

# 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)

—求められる能力や態度の明確化と教材化—

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  
西山 和之 田中 伸也 林 靖弘

## 1. はじめに

本研究は、中学校・高等学校におけるグローバル人材育成の視点を、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。

南極では国境を越えた協力の下、研究が進められている。南極は、南極条約により科学的調査の自由と国際協力等が定められ、グローバル化が進展する現在の社会の中でも、生徒がグローバル化を実感することのできる格好の場であると考えられる。長沼は3度、南極観測隊に参加しているが、そのうちの2度はイタリア隊とスペイン隊での参加である。また、国際極年では世界の研究グループの中核として重要な役割を果たしてきた。

こうした長沼の科学者としての体験を元に、これからの世界で活躍する生徒に求められる資質や能力・態度を明確化し、長沼による講義を中心としてグローバル化の本質について生徒の興味や意欲を喚起する教材を開発することをめざした。3年計画の初年度に当たる本研究では、理論構築と「南極」を盛り込んだ授業内容・教材開発を行い、授業を実施し評価した。

なお、2年次は「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、3年次は「グローバル化に求められる態度」の育成に重点を置いた授業の開発を予定している。

## 2. グローバル人材育成の本質

「教育は国家百年の大計」とも言われる。今まさに百年の計として「グローバル人材の育成」が求められ

ている。

自民党安倍内閣の成長戦略「アベノミクス」<sup>1)</sup>では、「世界に勝てる若者」の育成を具体的な提案の1つとして示した。

民主党政権下の新成長戦略実現会議のもとで2011年6月に発表された「グローバル人材育成推進会議 中間まとめ」<sup>2)</sup>では、育成していくべき「グローバル人材」の概念を、次の3つの要素にまとめている。

要素Ⅰ：語学力・コミュニケーション能力

要素Ⅱ：主体性・積極性、チャレンジ精神、協調性・柔軟性、責任感・使命感

要素Ⅲ：異文化に対する理解と日本人としてのアイデンティティー

これらを受けた具体的な施策として、文部科学省は初等・中等教育段階において、「小・中・高等学校を通じた英語教育強化事業」、「スーパーグローバルハイスクール(SGH)」、「社会総がかりで行う高校生留学促進事業」の推進を計画している。

上に示した3つの要素のうち、要素Ⅰについてはスキルを向上させるという目標や方法論が立てやすい。それに対して要素Ⅱ、要素Ⅲこそが、グローバル人材、ひいてはグローバルリーダーとして求められる能力や態度であり、これらをいかに育成していくかが大きな課題であると考えられる。文部科学省初等中等教育局平成26年度概算要求説明資料<sup>3)</sup>に示されたSGHの目的も、「急速にグローバル化が加速する現状を踏まえ、語学力とともに、幅広い教養、問題解決力等の国際的素養を身に付け、将来的に政治、経済、法律、学術等の分野において国際的に活躍できるグローバル・リーダーを、高等学校段階から育成する。」となっており、単に英語に力を入れるのではなく、要素Ⅱ、要素Ⅲが

---

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

重視されていることがうかがえる内容である。

では、中学校・高等学校でのグローバル人材育成とはどのようなことを目指すべきだろうか。この点を明確にすることを、この研究の第1段階としたい。

#### (1) グローバル人材育成：科学と英語力

広島大学に籍を置き世界を舞台に活躍する科学者には「科学者としての英語力・コミュニケーション能力は実践の中で身につけるものである。」と主張する方が多いと感じている。世界を舞台とする科学者は、自らの経験として学生時代の留学や共同研究の現場で英語力やコミュニケーション能力を磨いてきている現実がある。科学者を目指す学生について言えば、多くの場合、英語力が低いことよりも、使い慣れていないことに課題がある。そして、実際に英語を使い、それに慣れ、使いこなしていくためには、実践的な経験が最も有効であると考えられる。

広島大学を平成22年3月に定年退職された嶋本利彦博士は、広島大学大学院理学研究科在学中にテキサスA&M大学の大学院に留学し、帰国して広島大学、東京大学、京都大学、そして再び広島大学教授を歴任された。先生は自らの体験を元に学生に留学を勧められているが、その内容は以下のようなものである<sup>4)</sup>。

「アメリカの多くの大学は、大学附属の集中英語コース（イングリッシュ・ランゲージ・インスティテュート（ELI））を持ち、将来の大学進学のための語学準備として、また日常生活で必要とされる英語力の向上をめざした2～3ヶ月のコースが開設されている。日本からの留学生には英語への不安を持つものも多いが、こうした専門コースでの訓練により、多くの学生は希望する大学や大学院へ進学を果たしている（自分もそうだった）。米国の大学院では、必修科目はせいぜい4～5科目と少なく、他の科目はアドバイザーと相談して院生の個性と研究目標に合わせて決められていく。院生の受ける授業科目は様々であり、このことが多様な人材を生み出すのに非常に役立っている。講義で単位を取るのには楽ではないが、苦勞した講義を通じて得た理工系にまたがる幅広い知識が、その後の研究を進める基盤となっている。」前半は留学時の英語に対する不安を和らげ、ハードルを下げるための内容である。そして後半は、留学に対する動機付けとなる内容である。

ELIのようなコースの存在は、実際に留学を体験した人にとっては当たり前であっても、中学生・高校生にはほとんど知られていない。2004年以降海外に留学する学生の数は減少に転じ、特にアメリカの大学に在籍する学生数は大きく落ち込んでいる。経済状況の影響も大きいと考えられるが、これまでわが国では、し

