら（実験方法を）考えさせることが、より効果的である」
- ・事例 1.3「生徒が独自の実験計画を立てるために使えるものを整備するとなると、従来にはなかった備品や消耗品を導入することも必要・・・独自性や創造性を育む理科とは、このような実験室の整備を必要とする」
- ・事例 1.3「時間的な保障が無くては、生徒たちは、考えることや工夫すること、じっくりと考えを試すことは不可能である」
- ・事例 1.4「本実践を行う基礎として不可欠な要素」
- ・事例 1.4「自ら計画を立てるということが、逆に、実験のねらいをより明瞭に認識させることにつながり、それによって、目的を達成しようとする意欲が高まった」
- ・事例 1.5「授業者は、「計画を立てる中で、自ら目的意識を高め、意欲的に実験を進める姿につなげていったのだと感じた」
- ・事例 1.7「学習課題が生徒に内面化され、主体的な解決意欲を高め、生徒自身に課題に対して必然性のある実験計画を立てさせることに成功」
- ・事例 1.9「「決定するのは君たちだよ」という授業者の一貫した教育姿勢が窺われる」

生徒自身に実験を計画させることは、生徒に実験のねらいを明確に認識させること、主体的な解決意欲を高めること、実験手順に必然性を持たせられる、など高く評価された。実践研究では、これを成功に導くためのいくつかの重要なポイントが指摘された。

まず、課題の性質である。課題が身近な事象であることは、生徒が実験を計画するのに効果的であった。しかし、課題がより科学的な性格のものである場合、生徒自身の工夫で実験を組み立てることは困難であった。その場合も、「教科書や資料集」などからの情報収集活動が可能である他に、実験後の批評的考察による「失敗の中からの学習」も効果的であることが分かった。また、課題を実験計画に結びつけるのに不可欠な要素を、事前に学習しておくことが必要であることも指摘された。

実際に事物に触れながら実験を計画することや、実験室に活用できそうな備品や消耗品を準備することなどは、生徒による実験計画を促進する物理的環境を工夫することへの示唆である。

時間的な保障が、生徒が自主的に実験を計画するために不可欠な条件であった。

教師については、生徒自身に自主的に判断し決定させる一貫した姿勢が有効であった。

【課題に対する予測を明確にさせること】

- ・事例 1.4「生徒自身が、思考と表現のツールとして、科学的な記号を用いることに習熟させる」
- ・事例 1.5「予想の段階で生徒から出てきたさまざまな予想は、生徒の頭の中で、心臓の物理的構造に関する初歩的な認知的モデル（メンタルモデル）を構築させることに役だったであろう」
- ・事例 1.5「実験観察に先立って認知的モデルを構築させたことで、生徒たちは課題を鮮明に意識することができたようである」
- ・事例 1.5「予想の欄に「考えられる結果とその理由（もし～すると～だろう）」と記入されている。この促しは効果的であった」
- ・事例 1.7「生徒が自らの知識や体験を活かして主体的に解決に取り組める課題として提示」
- ・事例 1.8「複数の可能性（予想）を想定した上で、それぞれについて「予想が正しければ何が起こりますか」という結果の予測へとつなげたことで、「実験仮説」を導いた」
- ・事例 1.9「2度の「ゆさぶり」が生徒たちの課題に対する主体的な探究意欲を高めるのに効果的であった」

課題に対する明確な予測を求めることが、科学的な思考と判断に有効であったとまでは結論できない。多くの事例では、生徒自身に実験計画を立てさせたことが、課題を明確に把握させることにつながったため、予測の効果は実質的にその過程に含まれていたと見なせるからである。

むしろ、本実践研究では、課題に対する予測よりも、課題の把握に重点が置かれていたと考えて良い。身近な課題設定やメンタルモデルの構築を促すこと、「ゆさぶり」の効果的活用などは、課題の把握をより確実にする工夫である。課題が確実に把握されていれば、予測を強調することはそれほど必要でないように思える。

しかし、一口に予測といっても、漠然とした予想と、理由を伴った予測、及び、実験で確証ないしは反証される実験仮説とでは、質的に異なる。少なくとも、理由を明確に意識させることは認識の深まりを導くと言える。その意味で、ワークシートの予想の欄を「考えられる結果とその理由（もし～すると～だろう）」と、より合理的な記述を求める表現としたことは意義がある。また、理由がはっきりしない場合でも、クラスで予測について討議する中で、他の生徒の予測を聞くことで、より明確な認識を得ることができた生徒もいたと考えられる。

唯一の結論を予測することは必ずしも適切でない。課題によっては、複数の可能性を予測させ、それぞれについて、検証実験を行わせることが、より多面的で総合的な問題解決を可能とすることがわかった。

【批評的思考とメタ認知を喚起すること】

- ・事例 1.2「実験結果の考察の段階で、生徒にそれまでの思考過程について反省的に捉えさせ・・・失敗や他の班の結果との相違から、反省的に改善点を見いださせることができる」
- ・事例 1.2「生徒たちの実験の仕方に関する自己評価は、・・・漠然としたものであり、実験そのものを反省して具体的に評価することはむずかしかった。・・・授業者の追究や指摘が必要であり、「同じ実験で結果が違ってくるのはなぜだろう」や「このような操作の違いで結果は違ってきてしまうのでしょうか」といった発問が、生徒の合理的な思考を誘発させるのに効果的であった」
- ・事例 1.2「生徒たちは、この場面（自分が問題無しと思い込んでいた実験方法が不適切であったとわかること）を通じて、「自分の思いこみは、いつも正しいとは限らなくて、考え直すことが必要となる可能性がある」というメタ知識を獲得していく機会を得るのである。・・・逆に、誤る可能性を排除した既成の実験方法にしたがって実験を行うだけの活動をしてきた生徒たちは、こうした認知能力を培う機会を持たない」
- ・事例 1.3「実験の仕方のどこに問題を感じるかの反省的な検討を、言葉に表現できるように

促す」

- ・事例 1.4「教師が指示してばかりでは、学習過程を自発的に修正し改善していく行動は育たない。・・・生徒の行為に誤りに気づいた教師にとって、・・・指示しないで、生徒自らが誤りに気づくまで待つことが求められ・・・ただ待つだけで成功するものではないが、本実践では、生徒自身が計画を立てることが、それに結びついた」
- ・事例 1.7「実験計画を画用紙に書かせて、実験前に全体で確認していることは、課題解決へのアプローチが一通りではないという科学観の育成とともに、他の班のアイデアがうまくいくものかどうか批評的に捉えることで批評的思考力の育成につながる」
- ・事例 1.7「物事を批評的に捉える力・・・が育成されている」
- ・事例 1.9「考えや計画を批評的に捉え議論することが、その改善に役立ち、大切な意味を持つ」
- ・事例 1.9「生徒たちが他の班の実験計画がうまくいくかどうかを親身に考え、実質的に有意義な批評をし合えた」

実践研究から、本授業法が、生徒たちが物事を批評的に捉える力を育成するのに効果的であったことが窺える。それを可能とする観点がいくつか上げられている。

まず、ただ生徒たちに自己評価させるだけでは、批評的な思考は喚起されない。具体的な評価の観点が生まれるような教師からの効果的な発問が必要であった。また、失敗を経験することも批評的思考を伸ばす上では効果的であった。評価すべき事柄について、段階尺度により感覚的に丸付けさせるだけでなく、批評の内容について言葉で表現させることが必要とわかった。

生徒たちの相互比較も効果的であった。他の生徒や班の実験計画や実験結果から、自らの改善点や問題点を見付けることができた。また、「問題の追究には複数のアプローチがあり得る」というメタ知識を習得させることにもつながると評価された。

相互比較とともに相互批評も効果的であった。他の班の実験がうまくいくかどうかを親身に考えるという姿勢が、「批評は、善し悪しを決めるものではなく、お互いがより良い学習が行えるように助け合うものだ」というメタ知識を習得させ、学びのための協調的な学級づくりにつながるものと期待される。

さらに、生徒が実験を計画することが、批評的思考においても効果を与えた。生徒に自らの問題として学習に傾倒させることが、批評的思考やメタ認知の育成に重要であることがわかる。

【論理的に判断させること】

- ・事例 1.2「実験でどこまでわかり、どこからが解釈や判断なのかが区別できるように指導する必要がある」
- ・事例 1.2「ワークシートにおいて、・・・「考察」の項目を設けることで、（結果と解釈との）区別を明確にすることが可能であろう」
- ・事例 1.4「見た目の違いを超えて、機能的な同等性を認識する能力を育成する」
- ・事例 1.4「どのような記述がより正確な表現となるかについての事例的な学習を検討してはどうか。「教師の作成した記述例や、ある生徒の記述例に基づいた具体的な検討を生徒とともに行うことが、より正確な表現の仕方を習得させるのに有効ではないか」
- ・事例 1.7「論理的思考に裏付けられたコミュニケーションを展開する態度が育成されている」
- ・事例 1.7「実験の課題に対して、予想し、確かめるための実験方法を考え実施したのだから、結論は課題に答えるものである必要がある」
- ・事例 1.8「様々な可能性が考えられる場合には、それぞれについて実験仮説を設定し、それらの実験で得た結果を総合して、結論を導くことが必要」
- ・事例 1.8「結果と解釈が異なるものであるという認識を、すでに中学1年の段階でほぼ確立していることは高く評価できる」

論理的思考を促すためにもっとも重要と言えるのが、実験課題ないしは実験仮説と、実験結果、実験でわかったこと（結論）、及び、考察ないしは解釈の相互の区別が付くように指導するとい

うことである。実験は課題について調べる、ないしは、実験仮説を確かめるものであるから、結論がそれらに対応していないことが論理的整合性の無いことを認識させなくてはならない。また、実験結果は実験で測定したり観察した事実であるにもかかわらず、その結果からわかること（結論）が結果の欄に記述されることが多い。あるいは、実験結果からはわからないことまでが、解釈されて実験結果として記述されることが多い。こうした論理の飛躍を認めないことが科学本来の合理的精神を育成することにつながる。本実践研究では十分に実施されていないが、生徒自身に論理性についてチェックさせたり、相互にチェックし合うような批評的思考を促す指導も効果的と考えられる。

そのために、ワークシートでは、結果と結論の区別が容易になるような補助的説明を付け、事例 1.8 では相応の成果が得られた。同様の効果を研究したものに、松原(1996)^{*1}による定型文を利用した実験レポートの書き方指導の実践研究報告がある。

論理的思考を促すユニークな工夫としては、見た目が異なっても機能的な同等性を認識させたことが、形式的な論理操作を促すことにつながったと考えられることや、複数の可能性を確かめた実験において、多面性を持つ実験結果を総合的に考察させて結論を導かせるというより高度な論理的思考を育成する機会を与えたことが上げられる。

【全体に関わること】

- ・ 事例 1.2 「授業者自身、「学習者実験計画反映法」による授業が「実験計画力はもちろん分析力や思考力を伸ばすとともに、課題に対する主体的な取り組みと問題解決力の伸張に大変有効である」と実感して、「中学校だけでなく小、中、高と計画的、発展的に実施していく」ことを求めている」
- ・ 事例 1.3 「生徒の思考力や判断力を育成する教育における授業時間の捉え方は、既成の事実や概念を伝えてきた従前のカリキュラムにおける捉え方とは異なる」
- ・ 事例 1.3 「授業時間数を増やすことも主張すべきである。それが結果的に、より多くの生徒の意欲的で生産的な学習に結びつく」
- ・ 事例 1.6 「授業は、課題づくりの重要性や、活動結果から論理的に結論を見出させること、思考時間を保障すること等で改善の可能性がある」
- ・ 事例 1.7 「多様な理論や手法が社会的に議論され、科学的な事実によって淘汰されていくことは、科学の世界の本質でもある。理科の学習において、生徒たちにそうした科学の本質に迫る体験をさせ、それに相応しい思考力や態度を培う」
- ・ 事例 1.7 「人間は誰でもいつでも間違える危険性があるという認識を尊重して、問題の有無を客観的に判断できる態度を示す」
- ・ 事例 1.8 「「実験の目的→予想を立てる→実験計画を立てる→実験結果をまとめる→考察する」という流れがうまくつながった」
- ・ 事例 1.8 「各班での実験計画や実験結果の発表を通じて、問題解決を社会的に進めている」
- ・ 事例 1.8 「現実の科学的行為においては、問題事象を多面的に分析し、結果を総合して最終的な判断を下す」
- ・ 事例 1.8 「現実の世界では、予測された可能性のいずれも正しくなかったということが頻繁に起こりうる。「人が予測できる範囲が限られている」ということは大切な科学観である」
- ・ 事例 1.8 「問題事象に遭遇した際に、自分の勝手な思い込みで原因を特定することが誤った行動を引き起こすことを理解し、多面的な可能性を考えることのできる思考力と、他人からの指摘を受け入れることができる態度を習得し、それぞれの可能性を科学的に分析した結果から、論理的に導かれた結論を認めつつ、検討されなかった可能性も考慮して、総合的に判断を下す資質の育成」

^{*1} 松原静郎『高校化学・中学理科における表現力育成のための個人実験教材と実践報告』文部省科学研究費研究中間報告書、国立教育研究所、1996年

- ・ 事例 1.8 「汎用的なワークシートをいろいろな場面で繰り返して用いることは、このワークシートに反映されている科学的問題解決の過程に関する生徒の認識を、より確かなものとするにつながる」
- ・ 事例 1.9 「人間は、それが正しいことを確かめもしないで、見たり、読んだり、聞いたりして、実に多くの「知識」を獲得しており、それを使えることが賢明だと思われがちであるが、実はその「知識」事態が間違っていることも十分にあり得る」
- ・ 事例 1.9 「科学教育では、真理性の根拠の不明確さについて、正當に評価し判断できる思考態度（メタ認知）を育成するものでなくてはならない」

「学習者実験計画反映法」そのものについては、実践によって高く評価されたことがわかる。これを小、中、高と拡大し計画的、発展的に実施することや、そのために授業時数の確保が必要なが主張された。ワークシートもより汎用性のあるものが示された。

科学観や教授観に関わる主張が多く含まれることは、この教授法が、形式的なテクニックを超えて、これまでの理科教育のあり方そのものに対する転換を要求するものであることを示している。生徒たちに何を伝えるべきか、そのために指導はどうあるべきかに関するメッセージを伝えるものである。

以上から、本実践研究のねらいはほぼ達成されたと考えられる。実践に先立って、暫定的に設定した授業の流れについては、大きな変更は必要ないものと思われる。ワークシートについては、課題や状況に応じて工夫されたものが実践報告中に見られるのでそちらを参考にさせていただきたい。実践報告 1.8 の小野瀬氏のものは、特に汎用性を重視して作成されたものである。

実践研究を締めくくるに当たり、研究代表者として、「学習者実験計画反映法」が、今後、理科授業で広く活用されることを希望する。本研究で示したのは中学校での事例のみであるが、小学校及び高等学校で活用できないわけではない。ぜひとも実践事例をお寄せいただきたい。

第二部 基礎的研究編

科学教育における 思考力・判断力の育成に関する考察

第二部では、科学教育で育成しようとする学習者の科学的な思考力・判断力を理論的に捉えるための枠組みづくりについて考察し、次に、科学的な思考力・判断力に関する諸外国のカリキュラム面での扱われ方の事例として、アメリカとイギリスでの事例を紹介する。さらに、今後、わが国の科学教育が資質・能力の育成に重点を移していくためには、教育実践を規定している文部省学習指導要領のあり方が問われなくてはならない。そこで、最後にその点についての私見と私案を述べる。

2. 1 科学的な思考力・判断力に関する考察

2. 1. 1 科学的な思考力・判断力はどう捉えられてきたか

教育において科学的な思考力・判断力を育成することが重要であるという主張を否定する人はたぶんにいないであろうが、「科学的な思考力・判断力」が何なのかについての明確な答えがどこかに有るわけではない。それどころか、「科学」が何なのかについて、「科学哲学」という学問で今日まで議論が継続しているのであって、「科学的な思考力・判断力」という言葉は、人や立場によって捉われ方の異なるかなり曖昧な概念である。

科学的な思考といっても心理学用語辞典に載っているわけではない。認識中に、そのようなものが独立して存在し成長するというのではなく、認識が高度化し、特殊化してくるにつれ、思考作用におけるある特徴や機能を解釈して科学的であるとしているに過ぎない。しかも、その解釈の仕方も人によりまちまちで、定まったものではない。

庄司^{*1}氏はそれまでの研究における科学的思考の規定（定義）を以下のようにまとめている。

「①さて科学的に物を考えるとはどういうことか、……まず答えるとすれば、「経験的な事実を根拠として推論する」とでもいえよう。（湯川秀樹「科学的思考について」昭和二二年）

②科学的思考が、普遍を思考する抽象能力にあることは最初からはっきりしていた。（森徳治「科学的思考の発達」昭和二八年）

③法則定立的認識作用をなすものを科学的思考とみる（日本理科教育学会『小学校理科教材研究』第三章・昭和三年）

④「科学的思考」の定義となると、……われわれは、これを、合理性と実証性とを特質とする思考様式と解することにしている。（永田義夫「科学的思考と理科教育」昭和三三年）

いずれも歴史的な価値を持つ規定です。そしてそこから、帰納論理・演繹論理・直観・洞察力・類推・模型による考察法・弁証法的発展（①）、主観的思考・客観的思考・普遍的思考・移行期（②）、アニミズム・抽象的な客観的思考作用・仮説・観察力（③）、客観的・帰納的・仮説・演繹法・事実・たしかめ・因果関係（④）、といったような概念が浮きぼりにされつつ、その研究や考察が展開されています。」（81頁、下線部は原著者による）

これらの規定は、今でも多くの人が考えている科学的な思考と大きく変わらないものと思われるが、庄司氏はそれらに「問いかけの論理」という肝心な点が欠けていると指摘し、前科学も科学のうちと考へて、科学的な思考に「第一段階の気持ち的思考、第二段階の比喩的思考、そして第三段階の原理的思考」の三段階を認めた。どの段階が最上なのかは一義的には決まらず、どれもが使えるというのが一番良いとした。

このように、科学的な思考をどう捉えるかについては、わが国においても歴史的にさまざまな見解が出されており、それらが収束する方向では議論されてこなかった。

1960～70年代にこれに関する議論をより複雑にしたのは、欧米におけるカリキュラムの現代化運動とともに、思考力の発達に関するさまざまな理論が紹介されてきたことである。J・ピアジェによる具体的操作期から形式的操作期への論理的思考の発達段階論、教材の構造を子どもの表象形態に翻訳することで難しい内容も学習可能と説いたJ・S・ブルーナーの発達段階論、そして、行動主義的心理学者のR・ガニエによる階層的学習論等が、それらを反映して開発されたとされるSCISやESS、SAPAといった科学カリキュラムとともに相次いでわが国に紹介され、あたかもそれらに基づけば効果的に「科学的思考」が育成されるような印象を与え、わが国にも相応に影響を与えてきた。しかし、開発された米国でもそれらが定着することはなく、1980年代以降、認知心理学や構成主義学習論の興隆を受け、さらに異なった考え方へと変化してきた。

*1 庄司和晃『科学的思考とは何か』明治図書、1978年

こうして科学的な思考に関してさまざまな見方がある中で、小倉(1992)^{*1}は、理科教育で育成されるべき科学的思考力をJ・ピアジェに由来する「論理的思考力」とR・ガニエに由来する「科学のプロセススキル」の立場から論じたが、これらは庄司氏の言う「問いかけの論理」を欠くものであった。その後、小倉(1998)^{*2}は、問題解決の際の推理判断過程に着目して「推理判断」を捉える理論的枠組みを提案した。これは、非科学的な推理判断を含めた、より包括的な思考と判断に関する枠組みを示したものである。非科学的な推理判断を含めることで、その対比により「科学的な推理判断」を捉えることが可能となった。そして、科学的な推理判断を展開するためには、非科学的な推理判断を認知でき制御することを可能とする「メタ認知」が必要であることが導かれた。

そこで、科学的な思考力・判断力に関する考察として、以下ではまず、この「推理判断」に関する理論的枠組みとその構成要素について述べた後、科学的な思考と判断を展開するための「メタ認知」について論じ、その上で、この理論的枠組みの視点から「論理的思考力」と「科学のプロセススキル」を捉え直す。そして、まとめとして、理科授業における科学的な思考力・判断力を育成へ向けた示唆を行う。

2. 1. 2 「推理判断」を捉える理論的枠組み

従来、「推理」(英語で reasoning)は、論理学上の「演繹的推理」(deduction)と「帰納的推理」(induction)に大きく二分され、前提となる論理と導かれる結論との関係の形式化によって、さまざまな推理様式の違いが特定されてきた。教育的には、誤謬の無い推理能力の獲得が目的とされるために、教育で「推理能力」(reasoning skills)と言うときには、演繹的推理に基づく「論理的思考力」(logical thinking)ないしは「形式的な推理能力」(formal reasoning skill)の意味合いが強い。一方、科学的探究における推理様式は、仮説を設定したり、法則性を導き出す過程で、「帰納的推理」に依るところが大きい。これについては、「類推」(analogy)のほか、実験的探究方法に関するJ.S.ミルの分析や、「仮説演繹法」に関するC.S.パースによる形式化が知られているが、人間は、発見や発想を生み出す推理のしくみについて、未だ十分に解明できてはいない。

最近20年の動きとして、認知に関する心理学が盛んとなり、特定領域の熟達者の思考分析や、日常行動などの分析によって、人間の推理は、従来考えられていたよりもずっと多様で複雑であることが明らかとなり、「演繹」や「帰納」といった推理様式の違いよりはむしろ推理される内容の特殊性に依存する「非形式的な推理」(informal reasoning)に関する研究が多くなされるようになってきた。

「非形式的な推理」の研究は、日常的な推理や熟達者と初心者の比較、信念、アナロジーや比喩、事例や極端例の利用、直観、意志決定など、多岐にわたっている^{*3}。小倉^{*4}は、物理専攻の大学生の物理問題解決過程を分析して、彼らが、「手続き的知識」をア・プリアリ(経験を必要としない真理性)に信じ込んで、推理過程で矛盾に遭遇してもそれを修正することは非常に困難ないしは不可能であり、修正を回避するために、望ましい結論が得られるような後ろ向き推論を行って、場あたりの(アド・ホック)な論理を生み出したり、アナロジーを利用したり、論理的矛盾に「まあ、いいか」と妥協したり、あくまで直観や信念を貫いたり、場合によっては物理法則を歪めて解釈したり、協同解決者と安易な合意に至ったりしたことを報告した。

この例のように、従来は「判断」は、「推理」に基づくという意味で「推理」の後に位置づけられ

^{*1} 小倉康「科学的探究能力と理科の教育課程」日本理科教育学会編『理科教育学講座1－理科の目標と教育課程』、東洋館出版、264-280頁、1992年

^{*2} 小倉康『物理実験の思考過程でのメタ認知促進による生徒の推理判断力の開発に関する研究』平成9年度科学研究費補助金研究成果報告書、国立教育研究所、1998年

^{*3} Voss, J. F., Perkins, D. N. & Segal, J. W. (Eds.) "Informal Reasoning and Education" Lawrence Erlbaum Assoc., 1991.

