2021 年度
東京都市大学知識工学部自然科学科
卒業論文発表会　要旨集

令和 4 年 2 月 8, 9 日

2 月 8 日（午前）

座長：萩谷 宏 准教授

9:30　篠﨑　亮太　　(1824029)

化石および軟体動物硬組織における含有微量元素測定

9:45　杉浦　慶　　(1824031)

東伊豆単成火山群大室山の火山噴出物の化学組成

10:00　中島　弥宥　　(1824041)

神奈川県湘南海岸の海岸砂の組成変化と給源河川との関係

10:15　西村　優希　　(1824046)

東伊豆単成火山群小室山の火山岩の全岩化学組成の変化とその原因

10:30　山崎　一輝　　(1824058)

玄武岩質火山地域と安山岩質火山地域における水質の地域性

10:45　山本　大介　　(1824062)

国分寺崖線付近の湧水と水質変動の関係性

●11:00-11:10　**休憩●**

座長：中島 保寿 准教授

11:10　堤　慶太　　(1824037)

下部三畳系大沢層から産出した頭足類軟甲化石の分類

座長：蛭原 絹子 講師

11:25　渥美　空　　(1824003)

高知県ナスの品種改良に伴う成分の変化

11:40　栗﨑　知樹　　(1824021)

保存方法によるナスの呈味成分の変化

11:55　片岡　秀太　　(1824014)

ピーマンの土耕栽培品と水耕栽培品の無機元素含有量の調査

12:10　久保田　涼磨　　(1824019)

高知県産ニラの品種別におい成分の比較

12:25　勢田　愛乃　　(1824032)

三浦半島産のアシタバの根の香気成分について

●12:40-13:30　**休憩●**

2 月 8 日（午後）

座長：福田 達哉 教授

13:30　目迫　拓真　　(1824054)

等々力渓谷の鳥類相調査

13:45　丸井　裕暉　　(1824051)

潮水害エリアにおける海岸林再生へ向けた植物の発芽特性

14:00　佐藤　遼輔　　(1824028)

海岸地におけるハマエノコロの形態学的および力学的研究

14:15　佐藤　幸汰　　(1824027)

ススキの海岸地における環境適応

14:30　近内　祐香　　(1824025)

セイタカアワダチソウの葉の配置における法則性

14:45　大川　瑞樹　　(1824010)

左右相称花における花弁の力学的比較

15:00　石川　貴絵　　(1824005)

イタドリの花外蜜腺の効果についての研究

●15:15-15:25　**休憩●**

座長：吉田 真史 教授

15:25　安藤　隆司　　(1424002)

猫に関する寄生虫に対する薬の効果と有効な成分について

15:40　森田　薫　　(1724062)

有機高分子試料の静電気的性質

15:55　小野　未来　　(1824013)

等々力渓谷清流化プロジェクトにおける水質調査

16:10　辻　拓斗　　(1824036)

デジタルカメラを用いた紫外線写真の撮影

16:25　中川　竣介　　(1824040)

量子化学計算による分子の電気的性質

16:40　中田　一旗　　(1824042)

等々力渓谷の水質調査～等々力渓谷清流化プロジェクト～

16:55　西島　遼太　　(1824045)

ムロカカの成分分析

17:10　渡邉　春介　　(1824063)

南太平洋地域の薬用植物ムロカカの精油に関する研究

●17:25-17:35　**休憩●**

2 月 8 日 (午後)

座長:堀越 篤史 准教授

17:35　金子　竜大　　(1824016)

格子ガスオートマトン法を用いた渦の生成シミュレーション

座長:西村 太樹 准教授

17:50　宇根　千晶　　(1824008)

BigRIPS における超高速プラスチックシンチレーション検出器を用いた時間測定システムの性能評価

座長:長田 剛 教授

18:05　大和　祐貴　　(1824060)

相対論的原子核衝突にて生成されるクォーク・グルーオン・プラズマの熱平衡化時間

2 月 9 日 (午後)

座長:飯島 正徳 教授

13:30　大迫　宙樹　　(1824011)

リサイクルペットボトルの熱分析

13:45　田代　浩太郎　　(1824035)

食肉タンパク質の熱変性解析

14:00　岩井　建樹　　(1824007)

食品におけるテクスチャー試験の可能性について

14:15　蓮見　大地　　(1824047)

NR ゴムの力学的性質

14:30　小瀬川　海吏　　(1824024)

オイルワックスゲルのゲル硬度に関する特定課題研究

●14:45-14:55 **休憩●**

座長:高木 晋作 講師

14:55　木下　皓　　(1824018)

PNIPAM－Am 共重合ゲルの体積相転移による液晶相発現の可否について

15:10　新谷　悠之介　　(1824030)

多孔質構造を持つ温度応答性ゲルの含水・脱水特性

座長:門多 顕司 講師

15:25　仲亀　祐希　　(1824039)

錯視を用いた迷彩デザインの作製

15:40　福井　陽喜　　(1824048)

ガンマ線バーストのジェットの速度の算出

15:55　藤田　楽　　(1824049)

電波観測による空気シャワーの検出方法について

16:10　山下　由楽　　(18240592)

宇宙線の銀河磁場内での伝播

●16:25-16:35 **休憩●**

2 月 9 日 (午後)

座長:中井 洋史 准教授

16:35　松木　彰吾　　(1824050)

Doomsday アルゴリズムの改良とアプリの開発

座長:橋本 義武 教授

16:50　秋山　直也　　(1824002)

ポアソン分布によるプロ野球のホームラン数予想

17:05　岡本　渚生　　(1824012)

シンプソンのパラドックス　イスラエルと日本のワクチンに関するデータの比較

17:20　中村　祥　(1824043)

コロナ禍における人流分析

17:35　西垣　翔平　　(1824044)

自然対数の底 e と社会現象

座長:服部 新 准教授

17:50　熊谷　将紀　　(1824020)

楕円曲線 $y^2 = x^3 + 4x$ の有理点について

18:05　金子　翔真　　(1824015)

多項式の多項式解を求める

化石および軟体動物硬組織における含有微量元素測定

地球科学研究室
1824029　篠﨑亮太
指導教員　萩谷　宏

1.緒言

無脊椎動物の軟体動物門の中で貝類が軟体部である外套膜の外面に形成する硬組織である殻を貝殻と呼ぶ。過去の卒業研究[1]で、太平洋側海岸から 10 地域から打ち上げられた 20 種以上の海洋生物硬組織について、蛍光 X 線分析で微量元素測定を行ったところ、測定した微量元素の組み合わせの中で、Zr と Sr の濃度が強い相関を示すことが確認された。また、現生種と化石の比較という点では、増田(1976) [2]は海岸に打ち上げられた現生種に加えて、地層から分離し海岸に打ち上げられた同種の化石とで Sr 濃度を比較している。

本研究では増田(1976)[2]にヒントを得て、現生種と同種の化石試料の両方を使用して、7 か所の採集地点から得られた同種の貝殻・化石について、XRF 分析をはじめとした含有微量元素測定を行い、採集地や地質時代によって微量元素に違いがあるか、特に Zr-Sr の濃度で強い相関を確認できるかを調べた。

2.実験方法

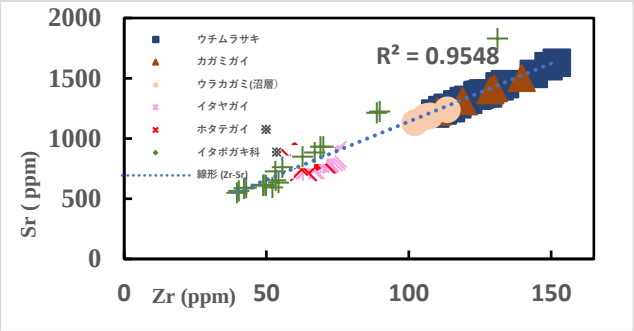
砂浜海岸(三浦海岸、逗子海岸、幕張海岸、犬吠　君ヶ浜)で採集した現生貝殻試料と、北海道・能取湖で採集された現生貝殻、関東地方の新生代第四紀更新世後期の小野川河床・成田層と完新世の平久里川・沼層[3]の地層から貝化石を用意した。使用した種は、能取湖を除いた 6 ヶ所で採集したウチムラサキ *Saxidomus purpurata*、三浦海岸と成田・沼層で採集したイタヤガイ *Pecten albicans*、幕張・逗子海岸で採集したカガミガイ　*Phacosoma japonicum*、沼層で採集したウラカガミ *Dosiniella angulosa*、三浦海岸と成田層で採集したマガキ　*Crassostrea gigas*、犬吠　君ヶ浜で採集したイワガキ *Crossostrea nippona*、および提供を受けた北海道・能取湖産の現生種ホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* を使用した。

試料を岩石カッターで切断し、洗浄してから乾燥し、タングステン乳鉢を使用して粉末化した。試料粉末 5 g を圧縮機にかけ、加圧整形ディスクを作成した。全自動蛍光 X 分析装置(XRF) RIX-3000 RIGAKU Rh 管球 50kV、50mA で分析を行った。検量線は産総研の地球化学標準試料 15 種を用いて作成した。Sr と Zr の濃度の相関を見るために、高山（2017 卒論）[1]の 19 試料(ホタテガイ　北海道　イワガキ　福島県　マガキ　岩手県)のデータを加え、全部の試料について種類別に色分け（イワガキとマガキの値をイタボガキ科 *Ostreidae* とまとめて記した）したプロットした散布図を図 1、イタボガキ科の値を除いた散布図を図 2 に示す。

一方、ウチムラサキとイタヤガイの合計 10 試料について、ポリビン容器に粉末試料 0.5g を 36%濃塩酸 2mL で溶解させ、50g になるように蒸留水を加えて希釈したものを用意し、ICP-MS 分析による含有微量元素の測定を行った。その結果得られた Zr 及び Sr の濃度値を散布図にしたのが図 3 である。粉末試料のポリビン容器内の粉末試料の残渣の有無、ICP-MS 分析と XRF 分析の Zr-Sr の値を表 1 にまとめた。

3.結果

図 1、2 のｸﾞﾗﾌに表された XRF 測定による Sr と Zr の濃度の相関係数は 0.9 以上であり、強い正の相関が確認された。図 3 に示した ICP-MS 分析の結果では、逗子海岸の 1 試料の Zr の値のみが大きく他の試料の値から外れるため、逗子海岸の試料はこれ以外の 9 試料で近似曲線を作成した。その相関係数が 0.85 以上であるため、ICP-MS 分析の値でも Zr-Sr の強い正の相関を確認することができた。



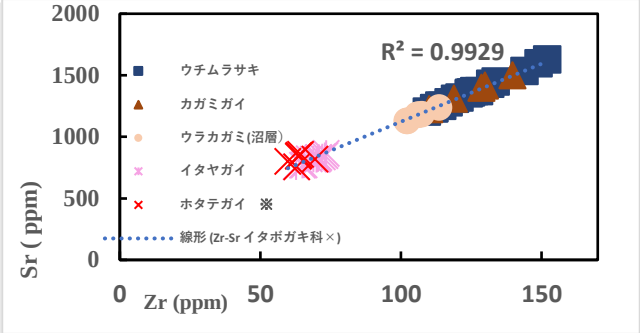


図 1、2　□:ウチムラサキ　△:カガミガイ　　○:ウラカガミ(沼層)　∗:イタヤガイ　×:ホタテガイ　※　+:イタボガキ科

※　※は記されている種は高山さんの分析したものも含む

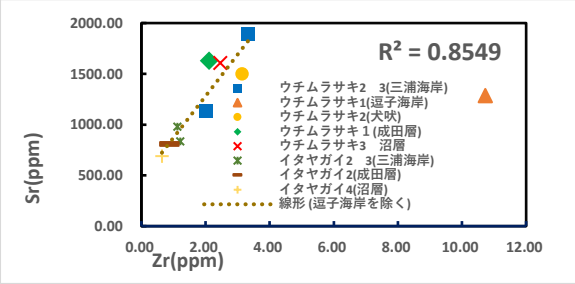


表 1　残渣の有無と ICP-MS・XRF 分析の Sr-Zr 値

		ICP-MS(QU)			XRF(TCU)	
	残渣	Sr	Zr		Sr	Zr
ウチムラサキ1　逗子海岸	○	1284.9	10.7		1250	114.8
ウチムラサキ２　三浦		1129.8	2.0		1232	111.9
ウチムラサキ3三浦海岸	○	1890.7	3.3		1627.5	152.1
ウチムラサキ2 犬吠		1501.5	3.1		1203.4	109.3
ウチムラサキ1　成田層		1628.3	2.1		1318.8	120.9
ウチムラサキ3　沼層	○	1608.5	2.5		1371.1	127.9
イタヤガイ２三浦海岸		834.2	1.2		831.8	70.8
イタヤガイ３　三浦海岸		980.1	1.1		847	73.0
イタヤガイ2　成田層		808.6	0.9		815.6	70.0
イタヤガイ4　沼層		688.4	0.6		757.4	62.8

図 3　□:ウチムラサキ(三浦海岸)　△:ウチムラサキ(逗子海岸)　○:ウチムラサキ　(犬吠)　◇:ウチムラサキ(成田層)　×:ウチムラサキ(沼層)　∗:イタヤガイ(三浦海岸)　　-:イタヤガイ(成田層)　+:イタヤガイ(沼層)

4.考察・結論

図 1、2 より化石試料においても現生種同様に Sr-Zr に正の相関がみられた。イタボガキ科の試料が他と異なる傾きの直線上にプロットされており、種類により Zr と Sr の取り込む割合が異なる可能性がある。表 1 で、ICP-MS の分析結果は、Sr については XRF での分析値とほぼ一致するが、Zr については 1/10 から 1/100 の値を示す。このことは溶解残渣が容器にみられ、またフィルターにも残渣が目詰まりを起こしていたので、溶液を希釈する過程で Zr を多く含む沈殿物が生じてしまった可能性が考えられる。

ICP-MS と XRF 分析で高い濃度を示す Sr は Ca と同じ二価の陽イオンであり、イオン半径も近いため、軟体動物や刺胞動物などは硬組織を生成する過程で Ca に性質が類似する Sr も様々な程度で取りこむことが知られている。[4]と[5]より Zr^{4+}は一般に水に溶けないが、強酸性の条件下では常温で ZrO^{2+}の状態になり二価の陽イオンとして水に溶けることが知られている。このことを踏まえると、貝殻の硬組織の炭酸塩鉱物に Ca の代わりに Sr が取り込まれるのと同様の仕組みで Zr が ZrO^{2+}の状態で取り込まれ、濃集される可能性がある。

参考文献

[1] 高山千尋　日本各地の貝殻内部の結晶形態と含有微量元素測定　2016 年度卒業論文

[2] 増田 富士雄 二枚貝 Glycymeris の殻のストロンチウム（Sr）含量について 地質学雑誌 82 巻（1976）9 号

[3] 松島義章・吉村光敏　館山市西郷の平久里川における沼層の 14C 年代　神奈川県立博物館研究報告 1979

[4] 中野博昭他　分散粒子を含まない溶液からの Zn-Zr 酸化物複合電析　日本金属学会誌 第 80 巻 第 2 号(2016)151-156

[5] 松井光二・大貝理治　$ZrOCl_2$溶液の加水分解により生成する水和ジルコニア微粒子の生成メカニズム：水和ジルコニア微粒子の生成速度に及ぼす $ZrOCl_2$濃度と反応温度の影響　東ソー研究・技術報告　第 44 巻（2000）

東伊豆単成火山群大室山の火山噴出物の化学組成

地球科学研究室
1824031 杉浦 慶
指導教員：萩谷 宏

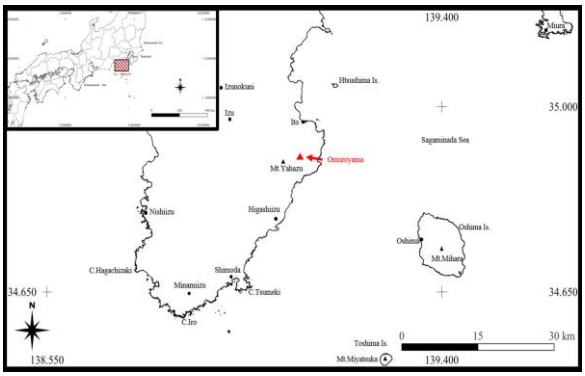
1.緒言

静岡県伊豆半島北東部には、東伊豆単成火山群（荒巻・葉室 1977）という溶岩ドームやスコリア丘といった小火山が点在し、その中でも大室山は溶岩流の流出体積が最大級である。Hamuro(1985)によって東伊豆単成火山群の岩石について主要成元素組成や微量元素の分析が行われ、大室山の溶岩は SiO_2が54~56wt％のカンラン石と斜長石の斑晶を持つ玄武岩質安山岩である事が示された。また古谷野ほか（1996）は大室山から噴出された降下テフラを構成粒子と産状から古い順にテフラ A から E とし、溶岩流も空中写真判読によって溶岩流を噴出口別に I～IV に区別した。更に斎藤ほか（2003）は溶岩流 II と降下テフラに埋没した木片の 14C 年代から埋没した年代が 3700±100y.B.P である事を示した。

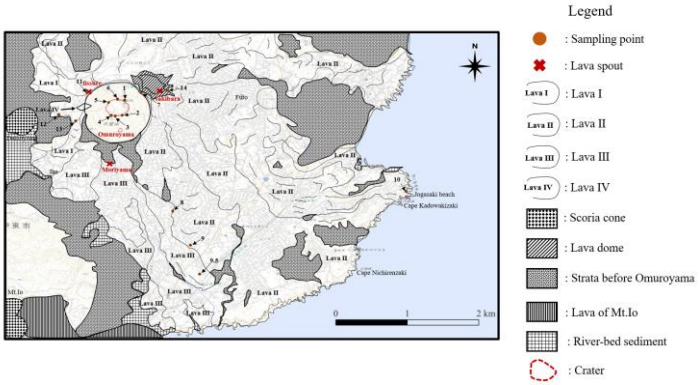
しかしながら、大室山のスコリア丘やそれぞれの溶岩流の化学組成について詳しく記載された研究はない。そこで本研究では、全岩化学組成分析と斑晶組成を通じて大室山の噴出物の性質を明らかにする。

2.調査地域・手法

大室山は、静岡県伊東市に属するスコリア丘であり、伊豆半島東部に位置している（Fig.1）。本研究の大室山の噴出物のサンプリングポイントは Fig.2 に示している。岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡で観察した後､斜長石の斑晶組成を本学ナノテクノロジー研究推進センターの㈱日本電子製 JXA－8200 を使用し、ビーム径 10μm・15kV・6.25×10-10A の条件で、JEOL の半定量プログラムを用いて測定した。また、全岩化学組成は㈱リガク製 RIX-3000 を使用し、Rh 管球・50kV・50mA の条件で産業技術総合研究所の地球化学標準物質 15 種類から作製した検量線をもとに定量分析を行った。



[Fig.1 大室山の広域図（赤色の▲が大室山）]



[Fig.2 サンプリングポイント]

《背景地図は地理院地図(https://maps.gsi.go.jp/)を基に作成。溶岩流の分布は古谷野ほか（1996）より引用》

3.結果

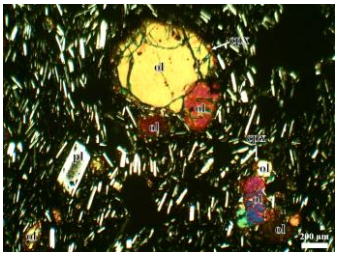
3-1.構成鉱物

Fig.3 は作成した岩石薄片の一例である。溶岩流の斑晶鉱物は、溶岩流 II・溶岩流Ⅲで共通してカンラン石（ol)、単斜輝石（cpx)、斜長石（pl）であった。溶岩流 II では主にカンラン石と斜長石に加えて、稀に石英(Qtz)が観察できた。溶岩流Ⅲでは主に斜長石と単斜輝石が斑晶鉱物として観察され、カンラン石

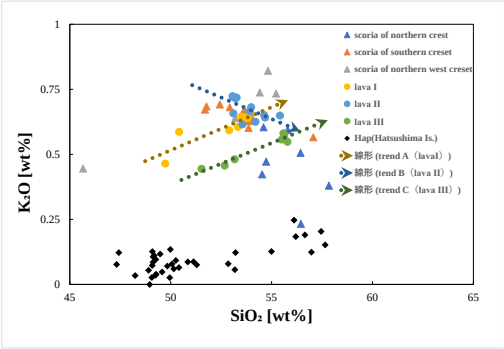
の斑晶が前者 2 つに比べて少ない傾向が確認できた。また、斜長石の斑晶組成を測定した所、溶岩流IIとIIIにおいて中心が Na に富み周縁部は Ca に富む逆累帯構造を示す斑晶が確認できた。

3-2.全岩組成

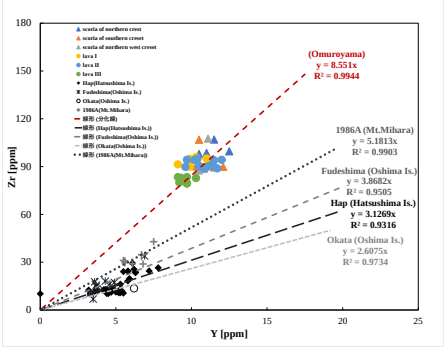
変化図の一部を示す。全岩組成の結果から大室山溶岩流及び山頂噴出物は、非アルカリ系列ソレアイト質玄武岩-玄武岩質安山岩に分類できた。SiO_2-K_2O（Fig.4）から、それぞれの溶岩流に異なるトレンドが確認できた。また、溶岩流Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのサンプル全てが Al_2O_3＞16.5%であり、久野（1960）に基づき高アルミナ玄武岩であると分類できた。加えて液相濃集元素の Y-Zr の相関図（Fig.5）では、一つの分化線上にプロットされる事が確認できた。比較のため初島、大島、富士山の玄武岩類も相関図に示した。



[Fig.3 溶岩流Ⅱ(201106101)の岩石薄片(直交ニコル)]



[Fig.4 K_2O の変化図]
（初島 Hap は、三原（2021MS）に基づく）



[Fig.5 Y-Zr の相関図]
(比較データは三原（2021MS）に基づく)

4.まとめ

大室山の噴出物の化学組成は、SiO_2の幅が 45.7~57.8wt%と広く、また溶岩流の斜長石斑晶に逆累帯構造や石英の結晶が観察できたことからマグマ混合を起こした可能性がある。液相濃集元素の Y－Zr の相関図と K_2O の変化図から大室山の噴出物は同じ起源を持っているが、それぞれの溶岩流は SiO_2-K_2O 図にて異なったトレンドで明瞭に区別される。構成鉱物が単斜輝石に富んでいる事から結晶分化の進んだマグマが地上にもたらされた物が溶岩流Ⅲであり、他の 2 つの溶岩流よりも後に噴出したものであると考えた。この事は古谷野ほか（1996）が溶岩流の空中写真判読で得られた溶岩流の層序と一致する。しかし、海溝側に近い大室山の位置に高アルミナ玄武岩が分布している事は Kuno（1966）の第四紀島弧玄武岩マグマの生成モデルと一致しない。今後の課題として、海溝側の位置に高アルミナ玄武岩が分布しているのかに加えて、混合あるいは同化した岩石は何であるのか、また本研究において調査を行わなかった溶岩流Ⅳの組成は溶岩流Ⅰ～Ⅲと比較する必要がある。

5.参考文献

・Kuno,.H.(1966):Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs. Bullentin of Volcanology,29:195-222.

・荒牧重雄,葉室和親（1977）「東伊豆単成火山群の地質」,震研彙報 52,235-278.

・葉室和親(1978)「大室山火山群の地質」,地質学雑誌 84,433-444.

・Hamuro, K. (1985): Petrology of the higashi-Izu monogenetic volcano group. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 60, 335-400.

・古谷野裕,早川由紀夫,町田洋(1996)「およそ 5000 年前に東伊豆単成火山地域で起こった大室山噴火の推移と継続時間」,地学雑誌 105(4),475-484.

・斎藤俊仁,高橋秀一,和田秀樹(2003)伊豆大室山火山の 14C 年代,火山 48(2)215-219.

神奈川県　湘南海岸の海岸砂の組成変化と給源河川との関係

地球科学研究室

1824041　中島弥宥

指導教員：萩谷宏

１．緒言

河川や海岸に含まれる鉱物の種類や化学組成などの特徴を調べることで、その砂が、元々どこの地層・岩石から来たものなのかを考察することができる。相模湾沿岸は広域にわたり海岸侵食が問題となっている。茅ヶ崎海岸では相模川のダム整備や河川改修が進んだため、土砂供給量が極端に減少したことや防波堤などの構造物による沿岸漂砂の遮断などの理由から昭和 50 年中頃から砂浜が著しく侵食されはじめた。[文献１]侵食が進むと砂浜がもつ自然の海岸保全の機能が損なわれるとともに、海洋レジャーや地びき網漁にも支障が生じている。海岸の砂を調査することは、海岸砂の起源を知り、これからの海岸線、海岸の堆積粒子の組成、についての変遷を考察することにも役立つのである。

本研究では、神奈川県南部の稲村ケ崎から酒匂川までの海岸砂の各地の特徴を、鉱物組成、化学組成の両面から調べるとともに、主要な河川である、相模川、金目川、酒匂川の河川砂も調査し、海岸砂の変化とその起源を考察する。

２．実験方法

神奈川県の海岸線の海岸砂を採集、海岸に沿って、不均一さを避けるために混合が最も進んでいる波打ち際の砂を採取した（図１酒匂海岸～稲村ケ崎２５地点）。その砂を、２つの方法で各粒子の割合を調査した。１つは、実体顕微鏡を用いて、砂粒子を鉱物別に分類した。これによって斜長石や輝石といった鉱物別に分けるとともに、有色鉱物と無色鉱物の割合も調べた（鉱物組成分析）。もうひとつは蛍光 X 線を用いた化学分析を行った。この分析によって試料中に構成する元素の濃度を測定することができた（全岩分析）。

鉱物組成分析では、実体顕微鏡を用いて、石英、長石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、雲母、カンラン石、磁鉄鉱、岩片、生物片の 10 種類に分け、１サンプルあたり、200 以上の粒子をカウントした。

全岩分析では XRF を用いて、それぞれのサンプルについて主要１０元素と微量９元素の化学組成を調べた。海岸サンプル２５地点に加え、相模川 10 点、金目川８点、酒匂川 10 点のサンプルを調査した。

図１　調査地　湘南海岸

３．結果

図２は東西方向での鉱物の組成変化をグラフ化したものである。また先行研究で示された 2008 年の調査データで本研究とほぼ同地点の鉱物組成変化が図３である（石井 2009）。2008 年のデータと比較したところほぼ同じ値となったが、酒匂海岸でのみ、本研究の方が有色鉱物、無色鉱物ともに多いという相違点があった。酒匂川に近く位置するサンプル 25（酒匂海岸）を除く海岸では東に行くほど有色鉱物が増加していることが分かる。また、サンプル４、５（七里ヶ浜付近）では生物片も多くみられる。生物片の影響を除外するとともに、難溶性の HFS 元素（Nb、Ti）や粘土鉱物に残りやすい K や Rb の濃度比を用いて、散布図を作成した。Nb/TiO_2-K_2O/Na_2O を図 4、Nb/TiO_2-Rb/K_2O を図 5 とする。海岸 25 地点に加え、相模川（黄）金目川（赤）、酒匂川（緑）がプロットしてある。

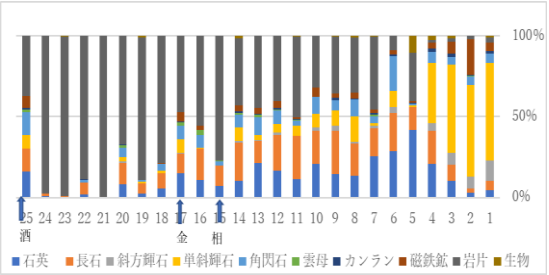


図２　鉱物別組成２０２１

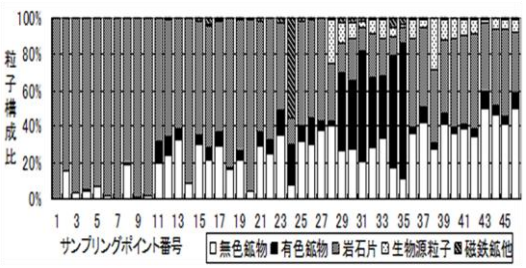


図３　鉱物別組成 2008（酒匂海岸１～稲村ケ崎 35）

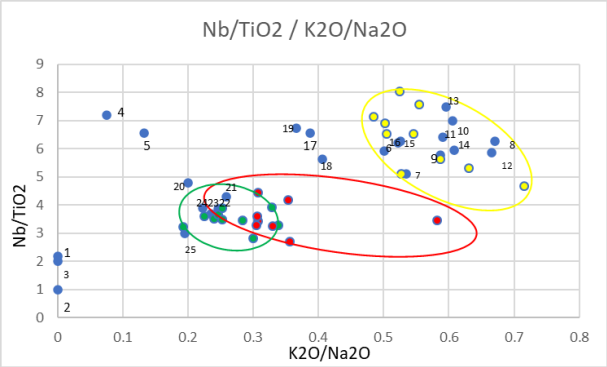


図３　Na_2O/K_2O-TiO_2/Nb 分布図

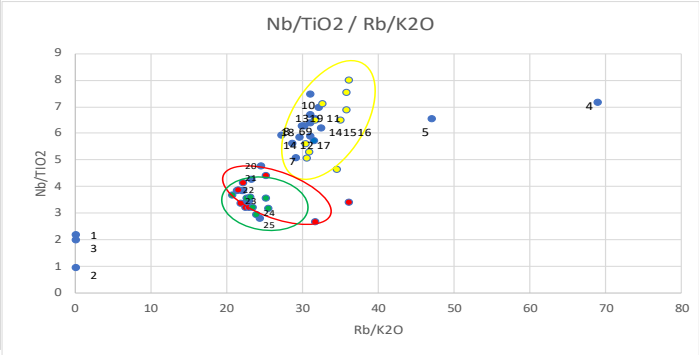


図４ Nb/TiO_2-Rb/K_2 分布図

4.考察

酒匂川は足柄山地の溶岩砂や丹沢系の岩石砂に加え、富士火山由来の岩石片に富んでいる［文献 2］。Nb に枯渇した島弧の火山岩で構成された富士や丹沢の影響を受けると、Nb/TiO_2 の値は小さくなると予想されるが、図３、４で酒匂川の砂はグラフの左下側にプロットされ、Nb/TiO_2 の値が小さくなっていることが分かる。湘南海岸の地点 20 から 25 において Nb/TiO_2 の値が小さくなっていることからこれらの海岸砂の給源河川は酒匂川と考えられる。また、図２より、茅ヶ崎近辺（12～15）では斜長石、輝石が増加していることから金目川由来の砂であると考えられるものが金目川河口より東に移動して海岸砂として分布していると考えられる。また、花崗岩などの深成岩が上流域に分布する相模川が給源となっている砂が茅ヶ崎海岸より東に広く分布していることが分かる。

図２～４より、いずれも、河川より東側の海岸に砂は移動すると考えることができる。また、大きく分けて２つの分布（緑円：酒匂川系、黄円：相模川系）があることが分かる。また、図３中の相模川系と酒匂川系の中間にある３点（地点 17、18、19）は大磯海岸付近であり分布の中間にあることから、両河川からの影響を受けていると考える。

５.結論

湘南海岸の給源河川の砂は東方に向かって移動運搬されていると考えられる。

湘南海岸は花崗岩などの深成岩が上流域に分布する供給河川の影響を受けているということができる。また、大磯海岸より西の海岸砂（酒匂川系）の分布と、茅ヶ崎から東の海岸（相模川系）の２つの分布に分かれることが分かった。

