
特集論文

ジュニアドクター育成塾 —日本最大・最古の湖 びわ湖から学ぶガイアの世界—

熊谷 道夫、青田 容明、中島 拓男

認定 NPO 法人びわ湖トラスト

Fostering next-generation Scientists Program -The world of GAIA in learning from Lake Biwa, the largest and oldest lake in Japan-

Michio KUMAGAI, Yasuaki AOTA, Takuo NAKAJIMA

Authorized NPO Biwako Trust

The authorized NPO Biwako Trust is now promoting a new education program for 10- to 15-year-old students of primary schools and junior high schools in the areas of Shiga, Kyoto, Osaka, Nara and Kobe under the financial support of the Japan Science and Technology Agency (JST). The aim of this program is officially designated to “extend the abilities of young persons with outstanding talent and willingness in mathematics and science, and to produce future leaders in the field of science and technology”. Our education program started in 2018, and 35 students finished their first academic career. At the end of the fiscal year, 20 of them presented their study outputs to the public and got high scores from the evaluation committee. We were strongly impressed by the study attitudes of the girls rather than boys, and learnt that girls showing curiosity in science are not far behind boys. On the other hand, we do not understand why the student majority of science courses in high schools and/or universities are occupied by boys in contrast to gender equality in other countries. This may be attributed to the old society education regime of advanced schools in Japan, and it could be a sort of gender discrimination. As this program continues for another four years, and we want to solve this unfair education tradition. Our final goal will be dedicated to capacity building for fostering young people to save the earth’s environments as well as Lake Biwa.

Keywords: elementary education, science, Lake Biwa trust, gender discrimination, environment, JST

1. びわ湖トラストのはじまり

急速に進行する地球環境の変化からかけがえのない湖を守り、豊かな自然を健全な形で後世の人々に残すことは、その湖の周辺で暮らし、恩恵を受ける人々の義務であり責

任である。そのためには、湖に関心を持つ多くの人々やさまざまな組織が正確な情報や研究教育資源を共有し、何をなすべきかを共に考え、保全に向けた行動を起こす必要がある。これらのことを琵琶湖で実践するために、我々は

2008年8月にNPO法人びわ湖トラストを立ち上げた。そして、5年後の2013年には税制優遇措置がある認定を取得することができた。

びわ湖トラストは、現在いくつかの事業を実施しているが、中でも特に注力しているのが琵琶湖を中心とした実践的な環境教育の推進である。例えば、2011年から平和堂財団から助成金を得て、小学生の親子環境体験学習を行っている(図1)。これは3つのプログラムから成り立っている。1番目は、琵琶湖での湖上学習である。毎年、約40組の親子が、琵琶湖汽船の環境学習船「megumi号」に乗って琵琶湖北湖へ行き、透明度を計ったり、水中ロボットを用いて湖底を観察したりする。また、琵琶湖最大の島、沖島へ上陸して島内の見学を行っている。さらに行き帰りの船内では、湖の専門家の指導による琵琶湖学習も実施している。2番目には、カヌーに乗り湖岸の水草やプランクトンの観察や採取を行い、琵琶湖畔の水生生物についての学習を行っている。3番目には、湖西にある朽木の山間へ出かけ、樹齢数百年と思われるトチノキの見学を行い、同時に周辺の自然植生などの観察を実施している。これらの取り組みは、湖はその周辺にある集水域の影響を強く受けているので、山・川・湖を一体として考えるべきであるという、びわ湖トラストの設立趣旨に基づいている。



図1 2011年から行っている、小学生親子によるトチノキ観察会(左)と湖上観察会(右)

約6年間、私がこれらの環境教育に主体的に携わってき痛感したことは、滋賀県の場合、小学生の環境教育については非常に熱心だが、中学校に入るとそれが断絶してしまうということであった。例えば、滋賀県には「湖(うみ)の子」という大型の環境学習船がある。小学5年生になると、県内の子供たちは全員、この船に乗って1泊2日の琵琶湖での体験学習を行う。初めて琵琶湖の上で宿泊するのだ。子供たちは、みんなワクワクして出かけていく。顕微鏡を通して琵琶湖のプランクトンを初めて観察し、そのとりこになる子もいる。このような経験は、他の都道府県では味わうことができない。

しかし、中学校に入ると、ほとんどの子供たちが琵琶湖とは疎遠になる。というのは、中学校には琵琶湖での環境学習を支援する仕組みがないからだ。こうしてせっかく芽生えた自然に対する好奇心が、急速に失われていく。なんとももったいない話だ。

そう思って、なんとか中学生にも琵琶湖で学習できる機会を提供したいと考えた。そのためには、10人程度の生徒を乗せて本格的な野外観察ができる調査船が必要である。10人というのは、船上で適切な指導やコミュニケーションができる人数の限界である。そう思っていた矢先、2016年に滋賀県が所有する実験調査船「はっけん号」が廃船になるという話を聞いた。はっけん号は、滋賀県琵琶湖研究所が1993年に建造した実験調査船で、当時世界最先端の計測機器を搭載していた。あれから20年以上経過しているが、まだ現役として十分使用できるはずだ。この船を使って、自然に対して好奇心旺盛な中学生を指導できないだろうか。こうした我々の強い要望を滋賀県が前向きに受け入れてくれて、びわ湖トラストは自前の調査船を保有することができた(図2)。



