

平成 28 年度グローバルサイエンス事業

活 動 記 録 集

平成 2 9 年 3 月

宮城県仙台第三高等学校

巻頭言

宮城県仙台第三高等学校 校長 阿部 恒幸

平成22年4月、SSH事業の指定を受けてから5年、平成24年4月、コアSSH事業の指定を受けてから3年、そして、平成27年度は経過措置校の指定を受けてから1年、トータル6年をもって昨年3月にSSH関連事業は満期を迎えました。満期を迎えるに当たって、SSH事業の第2期指定を受けるべく2度目のチャレンジをしておりましたが、当落スレスレの線までは行ったものの残念ながら第2期指定を勝ち取ることは出来ませんでした。(注)

そこで、この科学人材育成の流れを完全に終了させるのか、はたまた予算の裏付けがないという厳しい条件下で、たとえ細々とであっても灯を消さない努力を続けるのか、究極の二択を迫られました。

そして、我々が選んだ道は、仙台三高オリジナルの理数系教育活動であるグローバルサイエンス事業(以下「GS事業」という。)を立ち上げるという道でした。そのときの議論の末に出来上がった事業計画の冒頭には次のような記載があります。

「本校は平成22年度から6年間、SSH指定校となり理数系教育のさらなる向上を図ってきた。領域横断的なSSH科目や多彩な課外活動は、課題研究の質的向上をもたらし、高大連携も進んだことによりその成果はISEF3等受賞となって結実した。また、多彩な課外活動は普通科の生徒にとっても理数系活動の動機付けとして有用に働き、近年は総合的な学習の時間における探究活動と合わせて、普通科への理数系教育が充実してきた。この6年間のSSH事業をさらに発展・深化させ、理数系教育を理数科にも普通科にも根付かせていくこと、また、さらに学校全体としての取組にすることが必要であると考え。」

こうしてスタートしたGS事業では、教職員一丸、皆がまさに「チーム三高」となって企画・立案・実施に努力し、合わせて県教育委員会からの支援もあって、何とか主要な取組は継続出来ました。

カリキュラム開発は、「課題研究基礎」が引き続き学校設定科目として認められ、理数系教育の要である「課題研究」の基礎を作り、数学、理科、英語の3教科では、SSH時代を超える内容の計8科目の学校設定科目を展開しました。

課外活動では、2回の「理数科講演会」に加えて、1、2年の希望生徒が理数科、普通科に関係なく聴講できる「GS講演会」も2回実施し好評を得ました。また、「つくば研修」「白神フィールドワーク」もそれぞれ40名、25名と例年と変わらない参加希望があり充実した研修となりました。研究発表については、台湾の姉妹校からの生徒も加えて盛大に開催した5月の「理数科の日」を皮切りに、「県高等学校生徒理科研究発表会」「サイエンスフェスタ」「県高等学校理数科課題研究発表会」のほか、各種学会や科学コンテストについても積極的に参加し多くの賞を受賞することが出来ました。中でも、「グローバルリンク・シンガポール ベスト・プレゼンテーション・アワード(第1位)受賞」「全国総文祭 文化庁長官賞(ポスター発表第2位)受賞及び広島大学大学院理学研究科長賞(口頭発表第2位)受賞」「日本学生科学賞 旭化成賞受賞」は特筆に値します。

このように、茨の道であっても例年と遜色ない成果を収めることが出来たのは、理数系教育にける本校教職員の並々ならぬ思いがあることはもちろんです。と同時に、様々な形で手を差し伸べていただいた大学関係者の皆様、県教育委員会の皆様、関係各位のお陰でもあります。多くの皆様の御支援・御協力に心から感謝し、巻頭のことばといたします。

平成29年3月

(注)平成29年3月24日、本校は平成29年度から指定期間5年間のSSH指定を受けました。

目次

巻頭言

I GS課題研究（理数科）

化学領域

サンポールめっき	1
貧溶媒を用いた再結晶	4
コレステリック液晶を用いた構造色の研究	8
ホウ砂球反応を用いたガラスの着色	12
アルキルアミンを用いる布の撥水	16
廃材コンクリートの削減を目指して	20

生物領域

カラスの採食行動について	23
刺胞から見る海中生活	28
プラナリアから見る「死」の仕組み ～温度変化と死のシステム～	32

物理領域

正弦波による音声合成	36
イスタンブールのお盆の原理の解明	40
晴雨予報グラスを用いた大気圧の変化による天気予測	44
使用済み紙おむつによる発電を目指して	48

地学領域

月と地球の距離を測る	52
地震の液状化現象 ～噴砂現象の被害削減に向けて～	55

数学領域

ブラックジャックの確率論	59
進化三目並べ	62

保健体育領域

運動と記憶の関係性	65
-----------	----

II JSEC2016／G L S／第 60 回日本学生科学賞／第 40 回全国高等学校総合文化祭

【JSEC2016 高校生科学技術チャレンジ 中央審査 優等賞】

理数科 3 年 岩間公貴

廃コンクリートの再固化技術の開発～捨てられるがれきに新たな命を～ 6 8

【2016 Global Link Singapore オーラルセッション部門 Best Presentation Award】

理数科 3 年 岩間公希

Development of re-solidification concrete

～ A new life in the rubble be discarded ～ 7 9

【第 60 回日本学生科学賞 中央審査 旭化成賞】(みやぎ総文 2017 出場研究)

理数科 2 年 伊藤柚里

銅樹の異方性と生え方の研究

～もっと真っ直ぐ平らな面に！&なぜ銅樹はろ紙の下側に生えるのか～ 8 2

【第 40 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門ポスター発表 文化庁長官賞】

理数科 3 年 門口尚広 理数科 2 年 相原竜

銅箔の色調変化の研究 9 4

【第 40 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門研究発表 優秀賞】

普通科 2 年 中野龍太 理数科 2 年 安齋音哉

魚類に発光細菌はどう共生するか

～エゾイソアイナメと発光細菌の共生のしくみに迫る～ 9 6

III 第 41 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門「みやぎ総文 2017」出場研究

ポスター発表

仙台市沿岸部におけるクロマツ菌根の観察 1 1 1

研究発表 (口頭発表)

物理部門

圧電素子への力の加え方と電圧の関係について 1 1 2

振り子を用いた加速度計の作成について 1 1 3

化学部門

ゲル法による結晶作成と形状変化 1 1 4

IV 研修等の記録

GSつくば研修

GSつくば研修 2016	1 1 5
世界で活躍する土木研究所	1 1 6
「土木」を知る	1 1 7
KEKの最先端の研究と技術	1 1 8
『世界最強』の加速器へ	1 1 9
JAXAのロケットについて知ろう	1 2 0
JAXAを知り尽くす	1 2 1
人工衛星の色々！！	1 2 2

GS白神フィールドワーク

GS白神フィールドワークとは	1 2 3
十二湖周辺の毎木調査	1 2 4
発光生物の神秘 ～ホテル・ウミホテルの生態～	1 2 5
地すべりと追良瀬川の土石流	1 2 6
磯の生物観察	1 2 7
THE TWELVE LAKES	1 2 8

GS理数言語活動 東北大学工学部研修

ナノから広がる未来〔小野・猪股／戸田研究室〕	1 2 9
泡でたたいて金属を強くする〔青柳研究室〕	1 3 0
流れを制する〔河合研究室〕	1 3 1
社会につながるテクノロジー〔小菅・衣川／荒井研究室〕	1 3 2
人工知能に支配される政界の実現へ〔高橋（信）研究室〕	1 3 3
生物で環境を救う！！〔井上研究室〕	1 3 4
電力ネットワークの未来〔斉藤・飯岡研究室〕	1 3 5
音声認識技術が切り開く未来〔伊藤・能勢研究室〕	1 3 6
磁性ナノ構造体〔斉藤・角田研究室〕	1 3 7
ガラスが未来の情報通信技術を創る〔藤原研究室〕	1 3 8
ゲーム情報学〔篠原・吉仲研究室〕	1 3 9
新しいリハビリテーションの形〔渡邊研究室〕	1 4 0
白衣を着ない研究室〔松本研究室〕	1 4 1
化学工学コース班〔青木研究室〕	1 4 2
悪環境に適応できる植物〔魚住研究室〕	1 4 3
金属フロンティア工学を学んで〔朱研究室〕	1 4 4
鑄造の謎に迫る〔安斎研究室〕	1 4 5
「くつつける」の探求〔粉川研究室〕	1 4 6
地球をよくするには水から〔環境水理研究室〕	1 4 7
最適減災技術研究分野〔五十子研究室〕	1 4 8

GS 課題研究
(理数科)

サンポールめっき

大森直樹 内田悠太 松尾大夢 万城目海人 井上博文 後藤隆佑

宮城県仙台三高等学校

1 概要

めっきは古代から装飾、耐食といった様々な機能の付与に使われてきた表面処理である。そこで私たちは、できるだけ身近にある材料を用いて一般家庭にある塩酸を主成分とするサンポールというトイレ用洗剤をめっき液として鉄に銅めっきすることを試みた。その結果、どのような濃度でどれくらいの時間が最もきれいにめっきできるかが分かった。また、ネオジム磁石を鉄板の近くにおくことでめっきの効率を上げることに成功した。

2 はじめに

個人でめっきをすることは一般的ではない。しかし、[1]「サンポールめっきの準備/実験」に記載されているように、実際にサンポールを用いためっきが行われている。だが具体的にどんな濃度でどれくらいの時間が最も仕上がりがきれいになるかということは知られていなかった。私たちは今回サンポールの濃度とめっきする時間の組み合わせを色々に変えて、その結論を導くことにした。また、ローレンツ力でめっきの効率を上げることや微細なコントロールが可能であるという先行研究から、その効果がどれほどあるのかを質量の増加を元に確かめることにした。

3 研究の方法・理論

必要なもの

電源装置 ビーカー 銅板 鉄板 サンポール 精製水 金属はさみ アセトン ネオジム磁石

手順

- ① 銅板と鉄板を適当な大きさの長方形型に金属はさみで切り、アセトンに軽く浸す。
- ② 電源装置のプラス端子に銅板、マイナス端子に鉄板をそれぞれつなぐ。
- ③ サンポールを精製水で希薄してビーカーに注ぎ、銅板と鉄板が半分ほど浸かる程度に固定する。
- ④ 電源装置の電源を入れて一定時間電流を流す。また、電圧調整つまみで電圧が3Vになるように調整しておく。

なお、ネオジム磁石を用いる際は④で鉄板の近くに固定しておく。ただし、極端に鉄板に近付けてしまうと鉄板を引きつけてしまうため、ある程度の距離を確保する必要がある。

理論

- ①サンポールの主成分である塩酸に陽極に接続した銅板はイオン化し陰極に接続した鉄板が溶け出す。

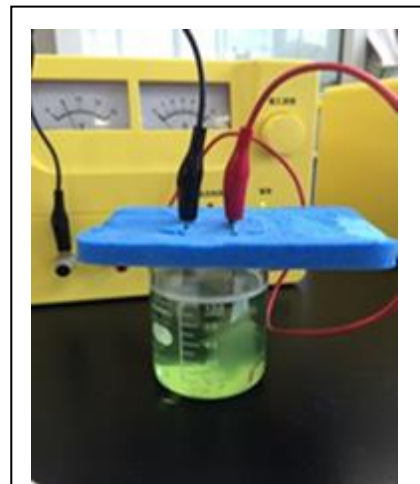


図1 実験装置

- ②陽極では銅に酸化反応が起こり、銅イオンが溶液中に溶け出す。そして電子は陽極から陰極に流れる。
- ③陰極では鉄の表面上で銅イオンと電子による還元反応が起こり、銅イオンは電子を受け取ることで再び銅として析出する。

4 結果と考察

実験 1 仕上がりのきれいなサンポールの濃度、およびその時間を探る

サンポールの濃度を 10% から 90% まで 10% 間隔で変えてめっきをかけた。そして、10 分後から 40 分後まで 10 分ごとに取出して、目視でその状態を確認した。その結果、サンポールと精製水の割合がおよそ 40% から 60% の場合に最もきれいで元の銅色に近い色のめっきができた。また、その時間は 20~30 分程度であった。濃度がこれよりも低い場合、時間が経過しても銅の付着にムラがあり、色も元の銅色よりも薄かった。逆にこれより高い場合、銅が急速についたことですぐに剥がれ落ちてしまい、銅色よりも黒っぽい色になっていた。これはその鉄板を電子顕微鏡で観察した際の写真である。このように表面に大きな凹凸が見られた。

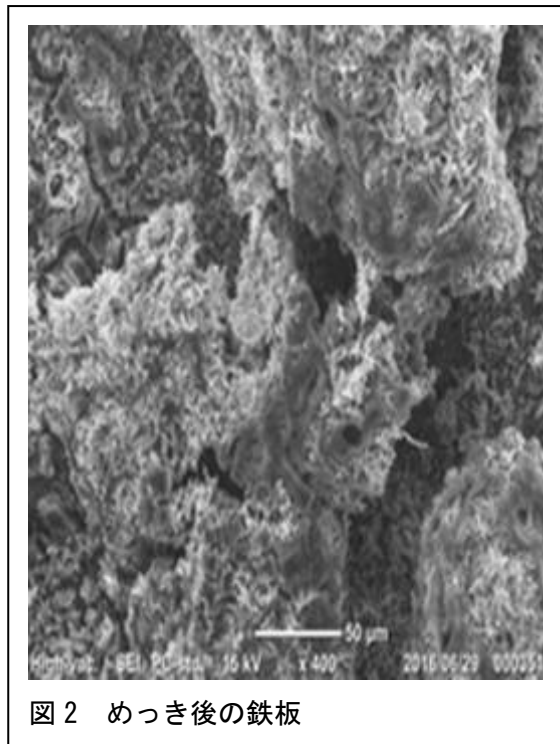
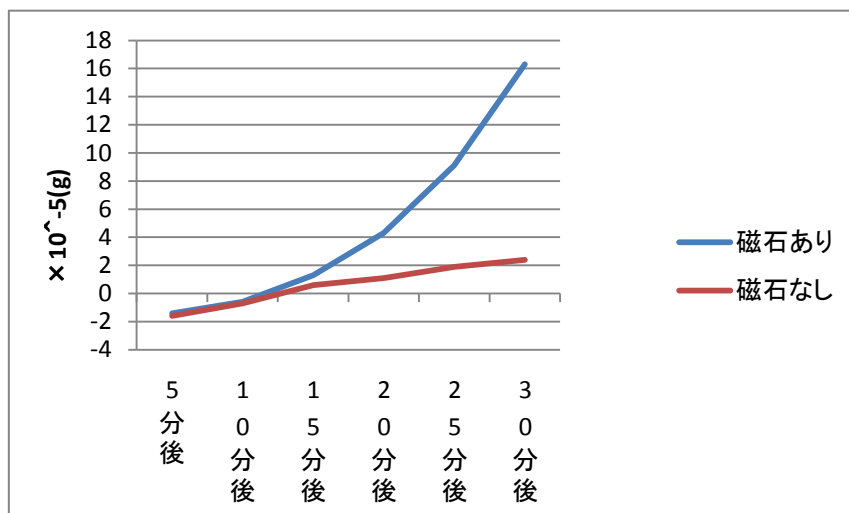


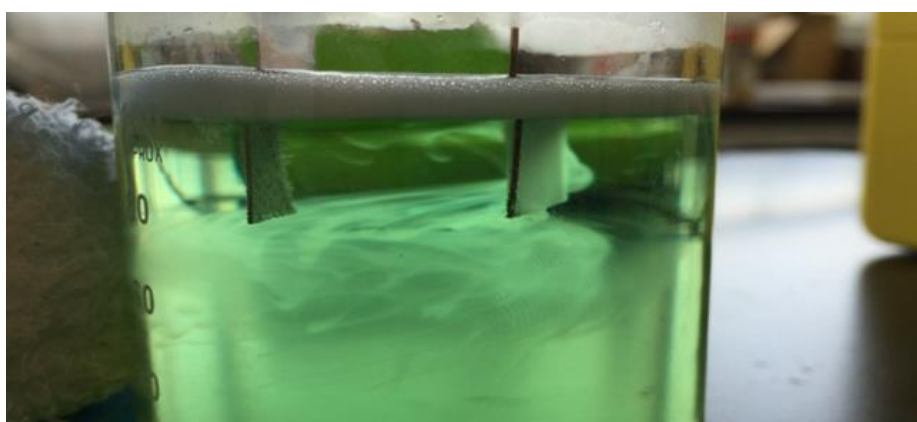
図 2 めっき後の鉄板

実験 2 ネオジム磁石がめっきの効率に及ぼす影響を調べる

ネオジム磁石の有無以外の条件を同一にして、対照実験を行った。サンポールの濃度はめっき速度が急速でない 20% に設定して、30 分間電流を流した。そしてそれぞれの鉄板の質量を 5 分ごとに電子天秤で計測した。質量の増加は銅が付着することが原因であるため、質量の増加が著しいほどめっきの効率が上であると考えられる。この実験を 3 回行い、値の平均値をもとに折れ線グラフを作成した。結果は次のグラフとなった。



これはめっき前の質量を 0(g)とした場合の質量の変化を表している。[2]「メッキと磁場の関係」による報告と同じように磁石を用いることによってめっきの速度が劇的に向上することがわかる。また、初めの数分間は質量が 0 を下回っているが、これはめっきで付着する銅よりもサンポールの塩酸に反応して溶け出す鉄が多かったからだと考えられる。さらに、磁石を用いてめっきしている様子を観察すると、白色の渦が巻いていた。これは磁界によって発生するローレンツ力によるものだと結論付けた。加えて渦が発生して銅イオンがビーカー内で回転することで、磁石ありの方が磁石なしの方に比べて鉄板の表面と裏面に均一なめっきができた。次の写真は渦が巻く様子である。なお、白色になっているのは、普通の塩酸で検証した結果発生しなかったため、サンポールに含まれるアルキルトリメチルアンモニウム塩だと考えた。アルキルトリメチルアンモニウム塩というのは、リンス、柔軟剤などに使われる界面活性剤である。



5 まとめと結論

これまでサンポールを用いてめっきをする際のサンポールの濃度や電流を流す時間による仕上がりの差が明らかになっていなかったが、この実験により最適な濃度と時間を導くことができた。また、磁界によりめっきの効率を上げることとコントロールすることが可能であると分かっていたが、めっきの効率を劇的に上げられることを確かめられた。しかし、それは違う金属の組み合わせでも同様の結果を得られるかは不明であり、磁界でめっきのコントロールすることもまだ試していない。そのため、今後の実験では違う金属の組み合わせでも同様な結果を得られるかどうか検証を行い、さらにコントロールすることに挑戦したい。

6 参考文献

[1]サンポールめっきの準備/実験 <http://making.ti-da.net/e6535668.html>

[2]メッキと磁場の関係 http://www.waseda.jp/wias/researchers/monthly/spot_a_sugiyama.html

貧溶媒を用いた再結晶

出口晴貴 北村航太 佐藤豊

宮城県仙台三高等学校

本研究は、水溶液にアルコール類を添加すると溶媒の溶解度が低下する現象を利用し、任意の大きさ、形状の結晶を得ることを目的としている。結晶の基本的な形状は添加するアルコールの種類によって大まかに決定されるが、質量比で 10%未満だと結晶の成長が促進されず、蒸発法によって得られる通常の結晶と同一の形状のものが得られ、30%以上では強い異方性により不規則な形状となる。また、アルコールの滴下速度が結晶の成長率に影響することが判明した。

1. 研究目的

再結晶の手法の一つに貧溶媒法がある。貧溶媒法とは、水溶液にアルコール類を添加すると溶媒の溶解度が低下する現象を利用し、飽和水溶液に対してこの操作を行うことで結晶を析出させる手法である。貧溶媒法は、他の再結晶の手法と比較して加熱・冷却操作を伴わず、高純度の結晶を短時間で得られるという利点がある。しかし、得られる結晶の形状・大きさが条件により様々に変化し、一定の形質の結晶を継続的に取り出すことが難しいという理由から実用性は低いとされている。本研究では、結晶の形質に影響を与える条件を調査し、任意の品質の結晶を得ることを目的とする。私達は、溶媒として塩化ナトリウム、貧溶媒としてエタノールとメタノールを用いて研究を行った。

2. 研究方法

(1) 貧溶媒の種類、添加量による形状変化

- ① 純水 50g に塩化ナトリウムを加え、飽和水溶液を作製した。
- ② 貧溶媒としてエタノール、メタノールを添加した。

貧溶媒はビーカーに入れて水溶液に注ぎ、添加量は添加後の質量比で 10%、15%、20%とした。

- ③ 覆いを被せて溶媒の蒸発を防ぎ、常温で 1 週間放置した。

(2) 溶解度の変化

- ① (1)③の操作後、ろ過を行い液体部分のみを取り出した。
- ② 溶液をガスバーナーで加熱し溶媒を完全に蒸発させ、残った塩化ナトリウムの質量を測定し、溶解度を算出した。

(3) 添加方法による変化

実験(1)②において、貧溶媒をビュレットを用いて添加したものを作製した。水溶液の液面からビュレットの先端までの高さは 3.0cm, 12cm, 27cm の 3 通りで行った。この際、貧溶媒の種類はエタノール、添加量は添加後の質量比 15%に固定した。

3. 結果

貧溶媒にエタノールを用いた場合、添加直後、瞬間的に 0.10mm 未満の沈殿物が析出し堆積するが、以下の結晶の形状に関する記述は、放置する間に成長し、単独で視認できる 1.0mm 以上の結晶にのみ適用するものとする。

(1) 貧溶媒の種類、添加量による形状変化

各条件における結晶の形状を図 1 に示す（大きさは最長径である）。

	10%	15%	20%
エタノール	針状 (1.0~2.0mm)	針状 (6.0~10mm)	(析出せず)
メタノール	方形 (1.0~2.0mm)	方形 (2.0~4.0mm)	方形 (3.5~5.0mm)

図 1 貧溶媒の種類・添加量による形状変化

貧溶媒の種類を問わず、添加量と結晶の大きさには相関が見られた。エタノール 20%については、複数回の試行において 1.0mm 以上の結晶が析出しないことを確認した（添加直後の沈殿物は他と同様に析出する）。

また、10%未満では貧溶媒法特有の形状の結晶は析出せず、30%以上では貧溶媒の種類を問わず不規則な形状をとった。



図 2 針状結晶の様子

(2) 溶解度の変化

各条件における溶解度の低下率を図 3 に示す。

	10%	15%	20%
エタノール	16.2%	22.6%	29.3%
メタノール	9.7%	20.1%	20.7%

図 3 貧溶媒の種類・添加量による溶解度低下率（平均）

溶解度の低下率は貧溶媒の種類によって異なり、添加後の質量比率、添加質量のいずれとも比例などの数学的関係性は見られなかった。

(3) 添加方法による変化

各条件における 1.0mm 以上の結晶の数を図 4 に示す。

	3.0cm	12cm	27cm
エタノール (15%)	38.3	46.3	62.7

図 4 貧溶媒を滴下する高さによる結晶の成長数 (平均)

ビュレットの高さを高くするほど結晶の成長数は増加した。またこの際、全ての場合において溶解度の低下率は実験(2)における値とおおよそ一致した。

また、この方法で貧溶媒を添加する際、稀に沈殿物がほとんど析出せず、その後放置しても結晶がほとんど成長しない現象が確認された。同一条件下で 2 回連続して実験し、一方のみに発生する場合もあった。

4. 考察

(1) 貧溶媒の種類、添加量による形状変化

結晶は、貧溶媒の種類により固有の形状をとる。

この実験では、放置期間は 1 週間と一定であるため、結晶の大きさの差は成長速度の差である。添加量が多いほど結晶が大きくなる傾向は、水溶液中の貧溶媒の濃度が高いほど単位時間当たりの溶質の粒子の析出量が多くなり、結晶の成長が促進されるためであると考えられる。しかし、蒸発法でも見られるように、粒子の析出速度が一定の値を上回ると結晶の形成が追いつかず、結晶が大きく成長しなくなる。この閾値が貧溶媒の添加後質量比 30%前後にあり、これを越えた速度での成長が不可能であるために貧溶媒の種類固有の形状をとらずに不規則な形状をとるようになると思われる。

また、エタノール 20%に限り 1.0mm 以上の結晶が析出しない原因は不明である。その他の組み合わせで同様の現象は確認されていない。

(2) 溶解度の変化

貧溶媒の添加量の増加に伴い溶解度の低下率も上昇するが、メタノール 15%と 20%の差が小さいことから、各々の種類によって上限が存在すると思われる。ただし、前述のメタノール 15%と 20%では、溶解度の低下率がほぼ等しいにも関わらず結晶の大きさは異なるため(図 1 参照)、溶解度の低下率自体は結晶の形状の決定に影響していないと考えられる。

(3) 添加方法による形状変化

アルコールの滴下速度と結晶の成長数に相関が見られる。滴下直後の状態はそれぞれの場合で変化がないものの、放置中の結晶の成長に継続的な影響を与えていることから、貧溶媒法における結晶の品質は滴下時の環境に大きく左右されると考えられる。

また、沈殿物がほとんど析出せず、その後放置しても結晶がほとんど成長しない現象については、分岐条件は不明である。同一条件下で 2 回連続して行い一方のみに発生したことから、水溶液や貧溶媒の状態、及び外部の温度、圧力による影響ではないと考えられる。

5. 結論・課題

貧溶媒法による結晶の形状変化は、添加する貧溶媒の種類と濃度、及び滴下速度が影響する。濃度は添加後の質量比 10%未満では異方性による形状変化が起こらず、30%以上では貧溶媒の種類による固有の形状をとらない。また、貧溶媒が添加時に水溶液の液面に接触する速さが速いほど、同一の濃度でも成長する結晶の数が多くなる。

今後は、エタノール 20%で結晶が成長しない理由と、ビュレットを用いて添加した際に稀に他と異なる挙動が起こる現象について解明したい。特に後者は、ビュレットを用いた場合に限らず、貧溶媒法による結晶の品質の安定化に大きく貢献すると考えられる。

6. 参考文献

貧溶媒添加法に関する既往研究

(<https://dspace.wul.waseda.ac.jp/dspace/bitstream/2065/342/6/Honbun-01.pdf>)

分かり易い貧溶媒晶析 – 分離技術会

(<http://www.sspej.gr.jp/assets/files/Publishing/Book-series-28.pdf>)

コレステリック液晶を用いた構造色の研究

佐藤佑星 去田尚悟 進藤光太 星舞樹 松浦紘夢 三浦雅弘 谷津直弥

宮城県仙台三高等学校

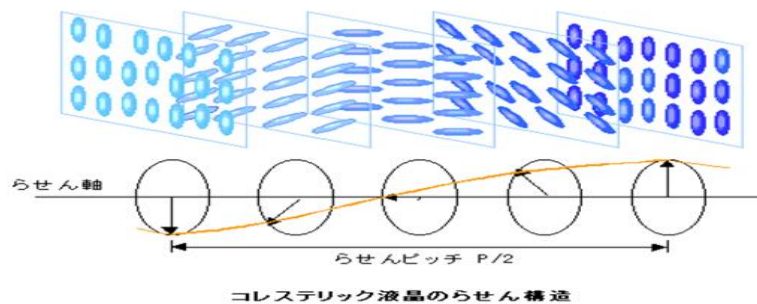
我々はシャボン玉やCDの裏面などの特定の物体が光を反射することで多様な色に変化する現象に着目し今回の研究に着手した。第一にその様に色が反射する仕組みを調べ、その性質を再現できる物質としてコレステリック液晶を起用し、その液晶の濃度と温度、反射する光の波長との関係を調べ、その結果を用いて反射する光の色を操作することを研究の最終目的とした。

はじめに

構造色とは、CDやシャボン玉などにみられる、物体の表面の微細な構造により光を反射し、物体自体には色がついていないが色がついているように見える発色現象のことである。また、ヒドロキシプロピルセルロース（HPC）を水に溶かし、濃度が60%～70%のコレステリック液晶になるときも構造色現象が現れる。私たちはこの現象に興味をもち、研究を行った。先行研究においてコレステリック液晶は温度と濃度に応じて色が変化することが分かっていたが、HPCの質量と水の割合による具体的な色は把握できていなかった。そこで、一定の水の量に対してHPCの質量を変化させることでどのように色が変化するのか詳細を知るための実験を行った。また、温度によっても色が変化するため、温度を変える実験も行った。

コレステリック液晶と螺旋ピッチについて

コレステリック液晶は細長い高分子が一定方向に並んで配向する層構造で隣り合う層が少しずつねじれて螺旋構造をつくることがある。このとき、ねじれの角度が 360° 回転したときの分子層の厚みを螺旋ピッチという。螺旋ピッチはその厚みによって、反射する光を変えるという。



コレステリック液晶の作成方法

- 1, 水 1.0 g を容器に量りとり、容器の中に作成する液晶の濃度に応じたHPCを入れる
- 2, だまがでないようにかき混ぜる
- 3, 1日2回容器をひっくり返す。これを3日繰り返すことで完成する。

実験 1

上記の方法で作った液晶を加熱または冷却することにより色の変化を観測する

実験方法

- 1, 上記の方法でコレステリック液晶を濃度に応じて作る
- 2, 出来上がったコレステリック液晶を室温にした後、5 [°C]刻みに冷却・加熱する。
- 3, 測定する温度に達したら、遮光された装置(図 1 と図 2)の中に入れ、カメラのフラッシュを用いて撮影し、色の変化を見る。

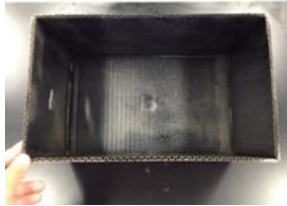


図 1



図 2

実験結果 1 (縦軸が温度, 横軸が濃度)

	58.3	60.0	61.5	63.0	64.3	65.5	66.7
45							
40							
35							
30							
25							
20							
15							
10							
5							
0							

表 1

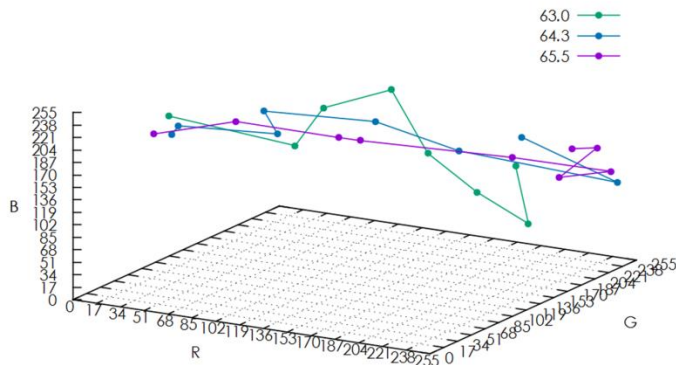
実験 2

色の RGB 値を測定し、色と温度と濃度による相関を調べる

実験方法

- 1, 実験で撮影した画像を PC に取り込む
- 2, 発色している部分で、フラッシュによる逆光によってよく色がわからない場所以外の RGB 値を一つのものに対して 3 点求め、その平均値をだす。
- 3, gnuplot を用いて、③で得られた値を三次元グラフの散布図として処理を行う。

実験結果 2



グラフ 1

考察

表 1 からコレステリック液晶は、温度が高いときと濃度が低いときに赤色に近づき、温度が低いときと濃度が高いときに紫色に近づく。また、濃度が低い順に赤、黄、緑、青、紫の順で色調が変化し、温度が低い順に紫、青、緑、黄、赤の順で色調が変化することがわかった。これらの色調の変化の理由は、温度や濃度によって、らせんピッチの長さが変化すると先行研究で明らかになっていることから、以下の事が考えられる。

- ・高温または低濃度ではピッチの長さが長くなり、より長い波長の光を反射する。
- ・低温または高濃度ではピッチの長さが短くなり、より短い波長の光を反射する。

このことから、コレステリック液晶の色は温度と濃度と相関があることがわかった。

また、グラフ 1 から R G B 値とも相関があることもわかった。しかし、出た相関は大雑把なものであり、いずれも正確な色の出方や、法則性をつかめるものではなかった。これらはおそらく色の観測方法が悪かったことと、そもそも現実世界で確認される光の色には明度や彩度など様々な要素が存在しており、コンピュータ上で出すことが難しいからだと考える。

<コレステリック液晶のイメージ>

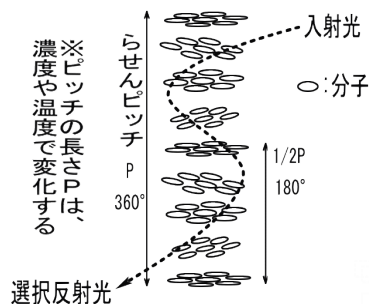


図 3

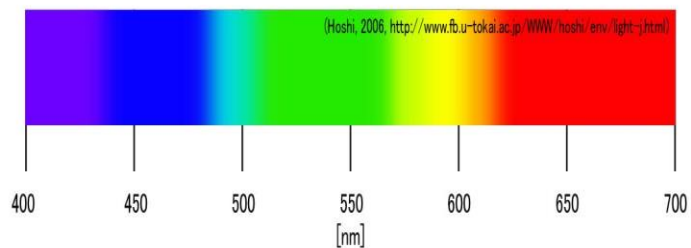


図 4

今後の展望

私たちはこれまでコレステリック液晶を作成して色の変化を見るという研究を行ってきたが、コレステリック液晶は水分量が 6~7 割に保たれなければ色がでないということがわかっている。

そのため液晶内の水分を一定に保ち続け、長期的に色がみられるような保存方法を確立することにより、様々なものに応用できるのではないかと推測している。例として植物の樹脂であるレジンをういれば外気との接触が減少し HPC 内の水分量が保たれ、長期的に色が観察できる可能性がでてくる。(図5)

そこで、マグカップやコースター、ステンドグラスなど(温度変化が起こりやすい場所の近くで使用するもの)をガラスでなくレジンで保存したコレステリック液晶を用いて作成することにより、芸術作品の材料として応用ができると考えている。

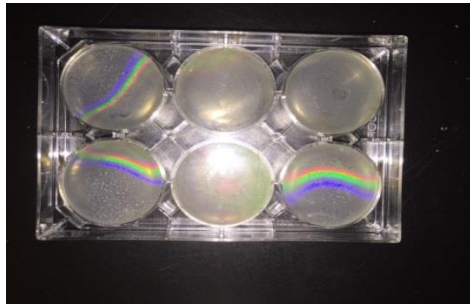


図5

参考文献

http://www.science-academy.jp/showcase/09/pdf/HP-026_showcase2010.pdf

<http://rakuchem.com/ekisyu.html>

http://www.salonr.net/images/depi_01.jpg

<http://file.mariyo.blog.shinobi.jp/3ac8996e.jpg>

<http://www.ichinoseki.ac.jp/che/sosei/hei25/hei25-09.html>

<https://nisimoto.wordpress.com>

ホウ砂球反応を用いたガラスの着色

高坂友莉 土井うたの 小田島菜緒

宮城県仙台三高等学校

物質を見分ける定性分析法の一つにホウ砂球反応がある。ホウ砂を用いてガラス球を作り、金属塩を含有させることでガラス球に金属特融の色が見られる反応である。ホウ砂球反応を行う際に同じ金属塩を使用しても、金属塩の濃度、種類によって発色が異なることが知られているが資料に乏しいため、実験により詳細を調べた。まず、ガラスを緑色に着色するクロム化合物を含有させ、濃度別のガラスの色の変化を調べた。その結果、金属塩の濃度が高いほどガラス球の色は濃くなり、濃度が低いほどガラス球の色は薄くなった。また、クロム化合物において、ガラス球の色が肉眼で見て透明になったのは、クロム化合物の濃度が 0.00010mol/L の時であった。加えて、典型元素 5 種類、遷移元素 9 種類を用いてガラスの着色を行い、ガラスに含有する金属塩の種類による色の変化を調べた。その結果、典型元素 5 種類を用いて作製されたガラス球は色が付かず、遷移元素 9 種類を用いて作製されたガラス球は各金属によって異なる色が付いた。さらに調べたところ、使用する金属塩によって、加熱する際の炎を外炎と内炎で変えることで同じ金属塩でも異なる色が見られたものもあった。この 2 つの実験により、ホウ砂球反応を用いて作製したガラスは、含有する金属塩の濃度にと色の濃さに相関があり、遷移元素を使用した場合に色が付くという特徴が見られた。後者は遷移元素の電子配置と関係があると考えられる。また、遷移元素に色が付くのは、遷移元素の電子配置と関係があると考えられる。

はじめに

ホウ砂球反応とは、先端を輪状にした白金線にホウ砂を付着させて加熱融解してガラス状の溶球を作り、金属塩の粉末を少量付着させて再加熱することでガラス球に金属特有の色が見られるようになるという反応である。ホウ砂に混ぜる金属塩の濃度や種類によってガラス球の発色に違いが出ることは知られているが濃度や種類による着色の変化を示す資料が乏しいため、実験によりその詳細を調べた。また、資料の少ない金属元素を用いてガラスの着色を行い、着色の仕組みを明らかにすることを目的として、ホウ砂球反応によるガラスの着色を行った。

実験方法

白金線 金属トレー ガスバーナー 金属塩 (Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Na Mg Al Ca Sr)

四ホウ酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (ホウ砂 0.20g)

- ① 白金線の先端を曲げた小環をガスバーナーで赤く発光するまで加熱する。
- ② ホウ砂 (0.20g) と試薬の金属塩を付着させ、ガスバーナーの外炎で透明な小球になるま

で融解させる。

- ③ 小球が炎の中で赤くなるまで加熱し、素早く金属トレーの中に振り落して冷却する。このとき、ガスバーナーの炎の外炎は約 1600℃、内炎は約 500℃である。



写真 1 ホウ砂球反応の実験の様子

実験 1 塩化クロムによるガラスの色の変化

1. 実験内容

塩化クロムを水に溶かして各濃度の溶液を作りホウ砂と混ぜ合わせてホウ砂球を作った。

このときのクロム化合物の濃度によるガラスの色の変化を調べた。

ホウ砂の量は 0.20 g で一定として塩化クロムの量を変えて調べる。

濃度 (mol/L)	0.050	0.040	0.030	0.020	0.010	0.0010	0.00010
------------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	---------

表 1 クロム化合物の濃度別による使用量

2. 実験結果

濃度 (mol/L)	0.050	0.040	0.030	0.020	0.010	0.0010	0.00010

図 2 塩化クロムによるガラスの色の変化

クロム化合物の濃度が高いほどガラスの色は濃くなり、濃度が低いほどガラスの色は薄く見えた。クロム化合物の濃度 0.00010mol/L の時に初めて肉眼でガラス球が透明に見えた。

実験 2 様々な金属塩によるガラスの着色

1. 実験内容

14 種類の金属塩によるガラスの着色を行う。

この実験では着色が目的であるため金属塩の使用量は不問とする。

使用した金属塩は以下の通りである。

遷移元素	典型元素
二酸化チタン TiO_2	塩化ナトリウム $NaCl$
五酸化バナジウム V_2O_5	塩化マグネシウム六水和物 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$
塩化クロム $CrCl_3$	塩化アルミニウム $AlCl_3$
二酸化マンガン MnO_2	塩化カルシウム $CaCl_2$
酸化鉄 FeO	塩化ストロンチウム六水和物 $SrCl_2 \cdot 6H_2O$
塩化コバルト $CoCl_2$	
硫酸ニッケル $NiSO_4$	
酸化銅 CuO	

表 2 使用した金属塩の一覧

2. 実験結果

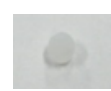








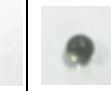



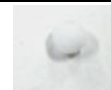
Na	Mg	Al							
									
K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
									
Sr									
									

図 3 様々な金属塩によるガラスの色の変化

Na、Mg、Al、K、Ca、Sr の周期表における 1 族、2 族、14 族の金属塩は透明になった。

Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu の周期表における 4~12 族の金属塩は色がついた。

Cu は外炎で加熱すると青色、内炎で加熱すると茶色になり、Ti は外炎で加熱すると茶色、内炎で加熱すると灰色になり、外炎と内炎で異なる色が見られた。

他のものはガラスの色が濃く、不透明になってしまい、色の違いを見る事ができなかった。

考察

ガラスの色は含有する金属塩の濃度と相関があり、塩化クロムでの濃度の限度は 0.00010mol/L だと考えられる。ホウ砂球反応によってガラスの色が付くのは遷移元素を含む金属塩を使用した時で、典型元素を使用した時はガラスに色が付かない。このことからガラスに色が付くのは遷移元素の特徴と関係していることがわかる。遷移元素は電子が最外殻に入らず、一つ内側の d 軌道に入るため典型元素に比べて多くの酸化状態になりやすい。遷移元素の金属塩を使用して色が付くのは、遷移元素がホウ砂球反応の中で様々な酸化状態をとっているからと考えられる。また、Cu Ti において外炎と内炎で加熱したガラスの色がそれぞれ異なったのは作製する際のガラスの周りの酸素の量の違いによるものだと考え、遷移元素の酸化状態に影響を与えたからと考えられる。

結論・課題

ホウ砂球反応を用いて作製したガラスは、含有する金属塩の濃度と色の濃さに相関があり、遷移元素を使用した場合に色が付くという特徴が見られた。色が付くのは遷移元素の酸化状態と関係があると考えられる。また、遷移元素に色が付くのは、遷移元素の電子配置と関係があると考えられる。今後の課題は、遷移元素がガラスに色をつける理由を詳しく調べること、ガラスの着色と酸化状態の関係について詳しく調べることがあげられる。

参考文献

- サイエンスビュー化学総合資料三訂版 実教出版編修部
学研サイエンスキッズ <https://kids.gakken.co.jp/kagaku/110ban/text/1164.html>
ガラス工芸広場 <http://www.glass-kougeihiroba.jp/arekore/index03.html>
1400-東京熱学 http://www.tonetsu.co.jp/qa_pdf/qa_001.pdf
科学技術週間 <http://stw.mext.go.jp/series.html>

アルキルアミンを用いる布の撥水

伊藤大翔 齋藤拓真 佐藤弘基 橋本良真

宮城県仙台三高等学校

本研究は、撥水効果があり、人体や環境への害がないと注目されているアルキルアミンを用いた布への直接的な撥水加工と溶液の効果の関係を調べるものである。ベンゼンもしくはエーテルに塩化シアヌルもしくはアルキルアミンを溶かして、溶液の組み合わせや布の溶液に浸ける時間を変更して加工を行った。綿布とキュプラはベンゼンに溶かしたとき、麻はエーテルに溶かしたとき、30分以上の撥水に成功した。30分という撥水継続時間は一般的なフッ素加工にも劣らないものであり、更に条件を改良すればこれまでの撥水加工に代わるものになるだろう。

はじめに

現在、撥水を様々なものに応用して生活を便利にすることが可能となっている。一般的な撥水加工の方法として、水や油を弾きやすいフッ素を用いた方法がある。フッ素化合物と他の化合物との分子間力が極めて弱いという性質を利用したものである。だが、フッ素樹脂が溶け出すことによる環境汚染や、人体の影響が懸念されており、新しい撥水加工方法が注目され始めている。塩化シアヌルを用いた撥水加工はそのようなデメリットがなく、安全に道具を使うことができる。そこで私たちは、未だ研究が進んでいない「布」への塩化シアヌルを用いた撥水加工についての研究に取り組むことにした。

研究方法

実験には、綿、キュプラ、麻の三種類の布を用いた。それぞれの布を1辺4cmの正方形に切り取って実験に使用した。

(i)ベンゼンを用いた撥水加工

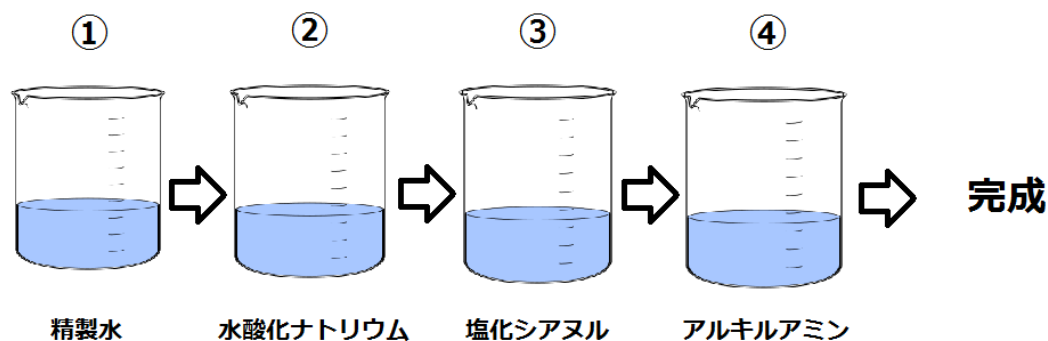
- ① 切り取った布を100℃の精製水に3分間浸漬した後、水酸化ナトリウム水溶液(濃度5%w/w)に30分間浸漬させた。その後、水酸化ナトリウム水溶液をろ紙で取り除き、完全乾燥させた。
- ② ①で処理した布を塩化シアヌルベンゼン溶液(濃度5%w/w)に5分間浸漬させた。その後アルキルアミンベンゼン溶液(濃度0.05mol/L)に20分から50分まで時間を10分間隔で変更して浸漬させた。その後、精製水で洗浄し、完全乾燥させた。
- ③ 処理布に微量の水滴を滴下し、水滴の様子を撮影した。水滴の形状、および撥水持続時間をもとに評価を行った。

(ii)エーテルを用いた撥水加工

(i)-②で用いる塩化シアヌルベンゼン溶液を塩化シアヌルエーテル溶液(濃度5%w/w)に変更し、5分間浸漬させた。また、アルキルアミンベンゼン溶液をアルキルアミンエーテル溶液(濃度0.05mol/L)に変更し、20分から50分まで時間を10分間隔で変更して浸漬させた。その後、精製水で洗浄し、完全乾燥させた。

(iii) ベンゼンとエーテルを併用した撥水加工

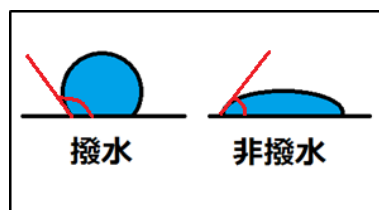
(i)-②で用いる溶液の組み合わせを【塩化シアヌルベンゼン/アルキルアミンエーテル】、【塩化シアヌルエーテル/アルキルアミンベンゼン】に変更し、それぞれアルキルアミンベンゼン(アルキルアミンエーテル)に30分から50分まで時間を10分間隔で変更して浸漬させた。その後精製水で洗浄し、完全乾燥させた。



実験結果

・撥水の判定方法

布と水の接触角が90度を越えている状態を”撥水している“とする。



○…30分以上撥水した。

△…5分以上撥水した。

×…全く撥水しなかった。

または撥水した時間が5分未満だった。

(図3) 撥水状態

(i) ベンゼンを用いた撥水加工

※ “浸漬時間” はアルキルアミンベンゼンの浸漬時間とする。

布の種類 浸漬時間(分)	綿	キュプラ	麻
20	×	×	×
30	○	△	×
40	○	○	×
50	○	○	×

(ii) エーテルを用いた撥水加工

※ “浸漬時間” はアルキルアミンエーテルの浸漬時間とする。

布の種類 浸漬時間(分)	綿	キュプラ	麻
20	×	×	×
30	×	×	△
40	×	×	△
50	×	×	△

(iii) ベンゼンとエーテルを併用した撥水加工

【塩化シアヌルベンゼン/アルキルアミンエーテル】

※ “浸漬時間” はアルキルアミンエーテルの浸漬時間とする。

布の種類 浸漬時間(分)	綿	キュプラ	麻
30	×	×	×
40	△	×	△
50	△	×	△

【塩化シアヌルエーテル/アルキルアミンベンゼン】

※ “浸漬時間” はアルキルアミンベンゼンの浸漬時間とする。

布の種類 浸漬時間(分)	綿	キュプラ	麻
30	×	×	×
40	×	△	×
50	×	△	×

まとめ

- (i) …綿とキュプラが浸漬時間 30 分以上で成功した。
- (ii) …撥水時間 30 分には届かなかったが、麻のみ成功した。
- (iii – 塩化シアヌルベンゼン/アルキルアミンエーテル)
 - …撥水時間 30 分には届かないが麻と綿が撥水した。
- (iii – 塩化シアヌルエーテル/アルキルアミンベンゼン)
 - …撥水時間 30 分には届かないがキュプラのみが撥水した。

考察

(i) では、綿やキュプラは浸漬時間を延ばすことにより撥水効果が上昇することが確認できた。これは長時間浸漬することで撥水効果が強まったものだと考えられる。また、(ii)、(iii) の結果

を組み合わせると、綿は塩化シアヌルベンゼン溶液を用いたとき成功し、キュプラはアルキルアミンベンゼン溶液を用いたとき成功し、麻はアルキルアミンエーテル溶液を用いたとき成功していることが分かった。このことから、ベンゼンやエーテルと布には相性があり、撥水のしやすさが使用する溶液に関係していると考えられる。

結論

綿は塩化シアヌルベンゼン溶液を用いたとき、キュプラはアルキルアミンベンゼン溶液を用いたとき、麻はアルキルアミンエーテル溶液を用いたとき成功する。また、綿とキュプラは30分以上の撥水に成功した。

参考文献

- [1] 柴田佐和子, 上甲恭平, 綿繊維固定化塩シアヌルの活性塩素の反応特性, 繊維学会誌, vol169(12), No. 12, 2013
- [2] 各種繊維の表面活性化法による撥水加工
www.he.sugiyama-u.ac.jp/exhibition/031 森郁久美.pdf
- [3] 綿繊維織物の風合いにおよぼす繊維表面疎水化の影響
www.sugiyama-u.ac.jp/univ/assets/docs/mas14_shibata.pdf

廃材コンクリートの削減を目指して

渡邊悠太 土井快晟 山中星輝 吉澤和幸

本研究において、セメントはポルトランドセメントを、骨材は珪砂と川砂を1：1の質量比で混ぜたものを使用した。水、セメント、骨材の質量比を変えて実験したところ、水の量が少ないものがより強固であった。これは水が減少したことで内部に空間が発生しづらくなったためだと思われる。また、コンクリートを本来のpHの値より高くして粘性が高まったことで内部に空間ができやすくなったことで強度が低下した。これらの結果から、コンクリートの強度を上げるには内部に空間が生まれないようにすること、つまり密度が高いことが重要だと考えられる。

論序

本校の先行研究において、コンクリートの再固化技術の開発を目的に、必要な材料の研究、再固化する条件の研究が進められた。本研究では、建材として使われるコンクリートの強度を高め、耐用年数を伸ばすことで、コンクリートの生産過程で排出されるCO₂を削減することを目的とした。

実験1 コンクリートの形状の決定と強度の測定方法の確立。

初めに、コンクリートの強度を比較するために、それに適した形状を検討した。コンクリートの材料は水、ポルトランドセメント、骨材として珪砂と川砂を使用した。また、強度を測定する実験を強度実験とする。

(1) 直方体

牛乳パックで型を作りその中にコンクリートを流し込むことで、直方体のコンクリートを作成した。底面を一边が6.9cmの正方形、高さが1.0cmとなるものを作った。この形状における強度実験は、金槌を一定の高さから振り下ろして行うという形を想定した。

(2) 棒状

ステンレス製の棒状の型を使用することで、棒状のコンクリートを作成した。この形状における強度実験は、コンクリートに重りを吊るして強度を測ることを想定した。

結果

2種類の形状のコンクリートを作り比較した結果、図1の直方体のものは形状、厚さや密度にむらができやすく均一なコンクリートをつくりにくいいため、実験において正確な測定ができないと考えた。誤差が大きくなってしまおうと考えられた。一方、図2の棒状のものは形を整えるのが容易で、同じ形状のコンクリートを制作しやすく、また形状や厚さが、強度を測定する操作に適していると考えられた。したがって、我々はこれからの実験で棒状のコンクリートを使用することとした。



図 1 : 直方体のコンクリート

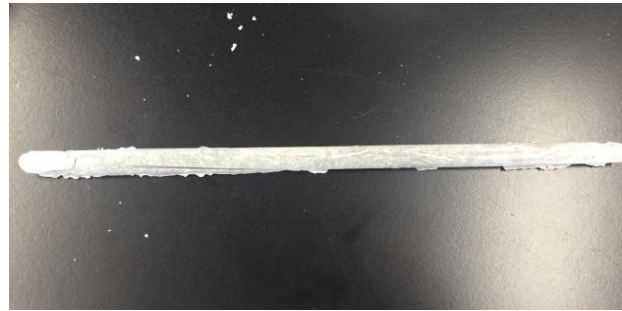


図 2 : 棒状のコンクリート

コンクリートの強度測定の手順

- ① コンクリートを幅 10cm の二本の棒(机の脚) の上に置き、砂が入った籠を吊るす。
- ② コンクリートが割れるまで、籠の中に砂を入れる。
- ③ コンクリートが割れた時点で砂を入れるのをやめ、籠全体の重さを測定する。



図 3 強度を測定する装置

実験 2 コンクリートの質量比の変更によって強度が高まるかどうか

今回の実験では水、ポルトランドセメント(日立セメント株式会社)、そして骨材として川砂、珪砂(建築、造園用)を用いた。我々は水、セメント、骨材の質量比の異なる 2 種類のコンクリートを作成した。

[コンクリートA] 水 : セメント : 骨材 = 1 : 2 : 1 (質量比)

[コンクリートB] 水 : セメント : 骨材 = 1 : 2 : 2 (質量比)

尚、骨材は川砂と珪砂の比を 1 : 1 で混合したものを用いた。

コンクリート A と B の 1 cm あたりの質量(g/cm)は次のようになる。

	1 本目	2 本目	3 本目	4 本目	5 本目	平均値
A	0.98g	0.82g	0.91g	0.82g	0.87g	0.88g
B	0.92g	1.07g	1.06g	1.01g	1.08g	1.03g

このことから、B のほうが 1cm あたりの質量が大きく、コンクリートの密度が大きい。

結果

	300 g の重り	400 g の重り	500 g の重り
A	耐えた	耐えなかった	耐えなかった
B	耐えた	耐えた	耐えた

初めにコンクリートの強度は密度に関わりがあるという仮説を立てたため、コンクリート A、B 各 20 本のうちから 5 本を抽出し、各々 1 本の重さをそれぞれの長さで割り、1 cm あたりの質量を求めたところ、コンクリート B の方が値は大きかった。また強度実験を行ったところ、A では 400g から耐えたものはなかったが、B では 500g まで耐えるものがあつた。これは、B の方が水の占める割合が少なく、それによって密度が大きくなったためであると考えられる(コンクリート 1cm あたりの質量は、その密度に相当すると考えられる)。

実験3 コンクリートの塩基性を高めることによって強度が高まるかどうか

コンクリートは酸性雨などにより、中性化することによって劣化する。そのため我々は材料の水に塩基性を示す炭酸ナトリウム(Na_2CO_3)を溶かし、塩基性の高いコンクリートを作成することにした。

手順

- ① 炭酸ナトリウム水溶液 0.5mol/L を 100ml 準備した。
- ② ①の水溶液を用いて実験 2 と同じ方法でコンクリートを練り、強度を測定した。

結果

一度作ってみたとき、ステンレス製の棒状の方から取り外す時点で碎けてしまった。そこで、それが製法によるものなのか、炭酸ナトリウムの影響であるのかを調べるために再度同じコンクリートを制作したが、コンクリートのできは同様であった。

※水を使用したコンクリート(左)と 0.5mol/L Na_2CO_3 水溶液を使用したコンクリート(右)



考察

生コンクリートの粘性はセメントの塩基性によるものであることが知られているが、炭酸ナトリウムを加えたことによってコンクリートの塩基性が高まり過ぎたことで、生コンクリートのときに粘性が強くなり過ぎた。それが原因でセメントと骨材の間の空気をため込んでしまい、そのまま固形化したことでコンクリート内部に空間ができてしまったと考えられる。

4. 考察・展望

実験の結果から、コンクリートは密度が大きいと強度が高くなると分かった。しかし、コンクリートの性質による強度への影響については十分に検証することができなかった。これらの他にも骨材の粒子の大きさなど、強度に影響を与えうる要素は多く存在している。今後の展望は、 Na_2CO_3 水溶液を用いたコンクリートにおいて、内部の気泡をなくす工夫をしてから強度実験に臨むことである。

5. 参考文献

コンクリート劣化の要因 <http://www.sai-finish.net/gallery_list-1504-6762-1.html>

コンクリート添加剤 <<http://www.jpo.go.jp/shiryousonota/map/kagaku02/1/1-51.htm>>

カラスの採食行動について

伊藤柚里 小野寺新 熱海南帆

宮城県仙台三高等学校

宮城県仙台第三高等学校の中庭ではカラスがクルミを落として割り、食べるという行動が確認されている。この行動を見て、カラスはクルミの大きさと重さのどちらを優先して選んでいるのかを調べることを目的とした。条件の違う二つのクルミをカラスに選ばせた。重さのみが違うクルミでは重いものを選び、大きさのみが違うクルミでは大きいものを選んだ。小さく重い、大きく軽いクルミでは、大きく軽いほうを選んだ。よってカラスは重さより大きさを優先することが分かった。カラスは大きさに明らかな差があるときは大きいものを、あまり差がないときは重いものを選ぶと考えた。

1. 背景と目的

カラスは身近な鳥であるがゴミを漁るなど人間の生活に害を与えることもあり、対策をするためカラスの習性や能力について理解を深めることは重要である。

本校の中庭でハシボソガラスがクルミを落として割る行動が確認されている。クルミ割り行動はある地域のカラスのみ行うと知り興味を持った^{1) 2)}。本校でのクルミ割り行動は先行研究により、カラスがクルミの重さと大きさに関してどのようなクルミを選ぶのか予測されている³⁾。先行研究ではカラスは大きさより重さを重視していると予測された。しかし実験データが少なく確かなことは分かっていない。そこで再びカラスのクルミの選び方について研究を行うことにした。

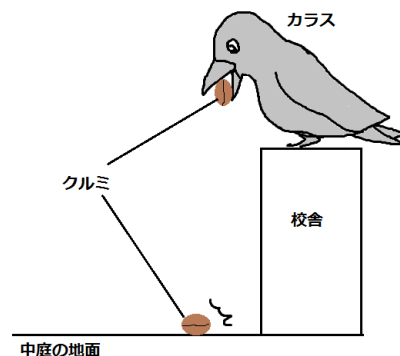



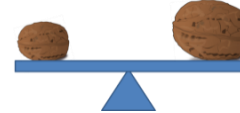
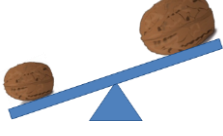
図1 カラスがクルミを落とす様子

2. 実験方法

本校の中庭に2つの条件の異なるクルミを置き、カラスがクルミを選ぶ様子を動体検知カメラで図2のように撮影し、カラスの選んだクルミと選ぶまでの時間を記録した。実験条件でクルミの重さと大きさを表1のように変え、3つの条件の組み合わせで実験を行った。実験1と2ではクルミをそのまま用いたが、実験3のクルミを探すのが難しかったので、クルミの内側の殻を削ったり砂鉄を混ぜた粘土を入れたりして図3のように人工的にクルミを作成した。クルミの大きさはカラスがクルミを選ぶ時にくわえている図4の部分を計測した。予想ではカラスはより実が多いクルミを選ぶと

考えたので、実験1では重いクルミ、実験2では大きいクルミ、実験3では大きさではなく重さを重視し小さく重いクルミを選ぶと考えた。

表1. 実験条件とイメージ図

実験1	実験2	実験3
重さ：異なる、 大きさ：同じ	重さ：同じ、 大きさ：異なる	小さく重い、 大きく軽い
		

＜実験条件での定義＞

① クルミが大きい、重いという表現の定義

実験で用いるクルミの中では大きさや重さの差が同じクルミで実験を再度行うことはできないため、各実験で同じとして扱う重さと大きさの差を定義した。クルミを計測すると最大で重さが 3 g、大きさが 10 mm ほどの差しかなかったため、実験 1 では大きさの差が 0.5 cm 未満を同じ大きさ、実験 2 では重さの差が 1.0g 未満を同じ重さとして扱った。これ以外の条件は本実験で使用した計測器で計測できる値に差があったものを大きい、重い等とした。

② 秒数の定義

カラスが選ぶ際にどのくらい迷ったか定量化するために「秒数」を定義した。カラスがクルミを触り始めてから、クルミを持ち去るまたはその場で割り始めるまでの時間を測った。



図 2 カラスがクルミを持っていく様子



図 3 人工的に作成したクルミ



図 4 クルミの大きさを計測した部分

3. 結果

i. 実験 1 重さが異なり大きさが同じクルミ

実験 1 を 21 回行い、秒数と選んだクルミのデータを図 5 の散布図に表した。去年の課題研究ではカラスが迷う様子が観察されたが、今年の研究では迷わずにクルミを選ぶことが多く、迷っていない秒数 0 の時が多く観察された。図 5 を見ると秒数が 0 の時[A 群]と 0 以外の時[B 群]で結果に傾向があるように感じたので、それぞれどのクルミを取ったか図 6, 7 の円グラフを作成した。[A 群]は割合がほぼ同じで迷っていないことが分かる。[B 群]の時は重いクルミを選ぶ割合が高い。

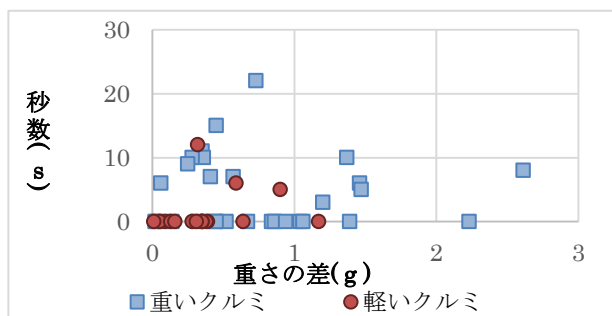


図 5 クルミの重さの差と秒数の散布図

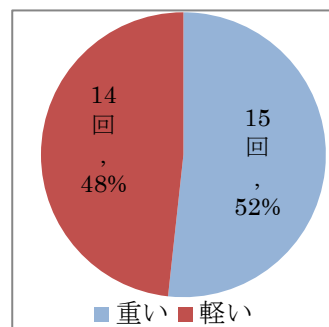


図 6 秒数 0 のクルミ [A 群] を選ぶ割合

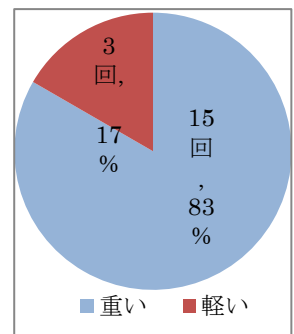
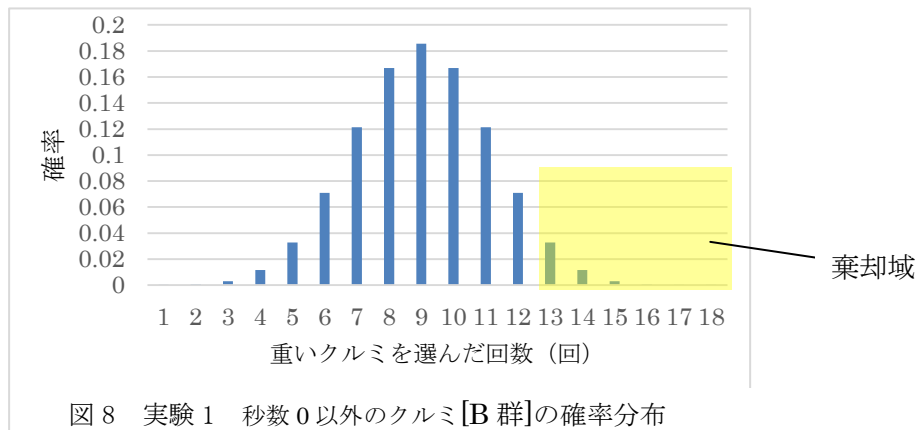


図 7 秒数 0 以外のクルミ [B 群] を選ぶ割合

[B群]に本当に優位さがあるかどうか確かめるため、二項検定にかけた。帰無仮説を「重いクルミと軽いクルミを選択する確率は等しい」、対立仮説を「重いクルミを選択しやすい」とする。有意水準を5%とすると棄却域は重いクルミを13回以上選んだ時であり、この時の確率は0.048126である。実際に重いクルミを選んだ回数は15回であるため、帰無仮説は棄却され、「重いクルミを選択しやすい」と言える。



ii. 実験2 重さが同じで大きさが異なるクルミ

実験を行ったところ図9のような結果になった。大きさは視覚でも確認できると判断したため秒数0も結果に含めた。図10で円グラフを作成したが明確な違いが見られなかった。

