

第IV章 科学的問題解決学習の構造化及びモデル化に関する研究

第15期中央教育審議会第一次答申では、問題解決能力育成の重要性を述べている¹⁾。筆者は、理科教育の背景となる時代がいかに変化しても、中学校理科における問題解決学習は、科学の方法であるプロセス・スキルを用いる学習が基本になると考えている。また、生徒の自然離れの実態を踏まえると、従来は理科教育以前の問題として捉えられていた原体験を理科教育の基盤として位置づける必要があると考えている²⁾。

ここでは、次の5つ、①科学的問題解決能力の育成を目的とした「体験のモデル」、②体験モデルへの物理・化学・生物・地学の科学的概念や原体験の事例の位置づけ、③観察・実験等の類型化、④水越敏行の目標×方法のマトリックスへの観察・実験の種類の位置づけ、⑤以上の4点を総合した科学的問題解決学習の構造化及びモデル化、について考察する。

第1節 原体験を基盤とする科学的問題解決学習の四角錐モデル

1. 科学的問題解決学習の四角錐モデルの検討

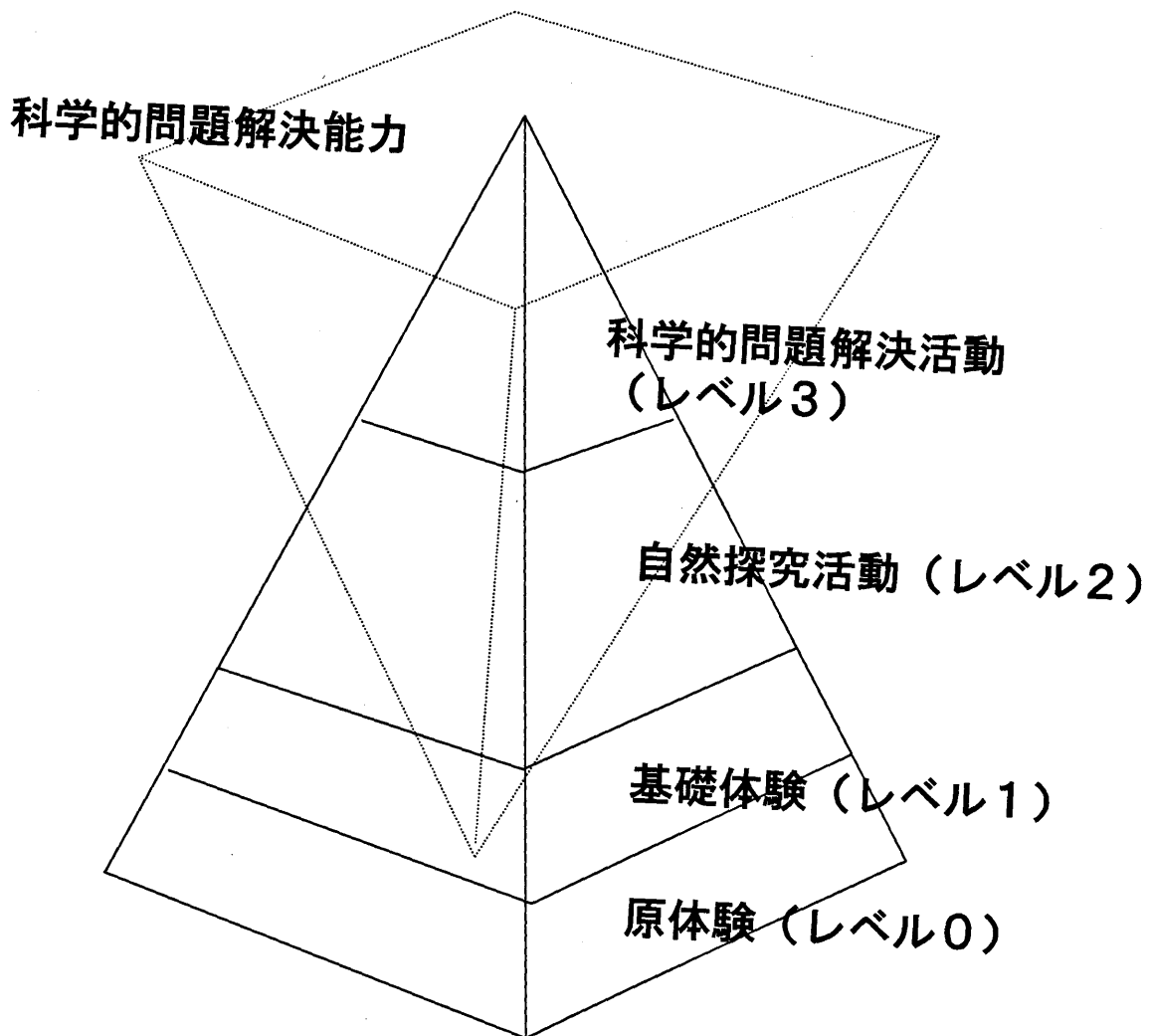
児童・生徒が科学的問題解決能力を獲得するために必要な学習活動は、自然に対する興味・関心を高める学習段階から主体的な科学的問題解決学習に至るまで、さまざまな段階があり、それぞれに教育的意義があるものと考えられる。

そこで、経験の諸活動をモデル化した Dale, E. の「経験の三角錐」³⁾を参考に、体験の積み上げをイメージ化した(図IV-1)。体験の諸活動はその内容に応じて、原体験(レベル0)、基礎体験(レベル1)、自然探究活動(レベル2)、科学的問題解決活動(レベル3)の4段階に分けて考えることにする。

レベル0の原体験は、生物との五官(感)を通したふれ合いを通して、ヒトとして生きていく上で必要な意欲や感性、直観等の育成や自然の事物・現象に対する興味・関心を高める段階である。レベル1の基礎体験は科学・技術に対する興味・関心を高めたり科学的な探究の基盤となる知識や技能を習得する段階である。レベル2の自然探究活動は、教科書的な内容を取り上げ、観察を行ったり、因果関係を独立変数と従属変数との関係として捉え、定量的なデータを収集して考察したりする学習に重点を置く段階である。また、観察・実験を通して知識や概念の形成に主たる目的を置く学習もここに含めるものとする。科学的問題解決活動(レベル3)は、子ども自身が自然の事物・現象から問題を見だし、観察・実験の計画を立案し、自らが観察・実験を行いデータ収集を行ったり考察したりしてレポートの作成まで行う段階である。なお、自然探究活動と科学的問題解決活動は、小

学校においても中学校においても行うものであるが、扱う内容の程度はおのずから異なる。また、原体験や基礎体験に相当する内容は、子どもの自然離れの現状をふまえるならば小学校高学年や中学校においても取り上げる必要がある。

探究活動を主体的に行うためには、事物や現象に対する先行経験や知識、あるいは疑問が不可欠である。したがって、教材の開発や実践にあたっては、「原体験」、「基礎体験」、「自然探究活動」、「科学的問題解決活動」の4つの活動を組み合わせることが必要である。4つのタイプの学習活動を取り上げることにより、児童生徒の科学に対する興味・関心を高め、自発的に科学的な問題解決を行う能力や態度を育成できるものと考えられる。

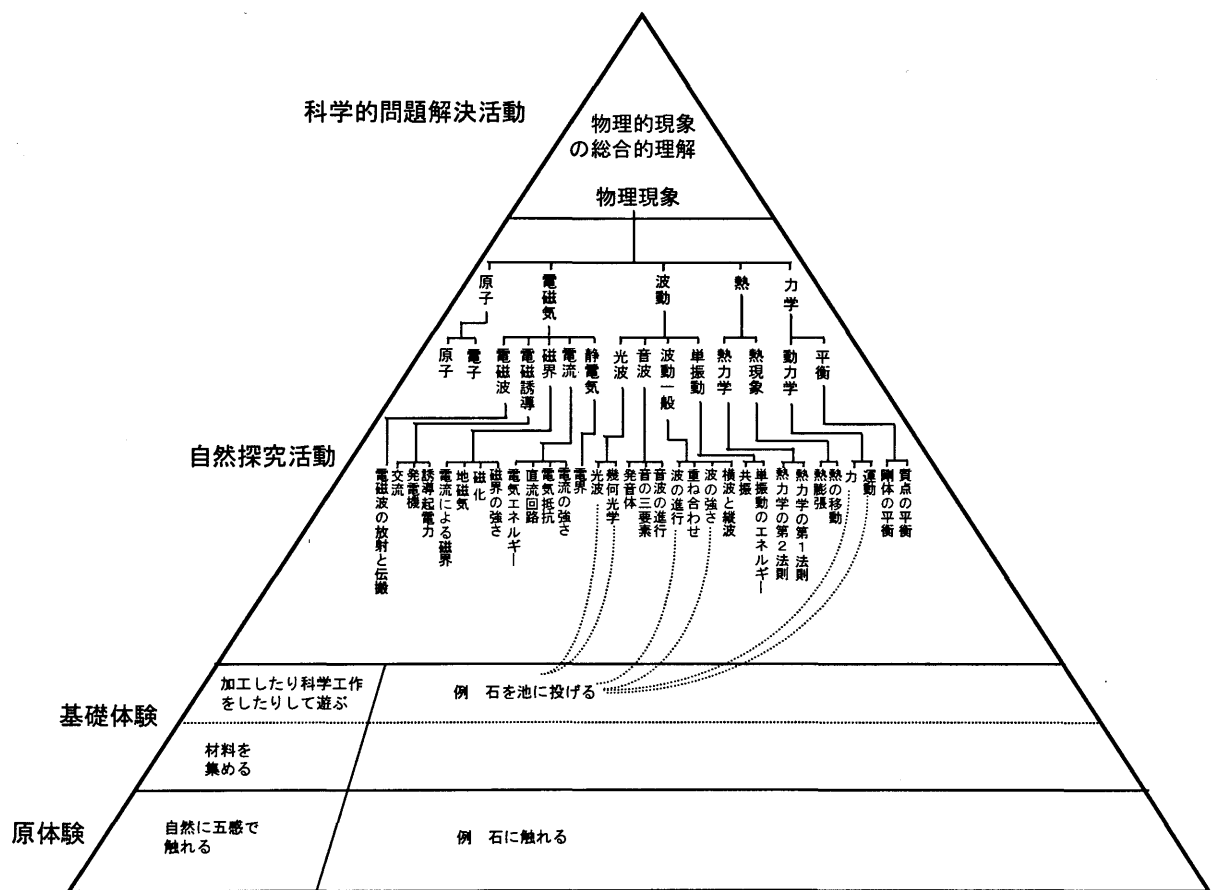


図IV-1 科学的問題解決能力の育成に関わる体験・活動の積み上げを示す四角錐モデル

2. 四角錐モデルへの科学概念の位置づけ

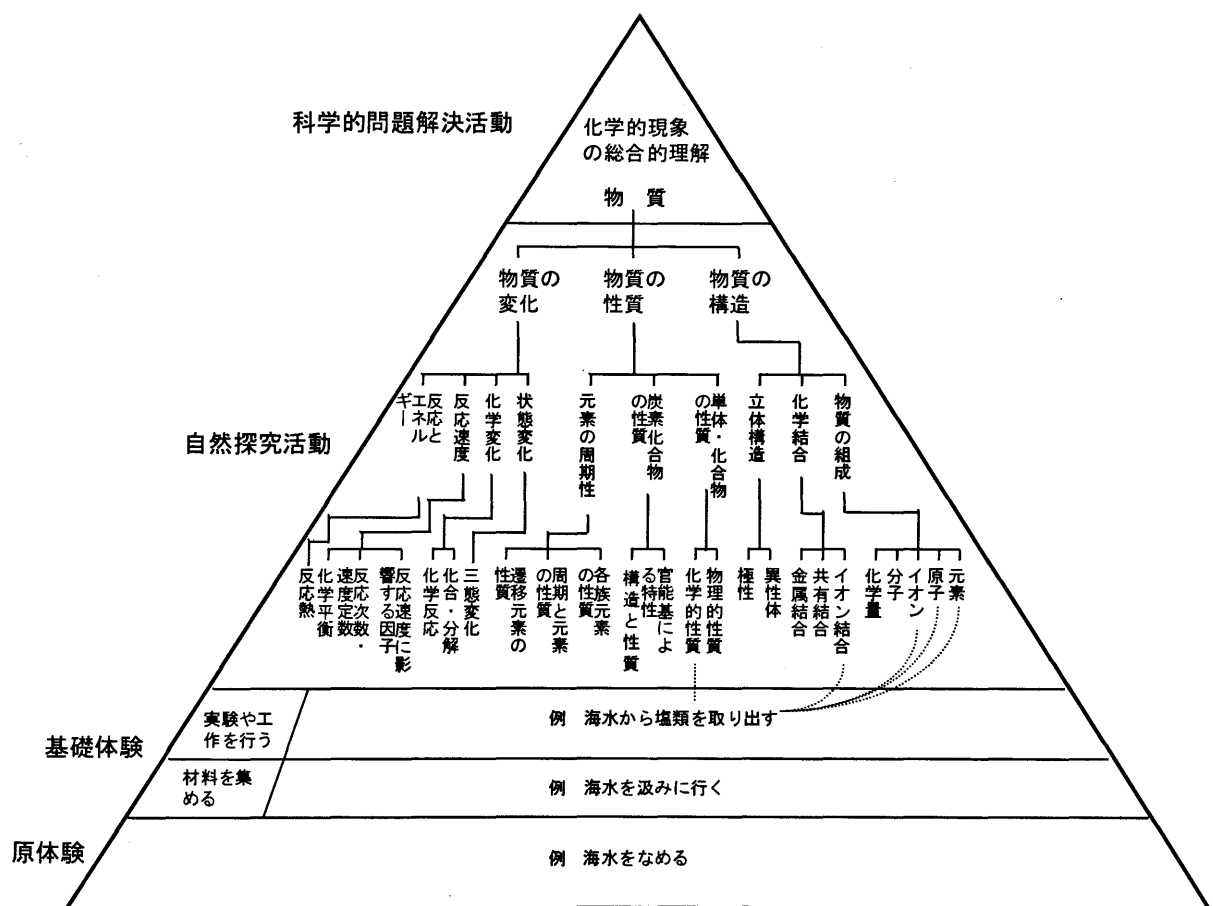
次に、物理・化学・生物・地学のそれぞれの領域について、理科教育において育成すべき科学概念を四角錐モデルにどのように位置づけるかを述べる。

