

# 平成27年度全国受講生研究発表会

# 発表要旨集

# グローバルサイエンスキャンパス 次世代科学者育成プログラム

※次世代科学者育成プログラムの実施経験機関からの発表を含みます。

開催日:平成27年9月19日・20日

場 所:日本教育会館 (19日)

一橋大学中会議場(20日)

主 催:国立研究開発法人科学技術振興機構

# (事業名の略称)

GSC: グローバルサイエンスキャンパス

次世代:次世代科学者育成プログラム

# ・・・発表要旨目次・・・

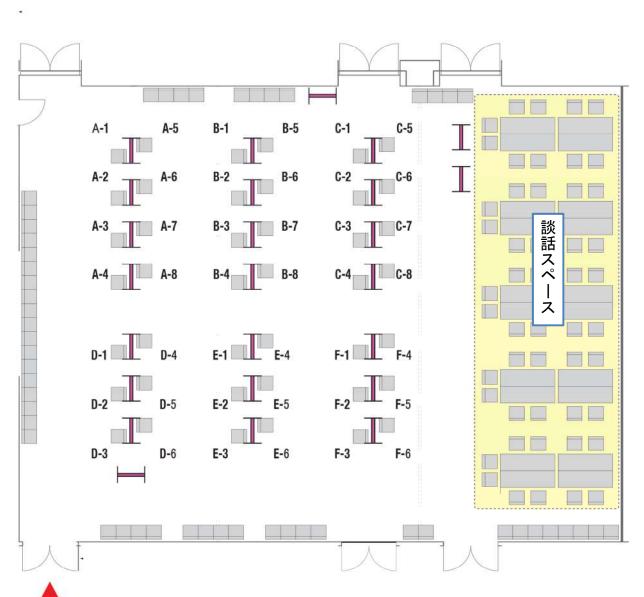
•	ポスター発表 A-1:寺岡 知美	(北海道大学)
	アオコの発生領域と原因の究明における衛星データの応用・・・・・・	• • • • • • 1
•	ポスター発表 A-2:吉田 奈央、佐々木 長将	(東北大学)
	留学生向け減災アクションカードゲームを作る ・・・・・・・・・・	3
•	ポスター発表 A-3:大町 誠也	(京都大学)
	コンピュータを使った数学・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • • 5
•	ポスター発表 A-4:村上 典花	(埼玉大学)
	手作り電波望遠鏡による天体観測・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
•	ポスター発表 A-5: 沼崎 里咲 ()	<b>慶應義塾大学</b> )
	福島県および神奈川県の土壌中の放射能に関する研究 ・・・・・・・	9
•	ポスター発表 A-6:横山 昴、佐々木 晴香 (有明工業)	<b>高等専門学校</b> )
	海苔廃水の水質改善・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • 1 1
•	ポスター発表 A-7:片岡 佑太、渡邊 果歩	(岡山大学)
	PM2.5空間分布モデリングの評価に関する研究 ・・・・・・・・・・・	• • • • • 1 3
•	ポスター発表 A-8:北濱 駿太、春口 一騎	(岡山大学)
	植物プランクトンと水質	
	~日射量調節と腐植質添加による植物プランクトン増殖速度の変化~ ・	• • • • • 1 5
•	ポスター発表 B-1:門脇 帝規、山下 寛雄	(秋田大学)
	紙の力 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • 1 7
•	ポスター発表 B-2:小山 佳子	(東北大学)
	最先端の粒子飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRF	PC) を
	自作し、宇宙線を使って性能を評価しよ <b>う ・・・・・・・・・・</b>	• • • • • 1 9
•	ポスター発表 B-3:石井 宏治、萱尾 澄人	(岡山大学)
	高温超伝導体YBCOの特性測定 ・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • 2 1
•	ポスター発表 B-4:高橋 史恵、藤村 颯	(愛媛大学)
	酵素を利用した食品造りの科学 ・・・・・・・・・・・・・・	2 3

•	ポスター発表 B-5: 髙綱 馨	(慶應義塾大学)
	神経幹細胞の増殖活性を制御する分子機構に関する遺伝学的解析 ・・	25
	A genetic approach for the understanding of the plasticity of neural stem	cells.
•	ポスター発表 B-6:吉田 怜王	(東北大学)
	抗がん剤耐性に挑む!!・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2 9
•	ポスター発表 B-7:永山 龍那、藤浦 愛	(岡山大学)
	遺伝子診断の問題点-PCR 法の問題点-・・・・・・・・・・・・・	• • • • • 3 1
•	ポスター発表 B-8:佐藤 太紀、清水 雅弘、坪井 美樹	(広島大学)
	鳥類の性決定・性分化に影響を与える要因に関する研究・・・・・・	3 3
	The factors that influence the sex determination and sexual differe	ntiation of <b>A</b> ves
•	ポスター発表 C-1:吉川 実紗、阪尾 正己	(大阪府立大学)
	調べてみよう、ミドリムシ ~淡水産と海水産のミドリムシを比べる~	3 7
•	ポスター発表 C-2:渡邊 舞咲	(静岡大学)
	鳥害から街を守るには一「すりこみ」で群れを移動させることができる	かー・・・39
•	ポスター発表 C-3:坂井 美藍	(筑波大学)
	トンボ目均翅亜目の翅の畳み方について ・・・・・・・・・・・	4 1
•	ポスター発表 C-4:廣瀬 奈々美	(京都大学)
	Queen development and endoreduplication in a termite Reticuliterme	s speratus 43
•	ポスター発表 C-5:金沢 優真	(京都大学)
	ニホンザルの乳首の好みについて・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • 4 7
	Nipple Suckling Preference in Japanese Monkey (Macaca fuscata)	
•	ポスター発表 C-6:関 拓洋、新井 隆太	(宇都宮大学)
	ミシシッピアカミミガメの繁殖に関する研究・・・・・・・・・・	• • • • • • 5 1
•	ポスター発表 C-7:長谷川 真央、大沼 遼香	(東北大学)
	納豆菌のバリアとそれを壊すファージ - 発酵産業とバクテリオファー	·ジの関係 - 53
•	ポスター発表 C-8:増井 真那	(筑波大学)
	変形菌の研究 変形体の「自他」を見分けるカ・・・・・・・・・	• • • • • 5 5
	Plasmodium of Myxomycetes has the ability to recognize "self"	and "non-self"

•	ポスター発表 <b>D-1</b> : 岡村 太路	(筑波大学)
	後頭骨化石からイルカの首の動きを復元できるのか・・・・・・・・	5 9
	Assessment of the range of motion in the neck of dolphin's fossi	I
•	ポスター発表 D-2: 齋藤 楓実	(静岡大学)
	ナンバー1の紙飛行機づくり Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ (2013~2015)・・・・・・	6 3
•	ポスター発表 D-3:森本 優貴美	(九州大学)
	結晶配向性の乱れを利用した人工ピンの導入による	
	$YBa_2Cu_3O_{_{\!y}}$ 超伝導膜の磁場角度依存性の改善・・・・・・	6 5
	Improvement of magnetic-field angular dependence of critical	current
	density for superconducting film by introducing disordered crystal as flux pinning centers	grains
•	ポスター発表 D-4:新井田 真澄	(東北大学)
	再生可能エネルギーデバイスに応用されるナノ粒子を自分の手で合成し	
	実際に顕微鏡で見	てみよう・・69
	Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles and	
	Measure of them by Transition Electron Mic	roscopy
•	ポスター発表 D-5:湯島 康友	(京都大学)
	ブール圧縮センシングを用いた RFID タグ検出法・・・・・・・・・	7 3
•	ポスター発表 D-6:松藤 圭亮	(九州大学)
	帯状人エピンの導入による $YBa_2Cu_3O_y$ 超伝導膜の磁場角度依存性の改善	
	Improvement of angular dependence of Jc for YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> superconducti	
	with belt-like pinning	centers
•	ポスター発表 E-1:板垣 有咲、光永 翔、山中 彩紀斗	
	超音波により引き起こされる化学反応・・・・・・・・・・・・・・	7 9
•	ポスター発表 E-2:久保田 愛麗	(埼玉大学)
	香りの化学 〜分子構造との関係を探る〜・・・・・・・・・・・	• • • • • 8 1
•	ポスター発表 E-3:白方 颯人、小田 瑞葉	(愛媛大学)
	ホスター発表 E-3:日万 颯入、小田 瑞泉 発酵の科学・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • 8 3
•	ポスター発表 E−4:安藤 有菜	(東京理科大学)
	フェノール類と塩化鉄(皿)の呈色反応・・・・・・・・・・・・	8 5

•	ポスター発表 E-5:鈴木 梓月 陽イオン交換膜を用いたアルカリ金属およびアルカリ土類金属イオ	(慶應義塾大学) <sup>-</sup> ンの選択透過性・8 7
•	ポスター発表 E-6:野口 明美 ナノダイヤモンドの蛍光特性に関する研究 ・・・・・・・・・	(京都大学) ••••89
•	ポスター発表 F-1:川﨑 海 宇宙を旅したアサガオ(協力:JAXA・大阪市立花乃井中学校理科部 Morning Glory Traveled In Space Supported By JAXA & Hananoi Junior High School	
•	ポスター発表 F-2:中川 慎一朗 電気透析法を用いたセシウムイオン分離に関する研究 ・・・・・	(慶應義塾大学) • • • • • 9 5
•	ポスター発表 F-3:北見 京香 鏑木 菜緒 長ネギの加熱による甘みの変化について ・・・・・・・・ Measurement of a change in the sweetness of green onions before	(東京理科大学) ・・・・・・97 and after heating
•	ポスター発表 F-4:内山 龍人 セミは先に羽化した個体の抜け殻に集まるのか?-Y字管による選	(筑波大学) :行性の研究ー・101
•	ポスター発表 F-5:長原 颯大 β カロテンの UV 照射による退色メカニズムの研究・・・・・・	(九州大学) ・・・・・103
•	ポスター発表 F-6:大倉 智貴 ソープナッツを用いたサポニンの抽出方法の検討 ・・・・・・・	(東京理科大学) ・・・・・105

# ポスター配置図



ロビー 受付側

# アオコの発生領域と原因の究明における衛星データの応用

专岡 知美(札幌東高校 2年) 内村かなた(札幌北高校 3年) 佐藤咲良(札幌南高校 3年) 斉藤涼介(滝川高校 3年) 戸浪聖衣(旭川西高校 2年) 岡本公英(釧路湖陵高校 3年) 関川雄飛(釧路湖陵高校 2年)

担当教員: 成瀬 延康、高橋 幸弘

# ◇研究の目的・意義

水域におけるアオコの異常発生は、環境や健康に多大な影響を及ぼしている。茨城県霞ヶ浦では、2011年からアオコの大発生が起こり、悪臭や景観の悪化につながっている。世界的にも、2007年5月に中国で飲料水源である太湖にアオコが大発生したことにより、利水障害が発生する事態となった。主要先進国においては、藻の回収や下水道の整備などによるアオコ対策が進められている一方で、中国や途上国では対策が遅れているのが現状である。本研究では、Landsatの衛星データを解析すること、並びに、アオコの各生育段階や汚染物質下でのスペクトルを実測し、このスペクトル変化の傾向と衛星データと照合することで、アオコの発生状況やその原因となる物質を明確にし、被害をラスタ的に一元化することを目標とした。本研究は、特に途上国において安価にアオコによる水質汚染領域・汚染物質が特定できる方法論の確立が期待できる。なお、本研究は、研究テーマの設定から研究実施のすべてをグローバルサイエンスで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

上記目的の達成のために、我々は、1. 衛星データ解析によるアオコ分布の推定、2. 汚染原因に よるアオコのスペクトル変化について調査を行なった。1. については、アオコの発生が確認でき る湖沼の代表として諏訪湖の Landsat5-TM 画像を取得し、アオコの分布状況を次の A)-D)の 4 段階で解析した。A) 諏訪湖に仮想的に大きなピクセル(ビッグピクセル)を作る。B)それぞれの ビッグピクセルに含まれる最小ピクセルの値の平均値をそのビッグピクセルの値として、ビッグ ピクセルのスペクトルを算出、C)しきい値を決めて、それより大きい値を持つ最小ピクセルを「ア オコピクセル」それ以下の値を持つ最小ピクセルは「アオコ無しピクセル」と仮定して、それぞ れのビッグピクセル内におけるアオコピクセルの個数割合を算出した。D)B)と C)の相関を見て最 大の相関となる閾値を求め、アオコ分布推定に利用出来るバンド(バンド 1-4)を探索した。一 方、2. については、フィールドで発生するアオコの代表種である Microcystis aeruginosa を水槽 内で繁殖させ、そのスペクトルを解析した。我々は、過去の研究において、鉄イオンの存在下で 水中の 350-450nm 範囲の藻のスペクトルが変化するという報告に注目し、汚染物質下での藻のス ペクトルの変化を通して汚染物質を特定できる可能性に着目した。上記の水槽に水質汚染の原因 となりうる物質(ハイポネックス、鉄イオン)を入れて、その前後の反射スペクトルの変化を測 定した。スペクトル測定には、独自開発した分光器(400-1000nm)を用い、光源は W フィラメ ント電球を用いた。また、測定については水面での光源の反射光が分光器に入射しないように、 角度をずらしたり遮光紙を用いたりするなど、独自の工夫をした。また、スペクトル波長の較正 には蛍光灯のスペクトルを用いた。

#### ◇結果と考察

まず、衛星データ解析によるアオコ分布の推定結果について述べる。クロロフィルの影響が出るバンド 4 (760-900nm) に着目したところ、アオコが存在するピクセルではある閾値よりも高い輝度を示すことが明らかになった。また、湖沼の全ピクセルの平均輝度とアオコが存在するピクセル数を比較すると 0.96 という強い相関が得られた。この相関式より、湖沼の 1 ピクセル内のアオコの割合を算出することが可能になり、より高い空間分解能でアオコの分布を推定できることがわかった。一方、汚染物質によるアオコのスペクトル変化について調査するため、まず、富栄養化物質が湖沼へ流入した場合と同様な状態を水槽内で再現するため、園芸用のハイポネックスを入れた水槽と入れない水槽でアオコを繁殖させた。その結果、両者の水槽では、6 日目から近赤外波長領域(700-900nm)顕著な違いがスペクトルに現れた(再現性有)。この波長域は、Landsat5のバンド 4 に相当する。バンド 3 に相当する波長域(450-520nm)にも変化は現れたが小さかった。この取得したスペクトルから NDVI(正規化植生指数)の時間変化を導出したところ、11 日目には NDVI の差は 20%にもなった。この結果から、富栄養化物質が湖沼へ流入した約 10 日後には、衛星画像からアオコの有無が十分判断できると考えられる。また、鉄イオン下でのアオコのスペクトル変化についても試みたが、十分な再現性が得られなかった。この点は、鉄イオン濃度が高すぎた可能性や繁殖温度が低かったことなどが考えられる。

# ◇今後の展望

衛星画像解析においては、アオコは、水面に満遍なく広がっていてもその位置が深ければ値が小さくなるものと思われるため、湖沼の深さの影響を如何に考慮した解析ができるかが課題である。また、湖沼への富栄養化物質の流入前後の衛星画像から、我々の実測した NDVI の時間変化の妥当性の検証を行う必要があると同時に、別のミネラル (Fe イオン、Cu イオンなど) やコロイドの存在下でのスペクトル変化を実測し、衛星画像から汚染物質の特定を目指したいと考える。

#### ◇主要参考文献

- [1] P. Stumpf et al. "Interannual Variability of Cyanobacterial Blooms in Lake Erie" (2012).
- [2] van Oijen et al. "Effects of iron limitation on photosynthesis and carbohydrate metabolism in the Antarctic diatom Chaetoceros brevis (Bacillariophyceae)", European Journal of Phycology 39, (2004) 161-171.
- [3] Nair et al. "Remote Sensing of Environment", Remote Sensing of Environment 112 (2008) 3366–3375.

### 留学生向け減災アクションカードゲームを作る

吉田奈央・三嶋葵(釜石高校3年),望月達人(東海高校3年), 秋戸優花(三本木高校3年),佐々木長将(釜石高校2年) 担当教員 久利美和(東北大学 災害科学国際研究所 講師),TA 久松明史

#### ◇研究の目的・意義

減災アクションカードゲームは、地震などの自然災害が発生した直後、自分の身を守るための自発的な行動ができるように、小・中学生を対象に開発されたカルタ形式の防災教育教材である。開発者は東北大学リーディング(G-Safety)大学院生5名である。取り札は、国や世代を超えて防災学習ができるようにと、抽象的なピクトグラムが用いられているため、人によってカードの捉え方に違いが生じ、減災行動についての多様な議論が可能となっている。

本研究では、児童向け減災アクションカードゲーム(地震・津波編)をもとに、東北大学飛翔型科学者の卵養成講座発展コース・研究重点コースとして、留学生向けの問題文を開発した。地震国である日本を訪れた留学生が、減災行動を学ぶことを目的としており、作成した問題文の英訳も行なった。ゲーム実施前後にはアンケート調査を行い、災害や減災行動への意識の変化を検証して、カードゲームの有用性について考察した。また、本研究を行うことにより、世界各地におけるカードゲーム普及の可能性や課題を見いだすことができるであろうと考えた。

## ◇研究の方法・プロセス

【問題作成】事前調査として、来日して3ヶ月になる留学生の生活習慣や地震や大雨等の災害時の体験や思いを聞いた。その結果、携帯電話に届く緊急地震速報とは何かが最初はわからなかったことや、その他さまざまな災害情報が日本語で届いても、どのように詳細情報を得ることができるのかがわからない問題があることが分かった。それら聞き取り内容を参考に、災害時における留学生の予想される状況を考え、読み札にあたる問題文を作成した。今回は、地震・津波編として、練習問題を含む計4間で構成した。以下は、作成した問題文である。

- Q0. あなたは学校のカフェテリアにいます。今、地震を感じました。どうしますか。 You are in school cafeteria. You feel earthquake tremors. What do you do?
- Q1. あなたは家に一人でいます。大きな地震が起きました。どうしますか。 You are in your home alone. A big earthquake happened. What do you do?
- Q2. あなたはショッピングモールにいます。携帯の緊急地震速報が鳴りました。どうしますか。 You are in a shopping mall. Mobile phone calls earthquake warning, "Kinkyu Jishin Sokuho (緊急地震速報)". What do you do?
- Q3. 地震が起きたとき、詳しくはわかりませんが、「津波」という言葉が聞こえてきました。 どうしますか。

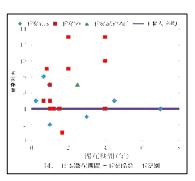
You heard the word "TSUNAMI" just after earthquake. You can't get any details. What do you do?

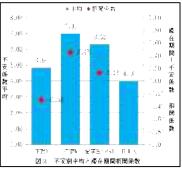
【ゲーム前後のアンケート作成】ゲーム前のアンケートにおいて、基礎データとして、出身国、 滞在期間を質問した。また、日本で起こりうる災害を列挙してもらった。ゲーム後のアンケート では、主にゲームの有用性と災害・減災行動への意識の変化を質問した。

#### ◇結果と考察

【ゲームの有用性・目的達成の確認】ゲーム前のアンケートでは、日本の災害だと思うすべての 災害項目を挙げてもらい、他の基礎データと比較し、滞在期間と不安係数の相関係数、不安係数 の系列別平均値を算出した。(それぞれの災害への不安の度合いが同じと仮定すると、選択災害数 **A-2** 東北大学(GSC)

が多いほど不安を感じていると考えることができる。選択災害数 を不安係数とする。また、不安の度合いの総量が一定と仮定する と、一定の集合でのそれぞれの災害選択数が多いほど重要視して いると考えることができる。それぞれの災害選択数率を災害重要 視率とする。)日本に来る前に災害に対して不安があったと答えた 留学生は、不安係数平均が日本人平均よりやや高いことから、日 本人より不安を感じていることがわかる。また、相関係数は負の 相関関係となっており、時間とともに不安が減少していることが わかる。日本に来る前に不安がなかった留学生は、不安係数平均 が日本人平均より多いことから、日本人より不安を感じているこ とがわかる。また相関係数は正の相関関係となっており、時間と ともに不安が増加していることがわかる。よって、不安を解消す るために、災害対策の知識を身に付けるという点で減災アクショ ンカードゲームの有用性が確認された。その他の出身国による大 きな違いは見られなかった。(図 1・2) ゲーム後アンケートより、 ゲームの内容について、楽しかった、問題が理解しやすかったと



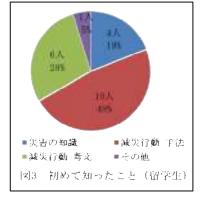


答えていることから、留学生でも分かりやすく楽しめる内容だったと確認できた。しかし問題の

バリエーションの不足や、カードの枚数の多さなど検討課題も残った。

留学生は、ほぼ全員が地震・津波を災害と認めており、地震・ 津波編の有用性は高いことが確認できた。また 3.11 の災害につい ては、個々の事象の認識にとどまっており、地震と津波の連鎖の 認識は浅いと考えられる。

【災害・減災行動への意識の変化】ゲーム後のアンケートで、留学生が初めて知ったことには、災害の知識、減災行動が挙げられ、有用な機会の提供が確認できた。減災行動の手法以外にも考えなどがあるため、減災行動の浸透に有効であることが確認できた。



(図 3) しかし、防災システムの適応には、課題が残った。もっと緊急地震速報や防災無線などの説明等が必要である。

※留学生のアンケート回答者は21名(中国人11名、インドネシア3名、バングラデッシュ3名など)と、人数が少なく、出身国の偏りがあるため、考察はあくまで傾向である。

# ◇今後の展望

研究を通して、減災行動が国ごとに異なることがわかった。例として、建物の中で地震が発生した場合、日本では頭を守るが、中国では建物の外へ避難することが多いそうだ。これらの違いは、それぞれの国の家屋形体や習慣に依存すると推察される。今回の研究においては、日本への留学生に向けたものであるため、日本特有の知識を浸透させていく必要があると確認できた。一方で、減災アクションカードゲームの海外への普及においては、その国の現状を把握し、プレイヤー同士の討論を活発なものにしていく必要があると考えた。アンケートから、多くの人が、取りたいカードを取ることができたと答えている。災害に直面し困窮した状態で、視野を広げて考えさせるために、人数を増やすなどして、より多様な減災行動を検討させる形式にしたい。そしてなにより、一人でも多くの人が減災アクションカードゲームを通して減災行動を学び、自らの命を主体的に判断して、守れる力を養うことができるように、今後も活動していきたい。

# コンピュータを使った数学

大町 誠也(兵庫県仁川学院高等学校 2年)\*発表者 藤本 雄大(洛南高等学校 2年) 担当教員 五十嵐 淳(京都大学大学院情報学研究科 教授)

#### ◇研究の目的・意義

この研究の主たる部分は京都大学にて、グローバルサイエンスキャンパスの一環として行い、ポスター作成等における一部の問題設定・及びその証明は独自に行った。当研究の目的はコンピュータを用いた基礎的な証明を行えるようになることである。京都大学では、証明支援系システムである Coq とテキストとして Benjamin C. Pierce 他著の Software Foundations を用いて、Coqの基本的操作を学び、証明にも取り組んだ。

#### ◇研究の方法とプロセス

#### $\bigcirc$ Coq

Coq は、フランス国立情報学自動研究所(INRIA)によって開発された証明し支援システムである。2004 年には、Georges Gonthier により、Coq を用いた四色問題の証明が発表されている。Coq には証明自動化機能は存在するが、今研究では用いていない。

#### ●命題 1

研究課題として頂いた、0 から n までの総和に関する公式について、紙面上での証明、及び Coq での証明に取り組んだ。紙面上と Coq 両方での証明を行うことにより、それらめいめいの利点・欠点を見出す意図があった。

Coq での証明では、紙面上の証明に比べ、因数分解及び展開の過程等を省略することなく記述する必要があるため、より手間がかかることが分かった。一方で、それらを省略しない分、数学により厳密であると考えられる。

下理 
$$2 \times \sum_{k=0}^{n} k = n(n+1)$$
 Theorem sum\_to\_n : forall (n:nat),  $2 * (sum n) = n * (n+1)$ .

Proof. intros n. induction n as [|i]. reflexivity. rewrite -> plus\_Sn\_sum\_n. rewrite -> Mult.mult\_plus\_distr\_l. rewrite -> IHi. rewrite -> NPeano.Nat.add\_1\_r. rewrite -> NPeano.Nat.add\_1\_r. rewrite -> NPeano.Nat.add\_1\_r. rewrite -> NPeano.Nat.add\_1\_r. rewrite -> Mult.mult\_plus\_distr\_r. rewrite -> Mult.mult\_comm. reflexivity. Qed.

#### ●命題 2

3 乗の総和の公式に関して、証明を組んだ。これは、補題を使うこと、rewrite の文字を指定する方法、及び assert の使用方法に関して触れるという目的もあった。この証明では、命題1の結果を用いることで、証明の簡易化に努めた。

**A-3** 京都大学(GSC)

```
Lemma sum_cube_sum: forall
                                       Theorem sum_cube_n: forall
                                       (n:nat),
(n:nat),
sum cube n = square (sum n).
                                       4*(sum cube n)=(square
                                       n)*(square (n+1)).
Proof.
                                       Proof.
intros n.
induction n as [1i].
                                       intros n.
Case "n=0".
                                       rewrite->sum cube sum.
 reflexivity.
                                       rewrite->square n.
Case "n=Si".
                                       assert (H: 4*(sum n*sum n)
 rewrite->sum_Sn.
                                                =(2*sum n)*(2*sum n)).
 rewrite->square development.
                                        rewrite->mult assoc.
 rewrite->sum_cube_Sn.
                                        rewrite->mult assoc.
 rewrite->(square_n (S i)).
                                        rewrite<-(mult_assoc 2 (sum n)
 rewrite->(plus comm
       (square (sum i)+2*sum i *S i)
                                        rewrite->(mult comm (sum n) 2).
       (S i*S i)).
                                        rewrite->mult assoc.
 rewrite->plus_swap.
                                        reflexivity.
 rewrite<-Mult.mult_plus_distr_r.
                                       rewrite->H.
 rewrite->IHi.
                                       rewrite->sum_to_n.
 rewrite->sum to n.
                                       rewrite->mult assoc.
 rewrite->NPeano.Nat.add 1 r.
                                       rewrite->(mult comm (n*(n+1))
assert (H:S i + i*S i = (1+i)*S i).
                                       n).
 rewrite->Mult.mult plus distr r.
                                       rewrite->mult_assoc.
 rewrite->mult 1 l.
                                       rewrite<-square n.
 reflexivity.
                                       rewrite<-mult assoc.
 rewrite->H.
                                       rewrite <- square_n.
 reflexivity.
                                       reflexivity.
Qed.
                                       Qed.
```

#### ◇結果と考察

命題 1,2 ともに Coq での証明を確かに行うことができた。命題 1 からわかるように、Coq での証明は煩雑であるため、証明に際して、適宜コメントを入れることで証明を理解しやすくする工夫が必要である。命題 2 のように、証明を工夫することで、より平易になるようにする努力も欠かせない。

#### ◇今後の展望

続いては4乗、5乗について取り組みたい。最終的にはi乗と一般化したときについても取り組んでいきたい。

◇主要参考文献(アクセス日 15/09/07)

Cog: https://cog.inria.fr/, Software Foundations: http://www.cis.upenn.edu/~bcpierce/sf/

# 手作り電波望遠鏡による天体観測

村上典花(さいたま市立浦和中学校 2年) 担当教員:大朝由美子(埼玉大学)

#### 要旨

天体からは可視光だけでなく様々な電磁波が放射されている。それぞれの波長に応じて天体を観測する方法は多数あり、その1つに、通信衛星の電波を受信しているBSアンテナを使用した電波観測がある。本研究では、BSアンテナを改良して作成した電波望遠鏡と自作受信機を用いて、2014年7月から2015年7月にかけて太陽と月を観測した。その観測データから輝度温度及び半値幅を求め、電波強度の変動について考察した。

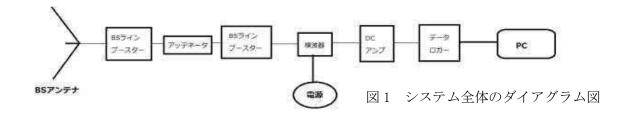
# ◇研究の目的・意義◇

光学望遠鏡は、学校や家庭でもよく利用されている。しかし、電波望遠鏡は、装置が大がかりで手軽な観測は難しい。本研究の目的は、身近な材料から電波望遠鏡と受信機を作成し、実際に太陽と月を対象とした観測を実施することである。この観測から、作成した望遠鏡や受信機の精度を調べるとともに、光学望遠鏡では見ることのできない「電波で見た」天体の姿に迫る。本研究は研究テーマの設定から研究実施の全てを埼玉大学の次世代科学者育成プログラムで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス◇

### 1) 電波望遠鏡と受信機の作成

図1に今回作った電波望遠鏡と受信機全体のシステムダイアグラムを示す。アンテナやラインブースタ、データロガーなどは市販品を使ったが、検波器やDCアンプは自作である。



#### 2) 自作機器の説明

- ・検波器:交流を直流に変換。ショットキーバリアダイオード使用。15V供給回路付き。
- ・DC アンプ: 直流電圧を増幅。オペアンプ使用。差動増幅方式。
- ・スポットファインダー:月観測の位置合わせ用。可視小型望遠鏡を架台に取り付ける。
- ・赤道儀:ジャッキの長さを変えて追尾。金属パイプ、金具等使用。

#### 3) 太陽及び月の観測

#### ①理論

天体は、自身の熱エネルギーの大きさによって、様々な波長の電磁波を放射している。例えば白熱電球が温度によって放射する電磁波の波長のピークが変化するのと同様に、熱エネルギーと電磁波の波長には相関関係がある。12 GHz の電波は、太陽なら彩層、月なら表層の温度にあた



図2 定数の説明

る。電波強度から太陽と月の温度を求めるためには、他に温度が分かっている物体と比較する必要がある。また、太陽と月の視野角は、アンテナの指向性の指標(半値幅)より小さく、アンテナ

**A - 4** 埼玉大学(次世代)

温度が実際の天体の輝度温度の値よりも低くなるため、補正を行った。

#### ②観測方法

- 1. 太陽(月)の軌道上にアンテナを向け、天体がアンテナの前を通過する時の電波強度の変化を 記録し、その中の最大値:天体の強度 Vsun or Vmoon と、最小値:大気雑音 Vsky を測定。
- 2. 温度 Tbody の黒体(ヒト)がアンテナの前に立って、ヒトの強度 Vbody を測定。
- 3. アンテナを天頂に向け、機械の雑音 Vnoise を測定。

表 1 観測条件

観測条件	観測日	観測場所	気象条件	(月齢)
太陽観測	2014/7/30	埼玉大学 H 棟屋上	晴れ	
	2014/8/13~16, /8/23, /11/15~16	さいたま市南区 自宅のベランダ	晴れ or 曇り	
月観測	2015/7/27, 29, 31	埼玉大学+棟屋上	曇り	11, 13, 15

#### ◇結果と考察◇

#### 1)天体輝度温度の計算

Vsun or Vmoon には Vsky および Vnoise が、Vbody には Vnoise が含まれる。このとき、実際のアンテナ温度 Tant を求める式は以下のとおりである。

$$\frac{(V \text{sun or } V \text{moon} + V \text{sky} + V \text{noise}) - (V \text{sky} + V \text{noise})}{(V \text{body} + V \text{noise}) - V \text{noise}} = \frac{T \text{ant}}{T \text{body}}$$

以下の式より輝度温度 Tsun (Tmoon) への補正を行う。半値幅:  $\alpha$  [ $^{\circ}$ ] 天体視野角: r[ $^{\circ}$ ] とする。 半値幅  $\alpha$  は、太陽電波強度の時間変化のグラフから求めた。

$$T$$
sun or  $T$ moon =  $\frac{a^2}{r^2}T$ ant

#### 2)観測結果

- ①太陽観測\_\_半値幅:4.63°全値幅:11.46°輝度温度:8865.8[K]
- ②月観測\_半値幅: 2.81°全値幅: 11.35°輝度温度: 127.4[K] (半値幅 4.63 のとき 302.8[K])

#### 3)考察

本研究で求められた太陽の輝度温度 Tsun は文献値  $5000 \sim 10000$  [K] の範囲内であり、月の輝度 温度 Tmoon も文献値  $100 \sim 390$  [K] の範囲内であった。また、太陽観測時のグラフに比べ、月観測 時はアンテナ前の通過前後で傾きが異なり、左右非対称な形が見られた。これは、月齢、つまり 太陽からの光の当たり方に関係があると考えられる。

# ◇今後の展望◇

今後は同じ観測方法で月齢別の観測データをそろえ、月の満ち欠けと電波強度の変化との関連性についてさらに詳しい観測と模擬実験を行っていきたい。また、現在の望遠鏡に追尾装置を加え、様々な天体の観測を行っていきたい。

#### ◇主要参考文献◇

- 1) 高校生天体観測ネットワーク 2008 〈 <a href="http://www.astro-hs.sakura.ne.jp/">http://www.astro-hs.sakura.ne.jp/</a> >
- 2) 実用電子回路ハンドブック(1) 可変利得差動増幅回路, CQ 出版, 1972年1月刊行.
- 3) 天体観測の教科書 太陽観測[編], 誠文堂新光社, 2009年8月31日発行.
- 4) 高等学校用地学 Earth & Universe, 数研出版, 2014 年 1 月 10 日発行.

# 福島県および神奈川県の土壌中の放射能に関する研究

沼崎里咲(湘南白百合学園高等学校 2年) 井上浩義(慶應義塾大学医学部化学教室)

#### ◇研究の目的・意義

私たちの身の周りには、多様な放射能が存在する。これらをまとめて環境放射能と呼んでいるが、環境放射能には、地球誕生の時から地球上に存在する放射性同位元素(放射性物質)から放出される放射線および宇宙から降り注ぐ放射線(宇宙線)で構成される自然放射線と2011年3月に発生した福島第一原発事故によって注目された、人間の活動によって作り出した放射線、あるいは作り出した放射性物質から放出される放射線である人工放射線が含まれる。本研究では、我々の生活の基盤となる土壌中に、どのような放射性物質が含まれるかを、福島第一原発事故が生じた福島県と発表者が居住している神奈川県においてサンプリングし、放射線を測定し比較した。この研究は、私たちの身の周りに人口放射線がどの程度存在するのか、および環境放射能に福島第一原発事故がどの程度影響しているのかを明確にすることを目的とした。

なお、本研究は、研究テーマの設定から研究実施のすべてをグローバルサイエンスキャンパス事業で行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

#### <サンプリング>

福島県のサンプルは、2011 年 4 月に福島県南相馬市原町地区で採取され、慶應義塾大学医学部化学教室に保管されていたものを使用した。また、神奈川県のサンプルは、2015 年 4 月に神奈川県川崎市中原区の多摩川土手で採取した土壌を使用した。サンプルは表層 5cm の土壌を採取した。土壌表面の草や枯葉を除去し、5cm×5cm×5cm の土壌を土壌採取器によって採取した。付近 5箇所から採取し、最終的にその 5箇所を平均し、測定値とした。同時に、サンプル位置の上 1mにおける放射能および空間線量率を測定した。放射能は、GM サーベイメータ(日立アロカ製)、および空間線量率は、空間線量率計(日立アロカ製)を用いた。測定は、3回行い、その測定を平均した値を測定値とした。

### <土壌乾燥>

採取した土壌は、120°Cで 24 時間以上乾燥させ、恒質量となったところで、網目 3mm の篩にかけた。その後、約 100g を $\gamma$ 線測定装置である NaI シンチレーション  $\gamma$  カウンター (Ospray; キャンベラ社)の校正に用いたものと同じ容器に入れ密閉した。

#### <ν線測定>

NaI シンチレーション  $\gamma$  カウンターを用いて、10 時間ガンマ線を累積測定し、



図 1. 放射能測定画面(放射性物質が特定されている)

マルチチャンネルアナライザー (Model 802;キャンベラ社) でチャート化して (図1)、その面

積で放射能を計数した。結果は土壌の単位重量(1g)あたりの放射能で表した。なお、放射能は すべて平成27年7月1日に測定したように、下記の半減期の式を用いて補正した。

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

ここで、Nは時間 tにおける原子数、 $\lambda$ は壊変定数である。

#### ◇結果と考察

測定の結果、表 1 のような結果を得た。人工放射性物質として、セシウム 137 とセシウム 134 が検出され、天然放射性物質としてカリウム 40 が検出された。

核種	エネルキ゛ー(keV)	福島土壤(Bq/g)	神奈川土壤(Bq/g)
ョウ素 131(I-131)	364.48	検出されず	検出されず
セシウム 137(Cs-137)	661.65	$6.98 \times 10^{-1} \pm 1.26 \times 10^{-1}$	$9.90 \times 10^{-2} \pm 3.63 \times 10^{-2}$
セシウム 134(Cs-134)	795.85	$1.78 \times 10^{-1} \pm 3.27 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-2} \pm 2.85 \times 10^{-3}$
カリウム 40(K-40)	1460.81	$9.75 \times 10^{-1} \pm 3.71 \times 10^{-1}$	$8.54 \times 10^{\text{-}1} \pm 2.38 \times 10^{\text{-}1}$

表1. 土壌から検出された放射能

今回の研究では、天然放射性物質である K-40 は当然見つかった。それに加えて、人工放射性物質である Cs-134 および Cs-137 が検出された。2011 年 3 月の福島第一原発事故以降に、これら人工放射性物質に加えて I-131 が、ロシア・日本海 $^{1}$ 、ヨーロッパ全土 $^{2}$ 、そして、当然のことながら我が国でも見つかっている。福島第一原発事故により放出された Cs-134 と Cs-137 とはほぼ同量であったそうである。現在の測定値は少しのぶれはあるがほぼ半減期から予想される値どおりの比となっていた。事故から 4 年半を経過した今でも、これほど大量の人工放射性物質が身近に存在するとは思っていなかった。また、その値は福島県の方が神奈川県よりも圧倒的に大きく、被害の大きさを感じた。

#### ◇今後の展望

今回の研究によって、福島第一原発事故の影響が未だに身近に存在することが分かった。これら の経験を元に、今後も、様々な場所の土壌をできるだけ長期に測定していきたいと思う。また、 そのことで、今後、エネルギーを含めた放射線の利用について考え、行動することができれば良 いと思っている。

#### ◇主要参考文献

- 1) Neroda AS, Mishukov VF, Goryachev VA, Simonenkov DV, Goncharova AA.: Radioactive isotopes in atmospheric aerosols over Russia and the Sea of Japan following nuclear accident at Fukushima Nr.1 Daiichi Nuclear Power Station in March 2001. Environ Sci Pollut Res Int.2014 Apr;21(8):5669-77.
- 2) Masson O, Ringer W, Mala H, Rulik P, Dlugosz-Lisiecka M, Eleftheriadis K, Meisenberg O, DeVismes-Ott A, Gensdarmes F: Size distributions of airborne radionuclides from the fukushima nuclear accident at several places in europe. Environ Sci Technol.2013 Oct 1;47(19):10995-1003.

