

## 探究的な学習活動を機軸とした中等理科教育の展開

古賀 信吉・磯崎 哲夫・松浦 拓也・木下 博義・  
三好 美織・蔦岡 孝則・梅田 貴士・網本 貴一・竹下 俊治・  
富川 光・山崎 博史・吉富 健一・井上 正之\*・山田 秀人\*\*

(2016年12月22日受理)

### Promotion of Secondary School Science Education Driven by Inquiry-Based Activity

Nobuyoshi KOGA, Tetsuo ISOZAKI, Takuya MATSUURA, Hiroyoshi KINOSHITA, Miori MIYOSHI,  
Takanori TSUTAOKA, Takashi UMEDA, Kiichi AMIMOTO, Shunji TAKESHITA, Ko TOMIKAWA,  
Hirofumi YAMASAKI, Kenichi YOSHIDOMI, Masayuki INOUE and Shuto YAMADA

This article reports fundamental researches organized for developing a novel teaching/learning system in secondary school science. A curriculum constructed by an effective integration of content-based and context-based curriculum arrangements is proposed for generating teaching/learning opportunities through various inquiry-based activities on the basis of previously acquired science knowledge and concepts. The science subjects, including physics, chemistry, biology and earth science, have different logics and methodologies of science, but those are completed by mutual interdependences. Therefore, various storylines that cover different learning contents in science subjects can be developed. The inquiry-based activities along different storylines provide students with opportunities to correlate previous learnings in different science subjects and to experience various cognitive and scientific skills. Based on such findings of our basic researches, the merits of the science education system proposed in this study is discussed briefly.

Key words: Science education, Secondary school, Contents; Context, Inquiry activity

#### 1. はじめに

我が国の理科教育は、欧米先進各国の教育制度、教育方法、及び教育内容を模倣的に取り入れ、我が国の文化的及び社会的特色に整合させながら独自の教育文化を確立するに至った。この理科教育の文化が、今日の科学・科学技術先進国の基盤として重要な役割を果たしてきたことは高く評価されるべきである。一方で、持続的な社会の発展を目指すうえで、さらなる科学や科学技術のイノベーションが求められるとともに、自然災害、気候変動、エネルギー問題、環境問題、食料問題などをはじめとした人類的課題を克服することが喫緊の課題である。このような社会的局面にあって、

理科教育にはその理念を発展的に拡充し、先進的な教育方法及び内容を取り入れながら、近未来の社会を支える基盤を構築するための先駆的役割を果たすことが求められる。現行の中等理科教育に対しては、国際的な児童・生徒の学力比較調査や国内での習熟度調査をもとにして、次世代の理科教育において克服すべき種々の課題が明らかにされている。現行の学習指導要領では、これらの課題を解決する方向性として、基礎学力の充実とともに、思考力、探究能力、判断力、コミュニケーション能力などを含む広義の科学的能力の育成が求められており<sup>1)</sup>、学習指導要領の改訂に向けた議論においてもその方向性がさらに強く打ち出されているところである<sup>2)</sup>。

筆者らは、我が国の中等理科教育において一般

\* 東京理科大学理学部

\*\* 防衛大学校

的であった系統的な学習と欧米諸国において試行実践されている文脈を基盤とした学習を融合的・効果的に活用して学習場面を創出し、生徒の探究的な学習活動を通じて科学的知識や概念の論理的組織化を図るとともに、科学的能力を育成する近未来型の中等理科教育の開発研究に取り組んできた。本稿では、このような新教科システムの開発に向けた一連の研究において、教育学、教育方法学、教材開発学、及び教育実践学的観点からの基礎的研究により得られた知見について報告する。

## 2. 系統的な学習と文脈を基盤とした学習を融合した理科カリキュラム

### 2.1 諸外国の事例

中等理科教育では、伝統的に教科の内容的な基盤となる自然科学の体系や系統性を重視してカリキュラム (content-based/led approach) が構成され実践されてきた。1950年代からのアメリカやイギリスにおけるいわゆる理科教育の現代化は、この一つの典型で、主要な科学的概念の構造化によりカリキュラムが構成された。これに対して、個人の生活や地域社会、グローバル社会と科学を結びつけ、理科の学習をより生徒の興味・関心等に関連づけるために、文脈を基盤とするアプローチ (context-based/led approach) に基づくカリキュラムが、1970年代の STS (Science-Technology-Society) 運動を端緒として、1980年代後半以降に世界的に開発されていった<sup>3)</sup>。その背景には1980年代以降明らかとなった問題や課題があった。すなわち、中等教育、とりわけ後期中等教育におけるいわゆる「理科離れ」の現象などの問題や理科教育の目的に関わる急務の課題として科学的リテラシーの育成の重要性が認識されたことなどである。