物理領域の原体験としては、「石を池に投げる」や「虹を見る」などがあげられる（図IV-2）。原体験は本来、教育的な意図の無いものとして捉えている。しかし、「石を池に投げる」体験は、やがて物体の運動や波動などの学習と関連づけられる可能性を秘めている。また「虹を見る」体験は、光の性質や光学的な現象の学習につながるものである。基礎体験は、自分で集めた材料を簡単な道具を用いて加工したり実験したりするものである。基礎体験では、原理や法則は理解できなくてもよいものと捉え、その過程で科学・技術に対する興味・関心を高めたり工夫したりすることを体得すれば目的は達成できたと考えたい。物理領域の基礎体験としては、「虹をつくる」、「凸レンズで火をおこす」、



図IV-2 原体験を基盤とする物理領域の内容の関連

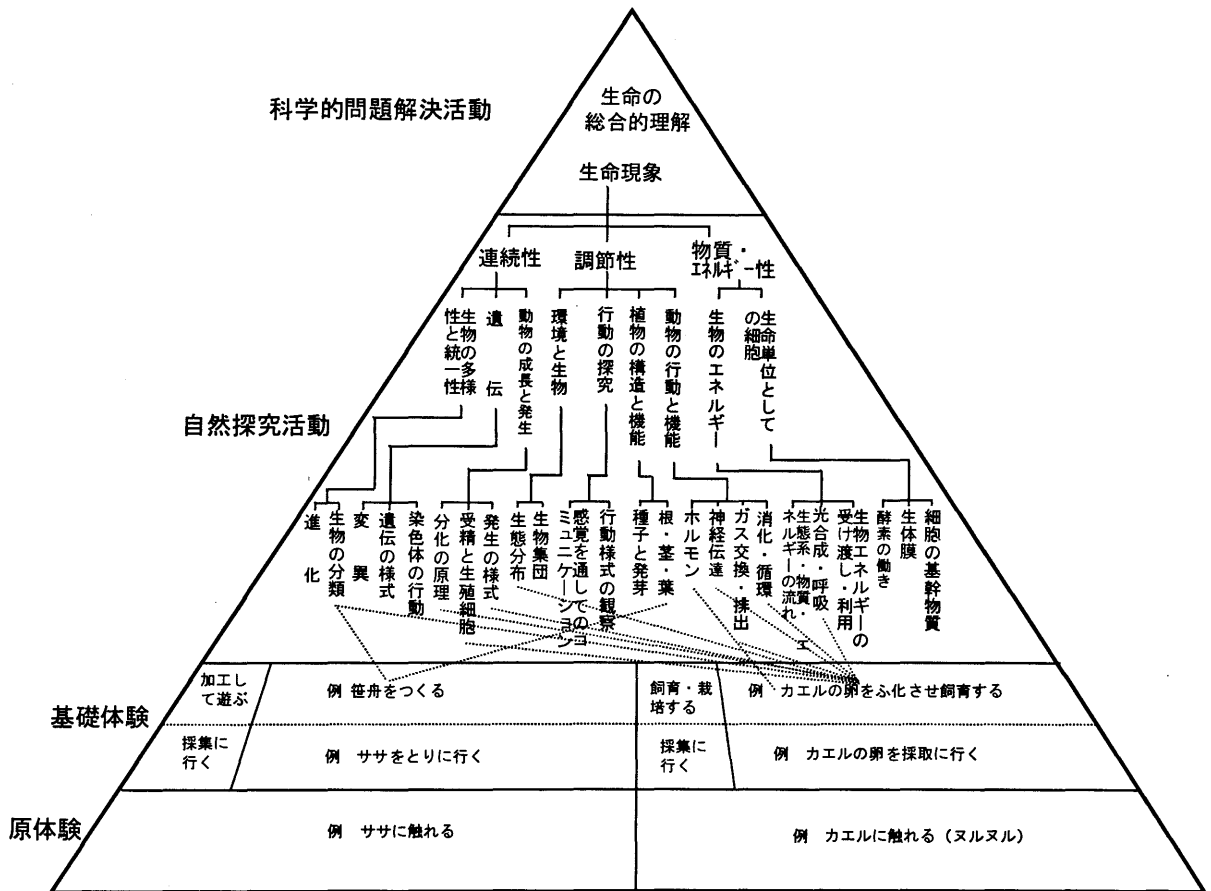
「グライダーをつくる」などがあげられる。「凸レンズで火をおこす」体験は、光の屈折や焦点などの光学的な学習の基礎となる。グライダーは、重心や翼のバランス（平衡）に配慮しなければ、飛距離は伸びない。このような科学工作を通して、バランス（平衡）の概念が体得できる。バランス（平衡）の概念は、生物の体や生態系、あるいは物理現象などを探究するときの重要な視点となるものである。自然探究活動は、自然の事物や現象を科学的に探究する科学の方法の習得や概念形成を主たる目的とするものであり、現在の学校教育においても行われているものである。しかし、現状はややもすると知識の獲得に偏重しがちで、小学校で物理現象を楽しんだり、あるいは中学校から高等学校で、それらが数学的に表現できるといった物理の魅力を伝えきれていないように思われる。自然探究活動に位置づけられる教育内容の編成にあたっては、児童生徒が体験的に探究できる内容を取り上げるとともに、その時間が保障できるように厳選することが不可欠である。最後の



図IV-3 原体験を基盤とする化学領域の内容の関連

科学的問題解決活動は、原体験を基盤に積み上げてきた体験や知識・技能を用いて自分で問題を設定し、科学的な問題解決方法を考え解決する活動である。

化学領域における原体験は、「海水をなめる」、「チガヤの穂を味わう」などがあげられる（図IV-3）。自然界の化学物質を味わったりにおいをかいたりすること、それ自体は科学とは言えないが興味・関心をもたせるなど、その基盤となるものである。基礎体験としては「海水から塩をとる」、「レッドキャベツで試験液をつくる」などがあげられる。海水から塩を取り出す過程は濾過や蒸発、飽和水溶液などさまざまな化学的な手法や化学概念の形成につながる内容が含まれている。レッドキャベツで試験液をつくって、身近にある水溶液と混ぜて色の変化を楽しむ活動は、酸・アルカリなど物質の化学的性質やイオンなどの概念へと発展させることができる。自然探究活動は、科学的な事物や現象を科学的に探究する方法の習得や概念形成を主たる目的とするものである。教育課程の編成にあ

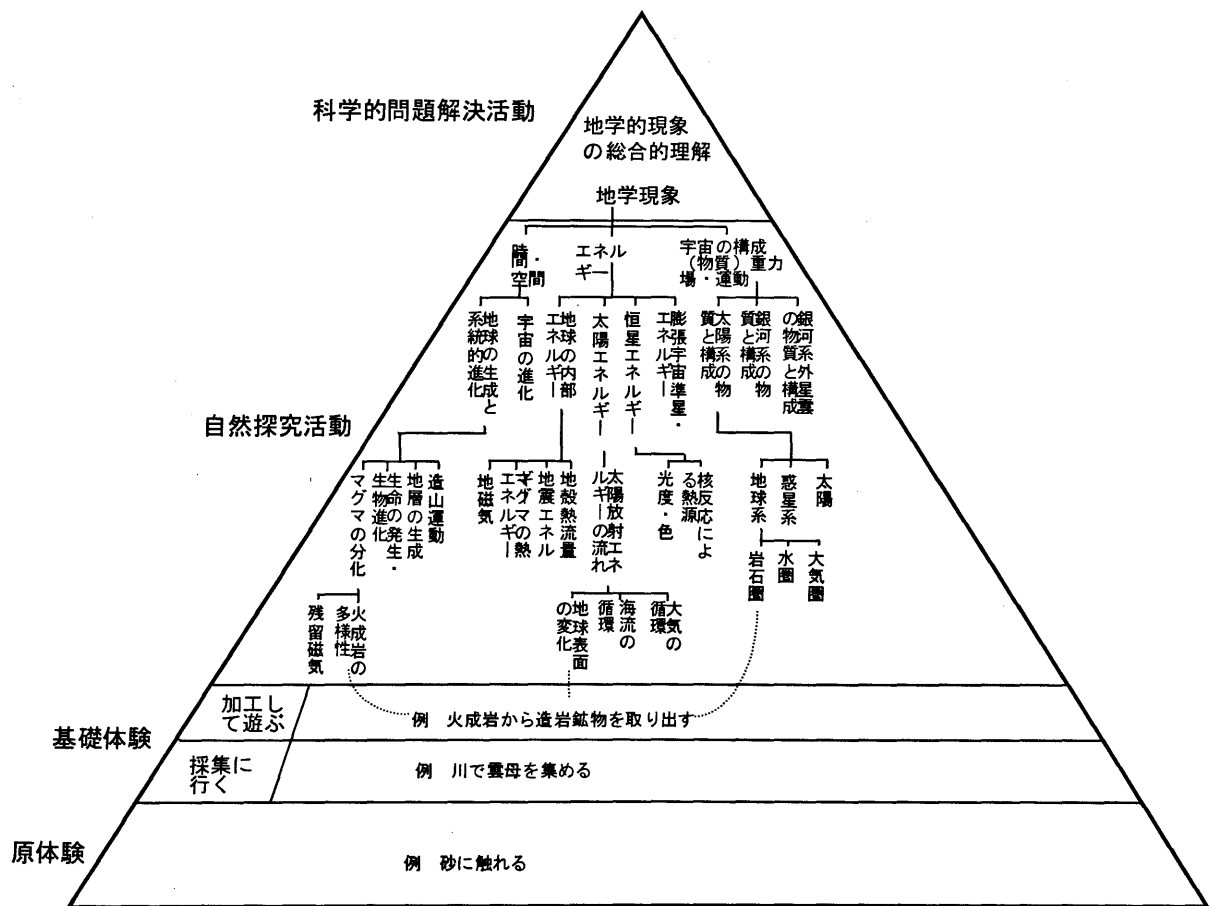


図IV-4 原体験を基盤とする生物領域の内容の関連

たつては、児童生徒が体験的に探究可能な内容を取り上げるとともに、その時間が保障できるように厳選することが必要である。

生物領域における原体験は、「ザリガニをつかむ」、「シイの実を食べる」などがあげられる(図IV-4)。これらの体験も物理や化学の場合と同様に、触れたり味わったりすること自体は生物学とは言えない。しかし、これをきっかけとしてザリガニを採集して飼育したり、ドングリを採集してきてあくぬきをした後ドングリクッキーをつくって食べたりする基礎体験に発展させることができる。これらの原体験や基礎体験をもとに自然探究活動を行うことにより、生きて働く知識の習得ができたり科学的に生物を理解する能力や態度が育成できる。