^{*4} 小倉康「物理問題解決場面における推論の合理性に関する研究－手続き適地式と科学概念との矛盾の解決方略－」日本科学教育学会誌『科学教育研究』Vol.17(4), pp.189-197, 1993.

るものであったが、実は「判断」が先あって、それを可能にするような「推理」も存在するのである（これを「手段-目標分析」(means-ends analysis)と言うことがある）。したがって、「推理」と「判断」を明確に分離することは、必ずしも実態に沿わないのである。これが、単に「推理」でなく「推理判断」とする所以である。

小倉の例は物理専攻の大学生の例ではあるが、実際には、人間が生活場面で遭遇したり利用したりする「推理」には、形式的に表現することが妥当でない、さまざまな「非形式的な推理」様式が存在する。そこで、論理（知識）さえ間違っていなければ正しい解を導ける「推理能力」ではなく、論理そのものが不確かかも知れない状況でも、より適切な解を求めることを可能とする「推理判断力」が重要なのである。

しかし、そのためには、推理する主体者である生徒自身が、「非形式的な推理」について認識し、用いる論理の誤謬性に気づくことができ、さらにそれをより合理的な推理に修正し展開できることが必要である。つまり、推理過程そのものに対する批評的思考(critical thinking)が必要なのである。これは認知に対する認知という意味で「メタ認知」(metacognition)と言える。この「メタ認知」については次項で述べる。

図 2.1.2 は、「非形式的な推理」を含めた「推理判断」の多様な様式を分類したものである。この枠組みでは、「推理判断」をその前提となる「命題」と「推理様式」とに分け、前者を真理性の根拠の明確なものとしての「形式的な論理」と、不明確なものとしての「非形式的な論理」の2つに分けて捉えている。

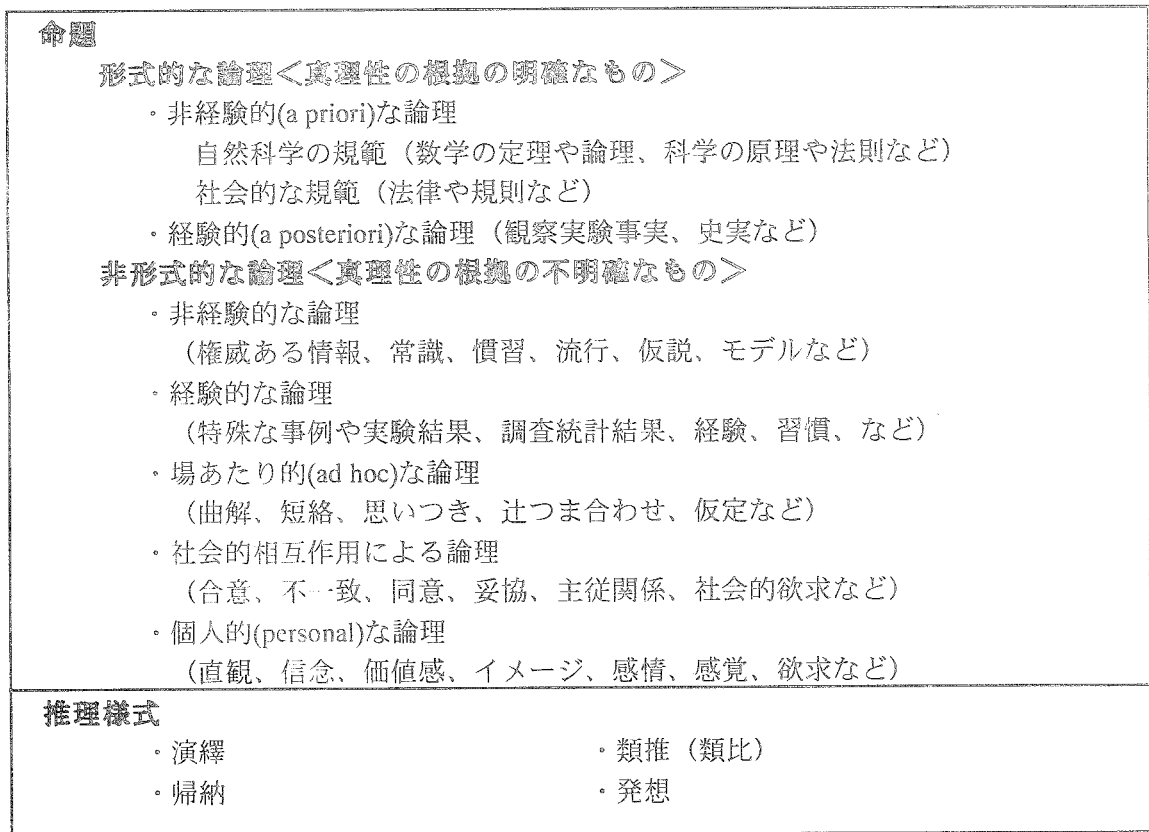


図 2. 1. 2 「推理判断」の分類枠組み

(1) 「形式的な論理」に基づく推理判断

「形式的な論理」は、真理性の認知に経験を必要としない「非経験的な(a priori; 「超経験的」とか「先天的」とも訳される) 論理」と、真理性の認知が経験に基づいている「経験的な(a posteriori)論理」の2面に分けて捉えられる。

「形式的な論理」における「非経験的な論理」では、数学の定理や論理、科学の原理や法則など自

自然科学の体系を成す規範と、法律や規則など人間社会が定めた規範を区別している。これらは、それぞれ科学者の世界や、特定の間人社会における「推理判断」では、ともに経験にかかわらず真理として扱われる、一種の「パラダイム」を構成する要素である。しかし、科学の世界でも「パラダイム・シフト」の生起は、この類の真理性が実は暫定的な約束事であって絶対的なものではないことを意味しているし、また社会規範についても、異なる社会ごとに異なる社会規範が存在するという意味で、真理が相対的であることを認めるものである。数学的な論理には、極端例などの方略的知識を含む。極端例は、例えば三角形の1つの角を限りなく 180° に近づけると、内角の和が 180° ということを理解できるなど、現実にはあり得ないとか想像上の条件を例示して、推理判断に用いるものである。

「形式的な論理」における「経験的な論理」は、再現性、普遍性のある「観察実験」に基づいた事実や、解釈の不要な歴史上の事実であり、これらも、論拠に真理性を与えるものとして「推理判断」に用いられる。

(2) 「非形式的な論理」に基づく推理判断

「非形式的な論理」については、論拠が経験に依らない「非経験的な論理」と、経験を論拠とする「経験的な論理」、説明のために場あたりの生成される「場あたりの(ad hoc)な論理」、協同で推理判断する際に他者との相互作用で生成される「社会的相互作用による論理」、及び、他者には共有することの困難な「個人的(personal)な論理」の5側面に分けて捉えられる。

「非形式的な論理」における「非経験的な論理」には、まず、社会的権威のある人(専門家、教師など)の発言やメディアや機関の発した情報(テレビ、新聞、教科書、解説書、機関誌、など)としての権威ある情報が含まれる。それらの情報は、虚偽の可能性は否定できないにも関わらず、信頼すべき情報として推理判断に用いられやすい。また、社会的な常識、慣習、流行も、その真理性を問われることなく推理判断の論拠となりうる。仮説は「隕石恐竜絶滅説」のように、真理性を保留したまま、推理判断に用いられる。モデルも仮説に似て、それが実物ではないという虚偽性を保留したまま推理判断に用いられる。

「非形式的な論理」における「経験的な論理」は、一般的でない特殊な事例や追試されない実験結果、コンピュータ・シミュレーション等による仮想的実験結果、心理学や社会学における調査統計結果、個人的な経験、習慣、などを論拠に推理判断しようとするものであり、いずれも帰納的誤謬に結びつく可能性のあるものである。

「非形式的な論理」における「場あたりの論理」は、自己の主張や期待する結論を導いたり擁護するために、逆にそうした結論を導くような前提として生成されるもので、事実や原理を曲解(歪めて解釈)したり、「要するにこの違いは誤差だよ」などと短絡したり、その場の思いつきで済ませたり、一般的には、辻つま合わせの類である。「宝くじが当たれば、家が買える、そのために物件を調査しておかねばならない」といった「仮定」も「場あたりの論理」である。前出の小倉の研究でも、理学的問題解決過程でのアド・ホックな推理判断事例が報告されている。また、科学史的には、18世紀のプロギストン説が燃焼時に金属の質量が増加する矛盾事態を、プロギストンを負の重量として説明したことが有名である。

「非形式的な論理」における「社会的相互作用による論理」は、例えば二人で協同して推理判断する場合に、論理の中身にかかわらず二人が合意すればその論理を真理としてしまったり、意見が不一致であることからその論理を破棄したり、一方が他方の意見に同意したり妥協したり、主従的な関係があったり、あるいは両者が「速く作業を済ませたい」といった欲求からその論理を認めたり、といった状況での論理を意味している。

「非形式的な論理」における「個人的な論理」は、個人の直観や信念、価値感、イメージ、感情、感覚、欲求などに基づいて生成された論理で、根拠そのものが曖昧かつ個人的なものである。

(3) 推理と判断

これらの多様な論理のそれぞれは、命題(proposition)として用いられ、そのものが「判断」に直結するほか、複数の命題を前提として「推理」することによって、「判断」が導かれる。「推理」の様式

は、「演繹」「帰納」「類推」及び「発想」の4面から捉えられる。端的に言えば、「演繹」は一般則から特殊・個別事例を導くもの、「帰納」は特殊・個別事例から一般則を導くもの、「類推(類比)」は一般則から一般則ないしは特殊・個別事例から特殊・個別事例を導く一つの方法、「発想」は思いつきから一般則あるいは特殊・個別事例を導くものである。

「形式的な論理」に基づいて演繹推理し判断した場合は「形式的な推理判断」であるが、「非形式的な論理」に基づいて演繹推理し判断した場合は「非形式的な推理判断」となる。

「帰納」と「類推(類比)」及び「発想」は、用いる論理の真理性にかかわらず、推理様式そのものが誤謬性を内包している。

「類推(類比)」は「発想」を要する。C・S・パースが2つの型に分けた発想(abduction)がそれらに対応する。前者は、「BはP1, P2, P3などの性質をもつ。Aも然り。故にBはAであろう」、後者は、「Bは不可思議だ。だがもしAならばBなりであれば不可思議はない。故にAであろう」のように定式化される¹⁾。「仮説」、「モデル」、「思いつき」、「直観」など、「非形式的な論理」の多くが、この後者の類の「発想」によって生成されると考えられる。

(4) 分類枠組みの妥当性

以上の「推理判断」の分類枠組みは、それ自身が非形式的で非経験的な「モデル」で、「真理性の根拠は不明確」であるが、これによって多様な「推理判断」を演繹的に分類することが可能となる。その妥当性を検討する必要があるが、本項で述べてきたように、この分類枠組みが理論的に説明する能力を持つことは認められる。他の基準との比較となると、論理学において特に「非形式的な論理」に関する枠組みが一般化されていないことが近藤ら(1964)¹⁾、Copiら(1992)²⁾、Walton(1989)³⁾らの著書から分かる。したがって、暫定的にこの枠組みを認めた上で、今後の適用を通じてその妥当性をさらに検討すべきと考える。

(5) 科学教育と「推理判断」

科学教育で育成しようとしている推理判断力については、従来は「形式的な論理」に基づく推理判断のみが強調されてきたと考えられる。理科の授業においては、真理とされる科学の原理や法則を演繹的に問題に適用することや、観察実験結果から論理的に結論を得ることに重きが置かれた。

しかし、現実の社会では、真理性の不明な仮説やモデルを立てて推理したり、個人的な経験からアイデアが浮かんだり、理由もなく直観的に答えを考えたりする。これは科学者に限ったことでなく、人間に広く備わっている創造的な思考力である。このような「非形式的な論理」に基づく推理判断も、科学教育で育成する必要があるというのが本研究の主張である。逆に、「権威ある情報」だからといって無批判にその論理を受け入れてしまうような推理判断、友達が皆「同意」したからといって自分の主張が正しいとするような推理判断、など、科学教育を通じて戒めていかなければならない推理判断である。

生徒ばかりでなく、教師の思考様式についても、生徒にとっては非経験的で真理性の不明な論理であるにもかかわらず、「教科書に書いてあるから」とか、「科学ではそういうことになっているから」といった「権威」を振りかざした教え方をしていないか、不適切な場で多数決をしていないか、理由を示さずに特定の子どもの意見のみを採用したりしていないか、うまくいかなかった実験結果をただ誤差のせいにして辻つま合わせしていないか、など、批評的に分析することが可能となる。

このように、暫定的にはあれ、「推理判断」を捉える理論的枠組みを設定することで、科学教育で育成されるべき生徒の推理判断をより明確にすることができるとともに、教師と生徒、生徒と生徒のコミュニケーションについても、推理判断の観点から分析することができるようになる。

¹⁾ 近藤洋逸、好並英司『論理学概論』岩波書店、1964年

²⁾ Copi, M. I. & Burgess-Jackson, K. "Informal Logic (2nd Edition)" Macmillan Pub., 1992.

³⁾ Walton, D. N. "Informal Logic" Cambridge University Press, 1989.

2. 1. 3 「メタ認知」の重要性

「メタ認知」は Flavell (1976)¹⁾ によれば「「メタ認知」とは、その人自身の認知過程と所産、あるいは、それらに関連したことすべて（たとえば、学習に直接関係する情報やデータの属性）に関する知識を指している。例えば、自分にはBの学習よりもAの学習の方が難しいことに気づく、Cを事実として受け入れる前に二度点検しておくべきであるという考えが念頭に浮ぶ、多肢選択型の課題事態で最善のものを選ぶ前に全部の選択肢をそれぞれ吟味した方がよいと考える、Dということをおぼえてしまうかもしれないのでそれを書きとめておいた方がよいと感じるといった場合に、私はメタ認知（メタ記憶、メタ学習、メタ注意、メタ言語、もしくはその他のあらゆるメタ）に携っているのである。とりわけ、メタ認知とは、認知過程が関わっている認知の対象あるいはデータとの関連で、通常は何かの具体的な目標や目的にしたがって認知過程を積極的にモニターし、その結果として認知過程を調整し、所期の効果を得られるように編成することを指している」²⁾とされる。

この定義は、ほぼ共通理解の得られている一般的な定義であろう。しかし、授業という集団学習の場で、協同で認識を構成し発展させていく状況では、この定義は若干変更されるべきと考えている。つまり、「「メタ認知」とは、その人自身の認知過程と所産、あるいは、それらに関連したことすべてに関する知識を指している」という定義を、次のように変更したい。

「「メタ認知」とは、認知を進める主体である人や集団の認知過程と所産、あるいは、それらに関連したことすべてに関する知識を指している。」

認知を、個人で行うものに限定しないで、集団で行う認知過程も、メタ認知の対象とすべきであると考える。

例えば、人と対話していて、相手が話している内容や判断に誤りがあるかないかを点検する認識過程は、相手の話しを理解しようとする認識過程とは分けて捉える必要がある。詐欺師の話しを理解して、まんまと騙されてしまうのでは駄目なのである。話しの中に、虚偽や誤謬が紛れていないかに常に注意しておくことは、質的に異なった認識過程である。暗記学習はいうまでもなく、教師が教える内容を理解させるだけの授業では、明らかにそうした認識過程は育たない。

集団で行う認識過程は、とりわけ、学校の理科学習では重要な側面である。特に、ある事象を学級全体で問題解決的に探究していく際には、学級そのものが認識の主体となるし、班で実験して問題解決しようとする際には、その班が認識の主体となる。

個人の場合と集団の場合の認識過程での最大の違いは、集団を構成する各個人が同一の認識をするとは限らないことと、集団内の相互作用によって認識過程がドラスティックに変更しうることである。しかし、授業者としては、学級全体で、あるいは各班で展開する認識が、行き当たりばったりでなく、科学的な探究として論理的に筋の通った、虚偽や誤謬の無い過程を経るよう努めるものである。

そうした認知過程の論理性や誤謬性の点検を常に教師が行っていたのでは、子どもたちはいつまでも自ら認知過程を制御する術を獲得できないこととなる。そこに、子どもたちに、集団で行われる認知過程に対する認知という意味での「メタ認知」を育成する必要性がある。子ども自身が、能動的な学習行為において、自分たちの行っている認知過程に対して、誤りや曖昧さ、論理の飛躍などがないかを常に点検する態度の育成が求められるのである。こうした「メタ認知」が科学教育で育成されるべき思考力・判断力として授業の場で意識され、喚起されることが必要である。

2. 1. 4 「論理的思考力」と「科学のプロセススキル」

(1) 「論理的思考力」の再認識

論理的な思考は、「形式的な論理」に基づいた判断や演繹的な推理である。数学の定理や科学の法

¹⁾ Flavell, J. H. "Metacognitive aspects of problem solving" In Resnick, L. B. (Ed.) "The nature of intelligence" Hillsdale, N. J., Lawrence Erlbaum Assoc., 1976.

²⁾ A. L. ブラウン著、湯川良三、石田裕久共訳『メタ認知』サイエンス社、1984年

則性、観察実験結果などが、真理性が確立された命題として推理判断の前提となる。

科学教育で「論理的思考力」というときは、その思考形態よりも、ピアジェの発達段階の考え方に基づいた、子どもの思考力に関する発達の制約を意味する場合が多い。すなわち、科学教育で要求する思考水準が、その子どもの発達段階に対して、適切な要求であるかを問うような場合である。とりわけ、具体的操作の時期（7～8歳から11～12歳）から形式的操作の時期（11～12歳に始まり14～15歳頃に完成）への移行が後期初等教育段階から前期中等教育段階への移行と重なるため、この間、子どもの思考力の発達に個人差が存在するとすれば、形式的な操作を要するような学習内容をどの年齢で導入するかを検討する必要がある生ずるのである。

しかし、教育内容の精選が進んだ今日、子どもの発達段階から困難の予想されるような内容は削除されるか後ろの学年に配置されてきている。にもかかわらず、小倉(1999)¹⁾が指摘するように、「密度」などの比例的変量関係が形式的には理解できない中学生が多くいる。それに対して小倉は、生徒が比例的変量関係を形式的に理解するようになる以前に、まず課題を定性的に理解することを前提とすべきであると結論した。このことは、ややもすると形式的な論理操作に偏りやすい「比熱」や「電圧」といった科学概念の指導上の扱いに、生徒の思考力の発達の制約への配慮が必要であることを意味している。また、小倉の調査では、形式的操作が困難でない生徒でも、課題を定性的に説明することに困難を示した。このことは、定性的な理解を欠いた形式的な命題操作が、表面的な学習に止まる危険性を持つことを示唆している。理科の授業では、生徒に、学習した科学の原理や法則を真理として演繹的に問題に適用させて問題を解く場面がよく見られるが、たとえ生徒の思考が「論理的思考」の形態をとっていたとしても、実質的には理解していないことがあることを留意しておくべきである。

理科の授業で「論理的思考力」が試される別の場面は、観察実験結果から論理的に結論を導く場合である。例えば、水を加熱して、「水は何度で沸騰するかを調べる」のが課題とすれば、実際は100℃よりも低い温度で沸騰し始める様子が観察されるにもかかわらず、「水は100℃で沸騰する」と結論づける生徒がいる。沸騰の様子を結果に記録していて、そこから論理的に判断すれば、「水は100℃より低い温度で沸騰する」あるいは「水は100℃でなければ沸騰しないわけではない」とすべきであるが、「水は100℃で沸騰する」という「常識」（非経験的で非形式的な論理）ないしは「信念」（個人的で非形式的な論理）が推理判断の論理性を歪めるのである。そのような先入観の元では、飽和水蒸気圧の変化や溶質によっても沸騰温度が変わりうることは想像つかないし、場合によっては測定に用いた温度計の精度を疑うことも起こりうる。このように、科学教育では、観察実験結果から論理的に何が言えるのかを考えさせることが重要なのである。

(2) 「科学のプロセススキル」の再認識

米国のSAPA(Science -- A Process Approach)カリキュラムによって広く普及し、わが国でも、昭和44～46年改訂の中学校・高等学校指導要領に「科学の方法」として導入された経緯のある「科学のプロセススキル」の考え方は、今日、「科学的に調べる能力」あるいは「探究の技法」と言われているものの原型といってもよい。

理科の学習を科学的な問題解決過程と捉えるとき、そこには科学者の探究活動にも共通するさまざまな知的技能が関与することがわかる。まず、調べたい事柄（課題）が明らかになったとき、それを実験可能な命題に表現し（実験課題の明確化）、実験によって導き出される結論がそれを検証ないしは反証するものとしての見通しを立てる（仮説の設定）。実験する事象に関与すると見られる全要因を抽出し（変数の同定）、同じにする条件（制御変数）と、変える条件（操作変数）、及び変化する条件（反応変数）を明確にして、各条件が何で測られるものかを定義し（操作的定義）、実験に必要な道具や実験手順を組み立てて（実験計画）、実験し、結果を記録する（測定・記録）。実験結果を集計したり表やグラフに整理して（データの処理）、実験仮説を検証し結論づけ（論理的推論）、結論の持つ意味や適用の限界について考察する（結果の考察）。

¹⁾ 小倉康「理科的問題解決における生徒の比例的変量関係認識」日本科学教育学会誌『科学教育研究』Vol.23(5), pp.309-321, 1999.