\*この研究では放射性物質は一切扱っていませんが、放射線使用に関する安全教育は別途行なっております(指導者)。

# 海苔廃水の水質改善

横山 昴 (宅峰中学校3年)、佐々木 晴香 (荒尾第三中学校3年) 担当教員:坪根 弘明、竹内 伯夫、村岡 良紀(有明高専)

#### ◇研究の目的・意義

有明海周辺地域の特産品である海苔を加工する際に、海苔屑を含む廃水 が河川に未処理で排出されている。この廃水は海苔に含まれるフィコピリ ン(色素)により赤色に染まっており、周囲の景観悪化とともに、海苔屑 の堆積に伴う異臭も発生し、環境問題の原因になっている。

平成26年度の有明次世代科学クラブでは、6月7日~12月27日の期間 (全14回)に、「海苔廃水の水質改善」をテーマに活動を行った。本目的 は、廃水中の色素を分解もしくは除去するとともに、廃水の水質を改善す ることである。グループ毎に様々な手法でいかに「効率よく」、「安く」、「手 軽」に水質を改善できるかを考え、実験的に調査を行った。今回、A~C班



図1 海苔加工場周辺水路

(一班6名×3班)で異なる調査を行ったので、その内、A・B班の結果について報告する。

#### ◇研究の方法・プロセス

各班で家庭実験(表1)を行い、その中から色の除去に影響がありそうな方法をいくつか選び、本実 験 (表 2) において、全有機炭素分析器 (島津製作所、TOC-V CSN) および排水分析器 (日本電飾、NDR-2000) を用いて、全有機炭素量 (TOC)、濁度、着色度、吸光度、pH の変化を計測した。

表 1 家庭実験(予備実験)で使用した材料・方法および結果

分類	A 班	B 妣	
化学系	塩素系漂白剤(○)、プール用塩素(○)、 アミクリーン(○)、重曹(×)、クエン酸(×)	塩素系漂白剤(○)、酸素系漂白剤(○)、 オキシドール(○)	
生物系	EM 菌(×)、環境浄化微生物(えひめ AI-1・えひめ AI-2)(×)、麹菌(×)、納豆菌(×)、水草(○)	水草 (△)	
その他	直射日光(×)、加熱(○)	活性炭(△)、木炭(×)、軽石(×)	

※カッコ内は色の除去結果を表す。

表 2 本実験で使用した材料・方法およびその条件と結果

分	A 班			B 班		
類	材料	条件	結果	材料	条件	結果
化学系	アミクリーン	・疑似海苔廃水 500 mL にアミク リーン 100 mL を混合 ・空気、酸素、窒素でバブリング	0	塩素系 漂白剤	・疑似海苔廃水 150 mL と漂白剤 0.1、 0.2、5、10 mL を混合	0
		・疑似海苔廃水 200 mL に対し水 質浄化凝集沈降剤 (PG α 21Ca) を 0.1 g溶かして 1 分間撹拌	0		・疑似海苔廃水 150 mL と酸素系漂白剤 10 ml を混合	×
生物系	_	_	_	水草	・疑似海苔廃水 150 mL に水草(ホテイアオイ 25g、オオカナダモ 1g)を入れ、日光の有無による影響を調査	Δ
その他	加熱	・疑似海苔廃水 1500 mL を加熱 ・25~95 ℃に達するまで 1 時間 加熱、更に 1 時間観察	0		・疑似海苔廃水 150 mL と塩素系漂白剤 0.2mL を混ぜ、さらに活性炭 (特 A 超高性能活性炭 BLABO) を 20g、25g、 30g、35g をそれぞれ追加	. ^

#### ◇結果と考察

A班のアミクリーンを用いた場合における基 準となる疑似海苔廃水の初期値に対する着色度 と濁度の変化の割合を図 2 に示す. 他の条件と の比較のため、廃水をそのまま放置すると、着 色度は30%程度低下した。次に、空気バブリン グを行った場合、着色度と濁度の低下は80%以 上であった。そこで、空気の主な成分である窒 素および酸素でそれぞれ同様にバブリングを行 ったところ、窒素バブリングの場合、着色度お よび濁度は両方とも70%程度低下した。しかし、 酸素バブリングについてはほとんど影響が見ら れなかった。加熱処理についても、顕著な結果 が得られなかった。水質浄化凝集沈降剤を用い た場合、着色度は70%程度、濁度は90%程度低 下したものの、処理後の凝固物の濾過を考える と、あまり実用的ではないと考えられる。

B 班の塩素系漂白剤および水草を用いた場合における、疑似海苔廃水の初期値に対する TOC、pH、吸光度、濁度、着色度の変化の割合を図3

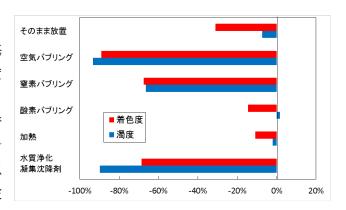


図2 本実験結果:アミクリーン (A 班)

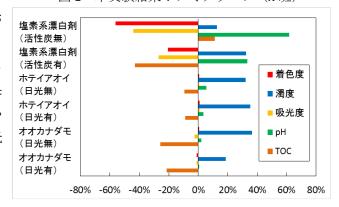


図3 本実験結果:塩素系漂白剤(0.2 mL)および 水草(B 班)

に示す。塩素系漂白剤(活性炭無)を 0.2 mL 以上入れると、廃水の色は一瞬で除去でき、着色度は 60% 近く、吸光度も 40%以上低下した。しかし、本手法では廃水中に残留塩素が残ってしまうことが懸念されるため、塩素の吸着処理を狙って活性炭と組み合わせて実験を行ったところ、活性炭を入れたことにより着色度や濁度、吸光度が多少悪化したものの、pH が少し改善し、TOC は大幅に低下した。しかしながら、別途測定した塩素濃度については、顕著な変化が見られなかった(図省略)。次に、水草を用いた場合、どちらの水草も濁度は上昇し、TOC は低下する傾向であった。なお、オオカナダモのほうが少量であるが、TOC の低下率がより顕著であった。さらに、水草を用いた場合の日光の有無および酸素系漂白剤を用いた場合の影響について、廃水の色の除去および水質への効果は確認できなかった。

#### ◇今後の展望

「有明次世代科学クラブ」では、発足3年目(平成26年度)は海苔廃水の化学・生物的手法による水質改善について取り組んだ。今後は、2年目(平成25年度)の海苔廃水改善に関する物理的手法の知見と組み合わせて、安価でより実用的な海苔除去装置の開発を目指していきたい。

# PM2.5 空間分布モデリングの評価に関する研究

片岡 佑太(広島大学付属福山高等学校 2年)、 棚田 雄介(岡山県立城東高等学校 2年)、 渡邊 果歩(岡山県立倉敷青陵高校 2年) 担当教員(岡山大学 山川 純次)

#### ◇研究の目的・意義

近年大気汚染の問題は社会関心を強く集めている。今回私たちは、その中でも PM2.5 にスポットを当て、研究テーマの設定から実施のすべてをグローバルサイエンスで行った。PM2.5 は汚染物質であり、空気中に浮いている。この物質は時には咳や結膜炎症状、呼吸器・循環器疾患や、アトピー性皮膚炎の人はかゆみが増すといった健康被害を出すことがある。なので、人々が PM2.5 に対策しやすくするために、別の地点で観測を行い、分布図の精度が上げることが重要だと考えた。

この物質の分布については、まだ沢山の調査が必要である。岡山県南部の PM2.5 のデータは岡山県が運営しているサイトから手に入れることが出来るが、その分布のデータにはいくらか問題がある。まず、観測点には限りがあるので、そのデータから得られる分布の結果は比較的低い解像度である。しかし岡山県には PM2.5 だけでなく PM10 の観測点もあり、その数は PM2.5 のものよりも多い。そしてこの PM10 のデータは PM2.5 と同時に手に入れることが可能である。

岡山県のウェブサイトから手に入れたデータでは、PM2.5 と PM10 には一定の相関が見られた。これを用いて PM10 のデータから PM2.5 のデータを仮想することで、以前の約3倍の解像度を持つ分布図が作れるようになった[文献1]。

今回、この分布図を作成するモデルを検討するため、グローバルサイエンスで測定を行った。

# ◇研究の方法・プロセス

まず、中古部品から個人のパソコンを作成した。最初、作業はスムースに進んでいたが、信号ケーブルの規格が合わなかったり、後日起動しようとすると電源が入らなかったりと失敗を繰り返したが、その都度機会の緻密さを実感し、完成時にはそのパソコンにとても愛着を感じた。

次に、ウェブサイトから手に入れたデータを用いて PM2.5 の濃度分布図を作製した。そして岡山大学自然科学研究科棟の周辺で PM2.5 の空間濃度を測定し PM2.5 分布モデルから予測された濃度と比較検討し、分布モデルの妥当性について検討することにした。PM2.5 と SPM10 の濃度測定は TSI 社の機器を使用して行った。

#### ◇結果と考察

#### (1) 観測一般に関する考察

今回の観測における注意点は機械の風上にたたないことである。使用する機械は衣服からでるホコリ等にも反応し値が変化してしまう。よって測定前に風向きを確認した。また今回使用した機械は持ち運びが可能なサイズのものだったため、測定ごとに部屋へ持って帰った。このとき、次に測定する場合に設置場所がずれてしまうと同じ条件での測定ができなくなる。そのため目印をきめ同じ地点での測定を心掛けた。最後に機械の持ち運びは大きめの箱に入れて行ったが測定の時には必ず箱から出して行った。それは箱の中に空気が溜まってしまい、それにより濃度が上がってしまうためである。

2) 測定する時の本観測点と予備観測点の決定についての考察

今回使用した機械は雨などにより濡れてしまうと使えなくなってしまう。その対策として予備観測点を設定した。予備観測点としてふさわしい地点は、機械が濡れない場所であること、測定した値が同じであること、の2つである。よって今回は事前に複数の地点で予備測定をし、予備観測点を決めておいた。なお、都合の良い地点がみつらなかった場合はテントを張りその下で測定をするという方法もある。

3) 得られた観測値に関する考察

24 時間の連続観測を行い、24 個のデータをとったところ、PM2.5 と PM10 の値の差は PM2.5 を基準に +0.001~-0.012 の間に収まった。これを計算すると、

PM2.5 の平均値は 0.03891…

PM10 の平均値は 0.03466…

となった。これを約0.035、0.039 として計算すると、PM2.5 の共分散は約0.0644, PM10 の共分散は約0.0760 となり、二つの偏差積は0.0415 となった。この結果をもとに相関係数を求めると、

 $r = 0.0415/\sqrt{0.0644}/\sqrt{0.076} = 0.596 = 0.6$ 

これにより、二つのデータには正の相関があると言える。しかし、なぜ PM10 のほうが PM2.5 よりも値が低くなるかについてはまだわかっていないので、今後の研究課題である。

#### ◇今後の展望

この研究により、PM2.5 と PM10 に相関があることが分かり、PM2.5 の観測点が無い場所でも、PM10 のデータを用いて PM2.5 の分布図を作れることがわかった。今後、その他の物質についても PM2.5 と の相関を調べることで仮想 PM2.5 として用いることができるようになると期待される。また、さらに 正確な PM2.5 の分布図を作ることで常に値が高い場所、すなわち PM2.5 の発生源を特定することが可能になるかもしれない。

#### ◇主要参考文献

[1] "岡山県南部における PM2.5 の高精度高解像度空間分布推定" 大森秋穂,山川純次

岡山大学地球科学研究報告, 21 巻 1 号, 1-5, 2014.

**A-8** 岡山大学(GSC)

# 植物プランクトンと水質

# ~日射量調節と腐植質添加による植物プランクトン増殖速度の変化~

北濱 駿太 (岡山県立倉敷天城高等学校 2年)、春口 一騎 (岡山高等学校 2年) 担当教員:河原 長美 (岡山大学)

#### ◇研究の目的・意義

富栄養化とは、調和型湖沼において、水中にリン (P) や窒素 (N) など (欧米では Si も重視される) 水生植物の栄養源が多く含まれるようになり、その結果生物生産性 (光合成) が増大する 現象をさす。富栄養化自体は自然にも起こるものであるが、植物プランクトンが異常増殖すると アオコ・水の華を発生させたり水道水の異臭味を引き起こしたりする。また、増殖後死滅した植物プランクトンにより富栄養化がさらに進むなど、植物プランクトンの増殖は様々な被害を引き起こしている。そこで、植物プランクトンの増殖を抑えることを目的として以下の 2 種類の条件を加えて実験を行った。

- ① 日射量の制限・・・植物プランクトンの光合成には日射量が必要であり、遮光することによって増殖の制限ができると考えた。
- ② 腐植質の添加・・・鉄は必須元素のひとつであり、腐植質の一部が溶存鉄などと結合し植物 プランクトンに鉄が適当量供給されなくなることによって増殖の制限ができると考えた。 なお、研究テーマの設定から研究実施のすべてをグローバルサイエンスで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

自然条件での富栄養化の進行を調査するため、岡山大学内のビオトープにて実験を行った。ビオトープより水を汲み、次の11個の水槽に各2000mL ずつ分配して実験を行った。

- 日射量 3 割減× 2
- ・日射量6割減×2
- ・底泥抽出液 25mL 添加×2
- 底泥抽出液 50mL 添加×2
- 対照実験×3

図1 ビオトープの水を入れた水槽

日射量は水槽の寸法を測定して、それぞれ水面積の3割、6割にあたる部分をアルミホイルで遮光した。底泥抽出液はビオトープ底泥を池水とともに採取・混合後ろ過したものであり、腐植質の代替として用いた。照り返しによる温度上昇を避けるために、ブルーシートを用いて作った水溜めの上に水槽を並べた。なお、予備実験段階で藻類の繁殖がほとんど確認できなかったため、植物プランクトンが高濃度になっていた岡山城のお濠の水を100mL ずつ各水槽に添加した。

測定では、気温と水温を測定したのちまず蒸留水を用いて 重量で蒸発量補正を行った。撹拌したのちクロロフィル測定 器をもちいて植物プランクトンの濃度を示す量としてクロロ フィル量を測定し、次いでサンプルを採取しパックテストを 用いて次の測定項目の濃度測定を行った。

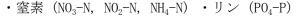
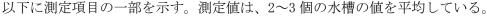


図2 パックテストでの測定の様子

・COD (化学的酸素要求量) ・DO (溶存酸素)・pH (水素イオン指数)

**A-8** 岡山大学(GSC)

#### ◇結果と考察



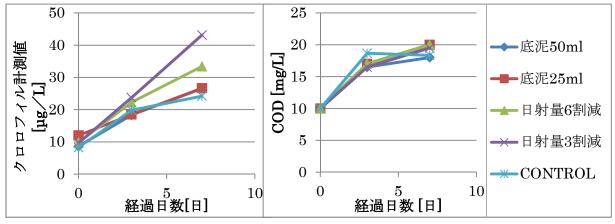


図3 クロロフィル濃度の変化

図4 COD の変化

パックテストの結果どの水槽も各栄養分の測定値が上昇しており、クロロフィルも増加したため植物プランクトンは増殖したと考えられる。

日射量を制限した水槽では、クロロフィル濃度の増加具合は対照実験<日射量6割減<日射量3割減となった。この結果は日射量を制限すると富栄養化は遅く進行するという仮説に反する。この理由として、実験を日射量の強い8月上旬に行ったために対照実験の水槽では強光阻害が起きていて、逆に日射量を制限したほうが増殖速度が大きかったと考えられる。6割減より3割減の水槽で進行速度が速かったのは、遮光による光合成の阻害の効果のほうが大きいためであると考えられる。

腐植質として底泥抽出液を加えた水槽では、対照実験と比較して有意な差は見られなかった。これは、加えた腐植質の量が少なく植物プランクトンの増殖に影響を与えるまでに至らなかったため、または、抽出液中の養分により植物プランクトンの増殖を促してしまったために、本来の目的であった腐植質が溶存鉄などと結びついて適当量供給されなくなり、植物プランクトンの増殖を抑えるということと互いに拮抗したためであるかの、どちらかであると考えられる。

#### ◇今後の展望

今回は日程の関係でデータ量が非常に少ないため信頼性に乏しい結果となった。今後の研究ではより多くのデータを取るとともに、日射量の制限割合の増加、底泥抽出液添加量の種類を増やして再度実験を行いたい。なお、腐植質については試薬を利用するなど質を上げたうえで実験を行いたい。

#### ◇主要参考文献

- 1)河原長美(2012)「富栄養化理解の深化と新たな防止対策の展開」,『電力土木』362, pp. 5-10, 電力土木協会.
- 2) 大村達夫(2007)「豪州 Moreton 湾における毒素生産シアノバクテリアの増殖メカニズムの解明」 平成 16 年度~平成 18 年度科学研究費補助金(基盤研究(A))研究報告書(16254001).

B-1 秋田大学(次世代)

#### 紙の力

門脇帝規(秋田大学教育文化学部附属中学校,3年) 山下寛雄(秋田大学教育文化学部附属中学校,2年) 担当教員(渡辺博久)

#### 研究の目的・意義

紙は、半紙は書道に、鼻をかむときはティッシュペーパーなど、たくさんの用途に使われるため、紙質が異なっている。それによって、同じ薄さや重さでも様子の違うものになっている。 そこで、紙の吸水力に注目し、詳しく調べることにした。

研究は基礎的な部分を研究グループの活動として行い、研究助言を次世代科学者育成プログラムで行った。

#### 研究の方法・プロセス

実験1 ・調べること: 水面からの高さと半紙への水の浸透時間

- ・仮説: 水面からの高さが高いほど水がいきわたる時間が長い。
- ・仮説の理由: 金属を熱したときのように、水に触れた場所から徐々に水が浸透 していくと考えたから。
- ・用意するもの: 水、トレー、半紙(目盛りを書きやすく、加工しやすいため)、 割り箸、メジャー、スタンド
- ・実験方法: トレーに底から 2cm の高さまで水を張り、水が水面から 5cm の 高さまで水が浸透する時間を測定する。
  - ① 幅 5cm (縦 33.8cm) に切った半紙に 1cm ごとに目盛りをかく。
  - ② スタンドにつけた割り箸にその半紙を挟む。
  - ③ スタンドごと半紙が水につかるように移動させ、半紙の端が水についたところから時間を測定する。



O PECCHBOOK STREET

図1 目盛りをかいた半紙 図2 実験用具

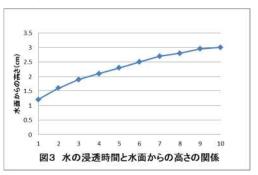
- 実験2 ・調べること: 紙に水が浸透する時、どのような現象が起きているのか
  - ・仮説: 紙に水が浸透する時、紙の中では毛管現象が起こっている。
  - ・仮説の理由: 紙は繊維が立体的に交差してできており、繊維どうしの間には隙間があるため、そこに水が入り込むのではないかと考えた。
  - ・用意するもの: 水、ビーカー (2個)、ティッシュペーパー (吸水を目的としているため)
  - ・実験方法: 水の移動の有無、移動があった場合は時間と移動量をみる。 (毛管現象であれば、水が空のビーカーに移動していく。)
    - ① 2つのビーカーを繋ぐとき、形を崩さず、維持するため、ティッシュペーパー( $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ )をねじる。

**B** 一 1 秋田大学(次世代)

② 水を入れたビーカー(100mL)と空のビーカーに両端を差し込み、水の移動の有無、移動があった場合は時間と移動量をみる。

#### 結果と考察

実験1・結果: 下のグラフ



・考察: 仮説の「水面からの高さが高いほど水がいきわたる時間が長い」ことは 正しかった。

> 緩やかに同じ割合で水が浸透していったが、水面からの高さが高くなる うちに浸透していく速度が遅くなっていった。

実験2 ・結果: 1時間ほど実験を行ったが、水は30mLしか移動しなかった。



図4 水の移動

・考察: 水がティッシュペーパーによって移動したことから、仮説の「紙に水が 浸透する時、紙の中では毛管現象が起こっている」ことは正しかった。

#### 今後の展望

今回確認できた、水が浸透していく途中の過程の変化の様子は、半紙以外の紙でも同じような結果になるのか、紙を水平にして水をいきわたらせたときの水の浸透過程など、多種の紙、実験を行い、どのような結果になるのかを確かめてみたい。

#### 主要参考文献

- ・紙の科学 紙の基礎と印刷適性 -構造・物性・加工・印刷品質評価-東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 製紙科学研究室 准教授 江前敏晴
- 「容器の中から逃げ出す?水!」 毛細管現象NGK サイエンスサイト 2001 年 5 月号 日本ガイシ株式会社
- ・紙の知識とデータ集 日本紙パルプ商事株式会社
- ・フェイシャルティシュー Q&A 日本製紙クレシア株式会社

# 最先端の粒子飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber (MRPC) を自作し、宇宙線を使って性能を評価しよう

小山佳子(宮城第一高等学校 2年) 担当教員 金田雅司 (東北大学大学院理学研究科 助教)

#### ◇研究の目的・意義

我々の暮らす世界は原子と呼ばれる粒子で形成されている。そして原子は中心にある原子核とその周りを回る電子で構成されており、さらに原子核は、プラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子でできている。そして陽子や中性子を構成するのが素粒子である。このような小さな物質を研究し、その性質を調べることで、これまで物理学における多数の謎が解明されてきた。その研究の主な方法として、加速器と計測器(検出器)という、二つの機器を用いるものが挙げられる。加速器によって粒子を加速・衝突させると新たな粒子が生成される。測定器を用いることで、この新たな粒子の性質を知ることができる。

本研究で作成・使用した MRPC とは、前述した測定器の一種であり、MRPC 内を通過した粒子の飛行時間の計測に用いられる。この MRPC を自作し、性能を評価することによって、より素粒子物理学に対する理解を深めること、そしてより精度の高い MRPC を作成するための改善点を探すことを目的とした。

なお、本研究は、研究テーマの設定から研究実施の全てを次世代科学者育成プログラム・発展コースで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

【MRPCの作成】: 仕組みを把握するために、まず小さな MRPC を作成し、その後に実際に実験に使用する大きな MRPC を作成した。 どちらも作成の工程は、以下の通りである。

- ① プリント基板作り
- ② スペーサーとして釣り糸を張る
- ③ ガラスを重ねる
- ④ ②と③の繰り返し
- ⑤ シグナル・高電圧ケーブルの配線

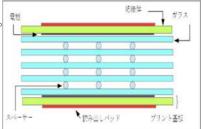


図1 MRPC の構造

MRPC は主にガラスとプリント基板から成り、プリント基板は電極と読み出しパッドが表面にある。ガラス間には、釣り糸で隙間を作る。その隙間にガスを流す。本実験では、性能評価のために宇宙線を利用した。宇宙線が MRPC を通過すると、宇宙線によってガス分子がイオン化する。発生したイオンと電子が電極方向に引き寄せられ、その際に周囲の他のガス分子もイオン化する。これが繰り返し起こり (雪崩増幅と呼ばれる)、最終的に読み出しパッドに誘起された電荷がシグナルとして観測される。

この装置を用いると 100 ps 程度の時間精度 (分解能) で、荷電粒子の通過時刻を測定出来ることが先行研究で知られている。このような微小な世界で起こる事柄は確率事象であり、統計的な揺らぎが生じる。測定精度はこの揺らぎに由来している。

測定するにあたって、宇宙線が確実に通過したことを保証したい。そのため複数の検出器を 上下に並べ、それらが同じタイミングでシグナルを出したときに宇宙線が通過したとした。

【MRPC の性能評価】: MRPC の性能を評価するために、MRPC とは別の検出器である PMT、プラスティック・シンチレータを使用した。PMT は左右で分かれており、LとRが一対となって検出を行う。図2のように宇宙線の粒子がプラスティック・シンチレータを通過する時、通過した点で光が発生する。

PMT1、PMT2それぞれでその光が発生した時刻と、MRPCで反応が起こった時間には、検出器が上下に並んでいることから3つ全てにおいて差が生じる。この時間差を利用し、3つの検出器それぞれの性能を評価する。

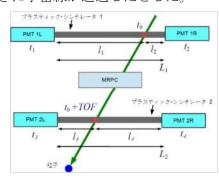


図2 性能評価をする際の構造

【得られた信号の変換】: MRPC、PMT が計測したアナログ信号を、コンピュータ処理をするためにデジタル信号へと変換する。そのために閾値(しきいち、threshold)を設ける。閾値を超えた時、デジタル信号として反応するとした。粒子が通過するタイミングが同じでも信号の立ち上がり方が異なると、閾値を超えるタイミングにズレが生じるため、信号をデジタル化した時にもズレが生じる。(図3参照)

この時、信号の電荷が大きいものは信号の立ち上がりが速くなり、小さいものは信号の立ち上がりが遅くなる、という相関関係が予想される。この相関関係から、時間情報のズレを補正することが可能である。

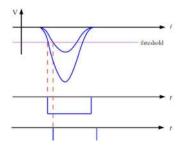


図3 デジタル化の際に生じるズレ

## ◇結果と考察



図4 MRPC 波形

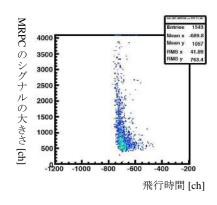


図5 通過時間―信号の大きさ

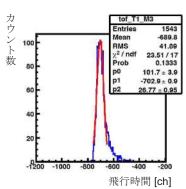


図6 図5を横軸方向に投影

図4は、宇宙線が通過したときのMRPCの波形である。

各検出器から同軸ケーブルでデータ収集システムにつなぎ、波形を記録した。宇宙線が通過したときの検出器のシグナルは、先ほどの変換方法でデジタル化され、パルスの大きさと時間情報がコンピュータで記録される。データを解析したものが図5、図6である。

図5は、粒子がプラスティック・シンチレータを通過した時間とMRPCを通過した時間の差と、MRPCの信号の大きさの相関関係を示す二次元ヒストグラム(頻度分布)である。

図 6 (飛行時間分布。曲線は正規分布でピーク付近をフィットしたもの)は図 1 の横軸方向に 投影した図である。横軸は粒子がプラスティック・シンチレータを通過した時刻と MRPC を通 過した時刻の差、縦軸は信号の数を示している。青い線は測定結果であり、赤い線は数学的に 予想される関数 (測定値の揺らぎ精度を示す) を当てはめた結果であり良い一致を示している。このフィット結果から測定精度をもとめたところ予想より大きな値をしめした。

#### ◇今後の展望

本研究では、MRPCを自作し、宇宙線通過時のパルスをオシロスコープで観測し、3つの検出器を組み合わせて飛行時間を測定することができた。また、その測定結果から、3つの検出器から二つを選び飛行時間を求めることもできた。一方で、研究の目的の一つとして掲げていた MRPC の性能評価と改善点については十分な時間をかけることができず、今後の課題として残されている。また、信号をデジタル化する際に発生した時間のズレの補正や、MRPC の大きさと結果の依存性等、研究を進める中で新たに発生した疑問点も多くあった。今後は、本研究で足りていなかった部分を中心的に、より深い研究を進めていきたい。

# ◇主要参考文献

冨田 夏希

修士論文 「大面積・高時間分解能 Resistive Plate Chamber の開発」 京都大学大学院理学研究科原子核ハドロン研究室、2012年1月 **B-3** 岡山大学(GSC)

# 高温超伝導体YBCOの特性測定

石井宏治(岡山高等学校1年)、萱尾澄人(岡山県立岡山大安寺中等教育学校4年)、河端佑一郎(岡山県立倉敷天城高等学校1年)、篠原俊輔(岡山県立倉敷天城高等学校1年)、田中愛登(広島大学附属福山高等学校1年)、秦悠己(岡山県立倉敷天城高等学校1年)、

中原徹也(金光学園高等学校3年)、松岡拓也(岡山高等学校3年) 担当教員 稲田佳彦、味野道信(岡山大学)

#### ◇研究の目的・意義

超伝導に関する講義を受講して、特性の温度変化に興味を持った。図1は予備実験時の、電気抵抗の温度変化である。100 [K]付近の超伝導への変化が、温度の上昇と下降で異なる温度で観測されている。また測定の途中に、大きなノイズが観測されている。そこで、超伝導特性の温度変化を、できるだけ正確に測る事ができる計測システムの作成を目指したいと思い研究を始めた。液体窒素による磁気浮上の確認などは比較的簡単にできるが、正確な温度特性を測ることが、より転移温度の高い試料を探すためにも不可欠である。今回の研究は、テーマの設定から研究実施のすべてを科学先取りグローバルキャンパス岡山においてグループ研究として実施している。

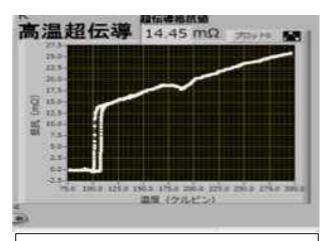


図1. 高温超伝導体の電気抵抗の温度変化。 講義中に実施した市販の試料による予備実験 結果で、測定時間も短く超伝導になる温度が 正確には測れていない。

### ◇研究の方法・プロセス

最初に銅酸化物高温超伝導を作成した後、①電気抵抗測定装置の作成、②磁気特性測定装置の作成、 ③試料温度変化装置の作成、これら3つの項目についてグループに分かれて装置の開発及び実験を行っている。

<u>試料合成:</u> YBCO 超伝導体を合成するために、酸化イットリウム、炭酸バリウム、酸化銅の粉末をそれぞれモル比 0.5:2:3 でとなり総量が 5 グラムになるように秤量した。十分に乳鉢で混合した後ペレット状に押し固め、電気炉で加熱した。温度調節は次の通りである。室温 $\rightarrow$  (6 時間で上昇) $\rightarrow$ 910 $^{\circ}$ C $\rightarrow$ 

(10 時間保持)→910℃→(3 時間で減少)→650℃→(10 時間保持)→650℃→(6 時間で減少)→室温。できあがった 試料を液体窒素で冷却すると、磁石に反発する超伝導特性であるマイスナー効果が観測された。

電気抵抗測定装置:電気抵抗を正確に測るために、4端子法を用いた。これは、試料に電流を流す端子2つと、電圧を測定する端子2つを接続し、オームの法則から抵抗値を測定する方法である。電圧計は内部抵抗が大きくなるように設計されているため、測りたい試料と並列につないでも電流が流れない。よって電流は試料だけを流れ、電圧計と試料間の線の抵抗は測定には含まれなくなる。最

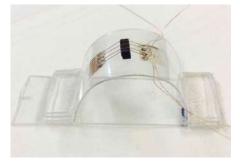


図2.4端子電気抵抗測定装置。

B-3 岡山大学 (GSC)

初に、リード線を銀ペーストで直接試料に固定する方法を試したが、途中で端子が外れたり、試料を取り替えるのが難しいため、別の方法を工夫した。先行研究を参考に[1]、アクリル板に導線を固定し、アクリル板の弾性で導線を試料に押しつける方法を採用した。導線やアクリル板の固定方法を考えるために、両面テープや接着剤を液体窒素で冷やして、最適な材料を探した。図2に作成した4端子抵抗測定装置を示す。中央の黒い直方体がダイヤモンドカッターで切り出したYBCO試料である。使用したのは厚さの異なるアクリル板2枚(縦3.0mm×横7.0mmのアクリル板、厚さ0.5mmと1.0mmを1枚ずつ)で、0.5mmの方に試料を取り付け、1.0mmの方を台にした。0.5mmのアクリル板をそらせることで導線が試料を押さえつけ、測定が終わるとアクリル板を元に戻すことで試料を取り外せる。問題点は、導線で圧力をかけるこの装置では試料が傷ついてしまう可能性があることである。これにはアクリル板の反り具合を調節できる機構を考えることで対応したい。

温度変化装置:最初は、図3のような装置を用いて手動で液体窒素までの距離を変化させる事で温度調節を行っていた。このため、温度が急に変化し、時には逆行することで大きなノイズになっていたと考えられる。そこで、温度調節をコンピューターによって制御することにした。今回、超伝導体の高さは固定し、プログラムで魔法瓶の高さを変えることによって、超伝導体と液体窒素の間の距離を変えて、超伝導体の温度を変えている。作製中のプログラムでは、初めに温度を1度下げるのに何秒かけるか時間を設定する。最初に測った超伝導体の初期温度から、先程決めた時間ごとに設定温度変数を下げる。超伝導体の温度がその設定温度よりも低い場合は魔法瓶の高さを下げ、温度が高い場合は魔法瓶を上げる動作を行う。常時温度管理をおこなうことで、急な温度変化にも対処することができる。温度変化に起因する誤差を少なくすることができ、さらに実験方法が簡単になるので実験回数を重ねることで、最終的に従来と

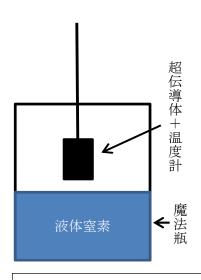


図 3: 温度変化装置の概略図

比べて、より正確な値をとることができるようになると考えられる。

<u>磁気特性測定装置</u>:細い筒に二つのコイル A, B を巻き、筒の内部に測定する超伝導物質を入れる。コイルの片方を交流電源に繋ぎ、他方のコイルを電圧計に繋ぐ。温度を変化させながら、電圧計の電圧を記録する。

#### ◇結果と考察

温度をゆっくりと変化させると、温度上昇時と下降時の超伝導転移する温度の差が小さくなることが観測された。これは試料の内部の温度と外に置いた温度センサー間の温度差が小さくなったためと考えられる。従って、正確な転移温度を決めるためには、温度変化をゆっくりと安定にコントロールすることが大切である。

#### ◇今後の展望

今回作成した電気抵抗測定装置、磁気特性測装置、温度調節装置を組み合わせて、試料の組成変化 や合成時の温度変化による超伝導転移温度の変化を詳しく調べたい。

#### ◇主要参考文献

[ 1 ] "Development of a Handmade Conductivity Measurement Device for a Thin-Film Semiconductor and Its Application to Polypyrrole"

Set Seng, Tomita Shinpei, Inada Yoshihiko, and Kita Masakazu J. Chem. Educ. 2014, **9,** 1971–1975.