地学領域における原体験は、「土のおいをかぐ」、「朝露・夜露に触れる」などがあげられる(図IV-5)。土は生物の生命活動にともなう化学物質の循環において大きな働



図IV-5 原体験を基盤とする地学領域の内容の関連

きをになっている。豊かな生命を支える生きた土の特徴を感覚的に理解することは、科学・技術教育の視点からみても大きな意義がある。「粘土の型押し」、「田の土を用いた土鈴づくり」、「石を集める」などの基礎体験を通して、岩石圏を構成する物体の特徴を理解することができる。自然探究活動では、地学的な概念形成や地学的現象を科学的に探究する過程を通して地球や生命の歴史を大きな時間軸や空間軸の中で理解する能力や態度を育成できる内容を取り上げる。

以上のように、物理・化学・生物・地学に関わる原体験や基礎体験の内容、及び科学概念は「体験の四角錐モデル」に系統的に位置づけることができる。

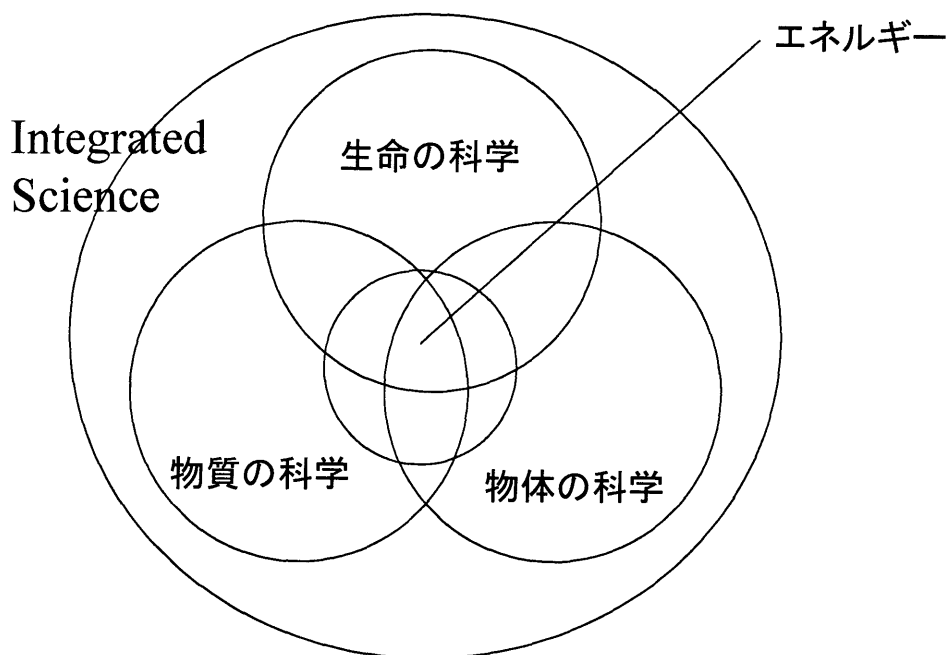
3. 物理・化学・生物・地学の総合化をめざした理科教育カリキュラムの提案

理科教育においては原体験・基礎体験を基盤に探究の過程を通して概念形成を行ったり科学の方法を習得することが重要であると考えている。ここでは、中学校・高等学校における理科教育について、原体験・基礎体験を重視するとともに探究の過程を通して総合的な視点からの概念形成や科学の方法を習得させることを目的としたカリキュラム再構築の枠組みを提案したい。

理科カリキュラムを総合的な視点で構成する枠組みを検討するためには物理、化学、生物、地学の領域に共通する基幹となる概念を設定することが必要であると考えられる。エネルギーの観点でみると、上述したように物理では物体の運動やそれに伴うエネルギーの変化やエネルギーそのものを対象としている。化学では物質やその変化に伴うエネルギー等を、また生物では動植物や生命現象に伴う物質の代謝やエネルギーを、さらに地学では地殻変動や大気の循環等気象をはじめ、その変化をもたらすエネルギー等を対象としている。このように科学の各領域が対象としている自然界の事物や現象には、必ずエネルギーの出入りが関わっている。つまり、エネルギーはさまざまな事物や現象を考察する上での要となる重要な概念だと言える。

そこで、理科教育で取り上げる内容を生命「生命の科学」、物体「物体の科学」、物質「物質の科学」として3つの円で表し、それらの交わる部分をエネルギーとして表現してみた(図IV-6)。さらに、エネルギーによって動きや変化が生じることから、エネルギーを取り巻く形で事象を「動きや変化」として表現した。そして、さらに3つの円を取りまく形で表現された円が、総合化された内容となり、例えば「Integrated Science」として大きくまとめることができる。次に、この図をもとにいくつかの現象を当てはめて、中学校・高等学校にかけてのカリキュラムの構成が可能かどうかを検討する。

まず、光合成を例に述べる(表IV-1)。光合成は中学校理科においては第2分野の生



図IV-6 エネルギーを核に「生命の科学」、「物質の科学」、「物体の科学」を柱とする理科教育再構築の枠組みを示すモデル

物領域で、高等学校では生物で取り上げられている内容である。光合成は植物の細胞で生じる化学反応であり、光合成を科学的かつ総合的に理解するためには化学の領域からの考察が必要であるし、また、その化学変化を生じさせる光を物理の視点からエネルギーとしてとらえることが大切である。また、植物の生長に伴う木化によって形成された樹木の材の物理的性質等は、物体の科学として取り上げることができる。光合成に関する教育内容についてもう少し具体的に述べる。生命の科学として取り上げられる内容は、「植物の生長と光」、「根、茎、葉など植物の体のづくり」、「イモ、球根、果実などへのデンプンの貯蔵」が考えられる。物質の科学としては「クロロフィルの分離」、「クロロフィルの抽出」、「クロロフィルのスペクトル吸収」、「葉の中のデンプン検出」、「イモなどからのデンプン抽出」、「光合成の原料としての二酸化炭素」、「光合成の副産物としての酸素」等が考えられる。さらに二酸化炭素や酸素の化学的性質を取り上げたり環境教育の視点から「光合成と大気の組成」を取り上げることができると考えられる。エネルギーの視点からは「光のスペクトルとエネルギー」、「植物の成長のエネルギー源としてのデンプン」等を取り上げることができる。

以上のように、従来は生物領域において光合成の概念の理解を目的としていた内容を、生命の科学、物質の科学、物体の科学、エネルギーの視点で教材化することにより、従来の指導目標の1つであった光合成の概念形成とともに科学の方法の習得もあわせて行うことが可能であり、なおかつ、エネルギーとしての光や光合成の原料としての大気中の二酸

化炭素や副産物として生じる酸素の化学的性質、環境要因としてのこれらの物質の働き等、より幅広い視点でのカリキュラムの構成が原理的に容易になるものと考えられる。

次に、地震や火山活動の現象を例に述べる（表Ⅳ-2）。地震はマントルの上に浮いた複数のプレートがぶつかり、沈み込んだ側のプレートの歪みとして蓄積されたエネルギーが解放されることによって生じる。巨大な岩盤であるプレートの歪み等は剛体としてとらえられることから、プレートの歪みは物体の科学として取り上げることができる。また、プレートの沈み込みによって生じるマグマの生成は、温度と圧力の変化に伴う物質の変化として、物質の科学の視点で取り上げることができる。さらに、マグマが噴出して生じる溶岩の粘性等の物理的な性質は化学組成から考察することができるし、マグマから生じる

表Ⅳ-1 光合成を例とした科学教育再構築の枠組みと学習内容

生命の科学	物質の科学	物体の科学	エネルギー
<ul style="list-style-type: none"> ・植物の成長と光 ・植物の体（根・茎・葉）のつくり ・貯蔵デンプン（イモ、球根、種子） 	<ul style="list-style-type: none"> ・クロロフィルの分離 ・クロロフィルの抽出 ・クロロフィルのスペクトル吸収 ・葉の中のデンプンの検出 ・イモ等からのデンプンの抽出 ・光合成の原料としての二酸化炭素 ・光合成の副産物としての酸素 ・二酸化炭素の化学的性質 ・酸素の化学的性質 	<ul style="list-style-type: none"> ・木材の密度 	<ul style="list-style-type: none"> ・光のスペクトルとエネルギー ・植物の生活のエネルギー源としてのデンプン

表Ⅳ-2 地震と火山を例とした科学教育再構築の枠組みと学習内容

生命の科学	物質の科学	物体の科学	エネルギー
<ul style="list-style-type: none"> ・生命の起源と火山活動 ・溶岩に覆われた地域での生命の芽生え 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力・温度とマントルの溶融 ・火成岩の化学的成分 	<ul style="list-style-type: none"> ・プレートの歪みと剛体の力学 ・火成岩の種類と密度 	<ul style="list-style-type: none"> ・プレートの歪みに蓄えられたエネルギーとその解放 ・地球内部の熱エネルギーと対流

種々の火成岩の密度等物理的性質は物体の科学として取り上げることができる。火山が噴火し、動植物が焼き尽くされた地域に生命がもどるのに要する時間やその過程は、生命の科学として取り上げることができる。

地震が発生するメカニズムや火山活動等のさまざまな地質学的変化を考察するには物理や化学の視点が必要である。従来のように、地震や火山に関するカリキュラムを再構築するにあたっては、物理や化学等の領域から切り離した形ではなく、領域間の関連性を持たせることによって、より総合的に理解させることが可能になる。

ここでは、光合成と地震を例に生命の科学、物体の科学、物質の科学、そしてエネルギーの枠組みでカリキュラムの構築が可能かどうかについて検討を行った。

上述の内容について、科学の方法に基づいた探究的な学習をおこなうことにより、身近な事物・現象を科学的に考察する手がかりとなる知識・技能の獲得や態度の育成が可能になるものとする。

第2節 自然探究活動に関わる観察・実験等の類型化

1. 観察・実験等の類型化

一般的に、科学概念の形成は観察・実験等を通して行われる。しかし、観察・実験等は、その内容によって興味・関心を高めるのに適したもの、知識や理解の定着に適したものなど、いくつかの類型があると考えられる。

そこで、今までに開発されたり実践されてきた観察・実験およびその基盤になると考えられる原体験などの内容を、現行の小中学校の理科教科書や種々の実験書^{4~9)}、自然物を素材とした遊びの解説書¹⁰⁾等から科学的な態度を身につけたり科学の方法を習得したりする上で重要だと考えられる観察・実験等の内容を、名刺サイズのカードに書き出しKJ法¹¹⁾を用いて分類し、それぞれの類型を命名した。

その結果、観察・実験およびその基盤となる体験の内容は、「感動・体験型」、「科学の方法及び内容習得型」、「探究・問題解決型」、「領域総合化型」の4つに大きく類型化できた(表IV-3)。このうち、「感動・体験型」はさらに「原体験・基礎体験型」、「現象体験型」、「科学マジック型」、「科学工作(遊び)体験型」、「生活の科学体験型」、「原理・法則体験型」の6つの小類型に、また、「科学の方法及び内容習得型」は、「操作技能・情報処理習得型」、「発見・理解型」、「原理・法則理解型」の3つの小類型に分けた。しかしながら、観察・実験は本来的に総合的なものであり、ある基準により明確に分類できるものではなく、視点を変えれば他の類型に該当する可能性のあることは言うまでもない。