そこで優位さがあるかどうか確かめるため、二項検定にかけた。帰無仮説を「大きいクルミと小さいクルミを選択する確率は等しい」、対立仮説を「大きいクルミを選択しやすい」とする。有意水準を5%とすると棄却域は重いクルミを24回以上選んだ時である。実際に重いクルミを選んだ回数は22回であるため、帰無仮説は棄却できず、「重いクルミを選択しやすい」とは言えない。

大きさの差が2mm以上の時のみでグラフを作成すると図11のようになった。実験回数は少ないが、大きさに2mm以上の差があると大きいクルミを選ぶ割合が小さいクルミを選ぶ割合より高いことがわかる。

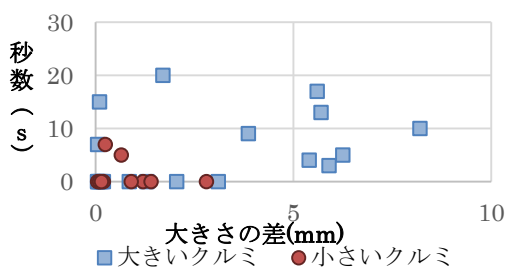


図9 クルミの大きさの差と秒数の散布図

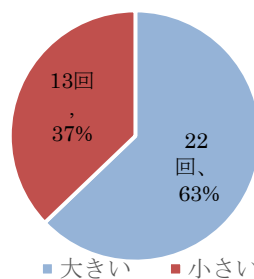


図10 実験2のクルミを選ぶ割合

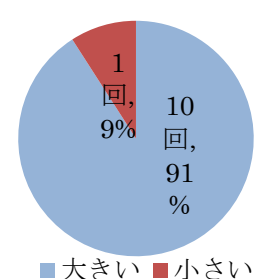


図11 大きさの差が2mm以上の時のクルミを選ぶ割合

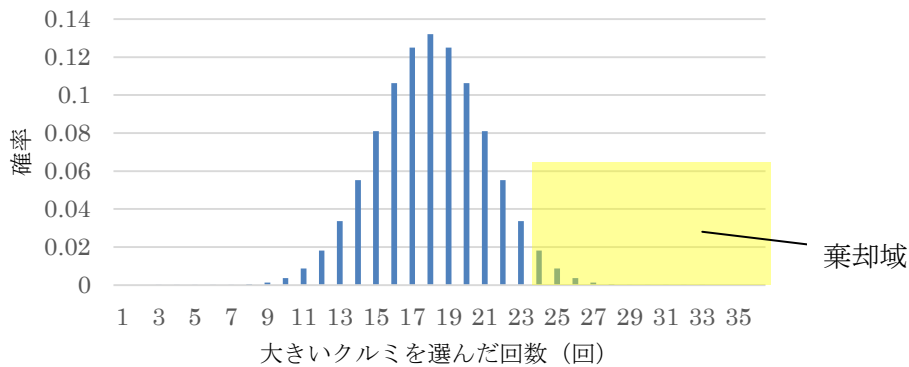


図 12 実験 2 の大きいクルミを選んだ確率分布

iii. 実験 3 小さく重いクルミと大きく軽いクルミ

実験 3 の結果は表 2 のようになった。迷わなかった時が多く、全て大きいクルミを選んでいるため、カラスは大きいクルミを選ぶ傾向があると考えられる。今回用いたクルミは図 13 のように大きさの差が 5 mm 以上で明らかに差があるクルミであった。

クルミの条件	選んだ回数(回)
大きい	12
小さい	0
全実験回数 12 回	



図 13 大きさに明らかな差があるクルミ

表 2 実験 3 の結果

4. 考察

去年よりもカラスが迷わなかった様子が多く見られた理由としては、2 つの可能性が考えられる。1 つは、中庭に選択されなかったクルミが選択後も採食可能な状態だったため、カラスがクルミを常に食べられると学習し、カラスが選択に要するコストをかけなくても



図 14 2 羽のカラスが中庭に来た様子

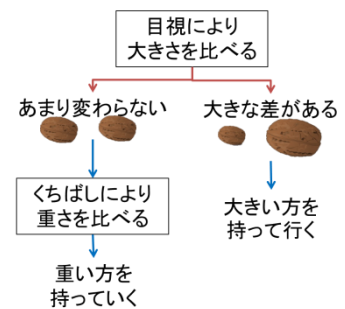


図 15 クルミの選び方モデル

も、資源を得ることができるという利益を学習した可能性が考えられる。2 つ目は図 12 のように 2 羽以上のカラスがクルミを取りに来ていることが確認できたので、カラスの個体差により迷うカラスと迷わないカラスがいるのではないかと考えられるが、個体の識別までには至らず、データを分けることは困難だった。

実験 2、3 では大きさに 2 mm 以上の差があるときは大きいほうを持って行った。実験 1 では大きさに違いがない時カラスは重いほうを選ぶ傾向があった。このことから、カラスのクルミの選び方モデルは図 13 のように考えられる。まず、①見た目で大きさを比べて明らかに差があるときは大きいクルミを選び、次に②重さを比べて重いクルミを持っていくと考えられ、できるだけ大きい資源量を得る行動を選択していることが示唆された。

5. 結論

カラスはクルミを選ぶとき、大きさと重さでは、見た目の大きさを優先すると考えられる。そして、大きさに差が見られなかったときは、重いクルミを選ぶと考えられる。

カラスが迷わないことが増えたことの原因として、二つのことが考えられる。一つは、複数のカラスが来ており、それらに個体差があるということである。もう一つは、常に餌があることから、カラスがクルミを選ばなくてもよいということを学習した可能性があるということである。

今後の展望としては、カラスの個体識別の方法を探し、実際に識別できるようにしたい。またカラスがどのくらいの値を基準に、重い、大きいクルミを選んでいるか今回の実験ではわからなかった。これを調べるために、重さを 0.1 g ごとや大きさを 1 mm 単位ごとに設定して実験を行いたい。

6. 参考文献

- 1) カラスの教科書 松原 始 雷鳥社 2012年12月19日
- 2) カラスの補習授業 松原 始 雷鳥社 2015年12月2日
- 3) 「カラスの好きなタイプは!？」 仙台第三高等学校 及川憲信 小齊つばさ 関竜玖 平出裕博 2015年

刺胞から見る海中生活

柄沢凜 佐藤航輝 富田怜 吉田勝哉 藤崎有香里

宮城県仙台三高等学校

イソギンチャクやクラゲに代表される刺胞動物の生態はよく知られておらず、毒を注入する器官である刺胞についても、獲物の捕獲、自己防衛などに使うことが知られているが、種ごとの利用方法の違いは知られていない。しかし、刺胞動物の生態によって刺胞の利用方法が変わることも十分に考えられる。そこで刺胞動物であるイソギンチャクとエヒドラの刺胞を観察し、その違いを調べることにした。結果、ヨロイイソギンチャクとエヒドラの刺胞は、形やアルテミアに対する射出の反応が違うことがわかり、刺胞はその刺胞動物を特徴づける一つの要因になりうるということが分かった。また、ヨロイイソギンチャクはアルテミアへの反応が薄いということがわかり、獲物の捕獲ではなく自己防衛のために刺胞を使っている可能性が高いことが分かった。

序論

刺胞とは刺胞動物特有の毒液を注入する刺糸を備えた細胞内器官である。適切な化学刺激や物理的刺激によって射出され、捕食または防御に用いられることが知られている⁽¹⁾。刺胞はイソギンチャクやクラゲなど多くの生物にみられるが、種ごとによる性質の違いなどはあまり知られていない。しかし、重松ら⁽²⁾の研究で、ハタゴイソギンチャクの刺胞の射出がクマノミの体表粘液中にある物質に反応して阻害され、共生ができていているという研究結果から、刺胞動物の生態によって刺胞の性質が変わることも十分に考えられる。そこで、刺胞の性質から刺胞動物の生態を読み取することを目的とし、ヨロイイソギンチャク *Anthopleura uchidai* とエヒドラ *Pelmatohydra robusta* の刺胞の違いについて調べることにした。さらに、その結果を受けてヨロイイソギンチャクの刺胞はグルタチオン水溶液のどの濃度に反応するかを調べた。グルタチオンとは、一部の微生物を除き、生物の多くの細胞に含まれている物質であり、刺胞はグルタチオンに反応して射出が起きることが知られている。

材料と方法

(1)材料

実験には、吸盤径が 30mm の宮城県女川町塚浜で採集したヨロイイソギンチャクと体長が 1mm 程度の東北大学から提供していただいたエヒドラを用いた。

(2)方法

ヨロイイソギンチャクおよびエヒドラの触手を切り取り、酢酸処理または圧迫により刺胞を射出させて光学双眼顕微鏡で形および大きさを観察した。さらに、それぞれの触手とともに一般的に餌として与えているアルテミアを同じプレパラートに入れて触手に接触させ、刺胞が射出されるか観察した。

グルタチオンを純水に溶かしてグルタチオン水溶液とした。ヨロイイソギンチャクの刺胞に対

するグルタチオンの効果を調べるため、ヨロイソギンチャクの触手を切り取ってグルタチオン水溶液で封じてプレパラートを作成し、顕微鏡で様子を撮影した。その画像から発射されている刺胞の数を複数人で数え、平均値をとった。グルタチオン水溶液の濃度は $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$, $1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$, $1.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$, $5.0 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ に調整して使用した。

結果

(1) 触手の刺胞の観察

ヨロイソギンチャクの刺胞は細長い形で、エヒドラの刺胞はしずくのような形をしていた(図 1, 2)。刺胞の刺糸の大きさは、ヨロイソギンチャクが約 $660 \mu\text{m}$, エヒドラは約 $540 \mu\text{m}$ であった。

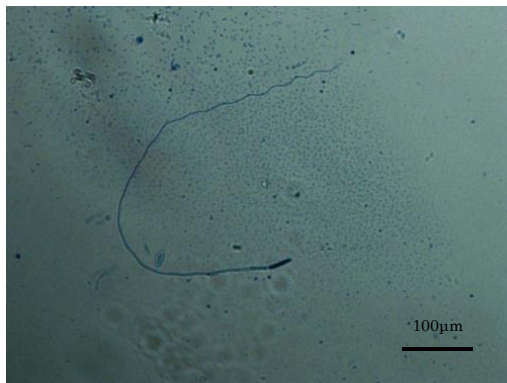


図 1 ヨロイソギンチャクの刺胞

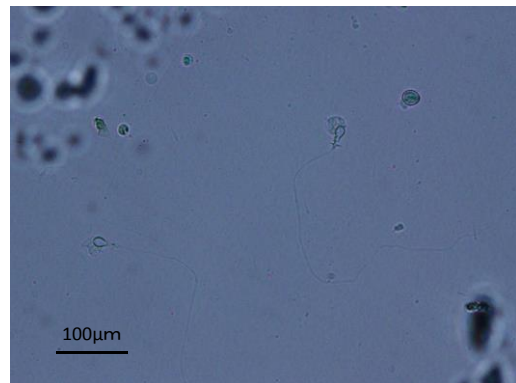


図 2 エヒドラの刺胞

(2) アルテミアに対する触手の刺胞の反応

ヨロイソギンチャクの刺胞はアルテミアが接近、接触しても射出しなかった(図 3)。エヒドラの刺胞はアルテミアの接触で射出され、触手からはずれてアルテミアに刺さっていた(図 4)。

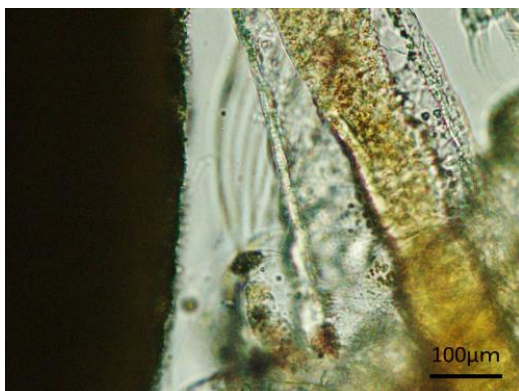


図 3 アルテミアとヨロイソギンチャクの触手
左側がヨロイソギンチャクの触手で右側がアルテミアである。

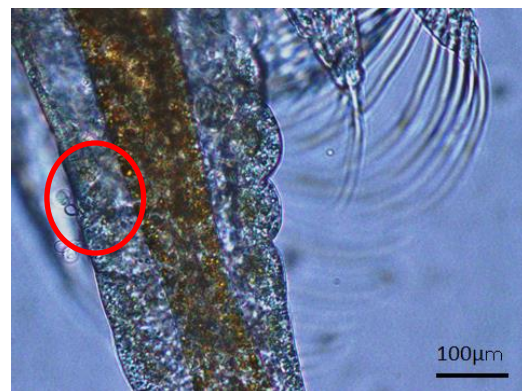


図 4 アルテミアとエヒドラの刺胞
アルテミアに刺さった刺胞を赤丸で囲んで示した。

(3) グルタチオン水溶液に対する触手の刺胞の反応

ヨロイソギンチャクの触手にグルタチオン水溶液を投与し観察したところ、刺胞は純水、 $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ では射出せず、 5.0×10^{-4} , $1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ ではわずかに、 1.0×10^{-3} では多くの刺胞が射出した(図 5)。

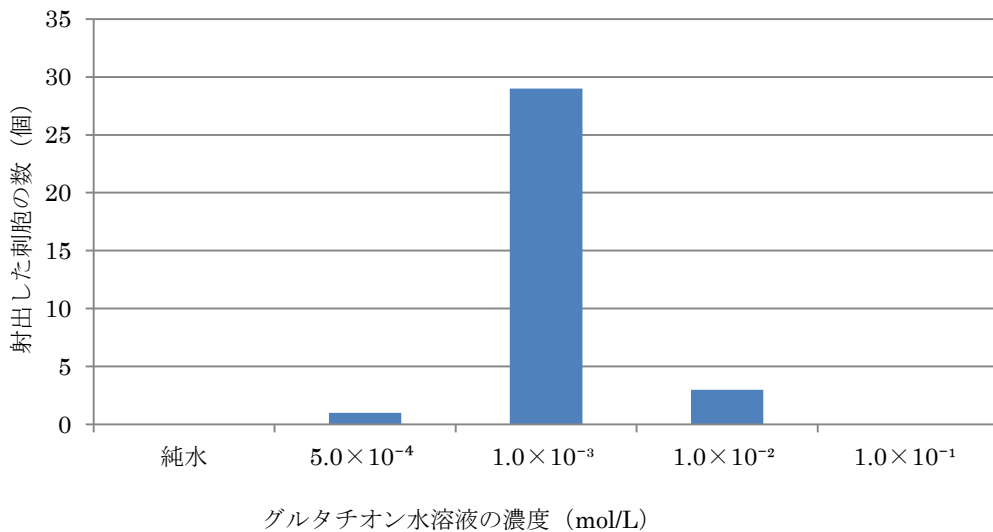


図5 射出した刺胞の数

考察

(1)触手の刺胞の形態

エヒドラの触手の刺胞はしずく型，ヨロイソギンチャクの触手の刺胞は細長い形と，それぞれの刺胞動物の刺胞の形が違うことは，どのように刺胞を使ってきたかという適応と進化の結果を反映していると考えられる。刺胞の形態や性質の違いは，それぞれの刺胞動物の生態と密接な関わりを持つであろう。エヒドラが食物をとるために刺胞を用いていたのに対して，ヨロイソギンチャクは個体の大きさの割に刺胞が小さいため，大きな魚相手に刺胞を使っているとは考えにくく，ヨロイソギンチャクの刺胞は捕食にはあまり使われないと考えられる。また，触手の内部に共生藻のようなものも確認されたことから，捕食できなくても共生藻の光合成にお依存して生存できる可能性がある。

(2)アルテミアに対する触手の刺胞の反応

エヒドラの刺胞はアルテミアに反応し射出したのに対して，ヨロイソギンチャクの刺胞は射出しなかったことから，エヒドラとヨロイソギンチャクでは刺胞の射出の仕組みが違っていると考えられる。また普段，餌として使っているアルテミアに対し，ヨロイソギンチャクの触手の刺胞が反応しなかったことから，ヨロイソギンチャクの刺胞は捕食にあまり使われないと考えられる。

(3)グルタチオン水溶液に対する触手の刺胞の反応

ヨロイソギンチャクの触手にグルタチオン水溶液を加えたところ， $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ mol/L の範囲で触手の刺胞の射出が確認されたことから，刺胞はグルタチオン濃度が一般的な動物の細胞内の濃度である $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-2}$ mol/L の範囲で反応することがわかった。ヨロイソギンチャクの刺胞は捕食以外の何らかの役割を果たしていると考えられる。

(4) ヨロイソギンチャクの触手の刺胞の役割

体長に比べて小さい刺胞では捕食にあまり役立たなくとも、食いちぎられた時に捕食者の口の中で刺胞が射出されれば、比較的小さい魚類であれば伊丹を生じさせたり、違和感を与えたりという忌避刺激になる可能性がある。グルタチオンによる射出も獲物の捕食でなければ、自己防衛のために使われていると考えられる。これらの事から、「ヨロイソギンチャクが外敵である魚などに捕食された際に刺胞を射出することで外敵にヨロイソギンチャクはおいしくないと感じさせ、好んで食べられないようになり、ヨロイソギンチャクは生存率を上げている」という新しい仮説を考えた。

今後の展望

新たに立てた仮説を検証するために、ヨロイソギンチャクにおいて、浅瀬に生息する魚の口内粘膜と接触させた際の刺胞の観察を行いたいと考えている。

参考文献

- (1) ヒドラ—怪物？植物？動物！（山下桂司 著 岩波書店 2011/6/29 出版）
- (2) 重松夏帆, 山本美歩. ハタゴイソギンチャク刺胞射出の秘密. 第 58 回日本学生科学賞. 2014/11/1

プラナリアから見る「死」の仕組み

～温度変化と死のシステム～

飯田拓海 篠原俊 佐藤輝明 高橋邑伍 福山隼平
宮城県仙台第三高等学校

プラナリアは扁形動物門プラナリア綱に属する動物の総称である。本校の実習で、8月に青森県からプラナリア(カズメウズムシ)を宮城県に持ち帰る途中、カズメウズムシの体が崩壊する様子が見られた。このことについて私たちは高温がカズメウズムシに何らかの影響を及ぼしたと考え、『温度変化とプラナリアの死の関係』、『プラナリアの独特の死のプロセス』という2つのテーマについて研究を行うことにした。前者のテーマについては、ナミウズムシとカズメウズムシを用いた加温実験を行った。得られたデータは、「カズメウズムシよりもナミウズムシのほうが耐熱温度が高い」、「温度(水温)が高いほど、細胞がはがれ始めるまでの時間が短い」ということが言えるものであった。また、この際に得られたデータには、プラナリアの死が自発的なものである可能性を示唆するものがあった。しかしプラナリアが自身の消化酵素の影響で死んでいるのならば自発死とは言えないため、後者のテーマについてはカズメウズムシの死に消化酵素が関わっているかどうかを調べる実験を行った。その結果、通常の個体も薬品で消化酵素の分泌を阻害した個体も、同様に実験終了から1日後に死んでいるのが確認された。このことから「温度変化によるカズメウズムシの死の原因が消化酵素である可能性は低い」と言えるため、プラナリアが自発死をする可能性は十分にあると私たちは考える。

はじめに

プラナリアは扁形動物門プラナリア綱に属する動物の総称であり、全能性幹細胞による高い再生能力で知られている。本校の実習で、本研究チームは青森県西津軽郡深浦町の十二湖周辺にてカズメウズムシというプラナリアの一種を採集し、ペットボトルの容器に入れて宮城県まで持ち帰ろうとした。ところが、帰る途中に容器内のカズメウズムシの体が崩壊し、その後再生することはなかった。このことについて実習が8月だったことから、私たちは高温がカズメウズムシに何らかの影響を及ぼしたのではないかと考えた。これを受け、翌年の実習では採集したカズメウズムシを持参した保冷水筒に入れて持ち帰ろうと試みたところ、カズメウズムシを生存させたまま持ち帰ることができた。このことから私たちは、やはりカズメウズムシが死んだ原因は高温にあったと考え、また、再生能力で有名なプラナリアだがその「死」については知られていないことが多いという点に着目した。そこで本研究チームは、『温度変化とプラナリアの死の関係』、『プラナリアの独特の死のプロセス』という2つのテーマについて研究を行うことにした。

本研究チームの目的は「プラナリアの死のプロセスを解明する」ことである。研究を進めることでプラナリアの死のプロセスが解明されれば、プラナリアという生物に対する知識が拡大され、生物学におおきく貢献できると私たちは考える。また、水質の指標生物であるプラナリアが温度変化の指標にもなるということが分かれば、地球温暖化の指標生物としてプラナリアを利用するといったことも可能になるのではないだろうか。

実験生物

・カズメウズムシ (*Polycelis auriculata*)

体長 10~15 mm、飼育環境 (15°Cの水槽)

青森県西津軽郡深浦町の十二湖周辺にて採集



図 1:カズメウズムシ

・ナミウズムシ (*Dugesia japonica*)

体長 8~11 mm、飼育環境 (20°Cの水槽)

宮城教育大学構内にて採集



図 2:ナミウズムシ

実験方法

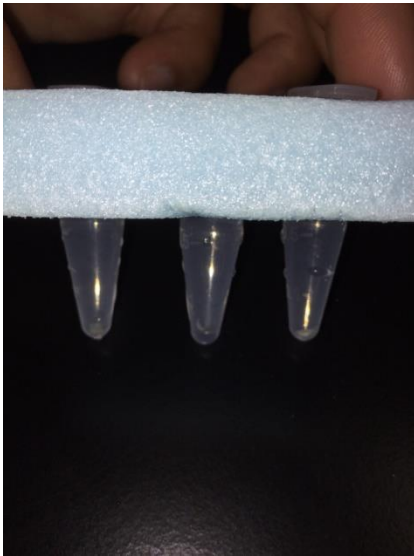


図 3:プラナリアを入れたマイクロチューブ

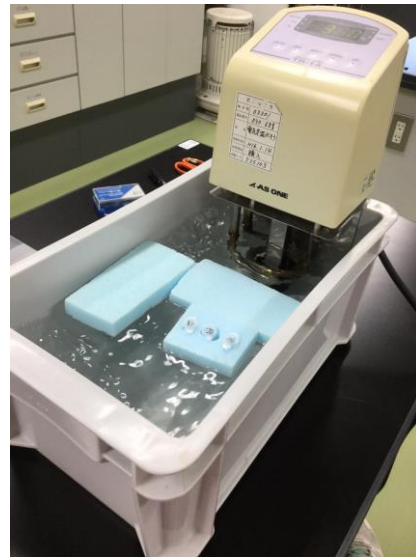


図 4:加温機による加温実験の様子

プラナリアと水(実験Ⅱでは消化酵素阻害剤水溶液も使用)を入れたマイクロチューブ(図3)を加温器で一定温度に保った水の中に入れ、その温度において時間経過とともにプラナリアの形態変化を観察する(図4)。10分間観察したのち、元の飼育環境に戻す。

〈実験における定義〉

『細胞が剥がれ始める』・・・プラナリアの体表がはがれ始める状態。

『細胞崩壊』・・・細胞が原型をとどめていない状態。

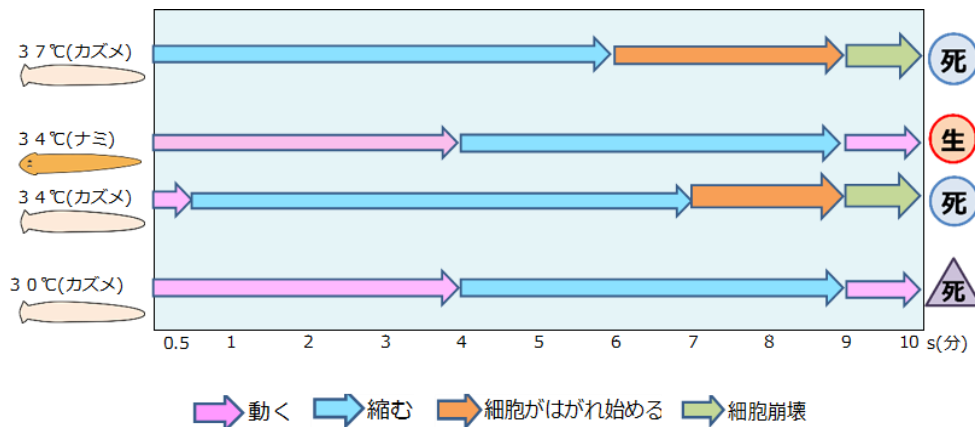
実験・結果と考察

グラフ右のマークの意味は右図を参照。

- 生：実験後も問題なく生存した。
- 死：実験終了までに死んだ。
- 死：実験終了時は生きていたが、後日観察時には死んでいた。

実験Ⅰ.温度変化とプラナリアの死の関係

グラフⅠ：プラナリアの加温実験の結果



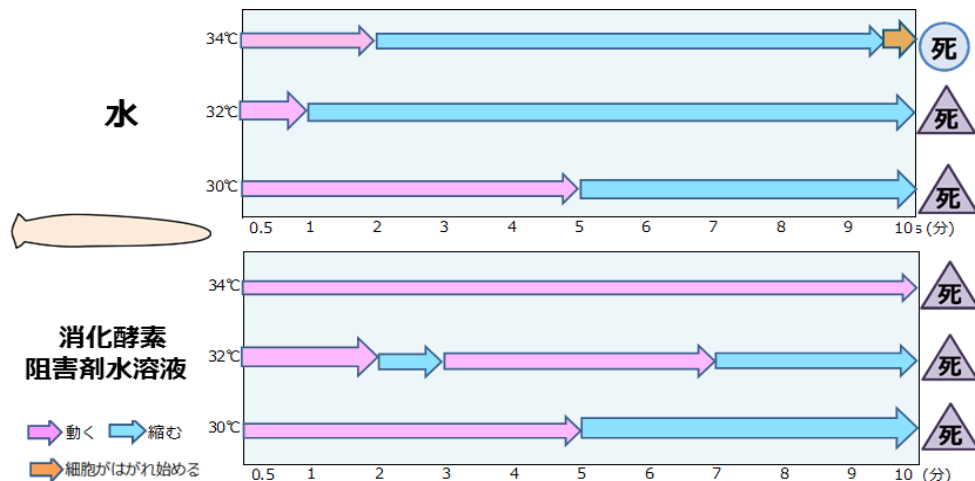
実験Ⅰでは、カズメウズムシとナミウズムシを用いた加温実験を行った。結果はグラフⅠのとおりである。データの比較から、次のことが言える。

- ・カズメウズムシは、水温が高いほど細胞崩壊までの時間が短い。
- ・カズメウズムシよりもナミウズムシのほうが耐熱温度が高い。

また、30°Cにおけるカズメウズムシのデータから、カズメウズムシは温度変化の影響が断たれた後自発的に死んでいる可能性があると考えられた。しかし自身の消化酵素が原因で死んでいる可能性もあり、それでは自発的な死とは言えない。これを受け、『プラナリアの独特の死のプロセス』について研究するにあたり、カズメウズムシの死に消化酵素が関わっているかどうかを調べることにした。

実験Ⅱ.プラナリア(カズメウズムシ)の死のプロセス

グラフⅡ：水、消化酵素阻害剤を用いた比較実験の結果



実験Ⅱでは、カズメウズムシの死に消化酵素が関わっているかどうかを調べるため、水と消化酵素阻害剤水溶液を用いた比較実験を行った。結果はグラフⅡのとおりである。データを見ると、34℃で水を用いた個体以外はすべての個体が温度変化の影響が断たれた後に死んでいることが分かる。これはカズメウズムシが、消化酵素が分泌されていてもされていなくても同様の死に方をしていることを示しているため、「温度変化によるカズメウズムシの死の原因が消化酵素である可能性は低い」ということが言える。このことから、プラナリアの死が自発的なものである可能性は十分にありと考えられるのではないだろうか。

このように、プラナリアは高い再生能力をもつ一方で独特の死のシステムも備えている可能性がある。このような相反する形質が1つの生物に備わっているのだとしたら、その「死」について解明することで「プラナリアのシステム」を様々な分野(医療など)に応用することが可能になるかもしれない。

まとめ

- ・カズメウズムシは、水温が高いほど細胞崩壊までの時間が短い。
- ・カズメウズムシよりもナミウズムシのほうが耐熱温度が高い。
- ・温度変化によるカズメウズムシの死の原因が消化酵素である可能性は低い。

参考文献

- [1]mesono, Y., Tasaki, J., Nishimura, Y., Hroudá, M., Kawaguchi, E., Yazawa, S., ... & Agata, K : The molecular logic for planarian regeneration along the anterior-posterior axis, *Nature*, 500(7460), 73-76,(2013).
- [2]TalShomrat,Michael Levin,*The Journal of Experimental Biology : An automated training paradigm reveals long-term memory inplanarians and its persistence through head regeneration* ,(2013).
- [3]阿形 清和 : 切っても切ってもプラナリア,pp44,岩波書店,(2009)。
- [4]原島 広至 : プラナリアの再生・走性・消化の実験,生物の科学 遺伝・別冊 実験単,pp174,エヌ・ティー・エス,(2015)。
- [5]阿形 清和 : プラナリアから学び、再生医療に活かす,RIKEN NEWS,pp2-4,理化学研究所,(2003,12)。
- [6]野口 範子,山中 一哲 : 新しい細胞死ネクローシス ～プログラムされたネクローシス～,ドージンニュース,(2012)。

正弦波による音声合成

木村幹久 早坂翔児

宮城県仙台三高等学校

私たちは私たちが話す「あ」という言葉をどのようにして「あ」と聞き取るか疑問に思ったので、「あ」を自ら合成することでこの疑問の解決を図った。私たちの声はフーリエ変換を用いて複数の正弦波に分解できることが知られている。このことに着目し、合成が簡単な正弦波を複数つくり組み合わせるという手法で合成した。その結果「あ」と聞こえるような音声を基音を 170hz とする第七倍音までの正弦波の組み合わせで出力することはできた。しかしなぜ「あ」と聞こえるかは分からなかった。今後、組み合わせる正弦波の組み合わせや数を変えることで、疑問の解決に努めたい。

はじめに

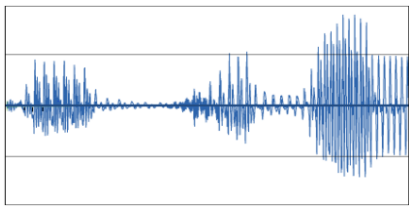
私たちは声や音楽を音声として利用しているが、そうした音声が工業的に音声認識技術として幅広く利用されている。例えば、スマートフォンに搭載されている音声による入力装置(図 1)、鍵の開閉錠などを音声によって行う声紋認証(図 2)などがあげられる。このように、音声は多様に利用されているため重要な分野だと考え、そこに興味を持った私たちは音声について調べた。その中で、音はどんな複雑な波形(図 3)でも複数の正弦波(図 4)を組み合わせでできた合成波であることがわかり、音声についてさらに研究することにした。



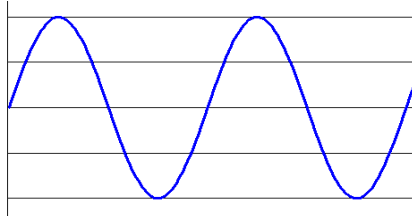
(図 1) 音声入力の例



(図 2) 声紋認証



(図3) 複雑な波形

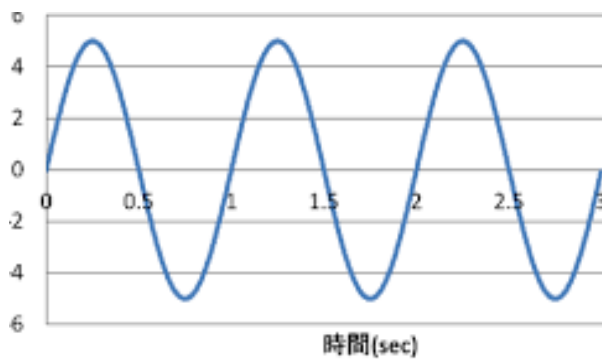


(図4) 正弦波

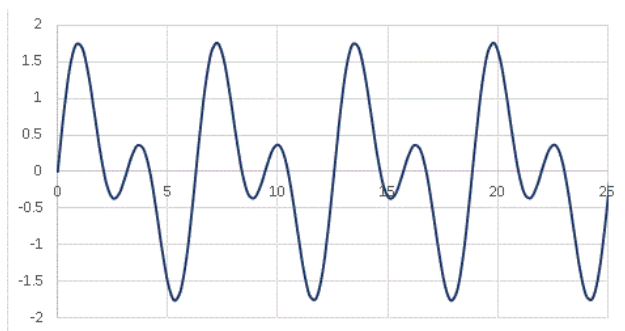
研究内容

まず初めに疑問に思ったのが「あ」はなぜ「あ」と聞こえるか。ということである。私たちは普段「あ」と発しているものが相手にも同じく「あ」と聞き取れていることを前提に会話を行っている。では私たちの耳は何を根拠に「あ」を認識するのか。

この疑問を解決するために、音声を作成しようと考えた。しかし、私たちの音声は複雑な波形を持っているためそのまま表現することは困難である。文献によると、自然界の複雑な波形を持った関数は正弦波の重ね合わせによって表現できることが分かった。つまり、音声を構成している正弦波が分かれば、正弦波によって任意の音声を表現することが可能である。また、この構成要素はフーリエ級数展開によって求められることができるということも分かった。そこで、私たちはフーリエ級数展開を用いて「あ」の合成音を作成することによってこの疑問の解決を試みた。本研究は正弦波を用いて「あ」を合成することを目的としている。



(図5) 正弦波



(図6) 複雑な周期関数

合成方法

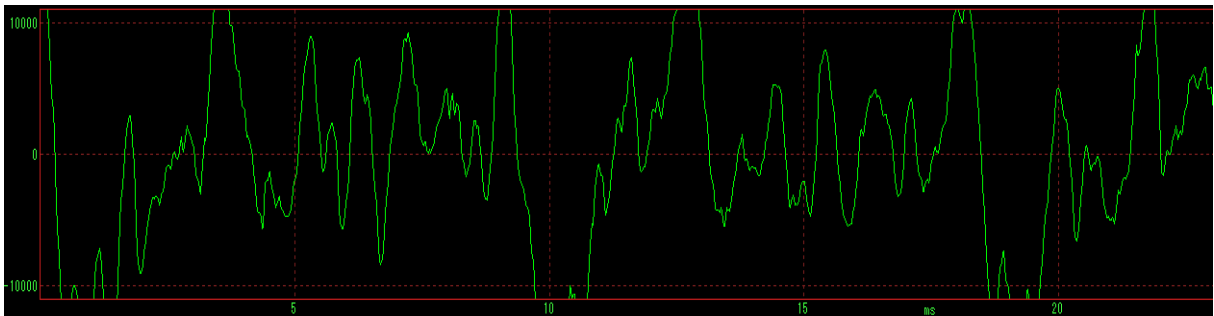
フーリエ変換とは

フーリエ変換とは無限に続いている周期関数の変数を周波数へと変えるものである。

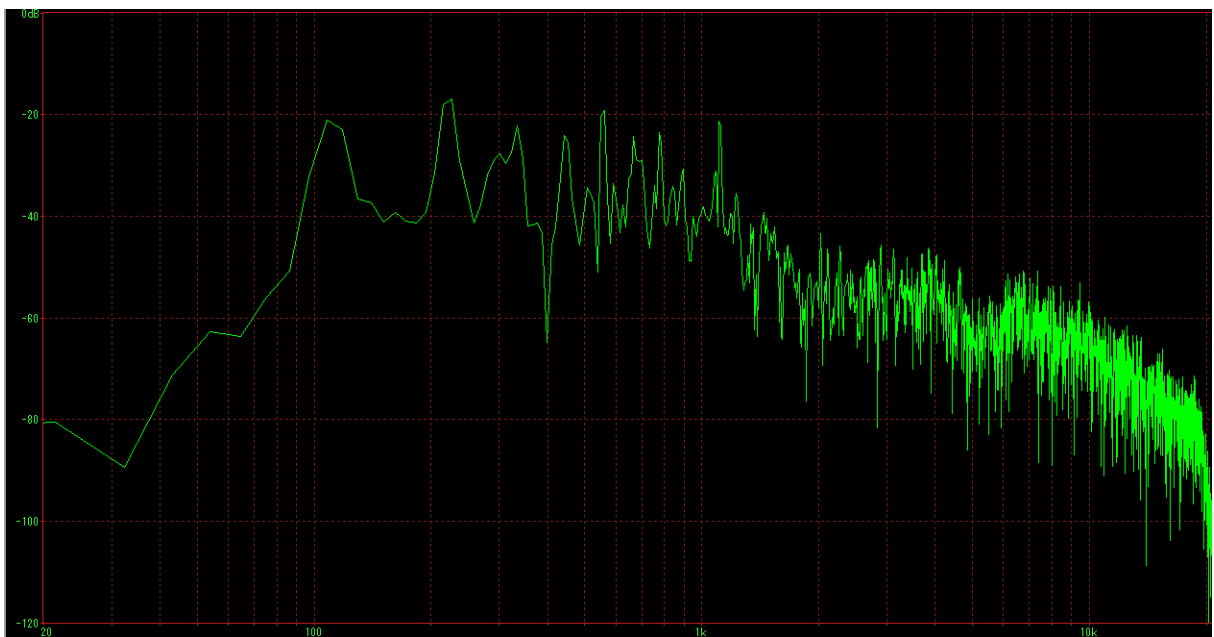
つまり複雑な波形（周期関数）にフーリエ変換を行うことで、その波形を構成している正弦波の分布を知ることができる。(図7,8)

このことを利用して「あ」を構成している正弦波を調べて、その正弦波をそれぞれ作成していき最終的にそれらを合成することで「あ」の合成ができると考えた。

我々の声は機械的でないため周期関数ではない。しかし「あ」の波形(図9)を見てわかるように、ある一定の区間で同じような波形が周期的に現れる。そこで我々はこの波形を「あ」の波形と考えて合成をおこなうことにした。



(図9) 「あ」の波形 横軸0~10 (ms) にかけて1周期分の波形が読み取れる



(図10) 図9の0 (ms) の時の波形にフーリエ変換を行ったグラフ

また、図10を見て分かるように wave spectra 上でフーリエ変換を行うとすべての周波数ごとの音圧が表示される。しかし、実際の音声は基となる周波数（基音）から整数倍の周波数（倍音）で構成されるため今回は基音を任意で170 (hz) と定め第7倍音までの値を研究対象とした。

具体的な方法は以下のとおりである。

1. iPhone のボイスメモで「あ」を約二秒間録音する。
2. 録音した「あ」の音声ファイルに wave spectra (スペクトルアナライザ) を用いてフーリエ変換をおこなう。
3. フーリエ変換を行ったデータを任意の基音から倍音ごとの周波数の値を読み取っていく。
4. そのデータをエクセル上で計算してデシベル表示をパスカル表示へと変換する。
5. パスカル表示となったデータを gold wave へ入力し、それぞれの周波数ごとの音を出す。
6.)5 で出力した周波数ごとの音を同時に再生することで「あ」を合成する。

結果・考察

合成音を再生したところ「ピー」という電子音であった。元の「あ」と比べて音程が非常に高かった。このことから、どこかで周波数が変化していたと考えられる。Wave spectra から gold wave へ出力する際に速度が変化したことによって周波数も変化したと考え、再生速度を落として再生する「あ」と聞こえる音声合成できた。

今後の展望

「あ」の合成には作成したが本来の疑問であった『どうして「あ」と聞こえるのか』の解決には至らなかった。今後組み合わせた7つの正弦波の組み合わせや数を変えていくことでこの疑問の解決に努めたい。

参考文献

「声を創る~正弦波合成による声の作成~」(仙台第三高校)

「倍音 音・ことば・体の文化誌」(中村 朋一 春秋社)

イスタンブールのお盆の原理の解明

秋葉颯太 後藤和真 菅原章弘 川村勇斗 柄久保錬 萩田泰晴

宮城県仙台三高等学校

イスタンブールのお盆と呼ばれるお盆の上に、2層になった油と水を載せて揺らすと、上の油の面はお盆と、油と水の境界面は地面と平行を保つように動く。この原理はまだ分かっていないため、本研究では、様々な液体の組み合わせでお盆の上での液体の動き方を観察し、その動き方の原理の解明を目的とした。様々な液体の組み合わせで観察した結果から、組み合わせによって境界面の動き方が異なることが分かった。下の液体の密度・粘度が極端に大きい場合にはほぼ動かず、そうでない場合には、2種類の液体の粘度の差が大きいほど、動き方が大きくなると分かった。液体の動きやすさは慣性の大きさで決まると考えられることから、液体の粘度と慣性の関係を調べる実験を行った結果、粘度が大きくなるほど慣性も大きくなるということが分かった。

はじめに

トルコのイスタンブールでは、コップに入った飲み物などを運ぶ際、写真1に示したような特徴的な形状のお盆が使われる。このお盆を使うと、遠心力によって液面がお盆と平行に保たれ、こぼすことなく運ぶことができる。文献⁽¹⁾によれば、このお盆に油と水が2層になったものを載せて揺らすと、上の油の面はお盆と平行に保たれるのに対して、油と水の境界面は地面と平行を保つように動くという。そして、お盆の上の液体がこのような動き方をする理由は、まだはっきりと分かっていないという。また、混ざらずに2層に分かれる液体の組み合わせは油と水以外にも存在するが、油と水以外の液体2種類をお盆に載せた例は存在しなかった。そこで、様々な液体の組み合わせでお盆の上での動き方を観察し、その動き方の原理を総合的に結論付けることを目的として、研究を始めた。まず、実験1で油と水以外の液体の組み合わせでも動き方を観察し、その結果から液体の動き方は粘度に関係していると考えられたので、実験2では液体の粘度と慣性の関係を調べた。



写真1
イスタンブールのお盆

研究の方法

<実験 1> 2種類の液体の組み合わせの違いによって、動き方がどのように変化するかを調べることを目的とした。実験に際し、市販のお盆とたこ糸を用いて、写真2のようなイスタンブールのお盆を模した装置を作成した。

まず、一方を染色して区別できるようにした2種類の液体を25gずつコップに入れ、お盆に載せた。そして、お盆が振り子運動をしている際の2種類の液体の様子を、スローカメラで撮影し観察した。



写真2 実験装置

<実験 2> 実験1では、密度や粘度が極端に大きい液体が含まれない場合の動き方については考察できなかったため、その場合において液体の粘度が動き方にどう関係するかを調べることを目的とした。実験では、密度がほぼ等しく粘度が異なる3種類の油を用いて、それぞれを水と組み合わせたときのお盆の上での動き方を、実験1と同様の方法で観察した。実験で用いた3種類の油の名称と、20℃における密度・粘度（文献⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾より引用）を以下に示す。

菜種油： $9.1 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ， $7.0 \times 10^{-1} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ オリーブ油： $9.2 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ， $9.0 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

テレピン油： $8.7 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ， $1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

<実験 3> 実験1, 2では液体の粘度が慣性に関係していることを前提としていたので、その検証を目的とした。その際、慣性の大きさを定量化する必要があるため、慣性値という値を定義した。液体の入ったコップを力学台車に載せ、台車後部の反発ばねを用いてこれを急発進させると、液面が図1のように傾き、この傾きは液体の慣性が小さいほど大きくなる。このとき、慣性値 I を

$$I = \frac{L_2 - L_1}{L_1}$$

と定義して、液面の傾きに基づく慣性の大きさを数値化した。

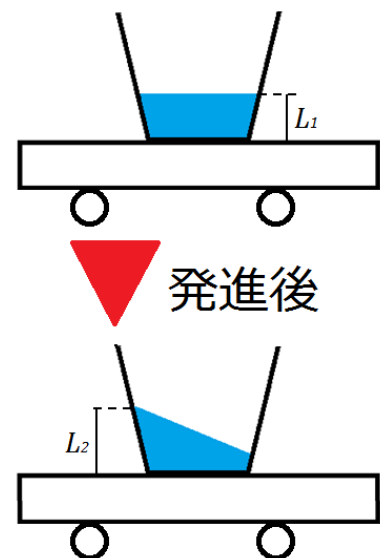


図1 台車上の液体の動き

まず、染色して観察しやすくした1種類の液体を一定の体積だけコップに入れ、力学台車に載せた。次に、力学台車を発射台に押し付け、反発ばねを一定の長さだけ縮ませて静かに離した。そして、力学台車が発進した瞬間の液面の様子をスローカメラで撮影し観察した。

結果と考察

<実験 1> お盆が端に達した際の液体の様子を,境界面の傾きによって表 1 のように分類する.

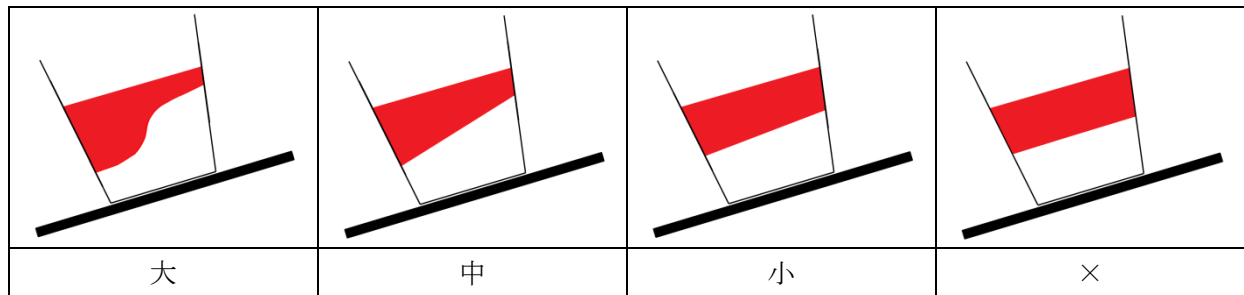


表 1 境界面の傾きの大きさによる分類

今回実験を行った 11 種類の組み合わせについて,表 1 に従った分類に加え,下の液体の密度から上の液体の密度を引いた差と,下の液体の粘度を上液体の粘度で割った商を表 2 に示す.なお,各液体の密度・粘度は文献⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾より引用し,すべて室温に近い 20°C における値を用いた.

上	下	分類	密度の差[kg/m ³]	粘度の比
菜種油	水	大	83	1.4×10^{-3}
酢酸ブチル	水	大	1.2×10^2	4.1
ジエチルエーテル	水	中	2.9×10^2	7.0×10^2
水	ガムシロップ	中	4.5×10^2	1.4
エタノール	菜種油	中	1.3×10^2	1.0
メタノール	菜種油	中	1.2×10^2	5.8×10^2
菜種油	ガムシロップ	小	5.4×10^2	2.1
菜種油	グリセリン	×	3.5×10^2	1.1×10^3
メタノール	ガムシロップ	×	6.6×10^2	1.1×10^3
酢酸ブチル	グリセリン	×	3.8×10^2	2.0×10^3
ジエチルエーテル	グリセリン	×	5.5×10^2	6.1×10^3
水	四塩化炭素	×	6.0×10^2	9.7×10^{-1}

表 2 組み合わせごとの分類・密度の差・粘度の比

表 2 より,下の液体の密度・粘度が極端に大きくなると,境界面は動かない場合が多いことが分かる.液体の動きやすさは慣性の大きさによると考えられ,質量が大きくなるほど慣性も大きくなることから,密度の大きいガムシロップや四塩化炭素が下に来ると,液体は動きにくくなったのだと考えられる.それに加え,粘度も慣性に関係していると考えられ,粘度の大きいグリセリンが下に来た場合も動きにくくなったのではないかと考えられる.

<実験 2> 粘度の大きい菜種油,オリーブ油,テレピン油の順に,動き方が大きくなった.テ

レビン油についてはほとんど動かなかったが、下にある水と粘度がほぼ等しいことから、2種類の液体の粘度がほぼ等しい場合、1種類の液体としてみなせると考えられ、境界面はほぼ動かないのだと考えられる。また、ある程度の粘度の差がある場合には、粘度の小さい方の液体が先に動き、それに伴って粘度の大きい方の液体も動くため、結果として境界面が動くと考えられる。

<実験 3> 今回実験を行った 5種類の液体について、粘度の値と求めた慣性値を表 3 に示す。

液体	粘度(20℃)[Pa・s]	慣性値
水	1.0×10^{-3}	0.56
エタノール	1.2×10^{-3}	0.67
菜種油	7.0×10^{-1}	0.40
ガムシロップ	7.0×10^{-1}	0.43
グリセリン	1.5	0.17

表 3 液体ごとの粘度と慣性値

エタノールを除けば粘度が大きくなるほど慣性値が小さくなったことから、粘度が大きくなるほど慣性も大きくなると考えられる。エタノールは密度が小さく、体積を一定にすると他の液体より質量が小さくなるために慣性値が大きくなり、相関がみられなかったのだと考えられる。

まとめ

本研究では、イスタンブールのお盆の上での液体の動き方の原理を解明することを目的とした。それに基づいて行ったここまでの実験より、以下のことが分かった。

- ・2種類の液体の組み合わせによって、境界面の動き方が異なる。
- ・その動き方は、液体の密度・粘度に依存する慣性の大きさに関係している。

謝辞

本研究を行うにあたり、様々な助言をくださった市川恒平先生に深く感謝いたします。

参考文献

- 1.PASCAL の部屋「イスタンブールのお盆」<<http://www.geocities.jp/pascal2718/jtool22.html>>
- 2.国立天文台編（2011）『理科年表 第 85 冊 机上版』丸善出版
- 3.兵神装備株式会社編（2013）『THE ENGINEER'S BOOK vol.18+』
- 4.兵神装備株式会社（1981）「液状食品の粘度」, 食品資材研究会編『New food industry』23
- 5.昭和化学株式会社「安全データシート（SDS）」

晴雨予報グラスを用いた大気圧の変化による天気予測

新井 政範 加藤 彪雅 小杉 優気 山本 岬 佐藤 健流 坪井 敦也 西下 允人

宮城県仙台三高等学校

晴雨予報グラスは大気圧の変化による水銀柱の高さの変動を用いて圧力の測定を行ったトリチェリの水銀気圧計の原理を応用したものである。晴雨予報グラスでは、グラスの横についている管の水位の変化によって大気圧を可視化することにより天気予測ができる。先行研究では水位・気温・気圧・天気の変化の関係性を調べて、天気予測確度を求めた。その結果、天気予測確度は61%となった。私たちは更なる天気予測確度向上を目指して長期的にデータを取り続けた。また、水上気圧による水位への影響も調べた。その結果、天気予測確度を68.0%まで向上させることに成功した。

1 序論

私たちはトリチェリの水銀気圧計の原理を応用したゲーテのパロメーターを元にして作られた晴雨予報グラスを用いて天気の予測ができることを知り、この研究を始めた。本研究の目的としては晴雨予報グラスの底面を基準とした管部分の水位の変化と大気圧、天気の変化の関係性を調べることで電波の届かない地域でも天気予報を行えるようにすることである。先行研究では、水位・大気圧・天気の変化の関係性を調べ、晴雨予報グラスの天気予測確度を調べた。グラス底面から管部分の水面までの高さを水位とする。そこで晴雨予報グラスの水位とその時の大気圧・天気・気温の観測を行なった。結果、約65.0%となっている。気象庁では天気予報の信頼度が3段階に分けられており、確度の高い場合で約86.0%、やや高い場合で約72.0%、低い場合で約56.0%となっている。このことより、信憑性があると結論づけられている。また、グラス内の水の熱膨張による水位への影響を調べたが、ほとんど影響がないことが分かっている。

2 実験 1 管部分の水位の変化と大気圧・天気の変化の関係性を調べる

方法

- ① 晴雨予報グラスに水を150ml注ぎ、標準水位が8.00cmになるようにする。
- ② 1日3回、管部分の水位を測定し、上昇しているのか、下降しているのかを調べる。また、大気圧の測定、天気の観察をし、管部分の水位、大気圧・天気の変化から関係性を調べる。
 - ・天気予測確度は、水位が8.00cm以上である場合には天気が良くなる。8.00cm未満である場合には天気が悪くなると予想し、実際の天気と照らし合わせ当たった数を、全ての施行回数で割ることで出した。

仮説

- ・数時間前から見て、管部分の水位が標準位置より低くなっていく。
 - 次第に高気圧が近づいていて、天気は良くなる。
- ・数時間前から見て、管部分の水位が標準位置より高くなっていく。
 - 次第に低気圧が近づいていて、天気は悪くなる。

結果

結果は図1のようになった。天気が雨に変わる直前に水位が上昇していることがわかる。

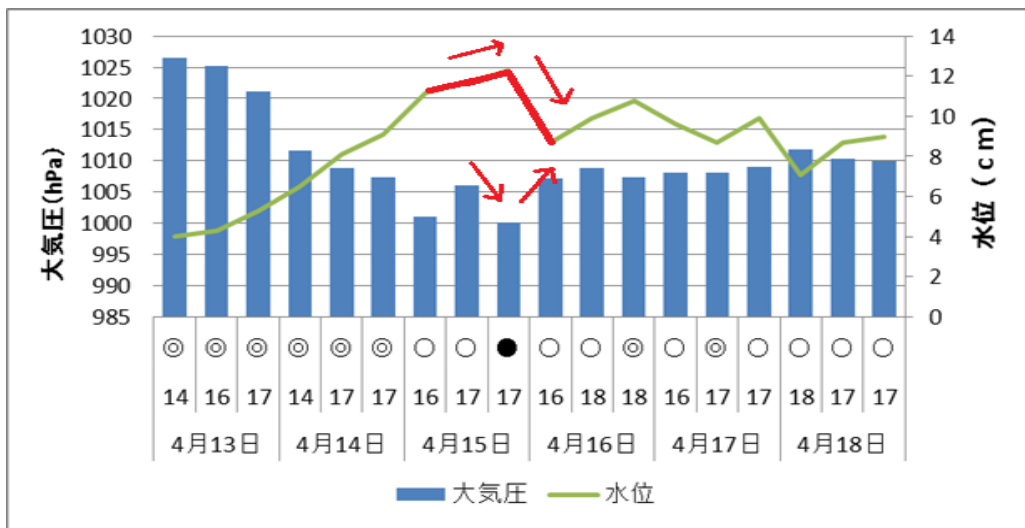


図1 水位の変化と大気圧, 天気の変化

考察

結果1において赤で塗った矢印と線のように大気圧が下がり、水位が上がって雨になり、大気圧が上がり、水位が下がって晴れになるという仮説通りの結果も見ることができ、また他のデータを調べた結果、晴れから雨、または雨から晴れに変わる所が23か所あり、そのうち20か所で仮説通りの結果が得ることができたので、仮説の信憑性は高いと考えられる。天気予測確度は、59.0%となった。そしてこれは、気象庁が定めている信頼度においては、信頼度Cランク（信憑性が低い）の56.0%に近いものであるため、低い結果となった。このような結果になった原因として、温度上昇により水が蒸発したことで、球内の圧力が変化し大気圧の変化に関係なく管部分の水位が変化したためだと考えられる。

3 実験2 蒸気圧の変化と水位の変化の関係性を調べる

方法

水位の変動に関して、気温の変化による水の蒸発に伴う晴雨予報グラス内の圧力の変化による影響を考え、晴雨予報グラスに油のみのも、球内の水面に油を張ったものと張らないものを用意し、実験を行った。（図2）

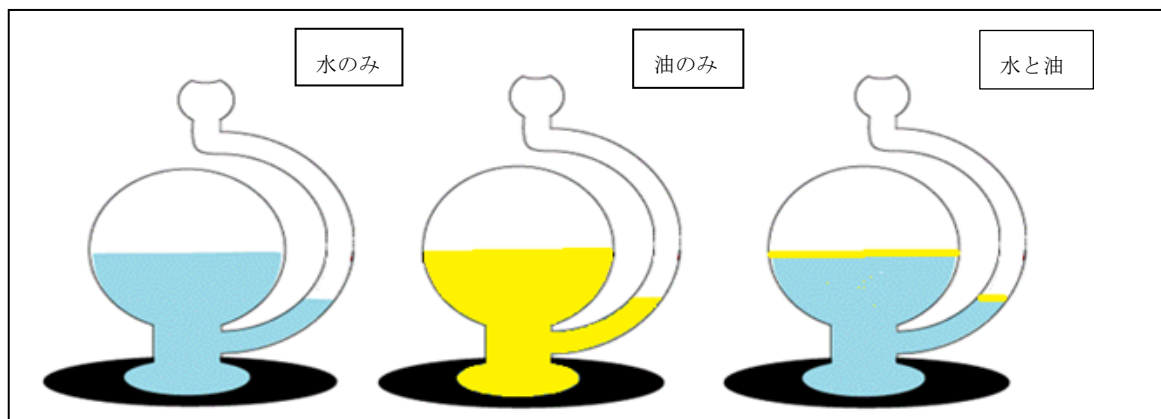


図2蒸発の及ぼす影響を調べるために用意した、3つの溶液

仮説

気温が高くなると蒸発量が増えるため水位差も大きくなる。また、油が最も蒸発量が少なく、誤差も小さいと考えられるので天気予測確度は最も高くなる。

結果

結果は図3のようになった。温度が高いほど水位には大きな誤差が生まれていたことがわかる。

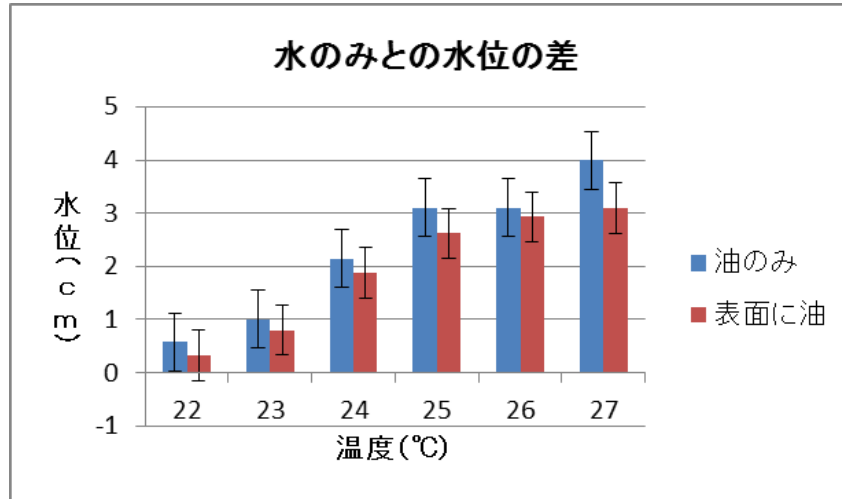


図3 温度の変化と水位の変化

考察

仮説通り、温度が高いほど蒸発量が多くなり、水位に大きな誤差が生まれていた。また、油が最も蒸発量が少ないという点では、仮説通りであったが、確度は水の表面に油をはったものの方が高くなった。その原因としては、油と水、それぞれの溶液の密度の差と今回の実験には晴雨予報グラスを3台しか用いることができなかつたためなどの理由が考えられた。そこで多くのデータを取ることが必要と考え、次の実験を行った。

4 実験3 晴雨予報グラスを作成する

作り方

- ① プラスチック製のコップ、ストロー、プラスチック板、グルーガンを準備
- ② コップに穴をあけ、ストローをさす
- ③ グルーガンで隙間を埋める

方法

水を180ml注ぎ、標準水位が6.00cmとなるようにする。1日3回、管部分の水位を測定、大気圧の測定、天気を観察をし、それらの関係性を調べる。

仮説

実験1の結果のように大気圧と水位、天気に強い相関が見られる。また、確度は水のみで実験することを考慮して、50%程度になるのではないかと考える。

結果

結果は図4のようになった。仮説通り大気圧と水位、天気に相関がみられた。

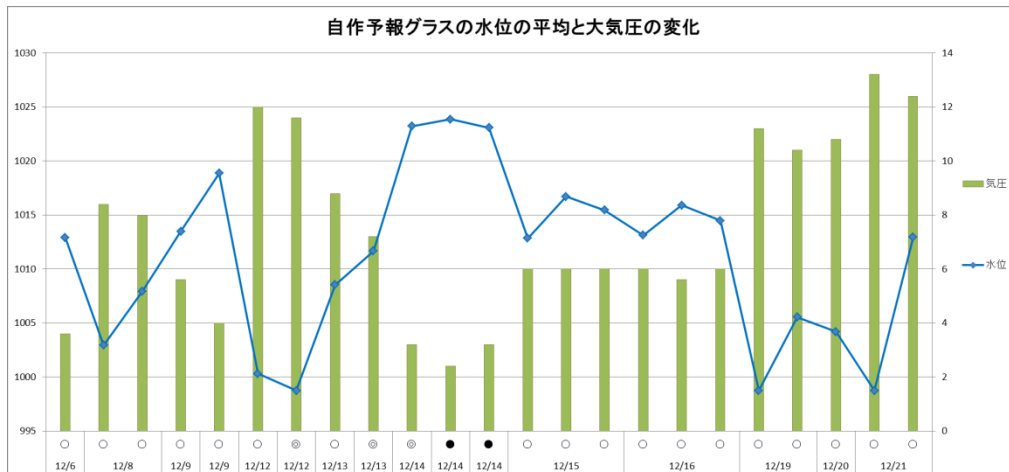


図4 自作の晴雨予報グラスで測定した大気圧, 天気, 水位の変化

考察

仮説通り気圧に応じて水位の変化を確認することができた。今後、自作した晴雨予報グラスを用い今まで行った実験を行うことでより正確なデータを取ることができ、より正確なデータを集めることが可能になると考えられる。

5 まとめ

晴雨予報グラスの精度の向上を目的としてきた。その結果これまでの実験の結果から天気予測確度を44.0%から68.0%まで上げることができた。これは気象庁で区分している天気予報の信頼度、やや高い約72.0%に近い数字であり、身近で使うことができると実証できた。

今後は、長いスパンでの自作の晴雨予報グラスの観測と使用する材料の変更・改良をし、大量作成することでさらに正確な実験結果を得られるようにしたい。

参考文献

- ・ 化学の話シリーズ4 気体の話 著：谷崎義衛 出版：培風館
- ・ 湿度と蒸発—基礎から計測技術まで 著：上田 政文 出版：コロナ社
- ・ ゼロから理解する 気象と天気の仕組み 著：森田 正光 出版：誠文堂新光社
- ・ 天気予報はこの日「ウソ」をつく 著：安藤 淳 出版：日経プレミアシリーズ
- ・ 日本の天気, その多様性とメカニズム 著：小倉 義光 出版：東京大学出版会
- ・ 晴雨予報グラス - 野田屋電機

<http://www.nodaya-net.com/stormglass.htm>

- ・ 文豪ゲーテのバロメーター/ウエザーグラス

<http://www.e-khp.com/Goethe%20Barometer&Weather%20Glass.htm>

使用済み紙おむつによる発電を目指して

山野大河 川渡綾音 椎名美月 阿部祥季 菊池謙太郎 杉浦匠 古木健慈

宮城県仙台第三高等学校

使用済み紙おむつに含まれている高吸水性ポリマーを用いての発電を目指して実験を行った。ポリマー燃料電池を蓄電池として、床発電との併用を考えて充電方法を電源装置から圧電素子に変えた実験では、電源装置を用いた場合よりも低い電圧が生じた。また、実際の紙おむつから取り出したポリマーと人尿に似せた水溶液を用いた実験では、3社の紙おむつを比較した結果、よりポリマー以外の不純物の少ない紙おむつが最大で1.96Vの測定に成功した。これらのことから実用化するに当たってはポリマー燃料電池を人通りの多い場所に設置し、紙おむつから極力不純物を取り除く必要があることが判明した。

はじめに

紙おむつに含まれている高吸水性ポリマーで燃料電池が作成可能であることが知られている。しかし、ポリマー燃料電池は生じる電圧が低く、実用化には及んでいない。そんな中、近年紙おむつの廃棄量は増加傾向にあり環境問題となっている。紙おむつには高吸水性ポリマーが含まれているため、使用済み紙おむつを再利用し、環境問題に貢献できると考えて実験を行った。また、先行研究より用いる水溶液はNaCl、極板の組み合わせをZn-C、ポリマーと溶液の比を1:200にすることで最も高い電圧が測定できることが判明している。

研究方法

プラスチックコップに水溶液を含ませた高吸水性ポリマーをいれそこに正極、負極となるように2枚の異なる金属板や備長炭を刺した。そこに電源装置を用いて

5.00V、1分間充電を行い、5分間隔で最大電圧の測定を行う。(図1)