文脈を基盤とするアプローチでは、生徒のモチベーションを高めることを意図したものから、特定の社会的課題に対して科学的根拠に基づいた意思決定や社会的行動の基盤となる能力の育成を目指したものまで、異なる教育的意義を伴う多様な展開が考えられる。このアプローチでは、学習テーマとする社会や日常生活にかかわる状況や問題、及び科学とその状況や問題との関連を認識させることが学習の起点となり、それらを理解するために科学的な考えや概念が導入され、展開されていく。また、生徒中心の学び、参加型の学び、アクティブ・ラーニング (active learning) が重要な学習活動として取り入れられる。これらの学

習活動には、少人数による話し合い活動、論証活動、問題解決活動、探究活動やロール・プレイなどが含まれる<sup>4)</sup>。

欧米諸国を中心に開発されてきた文脈を基盤としたアプローチに基づくカリキュラムは、アジア諸国においても取り入れられるようになってきている。近年では、教える側や学ぶ側の実態調査を踏まえて、文脈を基盤としたアプローチのみではなく、伝統的な体系的・系統的内容を基盤とするアプローチとの組み合わせによるカリキュラムも構成されるようになってきた<sup>5)</sup>。

### 2.2 カリキュラム構成の論理

近年、生涯学習の視座から学校教育段階とその後の段階を連続的に捉えた、また、文脈的 (特定の文脈の意味) であり、社会参加的で、横断的 (複合的) なものとして捉えた学力観に基づいてカリキュラムが構成される傾向にある<sup>6)</sup>。文脈を基盤とするアプローチを取り入れたカリキュラムは、この学力観とも深く関わっている。

まず、カリキュラム構成論のうち目的・目標論に関する近年の世界的な動向は、学習者を鑑識眼のある科学的知識の消費者として位置づけ、科学的リテラシーの育成を求めている。そして、単にその育成や獲得だけではなく、(社会的な) 行動において活用 (scientific literacy-in-action) される科学的素養を持って社会参加する人材の育成が意図されている。

内容構成論では、教育内容の選択に関して、これまでの伝統的な科学そのものの内容に加えて、科学史や科学の本質等に関する科学についての内容 (about science) を取り入れる傾向がある。また、科学や科学技術が関連する科学的諸問題 (socio-scientific issues) が積極的に取り上げられている。一方、その内容の配列に関しては、伝統的に科学の大系に基づく、あるいは科学的概念の構造化を重視したカリキュラムが構成されてきているが、先にも示したように1980年代以降は文脈を基盤とするアプローチによるカリキュラムも構成されるようになってきた。

理科の教育方法論では、伝統的に観察・実験等 (practical work) を取り入れた探究活動や問題解決活動が重視されている。科学や科学技術が関連する社会的諸問題などを学習テーマとして取り上げた場合、生徒は、観察・実験を通じて、あるいは調査によりデータを収集し、協働して論証活動を行う。最終的には意思決定まで行う授業方略

が取り入れられることもあり、アクティブ・ラーニングによる学習が展開される。

体系的・系統的内容を基盤とするアプローチと文脈を基盤とするアプローチでは、目的・目標については共通するところや相違するところもある。両者の違いは、主として教育内容の選択と配列に認められる。どのような目的・目標を掲げ、それに基づいてどのような内容を選択しどのように配列をするかにより、科学的探究活動といっても、両者のアプローチでは授業方略が異なる。

### 3. 探究的な学習の意義

#### 3.1 認知論的スキルの育成

理科における生徒の認知論的スキルの育成については、メタ認知や批判的思考などの学習者自身の認知過程の省察・改善に関して、また、科学的推論のように探究的な学びにおける思考の具体に関して研究が進められている。とりわけ批判的思考については、授業中に生徒が自身の思考を批判的に吟味することの重要性から、近年盛んに研究されている。

