

ISSN 1344 - 8005

宮城教育大学

環境教育研究紀要

第 17 卷

宮城教育大学附属環境教育実践研究センター

2015年3月

宮城教育大学

環境教育研究紀要

第 17 卷

宮城教育大学附属環境教育実践研究センター

2015年3月

目 次 CONTENTS

| | |
|---|----|
| 鶴川義弘・福地 彩・桜井理裕：東日本大震災の震災遺構パノラマ教材の作成…………… 1 Yoshihiro UGAWA, Aya FUKUCHI and Masahiro SAKURAI: Panorama Photo Learning Materials of Memorials of the Great East Japan Earthquake | 1 |
| 溝田浩二：救荒植物を利用した食教育・環境教育・防災教育の可能性…………… 5 Koji MIZOTA: Food Education, Environmental Education and Disaster Prevention Education utilizing Local Hardy Plants | 5 |
| 棟方有宗・田中ちひろ・遠藤源一郎・小林牧人：東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの野 生個体群復元に向けた取り組み（第三報）…………… 13 Arimune MUNAKATA, Chihiro TANAKA, Genichirou ENDOH and Makito KOBAYASHI: The Third Report of the Population Restoration Project of a Medaka Population around Natori River, Sendai, Japan, after Great East Japan Earthquake | 13 |
| 斉藤千映美・伊藤勇馬：動物ふれあい活動を用いた地域活性化の取り組みと ESD …… 21 Chiemi SAITO and Yuma ITOH: Mobile Farm in a Local Market as a Tool to Revitalize the Local Community and ESD | 21 |
| 表 潤一・斉藤千映美：身近な動物個体を用いた透明骨格標本の作製…………… 31 Junichi OMOTE and Chiemi SAITO: Preparation of Cleared Skeletal Specimen using Familiar Animal Samples | 31 |
| 西城 潔・目黒李歩・福田はる香・荒谷拓実・仲田克成：小学校における出前炭焼き授業の試み…………… 39 Kiyoshi SAIJO, Riho MEGURO, Haruka FUKUDA, Takumi ARAYA and Katsunari NAKATA: Demonstration of Charcoal Burning by Smokeless Charcoal Kiln in a Primary School | 39 |
| Lázaro M. ECHENIQUE-DÍAZ and Chiemi SAITO: Environmental Science Practice at Miyagi University of Education …… 45 | 45 |
| Kuniko KAWAI, Lázaro M. ECHENIQUE-DÍAZ, Osamu TAKAHASHI and Chiemi SAITO: Insights into the Natural History of <i>Pipistrellus endoi</i> Imaizumi, 1959 from Survey Records in Miyagi Prefecture …… 53 | 53 |
| 木村一貴：沖縄に移入した外来カタツムリ <i>Macrochlamys</i> sp. が在来種に与える負の効果…………… 59 Kazuki KIMURA: Interference Effect of the Alien Land Snail <i>Macrochlamys</i> sp. on the Native Land Snail <i>Bekkochlamys perfragilis</i> | 59 |
| 三品佳子・三好直哉・村松 隆：閉鎖性ため池の有機汚濁バックグラウンド評価に関する実験法…………… 63 Yoshiko MISHINA, Naoya MIYOSHI and Takashi MURAMATSU: Experimental Method for the Evaluation of Background of Organic Contamination in Closed Ponds | 63 |
| 三品佳子・加藤慎也・村松 隆：視認性を重視したサイエンス教材の開発（1）－二酸化炭素の発生と性質 に関する実験－…………… 73 Yoshiko MISHINA, Shinya KATO and Takashi MURAMATSU: Development of Science Teaching Materials in Consideration of High Visibility. - Experiment on Gas Generation and Characters of Carbon Dioxide - | 73 |
| 平成 26 年度活動報告 …… 81 | 81 |
| 投稿規定 …… 88 | 88 |

東日本大震災の震災遺構パノラマ教材の作成

鵜川義弘*・福地 彩*・桜井理裕**

Panorama Photo Learning Materials of Memorials of the Great East Japan Earthquake

Yoshihiro UGAWA, Aya FUKUCHI and Masahiro SAKURAI

要旨：東日本大震災の震災遺構を地上と津波の高さの空中で撮影したパノラマ写真で見ることができるよう教材化を行った。その作成方法と利用法について解説する。

キーワード：震災遺構、パノラマ写真、全天球カメラ、空中撮影、AR 拡張現実

1. はじめに

東日本大震災の震災遺構とその関連施設に関しては、2015年1月時点で、保存か解体かで賛否あるが、震災や津波の被害を後世に伝える防災教育の観点からはそれらが何らかの形で残されていることが重要である。震災遺構の解体後でも見える形にするために複数の試みが行われている (Google, 2012) (東京大学, 2013)。ここでは市販されている低予算の機器で教材を作成・提供できる方法として、パノラマ写真を地上と当時の津波の高さの空中で撮影したものを、タブレット PC やスマートフォンの無料アプリで、その場に居るように見える AR 拡張現実で提供する方法を紹介する。

2. パノラマ写真の撮影

2.1 スマートフォンアプリでの撮影

スマートフォンには、パノラマ写真が撮影できる無料アプリとして、iPhone 用に Microsoft 社の Photosynth, iPhone または Android 用に、Google 社の Photo Sphere が存在する (図 1)。このパノラマ撮



図1. PhotosynthとPhoto Sphere

影の方法は、通常の写真を撮影する操作で直前の画像と重なりを設けつつ何枚も連続撮影して1枚のパノラマ写真に合成する方式である。合成はアプリ内で行われる。地上で撮影する場合には、後述の全天球カメラよりも解像度が良いのでこちらを用いた。

2.2 全天球カメラでの撮影

全天球カメラとしては、RICOH 社の THETA (図 2) があり、180度撮影できる魚眼レンズ2枚が表裏に配置されており、全天の写真をカメラを回すこと無く一度に撮ることができる。2014年発売モデルの価格は2014年12月27日現在34,700円である。解像度はスマートフォンアプリと比べると劣るが後述の空中撮影ではスマートフォンアプリを使って撮影することができないので、THETA を WiFi 無線経由でシャッター信号を送ることで撮影を行った。



図2. RICOH THETA

* 宮城教育大学環境教育実践研究センター, ** 宮城教育大学教育学部

3. 空中撮影

従来，“空撮”は航空機とプロのカメラマンに撮影を依頼する必要があり、だれにでも安価にできるわけではなかったが、GPSを内蔵し、コンピュータ制御で安定して飛ばすことができるリモコンヘリコプター「マルチコプター／ドローン／無人機」の登場で、だれでも試せる身近な存在となった。今回の空中撮影には、DJI社のPHANTOM(図3)に全天球カメラTHETAを取付けて(図4)使用した。後継機であるPHANTOM IIの基本セットの価格は2014年12月27日現在66,000円である。



図3. DJI PHANTOMマルチコプター



図4. 全天球カメラを取付けたマルチコプター

PHANTOMの飛行高度は150m以上で速度も40Km/h以上出せるが、飛行前に操縦不能にならないよう東西南北を知るコンパス、上下左右を確認するジャイロの調整、現在位置を測位するGPS衛星の補足が重要である(図5)。

また安心して飛行できる時間はフル充電した電池で約10分を目安に飛行させると安心である。空港周辺



図5. 飛行前の調整

は法律により飛行が制限されているが、それ以外の場所でもプライバシーに配慮し、人が嫌がると考えられる場所では飛行させてはいけない。飛ばせると判断した場合にも、周囲の安全に気を配って操縦する必要がある。

4. 震災遺構の撮影

震災遺構のパノラマ撮影を行った箇所は以下である。

- ・南三陸町防災対策庁舎(本吉郡南三陸町)
- ・大川小学校(石巻市)
- ・江島共済会館(牡鹿郡女川町)(図6)
- ・おしかホエールランド(石巻市)
- ・本間家土蔵(石巻市)
- ・中瀬北地区(石巻市)
- ・観慶丸商店旧東北実業銀行石巻支店(石巻市)
- ・JR仙石線旧野蒜駅(東松島市)
- ・かんぼの宿松島(東松島市)
- ・荒浜小学校(仙台市)
- ・蒲生地区(仙台市)
- ・閑上地区(名取市)
- ・鳥の海(亶理郡亶理町)
- ・JR常磐線 旧山下駅(亶理郡山元町)
- ・JR常磐線 旧坂元駅(亶理郡山元町)
- ・中浜小学校(亶理郡山元町)(図7)

これらは、2012年9月24日に発表された「3.11震災伝承研究会」第2次提言-震災遺構保存対象物第1回選考結果(3.11震災伝承研究会,2012)から宮

城県下にあるものを選定した。また、震災当時に津波による被害があったと報道された鉄道駅についても撮影を行うこととした。

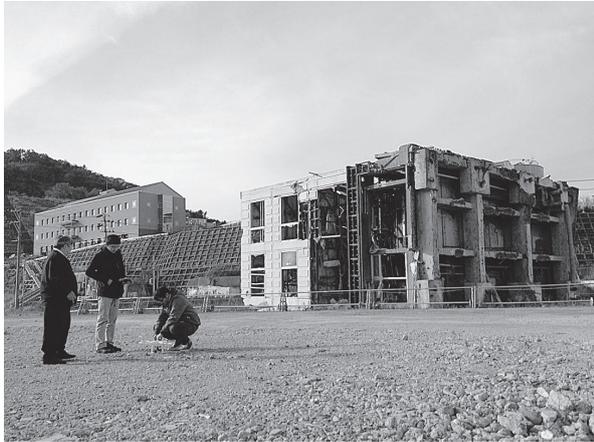


図6. 江島共済会館での取材の様子



図7. 中浜小学校での取材の様子

可能な限り、地上からの撮影と、空中撮影の両方を行った。安全に離着陸させる場所がない、周囲に人が多い、さらに撮影時の風速等により、撮影ができなかった箇所もある。空中撮影の高さについては、その場所の津波痕跡調査データ（津波痕跡データベースシステム, 2012）にもとづき、津波の高さまで上昇させて撮影した。機体の高さは、三角法で距離高さを測る Android スマートフォンアプリ Smart Measure を用いて計測した（図8）。



図8. Smart Measure

5. スマートフォンアプリ Junaio での表示

撮影したパノラマ写真は、スマートフォンの無料アプリである、Junaio を用いて公開している。

パノラマ画像の閲覧方法としてはパノラマ撮影ツールを提供している Microsoft 社や RICOH 社などが運営するサイトにアップロードしてパソコンで見る方法もあるが、手に持つことができ、コンパス、ジャイロが内蔵され見ている方向がわかるスマートフォンやタブレットで見る場合には、ちょうど小窓を手に持って周囲を覗くという体感を伴うインパクトがあり、その臨場感他では得られないものとなっている。

以下の QR コード（図9）をスマートフォンのリーダーアプリで読み取ると Junaio がインストールされていないスマートフォンでは、インストール画面になる。また、Junaio がインストールされているスマートフォンでは、震災遺構のパノラマが見える方向が現実の風景の先にエアタグとして表示され、レーダーにも表示される（図10）。



362905

図9. 震災遺構教材のQRコード



図10. トップ画面と右上レーダー

バルーンで方向が表示されているエアタグをタップすると、地上、津波の高さのパノラマ閲覧のリンクが表示される（図11）。



図11. パノラマ写真表示リンク

パノラマ画像を見る (地上) をタップすると地上パノラマが表示される (図12)。パノラマ画像を見る (津波の高さ) をタップすると、津波の高さのパノラマが表示される (図13)。

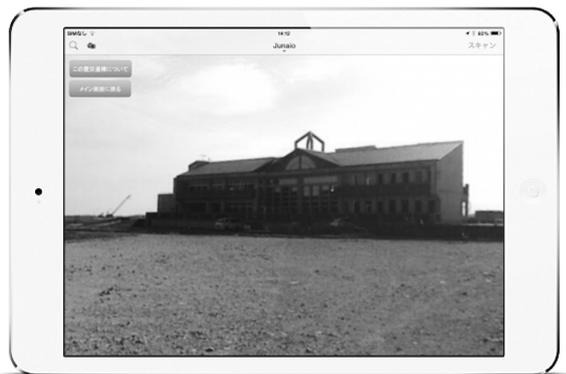


図12. 中浜小学校での地上パノラマ



図13. 中浜小学校での津波の高さパノラマ

左上、虫がねのアイコンのとなり「震災遺構」の写真でできたアイコンをタップすると、2段目に地図のアイコンが表示される。そこをタップするとマップ表示となり、エアタグではなく、地図を操作して必要なパノラマを表示させることもできる (図14)。

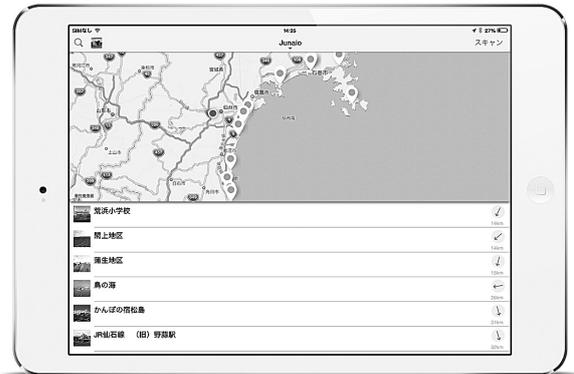


図14. マップ表示

6. まとめ

マルチコプターの操縦という訓練の必要な部分はあるが、この方法により比較的安価にパノラマ写真を空中撮影することができる。震災遺構の記録以外にも様々な場面で利用できると思われる。

参考文献

3.11 震災伝承研究会 2012

URL <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/shinsaidensho/>

Google 震災遺構デジタルアーカイブプロジェクト 2012

URL http://googlejapan.blogspot.jp/2012/11/google_13.html

津波痕跡データベースシステム 2012

URL <http://search.shinrokuden.irides.tohoku.ac.jp/shinrokuden/>

東京大学 再生のアカデミズム 2013

URL http://www.u-tokyo.ac.jp/public/recovery/pdf/saisei_voll14.pdf

(以上全て 2015 年 1 月 29 日アクセス)

救荒植物を利用した食教育・環境教育・防災教育の可能性

溝田浩二*

Food Education, Environmental Education and Disaster Prevention Education utilizing Local Hardy Plants

Koji MIZOTA

要旨：東日本大震災を境にして、自然災害への備えは私たち一人一人の現実的な課題となりつつある。本稿では、東北地方の災害（飢饉）の歴史を振り返りながら、そこに見られる非常時に備えた食料確保の知恵を掘り起こし、自然災害を生き抜く知恵を学ぶうる「食教育・環境教育・防災教育の教材」としての救荒植物の可能性を提示した。

キーワード：救荒植物，食教育，環境教育，防災教育，東日本大震災

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災を機に、自然災害に備えることは私たち一人一人の現実的な課題となった。あの日、多くの人々が食糧の“買い占め”という行動に走り、首都圏のスーパーマーケットやコンビニエンスストアでは食料品の棚が空になったことは記憶に新しい。そのニュースを見聞いた多くの諸賢が、家庭での食料の備蓄の必要性を“他人事”ではなく“自分身”として考えるようになったことだろう。しかし、私たちは日常的にどのような食糧を蓄え、いざというときにどう持ち出し、使いこなせばよいのだろうか。小泉（2011）は、「日頃から正しい食生活を送ることによってのみ、いつでも持ち出せる食べものを常備し、万一に備えることが可能になる」と指摘している。

非常時の食を考えると参考となるのが、江戸時代に広まった「救荒植物」の利用に関する先人の知恵である。救荒植物とは、「飢饉の際に食べることができて、飢えを凌ぐに足る野生植物」のことをいう（白杉，2003）。救荒植物の概念は、15世紀初頭に中国（明）で刊行された救荒書『救荒本草』によって確立され、日本では江戸時代に飢饉対策として体系化されてきた。

江戸中期にはすでに500種以上の植物が（その利用法なども含めて）古文書に記されている。日本では災害が起きるたびに救荒植物が重視されてきたし、わずか半世紀前まで救荒書はまだ実用書であった。東日本大震災以降は、「自然災害を生き抜く知恵を学ぶうる教材」として再認識され、新たな脚光を浴びつつある。

「賢者は歴史から学び、愚者は体験してから学ぶ」という言葉がある。東日本大震災という貴重な“体験”から私たちが数多の教訓を得たことは疑う余地がないだろう。しかし、被災者の多くは「震災が起こる前に“歴史”からもっとたくさんの教訓を学んでおけばよかった」と後悔したのではないだろうか。歴史を知ることには、私たちはどこから来て、どこへ向かうのかを見定めるうえで、きわめて重要な意味を持っている。東日本大震災を経験した今こそ、先人たちが生き抜いてきた歴史を見直し、私たちの暮らしの礎を組み直すことが求められているように思われる。

本稿では、東北地方の災害（飢饉）の歴史を振り返りながら、そこに見られる非常時に備えた食料確保の知恵を掘り起こし、「自然災害を生き抜く知恵を学ぶうる教材」としての救荒植物の可能性を探りたい。

* 宮城教育大学附属環境教育実践研究センター

2. 江戸時代の飢饉と救荒書

飽食の時代といわれる今、私たちは年間をとおして世界各地の食材を手に入れることができる。一見すると豊かな食生活を謳歌しているかのようであるが、毎日の食素材の種類がさほど豊かなわけでもなく、季節を問わず供給される野菜がもはや食卓から季節感を奪っている印象すらある。日本の食料生産量は必要量(カロリーベース)の40%を下回る不安定な状態にあり、人口の過半数が集中する東京圏や関西圏における食料自給率は10%以下(大阪は2%,東京は1%)である(堀田, 2010)。もし食料輸入が途絶するような事態が起きたとしたら、多くの餓死者が出る可能性さえある。

鎖国政策をとっていた江戸時代の日本でも、食料の確保は重要な問題であった。江戸時代には“小氷期”と呼ばれる寒冷な時期が周期的に訪れ(前島, 1984)、寛永の飢饉(1640-1643)、元禄の飢饉(1695-1696)、享保の飢饉(1732-1733)、宝暦の飢饉(1755-1756)、天明の飢饉(1783-1784)、天保の飢饉(1833-1839)といった大飢饉に断続的に襲われた(表1)。寒冷地である東北地方はとりわけ大きな被害を受け、天明の飢饉では東北地方だけで30万人以上の死者を出したという(渡辺, 2009)。

表1.江戸時代の気候変動と飢饉(前島, 1984を改変)

| 小氷期 | 飢饉 |
|------------------|------------------|
| 第1小氷期(1610-1650) | 寛永の飢饉(1640-1643) |
| 第2小氷期(1690-1740) | 元禄の飢饉(1695-1696) |
| | 享保の飢饉(1732-1733) |
| 第3小氷期(1780-1880) | 天明の飢饉(1783-1784) |
| | 天保の飢饉(1833-1839) |

こうした飢饉や凶作を幾度となく経験してきた先人たちは、「救荒植物」の重要性を強く認識しながら、その利用の知恵を蓄積してきた。今でも自宅の玄関先や軒下、屋敷のまわりなどに日常的に副食となる山菜や薬草などを半栽培し、その間に生える野草までも食料資源として利用しているのは、その証左である。私が暮らしている山形県では、スベリヒユ、フキ、イタドリ、シロザ、スギナ、ヨモギなどの野草が日常的に食卓にのぼる。これらの植物は、葉物野菜が途切れる

早春にはその代用となり、食糧難のときの救荒食として主食や副食の代用になったのである。

そのライフスタイルの源泉となっているのが、江戸時代に盛んに刊行された救荒書である(表2)。救荒書とは、「およそ凶歳・飢饉の状況を記録し、飢饉に備える心構えや荒政を述べ、飢えを凌ぐための草木の採集・食べ方に関する知識を伝えようとする書の総称」である(白杉, 2003)。江戸期に刊行された救荒書は60点ちかくにのぼるが、救荒書が書かれ刊行された期間はきわめて短い(川島, 2007)。表2に代表的な救荒書が示されているが、天明および天保の飢饉の前後に集中して刊行されていることがみてとれる。

日本初の「救荒植物」に関する出版物は、ちょうど300年前に発刊された松岡悠庵の『救荒本草(1716年)』である。1755年には宝暦の飢饉が奥羽地方を襲い、一関藩(仙台藩支藩)の藩医・建部清庵が地域社会における飢饉体験や救荒食の伝承をすくいあげ、『民

表2. 飢饉年譜と出版された救荒書

| 西暦(和暦) | 出版された主な救荒書[著者] |
|--------------|--------------------|
| | 【寛永の飢饉(1640-1643)】 |
| | 【元禄の飢饉(1695-1696)】 |
| 1716年(享保元年) | 救荒本草[松岡悠庵] |
| | 【享保の飢饉(1732-1733)】 |
| 1736年(元文元年) | 長門周防両国本一名両国本草名 |
| | 【宝暦の飢饉(1755-1756)】 |
| 1771年(明和8年) | 民間備荒録[建部清庵] |
| | 【天明の飢饉(1783-1784)】 |
| 1799年(寛政11年) | 救荒本草記聞[小野蘭山] |
| 1801年(享保元年) | 救荒本草便覧附救荒野譜便覧[坂本慎] |
| 1802年(享保2年) | かて物書[上杉治憲] |
| 1824年(文政7年) | 哀葛録[大蔵永常] |
| 1828年(文政11年) | 救荒本草抜粋[加賀小松藩社倉編] |
| | " 製葛録刻[大蔵永常] |
| 1832年(天保3年) | 荒年充糧志[館柳湾] |
| | 【天保の飢饉(1833-1839)】 |
| 1833年(天保4年) | 備荒草木図(建部清庵) |
| | " 忘飢草(半井宋) |
| | " 粗食教草(高井蘭山) |
| | " 救荒野譜啓蒙(小野職考) |
| 1834年(天保5年) | 農家心得草(大蔵永常) |
| 1836年(天保7年) | 救荒便覧前後両集(遠藤義学齋) |

『間備荒録 (1771年)』や『備荒草木図 (1833年)』を著した。後者は104種の食べられる野生植物を視覚的に判別できるよう、精密な写生図が掲載された画期的な救荒書で、「救荒植物」の知識を広く普及させることに貢献した。さらに、寛政12年(1802年)には米沢藩主・上杉鷹山(治憲)の命によって救荒食の手引書『かて物書』が刊行された。この書は凶荒の際に配布されただけでなく、その後も家中に継承されていった。明治維新後の1890年に米沢から60人の旧藩士が北海道開拓の屯田兵募集に応じて釧路に移住した際にも本書が携行され、厳寒の気候に妨げられ思うような開拓の進捗が得られなかった時にも、かろうじて糊口をしのぐのに役立ったという(川島, 2007)。このように江戸期を通じて、飢饉のたびに救荒書が発刊され、少しずつ市民の間に救荒植物の利用が浸透していったのである。

3. 救荒植物の現代的意義

路傍の植物を食べる習慣のない人にとっては、救荒植物はゲテモノ扱いされがちである。しかし、伝統的な食文化として、各地で当たり前で食されてきた食材でもある。これはローカルな自然環境と伝統的な食文化が相まって形づくられてきた環境利用の好例でもある。日本各地の多様で繊細な自然環境に育まれた巧みな利用形態として、また、生物やその生息環境の理解のしかたとして、私たちが救荒植物の利用から学ぶところは大きい。

歴史を振り返ってみると、私たち日本人は古の時代より、季節の移ろいを楽しむ文化として「菜摘み」に親しんできた。古今集にも、君がため 春の野に出て 若菜つむ わが衣手に 雪はふりつつ(あなたに差し上げるため、春の野原に出かけて若菜を摘んでい私の着物の袖に、雪がしきりに降りかかってくることよ)と「菜摘み」の情景が詠まれ、万葉集には、ヨメナ、クログワイ、ヒシ、コナギ、フユアオイ、オカノリ、オケラ、カタクリ、マコモ、セリ、タデ、ジュンサイ、ハス、ニラ、ヨモギ、ヤブカンゾウ、ワラビなどを食していたことが詠み込まれている(青葉, 1989)。それから1000年以上の時を経た現在も、春の七草(セリ、ナズナ、ゴギョウ、ハコベラ、ホトケノ

ず、スズナ、スズシロ)を味わう伝統行事が健在である。野草を楽しむ文化は私たちの暮らしに完全に溶け込み、路傍の食べられる野草を持続的に利用してきた生きるための知恵も確かに息づいている。

ところで、ちょうど20年前の1995年1月に阪神大震災が発生した。このとき、「菜摘み」の文化に培われた救荒植物利用の知恵は少しでも役立てられたのであろうか。阪神大震災の後に発行された調査論文では、「避難所生活が長引くにつれて被災者の栄養バランスが崩れ、とくに野菜や果物からとるべきビタミン類が不足した」と報告されている(たとえば、金沢, 1995; 森下・久保, 1997)。同時に、「被災地周辺には食用可能な雑草が少なくとも49種自生していたにも関わらず、食用となる雑草の利用は全く認められなかった」とも報告されている(梅本, 1996)。現代の飢饉ともいえる大規模地震などの自然災害が起こった時でさえも、救荒植物はまったく利用されることがなかったのである。

梅本(1996)はその理由として、食用になる救荒植物に関する有効な知識および実地経験が世代間で断絶していること、救荒植物を利用する知識が欠如していること、消費専門という硬直化した集団が出現していること、生産現場と消費現場とが著しく乖離していること、食用となる植物のマクロ分類が硬直化していること、等を挙げている。さらに、その背景には、①家庭内で伝統知識が十分に後代に伝えられていない、②地域に非常用の植物生産区画地がなく、日頃から十分な対策が練られていない、③義務教育課程で救荒植物の学習が行われていない、といった問題があると指摘している。これらの阪神大震災における救荒植物利用に関する調査結果は、大規模地震などの自然災害を「生き抜くための力」を獲得するためには、身近な救荒植物の利用という観点から、あらゆる世代が、日常的に、食教育・環境教育・防災教育に取り組むことの必要性があることを明示しているように思われる。

4. 救荒植物を利用した環境教育、防災教育、食教育の可能性

梅本(1996)が指摘したように、現在の地域社会や学校教育現場には、伝統知識の継承、非常時への備え、

救荒植物の学習，等は非常に困難な状況である。しかし，その解決に向けて，私たちにできることも少なからずあるはずである。

宮城教育大学では，2007年度に大きな教育カリキュラムの改革を行い，環境教育やESDの学部カリキュラムへの浸透を図ってきた。この時に基礎教育科目「環境教育概論（1年生対象）」を必修化したが，これは日本学術会議 環境学委員会 環境思想・環境教育分科会（2008）による「すべての教員養成課程受講者に対して環境教育を義務付けるべきである」との提言に先立つ画期的なものであった（溝田，2013）。さらに，東日本大震災を経験した2012年度からは，防災教育を組み入れた環境教育の充実をはかる必要性から，講義名を「環境・防災教育」と改めた。「生きる力」を育もうとしてきた環境教育は，「生き抜く力」を獲得するための防災教育と向きあおうとしている（関，2013）のである。

環境教育，防災教育，さらに食教育の融合に向け，筆者は2014年度から「伊達政宗が奨励した“食べられる庭”をモデルとした学校ビオトープの構築」という研究テーマに取り組んでいる。仙台は「杜の都」と称されるほど緑の多い街であるが，その由来は仙台藩の武将・伊達政宗（1567-1636）が武家屋敷に多くの樹木を植えることを奨励したため，屋敷林が杜のようにつながって見えたことにある（菊池，2008）。天災や飢饉に備えて，屋敷内にウメ，モモ，カキ，クリなどの植樹や屋敷菜園を奨励し，自給自足を可能とする「食べられる庭」づくりを進めた。また，屋敷まわりにはケヤキ，スギ，マツなど，用材や燃料材となる樹木を育て，自給自足の地域づくりを推進した。そこは“一木一草，無駄なものなし”といわれる程に屋敷内が自給的な空間であり，暮らしに必要なものとすべて結びついていた（結城，2001）。そうした屋敷の連なりが「杜の都」を作り上げたのであった。仙台の街づくりの歴史から学ぶべきことは多く，筆者はそこに環境教育，防災教育，食教育の融合に向けた活路を見出そうとしている。そして，梅本（1996）が指摘した問題点について，以下のような対応を構想している。

① 伝統知識の継承に関する問題の解決に向けて

東北地方で利用されている救荒植物をリストアッ

プし，それぞれの採集時期・方法，調理・利用法などの情報を整理した「救荒植物データベース」を構築する予定である。まずは，佐合（2012）に掲載されている救荒植物263種（表3）に関する情報の整理から始めており，このうち30種あまりを既に試食している。このデータベースを活用することにより，学校現場で環境教育・防災教育・食教育に活用しやすくなり，救荒植物利用に関する知恵が世代間で受け渡すことも可能となると考えている。

② 非常時への備えに関する問題の解決に向けて

「救荒植物データベース」でリストアップした救荒植物を栽培・展示した「救荒植物園」を整備する予定である。これを教員を志望する学生や現職教員への研修で活用することにより，体験を通して環境教育・防災教育・食教育を効果的に学んでもらい，非常用の植物生産区画地を学校現場や家庭に広げていきたい。

③ 救荒植物の学習に関する問題の解決に向けて

「救荒植物データベース」と「救荒植物園」を活用して，環境教育・防災教育・食教育のエッセンスを含んだ学習プログラムを開発する予定である。被災地を中心とした教育現場で活用してもらうことにより，救荒植物の学習の機会を提供しながら，新しい発想による復興教育学の形を提案したい。

これらの取り組みにより，学校に自給自足できる環境を整え，サバイバル技術を習得する機会を提供することになる。植物をただ眺めているだけではなく，それに触れ，食べて味わうという行為に至ることは，植物と人間との深い絆を我がものとする体験でもある。救荒植物には，その可能性が十分に秘められている。

あとがき

東日本大震災から早4年が過ぎようとしているが，今なお被災地では復興への歩みが進められている。そこは防災教育を含め，もっとも環境教育が必要であるはずの教育現場であるが，環境教育に積極的に取り組むだけの余裕がないという現実もある。だからこそ，被災地の教育現場が過剰に疲弊することのないように，人的支援を含めた対応のもとで，防災教育を組み入れ

た環境教育の充実を図る必要がある(関, 2013)。折しも、2015年3月14日～18日にかけて、仙台市で第3回国連防災世界会議が開催される。東日本大震災の経験や教訓、防災や減災、復興に向けた取り組みを世界に発信しつつ、世界的な防災戦略が議論される重要な会議である。東日本大震災という困難を乗り越え、新しい社会を創りあげること。それはかつて先人たちが通った道であり、また未来の子孫たちのために、私たちに課せられた使命でもある。これからの未来を生き抜いていくために、歴史から学ぶべきことはまだまだたくさんあるように思われる。

本研究はJSPS 科研費(No.26560078)の助成を受けて実施された。

引用文献

青葉 高 1989.『野菜の博物学—知って食べればもっとオイシイ! ?』. 講談社ブルーバックス, 258pp.
堀田 満 2010. 飢饉と救荒植物—ヒトの命をつないできた植物. 総合地球環境学研究所編『地球環境学事典』, 弘文堂, pp.460-461.
金沢和樹 1995. 緊急時の食糧. 神戸大学震災研究会編『阪神大震災研究1 大震災100日の軌跡』, 神戸新聞総合出版センター, pp.99-102.
川島昭夫 2007. 飢餓と救荒植物—インド, 日本, ヨーロッパ. 人環フォーラム, 21: 42-47.
菊池慶子 2008.『「杜の都・仙台」の原風景』. 南北社, 72pp.

小泉武夫 2011.『賢者の非常食』, IDP 出版, 193pp.
前島郁雄 1984. 歴史時代の気候復元—特に小氷期の気候について—. 地学雑誌, 93 (7): 413-419.
溝田浩二 2013. 持続発展教育と環境教育(上) [連載 宮城教育大学持続発展教育(ESD)と大学教育⑥]. 文部科学教育通信, 326: 26-27.
森下敏子・久保加織 1997. 阪神大震災後の避難所における支給食の実態および補食の効果—神戸市東灘区の場合—. 日本調理科学会誌, 30 (4): 347-354.
日本学術会議 環境学委員会 環境思想・環境教育分科会 2008. 提言「学校教育を中心とした環境教育の充実に向けて」, 103pp.
佐合隆一 2012.『救荒雑草—飢えを救った雑草たち』, 全国農村教育協会, 192pp.
関 礼子 2013. 「生きる力」と「こころの堤防」—東日本大震災後の環境教育と防災・減災教育—. 学術の動向, 18 (12): 46-51.
白杉悦雄 2003. 「民間備荒録」の世界—救荒植物の発見. 東北学, 8:154-165.
梅本信也 1996. 阪神大震災で救荒植物は役立ったか. 近畿作育研究, 41:51-53.
渡辺尚志 2009.『百姓たちの江戸時代(ちくまプリマー新書110)』, 筑摩書房, 176pp.
結城登美雄 2001. 伊達政宗の「食べられる地域づくり」政策—400年前のミティゲーション. ビオシティ, 21: 33-36.