実験1, NaCl水溶液を用いて5V-5分, 10V-5分で充電し未放電時の時間変化による電圧の変化を調べた。

実験2, 蓄電池としての応用を目指し、床発電との併用を考え電源装置の代わりに圧電素子に10Nの力を加えて生じる電圧で充電を行い、電圧の変化を調べた、

実験3, 市販されている紙おむつから取り出したポリマー部分を用いて電圧を測定した。

実験4, 市販されている紙おむつのポリマー部分を取り出し、人尿に似せた水溶液(水96.8%, 食塩1.50%, 尿素1.70%)を用いて電圧を測定した。

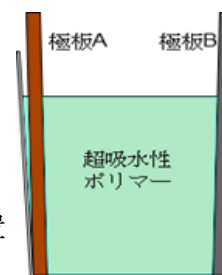
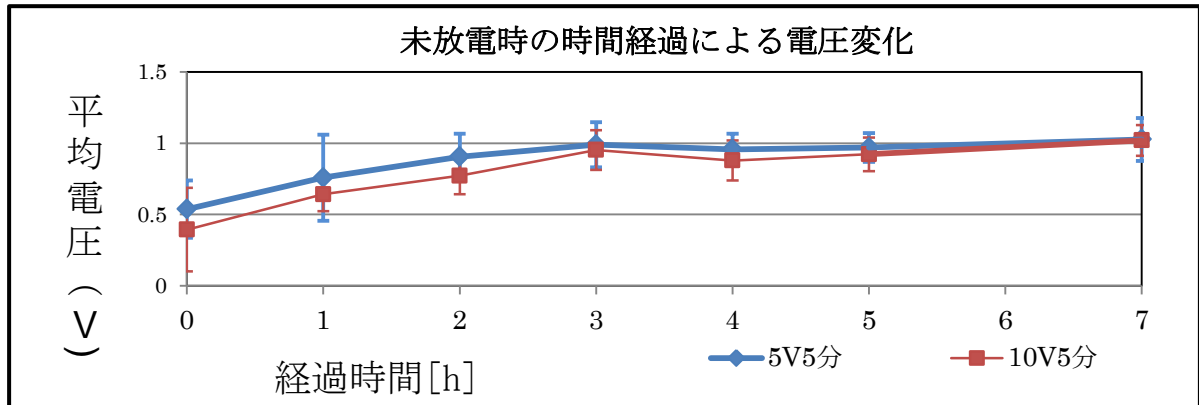


図1

結果

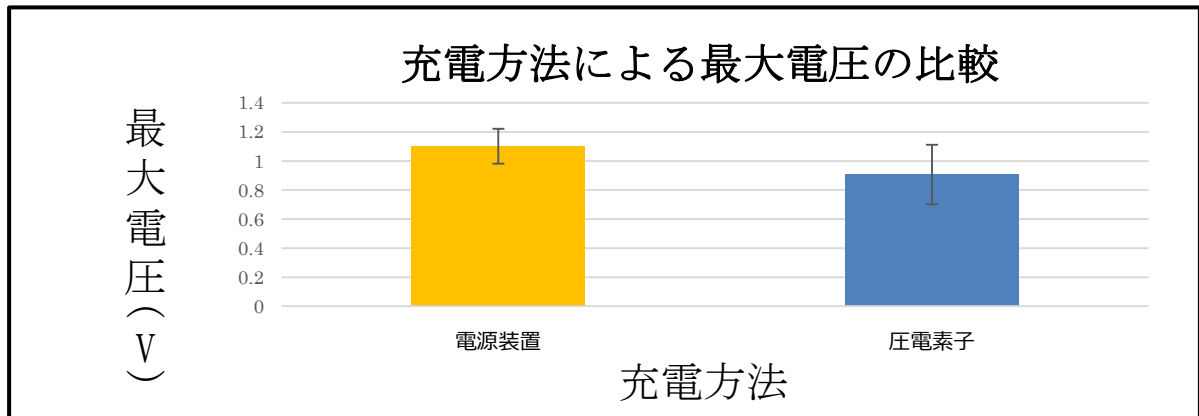
実験 1,



充電後、測定された電圧は3時間後まで徐々に上昇しその後安定した。

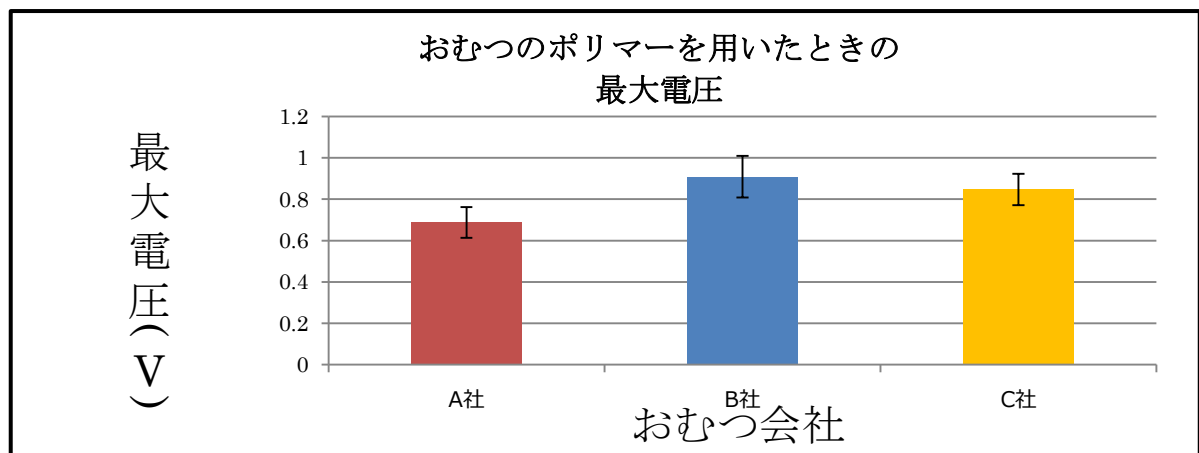
また、7日後まで測定された。

実験 2,



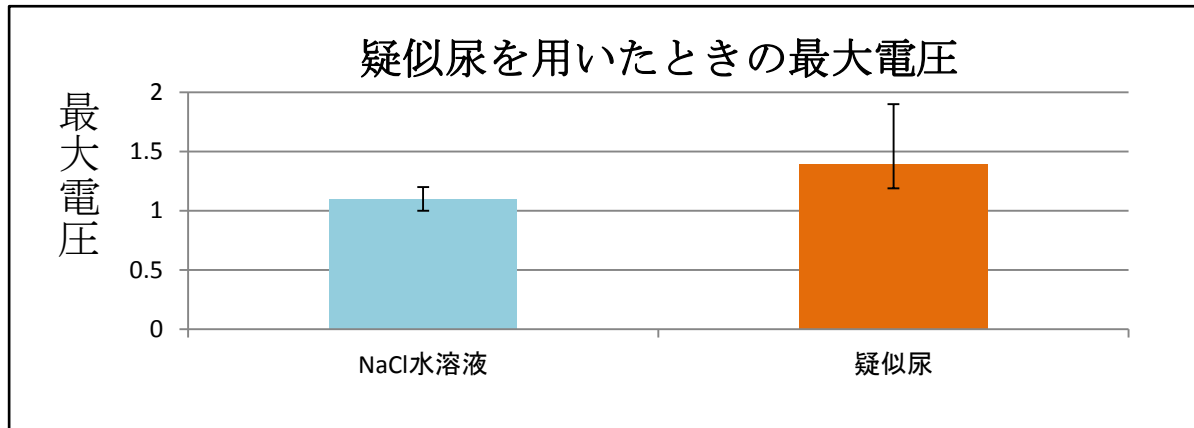
圧電素子を用いた場合は、電源装置を用いた場合よりも低く、1.00Vよりもやや低い電圧が生じた。

実験 3,



会社ごとに測定された電圧には差が見られた。また、すべての会社とも 1.00V を下回る結果になった。

実験 4,



1.00V を超える高い電圧が測定され、NaCl 水溶液よりも高い電圧が生じた。

考察

1, 3時間後まで電圧が安定しなかったのは、充電時に亜鉛版や備長炭から気体が発生したため、電解質となるポリマーの浸透圧が安定するのに時間がかかったためだと考えられる。

また、安定するまで時間がかかるので、使用用途は制限されると考えられる。

2, 電源装置を用いた場合は 5.00V、1 分間の充電を行ったが、圧電素子を用いた場合は、10N の力を加えたその一瞬の充電となったために電源装置を用いた場合よりも低くなったと考えられる。また、圧電素子を用いて実用化する場合には人通りの多い場所に設置するのが望ましい。

3, 会社ごとに紙おむつの含有物が異なるため、電圧に差がみられたと考えられる。

また、紙おむつには不純物が含まれているため生じた電圧は低くなったと考えられる。

そのため、実用化する際は極力紙おむつから不純物を取り除くとよい。

4, 人尿に似せた成分の水溶液でも発電できることが判明した。疑似尿には NaCl 水溶液よりも多くの割合の NaCl が含まれていたため、電流が流れやすくなり高い電圧が生じたと考えられる。

結論

紙おむつに含まれている高吸水性ポリマーを用いても発電が可能であることが判明した。

また、使用済みであることを想定して疑似尿を用いても発電ができたため、世界中で排出される紙おむつのポリマーゴミを再利用できることが考えられる。そのため、実用化されると環境問題に貢献できることも考えられた。

実用化するには Zn-備長炭の組み合わせにする、ポリマーと水溶液の比率を 1:200 にする、紙おむつに含まれている不純物を極力取り除く、人通りの多い場所に設置することで最大電圧が測定できることが判明した。

また、ポリマー燃料電池から生じた電圧は、充電した電圧よりも低くなるため、蓄電池として利用する活用法が望ましい。

展望

電池本体の内部抵抗を測定し、電流を調べて電力を求める。

気温と電圧との関係を調べる。

発電効率の上昇を目指す。

参考文献

燃料電池の技術 西川 尚男 著

平成 16 年度標準技術集 有機高分子多孔質体

https://www.jpo.go.jp/shiryousonota/hyoujun_gijutsu/organicpolymer/3-7-1.pdf

高吸水性樹脂 - 三洋化成工業 <http://www.sanyo-chemical.co.jp/pr/pdf/pk105.pdf>

燃料電池について - 日本電気技術者協会 <http://www.jeea.or.jp/course/contents/09402/>

電解質 - Hi-HO <http://www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/ion2.html>

燃料電池とは - FCCJ 燃料電池実用化推進協議会 fccj.jp/jp/aboutfuelcell.html

触媒入門 www.d7.dion.ne.jp/~shinri/nyumon_C.html

「エネルギー環境学習工作教材集」 岩手大学(いわてエネルギー環境教育ネットワーク)

燃料電池のおはなし 広瀬 研吉 著

1 日の尿量・1 回の尿量の平均・正常値のまとめ一検査ぶっく

www.kensa-book.com/expression/urine-total-volume.html

<http://www.uemura-mechatronics.com/technical-lipo.html>

月と地球の距離を測る

相原 竜 大場 崇史 畠山 偉織 柳澤 一輝

宮城県仙台三高等学校 課題研究 地学班

1. 概要

月と地球の距離は実験により求めることができると知られている。しかし、参考文献等において詳細な方法が記述されておらず、実際に測地できるか疑問に思った。そこで本研究では月と地球の距離を二つの実験により測定することにした。実験 1 では私たちが測定した地球の大きさを用いて月と地球の距離を比によって測定した。実験 2 では望遠鏡を用いて天頂角を測定し、三角比を用いた計算で測定をした。

結果として、実験 1 は成功したが、実験 2 は失敗した。失敗した理由として実験を行うに伴って用いた図が間違っていたと考察できた。新たな実験として、視直径と月の実際の大きさの比率から測定を行っていく。

2. 研究の動機・目的

現在、月と地球の距離はおよそ 38 万キロメートル（最小でおよそ 35 万キロメートル、最大で 40 万キロメートル）だということが知られている。これらを測る方法として最近ではレーザーを月に照射して、反射して返ってくる時間とレーザーの速さから距離が割り出されている。

一方、私たちが参照した参考文献¹⁾では三角測量や、月食における月に映った地球の影と地球の大きさとの比率から求める方法などを用いている。しかし論文を読んだところ記述がとても少なく実際に測定できているかどうか理解できなかった。さらに、地球と月の距離を測定しただけでその後の展開や展望が見られなかった。

そこで私たちは、「自分たちの力で距離を測定する」ということと「より簡易な実験器具、実験方法で誰でも簡単に測定する」という二つの目的を立てた。一つ目の目的は参考文献に由来するが、二つ目の目的は自分たちで測れたとしてもそれが一般の人たちに伝わらなければ意味がないということと、一般の人たちに宇宙をより身近に感じてほしいと考えたからだ。

3. 実験方法

上記の目的を達成するために実験方法を三つ考えた。

- [1] 地球の大きさを測定し、地球の大きさから月との距離を調べる。
- [2] 月と天頂の角度を測定し、角度を用いて月との距離を測る。
- [3] [2]の実験方法を用いて実験道具を簡易に作成できる望遠鏡を用いて測定する。

実験 1

まず地球の大きさを測る際に古代エラトステネスが用いた方法を応用することにした。

エラトステネスはシエネにおいて夏至の日に太陽が真上に来ることがわかっており、そこから真北にあるアレクサンドリアとの距離を歩測してアレクサンドリアにおける南中高度を測ることで地球の大きさ（この場合は北極 - 南極の円周であり赤道の円周とは値が違ってくる）を測定した。

最初に図2のモデルのように南中高度を求めた。次に南中高度から図1の θ の値がわかるので地球の円周と距離の割合がわかり、距離を求めることで円周を求めることができる。その値から地球の半径などを求めることができる。

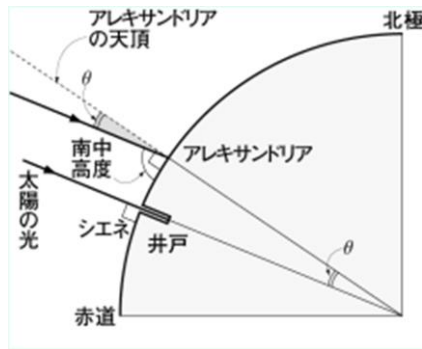


図1 エラトステネスの測定方法

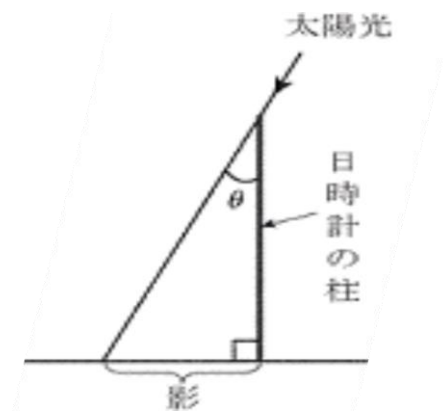


図2 測定方法のモデル

そこで、私たちの学校から真南にありシエネと同緯度の位置が夏至の日に太陽が真上に来ることが分かるので google マップにおいてその位置を特定し距離を調べた。その後夏至の日の南中高度を測定し地球の大きさを測定した。

そこで求めた値を使い、月と地球の距離は地球の半径の約 60.34 倍とわかるので計算して月と地球の距離を測定する。

実験1結果

〈計測結果〉

南中高度：76度

〈計算結果〉

	円周[北極－南極]	地球の半径
計算した値	40352.655km	約 6425km
実際の値	約 40009km	約 6371km

月との距離は地球の半径の約 60.34 倍とわかっているので実際に計算してみると

	月との距離
計算した値	387684.5km
実際の値	384400km

誤差 3284.5km 約 0.8520%

以上のことよりとても精度の高い値を得ることができた

実験2²⁾

二地点 A, B から月の天頂角を測定するによって月と地球の距離を測定しようと試みた。

図3, 図4において各文字の説明を以下に記す。

- O : 地球の中心
- A : 班員 (柳澤) の家
- B : 班員 (相原) の家
- α : 班員 (柳澤) の家から測った天頂角
- β : 班員 (相原) の家から測った天頂角
- C : 地球の中心から線分 AB へ垂直におろした点
- M : 月の中心

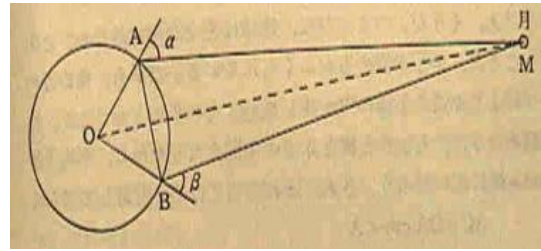


図3 月との距離の測定方法

実験2結果

〈測定結果〉

角度 α β ともに 53.0°

AB間の距離 18.59km

〈計算結果〉

11.99km

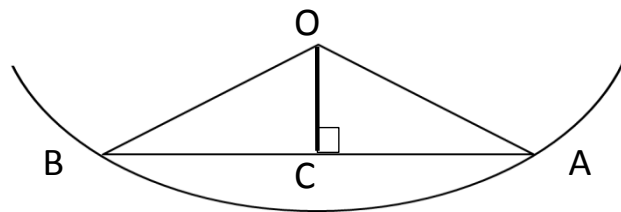


図4 測定環境の模式図

以上の結果は明らかに失敗しているのですでに分かっている月の距離から天頂角の理想値を求めたところ 89° 以上となった。さらに AB 間の距離を変えてみたところ天頂角の理想値が変わってしまいこれは計算方法が間違っているためだと判断した。

4. 考察

地球の大きさを測る実験においてはとても精度が高かった。しかし地球の大きさから月と地球の距離を求める際にすでに知られている比率を用いて計算したため、実際に測定したということではない。

一方実験2では実際に測定しようと試みたが、実験と計算した結果から計算の方法が違うことがわかったので、計算方法を改善するか新しい計算方法を文献で探したり、自分たちで作っていきたいと考えている。

また実験3の実験方法と計算方法を一般化するものについては実験2がうまくいかないといけないので、これから行うべき課題の一つである。

5. まとめ

1. 地球の大きさを測定することができた。
2. 地球の半径を約 60 倍することで月との距離を求めることができた。
3. 実験2では計算方法が間違っていたので、改善するか新しい実験方法を探す。

6. 参考文献

第57回日本学生科学賞 京都府立城陽高等学校「月の距離をさまざまな方法で調べる」

<http://a-omori.sakura.ne.jp/pasocon-mamechisiki/distance1.html>

地震の液状化現象 ～噴砂現象の被害削減に向けて～

鈴木 智寛 赤間 勇哉 山田 大道 浅野 敬大 海老 健太郎

宮城県仙台三高等学校 理数科 2年

1 概要

本研究では、地震発生時の地層の動きを大きさを変えた3種類の粒子を用いてモデル化し、振動を与えた後の様子を観測した。先の東日本大震災のような大きな地震が起きると、二次災害として建物の崩壊が引き起こされる。原因は、地盤の状態や、埋め立て地、地層の状態、断層の分布など様々なことに起因する。大学や企業、国などの研究施設によって研究が進んでいる中、私たちは地震の液状化現象とその噴砂現象に注目して、まだ確立されていない方法での噴砂現象の対策を見つけることを目的とし、実験を行った。その結果、簡易的な実験装置ではあるが、実際の地層を想定したプラスチックケース内において、地層上部の決まった条件の筒を使うことにより、発生する砂脈の数を減少させることに成功した。実験と考察により、地層に適した対策を立て、防災に役立てる事を目標とする。

2 はじめに

2011年3月11日の東日本大震災の時、道路から水が噴き出したり、家が傾いたりした被害は液状化現象によるものと知った。その時液状化現象に興味を持ち、液状化現象について調べてみると、研究機関によって違う結果が出ていた。そこで本研究では、3種類の粒子を用いて液状化現象の起こりやすい条件や液状化現象の被害削減方法を探り、より効率的な液状化対策方法の発見に向け研究を行った。

3 目的

先行研究の成果

地震の液状化現象についての先行研究では、プラスチックケース内に作った地層に振動を与えた時にどれだけ地表に水がでてくるかを調べたものであり、この研究から以下のような相関関係を発見している。粒子の大きさは大きい程、形状は不揃いである程、液状化現象が発生しやすい。そこで私たちは、道路から水や土が噴き出す噴砂現象に焦点を絞り、噴砂現象の程度を小さくするための具体的手法についての研究を進めた。そして一つの仮説をたてた。砂脈は地面の弱いところを壊して、水や砂が噴き出すが、人のいない空き地などに人工的に空洞（砂脈）を作って、そこに砂脈を誘導すれば住宅地などでの噴砂の被害を減らせるのではないかと考えた。

4 研究方法

実験1 仮説；人工的な空洞を作れば噴砂現象を削減できる。

使用したもの：アルミニウムの筒、ペットボトル、3種類の砂、水、たたき棒

実験手順：

- 1, ペットボトル内に地層を作り、ペットボトルを水で満たす
- 2, 筒を入れる / 入れない

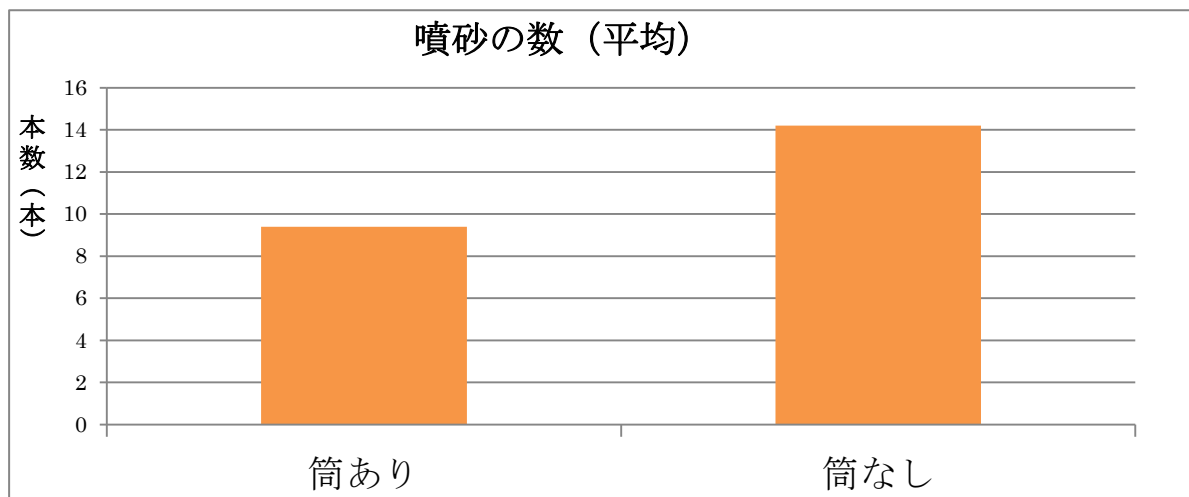
3, 棒を 10cm の高さから落下させ, ペットボトルを振動させ, 噴砂の数を数える。

4, 砂脈の本数を計測する

(砂脈は青粒子が上の層に向けて吹き上がった筋を一本として計測)

※これをそれぞれ 10 回ずつ行う

5 実験 1 結果



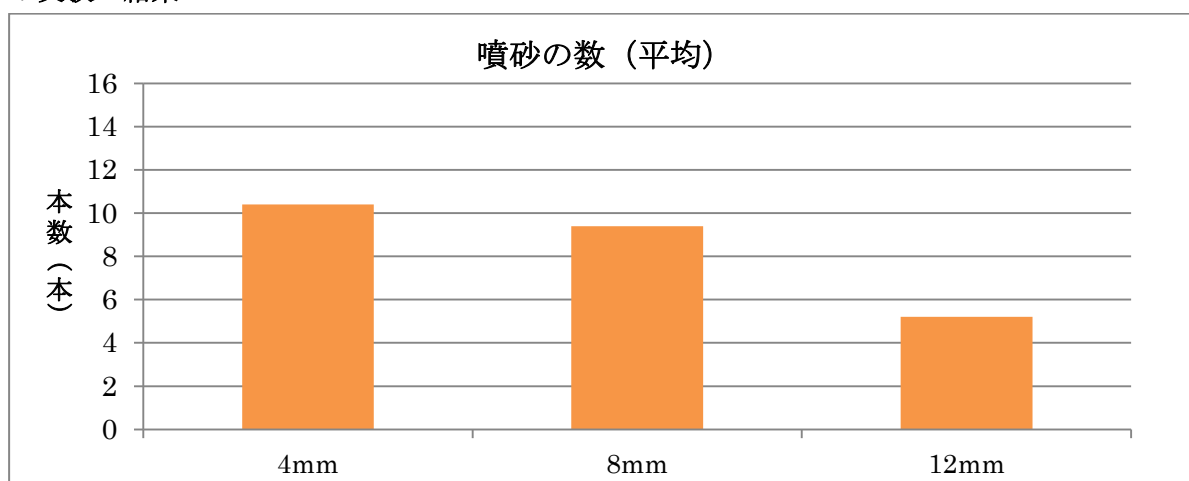
アルミニウムの筒を使ったことで, 噴砂現象を削減できた。

6 実験 2

筒を用いて人工的な空洞を作ることで, 砂脈の数が少なくすることが分かった。次に, 砂脈の数を少なくしやすい筒の条件を探ることにした。

今回は筒の直径を 4mm, 8mm, 12mm の 3 つの条件で実験を行った。尚, 筒の直径以外の条件は同じで, 実験方法は実験 1 と同じである。今回は 8mm の実験データについては, 実験 1 で取ったデータを用いた。

7 実験 2 結果



直径が大きくなると噴砂の本数が減る傾向が見られた。

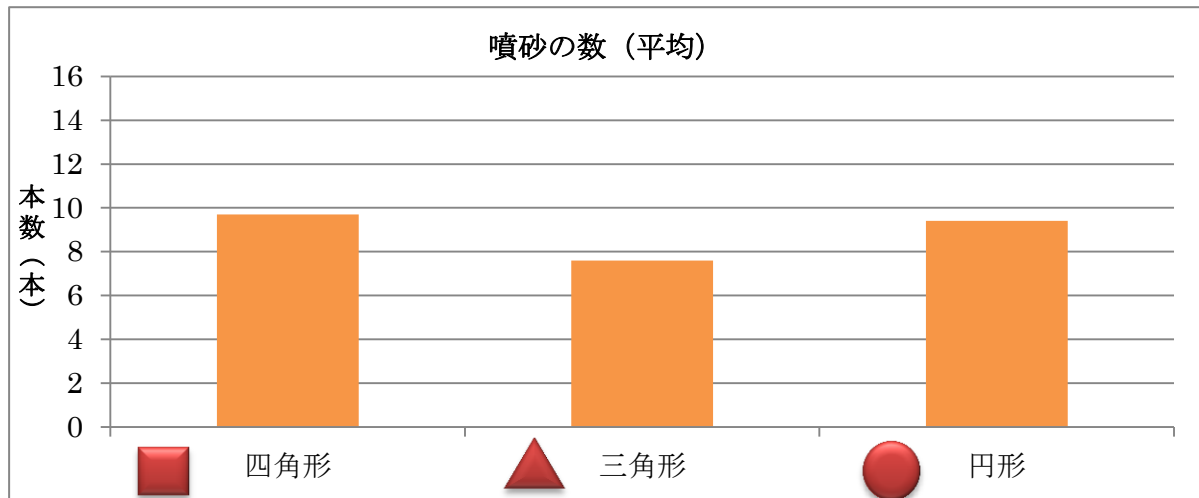
8 実験 3

実験 3 では筒の形を変えて実験を行った。

今回は筒の形を円形, 三角形, 四角形の 3 つの条件で実験を行った。尚, 筒の形以外の条件は同

じで、実験方法は実験 1 と同じである。今回は円形の実験データについては、実験 1 で取ったデータを用いた。

9 実験 3



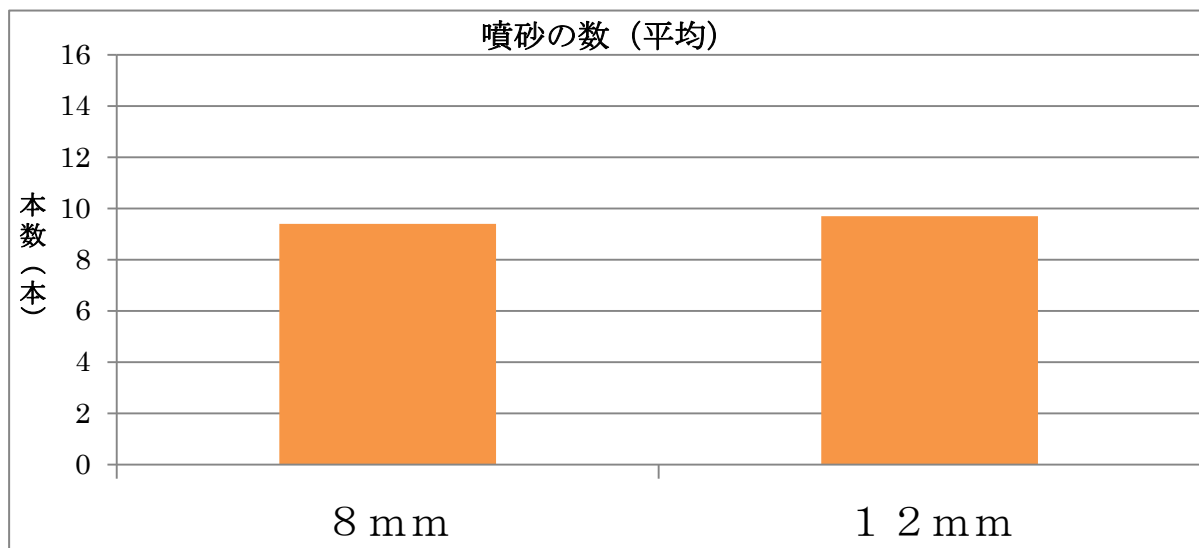
三角形の時に噴砂の本数が少なくなった。

10 実験 4

実験 4 では筒の深さを変えて実験した。

筒の深さを 8mm, 12mm の 2 つの条件で行った。尚、筒の深さ以外の条件は同じで、実験方法は実験 1 と同じである。

11 実験 4 結果



筒を深くしたほうが若干噴砂の数が増えてしまった。

12 考察

水と砂を抜くための筒がなかったときは噴砂の数の平均値は 14.2 個であったが、筒を設置した場合には 9.4 個に抑えることができた。棒でペットボトルを振動させ液状化が発生したときに液状化した砂が圧力の低い方向へ移動したため、筒に噴砂を集中できたためと考えられる。

筒の直径を 4mm, 8mm, 12mm を使い、直径を 2 倍, 3 倍, 4 倍にして実験を行ったところ噴砂

の数の平均値は 10.4 本, 14.2 本 5.2 本と変化した。筒の直径を大きくすることで砂と水が入りやすくなったため, 筒以外での噴砂の本数が減ったと考えられる。

噴砂の形を変えたところ三角形の時もっとも噴砂の本数が少なくなった。実験結果より筒の形が円形に近づくと噴砂の数が増えるのではないかと考えられる。

また, 筒の深さが深くなると若干噴砂の数が増えてしまった。これは筒の先端が不透水層に達してしまい, 水や砂が入りこみにくくなったと考えられる。

1 3 結論・課題

実際の地盤や地層の状態とは厳密には異なるが, 人工の砂脈(筒)を地層中に作ることで, 噴砂現象の減少と, 砂脈の誘導が可能であることが分かった。

これからさらに筒の条件を変えて実験を行いたいと考えている。

1 4 謝辞

助言を下さった仙台三高の西澤先生に深く御礼申し上げます。

1 5 参考文献

(1) 産総研—研究者—液ジョッカーの使い方

<https://staff.aist.go.jp/y-miyachi/ekijoka/>

(2) 噴砂 画像 引用元

<http://www.stuff.co.nz/national/christchurch-earthquake/4698221/Clean-up-begins-in-quake-hit-suburbs>

(3) 土木学会東北支部技術研究発表会 (H.15) 「液状化によって発生した噴砂に関する研究」
東北学院大学

ブラックジャックの確率論

千葉蒼太 芳賀裕二 坂麻皓 宮崎大輔
宮城県仙台三高等学校

カジノのトランプゲームであるブラックジャックは、ディーラーに「手札の和が 17 になるまでひかなければならない」など、特別なルールが課せられている。これによってプレイヤーのほう有利かと考えられたが、今回の研究の成果、まったく逆になった。この原因を探るために、私たちは既存のルールとは別にいくつかのルールを設け、トランプの出方と確率を求めた。その結果、プレイヤーの勝つ確率は 38%、負ける確率は 51%となり負ける確率のほうが高いことが分かった。

はじめに

カジノのゲームの一つにブラックジャックというトランプゲームがある。ブラックジャックとはカードの合計点数が 21 点を超えないようにしてプレイヤーがディーラーに勝利することを目指すゲームである。このゲームには「ディーラーは手札の合計が 16 以下なら必ずカードをもう一枚ひかなければならず、17 点以上なら必ず勝負しなくてはならない」というルールがあり、ディーラーにはプレイヤーには無い制限があり、ディーラーのほうが不利になると考えたが、実際にトランプを使って調査するとプレイヤーよりもディーラーの勝率が高いことが分かった。私はこのことに疑問を持ち、数学的確率論を用いて手札の出方を確率化することで、ディーラーの勝率が高い理由を探るとともに必勝法の解明を目指した。

研究方法

まず、研究をすすめるに当たり以下のようなルールを設定した。

- 1) 任意のカードの出現率は常に $1/52$
- 2) ディーラーの持てるカードは原則 4 枚までとする。
- 3) ディーラーのみ手札の合計が 17 以上になるまではカードを引き続け、17 以上になった瞬間に強制的にターンを終了しなければならない。
- 4) プレイヤーの手札が 22 を超えた場合（バースト）はディーラーがどんな手札であっても強制的にプレイヤーの負けとなる。
- 5) ナチュラルブラックジャックによる勝負の決定は非常に稀なため、今回は考慮しない。
- ルール設定の狙い
 - 1) 2 枚以上引いた時に影響するが、実際のカジノでは 6 デッキ以上使用しており、確率の変動が小さいため。
 - 2) ゲームを 300 回ほどしてみたところ 5 枚以上の手札を持つことが 2 回ほどしか無く、この事象の確率は小さいと考えられるため本研究では 5 枚以上になるケースを考えなかった。
 - 3) 既存のルールの内、本研究に大きく影響するもの。
 - 4) 3 と同様
 - 5) 前述のとおり

(I) 手札の出現率を求める

それぞれ 1~21 について、手札の出現率を確率化する。

まず、**2枚**についての出現率を調べる。

例) 2枚の組み合わせで5の出る確率について考えると、手札の組み合わせが、(A・4) , (2・3) のときなので、 $(1/13)*(1/13)+(1/13)*(1/13) \doteq 0.18$ 1.8%の出現率となる。

次に、**3枚**についての出方を調べる。

ディーラーの手札が2枚の時16以下であった事象からさらに確率化する。この際、3枚での確率の合計は100%にならないが、これは2枚の組み合わせ事象の16以下の確率から派生したものである為である。

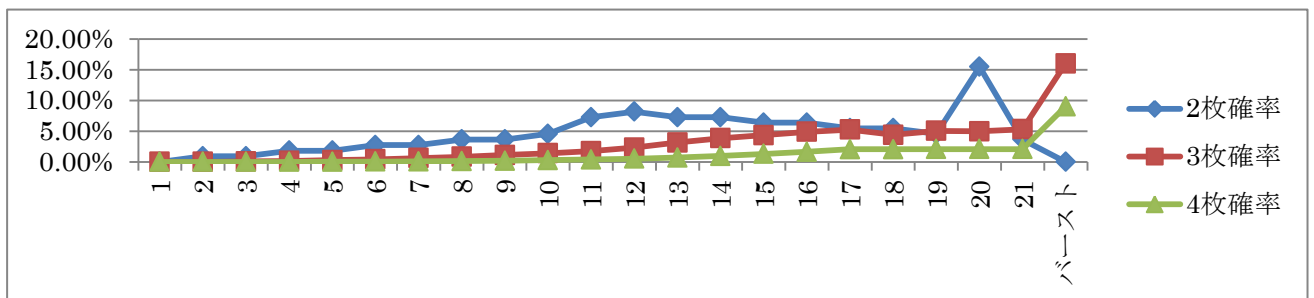
例) 3枚の組み合わせで5の出る確率について考えると、「2枚の組み合わせが4(1.82%)かつ3枚目でAが出る事象(i)」, 「2枚の組み合わせが3(1.82%)かつ3枚目で2が出る事象(ii)」 「2枚目の組み合わせが2(0.91%)かつ3枚目で3が出る事(iii)」について考える。

(i) $0.0182*(1/13) \doteq 0.0014=0.14\%$

(ii) $0.0091*(1/13) \doteq 0.0007=0.07\%$

(iii) $0.0091*(1/13) \doteq 0.0007=0.07\%$ 左の合計より3枚での組み合わせが5になる確率は0.28%

これを同じ手法で**4枚**についての出現率まで確率化し、次のようなグラフを作成した。



(II) 各手札に対する確率を求める

(I) の出現率を用いて、プレイヤー各手札に対するプレイヤーが勝つ確率, 引き分ける確率, 負ける確率を決定する。ある手札の2枚確率, 3枚確率, 4枚確率の合計をその手札のそれぞれの**確率**と定義する。

例) プレイヤーの最終的な手札が18の時の各確率を求める。

勝つ確率は、ディーラーの手札が17の時の事象, またはディーラーがバーストする事象。

引き分ける確率は、ディーラーの手札が18の事象。

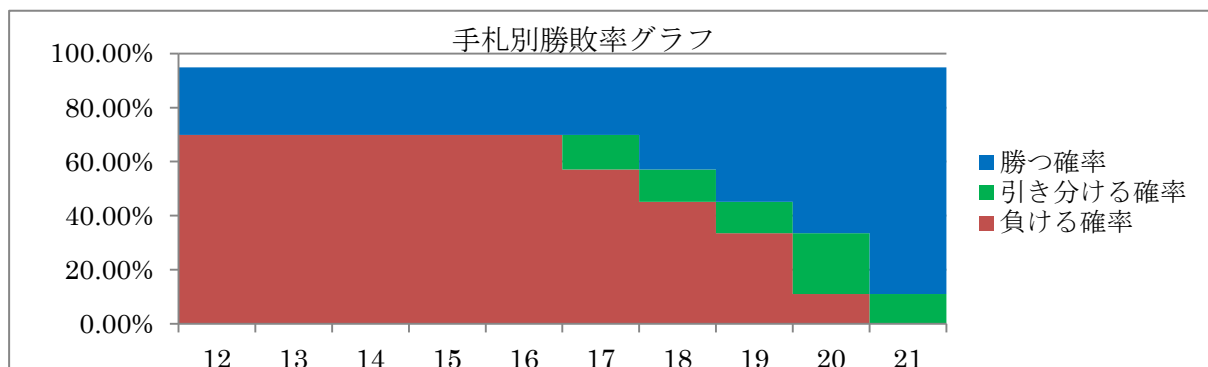
負ける確率は、ディーラーの手札が19~21の事象となる。以上のことを踏まえて、それぞれ2枚時、3枚時、4枚時の確率を計算すると、

2枚時 勝つ確率=5.45% 引き分ける確率=5.45% 負ける確率=23.64%

3枚時 勝つ確率=21.26% 引き分ける確率=4.41% 負ける確率=15.31%

4枚時 勝つ確率=11.09% 引き分ける確率=2.06% 負ける確率=6.22%

よってプレイヤーの手札が18の時、勝つ確率は37.80%、引き分ける確率は11.92%、負ける確率は45.17%、合計94.90%となる。残り5.10%はディーラーの手札が5枚以上の事象と考えられる。これを、プレイヤーの最終的な手札が12以上の事象について各確率を求め、グラフを作成した。



(Ⅲ) 最終的な確率の決定

(Ⅰ)(Ⅱ)のデータを用いて、最終的なこのゲームの勝つ確率を求める。

各手札について(Ⅰ)で求めたカードの出現率に、(Ⅱ)で求めた勝つ確率,引き分ける確率,負ける確率を掛ける。その値を各確率としてそれぞれまとめ、最終的な確率を求める。

負ける確率については、プレイヤーがバーストする確率を求めていないため、「すべての事象から、勝ちと引き分けの事象を除いたもの」を全体としての負けの事象とする。

例) プレイヤー手札が2枚で19の時

「19の二枚出現率(4.55%)」×「19の時の勝つ確率」=2.26%

この値が全体における、勝つ確率の一部の事象となる。このようにそれぞれを計算する。

ただし、勝つ確率についてのみ、手札3枚の事象は「手札2枚で16以下の事象」からの派生、同じく手札4枚の事象も「3枚で16以下からの事象」からの派生のため、勝つ確率の和は

「2枚での確率：手札17以上」+「3枚での確率：手札17以上」+「4枚での確率：手札12以上」となる。よって、最終的なそれぞれの確率は

勝つ確率：37.81% 引き分ける確率：10.68% 負ける確率：51.51%となった。

結論

プレイヤーの勝率を計算した結果、勝率は負ける確率を下回った。勝率が下回っていてもどうにかカジノで勝つことはできないかを考察しているが、現状ではその方法の解明ができていないため、カジノでブラックジャックをすることはお勧めできない。またディーラーが勝ちやすい理由は、プレイヤーがディーラーに負けやすい手札であるほど、その手札の出現率が高いという傾向があることが大きな原因であることが分かった。

謝辞

今回の研究において、本校教員の山本泉一先生より、数々のご助言を頂き、感謝申し上げます。

参考文献

ブラックジャック 初心者がよく勘違いしているルール

進化三目並べ

岡田英実 奥村音羽

宮城県仙台三高等学校

三目並べ(丸バツゲーム)とは、 3×3 のマス内に2人が交互に○と×を書き込んでいき3つ並べるゲームである。このゲームは、双方が相手の動きを読み、それに応じて立てた戦略に従えば、必ず引き分けになることが知られている。本研究では、縦横高さが $3 \times 3 \times 3$ のマス上で、双方が三目並べの時のように最善を尽くした場合の勝敗について、実際に仮説を立てながら試行を繰り返す研究を行った。その結果、立体三目並べは最下段で負けないと判断したうえで、中心を取ることでできるプレイヤーが必ず勝利し、それが先手であることが分かった。

1. はじめに

二人零和有限確定完全情報ゲームというものがある。五目並べや三目並べ、動物将棋のような、偶然や運に左右されず、必ず先手必勝か後手必勝か引き分けが決まるというゲームのことである。私達は昨年度の研究で、三目並べについて勝敗がどのように決められるのかについて研究を行った。そして、三目並べは双方が最善の手を尽くせば必ず引き分けになるということがわかった。また、四目並べは、先手必勝でないということがすでに証明されている。

そこで今年度は、その2つのゲームが立体となったならば勝負はどのように決まるのかについて調べることにした。

2. ルール説明

ここからは「三目並べ」「重力つき立体三目並べ」「重力つき立体四目並べ」について扱うが、そこで区別をつけるために、三目並べを「平面三目並べ」と呼ぶことにする。

(1) 平面三目並べ

3×3 の合計9マス(図1)の中に、先手後手が交互に玉を置き、同じ色の玉を「縦・横・斜め」のいずれかの一直線上に3つ先に並べた方の勝ちとする。

(2) 立体三目並べ・立体四目並べ

$3 \times 3 \times 3$ の合計27マス(図2*1)の中に、先手後手が交互に玉を置き、同じ色の玉が「縦・横・斜め・立体的斜め(階段のようなもの)・三つ重ねた縦」のいずれかの一直線上に3つ並べた方の勝ちとする。また、今回使用した道具により、重量が伴う。つまり、最下段を一段目、最上段を三段目とすると、「一段目に玉が置かれていなければ二段目へと置くことはできない」ということである。

(*1 立体四目並べの道具を茶色のテープで区切り、その内側の、青い四面体内を立体三目並べとして使用した。)

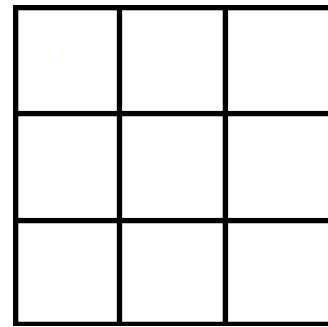


図1 平面三目並べの盤面



図2 立体三目並べ・
立体四目並べの盤面

また、立体四目ならべでは、盤面を4×4×4の合計64マス^(図2)、先に4つを一直線上に並べた方の勝ちとした。

3. 平面三目並べ

平面三目並べでは、図3のように数字1~9をそれぞれのマスに割り振って考えた。まずマス目を、(1, 3, 5, 7)の角からなる奇数マスと、(2, 4, 6, 8)の線の真ん中からなる偶数マス、中心の(9)の3つに、グループ分けをした。平面三目並べの盤面は9を中心とした点対称な図形であるため、初手を①9、②奇数、③偶数の3パターンとして分けて考えることができる。そこからさらに、2手目を奇数に置いた場合・偶数に置いた場合などに分けて思考を繰り返した。

1	2	3
8	9	4
7	6	5

図3 平面三目並べでの番号

まずこれは、「双方が最善の手を尽くす」という前提で行っているので、**リーチ^{*2}は必ず止めるものとする**。より、勝つためには**ダブルリーチをかけなければいけない**。ここで、引き分けを「盤面にリーチがなく、またダブルリーチがかけられず、マス全てに玉が置いていなかったとしても、先手・後手の双方に勝ち目がないと判断した状態」と定義した。

結果が図4のとおりである。

双方が最善の手を尽くせば勝負が決まらないことを確認することができた。

赤：先手→青：後手→先手→…の順にすすめる。数字については図1を参照。

初手が9

奇数→後手と差が2または6の奇数→阻止→阻止→阻止(引き分け)
 →後手と差が4の奇数 →奇数→阻止→阻止(引き分け)
 →偶数→ダブルリーチ(勝ち)

→後手と隣り合う偶数 →阻止→奇数→阻止→阻止→阻止(引き分け)
 →後手と隣り合わない偶数 →阻止→阻止→阻止→阻止→阻止(引き分け)

偶数→奇数→阻止→1手前の手(ここでは阻止)と差が2もしくは6の奇数・ダブルリーチ(勝ち)

初手が奇数

9→初手と差が4の奇数 →奇数→阻止・ダブルリーチ(勝ち)
 →偶数→阻止→阻止→阻止→阻止(引き分け)
 →初手と差が2または6の奇数→阻止→阻止→偶数→阻止→阻止(引き分け)
 →奇数(引き分け)

→初手と隣り合う偶数 →阻止→阻止→阻止→阻止(引き分け)
 →初手と隣り合わない偶数→1手前と隣り合わない奇数→阻止・ダブルリーチ(勝ち)
 →1手前と隣り合う奇数 →阻止→阻止(引き分け)

初手との差が4の奇数→9→奇数→阻止→阻止(引き分け)
 →1手前と隣り合う偶数→阻止・ダブルリーチ(勝ち)
 →初手と隣り合う偶数→後手と最も差の大きな奇数(勝ち)

図4 平面三目並べについて

(*2 リーチとは、勝ちの前の段階であり、「すでに玉が2つ並んであと1つ一直線上に置けば勝て、またそのマスが空白の場合」のことである。)

4. 重力つき立体三目並べ

重力が伴うことより、二段目にはじめて置いたのが先手の場合と後手の場合の2つに分け、より上段へと置く行為が一段目の勝負にどのように関わるのかについて検証を行った。

一段目を平面三目並べのゲーム盤として考えた場合、平面三目並べの勝負が決していないにもかかわらず二段目へと置くことは、置いた人が先手だった場合は、先手有利のゲームであるため(盤面に1つ多く玉を置けるといふ点において)、それが覆り、平面三目並べとして考えたときに勝てるはずだった勝負に勝つことができなくなってしまふ可能性を見つめることができた。またそれが後手だった場合は、平面三目並べの勝負が2手遅れることとなるため、1段目で負けてしまふ確率が格段に高くなることもわかった。

よって、平面三目並べ(1段目)の勝負が決まっていなにかかわらず、2段目へと置くことはしないほうがよいと考えた。

また、平面三目並べでは、勝ち手(同じ色の駒が4つ並んでいる状態)が44通りあるのに対して、立体の中心(2,2,2)を含む勝ち手は13通りと、約30%。これは立体三目並べのマスの中で最大の勝ち手数となり(次点は四隅で、勝ち手は7通りであった)、このマスを取ればほぼ勝ちとなることが分かった。

上記より、一段目で先手が9に置き(図4参照)、そこで勝ち負けが決まらなかったとしても、引き分けとなるのは後手が置いた時であり、そうすると二段目へは最初に先手が置くことができ、立体の中心に置くことができるので、**立体三目並べは先手必勝である**と言うことができる。

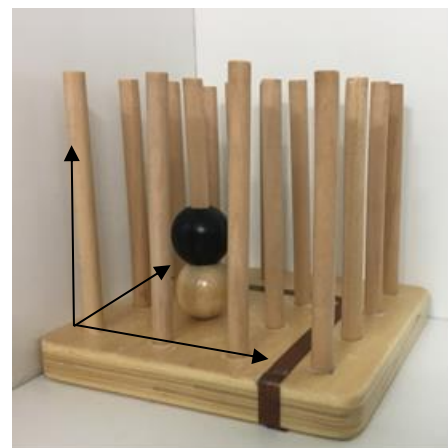


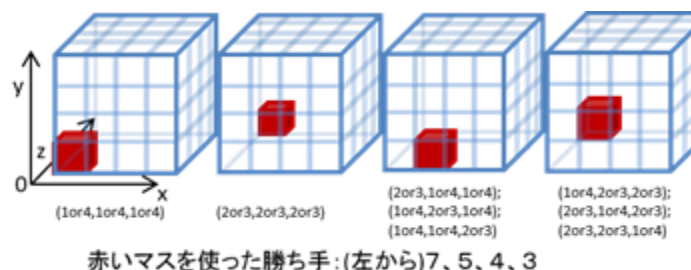
図5 立体の中心(黒)

4. 重力つき立体四目並べ

重力つき立体三目並べでは二段目の9(立体の中心)に玉を置くことで勝ち手を大幅に増やすことができた。そこで、立体四目並べでも同様に、ある特定のマスを取ると勝ちが有利に進められるのではないかと考え、どのマス目に置いた時に一番勝ち手が多くなるのかについて調べた。結果が以下(図6)の通りである。

(1or4, 1or4, 1or4)を取ると有利であるが、全て(4マス)取っても勝てる可能性のある手は28(全ての出し手は76であるから約37%)。立体三目並べでは1マスで勝ち手が大きく増えたのに対し、立体四目並べでは4マス合わせた値であると考え、あまり増えたとは言えない。

これまで行った重力つき立体三目並べは立体の中心が大きな影響をもっていたが、立体四目並べにはそのような有効な手がないので、この切り口では立体四目並べの最終局番の勝敗を知る手がかりにはならない。



赤いマスを使った勝ち手:(左から)7、5、4、3

図6 立体四目並べの勝ち手について

運動と記憶の関係性

安齋音哉 佐々木麗羽 安川優 岩淵航 千葉雄大
宮城県仙台第三高等学校

1. 概要

本研究では効率の良い勉強方法を考察するために運動と記憶の関係性を無酸素運動と有酸素運動に分け、3桁の数字を暗記する測定により調査した。その結果、運動をしていないときと無酸素運動後と有酸素運動後とで最も記憶力がよかったのは有酸素運動後で、次に無酸素運動後、次が運動をしていないときだった。このことから運動と記憶には深いつながりがあるということ、有酸素運動が脳の記憶を司る部分である海馬に最も良い効果を及ぼすということが考えられた。

2. 研究目的

宮城県仙台第三高等学校では学業も部活動も両立する文武両道という目標が掲げられている。しかし、学業も部活動も両立することは難しく、部活動に時間が取られ学業が疎かになる者が多い。そこで運動と記憶の関係性を調べて効率の良い勉強方法を考察することを本研究の目的とした。

運動の方法は無酸素運動と有酸素運動の2つに分けられる。本研究では、無酸素運動と記憶の関係性および有酸素運動と記憶の関係性を3桁の数字を暗記する測定により調査した。

3. 研究方法

○測定方法

無作為に抽出された3桁の数字15個を3分間暗記し、そのあとすぐに何個覚えられたかを測定した。測定者は男子4人でA君、B君、C君、D君とした。

○実験1

無酸素運動と記憶の関係性を調べるために腕立て伏せと腹筋を20回ずつ行ってから暗記力の測定を行った。無酸素運動とはグリコーゲン(糖質)を使って瞬間的に行う激しい運動のことで、たとえば筋肉トレーニングや短距離走である。また、この実験の対照実験のために朝食後に運動をしていない状態でもこの測定を行った。また、暗記力の測定は朝食後、午前7時前後に行った。

○実験2

有酸素運動と記憶の関係性を調べるために部活後、家に帰ってきてからすぐに暗記力の測定を行った。有酸素運動とは脂肪を燃焼して長い間継続して行う運動のことで、たとえばエアロビクスやサイクリング、長距離走である。また、測定は部活後午後8時から午後9時に行った。

4. 結果

○実験1

無酸素運動を行ってから暗記力の測定をしたところ覚えた個数の平均はA君が9.00個、B君が10.6個、C君が9.50個、D君が7.25個で全体での平均は9.09個だった。また、運動をしていな

い状態での覚えた個数の平均は A 君が 8.55 個、B 君が 9.82 個、C 君が 8.20 個、D 君が 6.63 個で全体での平均は 8.30 個だった。(表 1, 図 1)

○実験 2

有酸素運動を行ってから暗記力の測定をしたところ覚えた個数の平均は A 君が 12.0 個、B 君が 11.8 個、C 君が 11.8 個、D 君が 7.67 個で全体での平均は 10.8 個だった。(表 1, 図 1)

測定者	通常	無酸素運動 腕立て伏せ, 腹筋 20回ずつ	有酸素運動 部活動
	朝食後 午前7時前後	朝食後 午前7時前後	夕食前 午後8時から9時
A君	8.55	9.00	12.0
B君	9.82	10.6	11.8
C君	8.20	9.50	11.8
D君	6.63	7.25	7.67
平均	8.30	9.09	10.8

表 1 測定者それぞれの結果の表

運動は具体的にどんな運動をしたか、また、測定を行った時間帯を記した。

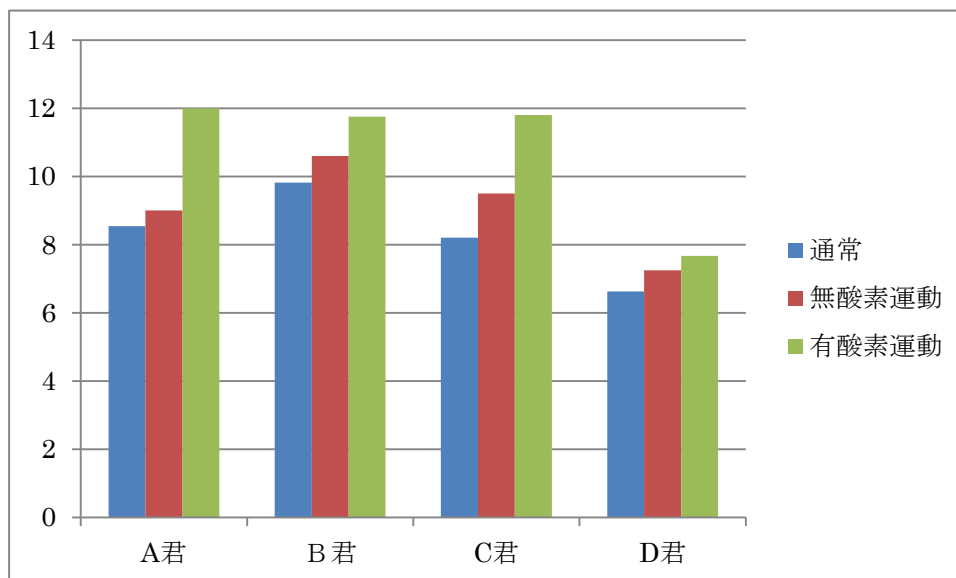


図 1 記憶力の変化のグラフ

すべての人について有酸素運動後が最も高く、次に無酸素運動後、運動をしていない通常時が最も低い傾向がみられた。

5. 考察

無酸素運動を行ってから暗記力の測定をしたところ覚えた個数の平均は 9.09 個だった。また、運動をしていない状態での覚えた個数の平均は 8.30 個だった。さらに、有酸素運動を行ってから暗記力の測定をしたところ覚えた個数の平均は 10.8 個だった。これらの結果から運動をしていないときよりも運動をした後のほうが暗記力は高くなると考えられる。また、無酸素運動後よりも有酸素運動後のほうが暗記力は高くなると考えられる。

実験 1 で無酸素運動後に覚えた個数のほうが多かったことについては、無酸素運動により一時的に酸素が取り込まれなくなり、その分を補うために運動後により多くの酸素が脳に送られたためだと考えられる。

有酸素運動後に覚えた個数のほうが無酸素運動後に覚えた個数よりも多かったことについては、有酸素運動が脳内の血流を増やし、脳に取り込まれる酸素を長期的に増やしたためだと考えられる。

また、大脳辺縁系の一部で記憶に関わる海馬の容積の変化率と、血液の BDNF 濃度には、正の相関があることが知られている（野藤悠 2009）。BDNF とは脳内の神経細胞の成長を促したり、維持したりする作用を持つタンパク質である。このことから、有酸素運動により血液中の酸素濃度と血液中の BDNF の濃度が上がり、海馬の神経細胞が増殖、記憶力の機能が改善されていると考えられる。

6. 結論

今回の結果から運動と記憶には深いつながりがあると考えられた。そのため、勉強の効率を上げるためには部活後に勉強すると良い、ということが示唆された。

7. 展望

今回の研究では無酸素運動では朝食後に腹筋や腕立て伏せを行い、有酸素運動では部活後に行った。しかし部活後家に帰ってからだと時間が 8 時から 9 時の間になってしまい、無酸素運動と有酸素運動とで測定を行う時間が違ってしまふ。そのため今後はどちらの運動でも朝方に測定をしていきたいと考えている。また、今回の研究では短期記憶として測定していたため今後は長期記憶についても実験を行い考察を得られるようにしたいと考えている。さらに、今回は無酸素運動では腹筋と腕立て伏せを 20 回ずつで有酸素運動では部活後ということで実験を行った。今後は別の運動、運動の強度を変えて調べていきたいと考えている。

8. 参考文献

野藤悠（2009）脳由来神経栄養因子(BDNF)の役割と運動の影響

征矢英昭（2015）記憶を高めるには軽運動が有効！

李政詒（2013）負荷付き自発運動で高まる海馬の機能に関する神経科学的研究：脳由来神経栄養因子(BDNF)の関与

JSEC2016 高校生科学技術チャレンジ
グローバル・リンク・シンガポール 2016
第 60 回日本学生科学賞
第 40 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門

廃コンクリートの再固化技術の開発

～捨てられるがれきに新たな命を～

宮城県仙台第三高等学校-自然科学部化学班 (3年)

岩間 公希

[実験期間 : 2015年4月～2016年3月]

[注意]

1. 本研究は2016年3月以降, 追実験等はしておらず1年未満の研究であるため新規研究である。(JSEC事務局へ確認済み)
2. 本論文にて[fig.X]は各図表番号と対応し, [X]は参考文献番号と対応している。
3. 本論文で省略表記及び記号を用いているが2.b.凡例及び各表の下部に意味を示してある。
4. 本論文の表で塗りつぶしされている部分は特に重要な結果を意味している。

廃コンクリートの再固化技術の開発

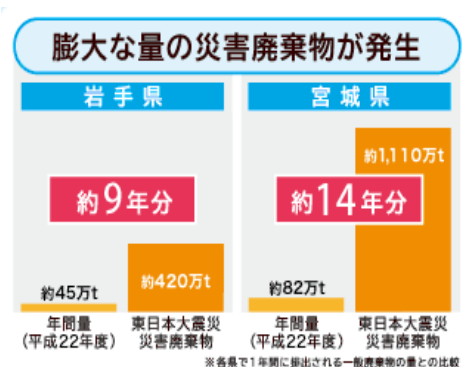
～捨てられるがれきに新たな命を～

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班 岩間公希

1. 研究目的

ポルトランドセメントを用いたコンクリート^[1]は、伝統的セラミックスとして石灰・火山灰・砂利・泥等を混ぜ合わせて作られており、その結合材が紀元前 6500 年から利用されていた事が最近の発掘調査によって明らかになっている。現在、世界ではポルトランドセメントを用いたコンクリートが広く流通しており、コンクリート建造物(RC 建造物)は全世界の建造物の 90%を占めている。ポルトランドセメントの世界生産量は 1990 年台の 11.5 億トンから 2011 年の 36.1 億トンへと 3 倍増しとなっていて、これからも増え続けることが予想されている。しかし、その一方で東日本大震災により宮城県をはじめとする岩手県や福島県の沿岸部では平年の産業廃棄物量の 9 倍～14 倍という膨大な量の“震災がれき”が発生^[fig.1]^[fig.2] するなど自然災害によって RC 建造物が倒壊し平年以上の産業廃棄物が排出された事例が多数報告されている^{[3][4]}。また、日本では高度経済成長期(1954-1973)に RC 建造物が多く建設され^[fig.3]、また RC 建造物は約 50 年の時を経て寿命を迎えている^[5]ことから近い将来多くの廃コンクリートが排出されると予想される。共通した問題となっているのは廃コンクリートの処理という点である。一度固化したコンクリートは、粉碎し骨材として新しいセメントと混ぜ合わせても強度が著しく低下するため建築材料への再利用が出来ない等の問題があることから再生コンクリートにはならず通常は廃コンクリートを粉碎した後、道路の基礎砕石に利用されるか埋め立て地で処分される。これは、世界的に見ても同様のことが言える^[6]。

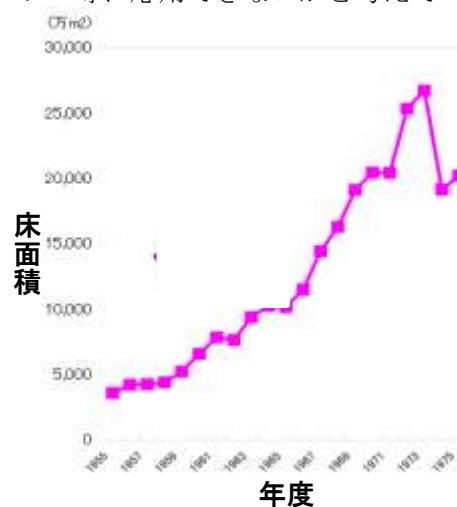
現在、埋め立て地等で処分できる廃コンクリートの量や処理能力が限度を超えようとしている。そこで、私は廃コンクリートの再固化技術を開発して、それらを建築材料や陶器やオブジェ等に応用できないかと考えて研究を行うこととした。



[fig.1]震災がれきの発生量



[fig.2]未処理震災がれきの山



[fig.3]1955年～1975年における RC 建造物の床面積の推移

2. 研究方法

2.a. 研究方針

廃コンクリートの再固化に関する先行研究について調査をしたところ、ほとんどの論文サイト・文献において再固化の事例が無かった。よって、参考にするものがないのですでに身近にある手法をもとに再固化方法を編み出すことにした。コンクリートは酸化アルミニウムや二酸化ケイ素をはじめ、様々な鉱物を含んでいることから、私は陶器の作成過程^[7]に着目して実験を行う計画を立てた。陶器は粘性の高い土と水を練り合わせ、造形しそれらを乾燥と焼成することで出来上がることから、この過程を参考にして開発することを試みた。

廃コンクリート粉末 + 固化材料 + 水 → 乾燥・加熱 → 再固化コンクリート

[fig.4]陶器の作成過程を参考にして考えた廃コンクリートの再固化方法

固化材料・・・長石やカオリンのように粒子同士を結び付ける材料のこと。

2.b. 凡例

本論文では、以下の凡例を使うものとする。また、各表中の凡例は各表の下部に記載してある。

廃コンクリート：廃コン・コンクリート粉末・コ(表中のみ) けい砂 : け(表中のみ)
荒木田土 : 土(表中のみ) 生成物の名称 : 再固化コンクリート
ホウ砂 : ホ(表中のみ) 本校の電子顕微鏡で撮影した写真 : SEM 画像