６.参考文献

1)「日本の海岸侵食」宇多高明　1997 山海堂

２)「新版　岩石・鉱物・地層」神奈川県立生命の星・地球博物館編，2016，有隣堂

３)「湘南海岸・九十九里浜における海岸線の変化と地域毎の砂の特性に関する研究」石井　敦子卒論　2009

東伊豆単成火山群小室山の火山岩の全岩化学組成の変化とその原因

地球科学研究室

1824046　西村優希

指導教員：萩谷宏　准教授

1.緒言

静岡県伊豆半島東部に位置する小室山は直径約 600m のスコリア丘であり、山頂には直径約 70m の小火口がある。比較的小型の二つのスコリア丘の周りを厚い(～60m)溶岩流が花びらのようにとりまいている。この溶岩流は玄武岩質安山岩(SiO_2＝53~58%;Hamuro,1985)で構成されていると確認されているが、玄武岩質安山岩としては特異な形態である。小室山を構成する玄武岩質安山岩について詳しく岩石学的性質を検討した研究はない。本研究では全岩化学組成分析を行い、分析結果について検討を行った。

2.調査地域・手法

小室山は静岡県伊東市に属するスコリア丘で伊豆半島の東部に位置する(図 1)。本研究における小室山火山噴出物のサンプリングポイントを図 2 に示す。採取したサンプルの全岩化学組成を本学ナノテクノロジー研究推進センターの㈱リガク製 RIX-3000 を使用し、Rh 管球・50kV・50mA の条件で産業技術総合研究所の地球化学標準物質 15 種類から作製した検量線をもとに定量分析を行った。

図 1.小室山の広域図

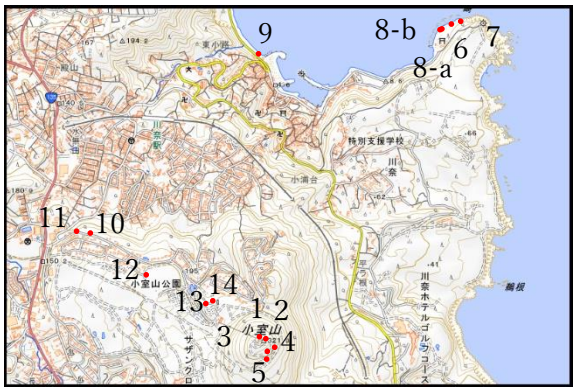


図 2.本研究におけるサンプリングポイント

3. 調査結果

小室山の山頂にあたる kom1、kom2 では所々に赤く変色したスパイノーズスコリアが多

く見られ、kom6、kom7 では地上を流れた溶岩流が観察出来た。全岩化学組成分析の結果から小室山の火山噴出物は非アルカリ系列ソレアイト質玄武岩-安山岩に分類できた。また全てのサンプルの Al_2O_3の割合が 16%以上になり、久野(1960)に基づき、高アルミナ玄武岩と分類できる。

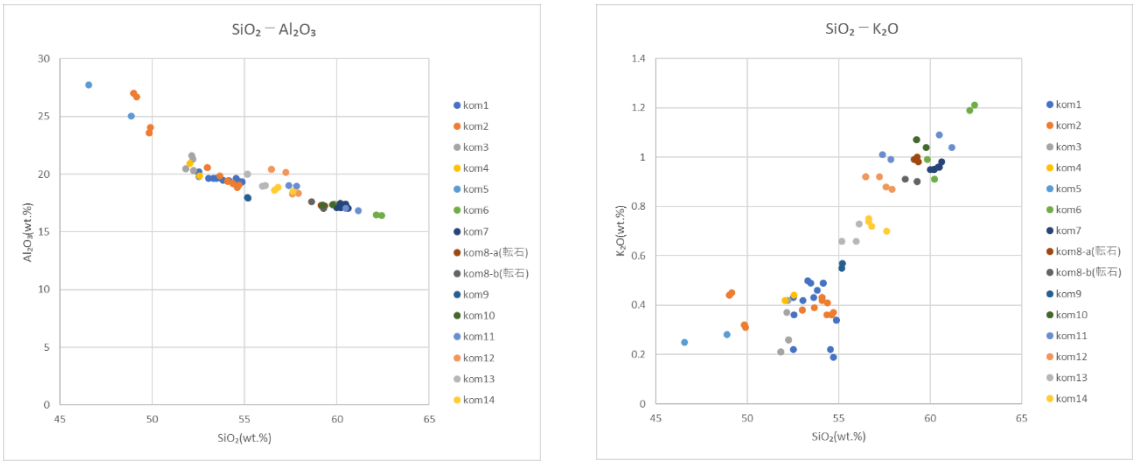


図 4.全岩化学組成分析の結果をもとに作成した変化図(横軸に SiO_2、縦軸に各主要元素)

4.まとめ

SiO_2の幅が広く一連のトレンドを示し、少なくとも 2 成分のマグマ混合が生じたと考えられる。また SiO_2が約 48wt.%と約 62wt.%のマグマが混合したと考えればつじつまが合う。

5.参考文献

・早川由紀夫・小山真人(1992)「伊豆単成火山地域の噴火史 1:0～32ka」p.169.174

・小山真人・早川由紀夫・新井房夫(1995)「東伊豆単成火山地域の噴火史 2:主として 32ka 以前の火山について」p.197.198

・「土と岩」No.64 02 「伊豆東部火山群（東伊豆単成火山地域）の分布・噴火史の再検討」p.19

・Hisashi Kuno.(1960) “High-alumina Basalt” Journal of Petrology, Volume 1,pp121-145.

玄武岩質火山地域と安山岩質火山地域における水質の地域性

地球科学研究室
担当教員：萩谷　宏
1824058　山崎　一輝

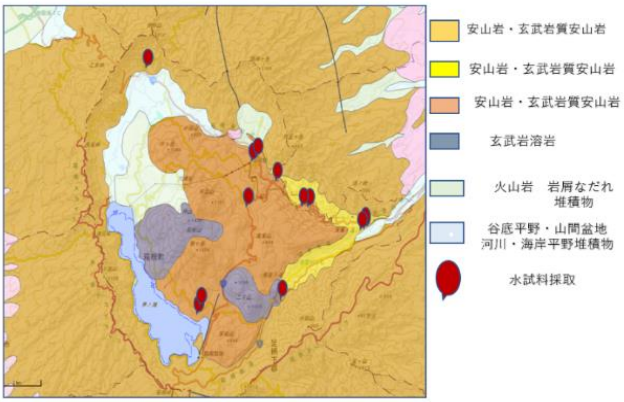
１．緒言

日本は火山大国であり、豊富な熱資源に恵まれている。温泉もそのうちの一つである。温泉は新潟県などの油田地帯、四国の変成岩地域(祖谷)の温泉のような非火山地帯での温泉もあるが、基本的には温泉と火山の関係性は密接なものである。そして、温泉水の起源は雨水などが地中に入って地下水となり、火山地帯の地下の熱源に接して温められ、岩石中の様々な成分を溶脱して再び地表に温泉水として湧出するといった循環水説と火山発散物と温泉の含有成分とが似ていることから、温泉の成分はマグマ由来であるといったマグマ水説との２つがあるが、大多数は循環水起源と判明している。

本研究では、玄武岩質火山である伊豆大島の各所で湧き水を採取し、その比較として安山岩質火山で形成される箱根でも同様に湧き水を採取し、溶存陽イオンの組成の分析を行った。

２．背景

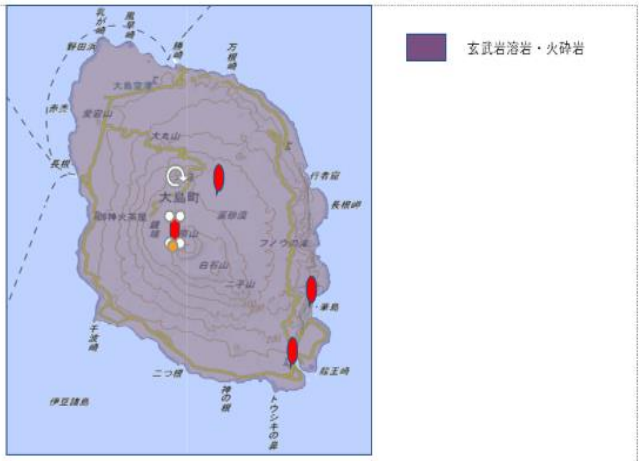
大森(2017 卒論)では、玄武岩火山地域と流紋岩火山地域において、地質条件と海塩粒子が水質に与える影響を調査した結果、Na/K 比においては海塩粒子の影響を受けていることに加えて、Mg/Ca 比が一部の例外を除き水試料と各島の岩石組成が一致したことが確認された。



本研究では、温泉と湧き水とではどのくらい岩石による影響を受けるのかを調べるため温泉水と湧き水、玄武岩火山地域と安山岩火山地域の要素で比較を行った。

３．研究方法

今回採水したものを持ち帰り、ICP 発光分光分析法(iCAP6300)にて、陽イオン(Ca^{2+}、Na^{+}、Mg^{2+})を分析した。また、その土地で採取した岩石を持ち帰り、全岩化学組成を蛍光Ｘ線分析法にて行った。水試料は全 35 種、岩石試料は全５種である。



４．結果及び考察

水試料の陽イオン分析の結果、一部を除き Ca^{2+}＞Na^{+}＞Mg^{2+}＞K^{+}ということが判明した。筆島は大森(2017)から斜長石よりガラス部分が優先的に溶脱したため Mg が高くなっていることが示唆されている。また、波浮神社の Na が高いのは海に近いため海塩粒子の影響によるものだと思われる。

次に、伊豆大島と箱根の Ca/Mg 比を Fig.1、２示す。伊豆大島の水試料と岩石組成の比較は上記の筆島のところを除き、概ね直線上にのっており、

水組成が岩石の組成を反映していることが分かる。また、箱根の金時山でも岩石組成の範囲に収まっており、岩石の影響を受けているといえるが、畑宿においてはそれに収まらず、Mg^{2+}が高く出ている。恐らく、畑宿清流の上流側の地質が安山岩・玄武岩類であるため、そこから影響を受けていると考えられる。

温泉水と岩石組成の比較はを Fig.3 に示す。箱根の宮ノ下にある太閤湯と大平台にある箱根 04(姫之湯)は畑宿と距離は離れているが岩石組成の Mg/Ca 比と比較するとそれに近しい岩石から影響を受けていると考えられる。しかし、山月園においては金時、畑宿どちらからも影響を受けておらず、Ca^{2+}に富んでいることが分かる。

また、箱根のどの温泉にも共通して特出しているのがNa^{+}である。これは、海洋島である伊豆大島の三原山温泉よりNa^{+}が富んでいる。これは、箱根の地質のNa^{+}に富んでいる斜長石を多く含む安山岩からよく溶け出ているためと考えられる。一方、伊豆大島の三原山温泉は地質の玄武岩の影響を受けMg^{2+}に富んでいると考えられる。また、三原山温泉はカルデラ底部に存在する宙水が水源であるとされており、そのため海塩粒子の影響が出にくいものと考えられる。

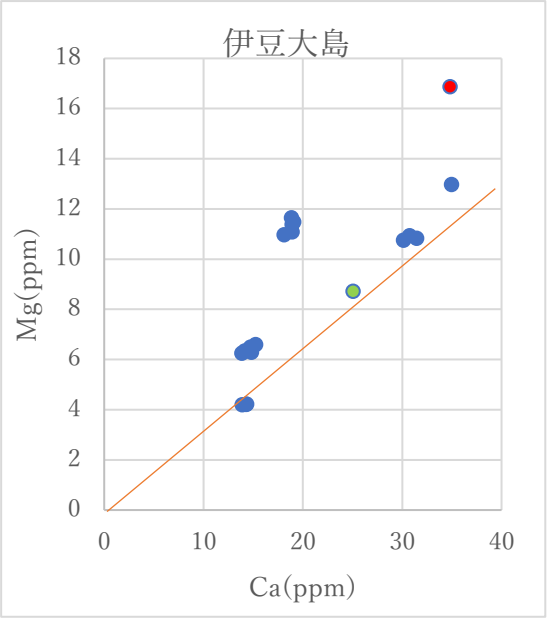


Fig.1：伊豆大島の Mg/Ca 比

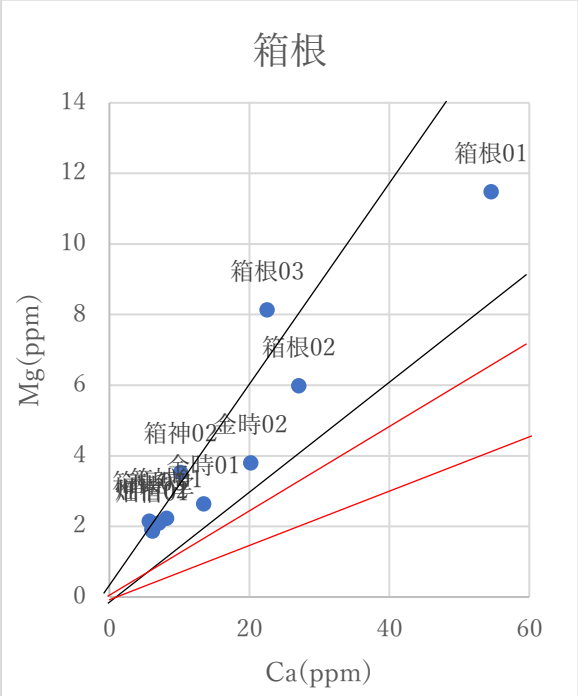
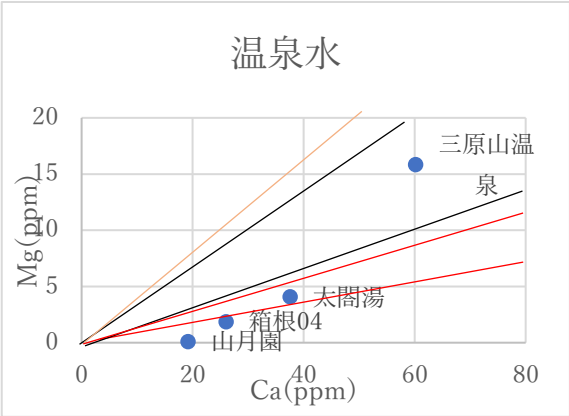


Fig.2：箱根の Mg/Ca 比



5．謝辞

本研究を行うにあたり、適切なご指導、また機器分析のため iCAP6300 の使用を快諾いただいた早稲田大学の山﨑淳司教授、安井万奈博士に深く感謝いたします。

6．参考文献

1)　温泉のはなし　白水春雄　技法堂出版　1994 年
２)伊豆諸島各島における水質と地質の関係性、大森寛子、2017 卒論
3)玄武岩質火山における水質の地域性と季節変化、木下絵美、2016 卒論

国分寺崖線付近の湧水と水質変動の関係性

地球科学研究室
1824062 山本大介
指導教員:萩谷宏

1. 緒言

地球上には、多様な形で水が存在しているわけだが、なかでも湧水を含む地下水や河川水などは、気候・地質などの周囲環境により含まれる陽イオンなどに影響が生じる。

本研究では、武蔵野台地南部の国分寺崖線に沿って流れる野川と、その支流や合流する湧水の金属イオン比・水温などをもとに、湧水で河川の水質がどう変わるかの比較・検討を行なった。

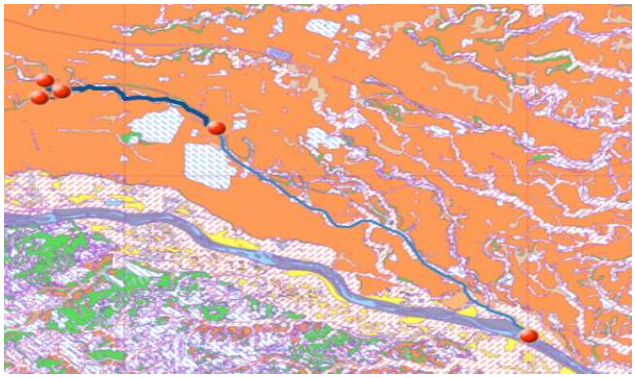


Fig1.野川全体図　紺色の部分が野川公園以北で今回の調査区間。

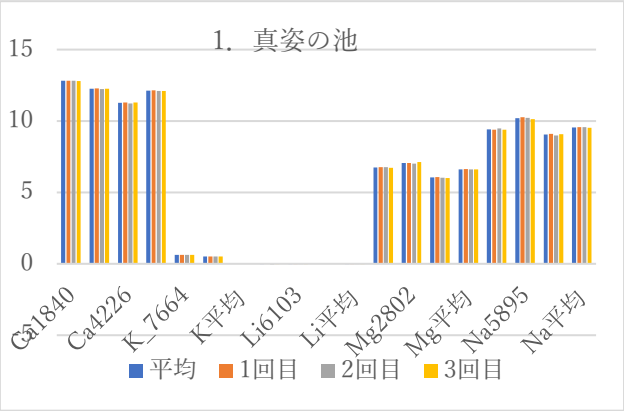
国分寺市内の野川は両岸が護岸されており、立ち入りできなかったので、立ち入りできた標高 70 メートル等高線のすぐ下にある真姿の池などから流れてきた「お鷹の道・真姿の池湧水群」付近の分流と、本流沿いでも遊歩道が確保されており、川岸に入ることができた小金井市内と武蔵野公園・野川公園で採水を行なった。左下の赤丸は採水を開始した「真姿の池」付近、その上は本流の水源「日立研究所」付近、すぐ右は「不動橋」、紺色の線と薄い青色の線の境は野川公園東側である。

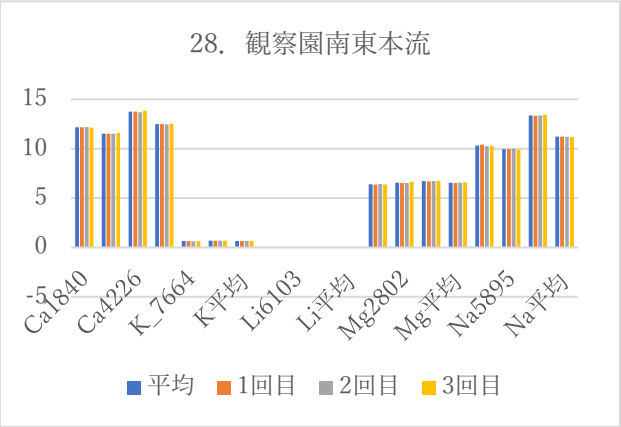
2. 実験方法

まず、[1]標高 70 メートルの等高線の少し下くらいにある「お鷹の道・真姿の池湧水群」をはじめとする国分寺・小金井・三鷹の 3 市にまたがる野川公園以北の湧水・合流点付近で出入りすることができた 36 か所を無作為に選び、選定した 36 か所で水温・標高・おおむねの標高などの測定を行ない、採水した水試料はポリビンで回収のうえ、後日、ICP 分析装置(ICP 6300 Duo)で陽イオンの分析を行なった。

3. 結果

採水した水は現地で即時に位置情報の確認と高度および水温の測定を行なった。採水した試料は持ち帰り、ICP 分析装置で分析を行なった。今回の水試料の測定において、分析を行なった陽イオンの種別は、Ca^{2+},K^{+},Li^{+},Mg^{2+},Na^{+}の 5 種類であった。例として、以下に真姿の池湧水と観察園南東合流後の結果を示す。縦軸の数字は ppm である。





以上より、Ca^{2+},Mg^{2+},Na^{+}が比較的多く、その中でも Ca^{2+}が多いとうかがえる。

4. 考察

文献値[2]によると、野川公園下流の「御塔坂橋」で 2021 年 9 月 16 日に採水された水を測定した結果、当日の気温が 24.3℃であったのに対し水温は 20.6℃、流量は 0.38 ㎥、pH は 7.4 であった。また、野川公園での合流後の Mg^{2+}濃度は平均 6.853ppm、$Ca2^{+}$濃度は平均 14.377ppm であることから、硬度は 84.03467 であり、軟水であることがいえる。

5. 謝辞

本研究を行なうにあたり、水試料の分析に関して適切な協力をしてくださった、早稲田大学の山崎淳司教授、安井万奈博士および、山崎一輝君に深く感謝いたします。

6. 参考文献

[1]地下水の世界　日本放送出版協会　榧根勇 1992 年

[2]　https://www.city.mitaka.lg.jp/c_service/021/021691.html 三鷹市 河川・池の水水質調査結果(2022 年 1 月 19 日閲覧)

下部三畳系大沢層から産出した頭足類軟甲化石の分類

古生物学研究室

1824037　堤　慶太　　指導教員　中島　保寿

1. 緒言

約２億 1900 万年前のペルム紀末大量絶滅後，海洋生態系の多様性と食物網の階層構造が完全に回復するまでには約 500 万～1000 万年もの時間を要したとされてきた (e.g., Hu et al., 2011)．しかし近年，下部三畳系スパシアンから発見された化石群から，ペルム紀－三畳紀（P-T）境界後約 130 万年以内に生態系が回復していたことが分かってきた(e.g., Brayard, et al., 2017)．南部北上帯に分布する三畳系稲井層群大沢層からも，脊椎動物・無脊椎動物を含む多様な生物が発見されている．大沢層産化石群には未だに詳細不明ものも多く，一例として現代の鞘形類頭足類の軟甲(gladius)に形状が類似する水滴型の薄膜状化石がある．本研究では，大沢層産軟甲様の化石を分類することで前期三畳紀の頭足類の多様性を明らかにする．また前期三畳紀の海洋生物の形態について検討し，これらの鞘形類頭足類の生態的地位を議論する．

2. 地質概説

本研究で使用した化石は津谷地域に属する宮城県南三陸町歌津館崎北西部（TZ　N38°E14 1°）と気仙沼市本吉町山谷(YA　N38°E141°)の２地点（図 1）に露出する稲井層群大沢層（下部三畳系スパシアン）から産出した．大沢層は主に平行葉理の発達する暗灰色の泥岩から構成され，歌津館崎からはセラタイト類，二枚貝類，腕足類，嚢頭類，植物，魚類，魚竜形類，その他未分類の化石などが産出する．

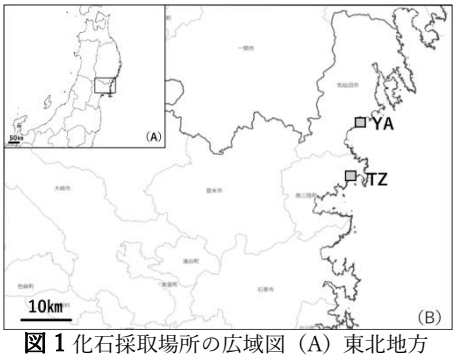


図 1 化石採取場所の広域図（A）東北地方の全体図　（B）化石採取場所の分布

3. 材料・方法

TZ より発見された化石 7 点と YA より発見された化石 3 点について，各計測部位をノギスで測定した．また化石の凹凸を観察し， Sutton et al. (2016) に基づいて形質状態を評価し系統学的分類を試みた．さらに比較のため，現生鞘形類のスルメイカ（Todarodes pacificus）とヤリイカ（Heterololigobleekeri）の解剖を行い，軟甲の観察を行った．

4. 結果

4-1　現生鞘形類の肉眼解剖―本研究で解剖を行った現生鞘形類の軟甲は共通して外套膜の腹側に位置し，また外套膜と軟甲の全長はほぼ等しいことが分かった．

4-2　軟甲化石の記載・部位の同定―中心部の溝を中軸(rachis)，溝の外縁を中央漸近線(median asymptotes)，溝の外縁より外側に位置する稜を側方漸近線（lateral asymptotes)，中軸から側方漸近線

	長軸長	短軸長		中軸	Vane	Wing	タイプ
		max	min				
YA-1	52.4	20.2	3.2	有	有	有	A
YA-2	38.7	15.1	5.0	有？	?	?	C
YA-3	43.7	22.9	9.2	有	有	?	B
TZ-1	48.1	18.5	3.7	有	?	?	B
TZ-2	35.2	18.0	5.6	有	有	無	A
TZ-3	29.7	30.7	8.4	有？	?	?	B
TZ-4	37.8	15.6	7.3	有？	?	?	C
TZ-5	23.0	26.4	8.2	無	無	無	B
TZ-6	53.3	6.8	28.2	有	有	?	B
TZ-7	50.1	24.3	6.2	有	有	?	A

表 1　大沢層産化石の計測結果

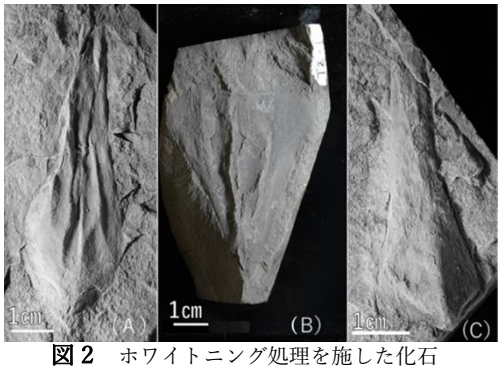


図 2　ホワイトニング処理を施した化石
(A)YA-1　(B)TZ-1　(C)YA- 2

までの領域を Vane，側方漸近線より外側の領域は Wing， Vane の後方にある領域は円錐旗（'cone flag' in Bizikov, 2004）と同定した．本標本群は中央部の凹凸で 3 グループに大別される（図 2）．

タイプ A は中央にある凹凸が幅を持ち，YA-1 に代表される．YA-1 の後端には突起があり，これは鞘（rostrum）と推測される．また外側部にも長軸方向の溝が発達する．タイプ B は TZ-1 に代表され，中央にキールがある．TZ-1 のキール後端は 3 つに分岐し， これは後端の円錐部（phragmocone）が破壊されたものと推測される．軟甲の側方に は外套膜の痕跡と推測される黒色の皮膜が確認された．タイプ C は中央の凹凸に乏しく，代表的標本の YA-2 の 後部には中軸に似た凹凸が伸びているが，前部は平滑である．後部から後端に向かって弧を描くように凹凸が伸び，これは側方漸近線と推測される．

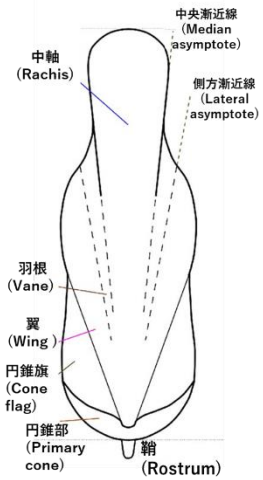


図 3 軟甲の各形質（コウモリダコ）Sutton et al., 2016 改変

4-3 化石の分類

タイプ A・B は中軸の面積に対して外側領域の面積が大きいことから，八腕形上目（Octopodiformes）に属すと推測した（Fuchs & Larson, 2011 を参照）． タイプ A は中軸，Vane，Wing を持ち，さらに後部にある鞘の形質，円錐旗を持たないことから，基盤的なコウモリダコ目鞘形類の可能性がある．ただし前後逆であった場合，本来鞘がある後端が欠如しているため，より多くの系統群が候補となる．タイプ B（TZ-1）の後部に phragmocone があったと仮定すると，その長さは長軸長に対し比較的大きく， Belemnoidea の一種である可能性が高い．長軸長に対して，Wing の長さが極めて小さいことは，Teudopseina の Glyphiteuthidae に多く見られる特徴だが，長軸長と最大短軸長の比が既知の種よりも小さく，同科の新種の可能性が高い．一方 Prototeuthidina の一種も同様の特徴をもつ．この化石種は Vane を持たず，中央漸近線を確認できない YA-2 の形状と矛盾しない．

5．考察

5-1.現生頭足類相の起源－大沢層産の化石群が鞘形類の軟甲であるならば，鞘形類頭足類の形態の多様化は今まで考えられていたよりも早く，P-T 境界の大量絶滅後約 470 万年後の前期三畳紀オレネキアン後期の時点で現代のように多様な八腕類と十腕類が共存していたと考えられる．

5-2. 前期三畳紀の海洋生態系と内殻性頭足類の生態学的地位－大沢層からは大型の魚類や魚竜形類が発見されており，鞘形類はこれらの脊椎動物に捕食されていた可能性がある．加えて化石種の鞘形類の胃の内部からもかぎづめが見つかっており(Doguzhaeva, et al., 2018)，鞘形類は別の鞘形類も捕食した可能性がある．今回用いた大沢層産の化石は小柄であったことから，懸濁物，底生生物，魚類の稚魚，小型の甲殻類，小型の嚢頭類，小型の外殻性頭足類なども食物としていた可能性がある．

6．引用文献

Bizikov,V 2004. The shell in Vampyropoda (Cephalopoda): Morphology, functional role and evolution. Ruthenica 3:

Brayard, A. et al.,2017. Unexpected Early Triassic marine ecosystem and the rise of the Modern evolutionary fauna. *Science Advances* 3: e1602159.

Doguzhaeva, Larisa A., et al., 2018 . An Early Triassic gladius associated with soft tissue remains from Idaho, USA-a squid-like coleoid cephalopod at the onset of Mesozoic Era. *Acta Palaeontologica Polonica* 63.2.

Ehiro, M. et al., (2015) Thylacocephala (Arthropoda) from the Lower Triassic of the South Kitakami Belt, Northeast Japan. *Paleontological Research* 19: 269-282.

Sutton, M., Perales-Raya, C. and Gilbert, I., 2016. A phylogeny of fossil and living neocoleoid cephalopods. *Cladistics* 32: 297-307.

Fuchs, D., & Larson, N.,2011. Diversity, morphology, and phylogeny of coleoid cephalopods from the Upper Cretaceous Plattenkalks of Lebanon-Part I: Prototeuthidina. *Journal of Paleontology, 85*(2): 234-249.

Hu, Shi-xue, et al., 2011.The Luoping biota: exceptional preservation, and new evidence on the Triassic recovery from end-Permian mass extinction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278.: 2274-2282.