認知論的スキルを育成する可能性の検証を目的とした基礎的研究として、理科授業における中学生の批判的思考の実態について調査した。具体的には、2016年8月に、公立中学校1～3年生86名を対象にして、35項目からなる質問紙調査(5件法)を行った。このとき用いた質問紙は、木下ら<sup>7)</sup>が作成したものであり、「探究的・合理的な思考」「多面的な思考」「反省的な思考」「健全な懐疑心」という4つの因子で構成したものである。

得られた回答をもとに、4つの因子それぞれについて回答の平均値を算出し、これを各因子の得点として中学生の批判的思考の実態を分析した。その結果を表1に示す。

表1. 各因子の平均値及び標準偏差 (n=86)

因子	平均値	標準偏差
探究的・合理的な思考	4.09	0.59
多面的な思考	3.93	0.63
反省的な思考	3.70	0.82
健全な懐疑心	3.65	0.99

表1に示した各因子の得点に有意な差があるかを検討するため、1要因の分散分析を行ったところ、「探究的・合理的な思考」「多面的な思考」に比べ、「反省的な思考」「健全な懐疑心」の得点があり低くことが明らかになった。この結果は、

学習者がデータを集めて実験の結果を解釈するなどの場面で無批判に思考しがちであり、反省的な思考が十分に機能していないという Bailin<sup>8)</sup>の考えと一致している。

以上の結果を踏まえ、例えば中学生の反省的な思考を促すためには、収集したデータを他者との関わりを通して多面的に吟味させるなどの手立てが有効ではないかと考えられる。

#### 3.2 科学的スキルの育成

理科における探究的な学習活動においては、探究活動の文脈にそって、観察・実験などの科学的活動を展開する機会を創出することができる。これにより、これらの活動にかかわる科学的知識や技能の習得にとどまらず、既習の知識を活用した観察・実験の科学的原理や方法の考案や条件設定のための論理的思考を通じて問題解決のための観察・実験の方法論自体をデザインするような学習の展開も可能になる。さらに、観察・実験結果の解析やその効果的なプレゼンテーションについても、探究の文脈を指針とした学習活動として展開することができる。

例えば、高等学校化学において化学反応における反応熱の定量的関係と中和反応について既習の生徒に対し、反応熱を指標として未知カルボン酸の価数決定を探究の文脈の中で設定すると、連続変化法による当量点の決定方法を自らのアイデアとして発案させることができる<sup>9)</sup>。さらに、実験データの解析においても外挿法による当量点の決定を、反応熱を指標とした連続変化法の科学的原理を基に導出させることができる。

地質や水の循環と関連づけた探究的な学習として、石灰岩地帯の天然水の硬度決定をテーマとして設定した事例においても、エチレンジアミン四酢酸水溶液を用いたカルシウム及びマグネシウムイオンのキレート滴定の化学的原理を発案させる展開が可能である<sup>10)</sup>。この学習活動においては、純水や軟水と硬水の化学的性質の違いをセッケン水との反応を指標として見出させる。次に、市販洗剤の成分であるアルカリ剤とキレート剤の化学的作用について探究させる。さらに、市販の分析キットによるカルシウムイオンの簡易定量分析の活動を通じて簡易定量の化学的原理を導入する。それぞれの探究段階で硬水中のカルシウムイオンと種々の試薬との反応モデルを考案させておくと、これらを活用して容易にキレート滴定の原理を発案させることができる。

#### 4. 理科における物理

##### 4.1 物理の特徴と他科目との関連

中等理科教育における物理は、身の回りの現象を力学、波動、電気と磁気、及び熱現象などの物理的原理や法則に基づいて理解させ、さらに、後期中等教育の最終段階において原子の構造や素粒子などミクロな物理事象の学習へと展開を図る構成となっている。各単元における基礎的内容を学習させたのち、探究的な活動を通じて発展的内容の学習へ展開することにより、基本事項の定着やそれらを活用して物理現象を説明する能力を育成することが重要である。このような学習を効果的に展開するためには、発展的な内容をテーマとした実験教材が不可欠であり、これまでに光や電磁波についての発展的な実験教材を開発してきた<sup>11,12)</sup>。同時に、演示実験や ICT を効果的に活用して学習者に物理現象の特徴をより明確に認識させることが、基礎的及び発展的学習を通じて重要である。また、次節で述べるように、一連の演示実験を段階的に配列し、それぞれの演示実験の結果についての推論や考察を通じて物理現象についての理解を深めさせるなどの学習方法の工夫も、物理において科学的能力を育成する上で有用である。