2.c. 廃コンクリートの粉砕方法

本研究において、廃コンクリートの代用品として市販品のコンクリートブロック[fig.4]を用い、以下の手順で粉末状にして実験に用いた。

- ① コンクリートブロックを鉄製乳鉢に入る程度までに鉄製ハンマーで破砕した。
- ② 鉄製乳鉢と乳棒を用いて小石程度まで破砕した[fig.5][fig.6]。
- ③ ②を粉砕機を用いて粉末化した。[fig.7]。(粉砕機を用いることで均一化された粉末を得ることができる)

[製造]大阪ケミカル [型番]WB-1 [回転数]25,000rpm



[fig.4]コンクリートブロック



[fig.5]鉄製乳鉢での粉砕



[fig.6]粉砕機の様子



[fig.7]粉末コンクリート

2.d. 乾燥焼成に利用した機材について

本研究では、再固化コンクリートの乾燥焼成のため以下の器具を用いた。

(i) 定温乾燥器[fig.8]

[製造]ADVANTEC [型番]DRA430 [使用温度範囲]40~300 °C

(ii) マッフル炉(電気炉)[fig.9][fig.10]

[製造]ヤマト科学 [型番]FO100 [使用温度範囲]100~1150 °C [温度調節精度]±2 °C



[fig.8]使用した定温乾燥器



[fig.9]使用したマッフル炉



[fig.10]マッフル炉温度設定画面

2.e. 各種実験及び結果及び考察

本研究では実験を大きく3つに分類した。以後、その分類に沿って説明していくものとする。

技術開発



技術改良



実用化

また、各実験の説明において内容の重複及び規定枚数の超過を避けるため、条件をまとめている部分がある。

技術開発

【実験 I】 廃コンクリートが主成分となる再固化コンクリートの開発

※実験 I において便宜上、固化材料を X ，マッフル炉による焼成温度を Y °C と変数型にしている。

〔準備物〕 ・廃コンクリート粉末・固化材料 X ・マッフル炉 Y °C
 ・角型灰皿・純水(10mL)・クッキングシート・電子天秤・乳鉢・乳棒・定温乾燥器(150 °C)

〔方法〕 ① 一定量の廃コンクリート粉末と固化材料 X を電子天秤で計量し、乳鉢内で混ぜる。
 ② ①で生成した混合物(総量 100g)に純 10mL を加える。
 ③ クッキングシートを敷いた角型灰皿に②を入れる。
 ④ 定温乾燥器(150°C)で乾燥(30 分間)させる。^{〔注 1〕}
 ⑤ マッフル炉 Y °C に達した状態に④を入れ、焼成(60 分間)を行う。
 ⑥ マッフル炉内が 500 °C 以下の状態で取り出す。^{〔注 2〕}

〔注 1〕 ...マッフル炉内で水分を多く含むものを焼成することはできないため。

〔注 2〕 ...マッフル炉の急冷による故障を防ぐため。(取り扱い説明書より)

〔条件〕 ・廃コンクリート粉末と固化材料 X の質量比は総量 100 g を保ちながら 0:10 から 1 ずつ増減させるものとする。
 ・乾燥時間 30 分、焼成時間 60 分は統一するものとする。
 ・固化材料 X 及びマッフル炉 Y °C について最初は、陶器作成の過程より X 荒木田土， Y 1000°C とした。

【表 I - ①】 実験 I X 荒木田土^[fig.17]・ Y 1000°C の結果

コ	：	土	色	固化	発熱反応	強度
10	：	0	白	×	◎	—
9	：	1	白	3 日後×	◎	非常に弱い
8	：	2	灰色	4 日後×	◎	非常に弱い
7	：	3	灰色	8 日後×	◎	非常に弱い
6	：	4	濃灰	10 日後×	◎	非常に弱い
5	：	5	薄黄土	○	◎	軽く握ると崩壊
4	：	6	黄土	○	◎	軽く握ると崩壊
3	：	7	黄土	○	◎	軽く握ると崩壊
2	：	8	薄茶	○	◎	非常に強い
1	：	9	茶色	○	◎	非常に強い
0	：	10	茶色	○	反応なし	非常に強い

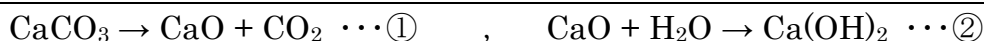


【fig.11】発熱反応後の再固化コンクリート

【凡例】 ○:固化成功 ×:固化失敗 X 日後×:X 日後に自然崩壊 ◎:発熱反応発生 —:対象外

【 X 荒木田土・ Y 1000°C の考察】

表 I-①より、荒木田土と廃コンクリート粉末を 6 割以上含む再固化コンクリートでは固化しないことが分かった。廃コンクリートを 5 割以下含む再固化コンクリートでは強度に差があるものの固化することが分かった。しかし、表 I にも示したように生成物に水を加えると発熱反応を起こし、湯気を出しながら膨張・崩壊する様子^[fig.11]が見られた。焼成後の再固化コンクリートに水を加えると強塩基性を示すことから以下のような 2 つの化学反応が起こっていると考えた^{[fig.12][8]}。



②式における Ca(OH)_2 の生成熱と H_2O への溶解熱の和 : 64.95 kJ/mol

【fig.12】結果から考察される化学反応・発熱反応のプロセス

そこで、炭酸カルシウムから酸化カルシウムに分解する温度である 700°C で焼成することとした。

[表 I - ②] 実験 I 荒木田土・700°C の結果

コ	土	色	固化	熱反応	強度
10	0	白	×	・	—
9	1	白	2日後×	・	非常に弱い
8	2	灰色	8日後×	・	非常に弱い
7	3	灰色	10日後×	・	非常に弱い
6	4	濃灰	10日後×	・	非常に弱い
5	5	薄黄土	○	・	軽く握ると崩壊
4	6	黄土	○	・	軽く握ると崩壊
3	7	黄土	○	・	軽く握ると崩壊
2	8	薄茶	○	・	非常に強い
1	9	茶色	○	・	非常に強い
0	10	茶色	○	・	非常に強い



[fig.13]700°Cで焼成した再固化コンクリート

[凡例] ○:固化成功 ×:固化失敗/崩壊 X日後×:X日後に自然崩壊 ・:発熱反応なし ◎:発熱反応発生 —:対象外

荒木田土・700°C の考察

表 I -②より、どの割合でも水による発熱反応が起こらないことから、700°Cでは、酸化カルシウムの生成が抑制されたことが分かった。また表 I -①と同様に、コンクリート粉末を6割以上含む再固化コンクリートでは固化しなかった。コンクリート粉末を5割以下含む再固化コンクリートでは強度に差があるものの固化することが分かった。しかし、本研究の目的は廃コンクリートを固化させること、要するに再固化コンクリート中に多くの廃コンクリートを用いることが研究目的であるため、荒木田土以外の物質を使う必要があると考えた。

そこで、荒木田土以外の物質で粒子同士を接着する材料として、授業で学んだガラスの原材料となっているけい砂^[実験 I -③]、ホウ砂^[実験 I -④]を用いることとした。

[表 I - ③] 実験 I けい砂^[fig.18]・700°C の結果

コ	け	固化	表面の様子	強度
9	1	×	—	—
8	2	○	表面が剥がれ落ちる	軽く握ると崩壊
7	3	○	表面が剥がれ落ちる	軽く握ると崩壊
6	4	○	表面が剥がれ落ちる	軽く握ると崩壊



[fig.14] コ:け=7:3

(表 I -③による)

[凡例] ○:固化成功 ×:固化失敗 —:対象外

けい砂・700°Cの考察

表 I -③より、けい砂と廃コンクリートの再固化コンクリートは、廃コンクリート含有量が6割以上でも再固化することに成功した。しかし、表面が剥がれ落ち、軽く握る程度で崩壊するなど再固化コンクリート強度がかなり弱いことが分かった。けい砂の融点が1710°Cと非常に高いためにわずかしか溶解しないためと考えた。

[表 I - ④] 実験 I ホウ砂^[fig.19]・700°C の結果

コ	ホ	固化	表面の様子	強度	気泡発生量
9	1	×	—	—	—
8	2	○	気泡による多数の穴	摘まむと割れる	全体の5割程度
7	3	○	気泡による多数の穴	摘まむと割れる	全体の5割程度
6	4	○	気泡による多数の穴	摘まむと割れる	全体の6割程度



[fig.15] コ:ホ=7:3

(表 I -④による)

[凡例] ○:固化成功 ×:固化失敗 —:対象外 ※気泡発生量は目視によって判断した。

[X]ホウ砂・[Y]700℃ の考察

表 I-④より、ホウ砂と廃コンクリートの再固化コンクリートは廃コンクリートが 8 割以上でも固化することに成功した。今後これらの材料を使って再固化実験を進めていくことに決定した。また、廃コンクリート粉末にホウ砂を混ぜて再固化する手法を、各材料の頭文字を取って CB 法(Concrete&Borax 法)^[fig.22]と便宜上呼ぶこととする。今後は、この CB 法の諸条件を調整する実験を行うことによって、再固化技術の開発をしていく。

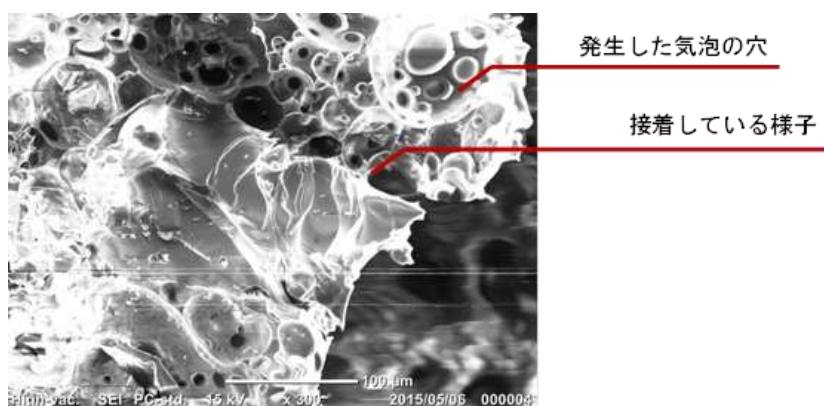
これまでの実験において、定温乾燥器とマッフル炉を用いた。しかし、**実験 I-④**の実験の乾燥段階において、定温乾燥器にて 150℃-30 分間乾燥した状態で既に一部が固化している様子が見受けられた。そこで、焼成温度を 700℃から 200℃に変更したところ**実験 I-④**と同程度に固化したことから、今後は乾燥(過熱)を 200℃-30 分間のみとしてマッフル炉を使用せずに再固化実験を行うこととした。

CB 法(Concrete&Borax 法)

[方法] ① 一定量の廃コンクリート粉末とホウ砂を電子天秤で計量し、乳鉢内混ぜる。
 ② ①で生成した物質に純水 10mL を加える。(角型灰皿を用いる場合)
 ③ 定温乾燥器(200℃)で 30 分間乾燥する。(マッフル炉は使用しない)
 ※ 下線部の混合比率, 温度, 加熱時間などは, さらに検討していくものとする。

[fig.22] 独自に開発した CB 法

さて、表 I-④においてホウ砂とコンクリート粉末を混合すると気体が発生し、気泡が発生することから生成物の内部構造に空洞が多数できてしまい、強度が弱くなってしまうことが分かった^{[fig.15] [fig.16]}。



[fig.16] 廃コンクリート:ホウ砂=7:3(表 I-④による)

電子顕微鏡^[fig.16]による SEM 画像




[fig.16'] 本校で使用している電子顕微鏡 JEOL-JCM-6000ST-卓上走査電子顕微鏡

	製造	萬田商店
	製品名	荒木田土
	化学組成	粘土鉱物
	形状	20mmアンダー粒状
	色	赤茶色
	採掘地	群馬県藤岡市周辺
	水分量	40%以下
	pH値	6.1±0.3

[fig.17] 実験で使した荒木田土

	製造	関東化学
	製品名	けい砂
	化学組成	SiO ₂
	融点	1710℃
	沸点	2230℃
	形状	破碎状
	色	白色
	臭い	無臭

[fig.18] 実験で使したけい砂

	製造	純正化学
	製品名	ホウ砂(四ほう酸ナトリウム)
	化学組成	Na ₂ B ₄ O ₅ (OH) ₄ ·8H ₂ O
	融点	741℃
	沸点	1575℃
	形状	粉末
	色	白色
	臭い	無臭

[fig.19] 実験で使したホウ砂

技術改良

実験Ⅰの方法において、加熱後に気泡を抜くことは不可能であるため焼成前に混合物中の気泡を抜く必要があると考えた。そこで、混合後の気泡生成を焼成前に抑制するため、真空デシケーター[fig.20][fig.21]を用いた。

【実験Ⅱ】気泡の生成を加熱前に抑制する

〔準備物〕 ・ 廃コンクリート粉末・ホウ砂[$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$]・真空デシケーター・アスピレーター
 ・ 角型灰皿・純水(10mL)・クッキングシート・電子天秤・乳鉢・乳棒・定温乾燥器(200℃)

〔方法〕 ① 一定量の廃コンクリート粉末とホウ砂を電子天秤で計量し、乳鉢内で混ぜる。
 ② ①で生成した物質に純水 10mL を加える。
 ③ クッキングシートを敷いた角型灰皿に②を入れる。
 ④ 液状状態で真空デシケーター内に入れ、低圧状態(5 分間)($6.3 \times 10^3 \text{ Pa}$)にする [fig.18][fig.19]。
 ⑤ 定温乾燥器(200℃)で乾燥(加熱)(30 分間)を行う。

〔条件〕 ・ 廃コンとホウ砂の比率は**実験Ⅳ**で最も状態の良かったコ:ホ=4:1で行うものとする。
 ・ 実験Ⅰ(表 1-④)よりホウ砂とコンクリートが混合することによって 200℃でも固化することから、マッフル炉は使用せず定温乾燥器のみを使用した。

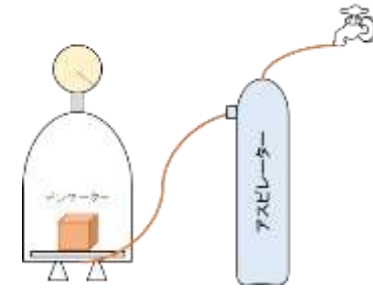
【表Ⅱ】実験Ⅱに対する結果

コ	ホ	固化	表面の様子	気泡発生量
4	1	○	気泡発生部分以外は固い	1割程度

【凡例】 ○:固化成功 ※気泡発生量は目視によって判断した。



【fig.20】減圧装置の模式図

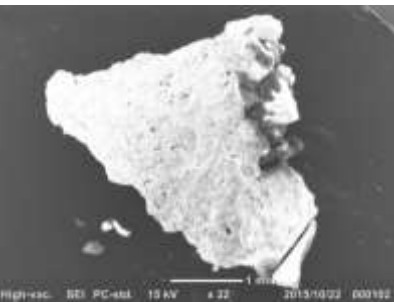


【fig.21】減圧装置の模式図



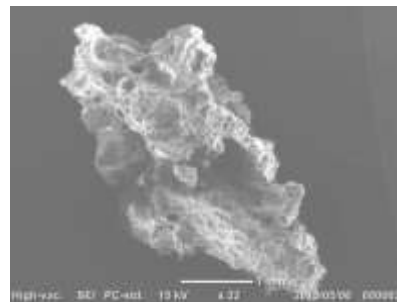
【fig.22】コ:ホ=4:1 減圧あり

実際の再固化コンクリート



【fig.23】コ:ホ=4:1 減圧あり

SEM 画像



【fig.24】コ:ホ=4:1 減圧なし

SEM 画像

【実験Ⅱの考察】

発生気体の種類を特定するために、発生した気体を石灰水に通したが沈殿反応は見られなかった。コンクリートの主成分である CaCO_3 から CO_2 が発生することを想定したが、 CO_2 ではないことが明らかとなった。また、気体は減圧した際に混合物内部より発生していたことから、混合物を攪拌した際に空気が混入し、それが加熱によって気泡を作って弱い構造になっているのではないかと考えた。したがって、真空デシケーターを用いた空気除去によって、気泡による内部構造への影響が軽減することができ、強度が以前と比べてかなり増したと考えた。

表Ⅱより、200℃-30分間、コ:ホ=4:1で行った際に、強度が非常に強い構造を作ることができた[fig.22]。それらを電子顕微鏡で観察した結果、真空デシケーターを用いたことによって気泡が大幅に減少している様子が見られた[fig.23]。合わせて、減圧をしなかった場合の構造の様子を同倍率で掲載しておく[fig.24]。

実験Ⅱより、混合によって混合した空気が加熱によって気泡となり再固化コンクリートの構造を弱くしているということが分かった。そこで、これまで固化するまで加熱を続けていたが、気泡の発生を抑えるために沸騰をした段階で、加熱をやめて自然冷却をしながら様子を見ることとした。その結果、途中で加熱をやめて放置する方法でも再固化が起こることが分かった。これらの結果を受けて、加熱器具を定温乾燥器からガスバーナーに変えて加熱時間の短縮をはかり、また沸騰した廃コンクリート粉末とホウ砂と水の混合物を型に流し込んで、そのまま冷却させる方法で固化することにした[fig.25] [fig.26]。

[実験Ⅲ] 気泡の生成を加熱後に抑制する

[準備物]	・ 廃コンクリート粉末・ホウ砂[Na ₂ B ₄ O ₅ (OH) ₄ ・8H ₂ O]・ガスバーナー・三脚・金網 ・ 角型灰皿・純水(10mL)・クッキングシート・電子天秤・乳鉢・乳棒・蒸発皿(大)
[方法]	① 一定量の廃コンクリート粉末とホウ砂を電子天秤で計量し、乳鉢内で混ぜる。 ② ①で生成した物質に純水 10mL を加える。 ③ 蒸発皿(大)へ移し、ガスバーナーで加熱する ④ 沸騰した段階ですぐにクッキングシートを敷いた角型灰皿へ流し込む ⑤ そのまま④を自然冷却させる(自然放置)
[条件]	・ 廃コンとホウ砂の比率は 実験ⅠⅡ で最も状態の良かったコ:ホ=4:1 から、少しずつ廃コンクリート粉末の割合を増やして行うものとする。

[表Ⅲ] 実験Ⅲに対する結果

コ	ホ	固化	表面の様子
11	1	△	崩れている [fig.25]
10	1	△	崩れている
9	1	○	異常なし
8	1	○	異常なし
7	1	○	表面にホウ砂が析出 [fig.26]
6	1	○	表面にホウ砂が析出
5	1	○	表面にホウ砂が析出
4	1	○	表面にホウ砂が析出

[実験Ⅲの考察]

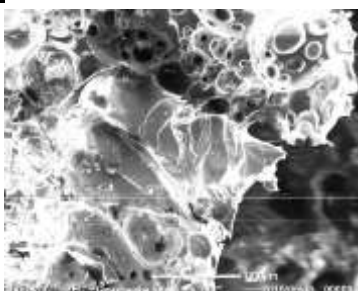
表Ⅲより、廃コンクリートとホウ砂との割合が 9:1～4:1 まで固まった。ここで、CB 法における改良前後の再固化コンクリートについて、その生成物を電子顕微鏡の写真で比較すると、改良前よりも改良後の方が気泡の生成が抑えられて構造が密になっていることが分かる [fig.27] [fig.28]。

また、廃コンクリートとホウ砂の割合が 7:1～4:1 までは生成物の表面にホウ砂の析出が起こっていた。

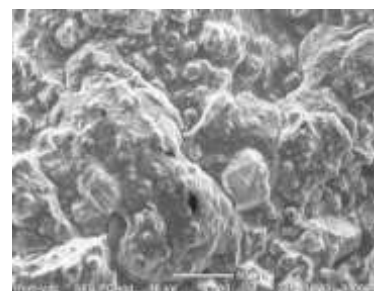
[凡例] ○:固化成功 ×:固化失敗 △:中心部のみが固化



[fig.25] 実験Ⅲの実験方法の概要



[fig.27] コ:ホ=4:1 改良前 SEM 画像



[fig.28] コ:ホ=4:1 改良後 SEM 画像



[fig.26] CB 法における改良前後の操作の違い



[fig.29] コ:ホ=10:1 中心部のみが固化したコンクリート



[fig.30] コ:ホ=4:1 表面にホウ砂が析出したコンクリート

実用化

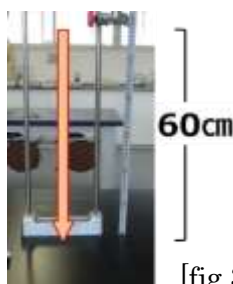
《耐久性》

[実験Ⅳ] CB法コンクリート(改良前・後)と市販コンクリートの落下耐性強度比較(簡易試験[fig.31])

- [準備物] ・CB法コンクリート(改良前・後)(縦3cm×横5cm×深さ1cm) ・市販のセメントで作成したコンクリート(縦3cm×横5cm×深さ1cm) ・鉄製スタンド ・メジャー
- [方法] ① 検体となるコンクリートを製作し、地面と垂直になるようにスタンドに設置する。
② 高さ60cmから自然落下させ、割れる / 割れないで判断を行う。
③ ①～②を全6回行う。
- [条件] ・検体の作成には大きさを統一するため、同一の角型灰皿(縦3cm×横5cm×深さ1cm)を用いる。
・この実験は高校の実験室でも簡易的にコンクリートの硬さを比較できないかと独自に考えたもので、正規の測定法ではない。

[表Ⅳ] 実験Ⅳの結果

検体の種類	割れた回数
改良前 CB法コンクリート (気泡有)	4 / 6 回
改良後 CB法コンクリート (気泡無)	2 / 6 回
市販コンクリート	1 / 6 回



[fig.31]落下実験の様子

実験Ⅳの結果を受けて、改良後 CB法コンクリート(気泡無)は改良前 CB法コンクリート(気泡有)に比べて強度が強いが、市販のコンクリートよりも弱いことが分かった。実験Ⅴでは、具体的にどのくらいの差があるのか JIS 規格に基づいた試験を行うこととした。

[実験Ⅴ] 再固化コンクリートの圧縮強度試験 (JIS 規格に準ずる試験)

- [準備物] ・廃コンクリート粉末 ・ホウ砂[Na₂B₄O₅(OH)₄・8H₂O] ・ガスバーナー
・蒸発皿 ・純水(20mL) ・工作用紙 ・電子天秤 ・乳鉢 ・乳棒 ・岩石用粉砕機[fig.33]
・ JIS 規格に基づいた強度試験装置(東北大久田研究室にて)
- [方法] ① 工作用紙を用いて縦4cm、横4cm、高さ4cmの再固化コンクリートを制作する。
② JIS 規格に基づいて圧縮試験を行う。測定は自動である。
- [条件] ・圧迫しひび[fig.32]が入った時の力の大きさを計測するものとする
・力の単位は N/mm² とする。(JIS 規格に基づく)

[表Ⅴ] 実験Ⅴの結果

コ	ホ	N/mm ²	Pa 換算
4	1	0.9610	96100
4	1	0.6347	63470



[fig.32]試験後の再固化コン



[fig.33]JIS 規格に基づく圧

※ 試験は全2回実施。

[実験Ⅴの考察]

今回の実験では、コ:ホ=4:1のものしか計測できなかったが、表Ⅴの結果から、4:1の再固化コンクリートの強度計算をすることができた。今回の結果から、一番強固だった4:1の再固化コンクリートは、建築材料として用いられるコンクリートブロックの強度の1/3倍程度ある(基準値 3.4N/mm²)ということが分かった。建築材料に用いるとすると、まだまだ強度には問題があるが、粉砕した廃コンクリートの粉末とホウ砂と水だけで建築材料の1/3程度まで強度が出ていることが明らかとなった。

《応用例》

改良後のCB法では加熱したのちに型に流し込むことによって成型することが可能になったため、自由な形に固めることが可能となった[fig.34][fig.35][fig.36][fig.37]。よって、鑄型さえあればどのような形でも作れることが分かる。



[fig.34]
再固化コンクリート



[fig.35]
ペットボトルの底に流し込んで焼成



[fig.36]
箸置き



[fig.37]
たい焼きの型に流し込んで焼成

《市販品との比較》

市販品とCB法による再固化コンクリートを比較した表を以下に示す。

市販コンクリート	比較項目	CB法コンクリート	市販コンクリート	比較項目	CB法コンクリート
40円/kg	コスト	80円/kg	大型専用工場	場所	どこでも可能
1500℃ ^[注1]	温度	200℃	3.4N/mm ²	強度	0.9N/mm ²
不可	再利用	高熱で可能	21日程度	所要時間	2日程度
500円/kg	埋め立て費	不要			
世界のCO ₂ 排出量の3%	CO ₂ 排出量	ほとんどない			

[注1] 市販コンクリートにはクリンカーという物質が使われており、これを作るのに1500℃要する。

3. 全体のまとめ

本研究を通して、目的であった廃コンクリートを主成分とした再固化技術を確立することができた。当初はSiO₂の焼成温度として融点である1300～1400℃以上という高温を想定していたが、コンクリート粉末にホウ砂と水を加えて沸騰させるだけという想定よりもはるかに低い温度で廃コンクリートを再固化することができた。特に特殊な実験装置や器具を使うことなく高校の実験室でも実施可能な短時間で再固化が可能になりエネルギー的にも大変有利な焼成法となった。さらに、沸騰後に型に入れて気泡を抑制することによって強度が大幅に増すことも明らかになった。

CB法 (Concrete&Borax 法)

- [方法]
- ① 廃コンクリート粉末とホウ砂を質量比4:1で電子天秤で計量し、蒸発皿(大)内混ぜる。
 - ② ①で生成した物質に純水20mLを加える。(蒸発皿(大)を用いる場合)
 - ③ 混ぜながらガスバーナーで加熱して、沸騰したらガスバーナーを止める。
 - ④ 蒸発皿内の混合物を型に流し込み自然に冷却する。

[fig.38]現時点で最も優れているCB法

4. 今後の展望

今回の研究では、廃コンクリートを主成分とした再固化コンクリートの技術開発及び製造に成功した。しかしながら、現時点では実用化するには実在するコンクリート材料と比べて強度の面、コストの面において劣っている。それらについて改善をはかるためにも、固化する仕組みについて調べていきたいと考えている。

まずは、粒子の大きさと強度の関係、水分量の影響による強度の変化について調べていきたい。それらの実験結果より、強度が出ている原因が、ホウ砂がけい砂をはじめとするコンクリート内の物質と反応することによる

ものなのか、もしくはホウ砂分子内の-OH 基などがコンクリート粉末にまわりつくことによるものであるのかを考えていきたい。実用化という面では、本研究で独自に開発した CB 法について特許申請及び特許権の獲得をしたいと考えている。そのうえで、実際の社会における需要や市販コンクリートとの比較を考えて新たな応用方法も考えていきたい。現在、東日本大震災で津波の被害にあった東北沿岸部の建物のコンクリートでできた土台部分は今もなお取り残されている。そこで、この CB 法を用いることで津波に飲み込まれずに残された思い出の建物のコンクリートをアクセサリや置物、像と形を変えることで地域貢献が出来るのではないかと考えている。現在、CB 法において廃コンクリートが再固化する原理について実験中だが、それらの結果から明確な根拠が結論付けられていないため今後、検証したい。

5. 参考文献

- [1]井上晋, 2008/12/19, 『コンクリートなんでも小事典・固まるしくみから, 強さの秘密まで』, 講談社.
- [2]一般社団法人・セメント協会, 2006. 「コンクリートとは」, <<http://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/je1.html>>.
- [3]国土交通省, 『課題の要因となる背景/課題に対する取組み事例等について』.
- [4]久田真, 2014, 「宮城県・岩手県の震災廃棄物処理の俯瞰と福島県への展開」.
- [5]小松幸夫, 『建物は何年もつか』, 財務省・PRE 戦略検討会.
- [6]本川裕, 『世界のセメント生産量の推移』, 社会実情データ図録.
- [7]著者不明, 2008, 「陶芸を勝手に科学する」, <<http://igloss.web.fc2.com/cray/intro.htm>>.
- [8]梅本喜三郎, 1993/09/15, 『無機化学』, 裳華房.
- [9]土木学会, 『土木学会コンクリート標準示方書』

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり, ご指導を頂いた東北大学・原子分子材料科学高等研究機構(AIMR)の池田進准教授, 本校自然科学部化学班顧問の清原和先生, 菅原佑介先生, 伊藤浩美先生に感謝致します。また, 論文作成にあたって多くの知識や示唆を頂いた, 東北大学・多元物質科学研究所の笠井均准教授, 東北大学・科学者の卵養成講座・学校推薦コースより指導を頂戴しているメンター学生の堀内伸一氏, 相場崇史氏に感謝致します。JIS 規格強度試験において強度試験機の貸し出し及び指導をしていただいた東北大学大学院・工学研究科・土木専攻・建設材料分野・久田真教授, 東北大学大学院・工学研究科・土木専攻・建設材料分野・宮本慎太郎助教授に感謝致します。

Development of re-solidification concrete

~ A new life in the rubble be discarded ~

Miyagi Sendai Daisan Senior High School
Science·Chemistry CLUB - Concrete TEAM
Koki Iwama

Used concrete is a big problem in the world.

The amount of rubble in my area

18times

1.25million t

Average year

Background (Japan)

The Great East Japan Earthquake

Must stay narrow region

Rubble increase

Building increase

Limit of disposal ability

Come to the end of its life

Untreated rubble will more increase

Background (World)



The world has a used concrete problem.

Method of processing

Concrete can't reused like plastics, wood, metals...

There is no technology for recycling concrete.



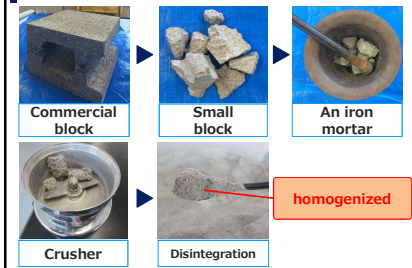
My idea (Purpose of the research)

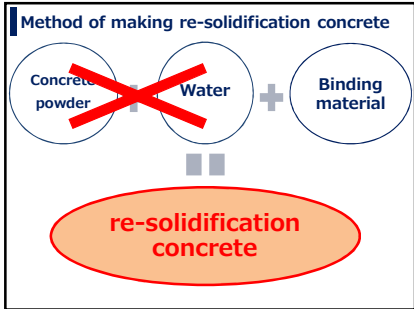
To develop technology for the re-solidification concrete and reusing in buildings.

Policy of re-solidification




How to make concrete powder





Examined materials that might force binding.

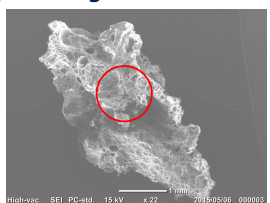
- ~~1 Clay + concrete~~ 
- ~~2 Silica + concrete~~ 
- 3 Borax + concrete**  Used to make glass

Trying to re-solidify concrete.

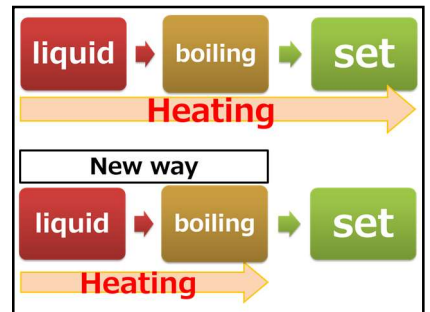
Borax : Concrete powder
= 1:4 (mass ratio)
200°C - 30min

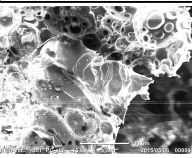
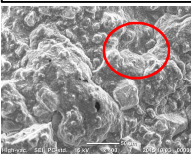
But

Analysis using electron microscope



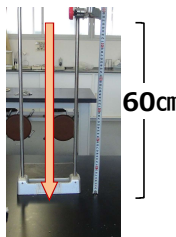
Declining strength
by air bubbles



Before	New way
	

No air bubbles




Compared physical strength



60cm

- To measure six times
- To unify the shape
- Not a regular verification method (Quickly Test)

Results

Bubble concrete	No Bubble Concrete	Commercial concrete
		
Broken 4/6 times	Broken 2/6 times	Broken 1/6 times

Conclusion



[CB-method]

We can reuse concrete of rubble.
 We can make it in whatever size or shape we want.
 It can be used in a variety of applications
 We can make it easily in a laboratory.

Revolutionary technology

Future Work & cooperation

- Endurance – test (Japanese Industrial Standards(JIS))
- To elucidate the reaction mechanism
- Making concrete block for building

References

- [1]井上雅, 2008/12/19, 「コンクリートなんでも小冊子-収まるしくみから, 実家の秘密まで」, 講談社.
- [2]新報新聞, 2008, 「再生を夢中に狂する」, < http://giss.web.fc2.com/kray/intra.htm >
- [3]一般社団法人セメント協会, 2006, 「コンクリートとは」, < http://www.jcassoc.or.jp/cement/1/1pn/jc1.html >
- [4]日本コンクリート工学会, 1996, 「コンクリートの基礎知識」, < http://www.jci-net.or.jp/j/public/kiiso/index.html >
- [5]竹内尚人, 2002/6, 「リサイクルコンクリート」, 建築雑誌.
- [6]「再生コンクリート」, < http://www.w56.w56.ssp.ne.jp/D_Ribbon/6/taison/page014.html >
- [7]産業化学株式会社, 2010/05/06, 「再生コンクリート」, < http://www.mizumidori.jp/mirika/ >
- [8]建設リサイクル法, 2002, 「建設廃棄物削減-環境にやさしい建設づくり」, < http://www.mizumidori.jp/mirika/ >
- [9]国土交通省, 「建設の環境と再生資源」, < http://www.mizumidori.jp/mirika/ >
- [10]久田良, 2014, 「建設資材の再生資源利用の現状と展望」.
- [11]2014/2/11, 株式会社材料技術情報研究所, 「建設リサイクルの現状とCO2削減との関係」.
- [12]コトバンク, 「建設リサイクル」.
- [13]国土交通省, 「建設リサイクル」.
- [14]小松幸夫, 「建設リサイクル」, 財団法人建設者教育センター.
- [15]新報新聞, 「龍水産産から見た建設リサイクル」, 日本建設化学会年報集録.
- [16]新報新聞, 1992/09/15, 「建設リサイクル」, 建築雑誌.
- [17]小松幸夫, 1992/07/01, 「セメント材料科学入門」, 建築雑誌, 内田書館.
- [18]行方昭介, 1992/06/25, 「建設雑誌」, 内田書館.
- [19]セメント協会, 2006, 「コンクリートの再生」, < http://www.jcassoc.or.jp/cement/1/1pn/jc3.html >
- [20]末田隆, 「世界のセメント生産量の推移」, 社会事情データ図録.

Thanks

東北大学-原子分子材料科学高等研究機構(AIMR)-池田進准教授
 東北大学-多元物質化学研究所-笠井均准教授
 東北大学-工学研究科-入試広報-中瀬博之特任教授
 東北大学大学院-工学研究科-土木専攻-建設材料分野-久田真教授
 東北大学大学院-工学研究科-土木専攻-建設材料分野-宮本慎太郎助教授
 岩手大学-工学部-応用化学-生命工学科-白井誠之教授
 弘前大学-教育学部-理科教育講座-長南幸安教授
 東北大学-工学部-工学研究科-安藤晃教授
 東北大学-飛翔型科学者の卵養成講座-事務局-実行委員の方々
 東北大学-工学部-応用物理学コース-安藤-大瀬研究室-4年堀内伸一氏
 芝浦工業大学-デザイン工学部-谷口大造研究室-4年-相場崇史氏
 本校教員-清原和先生-菅原佑介先生-伊藤浩美先生-西澤稜先生-千葉美智雄先生
 本校自然科学部-化学班の班員

Thanks(laboratory)








Thank you for listening !



銅樹の異方性と生え方の研究

～もっと真っ直ぐ平らな面に！ &なぜ銅樹はろ紙の下側に生えるのか～

宮城県仙台第三高等学校

伊藤 柚里

1. 概要

ビタミンCを添加し、ガラスろ紙を用いて銅樹を作製したところ通常の樹枝状の銅樹とは明らかに形状が異なる銅樹が生成した。形状は真っ直ぐで平面であり、表面が非常に滑らかであった。これらの形状は、銅樹に強い異方性が働いていることが原因であると判明した。異方性が働く条件をろ紙の種類、ビタミンCの添加量において発見し、再現性も実現し、その要因も考察した。また銅樹が必ずろ紙の下側に生成するのは、銅樹が析出し、成長するときに界面がより密な面に生えるという物理的な要因であることも解明した。

2. 研究背景, 目的

銅は400℃以下で加熱すると様々な色調変化を表す¹⁾。そこで銅樹を加熱し、「カラフルな銅樹」の作製を思いついた。そのためにまず銅本来の色(赤金^{あかがね})を有する銅樹(赤金銅樹)の作製が必要になる。赤金銅樹の作製, カラフルな銅樹の作製をしようと考えた。

3. 赤金銅樹の作製

3. 1 参考文献の方法

参考文献²⁾の記載通り、塩化銅 CuCl_2 水溶液と亜鉛 Zn のみで銅樹を作成した。何度も実験する中で塩化銅水溶液は2.0 mol/L, 2 mLと亜鉛3粒と固定して実験を行った。何度実験を行っても一部が黒く酸化し、数日後には図1のように銅樹全体が錆びてしまった。原因は空気中の酸素に触れたためと考えられる。塩化物イオンの影響も考えられる。

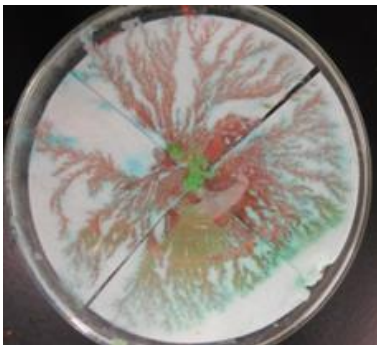


図1 錆びた銅樹

3. 2 ヘキサンを使用し、空気中の酸素を遮断した方法

実験3. 1より空気中の酸素が原因と考えたので、窒素雰囲気で行った。しかし目に見える効果が表れなかったので有機溶媒であるヘキサンで空気を遮断した³⁾。

赤金銅樹はできたが、できたばかりの赤金銅樹を塩酸、アセトン、エタノールで洗浄するとすべて洗浄した瞬間から変色してしまった。

ヘキサンにより空気中の酸素の接触を防げたため一時的に赤金銅樹ができたと考えられる。しかし空気中だけではなく、水溶液中の溶存酸素の影響ですぐに酸化したと考えられる。そのため溶存酸素を取り除くことが重要だと考えた。

3. 3 ビタミンCを用いて溶液中の酸素を遮断した方法

ヘキサンに加え、溶存酸素の除去を目的として還元力のあるビタミンCを使用した⁴⁾。ビタミンC水溶液は5%、10%など様々な濃度で実験した。その結果図2のように赤金銅樹の作製に成功した。ラミネートすることで銅樹は赤金色を保ち、錆びることはなかった。

銅樹が錆びないのはビタミンCが溶存酸素を除去する働きを持つためと考えられる⁵⁾。ビタミンCは強い還元作用を持つので銅よりも先に酸素と反応し、銅樹が酸素の影響を受けることなく生成したため赤金銅樹になったと考えられる。

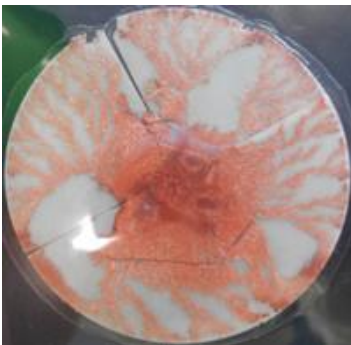


図2 赤金銅樹

3. 4 赤金銅樹を作成する条件まとめ

- ・塩化銅水溶液 2 mol/L×2 mL
- ・亜鉛粒 3粒 (1粒 直径 約3 mm)
- ・ビタミンC水溶液 10%×0.5 mL

4. カラフルな銅樹の作製

赤金銅樹を作製することに成功した。早速ホットプレートで200℃で加熱したところ、ろ紙が焦げた。そこで通常用いている定性ろ紙ではなく、耐熱性がある「ガラスろ紙」を用いた。しかし銅樹に色調変化は起こらず、カラフルな銅樹にならなかった。カラフルと認識するには銅としてある程度の大きさが必要で、光を反射しなければいけない。銅樹における銅はひとつひとつが小さいのでカラフルにするには難しいと判明した。

5. 2つの疑問の発見

カラフルな銅樹の作製はうまくいかなかったが、ここまで100枚以上銅樹を作製する中で2つの疑問が出てきた。

1つ目は、銅樹を作っている際に図3のように通常の銅樹とは明らかに形状の異なる銅樹が生成したことである。通常金属樹は、図4のような樹枝状(デンドライト)という晶癖を持っている。しかし図3は直線状であり、平たい外観を持っている。資料集で調べたり、

学会で尋ねたりしてみたが知ることはできなかった。とても興味をもったので①この銅樹は一体どんな銅樹なのか、②生成条件の特定、③生成する理由の解明を目的とした。

2つ目は、銅樹が常に図 5b のようにろ紙の下側(シャーレに接する側)に発生することである。不思議だったので学会の場や大学の教授に聞いたがこれもしっかりとした回答は得られなかった。そこでなぜ銅樹は、ろ紙の下側に生えるのか解明することにした。



図 3 形状が異なる銅樹



図 4 樹枝状の銅樹



図 5a ろ紙の上側
(亜鉛粒を置く側)

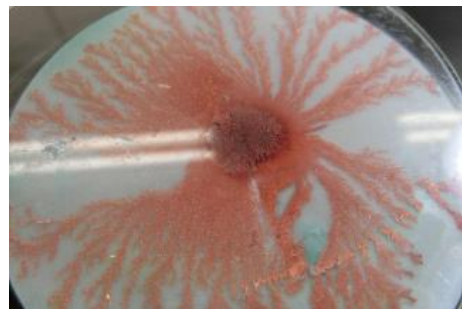


図 5b ろ紙の下側
(シャーレに接する側)

6 形状が異なる銅樹について

6. 1 ① 結晶状態

形状の異なる銅樹と通常の樹枝状銅樹との違いを知るため電子顕微鏡で1700倍にして観察した。通常の樹枝状銅樹は、図 6 のように一つ一つ独立して成長し、立体的であった。一方形状が異なる銅樹は、図 7 のように巨大な一塊の結晶であり、直線状に伸び、さらに平面的であった。

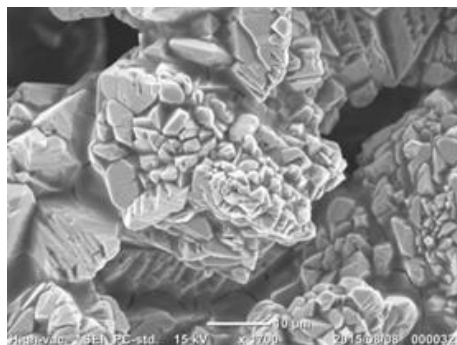


図 6 樹枝状銅樹(1700倍)

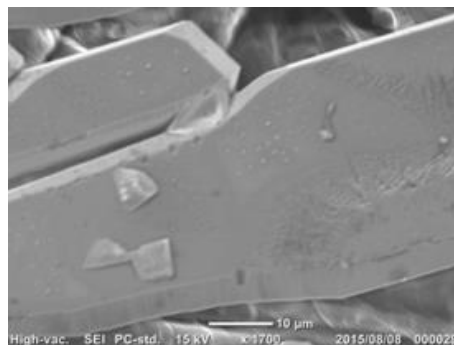


図 7 形状が異なる銅樹(1700倍)

さらに 5000 倍の倍率で拡大すると形状の異なる銅樹は、**図 8** のように非常に平らで滑らかな面を持っていることが判明した。比較するために市販の実験用の銅板も拡大してみた。すると銅板の表面は拡大すると**図 9** のように凹凸やひび割れがあるのが分かった。

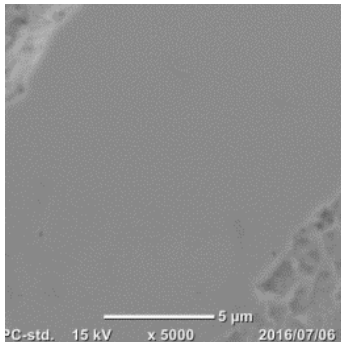


図 8 形状の異なる銅樹(5000 倍)

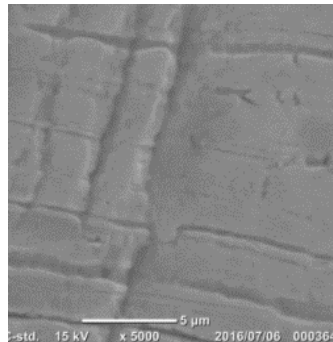


図 9 銅板 (5000 倍)

この形状が異なる銅樹について文献等で調べると結晶の成長の分野であることがわかった。結晶成長においてこのような平らな面は「ファセット」, 「特異面」, 「滑らかな面」⁶⁾とよび金属樹などの結晶成長速度の早い樹枝状結晶においては珍しいそうである。この形状が異なる銅樹は、表面が非常に平らで滑らかなため光をよく反射する。この銅樹をラミネートで保管

し、偏光板をかざして回転させると光が反射されて**図 10** のようにカラフルな銅樹の作成に成功した。これはラミネートの結晶部分が起こした「複屈折」という原理である。光を反射するものであれば銅板などでも起こるので珍しい現象ではないが、通常の樹枝状銅樹では光を反射しないので形状の異なる銅樹ならではの光景と言える。複屈折という間接的な方法ではあるが当初目標としていた「カラフルな銅樹」を思わぬ形で実現させることに成功した。

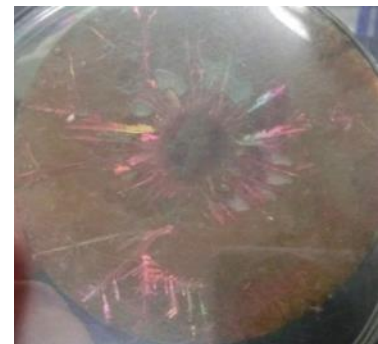
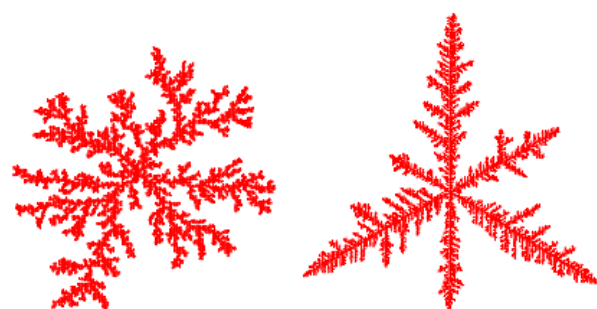


図 10 カラフルな銅樹

6. 1② 形状が違う銅樹の正体について

静岡大学理学研究科佐藤信一教授の講演資料⁷⁾に**図 11** のように形状が異なる銅樹によく似た形のものを見つけた。金属樹は、金属イオンが自然発生的に電子を受け取り、通常は樹枝状に成長していく。しかし結晶が成長していく過程で粒子の動きに制限がかかり、ある一方の方向のみに力が働き成長すると直線状になる。

このとき「異方性」があるという。



弱い異方性

強い異方性

図 11 金属樹の異方性と形状

例えば塩化ナトリウムの結晶をメタノール中で作製すると異方性により針状の結晶ができる。今回赤銅樹の作製する際にビタミン C 水溶液を添加したり、ガラスろ紙を使用したりいろいろ試した。その結果異方性が強まり、形状が異なる銅樹が生成した。つまりこ

の形状が異なる銅樹は「強い異方性が働いた銅樹」である。今後「異方性銅樹」と呼ぶこととした。

調べていくと金属樹の生成は、拡散律速凝集(Diffusion-Limited Aggregation: DLA)⁹⁾と
いった分野で大学の研究テーマになっていると知った。例えば粒子数を5000個等と設定し、
自由に動き回る条件にすると図11の左側の様な樹枝状の形状になる。そして粒子の動きに
制限をかけるといった条件を加えると右の図のような異方性が働いた形状となる。この動
きに制限をかける条件は、計算上のシミュレーションのものである。それを今回は実際に
ビタミンCやろ紙などを用いて計算上の形状を実物として作製したこととなる。

6. 1③ 形状が異なる銅樹のまとめ

形状が違う銅樹は、結晶成長する上で何らかの異方性が働き、生成した銅樹である。結晶は
ひとつの大きな塊で非常に滑らかな面を持ち、光を強く反射する。異方性が働いた銅樹なので
「異方性銅樹」と命名した。DLAの数値シミュレーション上のものを実物として作製した。

6. 2 生成条件の特定

異方性銅樹は、偶然発見した。安定して作製できるようにビタミンC水溶液の濃度と加
える体積、ろ紙の種類を組み合わせることで繰り返し実験した。その結果、以下の条件を特定し、
再現性を持って確実に作製することに成功した。

○塩化銅水溶液 2 mol/L, 2 mL ○亜鉛粒 3粒 ○ヘキサ
ン
○ガラスろ紙 ○ビタミンC水溶液 飽和 27%, 0.5 mL

6. 3 異方性銅樹の生成条件について

異方性銅樹の作製に再現性を持たせることには成功した。しかしビタミンC水溶液、ろ
紙の種類のどの条件が異方性に影響を及ぼすのか明確に把握していない。そこで異方性銅
樹が発生する要因を突き止めることとした。調べる条件として①ろ紙の影響、②ビタミンC
の影響とした。

6. 3① ろ紙の影響について

(a) ガラスろ紙の必要性

異方性銅樹を調べていると、すべてガラスろ紙を用いていたものに生成していることに
気付いた。ガラスろ紙が必要な条件であることがはっきりしたが、ビタミンC水溶液も用
いているため、ガラスろ紙だけでも異方性銅樹が生成するかわからなかった。そこでビ
タミンC水溶液を添加せずにガラスろ紙のみを用いて作成してみた。その結果異方性銅樹は
生成しなかった(表2)。異方性銅樹の生成にはガラスろ紙とビタミンCの両方が必要である。

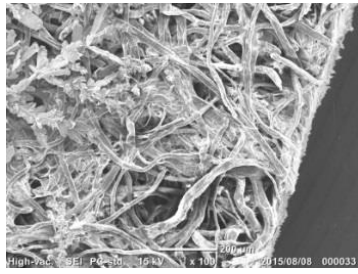

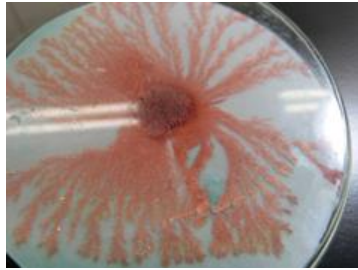
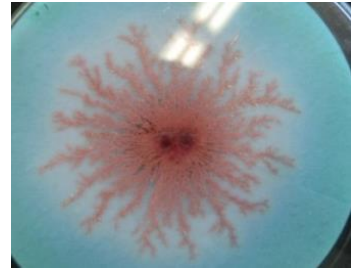
表2 異方性銅樹が生成する条件 ○生成した ×生成せず

	ビタミンC水溶液あり	ビタミンC水溶液なし
ガラスろ紙	○	×
定性ろ紙	×	×

(b) 定性ろ紙とガラスろ紙の違い

定性ろ紙とガラスろ紙の違いを知るために電子顕微鏡で観察し、表3にまとめた。ガラスろ紙は繊維が細く、編み目も細かく密であり、結晶が成長する上で均一な場があるのがわかる。定性ろ紙は繊維が太く、さらに編み目が粗く隙間や凹凸も場所によって違いがある。ガラスろ紙と定性ろ紙を用いて銅樹を作製したところ、ガラスろ紙では非常に均整の取れた樹枝状銅樹が得られた。定性ろ紙ではいびつな金属樹ができた。この結果より銅樹に異方性を働かせるためには、まず均整の取れた樹枝状結晶が成長する環境が必要であり、そのためにはガラスろ紙で発生させることが必要だと考えられる。

表3 定性ろ紙とガラスろ紙の違い

ろ紙の種類	定性ろ紙	ガラスろ紙
材質	セルロース	ガラス
繊維の太さ	10~20 μm	1~2 μm
表面 (100倍)		
作製した 銅樹		

(c) ろ紙の影響のまとめ

異方性銅樹の生成には、銅樹が樹枝状に均一に成長する環境が必要である。そのためにはガラスろ紙が必要である。ガラスろ紙のみでは生成せず、ビタミンCの添加も必要である。

6. 3② ビタミンCの添加量の影響について

ビタミンCは、異方性銅樹を生成させる際に必要であることがわかった。しかし何%の濃度でどの体積が異方性銅樹の生成に適しているか見当が付きなかつたため、表4の組み合わせで1つつ実験した。実験する中で飽和27%ビタミンC水溶液を0.5 mLを添加したときに図12のように異方性銅樹の割合が多く、再現性もとれることを突き止めた。

ビタミンC水溶液
5%
10%
15%
27%

添加量
0.5mL
1.0mL
1.5mL
2.0mL

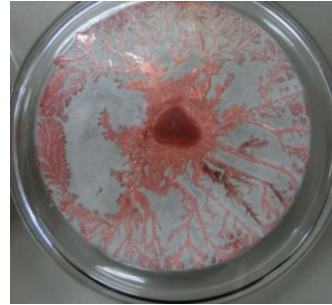
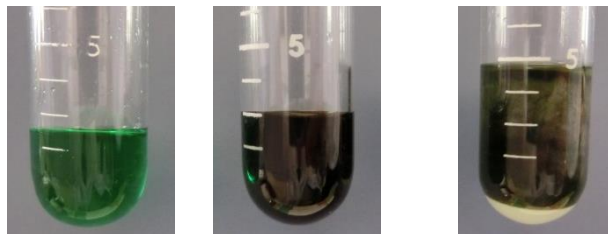


表4 添加したビタミンC水溶液の濃度と体積

図12 0.5 mL添加の時の銅樹

(a) ビタミンCの添加量と水溶液の色について

塩化銅(II)水溶液に飽和ビタミンC水溶液を添加した際に、図13のように塩化銅(II)水溶液の色に変化があることに気が付いた。0.5mLのときには塩化銅(II)水溶液の色が緑色から茶色になり、1.5mLのときにはCuClの白色沈殿が生じた。他の量でも試してみたが0.5 mLの茶色のときに異方性銅樹が発生した。このとき「溶液の色が茶色になる。」というのがうまく異方性銅樹を生成する条件の目安となった。



飽和ビタミンC水溶液の添加量	なし	0.5 mL	1.5 mL
塩化銅水溶液の状態	緑色	茶色	白色沈殿

図13 ビタミンCの添加と塩化銅(II)水溶液の色

(b) 飽和ビタミンC水溶液 0.5 mLの添加について

ビタミンCを加えるとなぜ塩化銅(II)水溶液が茶色に変色するのか理由がわからなかつた。一方で異方性銅樹を生成する上でこの茶色の溶液が必要であると把握していた。

始めビタミンCを加えたことで還元された金属銅Cuと2価の銅イオンCu²⁺が混在していると考えた。そこで水を加えれば銅Cuが沈殿する様子が確認できると思い、水を加えた。すると図14のように予想に反して青色の水溶液のみとなった。この現象から茶色の水溶液中で銅イオンがビタミンCと錯イオンを形成しているのではないかと考えた。文献⁹⁾を調べるとやはり銅イオンは、ビタミンC(アスコルビン酸)と錯イオンを形成することが判明した。今回の茶色の溶液は、アスコルビン酸と銅イオンの錯イオンが存在していると考えら

れる。この結果から飽和ビタミン C 水溶液を 0.5 mL 加えると異方性銅樹が生成する原因を以下のように考えた。

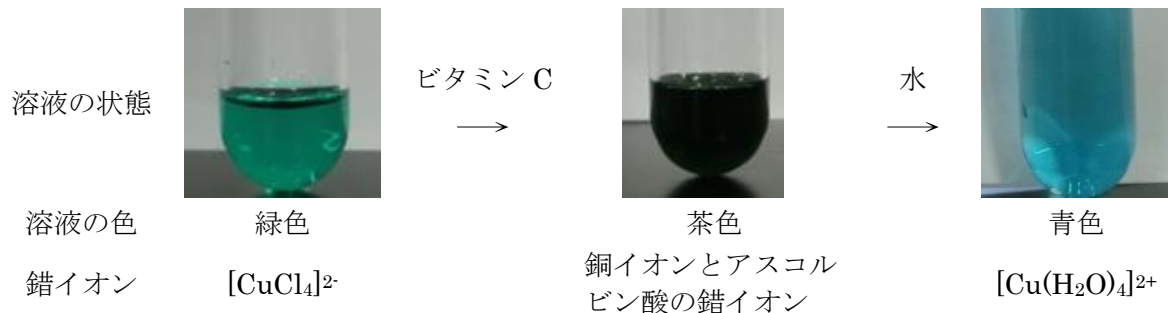


図 14 塩化銅(II)水溶液の変色の様子と錯イオン

事実 1. 銅が異方性を持って直線状に平滑に配列するためには、銅イオンが自由ではなく、ある程度運動を制限された異方性が強い状態で析出しなければならない。

事実 2. 塩化銅(II)水溶液が茶色となる時異方性銅樹が生成する。

事実 3. 塩化銅(II)水溶液が茶色となるのは銅イオンにビタミン C が配位している可能性がある。

考察 異方性銅樹にはビタミン C が配位した銅イオンが必要である。このときビタミン C のかさばった構造(図 15)により、銅イオンが結晶として析出する際に立体障害を起こすため銅イオンの動きに制限をかけ、結晶が成長するとき限定的な配列となった。このことが非常に滑らかな表面になった要因と考えられる。またビタミン C は、還元剤として溶存酸素を除去する働きがある。銅イオンが析出する際に酸素の影響がないためとも考えられる。しかしビタミン C 水溶液の添加量が多くても少なくとも異方性銅樹は発生しないのでその影響は小さいと考えられる。

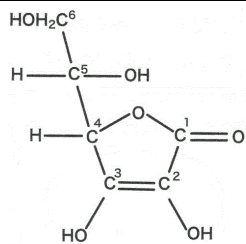


図 15 ビタミン C の構造式¹⁰⁾

(c) ビタミン C 影響のまとめ

塩化銅(II)水溶液が茶色になるまでビタミン C 水溶液を添加するのが異方性銅樹の生成のポイントである。ビタミン C が配位した銅イオンは、ビタミン C のかさばった構造で立体障害が生じるために析出する際に動きが制限され、直線状で平らな面ができたと考えられる。

7. 目的2 ろ紙の下側に銅樹が生えるメカニズムの解明

実験を行っているうえで、銅樹は必ずろ紙の下側(シャーレ側)に生えることに気付いた。上側に発生してもよいはずであるが、すべてが下側に生えていた。疑問を持ったのでその理由を解明することとした。

7.1 亜鉛イオンの影響

銅樹がろ紙の下側に生えるのは、電子を放出した亜鉛が亜鉛イオンとなり、銅イオンが亜鉛イオンを避けるためと予想した(図16)。そこで銅イオンを含んだろ紙の上と下にそれぞれ亜鉛イオンを配置できれば銅イオンの動きを観察し、銅樹の生える位置も変わるのではないかと考えた。

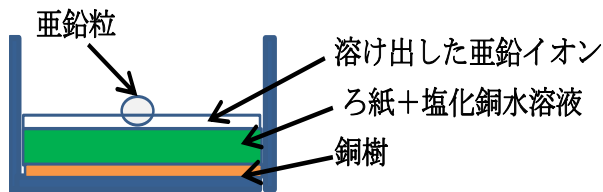


図16 溶け出した亜鉛イオンの影響

塩化銅(II)水溶液 2 mol/L, 2 mL をしみこませたろ紙に硫酸亜鉛(II)水溶液 2 mol/L, 2 mL を上と下に存在させることとした。硫酸亜鉛(II)水溶液はオブラートにしみこませて使用することとした。亜鉛イオンを上にと置くと銅樹は下に生え(図17a)、下に置くと銅樹は上に生える(図18a)と予想した。

〈予想〉

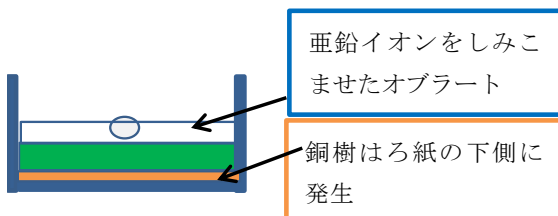


図17a 亜鉛イオンが上にあるとき

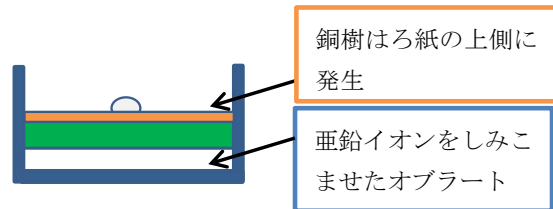


図18a 亜鉛イオンが下にあるとき

〈結果〉

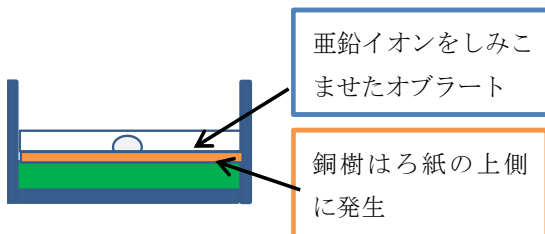


図17b 亜鉛イオンが上にあるとき

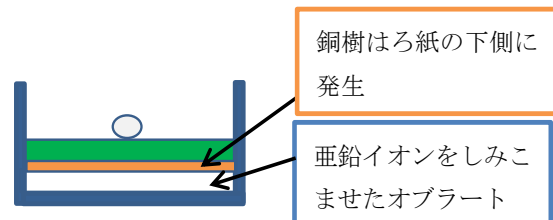


図18b 亜鉛イオンが下にあるとき

結果は予想の真逆でどちらも亜鉛イオンを含ませたオブラート側に発生した(図17b, 図18b)。この結果には驚いたが、同時に銅樹が下側に生えるのは亜鉛イオンの影響ではなく、ろ紙との界面の物理的な影響が大きいのではと考えた。

7. 2 オブラートの影響

7. 1の結果を踏まえて、今度はオブラートのみで試した。オブラートがある方に銅樹は生えると予想できる。

〈予想〉

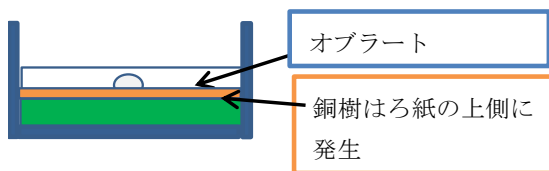


図 19a オブラートが上にあるとき

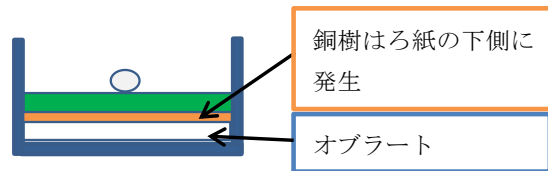


図 20a オブラートが下にあるとき

〈結果〉

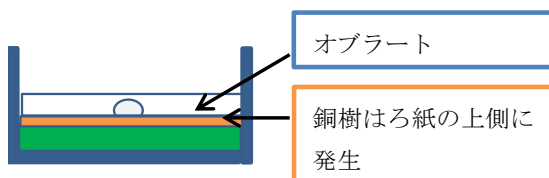


図 19b オブラートが上にあるとき

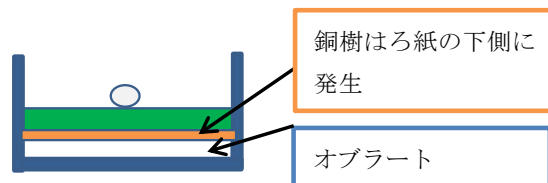


図 20b オブラートが下にあるとき

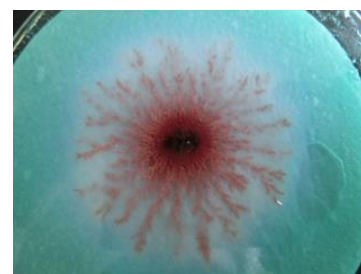
予想通りオブラートとろ紙の間の面に銅樹が生えた。このことから銅樹の発生する場所は、亜鉛イオンの影響による電位差といったものではなく、銅樹の発生する面の影響という物理的なものが関係していると考えられる。銅樹を発生させるためにはガラスシャーレにろ紙を置く。このときシャーレとろ紙の間の面とろ紙と空気との面が存在する。シャーレとろ紙の間の面の方が密であるために常にシャーレ側、つまりろ紙の下側に銅樹が生えていたと考えられる。