高知県ナスの品種改良に伴う成分の変化

天然物化学研究室
1824003　渥美空
指導教員：蛙原絹子

1．緒言

品種改良とは作物や家畜の優れた性質を得るために意図的に遺伝子の組み合わせを変えることを言い、代表的な方法として交配や遺伝子組み換えがある。農作物の品種改良に関しては、栽培特性(収穫性、耐寒性、耐暑性、耐虫性)や生産物の品質の向上、生育、収穫時の扱いやすさを目的に行われることが多く、家畜等に比べ無秩序に品種改良されることがある。

農作物であるナス(*Solanum melongena*)は、200 種以上の品種が存在している。我々にとって最も身近な品種は中長ナスであり、その他特徴的な品種の例として、長ナス、小茄子、米ナス、白ナスがあり、これらも品種改良の結果生まれたものである。また、ナスの特徴として旨味成分と渋味成分を持っていることがあげられ、これらは品種により含有量に差があり味に大きく影響することが知られている。ナスの品種改良における病気耐性の遺伝や収穫量の変化、調理に伴う成分の変化については多くの研究がなされている。しかし、品種改良における品種間の呈味成分の変化、および関連性についての研究はほとんど行われておらず、品種改良に伴い呈味成分がどう変化していくのかについては明らかになっていない。

本実験では、系統の分かっているナスの品種について、品種ごとに呈味成分の含有量を分析し、品種改良によりどのような変化や違いがあるのかを検討する。

2．実験方法

2－1：試料

ナス(慎太郎、土佐鷹、竜馬、千両)。

特徴は図 1 に示す。

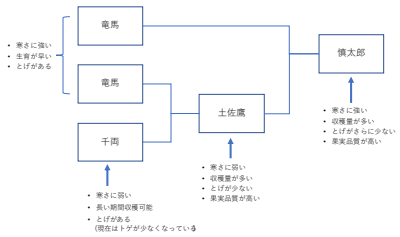


図 1．系統図

2－2：実験方法

試料の調整として、ナスのがくを取り除き粉砕機を用いて粉砕した。粉砕したものを 15g 取り 60ml の溶媒(グルタミン酸の分析→蒸留水、クロロゲン酸の分析→メタノール)に加え混和した。その後フィルター(0.45μl)を用いて濾過し、試料とした。

グルタミン酸の含有量の測定にはグルタミン酸測定キット(ヤマサ醤油株式会社製)を用いた。標準液には 250ppm グルタミン酸を作製した。クロロゲン酸含有量の測定には高速液体クロマトグラフ(日本分光製、カラム：シリカ C18M 4D、溶離液：20mM リン酸水溶液(H_3PO_4 aq):メタノール(CH_3OH)＝7:3、温度：30℃、流速 1.0ml/min、検出：UV 280nm)を用いた。標準液には 0.01%クロロゲン酸溶液を作製した。得られた各品種の含有量を用いて T 検定を行い比較した。

3．結果

グルタミン酸量の測定の結果、平均の濃度(ppm)は、慎太郎：165.98、竜馬：97.66、土佐鷹：71.59、千両：126.07 となった。平均値から行った T 検定の結果を図 2 に示す。図２より、慎太郎＞竜馬、慎太郎＞土佐鷹、千両＞土佐鷹といった関係性で有意差が見られた。

クロロゲン酸量の分析の結果、平均の濃度(%)は、慎太郎：0.0146、竜馬：0.0183、土佐鷹：0.0122、千両：0.0160 となった。平均値から行った T 検定の結果を図 3 に示す。図３よりクロロゲン酸の含有量は全ての品種で有意差は見られなかった。

4．考察

品種改良では、栽培特性や品質の向上、扱いやすさを主な目的とされているが、本実験ではグルタミン酸量にも有意差が見られた。この結果より、グルタミン酸量が多い慎太郎と千両で掛け合わせた品種改良を行うことで、よりグルタミン酸量が多い品種が生まれる可能性が示唆される。

また、クロロゲン酸は強い抗酸化作用を持ち、植物にとっては傷や紫外線から身を守る働きがある。そのため系統および産地が近い品種では気候等の栽培環境も近く、外敵や紫外線から受ける影響度合いに大きく変化が無いと思われるためクロロゲン酸量に関しては有意差が見られなかった可能性が示唆される。

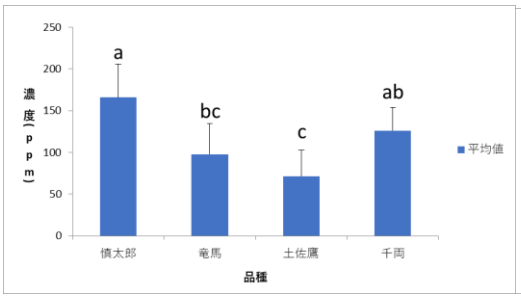


図２．グルタミン酸量の平均値と標準偏差

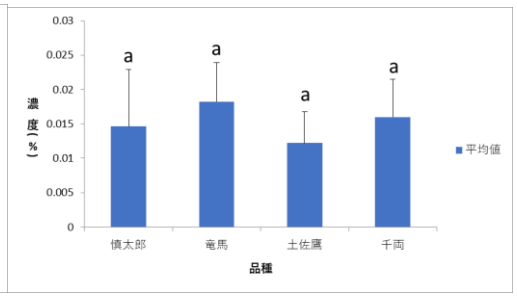


図３．クロロゲン酸量の平均値と標準偏差

5．結論

系統の分かっている品種について品種間の呈味成分量の変化を調べたところ、旨味成分であるグルタミン酸量には変化が見られ、渋味成分であるクロロゲン酸量には変化が見られなかった。

6．参考文献

１）ナス果菜の栽培品種・部位別のアントシアニン量、クロロゲン酸量およびラジカル消去法　立山、五十嵐　日本食品化学工学会誌　Vol.53,NO.4,218~224　1979

２）ナス栽培品種及びナス属野生種の半枯病抵抗性とその遺伝に関する研究　山川、望月　野菜試験場報告　６号　p.19~27　1979

保存方法によるナスの呈味成分の変化

天然物化学研究室
1824021　栗﨑　知樹
指導教官：蛙原　絹子

1．諸言

野菜は、種類によって最適な保存方法や保存期間が異なることが知られている。主な野菜の保存は常温・冷蔵・冷凍がある。保存方法によって鮮度が落ち、見た目に変化が生じることがある。野菜ごとに正しい保存方法を知り、野菜を最後までムダなく美味しく保つことは重要である。

ナス *Solanum melongenaL* の保存方法として、常温、冷蔵、冷凍の三種類が主にあげられる。水分を多く含むナスの保存は常温ではでは 3 日ほどといわれている。

ナスの特性を示す成分として、うま味成分と渋み成分が知られている。うま味や渋みは味に大きく影響することが知られている。また、ナスは切り口が茶色に変色することが知られている。これはクロロゲン酸が空気に触れると酸化して褐変するためである。ナスの加熱に伴うクロロゲン酸やうま味成分の変化は調べられているが、保存方法の違いによる成分変化の研究例はほとんどない。

本実験では生ナスと加熱処理したナスについて、旨味成分であるグルタミン酸と褐変の原因となるクロロゲン酸について、保存方法による含有量を測定する。

2．実験方法

2-1.材料と保存方法

ナス（品種：千両）は生と加熱（電子レンジ 800ｗで 1 分 30 秒加熱)したナスの 2 種類を用意し、常温、冷蔵、冷凍の三種の方法で 14 日間保存し、クロロゲン酸量とグルタミン酸量を測定した。保存方法の条件は次の通りとした。

常温保存の条件：温度 20℃　湿度 90%　冷蔵保存の条件：温度 4℃　湿度　18%
冷凍保存の条件：温度-19℃　湿度 60%。

2-2.クロロゲン酸およびグルタミン酸の測定試料の調製と成分の測定

試料は粉砕機で粉砕した。その後、クロロゲン酸測定用はナスの総重量の 4 倍のメタールに、グルタミン酸測定用はナスの総重量の 4 倍の蒸留水に入れた。その後、遠心分離（3000rpm）後、ろ過（0.45μｍ）した。

クロロゲン酸は HPLC を用いて測定をした。条件は、カラム（シリカ C18M4D）溶離液 A）20mM リン酸水溶液 700ml　B）メタノール 300ml　で行った。

グルタミン酸は、グルタミン酸測定キットを用いて測定を行った。

3．結果

生ナスと加熱ナスについて、保存方法の違いによる保存日数とクロロゲン酸濃度の関係を図 1 と 2 に、保存日数とグルタミン酸濃度の関係を図 3 と 4 で示した。

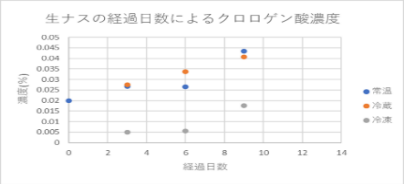


図１．生ナス　保存日数とクロロゲン酸濃度の関係

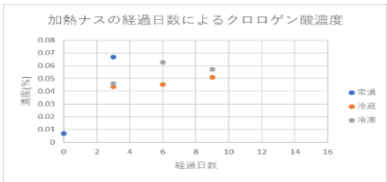


図 2．加熱ナス　保存日数とクロロゲン酸濃度の関係

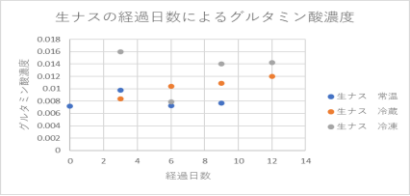


図３．生ナス　保存日数とグルタミン酸濃度の関係

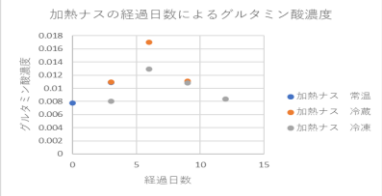


図４．加熱ナス　保存日数とグルタミン酸濃度の関係

生のナスについて、常温と冷蔵ではクロロゲン酸の濃度はほとんど変化しなかった。冷凍ナスでは、常温や冷蔵に比べ、クロロゲン酸の濃度は低かった。生ナスの６個体について個体差を検討したところ、クロロゲン酸の濃度は 0.0104～0.0227％であった。これより、常温、冷蔵、冷凍で日数ごとに徐々に増加している傾向あることが分かった。また、クロロゲン酸濃度は、加熱することで増加することがわかったが、日数経過による濃度変化は見られなかった。

グルタミン酸の濃度は生ナスの６個体による個体差は 0.0072～0.0165％であった。このことからグルタミン酸濃度は保存方法や経過日数による変化はなかった。

また、加熱したナスでは、クロロゲン酸とグルタミン酸ではほとんど変化がなかった。

４．考察

加熱ナスが生ナスよりもクロロゲン酸濃度が高くなった理由については、加熱したことにより細胞壁がつぶされたため、クロロゲン酸が細胞から出てきやすくなったと考えられる。また、冷凍ナスのクロロゲン酸濃度が低い理由として、解凍中にナス中に含まれるポリフェノールオキシターゼが活性化して褐変作用が生じたためクロロゲン酸が分解されたと考えられる。全体的にクロロゲン酸の濃度が増えていることについては、検討が必要である。また、グルタミン酸濃度については日数や保存方法による変化はないと考えられる。

５．結論

本実験から、クロロゲン酸やグルタミン酸の濃度は、水分量を考慮すると日数経過によっての変化はないといえる。より正確なデータをもとに検討する為には個体数を増やす必要があると考えられる。

６．参考文献

1）食用油調理におけるナスの全ポリフェノールとクロロゲン酸について　黒沢　調理科学 Vol.21 No.2　1998

2）ナス果菜の栽培品種・部位別のアントシアニン量，クロロゲン酸量およびラジカル消去活性　立山他 日本食品化学工学会誌　第 53 巻　第 4 号　2006

3）ナスの加熱による抗酸化能クロロゲン酸の変動　石々川　2008

ピーマンの土耕栽培品と水耕栽培品の無機元素含有量の調査

天然物化学研究室
1824014 片岡秀太
指導教員：蛭原絹子

1.緒言

近年、日本では農家の高齢化に伴い、耕地面積の減少がみられ、食料自給率も減少していることから日本農業は緩やかに衰退していると[1]。また、台風などの異常気象が、作物の収穫量に影響を及ぼしている。このことから、外気の環境の影響を受けづらく、少ない人の力で作物の管理ができる栽培法が求められる。そこで、屋内で行われる水耕栽培が着目されている。一般的に水耕栽培は土耕栽培に比べ植物の成長が早いといわれ、植物の状態を見て養液の濃度を変更することができるので、植物の生育を管理しやすい。そのため、植物工場などで多く用いられている栽培方法である。しかし、水耕栽培の養液は土壌に含まれる様々な微量元素を完全に再現することは困難であるため、作物にどのような影響を与えているかを調べる必要がある。水耕栽培の作物の成分の研究例では、ホウレンソウの水耕栽培品は土耕栽培品に比べ、シュウ酸等の灰汁が減少することが報告されている[2]。一方、植物の元素含有量について、調べることで産地を判別することができる[3]が、栽培法による違いについてはあまり研究が行われていない。

本研究では、作物の無機元素に着目し、水耕栽培品がどこまで土耕栽培品に近づいているのかを調べる。また、水耕栽培法が土耕栽培法に代わることができる栽培法であるか検討する。

2.実験方法

2-1.材料

・高知県産ピーマン（みおぎ）の土耕栽培品および水耕栽培品
・土耕栽培の土および養液

2-2.蛍光 X 線分析法の元素分析

ピーマンのヘタを取り除き、果肉とワタ（種子を含む）に分け、40℃で約 72 時間通風乾燥した。その後、果実とワタを粉砕機で粉末にし、加圧機で圧し 1 ㎝のディスクに成形した。土を 40℃で 12 時間通風乾燥し、乳鉢で粒径 1ｍｍ程度にすりつぶし、加圧機で圧し 1 ㎝のディスクに成形した。養液約 600ｍL を約 50mL になるまで加熱したのち、ろ紙に染み込ませ乾燥させた。各試料について、蛍光 X 線分析（XRF、日本分光製）で元素分析を行った。各試料は 5 回ずつ測定した。

2-3.デジタル水質計による K^+ と NO_3^- の濃度測定

ピーマンの果肉 4 個とワタ（4 個体分）を、2-1.と同様に乾燥後、粉砕機で粉末にした。各試料について重量の 20 倍量の蒸留水を加え、超音波を 5 分間照射した。遠心分離機で不純物を沈殿させ、デジタル水質計で　K^+ と NO_3^- の濃度を測定した。

3.結果

XRF で測定した元素割合を図 1 に示した。図では、Ca,S,Mg,Na を主要無機元素とし、Cl,Fe,Zn,Cu をその他として表した。Ca,S,Mg,Na の割合は土耕栽培と水耕栽培でほとんど差異はなかった。しかし、Cl,Fe,Zn,Cu などの微量元素の割合は、土耕栽培品の方が果実とワタともに約 1 %高かった。

K^+と NO_3^-の測定結果を図 2 で示した。また、それぞれの果実の測定値を平均したものをグラフで示した。水耕栽培品の果実の NO_3^-の濃度が土耕栽培品の約 2 倍の値であったことが分かった。K^+の濃度は、水耕栽培品の果実の平均値は 910ppm であり、土耕栽培品のものは 1010ppm であった。これより、K^+の濃度の差はほとんどないことが分かる。

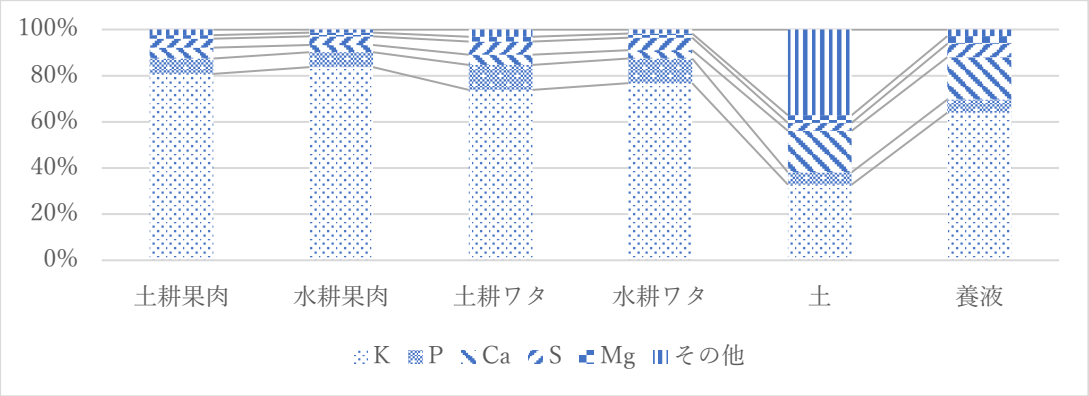


図 1.XRF によるピーマンの元素含有割合結果

4.考察

土耕栽培品はその他に分類した微量元素割合が高く、これは土壌に含まれる栄養素の種類が非常に豊富であり、これら微量元素をピーマンが吸収していることが分かる。また、水耕栽培品の NO_3^-の濃度が 2 倍近かったのは NO_3^-の過剰摂取により蓄積されたと考えられる。K^+の濃度に差が大きくなかったことから、養液内の NO_3^-の濃度を下げることにより、ピーマン中の無機元素含有量は土耕栽培品に近づけることができると思われる。

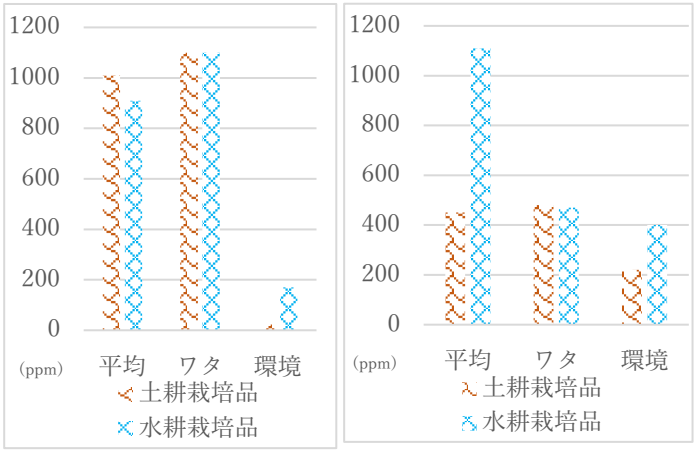


図２．デジタル水質計によるイオン濃度測定結果（左：K^+、右：NO_3^-）

5.結論

本研究で設定した主要無機元素含有割合は、土耕栽培品と水耕栽培品に大差がないことが分かった。今後、微量元素について、植物の生育や成分への影響について研究が行われれば、水耕栽培の栽培法や養液の改良をすることができるため、今研究は水耕栽培における重要な基礎データとなった。

6.参考文献

（１）関東農政局　関東食料・農業・農村の動向　（特集編）　～平成 30 年間の関東農業の動き～　2019 年

（２）清田マキ,関根康子,藤代岳雄,岡充,小泉典子　土耕および水耕におけるホウレンソウの成分および生食の食味の差違　1996 年　日本栄養 ・食糧学会誌 Vol. 49 No. 2 107～112

（３）進藤久美子,塚越芳樹,内藤成弘,安井明美　玄米の無機元素含有量の品種間変異と産地の違いによる変動 2001 年　独立行政法人食品総合研究所

高知県産ニラの品種別におい成分の比較

天然物化学研究室
1824019　久保田　涼磨
指導教員：蛙原　絹子

１，緒言

ニラ（*Allium tuberosum*）はヒガンバナ科ネギ属の多年草、緑黄色野菜である。現在では品種改良が進み、品種ごとにおいや味、環境体制等様々な面において違いがある。

しかし、今日ではスーパー等でニラが販売される際に品種名がつけられていることはほとんどない。そのため、ニラには品種ごと特徴があるのにかかわらず、消費者がそれを意識することはあまりない。

また、2021 年嫌いな夏野菜ランキング（葉、茎類）ではニラが 1 位となっている。理由としては独特なにおいが嫌い、食べた後もにおいが残って嫌い、等のニラの特徴的なにおいが多く挙げられていた。

ニラのにおいについては 1974 年、亀岡らがジメチルジスルフィド、ジメチルトリスルフィド、ジメチルテトラスルフィド、ジアリルスルフィド、ジアリルジスルフィド、メチルアリルジスルフィド、アリルメチルトリスルフィド、リナロールの 8 成分を明らかにした[1)]。

一方、高知県はニラ生産量日本 1 位であり、低温伸張性や耐寒性などの品種改良が盛んに行われ、約 10 種類の品種が県内の各地で周年生産されている。

本研究では、ニラの特徴的なにおいについてガスクロマトグラム質量分析計を用いて分析を行い、高知県のニラ 3 種のにおいの違いを明らかにする。

２，実験方法

2－1 試料

高知県産ニラ（タフボーイ、ハイパーグリーンベルト、ミラクルグリーンベルト）

2－2 実験方法

ニラの先端１０㎝を取り除き、残りを 1 ㎝に切り分け、１g ずつバイアル瓶に入れモノトラップ（RCC18）に吸着した。ニラの試料は生用と加熱用（電子レンジ 700W で 30 秒）をそれぞれ 5 個ずつ用意した。その後、吸着剤にジエチルエーテル 1ml を加え、超音波を 5 分照射しにおいを溶出させ、ガスクロマトグラム質量分析計（カラム：DB－5 MS　30×0.25 ㎜、IDO0.25 μm　条件：40℃→20℃/min→200℃→15℃/min→240℃（15min））を用いて成分分析を行った。成分の同定にはデータベース NIST を用いた。

３，結果

ガスクロマトグラム分析計の分析の結果、生のタフボーイ、ハイパーグリーンベルト、ミラクルグリーンベルトのすべてでニラ特有の成分であるジアリルジスルフィドを検出した。検出した各ピークの総面積に対するジアリルジスルフィドのピーク面積の割合はタフ

ボーイが 2.15%、ハイパーグリーンベルトが 5.65%、ミラクルグリーンベルトが 6.45%となった。また、3 種のニラのトータルイオンクロマトグラムを図 1、加熱ニラのトータルイオンクロマトグラムを図 2 に示した。

加熱ニラでは生で検出できたジアリルジスルフィドを検出出来ず、生で検出することが出来なかったアリルメチルトリスルフィドを検出した。

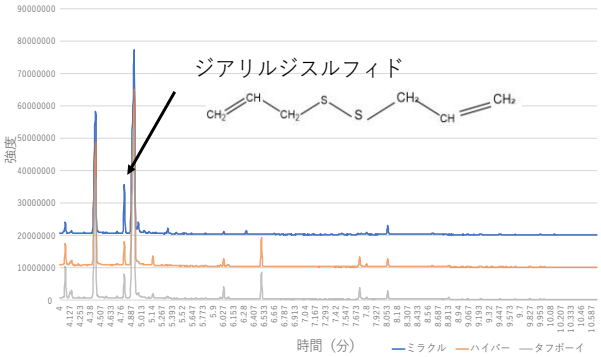


図 1、生ニラ 3 種のトータルイオンクロマトグラム

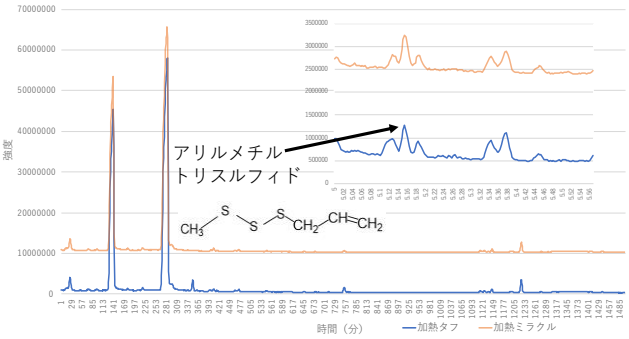


図 2 加熱したニラのトータルイオンクロマトグラム

4，考察

ジアリルジスルフィドのピーク面積の割合を比較すると、タフボーイは他 2 種に比べ半分以下の割合であった。このことから、タフボーイから揮発するニラ特有においが少ないことが分かる。グリーンベルト類は固定種のため形質が似ているのに対しタフボーイのみ系統が違うため違いが出た可能性がある。

また、本実験で生と加熱後に検出されたニラ特有のにおい成分であるスルフィド類が異なったのは加熱によりスルフィド類の分解や生成反応が起こったためではないかと思われる。

5， 結論

3 種のニラ全てでジアリルジスルフィドを検出することが出来、比較を行ったところ、タフボーイのみニラ特有のにおいが少ないことが分かった。

品種改良は低温伸張性や耐寒性等の環境耐性を目的に行われているが、本研究では品種ごとのにおいの違いが確認できた。

6， 参考文献

（1） 「ニラの水蒸気揮発性油の成分について」亀岡弘、三宅昭雄
日本農化学会誌 48 巻 p.385～388 1974 年

（2） 「ネギとニラの種間雑種として作出された,ニラ新品種「なかみどり」の香気組成」 林彰夫、天谷正行、久保田紀久枝、森澤千尋
日本農化学会誌 71 巻 p.1273～1279 1999 年

三浦半島産のアシタバの根の香気成分について

天然物化学研究室
1824032　勢田愛乃
指導教員：蓓原絹子

１. 緒言

薬用植物は植物そのものや抽出成分が人や動物に対して何らかの薬効を有する植物である。より効果的に薬用植物の効果を得るためには、適切な部位、採取時期、産地がある。部位を使い分けている例ではアンゼリカ *Angelica archangelica* がある。葉を野菜として、根をハーブティーとして、茎を製菓材料として利用する。また、ドクダミ *Houttuynia cordata* はお茶やチンキ剤として利用する場合、有効成分が一番多くなる 6～7 月（開花時期）に採取するとよいとされている。産地によって成分量が異なる例では、トウキ *Angelica acutiloba* の研究において主成分のキサントトキシン含有量が根 100 グラムあたり 0.6 から 32.5 ㎎変動したことが報告されている[1)]。オオバコ *Plantago asiatica* では、葉に含まれるフラボノイドやフェノール酸の含有量が、標高の上昇に伴い増加する傾向にあったことが報告されている[2)]。

本研究では、セリ科シシウド属であるアシタバ *Angelica keiskei* に着目する。アシタバは日本の八丈島原産で おもに伊豆諸島や紀伊半島に自生している。2020 年の大谷の先行研究で伊豆諸島産のアシタバの根に酢酸ボルニルが含まれていることが分かった。酢酸ボルニルはさわやかな香りが特徴である。また、自律神経の緊張を緩和するなどの作用がある[3)]。ことから、普段使われることのない根を精油として利用できる可能性がある。このことから、三浦半島産のアシタバについて、伊豆諸島のアシタバと同様に根に酢酸ボルニルを含んでいるのか、産地によって成分の変動が起こるのかを目的に実験を行う。また、根の有効利用の可能性について検討する。

2.実験方法

三浦半島産のアシタバを根、茎、葉をそれぞれの部位に分けてから乾燥（40℃）させ、その後、粉砕機を用いて粉砕した。次に試料 0.2 g をモノトラップ法（吸着剤：ＲＣＣ18 ジールサイエンス製）にかけ揮発成分の捕集を行った。吸着材からアセトン 1 mL を用いて超音波を照射し、成分を溶出した後、ガスクロマトグラフ質量分析計（QP-2010 島津製 キャリアガス :ヘリウム（カラム：DB- 5 MS ）分析条件：50℃(2min)-10℃/min-280℃（5 min)）を用いて成分分析を行った。次にデータベース NIST を用いて成分の同定を行い、根、茎、葉の 3 部位の成分比較と伊豆半島産のアシタバの成分との比較を行った。最後に、根について水蒸気蒸留を行い、精油の成分分析を行った。

3.結果

アシタバの葉、茎、根のトータルンクロマトグラムを図 1 に示した。三浦半島産のアシタバにも伊豆諸島産同様に、根にのみ酢酸ボルニルが検出された。三浦半島と伊豆半島のアシタバの根の成分比較を図 2 に示した。酢酸ボルニルの含有量や成分比が伊豆諸島産と比べ

小さいことが分かった。

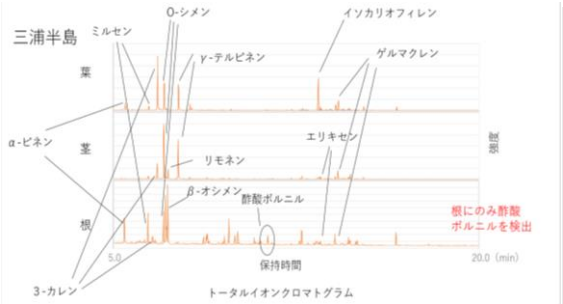


図１　三浦産アシタバの部位による成分比較

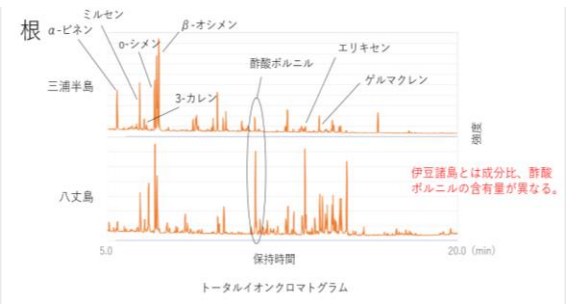


図２　産地による成分比較

精油のトータルイオンクロマトグラムを図３に示した。三浦半島産のアシタバの根の精油は、伊豆諸島産と比較して、酢酸ボルニルの含有量がかなり少なかった。また、伊豆諸島産では検出されなかったメチルヘプテノン、オクタナール、2−ナフタレンメタノールが含まれ、成分にも差があった。

図３　アシタバの根の精油の成分

4, 考察

三浦半島産と伊豆諸島産のアシタバの成分に違いが出た要因として、八丈島が火山島であることが考えられる。伊豆諸島の植物は訪花昆虫相の相違により花の芳香が強くなることがわかっている[4)]。土壌や昆虫相の違いが三浦半島のアシタバにおいて成分の変動を引き起こした可能性が考えられる。

5, 結論

三浦半島産アシタバに根に酢酸ボルニルが含まれていることが分かったが、精油として利用する場合、酢酸ボルニルの効果を得るには十分でない可能性があることが分かった。また、三浦半島産のアシタバの根に含まれる成分は原産地である八丈島と比較すると成分比や含有量に差があった。このことは、アシタバの根の含有成分は産地により変動することを示唆している。精油として利用する場合は産地を限定することが必要だと思われる。

6. 参考文献

1.「当帰の調整法と化学的品質評価（第 6 報）フロクマリンの指標物質としての可能性について」姉帯正樹・増田隆広・高杉光雄（2002）道衛研所報 52 pp.19~23

2.「生薬の品質と原植物の生育地の標高との関係：車前草」河崎亮一（2010）ファマルシア Vol46 No6 pp.549~550

３.「睡眠誘導効果をもつ（−）−酢酸ボルニルの睡眠促進効果ならびに肌質改善効果」清水邦義・松本清・大貫宏一朗 コスメトロジー研究報告（2016）Vol.24, pp.181-189

４,「伊豆諸島の植物の固有性と保全」上條隆志 Mikurensis (2017) Vol.6, pp. 40-46

等々力渓谷の鳥類相調査

生物多様性研究室
1824054　目迫拓真
指導教員：福田達哉

1.緒言

生態系は生物間の相互作用やそれを取り巻く環境を示し、東京 23 区において唯一の渓谷である等々力渓谷は、その生態系管理の観点から本学と世田谷区等によって様々な調査を行われてきた。しかし、これまでの研究は主に地表付近に近い低層域での生物調査が中心であり、等々力渓谷の生態系を包括的に考えていくためには、低層域での生物群と干渉し合う鳥類相についての知見も必要である。

鳥類相に関する研究は、皇居[1]、国立科学博物館付属自然教育園[2]生田緑地[3]、神奈川河口域[4]といった等々力渓谷の近隣の地域における報告があるために、等々力渓谷の鳥類相を明らかにすることは、等々力渓谷の生態系を考えるだけでなく、近隣の自然環境との比較から等々力渓谷の鳥類相の特徴を議論することができる。そこで本研究では等々力渓谷の鳥類相を明らかにし、渓谷内における外来種と在来種との関係や近隣地域の比較から等々力渓谷の鳥類相が今後どのように推移していくか考察することを目的として調査を行った。

2.方法

2021 年 10 月から 2022 年 1 月にかけての 47 回、最長で午前 8 時から午後 6 時までの範囲の時間帯に等々力渓谷において片道約 1km 程度の観察コースを約 20～35 分程度かけて調査を行った。その際に目視または鳴き声、羽毛等により確認できた鳥類を識別方法含めて一時間に 1 回記録し、可能な場合は複数回試行した。

3.結果と考察

本研究では、調査期間中に 2 種の外来種を含む 19 科 25 種の鳥類を確認した[図 1]。そこで、他の 4 か所の野鳥観測地との類似度を求めた結果、皇居と 80%、国立科学博物館付属自然教育園と 92%、生田緑地と 92%、多摩川河口域と 84%の類似度であることが明らかとなった。このうちイソシギ(*Actitis hypoleucos*)は、等々力渓谷と多摩川河口でのみ確認され、またホンセイインコ(*Psittacula krameri*)は、等々力渓谷と自然教育園、生田緑地にて確認された。これらのうちイソシギは水辺で多く見られる渉禽類であり、このことからイソシギは多摩川河口から等々力渓谷の水辺に生息していることが示され、等々力渓谷がそのような環境を好む鳥類の流入があることが考えられる。またホンセイインコは亜種ワカケホンセイインコ(*P.k.manillensis*)が外来種として、自然教育園や生田緑地にも確認されていることから、東京都や神奈川県の海側の広い範囲で活動していると考えられる。

本研究では等々力渓谷にドバト(*Columba livia*)とホンセイインコの 2 種の外来種を確認した。このうちドバトは在来種であるキジバトと食性や生態が競合していると考えられるものの、本研究の観測時には同地点で観測されることが少なかったために、両種が等々力渓谷にて共存することが少なく、ドバトが等々力渓谷の在来種へ及ぼす影響は現段階では小さいと考えられる。またホンセイインコに関しては、同地点において観測された時間帯とその回数の結果から、他の競合種と考えられるメジロ(*Zosterops japonicus*)、ハシブトガラス(*Corvus macrorhynchos*)、エナガ(*Aegithalos caudatus*)、ヒヨドリ(*Hypsipetes amaurotis*)と時間的にも空間的にも重複が見られたために、これらの在来種とホンセイインコが競合している可能性が示された[図 2]。

4.結論

本研究の結果から、等々力渓谷は、里山的な鳥類相に加え、海岸、河川などの水辺の鳥相の両方の要素を含む環境であることが示されたものの、外来種により在来種がかく乱されている状態であり、今後、競合状態が続きどちらか一方が淘汰される可能性が等々力渓谷の生態系に大きな影響を及ぼす可能性が示された。

種名	10月	11月	12月	1月
カルガモ				
マガモ				
イソシギ				
キジバト				
カワウ				
コサギ				
コゲラ				
アオゲラ				
メジロ				
ウグイス				
スズメ				
ムクドリ				
シロハラ				
キセキレイ				
ハクセキレイ				
ハシブトガラス				
ハシボソガラス				
オナガ				
シジュウカラ				
モズ				
エナガ				
ヒヨドリ				
アオジ				
ドバト				
ホンセイインコ				

出現率	色	評価
71~100%		よく出る
51~70%		出る
26～50%		たまに出る
11~25%		稀に出る
1~10%		ごく稀に出る
0%		見れてない

図 1. 等々力渓谷内における鳥類と出現率.

