

世界で活躍する科学者を育成するための 教育に関する研究(Ⅲ)

—求められる能力や態度の明確化と教材化—

丸本 浩, 長沼 毅, 三好 美織, 沓脱 侑記, 岡本 英治, 小茂田 聖士
山下 雅文, 西山 和之, 田中 伸也, 林 靖弘, 松尾 健一, 平賀 博之

1. はじめに

本研究は、科学者に求められるグローバル化の視点を世界で活躍する科学者である長沼の体験をもとに明確化し、具体的な事例を含めて生徒に提示する教材を開発することで、科学技術創造立国を目指すわが国の科学者育成という課題に取り組むことを目指すものである。このことは、中学校・高等学校におけるグローバル人材育成の視点からも重要な課題であり、本年度からSGH（スーパーグローバルハイスクール）の指定をうけた当校の教育研究の中心的な取り組みである「課題研究」を実施するときの生徒の態度を育成することにもつながっている。

初年度の研究(I)では、「子どもたちに、グローバル人材に求められる能力や態度がこれからを生きる上で欠くことのできないものであることを実感させる」ことをねらいと設定して、長沼による講義を実施し、一定の成果を得たことをすでに報告した。¹⁾ さらに、2年目の研究(II)では、「グローバル化に求められる能力の育成」に重点を置いた教材開発をめざし、「科学の世界における異文化」を教材化することを目標として、長沼による講義を実施し、評価を行った。²⁾

3年計画の最終年次に当たる本研究では、「グローバル化に求められる態度」の育成に重点を置いた教材開発をめざした。具体的には、「科学の最前線における科学者のグローバルな活動から学ぶこと」を教材化することを目標として、授業を実施し評価を行った。

2. 高大連携授業へ向けての準備

授業者である長沼とは十分な打ち合わせを実施し、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。

また、グローバル人材育成の視点を見据えたうえで、中心となる内容として「海底火山に生息するチューブワームや地下、南極・北極などの地球上のあらゆる場所に生息する微生物の調査」などについて扱うとともに、長沼のこれまでの生き立ちと現在のそのような研究テーマに辿りついたきっかけや、長沼の科学者としての生き様と、グローバルな世界で活躍する長沼の科学者としての姿をダイレクトに伝えていくように考えた。

長沼からは、『「グローバルな取り組みによる科学者の活動の事例」を例示し、これまで訪れた地域での体験を通して、グローバルな世界での研究活動の魅力を伝えたい。』との授業へ向けての意気込みが表明された。

3. 高大連携授業の実際

授業は2015年11月11日(水)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。

「地球の端っこが研究フィールド」 長沼 毅
～グローバルな取り組みによる科学者の活動の事例～

みなさんこんにちは。広大の生物生産学部の長沼と

Hiroshi Marumoto, Takeshi Naganuma, Miori Miyoshi, Yuki Kutsunugi, Eiji Okamoto, Masasi Komoda, Masafumi Yamashita, Kazuyuki Nishiyama, Shinnya Tanaka, Yasuhiro Hayashi, Kenichi Matuo, Hiroyuki Hiraga: Education of next-generation scientists who can take active global roles(Ⅲ): Identification of required abilities and Attitudes, and development of teaching materials

います。今回のこの授業は、スーパーグローバルハイスクールに関連したもので、ということで呼んでもらいました。私は地球の色々なところに行っているので、「グローバルな取り組みによる科学者の活動の事例」というサブタイトルについて、いろんな話が紹介できると思います。最後の方で、時間が余ったら質疑応答もやりたいと思いますので、思いついた質問はどんどんメモして行って下さい。

さて、早速ですが、みなさんと同じように、私にも高校時代がありました。小学校から柔道を始めていたのですが、中・高時代はずっと柔道馬鹿でした。部活は柔道部で、部活が終わったら家のそばに柔道場…いわゆる町道場があったので、そこに行って一日二回柔道をやっていました。それくらい柔道馬鹿でした。で、そのとき私は主将をやっていました。写真で隣に写っているのが副将ですが、こいつがまた変わったやつで、もしかしたら数年前にドラマになったのを知っているかもしれませんが、高校生のドラマ「弱くても勝てます」の原作者です。という感じで柔道していました。

実は、こんなことをしていた高校時代に、自分の人生を決める重要なできごとがありました。自分にとっての発見ですね。当時の科学者達が今から36年前、私が高校3年生のときに太平洋の海底で海底火山を発見しました。海底火山の発見は、今なら不思議でも何でもないことなんですけど、当時は微妙な時期で、誰かが「ここに潜ったら海底火山があるぞ」って言っても誰も信じない。でも、一応潜ってみたら本当にあった…すごい、そんな時代でした。そのときの海底火山があるぞ、という予言はさておき、想像すらされなかったものが発見されました。それが、周りに群がっている謎の深海生物「チューブワーム」でした。詳しいことはおいおい説明するとして、この時は細長いチューブ状の生き物がいる、ということがわかったんです。ワームとはによろした虫のことを言います。羽根が生えていて、ぶんぶん飛ぶ虫はバグですね。チューブ状のワームなのでとりあえずチューブワームと名付けられたのですが、こんなものがあるなんて誰も想像しなかったんです。で、こいつは場所によってはこんな感じでいっぱい密集しています。1本1本のチューブが一個体、雌雄は別々の生物ですが、見た目ではわかりません。大きさはこのスクリーンの縦横半分と思って下さい。それなりに大きいですね。

