

## 科学者の思考展開の教材化に関する研究（Ⅲ）

—「地球外生命が存在すると考えるわけ」をテーマに—

平賀 博之 長沼 毅 三好 美織 沓脱 侑記  
丸本 浩 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、「クリティカルシンキング」を主たるテーマとし、文部科学省による研究開発学校の指定を受けて研究に取り組んでいる。クリティカルシンキングは、「批判的思考」とも訳されるが、当校では「適切な規準や根拠に基づいた論理的で偏りのない思考」、「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」と位置づけ、他者の考えなどを鵜呑みにすることなく、じっくりと考え、課題を発見し、解決に向けて粘り強く取り組む態度や能力を育むことをねらいとしている。

学問の最先端に位置する科学者は、常にクリティカルシンキングを繰り返す現場に身を置いている。この研究では、科学研究の最先端の現場で活躍する本稿の著者長沼が高校生を相手に授業を行い、未知の課題を解決するために、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生徒に講義し、それを通して生徒が科学者の思考を追体験し、どのような思考の展開が必要となるかを考えるという手法を開発研究してきた。

3年計画の初年度では、大学の最先端の学問の現場で繰り返し広げられる「クリティカルシンキング」を生徒に追体験させることをテーマとして授業を実施した。テーマは「地球外生命の可能性」という未知の課題を設定し、授業の進行とともに、生徒も共に思考し、これまでに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」の手法を用いながら、もっとも確からしい答えに辿り着くまでの、思考を追っていく構成を取るという試みであった。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、どのように論理展開していくか、そうした思考の過程を授業の内容として盛り込む授業構成は、科学者への共感を生み、科学者の思考を追体験する効果があったことを報告した<sup>1)</sup>。

2年次では、生徒が未知の問題を解決するために科学的思考に基づいて論理を展開する手法を身につけるための方法として、生徒が自らを思考の主役として捉えることができるような授業構成を取り入れた。具体的には、授業者の長沼が科学者として活躍する姿を生徒にイメージさせることに加え、授業を受ける生徒と同じ年代からの思考の変遷をたどる構成を取ることで、生徒がより身近な存在として科学者を捉え、好奇心を抱く中で、科学者の思考過程に触れることができるように考えた<sup>2)</sup>。

3年次（最終年度）にあたる本研究は、過去2年間の研究で得られた知見に基づき、生徒が科学者の思考を追体験すること、そして生徒と同じ年代からの思考の変遷をたどる構成にすることに加え、最も確からしい答えに辿り着く手法、すなわち、どのような根拠に基づいてどのように思考していくかという実際に焦点をあてた構成によって、科学者の思考過程を生徒に伝え、学ばせる方法を探ることにした。また、授業後に1クラスを対象に質問やフリートークの時間を設定し、その効果についても検討した。

### 2. 高連携授業に向けての準備

昨年度の報告にも記述しているように、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<sup>3)～5)</sup>。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

Hiroyuki Hiraga, Takeshi Naganuma, Miori Miyoshi, Hiroshi Marumoto, Yuki Kutsunugi, Eiji Okamoto, Masashi Komoda, Masafumi Yamashita, Rinzo Kashiwara, Shinnya Tanaka, Yasuhiro Hayashi

A study of the teaching material based on scientist's idea. (3)

— Reason to believe that extraterrestrial life exists —

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<sup>6)~8)</sup>。「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、これまでの研究の中心に据えてきた。今年度もこれまでの研究の成果と手法を継承し、当校の研究開発でクリティカルシンキングを育成するための新教科として高等学校1年に設置している「現代への視座」自然科学入門の一環として、高大連携授業を実施した。昨年度の対象生徒は日程調整の都合で広島大学附属福山高等学校1年生5クラスのうちの2クラスに限定して実施せざるを得なかったが、今年度は、全員を対象として実施できるよう計画を立てた。

授業者である長沼とは十分な打ち合わせを実施し、「現代への視座」のカリキュラムの意図や構成、学習の進度や生徒の理解のようすなどの情報を提供し、綿密な準備のもと、授業を実施した。

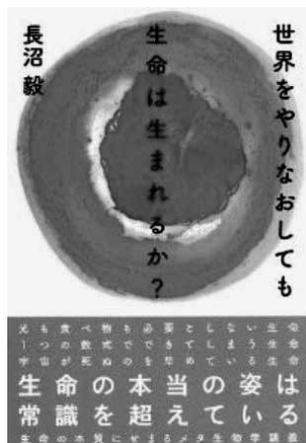
### 3. 授業の実際

授業は2012年11月14日5限に実施した。授業の内容を以下に記す。この研究の最大の成果はこの授業内容にあると考えるので、できるだけ省略することなく記述する。

#### ○講師紹介

当校は、ほかの学校ではやっていないような授業をやっています。今日は長沼先生に話をさせていただくのですが、長沼先生は2004年から、ずっと4年生にご講義いただいております。今年で9年目になります。昨年には、「世界をやりなおしても生命は生まれるか」という本が出版されました。この本は今の6年生が4年生のときに長沼先生の講義を受け、その後の先生と生徒たちのコラボレーションによって生まれた本です。図書館にも入っていますので、ぜひ読んでください。

今日は「地球外生命が存在すると考えるわけ」という題名で、科学界のインディージョーンズと呼ばれる長沼先生に、授業をしていただきます。科学者がどのように考えてものごとを進めているのか、そういうことをしっかりと学んでいこうということで、このような授業をお願いしています。特に、先生がどのような思考を経ながら色々な研究をされているのか、ということをしつかりと感じてください。



「地球外生命が存在すると考えるわけ」

広島大学生物生産学部 長沼 毅  
みなさんこんにちは。広島の生物生産学部の長沼です。今日は恒例の授業をさせてもらってありがとうございます。今日の授業の目的は「科学者の思考パターンを皆さんに知ってもらう」というものです。私がどのようにものを考えた結果、このような突拍子もない、「地球外生命が存在すると考えるわけ」という考えに至ったかを皆さんにお伝えします。そして、この50分の授業が終わった後で、皆さんが「地球外生命はいる」と思ってもらえると嬉しいなと思います。

ではまずは、自己紹介です。最近、いろいろテレビに出ています。少し前には「徹子の部屋」やNHKの「火星生命を発見せよ」にも出演しました。今、火星にはキュリオシティという探査機が行っていますが、今日は火星生命の話はしません。今日は別の星の生命の話をしましょう。