オブラートを上に置いたとき



図 21b

ろ紙の上側に銅樹が生成



ろ紙の下側。銅樹は生成せず

オブラートを下に置いたとき



図 22b

ろ紙の上側。銅樹は生成せず



ろ紙の下側に銅樹が生成

オブラートの使用という単純なやり方であるが、はっきりとした結果を得ることができた。界面が原因であることを確認するためにろ紙の上にヘキサンを加えたところ銅樹はろ紙の下側に生え、酢酸 n-ブチルのときはろ紙の上側に生えた。やはりろ紙との間のより面の密なところに選択的に銅樹は生えることが確認できた。有機溶媒と水溶液面の界面で発生する金属葉のことを考えれば納得がいく。

7. 3 銅樹がろ紙の下側に生える理由のまとめ

銅樹がろ紙の上側か下側に生えるかは物理的な影響であり、ろ紙とシャーレの間の面よりも密な面が存在すれば上側に生える。

8. まとめと今後の展望

異方性銅樹を発見し、再現性も達成し、異方性の影響も考察することに成功した。また銅樹がなぜろ紙の下側に生えるのか理由を解明することにも成功した。

結晶成長は非常に難しい分野であり、大学の研究室でテーマとし、DLA といった難しい用語や高度な数式の文献ばかりであった。しかし何度も実験することで異方性銅樹の生成条件までたどり着くことができた。研究を進める中で新たな化学の現象や発見を自分の目で目の当たりにすることができ、研究することの楽しさに改めて心を動かされた。

ポスター発表の際に大学の化学系の先生でも金属樹の存在について知らない人が多いことに気づかされた。今回の研究で、多くの人に銅樹の存在を知ってもらえればと思う。今後は銅樹を作成した条件で、他の金属樹でもどのように異方性が働き、形状が変化するか試したい。また加熱によるカラフルな銅樹にチャレンジしていきたい。銅樹は1つの枝から発生しているので単結晶である可能性も考えられる。単結晶であるかどうか確かめたい。メッキの分野や、異方性の基礎研究として役立つことも考えられる。

9. 謝辞

この研究を進めるにあたって顧問の先生方にはいつも親身に研究について考えていただきました。東北大学原子分子材料科学高等研究機構池田進准教授には実験、技術などの助言をしていただくなど大変お世話になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

10. 参考文献

- 1) 第 58 回日本学生科学賞「銅箔の色調変化の研究」宮城県仙台第三高等学校 門口 尚広 (2015 年)
- 2) 第 55 回日本学生科学賞「銅(I)水酸化物と光沢銅樹の生成～その銅樹、ちゃんと光ってますか!～」宮城県仙台第二高等学校 大村啓貴 針生崇史 (2012 年)
- 3) 金児 紘征「金属葉の形態」日本金属学会会報 Vol.30, No.12, pp.985-992, 1991
- 4) 第 43 回東レ理科教育賞「平面展開による金属樹の保存とイオン化傾向の理解」東京都立葛西工業高等学校 土屋徹(2011 年)
- 5) 吉田 勉「基礎栄養学」医歯薬出版(2003 年)

- 6) 岸清「ひげ結晶と樹枝状結晶」表面科学 Vol.17,No.4,pp.224-229,1996
- 7) サイエンスカフェ in 静岡「形の不思議」佐藤信一
- 8) 太田, 正之輔「異方的パターン形成と定量化」『統計数理』第 37 巻第 1 号(1989)
- 9) 松原凱男・上澤俊治・森澤誠・吉原正邦・前嶋俊壽「銅(I)イオンとアスコルビン酸を触媒とする塩化アリル類のヒドロキシル化反応」日本化学会誌,1991,(11),P.1521-1525
- 10) 石神昭人「ビタミン C の事典」東京堂出版(2011 年)

銅箔の色調変化の研究

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班
3年 門口 尚広 2年 相原 竜

1. 研究の背景・目的

銅板を 400 °C 以下で加熱すると Cu₂O 被膜が成膜され、膜厚に応じて薄膜干渉¹⁾により色調変化が見られる。また日本の伝統工芸において金箔・銀箔は画材として広く用いられてきた。

そこで銅箔を加熱し、色を変えることができれば銅箔も画材としての可能性が出てくるのではと考えたので実験し、表 1 の結果を得た。

min	160℃	170℃	180℃	190℃	200℃	210℃	220℃	230℃	240℃	250℃
10分										
20分										
30分										

表 1 加熱温度, 加熱時間ごとの銅箔の色

表 1 の温度と時間における銅箔の色は把握したが、新たに 2 つの疑問と目的が生まれた。

1 つ目は、下の表 2 に見られるように銅箔の色の出現に規則性が見られたことである。加熱温度と時間、銅箔の色が関係する式が存在すると考え、その式を解明することを目的とした。

	160℃	170℃	180℃	190℃	200℃	210℃	220℃	230℃
10分								
20分								
30分								

表 2 温度と時間における銅箔の色の規則性

2 つ目は、各色の銅箔における Cu₂O 被膜の厚さは一体どのくらいの厚さなのか測定してみたいという点である。この 2 つを目的として実験した。

2. 目的 1 「銅箔の色の規則性の解明について」

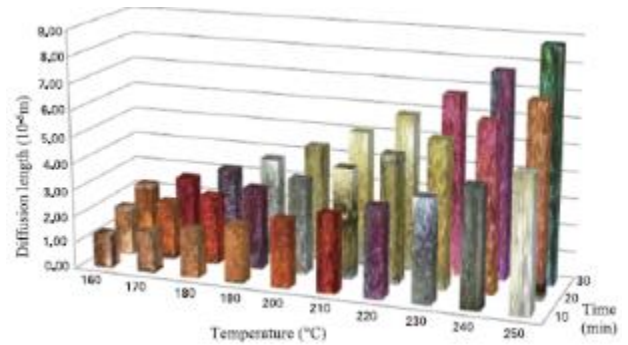
銅の酸化は、酸素原子が銅表面から内部に侵入して銅と反応することによって起こる²⁾。このとき酸素原子が銅内部に進入する距離を「拡散距離」と呼ぶ。酸素の拡散距離 $L(t)$ は、以下の公式で表される。

$$L(t) = 2\sqrt{Dt}$$

拡散距離 L 拡散距離(m)
 拡散係数 D 拡散係数(m²/s)
 t 加熱時間(s)
 拡散定数 D_0 拡散定数 (m²/s)
 Q 活性化エネルギー (kJ/mol)
 R 気体定数=8.31 J/(mol*K)
 T 絶対温度 (K)

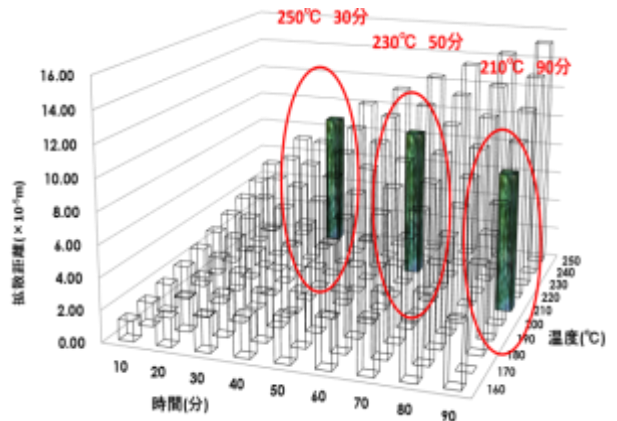
$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

温度と時間は表 1 の値を代入し、その他の値はデータベース³⁾から引用し、グラフ 1 を作成した。



グラフ 1 酸素の拡散距離と銅箔の色の関係

グラフ 1 より、銅箔の色調変化には酸素の拡散距離が関係していると間違いないと考えられた。そこでこの関係性が正しいことを立証するために、酸素の拡散距離の値から銅箔の色を予測し、検証した。今回は、250 °C × 30 分の 1 点でしか現れていない緑色の予測を行った(グラフ 2)。



グラフ 2 緑色の銅箔のシミュレーション

シミュレーションの結果、230 °C × 50 分、210 °C × 90 分のときに緑色が現れると予測できたので実験した。結果は、図 1 のように緑色が現れた。

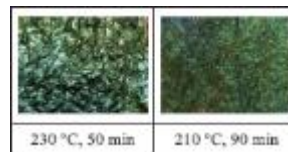


図 1 230 °C × 50 分、210 °C × 90 分の銅箔の色
このことから銅箔の色調変化には、酸素原子の拡散距離が関係していると解明でき、目的 1 を達成することができた

3. 目的 2 Cu₂O 膜厚の測定

膜厚の測定には、クプロイン法^{4,5)}という手法を用いた。銅箔(2 cm × 2 cm) 10 枚の Cu₂O 膜を濃塩酸で溶かし、100 mL 溶液を作る。そのうちの 5 mL の吸光度を測定することで、酸化被膜に含まれる銅イオンの質量を把握できる。検量線には 1.0×10^{-4} mol/L の塩化銅水溶液を用いた。吸光度から得られた各色の膜厚に含まれる銅イオンの

質量を以下の表3にまとめる。

銅箔の色	赤褐	銀	金	緑
加熱温度 °C	210	230	220	250
時間 分	10	10	20	30
銅イオン μg	540	794	1111	1453

表3 各色の膜厚に含まれる銅イオンの質量

Cu_2O は、体心立方格子であり、 $76.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$ 中に4個の銅原子($1.05 \times 10^{-22} \text{ g}$ /個)を含む⁶⁾。赤褐色の膜厚を $x \text{ cm}$ とすると、 Cu_2O 膜の体積は $40x \text{ cm}^3$ であり、 $540 \mu\text{g}$ の銅イオンを含んでいる。計算により膜厚を求めることができる。

$$76.6 \times 10^{-24} : 40x = 4.20 \times 10^{-22} : 540 \times 10^{-6}$$

$$x = 2.46 \times 10^{-6} \text{ (cm)}$$

赤褐色の Cu_2O 膜厚は 24.6 nm と判明した。同様に他の色でも測定した。表5に結果を示す。

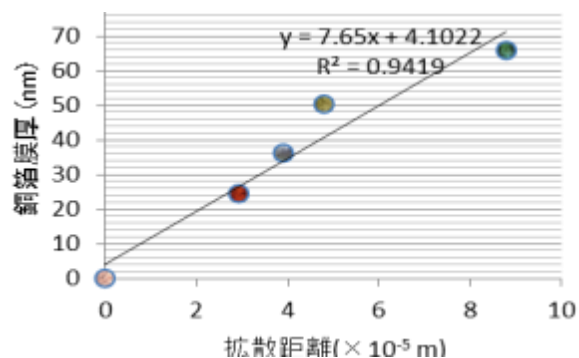
銅箔の色	赤褐色	銀色	金色	緑色
膜厚 nm	24.6	36.0	50.4	65.9

表5 各色における銅箔の酸化被膜の厚さ

実験の結果、 Cu_2O 膜厚は数十 nm オーダーであることが判明し、目的2を達成できた。

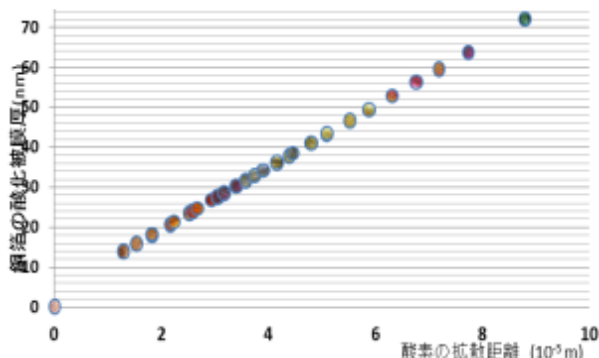
4. 酸素原子の拡散距離と Cu_2O 膜厚の関係

目的1と目的2を達成できたことで各色における酸素の拡散距離と Cu_2O 膜厚が判明した。この別々に得られた2つの情報を試しに x 軸に酸素の拡散距離、 y 軸に Cu_2O 膜厚としてグラフ3を作ってみた。すると驚くべきことに酸素の拡散距離と Cu_2O 膜厚に比例関係が成り立った。



グラフ3 酸素の拡散距離と Cu_2O 膜厚の関係

ここで得られた直線に表1の拡散距離の値と銅箔の色を代入し、グラフ4を作成した。



グラフ4 酸素の拡散距離と Cu_2O 膜厚の関係

グラフ4より銅箔の色調変化を詳細に表すことができた。また、グラフ4は、ただ銅箔の色調変化を詳細に表すだけでなく、銅箔の膜厚も表している。そこでこの直線から実際に膜厚を把握することができるか確認実験をした。選んだのは $230^\circ\text{C} \times 30$ 分のピンク色、 $230^\circ\text{C} \times 50$ 分の緑色の銅箔である。グラフ4から得られた予想膜厚と実際の実験の値は以下の表の通りである。

	ピンク	緑
拡散距離 ($\times 10^{-5} \text{ m}$)	6.76	8.73
予想膜厚 (nm)	56	72
実験値 (nm)	54.1	71.4

この結果より、グラフ4は信頼できるものであり、膜厚を把握することができると証明できた。

5. 結論・課題

当初は、表1の加熱時間と温度における銅箔の色しか把握できなかったが、目的の2つを達成したことで銅箔の色を予想し、その膜厚も把握することができるようになった。具体的には表1にはない $230^\circ\text{C} \times 50$ 分の銅箔の色が緑色であり、膜厚も 72 nm である予測し、どちらも近い結果を得た。このことから表1を出発点とし、表題である「銅箔の色調変化の研究」をだいたい進展させることができた。

今後の課題と展望としては、なぜ Cu_2O 膜厚が 71.4 nm のとき銅箔が緑色になるのかといった膜厚と色の関係が挙げられる。

6. 参考文献

- 1) E. Gaul, Coloring Titanium and Related Metals by Electrochemical Oxidation. J. Chem. Educ. vol. 70, pp.176-178 (1993).
- 2) 須藤 一, 田村今男, 西澤泰二共著「金属組織学」丸善株式会社 64-69 (1972)
- 3) R. Kirchheim, Metals as Sinks and Barriers for Interstitial Diffusion with Examples for Oxygen Diffusion in Copper, Niobium and Tantalum. Acta Metall. vol.27, pp.869-878 (1979).
- 4) 第13回日本学生科学賞作品集(1969年)「銅版の着色」青森県立青森西高等学校化学班
- 5) 日本化学会, 実験化学講座 15, 分析化学(上), 101
- 6) Journal of the Korean Physical Society, Vol. 55, No. 3, September 2009, pp.1243-1249

魚類に発光細菌はどう共生するか

～エゾイソアイナメと発光細菌の共生のしくみに迫る～

安齋音哉 中野龍太

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部生物班

海生動物に共生する発光細菌は宿主特異性を持つと考えられているが、一部の種でのみそのしくみが知られる。そこで、ほぼ報告のないエゾイソアイナメ *Physiculus maximowiczi* とそれに共生する発光細菌 *Photobacterium kishitanii* の共生関係が成立していく過程を考察するために、共生細菌の選別および定着のしくみ、侵入経路について研究した。

消化管各部から細菌を採取し、希釈、培養したところ、希釈倍率の低い全ての培地で発光細菌が確認できた。スタンプ標本を作製し発光腺内の血球割合測定および血液、頭腎との血球割合比較を行ったところ、発光腺内ではリンパ球、単球の割合が高かった。また、マンノース溶液を発光細菌の培養液に添加すると細菌の凝集が見られた。これらの結果は、共生細菌が経口侵入する可能性も経肛門侵入する可能性もあり、複数種の細菌がリンパ球、単球を介して特異的に発光腺内に共生する細菌が絞り込まれる可能性を示唆している。さらにマンノースが発光細菌の結合、凝集に関与するというモデルを構築した。また、脊椎動物である魚類と発光細菌との共生のしくみのモデルを立てたのは本研究が初めてである。

1. 背景と目的

発光生物には自ら発光するものと、発光する微生物を共生させているものがある。後者にはヒイラギ *Nuchequula nuchalis* やミミイカ *Euprymna scolopes* などが知られており、それぞれ発光器に発光細菌を共生させている。また、一般に海生動物に共生する発光細菌は単一の宿主にのみ共生するという宿主特異性を持つ。

多くの発光生物において、発光することは餌の誘引、敵からの回避、繁殖、同種や他個体との情報伝達などに関与していることが知られている(羽根田, 1986)。また、魚類の発光器の構造においては、種によって異なることも一般的に知られている(Haneda, 1949)。

一方で、発光器に共生している発光細菌の種類や発光器の意義についてほとんど明らかにされていない魚類は多く存在し、側棘鱗上目タラ目チゴダラ科チゴダラ属エゾイソアイナメもその一種である。通称「どんこ」と呼ばれるエゾイソアイナメの発光器からは、容易に純粋な発光細菌を取り出すことができる。また、この種と近縁のチゴダラ *Physiculus japonicus* の発光器は *P.kishitanii* が共生する発光腺、発光腺と直腸をつなぐ導管、腹部正中線上のレンズ組織からなっている(Kishitani, 1930)。

また伊藤ら(2015)の報告によると、共生している細菌はグラム陰性菌である *P.kishitanii* であった。また、*P.kishitanii* が個体密度上昇に伴い発光を開始し、さらには発光強度も大き

くなるという特性を持っている。さらにエゾイソアイナメの発光器の構造がチゴダラと同様に発光腺、発光腺と直腸をつなぐ導管、腹部正中線上のレンズ組織からなっている(図1)。加えて、発光腺内の奥にひだ状の上皮組織があり、その表面に細菌の凝集が観察できた。発光器の組織切片を作製しグラム染色して発光器内の細菌の分布を調べたところ、発光腺の導管付近では赤色に染色されているグラム陰性菌も、紫色に染色されているグラム陽性菌も確認できたが、発光腺内の奥のひだ状の構造では紫色に染色されるグラム陽性菌は確認できず(図2)、細菌種が減少しており、複数種の細菌が導管から発光腺に侵入する過程において何らかの選別が行われていることが示唆された。この結果を踏まえ、エゾイソアイナメが発光細菌を共生させるしくみとして、複数種の細菌が侵入したのち、特異的に選別が行われ、数種、もしくは単一種に絞り込まれる。そして、ひだ状の形態をなしている発光腺内の上皮細胞表面において、*P.kishitanii* が凝集し、安定的な発光強度を保つというモデルが示された。

一方、共生のしくみが知られているミミイカと *Vibrio fischeri* の共生関係では体表面から侵入した *V.fischeri* が発光腺内でミミイカの持つマンノースという糖の一種と、*V.fischeri* の持つレクチンという凝集に関わるタンパク質が結合することで定着し、*V.fischeri* 以外の細菌を排除する抗菌物質で特異的に選別を行っていることが知られている(McFall-Ngai et al., 1998)。

これらのことから、本研究では、エゾイソアイナメと発光細菌の共生がどのようなしくみで成立していくかを明らかにすることを目的とし、次の3つの目的を設定した。第一に共生細菌がどのような侵入経路で発光器に到達するかを明らかにするために、食道、腸の第一ガット、第二ガット、直腸から細菌を採取、希釈、培養を行い、消化管の部位ごとの発光細菌の有無を明らかにすることを目的とした。第二に特異的な選別に免疫応答が関与する可能性を検証するために、発光腺内の血球割合測定を行うことを目的とした。第三に、発光腺内での細菌の凝集が、ミミイカと *V.fischeri* との共生関係と同様に、マンノースレクチンが関与する可能性を検証するために、マンノースに対して *P.kishitanii* が凝集反応を起こすかどうかを検証することを目的とした。これらより、エゾイソアイナメと *P.kishitanii* の共生に何に関わっているのかを明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

○エゾイソアイナメ個体の入手

エゾイソアイナメは宮城県塩竈市で活魚として購入した5個体を実験1で、宮城県女川町で釣った2個体を実験2で使用した。

○発光細菌の培地

液体培地は NaCl 30 g, ポリペプトン 5 g, 酵母エキス 3 g, グリセロール 3mL, HCl-Tris(pH7) 50mL, MgSO₄・7H₂O 0.2g, 蒸留水 950mL の組成で、固体培地ではさらに寒天

15 g を加えて作成した。

○実験 1 発光細菌の消化管での分布

エゾイソアイナメの発光腺内に発光細菌が侵入する際どの部位から侵入してくるのかを調べるために、腸が大きく 2 か所曲がる部分の胃から 1 つ目を第一ガット、1 つ目から 2 つ目を第二ガットと定義し(図 3)、エゾイソアイナメの腹部を切開し、消化管の食道、腸の第一ガット、第二ガット、直腸を一片 5mm ほどに切断し、1000 μ L の 3.0%NaCl 水溶液にそれぞれ投入した。これらを攪拌し、500 倍、5000 倍、50000 倍に 3.0%NaCl 水溶液で希釈したものを固体培地に培養し、形成されるコロニーを観察した。

○実験 2 発光腺、頭腎、血液内の血球比較

エゾイソアイナメの発光腺、造血器官である頭腎のスタンプ標本と血液塗沫標本を作製し、メイグリュンワルド・ギムザ染色を行った。

エゾイソアイナメの発光腺、頭腎をそれぞれスライドガラスに数回こすり付け、ドライヤーで乾燥させてスタンプ標本を作製した。また、エゾイソアイナメの尾部背大動脈からヘパリン処理を施した注射器で血液を採取した。採取した血液をスライドガラスに一滴滴下しカバーガラスを使って血液を薄く引き伸ばした(図 4)。次にドライヤーで乾燥させて血液塗沫標本を作製した。

それぞれのスライドガラスにメイグリュンワルド染色液を 1mL 滴下し、その後に蒸留水で 2 倍希釈、3 分後全ての液を流した。その後、10 倍希釈のギムザ染色液をスライドガラスの染色した面の全面に滴下し 10 分間染色した。スライドガラスの染色した面の裏側から水でギムザ染色液を流した後キッチンペーパーで拭き、自然乾燥させた。

作製した標本を光学顕微鏡で観察して、1 つの標本から無作為に 5 枚、倍率 400 倍の光学顕微鏡写真を撮った。発光腺のスタンプ標本も同様に 10 枚、頭腎のスタンプ標本、血液塗沫標本はそれぞれ同様に 5 枚撮った。写真の中の血球を森友(2014)により報告されたコイの血球の長径短径、染色性の特徴を参考に種類分けした。写真の中の種類分けした血球の数をそれぞれ数えて血球の出現割合を出し、それぞれの血球出現割合を帯グラフで比較した。

作製した染色標本は正立光学顕微鏡(OLYMPUS BX41)で観察した。

○実験 3 発光細菌の凝集反応検証

発光が確認できた *P.kishitanii* を培養した液体培地を細菌液とした。マンノース、フルクトース、マンニトールを 3.0%NaCl 水溶液に溶かし 0.2mol/L に調整した。細菌液を 1mL ずつマイクロプレートのウェルにいれ、マンノース溶液、フルクトース溶液、マンニトール溶液、3.0%NaCl 水溶液をそれぞれ 1mL の細菌液の入ったウェルに入れ、糖の最終濃度 0.1mol/L にし浸透して凝集反応を観察した(図 5)。

3. 結果

○実験1 発光細菌の消化管での分布

食道、腸の第一ガット、第二ガット、直腸を切り出して浸した 3.0%NaCl 水溶液を、それぞれ固体培地に塗布して培養したところ、2 日後に全ての部位から発光細菌とみられるコロニーを検出した。食道では 500 倍希釈、5000 倍希釈のみ、第一ガット、第二ガット、直腸は 50000 倍希釈でも観察できた。

○実験2 発光腺、頭腎、血液内の血球比較

各臓器で観察できた血球は、赤血球、リンパ球、幼若な血球、単球、および血液凝固に関わる栓球に分類した(森友, 2014 参照)。

発光腺では計数できた血球 208 個のうち、リンパ球と思われる血球の割合が 91.83%、単球と思われる血球の割合が 6.25%であり、赤血球はほぼ見られなかった。頭腎では計数できた血球 1358 個のうち、リンパ球の割合が 68.04%、次に赤血球の割合が 27.76%であり、幼若な血球と思われるものも見られた。血液では計数できた血球 770 個のうち、赤血球の割合が 98.83%、リンパ球の割合が 0.26%、単球の割合が 0.26%だった(表 1, 図 6)。

全血球に占めるリンパ球および単球の割合は発光腺で最も高かった。発光腺におけるリンパ球の割合は頭腎の約 1.5 倍、血液の約 350 倍であった。また、発光腺における単球の割合は血液の約 20 倍であった。

○実験3 発光細菌の凝集反応検証

マンノース溶液、フルクトース溶液、マンニトール溶液、3.0%NaCl 水溶液を細菌液に投入すると、マンノース溶液を投入したウェルで 40 分後に凝集と思われる反応が観察できた。しかし、フルクトース溶液、マンニトール溶液、3.0%NaCl 水溶液を投入したウェルでは凝集と思われる反応は観察できなかった(図 7)。

4. 考察

○実験1 発光細菌の消化管での分布

今回、食道、腸の第一ガット、第二ガット、直腸から発光する細菌が検出された。

このことから発光細菌が発光腺に侵入する経路として、口から消化管を通して侵入する可能性と肛門から侵入する可能性の両方が考えられる。

ヒイラギと *Photobacterium leiognathi* の共生関係において、*P.leiognathi* は口から侵入し発光腺に侵入することが知られている(和田実, 2007)。ヒイラギの発光腺は食道と繋がっており、口から発光腺までの距離が近い。これに対してエゾイソアイナメの発光腺は直腸と繋がっており口からの距離が遠く、肛門寄りにあるので肛門から侵入する可能性が高いと考えられる。

それぞれのガットで検出された発光細菌については、口から入って胃を経由して腸に侵入したものなのか、発光腺からの分泌あるいは肛門からの侵入によるものなのかは判別できなかった。

○実験2 発光腺，頭腎，血液内の血球比較

発光腺内では，リンパ球，単球という免疫に関わる白血球が多く存在した。また，エゾイソアイナメ発光腺において，導管側ではグラム陰性菌とグラム陽性菌が混在することに対して，発光腺の奥ではグラム陰性菌のみが存在することが示されている（伊藤ら，2015）。これらのことは，発光腺内のリンパ球，単球が共生する細菌種の特異的選別に何らかの形で関わっている可能性が示唆される。

○実験3 発光細菌の凝集反応検証

マンノース溶液を投入したウェルでのみ凝集が確認できたことから *P.kishitanii* がマンノースに結合する凝集物質を持っていることが示唆された。

マンノースに結合する物質の候補としてマンノースレクチンが考えられる。レクチンは一般に脊椎動物の免疫に関わり，細菌側のマンノースと動物側のレクチンが結合して補体系が活性化され，細菌が排除される。しかし，ミミイカと *V.fischeri* の例では，細菌側が持つレクチンと宿主側のマンノースで結合が起こる（McFall-Ngai et al., 1998）。

今回，*P.kishitanii* がマンノースに結合する凝集物質を持つことが示唆され，ミミイカと *V.fischeri* の例に類似した共生のしくみが働いていることが考えられる。

5. 結論・課題

消化管の複数の部位から発光する細菌を採取，観察できたことから，発光細菌は口から消化管を通して侵入することも肛門から侵入することも可能だと考えられたが，エゾイソアイナメの発光腺は直腸と繋がっており肛門側から侵入する可能性が高いと考えられた。

また，発光腺内では，リンパ球，単球という免疫に関わる血球が多く存在し，エゾイソアイナメ発光腺において，導管側ではグラム陰性菌とグラム陽性菌が混在することに対して，発光腺の奥ではグラム陰性菌のみが存在することが示されている（伊藤ら，2015）。これらのことから発光腺内のリンパ球，単球が共生する細菌種の特異的選別に何らかの形で関わっている可能性が示唆された。

また，マンノース溶液を投入したウェルでのみ凝集が確認できたことから *P.kishitanii* がマンノースに結合する凝集物質を持っていることが示唆された。マンノースに結合する物質の候補としてマンノースレクチンが考えられる。共生関係が知られているミミイカと *V.fischeri* の例では，細菌側が持つマンノースレクチンと宿主側のマンノースで結合が起こり，共生細菌が定着する（McFall-Ngai et al., 1998）。今回，*P.kishitanii* がマンノースに結合する凝集物質を持つことが示唆され，ミミイカと *V.fischeri* の例に類似した共生のしくみが

働いていることが考えられた。

以上のことから、エゾイソアイナメと発光細菌の共生が成立するしくみとして、*P.kishitanii* がエゾイソアイナメの口、または肛門から侵入し直腸を経由して発光器に侵入し、導管から発光腺にかけてリンパ球、単球によって *P.kishitanii* 以外の細菌が排除され、発光腺内の上皮細胞表面のマンノースに対して *P.kishitanii* 側のレクチン様凝集物質が結合し、*P.kishitanii* のみが発光腺内に定着するというモデルを考えた(図 8)。

これまでに研究された発光生物の共生のしくみの中で、ミミイカと *V.fischeri* の共生関係については、*V.fischeri* が侵入して共生が成立するまでのしくみが知られていた。また、魚類であるヒイラギと *P.leiognathi* の共生関係では、*P.leiognathi* が出入りするしくみについては知られていたが、共生関係が成立するまでの過程については知られていなかった。今回、エゾイソアイナメと *P.kishitanii* の共生関係において、特異的選別の行われ方、*P.kishitanii* の定着の仕方について示唆が得られた。このような共生が成立する過程についての示唆が得られたのは、脊椎動物では初めてのことである。

今後の課題としては、発光細菌が胃の内部を通過できるのかは調べていないため、胃の内部に発光細菌が存在するのかを調査していく必要がある。

また、発光腺内にはリンパ球、単球が多く存在したが、*P.kishitanii* を混ぜた血液と墨汁を混ぜた血液を観察し、墨汁と *P.kishitanii* に対する食作用の違いを調べ、*P.kishitanii* に対して免疫寛容が成立するのかを検証する必要がある。

さらに、レクチン様凝集物質及びマンノースを、*P.kishitanii* とエゾイソアイナメの双方または一方が持つかを検討しなければならない。さらには、それらのレクチンの構造と機能を明らかにしていきたいと考えている。また、凝集するのにマンノース以外に必要な条件はないのかを検討していきたい。

一般的に共生のしくみでは、宿主側で免疫寛容が働く。今後、魚類における免疫寛容が働くための認識のしくみを解明することで、細菌の受け入れを阻害するしくみを人為的に確立することができれば、高密度飼育下の養殖において、高確率での発生が懸念されている、病原性細菌や寄生虫による魚病対策に応用可能な新たな知見を得ることが可能になると考えている。

6. 参考文献

- ・伊藤青空・佐々木隼・青木雄一 (2015) 魚類と細菌の共生のしくみ～エゾイソアイナメと発光細菌の相互作用に迫る～ 宮城県仙台第三高等学校 平成 27 年度 SSH 活動記録集
- ・ M.McFall-Ngai et al (1998) MANNOSE ADHESIN-GLYCAN INTERACTION IN THE EUPRYMNA SCOLOPES-VIBRIO FISCHERI SYMBIOSIS, New Developments in Marine Biotechnology
- ・和田実 (2007) 海洋性発光細菌 *photobacterium leiognathi* と魚類の共生関係
- ・森友忠明 (2014) 魚類造血機構の解明

- ・ YATA HANEDA (1949) The Luminescence of Some Deep-sea Fishes of the Families Gadidae and Macrouridae,
- ・ 山本一夫 小浪悠紀子 (2006) レクチン 歴史, 構造・機能から応用まで第2版
- ・ Paul Dunlap (2014) Biochemistry and Genetics of Bacterial Bioluminescence
- ・ TEIJIROU KISHITANI (1930) Studien über die Lechtsymbiose in *Physiculus japonicus* HILGENDORF, mit der Beilage der zwei neuen Arten der Leuchtbakterien. 東北帝國大學 理科報告 (生物學) 第五卷
- ・ 会田勝美 (2002) 魚類生理学の基礎, 恒星社厚生閣
- ・ 越田豊・常木和日子 (1994) 光学顕微鏡で見る 比較動物学, 培風館
- ・ 板沢靖男・小栗幹朗ら (1977) 魚類生理学概論, 恒星社厚生閣
- ・ 羽根田弥太 (1986) 発光生物 Luminous Organisms , 恒星社厚生閣
- ・ 東京海洋大学 海洋科学部 羽曾部正豪准教授研究室ホームページ
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hasobe/index.html>
- ・ 日本病理学会 (1981) 病理技術マニュアル3 病理組織標本作製技術 下巻 P37
- ・ 中坊徹次 (2000) Fishes of Japan with pictorial keys to the species 東海大学出版社
- ・ 富山一郎 安部宗明 時岡隆 (1958) 原色動物大図鑑 第II巻

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり, 実験のご指導・ご助言をいただきました東京大学鈴木謙名誉教授, ご助言とエゾイソアイナメの提供をしていただきました東北大学大学院農学研究科片山知史教授にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

8. 図表, 画像

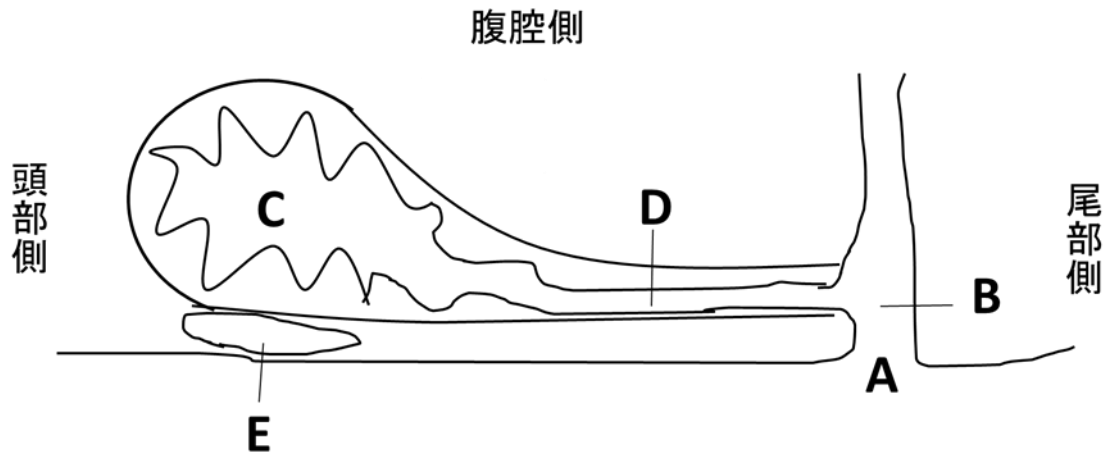


図1 エゾイソアイナメの発光器の構造模式図

エゾイソアイナメは肛門 (A) 付近に発光器をもつ。発光器は *P.kishitanii* が共生する発光腺 (C), 直腸 (B) と繋がる導管 (D), 腹部正中線上のレンズ組織 (E) からなる。

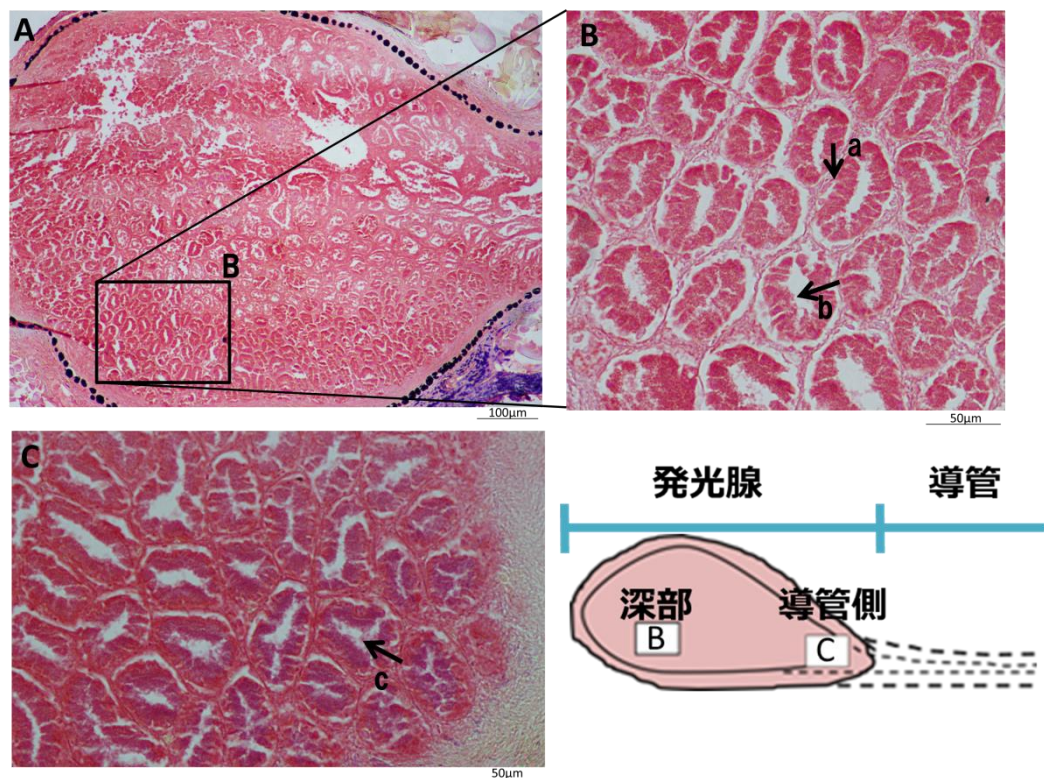


図2 発光器グラム染色標本（伊藤ら，2015）

発光器組織切片グラム染色標本を正立光学顕微鏡にて観察した。

- A 発光腺内にひだ状の上皮組織が見られた。
- B 発光腺深部側のひだ状上皮組織の一部の図。
組織内の上皮性の細胞（a）とその表面に集まっているグラム陰性菌（b）が見られた。
- C 発光腺導管側のひだ状上皮組織の一部の図。
グラム陽性菌の可能性のある細菌（c）が発光腺の導管寄りの部分から見られた。

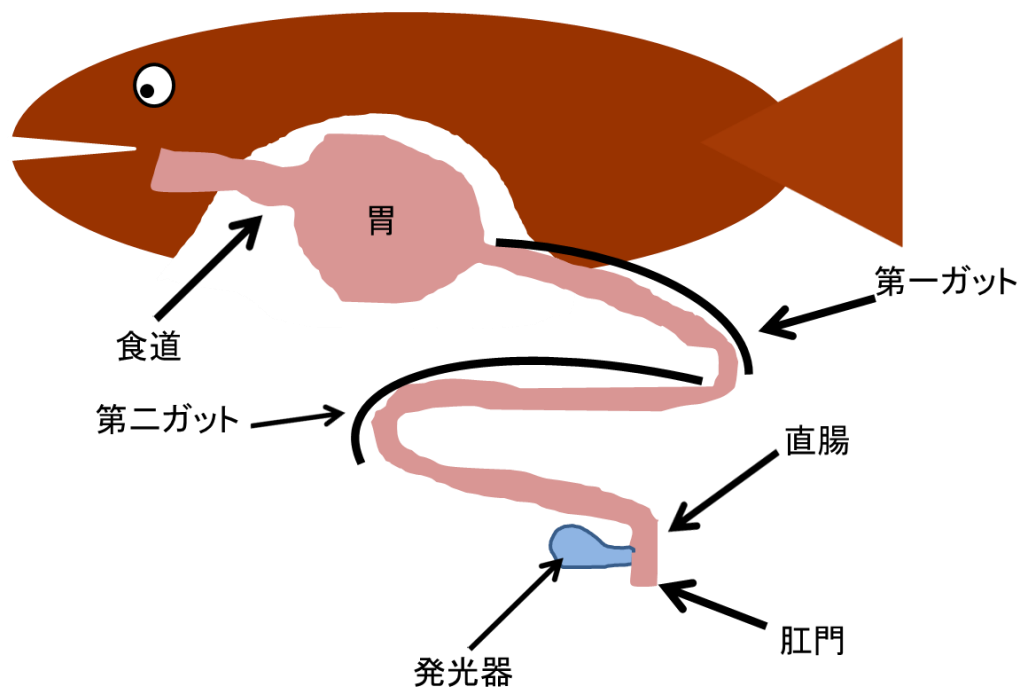


図3 エゾイソイナメ消化管の模式図

エゾイソイナメの消化管の腸が大きく2か所曲がる部分の胃から1つ目を第一ガット，1つ目から2つ目を第二ガットと定義する。また，発光器は直腸とつながっている。

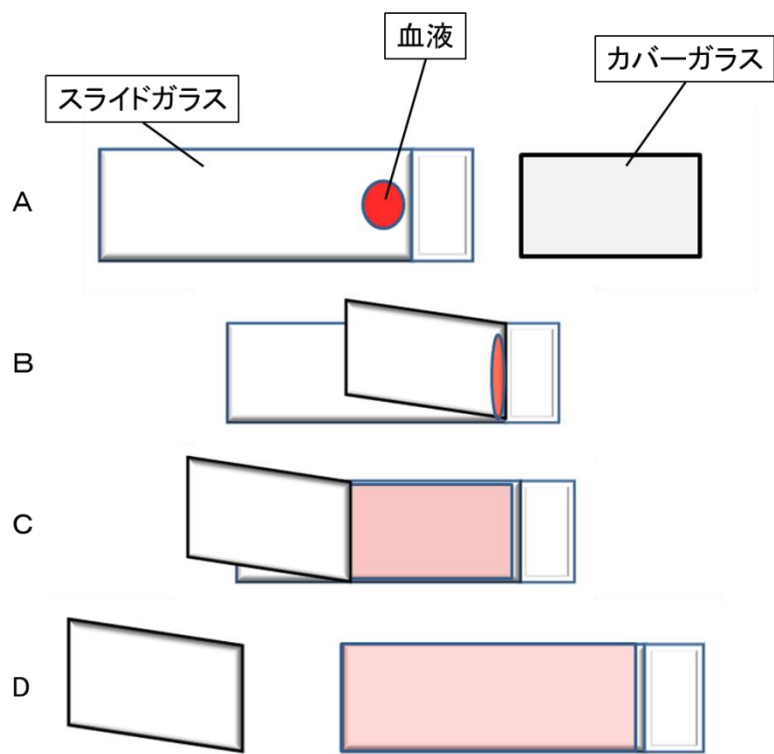


図4 血液塗沫標本の作製方法模式図

スライドガラスに血液を一滴滴下し (A), カバーガラスを斜めにして血液に付け (B) 引き伸ばした (C, D)。

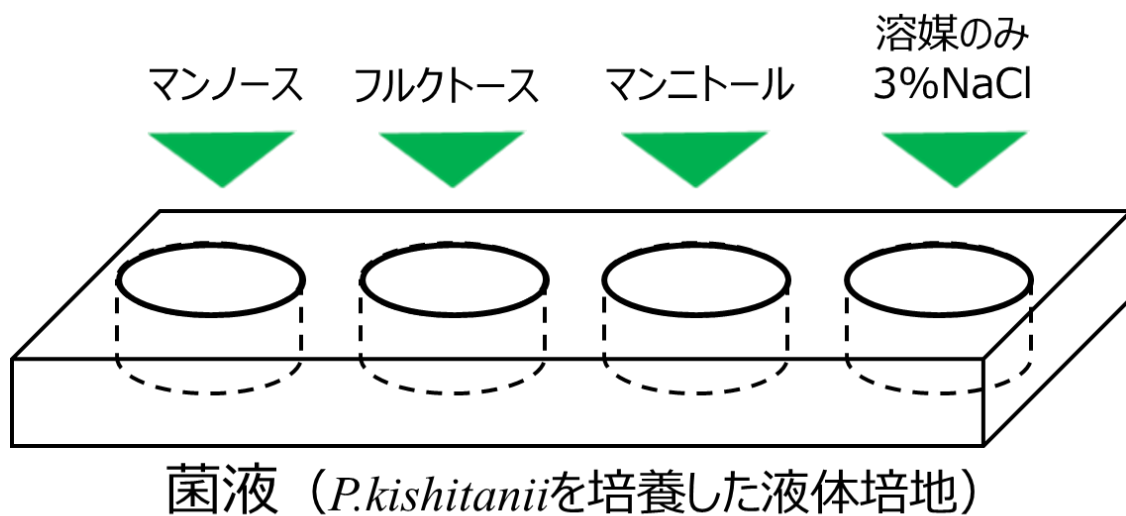


図5 *P.kishitanii* の凝集条件検証方法

細菌液をそれぞれのウェルに 1mL ずつ入れ、希釈溶媒 3.0%NaCl 水溶液で 0.2mol/L に希釈したマンノース溶液、フルクトース溶液、マンニトール溶液、3.0%NaCl 水溶液を 1mL 入れた。

表 1 各臓器の血球計数

それぞれの臓器は標本を正立光学顕微鏡の 400 倍で血液，頭腎は任意の 5 視野，発光腺は任意の 10 視野を計数した。各臓器で観察できた血球は，赤血球，リンパ球，幼若な血球，単球，栓球に分類した。

	赤血球	リンパ球	幼若な血球	単球	栓球	合計
血液	761	2	0	2	5	770
頭腎	377	924	57	0	0	1358
発光腺	4	191	0	13	0	208

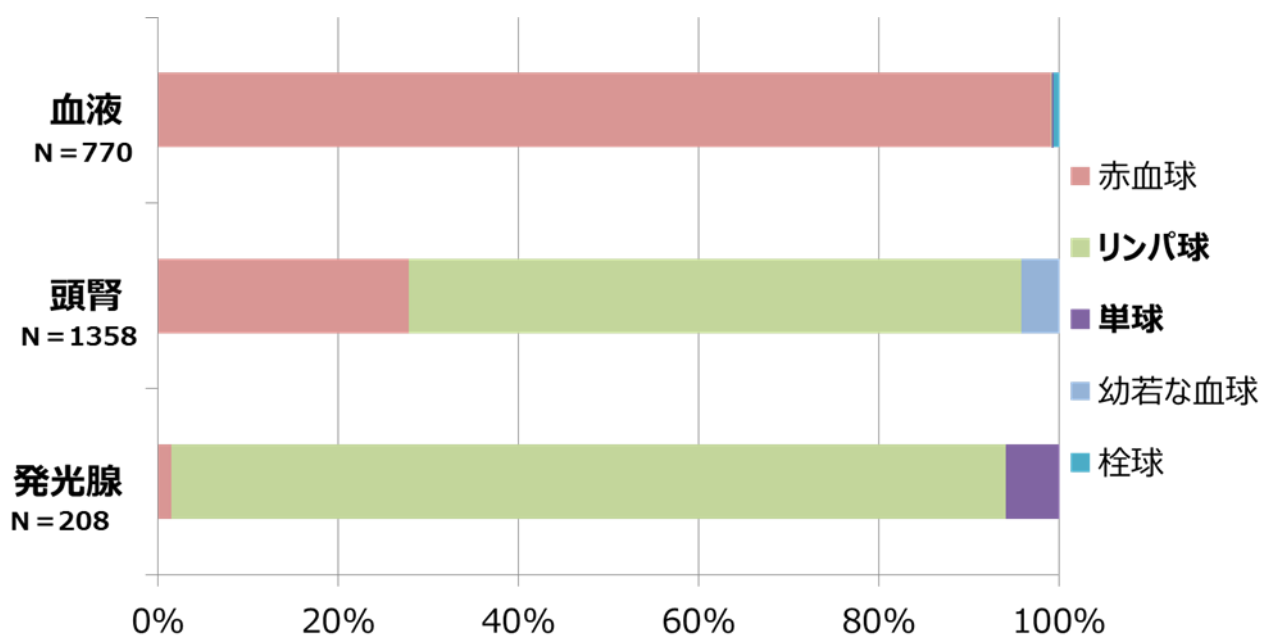


図 6 各臓器出現血球比率

血液，頭腎，発光腺の各出現血球比率を調べた。Nはそれぞれの臓器で観察できた血球の数。全血球に占めるリンパ球および単球の割合が発光腺で最も高く，免疫系の血球が特異的選別に関与していることが示唆された。

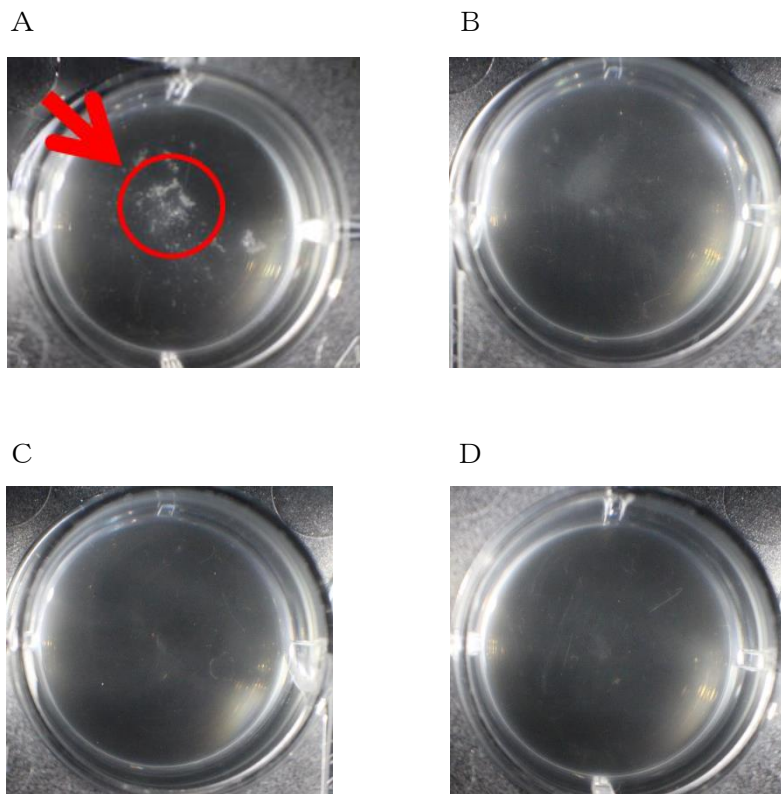


図7 *P.kishitanii* の凝集条件検証 (結果)

マンノース溶液, フルクトース溶液, マンニトール溶液, 3.0%NaCl 水溶液をそれぞれ *P.kishitanii* を培養した 1mL 液体培地の入ったウェルに投下したところ, マンノース溶液を投入したウェル(A)で凝集と思われる反応(→)が観察できたが, フルクトース溶液, マンニトール溶液, 3.0%NaCl 水溶液を投入したウェル (B, C, D) ではそのような反応は観察できなかった。

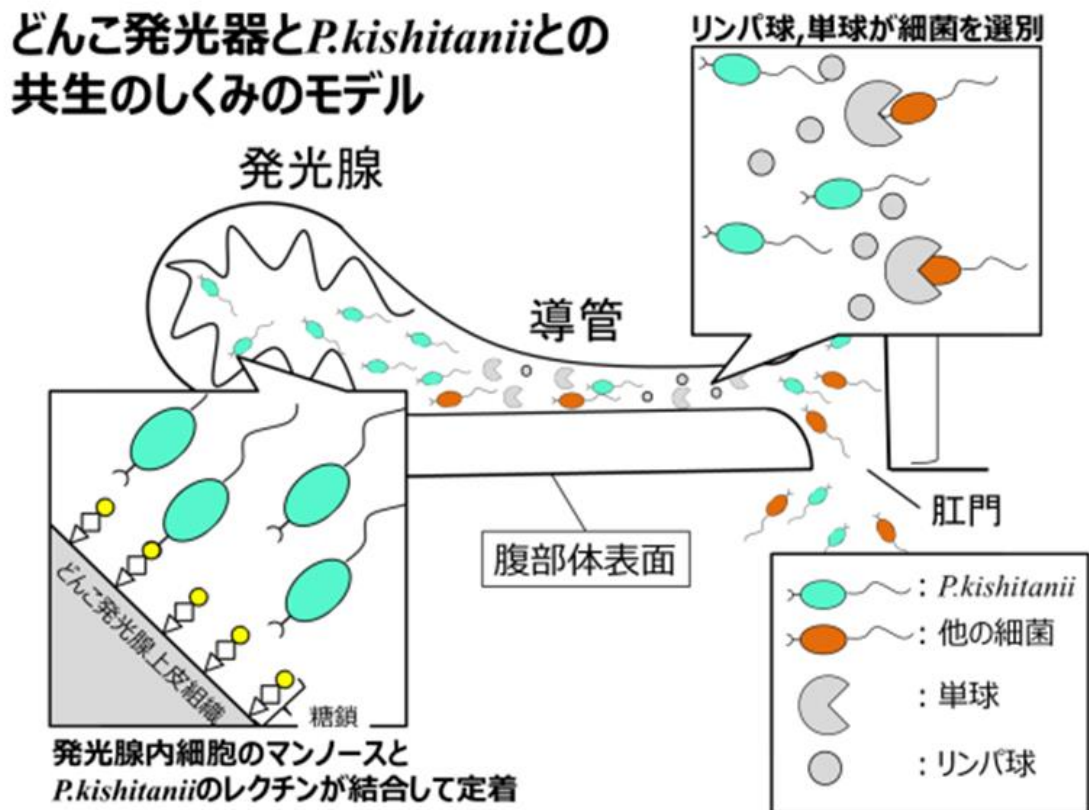


図8 どんこ発光器と *P.kishitanii* との共生のしくみのモデル

P.kishitanii がエゾイソアイナメの口、または肛門から侵入し直腸を通ったのち、導管内でリンパ球、単球によって特異的選別が行われ、共生細菌一種に絞り込まれる。そして、ひだ状の形態をなしている発光腺内の上皮細胞表面において、*P.kishitanii* がエゾイソアイナメ側のマンノースと *P.kishitanii* 側のレクチン様凝集物質を介して結合、定着する。

第41回全国高等学校総合文化祭自然科学部門
「みやぎ総文2017」出場研究

仙台市沿岸部におけるクロマツ菌根の観察

宮城県仙台第三高等学校・自然科学部生物班

1年 中川 朔未 伊藤 亜珠希

[要約] クロマツは菌根菌と共生している。仙台市沿岸部のクロマツ実生について、菌根の形態観察と遺伝子バーコーディングを行ったところ、日本の優占種であると示唆されている *Cenococcum geophilum* をはじめとする 8 種類の菌根菌が観察され、そのうちの 1 つはアマタケによる菌根であることがわかった。

1 背景と目的：クロマツは菌根菌と共生して菌根を形成し、貧栄養な土地でも自生できることが知られている。また、クロマツには複数の菌根菌が共生することが知られている。私たちは自然環境によってクロマツに共生する菌根菌も異なるのではないかと考え、報告のない仙台市沿岸部のクロマツに共生する菌根を観察することを目的とした。

2 研究方法

(1) 材料

仙台市若林区沿岸部より実生のクロマツ *Pinus thunbergii* を採集した。

(2) 方法

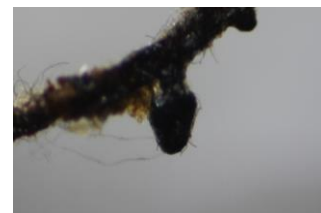
菌根の観察：オリンパス SZ61 の実体顕微鏡とオリンパス社の顕微鏡写真撮影システムを用いた。

遺伝子バーコーディング：クロマツ菌根から熱アルカリ法により DNA を抽出し、PCR 法により 28srRNA-ITS1-5.8srRNA 遺伝子の領域を増幅し、PCR 増幅産物の塩基配列を決定し、DNA データベースで相同の配列を検索し、共生菌根菌を同定した。

3 結果

(1) クロマツ菌根の形態的特徴による分類

仙台市沿岸部より採集した実生のクロマツ 12 個体について菌根の色、形、単生か群生か、菌糸の色と絡まり方に着目して観察したところ 8 種類に分けられた。図 1 の菌根は砂地に自生するすべてのクロマツが形成している。形態的特徴として、黒の棒状で単生であり、黒の放射状に伸びる菌糸が密に覆っているのがわかる。



1mm

図 1 クロマツ菌根の例
砂地に自生する個体の菌根

(2) 遺伝子バーコーディング

図 2 の菌根を遺伝子バーコーディングしたところ、アマタケの塩基配列と 99%一致した。



5mm

図 2 アマタケ菌根
盛土に自生する個体の菌根

4 考察

砂地のクロマツはすべて図 1 のような菌根を形成していた。その形態的特徴は、松田ら²⁾が報告した *C.geophilum* と一致した。よって、仙台市沿岸部では *C.geophilum* が優占種である可能性が高い。

菌根の 1 つを遺伝子バーコーディングした結果、アマタケの塩基配列と 99%一致したので、この菌根はクロマツとアマタケによる菌根と考えられる。

菌根の形態観察と遺伝子バーコーディングから、仙台市沿岸部におけるクロマツ林の菌根菌の群集構造を明らかにしたい。

5 参考文献

- (1) 松田陽介(2008)海岸林生態系を支える菌根菌 『森林技術 No.798』 P7-14
- (2) 松田陽介・竹内康介・小長谷啓介・伊藤進一郎(2011)日本の海岸クロマツ林における *Cenococcum geophilum* の遺伝的多様性 第 123 回日本森林学会大会 K16

圧電素子への力の加え方と電圧の関係について

宮城県仙台第三高等学校・自然科学部物理班

萩田泰晴・2年

【要約】 現在、圧電素子に力を加えるのは押す場合がほとんどなので、本研究では、押す力以外にも有効な力の加え方があるのを示すことで、圧電素子の利用の幅を広げることを目的とした。押す力、引く力、剪断力での電圧を測定したところ、引く力では押す力とほぼ同等の電圧を得ることができ、十分有効であると考えた。そして、引く力で実際に発電する場合の例として、吊り橋の接合部での発電量を計算したところ、有用性はあると判断することができた。

1 目的

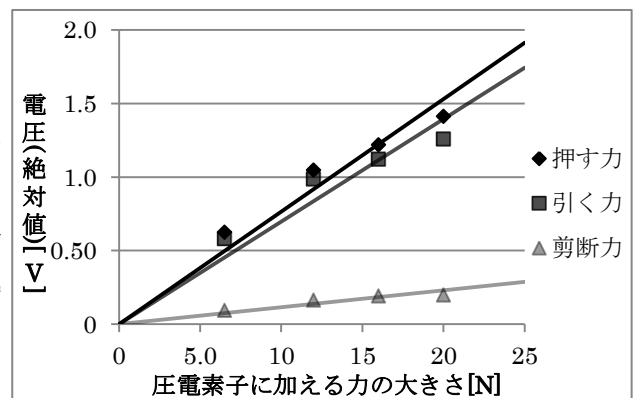
現在、圧電素子に力を加えるのは押す場合がほとんどだが、圧電素子で電圧が得られるのは押したときだけではなく、圧電素子の性能を十分に生かしていないと考えた。そこで本研究では、押す力以外にも有効な力の加え方があると示すことで、圧電素子の利用の幅を広げることを目的とした。

2 研究方法

円筒形の圧電素子に木板を接着し、木板から糸でおもりを吊るして、このおもりを持ち上げて落とすことで、圧電素子に力を加えた。そして、圧電素子と木板の配置を変えることで、圧電素子への力の加え方を変えた。また、おもりの質量を変えることで力の大きさを変え、その値は運動量と力積の関係から計算で求めた。電圧の測定にはオシロスコープを用いて、電圧を波形として記録できるようにした。

3 結果

記録したそれぞれの波形のグラフについて、同じ時間だけ一定の大きさの力 \bar{F} が加わったとして長方形のグラフを考えたとき、元の波形のグラフと長方形のグラフの面積が等しくなるような \bar{F} の絶対値を求めると、グラフ 1 のようになった。これを見ると、押す力と引く力の電圧の大きさはあまり変わらないが、剪断力での大きさはかなり小さくなっていることが分かる。



グラフ 1 力の加え方ごとの平均電圧(絶対値)

4 考察

引く力では押す力とほぼ同等の電圧が得られたことから、引く力も十分有効であると考えられる。その上で、引く力によって発電する場合の例として、下津井瀬戸大橋という吊り橋の接合部に圧電素子を配置した場合の発電量(電力量)を計算してみると、1日の発電量は $4.0 \times 10^2 \text{Wh}$ となる(詳細な計算方法は当日発表する)。1世帯の1日あたりの消費電力が約 10kWh であるので、これを賄うには約 25 個の圧電素子が必要ということになる。

5 参考文献

「圧電セラミックス Vol.06」 NEC トーキョー・2015年

<http://www.nec-tokin.com/product/pdf_dl/atuden_ceramic.pdf>

「技術資料 圧電セラミックス」 FDK 株式会社・2011年

<<http://www.fdk.co.jp/cyber-j/pdf/BZ-TEJ001.pdf>>

振り子を用いた加速度計の作成について

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部 物理班
海老健太郎 2年

【要約】物理の授業で力学台車を加速させるときにはばねばかりで力学台車を引っ張ったがうまく加速させられなかった。そこで力学台車に加速度を測定できる装置を置き、直接手で力学台車を加速させた方が安定するのではないかと考え、力学台車に振り子を設置し、力学台車が加速したときの振り子の傾きで加速度を測定する装置を作成した。

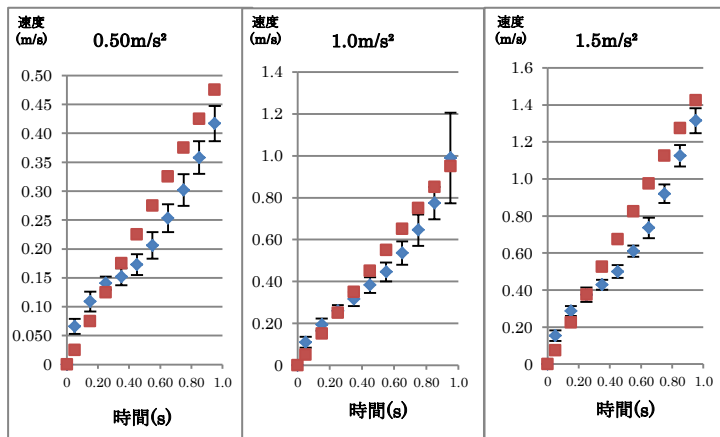
1 目的

物理の授業で、磁気テープのついた力学台車をばねばかりで加速させ、記録タイマーで運動の様子を記録する実験を行った。しかし、ばねばかりで力学台車を加速させるのが難しく正確なデータをとれなかった。そこで、力学台車に乗せられて簡単に力学台車の加速度を測定できる道具があれば便利ではないかと考え、研究を始めた。またこの加速度計は力学台車の加速度を測るだけでなく、単に加速度を測定する装置として使えないかと考えた。

2 研究方法

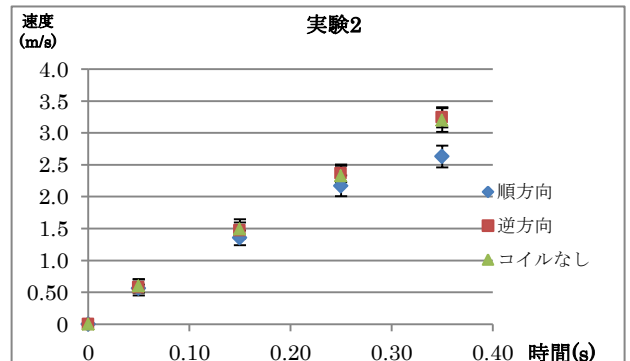
実験 1 では作製した加速度計を実際に使用し、力学台車の運動を $v-t$ グラフにして理論値と比較した。実験 2 では加速度計が加速している状態から急に止まると振り子が振動し続けているいろいろな値を指してしまうので、重りを磁石にしてコイルの磁気力で振り子を止めることを考えた。また力学台車を加速させる際に磁石が目盛に向かって動くときは磁気力が発生しないようにコイルに発光ダイオードを接続し、実際に順方向のときと逆方向のときで磁石の運動に差が出るか実験した。

3 結果 実験 1



いずれのグラフもほとんど理論値と一致しているが、0.50 m/s²と 1.5 m/s²のグラフで特に誤差が大きくなっている。

実験 2



コイルを縮めて磁気力を大きくし、発光ダイオードではなく抵抗の小さい手動のスイッチを使ったところ順方向のときと逆方向のときで磁石の運動に差がみられた。

4 考察

長さ 10cm のコイルを 5.0cm にすると磁石に与える力が約 0.10N 増加したことがわかった。この加速度計を震度計として使うとすると震度 7 の加速度は約 27 m/s²なので

$$\text{磁石の質量} \times \text{加速度}$$

$$\text{磁石にかかる力} = 0.026 \times 27 \div 0.10 \approx 0.70\text{N}$$

10cm のコイルが磁石に与える力は 0.0052N だから

$$(0.70 - 0.0052) \div 0.10 \approx 7$$

よってコイルの長さ $\frac{1}{27}$ 倍にすることが必要であることがわかった。

5 参考文献

「電気用語辞典」(コロナ社 1982)