で、これはいったい何なんだ…という話になるわけですが、これは動物なんです。ここは深海で水深2500mですけども、潜水船のライトを消してしま

うと、真っ暗で何も見えません。そんな真っ暗な世界では植物は生きていけません。植物は太陽の光を必要とするので、真っ暗では生きられない…ということは、ここにいるのは動物なんだけれども、動物はどのような生き物ですか、というと、動物は何かものを食べる生き物です。しかし、この動物はものを食べた痕跡がありませんでした…ものを食べない動物、矛盾に満ちた存在だとわかりました。じゃあこいつはものを食べない状態で、栄養はどうしているのだろうか。植物は太陽の光を利用して自分で栄養を作るので、ものを食べなくてもすみますが、この動物は何をやっているのでしょうか。これは後でわかったことなんですけど、植物のように自分でデンプンを作るんです。ただし、それは光を浴びてではなくて、海底火山の火山ガスをエネルギー源にして自分でデンプンを作る動物なんです。こな動物は誰も想像しなかった。これが第一の発見です。高校3年生の私は、変な生き物がいるもんだなあ、と思いました。

そして同じ年、同じ月、同じ週にもうひとつの発見がありました。それは地球の外です。木星の衛星です。木星の衛星は現在67個見つっていますが、その木星の第一衛星イオに火山が発見されました。地球以外の星での火山の発見第一号です。ちなみにイオの大きさは、地球の月とほぼ同じです。地球の月と同じサイズの星に何故火山があるのか…その説明は省きますが、興味がある人は放送大学のテレビ授業、「太陽系の科学」というのを見てみてください。私が授業してますから。とりあえず、理由は省きますが第一衛星に火山があることがわかりました。それならば、同じ理由で第二衛星、第三衛星にも火山がありますか…というと、あるんです。ただし、見ることはできません。第二衛星をエウロパといいますが、このエウロパの表面は全部氷で覆われている。表面が凍っている星なんて変な星だなあ、と思うかもしれませんが、今こういった星は太陽系には十数個発見されています。また、地球自体も過去に三回以上全部凍ってしまったことが知られている。だから、惑星の衛星が全部凍ってしまうことは特に珍しいことではないです。ただ、この氷の下には必ずや火山がある。そしてその火山の熱で氷が溶けて、液体の水になっているはずだ…と。そしてその水がこの星全体を取りまいてる。言ってみれば、表面は氷、内側は岩、その間をサンドイッチのように水の層があるわけです。このことを専門家たちは「内部海」と呼んでいます。そう考えれば、地球の海は「表面海」と言えるわけです。そしてこの内部海の

海底にはほぼ間違いなく海底火山があるだろう、と。このエウロパも地球の月と同じくらいの大きさの星ですが、そのくらいの大きさの星に、火山があって内部海があり、その底には海底火山がある。

さて、このふたつのことを結びつけてみましょう。地球の海底火山には、食べ物もいない、光もない、不思議な深海生物チューブワームがいました。では、エウロパの海底にも火山があるから、チューブワームがいるかな…って。この疑問は、36年前の私の心にすでにできてました。当時の私はこのクエスチョンにいたく心を惹かれて、科学者になってこの研究をしようと思ったんです。で、実際にそうして今があるわけです。

では、その36年間を振り返ってみましょう。私は大学を出て、大学院に進学して博士号を取った。科学者になったわけですね。私のキャリアはJAMSTEC（海洋研究開発機構）から始まりました。JAMSTECは「しんかい6500」という潜水船をオペレートしてるところです。そこで深海生物の研究を始めたのが私のキャリアの始まりです。その後色々なことをやりました。深海研究部に配属されて、念願叶ってチューブワームの研究もしました。ところが、入るや否や総務部と企画部も兼任させられて、仕事は三倍、給料は一倍のブラック企業状態です。総務部、企画部で何をしたかという、理化学研究所に派遣されました。これは、JAMSTECで派遣社員、他の研究機関との人事交流をやろうという仕組みを作ったら、「お前が一号だ」ということで理化学研究所に派遣されたわけです。その後、派遣研究者の規定を作ったら「お前が派遣社員一号だ」ということでカリフォルニア大学に派遣されたわけです。カリフォルニア大学から93年に帰ってきて、なんだかもう嫌になってしまったので、広島大学に来ました…というわけです。広島大学に来て以来、21年経ちました。それから、広島大学に来てすぐの96年に、宇宙飛行士に応募しました、落ちました…それからあとは先ほど丸本先生から紹介があったように、NHKのプロフェッショナルという番組に出て、「科学界のインディ・ジョーンズ」という異名をつけられました。その後はどんどんテレビ界に進出して行って、「笑っていいとも」で準レギュラーになったり、「嵐にしやがれ」にも出ました。何となく覚えていませんか、ミドリムシを食べる回があったのですが、あれに出てました。他にも色々出ました。行列のできる法律相談所とか、「徹子の部屋」とか。実はこのとき徹子さんにチューブワームの話をしたんですね。そしたら、チューブワームのあまり

の奇妙さに徹子さんがびっくりしちゃって、言葉を失うんですね。あの徹子がしゃべらない…っていうね。それだけのインパクトがあったわけです。

さて、宇宙飛行士に落ちた話をしましょう。私はずっと宇宙飛行士になりたいと思っていました。その理由は、私が生まれた日は人間が初めて宇宙に行った日なんです。1961年4月12日、だから自分は宇宙に縁があるなあ…と、思っていました。それから大学に入って、二十歳の誕生日にはスペースシャトルの初号機が飛んだんです。それで絶対自分はシャトルに乗るために生まれてきたんだ…と思いました。そういった思い込みもあって、よし、自分は宇宙飛行士になろう、と決意しました。そしてその決意は15年後に実行されました。宇宙飛行士に応募するわけですが、結局落ちるわけですね。私が落ちたのは準決勝で落ちました。そのときは宇宙センターに缶詰で、二人一組でペアを組むんです。私のペアの相方は野口聡一という人でした。知ってるでしょ。彼は受かって宇宙飛行士になりました。この時はたった一人しか受からなかった。私は自分は落ちたけれど、相方が受かったから嬉しいですよ。だって、両方とも落ちたペアってのはいっぱいいるわけですから。私は彼と一週間生活して、彼は受かるだろうな、と思いました。彼も宇宙飛行士になろうと強く決意したのは、やっぱり二十歳の時だったんですよ。野口さんは幼い頃からゆる〜く宇宙飛行士への夢を抱きながら、二十歳の時に強く決意した。そんな彼のモットーは「備えよ、常に」だったんです。彼は非常に準備をしていて、受かったら今すぐにでも宇宙に行けますよ、というような人だった。それに比べて私は、細かいところは受かってから勉強すれば良いや、というタイプだったんです。この二人を比べたら、どちらが受かるか分かります。当然、野口さんです。実際彼が受かって、私は落ちました。野口聡一さん、初めての宇宙飛行は40歳のときです。彼は二十歳の時に宇宙飛行士になろうと決めて、20年かかって自分の夢が叶ったんですね。夢には大きなものも小さなものもあって、それにかかる時間も長いものと短いものがあるとありますが、それはさておき、皆さんもこれから夢を叶えるには時間がかかる…単なる時間ではなくて、努力や手間暇のかかった時間が必要だということを知っておいてください。

