

科学者の思考展開の教材化に関する研究 (I)

—「地球外生命探査」をテーマに—

長沼 毅 山崎 敬人 平賀 博之 丸本 浩
杳脱 侑記 岡本 英治 小茂田聖士 山下 雅文
柏原 林造 田中 伸也 林 靖弘

1. はじめに

広島大学附属福山中・高等学校(以下、当校)では、文部科学省の研究開発学校の指定を受け、平成21~23年度の期間で、「クリティカルシンキングを育成する中等教育教育課程の開発」をテーマに研究を行っている。クリティカルシンキングは批判的思考とも訳されるが、ここでは「相手を批判する」という意味ではなく、「適切な規準や根拠に基づき、論理的で偏りのない思考」をすることに重きを置き、「よりよい解決に向けて複眼的に思考し、より深く考えること」を意味している。

科学研究の現場では、実験データや考察について、最先端の内容であればあるほど、情報を鵜呑みにせず吟味する思考が必要となる。どのような点に気をつけてどのように吟味すればよいかという知識やスキルと、疑問を持ち吟味する態度の両方を持ち合わせてこそ一流の科学者と言えるのではないだろうか。

これまで、当校で実施してきたSPP(サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト)などの高大連携による取り組みでは、学問の「内容」をテーマとする場合が多く、科学者が学問を探究していく上で、どのように思考し、その思考を発展させ、どのように証明していくか、そうした思考の過程を授業の対象として盛り込んだ例は、ほとんどないように感じている。

そこでこの研究では、学問の現場で繰り広げられる「クリティカルシンキング」をテーマとして、最先端の現場で活躍する本稿の著者長沼が高校生を対象とした授業をおこなう。地球外生命という未知の課題を解決するために、生徒も共に思考し、これまでに理科で学習した内容や既知の学問を活用して、「クリティカルシンキング」の手法を使いながら、もっとも確からしい答えに辿り着くための体験をさせる。こうした体

験により、生徒は問題の解決にどのような思考の展開が必要となるかを追体験することができると思う。

また、こうした思考展開の中こそ科学研究の醍醐味が隠れており、わくわく・ドキドキするような体験は、生徒にとって科学を身近に感じるまたとない機会となるだろう。

こうした意図のもと、本研究を計画していくこととなった。具体的な研究としては、初年度は「地球外生命探査」をテーマに「高大連携」授業を実施し、学問におけるクリティカルシンキングの実際などの話題や切り口がいかにかに生徒の好奇心と向学心を喚起するかを探る。そのために、実際の授業をどのような内容にするか構成を検討し、実施することに主眼をおいた研究を行った。

2. 高大連携授業に向けての準備

この研究グループでは平成16~18年度に「言葉の力」によってメタフィジックな科学の面白さを生徒達に伝える試みを行い、一定の成果を挙げてきた^{1)~3)}。平成19~21年度には、地域の自然環境と歴史風土に根ざした理科教育の可能性を追求すべく、物理、化学、生物、地学の融合および文化系的な視点をも含めた「風土サイエンス」の確立を目指して研究をおこなった^{4)~6)}。特に「高大連携授業」を日頃の理科の授業の取り組みに加えて、更なる刺激と好奇心・興味を喚起するための起爆剤と位置づけ、研究の中心に据えてきた。

本研究でもこれまでの研究の成果と手法を継承し、高等学校1年に新教科として設置している教科「現代への視座」自然科学入門の1コマとして、高大連携授業を実施した。自然科学入門は、高等学校の必修教科として必要と考えられる科学リテラシーを育成するための科目として構想したものである。主に、物理、化

学、生物分野の基礎的知識、科学の方法、科学と社会についての内容を扱い、それぞれ「力学的スコープ」、「粒子的スコープ」、「生命的スコープ」と題して、それぞれの分野から自然現象を見る視点の学習を強調して、科学的根拠に基づいて結論および判断していく能力を育成している。

授業者には、このようなカリキュラムの意図や流れを理解いただき、学習の進度や生徒の理解のようすなどの情報を提供し、綿密な打合せのもと、授業を実施した。

対象は昨年度と同様に、広島大学附属福山高等学校1年生全員として実施する計画を立てた。

3. 授業の実際

実施した授業の概要を以下に記す。

「地球外生命の可能性は地球の中にある」

広島大学生物生産学部 長沼 毅

この授業の1つの狙いは、皆さんにとっては「自然科学入門」の特別講義となりますが、私と福山附属の理科の先生たちにとっては、どうやったらサイエンスの面白さを知ってもらえるか、どうやったら皆さんにわれわれの仲間になってもらえるか、このことについての研究実践の場になります。この研究のテーマは、科学者がいかなる思考をして、仮設や理論を作るかというそのパターンを、皆さんにその経過を知ってもらうことです。今日は私の思考パターンをみなさんに知ってもらったうえで、「地球外生命の可能性は地球の中にある」という世界を皆さんに追体験してもらおうと思います。