表IV-3 観察・実験及びその基盤となる科学体験の類型と内容

内容	生物領域	地学領域	物理領域	化学領域	
領域総合化型	野菜汁、果物汁、清涼飲料水等の科学的性質 在来タンポポと外来タンポポの分布と生息環境(土のpH、光質、土地開発状況) 地域の環境の実態と汚染物質(窒素酸化物・酸性雨等)				
探究・問題解決型	タンポポの分布と環境 野草の光発芽種子の特性 アリの1日の活動 養分を含んだ部分の大きさによる芽生えのちがひ 種々の植物に含まれるデンプン いろいろな植物の維管束 アサガオのつるの回旋運動	気象観測衛星画像と雲 細文時代の海岸線の追跡 火山灰の中の鉱物調べ	エネルギー変換の実験 記憶装置の製作と実験 電流の発熱・磁気作用	ボルタ電池や果物電池等の作成と性能 いろいろな水溶液の性質調べ 天然繊維と合成繊維の比較 炭水化物の性質	
原理・法則理解型	遺伝の規則性(独立の法則)	地層累重の法則	フレミングの左手の法則 オーームの法則 ジュールの法則 反射の法則、フックの法則 振り子の等時性、等	気体反応の法則、質量保存の法則 ボイルの法則、シャルルの法則 平衡移動の原理(ルシャトリエの原理) ファラデーの法則、ヘスの法則 ヘンリーの法則、等	
科学の方法及び内容習得型	発見・理解型	(中学校) 火成岩の観察 岩石のプレパラート観察 たい積岩の観察 地層の観察 太陽の黒点観察 月の表面の観察 太陽の1日の動きの観察 太陽の南中高度と昼の長さ 惑星の観察 気象要素の変化 露点の測定 断熱膨張(霧・雲をつくる) (小学校6年) 星座の観測(夏・冬) 星の動きの観測 火成岩の観察 地層の観察 (小学校5年) 太陽の動き 月の動き 天気調べ(気温・雲等) 太陽の高さと気温 天気や風と気温 (小学校4年) 流水のはたらき 川の流れとはたらき (小学校3年) 日なたと日かげの観測 日なたと日かげの地温測定 太陽の動きとかげの動き 土のつぶのようすの観察 土に水がしみこむようすの観察 土のしずみ方の観察 石の観察	(中学校) 回路を流れる電流の関係 回路に加わる電圧の関係 電熱線に加える電圧と電流の関係 電熱線に発生する熱量と電流や電圧との関係 電流が磁界から受ける力 コイルと磁石で生じる電流 2力のつりあいの条件 一直線上にない2力の合成 物体の落下運動 滑車や斜面を使ったときの仕事 光の反射・屈折 凸レンズによる像のでき方 音の大きさや高さ 水がもたらぐ熱量と温度変化 物質と温度の上がり方 力の大きさとばねの伸び まさつ電気の性質 水圧と深さの関係 まさつのはたらき 電磁石の性質 電流による発熱 (小学校5年) てこにはたらき 振り子の運動 (小学校4年) 乾電池のつなぎ方と明るさ 物の温まり方(金属・水) 温度と物質の変化 物の重さとてんびん 空気や水と圧力 (小学校3年) 音の出方とつわり方 金属と電気 (以下略)	(中学校) 電流を通す水溶液と通さない水溶液 塩化銅水溶液に電流を通じた際の変化 電解質水溶液と金属板によつてとり出す電気 酸性やアルカリ性の水溶液の性質 塩酸に水酸化ナトリウム水溶液を加えたときの化学変化 水溶液中の濃度と体積 中和に必要な塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積 薬品で水にとけているものを調べる いろいろな水溶液の性質 一定量の水に溶ける物質の量と水温 純粋な物質の融点 沸点のちがひによる物質の分離 二酸化炭素・アンモニアの性質 銅を加熱したときの化学変化 エタノールの燃焼で生成する物質 鉄と硫酸の反応 炭酸水素ナトリウムの加熱による分解 水の電気分解 気体が発生する化学変化の前後での質量 マグネシウムの酸化による質量の変化 (小学校6年) 物が燃えた後の空気の性質 酸素の作り方と性質 試験管内での木の加熱 スチールウールの加熱 炭酸水から出る気体の性質 水溶液の性質(酸・中性・アルカリ) 水溶液と金属の反応 酸とアルカリの反応 (小学校5年) 物の溶けるようす 溶ける量と水温 水溶液からの再結晶 (以下略)	
	操作技能・情報処理習得型	プレパラート作成、スケッチ、レポート 顕微鏡操作(解剖・双眼体顕微鏡) ルーペの扱い方、解剖器具の扱い方 生物名の調べ方、データ処理の方法、グラフ化、パソコン操作	クリノメータの使用法 天気図作成	電流計・電圧計の操作	上皿てんびん操作 ガスバーナ操作 ろ過、試験管の使い方、薬品の後始末 滴びんの使い方、メスシリンダー 鉄製スタンド
	感動・体験型	ヨーグルトづくり、甘酒づくり なつとうづくり、とうふづくり 草木染、トマトの水栽培 しぶがきのしぶぬき カボチャ等からのデンプン抽出 小麦からのタンパク質抽出 簡単なキノコ栽培、ドングリクッキー		トリチエリの実験 大気圧実験(トマ街変形) (マグデブルグ半球) 電気パン 水ロケット	ハム等に含まれる発色剤 牛乳パックの再生紙 酸性雨調査 廃油の消しゴムづくり コールドバックづくり
科学マジック型	植物の汁で絵を描く(あぶり出し)、 パチンコ、竹トンボ、 人工紅葉、葉脈のしおり、 花の色を残す押し花(アイロン法) 花の色素のペーパークロマトグラフィー		笛、紙のプー・メラン 光電池のソーラーカー 金属のペンダント 針金のアメンボ作成 スピーカ・モータ作成 空気銃砲、糸電話	カルメ焼き スライムづくり	
現象体験型	オジギソウに触れる	霧・朝露 朝・夕焼け 虹	光の偏光 霧箱の宇宙線		
原体験・基礎体験型	虫をとる、虫を飼う、動物に触る、動物を飼育する、 草をちぎる、笹船、木の葉の面、 草笛(カラスノエンドウ、イタドリ等)をつくる、草のにおいをかぐ、レンゲソウの風車、 土に触れる、土のにおいをかぐ				

「感動・体験型」は、直接的に科学の方法や科学的態度、科学的思考力などを育てることを目的としたものではなく、自然と親しんだり自然物など身近な素材で制作したりすることを感動をもって体験するものである。1つめの小類型である「原体験・基礎体験型」は生物の採取、飼育・栽培、植物を用いた遊びなど自然物と触覚・嗅覚・味覚などの五官（感）で触れ合う原体験¹²⁾と自然物に簡単な加工の手を加える基礎体験（竹トンボづくり等）を中心とした内容である。これらの体験は従来の科学教育や科学教育の枠の中に位置づけられるものではない。しかし、子どもが主体的に自然とかかわる過程において、自然物が備えている多様な手触り、におい、味などが触覚や嗅覚などの原始感覚を刺激することから、大脳辺縁系の発達に大きな影響を与えるとともに意欲を育むと考えられる体験であると考えられる。2つめの「現象体験型」は、光の偏光や虹などさまざまな自然現象の体験である。3つめの科学マジック型は意外性のある科学現象を子どもの興味・関心をひくようにしたもので、例えば紙の器で湯を沸かす実験などである。4つめの「科学工作（遊び）体験型」は自然物や身近な素材、あるいはそれらの化学的特性を利用した科学工作や遊びであり、簡便な花の色素のペーパークロマトグラフィーやスピーカづくりなどである。5つめの「生活の科学体験型」は化学変化を利用した食品や物質などをつくったり日常生活を科学的に調べたりするもので、ヨーグルトづくりや廃油を利用した消しゴムづくりなどである。6つめの「原理・法則体験型」は、物理や化学の法則や原理となっている現象を体験するもので、電気パンづくり（ジュールの法則）や水ロケット（作用・反作用）などである。

「科学の方法及び内容習得型」は、従来から学校において取り上げられているものであり、基本的には理解型といえる内容である。1つめの「操作技能・情報処理習得型」は、「探究・問題解決型」の学習活動において不可欠な技能や情報処理の習得を目的としたものであり、スケッチやルーペの使用法、顕微鏡操作、グラフ化、パソコン操作などである。2つめの「発見・理解型」は主として教科書に取り上げられているもので、子どもにとっての新たな発見とその過程を通じた科学の方法の習得と知識の定着を目的としたものである。3つめの「原理・法則理解型」は生物や化学などの各領域において原理や法則となっていて、演繹的な指導や学習が可能なものであり遺伝の法則やフレミングの左手の法則などである。

「探究・問題解決型」は、指導者にとっても観察や実験を行ってみたいとわからないような内容で、例えばいろいろな野草の光発芽性や縄文海進の海岸線の追跡などである。

最後の、「領域総合化型」は現在の学校教育ではほとんど実施されていないと思われるが、物理、化学、生物、地学のあらゆる領域に関わるテーマで、総合的に探究・問題解決

表Ⅳ－４ 理科学習における態度の類型とその育成に関わる活動

類 型		内 容		
科学的な態度	科学を創造する態度	<p>実験装置や実験方法を工夫する</p> <p>科学の方法を駆使して新しいテーマに取り組む</p>		
	科学を日常化する態度	<p>自然の事象や法則を日常生活との関わりでとらえようとする</p> <p>科学的な知識をさまざまな領域の知識と関連づけようとする</p>	<p>・夕焼けの理由 ・気温の変化と前線の通過 ・電気器具の電力</p> <p>・食品添加物と健康 ・界面活性剤と水質汚染 ・偏西風と大気汚染物質の越境 ・文学と身近な植物 ・空き缶等のリサイクルと経済性</p>	
		科学の方法を身につける態度	<p>実験や観察の操作や技能の習得を楽しむ</p> <p>科学的に調べようとする</p> <p>自然の法則（規則性）を見いだすことを楽しむ</p> <p>自分にとって新しい事実を発見しようとする</p> <p>調べたり発見したりしたことをまとめたり伝えたりする</p>	<p>・顕微鏡操作 ・プレパラート作成 ・スケッチ ・ガスバーナ ・電流計や電圧計 ・上皿てんびん</p> <p>・果物電池に発生する電流や電圧の値とその条件等との関係 ・電磁石のコイルの巻数と磁力の強さとの関係等 ・野草の種子の光を感じる部位 ・環境の汚染状況と指標生物</p> <p>・電流の向きと磁界の方向 ・振り子の等時性 ・フックの法則 ・花のつくりの規則性 ・葉のつき方の規則性 ・巻き貝の巻き方</p> <p>・いろいろな動植物の生活のし方 ・いろいろな植物の根、茎、葉、花等の形態観察 ・細胞等の観察 ・動物の餌のとり方と口や歯の形 ・酸やアルカリと金属の反応 ・機器の動く仕組み</p> <p>・スケッチ、写真、文章等による研究レポートの作成と発表 ・マルチメディアによる研究レポートの作成と伝達</p>
	科学の芽を育む態度		<p>自然に接する楽しさを味わう</p> <p>自然物を素材として、つくることを楽しむ</p> <p>科学工作等の制作に熱中したり工夫したりすることを楽しむ</p> <p>自然物を集めたり分類したりすることに熱中する</p>	<p>・カブトムシで遊ぶ ・バッタで遊ぶ ・キリギリスを捕まえる ・スズムシを飼う ・トンボを捕る ・ダンゴムシで遊ぶ ・野鳥を見る ・カエルの鳴き声を聞く ・草のおいをかぐ ・新緑や紅葉を見る ・木陰に入る ・木の葉の音を聞く ・ドングリを拾う ・草をちぎる ・土のぬくもりと冷たさを感じる ・泥遊び ・粘土をこねる ・石を拾う ・石を割る ・たき火をする ・川の音を聞く ・川で遊ぶ ・海で遊ぶ ・雪で遊ぶ ・星を見る ・月を見る ・暑さ寒さを体験する ・林の中を歩く ・草むらを歩く ・朝露に触れる ・ヨモギを食べる ・イタドリを食べる ・タンポポを食べる ・ヤマツツジを食べる ・アケビを食べる ・自然水を飲む ・海水をなめる</p> <p>・レンゲソウの風車 ・ササ舟 ・スズメノテッポウの笛 ・カラスノエンドウの笛 ・木の葉の面 ・ドングリごま ・やじろべえ ・タケとんぼ ・土鈴 ・パチンコ ・木のごま ・タケでっぽう ・シロツメクサの花輪 ・タンポポの笛</p> <p>・ピンホールカメラ ・紙飛行機 ・万華鏡 ・電磁石 ・種の模型 ・バランストンボ ・スピーカ ・太陽電池で動くおもちゃ ・果物電池 ・ブザー</p> <p>・昆虫採集 ・植物採集 ・岩石採集</p>

していく内容である。例えば、タンポポの形態やその機能は生物学的な視点で取り上げられるが、光合成とスペクトルとの関係や冠毛のついた果実の落下速度などを取り上げれば物理領域での探究になる。また、水素伝達系で生じる過酸化水素を分解するカタラーゼの活性を温度やpHの条件を変えて比較したり花茎の伸長とインドール酢酸などの植物ホルモンとの関係は化学領域での探究になる¹³⁾。

次に、上述の観察・実験を理科教育において育成したい「科学的態度の類型」に関連づけてみる(表IV-4)。「科学的態度の類型」は、「科学する心を育む態度」と「科学的な態度」に大別し、「科学的な態度」は、さらに「科学の方法を身に付ける態度」、「科学を日常化する態度」、「科学を創造する態度」に分けた。

「原体験・基礎体験型」の内容は、自然に接する楽しさを味わわせたり、自然の不思議さに気づかせたりして「科学する心を育む態度」を育成する内容である。福井謙一は、どろんこ遊びに代表されるような原体験的な自然認識を所与性の自然認識とよび、科学的な態度の育成に不可欠であると信じる¹⁴⁾、と述べている。このような所与性の自然認識を基盤に、「科学の方法及び内容習得型」や「探究・問題解決型」に位置づけられる観察・実験を組み合わせ、子どもが活動を通して主体的に学習できる場を設定することにより、