ところでこの時、野口さん以外は全員宇宙飛行士の試験に落ちました。その中には、実際にGPS乗せたロケットを飛ばしている人とか、日本で初めてのWebサイトを作った人とかもいましたが、みんな

な落ちました。その中の何人かは再挑戦して、そのうちのひとりを受かりました。星出彰彦さんと言います。実は星出さんは二回落ちています。彼は三回目で受かったんです。普通は一回落ちたら諦めますよね。でも、彼は諦めずに三回受けて、受かった。そして、もう二回も宇宙に行って、宇宙遊泳の時間、21時間23分は日本人最高記録になっています。私自身はたった1回落ちて、もうあきらめたわけですが、彼は2回落ちても諦めなかった。そんな話も、皆さんに伝えたいと思いました。

そして自分のテリトリーである深海に還る…というわけで、深海で何をしたかっていうと、チューブワームももちろんやったんだけど、私に関わってきたいろんなプロジェクトの話をして。もちろん、私単体がやったものではなく、多くの人に関わっている。しかもそれは日本人だけでなく、多くの多国籍の人に関わっている…そんな話を今からしていきます。

例えば大西洋中央海嶺。太平洋の真ん中は、もし水を抜いてしまえば、延々と続く大山脈があります。しかもそれは単なる山脈じゃなくて、火山脈です。火山が延々とつながってるのね。その1カ所に、1997年に潜りました。そこの様子はこんな感じですよ。名前は大西洋中央海嶺熱水噴出孔、真ん中からもくもくと黒いものが立ち上がっていますが、これは煙ではありません。「熱水」というものですね。温度は300℃を優に超えています。普通水は100℃で沸騰するんですが、ここは水深3650mです。水圧のせいで水は300℃を超えても沸騰しないんです。そういったものすごい熱い水が噴き出している。その周りに白っぽい部分がありますよね。普通火山の場合は玄武岩といって黒っぽい石が転がっているものなのに、何で白いんだろうと思ったら、エビなんですよ。なんだこれ、って思うでしょ。海底火山からの熱水に含まれる硫黄…専門的には硫化水素といって、人間には有毒な物質があるのですが、でもそれが有毒どころかエネルギー源になっちゃう、というすごいバクテリアがいます。バクテリアだから微生物ですね。我々の目には見えない小さな生き物…大きさは1/1000mmほどです。それだけの小さい身体にすごい能力を秘めている。それが火山ガスの硫化水素をエネルギー源にしてデンプンを作ってしまう。そんなバクテリアが岩の表面にべっちゃんひっついてるわけです。専門的にはバクテリアマット、とかバイオフィームと呼ばれます。この表面をエビが群がって食べている。でも、いくらエビが食べたところで、バクテリアは次から次へと生えて

くるわけです。食っても食っても尽きない食べ物。その尽きない食べ物を食べてエビもどんどんどんどん増えます。このエビ、リミカリスというんですけど、深海の暗黒世界に住んでいるわけですから、目は退化しています。でも、退化したとはいえ、その目に当たる部分が背中というか、人間で言うと後頭部の部分に移動してきて、なんと赤外線カメラと化してしまいました。どういうことかと言うと、深海は光がありません。ただ、熱い物体であればその温度に応じた赤外線を出しています。人間には見えませんが、海底から吹き出している300℃の熱水も赤外線を出しているはずですよ。従って私たちは赤外線カメラで熱水を見てみました。そしたらこんな感じでぼ～っと光っています。あのエビたちは恐らくこれを見ています。ぼ～っと光っている熱水噴出口を見ていて、そこの方に向かっていけば餌となるバクテリアが大繁殖しているということになる。そのようにして進化してきたんだと思います。このようにしてエビたちはバクテリアを食い漁りますが、中には馬鹿なエビもいて、熱水に突入して、瞬間的に茹であがります。この写真には写っていませんが、この麓の方には茹でエビの山があります。で、その茹でエビをカニがむしゃむしゃ食ってるというなかなかすごい食物連鎖が繰り広げられています。そして私はこの黒い熱水を実際に取りました。周りの海水を巻き込まずに、この黒い熱水部分だけを取る装置を發明して、それで特許をとって熱水を取りました。取ってきて試しに顕微鏡で見ると、バクテリアがいたんです。このバクテリアの面白いところは、お塩が好きなんです。飽和食塩水で培養してやると、ガンガン増えていく。ただ、真水でも殖えるし、どんな条件の水でも殖えることができる、そういう変なバクテリアなんです。なぜこのバクテリアが熱水の中にいたか、という話は今日はしませんが、このバクテリアの名前は「ハロモナス」といいます。このハロモナスを大学に帰って培養して、遺伝子を分析してやるんです。遺伝子が分かれば今は遺伝子データベースがあるので、そこにど～ん、と当ててやると、これに近いものが出てきます。そうして出てきた一番近いものは、なんと南極産でした。遺伝子は99.6%一致するんです。何で？って思いませんか。大西洋の海底火山の、水深3600mのむちゃくちゃ熱い熱水にいるものと、南極にいるものなんでこんなにそっくりなんだ？って。だからこう思いました。よし、南極に行こう、って。

