

## 言葉で伝える理科教育の可能性に関する研究 (Ⅲ)

長沼 毅 高地 秀明 畦 浩二 柏原 林造  
小茂田聖士 野添 生 林 靖弘 平賀 博之  
丸本 浩 山下 雅文

### 1. はじめに

現在の中学生・高校生らのテレビゲーム世代は刺激的なビジュアル映像に慣れており、以前と比較すると「実験に目を見はる」といった感覚が薄れていると感じる。テレビ番組では高度なコンピュータ・シミュレーションが次々に作られ、ビジュアル的に様々な工夫を凝らした教材をパソコンなどでいつでも見られる。こうした状況下では、体験からくる感動が既知の視覚情報を超えるものになりにくいのではないだろうか。

理科教育も特に小・中学校の段階では、実験や生活体験を通していろいろな事を肌で感じ、自分の五感を使って納得する体験が大切であると考え、知識が増えビジュアルな情報が先に入っていると逆に体験のほうの色あせたものになってしまう恐れがあるのではないか。

この研究は、生徒に科学の本質を見つめさせ、科学の内容そのものを対象として科学の楽しみを享受させる方法として、「言葉の力」で科学が本来的に指向するメタフィジックな(形而上的で目に見えない)面白さを伝えるという方法論を検討するものである。

### 2. 本研究の目的

本研究の第1年次には、附属福山高校の「生物・地学」の“高大連携”諸活動の一環として、「深海生物」や「地底生命」、「宇宙生命」などを題材に、どのような話題(切り口)が生徒の好奇心と向学心を喚起するかを探った。第2年次には、検討した「切り口」にスムーズに入るために、高校理科の他分野ではどのような「助走・伴走」が必要かを検討し、化学的な内容を中心とした“高大連携”授業を行い、総合理科に向けた取り組みへの契機を探った。第3年次にあたる本年度は引き続き理科で“高大連携”授業を行い、過去2年間で検討した「切り口」に至るまで、そして、そこ

で喚起された好奇心・向学心を維持するため、どのような勉強をすべきかを、一人の高校生の生活や人生という観点から掘り下げる。つまり、高校以前の学習における要点を提唱する内容となることをめざした。

昨年度までの報告の繰り返しとなるが、再度この研究の目的を次に示しておきたい。

図・写真・ビデオなどの視覚的手段は相応の効果を挙げる一方で、生徒が想像力(イマジネーション)を働かせる余地や機会が低減しているのではないかとこの危惧がある。これに対し言葉による伝達では、生徒各人の想像力が刺激・訓練されるだろうという期待が込められている。もちろん経験や体験のない事柄を豊かに想像することは難しいので、生徒の経験・体験に即した言葉遣いやストーリー性が必要である。したがって、本研究で試みる授業では、視覚的手段や実習・実験等による既習が重要であり、既習事項を中心とした授業組立てが要求される。その意味で、「言葉による理科の伝達」は、従来の「視覚的手段および実験・実習」と相補的に対をなすものと考えている。

昨今の殺伐とした世相の多くは「思いやりの欠如」に由来すると考えられる。思いやりとは他人の気持ち(意志、感情など)を察する心、いわば想像力の働きであり、それには相応の能力と訓練が要求される。この思いやり能力の涵養と弛まぬ訓練の場として、想像力を最大限に働かせる授業を行うこと、それが本研究の究極の目的であり、その手段として選択した「言葉による理科の伝達」の実践的検討を行うことが本研究の目標である。

### 3. 「言葉の力」を重視した授業の検討

第1年次には、「言葉の力」を重視した授業として、広島大学附属福山高等学校1年生の1クラスを対象に、「深海の広がり」と、その生態の特徴」をテーマに、

試行的な授業を実施した。第2年次の昨年は、「右と左の世界」をテーマに、化学物質における左右とはどのようなものかを中心に構成する授業を実施した。第3年次の今年度は、「エネルギーと生命」をテーマに、ものを食べない動物である深海生物のチューブワームの生活とエネルギーに視点を当てる授業を行った。

授業の前に、授業を受ける生徒の学習の状況、特に中学校までに学習した内容や現在進めている授業で行っている内容を授業者が把握することに重点を置いた打ち合わせを行った。

