

平成28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

開催日：平成28年9月18日・19日

場 所：一橋大学一橋講堂

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

目 次

ポスター番号	タイトル	実施機関名	発表者(*)	ページ
A-1	コケの微細構造と機能	(京都大学)	森本玲菜	1
A-2	極長鎖脂肪酸合成に関わると考えられる 新たなイネシュート発生突然変異体の原因遺伝子のマッピング	(東北大学)	益子恵利那	3
A-3	Explore the Mystery of “Yamato Tamamushi” ヤマトタマムシの不思議を探る	(九州大学)	篠原健	5
A-4	ナガコガネグモの嗅覚と味覚を探る	(筑波大学)	落合一翔	9
A-5	塩ストレスで光合成活性はどのようにかわるだろうか	(埼玉大学)	増田優	11
A-6	カラスはヒトの視線を気にするのか	(宇都宮大学)	星野成美	13
A-7	硬骨魚における好適環境水の優位性	(東北大学)	鈴木智也 加藤雅貴	15
A-8	植物ホルモンのジベレリンとオーキシンが花粉管に与える影響	(筑波大学)	大輪奏太朗	17
A-9	ミシシippアカミガメ類の遺伝学的研究	(宇都宮大学)	新井隆太	19
A-10	擬似微小重力環境下におけるトマトの成長	(筑波大学)	高瀬由杏	21
A-11	ダンゴムシの交替性転向反応に関する研究	(宇都宮大学)	岡崎紗英	23
A-12	牛糞堆肥と化学肥料を施用した耕地土壌から単離したリン溶解菌 (PSB)の特性解明	(広島大学)	横山実歩	25
A-13	ウニのプルテウス幼生が分裂して捕食者から身を守る仕組み	(埼玉大学)	松苗佑樹	27
A-14	Factors influence avian sex determination and sexual differentiation 鳥類の性決定・性分化に影響を与える要因に関する研究	(広島大学)	坪井美樹	29
A-15	寄生虫の種によって宿主の種を知る ～コウイカ類の分類学的研究～	(大阪大学)	伊藤雄氣	33
A-16	色素と2本鎖DNAとの結合解析	(岡山大学)	田中愛登 園田佳代	35
A-17	セミの羽化殻はなぜ集まる？ ～フェロモンのような物質の存在を検証する～	(筑波大学)	内山龍人	37
B-18	ルブレン蒸着膜の光誘起酸化反応過程の分光計測	(京都大学)	長谷部依央	39
B-19	ジーンズ染色顔料を用いたセシウム除去の基礎研究	(慶應義塾大学)	西條友貴	41
B-20	水はどうやって冷える？～密度の温度依存性と対流～	(大阪大学)	山下龍之介	43
B-21	クレアチニンを原料とする新規な蛍光色素の合成	(宇都宮大学)	野澤裕美	45
B-22	胆汁酸のCMC形成に対するアルブミンの影響	(慶應義塾大学)	松尾拓海	47
B-23	カニ鍋で具材はなぜ軟らかくなるのか？	(大阪大学)	山元佑香子	49

ポスター番号	タイトル	実施機関名	発表者(*)	ページ
B-24	単三乾電池1本から取り出すことが出来るエネルギーの総量 ～ブラレール走行実験による考察～	(慶應義塾大学)	榛澤貴春	51
C-25	数独の初期配置による難易度決定と問題作成について	(埼玉大学)	大井菜ノ香	53
C-26	高解像度DEMとGISを用いた地震変動地形の探査	(岡山大学)	山崎千種 大山航	55
C-27	サボニウス型風車風力発電の開発と測定	(東京理科大学)	(注1)	57
C-28	海藻類からのバイオエタノール製造 ～生成糖量の季節的变化を探る～	(東北大学)	坂本悠 柴谷美帆	59
C-29	粒子サイズを再現した砂柱の崩壊シミュレーション	(京都大学)	安田紗菜	61
C-30	銅酸化物高温超伝導体における組成による転移温度変化の測定	(岡山大学)	秦悠己 大野さくら 津島澄人	63
C-31	ゴム弾性と緩和現象～弾性ヒステリシスから物語る～	(広島大学)	繁樹鳳康	65
C-32	宇宙線ミュオン強度と気圧依存性の研究	(埼玉大学)	須田亮介	67
D-33	橋梁などの土木構造物を対象とした座屈現象の理論と実際	(大阪大学)	大西真由	69
D-34	A Novel Conversion of heat to electric power without temperature difference using n-type Ba ₈ AuxSi _{46-x} clathrate n型組成傾斜単結晶Ba ₈ AuxSi _{46-x} クラスレートを用いた新たな発電方法の検証	(九州大学)	梶原悠矢	71
D-35	エネルギー問題への挑戦 -音で発電できるのか- 発電都市Tokyoを目指して-	(東京理科大学)	本坊優吾	75
D-36	Electric power generation mechanism without temperature difference using Au composition gradient Ba ₈ AuxSi _{46-x} clathrate crystal Ba ₈ AuxSi _{46-x} クラスレートによる均一温度環境下における発電方法の検証	(九州大学)	長藤瑛哉	77
D-37	ファンプロペラの効率アップ -風を変えるシンプルな表面加工-	(筑波大学)	田淵宏太郎	81
D-38	複数台ロボットの協調制御に基づく搬送動作の実現	(慶應義塾大学)	舩村康成	83
D-39	非負値制約行列因子分解を用いた機械学習 -文章の書き手の属性判別から地震予測まで-	(京都大学)	福井諒太 鎌田暉	85
D-40	食物連鎖のシミュレーション	(広島大学)	国本純希	87
E-41	がんに挑む！！	(東北大学)	戸由菜月	89
E-42	心臓活動電位発生におけるミトコンドリアCa動態の寄与に関する研究	(福井大学)	堀江玲奈 岩井絵梨果 松中咲樹 清水洋祐	91
E-43	健康油ω3の抗アレルギー効果	(東京理科大学)	横田優輝	93
E-44	放射線耐性遺伝子の探索	(福井大学)	内田日向子 長谷優月 御嶽彩乃 北川文夢	95
E-45	Neurosphere法を用いた神経幹細胞の時間的可塑性の検討	(慶應義塾大学)	岡野雄士	97
E-46	腸炎疾患における消化管筋層の傷害と回復過程を探る	(福井大学)	今井未来 河原真代	99

ポスター番号	タイトル	実施機関名	発表者(*)	ページ
F-47	インドネシアの森林火災発生地域の予測に向けた衛星画像解析	(北海道大学)	鈴木光	101
F-48	新メディア活用による図書館の再活性化	(京都大学)	鳥海綾穂	103
F-49	リモートセンシングによるコーヒーさび病のモニタリング手法の開発	(北海道大学)	勝濱直椰	105
F-50	リモートセンシングによるバングラデシュの稲作面積の推定	(北海道大学)	古田英輝	107
F-51	留学生向け減災アクションカードゲーム(身近な災害編)の開発と評価	(東北大学)	鈴木智寛	109
F-52	Development of low-cost meteorological measurement system for hyper-dense observation of snowstorm-induced poor visibility 稠密気象観測を目指した吹雪視程障害判定気象装置の開発	(北海道大学)	小林ゆい	111
F-53	インドネシア森林火災発生危険性のための指標の開発 ～土壌スペクトル計測を通して～	(北海道大学)	橋本朝陽	115

* 「発表者」には、当日発表を行う受講生名を記載しています。
(注1)本人の希望により氏名削除

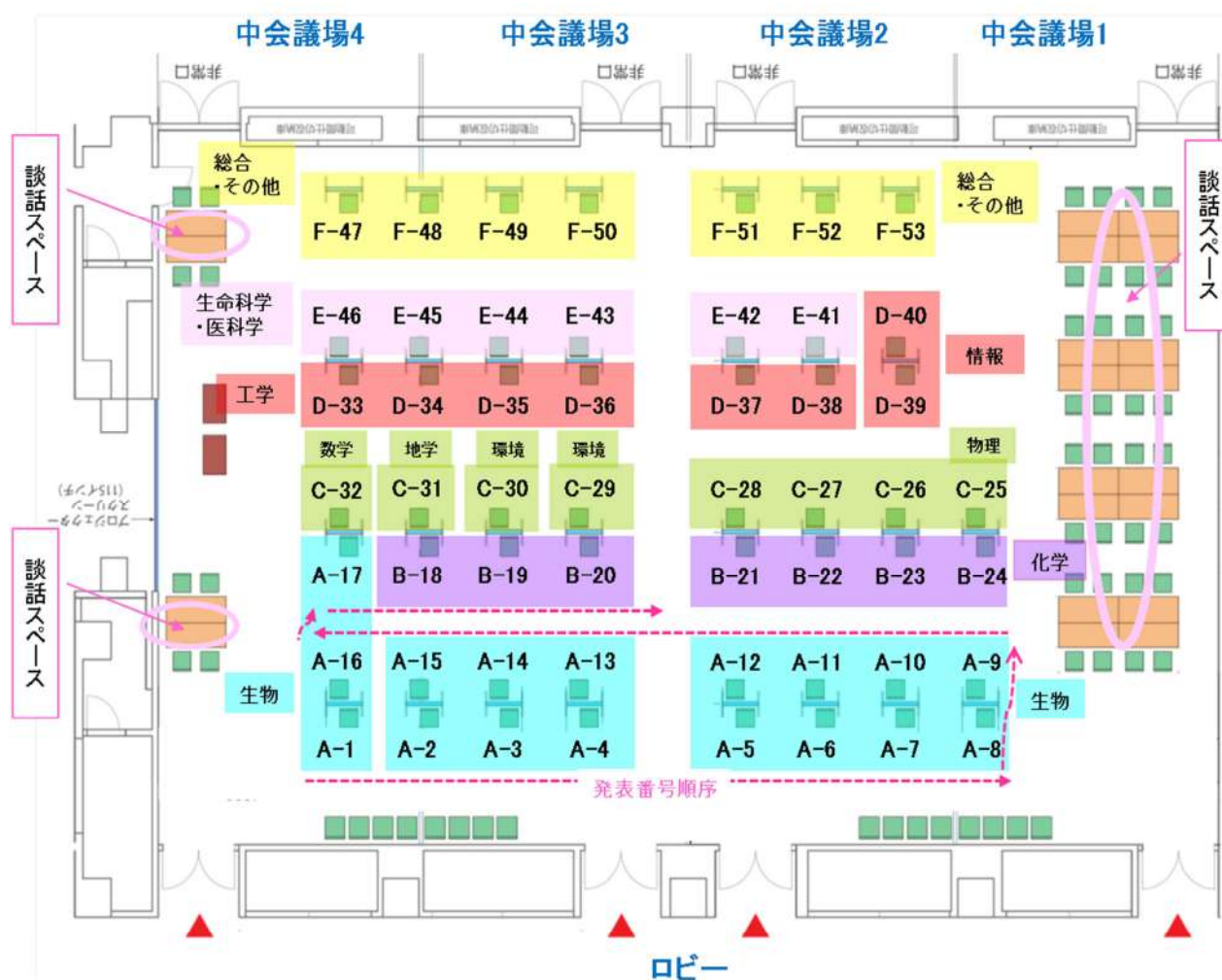
〈余白〉

■ ポスター配置図

※分野番号について

分野番号	分野
A	生物
B	化学
C	数学・地学・環境・物理
D	工学・情報
E	生命科学・医科学
F	総合・その他

※ポスター番号について(分野番号 - 発表番号)



■ 審査員に対するポスター発表

下表は発表時間の目安です。発表時間は10分、質疑・応答は5分、審査は4分になります。その後、2分の審査員の移動時間の後に次の発表がスタートします。

発表ポスター 番号	項目	開始	終了	発表+質疑・応答	審査	次のポスター への移動
	司会(開始)	15:05	15:08	—	—	—
①	1回目(奇数No.)	15:08	15:27	0:15	0:04	0:02
②	1回目(偶数No.)	15:29	15:48	0:15	0:04	0:02
③	2回目(奇数No.)	15:50	16:09	0:15	0:04	0:02
④	2回目(偶数No.)	16:11	16:30	0:15	0:04	0:00
	休憩	16:30	16:42	—	—	0:12
⑤	3回目(奇数No.)	16:42	17:01	0:15	0:04	0:02
⑥	3回目(偶数No.)	17:03	17:22	0:15	0:04	0:02
⑦	4回目(奇数No.)	17:24	17:43	0:15	0:04	0:02
⑧	4回目(偶数No.)	17:45	18:04	0:15	0:04	0:00
	司会(終了)	18:04	18:05	—	—	—

■ 受講生同士のポスター発表

下表は発表時間の目安です。受講生同士の相互発表は発表番号毎に3つのグループに分かれておこないます。1グループの発表時間は25分です。

分野 番号	分野名	第1グループ	第2グループ	第3グループ
		18:45～19:10	19:10～19:35	19:35～20:00
A	生物	1、4、7、9、 12、15	2、5、8、11、 14、17	3、6、10、13、 16
B	化学	19、22	20、23	18、21、24
C	数学・地学・環境・物理	28、31	25、27、30	26、29、32
D	工学・情報	33、36、39	34、37、40	35、38
E	生命科学・医科学	43、45	42、44	41、46
F	総合・その他	49、52	47、50	48、51、53

コケの微細構造と機能

森本 玲菜（愛知高等学校3年）

担当教員 高部 圭司（京都大学大学院農学研究科）

研究の目的・意義

コケは最も原始的な植物と言われている。しかしながら、高等植物と比べ、どのような違いがあるのかは、一般的に良く知られていない。本研究では、コケを光学顕微鏡（LM）、走査電子顕微鏡（SEM）、透過電子顕微鏡（TEM）で観察することにより、その微細構造を明らかにすることにより、高等植物との違いを明らかにし、コケを構成する細胞の機能について考察した。これらの研究テーマ設定、研究実施のすべては、京都大学 ELCAS で行った。

研究の方法・態度

2016 年 4 月 16 日に京都大学フィールド科学教育研究センター北白川試験地でコケを採取した。直ちにカミソリを用いて葉と茎に切り分け、それぞれを 3% グルタルアルデヒド・1/15M リン酸緩衝液を用いて冷蔵庫中で 1 晩固定した。その後、1% 四酸化オスミウム・1/15M リン酸緩衝液で 2 時間固定した。試料の一部は凍結乾燥して金コーティングし SEM 用試料とした。他の試料はエポキシ樹脂に包埋し、LM 用、TEM 用試料とした。

考察と成果

【コケの同定】

本研究に用いたコケを Figure 1 に示す。コケは、葉、茎、仮根から構成されていた。コケは茎葉体を持つタイプと、茎や葉に分化せず扁平な葉状体を持つタイプに分けられるが、本研究で用いたコケは前者に属していた。



Figure 1 本研究に用いたコケ

葉を光学顕微鏡で観察すると、葉身細胞が 1 層存在し、中央部に中肋が存在した。葉の横断面切片の光学顕微鏡写真を Figure 2、SEM 写真を Figure 3 に示す。中肋の両側に葉身細胞が 1 列に並んでいて、先端部は舷と呼ばれる厚い細胞壁を持った細胞が存在した。中肋部分にはラメラと呼ばれる細胞一層から成る板状の組織が数層見られた。また、葉の縁には多数の突起が見られた。これらの特徴から、本研究に用いたコケはタチゴケ(*Atrichum undulatum*)と判断した。

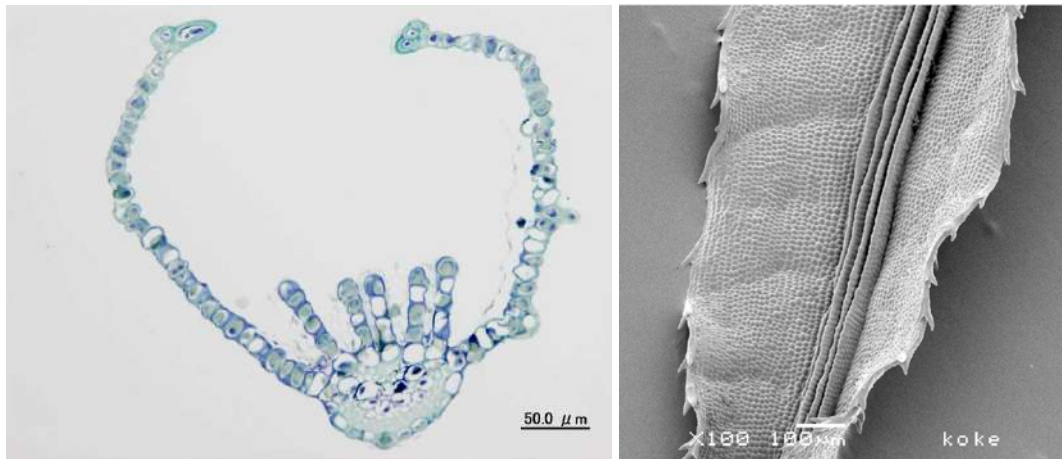


Figure 2 (左) 葉の断面の光学顕微鏡像 中肋の両側に葉身細胞が1層になって並んでいる。
Figure 3 (右) 葉の SEM 像 中肋に数層のラメラが存在する。

【タチゴケの微細構造から推察する細胞の機能】

タチゴケの葉は、中肋の両側に葉身細胞が1列に並ぶ構造であった。高等植物の葉は一般的に表皮、柵状組織、海綿状組織と維管束からなり、表皮の所々には気孔が存在する。大気中の二酸化炭素は気孔から葉内に取り込まれ、柵状組織や海綿状組織を構成する葉肉細胞の葉緑体で二酸化炭素固定が行われる。表皮は、乾燥や紫外線から葉肉細胞を守っている。一方、タチゴケでは葉肉細胞に相当する葉身細胞が1列に並び、表皮などで守られることなく、そのまま大気にさらされている。そのため、タチゴケは湿度の高い環境でしか生きられないものと推測した。

葉の TEM 写真を Figures 4、5 に示す。葉身細胞には葉緑体が存在し、葉緑体中にはデンプンが貯えられている様子が観察された。細胞内には脂肪滴と思われる球状の構造物が多数観察された。葉身細胞の細胞壁には隣接する細胞間で原形質連絡が多数観察された。光合成産物をの中肋まで輸送するには、葉身細胞間の原形質連絡が重要な役割を果たすものと推察した。

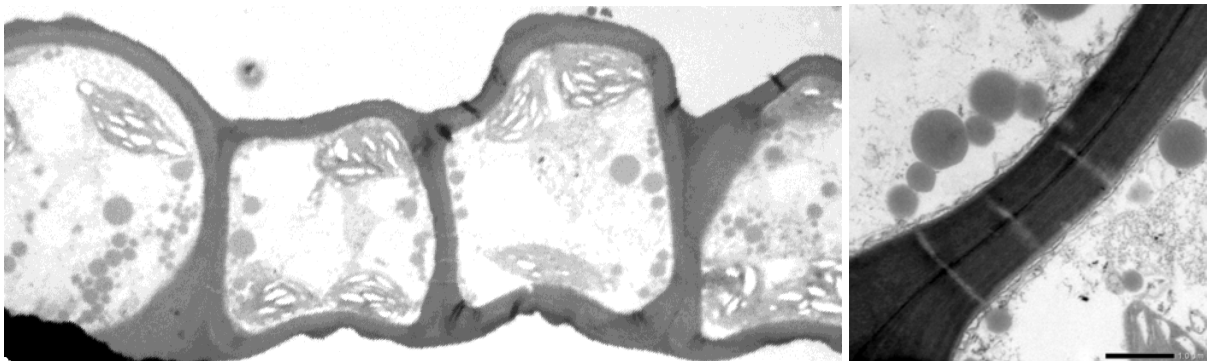


Figure 4 葉身細胞の TEM 像 葉身細胞内に数個の葉緑体が確認できる。

Figure 5 葉身細胞の TEM 像 葉身細胞間に原形質連絡が観察される。

今後の展望

まだ手つかずの課題は、タチゴケの茎の構造と機能の解析である。

謝辞

コケの同定には、広島大学嶋村正樹准教授の助言をいただいた。厚く御礼申し上げます。

極長鎖脂肪酸合成に関わると考えられる 新たなイネシュート発生突然変異体の原因遺伝子のマッピング

○益子恵利那（前橋育英高校 3年）、佐藤知美（宮城一高校 3年）、
佐々木長将（釜石高校 3年）、佐久間仁徳（福島高校 3年）
担当教員 伊藤幸博（東北大学 農学研究科）

◇研究の目的・意義

極長鎖脂肪酸は植物の表面を覆い、乾燥等の環境ストレスから植物を守っている。一方、イネの極長鎖脂肪酸合成に関わる突然変異体の解析から、極長鎖脂肪酸は表皮の分化に重要な物質であることが明らかにされている。しかし、極長鎖脂肪酸がどのように表皮の分化に関わっているかは明らかにされていない。そこで、本研究ではこの問題の解明に利用できる新たな遺伝子の同定を目指し、その第一歩として新たな突然変異体の原因遺伝子のマッピングを行った。

◇研究の方法・態度

日本晴（ジャポニカ型のイネの栽培品種のひとつ）由来の突然変異体（#1、#2）（図1）とカサラス（インディカ型イネ品種）のF₂のうち突然変異体の表現型を示した個体（30個体）を用いた。

突然変異体からDNAを抽出し、PCRによりDNAを増幅し電気泳動を行った。電気泳動の結果から日本晴とカサラスの分離比を調べた。

突然変異体は日本晴由来なので、突然変異の原因遺伝子近傍のマーカーはほとんどが日本晴のバンドを示し、それ以外のマーカーは日本晴のバンドとカサラスのバンドが半々になるはずである。従って、ほとんどが日本晴のバンドを示すマーカーを見出せば、突然変異の原因遺伝子はそのマーカーの近傍に存在することになる。

◇考察と成果

まず、既知の遺伝子の突然変異体かどうかを調べた。突然変異体の表現型を示したF₂個体からDNAを抽出し、*ONI1*、*ONI2*および*ONI3*の近傍のマーカーを用いてPCRを行った。もし、*ONI1*、*ONI2*あるいは*ONI3*のいずれかの突然変異体であれば、その近傍のマーカーを用いた場合、日本晴のバンドが現れる頻度が非常に高くなるはずである。しかし、結果は日本晴由来のバンドとカサラス由来のバンドが同様な頻度でみられた（図2）。従って、これらの突然変異体は既知の遺伝子の突然変異体ではなく、新規遺伝子の突然変異体であることがわかった。

次に、抽出したDNAを用いて計27個のマーカーの分離比を調べたところ、日本晴由来のバンドとカサラス由来のバンドがいずれのマーカーでも同様な頻度でみられた。現時点までに調べたマーカーでは、日本晴に偏った分離がみられないため（図3）、原因遺伝子はいずれかの未調査マーカー付近にあると考えられた。

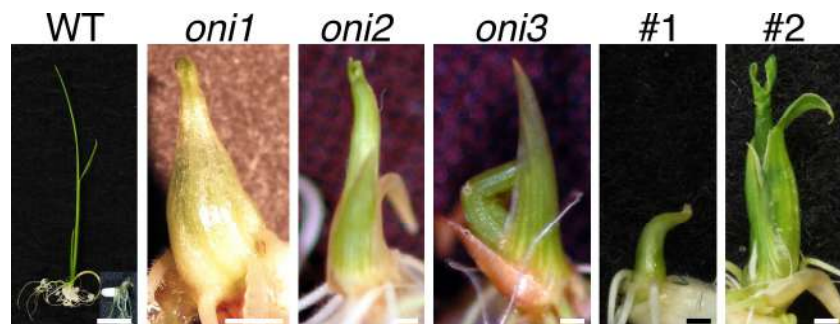
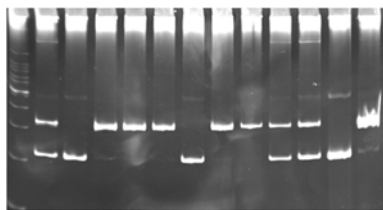


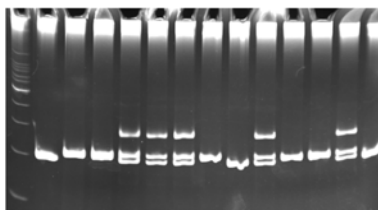
図1、突然変異体の表現型

発芽後2週間。野生型（WT）の右下は等倍率の*oni1*突然変異体。*oni1*、*oni2*、*oni3*は既知の突然変異体、#1、#2は本研究で用いた突然変異体。バーはWTでは1cm、他は1mm。

ON1 近傍マーカー



ON2 近傍マーカー



ON3 近傍マーカー

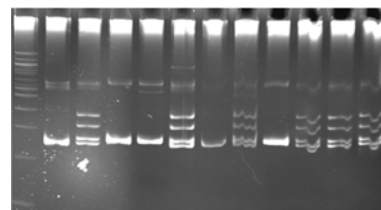


図 2、マッピングのための PCR 産物の電気泳動写真

ON1、ON2 および ON3 の近傍のマーカーの PCR の結果の一部を示した。バンドが 1 本の場合は日本晴あるいはカサラスのホモ、2 本（3 本）の場合はヘテロを示す。

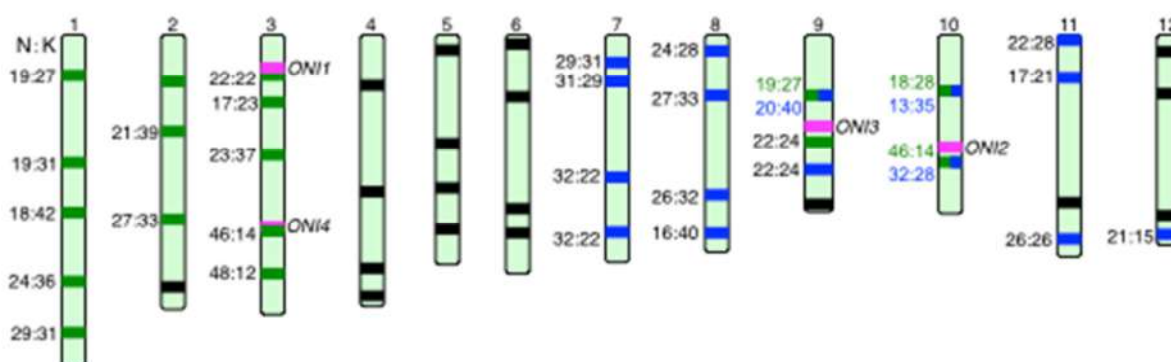


図 3、マッピングの状況

青：変異体#1 緑：変異体#2 黒：未調査マーカー、桃：既知の ONION 遺伝子 N:K：日本晴とカサラスの分離比、1～12：染色体番号

本研究によりこれらの突然変異体が新たな遺伝子の突然変異体であることが明らかになった。さらに、原因遺伝子が座乗する可能性のある染色体領域を半分程度に限定した。2 つの変異体が同一の遺伝子の突然変異体か異なる遺伝子の突然変異体であるかは不明である。原因遺伝子の同定を目指しさらにマッピングを続けることによりこの点も明らかになると考えられる。

◇今後の展望

これらの突然変異体の詳細な解析と原因遺伝子の同定、機能解析により、極長鎖脂肪酸による表皮分化の仕組みが明らかになることが期待される。

表皮は外部環境から植物体を保護するだけでなく、植物ホルモンの情報伝達でも重要な役割を果たしている。気孔を作る孔辺細胞や花粉を受容する乳頭細胞などの特異な機能を持つ細胞も表皮細胞である。このように、表皮は植物の生存に極めて重要な組織であり、その発生や機能発現の仕組みの理解は、植物の改良に必要な基礎的知見をもたらすと考えられる。

◇主要参考文献

- Akiba T et al. (2014) Organ fusion and defective shoot development in *oni3* mutants of rice. *Plant Cell Physiol* 55, 42-51
- Tsuda K et al. (2013) ONION2 fatty acid elongase is required for shoot development in rice. *Plant Cell Physiol* 54, 209-217
- Ito Y et al. (2011) Fatty acid elongase is required for shoot development in rice. *Plant J* 66, 680-688

Explore the Mystery of “Yamato Tamamushi”

Takeru Shinohara, 2nd grade, Shuyukan High School

Prof. Toshiya Hirowatari and Assoc.Prof. Satoshi Kamitani, Kyushu University

◇ Purpose and Background

It is said that “Yamato Tamamushi” *Chrysochroa fulgidissima* is the most beautiful Buprestid beetle. Its wings have been used on some ornaments such as Tamamushi Shrine located at Horyu-ji temple, and it has affected Japanese culture for a very long time. In recent years, however, the number of Tamamushi has been decreasing. Also, while its beautiful luster has been kept for over 1000 years, an adult of Tamamushi cannot live for a long time. Actually, at first they were able to live as short as one week when I was keeping them for research.



Thus, I thought that by focusing on mysteries that have not been solved, we would keep them alive longer during research and be able to preserve the habitat environment.

I started research when a junior high school student, and I have been researching it as an activity of biology club at high school. Regarding advanced contents such as electron microscope observation, I conducted observation at Global Science Campus.

◇ Material and Method

I learned basic information by investigating some documents, but I researched substantially by observing and making experiments while keeping them.

And in terms of the research of male and female discrimination among Tamamushi, which I made as main theme in this year, I researched by using the method below.

I made a first experimental equipment (Fig.1) that has a big column made of clear rigid PVC sheet and plates which divide the inside into three equal space. Then I put males, males and females into each space, and observed for an hour. However, I was not able to find out the tendency, therefore, I improved it. Ultimately, I made a second equipment (Fig.2) that has a big column made of black PVC sheet and a small column in it. Then I put males into the space between big column and small one, and observed for an hour again.

Fig.1



Fig.2-① clear



Fig.2-② black Fig.2-③ net



I presumed ①appearance, ②sound or vibration, or ③smell or pheromone to be the means for discrimination, and hence I made those division plates and small column by using ①clear rigid PVC sheet, ②black rigid PVC sheet, or ③a black net of a small mesh. I conducted 2 sets of experiments, using three kinds of division plate in first equipment, and conducted 3 sets of experiments, using three kinds of small column in second one. That is, I consequently did for 15 hours.

Also, as one of the investigation to clarify the difference of appearance, I observed ultrastructure of wings of male and female by using electron microscope.

◇ Results and Discussion

● Lifecycle

Five to 20 eggs were laid in a crack of a dead hackberry (Fig.3). After hatching, larvae of around 5 millimeters (Fig.4) went into the trunk. They grew for about three years, eating dead hackberry, then became pupae. The stretched wings just after molting was white, but about 2 days later, the color became blackish with luster (Fig.5).

The adults lived 2 to 4 weeks, eating leaves of hackberry. During mating behavior, a male was riding on a female (Fig.6). As for egg-laying, a female extended its ovipositor, searching a crack by using it, and laid eggs (Fig.7).



Fig.3 eggs



Fig.4 larvae after hatching



Fig.5 transformation



Fig.6 mating



Fig.7 egg-laying

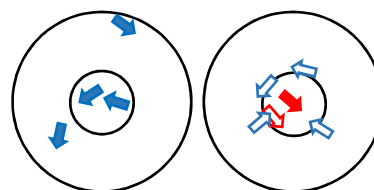


Fig.8 the schematic diagram of Fig.9

blue : males red : females
white : stuck to the net

● Male and Female Discrimination

In this experiments I found that they become more active and males approach females more often in equipment of ③net (smell or pheromone is much influenced) (Fig.8, Fig.9). At the moment, I can say that discrimination is

likely to be done by smell or pheromone.

However, there are still a few problems such as a shortage of individuals, the differences of the equipment, and the order of the experiments. Therefore, I should enhance the reliability of the data.

And, in electron microscope observation, I could not find out any differences in wing microstructures between males and females at 2000 × magnifications.



Fig.9 males' approaching females

◇ Prospects

Through experiments, I found many things that had not been found before. However, there are still some mysteries and problems. Hence I'd like to continue this research.

◇ Principal Reference

Ashizawa, S. (2006) "Tamamushi Lives Longer When the Environment is Bad – How to Keep Tamamushi", Tokyo Book Publishing Association

ヤマトタマムシの不思議を探る

福岡県立修猷館高等学校 2 年 篠原 健

担当教員：広渡 俊哉 教授・紙谷 聡志 准教授

◇ 研究の目的・背景

世界一美しい甲虫と言われるヤマトタマムシ。法隆寺の玉虫厨子をはじめとする装飾品にも用いられ、古くから日本の文化に関わってきた。だが、近年は開発にともなって個体数が減少しており、絶滅危惧種になっている地域もある。また、翅の輝きは 1000 年以上にわたり保たれるのに対し、成虫が生きられる期間は非常に短く、研究で飼育していても当初は 1 週間程度で死んでしまっていた。



そこで、これまで詳細に研究されてこなかったその生態を解明することにより、研究上での飼育環境の改善とともに、生息環境の保全なども可能になると考えた。

研究は中学生のときから始め、中学では個人の自由研究として、高校では生物研究部の活動として行っている。また、電子顕微鏡での翅の観察などの発展的な内容は、グローバルサイエンスキャンパスで行った。

◇ 材料と方法

基礎的な知識については文献を調査したが、そのほかの大部分については、飼育しながら実験や観察を行うことにより研究を進めた。

また、今年の主なテーマとした、タマムシ同士での雌雄の判別の研究については、以下のような方法で行った。

実験装置として、最初は透明な塩ビ板を円柱状に加工し、その中を三等分する仕切りを設置したもの(図 1)を作成した。そして、できた空間 3 カ所にオス、オス、メスを数匹ずつ入れ、行動を 1 時間観察した。しかし、傾向の把握が難しかったため、装置を改良した。改良では、外の塩ビ板を黒のものに変更し、その中に小さな円柱を設置した(図 2)。大きな円柱と小さな円柱の間にオスを、小さな円柱の中にオスまたはメスを入れ、行動を 1 時間観察した。

図 1 図 2-① 透明



図 2-② 黒 図 2-③ 網



判別の手段としては、①見た目、②音や振動、③においやフェロモンを仮定した。そのため、仕切りや小さな円柱は ①透明な塩ビ板、②黒い塩ビ板、③黒で目の細かい網で作った。改良前の装置での実験を、3 種類の仕切りで 2 セット、改良後の装置での実験を、3 種類の小さな円柱で、その中がオスのものとメスのものを同時に、3 セット、計 15 時間行った。

また、見た目の違いの有無の調査の一環として、電子顕微鏡による翅の微細構造の観察も行った。

◇ 結果と考察

● 卵から卵へのサイクルについて

卵は、エノキの枯れ木の裂け目などに数個～20 個程度産み付けられ(図 3)、そこから孵化した体長 5mm 程度の幼虫(図 4)は、枯れ木の中に潜り込んでいった。そこで枯れ木を食べながら数年間成長し、蛹になった。成虫が羽化した直後の伸びた翅は白いが、1～2 日の経過によって黒っぽくなり、光を反射するようになった(図 5)。

枯れ木から出てきた成虫は、エノキの葉を食べて 2 週間～1 ヶ月程度生存した。交尾はオスがメスの上に乗ることで行われた(図 6)。メスは産卵するとき、産卵管で割れ目を探し、見つけるとそこに産卵した(図 7)。



図 3：卵



図 4：孵化した幼虫



図 5：幼虫から成虫への変態



図 6：交尾



図 7：産卵管で割れ目を探すメス

● 雌雄の判別について

今回の比較実験では、内部が異なる 3 種類の装置のうち、

③の網の(においやフェロモンの影響が強い)装置において、活動が活発になり、オスがメスに近づくことが多かった(図 8・図 9)。よって、現時点では、においやフェロモンで雌雄判別を行っている可能性が高いと言える。

しかし、個体数の不足や装置の違い、実験の順番など、不十分な点もあるため、回数を増やしたり、装置を改良したりして、データの信頼性を高めることが必要である。

また、電子顕微鏡による翅の微細構造の観察では、倍率 2000 倍までに雌雄間での違いは見られなかった。これも、さらなる高倍率で比較をする必要がある。

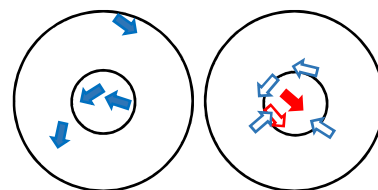


図 8：図 9 の模式図
青：オス、赤：メス、
白塗り：網に貼りついた個体



図 9：メスに近づくオス

◇ 今後の展望

これまでの実験で、様々な知られていなかったことがわかった。しかし、今回の雌雄の判別などの確実とは言えないことや、ほかの謎もあるので、研究を続けていきたい。

◇ 主要参考文献

◇ 芦澤七郎(2006)『タマムシは環境が悪いと長生きする-タマムシの飼い方』東京図書出版会 他

ナガコガネグモの嗅覚と味覚を探る

落合一翔（守谷市立守谷中学校 1 年）

担当教員：八畑 謙介先生（筑波大学）

◇研究の目的・意義

ぼくは、クモが糸を出して巣を作るというほかの虫などにはない特殊な生態に引かれ、もっとクモについてと知りたいと思い研究を始めた。

クモにおいては嗅覚器官の有無や構造がよくわっていないことに着目し、クモも人間と同じように嗅覚や味覚があるのか？もしあるなら好きな味やにおい・嫌いな味やにおいがあるのかを調べたいと思った。小学5年からナガコガネグモには嗅覚があるのかの検証をテーマで研究している。

これまで、ナガコガネグモに**嗅覚や味覚**が備わっているかという研究は発表されておらず、嗅覚や味覚の嗜好性が明確化されれば害虫駆除に貢献できると考える。

この研究のテーマ設定、実験計画、実施分析などは個人の研究として行い、グローバルサイエスキャンパスにて、さらに発展性を高めるための指導を頂いた。



図 1. 綿棒に糸を巻くナガコガネグモ

◇研究の方法・態度

実験対象は、茨城県常総市に生息するナガコガネグモ (*Argiope bruennichi*) のメスとした。フィールドでの実験のため、再現性を図るために実験を行う前日にショウリョウバッタ 1 匹をエサとして、クモの巣にかける。20～24 時間以内に、各食材を綿棒の先の部分に付け、そとクモの巣に張り付け行動を観察した。

今回は去年の研究で変わった反応が見られた 4 種類の食材と対照用の何もつけていない綿棒を使用し、行動を点数化した。(図1)

1 つの食材に対し 20 匹のナガコガネグモを使用した。(80 匹使用し、2 回目を使用する場合は 7 日期間を空けて実験した)

(実験 1) 植物系油脂として、オリーブオイルとなたね油を使用した。

(実験 2) 動物系油脂として無塩バターとマーガリンを使用した。

(実験 3) なにもつけていない綿棒を使用した。



図 2 行動点数基準

植物系油脂のオリーブオイルは無反応が多く見られた。なたね油は、無反応が多く見られたが、落とす、近づく、食べるなどの行動が観察された。

においのない綿棒は、無反応や落とすなどのゴミと同じような行動が見られた。

Figure 1: Box plots showing the distribution of reaction values for different categories. The y-axis represents the reaction value (反応値) from 0 to 5. The x-axis represents the category (種類).

Plot 1: Olive Oil vs. Rapeseed Oil

種類	反応値 (Box Plot Data)	反応値 (Outliers)
オリーブオイル	Min: 0, Q1: 0, Median: 0, Q3: 0, Max: 0	2.0
なたね油	Min: 0, Q1: 0.2, Median: 0.5, Q3: 0.6, Max: 1.0	2.0, 4.0

Plot 2: Salted Butter vs. Margarine

種類	反応値 (Box Plot Data)	反応値 (Outliers)
無塩バター	Min: 0, Q1: 0, Median: 3.0, Q3: 4.0, Max: 4.0	None
マーガリン	Min: 0, Q1: 0, Median: 0, Q3: 2.0, Max: 4.0	None

Plot 3: Cotton Swabs without odor

種類	反応値 (Box Plot Data)	反応値 (Outliers)
においのない綿棒	Min: 0, Q1: 0, Median: 0, Q3: 0, Max: 0	1.0, 2.0

◇今後の展望

◇主要参考文献

10

塩ストレスで光合成活性はどのようにかわるだろうか

増田 優（さいたま市立大宮北高等学校 2年）

担当教員：是枝 晋（埼玉大学 科学分析支援センター 講師）

◇研究の目的・意義

2011年3月11日に発生した東日本大震災による津波被害を受けた学校では、校庭の土壌に高濃度の塩分が含まれ、植物栽培が難しくなった場所が多かった。岡(2014)は、津波被害地域の小学校支援を目的として各種教材植物を、0.1~3.4%の塩化ナトリウムを含む土壌で2ヶ月間育て、耐塩性を乾物重量により比較した。その結果、ヒマワリに比べヒヤクニチソウは比較的耐塩性が高いこと報告した。このことを光合成の観点から確認するため、クロロフィル蛍光測定法により光合成活性を比較した。

◇研究の方法・態度

材料は、比較的栽培が安易で耐塩性の比較的低いヒマワリと比較的高いヒヤクニチソウを用いた。播種後人工気象装置内で1ヶ月育てた両植物を、1.3 Lポットに人工培養土を入れて3鉢ずつ用意し、C:ストレスをかけないもの(ホグランド培養液 100 ml を毎日与えた)、S1:弱い塩ストレスをかけたもの(50 mM NaCl を含むホグランド培養液 100 ml を2日に1回与えた)、S2:強い塩ストレスをかけるもの(200 mM NaCl を含むホグランド培養液 100 ml を2日に1回与えた)の3種類に分け、1週間生育した。クロロフィル蛍光解析(PAM2500, Walz 社)を用いて各個体の本葉第1葉から第3葉までを測定し、①Fv/Fm(最大量子収率)、② ϕ II (実効量子収率)、③qP(光化学消光)、④NPQ(非光化学的消光)をそれぞれ比較した。各パラメーターの計算方法は、園池(2006)を参考にした。なお、200 mM NaCl は1.2% (w/w)に相当する。

◇考察と成果

①Fv/Fm(最大量子収率)

Fv/Fm とは、光化学系 II で最大どのくらい効率的に光エネルギーを変換するかという指標になる値で、健康な陸上植物の場合 Fv/Fm の値は 0.80~0.83 の値をとる。図 1 に Fv/Fm の測定結果を示す。ヒマワリの第 1 葉の値がわずかに低いのは老化が進んでいたためかも知れない。ヒヤクニチソウの値が全体的に低いのは、もともと低めの値をとる種である可能性が考えられる。しかし、いずれの種でも塩ストレスによる顕著な影響は見られないため、どの個体も光化学系 II 自体は健全であると考えられる。

② ϕ II (実効量子収率)

ϕ II とは、ある一定の励起光が当たっている状態での電子伝達の量子収率で、 ϕ II の減少は、電子伝達が何らかの原因で低下している可能性を示す。図 2 によると、 ϕ II は、ヒマワリでは最も若い葉(第 3 葉)で大きく低下した。ヒヤクニチソウでは最も古い葉(第 1 葉)だけで塩ストレスでわずかに低下する傾向があったが、その他の葉では塩ストレスによる顕著な影響は見られなかった。ヒマワリの方がより塩ストレスに影響を受けやすいこと、ヒマワリでは若い葉が、ヒヤクニチソウでは古い葉が、主に塩ストレスの影響を受けることがわかった。

③qP(光化学消光)

qP は光化学系 II の Q_A の酸化状態に応じた値で、光化学系 II の下流に異常があると低下する。図 3 によると、ヒマワリは全体的に塩ストレスにより低下する傾向があり、特に第 3 葉においてその傾向が顕著だった。これは、光化学系 II の下流、例えば、電子伝達や ATP 合成、カルビン-ベンソン回路が滞っている可能性を示している。ヒヤクニチソウでは第 1 葉、第 2 葉を見る限り塩ストレスによる顕著な影響は見られなかった。(ヒヤクニチソウの S2 の第 3 葉は誤ってデータを消失させてしまった)

④NPQ(非光化学的消光)

NPQ は、光エネルギーが熱として放散される量の指標となる。一般に、植物は熱放散を、必

要以上に吸収した光エネルギーを安全に逃がす安全弁として利用する。図4に示す通り、ヒマワリでは最も若い葉(第3葉)で、ヒャクニチソウでは最も古い葉(第1葉)で、塩ストレスによるNPQの上昇が顕著だった。

ϕII の低下の原因として、ヒマワリでは熱放散の上昇と光化学系IIより下流での滞りとの両方が関わっている一方、ヒャクニチソウでは熱放散の上昇だけが関わることが分かった。

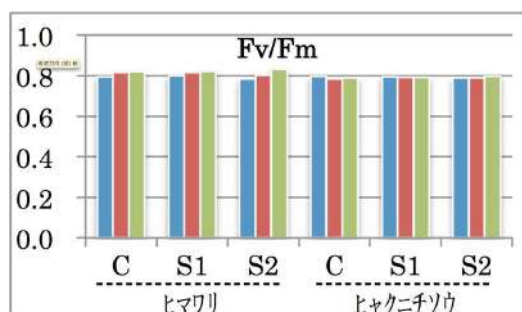


図 1

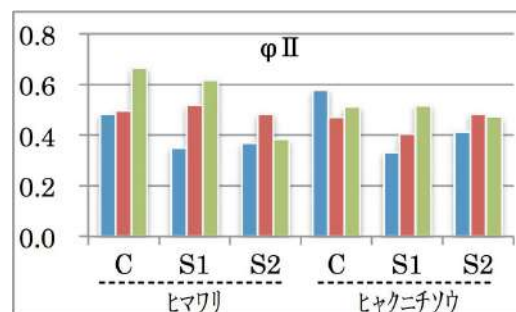


図 2

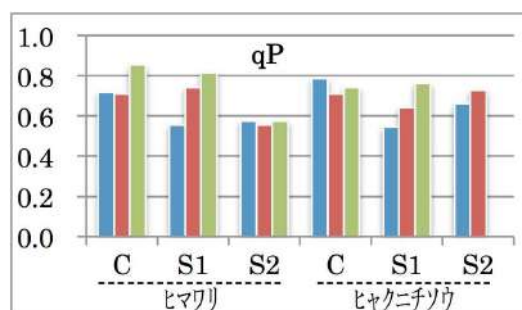


図 3

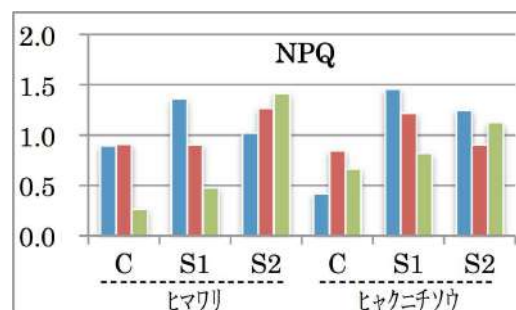


図 4

C: ストレスなし、S1: 50 mM NaCl による塩ストレス、S2: 200 mM NaCl による塩ストレス

■ 第1葉 ■ 第2葉 ■ 第3葉

◇今後の展望

今回の実験で、塩ストレスの影響による光合成活性の変化はわづかだった。与える塩濃度をもっと高くする必要があるかも知れない。しかし、図6と図7(C、S1、S2)に示すように、生長は両



図 6 ヒマワリ



図 7 ヒャクニチソウ

種とも1週間の塩ストレス処理で抑制されていた。今回見つけられなかった光合成の異常があるか、もしくは光合成自体は正常に機能しているが作られた有機物を正常に利用できない可能性も考えられる。

今後はそれらを確認するために、葉の長さの測定など成長解析を行うと同時に、クロロフィル量の測定や、光化学系II以外の機能を調べる実験を行いたいと思う。また、耐塩性が強いアイズプラントを使ってCAM植物の光合成の仕組みを調べ、逆説的になぜヒマワリやヒャクニチソウは塩濃度の高い土地で生育できないかを研究したいと思う。

◇主要参考文献

- 1) 岡 正明(2014) 津波被害地域の小学校支援を想定した代表的教材植物の耐塩性、宮城教育大学 教育復興支援
- 2) 園池 公毅(2006) パルス変調クロロフィル蛍光測定におけるデータの解釈、日本光合成研究会会報第42号 p. 7-12.

