

## 大学教養教育における自然系科目のための「可視化実験」に関する研究報告

<sup>1</sup>松影香子 <sup>1</sup>石田良仁 <sup>2</sup>金田拓 <sup>1</sup>小堀馨子 <sup>3</sup>加賀谷玲夢 <sup>1</sup>小出哲也 <sup>3</sup>近藤保彦

<sup>1</sup>帝京科学大学総合教育センター

<sup>2</sup>帝京科学大学教育人間科学部学校教育学科

<sup>3</sup>帝京科学大学生命環境学部アニマルサイエンス学科

A Visualization of Scientific Principles for the Liberal Arts Education

<sup>1</sup>Kyoko N. MATSUKAGE <sup>1</sup>Yoshihito ISHIDA <sup>2</sup>Taku KANETA <sup>1</sup>Keiko KOBORI  
<sup>3</sup>Remu KAGAYA <sup>1</sup>Tetsuya KOIDE <sup>3</sup>Yasuhiko KONDO

キーワード：可視化、教養、自然科学、教材開発、動画コンテンツ、視聴覚教育

Keywords : Visualization, Liberal Arts, Science, Development of Teaching Materials, Video Contents, Audiovisual Education

### 1. はじめに

大学における教養教育の主な役割は、言うまでもなく学生に豊かで深い教養を身に着けさせることにある。そして知的好奇心を有し生涯にわたって自力で学修を続けていくことができる人間を育成し、知情意の均整のとれた健全な人格を備えた<sup>1)</sup>人材を世に送り出すことであろう。一方で、教養科目は大学初年次に開講されることが一般的であるため、高等学校と大学での専門教育の接続を意識した教育が求められる。入学した学生が戸惑うことなく大学での学修を進めていけるように配慮する事が必要である。近年、大学においては多様な入試を行っている関係で、学生個々に大学入学時点での基礎的な知識・技能の習熟度に大きなばらつきがあり、高等学校までの教育で一部の教科への強い苦手意識を持ってしまった学生も多数見受けられる。このような多様な学生に対して同時に大学教養としての学問の本質や面白さを伝えるにはかなりの工夫が必要である。特に数学、物理学、化学、地学、生物学といった自然系分野は順次性をもって一つ一つ積み上げながら理解を深めていく学問体系を有しており、高等学校ですでに躓いているとその先に進むのが大変厳しい。

このような現状のなかでは、まずは苦手意識を払拭し直観的に現象を理解させて知的好奇心を刺激することが一つの方法であると考えられる。いったん興味がわかれば、定量的な理解はその上に細かなステップで重ねていくことが可能である。例えば、京都大学の高大接続教育事業において、一般公募した高校生を対象にした大学教養レベルの実験や実習講

義を行った結果から、学問の導入として見て触れて観察する事の教育効果が報告されている<sup>2)</sup>。百聞は一見にしかずという諺があるように、教科書を読み講義を聴くだけでは実感がわからない科学現象を視覚的に見せる（あるいは学生に実際に実験させる）ことができれば、学生の知的好奇心を刺激し教育効果が高まると考えられる。しかし、カリキュラムや人的な制約から初年次教育で全学生に実験を体験させることは難しいのが現実である。

本研究では、自然系科目において、実験に代わり、座学の講義中に見せることができる動画コンテンツや座学の講義中に行うことができる簡単な実験を開発することを目的とした。実験動画は、実際に手を動かす実験や演習には及ばないが、視覚的に見せることで、学生に疑似体験をさせられることが期待できよう。このような取り組みを本報告では「可視化実験」と呼ぶこととする。なお、この研究は、帝京科学大学の競争的資金である「教育推進特別研究」の支援を得て、学生と教員が協働で開発を進める形態でスタートした。

### 2. 研究方法

#### 2.1 可視化実験デザインの条件

「可視化実験」を開発するにあたっては、理学部や工学部のいわゆる理系研究で行われる実験とは異なるデザイン上の条件があろう。本研究では、以下のような基準を設けて実験を行った。

(1) 可能な限りホームセンターや電機屋、雑貨屋、薬局などで手軽に手に入る物品や薬品を用いて実験を組み立てる。この基準は誰もが再現できる実

験がより好ましいとの発想からもうけた。

(2) 講義室でも行えるようにするため、ドラフトがなければ作業を行えないような薬品は基本的に使わない。

(3) 講義中に短時間で行うのが難しい現象や特殊な薬品等を使わなければ再現できない現象、講義室では安全に行えない現象においては動画(画像)に記録し、それを講義中にパソコンで簡単に見せることができるコンテンツにする。

(4) 90分の授業時間の一部を使うことを考えると、一つのパフォーマンスや動画コンテンツにかかる時間は10分以内に収まるのがよい。

(5) 重要な概念や自然現象の本質、実験の様子がストレートに伝わる内容を選ぶ。

これら条件のうち、基準(1)および基準(2)は講義室での実演を想定してもうけたものであり、動画コンテンツ作成を目指した現象に関してはこの基準を適用していない。

## 2.2 学生募集とテーマ設定

「可視化実験」は平成29年度に「教育推進特別研究」のプロジェクトとしてスタートした。実験を行うに当たっては、プロジェクト開始時に東京西キャンパスにおいて学生に参加を呼び掛けた。本研究では、学科を問わず参加希望者を募集し教員と学生が議論しながら研究を行うという手法を採用した。ポスターで本プロジェクトの意図を学生に周知するとともに(図1)、全学に履修者がいる共通科目の語

2017年9月18日

# 理科実験教材の開発メンバー募集!

きれいで楽しい!