実際の問題解決が必ずしもこのような定形で進行するわけではないが、少なくともこうした探究の諸技法に習熟してこなかった人は、多くの場合、実験仮説を設定できなかつたり、変数を同定しないで条件の曖昧な実験を実行したり、そのために論理の飛躍した結論を強引に導いたり、結果（データ）と結論（わかったこと）や考察との区別がつかなくなつたりする。筆者は、理系の大学生の多くが、こうした不適当な問題解決能力の状態に止まっていることを確認してきた。「科学のプロセススキル」は、問題解決の流れがどのようなものであれ、その諸局面で、科学的な探究活動を展開するために必要となるさまざまな知的技能の集合なのである。

こうした知的諸技能は、さまざまな課題解決を経験する中で、長い時間をかけて、「科学的探究とはこういったものか」というメタ的な認識として定着していく。つまり、「科学のプロセススキル」は、それぞれが知的技能という科学的探究の部品であるのに加えて、科学的探究の全体をメタ的に規定する一種のパラダイムを示している。

2. 1. 5 理科授業における科学的な思考力・判断力の育成への示唆

「推理判断」や「メタ認知」及び「論理的思考力」で述べた事柄は、人間の本質である「非合理的な思考」から、いかに「より合理的な思考と判断」を展開する能力に主眼を置いているのに対し、「科学のプロセススキル」は、さらに科学のパラダイムに沿う形での「より科学的な思考と判断」を展開する能力を中心とするものである。科学的な思考力・判断力の諸局面と見られるこれらの能力に秀でた学習者を育成することは、資質・能力の育成を目指す科学教育の一つの目標となりえる。

「推理判断」については、人間が採る可能性のある多様な推理判断様式について理解することが必要である。真理性の確立された形式的な論理に従った演繹的な推理判断は重要であるが、それだけが科学的な推理判断というわけではないということ。「仮説」や「モデル」、「仮定」や「直観」といった非形式的な論理を帰納したり、類推したり、発想したりすることが科学の重要な側面であること。また、科学者の社会でも「社会的合意」が重要な役割を持っていること。こうした科学的推理判断の本質に関する理解を深める一方で、「権威ある情報」や「常識」でも疑う余地があることや、「特殊な事例」から帰納することによる誤謬、「妥協」や「個人的信念」などが真理の追究を大きく歪める危険性があることなど、非形式的な推理判断の誤謬性についても十分理解させる必要がある。そのためには、推理判断でいかなる論理が前提となるかを表明させ、それらの論理に信じるに値する理由が伴っているかどうかを考えさせることが有効と考えられる。

こうした「推理判断」の本質に関する理解を深め、さらに、自他の推理判断過程を批評的に捉えさせる「メタ認知」の育成が必要である。例えば、自分自身や班、他の生徒や他の班などの推理判断について評価させる指導を重視することで、思考過程そのものに注意力を働かせる習慣を身につけることが有効であろう。また、教師からの情報を含み、外部からの情報は必ずしも真実とは限らないという立場で活動に取り組みせ、自ら情報の信憑性を吟味しながら推理判断を組立させるように指導することが、合理的な思考態度の育成を促すものと思われる。

「論理的思考」は、計算問題のような形式的操作に偏った指導は本質的な理解を伴わない危険性があることを認識する必要がある。具体的な事象を伴う実験によって、実験結果を論理的に解釈して結論を導かせることから「論理性」を育成することができると考える。また、結論が実験の課題に対応しているかどうかを考えさせることも論理的に筋の通った思考法を身につけるために重要である。

「科学のプロセススキル」は、今後ますます資質・能力面の育成が求められる科学教育のみならず、「自ら課題を見付け、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、よりよく問題を解決する資質や能力を育てること」をねらいとする「総合的な学習の時間」においても、その育成が重要な課題となる。相互に関連を持たせた指導も検討する必要がある。注意すべきことがらとして、「仮説の設定の仕方」とか「条件制御の仕方」、あるいは「グラフ化」を、問題解決の状況から切り離された「部品」として教えるべきでないことがある。そのような実践が昭和 40～50 年代に批判された経緯がある。あくまでも生徒の問題解決活動の文脈において、それを科学的な見地からより効果的に進めるに役立つ知的技能として確実に習得されるように努める必要がある。そのためには、さまざまな問題解決の文脈を

経験する中で、それらの知的技能が一貫して使えるように学習を組み立てる必要がある。それを促すようなある基本型を持ったワークシートなどを作成し普段から慣れ親しむことは有効であると考えられる。

理科では、既存の知識を規定の実験方法で確認させる形式の受動的な学びの占める割合が、上の学年ほど増していくのが現実であるように、生徒が自ら課題を見付け、自ら学び、考え、解決していくような主体的なかかわりを育んできたとはとても言い難い。このことは、「科学のプロセススキル」の中でも、とりわけ「実験を計画する」、「条件を制御する」、「仮説を設定する」等の主体的に実験観察を構築する知的技能の育成を困難とする。教科書や実験プリントに書かれた通りの手順に機械的に従っているだけでは、デューイが批判するように、思考をしていないのと同じである。科学的な思考力・判断力を育成することは、生徒自身が主体的な立場で熟慮(reflective)しながら活動を展開することが前提となる。中学校や高等学校の理科においても、生徒自身が課題を明らかにするような実験を計画し、自ら得たデータに基づいて、論理的な考察を展開できるような学習機会を、今後ますます増やしていく必要がある。

以上のような視点に基づき、実践研究編（第一部）では具体的な授業の設計に取り組み、実践事例を収集した。

2. 2 英米での科学カリキュラムに学ぶ

この15の間、英米では、全国規模のカリキュラム改革が遂行され、新たな科学カリキュラムには、英米の数多くの教育研究者の知見が反映されている。思考力・判断力の育成に関しても、これらの科学カリキュラムでは、少なくともわが国の教育課程よりはるかに明確な指針を設けている。わが国の将来的な教育課程改革において、これらの国の取り組みを参考にすべきではないだろうか。

2. 2. 1 英国ナショナル・カリキュラム

資料 2.2.1a は、英国の「ナショナル・カリキュラム」(1995年版)における理科の内容を整理したものである。年齢的には、Key Stage の1が、わが国の小学校低学年段階、Key Stage の2が、小学校中・高学年段階、Key Stage の3が中学校段階、そして Key Stage の4が、高等学校1・2年の段階に対応する。なお、Key Stage 4では、Double Science コースと Single Science コースを選べるが、大半の生徒が前者を選択することが期待されている。

大きく5つに分けられた内容領域は、それぞれ、Key Stage の1から4までの4つの発達段階に応じて質的量的に高度化されており、11ヶ年の一貫した教育カリキュラム体系を構築している。わが国では、教育課程の作成にあたっては、具体的には小中高別に分かれた教科調査官と教育課程作成協力者の会合で検討するため、12ヶ年の一貫した教育目標と内容の系統が存在せず、人間の成長を各学校段階で分断して捉える結果となっている。後に述べる米国でも、12ヶ年の系統が明示されており、わが国でのカリキュラム開発思想とは顕著に異なる点である。

ナショナル・カリキュラムの理科においては、科学的に研究したり思考する能力にあたる教育内容にあたる「全領域に共通する内容」と「実験と探究の科学」を含む、5つの内容領域が設けられている。基本的に、物理・化学・生物・地学の4領域から選ばれた内容で構成されるわが国の理科カリキュラムとは、この点でも大きく異なる。

資料 2.2.1b と 2.2.1c は、それぞれ「全領域に共通する内容」と「実験と探究の科学」の細目である。発達段階を通じて、質的にも量的にも徐々に高度なものに発展していることがわかる。

このように、科学的に研究したり思考したりする能力を具体的に示して、発達段階に応じて、着実に成長を図ろうとするカリキュラムと、「科学的な見方や考え方を養う」といった中身の不明な表現で止まっているカリキュラムとで、どちらが資質・能力の育成に有効であるかは明白である。実際に、「全領域に共通する内容」以外の4領域のそれぞれについては、子どもが達成すべきパフォーマンス(～できること)として、8段階のレベルが設定されている。Level 1~3は Key Stage1 に、Level 2~5は Key Stage2 に、Level 3~7は Key Stage3 に、Level 8以上の高度なパフォーマンスは、優秀な生徒(very able pupils)に適した水準として示されている。わが国の学習指導要領において、科学的に研究したり思考したりする能力を具体的に表現し着実に習得させることを目指すならば、この英国のナショナル・カリキュラムにおける取り組みは、十分参考となるものである。

資料 2.2.1a 英国「ナショナル・カリキュラム」(1995年版)における理科の内容

[全領域に共通する内容]			
Key Stage 1	1.系統的(systematic)な探究 2.日常生活での科学 3.科学的考えの性質 4.情報伝達 5.健康と安全	Key Stage 3	1.系統的な探究 2.科学の応用 3.科学的考えの性質 4.情報伝達 5.健康と安全
Key Stage 2	1.系統的な探究 2.日常生活での科学 3.科学的考えの性質 4.情報伝達 5.健康と安全	Key Stage 4	1.系統的な探究 2.科学の応用 3.科学的考えの性質 4.情報伝達 5.健康と安全

(次頁へ続く)

[実験と探究の科学(Experimental and Investigative Science)]

Key Stage 1	1.実験作業(experimental work)の計画 2.データ(evidence)の獲得 3.データの考察	Key Stage 3	1.実験方法の計画 2.データの獲得 3.データの分析と結論の導出 4.データの確かさ(strength)の検討
Key Stage 2	1.実験作業(experimental work)の計画 2.データの獲得 3.データの考察	Key Stage 4	1.実験方法の計画 2.データの獲得 3.データの分析と結論の導出 4.データの評価(Evaluating Evidence)

[さまざまな生命のプロセスと生物(Life Processes and Living Things)]

Key Stage 1	1.生命のプロセス 2.生物としての人 3.生物としての植物 4.多様性と分類 5.身の回りの生物	Key Stage 3	1.生命のプロセスと細胞のはたらき 2.生物としての人<栄養、循環系、運動、成長と生殖、呼吸、健康> 3.生物としての植物<栄養と成長、生殖> 4.多様性と分類<多様性、分類、遺伝性> 5.身の回りの生物<適応、食物連鎖、生物競争>
Key Stage 2	1.生命のプロセス 2.生物としての人<栄養、循環系、運動、成長と生殖、健康> 3.生物としての植物<栄養と成長、生殖> 4.多様性と分類 5.身の回りの生物<適応、食物連鎖、微生物>	Key Stage 4	1.生命のプロセスと細胞のはたらき 2.生物としての人<栄養、循環系、呼吸、神経系、ホルモン、恒常性、健康> 3.生物としての植物<栄養、ホルモン、伝送と水の関係> 4.多様性、遺伝性と進化<多様性、遺伝性、進化> 5.身の回りの生物<適応と生物競争、エネルギーと栄養の移動>

[さまざまな物質とその性質(Materials and their Properties)]

Key Stage 1	1.物質のグルーピング 2.物質の変化	Key Stage 4	1.物質の分類<原子構造、原子結合> 2.物質の変化<油からの便利な生成物、金属鉱石や石からの便利な生成物、空気からの便利な生成物、反応の表現、定量の化学、大気への変化、地質的变化> 3.反応のパターン<周期表、反応速度、酵素を含んだ反応、可逆的反応、反応中のエネルギーの伝搬>
Key Stage 2	1.物質のグルーピングと分類 2.物質の変化 3.混合物質の分離		
Key Stage 3	1.物質の分類<個体・液体・気体、元素、化合物、混合物、金属と非金属> 2.物質の変化<物理的变化、地質的变化、化学的反応> 3.反応のパターン<金属、酸と塩基>		

[さまざまな物理的プロセス(Physical Processes)]

Key Stage 1	1.電気 2.力と運動 3.光と音<明るい暗い、音を出す・聞く>	Key Stage 4	4.地球と地球外<太陽系> 5.エネルギー源とエネルギーの伝搬<エネルギーの源と保存> 1.電気と磁気<回路中のエネルギーと電位差、電気幹線、電荷、電磁力、電磁誘導> 2.力と運動<力と加速度、力と一定でない運動(non-uniform motion)、力と固体・液体・気体の圧力> 3.波<波の性質、電磁スペクトル、音波と超音波、地震波> 4.地球と地球外<太陽系と広大な宇宙> 5.エネルギー源とエネルギー伝搬<エネルギーの伝搬、仕事・パワーとエネルギー> 6.放射能
Key Stage 2	1.電気<単回路> 2.力と運動<力の種類、力のつり合いとつり合い> 3.光と音<日常での光の影響、見ること、振動と音> 4.地球と地球外<太陽・地球・月、周期的変化>		
Key Stage 3	1.電気と磁気<静電気、回路中の電流、磁界、電磁石> 2.力と運動<力と直線運動、力と回転、力と圧力> 3.光と音<光の性質、聞くこと、振動と音>		

資料 2.2.1b 英国「ナショナル・カリキュラム」(1995年版)における「全領域に共通する内容」の細目

[小学校低学年段階]	[小学校中・高学年段階]	[中学校段階]	[高等学校 1・2 年段階]
<p>1 系統的な調査</p> <p>a 『どのようにか?』『なぜか?』『もしも?』のよう ら何が起こるか?』のよう に質問する機会</p> <p>b 科学的な知識や理解を して技術を得るために、集 中して探究し調査する機会</p> <p>c 情報を得るために直接 経験と単純な二次的情報源 を用いる機会</p> <p>d 科学的な情報を収集 し、蓄積し、検索して、表 現するために、情報技術 を用いる機会</p> <p>2 日常生活での科学</p> <p>a 科学に関する生徒たち の理解を家庭や身の回りの 状況に関連づける機会</p> <p>b 科学が生徒たち自身の 健康にいかに関連している かを考察する機会</p> <p>c 生物やその環境に注意 深く敏感さをもつて接する 仕方を考察する機会</p>	<p>1 系統的な調査</p> <p>a 科学での生徒たちの作 業に関連した質問をする機 会</p> <p>b 科学的な知識や理解を して技術を得るために、集 中して探究し調査する機会</p> <p>c 情報を得るために直接 経験と二次的情報源を用 いる機会</p> <p>d 科学的な情報を収集 し、蓄積し、検索して、表 現するために、情報技術 を用いる機会</p> <p>2 日常生活での科学</p> <p>a 生徒たちが親しみのあ る現象の変化する範囲を説 明し理解するために、彼ら の科学に関する知識や理解 を用いる機会</p> <p>b 科学が、生徒たちが 使っている多くの事物を開 発する中で果たしてきた位 置について考察する機会</p> <p>c 生徒たちの科学に關す る理解を、彼ら自身の健康 と関連づける機会</p> <p>d 生物や環境がどのよう な保護を必要としているか について考ええる機会</p>	<p>1 系統的な調査</p> <p>a 科学的な知識や理解を して技術を得るために実際 的な作業や調査をする機会</p> <p>b 直接経験し、かつ二次 的な情報源を用いる機会、 また、どちらの情報源を用 いるべきかを決める機会</p> <p>c 定量的な作業の機会</p> <p>d 科学的な情報を収集 し、蓄積し、検索し、もし も表現するために、情報技 術を用いる諸方法を選択す る機会</p> <p>2 科学の応用</p> <p>a 科学的な知識や理解を 親しみのある現象や日々用 いている事物に関連づける 機会</p> <p>b 健康への関連も含め て、科学の応用がいかん生 徒たちの生活の質に影響を 与えているかについて考察 する機会</p> <p>c 科学的な知識や理解を 生物の世話や環境への配慮 に関連づけること</p> <p>d 環境やその他の状況に おいて、科学や技術の発展 の利益と不利益について考 える機会</p>	<p>1 系統的な調査</p> <p>a 科学的な知識や理解を して技術を得るために実際 的な作業や調査をする機会</p> <p>b ある範囲の二次的情報 源からの情報を利用してま とめ合わせる機会</p> <p>c 定量的な作業の機会</p> <p>d 科学的な情報を収集 し、処理し、調べるため に、いつ情報技術を用いる べきかを判断する機会</p> <p>2 科学の応用</p> <p>a 科学が応用され用いら れる仕方について考え、個 人や社会そして環境に対し ての科学的、技術的発展の 利益と不利益について評価 する機会</p> <p>b 健康と生活の質におけ る科学のいくつかの応用の 効果を評価するために科学 的な知識や理解を用いる機 会</p> <p>c 科学的な知識や理解を 生物の世話や環境への配慮 に関連づける機会</p> <p>d 関連する社会的、経済 的、そして環境的な要因を 考慮に入れたつづ、エネル ギーの要求に關する総合的 な優先順位となされるべき 状況について考察する機会</p> <p>e 産業上や社会的、環境 的な諸論点とそれに含まれ る倫理上のジレンマのいく つかについて言及する際 に、科学の力と限界につい て考察する機会</p>

(前ページからの続き)

<p>3 科学的な考えの性質</p> <p>a 単純な科学的な考えをその証拠と関係づける機会</p>	<p>3 科学的な考えの性質</p> <p>a 科学的な考えを確かめるためにいろいろな方法で証拠を得る機会</p> <p>b 科学が多くの現象に対する説明を与えるものだと、いうことがわかる機会</p>	<p>3 科学的な考えの性質</p> <p>a 科学的な理論を限定する中で、証拠と創造的な考えの重要性について考える機会</p> <p>b 科学的な知識や理解がいかに経験的な証拠に支持される必要があるかについて考える機会</p> <p>c 少くとも1つの科学的な考えが時代とともにいかに変わってきたかを勉強することによって、社会的、歴史的な背景を科学的な考えに関係づける機会</p>	<p>3 科学的な考えの性質</p> <p>a 科学的な考えが経験的な証拠に基づいていかに受け入れられ、また拒絶されるかについて、また、そうした証拠の異なる科学的な論争が生まれるかについて、生徒たちの理解を促進させる機会</p> <p>b 科学的な考えが、それが生まれてきた社会的、歴史的な状況によって影響される仕方と、それらの状況が科学的な考えが受け入れられるかどうかにかいて影響しうるかについて考察する機会</p>
<p>1 コミュニケーション</p> <p>a 生物や物質、現象、そしてプロセスに名称をつけたり、記述するために、科学的な語彙を用いること</p> <p>b ダイアグラムや図解、図表などによって、また、スリーチや筆記によってなどの、いろいろな方法で科学的な情報を発表すること</p>	<p>1 コミュニケーション</p> <p>a 生物の行動や物質、そしてプロセスを記述し、説明するために、適切な科学的な語彙を用いること</p> <p>b 生徒たちの作業に合った標準的な測定器具と、メートルやニュートンとといったS.I国際単位を用いること</p> <p>c 適切で系統的な仕方で行って、ダイアグラムや図解、グラフ、図表を含む幅広い手法を用いること</p>	<p>1 コミュニケーション</p> <p>a 広範囲にわたる科学用語と記号を用いること、そして、なぜ科学的、数学的な取り決めことが用いられるのかについて考察すること</p> <p>b S.I国際単位を用いること</p> <p>c 適当な科学的、数学的な取り決めことを用いながら、ダイアグラムやグラフ、図表などによって生徒たちの考えを表現すること</p>	<p>1 コミュニケーション</p> <p>a 情報を伝えるためにや、議論を進めるために、広範囲の科学的、技術的な語彙を用い、また、ダイアグラムやグラフ、図表を用いること</p> <p>b S.I国際単位を用いること</p> <p>c 記号や数学的な形式で科学的情報を表現すること</p>
<p>5 健康と安全</p> <p>a 生物や物質を用いて作業するときの自分たちや他者へのリスクと危険性について認識すること</p> <p>b 生徒たち自身で危険を制御するために単純な指図に従うこと</p>	<p>5 健康と安全</p> <p>a 生物や物質を用いて作業するときの自分たちや他者へのリスクと危険性について認識し評価すること</p> <p>b これらの危険性を抑制するための行動をとること</p>	<p>5 健康と安全</p> <p>a 生徒たちが親しめる生物や物質、装置を用いる際の危険性について責任を持つて認識すること</p> <p>b 即時または危険と累積的な危険のどちらも評価するために、適切な情報源を用いること</p> <p>c 生徒たち自身や他者への危険性を抑制するために、自身の知識を適用し、また、そのための行動をとること</p>	<p>5 健康と安全</p> <p>a 生徒たちにとつて親しみの無いものも含む危険な物質や活動、環境における危険性について責任を持つて認識すること</p> <p>b 親しみの無いものの危険性を評価するために情報源を用いること</p> <p>c 生徒たちの作業環境を管理し、危険性を抑制するための行動を正当化すること</p>