表3. 佐合(2012)に掲載されている救荒植物一覧

| | | | |
|---|--|---|---|
| <p>■ シダ植物</p> <p>○コバノイシカグマ科</p> <p>1. ワラビ</p> <p>○ゼンマイ科</p> <p>2. ゼンマイ</p> <p>○トクサ科</p> <p>3. スギナ</p> <p>○ハナヤスリ科</p> <p>4. ナツノハナワラビ</p> <p>5. フユノハナワラビ</p> <p>○イワデンダ科</p> <p>6. クサソテツ</p> <p>■ 単子葉植物</p> <p>○ガマ科</p> <p>7. ガマ、コガマ</p> <p>○ヒルムシロ科</p> <p>8. ヒルムシロ</p> <p>○オモダカ科</p> <p>9. オモダカ</p> <p>10. クワイ</p> <p>11. サジオモダカ</p> <p>○イネ科</p> <p>12. アワ</p> <p>13. エノコログサ</p> <p>14. カヤ (チガヤ)</p> <p>15. カラスムギ</p> <p>16. シバ (ノシバ)</p> <p>17. スズメノテッポウ</p> <p>18. スズメノヒエ</p> <p>19. ハトムギ</p> <p>20. ヒエ</p> <p>21. マコモ</p> <p>22. ムツオレグサ</p> <p>23. ヨシ</p> <p>○カヤツリグサ科</p> <p>24. クログワイ</p> <p>25. ウキヤガラ</p> <p>26. フトイ</p> <p>○ツユクサ科</p> <p>27. ツユクサ</p> <p>○サトイモ科</p> <p>28. ショウブ</p> | <p>○ユリ科</p> <p>29. ノビル</p> <p>30. ギョウジャニンニク</p> <p>31. キジカクシ</p> <p>32. カタクリ</p> <p>33. キスゲ</p> <p>34. ニッコウキスゲ</p> <p>35. ワスレグサ (カンゾウ、ヤブカンゾウ)</p> <p>36. ギボウシ</p> <p>37. イワギボウシ</p> <p>38. オニユリ</p> <p>39. コオニユリ</p> <p>40. タケシマユリ</p> <p>41. アマドコロ</p> <p>42. ツルボ</p> <p>43. シオデ</p> <p>44. タチシオデ</p> <p>45. ヤマガシユウ</p> <p>46. アマナ</p> <p>47. キバナノアマナ</p> <p>48. クサスギカズラ</p> <p>49. シライトソウ</p> <p>50. シロバナノエンレイソウ</p> <p>51. ナルコユリ</p> <p>52. ヤブラン</p> <p>○ヒガンバナ科</p> <p>53. ヒガンバナ</p> <p>○ヤマノイモ科</p> <p>54. トコロ (オニドコロ)</p> <p>○ラン科</p> <p>55. オニノヤガラ</p> <p>■ 双子葉植物</p> <p>○クワ科</p> <p>56. カナムグラ</p> <p>57. クワクサ</p> <p>○イラクサ科</p> <p>58. アカソ</p> <p>59. イラクサ</p> <p>60. カラムシ</p> <p>61. ウワバミソウ</p> | <p>62. ムカゴイラクサ</p> <p>○タデ科</p> <p>63. ミゾソバ</p> <p>64. ミチヤナギ (ニワヤナギ)</p> <p>65. スイバ</p> <p>66. ギシギシ</p> <p>67. イタドリ</p> <p>68. イヌタデ</p> <p>69. オオイタドリ</p> <p>70. ヒメスイバ</p> <p>71. ヤナギタデ</p> <p>○アカザ科</p> <p>72. シロザ (シロアカザ)</p> <p>73. ホウキギ</p> <p>74. マツナ</p> <p>75. ハマアカザ</p> <p>○ヒユ科</p> <p>76. イノコズチ</p> <p>77. イヌビユ</p> <p>78. アオビユ</p> <p>79. ノゲイトウ</p> <p>80. ヒユ</p> <p>○ヤマゴボウ科</p> <p>81. ヤマゴボウ</p> <p>○ツルナ科</p> <p>82. ツルナ</p> <p>○スベリヒユ科</p> <p>83. スベリヒユ</p> <p>○ナデシコ科</p> <p>84. ミミナグサ</p> <p>85. ウシハコベ</p> <p>86. ハコベ</p> <p>87. ナデシコ (カワラナデシコ)</p> <p>○スイレン科</p> <p>88. ジュンサイ</p> <p>89. オニバス</p> <p>○キンポウゲ科</p> <p>90. センニンソウ</p> <p>91. キツネノボタン</p> <p>92. ニリンソウ</p> <p>93. オダマキ</p> | <p>○メギ科</p> <p>94. イカリソウ</p> <p>○ケシ科</p> <p>95. クサノオウ</p> <p>96. エンゴサク類</p> <p>○アブラナ科</p> <p>97. ハタザオ</p> <p>98. ナズナ</p> <p>99. タネツケバナ</p> <p>100. コンロンソウ</p> <p>101. イヌナズナ</p> <p>102. グンバイナズナ</p> <p>103. スカシタゴボウ</p> <p>104. イヌガラシ</p> <p>105. クジラグサ</p> <p>106. ナタネナ</p> <p>107. ミズタガラシ</p> <p>○ベンケイソウ科</p> <p>108. キリンソウ</p> <p>109. ホソバナキリンソウ</p> <p>110. ベンケイソウ</p> <p>○ユキノシタ科</p> <p>111. ダイモンジソウ</p> <p>112. ユキノシタ</p> <p>○バラ科</p> <p>113. キンミズヒキ</p> <p>114. ヘビイチゴ</p> <p>115. カワラサイコ</p> <p>116. ツチグリ</p> <p>117. ワレモコウ</p> <p>118. シロバナヘビイチゴ</p> <p>119. ダイコンソウ</p> <p>○マメ科</p> <p>120. カワラケツメイ</p> <p>121. イタチササゲ</p> <p>122. クズ</p> <p>123. クサフジ</p> <p>124. ナンテンハギ</p> <p>125. インゲンマメ</p> <p>126. ウマゴヤシ</p> <p>127. クサネム</p> <p>128. シナガワハギ</p> <p>129. シロツメクサ</p> |
|---|--|---|---|

- | | | | |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 130. スズメノエンドウ | 159. シャク | 190. イヌノフグリ | 225. ヨブスマソウ |
| 131. タンキリマメ | 160. ハマゼリ | 191. カワジシャ | 226. コウモリソウ |
| 132. ヌスビトハギ | 161. ミシマサイコ | ○ゴマ科 | 227. ヤブレガサ |
| 133. メドハギ | 162. ヤブニンジン | 192. ゴマ | 228. アブラギク (シマカンギク) |
| 134. ヤハズソウ | ○サクラソウ科 | ○キツネノマゴ科 | 229. チョウセンアザミ (アーティチョーク) |
| 135. ヤブマメ | 163. ヌマトラノオ | 193. キツネノマゴ | 230. センボンヤリ |
| 136. レンリソウ | ○イソマツ科 | ○オオバコ科 | 231. ハハコグサ |
| 137. アズキ | 164. ハマサジ | 194. オオバコ | 232. アキノハハコグサ |
| ○カタバミ科 | ○ミツガシワ科 | 195. エゾオオバコ | 233. チチコグサ |
| 138. タチカタバミ | 165. アサザ | 196. トウオオバコ | 234. キツネノアザミ |
| 139. カタバミ | 166. ミツガシワ | 197. ヘラオオバコ | 235. ヤクシソウ |
| ○フウロウソウ科 | ○リンドウ科 | ○オミナエシ科 | 236. ニガナ |
| 140. ゲンノショウコ | 167. リンドウ | 198. オミナエシ | 237. ジシバリ |
| ○ハマビシ科 | ○ガガイモ科 | ○マツムシソウ科 | 238. タカサゴソウ |
| 141. ハマビシ | 168. ガガイモ | 199. マツムシソウ | 239. アキノノゲシ |
| ○ヒメハギ科 | 169. スズサイコ | ○ウリ科 | 240. コウブリナ |
| 142. ヒメハギ | 170. ロクオンソウ (ヒゴビャクゼン) | 200. アマチャヅル | 241. シラネアザミ |
| ○トウダイグサ科 | ○アカネ科 | 201. カラスウリ | 242. キクアザミ |
| 143. エノキグサ | 171. ヤエムグラ | 202. キカラスウリ | 243. ミヤコアザミ |
| 144. ニシキソウ | 172. キバナノカワラマツバ | 203. ヘチマ | 244. ハチジョウナ |
| ○ツリフネソウ科 | 173. アカネ | ○キキョウ科 | 245. アキノキリンソウ |
| 145. ホウセンカ | 174. ハシカグサ | 204. ツリガネニンジン | 246. ヤマボクチ |
| ○ブドウ科 | ○ヒルガオ科 | 205. ニオイシャジン | 247. タンポポ類 |
| 146. ノブドウ (ヤマブドウ) | 175. ヒルガオ | 206. ソバナ | 248. ガンクビソウ |
| ○アオイ科 | ○シソ科 | 207. ツルニンジン | 249. キク |
| 147. ゼニアオイ | 176. シロネ | 208. ヒメツルニンジン | 250. キクイモ |
| 148. フユアオイ | 177. ウツボグサ | 209. シデシャジン | 251. キンセンカ |
| ○スミレ科 | 178. クルマバナ | 210. キキョウ | 252. ゴボウ |
| 149. スミレ | 179. エゴマ | 211. サワギキョウ | 253. シュンギク |
| ○ミソハギ科 | 180. オドリコソウ | 212. ホタルブクロ | 254. タカサブロウ |
| 150. ミソハギ | 181. シソ | ○キク科 | 255. ツワブキ |
| ○ヒシ科 | 182. ナギナタコウジュ | 213. タビラコ | 256. ハンゴンソウ |
| 151. ヒシ | 183. メハジキ | 214. オニタビラコ | 257. ヒゴタイ |
| 152. ヒメビシ | 184. カキドオシ | 215. ノコギリソウ | 258. ヒヨドリバナ |
| ○アカバナ科 | 185. コガネバナ (コガネヤナギ) | 216. ノブキ | 259. フキ |
| 153. アカバナ | ○ナス科 | 217. モミジハグマ | 260. ベニバナ |
| ○ウコギ科 | 186. ホオズキ | 218. ヨモギ | 261. マナモミ |
| 154. ウド | 187. イヌホオズキ | 219. オオヨモギ (ヤマヨモギ) | 262. ユウガギク |
| ○セリ科 | 188. ヒヨドリジョウゴ | 220. カワラヨモギ | 263. オグルマ |
| 155. ノダケ | ○ゴマノハグサ科 | 221. ノコンギク | |
| 156. ハナウド | 189. クガイソウ (トラノオ) | 222. ヨメナ | |
| 157. セリ | | 223. オケラ | |
| 158. ヤブジラミ | | 224. センダングサ | |

東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの 野生個体群復元に向けた取り組み (第三報)

棟方有宗*・田中ちひろ**・遠藤源一郎**・小林牧人***

The Third Report of the Population Restoration Project of a Medaka Population around Natori River,
Sendai, Japan, after Great East Japan Earthquake

Arimune MUNAKATA, Chihiro TANAKA, Genichirou ENDOH and Makito KOBAYASHI

要旨： 東日本大震災に伴う津波以降、宮城県仙台市名取川河口域北岸の田圃の用水路に生息していた在来メダカは生息が確認されなくなっている。筆者らは震災の前年の2010年8月に同地区で採集したメダカを宮城教育大学、八木山動物公園、里親の元で約4年間にわたって飼育している。本報では、このメダカの飼育体制、並びに本飼育魚を原資とした野生メダカ個体群再建の一環として行った田圃におけるメダカの試験放流について報告する。

キーワード： 稲、津波、農薬不使用、東日本大震災、メダカ

1. 序論

先の東日本大震災（以下、震災）に伴う津波の後に姿が見られなくなった宮城県仙台市若林区井土地区のメダカ (*Oryzias latipes*) の在来個体群は、その後行われた除塩、圃場整備、用水路の改修後も元の生息地である用水路に姿を現していない（棟方ら、2014）。

これは、本メダカ個体群が既に震災以前の時点で生息域が縮小・分断され、本来は連続していたはずの他所からのメダカの供給が絶たれているためと考えられる（棟方ら、2014）。そこで本活動では、震災の前年の2010年の8月に同地区で採集していた井土地区のメダカの個体群を原資として、本メダカの野生個体群を再建することを、現在の目的としている。本メダカの飼育個体は、飼育開始の当初から自然界に放流（野生個体群を復元）するまでに数年間を要することを想定してきた。その間、最も注意を払う必要があると考えてきたことが、個体数の増加・維持と遺伝的形質の保持である。個体数を増加・維持して適切な個体数のまま放流タイミングを迎えるためには、不測の事態で

飼育個体が全滅してしまわないように、飼育場所を複数に分散しておくことが重要である。また、遺伝的形質の保持に関しては、2つの点に注意が必要である。1つは、これらの飼育個体の水槽に、ペット用に改良されたメダカであるヒメダカやクロメダカ、あるいは他所から持ち込まれた遺伝的に異なる野生メダカの系統が混入し、本活動で飼育している井土メダカ本来の遺伝的形質がかく乱されてしまうことである。また2つ目は、井土地区の野生メダカを少数で長期にわたって経代飼育することで近親交配が進み、形質の弱い個体が増加していくことである。

上記の分散飼育と遺伝的な問題は、時として表裏の関係にある。すなわち、絶滅リスクの軽減のために分散飼育を行った結果、飼育個体群が細かく分断されてしまい個々の群の近親交配による近交弱勢や遺伝的かく乱が起りやすくなる可能性が高くなると考えられる。そこで本稿では、数年間にわたって井土の野生メダカを安定的に飼育・保全するための管理手法について、再度検証を行った。

* 宮城教育大学理科教育講座・環境教育実践研究センター、** 仙台市八木山動物公園、*** 国際基督教大学

一方、本活動の最終目標は、元の生息地である井土地区周辺にメダカの野生個体群を復元することである。本来、復元ということであれば、元の生息地である井土地区の田圃やこれらに接続する用水路にメダカの生息環境を整えることが目的となるが、既に報告しているとおり、元のメダカの生息地である井土地区の田圃地帯では用水路の敷設工事や田圃の整備が完全には終わっていない。そこで本活動では、井土地区から直線距離で約5 km離れた岡田地区にある、既に除塩や圃場整備が行われて稲作が再開された田圃を用いて、本メダカ個体群再建に向けた基礎的知見を得るための試験放流を行った。なお現在、日本のメダカはキタノメダカ (*Oryzias sakaizumii*) とミナミメダカ (*Oryzias latipes*) に分類されるが (Asai *et al.*, 2011)、本論文ではミナミメダカのみを扱うので、論文中でメダカとした場合、ミナミメダカを指すこととする。



図1. 井土地区で採集されたメダカの飼育個体。

2. 井土メダカ飼育個体の絶滅リスク、ならびに遺伝的かく乱、近交に対する備え

1) 飼育魚の絶滅リスクに対する備え

本活動では、2010年8月に井土地区で採集した野生メダカを宮城教育大学の噴水池に放流して、飼育・保全を開始した (棟方ら, 2013)。しかし、上記の噴水池は公的機関に置かれていることから、池の整備計画の変更や不測の水質の変化、水の枯渇等によってこれらのメダカが生息できなくなる可能性があると考えられた。そこで本活動では、採集したメダカを上記の噴水池に放流する際、一部のメダカを個人の敷地内にある閉鎖系のビオトープ (以下、ビオトープA) にも

分散して飼育を行っている。つまり、本活動ではメダカの個体群の飼育を、2カ所に分散して開始している。

しかしながら、2つの場所のみではなお飼育個体群の絶滅リスクは高いと考えられたため、噴水池で飼育していた個体群の一部は続いて宮城教育大学のタナゴ池に分散させて、飼育を開始した (棟方ら, 2013)。また2014年、閉鎖系のビオトープAが設置されている同じ敷地内にも新たなビオトープ (ビオトープB) を新設し、ビオトープAから一部の飼育魚を分散させた。

また、本活動では既に報告している通り、仙台市八木山動物公園を通じて里親を一般公募し、延べ約150組の市民、学校、企業の里親が誕生している。この里親事業によってメダカの飼育個体は数百尾以上に増加したと推定されており、かつ飼育場所を分散したことによって、当初の目的であるメダカ飼育魚の絶滅のリスクは低減したと考えられる。

しかし、上記のように、飼育個体数を増やすことだけに着目した方策では、もう一つの課題である遺伝的かく乱、近交の問題が残される。

2) 飼育魚の遺伝的かく乱、近交に対する備え

次に、飼育個体の遺伝的課題について論じる。上記のように、本活動では井土地区で採集したメダカ個体群を飼育開始当初、ビオトープAおよび宮城教育大学の噴水池に収容した。上記の2つの場所のうち、ビオトープAは閉鎖された個人の敷地内に置かれているため、外部からヒメダカやクロメダカといった、他の遺伝的形質を持つメダカが進入する可能性は極めて低いと考えられる。一方、大学の構内にある噴水池は、多くの人が行き交うことができる公共の場に設置されている。多くの魚類の保全活動では、このような開放された空間で飼育や保全が行われるケースが多いと考えられる。開放された飼育池においては、他所からヒメダカやクロメダカ、他の野生メダカ個体群が持ち込まれる可能性が相対的に高くなる。そこで、本活動においては誤解によってこうしたメダカの持ち込みが起こらないように、掲示による呼びかけを行っている。

上記の様に、本活動では約150組の里親の元でも井土メダカの飼育が行われているが、一部の方からは、飼育メダカの個体数が少なくなった際、井土の飼育メダカに市販のヒメダカやクロメダカを加えてもよいか

といった質問がなされることがある。このような問題に各里親が個別に判断できるようにするため、本活動では全ての里親に対し、メダカの里親になる前に八木山動物公園で開催されるメダカの里親講習会に参加することを条件とさせていただいている。

特にメダカの場合は、野生個体群が絶滅危惧種である反面、多くのペットショップなどではペット化されたヒメダカやクロメダカが容易に入手できることから、特に野生個体の飼育時には遺伝的かく乱について注意を払う必要がある。そこで下に、メダカの里親講習会で参加者の方に注意をお願いしている項目を略記する。

- ①井土のメダカの飼育水槽に、市販のヒメダカ、クロメダカ、他所で採集された野生メダカを加えない。
- ②井土のメダカを本来の生息地以外に放流しない。
- ③他所から導入した水草などにはヒメダカなどの卵が付着している可能性があるため、メダカと一緒に育成された水草は導入しない。または、こうした水草を導入する場合は1週間ほど別の水槽に収容し、稚魚の発生がないことを確認してから井土メダカの水槽に移す。

次に、もう一つの遺伝的問題である近交に対する備えについて述べる。上記のビオトープA、B、噴水池、タナゴ池、および約150組の里親の飼育設備のうち、ビオトープA、B、噴水池、およびタナゴ池はメダカの生育や繁殖にとって十分な空間があると考えられ、数年のオーダーであれば、顕著な近交は起こらないと考えられる。

一方、里親の元で飼育されているメダカ飼育個体は、基本的には雄雌2～3ペアを提供して飼育が開始されており、数年間（数世代）に及ぶ繁殖を繰り返す際には近交の度合いが高まるのが推察される。そこで本活動では、上記のメダカの里親講習会の他にも、八木山動物公園において定期的に里親交流会を実施している。この里親交流会においては、里親の元で飼育されているメダカの一部を定期的に宮城教育大学の噴水池で採集した別の成魚と交換し、新たなペアのもとでの繁殖を促すことにより、上記の近交の問題を軽減するために行っているものである。

また、里親交流会では、里親の元で飼育されて増えたメダカ飼育魚の一部を回収することも目的としている。冒頭で述べたように、本活動の大きな目的は、飼育

によってメダカを安定的に保全、増殖し、最終的には増殖した個体を原資として本メダカの野生個体群を復元することである。数組の里親の元では、メダカが数十～百尾程度にまで増えており、これらは里親交流会の際に動物公園で適宜、引き取っている。そこで次に課題となるのが、こうして里親から引き取ったメダカの取り扱いである。これらのメダカは、上記したように宮城教育大学の噴水池の飼育個体から採集された成魚の子孫にあたる。里親の飼育下では、遺伝的かく乱、近交には予め十分に配慮がなされていると考えられるが、幾つかの里親の元では飼育の途中で成魚メダカのうちの数尾が死亡し、その後、少ないペアの組み合わせで一定期間繁殖が行われたケースも含まれていると考えられる。そこで本活動では、里親から回収されたメダカは大学の噴水池には戻さず、すべて八木山動物公園の屋外に新たに設置されたビオトープ（通称、アシカ池ビオトープ：元々アシカが飼育されていたプールを改修したビオトープ）（棟方ら, 2014）に収容することとしている。この池でメダカをさらに数世代にわたって自然繁殖させることにより、近交によって劣性形質が備わったメダカが自然の繁殖活動の中で排除され、結果的に自然環境の中でも十分に繁殖と生残が可能な遺伝的形質を備えた個体のみが保全されるものと考えられる。

以上、ここまでで述べたように、本活動では井土地区で採集したメダカの飼育魚を、数年後と想定される野生個体群の復元（放流）時まで安定的に保全・増殖させる飼育体制について述べた。本飼育体制の要点を簡潔に示すと、以下の様になる。

井土のメダカの飼育体制と各施設の機能

① 閉鎖系のビオトープ（ビオトープA、B）

メダカ飼育魚の遺伝的かく乱、近交のリスクを極力排除した、核（Bank）となる飼育施設。

② 飼育繁殖池（噴水池、タナゴ池）

メダカを安定的に増殖させ、かつ里親等にメダカを供給する役割を担うやや大規模な飼育池。

③ 里親の飼育設備

メダカの飼育増殖を担い、かつメダカ保全の意義について考える、本活動において最も重要な役割を担う飼育設備。

④ 八木山動物公園アシカ池ピオトープ

里親の元で繁殖した井土メダカの飼育魚を一定期間ストックして調整を行う飼育池。

⑤ 八木山動物公園ビジターセンター

井土のメダカを展示し、保全について啓蒙するための飼育設備。

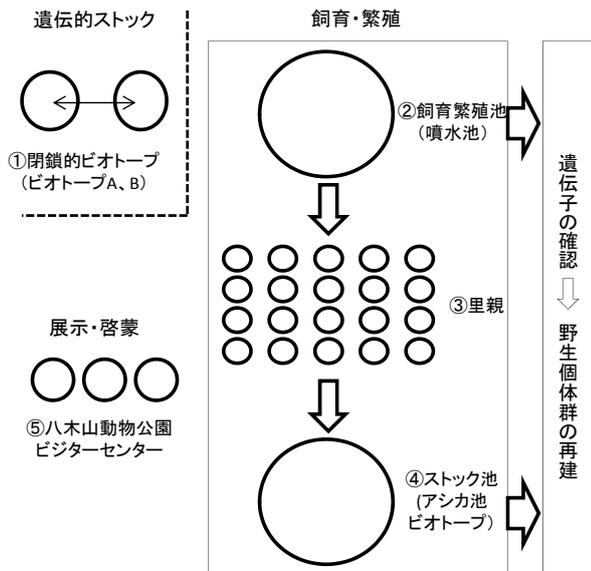


図2. 井土地区で採集した野生メダカを長期間安定的に飼育・繁殖させるための飼育管理体制。飼育繁殖池で増殖したメダカは、里親に供給し、里親から回収したメダカはストック池に收容する。

以上の①～④の飼育設備においては、個々のメダカ飼育設備がそれぞれの役割を担うことに加えて、各設備間の関係性も重要である（図2）。ここで、最も重視しなければならないのが、各施設間のメダカの移動の方向性を限定することである（図2参照）。まず、①～④の飼育設備のうち、原則として①のピオトープは他の飼育設備とは交流をさせず、井土メダカのオリジナルの状態を保持するものとする。また②の噴水池から里親の飼育設備（③）に分譲し、そこで繁殖して増えたメダカは噴水池（②）には戻さず、④のアシカ池ピオトープに收容することで飼育設備内の遺伝的かく乱の可能性を低減させることができると考えられる。

3. メダカの野生個体群再建に向けた、田圃への試験放流

本活動では、上記1)で保全・増殖を行ったメダカは、元の生息地における野生個体群の復元に用いるこ

とを前提としている。しかしながら、本メダカの野生個体群が元々生息していた井土地区を含む仙台市名取川河口域北岸一帯の田圃地帯では、2015年1月現在も圃場整備や用水路のコンクリートU字溝化工事などが地域ごとに行われている段階である。ことに本メダカを採捕した用水路では2015年1月の時点では通水も行われておらず、現時点ではメダカを放流する環境は整っていないと言える。

本活動では、上記の地域におけるメダカ野生個体群の復元の方法として現在、以下の3つの場所と方策を検討している。それぞれの特長と現時点での課題について、以下に述べる。

1) 田圃に隣接する用水路

一つ目のメダカ野生個体群再建候補地としては、田圃周辺の用水路が挙げられる。震災以前、井土地区周辺の用水路の幾つかでは周年にわたって水が流れており、本活動ではこうした用水路において、メダカを採集したことも候補地とした理由となる。

しかし、震災後に新たに敷設されている用水路では、周年にわたって水が流れるかどうかが不明確である。それは、震災前にあった用水路の多くは土がむき出しのいわゆる土側溝であり、底部の起伏によって水が溜まりやすい構造であったことや、周囲からの浸透水や流入水によって周年にわたってある程度の水位を保っていたのに対して、新たに敷設されたコンクリート製のU字溝水路では、上記のような特性がないために農閑期には大きく水位が減少する、あるいは水が流れなくなる可能性が考えられるからである。また、新たに敷設されるU字溝水路では、底面や側面に起伏や、水草などの水生植物が生える基盤が殆ど無いため、常に水路内を水が速い速度で流れ、メダカにとっての繁殖可能流速（10cm/秒以下（小林ら、2012;2013））が再現されない可能性が考えられる。こうした課題を克服するためには、U字溝の敷設工事が終わった後、周年の水位の変動をモニターし、一定の水位が周年にわたって確保されるかどうかを確認する必要がある。仮に水位がある程度保たれるようであれば、その水路の区間に農業にきたす支障を極力抑える範囲で堰板や鉢などの人工物を設置し、メダカの生育や繁殖に必要な流速と、特に繁殖時に必須の役割を演じる水生植物

を定着させることが望ましいと考えられる。

また、現在、田圃周辺に敷設が進められているU字溝の用水路においては、もう一つの課題として、基幹となる用水路とその支線にあたる水路との間に、落差が生じていることが挙げられる(図4)。既に全国各地で取り組まれているように、こうした水路間の落差、ならびに次述する田圃と用水路間の落差には、メダカなどの水生生物が移動可能な魚道を設置することも重要と考えられる(鈴木ら, 2000)。

1) のまとめ

- ①仙台市沿岸域の田圃の用水路の多くは、コンクリート製のU字溝水路になってきている。
- ②上記の用水路にメダカの野生個体群を復帰させるためには、U字溝水路内の流速をメダカが繁殖可能な10cm/秒以下に抑えるための構造や、メダカが卵を生み付けるための水生植物が定着する基質を置くことが



図3. 宮城県若林区井土地区の田圃周辺に震災後に敷設されたコンクリート製のU字溝水路。



図4. 宮城県仙台市若林区井土地区周辺に震災後に敷設されたコンクリート製のU字溝水路とその支線。両水路間には落差が形成されている。

重要と考えられる。

- ③また、用水路間、用水路—田圃間の落差を魚道等で軽減することも重要である。

2) 田圃

一般に、田圃の底質は砂泥で構成されており、また水の流れはあったとしても基本的には緩やかであることから、田圃内は、用水路以上にメダカの生育や繁殖には好適な基本条件を備えている。であるにもかかわらず、多くの田圃では現在、メダカが生息していない。それでは、どのような環境が整っていれば、田圃でメダカが生育・繁殖できるのであろうか。

まず、田圃の内部の環境について触れる。メダカが田圃内で生育や繁殖を行うためには、農薬、餌生物、水位の3点が重要な条件になると考えられる。これらのうち、農薬や餌については、近年では減農薬や農薬成分の改善が図られ、影響は低下していると考えられるが、メダカや、メダカの健全な繁殖を考えれば、農薬の質・量はメダカに合わせて今後さらに考慮する必要がある。また農薬は、直接的にメダカに影響を及ぼすだけでなく、間接的に、メダカの餌となる小型の生物にも影響を及ぼすものと考えられる。

一方、田圃内の水位は、メダカに対して最も直接的な影響を及ぼす条件となる。宮城県仙台市においては、稲作の過程では稲の出穂前の中干し時、ならびに稲の収穫時には田圃内から水を落とす工程が組み込まれていることから、メダカの多くはこの際に田圃内に生息することが極めて困難になる。

そこで関心が持たれるのがまず、前述した田圃と田圃に隣接する用水路との接続である。古来、日本の田圃では田圃とそれに隣接する用水路(排水路)の間には大きな落差は無かった場合が多く、また落差があった場合も落差部分は、土で壁が覆われ、傾斜もさほど大きくなかったため、メダカを含む多くの水生生物が田圃と用水路の間を行き来していたと考えられる。このような環境では、多くの水生生物は上記の中干しや稲刈り後の農閑期の際には田んぼから用水路に降下し、翌年の春に再び田圃に遡上するといったライフサイクルを送っていたと考えられる。ところが近代の田圃の多くでは、田圃から用水路への排水効率を向上させるといった理由のために田圃と用水路との落差が大

きく急になる傾向があり、ひとたび田圃から用水路に降下した水生生物が再び田圃に遡上するためには、物理的な障壁を緩和するための魚道等の敷設が必要である。従って、田圃におけるメダカの野生個体群の復元を検討する場合は、原則的には隣接する用水路も活用することが必要となるため、上記したように田圃周辺の用水路の中には、少なくともメダカが摂餌や越冬を行う環境が備わっていることが必要条件となる。

一方、これらとは別の方策として、田圃周辺の用水路に極力依存しない方策も、考えられる。

すなわち、田圃の中の一部にメダカが退避できる深場を作り、中干しや農閑期にもそのまま田圃内でメダカを生育させることで、田圃内でメダカの保全を完結させる方策である。また近年ではメダカの保全とは別の視点から田圃の冬季湛水（嶺田ら、2004）が行われており、こうした手法も田圃におけるメダカの周年の生息を可能にすることが期待される。ただし、メダカを退避させる深場を作成する場合には田圃の一部をメダカの生息空間として割くことにより米の収穫量が減少すること、また深場や冬季湛水によるメダカの周年生息を実現するためには、冬季の水の確保やメダカの退避場所においてメダカの生息密度が上昇することなどへの対策が必要となる。

2) のまとめ

- ①田圃の内部は、農薬の影響を回避できればメダカの好適な生息空間となる。
- ②しかし、中干し時や農閑期には水が落とされ、メダカが生息できなくなる田圃が多い。
- ③田圃でメダカを周年生育させるためには隣接する用水路との行き来をスムーズにすること、あるいはメダカがそのまま田圃内で生育できる深場を作ることや冬季湛水の手法を導入することが必要となる。

3) 新規の生息池（ビオトープ）

上記の田圃や田圃に隣接する用水路は、現時点では多くが圃場整備やコンクリート製U字溝の設置が行われている段階であり、メダカの野生個体群を復元するためにはなお数シーズンの試行期間が必要になると想定される。そこで現在浮上しているのが、新たな生息池を作り、そこにメダカを放流することである。

2015年2月7日に、仙台市サポートセンターで開

催したシンポジウム「疏水の歴史保全・継承のための地域交流シンポジウム」におけるパネルトークでは、井土地区の周辺にはかつて複数の湧水、浸透水を水源とする池群があり、これらの中の一つを復元してはどうかとの提言があった。

もしこれが実現すれば、池の中ではメダカの野生個体群が再建されるだけでなく、地域特有の水・餌環境の中でこれらのメダカ個体群が生育する過程や繁殖期繁殖行動の様子を観察することができるようになり、今後、田圃や用水路においてメダカの野生個体群を再建するための基礎的知見を得るためのモデル水面となることが期待される。

4. 田圃におけるメダカの試験放流

上記の2. で述べたように、井土地区の周辺では現在、田圃の圃場整備と用水路のU字溝化工事が進められている段階である。一方、元のメダカの生息地である井土地区から直線距離で約5km離れている岡田地区等では、2014年の時点で一部の田圃における稲作が再開されている。そこで本活動では、岡田地区の田圃の地権者である遠藤環境農園の協力を得て、新たに圃場整備された田圃に井土のメダカを放流し、その後の生育・繁殖の有無を確認するための試験を行った。

遠藤環境農園の田圃では、稲や他の生き物、環境に配慮し、農薬不使用の稲作が行われている。また田圃では、田植えの後、除草のため、通常よりも田圃の水位を深くする深水管理を行っており、メダカにとってはより好適な飼育環境が創出されている。



図5. 仙台在来メダカを放流した農薬不使用の遠藤環境農園の様子。

試験放流では、2014年6月21日に宮城教育大学噴水池等で増殖したメダカ約100尾を田圃内に放流した(図5)。その後、8月29日に本論文著者のうちの棟方と小林で田圃におけるメダカの生息状況調査を行ったところ、田圃内の各所で多数のメダカの稚魚が観察され、田圃内で順調に繁殖が行われていることが明らかとなった。

通常、多くの田圃では稲作の工程として、“中干し”と呼ばれる、一度田圃の水を抜いて乾燥化を促す作業が行われるが、遠藤環境農園の田圃ではこの工程は行わないものとした。上記の稲作期間中、田圃の中では環境省の絶滅危惧Ⅱ類に指定されている水生植物であるミズアオイ (*Monochoria korsakowii*) も見られるようになった(図6)。

なお、上記の田圃では、秋の稲刈りの前には、通常の田圃と同様、田圃内の水を落として乾燥させたのちに稲刈りを行った。その際の選択肢としては、メダカを落水とともに用水路に降下させることが考えられたが、本試験放流では田圃の中でのメダカの繁殖、生育状況を知ることが目的としていたことから、今回は稲刈りに備えて田圃から水を抜く前の9月28日に田圃の落水側の畦際に長さ80cm、幅50cm、水深50cmの深場をスコップで造成し、徐々に田圃から水を抜くことでメダカをこれらの深場に誘導し、9月30日にメダカの採捕を行った。

なお、田圃から水を落とす際は、田圃の出口に目合



図6. 農薬不使用の遠藤環境農園の田圃に自生したミズアオイ (*Monochoria korsakowii*) .

い約5mmのメッシュを設置し、メダカの用水路への降下を抑制した。

田圃から採集したメダカは、冬季の間は遠藤環境農園の自宅の庭に設置したビオトープに収容して飼育を行っている。これらのメダカは、また次年度の春に作付けを行う田圃に放流することとしており、当面はこのサイクルを繰り返しながら、メダカの試験放流後の生育、繁殖状況をモニターする計画である。

謝辞

本研究活動は、三井物産環境基金 (R11-F1-056) , 農林水産省美しい農村再生事業の助成を受けて行われました。一連の本活動に対するご理解とご支援に心よりお礼申し上げます。

文献

- Asai, T., Senou, H., Hosoya, K, 2011. *Oryzias sakaizumii*, a new ricefish from northern Japan (*Teleostei: Adrianichthyidae*). *Ichthyol. Explor. Freshwaters*. 22, 289-299.
- 小林牧人・頼経知尚・小井土美香 2013. 繁殖行動の視点からの魚類の保全。「魚類の行動研究と水産資源管理」恒星社厚生閣, 89-100.
- 小林牧人・頼経知尚・鈴木翔平・清水彩美・小井土美香・川口優太郎・早川洋一・江口さやか・横田弘文・山本義和 2012. 屋外池における野生メダカ *Oryzias latipes* の繁殖行動. *日本水産学会誌*, 78, 922-933.
- 鈴木正貴・水谷正一・後藤章 2000. 水田生態系保全のための小規模水田魚道の開発. *農業土木学会誌*, 12, 1263-1266.
- 嶺田拓也・栗田英治・石田憲治 2004. 水田冬期湛水における営農効果と多面的機能. *農村計画論文集*, 6, 61-66.
- 棟方有宗・菅原正徳・田中ちひろ・釜谷大輔 2013. 東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの保全. *宮城教育大学環境教育研究紀要*, 15, 57-63.
- 棟方有宗・田中ちひろ・坂佳美・菅原正徳 2014. 東日本大震災の津波で被災した名取川河口域のメダカの野生個体復元に向けた資源増殖の試み. *宮城教育大学環境教育研究紀要*, 16, 31-38.

動物ふれあい活動を用いた地域活性化の取組みと ESD

斉藤千映美*・伊藤勇馬**

Mobile Farm in a Local Market as a Tool to Revitalize the Local Community and ESD

Chiemi SAITO and Yuma ITOH

概要：“Shin-Tera Komichi Ichi” is a market held on the 28th of every month at Shintera Komichi Ryokudo, Wakabayashi, Sendai City. The market aims at activating the local community and to motivate a wider communication among residents. We have joined the market with a mobile farm, mainly of goats, since October, 2013. In the present paper, we summarize the activities and discuss their significance as a tool to revitalize local community in relation to ESD. Contributions of the farm activity on the market and its outcome for both local residents and students are discussed.