授業で使える!

生物学、地学、物理学、化学、数学などの理科実験教材をいっしょに作る学生メンバーを募集しています。

○活動内容

- ・授業中にできる簡単な科学実験の開発
- ・さまざまな実験を簡単に実施する方法のレシピ作成
- ・自然科学現象を収めた美しい動画コンテンツ作成
- ・授業が無い時間に活動します。

○求める人材

- ・科学や実験、野外活動が好きの人

**New!** ○第1回ミーティング(活動内容の説明など)

- ・9月27日(水)13:00~13:30(昼食持参)
- ・9月29日(金)13:00~13:30(昼食持参)
- ※どちらか都合の良い時間に参加してください

場所: 第1基礎科学実験室(本館棟2階)

興味のある方は気軽に下記の先生に連絡してください。

松影 香子 (居室: E314, ✉matsukage@ntu.ac.jp)  
石田 良仁 (居室: E313, ✉ishida-y@ntu.ac.jp)  
加賀谷 玲夢 (居室: W303, ✉kagaya@ntu.ac.jp)  
小堀 馨子 (✉keiko-kobori@ntu.ac.jp)  
近藤 保彦 (居室: S304, ✉ykondo@ntu.ac.jp)

帝京科学大学 教育推進特別研究 大学教員教育における自然系科目のための「可視化実験」開発

図1 学生募集に用いたポスター。東京西キャンパスの全学科の掲示板および本館2階の基礎科学実験室掲示板に半年にわたって掲示した。

学や自然系科目の講義の前後に宣伝を行い2回の説明会も実施した。募集に関しては1～2年生を中心にを行い、学科の学修の妨げにならないよう配慮して主に土曜日と授業が行われない夏期、冬期および春期休業中を中心に活動することとした。高校・大学の講義で理解しにくい概念の抽出や、学修への意欲が掻き立てられる内容に関しては教員よりも学生の方が実感を伴って選定が可能であると考え、研究テーマの選定には参加学生の意見を重用した。

### 2.3 実験動画コンテンツの作成

実験は試行錯誤の段階からビデオカメラを用いて動画を撮影しながら行った。記録にはビデオカメラおよびタイムラプスカメラを用いた。顕微鏡下で観察できる現象においても動きが見えた方が、理解がしやすいものは動画撮影を行った。顕微鏡下の撮影はニコン社製のNikon1シリーズのミラーレスカメラにマイクロネット社製の顕微鏡用アダプター(NY-1S)を取り付けて、接眼レンズの装着口から撮影できるようにした。動画の編集はパソコン上で行った。動画の編集にはアドビ社のソフトウェア Adobe Premiere Element を、動画の解説音声には、

商用合成音声ソフト VOICEROID を用いた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 参加学生と可視化実験テーマ

学生募集の説明会には30名程度の学生が参加した。そのうち20名程度の学生が活動に参加した。主に1年生が主力となったが、野外での撮影取材に関しては、取材ごとに参加者の募集を行ったためにその時限りの2～4年生の参加者も多く見られた。その中で中心的に活動を行ったのは6人である。参加学生は全員生命環境学部所属であり、医療科学部および教育人間科学部からの参加者はいなかった。今回の「可視化実験」を自然系科目に絞ったこと、一方で募集は全学に向けて同じように行ったことを考えると、高校生が進学先として選ぶ学科と学問の好みの志向に相関があることが示唆される。医療科学部に関しては、募集のポスターを見て興味があることを伝えてくれた学生は複数名いたが、実際には必修科目のしぼりが大きく単位に関係のない活動に参加する余裕がなかったのが現状である。表1に本プロジェクトで着手した実験を挙げる。学生初案のテーマに関しては、今までに履修した講義や用いた

表1 「可視化実験」プロジェクトで実施したテーマ

テーマ	関連科目	実験方法の確立	動画編集	学生発案のテーマ
モデル動物アフリカツメガエルの発生過程	生物学	△	×	*
CUBIC法を用いた様々な動物の組織や個体の透明化	生物学	△	×	*
アズマモグラにおける精巣ライディッヒ細胞の可視化	生物学	○	×	
ハクビシンの骨格標本作製	生物学	△	△	*
東京西キャンパス周辺の地質と岩石1 秋山川	地学	◎	◎	
東京西キャンパス周辺の地質と岩石2 桂川	地学	◎	◎	*
東京西キャンパス周辺の地質と岩石3 仲山川	地学	◎	△	*
東京西キャンパス周辺の地質と岩石4 鶴川	地学	◎	△	
上野原の風景・植物・水中生物	複合分野	○	△	*
金属樹の作成によるイオン化傾向の可視化	化学	○	△	
テルミット反応	化学	◎	◎	*
1次元から3次元の対称性と繰り返し構造の数理	物理学・数学	○	□	
光の屈折と反射:消える物体!	物理学	◎	□	*
塩と水を用いた低温発生実験:2相系における共融点	物理学	◎	□	