資料 2.2.1c 英国「ナショナル・カリキュラム」(1995年版)における「実験と探究の科学」の細目

【小学校低学年段階】	【小学校中・高学年段階】	【中学校段階】	【高等学校1・2年段階】
<p>1 実験作業を計画すること</p> <p>a 生徒たちに提示された考えや、自分たちが自身の考えを、調査できるような形式に換えること</p> <p>b 何が起ころうか、何について考えを述べる際に、何をすべきかを計画すること</p> <p>c 実験や比較が不公平でないか確かめること</p>	<p>1 実験作業を計画すること</p> <p>a 生徒たちに提示された考えや、自分たちが自身の考えを、調査できるような形式に換えること</p> <p>b 予測することが、何をすべきかを計画する際に役立つこと</p> <p>c どんな証拠を収集すべきかを決定すること</p> <p>d ある、一つの要因を、他の要因を一定にしたまま、変化させること、及びその効果を観察したり測定すること、行うべき正しい実験や比較をもちよること</p> <p>e どんな装置や設備を用いるべきかを考察すること</p>	<p>1 実験手続きを計画すること</p> <p>a 生徒たちに提示された考えや、自分たちが自身の考えを、調査できるような形式に換えるため、科学的な知識や理解を用いること</p> <p>b 必要に応じて、試験的に実行してみること</p> <p>c そうすることで、いろいろな場面で予測を行うこと</p> <p>d 単純な状況で、考慮に入れる必要がある主たる要因について考察すること</p> <p>e ある、一つの要因を変化させることの影響を分離すること</p> <p>f どれだけの多くの観察や測定が必要であるか、また、それらがどんな範囲を含むべきかを定めること</p> <p>g 変質が容易に制御できない、フィールドワークのような状況について考察、こうした状況下でいかに証拠が収集できるかについて考察すること</p> <p>h 安全性の必要条件を考慮しつつ、装置や設備とテクニックを選択すること</p>	<p>1 実験手続きを計画すること</p> <p>a 生徒たちに提示された考えや、彼ら自身の考えを、調査できるような形式に換えるために、二次的な情報源を引きながら、科学的な知識と理解を用いること</p> <p>b 生徒たちがしなくてはならないことをはっきりさせるのに役立つような事前の作業を遂行すること</p> <p>c それがいかに、いろいろな場面で予測を行うこと</p> <p>d 多くの要因を含む状況において、主たる要因について考察すること</p> <p>e 変質が容易に制御できない、フィールドワークのような状況下で、こうした状況下でどのくらいの証拠が必要かについて判断すること</p> <p>f 安全性の必要条件を考慮しつつ、装置や設備とテクニックを選択すること</p>
<p>2 証拠を得ること</p> <p>a 適切な相見によって調べること</p> <p>b 観察や測定をすること</p> <p>c 観察や測定について記録すること</p>	<p>2 証拠を得ること</p> <p>a 単純な装置や設備をうまく用いること</p> <p>b 注意深く観察し測定すること</p> <p>c 繰り返しによって観察や測定をチェックすること</p>	<p>2 証拠を得ること</p> <p>a 安全に、そして、巧みにも、ある範囲の装置や設備を用いること</p> <p>b 状況に適した程度の精度で観察や測定を行うこと</p> <p>c 信頼できる証拠を求めて、十分に適切な観察や測定を行うこと</p> <p>d 測定や観察における不確かさについて考察すること</p> <p>e 適当なときに測定や観察を繰り返すこと</p> <p>f 生徒たちが作業を遂行しながら、明確にかつ適切に証拠を記録すること</p>	<p>2 証拠を得ること</p> <p>a 安全に、そして、巧みにも、ある範囲の装置や設備をもちいること</p> <p>b 状況に適した程度の精度で観察や測定を行うこと</p> <p>c 信頼できる証拠を求めて、十分に適切な観察や測定を行うこと</p> <p>d 測定や観察における不確かさについて考察すること</p> <p>e 適当なときに測定や観察を繰り返すこと</p> <p>f 生徒たちが作業を遂行しながら、明確にかつ適切に証拠を記録すること</p>

(前ページからの続き)

<p>3 証拠を考察すること</p> <p>a 生徒たちの作業中に何が起こったかを伝えること</p> <p>b 結果を表現するため、図面や表、棒グラフを用いること</p> <p>c 単純な比較をすること</p> <p>d 結論に導くために結果を用いること</p> <p>e 収集した証拠がいかなる予測を支持するかどうかを示すこと</p> <p>f 生徒たちが知識や理解を引き出したことから、自分たちの見出したことを説明しようとする</p>	<p>3 証拠を考察すること</p> <p>a どのデータを表現するために棒グラフや表、それを用いた結果に、図面や棒グラフを用いること</p> <p>b 結果における傾向やパターンを比較したり、識別すること</p> <p>c 結論を導くために結果を用いること</p> <p>d 収集した証拠がいかなる予測を支持するかどうかを示すこと</p> <p>e 科学的な知識や理解に關する用語で結論を説明しようとする</p>	<p>3 証拠を分析して、結論を導くこと</p> <p>a 質的で量的なデータを明確に表現すること</p> <p>b 得られた結果にかきわけ、棒グラフを用いること</p> <p>c 必要に応じて最も適合する線を用いること</p> <p>d 結果における傾向やパターンを識別すること</p> <p>e 結論を導くために結果を用いること</p> <p>f 結果が最初の予測を支持するかどうかを決定すること</p> <p>g 結論を生徒たちの科学的な知識や理解に照らして説明しようとする</p>	<p>3 証拠を分析して、結論を導くこと</p> <p>a 質的で量的なデータを明確に表現すること</p> <p>b 必要に応じて最も適合する線を用いて、棒グラフとして表現すること</p> <p>c 結果における傾向やパターンを識別すること</p> <p>d 疑問の関係を特定するためにグラフを用いること</p> <p>e 適切な程度の正確性と数値的な結果を表現すること</p> <p>f 導かれた結論が証拠と一致していることを示すこと</p> <p>g 結果がいかに最初の予測を支持か、あるいは弱めるかについて説明すること</p> <p>h 結論を生徒たちの科学的な知識や理解に照らして説明しようとする</p>		<p>4 証拠の確からしさを考察すること</p> <p>a 導かれた結論を確実とすることを可能とする十分な証拠かどうかについて考察すること</p> <p>b 観察や測定での変則を考察し、また可能な場合はそれを説明すること</p> <p>c 用いられた方法の改善について考察すること</p>	<p>4 証拠を評価すること</p> <p>a 導かれた結論を確実とすることを可能とする十分な証拠かどうかについて考察すること</p> <p>b 差別的な結果に対する理由を考察し、必要に応じてそうした結果を拒絶すること</p> <p>c 測定と観察の不確実性の点から、結果の信頼性について考察すること</p> <p>d 用いられた方法の改善について提案すること</p> <p>e 生徒たちの結論を確かめるためのさらなる調査について提案すること</p>	<p>4 証拠を評価すること</p> <p>a 収集された証拠が、導かれた結論を確実とすることを可能とするのに十分かどうかについて考察すること</p> <p>b 差別的な結果に対する理由を考察し、必要に応じてそうした結果を拒絶すること</p> <p>c 測定と観察の不確実性の点から、結果の信頼性について考察すること</p> <p>d 用いられた方法の改善について提案すること</p> <p>e 生徒たちの結論を確かめるためのさらなる調査について提案すること</p>
---	---	--	--	--	--	---	---

2. 2. 2 米国スタンダード

資料 2.2.2a は、米国の『科学教育基準』(1996 年)、いわゆるスタンダードの内容構造を整理したものである。ここでは、6 歳の幼稚園児にあたる「K」から 12 学齢までの 13 ヶ年を、「K-4」「5-8」「9-12」という 3 段階で捉え、それぞれの発達段階で履修されるべき教育内容基準が示されている。「K-12」のすべての段階を通じて育成されるべき内容領域である「統一的概念とプロセス」の他に、7 つの内容領域がある。

ここでの特徴は、伝統的に用いられてきた物理・化学・生物・地学という理科の内容区分が、8 つある内容領域のうちの 3 領域に再編されていることである。そして、とりわけ科学的に研究したり思考する能力にあたる教育内容である「統一的概念とプロセス」と「探究としての科学」の他に、「科学と技術」、「個人や社会の見通しの中での科学」、及び「科学の歴史と性質」という領域が設けられている。それぞれの領域で達成されるべき内容がスタンダードにおいて説明されている。

米国で『科学教育基準』が策定されるまでには、1983 年に出版された『危機に立つ国家』で、深刻な国力低下を救うために、教育システムの改革が訴えられたのを転機として、各界の専門家と実践者が全国規模で提案と議論と重ねた経緯がある。その中でも、1989 年に米国科学振興協会(AAS)のプロジェクト 2061 が刊行した『全アメリカ人のための科学』は、21 世紀の科学教育改革の方向性が従来とは明確に異なっていることを内外に示した。1990 年には、ブッシュ元大統領が、「西暦 2000 年までに、米国の生徒の理数の成績を世界一にする」という目標を掲げて、「ゴール 2000 プログラム」と呼ばれる教育改善政策を開始し、クリントン政権を通じ、今日まで莫大な教育改革のための予算が投じられてきた。1993 年には、AAS から、発達段階毎に科学的知性の到達目標を示した『科学的リテラシーのベンチマーク』が出版され、これが、1996 年に政府機関 NRC から発表された『科学教育基準』を策定する際に直接参考とされた。それと並行して、各州レベルでも、州のスタンダードが策定され、全国レベルのスタンダードを標準としながらも、現在では多様なスタンダードが併存する形となっている。

各学校区が自律的に教育を運営し、州といえども、統一したカリキュラムを実施することができない米国では、スタンダードという形で、国や州が教育に関する緩やかな目標を設定している。補助金等のコントロールにより、スタンダードに沿った教育を学校区に求めていくような実状がある。しかし、逆に、こうした多様性が、スタンダードを策定する際の、全国規模の活発な情報交換を支えたのも事実である。あることを計画し実行しようとしたときに、米国のどこかではすでに実施されていたり、もっと良いやり方に改善されていたりといった事例や研究成果が存在するので、改革は幅広い知識と経験に基づいて進めることができるのである。全国でただひとつのカリキュラムに規制してきたわが国の教育体制において、改革の際に経験に基づいた対案が存在しないのとは大きく異なる。

米国での改革は、教科書会社や補助教材会社の存在にも変化を与えてきている。それまで電話帳ほどもあった分厚い教科書が、単元別に分冊形式となったものが増えてきて、教師が必要なものだけを選んで用いることが可能になってきました。また、教科書と指導書だけでなく、各単元に即した実験教材や補助教材、CD-ROM やビデオ、生徒用ワークシートと教師のためのテスト問題など、すべてがシステムとして用いられることで、『科学教育基準』における多様な要求を実現しようとする総合的な教材が増えてきた。わが国では、教科書と教材の業界は独立している。教科書の検定制とも絡む問題であるが、この体制が最善なのか否かを議論することは必要であろう。

資料 2.2.2a 米国の『科学教育基準』(1996年)における理科の内容構造 (原著より筆者が翻訳)

各発達段階で、すべての生徒たちが、発達させなければならないこと	
K-12学年	
内容領域	各発達段階で、すべての生徒たちが、発達させなければならないこと
統一的概念とプロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・ システム、順序と組織 ・ 証拠、モデルと説明 ・ 不変、変化と測定 ・ 進化と平衡 ・ 外観と機能
	9-12学年
A. 探究としての科学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 科学的探究に必要な能力 ・ 科学的探究についての理解
B. 物理科学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子の構造 ・ 物質の構造と性質 ・ 化学反応 ・ 運動と力 ・ エネルギーの保存と無秩序の増大 ・ エネルギーと物質の相互作用
C. 生命科学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細胞 ・ 遺伝に関する分子の基礎 ・ 生物学的進化 ・ 生物の相互依存、エネルギーと生物システム中の組織 ・ 生物の行動
D. 地球と宇宙科学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地球システム中のエネルギー ・ 地球化学的サイクル ・ 地球システムの起源と進化 ・ 宇宙の起源と進化
E. 科学と技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ 技術的な計画能力 ・ 科学と技術についての理解
F. 個人や社会の見通しの中の科学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 個人と共同体の健康 ・ 人口増加 ・ 天然資源 ・ 環境の質 ・ 自然災害と人間の誘発した災害 ・ 局地的な、同的な、そして全世界的な挑戦における科学と技術
G. 科学の歴史と性質	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人間の努力としての科学 ・ 科学的な知識の性質 ・ 歴史的な見直し

2. 2. 3 米国ジョージア州フレームワーク

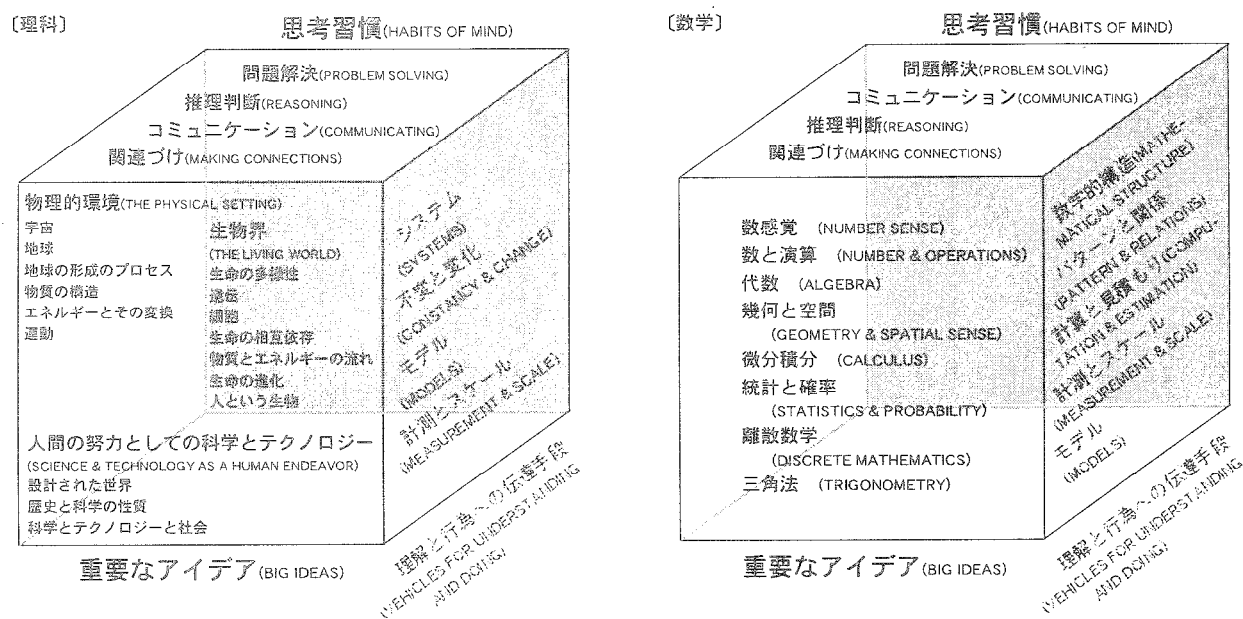
各州レベルで独自に策定されたスタンダードの例として、ジョージア州のものを紹介する。

資料 2.2.3a は、ジョージア州の科学カリキュラムのための枠組みを示した『数学と科学の学習のためのフレームワーク』^{*1}から、理科と数学の学力の捉え方を示したものである。

注目されるのは、科学カリキュラムで育成されるべき思考力・判断力に「思考習慣」と「理解と行為への伝達手段」という2つの次元を設けていることで、しかも、それらが理科と数学で共通性をもっていることである。「思考習慣」は、科学的に研究したり思考する際の一般的思考力を示し、「理解と行為への伝達手段」は、科学的に研究したり思考することを有効に進めるための方略的知識に基づいた思考力を示していると考えられる。このような学力の捉え方は、教科を超えて、育成されるべき資質や能力を明らかにすることを可能とする。わが国では、各教科で育成される資質や能力が明確でないことと同時に、異なった教科が共通の資質や能力の育成にどう関連しているのかも不明である。

資料 2.2.3b と 2.2.3c が、それぞれ理科の場合の「思考習慣」と「理解と行為への伝達手段」の細目である。英国のナショナル・カリキュラムと同様、わが国の学習指導要領において、科学的に研究したり思考したりする資質・能力を具体的に表現する際に役立つ情報である。

資料 2.2.3a 『数学と科学の学習のためのフレームワーク』における理科と数学の学力の捉え方



*1 訳については次を参照。小倉康『数学と科学の学習のためのフレームワーク—米国ジョージア州での革新的取り組み—』科学研究費補助金研究成果中間報告書、国立教育研究所、平成9年7月

資料 2.2.3b 理科の「思考習慣」の細目（『数学と科学の学習のためのフレームワーク』の原著より筆者が翻訳）

科学的思考習慣

学校段階	問題解決	コミュニケーション／情報伝達
前期初等段階 (PRIMARY)	<ul style="list-style-type: none"> 世界についての疑問を尋ねる。 疑問の答えを求めて、観察や試行錯誤をする。 	<ul style="list-style-type: none"> 事物を記述したり比較するためにさまざまな特性を用いる。 記述されるべき事物の特徴を示す絵を描く。
後期初等段階 (ELEMENTARY)	<ul style="list-style-type: none"> 調査や観察を正確に記録する。 見つけたことについて考えられる理由を提案し、他人の意見についても考える。 観察や経験に基づく科学的な疑問を尋ねる。 単純な科学的調査を計画して、実行する。 筋の通った説明を構築するために、データや経験を活用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 単純な問題を解決する方法を他人に説明する。 考えや手続き、結果などをか説明するために略図を作成する。 メモや口誌、データベースにデータを記録する。 情報の場所を見つけるために、簡易な参考資料を活用する。 単純な表や図、グラフを読み取り、解釈する。
前期中等段階 (MIDDLE GRADES)	<ul style="list-style-type: none"> 科学的調査に相応しい疑問を同定する。 調査につなげるための仮説を構築する。 科学的な調査を計画し、実行する。 先行する調査の結果に基づいて結論を導いたり、新たな科学的調査を計画する。 同じデータから異なる結論が導かれること、そして、どれも正しいかもしれないことを理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> データを表や図に表して、解釈する。 棒グラフや折れ線グラフを読みとったり、作ったり、解釈する。 科学的な手続きや指示、説明を伝達する。 コミュニケーションするためにテクノロジーを活用する。
後期中等段階 (SECONDARY)	<ul style="list-style-type: none"> 問題を解決するために工夫したり、アルゴリズムを用いる。 完全に科学的な調査を計画し実行する。 科学的な調査を築いたり、その基礎となる疑問や概念を同定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 目盛りのある図形を描いて、解釈する。 視覚や言語でデータを要約する。 口述や筆記の発表中に、表やグラフ、図を活用する。 科学的な議論を交わし、主張する。 データや見つけたことを処理したり伝達するためにテクノロジーを活用する。

学校段階 推理判断 関連づけ

学校段階	推理判断	関連づけ
前期初等段階 (PRIMARY)	<ul style="list-style-type: none"> 「どうやって知るか？」や「どのように見つけられるか？」という疑問を尋ね、またそれに答える。 	<ul style="list-style-type: none"> 科学が日常生活にいかに関わっているかを探索する。 質的、量的な推定を活用する。 虫眼鏡のような単純な科学的道具を活用する。
後期初等段階 (ELEMENTARY)	<ul style="list-style-type: none"> 推論や予測を支持するためにデータを用いる。 偏った比較を認知する。 合理的な説明を組み立てるために、データや経験、証拠、モデルを活用する。 	<ul style="list-style-type: none"> さまざまな科学概念が、いかにわたしたちの日常生活に相互関係しており影響を及ぼしているかがわかる。 科学的な調査で簡易な数学を活用する。 科学的な調査で、電卓やコンピュータ、その他の初歩的な科学的機器のようなテクノロジー的道具を活用する。
前期中等段階 (MIDDLE GRADES)	<ul style="list-style-type: none"> 根拠のない主張や、小さなサンプルや偏ったサンプルに基づく主張を疑問に思う。 機能や性能、耐久性、コストやその他の特徴に基づいて製品を比較する。 証拠と説明の関係について批判的にかつ論理的に考える。 代わりにの説明や手続きを認め、分析する。 	<ul style="list-style-type: none"> 総合的に科学を見て、科学を他の学科や日常生活と関係づける。 科学的な調査で数学的な技能やプロセスを活用する。 データを集めて、分析して、解釈するために、適切な科学的機器やテクノロジーを活用する。
後期中等段階 (SECONDARY)	<ul style="list-style-type: none"> データや論理の誤った使用に基づく議論を批判する。 正当な手続きを経た批判に耐えられる前提を活用する。 代わりにの説明やモデルを認め、分析する。 論理と証拠を活用して、科学的な説明やモデルを組み立て修正する。 	<ul style="list-style-type: none"> 科学を他の学科や日常生活と関係づけて総合的に活用する。 科学的な問題を分析し解決するために、数学的な技能やプロセスを適用する。 データを集めて、分析して、解釈するために、先進の実験機器を活用する。