このとき南極に行く椅子があったのはイタリア隊でした。イタリア隊に参加して、イタリアのテラノ

バベイ基地で色々サンプリングしてみると微生物が取れました。この南極のハロモナスは海底火山のものどそっくりでした。0%から飽和食塩水まで、どんな塩分でもとりあえず殖えるバクテリア、これはハロモナスですね。何だ、同じじゃん…て思うわけです。私が南極に行ったのは「夏隊」です。南極の夏ですから日本の冬ですね。で、冬の日本に帰ってきて、冬が終わりました。そんな3月に、ある人から「長沼くん、北極行かない？」って言われて、ああ、行きます行きます、って言っちゃった。それがこの年の9月なので、一年の間に南極行って北極に行きました。北極は今度ロシア隊です。ロシア隊の船に乗って北極へ行く。南極は大陸ですが、北極は海ですね。実はその海の底で、さっき紹介した海底大山脈の北の端っこが北極海に入っていて、そこに海底火山がある。で、そこに行って調査してみたら、やっぱりハロモナスが取れました。ここが一番最初の熱水噴出口、そして南極に北極、それぞれの場所で取れたハロモナスを分子系統樹という家系図の様なものに乗せると、もう入り交じってることが分かります。こうなると次の質問は、「なんでハロモナスはこんなに地球上のどこにでもいるのだろう、広く分布するのだろう」ということです。ハロモナスそのものはそんなにうんと強い生き物ではありませんが、地球上に一番幅広く分布している生き物と言えます。この謎はまだ解けていません。

さて、そんなこんなで南極と北極に行ってきました。北極は海で南極は大陸です。面積はそれぞれ日本の約37倍くらいです。そして、北極の脇にはグリーンランドっていう島がありますよね。この島にも行ってきました。「備えあれば憂い無し」…どういうことかという、南極はいてもペンギンとかアザラシなのでさほど怖くないんです。でも、北極には熊がいるんですよ。シロクマです。北極の調査ではライフルを持って行くか、ハンターを雇うのが義務になっています。ちょっと面倒ですよ。ただ、この場所で次の場所でイギリス人がシロクマに食い殺されているんです。そんな場所です…この写真の熊はもちろん合成ですけどね(笑) シロクマ君は白くなくて、(血で)真っ赤…というのが正しい姿ですね。

これはグリーンランドです。グリーンランドの真ん中には高い山になっています。標高3000mくらいでしょうか。この山は全部氷でできてます。こんなところにも行ってきました。日本の南極の基地の中で、一番大きい基地、昭和基地っていいです。それから日本には北極基地もあって、これはあまり知られて

いません。ある島の上に「ラベン」っていう愛称の基地があります。私は両方行ってきて、サンプリングして色々な生き物を調査しています。ちょっとこれを見てみましょう。北極のラベンと昭和基地を結ぶ線と、赤道の交わる場所に、ルウェンゾリという高い山があって、標高5100mくらいです。赤道直下とはいえ、標高高いから氷河があるんです。私はずっと北極や南極で氷河の世界、氷に住む生き物を調査していたので、ではここにも氷河があるのならば行ってみようと、53歳にして、半ば嫌々行ったんですね。これは去年の写真です。アフリカで一番高い山はキリマンジャロの5800m、二番目はケニア山と同じくらい。この二つの山は日本の富士山みたいに単体である山なので登りやすいんです。でもこのルウェンゾリは、言ってみれば日本アルプスみたいな感じで、山また山…みたいなところで、登るのが大変です。この写真を撮った場所から山頂まで4日、そこから下山するのにまた4日です。まあ、とりあえず行ってきました。麓は赤道直下なんで熱帯雨林になっていて、ジャングルですね。これを越えていって、途中ジャイアント・ロベリアというエキゾチックな植物があつたりして、こんなところを越えていくわけです。そしてついに着きました。この辺に氷河見えますよね。普通は登山の時にこんな帽子はかぶらないのですが、これをかぶっている理由はONE PIECEのルフィの真似がしたかっただけです(笑)実際にポーズもとってみました。

ところで、我々がサンプリングするときは、自分の身体から汚染しちゃいけないんです。私の身体にはばい菌がいっぱいついています。だからちゃんと白い滅菌防護服に着替えてからサンプリングします。これは南極、北極、砂漠…どこでもそうです。そういうことで、これらの場所全ての氷河を調べました。そこでふと思ったのが、砂漠があるなあ、ということです。実は氷の世界っていうのは乾燥しているんです。使える水はほとんどありません。ほぼ凍ってしまっています。そういったところで研究をしていると、乾燥地に興味が向くわけです。そうすると、ここ(アフリカ中央部)にでかい乾燥地があるな、ここに行ってみよう、となるわけですね。

まず行ったのは、南米チリのアタカマ砂漠、地球上で一番乾燥している場所です。この奥に見える山が標高6000m、私の座っている場所で5000mですから、空気は地上の半分です。でも、こんな空気が薄くて乾燥している場所の石ころの中にも、微生物が住んでいるんです。微生物は身体小さいので石ころの間隙に入っています。それを取ってくる。そ