私は誕生日は1961年の4月12日です。この日は人間が初めて宇宙に飛んだ記念日です。この日に生まれるのは自分の意志では生まれられないので、これは両親に感謝しなければなりません。偶然とはいえこの日に生まれたことが、後の私の人生に大きな影響を及ぼしました。このとき飛んだのは旧ソビエト連邦のガガーリンです。当時はアメリカとソ連が宇宙開発競争をしていて、アメリカは非常に悔しがりました。当時のアメリカの大統領、ジョン・F・ケネディは非常に負けず嫌いな人で、「1960年代中に、アメリカは人を月に送る」と宣言しました。1961年の時点でアメリカはまだ宇宙に人を出していませんでしたので、8年で地球を一周どころか月まで送ると言うのは無茶振りですね。その後ケネディは暗殺されましたが、ケネディの遺志は受け継がれ、1960年代ギリギリの1969年にアポロ11号が月面への着陸を果たしたわけです。

1969年、月面着陸が7月、そしてその2か月後の9月には、採取された月の石が調べられました。この調査グループは、シドニー・フォックスがボスですが、原田馨さんという1人の日本人がいました。何故ここに日本人がいるのか。このとき原田先生は42歳ですが、この10年前に、原田先生は偉大な論文を書きました。それは生命の起源に関する、ミクロスフィアに関するものです。有機物、アミノ酸などをフラスコに入れ、それをグツグツ煮込んだら、大きさも構造も生物の細胞にそっくりなものができました。これが生命（細胞）の起源ではないか、という論文です。今ではさらに進んだ研究がおこなわれていますが、当時は生命の起源が分かった、人工生命が作れるのだということで騒がれました。このことが実はフォックスと原田のミクロスフィアという題で私の高校の時の生物の教科書に載っていたのです。私はそれを見て、ああ、これは面白いな、自分もこういう研究をしてみたいな、と思いました。私にとって運のよいことに原田先生は1977年に日本に帰って来られました。私が高校1年の時です。私は

原田先生のもとでこういう研究をしたいと考えて、原田先生のおられる大学へ進みました。それが筑波大学です。筑波大学には普通でいうところの理学部（自然学類）とは別に生物学類というのがあるのです。生物学類に行ったら原田教授がおられる、だから生物学類に進もう、と決心しました。

実際に入学して、原田先生の部屋を見つけノックして入り、「原田先生、新入生です。僕はミクロスフィアの研究がしたくてここに来ました」と言うと、先生が変な顔をされるのです。「僕の専門は植物ホルモンだよ」と。そしておもむろに「たぶん君が言っている原田先生は自然学類の原田先生だよ。」と言われるのです。私はこの時18歳です。18歳の少年に、これは過酷な試練でした、「え？まさか学部間違えた？」って。嘩然としましたね。その後、目当ての原田先生のお部屋を訪ねて、「原田先生、ミクロスフィアの勉強がしたくてここに来たんですが、学部を間違えました。」と言いました。そうしたら原田先生は、「いやあ、それはしょうがないよねえ。しょうがないから、今いるところで頑張りたまえ」と。あの時は突き放されたような感じがしましたね。でも今になって思えば、先生がおっしゃりたかったことも分かります。山を登るにあたって、一番大事なのは登り口ではないのです。大事なのは登り続けることであって、登り続けていれば頂上に着く。頂上はどこから登っても同じなのですよ、ということです。だから、当時の私が自然学類から登ろうと、生物学類から登ろうと、頂上は同じで、ミクロスフィアなのです、生命の起源なのです。実際今、私は51歳になりましたが、生命の起源を追い求めています。結局変わっていません。そういうことを原田先生は18歳の私に伝えたかったのでしょうか。

さて1977年には、他にも大事なことがありました。それは太平洋のガラパゴス沖の海底で、ある予言によって海底火山が発見されたのです。この時の発見が偉大だったのは、ある仮説に基づく予言によって発見されたことです。この発見によって、その仮説は仮説から理論に格が上がりました。その理論を「プレートテクトニクス」と言います。ある意味ではこの発見は予想の範疇でしたが、同じ時に変な虫のような生きものが発見されたことは想定外でした。それまで我々が持っていた深海のイメージは、生きものが少ない砂漠のような場所であるというものでしたが、海底火山のある場所にはこのような生きものがこんなに生えている。まるでオアシスではないですか。体長は数十cmから最大2mほどで、謎の深海生物、チューブワームと言います。

その2年後、私が18歳の高校3年生の時、さらにすごい発見がされました。最初に発見された海底火山は25℃前後のぬるいお湯でしたが、温度300℃程度の黒い煙のようなお湯を噴出する海底火山が発見されたのです。ここの水深は2500m。このような水深で高い水圧がかかると、水は100℃で沸騰せず、どんどん温度が上がって374℃、水の臨界点を超えても一度も泡がたつことがなく、どんどん熱いお湯が出てき

ます。この海底火山自体はまだ想像の範囲内でしたが、ここにもチューブワームがいたのです。しかもたくさん。この海底火山からは300℃のお湯がでていますが、深海の温度は2～3℃で、冷蔵庫の中よりも冷たい水がある。いくら海底火山から出るお湯が300℃といっても、1mも離れたら、すぐに温度が50℃～30℃に下がります。だからチューブワームが海底火山の近くまで寄って来られるのです。このチューブワームがどんな生きものか、誰も知らなかったのです。私が高校1年のときに見つかった、当時16歳、今から35年前、そして熱水噴出口での発見が33年前です。次は、この33年間で分かってきたことを皆さんにお話ししたいと思います。

チューブワームがどこにいるかと言うと、暗黒の深海底です。光合成ができないので植物ではありません。しかし、この生物はものを食べません。この動物は植物のように栄養を自給自足します。植物は太陽の光を浴びて光合成をしますが、ここは暗黒の深海底。だから私は暗黒の光合成と呼んでいます。光の代わりに海底火山に由来するエネルギーを使います。これはもう、かなり衝撃的な発見でした。

さらにもう一つ、重要な発見がありました。私が高校3年のとき、木星の衛星イオに火山活動が発見されました。イオはガリレオが発見した4つの衛星の中で木星に最も近い軌道を持つので、第1衛星と呼ばれています。第2衛星はエウロパと言いますが、イオと同じように火山活動が絶対にあるはずなのですが、それは見えません。なぜかと言うと、エウロパの表面が全部水で覆われているからです。火山があれば水が融けて液体の水になっているだろうということで、エウロパの表面は水ですが、その下に液体の水があると考えられます。この水を、私たちは内部海と呼んでいます。そして、この海の底にはもちろん、海底火山があるなど、私が高校3年のときと全く同じ問いですよ。地球の海底火山には謎の生物チューブワームがいました。エウロパにも海底火山があります。エウロパの海底火山にもチューブワームはいますか？って。火山のエネルギーで生きていける生物なので太陽は関係ありません。こういった問題意識は当時すでに出てました。高校3年生の私はこの疑問が大きく尾を引いてしまい、生命の起源もですが、こうしたことも研究してみたいと思いました。私はこういったことを胸に秘めて、筑波大学の生物学類に進んだわけです。