【自己紹介を手始めとして】

私が生まれた日は1961年4月12日です。この日は、人類が初めて宇宙に飛んだ日です。この日に生まれたというのは、自分にとっては重要で、自分が宇宙と非常に密接に繋がっていることを感じます。この1961年に宇宙へ飛んだのは、ソ連…今のロシアのガガーリンですが、そのときのアメリカの大統領、ジョン・F・ケネディは、「わがアメリカは1960年代中に、アメリカ人を月に送る」と宣言し、NASAが作られました。実際、宣言どおり、1969年に2人のアメリカ人が月に立ちました。有名なアポロ11号の月面着陸です。またちょうど20年後の、1981年の同じ日は、スペースシャトルコロロンビア号の初飛行の日でもあります。これは私の20歳の誕生日です。

私は、宇宙飛行士の野口聡一さんと、同じときに宇宙飛行士の試験を受けました。野口さんは受かったけど、私は落ちました。そのため、私は宇宙ではなく、地球を研究することになっています。宇宙飛行士の試験がまたあるかもしれませんが、皆さんも是非チャンスがあれば受けてみてください。

【問題の捉え方】

自分の人生を振り返ってふと思い出したのが幼稚園の話です。幼稚園の滑り台で着地した砂場で考える「自分は今、あそこから滑ってきてここにいるわけだけでも、本当のところ、自分はどこから来てどこに行くのか」。これは大事な問題です。このような難しい問題に対して、科学者がやることは、問題をいろいろ解きやすい形に変形することです。自分がどこからきてどこへ行くのかを、もっと簡単に言うと、自分とは何なのか。これを普遍化して一般論にすると、「生命とは何か」という問

題に変形できます。この生命とは何かという問題もまだ大きすぎます。そこで私がやったことは、「生命とは何か」とは何か、という複雑な考え方をします。つまり「生命とは何か」という問題そのものは、いったいどのようなことを問うているのか。「生命とは何か」とは何か、という二重構造の質問をすることが、われわれ科学者の理屈です。問題に行き詰ったら、そもそもこの問題は何を問うているのか、というように、一歩ひいて大きい目で見ること、今後の皆さんには面白い視点ではないかと思います。

【生命観】

では、「生命とは何か」とは何かを考えてみましょう。「生命とは○○○を食べて、自分自身の体を保ち増やすシステム」と言えるでしょう。○○○には何が入りますか？

普通はご飯やパン、食べ物です。では、この食べ物とは何か、どんどん追求しましょう。ご飯だったらお米、パンだったら小麦、それらは植物だけれども、言ってみれば他の生物です。われわれは他の生命を食べて生きています。「生命とは○○○を食べて生きている」の○○○には、結局、他者の生命、という言葉が入ります。「他者の」を取ってしまうと、生命とは、生命を食べるシステム、ということになります。「生命とは生命を食べるシステム」このような表現を、自己言及、あるいは自家撞着と言います。有名な例は「白馬は白い」です。白馬とは白い馬ですが、言ってることが同じなので、自己言及に陥ってしまうと物事が堂々巡りをしてしまいます。このような質問の仕方や回答の仕方はやめましょう。では、生命とは生命を食べるシステムである、ということをもう少しサイエンスで扱えるようにします。私たちはご飯やパンを食べます。もともとそれは稲や小麦などの植物です。では、植物はいったい何を食べていますか？ 植物はものを食べませんが、植物にもエネルギーは必要です。植物にとっては、日光です。「植物は光のエネルギーで育つ」ということを煎じ詰めると、われわれは稲や小麦などの植物を食べる。植物は光エネルギーで育つことから、われわれは光エネルギーを食べていると言うことになるのです。おそらく小学校以来、皆さんは、太陽の光エネルギーの恵みを受けた奇跡的な存在であるということ学んでいると思います。われわれは太陽の光エネルギーのおかげで生きています。