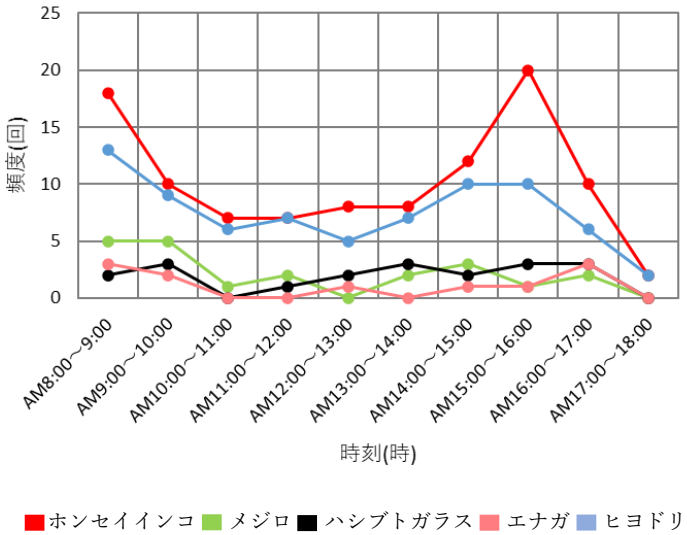


図 2. ホンセイインコ観測回数と同時刻同地点で観測した鳥類の回数.

5.参考文献

[1]黒田清子・小林さやか・斎藤武馬・岩見恭子・浅井茂樹（2017）2013 年 7 月~2017 年 5 月までの皇居の鳥類相. 山階鳥学誌 49: 8-30.

[2]川内博・川内圭子（2017）自然教育園における 1980・1990・2010 年代の鳥相とその推移. 自然教育園報告 48: 25-46.

[3]特定非営利活動法人川崎自然調査団（2017）環境省モニタリングサイト 1000 里地調査一般サイト生田緑地調査報告会「モニタリングで知る生田緑地の生物多様性」概要資料.

[4]桑原和之・高木武・嶋田哲郎・三沢博（2010）多摩川河口域の鳥類相の長期的変遷と保護に関する研究. 東急財団.

潮水害エリアにおける海岸林再生へ向けた植物の発芽特性

生物多様性研究室
1824051　丸井裕暉
指導教官：福田達哉

1 緒言

海岸地は海からの強風による飛砂や潮風が、植物に対する生理阻害や物理的損傷を与える環境であり、海岸林は、そのような影響を緩和させることが知られている。しかし東日本大震災による津波は、東北地方の海岸林に甚大な被害をもたらし、物理的に海岸林が消滅した場所では現在も裸地となっており、海岸林の再生が急務となっている。海岸林の遷移を考えた場合、裸地に適応する植物を遷移初期対応種として播種することができれば、今後の海岸林形成に繋がると考えられる。遷移初期にはサイズの小さな草本植物が優占するために、本研究では海岸地適応種であるハマボッスを例に、発芽特性を明らかにすることを目的として研究を行った。

2 実験方法

本研究では研究対象植物ハマボッスを千葉県安房郡鋸南町岩井袋(N35°06’05” E139°49’33”)において採集し、また同地点において海砂を採集した。

解析方法に関しては、まず採集海砂、塩化ナトリウム 3.45%の溶液に浸した採集海砂、培養土、川砂の土壌表面に種子を 30 個体ずつ播種し、経過を観察した。また最適播種深度を明らかにするために、各深度(0cm、0.5cm、1.0cm、2cm)に変化させた採集海砂に種子を 30 個体ずつ播種し、経過を観察した。さらに土壌塩濃度および播種深度の解析後に、種子の直接的な塩に対する影響を明らかにするために、各濃度(0%、0.5%、1.0%、2.0%、3.45%)の塩化ナトリウム溶液を作成し、シャーレに種子 30 個体と各濃度の塩化ナトリウム溶液を付与し発芽解析を行った。これらに加えて海岸地における過剰塩濃度上昇を考慮するために、各濃度(5.0%、10.0%)の溶液に浸した採集海砂の土壌表面に種子を 30 個体ずつ播種し発芽解析を行った。これらの実験は再現性を確認するために全て複数回試行を行った。

3 結果

川砂を比較対照として解析を行った結果、発芽は川砂、採集海砂、人工海砂、培養土の順に発芽することが明らかになった(図 1)。発芽のための養分が比較的に揃っている培養土において発芽率が低い背景に、ハマボッスの種子サイズ(図 2)に対する粒径の大きさが関与し(図 3)、粒土間を種子が落下した可能性が考えられる。そのために播種深度を解析した結果、深度 1cm 以上の播種は発芽率が下がることが明らかになった(図 4)。この結果からハマボッスは土壌表面に播種することが最適であることが明らかになったものの、土壌表面は塩が析出しやすく、海水の塩濃度を超えることが考えられる。そこで非常に高い塩濃度土壌に播種した結果、発芽までの時間は長くなるものの、高濃度の塩において発芽することが明らかになった(図 5、6)。さらにハマボッスは低濃度の塩水浸漬においても発芽が可能であることが示された(図 7、8)。

4 考察

ハマボッスの種子サイズは非常に小さく(図 3)、吸水後の発芽に使用する資源量は限られるために、種子中の資源が枯渇する前に地上での光合成を開始する必要がある。そのために 1cm を越える播種深度は、子葉が地上に出芽するための資源量を越え、結果的に地上で光合成をする前に地中で枯死するのではないかを考えられる。そのために、ハマボッスは粒径の小さい土壌表面に播種することが最適であることが明らかになった。また本研究では非常に高い塩濃度においても発芽することが明らかになった(図 5、6)。塩水は発芽の阻害として作用するものの、散水を繰り返すことにより塩濃度が低下して発芽が可能になったと考えられ、このことは塩濃度が高い土壌に播種されたとしても、繰り返し降雨の影響を受けることで発芽が可能になると考えられる。また本研究では、ハマボッスは低濃度の塩水の場合、濃度と共に発芽日は遅くなるものの発芽することができるために、種皮が浸透膜の役割を果たし吸水している可能性が示された(図 7、8)。

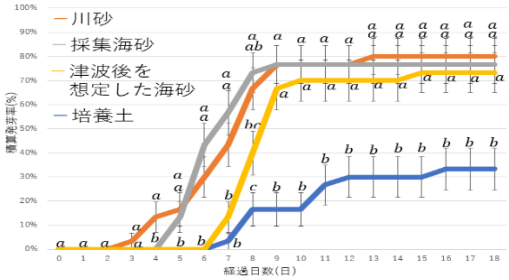


図 1. 異なる土壌条件における発芽率の比較.

図 2. 種子の粒径. Bar=1mm.

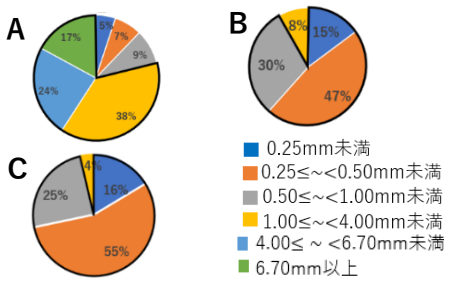


図 3. 各土壌の粒径割合の比較. A:培養土, B:川砂, C:海砂.

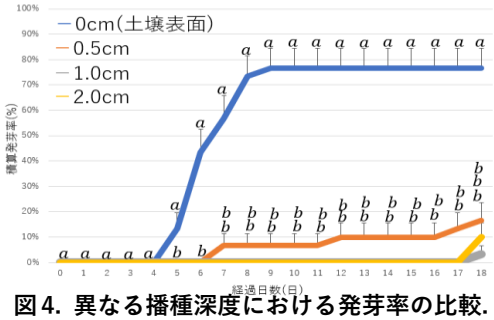


図 4. 異なる播種深度における発芽率の比較.

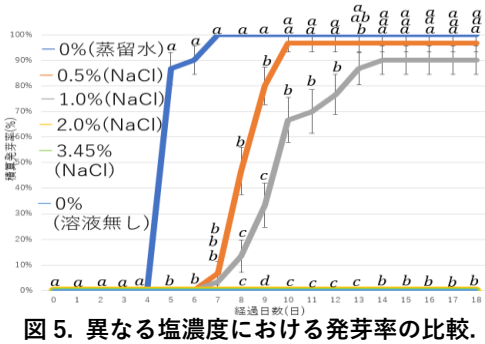


図 5. 異なる塩濃度における発芽率の比較.

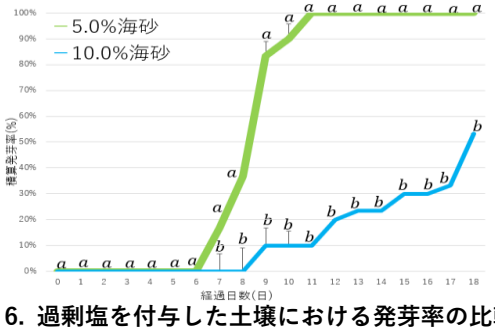


図 6. 過剰塩を付与した土壌における発芽率の比較.

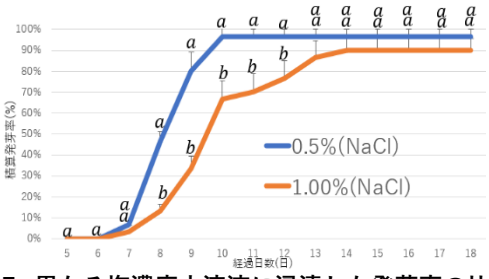


図 7. 異なる塩濃度水溶液に浸漬した発芽率の比較.

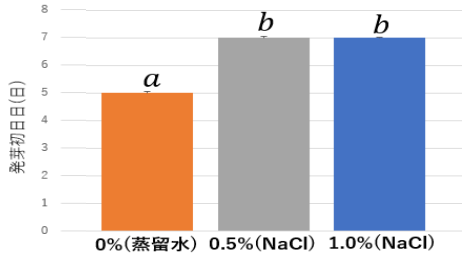


図 8. 異なる塩濃度水溶液に浸漬した発芽日の比較.

5 結論

本研究は、ハマボッスが津波を受けた砂や泥といった粒径が細かい土壌表面に遷移初期の穴埋めとして播種可能であり、津波後の裸地にハマボッスを播種することで緑化が行えることが示された。そのために海岸線を保有する各自治体には遺伝子汚染を考慮し、事前にハマボッスの種子保存に関する提案を行う必要がある。

6 参考文献

[1]伊藤日向（2019）沿岸域に生育する樹木の発芽および初期生育における塩水冠水耐性に関する実験的研究 . 東京都市大学大学院環境情報研究科博士学位論文.

[2]中村克典･小谷英司･小野賢二（2012）津波被害を受けた海岸林における樹木の衰弱･枯死. 森林科学 66: 7-12.

[3]斎藤岳士（2016）塩ストレスがトマト果実品質に及ぼす効果. 農業および園芸 91: 507-510.

[4]澤田佳宏･津田智（2005）日本の暖温帯に生育する海浜植物 14 種の海流散布の可能性. 植生学会誌 22: 53-61.

海岸地におけるハマエノコロの形態学的および力学的研究

生物多様性研究室
1824028　佐藤遼輔
指導教官：福田達哉

1. 緒言

植物は、環境に適応するために形態的な変化を伴うことが知られており、この形態的な違いについて研究することは、植物が生育する環境を明らかにすることができると考えられる。イネ科エノコログサ属のハマエノコロ(*Setaria viridis* (L.) P.Beauv. var. *pachystachys* (Franch. et Sav.) Makino et Nemoto)は、一般的に広く見られるエノコログサ(*S.viridis* var.*viridis*) が海岸地において草丈を低くすることで適応した変種である。そのために、このハマエノコロとエノコログサの草丈を含めた詳細な違いを明らかにすることができれば、ハマエノコロが生育する環境の特徴を明らかにすることができると考えられる。そこで本研究では、ハマエノコロとエノコログサの茎に関して形態学的および力学的比較を行いハマエノコロの適応様式を明らかにすることを目的として行った。

2. 方法

本研究では、海岸地である千葉県安房郡からハマエノコロを採集し、比較対照地として海岸地から非常に離れた東京都市大学世田谷キャンパス周辺においてエノコログサの採集をした。

形態学的計測に関しては、採集したハマエノコロとエノコログサの中からそれぞれ 30 個体を選択し、穂から根の上までの高さと根元の太さをマイクロメーターで計測を行った。また茎の節数に加え、節間ごとの長さと太さを計測し多重比較検定を行った。

力学的解析に関しては、採集したハマエノコロとエノコログサの中から 30 個体をそれぞれ節間に分け、48 時間 100℃の乾燥機で乾燥させた。乾燥した節間に関してその太さを測定し、その後三点曲げ試験機により破断時の荷重と変位の測定を行った。

3. 結果

本研究のハマエノコロとエノコログサの草丈と根元の太さの関係を散布図で示した結果(図 1)、太さに対する高さの比が異なることからハマエノコロはエノコログサが単純に小型化した個体ではなく、成長過程で高さに対して太さに投資することによる変化を伴っていることが明らかとなった。また両種間の節数に有意差は見られなかったものの（図 2)、節間の長さはエノコログサのほうが有意に大きいことが明らかとなった(図 3)。さらに両種の節の太さには有意差は見られなかったものの、根元の太さのみハマエノコロが有意に小さいことが認められた(図 4)。

三点曲げ試験を用いて両種の節間を計測した結果、両種の太さと荷重、太さと変位の関係から両種とも太くなるほど強度が増し、また変位は減少することが示された。さらに両種のグラフがほぼ一致していたことから、両種の節間の構成や材質に大きな違いは無いことが示された(図 5,6)。

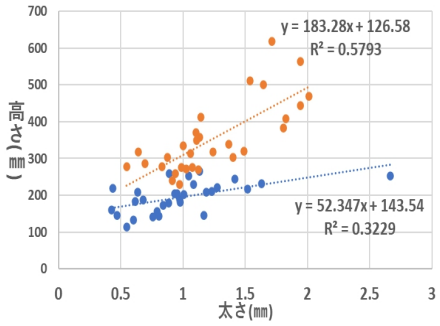


図 1. 草丈と根元の太さの関係.

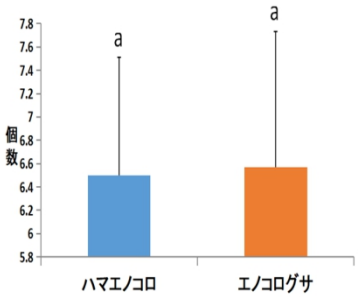


図 2. 両種の節数の比較.

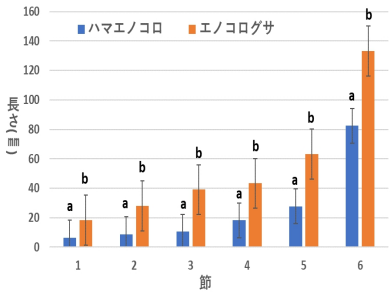


図 3. 両種の節間の長さの比較.

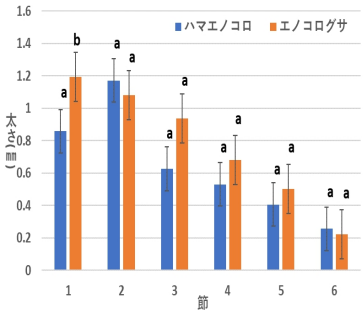


図 4. 両種の節間の太さの比較.

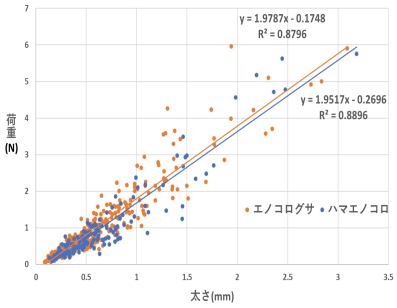


図 5. 節間の太さと荷重の関係.

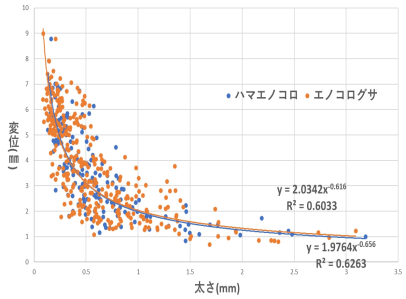


図 6. 節間の太さと変位の関係.

4. 考察

本研究の結果から、ハマエノコロの小型化は節数を減らして節間を維持するのではなく、節数を維持しながら節間のみの短縮により小型化していることが示された。また本研究において節間の強度が両種に違いが認められなかったことに加え、節の部分は明らかに節間よりも強度が得られることを考慮すると、小型化したハマエノコロは比較的に強度の低い節間部分を草丈に対して相対的に減らすことにより、植物体自身の強度を獲得したために海岸地の強風に対して耐性を得ることができたと考えらえる。また節間の太さと荷重に相関が認められた結果は、茎を細くすることにより強度が低下することを示している。ハマエノコロはエノコログサよりも小型化しているものの相対的に茎の太さは維持しているために、ハマエノコロは高さに対する強度を保持していると考えられ、このような成長戦略がハマエノコロの海岸地の適応を可能にしたと考えられる。

5. 参考文献

［1］田原虎次，藍房和，須藤允，渡辺直吉，下田博之（1967）イネの材料力学的性質に関する研究(第一報): 乳熟期における茎稈の強さについて．農業機械学会誌 29: 137-142.

［2］Kokubo K, Kuraishi S, Sakurai N (1989) Culm strength of barley: Correlation among maximum bending stress, cell wall dimensions, and cellulose content. Plant Physiology 91: 876-882.

［3］井上節郎，松富 謙一，川窪広明（2009）竹の力学的特性．大手前大学論集 10: 43-52

［4］大井次三郎（1982）エノコログサ属．佐竹義輔，大井次三郎，北村四郎，亘理俊次，富成忠夫（編），日本の野生植物 I 単子葉類. pp.100-101．平凡社，東京.

ススキの海岸地における環境適応

生物多様性研究室
1824027 佐藤幸汰
指導教員：福田達哉

1. 緒言

植物は環境に適応するために形態を変化させることによって、様々な環境に適応している。このうち海岸地では潮風、強光、土壌に含まれる塩分、強風等が植物の生育に対するストレスとして作用するために、これらに対して耐性を獲得した植物のみが侵入を許される環境である。多くの場合は海岸地のみに生育する海岸地適応種として種分化を遂げているものの[1]、内陸地に生育している植物が海岸地に生育域を広げている場合があり、この場合、海岸地において形態的変化を伴わずに侵入することができているのか興味深い問題である。

イネ科ススキ属のススキ(*Miscanthus sinensis* Andersson)は、日本各地の山地から平地にかけて広く生育しており、中には海岸地に生育する場合もある。この海岸地に生育する集団の形態的特徴を示すことができれば、ススキが侵入することができる海岸地の環境を明らかにすることができると考えられる。そこで本研究では、海岸地に生育するススキを用いた形態変化に関する解析を行うことにより、海岸地の環境を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

海岸地のススキを千葉県安房郡鋸南町で 37 個体、内陸地のススキを神奈川県鎌倉市で 30 個体、及び神奈川県川崎市中原区で 20 個体採集した。採集した個体に関して、草丈、茎の太さ、葉の厚さ、葉の長さ、葉の幅を測定した。その後、得られたデータを用いて、全集団で多重比較検定を行った。

3. 結果

多重比較検定より、海岸地のススキは背丈が低くなっているものの(図 1)、茎の太さに関しては内陸地の集団と有意差は認められなかった(図 2)。また、葉の長さは海岸地の集団が有意に短くなっているものの(図 3)、幅に関しては内陸地と有意差は認められなかった(図 4)。さらに葉に関しては、海岸地の集団が有意に厚くなっていることが示された(図 5)。

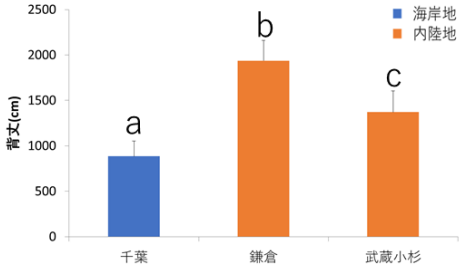


図 1. 丈の比較.

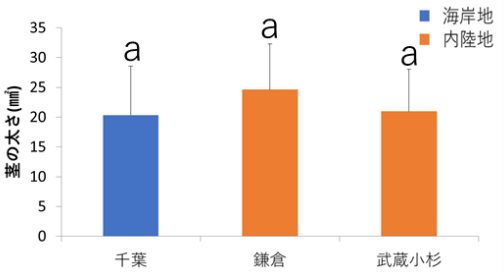


図 2. 茎の太さの比較.

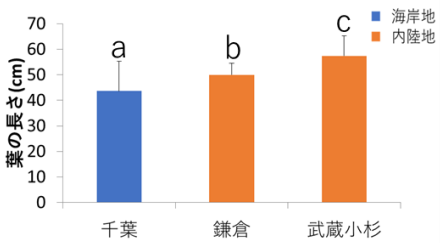


図 3. 葉の長さの比較.

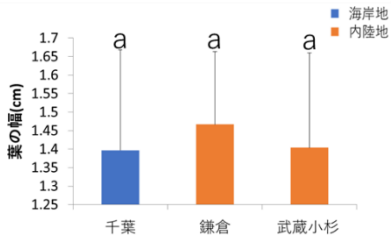


図 4. 葉の幅の比較.

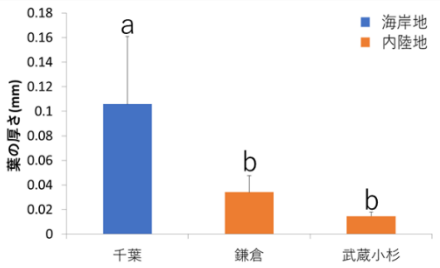


図 5. 葉の厚さの比較.

4. 考察

本研究の結果から、海岸地のススキは内陸地のススキよりも有意に葉が厚くなることが認められた。これまでに海岸地適応種とその近縁分類群との比較から、葉を厚くすることによる葉内への貯蔵水分量の増加が海岸地適応を可能にしていることが報告されている[1, 2]。そのために本研究のススキも海岸地において、水分を貯留するために葉が厚く多肉化しているのではないかと考えれる。

本研究の結果は、海岸地のススキが内陸地よりも背丈が低く葉の長さが短くなることを示した。一般的に草本植物の場合、強風によるストレスが強い環境においては、光合成で獲得した資源を茎の伸長ではなく根の伸長に投資することが知られている。茎の伸長は、競合他種との光獲得競争や光合成産物量の増加に重要であるものの、光合成に伴う気孔の開口時間の増加が葉内の過剰な水分の蒸散に繋がると考えられる。また海岸地のような乾燥環境では、獲得した水分の過剰な蒸散を避ける戦略が重要であるために、光合成のための草丈や葉の増加が海岸地では適応的形態ではないことが考えられる。これに加えて強風を受ける面積の増加は、植物体自身への物理的ストレスの増加に繋がり、前述の生理学的な面だけではなく物理的な面からも、光合成による資源獲得の機会を犠牲にするような草丈や葉の長さの増加を妨げる方向に選択圧が作用しているのかもしれない。これらのことから海岸地のススキは葉の多肉化、及び、背丈と葉の長さを短くすることで海岸地に適応をしていることが示され、海岸地に生育するススキの環境が強風と乾燥のストレスが内陸地よりも強いことが示唆された。今後は地上部への投資が内陸地より少ない海岸地におけるススキの地下部への投資を明らかにするために地下部も含めた解析を行う必要がある。

5. 参考文献

［1］Tunala, Hayakawa H, Minayama Y,Gale SW,Yokoyama J, Arakawa R, Fukuda T (2012) Foilar adaptation in *Aster hispidus* var. *insularis*(Asteraceae). Journal of Plant Studies1: 19-25.

［2］Ohga K,Muroi M,Hayakawa H,Yokoyama K,Ito K,Tebayashi S,Arakawa R,Fukuda T(2013) Coastal adaptation of *Adenophora triphylla* var. *japonica*(Campanulaceae). American Journal of Plant Sciences 4: 596-601.

セイタカアワダチソウの葉の配置における法則性

生物多様性研究室

1824025 近内祐香

指導教官:福田達哉

1. 緒言

植物には、ある一定の数学的規則性を持つものが存在し、例えば花弁の枚数や種子の配置の様式などが挙げられる。このうち互生や対生といった葉序にも規則性が存在し、葉同士が重ならないような配置にすることで光合成による資源を効率よく獲得しており、またその配置は遺伝的に固定されている場合が多い。

セイタカアワダチソウ(*Solidago altissima* L.)はフィボナッチ葉序と呼ばれる互生の一種を示し、5 回転で 13 枚の葉をつける規則が成立するために、上に向かってどの葉から番号をつけ始めても 13 枚目は必ず真上にくることになる。そのためにどの個体も同様の葉の配置であると考えられるものの、予備調査を行った結果、隣接する葉の角度といった 13 枚の葉の配置が不規則であることが示された。植物が光合成による獲得資源量を最大にする配置を選択した場合、13 枚の葉の中に光環境に依存した規則性を持ち合わせている可能性が挙げられる。そこで本研究では、異なる環境におけるセイタカアワダチソウの葉の配置を比較することにより、13 枚の葉の規則性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

本研究では、光環境の異なる 2 地点で各 30 本ずつ採集した。採集した個体は葉原基が分かるよう葉を全て取り、各節の直径をデジタルノギスで計測した。また、下から葉原基に 0-13 と上に向かって番号をつけ各弧 s を計測したのち

$$\boldsymbol{\theta} = \frac{s}{2\pi r} \times \mathbf{360}$$

を用いて葉と葉の角度 θ を算出した。得られた角度を個体間で比較する際に、隣接する角度が最大角を示す葉を基準に新たに θ0-θ13 と上に向かって番号をつけ、各個体間で比較・検討した。

3. 結果

各個体の角度である θ1-θ13 までの番号ごと環境間において Tukey-Kramer の多重比較検定を行った結果、θ1 と θ10 には異なる環境間において有意差が認められ、また θ2-θ9 と θ11-θ13 に関しては両環境間に有意差が認められなかった（図１）。さらに、隣接した角度の変化率を前後の角度の比として算出し、各番号ごとに多重比較検定を行ったところ、角度と同様に 1 番と 10 番のみ有意差が認められ、その他には有意差が認められなかった。これらの結果から、2 番-9 番の 8 枚と 11 番-13 番の 3 枚は葉を出す角度また角度変化様式が個々で決められており、1 番と 10 番はそれらが個体ごとに異なることが示された。

草本植物の場合、葉が上部に向かうほど小さくなることがある。セイタカアワダチソウは葉を比較的密につけるために、13 枚の葉の中で 1 番目と 13 番目に形態的に大きな差がないものと仮定して、原点から同距離になるように葉を座標上に配置し、またそれぞれの葉に関して算出した角度を代入した。本研究の結果から、角度が固定している 2-9 番目の 8 枚の葉と、11-13 番目の 3 枚の葉の位置を座標上に配置した結果、両配置で得られる図形のうち 2-9 番目の 8 枚の葉で構成される八角形では、重心がほぼ原点に位置することが明らかとなった(図 2)。また、この結果は異なる環境間でほぼ一致した。しかし、角度が固定している 11～13 番目の葉で形成される三角形の重心は、両環境においても原点からやや離れる結果となった（図３）。そのために不規則に動く 1 番と 10 番の葉の位置を座標上に配置して五角形とし、その重心を求めた結果、原点に近い値を示し両環境間で同じ結果となった(図４)。

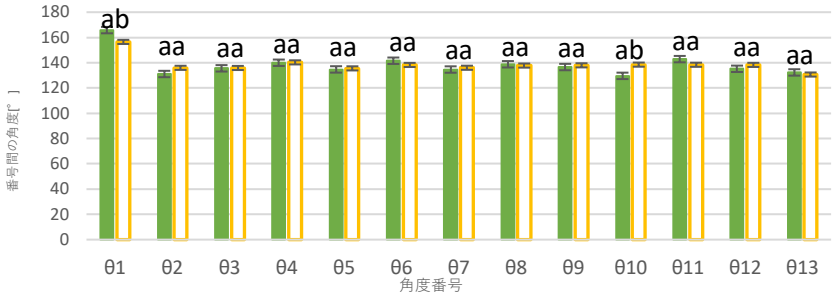


図1. 異なる環境間における隣接する葉間角度の比較.

■:障害物あり, □:障害物なし.

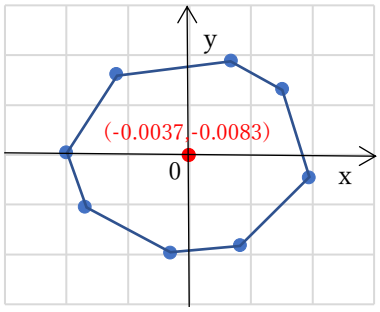


図2. 八角形(2-9 番)と重心.

●:葉, ●:重心

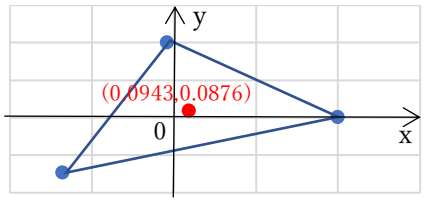


図3. 三角形(11-13 番)と重心.

●:葉, ●:重心.

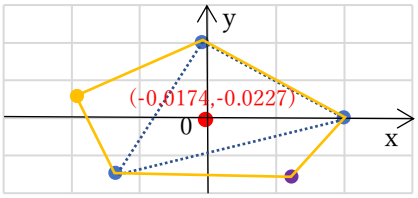


図4. 五角形(1 と 10,11-13 番)と重心.

●:葉, ●:重心.