カラスはヒトの視線を気にするのか

発表者名 宇都宮中央女子高校 星野成美

担当教員 宇都宮大学農学部 竹田努

○研究の目的・意義

東日本大震災の津波被害により人が入らなくなった建物のガラス被害の対策の相談を受け、安価な対策として「カラス侵入禁止」と書かれた貼紙を窓枠などに掲載した（図 1）ところ、建物の管理者からカラスの侵入が減少したようだとの報告を受けた。当初、貼紙による効果は、掲載内容の奇抜さから多くのヒトに関心を持ってもらい、人の視線を侵入経路に向けることを狙ったものであった。そこで、カラスがヒトの視線をどの程度認識しているのかを検討してみることを本研究の目的とした。

○研究の方法・態度

本研究の実験は、ヒトの幾つかの動作に伴う視線に対してカラスがヒトの視野から逃れようとするかを評価することとした。実験は宇都宮大学構内の屋外に設置された飼育小屋を利用した。小屋は2×2.5×7.5mの金属メッシュの3棟連結ケージで、両端の2棟には各2本の止まり木が両隅に設置されており、飼育されている全個体が止まり木に十分に留まることができるになっている。この小屋は通常、捕獲したカラスを研究目的で維持管理するために設置されている。今回の実験に用いたカラスは、事前に栃木県真岡市の宇都宮大学農学部附属農場付近の箱罾で捕獲したハシブトガラス10羽である。実験実施は2015年12月24日9時から12時までのヒトの通りが少ない時間帯に行った。まず、小屋内に動作者として1名の成人男性が入り、3棟連結ケージの中央に立ち、小屋外にいるタイムキーパーが30秒ごとに動作内容を指示し、6項目の動作を行った。なお、タイムキーパーは小屋の横に停めた軽トラック内で小屋方向を見ないようにし、記録を行った。6項目は、飼育小屋の東を表向き立ち、西を裏向き立ち、南を右向き立ち、北を左向き立ち、表向き立ちで読書と携帯操作の動作を、30秒間ずつランダム順に行うのを1施行とし、計5試行を行った。読書と携帯操作以外の動作では動作者は頭を正面上向きにし、視線は止まり木の高さに留め、読書と携帯操作の場合は本や携帯をうつむき気味に見る動作を示した。そして、カラスの行動を記録するため、動作者の真上である3棟連結ケージの中央の天井にカメラを取り付けた。カメラは360視野カメラ（PIXPRO SP360 Kodak）（図2）を使用し、Wi-Fi操作で記録を行った。（図3）本研究では、この実験を実施する前に宇都宮大学工作実験棟の飼育小屋で1羽のみで同様の実験を行った。しかし、他の鳥類が飼育されている小屋が周囲に隣接しており、正確なデータが取れないとして、他の鳥類と比較的距離がある位置に設置されている3棟連結ケージを利用し、そこで飼育されていたハシブトガラス10羽で本実験を行った。



図1 掲載された貼紙



図2 360 視野カメラ (PIXPRO SP360 Kodak)

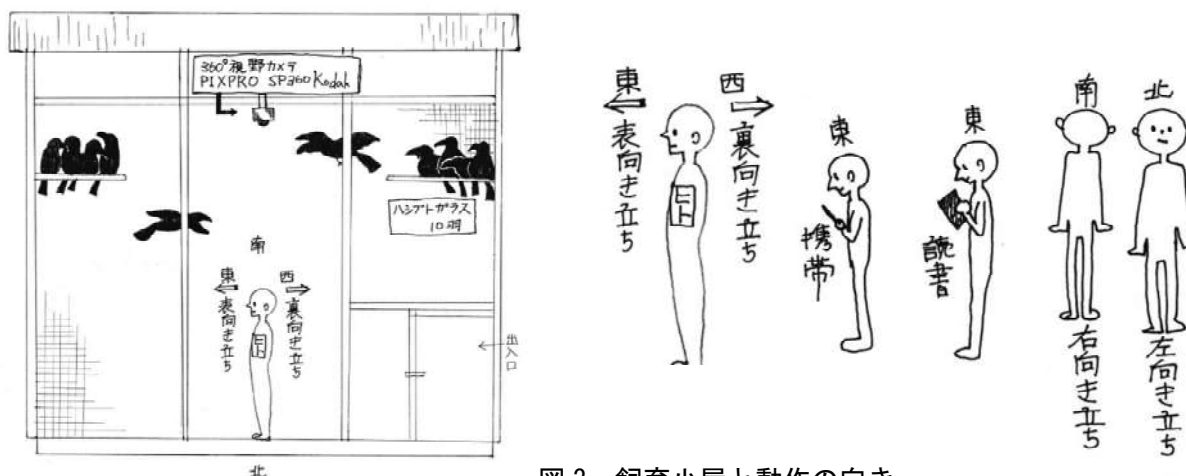


図3 飼育小屋と動作の向き

○考察と結果

図の平均移動羽数は、表向き立ちの方向である東側の棟の止まり木に、各動作 30 秒間×5 試行で約何羽のハシブトガラスが留まっていたか平均したものを表している。図を見るとわかるように、表向き立ちと裏向き立ちでは有意な違いが見られた。動作者が表向き立ちをしているときは西側の止まり木に 2 羽以下が留まる程度であり、逆に裏向き立ちをしているときはほとんどのハシブトガラスが東側の止まり木に留まっていることから、ハシブトガラスは動作者の視線から外れた裏側へと移動していることが分かった。一方、読書と携帯操作では多重分散分析による有意差は見られなかったものの、動作者が表向き立ちと同様の東側を向いているにもかかわらず、若干駐留している羽数が増加した。表向き立ちと読書・携帯操作の違いは視線の位置である。つまり、これらのことから、体の方向だけでなく、視線の方向をガラスが気にしていることが示唆された。(図3)

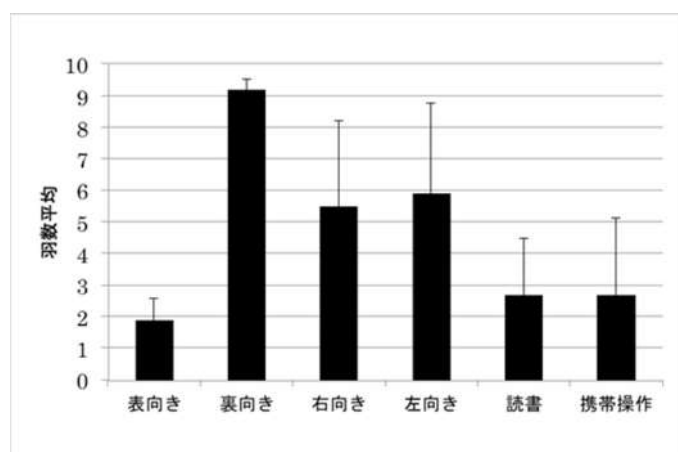


図3 動作に対するハシブトガラスの平均移動羽数

○今後の展望

本研究は実施期間が短く、また実験数が少ないことから「ガラスはヒトの視線を気にする」ということはまだ証明できない。また、今回使用したハシブトガラス 10 羽の中には成鳥と若鳥の両方が存在していた。ガラスの若鳥は群れを作る習性があるが、成鳥は群れず、つがい関係を築いて暮らす習性がある。つまり、成鳥のガラスが群れることは通常ないため複数個体が存在する状況で行われたこの実験結果は正確なデータではないかもしれない。自然の中で暮らしているガラスと同じように、若鳥は群れている状態で実験を行い、成鳥はつがい関係のある状態か 1 羽のみで実験を行うことで、今後より正確なデータを得ることができると考えられる。

硬骨魚における好適環境水の優位性

佐藤 荘志 加藤 雅貴 鈴木 智也 (福島県立福島高等学校 2年)

担当教員 細谷 弘樹

◇研究の目的・意義

私達はこれまで好適環境水を用いた海水魚の完全陸上養殖に向けた研究を行ってきた。

好適環境水とは、塩化ナトリウム・塩化カリウム・塩化カルシウムを主成分とした浸透圧が魚の体液と等張な養殖水のことである。

研究の結果、好適環境水下では魚の浸透圧調節の必要がないために消費エネルギーが節約されることで、海水と比べて、溶存酸素消費量の減少(図1)、ストレス(Hsp70)の発現量の減少(図2)、塩類細胞の開口部が閉じていること(図3)が証明された。

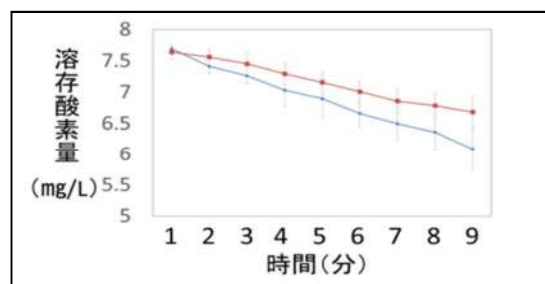


図1 溶存酸素量の経時変化

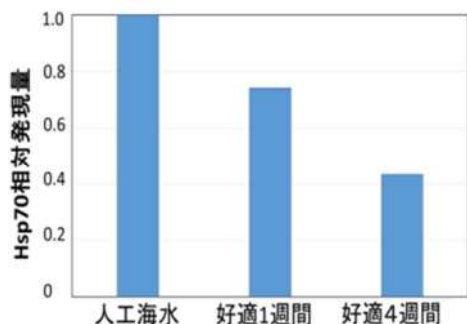


図2 Hsp70の相対発現量

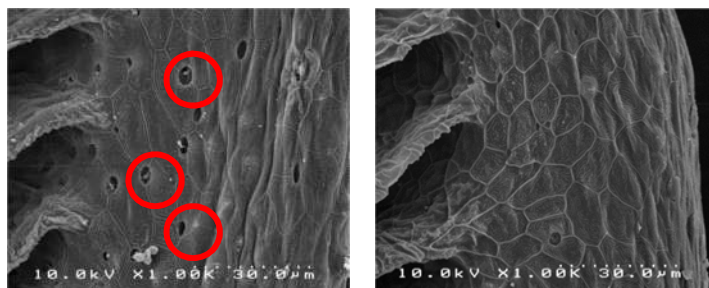


図3 走査型電子顕微鏡の画像

(左：人工海水, 右：好適2週間)

その結果を受けて、浸透圧のみが魚の成長に影響を与えるのならば、魚の体液と等張な人工海水でも同じ結果が得られるのではないかと、また好適環境水下で Hsp70 の発現量が減るならば、ストレスが原因であるマダイの体表の黒ずみが好適環境水下で回復するのではないかと仮説を立てて成長量、体表の色の变化を調べる実験を行った。

しかし、最初、成長量の変化を調べる実験では給餌量が少なかったため思うような結果が得られなかった。そこで、今回は給餌量を増やし、再度魚の成長量の変化を調べる実験を行った。なお、この研究は主に学校で行い発展的内容を東北大学の科学者の卵でメンターの方々にアドバイスを頂いて行った。

◇研究の方法・態度

実験①

人工海水(50%)で飼育したマダイ、人工海水(25%)で飼育したマダイ、好適環境水(人工海水25%と同じ浸透圧)で飼育したマダイを3日間ごとに全個体の体重を量り比較した。しかし、給餌量のみを、前回の実験を受け、1%から3%に変更した。



図4 実験① 結果

実験②

実験①において体重を量る際にそれぞれ個体の写真を取り、画像から色、明るさの値を算出し比較した。

※ 実験①、実験②ともに、給餌量、水温、水槽の体積を等しくし、条件を整えた。

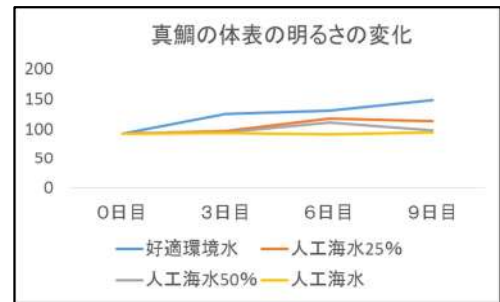


図5 実験② 結果

◇考察と成果

実験①同じ浸透圧の海水より体重の増加の割合が大きい。

実験②体表の黒ずみが早い段階でなくなる。

塩化ナトリウム
塩化カリウム
塩化カルシウム

↓

いずれかの物質の濃度が影響

実験① 濃度調整に使うエネルギーの他、成長を促進させる物質が多い。

実験② 生体内過酸化が抑制され、生体内の活性酸素が減少すると考えられる。

また、実験②の成果として海水で育てたマダイなどの魚の生体内過酸化が原因の黒ずみを好適環境水で飼育することで回復することができることがわかった。

◇今後の展望

- ・ 今回の実験を受けて、成長を促進させる物質が、インスリン様成長因子に注目して、海水と好適環境水での発現量の違いを調べる。
- ・ 陸上養殖に向けた魚の排出物（おもに硝酸イオン）を浄化するために植物と共生させる。（アクアポニックス）

課題

- ・ 植物の主要な栄養素である、カリウムイオン、カルシウムイオンが吸収されることによって好適環境水の正確な成分濃度が維持できなくなる。よって、植物(トマト)のカリウムイオン、カルシウムイオンの吸収量を測定し、調整に必要な好適環境水の成分量を算出する。また、硝酸イオンの吸収量を測定し、水質の維持に必要な植物の量を探る。
- ・ マダイの体内の活性酸素を計測し、比較する。また、活性酸素除去酵素や、抗酸化物質の量の測定。

◇主要参考文献

大黒トシ子：魚の環境適応，海青社，1995.

金子豊二：キンギョはなぜ海がきれいなのか？，恒星社厚生閣，2015.

矢田貞美：養殖・蓄養システムと水管理，恒星社厚生閣，2004.

キーワード：マダイ，抗体染色法，塩類細胞，溶存酸素量，鰓弁

植物ホルモンのジベレリンとオーキシンが花粉管に与える影響

大輪 奏太郎 筑波大学附属駒場高等学校 1年

佐藤 忍先生

研究の目的・意義

私は植物ホルモンにとっても興味を持っている。勉強するうちに花粉に対する植物ホルモンの作用が教科書・参考書に記載されていなかったもので、花粉は植物ホルモンの影響を受けているのかと疑問に思った。調べてみると、ジベレリンは花粉管伸長を促進すると書いてある文献もあれば、ジベレリンを与えると花粉管伸長が抑制されると書いてある文献もあった。ジベレリンは種無しブドウの生産によく使用されているが、その作用メカニズムは未だ不明な点が多く、花粉管伸長に対する効果もよく分かっていない。促進と抑制どちらも起こりうるというのが興味深かったため、本研究では、植物ホルモンと花粉の関係について明らかにすることを目的とした。

花粉の性質・測定手法

・スクロースを与えると花粉の発芽（花粉管が伸長しはじめ、花粉から花粉管が出てくること）、花粉管の伸長が盛んに起こる。この花粉管の伸長を顕微鏡で観察した。

・花粉の発芽率は「発芽した花粉数／観察した全花粉数×100 (%)」で示す。

・花粉の散布密度により発芽率が異なると書いてある文献がある。そこで今後の実験を進めるうえで花粉の散布密度の差による結果の差が出てしまうことを防ぐための予備実験を行った。アフリカハウセンカの花粉を使用した結果、密度が高いほど発芽率が高いが他の複数の花粉と接しているなど過度に密度が高いと逆に発芽率が低くなるということが分かった。この結果を受けて、今後の実験では他の花粉と接していなく、かつ一番近い花粉との距離が 50 μm 以下（花粉の長さ＝約 50 μm 弱）の位置にある適度に密度の高い条件下にある花粉を測定対象と定めた（図 1）。

測定手法

- ・ヤブツバキの同じ花から採取した花粉を用いた。これは花粉の質を揃えるためである。
- ・測定の時間は結果に影響が出ない時間の範囲内で行った。
- ・図 1 の条件の花粉において発芽率を測定した。
- ・花粉管の長さについては、線上に固めて花粉をまいて伸長した花粉管の長さを測定した。

仮説

ジベレリンを与えると花粉管伸長の促進、抑制どちらも起こりうるということから、「花粉管伸長はジベレリン濃度の違いによって制御されている」のではないかと考えた。

実験方法 それぞれの実験には寒天培地(スクロース濃度約 10 %)を用いた。それぞれの条件の区間を 3 つずつ用意し、発芽率の平均値及び標準偏差を得た。ジベレリンは、種無しブドウの育成等の産業に利用されている GA₃ を用いた。オーキシンは、天然のオーキシンであるインドール酢酸が不安定で保存しにくいので、安定で入手しやすい 2,4-D を用いた。濃度の異なるオーキシンとジベレリンを組み合わせで与えた。オーキシンの溶媒はエタノールであるためオーキシンを加えていない対照区では 30 μl エタノールを加えた。培地に花粉を撒いて 40～45 分後に発芽率を、20 時間後に長さを測定した。花粉はアフリカハウセンカを使用した。



花粉管 ↑

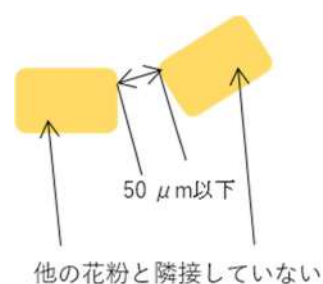
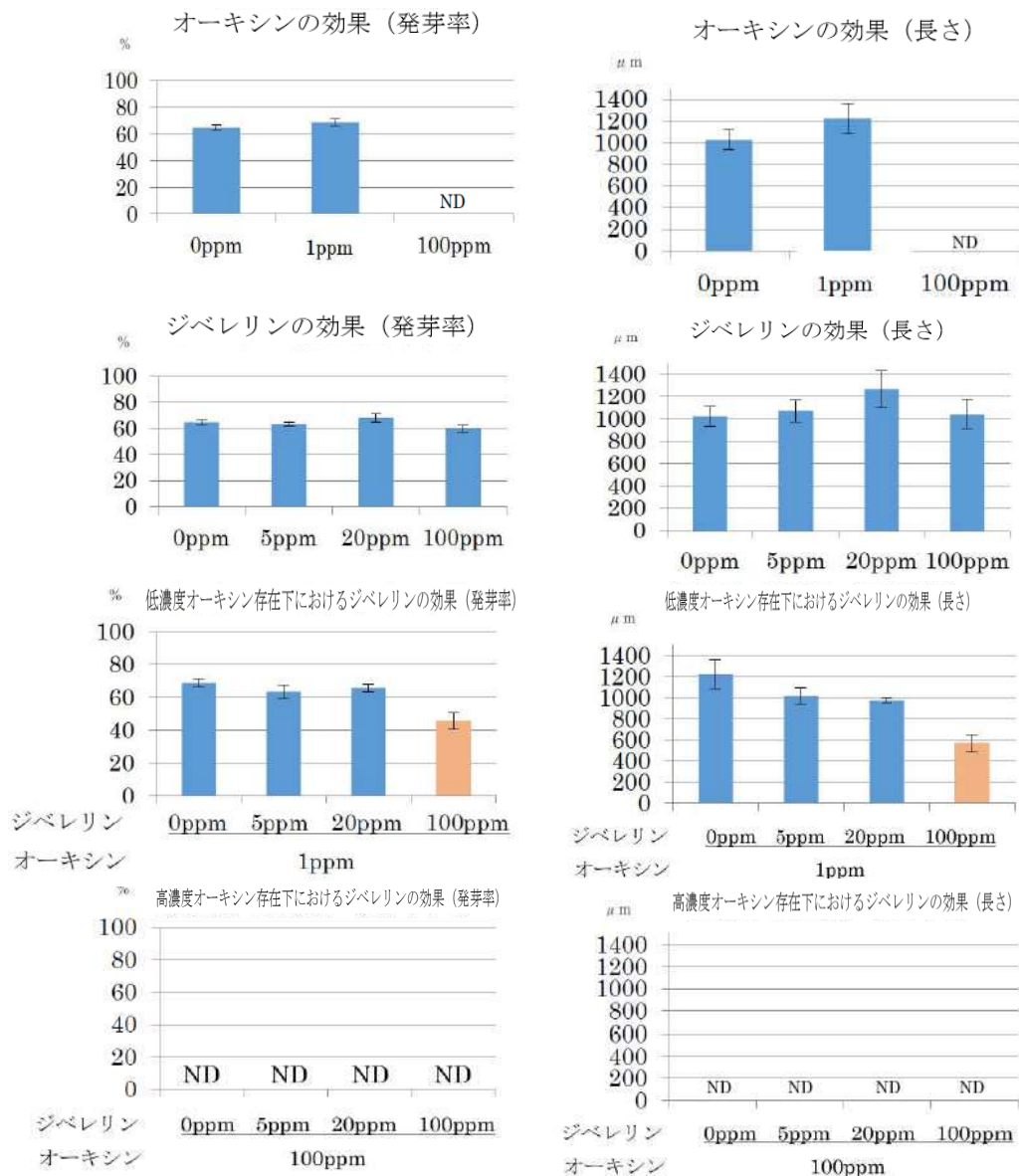


図 1 観察対象に選んだ花粉

結果



高濃度のジベレリンのみを与えた場合では、発芽率や花粉管の長さは通常条件と大きな差はなかったが、低濃度のオーキシン存在下ではジベレリンを高濃度与えると抑制がみられた。

考察 以上より、花粉に含まれている（人為的に与えたものも含む）オーキシンの量によって、ジベレリンの影響の出方も変わると考えられる。同じ種類でも花の状態によって花粉へのホルモンの影響の出方、影響の大きさが違ったのはこのためかもしれない。また、内生オーキシンの量によっては、ジベレリンが花粉の発芽、伸長を促進することがあるかもしれない。

今後の展望 植物ホルモンを外から与えるだけではホルモン本来の働きが分からないので、植物ホルモン合成阻害剤等を使った実験を計画している。また、めしべに付けた花粉の発芽や花粉管伸長に対する植物ホルモンの影響も調べていきたい。最終的には、花粉の性質の一端を明らかにし、ブドウ以外の種がない作物の作成等を試みたい。

主要参考文献：植物の生殖についての指導の工夫 (<https://gen1.open.ed.jp/data/51556/01.pdf>)、日本植物学会 (<http://link.springer.com/article/10.1007/s10265-013-0623-x>)、

絵を見てできる生物実験 岩波洋造、森脇美武 講談社 p90, 91

ミシシippアカミミガメ類の遺伝学的研究

新井 隆太 (栃木県立佐野高等学校 2年) *発表者

関 拓洋 (栃木県立佐野高等学校 3年)

担当教員 松田 勝 (宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター 教授)

青柳 育夫 (栃木県立佐野高等学校 主幹教諭)

◇研究の目的・意義

外来種ミシシippアカミミガメ (*Trachemys scripta elegans*) は、現在、飼育目的で輸入された個体が全国各地で繁殖しており、生態系などに被害を及ぼすことが懸念されている。このような状況を受け、環境省は平成27年3月、「外来種被害防止行動計画」において、本種の輸入・販売を規制するための法整備を段階的に進めるという方針を示したほか、同年7月、野外への本種の大量遺棄の防止や、野外における防除などを総合的に実施していくための「アカミミガメ対策推進プロジェクト」を公表し、外来生物法に基づく「特定外来生物」への指定を検討するという方向性を示した。しかし、法整備を進める上で極めて重要な、本種そのものに関する基礎的な研究は、我が国では全くと言ってよいほど行われていなかった。

佐野高校科学部では、平成20年度から、本種の生態を究明するための研究を行ってきた。また、昨年度からは、地域ごとの成長速度の差異や、体内のホルモン分泌に関する調査の一環として、栃木県佐野市に分布する個体と千葉県野田市に分布する個体の遺伝的変異について研究を行ってきたが、研究の過程で、本種の個体の一部に、亜種であるキバラガメ (*Trachemys scripta scripta*) とよく似た塩基配列を持つものがいたことから、今年度は2亜種間の遺伝的変異を明らかにすることを目的とした研究を行った。

試料の捕獲、計測、臓器サンプルの採取は、佐野高校科学部の活動として行い、DNAポリメラーゼを用いたDNAの増幅や、次世代シーケンサー(NGS)を用いた遺伝情報の解明などは、宇都宮大学グローバルサイエンスキャンパス事業(iP-U)の一環として行った。

◇研究の方法・態度

I. 試料

栃木県佐野市および千葉県野田市に生息するミシシippアカミミガメを、活動が活発になる3月下旬から9月上旬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、体重など)を計測した。その後、過度の麻酔(ペントバルビタールナトリウム5%水溶液を体重100gあたり5ml皮下注射)により安楽死し、採血および諸器官(眼球、松果体、生殖腺、肝臓、副腎、甲状腺、尾など)の摘出・採取を行い、それぞれ重量を計測した後、それらの一部を70%アルコールの入ったスクリー管内で試料として保存した。

II. 遺伝的解析

採取したミシシippアカミミガメの肝臓や尾や生殖腺と、別途入手したキバラガメ数個体の尾を用いて、宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センターで、遺伝情報の詳細な分析を行った。2種のmtDNAの塩基配列のデータ(参考文献[1])を比較して、多型が見られた領域を増幅するためのプライマーセットを設計し、サーマルサイクラーでPCRを行い、塩基配列を決定した。得られた塩基配列のデータをもとに、各々の個体がどの程度他の個体と類似しているのか、多型の部分を比較することで、2種間におけるmtDNAの塩基配列の比較と

解析を行った。また、より詳細な DNA 解析を行うため、核 DNA (nDNA) 中にあるマイクロサテライトを増幅し、nDNA を調べた。さらに、NGS を用いて、mtDNA の全塩基配列を決定した (16611bp)。

◇考察と成果

① 2 種間における mtDNA の塩基配列の比較と解析

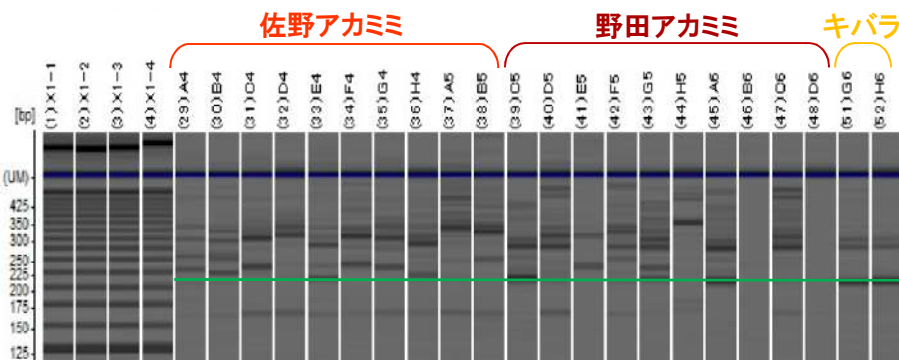
2 種の塩基配列のデータで多型が見られた 24 か所の塩基を各個体で比較し、同一の場合は 0、相違である場合は 1 として数値化した。表 1 では、それらの塩基の変異を数え (Max=24、Min=0)、数値が小さい (= 同一の塩基の数が多い) 場合はセルの色を濃く、数値が大きい (= 同一の塩基の数が少ない) 場合はセルの色を薄く表示した。この表から、佐野と野田のミシシippアカミミガメの個体間には塩基の大きな相違は見られないことや、キバラガメの 1 個体 (Kiba1) の塩基配列は、佐野や野田のミシシippアカミミガメの個体と類似していることが読み取れる。

		キバラ			アカミミ												野田			
		scri	Kiba2	Kiba1	ele	SanoA	SanoB	No.7	No.8	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	NodaH	NodaI			
ミシシippアカミミガメ	キバラ	scri	2	18	18	19	17	18	18	18	19	18	18	17	18	21	19			
		Kiba2	2	18	18	19	17	18	18	18	19	18	18	17	18	21	19			
		Kiba1	18	18	2	3	1	2	2	2	3	2	1	2	3	4	2			
	佐野	ele	18	18	2	3	1	2	2	2	1	2	1	2	5	1				
		SanoA	19	19	3	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	4	2			
		SanoB	19	19	3	3	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2			
		No.7	17	17	1	1	2	2	1	1	1	2	1	0	1	4	2			
	野田	No.8	18	18	2	2	3	1	1	0	0	3	0	1	0	3	3			
		No.1	18	18	2	2	3	1	1	0	0	3	0	1	0	3	3			
		No.2	18	18	2	2	3	1	1	0	0	3	0	1	0	3	3			
		No.3	19	19	3	1	2	2	2	3	3	3	3	2	3	4	0			
		No.4	18	18	2	2	3	1	1	0	0	0	3	1	0	3	3			
		No.5	17	17	1	1	2	2	0	1	1	1	2	1	1	4	2			
		No.6	18	18	2	2	3	1	1	0	0	0	3	0	1	3	3			
		NodaH	21	21	3	5	4	2	4	3	3	4	3	4	3	4				
		NodaI	19	19	3	1	2	2	2	3	3	3	0	3	2	3	4			

【表 1】 mtDNA の一部 (1,454 塩基) の比較

② マイクロサテライトの増幅による nDNA 解析

増幅させたマイクロサテライトを MultiNA (島津製作所) で解析し、得られたバンドパターンを比較した。図 1 は、nDNA の長さの多型パターンを示したものである。キバラガメに特異的なバンドパターン (図中に緑線で示した) が、日本で繁殖しているミシシippアカミミガメにも検出されているため、佐野や野田の河川では、2 種のハイブリッド個体が生まれている可能性が示唆される。



【図 1】 増幅させた nDNA のマイクロサテライトのバンドパターン

◇今後の展望

今回の調査では、様々な方法で、mtDNA および nDNA の解析や、ミシシippアカミミガメとキバラガメの塩基配列の比較を行うことができた。今後は、実験に利用する個体数を増やし、2 種の進化の過程やその分かれた道筋をより詳細に分析したいと考えている。

◇主要参考文献

- [1] Yu,D., Fang,X., Storey,K.B., Zhang,Y. and Zhang,J. 2014. Complete mitochondrial genomes of the yellow-bellied slider turtle (*Trachemys scripta scripta*) and anoxia tolerant red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*). Mitochondrial DNA, Dec 26, 1-2.
- [2] Xin,C., Yu,D., Peng,J., Hu,H., Xing,Y., and Liu,X. 2012. Ten polymorphic microsatellite loci developed from the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*). Journal of Genetics, 91, 100-102.

擬似微小重力環境下におけるトマトの成長

高瀬 由杏（國學院高等学校 2年）
担当教員 横谷（富田）香織先生（筑波大学）

◇研究の目的・意義

これまで私が3年間行ってきた擬似微小重力環境におけるスプラウトの生育実験で、擬似微小重力環境は、植物の成長や茎と葉の形態に変化を与えることを観察し確認してきた。これは、茎と葉の間でエネルギーの配分が、擬似微小重力環境で変化したことによる可能性があるという仮説を立てた。当時調べた先行研究の中で、富山大学の神阪盛一郎が代表研究者を務めた「微小重力環境における高等植物の生活環（Space Seed）」研究（2009）において、シロイヌナズナが宇宙の微小重力環境下で、正常な生活環（種子の発芽から結実採種まで）を完了できることを知った。では、日頃口にしている果実を作る作物も生活環は完成するのかについて興味を持ち注目した（図1）。重力環境の変化が果実の生育にどのような影響があるのか、果実を作り種子を採取出来て生活環が完了するかどうかについての詳細はまだ分かっていない。2030年代には有人火星探査が予定されている今、人間が宇宙に長期滞在する時の食料の確保は大きな課題となる。本研究は、矮性のトマト種を実験材料として用い、微小重力環境下で果実を作る作物の生活環を成立させるための基礎研究として、自作の2軸クリノスタットで作出した擬似微小重力環境が矮性トマトの成長過程にどのような影響を与えるのかを、まず詳細に検証した。



図1 果実を備える作物の生活環(例:矮性トマト)

◇研究の方法・態度

生物材料として、筑波大学遺伝子実験センターより提供を受けた矮性品種マイクロトムを発芽させ、本実験に用いた。栽培の様子を図2左写真に示す。栽培環境は25～28℃に保つため、温室（冬季：サーモスタット付ヒーター利用、夏期：保冷材利用）を使用した。栽培環境内の空気の循環を行うために、小型送風機を使用した。7：00から23：00の16時間LEDライトによる光照射を行った（赤色LED8灯：620 nm、青色LED3灯：465 nm）。培土として固形土培地（みのる産業、元肥の固形肥料入）を用いた。毎朝50 mLの水と週に1回の液肥50 mLを、地上対照（1G環境）および擬似微小重力環境（ μ G環境）各A、B2グループで栽培したポットに与えた。3Dクリノスタット（自作）は縦軸回転枠、横軸回転枠、ターンテーブル2個（充電電池、1.3回転/分）、LEDライト（ブレッドボードにLED電球11灯、充電電池）を使用した。植物の高さ、収穫時の実の重さ、直径、個数、種の個数を観察項目とし、目視、あるいは定規およびノギスを用いて計測した。成長過程の茎や葉の形態と実の断面の観察も行った。

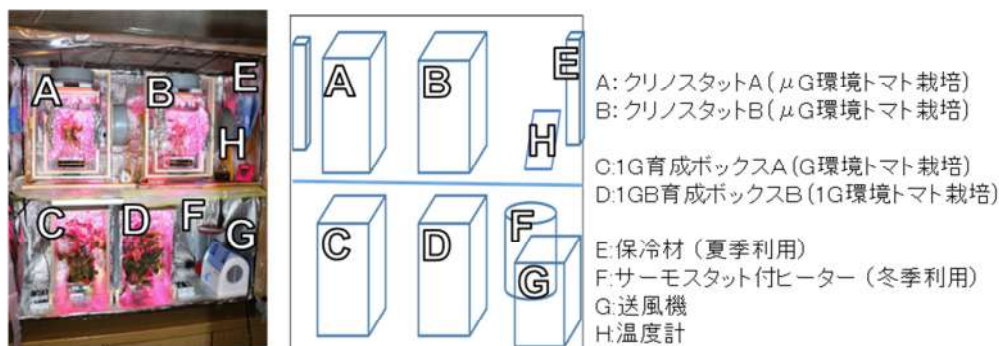


図2. 実験装置の写真(左)と各場所の説明を示すイラスト(右) 1G: 地上対照重力環境 μ G: 擬似微小重力環境

◇考察と成果

植物が成長するためのエネルギーは、根からの水や栄養分の吸収、光合成による糖分の合成など、多くの代謝が体内で行われて、花が咲き結実して種が出来きて次世代へ繋がる生活環が営まれる。微小重力環境でトマトを栽培すると成長過程で、茎や葉に湾曲や捻じれが生じ、葉張り（水平投影面積）が減少する等の明らかな形態変化が認められた（表1および写真1）。また、微小重力環境で栽培した場合、実の収穫までの期間が地上対照と比較して時間を要し、地上部の高さが低いこと、葉の枚数の減少、実が出来ても小さく軽く数も少ないことがわかった（表2）。また、実の中に種は出来ていなかった。調べた全ての項目で抑制傾向を示した。これらの原因の1つとして栄養分の吸い上げる力や光合成による養分生産量の減少が考えられる。実が十分に成長するまでは養分が行き渡らなかった為に実の成長が途中で止まったためだと考えられる。

表1 トマト栽培過程を示す写真

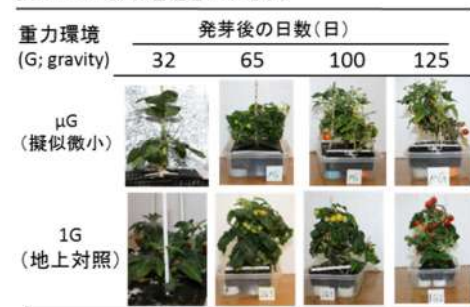


表2 発芽後から各観察項目の確認ができるまでの平均の日数

環境	観察項目	発芽確認後の日数(平均)
1G	5段目の葉が現れるまで	27
	花が咲くまで	52
	初めて実が生るまで	63
	実10個を収穫するまで	94
μG	5段目の葉が現れるまで	46
	花が咲くまで	66
	初めて実が生るまで	71
	実10個を収穫するまで	136

◇今後の展望

本研究の概要を図3に示す。高等植物が、微小重力環境下で生活環を成立させて人間が宇宙環境で作物生産ができるようにするために、必要な環境条件を探索してきた。これまでに私が行ったトマトを用いた実験で、擬似微小重力環境下で、種子を作る正常なトマト果実をまだ得ていない。この原因として、環境条件の設定に何らかの問題がある可能性が考えられたことから、現在、トマトの葉が得られる光条件がより一定になるようにして進めている。私は本研究の予備実験時に、実の生り方や葉の形態の違い（写真2）など、新たな発見をしている。これは植物が根から得る栄養成分の違いも考えられる。今後、植物が生育過程で得ている栄養素の変化にも注目し、微小重力環境で植物の必要な栄養が十分に得られているのかの研究にも繋げていきたい。また、細胞レベルの観察を加えて、種子形成が完了する環境条件を模索して現在も実験中である。



【実験結果】
擬似微小重力環境で栽培すると
↓
葉は上方向や光方向に向かない
↓その結果
受光面積の減少および茎が細くなる
(葉や茎の生育変化)

【得られた結果の原因はなぜか】
葉の蒸散の低下により吸水や栄養素の吸い上げに問題が発生した可能性
↓その結果
成長に必要なエネルギーが十分に得られなかった可能性

【今後】
○植物が成長するために必要な栄養成分に注目
○細胞レベルでの観察を加えて微小重力環境で果実の種子が得られる栽培条件を確立する
↓
宇宙で作物を栽培することを目指す

【可能性が正しいと示す現象】(表と写真参照)
収穫までの成長が地上対照と比較して遅い
全体の背が低く高くない
葉の数が減少する
実が小さく軽い
実の数が少なく種が出来ない

図3. 本研究の概要

◇主要参考文献 Space Seed(微小重力環境における高等植物の生活環) 神坂盛一郎

ダンゴムシの交替性転向反応に関する研究

岡崎 紗英 (栃木県立大田原女子高校 2年)

担当教員 宮川 美里 (宇都宮大学)

◇研究の目的・意義

ダンゴムシには壁にぶつかり、左右交互に曲がる交替性転向反応という性質があり、外界からの刺激を受けた際に、この性質が促されることが知られている。そこで、ダンゴムシの天敵であるアリを用いて、実際に交替性転向反応が促進されるのかを明らかにすることを目的として研究を行った。交替性転向反応に効率よく逃げる効果があるならば、捕食者からの間接的な刺激（匂い）を受けたグループよりも、直接的な刺激（接触）を受けたグループの方が交替性転向反応が促進されると予想した。

研究は、実験を自宅で行い、解析は宇都宮大学グローバルサイエンスキャンパスで行った。

◇研究の方法

間接的なアリ刺激と直接的なアリ刺激を与えたときのダンゴムシの交替性転向反応をみる実験を行った。

[実験1] 刺激を与えずに迷路に放す

迷路[図1]を用いて、ダンゴムシをスタート地点に置き、

A、B、C、Dのどこに行くかを記録した。

A：交替性転向反応が最も多い（2回）

BとC：（1回）

D：（0回）

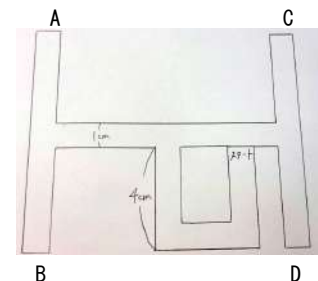


図1 迷路の概略

[実験2] 間接的な刺激（天敵の匂い）を与えて迷路に放す

迷路にクロオオアリ10個体を5分間放し、取り出した後、ダンゴムシをスタート地点に置き、A～Dのどこに行くかを記録した。迷路には、アリが登らないようにベビーパウダーを塗布した。

[実験3] 直接的刺激（天敵との接触）を与えて迷路に放す

ダンゴムシをガーゼに入れ、クロオオアリ10個体を入れた容器に5分間入れた後、ダンゴムシをガーゼから取り出し、スタート地点に置き、A～Dのどこに行くかを記録した。迷路には、アリがのぼらないようにベビーパウダーを塗布した。

[実験4] 刺激を与えずに迷路に放す（ベビーパウダー）

[実験2]、[実験3]でアリが壁を登るのを防ぐために塗布したベビーパウダーの効果を調べるためにベビーパウダーを塗布した迷路を用いて、ダンゴムシをスタート地点に置き、A～Dのどこに行くかを記録した。

ダンゴムシは、体長8mm～13mmのオス、メス各15個体ずつ合計30個体実験した。

◇結果と考察

・結果1 実験1～4の間で交替性転向反応に有意差があるかどうか

ゴールA-Dを交替性転向反応の回数でクラス分けし、表1のようにデータをまとめた。

表1：データ

	0回（D）	1回（BとC）	2回（A）
実験1	0	8	22
実験2	0	9	21
実験3	0	11	19
実験4	0	13	17

検定の結果、4つのグループ間で有意差はみられなかった。 $(p=0.69, \text{Kruskal-Wallis test})$ 。

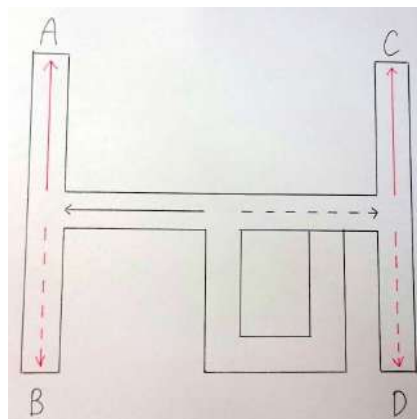
・考察

間接的な刺激を受けたグループと直接的な刺激を受けたグループで交替性転向反応の数が変わらなかった理由として、直接的なアリ刺激の実験のアリの攻撃が少なかったかもしれないと考えられる。

実験系の中で、ダンゴムシが自発的にスタートできるようにすること、アリと触れさせる環境を整えることでより自然界の状態に近づけることを工夫すれば、有意差が見られたかもしれない。

・結果2 実験を通して明らかになった交替性転向反応の傾向

データを整理すると、1回目のターン（図2黒矢印）に比べ、2回目のターン（図2赤矢印）



で交替性転向反応を見せる個体数が少ない傾向にある。（図2・表2）

図2 ターンの出現数に応じた交替性転向反応

表2 ターンの出現数に応じた交替性転向反応

ターンの出現数	交替性転向反応あり	交替性転向反応なし
1回目	116 (A+B)	4 (C+D)
2回目	83 (A+C)	37 (B+D)

「ターンの出現数」と「転向反応の有無」との間に関連が認められた $(p<0.01)$ 。

・考察

1回目のターンより2回目のターンで交替性転向反応がみられなくなるという傾向が正しいならば、3回目、4回目ほど交替性転向反応を示す個体数が減るかもしれない。

「ターンの出現数」と「転向反応の有無」との関連性をより詳しく調べるには、迷路をより長くして3回目以降の交替性転向反応がどうなるかを実験する。

◇今後の展望

天敵からの刺激と交替性転向反応の関係をより綿密に調べるために、ダンゴムシが自発的にスタートできる迷路にすること、間接的な刺激の時間や接触時間を増やすこと、迷路を長さを改善して、実験していきたい。

◇ 主要参考文献

・Kevin G. Hegarty, Scott L. Kight. Do Predator cues influence turn alternation Behavior in terrestrial isopods *Porcellio laevis* Latreille and *Armadillidium vulgare* Latreille? (2014) *Behavioural Processes* 106 168-171

・森山徹 著 『ダンゴムシに心はあるのか』 PHP出版 (2011)

・奥山風太郎、みのじ 著 『ダンゴムシの本 まるまる一冊だんごむしガイド』 DU BOOKS (2013)

牛糞堆肥と化学肥料を施用した耕地土壌から単離したリン溶解菌（PSB）の特性解明

横山実歩（広島県立西条農業高等学校 3年）

長岡俊徳，米山千尋

◇研究の目的・意義

リンは、農業生産における植物生産のために窒素、カリとともに最も必須な養分の一つである。

主要なリン資源であるリン鉱石は世界的には偏在しており、かつ有限な資源である。しかし、20～21世紀の先進国における集約的な農業などの人間活動により多量のリン鉱石が消費されてきた。世界のリン埋蔵量は枯渇の可能性があり、日本にはリン鉱石鉱山が存在しないため、リン鉱石の100%を輸入している。

持続可能な農業のためには、化学肥料や堆肥に含まれているリンばかりでなく土壌中に固定されて蓄積している難溶性のリンを効率的に利用することが必要である。土壌中のリンは粘土鉱物の鉄やアルミニウムあるいはカルシウムと強く結合して植物に不可給態（植物が吸収できない）の難溶性リンになる。

堆肥は植物に供給可能な養分を含む重要な資源であり、堆肥を施用することで微生物量やリン溶解菌などによる生物的な特性が増強されることが明らかになっている。土壌中のリン溶解菌の特性を明らかにすることは、土壌中リンの植物への供給を見積もる上で有益である。

研究の基礎的な内容は、SSHの課題研究の授業と園芸科の活動として行い、リン溶解菌の分離・選抜と植物への有効利用の究明を目指した発展的な研究はGSCで行った。

◇研究の方法・プロセス

目的を3つに絞り、研究を進める。牛糞堆肥と化学肥料を施用した土壌に生息しているリン溶解細菌（PSB）を単離して想定すること、これらの土壌中のPSB群集を比較すること、PSB単離株のリン溶解能力を評価することである。

①PSBの単離

PSBは牛糞堆肥と化学肥料を施用した耕地圃場土壌から、リン酸三カルシウムを唯一のリン源とするNBRIP寒天培地を用いた希釈平板法により単離する。また、そこからリン溶解能を示すクリアゾーンを形成したコロニーを単離する。この圃場ではトウモロコシを栽培する予定である。

②DNA抽出とPCR増幅

PSBのゲノムDNAは、加熱法により抽出する。DNA抽出液をテンプレートとして、27Fと1492Rのユニヴァーサルプライマーを用いて16S rRNA遺伝子をPCRで増幅する。PCR増幅産物はQIAquick PCR purification kitを用いて精製する。

③塩基配列決定とデータ解析

PSBの16S rRNA遺伝子の塩基配列（約1500 bp）を27F, 515F, F984, 519Rプライマーも用いて決定する。PSB単離株の塩基配列は、GenBankのデータベースでBLASTnを使用して近縁の標準株(Type strain)を検索する。系統樹は、近隣結合法を用いて作成する。

④リン溶解能の検定

YM寒天培地で生育させたPSB単離株をNBRIP寒天培地の表面に4ヶ所接種し、30℃で14日間培養する。培養後にコロニーとクリアゾーンの直径を計測し、クリアゾーン直径をリン溶解能の指標として評価する。

◇結果と考察

使用した土壌の可給態リン量と細菌数、リン溶解菌数を表1に示す。可給態リンは2つの土壌で大きな違いはなかったが、細菌数は化学肥料区でリン溶解細菌数は牛糞堆肥区で高い傾向が見られた。

表1. CMC 調査区と CF 調査区を施用した耕地土壌中の細菌 (PSB), 可溶化菌 (B) とリン密度の比較

Soil amended with	Available phosphorus* (mg kg ⁻¹) [†]	Bacteria (B) 10 ⁵ cfu g ⁻¹ [†]	PSB 10 ⁵ cfu g ⁻¹ [†]	PSB/B (%)
CMC	818	183	65	35
CF	775	235	53	23

※ブレイ II 法による。

† 温熱による乾燥。

Isolate No.	Closest relative (Accession No.)	Length	Identity (%)
SAHCM-1	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> NBRC 103162 ^T (NR_114226)	1459	1457/1459 (99.9)
SAHCM-2	<i>Enterobacter asburiae</i> ATCC 35953 ^T (CP011863)	1465	1453/1465 (99.2)
SAHCM-6	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> NBRC 103162 ^T (NR_114226)	1459	1457/1459 (99.9)
SAHCM-7	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> NBRC 103162 ^T (NR_114226)	1459	1457/1459 (99.9)
SAHCM-8	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> NBRC 103162 ^T (NR_114226)	1459	1457/1459 (99.9)
SAHCM-9	<i>Bacillus megaterium</i> NBRC 15308 ^T (CP009920)	1474	1474/1474 (100)
SAHCM-11	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> NBRC 103162 ^T (NR_114226)	1459	1459/1459 (100)
SAHCM-12	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> NBRC 103162 ^T (NR_114226)	1459	1457/1459 (99.9)
SAHCF-1	<i>Bacillus funiculus</i> NAF001 ^T (NR_028624)	1460	1459/1460 (99.9)
SAHCF-2	<i>Bacillus megaterium</i> NBRC 15308 ^T (CP009920)	1474	1474/1474 (100)
SAHCF-4	<i>Bacillus megaterium</i> NBRC 15308 ^T (CP009920)	1474	1474/1474 (100)
SAHCF-5	<i>Bacillus megaterium</i> NBRC 15308 ^T (CP009920)	1474	1474/1474 (100)
SAHCF-6	<i>Bacillus megaterium</i> NBRC 15308 ^T (CP009920)	1474	1474/1474 (100)
SAHCF-7	<i>Bacillus megaterium</i> NBRC 15308 ^T (CP009920)	1474	1474/1474 (100)

表2 16S rRNA 遺伝子配列についての BLASTn の結果

SAHCM-1, -6, -7, -8, -11, -12 は *Pseudomonas plecoglossicida* に最近縁な *Pseudomonas* 属の細菌, SAHCM-2 は *Enterobacter asburiae* に最近縁な *Enterobacter* 属の細菌, SAHCM-9 は *Bacillus megaterium* と *Bacillus aryabhattai* に近縁な *Bacillus* 属細菌と同定した。CF 施用土壌から単離した PSB では, SAHCF-1 は *Bacillus funiculus*, SAHCF-2, -4, -5, -6, -7 は *Bacillus megaterium* と *Bacillus aryabhattai* に近縁な *Bacillus* 属細菌と同定した。

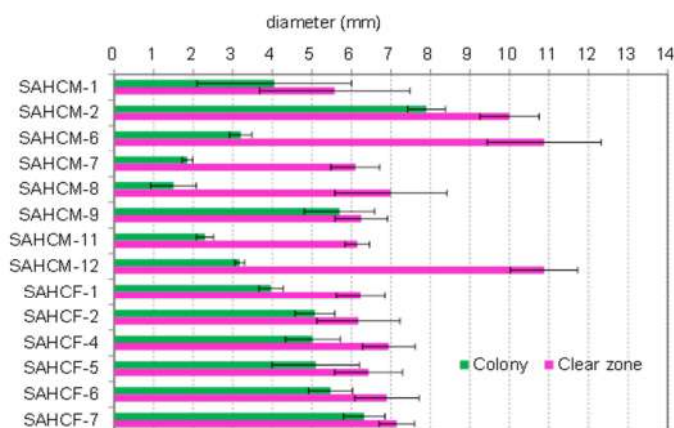


図1 PSB 単離株のコロニーとクリアゾーン直径

は *Enterobacter asburiae* に最近縁な *Enterobacter* 属の細菌, SAHCM-9 は *Bacillus megaterium* と *Bacillus aryabhattai* に近縁な *Bacillus* 属細菌と同定した。CF 施用土壌から単離した PSB では, SAHCF-1 は *Bacillus funiculus*, SAHCF-2, -4, -5, -6, -7 は *Bacillus megaterium* と *Bacillus aryabhattai* に近縁な *Bacillus* 属細菌と同定した。

◇今後の展望

コンポストの施用は土壌中の PSB 群集に影響を与えること, そして植物へのリン供給に影響を与える可能性があることが示唆された。今研究で解明された強いリン溶解性を示す細菌株を用いて, コマツナなどの葉菜類へのリンの可給状態を検証する予定である。

◇主要参考文献

堀池徳祐 「コンピュータを用いた分子系統解析法 (第 1 回)」 土と微生物 (Soil Microorganisms) Vol. 65 NO. 1, pp. 55~60 (2011)

表2には, 16S rRNA 遺伝子塩基配列の BLASTn 解析結果に基づき, CMC と CF を施用した土壌からの PSB 単離株に最近縁の標準株を示す。単離株番号の赤字の SAHCM と青字の SAHCF は, それぞれ CMC 施用土壌と CF 施用土壌から単離したことを示している。

CMC 施用土壌から単離した, 単離株 SAHCM-1, -6, -7, -8, -11, -12 は

Pseudomonas plecoglossicida に最近縁な *Pseudomonas* 属の細菌, SAHCM-2

図1は, プレートによるリン溶解能の検定における, PSB 単離株のコロニーとクリアゾーン直径をグラフ化したものである。緑はコロニー, ピンクはクリアゾーン直径を示す。CMC 施用土壌から単離した株である SAHCM-2, SAHCM-6, SAHCM-12 株が特に強いリン溶解能を示した。

結論として, CMC と CF を施用した土壌では異なる属の PSB が優占していた。CMC 施用土壌では *Pseudomonas* 属の細菌が優占しており, CF 施用土壌では

ウニのプルテウス幼生が分裂して捕食者から身を守る仕組み

松苗 佑樹（埼玉県立越谷北高等学校 2年）

担当教員：日比野 拓（埼玉大学教育学部 自然科学講座 准教授）

◇研究の目的意義

捕食者から身を守るためにウニのプルテウス幼生は分裂によって無性生殖をすることが近年明らかになっている [1] [2]。分裂による無性生殖はプラナリアやクラゲなど原始的な無脊椎動物で起こることが知られているが、より構造が複雑で脊椎動物に近い動物であるウニでも無性生殖が起こるということに驚きを感じた。特にウニのプルテウス幼生がどのように分裂するのかに興味を持った。そこで本研究では、例えばすべての器官が半分になるのか、一部の組織から再生するのかといった分裂の様式を明らかにするために、顕微鏡下で詳細に観察を行った。またウニの発生は学校の教科書に掲載されるほど一般的に知られていることである。しかし、それらは研究室の中で管理された状況での現象であるため、本研究によって実際の自然下の状況でのウニの生態を明らかにできると考えた。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埼玉大学 HiGEPS で行った。

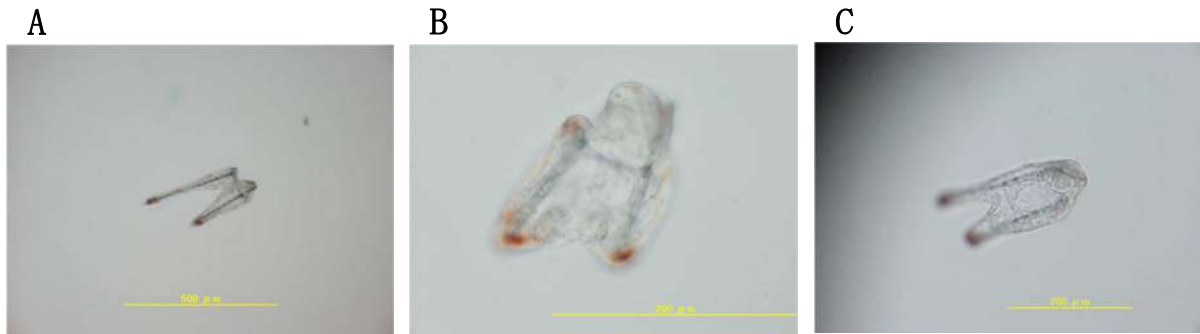
◇研究の方法

東京大学附属三崎臨海実験所の近海で採集されたタコノマクラ *Clypeaster japonicus* に 1mM 塩化アセチルコリン海水を注射し、卵と精子を回収した。卵をフィルター天然海水で 4~5 回洗浄し 9cm ガラスシャーレに入れ、そこに希釈した精子を入れて受精させた。受精卵は 9cm ガラスシャーレに入れ、50rpm でゆっくりと攪拌しながら 20℃で飼育した。受精 7 日後の 4 腕プルテウス幼生を組織培養用の 12 穴プレート（オレンジ・サイエンティフィック社）に 3 匹ずつに分けた。12 穴プレートにはフィルター天然海水とエサとしてケイソウのキートセラス・グラシリス、そして分裂を促すための魚の粘液を入れた。魚の粘液は東京大学附属三崎臨海実験所の近海で引き網で採集された魚類（サバ、イワシ、アジ、カマス、ネンブツダイ、シマウシノシタなど）数種類の海水魚の粘液の混合液を持ち帰り原液として使用した。分裂を促すのに適切な濃度を探るため、魚の粘液はフィルター天然海水で希釈して 12 穴プレートの中に入れた。12 穴プレートの中のタコノマクラ胚は 20℃の恒温器に入れ、50rpm でゆっくりと攪拌して飼育した。観察は実体顕微鏡 LeicaMZ8 を用いておよそ 2 日おきに観察を行った。

◇考察と成果

12 穴プレートに、魚の粘液の原液をそれぞれ 1/160、1/80、1/50、1/40 倍希釈して入れたものを 1 回の実験で 2 セットずつ作り、計 6 セット実験を行った。その結果、1/80 倍に希釈して粘液を入れたウェルの一つから 3 匹の正常な 4 腕プルテウス幼生の他にプルテウス幼生の腕だけが千切れたようなもの（図 1A）が見つかった。そこで、この幼生断片を継続して観察することにした。また、1/40 倍に希釈して粘液を入れたウェルの一つからは、3 匹の正常な 4 腕プルテウス幼生の他に極端にサイズが小さく、かつ腕がなく未発達な幼生（図 2A）が見つかった。この 2 匹の個体は別の 12 穴プレートに移し、粘液とエサを入れずに 20℃で 50rpm でゆっくりと攪拌しながら飼育を続けた。

図1 腕だけの幼生の断片



粘液を入れてから 2 日後

粘液を入れてから 4 日後

粘液を入れてから 6 日後

腕だけの幼生の断片には消化管は見られず、泳ぎもしなかったが(図 1A)、4 日後にはこの幼生断片は約 1/5 の大きさに縮んだものの、泳ぎ始めかつ内部に消化管が形成されていた(図 1B)。粘液を入れてから 6 日後には滑らかな上皮になり、体のサイズがやや大きくなった (図 1C)。現在飼育を続け、この後の発生を観察しているところである。

図2 小さく未発達な幼生



粘液を入れてから 2 日後

粘液を入れてから 4 日後

粘液を入れてから 6 日後

小さく未発達な幼生(図 2A)は、その後徐々に消化管が発達し、腕もやや長く成長していた(図 2B, C)。また、消化管が発達してきたため粘液を入れてから 4 日後にエサを入れた。こちらも継続して飼育と観察を行っている。

次に図 1 のような幼生の断片を多く観察するために、1 つのウェルに魚の粘液を 1/80 倍に希釈して入れたのと同じ濃度で、9cm ガラスシャーレで 30 匹ずつ 2 セット飼育した。しかし、幼生の断片は見られなかった。これまで合計で 348 匹のプルテウス幼生で実験を行い、2 匹に分裂のような現象が見られた。これまでの結果から、タコノマクラ胚では分裂してから無性生殖をすること、一部の組織から体を再生することが分かった。

◇今後の展望

今回の実験条件ではあまり効率よくウニ幼生が分裂しなかったため、より効率よくウニ幼生が分裂する条件を調べる必要がある。またタコノマクラだけでなく他にウニでも同じ現象がおこるのか確かめ、分裂してからの成長のメカニズムの解明を試みたい。

◇主要参考文献

- [1] Eaves AA&Palmer AR. Nature 425, 146 (2003)
- [2] Vaughn D&Strathmann RR. Science 319, 1503 (2008)

Factors influence avian sex determination and sexual differentiation

Hiroshima Prefectural Saijo Agricultural High School,

3rd, Miki TSUBOI

(Saijo Agricultural High School, Hirotaka NAKANO)

◇Abstract

The reptiles determine their sex depending on the temperature, which is called temperature-dependent sex-determination system (TSD). Based on the hypothesis that the birds evolved from the reptiles, it is possible to determine their sex in the same way. We conducted an experiment by changing the temperature of hen eggs during the incubation time from normal 37.9°C to 1 to 5 degrees higher, we obtained bird's offspring which were physically male, but genetically female.