【苛酷な環境で生きる生命】

ところが、この地球には光が不要の異質な世界があります。例えば暗黒の深海底です。そこでは生命はいったい光以外のどんなエネルギーに依存しているのでしょうか。それを探しに、私は深海に潜ってきました。そしてまたその考え方を押し広げるために、深海以外の場所にも行っています。例えば、南米のチリのアタカマ砂漠。地球上で最も乾燥しているところです。一見生き物がいそうにもない岩肌の中に生き物がいます。次はサハラ砂漠。ここでも砂の中に微生物が住んでいます。サハラ砂漠には、塩が噴出して厚い層をなしているところがあります。この塩湖の塩の中にも微生物がいます。こちらは南極の氷床です。南極の氷床の中にも微生物がいます。次は南米パタゴニアの氷河。さらに北極の氷河。

【深海の不思議な生命】

日本には「しんかい6500」という潜水船があり、水深6500mまで潜れます。私はこの船に乗って潜って不思議な深海生物に出会いました。今日は皆さんには、この深海生物だけを紹介します。これを知ることによって、皆さんの頭の中はごろっと変わると思う生物です。白っぽい筒状の部分があり、その先端に赤い花のようなものがあるこの生物は、植物のように見えますが、れっきとした動物です。深海は暗黒、光が届かないので植物は育ちません。深海底でも、特にこれらは海底火山に住んでいます。この生き物の名前はチューブワーム。学問的には、有鬚動物門に属します。この生物の不思議なところは動物なのに

ものを食べません。消化器官、口、胃腸、肛門がありません。でも、こいつは動物ですから、栄養の補給が必要ですよ。どうやって栄養を摂りますか？どこから摂りますか？口はないですから、外部からは取れません。実は体内に特殊な微生物がすんでいて、これがチューブワームに栄養を作っている。では、その微生物はいったいどうやって生きていますか？どんどんどん謎が繋がる。その秘密をとく鍵は、チューブワームが海底火山に住んでいること。そこに秘密をとく鍵がありますね、海底火山です。

チューブワームの体の構造を見てみましょう。チューブワームは、チューブはカブトムシやクワガタの甲羅、殻と同じように、キチン質という硬い物質でできています。この硬いチューブの中に、柔らかいミミズのようなものが入っている。その柔らかい部分を上手に引っ張り出してやると、チューブワームは体が三つのパーツにわかれます。一番目の赤い部分、これは鰓ですね。魚の鰓と同じように、周りの海水から酸素を取り込みます。ただ、酸素のみならず、硫化水素も取り込みます。火山や温泉で「卵の腐ったような臭い」の気体が硫化水素、毒ガスです。吸うと死にます。でも、チューブワームは、ある特殊な理由によって死にません。死なないどころか、この硫化水素、チューブワームにとってとてもよい働きをします。赤い部分、鰓の下には、筋肉があります。これは内側からつばって、体を固定する、チューブに体を固定する部分です。その下の部分は日本語がないのでトロフォソームと書いています。イメージはソーセージですね。この部分は、共生微生物がおり、チューブワームの体長は最大3mありますが、その7割8割がトロフォソームで、その中に微生物が詰まっています。総体重の半分以上が微生物です。この微生物、チューブワームのために栄養を作っているのです、どうやって作ってるんですか？チューブワームの中の微生物は「硫黄酸化細菌」です。細菌のことを英語でバクテリアと言う。だから「硫黄酸化バクテリア」と言ってもかまわない。私は今日の話の中で、微生物とか、細菌とか、バクテリアとか、いろいろな言葉を使っていますが、全部同じものをさしていると思ってください。大事なことはこの硫黄酸化バクテリアは植物の光合成と同じはたらきをします。しかし光が届かない暗黒の深海底ですから、私は暗黒の光合成と呼びます。光の代わりに火山のエネルギーを使っているのです。太陽の光エネルギーとともに、地球の内部から湧き上がる火山のエネルギーもまた、光合成と同じことをさせるんですよ。同じことと言うのは簡単に言うと、植物は二酸化炭素を吸収して、それで自分の体と栄養を作りますが、チューブワームの微生物はデンプンを作ります。これがチューブワームが何ものもを食べずに生きていける秘密です。

ここで確認しておきますが、植物はものを食べません。光と水と二酸化炭素があればいいです。光はエネルギーのもと。二酸化炭素はセルロースやデンプンのもとですよ。植物に対して、動物の生き方はどうでしょうか。動物は他者を食べることによって栄養を摂ります。獲ったり逃げたり隠れたりして、知能を発達させてきました。なぜ動物には脳があって、植物にはないのか？植物は他者を襲ったり、他者から逃げることがないからです。チューブワームは植物みたく動物です。暗黒の光合成、光の代わりに海底火山から出てくる化学エネルギーを使って、植物と同じことをする微生物を飼っている。チューブワームの発見からもう33年経っていますが、微生物だけを離して培養することはできません。そうなるとうチューブワームと体内の共生微生物は一心同体ですね。だからチューブワームをさして、私は「植物みたく動物」と言います。これに対して、神戸に住んでいる元高校の先生が、こんな歌を詠みました。「殺生の輪廻の外を漂へる チューブワームてふ 生のあるらし」「口もなく 肛門もなき 生き物の すがすがし