「科学の方法を身に付ける態度」、「科学を日常化する態度」、「科学を創造する態度」等、さらに高次の科学的態度の育成が可能になるのではないかと考える。

第3節 水越敏行の目標×方法のマトリックス

ここでは、理科学習における学習目標と指導方法の捉え方について述べる。

水越敏行は、「基礎的・基本的な知識や技能を確実に習得し、習熟させる学習指導法と、それらを使って問題を解決したり、情報を加工し発信したり、関係を発見したりしていくような学習指導法とは、教育実践の場においては、二者択一ではなくて共存と相互依存の関係で位置づけていくべきであると思う¹⁵⁾。」と述べ、指導目標と指導方法に関するマトリックスを提案している(図IV-7)。このマトリックスの縦軸は、目標の「知識や技能」及び「調べ方・考え方」で、A、B、C、Dの4つに分割されている。水越は、「Aは知識・技能という実体的な学力形成が目標のすべてを占める。Bは知識・技能の習得が主目標になるが、副次的には調べ方・考え方などの機能的な学力形成を目標に入れてくる場合である。CになるとBで述べたことの逆であって、機能的な学力が主目標に、実体的なそれが副次目標となる。そして、Dでは、Aの逆であって、調べ方・考え方といった機能的な学力の形成が目標のすべてとなる¹⁶⁾。」と述べている。

横軸は学習方法で、IからIVに分割されている。Iは全面制御、IIは半発見、IIIは誘導

発見、IVは一人立ちの発見による学習方法である。水越によると、「Iは教師とかティーチングマシンにより、外部から完全に制御され、刺激に一つずつ反応していく学習となる。IIは選択肢が与えられて、その範囲内から適切なものを生徒は選ぶことができる。外部からの制御で学習が進行する点では、Iと変わりはないのだが、生徒の思考が認められている。IIIは教師がヒントを与えたりして、助言や支援をするが、解答は生徒が自分の力で見つけだしていく。IVになると、課題から解決、そして自己評価に至るまでのすべてを生徒(たち)が、一人立ちで進めていく。教師は広義の学習環境づくりを通して、間接的に支援していく。」という。

本研究では、水越敏行の目標×方法のマトリックスをもとに、理科の指導法を4つに類型化し、それぞれを次のように定義することにする。1つめの「全面制御型学習」は「教師が学習内容・活動の主導権をもち、確実に知識や技能を習得させることを目的とした指導法」、2つめの「半発見型学習」は「学習内容に関して教師が主導権をもってはいるものの、生徒の主体的な学習活動を重視し、生徒自身の力で新しい知識を発見的に獲得させることを目的とした指導法」、3つめの「誘導発見型学習」は「教師が学習課題を提示するものの、その解決の方法や考え方は生徒に主導権をもたせ、教師は援助・支援者の立場に立つ指導法」、4つめの「一人立ちの発見型学習」は、「問題の発見からその解決に至るまでの学習過程をほとんどすべて生徒に主導権をもたせる指導法」とそれぞれ定義する。

考 調 え 方 ・ 知 識 ・ 技 能	D				
	C				
	B				
	A				
(目標)		I	II	III	IV
(方法)		制 御	半 発 見	誘 導 発 見	一 人 立 ち の 発 見
		制 御 全 面	半 発 見	誘 導 発 見	一 人 立 ち の 発 見

図IV-7 水越敏行の目標×方法のマトリックス

第4節 指導目標と指導方法のマトリックスへの観察・実験等の位置づけ

ここでは、水越敏行の目標×方法のマトリックスに観察・実験等の類型及び小類型を位置づける（図IV-8）。

「操作技能・情報処理習得型」は、生物領域の学習を例にすると顕微鏡の操作やデータのまとめ方等の極めて基本的な知識・技能を習得する内容であり、教師の全面制御のもとでの指導が必要である。「発見・理解型」と「原理・法則理解型」は教師の意図的な教授場面で、生徒自身が発見したり、教師が意図的に誘導して発見させたりする学習であり、授業方略としては、「半発見」や「誘導発見」に位置づけられる。子どもは、このような学習を通して知識・技能や調べ方・考え方を習得することができる。「探究・問題解決型」と「領域総合化型」は、「一人立ちの発見型学習」として進められるのが理想であるが、「誘導発見型学習」として行うのが現実的であろう。

次に、教科書に取り上げられている生物領域の観察・実験等の内容のいくつかをこのマトリックスに位置づけてみる（図IV-9）。例えば、顕微鏡の操作技能の習得を目的とした学習は、技能を確実に習得させることが必要であるから、基本的には教師の「全面制御」のもとで行うA-Iに位置づけることができる。植物の単元で取り上げられている、葉の組織の顕微鏡観察などは、切片の作成方法や組織の観察と知識の定着を目標としており、教師のやや制御のきいた「半発見」で学習が進められることからB-IIに位置づけられる。教科書の本文で取り上げられている観察・実験は、知識や技能を「半発見」で習得するB-IIもしくは「誘導発見」で習得するB-IIIに位置づけられる。「水質と水生昆虫」などの環境調査は、教師がテーマを投げかけ、誘導的に問題解決学習を進め、新たな発見や知識・技能の定着、あるいは調べ方や考え方の習得が期待されることから「誘導発見型学習」としてB-IIIないしC-IIIに位置づけることができる。夏休みの自由研究などのように、今までに学習してきた知識や技能を基礎・基本として生徒が一人で課題を見つけ、問題解決的に自分で探究の方法を考えたり調べたりして学習を進めるものは、ほとんど「一人立ちの発見型学習」としてC-IVもしくはD-IVに位置づけることができる。

科学的問題解決能力の育成において大切なことは、教師の制御のもとでの学習と自由度をもたせた生徒の主体的な学習との調和をはかることである。特に、観察・実験の技能は、科学的問題解決に必要な武器であり、教科書に記述されている内容を模倣を通して確実に習得させることが大切である。

我が国の生物領域の学習は、教師の「全面制御」ないし「半発見」や「誘導発見」で行われる内容が多くを占めている。科学的問題解決能力を育成するためには教師の制御のきいた学習環境とともに、生徒自身が課題を見つけ、仮説を設定し、実験計画を立てて実験

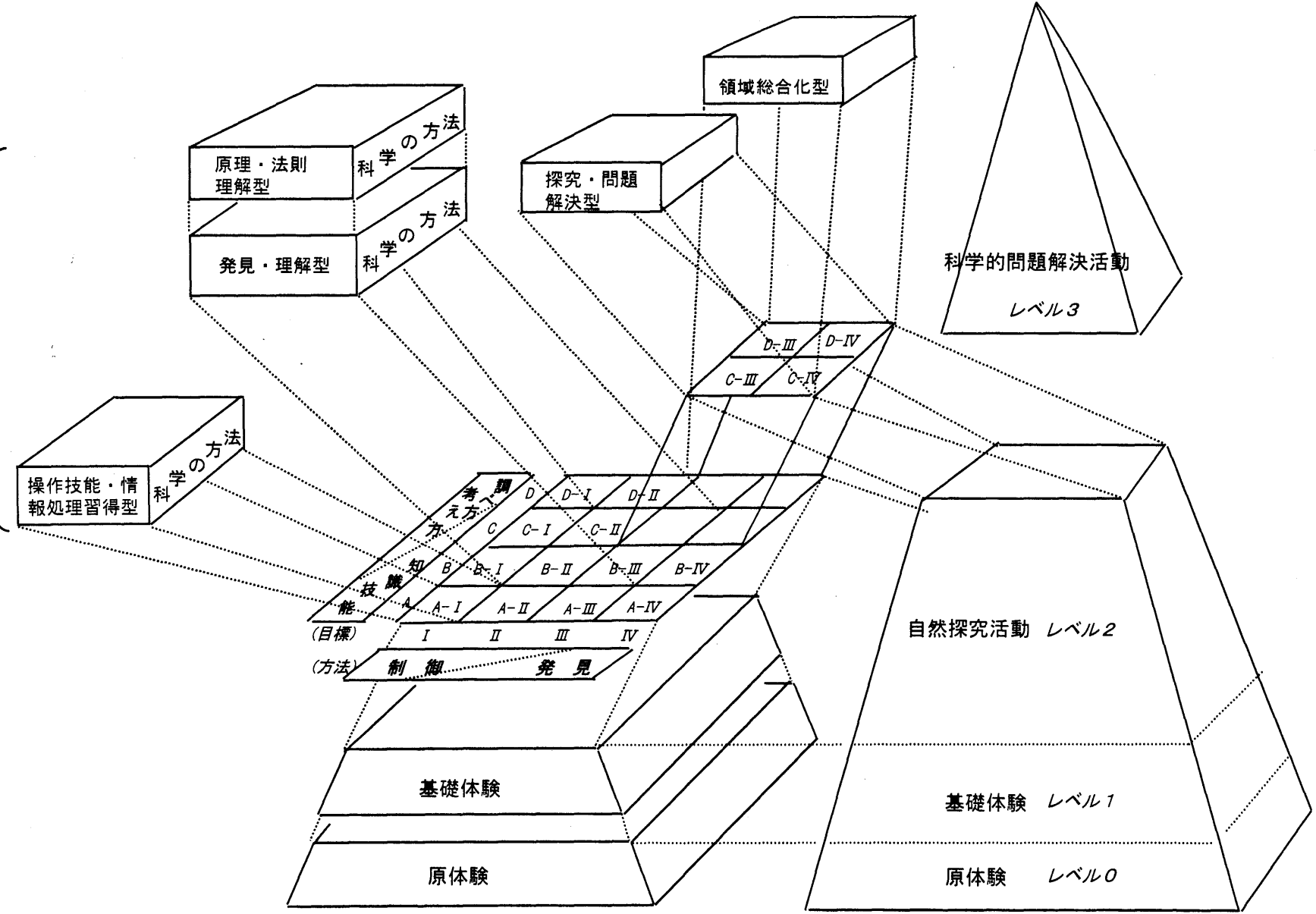
考え方 知識・ 技能	D				領域総合化型 探究問題解決型
	C		発見理解型		
	B	操作技能・情報処理習得型	原理法則理解型		
	A				
(目標)		I	II	III	IV
(方法)		制	御	発	見
		制全面御	半発見	発誘導見	見一人立ちの発

図IV-8 目標×方法のマトリックスに位置づけた観察・実験の種類

調べ方 ・ 知識 ・ 技能	D	・研究の進め方と まとめ方			・夏休みの自由研究 等
	C			・水質と水生昆虫等	
	B		・花のつくりの観察 ・葉のつき方の観察 ・メダカの血流観察 ・昆虫の体のつくり の観察等		
	A	・ルーペの使い方 ・顕微鏡の使い方 ・プレパラート作成 ・試薬の調整等			
(目標)		I	II	III	IV
(方法)		制	御	発	見
		制 御 全 面	半 発 見	発 見 誘 導	見 ち の 発 立 一 人

図IV-9 目標×方法のマトリックスに位置づけた中学校理科生物領域の観察・実験

科学の方法及び内容習得型



図IV-10 体験の四角錐モデルに位置づけた目標×指導のマトリックス及び観察・実験の類型

を行い、得られたデータをグラフにまとめたりレポートにまとめたりする自由度の高い学習もあわせて行うことが必要である。そのためには生徒自身が問題を発見する手がかりとなる原体験を取り入れた教材開発や指導法の開発が重要となってくる。

上述の、体験の四角錐モデルと目標×方法のマトリックスを1つにまとめ、構造化・モデル化すると図IV-10のようになる。

引用文献・参考文献

- 1) 文部省 (1996) 21世紀を展望した我が国の教育の在り方について—第15期中央教育審議会第一次答申—, 文部時報 第1437号, pp. 92-96, ぎょうせい.
- 2) 小林辰至・雨森良子・山田卓三 (1992) 理科学習の基盤としての原体験の教育的意義, 日本理科教育学会誌 第33巻第2号, pp. 53-59.
- 3) 新・教育心理学事典 (1988), p. 219, 金子書房.
- 4) 岩波洋造・森脇美武 (1983) 絵をみてできる生物実験, pp. 210, 講談社.
- 5) L. A. フォード (1960) 化学マジック, pp. 192, 白揚社.
- 6) 科学技術館 (1994) 青少年のための科学の祭典 実験解説集, pp. 279, 日本科学技術振興財団.
- 7) 文部省 (1992) 高等学校理科指導資料 指導計画の作成と学習指導の工夫—I Aを付した科目の指導—, 東洋館.
- 8) 大木道則他 (1992) 理科 (1分野上・下, 2分野上・下), 啓林館.
- 9) 大木道則他 (1992) 理科 (3年, 4年上・下, 5年上・下, 6年上・下), 啓林館.
- 10) 山田卓三 (1990) ふるさとを感じるあそび事典, pp. 364, 農文協.
- 11) 川喜田二郎・牧島信一 (1970) 問題解決学 KJワークブック, pp. 203, 講談社.
- 12) 小林辰至・雨森良子・山田卓三 (1992) 理科学習の基盤としての原体験の教育的意義, 日本理科教育学会誌 Vol. 33, No. 2, p. 53-59.
- 13) 山田卓三 (1986) タンポポの観察実験, pp. 92, ニューサイエンス社.
- 14) 福井謙一 (1984) 学問の創造, p. 28-30, 佼成社.
- 15) 水越敏行 (1994) メディアが開く新しい教育, p. 49, 学習研究社.
- 16) 上掲書15), p. 48.