B-4 愛媛大学(次世代)

# 酵素を利用した食品造りの科学

高橋史恵(愛媛大学附属中学校3学年),藤村颯(松山西中等教育学校3学年) 大橋淳史准教授(愛媛大学教育学部理科教育講座)

#### ◇研究の目的・意義

私たちは、昨年度、ニホンコウジカビの生物発酵による「甘酒造り」の科学について研究した。この研究では、様々なデンプンをニホンコウジカビで加水分解したときの、ヨウ素デンプン反応と糖度の変化を測定し、おいしい甘酒とは何かについて研究を行ったり。この研究で、加水分解の仕組みや微生物による発酵のおもしろさに触れて、目に見えない世界での化学変化に興味を持った。ニホンコウジカビはたくさんの酵素を持つ真菌で、清酒や味噌の製造にも使われており、2006年に日本醸造協会によって国菌に認定された日本の伝統文化を代表する微生物である。ニホンコウジカビがデンプンを加水分解する仕組みについて調べたところ、デンプンをマルトースに分解するα-アミラーゼッとマルトースをグルコースに分解するマルターゼのふたつの酵素が関わっていることがわかった。そこで、本年度は、ニホンコウジカビから抽出されたα-アミラーゼとマルターゼを用いたデンプンの加水分解反応における化学反応の研究とそれを使った水あめ造りとそのおいしさに関する研究を行った。この研究を通して、科学理論が私たちに提供されている食品製造にどのように利用されているのか、また「おいしい」という個人の味覚を官能評価で一般化する方法について明らかにしたい。この研究は、研究テーマの設定から研究実施までのすべてを次世代科学者育成プログラムで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

デンプンの加水分解に関しての予備調査から、生物はふたつの酵素を使ってデンプンを分解していることがわかっている。

- (1)アミラーゼ デンプン→デキストリン→マルトース(甘味度 0.40)に加水分解する
- (2) マルターゼ マルトース→グルコース(甘味度 0.60) に加水分解する
- ※甘味度は同質量のスクロースを1.00としたときの甘さ

ニホンコウジカビは、(1)、(2)をともに持っているので、デンプンは理論上すべてグルコースまで分解される。昨年度の甘酒造りでも甘酒は非常に甘く、甘味度からもグルコースが生成していると推測された。そこで、ニホンコウジカビから抽出されたアミラーゼ(スミチーム L、新日本化学工業) $^{3}$ とマルターゼ(スミチーム、新日本化学工業)を使用して、デンプンの加水分解反応を行い、ニホンコウジカビの結果と比較した。反応においては、デンプンを糊化( $\alpha$ 化)して、反応速度を向上させた。実験では、( $\alpha$ )アミラーゼのみ、( $\alpha$ )ウマルターゼ、( $\alpha$ )ウマルターゼ、( $\alpha$ )・マルターゼ、( $\alpha$ )・アミラーゼとマルターゼ、( $\alpha$ )・アミラーゼとマルターゼ、( $\alpha$ )・アミラーゼとマルターゼ、( $\alpha$ )・アミウーゼ

B-4 愛媛大学(次世代)

# ◇結果と考察

理論的には、アミラーゼによるデンプンの加水分解反応はマルトースで停止してグルコースは生成せず、マルターゼによってマルトースからグルコースが生成するはずである。しかし、アミラーゼによる加水分解反応でもグルコースが検出された。そこで、デンプンにマルターゼを加えて反応を行ったところ、速度は遅いがヨウ素デンプン反応でデンプンが分解された。この結果から、用いたアミラーゼにはマルターゼが、マルターゼにはアミラーゼが少量混入していることが明らかになった。また、アミラーゼとマルターゼを1:1で混ぜた場合には、反応速度が大幅に上昇することが明らかになった。これは高校で学習するル・シャトリエの原理によって、生成するマルトースがマルターゼによってグルコースに加水分解されることで、化学反応の平衡が生成物に偏っていくためであると推測される。つくった水あめは官能評価を行って統計的な「おいしさ」を検討した。原料デンプンは、穀類より根茎がおいしいと評価された。また、(a)>(b)>(d)の順であった。さらに(a)を倍量にした場合は、よりおいしいという評価が集まった。おいしさと化学反応速度には相関性があるのかもしれない。

# ◇今後の展望

デンプンの加水分解の研究を通して、化学反応の制御について検討した。現在、松山市産業経済部 地域経済課と協働しており、私たちの造った食品の市販ついて検討していく予定である。

#### ◇主要参考文献

- 1) 市川新之助,大本理恵子,黒星きらら,高橋史恵,内藤雄太,和田敬行,大橋淳史,「私たちの暮らしと微生物~発酵~」,日本生物教育学会第98回全国大会優秀プレゼン賞受賞,2015.
- 2) 中学校科学第2学年「動物の体のつくりとはたらき」, 東京書籍
- 3) 戸谷義明,「実験室で可能な「水あめづくり」実験法の検討と開発」, Bulletin of Aichi Univ. of Education, No64, 21-29, 2015

# A genetic approach for the understanding of the plasticity of neural stem cells.

Kaworu Takatsuna (Keio Shiki High School, second degree) Mentor: Dr. Hiroshi Kanda

## [Aim of the project]

The aim of my project is to analyze how the plasticity of neural stem cells (NSCs) is regulated. To this end, I have tried to visualize the intracellular signal of NSCs, as well as performed a genetic screen to identify plasticity-related genes.

This project was started with a new type of laser microscopy, which was released in 2012, and was introduced in mentor's lab in the summer of 2014. Also, the genetic screen was started in 2015. Thus, the entire project was started after I had joined the Global Science Campus Program.

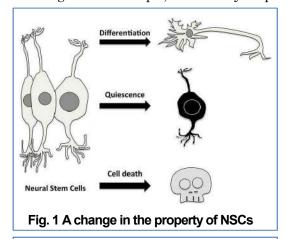
Neural stem cells (NSCs) are a type of cells that is capable of self-renewal, as well as producing specialized cells such as neuron and glia that build up the complex central nervous system. In general, the property of NSCs significantly decreases as the animal ages. For example, either they stop

dividing, differentiate into neuron and/or glia, or even disappear by programmed cell death (Fig.1). In contrast, it is also known that adult human NCSs still possess a potential to generate new neurons, as revealed by Eriksson et al<sup>1</sup> and other researchers. Yet, the precise mechanism underlying these events is still poorly understood. Thus, the study of the plasticity of NSCs is an important subject, due to its potential to lead to novel approaches for treating neuro-degenerative diseases such as Parkinson's disease.

Interestingly, the plasticity of NSCs is also observed in lower organisms such as *Drosophila melanogaster*, fruit fly, indicating that the principal molecular mechanisms should be conserved between species<sup>2</sup>. In brief, fly NSCs actively divide at the beginning of embryonic stage. Most of them stop dividing as they develop, and become quiescent (not dividing) at the end of embryonic stage. After larvae have hatched and fed, they re-start to divide (Fig. 2). Thus, the fly NSCs is a good model system to study the evolutionarily conserved mechanisms that governs the plasticity of NSCs.

# [Experiment 1. Imaging the plasticity-related signal] Materials and Methods

The activity of a signal of my interest within NSCs was imaged with Lightsheet microscope (Carl Zeiss,



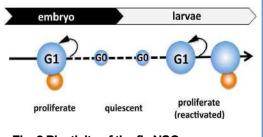


Fig. 2 Plasticity of the fly NSCs



Fig. 3 Light sheet microscope

Fig. 3). A single embryo (egg) was embedded in 1% agarose, and imaged every 90 seconds for 24 hrs. Green fluorescent protein (GFP) was used as the indicator. It only takes about 0.01 to 0.1 second to acquire a single scanning section.

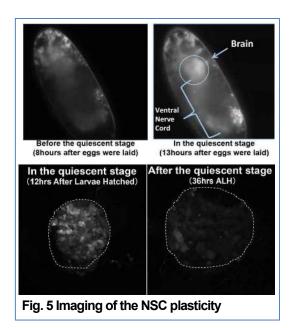
#### Result

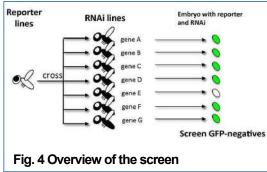
The intracellular signal, on which I have focused, was activated when the NSCs enter the quiescent stage (Fig.5, top panels). In addition, when NSCs have exited from the quiescent stage, the intracellular signal decreased (Fig. 5, bottom panels).

# [Experiment 2. A genetic screen for genes that regulate the plasticity of NSCs]

#### **Materials and Methods**

Male flies of each RNAi transgenic line were crossed with virgin females of the reporter line, which was used in experiment 1. RNAi (RNA interference) is one of the techniques to reduce the expression level of target genes. The offspring have both reporter and RNAi transgenes. The principal idea of the screen is that if the knockdown of gene X by RNAi decreases the





intensity of GFP signal, one can suggest that gene X is necessary for the activation of this signal (Fig.4). Seven days following the cross, egg offspring were collected, and the fluorescent intensity of GFP was analyzed under the fluorescent microscope.

#### Result

I obtained multiple RNAi lines that reduced the intensity of GFP signal. I would like to talk about them in the presentation.

#### [Discussion]

The imaging analysis strongly suggested that the intracellular signal I have focused on is required for NSCs to enter quiescent state, or to keep the quiescent state, or for both. The result of genetic screen suggested that some particular signal(s) should regulate the event.

#### [Future direction]

I believe that further analysis by using this sophisticated model system could provide us with an evolutionarily-conserved mechanism that regulates the plasticity of NCSs. For instance, there is a loss of function mutant fly line in which NSCs do not enter the quiescent stage. It is absolutely important to check if the signal described above is affected in these mutant NCSs.

#### [References]

- 1. Eriksson et al. Nature Med. 1998 (11) 1313-1317.
- 2. Homen et al. Development .2012 (139) 4297-4310.

# 神経幹細胞の増殖活性を制御する分子機構に関する遺伝学的解析

高綱馨(慶應義塾志木高等学校 2年) 担当教員 菅田浩司

#### 【研究の意義・目的】

本研究では、神経幹細胞が増殖を休止し、その後再活性化する際の分子メカニズムを生きた生物を用いて解明する事を目的とする。このアプローチから、中枢神経系の新たな再生治療法を開発する為の前衛的な知見を得る事を目指す。本研究は、ドイツで開発された新規の顕微鏡システムであり、日本では2012年10月に発売され、受け入れ研究室では2014年夏に稼働を開始したばかりであったライトシート顕微鏡を用いて新たな解析手法を検討する事から開始した。従って研究の着想や実施は全てグローバルサイエンスプログラム内で行ったものである。

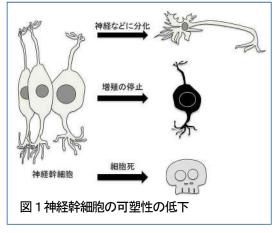
神経幹細胞は、自己複製を行うと同時に、ニューロンやグリアなど、中枢神経系を形作る細胞を生み出すもととなる細胞である。一般に、胎児期を終えてしばらくすると、神経幹細胞の多くはニューロンやグリアに分化するか、休止期に入って増殖を止めるか、細胞死を起こして消失するかのいずれかの状態とな

り、その大半が幹細胞としての性質を失うと考えられている(図1)。しかし、成人脳においても、生涯に渡ってニューロン新生が行われている事が 1998 年に報告されて以来1、様々なモデル動物、実験系において、分裂を休止していた神経幹細胞が様々な刺激によってその分裂を再活性化させる「可塑性」を有する事が分かってきた。この事は、分裂を休止している神経幹細胞が中枢神経系の再生医療に応用できるツールとなる可能性を有する事を意味している。しかし、こういった細胞が脳のどこにどういった状態で存在するか等、その詳細はわかっていない。

興味深い事に、優れたモデル動物として医学・生物学の分野で広く用いられてきたショウジョウバエにおいても、神経幹細胞が可塑性を有する事が知られている。すなわち、ハエの胚(卵)の発生過程では、特定の時期にほぼ全ての神経幹細胞の分裂が一時的に休止する。卵から幼虫が孵化すると分裂は再活性化する(図2)。この事は、神経幹細胞の可塑性は、種を超えて様々な生物で観察される普遍的な現象であり、同時に、可塑性を研究する上でショウジョウバエの神経幹細胞が優れたモデル系である事を示している。

# **【実験 1:神経幹細胞の活動のイメージング】** 研究の方法・プロセス

着目するシグナルが神経幹細胞内で活性化すると Green Fluorescent Protein (GFP) という緑色蛍光タンパク質が光る遺伝子組み換えショウジョウバエを用いて、







神経幹細胞の活動状態を解析した。データの取得は、 画像1枚あたり0.1-0.01秒程度で撮影できる蛍光顕微 鏡であるライトシート顕微鏡(図3)を用いて、卵の 発生初期から後期まで、90秒に1枚のペースで約12 時間撮影を行った。

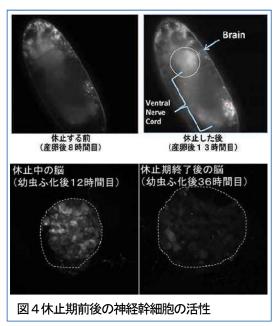
#### 【実験1の結果】

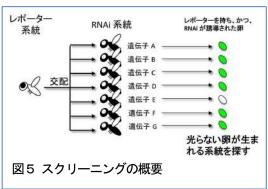
今回着目した細胞内シグナルは、神経幹細胞が休止期に入る時期に活性化することがわかった(図4上段)。逆に、幹細胞が休止期を終えて再活性化すると、このシグナルの強度(GFPの明るさ)は下がった(図4下段)。

# 【実験2:ショウジョウバエの遺伝学を用いた関連遺伝子のスクリーニング】

#### 研究の方法・プロセス

実験1から、今回着目したシグナルは、神経幹細胞が休止期に入ると活性化する事が分かった。そこで、このシグナルの活性を制御している遺伝子を探索した。この目的のために、RNAi(RNAinterference:RNA干渉)法を用いたスクリーニングを行った(図5)。RNAiは、標的遺伝子の発現を抑制する手法の一つである。実験1で用いたレポーター系統と様々な遺伝子を標的とした一連のRNAi系統を交配すると、その両方の遺伝子を持つ子供が生まれる。この子供の神経幹細胞で、休





止期にGFPによる蛍光を観察する。実験1で見出したシグナルの活性化に必要な遺伝子の発現が抑制された場合、GFPの蛍光強度が低下すると予想される。つまり、その遺伝子は幹細胞が休止期に入るために必要であると考えられる。

#### 【実験2の結果】

GFPの蛍光強度を低下させる系統を複数得た。発表中では一連の結果について紹介する。

#### 【考察】

実験1から、今回注目したシグナルは、神経幹細胞が休止期に入る過程か、または休止状態を維持する ために必要であると考えられる。また、実験2から、複数の遺伝子とそれらが関連する細胞内シグナル伝 達経路がこのシグナルの活性維持に関与していることが分かった。

#### 【今後の展望】

- ・神経幹細胞が休止期に入らない事が報告されている変異体の解析を行う事で、このシグナルが休止期に 入るために必要か、逆に、休止期に入った為にシグナルが活性化するのかを解析できると考えられる。
- ・ショウジョウバエは遺伝子やそのシグナル伝達経路が進化的に保存されており、しばしば「羽の生えた ヒトである」と形容される。今後、本実験系を用いて解析を進める事で、内因性の神経幹細胞を用いた再 生医療に向けて前衛的な知見を得ることが期待できると考えている。

#### 【主要参考文献】

- 1. Eriksson et al. Nature Med. 1998 (11) 1313-1317.
- 2. Homen et al. Development 2012 (139) 4297-4310.

**B-6** 東北大学(GSC)

# 抗がん剤耐性に挑む!!

宮城県仙台第二高校 2 年 吉田怜王 担当教員 堀井 明 教授、石沢 興太 助教(東北大学大学院医学系研究科)

#### ◇研究目的・意義

「がんは日本の国民病である」というのは周知の事実であり、厚生労働省発表によると死因のおよそ3割を占めている。1日につき、1000人近くの命ががんに奪われており、予後の悪い病気である。抗がん剤によって縮小した病変が再び大きくなることもあるが、一時的に治療がうまくいったように見えても再発したと考えられる。さらに、再発した 患者では薬剤耐性を獲得することもしばしばみられる。その場合は、同種の抗がん剤では治療できない。これが化学療法の一つの限界点であり、深刻な問題となる。本研究は薬剤を獲得した細胞の対処法について新たな方法を確立することで、薬剤耐性を獲得した細胞への新しいアプローチを模索し、がん治療の化学療法の可能性を広げることに繋がる研究である。具体的に、『耐性を獲得したがん細胞は、作用機序が異なる抗がん剤を活用することで薬剤耐性獲得細胞の増殖を抑制させることが可能であろう』と仮説を立て、東北大学大学院医学系研究科分子病理学分野 堀井明先生のもとで抗がん剤耐性を獲得したがん細胞についての研究を開始した。

対象は食道がん。食道がんは部位別5年相対生存率がおよそ33%(国立がん研究センター発表による)と予後不良の病気である。約半数が食道中央付近から発生し、次いで1,4が食道の下部に発生する。また、食道の内面を覆っている粘膜の表面にある上皮から発生する。抗がん剤は、G2,M期に作用するTaxane系のDocetaxel,Paclitaxel(以下Doc,Pacと表記する)とS期に作用するGemcitabine,5-FU(以下<math>GEM,5-FUと表記する)を使用した。Taxane系は細胞が分裂する際に必要な細胞構成成分の一つである微小管を安定化することで量的過剰を引き起こし、がん細胞の分裂を阻害し、死滅させる。GEM,5-FUは細胞に取り込まれると、一部が活性化してウラシルと似た形となりDNA合成の基質に紛れ込むことで、伸長を妨げ、死滅させる。

#### ◇研究の方法・プロセス

- ・PCR(Polymerase Chain Reaction)⇒特定の遺伝子配列を大量に複製する。 バッファー, 酵素, DNA, プライマー, 基質を混ぜ、サーマルサイクラーで行う。
- ・塩基配列の決定⇒PCRで増幅された遺伝子配列を精製し、蛍光色素で標識しながらシークエンス PCRを行い、シークエンサーにかけることで、ATGCの配列を読む。
- ・alamarBlue⇒細胞増殖に応じて alamarBlue の色が変化することを利用して、細胞増殖を迅速かつ高感度に定量することができ、細胞の状態を簡単に識別することができる。もともとの原液は青、細胞数の多いときには赤(酸化状態)になる。定時的に吸光度をそれぞれ測定することによって成長曲線を描ける。

これらの方法を駆使して抗がん剤耐性獲得細胞に関して以下の実験をすることにした。 実験① 薬剤耐性細胞を樹立させ、癌細胞(親株)に由来することを確認する。結果はポスターで示す。

1, Taxane 系への薬剤耐性の樹立

耐性株の樹立は、薬剤を加え、生育する細胞に対し徐々に薬剤濃度を上昇させ、最終濃度で1ヶ月間細胞培養する。その後、1か月休薬し、再度薬剤を投与することで耐性獲得を確認する。細胞が増殖することで薬剤耐性の獲得を確認する。

2, Taxane 系薬物耐性を獲得した細胞が親株由来であることは親株と同じ遺伝子変異を保持す

るか否かで確認した。 実験② 薬剤耐性株と 使用する薬剤の組み合 わせによって耐性株を 死滅させることができ るか否か検討する。実 験には alamarBlue を 使用して細胞の数を 24

	Pac 投与	Doc 投与	GEM 投与
食道がん:親株, Pac 耐性株	P+P	P+D	P+G
食道がん:親株, Doc 耐性株	D+P	D+D	D+G
胃がん:親株, GEM 耐性株 胆嚢がん:親株, GEM 耐性株	x x	G+D1 G+D2	x x

時間ごとにカウントした。行った実験の組み合わせは右の通りである。

#### ◇結果と考察

#### 親株, Pac 耐性株

Pac 親株, 耐性株に Doc, Pac, GEM をそれぞれ投与し、alamarBlue で細胞増殖を測定した。Doc を投与すると Pac 耐性株は抵抗性を示す (P+P)。 Pac は耐性をすでに獲得しているので生存率が高く (P+D)、GEM は Pac 耐性株であっても、抗がん作用を発揮することが分かった (P+G)。

#### 親株, Doc 耐性株

Doc 親株, 耐性株に Doc,Pac,GEM をそれぞれ投与し、alamarBlue で細胞増殖を測定した。Doc,Pac の投与では RTE15 は TE15 に比べて緩やかな減少を示したが (D+P,D)、GEM の投与では TE15 も RTE15 もほぼ同様に増殖が抑制された (D+G)。

#### 親株. GEM 耐性株

胃癌細胞株(MKN28)と GEM 耐性株(RMKN28)、 胆嚢癌細胞株(TGBC1-TKB)と GEM 耐性株(RTGBC1-TKB) に Doc を投与し、alamarBlue で細胞増殖を測定した。 GEM 耐性獲得の有無にかかわらず、Doc への感受性を示した。 また、MKN28と RMKN28(*G+D1*)、TGBC1-TKB と GBC1-TKB(*G+D2*)に活性化機序の異なる薬剤である 5-FU を投与し、 alamarBlue で細胞増殖を測定した。 その結果、GEM 耐性獲得の有無にかかわらず、5-FU への感受性

- 作用機序の異なる抗がん剤を用いることで薬剤耐性株 も抑制できる。
- ・耐性株は作用機序が同じ薬剤には耐性を、異なる薬剤に は親株と同等の感受性を示す。

これは、 作用機序の異なる薬剤を組み合わせることによって耐性 株の増殖抑制を可能にするため、抗がん剤耐性を獲得して再発し たがんの治療にも効果的である。つまり、化学治療の余地がある ことを意味している。

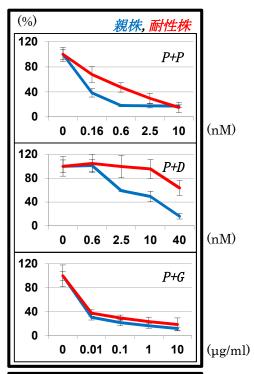
#### ◇今後の展望

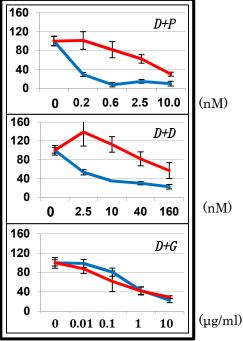
が確認された。

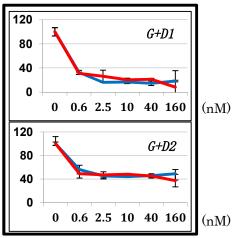
作用機序の異なる抗がん剤を併用することによって耐性株への化学治療の方法が存在することが証明された。各抗がん剤の作用機序を理解することで耐性を獲得したがん細胞に効果的にアプローチすることができる。今後の課題は、抗がん剤のそれぞれの長所を生かし、いくつか合わせて併用することで、がん細胞に与える影響を考察することである。今後のがん療法の進歩には抗がん剤の併用を活用した治療法のさらなる研究が必須だろう。

#### ◇主要参考文献

"The biology of CANCER second edition" by Robert A.Weinberg







#### 遺伝子診断の問題点

----PCR法の問題点----

永山龍那(岡山県立倉敷天城高校1年)、藤浦愛(広島大学附属福山高校2年)、 山本菜乃(清心女子高校3年)、鈴木かの子(広島大学附属福山高校2年)、浅野太志(岡山県 立岡山朝日高校2年)、長尾幸紀(香川県立丸亀高校1年)、増田粋生(岡山県立玉島高校2年) 担当教員 宍戸昌彦、藤田八洲彦 (岡山大学)

#### ◇研究の目的・意義

PCR法はDNAを1サイクルごとに2倍、nサイクルで2<sup>n</sup>倍に増幅する手法であり、遺伝子診断や一般の生化学研究に欠かせない技術となっている。本研究ではまず、ヒトのつめから採取したDNAをPCR増幅してアルデヒド脱水素酵素の型を確認することで、PCR法の実際の操作を確認した。さらにPCR法を高効率化することを目的として、DNAの融解温度の配列依存性やカチオン高分子の影響を調べた。

本研究はすべて岡山大学グローバルサイエンスキャンパスで行った。ヒトのつめから採取したDNAの増幅とゲル電気泳動による確認は担当教員およびチューターの指導の下で行い、高効率化への探索は自主研究として行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

#### (1)ヒトのつめからDNAの抽出、PCRによる増幅、およびアルデヒド脱水素酵素の型の判別

つめを切り、エタノール洗浄後ケラチン等蛋白質の可溶化と部分的分解を行ったあと、蛋白質変性剤を混和して蛋白質を除き、DNAが溶けている水層を取り出してエタノール沈殿させた。 アルデヒド脱水素酵素をコードするDNAセンス鎖の塩基配列は、

正常型 (N) 5'-CA AAT TAC AGG GTC AAC TGC T---- GAA GTG AAA ACT GTG AGT GTG G-3' 変異型 (M) 5'-CA AAT TAC AGG GTC AAC TGC T---- AAA GTG AAA ACT GTG AGT GTG G-3' である。したがって、順方向プライマーはセンス鎖の5'末端付近と同じ配列で、

5'-CAA ATT ACA GGG TCA ACT GCT-3'

逆方向プライマーは正常型(N)が、 5'-CCA CAC TCA CAG TTT TCA CTT C-3'、 変異型(M)が、 5'-CCA CAC TCA CAG TTT TCA CTT T-3' である。

これらの順方向、逆方向のプライマーを鋳型DNAに加えてPCRを行う。その後ゲル電気泳動を 行い被験者が正常型、変異型のどちらの遺伝子を持っているかを調べる。

#### (2) 短い2本鎖DNAの融解曲線の測定

購入した 12 量体 DNA を混合して 2 本鎖 DNA の濃度が 5μM になるように試料溶液 0.5mL を調

整する。分光光度計の波長を 260 nm に合わせゼロ点を調節する。セル、恒温水槽、循環ポンプ、サーミスター、温度計、ヒーターを図 1 のようにセットする。温度計で水槽の温度を確認し  $14 \rightarrow 73 \%$  での間、水温が 1%上昇するごとに吸光度とサーミスターの抵抗値を記録する。

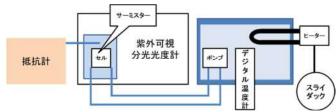


図1 DNA 融解曲線測定装置

#### ◇結果と考察

### (1) ヒトのつめから抽出したDNAのPCR増幅とアルデヒド脱水素酵素の型の判別

正常型、変異型2種類のプライマーを使ってアルデヒド脱水素酵素領域の遺伝子のPCRを行った結果、多くの被験者で正常型Nが検出されなかった。変異型の逆方向プライマーの不備も考えられるが、ほとんどの

被験者で変異型Mが検出されたことは疑いがない。

被験者A被験者B被験者CNNNNNNNN

図2 種々の被験者のアルデヒド脱水素酵素の型

B-7 岡山大学 (GSC)

すなわちほとんどの被験者はアルデヒドを分解できないか、できにくいことがわかった。世界的に見ても日本人はアルコールに弱いらしくこの結果が例外的という訳ではない。

1mm角程度の微量の爪から抽出した遺伝子から酵素が検出できていることから。PCR法の高感度が確認できた。

#### (2) 短い2本鎖DNAの融解曲線の測定 2-1. 12塩基対の短い2本鎖DNAのGC 含量と融解温度との関係

種々のプライマーが形成する2 本鎖の解離温度が分かれば、PCR操作時に過度に加熱する必要がなく、 重合酵素の失活が抑えられて効率 があがる。この研究では塩基配列 を系統的に変化させた12塩基対の 2本鎖DNAの融解温度を測定して、塩 基配列と融解温度との関係を調べた。 結果を図3に示す。

DNAの融解温度は12量体ではGC対が1個増えるごとに3.5℃上昇した。 また塩基配列の順序が違っても融解 温度に大きな差はなかった。

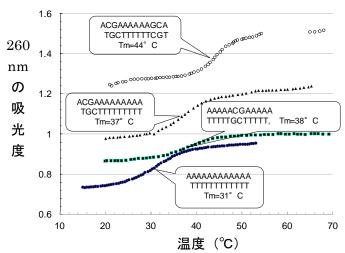


図3 種々の2本鎖 DNA の融解曲線と融解温度

2-2. カチオン性高分子が融解温度におよぼす影響

ヒトの爪からDNAを抽出するときDNAをエタノール沈殿させる。本実験ではこの際「エタ沈メイト(商品名)」を共存させた。これはポリカチオンであり、ポリアニオンであるDNAと複合体を形成して沈殿するため室温でも高効率でDNAが回収できる。しかしPCRにおいて共存するポリカチオンは融解温度を高め、PCRの効率に悪影響を及ぼす懸念がある。そこで12量体モデル2本鎖DNA(5'-ACGAAAAAAGCA-3'+5'-TGCTTTTTTCGT-3')、1.25μMに当該ポリカチオンを混合して融解温度への影響を調べた。

このポリカチオンの組成や濃度は公表されていないため、マニュアルに書かれた程度の濃度(6μL/500μL)、およびその2倍の濃度で影響を調べた。結果を図4に示す。各曲線の微分をとって融解温度を計算した結果、ポリカチオンを6μL、12μL加えた時、加えていない時すべて45℃だった。この実験からポリカチオンはDNAの対合や融解温度に大きな影響を与えないと言えるので、それらを共存させたままPCRを行えばよいことが証明された。

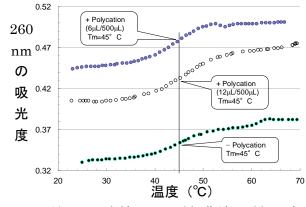


図 4 種々の 2 本鎖 DNA の融解曲線と融解温度

#### ◇結論と今後の展望

12量体DNAではGC対の数が1つ増えるごとに融解温度は約3.5℃上昇し、GC対の位置は重要でないことが分かった。今後はさらに測定する塩基配列の種類を増やして一般的な法則を見出したい。一方、つめなどの微量の試料からDNAを抽出してエタノール沈殿させる際、回収率を上げるためにポリカチオンを共存させる。このポリカチオンは後続のPCRでの2本鎖の解離に悪影響を与えないことが確認された。

#### ◇参考文献

- (1) ISOHAIR Manual Ver. 1. 2, Nippon Gene Co. Ltd. http://www.nippongene.jp/
- (2) Nakamura, K. Iwahashi, K., Matsuo, Y. Suwaki, H. Ichikawa, Y. *Biochem. Mol. Biol. Int.* **1993**, 31, 439-445.

**B-8** 広島大学 (GSC)

## The factors that influence the sex determination and sexual differentiation of Aves

Hiroshima Prefectural Saijyo Agricultural High School TAIKI SATO, MASAHIRO SHIMIZU and MIKI TSUBOI

#### Abstract

The reptiles determine their sex depending on the temperature, which is called TSD, temperature-dependent sex-determination system. Based on the hypothesis that the birds, which evolved from the reptiles, may also determine their sex in the same way, we conducted an experiment. By changing the temperature of hen eggs during the incubation time from the normal 37.9°C to 1 to 5 degrees higher, we had baby birds which were physically male, but genetically female.

#### Introduction

Mammals have a XY type of sex chromosome, their sex determination style to become male is by Y chromosome-linked gene SRY. However in the case of birds, the sex chromosomes of males is ZZ and females is ZW, this is different from the female homologous type of sex chromosome structure in mammals. There is a major challenge in sex selection in industrial use and breeding because unlike mammals that can separate the male sperm by X and Y chromosomes, Aves cannot. So we looked into how reptiles change their sex due to the environment (temperature). Reptiles have a sex determination style that is temperature-dependent sex-determination. Under the hypothesis that birds evolved from reptiles we considered that birds may also have this sex determination manner. It was considered that the might be able to change the sex by changing the temperature during incubation. The ultimate goal is the sex selection of male and female Aves.

Basic research will be worked on as part of an activity in the SS Project Studies and developmental research in the Global Science Campus.

#### Method

①The control was set at 37.9  $^{\circ}$ C. In order to confirm the temperature-dependent sex-determination in chickens, 25 different samples were incubated at 35.9  $^{\circ}$ C, 36.9  $^{\circ}$ C and 38.9  $^{\circ}$ C. The anatomical sex was confirmed at the late stage of embryonic development and the genetic sex was confirmed also by DNA analysis.

②As there was sex change with different temperatures we lowered the temperature further than the test group 35.9  $^{\circ}$ C to 32.9  $^{\circ}$ C. We used 100 samples for 32.9  $^{\circ}$ C and so did a further 75 samples of controls 37.9  $^{\circ}$ C and 35.9  $^{\circ}$ C in order to make the sample numbers even.

#### Results 1

- Gender differences in one control 37.9 °C it was not seen.
- 35.9 °C to one individual genetic in  $\varnothing$ , the anatomically it was  $\diamondsuit$ .
- 36.9 °C to one individual genetic in  $\varnothing$ , the anatomically it was  $\diamondsuit$ .
- 38.9 °C to one individual genetic in  $\nearrow$ , the anatomically it was ?

**B-8** 広島大学(GSC)

#### Results 2

- 37.9 °C (control) sex difference was not observed.
- 35.9 °C to the two individuals is genetic  $\stackrel{\circ}{\rightarrow}$ , the anatomical it was  $\stackrel{\circ}{\circ}$ .
- 32.9 °C all was a developmental arrest.

	37.9°C	35.9°C	36.9°C	38.9°C
number of samples	25	25	25	25
Number of non Growth	0	2	5	8
Egg breakage – unfertilized	7	7	3	2
sex change	0	1	1	1

	37.9°C	35.9℃	32.9°C	
number of samples	75	75	100	
Number of non Growth	3	5	[100]	
Egg breakage – unfertilized	10	4		
sex change	0	2	0	

Fig.1 The hatch temperature and the sexual change number  $\hat{}$ 

Fig.2 The hatch temperature and the sexual change number

#### ♦ Conclusion

# It was \$\frac{1}{2} \text{ anatomically} It was \$\frac{1}{2} \text{ anatomically}

# Does the temperature affect sex change?

Sex change does not appear in the control, but it does sex at 35.9 °C. At about 1/30 probability.

# Incubation at a lower temperature

At 32.9°C all of the fertilized egg grew normaly between 5 and 9 days. After that time all the eggs died so this is a limit temperature of incubation

At  $38.9^{\circ}$ C many eggs died so this is also a limit.

#### ♦ Future plans

# The factors that may affect sex change

- Survey he sex hormone concentration of yolk sac
- Microscopic observation of gonadal tissue sections

 $Table\ 1.$  The number of individuals I did sexual transition of by the hatch temperature and PCR result

It was a anatomically

• In Situ hybridization; investigation of the expression and distribution of the genes Incubation temperature and sex change appearance rate

Observation of sex change tendency by incubation in uninvestigated temperature range

**B-8** 広島大学(GSC)

#### 鳥類の性決定・性分化に影響を与える要因に関する研究

広島県立西条農業高等学校 畜産科 2 年 坪井 美樹 畜産科 3 年 佐藤 太紀 清水 雅弘 担当教員 中野公隆

#### Abstract

The reptiles determine their sex depending on the temperature, which is called TSD, temperature-dependent sex-determination system. Based on the hypothesis that the birds, which evolved from the reptiles, may also determine their sex in the same way, we conducted an experiment. By changing the temperature of hen eggs during the incubation time from the normal 37.9°C to 1 to 5 degrees higher, we had baby birds which were physically male, but genetically female.