4. 考察

本研究の結果から、光環境の異なる集団の比較において 2 番-9 番の 8 枚および 11 番-13 番の 3 枚の葉はそれを出す角度や角度変化様式がそれぞれ両集団間で有意差が認められなかったことから、8 枚と 3 枚の葉は出現角度が遺伝的固定していると考えられる。また 1 番と 10 番の葉は環境間で有意差が認められたために、何らかの環境要因によって出現角度が調整されていると考えられるものの、本研究の結果からはその環境要因を明らかにすることが出来ず、今後の課題として考えられる。しかし本研究の結果は、固定されている 3 枚の葉と共に、変動する 2 枚の葉も重心を中心に調整する変動幅で可動していることを示したために、重心の位置によって不規則に見える葉の配置を規則的に説明することが出来るのではないかと考えられる。草本植物は木本植物とは異なり茎の強度が比較的に弱いために、茎に偏った負荷をかけずに成長することが求められる。本研究の重心が中心に位置する結果から、セイタカアワダチソウは一見不規則に見える葉の配置に規則性が存在し、茎の伸長に対する偏った負荷を最小限に抑えて葉を形成していることが示唆される。

5. 結論

セイタカアワダチソウのフィボナッチ葉序は 5 回転で 13 枚の葉をつける規則性が保存されており、本研究では 13 枚のうち 8 枚と 3 枚の配置は遺伝的に固定しており、そのうち遺伝的に角度が固定した 8 枚の葉は重心が中心にくることが示された。また変動する 2 枚の葉と遺伝的に固定している 3 枚の葉の計 5 枚の葉によってそれぞれ重心が茎の位置に来るように調整していると考えられる。

6. 参考文献

[1]Okabe T (2015) Biophysical optimality of the golden angle in phyllotaxis. Scientific Reports 5: 15358.

[2]Douady S, Couder T (1996) Phyllotaxis as a physical self organizing growth process, part I: The spiral modes resulting from time-periodic iterations. Journal of Theoretical Biology 178: 255-274.

[3]寺田陽平（2019）セイタカアワダチソウのススキとの混生における資源分配戦略. 東京都市大学知識工学部自然科学科卒業論文.

[4]Yonekura T, Iwamoto A, Fujita H, Sugiyama M (2019) Mathematical model studies of the comprehensive generation of major and minor phyllotactic patterns in plants with a predominant focus on orixate phyllotaxis. PLOS Computational Biology 15: e1007044.

左右相称花における花弁の力学的比較

生物多様性研究室
1824010　大川瑞樹
指導教員　福田達哉

1 緒言

花は大きさや色、さらには形に加え香りや蜜の有無といった多様な様相を呈している。そのうち花の形態は花弁形態を基に放射相称花と左右相称花に分けられ、このような違いの背景には送粉者の選別に作用しているだけでなく、送粉者の花内における行動にも影響しているために、送粉効率を左右することが知られている。そのうち花内に異なる花弁をもつ左右相称花は、特定の昆虫の行動を制限する形態となっており、効率的な送受粉が可能である。またその左右相称花の形成の背景には、花弁を構成する細胞の数やサイズが花弁間で異なることにより形成されていることが示されている。

左右相称花の異なる花弁形態は、それぞれの花弁が有する機能の違いが示されている。例えば旗弁、翼弁、竜骨弁といった異なる花弁をもつマメ科植物の左右相称花は一般的に蝶形花と呼ばれ(図１)、旗弁は訪花昆虫に対する広告、翼弁は訪花昆虫の足場、竜骨弁は雄蕊や雌蕊といった生殖器官の保護の機能に分化しており、異なる形態を形成する細胞レベルの分化は明らかになっているものの[1]、それぞれの花弁の機能に対する力学的背景においては不明な点が多い。そこで本研究ではそれらの力学的特徴を明らかにすることを目的として研究を行った。

2 実験方法

花弁の強度に関しては MCT-1150 フォーステスターを用い、最大強度を示す破断点を強度として算出した。本研究ではマメ科植物の台湾サッコウフジ(*Millettia reticolata* Benth)とエニシダ(*Cytisus scoparius* (L.)Link)の各花弁 30 個体ずつ測定した。

3 結果と考察

本研究の台湾サッコウフジとエニシダの解析の結果、旗弁が一番高い強度を示すことが明らかとなった(図２、３)。両種はマメ科植物において系統的に離れているものの、同一の力学的結果が得られたために、マメ科植物の蝶形花においては一般的に旗弁の強度が高くなることが示唆された。また本研究の結果とこれまでのマメ科植物の蝶形花における細胞サイズの研究の結果を比較した場合、花弁サイズが最も大きいにもかかわらず細胞サイズが最も小さい旗弁が最も強度が高くなる結果となった。植物の各器官の強度は細胞壁に依存し、細胞壁量の増加が強度の増加を伴うことが知られている。このことは旗弁において最も小さくなった細胞が単位面積あたりの細胞壁の増加を導き、その結果旗弁の強度に繋がったのではないかと考えられる。旗弁はマメ科植物の訪花昆虫に対する広告の機能を持つために、受粉が成立するまでは開花期を通して維持し続けなくてはならない。開花期には風や雨といった花弁に対する物理的ストレスが

花弁の損傷に作用するために、そのストレスに対する耐性として強度を獲得したと考えられる。

本研究の旗弁における力学的解析の結果から、左右相称花において広告の役割を持つ花弁が最も強度が高くなるのかという新たな疑問を呈する結果となった。そのために本研究では花期を通して展開し続ける花弁とは異なり、照度や天候に花の開閉が左右されるツユクサ科植物のツユクサ(*Commelina communis* L.)においても同様の解析を行った結果、訪花昆虫に対する広告の機能をもつ青花弁は他の花弁よりも低い強度であった(図４)。これまでにツユクサは、青花弁よりも白花弁を構成する細胞の方が有意に小さいことが示されている[2]。そのためにこの結果は、左右相称花において広告の機能をする花弁が最も強度が高いのではなく、その花弁を形成する細胞サイズが花弁強度と関連していることが明らかとなった。

図１．蝶形花の形態．　A: 旗弁，　B: 翼弁，　C:竜骨弁．

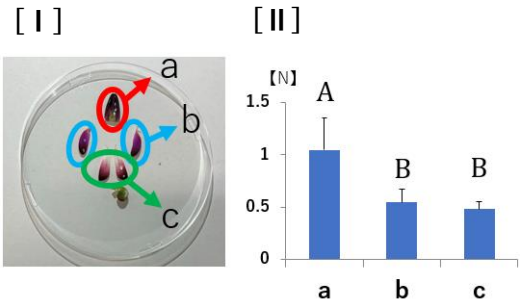


図２．台湾サッコウフジ．Ⅰ：各花弁形態，
Ⅱ：測定結果. a: 旗弁, b: 翼弁, c: 竜骨弁.

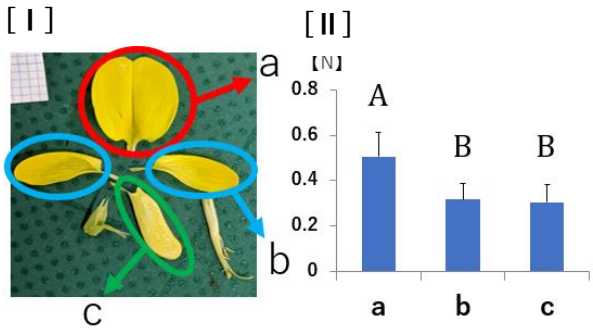


図３．エニシダ．Ⅰ：各花弁形態，Ⅱ：測定結果.
a: 旗弁, b: 翼弁, c: 竜骨弁.

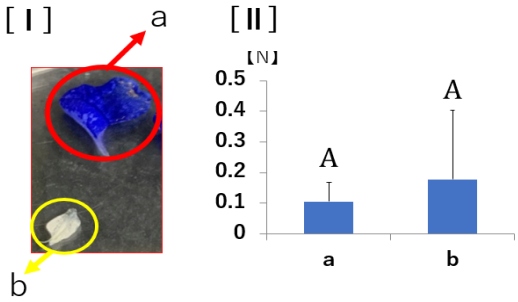


図４．ツユクサ．Ⅰ：各花弁形態，Ⅱ：測定結果.
a: 青花弁, b: 白花弁.

4 参考文献

[1]Muroi M., Hayakawa H., Minamiya Y., Ito K., Arakawa R., Fukuda T. (2012) Comparative morphology and anatomy of floral symmetry in legumes (Fabaceae). Journal of Plant Studies 1: 92-100.

[2]室井美和子(2013) 左右相称花形成に関する形態学的および解剖学的研究．高知大学総合人間自然科学研究科修士論文.

イタドリの花外蜜腺の効果についての研究

生物多様性研究室
1824005　石川貴絵
指導教員：福田達哉

1.　緒言

動物媒花植物は受粉のために送粉者を花の色や香り、形で誘引し、また蜜を報酬として与えることで送受粉を行っている。しかし、この誘引や報酬は必ずしも送粉者のみに作用するのではなく、植食性昆虫のような被食者への誘引、報酬になってしまうリスクがある。そのため植物は、被食回避のために化学物質を持つ化学的防御、トゲなどを付ける物理的防御、花外蜜腺を持つ生物的防御を獲得し、被食者を排除している。このうち生物的防御は、花外蜜腺から蜜を出すことによってアリを誘引し、その結果アリが植物体全体をパトロールすることで成立する防御となっており、被子植物の様々な分類群で見られる。イタドリ（*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.）も生物的防御を行う植物であり、茎の節にある花外蜜腺から蜜を分泌しアリを誘引しているものの、その成分や効果に関しては不明な点が多かった。そこで本研究では、イタドリの花外蜜腺の蜜に関してその成分とアリとの関係を明らかにすることを目的として研究を行った。

2.　方法

本研究では 7 月～10 月にかけてイタドリを 768 個体採集し、花外蜜腺から出ている蜜を集め、高速液体クロマトグラフィーを用いて蜜の主要成分の定性・定量分析を行った。また得られた成分のアリに対する効果を明らかにするために、構内 3 か所に蜜の成分を 2 種類ずつ置き、アリの動体観察を行った。

3.　結果

イタドリの花外蜜腺の蜜は、午前中の方が茎の上部において有意に高い確率で採集することができた（図 1）。また、蜜の成分に関して高速液体クロマトグラフィーの定性・定量分析を行った結果、蜜の主要成分はフルクトース 5.7%、グルコース 5.3%、スクロース 2.7%であることが明らかとなった。

アリの動体解析の結果、水と糖の間にはそれぞれ有意差が認められ（図 2、図 3、図 4）、また、各糖の間にも有意差が認められ、スクロースが他の糖よりも最も多くアリの報酬として作用していることが明らかとなった（図 5、図 6、図 7）。さらに、蜜中のスクロース濃度は時間経過と共に濃度が低下し、逆にフルクトースとグルコースの濃度が上昇することが明らかとなった（図 8）。

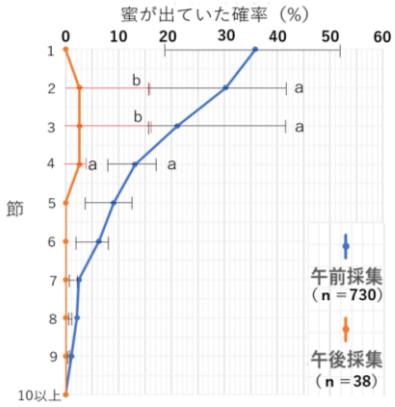


図 1. 採集時間別の蜜の採集確率. 節の番号は茎の上部から配置.

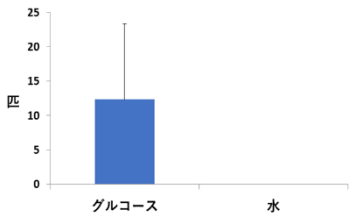


図 2. アリの動体解析における グルコースと水の比較.

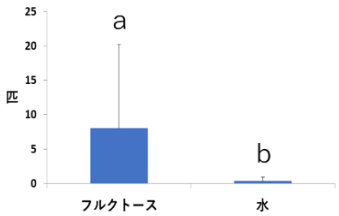


図 3. アリの動体解析における フルクトースと水の比較.

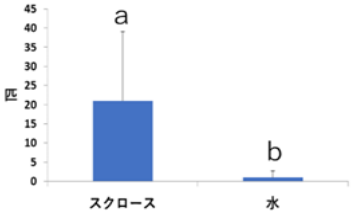


図 4. アリの動体解析における スクロースと水の比較.

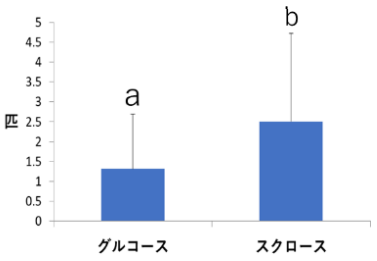


図 5. アリの動体解析における グルコースとスクロースの比較.

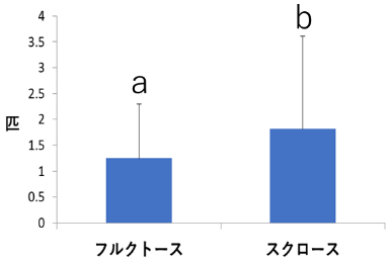


図 6. アリの動体解析における フルクトースとスクロースの比較.

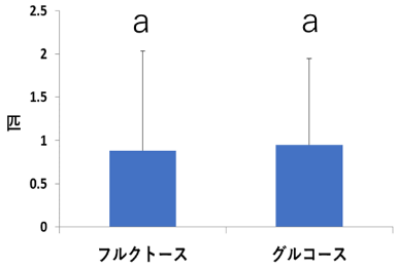


図 7. アリの動体解析における フルクトースとグルコースの比較.

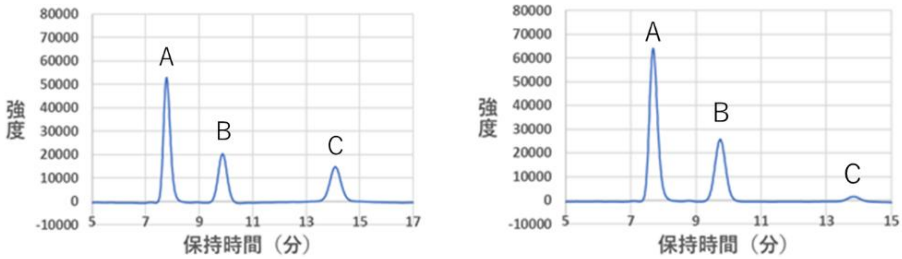


図 8. 蜜中の成分変化（左：蜜採集時　右：蜜採集時から 1 週間後）.
A: フルクトース, B: グルコース, C: スクロース.

4．考察

イタドリの蜜の採集確率の結果から茎の下部では午前も午後も蜜を採集することができなかったために、常時蜜を分泌するイタドリの生物的防御は、昼夜問わず行動するアリにより、茎の下部では常時成立しているものの、茎の上部では下部ほど生物的防御が成立していないのではないかと考えられる。また、この報酬として作用している花外蜜腺の蜜は、スクロースがアリに対して最も有効に作用しているもののグルコースやフルクトースの濃度が時間経過と共に上昇していることから、スクロースが朝露や雨滴などの水分を含むことによって加水分解していると考えられる。さらにこのことは、イタドリがスクロースを花外蜜腺から分泌し、時間経過とともにグルコースやフルクトースに変化することが考えられるために、イタドリの生物的防御の効果は、花外蜜腺における蜜の滞留時間とともに低下するのではないかと考えられる。

5. 参考文献

・中山 包（1980）蜜腺と蜜の生物学. 化学と生物 18： 402-408.

・Federle, W., Maschwitz, U., Fiala, B., Riederer, M., Hölldobler, B. (1997). Slippery ant-plants and skilful climbers: selection and protection of specific ant partners by epicuticular wax blooms in *Macaranga* (Euphorbiaceae). *Oecologia* 112: 217–224.

猫に関する寄生虫に対する薬の効果と有効な成分について

1424002　安藤隆司

１　初めに

市場に出ている猫には寄生虫にかかってしまっているものが多くその猫に薬品を与えることによって改善している猫も多い中治らない個体もいるため猫の種類や耳の形状による投与する薬に効果があるのかを取り上げる。

２　方法

猫に対する猫回虫と耳ヒゼンダニになってしまっている猫に駆虫薬と呼ばれる薬品による効果を経過から見ることのできるかと完全に治すことができるのかということに対して
猫回虫による影響により下痢や嘔吐をしている猫に駆虫薬を与えることによる改善がみられるのか。また、耳ヒゼンダニによる耳の中にたまる耳垢が黒くなり掃除をした後すぐにたまってしまっている猫に投薬することによる経過の確認をする。

猫回虫に関しては、一錠を猫の体重にあわせた量を投薬することを５日行う。
耳ヒゼンダニに対しては服用の用量を守り投薬し、手を加えずにまずは様子を見た。
その後、効果があまり確認できなかったため容量を守り毎日耳の掃除をしながら経過を確認した。

使用した薬はフラジール内服錠とアドボケート猫用である。

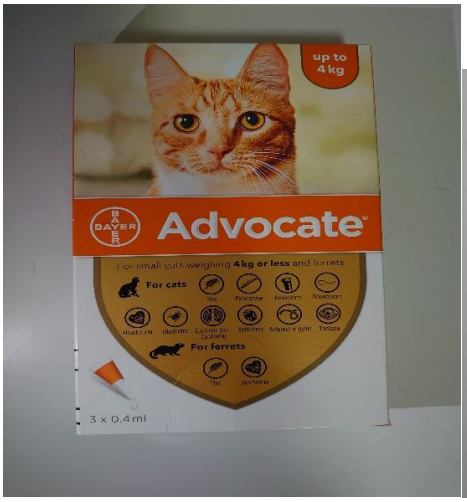


図 2.1　アドボケート
イミダクロプリド
モキシデクチン

図２.2　フラジール内服錠
メトロニダゾール

3　結果考察

猫回虫に関してはフラジール内服錠を試した方法により下痢や嘔吐がなくなり回虫にかかってしまっている症状が改善されていることが分かった。しかし、耳ヒゼンダニに関してはあまり効果がみられなかった。そのため、アドボケートを投薬し手を加えずにいたときにこうかがあまり確認することができなかった理由として、耳ヒゼンダニの成長した個体には効果がみられていたため一時的に耳垢がなくなっていたことが確認できた。しかしすぐに耳垢がたまってしまっていた。耳ヒゼンダニにもほかの生物同様に卵をうみ繁殖していくため成長した個体には効果が出ていたが卵には効果がなかったことが確認できた。

そのため毎日の耳掃除を行うことにより耳ヒゼンダニの繁殖を抑えることができることが確認できた。

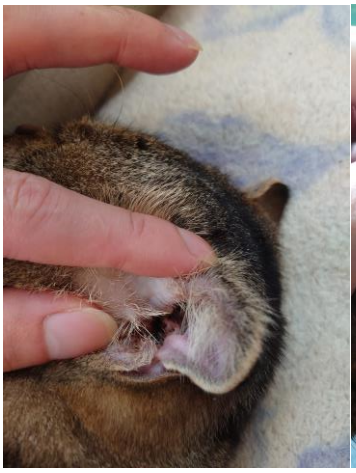


図 3.1　投薬前雑種

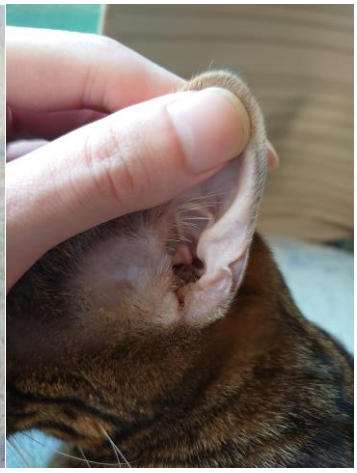


図 3.2　投薬前ベンガル

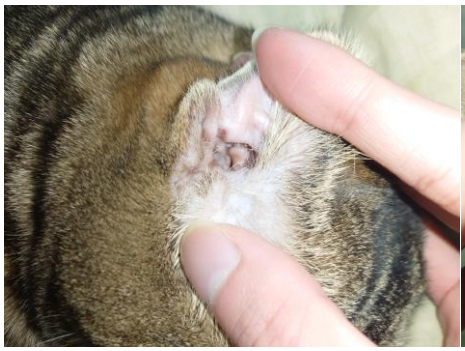


図 3.3　投薬後雑種

図 3.4　投薬後ベンガル

4　今後の課題

現状完全に駆除しきれていない耳ヒゼンダニに関して、フロントラインプラス（フィロプニル、メトプレン）やレボリューション（セラメクチン）、などの販買されている薬品によって駆除もしくは改善することが出来るのか、最も効果的と言われるイベルメクチンによる変化も見ていきたいと考える。

有機高分子試料の静電気的性質

分析化学研究室
1724062　　森田薫
指導教員：吉田真史

1.諸言

本研究では、帯電列の分子を用いて、分子全体のエネルギーUHF と HOMO の電子のエネルギーを扱って比較し傾向を見出し、帯電列を標準化することを目指す。

古代ギリシアで静電気現象が記されてから 2000 年以上を過ぎ、現代ではテレビ・コピー機・プリンターといった様々な製品に応用されており昨今ではマスクや摩擦発電マットの通過人数計などへの活用が期待されている。

2 物質間で摩擦や接触をさせると帯電する。これをいろいろな物質でプラスマイナス帯電のしやすさを並べたものが帯電列、図 1 である。物質の不純などにより実際異なることもある。

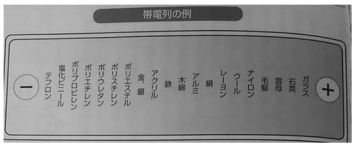


図 1.帯電列の例(高柳真　トコトンやさしい静電気の本 日刊工業新聞社 2011 95p　より)

2.実験方法

５つの帯電列を用いて表 1 に抜き出した、分子シミュレーションソフト Winmostar を用いて、帯電列の分子を作成した。分子は中性、陽性、陰性と作成し量子化学計算ソフトウェア Gaussian にて #p,hamiltonian に UHF(spin-Unrestricted Hartree-Fock)、basis、6-31G*、nosymm。
Charge,Multiplicty は中性 0,1、陽性 1,2、陰性-1,2 としてサーバーで求めた。

1	ホルムアルデヒド_n3	9	ナイロン6_n2	17	ポリクロロプタジエン_n3	25	ポリアクリロニトリル_n6	33	塩素化ポリエーテル_n3
2	ホルムアルデヒド_n6	10	ポバール_n3	18	ポリクロロプタジエン_n6	26	ポリエステル_n1	34	塩素化ポリエーテル_n6
3	ポリメタクリル酸メチル_n1	11	ポバール_n6	19	ポリイソブチレン_n3	27	ポリエステル_n2	35	ポリ塩化ビニル_n3
4	ポリメタクリル酸メチル_n3	12	オーロン	20	ポリイソブチレン_n6	28	ポリプロピレン_n3	36	ポリ塩化ビニル_n6
5	ナイロン11_n1	13	ポリスチレン_n6	21	テレリン	29	ポリプロピレン_n6	37	ポリクロロトリフィン_n3
6	ナイロン12_n1	14	ポリイソブチレン_n3	22	ビニロン_n1	30	サルファー	38	ポリクロロトリフィン_n6
7	ナイロン66_n1	15	ポリイソブチレン_n6	23	ビニロン_n2	31	ポリエチレン_n3	39	テフロン_n3
8	ナイロン6_n1	16	ポリビニルプラチール_n3	24	ポリアクリロニトリル_n3	32	ポリエチレン_n6	40	テフロン_n6

表 1.帯電列の分子一覧かつ以下のグラフの横軸

UHF は分子軌道法の一つであり、電子に対して一つずつ分子軌道を定めるものでありイオンなどに用いられる。nosymm は座標の再配向を行わず，Z-matrix 配向ですべての計算を実行するものである。

3.結果,考察

出力された UHF と HOMO、LOMO の値のもとにイオン化エネルギーΔE_1、電気親和力ΔE_2の 2 式を用い UHF の中性,陽性,陰性それぞれ E(A),E(A^+),E(A^-)とし$\Delta E=E(A^+)-E(A)$・$\Delta E=E(A)-E(A^-)$とする。また au は元素単位であり 1au=27.2eV となる値である。

イオン化エネルギーと電子親和力をそれぞれ図 2,図 3 にまとめる。

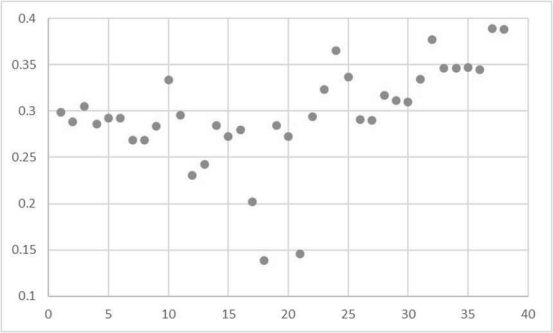


図 2.イオン化エネルギー(au)

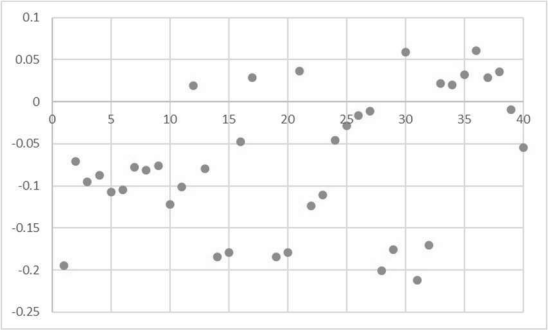


図 3.電子親和力(au)

陽イオンと陰イオンの HOMO で表したものをそれぞれ図 6,図 7 にまとめる。

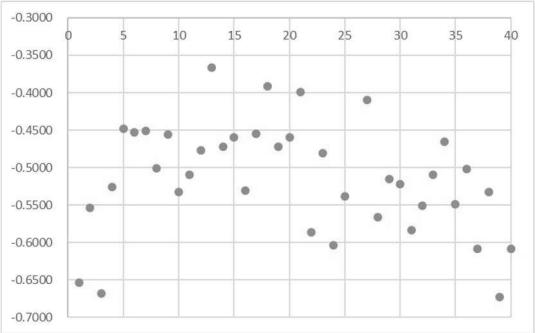


図 6.陽イオンの安定性 HOMO(au)

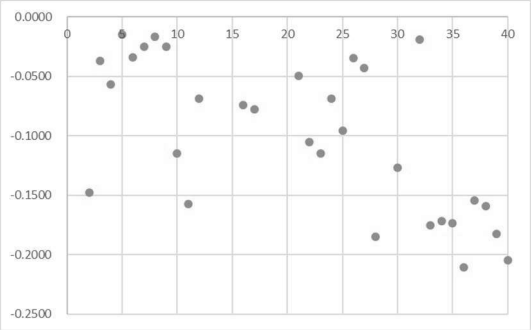


図 7.陰イオンの安定性 HOMO(au)

図 2,図 3 は左上がり、図 6,図 7 は右下がりの傾向が見える。イオン化エネルギーは小さいほど陽イオンすく、電子親和力は大きいほど陰イオンになりやすい、HOMO は小さいほど安定するため、帯電列の標準化として期待できる。

4.今後の課題

分子の増加や帯電列の並び替えについてなどが今後の課題になる。

5.参考文献

・コロナ下で不足する N95 マスクの再利用手法を開発　Tii 技術情報 2022/01/31 https://tiisys.com/blog/2020/12/18/post-82964/

・摩擦発電マットで、通過した人数の計測に成功　関西大の研究グループがシステムを東京ビッグサイトで展示　yahoo 2022/01/31 https://news.yahoo.co.jp/articles/f33ae105a7a76af96541b6f729aee6f4bc0b52b8

・川村康文 基礎から学ぼう電気と磁気~静電気からマクスウェル方程式まで~ 電気書院 2016 5p

・高柳真　トコトンやさしい静電気の本 日刊工業新聞社 2011 95p

・高橋雄造　　静電気がわかる本　原理から防止ノウハウまで　工業調査会　2007 16p

・静電気学会　コンパクト版　静電気ハンドブック オーム社 2006 132p,1016p

・nosymm 6.8. QM ‣ Gaussian メニュー 2022/01/31 https://winmostar.com/jp/manual_jp/V9/html/winmos/qm/winmos_gaussian.html

・原子単位 森北出版「化学辞典（第 2 版）」から 2022/01/31 コトバンク https://kotobank.jp/word/原子単位-1311384

等々力渓谷清流化プロジェクトにおける水質調査

分析化学研究室
1824013　小野未来
指導教員：吉田真史

1. 緒言

等々力渓谷は東京都 23 区内唯一の渓谷として、東京都の名勝にも指定され、憩いの場、学びの場として広く活用されている。しかし、この渓谷内を流れる谷沢川は水質及び臭気が問題視されている(1)。そのため水質及び臭気を調査し問題改善を行い、環境保全の促進に取り組む。そして名勝として地域活性化を目指し、世田谷区と共同で等々力渓谷清流化プロジェクトとして様々な研究が行われている。

水質の調査項目は pH、COD、DO、BOD、導電率、陽イオン、陰イオンで汚染度を測定した。そして臭気はガスクロマトグラフ質量分析計を使い成分を同定し、何の影響を受けて発生いるのかを明らかにすることを目的として研究していった。

2. 方法

11 月上旬から 12 月下旬の間で 4 回、そして下流から上流にかけての 4 箇所(地点 A から地点 D)で採水を行なった。

2－1. 測定機器

・pH：pH メーター ［ケニス株式会社　No.137-0846］	・DO：隔膜電極法 ［DO METER OM-71］
・導電率：伝導率計 ［ケニス株式会社　No.137-422 ］	・陰イオン（NO^{3-}） ［HORIBA　LAQUAtwin-11］
・陽イオン（Na^{+}、K^{+}、Ca^{2+}） ［HORIBA　LAQUAtwin-11］	・硝酸：吸光光度法 ［AS ONE　ASV11D］

2－2. COD の測定

a ブランク測定(1 回目)

蒸留水 20mL をコニカルビーカーに取り、硫酸 10mL と過マンガン酸カリウム溶液 10mL を加える。溶液を電熱ヒーターに乗せ、煮沸してから 5 分間加熱する。この溶液をシュウ酸溶液で滴定し、溶液の赤紫色が消えた点を終点とする。滴定に要したシュウ酸溶液の量(AmL)を記録する。

b 河川水中の COD の測定

河川水 20mL をコニカルビーカーに取り、硫酸 10mL と過マンガン酸カリウム溶液 10mL を加える。以下 a と同様の操作を行い、滴定に要したシュウ酸溶液の量(BmL)を記録する。

c ブランク測定(2 回目)

再度 a と同様の操作を行い、シュウ酸溶液の量を記録する。

COD は汚染水中の有機物などが酸素分子を消費した量(mg/L)である。一方シュウ酸 1mol は電子 2mol を放出するので、酸素原子 1mol を奪うことに相当する。したがって試料水の COD は次の式で求められる。