ばしば比較の対象とされる韓国とくらべ、制度上もそして何より意識の上で、グローバル対応を進めなければならぬという思いが弱かったのではないだろうか。ガラパゴス化と呼ばれるように、国内で完結することで満足する風潮が強かったのではないだろうか。

グローバル人材育成のためには、まず、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は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必要がある。そして、海外での経験を積み、グローバルな社会の中で活躍したいという強い思いを持たせることが重要であると考ええる。

一方、科学者の英語力に関して、次のような見方をする向きもある。

益川敏英博士がノーベル物理学賞を受賞した際、韓国メディアは「益川氏が英語を話せない」ということを大きく報じた。当時の韓国では、「授業をすべて英語にした大学」で生徒の自殺が相次いでいたこともあり、「英語を話せないのにノーベル賞を受賞した」ことは驚きを持って伝えられたのである。韓国では名門大学であればあるほど英語で科学の授業が行われる。ただでさえ難解な内容に加えて外国語という重い負担のしかかっている。韓国の基礎科学は、「外国に留学に行くこと」を最初から想定して教えているという批判が出されている<sup>5)</sup>。日本では初等中等教育はもちろん、大学でも日本語で科学を教える。そして益川博士のように一步も海外へ出ることなくノーベル賞を受賞するという「世界的なレベルで思考する」ことを成し遂げている。母国語で思考する方が、より深い思考に結びつくことは容易に想像できる。科学者にとって英語はグローバルな舞台での研究におけるコミュニケーション手段ではあるが、負担のない日本語で思考することが、高度な深い思考を生み、独創的な発想につながっていると言えるのではないだろうか。理論物理学という、実験装置を必要としない、そのかわりに人よりも深く独創的な発想が成果をもたらす分野で日本が多くのノーベル賞を獲得していることを誇りに思い、それを受け継ぐ教育でなければならないと感じている。

高等学校の教育現場でも、スーパーサイエンスハイスクール（SSH）等では、生徒が英語で成果を発表することが盛んにおこなわれてきている。コミュニケーションツールとしての英語力の訓練である。SGHでは「どうやって英語を身に付けるか」ではなく、「身に付けた英語で何をするのか」が目的となるべきであると考ええる。

#### (2) グローバル人材育成：アイデンティティー

初対面での会話が始めると、国内で何県出身かと聞

かれるのと同様に、海外にいけばどこの国から来たのかを問われることが多い。日本では、「わしも広島で〜！」のように、これをきっかけに同郷人や近隣のグループができて盛り上がる。これに対し、海外ではその集団の中で数が少ない国から来た人が会話の主役となることが多い（と感じるのは本研究グループだけではないと思う）。そして、世界で光り輝く個は、多くの中で他から認められ、ある意味、尊敬されるような才を放つ個である。そのため日本人としてのアイデンティティーを持たない人材は、たとえ英語力に長けていても真に世界で活躍できるとは思えない。これに関して東京工業大学リベラルアーツセンター池上彰教授は、NHKの記者として各国を取材してきた経験をもとに、グローバル人材について「世界に通用する人間であると同時に、日本の良さも自覚した上で働くことのできる人材」と定義<sup>6)</sup>している。また、グローバル人材の育成には「日本について客観的な目を持つことに加え、自分とは違う物の見方や考え方をする人がいるという多様性を常に意識することが大切」と主張している<sup>6)</sup>。前述の「グローバル人材育成推進会議 中間まとめ」による育成していくべき「グローバル人材」の概念の要素Ⅱ、要素Ⅲに一致する。

これらの外国語やコミュニケーション以外の要素が重要であることも、異論のないところであろう。

### (3) 本研究でのねらいの設定

以上のような考察から、3年計画の本研究でのグローバル人材育成の視点は、要素Ⅰの「語学力・コミュニケーション能力」ではなく、要素Ⅱ、要素Ⅲを中心に構成していくこととした。

初年度の本研究では、3-(2)に記述した、「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」をねらいと設定して、長沼による講義を実施することにした。

### 3. 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<sup>8)~10)</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>11)~13)</sup>。平成22~24年度には、生徒が科学者の思考を追体験する構成によって科学者の思考過程を生徒に伝え、学ばせる方法を探った<sup>14)~16)</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。対象生徒は、高等学校1年生5クラス全員を集めて実施す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。また、グローバル人材育成の視点については、中心となる内容としては南極を扱うこと。その中でグローバルな世界で活躍する長沼の姿をこれまでに研究してきた手法を活かしながら、科学者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、「太陽系の惑星・衛星・小惑星を広く眺め、系外惑星をも見つめる私たちには、地球などグローバルどころかローカルに過ぎませんが、人間界のことは地球規模でも確かにまだグローバルです。生徒さんたちに「ユニバーサル」な視点から地球という「グローブ」を考えてもらう、それをグローバル化というくらいのデカイ話をしたいと思います。」との授業へ向けての意気込みが表明された。

### 4. 高大連携授業の実際

授業は2013年11月22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。

#### 「ローカル、グローバル、ユニバーサル」

#### ～水と鉄を題材にして～ 長沼 毅

みなさんこんにちは。生物生産学部の長沼と言います。今日はいろいろ相談したうえで、ローカル、グローバル、ユニバーサルというテーマで話をしてみようと思います。ローカルというのは私たちの身近な環境の話で、福山市とか、広島県といった範囲を指します。グローバルというのは皆さんご存知だと思いますが、地球の話、世界の話ですね。ローカルとグローバルの話で終わってしまうことも多いのですが、私は宇宙・ユニバーサルという話までしようと思います。