図2 実験調査船はっけん号

2. はじめの一步

2016年春、認定NPO法人びわ湖トラストは、文部科学省と科学技術振興機構(JST)が公募していた次世代科学者育成プログラムに採択された。これは中学1年生から3年生を対象として、自然科学に興味を持つ生徒を指導し、将来の自然科学者を育成しようという国家プロジェクトであった。この年は全国で5機関の採択があったが、NPO法人として採択されたのはびわ湖トラストのみで、他の機関は大学であった。学校法人以外で、びわ湖トラストが選

ばれたということは、文部科学省が青少年の理科教育を学校教育機関に限定しないで、社会全体で支援していこうという方針の転換を意味していた。逆に言えば、我が国のNPO法人として初めてこのプログラムに選定されたびわ湖トラストの責任は大きかったともいえる。

さっそく生徒を募集した結果、京都や滋賀から応募してきた生徒は計13名であった。中には、小学5年生の時に湖の子に乗船し、その後、琵琶湖の植物プランクトンに興味を持ってずっと観察を続けている中学1年生の少女や、小学校の頃からナマズの観察を続けてきて、周囲からナマズ博士と呼ばれる少年もいた。このような中学生を対象として、琵琶湖を場として生きた自然観察を行おうというのが私たちのコンセプトであった。こうして、選抜された13名の中学生と、琵琶湖周辺の大学に勤務する現役科学者との研究交流が始まった（図3）。



図3 2016年に実施した次世代科学者育成プログラムでの船上講座風景

次世代科学者育成プログラムは、2017年度からはジュニアドクター育成塾という新しい枠組みに変更され、予算規模も大きくなった。5年間で、予算は年間最大1千万円という大きなプロジェクトである。募集対象も、小学5年生から中学3年生までと広がった。早速びわ湖トラストも応募したが、あっさり落選してしまった。やはり、NPO法人というボランティア主体の指導体制が、大学等の法人と比較して評価されにくかったのかもしれない。

このような反省の下、組織の社会的信頼性を高めるために、2017年度はびわ湖トラストの独自予算を活用してジュニアびわ湖塾というプログラムを立ち上げた。最終的に10名の中学生が参加し、とても熱心に学習することができた（図4）。



図4 2017年に自主財源で実施したジュニアびわ湖塾

かつてこのプログラムに参加した中学生は、現在全員が高校生となっている。そして、彼らのほとんどが、びわ湖トラストが独自に行っている高校生プログラムに参加している。また、そのうちの3名が、2019年5月に日本地球惑星科学連合が幕張メッセで開催した高校生ポスターセッションに参加した。びわ湖トラストは、こうしたやる気のある生徒の主体的な行動を積極的に支援している。というのは、科学の好きな青少年を育てるためには、このように小学生から中学生、高校生までの学校生活の中で、好奇心を持って自然を観察する活動の場を如何にして持続できるかにかかっている、ということを実感したからである。

3. ジュニアドクター育成塾での取り組み

2018年に、びわ湖トラストはジュニアドクター育成塾に再度応募した。課題名は「日本最大・最古の湖 びわ湖から学ぶガイアの世界」とした。ガイアというのは、ギリシア神話に登場する大地の女神を指している。

しかし、ここでは英国の化学者ジェームズ・ラブロックが提唱した「ガイア仮説」に基づいて名付けた（Lovelock 1972）。すなわち、地球上における生物は、それらを取り巻く無機物と密接に相互作用しており、その結果、惑星に生命が生存する条件を維持しかつ永続させるのに必要な、相乗的かつ自己制御的である複雑系を作り出していると言うのが、ラブロックの主張である。

琵琶湖は、まさにそのようなガイア世界のモデルのような場のひとつであると思われる。というのは、現在の場所で湖が形成されてからおよそ40万年という長い時間が経過し、その間に固有種と言われる独自の生物の遺存や分化が行われてきた。このことは、琵琶湖が十分に大きくて、日本の淡水資源のおよそ3分の1にあたる275億トンとい

う大量の水を湛えていることと、密接に関係している。琵琶湖に安定的に存在する大量の水と、地球の自転が作り出す地衡流という環流に保持される巨大なエネルギーが、長い時間をかけて独特な生物群集を作り出してきた。一方で、バクテリアから魚類までを含む複雑な生態系が、良好な水質を維持してきたともいえる。このように琵琶湖は、地球環境の実態を学習するには絶好の場なのだ（熊谷・浜端・奥田 2015）。だからこそ、我々は琵琶湖を場としたジュニアドクター育成塾を、ぜひこの地で実施したいと考えた。

近年、地震や集中豪雨、火山噴火などといったさまざまな自然環境の変化が顕著である。それらの多くが、地球規模での気候変動に起因している。琵琶湖も例外ではない。過去 50 年間に琵琶湖の水温は約 2℃ 上昇しており、熱エネルギーが徐々に湖内に蓄積されつつある（図 5）。そのことが、琵琶湖の水質に変化をもたらし、生息する生物に影響を与え始めている。特に、深水層における溶存酸素濃度の低下と固有種の減少が著しい。同様なことは海洋でも起こっているが、身近な琵琶湖はまさに地球温暖化による環境変化を感知する指標（sentinel）ともいえる。

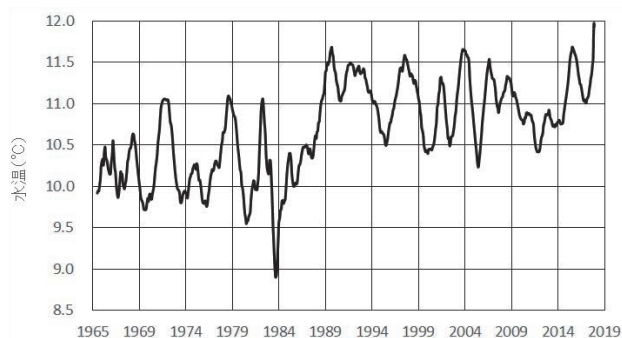


図 5 琵琶湖の平均水温の変化(彦根水産試験場データ改編)