かるらむ さびしかるらむ」この歌で角川の短歌大賞を受賞しました。チューブワームみたいに生物学的に、哲学的に、そして文学的に素晴らしい生き物というのは他にいません。

【火山のエネルギーと微生物】

今日私は海底面に生えているチューブワームについて話をしてきました。ただ、チューブワームを養っているのは、地球の内部から湧き上がってくる火山活動のエネルギーです。だから海底火山の下のほうも調べようと思ったのです。例えば海底の下から湧き上がってくる熱水です。温度は300℃を超えています。高い水圧のせいで沸騰しません。この真っ黒い熱水を探って顕微鏡でのぞくと、微生物がいるのです。この微生物は明らかに海底火山の下から来ています。ちなみに生物が生きていける最高温度の記録は、現時点で122℃。ゆくゆくは記録が破られて、123、124となるかもしれませんが、その程度です。300℃を超える熱水の中で、この生き物が生きているとは思えない。ではこの生き物はどこから来ましたか。これ探るために、海底火山に孔を空けました。海底火山の周りの海底は割れ目が多く、そこから海水が浸入します。海底の海水の温度は、大体2-3℃です。冷たい水が、割れ目を通して進入していく。海底火山から大体1000m下にはマグマだまりがあって、その熱い岩石と海水が接触すると熱水ができる。そして熱水が上昇して海底火山から出てくると言うのが熱水の噴出です。そこで、考えるんです。

400℃の超臨界ウォーターと2-3℃の海水の間には温度の勾配があります。400℃→300℃→200℃→100℃→50℃→30℃→20℃と、必ずどこかに、滴温帯がありますよね。その30-40℃程度の中温帯に微生物の巣があるんじゃないかと思っています。割れ目の多い海底なので、その割れ目に微生物がべちゃーっとはびこっているような状態をイメージします。そこで、海底で微生物の巣をめぐって孔を掘りました。すると10mも掘ったら、見事微生物の巣にあたりました。海底火山の下に微生物の巣があった。でも考えてみたら、その巣というのは、海底火山のない普通の海底だったらどうなるのでしょうか。答えは、海底火山から離れるにしたがって、この巣がどんどんどんどん深い方向へ移動します。地球の中は熱いので温度の勾配があって、その途中どこかに必ず滴温帯、中温帯があるのです。それは普通、海底のさらに下2000m~3000mだろうと言われてます。では、そこも掘ろうということで、日本の作った地球深部探査船「ちきゅう」という名の船で掘っています。つい先日沖縄の海底火山を掘ったばかりです。このようなことをやって、われわれは海底火山の下、ひいては普通の何にもない海底の下にも微生物の巣があることを発見してきました。一方陸上でもやっています。岐阜県の瑞浪というところで、1000mの堅孔を掘って、そこにわれわれの研究室を置かせてもらおうと思っています。その1000m下の現場からさらに横孔とか堅孔を掘って、微生物のサンプルを採る、それをまた培養する。あるいは孔の中に何かわれわれのサンプルを押し込んでいろいろな反応を見る。いろんなことをやります。そういった1000mの研究室ができるのも、あと数年と言われてます。みなさんが大学に進学して、研究と言うもの、卒業研究とか、さらに大学院に進んだときにそういったものが使えるようになってきていると思います。期待しておいてください。

今まで見てきたのは、深海底の更に下、あるいは陸上の地底の話です。こういったものを指して、地下生物圏と呼びます。そこには微生物の巣があるんです。この地下生物圏は厚さが5kmあると思います。生物が生きていく最高生育温度は122℃で、その温度に到達する深さが大体5kmなのです。そしてこの地下生物圏は地球の100%を取り巻いています。さきほど言ったように、割れ目の表面と言うものが重要なので、それも考えると、地下生物圏というのはとても大きな生息圏というか生物の生息

