

科学リテラシーを育む中学校・高等学校理科カリキュラム

—成果と課題—

林 靖弘 畦 浩二 柏原 林造 野添 生
平賀 博之 丸本 浩 三好 美織 山下 雅文
清水 欣也 池田 秀雄 角屋 重樹

1. はじめに

本研究は、2002年度から2年間にわたって行われた広島大学学部・附属学校共同研究機構による「科学リテラシーを育む中学校・高等学校の理科カリキュラムの研究開発」の後を受けて行われるものである。上記研究は、科学教育の目標として近年脚光を浴びている科学リテラシーの育成に注目したものであり、中学校、高等学校の各段階で育成されるべき科学リテラシーが明確にされ、¹⁾ それを育むためのカリキュラムが作成された。²⁾

また、広島大学附属福山中・高等学校（以下当校）は2002年度から3年間、「すべての教科において実践する科学教育『サイエンスプログラム』—中学校・高等学校を通して科学的思考力の育成を図る教育課程の研究開発」を課題とした研究開発学校の指定を受け、カリキュラム開発を行っている。この「サイエンスプログラム」の目標は、科学的概念の習得、科学の方法についての理解と体得、科学的探究活動を行えること、科学の役割、科学と社会との関係を考えること、科学的証拠に基づいた議論・表現・判断ができることなど、全米教育スタンダードや OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) が科学リテラシーの内容として挙げているものを多く含んでいる。^{3) 4)} 当校ではこのような能力や資質を育むために、サイエンス I (新教科として)、サイエンス II (総合的な学習として)、サイエンス III (すべての教科の授業の中で) として、それぞれ教材開発を行い、授業を実践している。

教科としての理科は、サイエンス I とサイエンス III にかかわることになるが、上記研究では中学校と、必修の新教科を設定する高等学校第 1 学年までを科学リテラシーの育成と位置づけ、科学概念の習得、科学の方法の理解と習得、科学の本性の理解、科学的判断力・思考力・表現力の育成をねらいとして、新教科サイエ

ンス IB (高 1) のカリキュラム開発を行い、サイエンス III の授業実践を行った。

本研究はこの 2 年間の実践を再検討し、課題を明確にして、それを解決していく方策を探らうとするものである。

2. 解決すべき課題

検討を要する課題として、本研究で取り上げたのは以下の 3 点である。

まず挙げられるのは、高等学校第 1 学年に新教科として設けられたサイエンス IB の内容の充実である。サイエンス IB のねらいは、①系統的に科学を学ぶ、②科学的思考力を高める、③豊かな科学的自然観を育むの 3 点であるが、実践において力を入れているのは、観察・実験を通じてこれらの目標を達成することである。サイエンス IB の各領域において、実験・観察を中心にその内容の充実を図った。

次に挙げられるのが、中学校理科におけるサイエンス III の拡充である。前回の研究は高等学校第 1 学年のサイエンス IB の研究と実践に力点が置かれており、中学校段階における、理科カリキュラムの中での取り組みが十分でなかった感是否めない。サイエンス IB の基礎となる力を育む上でも、中学校理科において科学的思考力を高める取り組みを充実していく必要がある。通常理科の授業において実践していくサイエンス III の検討が急務となる。

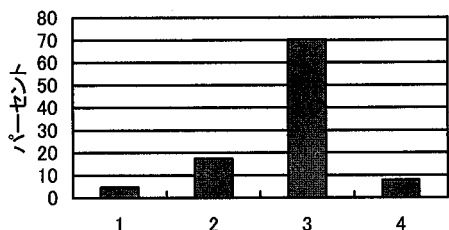
3 点目はサイエンス IB の各領域の融合をどのように図っていくかということである。サイエンス IB は、「数理基礎」、「物質と人間」、「エネルギーと人間」、「生命と人間」の 4 領域に分かれて展開されている。領域別にすることで、それぞれを専門的に深めていくことが可能となり、深めていくことで、それぞれの領域どうしの関連がみえてくるという考えであるが、実践の

中途においては各領域がどのように繋がっているのかが意識されにくいこともまた事実である。自然科学における科学的思考力という観点から、各領域どうしの横の関係をどのように捉えればよいのか、今一度明確にしておく必要がある。