れから中国のゴビ砂漠や、皆さんが一番よく知っている、イメージする、最も広い砂漠であるアフリカのサハラ砂漠にも行きました。ここでも砂粒の隙間にいる微生物を探すんです。こんな感じでラクダに乗って調査しました。普通は四駆…日本のトヨタのランドクルーザーに乗って砂漠を走って行くんですが、たまにはラクダに乗って優雅に旅をするのも良からう…と。これ、影が長いですよ。昼間は暑くて外に出ないからです。大体ラクダで旅するのは日没の前後と、日の出の前後です。サハラ砂漠は一日のうちに春夏秋冬があるといわれるくらい、気温の変化が激しいです。日の出前が1番寒いです。氷点下前後から昼間で40℃。ここで変わった菌を取りました。我々はいつも変わった微生物をとっているのですが、いつもはあまりいいません。でも、今回ばかりは本当に変わった微生物だったので、新聞発表させてもらいました。「サハラから新分類の微生物」…我々生物学者が分類するときには、一番下は「種」です。その上は「属」。「種、属、科、目、綱、門、界」というように分類するんですけど、私たち動物で言うと、例えばイヌの場合は「脊索動物門、哺乳類、ネコ目、イヌ科、イヌ属、イヌ」となります。ネコ目…って、イヌのプライドが傷ついちゃいそうですけど、そうなんです。これは人間も実は同じで、「サル目、ヒト科」ですからね。ここで、我々が発見した新分類の生物は、「哺乳類」のレベルで新分類になるものでした。21世紀の今日において、まだ綱のレベルで新しい分類の生物が見つかる、というのがすごいことです。私たちはそれをサハラ砂漠で見つけました。具体的にはこんな感じですね。綱レベルですでに7綱あったものが、新たに「オリゴフレクシア」というのを私たちが提案して、それが認められました。ということは、オリゴフレクシア綱以下、全て私たちの発見になります。これがすごいことなんです。

ところで、およそ砂漠っていうと、こういう風景がついて回ります。白い平らな土地、塩湖ですね。地球上で一番大きい、サハラ砂漠の塩湖の中でも、一番大きい塩湖。ジェリド塩湖っていいです。面積は7000km²…これがどれくらいかという、岡山県よりも若干小さいくらいです。このくらい広い真っ白な土地があるわけです。これが全部塩で、この塩の中にも微生物が潜んでいます。もちろん取りました。そしたら、とんでもないものが取れました。何がとんでもないかと言うと、やっぱりこれも遺伝子を調べたら、あるものと遺伝子がそっくりだった。99.6%一致したんです。そいつはどこにいたのか

って言うと、アメリカです。アメリカの2億5000万年前の岩塩の中から見つかった微生物なんです。岩塩というのは、もともと海だった場所が陸地になっちゃって、海水が蒸発してお塩が取れます。そのお塩が地中に埋まって、圧力でぎゅーっと固められたもの、これが岩塩です。2億5000万年前、海の中にいた生き物、微生物が、岩塩の中に閉じ込められている。その2億5000万年前の岩塩を地下650mから回収して、中に小さな孔を開ける。その孔には2億5000万年前の海水が入っている。その海水を研究者達が培養したら、微生物が復活したわけなんです。この微生物と我々のサハラ菌が、99.6%同じなんです。なんなんだこれは…意味不明だな、ということで、この菌を発見した彼らのところに行って、菌をもらってきました。実は彼らはもう引退してしまっていて、菌も含めて全てを我々に託してくれましたので、今私の手もとには二つの菌がいます。この菌達の全ゲノムを明らかにして、それらをダイレクトに比較してやると、2億5000万年分の進化の秘密がわかると思うのですが、そのアイデアもお金もあるのだけど、やってくれる人がいない…ということで、もし興味がある人がいたら、うちの学部に来てこの比較研究をやる人はいませんか、募集中です。

さあ、塩湖の話に戻しましょう。白くって平らな場所がもう一カ所あります。それは、南極。お塩じゃなくて氷ですね。南極大陸、面積は1400万km²。因みに、南極の氷は氷床と言います。氷床とは大きい氷河のことで、面積が5万km²以上のものをいいます。南極の氷の厚さはどれくらいでしょうか。日本の面積の37倍の土地に、その氷が乗っているわけです。その氷の厚さは100m? 500m? 1000m? 実は氷の分厚さは平均で2000m、最高で4000mの厚さを持っています。広島県に2000mの山はありません。広島県の最高峰は恐羅漢山の1346mです。広島県どころか、中国地方、九州四国、近畿にも2000mを越える山はありません。一番西にある2000m以上の山は、白山なんです。それくらいに2000mって分厚いんです。その氷の表面にも微生物がいる。氷の中にも、氷の下の岩との隙間にも微生物がいる。私たちは今、そういうところをターゲットにしているんです。

私は南極に三回行きました。一回目はイタリア隊、二回目はスペイン隊、三回目は日本隊です。私はイタリア語もスペイン語もできないし、彼らも日本語はできません。ではどうするかという、こういうところで彼らと生活するには、シンプルな英語を使

います。ただし、シンプルと言っても「通じれば良いや」というものではありません。こんな過酷な場所で生活するわけですから、例えば、単数形と複数形を間違えたら、それだけでトラブルが発生します。現在形と過去形を間違えたら、人が死ぬかもしれない。そういうことが絶対無いような英語、私はサバイバルイングリッシュと言っていますが、それを積み重ねて彼らと会話してきました。南極でもそう、深海もそう、砂漠もそう…どこに行ってもミッションはひとつだけです。「生還」生きて帰ることですね。その最高のミッションを果たすために、サバイバルイングリッシュが必要なんです。皆さんが今やっている英語は大変でしょうけども、将来皆さんがサバイバルできるように、今から鍛えていって下さい。

私が三回目に日本隊で行った場所。ここに雪も氷も無い、むき出しの岩場があります。ここにはくぼみがあって、そこには夏の間に溶けた水が溜まったりして、こういった湖ができます。この湖の水はウルトラクリーン、窒素やリンも含まれていないので生き物なんて絶対無いと思うでしょ。でもあるとき、私の仲間がこの池の底をのぞいてみたら、植物が大繁栄していました。しかもその植物はここにしかないものです。これですね、コケです。何も無い湖にコケが生えている。これは異常なことです。しかもそのコケがタワーのように成長している。これも異常なことです。このコケはいつ、どこから来たのだろうか。因みにこの湖ができたのは8000年前の話です。8000年というとても長いように聞こえるけど、我々生物学者にとってみればつい最近の話です。その8000年の間のいつからか、コケの胞子が入ってきてここで繁栄しました。いつ、どこからか？それはさっぱりわかりません。このコケはここにしかないからです。