◎, 完成; ○, ほぼ完成; △, 着手しているが未完成; ×, 未着手; □, 動画コンテンツを作成しないテーマ; \*, 学生発案のテーマ

教科書等の中からできるだけ選ぶよう学生に指示をし、必ずしも本プロジェクトに参加している教員が講義に使いたいと考えている内容でなくても受け入れた。一方教員が考えたテーマに関しては、既存の自然系教養科目や専門科目等の講義に使えるかという観点ではなく、今後のカリキュラム改訂を見据えて複合科目としての新しい自然系教養科目（発展的内容の講義を含む）を立ち上げた場合のそのありかたを議論しながら実験テーマを探った。

## 3.2 可視化実験各論

### 3.2.1 生物学分野

生物学は、古くから「可視化」技術に取り組んできた学問であるといえる。例えば、体の構造を可視化する解剖から始まり、微細構造の可視化のための顕微鏡の発明、さらには通常は見ることのできないDNAの可視化まで、生物試料の「可視化」技術を通して生命現象を理解することが生物学の本質ともいえる。生物学分野では、①モデル動物アフリカツメガエルの発生過程の可視化実験、②CUBIC (Clear Unobstructed Brain/Body Imaging Cocktail) 法を用いた様々な動物の組織や個体の透明化実験、③アズマモグラにおける精巣ライディッヒ細胞の可視化、④ハクビシンの骨格標本作製、という4つのテーマを通して生物を学ぶ体験型授業の構築を目指している。このうち3つは学生の発案である(表1)。現在までの経過と考察を以下に示す。

#### ①モデル動物アフリカツメガエルの発生過程の可視化実験

この研究ではモデル動物であるアフリカツメガエルを用いて発生過程を動画で記録するのを目的とした。現在までのところ、アフリカツメガエルの飼育環境が少しずつ整いつつある。今年度から、実際に受精卵の発生の観察を行うとともに、古典発生的な移植実験<sup>3)</sup>を行う予定である。発生過程における時間経過に伴うダイナミックな形態変化の継時観察を通じて生命の不思議を体験する授業の構築を目指している。

#### ②CUBIC法を用いた様々な動物の組織や個体の透明化による可視化実験

本実験は文字通りの「可視化」技術を通じて、通常は観察できない生物個体を構成する物質やその構造を見ることにより、生きている仕組みを理解することである。近年、東京大学の上田研究室からマウスやサル<sup>4)</sup>の組織や個体を丸ごと透明化してしまう技術CUBIC法が開発された<sup>4)</sup>。しかもCUBIC法は、

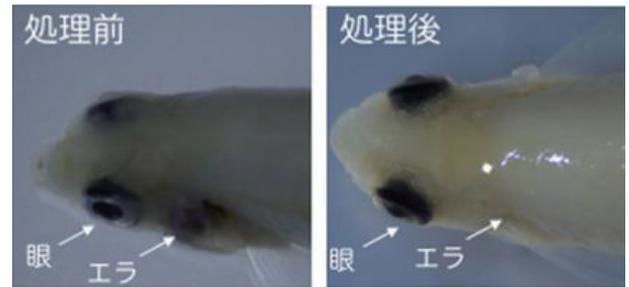


図2 ゼブラフィッシュ個体の可視化。a: 可視化処理前のホルマリン固定後のゼブラフィッシュ(色素の少ない変異体)、b: CUBIC処理後のゼブラフィッシュ。眼の周囲の黒色は網膜色素細胞層。エラ周囲の透明化が進んでいる。現在、CUBIC液への浸漬時間などの実験条件の検討中である。

数種類の水溶液に生物試料を浸漬するだけという画期的手法である。本可視化実験プロジェクトでは、中学・高校でも入手しやすい魚類、モデル動物ゼブラフィッシュの透明化実験について条件検討を行っているところである(図2)。将来的には、身の回りで捕獲可能な小動物・昆虫類をモデルにした透明化実験を行うことで、身近な生命現象を理解することができる授業の構築を目指している。

#### ③アズマモグラにおける精巣ライディッヒ細胞の可視化

本研究は上野原に生息するアズマモグラを捕獲し、その未知なる生殖器官について調べてみようという探索的な試みである。多くの生物が太陽の影響下で概日リズムのもと生活しているのに対し、モグラは地下生活のため8時間リズムで生活している。しかし、繁殖は2~5月と季節性をもち太陽の活動と無関係ではない。繁殖期には性腺が大きくなり、アンドロゲンの分泌が活性化する。また、興味深いことに繁殖期には雌の卵巣も盛んにアンドロゲンを分泌することが知られている(卵精巣ovotestisという)。これは他の哺乳類では見られないことであり、モグラの特徴でもある。そこで今回のプロジェクトでは、モグラの生殖腺におけるアンドロゲン産生細胞を免疫組織化学によって可視化できないか試みた。今回は、アンドロゲン合成酵素である17 $\beta$ -HSDと3 $\beta$ -HSDを認識する2種類の抗体を用いた<sup>5, 6)</sup>。抗3 $\beta$ -HSDマウス抗体のモグラの繁殖期の精巣では何も染まらなかった(図3a)が、抗17 $\beta$ -HSDウサギ抗体のモグラの繁殖期の精巣では一部の精細管で精原細胞と精母細胞が染まり、うっすらとライディッヒ細胞も染まることわかった(図3b)。授業で分かりやすい画像を得るためには、モグラのライディッヒ細胞に感度が高い抗体をさらに