場所ですね。そこに住んでいる微生物のことを推定してみよう。まず、伝統的なわれわれの普通知っている生物圏としては、陸上と海洋ですね。植物はそこに1兆トンから2兆トン存在します。動物はそこに100億トン、そのうち人間が3億トンいます。微生物は目には見えないほど小さいけども、数が多いので3000億トンいます。これがわれわれが普通知っている生物圏の姿です。それに対して、この15年くらいで見えてきた地下生物圏の様子は、植物はもちろんいません。動物も生息する空間がないのでいません。非常に微小な空間しかないの、そこに住めるのは微生物のみです。ということで計算すると、地下生物圏には微生物が3兆トンから5兆トンいるんです。これは今までわれわれが知っていた生物圏と比べるとどうですか、大きいでしょう。われわれは、最近までこのことを知らずにいたんです。皆さんもそうです、今知ったんです。地球の生物圏はどちらが本物ですかね、われわれの研究成果が教科書に載るのに30年かかっていますよ、だから皆さんが知らないのは当たり前なんです。でも今知ったんです。そこには、われわれの常識を覆すような世界がある。そして、それらの大量の微生物を支えるものって何ですか、養っているのは何ですか？ チューブワームと同じように、すべて地底からのエネルギーです。地球の内部にこそ、多くの生きものが存在できるのです。地球の生命というのは、太陽の恵みを受けた奇跡の存在だと思っていたのですが、地球っていう惑星自身が、実はその内部に生命を育てているということが見えてきました。チューブワームの例を皆さんに今日紹介しました。地下生物圏のことを皆さんに教えました。地球の内部にこそ巨大な生物圏があるのです。これは要するに、海底火山というか、地球の内部がある程度活動的であればいい。次に、地球以外にもそういう天体があるか考えてみましょう。要するに、水と熱のある惑星や衛星を探しましょうということ。そうすると、ありますか、ありますか。そんな天体か。

【地球外生命体と微生物】

ひとつの候補は木星のガリレオ衛星です。今からちょうど400年前、ガリレオ・ガリレイが手製の望遠鏡で木星を観察しました。そこで木星の周りを回る、四つの衛星を発見したのです。この4つの衛星、近いほうからイオ、エウロパ、ガニメデ、カリストとなるわけですが、その一番近いほうのイオには、火山活動があることが分かっています。ポイジャーという探査機からの映像を見ると、写真の中央下に噴煙が写っており、明らかな火山活動です。イオの表面には、現在までに100個の活火山が知られています。非常に活動的な衛星ですが、残念ながらここには水がありません。同じことが、お隣の第二衛星エウロパにも言えるはず。木星の重力の影響によって火山活動が絶対にあるはずなんです。しかし、表面が氷に覆われているので見えません。表面が氷で覆われた惑星、衛星。これは太陽系においては普通の光景です。だから氷に覆われること自体は珍しいことではない。珍しいのは火山活動があることです。イオに火山活動がある。エウロパにもあるんだけど、その様子は外からは見えませんが、必ずや、下に海底火山があるので、水の底が溶けて、液体の水、海が絶対にあります。海があって、液体の水があって、火山があって、海底火山ですよ、何かいるんじゃないですか。エウロパの氷の下の海を探したいんですが氷が分厚いんです。氷の厚さが数km~数十kmに及ぶほどです。実はわれわれは南極において、分厚い氷の底に存在する、まだ凍り付いていない液体の湖のひとつ、ポストーク湖の氷に孔を掘っています。湖の氷の厚さは3743mあるのですが、あと100mまで行っています。まもなく貫通するでしょう。過去1000万年以上、氷によって隔離されたこの神秘的な生態系がどんな生物を持っているか、分かるのです。それはそれでいいのですが、私にとっては、そんなことよりも大事なものは、これはエウロパ

の練習台なのです。われわれは、3000mの水に孔を空けられるんです。ではその下にあるエウロパの海ですが、深いんですよ。50kmあります。この深さが絶望的かと思いきや、問題はその深さでの水圧です。水圧は重力に比例するので、エウロパの重力は地球の0.13倍ですから、エウロパの海の深さ50kmでの水圧は地球の海の何kmに相当しますか？

$50\text{km} \times 0.13 = 6.5\text{km}$ 。地球の海の6500mの水圧にしか相当しません。

ということで6500と言えば、最初に戻って「しんかい6500」です。「しんかい」は潜水船で宇宙船ではありませんが、都合がよいことにスペースシャトルの荷台、ペイロードベイ、長さが18m、直径4.6m。「しんかい6500」は長さが10m足らず、縦横3m。すっぽり入ります。シャトルは29t運べます。「しんかい」は26tです。と、いうことで、シャトルに「しんかい」を乗せて、宇宙ステーションに持って行く。そこでロケットブースターの取り付け作業をし、木星と地球の間でも4年から6年で行くことができます。ということを考えて、やがて「しんかい」がエウロパの海に潜って、そこでエウロパのチューブワームを発見する日が来るだろうと確信しています。発見するのは多分年齢的に私ではないです。みなさんです。ぜひ頑張ってください、ということで終わりにしようと思います。