◇Purpose

Mammals have XY sex chromosomes. It is a specific sex determination style of males which have also Y chromosome -linked gene (*SRY*).

Unlike mammals, female birds have sex hetero type. Females have ZW, while males have ZZ. This chromosome configuration is difficult for the industry and breeding unlike mammals whose male sperm can separate into X or Y. It has become a major problem. So we focused on the reptiles that change the sex due to the effect of environment (temperature). Reptiles have sex determination styles that are temperature-dependent sex-determination, (TSD). Under the hypothesis that birds evolved from reptiles so they may exhibit this sex determination style (Fig.1). In a previous study, sex ration

changed due to the effect of temperature during incubation and before sexual differentiation of avian species.

This study goal is the artificial sex selection of male and female of avian.

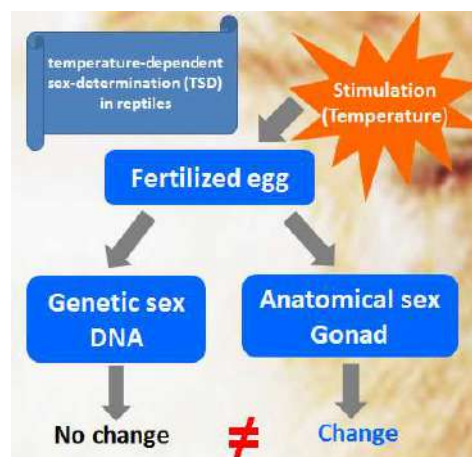


Fig.1 Scheme of Sex determination

◇Materials, Methods and Process of study

① Control temperature was set at 37.9 °C to confirm the temperature-dependent and sex-determination in chickens. The test plots were set at 35.9 °C, 36.9 °C, and 38.9 °C. Numbers of samples were 25 in each temperature. After incubation of 14 days, genetic sex and anatomical sex were confirmed. We confirmed the genetic sex by DNA analysis.

② To confirm the effects of lower temperature of incubator was manipulated. 100 were incubated in 32.9 °C . Also, in order to align the number of samples , 75 were incubated in each 37.9 °C and 35.9 °C.

③ Anatomical sex was confirmed by number of gonads and gonadal tissue sections. Immunostaining was performed. Antigen was chicken vasa homologue (CVH, Fig.2).



Fig.2 Method of immunostaining

◇Results and Discussion

Sex change due to temperature

Samples of sex change did not appear in the control. They appeared in 35.9 °C at about 1/30 probability. Chicken may have temperature-dependent and sex-determination. Temperature might alter the sex.

(Result-①, Fig.3)

- 37.9 °C (control), sex different birds were not observed at all.
- 35.9 °C, one was ♂ in genetic and ♀ anatomically.
- 36.9 °C, one was ♂ in genetic and ♀ anatomically.
- 38.9 °C, one was ♂ in genetic and ♀ anatomically.

(Result-②, Fig.3)

- 37.9 °C (control), sex different birds were not observed.
- 35.9 °C, two were ♀ in genetic and ♂ anatomically.
- 32.9 °C, all samples stopped growing at embryo stage

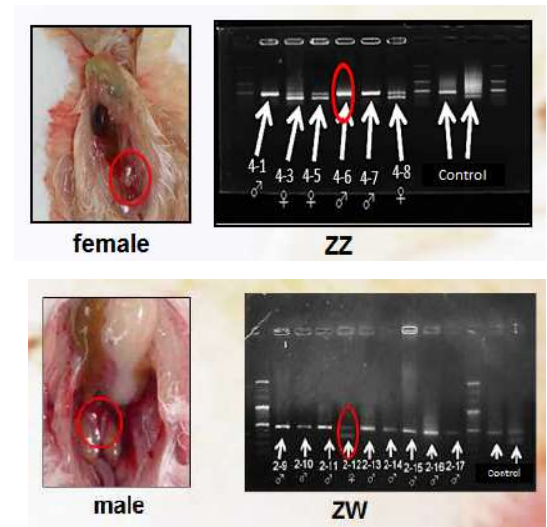


Fig.3 Sexual organs and PCR products using *CHD* genes in a male and a female

The male showed scattered and glowing CVH (Fig.4). On the other hand, females were not confirmed because CVH was discriminated auto fluorescence or showed unusual distribution (Fig.4).

Making of frozen sections

The male had a normal distribution with CVH was glowing and scattered. But the distribution of CVH in females, had auto fluorescence or unusual distribution, because time was short for blocking and technology have a shortage of making a gonad.

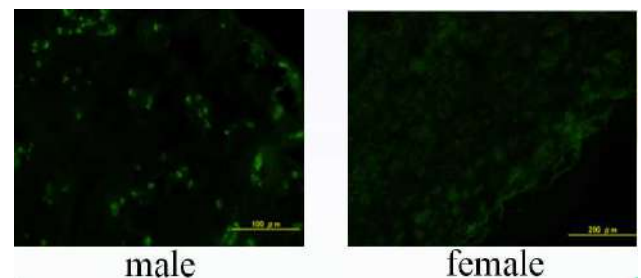


Fig.4 Fluorescence Immunostaining for sexual organs of a male and a female

Fluorescence immunostaining was not used in samples that sex were changed. Next experiment will use fluorescence immunostaining in samples where sex was changed.

◇Future Plans

35.9 °C is the optimum temperature that sex change may happen, that why a future experiment will perform to ensure the reliability of this temperature on sex changes. Furthermore, it is necessary to check the presence or absence of fertility.

◇References

- Koopman et al., Male development of chromosomally female mice transgenic for *Sry*. *Nature*, 351 : 117-121, 1991.
- Kato et al., Review: Gender identification of birds. Mem. Institute of Advanced Technology, Kinki University16: 1-6, 2011.

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3年 坪井 美樹
担当教員 中野公隆

Abstract

The reptiles determine their sex depending on the temperature, which is called temperature-dependent sex-determination system (TSD). Based on the hypothesis that the birds evolved from the reptiles, it is possible to determine their sex in the same way. We conducted an experiment by changing the temperature of hen eggs during the incubation time from normal 37.9°C to 1 to 5 degrees higher, we obtained bird's offspring 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、雌ヘ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）により出現する性に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を目指し遺伝的な性、解剖学的な性が不一致な個体の生殖腺凍結切片を作り免疫染色による同定等の発展的な研究はグローバルサイエンスキャンパスで行っている。

◇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°Cを設け、35.9°C、36.9°C、38.9°C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とDNA鑑定による遺伝的な性を確認する。

②試験区35.9°Cで性変化個体の出現が多いことから、解剖学的な性を肉眼での生殖腺の本数による確認から生殖腺の凍結切片を作成しCVHを用いた免疫染色を活用し確実に性を特定することにアプローチする。

◇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°Cで解剖学的な性と遺伝学的性が一致しない個体が3個体と、35.9°Cでは約1/30の確率で性変化個体が出現したことになるが、まだ、生殖腺の同定が確実なものではない。従って現在、CVHを用いた生殖腺凍結切片の蛍光免疫染色に取り組んでいるが、切片づくりが技術的に難しく苦勞している。

	37.9℃	35.9℃	36.9℃	38.9℃		37.9℃	35.9℃	32.9℃
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	[100]
破卵・未受精	7	7	3	2	破卵・未受精	10	4	
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

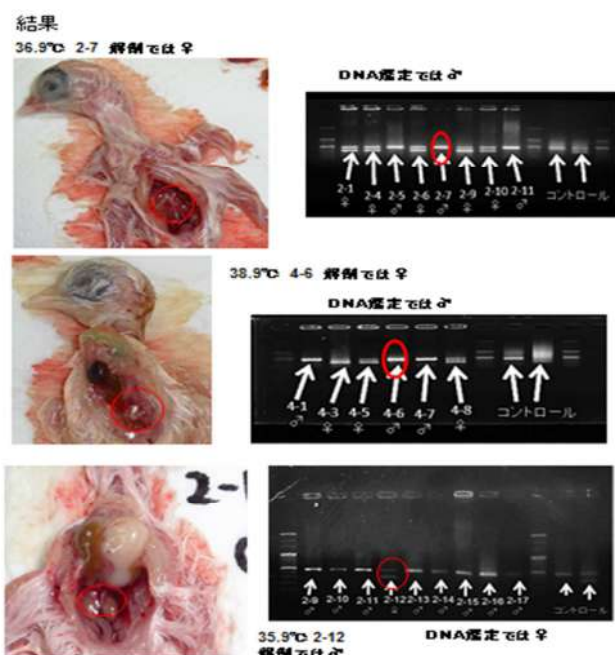


図 1 孵卵温度により性変化した個体と PCR 結果

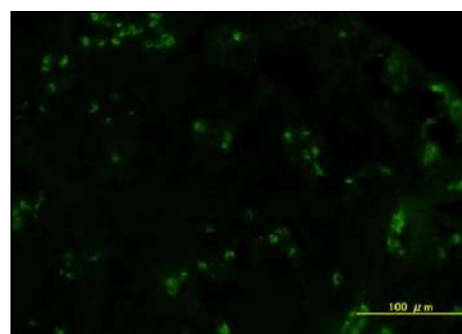


図 2 male

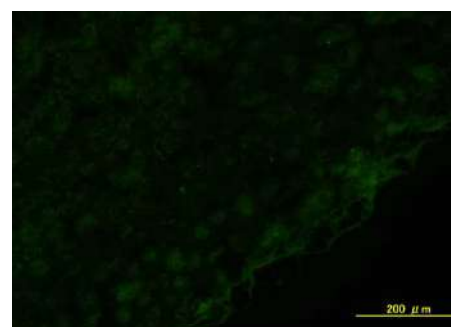


図 3 female

これらの結果から、孵卵温度変化が性変化の要因かもしれないと考えられた。解剖学的性の観察において、肉眼のみ観察から生殖腺組織を凍結切片を作成し蛍光免疫染色観察する技術向上させることや、性変化した個体の血中ホルモン濃度の測定等を実施し、根拠となる結果を増やすことで、鳥類に性変化に孵卵温度が何らかのかかわりがあることを解明することにつながるかと考察された。

◇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
- ・生殖腺組織凍結切片の免疫染色による顕微鏡的観察
- ・*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性変化した個体の孵化への挑戦

- ・血液からの性の同定は確実に行えるが、解剖による生殖腺の観察しか行えないので、性変化個体を孵化させる方法を考えていく。

◇主要参考文献

Koopman et al., Male development of chromosomally female mice transgenic for *Sry*.

Nature, 351 : 117-121, 1991.

加藤博己, 宮下 実, 入谷 明. 総説: 鳥類における雌雄鑑別. 近畿大学先端技術総合研究所紀要, 16: 1-6, 2011.

寄生虫の種によって宿主の種を知る ～コウイカ類の分類学的研究～

発表者：伊藤雄氣（大阪学芸中等教育学校 高校3年生）

担当教員：古屋秀隆

◇研究の目的

本研究は大阪大学 SEEDS プログラム実感科学研究で行った。

日本産コウイカ目には 36 種が知られている（奥谷ら, 1987）。コウイカ類は浅い沿岸から大陸斜面まで生息するが、普通目にするコウイカ類は沿岸の海底に生息する大型の種で、大陸斜面上の種は一般に目にするのが少なく、形態が類似し一見では区別がつかない種が多い。

また、コウイカ類の腎臓には絨毛虫類のクロミディナ（*Chromidina*）とニハイチュウ類が寄生する。それら寄生虫は宿主特異性を有するため、その種の異同を調べることで、宿主であるコウイカ類の種を判別する材料になると考えられる。本研究の目的は、種が未確定のコウイカ類について、分類学的指標を調べ、種を明らかにするとともに、それらの寄生虫についても分類学的指標を調べ、種を明らかにすることで、寄生虫の種の違いがコウイカ類の種を判別するマーカーになりうるかどうかを調べることである。

◇研究の方法・態度

研究は主に以下の 3 つのアプローチで行った。

[1]コウイカ類の形態形質の比較 三重県南伊勢町沖の熊野灘の大陸斜面（水深約 200m）にて、沖合底曳網で漁獲されたコウイカ類標本について、体の各部の形態計測を行い、得られたデータをコウイカ類の記載論文と照らし合わせ、種を明らかにした（Fig. 1）。

[2]寄生虫の形態形質の比較 コウイカ類の腎臓の塗抹標本を作製し寄生虫類の観察を行った。固定はブアン液で固定し、染色はヘマトキシリン-エオシンを施した。標本は光学顕微鏡（1,000-2,000 倍）で観察し、体長の計測・スケッチを行った。また寄生虫の腎臓内での寄生の様子を理解するため、同じ仲間の絨毛虫が寄生するスルメイカの腎臓を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した。

[3]分子系統の解析 同定したコウイカ類に加えテナガコウイカを含めた 3 種を対象に系統解析を試みた。組織から gDNA を抽出し、PCR 法で COI 遺伝子を増幅し、電気泳動で確認した。

◇考察と結果

[1]コウイカ類の形態形質の比較 11 体の標本（2016. 5.30 採集）を観察し、うち 4 標本を観察・形態計測した。触腕の吸盤では、小さく均一なものとは不均

Fig.1 コウイカ類の各部の実測値と計算値

測定した部位 [mm]	①		②		③		④	
	左	右	左	右	左	右	左	右
背側外套長	93.5		82.0		59.0		68.0	
腹側外套長	82.0		72.0		49.0		54.0	
最大外套幅	38.5		40.0		28.5		34.0	
頭部幅	30.5		28.0		27.0		31.0	
最大鰓幅	7.0	8.0	5.0	5.0	3.0	3.0	2.0	4.0
第1腕長	46.5	54.0	27.0	23.0+α	27.5	24.5	36.0	32.0
第2腕長	26.0	24.5	29.5	25.5	20.5	20.5	25.0	23.0
第3腕長	23.0	24.0	28.5	30.0	19.0	19.5	20.0	20.0
第4腕長	32.0	33.5	34.0	35.0	28.0	28.0	31.5	32.0
触腕長	106.5	111.5	107.5	108.0	130.5	収納	114.5	収納
触腕掌部長	13.0	13.0	12.0	13.0	14.0	収納	14.0	収納
腕長式	1>4>2>3		4>3≒2≒1		4>1>2>3		1>4>2>3	
外套幅/外套長比 [%]	41.17647059		48.7804878		48.30508475		50	

一なもの確認できたが、Sasaki(1929)の *Sepia* 属分類検索表で検索した結果、“(D)Shell lanceolate...(以下省略)”のうち、それぞれ“(a)Tentacular suckers uniform.”と“(β) Tentacular suckers unequal in size.”に該当した。但し、この検索表には不備があり、(β)の下位にある“(a)(I)(ii)Tentacular suckers uniform ; first arms in male not thickened at the distal end.”… *S. tenuipes* n. sp.の箇所に齟齬を見出した。*S. tenuipes* は (β)ではないが、“(a)Arms in male

considerably unequal.”や“(I)First arms the longest in male.”であるため(a)(I)の下位に本項を置きたかったからではないかと考えられる。他の形質も考慮し修正後の検索表に従えば、前者はウデボソコウイカ *Sepia tenuipes*、後者はヒメコウイカ *S. kobeensis* となる。また奥谷ら(1987, p.19)での両種の生息範囲と本研究の標本が採集された水深は一致するため、この判断に矛盾はないと考えられる。なお、Sasaki(1929)は *S. kobeensis* を 6 変種に分類したが、その検索表は雌のみの特徴で分類している点、形質の記述表現が曖昧な点、現在の動物命名規約では var.は正式な階級として扱われない点から、どの変種に属するか判断を避けた。また *S. tenuipes* の奥谷ら(1987)による記述「第 1 腕は著しく延長し、外套長の 130%を超す」は、奥谷らの写真、Sasaki(1929)の測定値と図、本研究の固定前標本の写真と測定値の何れから判断しても一致しないため、この記述は誤りだと判断した。更に、奥谷ら(1987)によると *S. kobeensis* の横線面前縁は浅い M 字型で、本研究の標本でも個体差はあるが M 字～浅い M 字型であった。対し、Sasaki(1929)の PLATE XIX には殆ど凸型で描かれていた。ただ Fig.10, 18a には若干の凹みが見られる。本研究により、横線面前縁は、同一種でも地域差や個体差が存在する可能性を推測した。

以上により、*S. tenuipes* および *S. kobeensis* の 2 種が同定された。これらより、*S. tenuipes*、*S. kobeensis* の 2 種は形態で以下のように見分けられると考える。

「(1)触腕の吸盤は不均一、うち 3-4 個が特に大きい → *S. kobeensis*

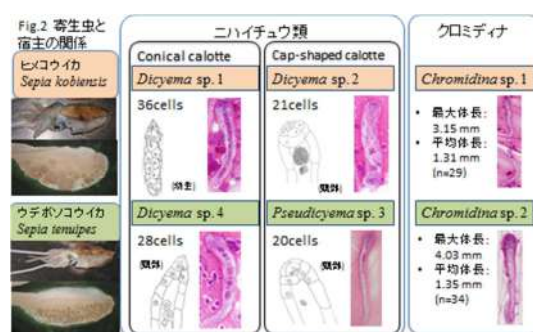
(2)触腕の吸盤は小さく一様 → *S. tenuipes* (腕 I が長い → ♂、腕 II・III が細い → ♀)」

[2] 寄生虫の形態計測 *S. kobeensis* および *S. tenuipes* のプレパラートからそれぞれ極帽が円錐形のニハイチュウと帽子形のニハイチュウを 1 種ずつ、*Chromidina* を 1 種ずつ確認した。*S. kobeensis* の帽子形のニハイチュウは前極細胞と後極細胞の配置が 45° ずれているため *Pseudicyema* 属、他の 3 種は揃っているため *Dicyema* 属と判断した。*Chromidina* の平均体長はほぼ等しく判断材料とはならなかったが、ニハイチュウでは体皮細胞の数や極帽の特徴から別種と判断でき、何れも未記載種であったが、寄生虫の種の違いがコウイカ類の種を判別する材料となり得ることを確認できた。(Fig.2)

[3] 分子系統の解析は、研究要旨作成の時点で、gDNA の抽出の段階まで進めることができた。

◇今後の展望

Chromidina の種差を明らかにする。コウイカ類の分子系統解析を行い、*S. kobeensis* および *S. tenuipes* の近縁性、浅海産と深海産の種がどのくらい遺伝的に離れているかなどを明らかにする。



◇主要参考文献

- ・ Madoka Sasaki (1929) "A MONOGRAPH OF THE DIBRANCHIATE CEPHALOPODS OF THE JAPANESE AND ADJACENT WATERS" The Journal of the College of Agriculture, Hokkaido Imperial University, Vol. XX. Supplementary Number, SAPPORO
- ・ 奥谷喬司・田川勝・堀川博史 『日本陸棚周辺の頭足類 大陸棚斜面未利用資源精密調査』 社会法人 日本水産資源保護協会、1987 年 3 月 25 日発行
- ・ 古屋秀隆 『中生動物ニハイチュウの形態と生活史の適応』 比較生理生化学 Vol.21 No.3(2004)

色素と2本鎖DNAとの結合解析

池上拓磨（岡山理科大学附属高等学校2年）、小西悠斗（岡山県立倉敷天城高等学校2年）、
園田佳代（岡山県立岡山朝日高等学校2年）、田中愛登（広島大学附属福山中・高等学校5年）、
長尾幸紀（香川県立丸亀高校2年）、永山龍那（岡山県立倉敷天城高校2年）、
山口誉登（白陵高等学校1年）
担当教員 宍戸昌彦先生、藤田八洲彦先生（岡山大学）

◇研究の目的・意義

SYBR Green I（以下SG）はEtBrに代わるDNA結合蛍光色素として知られている。しかしそのDNA結合の様式や吸収スペクトル変化については詳しく研究されていない。本研究ではSGと種々の二本鎖(ds)DNAとの結合を吸収スペクトル変化から解析する。とくにSGがdsDNAのどの部分に結合するかを調べる。

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。

◇研究の方法

SGはTAKARAから濃度不明のDMSO溶液として市販されている。そこで市販液をpH7のリン酸緩衝液で一定の倍率に薄め、それらの溶液の吸収から濃度を決定した。SGのモル吸光係数としてpH7.5のリン酸緩衝液中で $\epsilon_{494} = 7.3 \times 10^4$ の値を用いた。¹⁾

用いたDNAは以下のものである。12量体で、すべてがAT対のものから始めてGC対を系統的に増やすことにより、どの塩基対に色素が結合するかを明らかにすることを目的とした。

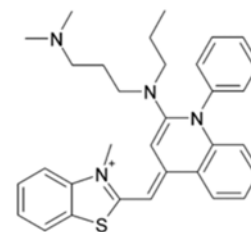


図1. SYBR Green Iの分子構造。

dsDNA12-0=5'-AAAAAAAAAAAA-3' dsDNA12-2=5'-AAAAAGCAAAAA-3' dsDNA12-2e=5'-AGCAAAAAAAAA-3'
3'-TTTTTTTTTTTT-5' 3'-TTTTTCGTTTTT-5' 3'-TCGTTTTTTTTT-5'

dsDNA12-4=5'-AGCAAAAAACGA-3' dsDNA12-6=5'-AGCAAGCAACGA-3'
3'-TCGTTTTTGTCT-5' 3'-TCGTTTCGTTGTCT-5'

これらは受注合成されているものをそのまま緩衝液に溶かして用いた。DNA溶解用の緩衝液としては150mM NaCl, 10mM NaH₂PO₄, 1mM EDTA, pH7.0のものを用いた。吸収スペクトルは島津UV1800紫外可視分光光度計を用い室温約26度で測定した。

◇考察と成果

dsDNA12-6共存下の5 μ M SGの吸収スペクトルを図2に示す。dsDNAの存在によってSGの吸収に変化がみられるが、ピーク位置などの大きな変化は見られなかった。10 μ M以上のDNAを共存させてもそれ以上の変化が見られなかったため、10 μ MのDNAにすべてのSGが結合したと考えられる。

一方、1 μ MのDNA存在下のスペクトルは0 μ Mと10 μ Mの中間的な形を示しており、遊離のSGとdsDNAに結合したSGとがある割合で混じっていると思われる。

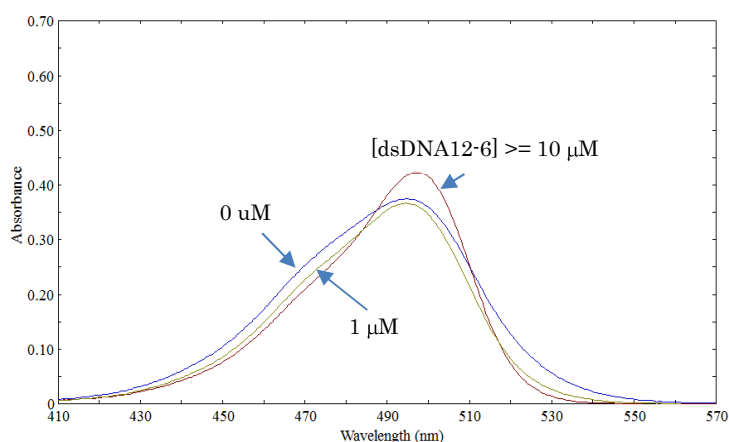


図2. DNA共存下の5 μ M SG溶液の吸収スペクトル

ほかの dsDNA についてもスペクトルを測定した結果、SG が $5\mu\text{M}$ 、dsDNA が $0.1\sim 5\mu\text{M}$ の範囲では SG は部分的に DNA に結合していることが分かった。そこで遊離の SG のスペクトルを $[\text{SG}] = 5\mu\text{M}$ のスペクトル、完全に DNA に結合した SG のスペクトルを $[\text{dsDNA}] = 10\mu\text{M}$ のスペクトルで代表させて、それらのある割合の和で部分的に DNA に結合した SG のスペクトルが表されるかどうかを検討した。

岡山大学で開発された最小自乗法プログラムを用い、最も確からしい割合を求めてスペクトル和を計算した例が図 3 である。

図のように部分的に DNA に結合した SG のスペクトルが遊離と結合のスペクトルの和として近似的にあらわされることが分かった。

そこで各 DNA のそれぞれの濃度における遊離と結合の SG の割合を求めて dsDNA 濃度に対してプロットした(図 4)。GC 塩基の含率が異なる種々の dsDNA について調べたが塩基組成の違いによる結合力の差はほとんどなかった。しいて言えば GC 量が多い DNA には少しだけ良く結合する傾向がある。

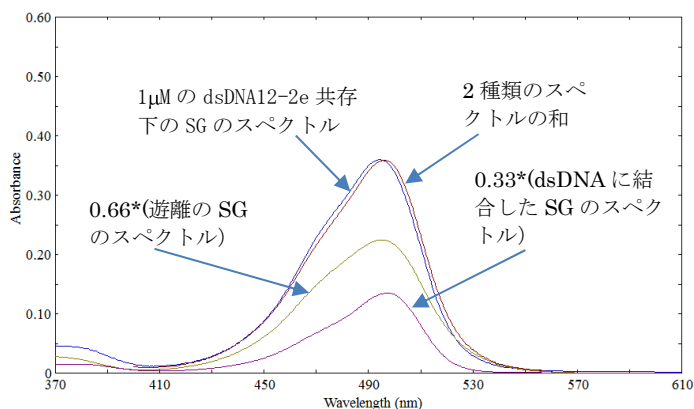


図 3. 最小自乗法によるスペクトル解析の例

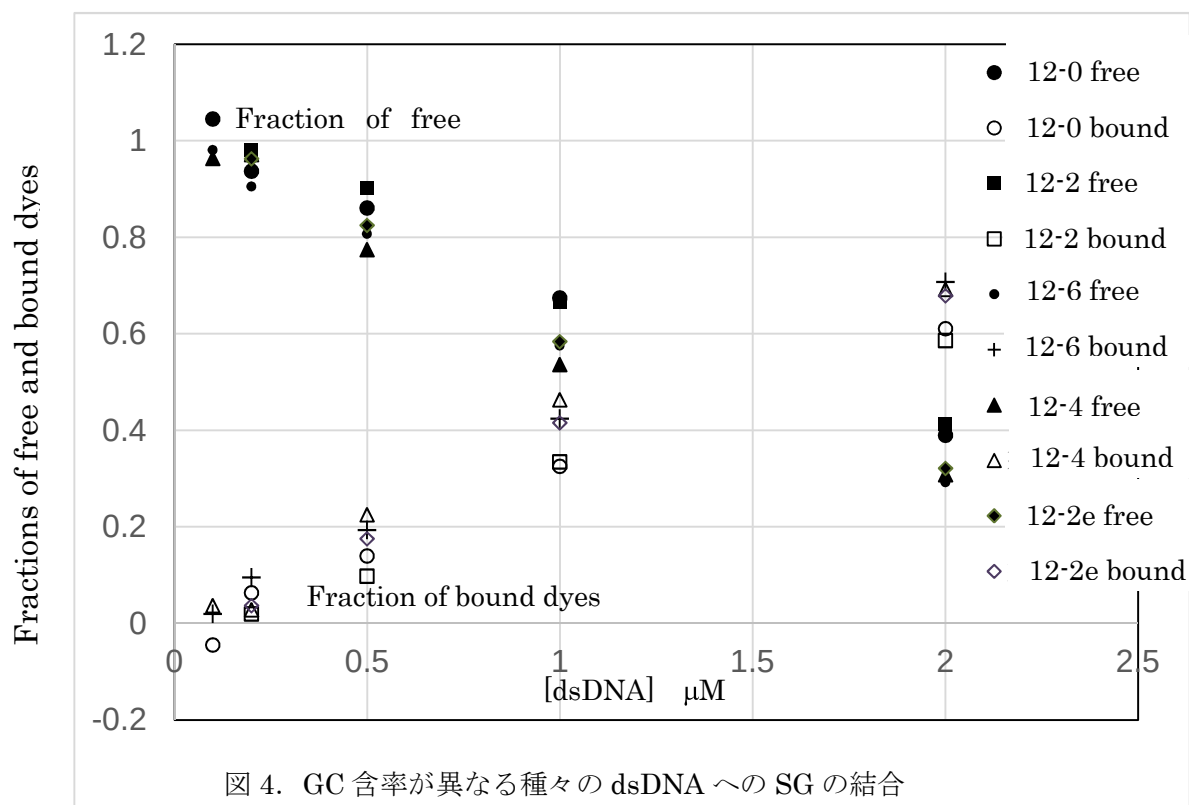


図 4. GC 含率が異なる種々の dsDNA への SG の結合

◇結論と今後の展望

SG はかなり低濃度の DNA にも効率よく結合する。しかし DNA の塩基配列の違いによる結合力の差はほとんどない。これはどの塩基組成の DNA でも同じように定量できるので理想的な性質といえる。今後はさらに異なる色素について検討したい。

◇主要参考文献

- 1) Zipper et al, Nuc. Acid Res. 32, e103, 2004

セミの羽化殻はなぜ集まる？

～フェロモンのような物質の存在を検証する～

内山 龍人（私立水城高等学校 2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

長年に渡りセミの生態について観察実験を行ってきた中で、アブラゼミの羽化殻が一部箇所に集合している現象（図1）に気づいた。この現象はフェロモンのような作用を持つ匂い物質に起因するのではないかと考えた。

一方で、アブラゼミは、羽化期間、羽化時間帯、羽化場所とも集中する状況下で一斉に羽化するにも関わらず、羽化中の個体に羽化場所を探す幼虫が接触することは、ほとんど無い。

以上の現象を整理すると、

- ① 羽化殻は他個体幼虫を誘引する
- ② 羽化中の個体は他個体幼虫を忌避させる

という2つの仮説が考えられる。また、それらの作用の要因となる物質の存在が考えられる。

本研究は、アブラゼミの羽化場所決定に作用する、他個体由来の誘引または忌避物質の存在と作用を確認することを目的とする。



図1：一部の木の葉に集合しているアブラゼミの羽化殻

◇研究方法・結果

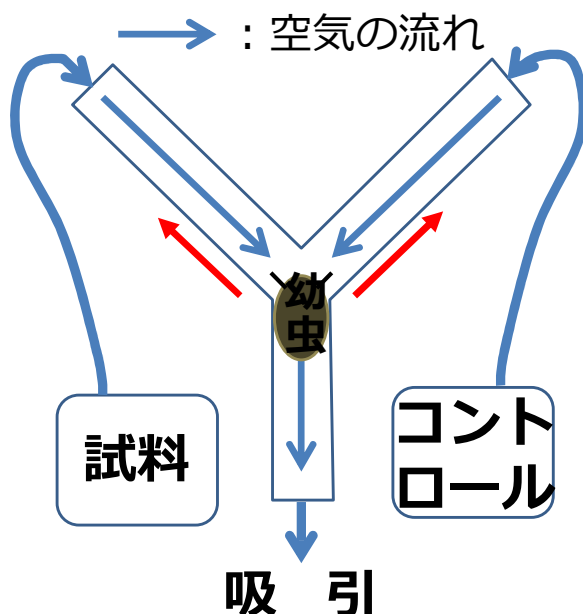


図2：装置の仕組み

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）に従い種を同定した。

ガラス製のY字オルファクトメーター（以下Y字管）を用い、アブラゼミ終齢幼虫の選好性を比較した。Y字上部の一方から試料由来の空気を吸引、もう一方からはコントロールの空気を吸引し、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（図2）（筑波大学にて）。

Y字管内部に幼虫の足場となるネットを設置したが、匂いなどの影響を統一するため、実験1回ごとに交換した。

実験① 幼虫は、羽化殻由来の匂いに誘引されるのか

試料は、羽化後1日の羽化殻×5個を設定し、コントロールはただの空気とした。

20個体実験を行い、試料側を、17個体が選択した ($p < 0.01$)。このことから、羽化殻由来の匂いが、幼虫を誘引することが示された。

実験と同時に、羽化殻の集合現象を統計的に示すための野外調査を茨城県内の3箇所(水戸市、小美玉市、つくば市)で行い、自然化における羽化殻集合現象の実態を明らかにした。

実験② 幼虫は、羽化中の個体由来の匂いを忌避するのか

試料は、羽化中の1個体を設定した。自然界の状況に近づけるため、試料となる個体は殺さずに、試料を入れるフラスコ内で羽化を継続させる形で行った(当実験では、羽化中の個体とは、殻が約5mm割れた瞬間から、体が全て殻から出るまでとした)。また、その際に羽化している個体の足場として、ネットも羽化中の個体と一緒にフラスコに入れた。そのため、コントロールにも試料に合わせネットのみをいれ、実験を行った。

20個体実験を行い、試料側を、5個体のみが試料側を選択した ($p < 0.05$)。このことから、幼虫が、羽化中の個体由来の匂いを忌避していることが示された。

◇考察

アブラゼミ幼虫が他個体の羽化殻に誘引されることは、先に羽化した個体と同じ場所で羽化をすることで、自身の羽化の成功率を高めていることが考えられる。

また、セミの場合、羽化中に他個体に接触されれば、表皮に傷が付いて体液が流れ出し、羽化不全に直結する。さらに、もし羽化中の個体の上で、後から来た個体が羽化を始めてしまった場合、多くは2匹もろとも木から落下し、共倒れしてしまう。つまり、接触する側にとっても、命を脅かす危険がある。

そのため、アブラゼミの羽化中の個体が発する匂いが、他個体幼虫に対し忌避の作用を持つことは、本種が接触事故を避け羽化の成功率を高めるための機能と考えられる。

◇今後の展望

本研究の実験により、アブラゼミの幼虫が羽化に際し、利用している匂い物質が存在することを明らかにできたが、今後は、さらにそれら成分の特定までを目指したいと考えている。

また、セミにこのような物質が存在していると明らかになれば、セミに限らず、他にも羽化の成功率を上げるため同様の匂い物質を有している昆虫がいるのではないかと考えられる。

なお、セミと同じく半翅目のカメムシの一種は、同じ成分でありながら、濃度によって、異なる機能(薄→集合・濃→警報)を持つものが知られている(藤崎 2001)。本研究から、アブラゼミが誘引物質及び忌避物質も持っていることが推定されるが、異なる2種類の物質がそれぞれ作用を持つ可能性と共に、カメムシ同様、同じ成分の物質でありながら、機能を2つ持っている可能性も考えられる。最終的には、物質の成分特定をすることまでを目指したい。

◇主要参考文献

高井ら(2013) 日本の昆虫1400(1), 文一総合出版

藤崎憲治(2001) カメムシはなぜ群れる? 離合集散の生態学, 京都大学学術出版会

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、大学院生の藏満司夢さん、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。

ルブレン蒸着膜の光誘起酸化反応過程の分光計測

長谷部 依央(京都市立堀川高校 2年)

担当教員 渡邊 一也(京都大学大学院理学研究科)

目的・意義

近年、有機分子を用いた電子回路や素子の研究が活発に行われており、中でもルブレンは単結晶状態で高い電気伝導性を示すため、注目されている。有機分子は多くの場合、大気中の酸素により酸化されるため、酸化反応機構や酸化による電気的・光学的特性の変化を明らかにすることが重要である。ルブレンの場合も可視光照射による酸化反応が知られているが、薄膜状態での酸化機構については不明な点が多い。本研究では、ルブレン蒸着膜(非晶質)の光誘起酸化過程、構造、光有機酸化生成物についての知見を得ることを目的とした。また、研究テーマの設定から研究実施まで京都大学 ELCAS 専修コースで行った。

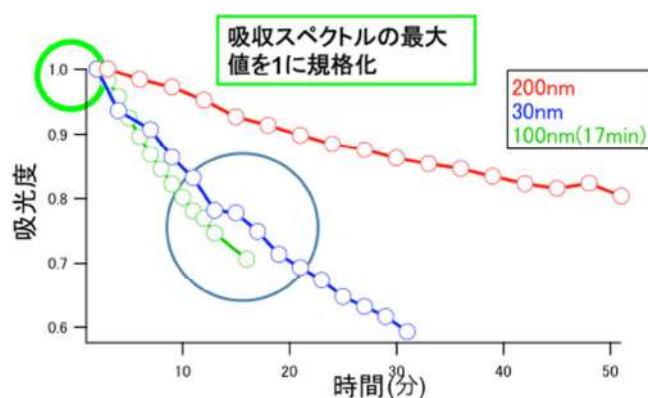
手法

本研究では、真空にした高真空槽の中でルブレンを昇華させ、対向基板に蒸着させることで非晶質な薄膜を作成した。作成した蒸着膜を透過した光のスペクトルを分光器で記録し、試料の吸収スペクトルの時間変化から、反応過程の知見を得た。また、赤外光領域の吸収スペクトルと量子力学に基づいた計算を照らし合わせることで分子の構造および生成物に関する知見を得た。

考察・成果

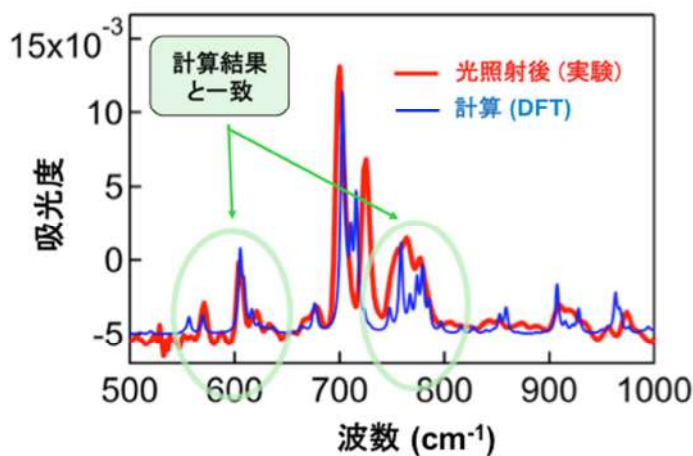
30nm、100nm、200nm の時の吸収スペクトルを計測し、それぞれの最大値を 1 に規格化して、吸光度の変化の割合を比較した。(グラフ 1) 100nm と 30nm の傾きが相似しているため、反応速度は膜厚が 100nm 以下ならば膜厚に依存しないと考えられる。

グラフ 1: 反応速度の膜厚依存性



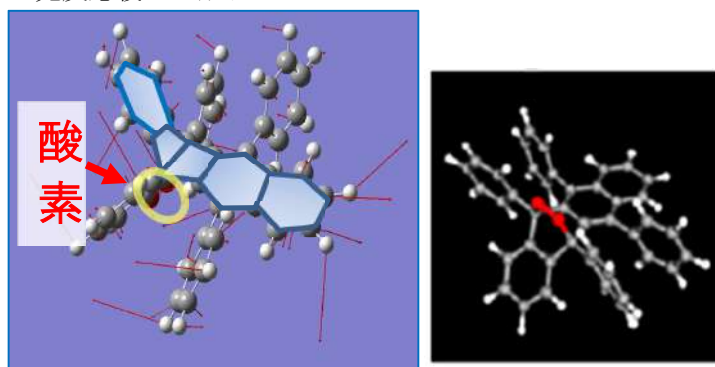
次に、ペルオキシドが生成すると仮定してコンピューターによる量子力学計算値と実験値を比較した。ピークが一致していることから、光照射した後のルブレンは酸素がついて、ルブレンペルオキシドが生成しただろうと推測される。

グラフ 2：量子化学計算による振動スペクトルの予測



630nm に対応するルブレンは図 1 のような振動モードをとり、骨格が曲がった構造をしている。参考のため、先行研究にある図も表示した。(図 1)

図 1: 光反応後の生成物



S. Shinha, *et al. Langmuir*
30, 15433 (2014)

今後の展望

光誘起酸化反応過程の機構についてより明らかにした上で、光酸化反応に伴うルブレンパーオキシドの生成を抑制する研究を行い、ルブレンの有機デバイスへの応用・実用化を目指す。

主要参考文献

- 1 D.Kafer and G.Witte (2005). Growth of crystalline rubrene films with enhanced stability. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2850-2853
- 2 Greg Szulczeski, Stefano Sanvito and Michael Coey (2009). A spin of their own. *Nature Materials*, 693
- 3 Sumona Sinha, C.-H. Wang, M. Mukherjee, T. Mukherjee, and Y.-W. Yang.(2014) Oxidation of rubrene thin films: An electronic structure study. *Langmuir*, 15433-15441

ジーンズ染色顔料を用いたセシウム除去の基礎研究

発表者 西條 友貴（麻布高等学校 2 年）

指導教員 井上 浩義（慶應義塾大学医学部教授）

◇研究の目的・意義

東北大震災、福島原発の事故から 5 年半を経過した現在もなお、多くの課題や問題が残っている。その一つが、環境中の放射性廃棄物の処理問題である。環境中の放射性廃棄物とは、原発事故で汚染された周辺の土壌を除染した際に出てくる廃棄物のことを指し、その半減期の長さや飛翔範囲から現在も問題になっているのは放射性セシウム 134、137 である。この除染による放射性廃棄物は非常に量が多く、それをどこで管理するか、また、捨てるか大きな社会問題になっている。こういった事情を打開するために、環境の放射性廃棄物の低減が早急に必要になっている。放射性廃棄物の低減とは、現在処理できずにいる汚染された廃棄物である土や水から放射性セシウムを除去し、普通廃棄物として処理することで放射性廃棄物として取り扱う量を減らすことである（放射性廃棄物と普通の産業廃棄物処分に関する法律は異なり、当たり前のことながら放射性廃棄物の処理に関する法律はかなり厳しいので、かかる費用や手間がかかる）。このように、今回の実験では環境中の放射性廃棄物の低減化、特に放射性セシウム 134、137 の吸着・除去する方法の開発することを目的とした。ここで、着目した試料がプルシアンブルーである。プルシアンブルーは身近ではジーンズの染色顔料をして使われて、シアン化合物の一種として知られている。プルシアンブルーのセシウム吸着は以前から知られていたが、本試験では放射性廃水の膜処理にプルシアンブルーを加えることで、放射性セシウム除去の効率性について議論することにした。

◇研究の方法・態度

実際の実験は以下のように実施した。

- (1) 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-2} , 1.0×10^{-3} (mol/L) の塩化セシウム水溶液を調整した
- (2) 3.3 mol/L の塩化カリウム水溶液に浸されている陽イオン交換膜を取り出して、純水に 10 分ほど浸し、試験に塩化カリウム水溶液の影響がないようにした。
- (3) 装置（図 1）の真ん中に陽イオン交換膜を装着して、I 相に常に 1.0×10^{-2} (mol/L) の塩化セシウム水溶液を入れ、また II 相には 1.0×10^{-1} (mol/L) の塩化セシウム水溶液を入れて、また両方に小型攪拌子を入れて、溶液相が均一になるようにして 10 分間放置した。
- (4) 装置に塩橋を取り付け、対照電極を通じて電位計に繋げることで I 相と II 相の電位差（膜電位）を調べた。
- (5) 10 分後に電位のデータを取り、記録した。
- (6) 以上の実験を、I 相は変えずに、II

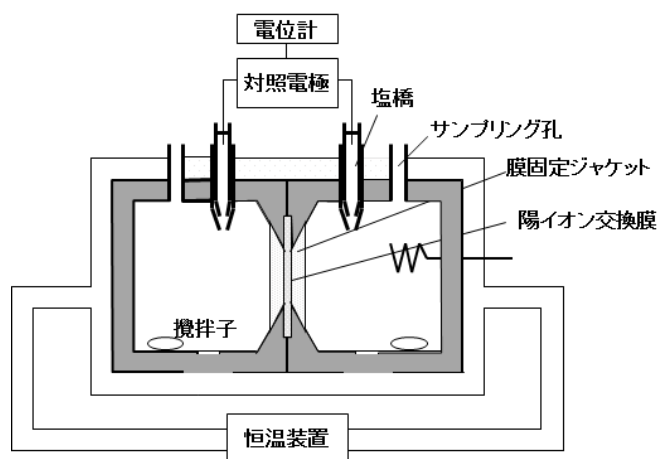


図1. 電気化学的測定装置概略図

相を 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-2} , 1.0×10^{-3} (mol/L) の塩化セシウム水溶液に変えて、順次行なった。

(7) I 相は 1.0×10^{-2} (mol/L) の塩化セシウム水溶液を入れて、II 相には 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-2} , 1.0×10^{-3} (mol/L) の塩化セシウム水溶液と 0.2 (mol/L) のプルシアンブルーを 24 (μl) 加えて同様の作業を行い、10 分後にデータを取った。

(8) 同様の作業を、プルシアンブルーを 240 (μl) 加えた場合も行った。

(9) 得られた、電位のデータをネルンストの公式に代入して、理想値との差異、また結合率について調べた。ネルンストの公式

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2} \quad * \text{標記記号についてはポスターで説明する。}$$

(10) これらに使用した陽イオン交換膜の表面への影響を調べるために走査型電子顕微鏡 (SEM) で写真を撮った。

◇考察と成果

本研究では、プルシアンブルーの存在の有無によって膜電位がどれだけ偏位するかを測定して、プルシアンブルーとセシウムの結合率を測定した。この結果、セシウム濃度によって結合率は 6.1%~11.2% までの範囲で計算された。平均で約 8.4% の結合率となった。

また、実用化のために、膜の状態を電子顕微鏡写真とした。その結果、図 2 のように、海島構造が見られ、プルシアンブルーの影響は見られなかった。

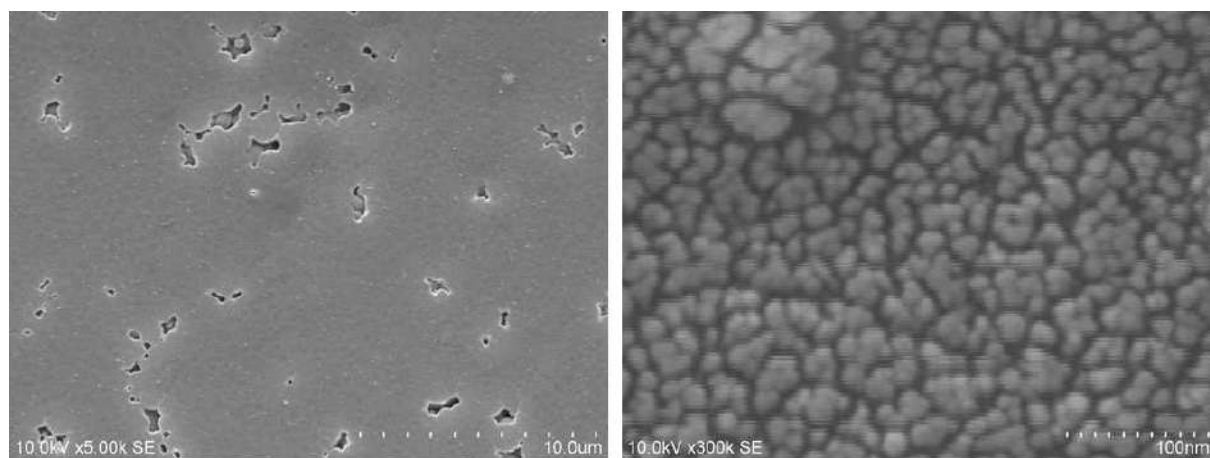


図2 陽イオン交換膜の使用後の電子顕微鏡写真(写真左に対して右は100倍拡大)

◇今後の展望

この研究では、放射性セシウムの分離・濃縮処理のための基礎的な検討を行なった。今後は、ナトリウムやカルシウムとセシウムが共存している場合の実験を行なう予定である。また、この研究結果は 3rd International Conference on Desalination using Membrane Technology で発表予定である。

◇主要参考文献

井上浩義、母里彩子、久保田真理: 放射性物質の除染技術. HEDORO 115(9) 14-19, 2012.
Inoue H: Effects of Co-ions on Transport of Iodide Ions through a Non Conventional Anion Exchange Paper Membrane. *J. Membrane Sci.*, **228**; 209-215 (2004).