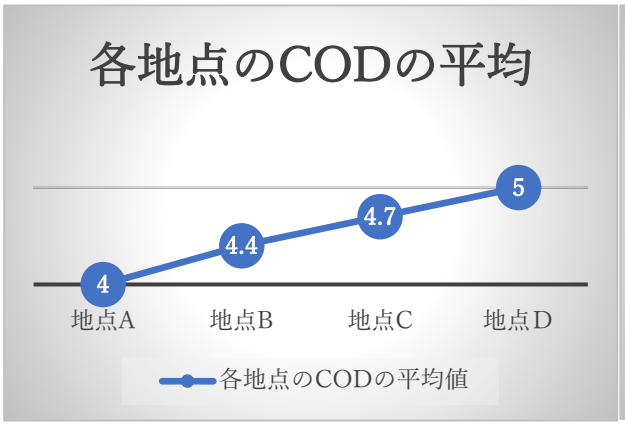
ブランク測定：AmL 試料水：BmL

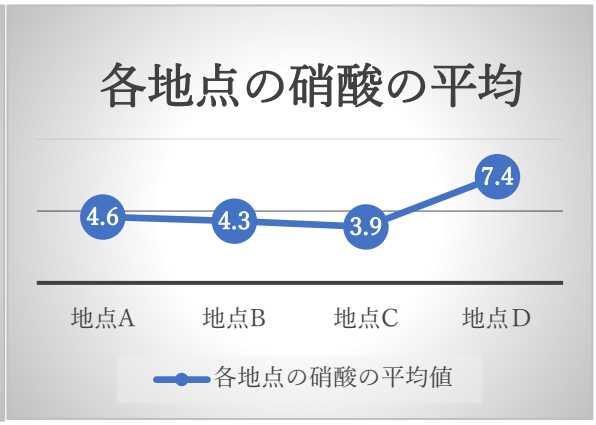
COD=0.005×(A－B)×16×1000/20

3. 結果

導電率において各日と比べて、雨天の 3 回目が最も高い値であった。

また各地点の平均値をとり比較した結果、地点 D の COD と硝酸の値が最も高かった。





4. 考察

導電率とは液体中での電気の流れやすさを示す指標である。河川は本来溶解しているものが少ない水であるため、導電率は低い。このように導電率の低い水が汚染されると導電率が上昇することから、汚染の指標にもなっている。等々力渓谷の周りは住宅街であり、雨天時には多くの生活排水が流れるため一時的に汚染されたと考えられる。

そして地点 D は水流が緩やかで上流からの水が溜まりやすいことから、有機物が酸化される時に消費される酸素量(COD)や食べ物のかす、動物の死がいなどの分解から発生する硝酸の値が高くなり、生活排水が多く流れ込み調査地点の中で最も汚染されていると考えられる。

5. 今後の課題

課題として臭気の成分の同定を、分析条件を変えていきつつこれから進めていく。

そして本プロジェクトは等々力渓谷を清流化する狙いがあることから、継続的水質調査が必要とされる。

6. 参考文献

(1) 池田享平(2013)等々力渓谷清流化プロジェクト～谷沢川ゴルフ橋付近におけるアユの生 息の可能性を探る～.東京都市大学知識工学部自然科学科卒業論文

(2)林綾子(2013)等々力渓谷清流化プロジェクトにおける水質調査.東京都市大学知識工学部自然科学科卒業論文

デジタルカメラを用いた紫外線写真の撮影

分析化学研究室
1824036　辻　拓斗
指導教員：吉田　真史

1.序論

紫外線の世界は私たち人間には見ることができない。その理由は恐竜が存在した時代にまでさかのぼる。その頃に誕生した我々の祖先の哺乳類は恐竜を恐れ、主に夜間に活動していた。夜行性のために使われない紫外線を見る事ができる錐体細胞を失い、長い歴史と時間をかけて現在の可視光領域に達したと言われている[1]。太陽からは私たちが見える可視光線（波長 380nm~780nm）の他に可視光線より波長が短い紫外線（300nm~380nm）、可視光線より波長の長い赤外線（780nm~1400nm）と電波などが地球に届いている[2]。生物の中には紫外線を利用して生活しているもの、紫外線なしでは生活が困難なものも多く存在する。

本実験では生植物を可視光線で見えるものと紫外線で見えるものとを比較して含まれる色素や紫外線吸収度の違い、それらから考えられることをデジタルカメラと紫外線を可視できるフィルターを用いて実験する。

2.実験方法

紫外線写真を撮るために準備する物はデジタルカメラとカメラレンズ、カメラを固定するための三脚、フィルター2 種類(紫外線透過フィルターと紫外線吸収フィルター)。

まずフィルターを使用せずに被写体を撮影する。次に紫外線透過フィルターを装着して撮影し、最後に可視光線透過フィルターを装着して撮影する。撮影後に編集ソフト(NX studio)を利用して 2 種類のフィルターを使用して撮影した写真を比較できるように明るさやコントラストを変更する。編集後に通常写真と 2 種類の編集した写真とを比較する。

3.結果と考察

左上:モンシロチョウ　雄　中央上:モンキチョウ 雄　右上:キタキチョウ　雄
左下:モンシロチョウ　雌　中央下:モンキチョウ 雌　右下:キタキチョウ　雌

図 1　フィルター無し

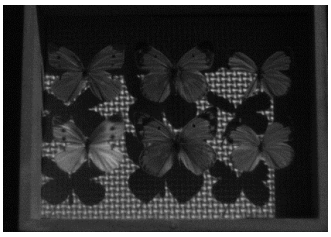


図 2 紫外線写真(編集後)

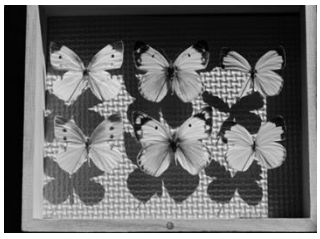


図 3 可視光線写真(編集後)

図 2 のモンシロチョウを比較すると下の雌は明るく写り紫外線を反射し、上の雄は暗く写り紫外線を吸収した。図 3 でのモンシロチョウは雄、雌共に変化はないため、人間の視覚

には雌雄の区別は一瞬では難しいことが分かる。モンシロチョウは紫外線を介し、この違いを利用して雌雄を判別していると考えられる。しかし、他の 2 羽には目立った特徴があらわれなかった。

図 4 フィルター無し

図 5 紫外線写真(編集後)

図 6 可視光線写真(編集後)

図 7 フィルター無し

図 8 紫外線写真(編集後)

図 9 可視光線写真(編集後)

次に赤系統で似た色の 2 種類(赤色・桃色)のチューリップを撮影した。図 5 を見ると暗く写り紫外線を吸収した。元々の色が赤ということ、紫外線吸収度が強いことから赤のチューリップはアントシアニンの色素を主に持つと考えられる。しかし、図 8 を見ると明るく写り紫外線を反射したことが分かる。このことから桃色のチューリップにはカロテノイドも含まれると考えられる。青いチューリップが自然界に存在しない理由はアントシアニンはものを青くする機能を持ち合わせていないためと考える。

4.結論

今回の実験でデジタルカメラに紫外線透過フィルターを装着することで紫外線写真を撮影することができた。また全ての写真を屋外で太陽光が当たる日向で撮影したため光量が多すぎたため場合によっては日陰で撮影する方が好ましい場合がある。また、私たちの目には同じや似たような色に見えるものでも紫外線を介すと真逆の色をするものが見られたことを考えるとこれからの生物の発色の見方が変わってくると感じた。

5.参考文献

[1]浅間 茂著 中公新書「虫や鳥が見ている世界-紫外線が明かす生存戦略」(2019 年)
[2]金 凡性著 岩波新書「紫外線の社会史」(2020 年)
[3]木下 充代 「アゲハが見ている『色』の世界」(2006 年)
[4]松本 省吾「理科教材としてのデジタルカメラを用いた春の紫外線写真」(2003 年)

量子化学計算による分子の電気的性質

分析化学研究室
1824040　中川　竣介
指導教員　吉田　真史　教授

・序論

計算科学とは、化学的問題の研究に直接用いられる計算をすべて網羅する一般用語である。計算科学のメリットとして、計算科学の結果を実際の実験の結果と比較することで分子の特性を特定できる。また、明確ではない実験結果を解明し、不安定な分子状態などの直接実験できないような分子の状態をモデル化し、計算できる。今回はそんなモデル化学を軸に計算していく。モデル化学は理論的手法と基底関数系の組み合わせで定義される。理論的手法や基底関数系には多くの種類がある。

表-1：理論的手法の種類（1）

手法の分類	例
半経験的手法	PM6,AM1
Hartree-Fock法	HF
Molller-Plesset摂動論	MP2,MP4
DFT法	B3LYP,APED
結合クラスター法	CCSD(T)
複合モデル	WIBD,CBS-QB3

表２：基底系（2）

基底系	結合長（Å）
6-31g(d)	0.93497
6-31g(d,p)	0.92099
6-31+g(d,p)	0.94208
6-31++g(d,p)	0.92643
6-311g(d,p)	0.91312
6-311++g(d,p)	0.9172
6-311g(3df,3pd)	0.91369
6-311++g(3df,3pd)	0.91739

上のように理論的手法も様々あり、今回使用する計算プログラムの Gaussian に含まれており、分子の状態や精度、化学的環境を踏まえて選ぶことができる。また、基底関数も様々あり、測定する分子の実験値と近いものを使うと精度がよくなる。（1）

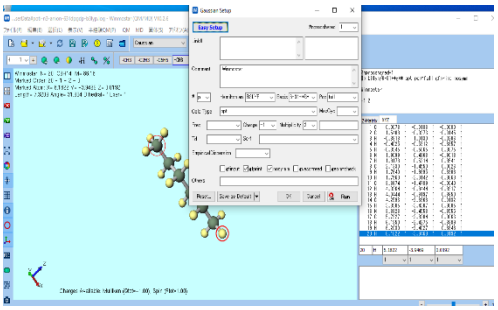
本研究は、有機高分子が静電気を帯びる現象を、量子化学計算によって考察することを目的とする。

・条件と方法

・計算するポリエチレン、テフロン、ナイロン 6 はそれぞれ炭素数 6 で計算した。また、分子の両端には水素をつけ、モデル化した。

・今回使用した理論的手法は B3LYP、UHF で基底系は 6-31g(d)、6-31++g(d,p)でそれぞれ組み合わせて行った。

・右のような画面で操作を行う。Winmostar の使い方は公式サイトに載っているので省略する。



・結果

表３：それぞれの手法の計算結果

uhf 6-31g	E（au）	homo(eV)	lumo(eV)
ポリエチレン(中性)	-235.2715441	-11.8098	6.2056
陽イオン	-234.9368815	-15.8689	-1.7410
陰イオン	-235.0783176	-0.8433	10.5711
ナイロン（中性）	-363.9121678	-10.0105	3.9100
陽イオン	-363.6476903	-13.8275	-0.7619
陰イオン	-363.8396500	-0.0871	8.4358
テフロン(中性)	-1421.1358463	-15.0811	3.5285
陽イオン	-1420.6611708	-18.3008	-6.6382
陰イオン	-1421.1261837	-4.9707	8.2652
b3lyp 6-31g	E（au）	homo(eV)	lumo(eV)
ポリエチレン(中性)	-237.0290990	-8.3003	2.4942
陽イオン	-236.6752544	-13.0095	-2.4822
		-13.9720	-10.8671
陰イオン	-236.8784372	5.6700	6.4619
		-3.5690	6.7925
ナイロン ver2	-366.3184323	-5.8249	-0.9080
陽イオン	-366.0287580	-11.5711	-5.1059
		-10.4851	-9.7645
陰イオン	-366.2682162	3.3949	4.5772
		1.0134	4.5791
テフロン	-1427.5439680	-9.9509	-0.9859
陽イオン	-1427.1178643	-14.6101	-5.5672
		-14.6531	-13.1962
陰イオン	-1427.5518080	0.3665	3.5388
		-4.7644	2.6752

uhf 6-31++g**	E（au）	homo(eV)	lumo(eV)
ポリエチレン(中性)	-235.3910587	-11.9431	1.2591
陽イオン	-235.0149188	-17.2556	-2.6028
		-17.2112	-6.7860
陰イオン	-235.3449791	1.2485	3.1304
		-8.8813	3.8920
ナイロン（中性）	-364.1083186	-10.5999	1.0240
陽イオン	-363.8305093	-13.6710	-3.1611
		-13.6705	-5.3103
陰イオン	-364.0727187	0.9026	3.2365
		-7.2407	3.5282
テフロン（中性）	-1421.6635124	-13.9388	1.1943
陽イオン	-1421.2420352	-17.2264	-4.5590
		-19.2997	-6.6921
陰イオン	-1421.6249351	-5.5408	3.3873
		-6.2992	3.3873
b3lyp 631++g**	E（au）	homo(eV)	lumo(eV)
ポリエチレン(中性)	-237.1114002	-8.4685	-0.1752
陽イオン	-236.7544714	-13.1151	-4.0131
		-14.0901	-10.9033
陰イオン	-237.0877929	1.4928	1.9418
		-5.3762	2.1595
ナイロン（中性）	-366.4650158	-6.7133	-1.0944
陽イオン	-366.1602686	-11.6696	-5.0785
		-10.6677	-9.9058
陰イオン	-366.4549542	1.2958	1.7328
		-3.0855	2.0659
テフロン（中性）	-1427.9754655	-9.6649	-0.7524
陽イオン	-1427.5678104	-14.0095	-5.0025
		-14.2637	-12.4745
陰イオン	-1427.9848316	-0.9293	2.2583
		-3.3280	2.1315

計算の結果、上記のように大きく４つのデータが得られた。また、H や F が時々離れてしまう現象が起こった。

・考察

４つのそれぞれの分子の陰イオンの homo の値より、陰イオンの状態は非常に不安定であるとわかった。しかし文献ではポリエチレンとテフロンは陰イオンになりやすいとなっている。そこから考えられることは、実際に存在する形が違うか、分子量を増やしたら変化するかなどが考えられる。実際に考えられる形として簡単に言えば、ポリエチレンは C6H14 →C6H13$^-$＋H$^+$などである。一方テフロンは C6F12H2→C6F12H$^-$＋H$^+$などが考えられる。加えてこの 3 つの総合的な電気陰性度の比較は、文献通りには出なかった。そこで考えられるのは、分子量の違いや、基底関数や手法の違い等が考えられる。

・今後の課題

考察に挙げた、違う形で存在していると考えられる分子の測定や新たな手法での測定、n を増やし分子量を増やして計算してみる。等が今後の課題として考えられる。

参考文献：[1] James B.Foresman, Eleen Frisch 共著　電子構造論による化学の探求第 3 版
[2] 基礎科学資料 http://ttf.pc.uec.ac.jp/www.page/ishidaH18/abinitio.pdf (2022/1/20)
[3]大野,山門,岸本 共著量子化学－分子軌道への視覚的アプローチ－第一版　裳華房

等々力渓谷の水質調査～等々力渓谷清流化プロジェクト～

分析科学研究室
1824042　中田　一旗
指導教員：吉田　真史

1.　序論

等々力渓谷は東京都 23 区内で唯一の渓谷である。トドロキという地名は全国に数多く、そのほとんどが川の流れの激しいところや滝のあるところだ。等々力渓谷が現在の深さに至るまでに、途中に滝ができ崩壊し、そしてまた滝ができを繰り返したと推測されている。崩壊の音がまさに轟くような音であったことから、トドロキという地名になったとされている。等々力渓谷は豊かな水源と地形から自然あふれる場所となっており、秋には紅葉など見どころが多く東京都の「名勝」に指定されている。現在は主に観光地として多くの人々が憩いの場として利用している。

本研究では平成 27 年から世田谷区と本校が共同で実施している、等々力渓谷に関する環境調査と環境対策を目的として清流化と小魚が生育できる環境づくりを行う「等々力渓谷清流化プロジェクト」の中で、小魚が生育できる環境づくりを軸に調査を行う。環境指標生物の中で、水産 2 級に該当する「アユ *Plecoglossus altivelis*」、水産 3 級に該当する「コイ *Cyprinus carpio*」が生息できる環境か調査し、観光名所の価値を高める目的とする。

2.　実験方法

等々力渓谷 4 地点の水質調査を軸に置き、追加検証として等々力渓谷内にある養殖池、多摩川の水を採取し表 1 の方法で水質の分析を行った。採取地点は図 1 参照。

表 1.測定項目の実験方法と測定機器

調査項目	方法	測定機器（型番・メーカー）
ph	ph試験紙	0710110・ADVNTEC
COD(mg/L)	過マンガン酸カリウムを用いた測定	下記に記載
DO (mg/L)	溶存酸素計	PDO-519・FUSO
導電率（μs/cm)	伝導率計	137-0426・ケニス
BOD(mg/L)	BOD-BART 試験法	BOD-BART・エムケーサイエンティフィック
NA^{+}	ナトリウムイオンメーター	3200689159・堀場
K^{+}	カリウムイオンメーター	3200689160・堀場
NO^{3-}	硝酸イオンメーター、吸光光度法	3200689162・堀場、ASV11D・アズワン
Ca^{2+}	カルシウムイオンメーター	3200689161・堀場
大腸菌	大腸菌群試験紙	080510-301・柴田化学
一般細菌	一般細菌試験紙	080510-302・柴田化学

・過マンガン酸カリウムを用いた測定方法

蒸留水 20mL をホールピペットでコニカルビーカーに取り、メスシリンダーを用いて 6M 硫酸 10mL 加え、ホールピペットで 0.002 過マンガン酸カリウム溶液 10mL を加えた。上の溶液を電熱ヒーターで煮沸してから 5 分間加熱した。加熱した溶液を 0.005M シ

ュウ酸溶液で滴定した。滴定の際は、温度を 70～90℃に保ちかくはん器を使用する。終点は溶液の色が消えた点とし、滴定に要したシュウ酸溶液の量(AmL)を記録した。
採取した試料 20mL をホールピペットでコニカルビーカーに取り、メスシリンダーを用いて 6M 硫酸 10mL 加え、ホールピペットで 0.002 過マンガン酸カリウム溶液 10mL を加える。溶液の準備が完了したら、上記と同様の操作を行い滴定に要したシュウ酸溶液の量(BmL)を記録した。記録した値を使い下記の計算式で COD の値を求めた。

$$COD(mg/L) = 0.005 \times (A-B) \times 16 \times 1000/20$$

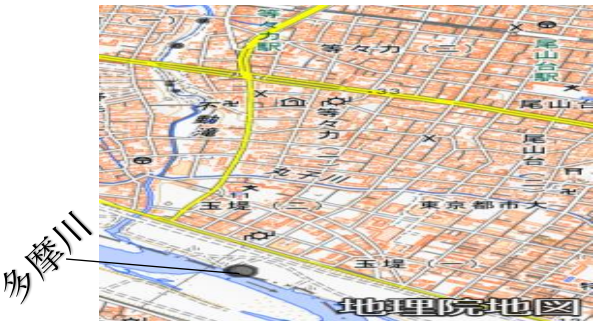


図 1.採取地点全体図

図 2.等々力渓谷採取地点

3. 結果

表 2.等々力渓谷の調査結果平均値

採取地点	A	B	C	D
ph	7.0	7.0	7.0	7.1
COD(mg/L)	4.0	4.4	4.7	5.0
DO (mg/L)	9.8	10.3	10.9	10.0
導電率（μs/cm)	318.3	346.5	359.0	381.8
BOD(mg/L)	＜5(28.8時間)	＜5(28.0時間)	＜5(27.6時間)	＜5(27.2時間)
NA^+	15.8	13.8	13.5	13.3
K^+	4.3	3.7	4.3	3.7
NO^{3-}	7.3	6.3	6.1	7.5
Ca^{2+}	34.8	34.3	35.3	36.3

表 3.多摩川・湿地観察地点の調査結果平均値

採取地点	多摩川	湿地観察地点
ph	7.1	6.8
COD(mg/L)	7.3	7.7
DO (mg/L)	12.1	9.6
導電率（μs/cm)	324.3	215.7
BOD(mg/L)		＜5（28時間）
NA^+	50	28
K^+	9.3	4.0
NO^{3-}	10.3	6.4
Ca^{2+}	74	54.5

表 4.大腸菌・一般細菌の調査結果平均値

採取地点	A	B	C	D	多摩川	湿地観察地点
大腸菌	6.0	11.3	10.3	4.0	9.7	4.3
一般細菌	28.3	35.7	34.7	17.0	1.0	1.7

4. 考察

アユの生息条件から、COD が条件より上回っている。COD 値が高いのは谷沢川上流から流れる生活排水が原因である考えられる。

5. 結論

アユの生息は厳しいが、コイは生息が可能。

6. 今後の課題

コイを放流させる場合の問題(生態系破壊)と代替案(サワガニの観光地としてどうか)。
谷沢川水路工事による今後の影響。

ムロカカの成分分析

分析化学研究室
1824045 西島遼太
指導教員:吉田真史

1.緒言

ムロカカ(Vitex trifolia L. var. bicolor (Willd) Moldenke)はシソ目シソ科ハマゴウ属の植物である。南太平洋地域に位置するフィジー共和国ではムロカカが薬用植物として利用されている。本実験ではムロカカにはどのような成分が含まれているかを分析する。また、今回は実際にフィジー共和国で採取されたムロカカを使用する。

2.実験方法

本実験でのムロカカの葉の分析では、「水蒸気蒸留法」と「溶媒抽出法」を用いてムロカカの葉の成分を摘出し、ガスクロマトグラフ質量分析計で測定する手法を用いる

①ガスクロマトグラフ質量分析計(水蒸気蒸留法)

ムロカカの葉 70g、水 400ml、氷を水蒸気蒸留装置(図 1)の指定の位置に配置した。その後水が沸騰してから、氷の追加と水が零れ落ちないように注意しながら 40 分間待機した。そうして(抽出された水溶液:ヘキサン=7:3)となるようにかき混ぜ、異物を取り除くためろ過を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計で分析した。

図 1:水蒸気蒸留装置

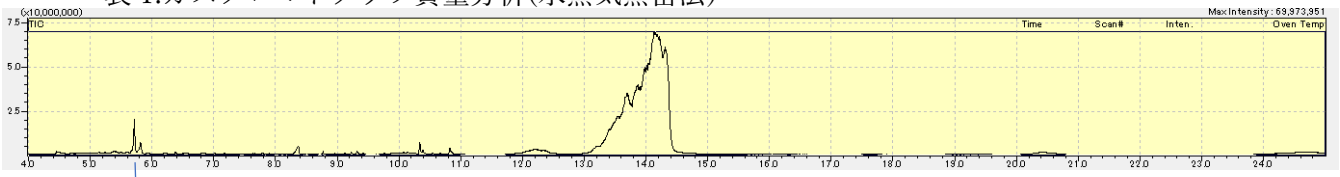
②ガスクロマトグラフ質量分析計(溶媒抽出法)

ヘキサン 50ml、ムロカカの葉 5g をビーカーに入れ、超音波洗浄機(図 2)に配置した。その後ビーカーに入らないように水を超音波洗浄機に加え、20 分間振動させた。そうして出来たヘキサンを溶媒とした水溶液からムロカカを取り除くためにろ過を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計で分析した。

図 2:超音波洗浄機

3.結果

表 1.ガスクロマトグラフ質量分析(水蒸気蒸留法)



3-Caryophyllene

表 2.ガスクロマトグラフ質量分析(溶媒抽出法)

Benzene

β-Caryophyllene

1-Caryophyllene

Tetratriacontane

表 2 ではβ-Caryophyllene や Tetratriacontane など過去の文献に見られた成分と一致したが、表 1 では 3-Caryophyllene が見られたものの他に特筆する成分は見られなかった。

4.考察

Caryophyllene は末梢性カンナビノイド 2 受容体を活性化させて痛みを抑制する効果があるため、フィジー共和国ではそこに着目して医療植物として使用されていると考える。

5.今後の展望

ムロカカとの比較として、緑茶や紅茶の成分の分析を行う。共通点や異なる点から新しい観点で考察していきたい。また、蛍光 X 線分析計を用いた分析も行っていきたいと考えている。

6.参考文献

・土屋利一「GCMS とその応用」株式会社講談社、昭和 49 年 4 月 10 日
・村田柚葉「南太平洋地域において伝統医療に用いられる天然物の研究」平成 30 年
・「VapeMania」 https://vapemania.Tokyo/features-and-effects-of-beta-caryophyllene/ 閲覧日:令和 4 年 1 月 29 日
・勝山壮「ベータカリオフィレンのマウス後肢足蹠内皮下投与によるカプサイシン誘発性侵害刺激および神経障害性疼痛に対する抑制効果」Aroma research= アロマリサーチ: journal of aroma science technology and safety 15 (2), 133-139, 平成 26 年

南太平洋地域の薬用植物ムロカカの精油に関する研究

分析科学研究室
1824063　渡邉　春介
主査：吉田　真史

1.諸言

フィジーを含む南太平洋地域（図.1 参照）では、オイルマッサージや民間治療に薬用植物が利用されている。薬用植物から効能を得る過程については、有機化合物の加工や抽出などで日本や中国と同様である。これらの地域では、慢性的な医療従事者不足や、島国で他国の影響を受けにくい現状がある為、現在も頻繁に薬用植物を用いた治療法が継続していると考えられる。上記に加え、植物資源の豊富さ故に植物の成分などの科学的検証が行われていないことが課題である。

本研究では、フィジー共和国に自生するムロカカ（Vitex trifolia var. bicolor）を研究対象として扱った。

図. 1　フィジー共和国

図２．ムロカカ葉

ムロカカとは、フィジー産シソ科ハマゴウ属の植物で、沿岸に分布し約４ｍ の低木である。本研究では、参考論文に倣って水蒸気蒸留や超音波抽出によって生成した抽出液をGC―MS を用いて分析することにした。ムロカカが属するハマゴウ属は、鎮痛、消炎作用や婦人科系の症状改善に効果があると報告されており、これらに有効性のある成分は、揮発性が高い為、上記の方法を選択した。

２.実験方法

２－１水蒸気蒸留

水蒸気蒸留は、沸点の高い物質を水と蒸留することでその物質の沸点よりも低い温度で留出させる方法。精油の抽出によく用いられる。

本研究では、ムロカカ 30g に蒸留水 600ml を加え一時間蒸留を行った。

２－２溶媒抽出

試料に溶媒を加え、溶解度の差を利用して試料中の特定の成分を溶媒層に移して、ほかの物質から分離させる方法。極性物質は、極性の大きい溶媒に溶けやすい。本研究では、抽

出速度をあげる為、超音波抽出洗浄機を用いた。
また溶媒としてヘキサン、エタノール、メタノールを用いた。
２－１、２－２で得た抽出液をガスクロマトグラフィー質量分析計（GC-MS）を用いて分析・同定を行った。

３.結果と考察

水蒸気蒸留の TIC を図. 3 に示す。4.460min では、類似度 82%で cineol を確認できた。これは、呼吸器系の症状に効果があると報告されている。5.713min では、類似度 94%で terpinen4-ol が確認できた。これは、モノテルペノイドであり抗菌作用、鎮静鎮痛作用があると報告されている。10.337min では、セスキテルペンの一種である 6-epi-shoubunol が 78%で確認できた。次にヘキサンでの溶媒抽出の TIC を図.4 に示す。
溶媒抽出でも水蒸気蒸留と同様に 4.440min では、類似度 84%で cineol を確認できた。
7.0min 付近では、香気成分である promanoic acid を類似度 89%で確認できた。
23.220min では、Viridiflorol を溶媒抽出のみで検出できた。以上の結果から、鎮痛、消炎作用に効果のある成分は、検出することができたが、婦人科系に関しては検出することができなかった。

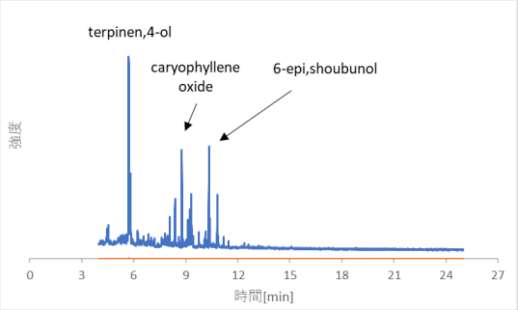


図.3 水蒸気蒸留物の TIC

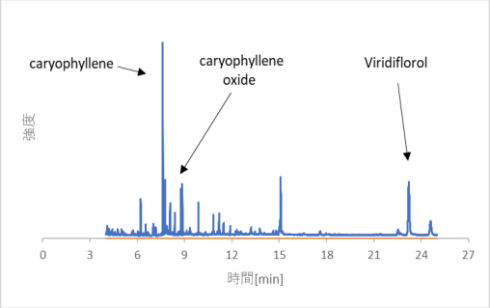


図.4 ヘキサン抽出物の TIC

４.今後の展望

水蒸気蒸留とヘキサン抽出では、検出できる成分に違いが見られたことからヘキサンよりも極性が高い溶媒を用いて抽出する。また、同様の実験方法で他の植物と比べる。

５．参考文献

村田　柚葉　（2018）「南太平洋地域において伝統医療に用いられる天然物の研究」東京都市大学

内山一美、小森享一　（2012）「ガスクロマトグラフィー」日本分析化学会

格子ガスオートマトン法を用いた渦の生成シミュレーション

基礎物理学研究室
1824016　金子竜大
指導教員：堀越篤史

1. 緒言

流体のつくる渦は日常生活でも目にすることができる面白い現象である。流体のダイナミクスをシミュレーションするとき、流体の方程式を解くマクロな視点からのアプローチと、流体を構成する粒子の運動方程式を解くミクロな視点からのアプローチがある。両者の中間にあたるのが格子ガスオートマトン法であり[1]、空間を格子状に区切り、格子点上を仮想的な粒子が動くというルールで計算を行う。本研究では格子ガスオートマトン法を用いて渦の生成シミュレーションを行い、渦の生成条件を検討した。

2. 格子ガスオートマトン法

今回は格子ガスオートマトン法の中の FHP-Ⅲモデルを用いた[1]。これは 2 次元のモデルであり、空間は三角格子に区切られ、1 つの格子点に同じ運動量を持った粒子は 2 つ以上存在できないとする。静止粒子と 6 方向の運動量の粒子の有無から 1 つの格子点が取りうるのは2^7=128 状態となる。運動量を持つ粒子は 1 ステップの時間発展で隣の格子点まで移動し、粒子同士は衝突すると運動量を保存するように散乱する(図 1)。FHP-Ⅲモデルは質量と運動量が保存するモデルであり、系を粗視化すると流体の方程式であるナビエ・ストークス方程式に等価なダイナミクスが得られることが知られている[2]。

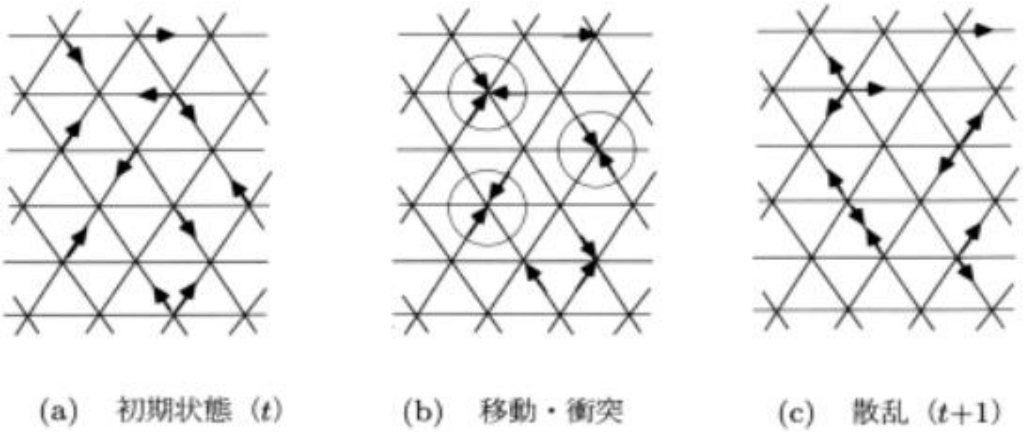


図 1. FHP モデルによる時間発展ルール[3]

3. シミュレーションの詳細

格子数を 500×1000、上下境界を滑りなし壁、左右境界を周期境界とした。横軸 199 の位置に様々な長さの板を障害物として設置した。初期条件は障害物と上下境界を除く全ての格子点に右向きの運動量の粒子がある状態とし、粒子は壁や障害物に当たると反射するものとした。