3. サイエンスIBの内容の充実

科学的思考力の育成には、観察・実験を通じたアプローチが不可欠と考える。このため、サイエンスIBにおいても観察・実験を中心にした取り組みがなされている。このサイエンスIBの内容に対する生徒の評価は下に示すとおり。

授業は興味・関心が持てる内容を扱っている。



- 1 そう思わない 2 どちらかといえばそう思わない
3 どちらかといえばそう思う 4 大変そう思う

興味・関心のもてる内容であるかどうかという問いに対して、約80%のものが興味もてる、どちらかといえば興味もてると答えている。これを見る限りでは、興味・関心のもてる内容を取り扱い、科学的思考力を育てる取り組みにつなげていくという、この教科

の一つの目標は達成しているように思われる。しかしながら一方では、自由記述による生徒の評価で、「実験をしたほうが印象に残るし、よくわかるので実験をもっとしたい。」などの希望が多く見られたことからわかるように、観察・実験教材を充実していく努力は続けなければならない。

サイエンスIBの実践2年目にあたる今年度の内容の改善の一例を以下に示す。

サイエンスIB 生命と人間

単元テーマ 「生物としてのヒト」

動物界を構成する各動物門の類縁関係から始め、脊椎動物門に含まれる動物群どうしの関係、霊長類を生んだ進化の過程、ヒトの誕生、ヒトの進化というふうに進化の過程をたどる構成になっている。進化・類縁関係を探っていく上で、証拠となるのは何かという視点から、体の構造、器官系の相同性をみていく解剖実験、【実験1】と、翼と前肢という相同器官をみていく【実験2】の2つを取り入れている。今年度変更が加えられたのは、【実験1】である。節足動物の体の構造と、環形動物の体のつくりを比較していく学習内容であるが、昨年度はエビ(節足動物)を解剖して、チスイビル(環形動物)の解剖図と比較するという方法をとっていた。本年度は環形動物の解剖も同時に実施したいという思いから、さまざまな材料を検討し、釣り餌として販売されているゴカイを、解剖しやすいようにホルマリンに浸けて、体を硬くしておいて用いることとした。

単元計画 (配当時間計 8時間)

題目	学習内容	評価・指導上の留意点
1. ヒトのからだの特徴 (1時間)	I 動物の分類 ヒトを含む脊椎動物の体の特徴、動物界における代表的な動物群(門)の特徴について学習する。 脊椎動物が多様な門の内の1つにすぎないことを理解する。	【関心・意欲・態度】 ・動物の分類を積極的に行動しようとしている。 【知識・理解】 ・ヒトを含む分類群を指摘できる。
2. 進化の証拠(4時間)	II 動物の系統 動物群の類縁関係を知り、それが進化の道すじを示していることを理解する。 ○系統樹 動物群どうしの類縁関係をどのようにして知るかを考える。 ○幼生の形態、体節構造など 【実験1】節足動物、環形動物の体のつくり	【科学的思考力】 ・脊椎動物にもっとも近縁な分類群を指摘できる。 ・系統樹そのものよりも、そのような類縁関係が明らかになってきた過程を大きく取り扱う。 ・体節構造、神経系に注目させる。