広島大学附属福山中・高等学校では、平成15年度から20年度の期間で文部科学省による研究開発学校の指定を受け、「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（H15～H17）」ならびに「中等教育における科学を支える『リテラシー』の育成を核とする教育課程の開発」に取り組んでいる。その中で高等学校1年生では、高等学校段階の生徒すべてに最低限必要な知識や能力（いわゆるサイエンスリテラシー）を育むことをねらいとして、一般の学校とは異なる教育課程を編成し、新教科「サイエンス」の研究に取り組んでいる。

今回、「言葉の力」を重視した授業の試行を行うクラスで、どのような新教科の授業が進行しているのかについて、今回の授業の内容と関わりが深い物理的な内容を、どのように実施しているのかを、授業者に提示した。以下の表1は、高等学校1年で実施している新教科「サイエンス」の物理に関わる内容「エネルギーと人間」の単元計画である。

表1 サイエンスI（物理内容）の単元計画

第1章 運動と力（16時間）
1. 運動の表し方
2. 力の性質
3. 運動の法則
4. いろいろな運動
第2章 力と仕事（4時間）
1. 仕事とは
2. 仕事の原理
第3章 仕事とエネルギー（5時間）
1. 仕事とエネルギー
2. 力学的エネルギー保存の法則
第4章 エネルギーの利用（9時間）
1. いろいろなエネルギー
2. エネルギーの変換
3. エネルギー問題

力学的エネルギーについては現行の学習指導要領では「理科総合A」「物理I」で扱われる。特に「理科総合A」では、自然の諸現象がエネルギーという概念で総合的かつ統一的に理解できることを学ぶ。しかし、「力とは」「仕事とエネルギーの関係」などは定性的理解にとどまり、系統立てて学習することはなく概念の論理的広がりを習得することができない。そこで、新教科「サイエンスIB」では、「運動と力」「力と仕事」「仕事とエネルギー」「エネルギーとその利用」と体系的に扱い、考察力の深化を図っている。

年間計画では、2学期にエネルギーの基礎概念の定着を図ることになっており、このことで、「物質と人間」で扱う熱化学方程式などのエネルギー収支の点での基礎となると考える。今回実施した授業で必要となるエネルギーの概念は、すでに学習が終了した内容である。

今回実施する授業にあたっては、こうした内容の授業が既に実施されていることをふまえた上で、授業内容および構成を検討していった。

#### 4. 「言葉の力」を重視した授業の実施

##### (1) 授業の内容

対象クラスは4年（高等学校1年）D組、受講した生徒は男子21名、女子21名である。実際の授業は、平成18年12月13日（水）に実施した。前時に事前学習として、講師が出演したNHK番組「科学大好き土よう塾」を視聴した。以下に講義の内容を記述する。

みなさんは物理のテストは終わったばかりだと思いますが、力  $f = ma$  という式は覚えていると思います。おそらく中学校で、仕事=力の大きさ×距離ということも習ったと思います。重たいものを持ち上げれば、そのときの力の大きさと動かした距離をかけると仕事が増えますが、ただ持っているだけでは、手は疲れても仕事をしたことにはなりません。

エネルギーということばもよく使う言葉ですが、エネルギーという言葉の定義ができますか？

エネルギーとは「仕事をする能力」と表すことができます。高い位置に持ち上げた石を放すと、落ちたときにしたにあるものを割ったり、そうした仕事をすることができます。持ち上げられた石は、「エネルギーを有する」ということができます。こうした概念は、混同しやすく、大学でも間違っている人たちがいます。

より高く持ち上げられた物体は、より大きな位置エネルギーを持ちます。位置エネルギーは英語ではポテンシャルエネルギーといいます。エネルギーには電気エネルギーや熱エネルギーなどいろいろな種類のエネ

ルギーがありますが、これらすべてのエネルギーは位置エネルギーに置き換えて考えることができます。

水を落とすことで電気を起こすのが水力発電です。落下した水でタービン（水車）を回して発電しています。太陽の熱が水を蒸発させて雲を作り、雨となって降ってくることを考えると、このときの位置エネルギーのほとんどは太陽のエネルギーだということになります。