キーワード：ESD, domestic animals, mobile farm, local market, community

1. 背景

国連の推計によれば、21世紀末には世界の人口は108.5億人に到達し、地球の気温は現在より0.3～4.8℃上昇すると推測されている（IPCC第5次評価報告書）。地球環境の激変はこれまで人類が体験したことのない未曾有の領域であり、限られた資源をめぐる貧困・国境を越える対立を回避するために、持続可能な社会への急速なパラダイムシフトは今や絶対に必要な条件となっている。国連が提唱するESD (Education for Sustainable Development, 持続発展教育)は、大量消費社会から脱却し、次世代市民に地球資源を残すことを目的として、新しい持続可能な社会を担うことのできる人材育成を行う教育である。ESDは21世紀の教育においては最も重要な概念となるべきものであり、その場は学校だけにとどまらず、全ての人々が価値観、態度、知識を身につける必要があることは言うまでもない。2014年にはESDのグローバル・アクション・プログラムが発表され、地域コミュニティ教育の重要性が強調されている。このような動きを背景にしてみると、高齢化や地域社会の力の衰退が進む日本の地方都市において、教育活動を「まちづくり」の力に

変える活動はどのようにあるべきであろうか。



写真1. 新寺こみち市

「新寺こみち市」（写真1）は、仙台市若林区の「区民協働まちづくり事業」として、2013年から、仙台市若林区の「新寺小道緑道」で実施されるようになったいわゆる手作り市である。

「区民協働まちづくり事業」は若林区の市民と行政の協働でまちづくりを進める事業のスキームである。新寺こみち市は、同事業のメニューのうち「公園活性化事業」の一環として実行委員会形式で運営されている。目的は、東北の農家・漁家・手づくり作家などの個人事業を応援すること、また新寺小路緑道を舞台とすることで、歴史ある地域と市民との間に新しい関係

* 宮城教育大学環境教育実践研究センター, ** 宮城教育大学自然フィールドワーク研究会 YAMOI

を作りだし、新寺地区周辺の活性化に寄与することである。仙台の風土に根ざした商いを支援することで地区に新たな魅力を生み出し、新しい地域づくりを行おうとする姿は、まさしく ESD の理念に則した活動とってよいであろう。「新寺こみち市」には、2014 年度、毎月、パンや野菜、お菓子、コーヒー、工芸品などを中心に、約 40 店舗が参加している。曜日に関係なく毎月 28 日午前 10 時～午後 3 時まで市が立ち、参加者は毎回、1000 名程度に及ぶ（西大立目、私信）。

筆者らは 2013 年、仙台市若林区および新寺こみち市実行委員会から、公園活性化事業の取り組みとして、「新寺こみち市」に、触れることのできる生き物を導入してどのような効果があるか検証したいという提案を受けた。これが発端となり、「宮城教育大学自然フィールドワーク研究会 YAMOI」が大学で飼育されているヤギの展示を活動の一環として行うことになった。2013 年度には 10 月以降合計 3 回、試験的にヤギふれあい活動を実施した結果、仙台市若林区から「予想を超える成果を挙げた」と評価を頂き、2014 年度にも継続して、ヤギの展示とふれあい活動を行うことになった。本稿では以下に、2013 年度から 2 年度にわたり、合計 10 回実施したふれあい活動（うち 9 回でヤギの展示とふれあいを実施）の結果を分析し、「新寺こみち市」でふれあい学習活動が果たした役割を明らかにする。

宮城教育大学のヤギは、教員養成教育の教材動物として、2010 年より飼育されている。「自然フィールドワーク研究会 YAMOI」は、日頃からヤギの飼育を担当し、また主に小学生を対象とする動物ふれあい学習のプログラム作成や実践を行っている（齊藤ほか、2014）。サークルに参加する学生の日頃の経験が、市民を対象に実施されるふれあい学習活動においてどのように生かされるか、学生によって活動にどのような意義があったかを合わせて検討する。

2. 方法

仙台市若林区は、古墳時代にはいくつもの古墳が築造され、時代を下ると奈良時代には国分寺・国分尼寺が建立され、古くから栄えてきた。藩政時代になると、若林区新寺界隈は仙台城から見て鬼門に位置してい

たため、多くの寺院が集まりここに寺町が形成された。「元寺小路」から多くの寺院が移転したことから「新寺小路」と命名された通りを中心に地域は発展し、現在も新寺地区は寺院を中心に、商業施設、住宅などが混在する場所として歴史の名残を町並みに留めている。この地区の「新寺小路緑道」（長さ約 650m）は、新寺五丁目公園を東端、新寺二丁目公園を西端として整備され、2012 年には市民の憩いの場として仙台市の「杜の都 緑の名所 100 選」に選ばれた。ヤギのふれあい活動の場は、この緑道の西端に位置する「新寺二丁目公園」のオープンスペースである。

ヤギふれあい活動とは、公園内にヤギを連れて行き、繫留して、来場者が動物に触れたり餌をあげたりできる機会を設けることである。大学からヤギを運搬し、1 回につきのべ 5 時間、数名のスタッフが 1 頭または 2 頭のヤギを繫留し、餌やり・ふれあいを支援した。

繫留した場所は、新寺二丁目公園内である。事前に公園を清掃してからヤギを導入し、また繫留後も必ず清掃を行った。餌として、紙コップにニンジン・キャベツ・アオキの葉などを切って入れ、実費で希望者に提供した。ヤギには必ず学生が 1 頭あたり 1 名以上つきそい、特に幼児が近づいた際には首輪をつかんで保定し、ヤギと参加者の安全を確保した。日頃から毎週ヤギの飼育に参加している学生をヤギのそばに配置することで、参加者からの質問に答えたり、ヤギの食欲を観察するなどして、管理を適切に行えるようにした。ふれあい実施時には、学生はできるだけ参加者と交流するように務めた。

ふれあいの前後には手洗いをするよう掲示と口頭で参加者に伝え、水道のそばには液体せっけんを、ヤギのそばには消毒液を置いた。また口蹄疫に関する注意情報やふれあいの際の安全確保に関わる掲示を毎回行った。ヤギは犬を怖がるため、散歩で来る犬を近づけないよう注意を払った。

活動中は全体を管理する責任者を 1 名配置し、写真撮影を行った。またこの責任者とは別に、参加者の人数を 1 名がカウントした。ヤギと触れ合う、ヤギの写真近くに来て撮影する、餌をやる、ヤギにつきそう学生に話しかける、のいずれかの行動をとった場合、「ふれあい参加者」とみなしてその数と性別・年齢層

を記録した。

年齢層は、対象の見かけから、「10歳以下（幼児）」「若年層（10代～20代）」「中年層（30代～50代）」「高齢層（60代以上）」の分け方をした。なお、区分を簡素化するため、新寺こみち市は平日の日中に実施されることが多いので、学齢期の児童生徒が来場することは基本的に少ないという前提で年齢区分を行っている。

筆者らの新寺こみち市への参加回数は、2013年の10月～12月、2014年の5月～11月の合計10回で、毎回10時～15時までの5時間、活動を実施した。ただし、2014年の7月は、新寺こみち市自体が「夜市」として午後17時～21時に開催されたため、ヤギふれあいではなく、「暗闇博物館」の企画を出展した。暗闇博物館は、正方形のテントを2つ並べて幕を張り、その内側に触れることのできる動物の標本（骨格や剥製、毛皮など）を展示し、来場者が懐中電灯を用いて観察する（学生は標本についての説明を行ったり、子どもを対象にクイズを出す）というしくみで行った。

また、2014年の9月には、休日ということもあり、ヤギだけではなく、ウコッケイの雛のふれあいを試験的に実施した。

参加者数のカウントは、初回の2013年10月は概算で実施したため、男女比や年齢構成までは記録しなかった。また2014年11月のこみち市では、学生の人数が足りなかったため、参加者数は午前中は記録できず、午後のみ記録が残っている。これら2回分のデータは参考データとして扱った。本稿では、これらの限られた資料をもとに分析を行った。

ふれあい活動には当日だけでなく事前・事後の準備が必要である。毎回10名以上の学生が作業を分担して実施していた。活動に必要な資材や経費は、「ヤギふれあい活動」に関しては上述の「公園活性化事業」から支出された。

なお本稿で用いる新寺こみち市全体の来場者数は、「新寺こみち市実行委員会」の調査により得られた数値を用いている（西大立目、私信）。

2014年度の活動終了後、参加した21名の学生（1年生9名、2年生8名、3年生4名）に対してアンケート調査を実施し、最も心に残ったエピソード、自分の感じたこと、今後活動を続けるべきかどうか意見を尋ねた。

3. 結果

(1) ふれあい活動参加者の内訳

同じ方法でカウントを行った7回のヤギふれあい活動の参加者数は、平均して61名/時間、1回平均では303名であった。最も参加者が多かったのは2014年9月28日（日曜日、晴天）で、毎時124名（1回で合計620名）がヤギふれあいに参加した。なお、この日の「こみち市」来場者数は2000名であり、昼間開催された9回のうちでは来場者も最も多かった。一方、最もふれあい参加者が少なかったのは、2013年12月28日（平日、曇り時々雪）で、毎時平均42名（5時間合計で206名）（こみち市来場者は600名）であった。ふれあい活動参加者の人数と、こみち市への来場者数の推移を図1に示す。

時間あたりのふれあい参加者数、新寺こみち市への来場者数はともに、回毎のばらつきが大きい。夜市として行われた7月の新寺こみち市の来場者数は過去最多であった。これを除くと、快晴の日曜日であった2014年9月には極めて人が多く、悪天候の平日に特に人出が減っていた。すなわち、来場者数は天気と曜日に大きく影響を受ける。

ふれあい参加者数は、来場者と似た増減のパターンを示していた。ただし、増減の振幅は来場者数ほど大きくはなかった。

次に、全来場者あたりのふれあい参加者人数を「参加率」としてその推移を見ると、平均参加率は0.28で、夜間開催だった2014年7月を除けば、回による大きなばらつきは見られない（図2）。回数を重ねるごとにやや増加していくような傾向も見られるが、明白であるとはいえない。

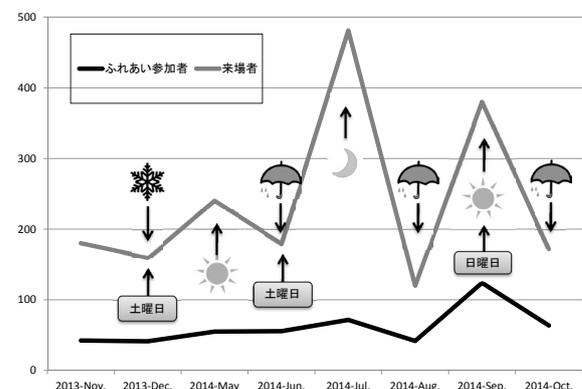


図1. 来場者と参加者の変動

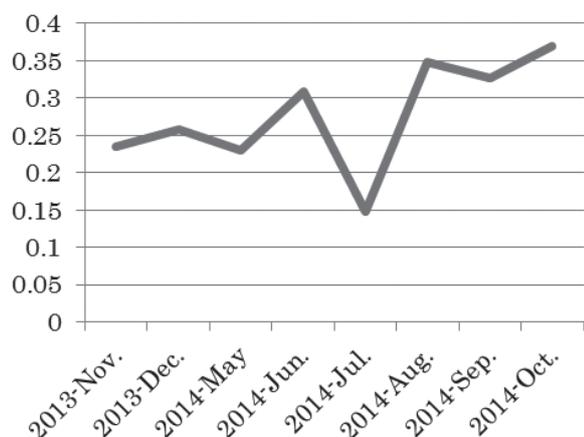


図2. 参加率(参加人数/来場者数)

参加者の性別は、記録を行った9回ともすべて女性の数が男性を上回り、平均すると女性が参加者全体の62%を占めていた。年齢構成を見ると、親世代に当たる30代～50代の参加者が全体の32%と多く、もっとも少ないのは高齢者層であった。ただし、夜間に開催された2014年7月の「新寺こみち市」では、最も多いのは若年層、少ないのは幼児層という特異的な年齢構成が見られた。

(2) 参加者の行動

午前中は、複数箇所の保育所から、散歩でヤギに会いに来る子どもたちが多く、その数も次第に増えて、2014年度の後半になると、午前中、子どもたちがひっきりなしにヤギを取り囲むこともあった。餌を購入することはできないので、チモシー（通常の主食としてある牧草）などを、状況に応じて子どもたちがあげられるようにした（写真2）。



写真2. ふれあい参加者(保育所)

一般の子ども連れの参加者は、子どもに話しかけ、励ましたり促したりしながら、子どものペースでヤギに

近づいてきた。子どもが餌をあげるところを写真にとった後で、初めて自分自身もふれあいに参加するという親が多かった（写真3）。



写真3. ふれあい参加者(幼児と保護者)

10～20代の参加者は、同伴者と会話しながら、写真を撮ることをきっかけに少しずつ近づいてくることが多かった（写真4）。



写真4. ふれあい参加者(若年層)

成人の方（多くは女性）になると、一人で行動されている方であっても、同伴者がいる方であっても、ヤギを見つけると戸惑いなくすぐに展示スペースに入ってきた（写真5）。また、発話が多く、ヤギをはさんで同伴者や周りにいる人（他の参加者や、出展側の学生）との会話が盛り上がった。

とくに高齢の方の中には「昔、家でヤギを飼っていて・・・」「学校帰りに近所のヤギが・・・」というお話をされる方が非常に多く、ヤギは「懐かしい」気持ちを誘うもののようなものであった。

参加者の方たちからは、ヤギそのものについての質問、ヤギはどこに住んでいるのか、なぜここにいるの



写真5. ふれあい参加者(成人)

か、などの質問が多くよせられた。

(3) ふれあい学習における学生の役割

ふれあい学習において、学生はたいへん重要な役割を果たしている。それは、たんに参加者の安全や衛生の確保ではない。その場にいるヤギは、参加者にとっては「一頭のヤギ」であるが、学生がそこに介在することにより、それは「ヤギ」ではなく「ともちゃん」に変わるのである。ともちゃんが2歳であること、赤ちゃんのときにはお母さんの乳の出が悪くて人工哺乳も受けたこと、そのためとても人になついていること。ニコちゃんのおかあさんで、初めてのお産なのに立派にお母さんを務めていること、優しい性格であること、夕方になるとそっと人によりそい、撫でられると嬉しそうにすること・・・などが、学生がいることで参加者に伝わり、それはもう、ただのヤギではなくなるのである。そのようにして、一頭のヤギが「かけがえのない」いのちであり存在であることを感じてもらえることが、ふれあいの最も大切な意義なのである。また、成人の参加者の方々が多く疑問に思われるのは肉垂の意味や寿命、食べ物、普段の暮らしぶり、なぜ大学でヤギを飼うのか、といったことだが、それらをヤギに代わって答えられるのも、普段から世話をしている学生だからである。幼児に対して、例えば「葉っぱを食べるとパリパリ音がする」などの独特の発見の言葉を拾い上げたときに、「みんながごはんを食べるときはどんな音かな」などと問いかければ、さらに幼児は表現をふくらませようと思いを巡らせ、ヤギと自分を比較することに思い至る。こうした支援も介助する大人の役割(並木, 2008)である。

特にヤギを怖がる子どもたちに対しては、ヤギの目線に立って、「そっと近づいてくださいね。優しい声で話しかけてあげてね」などと声をかける。「ここを触ると、びっくりします。こちらから、なでてみましょう」などのように、ヤギの気持ちにたってふれあうことを支援するのも、学生の役割である。

このように、ふれあいを介助する学生は、技能と知識に基づいて多様な役割を果たし、ヤギの「代理人」として、参加者の動物との出会いに大きな「意味」をもたらす存在なのである。根岸ら(2014)はふれあい施設における入場者の行動の分類を行っているが、入場者の行動が「餌をやる」「触れる」「追いかける」などのパターンに分類され、動物をめぐる会話を通じて思考が深まる様子は十分に見て取れない。これは、施設において、動物と入場者の間を介在する役割を果たすが少ないことに起因しているようにみえる。

学生には、自分たちにしか果たすことのできない役割がある。そのことに誇りを持ちながらも、逆に責任があることを理解する必要がある。「新寺こみち市」では、2年生以上の学生は、長い期間ヤギの飼育や教育実践に携わっているためヤギの取り扱いや触れ合いには慣れた様子であり、参加者からは「学生が素晴らしい」という評価を頂くことも少なくない。目線をヤギに近づけて低い姿勢でヤギの取り扱いをしている学生(写真6)は、特に好感を与えている印象である。1年生の学生は、最初の回は寒いとポケットに手をつこんだままお客さんと話をする、お客さんが来てもぼうっと見ている、などのことがあるが、回を重ねると確実に役割を理解するようになり、総体としては、天候に関わらず、協力し合いながら笑顔でふれあいを支援することができるようになった。このような



写真6. ふれあい支援時の学生の姿勢

学生の変化もまた、学びの成果の一つの形であると捉えたい。

(4) 参加者からの感想

筆者らが自分たちで聞き取ったもののほか、ふれあいを支援した学生へのアンケートで、印象に残った参加者の話をあげてもらったところ、次のような例があった。ほとんどすべて、中年層～高齢者層から聞き取った話である。

①ヤギの思い出

- ・ 子どものとき、とても可愛がっていたヤギが、ある日食卓に出てきた。今考えると、食べるのもたいへんな頃だったのだと思う。悲しくて、泣いて泣いて食べることができなかった。(女性)
- ・ 昔、祖母の家(山形)へ行った時、ヤギを飼っており、祖母が「体に良いから」といってヤギの乳を飲ませてくれた。味が濃かったような記憶があるが、どのような味であったか、飲む機会があればまた試してみたい。(高齢, 不明)
- ・ 子どもの頃、通学路の川原にいつもヤギがいたものだ。橋の上から草を食べているのを見下ろしていたことを覚えている。(高齢, 男性)
- ・ 家でヤギを飼っていた。大変な生活で、母親の乳が出なかったため、ヤギの乳で育てられた。(男性)
- ・ (一緒に来ていた孫娘と思われる人に向かって) 昔はヤギはいろんなところで見られた。体の弱い人がお嫁に行くときはヤギと一緒に嫁入りしたものだ。(高齢, 女性)

中年層、高齢者の話の中に多く出てくるのは、「子どものころのヤギの思い出」である。自分の家でヤギを飼っていた。世話をした。ヤギの乳を飲んだ。などという記憶のある高齢者の話は、毎回必ず記録され、内容の多様性から、東北地方に限らずさまざまな地域で多くの方がヤギに関連した記憶を持っていることが伺えた。非常に懐かしい様子で、自然な笑顔を浮かべられ、ヤギに触れられた。話の中には、「引っ張るのが重かった」「温かい乳を飲んだ」「川原に真っ白のヤギがいて」など、身体的な感覚の回想が含まれることが多かった。

②ヤギへの愛着

- ・ 生き物が大好き。毎回ヤギに会いに来ている。いつか、絵本に描きたいなと思っている(女性)
- ・ ヤギが好きで、近隣の県にヤギのいる牧場があると聞くと必ず見に行っている。ここには毎回、ヤギに会いに来ている(女性)

動物が好き、ヤギが好きだというお話をなさる方々は年齢を問わず存在し、これらの方々は毎回来てくれるようになった。中には学生にお菓子を差し入れをしてくださる方、終了間際の15時ぎりぎりに「間に合ったわ!」と言いながら走っておいでになる方もいた。保育所の子どもたちも多数来てくれるようになり、ヤギが出展されていない12月以降は、来場したのにヤギがいなかったと失望させてしまうことがあった。多くの方が動物に好意を持ち、ふれあいの際には様々な質問をされたり、「面白い」「かわいい」と口にされていた。

③活動への共感

- ・ ここは町中なので、日常生活の中で子どもが生き物に触れる機会がない。子どもにとっては本当に良い体験である(幼児を連れた女性)
- ・ ふれあい活動は素晴らしい。生き物には人を元気にする力がある。特に学生がそのような活動をしているということには、意義がある。(高齢者, 女性)

生き物がいることで子どもを始め人の心が和む、楽しい体験ができる、という活動に共感するコメントは、親世代以上の参加者からしばしば聞かれた。

(5) 学生の感想

学生に「感じたこと」「学んだこと」を選択式で尋ねたところ、もっとも多かった感想は、「また活動に参加してみたい」(全体の81%)であった。「動物の持つ魅力を感じた」(57%)、「子どもとの触れ合いが楽しかった」(65%)、「様々な年代の方との触れ合いが楽しかった」(65%)などの回答が多く挙げられた。

コメントにも「いろいろな方と交流し、普段は何うことのできないような昔の話などが聞けた」のように多様な年代の人との交流にやりがいを感じている表現

が多く見受けられた。「どのような世代の方であっても、動物と触れ合うことを喜び、笑顔になるということを知った」といった意見に代表されるように、生き物が人を惹きつける力を知った学生もいた。

活動を次年度以降も続けるべきか尋ねると、95%の学生が「続けたほうがよい」と答えた。ただし、「自分たちで経費をまかなってボランティアでも実施すべきか」という質問に対しては、1年生が100%「はい(ボランティアでも続けたい)」と答えたのに対して、2年生は38%、3年生は100%が「いいえ(経費を自分たちで出して続けることは難しい)」と答えた。

1年生からは「お客さんと会話する中で、ユキちゃん・トモちゃんの子どもに来春会えるのを楽しみにしているとの声を聞いた。ヤギの名前を覚えてくださっている方もいて、需要があることを感じるのので、ぜひ継続したい」「小さい子やその親御さん、年配の方々などが、ヤギを見て触って楽しんだり、話をはずませてもらっていいので、その空間を無くしたくないな、と思います」などの素直な思いが多く挙げられた。一方、2年生以上の学生からは、「やりがいがあり、個人的にはボランティアでも行きたいです。ただ、人手が足りないことが時にあるので、経費が出ないとなると一人ひとりの負担がより大きくなり、行きたくない人が増えていくかもしれません」という意見に代表されるように、「個人としてはやる気があるが、集団全体としては作業量が多いため、自分たちで経費をまかなって出展するのは難しい」という意見が圧倒的であった。

4. 考察

(1) 「新寺こみち市」への来場者とヤギの貢献

「新寺こみち市」への来場者数は変動が著しく、天気の良い日・休日には多くなるが、天候が悪いときは少ない。また、夜間に開催された日は昼間よりも来場者が多かった。しかし、ふれあい参加者の内訳を見る限りでは、昼と夜では明らかに年齢層に差があり、一概に両者の良し悪しなどを比較することは難しい。年に1度程度の夜間開催は、昼間だと参加することの難しい年齢層の人の参加を促すのに適した方法だといってよいであろう。なお、具体的なデータはないものの、来場者数は圧倒的に午前中に多く、昼過ぎから来場さ

れる方は午前中の多く見積もっても半分以下である。またその一方で、来場された方のうちふれあいに参加される方の割合は、天候や曜日に左右されないことも明らかになった。来場者のうち、約3割程度がふれあいに参加されるという結果からは、ヤギふれあい活動は一定程度認知され、少なからぬ来場者に親しまれていたことがわかる。

ふれあい活動の出展が「新寺こみち市」にどの程度のにぎわいをもたらしているか、客観的に評価することは難しいが、私たちは、一定程度、活動には市民を公園に集める力が働いていると考えている。その理由として、まず、回数を重ねるにつれ、いわゆるリピーターが多いと感じる学生が増えたことがあげられる。ヤギの名前を覚えてくれたり、他の参加者にこのふれあい活動の意義について説明してくれるような参加者も次第に多く見られるようになった。それらの参加者が「ヤギに会いに(こみち市に)来ました」と話した、という記録も、特に後半は毎回報告されている。また午前中は、天気が悪くない限り、近隣の数か所の保育所の園児が集団でヤギに会いに来るようになった。職場の昼休み時になると、公園の外を手ぶらで歩く人が、ヤギを見かけて中に入ってくることも少なくない。これらの人々は、「こみち市」がただものを売るだけの場であれば来場することがなかった来場者層である。

ふれあい活動では小さな子供を連れた保護者も多くみられる。保護者にとっては売っているものを見たり、出展者と会話をするだけでも楽しい市だが、買い物のできない小さな子どもにとっては、必ずしもそうであるとは限らない。ふれあい活動ができることは、子どもを連れた大人にとって「新寺こみち市」の魅力の一つであると考えられる。多様な方を公園に呼ぶ手段としての機能は果たされていたのではないだろうか。

なお私たちは、本稿の執筆にあたり、「新寺こみち市実行委員会」へのヒアリングを実施し、ふれあい活動出展の成果についてのお考えを尋ねたところ、次のようなご意見をいただいた。

“公園のような不特定多数の人が訪れる空間で実施することに、大きな意味があると考えています。ヤギを媒介にして、知らない人同士が何気ない会話をかわしたり、ヤギと人のふれあいをながめ、そこに自分も

加わったりすることがなされていくからです。都市の中で、いまは他人同士が話をすることはほとんどありませんが、こうしたかわりが都市型コミュニティの最初の一步になり得るのではないかと思います。”

実行委員会の積極的な姿勢はふれあい活動実施の上でも非常に大きな支援であった。適切なサポートや宣伝をして頂いたことで、地域の方々に来ていただけるようになり、また出店者の方々の中にもヤギや学生に会いに来てくださる方が多くなった。

多くの方がふれあいに参加してくださる一方で、ヤギのストレスにも配慮する必要がある（酒井ら、2012）。動物が安心して過ごせるような穏やかで落ち着いた環境を維持することもふれあい活動では重要であり、その意味では、参加者がこれ以上多くなる場合には、別の活動を導入する必要がある。実際、もっとも参加者の多かった2014年9月には、予め来場者が多いことが予想されていたため、ヤギふれあいのほかにウコッケイの展示を行った。参加者が多くなることを想定して、その対応を決めておくことも今後は重要になるであろう。

(2) 参加者への貢献

参加者からよせられるコメントは好意的であり、何よりヤギを囲んで自然に笑顔を見せてくれる方が多かった。長時間滞在し、同伴者や学生、時には居合わせた他の参加者と長時間話し込む方々も多く見られた。

動物とのふれあいを体験する幼児は楽しそうで、発見したことや疑問に思ったことを多様な表現で学生に示した。高齢の方々は、ヤギを見ると幼いころを思い出し、それをきっかけとして子ども時代の地域の暮らしについて、周囲の方々に語ってくださることが多かった。

ヤギの体、性格、行動について興味関心を持って質問してくる人は多く、知っているようでいながら実際には馴染みのない生き物を間近に見ることで、好奇心を掻き立てられるようであった。また、ヤギを囲んで人の輪ができることが多く、これによって、市には商いの場としての役割のみではなく、人の交流の場であるという共通認識が生まれたように思われる。ヤギがそこにいることによって、人の間に会話が生まれ、昔の農村の暮らしに思いをはせる機会を持った方も少

なくはないであろう。

私達は、地域社会の再生に向けて、かつての宮城の暮らしのありかたから「持続可能」の意味を考え、学ぶ過程が必要だと考えている。動物のいた農村の暮らしを聞き取り、なつかしい里山の暮らしへの関心を高めることのできるよう、今後の活動を位置づけていきたいと考えている。

(3) 「新寺こみち市」と学生

私たちは、この活動は学生にとって得るものの大きな体験だと考えている。学びの一つは、普段から飼育している動物を用いたふれあい活動の技術を実践で試すことである。それによって、動物の適切な取り扱い、正確な知識の伝達、参加者の安全や衛生の確保、身だしなみやふるまい、年代によって言葉遣いを変えながら会話すること、などを否応なしに学ぶからである。特に、中年層～高齢層の方々や幼児とふだん接することのない学生たちにとって、「新寺こみち市」は貴重な社会との出会いである。実際、そうした出会いが学生にとって新鮮であったことは、学生たちのコメントから裏付けられたと考えている。またそうした人との出会いのみならず、都市空間の可能性や課題、現代の子どもたちと社会の関わり、町中の自然や環境などについて、通常のキャンパスでの生活から離れて考える機会を、学生はここで与えられている。

2つ目の学びは、活動の企画運営を学生自身が実行していることである。毎回するべきことは多く、若林区および実行委員会との連絡調整、企画書作成、学生シフトの作成と事前の話し合い、準備（餌にしている植物の採集など）、前日の物品点検、当日のヤギ運搬、参加学生からのレポート回収、報告書作成、会計など、規模は小さくてもプロジェクトとしてやるべきことはひと通り含まれている。これら、企画運営の作業を受け持ったのは2年生以上の学生である。責任をもって活動を運営するためには、安易な気持ちだけでは十分ではないし、多くの人が協力しあわねばならない。そうした認識を彼らが得ていることは、アンケートの結果から如実に伺うことができる。

しかし、教壇に立つことを夢見る学生たちにとって、社会と出会いを経験することは、得難い機会であり必ず身につく体験である。行政、地域住民、出店者、

老若男女、さまざまな人々の行き交う公園で何かを起こす活動は、おそらくほとんどの学生にとって、人生において最初で最後のものであろう。「新寺」をめぐる一つの目的のために多くの人々が智慧を凝らし動く社会の輪の中に、学生たちは運営スタッフとして参加し、結果としては彼ら自身が市のにぎわいの一部となる。その体験のすべてを通じて、生き物・自然・公園・地域社会・行政の支援・子どもの環境など、さまざまな社会の現状を感じる機会を与えられる。自ら体験していない地域の活性化を語る教師にどれだけの説得力があるだろうか。体験したことを糧として、地域を動かす能力は成長する。本事業を通じて、筆者自身だけではなく、実行委員会の方、またふれあいに参加された多くの地域の方が、共通する思いを学生や子どもたちに対して抱いていることを言葉の端々に感じた。大規模な市への発展はありえないからこそ、小さな市は市民の出会いの場、学び合いの場として機能する可能性を持っているように思われるのである。

謝辞

本実践にあたっては、仙台市の阿部和則氏、木村政志氏、木村浩基氏の多大なご支援を頂いた。こみち市実行委員会の西大立目祥子氏、佐藤正記氏には常日頃の活動の実践への協力や学生への助言、さまざまな意見交換に至るまで、あらゆる場面でご支援を頂き、本稿の執筆にあたりご意見を頂いた。大学のヤギ飼育

活動に関しては、宮城教育大学の見上一幸学長はじめスタッフの皆様にご理解とご協力を頂いた。佐々木久美氏および宮城教育大学自然フィールドワーク研究会 YAMOI からはアンケート実施にあたり協力を頂いた。今井明夫氏からは活動についての深いメッセージとご助言を頂いた。

以上の方々および、こみち市への出展にあたりお世話になった関係者の方々に深く感謝する。

本活動（ヤギふれあい活動）は、仙台市若林区公園課による平成 25～26 年度「公園活性化事業」の一環として宮城教育大学自然フィールドワーク研究会 YAMOI により実施された。

引用文献

- 斉藤千映美・渡辺孝男・一條那津美 2014. 大学における動物の飼育と学習プログラムの開発. 宮城教育大学環境教育紀要, 16, 75-84.
- 酒井秀嗣・佐藤恵・若林修一 2012. ふれあい動物園における展示動物のストレスに関する一考察. にほん大学歯学部紀要, 40, 57-61.
- 並木美砂子 2008. 子どもが動物に出会うとき. 風間書房, 東京.
- 根岸奈央・千田絵里子・安藤元一・小川博 2014. 子供動物園のふれあい施設における入場者の行動. J. Agric. Sci., Tokyo Univ. Agric., 59, 157-162.

身近な動物個体を用いた透明骨格標本の作製

表 潤一*・斉藤千映美**

Preparation of Cleared Skeletal Specimen using Familiar Animal Samples

Junichi OMOTE* and Chiemi SAITO**

要旨：飼育動物および宮城県内に生息する動物を用いて、硬骨と軟骨を二色に染め分ける二重染色法で透明骨格標本を作製し、どのような種が透明骨格標本の作製に適しているか検討を行った。脱脂の工程を含まないで作製する場合、脂肪の少ない種を用いることでより簡便な方法で透明骨格標本を作製できると考えられた。

キーワード：透明骨格標本, 二重染色, 理科教材

1. はじめに

硬骨と軟骨のみを染色しその他の組織を透明にした動物の標本は透明骨格標本と呼ばれている。透明骨格標本は、作製の過程で骨格をばらばらにすることがないため、生存時と同じ位置関係のまま観察が可能であるという特徴を持ち、解剖学や分類学、発生学など様々な分野の研究で活用されてきた。例えば河村・細谷(1991)は、透明骨格標本を、水産学研究において骨格異常や脊椎骨数の地理的変異に関する知見を得る手段となることを述べている。

近年、透明骨格標本はマスメディアで取り上げられ、一般の人々にも広く知られるようになった。2009年には様々な動物で作製した透明骨格標本の写真を掲載した書籍が出版され、また瓶詰めされた透明骨格標本が市販されている。

2014年現在、中学校の理科の教科書には「動物のなかまと生物の進化」という単元で様々な種で作製された透明骨格標本の写真が掲載されている(塚田ほか2011)。硬骨と軟骨のみが染色され、他の組織が透明になっているという特性から、生徒の興味関心を引き出すきっかけとして利用されているのであろう。大学の学生実験の教材として活用されている例もある(畑中 2012, 2013)。堀江(2014)はヘビとネズミの透

明骨格標本を用いることで食物連鎖の関係、モグラとヒミズの透明骨格標本を用いることで生活様式や採食方法による体の構造の違いを学習できると考えている。

一方、標本そのものを学習に活用するだけでなく、標本の作製に教育活動として取り組む事例もある(熊本県立御船高等学校生物部 <http://sh.higo.ed.jp/mifunesh/bukatsudo/biology/tomei/>, 2015年1月26日)。辻(1995)は、学校の授業に取り入れるには時間が掛かりすぎるため難しいが、クラブ活動や課題研究としてならば教師の援助のもとに作製することが十分に可能であると述べている。

本稿で用いた硬骨と軟骨を染め分ける二重染色法の歴史は古い。Dawson(1926)は動物を透明化した後アリザリンレッドSを用いて硬骨を染色する方法を開発し、その後Williams(1941)によって軟骨染色にトルイジンブルーを用いる方法が開発された。更にその後、元々トルイジンブルーを用いていた軟骨染色は例えばOjedaら(1970)によってアルシアンブルーを用いる方法へと変更された。また、水酸化カリウムで行われていた透明化処理は消化酵素であるトリプシンを用いる方法へと変更された(e.g. Dingerkus et al. 1977)。標本によっては標本の全体もしくは一部が白濁し、透明度を損なうことから河村ら(1991)によっ

* 宮城教育大学自然フィールドワーク研究会 YAMOI, ** 宮城教育大学環境教育実践研究センター

てキシレンを用いた脱脂の方法が開発され、より透明度の高い標本の作製が可能となった。硬骨染色に用いられるアリザリンレッド S は、組織内のカルシウムと特異的に結合し難溶性の塩を生成する性質を持つ (Puchtler et al. 1968)。軟骨染色に用いられるアルシアンブルーは生体内に存在するヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸などの酸性ムコ物質を検出するもので、アルシアンブルー色素が酸性溶媒下で酸性ムコ物質のカルボキシル基や硫酸基と特異的に結合することで青色を呈する (渡辺 2001)。

身近なところで入手可能な試料を利用した透明骨格標本の作製の例としては、干物を利用した透明骨格標本の作製がある (小西ら 2010)。本研究では学校現場や一般市民でも入手しやすいような試料を用いて、どのような種が透明骨格標本の作製に適しているか検討することとした。トリプシンを用いた透明化処理は生物由来の消化酵素を用いることから、溶液を最適温度に保つ必要がある。インキュベーター等の設備を用いて温度の調節を行う必要があり、設備の都合上、学校現場でこの方法を用いるのは難しいかもしれない。また、トリプシンは水酸化カリウムに比べて非常に高価であるため入手しにくい。このため、透明化処理はトリプシンではなく、常温下で透明化処理を行うことができる安価な水酸化カリウムを用いて行うものとした。より簡便に透明骨格標本の作製を行うという観点から、脱脂の工程を省略し、脱脂の処理を行わなくても作製可能な標本の作製法について検討することとした。

2. 標本の資料源と採集方法

- ①タナゴ類・オイカワ：河川に水溶性のエサを入れたモンドリを仕掛け、30分後に回収した。採集された生物のうち、外来生物であるタイリクバラタナゴを活用して標本とした。マタナゴやオイカワは採集の過程で死亡した個体を標本とした。学校現場等においても、児童生徒が近所で飼育していた、もしくは採集してきた魚の死体を標本として活用することも十分考えられる。
- ②ナマズ・ウシガエル：伊豆沼で捕獲され、現地で外来種として駆除されたものを標本として活用した。
- ③ジムグリ：本学周辺において採集されたジムグリの

死体を利用して標本とした。

- ④タツノオトシゴ：クラゲ採集 (出口・伊藤 2005) の際に採集されたタツノオトシゴの死亡個体を標本用として譲り受けた。
- ⑤アジ・ジンドウイカ (通称：ヒイカ)：近隣の食料品店等で市販されているアジとジンドウイカの標本化を行った。アジは全長 10cm 程度、ジンドウイカは 7 cm 程度の標本保存用の瓶として使用しているスクリー管に封入可能な大きさのものを選んだ。
- ⑥ウコッケイ・ウサギ：研究用に飼育されていたものの内、発生段階や出生直後に死亡したものを標本として活用した。

作製に使用した動物の種名と個体数、採集地を表 1 に示す。

表 1. 作製に使用した標本の種名と入手経路

| 分類 | 和名 (学名) | 数 | 入手経路 |
|------|---|----|------------------|
| 魚類 | タイリクバラタナゴ (<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>) | 50 | 宮城県内の河川で採集 |
| 魚類 | マタナゴ (<i>Acheilognathus melanogaster</i>) | 3 | 宮城県内の河川で採集 |
| 魚類 | オイカワ (<i>Opsariichthys platypus</i>) | 5 | 宮城県内の河川で採集 |
| 魚類 | マアジ (<i>Trachurus japonicus</i>) | 20 | 鮮魚店にて購入 |
| 魚類 | タツノオトシゴ (<i>Hippocampus coronatus</i>) | 2 | 宮城県野々島で採集 |
| 魚類 | ナマズ (<i>Silurus asotus</i>) | 1 | 宮城県伊豆沼で採集 |
| 両生類 | ウシガエル (幼体) (<i>Rana catesbeiana</i>) | 5 | 宮城県伊豆沼で採集 |
| 爬虫類 | ジムグリ (<i>Elaphe conspicillata</i>) | 1 | 宮城教育大学構内で死体として採集 |
| 鳥類 | ウコッケイ (<i>Gallus gallus domesticus</i>) | 10 | 飼育動物 |
| 哺乳類 | アナウサギ (<i>Oryctolagus cuniculus</i>) | 2 | 飼育動物 |
| 軟体動物 | ジンドウイカ (<i>Loliolus japonica</i>) | 3 | 鮮魚店にて購入 |

3. 作製方法

吉岡 (1995) によって試されている水酸化カリウム水溶液を用いて透明化を行う作製方法を一部改変し用いた。標本をキシレンに浸して脱脂を行う作製方法も開発されているが、薬品の扱いや処理が難しくなることやキシレンに浸す期間を誤ると標本を痛めることから、今回は脱脂の工程を省いて行った。複数の種で全ての工程においてほぼ同様の方法で標本の作製を行った (各工程の標本の様子は図1を参照)。(1) 固定…固定液として10%ホルマリンを用いた。鰭等は虫ピンで広げてから小筆で固定液を塗布し、10分程度おいた後、鰭が閉じなくなってから標本全体を固定液に浸した。固定期間は2週間程度であるが、全長10cmを超えるような大きな標本の場合は内部まで固定しきれないことを懸念し、1か月程度固定した。(2) 水洗…固定液のホルマリンの残留を防ぐため、1日程度流水中につけておいた。(3) 前処理…後の透明化処理をスムーズに終わるためにメスとピンセットを用いて標本の表皮を除去した。鱗を持つ種では鱗が染色液によって赤色に染色されてしまうため取り残しがないように注意した。(4) 脱水…次に行う軟骨染色において染色液が浸透しやすくするために20%エタノール、50%エタノール、無水エタノールの順でそれぞれ3日程度脱水した。(5) 軟骨染色…アルシアンブルー染色液で1日染色した。この処理が長すぎると脱灰し、後で硬骨がうまく染色できなくなる恐れがあるため、24時間以上染色液には浸さないようにした。(6) 脱色…無水エタノール、50%エタノール、20%エタノールの順にそれぞれ3日程度浸し、余分なアルシアンブルー染色液を取り除いた。(7) 透明化…2%水酸化カリウム水溶液に浸し透明化を行った。(8) 硬骨染色…アリザリンレッドS染色液に1~2時間程度浸し硬骨染色を行った。(9) 脱色…1%水酸化カリウム水溶液に浸し、余分な染色液を取り除いた。(10) グリセリン置換…水酸化カリウムとグリセリンを①1:1、②1:2、③0:1の体積比で調整し、①、②、③の順に標本を浸した。浸した直後は標本が沈まないため、期間は標本が完全に沈みきるまでとした。③の溶液のみ標本が沈みきってから1週間程度置いた。(11) 封入…グリセリンとチモールの粉末を少量入れ

た保存容器に標本を入れ、密閉した。容器はスクリー管を用いた。

4. 結果

上記の方法で透明骨格標本を作製した結果、全ての種で透明化を進めることができた。しかし、一部の種では組織の白濁や乳白色の構造が確認された。

タイリクバラタナゴ (図2) は内臓を除いて全体が十分に透明化した。硬骨は十分に染色できているが、軟骨染色液で染色された部分は眼と鰓であった (鰓については図3のマタナゴを参照)。