資料 2.2.3c 理科の「理解と行為への伝達手段」の細目（『数学と科学の学習のためのフレームワーク』の原著より筆者が翻訳）

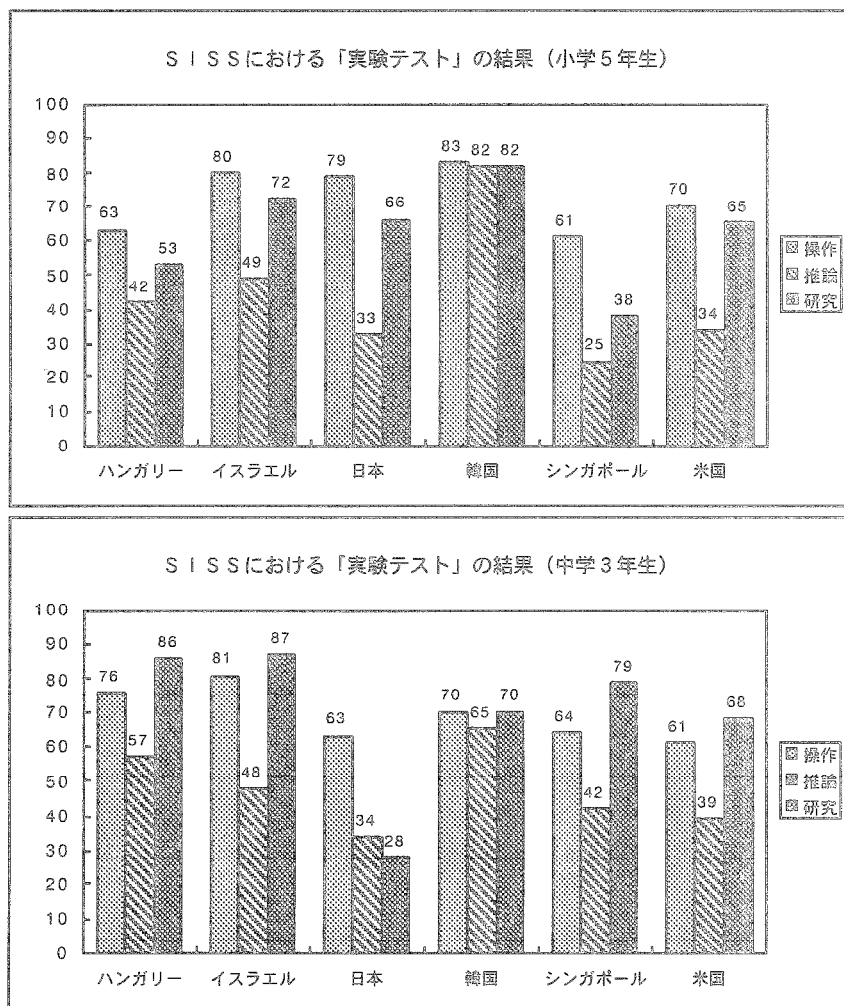
科学の理解と行為への伝達手段		
学校段階	システム	モデル
前期初等段階 (PRIMARY)	<ul style="list-style-type: none"> ほとんどの事物は、部分からできている。 ひとつのシステムが働くために、全ての部分が必要とされる。 システムは、部分部分がそれぞれ自身ではできないことをすることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> モデルは、本物と異なるが、我々が本物について知るのを助けてくれる。 簡単なアナロジーは、物事がどのように動くかの説明を助けてくれる。
後期初等段階 (ELEMENTARY)	<ul style="list-style-type: none"> 部分は、システム全体に影響する。 ひとつの部分が機能しないと、システムが正しく動かない。 部分部分の配置は、あるやり方でシステムの機能を助けている。 	<ul style="list-style-type: none"> モデルでの変化は、本物での変化を反映していなければならない。 モデルは、多くのタイプ-地図や図、幾何学的図、数の並び、アナロジー、グラフ、スケッチ、ダイヤグラムに見られる。 モデルは、プロセスや自然の現象を理解するために便利な道具である。
前期中等段階 (MIDDLE GRADES)	<ul style="list-style-type: none"> システムは、プロセスと構成要素の両方を含む。 あるシステムのひとつの部分からの出力は、別の部分へのインプットでありうる。 全てのシステムは、他のシステムに接続している。 フィードバックは、効果的に動作するシステムの機能である。 	<ul style="list-style-type: none"> モデルは、あまりに速いとか遅い出来事や、直接見るにはあまりに大きいとかあまりに小さいプロセスについて考えるために用いられる。 異なるモデルが、同一の事物を表現することができる。 テクノロジーは、モデルを組み立てるのに役立つ。
後期中等段階 (SECONDARY)	<ul style="list-style-type: none"> システムは、各部分の特性とは異なった特性を持つ。 システムは、境界内で動作する。 システムがもしもひとつの部分が変わるとどのように反応するかを予測することは難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 数学的なモデルは、関係を理解するために役立つ。 役立つモデルは、うまく事物現象のふるまいを予測する。 テクノロジーを適用することは、モデルや理解を強化する。
学校段階	不変と変化	計測とスケール
前期初等段階 (PRIMARY)	<ul style="list-style-type: none"> 事物は、さまざまな方法で変化するか同じに止まる。 変化する多くの方法がある。 変化は、速く、あるいは、ゆっくり起こる。 	<ul style="list-style-type: none"> 事物は、大きさや重さ、新しさ、速度、体積などに関して異なっている。
後期初等段階 (ELEMENTARY)	<ul style="list-style-type: none"> ある特徴が変化し、他の特徴は変化しない。 変化は、安定していたり、反復的であったり、不規則なパターンだったりする。 グラフは、変化を説明したり予測するのに役立つ。 	<ul style="list-style-type: none"> 大抵の事物は、範囲を持つ。 ある事物やプロセスの範囲の上限や下限を見出すことは、特別な値を理解するのに役立つ。 速度や大きさ、距離といった特性は、互いに分数や倍数として比較され得る。 計測上の異なった単位は、相互に関係している。
前期中等段階 (MIDDLE GRADES)	<ul style="list-style-type: none"> 物理的システムや生物的システムは、それらの環境との釣合いを成立させる。 周期的な変化は、時間的に、予測可能な反復的パターンに従う。 グラフと方程式は、変化を説明したり予測するのに役立つ。 	<ul style="list-style-type: none"> 体積に依存するシステムの特性は、面積に依存するそれらに比例して変化する。 概要と平均は、複雑なシステムについて伝える際に重要となる。
後期中等段階 (SECONDARY)	<ul style="list-style-type: none"> あるプロセスがある特性を変化させないバランス状態にあるとき、釣合いが起こる。 部分が変わっても、システム全体は、定常であることができる。 物質とエネルギーは、動的に相互関係している。 	<ul style="list-style-type: none"> 大きく数字や小さい数字では、10の累乗は、比較を容易にする。 あるシステムの部分の数が増すにつれて、相互作用の数は急速に増加する。 あるシステムのひとつの特性の変化は、その他の特性に同じようには影響を及ぼさない。

2. 2. 4 I E A 第 2 回 国際理科教育調査－実験テスト－の観察実験能力の枠組み

次頁に、I E A（国際教育到達度評価学会）による第 2 回 国際理科教育調査（S I S S）の際に実施された「実験テスト」の開発に用いられた能力タキソノミーを示す^{*1}。「実験テスト(practical skills testing)」は、文字どおり観察実験を伴う能力の調査であるが、筆記試験にはない、より実際的な問題解決の文脈で必要とされる思考力・判断力を測定することが可能である。「実験テスト」で測定される能力は、S I S Sでは、「研究(Investigating)」「操作(Performing)」「推論(Reasoning)」に大きく 3 分類され、さらにそれぞれが細かく分けられている。実験テストでは、それら 3 種類の観察実験能力を測定するために、複数のテスト課題が設けられた。

S I S Sでは、わが国の生徒たちは筆記試験ではよい成績であったのに対して、実験テストではとりわけ、「推論」や「研究」の能力に関して、下の図のように国際的にかなり低い水準にあることが示された^{*2}。つまり、「操作」ばかりを強調して、「推論」したり「研究」する能力を伸ばすことが重視されていないのではないか。「クックブック方式」と言われるような、指示された手順に従えば済まされる実験、自分で計画したり考察することの希薄な実験が多いのではないか、ということが推測される。

科学的思考力・判断力を育成する一つの指標を与えるものとして、この I E Aによる観察実験能力のタキソノミーは有効であると考えられる。



^{*1} 三宅征夫ほか(1997)『理科の実験テスト問題の改善・開発と体系化に関する研究』平成8年度科学研究費補助金研究成果報告書（代表者・三宅征夫）国立教育研究所

^{*2} Tamir,P. and Doran,R.L.(eds.) (1992) "Practical skills testing", Studies in educational evaluation, Vol.18(2), p.263-406.

表2. 2. 4 IEAのSISSで用いられた観察実験能力の分類表とその大意

A Taxonomy of Laboratory Process Skill (from SISS)		大意
1	Investigating--Planning and Design	研究
1. 1	Formulates a question or defines a problem to be investigated	問題特定
1. 2	Predicts experimental results	結果予測
1. 3	Formulates hypothesis to be tested in this investigation	仮説設定
1. 4	Designs observation or measurement procedure] 実験計画
1. 5	Designs experiment	
1. 5. 1	Identifies dependent variable	
1. 5. 2	Identifies independent variable	
1. 5. 3	Designs control	
1. 5. 4	Fits the experimental design to the tested hypothesis	
1. 5. 5	Provides a completed design (including replications, for example)	
1. 7	Prepares the necessary apparatus	
2	Performing	操作
2. 1	Carries out observations and measurements	観察 測定・見積 実験技能 記録・記述 計算 実験技能 計画実施 工夫 協同 秩序・安全
2. 1. 1	Carries out qualitative observations	
2. 1. 2	Carries out quantitative observations and/or measurements	
2. 2	Manipulates apparatus, develops techniques	
2. 3	Records results, describes observations (including drawings)	
2. 4	Performs numeric calculations	
2. 5	Explains or makes a decision about experimental technique	
2. 6	Works according to own design	
2. 7	Overcomes obstacles and difficulties without help	
2. 8	Cooperates with others when required	
2. 9	Maintains orderly laboratory and observes safety procedures	
3	Reasoning 1--Analysis and Interpretation	推論
3. 1	Transfers results to standard forms	図表化 グラフ化 解釈・結論
3. 1. 1	Arranges data in tables or in diagrams	
3. 1. 2	Graphs data	
3. 2	Determines relationships, interprets data, draws conclusions	
3. 2. 1	Determines qualitative relationships	
3. 2. 2	Determines quantitative relationships	
3. 3	Determines accuracy of experimental data	
3. 4	Defines or discusses limitations and/or assumptions that underlie the experiment	誤差 限界 一般化 考察 課題
3. 5	Formulates a generalization or model	
3. 6	Explains research findings and relationships	
3. 7	Formulates new questions or defines problem based upon results of investigation	
4	Reasoning 2--Application	結果から予測 結果から仮説 応用 創造
4. 1	Predicts, based upon results of investigation	
4. 2	Formulates hypothesis based on results of investigation	
4. 3	Applies experimental technique to new problem or variable	
4. 4	Suggests ideas and ways to continue an investigation	

2. 2. 5 米国FOSSカリキュラム

米国にて25年以上に渡り数々の科学カリキュラムを開発し、米国の科学教育改革を支えてきたカリフォルニア大学バークレー校のLawrence Hall of Science (LHS)の開発カリキュラムの一つに、初等科学カリキュラムFOSS(Full Option Science System)がある。FOSSは、幼稚園から6学年生までの子どもたちを対象として、さまざまな活動を集成している。FOSSは科学カリキュラムを慎重に計画し組み立てている。モジュール式に設計されており、FOSSがさまざまな環境の学校で活用できる柔軟性を与えている。FOSSから発行されている資料を翻訳し、以下にFOSSの特徴を紹介する。

FOSSの各モジュールは、下の図のように、ストランド(線)と呼ばれる4つのトピックに属して構成されている。それらは、「生命科学」と「物理科学」、「地球科学」、及び「科学的推論とテクノロジー」である。幼稚園段階には4つのモジュールが、学年1と2年では6つのモジュールが、学年3と4年では8つのモジュールが、そして学年5と6では8つのモジュールがあり、合計で27モジュールがある。2学年にまたがったモジュールとしたことで教師や指導計画者たちに融通性を提供し、どの科学カリキュラムや学習指導指針ないしは学習プログラムでも適合できるよう配慮されている。

例えば、もしある学校や教育区が、今ある教育プログラムに深みを与えるような地球科学の活動のみを求めているならば、FOSSはそれに役立てる。一つか二つの学年段階(例えば、3学年と6学年で)での科学プログラムを向上させる必要のある学校であれば、FOSSのモジュールを個別に選択して特定の要求を満たすことができる。新たな教育プログラムを一から作り直すような教育区の場合では、FOSSは初めから完全な効果をもたらすものである。

FOSS K-6教育プログラム					思考のプロセス
学年段階	生命科学	物理科学	地球科学	科学的推論とテクノロジー	
学年5・6	食物と栄養	てこと滑車	太陽エネルギー	モデルと設計	関係づける、組織化する、比較する、コミュニケーションする、観察する
	環境	混合物と溶液	地形	雲霧	
学年3・4	人体	磁気と電気	水	アイデアと発明	組織化を高度にする、比較する、コミュニケーションする、観察する
	生物のつくり	音の物理	地球の物質	測定	
学年1・2	植物	固体と液体	大気と天気		組織化を始める、比較する、コミュニケーションする、観察する
	昆虫	つりあいと運動	石、砂、どろ		
幼稚園(K)	生命科学		物理科学		比較する、コミュニケーションする、観察する
	木々	動物たち	木片	紙	

A. FOSSカリキュラムの構成要素を以下に紹介する。

(1) 書類

教師用指導書として、FOSSの各モジュールには、モジュールの概要説明書と一連の活動指導書(フォリオ)、生徒用シートの複写用マスター、評価用書、FACTs(資料集)、及び教材目録シートが含まれている。

- 概要説明書: 教師のための理科内容の説明と、FOSSモジュールを授業で効果的に用いるための活動の予定と組み立て方についての情報を提供する。

- 活動指導書: 各活動はフォリオと呼ばれる詳細な冊子に記述されている。45~60分単位の2時間以上の授業時間を要する詳しい授業プランに加えて、それぞれのフォリオは固有の背景的情報と教材リスト、準備計画案、討論のための質問例、数学や社会科、美術への展開、家庭での活動、授業で文化的多様性をとり入れるための示唆などを含んでいる。

- 生徒用シート: ほとんどの活動が最低1つは生徒用シートを含んでおり、子どもたちが観察した事柄を記録したり構造化したり解釈することに役立つ。複写用マスターには、英語用とスペイン語用がある。

- 評価用書: 1~6学年用の各モジュールは評価用書を含んでいる。3~6学年用モジュールは、

ハンズオン（直接体験）や描画、及び再考という3部からなる評価用書を含み、子どもの科学的なプロセスや内容についての理解を評価できるように設計されている。1学年及び2学年用のモジュールは、パフォーマンス（実技的）による評価を組み込んでいる。幼稚園用には形式的な評価はない。

・教材目録シート：各モジュールに2種類の教材目録シートが含まれている。一つは、そのキットにあるすべての要素の詳細な記載で、もう一つは、備品扱いとなるものと消耗品扱いのもの、及び教師が準備すべきものについての記載である。教材の中には「測定キット」に含まれているものもある。

（2）教材キット

子どもたちは教材を用いて作業することで最もよく学べる。このため、FOSSの各モジュールは教材キットを準備している。各キットは、一度に32人までの子どもたちの授業が可能のようにできている。生徒用教材の入った箱の中に、そのモジュールの教師用指導書1部と教師が始めやすいように教師授業準備用ビデオテープが入っている。

FOSSキットには最小限必要な消耗品扱いの教材が入っている。日々必要な教材（はさみや鉛筆、セロテープなど）や食品類（小麦粉や砂糖、果物など）が必要な時には、教師がそれらを準備することが求められる。一部の消耗品類（種、色付き砂など）は、最低2度、そのキットを用いるに十分な量が入っている。消耗品類は、交換パックを注文するか、または電話で直接注文することができる。生き物教材の場合は、教師がその地域の素材を活用したり、業者を利用したり、あるいは、添付のクーポンを使って手に入れることができる。活動指導書（フォリオ）は、教師が生き物素材を見つけるための情報を提供している。

（3）教師授業準備用ビデオテープ

すべてのモジュールの箱の中に、生徒用の教材とともに教師用授業準備用のビデオが入っている。ビデオはモジュールの紹介のためにあって、教師用指導書に代わるものではない。27のビデオのそれぞれで、FOSSの開発メンバーか熟練したFOSS教師の中の一人が登場し、各活動で教材をいかに活用するかを示すとともに、実際にFOSSモジュールを授業で用いている様子が具体的に紹介されている。

B. FOSSの目標

FOSSは科学を教え学習を評価することに対する新鮮なアプローチとなるように、2つの重要な目標が設定された。

- ・科学的リテラシー：すべての生徒たちに、1) 認識発達段階に適した科学の経験、及び、2) ますます科学的、テクノロジー的に複雑化する世界で生きていくための準備としてより高次の考え方を身につけるのに役立つ科学の経験、を提供すること。
- ・指導法的効果：すべての教師たちに、学習と指導法に関する最新の研究成果を反映した、完全かつ柔軟でさらに使いやすい科学教育プログラムを提供すること。

C. 科学的リテラシー

21世紀における生活の質は、科学とテクノロジーによって強く影響されることから、すべての人々が科学的教養を身につけていることは重要である。人々は、環境の保護をはじめ、エネルギーの消費と拡散、安全、食料生産、水の使用と水の質、資源管理、その他科学的な証拠や明確な推論を要する数多くの諸問題に関して、思慮深く情報に裏づけられた意志決定ができなくてはならない。アメリカ科学振興協会(AAAS)のプロジェクト2061では、科学的リテラシーを次のように特徴づけている。

- ・自然界の多様性と相互依存性について精通すること。
- ・エネルギーをはじめ、変化のパターンや変異、システムと相互作用、及び尺度と構造、といった科学の「重要な考え方」や科学の鍵となる諸概念について理解すること。
- ・科学とテクノロジー、数学の知識は、相互に依存した人知であること、及びある種の力とともに限界も内包していること。

- ・科学的に思考する能力を有すること。
- ・個人的、社会的な目的のために、科学的な知識や思考のパターンを用いること。

F O S Sのプログラムは、人間の認知発達が時間的に予測可能な一連の段階に沿って進むという理論に基づいている。F O S Sでの活動に現れる科学の内容と思考のプロセスは、生徒たちの発達段階に基づいて継続的に彼らの科学的リテラシーを構築する。各段階は、それ自体で完全なものであるが、かつ、別の何かの準備でもある。第2学年であれば、子どもは生物についての情報を観察したり比較したり構造化したりすることで、自然界とその多様性についての教養を身につけるようになるし、それゆえに、科学的リテラシーを身につけた2学年生ということとなる。5学年であれば、生徒たちは原因と結果の関係に関して考察することができるようになり、また、変量間の関係の理解に必要な内容に取り組むことができるようになる。F O S Sは、生徒たちが中学校へと進むにつれ適切な段階を経たりリテラシーを確立できるように設計された活動的な学習経験を提供することによって、完全な科学的リテラシーの獲得に貢献するものである。

D. 指導法的効果

ハンズオン（実際の体験による）理科は、生徒たちにとって本質的に楽しくて興味があるものである。そして、ほとんどの教師たちは、効果的な指導教材があればすばらしい理科教師になれる。この目標のために、F O S Sの開発スタッフは教師向けの作業に大変な時間と労力をかけた。その結果、F O S Sの多くの提供物と指導方法が、生徒たちと同様に教師たちもハンズオン理科を実施するものとなっている。プログラムでの実践的特色を簡単にまとめると以下のようなになる。

- ・完備された教材キット
- ・教師のための科学の背景情報
- ・多くの教育スタイルに容易に移転したり適合させたりできる詳細な指導案
- ・生徒たちがデータを収集し組織化するに役立つように作られた生徒用記録シート
- ・学際的活動への助言
- ・多文化的適用のための考え方
- ・読書やビデオ、ビデオディスク、及びコンピュータプログラムによる経験の拡張への助言
- ・多様な形態での評価手段
- ・教育学上の諸論文と教室経営手法
- ・教師授業準備用ビデオ