水はどうやって冷える? ～密度の温度依存性と対流～

洛北高等学校2年 山下龍之介

◇研究の目的・意義

地球は水の惑星と呼ばれている。海洋、河川、湖沼として水は地球表面の大部分を覆い、多くの生物に棲息の場を提供している。そして水は一定の場所に留まらず、地球内を様々な形で循環し、地球環境に大きな影響を及ぼしている^{1,2}。対流は、主要な水の循環の一つであり、水圏生態系の生物多様性にも大きな役割を果たしている。例えば湖では酸素含有量の大きな表面層水が寒冷期の対流により深部まで潜り込むことが、水棲生物への酸素供給に重要である³。

対流は、液体密度が温度変化するために、温度の不均一に生じると液体各部分に働く重力のバランスが崩れることによって発生する。通常低温の密度の大きな液体は下降し、高温の密度の小さな液体は上昇する。ところが水には他の液体には見られない特徴があり、密度は凝固点で最大値を示さずに4℃付近で最大になる。つまり4℃以下になると、冷えれば冷えるほど軽くなるために、対流が停止する。この現象は、厳寒期の淡水湖では深部の温度変化を緩やかにし、生物の越冬を容易にする環境を作り出すことに役立っている。

水が4℃で最大密度を示す性質には、隣接する水分子間で形成される比較的強い分子間力である水素結合が関係している⁴。一般に液体は温度が下がると、分子の熱運動が低下して分子が密に詰まっていくために密度が大きくなる。しかし、水では冷却により指向性の高い分子間力である水素結合が増えると低密度の秩序構造が形成されるという逆方向の機構も存在している。つまり熱運動による無秩序化と、水素結合による秩序化のせめぎ合いにより体積が最も小さくなる点が決まっている。水は、多くの物質に対して高い溶解性を示す溶媒でもある。また、地表の水の大部分は塩水として存在している。このような水に溶解した物質は、水素結合を始めとして水の構造と性質を変え、さらに対流現象にも影響を及ぼすと予測される。私は、水に溶解した物質が①水の密度の温度依存性、そして②水の対流を通じた冷却挙動、に対してどのような影響を与えるかについて興味をもち、これを明らかにするための実験を行うことにした。

◇研究の方法

水溶液密度の温度依存性の測定：低温における水および水溶液密度の温度依存性は小さく、1度当たり 10^{-5}gcm^{-3} オーダーでの変化に過ぎない。この微小変化を、図1に示す比重瓶に毛細管を取り付けた器具で測定した。比重瓶の内容積と比べて毛細管部分の内容積は非常に小さいために、水の体積の温度依存性を精密に測定することができる。この器具に試料である水溶液を仕込んだ後、恒温槽に下部の比重瓶部分を沈めた。恒温槽の温度を10℃より-3℃まで約2℃/hで冷却した際に生じる毛細管内の液柱の高さの変化を読み取り、それを元に密度変化を算出した。

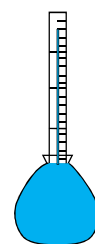


図1 密度の温度変化測定に用いた器具

水溶液の冷却挙動の測定：水温の深さ依存性を通じて、対流による冷却挙動の変化を調べた⁵。断熱ガラス水槽（直径約16cm、水深12cm）内の試料水溶液を上方から冷却板により冷やし、4つの異なる水深における水温の経時変化を測定した。装置の概要を、図2に示す。温度計測は、水槽の中央部分に冷却板より1cm、3.5cm、6cm、8.5cmの位置に取り付けたサーミスタを用いた。銅ブロック冷却板には冷媒を循環させた。-3℃の冷媒を流し室温からの冷却過程を約二時間に計測し

た後に、冷媒温度を 20℃に切り替えて昇温過程も約 1 時間計測した。

実験試料： 3 系統の試料を用いた。(1)NaCl 濃度依存性を調べるために、重量分率 0, 0.63, 1.0, 3.5, 5.1 %の試料を準備した。3.5wt%の試料は海水の塩濃度にほぼ対応している。(2)塩の種類の影響を調べるために濃度 0.173 mol/L の Na_2CO_3 、 NaNO_3 、および、NaCl 水溶液を準備した。(3)粘度に影響を調べるために平均分子量 400 および 20000 のポリエチレングリコール水溶液（重量分率 6.51%）を準備した。

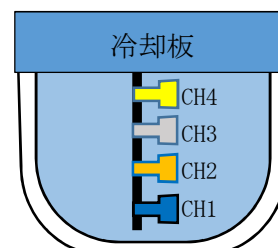
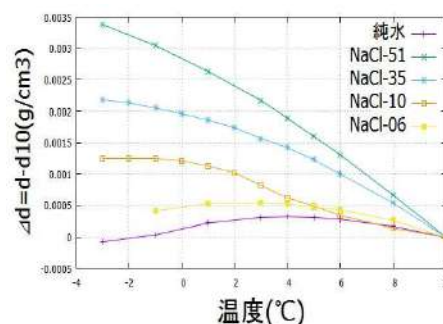


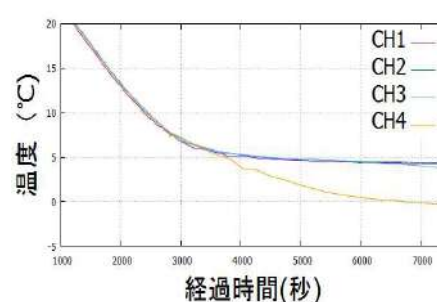
図2 水溶液の冷却挙動測定に用いた器具

◇考察と結果

NaCl 水溶液の密度の温度依存性と冷却挙動の変化：NaCl 濃度が高いほど密度極大は低温側へ移り、3.5wt%以上では測定温度範囲内に密度極大は見られなくなる。同時に密度の変化幅も増加する。溶解した NaCl は、 Na^+ イオンと Cl^- イオンに分かれての電離し、陽イオンと陰イオンの周りでは水分子の配向変化が生じるため、水素結合が阻害される。濃度が高いほど、この効果が高まることが分かる。



この NaCl 水溶液密度の温度依存性の違いは、水溶液の冷却挙動に著しい違いをもたらすことが明らかになった。蒸留水の場合（図4上）では、室温から 5℃付近まで異なる深さの4点（CH1～CH4）はほぼ同じ軌跡で冷えていくが、ここから冷却板に最も近い CH4 とその他3点の温度が分岐していく。CH4 の温度は順調に氷点下まで下がるが、他の3



点の冷却は極めて緩やかになり 4℃付近で落ち着く。一方 NaCl 濃度（1.0wt%）では、分岐温度が約 3℃付近まで下がり、海水に相当する濃度 3.5 wt%では、4点の温度は分離せずに順調に下降する（図4下）。

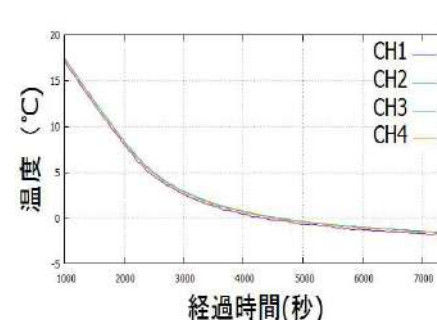


図4 蒸留水（上）と 3.5 wt% NaCl 水溶液（下）の冷却挙動

この2種の実験結果を総合して次のことが導き出される。

- ①塩濃度が高まるにつれて水素結合形成が阻害されるために密度極大温度は低下し、最終的には観測できなくなる。
- ②これに対応して対流停止温度が下っていき、一定濃度以上では対流停止は生じない。
- ③対流停止後は、冷却を続けても深部の温度変化は極めて緩慢なものになる。

同様の実験により、溶質である塩の種類の違いや粘度の大きさの違いも、水の冷却挙動に変化をもたらすことが明らかになった。昇温過程の結果も含めて詳細は当日報告する。

◇主要参考文献 1)川瀬義矩「水を科学する」電機大出版局 2011 年 2)保坂直紀「謎解き、海洋と大気の物理」講談社 2003 年 3) <http://www.pref.shiga.lg.jp/biawako/koai/hanndbook/files/p142-143.pdf>, <http://www.kugi.kyoto-u.ac.jp/dousoukai/pdf/Okamoto-Kotei.pdf> 4) 荒川泓「4℃の謎」北海道大学図書刊行会 1991 年 5) 小川直久, 福原朗子, 金子文俊, 長澤修一「4℃の水の性質を示す実験」物理教育 63, 258-262(2015).

クレアチニンを原料とする新規な蛍光色素の合成

栃木県立宇都宮女子高等学校2年 野澤 裕美

担当教員 大庭 亨（宇都宮大学工学研究科，iP-U）

◇研究の目的・意義

チロシンキナーゼ阻害作用をもつaplysinsin（図1左）は、水色蛍光蛋白質CFPの蛍光発色団（図1右）に分子構造がよく似ている。したがって、aplysinsinやその類縁体は蛍光を発すると期待される。これらの化合物はアルデヒドとクレアチニンの縮合反応で合成できると考えられるが、蛍光特性に関する研究は充分ではない。そこで本研究では、クレアチニンと様々なアルデヒドから新規な蛍光色素を開発することを目的とした。

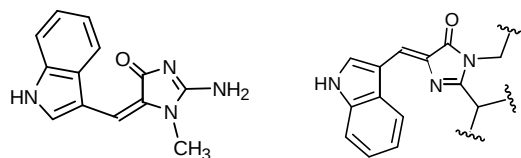


図1 aplysinsin（左）と CFP の蛍光発色団（右）の構造式

◇研究の方法・態度

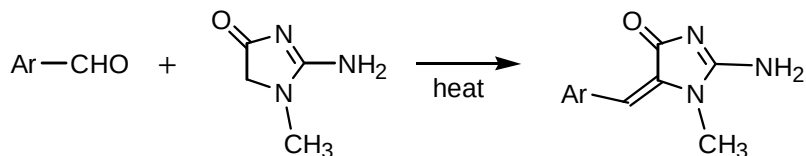


図2 新規な蛍光色素の合成

50 mL 三角フラスコにアルデヒド（**1**, 3.0 mmol）とクレアチニン（**2**, 4.8 mmol, 0.339 mg）を入れた。空気冷却管付きゴム栓をして、ホットプレート（約 180℃）で加熱した。2～3 分で内容物が融解し始め、褐色に変化した（図3）。10 分ほど加熱した後、ホットプレートから下ろして放冷した。析出した固体をろ過し、酢酸から再結晶した。生成物（**3a-f**）の収量，収率，質量分析（MALDI-TOF-MS），紫外可視吸収スペクトル，蛍光スペクトルを測定した。また，少量の生成物をろ紙にこすり付け，紫外線をあてて蛍光を観測した。



図3 加熱の様子

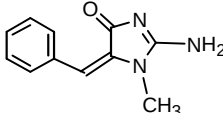
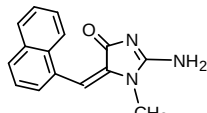
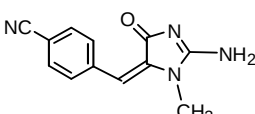
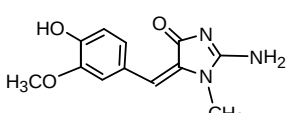
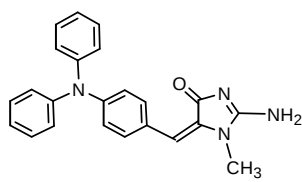
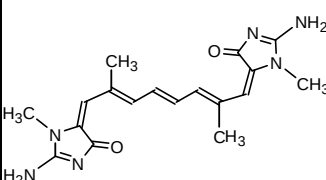
なお，アルデヒドにはベンズアルデヒド（**a**, bp 179℃），1-ナフトアルデヒド（**b**, bp 291℃），4-シアノベンズアルデヒド（**c**, mp 99～104℃），バニリン（**d**, mp 81～84℃），*N,N*-ジフェニルアミノベンズアルデヒド（**e**, mp 131～135℃），(2E, 4E, 6E)-2, 7-ジメチルオクタ-2, 4, 6-トリエンジアル（**f**, mp 164～168℃，この化合物のみ 6.0 mmol）を用いた。

◇考察と成果

MS スペクトルから化合物 **3a-d** の生成を確認した（**3e**, **3f** は確認中）。また，**3a-e** は蛍光を発することも確認できた（**3a** と **3c** は黄色，**3b** と **3e** はオレンジ色，**3d** は緑色）。

当初は溶媒（エチレングリコール，酢酸，無水酢酸＋酢酸ナトリウム）を用いて反応させたが、精製が困難なことから，文献通り無溶媒が適当であると考えられた。加熱にはヒートガン（約 300℃）も試してみたが，融け残りが生じたため，ホットプレートを用いることにした。

表1 生成物の分子構造, 収量, MS スペクトルデータ, および蛍光色

化合物	構造式	収量 (収率)	MS スペクトル (m/z , 上 段: 計算値, 下段: 実測値)	蛍光色
3a		26.7 mg (4%)	M^+ 201.090 ($C_{11}H_{11}N_3O$) MH^+ 202.093	黄色
3b		184.1 mg (24%)	M^+ 251.106 ($C_{15}H_{13}N_3O$) MH^+ 252.095	オレンジ色
3c		266.5 mg (39%)	M^+ 226.085 ($C_{12}H_{10}N_4O$) MH^+ 227.082	黄色 (480 nm)
3d		455.2 mg (37%)	M^+ 247.096 ($C_{12}H_{13}N_3O_3$) MH^+ 248.118	緑色
3e		測定中	M^+ 368.164 ($C_{23}H_{20}N_4O$) MH^+ 測定中	オレンジ色
3f		測定中	M^+ 354.180 ($C_{18}H_{22}N_6O_2$) MH^+ 測定中	蛍光なし

◇今後の展望

クレアチニンに様々なアルデヒドを反応させて, 新規な蛍光色素を合成することができた。これらの化合物の精製方法には検討の余地がある。より融点が高いアルデヒドを反応させる際には, 溶媒の探索も必要だろう。今後はもっと様々な色の蛍光を発する化合物を作りたい。また, これらの化合物のチロシンキナーゼ阻害作用を調べたい。

◇主要参考文献

V. Deulofeu and T. J. Guerrero, *Org. Synth.* **1942**, 22, 89.

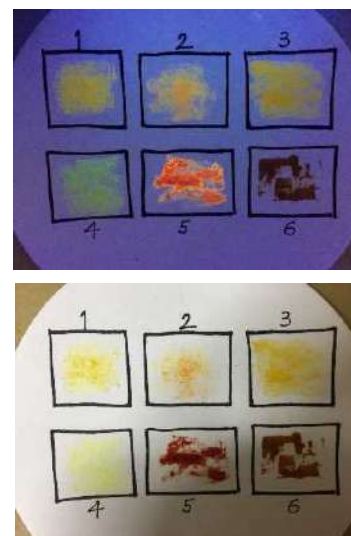


図4 生成物の蛍光
(上: 紫外線下, 下: 蛍)

胆汁酸の CMC 形成に対するアルブミンの影響

発表者 松尾 拓海 (横浜サイエンスフロンティア高等学校 2 年)

指導教員 井上 浩義 (慶應義塾大学医学部教授)

◇研究の目的・意義

胆汁酸は胆汁に含まれる有機酸で、肝臓でコレステロールから合成される。胆汁酸の役割は食物として腸に入ってきた脂肪をミセル化して吸収を促進させることである。胆汁酸を水に溶解させた場合、濃度が低いうちは水中では単分子で存在しているが、濃度が高くなるにつれて集合体(ミセル)を形成する。やがて水中の胆汁酸分子が全てミセル化され、これにより溶液の性質が大きく変化する。このときの全てミセル化される濃度を臨海ミセル濃度(critical micelle concentration ; CMC)という。消化においてこのミセル (micelle) 形成は重要である。例えば、脂肪は小腸で胆汁酸塩、レシチン、モノグリセリドの表面活性化作用によって乳化される。現在、胆汁酸は高コレステロール血症や肝臓疾患などの脂肪関連の病気だけでなく、大腸がんの発症にも関係していることが話題になっている。今回の実験では、この CMC の値をミセル形成の尺度として利用し、ミセル形成の観点から胆汁酸と消化器内容物の関係性について考えた。

この研究では、最も一般的な胆汁酸であるコール酸ナトリウムを用いて、コール酸ナトリウム単独およびアルブミンとの相互作用の影響を調べた。

◇研究の方法・態度

今回、コール酸のナトリウム塩(和光純薬)を使用した。アルブミンはヒト由来アルブミン(和光純薬)を用いた。表面張力の測定にはリング法もあるが今回は wilhelmy 法(プレート法)を用いた(図 1)。これは基本的な表面張力も測定方法として良く普及しており、古くから使われてきた方法である。白金プレートを液体に浸し、その際に液体がプレート引く方向に発生する力を天秤で測定することで表面張力を計算する。最少で 1mN/m までの表面張力を測定することができる。

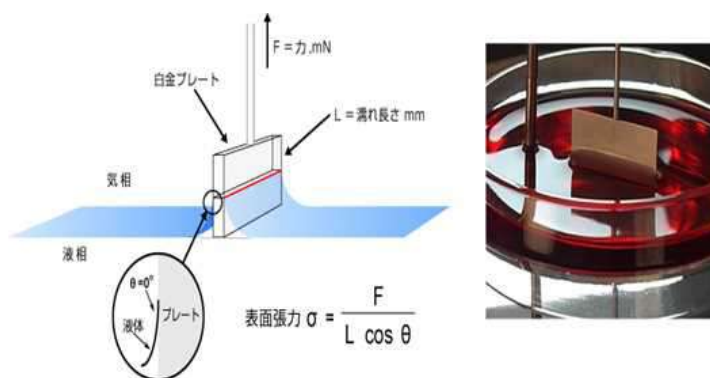


図1 表面張力の測定原理(右は使用した機材写真)

実際の測定は以下のように行なった。

- (1) 胆汁酸(コール酸ナトリウム)の濃度を変化させ、各濃度での表面張力を 3 回ずつ測り、その平均値をプロットした。TITRONIC という自動滴定器を用いて胆汁酸の濃度を変化させた。
- (2) 試験に用いたコール酸ナトリウム溶液は用事調製とし、実験中も保存は冷蔵庫で行った。実験に使用した水はイオン交換を行った後にミリポア濾過したもので、17MΩcm 以上の電気抵抗を有する純水を用いた。

(3) 表面張力は、その熱力学的予想からも明らかなように、温度によって変化する（エンタルピー変化）。例えば、温度の上昇によって表面張力が下がっていく。今回は温度調整をすることが出来なかったので、部屋全体の空調を 26℃で固定し、溶液も冷蔵庫から出した後は、この温度と平衡になってから使用した。

◇考察と成果

図 2 にコール酸ナトリウムの表面張力測定結果を示す。右下のところで表面張力に折れ曲がりが見える。この変化の濃度が CMC である。図 2 からみるとコール酸ナトリウムの CMC は 0.13 mol/L であった。この表面張力から吸着量を以下の数式を用いて計算した。

$$\Gamma_1 = -1/RT (\partial\gamma/\partial \ln C)_T(p)$$

この結果を図 3 にまとめた。

同様に、アルブミンを 1×10^{-4}

mol/L を加えた状態で同様に表面張力を測定して、表面吸着量を算出した。この結果、アルブミンの添加によって CMC は高濃度側へ移動した。これは、水に溶解したアルブミンの表面に胆汁酸が吸着し、その分だけ、ミセルが出来るだけの濃度になるために多くの胆汁酸を要するのではないかと考えた。

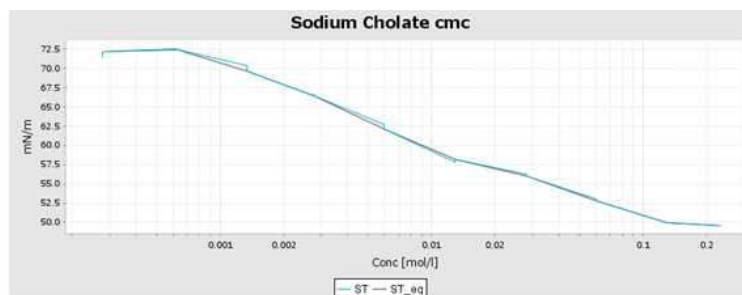


図2 コール酸ナトリウムの表面張力測定

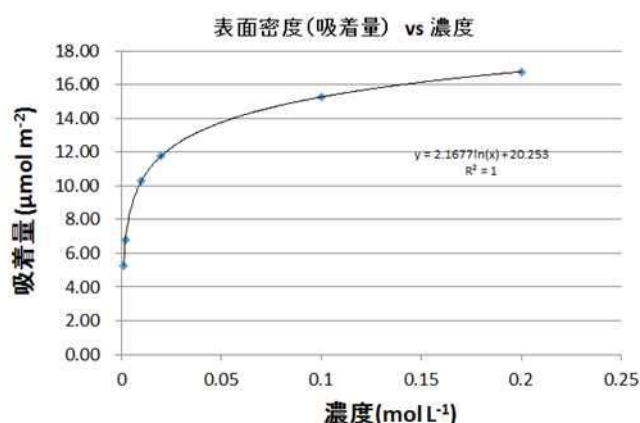


図3 コール酸ナトリウムの表面吸着量曲線

◇今後の展望

病気ではミセルが出来難いのはあまり良い状態ではない場合が多いと聞いた。今後は、今回の研究を更に進めるために、①今回使用したアルブミンはたくさんのペプチドの混合物なので、より分かり易くするためにアミノ酸を使った実験、②消化管の中にはたくさんのイオンが存在するのでナトリウム、カルシウムが存在する条件での実験を行なう予定である。

◇主要参考文献

岩波講座 現代化学 16 界面の化学； 岩波書店、東京、1980.

医科生理学展望 (16 版)； 丸善株式会社、東京、2005.

Schabad L.: Production experimentale de tumeurs malignes par un extrait benzenique du foie d'un cancreux. C.B.Soc.Biol. 124, 213, 1937.

Li F, et al.: Metabolomics reveals an essential role for peroxisome proliferator-activated receptor α in bile acid homeostasis. J Lipid Res. 53, 1625, 2012.

カニ鍋で具材はなぜ軟らかくなるのか？

山元佑香子（兵庫県立兵庫高等学校 3年）

担当教員 佐藤尚弘（大阪大学大学院理学研究科高分子科学専攻 教授）

◇研究の目的・意義

カニ鍋を食べているとき、寄せ鍋等他の鍋料理と比べて、豆腐等の具材が軟らかくなっているように感じた。図1の写真は、カニ鍋のようすである。豆腐は角が取れて、丸みを帯びている。この具材が軟らかくなる原因がわかれば、食材を早く簡単に軟らかくすることができると考え、この研究を始めた。また、この研究によって、具材を軟らかくする成分や条件がわかれば、将来、硬いものを食べられない人向けの食事を作る技術にも応用できると考えている。なお、この研究は、テーマ設定から研究実施のすべてを大阪大学 SEEDS プログラムにおいて実施した。



図1 カニ鍋での豆腐の様子

◇研究の方法・態度

方法

- ① 豆腐は1.5cm角、白ネギは長さ2cmに切る。
- ② 具材を水、コンブだし、コンブだし+ズワイガニのそれぞれとともに95℃で40分間茹で、破壊強度を測定する。
- ③ pHメーターを用いてだし汁のpHを測定する。
- ④ ビウレット反応を用いて、だし汁中のタンパク質の有無を調べる。
- ⑤ 動的光散乱法によるコロイド粒子の分析を行い、だし汁中のコロイド分子を調べる。

破壊強度とは

本実験では、図2に示すように、具材を台秤に乗せ、その上にプラスチック板を乗せて、手で上から圧力を加え、具材がつぶれたときに台秤の目盛が示す値を破壊強度とした。



図2 破壊強度の測定

ビウレット反応とは

溶液中に、トリペプチド以上のペプチドが含まれていれば、赤紫色に呈色する反応。

動的光散乱法とは

溶液中に存在するコロイド粒子から散乱される光より、コロイド粒子のサイズを測定する方法。

◇考察と成果

・図3を見ると、水だけで茹でるときに比べて、コンブだしで茹でたときのほうが豆腐もネギも軟らかいことがわかる。また、豆腐は、カニを入れるとさらに軟らかくなっているが、ネギについてはほとんど変化が見られない。

・図4は、pH試験紙によるpH測定の結果である。だし汁のpHを測定したところ、コンブだしも、コンブとカニのだしも約7であることがわかった。このことから、だし汁のpHが具材の破壊強度に直接関係しているとは考えにくい。

・図5では、カニを含む方が、僅かに赤紫色に呈色している。つまり、タンパク質が微量ながら溶け出しているといえる。

・図6は、動的光散乱によるだし汁中のコロイド粒子分析の結果である。コンブだし（青）、コンブ+カニのだし（オレンジ）に含まれる100nm程度のコロイド粒子は、コンブの細胞断片であると考えられる。また、コンブ+カニのだしに含まれる、タンパク質の集合体サイズの15nmのコロイド粒子が、具材を軟らかくするためにカニから出た成分か、軟らかくなった豆腐から出た成分であると考えられる。

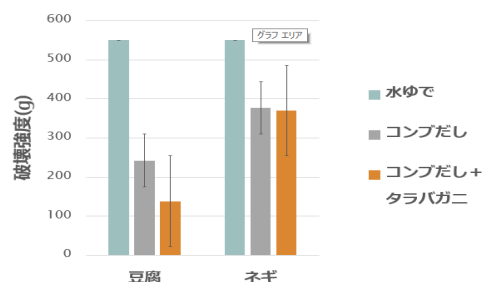


図3 豆腐とネギの破壊強度



図4 だし汁のpH



図5 ビウレット反応の結果

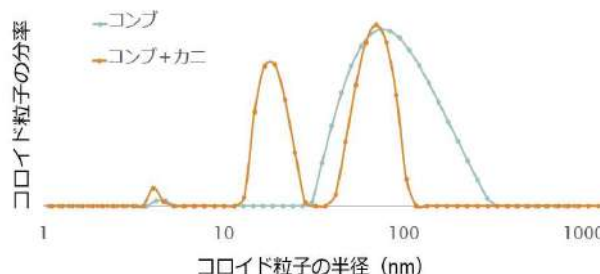


図6 動的光散乱によるだし汁の分析

◇今後の展望

今後は、だし汁に含まれていたコロイド粒子についてさらに調べていきたい。また、具材が軟らかくなる条件について、カニ以外の材料も足していくなど、もっと詳しく調べたい。

◇主要参考文献

- 1) 勝田啓子、新潟新聞、1992年5月12日号
- 2) 井上祥平著、「初めての高分子化学」、(株)化学同人、2006年
- 3) 竹内敬人ほか、「化学」、東京書籍株式会社、2014年

単三乾電池 1 本から取り出すことが出来るエネルギーの総量 ～プラレール走行実験による考察～

発表者 榛澤 貴春（暁星高等学校 2 年）

指導教員 井上 浩義（慶應義塾大学医学部教授）

◇研究の目的・意義

福島第一原子力発電所事故後、エネルギー消費量に対する国民の意識は高まる一方である。現在では、エネルギー消費やバランスだけでなく、エネルギーの保存、環境との共存なども焦点となっている。本研究課題では、エネルギー保存装備の基本体である単三乾電池から取り出し得るエネルギーを実験により測定した。加えて、日本のエネルギー消費量、1 世帯当たりの全消費電力量および待機時消費電力と単三乾電池のエネルギー総量を比較することで、省エネに対する国民の関心を喚起することを目的とした。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・態度

単三乾電池から取り出し得るエネルギー総量を求める方法として、①デジタルマルチメータによる直接計測、②乾電池に接続した豆電球の照度を計測及び、③プラレール走行実験によるエネルギー総量測定を考えた。本研究では、このうち、特別な測定装置を必要としなく、誰もが、自宅で計測することが可能であるプラレールを用いることにした（図 1）。実験の準備として、車両の重量(130g)を計測し、レールを連結した。次に車両の外輪側レールの長さをメジャーで計測し（2.3m）、車両が 1 周に要する時間をタイマーで計測した。1 周毎に要する時間を 968 回（周）計測し、停止するまで計測した。そして、1 周に要する時間毎に速度を導出し、力学公式から運動エネルギーを求めた（図 2 参照）。なお、この実験において車両の摩擦力は非常に小さいものと考え、無視した。

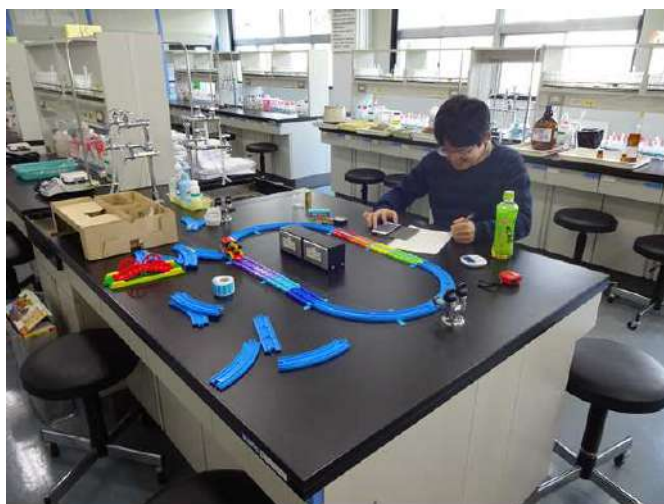


図1 プラレールを用いたエネルギー測定の概観

エネルギーの総量を求めるために、時間と運動エネルギーの積分値を求める必要があった。EXCEL を用いた数値処理も可能であったが、本実験では“誰もが”行い得ることを目標としたので以下のような方法を選択した。図 2 のように、縦軸に運動エネルギー、横軸に時間をとったグラフを作り、折れ線グラフを紙に印刷し、折れ線グラフおよびグラフ内部の $1\text{ J} \times 50\text{ 分} \times 60\text{ 秒}$ の長方形をハサミで切り出し（図 3）、分析用電子天秤で計測し、比率からエネルギーの総量を求めた。また参考までに、

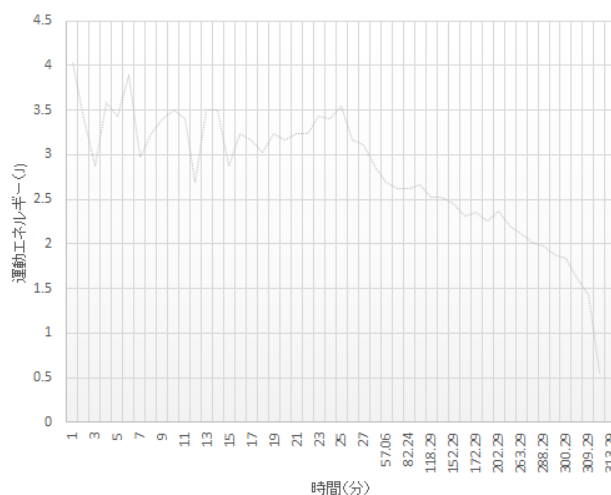


図2 運動エネルギーの変化を表した折れ線グラフ

エネルギーの総量を積分によっても求めた。

◇考察と成果

分析用電子天秤の計測結果によるエネルギーの総量は 47662.42038J となり、積分によるエネルギーの総量は 45850.9004J となったから、結果の数値の差を考察し、 $47662.42038 - 45850.9004 = 1811.51998\text{J}$ 、 $1811.51998 \div 47662.42038 \times 100 = 3.80073014663\%$ となり、エネルギー

の総量の数値の差が4%以下になった。この差は、紙をハサミで切り取ったため、多少切れ目が荒くなり、誤差が生じたものであると考えられる。これにより、積分による単三乾電池のエネルギー総量と日本のエネルギー消費量（産業・運輸・民生部門）、1世帯当たりの全消費電力量および待機時消費電力を比較する。日本のエネルギー消費量は 1.4347×10^{19} 乗 J/年、一日当たりに直すと 3.93068×10^{16} 乗 J/日、人口1億2千7百万人（平成28年8月統計）とすると 3.095023622×10^8 乗 J/日・人、これを単三乾電池の個数に換算すると、6494個/日・人に相当する。また、全消費電力量は 1.59552×10^{10} 乗 J/年・世帯、一日当たりに直すと 4.371287671×10^7 乗 J/日・世帯、これを単三乾電池の個数に換算すると、119761個/日・世帯である。待機時消費電力は 8.208×10^8 乗 J/年・世帯、一日当たりに直すと 2.24876712×10^6 乗 J/日・世帯、これを単三乾電池の個数に換算すると、47個/日・世帯である。

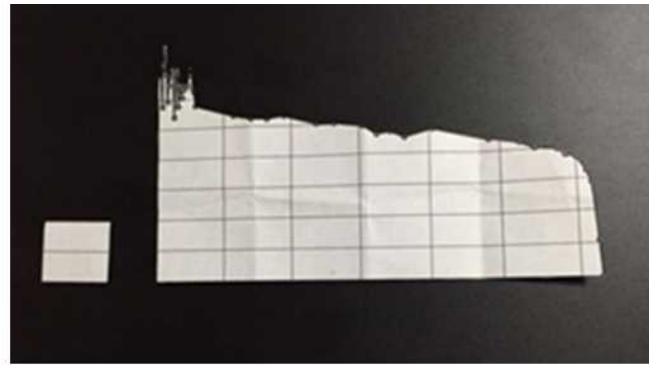


図3 切り出した折れ線グラフ(右)および単位エネルギー(1J×50分×60秒)を表す長方形(左)

◇今後の展望

電池の場合には温度が高いほど自己放電は大きくなる。本測定では環境温度は 19.5°C であったため、特別な注意を払うほどの自己放電があったとは考えにくかった。また、気圧が高いほど自己放電は大きくなるという文献はないため、この測定では考慮しなかった。今後、気圧の違う状況下で、自己放電の差が生じるかどうかは測定して確認する必要がある。

また、日本のエネルギー消費量および待機時消費電力に対する単三乾電池のエネルギー総量は微々たるものではあるが、国民一人一人が単三乾電池1本分の電力を削減すれば、 $12700 \text{万人} \times 47662.42038 = 6.05312 \times 10^{12}$ 乗 J にもなるので、単三乾電池のエネルギー総量の研究を通じて、人類が限りある天然資源を永続的に使えることを目的に、省エネに対する国民の関心を惹くことに繋がると考える。

今後は家庭で利用できる蓄電池について研究を重ねていきたいと思っている。

◇主要参考文献

四国電力ホームページ

<http://www.yonden.co.jp/life/kids/museum/energy/japan/007.html>

関東電気保安協会ホームページ

https://www.kdh.or.jp/safe/energy_saving/saving_knowledge/stand_by.html

総務省統計局ホームページ

<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/new.htm>

数独の初期配置による難易度決定と問題作成について

大井 菜ノ香（浦和明の星女子中学・高等学校 2 年）

担当教員：中川 幸一（埼玉大学 産学官連携研究員）

◇研究の目的・意義

「数独」(株式会社ニコリの登録商標であり、ナンプレとも呼ばれる)は、9×9 のマスに対して、各行・各列及び 3×3 の各ブロックに、1～9 が一度ずつしか現れないよう数字を埋めていくパズルであり、そのくくりは数学である。新聞やインターネットで与えられる数独の問題を解いてみると、うまく難易度に応じて作られているが、それらはどのようにして作られているのか疑問に思ったので、数独についての研究を始めた。研究していくうちに数独の問題作成時における難易度決定には初期配置が関わっていることがわかった。そこで、初期配置に焦点を当てて問題作成にも取り組んだ。これによって難易度別による解法の規則性を導き、数独の問題の作図の簡易化につながると考える。なお、この研究は埼玉大学にて、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・態度

本研究の基礎的事項となる、数独の解法について説明をする。

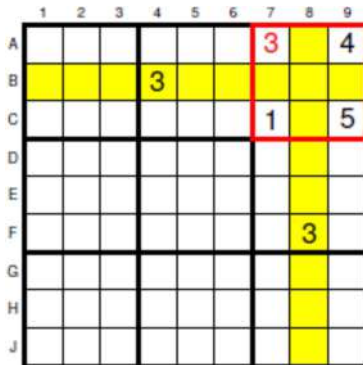


図 1 Hidden Single の例

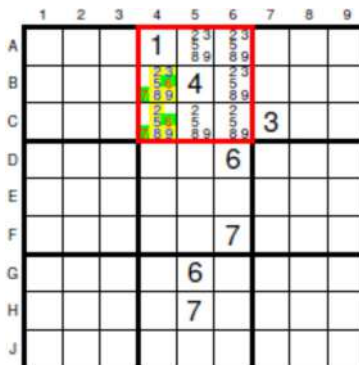


図 2 Hidden Pair の例

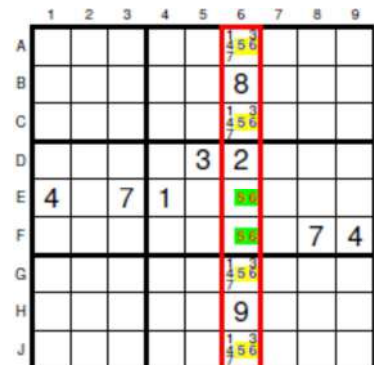


図 3 Naked Pair の例

● Hidden Single

行・列・3×3 のボックスで、候補が 1 つしかない数字を持つマスがあるとき、そのマスにはその数字が入る。これが Hidden Single である[図 1]。

B4 と F8 に 3 が入っているとき、B 行と 8 列には必然的に 3 が入らなくなる。赤く囲まれた部分には 3 を必ず一つ入れなくてはならないので、ここでは A7 に 3 が入るとわかる。

● Hidden Pair

行・列・ボックスで 2 つの候補数字が、ある 2 つのマスだけに含まれるとき、それらのマスにはその 2 つの候補数字しか入らない。これが Hidden Pair である[図 2]。

赤く囲まれた部分について、B4 と C4 の候補のみに 6 及び 7 が含まれている。よって B4 と C4 の候補は 6 及び 7 以外を消すことができる。

● Naked Pair

行・列・3×3 のボックスで、ある 2 つのマスに候補が 2 つずつのみのとき、同じエリアの他のマスにはその数字は入らない。これが Naked Pair である[図 3]。

赤く囲まれた 6 列について、E6 と F6 の候補は、5 及び 6 であるからこの 1 つのマスには 5 か 6 しか入らない。よって 6 列の他のマスの候補内に含まれる、5 及び 6 は消すことができる。

● 目標

これら 3 つの解法を用いなければ解けない数独を作問する。

◇考察と成果

ここで、最初に埋まっているマスは 17 つ以上ではないと問題として成り立たないことを確認しておく。一問作図するのに数十回の試行が必要になる。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	6	1	7	4	3	9	2	5	8
B		9		7				1	
C		8		5				3	
D		5		2				9	
E		6		9	1	8		7	
F		4				3		8	
G		7				4		2	
H	9	3				5		6	
J		2		8	7	6		4	

図 4 JST の文字状に配置した数独

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	4				1				
B	5		2			4		9	
C	6			9					2
D			7			6		4	1
E	1							5	3
F			4	5					
G		3							
H	2				6		5	1	
J					4	7		2	

図 5 ヒント数 26 の数独

[図 4] のように初期配置のヒント数が 38 だと埋めるマスの数が少なく、すぐに解ける。またこのようにヒントが散らばらずに集中すると、より簡単に解ける問題になる事が複数回の試行から分かった。

よって、初期設定として「最初に埋めるのは 26 マス」、「ヒントはなるべく散らせる」を前提に問題作成を進めた。

[図 5] は、Hidden Single が複数回、Hidden Pair が 1 回、Naked Pair が 1 回解法として用いられる問題である。

H3 と J1 に 8 と 9 の Naked Pair がつくれるように配置した。そのために、H3 と J1 の候補が 8 及び 9 のみになるように H3 と J1 に影響を及ぼすマスを埋めた。他のマスは、この数独が問題として成立するように試行した。

また、初期配置の変化が難易度の変化に及ぼす影響を調べるために [図 5] の数独の初期配置から数字を 1 つずつ抜いて調べた。すると、C1 の 6 と E8 の 5 と F3 の 4 が欠落しても問題は成り立つことが分かった。C1 の 6 と E8 の 5 を抜いても [図 5] の数独と比べても Hidden Single や Naked Pair の回数や所感での難しさは変わらないようだった。しかし、F3 の 4 が抜けると Naked Pair の回数は 3 回に増え、解答時に所感でも難しく感じた。

●成果

以上のことから難易度決定には、使う解法の種類や、その回数によるのだと考えた。また、初期配置が難易度決定に関わりを持つことを確認できた。

◇今後の展望

今後は、どう初期配置をしたら解答時に使わせる解法とその回数を意図的に作れるかを追究していきたい。それにより、難易度決定を詳細に行うことができると考えている。

◇主要参考文献

- [1] ジェイソンローゼンハウス, ローラタールマン: 「数独」を数学する: 世界中を魅了するパズルの奥深い世界, 青土社 (2014)
- [2] SudokuWiki.org < <http://www.sudokuwiki.org/sudoku.htm> >

高解像度 DEM と GIS を用いた地震変動地形の探査

科学先取りグローバルキャンパス岡山

大山航（岡山県立倉敷天城高等学校 1 年），杉本優友（岡山県立倉敷天城高等学校 1 年），
谷尚俊（岡山県立倉敷天城高等学校 1 年），山崎千種（広島大学附属福山高等学校 2 年）

指導教員 山川純次（岡山大学）

◇研究の目的・意義

地震による災害を防ぐためには活断層の位置や活動周期を知る必要がある。活断層は周期的に地震を起こし地形を変動させる。日本の地形は我が国の政府系機関によりデジタル標高モデル (DEM) として公開されている。10m 間隔や 5m 間隔の高解像度 DEM は過去の地震による変動地形の検出に使用できると考えられる。地理情報システム (GIS) には地形を解析する様々な機能が搭載されている。本研究では GIS の地形傾斜度解析機能を使い高解像度 DEM から地震変動地形を探査する方法を検討し、防災に役立てることを目的とした。

◇研究の方法・プロセス

活断層による周期的な変動地形は緩斜面と急斜面の繰返しになると考えられる。そのため GIS を利用して DEM から地形の傾斜度を計算し、急傾斜地域の分布パターンを解析した。河岸段丘や海岸段丘と地震変動地形は 20 万分の一シームレス地質図 (産業技術総合研究所地質調査総合センター、2016) を考慮して区別した。対象地域は活断層が少ないと考えられている岡山県南部と活断層分布が詳細に検討されている兵庫県南部に設定した。高解像度 DEM は国土地理院により公開されている数値地質情報 (国土地理院、2016) を利用し、地理情報システムは FOSS4G アプリケーションである QGIS (QGIS, 2016) を使用した。また、急傾斜地域の 3D マッピングには Google earth (Google, 2016) を使用した。

◇考察と結果

まず岡山県南部で傾斜度が 10 度以上の地形をマッピングした (図 1)。すると岡山平野には、地震変動地形がほとんど存在しないことが分かった。また傾斜度のマッピングは河川地形の把握にも有効であると考えられた。次に兵庫県南部の地形に関して傾斜度解析を行ない地質図と合わせて考察したところ、傾斜度が急なところと緩やかなところの境に地質断層が位置していることが読み取れた (図 2)。地質と傾斜度の関係を検討すると、第四期に堆積した砂層と花崗岩において 10 度以上の傾斜が多く分布しており、段丘層の部分には 10 度以上の傾斜がほとんど分布していないことがわかった。さらに断層が密集している周辺に 10 度以上の傾斜が多く分布していることが読み取れた。以上のことから高解像度 DEM と GIS を用いた地形解析は地震変動地形の探査に有効であると考えられた。

◇今後の展望

今後は更に解像度の高い 5m DEM を使い傾斜度の下限値と上限値を設定してマッピングし、微細な地震変動地形の検出を試み、地震災害が発生する危険性が潜在的に高い地域の推定を行い、防災に役立てたい。また危険性の高い地域をスマートフォンなどで簡単に確認できるハザードマップの開発を行い、地震災害に備えるために使用できるようにしたい。

◇主要参考文献

基盤地図情報数値標高モデル。国土地理院, 2016

20 万分の一日本シームレス地質図 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 2016

QGIS (QGIS, 2016)

Google earth (Google, 2016)

◇ 付図

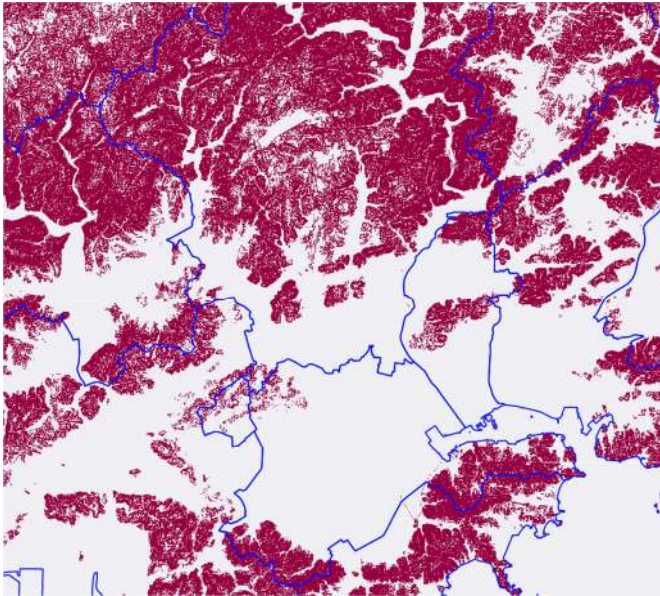


図 1. 岡山県南部の傾斜分布

横幅は約 38 k m、平面直角座標系第 V 系で投影されている。図の上が北である。図の赤く塗られている部分が傾斜角 10 度以上の地域である。青線は市境である。