#### ◇研究の目的・意義

XY型の性染色体を持っている哺乳類の場合、Y染色体上のSRY遺伝子が働くとオスになるという性決定様式を持っている。

しかし未だ鳥類の性決定は謎のままである。何故なら、鳥類は、雌ZW、雄ZZの性染色体を持ち、雌へテロ型の性染色体構成と明らかに哺乳類とは違う。この染色体構成はXY染色体をもちオスの精子を分離することができる哺乳類と違い産業利用や繁殖において、大きな課題となっている。そこで私たちは環境(温度)により出現する性が変化する爬虫類に着目した。

爬虫類は温度依存性決定(TSD temperature-dependent sex-determination)という性決定様式を持っている。爬虫類から進化した鳥類もこの性決定様式を持っているかもしれないという仮説のもと、孵卵時の温度を変化させることで性を変えることができるのではないかと考えた。遺伝子を操作し性を変化させるより、環境要因により性を変化させる方がよりシンプルで産業利用の可能性が高まると思われた。

最終目的は鳥類の雌雄の産み分けである。

研究の基礎的な内容は、SSH の課題研究の授業の活動として行い、鳥類の性決定メカニズムの解明の究明を目指した発展的な研究はグローバルサイエンスキャンパスで行う予定である。

#### ◇研究の方法・プロセス

①ニワトリにおける温度依存性決定を確認するためにコントロール 37.9℃を設け、35.9℃、36.9℃、38.9℃の試験区を設定し、それぞれ 25 個ずつ孵卵し、孵卵後期の胚を解剖学的な性 25 DNA 鑑定による遺伝的な性を確認する。

②試験区 35.9℃よりさらに温度を下げれば解剖学的な性と遺伝学的な性の違いが増加しないか、ということを確認するために 32.9℃で 100 個孵卵する。またサンプル数をそろえるために 37.9℃、試験区 35.9℃でも 75 個孵卵する。

#### ◇結果と考察

鳥類の温度依存性決定 (TSD temperature-dependent sex-determination) の有無において、 孵卵温度 35.9 で解剖学的性と遺伝学的性が一致しない個体が 3 個体、36.9 では 1 個体、38.9 では 1 個体出現した。しかしコントロール 37.9 においては出現しないという結果が見られた。35.9 では約 1/30 の確率で性変化個体が出現したことになる。 **B-8** 広島大学(GSC)

	37.9°C	35.9℃	36.9°C	38.9°C		37.9℃	35.9℃	32.9°C
総サンプル数	25	25	25	25	総サンプル数	75	75	100
発育停止数	0	2	5	8	発育停止数	3	5	[400]
破卵•未受精	7	7	3	2	破卵•未受精	10	4	[100]
性変化個体	0	1	1	1	性変化個体	0	2	0

表 1 孵卵温度と性変化個体数

表 2 孵卵温度と性変化個体数

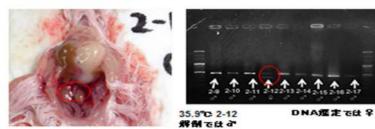


図 1 孵卵温度により性変化した個体とPCR結果

#### ◇今後の展望

- ①性変化したことの要因についての調査
  - ・卵黄嚢中の性ホルモン濃度を調査
  - 生殖腺組織切片の顕微鏡的観察
  - ·in situ ハイブリダイゼーションを用い、遺伝子の発現及び分布の調査
- ②孵卵温度と性変化出現率についての調査
  - ・まだ実施していない 33.9  $\mathbb{C}$  や 34.9  $\mathbb{C}$  での孵卵により性変化個体が増加しないかということの調査

#### ◇主要参考文献

Koopman et al. Nature, 351:117-121 (1991); SRY 遺伝子の導入個体の作成 Mem.Institute of Advanced Technology, Kinki University No.16:1-6(2011)

総説:鳥類における雌雄鑑別 加藤博己,宮下 実,入谷 明

#### 調べてみよう、ミドリムシ ~淡水産と海水産のミドリムシを比べる~

藤本 仁胡 (堺市立金岡北中学校 1年)、ブルゴス 寿莉 (堺市立福泉中学校 2年)、 吉川 実紗 (堺市立福泉中学校 3年)、阪尾 正己 (堺市立登美丘中学校 3年) 中澤 昌美 (公立大学法人大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 助教)

#### ◇研究の目的・意義

ミドリムシは動物と植物の両方の性質を持つ単細胞の真核生物である。鞭毛を動かして泳ぐ動きと、細胞本体が「すじりもじり運動」する動き(ユーグレナ運動と呼ばれる)を組み合わせて、自由に動き回る。大きさが 0.05 mm 程度であり、光学顕微鏡による観察に非常に適している。一般的に良く知られるミドリムシ(ユーグレナ)は、主に淡水に生育している。その一方、海にもミドリムシの仲間が生育している(ユートレプチエラ)。淡水産ミドリムシは生理的な研究が多く行われているが、海水産ミドリムシについては、ほとんど研究されていない。本研究では、淡水産と海水産のミドリムシが、細胞外の環境に応じてどのような変化をするのか、顕微鏡による形態変化の観察を通じて調べた。そして、生育環境による違いについて考察した。本研究は、3年間の次世代科学者育成プログラム採択経験機関として、その活動内容を高く評価して頂いた財団、企業の寄附支援を基に、研究テーマの設定から研究実施の全てを行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

(用いた生物) 淡水産ミドリムシ (ユーグレナ) : 学名 Euglena gracilis Z海水産ミドリムシ (ユートレプチエラ) : 学名 Eutreptiella sp. CCMP1594

(方法)

淡水産ミドリムシは Koren-Hutner 培地で、海水産ミドリムシは ESM 培地で育てたものを用いた。ESM 培地には、海水が 97.5%(w/w)含まれている。

スクロースおよび蒸留水を用いて、細胞が浸透圧変化に応答する様子を観察した。各細胞を  $2\times10^6/\text{ml}$  の濃度にあわせた細胞懸濁液を作った。細胞懸濁液に 856 g/L (2.5 mol/L)のスクロース溶液もしくは蒸留水を記載した量、サンプルチューブ内で加え、混合した。

蒸留水添加実験では、細胞を遠心分離で沈殿させ、培地を完全に取り除いた後、蒸留水をくわ えたものも準備した。それぞれの溶液を加えた直後に顕微鏡観察を行い、形を記録した。

#### ◇結果と考察

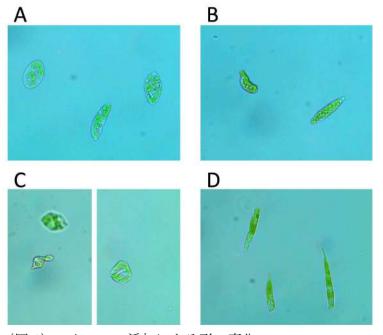
(スクロース添加による変化)

細胞懸濁液とスクロース溶液を等量混ぜ、細胞の変化を観察した。

淡水産ミドリムシでは、細胞がリボン状にねじれたような変化が観察された(図 1C)。細胞の容積は小さくなった。細胞懸濁液の状態では動き回ったり、その場ですじりもじり運動したりしていたが、スクロース溶液と混合した後にはこれらの動きは見られず、完全に止まっていた。海水産ミドリムシでは、細胞が伸びた状態や、少しねじれた状態が観察された。淡水産ミドリムシの場合と比べて、形の変化は小さかった(図 1D)。細胞の容積の変化は小さかった。淡水産ミドリムシと同じく、細胞の動きは止まっていた。

(老室)

淡水産ミドリムシがねじれたような形になったことは、ユーグレナの細胞の表面の形と関係していると考えられる。図 2 に示すように、淡水産ミドリムシの表面にはらせん状の筋がある。これに沿って細胞が曲がったのではないか。海水産ミドリムシは、スクロース溶液をいれても細胞の形は大きく変化しなかった。海水には塩分などたくさんの物質が溶けており、海水産ミドリムシは濃いスクロース溶液にも耐えることのできる仕組みを持っているのではないか。



(図1) スクロース添加による形の変化 A 淡水産スクロース添加前、B 海水産スクロース添加前

C 淡水産スクロース添加後、D 海水産スクロース添加後



(図2) 淡水産ミドリムシの 走査型電子顕微鏡像 (主要参考文献1より)

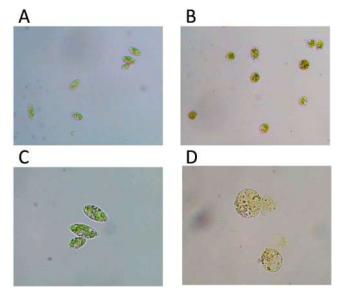
#### (蒸留水添加による変化)

細胞懸濁液を蒸留水で 10 倍希釈し観察した。淡水産ミドリムシでは、細胞が少し膨らんだ程度で、大きな形の変化は無かった。(図 1A と図 3C を比較)

それに対して、海水産ミドリムシは細長かった細胞の形が(図1B)丸くなっていた。 さらに、細胞懸濁液から完全に培地の成分 を取り除き、蒸留水で懸濁すると、一部の 細胞で破裂していた(図3D)

#### (考察)

淡水産ミドリムシよりも海水産ミドリムシの方が大きく変化した。これは、細胞内外の液に含まれる物質濃度の差が大きいためではないか。海水産ミドリムシが破裂したことは、理科の教科書にある、赤血球の溶血と似た現象ではないか。



(図3) 水添加による形の変化

A・C 淡水産水添加後、B・D 海水産水添加後 C 淡水産スクロース添加後、D 海水産スクロース添加後

#### ◇今後の展望

スクロース溶液の濃度を変える、スクロースを入れた後に除去する、観察しながらスクロース を加えるなど、様々な調べ方をすれば、ミドリムシの応答をさらに詳しく知ることができる。 この研究を進めると、将来には、海で生きるミドリムシの性質を淡水で生きるミドリムシに与 えることができるかもしれない。

#### ◇主要参考文献

1. ユーグレナ 生理と生化学 北岡正三郎編 学会出版センター

C-2静岡大学 (次世代)

#### 鳥害から街を守るには ―「すりこみ」で群れを移動させることができるか―

発表者:渡邊 舞咲(静岡県浜松市蜆塚中学校 1年) 担当教員:仲村 篤志(浜松市立佐鳴台中学校 教諭)

#### ◇研究の目的・意義

小学校の頃「すりこみ」に興味をもち、実際に卵を孵化させて、自分がヒナのお母さんになろ うと実験してきた。そして、すりこみができる条件を確かめた。ヒヨコは見たものをすぐに完璧 にすりこみするわけではない。まず大まかな認識、そして声、温かさ、においなどを繰り返し経 験することで、すりこみが完成することがわかった。

これまで、すりこみの追随行動に目を向けてきたが、すりこみが将来の生活にどんな影響を与 えるかについても興味がわいてきた。営巣場所(材質や止まり木)、将来の結婚相手、さえずりや 音への反応などすりこみとの相関関係を確かめたいと考えるようになった。

私の住む浜松市では、駅周辺にムクドリが群れを成してねぐらを形成している。騒音や糞害な どが大きな問題になっている。現在、ムクドリだけでなく帰化鳥などの鳥害が全国的にも問題に なっている。浜松市同様、他の自治体も抜本的な解決方法がなく鳥害に苦慮している。現状では、 鳥が嫌がることをして排除をする対策方法が多い。人間の森林伐採により、ねぐらが少なくなっ た鳥たちには行き場がなく、また別の場所で同じことが繰り返されている。これでは抜本的な解 決にはならないし、何より鳥たちが気の毒である。鳥にとっても、人間にとっても良い方法で、 お互いが共存できる道が必ずあるのではないかと思う。

そこで、これまでの鳥の研究を踏まえ、「すりこみ」のような鳥にとって優しい方法で、鳥の群 れを最適な場所に誘導できるのではないかと考えた。今までの研究をもう一度振り返り、周囲の 鳥たちを観察することからスタートし、そのヒントを得ることが本研究の目的である。

#### ◇研究の方法・プロセス

(1) 早成性鳥類 (ニワトリ、カモなど) だ けでなく、晩成性鳥類(ハトなど)にも「す りこみ」が存在していることを確認する。 なお、伝書鳩(カワラバト)の卵を孵化さ せ、晩成性鳥類のハトにもすりこみがある かを確かめる。







図2 鶏卵(左)とカワラバトの卵

- (2)「すりこみ」で獲得された記憶は、その後のトリの成長にどんな影響を及ぼしているか。
- ①すりこみをした親の声は、他の声よりトリの注意を惹くことができるのか。
- ②育った巣の環境(素材や止まり木)は、その後の巣作りに関係があるか。
- ③ヒナは、親のにおいを好むか。
- ④親の姿や模様は、結婚相手の選択に関係するか。
- (3)家の周囲にいる野鳥を観察する。
- (4) 人間に対する害鳥の問題点を洗い出し、その解決策を探る。

#### ◇結果と考察

(1)早成性鳥類だけでなく、晩成性鳥類にもすりこみがあることを確かめる。 ハトのヒナは生後3日目に死亡した。 晩成性のハトは、生後すぐに目を開か ず立って歩くこともないため、すりこみを確認できなかった。



図3 ハト(生後1日)

(2)「すりこみ」で獲得された記憶は、その後のトリにどんな影響を及ぼすのか。\*晩成性のハトで実験できなかったので、早成性のヒョコ&ニワトリでの実験結果から推測した。

①すりこみをした親の声は、他の声よりトリの注意を惹くことができるのか。

ヒョコはすりこみをした親の声にはすぐに反応し近づく。すりこみをした親の声が仲間以外の声の場合、親の声より仲間の声を優先する。

②育った巣の環境(素材や止まり木)は、その後の巣作りに関係あるか。

ヒョコは自分が育った巣箱の材質を好む傾向がある。しかし、育った環境と違う材質の巣箱でも仲間の声がするとそちらを選ぶ。

③ヒナは、親のにおいを好むか。

実験結果から、9割のヒナが親のにおいが残っている巣箱を選ぶ傾向にある。

④親の姿や模様は、結婚相手の選択に関係するか。

ヒョコではまだ調査できていない。ハトの観察でハトは模様に好みがあることがわかった。親の模様に似ている相手を番(つがい)に選ぶことがある。無地の羽にマジックで斑点の模様を書いたら、それまで拒否していた相手を番に選んだ。斑点模様が好きなハトの母親は、同じような斑点模様をしていた。

(3)家の周囲にいる野鳥を観察する。

春~8月、地面でエサを食べるムクドリは、つがい又は3羽で行動していた。ヒョドリ、ハト、スズメもつがいでいることが多く、大きな群れでいることはない。ごみ置き場にいるカラスは2~4羽の仲間(親子?兄弟?)と一緒に行動していた。夜は佐鳴湖(静岡県浜松市)の森にあるねぐらに帰る。カラスがいる時には、他のトリの姿を見かけない。

(4)人間に対する害鳥の問題点を洗い出し、その解決策を探る。

人間にとって鳴き声、糞やごみ (不潔) が問題である。人間に害のない、トリにとって最適な 居場所なのかをトリの種類ごとに考え、移動してもらう必要がある。

(5)まとめ

仲間の声を出す笛と親のにおいの染み付いた服を着て、すりこみした鳥を誘導すればよい。ただし、事前に連れて行く場所を考えておく必要がある。

#### ◇今後の展望

益鳥ムクドリが森林の減少でねぐらを追われ、人間の生活圏に入ってこなくてはならなくなったことで夜間の騒音、糞害などの問題が起きている。侵略的外来種でもあるソウシチョウなども今後生態系に与える影響が非常に懸念される。トリと人間が共存できるような方法を考えたい。ムクドリは春~夏は家族単位で子育ての時期にあたる。秋になると家族→小群→大群になる。そうなる前に小群を適切な場所に誘導していきたい。一気には無理でも少しずつ群れを移動できたらいい。ハト以外の晩成鳥類でもすりこみの実験し、何らかのヒントを得たい。

もしムクドリの群れを移動させることができたなら、移動させた場所でムクドリがまた嫌われることがないような対策を考えたい。

#### ◇主要参考文献

- 1) ソロモンの指輪 動物行動学入門 K・ローレンツ 早川書房 1987
- 2)ハイロガンの動物行動学 K・ローレンツ 大川けい子訳 平凡社 1996
- 3)ニワトリの動物学 岡本新 東京大学出版会

#### トンボ目均翅亜目の翅の畳み方について

発表者 坂井 美藍(長野県青木中学校2年生) 担当教員 町田 龍一郎 先生 真下 雄太 先生

#### ◇研究の目的・意義

私は家の周辺に生息するトンボの観察を続けている。トンボ類はヤンマやアカネなどの不均翅 亜目、ムカシトンボ亜目、小型で細い体をもつイトトンボやカワトンボなどの均翅亜目からなる。この均翅亜目について「日本産トンボ幼虫・成虫・検索図説」(石田ら、1988) には、「静止(休止)のとき、翅を背面に畳むものが多いが、・・・・翅を八の字に開くものもある」と書かれている。しかし、私の観察では、「腹部側面の左右のどちらかに翅4枚を揃えて畳む」(オツネントンボ)、「腹部側面に左前後翅と右前後翅を左右に分けて畳む」(モートンイトトンボ)ものもあった。そこで、均翅亜目の翅の畳み方について興味を持ち、種群ごとでの違いなども含めて詳しく調べてみることにした。

#### ◇研究の方法・プロセス

日本に生息する全ての均翅亜目のトンボについて、草の葉などに静止した時(求愛行動、交尾、産卵等の特別な状態を除く)の翅の揃え方、畳み方を調べた。日本産の均翅亜目全 58 種の内、私のフィールドに生息する 12 種については、観察記録や自身で撮った写真からデータを集めた。成虫の出現期間の長いオツネントンボは 40 個体を飼育観察した。その他の種については、トンボ関連の書籍、知人のトンボ研究者提供の写真、インターネットの検索サイトの画像などからデータを集めた。

#### ◇結果と考察

静止時の均翅亜目の翅の状態には、腹部に沿わせず上部に左右前後の翅を揃える「上型」、腹部側面の左右どちらかに翅を揃える「片型」、腹部側面の左右に翅を分ける「分型」の 3 種の畳み方と、翅を揃えず八の字に開く「開型」の 4 タイプがあった(図 1 )。

これらを「日本のトンボ(尾園ら、2012)」 にある最新の分子系統を参考に比較した(図 2)。その結果、ヤマイトトンボ科は「開型(開)」、 ハナダカトンボ科は「上型(上)」、ミナミカワ

トンボ科は「上型」、モノサシトンボ科は「上型」か「分型(分)」、イトトンボ科は主に「分型」(ホソミイトトンボ他3種が「上型」)であることがわかった。そして、アオイトトンボ









図 1

科は種によって「片型(片)」、「上型」、「開型」

と異なること、カワトンボ科では種によって、腹部の角度の違いで「上型」になったり「分型」

になるものと、常に「上型」だけのものがあった。このように、均翅亜目の翅の畳み方の違いは 「科」の違いに対応しているようである。

均翅亜目は「アオイトトンボ科」(グループ 1)、「カワイトトンボ科+ヤマイトトンボ科+ハナダカトンボ科+ミナミカワトンボ科」(グループ 2)、「モノサシトンボ科+イトトンボ科」(グループ 3)の3つのグループに分かれる。グループ分けに沿って、畳み方の違いを考えてみた。畳み方は羽化したばかりのトンボが上型であること、全てのグループで「上型」が見られることから、元は「上型」ではなかったかと考えられる。まず、グループ 1 とグループ 2 + 3 が分かれた。グループ 1 は分岐が最も深く、長い間の進化の過程で、「片型」、「上型」、「開型」と色々なタイプが出現した。グループ 2 + 3 では、グループ 2 は「上型」を引き継いだが、カワトンボ科には腹部の位置によって「分型」となる種群がでてきた。また、例外的に「開型」の習性を獲得した科がある(ヤマイトトンボ科)。グループ 3 は新たに「分型」を獲得した。そのうちの一部では「上型」の習性が残った。アオモンイトトンボ属は情報の少ないのでまだよくわからないが、「上型」と「分型」の両方をあわせもつ可能性がある。

「片型」は類例が少なく、確実なのはオツネントンボとホソミオツネントンボの 2 種のみであ

る。この 2 種のトンボは成虫で 越冬する習性がある。越冬する 際、狭い場所に入り込むので、 体コンパクトにするために、必 要があり、翅を片側に小さく畳 なのではないかと考えた。

#### ◇今後の展望

日本産均翅亜目全 58 種について翅の畳み方について調べた。 確認・比較した写真や画像は 1,000 枚に及んだ。情報量が少ない種についてはさらに情報収 集をして検討する必要がある。

また、情報はインターネット の画像によることが多かったが、 どんな環境にどんな種が生息し ているのか、現地で観察するこ とが大切だ。今後も可能な限り 現地調査を行っていきたい。

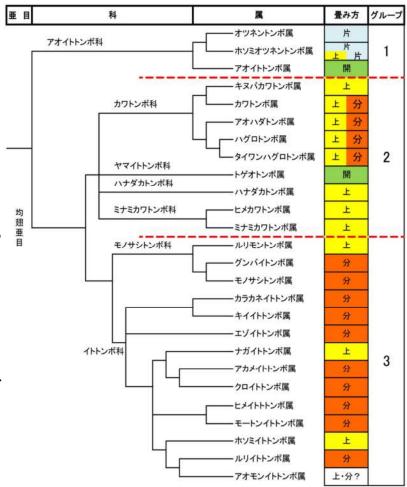


図 2 科・属による翅の畳み方の違い

#### ◇主要参考文献

石田昇三・石田勝義・小島圭三・杉村光俊、1988. 日本産トンボ幼虫・成虫検索図説. 東海大学 出版会, 東京.

尾園 暁・川島 逸朗・二橋 亮, 2012. ネイチャーガイド 日本のトンボ. 文一総合出版, 東京.

#### Queen development and endoreduplication in a termite Reticulitermes speratus

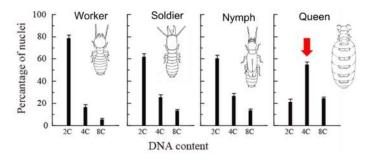
Nanami HIROSE (Osaka Prefectural Tennoji High School)
Dr. Kenji MATSUURA, Mr. Tomonari NOZAKI
(Graduate School of Agriculture, Kyoto University)

#### ♦Introduction

Increases in DNA content due to endoreduplication are widely observed in the metabolically active tissues of plants and animals. During egg production, insect females synthesise massive amounts of vitellogenin in their fat bodies, and those of some insects become polyploid to accelerate vitellogenin production.

Social insects have developed reproductive division of labor, wherein queens lay most of the eggs while other individuals have reduced fertility and undertake tasks required for maintaining the colony. Therefore, only queens are engaged in vitellogenin synthesis for egg production in social insects.

↓ Queen-specific endroreduplication in a termite Reticulitermes speratus



Termite queens have disproportionately more DNA in their fat body cells (Nozaki and Matsuura 2015).

This time, we researched whether larger queens with developed ovaries have more endopolyploidy in their fat body cells.

#### ♦ Material and Methods

We collected and used female alates, young primary queen , mature primary queen and mature secondary queen. We measured the number of nuclei at each ploidy level (2C, 4C and 8C) per sample with a flow cytometry.

#### ♦Result

Queens increase ploidy levels of fat body cells as their body size. A significant difference was observed in cycle values of fat body cells among queen types. There was a significant correlation between queen body weight and cycle values.

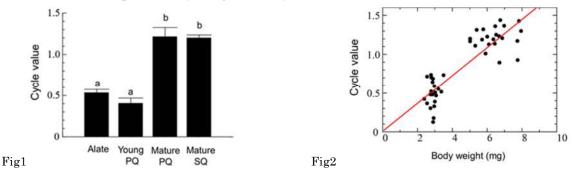


Fig. 1 Comparison of cycle values of fat body cells among queen types (mean ±SE)

Fig. 2 Relationship between queen size and cycle value of fat body cells among queen types (mean ±SE)

C – 4

京都大学(GSC)

#### ♦Discussion

We found that female alates and young primary queens at 3 months after colony foundation had low levels of polyploidization as female nymphs indicating that eclosion itself does not affect polyploidization. Cycle values increased in proportion to queen body weight regardless of their developmental pathway (i.e., neotenic or adultoid).

These results suggest that termite queens take advantage of fat body endoreduplication to promote vitellogenin synthesis and thus boost their egg production. More comparative studies of tissue- and caste-dependent endoreduplication are needed to determine whether endoreduplication is regulated to meet task allocations.

#### ♦ Next interesting questions

- 1. Why not more than 4C? How do they regulate ploidy levels?
- 2. How about higher termite species with much larger queens?

#### ♦Reference

Nozaki T. and Matsuura K. Termite queens have disproportionately more DNA in their fat body cells: reproductive division of labor and endoreduplication. Entomological Science (in press).

#### Queen development and endoreduplication in a termite Reticulitermes speratus

廣瀨 奈々美 (大阪府立天王寺高等学校 2年)

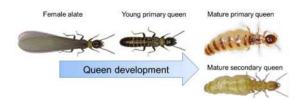
担当教員 松浦 健二 (京都大学大学院農学研究科 教授) 野嵜 友成(TA) (京都大学大学院農学研究科 修士 2 年)

#### ◇研究の背景・目的

バッタやカなどの昆虫では、卵生産時の雌個体の脂肪体で核 DNA の倍加が生じることが知られている。これは脂肪体で卵生産に必要な卵黄タンパクを大量生産する上で適応的だと考えられている。社会性昆虫の女王は卵の生産に特化したカーストであり、多くの卵を産む女王ほど脂肪体の核相倍化が進んでいるのだろうか。本研究では、ヤマトシロアリの女王の発達段階における脂肪体の核相倍加について調べた。

#### ●女王の発達段階について

ヤマトシロアリの女王は幼虫から育ち、成熟した後、有翅虫(羽アリ)となり、自らが一次 女王となる新たなコロニーを巣の外部に創設する。下図は女王を発達段階別に表したもので、 上の三匹は一次女王、下の一匹は一次女王から生まれた二次女王を示す。



#### ◇研究の方法

有翅虫(羽アリ)、一次女王(創設3か月のものと野外で採集したもの)、二次女王、の頭部と脂肪体の核相の倍加レベルを、フローサイトメーターを用いて測定した。

#### ●フローサイトメトリーとは

一般に細胞の浮遊液や懸濁液を細管に通し、短時間での多量の細胞数の計測や、蛍光や散乱 光などの測定を行い分析する機械である。今回は各女王から採取した脂肪体を用いて、核相の 倍加レベルを調べた。

#### ◇結果

図1より、有翅虫と若い(3か月飼育)一次女王の脂肪体に核相の倍加レベルに差はないが、卵巣が大きく発達した一次女王(野外で採集)と二次女王の脂肪体では倍加レベルが高かった。

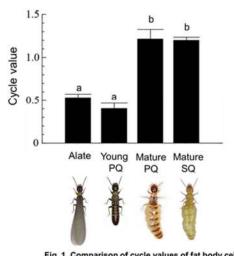


Fig. 1 Comparison of cycle values of fat body cells among queen types (mean  $\pm SE$ )

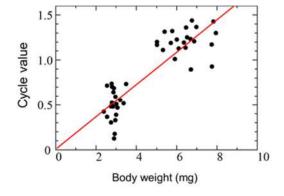


Fig. 2 Relationship between queen size and cycle value of fat body cells

Y = 0.0096037 + 0.1801988X (R<sup>2</sup>=0.76, linear regression)

また図2より、女王が発達するにつれて倍加のレベルが高くなっていることがわかった。

**C-4** 京都大学(GSC)

※サイクルバリューとは 倍加の度合いを表す指標 (Cycle Value = (0・n2C+1・n4C+2・n8C)/ (n2C+n4C+n8C)

※今回の実験では体重が大きいほど発達した女王として考える。

#### ◇考察

- ・羽アリと若い一次女王(創設三か月)は倍加レベルが低かったが、一次女王と、羽化を経験していない二次女王は倍加レベルが高かったため、倍加レベルに羽化自体は影響しておらず、また女王の発達経路は倍加に関係していないことがわかった。
- ・女王の体重と比例して倍加の程度が高くなっていることは、女王が卵生産を活発にするため に核相倍加を利用していることを示していると考えられる。

#### ◇今後の疑問

今回の結果から次のような疑問が挙げられる。

- ・測定した倍加レベルは4Cが最も多く確認されたが、何故8Cや16Cなどではなく4Cの頻度が最も高かったのであろうか。
- ・高等シロアリなど、ヤマトシロアリ以外の種でも倍加は同じように起こっているのだろうか。 今後、これらの疑問からさらに発展した内容へと研究をしていきたい。

#### ◇参考

Nozaki T. and Matsuura K. Termite queens have disproportionately more DNA in their fat body cells: reproductive division of labor and endoreduplication. Entomological Science (in press).

#### Nipple Suckling Preference in Japanese Monkey (Macaca fuscata)

Yuma Kanazawa (Rakuhoku Senior High School)

Dr. Masafumi Nakagawa (Graduate School of Science, Kyoto University)

#### **Introduction**

How infants decided the nipple preference? We, humans, also have nipple preference in their infant-hood, but then why we have preference and laterality in suckling. I wanted to make a comparison in primates to show the evolution of nipple preference. I made a effort to get the significant correlation Japanese Monkeys' nipple preference by observing them in Arashiyama Monkey Park.

#### **Methods**

Subjects that I observed consisted of 4 mother-infant pairs of Japanese monkey in Arashiyama Monkey Park. I observed only pairs which bore the baby in this year. I have been to Arashiyama Monkey park three times and observed for about ten hours in total. I chose a method of single-individual tracking and tracked one pair in one time, and switch to the another pair and recorded. I divided a section on minute by minute and wrote which nipple the infant suckled (it can be none and both nipples.), and what kind of motion they made in that minute. In order to look for laterality, I compared with which nipple infants suckle, whether mothers were lying under the left side or right side, and its rate.

#### Results

According to the analysis, the more days infants spend, the more preference we can see. My analysis showed that the nipple preference should be settled at between the age of 10 to 15 days. However, there is no significant laterality between nipple and posture, and other motions such as grooming, sitting, and moving have no correlation for nipple preference. These motions are relatively random to happen, and there is no regularity.

#### **Discussion**

In my opinion, as the infants grows, the nipple preference of infants and secretion preference of mother's milk. My finding on this research is very similar to the research of Rhesus Macaques, which showed a significant strength of preference that developed after 48 hours. The laterality of mothers' milk just appear, and then infants become likely to suckle bigger nipple which has more milk. In the early age of infants, they just cannot find and understand whether nipple is easy to suckle and get enough nutrition. Therefore, infants prefer that nipple to others more, and mothers' milk more likely to become biased to put out, and nipple preference is gradually formed from between age of 10 to 15 days.

However, the nutritional condition in Arashiyama is quite different from pure wild Japanese monkeys such as in Kinkasan in Miyagi, or Yakushima. monkeys live in there are fed by people regularly and nutritional condition is stable, so nipple preference of wild ones would be more different from the result of this research. I should think about it again.

#### Outlook

Some problems are left to understand the nipple laterality completely. Firstly, it is the problem of nutritional condition. As I mentioned, the condition of there is quite different from wild monkeys. That difference would make a difference how mothers' milk put out for their infants, and how bigger their nipple become. Moreover, I have observed them only for three days( in about 20days). That means there would be some relations to siblings.

If I observe them more about over 5 years, new interesting and significant correlation may be appeared.

Lastly, as far as we can do, we should do some collecting of mothers' milk and check the nutritional conditions of mothers, and then compare the difference on nipples to make sure if the nutritional condition relates to nipple preference.

**C-5** 京都大学(GSC)

#### ニホンザルの乳首の好みについて

金沢優真(京都府立洛北高等学校2年) 担当教員 中川尚史 (京都大学大学院理学研究科 准教授)

#### 【序論】

私たち哺乳類は乳児に対して母乳を与え、育てている。ただし、多くの哺乳類は一度に産む子供の数に対応するだけの乳首の数を持っている場合が多い。ヒトやニホンザルの場合は、双子ではない限り、一度の出産で1個体しか生まない。なのに2つ乳首があるという体の構造をしている。霊長類とヒトとを比較することで、その左右性について新たな知見をもたらすことができるのではと考え、今回はニホンザルの親子について観察を行った。ニホンザルについては子供の咥える乳首に好みがあり固定することが確認されており、その要因を行動観察によって探った。

#### 【方法】

京都市内の西部に位置する嵐山モンキーパークという施設内で、今年生まれた赤ん坊とその母親、計4組の親子について観察を行った。観察には個体追跡法を用い、5月中旬から6月初旬にかけての3日間、計10時間にわたりそれぞれの個体を観察した。

記録は1分間の中で親子がどのような行動をし、どのような体勢であったか記録した。秒数ではなく、1分間の中でその行動をしたかしなかったかということを主として記録した。分析については、記録した行動をそれぞれ数値としてカウントし、時間(1分を1回分とカウント)に対する行動をしていた時間の割合を基に分析した。

#### 【結果】

分析の結果、成長過程と大きな相関関係があることが分かった。つまり、日が経つほど、子供の咥える乳首が偏っていくということである。およそ10日から15日あたりにかけて固定しているという結果が得られた。

母親の体勢、特に寝ている時にどちらの側を下にしているかということについて重点的に分析 を行ったが、特に相関関係は見られなかった。また、ほかのグルーミング(毛づくろい)などに ついてもランダムに発生しており、咥える乳首と関係性は薄いと判断した。 **C-5** 京都大学(GSC)

#### 【考察】

これらの結果から、子供は母親の行動によらず、咥える乳首を決めているということが判明した。その要因として考えられるのが、母乳の分泌の偏りである。これは子供の乳首が決まっていくのと同時に起こっており、相互作用的に起こっていると考えられる。

ただし、嵐山のサルは放し飼いにされているようなもので、人による餌付けが行われており、 一概に野生のサルであるとは言い切れず、検証が必要である。

#### 【今後の展望】

今回の観察では10時間という時間観察を行ったが、全くもって短すぎた。先行研究として兄弟間で規則性があるというものもあり、何年というスパンで見ていくものであるとつくづく感じる。だだ、母乳の分泌液の分析等は今からでも行えるので、今後の研究に生かしたい。

#### ミシシッピアカミミガメの繁殖に関する研究

栃木県立佐野高等学校 2年 関 拓洋1年 新井 隆太

担当教員 青柳 育夫

#### ◇研究の目的・意義

- ・外来種ミシシッピアカミミガメ(Trachemys scripta elegans)は、現在、全国各地で繁殖し、 生態系等へ被害を及ぼすことが懸念されており、平成27年3月、「生態系被害防止外 来種リスト」で「緊急対策外来種」に指定されている。しかし、本種の成長や繁殖等に 関する基礎的な研究は、我が国ではほとんど行われていなかった。
- ・佐野高校科学部では、昨年度、栃木県佐野市に生息する個体と千葉県野田市に生息する 個体の成長を比較した結果、その速度に違いがあることが示唆されたため、今年度は、 その違いをもたらす要因を明らかにすることを目的として研究を行った。
- ・成長に影響を及ぼす可能性のある要因として、①生息地による食性の違いと、②遺伝的な違いとを想定した。①それぞれの食性に関する研究は科学部で、②遺伝的変異に関する研究はグローバルサイエンスキャンパスで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

- (1)各個体の成長および食性に関する調査(科学部)
  - ①佐野市および野田市に生息するアカミミガメを平成26年4月から平成27年9月にかけてトラップで捕獲し、外部形態(性別、年齢、背甲長、腹甲長、体重等)を計測した。
  - ②その後、直ちに過度の麻酔により安楽死させ、解剖して卵巣および消化管の摘出を行い、卵巣の観察および計測(卵巣・精巣の重量、卵巣中の卵胞および卵管内に存在する卵管卵の有無およびサイズと個数、排卵がおこったことを示す黄体の有無およびサイズや個数)、消化管内の内容物の採取を行った。
  - ③消化管の内容物を実体顕微鏡の下で、動物性のものと植物性のものに分類し、それぞれの重さを計測した。
- (2)遺伝的な変異に関する調査(グローバルサイエンスキャンパス)
  - ①採取したアカミミガメの尻尾の先端部5mm程度または解剖した卵巣の一部を切り取り、70%アルコールの入ったスクリュー管内で試料として保存した。
  - ②宇都宮大学ゲノミクス研究所内の施設で、DNAの抽出、PCR法によるミトコンド リアDNA調節領域の増幅、同DNAの塩基配列の決定を行った。



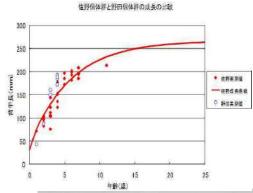
図5 DNAの抽出



図6 DNAの電気泳動

#### 結果と考察

(1) 佐野市および野田市の個体群の成長について ・3歳から4歳にかけては野田個体群の成長 の方が佐野個体群を上回る傾向が見られた。 このことから、成体に達するまでの幼体およ び亜成体の時期の成長速度が生息場所によっ て異なる可能性が示唆された。



# 8// 在野? PP == 動物性 植物性

#### (2)食性(消化管の内容物)について

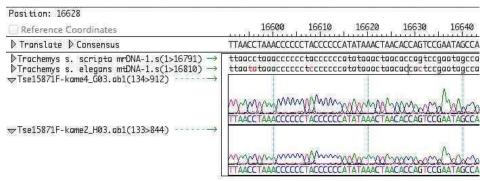
・野田個体群の方が、動物性の内容物の量が 多い傾向がみられた。このことから、野田個 体群は動物をエサとする頻度が高いため、成 長が速い(より大型になる)可能性があるこ とがわかった。

(3) ミトコンドリアDNAの塩基配列の解析による遺伝的変異について

・ミシシッピアカミミガメ (T. s. elegans) とその近縁種であるキバラガメ (T. s. scripta) のミトコンドリア DNA 全塩基配列 (参考文献) を比較して、2 亜種間で変異の多かった調節領域を増幅できるプライマーセットを設計し、PCR 法により増幅した DNA 断片の塩基配列を決定した。

・佐野の2個体について塩基配列が明らかとなった。

・佐野の2個体は、DNAデータベースに登録されているキバラガメの配列に近かった。



#### ◇今後の展望

・今回の調査で、ミトコンドリア DNA の塩基配列の変異が存在する可能性が判明したため、グローバルサイエンスキャンパスで全国の地域ごとの変異について研究を行いたい。

#### ◇ 主要参考文献

Yu, D., Fang, X., Storey, K.B., Zhang, Y. and Zhang, J. Complete mitochondrial genomes of the yellow-bellied slider turtle Trachemys scripta scripta and anoxia tolerant red-eared slider Trachemys scripta elegans. (2014) Mitochondrial DNA, Dec 26:1-2.