発電というと、電流は電子の流れですが、発電所では電子をどのようにして集めているのでしょうか。電子が動く速度は、実際には秒速10cmとか電線の中で私が歩くのよりも遅いくらいの速さで動いています。でも電流はものすごい速さで流れています。火力発電では、後半は水力発電と同じで、タービンを回して発電します。タービンを回すためには湯を沸かして蒸気の方でタービンを回しますが、では石油や石炭は位置エネルギーを持っていることになるのでしょうか。水を落とすことと石油や石炭を燃やすことは、イコールと言えるのでしょうか。石油や石炭は高い位置にあり、それらを燃やすことは低い位置に移動させることを意味します。石油や石炭は自分を燃やして光や熱を出すことができるということで、化学ポテンシャルエネルギーを持つが、燃えた後の二酸化炭素は燃えることができないので低い位置にあるということができます。

生物学では、化学的なこの化学ポテンシャルエネルギーが重要になることが多々あります。チューブワームの秘密に迫ることができるのです。

生命と生物はどう違うのでしょうか。生物は実態があります。地球型生物にとって最も大事なものは水です。次に大事なものは炭素。水は身体の70~80%が水で、残りの半分は炭素です。体重40kgの人であれば、4kgが炭素です。この教室に平均体重50kgの40人で合計2トンの人間がいるとして、ここには200kgの炭素があることになります。宇宙を貫く法則はたくさんありますが、その中で最も強力なのは熱力学の第2法則（エントロピー増大の法則）です。エントロピーはまだ知りませんね。エントロピーとはものがバラバラになった状態を言います。形あるものをすべて壊れる。整理したものはだんだん乱雑になってしまう。それが宇宙を貫く最強の法則ですが、それに反逆している唯一の存在が生命です。生物は崩壊しますが、物が崩壊しないためにはエネルギーを投入しなければなりません。ご飯を食べることでエネルギーを取り入れ、そこからエネルギーを抽出してそのエネルギーで自分を維持しているのです。

食べているものは石油や石炭に相当します。燃えるという現象は「酸化」の反応です。酸化は呼吸とイコー

ルで結んでかまいません。急激な反応で熱や光がでるときは燃焼と言いますが、ゆっくりした反応でエネルギーを取り出しているのが呼吸です。

チューブワームの場合はものを食べているので動物です。ものを食わない生きものは植物です。ものを食わない動物とは非常に矛盾に満ちており、植物的な動物というのはどのようなもののでしょうか。光がないのに光合成のように自分でエネルギーを作り出すことができるのは、火山ガスに含まれる硫化水素（猛毒）を利用しているからです。なぜ猛毒でも死なないのかは、秘密におきます。チューブワームは、ものを食べない、自分で光合成をするわけでもないという、第3のグループと考えることができます。宇宙というのはチューブワームのような生物が圧倒的に多いのかもしれない。チューブワームの研究は宇宙生物の探査につながるのではないかとというのが、私たちの研究です。深海底はすごい水圧です。これはカップヌードルの容器を水深2000mに持って行ったためつぶれてしまったものです。大気圧は、おおむね1気圧で、私たちはそれになれています。水に入ると10mで1気圧、2000mでは200気圧、このカップヌードルは大気圧の200倍の水圧でつぶされたことになります。私たちの潜水船は6500気圧まで潜れますが、チューブワームはそのような世界に住んでいます。

空気の厚さは100km程度ありますが、水は10mの高さで1気圧になるので、それを比較すると空気の密度がどの程度かも知ることができそうです。

水は高いところから低いところへ流れていきますが、そこでポテンシャルエネルギーを解放します。そして何か形のあるものをなす。例えば渦巻きは川の流れがあって始めてできます。高いところ、低いところがあって、ポテンシャルエネルギーの発揮する場所が必要です。渦巻きを作る水の分子は刻一刻と入れ替わっているが、渦巻きというパターンは残るのです。1212年鎌倉時代の初期に鴨長明の方丈記「行く川の流れば絶えずして、しかももとの水にあらず」君たちもそうです。君たちを作る分子原子は、どんどん入れ替わっている。物質論的には、赤ちゃんの時の君たちと今の君たちは違う存在です。しかし、君たちは存在している。君たちというパターンは、渦巻きのように残っている。それが生命の原理です。生命とはそうした化学的なポテンシャルエネルギー、目に見えないけれどそれが常に供給されることによって君たちという渦巻きを維持する、これが生命の原理です。そしてこの宇宙を見ると全部が渦巻きです。台風、太陽系、銀河系、この宇宙を貫く原理は、すべてのものがばらばらになるというエントロピー増大の法則、そしてそれに立ち