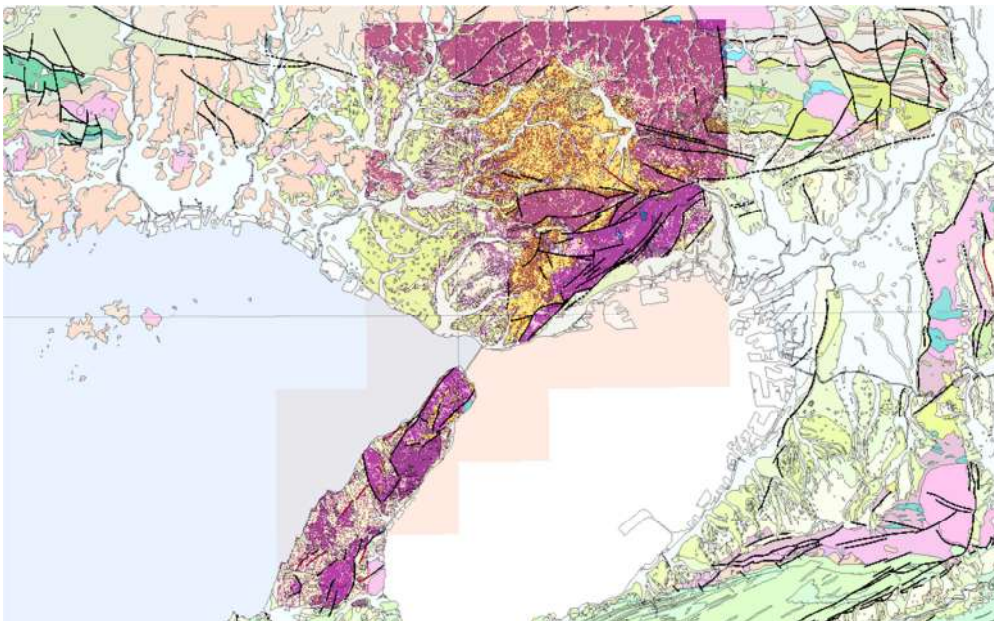


図 2. 兵庫県南部の傾斜分布とデジタル地質図

横幅は約 70 k m、平面直角座標系第 V 系で投影してある。図の上が北である。図の赤く塗られている部分が傾斜角 10 度以上の地域である。太実線は地質断層を示している。

サボニウス型風車風力発電の開発と測定

発表者名：（本人の希望により氏名削除）

担当教員：川村康文（東京理科大学理学部第一部物理学科）

◇研究の目的・意義

東日本大震災で発生した福島第一原発の水素爆発事故以降、国内では多くの原子力発電所が発電を停止しており、事故発生から6年経った現在も原子力発電に代わる画期的な発電方法は実用化されていない。温室効果ガスの増加や石油燃料の枯渇などの問題を抱えている今、原子力発電と同レベル以上の発電能力を有する新しい発電の開発が早急に求められている。

本研究では現状実用化はされているものの日本国内ではあまり普及していないサボニウス型風車風力発電に着眼し、都市部で十分に発電可能な風力発電装置の作製に取り組んでいる。また、実際に風を当てての測定を通して実用的な風力発電装置の開発を目指している。

なおこの研究はテーマ設定から研究実施までのすべてを東京理科大学グローバルサイエンスキャンパス事業にて行っている。

◇研究の方法・プロセス

〈装置作製〉

- ・材料：130L ポリバケツ×2 個、自転車のハブダイナモ×1 個、180cm アングル 4 本、90cm アングル 10 本、アングル用固定金具、アングル用ネジ、プラスチックダンボール、支柱、心棒、ボルト、ナット、蝶ネジ

〈作製手順〉

- ・130L ポリバケツを半分にのこぎりで縦に切る。
- ・ポリバケツの口の部分を対にして合わせ、ドリルで4箇所穴を開け、ボルトとナットを使用してそれぞれ固定する。またこの二つを円形にカットしたプラスチックダンボールに固定した。この部分をバケット部と呼ぶ。ここでのオーバーラップ比はおおよそ 26:9 とする。
- ・プラスチックダンボールにドリルで穴を開けて、その中に自転車のハブダイナモの軸を通して、ボルトとナットで固定した。
- ・バケット部に、プラスチックダンボールにハブダイナモを固定したものをハブダイナモの軸が通る穴を開けたのちに、蝶ネジとナットで固定する。外側のハブダイナモの軸には支柱をつけ、反対側にはプラスチックダンボールと固定用に用意した心棒を同じように固定した。
- ・アングルを立方体状に組み立てて、内部で心棒とアングルを固定した。

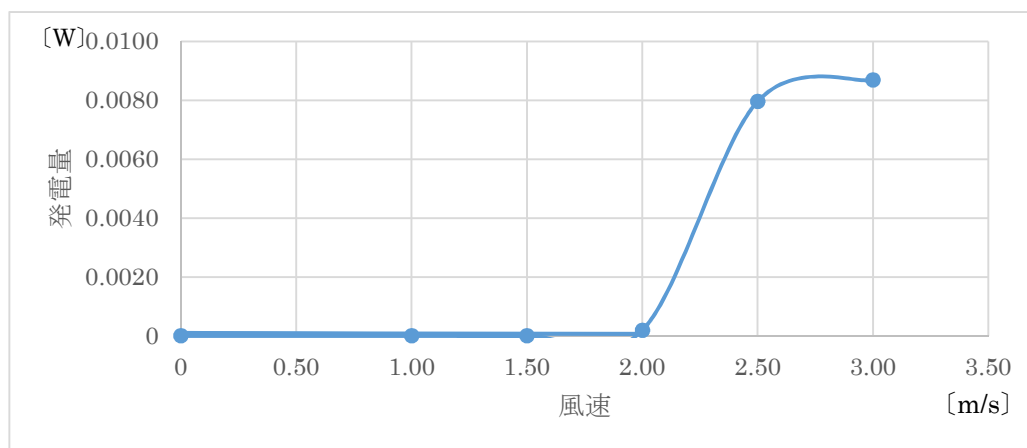
〈測定方法〉

川村研究室の大学院生の立会いの下、一定の強さの風を当てることによって測定を行った。風車の最上部、中部、下部に風速計をあてて、どの部分でも一定に風が当たるようにした。

風速を三段階(2.0m/s, 2.5m/s, 3.0m/s)にそれぞれ設定して、そのときの電流と電圧の最大値と最小値を計測した。またそれらの平均値から電力を算出した。

◇結果と考察

〈結果〉



〈グラフ〉発電量と風速の関係

〈考察〉

今回作製し、測定したサボニウス型風車ではバケット全体に風が当たるように風速計で三箇所風速を確認してから実験をしたが、あまり風車の回転が起きなかった。ゆえに十分な発電量が得られず、改良が必要ながはっきりとわかった。東京都心の年間平均風速は2.8m/s(2015年 気象庁)である。今回はその値を勘案し、3段階の風力によって実験する手順をとったが、今回作製した風車は加工の荒さが目立ち、サイズや重さもハブダイナモの性能に見合ったバケットではなかったため本来の性能を発揮できなかった。

また、風速が2.5m/sになった途端に発電量が急増しているのがグラフから読み取れる。そこから、風速が2m/sまででは風車の回転がゆっくりで発電効率が非常に悪いが、それ以上になると回転効率の大幅な上昇がみられることがわかる。本研究では都市部での使用を想定した実用機の開発を目指しているので、弱い風でももっと現状より高い水準の発電を創出できるよう工夫が求められる。また、ビル風を利用した方法での発電も検討したい。

なお、グラフでプロットされている風速2.0m/s以下のデータについては、発電は全く起きなかったことを意味している。

◇今後の展望

今後は風車に設置する発電機をコイルモーターにして組み立てて自作、バケット部の軽量化また作製の精度の向上などの改良を試みるなどしたりして、より効率よく発電できるサボニウス型風車を開発していきたい。また、さらに今回の研究方法のように風を当てての試験を重ねたり、屋外での実地試験の実施をしたりすることを通して、都市の中でも十分に発電できる風車を作っていこうと思う。

◇主要参考文献

- ・「よくわかる、おもしろ理科実験」 川村康文著(2009) オーム社
- ・「自分で作るハブダイナモ風力発電+」 川村康文著(2012) 総合科学出版
- ・「自分で作る風力発電」 中村昌広(2011) 総合科学出版

海藻類からのバイオエタノール製造～生成糖量の季節的变化を探る～

坂本 悠、柴谷美帆（磐城高校 2年）

担当教員 伊藤幸博（東北大学 農学研究科）、小平裕子（磐城高校）

◇研究の目的・意義

日本は現在、再生可能エネルギーの開発という課題を抱えている。私たちは海藻からバイオエタノールを生産することができればその解決の一步に繋がると考えた。また、本研究が実用化できれば、いわき市の水産業復興の足掛かりの1つになると考え、試料として使用した海藻はすべていわき市の磯から採取した。本研究では、バイオエタノールの製造過程のなかで海藻の糖化に焦点をあて、海藻から生成される糖量の季節変化を調べた。これにより、海藻の糖化を効率よく行える採取時期を明らかにすることを目的とした。研究の基礎的な内容は、SSH の課題研究の授業と生物部の活動として行い、季節変動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った。

◇研究の方法・態度

1 試料の採取

2014年10月から2016年8月にかけて、いわき市久ノ浜の磯で試料となる海藻を採取した。ただし、悪天候のため採取できない月もあった。試料は、人間が未利用であり、生態系に与える影響も少ないものに決めた。採取した海藻は以下の2種である。

褐藻 ウミトラノオ *Sargassum thunbergii*、紅藻 ハリガネ *Ahnfeltiopsis paradoxa*

2 実験方法

i) 試料粉末の作成

乾燥（105℃,24時間）させた試料を粉碎した。※2016年1月からはふるいにかけ粒径を揃えた。

ii) 酵素による反応 フェノール硫酸法によるカキ中のグリコーゲン・グルコースの定量クエン酸ナトリウム緩衝液 1 mL, セルラーゼ（ウミトラノオ 0.01 g,ハリガネ 0.005 g）、試料（ウミトラノオ 0.1 g, ハリガネ 0.05 g）を混合し、反応（55℃,24h）させた。

iii) 生成した糖量の測定と算出

フェノール硫酸法で糖量を測定した。試料 50 μ L を純水で 1 mL に希釈し、5%フェノール液 1 mL を加えた。そこに濃硫酸 5 mL を滴下し 10 分後、常温の水浴中で 10 分冷却した。480 nm で吸光度を測定した。セルラーゼを入れた試料の糖量からセルラーゼなしの試料の糖量を引き、セルロース由来の糖量を出した。ハリガネはセルラーゼ、試料ともに半分であるため、2倍にして計算した。また、基準の試料の糖量を 1 とし、それに対する試料の糖量を相対値として出した。

◇考察と成果

図1より、2種ともに2014年の冬に生成糖量が多く、ウミトラノオは海水温（図3参照）が低下する1～3月ごろに糖量が増加していた。陸上植物では、成長期に生成糖量が増加することがわかっているが、海藻には、その関連性はみられなかった（図2参照）。これは、成長期には細胞壁の表面積は広がるが厚さが薄くなるため、海藻では成長期に細胞壁の量が多くなるとはいえないからではないかと考えた。

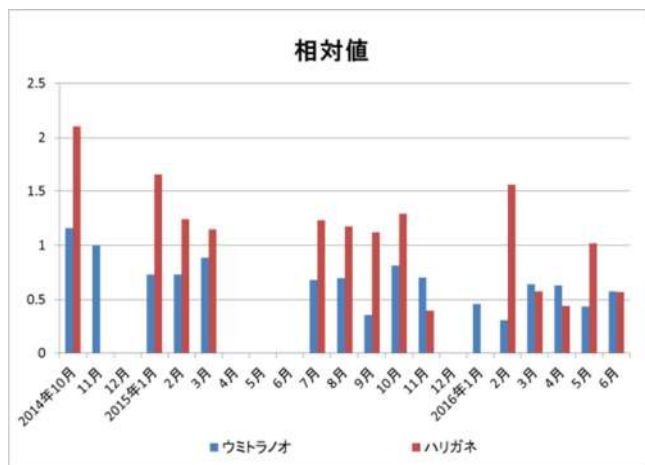


図1 平均生成糖量の相対値

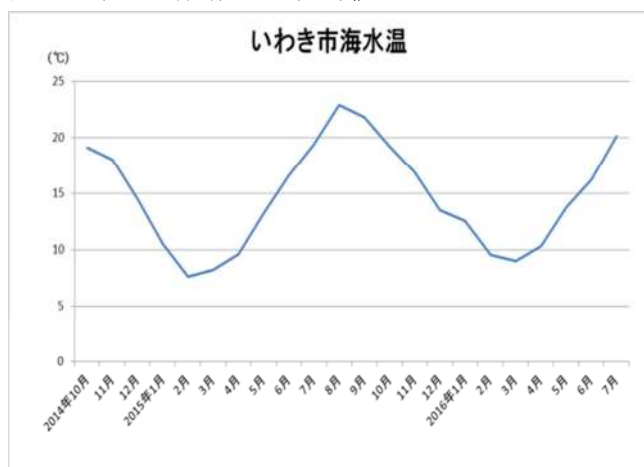


図3 いわき市海水温

(福島県ホームページのデータより作成)

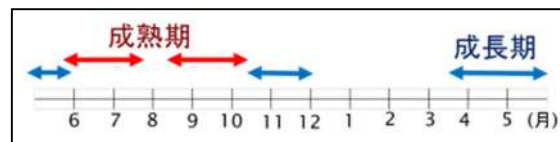


図2 ウミトラノオの生活様式

(「オオバモクとウミトラノオの成長と生残に及ぼす温度の影響」より作成)

◇今後の展望

- ・実験の信頼性を高めるため、季節による生成糖量の変化について継続して調べていく。
- ・同定が比較的容易な1年生の海藻でも実験を行い、越年生の海藻と比較する。
- ・個体の大きさ、部分による生成グルコース量の差を調べる。
- ・各海藻の成分について調べ、効率の良い糖化方法について考える。

◇主要参考文献

高木俊幸ら (2011) 水圏植物を原料とするバイオエタノールの製造 - VII～海藻を原料としたエタノール生産～、アグリビジネス創出フェア 2011

馬場将輔 (2011) オオバモクとウミトラノオの成長と生残に及ぼす温度の影響、海生研研報 14, 1-8

吉田吾郎ら (2011) 広島湾に生育する海藻類の炭素・窒素含量とその季節変化、瀬戸内水研報 3, 53-61

石原忠ら (1966) フェノール硫酸法によるカキ中のグリコーゲン・グルコースの定量、長崎大水研報 21, 251-255

馬場紀子、堤智博 (2007) 酵素を利用した大豆加工技術、福岡農試研報 26, 13-18

福島県ホームページ <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/37380a/suisanshikenjo8.html>

粒子サイズを再現した砂柱の崩壊シミュレーション

安田 紗菜（東京都立戸山高等学校 2年）

担当教員 福元 豊（長岡技術科学大学）、藤澤 和謙、村上 章（京都大学大学院農学研究科）

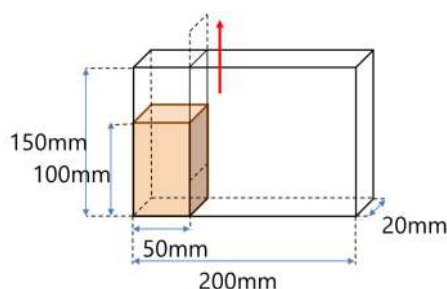
◇研究の目的・意義

国土面積の4分の3を山地が占める我が国では、地震や豪雨などによる土砂崩れの被害が後を絶たない。特に平成26年8月豪雨による広島市の土砂災害では70名以上の犠牲者を出すなどその人的被害も大きい。近年ではその対策が急がれ、各自治体がハザードマップを作成するなどして被害縮小に努めている。土砂崩れは、地震動などの衝撃や豪雨時の土の脆弱化によって発生する土粒子の大移動を伴う土の崩壊現象である。そこで本研究では土砂崩れの被害予知の基礎を築くことを目的として、土砂崩れと根本的に同じメカニズムによって生じる砂柱の崩壊現象を数値的にシミュレートすることを試みた。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京都大学 ELCAS 専修コースの活動としておこなった。

◇研究方法

〔i〕砂柱の崩壊実験

まず数値解析に必要なデータを得るために、PIV (Particle Image Velocimetry) 計測を用いた砂柱崩壊実験を実施した。このとき(図1)のように容器の中に砂柱を作り、撮影する際に仕切り板を手で素早く持ち上げて砂柱崩壊を開始させた。本実験での実験条件を(表1)に示す。なお本実験では砂粒子の代わりに粒径が約1mmのガラスビーズを用いた。これはガラスビーズの粒径が砂粒子と類似し、かつ形が球形であることから、数値シミュレーションに理想的な条件を提供できるためである。



(図1) 砂柱崩壊実験に用いた装置の概要

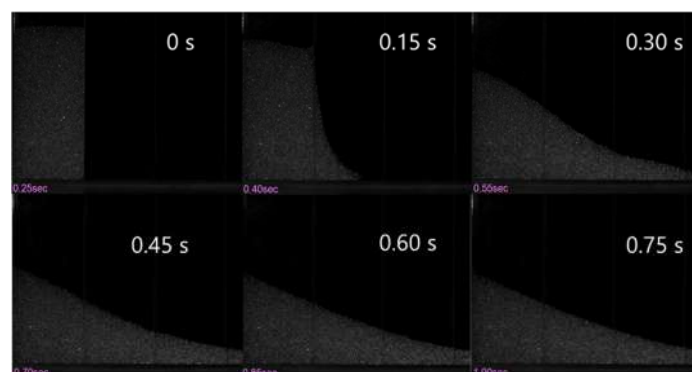
(表1) 砂柱崩壊実験の実験条件

ガラスビーズの粒径	0.9~1.3mm
ガラスビーズの粒子密度	2.5g/cm ³
初期間隙比	0.657
撮影間隔	500fps

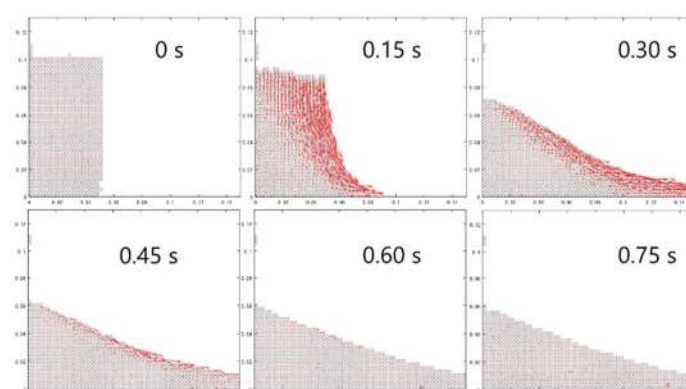
〔ii〕実験をもとにした数値シミュレーション

〔i〕で行った実験をもとにDEM (Discrete Element Method) を用いて数値シミュレーションを行った。計算条件として、容器サイズ及び砂柱サイズ、(表1)にある数値は実験で用いた値と同様にした。また仕切り板の上昇速度は1.2m/s、粒子数は4408個とし、これらの値は実験条件に合わせて算出した。

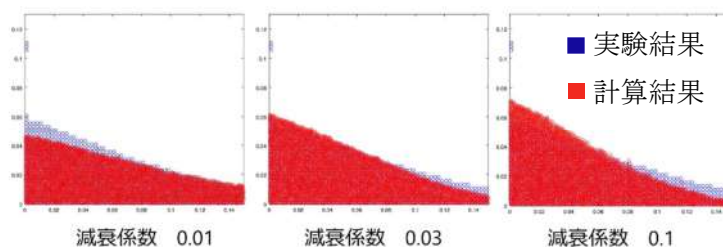
◇結果と考察



(図 2)実験結果



(図 3)ベクトル図



(図 4)計算結果

〔i〕砂柱崩壊実験からは、(図 2)のような写真が得られた。これら 6 枚の写真はそれぞれ、仕切り板が持ち上がり始めてから 0 秒後、0.15 秒後、0.30 秒後、0.45 秒後、0.60 秒後、0.75 秒後の様子である。また、これらから速度ベクトルを算出し(図 3)を得た。実験結果と合致するように、DEM 計算ではパラメトリックスタディを行い、どの計算条件で最も実験の様子に近づくかを検証した。その結果、減衰係数が現象に支配的な影響を持つことが明らかとなった。また本実験では、減衰係数が 0.03 のときに実験と最も近い動きを示す結果となった(図 4)。

◇今後の展望

今回は二次元計算を行ったが、実際には三次元の砂柱崩壊現象を計算する必要がある。また、粒子間摩擦角は、一面せん断試験などから得られる内部摩擦角を再現するように決定するべきであるが、そこまでは計算条件を合わせられていない。今後、これらの点の改善を試みたい。

銅酸化物高温超伝導体における組成による転移温度変化の測定

大野さくら（岡山県立倉敷天城高等学校 2 年）、津島澄人（岡山県立総社高等学校 2 年）、
秦悠己（岡山県立倉敷天城高等学校 2 年）、萱尾澄人（岡山県立岡山大安寺中等教育学校 5
年）、石井宏治（岡山高等学校 2 年）、篠原俊輔（岡山県立倉敷天城高等学校 2 年）、河端佑
一郎（岡山県立倉敷天城高等学校 2 年）、清水陽喜（岡山白陵高等学校 1 年）、西川悠生（広
島大学附属福山中学校 3 年）、

担当教員：稲田佳彦、味野道信（岡山大学）

1. 研究の目的・意義

我々はグローバルサイエンスキャンパス岡山（GSCO）で超伝導に関する講義を受け、その現象に興味を持った。そこで超伝導物質の合成方法を変え、特性がどのように変化するかを調べようと考えた。原材料となる薬品を変えるだけでなく、銅酸化物高温超伝導体では化合物に含まれる酸素の量によってもその特性は異なる事が知られている。そのため、今回は試料の熱処理による差に着目した研究を実施した。超伝導の特性を調べるには、マイスナー効果の確認とゼロ電気抵抗を調べる必要がある。我々は昨年度、銅酸化物高温超伝導体の温度特性を多くの試料に対して効率的に測定できる装置を開発した [1, 2]。今回、この装置を使って熱処理の異なる試料の超伝導転移温度の変化を調べた。この測定システムの有用性が確認できれば、今後新しい超伝導物質の探索にも寄与する事が期待される。

今回、研究テーマの設定から実施すべてを GSCO で行った。

2. 研究の方法

実験に用いた銅酸化物高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ は、酸化イットリウム、炭酸バリウム、酸化銅の粉末を十分に乳鉢で混合した後、ペレット状に押し固め、電気炉で反応焼結させ合成した。試料 A は、室温→(6 時間で上昇)→ 910°C →(10 時間保持)→ 910°C →(3 時間で下降)→ 650°C →(10 時間保持)→ 650°C →(6 時間で下降)→室温の温度変化とした。この試料は、液体窒素温度で磁石に反発する様子が観察された。一方、同一の原材料に同じ温度変化を与えた後、再度 910°C に加熱後に室温まで急冷した試料 B は、液体窒素温度（77K）では磁石に近づけた時の反発が観測されなかった。

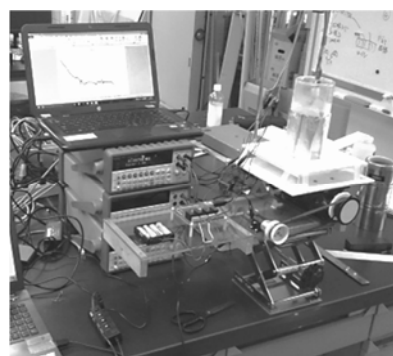


図1 温度調節システム

先に述べたように、超伝導物質の特性について詳しく知るためには、電気抵抗特性と磁気特性の温度変化を精密に測定することが不可欠である。このため、我々のグループでは、図1に示す様な測定装置を開発してきた。温調は液体窒素の入った魔法瓶の高さをコンピュータで制御し、液面と試料の距離調節によりおこなった。

また、試料 B については、液体窒素温度以上では超伝導転移は観測されなかった。そのため、より低温での超伝導特性を調査するため、大学の MPMS を用いた実験も行った。

3. 実験結果と考察

試料 A について、77K 以上での電気抵抗温度変化を図2に示す。93K 付近で超伝導転移を示していることが分かる。試料 B について、MPMS での測定結果を図3に示す。65K 付近から低温に向かって、なだらかに反磁性成分が増加する様子が観測されている。2つの試料で、イットリウム、バリウム、銅のモル比は同じであると考えられるので、熱処理の差によって発生した酸素量の差が、超伝導転移温度に影響を与えることが確認できた。

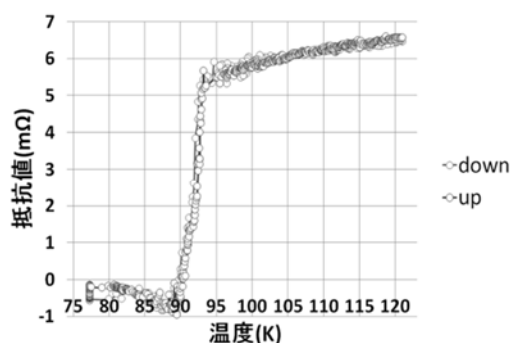


図2 試料 A 電気抵抗温度変化

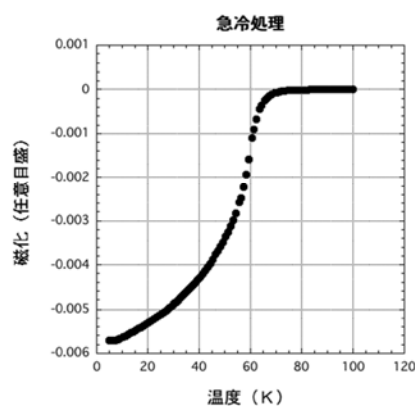


図3 試料 B 磁気特性温度変化

4. 今後の展望

熱処理の条件を変えながら、酸素含有量と超伝導転移温度の関連を詳しく調べてみたい。また、原材料のモル比を変えたり、他の元素で置換するなどの研究も行いたい。

主要参考文献等

[1]同一試料を利用する高温超伝導体特性測定システムの開発
科学先取りグローバルキャンパス岡山

2016年度 日本物理学会 第12回 Jr. セッション 2016年3月21日(宮城県仙台市)

[2]"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.

ゴム弾性と緩和現象～弾性ヒステリシスから物語る～

繁樹 鳳康 (福山市立福山高等学校 3年)

圓山 裕 教授

◇研究の目的・意義

ゴムは現代社会で、必須と言えるほど利用されている。自動車のタイヤ、免震ゴム、ガスケットなど数知れない。また、ゴムの特徴は 100-700%にも伸びる超弾性が有名である。しかし、ゴムはフックの法則に従わず、ばね定数は荷重の過程で異なった。この現象は弾性ヒステリシスが原因であり、私は学校の部活動で、この現象の原因は応力と温度が関係すると考え、グローバルサイエンスキャンパス事業(以下、GSC)では、弾性ヒステリシスの解明のため、伸びと応力、断熱状況のゴムの温度、それらを時間の関数で表現することを目的とした。

◇研究の方法・プロセス

本研究は、試料をオーバンド社の切幅 15mm, 厚さ 1mm, 自然の長さ 120mm の天然ゴムとし、実験器具は、荷重(100g×20コと 50g×10コ)、レーザーメジャー(0.1mmまで測定可能)、熱電対(SPARK)、鉄スタンド、デジタルカメラ、アクリルパイプを使用した。

学校の部活動(2014年4月～2016年5月)では、ゴムの伸びを目分量で測定し、温度を放射温度計で測定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、GSCではゴムの伸びをレーザーメジャー、温度を SPARK 熱電対で使用するこゝで、より科学的な検証を試みた。

アクリルパイプ二本を用いて、断熱とみなせる実験装置(図1)を考案し、組み立てた。但し、室温は $26.5^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ である。器具の利用方法は、以下の実験内容にそれぞれ記述する。

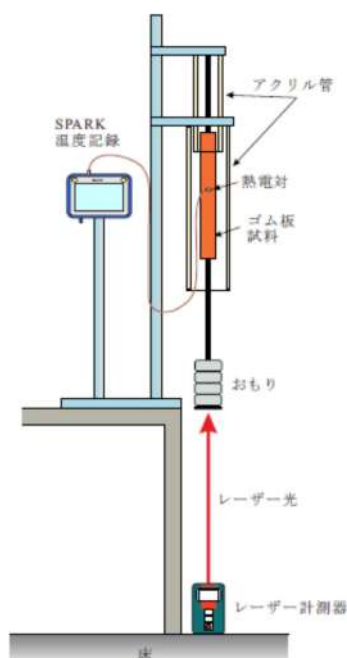


図1: 実験装置

①ゴムの伸びと応力の関係

図1より、荷重を増減した直後のゴムの長さ(L)から自然の長さ(L_0)を引いてゴムの伸び(ΔL)をレーザーメジャーで測定する。このとき、測定時間とおもりの入れ替え時間は合わせて約5秒であり、荷重は 00g, 150g, 200g, 250g である。

②ゴム自身の温度(T)と時間(t)の関係

図1のように、断熱とみなせる状況をアクリルパイプ二本で作製し、荷重を 2,000g で増減させたときのゴムの温度を熱電対でゴムの中心に固定し、2Hz で測定する。但し、誤差は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ である。このとき、温度測定開始を $t = 0\text{s}$ とし、約 30 秒後間隔で 800 秒間測定した。

③ゴムの伸び(ΔL)と時間(t)の関係

図1より、荷重を 200g, 500g, 1000g, 2000g で増減させた直後から約 30 秒間隔で 800 秒間測定する。

◇結果と考察

①ゴムの伸びと応力の関係

ゴムの伸び(ΔL)は全ての荷重に対して、歪みが生じ、フックの法則に従わない(図2)。この曲線はヒステリシスであり、荷重の増減過程で異なった経路が現れる。弾性ヒステリシスの大きさを同じ応力の減重から増重の差分とすると、そ

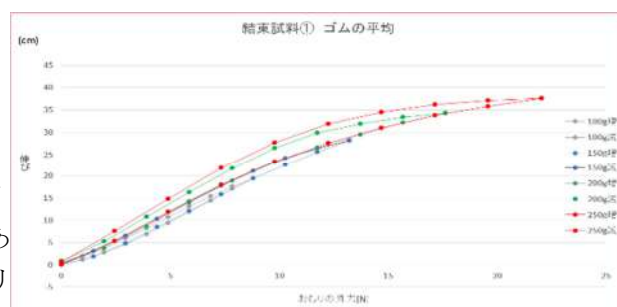


図2

の最大値とその応力の関係(図3)から、弾性ヒステリシスの大きさは、応力に比例すると考えられる。

②ゴム自身の温度と時間の関係

断熱変化において、応力を加えると最大 1.1℃温度が上昇し(図4)、応力を取り除くと最大 0.9℃温度が下降した(図5)。すなわち、応力を加えると発熱が起き、取り除くと吸熱が起きた。この現象は、グー・ジュール効果(張力は温度係数に比例する、 $F=a \times T$ ($a>0$))である。断熱変化において、ゴムを伸張すると発熱が起き、ゴムを収縮させると吸熱が起こる。これはエントロピー弾性であり、私達の生活でもよく知られている。このことから、ゴムを伸張させたとき、エントロピー(S)は減少する。熱力学第二法則 $\Delta S = \Delta Q/T$ (Tは一定) から $\Delta S \geq 0$ のとき、エントロピー変化はゴムの分子運動(ミクロブラウン運動)により増加し、温度が上昇したと考えられる。逆に、ゴムを収縮させたとき、より、エントロピーは減少するため、ゴムの温度も減少する。

③ゴムの伸びと時間の関係

変化する伸び(ΔL)と温度(ΔT)は、応力を加えた直後から 30 秒後に急激に拡大した後、緩やかに拡大し続け、やがて平衡状態になり(図4)、応力を取り除いた直後から 30 秒後に急激に縮小した後、緩やかに縮小し続け、やがて平衡状態になった(図5)。

すなわち、ゴムの伸びと時間の緩和現象が現れた。また、弾性ヒステリシスは図6、図7より、緩和現象も関係していると考えられる。

◇今後の展望

このことから、ゴムの弾性ヒステリシスは、緩和現象が原因の一つの理由である。よって、ゴム弾性は熱力学の基本原則として、応力、温度そして時間の関数で説明できる。このことを応用し、形状記憶効果を利用した人に優しい補助器具の開発に役立たせたいと私は提案する。今回の実験では、試料温度が室温のみでしかできなかったが、室温より低温及び高温で測定することも必要だと思われる(難しい実験になるが)。また、荷重の下での構造変化については、ゴム分子の架橋構造の変化(伸縮、回転、架橋点の数、架橋点間の距離など)を調べる必要がある。放射光を用いた X 線吸収分光法が有用だと考えられる。

◇主要参考文献

ゴム弾性 久保亮五

(謝辞)

最後に、担当教員の圓山裕教授を始め、TA の加藤さんと山根さんにこの場を借りて、お礼を申し上げます。
ありがとうございました。

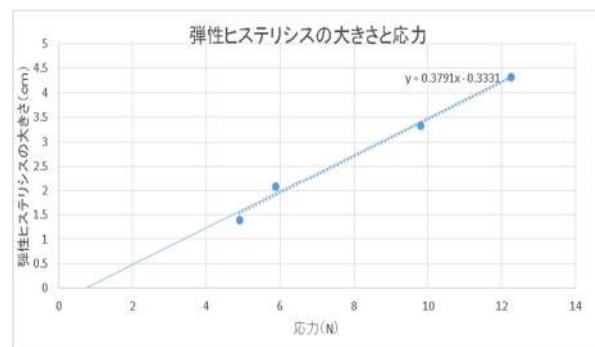


図3

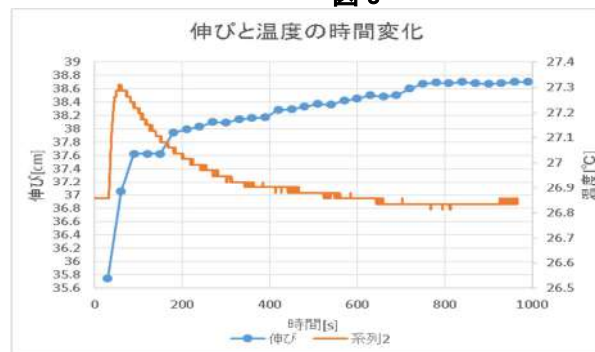


図4

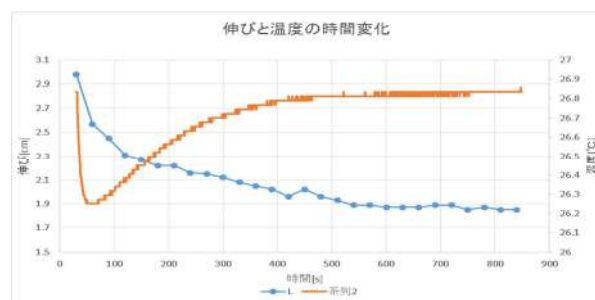


図5

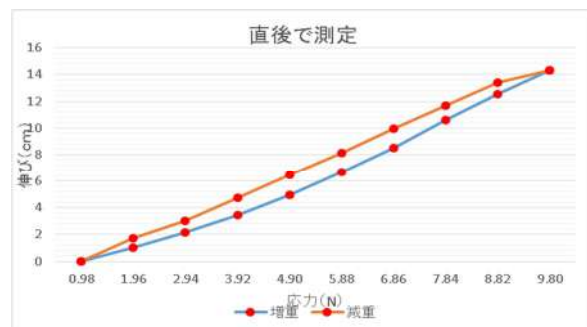


図6

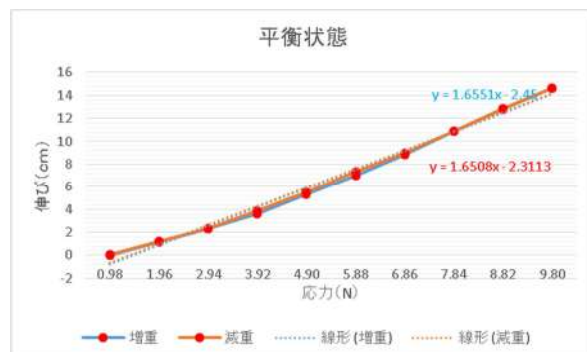


図7

宇宙線ミュオン強度と気圧依存性の研究

須田亮介（さいたま市立浦和高等学校 2 年）

担当教員：井上直也（埼玉大学 理工学研究科 物質科学部門 教授）

◇研究の目的・意義

自然放射線の成分として忘れがちであるが宇宙線起源ミュオンがあり、その頻度は 1m^2 あたり毎秒約 200 個である。近年、その透過性を用いたミュオグラフィ（断層撮影による内部構造推定）など、応用技術も注目されてきている。今回の研究の目的は、身近に存在するミュオンに触れるべく、観測可能な複数成分の自然放射線の中からミュオンをシンチレーション検出器を用いて選択的に測定・解析し、その強度を求め、またその時間変化の解析から気圧依存性について、気圧減衰率を定量的に求めることである。以前行った簡易型 GM サーベイメータでの宇宙線ミュオンを含めた自然放射線測定・解析の経験を踏まえ、今回はさらにデータ量の改善をもとにより信頼度の改善を目的とした次段階研究として研究を行ってきた。（本研究はテーマの設定から研究実施を埼玉大学グローバルサイエンスキャンパス (HiGEPS) 課題研究として行った。）

◇研究の方法

素粒子・原子核・宇宙線物理学実験で一般的に用いられるシンチレーション検出器を用いて、自然放射線信号波高を 1 週間連続で測定し、PC にて記録・保存し、宇宙線ミュオン頻度を求めたうえで、同時測定をおこなった気圧データとのマージを行い、両者間の関係を解析した。

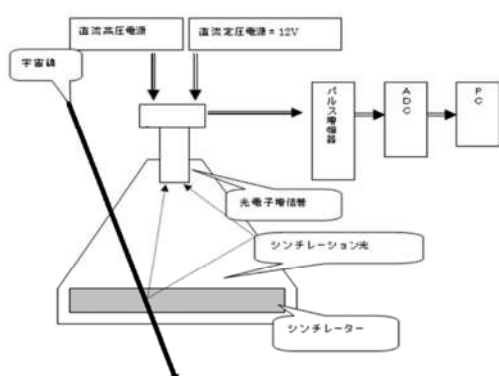
・測定実施期間：2016 年 7 月 15 日～7 月 22 日

（1 回の測定を 1 時間区切りとし、これを 168 回繰り返す）

・測定装置：シンチレーション検出器（プラスチックシンチレーター：25×25cm）

2 インチ光電子増倍管 他、信号増幅器 11 ビット ADC PC

・測定方法：



（図 1：シンチレーション検出器の動作）

1) シンチ検出器光電子増倍管 負荷電圧-1500V。

2) 宇宙線がシンチレーターを通過すると、内部でシンチ物質原子が励起され、励起状態から元に戻る際に蛍光（紫外線領域シンチレーション光）を発する。

3) 光電子増倍管により微弱光を受け、光電効果により電子に変換され、10 段の内部ダイノードで増幅する。

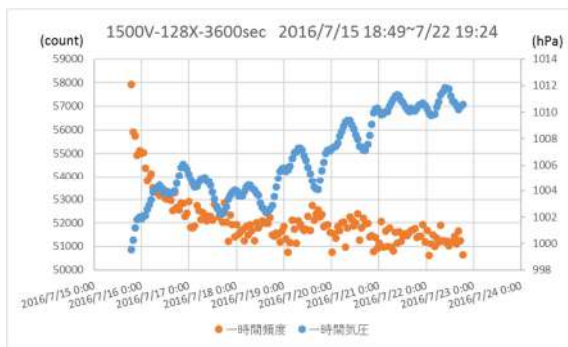
4) このアナログ信号（パルス）をパルス増幅器で 128 倍に増幅。

5) ADC（アナログ・デジタル変換回路）によりアナログ信号波高値がデジタル値として USB インターフェースを介して、PC 上に記録される。

・解析方法：

1 時間ごとの集計データを波高分布として表し、ミュオン成分を選択しその強度を算出するため、ミュオン信号による波高値（チャンネル 今回は 501ch〜）を設定し、ミュオン頻度を 1 時間ごとに求め、その時間変動、気圧のデータとの相関、また気圧減衰率を調べた。

◇考察と成果



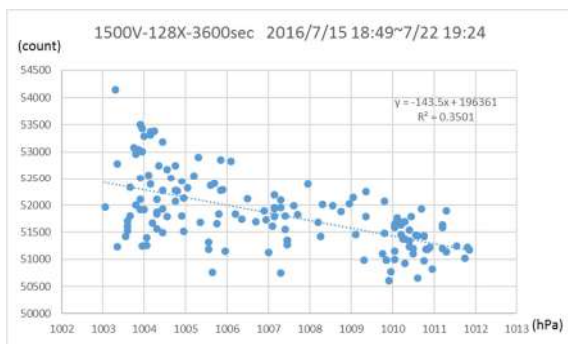
(図2：気圧とミュオン頻度の時間変動)

測定期間1週間における気圧とミュオン頻度の、1時間ごとの変動を表した。

気圧に関しては、1週間のうち前半は1000hPa前後だったが、後半にかけて上昇している。

一方ミュオン頻度では、面積 $6.25 \times 10^{-2} \text{m}$ のシンチレータに1時間当たり約50000～55000個のミュオンが通過していることから、 1m^2 当たりでは

毎秒230個程度のミュオンが通過していると評価できる。また気圧の時間変動と比較すると、日数経過に連れて気圧は上がっていくのに対しミュオン頻度は下がっている。このことから気圧とミュオン頻度には負の相関があるのではないかと考え、次のグラフを作成して考察した。



(図3：気圧とミュオン頻度の相関図)

横軸に気圧（海面気圧）、縦軸にミュオン頻度をとった。

点の分布の様子が右下がりであり、2変量の相関係数を求めたところ約-0.6であった。このことから、気圧とミュオン頻度には負の相関があり、ミュオン頻度は気圧に依存すると考えられる。

また、この相関図の直線近似をしてみると、一次関数の近似式 $y = -143.5x + 1.96 \times 10^5$ が得られた。この式に気圧の値を1hPa刻みで代入し、1気圧=1013hPaでのミュオン頻度を100%とした比を計算し、気圧1hPa減少に対するミュオン強度の減衰率として約0.28%が得られた。ただし、実際のミュオン強度の減衰は直線的とは限らないため、この減衰率は気圧が1013hPa付近の短い区間に対するものであると考えられる。図3によるデータ散布図から予想されるが、近似式の信頼度を示す R^2 値が0.35と算出されていることから、今回求めた減衰率は一概に精度が高いとは言えないが、その負の相関は明確であり、その減衰率はミュオンの（大気）物質中でのエネルギー損失効果によるものとして興味深い。

◇今後の展望

この研究テーマとは別であるが、今回の解析の中で海面気圧の時間変動を見ると周期性が見られ、これは潮汐力による周期変動として知られている。その周期と振幅、緯度による違いについて、独自測定気圧データから太陽・月との位置関係、地球緯度との関連を継続して調べる。

また米国ユタ州で行われている、超高エネルギー宇宙線空気シャワー実験（テレスコープアレイ）で稼働中の 3m^2 シンチレーション検出器による検出器モニターデータを用いてより精度よい気圧依存性の解明を行い、さらに精度良い結果を求めてみたい。

◇参考文献

[1] 小田 稔、宇宙線、裳華房、1972年

橋梁などの土木構造物を対象とした座屈現象の理論と実際

兵庫県立北摂三田高校 3年 大西 真由

大阪大学大学院 教授 奈良 敬

◇研究の目的・意義

今回の研究テーマの設定から研究実施のすべてを大阪大学 SEEDS プログラムで行った。構造物の座屈現象は *Euler* の弾性座屈理論により科学的な説明ができるようになった。しかしながら、実験によりこれを証明しようとする、この理論が十分ではないことが明らかとなり、様々な理論が提唱されてきた。これらの経緯を学び、実験結果がなぜ理論と合わないかを考察することを主な目的とする。

◇研究方法

強度の高い建設材料である鋼材を使って実際的な実験を行うには、数百トンクラスの大がかりな載荷試験装置が必要となる。また、載荷試験時の安全性確保も大きな問題となる。これらのことから、安全かつ容易に実施できる簡単な模型実験を行った。

(1) 実験供試体の設計と理論値

今回は実験供試体として SS400 (ヤング率 $E = 205 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 、降伏応力 $\sigma_y = 235 \text{ MPa}$) と呼ばれる鋼材を用いた。

細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を順次変化させたときの供試体の長さ l を求めた。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{l}{r} \text{ より } l = \pi \bar{\lambda} r \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \dots (1)$$

直径 $d = 0.9 \text{ mm}$ 、断面積 $A = \frac{\pi d^2}{4}$ 、断面二次モーメント $I = \frac{\pi d^4}{64}$ より、断面二次半径 r は $r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{64} \frac{4}{\pi d^2}} = \frac{d}{4}$ これらの式を (1) に代入した。

またその時の座屈応力 σ_{cr}/σ_y を *Euler* の弾性座屈理論と道路橋示方書の基準耐力力曲線から求めた。それらをまとめて表 1 に示す。

Eulerの座屈曲線

基準耐力力曲線(道路橋示方書)

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \begin{cases} 1.0 & (\bar{\lambda} \leq 1.0) \\ \frac{1}{\bar{\lambda}^2} & (1.0 < \bar{\lambda}) \end{cases} \quad \frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \begin{cases} 1.0 & (\bar{\lambda} \leq 0.2) \\ \frac{1.109 - 0.545\bar{\lambda}}{0.773 + \bar{\lambda}^2} & (0.2 < \bar{\lambda} \leq 1.0) \\ \frac{1.0}{0.773 + \bar{\lambda}^2} & (1.0 < \bar{\lambda}) \end{cases}$$

(2) 実験方法

前項 (1) で設計した柱について、試作した載荷装置で座屈荷重を求めた。

表 1 実験に用いた柱の細長比パラメータ、長さ、座屈強度

$\bar{\lambda}$		0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0
$l \text{ (mm)}$	SS400	8.2	12.4	16.5	20.6	30.9	41.2
Euler の 座屈理論	σ_{cr}/σ_y	1.00	1.00	1.00	1.00	0.44	0.25
	$P_{cr} \text{ (N)}$	149.50	149.50	149.50	149.50	66.44	37.38
道路橋 示方書	σ_u/σ_y	0.89	0.78	0.67	0.56	0.33	0.21
	$P_u \text{ (N)}$	133.20	116.91	100.61	84.32	49.45	31.32

◇実験の結果

荷重-ひずみ関係の図1から、細長比パラメータが大きくなればなるほど座屈しやすくなるという関係が読み取れる。また耐荷力曲線と実験結果を示す図2より実験値が理論値から大きく外れていることが伺える。今回得た実験値は図3に示す過去の実験結果と比較すると、細長比パラメータの大きい範囲で小さくなっていることがわかる。

◇実験の考察

理論値と異なる結果が得られた原因として、大きく2つ挙げられる。

- 1) 初期たわみの影響 実際の柱では $1/1000$ 以下。模型実験では $1/1000$ 以下にすることは困難。およそ $1/100$ 程度にしかなかったため、 l が大きいほど影響大。
- 2) 供試体の位置固定に用いたゴムの影響 l が小さいほど影響大。

これらの原因が影響し、細長比パラメータの値により異なる結果になったと考えられる。

◇今後の展望

今回は簡単な模型実験のため偏った実験値を得た。精度の高い実験をすることの難しさと地道にデータを蓄積することの重要性を認識した。大学進学後、より精度の高い実験に挑戦したい。また、地震動のような変動荷重を受ける構造物の座屈現象も調べてみたい。

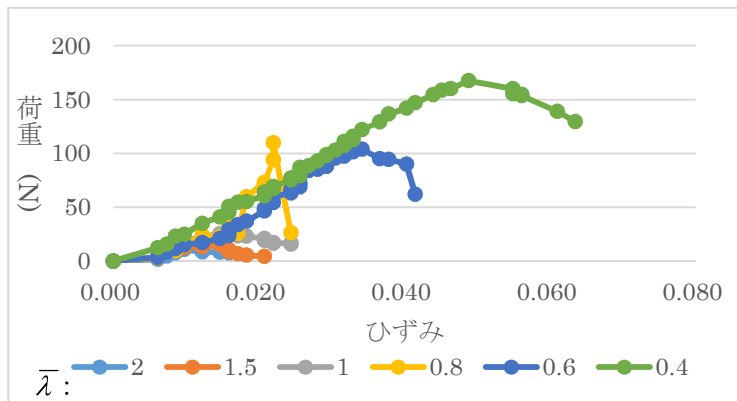


図1 荷重-ひずみ曲線



写真1 試験装置

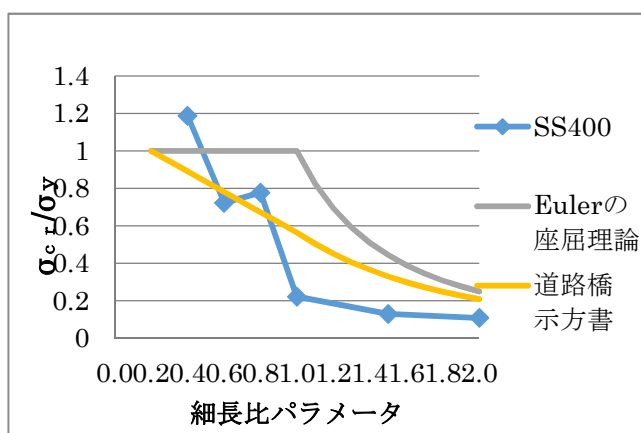


図2 耐荷力曲線と実験結果

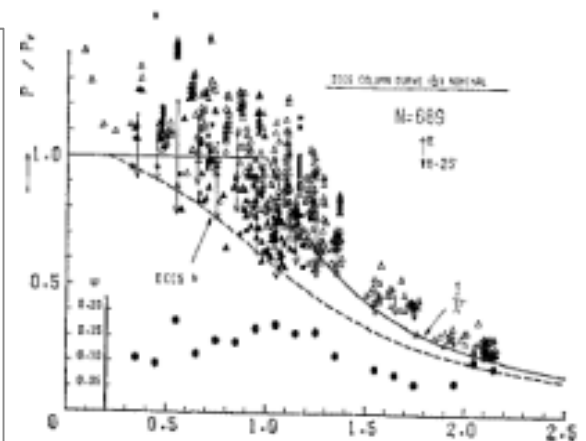


図3 過去の実験結果(伊藤・福本ら)

◇参考文献 1) 福本 秀士, 伊藤 義人: 座屈実験データベースによる鋼柱の基準強度に関する実証的研究, 土木学会論文集, No. 335, pp. 59-68, 1983. 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(I 共通編, II 鋼橋編), 丸善, 2006. 3) 測定器メーカー「共和電業」のサイト

A Novel Conversion of heat to electric power without temperature difference using n-type $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate

Yuya Kajiware (Fukuoka High School, 2nd year)

Shinji Munetoh (Department of Materials Science and Engineering, Kyushu University)

◇ Purpose and significance of research

Various internal-combustion engines release waste heat and this energy loss reaches to 70 % of the total energy. Recently, thermoelectric power generation has been attracted to much attention for the reuse of the waste heat. Generally, thermoelectric materials need a temperature difference for producing an electric power by Seebeck effect. In the Seebeck effect, the electric power can be generated by the temperature difference between both ends of the thermoelectric materials. The heat flux generated by the temperature difference causes a loss of energy from cold side. Therefore, the idea to decrease the energy loss from the heat flux is required. In previous study, we proposed a novel electric power generation mechanism without temperature different. $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate is a promising material for this novel mechanism because this material dramatically changes the band structure depending on gold contents. In the case of gold content of lower than 5.33, the $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate showed a *n*-type semiconductor. In the case of gold content of higher than 5.33, the $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate showed a *p*-type semiconductor. According to the results of temperature dependence of Seebeck coefficient and *ab initio* calculation, the band gap of the *n*-type and *p*-type $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate were wider than the intrinsic semiconductor. The generated electric power was successfully able to observed by using separation of hole-electron pair along with the energy band curve on a $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate crystal consisted of *p*-type/narrow band gap intrinsic semiconductor/*n*-type junction. In this mechanism, both *n*- and *p*-type $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate crystal were required. In this study, we propose a mechanism with only *n*-type semiconductor.