マタナゴ (図3) でもタイリクバラタナゴの場合と同様に内臓を除いて全体が十分に透明になり、硬骨も十分に染色されていた。また、軟骨染色についても同様に染色されたのは眼と鰓であった。溶液を移し替える際に鰓蓋が外れてしまった個体ではその部分から内部の構造を観察すると鰓が青色に染色されていることが分かった。

オイカワ (図4) は硬骨染色や軟骨染色は他の標本と同様な結果が得られたものの、頭部に近い部分が全体的に白濁してしまった。尾鰭に近付くにつれて白濁は薄くなっている。白濁のため背骨が見えにくくなった。

マアジ (図5) は体全体だけでなく内臓まで透明化することができたものの、組織に茶色の色が残った。硬骨染色や軟骨染色はタイリクバラタナゴやマタナゴの標本と同様の結果であった。マアジは鮮魚店で購入し冷凍していたためか固定前の状態で痛みが激しかった。そのためか外縁部に歪みが生じた。

タツノオトシゴ (図6) は全体が十分に透明になった。また、硬骨染色及び軟骨染色も十分にできた。タツノオトシゴ類に特有な外骨格のような体輪の構造が顕著に表れた。

ナマズを用いて作製した透明骨格標本 (図7) は全体が十分に透明化した。歯や頭骨、背骨等は硬骨染色で赤色に染色された。軟骨染色ではタイリクバラタナゴやマタナゴ等と同様に眼や鰓などは青色に染色された。しかし、ナマズにおいてほかの標本と異なる点として体組織全体がごく淡い青色で染色されたまま脱色されなかった。また、鰭はごく付け根に近い部分だけが硬骨染色で染色され、鰭の大部分は軟骨染色で染色

された。

ウシガエルの幼体（図8）は一部メラニン色素様の色が残ったものの透明化した。頭部は硬骨染色で一部分しか染色されず、残りの部分は軟骨染色で青色に染色された。背骨においては頭部に近い部分は硬骨染色で赤色に染色されたものの、尾部に近い部分はいずれの染色でも染色されなかった。

ジムグリ（図9）は下顎が外れてしまったり肋骨が剥き出しになってその一部がずれてしまったりした。軟骨染色では肋骨の先端が青色に染色された。

ウコッケイ（図10）は一部に乳白色の構造が確認されたものの、全体としては十分に透明化できた。頭骨や骨盤、足指は硬骨染色ではなく軟骨染色で染まった部分が多かった。その他の骨についても（例えば大腿骨）両端は軟骨染色で染色され、中央に近い部分は硬骨染色で染色されていた。これは人工孵化で生まれてこなかった雛（中止卵）を試料として用いたため、発生段階にあった雛では骨の形成が途中であったためではないかと考えられる。

ウサギ（図11）は透明化することはできたものの、全長約5cmの乳白色の構造が複数確認された。関節などは軟骨染色で染色されていた

ジンドウイカ（図12）は十分に透明化した。全体が軟骨染色で青色に染色され、硬骨染色ではどの部分も染色されなかった。

5. 考察

(1) 作製方法

透明骨格標本の作製を行っている際に何点か注意すべきことがあった。まず、透明化の段階において標本が十分に透明化された状態で次の工程へと移ると、水酸化カリウムを用いる脱色やグリセリンの浸透の工程でも組織の分解が進むため、組織が劣化して形が崩れたり、作業中に鱗が欠けてしまったりすることがあった。また、透明化処理を4か月近く行った標本は組織がほとんど溶けてしまい、標本が入っている容器を動かすだけで全体が崩壊してしまうほどであった。標本の完成時点で透明化が完了することを見越した上で、透明化の段階で背骨が透けて見えると判断した時点で直ちに次の工程に移るようにした。

硬骨染色では、標本を長時間染色液に浸したままにしておく、染色され過ぎてしまうことが分かった。硬骨染色液に浸していることを忘れて半日浸したままにしていた標本は、硬骨が赤というよりも黒に近い色になってしまい、複数の骨が重なっている頭部の構造が観察しにくくなってしまった。このため、大きな標本でも2時間以上は染色液に浸さないようにした。

脱色の工程でも透明化処理に注意した点と同様に、溶液に浸す期間が長すぎると鱗が欠けてしまったり全体が崩壊してしまったりするので余分な染色液が抜けきった時点で直ちに次の工程に移るようにした。期間としては2日～1週間程度あれば余分な染色液は十分に脱色できた。

(2) 完成した標本の所見

ウシガエルの幼体やウコッケイの中止卵から得た雛の透明骨格標本ではまだ石灰化していないと思われる部分が見られた。卵あるいは発生開始の時期から骨格が発達するまで、段階別に透明骨格標本を作製することで、骨の発達のようすを可視化することができるようになる。

ジムグリ透明骨格標本では透明化処理を長くとりすぎてしまったためか、下顎が外れてしまったり肋骨がずれてしまったりした。今までに作製した透明骨格標本の中では最も大きく、全長は約60cmあった。透明骨格標本にするには大き過ぎたため、透明化処理に時間がかかった。堀江（2014）はシマヘビを用いて透明骨格標本を作製した。こちらは肋骨を覆う組織は溶け切っているものの、肋骨にずれ等の損傷は観察されていない。ヘビの透明骨格標本の作製において、今回作製したもの（図9）のような損傷がないように作製するには透明化処理にかかる時間を十分に吟味するか、より小型のヘビもしくは生まれてすぐのヘビを用いることなどが考えられる。

ジンドウイカはどの部分も硬骨染色で染色されなかった。現生種のイカが属する頭足綱では石灰質の殻（甲）を持つものはオウムガイ科、トグロコウイカ、コウイカ類、アオイガイとされている。ジンドウイカが属するツツイカ類において殻は石灰質のものではなく、有機質の膜になっており、軟甲と呼ばれている（佐々木 2010）。したがって、今回使用したジンド

ウイカはコウイカのような石灰質の殻(甲)を持っていないため、軟骨染色でのみ染色され、硬骨染色では染色されなかったのだと考えられる。コウイカを用いて透明骨格標本の作製を試みれば硬骨染色液で殻が染色されることが示唆される。

(3) 標本の作製に適した種の選定

タイリクバラタナゴやマタナゴ、大きいものではアジやジンドウイカなどの種では、本研究で示した簡易な作製方法でも、十分観察に耐える透明骨格標本ができあがるのが分かった。一方、一部の種の標本では乳白色の脂肪塊と思われる構造や組織の白濁が確認される場合があった。オイカワでは脂肪分が多いためか全ての個体で標本の大部分が白濁してしまった。そのため、体表近くの構造は観察できるものの、内部の構造を観察するには適していない。ウコッケイの孵化直前の雛に見られるような直径2~3mmの乳白色の構造であれば観察にそれほど支障はないと考えられるが、ウサギの子では約5cmの乳白色の構造が複数存在する。今回透明骨格標本を作製した種類のうち、オイカワとウサギでは、脱脂の工程を取り入れるべきであろう。ただし、キシレンは引火性を有する上、有毒な有機溶媒であるため、使用には危険が伴う。キシレンを使用する透明化は慎重に検討するべきである。学校現場で簡便かつ安価な方法を用いて透明骨格標本を作製しようとするならば、タナゴやアジ、ジンドウイカといった比較的に入手しやすく、キシレンによる脱脂が不要な種類を使用して作製することが望ましいと考えられる。

透明化処理は水酸化カリウムなどのアルカリで行う方法と消化酵素であるトリプシンを用いる方法がある。水酸化カリウムは劇物であるため危険を伴うが、水に溶けやすく扱いやすい。トリプシンを用いれば、劇物の使用を少なくすることができるが、前述のように温度にを一定にして酵素活性を保つ必要があり、インキュベーターの設備が無い学校で用いることは不可能である。また、トリプシンは僅かな量でも数万円程度と高価であるため、千円程度で購入できる水酸化カリウムの方が購入しやすい。以上のことから、学校現場で行うことを想定すると透明化処理は水酸化カリウムを使用して行った方がよいと考える。

(4) 理科教材としての検討

本稿では魚類、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類の5つの分類群に加え、軟体動物であるイカでも標本の作製を行った。中学校2年生の理科では前述の5つの分類群の脊椎動物と無脊椎動物の体のつくりについて学習する(文部科学省 2008)。学習指導要領と教科書にはイカの解剖がモデル実験として挙げられている(塚田ほか 2011)。脊椎動物に背骨があること、無脊椎動物に背骨がないことは、今回作製した標本を用いれば実物を見せながら説明することができる。高等学校の生物では生殖と発生という単元で発生について学習する(文部科学省 2009)。ウコッケイの発生段階を追って標本化を行えば、発生過程においてどのように骨格が変化していくのか視覚化され、発生分野の教材として活用できると期待される。長い歴史を持つ透明骨格標本であるが、学校教育における教材としての活用はまだ試されている段階に過ぎず、今後発展する余地は大きいと考えられる。

謝辞

岩手県立一関第二高校の石井美樹子先生には透明骨格標本の作製方法に関してご指導頂いた。本学理科教育講座の出口竜作教授及び同研究室の方々には標本を提供して頂いた。作製作業にあたっては、本学教職大学院の村松隆教授、理科教育講座の猿渡英之教授、宮城教育大学自然フィールドワーク研究会 YAMOI の各位にご協力ご支援を頂いた。写真撮影は本学環境教育実践研究センター協力研究員の橋本勝研究員に協力して頂いた。多くの方々へ感謝申し上げる。

参考文献

- 出口竜作・伊藤貴洋 2005, エダアシクラゲの採集とライフサイクルの制御. 宮城教育大学紀要, 40, 107-119.
- Dawson, A. B. 1926. A Note on the staining of the skeleton of cleared specimens with aliarin red S. *Stain Technology*, 1, 123-124.
- Dingerkus, G. and Uhler, L. D. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Technology*, 52,

- pp229-232.
- 畑中恒夫 2012, 透明骨格標本の有効利用について. 千葉大学教育学部研究紀要, 60, 447-450.
- 畑中恒夫 2013, 透明骨格標本の樹脂封入法について. 千葉大学教育学部研究紀要, 61, 421-425.
- 堀江紀子 2013, 透明骨格標本の特性を活かした理科教材. 國學院大學人間開発学研究, 5, 99-104.
- 河村功一・細谷和海 1991, 改良二重染色法による魚類透明骨格標本の作製. 養殖研究所研究報告, 20, 11-18.
- 小西雅樹ほか 2010, 干物を利用した透明骨格標本の作製. 近畿大学農学部紀要, 43, 105-110.
- 熊本県立御船高等学校生物部
(<http://sh.higo.ed.jp/mifunesh/bukatsudo/biology/tomei/>)
(アクセス: 2015年1月26日)
- 文部科学省 2008, 中学校学習指導要領解説 理科編.
- 文部科学省 2009, 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編.
- Ojeda J. L. 1970. Selective skeletal staining in whole chicken embryos; a rapid Alcian blue technique. *Stain technology*, 45, 137-139.
- Puchtler, H., Meloan S. N. and Terry M. S. 1968. On the History and Mechanism of Alizarin and Alizarin Red S Stains for Calcium. *J. Histochemistry and Cytochemistry*, 17, 110-124.
- 佐々木猛智 2010, 貝類学. 東京大学出版会, pp146-150
- 辻彰洋 1995, 二重染色法によって作製した透明骨格標本とその教材の検討. 生物教育, 35, 221-225.
- 塚田捷ほか 2011, 動物のなかまと生物の進化. In: 未来へ広がるサイエンス2, 新興出版社啓林館, 大阪市, pp.36-37.
- 吉岡英二 1995, 魚類の透明骨格標本作成法. 神戸山手女子短期大学紀要, 38, 157-164.
- 渡辺明朗 2001, 色素の化学 (第5回アルシアン青染色). *Medical technology*, 27, 197-199.
- Williams T. W. Jr. 1941. Alizarin red S and toluidine blue for differentiating adult or embryonic bone and cartilage. *Stain technology*, 16, 23-25.



図1. 作製過程(写真は同一個体ではない)

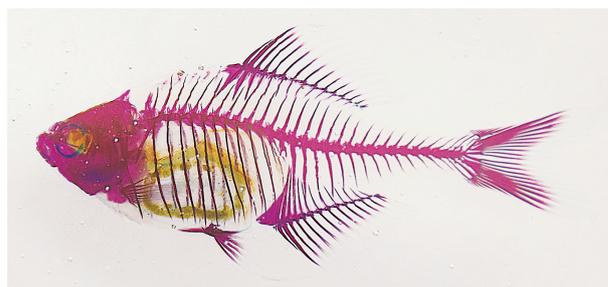


図2. タイリクバラタナゴで作製した透明骨格標本



図3. マタナゴで作製した透明骨格標本



図4. オイカワで作製した透明骨格標本



図5. マアジで作製した透明骨格標本



図6. タツノオトシゴで作製した透明骨格標本



図7. ナマズで作製した透明骨格標本



図8. ウシガエル(幼体)で作製した透明骨格標本



図9. ジムグリで作製した透明骨格標本

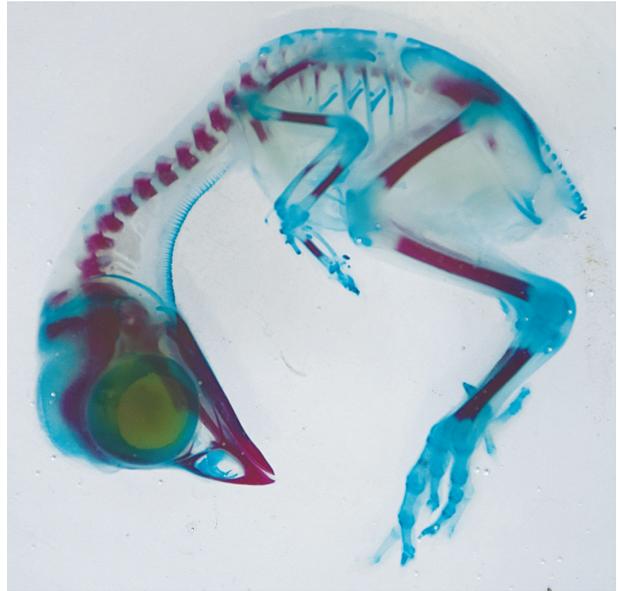


図10. ウコッケイの雛で作製した透明骨格標本



図11. ウサギで作製した透明骨格標本



図12. ヒイカで作製した透明骨格標本

小学校における出前炭焼き授業の試み

西城 潔*・目黒李歩**・福田はる香**・荒谷拓実***・仲田克成***

Demonstration of Charcoal Burning by Smokeless Charcoal Kiln in a Primary School

Kiyoshi SAIJO, Riho MEGURO, Haruka FUKUDA,
Takumi ARAYA and Katsunari NAKATA

要旨：2014年12月、仙台市立中野小学校において出前形式での炭焼き授業を実施した。対象は1・2年次児童9名で、活動内容は無煙炭化器による炭焼き・花炭づくり・焼イモであった。炭材には学校側が用意した端材や流木を利用し、花炭づくりでは、蒲生干潟に生息するヨシや折り紙の炭化を試みた。このような出前授業形式での炭焼きは、今回が初めての試みであった。この経験をもとに、今後は学外においても幅広く活動を展開していきたい。

キーワード：炭焼き、出前授業、無煙炭化器

1. はじめに

著者の1人西城は、2010年度以来、大学構内で発生する伐採木・剪定枝を炭材とした炭焼きに取り組んできた(西城, 2011)。2011年度には、構内にフィールドワーク教材園「炭やき広場」を整備し、大学の授業ではもちろん、公開講座や自治体の環境講座などでの炭焼き会場として利用を進めてきた(西城, 2013; 2014)。2013年度には、東日本大震災の津波被災校への環境教育支援の一環として、仙台市立中野小学校の児童を招待し、炭焼き活動を行った(西城ほか, 2014)。

以上の活動では、株モキ製作所の無煙炭化器という製品を使用しており、炭やき広場もこの炭化器を想定して整備してある。しかしこの炭化器は持ち運びが容易(M50タイプで1.8kg, M100タイプで7.2kg)であり、約900℃の高温への耐熱性をもつ地表面(土やコンクリートなど)で、多少の煙の発生に問題がない場所であれば、どこでも使用できる。固定式の炭窯を使って行う伝統的炭焼きでは、当然のことながら、炭を焼くために炭材を炭窯まで運ばなくてはならないが、無煙炭化器の場合、炭材の得られる場所へ炭化器を持って

行き、その場で炭焼きを行うことができる。すなわち、炭材を集める手間を大幅に省力化しての炭焼きが可能であり、こうした利便性は無煙炭化器の大きな特徴といえる。

本稿では、こうした無煙炭化器の利点を活かして行った、小学校における出前授業形式での炭焼き活動について報告する。出前先は2013年度にも一緒に炭焼き活動を行った仙台市立中野小学校である。

2. 出前炭焼き実施の経緯と実施日までの準備

上記の通り、中野小学校の環境教育への復興支援の一助として、2013年度に同校3年次児童を招待し、炭やき広場にて炭焼き・焼イモ・焼マシュマロ・花炭づくりを行った。学校側より、同様の活動を1・2年次児童を対象に2014年度にも実施したい旨の申し出があり、2014年10月上旬頃から、日程と活動内容に関する打ち合わせをしながら準備を進めた。当初は、昨年度同様、児童を大学の炭やき広場に招いて活動するつもりであったが、十分な活動時間が確保できそうにないことと交通手段の問題から、大学側が中野小学校に出向いて活動する方針に変更した。実施日は12

* 宮城教育大学社会科教育講座, ** 宮城教育大学社会コース, *** 宮城教育大学教職大学院院生



図1. 炭材として用意された端材と流木

月9日、活動時間は3・4時間目（10:50-12:20）として、炭焼き・花炭づくり（折紙、蒲生干潟に生育するヨシ、小枝、木の実などを材料に）・焼イモを行うこととなった。また実施に際しては、多少とも煙が発生する可能性もあることから、学校周辺の住民に対し、あらかじめ当日の炭焼き実施について周知していただくようお願いした。当日使う炭材（図1）、花炭の材料（図2）、焼きイモ用のサツマイモ（図3）、消火用の水とジョウロは、小学校側で用意してもらうこととした。ただし炭材は、若干量を大学からも持参した。

3. 当日の活動と児童の様子

実施当日（12月9日）、著者らは10時に中野小学校に集合し、無煙炭化器、炭材その他必要物品の確認・準備を行った。児童は、それ以前の時間を利用して、焼イモの準備（サツマイモを濡れ新聞紙とアルミホイルで包む作業）を済ませていた。活動場所は校庭脇にある砂地の畑であった。10:45に児童9名と1・2年



図2. 花炭用材料として児童が準備した折紙と小枝



図3. 焼イモ用のサツマイモ

生の担任の先生方、大学側の参加者（著者ら）が集合し、全員で挨拶と自己紹介をした後、中野小学校に週1回ボランティアとして通っている目黒から、炭焼きに当たっての注意事項の説明を行った。続いて、児童に焚きつけの新聞紙と小枝を炭化器に投入してもらい（図4）、11時頃着火した（図5）。着火は順調で、小枝に火が移ったのを見計らってから、炭材を投入した。投入後は、火勢を増すべく児童がウチワで扇いだ（図6）。炭材がよく乾燥していたためもあり、燃焼は順調であった（図7）。着火後約20分が経過し、炎が治まって熾火になった頃合いをみて、花炭用の折紙・ヨシ・小枝・木の実などを入れたスチール缶（図8）と

サツマイモを炭化器内に投入した(図9)。スチール缶投入後、20分ほどでスチール缶内の材料の炭化が終了し、花炭が完成した(図10・11・12)。サツマイモは、量が多かったため2回に分けて炭化器に投入し、すべて焼き上がるのに1時間ほどを要した。焼イモを引き上げてから、水で炭化器内を完全に消火した。最後に、西城から活動の振り返りを、また数名の児童から「大学の人が来て焼イモを作ってくれてよかった」、

「炭づくりができて楽しかった」、「煙がすごかった」といった感想の発表があり、12:20に全活動を終了した。

活動中の児童は、着火準備とウチワで煽ぐ段階では、物珍しさもあってか、作業に熱中している様子がみられた。とくに炎を煽ぐ作業には熱心であった。学年は違うものの、類似した傾向は前年度に炭焼きに参加した児童にも認められた。また燃焼に伴う臭いや煙は、昨年度同様、多くの児童が嫌がっていた。熾火になり、スチール缶やサツマイモを投入した段階では、やや飽きたのか他の遊びに興じる者もいたが、完成した花炭には多くの児童が興味を示していた。また焼イモはほとんどの児童に好評であった。



図4. 焚付け用の新聞紙と小枝を炭化器に投入



図5. 着火の様子



図6. ウチワで煽いで火勢を強めようとする児童たち



図7. 炭材の燃焼の様子



図8. 花炭づくりのためスチール缶に材料を入れる



図9. 花炭づくりと焼イモの様子



図10. 完成した花炭(ヨシ、栗のイガなど)



図11. 炭化した折紙(手裏剣)



図12. 炭化したツバキのがく

以上の通り、1時間半ほどの限られた活動時間ながら、事故もなく、炭焼き・花炭づくり・焼イモを順調に行うことができた。

4. 児童の感想

後日、担任の先生を通じ、児童からお礼の手紙が送られてきた。中野小学校の承諾を得た上で、以下にその内容を紹介する。また各文章には絵も添えられていた。その一部を図13に示す。なお下の各文章の後のカッコ内に記したのは、絵に描かれていた対象物である。

- ・すみやきとやきいもおいしかったよ。すごかったです。みんなとおとこがきました。けむりがでました。たのしかったです。(花炭、焼イモ)
- ・きょうすみとやきいもをやりました。さいじょう先生にやきいもをやいてもらってうれしかったです。

やきいもおいしかったです。(花炭)

- ・ぼくはきょうやきいもとすみをつくりました。さいじょう先生に、やきいものつくりかたをおそわりました。一年生のときよりもほんかくてきてでした。(花炭、焼イモ)
- ・すみのながさは5cmくらいでした。手のゆび4本くらいの大きさでした。けむりがくさかったけど木がもえるところがみれてよかったです。(花炭)
- ・やきいもがおいしかったです。はじめてすみづくりをしたので、びっくりしました。おりがみは、ぼろぼろになってしまいました。(花炭、焼イモ)
- ・思ったことは、やきいもはとでもけむりがでてたし目にはいったのでびっくりしました。あともうひとつはおりがみがすみになるとおもってなかったのですごいたのしいじかんだったです。(焼イモ)

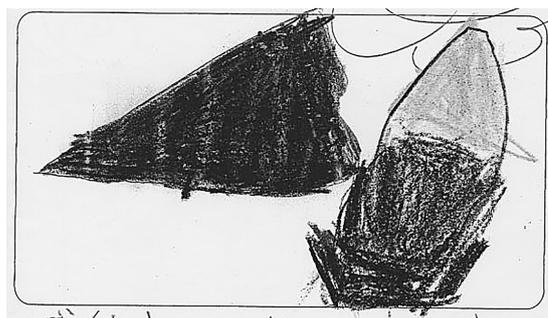
- ・ぼくは、すみづくりで1番たのしかった時は、やきいもを食べた時がたのしかったです。おいももすごくおいしかったです。(炭化器での燃焼の様子、花炭、焼イモ)
- ・きょうはおりがみをやいてたのしかったです。あとやきいもたべれてうれしかったです。いちばんたのしかったのはやきいもをやいたときがたのしかったです。(炭化器での燃焼の様子、花炭、焼イモ)
- ・一二年生ですみづくりをしました。ついでにやきいもをやきました。時間が思ったよりはやくやきおわりました。あじもとてもおいしかったです。(炭化器での燃焼の様子、焼イモ)

焼イモについて、文章中では9名中8名が言及、7名が絵に描いていた。花炭(=折紙)は、文章中で触れていた児童が3名、絵に描いていた者が7名であった。このことから、焼イモと花炭が児童に強い印象を残したことが窺われる。また完成品としての焼イモや花炭だけではなく、さまざまな観察的記述、活動に伴う感情や身体的な感覚への言及もみられた。

5. おわりに

2010年度以降、大学構内において行ってきた炭焼き活動を、初めて学外で実施した。経緯としては、時間や交通手段の関係で、いわばやむなく大学側から出向形となったが、結果的にはたいへん有意義な活動であった。

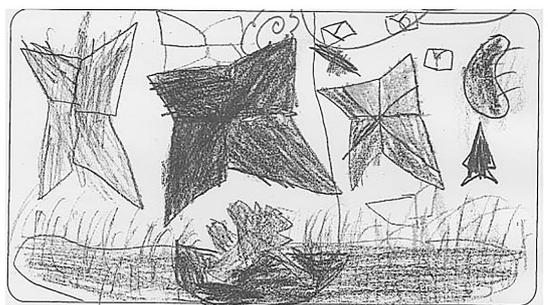
まず、学校にある素材を使って活動ができたことの意義を指摘したい。昨年度、大学の炭やき広場に児童を招いての炭焼きでは、材料のほとんどをあらかじめ大学側で準備していたが、今回は炭材も花炭の材料もサツマイモも、すべて小学校側で用意したものであった。自分たちが用意したものを、小学校の回りにあるものを材料に炭焼きができたことは、今回の体験を印象深いものとさせる上で効果的であったのではないだろうか。また材料の用意も炭焼きの一環とみなすならば、今回の炭焼きの活動期間は、12月9日の3・4時間目だけではなく、準備段階から実施日までまたがっていたといえる。昨年度の中野小学校の炭やき体験については、『『非日常的な一過性の体験』で終わってしまったのではないかとの懸念』(西城ほか、2014)が



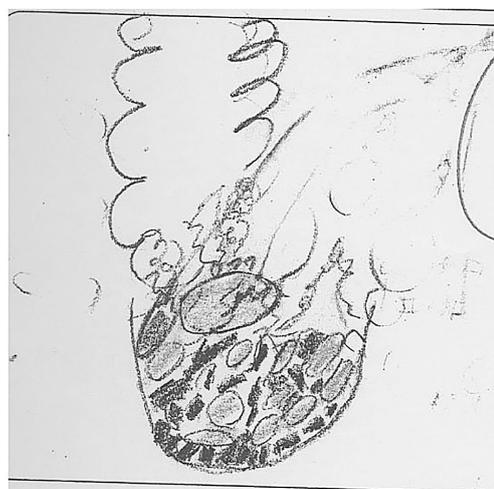
花炭(折紙)、焼イモ



炭化器による燃焼の様子、花炭、焼イモ



炭化器による燃焼の様子、花炭、焼イモ



炭化器による燃焼の様子、焼イモ

図13. 児童による当日の活動に関する絵

あったが、以上のことから、この点に関しては昨年度より進歩があったと考えている。

さらに今回の活動を通して、無煙炭化器の利点が改めて浮き彫りとなった。すなわち、持ち運び可能という特性を活かすことで、要請に応じてさまざまな場所へ出かけての炭焼きが可能であることが実証された。今回の経験をふまえ、今後は大学外にも積極的に出向き、幅広く活動を展開していきたい。

謝辞

当日の炭焼き活動および本稿の執筆に際し、中野小学校の沼田道野教頭先生、赤間俊治先生、伊藤裕子先生にはたいへんお世話になりました。宮城教育大学の斉藤千映美教授、教職大学院教務補佐員の福地彩さんには、準備段階でいろいろとアドバイスをいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 西城 潔, 2011. 伐採木を活用した炭焼きの試み—現代的課題科目「環境教育」における実践事例—. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 13, 39-45.
- 西城 潔, 2013. リフレッシャー教育システム「炭やき広場」の概要と利用事例. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 15, 25-29.
- 西城 潔, 2014. 2013年における「炭やき広場」の利用事例と今後の展望. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 16, 13-15.
- 西城 潔・目黒李歩・鹿野愛里加・福田はる香, 2014. 津波被災校への環境教育支援—仙台市立中野小学校の炭焼き体験—. 宮城教育大学教育復興支援センター紀要, 2, 45-48.

Environmental Science Practice at Miyagi University of Education

Lázaro M. ECHENIQUE-DÍAZ* and Chiemi SAITO*

Abstract: A field-based practice of Environmental Science was conducted at Miyagi University of Education, in which students used the Scientific method to answer questions related to the environment. Students assessed various environmental variables such as temperature, noise, forest structure, and the environmental impact of dumping sites. These variables were assessed within the university campus and at Aoba no Mori, a protected forest patch that surrounds the university. By projecting experiences in the field to a global scenario students were able to have a better understanding of current environmental problems such as the biodiversity crisis, global warming, and contamination of the environment.

Keywords: Environmental Science, temperature, biodiversity, ecosystem quality, noise, and environmental impact

1. Introduction

Environmental Science is a multidisciplinary academic field focused on the relationship between humans and the environment (Pfafflin and Ziegler, 2006). For many practical reasons, its inclusion in the school curriculum is important to help students understand their role in the human-environment interaction, and foster the formation of environmentally educated citizens (Orr, 2004; Golub, 2006; Jacobson *et al.*, 2007). During the past few decades, many schools worldwide have incorporated this field of enquiry into their curriculum, and full university departments has been created for it. However, there are many resources from which it is possible to learn about Environmental Science without actually practicing it, as there are lots of information about the field in the internet.

Classroom-based teaching, although important to help student assimilate facts and figures, may not be as effective as experimental and field-based teaching where students apply learnt knowledge to answer scientific questions about the environment (Jacobson *et al.*, 2007).

In this paper, we explain an experience in this regard, hoping that it will encourage other teachers to get out of the classroom and teach students in a more effective way by practicing Environmental Science as scientists do.

2. Methods

In a school semester of 15 classes, all of which were concentrated at the end in a 4 days, intensive course, students received a 90 minutes (1 class) introduction during which they learned the importance and basics of the scientific method and Environmental science. The course exercise was divided in 5 different activities (4 of which are explained in this paper). These activities started with the elaboration of a question in an environmental topic. The students were requested to start with one or various hypotheses that could potentially be answers to these questions, and continued with their field work, out of the classroom, where they took relevant data to answer these questions. This approach resemble the process of ecological inquiry, which involves the following steps: (1) the generation of questions through observation and exploration,

* Environmental Education Center, Miyagi University of Education (宮城教育大学附属環境教育実践研究センター)

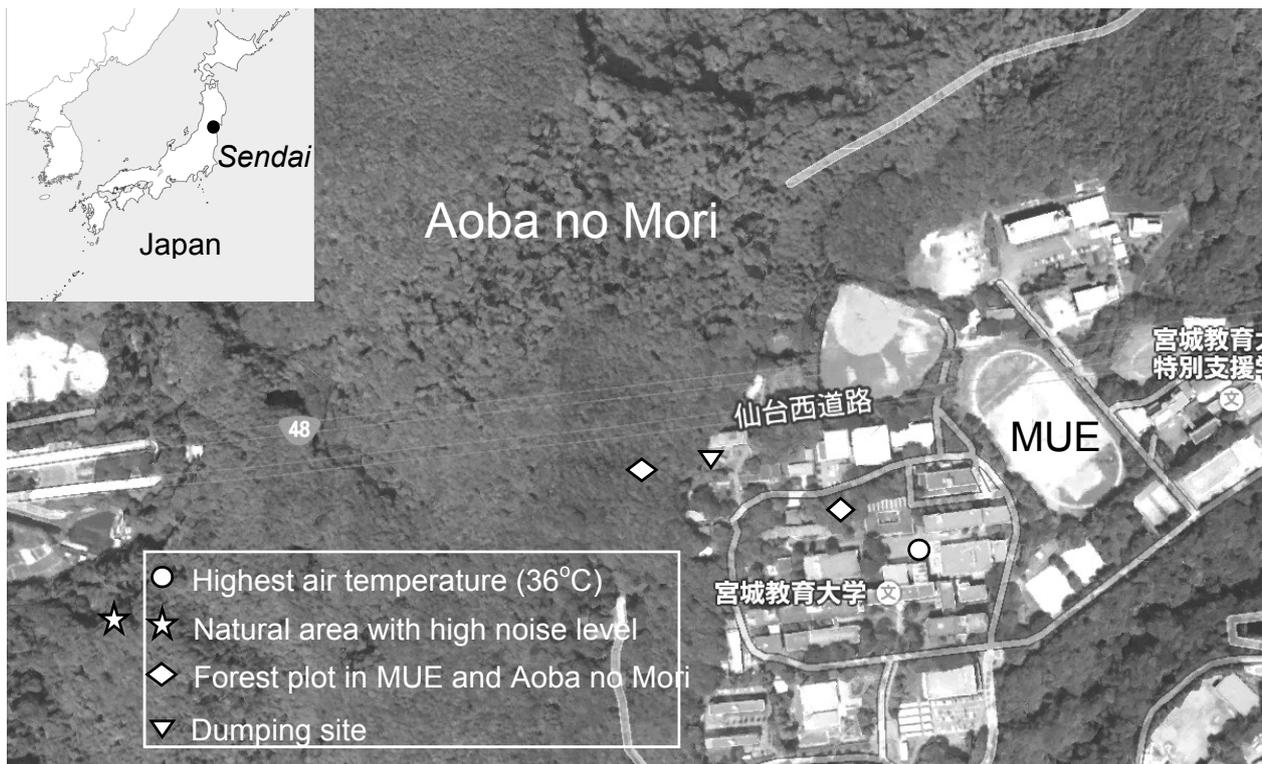


Figure 1: Map of sites where students did their experiments in Miyagi University of Education (MUE), and Aoba no Mori, Sendai City, Japan. For simplicity, only sites that students found relevant to answer their questions are shown.

(2) the development of ideas about the answers to those questions, (3) the evaluation of competing possible answers through systematic observation and experiments, (4) the drawing of an inference about the natural world (Ricklefs and Miller, 2000).

Many of the methods to gather data were variations made by the students based on explanations made by the teacher. Some methods might not be exact, but still they are a good approximation to what environmental scientist do. As a consequence, quoting authors on the kind of methodology used here has been nearly impossible. Therefore, emphasis is on the fact that students learn by gathering and analyzing data rather than an exact method of data gathering.

The topics considered for this experience were as follows: global warming, noise, biodiversity (not discussed in this paper), forest structure, and environmental impact of dumping sites. Students were divided into groups and performed all activities cooperatively with their group

members.

Explanation of the activities

I. *Global warming*: *Global warming* is one of the most current environmental problems, experienced by all almost everyday (Pfafflin and Ziegler, 2006). We aimed at understanding our planet's capacity to absorb heat on daily basis, and how this is connected to the climate and global warming. For this activity, students were asked the following two questions:

Question 1: Which one absorbs heat faster, the land or the sea?

Students' hypothesis: the sea absorbs heat faster.

Experiment to answer this question: two paper cups, one with soil and another with water, were prepared and put outside under the sun (NASA, non dated). The

temperature in each of these two cups was measured every 2 minutes for as long as 40 minutes. If the students' hypothesis is true, the cup with water would show a faster increase in temperature.

Question 2: Where is the air temperature higher, in forested areas or in the cities?

Students hypothesis: air temperature is higher in the cities.

Experiment to answer this question: students measured the air temperature in 9 sites within the university campus and at Aoba no Mori, some of which were purely concrete and asphalt sites, thus resembling cities, and some covered by trees, resembling a forest (Figure 1).

II. *Noise*: Noise, defined as unwanted sound, including sound generated as a byproduct of other activities such as transportation and industrial operations, is one of our greatest problems (Pfafflin and Ziegler, 2006). With this activity we aimed at teaching students about two issues, noise awareness, and sound contamination (Echenique-Diaz and Saito, 2013).

Question: Which places are the noisiest around Miyagi University of Education?

Students hypothesis: only around the entrance where many passing cars can be heard.

Experiment to answer this question: Students were asked to perform a 1 minute sound recording and define which sound was the loudest, an artificial sound (produced by human activities) or a natural sound, and define which one they considered as noise. Students chose to do the recordings in two sites within the university campus, the Library, supposedly a very quiet place, and near the entrance, close to a road. Another 3 sites were placed within Aoba no Mori (Figure 2).

III. *Forest structure*: Learning the difference between a pristine forest, a secondary one, and a plantation is important to understand concepts such as ecosystem quality and ecological services (Bond, 1998; Orr, 2004). Here we aimed at assessing the structure of different forest patches of the same vegetation type, to learn about the effect of human activities such unplanned logging and deforestation, and their ecological consequences.

Question: What are the differences between forest patches in terms of forest structure, in Miyagi University of Education and at Aoba no Mori?

Students hypothesis: forest patches in Aoba no Mori resemble the structure of an original forest, while those at the university campus resemble the structure of a secondary forest.

Experiment to answer this question: a 10 x 10 meters plot was set in a forested area of the university campus and one inside Aoba no Mori (Cornell University and Penn State University, 2009). Within each plot students measured the circumference of the mast at breast height for each tree higher than 4 meters. Students also counted the number of trees with a diameter larger than 15 cm in the plot and extrapolated that number to one hectare to get a density estimate (trees per hectare). Canopy cover was measured with a spoon with the convex side up and two lines drawn perpendicularly. These lines in the spoon made possible to measure the canopy at 10 different random spots within the plot. The foliage reflected in the spoon was counted as an approximate percentage depending on how much they filled the 4 areas defined by the lines in the spoon.