ありがとうございました。

4. 生徒へのアンケート結果からの考察

授業が予定より長くなったため、質問をうける時間がなくなった。生徒の反応については、授業時に配布したアンケート調査を202名中104名から提出があった。以下に、アンケートの結果概要を示す。

記述内容に付した下線は、今回の授業にあたりねらいとした科学者の思考過程を意識した記述を示している。

多くの生徒にとって、こうした授業は楽しみであり、知的好奇心をくすぐる機会となっていることを伺い知ることができる。記述の中には授業の内容に関するものが多いが、「科学者の思考」の追体験としての内容も、期待以上に多く見られたことも、この授業の意図が生徒に伝わった結果であろう。初年度のねらいは十分に達成できたと考えられるアンケートの結果であったと考えている。また、来年度に向けての方向性も確認できた。

5. 研究成果と今後の課題

本研究は第1年度の研究として、科学者が学問を探究していく上で、どのように思考し、その思考を発展させ、どのように証明していくか、そうした思考の過程を授業の対象として盛り込んだ、この授業の内容そのものが最大の成果だと考える。

次年度以降、生徒に科学者の言葉を通して、科学の現場でのクリティカルシンキングを追体験する活動を継続していく予定である。方向性としては今年度の内容が確かなものであるという確信が得られたので、さらに生徒が未知の問題を解決するために、科学的思考

表1 授業後のアンケート結果

長沼毅先生の授業を聞いての感想・アンケート 集計結果
(集計人数 104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……………38名 (36.5%)
- ②まずまず理解できた……………58名 (55.8%)
- ③どちらでもない……………3名 (2.9%)
- ④少し理解できなかった……………4名 (3.8%)
- ⑤まったく理解できなかった…1名 (1.0%)

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……………48名 (46.2%)
- ②少しは興味がわいた……………36名 (34.5%)
- ③どちらでもない……………18名 (17.3%)
- ④あまり興味がわかなかった…1名 (1.0%)
- ⑤まったく興味が持てなかつた…1名 (1.0%)

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。あなたが興味を持った事項について、書いて下さい。

(以下、類型化して記載)

- ・生物の温度の耐久できる限界。
- ・消化器官のない動物(チューブワーム)。
- ・チューブワームの不思議さ。私が考えていた「生物」というものが、ずいぶん変わったから。
- ・地下生物圏、地球外生物について。
- ・エウロパの海について。
- ・生物を色々な事へつなげていくところ。
- ・地球外に生命が存在している可能性があるということ。
- ・太陽光の有無に目をつけたところ。
- ・深海に住んでいる見たことのない生物。
- ・生命の起源を科学で究明できるという事実。
- ・宇宙の未知な部分。
- ・太陽光以外にも生命エネルギー源になるものがあるということ。
- ・チューブワームが地球外にいる可能性があるということ。その可能性に至るまでの様々なデータの積み重ね、など。
- ・英語の教材で学習したチューブワームが、具体的なイメージになつて面白かつた。
- ・将来、長沼先生のような仕事につくのもいいなと思った。
- ・海底火山の下の仕組みは知らなかつた。
- ・そもそも動物の定義に反する食べない動物がいるということ。
- ・宇宙に生命(生物)の存在が証明されれば、宇宙人の説も有力になる点。
- ・計算上、理論上、生物がいるかどうかを考えると。
- ・地球という星が生命を生み出したこと。しんかい6500がエウロパに行くかもしれないこと。
- ・何が命の源なのかなどを考えるという、答えが出るか分からない問いに向き合うのは興味深いと思った。
- ・地球での実験が地球外生命の探索に直接結びついている点。
- ・長沼先生の考え方がすごくおもしろかつた。(自分には)海底をさらに掘るといふ考えがなかつたから、すごいなと思った。
- ・地上に生きる動物・植物・微生物の体重の合計よりも、地底・海底に生きる微生物のみの体重の方がはるかに重いということに関心を持つた。
- ・生物とは何かという問いについての考察。
- ・地球外と地球とは全く別のものなんだと思つていたけど、そうではないんだと思つた。
- ・私は宇宙人(生物)は必ずいると思つているので、エウロパの話のときにすごく興味がそそられた。
- ・序盤、生物の定義について考えていく部分で、論理的につきつめて考えていた部分。
- ・海底火山付近に未知(?)の生物種がいるということ。イオヤエ