◇ Method and the attitude of research

Ba (99%), Au (99.9%) and Si (99.999%) were weighed, which have the atomic ratio of $\text{Ba}_8\text{Au}_8\text{Si}_{38}$, melted in an argon arc furnace. The synthesized ingots were crashed into 4-6mm fragments and inserted into an alumina crucible. The fragments were melted by heating around 1100° C in Czochralski (CZ) furnace. A seed crystal were immersed in the melt and pulled with a speed of 5 mm/h and a rotation speed of 30 rpm. The pulled crystal was investigated by powder x-ray diffraction (XRD) analysis using Cu K_α radiation to analyze crystal structure and the lattice parameters. Chemical composition analysis was carried out by wavelength-dispersive x-ray (WDX) spectrometry. The pulled sample was cut to twelve pieces vertically in the growth direction for measuring the Seebeck coefficient and the chemical composition (Fig. 1). The Seebeck coefficient was measured from the relationship between the voltage and temperature difference at the two ends of each sample. The temperature difference between the two ends of the sample was kept at 20 ° C. The *n*-type area in the pulled sample was also cut parallel to growth direction for power generation without temperature difference at 27-500 ° C.

◇ Discussion and results

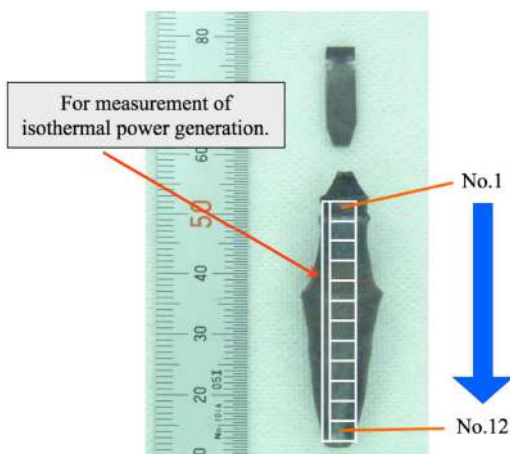


Fig.1 Photograph of the sample by using CZ method.

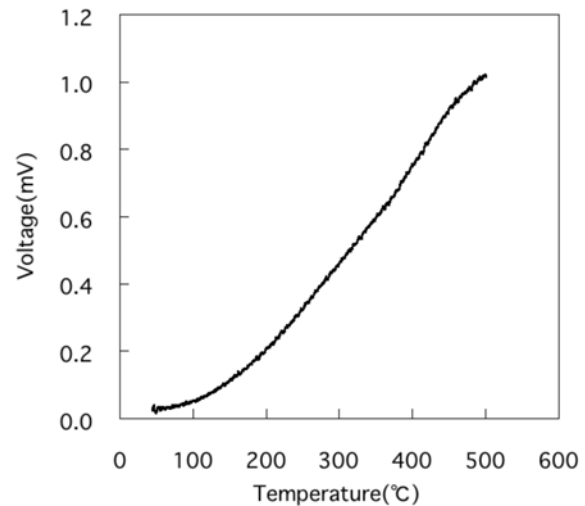


Fig.2 Observed voltage by only n-type $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate crystal with Au composition gradient without temperature difference.

Figure 1 shows a photograph of the sample synthesized by CZ method. It was found that these specimens have clathrate structure by X-ray diffraction. The chemical composition of the sample cut in parallel to growth direction was investigated by WDX. The gold contents of the chemical composition gradually increase along the growth direction. According to the result of Seebeck coefficient, No.1 to No.8 samples are n-type and No.9 to No.12 are p-type materials. This result also suggests that $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate has narrower band gap in the part of intrinsic semiconductor than the other parts. From these results, The n-type area in the pulled sample was also cut parallel to growth direction between No.6 and No.7. Figure 2 shows the result of the measurement under uniform temperature. Reliable electric voltage was successfully obtained without temperature gradient. These results suggested that the generated electric power can be observed by only n-type $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate crystal with Au composition gradient

◇ Prospects

In this study, this mechanism can generate electricity by using only n-type under uniform temperature. However, Au is one of the most expensive element. In the future plan, we would like to continue to find the validate element than Au.

◇ Main references

- 1) Yamasoto et al. 12th Annual Meeting of the Japanese thermoelectric Society lecture proceedings, P.71 (2015)

n 型組成傾斜単結晶 $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ クラスレートを用いた新たな発電方法の検証

福岡県立福岡高等学校 2 年 梶原悠矢
担当教員： 宗藤信治 准教授

◇研究の目的・意義

近年、廃熱の回収に熱電材料が注目されている。従来、熱電材料は温度差を必要とするゼーベック効果を用いた熱-電力変換によって発電していたが、それでは、熱流によるエネルギー損失が発生してしまうという欠点を持っている。そこで、以前、我々はゼーベック効果を用いない新たな発電メカニズムを報告した¹⁾。これは、温度差を必要とせず昇温のみで発電できるため、エネルギー変換効率の向上が期待される。この発電メカニズムには、n 型半導体、真性半導体、p 型半導体が連続的に接続されていることが条件に含まれている。しかし、シリコンクラスレートでは p 型半導体の作製例としてあげられているのは添加元素が Au のもののみにになっているため p 型半導体を作製する際コストが高くなってしまう。

今回の研究では、n 型半導体のみで昇温のみの発電が可能な新たな発電メカニズムを考案した。

この新たな発電メカニズムでは、n 型半導体と真性半導体に近い n 型半導体(フェルミ準位の異なる n 型半導体)が連続的に接続されていて、より真性半導体に近い部分バンドギャップが狭くなっていることが条件としてあげられる。これらの条件を満たす試料を作製し、その試料を用いて等温下での起電力を確認することを目的とした。

◇研究の方法・態度

高純度の Ba、Au、Si を $\text{Ba}_8\text{Au}_8\text{Si}_{38}$ で秤量し、アーク溶融法を用いて合金化した。次に、そのサンプルを再度溶かし CZ 法で単結晶になるよう引き上げた。できた試料を裁断し、各測定(XRD、WDX、ゼーベック係数測定、均一温度下での起電力測定)にかけ特性を評価した。なお、本実験で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。

◇考察と成果

作製した試料を No. 1~No. 12 の層状の部分と成長方向に平行な部分(均一温度下での起電力測定用)とに裁断した。裁断した試料を図 1 に示す。裁断した試料を単結晶 X 線回析によって結晶構造回析したところ、試料はクラスレート材料であることが確認された。また、WDX によって組成分析したところ Au の濃度が緩やかに傾斜していることが確認された。

ゼーベック係数測定では、層状に裁断した部分の No. 1~No. 8 が n 型半導体、No. 9~No. 12 が p 型半導体であることと、組成が真性半導体に近い部分でバンドギャップが狭くなっていることが確認された。成長方向に平行に裁断した部分を層状の部分の No. 8 と No. 9 に該当するところで裁断し、n 型半導体のみで均一温度下で起電力測定した。その結果を図 2 に示す。確かな起電力が確認されたことがわかる。

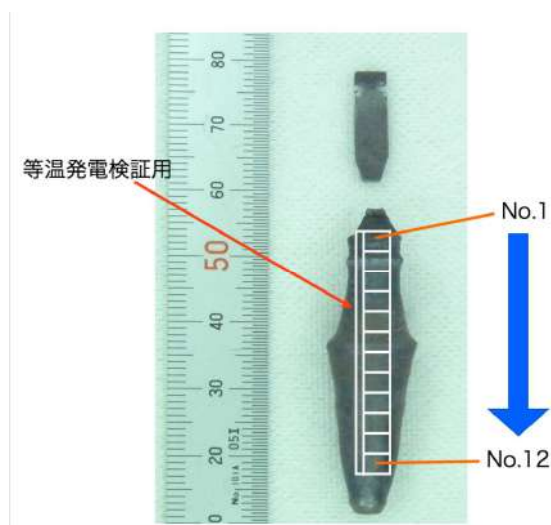


図 1

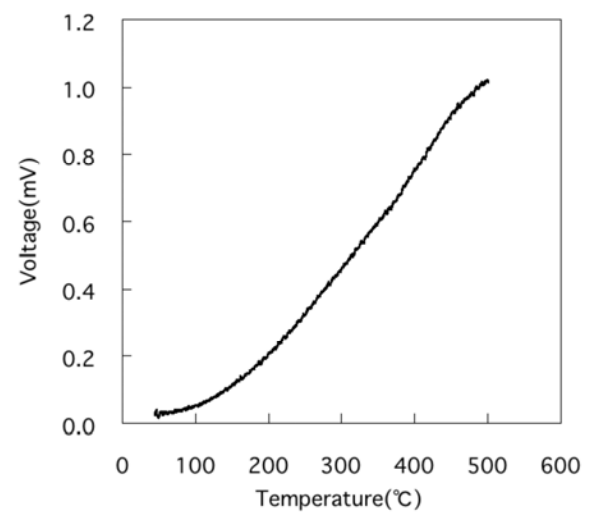


図 2

◇今後の展望

本実験の結果から n 型半導体のみでも温度差を必要としない発電が可能である事が示されたので、Au 以外の元素を添加した場合でも発電できる事がわかった。そこで、Au 以外の元素で発電できるものを検証していくことを今後の課題としたい。また、CZ 法で単結晶引き上げた場合には、組成傾斜の幅が小さいため大きな電圧が得られないため、組成傾斜を大きくする方法を考案し検証することも今後の課題とする。

◇主要参考文献

- 1) 山外ら第 12 回日本熱電学会学術講演会予稿集、P. 71 (2015)

エネルギー問題への挑戦

-音で発電できるのか- 発電都市 Tokyo を目指して-

協力: 東京理科大学工学部応用物理学科 東京大学先端科学技術研究センター

主研究者: 本坊 優吾 (私立江戸川学園取手高等学校 1年)

共同研究者: 小畑 貴聖 (東京都立小松川高等学校 1年)

小櫃 歩美 (私立普連土学園高等学校 1年)

研究指導: 東京理科大学理学部応用物理学科 中嶋宇史

◇研究の目的・意義

2011年、東日本大震災とそれに伴って原子力発電所の事故が発生した。この事故により、安全なエネルギーの獲得が注目されるようになった。私たちはこの頃の一連のニュースを観たことで、身近で無駄となっているものでより安全にエネルギーを獲得できる方法はないかと考えるようになった。身近で無駄となっているものの一つに音がある。その中でも騒音は、現代の都市の抱える問題であり、例えば東京都に寄せられる公害苦情の約半数は騒音と振動によるものである。(東京都環境局「東京の環境 2014」より)では、現在問題とされ、ひいては無駄となっているこの騒音を発電に向けることはできないだろうか。本研究では騒音を発電に利用し、実用可能な段階にすることを第一の目標とし、研究を行った。

◇研究の方法・プロセス

集音のため ABS コーンを採用し、機構として共振膜を採用した。電力源として無機圧電体を採用し、周波数特性も測定した。

・使用器具

ファンクションジェネレーター (RIGOL 製 DG1022)

アンプ (NF ELECTRONIC INSTRUMENTS 製 4055)

スピーカー (YAMAHA 製 NS-BP200)

オシロスコープ (Tektronix 製 TDS1001B)

圧電体 PZT (7BB-35-3) (村田製作所)

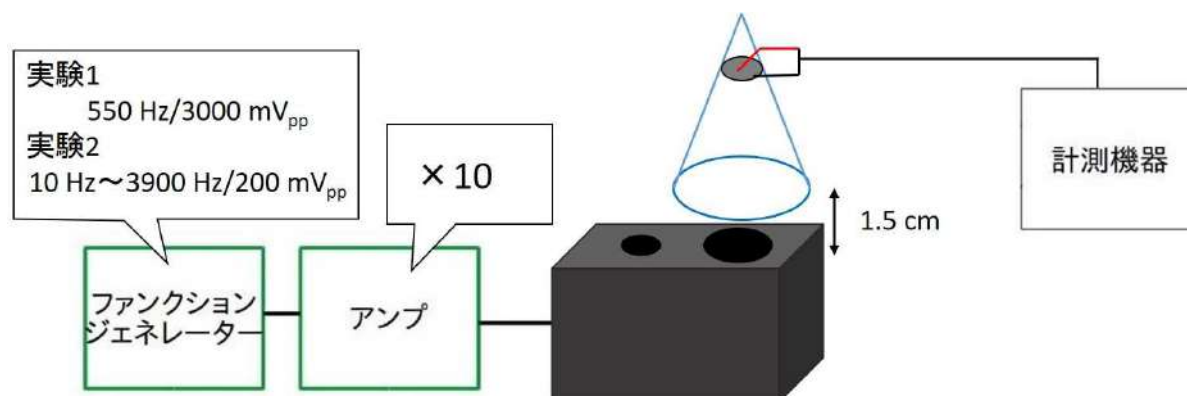


図1 実験器具構成

実験 1

図1のような測定系を組み、出力電圧を測定し、LEDでの発光の有無を確認した。

実験 2

実験1と同様な系で、出力電圧の周波数特性を測定した。

◇結果

実験 1 を行った結果を図 2 に示す。

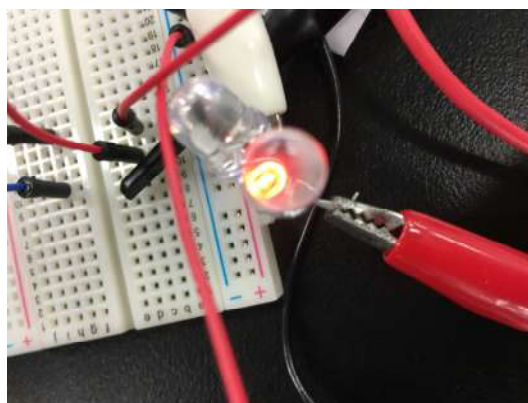
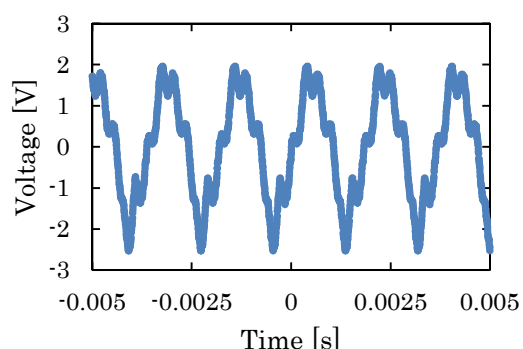


図 2 無機圧電体による LED 発光実験

無機の圧電体において LED の発光が確認できた。約 550 Hz で周期していることから音により発電していることが示された。

実験 2 を行った結果を図 3 に示す。

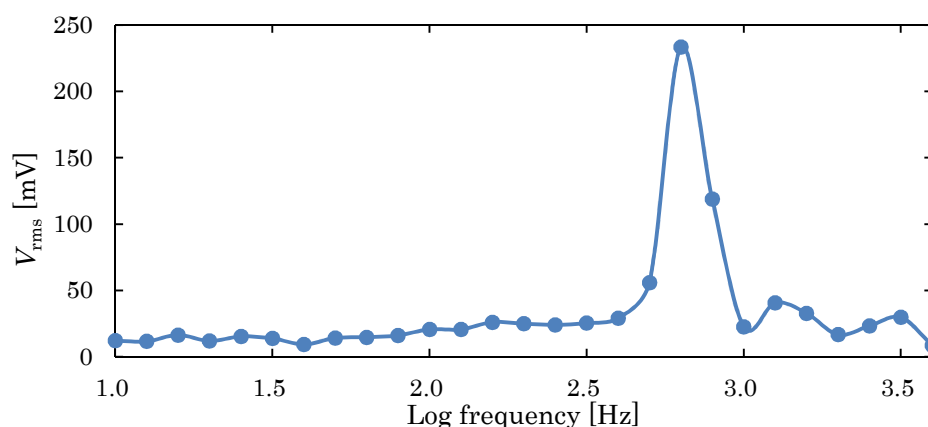


図 3 無機圧電体の周波数依存性

630 Hz 付近で、電圧値が最大になった。

◇考察

実験 1 では LED の発光において有意な電圧が得られた。

実験 2 においては無機圧電体について有意な周波数依存性がみられた。圧電体や集音コーンの共振周波数によるものと考えられるがその定量的な検証は今後必要であると考えられる。

実験 1 及び 2 より音での発電は可能であると結論付ける。

◇今後の展望

本研究により音で発電する際には周波数依存性が大きくかかわっていることが分かった。その現象を解明するとともに今後は周波数依存性を生かした形状のコーンの開発や発電した電力の有効活用、圧電体の加工方法などを主眼に置いて研究していきたい。

究極の安全でエコロジーなエネルギーを目指して。

◇主要参考文献

- ・ 『振動力発電のすべて』（速水浩平、日本実業出版社 2008 年 12 月 20 日初版）
- ・ 『音力発電の研究』（本坊優吾 他、葛飾区科学教育センター 2015 年 1 月 24 日発表）

Electric power generation mechanism without temperature difference using Au composition gradient $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate crystal

Teruya Nagafuji (Takamori High School, 2nd year)

Shinji Munetoh (Department of Materials Science and Engineering, Kyusyu-University)

◇Purpose and Meaning

Recently, because of mass consumption of fossil fuel, the progress of global warming and exhaustion of fossil fuel are concerned. We focus on automobiles because consumption of their fuel reaches to 40% of oil consumption in Japan and there are many energy loss in automobile engines. The energy loss reaches to 70% of the total energy. If the energy loss can be recovered, the consumption of fossil fuel decrease and finding solutions for global warming and exhaustion of fossil fuel are expected. Thermoelectric power generation using the Seebeck effect is one of the general method to recover energy loss but in this study we propose a novel mechanism without using the Seebeck effect. The important point of this mechanism is being able to produce electric power with no temperature difference. In this study, the purpose is to verify this mechanism by using a gold graded $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ with no temperature difference. All processes were conducted at the “Global Science Campus” program.

◇Method and Process

The novel mechanism can be explained by the Fig.1's band structure. If the sample is heated without temperature difference, the electrons are excited in the part of intrinsic

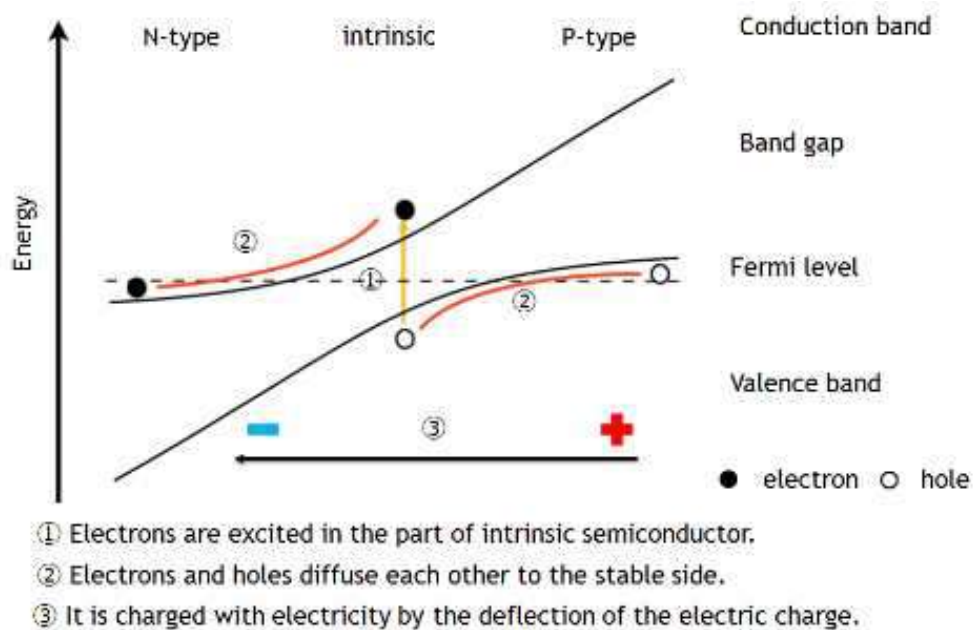


Fig.1 The band structure

semiconductor. The arising electrons-holes are diffused by each other to stable side. As a result, it is charged with electricity by the deflection of the electric charge. If we need to

synthesis like this material, there are two requirements. It is narrower bandgap in the intrinsic semiconductor and smooth connection of n-type and p-type semiconductor. As a satisfied material, we choose $\text{Ba}_8\text{Au}_x\text{Si}_{46-x}$ clathrate and synthesized by Czochralski method. Experimental procedures is that we weighed Ba, Au and Si according to composition ratio of $\text{Ba}_8\text{Au}_8\text{Si}_{38}$ and they are made alloy by arc melting and melted again and synthesized by Czochralski method. Then, the synthesized sample is evaluated by each measurement.

◇Result and Discussion

The chemical composition of the synthesized sample was investigated by WDX. It was found that the gold contents gradually increased from top to bottom. It also suggested that there were n-type and p-type semiconductor in one sample and this sample had smooth connection of n-type and p-type. The sample cut into layered and numbered from No.1 to No.12 was measured by Seebeck coefficient measurement. The type of semiconductor changes between No.8 and No.9 from n-type to p-type. Each Seebeck coefficient has a peak temperature. This peak temperature suggests Seebeck coefficient turns to intrinsic region. From this thing, if the temperature is high, the bandgap is wide. If the temperature is low, the bandgap is narrow. The peak temperatures decrease from No.1 to No.6. Therefore, the bandgap is narrower from No.1 to No.6. However, the peak temperatures increase from No.12 to No.9. Therefore, the band-gap is wider from No.1 to No.6. From these things, the sample has narrower band-gap in the intrinsic semiconductor. We performed the electric voltage measurement without temperature difference. Figure 2 shows electric voltage under no temperature difference. This result suggested that the generated voltage can be successfully observed under no temperature difference.

◇Future works

Current issues of this study is the price of the sample. We need to find inexpensive materials instead of Au.

◇Reference

Yamasoto et al. 12th Annual Meeting of the Japanese thermoelectric Society lecture proceedings, P.71 (2015)

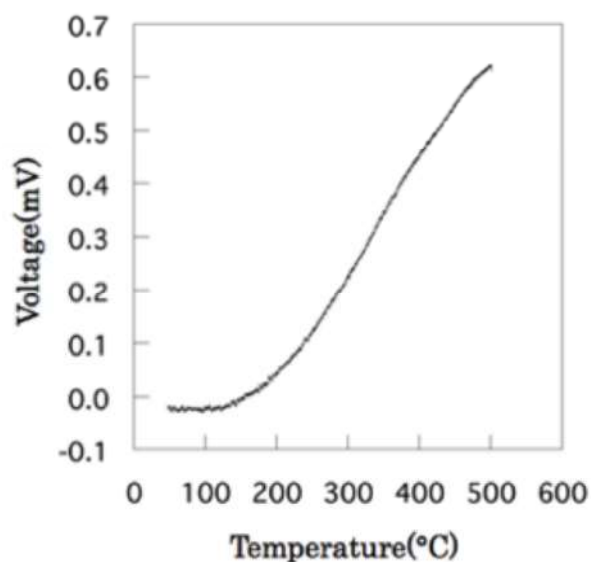


Fig.2 electric voltage measurement

Ba₈AuxSi_{46-x} クラスレートによる均一温度環境下における発電方法の検証

山口県立高森高等学校 2 年 長藤 暎哉

担当教員：宗藤 伸治 准教授

◇研究の目的・意義

近年、化石燃料の大量消費により、地球温暖化のさらなる進行や、化石燃料の枯渇が懸念されている。そこで、我々は日本の石油消費量全体の実に約 4 割を占める自動車燃料に視点をあてた。現在、自動車のエネルギーのうち約 7 割以上が動力に変換されず、エネルギーロスとなっている。このエネルギーを回収することができれば、化石燃料の使用量の削減により、地球温暖化問題、化石燃料の枯渇問題の解決に貢献できることが期待される。このエネルギーの回収方法の 1 つとして熱電発電があげられる。一般的に熱電発電の方法としてあげられるのはゼーベック効果を利用したものがあげられるが、本研究ではゼーベック効果を用いない新しい熱電発電の方法を提示する。今回提示する熱電発電の方法で特に注目してもらいたいポイントは均一温度環境下において熱電発電を行うことができるという点だ。ゼーベック効果を利用した熱電発電には必ず温度差が必要であるが、この温度差をつけるための熱流によって、エネルギーロスが生じてしまうという欠点があった。新たに提示する方法では、このような欠点がないためエネルギー変換効率の向上が期待される。

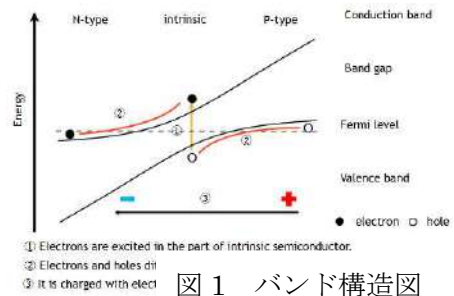


図 1 バンド構造図

本研究では、「Ba₈AuxSi_{46-x} クラスレートを用いた均一温度環境下における発電方法の検証」を研究の目標とし、新しい発電方法の原理の提示し、各種測定により原理が妥当であることを検証した。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で行った。

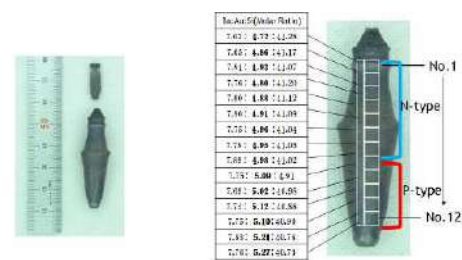
◇研究の方法・プロセス

ここでは新しい発電原理を提示し、その原理が妥当であることを検証することを目的に実験を行った。発電原理は図 1 のようなバンド図を使って説明できると考えられる。サンプルを均一温度環境下で熱することで、バンドギャップの狭い真性半導体部において電子が励起し、ホールと電子がそれぞれエネルギー的に安定な方向に移動することで、電荷の偏りが生じ、起電力が発生するという仕組みだ。図 1 のようなバンドギャップを有するための条件としては、N 型半導体と P 型半導体が整合性よく接合されており、半導体真性部において狭いバンドギャップを有していることが必要である。その条件を満たすために我々は Ba₈AuxSi_{46-x} クラスレートを CZ 法により作製した。実験手順は Ba₈Au₈Si₃₈ となるように秤量し、アーク溶融法で合金化、CZ 法により試料を作製、その後試料を裁断し、各種測定

を行った。

◇考察と成果

作製した試料に粉末X線回折を用いて、結晶構造回折を行ったところ、試料はクラスレート構造であることが確認された。WDXによる組成分析を行ったところ、試料中でAu濃度の傾斜が確認され、N型半導体とP型半導体が接合されていることが図2から確認できた。



The gold contents increase gradually and entirely.

図2 試料とWDXによる組成分析の結果

層状に裁断した試料のそれぞれのゼーベック係数を測定したところ図3のようになった。各試料のゼーベック係数の値にはピークが確認

でき、この温度は真性領域に入る温度を示している。このことから、ピーク時の温度が低ければ、バンドギャップが狭くなり、ピーク時の温度が高ければバンドギャップが広くなることを示している。よって、図3よりN型のNo. 1からNo. 6にかけてはバンドギャップが徐々に狭まっており、P型のNo. 12からNo. 9にかけてもバンドギャップが徐々に狭くなっていることがわかるので、真性半導体部において最も狭いバンドギャップを有していることが確認された。

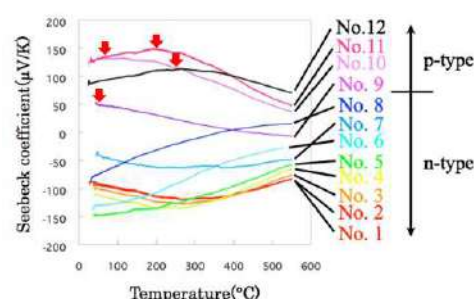


図3 層状に切った各試料のゼーベック係数

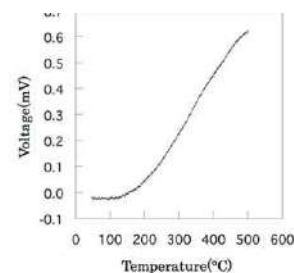
以上の結果から、作製した試料は先に述べた発電原理に必要な条件を満たしていることが確認できたので、起電力測定を行ったところ、図4のように起電力を確認した。

◇今後の展望

主に現在は、試料にAuを使用していることによる材料の高コストが課題としてあげられる。そこでゼーベック係数を用いてコスト面でBaAuSiに代わる安価な材料を見つけたい。

◇主要参考文献

山外ら, 第12回日本熱電学会学術講演会予稿集 P71 (2015)



Electric voltage was obtained successfully without temperature gradient.

図4 起電力測定結果

ファンプロペラの効率アップ・風を変えるシンプルな表面加工・

田淵 宏太朗(南山高校男子部 2年)

担当教員 吉田 恭

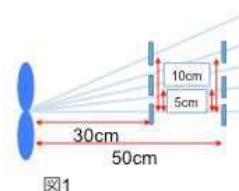
◇研究の目的・意義

静音※1やファン効率(風量×風圧/電圧×電流)(以下効率)の向上を目的として、新たな形状のプロペラ設計が盛んに行われている。アサギマダラの羽を模した扇風機は、同一回転数において 16 %の風量増加を達成し※2、エイの体を模したファンは、翼端流の縮小によって 6 %の効率向上が確認されている※3。

しかし、プロペラの表面に加工を施すことで効率を向上させようという研究はほとんど行われていない。そこで、新たな形状のプロペラを設計するのではなく、表面に加工を施すことで、効率を向上させることを目的に研究を行った。ゴルフボール表面の小さな凹み(ディンプル)は、表面の流れを乱すことで流れの剥離を遅らせ、より遠くまで飛ぶようになっている。プロペラの効率を向上させる鍵はこの剥離の抑制にあると考え、溝やディンプルなど、多種多様の表面加工によって剥離を抑制し、最も効率上がる方法を模索した。目標は 5 %以上の効率上昇とし、省エネ効果の高いプロペラの考案につなげたいと考えた。なお、研究はすべて自宅で行った。

◇研究の方法・プロセス

- (1)これまでに作成したプロペラから、効率を上げる加工の共通点を探した。約 120 枚のプロペラを加工して、正面から 30, 50 cm 離れた位置と、そこから横に 5, 10 cm 離れた位置(風量半径)で風速を計測(図 1)。回転数は 2000, 3000, 4000 rpm に制御。
- (2)計測した風速、電圧と電流を元にそれぞれの風量の計算を行い、効率を計算する。
- (3)プロペラの重量の増減が効率上昇の要因ではないことを実証する。
- (4)効率が上がる加工が有効かどうかを調べるため、形の違うプロペラでも実験を行う。
- (5)効率の高いプロペラについては、自作風洞を用いてプロペラ周りの流れを可視化する。



◇結果と考察

計測した風速、電圧、電流を基に、以下の式を用いて効率 η を算出。風圧は全圧とした。

ρ =空気密度、 R =風量半径、 V_0 =正面風速、 V_1 =中心から 5 cm もしくは 10 cm の風速、 V =電圧、 I =電流を示す。

$$\eta = \frac{\pi \rho R^2 \left\{ \frac{V_0^3}{2} - V_0^2 (V_0 - V_1) + \frac{3}{4} V_0 (V_0 - V_1)^2 - \frac{1}{5} (V_0 - V_1)^3 \right\}}{V \times I}$$

●グラフの横軸はレイノルズ数(Re)、縦軸はノーマルプロペラの最大全圧効率に対する比率 η ※で整理した。

●オモテ面はプロペラが空気を吐き出す方向、ウラ面はプロペラが空気を吸い込む方向。

●前縁部とは、プロペラが回転する方向にある羽根のエッジ。後縁部は、その逆方向のエッジを示す(図 2)。

■Grooved fan1: オモテ面に前縁部と後縁部からの距離の比が 3:1 になるように幅 2 mm×深さ 0.7 mm の溝を掘ったもの ■Grooved fan2: ウラ面に前縁部と後縁部からの距離の比が 3:1 になるように幅 2 mm×深さ 0.7 mm の溝を掘ったもの



【実験 1】 凸加工と凹加工はどちらが有効か？

凸加工のプロペラは、10 %ほど効率が下がる結果となった。物体の表面では流速(流れの速さ)が 0 になり、あるところまで行くと流速が一定となる。この変化する区間を境界層といい、その厚さは次式で求められる※4。

$$\frac{\delta}{l} \approx \frac{1}{\sqrt{Re}} \quad \delta = \text{境界層厚さ、} l = \text{物体の長さ、} Re = \text{レイノルズ数を示す。}$$

計算したところ、境界層の厚さ δ は 135 μm となった。実験には直径 3 mm の針金を使用したため、境界層を超えて、層流(境界層の外側=流れが整っている)部までもを乱している可能性が高いことがわかった。

【実験 2】 プロペラにつける溝を、より深く、より幅を広くすれば効率は上がるか？

Grooved fan2 と同じ位置に深さと幅が異なる溝を加工し、それぞれの効率を比較した。溝の深さと幅は、深さ

0.7 mm×幅 2 mm、深さ 0.3 mm×幅 1 mm とした。結果、溝の幅が広く、深い方が 2 % 効率が良いかった。これは、溝が大きくなったことで渦が大きくなり、流れの剥離をより抑制できるからではないかと考えられる。

【実験 3】 オモテ面とウラ面のどちらへの加工が効果的か？

オモテ面とウラ面に加工を施したプロペラの中で、それぞれ最も効率が上がったプロペラの効率を比べた。結果、ノーマルプロペラの最大効率点($Re=1.77 \times 10^4$)を 100 % とした場合、Grooved fan1 は 132 %、Grooved fan2 は 121 % という結果になった(図 3)。オモテ面への加工によって、プロペラの前後間の圧力差(プロペラは翼の集合体のため、それぞれの翼の後面が前面よりも圧力が低下し、プロペラの前から後ろへ流れる翼端流が発生する)を減らしたことが効果的だったのではないかと考えた。

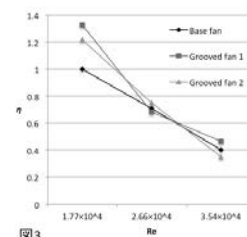


図3

【実験 4】 プロペラ前縁部と後縁部、どちらへの加工が効果的か？

航空機のボルテックスジェネレーターは、流れの剥離を抑制し、失速を防ぐ目的で翼の前縁部に付いている。そこで、前縁部への加工が有効かどうかを試した結果、オモテ面加工の場合、前縁部への加工をしたプロペラはノーマルプロペラの最高効率に比べ 21 % 効率が向上したのに対し、後縁部に近い位置に加工をしたプロペラでは 32 % の効率向上という結果になった。前縁部よりも後縁部への加工が効果的であると結論付けた。

【実験 5】 剥離を抑制するには、剥離点付近に加工を施せば良いのではないかと？

剥離点(流れが剥離する位置)の可視化を風洞を用いて行った。すると、流れが剥離を始めるポイントは、Grooved fan2 に加工した位置とぴったり重なる結果となった。これより、剥離点付近、または剥離点よりも前に加工を施すことが最適であると結論付けた。

【実験 6】 オモテ面への加工は翼端流を抑制するか？

オモテ面の適切な位置に加工を施した際、効率が 30 % も上昇した。これを翼端流が抑制されたことに起因すると結論付けたが、その流れを確認するために、風洞を用いて可視化実験を行った。その結果、ノーマルプロペラと Grooved fan1 では、発生する渦の大きさに違いがあることが確認できた。これより翼端流は確かに抑制され、効率の向上につながったと考えられる。

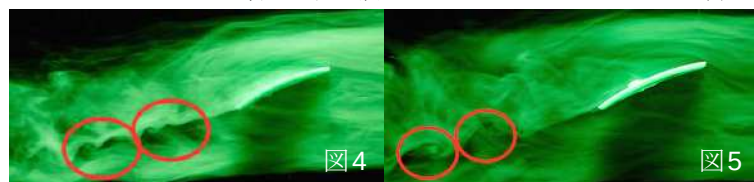


図4

図5

図4: ノーマルプロペラ

図5: Grooved fan1

【実験 7】 この実験で有効な加工法は、他のプロペラでも効果的か？

小型の 6 枚羽根プロペラを加工して効率を調べた。結果、Grooved fan3 で $Re=1.17 \times 10^4$ 時に 20 % の効率向上が認められた(図 6)。■Grooved fan3: ウラ面に前縁部と後縁部からの距離の比が 1:3 になるように幅 0.2 mm×深さ 0.1 mm の溝を掘ったもの ■Grooved fan4: ウラ面に前縁部と後縁部からの距離の比が 3:1 になるように幅 0.2 mm、深さ 0.1 mm の溝を掘ったもの

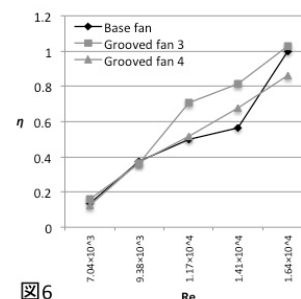


図6

【実験 8】 効率が上がるのは、プロペラを加工することで重量が軽くなることが原因ではないか？

重さが 7.53 g のノーマルプロペラと、7.63 g の加工済みプロペラでは、加工済みプロペラの方が重いにも関わらず 10 % の効率向上が認められた。加工によって軽くなったプロペラの重量変化は平均 -0.02 % であるため、加工による重さの減少は効率上昇には影響しないと結論付けた。

◇今後の展望

5 % 以上の効率上昇を目指した研究であるが、2 桁の効率上昇が実現できた。現在扇風機のプロペラにもこの加工を行い、効率上昇が可能かどうかを検証中である。今後はこのファンプロペラの効率上昇を実現するシンプルな表面加工方法を確立し、あらゆるファンプロペラに応用する道を探りたい。

◇主要参考文献

1. 日本機械学会論文集 B 編 第 725 号・2006 年 3 月 小型軸流ファンの性能と騒音に関する実験的研究 2. シャープ技報 第 105 号・2013 年 7 月 生物模倣応用による家電製品の価値創造 3. ターボ機械 第 480 号・2015 年 1 月 空調用プロペラファンの効率向上技術に関する開発事例 鄭志明 4. 日本航空宇宙学会編 (2016) 『空気力学入門』 丸善出版

複数台ロボットの協調制御に基づく搬送動作の実現

発表者 舩村 康成（横浜サイエンスフロンティア高校3年）

指導教員 桂 誠一郎（慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科准教授）

＊研究の目的・意義

近年、多数のロボットを制御して目的を達成させる“マルチエージェントシステム”に関する研究が盛んに進められている。本技術は複数のエージェントから構成される分散システムによって実現され、多種多様な形式が研究の対象となっている。このような分散システムの研究が進んだことの背景には、ロボット単体での高機能化に技術的限界が明らかになってきたことが挙げられる。したがって、分散システムの高度化により、より多くの機能を実現できるようになるため、ロボットが社会で重要な役割を果たす未来に大きく貢献できるものと考えられる。

本研究は、複数台のロボットが連携して動作することで生じるマルチエージェントシステム特有の問題を機械モデルに置き換えて考慮することで、新たな解決法を提案するものである。特に、複数のエージェントを同時に制御した把持動作を対象に研究を行ってきた。このような状況で把持操作を行う場合、物体に触れるとき等に発生する振動が問題となる。そのため、振動を抑えた制御を導入することにより、高精度で安定した把持動作が可能になる。

なお、昨年度10月より、慶應義塾大学医学部グローバルサイエンスキャンパス事業において同大学理工学部桂研究室に配属され、プログラミングやシミュレーションの基礎から学習させて頂いた。本研究テーマは桂研究室で学習する中で設定し、グローバルサイエンスキャンパスにて行われたものである。

＊研究の方法・態度

図1に示すように、想定するシステムにおいてエージェントは単純化してモーターとしてモデル化を行っている。また実在するほとんどの物体には弾性力があると考えられるので、把持対象をバネとしてモデル化できる。したがって1自由度の同一軸上にある2個のモーターがバネを挟み込むものとしてモデル化される[1]。

モデルを物理的に捉え、数式的に分析した結果を元に制御系を考案する。物体を把持運搬するという動作の実現には、“複数のロボットを移動させる動作”と“物体を挟むための動作”が必要となる。そのため、それら2種類の動作を、いかに安定して達成するかが重要となる。これらの安定した動作を達成するため、本研究ではモード空間という概念を取り入れている[2]。単純に複数のロボットの制御を考えれば、個々の位置を制御するように考えられるが、それぞれの位置を2つのモード空間に変換して考えることで、複数ロボット全体の位置と各ロボット間の相対位置を直接制御可能となる。本研究では、シミュレーションを行い提案する制御系の有意性を実証した。

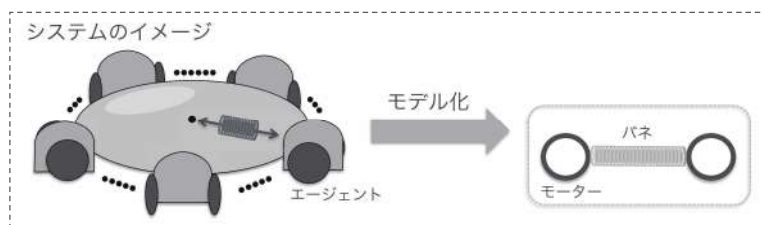


図1 研究方法についてのイメージ

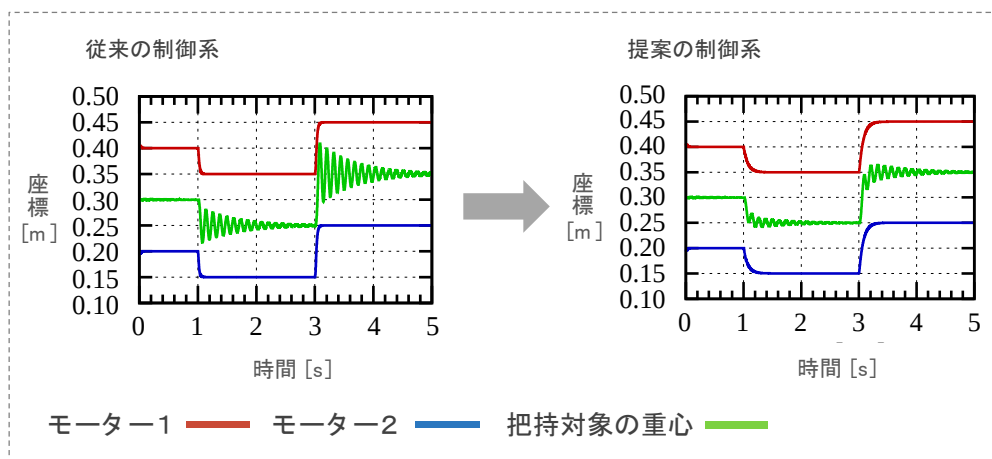


図2 シミュレーション結果

＊考察と成果

モデルの分析から、密度が一樣な物質を把持している限り、2つのモードは非干渉であるため、安定した制御が可能ということが分かった。また、把持する物体のバネが出せる最大の速さ以下において、この制御系は安定した運搬を実現する。図2にシミュレーション結果を示す。振動は大きく低減されており、2つのモーターを連携させて物体を把持運搬する場合において、提案する制御系は有意であると言える。今回の制御系は2つのエージェントで構成されているが、相対位置により制御を行っているため、本理論は多数のエージェントシステムにも拡張が可能である。

＊今後の展望

本研究では、複数のエージェントにより弾性力を持つ物体を把持するシチュエーションを考えたが、弾性力を複数のエージェント間のつながりに由来する仮想的な結合力と見なすことで、通信を行って連携動作している場合にも応用できると考えている。エージェント間の通信による時間遅れの影響により、バネのような振動が発生するため、エージェント間のシステムのつながりは、バネによる連結と置き換えて考えられるのである。

エージェントの数を増やすことで、より複雑な動きが可能になるため、分散システム全体で行えるタスクの幅が広がることが期待される。今後はさらに、多くの複雑化された機能を分散システムにおいていかにシンプルに制御できるかについても考えていきたい。

＊主要参考文献

- [1] K. Yuki, T. Murakami and K. Ohnishi, "Vibration Control of a 2 Mass Resonant System by the Resonance Ratio Control," *IEEEJ Transactions on Industry Applications*, Vol. 113-D, No. 10, pp. 1162-1169, Feb. 1993.
- [2] S. Katsura and K. Ohishi, "Modal System Design of Multirobot Systems by Interaction Mode Control," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 54, No. 3, pp. 1537-1546, Jun. 2007.