#### **納豆菌のバリアとそれを壊すファージ** - 発酵産業とバクテリオファージの関係 -

長谷川 真央(秋田南高校 2年) 大沼 遼香(福島高校 2年) 担当教員 金子 淳(東北大学大学院農学研究科 准教授), TA 樋口 大祐, 彭 昭

#### ◇研究の目的・意義

発酵産業は微生物の力で人に役立つ物質を作りだす産業であり、乳酸菌や酢酸菌、納豆菌などの原核生物も関わっている。ところが、細菌に感染するウイルスである「バクテリオファージ」の混入により製品が全滅するなど問題があり、納豆生産では「糸切れ」と言われる。ファージは感染した宿主菌のシステムを使って娘ファージを作らせ、菌を溶かして放出される。一方、細菌も様々な仕組みでファージからの感染から身を守っている。納豆菌は $\gamma$ ポリグルタミン酸( $\gamma$  PGA)を主成分とする「糸」を生産しファージに対するバリアとしているが、「糸切れ」を起こすファージ群は $\gamma$  PGA 分解酵素 (PghP) 遺伝子を獲得してそれに対抗している  $^{10}$ 。これまでファージ感染時の PghP の生産は、ファージの生活環の後期に行われているということが見いだされた。本研究では、納豆菌とそのファージの関係を解き明かす中で、ファージのバリアとなる「糸」が作られる条件を探るとともに、pghP遺伝子を持ち、納豆菌および近縁の枯草菌に感染する $\phi$  SP50 ファージを使用して、ファージ感染と $\gamma$  PGA 分解活性発現の宿主依存性を検討した。

#### ◇研究の方法・プロセス

バクテリオファージの取扱い、納豆菌の性質を確認する3つの実験の後、異なる宿主に感染した際のγPGA分解活性の発現確認実験を行った。

#### 【実験1】 納豆菌とファージの培養

納豆菌: 納豆の糸に植菌耳で軽く触れ、スキムミルク含有 LB 平板(ポリペプトン 1%, 酵母エキス 0.5%, NaCl pH7 0.5%, スキムミルク 1%)、PSG 平板(大豆ポリペプトン 1.5%, ショ糖 1.5%, グルタミン酸 Na 1.5%)上にそれぞれ塗りつけ、37℃で一晩培養した。(ポリペプトン:蛋白加水分解物)ファージ:  $\phi$  Sp50 ファージ液 100  $\mu$ 1 と指示菌(納豆菌 NAFM5 株)液 100  $\mu$ 1 を 0.7% LB 軟寒天 5 ml と混合した。LB 培地に重層し、30℃で一晩培養した(シャーレは逆さにせず培養した)。

#### 【実験2】 納豆菌が糸を引く条件を探る

二種類のタンパク質加水分解物(大豆ペプトン,ポリペプトン)と添加物 (1.5%ショ糖、1.5%グルタミン酸ナトリウム) の組み合わせの異なる8通りの寒天培地に、実験1のように納豆菌を植菌した。

#### 【実験3】 納豆をさらに発酵させると「糸」はどうなるか?

室温に放置した納豆の糸引きの変化を調べ、さらにそれぞれの納豆の菌を実験1の方法でPSG 培地で培養し、糸の引き具合を調べた。

#### 【実験 4】ファージ感染に伴う PghP(γPGA 分解酵素活性)発現の確認

ファージ感染時の PghP 発現に宿主菌の違いが影響する可能性を考慮し、納豆菌 NAFM5 株と枯草菌 1214 株への  $\phi$  SP50 感染時の PghP 活性発現を比較した。 5 ml の LB 培地で宿主菌を培養し、660 nm の光学密度が 0.25 となった時に約  $5\times10^7$  cfu(コロニー単位)の菌に対し、 $\phi$  SP50 を  $1.5\times10^8$  pfu (プラーク単位)/50  $\mu$  1 を添加、37℃で培養後、溶菌液を得た。その  $20\,\mu$  1 を酵素液として PGA

**C-7** 東北大学(GSC)

基質液  $80\,\mu\,1$  に加え、37<sup> $\circ$ </sup>Cで反応させた。0h, 1h, 2h, 3h ごとに反応液に蒸留水  $400\,\mu\,1$ 、CET 液  $(0.1\,M\,NaC1\,\Lambda\,Xampa)$   $100\,\mu\,1$  加え混和し、 $20\,$ 分後  $400\,$ nm で濁度を測定し、残存基質量を算定した。

#### ◇ 結果と考察

【実験1】納豆菌のコロニー、宿主菌の溶菌に伴うファージのプラークの様子を肉眼で観察した(図1)。納豆菌はスキムミルク培地ではほとんど糸を引かなかったが、PSG 培地では盛んに糸を引いたことから、γ PGA は培養条件により誘導的に生産されることが示された。

【実験 2】ショ糖、グルタミン酸 Na の添加は糸引きを増加した。さらに大豆ペプトンのみでも糸引きが見られたことから、大豆ペプトンには糸引きを誘導する物質が含まれると考えられる。



図 1. 納豆菌ファ ージのプラーク

【実験3】2週間放置した納豆では糸引きが弱くなった。この状態の納豆から取り出した菌が PSG 培地で生育し、糸引きを示したことから糸を作る能力を失っていないことが確認できた。納豆菌は  $\gamma$  PGA 分解酵素を誘導的に生産・分泌することから  $^{3}$ 、納豆菌は実験 2 のような栄養条件で菌体外に作った  $\gamma$  PGA を、ある条件では非常食として分解・利用していると考えられ、そのため発酵

が進んだ納豆では糸引きが悪くなったと考えられる。

【実験 4】異なる宿主から採取した $\phi$  SP50でも納豆菌を宿主とした方が枯草菌よりも娘ファージ数は約 2 倍)となった。また、PghP 活性は納豆菌、枯草菌いずれを宿主とした場合でも観察された(図 2)。以上より、 $\phi$  SP50の pghP遺伝子の発現が宿主の糸引き能力の有無に関わらず発現しているかの可能性が示された。

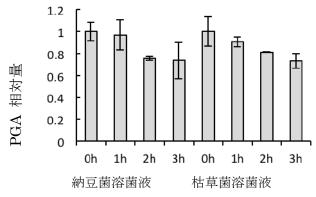


図 2. 納豆菌溶菌液と枯草菌溶菌液の活性比較

#### ◇今後の展望

宿主菌に感染した納豆菌ファージが持ち込んだ PGA 分解酵素遺伝子を発現させる機構と、納豆菌が PGA 分解酵素を発現する機構との関係はどうなっているのか。また、ファージの酵素に加え、納豆菌自身が生産する PGA 分解酵素が、ファージ感染に関与しているのかなどを解析することにより、宿主菌とファージの関係をより深く解析し、ファージ汚染に対する理解を深めていきたい。

#### ◇主要参考文献

- 1) Kimura and Itoh (2003). Characterization of poly-γ-glutamate hydrolase encoded by a bacteriophage genome: Possible role in phage infection of *Bacillus subtilis* encapsulated with poly-γ-glutamate. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69: 2491-2497.
- 2) Nagai et al. (1997) Chemical analysis of poly-γ-glutamic acid produced by plasmid-free *Bacillus subtilis* (*natto*): Evidence that plasmids are not involved in poly-γ-glutamic acid production. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 43:139-143.
- 3) Kimura et al. (2004) Characterization of *Bacillus subtilis* γ-glutamyltransferase and its involvement in the degradation of capsule poly-γ-glutamate. *Microbiology*. 150:4115-4123.

**C-8** 筑波大学(GSC)

#### Plasmodium of Myxomycetes has the ability to recognize "self" and "non-self"

Mana Masui (Tokyo Metropolitan Koishikawa Secondary Education School)
Dr. Yousuke Degawa (University of Tsukuba)

#### **♦**Introduction

Myxomycetes belong to Amoebozoa. They have unique life-cycle. Plasmodium moves around and transforms to many fruit bodies. They scatter numberless spores. Next, myxamoebae emerge from spores. They fuse into plasmodium.

Plasmodium (Fig.1) is poorly understood due to difficulty of finding it in the field and cultivating it. In the most of the previous studies, only established culture systems of *Physarum polycephalum* are used. I established the wild isolates of plasmodia of many species and keep them for 8



Fig-1. Plasmodium of *Physarum* roseum

years. Among them, I succeeded in establishing spore to spore cultures of two species. By using them as materials, I could research the subject that has few precedent studies.

After my first study (2008-2010) revealed the differences of each plasmodia's movements, I started the research about the behavior of two plasmodia which meet each other. A common view says that plasmodium cannot recognize self. But I could come to a different conclusion. My research consists of two steps.

#### ♦ Step 1: Searching for the ability to recognize "self" and "non-self."

**Method of Step 1:** I let two plasmodia meet on agar medium in the petri dish (pd), and observe their behavior. I prepared 291 pd in the 5 cases of combinations: 1) Divided individuals (175 pd). 2) Different species (19 pd). 3) Individuals awakened from sclerotia (25 pd). 4) Different generations of the same species (27 pd). 5) The same species from different area (45 pd). The materials are an isolate of *Physarum polycephalum*, 20 wild isolates of 6 species, and spore to spore cultures of 2 species.

**Results and Discussion of Step 1:** As a result of experiments for 5 years, I found the behaviors of plasmodia were different depending on the cases. "Different species" could not fuse at all in touching each other. "Divided individuals," "Individuals awakened from sclerotia" and "The Different (five) generations of the same species" could fuse well. But I

didn't conclude that "different species cannot fuse and the same species can," because I observed both "fused" samples and "not fused" ones in the case of "The same species from different area."

So, I compared 526 times of meetings in the 291 pd by 2 parameters; "Difficulty to fuse" (percentage of meeting not fused and avoided) as X, "Difficulty to recognize" (percentage of meeting required more than 30 min. to stop its movement and decide the behavior) as Y (Fig.2). I found 3 groups. **Group A** (Different species) can be called "Easily recognizable non-self" which never fused and

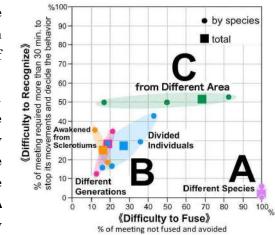


Fig-2. Comparative analysis of 5 cases

recognize each other almost non-stop. **Group B** (Divided individuals, Individuals awakened from sclerotia and Different generations of the same species) is "Easily recognizable self" which fused well and didn't stop so much before fusing. **Group C** (The same species from different area) is "Hard-recognizable self", a half of which couldn't fuse and often stopped for very long time.

This analysis says that if a plasmodium meets another one, "Difficulty to fuse and recognize" is different by the cases of combinations. Plasmodium recognize "self and non-self", and also "near self and far self". I got a new hypothesis: there is key by which plasmodium recognize another one.

#### ♦Step 2: Searching for the key of recognition self and non-self of plasmodium

**Method of Step 2:** When plasmodium meets another one, the first object to touch is its slime sheath which is clear and covers its body. The plasmodium avoids its trace which is the slime sheath threw away (Reid et al. 2012). But some plasmodia traced other's traces in my observations. So I built the hypothesis that the key of recognition is slime sheath. To prove this, I let a plasmodium meet a piece of trace (slime sheath) and observe its behavior. I prepared 5 cases of combinations: A plasmodium meets trace of 1) Itself. 2) Different species. 3) Different generation of the same species. 4) The same species from different area (cannot fuse).

Results and Discussion of Step 2: I compared these 5 cases by 3 parameters: 1) Percentage of avoiding trace. 2) Percentage of stopping its movement after touching trace. 3) Average percentage of maximum covered area of trace. I found that all 5 cases showed different reaction and behavior, which were very similar patterns to corresponded cases of Step 1. The result of this analysis indicates that plasmodium distinguishes slime sheath when it meet and touch it. For plasmodium, slime sheath is easy or hard to distinguish depending on the cases of combination. So, by crossing two concepts, "near or far" (difficulty to recognize) and "can fuse or cannot," the relations of plasmodium can be categorized four: 1) Easily recognizable non-self. 2) Easily recognizable self. 3) Hard-recognizable non-self. 4) Hard-recognizable self.

#### **♦**Conclusion

- (1) Plasmodium has the ability to recognize "self" and "non-self."
- (2) They can change their own "self" by their decision and behavior.
- (3) Its "self/non-self" consists of not only "fuse or not" but also "near or far."
- (4) Slime sheath of plasmodium is related to recognition of "self" and "non-self."

Plasmodium of Myxomycetes has a unique "dynamic-self." It is very different from human and other organisms' typical self/non-self.

#### **♦Future Task**

I want to clarify the self/non-self recognition system of plasmodium. I have already started a research by mass spectrometry analysis of slime sheath and observation of individuals, in order to prove two hypotheses; 1) Relations of self/non-self change by influence of environment. 2) Key material of recognition is different by genera or species.

#### ♦Reference

Reid, C. R., Lattya, T., Dussutour, A. & Beekman, M. 2012. Slime mold uses an externalized spatial "memory" to navigate in complex environments. Proceedings of the National Academy of Sciences. 109 (43): 17490-17494.

**C-8** 筑波大学(GSC)

#### 変形菌の研究 変形体の「自他」を見分ける力

增井真那(東京都立小石川中等教育学校 2年) 担当教員:出川洋介先生(筑波大学)

#### ◇研究の目的・意義

変形菌(真正粘菌)は粘菌とも呼ばれ、名前の語尾に菌とついているが菌類ではなくアメーボゾアに属する。動き回り栄養を得る変形体が、たくさんの子実体に変身し、そこから無数の胞子を飛ばして増えていく生物である。変形体(図1)は自然環境の中から見つけにくく、採集できても飼育培養は非常に困難とされている。そのため変形体の研究はあまり進んでいなく、ほとんどの先行研究には実験材料として培養系が確立されたモジホコリが使われている。ぼくは自然界の様々な種の変形菌の



図1 アカモジホコリ変形体

変形体の採集・長期培養を8年間続け、継代培養も成功させている。これらを材料とした前例のない実験を7年間行う中で、先行研究がほとんどない研究を行っている。

まず2008年までの研究から、種ごとの動き方の違いは変形体の体の特徴と関係があることがわかった。この発見から変形体の動きと考えの関係を深めたくなり、2008年から変形体どうしが出合うと何が起きるのかについての研究を始めた。実験をしていく中で、変形体の「自他」を見分ける力というテーマを見出だすことができた。「変形菌の変形体には自他がない」という通説があるが、研究を5年間続けた結果、それとは異なる結論を得ることができた。今回は、変形体には「自他」を見分ける力があるということと、その自他が何によって見分けられているかについての研究成果を説明する。

この研究のテーマ設定、実験計画、実験の実施、分析などは自宅で行い、進め方、考え方や生じた疑問などについて、主に筑波大学GFESTと日本変形菌研究会の先生方、先輩方からご指導をいただいた。実験材料の変形体は、ほとんどは自分で採集したが、一部は日本変形菌研究会の皆さまが分けてくださり、これらを自分で実験に使える状態まで育てた。また、この7年間に多くの発表機会(筑波大学GFEST、日本変形菌研究会、日本菌学会、日本生態学会など)があり、その度にたくさんの専門家の方からアドバイスをいただくことができた。

今回の、変形体の「自他」を見分ける力についての研究は、2つのステップで進めた。

#### ◇I. 変形体どうしを出合わせ、「自他」を見分ける力について探る

#### Iの研究の方法・プロセス

5つの場合(別種、1つの変形体の個体から分かれたもの、菌核という休眠状態から戻した変形体、同種世代違い、同種産地違い)に分け、**個体どうしを寒天培地の上で出合わせたら融合するかどうか**を観察した。実験には実験材料として培養系が確立されたモジホコリに加えて野生株6種20株と、野生株2種から継代培養した株を使った。

#### Iの結果と考察

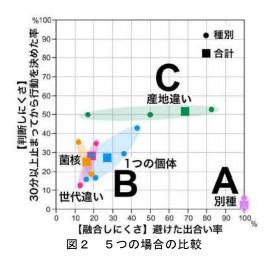
変形体どうしを出合わせる実験を 5 年間に 291 シャーレ行ったところ、出合う相手によって行動のパターンが違った。最終的に個体どうしが融合したかどうかについて見ると、別種は全く融合せず、1 つの個体から分かれた変形体どうしや、菌核から戻した変形体の場合、また 5 世代間の変形体の場合はとてもよく融合した。しかし、同種産地違いの場合は、融合できる組み合わせも、全く融合せずに住み分ける場合もあり、「別種は避け合うが、同種は融合する」とは言い切れないと考えた。

このことをはっきりさせるために、291シャーレでの出合い合計 526回について、**融合しにくさ**として「避けた出合い率」、判断のしにくさとして「30分以上止まってから行動を決めた

率」を比較したところ3グループに分かれることがわかった(図2)。Aの別種は、すぐに避け合う「わかりやすい他人」の関係。Bの同種は、よく融合し止まりにくい「わかりやすい自分」の関係。Cの同種産地違いは、判断に時間がかかる「わかりにくい自分」の関係だと言える。

以上の分析から、判断と融合のしにくさは出合う相手との関係によって異なると言える。変形体の自他の関係には「近い/遠い」があり、それは相手を判断するカギによって決まっていると考え始めた。これが新しい仮説である。

#### ◇Ⅱ. 変形体が「自他」を見分けるカギを見つける Ⅱの研究の方法・プロセス



変形体どうしが出合って最初に触れるのは、体を覆う透明な粘液鞘(ねんえきしょう)である。Reidら(2012)の研究によると、変形体ははいあと(脱ぎ捨てられた粘液鞘)を避けるそうであるが、自分の観察からは、変形体がはいあとをたどっていく場合もあった。そこで判断のカギは粘液鞘にあるとの仮説をたて、このことを証明するために、変形体の「はいあと」(粘液鞘)に出合った時の反応と行動を5つの場合(自分自身、別種、同種世代違い、融合できる同種産地違い、融合できない同種産地違いの「はいあと」と出合わせる)について観察した。はいあとと出合った時の変形体の反応は、変形体どうしの場合と同じようになると予想した。

#### Ⅱの結果と考察

5つの場合について、はいあとを避けた率、はいあとに触れて止まった率、はいあとを覆った最大面積比率を比較したところ、5つの場合は全てはいあとに対する反応や行動が違い、Iの変形体どうしの場合と似たパターンを示した。このこと自体が、変形体は「はいあと」、つまり粘液鞘を見分けていることを意味している。変形体にとって相手の粘液鞘は、判断しやすかったり、しにくかったりする。このことから、変形体の自他の関係は、「近い/遠い相手(判断のしやすさ)」と「融合できるかどうか」のかけ合わせで〈わかりやすい他人〉〈わかりやすい自分〉〈わかりにくい他人〉〈わかりにくい自分〉の4つに分類できる。

#### ◇ⅠとⅡからの結論

第1に、変形体には自他を見分ける力がある。第2に、変形体の「自分」は個体の判断と行動で変化する。第3に、変形体の自他は「融合する/しない」で二分されるのではなく、関係の「近い/遠い」があると言える。第4に、変形体の自他の判断には、粘液鞘が関係している。「変形体には自他がない」という人も少なくないが、以上のことから、変形体は人間や他の生物とは違う、独特な自他を持っているのだと言える。

#### ◇今後の展望

変形体が持つ独特な「自他」の判断の仕組みを解明していきたいと考えている。粘液鞘の質量分析と個体の行動観察を関係づけて、自他の関係が環境の影響で変化するという仮説、属/種によって自他を判断する仕組みや、判断する物質が違うという仮説を今、検証している。

#### ◇主要参考文献

Reid, C. R., Lattya, T., Dussutour, A. & Beekman, M. 2012. Slime mold uses an externalized spatial "memory" to navigate in complex environments. Proceedings of the National Academy of Sciences. 109 (43): 17490-17494.

#### Assessment of the range of motion in the neck of dolphin's fossil

Taro Okamura (Tokyo Gakugei University Senior High School) Ass.Prof. Sachiko Agematsu (University of Tsukuba)

#### **◇Purpose of this research**

It is said that it is very difficult to restore the movement of extinct animals when they were alive based on fossil records. But I think that it is important to restore them as same as identification fossils. This research provides one of examples to restore extinct animal's movement from its fossils.

I am studying on dolphin's osteology and fossils. In 2011, I found a fossil of a dolphin's partial skull (occipital). From this discovery, I started researching dolphin's osteology and fossils. My previous research has suggested that this fossil remains occipital condyle, which is one of bases to move the head. So I tried to restore how many degrees this dolphin's neck moved by measuring occipital condyle.

Dolphins and whales' neck adjusted to be made their shorter and fused in the process of their aquatic adaptation from land to the ocean, so it is said that most extant dolphins cannot move the neck (Ito, 2008). However it is said that some kinds of dolphin can move the neck so widely from observation of living body. For example, white whale (*Delphinapterus leucas*) and finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) and river dolphins. Previous study suggested that these dolphins move necks by using only round joint between "occipital condyle" and "atlas" which is first cervical vertebrae (Ito, 2008). But number of research of its neck is extremely few. We have not known how dolphins move the head yet. So we cannot find the research of expressing the figure for its movement.

The purpose of this research is to clarify the mechanism of dolphin's neck movement. In addition, I try to make the way to restore the movement of dolphin's neck from measurement of its fossils.

#### **⋄Materials and Methods**

To clarify the mechanism of dolphin's neck, I compared 102 specimens, 35 species, 7 families (all specimens are adults). And I measured 86 specimens, 35 species, 7 families dolphins' occipital condyles and atlas. From comparison of these sizes and shapes, I analyzed elements for neck's movement and research the mechanism of movement.



FIG. 1 SHAPE OF OCCIPITAL CONDYLE AND ATLAS

#### ◇Results and discussion

As a result from measurement, I found structures of dolphin's neck are different by species. Most species have connected cervical vertebrae, so I confirmed movement range of dolphin's neck is nearly same as the movement range between occipital condyle and atlas. In the observation and measurement process, I think 4 elements –"difference between occipital condyle and atlas", "the swell of occipital condyle" are the key to move. So I researched the influence of these elements for movement.

As a result of anlyses, 3 elements ("difference between occipital condyle and atlas" and "range of occipital condyle") have strong correlation with the movement range of neck. In addition, from inspection by using the model, I found these elements affect the movement range. I think the figure can be used as index to restore the movement.

As an example, I tried to use the figure model for dolphin's fossil that I found in Ichijuku formation, and I concluded. I found that this dolphin could move its neck from 23.1 to 31.7° in degrees.

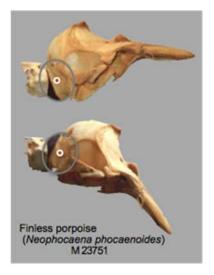


FIG. 2 MOVEMENT RANGE OF NECK

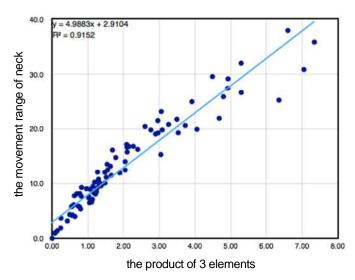


FIG. 3
THE MOVEMENT RANGE AND 3 ELEMENTS

#### **◇Outlook**

It remains a challenge for future research to apply the figure model for extinct dolphins. From restoration the movement of extinct dolphin's neck, I hope that study on the evolution and the aquatic adaptation of dolphin's neck.

In addition, I think neck is key point in the body to make movements. So there ought to be relationship between neck's movement and how to swim and how to eat, behavior and so on. I want to research relationships and research the factor to make difference of the movement range.

#### **♦ D.Bidliography**

- (1) Haruka Ito, 2008: Morphology of Cetaceans. edited by Tsukasa Murayama "Biology of Cetaceans", Tokai University, 78–132
- (2) Michael R. McGowen, Michelle Spaulding and John Gatesy, 2009: Divergence date estimation and a comprehensive molecular tree of extant cetaceans, Molecular Phylogenetics and Evolution 53 (2009) 891–906

#### 後頭骨化石からイルカの首の動きを復元できるのか

岡村 太路 (東京学芸大学附属高等学校 2年) 担当教員:上松 佐知子先生(筑波大学生命環境系)

#### ◇研究の目的・意義

私は、2011年に千葉県の上総層群市宿層よりハクジラ亜目の後頭骨化石を採取した。それ以来、鯨類の形態に関する研究を継続している。鯨類は、私たちにとって水族館で出会える身近な動物であるが、水中適応の結果として他の哺乳類とは大きく異なる生態・体の特徴をもつ。

鯨類は、人間にとってなじみ深い生物であるにもかかわらず、わかっていることは非常に少ない。しかしながら、野生の鯨類は広い海洋上に生息していることに加え、近年は保護の対象とされ調査は容易には行えない状況にある。生きていた状態を推定することになる化石種においては、なおさら明らかになっていない。

この標本には、頭部の可動を担っているとされる後頭顆が残っていて、私はこの化石から首の動きを推定できないかと考えた。そこで本研究では、市宿層で見つけた化石をきっかけに鯨類の首の動きを一例として、化石からその生物の動きやさらには生態を復元することを試みた。なお研究においては、テーマ設定から実施までを『筑波大学GFEST』にて行った。

多くの鯨類は水中に適応する過程で、首は極端に短くなり、頚椎を癒合させていてほとんど動かないと言われている(伊藤, 2008)。その一方で、水族館でスナメリやシロイルカが頭部を自由自在に大きく動かしている様子を観察できる。多くの鯨類は、頚椎が固定されているため、球状の頭と首の関節のみで頭部を動かしていることが先行研究(伊藤, 2008)で知られている。しかし、鯨類がどのようなメカニズムで首を動かしているかは、未だに明確になっていない。鯨類の首の可動域を数値化できるような研究はなく、首の可動の定量的な比較は行なわれていない。また、筋肉や軟組織が残ることが極めて少ない化石から、当時の生物の動きを復元することは非常に難しいと言われており、本研究は化石から生物の動きを復元する研究の一例として、地学・生物分野において意義があると考える。

本研究では、現生ハクジラ亜目の骨格を比較・分析することで、首を動かすメカニズムを解明し、骨格から首の可動域を推定することを目的とする。さらに、この結果を市宿層で採取した後頭骨化石に適用し、化石にもその基準が妥当であるか検討を行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

鯨類の首の可動をもたらすメカニズムを解明するため、国立科学博物館に所蔵されているハクジラ亜目 7 科 35 種 159 個体の頭骨の観察を行った。また、マイルカ科をはじめとするハクジラ亜目 7 科 35 種 86 個体の環椎後頭顆関節の計測を行った。これらの後頭顆・環椎の寸法と形状について比較を行い、首の可動に影響をもたらしている要素を調べ、首を動かすメカニズムを検討した。また、いくつかの種においては、実際に骨格を用いて可動域の検証を行なった。



図1 後頭顆と環椎の形態

#### ◇結果と考察

標本の観察・計測の結果、頚椎は計測を行ったほとんどの種において癒合しており、首の可動はほぼ環椎後頭顆関節が担っていることが確認された。また、鯨類の環椎後頭顆関節の構造は、種によって大きな差異が見られた。私は、"環椎・後頭顆の長さの差"、"後頭顆の膨ら

み"、"環椎の膨らみ"、"左右後頭顆の開き具合"の4つの要素に着目し、これらの要素の差異により環椎後頭顆関節の動きの違いが生じているのではないかと考えた。そして、それぞれの要素についての検証と考察を行った。なお、可動域の検討においては、前後屈のみの背腹方向の可動域に限定し、後頭顆・環椎の凸状・凹状のふくらみは円の弧として計算し理論値を求めることとした。

その結果、"環椎の膨らみ"を除く3つの要素は首の可動域との相関関係が見られ、首の可動に影響を与えていることがわかった。また、それぞれの要素におけるモデル化での検証においても、首の可動に影響を与えていることが確認された。さらに、この3つの要素を数値化し、その積の値と首の可動域は強い相関関係にあることが明らかとなった。そこでは、それぞれの要素ごとの関係よりも相関係数が高く、3つの要素が複合して働いていると考えられる。この3つの要素により求められる数値モデルは、首の可動域を推定する基準・指標として有用であり、実際に骨格を用いて検証した実測値との比較においても、一部の鯨類を除き、ほぼ同様の値を得ることができた。

さらに、得られた数値モデルを市宿化石標本に適用すると、首の前後屈可動域23.1~31.7°という推測を得ることができた。



図2 首の前後屈方向の可動

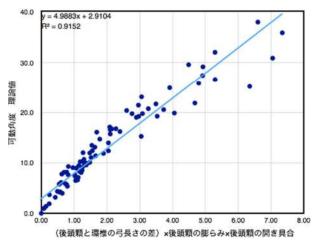


図3 ハクジラ亜目における首の前後屈可動域

#### ◇今後の展望

今後は、ハクジラ亜目の絶滅種において首の可動域の復元を行い、絶滅種における指標の妥当性を検証したいと考えている。さらに、絶滅種においての指標が有用であれば、ムカシクジラ類も含んだ鯨類の首の可動域を推定し、鯨類の首の進化適応を検討することが期待できる。また、首の可動域は鯨類の遊泳・摂餌・生態と密接な関係があると考えられるので、化石から復元を行うことでそれらを明らかにしていきたい。

#### ◇主要参考文献

- (1) 伊藤春香, 2008: クジラの形態. 村山司(編), "鯨類学", 東海大学出版会, 78-132.
- (2) Michael R. McGowen, Michelle Spaulding and John Gatesy, 2009: Divergence date estimation and a comprehensive molecular tree of extant cetaceans, Molecular Phylogenetics and Evolution 53 (2009) 891–906

#### ナンバー1の紙飛行機づくり I・Ⅱ・Ⅲ (2013~2015)

齋藤 楓実(静岡大学教育学部附属静岡中学校 1年) 増田俊彦・青木克顕

#### ◇研究の目的・意義

よく飛ぶ紙飛行機を作りたいと思い、三年間追求してきた。特に、滞空時間の長い飛行機は、低コストで使うエネルギーも少なくできると考え、どんな条件があれば、効率よく飛び続けられるかを折り紙飛行機で検証している。そのために、①作り方の違う飛行機を同じ条件で飛ばし、飛行機の形と飛び方を調べる→②飛行機の紙、投げ方、羽根の角度、風、羽根の大きさによる長い時間飛ぶ条件を調べる→③揚力がどれだけ働いているのか、測定方法を工夫し、滞空時間と揚力の関係を調べる、ということについて、実験を計画しデータを集め、考察してきた。研究のテーマ設定や基礎的な部分を個人の自由研究として行い、研究の進め方や実験方法についてのアドバイスは、次世代科学者育成プログラムで得た。

#### ◇実験の方法・プロセス

- ① 本から選んだ20種類の飛行機を飛ばして、距離や時間を測り平均をとる。(誤差を少なくするため、2種類の発射装置を使って飛ばした)
- ② ①で滞空時間の長かったホエール、シュワイザーに、ギネス記録を持つスカイキングを加えた3種類の飛行機で平均を取り、実験をした。13種類の紙・発射装置の角度・主翼の角度・羽根の大きさ・風との関係の5項目について調べた。
- ③ 風洞という装置を作り、風力・羽根の角度・翼の迎え角 の違いによる揚力を調べた。



図1. ③の風洞実験装置

#### ◇結果と考察

①について < 結果 >

順位	飛行機名	距離	特 長
1位	オルウェイズ	8.4m	正方形から作る。できあがりは細くて長い形。
			下に垂直尾翼がある。
2位	スカイドラゴン	6.9m	長方形から作る。羽が大きい。下に垂直尾翼。
3位	ヘソヒコーキ	6.0m	長方形から作る。下に垂直尾翼。

表 1. 距離の長い飛行機の種類 (手投げ)

**D-2** 静岡大学(次世代)

#### <考察>

1位のオルウェイズは手投げの結果で 8.4m、一番飛んだときはゴム動力の発射装置で 12m 飛んでいる。そこで、距離型の飛行機のいい形は**流線型で細長く風の抵抗が少ない形**であることがわかった。

#### ②について < 結果>

	良い条件
紙の種類	色上質
発射装置の角度	90 度
主翼の角度	90 度
羽根の大きさ	ホエール
風との関係	風にのること

表2. 滞空時間が長かった条件

#### <考察>

滞空時間の長い紙飛行機の紙には、丈夫さと重さが重要だった。また、高く上げることで滑空を長くし風にのる時間を増やすことができる。また、主翼の角度や羽根の大きさなど、飛行機の形と風の関係ははっきりとはわからなかったがとても複雑で、それぞれの形にあったいい風と悪い風がある。

#### ③について

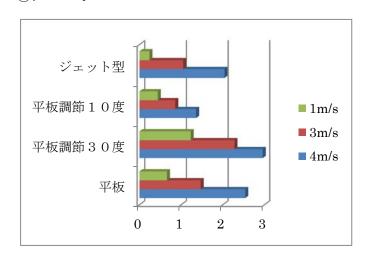


図2. 翼の違いと風力による揚力の違い 平均(g)

#### <結果>

- ・平板でも揚力は生まれる。
- ・風速が速くなるほど、揚力は強くなる。
- ・少し角度を調節するだけで、揚力の 大きさがかなり変わる。
- ・迎え角を大きくした場合、さらに揚力は強くなった。

#### く考察>

平面にも揚力が働くことがわかって、 飛行機に重いものを載せる力があることがわかった。また、風上に向かって 紙飛行機を飛ばすと滞空時間が長くなるわけがわかった。更に高く飛ばすことによって、ゆっくり旋回して降りてくることができたので、うまく風に乗ることができる。

#### ◇今後の展望

③の実験をした時に平面にも揚力が働き迎え角を少し変えるだけで強い力が働いていたため飛行機の羽根の厚みによる風の薄さによって起こる力とは別の力が働いているのではないかと考えた。なぜ平板に揚力が働いていたのか、迎え角を変えるときどうしてそんなに力が強くなるのか調べていきたい。また今までは紙飛行機の羽根に着目して調べてきたがボディーの形にも着目していきたいと思っている。

#### ◇参考文献

- \*おり紙ヒコーキワンダーランド 戸田拓夫著 いかだ社
- \*超本格!おりがみ飛行機ベスト30 中村栄志著 東京書店
- \*ペンギンはなぜ飛ばないのか?海を選んだ鳥たちの姿 綿貫豊著 恒星社 2013年
- \*どうして飛ぶの?最新機体のヒミツ 白鳥敬著 誠文堂新光社 2013年

# Improvement of magnetic-field angular dependence of critical current density for superconducting film by introducing disordered crystal grains as flux pinning centers

Yukimi Morimoto (Kumamoto Senior High School, 3<sup>rd</sup> year) Ryo Teranishi (Department of Materials Science and Engineering, Kyushu University)

#### **♦**Purpose and Meaning

Superconductors show a characteristic of zero resistance at a low temperature, so energy is not lost as heat when current is applied. Thus, they are expected to be used for wires, power devices, magnetic resonance imaging, and magnetic levitation vehicles, etc. [1]. Today, research on YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (YBCO) film is being conducted because of their high critical temperature ( $T_c$ ) of 92 K [2] and high critical current density ( $J_c$ ) of over 1 x 10<sup>6</sup> A/cm<sup>2</sup> at 77 K in self-field. In a magnetic-field, magnetic fluxes penetrate

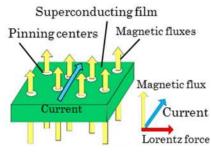


Fig1. Schematic image of flux pinning effect.

into superconducting films and are moved by Lorentz force derived from current flow, resulting in generation of resistance and decline of  $J_c$ . For applications of YBCO film in the energy field, magnetic-field angular dependence of  $J_c$  needs to be improved.

Fig.1 shows an illustration of the concept of pinning effect. It has been reported that introduction of pinning centers such as normal-conducting materials to YBCO films is effective to enhance  $J_c$  [3] since the materials pin the fluxes and prevent their movement. Controlling the positions of pinning centers can improve the pinning effect. The deposition of YBCO starting solution with pinning materials is an easy method to introduce pinning centers [3], but controlling the distribution of pinning centers in the film becomes difficult. In addition,  $T_c$  can decline easily by doping of non-superconducting materials.

In this research, we discussed a method to introduce pinning centers as expected in order to improve  $J_c$  of YBCO films. We expected that artificial scratches on a substrate would lead formation of disordered crystal grains exactly in the scratched positions. If this new method can improve  $J_c$ , the conventional process can be applied easily without introducing non-superconducting materials. Also, continued research into effective distribution of scratches could improve pinning effect. Thus, this research is expected to contribute the development of efficient energy transportation and superconducting-magnets. All processes were conducted at the "Global Science Campus" program.

#### Method and Process

Fig.2 shows an illustration of scratches on the substrate's surface. 40  $\mu$ m-wide, straight, parallel scratches at 1 mm-intervals were introduced to a 1 cm x 1 cm CeO<sub>2</sub>/MgO/HastelloyC276 substrate, and the starting solution for YBCO was spin-coated on a substrate. The coated film was calcined at 703 K and crystallized at 1053 K. Microstructure observation was conducted by Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS).  $T_c$  was measured by four probe method, and  $J_c$  was

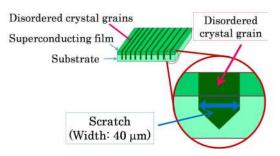


Fig.2 Concept for introduction of scratches on substrate surface.

measured for the magnetic-field angle from -20° to 85° at 77.3 K in 3 T. In order to obtain trustworthy data, damage from the repetition of heating and cooling during electric measurements was minimized by preparing several samples and coating them with Ag.

#### **♦** Results and Discussion

Fig.3 (a) shows a SEM image of the YBCO film after heat treatment. Disordered crystal grains were observed in a 40  $\mu m$ -wide belt-shape on the scratches. Stone-shaped crystals with the diameter of 2  $\mu m$  were observed at the edges of the scratches. Elemental maps shown in Fig.3 (b)-(f) show that Y was decreased, O was increased, and Ba, Cu, and Ce didn't change at the stone-shaped crystals.

 $T_{\rm c}$  was about 91 K, which means scratches didn't cause decline of  $T_{\rm c}$ . Figs.4 (a) and (b) show magnetic-field angular dependence of  $J_{\rm c}$  and normalized  $J_{\rm c}$  by that at the angle of 85°, respectively. From Fig.4 (a), overall  $J_{\rm c}$  declined to about 1/3 and the percentage of decline got greater at higher angles for the film with scratches. Fig.4 (b) shows the differences of decline of  $J_{\rm c}$  on magnetic angle for both samples with and without scratches. For the film with scratches, minimum  $J_{\rm c}$  at around 0° was about 1/3 of the maximum at 90°. On the other hand, minimum  $J_{\rm c}$  was about 1/5 of the maximum for the sample without scratches. These results revealed that introduction of scratches improves magnetic-field angular dependence of  $J_{\rm c}$ .

From these results, we discussed the correlation between scratches and  $J_c$ . The cause of  $J_c$  decline can

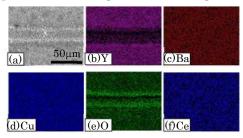


Fig3. SEM image of the surface (a) Elemental maps (b~f).

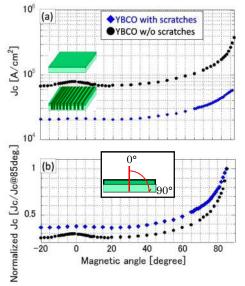


Fig. 4  $J_c$  dependences on magnetic angle (a), normalized  $J_c$  (b).

be the decrease of effective film width due to increase of non-superconducting parts. On the other hand, the reason for improvement of magnetic-field angular dependence of  $J_c$  is can be pinning effect of non-superconducting crystals arrayed in belt-shapes, by which magnetic fluxes in wide angle range were captured effectively. We concluded that the new idea of introduction of scratches on the substrate's surface is effective to improve magnetic-field angular dependence of  $J_c$ .