大学に入って3年目、20歳の誕生日にスペースシャトルが初めて飛行しました。私にとって大事ななのは、自分の20歳の誕生日にシャトルが上がったという事実です。自分はこれに乗るために生まれてきたんだなと思いました。そしてチャンスが訪れたのは、私が35歳の時に日本人宇宙飛行士の募集がありました。もちろん受けました。結果的には野口聡一さんが受かって、私は準決勝で落ちました。毛利衛さんが面接のときに聞くんです。「君が宇宙飛行士になりたい動機、モチベーションは何かね。」もちろん私はこう答えました。「自分

の誕生日はあの日のだから、自分が宇宙に行くのは当然でしょう。」毛利さんは言います。「いやあ、その日に生まれた人っていっぱいいるよね。」確かにそうなのですが…さらに毛利さんは続けます。「もし、長沼くんが受かったら、日本にとってどういうメリットがありますか。」当時私は潜水船で深海底に潜っていました。一人の人間が深海底から宇宙まで行くってすごいでしょう？だから、「こういう人間を日本から出すことに意味があると思いませんか。」と言ったら、毛利さんが「じゃあ僕が潜ればいいんだね」って。彼は7年後、本当に潜りました。これがよい機会になって、毛利さんとは今でも一緒にお仕事をさせてもらっています。今でこそあちこちでサイエンスカフェを開催しているのですが、日本で初めてのサイエンスカフェは、毛利さんと私でおこなったものです。

そして時間が経って、野口さんが初めて宇宙に飛んだのは40歳のときです。野口さんが宇宙飛行士になろうと思ったのも、私と同じように20歳の時らしいので、結局彼は20年かかって夢をかなえたのです。ひとりの人間の夢がかなうのに20年かかる。皆さんもこれから自分なりの夢、それが大きい夢であろうと、小さい夢であろうと構いませんが、夢をかなえるには時間がかかるということを知っておいてください。その時間を無駄に過ごすのではなくて、しっかりと努力したからこそ、野口さんはこうして活躍することができたわけです。野口さんは、2年半ほど早く飛べたはずでした。4週間後は自分が搭乗だ、というときに、そのシャトルが後14分で着地というときに空中で爆発したのです。シャトルはそれまで113回飛んでいます。113回飛んで、2回爆発して、14人死亡。誰もがシャトルは終わったと思ったのですが、野口さんたちも含めた皆さんの情熱と努力で2年半後に打ち上げを再開しました。114回目の再開飛行で勇敢にも野口さんたちが乗り込んで、素晴らしい働きをしたのが認められ、その後もう1度飛んでます。国際宇宙ステーションに、半年にも及ぶ長期滞在をして、いろんな仕事をされました。

野口さんが受かって私は落ちたんですが、この時他にも落ちた人は何人もいるのですが、そのうちの何人かはもう1回試験を受けました。そのうちの1人は今、宇宙にいます。星出彰彦さん。この画像は、先週のものですが、宇宙船の外に出て行う船外活動を行いました。こうやって日本人の宇宙遊泳の最長記録を更新したのです。

そして、落ちて何もなくて、ここにいて私がいるわけです。皆さんにはこういうことを知ってもらって、これからの人生、色んな困難とかチャンスにどう向き合っていくかを考えてください。

私は落ちてここにいてるわけですが、もう上を見上げられないですね、自分は地球から離れられないのだから、地球の表面をどこからどこまでも行ってやろうと思いました。南極、北極、砂漠、火山…あちこち行っているからインディージョー

ンズと言われるんですが…南極も、北極も何回も行きました。砂漠は毎年のように行っています。地球の上を歩きまわって、結果的にもともと深海に住んでるチューブワームが好きだったこともあったので、宇宙には行けないし、地球上も歩き回ったし、深海に戻ろう、と。私の原点は深海にあるんだと思います。因みにこれは「しんかい6500」という潜水船で、名前の通り6500mまで潜れます。そこの気圧は650気圧あります。この船は650気圧から、人間が乗っている1気圧のカプセル部分を守ってくれる船です。これに乗って私は深海生物に会いに行きました。もちろんチューブワームです。他の生きものもいっぱいいますが、今日はみなさんには、この生きものだけの話をします。チューブワーム、それはなぜならば、エウロパの海底火山にもこの生きものがいるということを考えたいからです。

さて、この生きもの、学問的には有鬚動物といって、れっきとした動物です。動物はものを食べる生きものですが、これはものを食べない動物です。この瞬間に矛盾してますね。そもそも、ものを食べるための消化器官（口・胃腸・肛門）がありません。でも栄養は必要ですから、栄養は自分で作ります。厳密に言うと、チューブワームの体内に住んでいる共生微生物が栄養を作ってくれます。この共生関係は非常に密接で、チューブワームから微生物だけを離して培養することはできません。その微生物が何らかの方法で栄養を作り出して、それがチューブワーム本体のほうにも行きわたるから、結果として何も食べずに生きていけるのです。お腹の中にいる微生物が、栄養を自給自足する謎、それを解くカギは、この生きものが海底火山に住んでいることにあります。今日の話の中で、ここが一番難しいと思うのですが、深海生物チューブワームについて。上にあった赤い部分、この部分がえらです。下にある白い筒、チューブ1本が1個体です。このチューブ自体はカニやエビの甲羅と同じような成分できていて硬いです。その中に赤いミミズみたいな部分があります。私は今、言葉としてバクテリアと微生物をごっちゃにして使っていますが、同じ意味です。中はバクテリアでぐちゃぐちゃです。チューブワーム1匹、1個体の体重の半分以上が微生物ということになります。大体7割～8割が微生物です。こうなるとどちらが本体か分かりませんね。

このチューブワームの赤い部分は魚と同じエラで、海水中から酸素を取り込みます。同時に、火山ガスの主成分である猛毒の硫化水素も取り込みます。猛毒ですが、チューブワームは特殊な解毒メカニズムがあるので死にません。それどころか、体の奥のほうに硫化水素と酸素を運んでやると、そこにバクテリアが待っている。そして硫化水素と酸素を反応させてエネルギーを得ることででんぷんを作ります。でんぷんを作るにはたくさんの反応があって、それぞれの反応に酵素やタンパク質、遺伝子が必要です。植物も持っているそれらとまったく同じものがこの微生物にもあります。つまり、で

んぶんを作るという意味においては、植物とこの微生物はまったく同じです。そもそも、植物の光合成はどこから始まったのでしょうか。恐らくそれはバクテリアによる光合成が起源です。太陽の光エネルギーを使う植物の光合成に対して、こちらは硫化水素という火山に由来するエネルギーを使って、植物の光合成と同じことをしている生物です。このことはもちろん微生物のみならず、チューブワームにもメリットがあります。チューブワームは微生物に硫化水素を届けることでエネルギーを得ている。この共生関係はお互いもう離ればなれでは生きていけません。