非負値制約行列因子分解を用いた機械学習 —文章の書き手の属性判別から地震予測まで—

福井 諒太（三重県立津高等学校，2年）、鎌田 暉（奈良県立青翔高校，2年）
TA 段 正楠（京都大学農学部地域環境工学科）、増井 隆治（京都大学工学部情報学科）、
久富 望（京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻）、
曾我部 舞奈（京都大学医学研究科再生医科学研究所）、
担当教員 大関 真之（京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻）

◇研究の目的・意義

機械学習ではデータの背後にある規則や構造を抽出するために、データを表現する関数に潜むパラメータを推定することが基本方針となる。その機械学習の手法の一つに、非負値制約行列因子分解（Non-negative matrix factorization, 以下、NMF と略す）がある。言葉の意味から説明すると、数字を長方形に並べたものを行列といい、行列を構成する値が負の値でないとき非負値行列という。因子分解というのは、1つの行列を、2つの行列の積に変形するという意味である。扱うデータを表現するものが非負値行列であれば、この手法を用いることで、非負値のパラメータを引き出すことができる。非負であるから足し算のみで構成されるため、解釈がしやすいという特徴がある。

先行研究によると、たくさんの顔画像を並べて作った非負値行列に対して NMF を適用すると、ヒトが目や鼻として解釈できる顔の部分構造を表す行列と、元の顔画像を復元するために、それらのパーツをどのように足し合わせるかというパラメータを示した行列の積に分解されることが示されている[1]。この成果は NMF によって得られた結果が人間の認知の方式と近い傾向を持つことを示した意味で、非常に重要なものであると言える。そこで本研究では、NMF を用いて文章の書き手判別と地震予測を試みた。

文章の書き手判別では、さまざまな年齢、性別の人が書いた文章を元に、新たな別の文章がどのような人によって書かれたものなのかを推定する手法を提案する。コンピュータによって判別が可能となれば、一つの応用として、企業は膨大な商品レビューを自動で解析し、結果をマーケティングに利用できるということが考えられる。

一方、地震予測では、今まで日本で起きた地震データから震源地と頻度について典型的なパターンを見つけ、地震についてのより深い知識を提供する技術の開発が可能となる。

◇研究の方法・態度 <文章の書き手判別>

さまざまな年齢性別の人が書いた文章を集めるために、本研究では楽天市場の掃除機に関するレビューを用いた。男性と女性による文章の違いは体言止めや連用形止め、形容詞の出現回数に現れることが知られている[2]。そこで、全文章中から特徴的な品詞の単語リストを作成し、それぞれの文章に対してリストに含まれる単語の出現回数を計算し、特徴ベクトルを作成した。その特徴ベクトルを並べることでデータ行列を作成し、NMFを用いることで、単語の使われ方の代表的なパターンを抽出した。さらに、新たな文章に対して、これらのパターンがどの程度含まれるかを解析することによって、その文章の書き手の性別や年代を推定した。

◇考察と結果 <文章の書き手判別>

文章の書き手の性別のみを判定する場合(男女の2値分類)、正答率は53.89%。年代のみを判別する場合(30代40代50代の3値分類)、正答率は37.22%。年齢性別判定の場合(6値分類)、正答率は20.00%となった。これらはランダム判別よりもわずかに高い性能となった。正しく分類できたものと、できなかったものを見比べると、正しく分類できたものは人間が見ても明らかなものが多く、できなかったものは、人間が見ても判別できないものが多かった。したがって、性能その

ものがすぐれているわけではないものの、NMFによって、人間と同様な分類が可能になったと考えられる。識別精度のみが注目されがちな機械学習の研究において、独自の観点での優位性を示していると言える。

◇研究の方法・態度 <地震予測>

本研究では、「ヤフー天気・災害」から取得した2004年3月から2016年5月の147ヶ月分の日本国内における26804件の地震データについて、起きた日付、起きた震源地の緯度、経度を利用した。まず、日本地図を30×30マスに分割し、各月に起きた地震の回数をマスごとに数え、147ヶ月分の地震発生回数の分布とした。すると、いくつかの月で似たような分布が見られたため、この147個の一覧に対してNMFを用いてパターン抽出を試みた。

◇考察と結果 <地震予測>

典型的なパターン数を5から14の範囲で設定して解析を行ったところ、東日本大震災、新潟県中越地震、熊本地震のような大規模な地震と、それ以外の微小な地震と大きく2種類のパターンに分類された。図1に各パターンとの合致度を各月毎に示している。

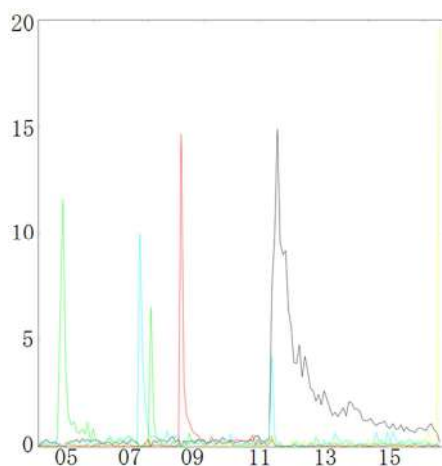


図1 各月における各パターンとの合致度

横軸は1目盛りで1ヶ月分を表し、たとえば「05」は2005年1月を表す。縦軸は各パターンとの合致度である。たとえば、図1では11のあたりで急激に出現したパターンがある。これは東日本大震災に相当するパターンであることが認められるだろう。他の典型的な地震のパターンについても突如現れて、しばらく尾を引いている様子が確認できる。これは地震の突発性と余震がしばらく継続的に続く特徴を再現している。地震の予測という観点で見ると、いつ・どこで起こるかを予測するのは、この突発性の特徴から困難であることを認めざるを得ない。しかしながら、様々な地域で頻発する日本における地震をいくつかの少ないパターンで分けることができるというのは、NMFの注目すべき性能と考えられる。

◇今後の展望

NMFによって、2つのどちらにおいても人間らしい分類を示唆する結果を得ることができた。今後、文章の書き手判別であればデータに含まれる単語を意味別にグルーピングしたり、地震予測であれば日本地図の分割数を増やしたりより古くからのデータを用いることにより、人間では扱えない量のデータを半自動的に処理することが期待できる。

◇主要参考文献

- [1] D. Lee, et al, Nature 401 (1999) 788.
- [2] 金田一春彦, 日本語百科大事典縮刷版 (1995)

食物連鎖のシミュレーション

広島大学附属高等学校 2年 国本 純希

指導教員 大方 祐輔

◇研究の目的・意義

食物連鎖をシミュレーションし、その時どのように動物、植物がふるまうのかを観察する。研究テーマの設定、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。

この実験結果を利用することで、食物連鎖が生態系にどのような影響を与えているのか、どのように初期データを与えるとその生態系が存続することができるのかかわかるのではないかと考えている。

◇前回からの課題

1. シミュレーターの処理速度が遅い。
2. 1.を原因として食物連鎖を起こした長いスパンのシミュレーションを行う事が難しい。

◇課題の解決方法

実行するプログラムの高速化を行った。具体的には、ゲームエディターを使用していたものからプログラミング言語を用いたものに変更した。実際に同じデータを用いて同じ長さでシミュレーションを行い、処理が終了するまでの時間を計測した。

経過時間の計測結果

WOLF RPG Editor	42 分 55 秒
C 言語	17 秒

150 倍に向上

◇研究の方法・態度

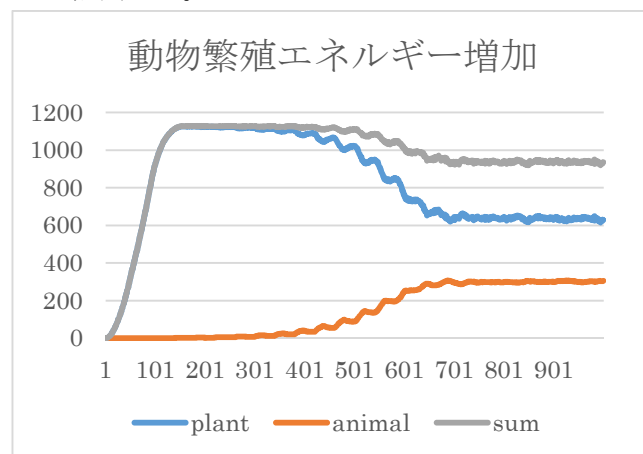
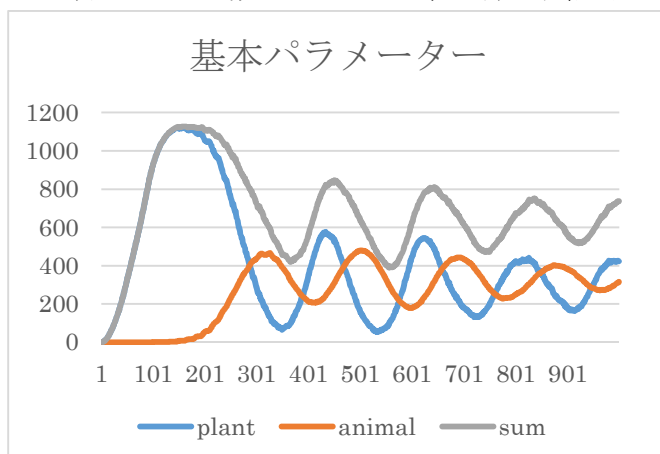
1. 高速化を行ったシミュレーターを用いて食物連鎖が起きている状況で、植物・動物のパラメータを変更した時、どのような変化が見られるのか。
2. プログラムの高速化により実験結果を視覚的に把握することが困難になったため、実験結果を視覚的に把握するためのビューアーの作成。

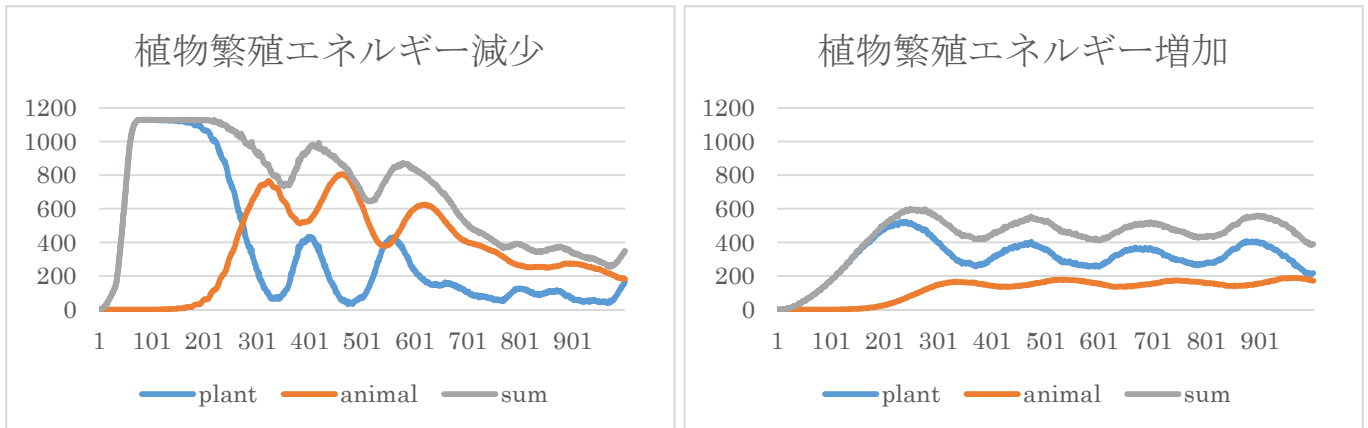
◇実行したシミュレーション

今回は植物、動物それぞれ2パラメータ(寿命・繁殖エネルギー)計4パラメータを変更してシミュレーションを行った。またデータの信頼性を確保するため、それぞれのパラメータについてシミュレーションを10回ずつ行いその平均を求めた。

◇考察と成果

今回はデータ数が膨大なため、一部の特徴的なデータを抽出した。





植物の繁殖エネルギーを減少させると、60 パーセントの確率で絶滅してしまった。これは植物が増えやすくなったことで動物も増えやすくなったためと考えられる。

また動物の繁殖エネルギーを増加させると他の3つのグラフのような振動が消滅した。これは動物の増加スピードが劇的に減少したため、植物の増加量と、動物の捕食量が釣り合いやすくなったためと考えられる。

基本パラメータから得られた曲線は「ロトカ・ヴォルテラ方程式」に近いもので、この方程式は捕食者と被食者の関係を式にしたものである。

「ロトカ・ヴォルテラ方程式」は次の常微分方程式系で表される。

上の式が被食者の量を示し、下の式が捕食者の量を示す。

$$\frac{dx}{dt} = (a - by)x$$

$$\frac{dy}{dt} = (-d + cx)y$$

ただ、この式では今回のシミュレーターに存在する被食者の自然減(寿命)が考慮されていないため、実際のロトカ・ヴォルテラ方程式とは結果のグラフの形状が変わっていると考えられる。

◇今後の課題・展望

1. 今回得られた曲線を「ロトカ・ヴォルテラ方程式」を用いて解析し、検証する。
また、この用いたパラメータでの生態系の安定性を検証することで、本当に絶滅しない生態系なのかを解析する。以上の解析のために「リヤプノフ関数」を用いて安定性を調べる。
2. より高次の消費者が登場した場合や、競争種がいる場合には生物がどのようなふるまいをするのかさらにシミュレーションを行い解析していく。
3. 今回作成したビューアーにより、植物と動物の個体数の関係が視覚的に把握しやすくなったため、これを用いてより視覚的に分かりやすいシミュレーターを作成していく。

◇主要参考文献

ロトカ・ヴォルテラ方程式 個体成長とカオス

<http://www.cis.twcu.ac.jp/~asakawa/MathBio2010/lesson03/>

個体群存続可能性分析(PVA)

<http://www.info.human.nagoya-u.ac.jp/~natu/epub/PVA200506.pdf>

がんに挑む！！

戸由菜月（宮城県仙台二華高等学校 2年）

指導教員：堀井明（東北大学 医学系研究科 分子病理学分野 教授）

◇研究目的・意義

厚生労働省発表によると、がんは日本人の死因の約 3 割を占めている。単純計算すると、1 日あたり 1000 人近くの命ががんによって奪われていることになる。また、2 人に 1 人が一生のどこかの時点でがんにかかる、とのデータも公表されており、重要な研究対象疾患である。がんには周囲の組織との調和などとは無関係に増殖する性質があり、浸潤や転移を起こす。本研究は、がん細胞の浸潤や転移を促進する可能性のある分子 A を調べることで、分子 A の作用を解明し、がん治療への新たな可能性を広げることを目的とし、東北大学大学院医学系研究科分子病理学分野 堀井明教授のもとで研究を開始した。

分子 A は分子 B とともに図 1 に示すように四量体を形成し、細胞膜でプラスミノゲンをプラスミンに変化させる働きがある。この結果、MMP（matrix metalloprotease）という一群のタンパク分解

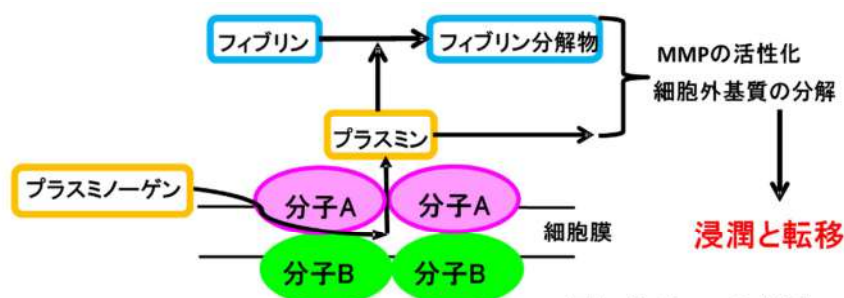


図1: 分子A, Bの作用

酵素の活性化が誘導され、細胞外基質の分解が促進されるため、がん細胞の浸潤や転移が促進される結果につながると考えられる。

対象は肺癌のうち最も高頻度に見られる腺癌という組織型である。肺癌は肺を構成する気管、気管支、肺泡などのどこかの細胞が何らかの原因で遺伝子変異を蓄積して癌化したもので、細い気管支に発生するものが多い。国立がん研究センターによる部位別のがんの 10 年生存率は約 30%で、がんの中でも予後が悪い方である。発生母地の細胞によって組織型が異なり、腺癌の他、扁平上皮癌、大細胞癌、小細胞癌などがある。

◇研究の方法・態度

69 人の肺腺癌の患者さんの癌組織を以下の方法で調べた。

- 1) SDS-PAGE：タンパク質を分子量、荷電量などに応じて電気泳動で分離した。
- 2) ウェスタンブロッティング：タンパク質を SDS-PAGE の後、メンブレンに転写し、マウスで作成した抗体を使い、目的タンパクを定量的に検出する。ウサギで作成したビオチン標識二次抗体（抗マウス抗体）を用い、ペルオキシダーゼ標識ストレプトアビジンで発色させて可視化した。
- 3) 免疫組織化学法：組織や細胞内の目的タンパクの存在場所を抗体で特定した。

目的タンパクに対するマウスで作成した抗体で、組織切片上の標的分子と結合させ、アビジン・ビオチンで発色させた。

◇考察と成果

肺癌細胞株 7 種と正常気管支上皮に由来する細胞株 (BEAS2B) を用い、分子 A と分子 B についてウェスタンブロッティングを行った結果、1 次関数的に相関した (結果は示さず)。この結果から、分子 A と分子 B は同じ経路で共同して機能していると考えられた。

次に、分子 A について患者さんの癌組織を免疫染色し、発現の度合いによって 3 群に分類した。

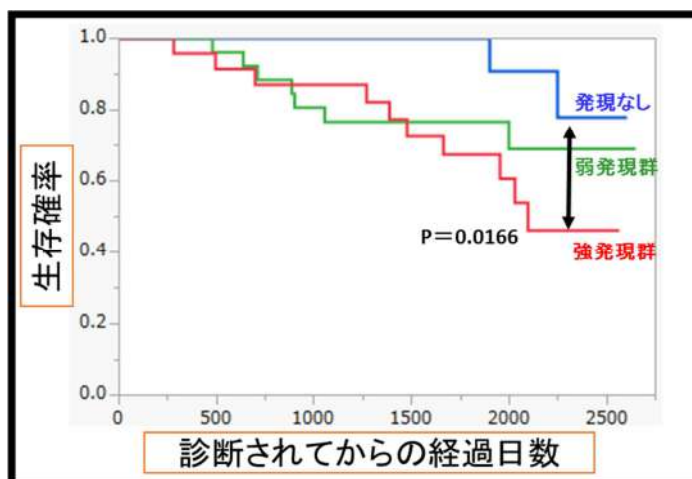


図 2：分子 A の高発現は肺腺癌で予後不良と相関する

発現なし群：発現細胞が全体の 10% 以下のもの

弱発現群：発現細胞が全体の 10～50% のもの

強発現群：発現細胞が全体の 50% 以上のもの

これらの 3 群で生存期間との関係を調べた結果を図 2 に示す。縦軸は「生存確率」、横軸は「がんと診断されてからの日数」とシグナグラフに示した。「**強発現**」した患者さんの予後は「**発現なし**」の患者さんよりも悪く、有意差が見られた ($P=0.0166$)。この結果は、分子 A の発現が肺腺癌の予後不良に密接に関わることが示唆される。

◇今後の展望

今回の結果から、分子 A の高発現は、肺腺癌の予後不良と有意に相関していることが証明された。しかし、この結果だけでは分子 A の発現が予後不良の「原因」(がんの進行を助長するもの)なのか、「結果」(がんが進行する結果としてできた副産物)なのかを判断できないため、今後、この点を明らかにする必要がある。原因であれば治療の標的にできる可能性があり、結果であっても肺腺癌の腫瘍マーカーとして利用できる可能性があり、いずれの場合でも臨床応用の可能性が期待できる。

◇主要参考文献

厚生労働省 人口動態調査、患者調査

担当教員のコメント

本研究は高校 2 年生が医学的、並びに臨床的に意義のある解析結果を出した。研究を進める過程で分子腫瘍学的な理解も深まり、どんどん自分で考えて研究を進め、本発表の内容に到達できたことを高く評価する。さらに研究を進めることにより、臨床的に意義のある結果につながるのではないかと期待している。

心臓活動電位発生におけるミトコンドリア Ca 動態の寄与に関する研究

清水 洋祐（藤島高校 2年）、岩井 絵梨果（高志高校 2年）

堀江 玲奈、松中 咲樹（仁愛女子高校 2年）

竹内 綾子、松岡 達（福井大学医学部）

◇研究の目的・意義

今回の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。

《研究テーマ1》心臓収縮は、心筋細胞の電氣的興奮（活動電位）によって誘発されるが、その持続時間は心拍数の影響を受け、心拍数が増加するにつれて短縮することが知られている¹。しかし、現在、動物実験の主流となっているマウスは心拍数が高く（300-600/分）、モルモットや家兎で調べられてきた活動電位持続時間の心拍数依存性の詳細は不明である。研究テーマ1では、マウス心室筋細胞の活動電位波形が心拍数（電気刺激頻度）の影響を受けるかどうかを調べる。

《研究テーマ2》心室筋細胞の活動電位は細胞膜に発現する複数のイオンチャネル・トランスポータを介するイオン電流によって形成される^{1,2}。しかし、ミトコンドリアに発現するイオンチャネル・トランスポータが活動電位に及ぼす作用はこれまで明らかになっていない。今回は特に、ミトコンドリア内膜に発現し、細胞質 Na^+ と交換にミトコンドリア Ca^{2+} を細胞質に排出するミトコンドリア Na/Ca 交換(NCLX)が活動電位波形に及ぼす作用を検討する。Takeuchi らの培養心筋細胞を用いた研究から、NCLX は細胞質 Ca^{2+} 動態を調節することで、活動電位波形と活動電位発火頻度に影響することが明らかになっている^{3,4}。研究テーマ2では、NCLX 抑制がマウス心室筋細胞の活動電位波形に及ぼす影響を検討する。

◇研究の方法・態度

コラゲナーゼ処理によりマウス心室筋細胞を単離し、先端径約 $2\ \mu\text{m}$ のガラスピペットを用いたパッチクランプ法によりマウス心室筋細胞の活動電位を測定した（図1）。《研究テーマ1》では、細胞内環境をできるだけ正常に維持する目的で、 Na^+ , K^+ , Cl^- のみが透過可能なチャネルを作るアンフォテリシン B をピペット内液に入れて活動電位を記録した（Perforated-patch 法）。ガラスピペットからの通電刺激により活動電位を誘発し、電気刺激間隔を 0.5-10 Hz と変えて活動電位持続時間を計測した。《研究テーマ2》では、ガラスピペット先端の膜を通電刺激で破り、細胞内をピペット内液で置換する Whole-cell clamp 法で活動電位を記録した。NCLX 阻害剤（CGP-37157, $2\ \mu\text{M}$ ）をピペット内液に入れることで、ミトコンドリア NCLX 機能を阻害した。NCLX 阻害剤をピペット内液に含まないデータをコントロールとして、NCLX 阻害剤の活動電位に対する効果を検討した。実験データは平均 $\pm$ 標準偏差（n データ数）で示す。

実験は 2016 年 2 月から約 6 ヶ月間にわたり、休日と夏休みを利用して行った。

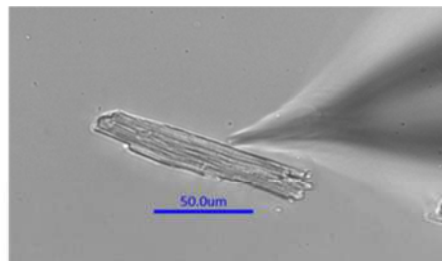
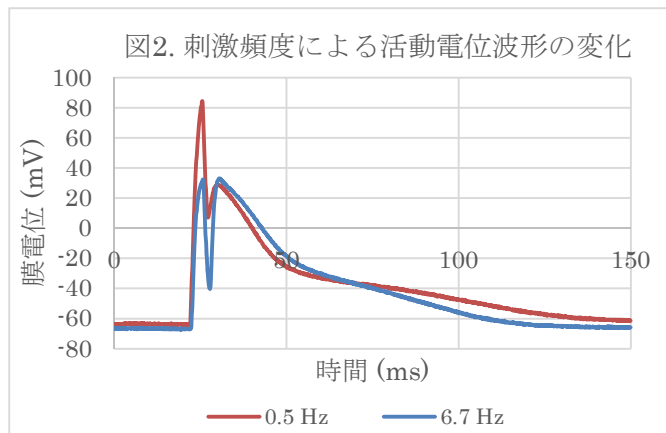


図1. マウスの心室筋細胞とガラスピペット

◇考察と成果

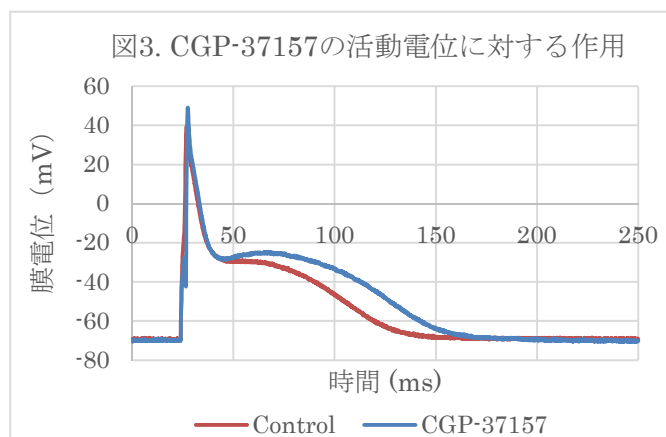
《研究テーマ1》



刺激頻度が増加するにつれて、30%活動電位持続時間(APD30)は延長し、90%活動電位持続時間(APD90)は短縮する傾向があった(図2)。APD30 = 9.1 ± 4.0 ms (0.5 Hz), 12.7 ± 5.5 ms (6.7 Hz), APD90 = 122.4 ± 29.7 ms (0.5 Hz), 83.3 ± 11.9 ms (6.7 Hz), $n = 5$ 。マウスにおいても活動電位持続時間の心拍数依存性がみられることがわかった。しかし、モルモットや家兎の心室筋細胞とは異なり、APD30は刺激頻度が増

加すると延長することがわかった。

《研究テーマ2》



CGP-37157によりNCLXを抑制した場合、APD90は延長したが、APD30はあまり変化が見られなかった(図3 刺激頻度4.0 Hz)。コントロールでAPD90 = 105.5 ± 19.3 ms, APD30 = 5.4 ± 0.8 ms ($n = 3$)、CGP-37157を使用したときAPD90 = 114.7 ± 7.1 ms, APD30 = 4.9 ± 1.2 ms ($n = 3$)。NCLXを抑制することにより、細胞質の Na^+ 濃度は増加し、 Ca^{2+} 濃度は減少すると考えられる。細胞質 Ca^{2+} 濃度減少により

Ca^{2+} チャネル開口時により大きな内向き Ca^{2+} 電流が発生し、活動電位持続時間が延長したと考えられる。

◇今後の展望

- 1) 実験時に記録した心室筋細胞収縮のビデオ画像を解析することで、収縮力に対する心拍数の影響を検討する。また、NCLX抑制が心室筋細胞収縮に及ぼす影響を検討する。
- 2) NCLX抑制により細胞質 Ca^{2+} 濃度が減少するか、 Ca^{2+} 蛍光色素を用いて細胞質 Ca^{2+} 濃度を測定することで検討する。
- 3) NCLX抑制により Ca^{2+} 電流が大きくなるか、 Ca^{2+} 電流を直接測定することで検討する。

◇主要参考文献

1. Bers D. Excitation-Contraction Coupling and Cardiac Contractile Force. 2001. Springer Netherlands
2. 大谷修 堀尾嘉幸 著 人体の正常構造と機能Ⅱ循環器 2012. 日本医事新報社
3. 竹内綾子 ミトコンドリア-小胞体 Ca^{2+} クロストークに関するフィジオーム研究 膜(MEMBRANE)印刷中
4. Takeuchi A, Kim B, Matsuoka S. The destiny of Ca^{2+} released by mitochondria. *J Physiol Sci.* 2015;65:11-24.

健康油 ω 3の抗アレルギー効果

横田優輝（城西大学附属川越高等学校高校2年）

小田祥人、藤垣泉、山本満智子、西山千春（東京理科大学）

◇研究の目的・意義

私たち人類は、科学の発展と共に様々な病気を予防したり治療したりできるようになってきましたが、一方で未だに抑えきれない病気もあります。その中で、アレルギーは近年患者数が増加している病気の一つです。今までは普通に触れていた物や食べられていた物でも、ある日突然触れたり食べたりすることができなくなり、場合によっては、死に至ることがあります。花粉症や食物アレルギーなどでは、白血球の一種であるマスト細胞や好塩基球がアレルギーの原因物質（アレルゲン）に反応することによって症状が引き起こされます。アレルギーの発症率が増加している理由として、環境や食生活の変化が挙げられ、食品に含まれる成分やその代謝物が免疫細胞の働きに及ぼす作用も多く研究されています。例えば、魚油に含まれる ω 3系脂肪酸やその代謝物には抗炎症効果があると言われていますが、それらが細胞や体にどのように作用するのか不明な点も残されています。一方、マスト細胞や好塩基球がアレルギー反応を起こす際、細胞表面でIgE抗体とアレルゲンが結合することが引き金となって細胞が活性化する仕組みがよく知られていますが、傷ついた細胞から漏れでてきたり、活性化した細胞から放出されてきたりした細胞外のATPのように、アレルゲンとは別な物質にも反応してアレルギーや炎症の症状を起こすことが最近分かってきました。そこで、これらの活性化反応に ω 3系脂肪酸であるDHAやEPAが及ぼす影響を観察する研究を行いました。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ています。

◇研究の方法・プロセス

C57BL/6（黒いマウス）の大腿骨・脛骨から骨髓を取り出し、1ヶ月ほど培養して造血系幹細胞からマスト細胞に分化させた骨髓由来培養マスト細胞（BMDC）を使って実験を行った。DHAやEPAはDMSOで希釈した後、終濃度 $50\mu\text{mol/L}$ となるようにBMDCの培地に添加して一定期間培養を行った。細胞を洗浄後、抗原（アレルゲンに相当）とIgE抗体、ATP、A23187（カルシウムイオノフォア）で刺激を行い、細胞から放出される酵素の活性を測定することにより細胞活性化（脱顆粒反応）の程度を評価した。脱顆粒反応の程度は、細胞を界面活性剤で溶解し得られる酵素活性を100%とした比率で表した。

◇結果と考察

EPAやDHAを含む培地で2日間（図左上）、8日間（図右上）、14日間（図左下）培養した結果、対照と比べてATPによって引き起こされる脱顆粒反応の程度が抑えられていた。A23187による脱顆粒反応も同様に抑制されていたことから、細胞内のカルシウム濃度変化による反応の過程にEPAやDHAが作用していると考えられる。IgEと抗原による活性化に対する ω 3の影響についてはばらついたデータとなっているが、対照となるDMSOサンプルの脱顆粒反応の程度が低いことから、うまく活性化できていない可能性が考えられる。これは他の刺激と比べて実験が煩雑なことによるのかも知れない。再現性や有意差を確認する必要があるが、今回の実験ではATPによるマスト細胞活性化を ω 3が抑制する可能性を示すことができたと考えている。

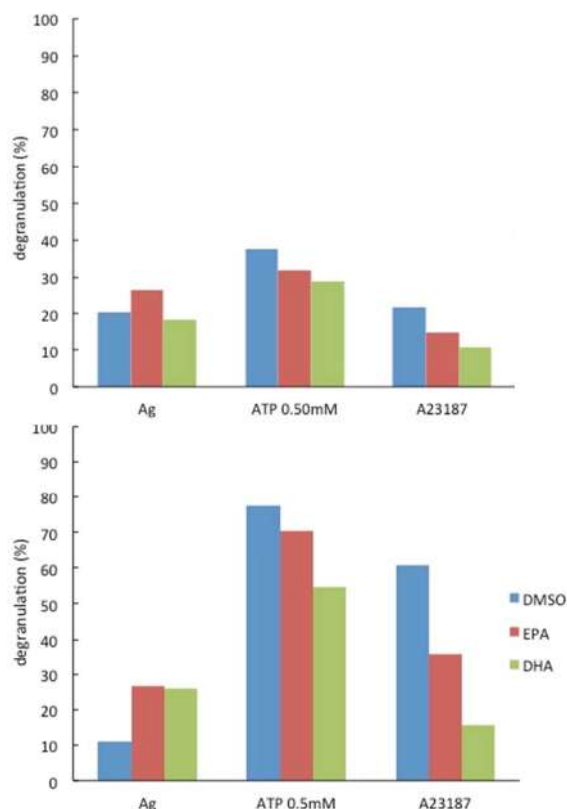


図 $\omega 3$ のマスト細胞脱顆粒反応に対する抑制効果

EPA (赤)、DHA (緑)、DMSO (青、対照群) で2日間 (左上)、8日間 (右上)、14日間 (左下) 処理した後の脱顆粒反応の程度。IgE と抗原 (Ag)、ATP (ATP0.5mM)、カルシウムイオノフォア (A23187) のそれぞれで細胞活性化

◇今後の展望

現在、脱顆粒反応の他に、活性化した細胞から分泌されるサイトカインや細胞の活性化に関わる細胞内分子の発現量を解析しています。また、マウスに DHA や EPA を与えて飼育し、アレルギー反応や炎症の様子を調べています。マスト細胞が DHA や EPA からどのような代謝産物を産生しているかについて、東京大学 (生物生産工学研究センター・白石先生、葛山先生) との共同研究で検討を行っています。今回の実験では ATP によるマスト細胞活性化に $\omega 3$ が抗炎症効果を発揮する可能性が見出されました。現在進行中の実験結果とあわせることで、仕組みを明らかにしていきたいと考えています。

◇主要参考文献

- Wang, X. and Kulka M. n-3 Polyunsaturated fatty acids and mast cell activation, *J. Leukoc. Biol.*, 97; 859 (2015) $\omega 3$ のマスト細胞への作用に関する総説
- Kunisawa, J. 他 Dietary $\omega 3$ fatty acid exerts anti-allergic effect through the conversion to 17, 18-epoxyeicosaetraenoic acid in the gut. *Sci. Rep.*, 5; 9750 (2015) $\omega 3$ がマウスの食物アレルギーを改善する研究
- Miyata, J. and Arita M. Role of omega-3 fatty acids and their metabolites in asthma and allergic diseases. *Allergol. Int.*, 64; 27 (2015) $\omega 3$ の代謝産物とアレルギーに関する総説
- Tsai, S.H. 他 The Ectoenzyme E-NPP3 Negatively Regulates ATP-Dependent Chronic Allergic Responses by Basophils and Mast Cells. *Immunity*, 42; 279 (2015) ATP で細胞が活性化されマウスでアレルギーが起こる研究
- Kurashima, M. 他 Extracellular ATP mediates mast cell-dependent intestinal inflammation through P2X7 purinoceptors. *Nat. Commun.* 3; 1034 (2012) ATP でマスト細胞が活性化されてマウスで炎症性腸炎が起こる研究

放射線耐性遺伝子の探索

長谷 優月（高志高校 2年）、北川 文夢（北陸高校 2年）

内田 日向子、御嶽 彩乃（仁愛女子高校 2年）

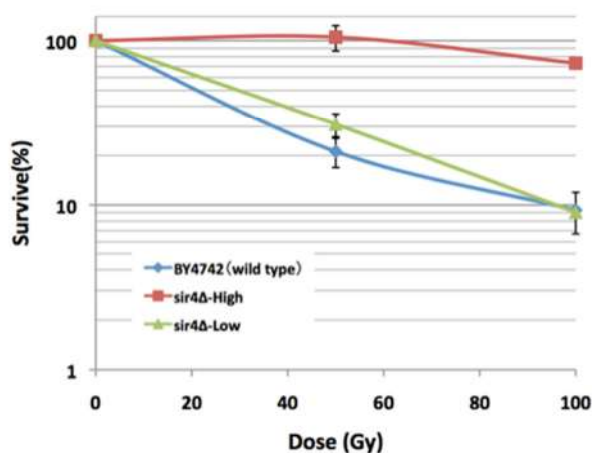
沖 昌也（福井大学工学研究科）

◇研究目的・意義

放射線耐性に有効である可能性を持つ候補の遺伝子 *FIT1*、*DAN1* をそれぞれ過剰発現出来るプラスミドに組み込み、作製したプラスミドを用い酵母を形質転換し、酵母内で過剰発現させることにより放射線に対して影響を示すか確認する。研究テーマの設定から研究実施の全てをグローバルサイエンスで行った。

◇研究背景

エピジェネティクスとは DNA 配列に依存せず、周りの環境の変化等によって遺伝子の発現状態が変化することである。具体的には脱アセチル化酵素が働いてヒストンのアセチル化が解除されることにより、クロマチンが凝集した構造体である「ヘテロクロマチン」が形成され、「ヘテロクロマチン」が形成されると内部に存在する遺伝子は発現しない。つまり、エピジェネティクスは、ヘテロクロマチンが形成され遺伝子が発現するかしらないかで引き起こされる。ヘテロクロマチンの形成に必要な *sir2*、*sir3*、*sir4* をそれぞれ破壊した酵母株を作製し、放射線を照射したところ、*sir4* を破壊した酵母では生存率が高いものと低いものが見られた(図1)。遺伝子型は同じであるにも関わらず結果に違いが見られたのはエピジェネティクスによるものだと考え、WT、*sir4Δhigh*、*sir4Δlow* から RNA を抽出し、それぞれマイクロアレイ法により発現量の変化を網羅的に解析したところ、*sir4Δhigh* では *DAN1*、*FIT1* という遺伝子の発現が減少していることが明らかになった。このことから、*DAN1*、*FIT1* の遺伝子発現が過剰な酵母株を作って、放射線を照射し生存率を測定することにより、仮説が正しいか検証することにした。

図1: *sir4* 破壊株に放射線を照射した結果

◇研究の方法・態度

最初に、*TDH3* プロモーターという過剰発現出来るプロモーターを持ったプラスミドを用い大腸菌を形質転換した。形質転換した大腸菌からプラスミドを抽出し、*TDH3* プロモーターの下流に PCRにより増幅させ、PCR 産物精製によって不要物を除去した *FIT1* 遺伝子、*DAN1* 遺伝子を挿入した。目的の遺伝子がきちんと挿入出来たかを確認するため、プラスミドを抽出し、制限酵素処理後、電気泳動によって分画し確認を行った。電気泳動の結果から目的の *FIT1* 遺伝子、*DAN1* 遺伝子がそれぞれ組み込まれていることが確認出来た。その後、PCR により増幅させた *FIT1* 遺伝子、*DAN1* 遺伝子の DNA 配列に変異が入っていないかを調べるためにシーケンス解析を行った。この結果、変異はなく塩基配列は正しいものであることが確認できた。次に、作製した *FIT1* 遺伝子、*DAN1* 遺伝子を過剰発現出来るプラスミ

ドを制限酵素で切断し、酵母染色体上に挿入した。形質転換された酵母からゲノム DNA を抽出し、PCR を行うことにより、*FIT1* 遺伝子と *DAN1* 遺伝子を過剰発現出来るプラスミドがきちんと挿入されていること、また、挿入した位置が正しいことを確認した。次に、*FIT1* 遺伝子、*DAN1* 遺伝子が過剰発現し、タンパク質も過剰に生産されているかを確認するため、タンパク質の電気泳動を行い、CBB 染色により確認した。しかし、この結果からは、明らかなタンパク質の過剰生産は確認出来なかった。そこで、リアルタイム PCR を行って翻訳前の段階である *FIT1* 遺伝子と *DAN1* 遺伝子の転写量が過剰になっているかを調べた。

この結果、*FIT1* 遺伝子と *DAN1* 遺伝子の mRNA はきちんと過剰発現されていることが確認出来た (図 2)。そこで、作製した *FIT1* 遺伝子と *DAN1* 遺伝子を過剰発現している酵母株に放射線を照射したところ、生存率が低くなることが確認出来た。更に、*fit1* 遺伝子と *dan1* 遺伝子破壊株では、生存率が高くなることが確認された。このことから、*FIT1* 遺伝子と *DAN1* 遺伝子は発現を抑制することで放射線耐性を持つことがわかった。

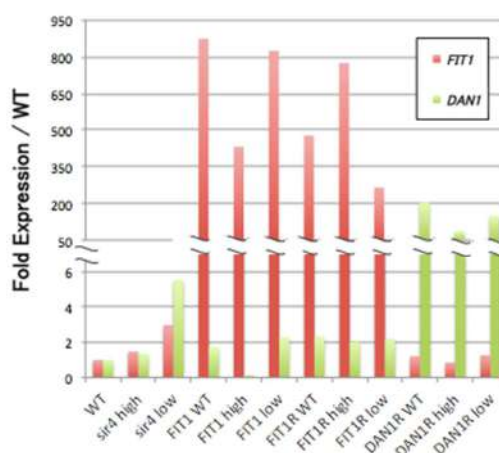


図2:リアルタイムPCR法により発現量を比較した結果

◇考察と成果

DAN1 遺伝子、*FIT1* 遺伝子が過剰発現した酵母株にそれぞれ放射線を照射すると、生存率が低くなっており、*fit1* 遺伝子、*dan1* 遺伝子の破壊株では生存率が高くなっていることが確認された。このことより、*DAN1* 遺伝子、*FIT1* 遺伝子は放射線に対して耐性を獲得するために重要な役割を担っている遺伝子であることが示唆された。しかし、転写は過剰に行われていたにも関わらず、タンパク質レベルでの生産量の増加が確認出来なかったことに関しては今後、原因を解明していく必要がある。

◇今後の展望

今後は、微量なタンパク質量の変化も検出出来るように、目的の遺伝子に目印となる Flag tag を付けて、ウェスタンブロッティング法を用いて実験を行う予定である。Flag tag を用いることで、本当に *FIT1* 遺伝子や *DAN1* 遺伝子の情報がタンパク質へと伝達されて、実際にタンパク質が過剰に生産されているかを調べることが出来る。また、*FIT1* 遺伝子、*DAN1* 遺伝子の両方を破壊した酵母株、過剰発現させた酵母株を作製し、より放射線に対して耐性を持つ条件を探りたい。

◇主要参考文献

1. Rusche L.N., Kirchmaier A.L. & Rine J. (2003) The establishment, inheritance, and function of silenced chromatin in *Saccharomyces cerevisiae*. *Annu Rev Biochem* 72, 481-516.
2. Sun J.Q., Hatanaka A. & Oki M. (2011) Boundaries of transcriptionally silent chromatin in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes Genet Syst* 86, 73-81

Neurosphere 法を用いた神経幹細胞の時間的可塑性の検討

発表者 岡野雄士 (慶應義塾志木高等学校 2 年)

担当教員

加瀬義高 (慶應義塾大学医学部生理学准訪問研究員、東京大学医学部附属病院老年病科)

◇研究の目的・意義

近年の研究において、脊椎動物の脳 (とくに脳室下帯、海馬歯状回) に神経幹細胞/一過性増殖性細胞 **neural stem/progenitor cells (NSPCs)** の存在が確認され、これまでまったく再生しないと思われていた中枢神経系の分化や増殖に関する研究が盛んに行われるようになった。NSCs は経時的に分化能を変化し、例えば胎生初期では **gliogenic signals** に対する応答性の欠如により **neuron** に分化し、胎生後期以降にその応答性が獲得して **glia** に分化していく。この NSCs の性質を明らかにしていくことは今後の中枢神経の再生医療実現に向け必要不可欠である。本研究では、上記の NSCs の経時的な分化能変化を実際に検証するために、マウスの ES 細胞から **neurosphere** を作成し、NSCs の発生・分化を *in vitro* で再現できる培養系¹⁾によって解析した。このマウス ES 細胞での培養系の手技を習得し、今後分化に関わる標的遺伝子特異的に発現を制御した ES 細胞を用いて実験を進めていく予定である。なお本研究は慶應義塾大学医学部生理学教室で行った。

◇研究の方法・態度

ES cell culture

マウス ES 細胞である EB3 を用いた。EB3 は、Gelatin-coated (0.1%) T75 フラスコの中で ES Medium [GMEM with 10% FBS, LIF, Blasticidin-S, 2-Mercaptoethanol (2-ME)] とともに培養した。

Formation of Embryonic body (EB)

ES medium を除去し、single cell にした。15cm Dish に EB medium [α MEM with 10%FBS, LDN, 2-ME] を加え、 1×10^5 /mL になるように細胞懸濁液を播種し、5 日間培養した。

Formation of Neurosphere (NS)

EB medium を除去し、single cell にした。T75 フラスコに MHM with bFGF ($1 \mu\text{g}$) を加えて、 1×10^5 /mL の密度になるように細胞懸濁液を播種した。

Differentiation to neuron or glia

medium を除去し、Differentiation medium (DM) [MHM, LIF, BMP-2] を加えて 1×10^6 /mL の密度になるように poly-L-ornithine, fibronectin-coated 10-mm cover glasses の上に細胞懸濁液を播種して 5 日間培養した。

Immunostaining

4%PFA で固定し、0.3% Triton-X100 で細胞膜を溶かし、ブロッッキング剤 TNB で希釈した一次抗体 [β III-tubulin, GFAP に対する抗体] を付加して 4°C で一晩静置した。二次抗体を付加して 37°C で 1 時間静置した。

Cell Count and Statistics

染色後、共焦点レーザー顕微鏡 LSM で観察した。1 サンプルにつき 10 箇所の視野をとり細胞の数をカウントした。ポスター展示では統計解析として Student's t test を用い $p < 0.05$ で有意差があるものとする予定である。

◇考察と成果

神経幹細胞は既報でも報告のあるように経時的变化とともにその分化能を変化させていくことが予想された。経時的变化を観察する方法としては ES 細胞から神経幹細胞を作成しそれを継代し観察することとした。実験結果としては下記のグラフに示すように神経幹細胞の継代数を増やしていくごとにグリアに分化する割合が増加した。(発表要旨提出時点では secondary および tertiary neurosphere からの分化実験の n 数を増やしている段階である。) *in vivo* でのマウス胎生期における神経幹細胞の性質を *in vitro* で自分の手で再現でき、今後の実験の wt control としてのデータを得ることが出来た。

図1 neurosphere からの分化誘導 (免疫染色画像)

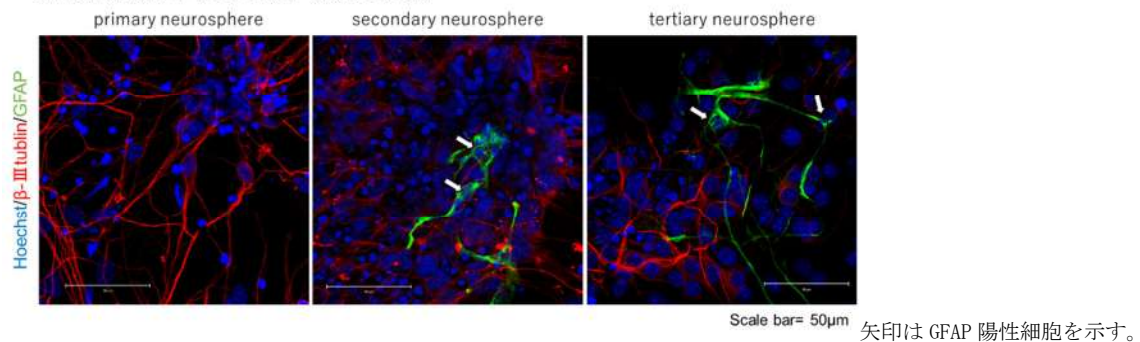
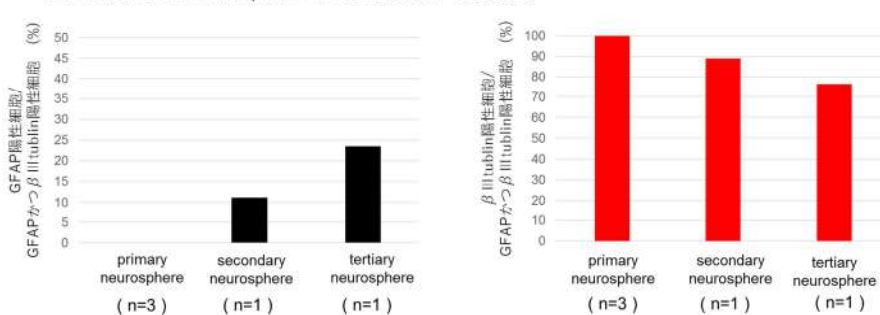


図2 時間経過に伴う neurosphere からの分化誘導比率の変化様式



また今回の実験では分化に影響を及ぼす可能性のあるペニシリンなどの抗菌薬を添加しなかった。それでも実験手技の向上によりコンタミネーションを起こさずに遂行でき、結果を得ることが出来た。

◇今後の展望

この結果を参考に、今後この細胞に遺伝子変異をいれた細胞株を樹立し同様の実験を行いその遺伝子と分化能の関わりを突き止めていく予定である。

◇主要参考文献

1. Youhei Okada et al. (2008) Spatiotemporal Recapitulation of Central Nervous System Development by Murine Embryonic Stem Cell-Derived Neural Stem/Progenitor Cells. *Stem Cells* 26: 3086-3098.