このような地球規模での気候変動に起因した諸課題を解決できる、しなやかで強靱な国際感覚を持つ先進的な研究者を育成したい。そのためには、地球科学に関する複合的な知識と経験を身につける上で必要な数学・物理学・生物学・化学・地学・工学・文章力・英語力などの基礎分野を 5 年間で学習し、その上に ICT を駆使した情報活用力を習得できるように指導することを、我々は提案した。

2018 年度は、全国から 16 機関がジュニアドクター育成塾に応募し、9 機関が採択された。この中の 8 機関は学校法人であり、残りの 1 機関がびわ湖トラストだった。

びわ湖トラストがユニークなのは、琵琶湖を取り巻く大学の研究者が講師として参加している点である。京都大学、

滋賀大学、滋賀県立大学、立命館大学、龍谷大学の 5 大学で実際に琵琶湖の研究を行っている教官が、野外調査の仕方やデータ解析の仕方を直接指導するという取り組みは、単一の大学では実施しにくい多様な教育環境を生徒に提供できるというメリットがある。しかも、実験調査船はっけん号に乗って、琵琶湖の生物や水質そして湖流などを実際に調べている。

このようにソフト面とハード面で独自の取り組みを展開しているのが本プログラムの大きな特徴であるが、琵琶湖という魅力的な教育資源を有している一方で、初等教育の実績に乏しいというデメリットもあった。すなわち、異なった小中校から参加して来た 10 歳から 15 歳までの年齢や性別の異なる生徒たちと、高等教育に関する指導経験しかない大学教官の交流という手探り状態から出発したと言っても過言ではなかった。ただし、滋賀大学教育学部の先生の参加は、このデメリットの緩和に大いに役立っている。

4. 求める成果は？

では、本プログラムで、我々は一体何を成果として求めるのだろうか。申請段階では、以下のような目標を掲げた。「様々な困難を解決できる国際的な地球科学者を育てるために、自然への好奇心や探究心、観察力、課題抽出・仮説構築・検証・発表などに必要な能力と資質を持った生徒を養成する」

現実的な問題として、指導している講師がこのような高いレベルの能力や資質を有しているかどうかは、疑わしいところである。しかし、オリンピック選手を指導しているコーチが、金メダルを取れるとは限らない。コーチと選手が一体となってより高いレベルを目指すことが、選手の能力と資質向上につながっているのだろう。つまりコーチと選手がそれぞれの能力を補うことが大切だと思われる。少なくとも、我々はそう信じて生徒の指導を行っている。

少し具体的な話をしてみたい。3 年前の次世代科学者育成プログラムに参加した A 君の場合である。彼は優秀な生徒だったが、格別に科学が得意だったわけではない。実際、県内有数の進学高校に入学した彼は、文系を選択していた。その A 君が、2018 年に琵琶湖の環流を調査したいと申し出てきた。というのは、彼は中学生であった 2016 年に、我々と一緒に環流の調査をやっており、その経験を生かして今度は高校の友人たちと一緒に琵琶湖の環流調査に再挑戦したいとの希望だった。我々は二つ返事で承諾し、

夏休みに高校生プログラムとして環流調査を行った。

さっそくGPSトラッカー（GlobalSat）を組み込んだ2台の漂流ブイを用意して、2018年8月12日に琵琶湖に投入し、8月16日まで5日間それらの軌跡を追跡した。このシステムはインターネット上で軌跡をモニターすることができるので、家庭や通学途中でもスマホでブイの位置を知ることができるので便利である。その結果、非常に興味深いデータを得ることができた（図6）。

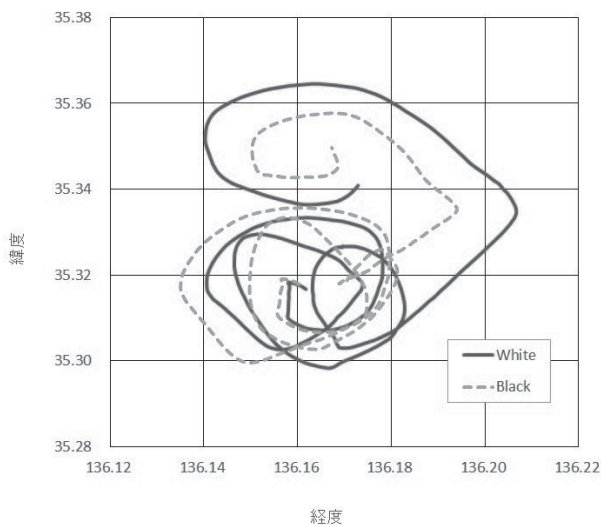


図6 琵琶湖の環流（2018年8月12日～16日）

というのは、はじめは南の方で反時計回りに回転していた2台の漂流ブイが、8月15日になると急に北の方へ平行移動し、そこで再び反時計回りに回転し始めたからである。その移動距離は3～4kmほどであった。2台のブイが同じように移動したのだから、誰かのいたずらや測定誤差ということではない。自然界では、このように一見奇妙な現象が時々起こったりする。不思議に思ったA君は、その時の気象データをアメダスから入手し、解析することにした。その結果、彼はある現象に気がついた。8月14日午後から15日午後にかけてほぼ24時間、平均風速が毎秒4mを越える、かなり強い東風が吹いていたのである。この風の作用によって渦が北へ平行移動したのでは、とA君は考えた。