ウロバにも地球上の生物と同種のものがあるという推測には興味があつた。生命ってすごくて、とても奥が深いと改めて分かつた。

- ・外なる物に興味を持つこと。
- ・思考する方法、そのやり方について。

4. 長沼先生の講義のメインテーマ(主題)について、どう思いますか。あなたの考えを書いて下さい。

(以下、類型化して記載)

- ・地球にも地球の外と同じような壮絶な環境があると知つて、未知の可能性を意外と身近に感じた。
- ・地球も宇宙の一部だから、地球に生物がいること自体で、地球外生物がいても不思議ではない。
- ・夢があつてかっこいいと思つた。
- ・本当にその通りだと思います。先生のお話を聞いていると、太陽ってすごいと思つました。南極のポストーク湖にもしかしたらすごいおもしろい生物がいるかもしれないと思うとわくわくしました。速く、穴が貫通すればいいのと思つました。
- ・生命についてのテーマは宇宙にも広がつてすごいと思つました。
- ・終わりがあつたのかわからないけど、すごく深いと思う。
- ・「可能性が地球の中にある」ということは、地球外生物は地球内生物に似ているのかな、と思つました。
- ・地球外生命の可能性は確かに地球にあると思つた。
- ・身近な生物が未知の生物発見につながるのがすごいと思つた。
- ・ちょっと抽象的?で分かりにくいけど、ものすごくひかれる。
- ・地球外に生物がいるような気がしてきつた。できれば進化してて独自の文化を持つていてほしい。
- ・いつも考えているものより広く・大きい、深い。
- ・地球外生命と地球上生命が根幹を同じにするとは限らないのでは。
- ・いろいろな方向から考えたりできそうで、おもしろいと思つた。
- ・逆説的でよくわからないですが、深い意味がありそうです。
- ・地球上での生命の存在をつきつめて考えることで、地球外生命体の可能性を探るといふのは画期的だと思つた。
- ・「どうゆうこと?」と思わせるような、人を魅きつけるテーマだと思つました。
- ・すごく良いと思う。僕らに科学の可能性、そして追求することの楽しさを教えてくれた。
- ・地球を知ることによって生命が存在するための条件というのを理解し、それをもとに地球外生命体を探すというの果てしないことだと思つた。
- ・話を聞いていくうちに(地球外生命体)がいたらいいなという漠然とした感じではなくても不思議じゃない、むしろないはずがないと思うようになった。
- ・生命の原点を考えさせられて、すごくおもしろかつた。
- ・テーマだけ見るとおかしき気がするが、おもしろそうだなと思つた。「生命」ってとても奥が深いものだろうと感じた。
- ・僕たちに科学の夢を与えてくれる、素晴らしいテーマだと思つた。
- ・最初は何を言っているのか分からなかつたけれど、講義を受けた後はその意味が分かつて、とても嬉しくなつた。
- ・先生のテーマに対する信念がすごいと思つました。
- ・宇宙へ目を向けることと、地下へ目を向けることは、実は同じようなことをしているんだなあとと思つて、おもしろかつた。
- ・宇宙に創られた生命は戦い続けます。
- ・常識を越えるものは手の届く範囲のもので見つけられるという、身近に感じられるものだつた。
- ・生物の世界はすごくおもしろいんだよということを伝えたいんだと思つた。あと、科学的な物事の考え方を教えてくださつたのかなと思つた。
- ・大きい視点で物事を考えるのもおもしろかつた。
- ・本当に私たちが知つている世界・私たちが生きている世界は狭く、地球は見た目よりも、もっともっと大きく広く深いのだと思

いました。

- ・地球に存在する生物を調べて論理的に分析し、地球外生命を探すというやりかたは、とても「科学」らしいと思う。

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……………44名 (42.3%)
- ②少し受けてみたい……………47名 (45.2%)
- ③どちらでもない……………9名 (8.7%)
- ④あまり受けてみたくない……4名 (3.8%)
- ⑤まったく受けてみたくない……0名 (0.0%)

6. 今回のような講義を聴いて、現代への視座(自然科学入門)に対する興味がわきましたか。

- ①大変興味がわいた……………32名 (30.7%)
- ②少しは興味がわいた……………57名 (55.0%)
- ③どちらでもない……………12名 (11.4%)
- ④あまり興味がわかなかった…1名 (1.0%)
- ⑤まったく興味がわかない……2名 (1.9%)