向かうもう一つの原理である「生命の原理」、これはとどのつまりは渦巻きであるという、銀河系、太陽系、台風、そして人間、みんな渦巻きで説明されます。君たちも、ひとりひとりが宇宙を貫く最強の法則に立ち向かう反逆者としてがんばってください。

質問：チューブワームを深海底から取り出すと変形するか？

特に変形しません。豆腐は深海底に持って行ってもつぶれないのと同じです。

シーラカンスも食べるか？

シーラカンスも最近はたくさん採れて貴重さの度合いが減ってきているので、そのうち食べるのでは。

## (2) 生徒へのアンケート

授業実施後、受講した生徒を対象にアンケート調査を実施した。講義はこれまでの授業では扱っていない「エントロピー増大の法則」などにも踏み込んで解説し、決して易しい内容ではなかったが、内容の理解や講義に対する興味は、大部分の生徒が肯定的な解答である。この点は特徴的な結果と考えられる。

このアンケートの内容と結果を、以下の表2に示す。

表2 授業後のアンケート内容とその結果

長沼毅先生の授業を聞いてのアンケート内容と集計結果		
2006. 12. 13		
アンケートの対象：4年D組 名(男子21名, 女子21名)		
1. 今回の長沼先生の講義の内容は理解できましたか。		
①よく理解できた	19名	(45%)
②まあまあ理解できた	2名	(5%)
③どちらでもない	2名	(5%)
④少し理解できなかった	0名	(0%)
⑤まったく理解できなかった	0名	(0%)
2. 今回の長沼先生の講義について、興味がわきましたか。		
①大変興味深かった	22名	(55%)
②少しは興味がわいた	19名	(45%)
③どちらでもない	0名	(0%)
④あまり興味がわかなかった	0名	(0%)
⑤まったく興味が持てなかった	0名	(0%)
3. 2で①および②を選んだ人について、どのような点に興味を持ちましたか。下の欄に興味を持った事項について、書いて下さい。(全回答)		
エントロピー増大の法則		
・エネルギーについての		
・宇宙を貫く最強の法則に興味を持った。		
・ポテンシャルエネルギーについて		
・物理学や化学が生物学につながる点		
・熱力学がおもしろそう。		
・人間は深海底に行くつづかれるという点、チューブワームはどうして深海で生きていけるのか。		
・ポテンシャルエネルギー		
・生命が特異な存在であるという点。		
・チューブワームと宇宙の生物の関連性。		
・普段なぜかと感じない所に疑問を抱かされた所。		
・生命とは何か？		
・この世界とは何なのか？		
・生命が位置エネルギーと同じようなものであるという点がとても関心を持った。		
・最初の電子、電気の選いなど。		
・深海を学ぶことがそのまま宇宙につながる点。		
・自分たちが学んできた原理を説明できるところ。		
・生命が宇宙の原理に従って存在していること。		
・生物が宇宙の法則に反する物体であること。		
・深海生物がどのようにして生きていけるかについて。		
・万物は崩れていくが、生命のみは崩れない点。全体的に興味を持った。		
・豆腐は海証でもつぶれないこと。		
・エネルギーについて。		
・「エントロピー増大の法則」について。		
・宇宙に住む生き物、宇宙の生命体。		
・宇宙は次々とぼらぼらになっていくという法則と、それに反するエネルギーがあれば生命は保たれるという法則について、なぜか？などの点。		
・生物と生命について、生命が法則に逃れられないという所が興味深かったです。		
・電流とは何かというお話。		
・ポテンシャルについて。		
・人間は、物質的にも生きた時とまったく違うこと。		
・深海の生き物とか。		
・意外なものをイコールで結ぶことができたり、たくさん意外なことがわかっておもしろかった。		
・深海で生きていくものについてのこと。		
・「宇宙を貫く法則」というのがありますが、宇宙とは何なのでしょう？(今まで色々な本を読んでみても明確な答えが得られなかったの……)		
・水圧と物質の関係やエネルギー、電流について。		
・チューブワームとエネルギーの深海生物。		
・高圧生物を調べると宇宙の生物がわかる点。		
・エントロピー増大の法則。		
・ポテンシャルエネルギーについて。		