	<p>節足動物の体のつくりを観察し、環形動物の体のつくりと比較することにより、共通した特徴を見つけだす。</p> <p>III 脊椎動物の類縁関係 ヒトを含む哺乳類が、他の脊椎動物とどのような類縁関係にあるのかを知る。 動物群どうしの類縁関係をどのようにして知るかを考える。 ○脊椎動物の前あしの比較 ○窒素排出物の比較 【実験2】相同器官を見る 鳥類の翼の骨格を観察し、ヒトの手の相同器官であることを理解する。</p> <p>IV 霊長類の進化 霊長類を生んだ進化の過程、ヒトを生んだ進化の過程は、どのような環境への適応であったのかを考える。 ○樹上生活への適応 ○地上生活への再適応</p>	<p>・器具を安全に取り扱うよう指導する。 【関心・意欲・態度】 ・観察、実験に積極的に参加している。 【技能・表現】 ・実験器具を適切に使うことができる。 ・系統樹そのものよりも、そのような類縁関係が明らかになってきた過程を大きく取り扱う。</p> <p>【関心・意欲・態度】 ・観察、実験に積極的に参加している。 【科学的思考力】 ・ニワトリの骨格とヒトの骨格の相同性を指摘できる。 【科学的思考力】【技能・表現】 ・頭部、前あしにみられる霊長類の特徴を適切に表現できる。 ・どのような環境への適応が霊長類、ヒトを生んだかに気付くことができる。</p>
3. ヒトにいたる進化の道すじ(1時間)	<p>V 立ち上がったヒト アウストラロピテクスに見られる直立二足歩行の特徴について考える。 ○チンパンジーの骨格とアウストラロピテクスの骨格の比較</p>	<p>【科学的思考力】【技能・表現】 ・骨格にみられる直立二足歩行の証拠を指摘できる。</p>
4. 立ち上がったヒト(3時間)	<p>VI 猿人から現生人類へ 猿人のもつ特徴と、現生人類のもつ特徴を比較して、猿人から現生人類への進化の過程を考える。 ○眼窩上隆起の消失、おとがいの形成など。</p> <p>VII ヒトの進化 化石人類のもつ特徴を比較することで、人類の進化の道すじ、分布の拡大のしかたを考える。 ○猿人、原人、旧人、新人の頭骨の比較</p>	<p>【科学的思考力】 ・猿人から現生人類への特徴の変化を指摘できる。</p> <p>【科学的思考力】 ・人類化石の見つかった場所、推定生存年代などから、人類の進化や分布の拡大の様子を考察することができる。</p>

【実験1】の授業展開過程

	学習内容	評価・指導上の留意点
導入	<ul style="list-style-type: none"> ・観察、実験の意味についての説明を受ける。 ○外部形態、内部の形態を観察することにより、動物どうしの類縁関係を考えていく。 ・材料についての説明を聞く。 エビ（節足動物）、ゴカイ（環形動物） 	<p>【関心・意欲・態度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・説明をきちんと聞いているか。 ・ゴカイはあらかじめ10%ホルマリンにつけておき、実験前に水でよく洗浄して用いる。
展開	<ul style="list-style-type: none"> ・方法の説明を聞く。 ○班に節足動物、環形動物それぞれ1個体ずつ。 ○解剖する前に外部形態の観察を行う。 ○神経系を観察することを目的として解剖を行う。 ○背側からハサミを入れていく。 ・実験 《外部形態の観察》 ○どちらにも体節構造が見られる。 ○ゴカイの背腹を確認する。 《解剖》 ○2人がエビを、他の2人がゴカイを解剖する。 ○洗浄ピンで水をかけながら切開を進める。 ○ゴカイについては開いた部分をピンで止めながら切開を進める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・メス、ハサミの取り扱いについて注意する。 <p>【関心・意欲・態度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・説明をきちんと聞いているか。 <p>【関心・意欲・態度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・興味、関心をもち、協力して観察、実験が行えているか。 <p>【思考・判断】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実験の意味を理解しているか。 <p>【観察・実験の技能、表現】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・作業を適切に行っているか。
終結	<p>《観察結果のまとめ》</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ゴカイとエビの外部形態は異なって見えるが、体が体節からできているという点では共通している。 ○ゴカイとエビはともにほご形神経系を持っており、食道の部分からは腹側を走っている。 ○以上から両者は近縁な関係にあることが推測できる。 	<p>【思考・判断】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・両者の共通性、脊椎動物との相違点に気がついているか。

実践の結果は良好で、特に両動物の神経系の相同性について、実物どうしを比較することで、一層の理解が得られた。生徒の感想の中にも、「少し生々しかったけれど、似ている点がよくわかった」、「難しかった分だけエビよりも(ゴカイの解剖の方が)達成感があった」など実物に触ることの重要性を指摘するものが多かった。

4. サイエンスⅢの拡充

自然科学とリンクする教材を開発し、「科学的な思考力の伸長」という視点で、学習指導要領にとられない多様で発展的な内容を取り入れた科学教育を実践するのがサイエンスⅢである。これはすべての教科で取り組むプログラムであり、教科としての理