第V章 観察・実験技能指導法の問題点とその改善に関する実証的研究

中学校理科における科学的問題解決学習は観察や実験を通して行うことが基本であることから、その技能の習得は重要課題である^{1) 2)}。

生物領域の観察・実験に必要な技能の中でも、顕微鏡操作の習得は特に重要である。それは、顕微鏡操作技能を習得した生徒は、自然の事物の微小な構造を探究したり、自ら発見する喜びを実感したりして、興味・関心を高めたり主体的な問題解決学習に発展させたりできると考えられるからである。しかし一方で、顕微鏡操作の複雑性や技能の習熟がむつかしい等の問題も指摘されている³⁾。この問題は、日常的に行われる指導の場面で、生徒の顕微鏡操作手順や操作技能の習得状況を適切に把握し、指導に生かすことが困難なことによるものと思われる。

従来の顕微鏡操作の手順に関する研究は、質問紙を用いて行うのが一般的であり⁴⁾、生徒が困難に感じている顕微鏡操作の抽出や指導方法改善を実践的に行った研究は、筆者の知る限りない。

ここでは、このような観点から顕微鏡操作の指導における指導上の問題点や生徒がおちいりやすい誤操作を抽出するとともに、その評価法を検討し、より効果的な指導法のあり方を検討する。

第1節 顕微鏡操作指導上の問題点の抽出

1. 研究の目的と方法

(1) 目的：

顕微鏡操作の指導における指導上の問題点や生徒がおちいりやすい誤操作を抽出することを目的として行う。

(2) 方法：

①実施時期

1983年5月17日

②対象

神戸市立友が丘中学校の1年生43名を対象とした。

③授業者

授業は筆者（教職経験6年目）が行った。

④顕微鏡操作に関する生徒の実態

生徒の多くは、小学校においてミック（MIC）とよばれる、倍率変換ハンドルを回して

総合倍率を変える仕組みの顕微鏡を使用した経験をもっている。レボルバーのついた本格的な顕微鏡を操作するのは、本時が初めてである。

⑤授業の内容

授業は、全生徒が顕微鏡操作の手順に慣れることを目的とした(図V-1)。顕微鏡(ステージ式と鏡筒式)は、生徒1人に1台ずつ与えた。操作の練習に用いるプレパラートとして、植物切片を封入した既製品を使用した。

⑥教授行動及び学習行動の記録と分析方法

(教授行動及び学習行動の記録)

指導者(筆者)の教授行動と生徒の学習行動を収録し分析に供するために、ビデオカメラを2台用意した。ビデオカメラ2台のうち1台は指導者の動きをとらえ、音声もワイヤレスマイクをとおして記録した。他の1台は、抽出班に向けて固定し、学習行動を録画するとともに、机に固定したマイクで生徒の音声も同時に記録した。

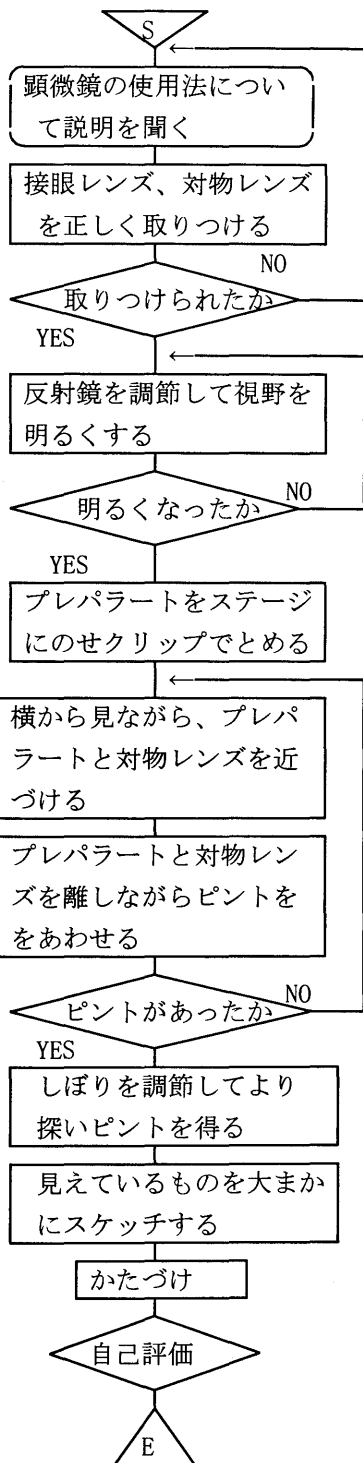
また、数名の授業観察者が教授行動や学習行動についてのコメントをカード(フリーカード)に記入した。授業後は、生徒自身による学習行動の自己評価を実施した。

(教授行動及び学習行動の分析)

教授行動と生徒の学習行動の分析は主として、授業観察者の書いたフリーカードとビデオテープに記録された映像をもとに行った。また、授業観察者が書いたフリーカードについては、同じ内容や項目について書かれたカードを集めて、授業案、教授行動、学習行動、素材等に関する意見等に分類し、問題点を洗い出した。

2. 結果と考察

顕微鏡操作に関する指導者(筆者)の教授行動は以下の通りである(表V-1)。指導者は、まず最初の3分間で、顕微鏡使用に当たっての動機づけを行った。6分後に顕微鏡を箱から取り出させ、9分後に顕微鏡操作には基本的な手順のあることを知らせるとともに、レボルバー等の各部名称、操作手順を説明している。12分後には、対物レンズの取り付けや反射鏡の調節の指示を出している。18分後には、プレパラートをステージに置き、対物レンズをプレパラートに近づけた後、少しずつ対物レンズを上げながらピント調節を行うよう指示を出している。以上のように、一般的な説明には約20分を要している。指導者は21分後から机間巡視を開始し、①対象物を視野の中に入れなければ見えないということに気付かない生徒のいること、②対象物が視野に入りピントがあっても、ほとんどの生徒がしぼりを使ってコントラストをつけ、より明瞭な像を得る操作をしていないこと、に気づいている。そこで、当初の予定を変更して、授業開始33分後、全員着席させた後、

学習の流れ	教師の活動	留意点
 <pre> graph TD S((S)) --> A[顕微鏡の使用法について説明を聞く] A --> B[接眼レンズ、対物レンズを正しく取り付ける] B --> C{取り付けられたか} C -- NO --> B C -- YES --> D[反射鏡を調節して視野を明るくする] D --> E{明るくなったか} E -- NO --> D E -- YES --> F[プレパラートをステージにのせクリップでとめる] F --> G[横から見ながら、プレパラートと対物レンズを近づける] G --> H[プレパラートと対物レンズを離しながらピントをあわせる] H --> I{ピントがあったか} I -- NO --> H I -- YES --> J[しぼりを調節してより探いピントを得る] J --> K[見えているものを大まかにスケッチする] K --> L[かたづけ] L --> M{自己評価} M --> E((E)) </pre>	<ul style="list-style-type: none"> ・実験カードNo. 12を用いての大まかな説明 ・レンズを取りつけるよう指示 ・机間巡視をしてチェックする ・反射鏡の調節を指示 ・机間巡視をしてチェックする ・プレパラートをステージにのせるよう指示 ・レンズを近づけるよう指示 ・机間巡視をしてチェックする ・ピントがあっていない生徒の個別指導 ・見たい部分を中央にもってくるよう指示 	<ul style="list-style-type: none"> ・倍率にもふれておく 本当に見えているかを確認するためのスケッチ *時間がなければ省略

図V-1 顕微鏡操作指導第1次の指導案（指導者：小林辰至）

表 V-1 顕微鏡操作の指導過程

時 間	指 導 内 容
0 分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 顕微鏡使用にあたっての動機づけ
3 分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本時の目標の確認
6 分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 顕微鏡を箱から出させる
9 分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 操作には基本的な手順のあることを知らせる
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各部の説明 <ul style="list-style-type: none"> レボルバー ステージ 調整ネジ レンズ ・ 操作手順の説明 <ul style="list-style-type: none"> レンズの取り付け順
12分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対物レンズの取り付け方 レボルバーの回転のさせ方
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光源を出すよう指示 ・ 反射鏡を動かし視野の明るさを調節させる
18分	<ul style="list-style-type: none"> ・ プレパラートをステージに置くよう指示 ・ 対物レンズをプレパラートに近づけるようにして ・ ピントを調整するよう指示
21分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 机間巡視 ・ センタリング、しぼりについて説明
32分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全員席に着かせる
33分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不手際な操作について補足説明
36分	<ul style="list-style-type: none"> ・ レンズの取りはずし方の説明 ・ 箱に収納させる
40分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 操作を実際にもう一度くり返させる
45分	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自己評価

センタリング（見たいものを視野の中央にもってこること）としぼりの機能と操作について補足説明している。

授業観察者によって教授行動と生徒の学習行動に対する印象や意見について書かれたフリーカードをもとに、授業の流れに沿って顕微鏡操作指導における問題点をまとめた（表V-2）。

その結果、次のような指導上の問題点が明らかとなった。

- ①生徒一人ひとりについて、視野が明るくなるように反射鏡を正しく調節しているかをチェックすることは時間的に困難である。
- ②生徒一人ひとりについて、プレパラートの対象物を視野の中央にもってきているかどうかをチェックすることは困難である。
- ③既製のプレパラートを生徒に与えた場合、封入されている標本に多様性があり、一人ひとりの生徒が対象物を正しく見ているかどうかを適切に評価することが困難である。

以上のように、顕微鏡操作技能の習得を目的とした通常の授業において、生徒が適切な操作手順を経て対象物の像を得ているかどうかを全生徒に対して評価し、一人一人にフィードバックすることの困難性が客観的に明らかになった。

次に、顕微鏡操作の学習の後に行った顕微鏡操作技能の習得に関する自己評価の結果について検討する（表V-3）。その結果からみる限り生徒は顕微鏡の操作によく習熟したような印象を受けるが、自己評価は独善的な評価や無意識的なまちがいをチェックできない欠点を含んでいる可能性が示唆された。例えば、調査項目3「プレパラートをステージにのせ、横から見ながら対物レンズがふれそうになるまで近づけましたか。」と4「ピントをあわせるとき、プレパラートが対物レンズから遠ざかるようにネジを回しましたか。」の操作は、互いに関連している。つまり、横から見ながら対物レンズをプレパラートに近づけることができれば、結果としてピント調節は対物レンズがプレパラートから遠ざかるように操作する結果になるので、人数に差が出るとは考えられない。しかし、調査項目3について「はい」と答えた生徒は34名いるのに対して、調査項目4について「はい」と答えた生徒は41名いた。

以上の結果から、基本的な操作技能を習得させるためには、指導者が生徒の学習活動を的確に評価し、指導にフィードバックできる指導法と評価法を確立することの必要性が示唆された。

このように、顕微鏡操作指導や評価において改善すべき点が明確になったが、これらの点は今後の課題とし、引き続き海産プランクトンを観察する授業を行った。その詳細は次節に述べる。