IV. *Environmental impact of dumping sites*: In almost every society through human history, unwanted materials tended to accumulate in specific points around settlements. This is as true today as it was thousands of

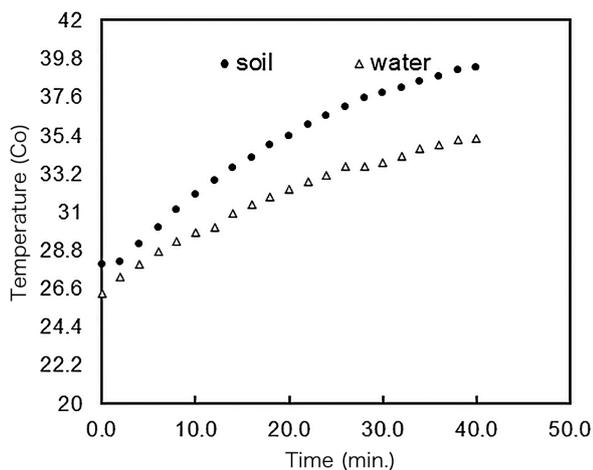


Figure 2: Heat absorption by soil and water.

years ago. Without proper management, these dumping sites pose a threat to the environment (Dresnack, 2006). In this exercise we aimed at teaching students to evaluate the potential impact that disposed items around the university campus pose to the environment. Students used a qualitative approach to easily assess the potential impact of as many objects as possible in the dumping site, based on their background knowledge and experience.

Question: In a scale of 0 to 100, where 0 means no environmental impact and 100 means irreversible environmental impact, how large is the impact to the environment in dumping sites around the university campus?

Students hypothesis: the impact to the environment posed by dumping sites around the university is less than 20 in a scale of 0 to 100.

Experiment to answer this question: students evaluated 3 dumping sites within the university. One dumping site was next to the students' club house, and therefore it is safe to assume that items there were disposed by the students themselves. The other two sites were next to university departments, and items there had been disposed by the university staff.

The following criteria were used to score items in these sites in the scale shown before:

1- Time since it was thrown: by looking at the state of corrosion and/or degradation, it is possible to relatively assess how long have items in the site been abandoned in terms of weeks, months or years. The longest the time since disposal, the highest the score.

2- Pollution risk: some objects are more aggressive to the environment than others. However, all items foreign to a particular area can be pollutants (Dresnack, 2006). The higher the pollution risk, the higher the score. For instance, students considered paper and wood to be less aggressive to the environment than plastic, glass, and metallic components at the site. Similarly, oil and other pollutants were ranked to pose the highest risk, hence the highest score.

3- Danger to wildlife: all wildlife was considered, from plants and invertebrates to more noticeable animals such as birds, frogs and mammals. Students evaluated how the materials in the site may affect local plants and animals. The higher the risk to wildlife, the higher the score.

4- Risk to human health: risk to human health was considered from that posed locally by the site (accumulation of pests, chemical fumes, risk of injury) and by that posed by contaminating the water that drains superficially and eventually gets to rivers (Salvato, 2006).

5- Scale of impact: students evaluated how large was the dumping site and its potential damage to the environment. The larger the site, the larger the damage and the score.

6- Visual impact: the view of dumping sites can create visually negative images about the university, affecting people's emotions towards the institution. In this case, the more visually obvious sites would be ranked with

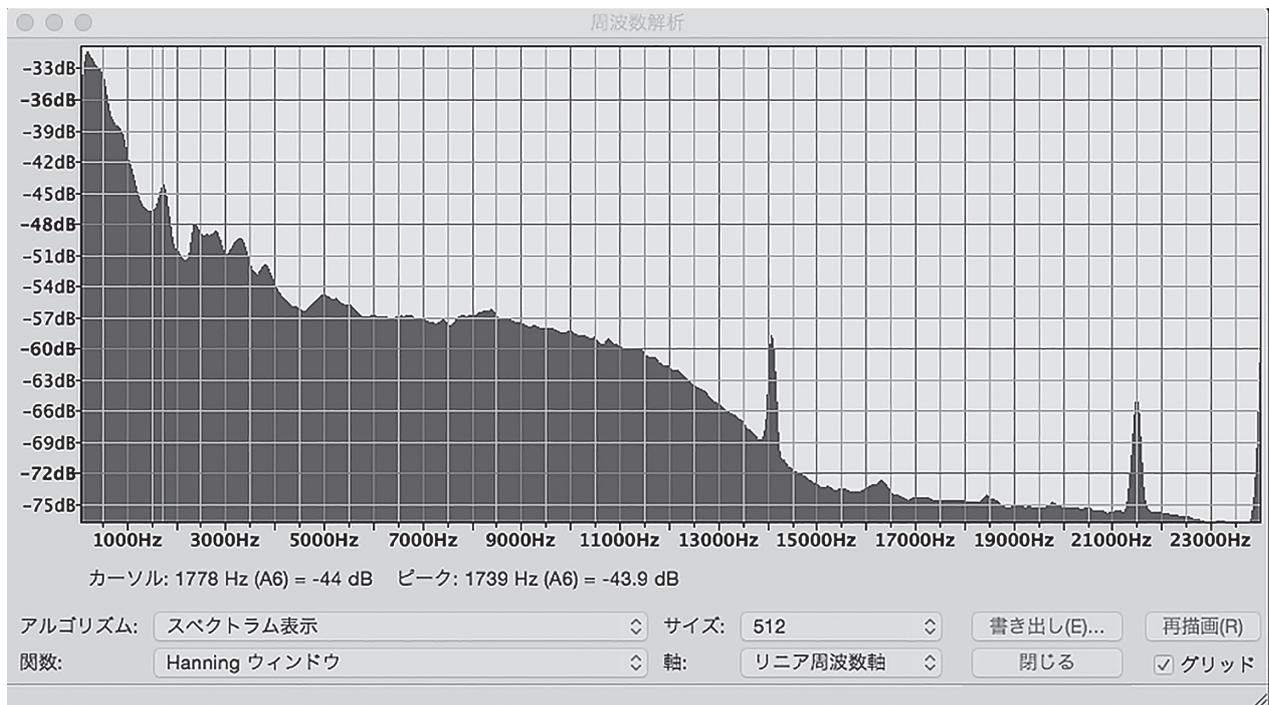


Figure 3: Plot spectrum of the sound recorded at the Library of MUE. Note the intensity of the sound of air conditioning inside the building, a place that most people consider “quiet”. This sound was classified by the students as “noise”.

higher scores in the environmental damage scale.

7- Cost of recycling: students evaluated the potential economic cost of recycling objects and other materials in the dumping site. The higher the cost, the higher the score.

8- Site restoration: students evaluated the potential economic cost of restoring the area were the dumping site is to natural conditions. The higher the cost, the higher the score.

Scores given at criteria 1 to 8 were averaged and that number was taken as the value of environmental impact in the 100 points scale. This value, although very relative and useful only for comparison made by this method, was enough to let the students consider a variety of angles from which they could appreciate the magnitude of impacts to the environment.

3. Results and Discussions

Throughout these activities, students engaged in

discussions and extrapolated their results to a global scenario, frequently recalling the usefulness of the scientific method. All the students that participated in this exercise (4 in total) were junior and senior college students, and although they had already passed many science subjects, they had no knowledge of the existence of the scientific method. Answering the questions they elaborated by experimenting, even though the methods were not strictly adequate, had helped them understand environmental science issues from a different perspective. The following are the students answers to their questions:

Global warming: contrary to the hypothesis, soil absorbed heat faster than water. This results from the water’s high heat capacity, where it needs to absorb more heat than soil to raise a degree in temperature. As a consequence, the cup of soil exposed to the sun’s heat increased its temperature faster than the cup of water (Fig. 2). With this experiments students also understood why in coastal areas there is a difference in temperature between the land and the sea. Similarly, they understood

that sea and ocean currents are the climate engine of the Earth. Given that water in the oceans will take longer to release the heat absorbed from the sun's radiation, they can transfer heat from the tropics to the cold areas to the north and south of the planet. Global warming can disrupt this climate engine by melting glaciers on the Earth poles. As the ice melts quickly, millions of cubic meters of cold fresh water will enter the sea, strongly disrupting the present movement of sea currents, hence affecting heat transfer from the tropical regions.

Students also found that the air temperature is higher at sites with human constructions. The central square of MUE, next to the library, showed the highest air temperature (Fig. 1). In other sites, air temperature was lower, especially in points inside Aoba no Mori. Cities and urban areas contribute to reflect the sun's Infrared radiation, resulting in an increase of the air temperature. In very large cities such as Tokyo, the temperature can at times go above 40 degrees centigrade due to the combined reflective effect of its building and urban infrastructure.

Noise: students found two places, one within MUE and another at Aoba no Mori, that were perceived as "noisy" even though at first, they could not recognize them as such. The Library of MUE, a place that is usually considered "quiet", was considered as noisy by the students after they realized how the sound of air conditioning dominates the sound environment of the building. We may not pay attention to this sound as we are used to it. However, once you become conscious of it, and compare it to a more quiet place, its annoyance becomes obvious.

At Aoba no Mori, students found a site with well preserved vegetation in a small ravine. At this site they found species of frogs, snakes and heard the sound of many wild birds. In appearance, this was the closest to a pristine forest in Aoba no Mori. However, when analyzing

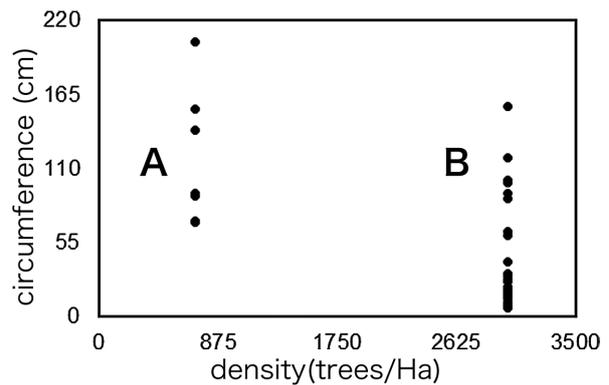


Figure 4. Difference in forest structure between A, a forested part of MUE, and B, Aoba no Mori.

the recording made at this site, they noticed that it was contaminated with the sounds of cars from the nearby expressway (Fig. 1). With this exercise students learnt to recognize noise as form of environmental contamination.

Forest structure: students found differences in forest structure between the plots measured at MUE and Aoba no Mori. All measured parameters were different. The canopy cover was smaller at MUE, with 65.5 % cover compared to the canopy at Aoba no Mori, with a 80.7 %. The mast circumference at breast height and the density of trees was also different (Fig. 4.). Their results indicated that the structure of the forest plot at Aoba no Mori resembles more that of an original forest, with a higher tree density. The circumference data for this plot showed many more trees of smaller size, indicating that tree regeneration is occurring, while on the contrary at the plot in MUE there is almost no regeneration, indicating a selective logging by the university staff. These results served the students to understand the effect that wood extraction can bear on a forest, changing its structure that in turns affect many of the ecological functions of this ecosystem.

Environmental impact of dumping sites: of the three sites evaluated, students found two that pose a risk to the environment over 50 % in the scale of 100 they have used (Fig. 5). The site next to the student's club house showed a 57 % score of potential environmental impact,



Figure 5: Dumping sites evaluated for environmental impact. A, students' club house. B, sculptures' workshop.

meaning that although it was not an irreversible impact, it posed serious threat to the environment. Most of the objects there were made of wood such as tables, chairs and cabinets, and of metals, such as bicycles, furniture frames and lockers. A few electronic items such as TV sets and other appliances were also dumped in the open. Most of the garbage found at this site had been exposed for at least several years, with some showing signs of intense decay, probably dumped there more than 5 years ago. Evaluating this site gave the students a perspective of the things they normally do around this club house and the effects their behavior has on the environment.

The dumping site around the sculptures' workshop, created mainly by the university staff working there, showed a score of 73 %. Items found here were mainly metallic ones, most on a state of advance corrosion. The scale of the dumping site was larger than that at the site next to the students' club house, and although it did not pose an irreversible impact to the environment, it was obviously a serious one in terms of the scale used by the students (Fig. 5). This site reflects a serious problem seen in many areas all across Japan, where people dispose things they don't need in places away from the public eye. It is not rare then to find objects such as old refrigerators and washing machines in otherwise pristine forests next to a road. Here, in a similar fashion, most of the objects are hidden by the building and therefore

are not spotted by visitors to the workshop. Students' evaluation of this site gave them a perspective of the role that members of a society play in causing environmental damage, were even university professionals in an involuntary fashion contribute to the contamination of our surroundings.

4. Conclusions

The exercises described in this paper, although not completely accurate in terms of methodology, represent an alternative to teach student in a practical way the essentials of Environmental Science by means of the Scientific method. Students assimilated knowledge without having to commit to memory many of the current issues that affect the human-environment relationship, and reflected on the lessons learnt throughout this experience.

The scale of this study and the number of students was not large enough to evaluate its effect. However, the positive attitude of the students and their enthusiasm when carrying the field work attest to the effectiveness of using practical teaching methods. Our emphasis on not giving too much information to the students, while guiding them at the same time through the exercises not to have them commit serious mistakes in their data gathering, was seen as a highlight for the class. Students were free to search for information in the internet on

how to conduct their experiments and they have proven to be not that far off from the methods scientists use in their research. This stimulated creativity and allowed the students to be as active as possible during the learning experience. As some of these students are expected to be teachers in the near future, our hope is that they will teach their pupils using practical methods that both, enhance creativity and stimulates reflection on the issues that connects us with current environmental problems.

References

- Bond, W.J. (1998). Ecological and Evolutionary Importance of Disturbance and Catastrophes in Plant Conservation. In Mace, G.M., A. Balmford, and J.R. Ginsberg (Editors). *Conservation in a Changing World*. Cambridge University Press. pp. 308.
- Cornell University, and Penn State University (2009). Environmental Inquiry. <http://ei.cornell.edu/ecology/invspec/plotsample.html>.
- Dresnack, R. (2006). Environmental Assessments and Related Impacts. In Pfafflin, J.R., and E.N., Ziegler (editors). *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering*. CRC Press. Florida. pp. 325 - 332.
- Echenique-Diaz, L.M., and C. Saito (2013). *Urban vs. Natural Sounds in Sendai City. A Comparative Study*. Research Bulletin of the Environmental Education Center, Miyagi University of Education, 15. 69 - 73.
- Jacobson, S.K., M.D., McDuff, M.C., Monroe (2007). *Conservation Education and Outreach Techniques*. Oxford University Press. New York. 480 p.
- NASA (non dated). Climate Science Investigations (CSI). <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:78NL1nhL1zwJ:www.ces.fau.edu/nasa/content/teacher-materials/land-vs-water-student.docx+&cd=4&hl=en&ct=clnk>.
- Orr, D.W. (2004). *Earth in Mind: On Education, Environment, and the Human Prospect*. Island Press. Washington. 221 p.
- Pfafflin, J.R., and E.N., Ziegler (2006). *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering*. CRC Press. Florida. 1408 p.
- Ricklefs, R.E., and G.L., Miller (2000). *Ecology*. W.H. Freeman and Company Press. 821 p.
- Salvato, J.A. (2006). Environmental Health. In Pfafflin, J.R., and E.N., Ziegler (editors). *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering*. CRC Press. Florida. pp. 334 - 360.

Insights into the Natural History of *Pipistrellus endoi* Imaizumi, 1959 from Survey Records in Miyagi Prefecture

Kuniko KAWAI*, Lázaro M. ECHENIQUE-DÍAZ*, Osamu TAKAHASHI** and Chiemi SAITO*

Abstract: Assessing and documenting wildlife occurrence in a local area is important for the understanding of its natural history, being the latter a necessary condition to address conservation strategies and environmentally educate the local population. Records of the Japanese endemic bat *Pipistrellus endoi* are very limited all over Japan, a major reason why there has not been a conservation strategy for the species. In this paper, records of this bat from Miyagi Prefecture have been compiled, providing new insights into the ecology and natural history of *Pipistrellus endoi*.

Key words: bat, *Pipistrellus endoi*, hibernating site, litter size

1. Introduction

In Miyagi Prefecture, 15 species of bats have been reported (Table 1) (Akiba et al., 1966; Miyagi Prefecture, 2013; O. Takahashi, unpublished data). The Red List of Miyagi Prefecture listed 9 out of these 15 species as data deficient (DD), VU (vulnerable), and CR+EN (critically endangered + endangered) (Table 1).

Table 1. List of bats and their Red List category in Miyagi prefecture.

| Species | Category of the Red list* | |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | Miyagi Prefecture 2013 | Ministry of Environment 2012 |
| <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> | | |
| <i>Rhinolophus cornutus</i> | | |
| <i>Nyctalus aviator</i> | VU | VU |
| <i>Pipistrellus abramus</i> | | |
| <i>Pipistrellus endoi</i> | CR+EN | VU |
| <i>Barbastella leucomelas</i> | DD | LP |
| <i>Plecotus sacrimontis</i> | VU | |
| <i>Vespertilio sinensis</i> | | |
| <i>Myotis frater</i> | CR+EN | |
| <i>Myotis ikonnikovi</i> | VU | |
| <i>Myotis macrodactylus</i> | | |
| <i>Myotis pruinus</i> | | VU |
| <i>Miniopterus fuliginosus</i> | | |
| <i>Murina hilgendorfi</i> | VU | |
| <i>Murina ussuriensis</i> | VU | |

*DD: data deficient, VU: (vulnerable), CR+EN: critically endangered + endangered, LP: threatened local population

Pipistrellus endoi is an endemic species to Japan. The type locality is Horobe, Ashiro-cho, Ninohe, Iwate prefecture (Imaizumi, 1959). This species has been recorded from 16 prefectures in Japan (Kawai, 2009; see Fig. 1). However, the records of this species are

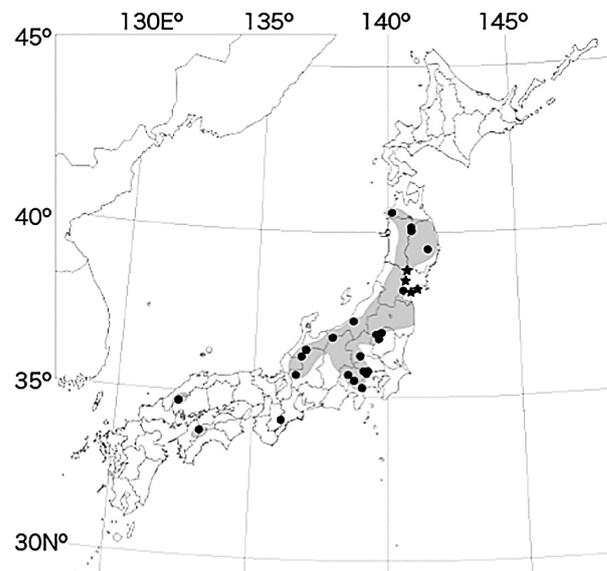


Fig. 1 Distribution map of *Pipistrellus endoi* Imaizumi, 1959 modified from Kawai, 2009.

The solid circles in the map denote the sites where this species was observed in Japan. Star shape shows new record sites in this study.

* Environmental Education Center, Miyagi University of Education, Sendai, Japan, ** Miyagino Wildlife Study Group, Sendai, Japan

very limited and only about 40 individuals have been reported. This species is not known from Kyushu, the Ryukyu archipelago, Hokkaido and many oceanic islands of the Japanese archipelago. In Miyagi Prefecture, the species has categorized as CR+EN due to very limited information and poor capture record.

The morphology of this species is similar to the *P. abramus*. But the baculum of *P. endoi* is apparently different from that of *P. abramus*: relatively short and nearly straight, its straight-line length is 9-10 mm (Imaizumi, 1959). Little is known about the ecological features and its habitat, home range and behavior.

To elucidate the natural history of *P. endoi* in Miyagi Prefecture, we compiled all records of the species reported for the prefecture, and discuss the ecological features learnt from this data.

2. Methods

One of us, O. Takahashi, has conducted bat surveys in Miyagi Prefecture since 1990s. In this study, we compiled all records *P. endoi* from his field note to look for patterns that can help us understand the species ecology.

3. Results and discussion

We confirmed a total of 21 individuals of *P. endoi* from 7 sites in Miyagi Prefecture (Table. 2; Fig. 2). Of these, 6 were females: mean \pm standard deviation (min-max); body weight (g) 7.5 ± 0.92 (6.8-8.7), forearm length (mm) 32.6 ± 0.58 (32.1-33.7); and 15 were males: BW $6.4 \pm$

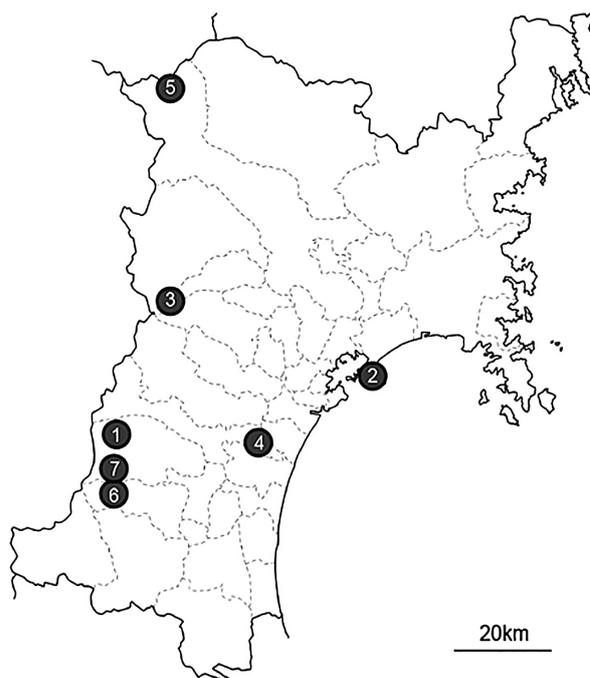


Fig. 2. Map of the sites where *Pipistrellus endoi* was confirmed. The numbers correspond to Table 2.

Table 2. Body weight and forearm length measurement of bats in Miyagi Prefecture.

| Date | Ring number | Sex | BW(g) | FA(mm) | | Locality information | | | |
|-------------|-------------|-----|-------|--------|-------------------------------------|----------------------|-------------|--------------|---|
| | | | | | | Locality* number | Mesh** code | Altitude (m) | Locality Name |
| 19900905 | — | M | 6.0 | 31.0 | flying in the daytime | 1 | 5740-2454 | 340 | Imashuku Nanori, Kawasaki, Shibata |
| 20030215 | S2947 | M | 6.9 | 30.9 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20031124 | S2942 | F | 8.7 | 32.2 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20040326 | S2698 | F | 6.8 | 32.1 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20050812-13 | NCN370 | M | 6.0 | 31.8 | captured by harptrap | 3 | 5740-5541 | 1020 | Start point of a trail up Funagatayama Mt., Shikama, Kami |
| 20061010-11 | NCN486 | M | 5.8 | 33.3 | captured by harptrap | 4 | 5740-2674 | 200 | Shrine at Taihaku-san, Taihaku, Sendai |
| 20061103 | NCN489 | M | 8.7 | 31.8 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20061103 | NCN490 | F | 8.6 | 33.7 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20070227 | NCN494 | M | 6.0 | 32.7 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20070602-03 | NCN576 | M | 5.6 | 31.8 | captured by harptrap | 3 | 5740-5541 | 1020 | Start point of a trail up Funagatayama Mt., Shikama, Kami |
| 20100328 | NCF1453** | M | 5.6 | 30.8 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4112 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20100710-11 | NCS680 | M | 6.2 | 31.3 | captured by harptrap | 5 | 5740-1451 | 580 | Sankai-taki, Zao, Katta |
| 20110611-12 | NCF1472 | F | 7.0 | 32.3 | captured by harptrap | 6 | 5840-2520 | 460 | Sukanedake forest road, Onikobe, Naruko onsen, Osaki |
| 20120801-02 | — | F | 6.8 | 32.6 | captured by harptrap | 7 | 5740-1843 | 360 | Aone dam, Kawasaki, Shibata |
| 20120801-02 | — | F | 6.9 | 32.6 | captured by harptrap | 7 | 5740-1843 | 360 | Aone dam, Kawasaki, Shibata |
| 20120820-21 | — | M | 6.8 | 32.8 | captured by harptrap | 7 | 5740-1843 | 360 | Aone dam, Kawasaki, Shibata |
| 20130214 | NCT401 | M | 6.4 | 31.4 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4122 | 4 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20140130 | NCT410 | M | 6.7 | 32.4 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4122 | 8 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20141220 | NCT430 | M | 6.6 | 31.1 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4122 | 4 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20141220 | NCT431 | M | 6.6 | 34.2 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4122 | 4 | Miyato Island, Higashimatushima |
| 20150131 | NCT435 | M | 6.5 | 32.9 | hibernating in crevice at stone pit | 2 | 5741-4122 | 4 | Miyato Island, Higashimatushima |

* The numbers are correspondign to Fig. 2

** The mesh code indicate the locality on third-order map published by Ministry of Environment of Japan.

+ The specimen was donated to Dr. Yoshinori Imaizumi.

** Hibernating with a cluster of 5 individuals of *Vespertilio sinensis* in the same slit.

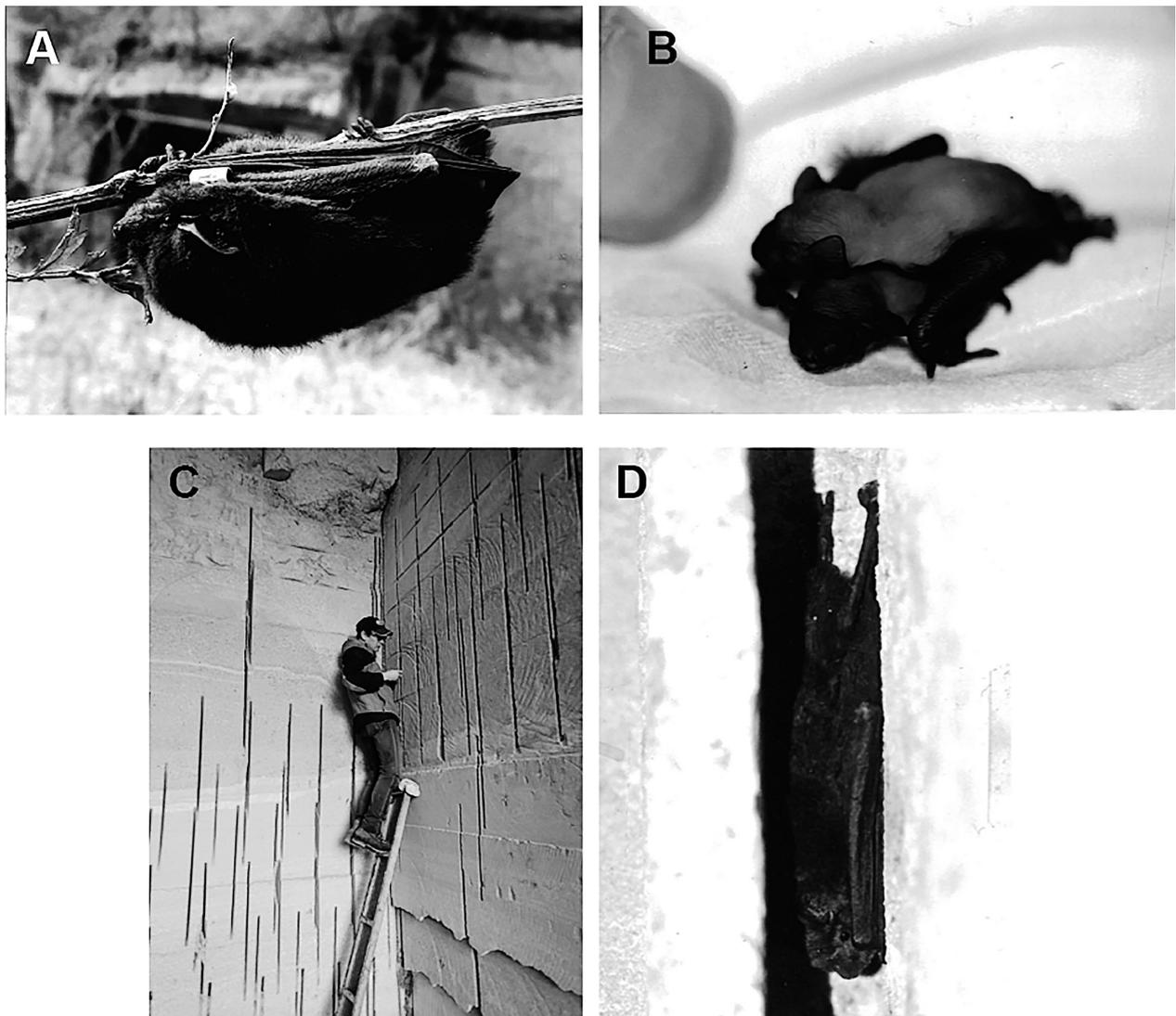


Fig. 3. Pictures of *Pipistrellus endoi* and the industrial stone pit where it hibernates in Miyagi Prefecture. A: An individual of *P. endoi*, B: The two infants from a captive female, C: Hibernating *P. endoi* individuals carefully pulled out of the crevices, D: The stone pit and a hibernating bat.

0.76 (5.6-8.7), FA 32.0 ± 1.00 (30.8-34.2). Although most individuals of this species had been captured in the forest, only 8 individuals of those reported here for Miyagi prefecture had been captured in this kind of habitat (5 males and 3 females), at altitudes ranging from 360 to 1020 m. This species has been regarded as a forest dwelling bat given that it usually found in natural forests (Kawai, 2009), although there is a record from a secondary forest in suburban Tokyo (Kasahi et al., 2006). A similar record from a secondary forest, consisting mainly of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*), has been reported for Miyagi Prefecture (locality 4). Usually this species has been recorded from forests at altitudes

over 1000 m (Abe et al., 1970; Yasui and Kamijo, 1990; Maeda, 1991; Ueno, 1993; Yamamoto et al., 2005; Ueno et al., 2002), and in fewer occasions from altitudes lower than 500 m (Suzuki, 1978; Machida et al., 1986; Urano, 1998; Kasahi et al., 2006). On the contrary, in Miyagi prefecture, records from 4 sites are in forests at altitudes lower than 500 m, and 2 above that (locality 3 and 5).

Information about the hibernating habits of *P. endoi* is extremely scarce. Only one record exist of a bat hibernating in a Japanese cedar at a forest in January (Yoshiyuki, 1990). However, in Miyagi Prefecture, 12 out of 21 records (9 males and 3 females) were of individuals captured when hibernating in solitary from November to

late March in rock crevices at an industrial stone pit (Fig. 3C, D). The stone pit is located in Miyato-jima Island, Higashi-matsushima city, at an altitude of 4 to 8 m above sea level. Moreover, the site where these individuals were captured far from any pristine forest, in a patchy landscape composed of rice field, sub-urban settlements and occasional secondary forests. This suggest that rock crevices are an important place for this species to hibernate, and that *P. endoi* may use different kinds of environments along the year, including anthropized ones as does its congeneric species *P. abramus*. These data points towards the need to establish a monitoring study of this site and similar ones common in Higashi-matsushima, to find the extend of rock crevices use as a hibernating site by this species, and advocate for the protection of the most important sites from further development.

One female (S2698) captured at the stone pit was injured by the survey, and it was kept from 26th March 2004 to July 2004. The female had two infants, male and female (Fig. 3B). The parturition occurred on June 18th, 2004. One of the infants (a female) was kept until October 21st, 2008 (four years and four months). It is known that the reproductive strategy for this species is the delayed fertilization type (Son et al., 1988). However, up to now, there was no information on litter size. This is the first report of litter size for *P. endoi*. Similarly, the parturition time had been assumed to be between mid-July to mid-August based on a few observations: lactating females have been captured in late July in Ishikawa Prefecture (Yamamoto et al., 2005), and early August in Aomori Prefecture (Machida et al., 1986). Our data shows that the parturition time in *P. endoi* can start at least a month earlier than previously reported, although this can also be the result of a better nutritional condition for the mother given that it was fed in captivity. However, although it is clear that its condition in captivity was different from that in the wild, mating probably occurred before March.

4. Conclusion

The records of *P. endoi* in Miyagi prefecture are very important for knowing the species' ecological requirements. Compiling the available data was key in elucidating two relevant elements when considering a conservation strategy: hibernating habits (preference for rock crevices), and litter size. This information, albeit still very poor, considerably advances what is known of *P. endoi*, and highlight the importance of surveying areas where endangered bats such as this can find refuge. The industrial stone pit where *P. endoi* has been found is at the moment an abandoned site with no ongoing human activities. However, as of this moment, there is no guarantee that this will not change in the future. Therefore, educating the local communities surrounding this locality is of importance to preserve the only known site in Japan where *P. endoi* hibernates outside its typical forest habitat. It is recommended that a monitoring program be implemented in this area so as to collect more data that could help us understand the natural history of this bat, and then apply this knowledge in environmental education activities where local people play a central role.

References

- Abe, H., Kobayashi, T., Maeda, K., and Miyato, T. 1970. Faunal survey of the Mt. Ishizuchi area, JIBP main area - II. Results of the small mammal survey on the Mt. Ishizuchi Area. *In: Studies on the Animal Communities in the Terrestrial Ecosystems and their Conservation; Annual Report of JIBP/CT-S for Fiscal Year of 1969.* Kato, M. (ed.). JIBP/CT-S Section, Sendai, pp. 7-14.
- 秋葉保夫 (Y. Akiba), 高橋修 (O. Takahashi), and 高橋雄一 (Y. Takahashi). 1996. 宮城県野生哺乳動物. Miyagino Wildlife Study Group, Sendai. (in Japanese)
- Imaizumi, Y. 1959. A new bat of the "*Pipistrellus javanicus*" group from Japan. *Bulletin of the National Science Museum* 4, 363-371.
- Kasahi, T., Urano, M., Ando, K. and Takamizu, Y. 2006. Spring roosts of the Endo's pipistrelle, *Pipistrellus*

- endoi*, in Okutama region, central Japan. *Animate*, 6, 12-26. (in Japanese)
- Kawai, K. 2009. *Pipistrellus endoi* Imaizumi, 1959. In: The Wild Mammals of Japan. Ohdachi, S. D., Ishibashi, Y., Iwasa, M. A. and Saitoh, T. (eds.). Shoukadoh, Kyoto, pp. 81-82.
- Machida, K., Saito, T., Ooyagi A, Inoue, S. and Saito, T. 1986. Bat fauna in Osorezan district, Aomori Prefecture. *The Journal of the Mammalogical Society of Japan*, 11, 173-181. (in Japanese with English abstract)
- 前田喜四雄 (K. Maeda) 1991. 岐阜県下のコウモリ類 (15) 尾上郷国有林 (1) . 岐阜のふるさと動物通信, 629. (in Japanese)
- Miyagi Prefecture. 2013. The Red List of Endangered Species in Miyagi Prefecture. <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/207568.pdf>
- Son, S. W., Mori, T., Yoon, M. H. and Uchida, T. A. 1987. Reproduction of two rare *Pipistrellus* species, with special attention to the fate of spermatozoa in their female genital tracts. *Journal of the Mammalogical Society of Japan*, 13, 77-91.
- Suzuki, K. 1978. Mammals of Saitama. In: 埼玉県動物誌, 埼玉県動物誌編集委員会 (ed.). Saitama Prefectural Board of Education, Urawa, pp.31-44. (in Japanese)
- 上野吉雄 (Y. Ueno).1993. 西中国山地におけるモリアブラコウモリの記録 . おおの自然観察の森研究報告, 3, 35. (in Japanese)
- Ueno, Y., Hatase, J., Koshiba, M., Kawazu, T., Hibino, M., Yoshiyuki, M., Mukohyama, M. and Usuki, N. 2002. Bat fauna in Nishi-Chugoku Mountains I. *Natural History of Nishi-Chugoku Mountains*, 7, 85-97.
- Urano, M. 1998. 西多摩郡檜原村で確認されたモリアブラコウモリ *Pipistrellus endoi*. *東京の自然*, 24, 22. (in Japanese)
- Yamamoto, T., Ueuma, Y. and Nozaki, E. 2005. Fauna of Chiroptera in Mt. Hakusan, Ishikawa Prefecture-ecological survey from 1998 to 2005. *Annual Report of the Hakusan Nature Conservation Center* 32, 25-30. (in Japanese)
- Yasui, S., and Kamijo, T. 1990. A record of the Enod's pipistrelle bat *Pipistrelles endoi* Imaizumi, and the Natterer's bat, *Myotis nattereri* (Khul), from Tochigi Prefecture, Japan. *Bulletin of the Tochigi Prefectural Museum*, 16, 81. (in Japanese and English abstract).
- Yoshiyuki, M. 1990. Notes on the genus *Pipistrellus* from Japan. *日本の生物*, 4, 74-77. (in Japanese)

沖縄に移入した外来カタツムリ *Macrochlamys* sp. が 在来種に与える負の効果

木村一貴*,**

Interference Effect of the Alien Land Snail *Macrochlamys* sp. on the Native Land Snail
Bekkochlamys perfragilis

Kazuki KIMURA

要旨：沖縄地方に移入・定着した *Macrochlamys* sp. は在来種であるベッコウマイマイに負の影響を与えることが明らかになった。在来生態系に大きな影響をもたらす危険性の高い種だと言え、駆除に向けた早急な取り組みが必要であると考えられる。

キーワード：外来種、在来生態系、種間競争、カタツムリ

1. 背景

近年、交通手段の発達と物流の著しい増大に伴い、世界各地の動植物が容易に他地域へ移動するようになった。増加する生物の人為的移入は、在来生態系のかく乱、農作物への食害、人への健康被害などの原因となることが指摘されている。本研究で着目する日本における外来軟体動物では例えば、世界の侵略的外来種ワースト100の一つである南米原産のスクミリングガイが稲苗や在来種に対して悪影響を及ぼすことが懸念されている(松隈, 2005)。また、世界自然遺産に登録されている小笠原諸島において、移入したヤマヒタチオビガイ・アフリカマイマイ・オキナワウスカワマイマイが小笠原固有の種類の個体数減少を引き起こしていることが示唆されている(富山, 1998; 下拓也, 私信)。外来生物法の施行等、その危険性への認識は高まっていると考えられるが、近年になってもヒメリングマイマイ・イスパニアマイマイ・マダラコウラナメクジ・ベージュイロコウラナメクジなど複数の軟体動物種の移入・定着が報告されている。一度既存の生態系に根強く組み込まれてしまうと、その後の駆除は困難になるため早期の対策が望まれるが、そのために

は危険性の評価・駆除方法の検討が必須であると考えられる。

Macrochlamys sp. (図1) も近年に移入した種のひとつである。東南アジアから移入したと考えられるこの種は、2003年以降沖縄県や本州の温暖域での発見報告がある(上島, 2009; 早瀬ほか, 2009)。沖縄地方は、その地理的・地誌的特徴から豊かで多様なカタツムリ相が形成されており、保全上重要な地域である。そこで本研究では、*Macrochlamys* sp. が沖縄地方の在来種に与える影響を調べることを目的とした。



図1. 外来種 *Macrochlamys* sp.