とりあえず、このコケ坊主を水深8mまで潜って取ってきました。取ってきて調べてみると、ここにグラフがあるようにコケ以外の微生物がいっぱいました。微生物は身体は小さいけれど、素晴らしい能力を秘めたものがいっぱいいます。そんな微生物たちが多種多様に集まって、力を出し合ってコケ坊主という共同社会を作ってる。これが、コケ坊主が南極の過酷な環境の中で大繁栄している秘密でした。コケとたくさんの微生物たちが力を出し合う共同体だから、 $1 + 1 = 3$ です。 $1 + 1 = 2$ だったら普通ですよ。でも $1 + 1 = 3$ になるんです。これを難しい言葉で相乗効果といいます。今風に言えばWin-Winの関係とでも言いましょうか。ある微生物が窒素の無い水の中でも、空気中から窒素を取り

出してコケにあげている。そしてこの水にはリンも含まれていませんが、岩石中のリンを取り出してコケにあげる微生物がいる。そんな微生物たちがコケ坊主を作っています…というようなことを研究しました。この研究をしたのは私のところの学生です。もし皆さんが私の研究室に来れば、先輩ということになるのだけど、何と彼がこの研究で「育志賞」を受賞しました。この賞は若い研究者に向けて、天皇陛下が特別に作ってくれた賞なんです。その第一回目を私の学生がコケ坊主の研究で受賞しました。私ももちろんこの授賞式に呼ばれましたが、私は行きませんでした。なぜなら、この研究結果はたったひとつのコケ坊主に基づいています。普通我々は、なるべく多くのサンプリングに基づいて話をしたいんです。たまたまひとつのデータからわかったことを発表したら、それがウケて受賞しちゃった。これはヤバイよね…ということで、これは授賞式に出る場合じゃ無い、次のコケ坊主を取ろう！と、いうことで私は南極に行っていました。

私の本業は南極じゃなくて、深海。もちろんチューブワームです。チューブワームはものを食べない動物です。でも、本当のことを言ってしまうと、栄養作っているのはバクテリアなんです。先ほど出てきたエビが食べているやつですね。海底火山の火山ガスをエネルギー源にして栄養をつくるのですが、チューブワームはなんと、このバクテリアを食べる代わりに、自分の体内で飼うことにしました。体内共生っていいです。単に体内ではありません。細胞内です。普通は細胞内にバクテリアが進入すると感染症です。我々の場合であれば、敗血症だとか、腹膜炎だとか、胸膜炎だとか…でもチューブワームは感染症になりません。その理由によって、去年ヨーロッパの感染症研究所がチューブワームを感染症研究のモデル生物にしたんです。なんとチューブワームは発見から36年たった今でも、感染症研究の最先端を走っているんです。

さて、このチューブワームを解剖すると、表面のチューブは硬いです。カニやエビの甲羅と同じような材質のチューブの中にミミズのような柔らかい部分が入っていて、この部分はいわばソーセージです。ソーセージは切ると中がぐちゃぐちゃですよ。チューブワームも中はぐちゃぐちゃなんです。この組織、細胞の中にバクテリアが詰まっています。これがチューブワームの秘密でした。チューブワームはバクテリアに硫化水素、火山ガスを与えます。体内で待ち構えているバクテリアは有り余る硫化水素をもらって有り余るデンプンを作って、余った分をチ

ューブワームにあげるんです。これは完璧な共生関係です。私が知る限り、生物界広しといえども、最高の共生関係と言えます。ついでにこの熱水噴出口の熱水も分析してみました。そうすると、ここにも微生物がいました。この微生物はどこから来たかという、もちろん熱水の中ですから、もとは海底火山の中にいたんです。では下に微生物がまだいるの？というので、ここにドリルを置いて、海底に10 mほど穴を掘りました。そうすると、また熱水が吹き上がってくる。その熱水にも微生物がいるはずだ…もちろん掘りながら岩石もサンプリングもしていて、岩石の表面に微生物がべっちょりついていることがわかっている。でも、その（海底の岩の）下に微生物の巣がありそうなんです。これは海底火山の近くだから、ちょっと掘ったらすぐに微生物の巣に当たりました。でも、海底火山から離れたら、その巣はもっと深いところにありますか…というので、文科省にお願いして、地球深部探査船「ちきゅう」を作ってもらいました。500 億円です。もちろん私のためにじゃないですよ。色んな人たち、もちろん日本だけではなく、アメリカやヨーロッパの人たちの研究も目的とすることで、なんとかこういう船を作ってもらえた。そして今、これで穴を掘っている最中です。また結果が出ればお知らせしようと思います。

穴を掘るのは海でも陸でも一緒なので、陸では岐阜県の瑞浪地区なんかに 1000 m くらいの穴を掘っています。まだ 500 m くらいしか掘れていませんが、直径 6 m のエレベーターつきの穴です。完成した暁には、エレベーターで 1000 m まで降りることが可能です。完成後は一般公開する予定なので、完成のニュースを聞いたら、丸本先生を通して私まで連絡くれたら案内しますよ。1000 m 掘れた暁には、ここにラボを作って、居ながらにして 1000 m の微生物の研究をしたいと思っています。

こんな感じで、今我々は「地下生物圏」と言って、深海のさらに下、地下 5000 m くらいまでは生き物があるんじゃないかな、と思っています。これが私たちのここ 10 年くらいの研究の成果です。私たちが住んでいる陸上と海洋であれば、植物、動物、微生物がそれぞれ 1～2 兆トン、100 億トン、3000 億トンくらいいるだろうと思っています。そして地底には植物いません、光が無いですから。動物もいません、身体が入る隙間が無いから。でも、微生物は 400 億トンくらいいるんじゃないかな、ということが分かってきました。地球の内部でも生き物が育まれている、ということですね。このことを私た