さて、では私たちが生きていけるのはなぜか、ちょっとチューブワームと対比して考えてみましょう。私たちが生きていけるのは誰のおかげか。もっと言えば、私たちは何を食べるか。ご飯を食べる、パンを食べる…ごはんだってパンだって、もとは植物ですよ。植物が光合成をすることによって、太陽の恩恵を被るわけです。ということは我々は植物を介して、太陽のおかげで生かされていると考えることができます。いやいや私は牛肉を食べます、と言ったところで、牛肉…牛だってもとは牧草を食べるわけですから、そういった意味では究極的には我々は太陽を食べて生きているわけです。これが小学校、中学校、高校を通して教わる地球生命の実状です。ところが、チューブワームのことを一旦知ってしまうと、チューブワームとそのお腹の中の共生微生物が生きていけるのは海底火山のおかげですよ。

それでは海底火山がある星を探そうということで、話が戻ります。私が高校3年の時に発見された木星の第1衛星イオの火山。そして第2衛星エウロパの氷の下に必ずや海底火山があって、内部海がある。内部海の海底には海底火山があって、そこにチューブワームはいるのでしょうか？それはわかりません。わからないなら調べようか、というところが、それが33年前、18歳の私のはじまりです。

今に至って、2012年の現在、この話はあながちSF小説の話ではなくなってきました。この33年で科学として語るできるようになってきたのです。具体的に考えると、まずエウロパの氷に穴を開けなければいけません。

地球の南極は日本の37倍の面積がある大きな大陸です。そこに氷が乗っかっていて、その厚さは平均で2000mで、場所によっては4000mにもなります。その南極の氷の下には、液体の湖があることがわかっており、全部で150個以上発見されています。その中でも一番大きいのがポストーク湖で、琵琶湖の面積の20倍以上もあります。このポストーク湖めがけて、ロシア人たちが穴を掘っていましたが、この穴が今年の2月に貫通しました。氷の厚さはなんと3769mです。その下の湖に到達して、水のサンプルを採りました。この水は上に氷が乗っかったのが恐らく今から1500万年～3000万年前です。過去1500万年とか、3000万年の間、この湖は隔離されています。恐らく、その中では独自の進化があったでしょう。

どんな進化があったかが、これから分かるのです。ただ、残念なことに南極は冬になったので、この穴が貫通した次の日に、みんな一旦撤収しました。次の夏が来るのは来月です。いろいろなサンプルが上がってくるのは、恐らく年明けの1月か2月でしょう。その頃になれば、皆さんのもとにポストーク湖からのニュースが飛び込んでくると思います。それを是非楽しみにしておいてください。南極の他の湖についても、穴を掘っていく計画が出てきていますが、もちろんこれは南極で終わる話ではなくて、エウロパに行ったら…の話になります。この技術を用いて、エウロパの氷に穴を開けましょう。因みに南極のポストーク湖の場所は、地球上でもっとも低い温度が記録されています。-82℃です。ここで人間が働いて穴を掘ったので、エウロパも寒いのですが、なんとか頑張らなくて穴を開けよう。

穴が開いたと仮定します。そうすると次に考えるのは、海に潜ることです。エウロパの海は深さ50000mです。地球の海で一番深い場所が11000mですから、50000mという深さは絶望的な深さに聞こえるでしょうか？所詮距離は、時間をかければ克服できます。本当の問題はその深さでの水圧です。水圧は重力に比例します。エウロパの重力は地球の13%ですから、水深50kmの水圧は、 $50000\text{m} \times 0.13 = 6500$ 、地球の海の6500mの水圧です。6500といえば、日本が誇る潜水船、「しんかい6500」を使えば行けるではありませんか。ただ、これは潜水船であって宇宙船ではないのでどうやって運ぶのというと、今度はスペースシャトルの登場です。スペースシャトルはもともと、宇宙トラックとして作られたので、トラックの荷台に相当するベイロードベイは長さ18.3m、直径4.6mです。しんかい6500は長さ10m弱で、縦横3m、4mです。シャトルは29トンまで運べます。しんかいは26.7トンです。ぴったりです。スペースシャトルはもうその計画が終了しましたが、機体はあと3機残っています。そのうちのどれかを使って、本当の意味でのシャトルのラストフライトをしてほしい。そしてしんかい6500を載せてほしい。しんかいは平成元年から動いていますから、今年で24年目、そのうち引退するでしょう。そのとき、本当のラストダイブはエウロパの海に潜ってほしいと思います。とりあえずシャトルで宇宙ステーションまで運んで、そこでしんかいにロケットブースターの取り付け作業をする。あとはもう1ブーストか2ブーストすれば、地球と木星の位置関係にもよりますが、恐らく10年足らずで到着するでしょう。到達して、その時に穴があいていればエウロパに潜って、エウロパのチューブワームを発見するのではいかと期待しています。恐らく、まず飛ばすのに、今から10年くらいはかかるでしょう。それから木星に行くのに10年。トータルで20年から30年後の話になると思います。皆さんの年齢に、20歳から30歳を足してください。その年齢は、社会の中堅ですよ。皆さんが社会の中堅として活躍しているところにこの話が出てきます。是非みなさんにこれをやっ

てほしい。という私からの希望を込めて、今日の話が終わりたいと思います。

#### 4. 質問とフリートーク

授業は5限の50分の時間いっぱいを使っておこなわれたため、質問を受けることができなかった。場所を変えて直後の6限に、4年C組1クラスを対象にして、質問とフリートークの時間を設定した。そのQ&Aを2組と、以降は紙面の関係でQのみを記す。

Q：深海の生物は白とか黒とかのイメージがあったのですが、チューブワームのエラが赤色をしているのは普通なのでしょうか。

A：あれは異常です。エラが赤い理由は血液ですね。海水中に溶け込んでいる酸素を血液に取り込むときに、ヘモグロビンにくっつける。ヒトのヘモグロビンと違うのはチューブワームのヘモグロビンは分子のサイズが10倍大きいことです。ヒトの場合、硫化水素が存在すると、ヘモグロビンの酸素がくっつく部分に先に硫化水素がくっついてしまいます。そうなるともう酸素はくっつくことができません。そのため、ヒトは硫化水素を吸うと体に酸素が行かないから窒息して死にます。チューブワームのヘモグロビンはサイズが10倍大きいので、酸素をつける場所と硫化水素をつける場所が別々にある。ヒトのように背骨がある生き物は、赤い血を持っています。背骨がない生き物は、そもそも血がないか、あっても青か緑色をしています。チューブワームは例外的に赤い血を持っているわけです。それがどういった進化の過程を経たものかはわかりません。でも結果的に彼らは赤い血を持って成功しているわけですね。非常に面白い、例外的なことだと思います。