物理で学習する原理や法則は、他の理科学科目で取り扱う現象を説明する上での基盤となるものである。このため、例えば、物理における熱現象や原子の構造などの学習を基にして、化学における分子構造や化学変化に関連づけた探究的な活動を展開することができる。また、等速円運動や慣性力に関連した学習では、地学における天体の運動と関連づけた探究活動が可能である。

##### 4.2 相互作用型演示実験講義の実践例

大学初年度学生を対象に、近年の物理教育研究の成果の一つとして知られる相互作用型演示実験講義 (Interactive Lecture Demonstrations: ILDs) を試行した。ILDs は D.R. Sokoloff と R.K. Thornton らによって開発された教授法で<sup>13)</sup>、ワークシートや演示実験、ディスカッションを取り入れた講義型授業展開によって、伝統的な授業に比べてより高い物理概念の理解度が得られることが評価されている。

今回、国立大学教育学系学部 1 年生を対象とし、力学入門の授業の 1 コマ分 (90 分) を用いて ILDs を試行した。受講者数は 47 名で、授業評価の為に FMCE (The Force and Motion Conceptual Evaluation)<sup>14)</sup> を用いたプレ・ポストテストを行っ

た。また、ILDs の単元として、プレテストの結果から比較的正答率の低かった内容を取り扱う「Kinematics 2 (KIN2)」を選択して実践した。

授業は、ILDs の「KIN2」に従って 8 種類の演示実験を介して展開した。それぞれの演示実験では、まず実験概要の説明と計測を行わない実験を演示し、実験結果を学習者に予想させた。その予想結果の集計を選択肢形式でクリッカーによって行い、それをもとにグループ内で実験と予想結果について討論させた。今回の試行授業では、実験内容が比較的安易であったため、学習者の回答の分散が少なかったが、個々にその回答を選択した理由の説明を求めた。授業では、数人にその理由を発表してもらい、その後、計測を行う実験を演示した。さらに、場合によっては再度グループでの議論の時間を取った。以上のステップを各実験において繰り返した。

テストの解析には、受講者 47 名のうちプレ・ポストテストの両者とも回答した 40 名分のデータを用いた。FMCE (37 点満点) の解析、及び全設問からエネルギーに関する問いを除いた設問に対する結果 (33 点満点) の解析と、Smith & Wittmann<sup>15)</sup> らによって改訂されたクラスター毎の解析も同時に行った。図 1 に、プレ・ポストテストの解析結果を示す。ゲイン (Gain) は規格化ゲインである。ILDs の試行を行った結果、今回の「KIN2」に関連しそうなクラスターでは比較的良好なゲインが得られた。今回のテーマと関係が薄い Newton III と Energy のクラスターは予想通りゲインが低かった。FMCE を用いた大規模調査<sup>16)</sup> によると、伝統的な授業における平均ゲインは 0.2 程度、アクティブラーニング型の授業では 0.5 程度であったと報告されている。今回は ILDs 一度の試行ではあったものの、関連するクラスターに関してはアクティブラーニング型の授業に匹敵するゲインが得られたことになる。

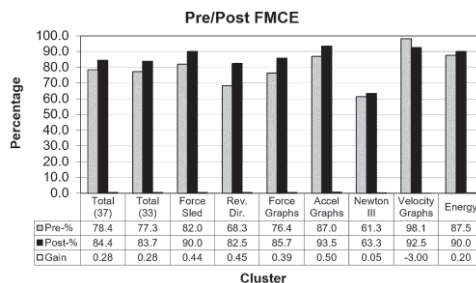


図 1. FMCE によるプレ・ポストテストの結果。

## 5. 理科における化学

### 5.1 化学の特徴と他科目との関連

中等理科教育の化学では、物質の性質－変化－構造の論理的関連性を段階的・系統的に理解させるとともに、既習の知識や概念を基盤として、物質の性質を科学的に理解する多様な学習活動が展開される。そのような化学の学習活動としては、それぞれの単元での知識・技能の習得を目的とした観察・実験から、それまでの学習成果を総括的に活用させる探究活動、さらに科学的探究の過程をたどりながら科学的思考力・判断力の育成を目指す課題研究に至るまで、さまざまな形態が挙げられる<sup>17)</sup>。