時間ステップは 10000 ステップとし、20 ステップ毎に格子数 20×20 の領域で運動量を平均して流速$\boldsymbol{u}(x,y)$を求めて出力し、流速のアニメーションを作成した。また渦の生成消滅を定量化するために流速から渦度$\omega(x,y)$を求め、これもアニメーションを作成した。ここで渦度は流速のx成分とy成分を$u(x,y)$、

$v(x,y)$として $\omega(x,y)=\dfrac{\partial v}{\partial x}-\dfrac{\partial u}{\partial y}$ であり、渦が反時計回りのとき、渦度は正となる。

4. 結果と考察

図 2、図 3 は板の長さ 40 でシミュレーションした時の 5000 ステップ目の様子、図 4、図 5 は板の長さを 100 に広げた場合の 5000 ステップ目の様子である。障害物が大きいほうが同じステップ数でも乱れ方が大きく、時計回り、反時計回りの渦が交互に分布するカルマン渦列の生成が確認できる。これはレイノルズ数の増大により渦の生成パターンが変化するという理論と整合している[1]。

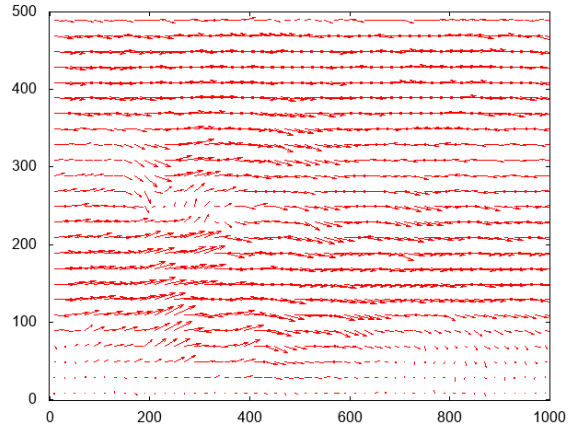


図 2. 流速$\boldsymbol{u}$（板の長さ 40）

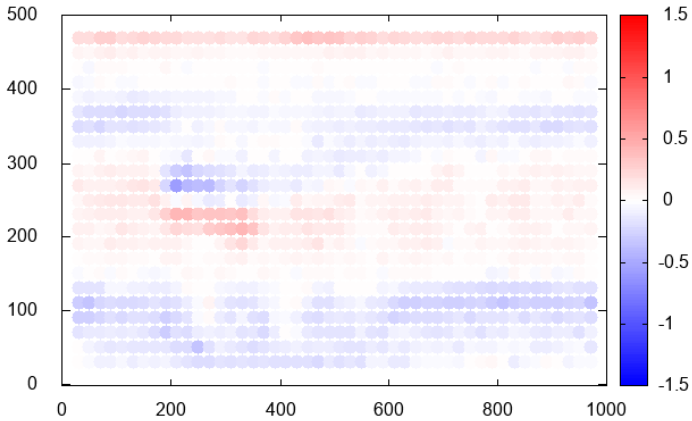


図 3. 渦度ω（板の長さ 40）

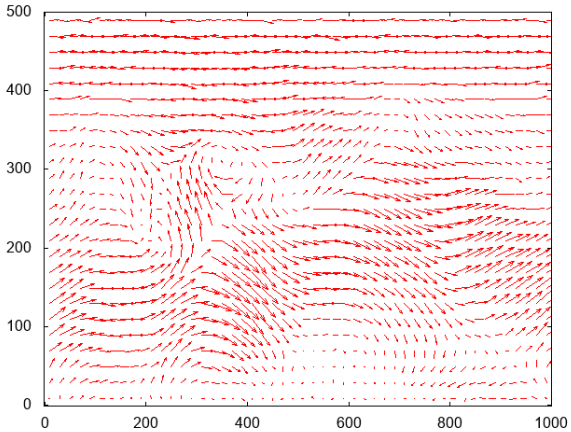


図 4. 流速$\boldsymbol{u}$（板の長さ 100）

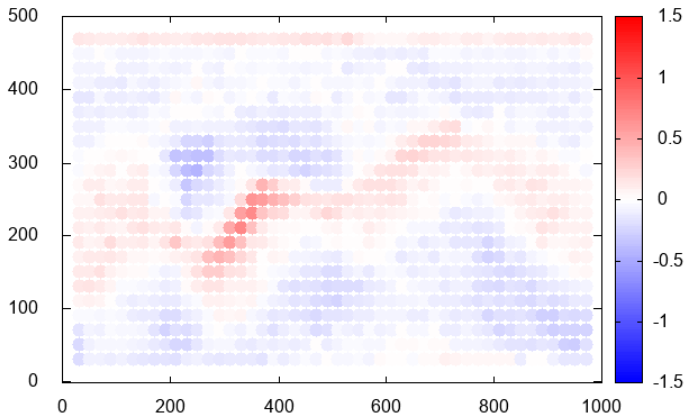


図 5. 渦度ω（板の長さ 100）

5.参考文献

[1] 加藤恭義, 光成友孝, 築山洋 「セルオートマトン法」 , 森北出版株式会社, 2010 年.

[2] 吉沢克己 「セル・オートマトン法による流れの数値解析」, 日本機械学会論文集(B 編), p183~190, 1991 年.

[3] 小野田茂定 「セルオートマトン法による流れの数値シミュレーション」, 中央大学大学院院修士論文, 2002 年.

BigRIPS における超高速プラスチックシンチレーション検出器を用いた時間測定システムの性能評価

実験原子核物理研究室
1824008　宇根　千晶
指導教員　西村　太樹

1. 緒言

原子核には自然界に存在する約 250 種類の安定原子核だけでなく、自然界に存在しない 3000 種類以上の不安定原子核 (不安定核) があり、これらの構造はまだ完全には解明されていない。 全ての原子核の構造を包括的に理解するためには、陽子と中性子の様々な組み合わせを持つ原子核を対象に研究することが重要である。加速器開発技術の発展に伴い、最近では陽子数に対して中性子数が極端に多いあるいは少ない不安定核を加速器で人工的にビームとして作成することが可能となってきた。[1] 不安定核ビームには様々な種類の原子核が混ざっているために、数種類の検出器を用いて各粒子がどの種類の原子核かを識別 (粒子識別) する必要がある。不安定核ビームの質量数 A と原子番号 Z、速度 v を決定する粒子識別には B ρ-TOF-Δ E 法が一般的に良く利用されており、プラスチックシンチレーション (PL) 検出器が飛行時間 TOF の測定に使用可能である。PL 検出器の仕組みは以下の通りである。まず、荷電粒子がシンチレータに入ると分子が励起され、その分子が脱励起するときに光を放出する。次に、その光が光電子増倍管の光電面で光電効果を起こし電子が発生する。そして、その電子を電子増倍管で電気信号として読み取れるぐらいまで増幅させ、信号がきた時間を決定する。飛行時間の T OF は 原子核の質量数 A と電荷の比である 質量数電荷比 A/Q にほぼ反比例 しているので、P L 検出器の TOF の分解能を向上させることで、精度の高い粒子識別を可能にする。本研究では不安定核ビームの検出に用いる PL 検出器を自作し、その性能を原子核の種類を識別するために十分な分解能に到達させることを目的としている。

2. 実験方法

理研 RIBF の BigRIPS では不安定原子核ビームを生成し分離・識別している。これらのビームの粒子識別に必要な飛行時間 (TOF) 測定には PL 検出器を用いている。この検出器の時間分解能をさらに向上させるために、シンチレータと光電子増倍管を新しく選定することで開発し、TOF 測定システムを改良した。プラスチックシンチレータには BigRIPS 標準の EJ230 よりも、光量を減らす代わりに立ち上がり時間を速くした超高速応答の EJ232 を使用した。光電子増倍管 には走行時間拡がりが小さい R13089 を使用した (図１)。データの収集には、信号輸送や電子回路のジッターによる固有時間分解能の影響を評価するために、既存の TDC とは並列に TAC-ADC を用いた。性能評価実験を理研 RIBF の BigRIPS で行った。1 次ビーム ^{238}U を厚さ 3 mm の Be 標的に照射し生成した ^{130}Sn を含む 2 次ビームの TOF 測定を行った。F3 と F7 焦点面に置かれた 2 台の標準 PL 検出器に加えて新規開発した PL 検出器の合計 3 台の組み合わせによって TOF を測定し、それぞれの検出器の時間分解能を導出・比較した。さらに、新規開発した PL 検出器 を用いて測定した TOF から $BigRIPS$ の F3-F7 間における核種の質量電荷比 A/Q の分解能を導出し、標準の検出器を用いた場合の結果と比較した。

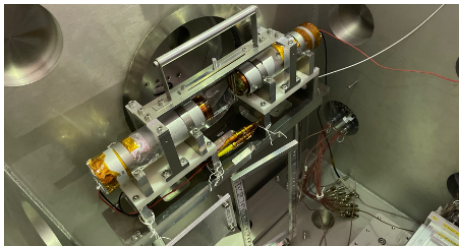


図 1　実際に使用した PL 検出器。プラスチ ックシンチレータに EJ232、光電子増倍管に R13089 を使用した。

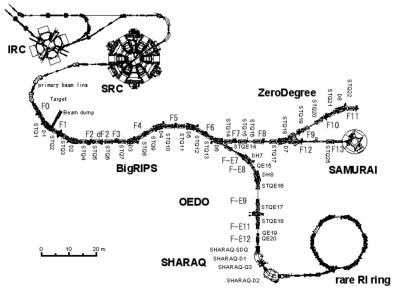


図 2　BigRIPS の BeamLine

3. 実験結果

実験で得られた電離箱検出器で測定されたエネルギー損失 Δ E、2 台の PL 検出器で測定された飛行時間 TOF を用いて計算できる Z を縦軸、TOF と B ρ から求まる AoQ を横軸とした PI 図の結果と LISE で求めた理論値の PI 図を示す。[2] 図中のそ れぞれの丸い塊が異なる質量数 A と原子番号 Z を持った粒子に対応している。F3PL-F7PL1 の TOF を用いた PI 図と今回、最新のプラスチックシンチレータと光電子増倍管を用いて作成した検出器で測定した F3PL-F7PL2 の TOF を用いた PI 図、また理論値と実験値の PI 図を比較した。

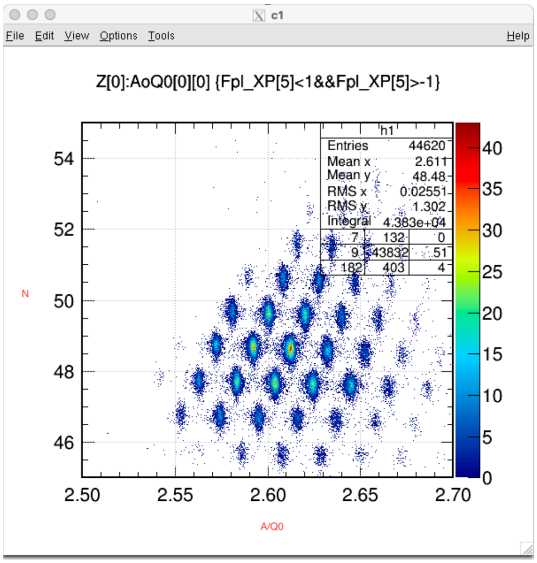


図 3　F3PL-F7PL1 の TOF を用いた PI 図 (実験値)

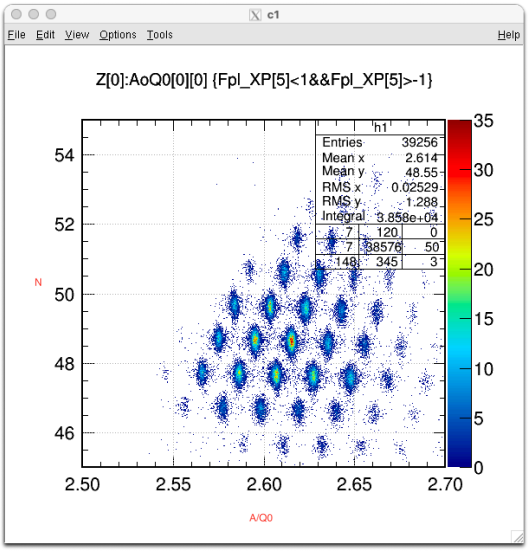


図 4　F3PL-F7PL2 の TOF を用いた PI 図 (実験値)

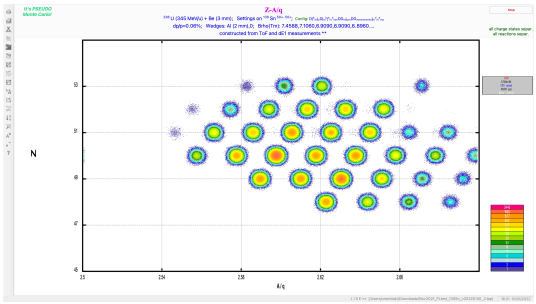


図 5　F3PL-F7PL1 の TOF を用いた PI 図 (理論値)

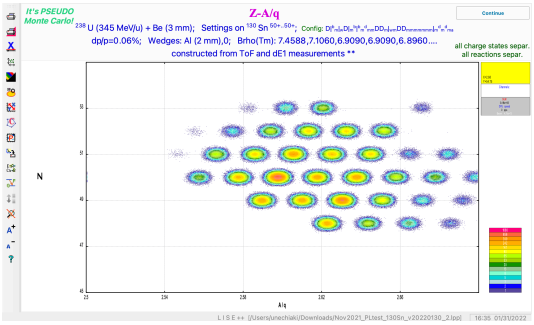


図 6　F3PL-F7PL2 の TOF を用いた PI 図 (理論値)

4. 結論および今後の展望

BigRIPS における超高速 PL 検出器を自作し、その PL 検出器と既存の PL 検出器 TOF から求める Z と AoQ を使って PI 図を作ることができた。しかし、理論値と Z,AoQ の値がずれていたり目標としている PI 図の分解能まで届かなかったので今後は TOF や Δ E の calibration をやり直し、slew 補正や運動量補正などの依存性を無くす補正を行い、その性能が質量数電荷比 A/Q の識別性能をさらに向上させる。

5. 参考文献

[1]　菅家 悠生 東京理科大学 2015 年修士論文
[2]　高橋 弘幸 東京都市大学 2019 年学士論文

相対論的原子核衝突にて生成される
クォーク・グルーオン・プラズマの熱平衡化時間

理論物理研究室
1824060　大和 祐貴
指導教員　長田 剛

1　諸言

我々の世界の物質は原子からできており、その中心には原子核が存在する。原子核の周りは電子が電気的な力で束縛されており、原子核の電荷数と電子の数は等しく、原子は全体として中性の状態にある。通常の原子核は、陽子と中性子から成り立ち、これらはそれぞれ 3 つのクォークから構成されている。これらのクォークはグルーオンという力を媒介する粒子によって強く束縛されており、現在の宇宙では、クォークは単体では存在することができず、ハドロンの中に閉じ込められている。しかし、現在の素粒子物理学の標準模型を構成する、量子色力学 (Quantum Chromo Dynamics) によると、通常の核物質から、クォークとグルーオンがハドロンの閉じ込めから解放された状態、Quark-gluon plasma(QGP) への相転移を予言している。宇宙初期 (宇宙開闢から 10^{-5} 秒後) は、超高温・高密度状態であったため、QGP で満たされていたと考えられている。

QGP を実験室上で生成するための唯一の方法は、相対論的原子核衝突実験である。本研究では、欧州原子核研究機構 (CERN) の衝突型加速器 Large hadron collider(LHC) 実験で得られた、核子あたりの衝突エネルギーが $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV の鉛原子核衝突で生成された熱光子の横運動量 ($\boldsymbol{p}_T$) 分布 [1] を用いて、Pb-Pb 衝突で生成された核物質が局所熱平衡化するまで、すなわち QGP が生成されるまでの時間を調べた。

2　理論

QGP では、クォークが反クォークと相互作用して光子とグルーオンを生成する過程 $q+\bar{q} \to \gamma+g$(図 1(a)) により、光子が生成される。類似の電磁相互作用による $q+\bar{q} \to \gamma+\gamma$ の反応断面積は $q+\bar{q} \to \gamma+g$ の断面積より (α_e/α_s) のオーダー、つまり約 0.02 倍程度である [2]。ここで、α_e は微細構造定数 ($\alpha_e = e^2/4\pi$)、α_s は強い相互作用結合定数 g と ($\alpha_s = g^2/4\pi$) で関係づけられている。したがって、QGP での対消滅による光子生成では、$q+\bar{q} \to \gamma+g$ 過程が主要な寄与をする。次に、グルーオンとクォークまたは反クォークが相互作用して光子を生成する第二の過程 $g+q \to \gamma+q$ または $g+\bar{q} \to \gamma+\bar{q}$ は、ファインマンダイアグラム（図 1(b)）で表される。グルーオンがクォークや反クォークに散乱して光子を生成する反応は、光子が荷電粒子により散乱するコンプトン反応に類似するので、この過程はコンプトン過程と呼ばれる。

(a) 対消滅過程　　**(b)** コンプトン過程

図 1: 光子生成に関わるファインマンダイアグラム

QGP において、熱光子生成率はこれらの過程を足し合わせた

$$E_\gamma \frac{dN_\gamma}{d^4x d^3\boldsymbol{p}_\gamma} = \frac{5}{9}\frac{\alpha_s\alpha_e}{2\pi^2} f_q(\boldsymbol{p}_\gamma)\, T(\tau)^2 \left[\ln\left(\frac{4E_\gamma T}{m^2}\right) + \frac{C_{\rm cmp}+C_{\rm ann}}{2}\right] \tag{1}$$

で表現でき、(1) 式を光子の生成が行われる時空間で積分したものが観測される光子の運動量分布となる [2]。

ここで、$T(\tau)$ は、QGP の温度であり、1 次元縦方向の流体膨張の効果を取り入れ、$T(\tau) = T_0(\tau/\tau_0)^{1/3}$ としている。$f_q(\boldsymbol{p}_\gamma)$ はクォークの分布関数であり、$\frac{1}{e^{E_\gamma/T(\tau)}+1}$ で与えられる。m は光子の質量であり、通常 $m = 0$ であるが、遮蔽効果により $m = gT/\sqrt{6}$ [3] としている。また、C_{cmp} 及び、C_{ann} は定数であり、それぞれ 0.41613、1.91613 である。特に、mid-rapidity 領域 ($y \approx 0$) の光子の運動量分布は、

$$\left.\frac{dN_\gamma}{dyd^2\boldsymbol{p}_T}\right|_{y\approx 0} = S_T \int_{-\eta_c}^{\eta_c} d\eta \int_{\tau_0}^{\tau_f} \tau d\tau \frac{5}{9}\frac{\alpha_s\alpha_e}{2\pi^2}\frac{1}{e^{p_T\cosh(\eta)/T(\tau)}+1}T^2(\tau)\left[\ln\left(\frac{3.7388}{4\pi\alpha_s}\frac{p_T\cosh(\eta)}{T(\tau)}\right)\right] \tag{2}$$

となる。なお、τ_0 は QGP が熱平衡状態に到達するまでの時間 $T(\tau)$ は、QGP の温度を表している。η は擬ラピディティを表し、η_c はその最大値 1.4 を採用した [1]。また、τ_f は光子生成が終了した時間である。本研究では、(2) 式を ALICE 実験 [1] の直接光子の観測結果と比較をし、クォーク・グルーオン系の時空間発展における熱平衡化時間 τ_0 を推定する。

3 結果

光子の横運動量が 1〜3 GeV 程度の範囲では、QGP からの熱光子が直接光子の支配的成分になると予想される。従って、この領域で観測された熱光子の横運動量 ($\boldsymbol{p}_T$) 分布と理論式 (2) との比較を行うことで、τ_0 が 0.4〜0.6 fm で実験値を非常に良く再現することがわかった (図 2)。なお、解析には χ^2 フィッティングを用い、温度 T と熱平衡化時間 τ_0 が実験データを再現する値を求めた (図 3)。さらに、他の衝突中心度についての解析結果は本論にて述べる。

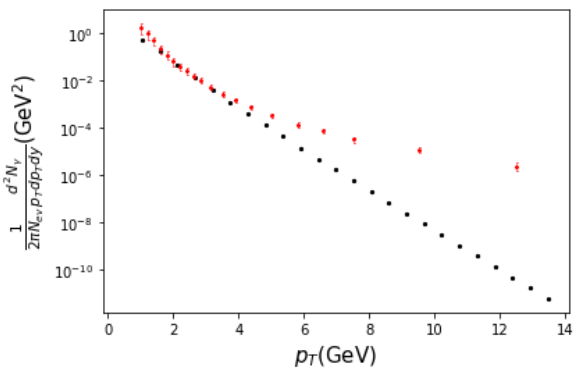


図 2: 単位 Rapidity、単位横運動量あたりに生成される熱光子数と理論式 (2) ここで、衝突中心度は 0 〜 20 % である [1]

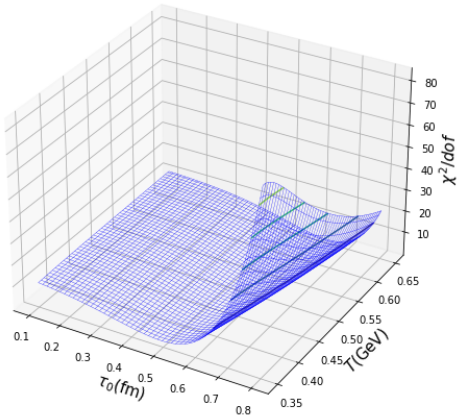


図 3: 温度 T と熱平衡化時間 τ_0 の χ^2 プロット

4 結論・考察

LHC の Pb-Pb 衝突では QGP の生成が強く示唆されているが、本研究の QGP の生成を熱光子の理論計算によっても矛盾のない結果を確認することができた。生成された QGP 内でクォーク・反クォークの対消滅及びコンプトン過程による計算は、実験値を良く再現している。また、我々が得た QGP 熱平衡化時間は、相対論的流体模型による計算結果の、0.2〜0.6 fm [4] と同程度であることは、興味深い。今後の課題としては、幾何学的断面積の横方向膨張や、「摂動 QCD 直接光子」や「ハドロンガス直接光子」を理論式に導入することである。

参考文献

[1] Jaroslav Adam, et al. *Phys. Lett. B*, Vol. 754, pp. 235–248, 2016.

[2] C. Y. Wong. *Introduction to high-energy heavy ion collisions.* 1995.

[3] Joseph I. Kapusta, P. Lichard, and D. Seibert. *Phys. Rev. D*, Vol. 44, pp. 2774–2788, 1991.

[4] S. S. Adler, et al. *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 91, p. 182301, 2003.

リサイクルペットボトルの熱分析

ソフトマテリアル研究室
指導教員　飯島正徳　教授
1824011　大迫宙樹

1. 緒言

私たちの身の回りにあるプラスチックは、透明性、電気絶縁性、軽さ、加工性から幅広い分野で利用されている。その生産量は 1950 年と比較して 2015 年には約 200 倍に達し、特に容器や包装用途の消費は著しく増加している [1]。一方で、使用済みプラスチックはゴミとして廃棄され、現在、世界で約 800 万トン/年のプラスチックが海に流れ込み、2050 年には海の魚の量を上回ると予想されている。昨今、様々な社会的問題が地球規模で顕在化し、国連において持続可能な開発目標（SDGs）が採択され、SDGs 目標 14「海の豊かさを守ろう」では、海に流れ込む間に小さくなったマイクロプラスチックが海の魚の胃袋から大量に検出される等、海の生態系に及ぼす悪影響を解決すべき問題として取り上げている。

問題解決のための一つがリサイクルであり、ペットボトルにおいては各メーカーが環境対策として使用済みペットボトルを新たなペットボトルとして原材料レベルから作り直す「ボトル to ボトル」に取り組んでいる。「ボトル to ボトル」としては、メカニカルリサイクルとケミカルリサイクルの 2 つが実用化されている [2]。メカニカルリサイクルはケミカルリサイクルに比べて製造コストや環境負荷が低いという利点があり、ケミカルリサイクルは解重合/再重合の間に異物、異種材質を取り除き、バージン樹脂と同等に品質が高い原材料に再生できるという利点がある。日本の 2017 年におけるペットボトルのリサイクル比率はメカニカルリサイクルが 78%となっている [3]。

本研究ではメカニカルリサイクルの PET に注目して、高分子の固体構造の観点から熱分析を行い、等温結晶化により形成した均一な厚さのラメラ結晶の結晶化温度と融解温度の関係（Hoffman-Weeks Plot）により、リサイクル PET の熱的特性および構造に関する知見を得ることを目的とする。

２．実験方法

研究に用いた試料を Table1 に示す。測定には示差走査熱量測定器(DSC：Differential Scanning Calorimetry, METTLER TOLEDO 社製 DSC823e)を用い、温度範囲 25～300℃、昇温速度 10℃/min、窒素雰囲気下の条件で行った。また、205～220℃の間で温度を一定にして等温結晶化を行った。

Table 1 試料

試料名	試料元	販売元	備考
ペレット	サンプルペレット (CAS#29154-49-2)	SCIENTIFIC POLYMER 社	試薬
リサイクル PET	コカ･コーラ 350ml　PET ボトル	日本コカ・コーラ(株)	リサイクル 100%
バージン PET	カナダドライジンジャーエール 350ml　PET ボトル	日本コカ・コーラ(株)	バージン 100%

Table 2 PET の物性 [4,5]

融点T_m	ガラス転移点T_g	分子量	融解熱
280℃	69℃	192g/mol	140J/g

3. 結果と考察

ペレットの DSC 曲線を Fig1 に示す。室温からの 1st heating では 70℃付近でシャープなスッテプ状のガラス転移、120℃付近での冷結晶化によるピークが見られる。冷結晶化は昇温前の冷却過程によるもので、製造過程における冷却方法が関係している。2nd cooling では 180℃付近で結晶化のピークと 70℃付近にガラス転移が見られる。その後の 2nd heating では 70℃付近のブロードなガラス転移と 250℃付近の融解によるピークが見られる。これらの結果は典型的な PET の DSC 曲線を示す。

次にリサイクル PET の DSC 曲線を Fig2 に示す。1st heating では口部分だけペレット同様の反応が見られ、胴と底部分では冷結晶化によるピークが見られないことから、中間製品であるプリフォームから PET ボトルへの製造過程における加熱と冷却が関係している。2nd cooling ではペレット同様の結果が見られる。2nd heating では

250℃付近の融解による二重ピークが見られる。二重ピークは昇温速度より結晶化が速いときに見られる。

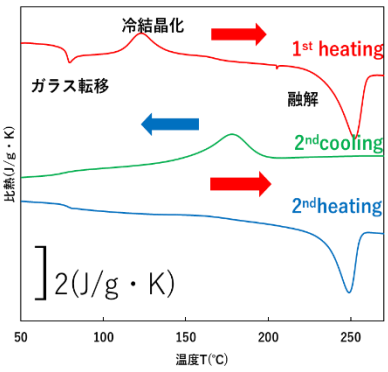


Fig.1 ペレットの DSC 曲線

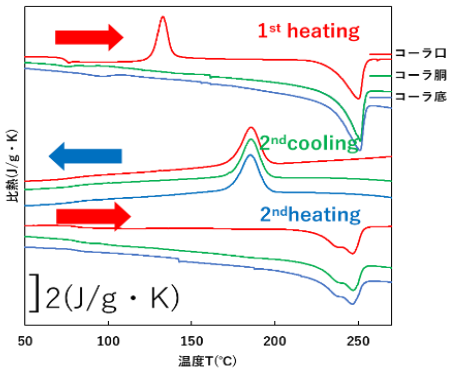


Fig. 2 リサイクル PET の DSC 曲線

リサイクル PET の等温結晶化後融解曲線を Fig3 に示す。250℃付近で融解によるピークの遷移が見られる。ピークの遷移はラメラの厚さによるもので、等温結晶化温度が高いほど厚いラメラが形成される。また、試料の結晶化温度と融解温度の関係を表す Hoffman-Weeks Plot を Fig4 に示す。Hoffman-Weeks Plot では、試料の融解温度と $T_m = T_c$ の直線の交点から平衡融点を求めることができる。その値を Table3 に示す。平衡融点は高分子鎖が完全に伸びきった理想的な完全結晶の融点である。通常であれば同じ高分子であるため平衡融点はおよそ等しい値になるが、リサイクル PET とペレットでは約 8℃の差がある。この融点の差は PET に含まれる機能性材料が関係している。

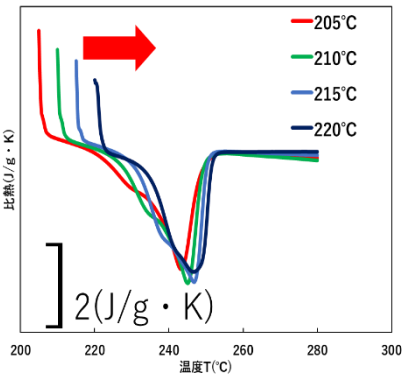


Fig. 2 リサイクル PET の等温結晶化後融解曲線

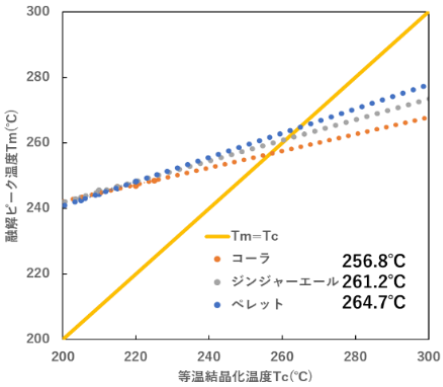


Fig. 1Hoffman-Weeks Plot

Table. 3 平衡融点

試料名	平衡融点
ペレット	265℃
バージン	261℃
リサイクル	257℃

5. 結論

結晶化温度が高いほど厚いラメラが形成される。また結晶化時間は長くなり、その後の融点は高くなる。リサイクル PET は環境対策において優れているが、高分子鎖が短いことや融点が低くなるため、特性としてはバージン PET より劣ると言える。

6. 参考文献

【1】日経 BP／東京書籍.“14. 海の豊かさを守ろう”Edu TownSDGs.2021 https://sdgs.edutown.jp/info/goals/goals-14.html(参照/2022/01/27)
【2】PET ボトルリサイクル推進協議会“ボトル to ボトル” PET ボトルリサイクル推進協議会ホームページ https://www.petbottle-rec.gr.jp/more/introduction.html(参照/2022/01/19)
【3】ARC リポート.“日本のプラスチックリサイクルの現状と課題（PET 対 PE・PP・PS・EPS）”株式会社 旭リサーチセンター.2019/09/20 https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1039.pdf (参照 2022/01/27)
【4】構造Ⅱ：高分子の結晶化 2012 奥居徳昌 高分子学会
【5】高柳宏平 2010 東京都市大学 卒業論文
【6】山崎純加 2020 東京都市大学 卒業論文

食肉タンパク質の熱変性解析

ソフトマテリアル研究室
1824035　田代浩太郎
指導教員　飯島正徳　教授

1. 緒言

タンパク質は、炭水化物・脂質とあわせて三大栄養素と呼ばれている。さらに、人間の筋肉や臓器、体内の調整に役立っているホルモンの材料となるだけでなくエネルギー源にもなっている必要な栄養素である。体内のタンパク質は、２０種類のアミノ酸が数十から数百個以上結合し、約２万種類の形をとっている。大きく分けて 3 種類に分類することができ、筋収縮に関与しているミオシン、アクチンなどの筋原線維タンパク質が約 60%、筋細胞内に溶けているミオグロビンなどの筋漿タンパク質が約 29%、結合組織を形成しているコラーゲンなどの結合組織タンパク質と血管や神経、脂肪細胞などを形成しているタンパク質約 11%で成り立っている。そのタンパク質は、加熱すると凝固し、元の状態に戻らない性質を持つ。そのことを熱物性という。我々が普段口にしている食肉は、動物の筋肉，特に骨格筋であり，その 80%以上を占めるのが、タンパク質が主成分の筋繊維である。100℃までにおおよそ 3 つの吸熱変化が観測され、それぞれ筋原繊維タンパク質を構成するミオシンとアクチン、結合組織のコラーゲン由来であることが同定されている。【2】本研究では、どのタンパク質が熱変性に関与し、食肉の種類によって違いがあるのか、また熱変性後、食肉にどのような影響が出るのかを調べる。