「渦電流 わかりやすい高校物理の部屋」<http://wakariyasui.sakura.ne.jp/p/elec/dennji/uzu.html>

「震度と加速度」(気象庁) <http://www.date.jma.go.jp/svd/eqev/date/kyoshin/kasoku/comp.html>

ゲル法による結晶作成と形状変化

宮城県仙台第三高等学校・自然科学部化学班

山田 隼・一年 田中 龍也・一年

【要約】ゲル法の論文^[1]を見つけ、結晶の作成に興味を持ったため、ゲル法による結晶生成と結晶の形状変化の研究をはじめた。はじめに、論文^[1]通りに酒石酸カルシウム四水和物の結晶の作成をおこなった。その結果、結晶を作成することはできたが、論文^[1]に載っているような形状の結晶は作成できなかった。そこで、次に酢酸を用いて、ゲルの pH を変えて同様に実験を行った。その結果、論文^[1]に載っているような、綺麗な形状の結晶を作成できた。

1, 研究目的

結晶作成について調べたところゲルを用いた結晶作成(ゲル法)についての論文^[1]を見つけた。論文^[1]に記載されていた結晶の作成に興味を持ち、論文^[1]に基づいて様々な条件における結晶作成とそのときの結晶の形状変化の研究をはじめた。

2, 研究方法

実験 1 では L-酒石酸水溶液にメタケイ酸ナトリウム水溶液を加え静置し、ゲルを生成する。このときゲルの乾燥を防ぐため試験管にパラフィン油を被せて密閉した。生成して十分に固形化したゲル上部に塩化カルシウム水溶液を注ぎ再度パラフィン油を被せて密閉しさらに静置し、結晶を作成する。

実験 2 では、ゲルの固さを調節するため pH を変化させた。ゲル作成時に酢酸を加え、徐々に pH を下げて実験を行った。

3, 実験結果

実験 1 の結果、結晶を生成することができた。だが ゲル上部に多結晶が多く生成され、論文^[1]に記載されていたような単結晶を作成することはできなかった。

実験 2 では pH が下がるほど結晶の生成が減少し、単結晶に近い形の結晶を見ることが出来た。

	実験 1	実験 2
結晶の有無	有	有
生成質量 (平均)	1.26g	0.92g
生成した数 (平均)	32 個	13 個

表 1 実験結果

4, 考察

結果から、ゲルは pH に影響されて固さ、緻密さが変化する。最初にゲルの pH を低くしてゲルをより強固に、より緻密にすると論文に載っているような綺麗な形状の結晶を作成できた。次に生成する結晶の数が少なくなった。以上の 2 つのことが分かった。

結晶の生成は、結晶生成の条件が大きく関わっていると考えた。そこで結晶生成の条件を変えるため、結晶生成時の温度、使用する溶液の濃度、使用する薬品を変えて、それぞれ結晶の形状の変化を見る。

またこのゲル法の利点を生かして、身近にある不要なものや再利用が困難な廃棄物などを用いて、新しく結晶や美術的価値のある物の作成を行っていかうと考えている。

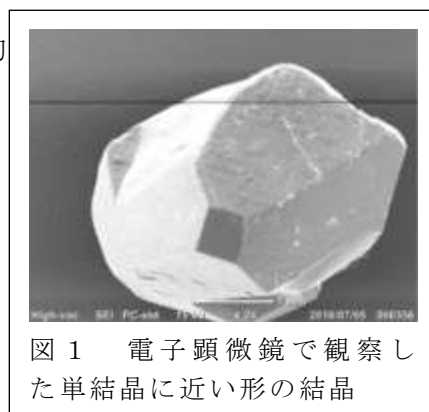


図 1 電子顕微鏡で観察した単結晶に近い形の結晶

5, 参考文献

- [1] 大森千輝, 2012 年 1 月 30 日, 「ゲル法による結晶作成」
(http://www.mie-c.ed.jp/htu/ssh/2011seito_report/geru1.pdf)
三重県立津高等学校 SSC 化学部会

GSつくば研修
GS白神フィールドワーク
GS理数言語活動 東北大学工学部研修

GS つくば研修旅行 2016

1, 2年生の希望者40名が参加し、
8月2~4日の日程で、つくば市にある

- JAXA 筑波宇宙センター
- KEK 高エネルギー加速器研究機構
- 土木研究所

へ行ってきました。先進的な研究施設を利用した実習・講義・見学により、理数系領域への興味関心がさらに深まりました！



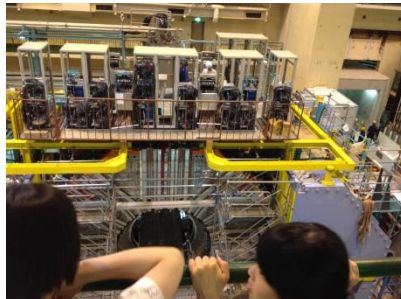
JAXA H2 ロケット前にて

1日目 JAXA 筑波宇宙センター



大迫力！宇宙へロマンが広がります。
当日は、宇宙飛行士の油井亀美也さんも、この筑波宇宙センターに出勤されていたそうです！

2日目 KEK 高エネルギー加速器研究機構



KEKBトンネル見学。次世代の加速器実現に重要な役割を担います。

Belle IIにて。SuperKEKB 加速器での実験で生成される膨大な素粒子反応をとらえます

展示用スパークチェンバーを用いた宇宙線の観測。難しい！けど面白い！

3日目 土木研究所



舗装走行実験場
実験走路を無人で走行する車輦が並んでいます。



水理実験施設
ダムに関する実験をおこなっています。



構造物メンテナンス研究センター
実際に橋梁として使われていたものを分析しています。

世界で活躍する土木研究所

宮城県仙台第三高校 2年 高坂友莉 椎名美月 1年 金澤昂大 後藤崇仁 渡部史也

土木研究所ってどんなところ？

昭和48年に内務省によって建てられ、当初は4つの建物に分けられていましたが昭和54年に合併して1つになりました。

1. 安全・安心な社会の実現への貢献
2. 社会資本の戦略的な維持管理・更新への貢献
3. 持続可能で活力ある社会の実現への貢献

の3つの目標をもとに活動をしています。

17のグループに分かれて、私たちの暮らしをより良いものにするための研究・実験をしています。例を挙げると

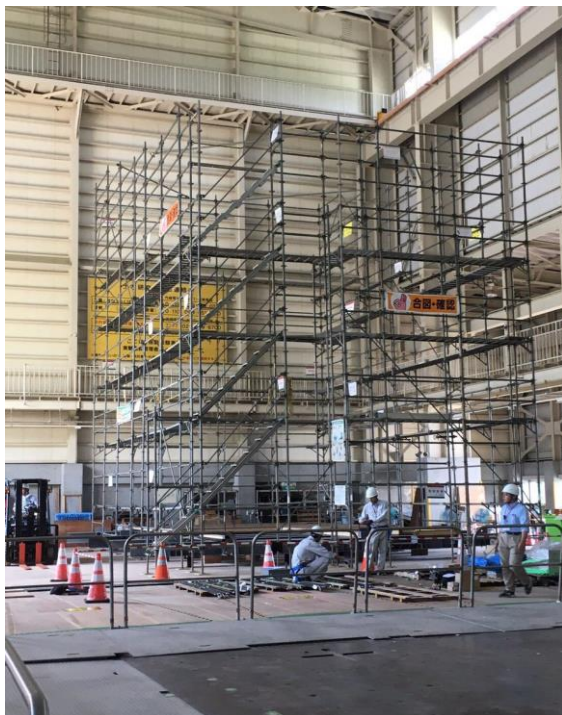
- ・車が走りやすいアスファルトの開発・走行実験、
- ・ダムの再開発・コスト削減のための縮小モデルを使った実験、
- ・事故や建て替え工事により使わなくなった鉄骨などの調査
- ・耐震実験

などです。

特に、開発した道路の負荷実験で、実際に車両で走らせて行うところは少なく、その中で自動運転を採用しているのは全世界でもここだけとなっています。

1、仕事内容

① 鉄骨を揺らす振動実験施設「三次元大型振動台」



阪神淡路大震災を受けて作られた

非常に大規模な地震動を再現することができ、建設する建物が地震に耐えることができるか試せる。

振動実験装置の中で日本で2番目に大きい施設で、動かせる両は日本一と同等です。

- 床の広さ 8 × 8 m
- 搭載質量 最大300 t
- 最大速度 水平±200 cm/s
鉛直±100 cm/s

② 日本の安全を守る！道路&ダム

《道路》

道路はただアスファルトをしいているわけではありません。路床（もとの土）の上に砂利を敷き基層、そして表層としてアスファルトがしいてあります。このうち砂利と基層、そして表層のアスファルトの部分が舗装と呼ばれる部分です。舗装とは道路の上にいろいろな材料を敷き並べて、歩きやすく、走りやすくすることです。この土木研究所では主にアスファルトの研究や実験を行っていました。水や油の浸食を受けにくくすり減り磨耗しに

く、熱や光の影響を受けにくい、淡灰色で明るい、自由な形できる、たわみにくい、リサイクルしやすい、全国どこでも工事できるという長所があります。しかし、伸び縮みが大きいので、目地が必要であるという短所や、壊れた時に直すのが大変、固まるまでに時間がかかる（すぐに車が走れない）という短所もあります。そこで超速硬セメントを開発し、一般的なコンクリートでは固まってから車が通るまで3日程度必要なところを、3時間程度で車が走れるようにしました。

コンクリート舗装の凄さの点では、丈夫なので、わだち掘れが出来にくく非常に長持ちするところ、白いので、夏場の路面が熱くなりにくくなること、硬いので、大型車の燃費がよくなることなどがあげられます。これらは、環境にやさしい『エコな舗装』です。これはつくるときにお金はかかりますが、きちんと作れば直すのにあまりお金がかからないので、長い目で見れば安上がりと言えます。

③ 2010年刊地震を踏まえた刊国の橋梁耐震基準改定への協力計画

2010年2月27日に発生した刊地震で、落橋を始めとする甚大な橋梁被害が生じた。刊共和国公共事業省（Ministry of Public Works：MOP）では、こうした被害経験を踏まえ、現在橋梁の耐震基準の改定作業を進めている。このような耐震基準の改定を支援するためにJICAの協力プロジェクトが立ち上がることになり、橋梁の耐震技術に関する研究開発を進めるとともに、道路橋示方書などの橋梁の耐震基準の策定メンバーとしてその内容にも精通するCAESARが協力要請を受け、刊の技術支援を開始することになった。そして刊地震の直後、（公社）土木学会から現地調査団が派遣された。調査団には、道路・橋梁分野の専門家として参加要請を受けCAESARからも参加した。

本JICAプロジェクトの第1回の協力調整会議は、平成26年9月24日～26日に開催された「橋梁技術に関する第1回国際会議」に合わせ、首都カンチャゴ市で開催された。暫定復旧基準の策定時に課題として残された事項の中から今回検討すべき課題を議論するとともに、今後約2年間の計画が協議され、この計画に沿って進められることになった。刊では、Chacao橋という4径間連続長大吊橋（橋長2,750m）のプロジェクトが進行中で、橋梁技術に対する関心が非常に高くなっている。この国際会議には、MOPのAlberto Undurraga大臣も参加され、開会式で挨拶された。

2、まとめ

土木技術に関する研究開発、技術指導、成果の普及などを行うと言われ、初めはイメージが湧きませんでした。実際に行ってみると、生活に大きく関わる、道路やダム、橋などの強度、構造を研究していました。ゲリラ豪雨、火山の噴火、土石流、ダムの決壊、道路斜面の崩壊などの身近なもの全てに関わるとともに、ADBによるミャンマーを対象としたプロジェクトやユネスコ資金によるパキスタンを対象とした洪水警戒管理能力の戦略的強化プロジェクトフェーズ2、世界の洪水管理推進の協力枠組みである国際洪水イニシアチブなどの国際的な活動もしています。

また、研究だけでなく、講習会やセミナーなどを開くことで、人材育成も行っています。

参考文献

<http://www.pwri.go.jp/jpn/column/index.html>

「土木」を知る!!

宮城県仙台第三高校 去田尚悟 佐藤健流 加藤彪雅 杉浦匠 山本岬 大久保溪登

1. 研究室紹介

国立研究開発法人土木研究所は、土木技術の研究開発、技術指導、成果の普及等を行うことにより、土木技術の向上を図り、良質な社会資本の効率的な整備及び北海道の開発の推進に資することを目的として設立された、土木に関する日本を代表する研究所です。独立行政法人土木研究所と、独立行政法人北海道開発土木研究所が統合して発足しました。

土木研究所では、土木技術に対する社会的要請、国民のニーズ、国際的なニーズを的確に受け止め、優れた成果の創出により社会への還元を果たすことを目標としています。この目標を達成するため、つくば中央研究所、寒地土木研究所、水災害・リスクマネジメント国際センター、構造物メンテナンス研究センターの4つの研究部門において先端的な研究開発及び現象・メカニズムの解析等の基礎的な研究開発、土木技術全般の基盤となる汎用的な技術に関する研究開発を実施しています。



図 土木研究所の研究施設

2. 研究内容

先端技術チームは情報技術、環境・安全技術、土木機械設備技術等の先端技術を活用し、建設機械の高度化、建設生産技術およびシステムの合理化、設備機械の信頼性の向上・コスト削減、維持管理の効率化、建設工事環境影響評価の手法の整備などを目指した研究開発を行っています。

土質・振動チームは、土木技術の根本的な材料の一つである土を対象とし、安全な土構造物をつくることを目標に、主として河川堤防の強化や道路斜面の防災、地盤環境の保全、軟弱地盤対策に関する研究・開発を進めています。

施行・技術チームは擁壁・軟弱地盤対策等の土構造物を中心とした社会資本の設計・施工・維持管理におけるコスト削減を目指した技術開発を行っています。

水質チームは河川や湖沼などの水環境での水質汚濁原因の解明、下水道など流域を通じた有機物や栄養塩類などの挙動の調査研究、微量化学物質の下水道における挙動および下水処理性能への影響、生物を用いた水質評価技術、生態系から見た水質調査などの研究をしています。

地すべりチームは地すべり・岩盤斜面の崩落による災害を未然に防ぐため、地すべり発生メカニズムの解明、適切なモニタリング手法及び防止対策について研究をしています。

舗装チームでは、大切な資産を長期にわたり有効に活用するため、舗装の合理的・経済的なマネジメントに資する研究、舗装の性能評価に関する研究、舗装の耐久性向上に関する研究などを行っています。また、快適で災害の少ない街づくりや、循環型社会の形成に対応するため、環境の改善を目的とした舗装技術に関する研究などを行っています。



図 地質調査と河川調査

3. 研究室を訪問してみた

現在道路はアスファルトでの舗装が多くを占めていますが、アスファルトだと路面温度がコンクリートでの舗装に比べて5°~10°上がってしまいます。そのため特定の高速道路ではコンクリートでの舗装が行われています。しかしアスファルトに比べコンクリートは価格が高く、壊れた時に直すのがより難しくなってしまいます。そこでこの研究室では「超速硬セメント」における研究をしており、効率良く道路の工事をする技術の開発に力を注いでいます。

また、公共事業では安価であることが常に求められています。そのため廃タイヤを利用し道路を舗装するという研究をしていて、実際に陸上競技場のトラックに用いられています。

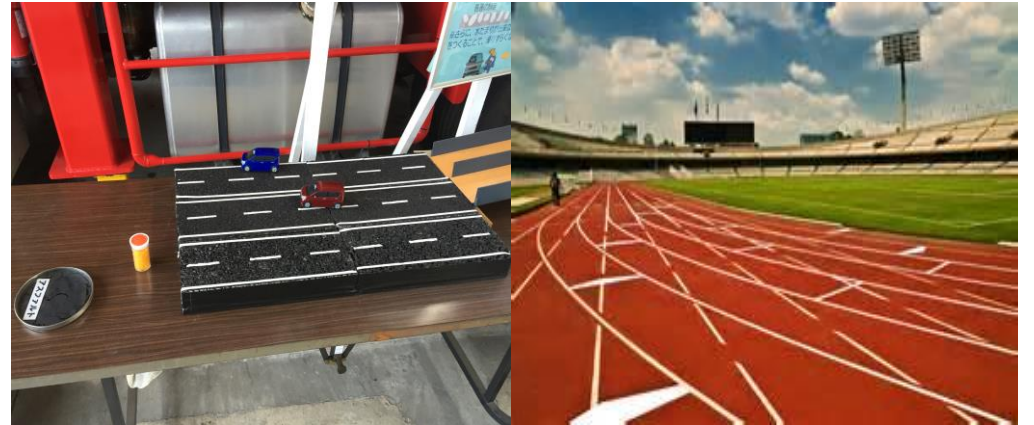


図 道路の模型

4. 今後の課題と展望

人口減少時代を迎えた今日、これまでの「開発」基調、量的拡大を目指す計画から、国土の質的向上を目指し、国土の利用と保全を重視した成熟社会型の計画へと転換する施策実現の一つの手立てが自然共生型流域圏の構築であるという認識の下に、その解決の方策を都市・地域環境の再生という観点から取りまとめたものであります。自然再生のみならず地域の再生では、技術面だけでなく様々な要素の関連性を再構築していくことが必要であり、その関連の糸をたぐり寄せて一つずつ解明していくことが課題であります。



図 これからを担うつくば土木研究所

5. 調べてみての感想

今回、つくば土木研究所を調べてみて「土木」という言葉からイメージするものが180度変わりました。社会への貢献度が高く、私たちの日常生活にも素晴らしい技術が使われていることが分かりました。

災害支援に至っても「土木」は鍵を握っていて、ネパールの地震のときも非常に力を発揮したということを知り、今はその知識が求められていることを理解しました。

6. 参考文献

土木研究所 HP <http://www.pwri.go.jp/>

KEKの最先端の研究と技術

宮城県仙台第三高校 佐藤航輝 田中龍也 遠藤魁人 藪貴 平間草太 駒田啓伍

1. 研究機構紹介

高エネルギー加速器研究機構(KEK)は茨城県つくば市にあり、加速器と呼ばれる装置を使って基礎科学を推進する研究所である。高エネルギー加速器とは、電子や陽子などの粒子を光の速度近くまで加速して高いエネルギーの状態を作り出す装置のことを言う。研究所ではこの高エネルギー状態から作られる素粒子の世界を研究することで、誕生直後の宇宙の様子を探ったり、生命の構造を解き明かしたりしている。

2. 実験施設

KEKのつくばキャンパスには先端研究を支える様々な加速器群がある。主な実験施設は以下の2つである。

<SuperKEKB 加速器>

SuperKEKB 加速器の前身である KEKB 加速器は周長 3km の二つの円形加速器で電子と陽電子を正面衝突させることで生じる膨大な数の「B中間子」の崩壊過程を観察して、2008年にノーベル賞を受賞した研究内容である小林・益川理論を証明した。

SuperKEKB 加速器はその KEKB 加速器の性能を 40 倍向上させたもので、現在建設中である。

<放射光源加速器>

光速に近い速度まで加速された電子が電磁石によって軌道を曲げられるとき、放射光という強く明るい紫外線や X 線が放出される。この放射光は原子レベルのものも詳しく観測できるため、この加速器ではその性質を用いてタンパク質の構造を研究して薬品に応用したり、はやぶさのイトカワ微粒子の解析もした。

最新の研究では XAFS(ザフス)という、結晶ではないもの(例/ガラス)をみる研究をしている。



写真1 KEKB加速器



写真2 XAFSの実験施設

3. KEKで行っている科学研究

KEKでは加速器と呼ばれる巨大な装置群を用いて物理、化学、生物など幅広い分野での研究を行っている。主な研究内容は以下の2つである。

(1) 素粒子原子核の研究

この世界にある物質は、すべて素粒子という小さい粒からできている。KEKでは、この素粒子や原子核の性質やふるまいを電子、陽電子、陽子などの粒子を加速させる粒子加速器を用いて、実験的に研究している。またそこから、宇宙の始まりにおける謎の解明などの研究を行っている。

(2) 物質・生命の構造や機能の研究

電子加速器から発生する放射光や低速陽電子、陽子加速器でつくられる中性子やミュオンと呼ばれる粒子を使い、物質・生命の構造とその機能を、分子や原子のスケールで解明するための研究を行っている。

この研究の物質科学の分野を担う物質構造科学研究所では、構造物性研究センターを設立し、外部の研究者とともに、物性科学研究で重要視されている「強相関電子系」「表面・界面系」「ソフトマター系」「極限環境下物質系」と言う4つの分野を重点的に研究している。

また生命科学においては、生命現象で重要な役割を果たすタンパク質の立体構造を原子レベルで解析することで、たんぱく質がはたらく仕組みの解明やゲノム情報を生かすという研究を行っている。

4. KEKの技術研究

KEKでは、その名が示すように、加速器の研究が行われている。そのほかに、共通基盤研究という研究自体に使う機器を開発する研究も行っている。

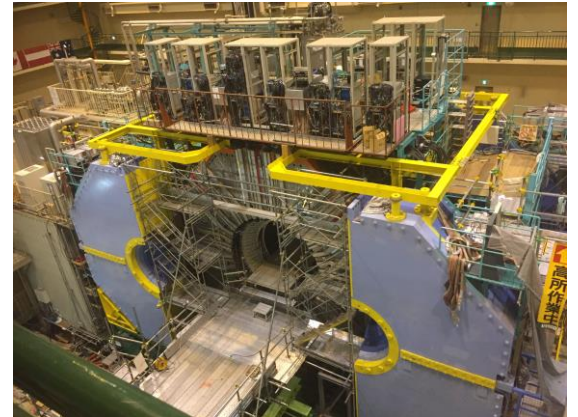


写真2 開発中の検出器 (Belle II)

(1) 加速器研究

加速器の研究では、加速器が放つ異なるエネルギーを持つ電子と陽電子のビームを管を通じて正面から衝突させ、そこから素粒子反応を観測する。この研究によってノーベル物理学賞を受賞した小林・益川理論の実証をはじめとするさまざまな研究結果を出すことができた。さらに、これらの研究の発展のために、衝突するビームの強度、細さ、精度の向上や、実験で得られた素粒子反応の検出する高性能な検出器の開発がされている。

(2) 共通基盤研究

その KEK の研究に欠かせない基盤となる検出器や、加速器の開発研究は、この共通基盤研究施設で行われている。検出器で観測したデータの保管、解析を世界中の解析結果をもとにして分析したり、機器が、超電導、極低温等の先端技術の開発、そして実験装置の開発研究によって更なる機器の精度向上を行っている。

5. 社会貢献

KEKが推進している研究は真理の追究を目的とした「基礎科学」である。基礎科学における発見や検証、発明は知の飛躍をもたらし、それらの研究成果から生まれる先端技術は直接的・間接的に社会の発展に寄与している。

放射線分野の研究

放射線物理グループでは、加速器施設の安全運用のための基盤技術である放射線の測定方法の研究をしている。また、様々な種類とエネルギーを持つ放射線の相互作用の理解を応用した能動型検出器の開発をしている。この研究成果は現在、国際ステーション内のエリアモニタリングや日本人宇宙飛行士の被ばく測定に実用化されている。

このように KEK の加速器を軸に発展していく先端技術が幅広い分野で実用化されている。

6. 参考文献

- <http://www.kek.jp/ja/Research/ARL/RSC/RadiationPhysics/>
- KEK 高エネルギー加速器研究機構, 大学共同利用機関法人, www.kek.jp/ja/

『世界最強』の加速器へ

宮城県仙台第三高校 本田勝丸 三浦玄 中嶋孝誠 橋本靖裕 三浦時瑛 海野ひかり

KEK について

KEK とは「高エネルギー加速器研究機構」の略称である。茨城県つくば市に位置する。

高エネルギー加速器は、電子や陽子などの粒子を高速でぶつけ、新しい物質や宇宙の誕生の状態を再現することができる。

また、物質や生命の根源の探求を行い、研究者の育成に励んでいる。また、大学共同利用機関法人としても機能しており、大学の高度な教育に使用されている一面もある。

宇宙の謎に挑む

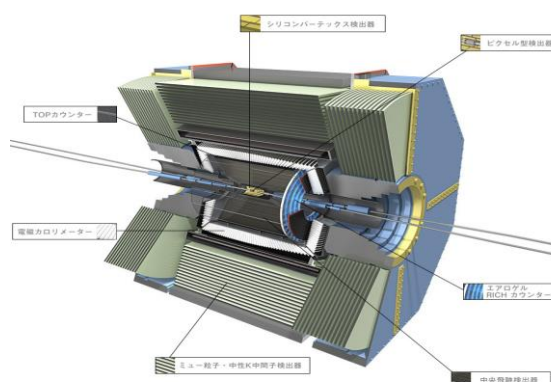
KEK では、Belle II 測定器を用いて、素粒子物理学の実験である Belle II 実験が行われています。

Belle II 実験は、電子と陽電子をぶつけ、それによって得た膨大な量のデータを解析することによって宇宙発生当時の物理法則を探索することを目的としています。

実験の一例としては、反粒子の実験があります。すべての素粒子には反粒子と呼ばれるプラスマイナスが逆の粒子が存在することが分かっています。加速器で人工的に宇宙誕生直後の状態を作ると、必ず粒子と反粒子が対となって誕生します。もし、粒子と反粒子が出会うとエネルギーの塊となって消えてしまいます。しかし、自然界の中では反粒子でできた物質は見つかっていません。それは、同じ数だけ存在したはずの粒子と反粒子が粒子のみ現在まで残ったことを表しますが、それが何故なのかは未だ解明に至っていません。それを解き明かそうとすることも Belle II 実験の目的の一つとなっています。

Belle II 測定器は、電子と陽電子の衝突によって作り出された B 中間子のいくつかの軽い粒子への崩壊を測定します。Belle II 測定器の粒子の衝突点を覆う高さ、幅、奥行きはそれぞれ 8 メートル。1 兆万分の 1 秒ほどの B 中間子の崩壊を逃さず捉えます。

衝突点を中心に幾層にも重ねられた検出器によって、飛び出してきた粒子の種類と軌道を調べ、どのように B 中間子の崩壊が起こったのかを再構成することができます。



フォトンファクトリーとは

名前の通り「光の工場」であり、顕微鏡の役割を果たす。「放射光」を利用して物質の性質を調べるのに応用したのが「放射光科学研究室」だ。研究内容としては、巨大磁気抵抗効果や高温超伝導など物質があらゆる特異的な性質や、生命活動を行うタンパク質のしくみの解明などが行われている。

スパークチェンバーについて

宇宙線の軌跡を観測するための装置である。中にヘリウムガスが満たされており、宇宙線が通過することでヘリウムガスがイオン化する。宇宙線とは、宇宙からほとんど光の速さで飛んでくるエネルギーの高い粒子である。スパークチェンバーの上下には粒子検出器「シンチレーター」があり、シンチレーターが宇宙線を通過したことが観測された場合に高電圧をかける。高電圧がかかると宇宙線が目に見える形になって現れる。その実験の真相を探るべく、私たちは実習をさせていただいた。

実習内容

観測した宇宙線の入射角をシンチレーターを用いて調べる。

結果

入射角は 0 から 10 度が一番多かった。また、飛ぶ方向は様々だった。

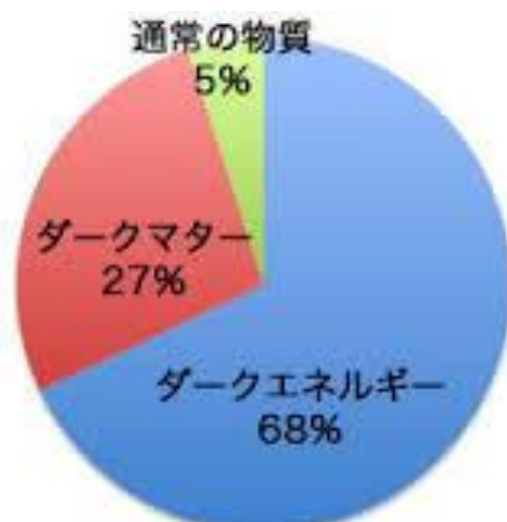
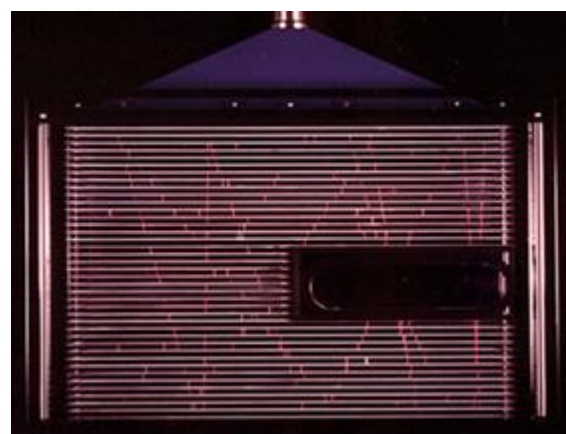


図1：宇宙の組成

Super KEKB とは

2010 年まで稼働していた KEKB 加速器は周長 3 km の二つの円形加速器で電子（80 億電子ボルト）と陽電子（35 億電子ボルト）をほぼ光の速さまで加速し、わずかな角度をつけて正面衝突させることで生じる膨大な数の「B 中間子」の崩壊過程を詳細に観察して、小林・益川理論を証明した。現在は B 中間子などの生成能力を 40 倍に高める Super KEKB 加速器を建設中で、2015 年度末にはその主要部である電子と陽電子の加速器でビームを安定して周回させることに成功し、2016 年度にはビームの粒子の数を増やし、ビームの広がりを小さくする「ビームの高度化」のための調整、衝突点の改造、および新設した陽電子ダンピングリングへの機器の据付けなどを行っている。

KEK 最後の講習

素粒子・原子核・宇宙の研究は密接につながっている。

一例として

ヒッグス粒子がないと、全ての物質が光速で動いてしまう。

→ヒッグス粒子が質量を司ってることは 2012 年 7 月に発見された。

→ヒッグス粒子が宇宙を埋め尽くしている宇宙にある 95% のものが何かわかってない

↓矛盾が生じる？

分かっている 5% の普通の物質のほぼすべてを占めているのがヒッグス粒子

最後に

研究者は何が面白いのか。

- ・誰も知らないことを「最初に」発見できる
- ・分からない事・知りたいことを自分の力で解決・理解できる。

研究者になるには？

この問題を解きたいと思う強い思いが必要だ

参考文献、資料

- ・ Belle II 実験 ―新しい物理法則を探る―
- ・ KEK 2016 要覧
- ・ フォトンファクトリー
放射光科学研究施設



JAXAのロケットについて知ろう

宮城県仙台第三高校 1年 三上 凌平 引地 啓太 古川 佑

若松 柊佑 菅原 優人

壹岐 虎太郎 高橋 凜

ロケットの基本構造

H-II ロケットでは、大きく分けて<第一段>、<第二段>、<誘導制御システム>、<衛星フェアリング>の4つに分けられる。

第一段には、中央におかれた液体ロケットと、その左右に各一本取り付けられた固体ロケットブースターで構成されています。中央の液体ロケットには第一エンジン(LE-7エンジン)が搭載されています。

第二段には、H-I ロケットの第2段エンジンとして開発されたLE-5エンジンを性能向上したLE-5Aエンジンが搭載されています。

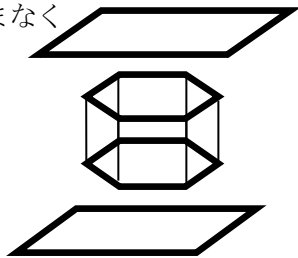
誘導制御システムは、第2段にはリング・レーザ・ジャイロと慣性誘導計算機を使ったストラップダウン慣性誘導システムが搭載されており、ロケットの飛行位置や速度を常に計算しています。

衛星フェアリングは、内部に衛星を格納し、打ち上げ時の空力加熱や音響等の過酷な環境から衛星を保護するとともに、打ち上げ前には衛星の清浄度を維持する役目を果たします。打ち上げ後、H-II ロケットが大気圏を抜けて空力加熱が十分小さくなった時点で、衛星フェアリングは第2段から切り離されます。

ロケットの先端構造

ロケットの先端構造のことをフェアリングといい、これは打ち上げの際に生じてしまう熱や振動から中に入っている衛星を守る役割を担っています。この役割を全うするためには軽くて丈夫である必要があります。この条件を満たすためにハニカムサンドイッチ構造がもちいられています。

ハニカムは英語で「蜂の巣」という意味で下の図のものを何個もしきつめています。なぜ六角形かというとすきまなく敷き詰められるのに一番効率がいいからです。すきまなく敷き詰めることで強度が増し、材料もあまり多く使わず、また軽量でとてもフェアリングに適しています。



ロケットの使用用途

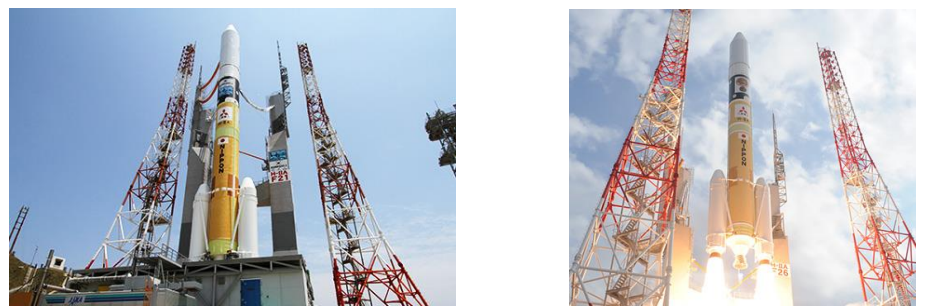
主な使用用途は人工衛星をロケットの先端部分に積み込み宇宙へ飛ばすことや月やその先の星を探索する探査機を宇宙へ飛ばすことです。

しかし、宇宙へ向けて人工衛星や探査機を飛ばすことは難しく、地球から約3万6000キロ離れた静止軌道に人工衛星を乗せるため秒速8キロの速さに加速する必要があります。また、地球から38万キロ離れた月に探査機を送るため秒速11キロの速さと正確なスピード調整、方向調整も必要になります。



そのため、ロケットは、人工衛星や探査機をできるだけ正確に予定の軌道にのせられる複雑な姿勢制御が必要になってきます。

しかし、ロケット実験にかかる費用は数千万円の桁となるのが一般的であり、実験機会も限られています。そのため、ロケット実験の利用を希望する研究者もなかなか実験に手が出ません。ですが、もし安価に利用できるようにロケットの仕組みをかえれば、地球温暖化、オゾン層生成・破壊、燃焼、結晶成長、生命科学の分野などに、広く存在している、実験希望の気象研究者や微小重力研究者により、科学的な新たな発見が望めるかもしれません。



まとめ

このポスターを作成して、いままで知らなかったロケットについての知識を身に付けることができました。また、知っていたことについてはより理解を深めることができました。

実際に JAXA に行き、ロケットを見たり人工衛星のレプリカを見たりすることができたなどの貴重な体験をすることができました。

特に、宇宙から帰還するためのソユーズと呼ばれるもののレプリカと本当に宇宙から帰ってきたものを見ることができました。宇宙から帰還する方法はあまり知らなかったのも、とても貴重なことを知ることができたと思いました。また、宇宙服が国によって違うということを知り、驚きました。

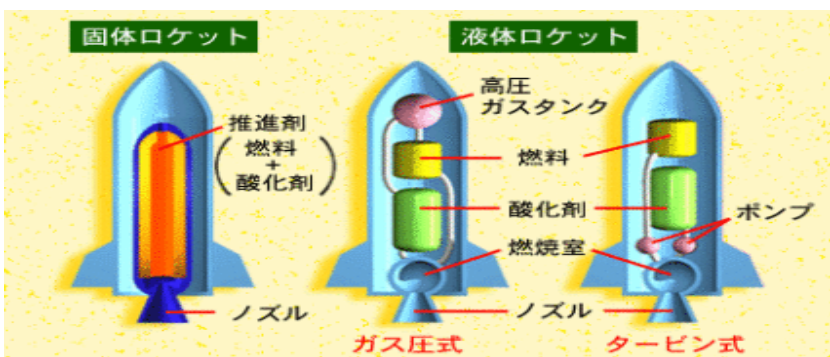
この研修で学んだことや貴重な経験を、進路や今後の生活に生かしていこうと思います。

ロケットのエンジン構造

エンジンの燃焼と酸化剤のことを推進剤と呼びます。

固体ロケットの推進剤にはポリブタジエン系の液体合成ゴムなどの燃料と過塩素酸アンモニウムなどの酸化剤を均一に混ぜ合わせて固めたものを使用します。液体ロケットの推進剤には液体水素などの燃料と液体酸素などの酸化剤を使用します。別々のタンクに入れられ、パイプを通して燃焼室に送られます。燃焼室に推進剤を送り込む方法としてはガス圧式、タービン式があげられます。

また、どちらのロケットも燃焼室で作ったガスをノズルで噴射します。ノズルには噴射するガスの速度を速めるはたらきがあります。



参考文献

http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2/component_j.html
<http://www.rocket.jaxa.jp/basic/knowledge/fairing.html>
http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/solid_liquid_rockets.html
<http://edu.jaxa.jp/materialDB/html/guidebook/guidebook/pdf/mission3.pdf>
<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2004/nagata/>
http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/index_j.html

JAXAを知り尽くす

宮城県仙台第三高校 6班 2年 谷津直哉 小杉優気 佐藤隼人 熊谷昂輝 支倉弘登

筑波宇宙センター紹介

筑波宇宙センターは筑波研究学園都市の一面にあり、1972年に開設した(図1)。当センターでは、JAXAの推進する活動のうち、

- ・宇宙からの目となる人工衛星の開発・運用、その観測画像の解析
- ・「きぼう」日本実験棟を用いた宇宙環境利用や、宇宙飛行士養成と活動推進
- ・ロケット・輸送システムの開発と、技術基盤確立のための技術研究推進

を行っており、日本の宇宙開発の中核センターとしての役割を果たしている。



図1

図2

また「きぼう」日本実験棟の運用管制室(図2)があり、24時間365日、「きぼう」はフライトディレクターと運用管制員からなる50名以上のチームが3交代24時間体制で運用を行っている。

ほかにも当センター内には普段見ることができない貴重な資料がたくさん保管されており、JAXAのいままでの活動や宇宙探索の際に実際に用いられたものを直に見ることができる。

火星探索について

火星は地球のすぐ外側をまわる惑星で、地球からは赤く見える。火星の直径は地球の約半分、体積は1/10ほど、表面の重力は地球の1/3ほどの大きさだ。火星は地球とほぼ同じ24時間37分かけて自転しながら、687日かけて太陽のまわりを公転する。また、火星の自転軸は25度ほどかたむいているため、地球と同じように四季の変化を見ることができる。表面には薄い大気があり、月の表面に似たクレーターもたくさん見られている。(図3) ↓図3

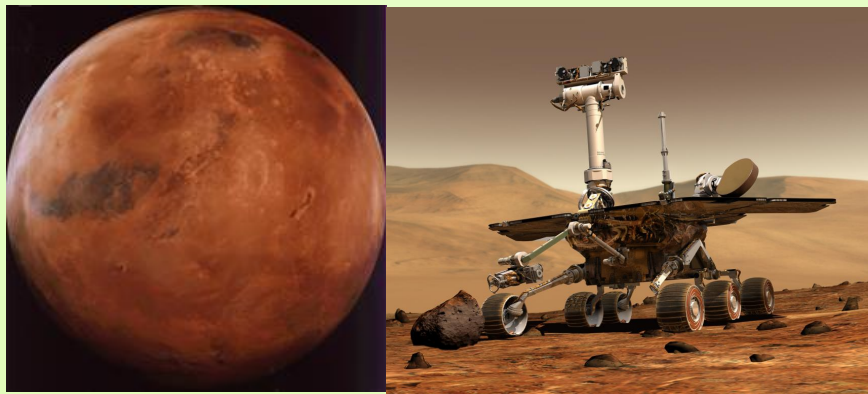


図4

JAXAでは、火星着陸生命探査計画「MELOS1」という、火星の表面にローバー(図4)と呼ばれる火星探査車を走行させる計画が進めている。このローバーでの探査により、生命の存在を調べようという流れである。また、このローバーの打ち上げは2020年とされており、まだ少し先のこととなっている。だが、近年の望遠鏡での観測では、火星に水らしい物質が見られており、生物が生息する可能性は高いといわれている。



金星探査機あかつき について

～金星探査の目的～

金星の天候・大気の3次元的な動きを解明し、金星の気象学を確立すること。

～なぜ、金星大気の動きを調査するのか～

地球についてもっと知るため-地球と金星は“双子星”と呼ばれるほど似ている(図5)が、それは大気の流れが全く異なるからである。金星は自転周期が243日ととてもゆっくりなのに対し大気は100(m/s)と、地面の60倍の速さであり(ふつう、地面と大気は同じ速さで動くといわれている)、これを“スーパーローテーション”という。

～あかつきの探査成果について～

2016,3,29 IR2カメラでの金星の撮影、雲の変形、消長が明確になった(図6)

	地球	金星	火星
誕生	約46億年前	約46億年前	約46億年前
太陽からの距離(km)	1.5×10^8	1.1×10^8	2.3×10^8
質量(kg)	6.0×10^{24}	4.9×10^{24}	6.4×10^{23}
直径(km)	1.3×10^4	1.2×10^4	6.8×10^3

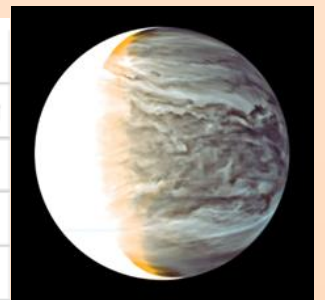


図5

図6 金星疑似カラー画像 (JAXA)

現代社会での利用

宇宙探索の過程で生まれた技術が、身近なところで生かされている事例もある。

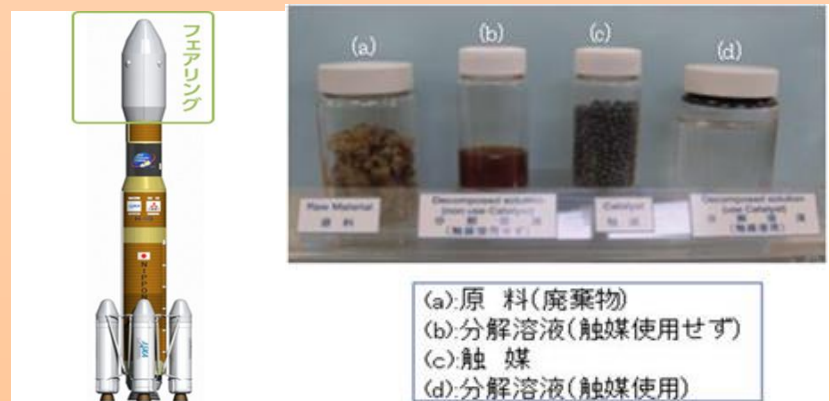
例えば、ロケット先端部(フェアリング 図7)用に開発された断熱材技術は、軽量で熱制御性に富んでいるうえ優れた施工性を有しており、断熱塗料として幅広いニーズで使われている。

また、JAXAで開発された長期有人宇宙活動を実現するための「有機廃棄物の再資源化技術」は地上用ごみ処理設備として製品化の準備がされている(図8)。酒・焼酎等の製造過程で出る有機廃棄物、家畜ふん尿等の有機廃棄物等を、水資源、エネルギー資源として再利用するというもので、環境問題に貢献している。

宇宙の分野は地上の様々な事柄と密接な関係を持っている。

図7

図8



(a)原料(廃棄物)
(b)分解溶液(触媒使用せず)
(c)触媒
(d)分解溶液(触媒使用)

感想

今回の研修では、今まで画像や動画でしか見たことがなかった探索機などの本物を見ることができ、自分が思ってもいなかったような発見をいくつもした。探索機の断熱材が宇宙にいけるのか不安になるくらいペラペラだったり、宇宙飛行士の最終選考に実際に使われたところに行ったりと、パソコンや本で調べるだけでは知ることが出来ないだろうことさえも直接目で見て、説明を聞くことで深い理解を得ることが出来た。このような貴重な経験を忘れずに、これからの自分たちの将来に活かしていきたい。

人工衛星の色々！！

宮城県仙台第三高校 2年奥村音羽、植木芽泉、入月夏音、阿部愛弓、岡田理沙

I JAXA について

JAXA は様々なプロジェクトを行っている。プロジェクトは主に人工衛星、ロケット、宇宙科学・探索、宇宙環境利用・有人宇宙活動の四つに分野に分けられている。

例を挙げればきりが無いが

- ・ 小惑星探査「はやぶさ」(MUSES-C)
- ・ 月回衛星「かぐや」(SELENE)
- ・ 超高速インターネット衛星「きずな」(WIMDS)
- ・ 熱帯降雨観測衛星「TRMM」
- ・ 陸上観察技術衛星「だいち」(ALOS)

などがある。

このように、1度は耳にしたことがあるものから、初めて知るものまで、月・衛星探査、地球観測衛星、天文・通信・測位技術試験などと多様なジャンルで活躍している。

II JAXA の主要施設

○13m スペースチャンパー

宇宙環境への耐性を調べる。

○大型振動試験設備

システムごとに振動実験を行う。

○超高真空材料特性評価試験設備

- ・ 材料の表面の劣化のメカニズム
 - ・ ガスの影響
- の調査

○真空総合環境試験設備

宇宙環境での材料の劣化を調べる

「電子線」「真空紫外線」「原子状酸素」を同時に照射できる。

○「きぼう」

24時間 365日 50人以上のチームが日本実験棟の運用、管制を行う。

☆宇宙飛行士養成棟

宇宙飛行士養成棟に行き、閉鎖環境適応訓練設備や低圧環境適応訓練設備を見学した。

閉鎖環境適応訓練設備は、実際に宇宙飛行士を選ぶための最終選抜試験の場である。

一週間の間ほかの候補者と生活し、24時間監視され、精神的・心理的ストレスを評価される。

大西卓哉さん、油井亀美也さん、金井宣茂さんは実際にここで最終試験を受けて宇宙飛行士となった。

低圧環境適応訓練設備は、安全に宇宙で過ごすために、宇宙で発生する低気圧環境を模擬する設備である。



III こんな人工衛星があった！

・ 実験用中型放送衛星「ゆり」(BS) <図1>

→日本の放送衛星の第一号機

個別受信を目標とする直接衛星放送システムや、各種放送の実験が行われた。それにより、テレビ難視聴地域の問題解消に加え、将来の技術開発にも役立てられている。その後、「ゆり2号 a、b」「ゆり3号 a、b」と続く。

・ 水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W) <図2>

マイクロ波放射計を搭載し、土壌の水分量などを含む、地球の水に関する情報を収集する。地球温暖化などの気候変動の仕組みの解明に水循環の面から貢献している。

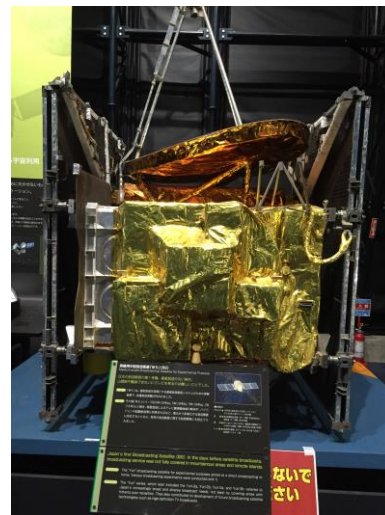


図1



図2

IV 私たちの生活に欠かせない！人工衛星！！

人工衛星は宇宙利用・宇宙科学研究のミッションを実現するためのツールである。

たとえば、カーナビを使って知らない街に迷わずに行くこと、山間部や離島、海の上や空の上でもメールや通話ができることなど日常生活の中で人工衛星が活躍している。

大災害など地上で通信できない時でさえ、宇宙との通信が途切れることはない。

人工衛星は私たちのにとって重要なコミュニケーション手段であるのだ。

参考文献

JAXA <http://www.jaxa.jp/about/centers/tksc/>

GS白神フィールドワークとは…？

白神十二湖地域…

白神山地は、青森県南西部から秋田県北西部にまたがる130,000haに及び広大な山地帯の総称です。このうち原生的なブナ林で占められている区域16,971haが1993年12月に世界遺産として登録されました。青森県側の面積は、その約4分の3を占め、12,627haとなっています。仙台三高では、SSHに認定されたH22年から青森県の深浦町に行き、白神山地の成り立ちや自然環境の調査を行っています。今年度は8月8日～10日の日程で開催しました。



実習・講義内容

ブナ林の毎木調査



- 私たちが見る植生は、遷移の途中段階に過ぎない。植生は植物の時間の中で常に変化しており、私たちヒトの時間感覚とは大きく異なる。

発光生物の観察



- 生物発光は、エネルギーを光に変換する効率が極めて高く、照明などのような人工の光と異なり、熱をほとんど発しない。いくつかの生物で発光現象は見られるが、発光のメカニズムは個々の生物により異なっている。

地すべりと追良瀬川の土石流



- 1793年に起こった寛政西津軽地震による地滑りは、その後土石流を誘発した。土石流はなぜ起こったのか？土石流はいつ起こったのか？現在の地形から当時の災害を予測しよう。

磯の生物観察



- 生物の分類は、「種」を基本単位として、類縁関係に基づき「界・門・綱・目・科・属」の段階を設けて分けられる。目標は、動物界の中から『5門10目』を探せ!!

十二湖地域の地形



- 白神山地十二湖地域には森の中に30以上湖が点在している。これは「地すべり」により天然のダムが形成されたためであるが、なぜそのような現象が起こりやすいのか？どのくらいの年月をかけて形成されたのか？

今年度の様子



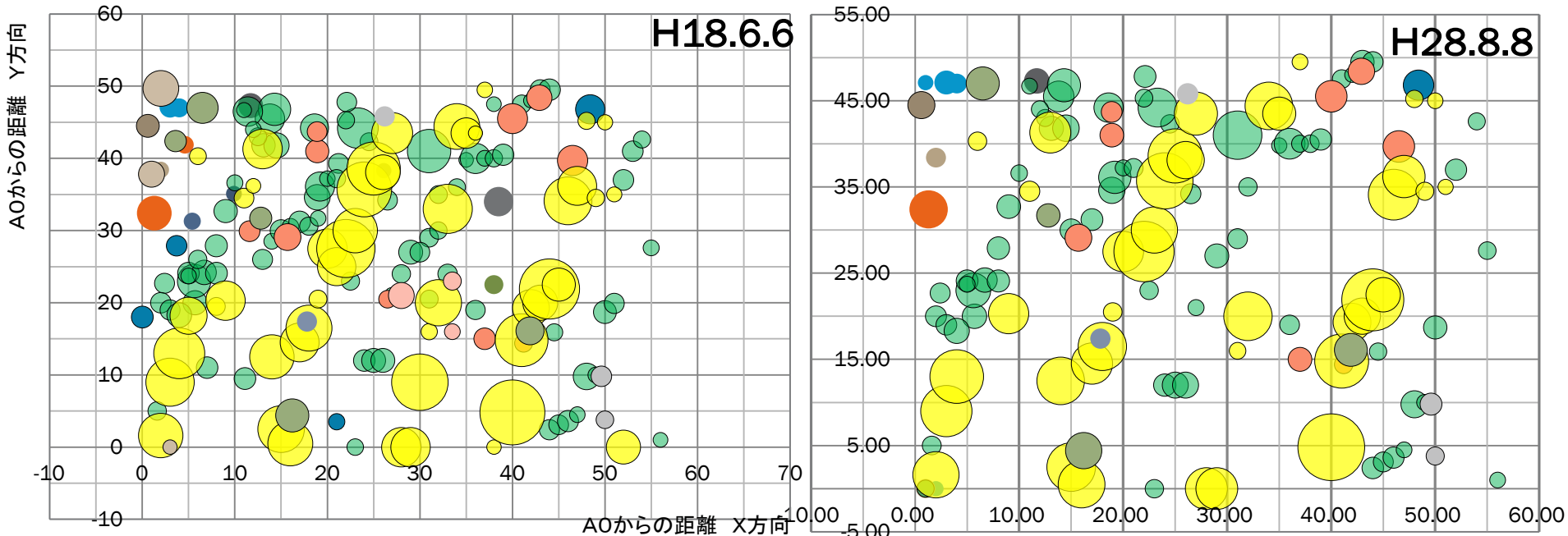
十二湖周辺の毎木調査

H28.白神フィールドワーク

八巻 春香、大泉 環、熊谷 小夏、高平 響、鎌田 彩加

調査結果

- アオダモ
- イタヤカエデ
- ウワミズザクラ
- カエデ?
- カツラ
- キブシ
- コシアブラ
- サワグルミ
- サワシバ
- シナノキ
- トチノキ
- ノリウツギミズキ
- ハウチワカエデ
- ハクウンボク
- ブナ
- ホオノキ
- ミズキ
- ヤマザクラ?
- ヤマモミジ
- 枯木



考察 一つの木の生長を10年前のデータと照らし合わせてみた

[今年の特徴]

(30,10)を中心とするブナが倒れたことで(30,20)~(35,20)のブナが急速に生長した。また、この大きなブナが生長することで、周囲の木に日光が当たらず枯れて倒れた。また、(30,10)を中心とするブナが倒れたことで、その周りのブナは大きく生長している。

[10年前との比較]

大きなブナが倒れその周りにある別のブナが生長することで違う種の小さい木には光が届かず、枯れていたものもあった。これによって、測定できる木の本数が減った。また、平成18年と比べてギャップがみられた。



D2の全天写真

[まとめ]

いくつかのギャップができていたが、ブナ以外の小さな木があまり育っておらず、枯れているものもあった。大きなブナの木が倒れてできたギャップでほかのブナが大きくなり、その他の違う種類の木があまり育っていなかった。これらのことから、森の木々は日光に当たり生長するために、お互いに競争をしているのである。まだ測定に至らない木々があるので今後どのようにブナ林の様子が変化していくかみていきたい。

目的: 区域を設定し、その中で自然がどのような変化をしているのか調査し、今後の自然の変化を予測する。

感想

今年の白神山地のブナ林での毎木調査では、去年からの多くの変化を感じた。前年はあって、今年は枯れている木もあったが、ほとんどの木が少しずつ生長していた。ブナ林の生態は毎年変化するものであり過去の記録より生長が遅いものもあった。それらの木々を見て、環境に適応しながら成長していくことの難しさを感じた。また、これまで何年も先輩方が調査を続けてきたことを、私たちも継続したように来年以降も白神のブナ林の成長を見守ってほしい。

方法

① 50m × 50m に区切られた方形区枠の中に25個の10m × 10m の小方形区枠を設置。



② それぞれIDが振ってある区枠内の木の幹回りを測

③ 過去のデータと比較。変化をみる。

発光生物の神秘

～ホタル・ウミホタルの生態～

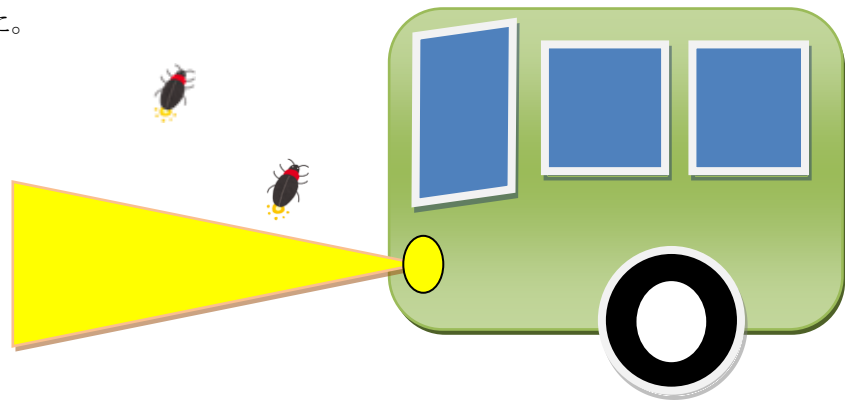
伊東可恋 千葉蒼太、伊藤夏海、庄司朱音、木村有里、寺田航士郎

<研究内容・目的>

日本には豊かな自然のもとにたくさんの生態系が存在する。
その生態系の一つに発光生物がある。十二湖周辺のゲンジボタルやヘイケボタル、ウミホタルなどである。それらの生態系の数、規模、みられる時期や発行する理由や原理などを調べることを目標に、今回の研修に参加した。

<蛍の現状>

今回白神山地で観察されたヘイケボタルは、およそ一秒間に一回のペースで点滅させている。
ホタルを呼び寄せるため、私たちはバスのハザードランプを使って呼び寄せた。



このハザードランプの点滅とホタルの発光のペースはほぼ同じな為、ホタルはこのハザードランプをホタルの光だと勘違いし、ハザードランプに寄ってくるという仕組みである。

<調査方法>

- ① ビンのフタに、直径1cm程度の穴を10個ほどあける
- ② 適量のエサを茶こし袋に入れて、輪ゴムまたはたこ糸で口をしぼる
- ③ ②をびんに入れる
- ④ ビンの穴にロープを通し、日が落ちたら海の中に投げ込む
- ⑤ 約20～30分後にトラップを回収する

<材料>

- ・フタつきびん・金魚アミ
- ・ロープ(10m程度)・バケツ
- ・茶こし袋・エサ(レバーや魚など)
- ・輪ゴムまたはたこ糸・カッター
- ・布・懐中電灯

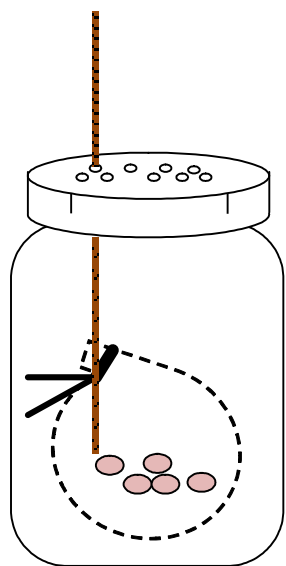
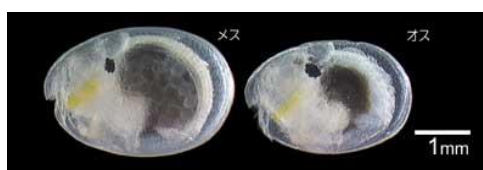


図1.採集装置

<ホタル・ウミホタルの特徴>



ウミホタル 3.5mm



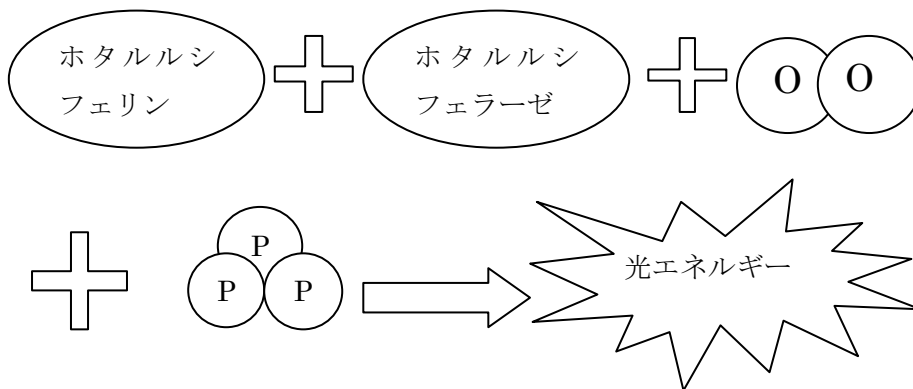
【ウミホタルの特徴】体は半透明であり、求愛時、または危険を感じると外敵への威嚇のため青色に光る。ホタルの発光にはATPを必要とするが、ウミホタルの発光にはATPを必要としない。

	種目	生息場所	発生時期
ヘイケボタル	昆虫類ホタル科	里山の小川 山間部の溪流	5月下旬から 7月上旬まで
ゲンジボタル	昆虫類ホタル科	里山の小川 水田、湿地帯	6月上旬頃から 8月中旬頃まで
ヒメボタル	昆虫類ホタル科	標高の高い山地	
ウミホタル	介形虫類ウミホタル科	日本列島沿岸温 暖海流域	通年

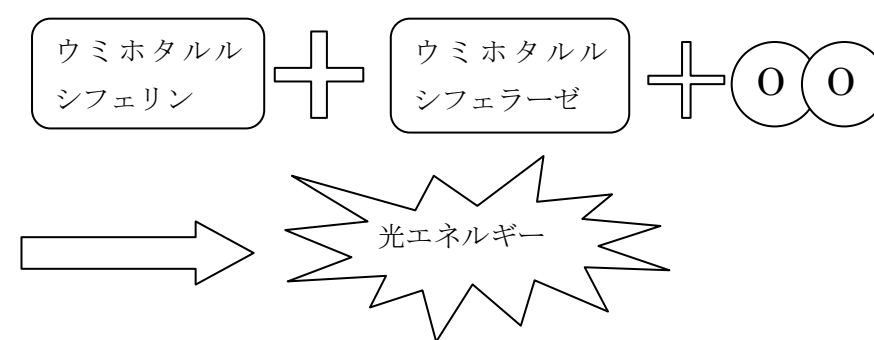
<ホタル・ウミホタルの生態>

{十二湖周辺の蛍を観察、調査し研修後記入}

ホタル科の場合



ウミホタル科の場合



<感想>

今回の三日間の白神実習で、普段私たちが住んでいる環境では見ることができないホタルやウミホタルなどを観察することができ、とても内容の濃い実習になりました。

今後は今回の体験をより多くの方々に知ってもらい、ホタルやウミホタルの素晴らしさを伝えていければと思います。

<参考文献>

ホタル百科
/東京ゲンジボタル研究所

地すべりと追良瀬川の土石流

3班 相原竜, 櫻井聖花, 芦立美春, 横山汐音, 新澤亜弓

追良瀬川について知られていること

規模：延長33.7km とする原生林を貫流し日本海に注ぐ
 源流：青森県と秋田県の県境になっている稜線付近
 2005年8月29日に土石流が起こった記録がある
 ところどころに崖や深い溪谷とV字谷続く、小さく蛇行しながら流れる
 標高差はあまりない
 大きな沢が多い

土石流について

「山腹が崩壊して生じた土石等又は溪流の土石等が水と一体となって流下する自然現象」（日本の法令による）



埋木の様子



図1 土石流イフスト (土砂災害防止広報センターより)

計測結果

湛水面積・湛水量調査

湛水面積：453000m²

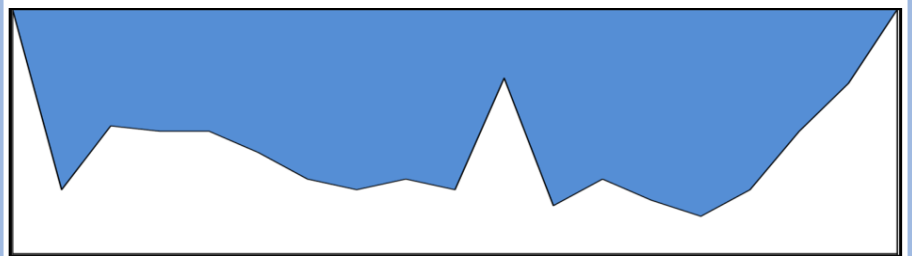
湛水位：30m

湛水量：4530000m³

決壊する日数

$$= \text{湛水量} / (\text{流量} \times 24 \times 60 \times 60)$$

$$= 13.4 \text{日 (約2週間)}$$



実際の断面図

目的

- 過去の記述と計測結果から地すべりの起きた地点を特定する

研究方法

1. 流域面積・総流量調査

(方法)

- 候補地点での流速、川底の断面の形、川幅を測定する
- 1で得たデータから川の断面積と流速の平均を出して求め、一日あたりにその地点を流れる水量を求める
- 地形図を用いて、水がたまったと思われる範囲を推定し、閉塞箇所の背後にたまった水量を求める
- 2と3から計算上の決壊する日数を求める

2. 過去のデータから推測する

過去の記述からダムが決壊したのは地すべりの後の二週間後と分かった



水量調査の様子



流速調査の様子

考察・まとめ

1793年寛政西津軽地震発生後の資料による天然ダム形成～決壊までの期間

⇒14日：2週間

算出した湛水量・ダム決壊までの日数

⇒13.4日：約2週間

従って、寛政西津軽地震による地すべりと河道閉塞/決壊箇所はこの調査地である可能性が高い

寛政西津軽地震の概要 西津軽地震発生後の経過(国日記)

表1 天気表(「国日記」より転載)

和暦年月日	西暦年月日	天気	詳	簡	追良瀬川「水遣」記録
寛政4年12月28日	1793/2/8	晴	昨夜少々雪今日時々雪、未だ凍地強し、西側凍地時々地震。		
寛政4年12月29日	1793/2/9	晴	昨夜中時々地震、今日未だ凍地。		
寛政4年12月30日	1793/2/10	晴	昨夜時々地震。		
寛政5年1月1日	1793/2/11	晴	朝ノ申刻頃地震、今日時々地震。		
寛政5年1月2日	1793/2/12	晴	巳刻より雪、昨夜中より今日時々地震、余震強し。		
寛政5年1月3日	1793/2/13	晴	昨夜より雪降、地震時々、今日終日雪降余震強し。		
寛政5年1月4日	1793/2/14	晴	昨夜より今日時々雪降。		
寛政5年1月5日	1793/2/15	晴	昨夜少々雪降、今日終日雪降、未だ凍地。		
寛政5年1月6日	1793/2/16	晴	昨夜より今日時々雪降。		
寛政5年1月7日	1793/2/17	晴	昨夜より今日時々雪、未だ凍地強し、西側凍地時々地震。		
寛政5年1月8日	1793/2/18	晴	昨夜少々雪、今朝凍地強し、今日時々地震。		
寛政5年1月9日	1793/2/19	晴	昨夜時々地震、今日時々地震。		
寛政5年1月10日	1793/2/20	晴	昨夜時々地震、今朝凍地強し。		
寛政5年1月11日	1793/2/21	晴	昨夜巳刻頃地震余震強し、今日午刻頃地震。		
寛政5年1月12日	1793/2/22	晴	昨夜中雨、今日風立、申刻頃地震。		「水遣」押し流れ、洪水になる(決壊にまだ数日間「水遣」がある)

(「御国日記」より)

参考文献 担当の先生

- wikipedia 「追良瀬」
- 弘前大学農学生命科学部 檜垣大助先生 のスライド

磯の生物観察

4班 赤間勇哉 吉澤和幸 阿部瑤平 遠藤諒人 木村基治 湊大輝

磯とは？

岩の多い海岸の波打ち際のことである。ちなみに、浜とは海や湖の水際に沿う平地のこと。

日本海の干満差

日本海側の潮の満ち引きは、太平洋側と比べると穏やかになっている。これは、日本海が狭い大洋でしかつながっておらず、日々の海水の流入流出が難しいためである。

また、日本海では水深300メートル以下の水が日本固有水と言われており、外洋との水の入れ替えあまりないことを示している。

目的

- ◆ 磯の生物を観察し5門10目を探す
- ◆ 観察した生物の特徴を調べる

観察した生物

脊索動物門

スズキ目 イシダイ
フグ目 クサフグ

節足動物門

十脚目 スジエビ、ホンヤドカリ、
イソガニ、ヒライソガニ
エビ目 タカノケフサイソガニ
無柄目 フジツボ

刺胞動物門

旗口クラゲ目 ミズクラゲ

棘皮動物門

アカヒトデ目 イトマキヒトデ
ホンウニ目 バフンウニ

軟体動物門

後鰓目 クロヘリアメフラシ
古腹足目 イシダタミガイ、トコブシ

まとめ・考察

- 集計の結果、5門10目14種の生き物を発見することができた。
- 今回の観察では、国内外来種の生き物を発見できなかった。
- 観察した生物から温暖な海であると言える。

実験

ヒトデの観察

捕まえたイトマキヒトデを用いて実験をした。ひっくり返されたヒトデはどうやって起き上がるのかを観察した。

右のようにひっくり返して観察したところ、二本の足を使って体を持ち上げてひっくり返る様子が見られた。五本足のヒトデを用いたところ、一本の足のみを使っていたので、ヒトデの利き足は足の総数に関係していると考えられる。



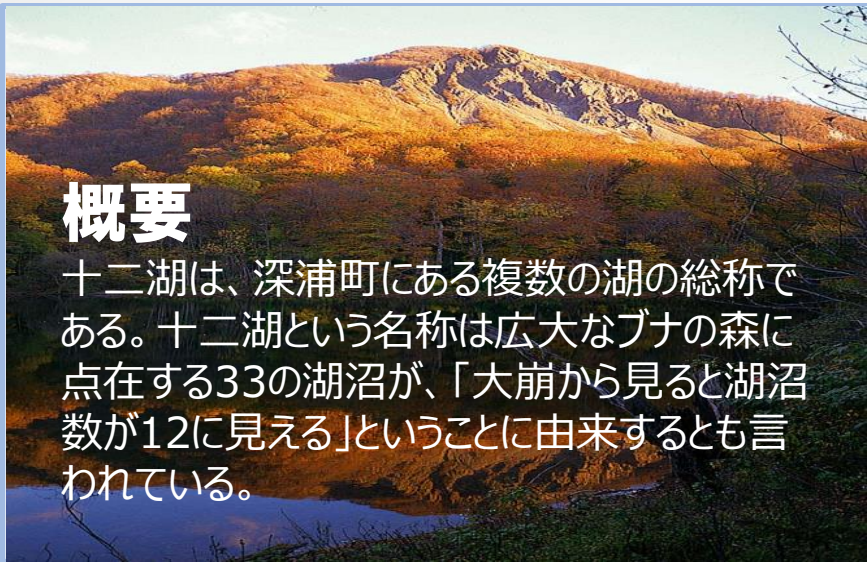
参考文献

三浦半島身近な図鑑 <http://sorairo-net.com/>

磯の生物 <http://www.geocities.jp/kamosuzu/iso2.html>

THE TWELVE LAKES

5班 西下允人, 加藤渉磨, 松戸秀斗, 石原匠



概要

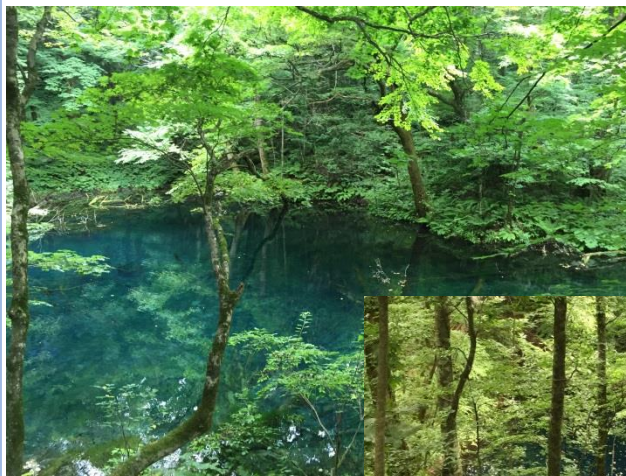
十二湖は、深浦町にある複数の湖の総称である。十二湖という名称は広大なブナの森に点在する33の湖沼が、「大崩から見ると湖沼数が12に見える」ということに由来するとも言われている。

青池が青い理由

青く見えるには...