表V-2 教授行動と学習行動に関するフリーカード法の意見と感想

時間	教授行動に関する意見・感想	指導内容	学習行動に関する意見・感想
3分	生徒の聞く態度に留意していない。	目標確認	・「顕微鏡が使用できるか」の質問に10名がごく自然な表情で挙手。
9分	<ul style="list-style-type: none"> 各部の名称の説明が言葉だけ。実物、図を使うべき。 重要な部分の名称、使用方法についての指導が、全体に徹底していない。 対物レンズの付け方を実際に演示し、細かな注意を与えるべきだ。 採光のし方、反射鏡、しぼりについての指示が不十分。 	顕微鏡各部の説明	<ul style="list-style-type: none"> 話を聞かずレンズをさわっている。 説明を聞きながら、各部を確認している生徒が少ない。
12分		操作手順の説明	<ul style="list-style-type: none"> レンズをつける指示があったときには一斉にかかれた。 16分台で全員（抽出班）レンズをとりつけられた。
18分	<ul style="list-style-type: none"> 反射鏡「一番明るくしなさい」は不適切ではないか。 班ごとで協力し、手助けしたり、互いに評価しあうよう指示すべき。個人差にどう対応していくか。 	顕微鏡を操作するよう指示	<ul style="list-style-type: none"> 反射鏡の操作は、だいたいできていた。 プレパラートをのせたとき熱中した。 レンズを横から見ながら近づける操作を怠っている生徒あり。のぞくのに熱中。 全員（抽出班）右眼でのぞいている。 「見えへん」「全然うつれへん」の声。
24分	・机間巡視時、個人に関する指示と全体への指示が重なっていて不適切。		
30分	・見たものが正しいものかどうかをチェックする（スケッチなど）配慮がない。		・見たものを発表する場があるのでは。
36分	・片づけの手順は、黒板、図を使用して説明するのがよいのでは。		・授業の山場が欲しい。成就感・成功感を味わわせる工夫が必要。

表V-3 顕微鏡操作に関する学習後の生徒の自己評価

顕微鏡操作に関する自己評価項目	はい	いいえ
1. 接眼レンズを取り付けた後に対物レンズをはずしましたか。	97.6%	2.4%
2. 接眼レンズをのぞきながら、視野が明るくなるように反射鏡を調節できましたか。	100 %	0 %
3. プレパラートをステージにのせ、横から見ながら対物レンズがふれそうになるまで近づけましたか。	81.0%	19.0%
4. ピントをあわせるとき、プレパラートが対物レンズから遠ざかるようにネジをまわしましたか。	97.6%	2.4%
5. 見ようとするものを視野の中央にもってこることができましたか。	92.9%	7.1%
6. 箱にしまうとき、対物レンズをとりはずしてから接眼レンズをとりはずしましたか。	92.9%	7.1%

第2節 水プレパラートによる顕微鏡操作指導の問題点とその改善

プランクトンの顕微鏡観察は生徒に人気のある学習の1つである。しかし、プランクトン等のように試料が水中に含まれているプレパラートの観察は、既製のプレパートに比べ操作がやや複雑になり、困難を感じる生徒が出てくる可能性がある。

そこで、ここでは身近な自然の教材である海産プランクトンを試料として取り上げ、プレパラート作成を伴った顕微鏡操作の問題点の抽出とその改善方法の検討を行う。

1. 研究の目的と方法

(1) 目的：

本研究の目的は2つある。1つは、プランクトンの観察が生徒の興味・関心を高める上で有効な教材であるかどうかを実践を通して明らかにすることである。もう1つは、水プレパラートを作成して顕微鏡を操作する学習における指導上の問題点及び生徒が困難を感じる点を明らかにするとともに、改善の手掛かりを得ることである。

(2) 方法：

①実施時期 1983年5月24日

②対 象 神戸市立友が丘中学校の1年生43名を対象とした。

③授業内容

観察用の試料は、プランクトンネットで採集した神戸港に棲息する生きたプランクトンである。本時では、プランクトンを含む海水の水プレパラートをつくり、顕微鏡を操作してプランクトンを観察できるようになることを目標とした(図V-2)。なお、顕微鏡(ステージ式と鏡筒式)は、生徒1人に1台ずつ与えた。

導入の段階では、できるだけ、ミクロの世界への期待がふくらむよう配慮した。顕微鏡操作の注意を極力ひかえ、観察時間をできるだけ多くとるようにした。また、授業の最後で顕微鏡操作と素材についての自己評価を行わせた。

④教授行動及び学習行動の記録と分析方法

(教授行動及び学習行動の記録)

指導者(筆者)の教授行動と生徒の学習行動を収録し分析に供するために、ビデオカメラを2台利用した。ビデオカメラ2台のうち1台は指導者の動きをとらえ、音声もワイヤレスマイクをとおして記録した。他の1台は、抽出班に向けて固定し、学習行動を録画するとともに、机に固定したマイクで生徒の音声も同時に記録した。

また、数名の授業観察者が教授行動や学習行動についてのコメントをカード(フリーカード)に記入した。授業後は、生徒自身による学習行動の自己評価を実施した。

(教授行動及び学習行動の分析)

教授行動と生徒の学習行動の分析は主として、観察者の資料とビデオテープに記録された映像をもとに行った。ビデオテープは後日再生しながら、10数名の観察者により疑問などを自由に記述してもらい、後で同じ項目について書かれたカードを集めて、授業案、教授行動、学習行動、素材等に関する意見を取りまとめて問題点を洗い出した。

2. 結果と考察

まず、海産プランクトンが、生徒の興味・関心を高める上で有効であったかどうかを検討する。授業終了後行った自己評価(5段階)の項目の「顕微鏡を使って海や池の小さな生物をもっと調べてみたいですか」についてみると、42人中39名(93%)が「やや」もしくは「とても」と答えており、プランクトンが興味・関心を高める上で効果があったことがうかがえる(表V-4)。また、学習行動を録画したビデオテープを後日再生しながらそのようすをチェックしたところ、「観察始め」の合図の後、静かに顕微鏡を準備し、水プレパラートを作成しており、かなり熱中しているようすであった(表V-5)。プランクトンを見つけた生徒は、自分なりの表現で、その印象を語り、互いに見せあうな

時間	学 習 内 容	指導上の留意点
5分		<p>未知のミクロの世界への期待がふくらむよう話しかける</p> <p>机間巡視</p> <p>見えない場合には顕微鏡操作に問題がないか考えさせる</p>
5分		<p>*「小林辰至著：神戸港のプランクトン」、神戸市立教育研究所刊、神戸の自然シリーズ No. 11</p>
5分		

図V-2 神戸港のプランクトンを用いた授業の指導計画（授業者：小林辰至）

どの行動が目立った。授業を開始して38分後の「片づけなさい」という指示に対し、それに従う生徒はほとんどなかった。「もっと観察したい人」という指導者の問いに対し、ほとんどの生徒が「続けたい」と答え、全員が片づけに入ったのは、その5分後であった。これらの行動は、生徒による「新しい発見」が知的好奇心を刺激し、学習意欲が大いに高められたことを示しているものと思われる。

次に、顕微鏡操作に関する問題点について述べる。自己評価項目の「反射鏡を動かして視野を明るくしましたか」では、42名中41名が「はい」と答えたり、「顕微鏡はうまく使えるようになりましたか」では35名（83%）が「やや」もしくは「とても」と答えており、自己評価は良好な結果を示している。しかし、VTRの分析結果や観察者によるフリーカードによると、次のような誤操作を行っている生徒のいることが明らかになった。

- ① いきなり高倍率（400倍）で見ている
- ② 対物レンズをプレパラートに近づけながらピント調節をしている
- ③ センタリングの必要性に気づいていない

生徒は、最終的にピントがあえばうまく操作できたと思う傾向があるようで、それが、良好な自己評価となって表われているものと思われる。

次に水プレパラートを使っての観察において生徒をわずらわせる事柄は、

- ①カバーガラスの下に入った小さな気泡をプランクトンと勘違いする
- ②浮遊しているゴミをプランクトンと勘違いする
- ③カバーガラスの端を見て、困惑する
- ④ピントを合わせた後、プレパラートを動かしてプランクトンをさがすことができない等であった。特に、気泡は多くの生徒を困惑させるようで、質問が多く出た。また、プレパラートを前後左右に動かして、対象物をさがすという操作は、生徒にとってかなり困難を伴う操作のようである。プランクトンが高密度で確実に含まれている試料を用いてプレパラートを作成しているにもかかわらず、この操作が不十分なために、「見えない」という生徒が少なくなかった。

顕微鏡操作の指導において最も問題となるのは、レンズの取り付け順が正しく行われているかどうかといった事よりも、生徒がどのような状態の視野を得て、何を見ているのかを全生徒について評価することがむづかしい点である。顕微鏡の操作に習熟させるための初期の指導においては、特に個々の生徒が正しい手順をへて対象物を正しく見ているかを適宜評価し、生徒へのフィードバックをかけながら技能の定着をはかるよう努めなければならない。

以上のように、顕微鏡操作の手順、センタリングやピント調節の技能を高めることを目

的とした授業では、生徒が正しく操作し対象物を正しく見ているのかを適宜評価し、フィードバックをかけ個別指導に当たることが重要であることは明らかである。しかし、1人の教師が40数名の生徒の顕微鏡をのぞいて対象物を見ることができたかどうかを評価することは現実的には困難である。

表V-4 プラクトン観察後の顕微鏡操作に関する自己評価と素材に対する印象

顕微鏡の操作に関する質問項目		はい (名)			いいえ (名)	
レンズは接眼レンズ、対物レンズの順で取りつけましたか。		41			1	
反射鏡を動かして視野を明るくしましたか。		41			1	
100倍でプラクトンが見えましたか。		36			6	
400倍でプラクトンが見えましたか。		22			20	
しぼりを適切に調節しましたか。		36			6	
顕微鏡操作全般に関する自己評価	ぜんぜん (名)	あまり (名)	ふつう (名)	やや (名)	とても (名)	
顕微鏡はうまく使えるようになりましたか。	0	1	5	23	12	
プラクトンに対する興味・関心	ぜんぜん (名)	あまり (名)	ふつう (名)	やや (名)	とても (名)	
顕微鏡を使って海や池の微生物をもっと調べてみたいですか。	0	0	3	10	29	

表V-5 指導者のとった教授行動と生徒の学習行動

時間	教授行動	学習行動	観察者がみた学習行動
2分	操作手順の確認 (OHPで)		
5分	プランクトンの検索方法		
6分	片づけ方の説明		
7分	開始しなさい		
10分		<ul style="list-style-type: none"> ・箱から出し準備する ・レンズ取り付け完了、水プレパラートを作成している (ほとんどしゃべらずに作業している) 	
12分		<ul style="list-style-type: none"> ・すでに顕微鏡をのぞいている生徒もいる 	
13分	机間巡視をしながら個別指導 (水プレパラートの作り直しを手伝う)	<ul style="list-style-type: none"> ・ゴミを見つけて「何？」と聞く生徒 ・ミジンコを見つけた生徒あり ・「何も見えない」という生徒あり ・〔気泡〕が多い生徒あり ・カバーガラスのはしを見ている生徒あり ・〔気泡〕を見て「これ何？」 ・夜光虫と気泡を混同している 	<ul style="list-style-type: none"> ・いきなり400倍で見ようとするためピントがなかなかあわない ・100倍でみるように助言したが、センタリングができない ・ピント調節のとき、対物レンズをプレパラートに近づけた ・1種類見つけるとプレパラートをつくり変える生徒がいる ・気泡を夜光虫と思っている ・ゴカイの幼生を見つけて気持ち悪がる生徒 ・プランクトンが視野にわずかだが見えなかったとき強い興味を示している
15分			
16分			
21分		<ul style="list-style-type: none"> ・「何か動いとう」「夜光虫がおる」 ・顕微鏡を持って指導者のところへ聞きにきた生徒あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・「夜光虫のしっぽが動いとう」
23分		<ul style="list-style-type: none"> ・「400倍で見ることができない」 ・ミジンコ、ケイソウ等たくさん見つけはじめた ・何枚もプレパラートを作りかえ熱心に見ている 	
26分		<ul style="list-style-type: none"> ・何か見つけ、友人どうして見せあっている 	
27分	夜光虫以外にもっと見えないか？	<ul style="list-style-type: none"> ・水が蒸発してできた食塩の結晶を見て「これ何？」と質問 	
28分	エビの幼生を見つけた人がいるよ	<ul style="list-style-type: none"> ・「何がおったん」と友人に聞きに来る生徒 	
30分		<ul style="list-style-type: none"> ・「また夜光虫や」 	
33分		<ul style="list-style-type: none"> ・気泡を見て「これ何？」と聞く生徒 	
34分		<ul style="list-style-type: none"> ・「先生、これ何、ウワー何？」と驚きの声 	
37分		<ul style="list-style-type: none"> ・カバーガラスの表面にできた食塩の結晶を見ている 	
38分	片づけなさい まだ見たい人	<ul style="list-style-type: none"> ・片づけようとしな ・「ハアーイ」ほとんどの生徒が手を上げる 	
39分		<ul style="list-style-type: none"> ・やめようとしな。ケンミジンコを見つ ける 	
40分	片づけなさい。片づけの手順をOHPで投影	<ul style="list-style-type: none"> 一部片づけ始めた 	
41分	片づけなさい	<ul style="list-style-type: none"> ・まだ見ている生徒がいる 	
43分	Sさん、もう片づけよう	<ul style="list-style-type: none"> 「これ何？」と聞く 全員が片づけ始める 	
45分	自己評価して下さい (用紙配布)		
50分	終了		