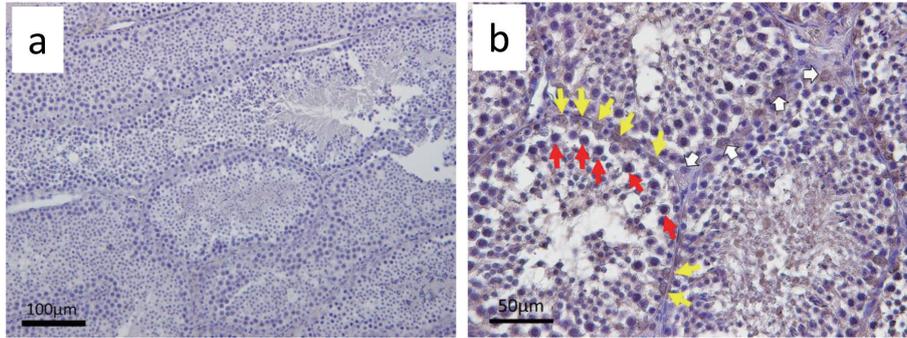


図3 繁殖期モグラの精巣細胞。a：図2抗3β-HSDマウス抗体繁殖期モグラの精巣組、b：抗17β-HSDウサギ抗体繁殖期モグラのラディッヒ細胞。黄が精原細胞、赤が精母細胞、白がライディッヒ細胞を示す。

検索する必要があると考えている。

#### ④ハクビシンの骨格標本作製

このプロジェクトは文字通り、ばらばらになっているハクビシンの骨を、パズルを組み立てる様に分類して組み立てていく様子をビデオカメラおよびタイムラプスカメラで撮影して動画コンテンツを作る事を目的とした。背骨や肋骨のパーツの一つ一つの巧妙なつながりや、複雑な動きをする前足の指など、普段目にする事のない生物の骨格の造形美がわかる動画が撮影できた。

#### 3.2.2 地学分野および野外観察分野

東京西キャンパスのある上野原市は豊かな森林と特徴ある地質を有する山地に囲まれ、大河（桂川・相模川）や清流（鶴川など）が流れる自然あふれる環境に立地する。本学でも自然環境系や野生動物系を志向する学生の多くは、日常的にこの自然の中に分け入り、様々な活動を行っている。一方でこのキャンパスに通学していても、大学周辺の豊かな自然に興味がないか、興味があったとしても具体的な活動には踏み出せない学生も多い。地学分野・野外観察分野では、このような学生の興味や行動のきっかけとなるような、身近な自然や動物を紹介する動画コンテンツを学生と共に作成することを目的とした。調査は①秋山川（上野原市秋山地区、2017年11月11日）、②桂川（上野原市2017年12月16日）、③仲山川（上野原市八ツ沢地区、2018年4月28日）、④鶴川（上野原市西原地区、2018年11月24日）の4地域で行った。調査で撮影した動画は、上野原の地質・岩石を中心にしたものと、風景・植物・水中を中心にしたものの2テーマで河川ごとに編集をおこなっており、地質・岩石シリーズがほぼ完成している。

上野原市はJR上野原駅の南側を東西に流れる桂川を境に南側に丹沢層群、北側に四万十帯が露出し

ている。丹沢層群は古い海底火山の地層からなるのに対し<sup>7, 8)</sup>、四万十帯は海の堆積物で構成されており時代も岩相も固結度も全く異なる。本研究の調査地域においては、秋山川、桂川および仲山川では丹沢層群およびそれに関連した浅海堆積層が、鶴川では主に四万十帯の地層が観察できる。現地で美しい風景とともに地層の動画を撮影し上野原の地質が理解できるような5分程度のコンテンツを作成した（図4）。また岩石を採取して実験室に持ち帰り薄片を作成し、偏光顕微鏡下で鉱物の干渉色と消光の様子を観察した動画も撮影した（図4b, e）。顕微鏡下の動画は、結晶光学の解説スライドとともに5分のコンテンツに加えた。表1に示したように河ごとに4本の動画コンテンツを作成した。本プロジェクトは、野外観察から室内実験、動画編集に至るまで多くの学生が主体的にかかわった。

風景・植物・水中を中心にした調査では、1～2年生だけでなく、4年生が卒論の一環として活動に加わった。秋山川、仲山川、鶴川においては水中カメラを用いて水生生物の撮影を試みた。また外来魚の生態や生息状況の撮影も試みた。このテーマでは、本学ミュージアムOPEN AIR LABの活動とも関連付け、学生たちに呼びかけて上野原の自然を通年記録し、映像及び画像の収集を行い、現在も活動を継続中である。成果として、秋山川では水中を舞う落ち葉の見事な光景と急流に逆らうヤマメを、仲山川では休耕田横の小川のコイやドジョウの姿を、鶴川では滝つぼの下のアユと思われる魚の行動やアブラハヤの群れを撮影することができた。また、それぞれの周辺環境も撮影した。上野原とは異なるが、名古屋の街中を流れる身近な河川において、外来魚であるカムルチー（ライギョ）の生息状況と、ナマズやその他在来の生物との関係について調査し、撮影した映像を用いて5分程度の紹介動画を作