Q：チューブワームはどうやって殖えていくのですか。

A：非常に良い質問ですね。チューブワームはひとつの管がひとつの個体になっているのですが、オスメスが別々の“雌雄異体”です。メスは卵巣を持っているし、オスは精巣を持っている。普通の生き物と同じように受精します。雄が海水中に精子を出すと、どういうしくみかわかりませんが、精子が海水中を移動して雌の卵子と受精します。受精すると、受精卵が海水中にばら撒かれ、潮の流れに乗って漂って、着地した先に運よく海底火山があったらそこで生きます。運よく海底火山に着地するものは少ないだろうから、99.9%くらいは死ぬんじゃないかと思っています。因みに、受精卵が孵化すると、最初に出てくる幼生は小さいです。はじめはまるでゴカイの幼生のような感じです。チューブワームとゴカイは割と近い動物だと考えられているので、どちらもダルマさんがしめ縄を付けたような形をしています。学問的にはトロコフォア幼生といって卵黄があって、卵黄で

30時間は生きられます。それを過ぎると、なんとか硫化水素を吸って生きるモードに切り替えなければならないので、それまでに硫化水素が出ているところにつかないといけない。我々の研究ではもっと面白いものがあるって、硫化水素はよく卵が腐った臭いと言われますが、卵が腐って硫化水素が出るのなら、もっと大きい生き物が死んで腐っても硫化水素が出るはずですよ。例えばクジラが死んで、その死体が海底で腐ると、ものすごい大量の硫化水素を出します。この硫化水素におびき寄せられて…というか、たまたまそこに着地したチューブワームの幼生がいたら、そこでうまく大きくなれるのではないかと。クジラの死体を探し潜水船を使ってクジラの死体をひっくり返してみると、本当にチューブワームが居たんです。クジラの死体は世界中の海底に何か所か見つかっていて、そういった研究もずいぶん進んだので、海底火山がなくてもクジラの死体があればうまく生きていけるんじゃないかと言われています。

Q：チューブワームは不思議な生物ですが、先生が知っておられる中でもっと不思議な生物は何ですか。

Q：チューブワームの中の微生物は細胞に侵入したとさっきおっしゃいましたが、他の生物でそういう例は考えられないのですか。

Q：深海魚などを釣り上げると、水圧の変化で破裂するというのを聞いたことがあるのですが、チューブワームも破裂するのですか。

Q：チューブワームを食べたことがあるって本当ですか。

Q：この世から男がいなくなるって本当ですか。

Q：もし人類が消えたとしたら、どのような可能性が考えられますか。

Q：太陽がいつかなくなって、引力などがなくなったら、地球などの惑星にどのような影響がありますか。

Q：ブラックホールってどうなっているんですか。

Q：鉄の化合物が足の裏についた貝が深海にいると聞いたんですが、チューブワームと同じような生物ですか。

質問が次から次へと出てくる状況で、6限の時間いっぱいを使って、内容を深めることができた。生徒からは、どのような質問を出しても、的確に答えが返ってくるように驚いたという声も聞かれた。

#### 5. 生徒へのアンケート結果からの考察

生徒の反応は、授業後にアンケート紙によって調査した。表1に、アンケートの集計結果を示す。

「理解できた」、「興味があった」、「大学で今回のような講義を受けたい」の3項目とも、質疑応答やフリートークの時間をとった4年C組の反応が高い結果が見られる。疑問を明らかにして、それに対して科学者の

言葉で答えてもらう経験は、生徒の向学心を高める効果があったことは容易に想像できる。また、4年C組以外の生徒についても、いずれの項目も多くの生徒が満足できる回答を示しており、授業が生徒に好意的に受け入れられたと考えられる。

表1 授業後のアンケート結果

特別授業 実施日：2012. 11. 14(水)  
5限 13:40～14:25 4年生全クラス 於 MMH  
6限 14:40～15:30 4年C組 生物教室  
＜アンケートの趣旨＞  
長沼先生の特別講義を受けて、皆さんはどのような感想を抱きましたか。以下の質問に答えて下さい。

＜アンケート集計数＞

A組	B組	C組	D組	E組	合計
35	34	39	38	33	179

1. 今回の長沼先生の講義の内容は理解できましたか。

組	A	B	C	D	E	学年
①よく理解できた	22 (62.9)	16 (47.1)	31 (79.6)	23 (60.5)	15 (45.5)	107名 59.7%
②まずまず理解できた	12 (34.3)	15 (44.1)	6 (15.3)	13 (34.2)	15 (45.5)	61名 34.1%
③どちらでもない	1 (2.8)	2 (5.9)	2 (5.1)	0	3 (9.0)	8名 4.5%
④少し理解できなかった	0	1 (2.9)	0	2 (5.3)	0	3名 1.7%
⑤まったく理解できなかった	0	0	0	0	0	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。

組	A	B	C	D	E	学年
①大変興味深かった	27 (77.1)	24 (70.6)	31 (79.5)	23 (60.6)	15 (45.5)	120名 67.0%
②少しは興味がわいた	5 (14.3)	8 (23.5)	7 (17.9)	11 (28.9)	14 (42.5)	45名 25.1%
③どちらでもない	3 (8.6)	2 (5.9)	1 (2.6)	4 (10.5)	3 (9.0)	13名 7.3%
④あまり興味がわかなかった	0	0	0	0	1 (3.0)	1名 0.6%
⑤まったく興味が持てなかった	0	0	0	0	0	0名 0%

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。

組	A	B	C	D	E	学年
①ぜひ受けてみたい	26 (74.2)	30 (88.2)	36 (92.3)	27 (71.1)	16 (48.5)	135名 75.5%
②少し受けてみたい	8 (22.9)	3 (8.8)	3 (7.7)	10 (26.3)	16 (48.5)	40名 22.3%
③どちらでもない	1 (2.9)	1 (3.0)	0	0	1 (3.0)	3名 1.7%
④あまり受けてみたいくない	0	0	0	0	0	0名 0%
⑤まったく受けてみたいくない	0	0	0	1 (2.6)	0	1名 0.5%

表2 授業後のアンケート結果 (記述)

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。

＜A組＞

- ・チューブワームと惑星を結びつけたの話が興味深かった。
- ・極めて合理的に地球以外に生命体があると仮定したこと。
- ・エウロパのチューブワームに会うために、いろいろな可能性を考えていること。
- ・深海にチューブワームのような生物がいるなんて本当にびっくりした。どんな風に成長するのか気になった。
- ・チューブワームという生物に注目し、そこから宇宙へと視点を広げていったところ。
- ・植物のような動物であるチューブワームが深海に存在している点。
- ・色々な経験を今に至るということ。