今日のローカル、グローバル、ユニバーサルという話は、水と鉄を切り口にしてつながっていきます。まず最初に水の話です。地球は水の惑星と言われますが、本当にそうでしょうか。地球の質量 $6 \times 10^{24}$ kg。水は地

表の約7割を覆っており、平均の厚さすなわち水深は4kmです。それは地球の重さの何%でしょうか。計算してみると0.023%。これが地球に存在する水の総量です。本当に少ないんですね。この水のうちの97%は海水で、私たちには使えません。残りの3%は淡水ですが、そのうちの7割は南極や北極で凍っていて使えません。残りの3割は地下水で、これも使えません。そのため、私たちが使うことができる凍っていない地表水というのは、たったの1/10000です。南極は大陸です。北極は海です。南極は日本の37倍(1400万km<sup>2</sup>)の面積がある大きな大陸です。この大陸の上に、厚さ2000mの氷が乗っています。もしこの氷が全部融けたらどれくらい海面が上昇するか、南極の大陸の面積と、海の面積の比率で考えてみましょう。海の面積は、南極大陸の26.7倍あります。つまり、 $2000 \div 26.7 = 75$ mだけ海面上昇が起こります。逆に言うと、今ある世界中の海の水を75m分全部南極に持って行ったとしたら、それが南極の氷です。ものすごい量の氷が南極にあるということがわかるでしょう。

今日は、南極の氷を持ってきました。南極の氷は平均して2000m、最大で4000mあります。それは、毎年降った雪が積もって地層のようになり、下の方の雪は押し固められて、氷になってしまいます。4000m下の氷、それは今から80万年前に降った雪だとされています。先々週に150万年前の氷があるかもしれない、ということがわかりました。だから、今私は80万年前と言いましたが、来年の今頃は150万年前と言っているかもしれません。雪は大体7割が氷で、3割が空気です。押し固まっていくので、その空気の部分は圧縮されて中に入ることになります。ですから、これが融けるときに圧縮空気がパチパチと音をたてはじけます。南極の氷を融かすと、パチパチ音がするはずですが、果たしてうまくいくでしょうか。

今泡がたっていますが、これは何万年前の空気でしょうか。細かいことはここではわかりませんが、古い時代の空気であることは確かです。だから、こんなところで使うのはもったいないですね(笑)。あとで皆さん、匂いを嗅ぎたい人は嗅いでもらって構わないですが、過去80万年分の氷を掘りぬいて、少しずつ出てくる空気をゲットする。そしてそれを分析することで、過去80万年分の地球の気候の変動がわかります。空気を調べればその時代の気温がわかるのです。もちろんCO<sub>2</sub>の濃度もわかりますので、過去80万年分の気候の変化がわかるのです。

二酸化炭素の排出が増えて、気温が上がっていると言われますが、これは私たちのせいでしょうか。あるいは自然の変動でしょうか。南極の氷を使って過去80

万年分の気候変動を調べるとわかります。その結果、自然の変動ではなく、ここ200年間の変動はおかしいことが明確になりました。だから私たちは反省して、もうCO<sub>2</sub>を出すのはやめよう、という話になっています。このように南極の氷が科学的に重要だということを知ったうえで、氷の匂いを嗅いでみてください。南極は機会があれば皆さんでも行けると思っていますので、是非行ってみてください。南極観測隊のHPに募集要項が書いてありますので、応募できます(笑)。私も3回行きました。

さて、地球の氷は南極だけではありません。北極にもあります。ただ、南極の氷は地球の氷の9割を占めていますから、残りの1割が北極とグリーンランドにあって、ヒマラヤとかの氷河は取るに足りない量だと言われています。それが現在の様子ですが、かつての地球は全体が凍ったこともあります。全球凍結(スノーボールアース)という現象です。全球凍結は過去3回、あるいはそれ以上の回数起こってきたと考えられています。やがて今の地球もこのような姿になってしまうかもしれません。過去の全球凍結がどうやって終わったかは謎です。次に凍ったらもう二度と融けない可能性もあります。

では地球の水の話に戻しましょう。地球の水の中で地表にある淡水は1/10000程度です。そのほんのわずかな私たちが使える水は、地球の上にとっても不平等に分布しています。本当に少ししかない使える水なのに、その水の1/5は、シベリアのバイカル湖に集中しています。世界で1番深い(1642m)湖です。三日月形をした湖で、地表の地溝帯、大地の割れ目の上にあります。地溝帯というと有名なのが、アフリカの大地溝帯ですが、実はここにもバイカル湖とそっくりな形の湖があります。名前はタンガニーカ湖。こちらは世界で2番目に深い湖で、貯水量も世界2位です。3位はアメリカとカナダの国境にある五大湖の中で1番大きいスペリオール湖。4位はアフリカの地溝帯にあるマラウイ湖。5位は南極のポストーク湖の順です。いずれにしてもこの4つの湖…バイカル、タンガニーカ、スペリオール、マラウイで、私たちが使える水の量の約半分とは、神様はすごく不平等だと思います。残りの半分の水が薄く広く世界に分布しているわけです。これが水をめぐると問題です。

このことを、もと世界銀行の副総裁だったセラゲルディンという人が言いました。「21世紀は水の世紀である。20世紀の戦争が石油を巡って起きたとすれば、21世紀は水をめぐると争いの世紀になる。」と。一例を挙げましょう。インドのカシミール地方は、パキスタンが領有権を主張しています。ここはインダス川の源流