## **♦**Future works

One of the causes of decline of  $J_c$  is free movement of magnetic fluxes in the parts of disordered crystal grains of non-superconducting phase. Thus, in order to make width of non-superconducting part narrower, scratches can be changed to dotted lines. Also, making intervals of scratches smaller can be changed to improve magnetic-field angular dependence of Jc, since the arrangement of multiple belts of pinning centers can pin fluxes effectively.

## **♦**References

[1]K.Sato, OYO BUTURI, Vol.82, No.7(2013) pp.556-565. [2]N.Sakai, Data book of high temperature superconductors published by the Japan Society of Applied Physics,(2009) pp.137-151. [3]T.Izumi, OYO BUTURI Vol.79 No.1 (2010) pp.14-19.

# 結晶配向性の乱れを利用した人工ピンの導入による YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>2</sub>超伝導膜の磁場角度依存性の改善

森本 優貴美(熊本高等学校3年) 寺西 亮(九州大学大学院 工学研究院)

## ◇研究の目的・意義

超伝導体は低温下で電気抵抗が 0 になる特長があり、エネルギーを熱の形で損失することなく通電できるため、送電線や電力貯蔵装置、また磁気共鳴画像装置やリニアモーターカーなどのマグネット応用に期待されている [1]。  $YBa_2Cu_3O_y$  (YBCO) は転移温度が約 92 K [2] であり液体窒素の沸点 (77 K) よりも高いため、薄膜線材化による電力応用研究が進められている。超伝導体には、磁場中で使用すると超伝導体内に磁

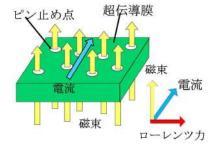


図 1. 磁東ピン止めの仕組み

東が侵入し、ローレンツ力によってその磁束が動くことで臨界電流密度 $(J_c)$ が低下する問題がある。そのため、実用化には様々な方向から掛かる磁場に対して $J_c$ を向上させる必要がある。 $J_c$ の向上には、磁束のピン止め点の導入が効果的である[3]。図1にその仕組みを示す。超伝導薄膜中に磁束が侵入しやすい常伝導体などのピン止め点をあらかじめ導入することで、通電時の磁束の動きを防ぐことができ、さらにピン止め点を任意に配列することで効果的に磁束を捕らえられる。ピン止め点の導入方法に、超伝導膜の原料溶液の中にピン止め材料を混ぜておく手法があり、容易に導入できる利点がある[3]。しかし、この方法ではピン止め点の方向や位

置を制御することは難しく、また常伝導体を添加することによる転移温度の低下も起こり易い。

本研究では YBCO 膜の  $J_c$ 向上を目的とし、常伝導体を添加することなくピン止め点を任意の位置に導入する方法を議論した。薄膜作製時の基板に着目し、表面に傷を人工的に入れることでその直上に成長する超伝導体の結晶配向を局所的に乱すことができれば、意図した部分にピン止め点を導入できると考えた。この新しいアイデアで  $J_c$ を向上することができれば、不純物を添加せずに基板を加工するのみで従来プロセスを適用できる。更に、入れる傷の形態を検討していくことでピン止め効果を上げられる可能性があり、電力エネルギーの高効率輸送やマグネットの高磁場化の進展に貢献できることが期待される。本研究は、研究テーマの設定から研究実施のすべてをグローバルサイエンスキャンパスで行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

基板には約 1cm 角の  $CeO_2/MgO/HastelloyC276$  を使用した。図 2 に基板への傷導入の概念図を示す。市販のカッターを用いて幅が約  $40~\mu m$ 、間隔が約 1~mm の平行な傷を導入した。その後、原料溶液をスピンコート法で塗布し、703~K での仮焼と 1053~K での本焼により YBCO 膜を得た。走査型電子顕微鏡(SEM) と、エネルギー分散型 X 線分光分析(EDS)により膜の微細組織観察を行い、転移温度は 4 端子法により、また  $J_c$  は同法にて 77~K で 3~T の磁場下にて磁場角度 -20° から 85° まで測定した。特に、測定中の冷却と昇温

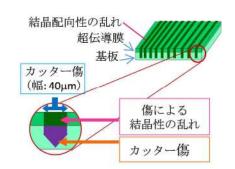


図 2. 基板への傷導入の概念図

の繰り返しや大電流の通電による膜質の劣化を防ぐために、試料表面に通電性の高い Ag であらかじめコーティングすることや、複数のサンプルを作製して測定値の信頼性を上げるなどの工夫を取り入れながら実験を進めた。

**D-3** 九州大学(GSC)

## ◇結果と考察

図 3(a) に熱処理後の YBCO 膜の SEM 観察像を示す。 傷を入れた部分で幅  $40\mu m$  の帯状に結晶配向性が乱れている部分があった。また、傷の両端で直径約  $2\mu m$  の砂利状粒が形成されていた。図 3(b) から (f) までの EDS元素マッピングから、この砂利状粒の部分では Y が減少し、0 が増加し、Ba、Cu、Ce には変化がなかった。このことから、基板に傷を導入することで狙い通りに結晶配向性の乱れを作ることができた。

超伝導転移温度を測定した結果、約91 K を示し、傷の導入による低下はほぼ見られなかった。図4(a)に $J_c$ の磁場角度依存性を、(b)に磁場角度85° での $J_c$ で規格化した比較図を示す。図4(a)から、傷の導入により $J_c$ は全体として絶対値が約1/3低くなり、磁場角度が高い領域で低下率がより増大した。一方、図4(b)では、 $J_c$ はいずれの試料も磁場角度が小さくなるにつれて小さくなり、傷を導入した試料では0° 付近で最大値の約1/3に、傷を導入していない試料で約1/5となった。

以上の結果から、傷の導入と $J_c$ の相関の考察を行った。 $J_c$ の絶対値が低下した原因は、非超伝導相が帯状に入ったことにより試料幅当たりの通電値が低下したためと考えられる。また、YBCO は単位格子中に導電層と非導電層が積層した構造となっており、本来、 $90^\circ$ 方向の磁束を効果的にピン止めできる性質を持つ。こ

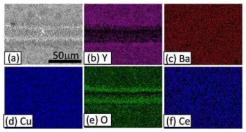


図 3. **SEM** による表面観察(a)、元素 マッピング(b~f)

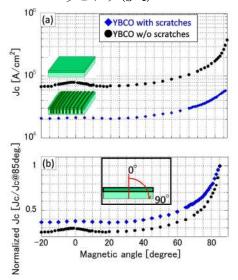


図 4.  $J_c$ の磁場角度依存性(a)、最大値を 1 として規格(b)

のことから磁場角度が高い領域で $J_c$ の低下率が増大したのは、砂利状粒が傷に沿って帯状に入ったことにより、本来の磁束のピン止め効果が減少したためと考えられる。また、非超伝導の砂利状粒の部分を磁束が自由に動いたことも、全体の $J_c$ 低下の要因となっている可能性がある。一方、 $J_c$ の磁場角度依存性が改善した理由は、傷の上で結晶配向性が乱れて生成した非超伝導相の砂利状粒がピン止め点として機能し、その形が球に近いため様々な方向の磁束を捕まえることができたためと考えられる。また、複数本の帯状にピン止め点を導入したことで、斜めに侵入した磁束を複数の帯で効果的にピン止めできたことも要因と考えられる。

これらの結果から、結論として基板に傷を入れることで $J_c$ の磁場角度依存性を改善できることが分った。

## ◇今後の展望

傷の導入で $J_c$ が低下した原因に、磁束が帯状の非導電層を自由に動いたことが考えられるため、傷を点線にする工夫をして非導電層が広範囲につながらないようにして $J_c$ 低下を防ぎたい。また、 $J_c$ の磁場角度依存性が改善したのは、複数本の帯で効果的にピン止めてきたことが効いていると考えられることから、傷を入れる間隔をさらに狭めて、その効果を検証したい。

## ◇主要参考文献

[1]K.Sato, OYO BUTURI, Vol.82, No.7 (2013) pp.556-565. [2]N.Sakai, Data book of high temperature superconductors published by the Japan Society of Applied Physics, (2009) pp.137-151. [3]T.Izumi, OYO BUTURI Vol.79 No.1 (2010) pp.14-19.

**D-4** 東北大学(GSC)

# Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles and Measure of them by Transition Electron Microscopy

Masumi NIIDA (Sanbongi high school in Aomori grade3)
Instructors; Atushi MURAMATSU, Kiyoshi KANIE, Masafumi NAKAYA
Natsuki SASADA, Moe SAKAGUCHI

## ♦ Background and Objective this study

These days, miniaturization of electronic hardware with high performance has attracted attention. In order to miniaturize, use of nano-meter order particles is reasonable. In addition, control of the size of metallic or inorganic materials in nanometer size endows them with novel properties.<sup>1)</sup> In this program, we studied about colloid around our lives. Then, we studied the mechanism of the process of preparation of nanoparticles by using colloid chemistry. In this time, we reported the preparation of iron oxide nanoparticles and measuring them. Iron oxide nanoparticles are expected to be applied for various magnetic devices. We studied it from setting of this study's subject to studying it at an advanced course in science.

## **♦**Experimental

We used chemical reaction that a way to preparation of nanoparticles. We acquired three guidelines about synthesis of nanoparticles.

A; Separation of nucleation process and generation process to obtain the nanoparticles with tuned sizes and narrow size distribution.

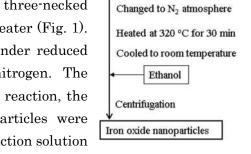
B; Prevention of aggregation of nanoparticles.

C; Securement of formation of the precursor state of the nanoparticles.

Iron oxide nanoparticles were prepared by the following procedure.  $^{2)}$ 

2.0 mmol of Iron(III) acetylacetonate (Fe(acac)<sub>3</sub>), as a precursor of iron, 15 mmol of Oleic acid and 15 mmol Oleylamine, as ligands of nanoparticles and solvent, were added to three-necked round-bottom flask. The flask was set on a mantle heater (Fig. 1). The solution was heated at 210 °C for 24 hours under reduced atmosphere. The atmosphere was changed to nitrogen. The solution was heated at 320 °C for 30 minutes. After reaction, the solution was cooled to room temperature. The particles were washed and collected by addition of ethanol to the reaction solution

and centrifugation. The resulting nanoparticles were observed by Transition Electron Microscopy (TEM, Fig.2).



Fe(acac)3

Oleic acid

Oleylamine

2.0 mmol

Heated at 210 °C for 24 h

under reduced atmosphere

5.0 mL (15 mmol)

5.0 mL (15 mmol)



Figure 2 TEM.

**D-4** 東北大学(GSC)

#### ♦ Results and Discussion

Figure 3 shows TEM image of the resulting nanoparticles. As you can see, these particles were arranged on a TEM substrate. The mean diameter of the nanoparticles was about forty nanometer. The size distribution was very narrow.

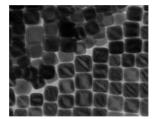


Figure 3 TEM image of iron oxide nanoparticles.

From synthetic procedure and these results, the nucleation was carried out during heating under reduced

atmosphere at 210 °C. Because, the particles were not observed in this process. The generation was carried out by heating at 320 °C under nitrogen atmosphere.

Therefore, the particle sizes could be controlled by changing the time of heating under reduced atmosphere. When the time of heating under reduced atmosphere was much longer, the number of nucleation would be increase and the size of the particles would be small due to shortage of amount of the materials to generate.

#### ♦Vision for the future

The resulting iron oxide nanoparticles can be applied to permanent magnets, an absorber of electromagnetic wave, MRI contrast agent, and so on by using them as precursors. In addition, the obtained technique of preparation of iron oxide nanoparticles with tunable sizes can be applied to preparation of another kinds of inorganic nanoparticles, for example nano-electronic devices such as ITO nanoparticles. In the case of the preparation of nano-electronic devices,

- · Modification of Reduction of contact resistance and internal resistance
- · An increase contact area of nanoparticles
- · Control of particle size.

must be solved. By using the above procedure to solve these problems, nano-electronic devices can be prepared and put to practical use.

## **◇References**

- 1) M. Haruta, When gold is not noble: Catalysis by nanoparticles, *Chemical Record* **2003**, *3*, 75-87., A. Paul Alivisatos et al., Semiconductor Nanocrystals as Fluorescent Biological Labels, *Science* **1998**, *281*, 2013-2016. etc.
- 2) M. Nakaya et al., Preparation of Wustite Nanoparticles by a Solventless Synthetic Procedure, *Chemistry Letters* **2013**, *42*, 863-865.

# 再生可能エネルギーデバイスに応用されるナノ粒子を自分の手で合成し、 実際に顕微鏡で見てみよう

新井田真澄 (青森県立三本木高校 3年)

担当教員 村松淳司, 蟹江澄志, 中谷昌史(東北大学多元物質科学研究所), TA 笹出夏紀, 坂口萌

## ◇研究の目的・意義

近年、電子機器の軽量化・小型化、高機能化が求められている。そのためには、デバイスや配 線の微細化が必要となる。そこでナノサイズ化することが注目されている。形状やサイズをコン トロールしたナノ粒子を配列させて電子機器へ応用することで、小型化・高性能化が可能となる。 また、ナノサイズ化することで、バルクとは異なる性質が発現される実用化素材(ドリーミングマ テリアル)<sup>11</sup>としてナノ材料は注目を集めている。そこで本テーマでは身近にあるコロイド化学を 学ぶと同時に、新規材料創成に役立つナノ粒子を生成することを目的として研究を行った。今回 は、磁性材料への応用が期待される鉄基ナノ粒子の調製と電子顕微鏡による観察を行った。研究 テーマの設定から研究実施の全てを、次世代科学者養成プログラム・発展コースで行った。

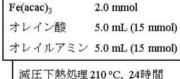
## ◇研究の方法・プロセス

金属ナノ粒子を生成する方法の一つである化学的反応を利用した。ここでは、身近にあるコロ イド粒子からナノ粒子生成における一般的指針 A~C を得た。

- A; 核生成と粒子成長の分離の必要性
- B: 粒子間凝集防止の必要性
- C: 粒子前駆体の確保

## ○錯体熱分解法による酸化鉄ナノ粒子の調製<sup>2)</sup>及び透過型電子顕微鏡(TEM)による観察

- (1) 鉄の前駆体となる鉄(III)アセチルアセトナート (Fe(acac)<sub>3</sub>)、 保護配位子兼溶媒となるオレイン酸、オレイルアミンを三口フラ スコに加え、マントルヒーター(図1)にセットした。
- (2) 減圧下において熱処理を 210 ℃ で、24 時間行った。
- (3) 窒素置換を行い、320 ℃ まで昇温させ、30 分間保持した。 その後室温まで放冷させた。
- (4) 粘性を下げるため、反応溶液に良溶媒であるヘキサンを入 れた分散液を作った。
- (5) 分散液を二本の遠沈管に分けて入れ、そこへ貧溶媒である エタノールをそれぞれ 30 ml 加え、遠心分離機(図 2)で 5000RPM、 5分間処理することでナノ粒子を沈殿させて回収した。
  - (6) 生成した粒子を透過型電子顕微鏡 (TEM, 図3) で観察した。



N2置換

加熱 320 °C, 30分

室温まで放冷

エタノール

遠心分離

酸化鉄ナノ粒子



マントルヒーター 図2 遠心分離機





図3透過型電子顕微鏡

**D-4** 東北大学(GSC)

## ◇結果と考察

TEM 観察により、得られた酸化鉄ナノ粒子は、綺麗に配列し、 大きさはほぼ均一であることが確認された(図 4)。

i,減圧中の反応溶液には TEM で確認できる粒子がないことから、核生成のみが生じ、粒子成長がないものと考えられる。 ii,減圧熱処理が 24 時間の時、得られた粒子の粒径は 40 nm となったが、減圧熱処理の時間が核生成に係わることから、

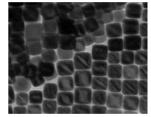


図4酸化鉄ナノ粒子のTEM像

- ・減圧処理時間を長くする⇒粒子の核数が多く出来る分、その1つ1つと反応する材料の量が 少なくなるため、出来る粒子の大きさは小さくなる。
- ・時間を短くする⇒粒子の核が多く出来ない分、その1つ1つと反応する材料の量が多くなる ため、出来る粒子の大きさは、大きくなる。

となると考えられる。

iii, 窒素置換後、320°C に昇温した時、粒子の生成が確認されたことから、圧力が大気圧付近になったこと、温度が320°C となったことで粒子が成長したと考えられる。

## ◇今後の展望

今回得られた酸化鉄ナノ粒子を出発物質として、還元処理や表面処理、構造変化によりその特性を変えることで、電磁波吸収材や高性能モーター用部材など再生エネルギーデバイス関連への応用のみならず、高感度 MRI 造影剤といった医療分野への応用にも期待が持てる。また他のナノ材料においては、本合成法の仕組みを基に、ITO ナノインクなど粒径の制御を必要としているものに応用可能と思われる。ITO ナノインクなどの実用化への課題は、

- 接触抵抗、内部抵抗の低減
- ・粒子の接触面積を増やす
- ・50 nm 以上の粒子、凝集体を作らないように制御
- ・界面活性剤の吸着によっては、接触抵抗が増大 ⇒分散性の優れた粒子を直接合成することが必要

であるため、今回利用した粒子合成法が粒径制御可能であることから、本手法を基に最適化し、課題を解決しつつ、実用化を目指した材料開発へ近づけるものと期待できる。

#### ◇主要参考文献

- 1) M. Haruta, When gold is not noble: Catalysis by nanoparticles, *Chemical Record* **2003**, *3*, 75-87., A. Paul Alivisatos et al., Semiconductor Nanocrystals as Fluorescent Biological Labels, *Science* **1998**, *281*, 2013-2016. etc.
- 2) M. Nakaya et al., Preparation of Wustite Nanoparticles by a Solventless Synthetic Procedure, *Chemistry Letters* **2013**, *42*, 863-865.

## ブール圧縮センシングを用いた RFID タグ検出法

湯島 康友 (大阪府立高津高等学校 3年)\*発表者 松岡 航太郎 (東京都立戸山高等学校 2年) 担当教員 林 和則(京都大学大学院情報学研究科 准教授)

#### ◇研究の目的・意義

本研究は、京都大学 ELCAS の取り組みの一環として京都大学大学院情報学研究科で行った。 RFID は、リーダ(読み取り機)を用いて RFID タグに格納されたデータの読み取り・書き込みを無線通信によって行う技術である。RFID タグは情報管理に用いられる。RFID タグに記憶された情報は、波の位相や周期、振幅に乗せて送られる。しかし、波は無線チャネル(通信路)で減衰や反射をし、元の信号から変化してしまう。効率の良い RFID タグ検出法として知られている CS-ID protocol はチャネルの影響を考慮すると性能が著しく低下する。そこで今回、チャネルの影響を考慮した場合でも効率よくタグ検出が行える方法を考えることにした。

#### ◇研究の方法・プロセス

## 1. タグ検出の定式化

RFID タグのタグ検出に用いられる ID は 16bit なので、ID の総数 $N=2^{16}$ である。以下の記号により問題を定式化する。

- ① 未知ベクトル $\mathbf{x} \in \{0,1\}^N$ : タグiが観測範囲内に存在すれば $x_i = 1$ 、存在しないならば  $x_i = 0$ 。
- ②  $M \times N$ 行列A: 16bit の ID から生成したタグiの ID $\mathbf{a}_i \in \{0,1\}^M$ について $A = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \cdots, \mathbf{a}_N]$ 。
- ③ リーダの観測結果 $\mathbf{v}: \mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x}$  (チャネルの影響を考えない場合)
- ④ チャネルの影響 H:対角成分が平均 0、分散 1 のガウス分布に従う対角行列。

以上から、RFID タグ検出問題を、未知ベクトル**x**を求める問題として考えることができる。ベクトル**x**は、成分のほとんどが 0 であるから圧縮センシングにより復元できる。 $\ell_1$ 再構成では  $\hat{\mathbf{x}}_{\ell_1} = \arg\min_{\mathbf{x}} \|\mathbf{x}\|_1$  subject to  $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$  (ただし $\|\mathbf{x}\|_1 = \sum_{k=1}^n |x_k|$ )。チャネルの影響を考える場合  $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{H}\mathbf{x}$ であるが、圧縮センシングでは $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$ として解くので正しい $\mathbf{x}$ を推定できない。

#### 2. 提案法概要

チャネルの影響を受けて値が変化したとしても、その値が0でなければタグは存在したということになる。そこで提案法においては、0でない値を1とする論理値を用いて圧縮センシングを

行う。これをブール圧縮センシングといい、
$$\hat{\mathbf{x}} = \arg\min_{x} \sum_{i=1}^{N} x_i$$
 subject to 
$$\begin{cases} 0 \leq x_i \leq 1 \\ A_I x \geq 1 \end{cases}$$
 (ただし、 $A_J x = 0$ 

 $A_I$ :  $\mathbf{y}$ の成分が 1 となる行に対応する  $\mathbf{A}$  の部分行列、 $A_J$ :  $\mathbf{y}$ の成分が 0 となる行に対応する  $\mathbf{A}$  の部分行列)により $\mathbf{x}$ を復元する。

#### 3. 提案法 1

ブール圧縮センシングを用いることによりチャネルの影響を受けにくくなるのではという予想に基づいたタグ検出法である。これは CS-ID protocol で行う圧縮センシングをブール圧縮センシングに置き換えたものである。タグの検出を 2 つの Phase に分けて行う。

Phase1①ID  $\epsilon b$ 個ずつの $^{N}/_{b}$ 個のグループに分ける。

- ② タグは、自身が属するグループを表す  $ID(M_1bit)$ を送信する。
- ③ ブール圧縮センシングにより、タグが1つ以上存在するグループを推定する。

Phase2①各タグは自身の ID を種とするM2bit の ID を送信する。

**D-5** 京都大学(GSC)

②ブール圧縮センシングにより、存在するタグを推定する。

#### 4. 提案法2

こちらは、提案法1をさらに深め、論理値による計算ではIDの候補数を縮小しなくても求められるのではという予想に基づく方法である。

- ① 各タグは自身の ID を種とするMbit の ID を送信する。
- ② ブール圧縮センシングにより、存在するタグを推定する。

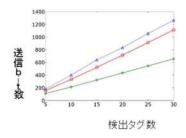
## 5. 実験方法

実験においては、タグ検出の成功率が 99%を超える最小の bit 数(提案法 1 では phase  $1 \cdot 2$  の合計)を計算機シミュレーションによって求めた。最小の bit 数は 110 回のシミュレーションケンカの平均値とした。比較対象には、現在広く用いられているタグ検出法である DFSA を用いた。シミュレーションは提案法 1 ではb=32に固定し、タグ数KはK=5,10,15,20,25,30それぞれについて行った。

## ◊結果と考察

提案法 1、提案法 2 はチャネルの影響を考慮した場合の結果であり、DFSA はチャネルの影響を考慮していない場合の結果である。提案法 1 、2 ともに DFSA を上回る性能を得ることができたことが示された。

図1:計算機シミュレーション結果



青: DFSA 赤: 提案法 1 緑: 提案法 2

#### ◇今後の展望

bを様々に変化させたときの特性も評価する必要がある。また、今回の提案法1・2よりも性能の良いタグ検出法も検討していきたい。

#### ◇主要参考文献

- [1] EPC Radio-Frequency Identify Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz-960 MHz v1.1.0, 2005, Standard.
- [2] "Compressed Sensing-Based Tag Identification Protocol for a Passive RFID System", in IEEE Communication Letters, vol. 18, no. 11, pp. 2023-2026, Nov. 2014.
- [3] "Information-based pool size control of Boolean compressive sensing for adaptive group testing," in Proc. EUSIPCO, pp. 2280-2284, Sep. 2014.

# Improvement of angular dependence of J<sub>c</sub> for YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> superconducting film with belt-like pinning centers

Keisuke Matsufuji (2<sup>nd</sup> year at Shuyukan High School, Fukuoka) Ryo Teranishi (Department of Materials Science and Engineering, Kyushu Univ.)

We report that the magnetic-field angular dependence of critical current density (J<sub>c</sub>) for YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (YBCO) superconducting film is improved by introducing belt-like artificial pinning centers into the YBCO matrix.

## ♦ Purpose of this work

YBCO, which is a kind of oxide superconductors, shows high  $J_c$  with the order of  $10^6$  A/cm<sup>2</sup> at 77 K in self-field and high transition temperature ( $T_c$ ) of about 92 K [1]. Liquid nitrogen can be used as coolant for YBCO with cost efficiency, so YBCO is expected to proceed electric power applications such as efficient power grid and high power magnet for magnetic levitation train, so on [2].

However,  $J_c$  of YBCO film decreases in strong magnetic fields drastically due to the movement of

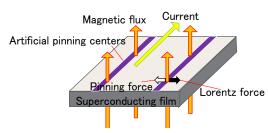


Fig. 1 Schematic image of flux pinning centers.

magnetic flux in the film. When the superconductor are put in a magnetic field, magnetic fluxes penetrate into superconductor and are moved by Lorentz force derived from current flow, resulting in generation of electric resistance and  $J_c$  degradation.

To maintain the high  $J_c$  properties in fields, "artificial pinning centers" have been introduced into the YBCO films as show in Fig.1 [3]. The pinning centers are not superconductor, so the fluxes are tend to stay at the non-superconducting part of pinning centers in the film. But here is another problem;  $J_c$  for YBCO film is far from constant while applying magnetic field to the film at one angle after another. This is a great disadvantage for YBCO for the electric power application, so dependence of  $J_c$  on magnetic field angle needs to be improved at various magnetic field angels.

Our goal is to reduce the angular dependence of  $J_c$  on magnetic field by introducing belt-like pinning centers. The reason we try belt-like ones is that we suppose they could deal with magnetic flux in any direction.

#### 

Our idea is to introduce some disorder parts in the film as flux pinning centers, instead of adding another kinds of pinning material. We scratched the surface of the substrate (CeO<sub>2</sub>/MgO/Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/Hastelloy) with a cutter, which caused straight and parallel defects of several tens of µm width. We prepared substrates with scratches posted at intervals of 1 mm (Sample A), and another without scratches (Sample B) as a comparative sample. A starting solution containing Y, Ba, and Cu elements was spin-coated on these substrates and crystallized by heat-treatment at 1053 K.

The influence of the scratches on YBCO crystals was observed by means of a Scanning Electron Microscopy (SEM), an Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), and an X-ray diffraction analysis (XRD) which helps you identify the crystal structure.  $J_c$  was measured for the magnetic field angle from -20° to 85° at 77.3K in 3 Tesla by a four-probe method.

#### ♦ Results and discussion

On the surface of Sample A, some belt-like structures are found as shown in Fig. 2(a). In areas without granular particles are arranged uniformly (Fig. 2(b)). This can also be seen on the surface of Sample B. In contrast, areas with scratches are dominated by particles which have lost their shape (Fig. 2(c)). Elemental mapping images show the concentration of Y and O along the belt-like structure as seen in Fig. 3, which indicates that this linear part is no longer superconductivity. Figure 4 shows the XRD pattern of Sample A, which is quite similar to that of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>v</sub>. Scratches on the substrate turn out not to prevent YBCO crystals from growing properly. The belts of disordered crystals become effective pinning centers for magnetic flux.

These results suggest that introducing scratches on the substrate influences only on the formation of crystals which form along them. The disordered crystals compose a normal conductive belt in YBCO superconducting film.

Figure 5 shows the relationship between magnetic field angles and  $J_c$ . Relative values of  $J_c$  for Sample A at the angle from 5° to 65° exceed those for Sample B, though this dominance is overturned at the angle from 80° to 85°. The fluctuation of  $J_c$  is less active for Sample A than for Sample B. This behavior is because the disordered crystals are arranged at the angle of 0°. The disordered crystals enable Sample A to fix incoming magnetic flux at lower angles more effectively than Sample B. However, these crystals may be resistance to the electric current which mainly flows on the 90°plane, thus  $J_c$  decreased for Sample A at higher angles.

#### ♦ Conclusion

The magnetic angular dependence of  $J_c$  is reduced by introducing belt-like pinning centers into YBCO films. Scratches on the substrate have very little influence on the crystals which form in areas without scratches.

## ♦Future work

It will be my future work in Global Science Campus to introduce belt-like pinning centers of a few hundreds of nanometers wide into YBCO films. I suppose that laser beam could be utilized for giving such minute scratches to the surface of substrates. By minimizing the influence of pinning centers on the current flow, J<sub>c</sub> Fi properties for the YBCO films will be dramatically improved.

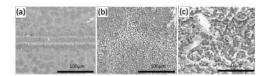


Fig.2 SEM images of YBCO films prepared on the substrate with scratches.

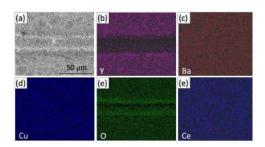


Fig. 3 SEM image for the part of scratches (a), Elemental maps(b)-(e).

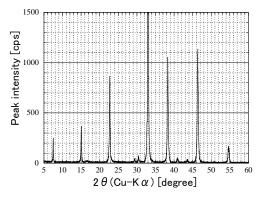


Fig.4 X-ray diffraction for YBCO film.

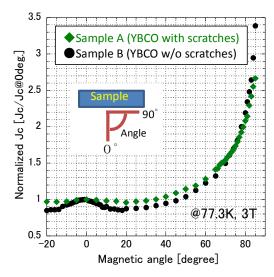


Fig.5 Jc dependences on magnetic field.

#### ◇References

[1] N.Sakai, Data book of high temperature superconductors published by the Japan Society of Applied Physics, (2009), pp137-151. [2] K.Sato, OYO BUTURI, Vol.82, (2013) pp556-565. [3] T.Izumi, OYO BUTURI, Vol.79, (2010) pp. 14-19.

# 帯状人エピンの導入による YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>v</sub>超伝導膜の磁場角度依存性の改善

松藤圭亮(福岡県立修猷館高等学校2年) 寺西 亮(九州大学大学院 工学研究院)

#### ◇研究の目的・意義

超伝導材料の実用性を評価する指標に、超伝導状態への転移温度 Tc、臨界電流密度 Jc、そして線材化がある。現在、リニアモーターカーなどへの実用化が進みつつある金属系超伝導材料は、Tc が約 10~20~K と極めて低く、冷却に膨大なエネルギーやコストがかかる難点がある。

 $YBa_2Cu_3O_y(YBCO)$ は、約92 Kの高い $T_c$ を有し[1]、また酸化物系超伝導材料の中でもとりわけ高い $J_c(77 \text{ K})$ において自己磁場下で $10^6 \text{ A/cm}^2$ 以上)を示すことから、

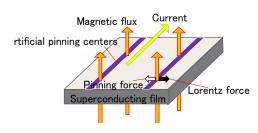


図 1. ピン止め点が磁束を固定する仕組み

薄膜線材化してマグネットに応用できる次世代材料として期待されている[2]。ところが超伝導体は、高磁場下において  $J_c$ が大幅に低下する。これは、超伝導体内に侵入した磁束が電流によるローレンツ力を受けて移動する際、誘導起電力が発生して電気抵抗が生じるためだと考えられている。この問題を解決する手法として、図 1 に示すように YBCO の薄膜内部に磁束のピン止め点(常伝導体)を導入する方法がある[3]。

しかしながら、ピン止め点を導入してもなお実用化へは課題がある。磁場の印加される角度に Jc が大きく依存してしまう問題である。YBCO 薄膜線材をリニアモーターカーなどの超伝導磁石 に使用する場合、様々な角度から磁場が加わる環境で高い通電性能を示すことが求められるため、この課題の解決は必要不可欠である。そこで、私達は「YBCO 薄膜への帯状ピン止め点の導入による Jc 磁場角度依存性の改善」を研究の目標とし、薄膜作製時の基板を利用して薄膜中にピン止め点を導入できないかを考えた。磁場印加角度の変化に Jc が影響されないような YBCO 薄膜を作製する有効な方法のアイデアを提案して、リニアによる鉄道や送電網・エネルギー貯蔵装置などのインフラ技術における超伝導の利用を推進し、より便利でエネルギー効率の良い社会を創りたいと考えた。尚、この研究はすべて、グローバルサイエンスキャンパスで行った。

## ◇研究の方法・プロセス

#### 1.YBCO 薄膜の作製

私達のアイデアの独創性は、ピン止め点用の常伝導材料を原料溶液に添加せずに、ピン止め点を導入したところにある。ハステロイ合金上に $Gd_2Zr_2O_7$ とMgOと $CeO_2$ の各層からなる基板に、カッターを用いて幅数十 $\mu$ mの傷を入れた。傷の間隔を1mm とし、傷のない基板を比較試料として準備した。この基板にY、Ba、Cu を含む原料溶液のスピンコーティングし、その後703~Kでの仮焼と1053~Kでの本焼、773~Kでの $O_2$ アニールを行った。

## 2.組織観察·結晶性評価

走査型電子顕微鏡 (SEM) とエネルギー分散型 X線分光法 (EDX) を用いて、熱処理後の YBCO 薄膜の表面観察と組成分析を行った。また X線回折法を利用して、YBCO 結晶が生成したかを評価した。これらの観察の目的は、基板に傷を入れる行為が YBCO 結晶の生成にどのような影響を与えるかを探ることである。

## <u>3. J</u>cの測定

自己磁場下(外部から磁場が印加されない状態)での  $J_c$ は、薄膜を液体窒素に浸し、4 端子法で測定した。また 3 T(tesla)の高磁場下で磁場印加角度を-20 から 85 度の範囲で変えながら、 $J_c$ を測定した。

#### ◇結果と考察

図 2(a)、(b)、(c)は傷を入れた基板上で作製した YBCO 薄膜の傷の上の領域、傷のない領域、傷の上の拡大像をそれぞれ示す。図 2(a)では、傷をつけた領域に沿って帯状の構造が見られるのに対して、図 2(b)の傷のない領域では丸みを帯びた粒子が広い範囲で均一に生成した。また図 2(c)の傷の領域では塊状の物質が不均一に生成した。図 3 の元素分析からは、帯状の構造に沿って Y と O の濃度が減少していた(超伝導体でなくなっている)。図 4 は傷を入れた基板上の試料の X 線回折図であり、ピークの「位置」に基づいて、生成した結晶を特定することができる。得られたピーク位置は YBCO とほぼ同一でったことから、YBCO 結晶が生成していることが分った。

以上から、基板に傷をつける行為により、傷に沿って帯状の常伝導領域を形成すること、生成する帯状の結晶は YBCO 結晶の生成を妨げないことが示された。

図 5 は、磁場印加角度と Jcの値(0 度での値を 1 とした相対値)の関係を示す。5 度から 65 度において、傷あり薄膜の Jc相対値は傷なし薄膜の値を上回ったが、80度から 85 度では傷なし薄膜のほうが高い値を示した。-20~85 度の範囲では、傷のある薄膜は傷のないものよりも角度に対する Jcの変動が少ないことが分った。傷のある薄膜において、帯状の常伝導領域は 0 度方向に伸びて生成しているため、5~65 度方向からくる磁束の一部を固定する、つまりピン止め点の役割を果たすと考えられる。一方で、80~85 度で傷のある薄膜の Jc相対値が低下するのは、磁場の影響というよりも 90 度方向に流れる電流が帯状の常伝導領域の生成のために阻まれてスムーズに流れなくなることが原因である可能性がある。

## ◇結論

YBCO 薄膜の基板に傷を導入することで、帯状のピン 止め点が形成され、磁場印加角度に対する Jcの依存性が 改善された。傷の導入が基板の傷以外の部分に生成する YBCO 結晶に与える影響は極めて少ないことが分った。 ◇今後の展望

傷あり薄膜の電流特性を傷なし薄膜と同程度にまで改善するためには、帯状ピン止め点をより微細にし、電流の流れを可能な限り妨げないことが重要と推察される。よって、カッターの代わりに機械的な制御が可能なレーザー光などを用いることで、基板により微細で均質な傷を導入し、Jc 特性への効果を検討したい。

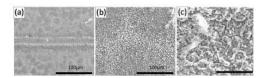


図 2 SEM による表面組織観察像

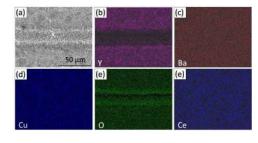


図 3 (a)カッター傷部分の SEM 像、(b)-(e)EDX 元素マッピング像(明るいほど 濃度が大きいことを示す)

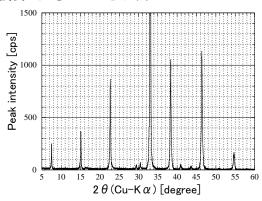


図4 傷を導入した YBCO 膜の X線回析像

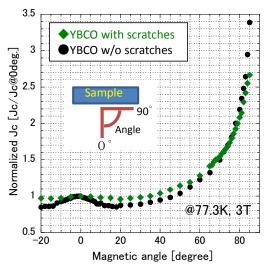


図 5 磁場印加角度と J<sub>c</sub>の関係 (0度での J<sub>c</sub> 値で規格化)

◇主な参考文献 [1] N.Sakai,Data book of high temperature superconductors published by the Japan Society of Applied Physics,(2009), pp137-151. [2] K.Sato, OYO BUTURI, Vol.82、No.7(2013), pp556-565. [3] T.Izumi, OYO BUTURI Vol.79 No.1 (2010) pp. 14-19.