* 宮城教育大学附属環境教育実践研究センター, ** 東北大学生命科学研究科保全生物学分野

2. 在来種ベッコウマイマイへの影響

2014年5月沖縄本島名護市にて、*Macrochlamys* sp. (殻径19-27 mm) と在来種ベッコウマイマイ (殻径16-20 mm) の成熟個体の採集を行った。採集後、500mlのプラスチック容器にて1週間個別に飼育し、実験環境(約25.5℃, 約60%RH)に慣れさせた。その後、3グループのペア: グループ(1) *Macrochlamys* sp. 2個体, (2) ベッコウマイマイ 2個体, (3) *Macrochlamys* sp. 1個体+ベッコウマイマイ 1個体, をランダム抽出個体を用いて作成し、各ペアをそれぞれプラスチック容器(500ml)にて30日間飼育し生存率を測定した。グループ1・2は20ペア, グループ3は40ペア作成し、ペア内の観測個体はランダムに決定された。グループ3の観測個体は両種とも20個体ずつとした。容器に湿らせたペーパータオルを敷き湿度を保ち、その上に充分量のエサ(燕麥の粉末・動物性タンパク質・炭酸カルシウムの混合物)を与える形で飼育した。観測個体の生存確認は毎日、容器清掃とエサの補充は6日毎に行った。観測個体とペアを形成している個体が死亡した場合は新規個体を追加した。生存率の解析には、Kaplan-Meier 推定法の下で log-rank テストを用いた。

各グループにおける生存率を図2に示した。移入種である *Macrochlamys* sp. は共存個体の種に関わらず高い生存率を示した。一方、在来種のベッコウマイマイは *Macrochlamys* sp. とともに飼育することで、生存率が有意に低下した。与えられたエサの量は充分であったことを考慮すると、この生存率低下は消費型競争ではなく種間の干渉作用により引き起こされたと考えるのが妥当であるだろう。実際、雑食性のカタツムリにおいて種間干渉の報告は複数あり、這い跡に残る粘液や直接的な攻撃を介して生じている (e.g., Cameron and Carter, 1979; Kimura and Chiba, 2010)。今回見られた負の影響は、外来種から在来種への方向のみの非対称なものであった。また、今回用いたベッコウマイマイよりも小さい在来種は多数分布しており、より強い影響を受ける可能性もある。これらの知見から、沖縄地方に移入・定着した *Macrochlamys* sp. は、在来生態系に大きな影響をもたらす危険性の高い種だと言え、駆除に向けた早急な取り組みが必要であると考えられる。

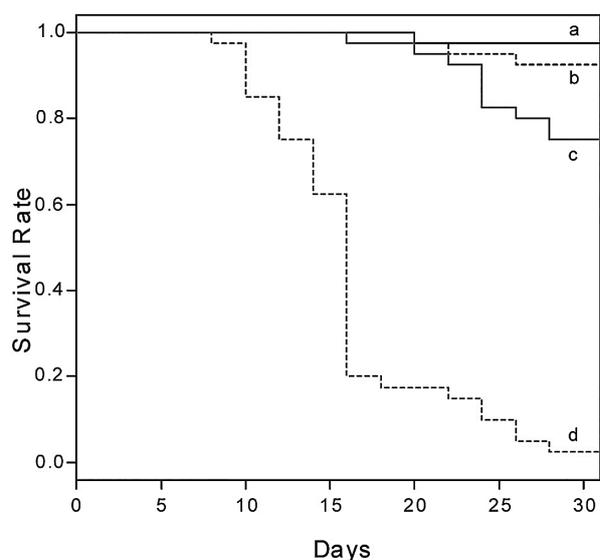


図2. 各グループの生存率。a: ベッコウマイマイと飼育した *Macrochlamys* sp., b: 同種と飼育した *Macrochlamys* sp., c: 同種と飼育したベッコウマイマイ, d: *Macrochlamys* sp.と飼育したベッコウマイマイ

3. 現地における認識

実験用個体の採集時に、現地における外来種 *Macrochlamys* sp. への認識に関する予備的な調査を行った。「外来種である」という認識を持っている方は少数であり、「山の方にいるやつ」が増えて困惑している場合が多いようである。この「山の方にいる」種というのは在来種であり、ベッコウマイマイ類のことだと推測される。多くの外来種問題においてと同様であるが、この事例においても在来種との区別法を含め外来種への認識を確立する教育システムが必要であることが判る。

謝辞

小原祐二氏、亀田勇一博士(国立科学博物館)、平野尚浩氏(東北大学生命科学研究科)には本研究で用いた2種の分布域に関してご教示頂いた。下拓也氏、内田翔太氏(東北大学生命科学研究科)には小笠原における外来種問題に関してご教示頂いた。また、東北大学生命科学研究科保全生物学分野の方々からは、侵入生物学に関する議論を通して非常に有意義な助言を頂いた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

Cameron, R.A.D. and Carter, M.A. 1979. Intra- and

- interspecific effects of population density on growth and activity in some helicid land snails (Gasropoda: Pulmonata). *J. Anim. Ecol.*, 48, 237-246.
- 早瀬善正・木村昭一・尾形綾子 2009. 沖縄本島におけるベッコウマイマイ科の移入種2種の記録. *ちりぼたん*, 39, 106-110.
- Kimura, K. and S. Chiba. 2010. Interspecific interference competition alters habitat use patterns in two species of land snails. *Evol. Ecol.*, 24, 815-825.
- 松隈明彦 2005. 第三 軟体動物. 松吉俊実(編): 二丈町誌平成版, 第一章 自然, 第五節 動植物, pp. 58-83.
- 富山清升 1998. 小笠原諸島の移入動植物による島嶼生態系への影響. *日本生態学会誌*, 48, 63-72.
- 上島励 2009. 沖縄に移入されたベッコウマイマイ科の1種 *Macrochlamys* sp. の生息状況と移入経路. *ちりぼたん*, 39, 111-116.

閉鎖性ため池の有機汚濁バックグラウンド評価に関する実験法

三品佳子*・三好直哉**・村松 隆***

Experimental Method for the Evaluation of Background of Organic Contamination in Closed Ponds

Yoshiko MISHINA, Naoya MIYOSHI and Takashi MURAMATSU

要旨：閉鎖性のため池水の腐乱化の原因となる有機汚濁バックグラウンド（生物に由来した物質による恒常的な有機汚濁のレベル）を評価するための実験法を検討した。これは、化学的酸素要求量測定、クロロフィル測定、腐植物質の特性分析（起源分析と分子量測定）の結果をもとに推定した有機汚濁のバックグラウンドをため池の構造モデル（ため池モデル）に当てはめ、汚濁化の将来予測に活用するものである。

キーワード：ため池，有機汚濁，富栄養化，腐植質

1. はじめに

著者らは、生物の生産活動が盛んな閉鎖性ため池の実態把握を目的に、水中の腐植物質に着目した汚濁分析を行っている。^{1) 2)} ため池は、解放性の一時貯水池や雨水集積型の貯留池などの水塊で、水量、水の停滞性、内部生産性（主に生物による）の違いによって、汚濁の状況が異なってくる。本研究で調査対象としている水塊は、雨水集積および地下水浸透型の閉鎖性ため池で、そのひとつに人の生活空間に近接した公園池も含まれる。³⁾ これらのため池の内部とその周辺では、独自の生態系がつけられ、通常は汚濁化と自浄のバランスが保たれ、顕著なよごれは起らないが、気象変化などの外的要因により、池内の食物連鎖に乱れが生じると、アオコなどの富栄養化現象がみられる。特に、人の暮らしに密接した公園池では、有機汚濁が進み、水の腐乱による健康被害も懸念されることから、定期的な水質監視が望まれる。

本論文では、閉鎖性ため池の実態や特性を探り、水環境保全を目的とした水質モニタリングの方法について述べる。

2. 閉鎖性ため池の水環境

2-1. 有機汚濁と富栄養化

一般に、湖沼へ流入する“よごれ”は、図1に示すように、人の生活活動に由来するもの、動植物の生態系に由来するもの、地質鉱物に由来するものを考えることができる。しかし、公園池では、人が安全に立ち入るための周辺環境整備が進められており、人の生活や産業から排出されるよごれはほとんど無い。閉鎖性ため池（公園池も含む）のよごれの主要なものは、自然起源の特に植物に由来したものである。

植物由来の物質による有機汚濁の進行は、図2に示すようなプロセスを経る。水中での栄養塩類量の増加

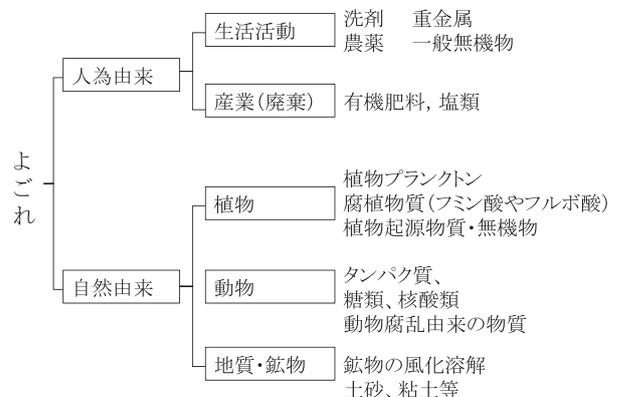


図1. よごれの種類とその由来

* 宮城教育大学理科教育講座, ** 宮城県中新田高等学校, *** 宮城教育大学環境教育実践研究センター

が一次生産者（植物プランクトン）を発生・増殖させる。その結果、水の透明度が低下し水中植物の光合成が弱まる。水の嫌気化が進み有機汚濁、富栄養化、腐乱化が促進される。図2からも分かるように、有機汚濁と富栄養化は密接な関連性（汚濁の相乗協復性）をもっている。

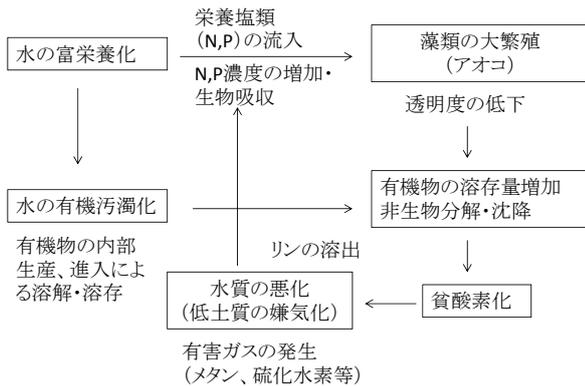


図2. 有機汚濁と富栄養化

2-2. 有機汚濁バックグラウンドと腐植物質

植物由来の腐植物質（フルボ酸類、フミン酸類など）は、ため池の有機汚濁化の原因となる。すなわち、これらの物質は微生物分解されにくく、水中に溶存もしくは沈降堆積（ヘドロ化）する。その結果、有機汚濁のバックグラウンドとして汚濁を長期化させる。ため池での腐植物質の生成と変移の概要を図3に示す。これは、内部生産性の高いため池においてよく認められる変移である。

ため池で生物（動物と植物）が死に至ると、それらが微生物分解（動物なら腐乱化、植物なら腐植化）し、その過程で生じた分解物（無機物と有機物）が種々の形態（有機物なら溶存態や粒子状など）で水中に拡散していく。無機物の場合は、一部に栄養塩類として植物の生長に利用されるが、食物連鎖における一次生産（植物プランクトンの発生と増殖）も始まる。それに引き続く高次の食物連鎖過程で生物固体数の増加を招く。一方、有機物は、図3に示すように、易生物分解性物質と難生物分解物質として水中に拡散していく。易生物分解性のものは食物連鎖過程で比較的早く消失するが、難分解性のものは、ゆっくりと自然分解

しながら一部はヘドロ化し、ため池の低土質へ移動するが、多くは長期にわたって水中に停滞する。この難分解性の腐植物質（フミン酸やフルボ酸）の存在量が有機汚濁のバックグラウンドを形成することになる。従って、水中から、動物由来の分解物（核酸類、タンパク質、糖類などの易分解性有機物）や植物由来の腐植物質（フルボ酸やフミン酸、その他ヒューミン等）を検出し、存在量などについて知見を得ることは、有機汚濁の潜在性や進行の可能性を類推する上で重要である。

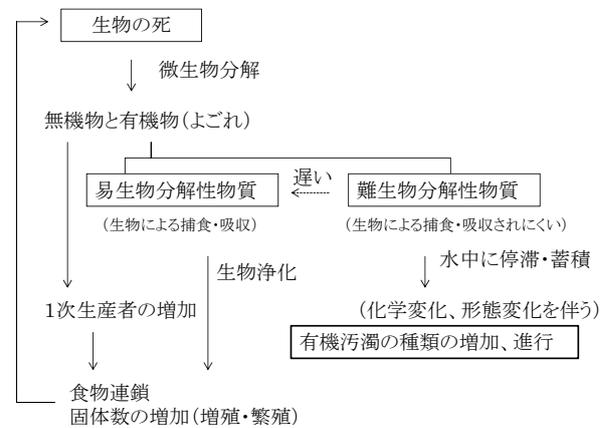


図3. 生物由来物質の動態⁴⁾

3. 水質モニタリング

3-1. 調査項目

ため池の有機汚濁の現状を調査し、有機汚濁のバックグラウンドを評価するために用いられる調査項目を図4に示す。項目を現地測定項目（変化しやすい指標項目で、採水時にモニターしなければならない項目）と採水後、分析室・実験室に持ち帰り、分析する項目に分けている。ため池の実態と調査目的に照らしあわせ分析する場合の選択肢となる。

なお、図4に示した現地測定目については、調査時・調査場所の環境条件を直接反映しており、バックグラウンドの評価・解釈と関わりなく基礎データとして測定しておくことが望ましい。図4に示した測定項目の中で図3のプロセスを調査するための代表的な項目を抽出し、それらを図5に示す。

有機物については、化学的酸素要求量（COD）、生

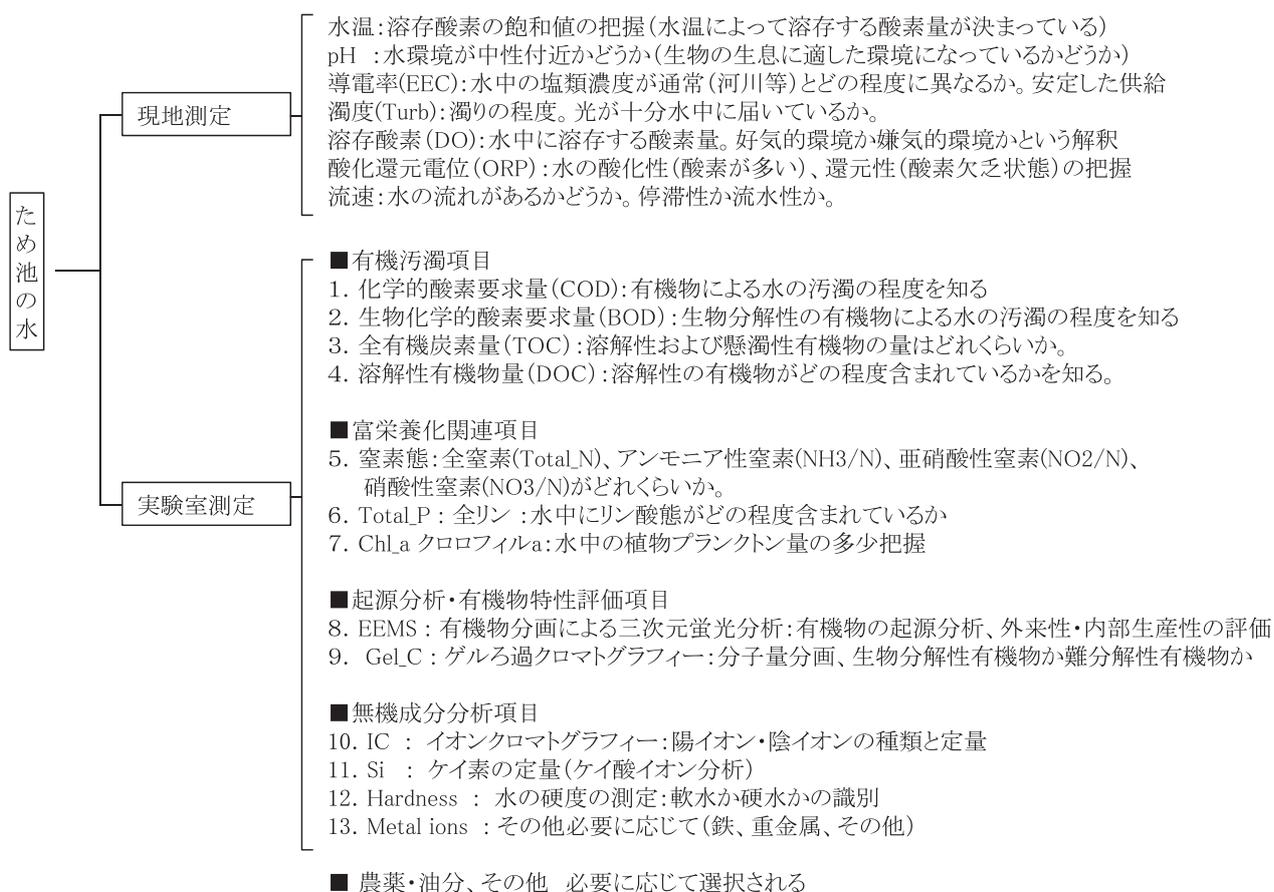


図4. 水質モニタリング項目⁵⁾

物化学的酸素要求量 (BOD), 全有機炭素 (TOC) の測定が有効である。例えば COD 測定で、試料中の溶解性有機物 (溶存態有機物) (Dissolved Organic Substance) に着目するならば、試料水を孔径 1μm のガラスろ紙 (ex. Whatman GF/F) でろ過し、ろ液を溶解性 (溶存態) 有機物試料として分析すればよい。得られる結果を COD_{DOS} とし、未ろ過の試料水について測定した COD_{TOT} との差 (COD_{TOT} - COD_{DOS}) が粒子

状有機炭素と植物プランクトンによる影響と考え、有機物による水の濁りの程度や水中植物の光合成効果の阻害要素となる。

易生物分解性の有機物については、生分解が進みやすいため定量的な扱いは避ける。一方、難生物分解性の有機物については、吸着クロマトグラフィーによる酸・アルカリ分画と三次元蛍光分析 (EEMS) による同定、ゲルろ過クロマトグラフィー法 (Gel_C) による分子量分析を行う。¹⁾ クロロフィルは水の富栄養化状態を指標するもので重要である。

3-2. ため池モデル

ため池に有機汚濁が恒常的に存在し、そこに生態系がつくられていけば、汚濁物質の一部は生物の栄養源となっている。ため池には生態系の維持に必要な一定の汚濁が存在することになる。本研究で言う有機汚濁バックグラウンドとは、生物に由来した恒常的な有機汚濁の程度 (レベル) を指すものである。富栄養化や

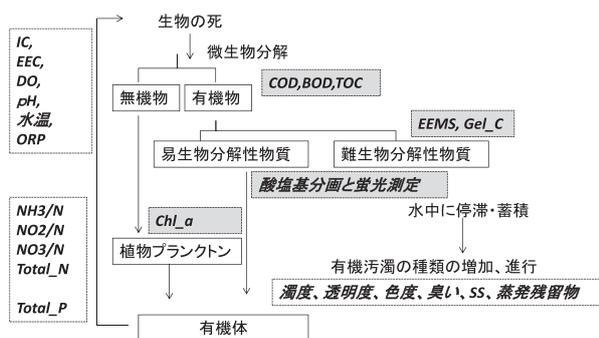


図5 汚濁プロセスと測定項目

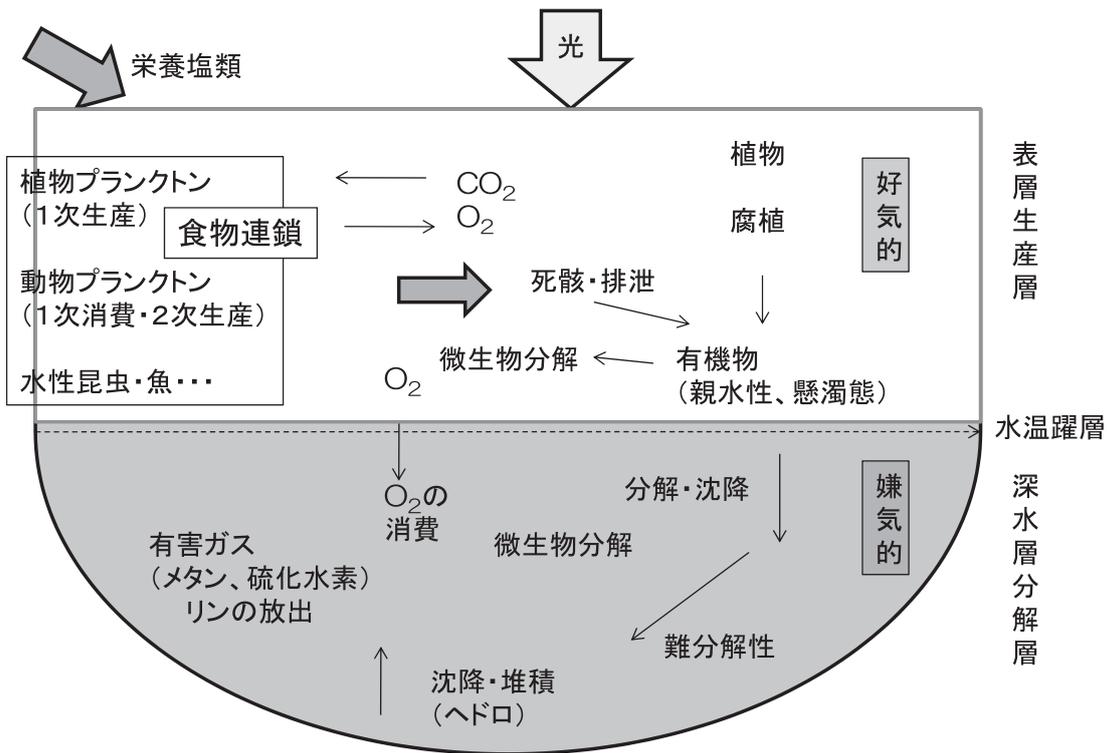


図6. ため池モデル（一層モデル）

水の腐乱化が進行しやすいため池では有機汚濁バックグラウンドは高い。有機汚濁バックグラウンドのレベルを評価することで、汚濁の起こりやすさを推測できる。

このバックグラウンドの解釈には、ため池の実態に合ったモデル（ため池モデル）が必要である。このモデルは、ため池の水質の動態（指標値の推移や変動）を合理的に解釈するのに役立つ。最も単純なモデルを図6に示す。解釈の精度を高めるには、水温躍層が段数的に複数ある多層モデルを考えるとよい。一層モデルは、実態把握の確度は低下するが、構造が単純な分、考えやすいという特徴をもつ。

このモデルを用いた解釈は、①栄養塩類の供給による生産者（植物プランクトン）の過剰繁殖、②池内生態系による物質生産性の加速化・バックグラウンドを超えた有機汚濁の進行、③水中植物の光合成効果の低下と水の嫌気化、④アオコの発生・富栄養化、⑤生物の死・難生物分解性有機物の生成・停滞・沈降、⑥ヘドロ化と嫌気性分解、⑦嫌気的環境下のリンの放出、⑧有機汚濁の循環・年次的変動、⑨有機汚濁バックグラウンドの正の生長、などの理解に適用できる。

4. 水質分析の実際

4-1. 化学的酸素要求量 COD (Chemical Oxygen Demand)

水中に含まれる有機物を酸化分解するのに必要な酸化剤の量を求め、酸化剤の消費量を酸素の消費量に換算し、水中に含まれる有機物量の大小を評価する。よく行われる方法に酸性過マンガン酸カリウム法がある。通常 JIS 規格 (JIS K 0102) で分析方法が定められているが、より簡易な方法も考案されている。電量滴低法⁶⁾による迅速分析法は JIS 法にはないが、JIS 法の結果と相関関係がよい。図7に電量滴定法の概要を示す。

4-2. 生物化学的酸素要求量 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

水中に含まれる有機物を水中の微生物が捕食し、好気性の環境下で微生物が繁殖する。微生物の繁殖に溶存酸素が消費される。採水直後の試料水の水温を 20℃、pH7 に調整し、攪拌しながら“ばっ気”する。pH7 に調整した試料水（調整液）の溶存酸素量 (DO₁) を測定する。調整液を数本（2本から3本）の酸素び

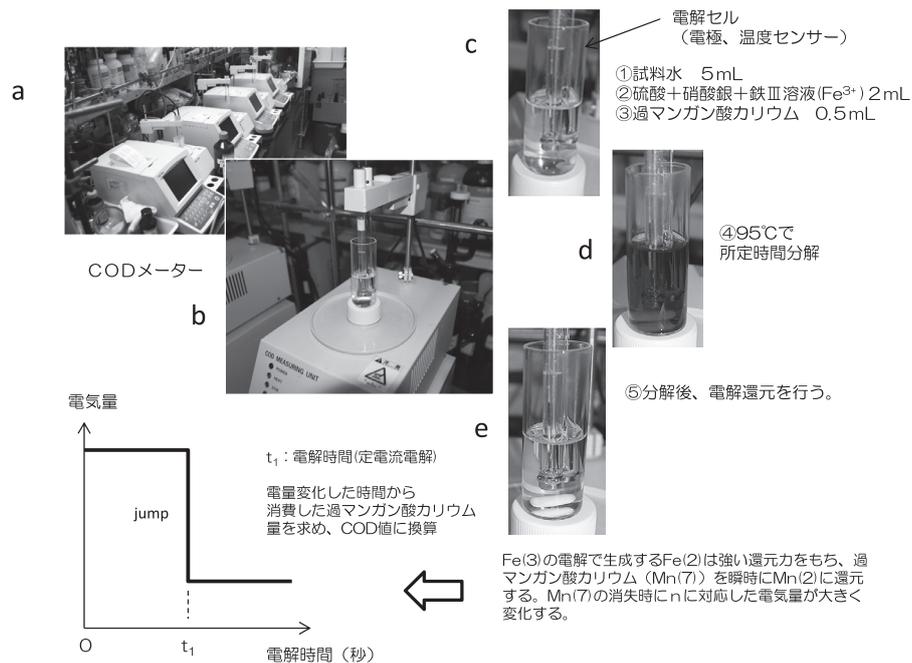


図7. 電量滴定によるCOD測定手順

電解セルに所定量の試料水(5mL)と酸化剤(1/40NKMnO₄)(0.5mL)、鉄(III)ミョウバン・硫酸銀・硫酸・リン酸の混合溶液(2mL)を加え(c)、ヒーター内で攪拌しながら所定時間加熱する(d)。その後水温を60°C程度に下げて電量滴定を行う(e)。試料をセットして自動的に処理が進行し、測定結果が出るまで約8分。

ん(100mL)に分け入れ、20°C暗所で5日間放置する。5日後の溶存酸素量(DO₂)を求め、DO₁ - DO₂の値をBOD(mg/L)とする。DO値はDOメーターで読みとる。

4-3. クロロフィル a

図8aは、公園池の表面にアオコが大発生した際の様子を示したものである。池表面を藻類(アナバネ、ミクロキスティス)が覆い(図8b)、強烈なカビ臭が漂っていた。採水後、植物プランクトンの細胞からクロロフィルaを抽出し、クロロフィル蛍光を測定しクロロフィル濃度を求めると、図8cのような結果が得られた(10月はアオコ発生が観測された時期である)。

図9にクロロフィルの分析手順を示した。試料水100mL~200mL(a)の所定量をガラスろ紙(b)(Whatman GF/F)でろ過する。ろ液cは植物プランクトンを除いた溶存態(Dissolved)の試料水のCOD_{DOS}の測定に利用する。なお、ろ過にはアスピレーター(ゆるやかに減圧)を用いる。ガラスろ紙に付着した植物プランクトンを遠沈管(d)に移し(ガラスろ紙ごと入れる)、これにN,N-ジメチルホルムアミド10mL

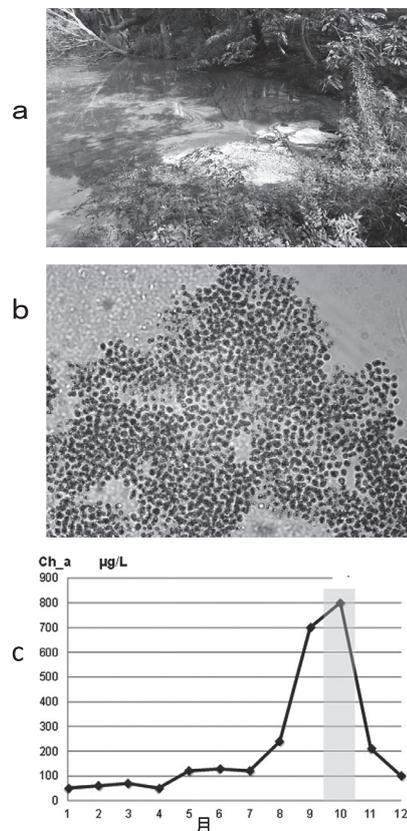


図8. 公園池の富栄養化状態
a:岩沼市朝日山公園荒井堤のアオコ(H25.9)
b:アオコの光学顕微鏡写真(300倍)
c:アオコから抽出したクロロフィル濃度の経月変化

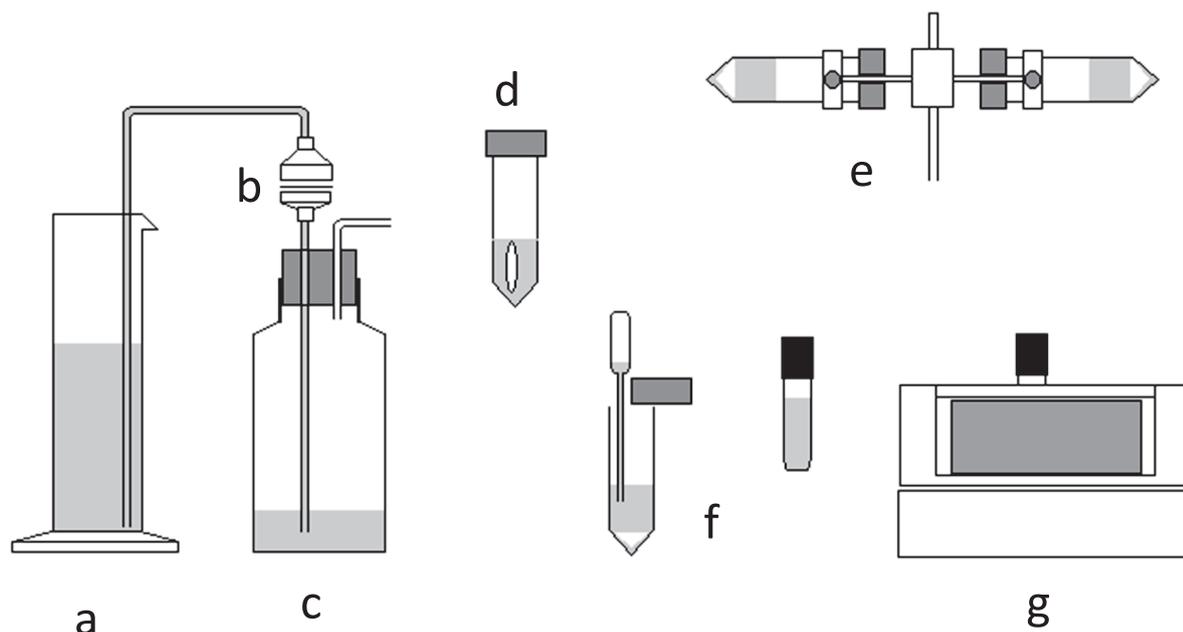


図9. クロロフィルの分析手順⁷⁾

a: メスシリンダー (試料水 100mL ~ 200mL), b: 外径 25mm 円形ガラスろ紙 (GF/F), c: 500mL メジュームビン, d: 遠沈管 (50mL), e: 遠心分離 (3000rpm/min), f: 1mL ポリエチレンスポイト, 蛍光測定セル, g: ターナー蛍光光度計

を加えて遠沈管を振り、ガラスろ紙が遠沈管内の溶液中に白濁分散したら、そのまま遠心分離機にかけ (e)、ろ紙のガラス繊維を沈降凝集させる。遠沈管の溶液表面部分をスポイトで吸い上げ、測定セルに移してクロロフィル蛍光強度を測定する。クロロフィル濃度は、予め作成しておいた検量線データ (クロロフィル a 濃度と蛍光強度の関係を表す) を用いて算出される。

4-4. 生物由来分解有機物の分画

これは、図 5 に示す易生物分解性有機物 (糖類や核酸、タンパク様物質など) と難生物分解性有機物 (フミン質、フルボ酸など) を、カラム分離 (分画実験) し、分画成分の蛍光特性を検出⁸⁾ するものである (図 10)。これは吸着カラムで、分画 1 (糖類・核酸・タンパク質等の親水性化合物群) と分画 2 (主にフミン酸類) に分ける方法である。カラム充填剤は非イオン性の交換樹脂 DAX-8 (Suplite) である。液性の異なる樹脂の中で弱い吸着力の違いを利用して分離する方法で、ゆっくりとした流路の中で行われる (50mL の試料で約 1 時間の実験となる)。試料水を予め、ロータリーエバポレーターで濃縮し、試料水を減量すれば、分離

操作時間を短縮できる。B の操作はカラムを逆向きに固定しなおし溶媒の展開を行うと、吸着帯からの溶出時間を短縮できる。

図 11 の分画 A (酸分画) と分画 B (アルカリ分画) は図 10 の分画で得た溶出液について測定した 3 次元蛍光スペクトルである。分画 A では動物由来の親水性成分 (タンパク質様物質と呼ぶ) の存在が認められ、分画 B では腐植物質 (フミン酸類でフミン質様物質と呼ぶ) の存在が認められた。図 3 (図 5) に示した物質移動 (循環) の中で、いずれも水の有機汚濁を進行させる。

4-5. 生物由来分解有機物の構造特性

水中に腐植物質 (主に水生植物、植物プランクトン由来) が多くなると、水の BOD が低値にもかかわらず COD が高値 (腐植物質の難分解性による) になる現象がみられる。腐植物質には、酸にとけやすい (酸によって沈殿しにくい) フルボ酸類 (humic like) と、酸にとけにくい (アルカリで沈殿しにくい) フミン酸類 (humic like) がある。これらがため池水中に多量に存在し長期に渡って停滞蓄積すると、ヘドロ化や水