科は当然のことながら、自然科学とリンクした教材を扱うので、多様で発展的な内容を扱い、科学に対する興味・関心を高め、科学的な思考力、実験・観察の技能の習得など、独創的な研究の下地となる能力を育成することを目標とするものである。

前述の通り、当校理科では中学校と高校第1学年までを科学リテラシーの育成と位置づけ、カリキュラム開発に取り組んできたが、新教科サイエンスⅠBに労力を費やされることが多く、サイエンスⅢの教材開発とその検討が後手に回ってしまったことは事実である。この反省から、本研究においては、サイエンスⅢの教材を新たに開発し、内容の検討を行った。以下に事例を示す。

サイエンスⅢ 理科（1分野）第3学年 全3時間

単元名	化学変化における熱の出入りー「発熱反応と吸熱反応」
概要	発熱反応と吸熱反応の実験を通じて、化学反応には熱の出入りが伴うことを学ぶ。ここでは、実験・観察を行い、発熱反応や吸熱反応のしくみや原理を理解し、自分たちで創意工夫して自作のカイロや寒剤を作ることによって、化学反応と熱の出入りについて興味・関心を高める取り組みを行った。
ねらい	反応熱を利用した身近な商品を題材として取り上げ、そのしくみを調べることにより、発熱反応や吸熱反応のしくみを科学的に探求する力を養う。さらに、混合寒剤の性質を利用した簡易冷却材の作成を行うために、混合寒剤の組み合わせや量を変えて実験を行い、最も長時間冷却効果が持続する寒剤の作成を目指す。このような探究的な実験を通じて、実験器具の使用法に習熟し、実験・観察・測定技術の習得を目指す。ここでは、結果の考察を通じて科学的思考力を養い、あわせて、反応熱をエネルギーとしてとらえることができるようになることをねらいとする。
題材設定の理由	反応熱を利用した身近な商品として、携帯用カイロや瞬間冷却パックなどがあげられる。いずれも発熱反応や吸熱反応を利用した商品であり、生徒にとって身近な商品であるが、そのくわしいしくみや原理については、ほとんど知らない生徒が多いと思われる。そこで、「化学反応と熱の出入り」の教材として、携帯用カイロや瞬間冷却パックについて調べる実験を行い、詳しい原理や反応のしくみを科学的に考察することを行った。さらに、これらの商品を自分たちで工夫して製作することによって、発熱反応や吸熱反応に対する興味・関心を高めることを期待した。
評価の観点およびその趣旨	<p><関心・意欲・態度> 身の回りの化学反応と熱の出入りに興味を持ち、実験・観察に積極的に取り組むことができる。</p> <p><思考・判断> 定性的な実験から定量的な実験へと発展させることができる。</p> <p><観察・実験の技能・表現> 試薬の種類や量の割合などを変えたときどのように結果が変わるのかを考察し、最適な条件を求めることができる。</p> <p><知識・理解> 酸化・還元原理や混合寒剤のしくみについて理解できる。</p> <p>探究的な学習であるから、積極的に試行する意欲と態度、さらにそれを裏付ける科学的な知識・思考力を評価する。</p>
学習指導要領との関係	学習指導要領では、酸化・還元反応は、物質と酸素の結びつきとして取り扱うことになるが、必要最小限にとどめるようにとの指示がある。ここでは、鉄粉と活性炭素等を利用した携帯用カイロの自作や混合寒剤の原理を応用した瞬間冷却パックの作成を行う。いずれも、物質の質量と温度変化というレベルで定量的に実験を行う。発熱量(J)そのものの取り扱いは行わない。発展的な内容を取り扱うため、教科書には出てこない化学物質や化学反応についても実験を行うが、イオンについては扱わない。