第3節 顕微鏡操作技能の評価方法の検討及び指導法の改善

上述の顕微鏡操作技能の習得を目的とした実践をふまえて、観察・実験の操作技能の評価方法を表V-6に整理した。これは、本研究で用いたものも含めて10の評価方法を挙げ、その長所・短所、実施する際の留意点とともに、どのような場合に有効であるかという適用範囲をまとめたものである。これ以外にも評価の方法はあると思われるが、各評価方法の長所・短所を見極めたうえで、目的・用途に応じて使い分け、あるいは1つの方法のみに頼らず、いくつかの方法を併用し、そこから得られた情報を生徒のアフターケアや授業改善にフィードバックすることが大切である^{5~7)}。

特に重要なことは、顕微鏡操作を習熟させる初期の段階で、生徒が正しく操作し対象物を正しく見ているのかを適宜評価し、フィードバックをかけ個別指導に当たることが大切である。しかし、1人の教師が40数名の生徒の顕微鏡をのぞいて対象物を見ることができただかどうかを評価することは、限られた授業時間内では困難である。

この問題を解決するために、フィルムの利用を検討してみた。何らかの文字情報を書き込んだフィルムをプレパラートとして利用できれば、生徒が対象物を正しく見ているかどうかを適確に指導・評価できるものと考えられる。

そこでB4の紙に4mmの和文タイプで文字を打ち、ネオパンFで撮影した(表V-7、図V-3)。50mmレンズでファインダーの中にB4の紙が約4枚入るように距離を設定したときのフィルムを100倍で見ると視野に約3文字確認できた。ピントが正確に合えば、文字は明瞭に読み取れ、粒子のあらさは気にならなかった(図V-4、5)。このフィルム封入プレパラートは、正しく反射鏡を調節し、ピントをあわせ、センタリングができた生徒だけに見えるわけで、指導が容易になるものと考えられる。

次に、このフィルム封入プレパラートを授業で使い、生徒に充分使いこなせるかどうかを検討した。入学してまもない1年生39名(1984年度入学)一人一人に顕微鏡1台とフィルム封入プレパラートを与えた。なお、中学校に入学してからの顕微鏡操作は、本時が初めてである。その結果、1分以内に14名が、3分以内に30名がプレパラートに書き込まれた文字を読むことができた。最終的には時間内に全員が読むことができた。また、その間全員が非常に興味をもって学習に取り組み、教材としての有効性が確認できた。

フィルム封入プレパラートを用いて、センタリングやピント調整など基本的操作技能に習熟させることにより、子どもが自信をもって顕微鏡を用いた探究活動に取り組むと考えられることから、高い教育効果が期待できる。

なお、1987年に同様のアイディアの教材が東レ理科教育賞で入選(新潟県上越市立城西

表V-6 顕微鏡操作技能の評価方法一覧（村川、小林）

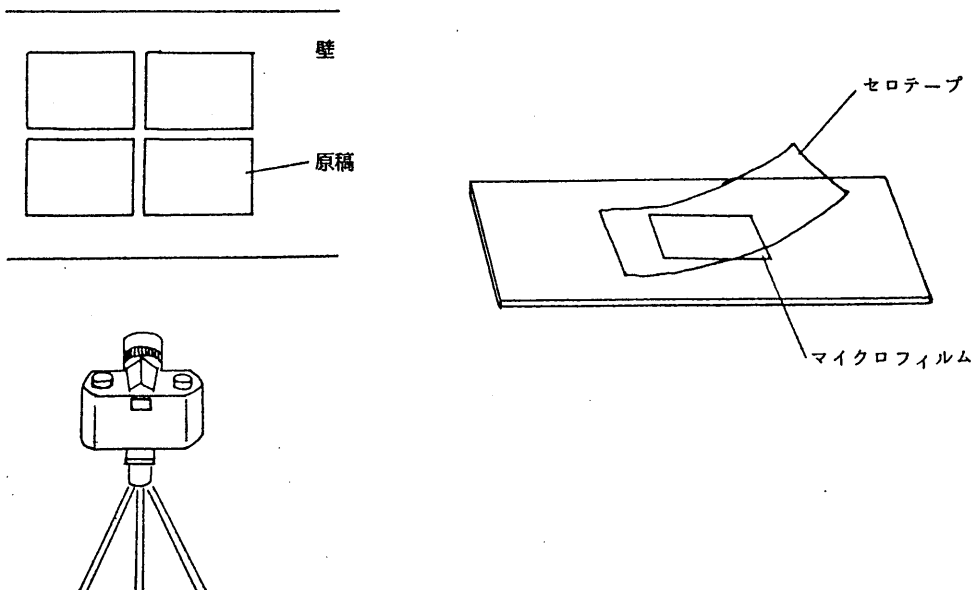
	評価方法 評価者（時期）	長 所	短 所	留 意 点	適 用
A	机間巡視による観察 教師（授業中）	誤りをすぐに訂正できる。	途中のプロセスを見落としがち。全員のチェックが不可能。	机間巡視をよく行ない、生徒やポイントをしぼる。	最もオーソドックスで、必ず実践されるべきもの。
B	自己評価 生徒（授業中）	自分の評価の再確認ができる。	無意識的な誤りが見落とされがち。	評価の後に再び操作させる。	小学校高学年以上では有効。
C	相互評価 生徒（授業中）	無意識的な誤りが明らかになる。評価することで学習する。	なれ合いの恐れあり。ポイントを見落としがち。	観点表を与え、ポイントを充分理解させておく。	器具等の不足により全員で操作できないときに有効。
D	班単位の観察 観察者（授業中）	操作上の問題点が明らかになる。	個々の生徒の行動を見落としがち。	人数かポイントをしぼる。	教師の指示との関連をみるのに有効。
E	個別観察 観察者（授業中）	個々人の細部に及ぶ問題点が明らかになる。	観察者の人数が不足する。	子どもの表情やつぶやきも記録する。	特定の抽出児を追跡するのに有効。
F	VTRによる抽出班の記録・分析 教師＋観察者 （授業後）	操作手順・時間がすべて記録される。表情やつぶやき等も記録される。	細かな操作が見落とされがち。後からではチェックできないものがある。	カメラの位置と音声記録が大切。授業中チェックすべきものはしておく。	学級を代表するような班であれば、授業評価や教師の自己評価に有効。
G	VTRによる抽出児の記録分析 教師＋観察者 （授業後）	個々の生徒の細かい操作・表情・つぶやきまで記録できる。	評価対象が非常に限定される。子どもが過度に緊張する。	緊張しないように留意する。授業中にチェックすべきものはしておく。	非常に重要な抽出児を記録するときには有効。
H	パフォーマンステスト 教師＋観察者 （授業・単元終了後）	個々人の操作技能がきめ細かく全員チェックできる。	自然の状態での操作のチェックができない。時間がかかる。	いかに時間や手間をかけずに必要な情報を得るか工夫が必要。	年に1～2度、重要な操作技能のチェックに使うのが有効。
I	VTRによるパフォーマンステストの記録・分析 教師＋観察者＋生徒 （授業・単元終了後）	個々人の操作技能がきめ細かくチェックできる。見落としても再生できる。	自然の状態での操作のチェックができない。手間がかかる。	操作時にチェックすべきものは必ずやっておく。カメラを数台使うことで時間の短縮可能。	年に1～2度重要な操作技能のチェックに使うのが有効。生徒に見せて自己評価させるのに有効。
J	アチーブメントテスト 教師 （授業・単元終了後）	手軽に全員のデータが入手できる。	操作技能の評価としては限界がある。	実際の操作技能をどれだけ反映させるか、テスト問題の工夫が必要。	単元等の終りで整理させるのは有効。

表V-7 フィルム封入プレパラートのつくり方

準備するもの 一眼レフカメラ (50ミリ標準レンズ) , 三脚, フィルム (ネオパンF) , B4版の紙, 和文タイプライター, セロテープ, スライドガラス

方法

- (1) ファックス原稿用紙の中央に、質問形式の問題文をタイプしたものを4枚用意する。
- (2) 明るい部屋の壁に4枚図のように貼る (フィルム1枚で4人分できる)。
- (3) フィルムを装てんし、三脚に固定したカメラのファインダーをのぞきながら、ファインダーの中に4枚の紙が入るくらいの距離にセットする。
- (4) 壁にはった紙の面にピントをあわせる。文字を見ながらのピントあわせは不可能なので原稿の端であわせる。
- (5) しぼりは被写界深度を深くするために、できるだけしぼり込み、スローシャッターを切る。
- (6) 現像したネガをハサミで切り、フィルムの膜面が下になるようセロテープでスライドガラスに貼り付ける。



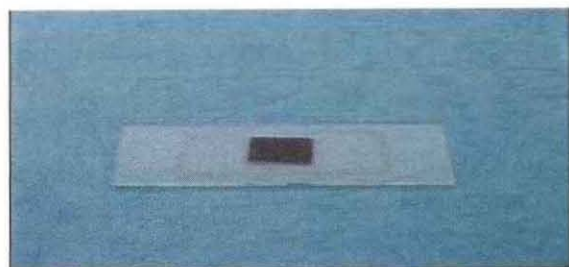
図V-3 簡便なフィルム封入プレパラートの作成方法

中学校 丸山幹生氏) している。そして、さらに論文⁹⁾として発表するとともに商品化しているが、筆者はその4年前の1984年3月に論文⁹⁾として発表しており、オリジナリティーは筆者にあるものとする。

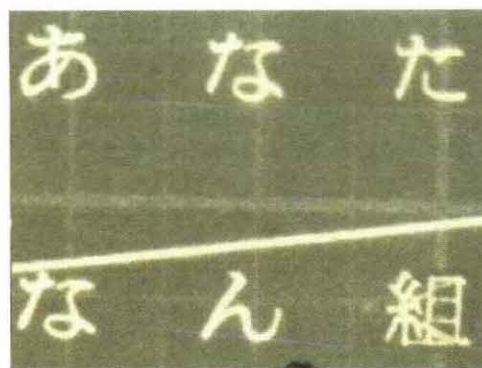
本章では、中学生が陥りやすい顕微鏡の誤操作としては、①いきなり高倍率(400倍)で見る、②対物レンズをプレパラートに近づけながらピント調節をする、③センタリングをしない、等が抽出できた。また、視野に入る観察対象外の像で生徒を困惑させるものとしては、①カバーガラスの下に入った小さな気泡、②浮遊しているゴミ、③カバーガラスの端、等であることを明らかにした。

さらに、これらの知見にもとづき、顕微鏡操作技能を確実に習熟させるための評価のあり方や顕微鏡操作指導法改善を目的とした教具の開発を行い、その有効性を実践的に明らかにした。

結論的に述べるならば、顕微鏡操作技能など探究活動に不可欠な基礎的な技能は、確実に習得が行えるよう、生徒に主体性をもたせつつも教師主導の学習指導を行うことが重要である。



図V-4 フィルム封入プレパラート



図V-5 顕微鏡で見たフィルム封入プレパラート
(×25)

引用文献・参考文献

- 1) 井藤芳喜 (1988) 科学的能力における器具の操作技能の意義, 理科の教育 通巻434号, pp. 9-12, 東洋館出版社.
- 2) 福岡敏行 (1988) 観察・実験における器具の操作技能の指導のあり方, 理科の教育 通巻434号, pp. 13-16, 東洋館出版社.
- 3) 松森靖夫 (1988) 小学校4年「顕微鏡観察」の指導, 理科の教育 通巻434号, pp. 21-24, 東洋館出版社.
- 4) 前掲誌3), pp. 21-24.
- 5) 東洋・中島章夫 (1988) 授業技術講座 基礎技術編 2授業を改善する, p. 7, ぎょうせい.
- 6) 水越敏行・梶田叡一 (1985) 授業と評価ジャーナル 6集 指導と評価の一体化, pp. 163, 明治図書.
- 7) 水越敏行・梶田叡一 (1984) 授業と評価ジャーナル 5集 新しい教材の開発と評価, pp. 162, 明治図書.
- 8) 小林辰至 (1984) 中学校理科における実験観察技能の評価法について, 神戸市立教育研究所 研究報告 第210号, pp. 29-43.
- 9) 丸山幹生 (1988) 「リバーサルフィルム封入プレパラート」による顕微鏡操作技能の実態把握と練習, 理科の教育 通巻434号, pp. 29-32, 東洋館出版社.