化学は物質を対象とする学問であり、物質を介して物理・生物・地学の他科目ばかりでなく、家庭科などの他教科とも密接に関連する。例えば、物質を構成する原子構造は物理における原子、光や熱と物質との相互作用は電磁波や熱とも関連させた学習展開が期待できる。生物で学習する同化と異化は、生体内化学反応として化学との科目横断的な取り扱いが可能である。さらに地学分野では、種々の鉱物を無機材料の素材と関連付けて取り扱うことができる。また、地球の水循環を水の状態変化と関連づけた学習プログラムも構想できる<sup>18)</sup>。一方、化学で扱われる食品や繊維の性質を家庭科での学習内容と関連させた実験や考察を展開することも可能である。

### 5.2 化学を中心とした教材・実践の事例

日常生活で用いられる物質を探究の素材とすることは、化学の学習内容に対する生徒の興味・関心を喚起し、学習の意義を認識させる一助となる。その例として、洗剤を素材とした探究的な学習プログラムが開発されている<sup>19,20)</sup>。酸素系漂白剤に含まれる過炭酸ナトリウムは条件によって酸素あるいは二酸化炭素を選択的に発生させることができ、中学校理科「気体の発生と性質」の素材として用いることができる。過炭酸ナトリウムの組成は、熱分解反応に伴う気体発生、中和滴定、酸化還元滴定など、さまざまな実験を用いた探究的な活動により求めることができる<sup>19)</sup>。さらに、その漂白作用が液性に依存することを実験を通して探究させることで洗剤の機能発現の化学的メカニズムを理解させるとともに、漂白剤顆粒の調製を学習活動として取り入れることにより、化学物質を材料として認識させることもできる<sup>20)</sup>。

生徒が既習事項を総合的に活用しながら物質

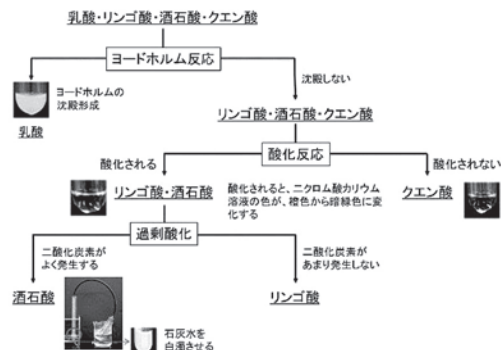


図 2. ヒドロキシ酸の識別フローチャート。

を探究させる場面として、化学物質の構造決定や識別に関する探究的な実験を設定することができる。アルコールとカルボン酸の性質を併せ持つヒドロキシ酸四種類（乳酸・リンゴ酸・酒石酸・クエン酸）を用いると、高等学校化学「酸素官能基を含む脂肪族化合物」での化合物の構造や官能基の反応についての既習事項を活用して、系統分析の手法によりそれぞれのヒドロキシ酸を識別することができる（図 2）<sup>21)</sup>。この実験を取り入れた探究的な学習は、試行授業によりその有用性が評価されている<sup>22)</sup>。

現在、理科の教科の枠を超えて、STEM (Sci.-Technol.-Eng.-Math.) 教育の位置づけの中での科学教育の役割が問われている。美術科や家庭科と関連づけた学習の展開が期待される素材として、油脂の酸素酸化を取り扱う実験教材が開発されている。キリ油などの乾性油は酸化されて防水性被膜を形成するため油絵の具や塗料として用いられることが、高等学校化学「油脂」で取り上げられている。そのようなキリ油の乾性油としての性質を、ラジカル開始剤を添加して加熱することにより迅速に確認することができる<sup>23)</sup>。またこの方法は、一般の植物油にも適用することができ、植物油の識別ならびに油脂の用途と抗酸化性との関連に着目した学習活動が提案されている<sup>24)</sup>。

## 6. 理科における生物

### 6.1 生物の特徴と他科目との関連

生物の学習内容は、学習指導要領において総じて「生物や生物現象」と記されるように<sup>1)</sup>、生物体そのものに関すること、及び生物が関わる様々な現象に関することである。生物の学習では、分子レベルから個体、生態系、地球レベルまで様々な事象を扱い、同一事象についても学習段階に

じて繰り返し学習し、捉え直す構成となっている<sup>25)</sup>。また、個々の学習單元における内容は相互に関連しており、さらに、生物現象のメカニズムは、物理や化学の知見による説明を要する場合が少なくない。このため、他の單元や科目との関連性を意識した学習指導が必要である。