＜B組＞

- ・宇宙に地球と同じような、地球外生命体が存在している可能性があるということ。
- ・光のない過酷な環境で生きる生物がいること。
- ・科学的な思考の組み立て。
- ・深海生物や海底火山がとても印象的でした。
- ・地球外生物の存在が科学で具体的に説明されようとしていて、常に研究や探査が進んでいるという点。

＜C組＞

- ・チューブワーム内の細菌は、地表にも存在するかどうかということ。それに、地球外生命がいるという根拠についてすごく興味を持ちました。
- ・チューブワームがどうやって深海に住んでいるのか。また、それを知ると、本当にエウロパに生物がいそうで、とてもワクワクした。
- ・地球の外に、人のような知能をもった生物もいるのか気になった。
- ・チューブワームが発見された海底火山は、ある理論(?)にもとづいて、調べて発見されたとおっしゃっていた「ある理論」とはどういったものなのか、興味を持ちました。
- ・生命の起源というテーマについて、宇宙と生物など多くの視点から話すことによって、最終的に1つの答えに行き着くということがおもしろかったです。
- ・今まで火星には生物がいるかもしれない、ということは何度も聞いたことがあったが、他の星にもいるかもしれないという点。

＜D組＞

- ・解明困難な生物(植物のような動物)がいること。しかもそれが「イオ」にもいるかもしれないこと。
- ・チューブワームが本当に他の星にもいたら、とてもおもしろいと思いました。また、南極の氷の下の湖の中で何か発見されるのを期待しています。

＜E組＞

- ・話のスケールが大きかった点。
- ・海底火山のエネルギーを使って、自給自足できる動物について興味があった。
- ・南極、北極、砂漠、深海、そして宇宙にまで行こうとした長沼先生。

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。

＜A組＞

- ・空想事のようなことが、どんどん現実的になっていくって感動した。
- ・大変興味があり研究したいと思った。
- ・とてもおもしろいです。本が読みたいです。
- ・興味はあるけど、わかっても生活に役立たないかも。
- ・授業で取り上げられることがなかったのでおもしろかった。
- ・その考えに至るにはすごく大変な知識がないといけないと思った。

＜B組＞

- ・地球と同じような環境があって、その場所で生きていける生物が地球上にいるということから、たぶんいると思う。
- ・大胆な発想と長年の実験・研究に基づく面白いものだと思う。歴史に残るような発見をしていただきたい。
- ・もう少し地球生命体について学習したいと思いました。
- ・地球外生命がいるかどうかは深く考えたことはなかったけど、おもしろいテーマだと思ったし、これからの発見を楽しみにしたいです。
- ・そのとおりだと思う。話を聞いて私もそうじゃないか、と納得した。

＜C組＞

- ・自分のやりたいことをしているのがすごいと思いました。
- ・僕は地球外生命体はいないと思ってたけど、この講義を聴いて、可能性はあるなと思った。
- ・宇宙生物というのは、これからの生物学にとっても重要だと思うので、とても興味深かった。
- ・長沼先生の講義を聴いて、私も地球外に生命が存在すると思いました。でもどちらが先に出現したのかが気になります。
- ・原始的な生命なら存在していると思う。ただ、酸素が作れなさそうなので、全く違う仕組みで生きているとは思っている。
- ・非常に面白いと思う。2,30年後に実現されるかもしれないこと(エウロパに穴を掘ること)が本当に起きてほしいと思う。

＜D組＞

- ・地球外生命体と聞いて、エイリアン的なものを思い浮かべて信憑性が無いなと思ったけど、確かにチューブワームのようなものならいってもおかしくない気がした。
- ・「地球外生命体」僕はいると思います。生物の解明が進むにつれて、多くの謎が生まれてくると思います。
- ・楽しめた。海底の神秘はすごい。
- ・私も地球外生命体はきっといると思います。それは私たちが見たことのないようなぞの生物かもしれないけれど、きっと人間のように進化を上げ、生活していると思う。
- ・地球とは違う構造の生命がいると思う。
- ・誰もが不思議に思うことを取り上げていて、興味がわきました。
- ・おもしろいし、もっとくわしく知りたくまりました。

＜E組＞

- ・自分も地球外生命体というのに興味があるので、ぜひ見てみたいなと思った。
- ・規模の大きい話かと思ったが、話の足がかりが地球のことであり、聞きやすかったので良かったと思う。
- ・興味がある。自分が大学生になるのが楽しみだ。
- ・今までは地球外生命体は信じていなかったけど、今回の講義でちゃんと理由があることがわかり、納得しました。
- ・宇宙ではまだわからないことが多いから、少しの発見が、これから先に何をもちたらすのか楽しみです。宇宙に生命がまだいるとすれば、それは人の未来に必ずつながると思います。
- ・海底とか宇宙とか簡単に見ることができない場所の生命体は謎が多いから興味深いし、もっと知りたかった。
- ・すごく現実味が無いっていうか、はてしないっていうか、不思議な感じがするけど、木星にチューブワームはいると思います。

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。

＜A組＞

- ・最初あまり話のつながりがわからなかったのが、最後で一つになって感動した。

- ・一つの疑問や興味で人は変わることがわかった。
- ・長沼先生というテレビにもたくさん出ている有名な先生の話を開けてとてもよかった。話もおもしろいし、何より、あの人は様々な体験をされておられ、その体験談を聞いたのは、とても貴重で、ためになった。僕も様々なチャレンジをしていこうと思う。
- ・自分の誕生日がもとで、夢が膨らみ道が開けるのは良いことだと思った。
- ・「しんかい」って意外と小さいなと思った。もっと多人数で探索できる機体ができればいいのに。また番組を見てみようかなと思った。
- ・一瞬、広大に行こうと思いましたが、やっぱり医者になりたいのでがんばります！！
- ・今日だけなんて残念だなあと思った。また特別講義をひらいてほしい。
- ・知らないことが多かったけれど、授業で習ったことなどが応用されていて、そういうところで、このことを使うのか、と思った。
- ・あまりこの分野に関わることがなかったので、興味深かったです。お話しもおもしろくて、またお聞きしたいです。(C組が羨ましいです……)
- ・UFOはいますか？ものすごくおもしろかったです。宇宙飛行士になつていたかもしれないですね！！
- ・科学的にこのテーマを考えたことが無かったので衝撃を受けました。授業ですることのない講義を受けられて楽しかったです。
- ・考え方が私にはできないようなものだなと思った。すごく単純なような複雑なような感じだった。