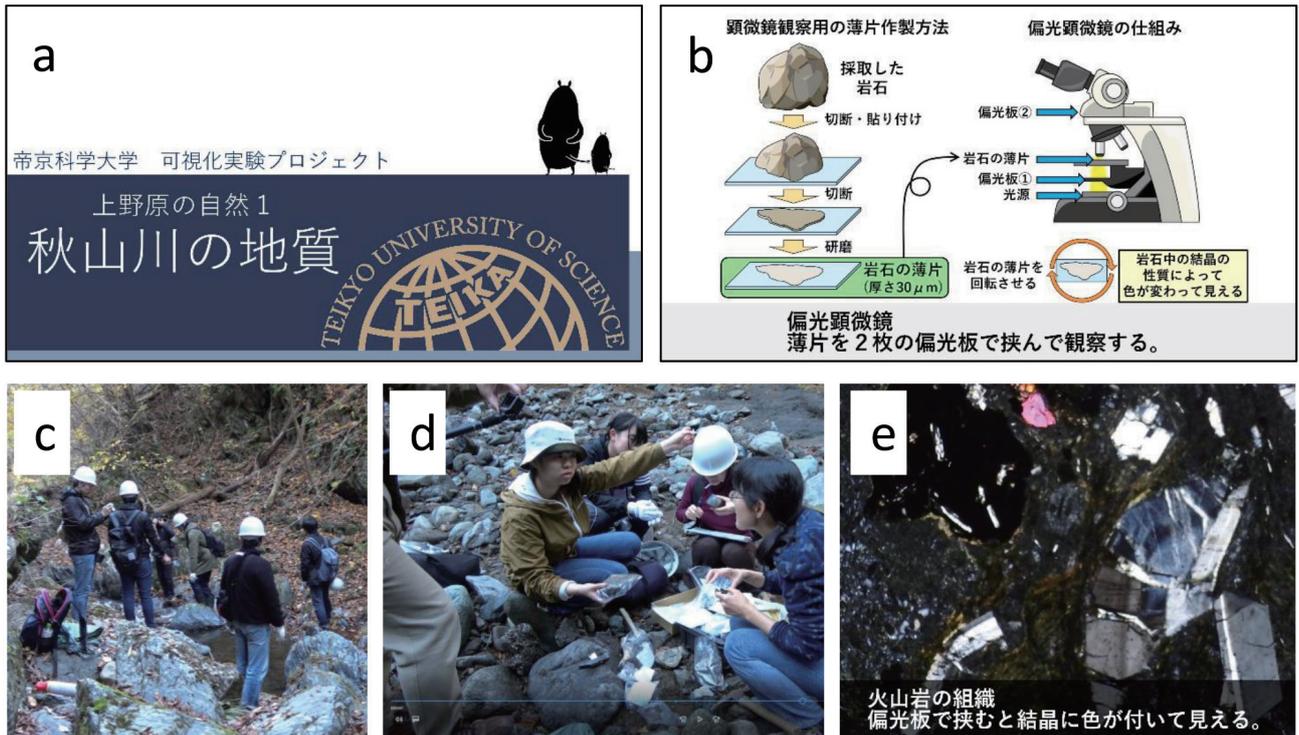


図4 東京西キャンパス周辺の地質と偏光顕微鏡による鉱物観察方法を解説した動画コンテンツのスナップショット。  
 a: 動画コンテンツのオープニング画面の例、b: 偏光顕微鏡の原理を説明した画面、c: 鶴川の地質調査の様子、  
 d: 秋山川での試料採取の様子、e: 偏光顕微鏡による鉱物の干渉色を示した画面。

成した。これらの調査画像の一部は本学ミュージアム共有のPC上に保存されており、ミュージアムの本格始動と共に集約する予定である。今後、上野原の四季、水中の生物、野鳥、植物、昆虫、学内の自然など多様な生物相のデータを蓄積していきたい。

### 3.2.3 化学分野

化学分野では、有害な薬品の使用や危険な化学反応の実施など多くの問題があり、実際の授業に実験を取り入れることは容易ではない。そのため、「可視化実験」では実験動画を撮影し、原理や現象の本質を効率的に伝える短時間の映像資料を作成することを目的とした。本研究では「金属樹の作製によるイオン化傾向の可視化」、「テルミット反応」、について検討を行った。特に、テルミット反応は本プロジェクトに興味を持った学生が立案し、実験計画を立てるところから動画編集まで学生が主体的に進めたものである。

金属樹は、イオン化傾向の小さな金属イオンを含む水溶液中に、イオン化傾向のより大きな金属を入れることにより作製できる<sup>9)</sup>。この際、イオン化傾向の大きな金属からイオン化傾向の小さな金属のイオンへと電子が移動し、前者は酸化され金属イオンとなり、後者は金属となる。この金属結晶が樹状に成長することによって金属樹が形成される。様々な