BSCS (Biological Sciences Curriculum Study) の教科書に見られるように、生物のカリキュラムは、生命科学の内容をどのような枠組みや考え方で捉えるかにより多様な構成が可能である<sup>26)</sup>。したがって、ある生物現象に着目すると、その現象に関連した種々の事象を複数の單元と関連付けられ、さらに他の科目・分野での学習内容とも関連させることができる。これらを構造的に配列することにより、生物と他教科を関連づけた学習文脈の構築も可能である。例えば、「生態系におけるエネルギーの流れ」を取り上げた場合を考える (図 3a,b)。各栄養段階における生物現象の具体を題材とした学習を、エネルギーの流れに沿って配置する。各栄養段階の学習は、他の單元や科目・分野と関連した内容へ発展させることができる。この全体を俯瞰すると、エネルギーの流れを学習の主軸とし、個々の栄養段階についての学習から広がった樹枝状の学習の連鎖をイメージすることができる。

## 6.2 生物を中心とした教材の事例

白色腐朽菌による木質の分解は、図 3a のコンテンツの一つである分解者に着目して、生物のエ

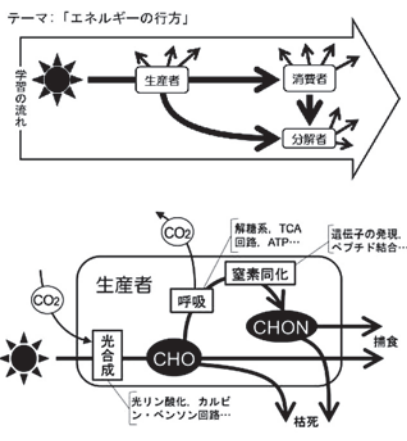


図 3. 生態系におけるエネルギーの流れによる展開の概念図。a: 学習の全体像。b: 「生産者」を構成する多様な学習内容。

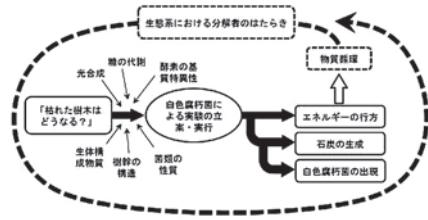


図 4. 「生態系における分解者のはたらき」でまとめられる学習。

ネルギー代謝と物質代謝を関連づけた教材とすることができる。木質の分解過程ではリグニン分解酵素のはたらきが重要で、この酵素を持つのはヒラタケのような白色腐朽菌など一部の生物だけである。この学習では、ヒラタケの菌床とおが粉を用いて白色腐朽菌のはたらきを確認する実験の立案・実行が生徒の主な活動となる。この実験を生徒が立案するには、酵素の性質やグルコースの代謝経路、生体構成物質、菌類の性質など、様々な知識が不可欠である。生徒はこれらの知識に関する情報を収集するとともに、樹木の生産者としての生態学的意義、樹幹の構造と成長、木質の組成から、分解者に必要な機能を想起する。次に、その機能のうち木質の分解に着目し、それを確認する実験を立案・実行する。最後に、生態系ではエネルギーは太陽光を始点に各栄養段階間を移動し、最終的には消費されて循環しないこと、そして、生態系における白色腐朽菌の存在意義と、古生代の木性シダに由来する石炭が存在することから、化石燃料である石炭の生成と地史における白色腐朽菌の出現時期との関連について考察する。このように、木質の分解を探究的に学習することで生態系における分解者のはたらきを理解するという主たる活動と、生態系における各栄養段階間のエネルギーの流れと物質循環に関連した化石燃料、さらに生物の進化を取り上げた内容にまで発展させた学習となっている (図 4)。

## 7. 理科における地学

### 7.1 地学の特徴と他科目との関連

中等理科教育における地学では時間概念、空間概念及びシステム概念の育成を目的として、「地球」を柱とした内容を「地球の内部」「地球の表面」及び「地球の周辺」の3つに分けて扱う。前期中等教育では、それぞれの内容について、初等教育における体験的活動を通じた理解を基盤として、人間生活との関わりの深い具体的な地学の事象を扱

う。さらに、後期中等教育では、扱う事象が時間的にも空間的にもスケールアップする。

地学の学習内容は理科の他科目と深く関連したものが多く、理科から他の3科目を差し引いたものが地学ということにはならない<sup>27)</sup>。特に「地球の内部」や「地球の周辺」では過去の現象の結果を扱うが、そうした現象は過去に特有なものではなく、現在でも生じている。したがって、現在主義的思考 (*actualistic thinking*)<sup>28)</sup> と呼ばれる、物理、化学、生物の知識に基づく現在進行形の地学現象の理解を通して過去の現象を考える、というアプローチが可能となる。