#### < B組 >

- ・いつもの授業では教えてもらえない内容を、長沼先生という超有名な先生から教えてもらうことができて良かった。また、今回のような講義を受ける機会があれば受けたい。
- ・普段はあまり地球環境などに興味をもたないが、今回は身近なことになって、積極的に知りたかった。
- ・今まで生物は地球以外では発見が難しいと思っていたので、太陽系内で生物がいる可能性があるのに驚いた。
- ・自分は理系系の難しい話は嫌だけど、最後まで楽しくきけたので良かった。
- ・将来、理系分野に進学したいという思いが強くなりました。
- ・難しい話題なのに、おもしろく、わかりやすい説明だったので、よく理解できたり、興味があって、もっと知りたかったです。また先生の講義を受けたいと思えました。
- ・とてもおもしろくて、興味を持って聞いた。ためになったし、意欲がわいたと思う。
- ・とてもわかりやすい講義でした。宇宙のことについて余り興味がなかったけれど、今日の講義を聴いて、とても興味がわきました。また、自分でもインターネットで調べてみようと思いました。
- ・地球と宇宙の衛星が海底火山というところにつながっているようで、面白いなと思いました。普段、なかなか聞けない話が聞けて貴重な時間でした。
- ・興味のあることや気になることを次々と深めていくことは、大変だけど、やりがいがありそうだなと思いました。
- ・長沼先生の話はとてもおもしろかった。先生自身のこれまでの人生や、先生の考える考えも、とても興味があった。自分の夢や、やりたいことにもとづいて世界をとびまわると先生はかっこいいなと思った。
- ・科学者の思考回路って複雑だと思った。
- ・とてもおもしろい講義でした。テレビで見ていた話題の深いところまで聞いて、すごく有意義な時間を過ごせました。ありがとうございました。

#### < C組 >

- ・今日の講義はとてもおもしろかった。今までもこういったことに興味があったが、さらにいろいろ知りたくなりました。
- ・これまでにない最高の授業でした。まさしくbestでした。地球外生命体というから火星とかかかと思ったけど、地球内でも見られたチューブワームかもしれないと思ってもよらなかつた。自分はずっと工学系に進みたいと思っていたけど、こういうのも良いと思った。とくにエウロパとかのことをしたいと思った。
- ・とてもおもしろかった。また、自分もいろいろなことに興味をもっていきたい。長沼さんは話しも面白くて、分かりやすくすごい人だなと感じた。
- ・もし、複数種の何らかの生物がエウロパにいたとして、エウロパに食物連鎖はあるのかということが気になった。P.S.ヨーロッパ(Europe)がエウロパとしか読めない。
- ・とても将来が楽しみになりました。まだわかっていない生物もたくさんいて、それが地球外にもいるとなると、調べたいものです。先生も高校生のように今の道を決断されたので、僕らも遅くないかなと思います。
- ・色々なことをやって結びつける思考が面白いと思った。色々な経験をして知識を蓄える行動力が大切だということを知った。なぜ生物がいるのか不思議に感じた。
- ・将来に自分も宇宙に関係する仕事をしたいと思っていたので、さらに興味がわいた。
- ・自分が生きているうちに地球外生命体が見つかる可能性を知ったので長生きしようと思った。また、夢を叶えるためには、それなりの時間と努力が必要だと肝に銘じておこうと思う。
- ・人間がこれからどうなっていくのか、とても気になる。DNAに突然変異の蓄積がおこることは知っていたが、たしかにそれによって人間でない別種が生まれることは考えてなかった。その時人間はどするのかが、また別種にはどんな特徴があるのか、気になることはたくさんあるが、自分は寿命があるので知ることができないのがとても残念です。
- ・色々な人が、まだわからないことを発見するために努力されていることを知ることができて、すごいなあと思えました。
- ・やっぱり未知の世界について色々考えて、体験してみたりするのは楽しそうだなと思った。

- ・大学の先生はとても賢い人なんだなと思いました。大学に入って大学の先生の講義をぜひ聞いてみたいなと思いました。
- ・もともと興味があった内容でさらに興味がわきました。チューブワームの共生微生物が細胞の中にいるということにも驚きました。ぜひ「しんかい6500」をスペースシャトルとともに宇宙に持って行き、チューブワームが地球外にいるのかを調査してほしいです！お忙しい中ありがとうございます。
- ・6時間目に受けた授業で先生がみんなからの質問に的確に答えていて、先生の知識量の多さと、まだ勉強会などをして勉強されていることがすごいなと思いました。
- ・講義内容すべてが初めてきくことばかりで、思わず聞き入りました。深海から宇宙まで話がつながるなんて、まさか思ってませんでした。そのようにな少し謎めいた話について知りたいという気持ちがすごいわいてきました。
- ・6時間目の質疑応答も面白かった。地球外生命体にも興味は湧いたが、深海の生物の仕組みや、質疑応答で出た、人間が今後どうなっていくかがとても気になった。
- ・おもしろかったです！！写真がたくさんあって興味がわきました。チューブワームがどうやって岩にくっついているのか聞きたかったです。宇宙と深海は両方とても不思議なものという面がよく似ていると思いました。(裏書きのメモ)

人間の亜種という話について、島国にいる民族ほど独自の発展が大きいので、日本人はそのうち亜種になってしまうのでは？と考えました。オーストラリア、イギリス、ニュージーランドなども。

- ・また、気候が特殊なところ(砂漠、極寒の土地など)の人も遺伝子が劣性だったら→人口が減る→少数派→迫害される(迫害は人間特有?)という流れになり、今のままではいられないかもしれない。
- ・地球外生命体というテーマを中心に宇宙空間、地球、深海など、あらゆる視点から実際に経験されたことを話してくださり、自分の生活する世界から考えると実感が湧かないが、かけ離れた世界だからこそ興味がわいたし、不思議に思うことばかりなのでもっと勉強して知ってみたいと思った。
- ・人間は地球上では何でもできて、地球のことなら何でも知っていると思っていたけれど、深海には未知の生物や現象があることを知ってびっくりしました。
- ・大学の先生の講義がありますときいて、また眠くなる長い話をきかされるのかなと思っていたけれど、とてもわかりやすく面白い話で楽しかったです。ありがとうございます。あと、サインほしかったです。
- ・初めて聞く言葉もいっぱい出てきたけど、とてもわかりやすかったです。C組だけ特別に授業をして下さった時のお話もとても面白かったです。

- ・広い範囲の知識をお持ちで、そんな研究者がたくさんいると思うのですが、それでもまだまだわからないことがあるんですね。研究が進むにつれて後々の研究者が大変です。
- ・質問内容がかなりアバウトだったのに、丁寧に答えて下さり嬉しかったです。チューブワームはバクテリア・葉緑体(これも元々バクテリアだとして驚きました)とも違う第三のバクテリアだと知ることができたことが今日一番学べたことです。今日の話ではあまり出てこなかった宇宙の話(太陽やブラックホール)も聞けてすごく参考になりました。

6限の質疑応答では、あまりいつも日常では触れないような様々な種類の分野の話がたくさん聞き、学べて良かったです。ありがとうございます。あと、地球外生命体もいれば早く見てみたいです。(今日はチューブワーム(地球内生命)の話の印象が強かったので……)