域で現在はインドが実効支配していますが、その間に、この水を我が物にしようとしています。この地域は、500万年前はガンジス川の系統でした。その後、河川争奪によってインダス川の系統になったのです。「インダス川の方が競争に勝って今のような形になっている」というのがインドの言い分で、「昔に戻してやる」と、インドは川の道筋を作り変えています。これをダイバートと言いますが、ダイバートが終わったあたりでパキスタンにこの地域を返還するのではないかと考えています。インドとパキスタンは、過去に3回戦争をしています。第四次印パ戦争は水を巡って起こるかもしれません。

日本でも水を巡った争いというのがありました。安芸郡府中町に水分神社があります。水分と書いて、「みくまり」と読みます。これは「水を配る」がなまって「みくまり」になったと考えられています。宇太水分神社は奈良県にあります。吉野にも同様の神社があります。こうした水分神社の役割は、水を巡る争いが起こったら、話し合いで解決しようという集会とか調停をするものだったのでしょうか。しかし、それが不調に終わった場合は争いが起き、亡くなった人もいますので、鎮魂の役割も出てくるわけです。水分神社は日本に450もあります。その存在理由は21世紀に伝えられていません。私はこの水分神社のスピリットを、水の世紀である21世紀に向けて日本から発信していきたいと思っています。それが私たちの大事な役割だと思えます。

地球は本当に水の惑星かと言えば、水は0.023%しかないと紹介しました。では、地球に一番多いのは何かというと鉄です。しかし、話を戻すと地球はやはり水の惑星です。というのも水を持っている天体はたくさんありますが、地表に水が露出している惑星は地球しか有りません。地表に水があると岩石と様々な反応を起こします。1つにはプレートテクトニクスです。太平洋の海底の岩石は、海水が染み込んでずぶずぶの水浸しです。水浸しの岩石が地球の内部に入りこみ、温度が上がると。高温下で水と岩石が反応します。岩石水反応と言いますが、そういった岩石の中に変化したものができたりする。それは花崗岩です。

私たち広島に住むものにとっては、なんとなくなじみ深いものですが、花崗岩は地球特有の岩石と言われています。他の惑星にもあるかもしれませんが、地球ほどたくさんは存在しないでしょう。例えば地球で一番古い陸の部分は花崗岩の塊だと言われています。地球の奥深く、マントルには皆さんの好きな宝石がたくさん入っています。地球の奥深くには鉄が多く含まれるので、マグマが上昇すると鉄を地表に運びます。

では、日本を見てみましょう。二十数億年とか三十

数億年前の古い花崗岩はありませんが、我が広島県には8000万～1億年前の花崗岩が分布しています。私は20年前に神奈川県からこちらに来ましたが、その時の印象は「ここの土地は赤茶けて見える」でした。花崗岩を拡大すると灰色やピンクがかったり、黒色だったり、いずれも1mm前後の鉱物があります。その中で黒っぽい部分は黒雲母で鉄分を含んでいます。この鉄分が花崗岩が雨や風にさらされ表面がさびて、鉄が赤さびに変化します。地表の花崗岩が赤茶けて見える理由です。そのほかのピンクや白色の部分も、風化すると、粘土化したりボロボロとはがれてきます。はがれてできた一粒一粒の砂粒をあわせて「真砂(まさ)」と呼びます。ですから、もし皆さんが真砂という言葉を目にしたら、それは花崗岩から外れてきた粒などと思ってください。その真砂の中にも黒い部分があり、それが砂鉄になるのです。

さて、私が住んでいる東広島の西条には「西条粘土」と呼ばれる粘土があります。この粘土はもちろん鉄分を含んでいる粘土です。この粘土に少し水を与えてこねてやる、それで焼き物を焼きます。焼きながら空気を送り込むと、きれいな赤色になります。焼きながら空気を送り込まないと、きれいな青色になります。これは鉄の性質です。酸素を送って焼くと赤くなって、送らないで焼くと青くなるという鉄の反応です。

この写真は4年前に東大の博物館であった「鉄展」のもので、そのときには「137億年の宇宙誌」だったのですが、今年から138億年に変わりました。鉄展のほとんどは写真撮影禁止でしたが、唯一撮影が可能だったのが、この2つのポットに植えてある稲です。この展示で何が言いたいかというと鉄なんですよ。鉄があると稲などの植物はよく育ちます。厳密にいうと両方の土に鉄は含まれていますが、鉄分が植物に吸収されやすい形になっているものと、せっかく鉄が含まれているのに植物に吸収されにくくなっているもののちがいです。鉄が植物に吸収されやすい方が、稲が良く育ちました。植物に鉄を与えて、成長が促進された話はいくらでもあります。カイワレダイコンでもキュウリでも鉄を加えた方が大きくなる。ただし鉄分の与えすぎも問題ですから、ほどほどに与えるのが良い。その加減が難しい。植物を育てるためには、畑に肥料をまきますよね。肥料の中で重要な成分は窒素とリンです。この窒素とリンに関しては、農家の人が多量にまいています。多量でもさほど悪影響がないのでたくさんまいています。それに加えて鉄があると良い、ということです。鉄分は量は必要ないので、いわばサプリメントのように少し加えてやる。だから私は鉄のことを、「生態系のサプリメント」と呼んでいます。人間も鉄

がないと貧血になってしまいます。原因は、私たちの血液をつくる成分として鉄が必要だからです。だから、貧血はあえて言えば「貧鉄」というわけですね。でも、私たちが貧血を防ぐためには、そんなに多量の鉄を取る必要はありません。ほんの少し、サプリメント程度で良い。その意味で人間も、生態系も、植物もサプリメントとして少しの鉄があれば良いわけです。