## 7.2 空間概念の育成を目的とした地層学習実践例

地層の3次元構造を扱う地層学習は、空間概念の育成に有効であると考えられ、地質調査の模擬体験活動を取り入れた2つの探究的な学習活動を提案・実施した<sup>29,30)</sup>。それぞれ、対象を大学生と高校生とした実践である。

大学生対象の活動は、地層の走向傾斜の理解も兼ねている。校舎周辺に設置された8地点の模擬露頭をグループで巡り、各地点で地層の累重関係の確認と走向傾斜の測定を行う(図5)。次にその結果に基づいて、平坦な地形面上での地質図の作成を行う。これにより凹凸のある地形に起因する地層把握の困難さを削除し、地層が走向方向に広がることを実感できる。また、4つの断面図を作成し、それらを平面図と合わせて立体的に組み立てることで、地下への広がりを把握する。

通常、地質調査実習は実際の野外で行われ、また地質図を作成する演習は教室内で地形図を用いて行われる。そのため地層の空間把握という点では両者にギャップがあり、難解と感じる学生が多

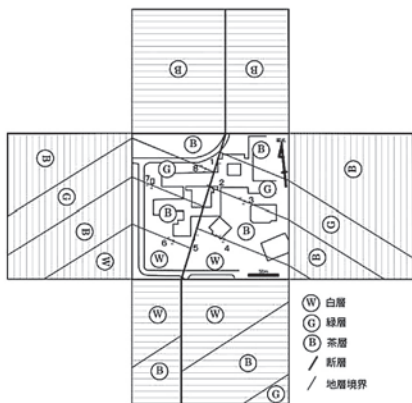


図5. 想定した地質図及び断面図<sup>29)</sup>。

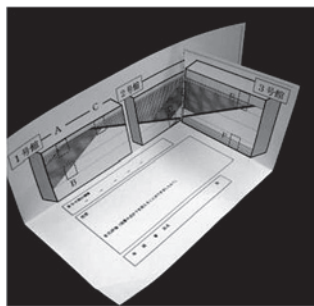


図6. 校舎地図を組み立てた様子<sup>30)</sup>。

い学習内容である。今回提案した学習活動は、このギャップを埋めることを意図しており、机上の学習内容を実際の空間の中で確認するものとなっている。

高校生対象の活動は、走向傾斜を学習しない地学基礎での地層観察の模擬体験活動である。生徒は、校舎内の廊下の壁に描かれた模擬露頭において、地層の重なりを柱状図としてまとめ、また層理面の見かけの傾斜を分度器で測定する。模擬露頭は校舎の異なる階に設置されており、実際に移動しながら地層の上下方向の広がりを確認することで、校舎の壁に地層の断面を仮想することができるよう設計されている(図6)。

現状では学習活動の実践例は少なく、また、アンケートによる定性的な評価のみではあるが、これらの活動は学生・生徒に肯定的に受け止められている。したがって、これらの学習活動は、地層の3次元把握に関して一定の効果が期待できるものと考えられる。

## 8. まとめ

系統的な学習を基盤とした理科カリキュラムの全体を通して種々の学習の文脈を構築することにより、理科各科目の学習内容やそれぞれの科目の科学的特徴を相互に関連づけた学習場面の創出が期待される。このような学習場面において、探究的な学習活動を効果的に展開することにより、系統的な科学的知識を基盤として科学的な能力を幅広く育成する機会を得ることができる。日常の学習活動においてもアクティブ・ラーニングの推進が図られており、このような取り組みにより本研究で提案する探究的な学習活動の素地が形成されることが望まれる。一方で、日常の学習活動における系統的な科学的知識や論理の修得もその基盤としてさらに重要となる。学習の文脈に沿った

探究的な学習活動は、理科各科目の学習を縦横に結びながら日常生活や社会と関連した学習展開を図る上で有用である。また、知識の基本的理解を基盤とした科学的リテラシーを科学の論理や方法の理解に根差したリテラシーに拡充し、持続的な発展を可能とする社会を開拓する上での知的社会基盤としての科学的リテラシーを育成する上でも一助となることが期待される。