E. F O S Sの背景にある考え方

(1) 認知発達のモデル

F O S Sのプログラムは、人間の認知発達に相互影響的である。活動は、生徒たちの成長における異なった考え方に適合させてある。F O S Sの開発者たちは、人間が予測可能で記述できる一連の認知発達の段階を経て系統的に成長するというを示す研究にしたがった。はじめの数年間、生徒たちは観察したり記述したり並べ替えたり事物や生き物について知ったりといった直接的な体験によってもっとも良く学べる。小学校の後半ともなると、分類したり、確かめたり、実験したり、事物と生き物の因果的関係を決定したりすることでより高度な概念を構築するようになる。F O S Sの諸活動はほとんどすべてをハンズオンの探索活動にあてている。

F O S Sの諸活動は、どの活動においても生徒に期待する認知的負荷が生徒の認知能力を決して越えないように慎重に組み立てられている。教科内容と密接に結び付いた発達の適切な諸活動によって、F O S Sは、「垂直的カリキュラム設計」（生徒たちをかつてより複雑で抽象的な理解の段階に引き上げようとする諸活動）に対置するものとしての「水平的カリキュラム設計」（ある段階での多様な経験を提供する数多くの活動）を可能としている。

(2) 科学的思考のプロセス

多くの教育プログラムが思考のプロセスを活用しているけれども、F O S Sは認知的段階に特に関連させた連続的な発達のタキソノミーの中に思考のプロセスを組織化している教育プログラムである。

- ・観察すること（情報を入力するための感覚の活用）
- ・コミュニケーションすること（話したり、描画したり、行為すること）
- ・比較すること（対にすること、1対1の対応づけをすること）
- ・組織化すること（グループにまとめること、順にすること、連続させること）
- ・関係づけること（原因と結果、分類）
- ・推理すること（上位／下位分類、条件推論、科学的法則性の導出）
- ・応用すること（方略的計画づくり、発明）

科学的思考のプロセスは、FOSSの内容選択に役立つ。3及び4学年の生徒たちは、「組織化すること」のプロセス全体を用いて、事物や生き物を観察したり、比較したり、時間や空間の中で捉える（事物や生き物を順にしたり、連続させる）ことができると期待される。一方で、5及び6学年の生徒たちは、確からしく「関係づけること」のプロセス全体を用いることができるが、本質的な自然の中の推理（細胞理論や物質の原始モデル）を要するトピックでは困難が生じるであろう。5及び6学年生たちは、振り子の長さとも1分あたりの振り回数との関係や、てこの力点と負荷の関係、そして、船の容積と耐えられる旅客人数の関係を見い出せることが期待される。

F. 実践的教育学

FOSSプログラムの中ではいくつもの教育実践上のテクニックが用いられ、教師にとって理科を効果的にし、学校にとってより対支出効果を高め、生徒にとってより生産的なものとする。

・ハンズオン（実際的な体験的）アプローチ： 科学に取り組むためのハンズオンアプローチは、小学校の生徒たちが確かな科学的知識の基盤を作るのを助けるもっとも効果のあるやり方と考えられている。ハンズオン活動は生徒たちを動機づけ、好奇心を刺激する。FOSSの生徒たちは探索し、実験し、データを収集し、結果を整理し、生徒自身の行動に基づいて結論を導き出す。そうした活動で集める情報が、科学的に思考するやり方の成長を促す。

FOSS活動には、ある学習サイクルが埋められている。活動はしばしば教材の自由な探索から始まり、見つけたことについての討論の中で、用語が導入され、さまざまな考え方が露呈される。そして、概念を強化するための教材を用いた補足の経験へと続く。用語は、いつも、生徒たちが直接体験をした後の状況で導入される。

・複数感覚手段： 観察はしばしば見ていることに等しいが、FOSSでは、五感のすべてを観察に用いてより良い理解を導こうとする。FOSSでは、肢体不自由児や学習遅進児に適用させるためだけでなく、すべての生徒たちにとって情報収集力を強化するために複数感覚手段を用いる。

・一人で一緒に作業する（幼-2学年）： 初期の生徒たちは共通の班目標に向かった強制的な作業をはじめたばかりで、教材を共用しようとならないのが常である。FOSSの幼-2学年の活動は、しばしば生徒たちを4から10人の班に組織する。班の各生徒は、自分自身が作業する教材を有しているが、他の生徒たちと接近していることで、アイデアの交換や見つけたことの伝達を容易にしている。私たちはこうした初期の児童期の組織形態を「一人で一緒に作業する」(working alone together)と呼んでいる。

・協力的集団（3～6学年）： 協力は、科学という行為の本質である。3～6学年におけるFOSS活動は生徒たちが4人の班で作業して、それぞれの班員がデータの収集や分析、結果の報告に対して貢献できるように設計されている。生徒個人の観察や考えは、常に班の意志決定に取り入れられる。協力的集団は、学級と生徒の管理に役立ち、生徒の学習を強化する。

G. 教室経営手法

ハンズオン理科の効果的な実施のためには、思慮深い教室経営が必要である。FOSSの設計においては、教室経営の4つの観点が盛り込まれている。それらは、時間と空間、生徒、及び教材である。

・時間： ハンズオン理科には時間がかかる。これは必須である。時間の利用を最大限効果的にする重要な要素がプランニング（計画づくり）である。FOSSの活動指導書では、教師たちに指導と進んだ教材の準備への時間配分に関する手引きをしてある。

教師たちは、一日中でハンズオン理科のための時間がとれないと感じているかもしれない。創造的な教師たちはF O S Sを用いる際に予定外の利点を手に入れている。どのF O S S活動もコミュニケーションスキル（口頭、筆記、描画）や数学的スキル（計算、グラフ化、配列化、数列化）を実行するような各種プロジェクトを示唆している。F O S Sに加わってみて、多くの教師たちが、F O S Sのために多くの時間を設けられることを報告している。それは、ときには、数学や読解の時間に、指導書中で記載されている機会を利用するような活動へと拡張するものであったりする。

- ・空間：ハンズオン理科は空間を要する。生徒たちの作業空間や、育てたり作成したりする調べものの活動の空間、及び結果を表示するための空間である。F O S Sの教材内容の中には、植物成長や蒸発といった活動の間の空間の最大限の効率的使用について特に配慮して設計されたものがある。F O S S活動の記載では、教材の配置や実験、及び保管のための教室設置の最善の経営策についての助言がある。

- ・生徒：ハンズオン理科は異なったタイプの行動をする生徒、つまりより活動的な生徒となることを求めている。新たにハンズオン理科を実践する教師にとって、学習の質の変化によって騒々しさが増すということを理解することは重要である。教師たちは、活動と騒音が影響し合える新たな快適区域を設定しなければならない。F O S Sの活動指導書ではさまざまな活動が経営可能な状態を維持するための手順について助言している。班分けや順序だった行動の設計、及び生徒用ワークシートは、生徒たちの経営に役立つ手法や教材の一部である。

- ・教材：ハンズオン理科は教材、つまり測定道具や容器、薬品、トレー、飼育プランターなどを要する。教材の経営は、分配や収集、洗浄や乾燥、保管、在庫管理、失われたり壊れたり消耗した教材の補充などを含む。優れたハンズオン理科プログラムのために教材経営は決定的である。

F O S S文献では、教材経営を順調に進めるための数多くのテクニックが記されている。困難な条件の僻地においても教師の求めに応じてキットが配達されるよう中央管理システムをとっており、メンテナンスするためのほとんどの問題は解決される。教材は、生徒たちの助けを借りて教室内で管理することができる。3学年以上の生徒たちは、教材を配分したり、洗浄したり、保管したり、記録簿につけるといったことすべてを任せられるとみなすことができる。生徒の能力は、しばしば見過ごされがちであるが、彼らはハンズオン理科を続けるために、喜んで手だすける。

H. F O S Sモジュールの概略

(1) 幼稚園児用モジュール

「木々」モジュール（3つの活動）は教室や学校内、及びその周りにある木々を探索する。実物教材と描写教材を使って、生徒たちは学校の木々を選び、木の部分を観察し、葉について調べ、四季を通じた変化を切りぬき帳に記録する。

「動物たち」モジュール（5つの活動）では、導入で、子どもたちに比較する生き物の選択させる。各活動で、生徒たちはある生き物の体のつくりや行動を観察したり記録して、類似した生き物の場合と比較する。グッピーと金魚、陸ヘビと海ヘビ、小さいミミズと大ミミズ、及び、ワラジムシとダンゴムシが、時間をかけて教室で飼われ、小人数の生徒の班が中心となって調べ活動をする。5学年でのオプションな活動では、教室で鶏卵をふ化させるためのふ卵器の設置について記載している。

「紙」モジュール（3つの活動）は、生徒たちを紙についての調べ活動に導く。生徒たちは、紙の特徴調べからはじめ、紙でものづくりをしたり、水がいかにか紙に影響するか、及び自分たちで紙を作ってみる。

「木片」モジュール（2つの活動）では、生徒たちは異なった種類の木片（松、合板、アメリカスギ、チップボード、しなの木）の特徴を比較する。生徒たちは、水の中での木片の様子を調べ、何がそれを沈めるのかを見つけ出す。のこぎりやサンドペーパーで木片を切ったり磨いたりして、出てくるおがくずや削りかすを調べる。2つの木片を合板とチップボードをサンドイッチすることによってくっつける。また、くぎやのりを用いて、木の彫像を制作する。

「繊維」モジュール（2つの活動）は、生徒たちに日々の生活環境での共通した素材としての繊維について探索させる。まず、繊維の特性調べではじまり、繊維との関わりとして、布を汚したり洗濯

したり、繊維を染めたり、繊維から何か役立つものやきれいで楽しいものを作ったりする。

(2) 1・2 学年生用モジュール

「植物」モジュール（4つの活動）は、生徒たちが植物の世界の生命の多様性を尊ぶことに役立つ。彼らは、花を咲かせる植物のつくりを知り、成長した植物から新しい植物が生まれる様子を見出す。生徒たちは、成長サイクルの短いアブラナ科（Wisconsin Fast Plants TM）を種から育て、1ヶ月ほどのライフサイクルを観察する。生徒たちは単子葉植物（らい麦）と双子葉植物（むらさきうまごやし）を「芝生」上でともに育てて、刈り取りの結果を比較する。彼らは、新たな植物を、差し木や球根、根、から育てて、成長を観察する。

「昆虫」モジュール（6つの活動）は、多くの昆虫の成長過程の学習である。ゴミムシダマシ、ナガカメムシ、ハチミツガ、カイコガ、ヒメアカタテハ、コオロギ、及びアリなどが継続的に観察する生き物の一部である。生徒たちは、異なった成長段階にある昆虫の体のつくりや行動を観察したり比較して、見つけたことを議論するとともに記録して、解決すべき疑問を明確にする。生徒たちは、完全かつ単純な昆虫の変態を体験し、動物の世界の多様性の一面に触れる。

「固体と液体」モジュール（4つの活動）は、生徒たちに、物質の2つの状態の特徴を導入する。固体の物質の特性を記述した後に、生徒たちは造形課題でそれらを用いる。彼らは、特定の固体（とうもろこしの粉、豆、米）と液体（水、コーンシロップ、油）の特徴を調べ、またそれらのはたらきを比較する。固体と液体及び液体と液体の相互作用を観察して後に、生徒たちは、歯磨き粉が固体か液体かを定めるための調べ活動を行う。

「つりあいと運動」モジュール（3つの活動）は、生徒たちにいろいろな形のカードや鉛筆をつりあわせ、モビール（遊具の一種）を作ることから、バランスやつりあわせ、安定性について探索させる。彼らは、コマの回転運動や、ぶーんと音の出るもの、ろくろ、軸と車輪を持つ機構でのローリング、回転するコップ、及び、おはじきなどについて調べ活動を行う。

「石、砂、どろ」モジュール（4つの活動）では、さまざまな種類の岩について導入する。モジュールの活動を通じて、生徒たちは岩を並べ替えたり洗ったり、比較したり、順列にしたりする。彼らは、ざる（ふるい）を使って岩の混合物を分別し、粘土と土について探索する。生徒たちは、こうした地球物質を用いた多くの経験を経たあとで、彼らの日常生活において、人々がいかに地球物質を活用しているかを示すための自主的研究に参加する。

「大気と天気」モジュール（4つの活動）は、生徒たちによる天気観測を含む。彼らはプラスチックの注射器とチューブを使って、空気の性質を調べ、空気が押し縮められたときにかさが縮められ、圧力が増すことを見つける。生徒たちは、空気のはたらきを利用した次のようなさまざまな仕組みを制作する。パラシュート、プロペラ、風船ロケット、グライダー、風車、吹き流し、風見用円錐筒、たこ、及び、風車。

(3) 3・4 学年生用モジュール

「生物のつくり」モジュール（5つの活動）は、教室で生き物の物語りをつづる。生徒たちは、種を発芽させ、それを水栽培で育てる。また教室でザリガニを飼い、その興味深い体のつくりと行動を観察する。

「人体」モジュール（4つの活動）は、生徒たちが自分たちの体（骨格や関節、筋肉）の基礎的なつくりと相互のつながり、及び、特に刺激反応の状況で、いかにしてこれらのつくりが協調して運動に結びついているか、についての理解を進める。

「音の物理」モジュール（4つの活動）は、音の発信源や音の受信、強さ、高さ、及び音の方向などについて経験する。また、振動がすべての音の発生の中心と考えられることも扱う。生徒たちは、音の物理に関するさまざまな概念を探究するために学習センターで作業する。

「磁気と電気」モジュール（4つの活動）では、永久磁石や電気の単回路、及び電磁石について探索する。はじめの3つの活動で得られた知識が、4つ目の活動で応用され、生徒たちが電信機を作り、互いに連絡し合うための有線機構を開発する。

「地球の物質」モジュール（4つの活動）では、生徒たちが地球が作られている基礎的な構成物質に触る。彼らは、模擬岩と実物の岩を体験し、鉱物や特性を調べ、地質学者が貴重な岩を分析したり

鉋物を同定したりするテクニックについて学ぶ。

「水」モジュール（4つの活動）は、生徒たちを最も驚くべき物質である水に密着させる。彼らは、日常生活のさまざまな場面での表面張力や氷結、膨張、濃度、気化、及び凝結について調べる。最後に、水の質（クオリティ）と水の自然循環の過程について考える。

「測定」モジュール（4つの活動）は、メートル法での測定を導入する。生徒たちは、基準単位について学び、長さ（メートル）、重さ（グラム）、液体体積（リットル）、及び温度（摂氏）を用い、また、測定が必要な場面で適切に道具として用いられるようにする。

「アイデアと発明」モジュール（4つの活動）は、拡散的思考と創造性に焦点を当てる。科学者たちが普段目立たないで行っている情報収集に用いる4つのテクニック（摩擦、クロマトグラフィー、指紋、鏡像）を習得した後に、生徒たちは、それらをゲームや芸術作業、及びその他の創造的な製作に活用する。

（4）5・6学年生用モジュール

「環境」モジュール（6つの活動）では、生徒たちは多くの異なった植物や動物、及び彼らの環境を探索する。陸上と水中の両方の機構に関する構造的な調査によって、環境要因、許容性、環境上の優先権、環境の範囲、などの概念が形成される。

「食物と栄養」モジュール（4つの活動）では、生徒たちに、酸性内容物、ビタミンC、脂肪分、及び糖分について植物を試験する手段を与える。こうした活動に続き、彼らは、知識と栄養に関する成分表からの情報を活用してランチメニューを計画したり評価する。

「てこと滑車」モジュール（4つの活動）は、生徒たちに6つの単純な機械の中から2つてこと滑車をを用いて、力学に関する基礎的な概念を示す。生徒たちは直接経験により、力点、作用点、支点、力の拡大率などを理解する。

「混合物と溶液」モジュール（4つの活動）は、生徒たちに基本的な化学的概念を導入する。彼らは、混合物と溶液、濃縮、飽和、蒸発、及び、化学反応を経験する。

「地形」モジュール（5つの活動）では、地文学と地図づくりの概念を学ぶ。生徒たちは、川の流れの台を使って、土地の造形をシミュレートし、地形図法によって地形を表現する。

「太陽エネルギー」モジュール（4つの活動）は、生徒たちに太陽の動きと受ける太陽エネルギーに関する大切な概念を導入する。生徒たちは、いくつか異なった地球の物質を使って、太陽エネルギーを取り込み、また反射式や吸熱式の集熱器を用いて太陽熱湯沸かし器を作る。最後に、モデルハウスについて考え、いかに太陽エネルギーを活用した空間利用の発熱性を最大にするかを見つけ出す。

「変数」モジュール（4つの活動）は、生徒たちに変数の概念を導入する。生徒たちは、変数を同定し、変数を制御し、さらに、多変量システム—振り子や飛行機、ボート、及びカタパルト—を用いての対照実験を実行する。

「モデルと設計」モジュール（4つの活動）では、科学的なモデルの概念について学習し、生徒たちに多様な問題の解決法を見出す機会を設ける。強く強調されることは、作業モデルを組み立てて、実世界の問題解決に結びつけることである。

I. 教育者への体系的なサポート

学校や教育区が科学的リテラシーを改善するような変化を成功させるためには、いくつかの要素が、ひとつの方略的で体系的な計画として慎重に組織化されなくてはならない。FOSSはひとつの主要な要素—変化のための乗り物—と、いくつかの実行支援の要素を提供している。支援は、教師の熟練度を高める研修体験と、論文とビデオテープ、授業用補助・支援教材、及びニュースレターやインターネットのWebサイトなどを通じて行われる。

（1）研修機会

FOSSでは、導入のためのワークショップや体験済み教師向けのワークショップから、学術的で理論的な内容を含む発展的セッションまで、いくつかの資質向上の段階を設けている。導入のためのワークショップは、FOSSやそのさまざまな素材をよく知りたい個人が年間を通じて利用できる。学校や教育区ですでにFOSSが実施されているところの教師たちは、支援的、経営的、及び体系的

な改善に関わる諸問題に焦点化した体験済み教師向けのワークショップに参加できる。発展的セッションは、プログラムを支えている理論的で学術的な知識や経験を必要とする個人の要求に応じて提供される。

F O S Sワークショップの修了者は、全米各地にいる。彼らは、質問に答えたり、実践を発表したりしてくれる。彼らにコンタクトする場合とか、スタッフ訓練機会に関するより多くの情報を得たい場合は、次のF O S S代表者まで電話をかけなさい：1-800-258-1302。

(2) 授業用補助・支援教材

- ・スペイン語語彙事典： スペイン語バイリンガルの環境にいる教師たちは、科学の定義に関するF O S S語彙辞典が便利なのがわかるだろう。スペイン語と英語の両方での語彙辞典である。加えて、すべてのF O S Sモジュールの生徒用教材は、スペイン語と英語とを両方備えてある。

- ・読本・資料： 読書は重要な学習である。そのため、F O S Sは各モジュールの活動や概念に関連した物語や解説書といった副読本を用意している。それらすべては、内容の正確さや興味の程度、年齢的妥当性を確かめてある。

- ・論文とビデオテープ： F O S Sが基づいている教育的、哲学的、理論的基礎については、2つの形態で利用可能である。つまり、論文とビデオテープである。

 - 「思考と学習の生物学的根拠」（論文とビデオテープ）

 - 「科学的思考過程」（論文）

- ・その他の発行者： そのときどきで、F O S Sはプログラムを実践する教育者を支援するその他のドキュメントを利用できるようにしている。例えば、

 - 「F O S Sと米国科学教育基準(NSSE)の関連」

 - 「F O S Sに関連する最新の研究リスト-定期刊行」

これらは、Lawrence Hall of Scienceを通じて入手できる。

- ・Lawrence Hall of Science へのホットライン： もしF O S Sについて質問があるなら—設計や哲学、評価手順、活動上の問題点、その他のプログラムに関連あること—、次のE-mail アドレス（略）に連絡すれば、スタッフが応対する。

(3) 仲間たちとのリンク

- ・F O S Sのニュースレター： F O S Sを購入した教育者は、自動的にF O S Sユーザーの全国ネットワークの一員となり、年に2回のニュースレターを受け取る。ニュースレターは、ユーザーにF O S Sのスタッフや教師が書いた記事を含む開発情報を提供し、理科を教える中で有益であった実践上のアイデアや示唆を発表している。すべてのメンバーがニュースレターに投稿できる。

- ・F O S SのWeb サイト： F O S SのWeb サイトによって、多くの情報が読めたり、ダウンロードできる。関連書籍を見たり、活動教材を見たり、F O S Sの発行者へリンクしたり、F O S Sを使用している教育区と情報交換したりできる。次のサイトを参照。（略）

- ・顧客サービス： F O S Sとその製品、または交換部品の購入についてのより多くの情報は、次へ電話できる。（略）

【資料】F O S Sカリキュラム・ワークショップ講演録

1998年7月末に、F O S Sカリキュラムの開発と普及の中心的存在であるカリフォルニア大学バークレー校のラーリー・マローン氏とリンダ・デルッチ氏を招聘し、わが国にてF O S Sのワークショップを実施していただいた。科学教育に関連する研究者、実践者、企業人など、約40名の参加者があった。F O S Sプログラム・ワークショップでの両氏が話された主な内容をテープより書き起こしたものを以下に紹介する。特に、科学的な思考力・判断力を育成するために、どのような教材をいかに用いているか、生徒にどう働きかけるかといった点で、わが国の教育風土からは想像もつかなかったような新鮮な「実践的教育学」が反映されていることに注目していただきたい。