- ・陸上から深海へ、または逆の場合において、形が変形するものやしないものがある点について。
  - ・物理と生物につながる点について。
  - ・「生命」ということについて深く考えたことがなかったの、どの話もすごくおもしろかった。
  - ・生物学者さんには生物を生で食べるということ。
  - ・大宇宙を学ぶことがおもしろいこと。
  - ・生物がも法則に唯一反しているということ。
  - ・電気の流れについて。
  - ・エントロピーの法則。
4. 長沼先生の講義の趣意である、むずかしい数式を使わないで自然科学の講義をすることについて、どう思いますか。あなたの考えを書いて下さい。(全回答)
- ・すごくわかりやすく、おもしろかった。
  - ・科学や数式が苦手な人でも興味を持って参加できるので、よいと思います。
  - ・知っていることを相手に教わっていて、わかりやすく興味をもちやすいという点では優れていると思う。
  - ・興味を持てたし、わかりやすかった。
  - ・とてもわかりやすく、興味がわく。
  - ・むずかしい数式でない分、誰でもわかりやすく聞くことができました。
  - ・わかりやすくて良いと思う。
  - ・興味を持てるので、いいと思う。
  - ・かたくるいいイメージが形成していたが、今日の講義では理科に興味を持った。
  - ・わかりやすくていいとおも。
  - ・自然科学の知識がない人にも、分かりやすく理解できても良いと思った。
  - ・すばらしい。数式を並べられるだけの授業よりもっと頭に入る。
  - ・僕は数字が嫌いなので、うれしかったです。
  - ・分かりやすく、先頭聞いていておもしろいと思った。
  - ・わかりやすくてよかった。それだけ知識とかも必要だと思う。
  - ・わかりやすくて、いいとおもいます。
  - ・専門員だけでなく多くの人に受け入れることができていいと思う。
  - ・数式があるのと別の中がごちゃごちゃする気がするので、よかったと思います。
  - ・わかりやすくていいと思う。
  - ・数式もなくわかりやすかったです。
  - ・講師に、力(話術)があれば、数式よりわかりやすい。
  - ・物理の原理から説明するわけだから、時間がかかるとは思うけど、新しい数式を覚えるのではなく理解できると思う。
  - ・わかりやすいと思う。
  - ・わかりやすくてとても良い方法だと思った。
  - ・Fermiの説明がポイントに分かりやすくて、感動しました！！
  - ・身近なコトを例にだして話してくださったので、わかりやすかったです。
  - ・わかりやすくていいと思う。
  - ・身近なことだったので分かりやすかったです。
  - ・分かりやすくていいと思います。そもそも自然科学の講義で数式を使うのがおもしろいけど、私は理科は嫌いなわけではない、計算などが苦手だから苦手意識ができてしまうので、長沼先生の講義はわかりやすく、まず興味を持つことから理科が好きになれる感じがありました。
  - ・難しいう数式を使うより、どうして「自然科学を楽しい」というイメージが湧いてしまう、でも長沼先生の講義はどうではないので、もっと知りたいう気持ちになってきました。
  - ・非常に良いと思います。実際、自然と数式で理解し立てているわけじゃないかと思うので、自分の理解で考える範囲で考えることができて、とても助かりました。
  - ・私みたいな数式を覚えるだけで関心を持てない人でも、もう少しならいけるけれど、すごくわかりやすかったです。最後まで楽しかったです。とても良いと思う。
  - ・数式とわかりやすいこと、具体例を挙げたらとると、理解が納得しやすいので、すごく良いと思う。
  - ・身近に感じられてわかりやすい。
  - ・分かりやすくていいと思います。
  - ・イメージが湧いてきてわかりやすくて、良いと思います。
  - ・内容などがある程度は理解することができたので、むずかしい数式を使わないで自然科学の講義をすることは良いことだと思います。
  - ・すごく大変なことだと思う。
  - ・わかりやすくて良いと思います。
  - ・言葉だけで黒板にほとんど書かないのに、授業を理解することができて、すごいと思う。