金属の組み合わせで、どの元素が金属樹となるかでイオン化傾向が直感的に理解される。実験は、硫酸銅水溶液とアルミホイル、硝酸銀水溶液とアルミホイル、硫酸銅水溶液と鉄板、の3種類の組み合わせで行った。枝状に成形した金属をゴム栓に固定し、金属塩の水溶液に浸漬させることにより金属樹を作製した。金属樹の成長は数十分～数時間に及ぶため、動画の撮影にはタイムラプスカメラを使用した。硫酸銅水溶液とアルミホイルの場合は30分程度で十分な量の銅樹が析出した(図5a)。硫酸銅水溶液とアルミホイルの場合は使用したアルミニウムホイルの量が少量であったため、30分程度でアルミニウムホイルが全て反応し、銅樹が析出した(図5a)。次により多くのアルミニウムホイルを使用して硝酸銀水溶液と反応させた場合、1時間程度で多量の針状結晶が析出し、非常にきれいな銀樹を作製することができた(図5b)。硫酸銅水溶液と鉄板の組み合わせでも数十分～数時間の間で銅樹ができ、この緻密な結晶形状は銀樹とは大きく異なるものであった(図5c)。硝酸銀水溶液とアルミホイルの組み合わせであれば、演示する形式で授業時間内でも十分に金属樹の作製実験ができることが分かった。現在、これらの結果を元に、縦の行に金属塩、横の列に金属をそれぞれイオン化系列順に並べ、金属樹

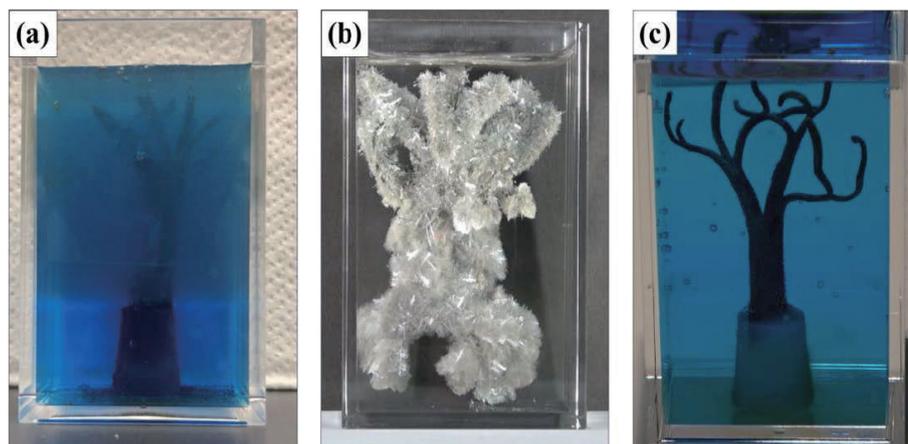


図5 金属樹。a：アルミホイルと硫酸銅水溶液（上部に濁りあり）、b：アルミホイルと硝酸銀水溶液、c：鉄板と硫酸銅水溶液。

の生成の様子を体系的に比較した様子を撮影し、動画にするための実験を計画している。

テルミット反応は酸化鉄（Ⅲ）のようなイオン化傾向の低い金属の酸化物から、アルミニウムのようなイオン化傾向の高い金属へと酸素が移動し、結果としてイオン化傾向の低い金属が得られるというものである<sup>10)</sup>。テルミット反応は、反応自体は非常にシンプルだが、爆発的な酸化還元反応であり、大きな反応熱により800℃を超える高温の金属が生成される。室内での実験は非常に危険であるため、周囲に可燃物がない憩いの広場において実験を行った。また、予想されるさまざまな危険性とそれに対する対策を記載した実験計画書を本学総務課に提出し、実験日を消防署にも連絡した上で授業期間を避けた休日に実験を行った。金属酸化物としては酸化鉄（Ⅲ）、これを還元するための金属としてはアルミニウムを使用し、いずれも粉末状のものを実験に用いた。酸化鉄（Ⅲ）8.0gとアルミニウム3.0gをエタノールで浸しながら乳鉢を用いて約30分程度混合し、試薬の粉碎混合およびアルミニウム粉末表面の酸化被膜の除去を行った。混合粉末を乾燥させた後耐熱容器に入れマグネシウムリボンを導火線として用いて加熱して反応させた。酸化鉄（Ⅲ）8.0gとアルミニウム3.0gを乳鉢で粉碎混合したものをろ紙を折って作った容器に入れ、マグネシウムリボンを導火線として着火を試みたが、最初は、反応が開始しない、反応が開始しても全量が反応しない導火線がすぐに消えるなどの様々な問題が生じた。このような問題について学生と共に議論を進めながら、1年をかけて実験条件の改善を進めた。具体的には、試料の粉碎をエタノールなどの液体中で十分に行い出発物質を均質に混合する事、アルミニウム表面の酸



図6 テルミット反応の動画コンテンツのスナップショット。

化被膜の除去を行うことが重要であった。その他に、マグネシウムリボンの処理や形状、反応容器の置き方の工夫を行った。最終的に図6で示すような反応を起こすことができ、動画コンテンツが完成した。