「ひょっとしたら？」

そう思った我々は、エクマン輸送の計算を行うことをA君に提案した。一定の強い風が24時間程度吹き続けると、北半球では風向きに対して右手方向に水が移動するという不思議な現象が起こる。これは地球の自転効果、つまりコリオリ力が作用するからである。

それからA君は頑張って難しい数式と向かい合い、どのような条件であれば南にあった渦が北へ移動するかを計算した。その結果、鉛直渦動粘性係数を $0.003\text{m}^2/\text{sec}$ にすると、渦が北へ約3.2km移動することに気がついた。この値は、琵琶湖の数値計算でよく用いられる係数にとっても近い（Akitomo *et al.* 2009）。こうして、A君は風が弱いと地衡流が卓越して環流という渦が形成されるが、強い風が吹き続けるとエクマン流が卓越して渦が移動することを見事に説明したのだ。

このように書くとは簡単のように聞こえるが、この計算は結構ややこしいもので、大学生や大学院生でも簡単にはできない。それを、専門的な知識のない高校生が導いたのだから、指導者としてはビックリである。強い好奇心が、彼の理解力を一段と深めたのだろう。そして、A君はこの研究成果を、日本地球惑星科学連合が公募した高校生ポスターセッションで発表した。

適切な時期に、良質な素材を提供し、深く考える時間と正しい方向性を用意すれば、性別や年齢に関係なく生徒たちは育っていくよい事例ではないかと思っている。そして、このようなことが、本プログラムの意図している成果なのではないだろうか。知る喜びが新たな好奇心を生み出し、やがて大きな歯車となって回転しだす。スポーツの世界で言うコーチ役の私たちが、ほんの少し手助けをしてやるだけで生徒の能力は開花するのだと思う。

5. 作文力の必要性

2016年の次世代科学者育成プログラムの時も、そして2018年のジュニアドクター育成塾の時も、必要な数の生徒を集めるのにとっても苦勞した。どちらの取り組みも社会的に十分認知されていなかったことに加え、募集段階で生徒に1200字の作文の提出を求めたことが原因だったと思われる。当時の作文課題は「私が考える10年後の科学技術」であった。

手分けして小学校や中学校へ生徒募集のお願いに行っても、校長先生や教頭先生からは「趣旨はわかりましたが、うちの生徒にこんな難しい課題の作文が書けるかな」という答えが多く返ってきた。確かに、ハードルが高いな、という思いはあった。しかし、文章が書けない生徒に科学技術を理解させることはできない、という固い信念で初志を貫いた。自分一人で書けなければ、保護者と相談して書いてもよい。そこから家庭の会話が生まれるし、何か得られるものが必ずあるはずだ。つらいことを工夫して克服し、

我慢してやり抜くことが、今後自然科学を学ぶ際の想像力や忍耐力を生み出すと信じたからである。

結果は大成功だった。ちょうど時を同じくして、中学入試、高校入試、大学入試で読解力を求める問題が多く出されるようになってきた。文部科学省の学習指導要領も変わってきた。それは、人工知能（AI）の普及と相まって、読解力の必要性を訴える書籍が爆発的に売れだしたからでもあった（新井 2018）。人間はAIに負けるのか。「シンギュラリティ」は起こるのか。そんな論調が世間を駆け回った。いや違う。残念ながらAIには読解力がないのだ。そこがAIと人間の大きな違いであり、読解力を伸ばす教育が必要だ。ビッグデータとディープラーニングを基礎に置くAIが苦手とするのが、読解力であると、その著者は主張していた。

読解力と作文力は実は同じ枠組みにある。文章をきちんと読まなければ、論理的な思考は生まれず、読者にわかりやすい文章は書けない。また、良い文章が書ける人は、多くの良書を読破している人である。そこで、ジュニアドクター育成塾の生徒たちには「晏子（あんし）」という本を読むことを勧めている（宮城谷 1997）。作者の宮城谷昌光さんは、日本の現代小説家の中でもっとも言葉の意味を大切に文章を書いていると思うからである。実際、この本を読んで読解力が大幅に向上し、高校や大学の入試に役立った事例が複数ある。

さて、子供たちは作文が書けない。そう学校の先生は考える。本当にそうだろうか。書けないと思い込んでいるだけではないだろうか。書く機会を与えれば、子供たちは立派な創作者になれるのではないだろうか。これはピアノのレッスンに似ている。最初からピアノが弾ける子供はいない。よい指導者にめぐり合えれば子供の才能は開花し、ピアノも弾ける。これは、作文も同じだ。もちろん、個々の能力に違いはある。しかし、頭から「ダメだ」と決めつけない方がよいのではないだろうか。

ここに面白い結果がある。ジュニアドクター育成塾の募集時に生徒に課したのは、先ほど述べた1200字の作文のほかに、数学的論理力を問う客観テストであった。前者は4名の専門家が一定の判断基準で個々に採点し、後者は模範解答にしたがって採点した。結果を集計すると、概ね3つのグループに分かれることがわかった。作文力も論理力も高いグループ（約75%）、作文力はないが論理力に優れたグループ（約20%）、作文力も論理力も共に低いグループ（約5%）であった。一方で、作文力があって論理力が

乏しい生徒はいなかった。つまり、作文力のある生徒は論理力も高かったのだ。

さらに2019年3月31日に生徒による研究発表を行い、講師をつとめた8人の審査員によってその成果を採点してもらった。この採点結果を、初年度の1次選抜の生徒35名から2次選抜に進む10名の生徒を選ぶ基準とした。評価の基準は次の5項目であった。