## 超音波により引き起こされる化学反応

板垣 有咲 (堺市立長尾中学校 3年)、下中 晴矢 (大阪教育大学附属天王寺中学校 3年) 新堂 昴司 (堺市立浅香山中学校 3年)、光永 翔 (堺市立長尾中学校 3年)、

山中 彩紀斗 (堺市立野田中学校 3年)

興津健二(公立大学法人大阪府立大学工学研究科 准教授)

## ◇研究の目的・意義

溶液に超音波をあてると太陽のような高温の泡ができる。この泡によりどのような化学反応が進むのだろうか。今回、ルミノールを含む水溶液に超音波をあてて、その発光より水中にできた高温の泡の様子を写真撮影して観測した。どのようにすれば、より強く光らせることができるのか、なぜ光るのか、についてのメカニズムを考えてみた。

本研究は、3年間の次世代科学者育成プログラム採択経験機関として、その活動内容を高く評価 して頂いた財団、企業の寄附支援を基に、研究テーマの設定から研究実施の全てを行った。

## ◇研究の方法・プロセス

本研究を理解するために必要な基礎的事項を説明する。

• 超音波

太鼓をたたくと太鼓の皮の振動により空気分子が動かされ、空気分子の集まるところ(密)とまばらなところ(疎)ができる。このような分子の疎密からなる波が音波である。本研究では人には聞こえない200kHzの超音波を水中に出し水分子の疎密からなる音波を使う。

・超音波が水中につくりだす泡

水中に超音波を出すと水中に溶け込んでいた気体が水の疎密により膨張、圧縮して泡ができる。 気体は圧縮されると温度が上昇するため、200KHz の超音波下では圧縮された泡の温度は太陽の表面 温度(約5500℃)より高くなるとされている。この超高温の泡が引き起こす化学反応を調べる。

・ルミノール反応

血痕にルミノール水溶液(ルミノール、水酸化ナトリウムの混合水溶液)と過酸化水素水を混合した水溶液をかけると青白く光る。これは血液中の成分と過酸化水素が反応したときできる生成物でルミノールが酸化され、その際に発光が生じるためである。過酸化水素水がないときでもルミノールが酸化されれば発光が起こる。ここでは、超音波を利用してルミノールに発光を起こさせる。本研究で行った実験方法を以下に示す.

- ① ルミノール (0.45g/L) と水酸化ナトリウム (1.0g/L) を含むルミノール水溶液を調整した。
- ② 細長いガラスビーカにルミノール水溶液を入れ、下から超音波をあてた。(図1)

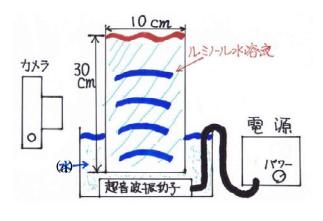


図1 実験装置

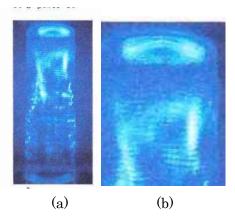


図2 ルミノール水溶液からの発光例

- ③ このとき出てくる発光をカメラで写真記録した。
- ④ いろいろな条件で実験を行い、強く発光する条件を見つけていった

## ◇結果と考察

図 2 に超音波をあてたときの写真結果を示す。図 2(a) は全体、図 2(b) は上部付近を拡大した写真である。ルミノール溶液からの発光が認められ、ルミノールの酸化反応が起こっていることがわかる。この実験では過酸化水素水を入れていないので、超音波をあてた水からルミノールを酸化する物質が作られていることがわかる。その際、超音波をあてることにより発生する高温の泡が関係していると考えられる。図 2(b) で発光を詳しく観察すると、発光強度の強いところと弱いところを交互に繰り返す縞模様が見られる。これは超音波発振子から出て下から上に進む超音波と液体の表面で反射して上から下に向かう超音波が干渉して定在波ができたためと考えられる。発光強度は場所により異なり、超音波の強度や泡の分布が均一でないことがわかるが、その原因は明らかでない。

図2の発光は水中に溶けている空気が高温の泡となったためと考えられる。そこで気体の種類を変えることにより発光がどのように変わるかを調べることにした。ルミノール水溶液中に目的とするガスを噴き出して水溶液中にそのガスの泡を通過させることにより、目的とするガスを溶け込ませたルミノール水溶液を準備した。入れるガスの量は1分間に1L、導入時間は15分とした。その後、超音波をあてたときの結果を図3に示す。空気は図2と同じでガス導入をしない場合である。空気は窒素と酸素を主成分とするガスであるが、これらのガスの中では酸素が一番強く発光している。また、不活性ガスであるアルゴンは酸素と同程度以上の強い発光が得られるが、ヘリウムでは弱い発光となる。酸素の場合は、酸素が反応して酸化を起こさせる物質ができやすいことが考えられる。しかし、それだけでは不活性ガスであるアルゴンが強く発光することを説明できない。水中でできる泡の量は水中に溶ける気体の量と関係すると考えられるので、各気体の水に対する溶解度を調べた。この溶解度はアルゴン>酸素>窒素>ヘリウムの順となっていた[1]。これは、図3の発光強度の強さと良く対応することがわかった。

## ◇今後の展開

発光強度は水に対する気体の溶解度が大きく影響することがわかった。また、発光強度は泡の温度にも強く影響されるはずである。これもガスの種類に依存すると考えられる。その他にも、発光強度はさまざまな要因が絡み合って決まっている。これらの影響をどのようにして工夫して調べていくかが今後の課題である。

## ◇主要参考文献

[1] http://www.questions.gr.jp/chem/odoroki2.htm

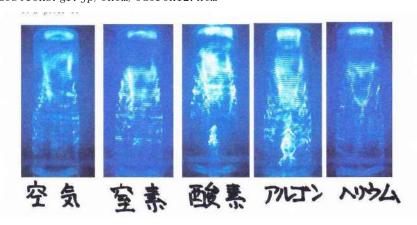


図3 さまざまな気体を溶解させたときの発光の様子

**E-2** 埼玉大学(次世代)

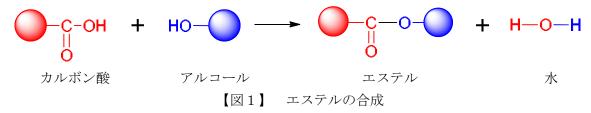
## 香りの化学 ~分子構造との関係を探る~

久保田愛麗(上尾市立東中学校 1年) 担当教員:小玉康一

#### ◇研究の目的・意義

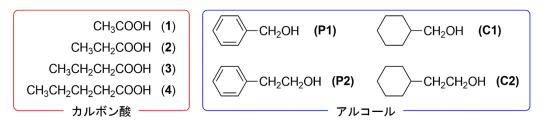
小さいころに、なぜ同じ果物でもイチゴとリンゴでは香りが違うのか気になっていた。また、匂いに種類がある理由についても興味があった。果物の香りの主な成分はエステル類であることが知られている。エステルは【図1】のようにカルボン酸とアルコールからつくられ、それぞれの分子の構造によって香りが異なることがある。しかし、分子構造と香りの関係は複雑で、まだわかっていないことが多い $^{11}$ 。そこで、エステル分子中の環構造の種類と炭素原子の数の違いが香りにどのように影響するかを、実際にエステルを合成して調べたいと考え、この研究を始めた。

なお、この研究は、テーマの設定から研究実施のすべてを埼玉大学における次世代科学者育成 プログラム内の科学的探究活動の体験(ステップ 3)で行った。



## ◇研究の方法・プロセス

環構造の影響を調べるため、ベンゼン環を持つアルコール(P1, P2)とシクロヘキサン環を持つアルコール(C1, C2)を比べた。炭素原子数の異なるカルボン酸(1-4)を比べた【図 2】。



【図2】 原料のカルボン酸とアルコールの分子構造

実験 1 アルコールの構造の影響:カルボン酸として酢酸 (1) を使って、4 種類のアルコール (P1,P2,C1,C2) とのエステルを以下の手順に従って合成し、それらの香りの違いを比べた。 実験 2 カルボン酸の構造の影響:実験 1 でよい香りだと感じたエステル (1-C1) について、炭素原子のより多いカルボン酸 (2-4) とのエステルを同じ手順で合成し、それらの香りを調べた。

#### 実験手順

- ①**混合** 試験管に酢酸 1 mL をとり、アルコールをそれぞれ 1 mL 加えてよく振り混ぜ、濃硫酸 0.5 mL をゆっくりと加える。
- ②エステル合成反応 試験管を 70℃の湯に入れ 10 分間加熱する。
- ③中和 試験管を水で冷却し、炭酸水素ナトリウム水溶液を泡が発生しなくなるまで加える。
- ④分離 ジエチルエーテルを加え、分液ロートに移し、よく振り混ぜ下層の水を取り除く。
- ⑤脱水 上層の溶液を三角フラスコに取り出し、無水硫酸ナトリウムを加えて 10 分間置く。

**E-2** 埼玉大学(次世代)

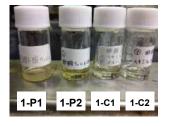
**⑥吸水剤と溶媒の除去** 硫酸ナトリウムを濾紙で濾過して取り除き、エバポレーターを用いてジェチルエーテルを取り除き、エステルを得る。

## ◇結果と考察

得られたエステルの重量と香りについて下にまとめた【表1】、【表2】。

【表1】 アルコールの構造の影響 (実験1)

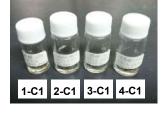
エステル	得られた重量	香り	
1-P1	0.66g	菊系の花の匂い。匂いが弱い。	
1-P2	0.78g	バラ系の花の匂い。やや強い匂い。	
1-C1	0.83g	バナナ系の果物の匂い。強い匂い。	
1-C2	0.77g	青りんご系の果物の匂い。	
		<b>1-C1</b> より少し弱い。	



- ・1-P1 と 1-P2 はどちらも花の匂い、1-C1 と 1-C2 は果物の匂いであった。
  - → 環構造の種類によって匂いの種類は大きく変化した。
- ·1-P1より1-P2の匂いが強かったが、1-C1より1-C2のほうが匂いは弱くなった。
  - → 炭素の数を変えると、匂いの種類はあまり変わらなかったが、その強さが変わった。
- ・どれも元のアルコールと比べると甘い匂いになり、その強さが弱まったように感じられた。

【表2】 カルボン酸の構造の影響(実験2)

エステル	得られた重量	香り
2-C1	0.65g	果物の匂い。最も 1-C1 に近い。
3-C1	0.92g	果物の匂い。 <b>2-C1</b> より弱い。
4-C1	0.80g	果物の匂い。3つのエステルの中では
		最も弱い匂い。



- ・3つとも元のカルボン酸の匂いからは大きく変化し、1-C1 と似た果物の匂いでであった。
  - → カルボン酸の炭素数もエステルの匂いの種類にはあまり影響しなかった。
- ・どれも果物の匂いであったが、炭素の数が増えるにつれて、匂いが弱くなった。

**全体の考察**:実験結果から、エステルの匂いは環構造の種類で大きく変化したが、炭素数ではあまり変化しないことが分かった。また、炭素数を多くするとその匂いは弱くなることが分かった。

#### ◇今後の展望

この研究で、匂いについて前よりももっと知ることができた。炭素の数で匂いが変わるとは思っていなかったので、実験をして驚いた。これから、さらに炭素の数を増やした実験や、クエン酸など身近な物質を使った実験をしてみたい。そして、匂いのする物質をたくさんつくって、構造と香りの関係を解明することができたら、その人に合った香料をつくったり、嫌な香りをいい香りや好きな香りに変えることができると思う。

## ◇主要参考文献

1) 長谷川香料株式会社,「香料の科学」,講談社,東京(2013).

**E-3** 愛媛大学 (次世代)

## 発酵の科学

白方颯人(松山市立三津浜中学校3学年),小田瑞葉(愛媛大学附属中学校2学年) 大橋淳史准教授(愛媛大学教育学部理科教育講座)

## ◇研究の目的・意義

私たちは、愛媛大学でハウス食品の今井真介研究主幹から、イグノーベル賞を受賞した「タマネギの涙の出る化合物をつくる未知の酵素」を発見したお話りを聴き、科学技術が私たちの生活に大きく役立っていること、また 40 年間も「誰もがわかっている」と思っていた化学反応に未知の酵素がかかわっていたことにとても驚いた。そして、食品の製造にはさまざまな科学技術が使われていることに気づいた。そこで、私たちの生活を支える科学技術について研究することを計画した。具体的には、昨年度から進めている日本の伝統産業である甘酒造り 20 で用いられているデンプンの加水分解反応を使った科学理論とおいしさの応用科学研究についてニホンコウジカビと抽出酵素のちがいを調べることを計画した。本研究の目的は、(1)デンプン質のちがいによる発酵の進み方のちがいを調べることを計画した。本研究の目的は、(1)デンプン質のちがいによる発酵の進み方のちがいを調べる、(2)ニホンコウジカビがもつふたつの酵素、アミラーゼとマルターゼを抽出した酵素で代用してデンプンの加水分解反応を行い、反応速度を速くする、またはおいしくするための最適な割合を決めることである。そのために、糖度と光の屈折、ヨウ素デンプン反応と分子構造、デンプン種類と反応性、アミロースとアミロペクチンのちがいなど、化学と生物をふくむ連合領域を研究し、「おいしさ」という産業的価値を持つ新たな発見を目指し、地方創生につなげたい。この研究は、研究テーマの設定から研究実施までのすべてを次世代科学者育成プログラムで行った。

## ◇研究の方法・プロセス

甘酒造りには、日本醸造協会が 2006 年に国菌として登録したニホンコウジカビが用いられている。そこで、ニホンコウジカビと、ニホンコウジカビから抽出されたアミラーゼ(スミチーム L,新日本化学工業)とマルターゼ(スミチーム、新日本化学工業)を用いてデンプンの加水分解反応を行い、そのちがいを測定した。デンプンとしては、タピオカスターチ、パンプキンパウダー、蒸し米、もち粉などを用いて加水分解を行った。

#### ちょうど良い甘さ 4 3.5 味の好み 2.5 2.5 1.5 2.5 2.5 2.5 3.5 2.5 3.5 4 おいしそうな色 ちょうど良い粘り気 透明度がある

もち粉(アミラーゼ5%・マルターゼ5%)
 マリケー・マルターチ(ニホンコウジカゼ250%)
 バンブキンパウダー→アミラーゼ・マルターゼ各0.5%
 バンブキンパウダー→
 ボトアミラーゼ・マルターゼ各1%

図1 官能評価(n=26)の結果

#### ◇結果と考察

タピオカスターチに、昨年度の甘酒と同様に250%の

麹を加えて、50℃程度、7時間、糖度 23.3Brix%までデンプンの加水分解反応が進むこと、アミラーゼ 1%で蒸し米のデンプンの加水分解反応が明らかになった。一方で、タピオカスターチ、もち粉、パン

**E-3** 愛媛大学(次世代)

プキンパウダーは、アミラーゼで反応が進行しにくいことが明らかになった。このちがいについて現 在検討を行っている。

また製造した発酵食品の官能評価(味覚に関する統計評価)を実施した。「おいしい」という個人の好みを、食品会社の製造する製品のように「おいしさ」という一般的な指標であらわすことができるかどうかについて統計学的に検討した(図 1)。

## ◇今後の展望

日本の伝統産業である甘酒造りを通して、生物発酵と酵素の関係、アミロースとアミロペクチンの 反応性のちがい、化学反応制御について研究した。現在、松山市産業経済部地域経済課と協働してお り、伊予のはだか麦などの地域性をもった食材を原料にした、産業的価値を持つ製品製造について検 討していく予定である。

## ◇主要参考文献

- 1) タマネギ研究での IgNovel 賞受賞について、ハウス食品株式会社、2013 年
- 2) 中学校科学, 東京書籍
- 3) 市川新之助,大本理恵子,黒星きらら,高橋史恵,内藤雄太,和田敬行,大橋淳史,「私たちの暮らしと微生物~発酵~」,日本生物教育学会第98回全国大会,2015.
- 4) 矢野裕之, 竹内正彦, 加藤澄恵, 我妻義則, 田口計哉, 岡澤由晃, 西澤賢一, 黒田秧, 「澱粉の糊化と酵素処理が米蛋白質の溶解性に与える影響」, 食総研報告, No. 76, 1-7, 2012.

## フェノール類と塩化鉄(皿)の呈色反応

東京理科大学グローバルサイエンスキャンパス 安藤 有菜(東京都立戸山高等学校 2年) 担当教員 東京理科大学 宮村 一夫

## ◇研究の目的・意義

研究はSSHの課題研究授業と、グローバルサイエンスキャンパスで行った。グローバルサイエンスキャンパスでは主に紫外分光光度計を用いて各試料の吸収スペクトルをとっていった。昨年、種類の異なるポリフェノール毎に色分けができる試薬の開発というテーマで研究を行っていた。その基礎研究として今回フェノール類の吸収スペクトルをとった。吸収スペクトルを見ることによって、どの波長で吸収が最大か一目で確認することができる。また今回は、フェノール類をpHごとに条件を変えてUVスペクトルをとった。pHごとにスペクトルをとることによって等吸収点が現れる。2成分系の吸収スペクトルの全濃度を一定に保ちながら両成分の濃度の割合を様々に変えれば、スペクトルが一点で交わる。

この点を等吸収点という。フェノール類は OH 基が一つなので等吸収点は一つしか現れないが、ポリフェノールは等吸収点が現れるのか、あるとしたらいくつ現れるのか気になったので調べてみることにした。そして最終的にポリフェノールと金属を配位させると吸収スペクトルはどうなるのかを知り、種類の異なるポリフェノールを色分けできる試薬を見つけることが目的である。今回はフェノール類2つのスペクトルをとった。



## ◇研究の方法・プロセス

フェノール類は o-クレゾール、サリチル酸を用いた。それらに塩化鉄 (FeCl3) を加えて呈色反応させた。濃度の異なる塩酸、水酸化ナトリウムを作って実際の p H を記録した。 呈色反応が起こった 2 つの溶液を p H の異なる酸、塩基で 1 0 倍に希釈した。できた溶液を角セルに入れて紫外分光光度計でスペクトルをとった。目でも溶液の変化を記録した。

#### ◇結果と考察

図 1

## ・サリチル酸

可視光の領域(380nm~780nm)では酸の p Hのとき 520nm 付近に吸収が現れた。目で確認したところ、酸では紫色になり塩基では黄色になった。紫外光の領域では p Hによって最大吸収が変わった。分かりにくいが可視光領域に等吸収点のようなものも見られた。

## ・0-クレゾール

可視光の領域では全てのpHにおいて 400nm 付近に吸収が現れた。目で確認したところ、全てのpHを通して黄色だった。紫外光領域では最大吸収の現れる位置が異なっていた。可視光領域に等吸収点のようなものも見られた。

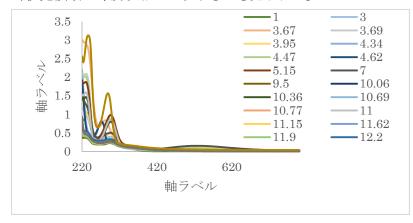


図2 サリチル酸

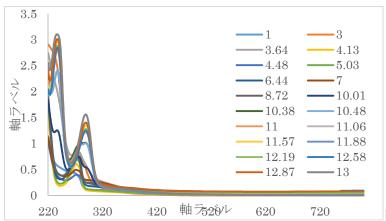


図30-クレゾール

可視光領域ではpHによる色の変化が見られた。

→ p Hによってフェノール類の二重結合部分の共鳴構造の変化が起こった。

紫外領域ではpHによる錯体の構造の変化が見られた。

→金属イオンの配位数が変わった。

## ◇今後の展望

ポリフェノールのUVスペクトルをとって等吸収点を調べる。

ポリフェノールと金属イオンが配位したもののスペクトルをとる。

#### ◇主要参考文献

実教出版 サイエンスビュー 化学総合資料

## 陽イオン交換膜を用いたアルカリ金属およびアルカリ土類金属イオンの選択透過性

湘南白百合学園高等学校 2年 鈴木梓月 慶應義塾大学医学部化学教室 井上浩義

## ◇研究の目的・意義

2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故では現在も汚染水が増え続けている。汚染水貯蔵タンクのセシウムを濃縮し、汚染水貯蔵タンクを減らすために膜処理による方法を考案した。特に今回の研究では、その膜の基礎的な性質を知るための電気化学的な実験を行った。なお、本研究は研究のテーマの設定から研究実施のすべてをグローバルサイエンスキャンパス事業にて行った。

## ◇研究の方法・プロセス

本研究のために以下の図の測定セルを準備した。陽イオン交換膜はNEOCEPTA® CMX (株式会社アストム)を用いた。実験は陽イオン交換膜を挟んで、溶液相 I と溶液相 II にそれぞれ表1のような溶液を入れて行なった。

溶液相 I
 例) ①NaCl
 例) ①NaCl1.0×10⁻³mol/L
 +CsCl1.0×10⁻³~1.0×10⁻¹mol/L

表1. 実験に用いた溶液

溶液相 I に①NaCl 1.0×10<sup>-3</sup>mol/L, ②CaCl<sub>2</sub> 1.0×10<sup>-3</sup> mol/L, ③MgSO<sub>4</sub> 1.0×10<sup>-3</sup> mol/L, ④CsCl 1.0×10<sup>-3</sup> mol/L, ⑤KCl 1.0×10<sup>-3</sup>mol/Lを、溶液相 II に①NaCl 1.0×10<sup>-3</sup>+ CsCl 1.0×10<sup>-3</sup>~

 $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}, \ \text{@CaCl}_2 \ 1.0 \times 10^{-3} \text{mol/L} +$ 

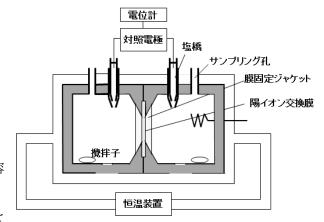
CsCl  $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ ,  $3 \text{MgSO}_4$ 

 $1.0 \times 10^{-3}$  mol/L+ CsCl  $1.0 \times 10^{-3}$  ~

CsCl  $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ , ⑤KCl

 $1.0 \times 10^{-3}$  mol/L+ CsCl  $1.0 \times 10^{-3}$  ~

 $1.0 \times 10^{-1}$  mol/Lをそれぞれ用い実験を行った。 次に、陽イオン交換膜を挟んだ溶液相 I と溶液相 II の間に起こる電位差を正確に10分後に測定した。また、この時に溶液相 I から溶液を



サンプリングし、希釈して原子吸光光度計(ZA-2000;日立ソリューションズ)でそれぞれの陽イオン濃度を測定した。これらの装置は、図1を用いた。 図 1. 本研究に用いた電気化学的実験装置

#### ◇結果と考察

電位差の測定においては、Naイオン・Caイオン・Mgイオン・Csイオン・Kイオンそれぞれにおいて、同等の電位差を生じた。電位差は溶液相 II の濃度が高いほど大きくなった。また、金属イオンの電価数による電位差は見られなかった。このことから、金属イオン濃度の高い溶液の金属イオンが陽イオン交換膜内の陽イオンと交換されることで、溶液相 II の金属イオン濃度が低くなり、実験開始時になかった電位差が生じることが分かった。図2に本実験で測定された膜の電位差を示す。

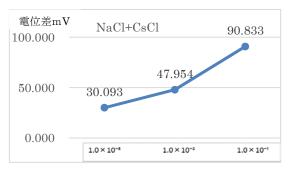
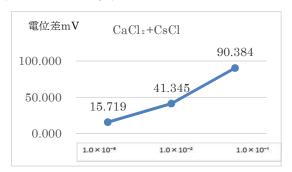
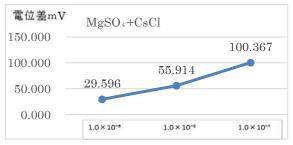
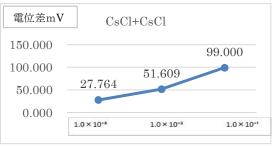
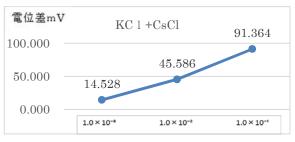


図2. それぞれの系における膜電位差









この実験で用いたアルカリ金属イオンおよびアルカリ土類金属イオンの陽イオン交換膜を介しての移動は、対照とする溶液との濃度差の違いによって変化することも分かった。また、さらに、金属イオンの電荷に左右されにくいことも明らかになった。イオン流束については現在、測定中であり、大会当日に発表する。

#### ◇今後の展望

陽イオン交換膜を用いた実験系により、多様な金属イオンが膜内に移行すると対照(溶液相 I)溶液の間に電位差を生じ、電位差をとらえることで移行したことが明確になることが分かった。福島第一原子力発電所事故により生まれた放射性セシウムを含んだ海水からのセシウム除去を考えた時、希薄なセシウム溶液を対照液として、汚染水を陽イオン交換膜で仕切るとする。汚染水内の放射性セシウムを含む金属イオンが交換膜内に移行し、更に反対側の相へ移動するかもしれない。移行後の汚染水の放射性セシウムが低濃度になる。こうして安全基準を満たす濃度の汚染水は、海へ放水することが可能である。続く研究として、原子吸光度測定により、10分後の溶液相 II の金属イオン濃度と膜から外した陽イオン濃度を測定すれば、溶液中の残存金属イオン量と、陽イオン交換樹脂膜に移行した金属イオン量が判明する。移行の度合いや残存量を明らかにすることができる。

## ◇主要参考文献

Inoue H: Radioactive iodide and chloride transport across a paper membrane bearing trimethylhydroxypropyl ammonium anion exchange groups. *J. Membrane Sci.* **222**; 53-57 (2003). \*この研究では放射性物質は扱っていないが放射線安全教育は別途行なっている(指導者)。

E-6 京都大学(GSC)

## ナノダイヤモンドの蛍光特性に関する研究

野口明美 (大阪府立天王寺高等学校 2年)

担当教員 三浦清貴,下間靖彦,我妻直樹(TA)(京都大学大学院工学研究科)

## ◇研究の目的・意義

ナノダイヤモンド(NDs)は励起光に依存した蛍光特性を持ち、蛍光を持つ金属ナノ粒子や半導体ナノ粒子、カーボンナノ粒子と比べて生体に対する毒性が低く、バイオイメージングやバイオセンサー、生物医学用ドラッグデリバリーなどへの応用が期待されている。

これまでに三浦研究室ではフェムト秒レーザーを用いた液相レーザーアブレーションによりグラファイトやバガス炭等の各種炭素源から NDs の合成に成功しているが、合成した NDs 本来の発光特性やその起源の解明には至っていない。

本研究では、炭素源にグラファイトと酸化グラフェンを使用し、エタノールと水での溶媒置換を行うことで NDs に及ぼす溶媒分子由来の影響の評価を行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

三浦研究室では合成方法に液相レーザーアブレーションを用いることでグラフェンやグラッシーカーボンから比較的容易にナノダイヤモンドを生成し、また生成時の溶液を変化させることでNDs の蛍光波長を選択的に変化させることに成功した。

液相レーザーアブレーション法とは、溶液中に分散しているターゲットにレーザーを照射し、プラズマを発生させてナノ粒子を作成する方法である。液相レーザーアブレーション法の利点は、大量の溶液が存在することによって、気相で行った時よりもプラズマ内が高温高圧になり、準安定状態の構造を持った生成物が得られること、プラズマの急速な圧力緩和や温度低下によって粒子の成長が進まず、ナノスケールに留まることなどが挙げられる。デメリットとしては、溶媒が存在することによって観測によるメカニズムの解明が難しいことや、溶媒自体が変化し、不都合が生じることなどが挙げられる。

実験方法:本研究で用いたフェムト秒レーザー発振装置は中心波長 800 nm、パルス幅 120 fs、繰り返し周波数 1 kHz の Ti: Sapphire レーザー (Coherent 社製 Mira-Legend) である。NDフィルタを用いて平均出力を 500 mW にし、対物レンズ (20 倍、NA=0.4、Nikon 社製)を通して光路幅 10 mm の光学セル(GL サイエンス社製,合成石英ガラス)内部の試料へ 2 時間集光照射した。

炭素源には酸化グラフェン(濃度 0.20 mg/ml , >99%, Graphene Supermarket 社製)およびグラファイト(>99.9%, 高純度化学研究所製)を、溶媒には純水(キシダ化学株式会社製)およびエタノール(>99.5%, キシダ化学株式会社製)を用いた。

酸化グラフェン/純水溶液では、レーザー照射後に浮遊物が見られたので、遠心分離装置(テーブルトップ遠心機 2420, 久保田製作所製)にて 4000 rpm、90 分間遠心分離を行い、上澄み液を採取し 50 nm 未満のナノ粒子を分離した。作製したナノ粒子分散液の蛍光分光測定を、溶液セルに入れたまま蛍光分光光度計(FluoroMax-3、ホリバ・ジョバンイボン社製)を用いて行った。

また純水溶液は凍結乾燥器(DRW240DA、ADVANTEC 社製)を、エタノール溶液は減圧乾燥器(MDA-015、ULVAC 社製)を用いて溶液を乾燥させ、それぞれ溶液の置換を行った。

E — 6 京都大学(GSC)

## ◇結果と考察

酸化グラフェン/純水溶液(図 1)をエタノールで置換したもの(図 2)は、置換前には見られなかった 350 nm 付近に蛍光ピークが現れた。これは NDs 表面とエタノールの相互作用によるものであると考えられる。また、置換後の蛍光は酸化グラフェン/エタノール溶液とは異なり、300~500 nm 付近で蛍光ピークのシフトが見られなかった。この結果から純水中でのアブレーションでは欠陥準位が導入されなかったと考えられる。

グラファイト/エタノール溶液を純粋で置換したものは、置換後、300~350 nm の蛍光帯が弱くなった。これは、エタノールとナノダイヤモンド表面の相互作用が生じなくなったためだと考えられる。また、置換前に見られた 350~550 nm での蛍光ピークのシフトは置換後も見られた。このことからエタノール中でのレーザーアブレーションによって欠陥準位が導入されていたとわかる。

上記二つの結果より、短波長側(350 nm 付近)の蛍光は溶媒であるエタノール自身がアブレーションによって変化すること、エタノールと NDs の相互作用に起因するものであると考えられる。また長波長側(500~600 nm 付近)の蛍光は、アブレーション時に導入されるエタノール由来の官能

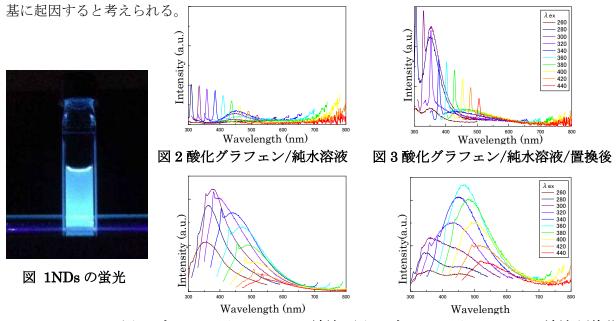


図 4グラファイト/エタノール溶液 図 5グラファイト/エタノール溶液/置換後

#### ◇今後の展望

今回の研究では、NDs の合成過程に焦点を当てて実験・考察を行ったが、今後もし機会があれば、内部の結晶構造や NDs の表面状態の解析等を行い、官能基の導入が行われているのか、今回の研究では何に起因するのか分からなかった波長帯の蛍光は何に起因しているのか、などの研究を行いたいと思う。

#### ◇主要参考文献

- 1: Dezhi Tan, et al. Carbon **62** (2013), 374-381.
- 2: S. T. Yang, L. Cao, J. Am. Chem. Soc., 131 (2009), 11308–11309.
- 3: L. Cao, A. Harruff, J. Am. Chem. Soc., 129 (2007), 11318–11319.
- 4: Hu. S, et al. J. Mater. Chem. 22 (2012), 12053.

# Morning Glory Traveled In Space Supported By JAXA & Hananoi Junior High School's Science Club

Kai Kawasaki (Meisei High School 1st grade)

Yuichiro Kawai · Naoya Nozaki (Hananoi Junior High School teacher) Gen-ichirou Arimura (Tokyo University of Science Associate Professor)

#### **Purpose**

In Recent years, exhaustions of natural resources such as petroleum, coal, natural gas and many other energy sources had become controversial issue.

Rapid increase of population and its effect on global environment also become one of the big issues. Those problems are one factor of pushing space development program forward. If the global environments continue to degrades, and people on earth have to emigrate to somewhere outside of the earth, it is important to investigate how the harsh environments in space will affect the life form from the earth? If so, I'd like to study about how to prevent the effect on the life form from the earth. This time, by raising Morning Glory seeds (which had spent some time in space) as an activity of Science club project in Junior High school, we observed the difference of its flower and leaves. Also, by comparing with the ordinary Morning Glory, we made speculations for further study.

First, I considered about the effect caused by sending the seeds up in space. Certainly there are many differences in environment between being in space station and on earth, such as the kind of cosmic radiation, gravity, pressure, temperature, humidity and many other factors. However, since of the fact that the seeds were kept in "Cargo bay", a minor effect might be given by pressure, temperature, and humidity. Therefore I decided to focus on the solar radiation and gravity in the current study.

#### Method

As an activity of science club project in Junior High school, we used the seeds of Morning Glory, that had been sustained in the International Space Ship (so called "ISS") for 9 months from 11<sup>th</sup> March 2008.

We compared 3 types of seeds.

First type was the one with long-term low dose exposure; the seeds spent 9 months in space [Type S...Space]. Second type was the ordinary seed that served as negative control [Type N]. The third type was irradiated by baryon for short period in laboratory; baryon irradiated [Type P...Positive].

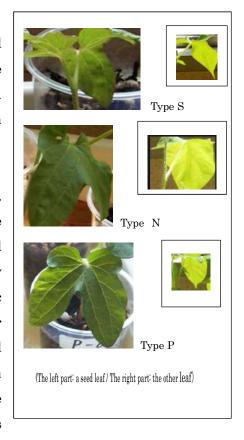
We followed 4 procedures specified by JAXA. Morning glory's seeds were so hard to absorb the water from soil. So, we cut off the tip of the seed. Then, we planted 6 seeds from each type, hence resulted in 18 pots. After planting the seeds, we gave water (100ml per pot) twice a day by the timing for harvesting when it bears.

## Results

No visible changes were observed in the shape of seed leaf, true leaf, vine and petal of Type S, among all three types of seeded assessed. (See the figure at the right). We, next, discuss the possibility that the differences in the phenotype may be observed in a future study.

## **Discussion**

The seeds were kept in storage at normal pressure, temperature, and humidity as on earth. Whereas, the effect of cosmic radiation and gravity might be occurred in the phenotype of leafs. The seeds were considerably affected by three kinds of radiations, i.e., galactic cosmic rays (GCR), outer-galactic cosmic rays (OGCR) and solar radiation (SR). Among them, the intensity of GCR and OGCR is not so different between earth and space. On the contrary, the solar radiation is more powerful in the space than on the earth. Moreover, the solar radiation as



the electrification particle is most likely scattered in the atmosphere of space. Therefore, we suspected that the solar radiation and gravity were the major factors for causing the effect in our study. However, the seeds might be stored in mess, and the center part might not get enough radiation to be mutated. We also suspected the occurrence of bystander effect. Normally, when a cell was irradiated by radiation, which influence the cells in neighbor. The effect is so called bystander effect. And we suspected that the effect did not take place. Nevertheless, we also expect that mutation may be seen on the 2<sup>nd</sup> generation. Due to JAXA, genetic trait of seeds is recessive, so the mutation occurs at higher possibility on the 2<sup>nd</sup> generation.

## **Prospects**

We are currently studying the 2<sup>nd</sup> generation of seeds to prove my speculations mentioned above. If we could see some change on the 2<sup>nd</sup> generation, we wish to investigate effect of the radiation took place in the seed. But it cannot be so, simply because of Mendel's laws. Accordingly, we would like to seek for the partners or place to grow more 2<sup>nd</sup> generation samples to get the accurate experimental result.