5. 大学生になって、今回のような講義を受けてみたいですか。
- |                |     |       |
|----------------|-----|-------|
| ①ぜひ受けてみたい      | 24名 | (57%) |
| ②少し受けてみたい      | 2名  | (3%)  |
| ③どちらでもない       | 2名  | (5%)  |
| ④あまり受けてみたいくない  | 0名  | (0%)  |
| ⑤まったく受けてみたいくない | 0名  | (0%)  |
6. 今回のような講義を聞いて、サイエンス(理科)に対する興味がわきましたか。
- |                |     |       |
|----------------|-----|-------|
| ①大変興味わいた       | 19名 | (45%) |
| ②少しは興味がわいた     | 20名 | (48%) |
| ③どちらでもない       | 2名  | (5%)  |
| ④あまり興味がわかなかった  | 1名  | (2%)  |
| ⑤まったく興味がわかなかった | 0名  | (0%)  |
7. 最後に、今回の特別講義に対する感想を自由に書いて下さい。(※)あわせて、長沼先生に対する質問があればどうぞ。(全回答)
- ・物理学に対する考え方やというのがよくわかって、すごくためになった。
  - ・内容などがある程度は理解することができたので、むずかしい数式を使わないで自然科学の講義をすることは良いことだと思います。
  - ・生物のこともと生物や化学のことが関係していて、いろいろ勉強になった。
  - ・生物の講義が嫌いじゃないかと思っていたので、最初、物理の内容を話したとき驚いたけど全体的にはわかりやすかったです。
  - ・たまにはこういう特殊な授業も良いと思った。
  - ・生物の分野には興味はないが、体の仕組みを調べる研究は楽しそうだ。
  - ・理科分野は物・化・生・地、全ての知識を身につけていないとだめだと思った。
  - ・ビデオを見た時は、どうい先生かわからなかったけどお、講義をきいて、すごくわかりやすい先生だと思った。
  - ・もともと理科は好きじゃなかったけど、今日の話を聞いて、より一層興味がわいた。もっと話聞きたいと思った。
  - ・面白い話だと思ったけど、わかりやすい話で聞きたい。
  - ・普段考えないことを深く考えることができ、とても面白かった。日常であまり考えないように思っていることも、科学の視点でみると面白いなと思った。
  - ・一人一人、生まれ時と今とは全く別の別人、と言われ、大きな驚きであった。人間とは何か、自分とは何か、もっと深く考えたいなりました。わざわざ遠方からお越し頂き、ありがとうございます。
  - ・今まで、生物・化学という、ぼくとした概念的なものだというイメージがあったが、生物を維持するエネルギーだと考えたとイメージが変わった。
  - ・自分当たり前のことだと思っていたことも、「そういえば何でだろう？」と思うことがたくさん見当たったので、そこを詳しく知りたいなと思った。17日には行きたいけど、用事や金銭面の都合で……
  - ・講義自体がわかりやすかったし、先生の説明もシンプルだったのでわかりやすかったです。長沼先生のチューブワームに関する本を一度読んでみたいと思ったので、とてもおもしろかったです。とてもおもしろかったです。次は深海の生物についてもっと知りたい、ありがとうございます。
  - ・生物は速く呼吸すると熱が発生し、燃えてしまう、とおっしゃいました。また、生物は死ぬと冷たくなります。それはつまり体温と関係があるということでしょうか。
  - ・生命というものは宇宙で特異な存在というは、神代意識ではないので、驚きました。
  - ・生物学というも、化学、物理、地学と信じられないくらい密接に関係していることがわかった。
  - ・給料はどれくらいですか？
  - ・いろいろ興味はたくさんあるんですけどおもしろかった。
  - ・物理や化学、そして生物を組み合わせたものが理科であり、とても興味深かった。理科とは深く知ろうとするのもっと深いところが見つかる空間だと思った。
  - ・ものを壊すのは高エネルギーを落とすのと同じ、というののおもしろかったです。
  - ・巨匠は深海に持って行ってつぶれないのは何故？ですか？
  - ・家として大変興味深い内容があったので、この世界は物理学的に説明できるということをきき、サイエンスもより興味深くなることでした。
  - ・今まで聞いたことのある言葉でも、違う方面からの見方で、とても新しく感じられた。宇宙から深海までいろいろあることおもしろい。
  - ・貴賓なお話も聞いて本当に良かったです。チューブワームが頭からはなれません……ありがとうございます。
  - ・普段、あまり聞けない珍しいコトもたくさん聞けて楽しかったです。