ちはここ十数年全く知らなかったわけです。

要するに火山ガスがあれば良いのかな、ということです。火山ガスとして吹いてるガスは地球の内部にあったものだから、そこに微生物がいれば、地球の内部にも微生物がいるだろうと思います。ということで、話は宇宙に戻りますが、私が高校生の時に持った「エウロパの海底火山にもチューブワームがいるだろうか」という疑問に対して、新たな観点である、地球の内部や南極の氷の隙間というところからアプローチしています…ということを紹介して話を終えようと思います。ご静聴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

生徒の反応は、授業後にアンケート紙によって調査した。その結果、「理解できた」、「興味がわいた」、「大学で今回のような講義を受けたい」、「理科（自然科学）への興味がわいた」の 4 項目とも、高い割合を示しており、授業は生徒に十分に理解されており好意的に受け止められたことが確認できた。

また、授業中の生徒の様子からも、次から次へと興味深い話がどんどん語られるので、生徒が講義に引き込まれていったように感じられた。

次に、アンケート 2 の問いかけに対して、生徒が「どのような点に興味を持ったか」について代表的な記述例を 8 つの項目に分類して示した。

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。

<チューブワームや深海の生物の生態系などの不思議さ>

- ・チューブワームが細胞内にバクテリアを飼っていること。
- ・深海のチューブワームが暗黒の光合成をするということ。
- ・海底火山の熱水噴出孔の周りに硫化水素をエネルギーとするバクテリアが大量に存在し、それらを大量のエビが群がって食べていて、熱水の下には茹で上がったエビの山があるという生態系の話。

<地球上に存在する生物の不思議さに対する驚き・興味>

- ・チューブワームもそうですが、いくつもの微生物と共生するコケ（コケ坊主）がおもしろかった。
- ・単体では生きていけないような環境に、他の種と共生することでうまく生活している生き物がいることに驚いた。
- ・バクテリアのハロモナスが硫化水素からでんぷんを作り、塩分さえあれば生きていけるということに驚き、興味を持った。

<地球上の色々なところに同じような微生物が広く分布していることのおもしろさ>

- ・北極と南極さらに赤道直下の山の氷河に、ほとんど同じような遺伝子 (96.6%一致) を持った微生物がいること。
- ・サハラ砂漠の菌と 2 億 5 千万年前の菌がそっくりだったこと。
- ・微生物がいるのは分かっていたけれど、そんなに深く広い範囲にいるのは初めて知った。

<チューブワームの研究から宇宙にも生物がいる可能性に向けての考察>

- ・木星の第二衛星のエウロパは氷で覆われており、火山活動があるので、水の中にはチューブワームがいるかもしれないということを知ってワクワクした。地球にはいないようなものがたくさん住んでいるのかと想像しました。
- ・「地球以外に生命がいるのか？」という問いに、自分はこんだけ広い宇宙なんだからいるだろうと、ざっくり思っていたが、論理的で順序立てられた、チューブワームや海底火山という要因から「いる。」という答えに感動して興味を持った。

<地球と生物の不思議な関係についての考察>

- ・地球で人間が生活しているのではなくて、地球が、人間が生活している環境を作っているということに興味をわいた。
- ・今でもまだ発見されていないような生物種が存在しているということに興味を持った。地球はまだ「未知の惑星」の域を出ていないのかもしれないと思った。
- ・生物が生活しているかどうかは、水があるかどうかだと思っていたが、火山ガスがあるかどうかで生物が生活している可能性を考えられることに驚いた。

<長沼先生の生い立ちとこれまでの体験から>

- ・長沼先生が宇宙飛行士など様々なことに挑戦していること。
- ・砂漠や南極、深海、宇宙など多くのことを体験してきた長沼先生の体験談や意見・考え方など。
- ・研究という「文」の分野でも活躍し、柔道の「武」の分野でも活躍している点。それが難しいことを最近わかってきたのだと思う。

<長沼先生の研究に対するスタイルや考え方・姿勢>

- ・一見関係ないように思える場所でも、共通点を見つけて、さらに進めていくという研究スタイル。
- ・自分の研究を深めるために砂漠や高山に登ったり、他国の人々と研究取り組む探究心の強さとチャレンジ精神。
- ・「サバイバルイングリッシュ」の重要性について。
- ・研究に終わりは無いということ。何かを調査し、新しいことを発見すると、また疑問が出てきて、また調査して……。その繰り返しだということがわかりました。

<生物についての研究による成果・期待など>

- ・深海や乾燥したところや水の中でも生きていられる生物には、他の生物には持っていない能力を持っていて、それがヒトにも生かせるかもしれないという可能性があること。
- ・もう人間が地球の色々ななぞについて研究してきて何百年にもなるのだけれど、まだまだ不思議なことやなぞがあるんだという点。

生徒の記述から、長沼の研究テーマである地球上の辺境の地（南極・北極・砂漠など）における微生物の研究や、チューブワームを中心とした海底火山のまわりの生態系の話など、生物および生物学を研究することへの興味・関心が高いことがわかった。

さらに、地球外生命体存在の可能性や、宇宙に関する話など、長沼のスケールの大きい講義に魅了された生徒の様子がうかがえた。また、長沼の研究者としての姿勢や並外れた行動力や集中力などのすごさに驚き、強く共感する生徒の様子も見逃すことのできない点である。

最後に、今回の授業に対する感想（自由記述）の中から特徴的な記述を抜き出して以下に示す。

6. 今回の授業に対する感想を自由に書いて下さい。

- ・本当に、はじめから最後まですべての話が新鮮でおもしろくてわかりやすく、すごく自然科学に興味をわきました。今まで知らなくて興味を持たなかったような新しい世界を知ることができました。