#### References

『宇宙線と素粒子がわかる本』(伊藤英男著、秀和システム) 『極限環境生物学』〈第5章〉(山下雅道、岩波書店) http://edu.jaxa.jp/news/20091225.html

## 宇宙を旅したアサガオ(協力:JAXA・大阪市立花乃井中学校理科部)

川﨑 海 (明星高等学校 1年)

河合 祐一郎先生·野崎 直也先生(大阪市立花乃井中学校 教諭) 有村 源一郎先生(東京理科大学 准教授)

## ◇研究の目的・意義

近年、石油をはじめとした様々な天然資源の枯渇が話題となっている。また、急激な人口増加に伴う環境の大きな変化についても、現在の地球が抱える環境問題の1つに数えられる。現在、宇宙開発の研究が加速しているのもこれらの影響が大きい。もしも、地球の環境がさらに悪化し、人間が地球以外のどこかの天体へと移り住まなければいけないような事態が訪れてしまったとき、地球上とは全く異なる過酷な宇宙環境が生命体にどのような影響を及ぼすのか、また、悪影響を及ぼすなら、それを未然に防ぐためにどのような策を練られるのか。今回は、宇宙環境に一定期間置いたアサガオの種子を大阪市立花乃井中学校理科部の活動にて栽培を行い、観察することで葉や花弁にどのような影響が見られるのかを調べた。また、一般的なアサガオと比較して栽培した結果から、今後、どのような研究を進めるべきかについて個人で考察した。

まず、アサガオの種子が宇宙に保管されたことで、どのような影響を受けたのかについて考えた。宇宙空間では、地球上と環境が全く異なり、宇宙線や重力、気温、湿度、圧力などたくさんの違いがある。しかし、今回種子が保管されたのは、れっきとした倉庫であり、気温、湿度、圧力の影響はほとんど無いに等しいと考えられる。そのため、現在の地球上と異なる宇宙空間の環境として、宇宙線と重力に着目した。

#### ◇研究の方法・プロセス

昨年、大阪市立花乃井中学校の理科部の活動として、宇宙環境に一定期間置いたアサガオの種子(JAXA〈Japanese Aerospace Exploration Agency[日本宇宙研究開発機構]〉宇宙教育センターの『JAXA宇宙ステーション教育的科学実験』で配布されたもので、2008年3月11日に ISS〈International Space Ship[国際宇宙ステーション]〉へ打ち上げられ、約9ヶ月間『きぼう』の船内保管室にて保管された後、同年12月1日に地上で回収(ULF2)された。)を使って栽培した。

実験では、宇宙に行った種子(宇宙フライト群:宇宙放射線の定線量長期被爆; S 群)と地上の種子地上対照群:放射線被爆がほとんどない; N 群)、そして、理化学研究所の協力により地上で放射線を照射した種子(地上照射群:宇宙放射線の1種を光線量短時間被爆~理化学研究所サイトクロンを使って重粒子線を放射線育種実験のレベルにて照射; P 群)の3種類を各6個ずつ栽培した。

以下に栽培過程を記載する。

1、発芽処理(芽切り)

アサガオの種皮は硬く、そのまま種をまくと発芽しないため、種皮に傷を付ける処理(芽切り)を行った。カッターナイフで中の白い部分がわずかに見える程度に傷を付けた。

2、種まき

各種類の種子を6個ずつ、計18個の種子を植えた。

3、水やり

アサガオがさく果をつけ始めるまで、毎日約 100ml ずつ、2回水やりをした。

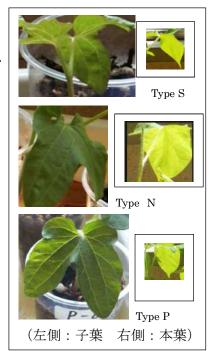
## ◊結果

実験の結果として、Sタイプのアサガオの子葉・本葉・蔓・ 花弁ともに形状に目に見える変化は確認されなかった。以左に、 子葉と本葉でそれぞれ3種類を区別した写真を記載した。

## ◇考察

表現型に差が出る原因として、以下の点が考えられた。

JAXAの資料において、気圧は1気圧、温度は常温に保ってあったとある一方、太陽宇宙線と動力については、影響しただろう。つまり、宇宙線と重力の条件のみが異なると思われた。アサガオの種子は、3種類の宇宙線の影響を相当量受けたと考えられ、特に銀河宇宙線や銀河系外宇宙線は、ISS内でも地球上においても受ける影響の強さはあまり変わらない。しかし、太陽宇宙線の場合、宇宙空間では、地球上よりも遥かに大きい影響を受ける。さらに、荷電粒子のような太陽宇宙線は、宇宙の環境で広がりやすい。



このようなことから、主に太陽宇宙線と重力の影響が、私の研究に最も影響を与えたと考えられる。しかしながら、宇宙線を受ける環境が悪かった。種子は、宇宙においてぎっしりと詰め込まれて保管されたかもしれない。その場合、中の方で保管されたものの方が影響を受けにくくなり、突然変異するのに十分な宇宙線を受けきれていなかったとも考えられる。私はさらに、バイスタンダー効果(細胞間で放射線等の影響を及ぼし合う効果)が小さかったことも考えた。普通、この効果が働き、特定の細胞に放射線が照射されなくても近くの細胞の影響を受け、直接照射されたのと同じ効果が発生する。しかし、今回栽培した種子は、このバイスタンダー効果が小さく、細胞間で影響を及ぼし合わなかったかもしれない。私はさらに、2世代目での突然変異の可能性があると考える。JAXAによると、宇宙線等の影響を受けた種子の突然変異の形質は劣勢で、1年目の栽培では突然変異は現れにくいという報告を受けており、そのため、2世代目の種子で突然変異を確認できる可能性が高そうである。

#### ◇今後の展望

現在、考察の直前のことを立証するために、2世代目の種子を栽培中である。2世代目で突然変異が確認された場合には、種子のどの部分に大きく宇宙線や放射線が影響したのかについて検証したい。しかし確認されなかった場合には、メンデルの遺伝の法則に従うと単純にはいかない可能性もある。この立証は数年後になるだろう。それに従って、2世代目を育てている仲間を探したり、その研究を進めているところを探したりと共同研究として広げれば、より精密な実験結果が得られるかもしれない。

## ◇主要参考文献

- ・ 『宇宙線と素粒子がわかる本』(伊藤英男著、秀和システム)
- 『極限環境生物学』〈第5章〉(山下雅道、岩波書店)
- http://edu.jaxa.jp/news/20091225.html

## 電気透析法を用いたセシウムイオン分離に関する研究

中川慎一朗 早稲田大学本庄高等学院 2年 井上浩義 慶應義塾大学医学部化学教室

#### ◇研究の目的・意義

2011年3月に発生した福島第一原発事故により発生した放射性廃液の処理は、現在、事故により発生した多くの放射性核種をいっせいに取り除く多核種除去装置(例えば、ALPS)で行なわれている。一方で、放射性廃液に含まれる放射性物質の主なものは放射性セシウム(Cs-137および Cs-134)である。この研究では、機能性膜を用いることによって、放射線セシウムを含む廃液から、放射性セシウム以外のイオンを取り除いて濃縮し、廃液タンクの数を減らすことを目的とした。特に、実用化では作業効率が問題となる。この研究では放射性セシウムイオンの濃縮を効率よく行なうための電気浸透法について実施した。この研究では、陽イオン交換膜を用いて、様々な濃度でのセシウムイオンの膜透過現象を解析した。

なお、研究テーマの設定から研究実施のすべてをグローバルサイエンスキャンパス事業で行った。

## ◇研究の方法・プロセス

この実験では放射線セシウムを直接使用することはできないので(放射線の利用は 18 歳以上と法律で決まっている)、非放射性のセシウム試薬(和光純薬)を用いて実験を行った。実験は、アクリルブロックの間に陽イオン交換膜(NEOCEPTA® CMX;株式会社アストム)を挟

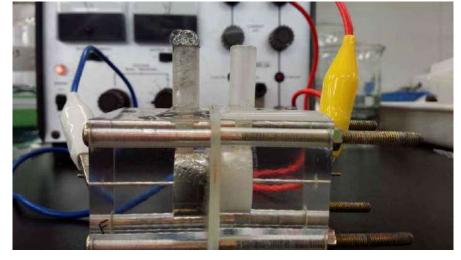


図1 陽イオン交換膜を用いたセシウム電気透析実験

実験は表1のような

各種濃度を用いて行った。実験自体は3回行い、その平均値を測定値とした。測定値は、単位時間に単位膜面積を通過するイオン濃度として表した。なお、この実験は外部から大きな電流を流しているので、濃度は活量を用いず、モル濃度をそのまま用いた。

式 1. 天歌(C/I) V /C/I オン V/座放こ版及				
溶液相 I	溶液相Ⅱ			
1×10⋅3 mol/L NaCl	$1 \times 10^{-3}$ mol/L NaCl + $1 \times 10^{-3}$ mol/L CsCl			
	or $1\times10^{-2}$ mol/L CsCl or $1\times10^{-1}$ mol/L CsCl			
$1 imes10^{\cdot3}~ ext{mol/L MgCl}_2$	$1 \times 10^{-3}$ mol/L MgCl $_2$ + $1 \times 10^{-3}$ mol/L CsCl			
	or $1 \times 10^{-2}$ mol/L CsCl or $1 \times 10^{-1}$ mol/L CsCl			

表 1. 実験に用いたイオンの種類と濃度

1×10 <sup>-3</sup> mol/L CaCl <sub>2</sub>	$1\times10^{-3}$ mol/L CaCl <sub>2</sub> + $1\times10^{-3}$ mol/L CsCl	
	or $1\times10^{-2}$ mol/L CsCl or $1\times10^{-1}$ mol/L CsCl	

溶液についてはすべて、試薬を和光純薬から購入し、超純水( $17M\Omega$  cm 以上)を用いて溶解した。各回の実験では通電時間を 1 分、5 分および 10 分とし、その時間ごとに溶液相 I から溶液を  $200\,\mu$  L サンプリングした。サンプリングされたそれぞれの溶液は適切に 0.1 mol/L の塩酸溶液で希釈され、原子吸光光度計(ZA-2000;日立ソリューションズ)で、Cs、Na、Mg、および Ca 濃度を測定し、電気浸透量を算出した。

## ◇結果と考察

この要旨を作成している現在、まだ、実験進行中であり、実験結果をここに示すことができません。すみません。実験を行なっている途中で考えたことは、この電気浸透法による廃液処理は大変にたくさんの電気を使うので、効率のよい電気の使用が必要だということです。そのためには、電気浸透するための装置の工夫が必要です。この研究では1枚しか装置の中に陽イオン交換膜を置きませんでしたが、この実験に使用した陽イオン交換膜は、厚さが0.17mmと大変に薄く、小さな装置の中にたくさん置くことができます。そのようにたくさんの陽イオン交換膜を用いた装置の中を溶液が通るようにする方が、電気の使用効率がよいように思いました。これについてはこの研究が終わったあとにもう一度考えて、実際に実験してみたいと思います。現在の福島第一原発での放射性廃液処理はイオン交換樹脂を用いて行っておられると聞いています。イオン交換樹脂だと、粒状ですから廃水に含まれる泥やゴミが混ざることで、詰まるおそれがあります。実際に、そのような詰まりによって装置の稼動が進んでいないとも聞きました。一方で、この研究のような膜を使った処理だと、泥やゴミの影響を受けることがほとんどありません。大きな泥やゴミは下に沈んでしまいますし、膜の表面が滑らかなため、その表面の汚れは簡単に除くことができます。この研究を進めることでより良い放射性廃水処理ができればと考えています。

## ◇今後の展望

今回は、陽イオン交換膜を使ってイオンが移動することを学んだ。また、適切に膜を作れば、目的とするイオンだけを透過させたり、逆に透過させなかったりする膜ができることも学んだ。 今後は、陽イオンだけでなく、陰イオン交換膜を使い、私が興味を持っている体内のイオンについて研究を行っていきたいと思う。私は理工学部への進学を希望しているが、医療は大変に興味が深い。将来は、理学あるいは工学を通して病気の治療や健康の増進に役立てられないか研究していきたいと思う。

## ◇主要参考文献

- Inoue H, Kagoshima M, Yamasaki M, Honda Y: Radioactive Iodine Waste Treatment using Electrodialysis with an Anion Exchange Paper Membrane. *Appl. Radiat. Isotopes.* **61(6)**; 1189-1193 (2004).
- Inoue H: Removal of Sodium Ion from Bile Acid Solution using Diffusional Dialysis with Cation Exchange Membrane. *Separation and Purif Technol.* **33**; 189-197 (2003).
- Inoue H, Yamasaki M, Lakshmi DS, Yamagishi S: Removal of pertechnatate ion, 99mTcO4-, from radioactive waste using exchange paper membrane. *Environ Protection Eng*, 31(3-4), 119-126 (2005).
- ALPS については東京電力の発表資料を参考にした。

\*この研究では放射性物質は一切扱っていませんが、放射線使用に関する安全教育は別途行なっております(指導者)。

## Measurement of a change in the sweetness of green onions before and after heating

\*Kyoka Kitami, \*Nao Kaburaki,

Kiku Shimizu, Haruka Imamura (Toyo Eiwa Jogakuin High School Sr.2)

Advisers: Yoko Goto(Toyo Eiwa), Masayuki Inoue (TUS)

## ◆Purpose and significance of the research

We are easier to feel "Sweetness" of vegetables and fruits after heating than before. We wanted to look at the changes in their "sweet" in the before and after heating. So we decided to investigate how changes occur in "sweetness" before and after heating in green onions which have strong pungency. Main factors, which affect "sweetness" will be reducing sugars, non-reducing sugars, and amino acids such as glycine and alanine. We decided to investigate changes of the amount of these compounds, comparing before and after heating. Keywords: sweetness, reducing sugars, amino acids, heating, green onion

## ◆Methods and processes of research

## 1. Determination of reducing sugar (From July 2014 to March 2015

First, we describe the Somogyi method which is a method to measure the amount of reducing sugar. Reducing sugars react with copper (II) complex in Fehling solution and red precipitate of Cu<sub>2</sub>O generates. The amount of precipitated Cu<sub>2</sub>O corresponds to the concentration of reducing sugars in sample solution.

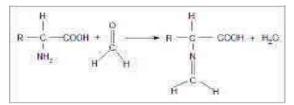
$$2Cu_{2+} + RCHO + 5OH \rightarrow Cu_2O + RCOO \rightarrow 3H_2O$$

Generated copper oxide ( I )  $Cu_2O$  , quantitatively consumes iodine prepared from potassium iodate(KI) and potassium iodide (KIO<sub>3</sub>) under acidic condition with  $H_2SO_4$ .

- $KIO_3 + 5KI + 3H_2SO_4 \rightarrow 3I_2 + 3K_2SO_4 + 3H_2O$
- $Cu_2O + H_2SO_4 \rightarrow \underline{2Cu}^{++} SO_4^{2+} + H_2O$
- $2Cu + I_2 \rightarrow 2Cu^{2+} + 2I^{-}$

The residual iodine was titrated with aqueous solution of sodium thiosulfate and the amount of reducing sugars is calculated from the amount of residual iodine.

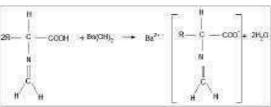
Fig.1 the structure of amino acids



#### • $2Na_2S_2O_3 + I_2 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$

Utilizing the standard solution of glucose, we've prepared the calibration curve between the value of titration and amount of glucose. (Details are omitted.)

Fig.2 Neutralization



## 2. Determination of amino acids (June-August 2015)

The principle of formol titration method to

mesure the amount of amino acids is shown below. When the amino acid is reacted with formaldehyde, the structure of the acid only remain (Fig. 1). The amount of carboxy group is measured by the neutralizing titration utilizing aqueous solution of Ba(OH)<sub>2</sub> (Fig. 2). The amount of Ba (OH)<sub>2</sub> is propotional to the amount of amino acid used in the titration. And we conducted an experiment in green onion ingredient to obtain the AN (amino nitrogen) amount.

<Procedure>①Taking green onion extract an appropriate amount to the conical beaker with the hall pipette, and adding 0.2mol / L Ba (OH) 2, to keep the pH to 8.4.
②Neutral formaldehyde 40mL in addition to ①, reacted 150 seconds.

③Ba the (OH) 2 was dropped with the burette to ②, to obtain the dropping amount when it becomes pH8.4.

4 Calculate the AN of 23.

AN (%) =  $280 \times \text{titer} \times \text{dropping amount (mL)}$ Sample (green onion) collection amount (mg)

#### Results and Discussion

1. Figure 3 shows the amount of reducing and non-reducing sugars of each part of an onion before and after heating, which was measured by a modified Somogyi's method. Regarding reducing sugar, the

amount middle part was the largest of the three and the amount of top part was smallest. On the other hand, the amount of non-reducing sugar was largest in root par and smallest around the top of the part. However, the amount of reducing sugar, non-reducing sugar and the total amount of sugars before and after heating was almost unchanged as described in Fig.3. Therefore, we conclude that the change in sweetness was not due to the sugar increased by heating. Sugar concentration of each parts before and after heating had hardly any difference. Accordingly, the results verified that the conclusion 1 is true.

2. The amount of amino acids was also unchanged during heating. So we conclued

that the change in sweetness was not due to the change of the amount of amino acids during heating.

Further studies are needed in order to find out components which influence change in sweetness by heating green onion. Change in sweetness by heating green onions did not depend on change of amount of sugars and amino acids. After dialysis to separate proteins, the smell of samples has changed. This result shows some volatile compounds with low molecular weight exist.

After dialysis to separate proteins, the smell of samples has changed. This result shows some volatile compounds with low molecular weight exist.

We briefly diuscuss that the sweetness depends on decreasing of pungency components. The amount of allyl sulfide is one of the important components of pungent in green onions, the amount of propyl mercaptan generated while allylic sulfide is heated, so we'll investigate the change of these factors by heating. Recently we pay attention to muchin as a candidate of study and we have a plane

#### [Main References] (2013)

to extend the investigation about mucin.

1, Nagasawa Haruko, third edition food science experiment - to applied research, Aoyama, Inc. (2013) 2) OkamotoKen, MatsushimaAyako, Otatomoki ,AkasakiTetsuya, Vance-like method, Sorensen method and comparative experiments on the titration of amino nitrogen obtained by the ninhydrin colorimetric method, tariff central analysis ExchangeAct No. 53

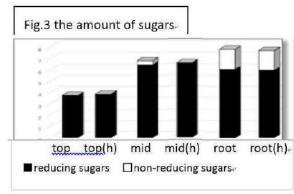


Fig.4 how to separate



## 長ネギの加熱による甘みの変化について

発表者: 北見 京香 鏑木 菜緒

清水 希来 今村 春香 菅原 ゆり (東洋英和女学院高等部 2年)

担当教員:後藤 洋子先生 井上 正之教授(東京理科大)

#### 【研究の目的・意義】

野菜や果物は加熱することで、"甘み"が増えることが多い。私たちは、加熱前後での"甘み"の変化を見たいと考えた。そこで、辛みの強い長ネギが加熱前後で"甘み"にどの様な変化が起こるかを調べることにした。"甘み"に影響を与えるとされている成分は主に、糖質の還元糖と非還元糖、そして、グリシンやアラニンを含むアミノ酸がある。私たちはその二つに着目し、それらの加熱前後での量を比較する事によって、"甘み"の変化をみる事にした。

キーワード: 甘み、糖、還元糖、非還元糖、アミノ酸、加熱、ネギ

#### 【研究の方法・プロセス】

## ① 糖の定量

まず 2014 年 7 月~2015 年 3 月にかけて行った、還元糖量の測定方法である、ソモギーの変法<sup>1)</sup> について記述する。

還元糖はフェーリング溶液に含まれる銅( $\Pi$ )イオン  $Cu^2$  を銅(I)イオン  $Cu^+$  に還元して、酸化銅(I)  $Cu_2$ 0 の赤色沈殿を生成する。この沈殿量は、試料溶液中の還元糖の濃度に比例する。

 $\mathrm{Cu^{2^+}} + \mathrm{R-CHO} + 40\mathrm{H^-} \rightarrow \mathrm{Cu_2O} + 2\mathrm{H_2O} + \mathrm{R-COOH}$ 

還元糖 酸化銅(I) を終化銅(I) とこの は、硫酸酸性下でヨウ素酸カリウムとヨウ化カリウムから遊離したヨウ素を定量的に消費する。

 $KIO_3 + 5KI + 3H_2SO_4 \rightarrow 3I_2 + 3K_2SO_4 + 3H_2O$ 

 $Cu_2O + H_2SO_4 \rightarrow \underline{2Cu}^+ + SO_4^{2-} + H_2O$ 

 $\underline{2Cu^+} + \underline{I}_2 \rightarrow 2Cu^{2+} + 2I^-$ 

残存したヨウ素をチオ硫酸ナトリウムで滴定し、消費したヨウ素量を求め、これから糖量を算出する。  $2Na_2S_2O_3+I_2\to Na_2S_4O_6+2NaI$ 

グルコース標準溶液を使用して、グルコース濃度とチオ硫酸ナトリウムの滴定値の関係を調べ、検量線を作成した。(今回は枚数の都合上、割愛する。)

<手順> 長ネギを8gずつ先端、中央、根本に分け、加熱前後で比較した。加熱前の試料はすり潰して水を加え、ガーゼを用いて絞り出し、ろ過した溶液が100mLになるように調節した。加熱に関しては、500Wの電子レンジで45秒加熱した後、すりつぶし、75mL程度の水を加えた。その後、茹で始め沸騰後3分で加熱をやめた。十分に冷えたら、加熱前と同様に絞り出し、全体が100mLになるように調整した。それぞれの試料溶液についてソモギーの変法を用いてチオ硫酸ナトリウム溶液による滴定を行った。滴定値を検量線に当てはめ、グラフから還元糖量および非還元糖量をそれぞれ求めた。ただし、非還元糖は酵素インベルターゼにより還元糖に分解し、元の還元糖の値から差し引いて求めた。最後に糖度計を使用して、先端・中央・根元それぞれの加熱前後の糖量を測定したが殆ど変化は見られなかった。これは加熱前後で糖量の変化がないという結果を裏付けることとなった。

## ②アミノ酸の定量

以下は、2015年6月~8月に行った、アミノ酸の測定方法であるホルモール滴定法の原理である。

アミノ酸がホルムアルデヒドと反応すると、酸の構造のみ残る。 (図1)

その酸性物質を Ba (OH)2で中和滴定する。(図2)

滴定に用いたBa(OH)2の量とアミノ酸の量は対応する。

ネギ成分抽出液で実験を行い、AN(アミノ態窒素)量を求める。 〈手順〉

ネギ抽出液適量をホールピペットでコニカルビーカーにとる。

- 0.2 mo 1/L Ba  $(OH)_2$  を加えて、pH を 8.4 にしておく。
  - ①に中性ホルムアルデヒド 40mL を加え、150 秒反応させる。
- ②に Ba (OH)<sub>2</sub> をビュレットで滴下し、pH8.4 になった時の滴下量を求める。
  - ②③の AN を算出する。

AN (%) = <u>280×力価×滴下量(mL)</u> 試料(ネギ)採取量(mg)

## 【結果と考察】【今後の展望】

①ソモギーの変法によって得られた、加熱前後での長ネギの部位ごとの還元糖、非還元糖のグラフは次の図3ようになった。

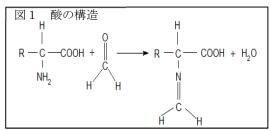
還元糖量は、加熱前後どちらも中央、根本、先端の順に多く、非還元糖は、根本、中央、先端の順に多いことが分かる。また、糖量全体としては根本、中央、先端の順に多い。(図4)加熱前後の還元糖、非還元糖、全体の糖量はどの部位においてもほとんど変化は見られず、甘みの変化は加熱によって糖量が増加したためではないと考えられた。

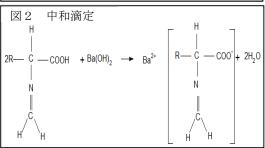
②アミノ酸の実験でも、加熱後にアミノ酸が増えるというような結果を得ることが出来なかった。

そこで私たちは次に、長ネギの辛み成分である硫化アリルの量と、硫化アリルが加熱 されることによって生成されるプロピルメルカプタンの量が、長ネギの加熱前後でど のように変化するのかを調べ始めている。手順は、長ネギの溶液からたんぱく質を透 析し、水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱し、酢酸鉛試験紙に垂らして、黒く変色 したらプロピルメルカプタンが生成されているということが分かるというものだ。 また、長ネギの緑の部分の中の粘液に含まれるムチンという成分についても調べたい と思っている。

## 【主要参考文献】

- 1) 長澤治子,第三版食品科学実験 研究から応用まで,青山社 (2013)
- 2) 岡本健 柗島紋子 大田朋槻 赤崎 哲也,バンスライク法、Sorensen 法及びニンヒドリン比色法 で得られるアミノ態窒素の滴定値に関する比較実験,関税中央分析所法 第53号





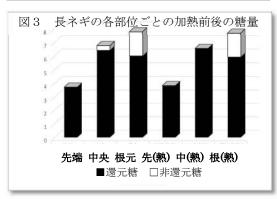


図4 長ネギの 分け方



## 

内山 龍人 (私立水城高等学校 1年)

戒能 洋一 先生 (筑波大学応用動物昆虫学研究室)

## ◇研究の目的・意義

小学校入学以来、セミの生態について 観察・自由研究を行ってきた。6年生の 時、セミの羽化殻が、一部の木の葉に集 合している現象に着目し(図1)、それ がフェロモンのような誘引物質の作用 による現象なのではないかと考えた。中 学1年時からは、この仮説の検証をテー マに研究を進めている。

これまで、セミの羽化時に作用する誘 引物質が存在するという研究は発表さ れておらず、証明できれば大きな発見と なる可能性がある。



図1:一部の木の葉に集合しているアブラゼミの羽化殻

今季は、**誘引物質の存在・作用の検証**をテーマに、羽化を控えたセミ終齢幼虫が、先に羽化した他個体の羽化殻に誘引されるのか、実験的に検証することを目的とした。

## ◇研究の方法・プロセス

実験対象はアブラゼミ (Graptopsaltria nigrofuscata) とし、幼虫及び羽化殻は高井ら (2013) に従い同定した。



図2:実験に用いた Y字管

#### Y字オルファクトメーター

2種類(試料/コントロール)の空気を流し、放した幼虫に行動選択させる。幼虫の反応行動を記録することで、誘因作用の有無を調べる。

ガラス製のY字オルファクトメーター(以下Y字管)(図2)を用い、アブラゼミ終齢幼虫の選行性を比較した。Y字上部の一方に試料、もう一方にコントロールを設定、下端に当たるスタート地点から羽化前の幼虫を歩かせたときに、どちらへ向かうのか、選択実験を行った。

昨年までは、自然界の物で自作した装置を使用するなど、不確定な要素がたくさんある中で実験を行ってきた。しかし今年は、ガラス製のY字管を使用することで、誘引物質以外の条件を均一化し、より科学的な検証を試みた。

今季は誘引物として以下の二つを想定し、羽化前の 幼虫に対する誘因作用を検証した。

- ① 羽化殼(羽化後1日) 試料=羽化殼5個
- ② 幼虫(羽化前) 試料=幼虫5匹

試料をガラスケースに用意し、そこから誘引物質を含むと仮定される空気を吸引して誘導、Y字管の左右どちらかから流し入れる。そして、スタート地点から歩かせた幼虫が、試料とコントロール、どちらへ進むかを記録した。

以上を20例ずつ行った。

## ◇結果と考察

- ①羽化殻VSコントロール (図3)
- →計20例行った実験のうち、「羽 化殻由来の空気」の側を選ん だ回数は17回、そうでない回 数は3回となった。
- ②幼虫VSコントロール (図3)
- →計20例行った実験のうち、「幼 虫由来の空気」の側を選んだ 回数、またそうでない回数は、 それぞれ10回ずつとなった。

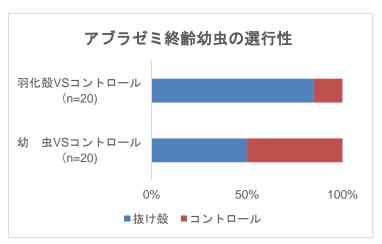


図3:アブラゼミ終齢幼虫の選好性

①の結果を二項検定(R)にかけたところ、有意差が認められた(p<0.01)。このことから、アブラゼミの羽化殻には、幼虫を誘引する物質が存在するということが示された。

また、②の結果も同様に二項検定(R)にかけたところ、有意差は認められなかった(p>0.05)。 このことから、アブラゼミ幼虫は、同種他個体の幼虫を誘引または警戒させる作用を持たない と考えられる。

さらにこれら二つの結果から、その幼虫誘因物質は、幼虫または抜け殻の表面を覆う物質(ワックス等)ではなく、表皮の内側に存在する物質、あるいは羽化の際に成虫本体から放出される物質なのではないか、ということが予想される。

## ◇今後の展望

今回の実験により、アブラゼミの幼虫が羽化場所を探す際に、先に羽化した同種他個体の羽 化殻に誘引されることが示された。今後は、さらにその成分の解析なども行い、誘引物質を特 定したいと考えている。

セミ科 (Cicadidae) さらには半翅目 (Hemiptera) の分類や進化の分野でも、大きな意味を持つ発見となる可能性もある。

#### ◇主要参考文献

高井ら(2013) 日本の昆虫1400(1), 文一総合出版

本研究を行うにあたり、ご指導くださった、筑波大学の戒能洋一先生、大学院生の藏滿司夢さん、その他、協力・応援下さった多くの皆様に、お礼申し上げます。

## $\beta$ カロテンの UV 照射による退色メカニズムの研究

長原 颯大(福岡県立修猷館高等学校 2年) 九州大学

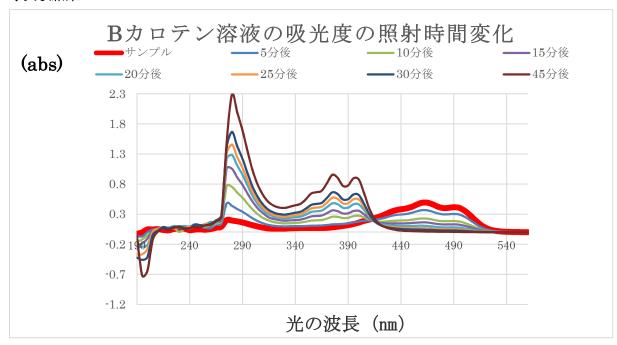
#### ◇研究の目的

私たちの身の周りには、様々な色素が用いられている。色素の安定性は環境の影響を受けやすかった。そのため今までの研究では、色素の着色料としての役割を考慮して、熱による色素の退色や塗料などでは対候性の研究が行われた。退色には熱の影響だけでなく光による影響も十分にあると考え、 $\beta$ カロテンの UV 照射による退色メカニズムについて調べてみることにした。この研究は、基礎的な部分を ESSP 化学科の講義で学び、発展部分は ESSP の個人実験の時間帯に行った。

## ◇実験

- ①  $\beta$  カロテンをベンゼンに溶かして  $1.0 \times 10^{-7}$  mol/L に調整して、吸光度を測定した。
- ②溶液を入れたセルを殺菌灯の前に置き一定時間照射した。
- ③吸光光度計でスペクトルの経時変化を観察した。

## ◇実験結果



(図1. βカロテン溶液の吸光度の照射時間変化)

図 1 に  $\beta$  カロテン溶液の吸光度の照射時間変化を示す。490nm 付近の光の吸光度が減少したことから、 $\beta$  カロテンが時間の経過とともに退色してしまった。一方で紫外域(280nm)の吸光度は、照射時間が長くなるとともに急激に大きくなった。つまり照射時間の経過と

ともに、415nm の波長よりも長波長の部分では吸光度が減少し、短波長の部分では吸光度が増加した。

## ◇考察

415nm に等吸収点が観測されたことから、ビタミン A の前駆体である  $\beta$  カロテンが紫外線によってビタミン A に化学変化した、あるいは紫外域の吸光度が急激に高くなったことから  $\beta$  カロテンの異性体が生成したと考えられる。異性体が生成した場合は、スペクトルの類似性から  $\beta$  カロテン 15・15'cis 体ができた可能性が高い。

## ◇今後の展望

βカロテンが UV 照射によってどのように退色するかをスペクトルの観点から観察することができた。しかし、スペクトルだけでは照射後の生成物がどのような構造をもつのかを同定することが出来なかった。今後は光分解した試料を遠心分離器にかけ、分解生成物を単離してマススペクトルや NMR を測定して構造を決定したい。

## ◇主要参考文献

## ソープナッツを用いたサポニンの抽出方法の検討

大倉 智貴(立教池袋高等学校 2年) 近藤 行成(東京理科大学)

## ◇研究の目的・意義

私たちが日常使用する石鹸や台所用洗剤などがなかった頃、これらを自然由来のもので代用し生活が営まれていた。古代の洗浄方法を調べる過程で、私は、ソープナッツ(図1)が、その昔、石鹸の代用品として使われ、その中のサポニンと呼ばれる物質に界面活性作用を示す能力があることを知った。今日の台所洗剤をはじめとする洗浄剤は合成化学薬品から製造されており、環境に負荷を与えている。ソープナッツからサポニンを抽出することができれば、現在の洗剤の代用として、環境負荷の小さい洗剤になるはずである。そこで本研究で私は、ソープナッツを用いてサポニンを抽出するとともに、抽出溶媒を変化させることでサポニンの抽出量の違いを調べ、最も効率の良い抽出方法を検討した。



図1 ソープナッツ

本研究の薄層クロマトグラフィー (TLC) およびカラムクロマトグラフィーは、高等学校の 実験室レベルでは行うことが困難であったため、東京理科大学のグローバルサイエンスキャン パスで行った。

## ◇研究の方法・プロセス

#### 1) ソープナッツ抽出溶液の界面活性能(洗浄力)の評価

買ってきたそのままの状態のソープナッツまたはソープナッツをミルで粉砕したものに、水またはエタノールを抽出溶媒として加え、所定温度 (22.5  $^{\circ}$ C または 60  $^{\circ}$ C) で 30 分間放置した。その後、ろ過し、ろ液を抽出溶液とした。ラー油を塗布したステンレ板を用意し、これを抽出溶液に入れ、ラー油がステンレス板から浮き上がる時間を測定した。

## 2) 抽出溶液からサポニンの分離

得られた抽出溶液をガラスキャピラリーを用いて薄層クロマトグラフィープレート(TLC プレート)にスポットし、種々の展開溶媒を用いてスポットを展開させた。

## 3) 抽出溶液からサポニンの分取

ロータリーエバポレーターを用いて、抽出溶液から溶媒を除去し、サポニンを含有すると残渣を得た。カラム管にシリカゲルを充填し、展開溶媒として CH<sub>3</sub>OHと CHCl<sub>3</sub>の混合溶媒(体積比 5:1)を用いて、残渣をカラムクロマトグラフィーで展開させた。Rf値が 0.8 の成分を分取し、乾燥させることで白色固体を得た。

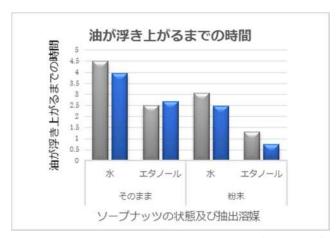


図2 ステンレス板に塗布したラー油が浮き上がる 時間と抽出液の関係

灰色: 22.5°C で得られた抽出液。青色: 60°C で得られた抽出液。

## ◇結果と考察

## 1) ソープナッツ抽出溶液の界面活性能(洗浄力)の評価

ステンレス板からラー油が浮き上がる時間を測定した結果を**図2**に示す。**図2**より抽出溶媒は水よりエタノールを用いた方が、浮き上がる時間が短かった。これはエタノールの方が水に比べ、ソープナッツからサポニンをより多く抽出できるためと考えられる。また、ソープナッツのそのものから抽出するのではなく、粉砕した後に抽出した溶液の方が、ラー油の浮き上がり時間が短かった。これは、粉砕した方が、ソープナッツの表面積が大きくなり、効率よく抽出液にサポニンが抽出されたためと考えられる。抽出温度については、温度が高い (60 °C) 方が、ラー油の浮き上がり時間が短くなる場合が多いことも分かった。

## <u>2) 抽出溶液からサポ</u>ニンの分離

TLCプレートに抽出溶液をスポットし、種々の展開液を用いてスポットを展開させた。用いた展開液を $\mathbf{5}$  に示す。低極性溶媒である  $\mathbf{C}_6\mathbf{H}_{14}$  を用いた場合、スポット

表 1 TLC に使用した展開液

極性	使用し#	比率(v∶v)	
低極性溶媒	$C_6H_{14}$	_	_
極性溶媒	CHCl <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	7:3
高極性溶媒	CH <sub>3</sub> OH	CHCl <sub>3</sub>	5:1

は全く移動せず、高極性溶媒(CH<sub>3</sub>OH:CHCl<sub>3</sub>混合液)を用いた場合にスポットはよく展開した。 その様子を図3に示す。

購入した純サポニンの Rf 値は 0.8 であった。一方、ほぼ同じ位置に (ほぼ同じ Rf 値を持つ) 成分が抽出溶液の方にも観察された。この成分がソープナッツ中のサポニンと考えられる。

## 3) 抽出溶液からサポニンの分取

TLC 実験から、 $CH_3OH:CHCl_3$  混合液を用いて展開した場合の Rf 値が 0.8 の成分にサポニンが含まれることが分かったため、カラムクロマトグラフィーでは、Rf 値が 0.8 付近の成分を分取した。その後、展開液を除去し、乾燥させ、白色固体を得た。この固体中にサポニンが含まれると考えられる。

## ◇今後の展望

今後はソープナッツの抽出溶液からサポニンの単離を行いたい。そして IR、NMR を用いて、サポニンの構造式や分子量の決定を行いたい。また、サポニンは大豆やサイカ

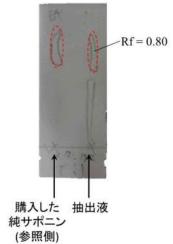


図 3 抽出溶液の TLC 左スポット:購入した純サポニ ン(参照側)。右スポット:抽 出液。

チなどといった多くのマメ科の植物に含有しているため、それらからも抽出を行いソープナッツとの比較を行いたい。植物からサポニンを抽出し合成洗剤のような洗浄力を持ち環境に負荷を与えない洗剤を合成したい。

#### ◇主要参考文献

1) http://www.med-house.net/ 「地中海ハウスホームページ」

# 平成27年度全国受講生研究発表会 発表要旨集

平成27年9月11日 発行

(編集・発行者) 国立研究開発法人科学技術振興機構 理数学習推進部

〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8 TEL 048-226-5669 FAX 048-226-5684