腸炎疾患における消化管筋層の傷害と回復過程を探る

今井 未来 (美方高校 3 年)、河原 真代 (若狭高校 2 年)、杉本 京平 (敦賀高校 2 年)

飯野 哲、堀口和秀、橋本 隆 (福井大学医学部)

◇研究の目的・意義

消化管粘膜に炎症が生じた状態が腸炎であり、軽症の場合を含めても多くの人が腸炎を患っている。腸炎が進行すると炎症の影響は筋層におよび、腸運動機能障害を引き起こすことが知られている。腸運動の障害は、それ自体が腸内環境の悪化を来とし、粘膜での炎症はさらに悪化することから、腸運動機能の改善は腸炎疾患の治療に重要であると考えられる。このような病気に対する理解や治療法を考え研究することを私たちは福井大学グローバルサイエンスキャンパスのラボ活動として取り上げ、所属研究室において全ての実験・討論等を行っている。

トリニトロベンゼンスルホン酸 (TNBS) は、実験動物の大腸内に投与することにより炎症性腸疾患の一つであるクローン病類似の大腸炎を引き起こす。TNBS 投与ラットでは投与 2 日後において投与部位に炎症が生じ腸運動が障害を受け、投与 14 日目では炎症は軽減し、腸運動機能に回復傾向が認められている¹⁾。このように、TNBS 腸炎モデルにおける筋層の炎症・運動機能障害と、炎症・運動機能の回復が報告されているが、その過程の詳細な観察はほとんど行われていない。そこで私たちは、TNBS 投与マウスを材料に炎症時および回復期筋層の組織構築の変化を調べることと、炎症筋層組織障害-回復メカニズムの解明を目指すことを目的として実験を行った。

障害を受けた組織が回復する過程では、細胞の増殖が起こっている可能性が考えられる。どのような細胞がどのタイミングで増殖するか知ることが、組織回復過程を探る第一段階として重要である。本研究では、細胞増殖マーカーとして Ki67 を用いた。Ki67 は細胞周期の G₁ 期～M 期において発現する細胞周期関連核タンパクで、増殖休止期である G₀ 期には発現しないため、細胞増殖マーカーとして用いられている。本研究では、抗 Ki67 抗体と細胞マーカーとなる抗体を用いた免疫染色により、炎症時および回復期筋層における増殖細胞の同定を行った。

◇研究の方法・態度

TNBS 腸炎マウス作製：実験には雄の 7 週齢 BALB/c マウス (SLC より購入) を用いた。48 時間絶食後、麻酔下に PE-20 カテーテルを肛門から 4cm 近位部に挿入し、100 μ l の 50%エタノール 50%生理食塩水に溶解したトリニトロベンゼンスルホン酸 (TNBS) 2mg を注入した (n=9)。コントロール群としては同週齢の無処理マウスを用いた (n=3)。動物実験は福井大学動物実験規程に従い、医学部研究室で指導者の指導の下、実施した。

免疫染色：コントロールマウスおよび TNBS 投与後 2 日、5 日、7 日のマウスを安楽死させ、開腹して大腸全長を摘出した。0.01 M リン酸緩衝生理食塩水 (PBS) 中で投与部位の結腸を切り出し、4%パラフォルムアルデヒド固定液で 4℃、2 時間固定を行った。その後、凍結包埋剤 (OCT コンパウンド) に包埋して-80℃で凍結させた。クライオスタット (Leica CM3050) を用いて厚さ 10 μ m の凍結切片を作成し、スライドガラス上に貼り付けて 30 分風乾した。

切片を PBS にて洗浄し、非特異反応防止のため 1%ウシ血漿アルブミン加 PBS にて溶解した 5% 正常ロバ血清液で室温、20 分間反応させた後、PBS で希釈したウサギ抗 Ki67 抗体 (500 倍希釈) + 細胞マーカーとなる抗体の混合液で 4℃、2 時間反応させた。PBS にて洗浄後、組織を Alexa Fluor-488 標識抗ウサギ IgG 抗体 (1000 倍希釈) + 細胞マーカー抗体に対する蛍光標識抗体 + DAPI (1000 倍希釈) 混合液にて室温、2 時間反応させた。細胞マーカーとしては、平滑筋細胞： α SMA、神経細胞：PGP9.5、白血球：CD45、線維芽細胞：PDGFR α 、カハール介在細胞：c-Kit、それぞれの分子に対する抗体を用いた。封入剤で封入し、Leica TCS SP2 共焦点顕微鏡にて観察、撮影を行った。

◇考察と成果

①マウス結腸における TNBS 腸炎

凍結切片のヘマトキシリン・エオシン染色により、TNBS 投与 2 日群での投与部位における炎症が明瞭に示された。コントロール群に比べて TNBS 腸炎群では粘膜が損傷し、粘膜下層は拡張し、粘膜固有層および粘膜下層には多数の球形の細胞の浸潤が認められた。さらに炎症は筋層まで及んでおり、筋層は肥厚し、細胞間隙も開大していた。TNBS 投与 5 日目では粘膜の炎症は軽減していたが粘膜下層の拡張や筋層の肥厚が認められた。TNBS 投与 7 日目では炎症はさらに軽減し、粘膜、粘膜下層、筋層ともにコントロール群と同様の組織像を示した。

②Ki67 免疫染色

コントロール群の免疫染色の結果、細胞増殖を示す Ki67 陽性細胞は粘膜内に限局しており、粘膜下層や筋層には陽性反応は認められなかった。TNBS 投与 2 日目および 7 日目ではコントロール群同様、粘膜下層や筋層に陽性反応はほとんど観察されなかったが、TNBS 投与 5 日目では、粘膜下層と筋層に多数の Ki67 陽性反応が認められた。筋層内部の Ki67 陽性反応は、平滑筋細胞 (α SMA)、白血球 (CD45)、線維芽細胞 (PDGFR α)、カハール介在細胞 (c-Kit) に観察されたが、神経細胞 (PGP9.5) では観察されなかった。

③考察

この研究から、腸炎の回復過程において、筋層で増殖する細胞が存在することが明らかとなった。このことから、腸炎回復時の筋層の組織修復には細胞増殖が関与していることが示唆された。また、TNBS 投与 5 日目筋層における Ki67 陽性反応の一部は平滑筋細胞、白血球、線維芽細胞、カハール介在細胞の核に認められたことから、回復期においてそれぞれの細胞が増殖することが示された。

◇今後の展望

今回は TNBS 投与 2、5、7 日目の組織を用いた。その結果からは 5 日目に最も多数の増殖細胞 (Ki67 発現細胞) が観察された。しかし細胞の増殖時期を調べるためには、TNBS 投与後毎日組織採集を行うなどして、より詳細な検討が必要と考える。また、細胞種により増殖時期が異なることも考えられ、同じく毎日の検討を行う必要があると考える。

観察した細胞の中で、用いたマーカーに染まらず細胞種の同定が不十分なものが見られた。今回考えた細胞以外の細胞が増殖し炎症の組織回復に関与していることも考えられる。増殖時の細胞を標識し、経時的に観察する方法として BrdU (ブロモデオキシウリジン) を用いる方法などがあり、このような方法でも増殖細胞の種類を確認出来ると考えている。

今回はマウス実験を行ったが、可能ならばヒトの腸炎での細胞増殖を観察する機会があれば良いと考えている。ヒトの腸を材料とするのは難しいが、大学進学後などの将来に機会があれば挑戦したいと思う。

◇主要参考文献

¹尾崎博、清末正晴、堀正敏 TNBS 誘発腸炎モデルにおける筋原性収縮能と ICC 依存性自動能の障害 消化管運動 9:14-15, 2006

インドネシアの森林火災発生地域の予測に向けた衛星画像解析

鈴木 光 (横浜市立サイエンスフロンティア高校 2年)

高橋唯人 (釧路湖陵高校 2年)、太田哲資 (旭川東高校 2年)、鎌田夏実 (札幌南高校 3年)

成瀬 延康, 高橋 幸弘

◇研究の目的・意義

近年、インドネシアで多発している森林火災は深刻な煙害を引き起こし大きな社会問題となっている。AFP 通信によると、2015 年 10 月 07 日時点では、インドネシア全土で、煙害による呼吸器官の失調を訴えた人数は 14 万人を超えるとの報告があった[1]。

また、2015 年のインドネシアにおける二酸化炭素の排出量は、森林火災によるもののみを抽出しても、近年で最大となっている (Figure 1, [2])。そのため、森林火災の発生域を予測する、および被害を最小限に抑えることが現在必要とされている。

森林火災のほとんどは人為的に発生するが、インドネシアの乾季を長引かせるとされるエルニーニョが発生した年に火災件数が急増している (Figure 2, [2]) ことから、自然環境も火災発生に関与していると考えられる。

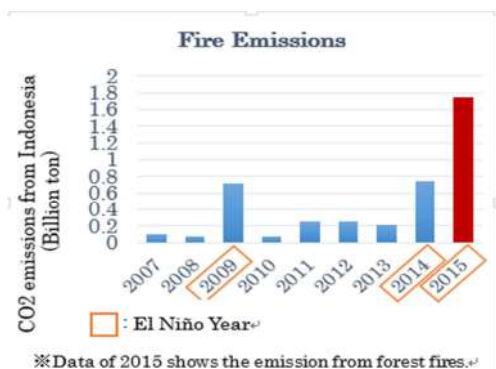


Figure 1. 年毎のインドネシアにおける CO2 排出量

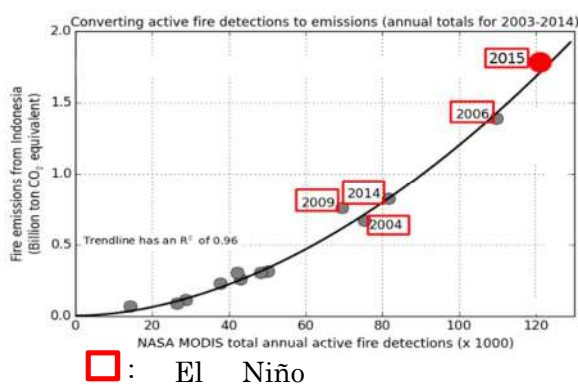


Figure 2. 年毎のインドネシアにおける火災発生件数と CO2 排出量

先行研究では、石橋、島田 (2008) がインドネシアのカリマンタン島において、地下水位と NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) の値に相関があることに着目し、NDVI をモニタリングすることにより森林火災発生の危険度をマッピングした[3]。しかしながら、土壌の露出率により値が変化する NDVI が森林火災発生予測に適した指標かどうかは不明であり、かつ人為的要因を考慮していないため、さらなる研究が必要と考えられる。

本研究の目的は、衛星画像を用いてインドネシア南スマトラ州、マルタプラ付近において森林火災が発生する可能性が高い地域を、土壌の影響を考慮した植生指数 Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI2, [4]) と火災発生地点、道路からの距離と火災発生地点との関係を見ることにより予測することとした。なお、本研究はテーマの設定から実施のすべてを北海道大学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

2015 年 8 月のインドネシア南スマトラ州、マルタプラ付近の Landsat7 画像を入手し、MSAVI2 の値が減少しているエリア ($0.20 \leq \text{MSAVI2} \leq 0.35$) を算出した。次に、2015 年の、衛星画像撮影日より後に観測されたホットスポット (衛星から高温と観測された地点、ほとんどは火災を示す。) の位置を[5]より入手し、MSAVI2 減少地域と照らし合わせ二つの一致度合いを計算した。このとき、詳細に議論するために衛星画像

◇結果と考察

Figure 3. MSAVI2 減少域 (0.20 以上 0.35 以下、赤)、ホットスポット (青)、道から半径 5km 以内のエリア (薄黄色)。道から遠いところで赤と青が良く一致している個所があるのが確認できる。(緑枠内)

一致度を出した際、グリッドごとに値は大きく差があったため、その原因を究明すること。

◇主要参考文献

- [1] <http://www.nst.com.my/news/2015/10/indonesia-haze-affected-countries-%E2%80%9C%E2%80%99re-more-upset-you%E2%80%9D>
- [2] Global Fire Emissions Database (GFED), <http://www.globalfiredata.org/updates.html>
- [3] 島田沢彦・石橋憲(2009)「多時期衛星画像を用いたインドネシア・カリマンタン島における熱帯泥炭地モニタリング」
- [4] Qi, J., et al. "A modified soil adjusted vegetation index." Remote sensing of environment 48.2 (1994): 119-126.
- [5] Eyes on the Forest: Sumatra, <<http://maps.evesontheforest.or.id/>>

新メディア活用による図書館の再活性化

鳥海 綾穂(徳島市立高等学校 2年)

指導教員 瀧本哲史, 中原有紀子, 松原誠二郎(京都大学産官学連携本部)

TA 下山哲弘, 三宅正人, 本間智丈

◇研究の目的・意義

現在図書館は、多くの問題を抱え、図書館のあるべき姿ではなくなる傾向にある。主に財源の減少、選書の困難化、利用者の限定化が挙げられる。このままでは、図書館はいずれ衰退し世の中から消えてしまうだろう。しかし、図書館には現代にこそ必要な要素がある。それは、古い情報も新しい情報も本という信頼性のある媒体を使って、無料で発信していることである。信頼性にかかるインターネットよりも有益であり、現代社会に浸透するフリーの観念にも通じる。このことを踏まえて、私は図書館の問題を解決できて、なおかつ図書館の有益さを再認識してもらえる起業プランを京都大学 ELCAS 専修コースで作った。

◇研究の方法・態度

私は、図書館に企業ブースを置くというプランを考えた。これは、全国各地の公立図書館に、趣旨に賛同した企業がスポンサーとなって、書架ブースを設置するというものである。具体的に収容する書籍や音楽・映像コンテンツは出展企業が独自のテーマや目的に沿って選定し、利用者に向けて広く提供することを想定している。また、ブースイメージは、ブース上部に企業名とCIメッセージを掲げ、付設する小型モニターによって企業の出展目的やそのPRを映す。館内における設置位置は、利用者の興味を引きやすい貸出カウンターの周辺とする。この位置は、通常、書架が置かれておらず、また利用者が必ず通るため、利用者の視認性向上が期待できる。

さて、図書館改革の前例としてTSUTAYA図書館が挙げられる。TSUTAYA図書館は、PCや勉強スペースの確保やTポイントカードの導入により爆発的な集客力UPを実現させた。しかし、郷土資料の縮小・破棄や小さい子どもの利便性を無視した高層書架の設置や営利的側面のみを考えた不適切な選書などが報告されており、地方の郷土を伝える、地域の知力をなどの図書館の根本的役割を担っていない。このようなことを踏まえると、将来にわたる持続的な取組となるかに疑問を呈する。また、TSUTAYA図書館は新しい図書館のロールモデルにすることを目標にしているが設備を全面的に変えるなどの大幅な改革を実施しているため、コスト的な面においても全国展開は不可能であると考ええる。このようなTSUTAYA図書館の例を踏まえたうえで、私のプランは現在ある既存書架は全く変更せず、選書や棚の大きさは図書館側と何度も協議を重ね、決定することを強調したい。

このようなプランを企業や図書館に手紙を送りインタビューを行った。そこで、このプランの問題点を認識した。主に、ターゲットは誰なのか(徳島大学附属図書館、京セラ株式会社、日立製作所)企業の選書によって偏りが生じる可能性があるのではないか(徳島大学附属図書館、近畿大学附属図書館、立命館大学附属図書館)前例がないと行政の運営する公立図書館は実行しづらいのではないか(徳島県北島町立図書館、立命館大学附属図書館)の3つがあがった。そこで、大学図書館で運営してから前例を作ったうえで、公立図書館に展開しようと考えた。このことによってターゲットは大学生に絞られるので企業側のメリットも明確化される。

また、プランの運用イメージを作り強調することにより、選書の偏りも是正されたと考えた。

(図1：運用イメージ) 図書館選定は企業側が行うが、当社は同一の図書館に同業種の企業から出展希望が重複した場合の調整や、希望する企業数が超過した場合の調整を行い、円滑な実現を図るということも本プランの特徴である。これは、既存の図書館の設備や規模の範囲内で実現することを目指すためである。

◇考察と結果

今回のプランは、現在図書館が抱えている、財源・選書・利用者の限定化の問題を既存の図書館の使命を壊すことなく実現できるものである。また、本プラン実行によって、若い世代の利用者増加が見込まれ、より持続可能な図書館になると考えている。関係する三者のメリットを実現、最大化することを目標に、それらを調整し連携させることを目的とした本プランの起業化は「可能である」と判断する。

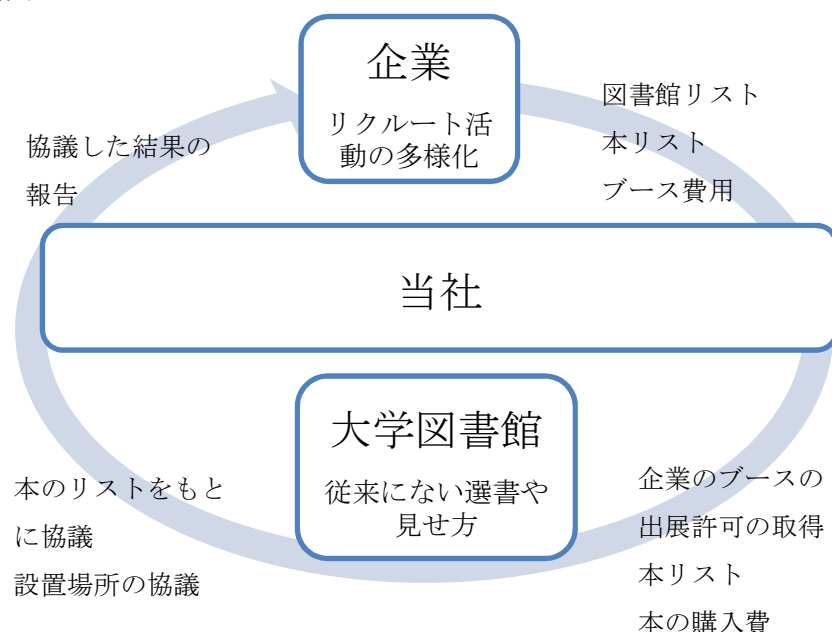
◇今後の展望

実現に向けては、コストや対費用効果の測定、検証の方法等の検討が課題であることがわかった。今回、利用者たる学生や地域住民に対する個別アンケート等の事前調査ができなかったが、前者では就職活動における情報提供のニーズや期待、後者では地域の安定に対する希求はそれぞれ高く、本プランによって発信される企業情報の具体化、明瞭化や地域に対する想いにより、本プランはいずれも広く理解を得られ、win-winの実現につながるものと考えられる。

◇主要参考文献

1. 日本図書館協会. 図書館の自由に関する宣言,
 <<http://www.jla.or.jp/library/gudeline/tabid/232/Default.aspx>>[2016年8月25日アクセス].
 (1979)
2. 文部科学省. 図書館法,
 <http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/dokusyo/hourei/cont_001/005.htm>[2016年8月25日アクセス]. (2011)

図1：運用イメージ



リモートセンシングによるコーヒーさび病のモニタリング手法の開発

勝濱直椰（横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校 2年）

池田和幸（北海道立釧路湖陵高等学校 2年）

成瀬延康 北海道大学

高橋幸弘 北海道大学

◇研究の目的・意義

コーヒー豆の貿易高は大きく、多くの国で主要作物となっている。しかし、2008 年以降コーヒーさび病が中南米で感染を拡大しており、コーヒー産業にとって大きな脅威となっている。コーヒーさび病は空気感染をするため感染が速い。また、耐病性と風味を兼ね備えた品種がなく、農薬は高価である。したがって、感染した木を早期に発見し、伐採・焼却することが感染拡大予防の効果的な対策となる。コーヒーさび病に関する研究は古くから注目を集めてきたが、その多くは耐病性を持つ品種の開発や実地での調査にとどまっている。

一方、人工衛星によるリモートセンシングは安価に広範囲を短時間でモニタリングすることが可能である。リモートセンシングを用いたコーヒーノキ (*Coffea spp.*) のモニタリングは 70 年代より行われているがコーヒー豆の収量予測などにとどまっており、コーヒーさび病自体のモニタリングは行われていない。本研究の目的は、衛星画像によるリモートセンシングにより、コーヒーさび病に感染した範囲を発見する方法を開発することである。なお、本研究はテーマの設定から実施のすべてを北海道大学グローバルサイエンスキャンパス(北大 SSP)で行った。

◇研究の方法・プロセス

グアテマラ共和国、クチュマタネス山脈周辺の Landsat 7 の衛星画像を入手し、衛星画像の NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)及び、SIPI(Structure Insensitive Pigment Index)をもとに計算した独自の植生指数である MSIPI(Modified Structure Insensitive Pigment Index)を算出した、先行研究に基づいて、被害段階の異なる複数の圃場をテストサイトとして選び、それぞれの NDVI、MSAVI の推移を求め、被害のある圃場とない圃場を比較した。

◇結果と考察

被害のある圃場とない圃場を比較したところ、時間が経過するにしたがって被害のない圃場より、被害のある圃場の NDVI の方が低くなる傾向があった。一方、MSIPI は被害別の有意な差が見られなかった。このことから、コーヒーさび病のモニタリングには NDVI の計測が有効であることが示された。また、先行研究によって被害が確認された 2012 年以前から被害の傾向が見えたことから、人工衛星を用いたリモートセンシングの有用性が示唆される。

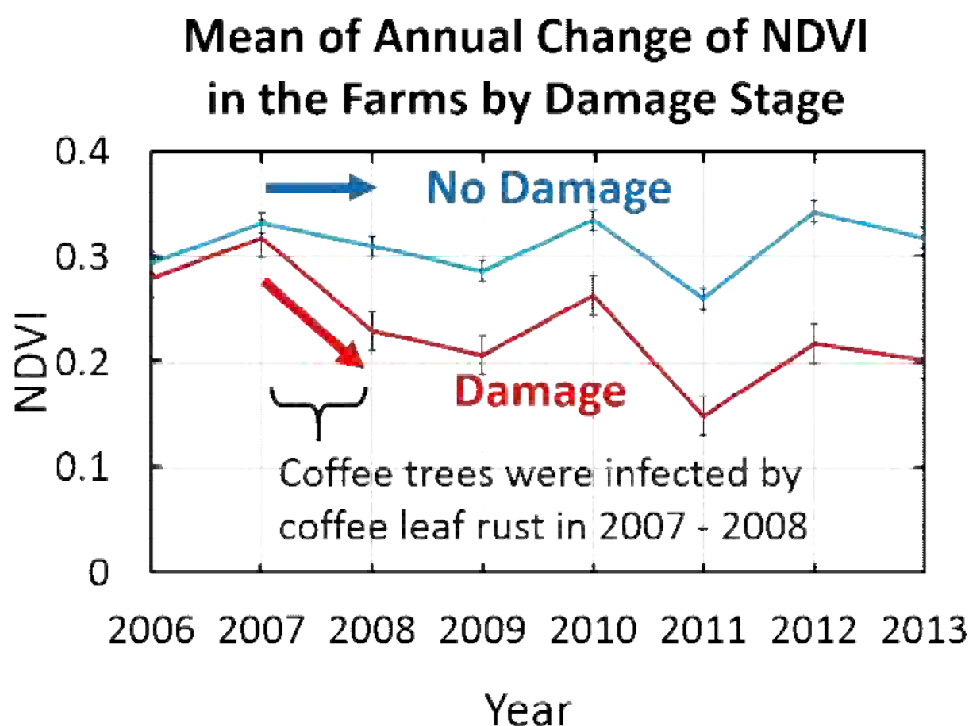


図 1. 被害なし、被害は多い、のそれぞれ 3 箇所の圃場の NDVI の平均値の経時変化。実地調査が行われた 2012 年以前の 2007 年から 2008 年にかけて、コーヒーさび病による被害が現れ始めていることが確認できる。

◇今後の展望

感染の早期発見のため、雲の有無に関わらずにモニタリングが出来るよう、低高度から撮影した航空写真などを用いた解析手法を開発する。また、本研究のモニタリング手法を用いることで、他の作物、植生のモニタリングへの応用も期待できる。

◇主要参考文献

- [1] Avelino, Jacques, et al. "The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions." *Food Security* 7.2 (2015): 303-321.
- [2] Hillary, Rosner. Saving Coffee. *Nikkei Science* (Scientific American Japanese edition), 2015. 45(4), 88-93.

リモートセンシングによるバングラデシュの稲作面積の推定

古田英輝（東京都立武蔵高等学校 2年）

鈴木元太（島根県立津和野高等学校 1年）

成瀬延康，高橋幸弘

◇研究の目的・意義

1960年代に品種改良によって米の収穫量を伸ばした緑の革命が行われた。緑の革命以降、米の収穫量が伸び続けている発展途上国の一つにバングラデシュがある。バングラデシュの2012年での米の生産量は世界第6位となっており[1]、さらに稲作はバングラデシュの主要産業でもある。このことから、米の生産量が増減し米価が不安定になると（図1）[1][2]、バングラデシュの政治・経済問題が引き起こされる要因の一つとなっている。米価を安定化させるには生産量予測が重要であるが、バングラデシュに代表される発展途上国は、国や国連食糧農業機関が稲作面積を正確に把握していないことが多い。

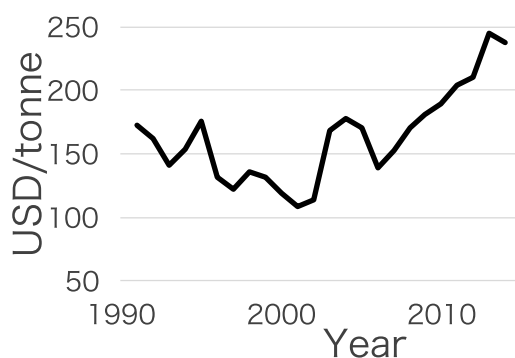


図1 バングラデシュの米価の推移 [1][2]

効率よく広範囲の稲作面積を知るには衛星画像を使ったリモートセンシングが有用であると考えられる。過去、水田のリモートセンシングによる観測は、天候に左右されないマイクロ波の衛星画像を利用したものがほとんどである。しかし、発展途上国が継続的に稲作面積を知るために利用するには、マイクロ波の衛星画像は高価である。加えて、過去の報告では稲の生育状況を観測することは行われている[3]が、そもそも水田を見分ける方法は確立されていないと言える。本研究での目的は、リモートセンシングにより、安価に発展途上国の稲作面積を求める方法を確立し生産量を予測することである。今回、無料で入手可能な可視光域と近赤外域の衛星画像を特定の条件を設定して演算し、バングラデシュの稲作面積を求め、既存の報告値との比較を行った。なお、本研究はテーマの設定から実施の全てを北海道大学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

バングラデシュ全土の可視光域と近赤外域の Landsat-8 の衛星画像を入手した。まず、テストケースとして BRRI (Bangladesh Rice Research Institute) の水田の NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を算出し、水田の NDVI 値の変化の特徴を捉えると同時に、NDWI (Normalized Difference Water Index) を算出する必要があると考え、NDWI 値の変化の特徴も捉えた。水田特有の NDVI、VDWI 値の変化をもとに、特有の値の変化を示す期間それぞれにおいて値の変化の範囲を設定した。これらの範囲すべてに当てはまる地域を水田として計算を行った。

◇結果と考察

テストケースとして BRRI の水田とマングローブ林、森林、市街地の NDVI 値を求めた (図 2) ところ、乾季から雨季にかけての水田とマングローブ林の変化がどちらも上昇していて、乾季から雨季にかけて稲以外の作物が枯れていくことにより減少する可能性があると考えた。そこでバングラデシュでは水稻栽培が行われていることを活かし、BRRI の水田とマングローブ林、森林、市街地の NDVI 値も求めたこれらの 2 つの値の変化で水田特有の変化をする時期と変化の値をもとに 4 つの範囲を作成し、この 4 つの範囲に全て当てはまる地域を水田としてバングラデシュ全土の稲作面積を求めた (図 3)。森林や湿地、市街地では水田と判断されたピクセルの密度が他の地域と比べて低くなっている。求められた面積は 85,900m² となり、2013 年の FAO のデータ (117,700km²) との誤差が-27%である。これらのことから実際の稲作面積とよく一致していることがわかる。また、実際の航空写真と比較しても我々の設定条件を適用すると、水田の特徴をよく表す画像が得られることがわかった。

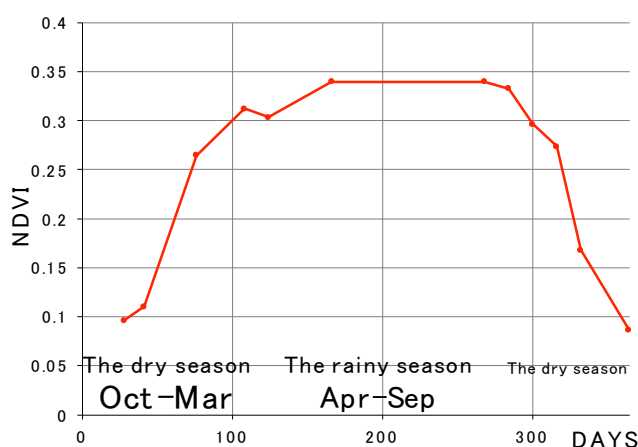
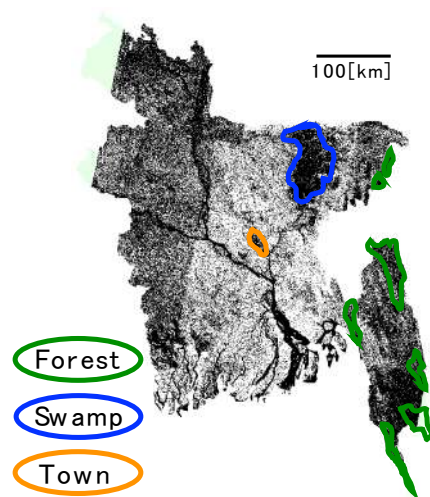


図 2 BRRI の水田の NDVI 値の変化

図 3 バングラデシュで水田と推定された地域
白い地域が水田である。

◇今後の展望

バングラデシュ以外の稲作面積が求められている国において可視光域と近赤外域の衛星画像を用いて稲作面積を求めることで実際の面積との誤差を求め、すべての国でより正確に稲作面積を安価に求められるように今回の方法を改善していく。また、求められた稲作面積をもとに米の生産量を予測する。

◇主要参考文献

- [1] Research Program on Rice Global Rice Science Partnership (2013)
「Rice Almanac fourth edition」 p.121-125
- [2] Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics Division (2013)
http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E
- [3] 河谷嘉文, 須崎純一 (2008) 「多偏波合成開口レーダを用いたマイクロ波散乱の計測と解析」

留学生向け減災アクションカードゲーム（身近な災害編）の開発と評価

鈴木 智寛(宮城県仙台第三高等学校)

久利 美和(東北大学 災害科学国際研究所 講師)

◇研究の目的・意義

減災アクションカードゲームは、児童・生徒が災害時の「とっさの判断」について自ら考えることを促す防災教育教材で、東北大学 G-Safety のメンバーにより開発され、地震・津波編が完成している（久松ら 2015）。また、東北大学では本教材を活用した留学生対象の安全教育が実施されている（金子ら 2016）。留学生対象の実施では、地震・津波に限らず、日本の様々な自然災害に対する留学生達の不安も多く挙がっていた（鈴木ら 2016）。そこで、本研究では、「留学生向け身近な災害編」として、地震・津波編実施時の留学生からのコメントに基づき、東北での身近な災害を題材として問題を作成し、教材評価を実施した。

留学生の減災に関する関心を高め、不安を減らし、これから日本に来る留学生の背中をも押せる教材作成を目指す。また、海外に出張して、日本へ留学予定の学生に対して、日本の自然災害について考えてもらう教育材料にも使える教材にしたいと考えている。

◇研究の方法・態度

「減災アクションカードゲーム：留学生向け身近な災害編」を東北大学の留学生を対象に実施し、問題の設定場面や、実施の方法についてのアンケートを行い、留学生の出身国ごとに比較した。また、ゲーム実施だけでなく、どのような補足解説が適切かについても検討した。なお、問題作成、問題の運営、問題に対する自然災害や防災の解説はすべて英語で行った。実施時間は、アンケート記入や解説も含め、60～90 分程度である。

問題文は、Q1. Out of the Overload to try headed the school, to the workplaces. Snow is about 10cm and go outside, you have piled up. In snow stopped, the sky is sunny, but the temperature is low. What do you do? Q2. You went out to the active volcano that has become together with friends, tourist destination. In the middle are heading by car to the active volcano, I noticed that the “eruption warning” comes into its active volcano. The “eruption warning”, in Japan, is a warning that the Japan Meteorological Agency to announce if there is a risk of serious disaster caused by the eruption of the volcano occurs. What do you do? である。

事前アンケート項目は、Q1.日本の災害を不安に思うか？Q2.どんな自然災害が不安か？Q3.2011 年 3 月 11 日に日本で起こった事は知っているか？事後アンケート項目は、Q1.ゲームは楽しかったか？Q2.ルールは分かりやすかったか？Q3.絵から想像できたか？Q4.またやりたいか？Q5.自国でも役立つか？Q6.誰かに教えたいか？である。

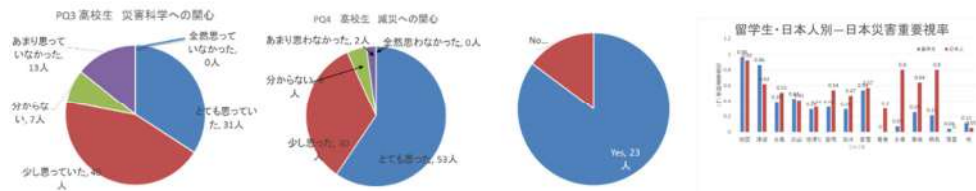
実施日と実施対象者とその人数は、2015,12,19 日本人高校生 92 人、留学生 28 人、2016,3,22 アメリカ人 5 人、2016,08,02&03 日本人高校生 5 人 イギリス高校生 5 人である。一部の実施者を対象に追跡調査を行った。さらに、追跡調査として、Q1.生活に役立っているか？Q2.またやりたいか？Q3.減災について学べたか？Q4.ゲーム後災害について話したか？Q5.他の人に広めたいか？の項目で実施した。

◇考察と成果

ゲームの事前、事後アンケート。そして追跡調査アンケートを行う。結果を Excel でまとめ、有用性、意識の変化、国による減災行動の違い等を、グラフなどを作成しながら考察する。

円グラフ 1, 2 はそれぞれ、ゲーム前、後の減災への関心を示す。そこから、ゲームの有用性が確認できた。円グラフ 3 は、自国でのゲームの有用性（留学生解答）を示す。災害のない地域では必要ないという答えもあった一方、家族や友人にもこのゲームを教えたいという声も多かった。棒グラフ 1, 2, 3 は、それぞれ留学生と日本人の不安を自然災害ごとまとめ、比べた物を示す。日本人よりも東北大学に通う留学生の方が積雪、豪雨、台風、洪水の被害を心配する声が多かった。イギリス、日本の高校生で重要視する災害に違いが出たのは、起こる自然災害が異なるためだと考える。イギリスの高校生は、自国では起こらないかつ、日本で起こる自然災害を不安視する傾向にある。図 1 は、世界の震源分布（東京大学 地震研究所発行）を示す。解説での活用、参加者に自国と日本の違いを分かりやすくするために活用法を考えている。

留学生と自然災害についての情報交換やディスカッション、減災行動の解説を行えるようになった。解説は、地学的な現象と防災の対応の両方の内容を含むようにした。事前にパソコンで資料をまとめ、発表手順を考えて実施したが、わかりやすいという声もあったが、長くて飽きてしまったり、分かりづらい説明も多かったりした。



(円グラフ 1) (円グラフ 2) (円グラフ 3) (棒グラフ 1)



(棒グラフ 2) (棒グラフ 3) (図 1 世界の震源分布)

◇今後の展望

解説へはまだ改善点が多い。改善後、さらなる評価が必要である。留学生の出身地ごとに最適な問題出題が出来ていない。今回ゲームを行った留学生の出身国と不安な災害のアンケート結果、図 1 とを見比べ、地域ごとに建物の耐震性や国の文化も考慮し、適した問題作成、解説の改善が必要。東北地方の減災行動に的を絞った。全国の自然災害にも対応した教育教材を目指す。

◇主要参考文献

- 鈴木智寛・遠藤京香・及川勝仁, 2016, 留学生向け減災アクションカードゲームを作ろう, 地球惑星科学連合大会, 高校生によるポスター発表, 002-P53.
- 金子 亮介・久松 明史・渡邊 俊介・村上 祐子・久利 美和, 2016, 減災アクションカードゲームを用いた留学生向け防災教育, 地球惑星科学連合大会、災害を乗り越えるための「総合的防災教育」, G02-02.
- 久松明史, 山田修司, 渡邊俊介, 金子亮介, 牧野嶋文泰, 秋戸優花, 望月達人, 吉田奈央, 三嶋葵, 久利美和, 今村文彦, 湯上浩雄, 2015, 参加型防災学習の新教材「減災アクションカードゲーム」の開発と普及, 津波工学研究報告, 第 32 号, p301-318.

Development of low-cost meteorological measurement system for hyper-dense observation of snowstorm-induced poor visibility

Yui Kobayashi (Ritsumeikan Keisho High School 2nd grade)

Kyoya Watanabe (Sapporo Minami High School 3rd grade)

Nobuyasu Naruse, Yukihiro Takahashi

■ Purpose of this study

Hyper-densely monitoring for poor-visibility occurred by snowstorm is needed to make an alert system. It is because the snowstorm is unexpected and local phenomenon so that it can be said that it is difficult to predict from the observation only some representative point. There are some problems in the previous approaches for the poor-visibility monitoring using video analyses or visibility meters and transmissometers; these require a wired network monitoring (a large amount of data: 10MB/sec at least) and the system cost is high (\$10,000 at each point). Thus, the risk of poor-visibility has been mainly measured at specific point such as airport and mountain pass, and estimated by simulation two dimensionally using the data of temperature, wind speed and the texture of snow. However, half the number of phenomena of snowstorm is overlooked because the simulation uses Non-Hydrostatic Model (NHM) data of Japan Meteorological Agency which data is shown every 1.2km or 1.5km. To predict it two dimensionally and more accurately, we have developed a low-cost meteorological system to observe the snowstorm hyper-densely. Also, all of this study was carried out at Global Science Campus.

■ Method and process

We have developed a low-cost visibility meter which works as the reduced intensity of semiconducting laser light when snow particles block off (Fig.1). Its structural material is Aluminum frame and the size is 1.5m tall and 2.0m width, and measure visibility at 1.2m height from the ground, which is same to the height of driver eye line of standard-sized car. Our developed system also has a capability of extending a hyper-densely observation in real-time on wireless network using Zigbee; A/D conversion and wireless data sent from temperature and illuminance sensors. We use a semiconducting laser chip (\$5) for the light source and a reflection mechanism by the use of three mirrors so as to send the light to a non-sensitive and low-cost illuminance sensor directly. Also, we could gather the battery of illuminance sensor, semiconducting laser, and data sent module with wireless communication. Thus, our visibility detecting system (\$500) becomes much cheaper than previous one.

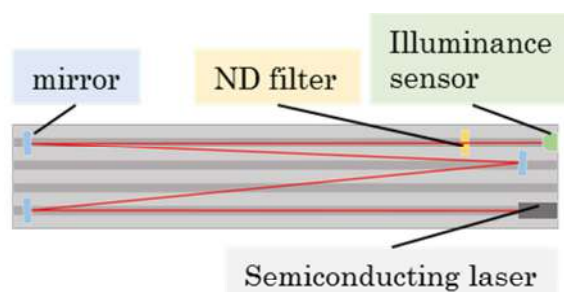


Fig.1 Schematic illustration of visibility measurement unit

■Result and discussion

We have checked the correlation between the reduced intensity taken by our system and the visibility recorded by conventional video camera. We set the target of tree which is about 10m distance from the video camera, and made an index of poor visibility. Fig.2 is a scatter plot which shows the relation between laser intensity (vertical axis) and degree of poor visibility (horizontal axis). The value for the correlation coefficient was -0.67, which indicates comparatively strong. It means that our developed system is practical. In conclusion, we have developed low-cost meteorological detecting system to observe poor-visibility occurred by snowstorm, having a potential of hyper-densely monitoring on wireless network, and have made sure the practicability.

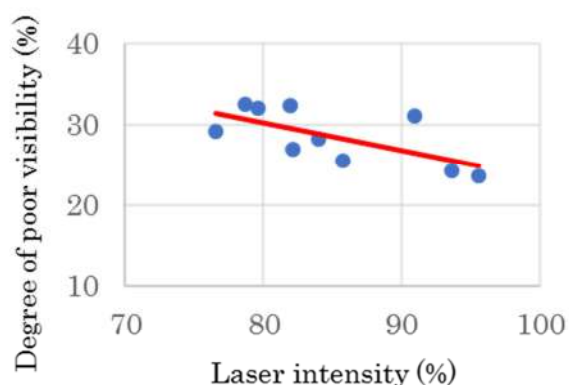


Fig.2: Relation between laser intensity and visibility

■Future prospects

By observing at the conditions of poorer visibility, we will be able to extend the scatter plot like Fig.2 and the type of best approximate will be revealed and it will lead to the more accurate observation. Also, to construct an alert system with multi-point observation, we are thinking of making automatically detecting system for snowstorm by adding micro-computer to our instrument.

■Main references

- [1] Takeshi, S., Masaki, N., Isao, M., Hiroki, M., Sento, N. (2012) Prediction of Poor Visibility due to Blowing Snow and its Verification -Application to Measures against Blowing Snow Disasters by Niigata City during 2010/2011 Winter -, Disaster investigation of National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, No.47, Feb. 2012, pp.103-112 (in Japanese with English Abstract)
- [2] Toshiro, K., Osamu, S., Hirotaka, T., Manabu, K., Masaru, M. (2012) Fubuki Kansoku Shisutemu Nettowaaku no Kouchiku (Construction of snowstorm observation system network), Monthly report of Civil Engineering Research Institute of Cold Region, No.709, pp.31-37 (in Japanese)

稠密気象観測を目指した吹雪視程障害判定気象装置の開発

小林ゆい（立命館慶祥高等学校 2年）

渡辺恭也（札幌南高等学校 3年）

成瀬延康，高橋幸弘

◇研究の目的・意義

吹雪による視程障害は、各地域の地形や風速、降雪量などに依存して発生する突発的・局的現象である。従来、吹雪時の視程観測には、ビデオカメラや視程計、吹雪計などが使われてきたが、いずれもシステム全体で10万円以上と高価であることやデータ量が約10MB/秒と膨大で有線接続が必須などの理由から、空港や高速道路などの限られた地点での設置にとどまっている。そのため現在は気温や風速、雪質等の気象データを用いたシミュレーションによる面的な予測が主流となっている。しかしシミュレーションに使用している気象庁非静力学モデル

(NHM)のデータの水平分解能が1.2-1.5kmであるため、見逃しが多数あるのが現状である。そこで本研究では、多点稠密観測に基づく吹雪視程障害の早期警戒・警報発令システムの構築に向け、低コストかつ有線ネットワークの有無に寄らず吹雪視程障害を観測可能な装置の開発を目的とした。また、研究テーマの設定から研究実施の全てを北海道大学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

視程障害の計測には、レーザー光線を雪粒子が通過した際に照度センサの受光強度が減少する仕組みを利用した。これは既存の視程計測装置の1つである透過率計の原理と似ているが、図1のように鏡によりレーザー光線を折り返すことで装置全体がコンパクトになっている点で従来のものと異なる。構造材料には高さ調整や光軸調整のしやすいアルミプロファイルを使用した。装置全体の高さは1.5m、横幅が2.0mとなっている。一般車のドライバーの目線の高さに合わせた地上からの高さ1.2m地点で気温とレーザー強度をセンサで取得し、A/D変換後無線通信モジュール(Xbee®)でPCへデータを送信する仕組みとなっている。Xbeeを使用することで複数台を連携させたシステムを組めることや、記録計を屋外に設置する必要がないという利点がある。また光源には比較的安価な半導体レーザー素子を使用し、鏡によるレーザー光の反射の繰り返しによる減衰はあるが、光源からの光が雪粒子に当たった際の散乱光を計測する従来タイプの視程計に比べ強度が十分に大きいため、受光部に高感度センサを使用する必要がなかった。これに加え投光部と受光部、無線送信部、電源部をまとめて設置することで配線を容易にできた。その結果、安価な照度センサ素子の使用、電源の集約が可能になり、本装置ではシステム全体で約5万円と既存の視程計測装置に比べおよそ1/20の価格で作製することができた。

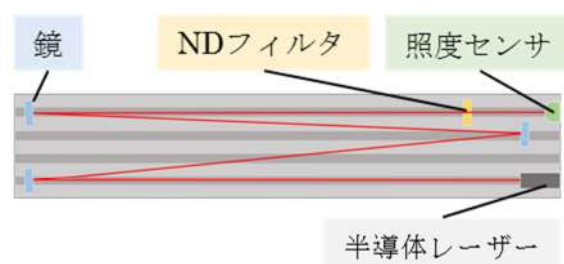


図1：視程計測部模式図

た。装置全体の高さは1.5m、横幅が2.0mとなっている。一般車のドライバーの目線の高さに合わせた地上からの高さ1.2m地点で気温とレーザー強度をセンサで取得し、A/D変換後無線通信モジュール(Xbee®)でPCへデータを送信する仕組みとなっている。Xbeeを使用することで複数台を連携させたシステムを組めることや、記録計を屋外に設置する必要がないという利点がある。また光源には比較的安価な半導体レーザー素子を使用し、鏡によるレーザー光の反射の繰り返しによる減衰はあるが、光源からの光が雪粒子に当たった際の散乱光を計測する従来タイプの視程計に比べ強度が十分に大きいため、受光部に高感度センサを使用する必要がなかった。これに加え投光部と受光部、無線送信部、電源部をまとめて設置することで配線を容易にできた。その結果、安価な照度センサ素子の使用、電源の集約が可能になり、本装置ではシステム全体で約5万円と既存の視程計測装置に比べおよそ1/20の価格で作製することができた。

◇結果と考察

作成装置のレーザー強度と視程との対応関係を調べるため、本装置による実測と並行して記録したビデオカメラの映像を使用した解析を行った。ビデオカメラ映像では、およそ 10 メートル先の標的の吹雪による白色度を数値化し、視程障害の度合いの指標とした。図 2 は映像から算出した視程障害の度合い(=雪粒子の割合)(%)を縦軸、レーザー強度を横軸にとり、散布図で示したものである。視程障害の度合い・レーザー強度のどちらも 5 秒間の平均値を使用して

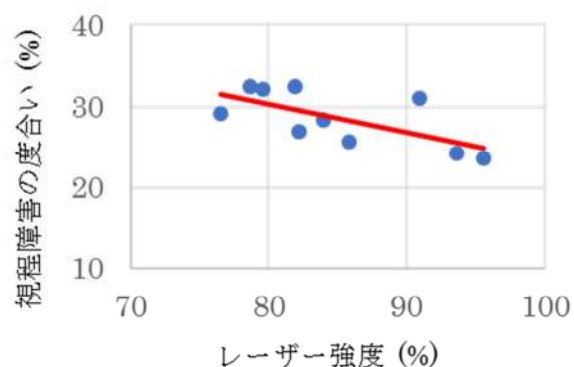


図2：視程障害の度合いとレーザー強度の関係

いる。この散布図に線形近似を当てはめると、相関係数 0.45、分散-0.67 と、比較的強い負の相関がみられた。レーザーの強度が大きいほど雪粒子が通過する数が多く、視界が悪いということを示し、視程計測で使われてきたビデオカメラの映像の代用とすることが可能であることを示した。

◇今後の展望

さらに視程の悪い状態、いわゆるホワイトアウトと呼ばれる視界が全くない状態などの条件下で観測を行うことにより、図 2 のような散布図に当てはめる最適な近似がわかり、これはより正確な観測につながると考える。また装置自体の改良としては、マイコンを使用した吹雪の自動判定・警報発令装置の作成、そして最終的には本装置を複数台連携させた吹雪の稠密観測システムの構築と実測を考えている。

◇主要参考文献

- [1]佐藤威・根本征樹・上石勲・本吉弘岐・中井専人（2012）「吹雪による視程障害の予測とその検証 ― 2010/2011 冬期の新潟市による吹雪対策への活用事例―」、『防災科学技術研究所主要災害調査 第 47 号 2012 年 2 月』, pp.103-112
- [2]川中敏郎・坂瀬修・武知洋太・金子学・松澤勝（2012）「吹雪観測システムネットワークの構築」、『寒地土木研究所月報 No.709 2012 年 6 月』, pp.31-37

インドネシア森林火災発生危険性のための指標の開発 ～土壌スペクトル計測を通して～

橋本 朝陽（北海道立札幌西高等学校 2 年）

秋田 萌花（函館稜北高等学校 2 年）

成瀬 延康、高橋 幸弘

◇研究の目的・意義

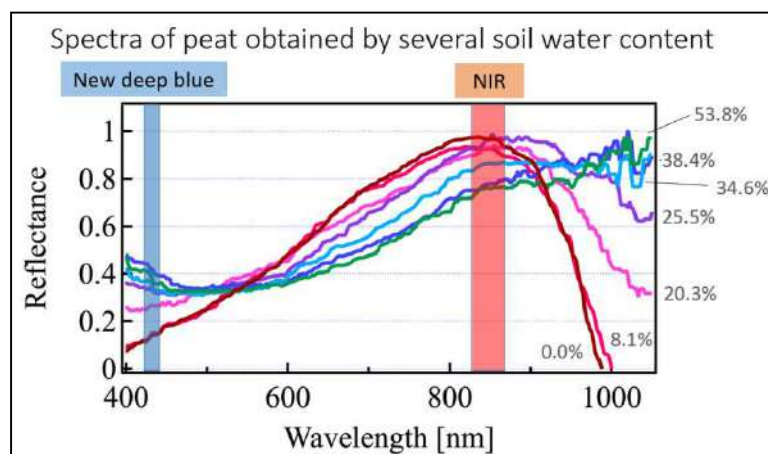
近年、インドネシアで多発している森林火災は煙による近隣諸国への健康被害や視界不良により航空機の離着陸に影響を与えるなど大きな社会問題になっている。特に 2015 年には過去最大級のエルニーニョ現象が発生し、インドネシアに乾燥した空気がもたらされた影響によりその被害はさらに大きなものになり、世界的にも知られるようになった。それらの森林火災の発生原因は人為的なものが主であるが（藤間：1998 年）、延焼範囲の拡大には人為的な要因、つまり降水量を反映した土壌水分量が大きく関わっていると考えられる。またインドネシアの土壌は熱帯地域では珍しく泥炭土で覆われているため、土壌すらも燃え、被害が拡大している。インドネシアにおける土壌水分量の地域差の解明には、人工衛星から取得した衛星画像から NDVI（Normalized Difference Vegetation Index）を算出し、マッピングされた報告がある（江戸：2010 年）。しかし、植生が降水量を反映するには約 1 か月ほどのタイムラグがある（古本：2006 年）ためリアルタイムな土壌水分量の把握はなされていない。また、北海道の檜山地区において航空機のレーザースキャナーを用いた土壌水分量のマッピングがなされている。その際、レーザーの波長である 1069nm における土壌水分量の変化による反射率の推移を、実地計測で測定対象地域の土壌を使用してスペクトル分析し、解明している。しかし、檜山地区の土壌は低地土が主であり、その中に含まれる泥炭土の割合は 10%ほどであるため、泥炭土のスペクトルの形状は明らかになっておらず、航空機の使用には多額のコストがかかる。本研究では、リモートセンシングを用いた森林火災の発生危険域の把握を泥炭土のスペクトル解析から作成した指標から行うことを目的とする。なお、本研究はテーマの設定から実施の全てを北海道大学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

インドネシアが泥炭土で覆われていること考慮し、実際の泥炭土（カナダ産）を入手、水分量を 7 段階に変えてそれらのスペクトルを 400nm から 1050nm の間でそれぞれ測定した（分光器：スペースタイム、赤外線カメラ用スペクトル解析キット）。また衛星画像が撮影される条件に近づけるために分光器を垂直に設置し、太陽の代わりとなるハロゲンランプは衛星画像のデータから対地角度を 60 度に設定した。それらのスペクトルの形状から泥炭土の土壌水分量に大きな応答があると示唆された波長域を使用した指標を作成、インドネシア東部のシンパンティガにおける Landsat8 の衛星画像（15/6/26 分解能：30m）を用いて画像演算を行った。また、他の指標との比較をするため、過去の研究で水分量の推定に利用された NDWI（Normalized Difference water index）、NDSI（Normalized Difference soil index）での演算も行い、森林火災多発地点、散発地点の輝度測定を行った。

◇結果と考察

7段階に変えた泥炭土の体積含水率を測定し、(水分量計：field pro, WD-3、誤差±15%)。それらのスペクトルは(図1)となり、泥炭土特有と思われるスペクトルの形状が見られた。



(図1)泥炭土のスペクトル

特に土壌水分量の変化に大きな応答を示した紫外域、近赤外域のバンドを使用して指標を作成した。

$$\text{Our Original Index} = \frac{\text{NIR} - \text{New Deep Blue}}{\text{NIR} + \text{New Deep Blue}}$$

画像演算の結果、多発地点と散發地点との輝度の値の差は今回作成した指標がNDWI, NDSIに比べ3～6倍ほど大きな差が見られた。これらから泥炭土の水分量により特化した指標の作成ができた。また、この指標から森林火災発生危険域の把握が可能であると示唆された。

◇今後の展望

今回作成した指標を用いて、水分量の地域差を解明することによって森林火災発生域の事前予測を試みる。また、泥炭土のスペクトル測定をより広範囲で行うことで、より泥炭土の土壌水分量に特化した指標の作成を試みる。画像演算の際に植物のスペクトルの影響を加味するため、植物が実際に生育している条件下でのスペクトル測定も行う。

◇主要参考文献

[1] 谷 宏 「航空レーザスキャナを用いた土壌水分の推定に関する事例研究」、環境情報科学論文集：環境情報科学, 別冊 21巻 463ページ

平成28年度全国受講生研究発表会 発表要旨集

第1版 平成28年9月6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