### 謝 辞

本研究は、科学研究費補助金 基盤研究(A)(一般)(25242015)による。

### 引用文献

- 1) 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説, 理科編, 2009. 7.
- 2) 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会理科ワーキンググループ「理科ワーキンググループにおける審議のとりまとめ」, 2016, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/060/sonota/\\_icsFiles/fieldfile/2016/09/12/1376994.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/060/sonota/_icsFiles/fieldfile/2016/09/12/1376994.pdf) (2016.12 閲覧)
- 3) H. Eijkelhof, Context-led Science Projects. In R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education*, Springer, 2015, pp. 232–235.
- 4) J. Bennet, *Teaching and Learning Science: A guide to recent research and its applications*, continuum, A&C Black, 2003.
- 5) M. Braund, J. Bennett, G. Main and G. Hampden-Thompson, *Teaching Approach and Success in A-level Biology*, The University of York, 2013.(retrieved from: <http://www.Nuffieldfoundation.org/sites/default/files/files/A%20LEVEL%20BIOLOGY%20PROJECT%20FINAL%20REPORT%20070113docx.pdf>) (accessed 2016.12).
- 6) 磯崎哲夫, 理科教育学研究, 55(1), 13–26 (2014).
- 7) 木下博義, 山中真悟, 広島大学大学院教育学研究科紀要第二部, 63, 15–21(2014).
- 8) Bailin, S., *Science & Education*, 11(4), 361–375(2002).
- 9) T. Tatsuoka, K. Shigedomi, N. Koga, *J. Chem. Educ.*, 92(9), 1526–1530(2015).
- 10) M. Kakisako, K. Nishikawa, M. Nakano, K.S. Harada, T. Tatsuoka, N. Koga, *J. Chem. Educ.*, 93(11), 1923–1928(2016).
- 11) T. Tsutaoka, T. Tokunaga, T. Umeda, T. Maehara, *Euro. J. Phys.*, 35(5), 55021(2014).
- 12) 蔦岡孝則, 梅津健太郎, 徳永智仁, 応用物理教育, 38(1), 15–20(2014).
- 13) D.R. Sokoloff and R.K. Thornton, *Phys. Teach.* 35, 340–347(1997).
- 14) R.K. Thornton and D.R. Sokoloff, *Am. J. Phys.* 66(4), 339–352(1998).
- 15) T.I. Smith and M.C. Wittmann, *Phys. Rev. ST-PEP* 4, 020101(2008).
- 16) J.Von Korff, et al., *Am. J. Phys.*, 84(12), 969–974 (2016).
- 17) 古賀信吉, 網本貴一, 第 7 章 化学教材の開発と学習指導, 「中等理科教育」, 磯崎哲夫(編), 協同出版, 2014, pp. 195–223.
- 18) 吉富健一, 網本貴一, 梅田貴士, 富川光, 学校教育実践学研究, 23, 掲載予定 (2017).
- 19) T. Wada, N. Koga, *J. Chem. Educ.*, 90(8), 1048–1052 (2013).
- 20) M. Nakano, H. Ogasawara, T. Wada, N. Koga, *J. Chem. Educ.*, 93(8), 1415–1421 (2016).
- 21) 網本貴一, 遠藤大介, 科学教育研究, 38(4), 220–227 (2014).
- 22) 宮本樹, 木下博義, 網本貴一, 理科教育学研究, 56(2), 213–224 (2015).
- 23) 河野貴弘, 井上正之, 化学と教育, 61(6), 308–311 (2013).
- 24) 河野貴弘, 小林里美, 井上正之, 化学と教育, 62(6), 306–309 (2014).
- 25) 竹下俊治, 富川光, 第 8 章 生物教材の開発と学習指導, 「中等理科教育」, 磯崎哲夫(編), 共同出版, 2014, pp. 225–253.
- 26) 丹沢哲郎, 生物教育, 51(特別号), 34–41(2010).
- 27) 山崎博史, 吉富健一, 第 9 章 地学教材の開発と学習指導, 「中等理科教育」, 磯崎哲夫(編), 協同出版, 2014, pp. 255–279.
- 28) J.T. Dodic and N. Orion, *Sci. Educ.*, 87, 708–731(2003).
- 29) 山崎博史, 地学教育, 66(4), 93–103(2014).
- 30) 中西裕也, 山崎博史, 地学教育, 69(2), 73–83(2016).