- (1) 課題設定や目的は明確か
- (2) 課題を解決するための方法や調べ方は適切か
- (3) 自分の意見を盛り込んでいるか
- (4) 発表態度は適切だったか
- (5) 自らの研究テーマとして結果を残せそうか

それぞれを3段階で評価し、合計点で順位付けを行った。結果として35名中の21名が成果発表を行い、18名が2次選抜へ進むこととなったが、そのうちの14名の作文力は非常に高かった。このことは、作文力の高い生徒は自然科学の分野でも高い評価を得られる傾向にあることを意味している。

というわけで、びわ湖トラストのジュニアドクター育成塾では、応募時の作文がとても重要であると考えている。そして、小中学校へ生徒募集のお願いをするときに、そのことを伝えるようにしている。生徒にはできないと頭から決めつけないで、文章を書く機会を少しでも増やしていただきたいと思っている。

6. 差別をなくしたい

2次選抜へ進んだ18名の生徒のうち、3分の2にあたる12名が女子生徒であった。ジュニアドクター育成塾で小中学生の指導を行うようになって特に思うのだが、この年代の生徒たちの間に、理科に対する男女の格差は全くない。むしろ、女子生徒の方が積極的である。春休みや大型連休に、びわ湖トラストが準備した研究室で、黙々と室内実験を行うのはほとんどが女子生徒である。

不思議に思うことがある。我々が研究対象としている湖や海の研究会や会議に行くと、国内では圧倒的に男性が多い。部屋の中が黒っぽいスーツで溢れかえる。しかし、海外では女性が多く、色彩も華やかである。

自分が大学生の頃は、国内の学会で男性が多いことを不思議に思わなかった。きっと、男の方が科学には向いているのだろう。そんな程度の認識しかなかった。しかし、大学院を卒業して海外で行われる国際会議に出席したり研究機関を訪問したりするようになると、日本と海外の違いに驚くよう

になった。それくらい、海外では女性科学者が多いのである。

ここ数年、小中学生を指導して、この違いが男女の能力差によるものではないことに気づき、愕然とした。少なくとも小中学生を見る限り、日本の女性は決して科学に向いていないということはない。これはおそらく日本の高校や大学の教育指導がおかしいのではないのだろうか。最近そう思うようになってきた。

まず、高校で理系と文系に分別される。この段階で、多くの女性が理系から振り落とされる。日本の進学システムは二者択一であり、文系に進んだ学生が途中で理系に進むことは難しい。おそらく単位の取り方とかにも問題があるのだろうが、一番の問題は、好奇心を育てる教育をしていないからではないだろうか。

高校の理系では、問題を解くことは教えるが科学は教えていない。科学とは、そのラテン語源からもわかるように「知り続けること（sciens）」である。つまり、「世界の奥の奥で続（す）べているものは何かを問い、その秘密を知りたい、という人間の持つて生まれた知的欲求のあらわれが科学」である（朝永 1977）。

つまり好奇心がなければ、科学を続けることはできない。しかし、知り続けることには限界がない。そんな手間暇のかかる教育を、高校ではしないらしい。結果として、大学入試に役立つ指導が乏しい。先に述べた作文力と論理力に優れたグループは、この段階で論理力を封印して作文力を生かした選択を行うしかない。つまり文系を志望することになる。というのは、このグループの生徒は、好奇心を糧として自分の興味ある研究分野に埋没する傾向を持つ。想像を生み出す好奇心が与えられなければ、必然的に理系にとどまる理由を持たない。

結果として理系に残るのは、作文力はないが論理力に優れた生徒たちである。無味乾燥な数式の中に自然に対する好奇心は生まれにくい。こうして、日本の科学の世界から女性がこぼれ落ちていくのではないだろうか。この解釈は間違っているかもしれないが、そんな気がしてならない。

ところで最近の地球科学の世界的な主流のひとつに、生態学がある。生態学とは、生物とそれを取り巻く環境との相互作用を研究する学問である。また、生命の分野でも遺伝子を取り扱う研究が増えている。このような生態や生命の世界には、不思議な現象がたくさんある。なぜなら、生物の世界は解明されていないことが多いからである。

生態や生命は多くの若者の興味を引く分野であり、そこには作文力と論理力に優れた学生の活躍の場がある。高校

や大学で好奇心を醸成するための適切な科学教育がなされることで、日本の女性科学者の数はもっと増えるはずである。そのことが、学問だけでなく社会の多様性を確保する上で大いに役立つと思われる。

そんなわけで、びわ湖トラストが実施するジュニアドクター育成塾では、生徒の好奇心を育てることに力を入れている。まず、座学を通して生徒たちが興味を持ちそうな素材（種）を提供する。すでにわかっていることより、まだわかっていないことに重点をおき、何が問題かを解説する。

次に、船上講座や研究室で観測や実験のやり方を教える。計測機器や分析装置の取り扱い方を指導する。そのうえで、生徒がやってみたいことの相談にのる。失敗も経験だから、生徒のアイデアを頭から否定するようなことはしない。こういうことを辛抱強く繰り返すことによって、生徒は次第に成長し、やがて自分で考え、取り組みを始める。

小学生や中学生の年代で、生徒だけで研究ができるのはまれである。時として保護者と一緒に観察や実験をする場合もある。それも否定しない。親の経験や知識が役に立つこともある。また失敗してくじけているときでも、励ましてもらうこともできる。これはスポーツの世界を見ているとよくわかる。成功するスポーツ選手の陰には、涙ぐましい両親や家族の支えがある。はじめは、すべてが親の真似をすることから始まり、やがて子供は自立していくのだ。