講演録

おはようございます。

さて、今日は実際、科学の授業で使う教材を用いまして、どういうふうな考え方でこれが使われているかを知っていただきたいと思います。

ほとんど実践に当てたいと思っておりますので、いろいろ教材を使って作業なさってみて、方法論もいろいろわかってくれると思いますので、その間、質問が出てきましたらどうぞしてください。

その前に、少し、概略をお話ししましょう。このプログラム自体が、どういう由来で発生いたしまして、なぜこういった形で展開しているか、知りたいと思います。

米国の教育者の講演をお聞きになった方はよくご存知でしょうが、全国統一の学習指導要領といったものはございません。したがって、学校の教室に直接出かけてみるまでは、この学校の1年生や3年生や5年生が実際何を学習しているのかはわかりません。

学校単位で内容的なことが決定するといっても過言ではないのです。端的に言ってしまうと、学校によれば、科学は全く教えられていないところも無いとは言えないのです。

我々、Lawrence Hall of Science に属しておりますが、ここでいつも皆に共通している強い確信は、科学は実践で学ばねばならないということでした。

ただし、これは我々の強い信念ですが、実際の教員や学校の経営陣に普遍的に理解されていた考えではありません。

学校によっては、科学らしきものも教えてないところもあると申し上げましたが、従来はもちろん教科書主体の授業がほとんどでした。したがって、このように教材をふんだんに使って、かつ子どもたちが積極的に参加をするような形態のものは、そうした授業に取って代わるものの1つであると考えています。

しかし、こうした考え方も変化してきました。というのもこの10年くらい、昨日の Lowery 先生の話にもありましたように、いわゆる認知科学が非常に盛んになってきたとともに、さまざまな研究がなされまして、特に科学の分野に関しては、初等教育の早い時期に子どもたちが実際に自ら接する形で学ぶことが一番効果があるということが実証されてきたのです。

そこでアメリカにおける科学教育についてですが、この10年ほど前、つまり80年代半ばからアメリカでは科学教育改革なるものが唱えられるようになりました。すなわち、今までと形を変えてやってみよう。もしくは、今までと違った思考でこれに当たってみようという考え方が台頭してきたのです。

初めの頃の FOSS プログラムがまず目標としましたのは、一般の平均的な人のレベルを最終的には上げようということだったのです。というのは、その当時の一般の方は、科学的な考え方、科学的な原理をあまりよく理解していない。いわゆる基礎が身に付いていないという認識がありました。

しかし、どういう時代に我々が生きているかということを考えますと、日々の生活、社会一般が科学技術というものに非常におおきな影響を受けている、かつ、国の行く末に関する決定についても民主主義の社会ですので、つまりわれわれがやっていかなければならない。だとすると、そうした国の将来に関わる事柄に市民がきちんと全面的に関わっていくためには、基本がわかっていなければいけないという考え方です。

しかしながら、同時にわれわれ認識できることは、一人では科学に関するすべてを習得することはできないということでありまして、いわゆる教養のある、智恵のある人であれば、この世のそういった事情はすべて身につけているといった時代は、もはや無いのであります。

だとすると、科学に精通している人、サイエンティフィック・リタレートという言葉を使うのですが、そういう人は、知識をすべて頭の中に持っているという人ではなさそうである。どんな人を目指せばいいのかということですが、必要とあればどこから情報を探してきたらよいかわかる人、また得られた情報が効果的に使える人、そうした人をわれわれ目指したいと思いました。

例えば、私の世代でもって、次の世代の子どもたちがどのような知識を頭に入れておけば、国の将来を担うような決定をできるか、それは今の時点で把握することはできないのです。

ですから、事柄を頭に単に詰め込むというよりは、どのように考えたらいいんだろうかと、考える

姿勢を身につけてもらう子どもの教育をわれわれ考えるべきだと思います。

さて、例えば20世紀の初頭、1904年ころだったと思いますが、空気より重い物体によって、人が初めて空を飛びました。それから65年後、人の一生に例えると大体それくらいのものですが、それくらい経過した後に、人は月面に降り立っています。おわかりでしょうか、つまり、人の一生ほどの時間が経過しただけで、今世紀によたよたと空を飛び上がった人類が月に行った、それも衝突して死んでしまったのではなく、石を拾って生還してきた、ここまで進化したわけです。

それで人類が月面に最初に降り立った時から、また人の一生に相当するだけの時間が過ぎて、それから人類は今度はどんな偉業を成し遂げているか、私は想像もつきません。

アメリカで流行った番組に、スタートレックというものがありますが、確かあのドラマの中で、人が初めて知能をもった、人以外の地球外の生物と接触したのは、2063年という設定があります。先生方が教えておられる子供さんでしたら、2063年くらいは生きておられるのではないのでしょうか。もし、そのような事態が本当に起こっているとすると、彼らはその準備ができているのでしょうか。

したがって、そういった異星人に接したときは、なにをなにををなささいといった教え方を今からすることは無理だと思います。つまりそうではなくて、予想もつかない事態が展開しても、柔軟な思考をもって、創造力を発揮して、未来を自ら創っていける人をわれわれ育てていかなければなりません。日本の伝統的な教授法とひょっとすると理念が違うのかも知れませんが、もしかしたらこれから先、その差を学んでいくことになるのかも知れませんが、アメリカで我々が目指しているのは、考える個々人を育てることです。

すなわち、われわれの世界では、自然界に関する理解を高めていく過程を教育と申します。それが元々のエデュケーションという言葉の語源だったのですが、しかし、これを知っている人はアメリカにも多くおりませんで、知識をもっていたら、それを人にあげる、もしくは人と共有するといった見方の方が大半であります。

それは正しい元々のエデュケーションという言葉の解釈ではありませんで、元々その個人の中にあつたものを引き出すような環境を作ることがエデュケーションという意味だったのです。

この箱の中には、教材と、先生方のための教師用手引き書が入っています。これは先生方にとってもしよい機会を与える教材であるとわれわれは考えながら作っているわけです。すなわち、興味がありそうな物事に対する考え方を、具体的な教材で経験してもらうことによって、経験からその考え方を汲み取っていき、子どもたちと作り上げていこうとする機会を先生方が与えるチャンスを提供するものであると。

それから原則としてこれはグループ学習になります。一人一人がするのですが、仲間がいるというのが原則となります。で、お互いに自分の知っていることを友達と共有することによって、お互いの理解の範囲をどんどん広げていって、もっと完全な理解に近づけようとする姿勢です。

そうすると教室での教師の立場が従来の座学から異なってくることに注目します。例えば、子どもたちが意図に反してなかなかストレートにわかってくれないと、なかなか確信がつかめないという場合に、時には先生がこうするんだよと言うことはありますが、これは例外的なことでありまして、それは違う、こうすべきだという教え方は無いのです。というのは、それは間違った考えに違いないと先生が思いこんでいても、ひょっとすると、それは単に異なった考えに過ぎないといった場合はあるわけです。

昨日のラーリー教授のお話しをお聞きになったでしょうが、あの中で、同じもの同士を丸で囲んでみましょうというのがあって、馬、牛、鶏、ベッド、というのがありました。一見してみると、馬、牛、鶏、を丸で囲めば全部生き物だから正しいのではないかとと思われるかも知れませんが、別の考え方として、馬、牛、ベッドをひとかたまりにして、4本足だから、というのも成り立つわけです。つまり、これは、考え方の多様性ということであろうと思いますし、そういった域に子どもたちも到達してもらいたいというのが、われわれのねらいです。

さて、そういった違った考え方ができるということは、われわれ誉めてあげるべきだと思います。それから、実際これから教材を使つての展開になりますが、これは個人的な信念なので一言申し上げておきますと、「なぜ私はこの仕事、活動をしているのだろうか」と、最大の目的は、この地球、こ

の星を救うことです。

それはどういう意味か、これから何世代の人類は、大変な課題を背負って生きていくことになるかと考えているからです。資源は今まで無制限ということで、手当たり次第掘って来たわけですが、これからはその利用の優先順位というものを考え直さなければならない。もちろん、使い捨てというものは今まで自然だったわけですが、これからはリサイクルという形でまったく新たな発想をしなくてはいけない。それから、水というものは豊富というように考えられてきましたが、地球上で一番貴重な資源だと思えます。これに対するアクセスをどうするのかということは大問題ではないでしょうか。したがって、エネルギー源のことにしても、それからアメリカではゴミ問題にしても、100年近く大量生産、商業主義ということで、作りたいだけ作って、捨てるだけ捨ててきた。それで、有害廃棄物とか毒性物質とかがあちこちに転がっている状態です。こうした問題を彼らは考えていかなければならないのです。

われわれの FOSS のプログラムは、ひょっとしたらその子どもたちが最高の人材であるかもしれない可能性を秘めているわけですから、彼らが将来、よりよい形で科学の道を探求していくことをねらって、彼らに最初の関心、意味づけ、動機付けをもっていただきたいということで、われわれがこの活動を展開しています。

もちろん、皆が皆、科学者になるわけではないでしょう。しかし、科学者にならない人も平均的な人として、基本的にもっと科学的なことを原理的に理解する人になってもらいたいと思えます。

われわれ、子どもたちのことをスチューデント学生というよりは、ラーナー学習者と呼んでおりますが、これにはいろいろな意味がありまして、学習者は彼らだけでなく、先生自身でもあります。プログラムの開発にあたっては、その教師の存在をかなり慎重に考えたつもりです。というのも、先生を通してこの世界に入っていくことがありますので。それで、つまりその人たちの存在と一緒に考えたいということで、開発スタッフにも現職教員の方を採用しました。それから、開発の結果出てきた一時的、プロトタイプ的なものをテストするという話がありましたが、これも現場の先生たちに使ってもらって、教材としてどうだろうか、フィードバックをさまざまにとって進めてきました。

当初、先生方には「私は科学に弱い」とか「専門が科学でなかったの」という方もたくさんいました。そこで、それを念頭においた教師用手引き書を開発したわけです。すなわち教師用手引き書を追っていくことで、先生方が教えるにあたって十分なバックアップ、サポートができるようにと。それから、この教材を通じて、先生方にも同じように科学を学んでもらえるようにです。

プログラムの構造自体が先生方をサポートするような構造になっています。ですから、教材の揃え方に関してもそれを考慮したものになっています。加えて、教師準備用ビデオというものを開発しまして、実際他の教室での展開の様子を予め見てもらうようにしています。それから、設計にあたりましては、実際、教室という場でできるのかと、現実にはアメリカですと一人の先生が平均32人くらい教室でみるということがありますので、教室の維持運営もできるのか、その場所でできるのか、ということもだいぶ考えました。

ですので、最大限理想を追求するというよりは、それぞれのバランスも考えたつもりです。つまり、考える子どもを育てていくための教材であり、よりよくねらいを学んでもらうためのものであるが、同時に教室での運営も容易である、可能であるということも考慮いたしました。

それから先生方は「時間があまり無いのです」と言われます。そこで、われわれ考えたわけです。科学だけにそれだけの時間を割くことはできないと言われているわけですから、じゃあ、例えば国語、美術・芸術・技術（工作）、数学、そういったものも科学の教育の場で教えられればよいのではないかと。どのくらいの授業時間といいますと、K学年（5歳児段階）から6学年で、週に3時間くらいです。時間が限られていますので、トピックとして限定して選択していく必要がありました。

K学年から6学年までで、27トピックを厳選しています。そのうち、4つのモジュールを選んで、そこから実際の教材を使ったアクティビティーを今日予定しております。

まず、「科学的推論とテクノロジー」の系統における学年5/6用の「モデルと設計」をしてみましましょう。アクティビティーの単元名は、「ブラック・ボックス」といいます。「ブラック・ボックス」は「中はどうなっているか、わからないもの」という意味です。これは、ペアでやっていただきます。

配りますので、パートナーを一人見つけていただいて、一緒にしていただきます。タスクは、何が中に入っているかを突き止めること。もし、この箱を開けることができたならば、中はどうなっているだろうか、ということを考えていただきたいのです。もちろん、中は開けられないようになっています。時間は5～6分、お二人で考えて下さい。その間、私は箱のアウトラインを黒板に書いておきます。枠だけを書いておきますから、時間が経ったら、二人のうちの一人が前に出て、箱の中はこうなっているというものを書いてもらいます。それから、教室の運営の話しを先ほどしましたが、生徒の手を借りるということをかなり組み込みました。お手伝いをしてくれる人のことを、「ゲッター」と呼んでいます。

さて今日は8テーブルできています。ゲッターの方は、来て2つずつ持って行って下さい。2人のところは、1つでいいのですが、3人のところは、2人と1人にわかれて2つもっていてもいいです。ただ、作業の考え方として、まず、1人で考えてみてもらいたいのです。パートナーと最初から作業してもよいですけども。それから、ゲッターの方に気をつけてもらいたいのは、箱にラベルがあって、字が書いてありますが、同じ字が書いていないものをもって行ってください。わざと、違う字のものを持って行って下さい。では、ゲッターの方、どうぞ。

(個別・班作業)

さて、時間がまいりました。各代表の方は、枠の上にA、B、C、Dという文字が書いてありますので、それぞれのところに代表者の方が来て、私のところの箱の中は、このようになっていると書いていただけますか。

はい、結構です。やっぱり、作業が付きにくいようです。

皆さんが黒板に書いたものは、いわゆる「モデル」というものです。モデルというものは実物そのものとは違いますが、できる限りこういうふうなものだろうということの説明するとき、手段として使われるものです。モデルを使って、意志の疎通を図るわけです。例えば、こういうふうなモデルを書いて、他の人にわれわれは箱の中でこういうふうなことが起こっていると思うよということをお伝えしようとするのです。

さてそれでは、それぞれのモデルを解説とまではいきませんが、どういう考え方をこの人たちがしたのかを一緒に考えてみましょう。まずはAです。これはどうでしょうか。中に、塗ってはありませんが、でっばっている方が大きな固まりとして出っ張っているのでしょうか。屋根の形をしているのでしょうかね。ここは、角のところに、斜めにスロープがついているモデルですね。これは、盛り上がった感じですね。やはり、角のところに付いています。これは、曲面をもった壁が中に2つ仕掛けられているのでしょうか。とてもいいと思います。

Bでは、一番上のモデルは、長方形のものが下にくっついているものですね。これは複雑系ですね。見ただけで複雑とわかります。さて、3番目は、やはり一辺に長方形がくっついています、縦にしたような感じですね。これは、上と似ていますが、頭のところが平らではなくて、スロープになっています。

ここで、今私が一人しゃべりしているわけなんです、実際の教室では、このように「それぞれの君たちのモデルはこういうのなんだと思うんだけど」と解説していくと、子どもの方がいやいや私は「そうことを思っていなかったんだけど、ここはそういうふうに見えませんか」とか、「こうした方がよかったかな」とか言ってきますので、そこでコミュニケーションが出てくるわけです。

その時に、科学者というものは、こういうふうな仕事をするのだよ、という解説です。だから、例えば今回こういうテーマがあって、それについて例えばCをあたえられた人たちが一生懸命調べた、ありとあらゆることを調べた、その成果を例えば学術誌などに発表すると、科学者の仕事というのはそんなものなんだと。

それで、Cというテーマをやはり別に研究していた人が、その学術誌に載った論文を見て、「あっ、こういった考え方をしている人が、同じテーマでいたんだな」ということで、ひょっとしたらその人に連絡をして、さらに研究が始まるかも知れません。冒頭に言いませんでしたが、Aという字がついたものは、すべて中身は同じもの、Bについても、C、Dについても中身はそれぞれ同じものです。ところが、研究者によって、全然違った理由付けをしてくるものなのですね。それぞれ、全部考え方

は違いますが、実際の中身は同じものなのです。

その次に、大会議というのを開きます。カンファレンスです。つまり、Aの箱を与えられた人たちが一緒になって、協議するわけです。そこで、皆が納得できるような合意が成立するかも知れない、コンセンサスが得られるかも知れません。ですので、次の展開としては、Aの人が皆集まる、B、C、Dも同じです。やってみましょう。Aの方はこちらに、Bは後ろ、そちらの後ろがC、こちらの前がDです。どうぞ。

(グループ協議)

各グループの代表の方、黒板のA、B、C、Dのところに書いて下さい。

まだ、議論が続いているようですけれども、このアクティビティをやっているときの生徒の反応は、今のこの教室の状態とほぼ同じと考えて結構です。

最後までやったんだけど、まだこれが結論というわけではない。ただ、ここで一度止めて、さてこの4つの箱には何が入っているのでしょうかというのを見るのがいい機会かもしれません。Aには、蛇状になったゴムのようなものが入っているのでしょうか。Bには、大きな長四角に細い棒のようなものが入っていると。Cには、長四角かあるいはカーブのようなものがある。Dには、三角形が張り付いていて、コーナーのところにくっつくような粘土が付いていると。これが結論ですよ。

でも、これが結論だよといっても、いやでも、本当はどうなっているんですかというのが、必ず出てきます。でもこれって、考えてみると、日常、よくある話しじゃないの、というふうに切り口を変えて言ってみます。例えば、これがその道の権威の人が言っていることだから、本当だったら皆真に受けるのに、この場合にはこの結論には反対なんですかと。で、この結論は、この部屋の各権威の人が決めたことだから、よいではないかと。担当研究者がBグループだったら、本当にBの中身はこれなんですかというのであれば、担当者のところに行って聞いてみれば。それでも、納得しない人たちがいますよね。じゃあ、開けてみましょう、という展開にはならない。では、じゃあここでもっといいモデルを構築するために、どうしたらよりたくさんの情報が得られるのかな。さて、よりよいモデルを作るために、何ができますか、この先。どうでしょう。

「箱を交換する。」なるほど、人数を増やすわけですね。いい提案だと思います。他に、いい提案はありますか。聴診器というのはどうですか。よく聞こえるかも知れません。「レントゲンをとる。」教室には無いけれども、例えば病院関係の人が家族とか親戚にいたりとか、もっと簡単なのは、空港のゲートでしてもらえばいいから。それ、ズルじゃないかという子も出てきます。これは、X線というのは、既存のテクノロジーを駆使するというだけであって、ズルではありません。

教材のセットの中には、空箱というのも入っています。それから、段ボールでつくってあるものもあります。いろいろ、案が出たところでこれを使うのですが。与えられたものと同じことが起こるような箱をつくることのできるかも知れない。そうですね。科学者というのは自説を証明するために、それを再現すべくいろいろなことを試みます。面白いことに、この箱が開けられない限り、やっている人の頭の中はオープンな状態になっているのです。A、B、C、Dの各グループの結論が出たところで、「さあ、開けてみましょう」となりますと、「なあんだ、これか」となって、それで終わりです。樹状突起のコネクションが増えなくなってしまいます。

私の考えをご披露しましょう。段ボールのこうした詰め物が入っています。例えば、噴霧器みたいなもので、水滴をつけて、そのままフリーザーに入れるとどうなるでしょう。そうすると、水滴は表面で均一に凍結しているはずですが。それが融けるところをずっと観察すると、段ボールというのは断熱材の役割も果たすでしょうから、この段ボール片が付いているところは融けるのも遅いのではないかと。これだけの考えをひねり出すためには、長い時間、この箱は開かず箱でなければなりません。私はこの実験をしたことはありませんけれども、それと似たようなことはしたことがあります。ちなみに、冬のことでした。教室に教材を運び込む前に一晩、車の中においてあったのです。教室の中は暖かかったので、それを持ち込むと、暖かい息を吹きかけると、その部分だけ反応が違うわけです。2秒くらいでした。形と場所がはっきりと浮かび上がって消えてしまいました。でも、そのアイデアでいいわけです。今まで考えていたどのやり方でやったときよりもピンときたということで、モデルを改めました。

われわれ、自然界のことをいろいろと知っているように思いますが、モデル化して知っているわけです。理解を進めるごとに、また、新たなツール道具が手に入るたびに、また、技術的な新しい情報が出てくるたびに、われわれはモデルを改変して行くわけです。このモデルを変えていくというのは、科学の中では大変重要な考え方です。それから、大会議をやりましたが、この中でどういうふうに意志決定がなされていくか、というプロセスを見るのも、非常によい教材だと思います。とても重要な点です。やはり一人ずつ、このときには止まるがこのときにはこういうふうに動くから、この説が正しいだろうということを皆主張するわけです。つまり、自説を提示する、自説を守るという形で議論するわけです。常にではありませんが、大体の場合に合意が成立します。ただ、その過程でグループダイナミズムが経験できることが非常にいいところだと思います。そこでグループ内の結論が出るわけですが、皆よりも普段から知識レベルが高そうな権威ぶっている人、もしくは、声の大きい者がそのリードを務めれるでしょうか。いずれにしても、科学は人の営みの一部だということが言えます。したがって、こういったプロセスでも経験できることですが、いずれにしても決断というのは人が下すものです。だから、科学は本当に面白い分野だと思いますし、逆に言うと、他の分野と同じように、それなりの欠点もあるということなのです。