### 3.2.4 物理学分野

数学ができないから物理学も理解できないと考えている学生が多い。物理学は計算（だけを）する学問であるとの誤解が根強くあると感じる。物理学の本質は、自然界で起きている複雑で混沌とした現象をよく観察し、その中から普遍的な本質を見極め論理的に理解しようとするところにある。物理学を専門分野としない学生にとっての「教養物理」で最初に必要なことは、現象を直感的に理解し数学なしで概念、あるいは世界観を見通すことであろう。そして数学はその仕上げとして（便利な道具として）利用するのが効果的であると考えている。極論をのべると数学ができなくても概念や物理的な世界を理解することは可能である。

「対称性と繰り返し構造の数理」(表1)においては、物理学で用いられる数学の概念の理解の助けとなる簡単な演習問題を作成することを目的としている。定規と鉛筆(と分度器)だけを用いて作図をすることによって、数式を用いないで重要な数学的概念が学修者に伝わるものを目指している。

「光の屈折と反射：消える物体!」および「塩と水を用いた低温発生実験：2相系の共有点」(表1)の2テーマは座学の講義内でおおよそ5~10分で実演可能な実験として方法を確立した。「光の屈折と反射：消える物体!」では比較的大きなプラスチックの容器に水をはり、容器に対して十分に小さな物体を浸すだけである。全反射する条件を満たす方向から物体を観察すると物体が消えたように見える。消える条件は、簡単な作図で予測することができるため、演習問題とパフォーマンスを組み合わせると、光の性質に関する面白い講義になると思われる。

多相系の共融系は、惑星内部での化学反応<sup>11)</sup>や太陽系形成、マグマ形成<sup>12)</sup>といった自然現象を理解するうえで大変大事な概念であるが、直感で分かりにくく授業で解説したり演習問題を解いたりするだけでは学生の理解が進まない。「塩と水を用いた低温発生実験：2相系の共有点」でもちいた塩と水はありふれた物質であるが0℃程度の氷と室温の塩を混ぜると、-10℃以下に急激に温度が下がる。この不思議な現象は共融系の重要な特徴を示している。この実験も5~10分程度で講義室において安全に行うことができる。全反射の実験同様、2相共融系の作図演習と抱き合わせでパフォーマンスすることを想定して実験デザインを考えた。

### 3.3 動画編集技術に関して

本研究で動画編集に用いたAdobe Premiere Elementは、総じて機能性が高く操作も容易であるが、短所として字幕機能だけ他と比べて使い勝手が悪く字幕を中心に編集していく場合には、字幕をSRTファイル(表示テキストとスポッティングのみで構成された字幕ファイル)で別に用意して別工程で埋め込むなどの必要がある。学生が編集に使用する場合、ユーザーインターフェース的に覚えることが多いため、若干の困難が発生するかもしれないことが懸念された。本研究で、もう一つの動画編集ソフトウェアの候補としたのがTMPGEnc Video Mastering Workである。直感的で、手軽に操作するのに優れたユーザーインターフェースであり、

カット編集やフィルタリングなど、大概のことが容易にでき、動画編集初心者が入門として使用するのにはこちらが良く、字幕編集機能が充実しているため、音声による解説でなく字幕を中心に使用するのに向くが、動画編集そのものの機能性はAdobe Premiere Elementと比べて拡張性に制限がある。両者を比較検討した結果、機能性の高さを評価してAdobe Premiere Elementを採用した。実際に学生に使ってもらい学部1年生で十分に使いこなすことが可能であることが分かった。解説音声として用いた商用合成音声ソフトVOICEROIDは学生が大学の授業時間内の実習やサークルなどの課外活動で使い、それを学祭などの場で外部に発表することは許可されているが、これを教員が講義で用いる行為は商用利用と解釈されサイトライセンスを得る必要がある。この制約から編集過程ではVOICEROID音声付きの動画コンテンツを作成したが、同時にVOICEROIDを用いない字幕解説バージョンも作成して、講義ではこちらを用いることとした。しかし、音声による解説がある方が求心力の高くなる傾向にあるため、Amazon Polyなど商用利用可能な合成音声を用いての試作を考えたい。あるいは、今後このような動画コンテンツを様々な講義へ広げていくのであれば大学としてVOICEROIDのサイトライセンス購入の検討が必要であると感じた。

### 4. まとめと今後の課題

可視化実験に興味を持ち実験に協力した学生は、探究心が高く様々なものに興味関心を持っていた。そういった学生は、当初2年間のプロジェクトとして大学から支援を受けた本プロジェクトが2019年3月末に終了した後も継続的に興味を持ち続け、実験の遂行について意欲的であった。一部のテーマに関してはこの過程で教員と学生が議論を重ねながら解説付きの見ごたえのある美しい動画コンテンツが完成した。一方で、2年が終わった現時点では実験方法を最適化して方法論を確立する作業が中心となり、講義に活用するまでにいたらなかったものが多く残った。そこで2年を終了した時点で再度「教育推進特別研究」を申請し、3年目の現在、「可視化実験2」という形で予算を縮小してプロジェクトが継続されている。いま未完成のものは、今後、学生と協力しながら最適化された実験条件で実験を行い、授業資料として使用できるものを完成させたい。本プロジェクトで作成した動画や演習は、地学実験および物理学Ⅱにおいて実際に授業で試してい