- ・今回の特別講義を拝聴する以前は、自然科学に関して興味を持つことは少なかったが、長沼先生のわかりやすく、おもしろいお話で、その分野への興味をわきました。そして、生命は不思議に満ちていて、解明されていない謎について研究することはとても魅力的だと思いました。また、研究のために世界中を飛び回っている長沼先生の行動力や好奇心にも感銘を受けました。私も様々なことに興味を持ち、広い視野を身に付けたいと思います。

- ・自然科学の生き物やその歴史の謎に挑戦する楽しさが伝わってきました。DNAなどから生き物の家系がわかるという所は、特に驚きました。また、先生が世界中で研究されていることを知って、自分も世界中で仕事ができるグローバルなことができたらいなと思いました。

- ・私は、あまり生物に関心がなかったのですが、長沼先生の研究の話を知って、生物界の研究は、今、どういうことをしているのかどうやってそれを解明していくのかとても勉強になり、また、とても興味をわいてきました。生物を研究することで、地球とは別の惑星についても考えることができるのがとても面白いと思いました。チューブワームなどの深海生物が、木星と何の関連があるのだろうと疑問に思って聞いていたので、メモを取り忘れるほど授業にのめりこんでしまいました。

- ・科学者って大変だろうけど絶対楽しいだろうなと思った。自分も大人になっても、1つの物事を様々な点から見つめたり、疑問を抱いて興味をもって解けるまでがんばるねばり強さを持っていたいです。

- ・長沼先生の経歴や功績はとてすばらしいものであると感じました。その原点は、僕と同じ高校生の時期に生物に深く興味をもちその道に進もう決心したことでした。僕はそれを聞いたとき、意外と遅いんだなと感じました。それと同時に、高校生であるこの時期は、長い人生を決めるときであると感じ、さまざまな事に取り組む自分のやりたいことを決めようと思いました。

- ・サバイバルイングリッシュの話は、とても強く印象に残っています。国際的な環境の中では、より正しい英語が必要であると感じ今のうちから英語はがんばりたいと思いました。

- ・長沼先生はとても講義をするのに慣れていたなあと感じました。人生のいろいろなターニングポイントをおもしろく話をしていたとともに、努力や反省などが見え隠れしてしていて、ずっと講義に集中していました。宇宙飛行士を目指して失敗したという話にも、数十年の努力の期間があって、その上での話なのに、あんなにも軽々と話すところから、すごいろいろな事があった人生で長沼先生はそれを受け入れているんだなあと感じました。

- ・長沼先生の研究への取り組み方等、本当に熱心で、今後自分がどうしていくか、どうしたいかを改めて考えさせられたと思います。そして何となくですが、自分の将来のビジョンがつかめたような気がします。

目につくのは、「楽しかった、もっと知りたくなった。引き込まれた。集中してきけて時間経つのも忘れた。」という記述である。これまであまり興味を持っていなかった分野だが、今回の授業でイメージが変わったという記述も多く見られた。

また、長沼の講義により、グローバル人材に求められる要素の、「チャレンジ精神、責任感、使命感」を高めた生徒が多いと感じる。世界の科学研究の最前線で活躍する長沼からの新鮮な視点での数々の刺激を受け、自分もこうありたい、このように活躍したいという夢や希望を持ち、得意・不得意や好き嫌いを訪わず、どのような分野でも積極的に学ぼうという意欲を見せた生徒が多く見られたことは、大き

な成果だと感じている。アンケート結果を通して、またそれぞれの生徒の授業後の会話等からは、普段の授業では得られない、ワクワクするような刺激や体験が得られたことがうかがえる。確実に授業の意図が伝わっていると感じている。

5. おわりに

長沼との共同研究は、2004年から2015年までの12年間もの長い間、継続して実施してきた。この間、難しい数式を極力使わないで、「言葉の力」で伝える理科の授業の実践や、^{3)~5)} 広島を題材にした「風土サイエンス」の実践^{6)~8)} さらに、「クリティカルシンキング」の要素を加味した、科学者の思考展開を教材化する試み、^{9)~11)} などの実践研究を行い、その成果を報告してきた。その取り組みの経過は、これまで附属福山中・高等学校が実践してきた研究開発の歩みと同じ歩調で歩んできたといえることができる。

当校の研究開発は、2015年度よりSGH（スーパーグローバル・ハイスクール）の指定を受けて、新たな取り組みを行っており、研究開発の構想名は、「瀬戸内から世界へ！世界から備後へ！ーグローバルイノベーションと合意形成を柱にー」というものである。

今回、長沼の講義を聞いた生徒は高等学校1年生で、この研究開発の中核となる「課題研究」に取り組んでいる学年である。それだけに、生徒たちは、年度当初から様々な講師による講演や講義を受講しており、大変目が肥えているといえる。それにもかかわらず、長沼の講義は、今年受けた講義の中で最も魅力的で素晴らしい講義であると多くの生徒が高く評価している。

また、長沼の講義は、当校でこれまで長年継続して取り組んできた「高大連携授業」の中核となる実践の一つでもあり、高等学校と大学の教師が連携して講義を行うことの意義を検証する重要な取り組みとして高く評価することができる。

長沼の講義のような授業を受ける体験が、生徒にとって、ものの見方を変え思考の質を高めるきっかけとなり、異文化を排除することなく積極的に受け入れグローバルなものの方の重要性の理解につながると考える。これからのグローバル化がさらに進展していく激動する社会に対応するためには、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、今後も研究を継続していく。

引用（参考）文献

- 1) 平賀他, 世界で活躍する科学者を育成するための教育に関する研究 (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」, vol42(2014)
- 2) 丸本他, 世界で活躍する科学者を育成するための教育に関する研究 (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」, vol43(2015)
- 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」, vol33(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」, vol34(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」, vol35(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」, vol36(2008)
- 7) 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 (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」, vol37(2009)
- 8) 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 (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」, vol38(2010)
- 9) 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」, vol39(2011)
- 10) 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」, vol40(2012)
- 11) 平賀他, 科学者の思考展開の教材化に関する研究 (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」, vol41(2013)