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。

(以下、典型的な回答のみ記載)

- ・地球外の生物みたいなあいまいな物を研究している人がいて、それが分かるのがすぐそこまで来ていると分かると感動した。
- ・陸上+海洋にいる微生物の量より、地下生物圏に住んでいる微生物が多いなんて、初めて知りました。正直、地下に生物が住んでいること自体、知りませんでした。本当にびっくりです。地球内部こそが最大の生物圏という言葉が強く印象に残っています。だってそんな事考えたこともなかったし、私の「当たり前」がひっくり返されました。先生の思考パターン(?)、「おきかえ」は、すごく勉強になりました。
- 他の星にも生命があるのでは? というのは私の中で、少しSF的な、そんな空想じみたイメージがありましたが、先生のお話を聞いてすごく身近に、現実的なものとして改めて感じました。学校の先生から、長沼先生は、「地球上でも生物が住むのに過酷なところを調べまわっている先生だ」と聞いていましたが、実際、その学校の先生のいわれる「生物が住むのに過酷なところ」の「生物」は、酸素を吸って二酸化炭素をはいて…といった、「私たちの様な生物」のことなんだなあ。と思いました。ようするに、生物といっても様々だ、ということが分かったということです。先生の話は本当-におもしろくて、1時間、ずっと前のめりで聞いてしまいました。改めて生物っておもしろいと思いました。
- ・おもしろかった!! チューブワームってヘンだなって思ってたけど、仕組みが分かって、よりヘンだなって思った。
- ・エウロパまで何とか「しんかい6500」を飛ばせることができるかもしれない、エウロパの氷を掘る技術があり、エウロパの表面の下の水圧が地球の約6.5km地点で「しんかい6500」が使えるという、ものすごい偶然で、もしかしたら生命が見つかるかもしれないというのが魅力的。
- ・考え方を深めることによってたくさんの発見いつながっていくということがわかりとてもよい経験だと思います。
- ・海の深い所にも生物がいて驚いたが、さらに悪い環境には微生物がちゃんと巣を作って生きてると知ってさらに驚いた。おれなら宇宙のどこかにある星でも何かの生物がいそうな気がする。その星で微生物くらいの小さな生き物を発見するので終わるのではなく、見たことがないような生物に出会えることを願っています。PS. いつか地下の実験室に行きたいです。
- ・考えてもみないことばかりだったので、初めて聞く事ばかりでおもしろかった。実は地球の中にそんな生物がいる、ということに驚いた。
- ・研究者として大切なのは「何を考えるか」は勿論、「どう考えるか」はなおさら大切であろう…と感じた。

→なぜ研究者を志したのですか? 教えてください。

- ・次から次へと発展させて新しいことを生み出すような感じで楽しかったです。
- ・分からないことは多いから、いろいろつきつめて考えてみたいと思いました。
- ・「地下こそは本当の生物圏、地球のエネルギー(水と熱)こそが生物を育てている」というのはとても驚きです。その水と熱を手がかりに地球外生物を探す、地球の中を手がかりに、地球の外を生物を探すというのは不思議だと思いました。また、そのような生物たちを利用した新たな技術が気になります。
- ・思ったよりも若い先生で驚いた。年齢が高い先生だから偉いとか、年齢が若い先生だから未熟、ということは一概には言えないなあと思った。また、宇宙飛行士になりたかったというお話も面白かった。
- ・最先端の研究の魅力というものを強く感じました。自分が将来同じ研究に携わることはないにしても、未知の世界を開拓することに関われたら面白いだらうと思います。
- ・普段の授業の応用は楽しかった。

に基づいて論理を展開する手法を提示し、その学習効果を検証していきたい。

クリティカルシンキングの技法を取り入れた思考力・考察力の育成は、自然科学を扱う日頃のさまざまな学習活動の中で育まれると考えるが、本稿で示したような科学者からの生の言葉が、興味付けや関心・意欲の面で大切である。日々の授業の地道な取り組みを継続しつつ、今後も生徒の知的好奇心を触発する実践を行いたい。

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 (2005)
- 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 (2006)
- 3) 長沼他, 言葉で伝える理科教育の可能性に関する研究(Ⅲ), 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.35 (2007)
- 4) 長沼他, 広島風土を題材にした理科教育(風土サイエンス)の研究(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.36 (2008)
- 5) 長沼他, 広島風土を題材にした理科教育(風土サイエンス)の研究(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.37 (2009)
- 6) 長沼他, 広島風土を題材にした理科教育(風土サイエンス)の研究(Ⅲ), 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.38 (2010)