「透明度」が高い！！



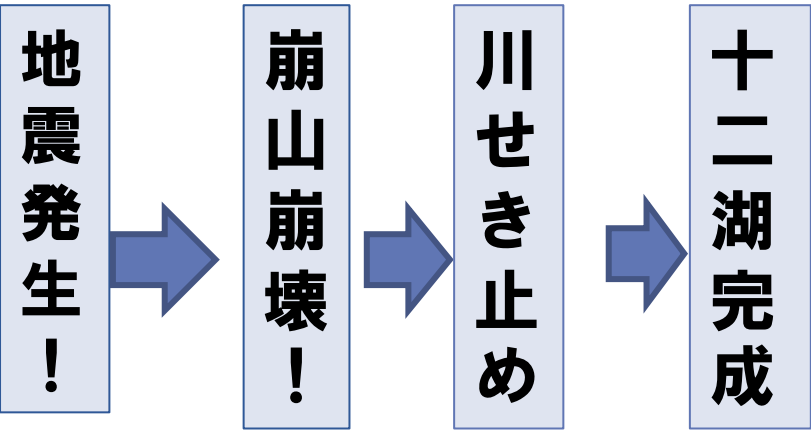
上図② 沸壺の池



右図③ 青池

形成

十二湖を構成するこれらの湖は、1704年の能代地震による崩山の崩壊で塞ぎ止められた川から形成されたのではないかと推定されている。



図①十二湖の地形図

まとめ・感想

- ・十二湖は山が崩れてできた堰止湖である。
- ・青池は透明度が高いため青く見える。
- ・また、水が湧いているため冬でも凍らない。
- ・十二湖はどの池も美しく自然の神秘や豊かさを感じられた。
- ・今でも1mm/年隆起し続けている。
- ・日本キャニオンにも行き、実際にその土を触ってみて崩れやすさを体感できた。

参考文献

ウィキペディア 十二湖, [Web東奥／とうおう写真館・あおもり110山／崩山](#)

ナノから広がる未来

東北大学工学部 小野・猪股/ 戸田研究室

2109 齋藤拓真, 2113 佐藤健流, 2115 佐藤豊, 2125 畠山偉織

研究室紹介

さまざまな“もの”がインターネットで繋がる社会に生きる私たちにとって機械の小型化や高性能化は必須です。そこで小野/戸田研究室では、ナノテクノロジーやマイクロシステム技術を基盤とし、IT、医療、エネルギー、環境やナノサイエンスのための微小機械、マイクロ・ナノシステムの開発を行っています。また、極限の感度を目指した極限センサを開発し、従来には困難であった新しい応用を開拓しています。

研究概要は、「ナノテクノロジーとマイクロシステム技術の融合」

「ナノ機械を利用した極限センシング」「デバイス化と集積化の技術、システムの小型化」です。

具体的には次のような研究をしています。

- ・磁気共鳴力顕微鏡 (MRFM) の開発
- ・小型赤外分光高度計
- ・ナノ材料開発
- ・シリコン振動子を用いた微小質量計

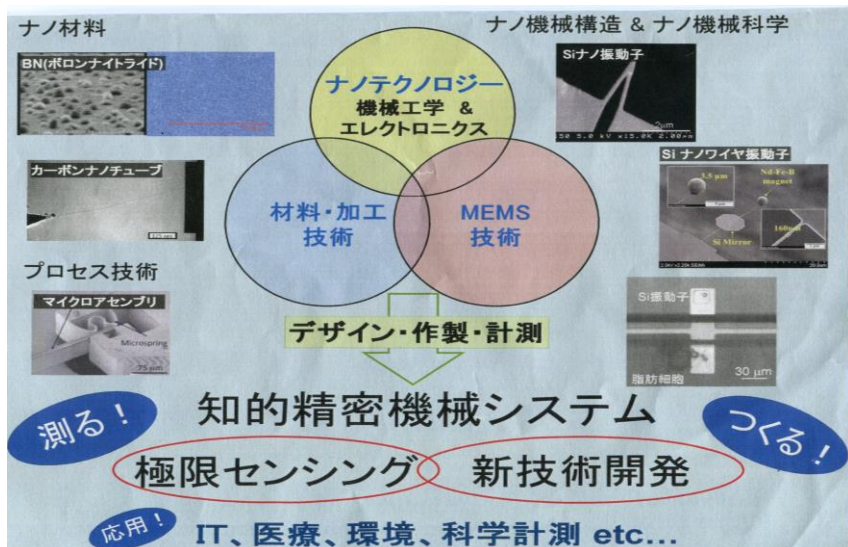


図1 ナノテクノロジーMEMS

① 高感度熱量センサ

この研究室では、細胞レベルで、生体のメカニズムの解明のため単一細胞、生体分子の熱計測の高感度熱量センサの開発を行っています。計測対象が μm 、 nm 単位なので熱容量が極めて少ないため、熱量センサの小型化、高感度化が必要になっています。熱量センサでは、ターゲット分子の酵素反応熱を検出して分子を同定します。

熱センサには振動型減センサ、電気抵抗型熱センサの二種類があります。

振動型熱センサとは振動子の居所的真空による液中での微小熱量センシングを利用したものです。これは温度変化により振動子の共振周波数が変化することで計測が可能となります。

電気抵抗型熱センサとは上昇温度を計測することでシトクロムCの濃度が分かります。これは温度変化により金属の電気抵抗値が変化することで計測が可能になります。

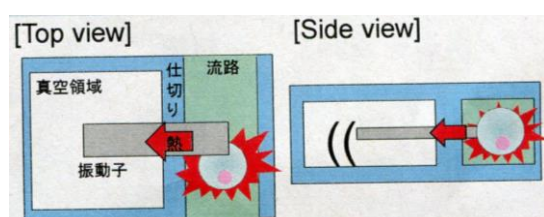


図2 振動型熱センサ

② 磁気共鳴力顕微鏡 (MRFM)

この研究室では、磁気共鳴イメージングの空間分解能のナノメートルまで小型化し、細胞などの3次元イメージングや、半導体の微小欠陥などを計測するための高感度センサと計測システムの開発を進めています。

センサとしては、磁性体を振動子の先端に形成した高感度の磁気力センサを開発し、磁性体が作り出す磁場と外部交流磁場によるスピンドリフを磁気力センサで検出します。ナノメートルの分解能でスピンの濃度分布を測定できます。



図3 MRI

細胞一つ一つが見える!

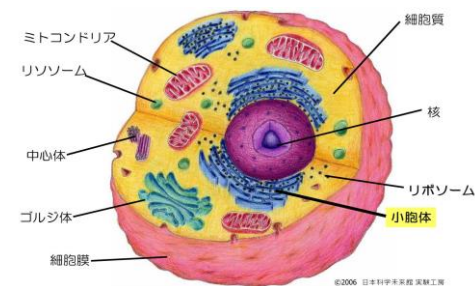


図4 細胞

③ 質問内容 訪問して判明したことなど

・研究室について

Q, 研究室の行事にはどのようなものがありますか?

A, 年間を通じて各種発表会がありますが、運動会やお花見、追いコンなどたのしい行事がたくさんあります。

・研究について

Q, MRI を小さくした MRFM(磁気共鳴力顕微鏡)を用いることにはどのような利点がありますか?

A, MRFM にはナノテクノロジーによる感度の高いプローブセンサが搭載されているため、ナノメートル分解能を得ることができ、MRI よりもさらに詳しく体の状態を知ることができるためです。

③ 感想

小野・戸田研究室ではナノテクノロジーを応用することでさまざまな機構の小型化による高機能化を目指し研究をしていることがわかりました。小型化をすることは高感度、高速応答、集積化、省エネを実現することにより高効率化を望めるようになります。これは大きな躍進であると感じました。

ナノテクノロジーは非常に魅力的な機構であり、これからの私たちの生活をよりよくすることが期待できるものであると思います。

④ 謝辞

小野・猪股/戸田研究室の皆様、ありがとうございました!

泡でたたく金属を強くする

東北大学工学部 青柳研究室

2220 佐藤隼, 2224 千葉雄太, 2228 橋本良真, 2233 谷津直弥

① 研究室紹介

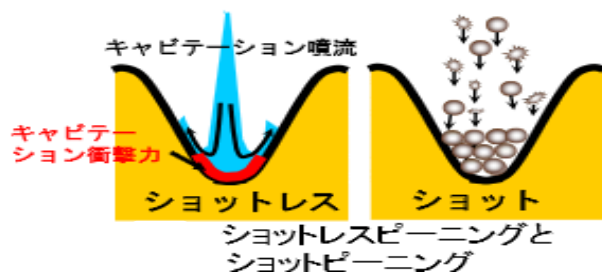
この研究室では、地球規模での環境問題に対応すべく、持続可能社会の実現に向けて研究に取り組んでいる。

地球温暖化の元である二酸化炭素の排出量の約 1/4 は車や飛行機によるものだ。「力」=「質量」×「加速度」に表されるように、車などを軽く作れば燃費が良くなり、二酸化炭素の排出も減らすことができる。しかし、単に軽く作っただけでは壊れてしまう。「壊れる」危険性を調べる（「知的計測評価学」）ことと、壊れないようにするのが主な研究だ。この研究室では、材料や形状を変えないで、材料の表面をちょっと処理する（表面改質）だけで、強くする方法を開発し、車や航空機、プラントへの展開を図っている。この方法を身につけた人は、車や航空機の製造業や、プラントメーカーから重宝されて、実際に、各メーカーと共同研究等を行っている。

就職では、機械系の学生には、四力（よんりき）と呼ばれる「材料力学・流体力学・熱力学・機械力学」の素養が求められる。当研究室では、就職に必要な「材料力学」と「流体力学」を実験などにより体感しながら身につけることができる。

② 研究内容

図 1



当研究室では「泡で金属をたたいて強くする」という研究をしている。従来の方法は、小さな鉄球(ショット)を用いる(ショットピーニング)。これを泡(キャビテーション)を用いること(ショットレスピーニング)でさまざまな利点が生じる。また、ここでは泡で金属をたたくことをキャビテーションピーニングという。

泡(キャビテーション)

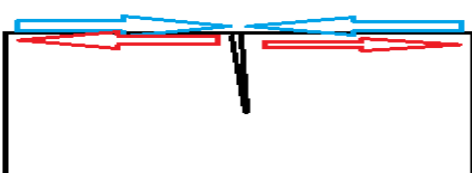
とは、水の速度の増大に伴い、圧力が下がり、水が泡になる現象。

高い山では 100°C 以下で沸騰する。速度をあげて圧力を下げると低温でも沸騰させることができる。この現象をキャビテーションとよぶ。速度が下がって、泡が水に戻るときに、泡の一部が変形してマイクロジェットを生じたり、ごく短時間で泡が再び大きくなるために衝撃波を発生して、金属も凹ますような力を発生する。特に小さな泡が集まったキャビテーションは、大きな力を生じさせる。この力を用いて金属をたたくことで強くすることができる。

なぜたたくと強くなる？

昔から刀鍛冶などで金属をたたいて強くしていたが、これはなぜか。

図 2



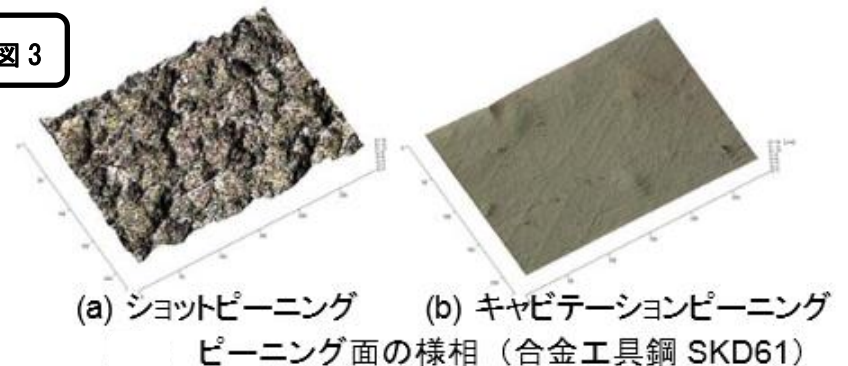
たたくと内側に力がかかり、壊れるときの外側の力を相殺する。

そのため、あらかじめ金属をたたいておくと金属を強くすることができる。強くすると、同じ力でもかけられる回数がふえたり、強い力をかけても大丈夫になるので、事故のリスクを低めることができる。

③ キャビテーションピーニングの利点

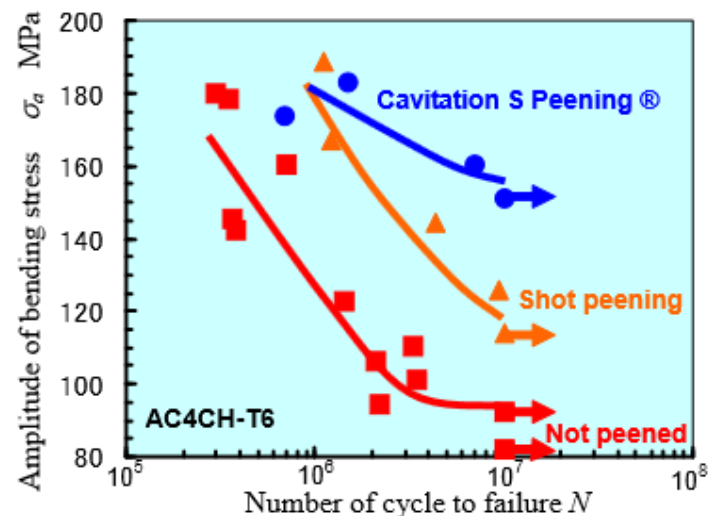
泡でたたいて強くする利点として、「鉄球を用いないので表面が滑らか」といった点がある。

図 3



また、この利点は疲労強度の向上も示している。

図 4



縦軸が曲げ応力(棒状や板状の物体を曲げたとき、それに応じてその物体の内部ではたらく力)の振幅、横軸は壊れた時点の回数を示している。図から分かるように、キャビテーションピーニングの方がショットピーニングよりも 10⁷ 回における疲労強度を向上できる。

④ 質問内容 訪問して判明したことなど

Q1 キャビテーションの際に使用した水は、その後どうなるのか

A. 使用した水は再利用して、循環させる。キャビテーションの際に排出される鉄くずはフィルターで除去される。

Q2 就職率はどんな感じなのか

A. 東北大学工学部は、一流企業への就職率が良く、特に、材料を生かす系の学部(材料科学総合学科 etc...) は、就職率が良い。

Q3 大学の体育祭って？

A. 結構本気でやるらしい。
例えば、綱引きにおいては、物理的にベクトルや摩擦などを利用して行っている。

⑤ 高桑教授から一言

人間というものは頑張れば何でもできる。
無理だと思ふのは勝手に限界を決めているだけである。

⑥ 謝辞

祖山・高桑研究室/青柳研究室の皆様、改めて謝辞を述べさせていただきます。有難う御座いました。

流れを制する

東北大学工学部 河合研究室

2112 佐藤弘基 2124 芳賀裕二 2129 三浦雅弘 2136 渡邊悠太

① 研究室紹介

2015年にスタートしたフレッシュな研究室です。工学研究科・航空宇宙工学専攻・航空システム講座 計算空気力学分野に所属し、主に数値シミュレーションを用いて航空機や液体ロケットエンジンを初めとする航空宇宙分野に関わる、流体力学（特に圧縮性流体力学）、乱流、乱流モデリング、高精度な数値解析手法、計算科学、不確かさの定量化に関する研究に取り組んでいます。

今年は、圧縮性乱流の高精度解析法と物理モデルに関する研究"で 文部科学大臣表彰 若手科学者賞、高レイノルズ数流れにおける Large-eddy simulation の壁面モデルに関する研究" で日本流体力学会から 竜門賞に選ばれます。

河合 宗司, 博士(工学) 准教授

東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

名古屋大学, 東京大学, スタンフォード大学, JAXA 宇宙科学研究所, そして現在の東北大学と, 様々な研究機関に所属し研究を進めてきました。



図1 河合准教授

主な研究テーマ

- ・ 圧縮性乱流の高次精度計算スキーム
- ・ Large-eddy simulation の壁面モデル
- ・ 衝撃波—乱流干渉現象
- ・ 超臨界流体の乱流現象
- ・ 多成分流体の乱流混合と燃焼
- ・ 電磁流体(MHD)の乱流現象
- ・ CFDにおける不確かさの定量的評価とその応用

② 境界層埋没型ボルテックスジェネレーターについて

航空機が飛行する際、流れが翼に沿って流れるのが理想的です。流れが翼に沿わない状態になると失速し、バランスが取れなくなり墜落してしまうこともあります。このような事態を防ぐために翼にボルテックスジェネレーターとよばれる突起物を取り付けます。ふつう、翼に突起物をつけると空気抵抗が増えてしまいます。しかし、境界層埋没型ボルテックスジェネレーターは翼の表面約3cmにある境界層とよばれる速度の遅い領域内に取り付けるため、従来のボルテックスジェネレーターに比べ空気抵抗を減らすことができます。ボルテックスジェネレーターは台形や三角形をしています。1cmから3cmの大きさに小型化してしまうと性能が下がってしまうと考えられます。そこで、研究により小型化してもボルテックスジェネレーターとしての性能を保てる形状を探しています。



図2 ボルテックスジェネレーター

③ 研究内容2 遷音速バフェット現象の数値解析について

・ 衝撃波が変動することで翼にかかる力が変化し、バフェットと呼ばれる機体構造特有の振動が起きます。

さらに特に高いマッハ数や迎角となるにつれて、バフェットが起きてきます。

バフェットが起こるマッハや迎角を予測するという研究です。そして、その研究によってどうしたら飛行機は揺れないのか、またどのようにしたら音が出ないような飛行機が作れるのかなどのまだ現実には実現できていないことを実現可能にちかづけようという目的があります。

・ 飛行機は空を飛んでいるときに翼の側面に渦を発生させています。このことは飛行機の揚力を発生させ飛行機を飛ばす力にもなっています。しかし、同時にその渦が跳ね返ってきて衝撃波を揺らしているとも考えられます

衝撃波が揺れると、音も出て、機体も揺れるらしいです。飛行機の翼を横から見た場合、飛行機が風や跳ね返ってきた衝撃波を最も受けやすい場所は飛行機の翼の前の部分ということも

機体のマッハ数を確定して、バフェッティングを確定するという研究によって判明しているとのことです

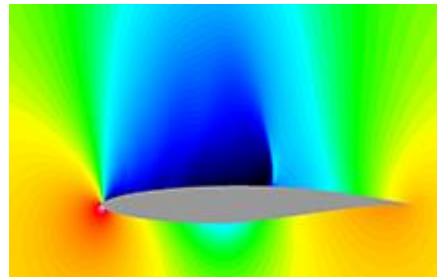


図3 翼周りの空気抵抗

青いところが圧力が低いところだそうです

参照

http://www.cfd.mech.tohoku.ac.jp/kawai/research/index_jpn.html

④ 研究室で大きな役割を果たすスーパーコンピュータ

河合研究室ではスーパーコンピュータ(以下スパコン)を用いて数値シミュレーションを行っています。研究は主に、理論(ペンと紙)、実験、コンピュータシミュレーションを用いて行います。そこで、なぜこの研究室ではスパコンで研究を行っているのかをまとめました。

まず、スパコンでは普通に実験や理論によって研究に取り組むより、早く、安く調べることができます。また、数値シミュレーション数値化などにより詳細なデータを得ることができます。さらに、実際に実験が不可能な場合でもスパコンであれば、可能となります。スパコンを使うとこれらのたくさんの利点がありますが、維持費などにかかるコストが大きいというデメリットもあります。

⑤ 感想・研究室生活

今回、東北大学工学部研修に行った際、たくさんの学生からお話を伺いました。研究内容をはじめとした、一日の過ごし方や大学生活のおもしろい点、大学に入るまでにしておいたほうが良いことなど様々なことを聞くことができました。研究発表を聞いた時、相手を引き付けるようなしゃべりで思わず夢中になってしまいました。自分も、課題研究などを通して、発表技術を磨き、人を引き付ける発表をしたいと感じました。今回、工学部研修を行うに当たり、河合准教授をはじめ、たくさんの方に心から感謝します。本当にありがとうございました。

社会につながるテクノロジー

東北大学工学部 小菅・衣川研究室/荒井研究室

2117 篠原 俊, 2119 菅原 章弘, 2123 西下 允人, 2135 吉田 勝哉

① 研究室紹介

この研究室では、今日まで産業界で大きなインパクトを与えてきたロボットを産業界だけではなく、日常生活にも役立つ人の生活に本当の意味で役立つような次世代ロボット技術の開発をめざし取り組んでいます。また、ロボティクスにおける新しいシーズ技術の研究と、それをベースにしたリアルワールドロボットの研究にも取り組んでいます。

研究分野としては、

- 1 複数ロボットの協調：複数のロボット間で生じる様々な問題
- 2 人間とロボットの協調：人とロボットの間で生じる様々な問題
- 3 ロボットシステムデザイン：実際の環境で使うためのロボットのデザインがあります。

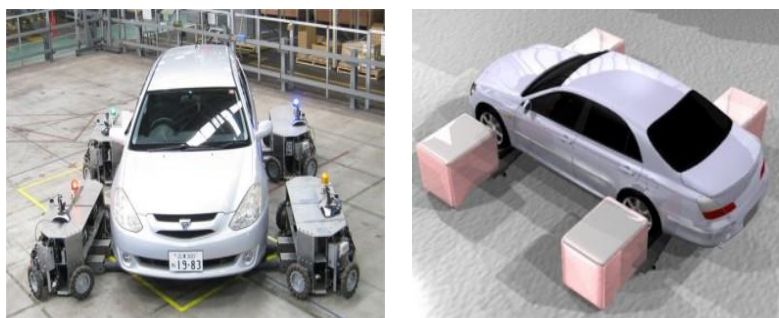


↑小菅・衣川研究室研究領域

② 複数ロボットの協調

複数ロボットの協調とは、一つのリーダーロボットを作り、そのロボットがほかのロボットに指令を出し動かすという、ロボットによる物体の協調ハンドリングを実現したものです。

この協調ハンドリングを応用したものに、自律分散型車両搬送システム (iCART II) というものがあります。これは、4 台のロボットがそれぞれ車両の各車輪を持ち上げ、協調動作をすることにより、車両搬送を実現します。1 台の車両搬送ロボットに 1 つのタイヤを持ち上げ支持させ、車両重量や車両搬送に必要な力を 4 台のロボットで分散させることによって、より小型な車両搬送ロボットを開発することができます。さらに、1 台のロボットが 1 つのタイヤを持ち上げるため、様々なホイールベース長やトレッド長の車両を搬送することが可能になります。この協調ロボットの開発によって、車を海外に輸送するときなどに手動よりも車と車の間隔を狭くして、輸送可能台数を増やせるということが可能になりました。



↑自律分散型車両搬送システムとモデル

③ 人間とロボットの協調

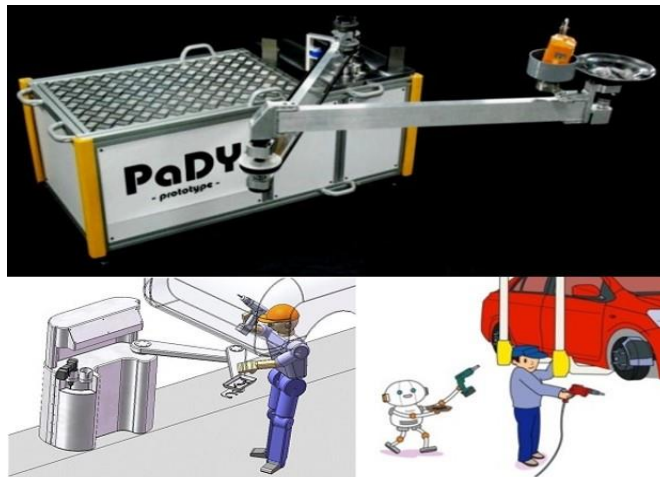
人とロボットの間で生じる様々な問題を解決するために多くのロボットが研究・開発されています。ロボット同士の協調よりも、人の行動を予測して協調するシステムのほうが難しいそうです。

組み立て作業支援パートナーロボット PaDY

➢生産現場における作業効率の向上を目的として、部品を作業者の手元に届けるシステムを開発しているそうです。

・D-PaDY…ドアを作業者の手元に届けるシステム

・B-PaDY…バンパーを作業者の手元に届けるシステム



④ ロボットシステムデザイン

この研究室では、より少ないモーターで様々な動きをこなすことのできる低自由度多機能ロボットハンドを始めとした、実用的なロボットのデザインも行っています。



二つのモーターで指の回転・把持ができます。モーターの数を減らすことは費用の削減につながるため、機能を保ちつつ可能な限りモーターを減らすことが求められていました。



八本のワイヤーの伸縮で位置・姿勢を制御します。



様々な素材を用い、折り紙のように組み合わせることで一つのハンドを作ります。

⑤ まとめと謝辞

私たちが研究室で話を聞き、自分たちで調べて感じたのは研究内容が社会に直結していて、目的に応じた様々な工夫がなされているということです。ただ一つの目標を達成するためだけでなく、実際に利用される際のコストや、現場での人間の動きを想定して作るとなるとその労力は想像もつきません。私たちが便利な生活を送る裏では、こうした研究者の努力があります。

最後に、お忙しい中詳しい資料を作ってまで研究内容のご説明をいただいた小菅・衣川研究所の皆様、ありがとうございました。

人工知能に支配される世界の実現へ

東北大学工学部 高橋（信）研究室

2212 加藤 彪雅、2221 杉浦 匠、2232 松尾 太夢、2235 山本 岬、2203 阿部 祥季



高橋（信）研究室について

① 研究室紹介

高橋研究室では、原子力発電所での安全性の向上、飛行機のレーダーなどのインターフェイス、機会を操作する人間の脳活動を測定しその機械の使いやすさを評価する研究など、私たちの私生活をより安全に、より快適にする研究を各専門家と共に行っている。

高橋教授は人間と機械(自動システム)の協調を強く推している。現代では、自動車の自動運転などの自動化システムが世界で研究されているが、完全な自動化は困難であると言われている。なぜなら、 n 個の状況に対応できるように設計したとしても、常に $n+1$ 個の状況の可能性があるからだ。このように、現代では自動化システムが自律的に未然の状況に対応することができないため、教授は人間のミスシステムを防ぐような研究を行っている。

脳科学研究においては、川島隆太教授とここ 20 年ほど共同研究をしており、興味深い結果を残している。それはお笑い芸人と聴衆がネタ中に脳活動の相関が似た値を示すといった内容であった。話している人と聞いている人の脳活動の相関が似た値をしめたのである。というのは、双方の脳が共感をしているということなのである。このように高橋研究室では、幅広い分野で研究を行い、より高い安全性を求めている。

② 研究内容 1 「2001 年宇宙旅行」に見る未来予測



図 1

上記の写真は 1968 年に公開された SF 映画「2001 年宇宙の旅」に登場する人工知能 HAL9000 である。これはこの当時の未来予測によって 2001 年の人工知能技術はこうなっているだろう。と考え映画に取り入れられた物で映画の中では、HAL9000 は宇宙でのミッション達成という強い目的意識がプログラムされていた。その HAL9000 は船内で次のようなことをする。

- (1) 乗客員とチェスをして勝利する。
- (2) 乗客員と自然言語で会話する。
- (3) 宇宙船内の全ての制御を統括する。

また乗客員が HAL9000 の動作に不信感を持っていること、そして自分の不具合による影響を考慮し人間が自分の動作を停止させようとしていることを知る。

(4) 人間がミッション邪魔と判断しミッションの目的地まで冷凍保存していた乗客と、船外に出た乗客に故意にぶつかって殺害する。つまり HAL9000 は自意識、目的意識を持ち自律的に動作するコンピュータでといえる。

HAL9000 が起こした行動は主に上記の 4 つである。

この未来予測の 4 つと現在はどのような合致と差異があるだろうか。

① 人間とチェスをするコンピュータ

実際にアプリなどに利用されチェスや将棋に関しては既に世界チャンピオンを破る。

② 人間と自然言語で会話するコンピュータ

未だ音声認識の段階。会話には程遠いといえる。

③ 宇宙船内の全ての制御を統括するコンピュータ

システムとしては実現されている。(航空機、宇宙船など)

④ 自意識、目的意識を持ち自律的に動作するコンピュータ

研究レベルである。実現はかなり遠い未来になると予想される。

②、④のように実現されていないものもあるが、現在では過去では夢の段階であった多くの自動化システムが実現されている。

③ 研究内容 2 自動化システム



図 2

現時点の機械システムにおいて最も自動化システムのレベルが高いシステムの一つに FMS (Flight Management System) というものがある。FMS とはほとんどの飛行機に搭載されている上記の写真のものである。FMS に予め航路を設定することで離陸以外のすべてのフェイズで自動操縦が可能になる。離陸がなぜできないかということ、バードストライク時やエンジンのプロペラが壊れた時に対応できないからだ。

このように自動化システムは対応できることに限りがある。 n 個の問題に対応できるようにしても常に $n+1$ 個の問題が起こる可能性があるためだ。そのため今後技術が進歩しても完全自動化は難しいといわれている。

～人工知能に支配される世界の実現はまだ遠そう～

④ 質問内容 訪問して判明したことなど

●質問内容

Q もし、走っている全ての自動車と全ての歩行者にセンサーとなる機械を持たせたら、自動車運転における完全自動化は実現できるか。

A 理論的には可能性はある。だが全ての自動車にセンサーをつけるとなると、設置完了までにとっても長い時間を費やさなければいけなくなる。さらには、現在の状況ではそれほどのデータ量を処理しきれないのではという懸念もある。

Q 人工知能がセンター等の試験で人間より点数を取ったのは人間を超えたということか。

A 人工知能はパターン化した知識を詰め込んだだけなので人間とは考え方が違う。インターネットと機械を繋げればほとんどの問題に回答できるかもしれない。能力をどのように定義するかが問題になる。

●訪問して判明したこと

今回研究室に訪問するまで、完全自動システムを作る研究を行っている研究室だと思っていた。しかし、実際は自動化システムを現実的に考え、人間の賢さの本質を理解することで人間と機械の協調を目指して研究している研究室であった。夢だけでなく、現実を追求することも大切なのだと思った。

このたびお忙しい中、研究室を公開して頂いた高橋信教授をはじめとした、研究室の皆様へ感謝致します。

生物で環境を救う！！

東北大学工学部 機械知能・航空学科 エネルギー・環境コース 井上研究室
2211 小野寺新, 2227 萩田泰晴, 2234 山中星輝, 2238 伊藤柚里

① 環境思いの研究室

井上研究室では

「環境思いの修復技術と資源回収技術の開発」

をテーマに研究に取り組んでいる。

主な研究内容

1. 微生物による土壤汚染の修復
= バイオレメディエーション
2. 植物を利用した重金属土壤汚染の浄化
= ファイトレメディエーション

研究室のメンバーは 33 名 (12 名は外国人)。10 か国もの人間が一人か所に集まり研究を行う国際色豊かな研究室となっている。

② 研究背景

近年、有機塩素化合物、重金属類、石油系炭化水素、農薬類などによる土壤・地下水汚染の問題が顕在化している。2003 年の土壤汚染対策法の施行で日本でも本格的な土壤汚染対策が始まったが、掘削除去が主体で、費用の高騰や汚染土壤の拡散の恐れがあることが問題となっている。そこで、地下環境中に広範囲に拡散した汚染物質を、環境に負荷を与えることなく効果的に除去する技術が必要となっている。

③ 研究内容

1. バイオレメディエーション

バイオレメディエーションとは、微生物がもつ、多様な有機物を分解する機能を利用した環境修復技術である。井上研究室では、土壤の上から栄養剤を送り込むことで、微生物のはたらきの促進を行っている。これにより、土壤中の有機塩素化合物や石油系炭化水素などの汚染物質の分解を目指している。

I. 石油系炭化水素中の難分解成分の微生物分解

石油は古くから地球上に存在するので、石油系炭化水素を分解する細菌は土壤に普遍的に生息している。石油の成分の中でも健康リスクが高いのが、BTEX(ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン)に代表される単環芳香族炭化水素類であるが、これと n-アルカン類が共存している場合、多くの細菌は BTEX よりも n-アルカン類を優先的に分解してしまう。井上研究室では、油田周辺から採取した土壤サンプルから、n-アルカン類よりも低分子芳香族炭化水素を優先的に分解する集積培養を獲得した。現在は、遺伝子解析による集積培養中の細菌の機能の解明や、より高い分解能力を有する細菌の発見を目的として研究を行っている。

II. 有機塩素化合物からの脱塩素

有機塩素化合物とは、端的に言えば塩素を含む有機化合物のことだが、そのいくつかは人を含む動物の多くへの有毒性が指摘されている。井上研究室では、有害な有機塩素化合物である「トリクロロエチレン(TCE)」の脱塩素を主に研究している。この TCE の微生物による脱塩素は下の図のように進む。

図 1 脱塩素の過程



この間に微生物 (Dehalococcoides 属細菌) が塩素を取り除き最終的に無害なエチレンに変える

井上研究室ではこの Dehalococcoides 属細菌 (以下 D 細菌) を用いた脱塩素を行っているが、D 細菌を単離し培養したものではなく、D 細菌を主とする微生物の集まり (汚染土壤の入手サンプル中の様々な微生物) に脱塩素をさせている。

また、D 細菌のみよりも、その他の微生物がいたほうが良いことが分っている。これは、その他の微生物のうちメタン菌の作る何かしらの物質

によって D 細菌が手助けされているからだと考えている。まだ詳しい原理は分かっていないが、それが解明されればさらに効率の良い脱塩素の方法を考えるカギになるに違いない。

2. ファイトレメディエーション

宮城県では、ヒ素に汚染された土壤が発見されている。ヒ素は生物にとって有毒であり、皮膚がんを引き起こすので、解決が大切である。そこで、ファイトレメディエーションという技術がある。この技術は、様々な植物を利用し、土や水から汚染物を分解・抽出・含有・固定化するものである。この研究所では、汚染された土壤の浄化やそのメカニズムに関する研究を行っており、主に、汚染物質としてヒ素を対象としている。ヒ素を取り込むことができる植物にモエジマシダという熱帯地方のシダ植物がある。この植物を使って、ヒ素を除去する仕組みは次のようになっている。

- ① ヒ素に汚染された土壤にこの植物を植えて、ヒ素を取り込ませる。
- ② モエジマシダが成長すると刈り取り、焼却する。
- ③ モエジマシダの灰を容器に保管して地中に埋める。

また、この植物は、上を刈り取っても再び成長し、ヒ素を取り込むことができる。

図 2 ヒ素の吸収

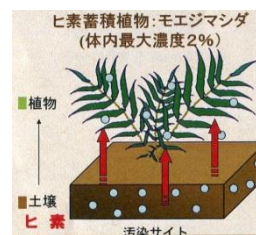


図 3 モエジマシダ



3. コストの面から見た現在の環境修復と研究内容の比較

震災によって、火力での発電が増え、ヒ素などの有害物質をふくむ多量の石炭灰が発生している問題や、海成堆積物が風雨にさらされることで重金属の土壤汚染問題がある。井上研究所では、これらの有害物質も自然に優しい形で浄化する方法を研究している。例えば先にも出てきたファイトレメディエーションの一例はまさにそのひとつである。

また、これら方法を採用することによって、コストの面でも問題を解消できる可能性がある。聞かせていただいた一例は、東京卸売市場(豊洲)移転先の土壤問題である。現在の築地市場の移転先がガス製造工場跡地だったために、ガスの製造工程で発生した有害物質(ヒ素やカドミウム等)が土壤・地下水を汚染した。その土壤汚染対策費用が 672 億円もかかった。地下 2 メートル以内の土壤をすべて入れ替えたのだから、当然だろう。もし、ここでファイトレメディエーションを実践的に行えば、土壤を入れ替える必要がなくなるため、コストは大幅に削減できただろう。

4. 最先端の分析装置類

また、上に挙げたような研究においては、非常に低い濃度までの分析が必要となる。通常の実験は ppm(100 分の 1)まで行うが、井上研究室では ppb(10 億分の 1)まで分析している。この ppb の濃度を正確に測定するために、井上研究室には最先端の分析装置が数多く設置されている。



図 4 研究室に設置された分析装置類

5. 謝辞、参考文献

井上研究室の皆様へ、改めて謝辞を述べさせていただきます。
ありがとうございました。

・ <http://er.kankyo.tohoku.ac.jp/wordpress/> 東北大学工学科井上研究所

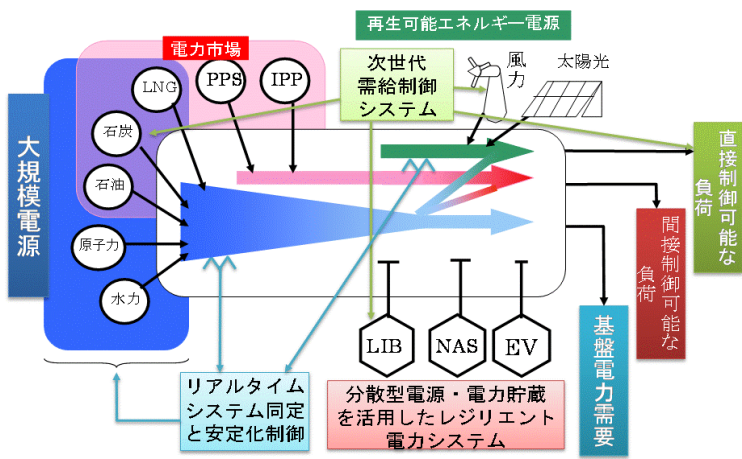
電力ネットワークの未来

東北大学工学部 齊藤・飯岡研究室

2104 出口 晴貴、2107 北村 航太、2110 坂 麻皓、2132 柳澤 一輝

① 研究室紹介

今日の社会を支えている電力ネットワークは巨大な電気回路であるが、各家庭や施設などの負荷が一定でないため、それに関連した様々な問題が発生する。例えば、一般的な家庭用電源は100Vで供給されているが、電力使用量の変化に伴ってこの電圧が変化すると、電気機器の不具合や破損を招くおそれがある。また、太陽光発電や風力発電など、環境によって発電量が大きく変わる再生可能エネルギー電源を多数接続した場合、これらの問題はより深刻化すると考えられている。この研究室では、大規模電力システムの制御、運用に関し、計算機シミュレーションを用いて基礎研究を行い、障害回復力のある電力システムの構築を目指し、エネルギー事情の厳しい将来における電力ネットワークの新たな形態を模索している。



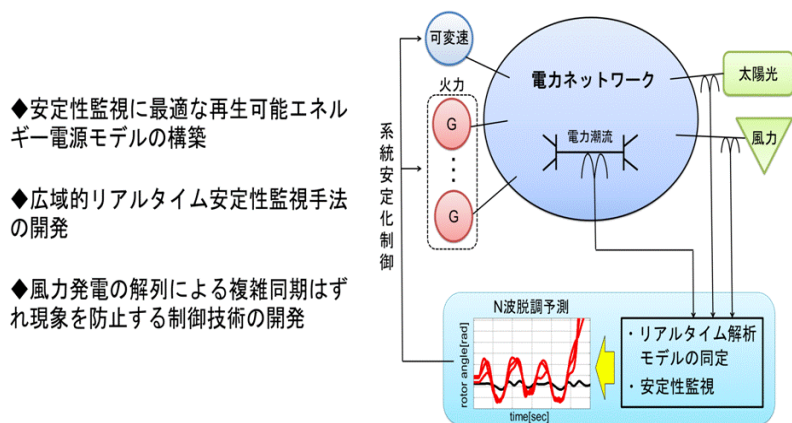
▲図1 安全・安心社会と地球環境保全

② 再生可能エネルギー導入による電圧の制御について

今日、再生可能エネルギーの開発は活発に行われており、様々な場所で利用される機会も増えてきている。環境にやさしいという特徴があり推奨されているこの再生可能エネルギーだが、使用する際に問題が発生することがある。

一般に家庭用に供給される電圧は $101 \pm 6V$ の範囲に保たれるようになっている。そのために電柱に設置されている変圧器を使って制御をしている。ここにもし仮に太陽光発電をしている家があったとすると、その家での必要な電圧は天候や時間により刻々と変化していくことになる。そうなってしまうと電圧の制御が極めて難しくなってしまう。また太陽光発電での電圧が供給される電圧を超えてしまうと逆流してしまう危険性も出てきてしまう。

そこでこの研究室ではそのような状態を再現するシミュレーションを作成し様々な状況に対する対応について研究している。この研究が進めば、より効率的に安全に電気を使用できるようになると期待されている。

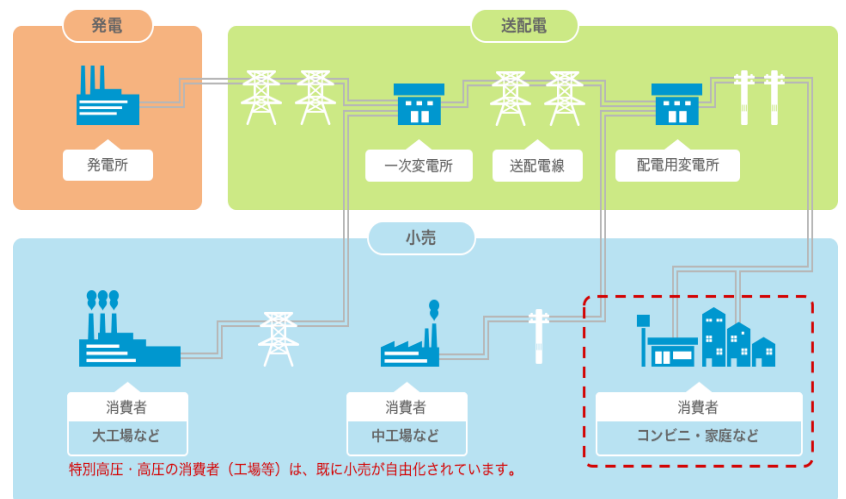


▲図2 再生可能エネルギー電源を含む電力システムの監視

③ 電力供給システムについて

電力を供給する側は、常に各家庭への供給電圧が $101 \pm 6V$ の範囲を満たすように自動で調節する。なぜなら電圧が高すぎると、大量の電流が流れて危険で、電圧が低すぎても、電子機器が使えなくなるので不便だからだ。

例えば、電柱に落雷があった場合、電線の中を大量の電流が流れてしまい、電線が焼け焦げてしまうので、供給側は大量の電流が流れたことを感知すると、すぐに電力の供給をストップする。その後、電力を再供給する際に、同時にすべての区域に供給するのではなく、決められた区域ごとに電力を供給していく。なぜなら、落雷のあった区域を特定して、その区域の修理に向かうためだ。



▲図3 一般的な電力供給経路

④ 質問内容

Q.HPに「デマンドレスポンスを包含した需給制御システム」とありましたが、どういうことですか？

A.電力会社は各家庭が使用する電気量に合わせて発電量を決めます。しかし、季節や時間などによって使用する電気量には差があります。それなら使用する電気量を大きく上回るくらい発電すれば問題ないと思われそうですが、それではコストもかかり、大量の電気が無駄になってしまいます。そこで需要（各家庭）に供給（発電所）が合わせるのではなく、供給に需要が合わせれば良いとなりました。これがデマンドレスポンス（需要応答）です。「デマンドレスポンスを包含した需給制御システム」とはつまり、発電所の発電量を上回る電気量を各家庭で使わないよう監視し制御するシステムのことです。

Q.自動電圧調整器とはなんですか？

A.通常の変圧器は66000Vを6600Vに変換しますが、自動電圧調整器は、各家庭への供給電圧が法律で定められた $101 \pm 6V$ の範囲を超えないように変圧器内のコイルの巻き数比を自動で切り替えることで、上記の範囲より電圧が大きくなるようにする装置です。

⑤ 参考文献

<http://www.ecei.tohoku.ac.jp/saitoh/study.html> (参照 2016/6/3)

音声認識技術が切り開く未来

東北大学工学部 伊藤・能勢研究室

2204 新井政範, 2210 大森直樹, 2216 小杉優気, 2226 朽久保錬

① 研究室紹介

伊藤・能勢研究室では、音声認識、音声合成、音声対話、音声処理、音楽情報処理、音声言語処理、マルチモーダル・マルチメディア情報処理、その他よくわからない研究など、音・声・言葉を中心とした次世代 HCI(Human Computer Interaction)のための研究をしている。

スマートフォンのアプリケーションや感情を認識するロボットなど、近年では音声で会話ができる音声対話システムが注目を集めている。この研究分野では単純に機械への入力操作を人間の声で代替するだけではなく、SF映画のように人間の話すことを理解し適切な会話ができるシステムの実現を究極の目標としている。

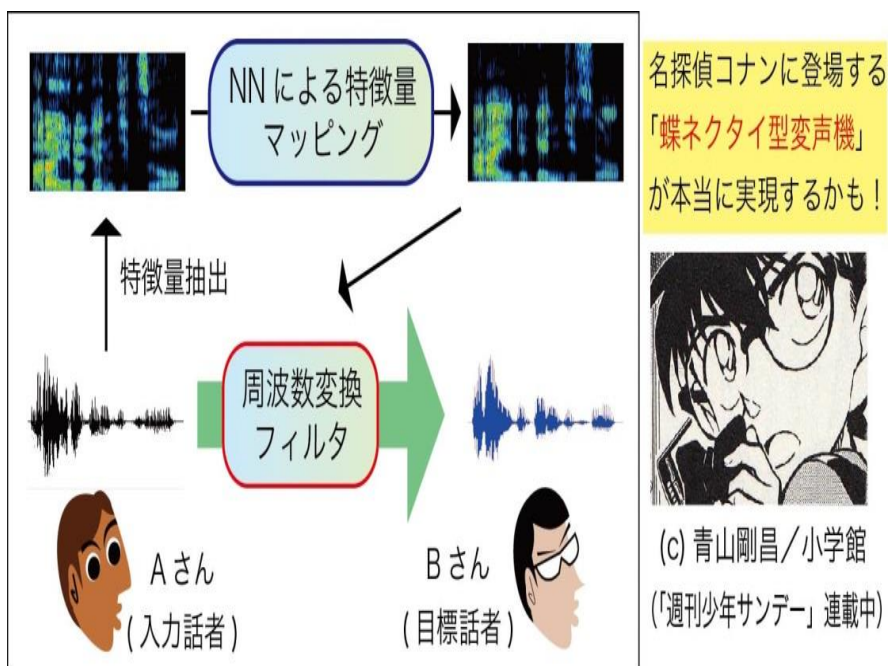
また、カラオケなどでは、歌の音程の正確性を主に測るが、歌の熱唱度、すなわち、どれだけ一生懸命に歌ったかを測ることのできる最先端の技術の実用化へ向けた研究を進めている。

他にも、コンピュータの声に楽しげ、悲しげ、ぞんざいなどの感情を導入する研究や、入力した人間の声を別の人間の声に変換させる研究を私たちに享受して下さった。ゆくゆくは、「名探偵コナン」に登場する、声を変幻自在に変える機械を作りたい、とおっしゃっていた。

② 研究内容 1 声質変換について

研究室紹介の最後にも書いた通り、お話を聞かせていただいた能勢先生は下図の名探偵コナンに登場する「蝶ネクタイ型変声機」を実現させたいという想いからこの分野に興味をもったそうだ。他にも漫画や映画である人の声を他の人の声に変えてしまう技術を見たことがある方は多いと思う。これは「声質変換」と呼ばれるもので、理論的には入力話者の周波数特性を変えることによって実現することができる。伊藤・能勢研究室ではボイスチャットやカラオケなどでの実用化を目指し、ニューラルネットワーク(NN)を用いることで、誰の声でも目標話者の声にリアルタイムで変換できる技術について研究を行っている。

*ニューラルネットワーク(NN):人間の脳の神経回路の仕組みを模したモデル。コンピュータに学習能力を持たせることにより、様々な問題を解決するためのアプローチである。

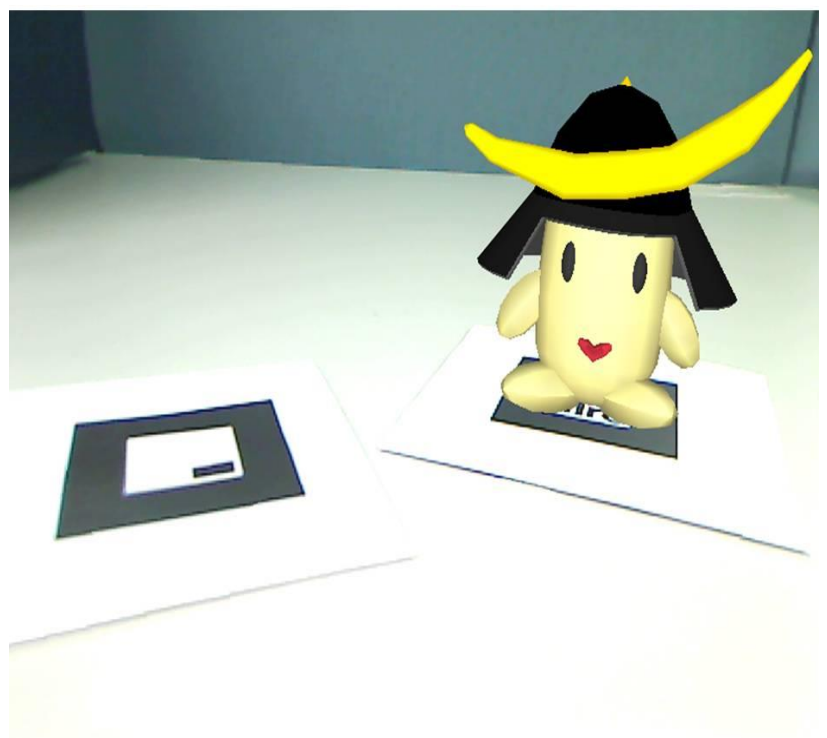


③ 研究内容 2 音声認識技術について

〈音声認識技術〉

音声認識技術とは、簡単に言うと人間の喋った言葉を文字列にする技術である。この音声認識技術には、音響的制約と言語的制約から成り立っている。

私たちは、実際に伊藤・能勢研究室で研究されている3DCGによる音声対話エージェントを体験させていただいた。AR技術によって描画されたエージェントの「ピースくん」にたくさんの量のプログラムがあり、そのプログラムに基づいてさまざまな質問に答えることができる。楽しく音声技術について学ぶことができ大変興味深い良い経験となった。



④ 質問内容 訪問して判明したことなど

教授方の他にも2人の学生の方にもお答えいただきました。

Q1 電話で通話するときに使われている音声も、このような技術によるものなのか?

A1 厳密には違うが、似ているもの。

ケータイ電話では通信量を減らすために、音声をデータ化して人工の音声を再生している。

近年、LTEで音声を通信するサービスも開始されていて、品質は向上。

Q2 数学が苦手でも工学部に入って大丈夫か?

A1 数学はあくまでも道具なので、努力してできるようにすれば大丈夫。実際に数学が苦手な学生も多い。

Q3 このような音声認識システムは実用化されているのか?

A3 されている。会議などのある程度形が決まっている状況ならば、80から90%の精度で音声をテキスト化することが可能。

⑤ 最後に

今回はお忙しい中、私たちに丁寧に研究室を紹介して下さい、本当にありがとうございました。

磁性ナノ構造体

東北大学工学部 齊藤・角田研究室

2101 赤間 勇哉 2102 秋葉 颯大 2126 星 舞樹 2131 安川 優

① 研究室紹介

角田・齊藤研究室では研究室で作成した磁性薄膜の性質の評価及び工学的応用への検討など、一貫して磁性体に関する研究を行ってきました。

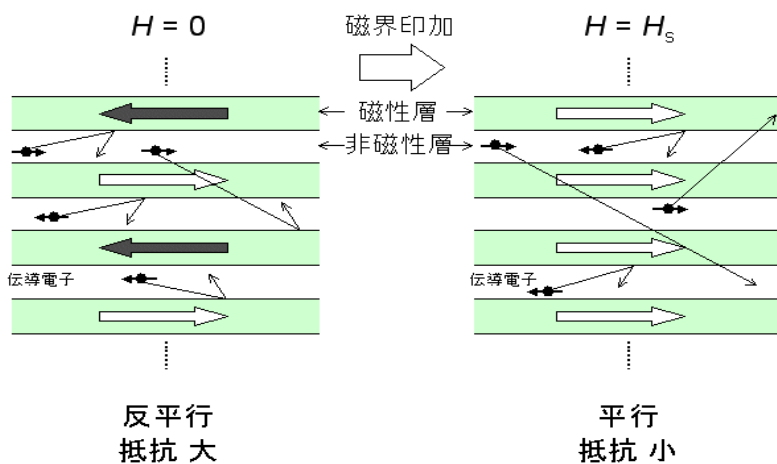
現在では薄膜作成プロセスおよび磁性材料の観点から、薄膜磁気デバイス、特に薄膜磁気記録装置用素子の高性能化に関する研究開発に力をいれています。

近年における情報化社会の発展は極めてめざましいものがあり、パーソナルコンピュータの普及率が年々増大しています。また複数のテレビ番組を同時に記録しかつ記録中であっても瞬時に再生できる次世代型記録再生装置が製品化されつつあります。これらのなかには磁気記録装置（ハードディスクドライブ）が搭載されています。この磁気記録方式は、半導体などを用いた他の記録方式と比較して、記録容量及び記録密度が格段に大きく、書き込み・読み出し速度も速く、その他、信頼性・価格などにも大変優れています。

当研究室では、主に、この磁気記録装置を構成している主素子である、薄膜磁気記録媒体（ハードディスク：記録素子）及び磁気ヘッド（書き込み・読み込み素子）の更なる高性能化に関する研究開発を、民間企業と共同で行っています。

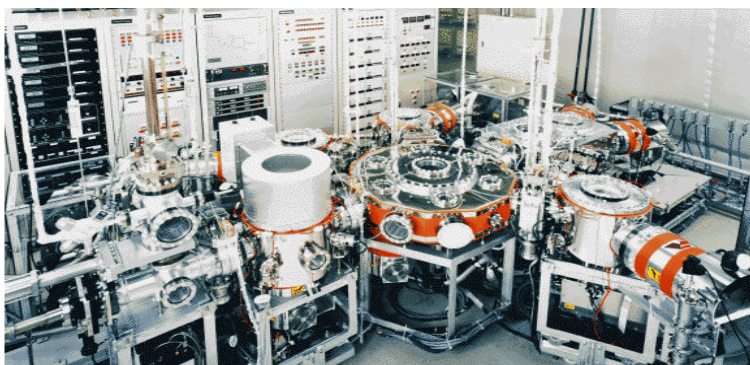
② 研究内容1 多層膜GMR

磁界を印加すると電気抵抗が数十%以上も変化します。それが巨大磁気抵抗効果(GMR)多層膜です。このGMR多層膜は わずか1nm程度の磁性層と非磁性層を交互に積層した多層構造の薄膜で、微細な構造に対して非常に敏感な薄膜です。



この研究を進める上で絶大な威力を発揮しているのが極高真空対応マルチスパッタリング装置です。

極高真空対応マルチスパッタリング装置



到達真空度: 8×10^{-12} Torr, 超清浄(9N)プロセスガス供給システム

代表的なGMR多層膜であるCo/Cu多層膜において、

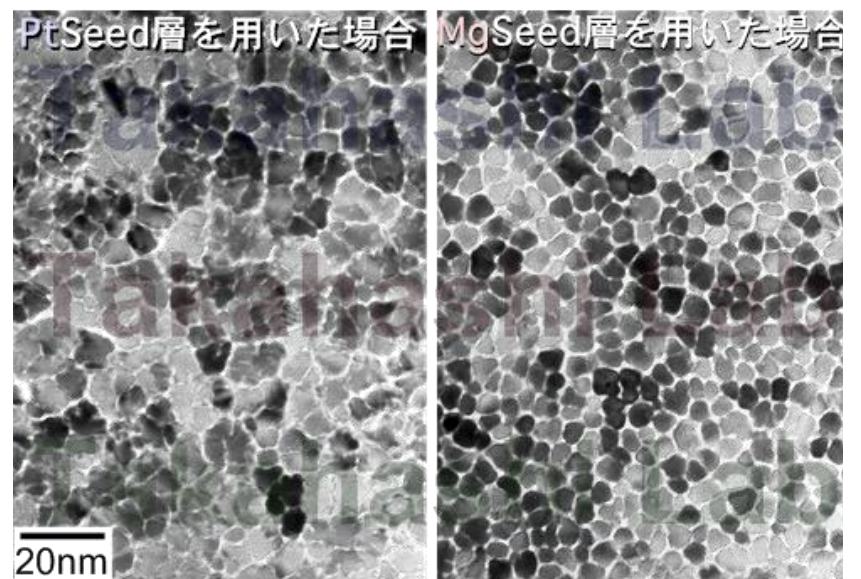
1. 成膜雰囲気制御する
2. 下地層を制御する

という観点から多層膜の微細構造を制御し、所望の特性のGMR効果を得られるようにすることを目的としています。また、ここで得られた知見は、スピナル膜といったすでに実用化されている素子へと応用されています。

③ 研究内容2 垂直磁気記録媒体

現在、垂直磁気記録というデジタル情報「0」,「1」を利用する記録する方式が世界中で利用されています。そこで高記録密度化を達成するために、記録層の下に用いる中間層の結晶粒を微細化するという研究を行っています。記録層の下に用いる中間層の結晶粒を微細化できれば、記録層中の微小磁石も微細化できると考えられるからです。ただし、結晶粒の向きが揃っていないおかつ上に成長する微小磁石同士を結合させない構造という条件を満たしつつ、微細な粒径を持った中間層を作ることは困難でした。そこで、材料物理の観点から中間層の成長様式を検討し、MgとRuを組み合わせた中間層を提案しました。積層を工夫していくことで、粒径が5nm以下で1個1個がSiO₂で囲まれたRu結晶粒を配向させることに成功しました。

金属-酸化物複合中間層の構造



④ 質問内容 訪問して判明したことなど

Q, 人工でどのくらいの磁場がつくれますか?