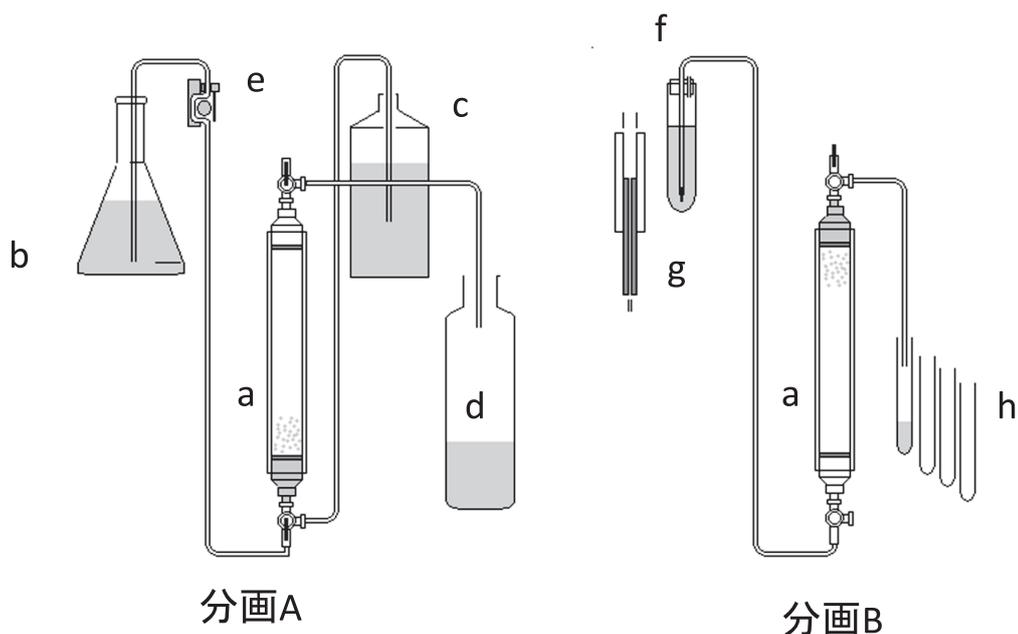


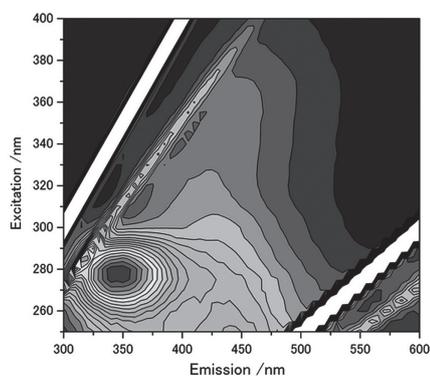
図10. 生物由来分解有機物の分画

分画 A: 酸分画 (流速 1mL/min) 分画 B: アルカリ分画 (流速 0.2 ~ 0.4mL/min)

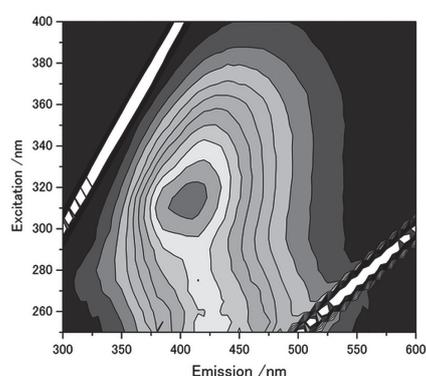
連続分画: A の分画操作の後, カラムを逆向きに変え B の分画操作を行う.

a: 自作カラム (内径 10mm, カラム長 10cm のガラス管, 両端にガラスろ紙 (GF/F) をアダプターで固定, 充填剤: DAX-8Suprlite), b: 試料水 (ガラスろ紙 GF/F でろ過した液), c: HCl 水溶液 (pH2). d: カラム通過液 (糖, 核酸, タンパク質等の親水性・塩基性の有機物が含まれる酸性溶液), e: 流速調整コック, f: 0.1N NaOH 水溶液 (10mL) (吸着物の溶離液), g: f シリコンチューブ (内径 2mm) の先端に内径 0.1mm のシリコンチューブを取り付け, 流速をおよそ 0.2mL ~ 0.4mL に減速して溶離), h: 溶離液 (フルボ酸やフミン酸等の酸性成分が含まれるアルカリ溶液)

| 物質群 | 成分 | 蛍光特性 | |
|----------------|---------|---------|------------------------------------|
| アミノ酸・タンパク質・糖類等 | チロシン | 270/350 | 275/300, 225/295 |
| | トリプトファン | | 280/330, 275/350, 230/345, 225/350 |
| 腐植物質 | フミン酸 | 250/435 | 320/420 (疎水性酸) |
| | フルボ酸 | 335/435 | 300/420 |



タンパク質様物質 (分画A)



フミン質様物質 (分画B)

図11. 分画成分の3次元蛍光スペクトル

の腐乱化を引き起こす。これらの有機化合物の構造特性（分子サイズ）を調べることは、有機汚濁の動態を推論するのに有意義である。そのための方法にゲルろ過クロマトグラフィーがある。

図 12 に示すように、ゲルろ過クロマトグラフィーは、一定の大きさの孔をもった微細な多孔質ビーズ（高分子樹脂ゲル）をカラムに詰め（a）、カラム先端に少量の試料水を充填し、水を溶媒としてカラムの上側から下側へ展開していく。試料中の有機成分はビーズの孔を巡りながらカラムを通過していくが、有機成分の分子サイズがビーズの孔より大きい場合は、有機成分は孔の中に入れない。ビーズの間隙を通して展開溶媒の流速にあわせてカラムを通過するだけなので、カラムから抜け出す時間は短い。一方、分子サイズがビーズの孔より小さい場合は、有機成分が樹脂の孔の中を巡りながらカラム内を移動するので、見かけの行路長は長くなり、カラムから抜け出す時間も長くなる。このように、有機成分のカラム内に滞在する時間（保持時間）を計測すれば、その成分の分子サイズ（およその分子量）を求めることができる。

ゲルろ過クロマトグラフィーによる分離では、孔の異なるゲルを用いて（ゲルの種類と量を変えて）実験すると、成分の分子量についてより確度の高い解釈が行える。図 12 A,B,C に示したゲルろ過カラムは、カラム充填剤とカラム管の大きさを変えたものである。カラム A は充填剤として Sephadex G15（分画可能な分子量範囲は分子量 1500 以下）を用いており、腐植物質の成分分離におよそ 3 時間を要する。カラム A,B,C の特性は、標準試料としてブルーデキストリン（平均分子量 200 万）とシアノコバラミン（ビタミン B12、分子量 1350）を用いて、それぞれ各成分の保持時間を求めて評価する。カラム C は、およそ 1 時間で測定結果が得られる。保持時間が短い分シャープなクロマトグラムを観測でき、成分の保持時間の読み取りも可能であり、実用的なカラムである。

一方、カラム B はカラム C に比べると測定時間が長く（約 3 時間）、成分の保持時間に大きな差が認められる。同一試料についてカラム A とカラム B の両方を用いて実験すれば、成分（特に高分子量の分子）について確度の高い情報を得ることができる。

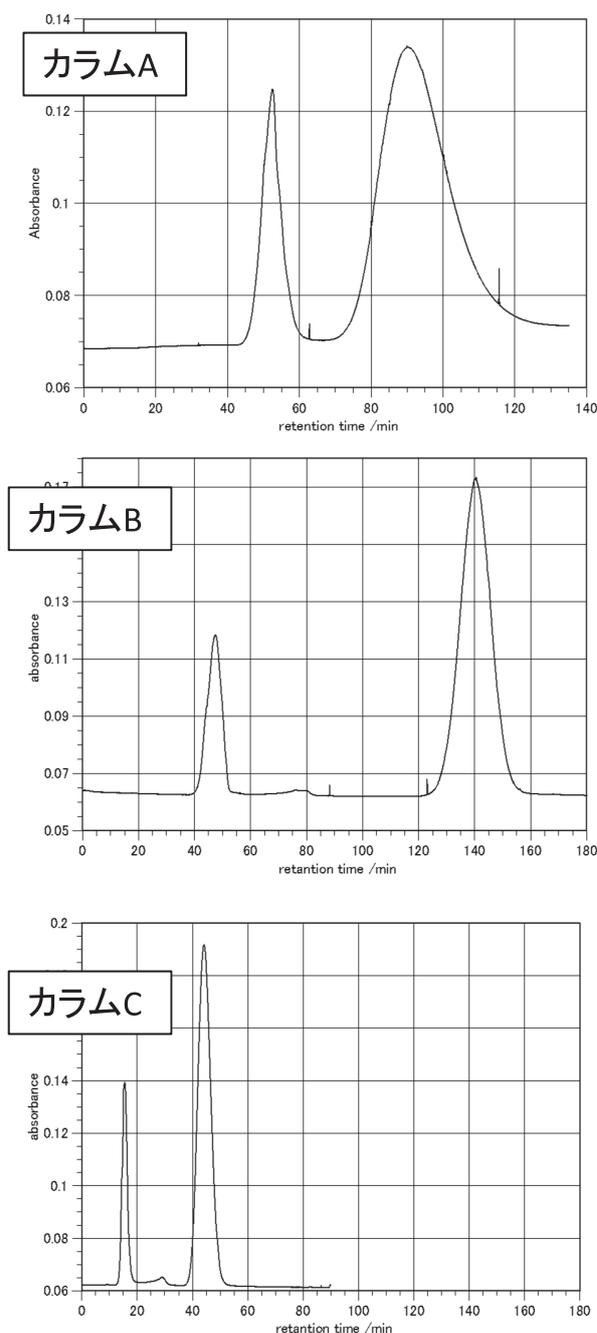


図 13. ゲルろ過クロマトグラフ(カラムA,B,C)

カラム A: 充填剤 SephadexG15 (分子量 1500 以下)
カラム長 300mm カラム管 (外径 350mm 内径 26mm)
カラム B: 充填剤 SephadexG50 (分子量 5000 以下)
カラム長 300mm カラム管 (外径 350mm 内径 26mm)
カラム C: 充填剤 SephadexG50 (分子量 5000 以下)
カラム長 160mm カラム管 (外径 190mm 内径 14mm)

展開水流速 1.0mL/min 展開溶媒 蒸留水
UV モニター $\lambda = 220\text{nm}$ Cell : 2mm フローセル
標準試料 1.0mL (ブルーデキストリン (BD6mg/10mL) 水溶液 1mL とシアノコバラミン (B12 6.2mg/10mL) 水溶液 0.5mL の混合水溶液 1mL (BD 0.7 + B12 0.4))

5. まとめ

公園池のような閉鎖性ため池の富栄養化と有機汚濁化は、水塊の腐乱化（腐乱性水系への移行）を生み出す。公園池が人の暮らしに密接した閉鎖性の高いため池であり、環境保全の立場から、ため池の水環境（豊かな生態系による自浄能力を発揮した池）を守る（監視する）ための水質モニタリングは有用である。

本研究では、閉鎖性ため池の汚濁の実態把握と将来予測に、「有機汚濁バックグラウンド」という概念を導入し、バックグラウンドのレベルを評価する分析法として、有機汚濁指標、富栄養化関連項目（クロロフィル）、腐植物質の特性評価（起源分析と分子量測定）の項目を取り上げた。この分析法は、ため池の実態や保全に向けた環境理解の促進に役立つものである。

引用文献及び脚注

- 1) 三品佳子・三好直哉・村松隆, 2014, ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発 (II) - 腐植物質の物性評価に関する簡易実験法 -, 環境教育研究紀要, 16, pp.1-6,
- 2) 三好直哉・三品佳子・村松隆, 2013, ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発, 環境教育研究紀要, 15, pp. 49-55
- 3) 例えば, 丸田沢ため池 (仙台市泉区上谷刈), 荒井堤 (岩沼市朝日山公園) のようなため池である。
- 4) 国立環境研究所編, 2001, 湖沼において増大する難分解性有機物の発生原因と影響評価に関する研究報告, 国立環境研究所特別研究報告, pp 1-39.
- 5) 日本分析化学会北海道支部編, 1995, 水の分析 第4版 (化学同人)
- 6) 荒川 豊, 北田茂 1994, 電量滴定法を用いた COD 測定技術, 衛生工学シンポジウム論文集, 2: 31-36.
- 7) 富栄養化状態により異なる。富栄養化が顕著に現れている場合は 50 mL 程度でよい。
- 8) 福島武彦, 中島俊之, 今井章雄, 松重一夫, 尾崎則篤, 2001, EEMS による水中の溶存有機物の特性解析, 水環境学会誌, 24 巻, pp. 686 - 692.

視認性を重視したサイエンス教材の開発 (1)¹⁾

— 二酸化炭素の発生と性質に関する実験 —

三品佳子*・加藤慎也**・村松 隆***

Development of Science Teaching Materials in Consideration of High Visibility.
- Experiment on Gas Generation and Characters of Carbon Dioxide -

Yoshiko MISHINA, Shinya KATO and Takashi MURAMATSU

要旨: 二酸化炭素の発生と性質に関する実験法として、着色変化や反応物の減少に伴う物質生成量の増加などを直接目で確認し、化学反応式に密接させて省察できるサイエンス教材を開発した。これは、実際の現象変化を視認し、量的把握を加え、より深化した理解に基づく表現力やコミュニケーション力の育成に役立つ。

キーワード: 環境科学実験, 二酸化炭素, 物の溶け方, 燃焼

1. はじめに

学校の授業の中で、二酸化炭素を材料に取り上げた教材は多数ある。燃焼の仕組み、人の体のつくりと働き、地球温暖化、世界の中の日本（資源エネルギー）など、扱われる内容も様々である。環境教育との関連では、二酸化炭素が自然環境や暮らしに密接した物質であることから、例えば燃焼の学習に、環境影響やライフスタイルに関わる課題などを入れ、発展的な学びへ誘導する工夫もなされている。²⁾

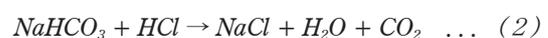
ところで、新しい学習指導要領では、教科（特定しない多くの教科）に言語活動を取り入れ、思考力・判断力・表現力の育成を強化することが指摘されている。³⁾ 例えば、自然を題材とした体験型の総合学習では、自然の実態を直接目で確かめ、その変化・変容に量的把握を加え、多面的・多角的な解釈とコミュニケーション（振り返り）が行われている。理解の深化を図る視認性を重視したサイエンス教材は、まさにこのような取り組みの中で活用されるものである。

著者らは、視認を意図したサイエンス教材の構築を進めている。本報では、二酸化炭素の発生と性質に関する実験法について報告するが、二酸化炭素の水への溶解が、「どのようにどのくらい」進むのか、燃焼で

二酸化炭素が発生するが、「どのように起こり、どのくらい」発生するかという、動的な過程を目視し、容量的な変化をみることを重視した。物質の化学反応や状態変化などの動的プロセスを定量的に追跡し、現象理解を深化させるための教材である。

2. 二酸化炭素の性状と視認

二酸化炭素（気体）を捕集するには幾つかの方法がある。炭酸ナトリウムに酸を加えて発生させる方法、炭酸カルシウムに塩酸（または酢酸）を加えて発生させる方法、炭酸水素ナトリウム（重曹）を加熱もしくは酸を加えて発生させる方法、炭酸水素ナトリウムにコハク酸と水を加えて発生させる方法などがよく知られている。本研究では、多量の二酸化炭素を穏やかな条件で捕集できること、発生過程と仕組みが分かりやすいことを考慮し、炭酸ナトリウム水溶液と塩酸の反応を取り上げた。炭酸ナトリウム水溶液に塩酸を滴下する反応は、次式に示すように2段階の過程からなる。



* 宮城教育大学理科教育講座, ** 宮城教育大学教職大学院, *** 宮城教育大学環境教育実践研究センター

指示薬としてフェノールフタレインとメチルオレンジの混合溶液を用いて塩酸をゆっくり滴下していくと、まず、(1) 式の反応が進み、フェノールフタレインの変色域 (pH 8 ~ 10) で、溶液色が赤から黄色 (フェノールフタレインが赤から無色になり、メチルオレンジによる黄色の呈色が残る) に変わる。さらに滴下を続けると、液性がメチルオレンジの変色域 (およそ pH3.1 ~ 4.4) に達し、(2) 式の反応によって溶液の色が黄色から赤色に変わる。このメチルオレンジの変色域で二酸化炭素が最も激しく発生することになる。

このように、炭酸ナトリウム水溶液への塩酸の滴下をゆっくり行くと、混合指示薬の呈色変化によって、反応を段階的に追跡でき、二酸化炭素発生仕組み (化学反応の仕組み) をよく理解することができる。しかも、反応過程で発生する二酸化炭素をゴムふうせんに捕集すると、(1) 式から分かるように、塩酸の滴下当初は、あまり膨らまないが、(2) 式に到達する段階で急激に膨らみ出すことや、塩酸の滴下量を多くして行くと、(3) 式 ((1) 式と (2) 式の和をとった反応式) に示すように、見かけ上一段階反応として多量の二酸化炭素が激しく発生する。実験操作の方法を変えると、反応の中身や反応の性質の側面を眺められるという例である。



3. 視認性を重視したサイエンス教材

(1) 二酸化炭素の発生実験

炭酸ナトリウム水溶液への塩酸の滴下実験を明瞭に観察するために、図1に示すような発生装置を組み立てた。反応容器は 300mL の三口丸底フラスコ (a) で、これに炭酸ナトリウム水溶液 100mL (炭酸ナトリウム (無水) 24g を水 100mL に溶かした溶液 (25℃)) を入れる。これにフェノールフタレイン液 0.5mL (フェノールフタレイン 1g をエタノール水溶液 (エタノール : 水 = 4:1v/v) 100mL に溶かした溶液)、メチルオレンジ 0.5mL (メチルオレンジ 0.1g を水 100mL に溶かした溶液) を入れる。溶液は赤色を呈する。

図1のb(酸溶液用注射器)には3N塩酸水溶液100mLを入れる(三方栓g1で予め閉じておく)。フ

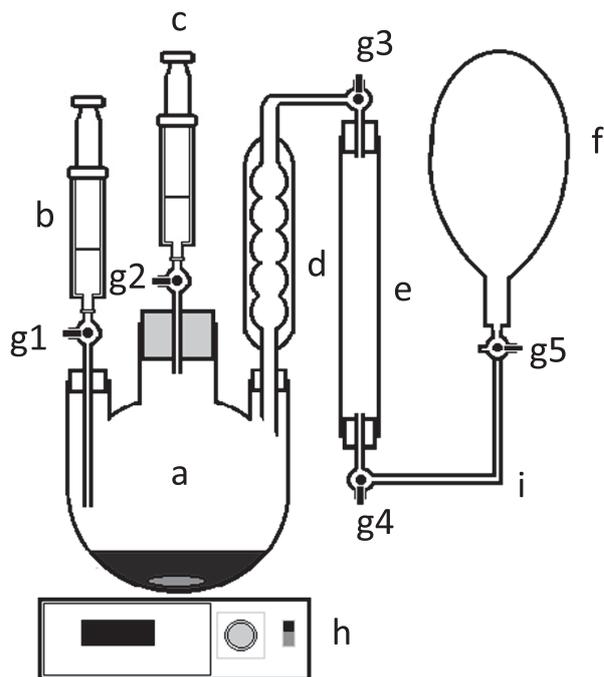


図1. 二酸化炭素の発生装置(教卓演示用)

a: 三口栓付丸底フラスコ(300mL), b: 酸溶液用注射器 (ガラス製100mL), c: 注射器(ガラス製100mL, 種類の異なる応用実験等で使用する), d: 水滴防止コンデンサー (長さ15cm), e: 塩化カルシウム管 (外径2cm,長さ20cmのガラス管), f: ゴムふうせん (最大35cm程度膨らむバルーン), g1~g5: 三方栓 (医療用アクリル製小型三方コック), h: マグネチックスターラー, i: 外径5mm(内径3mm)シリコンチューブ (注射器cの使用法については、引用文献および脚注4)を参照のこと)

ラスコ内 a で発生する二酸化炭素が、水滴防止用のコンデンサー (d) と水分除去用の塩化カルシウム管 (e) を経て、ゴムふうせん (f) に集まるように、全ての三方栓 (g1 から g5 まで) の開閉を調整する。マグネチックスターラー (h) で溶液を攪拌させながら、三方栓 g1 を開いて注射器 b 中の塩酸をフラスコ内 (a) へゆっくり滴下する。この実験で観察される様子を表1にまとめた。

(2) 二酸化炭素 (気体) の精製

ゴムふうせんに集めた気体には、発生装置内の空気も入り込んでいる。ふうせんに捕集した二酸化炭素を使って、気体の溶解度実験などを行うためには、捕集した二酸化炭素の純度を高める必要がある。本研究で行った純度を高める操作を図2に示す。図2のaのようにゴムふうせんに接続した試験管を液体窒素中に入

表1. 炭酸ナトリウム水溶液の塩酸による中和反応(図1の装置を使用)

| 滴下した塩酸量/mL | フラスコ内の変化 | ゴムふうせんの膨らみかた |
|------------|---------------|----------------|
| 0 | 赤色 | |
| 50 | 赤色(変化なし) | わずかに膨らむ |
| 60 | 幾分赤みが薄くなる | ほんの少し膨らむ |
| 80 | オレンジ色、泡が出始める | さらにゆっくりと膨らみ始める |
| 90 | 黄色、溶液が泡立つ | 膨らみが速くなる |
| 130 | 黄色 激しい泡 | 膨らみがさらに速くなる |
| 140 | 赤色になる。泡が出なくなる | 膨らみが止まる |

炭酸ナトリウム水溶液 (24g/100mL(25°C)) , 塩酸 : 3N HCl
 この実験スケールで、およそ4リットル相当の二酸化炭素(ゴムふうせんが直径20cm程度の大きさに膨らむ)を捕集できる。

れるとbのように、試験管内部に白い固まり(ドライアイス)が生ずる。この段階で三方栓の一方から水流ポンプで試験管内の空気を脱気する。脱気は試験管を液体窒素から取り出して行う。数分間脱気した後、三方栓を閉じて試験管内のドライアイスを利用してゴムふうせんを膨らませる。このような方法でガスの精製

を行い溶解度実験等に利用した。

(3) 二酸化炭素(気体)の水への溶解実験

図3は、二酸化炭素の溶解度の温度依存性を示したものである。⁵⁾ 比較のため、酸素についても示した。二酸化炭素は、図3から分かるように、1気圧10°Cのものでは、水1容に二酸化炭素1.2容が溶ける。つまり、1本の注射器に10°Cの水10mLを入れ、別の注射器に10°Cの二酸化炭素12mL(注射器目盛)を入れ、二酸化炭素を水側の注射器に移す。10°Cに保ちながら注射器をよく振ると、注射器内の気体は消えることになる。

この実験は一見簡単そうに見えるが、実際は、温度など一定条件を満たす操作が面倒で、予想通りの結果が得られないことが多い。演示実験や生徒実験には向かない。そこで、二酸化炭素の水に対する溶解度実験

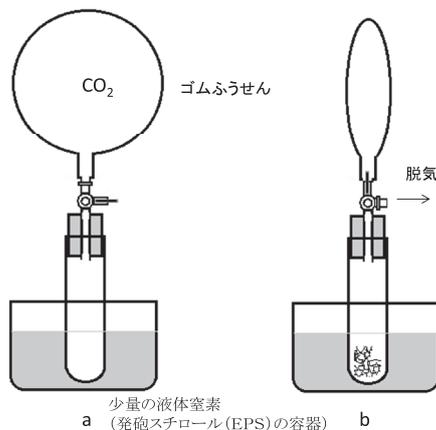


図2. 二酸化炭素(気体)の精製とドライアイス

a:炭酸ガス発生装置を用いて収集した炭酸ガスの密閉容器を液体窒素に入れた場合、b:炭酸ガスが凝集してドライアイスがつくられる。ふうせんがしぼんだ後、容器を液体窒素から取り出し、三方栓を通してアスピレーター(あるいは脱気用のポンプ)で空気を脱気する。c:脱気後、bのドライアイスを利用し、より純度の高い炭酸ガスを注射器に捕集する。

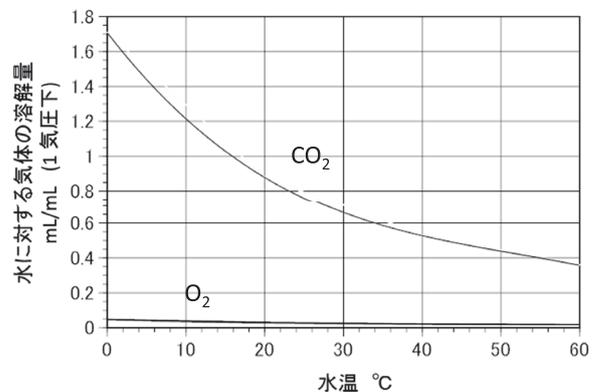


図3. 水に対する気体の溶解度 (cm³/cm³)

水と接している気体の圧力が1気圧のとき、水1mL中に溶けている気体の量を標準状態に換算した体積として求めたもの。

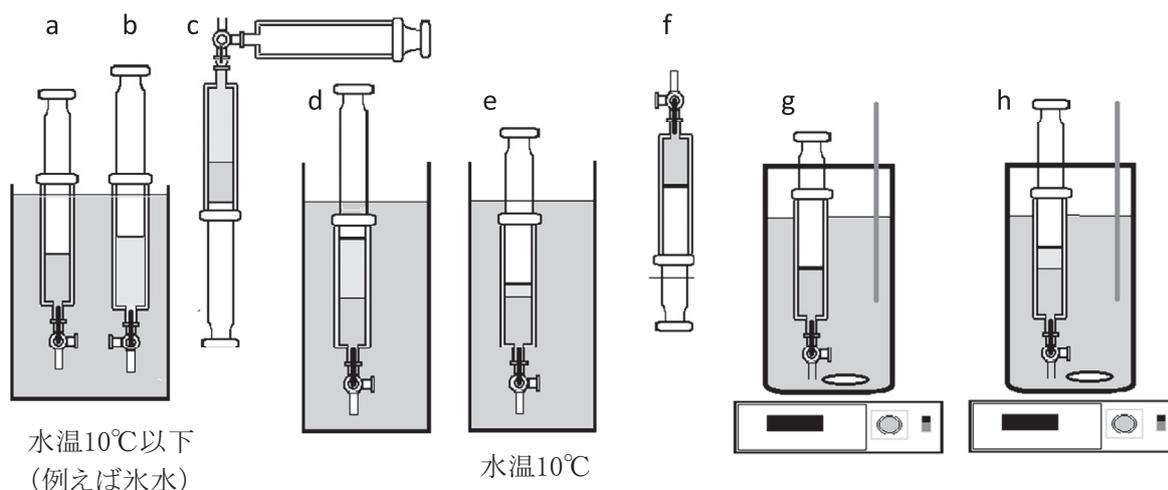


図4. 二酸化炭素の溶解実験(溶解度に関する実験、10°Cの飽和溶液を基準)

説明

まず、50mL注射器に10mLの水を吸い上げ (a)、別の50mL注射器に二酸化炭素(目盛15mL)を入れる(b)。aとbの注射器に三方栓をとりつけ密閉し、氷冷した水(10°C以下)中に注射器を入れ、約5分間放置する。注射器の目盛に変化が無くなっていることを確認したら、注射器同士を三方栓で結び、二酸化炭素をaの注射器に移す(c)。この注射器を10°Cの恒温水槽の中に入れ、時々注射器を取り出してよく振り、目盛が変化しなくなるまで(約10分程度)水槽中に静置する(e)。二酸化炭素は水に溶解気体量は減少するが、過剰量使用しているため過剰分が残る。この過剰分を注射器から押し出す(f)。f内の水溶液が10°Cにおける二酸化炭素の飽和溶液である。この注射器を10°C以上の所定温度の水槽に入れると、最初はgのように気体は全く見えないが、しばらくすると気泡が発生し始め、水温に応じた量の二酸化炭素が現れてくる(h)。注射器を使った実験では、この溶解の温度変化は可逆的である。同様の実験を他の気体(例えば、空気や窒素ガス、酸素ガスなど教材用に市販されているボンベガス)を使って比較すると、気体の種類によって全く異なった変化が見られる(視認の比較)。

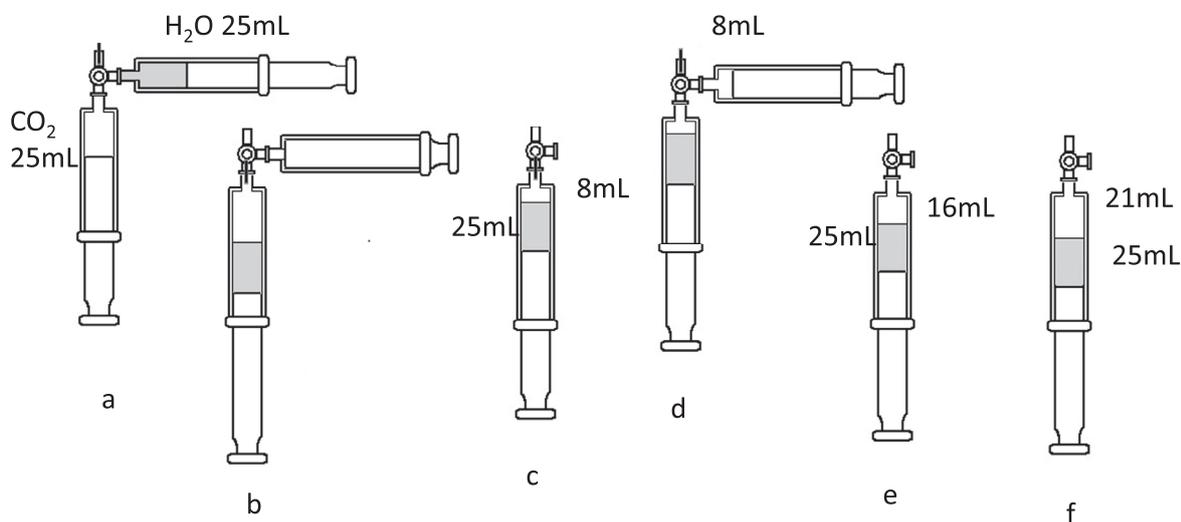


図5. 二酸化炭素の溶解に関する実験(気体の分圧の影響、1気圧定温(20°C)実験)

説明

aに示すように、二酸化炭素(目盛25mL)の入った注射器に蒸留水25mLを静かに移す。注射器の目盛は合計50mLとなる(b)。このbの注射器を三方栓で密閉しよく振ると(約2分程度)、注射器内の気体の一部が水に溶解cようになる。図中の値(mL)は約20°Cで行った時の実測値で、8mLの二酸化炭素が残留していた。そこでこの8mLの気体量と同じ容量の空気を注射器内に導入する(d)。導入当初その気体の容積はeのように16mLとなるが、注射器をよく振り内容物を混ぜると、注射器内の気体部分が占める容積は21mL(f)のようになった。fとdの差は水の水蒸気圧等では説明できない。密閉系において気液平衡が成立する条件では、気体の液体への溶解量は、液体と平衡にある気体の分圧に比例する。このような実験は不思議な現象として、小学校や中学校でのサイエンススクール(出前授業、模擬授業)でも利用できる。

として、視認しやすく簡単な方法を検討した。その結果を図4に示す。また、溶解度実験の応用として分圧の影響をみる実験例を図5に示す。

(4) ドライアイスを使った状態変化

図6にガラス製のピストンを使い、二酸化炭素の状態変化で液化した二酸化炭素を観察する方法を示す。ピストンの上げ下げを素早く行って見られる現象変化で、容器内と外部との熱の移動は無視できるため、ピストンによる体積変化は定温の断熱的膨張・圧縮による状態変化である。

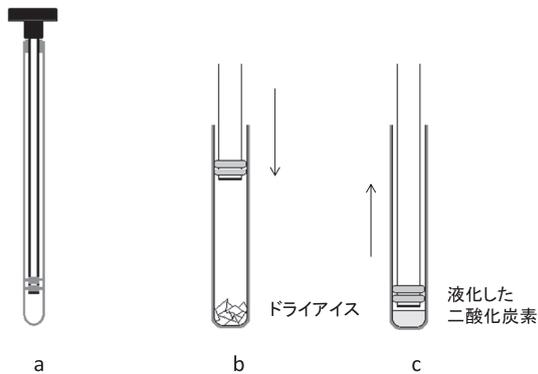


図6. ドライアイスを用いた状態変化(液態の二酸化炭素の観察)

a: 圧力式発火器(耐圧ガラス管(外形10mm)に金属製のピストンを取り付けた道具), b: aの内部にドライアイス(粉体)を少量入れ、上部からピストンを押して圧力をかける。c: ピストンが押されると、気体が圧縮されドライアイスが溶けて液化した二酸化炭素を見ることができる。次にcの段階で、ピストンを急に引き上げると、体積が膨張し、二酸化炭素は固体すなわちドライアイスに変化する。

(5) 燃焼実験(二酸化炭素と酸素の定量)

二酸化炭素の実験として、アルコールの燃焼実験を取り上げる。この燃焼実験では、燃焼に用いるアルコール量に関係せず、密閉容器内でアルコールの炎が消えるまでに、どの位の酸素量が使われ、どの位の量の二酸化炭素が発生したのかを見る。

アルコールの燃焼の特徴として、①完全燃焼させる条件を設定しやすい、②燃焼の化学反応式が単純で、現象変化を量論的に解釈しやすい、③実験装置を簡単に組み立てることができる、ことが上げられる⁵⁾。燃焼実験では、アルコール以外に、例えばろうそくを利用できる。装置内の着火部を図7のように作り、目的に応じて選択できるようにするとよい。

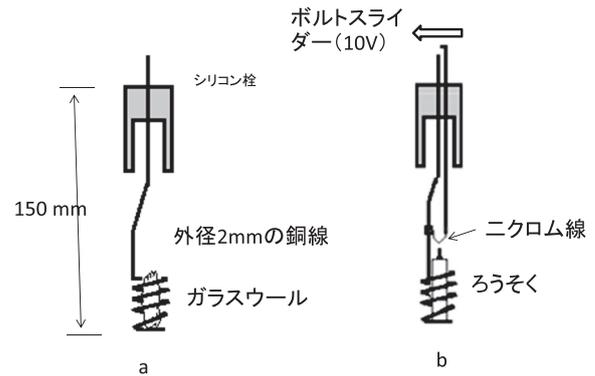


図7. 着火方式の異なる燃焼カートリッジ

a: 投げ込み方式, b: 内部着火方式。図8の燃焼用の三口フラスコに取り付ける燃焼カートリッジである。

図7aの方法は、ガラスウールにアルコール4滴程度浸み込ませ(エタノールでおよそ0.1g)、燃焼容器の外で着火し、直ちに密閉容器に入れる方法である。bの方法は、予め密閉容器内に固定し、ニクロム線の赤熱を利用してろうそくに炎をつける方法である(ろうそくの燃焼の場合にはbの方法がよい)。アルコールの着火をbの方法で行うと、ニクロム線の赤熱で、アルコールが着火する前に気化し、アルコール蒸気が容器内を満たすので注意が必要である。

図8は、投げ込み方式(図7a)で燃焼実験を行う場合の燃焼実験装置を示したものである。エチルアルコールの燃焼実験方法を以下に述べる。

アルコールの燃焼は、炎が明るく、燃えている様子が分かりやすいエチルアルコールを選んだ。エチルアルコールの完全燃焼は次式で与えられる。



エチルアルコール4滴(約0.1g)をガラスウールに滴下し、容器外で着火させる。ガラスウールでアルコールが燃え始めるので、カートリッジを素早く容器内に入れ密栓する。約5秒間程度の燃焼で炎が消える。エチルアルコール4滴を容器外の開放形で燃焼させると、約10秒間は燃焼を続けるが、燃焼時間がおよそ5秒程度ということは、容器内に未燃焼のアルコールが残っており、燃焼に必要な酸素が全て使われたと言うことになる。この実験で、酸素がどのくらい使われ、そして二酸化炭素量がどのくらい発生したかを“視認

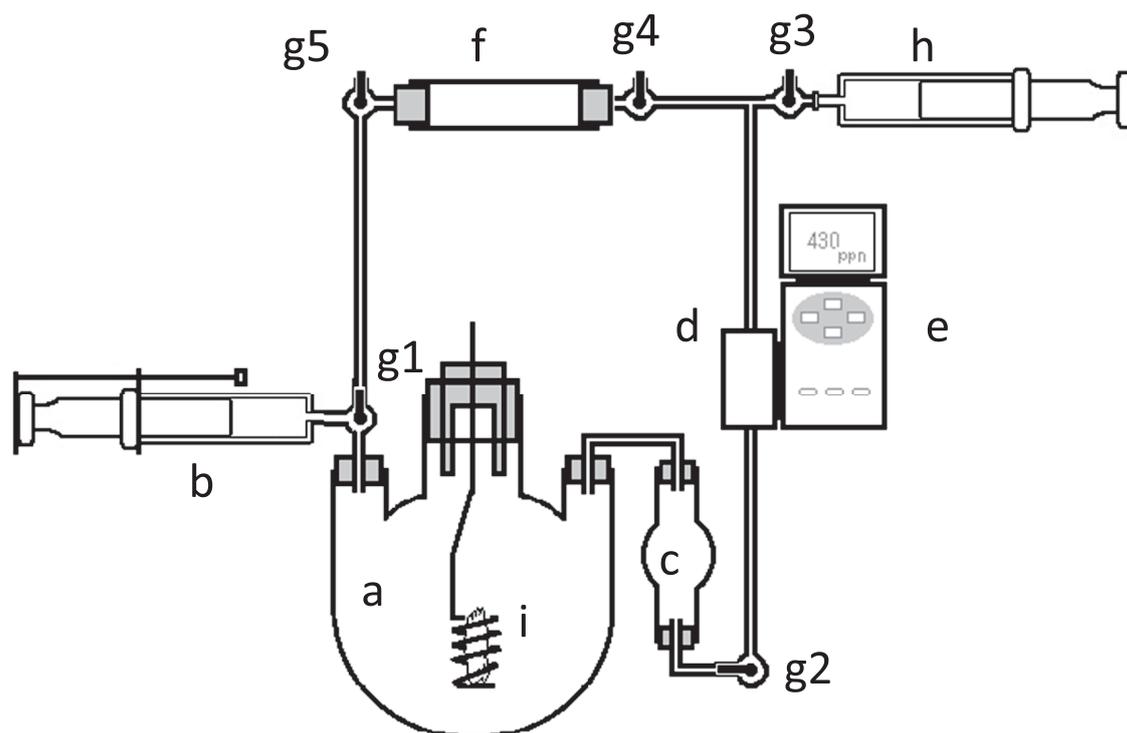


図8. 投げ込み方式の燃焼装置(教卓演示用)

a: 三口丸底フラスコ (200mL 耐熱性の広口ピン TS42/29), b: 注射器 (ガラス製 100mL, 容器内酸素消費量測定用, ストッパー付), c: 塩化カルシウム管 (長さ 10cm), d: 空気ポンプ (100mL/min), e: 空気ポンプに連結した CO₂ メーター (d と e を合わせて CO₂ フローメーター), f: ソーダー石灰カラム (二酸化炭素吸収用, 外形 2cm 長さ 10cm ガラス管), g1, g2, g3, g4: 三方栓, h: 注射器 (ガラス 100mL, 二酸化炭素吸収量測定用), i: 燃焼部 (外径 3mm 銅線でまいたらせん内部にガラスウールをつめたもの)