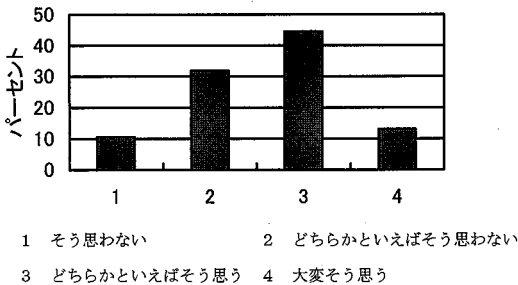
サイエンスⅢ 理科（2分野）第2学年 全3時間

単元名	心臓と血液の循環
概要	心臓の構造、体循環、肺循環の血液循環の仕組みを模式図等を用いて学習した後、ニワトリの心臓を解剖して、心房、心室、弁の様子、心臓から出る血管の様子などを観察する。解剖実験の結果をふまえた上で、心臓のポンプとしてののはたらきを確認し、全身の模式図を用いて栄養分、酸素、老廃物の流れをたどる。
ねらい	<ol style="list-style-type: none"> 1.心臓を実際に解剖して構造を仔細に観察し、心臓のポンプとしてののはたらきをより確実に理解する。 2.自分の手で解剖していくことで、触覚から得られる情報も貴重なものであることを感得する。 3.解剖用の器具の使い方をはじめとした観察・実験技能を修得する。
題材設定の理由	<p>中学校学習指導要領では、心臓が血液を循環させるポンプの働きをしていることを観察や実験の結果と関連付けてとらえることとしているが、心臓の構造については扱わないことを明記している。今回は心臓の観察を行い、その構造についてもある程度詳しく取り扱うが、それは、心臓が体中から戻ってきた血液を一旦肺に送り出し、さらに、肺から戻った血液を体全体に送り出すというポンプの働きをしていることをより鮮明に捉えるためである。形態は機能と不可分に結びついており、構造を詳しく見ていくことは機能を理解する助けとなる。本時は心室と心房の形態の違い、右心室と左心室の形態の違いから、心臓が血液をどのように循環させているのかを学ぼうとしている。</p> <p>観察材料にはニワトリ心臓を用いるが、十分に観察できる大きさであること、食材であるニワトリキモの一部であるので、解剖への抵抗感を和らげられる、安価で入手しやすいなどが選定の理由である。</p>
評価の観点およびその趣旨	<p><関心・意欲・態度> 心臓と血液の循環に興味をもち、構造や機能を積極的に調べようとする。</p> <p><科学的思考力> 心臓の構造をその機能と関連付けて捉えることができる。</p> <p><技能・表現> 解剖道具を安全に、効果的に用いることができる。</p> <p>循環器系の構造と機能を効果的に表現できる。</p> <p><知識・理解> 循環器系の構造と機能について理解している。</p>
学習指導要領との関係	中学校理科第2分野においては、血液の循環については学習するが、心臓の構造については扱わない。心臓の詳しい構造は高等学校生物Ⅰで学習する。したがって本実践は学習指導要領にとられない発展的な取り組みとなる。

5. サイエンスIB各領域どうしの相互関係

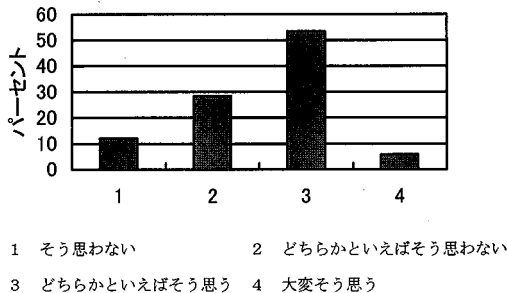
サイエンスIBはそれぞれの専門性を生かすため、4領域に分かれて展開されている。各領域を専門的に深めていくことで、自然科学としての共通性が見えてくるという考えである。生徒による評価でも、「今までは物理は物理だけの、生物は生物だけの知識しか必要ないと思っていたが、どの領域も他の領域の知識を使って、関連していることがわかった」、「今までは数学も理科も関係のないものだと考えてきたが、意外とつながっているものだと感じた」など、関連性に気づき始めた記述が見られる。しかし、実践の途中の段階では、次に示すとおり、大半の生徒は各領域の関連性が見出せずにいるのが実情である。

領域ごとの関連性があまりないので、「サイエンスIB」としてまとめる意味はない。



また、自然科学全般の理解に必要な数学的基礎の定着を図る数理基礎でも、数理基礎を同時並行で学習しても、他の領域の理解の助けにはあまりならないという評価を下しているものが40%強存在する。