- ・ちょっと難しいところもあったけど、だいたい理解できてよかった。
- ・今日の講義は、私たちの身近なことばかりで、とても楽しかった。私たちは当たり前のように存在しているけれど、まだまだ分からないことだらけなんだなと思った。
- ・カップ麺の容器を深海に持っていき、粉々になるのではなく圧縮されるというのが不思議でした。理科が嫌いな私でもいるなことに興味おきました。チューブワーム食べてみたいと思います。
- ・物理と生物にすごくつながりがある、物理は嫌いでも生物・化学は好きだったけど物理にも興味おいてきました。
- ・私は自然科学がすごく好きというのではなかったけれど、今日の講義を聞いて興味おきました。もっと周りの不思議なことについて知りたいと思いました。
- ・面白かったし、大変興味深かったです。昔から宇宙とかゆーのには相当興味あったのですが、余計な気になりました。
- \*宇宙って何なのでしょう？本気で気になります。
- \*ビデオを見てどんな人かと思いましたが、私たちにも分かるような言葉や式で説明してくださって、すごい方だと思いました。
- ・理科の中で生物、そして何より未知の深海生物が大好きな私にとって先生のお話されたことは大変興味深くて、楽しかったです。まだまだ深海生物について知ってきたいと思いました。
- \*チューブワームを料理するとならどのように料理しますか？
- ・「うずまき」って言葉が印象的だった。生物は、実はすごい生き物なんだと思った。物理が苦手だけど、今回はとても分かりやすかった。
- ・あまり聞けない話だったし、今までなかったことのない考え方のお話だったので、たのしかったです。
- ・全然知らなかったことばかりだったけれど、分かりやすい説明だったので、理解できました。
- ・目録がすごく気になってしまう講義を聞いていたいて、うずまきしてしまいました。当日に用事があるのがとても残念です……。理科もこんな考え方ができれば、おもしろくなるなと思います。
- ・エントロピー増大の法則や生命についてなどは、大変興味深いお話だった。チューブワームがよかったというのをおもしろかった。
- ・私は物理があまり好きじゃないけど、先生の話はとてもわかりやすく、少し物理のことがわかった気がしました。生物者はいろんなま(生)で食べるのにおどろいた。
- ・生物とか物理とかいろいろあった話で、おもしろかったし、わかりやすかったです。何より先生が楽しそうに話してらっしゃったのが本当に良かったです。
- ・エントロピー増大の法則で、宇宙にあるものはすべてこの法則にのっとっており、人間も刻一刻と、変わっていると思いますが、人間だってうずまきのように一日おきで大きくなったり小さくなったり、宇宙の大きさも刻一刻とかわると思いました。

代表的な記述として、「自分の理解できる範囲で考えることができ、とても助かりました。」や「普段考えないことを深く考えることができ、とても面白かった。日常であたり前のように思っていることも、科学の視点で見ると面白いなと思った。」など、ことばで伝えることで期待した、深く考えることにより面白さに気付くことを表現している生徒も見られた。

授業の中で、実施日の週末に広島大学で実施された「ひらめき☆ときめき サイエンス 生命の神秘！深海生物の不思議な生態を探ろう」への案内を行ったところ、5名の生徒が希望して参加した。ことばによる思考を中心に膨らませた興味・関心を、さらに体験活動を伴った講義で発展させる機会となったと考えている。

### (3) 授業者からの評価

今回は物理内容の授業の一環ということで、物理に関連し、かつ、言葉だけでも容易にイメージできることを特に考慮した上で、「エネルギー」を講義の切り口にした。また、導入部には、生徒が聞き入りやすいように、授業の前週にあった定期に出題されたニュートンの第二法則の式「 $F=ma$ 」(運動方程式)に言及した。今回の授業で用いた式はこれだけである。この式では「力」 $F$ が定義されている。「力」 $F$ といえば、中学で「仕事」 $W$ ( $W=F \times$  移動距離)で学習したと事前聞いていたので、この授業では「仕事」にも言及した。おそらく生徒たちが疑問に思っていること、すなわち、「重い物を持つと疲れるが、ただ持っているだけでは(移動させなければ)仕事したことにならないのは、生活実感と違う」という印象にも言及し、生徒の興味を引き続けるように工夫した。それが奏功したのか(そして、理科教諭のふだんの努力の賜物であろう)、多く