「干ばつをストップする」というこの箱をご覧ください。われわれカリフォルニアから来たのですが、あそこは砂漠地帯でほとんど水はないのです。何年かに一度、それでも普段の年よりも水が本当に少なく雨が降らないことがあって、車が洗えないとか、庭に水が蒔けないとか大騒ぎすることがあります。その干ばつを止めようということで、新しい技術を開発中です。まだ開発途中なんですけど、うまくその機能を果たせるかご覧ください。100ミリリットルの水です。この箱の中に入れてみましょう。大丈夫ですね、機能しているようです。200ミリリットル出てきました。永遠に続くものはありません。でも、100ミリリットルから、600ミリリットル出てきました。で、9~10歳くらいの子供と考えてみましょう。どうせ箱の中に入っているのでしょうか、と返ってきます。俺の方が頭がいいよ、知恵が回っているよ、と言われてしまうのですが、「まあ、入っていたかも知れないし、入っていなかったかも知れない。そうじゃなくって、今日は、なぜこういうふうなことが起きるのか、考えてもらいたい。なぜ100入れたのに、600出てきたのだろう。どんなモデルになっているか考えて欲しい。」この干ばつストッパーの仕組みを考えなくてはならなくなります。いろんなすばらしいモデルが出てきます。バネ仕掛けとか、何か動物が中に入っているとか、貯めておくところがあるとか、やはり、絵を描いてモデルを説明しようとしします。2人ずつ、3人ずつくらい、きてもらって、僕のモデル、私のモデルというものを書いてもらいます。残りの子が批判するわけです。これは違うと思うとか。質疑応答があります。「そここのところがどうなったらああいうふうになるわけ」といった質問ができます。モデルの発表者は、だから大丈夫なんだと、自説を擁護しなくてははいけません。ここは科学では重要な部分です。自分でモデルを作ってみる、だけではなくて、それに疑問を呈されたときに、それに説明を付けるということが必要なのです。

さあ、どうなっているか見てみましょう。これだけです。ここに入れ物が入っていて、底に穴が空いていて、ホースが入っています。水はもれません。この長い方は、……。水を入れますね。ギリギリのところまで入れる。これは自動式サイフォンなんです。だから、上がかぶってはいけません。100ミリというのは最後の部分を満たすだけのもので、そうすると、自動的にスタートする。大変簡単な原理です。基本的な物理です。見たことはない、もしくはサイフォンの原理を知らない人にとっては、これはミステリーそのものです。つまり、不思議だな、ミステリーだなと思う、日常の事柄を解き明かそうとすることが、科学なんです。ありふれたことなのかも知れないけれども、大変すばらしいものに置き換えることができるのも、やはり科学です。

質問はありますか。「サイフォンの原理を知らない人にやるということですか？」今まで知らないということ的前提にやります。つまり、考えられないようなことが起こるとしたら、どうやったら起こるのかということを経験してみようとする練習です。「そうすると原理がわかる子どもは多くないのでないかと思いますが」。そうです。ただ、もっと重要なのは、この干ばつストッパーと同じことができるもので、ひょっとしたら、全然、サイフォン原理を使わないモデルを考えてくる子どもが出てくる可能性があるのです。今は、すぐに箱を開けてみましたので、先生方は、この時点でサイフ

オンしかないだろうと思込まれたでしょう。しかしながら、ひょっとしたら、同じことをさせることのできる箱の仕組みはほかにあるかもしれないのです。ですので、サイフォン原理を知ること以前の問題として、ある事象を説明するという課題を与えられた、観察、考える、考えるを体系づけてまとめていく、解答を考え、解答がその通りのことができるか、を実践していくことが重要なことです。例えば、これを見て、「たったこれだけ?」、「どうしてこんなことができるわけ?」となると、教師を探究のリーダーだと考えると、「私もどうしてかよくわかんないのよね」と、「でもホースもあるし、入れ物もあるし、水もあるので、本当にどうしてそうなるのか、やってみましょうよ」と。大体9~10歳を対照に考えていますので、どういうふうな仕組みになっているかの基本がわかると、かなりいろいろなサイフォンのバリエーションができるはずですが、この年齢の子どもたちだと、まだサイフォン原理である圧力差まではよく理解できないと思います。逆に言うと、この単元ではそこまではやりません。ただし、それより高学年でこれを扱うときには、数学的な形で扱えることになります。この段階では現象の説明に止まっています。ただ、今のご質問は、アメリカでも今非常に問われてきております。われわれの仕事そのものに対する問いかけを含む大変重要なテーマを論ずるきっかけをつくっていただいたと思います。ただし、余りにも問題が大きくて、今日のねらいからずれてしまいますので、今日はプログラムを見ていただくということに止めたいと思います。

「前の実験で、もし、もっと考えさせるとき、生徒が出したアイデアが教室内で試せない、例えば家でないとできないと言うときにはどうしますか。」家でやりなさいと言えます。氷とハンマー2つが無いと僕のアイデアは実現しないという子がいたら、これを貸すから家でやってみたらと。もちろん箱は壊さないでねといえます。家へ持って返って実験してくるでしょう。最近ではファックスという便利な機械もできましたから、同じものをやっている人たち同士の情報交換、つまりリサーチャーの卵のネットワークを全国展開する。そういった教室を外れた広がりをもつこともできてきます。

生徒たちは、この箱の中に何が入っているのかを見つけることが重要だと思うかも知れません。しかし、実際、この箱をさんざん考えた上で、開けてみたところで、生徒は自然界に関するどんな知識も知るわけではありません。まったく内容的にはどうでもよいことがあるのです。内容自体ではなく、どうなっているか知ろうとする、そのことのほうがとても大事なんだということを知ってもらいたい、それがモデルを作るというプロセスそのものだと思いますし、その中身を知ろうするために、人とコミュニケーションする、本当にそれが正しいかどうかを確かめるために証拠を集める、それが科学をすることそのものだと思います。

もう一つこうしたアクティビティーに関して、生徒はリスクを負うということを述べておきます。リスクは、仲間に私はこう思うという自説を明らかにしなければいけないという、知的なリスクです。なぜリスクかというと、ひょっとしたら意見の異なる人がいて、それは違うじゃないかと非難されるかもしれないからです。リスクだから、時には違うものがでてくることもあるし、反対論が出てくることもあるけれども、それはオーケーですよということを、教室の雰囲気として教師が設定しておくことが必要です。このくらいの年齢ですと、自分のアイデアが間違っているかも知れないけれども、あえて人に発表することによって、例えばほかの証明方法が見つかることもあるかもしれないわけです。つまり、科学と同じで、アイデアを披露して、それに対して議論を交わす、さらによりよいものができていく、その過程を経験してもらいたいということです。

この5/6学年というのは大体10~11歳くらいで、今やったのが、「モデルと設計」というものです。それでは、8~9歳、3/4学年向けにまいります。「生命科学」の系統の「人体」をやってみましょう。

8~9歳は、本当に活発ですよ。そこで、その活発さを頼りにしまして、人の体の動きを研究しましょう、ということで、人体を学習します。そして、この過程で、よい科学的な内容を身につけてもらいます。

縄跳びを2人1組で教室の外に出かけてしてもらいます。1人が縄跳びしている間にも、1人が観察します。その時に、体のどこが動いているかなあ、見てみようというわけです。教室に戻って、教室で議論します。その間、子どもたちはさまざまな観察や知っていることを何でもかんでも発表しようとしています。その時に、体をよく観察していると、骨が動いていたようだ、ということをとっかかり

にして、教師が体の骨格に話しを移していきます。

「骨があることはどうしてわかるの」と聞いてみましょう。「でも、こうして触ったら骨があるってわかるよ。指で触ったらわかるよ」とか、場所によっては骨が触りやすいところとそうでないところがあります。この体にある骨を総称して骨格と言っています。さて、骨があることはわかったけれども、何個あるのでしょうか。このときは、リスクを取らせることになります。「何個あるか言ってみて」。100とか206とか500とか1000かもしれないとか。ずっとその数字を書いてみましょう。本当は何個あるのか探してみよう。大体体にある骨は皆同じ個数なんですけど、それじゃ、皆自分の体に何個の骨があるか探してみよう。でも全部1人でやることは大変だから、体を4つに分けてみよう。それぞれの担当部分にだけ集中してやってみよう。腕だけのグループ、肩は含めず、肩につながっているところから、指先までを腕だとしてやってみましょう。両腕で何個あるだろう。第2グループは足。骨盤に大腿骨が接触しているところから足先まで。第3グループは、頭。首は入れません。第4グループは残り全部。それでは、ここは腕グループにしましょう。こちらは足グループ、頭グループ、残りグループ。

(グループ議論)

それでは、リスクフリーで発表しましょう。時間も十分無いことですので、恥ずかしがらずに、それから他の人の意見に引きずられないように、言って下さい。腕は2本分です。……。頭は？「2」。胴体は？「68」。足は？「48」。手は？「46」。足して下さい。164でしょうか、トータルで。骨格を構成する骨の数は164ということになるのでしょうか。笑っている人はどういう理由で笑っているのでしょうか。考えさせるだけではなくて、情報提供するというシチュエーションもあるのですが、この場合は情報を出すということになります。今までに知られている人体を構成する骨の数は、206個です。教科書にも書いてあるのですが、206が定説です。少なかったですね。どこで数えそびれたのか、今のままではわからなかったわけですから、他の手だてとして何が必要ですか。どんあものが役に立つでしょうか。「骨格のモデル」。骨格のモデルがあったらよいですね。学校にもし骨格模型がある場合は、これを登場させましょう。教材として申し上げますと、骨格模型を付けるのは、値段がはりすぎて、代替策として、骨格模型の写真にしました。小柄な人ですと、大体フルサイズです。情報源ができました。これをよく見るとわかるかもしれない。腕担当の人は、腕をみたいでしょう。足の人足は足。……。写真は1枚しかないの、これは後で貼っておきますから見て下さい。写真は前から見たところ。今お渡ししたのは後ろから見たところ。これが頭、骸骨です。展開図をお渡ししましょう。……。

(再計数作業)

それでは、発表してもらいましょう。今は4つの担当に分けてやりましたが、実際の授業では、4つの図を回して、それぞれのグループが、4つすべての情報をシートに書き込むことになります。ただ、これは時間の関係で一つずつ発表していただいてトータルを出しましょう。上腕、前腕、手首、手……。合計60個の骨がありました。元は、46ですから、どこを数え忘れましたか。手首ですね。足は、……。肘には皿がなくて、足にはあります。足首、……。60個になりました。前、48でしたから、どこを数え忘れましたか。足首、足先に骨が多いですね。それから足の先の境界もはっきりしないですね。ただ、手足は結構簡単です。頭と胴体は難しいです。顔面の骨は？8？、頭蓋骨は？2？、その他の頭蓋内の骨、……。耳の中にもあります。口蓋も骨ですね。正面から見ただけではわかりませんね。トータルは？26。残りの部分、……。絶対数を合わせるというよりも、手足がそれぞれ60個くらい、

(その後も、骨のパーツをつなげて、骨格模型を作ってみるなど、複数の活動が展開されたが、省略)

F O S Sプログラムのイントロとして短いものでしたが、関心をもって参加していただいてありがとうございました。短時間でしたが、子どもたちが科学のどういう側面をどのように体験するかを感じを得ていただけましたら幸いです。それから、自身も科学ってやってみると楽しいと感じて帰っていただけると幸いです。科学をすることによって、自然界を強力に解釈する力を身につけるとともに、科学的な思考力を身につけて欲しいと願っています。

2. 3 わが国の科学カリキュラムの見直し

2. 3. 1 資質・能力の育成へ向けた科学カリキュラムの見直し

(1) わが国での科学的思考力・判断力の育成は偏っている。

2. 2. 4項で述べた I E Aの実験テストの結果から、わが国の子どもたちは、観察実験の「操作」面では国際的に平均的水準にあるが、実験を計画したり仮説を設定したりという「研究」面において、及び、実験データを解釈したり、結果から結論を導いたりという「推論」面においては、国際的にかなり低い水準に止まっていることがわかる。

その原因として、観察実験の回数ではなく、その中身に問題があることが考えられる。すなわち、指示された操作手順に従えば済まされる観察実験が多く、自分で計画したり考察することが殆どなされていないものと考えられる。

(2) 子どもが主体的に問題解決に取り組める状況を充実すること。

今、科学カリキュラムに求められていることは、子どもたちが、急速に変化する 21 世紀の社会に適応し、主体的に生きていけるよう、高度な問題解決と合理的な意志決定の能力を育成することである。

そのために、子どもが主体的に問題解決に取り組める状況を充実し、子どもが問題の解決へ向けて科学的に研究したり思考することを可能とする教育環境を整備することが必要である。新しい学習指導要領にて「総合的な学習の時間」が新設され、選択教科の時間が拡大されたことは、そうした環境づくりへ向けた大きな進展と考えられる。しかし、子どもの科学的知性の育成を主務とする理科において、子どもの主体的で科学的な問題解決をどう保障するかが最も重要な問題であることを忘れてはならない。そのために、理科の教育内容、方法、時間、空間、観察実験状況等の教育環境について総合的に見直す必要がある。

(3) 科学的な資質・能力をカリキュラムで具体的に示すこと。

従来の学習指導要領では、科学的な資質・能力は明確に示されてこなかった。目標中に、「科学的に調べる能力と態度」とか「問題解決の能力」といった表現があるが、この漠然とした表現では、具体的にいかなる能力や資質が、どの段階でどの程度習得されるべきなのか分からない。育成すべき能力・資質を具体的に示さないことは、それを教育の成果として要求しないことに等しい。

したがって、学習指導要領において、科学的に思考したり判断する能力を学校段階ごとの到達目標として具体的に記すことが必要である。そのための基礎的、実証的、実践的な研究の蓄積が不可欠である。本研究は、その一つと考えている。

(4) 科学の教育内容を見直すこと。

科学的な資質・能力の育成に、いかなる教育内容が相応しいであろうか。これまでの伝統的な物理、化学、生物学、地学を背景としたいわゆる学問上の教育内容から、すべての人間にとって意義のある「科学的な見方や考え方」の教育内容の体系として再構築される必要がある。すでに、米国のスタンダードでは、これに関する激しい議論を経て新たな内容体系が実現されている。それに対してわが国では、いわゆる科学的リテラシーの論議が進んでいない。

教育課程審議会での教育内容に関する議論が十分かどうかを問う必要がある。学習指導要領の作成過程において、理科の内容が、十分な論理的根拠に裏付けられて設定されているかどうかを問う必要がある。生徒の立場に立って、それぞれの学習内容について「なぜこの内容を学習するのか」を問い、明確に答えられるものとならなければならない。それと同様に、「なぜこの方法で学習するのか」に関して答えられることが、資質・能力の育成を確実にするカリキュラムのあるべき姿と言える。

2. 3. 2 資質・能力の育成へ向けた学習指導要領の提案

前項で、学習指導要領に「科学的な資質・能力をカリキュラムで具体的に示すこと」を主張したが、例えばどのような形が考えられるかということの例（タタキ台）を提案する。これは、小学校と中学校の理科教育でそれぞれどのような科学的な資質・能力を育成するかの内容を、英米の例を参考に仮に示したものである。資質・能力については学年別の内容とせず、小学校及び中学校の終了段階までに学習されるべき内容ないしは到達目標として示した。その学習をどの具体的な教材で実現するかは、各教科書会社、各学校と教師の創意工夫に委ねられるとともに、研究開発学校や各種研究機関における実践研究などから事例が示されることを想定した。

ここでは、科学的な資質・能力の評価については明確でない。この領域の研究も遅れている。今後、その方向での研究が深まるよう努力したい。

<小学校>

第1 目標

第2 各学年の目標及び内容

〔各学年にわたる内容〕

1 目標

第3学年から第6学年までの理科の学習の最終的な成果として、個々の児童が以下の内容について習熟することを目標とする。

2 内容（（ ）書きは説明のためで表記しない）

(1) 研究を計画する

ア 自分や他人の素朴な考えや予想を、観察や実験によって調査できるような形に表現すること。（研究仮説の設定）

イ 調査しようとする事象に、どのような要因が関連しているかを検討すること。（変数の同定）

ウ 課題を調べるために、ある要因を固定したり、変化させたりして、公正な証拠を集める手順を検討すること。（変数の制御）

エ 研究を遂行するための材料や器具、装置、場所、その他必要な条件について考えること。（実験の準備）

(2) 研究を遂行する

ア 観察、実験、栽培、飼育及び製作等の研究過程で、安全性に配慮しつつ、材料や器具、装置を適切に用いること。（実験操作の技能）

イ 公正な証拠を集めるために、注意深く観察したり実験すること。（証拠の収集）

ウ 得られた結果を、正確に記録できること。（結果の記録）

(3) 結果を考察する

ア 得られた結果を、表や棒グラフ、折れ線グラフなどを用いて適切に表現できること。（結果の表現）

イ 結果における特徴や傾向を比較したり識別することができること。また、変化させた要因と変化した要因との質的な関係が考察できること。（結果の考察）

ウ 得られた結果が、調査しようとした考えや予想を支持するかどうかを考察し、研究でわかったこととして表現する。（結論の表現）

エ 研究でわかったことが、既習の事項や日常生活上の事象といかに関連しているかについて検討すること。（日常生活との関連）

3 内容の取扱い

- (1) ここに示された内容を、本来、領域や題材によって多様に展開される科学的研究過程を限定するものとして捉えないで、教師が児童の主体的な研究活動をより科学的な活動となるよう支援する上で、適宜、適用する活動内容として捉えること。
- (2) 児童の研究活動を、実験室での活動とともに、学習事項と身近な自然及び社会との関連を密にするために、野外においても努めて実施すること。

〔第3学年の内容〕

- 1 目標
- 2 内容
- 3 内容の取扱い

〔第4学年の内容〕

(以下、第6学年まで第3学年に同じ構成)

第3 指導計画の作成

(「各学年にわたる内容の取扱い」は削除)

<中学校>

第1 目標

第2 各分野の目標及び内容

〔各分野にわたる内容〕

1 目標

第1分野と第2分野を通じた理科の学習の最終的な成果として、個々の生徒が以下の内容について習熟することを目標とする。

2 内容（ ）書きは説明のためで表記しない

(1) 研究を計画する

ア 自分や他人の素朴な考えや予想を、観察や実験によって調査できるような形に表現すること。(研究仮説の設定)

イ 調査しようとする事象に、どのような要因が関連しているかを検討すること。(変数の同定)

ウ 課題を調べるために、ある要因を固定したり、変化させたりして、公正な証拠を集める手順を検討すること。(変数の制御)

エ 証拠の確からしさを高めるために、どの程度の回数と範囲での観察や実験が必要かを考えること。(誤差の認識)

オ 条件の制御が困難な野外での観察や実験で、いかに信頼できる証拠を得るかを検討すること。(野外での研究)

カ 研究を遂行するための材料や器具、装置、場所、その他、安全性への配慮も含めて必要な条件について考えること。(実験の準備)

キ 研究において、生物や化学物質などを用いたり発生させたりすることに伴う危険性や災害、倫理的問題、環境への影響などについて考えること。(生命と環境への配慮)

(2) 研究を遂行する

ア 観察、実験、栽培、飼育及び製作等の研究過程で、安全性に配慮しつつ、材料や器具、装置を適切に用いること。(実験操作の技能)

イ 公正な証拠を集めるために、注意深く観察したり実験すること。必要に応じて、観察や測定を繰り返すこと。（公正な証拠の収集）

ウ 得られた結果を、正確に記録できること。表形式で記録したり、可能な状況であれば、同時にグラフ化すること。また、S I国際単位を用いること。（結果の記録）

(3) 結果を考察する

ア 得られた結果を、表や棒グラフ、折れ線グラフなどを用いて適切に表現できること。（結果の表現）

イ 結果における特徴や傾向を比較したり識別することができること。また、変化させた要因と変化した要因との質的及び量的な関係が考察できること。（結果の考察）

ウ 得られた結果が、調査しようとした考えや予想を支持するかどうかを考察し、結論として表現する。（結論の表現）

エ 結論が確実なものであるかどうかについて、証拠が十分であるか、代替の解釈はできないか、誤差がどの程度か、用いた方法が適切か、などの点から評価し表現する。（結論の評価）

オ 結論が、既習の事項や日常生活上の事象といかに関連しているかについて検討すること。（日常生活との関連）

3 内容の取扱い

- (1) ここに示された内容を、本来、領域や題材によって多様に展開される科学的研究過程を限定するものとして捉えないで、教師が生徒の主体的な研究活動をより科学的な活動となるよう支援する上で、適宜、適用する活動内容として捉えること。
- (2) 生徒の研究活動を、実験室での活動とともに、学習事項と地域の自然及び社会との関連を密にするために、野外においても努めて実施すること。
- (3) 研究の過程では、観察や実験による直接的な情報収集のほか、コンピュータ等の情報手段を活用した二次的な情報源も積極的に活用すること。また、必要に応じ、実験の測定や結果の処理、報告書の作成などにも活用するよう配慮するものとする。

〔第1分野の内容〕

- 1 目標
- 2 内容
- 3 内容の取扱い

〔第2分野の内容〕

（第1分野と同じ構成）

第3 指導計画の作成

（「内容の取扱い」は削除）

執筆者

氏名	所属	執筆
谷口 正夫	川口市立上青木中学校教諭	1.2
中井 弘子	川口市立幸並中学校教諭	1.3
花岡 まゑみ	川口市立十二月田中学校教諭	1.4
網屋 直昭	川崎市立菅生中学校教諭	1.5
服部 大	川崎市立南大師中学校教諭	1.6
小野瀬 倫也	川崎市立日吉中学校教諭	1.7, 1.8
岡田 大爾	東広島市立八本松中学校教諭	1.9
小倉 康	国立教育研究所主任研究官	上記以外

科学授業における思考力・判断力の育成に関する
実践的研究

平成12年3月 発行

〒153-8681 東京都目黒区下目黒6-5-22

国立教育研究所

研究代表者 小倉 康

印刷 株式会社 芳文社