るが、まだその教育的効果を十分に検証できているとはいえない。他の分野のコンテンツも完成させ、授業や学祭などで使用しつつ必要な改善をしていきたいと考えている。

結果的に本研究のプロジェクトにおいては動画コンテンツ作成が大きなウェイトを占めた。座学の限られた授業時間内で利用することを考えると講義での動画使用の簡便さには大きな魅力と利点がある。また、安価で容易に動画編集ができる技術や道具の存在も大きな利点の一つであろう。本プロジェクトにおいては、様々なシーンにおいて複数種のカメラを使って映像素材を用意できたことが、見ごたえのあるコンテンツ作成にかなりプラスに働いた。一方で反省点として、実験を行う班と動画作成班とで分業体制を敷けると理想的だが、実験解説の付与には深い理解が不可欠なため、どうしても実験を行う人員が動画撮影も行い作業が煩雑になってしまったことがあげられる。また、動画化する際、大学の講義ならではの専門性の高い解説をつけることが、動画サイトなどに氾濫する他の作品との差別化で重要な点であるため、意識するべき要点であると考えている。

「可視化実験」を遂行する中で、本プロジェクトに思わぬ効果があることが見えてきた。序論でも述べたが本学は多様な入試を行っている関係で様々な学力の学生が入学してくる。教員は、無意識に理解の遅い学生の方に多くの注意を向け、そちらの対応に時間を取られがちであるが、その陰で本学の授業に物足りなさを感じている学生が少なからず存在することが分かった。そして図らずも本プロジェクトがそういった学生の受け皿になった。授業についていけない学生への支援が重要なのは言うまでもないが、一方で大学のような高等教育機関においては探求意欲の高い学生の充実した質の高い学びにつながる教育プログラムも用意する必要があると気が付いた。

## 謝辞

本研究で作成した動画に本学図書館キャラクター「ばくもとさん」を使用させていただいた。自然環境学科の先生方には、オープンキャンパスにおいて本プロジェクトで作成した骨格標本や動画コンテンツの展示を自然環境学科のブース横で行う事を許可していただき、特に下岡ゆき子博士には説明書きをつけていただいた。アニマルサイエンス学科の古瀬浩史氏には、野外調査にご参加いただきご意見をい

ただいた。本学の学生サークル「ねこの目報道部」には本プロジェクトの活動を上野原市発行の広報誌で紹介していただいた。以上の方々に感謝する。なお、本研究は帝京科学大学の競争的資金である教育推進特別研究の支援を受けて行われた。

## 引用文献

- 1) 帝京科学大学ホームページ <https://www.ntu.ac.jp/tust/index.html>
- 2) 松影香子, 常見俊直, 川添達朗, 飯田英明, 門川朋樹, 橋爪圭: 京都大学が実施する高大接続科学教育“ELCAS”におけるコーディネーション: 地球科学教育の現状報告. *日本地球惑星科学連合大会要旨*, 2015.
- 3) T. Koide, K. Umesono, C. Hashimoto: When does the anterior endomesoderm meet the anterior-most neuroectoderm during *Xenopus* gastrulation? *Int J Dev Biol*, 46 (6) : 777-83, 2002.
- 4) K. Tainaka, S. I. Kubota, T. Q. Suyama, E. A. Susaki, D. Perrin, M. Ukai-Tadenuma, H. Ukai, H. R. Ueda: Whole-body imaging with single-cell resolution by tissue decolorization. *Cell*, 159 (4) : 9, 11-24, 2014.
- 5) F. D. Carmona, M. Motokawa, M. Tokita, K. Tsuchiya, R. Jiménez, M. R. Sánchez-Villagra: The evolution of female mole ovotestes evidences high plasticity of mammalian gonad development. *J Exp Zool B Mol Dev Evol*, 310 : 259-66, 2008.
- 6) R. K. Dadhich, F. J. Barrionuevo, D. G. Lupiáñez, F. M. Real, M. Burgos, R. Jiménez: Expression of Genes Controlling Testicular Development in Adult of the Seasonally Breeding Iberian Mole. *Sex Dev*, 5 : 77-88, 2011.
- 7) 松原典孝, 天野一男: 南部フォッサマグナ丹沢山地における中新世ペペライトの産状と形成. *地質学雑誌*, 116 : 134-150, 2010.
- 8) 石川正弘, 谷健一郎, 桑谷立, 金丸龍夫, 小林健太: 丹沢山地の地質, 伊豆衝突帯のジオダイナミクス. *地質学雑誌*, 122 : 291-304, 2016.
- 9) 荘司隆一: 金属樹の成長の様子の観察. *化学と教育*, 62 : 496-497, 2014.
- 10) 小松寛: 机上で出来るテルミット反応. *化学と教育*, 57 : 242-243, 2009.

- 11) K. N. Matsukage, T. Kawasaki: Hydrous origin of the continental cratonic mantle. *Earth, Planets and Space*, 66: 29, 2014.
- 12) A. R. Philpotts, J. J. Ague: *Principles of igneous and metamorphic petrology*. Cambridge University Press, pp667, 2009.