A, 自然界の限界は、約3000エルステッド (エルステッドとは磁場の強さを表す単位)だが人工では約90000エルステッドまで出すことが可能。

Q, 家電製品の電流で人間が死ぬことはあるのか?

A, 1Aでも人間は死んでしまうので、十分危険である。

今回の訪問で電子工学の技術が自分たちの生活に大きく影響していることが分かった。身の周りには電子機器は、全て電子工学の発展によってできたものである。情報化社会が発展しそれにとまない、電子工学の進歩も著しいものになっていることを実感した。また、現代社会の生活を快適にするだけでなく、これからの社会を担う大きな役割を果たすものであると実感した。

⑤ 謝辞

このたびは、小川智之先生をはじめとした研究所の皆様からいろいろな経験をさせていただきました。ここに感謝の意を表します。短い時間でしたが本当にありがとうございました。

ガラスが未来の情報通信技術を創る

東北大学工学部 藤原研究室

2218 佐藤航輝 2223 千葉蒼太 2225 土井快晟 2242 丹野華愛

① 研究室紹介

東北大学大学院工学研究科 応用物理学専攻 光物性学分野
藤原研究室では、ガラスの性質を用いた光や熱を操る新材料や新手法の作成、物理的性質の解明を目指した研究を行っている。主にそのような研究は未来の情報通信技術に大きく貢献するものである。今や必要不可欠な情報通信技術。今その技術には高速・高能率が求められている。そしてその技術に必要な光学素子は、ごく一部の結晶にしか存在せず、希少で高価なものである。彼らは比較的安価なガラスを用いて、ガラスの透明度、展性、耐久性に着目し、新たな視点から情報通信技術に不可欠な光学素子の作成、物理的性質の解明を研究している。

② 研究内容 1 結晶化ガラスについて

通信の高速・高効率化をするための不可欠な要素として、光を簡単に制御できる光媒体がある。その光媒体を作るのに、現在ある材料ではとても高価なものになってしまう。そこで藤原研究所では、光学素子の新素材として“結晶化ガラス”について研究を行っている。

結晶化ガラスとは、簡単に言うとガラスと結晶の両方の性質をもった素材のことで、安価で加工しやすく、透明度や機能性も高い素材である。

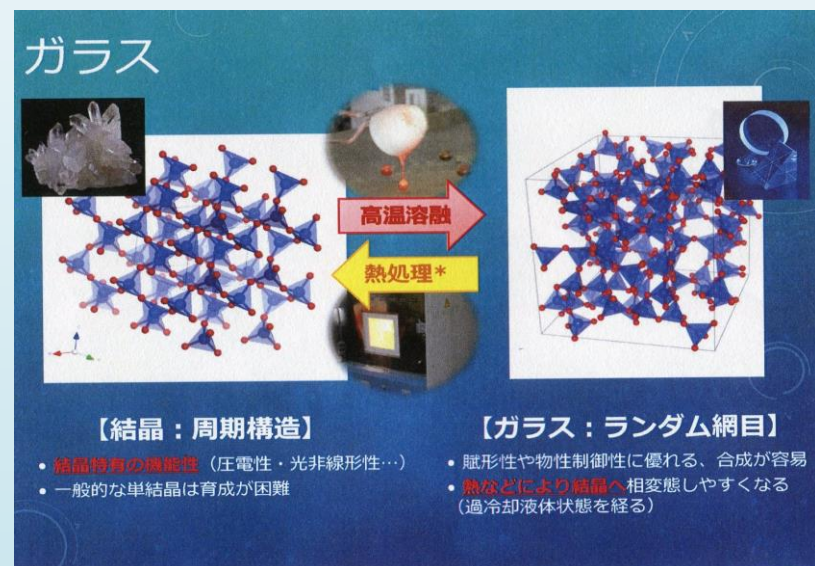


図1 ガラスと結晶の構造

そもそも結晶とは原子が規則正しく並ぶ規則的な構造のことを言い、ガラスとは不規則な構造をしているものを言う。(図1 参照) 結晶は機能性が高いが、光学素子への加工が困難である。対して、ガラスは機能性こそ低いものの、安価で加工しやすく、さらに熱処理により結晶化もすることができる。結晶化ガラスは、この結晶化ができるというガラスの性質を生かし、ガラスの一部をナノ単位で結晶化してガラスと結晶が混在するようにしたもので、両方の性質の良いところ取りをした素材なのである。

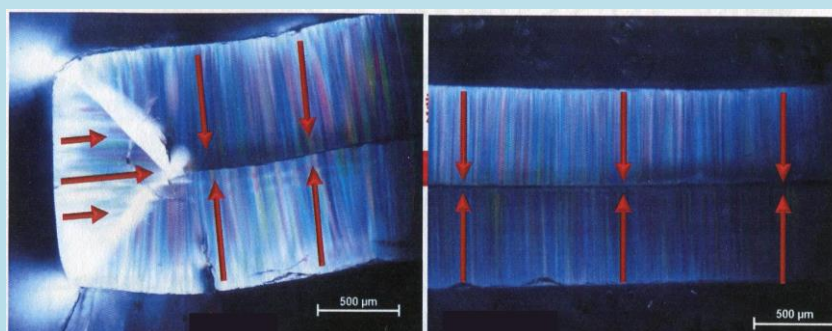


図2 ガラスの結晶化の様子

③ 研究内容 2 藤原研究室で行われている研究について

藤原研究室では、以下の4つについての研究を行っている。

- (1) 結晶化ガラスは光の粒子を散乱、結合させるという通常のガラスにはない性質があり、それによって引き起こされる様々な現象を用いて光学素子へ応用させる研究。
- (2) ガラスと結晶化ガラス間の粒界があると光の粒子が散乱してしまい透明度が失われてしまう。それを防ぐ為に粒界を光の波長程度まで小さくする研究。
- (3) ガラスにレーザー光を照射することで結晶化ガラスが生成され、条件によっては純粋な結晶化ガラスを生み出すことが可能である。それを利用し、透明度を維持し、光が錯乱しない結晶化ガラスの生成する研究。
- (4) ガラスをガラスファイバ、ガラス薄膜などへ加工し、それを結晶化させることで結晶化ガラスの特性を持つ光学素子を生成する研究。

現在、多くの電化製品から電気エネルギーは熱エネルギーとして放出されている。そこで、高熱伝導性を持たせた結晶化ガラスを低熱伝導であるガラスで覆うことで省電力化ができるのではないかと考えられている。

④ 研究室を訪問して学んだこと

- ・結晶化ガラスについて
ガラスを再加熱し、そのガラスから結晶を析出させて作った物質を結晶化ガラスという。結晶化ガラスは、「機能性が高い・透明である・加工しやすい・安価である」という特徴を持っている。
- ・研究室のホームページに載っていた色ガラスについて
ガラスを作るときに金属を混ぜると金属イオンによって色がつく。
- ・熱を自在に操る材料の開発について
私たちが普段生活する中で、排熱は少量ではあるが出ている。例えば、携帯電話を長く使っているときに携帯電話が熱くなるなど。排熱が出る量のひとつひとつは少なくても、それをトータルした結果、排熱は膨大な量になる。
その排熱を効率的に集め、輸送が可能になれば熱を電気に変えることも可能になる。
- ・熱で発電する方法について
熱で発電する方法として、温度差を利用する方法がある。温度差が大きければ大きいほど発電量は大きくなる。
これを利用して、上記で説明したように熱を集めて、膨大な熱と液体窒素を利用すると、大きな電力になる。

⑤ 謝辞

藤原研究室の皆様、改めて謝辞を述べさせていただきます。
有難う御座いました。

ゲーム情報学

2207 内田悠太, 2215 木村幹久, 2222 高橋邑伍, 2240 奥村音羽

① 研究室紹介

こちらの研究室では、主に「文字列処理」「データ圧縮」「機械学習」「ET ロボコン」「ゲーム情報学」を行っている。

また、学部生から大学院生、助教、教授までが日々研究に取り組んでいる。すべての学生に、パソコンを貸与していて、研究費も潤っている。また、世界に誇れる優れた研究により、数多くの受賞歴がある。「ET ロボコン」「SECCON CTF」「プログラマー世界一決定戦」「工学部長賞」などのタイトルで素晴らしい賞を受賞している。賞を受賞しない年は決してないといえるだろう。情報処理技術（元の情報から、計算により加工・抽出などをおこない、別の形の情報を得る手続き（処理（プロセス））である。）や AI（人工的にコンピューター上で人間と同様の知能を実現させようという試み、或いはそのための一連の基礎技術を指す。）が進展している今日、未来を創るための先駆けとなっている。

② ゲーム情報学について

研究内容の一つにゲーム情報学という分野がある。論理的、数学的にゲームを考える研究だ。ゲームの研究は人工知能分野の研究題材として広く用いられてきた。

ゲームはプレイの人数によって、二人ゲームか多人数ゲームに分類される。また、ゲーム中の情報が全て公開されるかどうかで完全情報ゲームか不完全情報ゲームに分類される。ゲームの研究として有名なチェスや囲碁、将棋は二人完全情報ゲームだ。ゲームは次のように分類される。

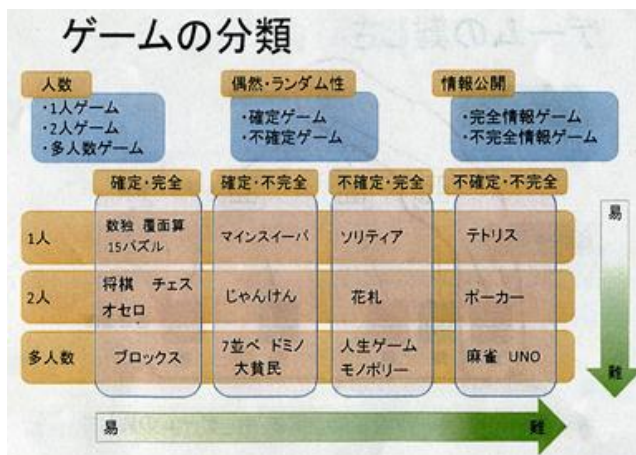


図 1 ゲームの分類

その一方、多人数不完全完全情報ゲームに関する研究は二人完全情報ゲームほど進んでいない。多人数不完全情報ゲームは二人完全情報ゲームと違った難しさがある。二人完全情報ゲームの難しさは、複数のプレイヤーがいるために状態が複雑であること、結果が勝ち負けの2値で記述できないこと、見えない情報の推定を行う必要があるなどが挙げられる。

ゲーム情報学目標はゲーム・パズルを解析するだけでなく、強いAI、または人間らしいAIを作る、ゲームやパズルの生成なども挙げられる。

③ 研究内容 1 ゲーム情報学の一般化三並べについて

まず初めに一般化三並べとは、碁盤目に交互に石を置きながらあらかじめ定められたある形を先に作ったほうが勝ちというゲームである。（合同または反転した図形を作っても可）

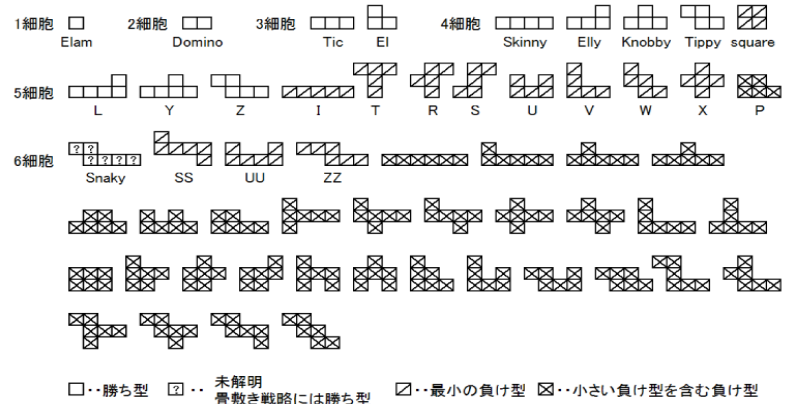


図 2 一般化三並べの形の一覧

このような図形を先手が必勝できる形を勝ち型として、必勝できない形を負け型として上図で表されている。

これらの証明は畳の形を使ったものでされている。

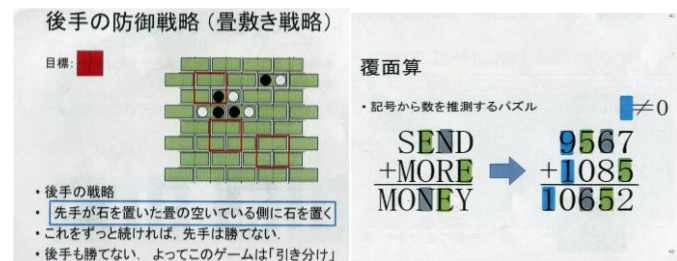


図 3 一般化三並べの証明方法 (左) と覆面算 (右)

このようなもので畳一枚を占領しないと作れないような square などの図形がこれに該当される。

この実験室ではほかに新しい詰将棋の開発や覆面算の早い処理方法についてもゲーム情報学として取り扱われている。

④ 質問内容 訪問して判明したことなど

- (Q) 人口知能が人間を超えることは本当に起きるのか、また起きるのあればいつ頃になるか。
- (A) 2045年に起こると言われているが、人口知能の発達スピードから考えるともう少し早くなるかもしれない。しかし、人間を超えるといった定義が曖昧で具体的なことは誰もわからない。悲観的にならず、より良い生活を得られるものになればいいと思う。
- (Q) 人工知能がゲームで人間より強くなった後の目的は何か。
- (A) より人間らしい動きをできる人工知能をつくること。例えば、オセロの場合1個差で勝つなど。
- (Q) 研究発表はどんな時にやるか。
- (A) 基本的にはオープンキャンパスでの発表となるが、学会へ行き発表することもある。

④ 感想

アルファ碁のこともあり、今非常に注目されている分野での研究を行っている研究室へ行けたため非常に有意義な訪問となった。また、世間で脅威などと言われている人工知能に対しても楽観的な言葉をもらい自分たちの見解を深めることができたと思う。

④ 謝辞

今回、お忙しい中わざわざ私たちに時間を割いていただき本当にありがとうございました。

新しいリハビリテーションの形

2214 菊地謙太郎, 2206 岩渕航, 2237 熱海南帆, 2239 岡田英実

渡邊研究室

運動機能の麻痺障害・低下が生じた人々のため

- ・運動麻痺者の動作再建
- ・運動リハビリテーション・日常トレーニング支援
- ・障害者、高齢者のための情報提示支援

などを中心に、生体医工学的観点から、新しい方法の構築や医療・福祉システムの開発に関する研究を幅広く行っている。

主なものは、

- ① 機能的電気刺激 (FES) による手足の動作再建
(麻痺した手足の動作を電気刺激によって再建する)
- ② ウェアラブル運動計測システムの研究
(ウェアラブルセンサを装着し、体の動きを計測・解析する)である。

①機能的電気刺激

機能的電気刺激(FES)

脊髄損傷や脳血管障害などの、中枢神経系の障害によって失われた回復不能の生体機能を代行しようとするもの。

頭で考える→行動 までの間に、電気が発生する。麻痺などの障害がおこると、この反応がうまく処理されず、電気が発生しない。

なので、パソコンなどの機械で電気信号を発生させ、動かせるようにするもの。

<これが用いられているシーン>

・リハビリテーション

脳卒中等により運動機能障害が生じると、多くの場合、歩行時につま先が下がってしまう下垂足に（安定した歩行ができなく）なる。装具を使うことで安定な歩行ができるようになるが、筋や関節の活動が制限されるため、筋の萎縮や関節の拘縮といった廃用症候群になる可能性がある。

ここで、電気刺激を節や神経に流すことで、下垂足を矯正できるようになる。このことを利用して、歩行中の足の動きを FES で補助して、歩行訓練を行うシステムの開発を行っている。

また、車椅子の場合でも、廃用症候群などを引き起こす問題がある。そこで、足こぎ車いすという、電気を流して使用することで廃用症候群を引き起こさないようにするものを開発している。

・宇宙飛行士の宇宙空間での筋肉トレーニング

電気を流している時は、自分の意思で動かすことは困難になる。そこで、FES を使った場合、無重力の宇宙空間でも抵抗する力を感じることができるので、筋肉を鍛えることができるのである。



図 1 足こぎ車椅子



図 2 電気刺激を流す様子

②ウェアラブル運動計測システムの研究

ウェアラブル運動計測システム

小型・軽量・安価な加速度センサとジャイロスコープを用いた、下肢関節角度やストライド長などの歩行データを計測できるもの。

今までのリハビリテーションの問題点で

- ・人の手による関節の角度などの運動の測定は能力を全評価できない
- ・歩行をデジタル的に記録するモーションキャプチャーは多額なお金がかかる などあった。

そこで、ウェアラブル運動計測システムを用いることにより

- ・加速度センサとジャイロスコープを用いた慣性センサの開発
- ・角度、歩行事象、ストライド長などによる運動レベルの数値化
- ・計測結果のアニメーションによる可視化

ができるようになり、リハビリプログラムの作成が容易になった。

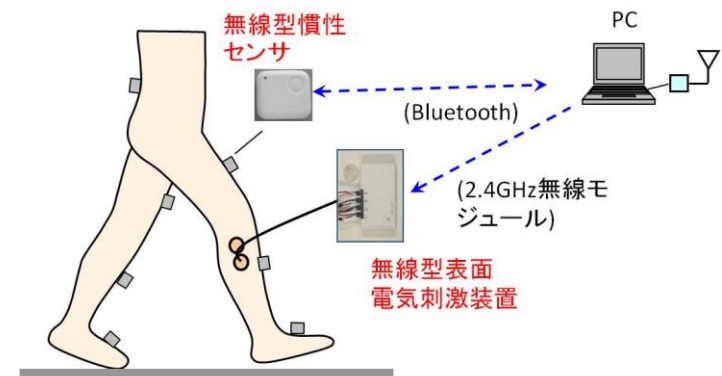


図 3* ジャイロスコープは少しの誤差だけで大きく数値が変動するのでカルマンフィルタと呼ばれる機械を用いて修正を行う。

昔のリハビリプログラム		現在のリハビリプログラム
視覚的な運動レベルの測定 * 能力を全評価できない問題	1	機械による運動レベルの測定
計画	2	リハビリプログラムの作成
治療 * 3~6 週間ほどかかる	3	プログラムの実行
1~3 を繰り返す	4	運動レベルの測定
多くの問題があり、 限界があった。	5	運動レベルの変化の調査
	6	プログラムの変更点の調査

訪問して判明したこと

FES を用いる際の注意点

心臓ペースメーカーを使用している人には、FES を用いることができない（ペースメーカーは、超小型の精巧なコンピュータのようなものであるため、外部からの電気や磁力に弱いという欠点があるから）。

また、脊髄に直接電気を流すことや、体の両側から電気を流すこと（例：右腕から左手へ）なども危険なのでできない。

FES を用いることのデメリット

電気装置の指示が難しいが、上記のことに気を付ければ、非常に安全。

謝辞

渡邊研究所の皆様に、改めて謝辞を述べさせていただきます。

本当に有り難う御座いました。

白衣を着ない研究室

東北大学工学部 松本研究室

2105 伊藤大翔 2128 万城目海人 2133 山田大道 2134 山野大河

① 松本研究室ってどんなところ？

我々が研修を行った東北大学工学部化学・バイオ工学科応用化学コースに属している松本研究室は、2013年の4月にできた新しい研究室で、新しい結晶作製技術の開発や、新しい物質合成法の開発と物性・機能探索に力を入れている。結晶作製といっても、冷やして結晶を取り出したり、溶媒を蒸発させたりするのではなく、「真空中で昇華させる」という方法を用いている。なので、全員試験管やフラスコをではなく大きなステンレスでできた実験装置を用いて、白衣をではなく作業服を着て実験をしている。そのような研究をしている松本研究室は、固体の表面や界面だけでなく、固体と液体からなる固液界面を研究対象とした「固液界面真空工学」という新たな研究分野を提唱している。また、松本研究室では、外国との共同研究に積極的に取り組んでいる。



←図1：実験風景

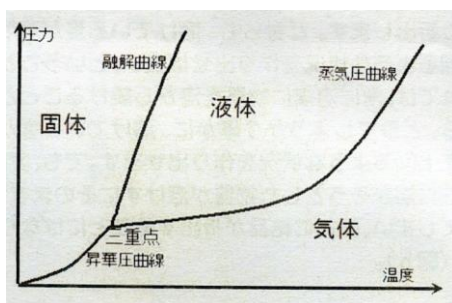
「予想どおりにならなかった実験を失敗した、と学生さんはよく言います。しかし、成功・失敗に関係なく、そこには必ず自然からのメッセージがあります。日々 の学生さんとの対話は、その自然との対話の延長であり、自然からのメッセージに1つ1つ耳を傾けるためには、欠かせないものです。（松本研究室 HP より <http://www.che.tohoku.ac.jp/~atomol/intro.html>）」

② 結晶の新しい育成方法

一般的に、溶液からの結晶析出では、飽和溶液から温度を下げ、温度による溶解度の変化を利用する方法や、溶媒を蒸発させる蒸発乾固という方法がある。結晶は、今ある溶媒の量に対して、溶解度以上の物質が溶けてしまったときにその差の分だけ析出する。では飽和溶液にさらに物質を加えたらどうか？確かに、溶けている量が溶解度を上回る状況は作れるが、溶かそうとした物質がそのまま沈殿するだけで結晶が析出することはない。では、物質を原子・分子状にして溶液に加えたらどうか？すでに溶けている原子・分子と区別ができなくなり、結晶としてでてくる。

では、どのように原子・分子状にしていくのか？物質を原子・分子状にするには、物質を気体にすればよい。しかし沸点の高い物質は、普通の状態では、なかなか気体にはならない。でも、多くの物質は、圧力を小さくすれば、比較的低温でも昇華させることができる。

だから真空中に近い状態にして実験すればよい。しかし水でやるとその前に蒸発してしまう。そこで、気圧を下げて蒸発しにくいイオン液体という液体を溶媒に使う。

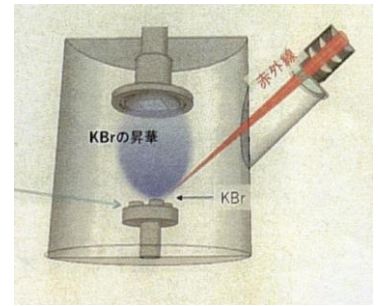


←図2：縦軸が圧力（気圧）
横軸が物質の温度
の状態図

③原子分子レベルから結晶作成

ここでは、密封性の高いステンレスの容器を特殊なポンプを使い、中の空気を排気して宇宙のような圧力の低い真空環境を作る。ここに溶かしたい物質を入れ、容器の外からレーザーを照射し、昇華させる。

この上に基板を置き、先ほどのイオン液体を滴下しておき、分子、原子レベルの大きさでどンドン物質をイオン液体に溶かすことができる。こうして、イオン液体から結晶を取り出すことができる。



右図3：容器

また、ここで取り出される結晶のかたちは、正方形、三角形と六角形が板状で取り出される。一部は、正方形として取り出されるが、大部分は三角形と六角形として取り出される。正方形は、下図の格子の状態では二つのイオンが同じ数ある面で作られたもので、三角形と六角形は一方のイオンだけで作られたものである。図4の青の点でつながれて構成されると六角形が作製される。緑の点でつながれた場合は三角形が作製される。この技術により、これまで得ることができなかった物質を実現できる。

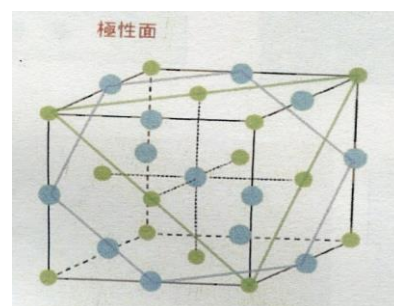


図4：結晶の構造

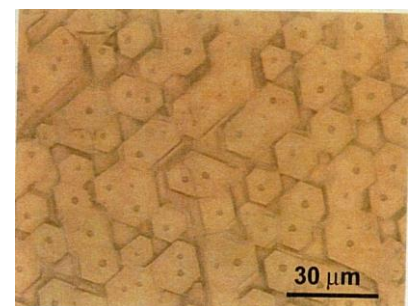


図5：イオン液体から析出した結晶

④質問内容 訪問して判明したことなど

質問

Q 研究の楽しさは？

A 教科書には載っていない、もしかしたら誰もやったことのないことを自分がやるというところ。

Q 大学院に入ると忙しさは？

A 基本的に自分でスケジュールを決めるので興味を持ったものに時間を自由に使うことができるが、レポートの提出期限が重なると忙しくなる。

Q 市販の実験セットの真空ポンプでも昇華を起こすことが可能か？

A 市販の実験セットでも10の-2乗ぐらいまで気圧はさがるので可能。しかし、その分熱によるエネルギーが必要となる。

訪問してわかったこと

機械を使った研究のため白衣ではなく作業服を着て高校の化学とは全く異なる化学の研究をしていた。大学4年生から研究室に入るため、大学院に入ってから研究が主である。

⑤謝辞

松本研究室の皆様に変更して謝辞を述べさせていただきます。
ありがとうございます。

化学工学コース班

東北大学工学部 青木研究室

2202 浅野敬大 2208 海老健太郎 2230 福山隼平 2236 吉澤和幸

研究室紹介

青木研究室では、コークス、カーボンブラック、藻類バイオマスなど、多種多様な化学工学の研究をしています。コンピューターシミュレーションなどを駆使した高度な理論実験が行われているそうです。

研究内容 1 藻類バイオマス

この研究は微細藻類を用いてバイオ燃料を生産するシステムについての研究です。藻類バイオマスは再生可能エネルギーで石油代替燃料として期待されています。

◎どうやって油を取り出すか

藻類からオイルを抽出する方法は主に4つの工程に分けられます。まず藻を培養します。次に培養した藻を収穫します。最後に有機溶媒抽出し、蒸留を行います。

◎どんな藻を使っているか

藻類バイオマスにはボトリオコッカスブラウニー (Botryococcus braunii) という藻が使われています。

◎藻類バイオマスの問題

藻類バイオマスは次世代エネルギーとして期待されていますが、すべての工程においてたくさんの経費がかかってしまうという問題があります。

◎別の取り組み

青木研究室では仙台市と下水処理場を中心とした研究協力を行っています。下水には窒素やリンなどの富栄養化因子が含まれており、これらを利用して藻類の培地を作る研究も行っています。

◎その他

図 1



(図 1)この機械、GCMS-QP2010 (ガス・クロマトグラフを直結した質量分析計) は、有機物が混合した物質の組成を検討するときに使用する分析装置だそうです。

研究内容 2 カーボンブラックについて

カーボンブラックとは簡単に言えば「すす」のことです。すすという言葉を知ると、環境汚染物質であることや人体に悪影響であるといった悪いイメージを持つのではないかと思います。ところが、カーボンブラックは工業的に作ると様々な用途で使うことができます。たとえば、自動車のタイヤの強度を高めるためにゴムに混ぜられており、カーボンブラックの形状でタイヤの性能が決まります。しかしながらカーボンブラックは生成機構が分かっていないため、形状の制御が困難であるという問題があります。

そのため青木研究室ではカーボンブラックの粒子核の前駆体は何かといったことや、粒子同士の焼結が形態にどれほどの影響を与えているのか、原料ガスに酸素を与えた場合凝集体の形態はどのように変化するのか、などのカーボンブラックの生成や形態を支配する因子を実験やパソコンの計算を用いて研究しているそうです。



(図 2) ↑太陽の表面温度も一応実現できる装置なんだそう



(図 3) 研究室の様子

大学生活について

Q. 普段はどれくらい研究室にいますか？

A. その週にもよりますが週6日で9時から17時までです。

Q. そんなに長く居て研究は尽きないのですか？

A. 一つの研究に使うのはいろいろな分野の学問なためとても時間を使うのです。

感想

今回は普段は入ることのできない大学の研究室を見学させていただき、いろいろな研究テーマを説明していただきました。藻類バイオマスはいままで名前だけしか分かりませんでしたが、この機会に深く知ることができました。またカーボンブラックがタイヤに使われていることなど興味深い話がたくさん聞けて楽しかったです。ほかにも研究室にある様々な機械を見ることができたことも貴重な経験になりました。

悪環境に適応できる植物

東北大学工学部 魚住研究室

2111 佐々木 麗羽 2137 川渡 綾音 2139 椎名 美月 2141 栢沢 凜

① 未開拓の生命分子の仕組みを解明して、環境適応性の強化と生物エネルギーの増産を図る

植物や微生物などの生物は、成長するために養分を取り込んでいます。生物が持っている生体膜は体に必要なものと不必要なものを見極める検閲機能と細胞の内外の圧を調節する機能があります。生体膜では取り入れる養分の種類を時間、年齢、組織や器官などによって取捨選択します。その機能を司っているのが、生体膜に埋め込まれているチャンネル・トランスポーターという分子装置で、塩や高浸透圧に関する環境変化や環境ストレス（塩害、乾燥）に対抗するためにも機能しています。魚住研究所では遺伝子レベル・分子レベルから解析し、地球上の不良土壌や管理された植物工場などの植物の生育に利用することにつながる新たな知見を求める研究をおこなっています。

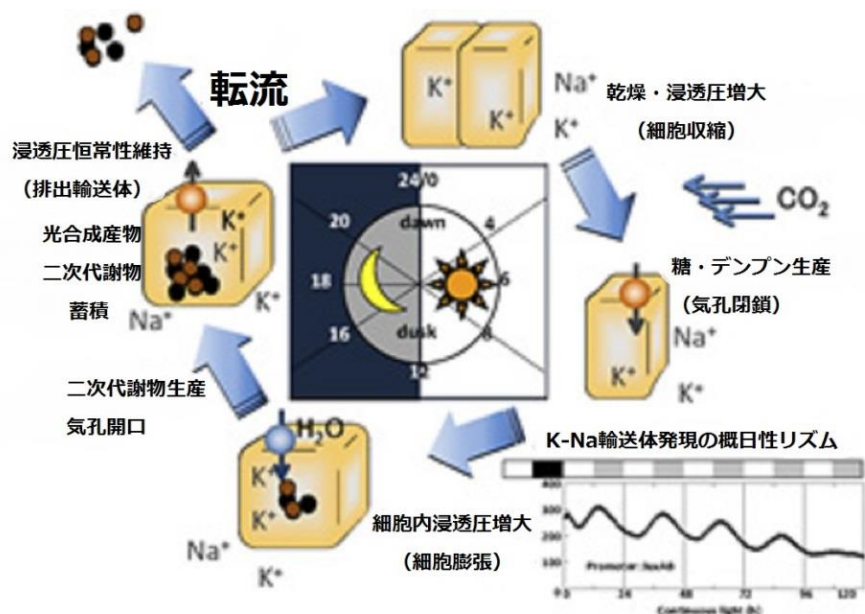
同様に、植物や微生物以外に動物の生体分子も研究対象としています。太陽光など外界シグナルの受容、生体エネルギー変換、細胞外糖分泌も生体膜で行われます。CO₂から糖を光合成生物に誘導生産させて、太陽エネルギーを利用したバイオ燃料や材料の生産機構を分子レベルで調べています。

② 浸透圧ストレスに対抗する

生体膜輸送装置の作動メカニズムの解明について

この研究室では、光合成微生物のシアノバクテリアの膜輸送系を解析しています。シアノバクテリアは葉緑体の先祖です。細胞は脂質二重膜（生体膜）によって外界と区切られ、その中で生命活動を営んでいます。細胞内は外界から独立した環境を作り出していますが、同時に外界から必要なものを取り入れ、不要なものを排出することで内部環境の恒常性を保っています。細胞が物質を吸収したり排出したりするのに、膜輸送体と呼ばれる細胞膜にあるタンパク質が担っています。この輸送体を取り込もうとしているものが必要なのか、そうではないかを区別しているのです。

シアノバクテリアで得られた成果は、他の生物における生体分子の知見拡大にもつながります。輸送体は、光合成微生物において、生存に必須の役割を担っていることが分かっています。水、イオンなどは生命活動に必須ですが、地表に生きる生物は昼と夜を経験します。そのため、遺伝子（タンパク質）の発現は図のような環境の変化によって変わります（図1）。これらの輸送体遺伝子の発現は生物時計に支配される概日性リズムを示すことがわかりました。概日性発現を考慮することにより、ラン藻と葉緑体の機能解明を通じたCO₂の利用が最適化され、より深い制御調節の実現が期待されています。



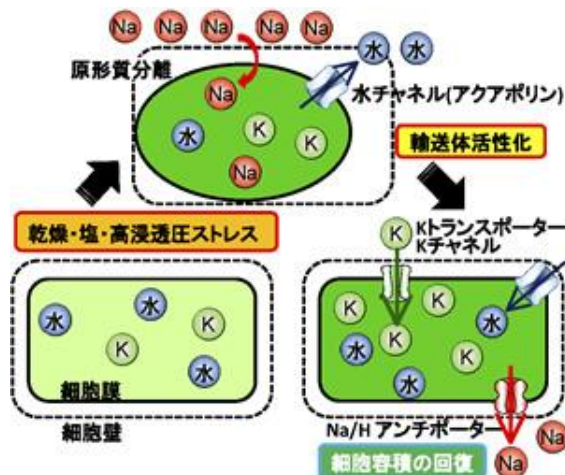
(図1) 昼に働く遺伝子・タンパク質があれば、夜に機能するものもある

③ 植物の塩害について

この研究は長年すすめてきましたが、2011.3.11に発生した東日本大震災はこの研究と深くかかわると思います。震災の時に発生した津波によって海水につかった木や草が枯れてしまいました。つまり、津波にかかった木は塩害の被害を受けたのです。

塩の集積は浸透圧を高めることから、脱水を引き起こします。つまり、生物の耐塩性・耐乾燥性・耐冷性は、高浸透圧ストレスへの耐性機構と科学的にとらえられています。人間はNaが生存に必須なのですが、一般の植物はNaを必要としません。つまり、植物にとって多量のNaは塩害をもたらす生育阻害元素と考えられます。(図2)

本研究室では、Naの輸送体を見出し、その輸送体を調べています。発見され、塩害に少し耐えるための細胞の遺伝子の発見がされているようです。今はその遺伝子のさらなる解析などの研究をおこなっているようです。



(図2) イオンチャンネル・トランスポーターという生体膜で機能する分子装置はたらくことで、細胞は刻々と変わる環境変化に対応できます

④ 質問内容

Q1.工学部ですが、生物分野の内容が色濃く感じられました。こちらの研究室ではどの程度の生物分野の知識を必要とされますか？

A1.生物の知識は大学に入ってからでも得ることができます。そのため、高校生のうちは大学の内容を先取りしようというよりは、学校で習うあらゆる科目を大切にしてください。分子生物学・生物化学を研究するのに、物理、化学、はとでも必要になります。

Q2.サイトを拝見させていただきましたが、実験はどのような方法で、また、どの程度の成功率のなかで行われていますか？

A2.成功率は低いです（数字では表せません）。でも、うまくいかないから辛い、というわけではなく、失敗から発見できることもあります。成功率が低いことは絶望的なことではありません。むしろ楽しんで行っています。

Q3.基幹研究室と協力研究の違いは何ですか？

A3.基幹研究室は講義や実験なども行う研究室です。協力研究室は大学4年生になって関わります。両者の違いを気にしないで大丈夫ですよ。

Q4.この研究成果から日常生活に応用する際、どのような形で応用するとお考えですか？

A4.具体的な応用は考えていません。他の実験の基礎になることでしょうか。あえて言うのであれば、塩害対策になると思います。

⑤ 参考文献

魚住研究室 東北大学 大学院工学研究科 バイオ工学専攻 応用生物物理化学分野 <http://www.che.tohoku.ac.jp/~biophy/>

金属フロンティア工学を学んで

東北大学工学部 朱研究室

2201,相原竜 2205,安齋音哉 2219,佐藤輝明 2241,小田島菜緒

① 朱研究室とは

まず教授の名前ですが、朱 鴻民 (zyu hougin) 教授といます。

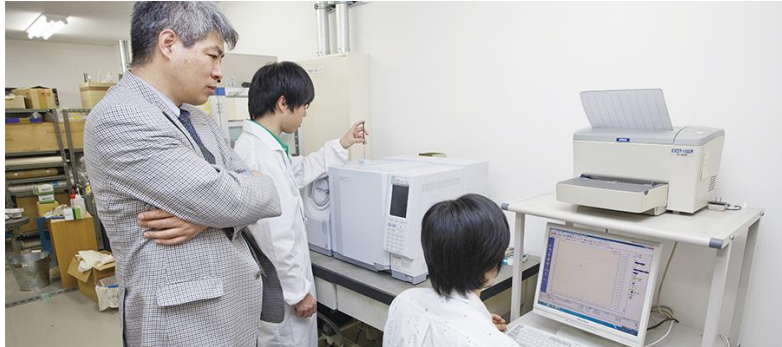


図1 ホームページの研究室の様子

こちらの研究室では NMR を用いて物質の構造や性質を調べ、原子力から宇宙に至るまで活用できるように研究しています。

たとえば、

溶融塩を用いた使用済み核燃料の再処理に関する研究

液体金属・半導体の粘性流動に関する研究

などです。と言われてもピンとはこないかもしれません。実際私たちも研究室に赴くまではっきりとは理解していませんでした。

以下からは研究室に行って教えていただいたことを記します。

① 研究室での体験

粘度とは、液体の粘りの大きさのことで水を 1 としている。粘度が 100000 になると容器を逆さにしても全然流れないということを実際にビンに入れた液体で体験させていただきました。高くなると本当に液体なのかと疑いたくなるくらいネバネバしていました。また鉄などの金属を液体にしても粘度は 1 でさらさらしているので鑄造に使いやすいということを教えていただきネバネバしているイメージが大きかったためとても驚きました。

ほかにも実験室の様子 (④) などを見せていただき実際の雰囲気味わえたのでとても貴重な体験となりました

② 質問内容 NMR について

そもそも NMR というものは物質の粘度を測るものではなく、物質の分子レベルでの構造を調べるものだそうです。つまり溶けた物質の分子レベルでの構造からどれくらいの粘度なのかを調べます。ふつうは有機化合物など室温で安定するものを調べるのに使うそうです。MRI も同じ原理で用いられているものです

朱研究室ではこれを改良したものを使用しています。ではどこを改良し、何を調べるのかというと、朱研究室では高温で溶けた物質を利用しています。しかし NMR は機体を低温で冷やす必要があり矛盾しています。そこで、機内で物質を熱しながらも機体を冷やせるように改良し使用しているそうです。

③ 研究内容 1 Ni 基超合金の耐酸化性コーティングについて

1. 背景と目的

現在、火力発電は我が国の電力の 90% を担う重要な電力源であり、原子力発電に依存しない社会の構築のためには火力発電の効率化が必要であり、そのためにより高温での発電が求められています。

高温効率火力発電

→ 電力の安定供給

→ 環境負荷や資源コストの削減

現在の火力発電

→ 将来の火力発電

→ 操作温度 1500°C

→ 操作温度 1700°C

→ 発電効率 50%

→ 発電効率 60%

表面処理による Ni 基超合金の耐用温度向上

現在のガスタービン材料: Ni 基超合金

従来よりも高温での発電が必要

そのためには良好な耐酸化性さらに高融点である被膜材料が求められています。

それで注目したのは...

二珪化モリブデン (MoSi₂)

融点 1980°C

発熱体に使用されている実用材料であり高温大気中において、表面に緻密な SiO₂ 保護被膜を生成し耐酸化性を発揮

溶融塩電解法を用いて MoSi₂ 被膜を形成に成功しました。

今後の展望

成形した MoSi₂ 被膜材の耐酸化性の評価

より平滑な Mo 被膜の形成法の開発

最表面の SiO₂ 酸素バリア膜の携帯制御

④ 東北大学工学部について

工学部の生徒は 90% 以上の生徒が大学院に進学してから就職するそうです。多くは修士課程という 2 年制の課程を受けます。さらに研究過程にはそこから 10% ほどが進学します。つまりほとんどの学生が修士課程を受け就職しています。

就職先としてはトヨタなどの大手車メーカーやパナソニックなどの大手電機メーカーなど就職が難しい企業にたくさん入社しています。

研究室では学生さんたちが発表会のための資料や原稿を作ったり、実験室で実験をしたりと忙しそうにしていました。とても充実しているように見えました。

③ 研究室の様子 実験器具など



図2 高温で金属を溶かす機械



図4 研究室の様子



図3 実験室の様子 1



図5 実験室の様子 2



図6 実験室の様子 3

鑄造の謎に迫る！！

東北大学工学部 安齋研究室

2106 井上博文 2121 坪井敦也 2127 松浦紘夢 2130 宮崎大輔

① 研究室紹介

私たちの身の回りにはあらゆる製品は、元はといえば何かの材料からつくられています。材料には、木材、石材、セラミック、ゴム、プラスチックなど多くの種類があり、それぞれの特性や個性を生かすための製造方法が生み出されてきました。安齋研究室では、「鑄造法」について研究しています。鑄造によって作られるものは、伝統工芸品だけではなく、工業製品の重要部品も作られています。

例えば、自動車のエンジンは鑄造法が不可欠です。環境に対する負荷を低減したりエネルギー消費を抑えたりするために、アルミニウムやマグネシウムの軽合金を用いて高速で溶湯を金型に圧入することによって、製品を作るというダイカスト法でも作られています。しかし、この方法では金型隅部への不充填による不良品の発生率が高いです。安齋研究室ではこの欠点を改善するためにコンピュータで金型内部の様子を解析する研究をしています。

また、安齋研究室では地域社会貢献の一環として、子供たちに“ものづくり”の面白さを知ってもらうため、また科学技術や工学に対する関心を高めてもらうため、市内の小学6年生を対象とした『鑄物教室』(図①)を開催しています。実験内容は、花やイルカ、星、勾玉や剣など30種類の型の中から、好きな型を選びオリジナルキーホルダーを作るというものです。

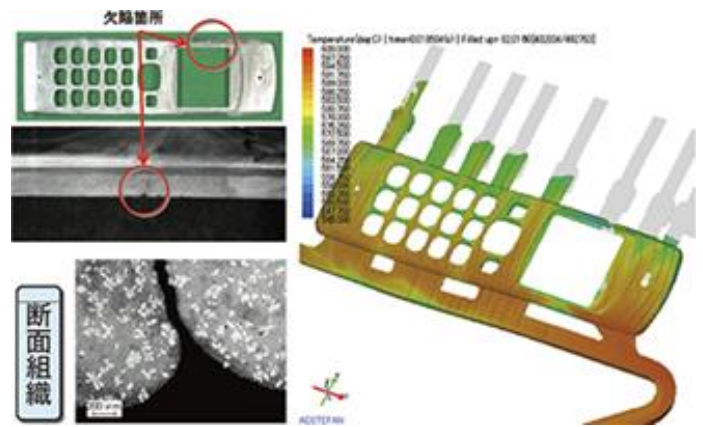


鑄物教室の様子 (図①)

② ADSTEFAN について

金属を鑄型に流し込んで形を与える鑄造法は、自由自在に形を表現することができますが、失敗を多くともないです。その大きな理由として、鑄型の内部が見えていないということが挙げられます。これまで手法の主流は長らく技術者の勘や経験といった暗黙知に依存していました。そこで安齋研究所では、技術者の勘や経験をコンピュータシミュレーションによって分かりやすくすることができます。鑄造 CAE (Computer Aided Engineering) システム「ADSTEFAN」(図②)を開発しました。このシステムを使うことで、鑄型内での熔融金属の流入状態や凝固過程をシミュレーションして、そのプロセスをコンピュータグラフィックスにより三次元で視覚的に展開することができるようになりました。つまり、今まで見えていなかった鑄型の内部を「見える化」することを可能にしたと言えます。

また、鑄造欠陥を事前に予測できるので、開発期間の短縮、試作回数の低減、品質の向上が可能にし、コスト低減に大きく貢献します。「ADSTEFAN」は日本国内のみならず、アジア各国でも広く利用されています。中小メーカーでも使いこなせることが利点で、販売国・地域におけるシェアはNo.1です。毎年、新しいバージョンが次々と発表されているので、今後の利点の向上に大きく期待できます。鑄造法に新たな革命をもたらしたこのシステムはより多くの人に利用されるべきものなのです。



ADSTEFAN によるシミュレーション(図②)

③ 素形材について

「素形材」とは、もともとの素材に熱や力を加えることで、形が与えられた部品や部材のことをいいます。これらの部品や部材は主に自動車の部品として使われています。

また、パソコンや携帯電話など、私たちの生活に欠かせないものにも使われており、素形材における技術の発達は私たちの生活の向上にも繋がります。これらの素形材はその用途によって、強さ、硬さ、延性などの性質のほか、摩耗しにくい、腐食しにくい、熱に耐える、振動を吸収する、削りやすいなど、さまざまな特徴が要求されるので、その部品へのニーズに応じて、適した素形材が選ばれ、使用されています。

これらのことから素形材は、まさしく「ものづくりの原点」と呼ばれるべき存在なのです。(図③)



研究の様子(図③)

④ 訪問して判明したことなど

今回、私たちは東北大学の工学部金属フロンティア工学の、安西研究室で研修をさせていただきました。安西研では、平田直哉助教授に研究室の案内をしていただき、金属成形、(主に鑄造)について教えていただきました。また、修士大学院2年の佐藤拓未さんには研究室の年間行事、週間予定や、一日のスケジュールについて教えていただきました。

佐藤さんによると、大学院生になると授業がなくなり、主に研究がメインになるそうです。また、大学生になったといっても研究室に配属になるのは4年生からで、3年生までは私たち高校生とほとんど同じような授業を受けているそうです。

また、1日のスケジュールは、10時から11時の間までに研究室に顔を出し16時ごろに研究を終え、帰るそうです。しかしたまに24時頃までかかる日もあるそうです。

今回は、安齋研究室の皆さんに鑄造について詳しく教えていただきました。本当にありがとうございました。

「くっつける」の探求

東北大学工学部 粉川研究室

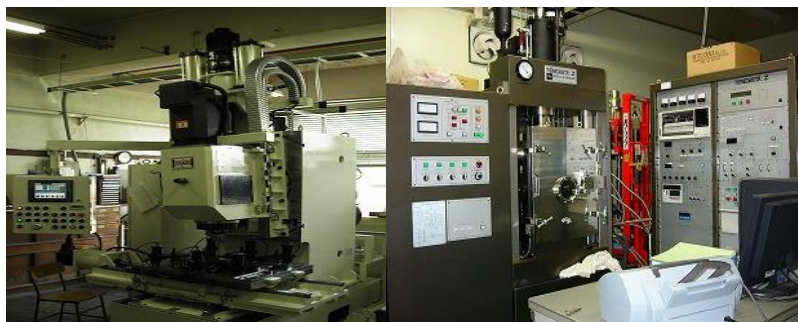
2103 飯田拓海 2116 去田尚悟 2138 高坂友莉 2140 土井うたの 2142 藤崎有香里

① 研究室紹介

「くっつける」と聞くと紙と紙をくっつけることなどが思い浮かぶが、金属と金属をくっつけるのは一般的には思い浮かばないでしょう。粉川研究室はその金属の接合に着目し、当該分野での世界有数の研究拠点として知られています。アーク溶接やはんだ付けは接合後に材料の性質が低下してしまいます。そこで粉川研究室ではFSW(摩擦攪拌接合)という次世代の接合技術として注目されている方法を用いて、接合部位の高性能化や信頼向上のためのプロセス改善の研究を行っています。

さらには FSW 以外にも超音波を利用した接合も研究しています。

工業生産に必要な接合技術。その発展を支える粉川研究室の取り組みは工業を飛躍的に発展させていくでしょう。

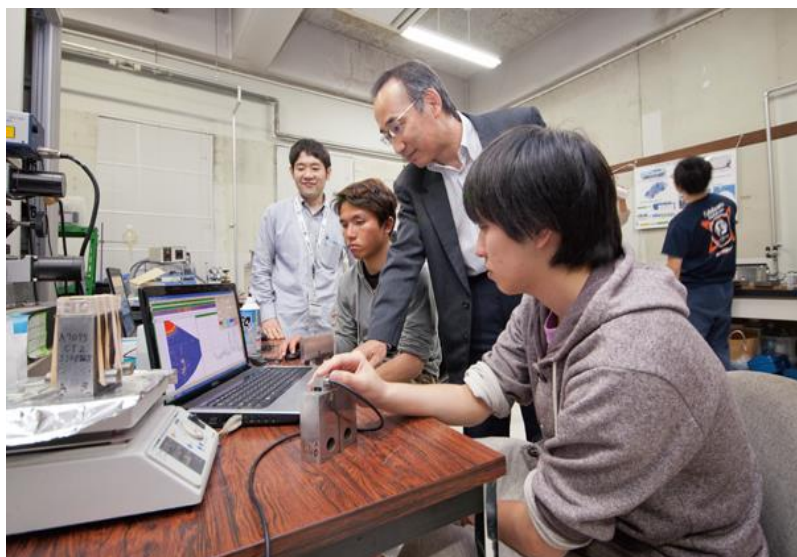


FSW 装置並びに熱間加工再現装置

② 研究の目的と背景

近年、優れた性質を持つ材料が多く開発されてきています。このような材料を構造物に用いるためには、それらの優れた材料を「くっつける」必要があります。材料を「くっつける」プロセスのひとつに、接合技術があります。代表的な接合技術には、材料同士を溶かして固める方法や溶かさずに混ぜ合わせたりする方法、原子間力を利用した方法などが挙げられます。しかし、溶かしたり混ぜ合わせたりする場合、接合箇所の性質を優れたものにするマイクロ構造が失われ局部的に性質が低下してしまうことがほとんどです。

この粉川研究室では、材料を接合する際に得られた接合部や接合界面のマイクロ構造と性質を調べ、特性を決めるマイクロ構造を理解し、それらを制御することで接合部や接合界面が優れた性質を失わずに発揮できる方法を確立することを目的に研究しています。



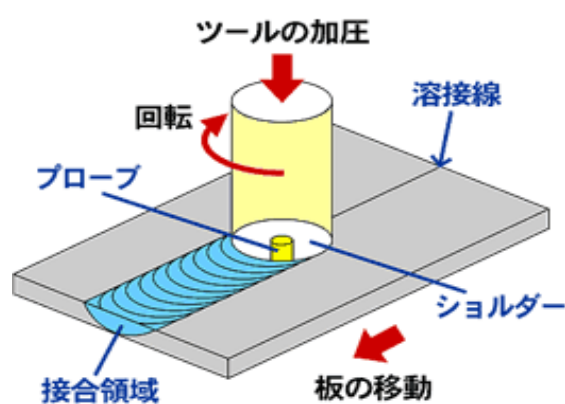
③ 研究内容

(1) 摩擦攪拌接合(Friction Stir Welding: FSW)を用いた研究
・FSW メカニズムや接合後の材料特性の解析、接合部位の高性能化、信頼性向上のためのプロセス改善
・FSW の実用範囲(鉄、チタン、異種金属)を広げるためのツール材料の開発

(2) 粒界工学 (Grain Boundary Engineering: GBE) による研究
・粒界劣化現象抑制のメカニズム解明
・熱加工プロセスによる高性能材料の開発

(3) 異種金属材料の超音波接合部における微細組織形成機構の解明

摩擦攪拌接合 (FSW) のイメージ



④ 展望

目下の研究課題は、鉄、チタン、異種金属の接合に向けた FSW の実用範囲を拡大するためのツールの開発です。

また、難しく危険な原子力発電所などにある水中の構造物の接合を安全かつスムーズに行うために、水中における FSW の実用化を目指しています。

粉川研究室では、「対応粒界が高密度に均一分布した粒界制御材料」という発電や化学プラントなど過酷な環境で使用される耐熱耐食材料(オーステナイト系ステンレス鋼)の劣化現象の抑制に向けた粒界ナノ工学的制御材料の作製に成功しています。これは、世界最高の対応粒界頻度を誇り、特性を飛躍的に向上させました。そして、オーステナイト系材料の登場も視野に入ってきました。

⑤ 感想

初めて大学の研究室に行ってみて、日常生活では出会わないような様々な専門の機械がありました。今回は溶接について詳しくお話を聞いてきましたが、熱で金属を溶かす「アーク溶接」に代わり、新しく「FSW」や「USW」という金属を高速回転させたり、超音波を発したりすることによって金属を溶接する方法がある事などを教えてもらいました。それらは、自分にとって初めて知ることばかりでした。

私たちは今、課題研究に取り組んでいる最中ですが、通常授業もあり、自分たちの研究に多くの時間を費やすことができず、なかなか研究を進めることができません。しかし、大学の研究室では一人一人が自分の研究に多くの時間を費やし、一つの物事に深く探求できる環境であったので、自分もはやく大学生になって、自分の研究に多くの時間を費やしたいと思いました。

地球をよくするには水から

東北大学工学部 環境水理学研究室

2108 後藤和真, 2114 佐藤佑星, 2120 鈴木智寛, 2122 富田怜

① 研究室紹介

・何を行っているの？

私たちの生活にとって必要不可欠な存在でありながら、洪水や渇水、水紛争などを引き起こす存在であるものが水です。この研究室では、そんな水の取り巻く環境の理解とシステムの創造を行っています。具体的には、河川や海岸、湖沼などのインフラにおける環境を、水理学を軸にして、工学的に解き明かす研究、汽水湖という海水と淡水の混ざり合った湖でのシジミの成長速度の研究など、水に関する様々な研究をおこなっています。

・水環境学ってなに？

水環境学とは、水資源や河川工学、海岸工学などについて考える水工学、水質や生態系、衛生工学について考える環境学、防災や減災などについて考える防災科学を統合したものです。



② 研究内容 1 水循環について

研究の目的

1. 降水、蒸発散、流出、貯留という現象を基本要素にして成立する自然環境における水循環の解明
2. 水循環過程の総合化を反映した水環境および水資源の定量化
3. 水環境に関連する生態系や自然現象の評価

研究内容①

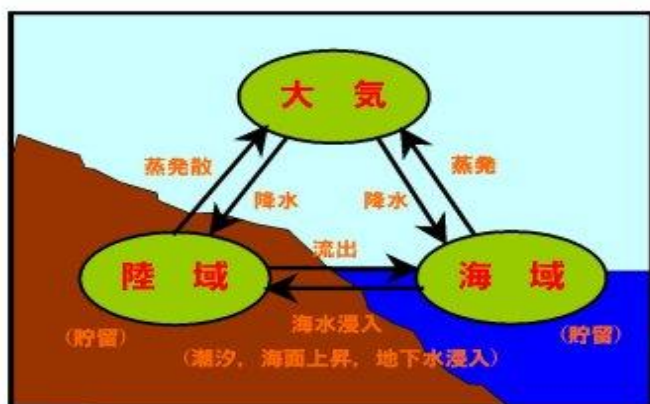
<水循環>

人工衛星のデータ、国土数値情報、降水観測のデータなどを使い、陸域の水循環を評価しています。この現象は気象、地形、地覆の条件が互いに影響しあう複雑なシステムとなっています。それぞれの過程や相互関係を調べることで、システム全体を明らかにしようとしています。

・小項目

- 1 降雨や降雪分布の評価 (積雪シュミレーション)
- 2 融雪の評価
- 3 蒸発散量の評価
- 4 地下貯留量の評価
- 5 流出予測 (名取川の水動態シュミレーション)

1 水循環



③ 研究内容 2 気候変動と水災害について

地球温暖化あるいは気候変動が水循環に影響を与えることにより、様々な災害が予想されています。

豪雨に伴う洪水や土砂災害、気温上昇に伴う閉鎖性海域におけるアオコの発生など、影響はさまざまな形で現れます。

研究室では、数値気候モデル(GCM)を用いて、気候変動が水環境あるいは水災害に与える災害を明らかにしています。

この研究をみて「建築」というカテゴリーから外れているのではないかと考えた方もいるかもしれません。

しかし、気候変動に備えた適応策を考えることが、社会基盤整備に欠かせません。

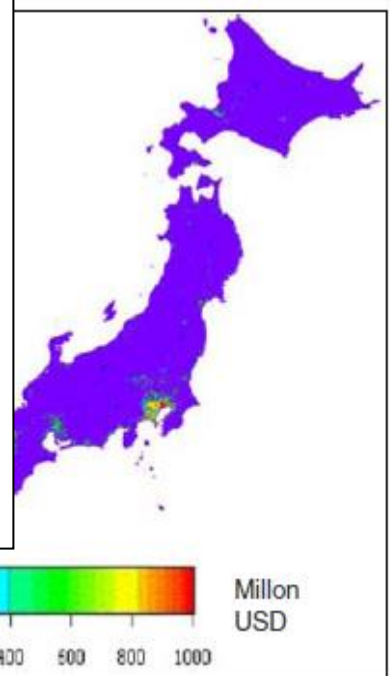
気候モデルの結果を利用して、将来起きるであろう洪水リスクや土砂災害リスクを予想して、その経済評価から地域に応じた災害適応策の提案をしています。

気候変動は都市化も含めて途上国では深刻な問題となっています。

限りない資源を無駄にせず、地球にやさしい生活を心がけましょう。

2 数値気候モデル

地球全体の大気・海洋を計算する数値モデルを用いて、20世紀において観測された地球の平均地上気温の変化を再現することに成功した。この計算では、従来の計算では考慮されてこなかった様々な気候変動要因を最大限考慮している。様々な要因を切り分けて計算を行った結果、近年(20世紀最後の30年程度)の昇温傾向は人間活動に伴うものであることが強く示唆された。



④ 感想

実際に大学生の学校生活に触れてみて、予想より高度な研究を行っていたので、早く大学生になって自分のかねてからの実験や研究に取り組んでみたいと思いました。

そのために、今のうちにたくさんの知識を取り入れ、実のある成果を出すためにこれからの高校2年間を大切に過ごしていきたいと思いました。

大学生の話聞いて、高校の時よりも大学生活は忙しいけど、その反面充実して得るものも大きいことがわかりました。

今回の工学部研修で自らのモチベーションが上がり、より一層勉強に対する意欲が湧きました。

お忙しい中、私たちの研修に付き合ってくださいました梅野教授、大学生の方々、今回の企画を設けてくださった先生方には本当に感謝しています。ありがとうございました。

東北大学工学部 最適減災技術研究分野

2213 川村勇斗 2217 後藤隆佑 2229 早坂翔児 2231 古木健慈

① 研究室紹介

作業場は少し山を登ったところにある。外見は建物というよりも工場のような。中に入ってみるとそこには、色々な工具や試作途中と思われる鉄筋コンクリート、材料となる鉄板などがたくさんおいてある。まるで町工場の一角にたたずむ工場のように、ここからは町工場独特の“アットホーム感”がどこにも漂っている気がした。

地震の揺れを再現して、耐震構造の耐久性を調べる装置がありそれは自分にとってとても興味ぶかかった。構造としては、中のタンクに油をいれて、その油に圧力をかけて動かすといったものだ。

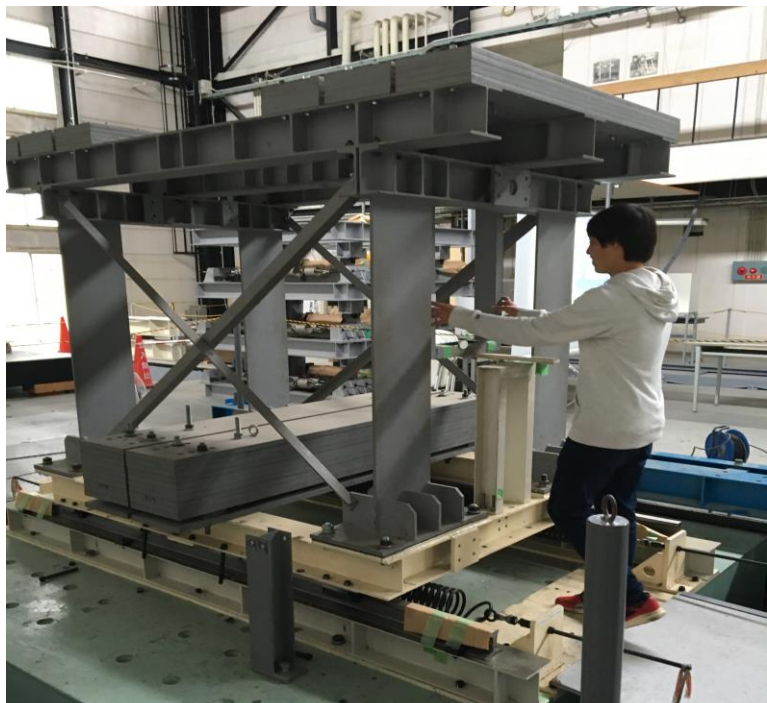
実際に僕らの手でうごかさせてもらい、感触を確かめさせてもらった。

他にもたくさんの機械があり、ここなら色々な実験ができそうだなと思い、とても興味がわいた。

ちなみに、研究室とは少しかけはなれるが、外国の研究所や外国の大学で研究をしている学者などに研究発表をする施設もあり、その施設は日本で有名な建築家によってデザインされたものだろう。また、作業場にあった耐震構造が実際に使われている大学の大きな建物もあった。

② 地震再現装置について

研究室には、地震の揺れを再現し、免震構造を試す装置がありました。幅3メートル、重さ10トンあり、最大で東日本大震災と同じ大きさの揺れを再現することができます。震災時、一般の建築構造だと、高層の建物は上層部のみが揺れ、その揺れが長時間続いてしまうという問題が発生します。その問題を解決するため、この免震構造では、土台にレールを敷き、揺れが起きると建物がその場で留まり、地面のみが動くようにすることで、結果として中の人はあまり大きな揺れを感じないようにしています。しかしこの際、レールのみでは建物の位置が元の位置からずれたままになってしまうため、ばねを設置することで元に戻るようになっています。この構造を用いると下の写真のように、5トンのおもりも一人の力で動かすことができます。この装置を稼働させるため、約2000リットルのオイルが研究室には貯蔵されており、どれだけ大きな働きが出来るのかが、わかるでしょう。この装置から得られたデータは、隣の個室のコンピュータに集計され、免震構造の強化に、役立てられるのです。



③ リアルタイム・ハイブリッド・シミュレーション

建築物制御用の新しい装置を開発する時、実用化にあたっては実物大の装置を実際の建物に設置した状況またはそれに近い状況で試験することが必要となりますが、そのためには多大なコストと時間が必要となります。ハイブリッドシミュレーション技術は工学の広い分野で応用が進みつつある技術で、ソフトウェアシミュレーションとハードウェアシミュレーションを組み合わせた技術です。試験体について、コンピュータ上の計算モデルとする部分と物理モデルとする部分に分けてリアルタイムに組み合わせて実験を実施するので、実験に必要なコストと時間を劇的に縮小することができます。実際に私たちも見ましたが、信号を送り、データを集計する個室からは、実際の実験装置の動きもガラス越しに見ることができます。

④ 質問内容 訪問して判明したこと

- 本格的な研究は3・4年生（メインは4年生）
- 授業は最大5コマで、1コマ1時間30分
- 朝9：00から夜9：00まで研究
- 国際交流も積極的に行っている
- 夏休みと春休みがかなり長い
- 勉強ばかりなイメージがあったが、意外とイベントなども多い

年間行事	内容
4月	新入生歓迎会・花見
5月	運動会
6月	研究報告会
7月	テスト
8~9月	夏休み
10月	学会
11月	
12月	忘年会
1月	
2~3月	春休み
その他	キャンプ・BBQ

今回研究所に実際に行ってみて、本当に多くのことを学ぶことができました。特に免震構造の原理や工夫点には面白いところがあった。また、地震の再現実験をすることでどうすれば被害（揺れ）を抑えられるのかの研究や、ゴムを柔らかくしたり、摩擦を減らしたりなどの工夫を知ることができたため、さらに興味がわいたと同時に研究を今よりも進めていき、今後の大地震などのとき役に立つような成果を上げてほしいと感じた。

平成29年3月31日発行

宮城県仙台第三高等学校 理数科部

〒983-0824

宮城県仙台市宮城野区鶴ヶ谷一丁目19番地

TEL 022-251-1246

FAX 022-251-1247

E-Mail chief@sensan.myswan.ne.jp

URL <http://ssh-sensan.myswan.ne.jp/>

<http://sensan.myswan.ne.jp/>

[裏表紙]