生態系を私たちはよくピラミッドで考えます。底辺は生産者、植物ですね。私たち人間はピラミッドの頂点になります。人間の数が現在72億人、今世紀中に100億人を突破しそうです。つまりピラミッドの頂点が大きくなるわけですから、不安定になります。では、このピラミッドを安定させて存在させるにはどうしたらいいのでしょうか。ピラミッドの底辺を広く、大きくすべきです。しかし、陸上の農業は限界です。海の生態系の底辺も植物ですが、重要なのは目に見えない小さい植物プランクトンだということです。ワカメやコンブのような海藻もありますが、それらの貢献度は実はほとんどありません。実質的に植物プランクトンという目に見えないものが頑張っています。ならば植物プランクトンを増やせば良いということになりますが、残念ながら海は貧鉄です。サプリメントほどの鉄もありません。陸上はいくら貧鉄と言っても、土壌中に鉄が含まれるのでさほど貧鉄にはなりません。だから陸上の農業の方はあまり鉄を与える必要はありません。ですが、海は本当に貧鉄です。

では海に鉄を与えれば良いですか、というと、単純に言えばそうです。植物プランクトンは、非常に小さな生き物で、目に見えません。海の植物プランクトンは鉄が好きです。鉄分を入れた海水中では驚くほど増殖します。このような実験結果は山ほど報告されています。

「海の幸」は植物プランクトンに始まるという内容がドラえもんの中にも出ています。ケイ藻は植物プランクトンで、私は海の牧草と呼んでいます。カキでもアサリでもシジミでもジャコでもコイワシでも、みんなケイ藻を食べます。ケイ藻を食べてコイワシが育つわけです。これをサバやサンマが食べます。サバやサンマが育ったら、それをマグロやカツオが食べます。だから海の幸の始まりはケイ藻なのです。ケイ藻が増えれば海の幸は増えます。そしてそのケイ藻は鉄分があると増えるので、私たちはケイ藻にサプリメントとして鉄を与えたい。しかし残念ながら海にはサプリメントほどの鉄もありません。実際に海水を汲んできて、そこに鉄分を与えると、緑色…というよりは、黄色に近い色になるほど殖えます。そしてこの中にカキを入れると1時間でクリアになっちゃう。1個のカキは1

時間に10Lの水を吸ったり吐いたりしています。そして体内に茶漉しのようなフィルターがある。そのフィルターで中に入っているプランクトンをこしとって食べます。2Lのビーカーに4個のカキが入っていますから、1時間に40Lの海水を処理できるので、この水は1時間で20回カキの体内を回転したことになります。その間にケイ藻はすっかり食べられてしまいました。この緑色のケイ藻を増やしたものは鉄です。私たちが住んでいる広島県のすばらしいところは、中国山地に鉄分を含んだ花崗岩が豊富にあることです。鉄分が川を流れて海に入っていくので、本来はサプリメントほどの鉄もない海ですが、広島は海が豊かです。その結果ケイ藻が増えて、私たちはカキを食べられる。カキのもとには中国山地の鉄です。

ここまでの話をまとめると、地球は水の惑星ではなく鉄の惑星ではないかということです。水はたかだか0.023%しかありませんが、鉄は地球の重さの30%を占めます。そのほとんどは地球の核の部分にあるのですが、地表にもあります。花崗岩に含まれており、それが川を流れて海に流れ込んでいる。それが私たちが食べる海の幸だということになります。地球は鉄の惑星だと言っているのかもしれませんが。

宇宙全体と地球全体と地球の核の鉄の割合を比較してみましよう。地球全体で見ると、鉄は30%以上を占めますが、宇宙全体を見ると、75%くらいが水素で、次にヘリウム、残りはごくわずかです。これが宇宙全体の姿です。鉄はグラフには出てこないくらいですが確かにあります。

今でこそ水素が75%くらいの宇宙ですが、昔の宇宙、今から138億年前のビッグバンの頃の宇宙は、水素が92%、ヘリウムが8%で、あとは無いも同然でした。私たちの体を作っている酸素も炭素も窒素もリンも、鉄もまだありません。宇宙の始まりには私たちの体を作っている物質もないし、鉄もありませんでした。こういった宇宙から、いかにして私たちの体を作っている酸素や炭素や窒素ができたのでしょうか。

宇宙の始まりというのは何にもないのです。宇宙の始まりから4億年経つと、宇宙の片隅で水素とヘリウムが集まって固まり、その中心で火がとまりました。文字通り、宇宙の一番星です。いったん水素とヘリウムの塊に火がつく（核融合が起こる）と、色々な元素ができてきます。核融合と言うのは簡単に言うと、元素から元素を作る錬金術のようなものです。核融合反応を繰り返すことによって色々な元素ができてきました。こうして私たちの体を作っている酸素や炭素、それから鉄ができてきたのです。これらは恒星の中で作られました。では、もともと星の中でつくられた私た

ちの体を作る元素や鉄が、今ここにあるのはなぜでしょう。その理由は、その星が一生の最後に超新星爆発を起こした結果です。太陽よりも8倍以上重いと超新星爆発が起こるだろうと言われていました。太陽は超新星爆発を起こすほど質量が大きくないので、せっかく太陽の中で作られた元素は外に出ずに中に閉じ込められて終わっていくこととなります。過去に存在した質量の大きな星が超新星爆発を起こしてくれたおかげで、作られた元素が飛び散って、宇宙の片隅で集まって私たちの体になったわけです。つまり、私たちは超新星爆発の星屑から生まれたということで、スターダストチルドレンという言い方ができます。宇宙の片隅で超新星爆発の残骸が集まって、原始太陽系ができて、原始太陽系の中に地球という星もできました。地球は中心に鉄が固まっていて、表面にも少しあります。表面には液体の水もあります。これが地球と言う星です。