他の領域で必要な内容を「数理基礎」でタイムリに学習できるのでわかりやすい。

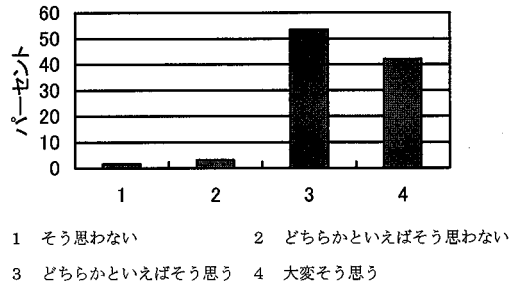


ただし、これについては生徒の評価を鵜呑みにするわけにはいかない。「数理基礎で物理の内容を先取りしていても、物理の授業で何回かやってみないと役には立たないので、出てくるたびにその教科の先生に教えてもらったほうが効率がいい」という記述に見られると

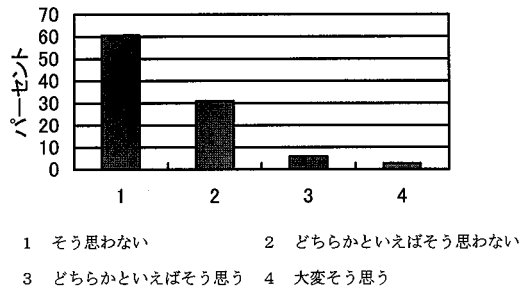
おり、生徒は応用して使いこなせるようになるまでの難しさをとらえている可能性がある。ゼロから始めるのと、基礎があるのでは大きな差があるであろうが、初めて学習する生徒にはそれが見えてはいない。実際、教える教師の側からは、授業展開が格段にスムーズになったとの評価がある。

各領域の関連性を明確にしていく方策については、さまざまに検討が重ねられてきたが、その中で、実施方法そのものを変える可能性についても考えられた。つまり、専門性のある程度犠牲にしても、4単位もしくは2単位を同じ教員が担当して、領域の融合を図ろうというものである。しかし、これについては生徒の評価はあまり芳しくない。

担当の先生がそれぞれの専門性を生かして授業をするのでわかりやすい。



一人の先生がサイエンスIBすべてを担当したほうがわかりやすい。



生徒の評価は専門性を生かした授業展開を支持するものである。それぞれの領域の内容を再検討し、領域どうしの関連性に触れる機会を増やしていくことが現実的かもしれない。

あまり積極的な方策とは言い難いが、意外に効果が大きかったのが4領域の教科書を1冊にまとめたことである。これによって、前後の他領域のページを参照することが容易にできるようになり、関連性に触れる機会が増えたことの意味は大きい。また、最初から4領域に分かれた展開ではなく、数時間のプロローグに

当たる授業を行なうという案もある。関連性に触れるだけでなく、サイエンス I B 全体の方向性を示すことができる利点がある。

7. おわりに

本研究で取り上げた課題がカリキュラム開発の過程で明らかになってきた課題のすべてではない。また、サイエンス I B 各領域の融合をどのように図っていくのかについては、課題に対していくつかの方策を示し、解決への方向性を探ったにとどまっている。

いずれにせよ、科学リテラシー育成のためのカリキュラム開発に関しては、社会的な要請がこれ以降も高まっていくであろう。試行錯誤を繰り返しながら、できる範囲で、できる限り取り組みの改善を図っていく必要があることは言うまでもない。

参考文献

- 1) 角屋重樹他, 科学リテラシーを育む中学校・高等学校の理科カリキュラムの研究開発 I, 広島大学学部・附属学校共同研究機構『学部・附属学校共同研究紀要』第32号, 2004年
- 2) 山下 雅文他, 科学リテラシーを育む中学校・高等学校の理科カリキュラムの研究開発 II, 広島大学学部・附属学校共同研究機構『学部・附属学校共同研究紀要』第33号, 2005年
- 3) National Research Council, National Science Education Standards, 1996, The National Academies Press.
- 4) OECD, Knowledge and Skills for Life, FIRST RESULTS FROM THE OECD PROGRAMME FOR INTERNATIONAL STUDENT ASSESSMENT (PISA), 2000.