7. へーそうなんだ！

びわ湖トラストのジュニアドクター育成塾は2018年7月にスタートしたが、子供たちの進歩には驚かされる。特に、作文力と論理力の両方が優れた生徒は、進歩の度合いが大きい。好奇心が旺盛な子ほど、年度末の研究発表会でその成果が良く表れていた。

小学6年生であったBさんが挑戦したのは「プラスチックボトルは浮く？沈む？」だった。そもそもBさんがこのテーマを選んだのは、海で泳いだ時に目の前にペットボトルが浮いていたからだった。ちょうど海洋におけるマイクロプラスチック汚染の問題が話題になっていた頃である。こうして「ペットボトルはどうして浮かぶのだろうか？」という素朴な疑問から、彼女の実験は始まった。

小学生だから、アルキメデスの原理は習っていない。では、いつ習うのだろうか。ネットで調べたら、浮力については中学1年の理科で習うらしい。ただアルキメデスの原理が登場するのは、どうも高校の物理らしい。「へーそうなんだ」と納得した。

Bさんに「ボトルの比重を計ってみたら」と簡単に答えてしまってから、気がついた。プラスチックボトルは沈む場合もあるし、浮く場合もある。しかも、形が不規則だ。いろいろな形がある。どうやって比重を求めるのだろうか？

しばらくして、Bさんから送られてきた写真を見て「うーん」となってしまった。母親と一緒に製作したという実験装置には、涙ぐましい工夫の跡があった。



図7 比重を計測する実験装置 (本人提供)

ボトルがすっぽり沈む容器にチューブをつけ、あふれ出た水を電子ばかりに乗せた容器に受ける。最初に計っておいたボトルの重さを、あふれ出た水の重さで割って比重を出したという。この装置を用いて、Bさんは16種類のプラスチックボトルの比重を計測した。そして、PPとラベルに書かれた浮くボトルとPETと書かれた沈むボトルがあることを発見した。PPというのは、ポリプロピレンという素材からできているボトルで、メーカーのデータによると比重が0.90～0.91らしい。PETというのは、ポリエチレンテレフタレートという最もよく使われている素材で比重は1.38～1.39だ。

そもそもプラスチックボトルは、いくつかの異なる素材からできている。ボトル本体、ラベル、キャップとキャップ留めである。ボトル本体はすでに述べたとおりであるが、ラベルはポリスチレン (PS) でできている。キャップは比重の軽いPPである。

ところが、である。Bさんの実験によればPPと書いてあるのに沈むボトルもあれば、PETと書いてあるのに浮くボトルもあるらしい。計測する重さが10グラム前後の話なので、表面張力の影響や、人が周りを移動する振動によって実験結果が変わったりする。しかも、PPとPET

が混ざったボトルもあるらしい。どうも思ったほど簡単な実験ではなかったようだ。「へーそうなんだ」と彼女から教わるまで、大人の我々も知らなかった事実が次々と明らかになってきた。

現在、ジュニアドクター育成塾の生徒たちと一緒に、琵琶湖のマイクロプラスチックの計測を開始している。ポンプで湖水を汲み上げ、5.6mm、1.0mm、0.1mm、0.02mmの目のフルイに1トンの水を通して分別している。このような分別方法に国際基準はまだないようで、どうもその辺から整理する必要があるようだ、ということも分かってきた (Verschoor 2015)。

1.0mm目のフルイに残ってくるのは、毎回5～6個の破片である。それ以下のフルイは、プランクトンが混在するのですぐに目詰まりになってしまう。海ではネットを用いて採取しているようだが、厳密な意味でそれでよいのかがわからない。

あと、採取した破片の素材を調べなければならない。プラスチックの分別には、まず破片を比重1.0の水が入った容器に通すことによって、PPを分離することができる。次に、水に塩を加え、比重が1.04～1.07のものとは1.38のものを準備すれば、PSとPETを分離できるらしい。実際のリサイクルでもこのようなやり方で分別しているようだ。生徒と一緒に、比重や溶解度に関する理科実験を行うよい課題かなと思っている。

8. 評価委員会の意見

すでに述べたように、びわ湖トラストのジュニアドクター育成塾は2018年度の途中から始まったが、座学15回、企業見学1回、船上講座13回を実施した。これらの成果発表会を、2019年3月31日に実施した。当日は占部城太郎 (東北大学教授)、陀安一郎 (総合地球環境科学研究所教授)、吉山浩平 (滋賀県立大学准教授)、田邊優貴子 (国立極地研究所助教) の4氏による評価委員会を開催した。以下にその結果をまとめる。

最初にプログラム全体について4項目の評価を行い、次に個別5項目についての評価を行った。プログラム全体については以下の通りであった。

(1) プログラム構成については、適切であると答えた委員が4名であった。意見は以下の通りであった。

「参加者が科学を楽しんでいる様子が伺えて、本プログラムの適切さを確認できた」「座学と実践のバランスが取れたよいプログラムである」「プログラムの成果で各自が

成長したのではないかと思われる」「小中学生の時期からこのようなサイエンスに対して実際に触れられる場があるのはとても重要。指導者・助言者の存在も大きいと思う」

(2) 指導体制については、適切が3名、改善が必要であるが1名であった。意見は以下のとおりである。

「指導している専門家はおおむねバランスが取れているが、化学の専門家がもう少し入ると良い」「3名のコアメンバーとメンター、外部講師の連携が取れている」「滋賀県以外の参加者をもっと多く呼べる仕組みが欲しい」