地球はやはり水の星ですが、地球以外にも水を持っている天体はあります。例えば、木星のガリレオ衛星です。木星には今、67個の衛星が知られています。日本語版のwikipediaには66と書いてあります。英語版を見ると67と書いてあります。英語版の方が最新情報です。皆さん、wikipediaを見るときは他の言語も見てくださいね。日本語版は古いし、いろいろ間違っていることがあるので…。

木星には67個の衛星がありますが、そのうち4つは大きくて、今から402年前に、ガリレオ＝ガリレイが手製の望遠鏡で見つけました。その時にガリレオは木星の周りを回る衛星を見て、太陽系もこうなのではないかと考えて地動説を支持したわけです。ガリレオにちなんでガリレオ衛星と呼ばれる4つの大きな衛星ですが、そのうちの2つ、エウロパとガニメデにどうも海があるらしい。因みに第三衛星ガニメデは太陽系で最も大きい衛星です。カリストは太陽系で3番目に大きいです。太陽系で2番目に大きいのは、土星の衛星タイタンです。因みに、イオとエウロパは地球の月とほぼ同じサイズです。地球の月は太陽系では5番目に大きい衛星です。地球は太陽系の中で、分不相応に大きな衛星を持っている惑星と言えるでしょう。

それはさておき、4つのガリレオ衛星のうちエウロパの表面は氷です。しかし内部に火山があるので、その熱で氷が融けて、氷の下には液体の海があるはずで、氷と地面に挟まれて存在する液体の海を内部海といいます。ここにある水の総量は、なんと地球にある水の総量よりも多いのです。地球の月ほどのサイズの星に、火山があつて、海（内部海）があつて、そこにある水の総量が、地球の水の総量よりも多いのです。エウロパですらそうなのですから、ガニメデは、地球

の水の何十倍、いや何百倍もの水をもっていることとなります。地球は確かに水の惑星で、表面に水を持っていますが、総量で見たら意外に少ないのです。そして内部海を持っている星はエウロパやガニメデだけではありません。太陽系を全部見渡すと、14個ほど想定されています。太陽系において、表面に海があるのは地球だけですが、氷の下に内部海を持っている星は14個もある。私はもともと海の研究が専門です。海洋学者です。ですから、地球の海を研究してきましたが、これからはこのような地球外の海も研究しなければなりません。これから新しい海洋学が、そして海洋生物学が始まります。皆さんはそういう時代に生きるのです。どんどん外に出て、ローカル、グローバルだけでなくユニバーサルなことをして欲しいと思います。

### 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、その結果を示す。

表1 授業後のアンケート結果

実施日：2013.11.22(金)							
5時限 13:40~14:25 4年生 全クラス 於 MMH							
<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	
	23	37	30	33	30	153	
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		8 (34.8)	17 (45.9)	16 (53.4)	17 (51.5)	20 (66.7)	78名 51.0%
②まずまず理解できた		15 (65.2)	19 (51.4)	13 (43.3)	16 (48.5)	9 (30.0)	72名 47.0%
③どちらでもない		0	1 (2.7)	0	0	0	1名 0.7%
④少し理解できなかった		0	0	1 (3.3)	0	1 (3.3)	2名 1.3%
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		14 (60.9)	27 (73.0)	18 (60.0)	22 (66.7)	22 (73.3)	103名 67.3%
②少しは興味がわいた		9 (39.1)	6 (16.2)	8 (26.7)	10 (30.3)	5 (16.7)	38名 24.8%
③どちらでもない		0	4 (10.8)	4 (13.3)	1 (3.0)	3 (10.0)	12名 7.8%
④あまり興味がわかなかった		0	0	0	0	0	0名 0%
⑤まったく興味が持てなかった		0	0	0	0	0	0名 0%
5. 大学で、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		13 (56.5)	25 (67.6)	20 (66.7)	24 (72.7)	20 (66.7)	102名 66.7%
②少し受けてみたい		10 (43.5)	10 (27.0)	7 (23.3)	9 (27.3)	8 (26.7)	44名 28.8%
③どちらでもない		0	2 (5.4)	3 (10.0)	0	1 (3.3)	6名 3.9%
④あまり受けてみたくない		0	0	0	0	1 (3.3)	1名 0.6%
⑤まったく受けてみたくない		0	0	0	0	0	0名 0%

「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」の3項目とも、高い数値を示しており、授業が生徒に好意的に受け止められたことを示している。授業中の生徒のようすからも、南極の氷を使った実験の実演あたりから、生徒が講義に引き込まれていったようすが感じられた。