の生徒は導入から最後まで集中力を維持できたように感じられた。

今回はエネルギーを切り口に、「生命とエネルギー」というテーマについて語った。このとき、ふだんの生物の授業では言及されない、というか言及しにくいことにあえて触れた。それは、「生命とは何か」というサイエンスの究極のテーマのひとつである。このとき、前週に放映されたNHK教育テレビの番組を事前学習として利用したとのことだったので、その番組内で私が解説した「深海生物チューブワーム」を題材にして、「生命とエネルギー」を説明し、そこから「生命とは何か」のイントロダクションに至った。テレビ番組で取り上げられたテーマを授業でも用いることで、生徒たちの興味をさらに増やすことができたと感じた。

「生命とエネルギー」あるいは「生命とは何か」について語るとき、エントロピーを避けて通ることはできない。エントロピーは説明が難しい概念であり、はたして高校生に理解してもらえるのだろうかという不安があった。しかし、地球の生物は太陽光エネルギーや地球内部からの化学エネルギーで生きていることを、深海生物チューブワームの例でうまく理解してもらえたという手応えがあったので、あえて困難な説明に挑戦した。このとき、熱力学の第二法則(エントロピー増大則)を「この宇宙を支配する最強の法則」、「形あるものはすべて崩壊しバラバラになる運命」と表現し、生徒たちに強い印象を与えるよう工夫した。そして、「しかし、その運命に反抗する存在、それが生命である」と述べた。これは、ノーベル賞物理学者シュレジンガーによる生命の定義「負のエントロピーを食べて構造と情報の秩序を保つシステム」(1944年)を念頭においたものである。理科教諭の指導の賜物であろう、生徒たちがエントロピーの説明に食いついてきてくれたことに驚き、感動した。

この短い授業では生徒が完全に理解してくれることを期待していない。むしろ、この授業では、「物理って面白いんだ」、「サイエンスって生命の本質に関わっているんだ」と興味を持ってもらうことを期した。そこから本当の勉強(学習)に入ってもらえば良いからである。その意味で、本授業は、現場の理科教諭の日々の努力に便乗しているとも言える。ここで改めて関係各位に深く感謝する。

これで三年目となった「言葉で伝える理科」という研究において、興味の喚起と日々の学習が車の両輪の如く相互に補完することで、さらに効果的な理科教育の方法論を展開できるという予想は、今回の試行でさらに確かな手応えを得ることができた。しかし、五感をもっと刺激した方がより効果的かもしれないとい

う、一種のもどかしさもひきずっている。そして、その突破口はアート（芸術）に関連したものだろうとの予感がある。つまり、感性に訴えかけるということだ。ただ、絵画（ビジュアル）を使ったのでは「言葉で伝える理科」に逆行するので、おそらく詩歌系の方向性になるのであろう。詩歌により理性・知性ととも感性を刺激し涵養することで、言葉が伝える理科教育がさらに充実することを期し、今後はそれを念頭に置いた取り組みを試みたい。

## 5. 研究成果と今後の課題

今年度の研究は、研究第3年次となり、直接研究員同士が顔を合わせて論議し、電子メールなども利用しながら、意思の疎通を十分に図りながら進めることができた。

今後は、引き続き理科等で「高大連携」を行い、この3年間の共同研究で発見ないし開発した「切り口」や「興味の喚起剤」をさらに良いものにしていきたい。そして、「言葉で伝える理科」で喚起した生徒の興味を日々の理科学習で鍛え上げること、すなわち「興味から実力への育成」を次の課題として、本共同研究の成果の活用を図りたい。

## 引用・参考文献

- 1) 長沼他, 言葉で伝える理科教育の可能性に関する研究 (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」, vol. 33 (2004)
- 2) 長沼他, 言葉で伝える理科教育の可能性に関する研究 (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」, vol. 34 (2005)