説明 (燃焼実験操作)

1. 注射器 b と h には窒素ガスを充填しておく。これは図 9 に示すように燃焼によって失われた容器内の酸素ガスや発生した二酸化炭素の量を計量するために用いる。燃焼を始める前は、三方栓 g1 と g2 を操作して、a, b, c で一つの閉じた空間をつくる。およそこの空間の酸素が燃焼で使われる。
2. 図 8 の i は図 7 の a に示した投げ込み式 (カートリッジ式) の着火部で、これをフラスコから外に取り出し、銅らせん中心のガラスウールにエチルアルコール 4 滴を滴下する。次にガラスウールに火をつけ、炎が出ていることを確認しながら素早く燃焼容器 a の中に入れ密閉する。(注: 炎をゆっくり燃焼容器に入れると、炎が周囲から空気を巻き込み (炎と一緒に外から酸素が容器に入り込む)、正しい結果が得られない場合があるので注意すること。)
3. エチルアルコールがフラスコの密閉容器中で燃えている間 (5 秒程度) は、発熱で容器内の気体が膨張するが、膨張により容器内の気体が外部に漏れないように密栓を強くしておく。注射器 b にストッパーを取り付けているのはこのためである。エチルアルコールの炎が消え、容器内の気温が室温に戻る間、注射器 b の窒素ガスがフラスコ容器内に吸い込まれていく。容器内が外圧 (すなわち 1 気圧) になると注射器 b のピストンが動かなくなる。この段階でフラスコに移動した窒素ガスを量取りする。これがエチルアルコールの燃焼で生じた見かけの体積変化 X (減量値) である。
4. 次に燃焼後の容器内に閉じ込められた気体を内部循環させ、気流中に含まれる水と水蒸気、二酸化炭素 (気体) を次のような手順で取り除いていく。まず、容器内の気体が a → c → d → h → f → a の経路で循環できるように、三方栓 g1, g2, g3, g4, g5 の開閉をセットする。なお、g1 のコックで注射器 b を遮断しておく。次に、空気ポンプ (d) を作動させ気体を内部循環させる。この循環で、まず、燃焼で発生した a の中に含まれる水と水蒸気は塩化カルシウム管 (c) で除かれる。また、生成した二酸化炭素は d の空気ポンプに接続された二酸化炭素センサー (e) で濃度 (ppmv) がモニターされ、その後、f (ソーダー石灰カラム) に入り、二酸化炭素 (気体) が吸収される。気体の吸収でその分減圧化するので、減圧した分の窒素ガスが注射器 h から経路中へ供給される。この循環により、気流圧が常に外圧 (1 気圧) に保たれ、水分と二酸化炭素が除かれていく。注射器 b で読み取られた量が燃焼で使われた酸素量と発生した二酸化炭素量の合計であり、見かけ上減量値として与えられる。また、注射器 h で読み取られた値は燃焼で発生した二酸化炭素量である。(いずれも値の読み取り値に、水の蒸気圧を考慮していない)。

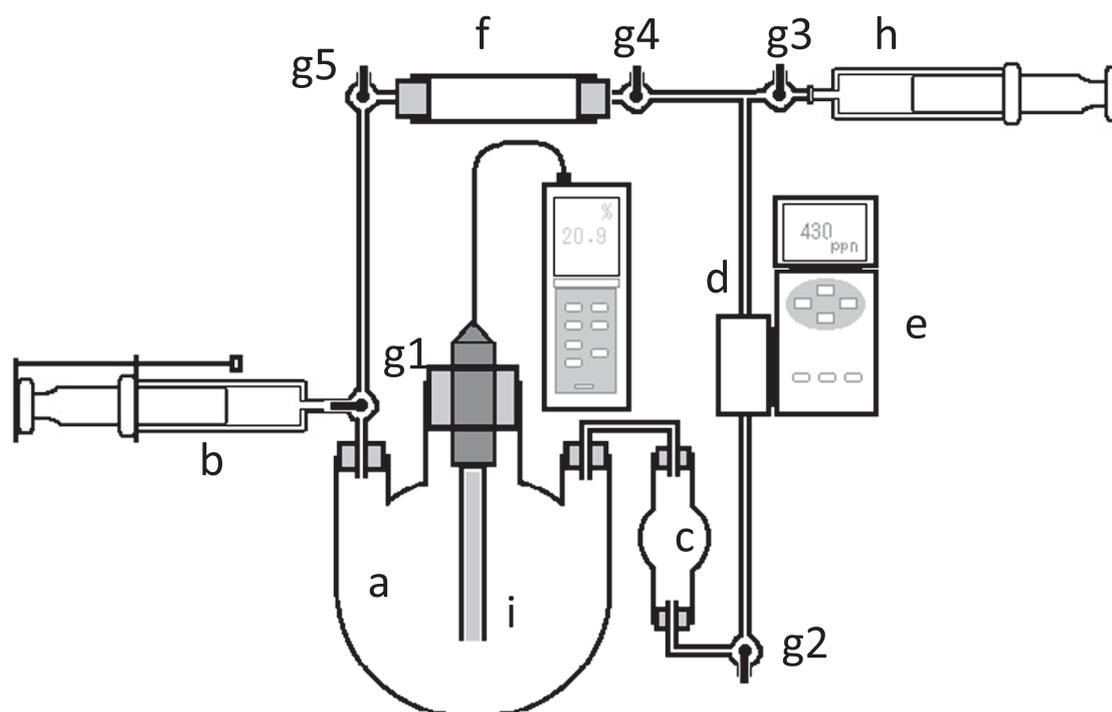


図9. 燃焼で使われた酸素量を測定する装置

a: 三口丸底フラスコ (200mL 耐熱性の広口ピン TS42/29), b: ガラス製 100mL 注射器 (ストッパー付), c: 塩化カルシウム管 (長さ 10cm), d: 空気ポンプ (100mL/min), e: 空気ポンプに連結した CO₂ メーター (d と e を合わせて CO₂ フローメーター), f: ソーダー石灰カラム (CO₂ 吸収用、外形 2cm 長さ 10cm ガラス管), g1, g2, g3, g4, g5: 三方栓, h: 二酸化炭素吸収量測定用 100mL 注射器, i: 酸素濃度測定センサー (DO センサー、大気濃度観測モード)

すること”が重要な要素である。(3)式から分かるように、燃焼後に生成する水と水蒸気を除去すれば、反応は酸素 3 容の減で二酸化炭素 2 容の増に相当する変化なので、注射器 (ガラス製) を用いて体積変化を計量することで反応の中身を理解できる。その実験操作を図 8 にまとめた。

図 8 に述べた操作で、燃焼反応の定量的扱いを以下のように実験結果の一例として述べる。

4 滴のエチルアルコールの密閉容器内での燃焼によって、正味の体積変化 (減少量 X) は注射器 b の目盛で 13mL (X=13mL)。発生した二酸化炭素量 (= 二酸化炭素の吸収量 (注射器 h)) は 19mL (Y=19 mL)。

燃焼で使われた酸素量 Z (mL) は

$$Z=13 + 19= 32\text{mL}$$

よって $Z:Y = 32:19 = 3.3:2.0 \sim 3:2$

となり、(3)式の変化と一致した結果を得た。

この実験では使われた酸素量が 32mL という事は、燃焼室の容積がおよそ 330mL で、その中に含まれて

いた酸素量は $330 \times 0.209 = 69\text{mL}$ だから、燃焼に使われた酸素量 32mL は全体の 46% を占める。アルコール数滴の燃焼で容器に含まれる酸素のおよそ半分が使われたことになる。

このような燃焼による酸素の消費量 (減量) を調べるために、図 9 のような装置を組み立てた。酸素濃度計 (大気測定モード) を用いて、気流中の酸素濃度 (%) を求めてみると、燃焼前の酸素濃度 20.9% が、燃焼後に 10.9% に減少していた。すなわち $(10.9/20.9) \times 100 = 52\%$ 、すなわち、燃焼で使われた酸素量は全体のおよそ半分の 48% で、前述の結果 (46%) と一致している。アルコールの燃焼実験が、視認を重視したサイエンス教材として位置づく根拠は、ごくわずかな量のアルコール量 (数滴) の燃焼でも、酸素の減量と二酸化炭素の増量を大きな容量変化 (注射器のピストンの動き) として目で確かめることができるということ、そして、二酸化炭素とソーダー石灰、水と塩化カルシウムの反応が進む様子を視認できることで、

それぞれの物質の性質や役割を理解しやすくなること
が上げられる。

4. さいごに

視認性を重視したサイエンス教材の開発として二酸化炭素の発生と性質に関する実験方法を検討した。化学反応を追跡し、反応式に従った物質変化を定量的に追跡するための装置をつくり、着色変化、反応物量の減少に伴う生成物の生成量など、現象の動的变化を直接目で確認し、化学式に合わせて解釈し表現できるよう実験方法と手順を工夫した。

本研究で扱うサイエンス教材は、様々な動きを伴う不思議な現象を体感したり、実際の現象を目で確かめながら、内容を省察したり、量的把握を加えて理解を深め、表現力やコミュニケーション力の強化に役立てることができる。

本研究は、著者らの環境科学分析技術^{7a, 7b)}を背景に、小中学校における理科実験教室⁸⁾や高校コアサイエンス活動⁹⁾での取り組み経験を活かし、大学学部講義（環境関連科目）、教職大学院での学校研究、現職教員のための各種研修用教材として活用できるようにまとめたものである。

引用文献および脚注

- 1) この研究は環境教育及び環境科学実験教材の開発の一環で行ったものである。シリーズの型の研究として三品佳子、視認性を重視したサイエンス教材の開発（2）- オゾンの発生と性質に関する実験（未投稿）がある。
- 2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター，2007，環境教育指導資料小学校編第3章，p43-82.

- 3) 文部科学省，2008，小学校学習指導要領新学習指導要領・生きる力。
- 4) 例えば，注射器 c に 3*N* 水酸化ナトリウム水溶液をいれ，反応後の酸溶液へ滴下し，フラスコの水溶液をアルカリ性に変える。ゴムふうせんに捕集した二酸化炭素が次第に溶液に吸収されていく様子を観察できる。加えて pH を調節すれば指示薬の色の変化も同時に起こさせることもできるなど，装置をつかった実験を工夫することができる。
- 5) 化学便覧基礎編改訂 5 版，丸善，気体の溶解度，II - 144
- 6) 燃焼実験に使用するアルコールとしてはエタノール，2-プロパノール（イソプロピルアルコール）が適当である。燃焼で，炎が明るく，容器内での炎の様子を明瞭に観察できる。メチルアルコールは最も燃えやすいが炎が見えにくい。さらに，ブタノールに始まる C4 以上のアルコールは不完全燃焼しやすく燃焼実験にはあまり適さない。
- 7) a) 三品佳子・三好直哉・村松隆，2014，ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発（II）- 腐植物質の物性評価に関する簡易実験法 -，環境教育研究紀要，16，pp.1-6, b) 三好直哉・三品佳子・村松隆，2013，ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発，環境教育研究紀要，15，pp. 49-55
- 8) 村松隆，2014，平成 26 年度岩沼市教育委員会事業 只野文哉記念小中学校科学技術奨励事業第 9 回サイエンス・スクール。
- 9) 村松隆，2014，環境理解とその実験的検証，平成 26 年度コア SSH 探求講座（仙台第三高等学校）

平成26年度活動報告

【主催事業】

免許状更新講習

- 7月5日(土) 青葉山環境教育セミナー・動物標本の作成入門(齊藤)
- 7月23日(水) 青葉山環境教育セミナー・学校飼育動物入門(齊藤)
- 7月28日(月)～29日(火) ESD・持続発展教育入門 in 気仙沼(溝田)
- 7月31日(木) 青葉山環境教育セミナー・動物園学習の企画と実践(齊藤)
- 8月20日(水)～21日(木) ESD・持続発展教育入門 in 白石(溝田)
- 8月22日(金) 情報特講ダイジェスト(鶴川)
- 8月23日(土)～24日(日) 環境科学—水環境へのアプローチと解釈—(村松)
- 9月27日(土) 青葉山環境教育セミナー・「校庭の教育資源」活用術(溝田)
- 12月24日(水) 青葉山環境教育セミナー・動物園で学ぶ動物の生活と行動(齊藤)

公開講座

- 7月5日(土) 青葉山環境教育セミナー・動物標本の作成入門(齊藤)
- 7月23日(水) 青葉山環境教育セミナー・学校飼育動物入門(齊藤)
- 7月28日(月)～29日(火) ESD・持続発展教育入門 in 気仙沼(溝田)
- 7月31日(木) 青葉山環境教育セミナー・動物園学習の企画と実践(齊藤)
- 8月20日(水)～21日(木) ESD・持続発展教育入門 in 白石(溝田)
- 8月22日(金) 児童生徒の携帯電話の利用実態の把握と適切な指導法(鶴川)
- 8月30日(土) iPad, Androidなどタブレット型端末の教育的利用法(鶴川)
- 12月24日(水) 青葉山環境教育セミナー・動物園で学ぶ動物の生活と行動(齊藤)

【受託事業】

- 10月20日(月)～11月7日(金)
- JICA集団研修「教員養成課程における教育改善方法の検討」(齊藤・福地)

【共催事業】

仙台市

- 仙台市環境出前講座ネットワークへの協力(鶴川・齊藤・溝田・西城)
- 4月15日(火) 仙台市環境局リフレッシャー教材園見学(齊藤・溝田・福地)
- 8月23日(土) 仙台市環境交流サロン教材園体験(齊藤・溝田)
- 「夏休み、親子で学ぶ身近な自然—わたしたちをささえる生き物たち—」
- 9月18日(木) 環境学習「せんだい環境ユースカレッジ」(齊藤・溝田・佐々木・福地)

気仙沼市

- 7月9日(水) 気仙沼ESD/ユネスコスクール研修会(溝田)
- 1月23日(金) 気仙沼ESD/ユネスコスクール研修会(溝田)

登米市

- 4月24日（木）平成26年度環境出前講座及び長沼などの水質改善方策に関する打合せ（登米市市民生活
部環境課）（鵜川・村松・齊藤・溝田・福地）
- 6月7日（土）登米市環境市民会議研修会「登米市の水環境についてー長沼の水質を中心にー」（村松）
- 6月10日（火）登米市環境出前講座（登米小学校）「昆虫について学ぼう」（溝田）
- 6月13日（金）登米市環境出前講座（石森小学校）「昆虫について学ぼう」（溝田）
- 6月24日（火）登米市環境出前講座「川に住む生き物について（生き物さがし）」（棟方）
- 7月1日（火）登米市環境出前講座「川に住む生き物について（生き物さがし）」（棟方）
- 7月3日（木）登米市環境出前講座「みんなの川を調べよう」（村松・棟方）
- 8月8日（金）登米市環境教育リーダー育成講座「生物多様性と環境教育」（齊藤）
- 9月6日（土）第9回登米市公衆衛生大会研修会「登米市の水環境について」（村松）
- 10月19日（日）登米市環境教育リーダー育成講座「里山と昆虫」（溝田・福地）
- 11月28日（金）登米市環境教育リーダー育成講座「登米市の水環境について」（村松）
- 3月5日（木）登米市環境教育リーダー育成講座閉講式（村松・齊藤）

岩沼市

- 10月18日（土）理科大好きフェスティバル：岩沼小学校（村松）
- 10月22日（水）サイエンススクール：岩沼小学校（村松）

仙台市八木山動物公園

- 9月14日（日）環境教育イベント「ザリガニのひみつ」（齊藤・橋本・佐々木）
- 11月3日（月）第9回秋の八木山フェスタ2014（齊藤・橋本）

【附属校園との連携事業】

- 8月4日（月）附属特別支援学校「ヤギとのふれ合い体験」（齊藤・佐々木・福地）
- 8月6日（水）附属特別支援学校「ささげんクラブ」フィールド体験（溝田・佐々木・福地）

【専任職員の地域貢献活動】

- 3月14日（金）せんだいE-Action2013実行委員会（桔梗）
- 3月17日（月）杜の都の市民環境教育・学習推進会議報告会（桔梗・福地）
- 3月19日（水）仙台市環境局環境影響評価審査会（溝田）
- 3月22日（土）宮城県希少野生動植物保護対策検討委員会・昆虫分科会（溝田）
- 3月24日（月）第8回杜の都の市民環境教育・学習推進会議（桔梗・福地）
- 3月27日（木）携帯電話講演：宮城学院女子中学校PTA（鵜川）
- 3月28日（金）新寺こみち市参加（齊藤・佐々木）
- 4月3日（木）宮城県希少野生動植物保護対策検討委員会に係るヒアリング（溝田）
- 4月17日（木）第1回杜の都の市民環境教育・学習推進会議（福地）
- 4月17日（木）宮城県精神医療センター建設事業に係るヒアリング（溝田）
- 4月23日（水）国土交通省仙台海川事務所/仙台湾南部海岸域環境対策検討委員会に係るヒアリング（溝田）

- 4月25日 (金) 宮城県防災砂防課/環境検討委員会 (溝田)
- 5月18日 (日) 気仙沼「こども小泉学」への協力支援 (溝田)
- 5月19日 (月) 河北新報「子ども新聞」取材 (溝田)
- 5月19日 (月) 国土交通省/鳴瀬川総合開発ヒアリング (溝田)
- 5月21日 (水) 携帯電話講演：山元町立山下中学校 (鶴川)
- 5月27日 (火) 携帯電話講演：南光台中学校 (鶴川)
- 5月27日 (火) 第2回杜の都の市民環境教育・学習推進会議 (福地)
- 5月28日 (水) 新寺こみち市参加 (齊藤・佐々木)
- 5月28日 (水) 学習支援活動：鶴巣小学校 (齊藤・佐々木)
- 5月28日 (水) 河北新報「子ども新聞」取材 (溝田)
- 5月28日 (水) 国土交通省北上川下流河川事務所/ヒヌマイトトンボ生息に係るヒアリング (溝田)
- 6月3日 (火) 携帯電話講演：中学校校長会、仙台市教育センター (鶴川)
- 6月3日 (火) 宮城県防災砂防課/環境検討委員会 (溝田)
- 6月4日 (水) 野外活動支援：鶴巣小学校 (齊藤・佐々木)
- 6月4日 (水) 東北朝鮮学校訪問 (齊藤)
- 6月7日 (土) 登米市環境市民会議研修会 (村松)
- 6月17日 (火) 「津波AR」アプリ取材 (仙台市) (鶴川・福地)
- 6月18日 (水) 携帯電話講演：山形県南陽市立沖郷小学校 (鶴川)
- 6月18日 (水) 授業支援活動：中野小学校 (齊藤)
- 6月18日 (水) 国土交通省仙台河川事務所/仙台湾南部海岸域環境対策検討委員会に係るヒアリング (溝田)
- 6月24日 (火) 環境フォーラムせんだい2014第1回実行委員会 (福地)
- 6月25日 (水) 教材園体験：中野小学校 (齊藤・佐々木・福地)
- 6月25日 (水) 携帯電話講演：長町中学校 (鶴川)
- 6月27日 (金) 仙台市環境局環境影響評価審査会 (溝田)
- 6月28日 (土) 新寺こみち市参加 (齊藤・佐々木)
- 6月30日 (月) 宮城県自然保護課/浦戸諸島調査 (溝田)
- 7月1日 (火) 携帯電話講演：大野田小学校PTA (鶴川)
- 7月2日 (水) 理科関連授業づくり助言：東向陽台中学校 (鶴川)
- 7月2日 (水) 読売新聞「キャンパス発」取材 (溝田)
- 7月5日 (土) 携帯電話講演：白石市立福岡中学校 (鶴川)
- 7月8日 (火) 携帯電話講演：宮城県総合教育センター (鶴川)
- 7月8日 (火) 宮城県防災砂防課/環境検討委員会 (溝田)
- 7月11日 (金) 携帯電話講演：角田市立北角田中学校 (鶴川)
- 7月12日 (土) 携帯電話講演：大崎市立松山中学校 (鶴川)
- 7月14日 (月) 野外活動支援：折立小学校 (齊藤・佐々木)
- 7月15日 (火) 野外活動支援：折立小学校 (齊藤・佐々木)
- 7月15日 (火) 携帯電話講演：大衡中学校 (鶴川)
- 7月15日 (火) 第3回杜の都の市民環境教育・学習推進会議 (福地)
- 7月15日 (火) 宮城県環境アドバイザー制度による現地視察 (大曲浜) (溝田)
- 7月16日 (水) 環境フォーラムせんだい2014第2回実行委員会 (福地)

- 7月18日(金) 携帯電話講演:宮城学院女子中学校(鶴川)
- 7月23日(水) 携帯電話講演:岩沼西小学校教員研修(鶴川)
- 7月24日(木) 携帯電話講演:仙台市相談課(鶴川)
- 7月24日(木) 国土交通省北上川下流河川事務所/ヒヌマイトトンボ生息に係るヒアリング(溝田)
- 7月25日(金) 仙台市環境局環境影響評価審査会(溝田)
- 7月27日(日) ひらめき☆ときめきサイエンス(齊藤)
「アニマルミステリー2014 ~飼育動物から生まれた大地の恵み~」
- 7月28日(月) 新寺こみち市参加(齊藤・佐々木)
- 7月30日(水) 携帯電話講演:山形県立霞城学園高校(職員向け)(鶴川)
- 7月31日(木) 国土交通省仙台河川事務所/仙台湾南部海岸域環境対策検討委員会(溝田)
- 8月1日(金) オープンキャンパス(鶴川・齊藤・佐々木・福地)
- 8月1日(金) ~8月3日(日) 日本環境教育学第25回大会(齊藤・溝田)
口頭発表「ニホンミツバチの伝統養蜂を題材とした環境教育の実践(溝田)」
- 8月4日(月) 宮城県仙台地方ダム総合事務所/川内沢ダム建設事業ヒアリング(溝田)
- 8月5日(火) 宮城県希少野生動植物保護対策検討委員会(齊藤・溝田)
- 8月7日(木) 国土交通省北上川下流河川事務所/ヒヌマイトトンボ現地調査(溝田)
- 8月8日(金) 宮城県防災砂防課/環境検討委員会(溝田)
- 8月27日(水) 環境フォーラムせんだい2014第3回実行委員会(福地)
- 8月28日(木) 新寺こみち市参加(齊藤・佐々木)
- 8月29日(金) 仙台市環境局環境影響評価審査会(溝田)
- 9月2日(火) 携帯電話講演:山形市中学校校長会(鶴川)
- 9月3日(水) 仙台市環境局環境影響評価審査会に係るヒアリング(溝田)
- 9月4日(木) ~9月8日(月) 2014年次日本島嶼学会五島大会にて口頭発表「日本国内の島嶼におけるミツバチ類の分布について—対馬はニホンミツバチのみが生息する唯一の島なのか?—」
(溝田)
- 9月5日(金) 携帯電話講演:大崎市立松山小学校(PTA職員向け)(鶴川)
- 9月6日(土) 白百合学園高校訪問(齊藤・佐々木)
- 9月11日(木) 理科関連授業づくり助言:東向陽台中学校中間公開研究会(鶴川)
- 9月12日(金) 携帯電話講演:村山市民会館(鶴川)
- 9月13日(土) 日本動物学会第85回仙台大会参加(齊藤)
- 9月17日(水) 学習支援活動:鶴巣小学校(齊藤)
- 9月17日(水) 環境フォーラムせんだい2014第4回実行委員会(福地)
- 9月19日(木) 防災イベント「アエルで学ぼう復興3days」(福地)
- 9月22日(月) 学習支援活動:鶴巣小学校(齊藤)
- 9月24日(水) 第4回杜の都の市民環境教育・学習推進会議(福地)
- 9月28日(日) 新寺こみち市参加(齊藤・佐々木)
- 9月29日(月) 体験授業活動:中野小学校(齊藤・佐々木)
- 10月3日(金) 第3回ユネスコスクール東北大会(齊藤)
- 10月4日(土) 携帯電話講演:仙台三高(鶴川)
- 10月5日(日) 宮城県希少野生動植物保護対策検討委員会・昆虫分科会(溝田)

- 10月17日 (水) 仙台市環境局環境影響評価審査会 (溝田)
- 10月17日 (金) 登米市環境教育推進会議 (溝田)
- 10月24日 (金) 携帯電話講演：仙台南地区学警連所属校教員 (鵜川)
- 10月25日 (土) 大学祭におけるヤギふれあい体験 (齊藤・佐々木)
- 10月27日 (月) 国土交通省/鳴瀬川総合開発ヒアリング・現地視察 (溝田)
- 10月28日 (火) 新寺こみち市参加 (齊藤・佐々木)
- 11月6日 (木) JR常磐線特定環境影響評価技術検討委員会に係るヒアリング (溝田)
- 11月12日 (水) DESDシンポジウム参加 (齊藤)
- 11月12日 (水) 携帯電話講演：宮城県警察ボランティア (鵜川)
- 11月13日 (木) 国土交通省北上川下流河川事務所/鳴瀬川河道掘削に係るヒアリング (溝田)
- 11月14日 (金) 携帯電話講演：天童市立第一中学校 (鵜川)
- 11月17日 (月) 宮城県防災砂防課/環境検討委員会 (溝田)
- 11月19日 (水) 環境フォーラムせんだい2014第5回実行委員会 (福地)
- 11月19日 (水) 仙台市環境局環境影響評価審査会に係るヒアリング (溝田)
- 11月25日 (火) 携帯電話講演：丸森町教育委員会 (鵜川)
- 11月25日 (火) 第5回杜の都の市民環境教育・学習推進会議 (福地)
- 11月28日 (金) 新寺こみち市参加 (齊藤・佐々木)
- 11月28日 (金) 仙台市環境局環境影響評価審査会 (溝田)
- 11月28日 (金) 宮城県精神医療センター建設事業に係るヒアリング (溝田)
- 11月29日 (土) 携帯電話講演：健やかな子どもを育てる岩沼市民会議 (鵜川)
- 11月30日 (日) 環境フォーラムせんだい2014 (齊藤・佐々木・福地)
ブース出展「生命と環境 ～つながりあうヒトと自然～」
- 12月1日 (月) 携帯電話講演：亘理・山元地区学校警察連絡協議会 (鵜川)
- 12月5日 (金) 携帯電話講演：人来田小学校 (鵜川)
- 12月5日 (金) ～12月17日 (水) 科研費「分子情報に基づく熱帯起原生物の移動ルートの解明」による
マダガスカル調査 (溝田)
- 12月8日 (月) 携帯電話講演：大沢小学校 (鵜川)
- 12月10日 (水) FD講演：岩手県立大学 (村松)
- 12月19日 (金) 国土交通省北上川下流河川事務所/北上川下流生物環境検討委員会 (溝田)
- 12月24日 (水) 国土交通省仙台河川事務所/仙台湾南部海岸域復旧事業ヒアリング (溝田)
- 12月25日 (木) 防災教育ARアプリ説明会：宮城県総合教育センター (鵜川・福地)
- 12月25日 (木) 登米市環境教育推進会議 (溝田)
- 1月6日 (火) 宮城県森林インストラクター協会々誌「四季報」取材 (溝田)
- 1月22日 (木) 第6回杜の都の市民環境教育・学習推進会議 (齊藤)
- 1月30日 (金) 第48回環境教育コロキウム (鵜川・村松・齊藤・溝田・福地・佐々木)
河合久仁子「北方四島の自然とコウモリ類」
- 2月2日 (月) 宮城県希少野生動植物保護対策検討委員会 (齊藤・溝田)
- 2月3日 (火) 仙台市環境局環境影響評価審査会 (溝田)
- 2月4日 (水) 宮城県州崎海岸 (野蒜) 堤防復旧工事ヒアリング (溝田)
- 2月5日 (木) 登米市サンクチュアリセンターリニューアル事業ヒアリング (溝田)

- 2月5日(木) 雨水ネットワーク東北によるバタフライガーデン雨水活用に関する取材(溝田)
- 2月6日(金) 国土交通省主催/東北地方太平洋沿岸域ヘリコプターによる現地調査(溝田)
- 2月8日(日) なっ得! 発見! みやぎ環境フォーラム(鶴川・福地)
- 2月10日(火) ESD/ユネスコスクール・東北コンソーシアム結成大会(溝田)
- 2月14日(土) 携帯電話講演: 大石田小学校(鶴川)
- 2月16日(月) 携帯電話講演: 輪っ! かばやし子育て応援団(鶴川)
- 2月17日(火) 国土交通省河川水辺の国勢調査アドバイザー会議(北上川・鳴瀬川水系) 事前ヒアリング(溝田)
- 2月18日(水) 携帯電話講演: 岩沼中学校PTA(鶴川)
- 2月19日(木) 携帯電話講演: 八木山小学校(鶴川)
- 2月26日(木) 国土交通省河川水辺の国勢調査アドバイザー会議(北上川・鳴瀬川水系) in 盛岡(溝田)
- 2月27日(金) 環境省東北環境パートナーシップオフィス(EPO東北) 評価委員会(溝田)
- 2月28日(土) 宮城県希少野生動物植物保護対策検討委員会・昆虫分科会(溝田)
- 3月2日(月) ~ 4月1日(水) 内藤財団若手ステップアップ研究助成「哺乳類由来の神経毒の化学生物学研究」によるキューバソレノドン現地調査(溝田・ラザロ)

(運営委員)

センター長 鶴川 義弘
 専任 村松 隆
 " 齊藤千映美
 " 溝田 浩二
 宮城教育大学 西城 潔
 " 菅原 敏
 " 川村 寿郎
 " 菅原 正則
 " 佐藤 哲也

(兼務教員)

理科教育 出口 竜作
 " 棟方 有宗
 社会科教育 小金澤孝昭
 " 西城 潔
 美術教育 浅野 治志
 附属小学校 梅津 祥吾
 附属中学校 高橋 知美
 附属特別支援学校 八木 俊信
 附属幼稚園 横山さやか

(専任職員)

環境教育基礎分野 教授 村松 隆
 環境教育実践分野 教授 齊藤千映美
 " 准教授 溝田 浩二
 環境教育システム分野 教授 鶴川 義弘
 " 助手 福井 恵子

(客員研究員)

宮城県教育研修センター
 指導主事 牛来 拓二
 仙台市科学館
 指導主事 菅野 宏一
 " 花田 義輝
 " 松本 敏秀
 東北文教大学人間科学部
 子ども教育学科
 副学科長・教授 渡辺 孝男
 法政大学国際文化学部
 教授 島野 智之

(協力研究員)

ラザロ エチェニケ
 菊地 永祐
 橋本 勝
 林 守人
 吉村 正志
 河合久仁子
 木村 一貴
 永幡 嘉之

(非常勤職員)

佐々木久美
 福地 彩

投稿規定

1. 宮城教育大学環境教育実践研究センター（以下環境研）では、「環境教育研究紀要（以下研究紀要）」を刊行する紀要編集委員会を置き、本規定に基づき、毎年3月に発行する。
2. 研究紀要には、環境教育およびその実践に関する研究論文を掲載する。
3. 投稿できる者は以下に掲げる者とする。
 - (1) 環境研の専任職員、兼務教員、客員教員ならびに研究協力員。
 - (2) 紀要編集委員会において投稿を特に認めた者。
4. 研究論文は他誌にまだ発表していないオリジナルなものとする。また、論文に対する一切の責任は執筆者が負うものとする。
5. 原稿の採択、掲載の順序、レイアウトは紀要編集委員会で決定する。研究紀要への原稿採択の基準は、
 - (1) 環境研が主体的に取り組んでいる環境教育研究の諸活動に合致したもの、
 - (2) 研究紀要への掲載により環境研の発展や研究活動の高度化が期待できるもの、
 - (3) 学校教育における環境教育実践が十分分析されていて、現職教員にとっても有益になるもの、
 - (4) 環境研の環境教育活動に新しい展開が予想できるもの、とする。
6. 執筆要領は以下の通りとする。原稿は和文あるいは英文とする。最新号の論文レイアウトに従って、電子媒体に（マイクロソフト word推奨、.doc形式にて）記述し、以下の内容を含むこと。
 - (1) タイトル：和文および英文
 - (2) 著者名：和文および英文。筆頭著者が論文の問い合わせ先となる。なお、1頁の脚注に、著者全員の所属を記述すること。
 - (3) 要旨：和文（全角）200文字以内、英文100語以内で記述すること。
 - (4) キーワード：5語以内で記述すること。
 - (5) 本文：原稿はA4判（横書き、24字×40行の2段組）で、本文の所定の位置に刷り上がり原稿と同寸大の図表を挿入すること。
 - (6) 引用文献、参考文献、参考資料等は本文最後に

記述すること。

本文中の引用文献は下記のように記載する。

【和文】著者が1名の場合：溝田（2005）、または（溝田、2005；村松、2006）。著者が2名の場合：溝田・村松（2001）、または（溝田・村松、2001；溝田・村松、2006a, b）。著者が3名以上の場合：溝田ほか（2000）、または（溝田ほか、2000、2001）。【英文】著者が1名の場合：Mizota（2005）、または（Mizota, 2005; Muramatsu, 2006）。著者が2名の場合：Mizota and Muramatsu（2001）、または（Mizota and Muramatsu, 2001; Mizota and Muramatsu, 2006a, b）。著者が3名以上の場合：Mizota et al.（2000）、または（Mizota et al., 2000, 2001）。印刷中の論文の引用は、姓の次の括弧に（in pressまたは印刷中）と書く。

投稿中や投稿準備中の論文の引用は、本文中で括弧内に【和文】（村松隆、私信）、または（村松隆、未発表）、【英文】（K. Mizota, personal communication）、または（K. Mizota, unpublished data）のように書き、引用文献のリストには書かない。

本文中で引用した論文は、本文の最後の引用文献に、番号を振らず、アルファベット順に下記の例のように記述する。

論文：溝田浩二・村松隆 1965. チョウ類の生息調査から始めるバタフライガーデンづくり。宮城教育大学環境教育研究紀要, 9, 117-125.

Mizota, K., Muramatsu, T. and Shimano, S. 1965. Beetles of the Aobayama Region. Zoo1. Res. Jpn., 20, 108-122.

単行本の章：溝田浩二・村松隆 1976. 環境教育の手法。In: 環境教育辞典。村松隆・溝田浩二（編）。青葉山出版、仙台市, pp. 321-351.

Mizota, K. and Muramatsu, T. 1976. The methods of environmental education. In: Environmental education. Muramatsu, T. and Mizota, K. (eds.). Aobayama press, Sendai, pp. 321-351.

単行本：溝田浩二・村松隆 1969. 環境教育辞典。青葉山出版、仙台市。

Mizota, K. and Muramatsu, T. 1976. Environmental

education. Aobayama press, Sendai.

(7) 論文は刷り上がり原則10頁以内とする。

7. カラー印刷は原則として行わない。ただし、論文の性質上、執筆者の強い要望があれば個別的に編集委員会で検討する。その場合の費用は執筆者負担とする。

8. 別刷りは50部を環境研が負担し、追加請求の費用は執筆者負担とする。

9. 原稿の締め切りは1月末日とする。提出するものは以下の通りである。

- (1) 印刷した原稿2部
- (2) 論文原稿の電子ファイル (CD-R)
- (3) 図表の電子ファイル (縮尺等を指定すること)

10. 著者校正は初稿のみとする。執筆者は校正刷りを受け取った後、3日以内に編集委員会宛に返送すること。校正時の内容の変更、追加は認めない。

(細則) この規定に定めるものの他、実施にあたっての必要な事項は別途定める。

(付記) 平成23年11月28日改訂

【平成26年度編集委員会】

溝田 浩二 (委員長), 鵜川 義弘, 村松 隆

宮城教育大学 環境教育研究紀要 第17巻

2015年3月 発行

編集 宮城教育大学附属環境教育実践研究センター 紀要編集委員会

発行 宮城教育大学附属環境教育実践研究センター

〒980-0845

仙台市青葉区荒巻字青葉 149 番地

TEL 022-214-3545

印刷 三慶印刷株式会社

ISSN 1344 – 8005

Research Bulletin of Environmental Education Center,
Miyagi University of Education

Vol.17

Environmental Education Center, Miyagi University of Education

March 2015