(3) 指導内容については、4名が適切であると答えた。意見は以下のとおりである。

「十分指導教育していることが伺えた。特に発表の仕方についてよく指導されていた」「専門的な内容も含んで、指導が良く行われていた」「座学だけでは身につけにくい

が、自らの力で調査・研究をしていくスタイルであることが良い試みである」

(4) 指導回数については、適切であるが4名であった。意見としては以下の通りであった。

「座学や実習の機会は十分である。企業訪問だけではなく、各人のテーマに関する専門家へのインタビューなどの機会を設けるとよい」「プレゼンの仕方を学ぶ講座があってもよいのでは」

以上のように、本プログラム全体については比較的良い評価を頂いたと思っている。2019年度から1期生の2次選抜組に新たに2期生の1次選抜組が加わるので、負担が大きくなるが、評価委員の意見を参考にして、よりよい形にしたいと考えている。

次に個別評価の結果についてまとめる（表1）。

表1 個別項目の評価結果

項目	委員-1	委員-2	委員-3	委員-4	総合評価
①自然への好奇心や探究心、観察力および独創性	A: 全ての参加者（発表者）が自身の興味を持って学習と研究をしており、探求心はよく深化していることがうかがえた。	A: 各自の興味をもとにメンターが課題をよく整理できていると感じた。引き続き研究を深めていけるだろう。	A: 全体を通して生徒たちがみな、好奇心をもって自然を楽しみ、不思議に思いながら取り組んでいることがうかがえた。	A	A ⁺
②地球科学に関する基礎学力および応用科学力	B: 参加者が小5～中3と幅があるため、地球科学や生態学の問題を全員が正しく理解してはいなかった。今後の底上げが重要である。	A: 学年に応じたレベルで個別課題にあたっており評価できる。	A: 生物・物理・化学・環境に対する基礎と、そこに潜む問題をどう解決できるかを考えている。	A	A
③野外調査や室内実験の企画実施能力	A: ほとんどの参加者が自身の興味に沿った仮説やその検証のための実験計画、調査方法を示していた。	A: おおむね科学の手続きにのっとり計画を立てていると思った、次年度に本格的に研究するにあたっての準備はできている。	B: まだ自分で研究に取り組んでいない生徒も多くいたため、現段階ではできている子とそうでない子のパラツキがある。	A	A
④データ処理能力と分析解析能力	B: データの意味をよく理解している参加者もいれば、そうでない参加者もいた。指導者と質疑応答をする機会を増やすとよい。	A: 本格的にデータ処理を行う課題は少なかったが、必要な事項は適切に行えている。	B: すでにエクセルで表計算や統計ができていない生徒も一部いたが、スキルの指導をする機会が必要と感じた。	B: 数名がグラフを有効に用いて発表していた。	B ⁺
⑤文章能力・英語力・発表能力・論文作成能力	A: すべての参加者が分かりやすい発表をしており、プレゼンに対する丁寧な指導は高く評価できる。	B: 今回はプレゼン能力の評価なので、それ以外は評価できなかった。次年度には何らかの簡単な論文形式のまとめがあると望ましい。	B: 本プログラムの応募時にすでに1200字の長文を書いて選考しているため、その点はクリアしていると思われる。一部の生徒は英語文献を読んでまとめ、さらに英語で発表ができていた。今後、指導助言を受けていけば、より一層成長が期待できる。また全員が分かりやすく発表できていた。	A: 数名が非常に優れた発表をしていた。	A ⁻

(1) 自然への好奇心や探求心、観察力および独創性が進化しているか、という問いについては A⁺ 評価であった。特に、生徒が好奇心を持って参加している点が評価された。

(2) 地球科学に関する基礎学力および応用科学力が身につけているか、という問いについては A 評価であった。これについては小5から中3と学年差が大きいので、全体の底上げを求められた。

(3) 野外調査や室内実験の企画実施能力が実現しているか、

という問いについては A 評価であった。自分で研究の取り組みが実現できている子と、そうでない子のパラツキがあるとの指摘を受けた。

(4) データの処理能力と分析・解析能力を獲得できているか、という問いについては B⁺ 評価であった。これについては、指導者と生徒が質疑応答を行うとか、スキルの指導を行う機会を増やすようアドバイスを得た。

(5) 文章能力・英語力・発表能力・論文作成能力が向上し

ているか、という問いについては、A⁻評価であった。次年度から簡単な論文形式を取り入れたらどうか、というアドバイスを得た。

総合的な評価としてはAもしくはA⁻なのだろうか。初年度終了時としては、良い評価だと思われる。また、以上のように指摘された部分を改善しながら、どうすれば小中学生の科学力の底上げができるのかを考えてみたいと思う。その他コメントの中に「知的好奇心から問題提起、実験等を経て結論に至る過程で、身の丈に合った道具を用いて試行錯誤する必要がある。知的好奇心と科学的道具立てが並行して成長するように指導するには、大変な工夫が教える側に求められる」という意見があった。今後1期生2次選抜組の研究指導を行う上で、確かに重要な指摘であると思われるので、よく検討したいと考えている。

9. 今後に向けて

ジュニアドクター育成塾のような5年間プロジェクトを実施していく上で、毎年の取り組みをきちんと行うと共に、5年後の着地点をどこに置くのかを考えておく必要がある。予算がなくなればあとは何も残らなかったのでは、スポンサーである文部科学省やJSTも、参加した生徒も、指導した講師も、お互いに困るだろう。我々は、地球科学という枠組みの中で、一人でも多くの優秀な後継者を育てたいという希望を持っている。そのためのビジネスモデルとは何だろうか。