表2には「どのような点に興味を持ったか」について記述させた、代表的な記述例を示す。

表2 授業後のアンケート結果（記述1）

<p>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。</p> <p>&lt;地球の水に関する内容&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地球は水の惑星であるという固定観念があり、水の量がたくさんあると思っ込んでいたので、(水の量が)地球の質量に対して意外と少ないのでびっくりした。</li> <li>飲める水は数値や図やグラフにしてみると思ったよりずっと少なかったこと。</li> <li>地球上の淡水の約20%がロシアのバイカル湖にあること。</li> <li>南極の氷が思った以上にたくさんある点。</li> <li>21世紀は水を巡って争いが起こるかもしれないということ。</li> <li>第4次インバ戦争の恐ろしさ。</li> <li>水分神社についての歴史と、カキのおいしさの秘訣。</li> </ul> <p>&lt;全球凍結に関する内容&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地球が過去に少なくとも3回凍っていたということ。</li> <li>地球全体がどうして凍ってしまったのか気になりました。</li> </ul> <p>&lt;南極の氷に関する内容&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>南極の氷がパチパチと音を立ててとけることなど。</li> <li>21世紀の地球温暖化が南極の氷の調査でわかったこと。</li> <li>数十万年前の空気が未だに存在していて、研究することができるということ。</li> </ul> <p>&lt;鉄や鉄による植物の成長促進に関する内容&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄分を加えただけで植物やプランクトンの成長が促進される、ということにとっても興味を持った。鉄分というのは生活で必要不可欠なものであるということは知っていたが、ここまでとは思っていなかった。</li> <li>この辺の土が赤茶色な理由がわかってよかったこと。</li> </ul> <p>&lt;太陽系の他の天体の内部海に関する内容&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地球以外の星(エウロパなど)に水(内部海)があること。</li> <li>内部海に生命がいるかもしれないということを研究してみたい。</li> <li>内部海・・・内部海にいる生物は、私たちと生きる仕組みが違うのかなと思った。</li> </ul> <p>&lt;その他&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地球は水の惑星というけれど、本当にそうなのか？なぜそうなのか？という切り口がおもしろかった。</li> <li>元素の誕生、人間がとてもちっぽけな存在だということ。</li> <li>花こう岩が地球特有の岩石だということ。</li> <li>地学への興味の幅が広がった。</li> <li>十年後にどの国が世界をひっぱるのか？</li> <li>水と鉄という意外なものから地域のことでなく、地球や宇宙の話になっていった点。</li> <li>これからの海洋学は宇宙の星々にまで広がるということ。</li> </ul>
---

地球の水に関する内容では、水の星地球というイメージを覆されるような内容に驚いたようすが表されている。南極の氷に関する話題や全球凍結も多くの生徒が記述している。水が偏在していることや水をめぐる

争いなど、これからの社会と関わる点に興味を持つ生徒も多く見られた。

南極の氷に関する記述は、泡が出て音をたてながら融ける実験が好評だった。南極の氷に閉じ込められた気体の分析から過去80万年間の大気の様子が見えることについても多くの生徒が記述していた。鉄にまつわる記述は、植物での成長促進に関する内容が多かった。地球以外の天体の内部海に関する内容も多くの生徒が記述している。

その他の内容は、記述数は多くはないが、「水と鉄という意外なものから地域のことでなく、地球や宇宙の話になっていった点」という記述に代表されるように、今回の授業で試みた、「ローカル→グローバル→ユニバーサル」の広がりについて感じる事ができていたことがわかる。将来は先生のような海洋学の研究者になりたいという表明をする生徒もいた。

表3 授業後のアンケート結果（記述2）

<p>4. 長沼先生の講義のテーマ(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。</p> <p>&lt;つながりを感じた&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「ローカル→グローバル→ユニバーサル」というように、本当に地球や宇宙でおこる現象にはつながりがあるのだなと思った。</li> <li>水と鉄というただそれだけ、シンプルなテーマなのに宇宙や戦争や生産物(産業)や、とにかく色々に関連しているっていうことに、おお・・・と思った。</li> <li>はじめはなんだろうと思いました。でも最終的に全てつながっていたと分かりました。</li> </ul> <p>&lt;広がりを感じた&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Think globally act Locally.という有名な言葉がある。ローカルとグローバルのどちらが欠けてもいけないし、我々にはどちらの視点も求められているのだと思う。また、universallは、人類の飛躍的進展を感じさせるものがあり、先生の広い視野に感銘を受けた。</li> <li>考えている世界が大きいなと思う。</li> <li>地域から世界に広がっていく感じがした。</li> <li>どんどん考えは広げていけるのだなあ、と。</li> </ul> <p>&lt;視野を広げるきっかけを感じた&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄と水以外にもテーマにふさわしいものはあると思う。テーマのローカル→グローバル→ユニバーサルという考え方は、物事を理解する上で一つの重要な考え方だと思う。</li> <li>興味深いテーマで、ユニバーサルな考えは自分たちの生活を豊かにすることができる考え方かなと思いました。</li> <li>これからは宇宙へと視点を移していく必要があるんだと感じた。</li> <li>視野を広く持たなければならぬことがわかった。</li> <li>グローバルな視点だけでなく、ユニバーサルな視点から世界を見る必要があると感じた。</li> <li>地球の外のことや宇宙のことはあまり考えたことが無かったが、外の世界に目を向けるきっかけになったと思う。</li> </ul> <p>&lt;未来を考えることができた&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>21世紀は水が中心になってくると思う。その中でどのように水を分け合うかが大切だと思う。</li> <li>現在、世界的な問題となっている地球環境について応用が可能で、様々な方面での利用ができる良いものだと思う。</li> <li>「グローバル」とは水を争う世界という意味だったのか・・・？国際協力の大切さ・・・？</li> <li>これからの社会を支えていく私たちにとって資源や食料の問題を解決することはとても重要だと思う。これから増える人口のことを考えても、水、鉄の研究はとても興味深いものだった。</li> </ul> <p>&lt;その他&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ローカル、グローバル、ユニバーサル・・・。語呂がいいですね。とても面白かったです。</li> </ul>
--



表3は、今回のテーマに関する記述内容である。記述内容を、「つながりを感じた」「広がりを感じた」「視野を広げるきっかけを感じた」「未来を考えることができた」「その他」に分類して代表的な記述例を示した。

記述数で言えば、「広がりを感じた」に累計した生徒が最も多く22名、「つながりを感じた」が14名、「視野を広げるきっかけを感じた」8名、「未来を考えることができた」が6名であった。テーマについてという問いかけであり、「水」や「鉄」についての記述が多かったため、全体での割合としては多くはないが、こちらが意図したグローバル・ユニバーサルな視点の重要性は、十分伝わったと考えている。