#### < D組 >

- ・大学で色々なことを研究してみたいと思った。
- ・普通の授業でも今日のようなワクワクする授業をしてほしいと心から思った。
- ・画像や詳しい説明があって、見ているだけでもおもしろかった。
- ・化学や物理だけでなく生物の分野にも目を向けてみたいになりました。
- ・僕も宇宙には生物がいると前から思っていたが、科学的に根拠があると聞いてとてもワクワクしています。とても楽しかった。
- ・一番になれなくても自分の道を究めることで楽しめるんだなと思った。
- ・一つの主題について根拠を見つけ出しあのように説明できるのは自信と努力が必要だと思った。
- ・とにかく話に引き込まれて、へー！とか、そうなんだ！とか、新しい発見や驚きがたくさんありました！南極の湖については近いはなしだから年明けがたのしみだけど、しんかい6500のlast dive、スペースシャトルのlast fly……大人になったときには実現できていければいいなー！とても楽しみです。
- ・自分の生態観が壊れて、おもしろかった。もっといろんな面白い生物を知りたいと思った。
- ・深海から宇宙まで行くことができるようになった人類はすごいな、と改めて実感した。これからの科学の発達で楽しみになった。
- ・どの話もすごく面白くて興味深いものばかりでした。宇宙とか、すごい。
- ・チューブワームが飼いたいです。

#### < E組 >

- ・ロマンを感じた。しんかい6500の健闘を祈る。
- ・元々、地球外生命体に興味を持っていただけで、さすがに実在はしないだろうと思っていた。しかし、今回の講義を聴いて、地球での生命の暮らし方という自分にとって新しい視点でこのことを捉えようと、実在するのでは？という考えも生まれてきた。全く別の新しい視点でものを捉えることの大切さを学んだ。
- ・生物学に進んでみたいと思った。
- ・僕は宇宙に興味があるから、星の話はとてもおもしろかった。

- ・長沼先生のように働きたいと思った。生物ってとても面白いと思った。宇宙に行きたい!!「生物」に興味がわいた。6限目も長沼先生の授業を受けたかった。
- ・考えたこともないことを考えさせてもらい楽しみながら講義を受けることができた。
- ・科学は苦手だしよくわからないけど、これから先、広がっていく可能性が1番高い科目だと思う。もしチューブワームが木星にも本当にいたら、それからどんなことが分かって何が見つかるのか興味わいた。また、講義にいらして下さい。
- ・私たちが全く知らないようなことであっても、簡単にわかりやすい説明で、私たちが興味を持ちやすいような講義で、大変楽しかったです。
- ・宇宙に行った野口さん、毛利さんと一緒にいた写真を見て、長沼先生ってすごい人なんだと思った。
- ・とても楽しかった。地球外生命体の話は夢だと思っていたけど、現実化しそうでわくわくした。20年後が楽しみです。
- ・エウロパが氷で覆われているっていうのが、まずとっても驚きでした。その下に内部海があるのもびっくり。はやく、しんかい6500で木星に行ってほしいです。チューブワームはいる!はやくみつけてきて!
- ・とても面白い内容でした。私は自然科学が好きではありませんが、今回の話にとても引き込まれ、自然科学に少し魅力を感じました。
- ・私はチューブワームが(宇宙に)いるとは思わない。宇宙にはまだ発見されていない原子とかがあると信じているし、そんな中で地球と同じ生物がいるとは思えないからです。
- ・でも、地球外生命体は必ずいると思うし、これがきっかけでもいいから「宇宙人」の存在を証明してほしいと思います。楽しかったです。

表2には「どのような点に興味を持ったか」、「講義テーマの自分の考え」、「授業に対する感想」の3項目について記述させた内容を示す。

記述においても、4年C組の生徒は、内容でも文章の量においても、他のクラスよりも充実しているようすが見られる。C組以外の生徒からは、自分たちもC組のように質問の時間を作ってほしかったという意見も散見される。

高大連携授業では、今回は約200名を対象とする一斉講義の形態で実施したが、今回同様に大きな規模での生徒を相手に講師が授業することが多い。より効果的に生徒の意欲や向学心を引き出すためには、全体講義の後に、希望者を集めての質疑応答や顔を確認しながら話ができる規模でのフリートークなどを実施することが効果的であると考えられる。

この研究の主題である科学者の思考過程に関わる記述には、表中で下線を引いて示した。「色々なことをやって結びつける思考が面白いと思った」、「全く別の新しい視点でものごとを捉えることの大切さを学んだ」など、科学者によるクリティカルな思考過程に触れて、そのことが印象に残ったという記述が見られる。

また、「極めて合理的に地球以外に生命体がいると仮定したこと」、「科学的な思考の組み立て」、「地球外生物の存在が科学で具体的に説明されようとしていて、常に研究や探査が進んでいるという点」、「宇宙と生物など多くの視点から話すことによって、最終的に1つの答えに行き着く」といったことに興味を抱いたという記述は、この授業のねらいが生徒に伝わったことが読み取れる。

「地球での生命の暮らし方という自分にとって新しい視点でこのことを捉えると、実在するのでは?という考えも生まれてきた。」は、この授業により新しい

視点を獲得し、複眼的な視点から思考することができるようになった姿であると考えられる。

中には、「私はチューブワームが(宇宙に)いるとは思わない。宇宙にはまだ発見されていない原子とかがあると信じているし、そんな中で地球と同じ生物がいるとは思えない。」のように、自らの主張を押し通す記述もある。と結論を導く姿勢は、科学的にはクリティカル・シンキングとして妥当とは言えないが、こうした、ある種の反骨精神を示すことができることは、将来に向けて独創性を持つことにつながるのではないかと感じる。

総じて、それぞれの生徒の記述や授業後の会話等からは、普段の授業では得られない、貴重な思考体験が得られたことがうかがえる。確実に授業の意図が浸透していると感じている。

## 6. おわりに

この研究の授業だけでクリティカルシンキングの能力や態度が身についたり、科学者と同様の思考ができるようになるとは考えられない。しかし、このような授業を受ける体験が、生徒にとって思考の質を高めるきっかけとなり、課題設定や問題解決におけるクリティカルシンキングの重要性の理解につながると考える。

これからの激動する社会に対応するためには、情報を正しく見ぬく力が必要であり、クリティカルシンキングは、科学者だけでなく誰もが身につけておくべき態度や能力である。この研究の成果が、21世紀を生きる生徒に求められる能力や態度を育む一助となることを確信している。

### 引用(参考)文献

- 1) 長沼他, 科学者の思考展開の教材化に関する研究 (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. 39 (2011)
- 2) 長沼他, 科学者の思考展開の教材化に関する研究 (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. 40 (2012)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)

- 6) 長沼他, 広島の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)
- 7) 長沼他, 広島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)

- 8) 長沼他, 広島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)