現段階で明確な回答を持っているわけではないが、びわ湖トラストの場合には、琵琶湖との関係がそのカギを握っていると思われる。今年は、2019年4月下旬になっても、琵琶湖の全循環が起らなかった。全循環というのは、冬期に琵琶湖の深い水と浅い水が十分混合する現象である。このことによって、表層の酸素を多く含んだ水が湖底に届き、酸素不足を回復する。こうして水質も生物もリフレッシュするのだ。

ジュニアドクター育成塾の中に、この問題に関心を寄せる生徒も何名かいる。また、かつて在籍した高校生の中に「変わる地球環境～止まる？琵琶湖の全循環～」というタイトルで研究発表をする生徒もいる。一般市民やマスコミも含めた多くの関心が、今年発生した琵琶湖の全循環停止に注がれていることも事実だ（朝日新聞 2019）。

これまで琵琶湖は1000年以上にわたって、水運や水産業、飲料水、観光、生態系サービスなど多くの恵みを地域住民に与えてきた。その恩恵は、滋賀県だけでなく、京都・大阪・兵庫・奈良にまで広がっている。

他方、地域住民が琵琶湖に注ぐ愛情や関心も計り知れないものがある。ジュニアドクター育成塾でも、その参加者は滋賀県だけでなく関西一帯に広がっている。水資源と教育資源が切り離せないのが、この地域の特徴でもあるのだ。

拙著「琵琶湖は呼吸する」の中でも引用しているが、琵琶湖の将来モデルの中に、米国にあるタホ湖環境科学センター（図8）のイメージを重ね合わせている（熊谷・浜端・奥田 2015）。このセンターは、タホ湖の先住民族であるワシヨ族との協調を計りながら、タホ湖の環境研究と情報交換や交流を目的として、2006年に周辺自治体や大学および地域住民が共同で設置した。



図8 タホ湖環境科学センター（アメリカ）

できるならば、琵琶湖周辺にもこのような自由な交流活動拠点が欲しいと思う。そこでは、琵琶湖のこれからのありようについて議論ができ、学べて、活動することができる。我々は、ジュニアドクター育成塾における人材育成の成果が、この拠点づくりに貢献できると確信している。

さて、話を全循環に戻そう。今年の3月と4月の末に琵琶湖で水温と溶存酸素濃度を測定した。それによると、水深50mより深い場所での循環が十分でないことが分かってきた（図9）。水深50mより層ではすでに加熱が始まり、どんどん密度が軽くなってきている。一方、深い層では内部波により縦方向ではなく横方向の混合が起り、若干水温が上昇しているが、これ以上の回復は見込めそうもない。深い場所での溶存酸素濃度は7～8mg/L程度にとどまっている。これは例年より20～30%小さい。今後、琵琶湖の湖底環境がどのように推移するか不明だが、酸欠状態に近づくのは確かだろう。琵琶湖で全循環が停止したのは初めての経験であるので、小中高の生徒たちと一緒に注意深く監視していこうと思っている。

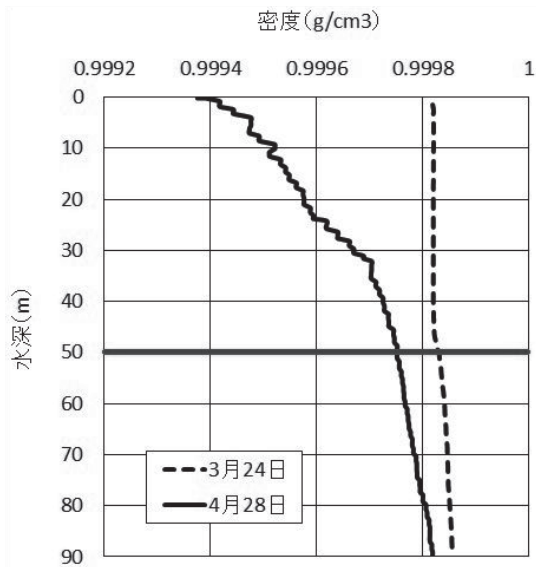


図9 琵琶湖の密度プロファイル（2019年）

このようにして、その時々最新の情報が得られる琵琶湖で、小中高校生と共に作業し、分析し、解釈し、記録することが、次世代の地球科学者を育成する上で非常に重要であり、その結果として、琵琶湖が健全に守られていくことになるのだと、改めて痛感している。

謝辞

本稿を書く上でご協力いただいた講師、生徒および評価委員の皆様に感謝します。また、本事業の推進を支援して

いただいているびわ湖トラスト会員および実験調査船はっけん号の乗組員に御礼申し上げます。なお、この事業はJST ジュニアドクター育成塾の予算で執行しています。

文献

Akitomo K, K. Tanaka K, Kumagai M and C. Jiao (2009): Annual cycle of circulations in Lake Biwa, part 1: model validation. *Limnology* **10**: 105-118.

朝日新聞（2019）琵琶湖「深呼吸できない」。2019年5月9日版 9面。

新井紀子（2018）AI vs. 教科書が読めない子供たち。東洋経済新報社。287pp.

熊谷道夫・浜端悦治・奥田昇（2015）びわ湖は呼吸する。海鳴社。182pp.

朝永振一郎（1977）物理学とは何だろうか。岩波新書。246pp.

Lovelock, J.E. (1972) Gaia as seen through the atmosphere. *Atmospheric Environment*. **6**(8): 579-580. doi:10.1016/0004-6981(72)90076-5.

宮城谷昌光（1997）晏子。新潮文庫。430pp.

Verschoor A.J. (2015) Towards a definition of microplastics. Considerations for the specification of physico-chemical properties. RIVM Letter report. 38pp.