グローバル人材に求められる要素Ⅱの、主体性・積極性、チャレンジ精神、協調性・柔軟性、責任感・使命感に当てはめて考えると、特に未来に向けての「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指摘を受け、自分もこうありたい、このよう

表4 授業後のアンケート結果（記述3）

<p>7. 今回の授業に対する感想を自由に書いて下さい。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エウロパなどには地球外生命体いるんでしょうか？</li> <li>・内部海の調査はできるのでしょうか？</li> <li>・いろいろな興味をひきつけられて面白かった。何千年前の空気、神秘的だった。</li> <li>・もともと地球というシステムに大変興味を持っていたのだが、今回の授業で地球というものに対する見識がより深まったと思う。地球の水や地球の鉄（太陽風を防ぐ磁気圏という意味でも）は間違いなく生命に不可欠であり、これからは大きなテーマになってくるはずなので、今回の学びからさらに興味を広げていけたらと思います。</li> <li>・生物・環境に興味を持った理由を知りたいです。</li> <li>・広島県の土が黄色っぽいと考えたことが無かったけれど、そのわけは鉄分が豊富に含まれていることがわかった。また、広島海には鉄分が豊富に含まれているため、植物性プランクトンが育ちやすいことも知った。そのようなことから考えを深めていくことが大切だと思う。</li> <li>・もっと知りたくするような展開でひきこまれた。ぜひもう一度授業をしていただきたい。</li> <li>・面白かった。大学に行っても楽しい研究ができればいいな。</li> <li>・科学の話のみならず、世界的な問題にまで講義が広がっておりおもしろかった。衝撃的な事実も知ることができて良かった。</li> <li>・自分の興味外の話ではあったが、とてもおもしろく、長沼先生の話にひきこまれていきました。ありがとうございます。</li> <li>・ぜひまた長い時間で話を聞きたい。</li> <li>・広島中国山地から流れる鉄分がカキを育てている、というのにはとても納得でき、物事にはすべて原因があるのだということに改めて気づかされた。お話ありがとうございます。</li> <li>・地学は自分は興味ない!!とっていたけれど、本当に地学を学びたいと思った。</li> <li>・今まで生物や地学に対して正直あまりおもしろそうなイメージを持っていなかったけれど、長沼先生のお話をきいて意外なことや奥深さを知り、自然科学に対して今までより興味を引かれた。また、私たちやさらにその先の未来の世代のために、重要になってくる分野だと思った。</li> <li>・今回のような特別講義を受けたのは初めてでした。イメージとしては難しいことがたくさん表れると思っていたが、とても分かりやすく、また、おもしろいと感じました。</li> <li>・地球の水の話みたいに、今までと違う視点で見ると他とのつながりも新たに増えてきて、面白いし大切だなと思った。</li> <li>・理科という分野には関心はないが、こういう講義を聴く（だけ）分には面白いと思う。産業には私には感心があるが、広島のカキがここで鉄（加えて自然科学）と通じるとは思わなかったもので、なかなか勉強になったと思う。</li> <li>・広島がカキの名産である理由がよく分かりました。ケイ藻、鉄が広島を支えていたんですね！おもしろかったです！</li> </ul>
---

に活躍したいという夢や希望を持つ生徒が多く見られたことは、大きな成果だと感じている。

表4は、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示している。目に付くのは、「もっと知りたくなった。」「引き込まれた。」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。

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、貴重なグローバル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。

## 6. おわりに

この研究の授業だけでグローバル人材に求められる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、生徒にとってももの見方を変え、思考の質を高めるきっかけとなり、グローバルなもの見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ている。

## 引用（参考）文献

- 1) 安倍総理「成長戦略スピーチ」  
[http://www.kantei.go.jp/jp/96\\_abe/statement/2013/0419speech.html](http://www.kantei.go.jp/jp/96_abe/statement/2013/0419speech.html), 2013年4月19日
- 2) グローバル人材育成推進会議 中間まとめ  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/global/110622chukan\\_matome.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/global/110622chukan_matome.pdf), 2011年6月22日
- 3) 文部科学省初等中等教育局平成26年度概算要求説明資料3,  
[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/other/\\_icsFiles/afieldfile/2013/08/30/1339146\\_5.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afieldfile/2013/08/30/1339146_5.pdf), 2013年8月30日
- 4) 嶋本利彦, 研究者への軌跡「広島から世界へ」  
[http://www.hiroshima-u.ac.jp/sci/kiseki/geol/p\\_dnx1zw.html](http://www.hiroshima-u.ac.jp/sci/kiseki/geol/p_dnx1zw.html), に関連の記述がある。
- 5) ソ・ファスク, 韓国語で学問する（コラム）  
<http://news.hankooki.com/lpage/opinion/200810/h2008100903073967800.htm>, 2008年10月9日
- 6) 池上彰, 池上彰と考える「グローバル人材とは何か」ーグローバル人材となるための第一歩の踏み出し方ー  
[http://www.jica.go.jp/topics/news/2013/20131010\\_](http://www.jica.go.jp/topics/news/2013/20131010_)

- 01.html, 国際協力機構HP, 2013年10月10日
- 7) 広島大学附属福山中・高等学校, 平成25年度文部科学省研究開発学校 研究開発実施報告書(2年次), 2014(印刷中)
  - 8) 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)
  - 9) 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)
  - 10) 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)
  - 11) 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)
  - 12) 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)
  - 13) 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)
  - 14) 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)
  - 15) 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)
  - 16) 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)