2. 実験方法

市販の豚肉、鶏肉、牛肉をそれぞれ 34.05mg、26.43mg、24.31mg の大きさにカットした。それぞれの食肉をアルミニウムパンにセットし Heating rate 10℃/min に設定した、DSC で測定を行った。DSC で取れたデータを Excel に移し、比熱を算出した。縦軸比熱横軸温度の表をつくった。ピークが確認しずらい為、一度ベースラインを引き、そこから求められる計算式に実験値を代入した。計算式から求められる値と、実験値の差を出しピークを見やすくした。

3, 結果

DSC 測定から比熱と温度の関係について Fig.1 にまとめた。牛肉は、64℃、80℃付近で２度ピークが見られた。豚肉は、58℃、66℃、82℃付近で３度ピークが見られた。鶏肉は、62℃、66℃、81℃付近で３度ピークが見られた。

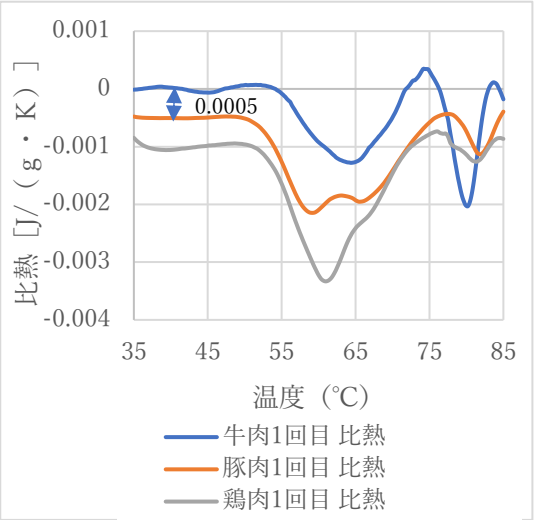


Fig.1　比熱と温度の関係

4, 考察

今実験で豚肉と鶏肉に見られた 3 回のピークは、ミオシン、アクチン、コラーゲンである【2】。牛肉のピークが 2 回に見えるのは、コラーゲン由来の吸熱変化が観測されにくいという性質を持つのと、牛肉の持つコラーゲンの量が少なかった為だと考えられる。

次に、熱変性が起きた後の影響について考える。Fig.2 は参考文献【1】の研究結果である。この研究では、あらかじめ内部の変性度を予測した肉試料（1 cm の立方体)を調整し、応力緩和測定に供した。応力緩和測定から算出した弾性率を肉の硬さの指標とし、肉片中心部の変性度を数値で表わして，弾性率との関係を求めている。この結果から分かることは、アクチンが変性すると、弾力性が格段に上がり、重量損失率も大きくなるという事だ。その理由は、アクチンまで変性すると、筋原線維全体に大きな構造変化がもたらされ、肉は大きく収縮して、 離水された水が排出される為だと考えられる。

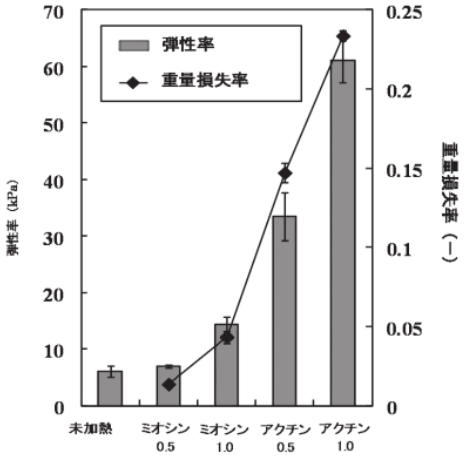


Fig.2　畜肉のタンパク質変性度と弾性率，重量損失率との関係
ミオシン 0.5，ミオシン 1.0 とは試料肉片の中心部においてミオシンの変性率が 50%，100%であることを示している[12]．

5. 結論

食肉 3 種類を DSC で測定した結果、牛肉 2 回、豚肉と鶏肉 3 回の吸熱ピークが見られた。また、熱変性するタンパク質の種類は、温度によって違い、ピークの大きさも食肉の種類によって大小が分かれた。弾力性、重量損失率については、アクチンが熱変性を起こすことで、約 2 倍大きくなることが分かった。

6. 参考文献

【1】福岡美香、酒井昇著　熱物性の計測と応用　“加熱調理の最適化を目指した物性変化の予測”　東京海洋大学学院　2015 年

【2】J.R. Wagner and M.C. Anon: Denaturation kinetics of myofigrillar proteins in brovine muscle, J. Food Sci., 50, 1547/1551(1985)

【3】沖谷 明紘、松石 昌典、西村 敏英著　調理科学 Vol.25 No.4 “食肉のおいしさと熟成”　1992 年

【4】若松純一著　北方生物圏フィールド科学センター　“肉のかたさを化学的に考えてみよう” http://sbk-h.com/uploads/1/0/7/0/107049821/2018seminar07report2.pdf （参照/2022/01/10）

【5】藤巻正生著　農産加工技術研究会誌 第 6 巻 第 5 号　“肉の軟化について（1）” 1959 年 10 月 p241

食品におけるテクスチャー試験の可能性について

ソフトマテリアル研究室
1824007　岩井建樹
指導教員　飯島正徳

1.　緒言

咀嚼、嚥下機能が低下した高齢者や発達段階の幼児にとって、食品の力学的特性は食べやすさに影響する重要な要素だ。食べ物が食道から胃という正常な経路を通らず、気管から肺へ達してしまう誤嚥は、誤嚥性肺炎の原因となる。近年、高齢化が進む日本においては、誤嚥性肺炎は死因の第6位に挙げられている。誤嚥を防ぐ食べやすい食品のニーズは増加する一方であり、これに伴い圧縮試験装置などを用いた力学的特性の各評価基準値が示されるようになった。

2009年4月に厚生労働省は「嚥下困難者用食品」の基準を策定した。この制度では食品テクスチャーの評価方法として、以前から行われてきた2バイトテクスチャー試験を採用している。この2バイトテクスチャー試験とは圧縮試験装置などを用いて、定められた形状の容器に入れた直径40mm、高さ15mmの食品試料を、測定速度10mm/s、クリアランス5mmの条件で樹脂製プランジャーにより2回圧縮するものであり、評価には「硬さ」「付着性」「凝集性」の3項目を用いている。この3項目の計算方法を図2に示す。

本研究ではゼリー強度試験とテクスチャー試験を用いて食品の食感に対する客観的な結果を得ることで、食感を数値化し、我々が食品を選ぶ際の指標の一つになるのではないかと考えた。

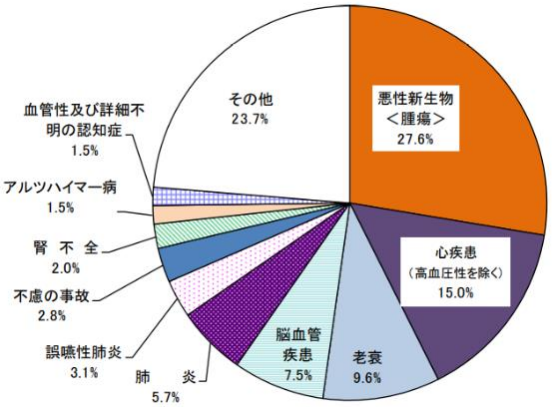


図1　日本人の主な死因の構成割合

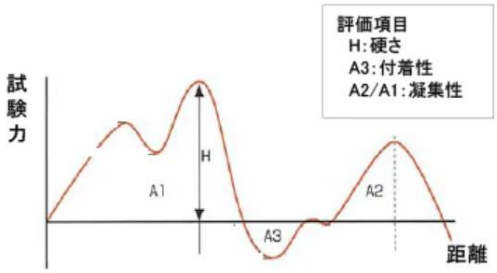


図2　テクスチャー評価基準

2.　実験方法

試料にはゼラチン粉末（昭和化学株式会社）を使用した。ゼリーの作製条件は先行研究後藤（2016）を参考にした。まずゼラチン粉末7.50±0.01 gをビーカーに量り取り、水105.0±0.2 mℓを加えた。その後、ゼリー容器に高さ15 ㎜となるように充填し、ホットスターラーを用いて800rpm、60℃で30分間攪拌し、冷暗所で17±1時間冷却してJIS規格に則った6.67%のゼリーを作製した。作製したゼリーは日付ごとにA、B、Cとし、その後ろに番号を付けることで区別した。

規格	硬さ（N/m2）	付着性（J/m3）	凝集性
許可基準Ⅰ	2.5×10^3～1×10^4	4×10^2以下	0.2～0.6
許可基準Ⅱ	1×10^3～1.5×10^4	1×10^3以下	0.2～0.9
許可基準Ⅲ	3×10^2～2×10^4	1.5×10^3以下	-

表1　嚥下困難者用食品の許可基準

ゼリー強度試験はJIS k6503規格に従い、引張試験機(株式会社島津)を使い、速度6 ㎝/m、貫入距離20 ㎜に設定し、プランジャーとゼリー表面の間隔が10 ㎜となるようにゼリー容器を設置した。ゼリー強度はゼリーの表面から4 ㎜貫入した時の試験力の値とした。

2バイトテクスチャー試験は引張試験機（株式会社島津）を使い、速度を50 ㎝/m、貫入距離を15 ㎜、15 ㎜貫入したら15 ㎜同じ速度で戻り、もう1度15 ㎜貫入して15 ㎜戻るという条件で設定した。プランジャーとゼリー表面の間隔が5 ㎜となるようにゼリー容器を設置した。

さらに市販のコーヒーゼリー(丸福珈琲店)、プリン(グリコ乳業)、杏仁豆腐(タニタ食堂)、寒天ゼリー(セブンイレブン)を使用して2バイトテクスチャー試験を行った。

3.　結果および考察

ゼリー強度試験の試験結果を表2に表す。ゼリー強度は測定値の80～120%であるが、C1は試料に表記されているゼリー強度よりも値が少し大きくなってしまった。これはJIS規格の6.67%よりもゼラチン濃度が少し高くなってしまったのと、冷却時間が24時間近くなってしまったので、ゼリー強度が大きくなってしまったのではないかと考えられる。今回

	濃度(%)	ゼリー強度(g)	ゼリー強度の80%(g)	ゼリー強度の120%(g)
A1	6.744	106.5	85.2	127.8
B1	6.745	134	107.2	160.8
C1	6.755	147.5	118	177
試料	6.67	70～110		

表2　ゼリー強度試験の結果

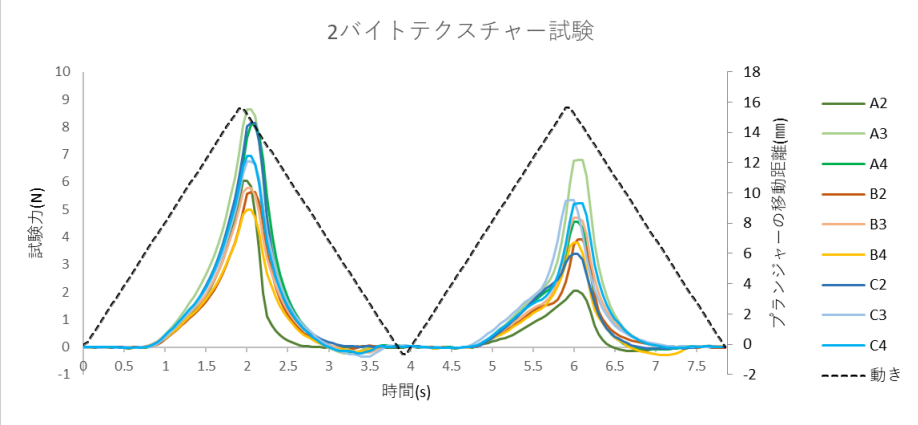


図３　２バイトテクスチャー試験の結果

使用したゼラチン粉末はゼリー強度 70～110g なので、今回作製したゼリーは JIS 規格通り作製できていと考えられる。

２バイトテクスチャー試験の結果を図 3、表 3 に表す。図 3 より、A2 と C2 は他と比べ、2 回目の貫入で試験力が小さいことがわかる。A2 と C2 は 1 回目の貫入でゼリーが破断したことが確認できたため、これは A2 と C2 が 1 回目の貫入でゼリーが破断してしまい、2 回目の貫入で柔らかいゼリー内面を測定してしまったため、他と比べて小さな値になったのではないかと考えられる。表 3 より、A2 と C2 は付着性の値が取れなかった。これはゼリーが破断してしまったため、付着しなかったのではないかと考えられる。

市販の食品の 2 バイトテクスチャー試験の結果を表 4 に表す。これより、コーヒーゼリー、プリン、杏仁豆腐は許可基準Ⅰを満たしており、寒天ゼリーは許可基準Ⅱを満たしていることがわかる。

	濃度(%)	硬さ(N/㎡)	付着性(J/㎥)	凝集性
A2	6.760	1.1×10^{4}	－	0.40
A3	6.744	1.5×10^{4}	1.3×10^{2}	0.73
A4	6.744	1.4×10^{4}	1.0×10^{2}	0.52
B2	6.761	9.9×10^{3}	4.6×10	0.63
B3	6.745	1.0×10^{4}	1.2×10^{2}	0.73
B4	6.745	8.8×10^{3}	8.7×10	0.64
C2	6.755	1.4×10^{4}	－	0.47
C3	6.783	1.2×10^{4}	2.4×10^{2}	0.76
C4	6.783	1.2×10^{4}	1.4×10^{2}	0.72

表３　ゼリーのテクスチャー評価

4. 結論

圧縮試験機を用いて 2 バイトテクスチャー試験を行い、一定のゼリーの測定値を得ることができた。さらに 2 バイトテクスチャー試験を用いて市販の食品の食感を数値化することに成功した。

今後テクスチャー試験がさらに進化すれば食品をさらに細かく数値化し、様々な人の噛む力や嚥下機能に合った食品を探すことができ、誤嚥性肺炎による死者は減るのではないかと考える。

	硬さ(N/㎡)	付着性(J/㎥)	凝集性
コーヒーゼリー	8.3×10^{3}	2.0×10^{2}	0.54
プリン	3.3×10^{3}	9.3×10	0.59
杏仁豆腐	2.9×10^{3}	3.7×10	0.48
寒天ゼリー	1.3×10^{4}	1.7×10^{2}	0.28

表４　市販の食品のテクスチャー評価

5. 参考文献

・野内義之「2 バイトテクスチャー試験における測定速度条件の検討」https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk/59/2/59_2_96/_pdf/-char/ja
・島津製作所 https://www.an.shimadzu.co.jp/apl/food/food_dysphagia.htm
・厚生労働省 https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/geppo/nengai20/dl/gaikyouR2.pdf
・エイト歯科クリニック http://www.8-dent.com/index_news/post-36/
・新田ゼラチン https://www.nitta-gelatin.co.jp/ja/labo/gelatin/07.html
・JIS k6503:2001「にかわおよびゼラチン」
・キューピーhttps://www.kewpie.com/education/information/senior/enge/enge_01.html
・昭和化学工業株式会社 http://www.st.rim.or.jp/~shw/MSDS/07021250.pdf

NR ゴムの力学的性質

ソフトマテリアル研究室
1824047　蓮見大地
指導教員　飯島正徳

1. 緒言

スポーツ用具には数多くのゴム材料が利用されている。これらゴム材料は軟式テニスボールのような純粋なゴムに限らず、シューズのソール材のような熱可塑性エラストマーや軟質塩化ビニル、発泡材などがある。このように柔らかい素材を総称して単にゴムと呼ぶのではなくソフトマテリアルと今日では呼ばれている[1)]。数あるスポーツ用具において緩衝材として利用されているゴムは、衝突力の低減効果に優れており可逆的な大変形が可能であるため, 繰り返し衝突への対処が必要な場合にも適用でき、比較的低コストであるといった利点もある。

ここで、ゴム製品の設計において、ゴムの弾性は主に分子鎖が乱雑な状態になろうとして生じるエントロピー弾性であるため、ゴムの応力ひずみ関係は非線型挙動となることから、ゴムの変形挙動は複雑なため、応力ひずみ関係の検討が重要になる[2)]。そこで本研究では一般的な力学試験として引張試験を行い、正確なゴムの応力ひずみ関係を得るための試験方法を確立し、また、ゴム製品の設計において重要になる応力ひずみ関係を Mooney-Rivlin 式により検討し、Mooney-Rivlin 式の適用範囲並びに Mooney-Rivlin 式中の未定定数についての考察を行った。

2. 試験方法

【試料・試験体形状】試料には市販の天然ゴム(NR 市販)を選択した。試験体には**図 1** に示す準拠規格 JIS K 6251 である、ダンベル状 2 号形に**図 2** に示すダンベルカッターでくり抜き使用した。

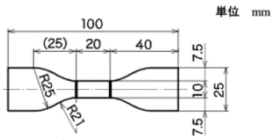


図 1　ダンベル状 2 号形

【試験機】試験機は**図 3** に示す島津製作所製のオートグラフ AGS-J 1KN を**図 4** に示す日立産機システムのコンプレッサーを用いてチャック間を閉めて使用した。

図 2　ダンベルカッター

【入力条件】変位速度 1mm/min,10mm/min,100mm/min で試験体が破断するまで引張試験を行った。

【Mooney-Rivlin 式と Mooney-Rivlin プロット】

ゴムの応力ひずみ関係を記述する式として**式 1** の Mooney-Rivlin 式がある。

$$\frac{\sigma}{\left(\lambda - {}^{1}/_{\lambda^2}\right)} = 2C_1 + 2C_2\frac{1}{\lambda} \qquad \text{(式 1)}$$

図 3　試験機

ここで σ は応力、λ は伸張率、C_1と C_2は未定定数である。この式はゴムのように大変形が可能な材料が応力を受けてひずんだとき、外

部から与えられたエネルギーをひずみエネルギーという形で試料の中に貯蔵される仮定をしており、そのひずみエネルギーをひずみ関数として多項式で表したものから求めたものである。実験結果を 1/λと σ/(λ−λ²)の関係としてプロットする Mooney-Rivlin プロットでは**式 1** は直線となる。

図 4　コンプレッサー

3.　結果と考察

変位速度 1mm/min, 10mm/min, 100mm/min の応力ひずみ関係を**図 5** に示す。また、初期傾きから算出した各弾性率を**図 6** に示す。引張速度が速いほど初期傾きが小さくなり、弾性率が減少していることが確認できた。これより同じ試料・試験体でも引張速度の変化に伴い、弾性率が変化することが確認できた。

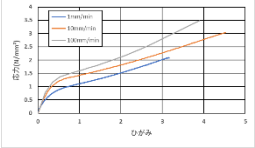


図 5　各変位速度の応力ひずみ関係

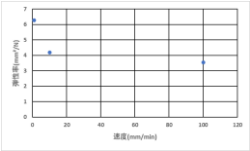


図 6　速度と弾性率の関係

次に、各変位速度による Mooney-Rivlin プロットを**図 7** に示す。この図から直線となっている範囲を読み取り、変位速度 1mm/min において得られた範囲でフィッティングした結果と実験値を**図 8** に示す。Mooney-Rivlin プロットを行うことにより、伸張率が約 1～2 までは記述でき、実験値とよく近似するフィッティング結果を導くことが出来ることが確認できた。しかし、**図 8** からも分かるように、適用範囲の検討を行っても大変形領域までは記述することが出来ないことが分かった。また、変位速度 10mm/min, 100mm/min においても同様であった。

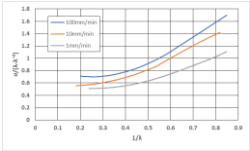


図 7　各変位速度の Mooney-Rivlin プロット

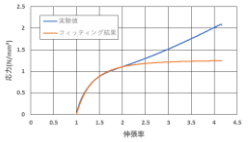


図 8　変位速度 1mm/min のフィッティング結果

4.　結論

同じ試料・試験体でも引張速度の変化に伴い、弾性率が変化する。

Mooney-Rivlin 式は適用範囲が限定されており、NR 市販では伸張率が約 1～2 までの範囲で適用することが出来、大変形領域までは適用することが出来ない。

5.　参考文献

1) 松田照博　山下善裕　「ソフトマターを用いたスポーツ用材料のダイラタンシー特性の解明」　財団法人ミズノスポーツ振興会　研究助成報告書　2010 年 4 月 5 日

2) 三浦健治　「あるレオロジストからみたゴムの力学物性」　日本ゴム協会誌 86 巻 4 号 p. 94-99　2013 年

3) 飯塚博　山下義裕　「ゴム材料の力学特性同定と FEM 解析への利用」　日本ゴム協会誌 77 巻 9 号 p. 306-311　2004 年

4) 村上謙吉　「レオロジー基礎論」　第 8 刷　産業図書　2008 年

5) 河野学　武蔵工業大学　卒業論文　2007 年

オイルワックスゲルのゲル硬度に関する特定課題研究

ソフトマテリアル研究室
1824024　小瀬川　海吏
指導教員　飯島　正徳

１．背景と目的

アミノ酸誘導体など低分子化合物のオイルゲルについては詳細な研究がされてきているのに対して、オイルワックスゲルは、ほとんど研究の対象とされてこなかった。その理由として、オイルワックスゲルは性状こそゲルではあるものの、分子が系全体に広がって高次構造を形成しているような真の意味でのゲルではなく、ワックス結晶同士の物理的な接合によってできたものであるため、科学的な解析の対象としては魅力に乏しいという点が挙げられる。しかしながら、オイルワックスゲルの硬度をコントロールすることはたとえば化粧用スティックを折れにくくしたり、塗布量を調整したりする上で重要な技術であり、そのためには硬度発現の機構を理解することが不可欠である［2］。ゲル化の機構ならびに得られるゲルの物性との関連、肌や唇に塗布することでゲルが崩れて塗膜になった際の物性、ゲル化剤の種類との関連ならびに艶、持続性、感触などの性能に与える影響［1］を以下にまとめる。

オイルワックスゲルは、室温で液体の油剤であるオイルを固体の油剤であるワックスと加熱混合し、冷却することによって固化させたものである。代表的なワックスを表１に示した。

オイルを固化させる、ワックス以外にも金属石ケン、アミノ酸誘導体、エステル化多糖類など種々のゲル化剤が知られている[2]。

表-１　オイルワックスゲルに用いられる主なワックス

天然ワックス	植物由来	カルナウバワックス キャンデリナワックス
	動物由来	みつろう 鯨ろう
	鉱物由来	オゾケライト セレシン
	石油由来	パラフィンワックス マイクロクリスタリンワックス
合成ワックス 変性ワックス	炭化水素	ポリエチレン オレフィンコポリマー
	水素化ワックス	硬化ひまし油 水添ホホバ油
	長期脂肪酸・高級アルコール	ステアリン酸 ステアリルアルコール

２．オイルワックスゲルの硬度条件の仮定

①構造を形成するワックス結晶の析出量
②ワックス同士の接合の強さ
③接合点の数〔2〕

３．オイルの極性とオイルワックスゲルの硬度

ゲル硬度にはオイルの極性が大きな影響を与えることが知られている。同一のワックスを用いても、オイルの種類が異なればオイルワックスゲルの硬度が著しく違ってしまう[2]。ワックスとして炭化水素ワックスであるパラフィンワックスを用いた場合のゲル硬度を図１に示す[3]。高極性オイル(トリグリセライド)のゲルのほうが低極性オイル(流動パラフィン)のゲルよりも硬度が高く、ワックス量が 30%の高極性オイルのゲルはワックス量が 50 %の低極性オイ

ルのゲルとほぼ同等の硬度であった[3]。

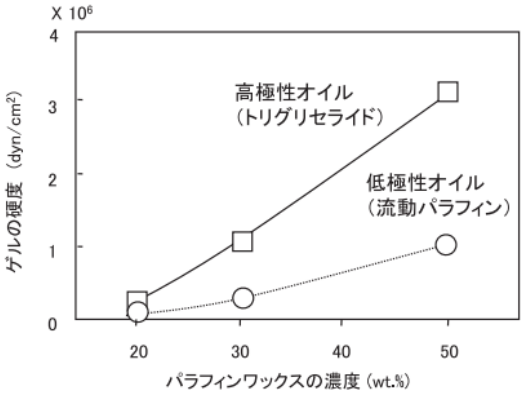


図１　極性の異なるオイルワックスゲル硬度

ワックス：パラフィンワックス(nC32)

４．まとめ

前述した、ワックスゲルの硬度条件の仮定に沿って説明を行う。**①ついて** X 線回折測定により見積もったゲル中のワックスの結晶化度にも両者でほとんど差はみられない。すなわち①はオイルワックスゲルの硬度差が発現する主原因ではないということができる。**②について**オイルワックスゲルをエタノール中で撹拌すると、低極性オイルのゲルではワックスが容易に 1 枚 1 枚バラバラになるが、高極性オイルのゲルではワックス同士をほぐすことができない。このことはワックス結晶同士の接合強度が異なっていることがわかる。また、電子顕微鏡にてワックス結晶表面を観察すると、低極性オイルのゲルではワックス表面は平滑であるが、高極性オイルゲルの場合は段差の多い荒れた表面となっている。 これは、高極性オイルのほうが、ワックス分子の結晶表面での拡散がしにくいためと考えられる。結晶の表面形状が荒れると結晶同士がかみ合わせやすくなり、結晶同士の接合強度が強まることとなる。**③について**ゲル中のワックス結晶量が一定の場合は結晶径の大小に帰着できる。小さいワックスが析出したほうが結晶同士の接合点の数が多くなるからである。今回の系の結晶サイズは、高極性オイルからは 15μm 程度の板状 結晶が、低極性オイルからは 10μm 程度の板状結晶が析出しており、結晶接合点は高極性オイルのほうが多いと言える[2]。以上のように、オイルの極性が異なることによるゲル硬度の差は、②析出結晶の大きさと③表面の荒れにより説明が可能である[2]。

５．おわりに

以上より、オイルワックスゲルの硬度をコントロールすることは化粧用品や産業上有用な基剤であるため、硬度をコントロールすることは重要である。

また、この研究は始まったばかりなので世の中にオイルワックスゲルが様々な部分で使用されるかもしれない。

参考文献

[１]「化粧品におけるオイルの固化技術」柴田雅史(2012)　最新化粧品・ヘルスケア講座(第 XII 講　pp.339~342

[２]「オイルワックスゲルの硬度制御」柴田雅史(2005)　J. Jpn. Soc. Colour Mater., 78 (７), pp.310~314

[３]「ワックスゲルの物性制御と化粧品への応用」　柴田雅史(2017)　オレオサイエンス　第 17 巻第 12 号　pp.633~642

PNIPAM－Am 共重合ゲルの体積相転移による液晶相発現の可否について

高分子科学研究室
1824018　木下　皓
指導教員：高木　晋作

１．緒言

N-イソプロピルアクリルアミド（NIPAM）は温度によって体積相転移を起こす温度応答性高分子である。NIPAM は生態温度に近い 32℃付近で LCST（Low Critical Solution Temperature：下限臨界共溶温度）を持ち、低温では水に可溶であるが、高温では水に不溶になるという性質を持つ。LCST 以下では高分子鎖が広がったランダムコイル状態になり、LCST 以上では高分子鎖が収縮してグロビュール状態になる。

液晶は、温度変化によって液晶を示すサーモトロピック液晶と水やその他の極性溶媒と混合した状態で液晶を示すリオトロピック液晶がある。特にリオトロピック液晶では、分子の親水性－親油性のバランス、あるいは分子形状により形成される液晶の種類は異なり、親水性の強い両親媒性分子では、濃度が低いとミセル溶液となっているが、濃度を高めることによりヘキサゴナル液晶、キュービック液晶、ラメラ液晶へと相転移する傾向にある。

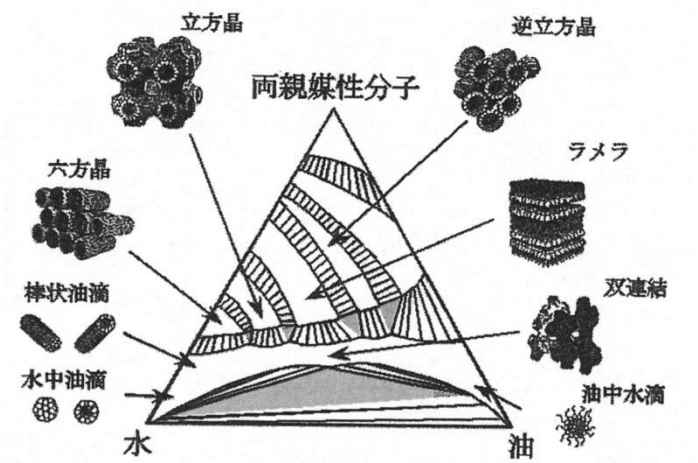


Fig. 1　水、油、両親媒性分子三元系の典型的な相図[1]

そこで本研究では、NIPAM を用いてゲルを作成し、液晶性を持つ物質を水に溶かし、それをゲルに取り込ませ、ゲルの温度を LCST 以上にすることでゲルが収縮し、ゲル内部の濃度が上昇したときにゲル内部に液晶相が発現するのではないかと考え、液晶相発現の可否の検討を目的とした。

２．実験方法

Table.1 に試料の作成条件を示す。ゲルに親水性を持たせるために、アクリルアミド（以下 Am）を NIPAM と共重合させた。ただし、メチレンビスアクリルアミド（以下 MBAAm）は架橋剤として加えた。また、溶媒としての蒸留水はあらかじめ煮沸させたあと、窒素バブリングを 10 分行い、蒸留水中の酸素の窒素に置き換えた。Table.　1 に示した条件で試料を攪拌し、過硫酸アンモニウム（APS）を開始剤として加え、重合を開始させた。試料の相転移温度の測定には DSC（METTLER TOLEDO 社製 DSC823e）を用いて、雰囲気窒素下中、測定温度範囲は 25℃～45℃、昇温速度は 1℃/min で行った。

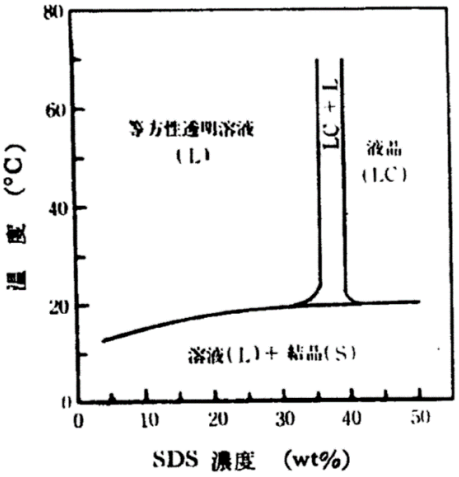


Fig. 2　SDS－水系相図[2]

	Am0%gel	Am0%gel	Am5%gel	Am5%gel	Am10%gel	Am10%gel
NIPAM (g)	0.5016	0.4987	0.008	0.5004	0.5001	0.5012
Am (g)	0.0	0.0	000162	0.0161	0.0316	0.0324
APS (g)	0.0095	0.0101	0.0103	0.0097	0.0105	0.0105
MBAAm (g)	0.0106	0.0514	0.0102	0.0500	0.0100	0.0509

Table.　1　　試料作成条件（蒸留水 10mL 中の質量[g]）

以上の過程で作成したゲルに、液晶性をもつ物質としてドデシル硫酸ナトリウム（以下 SDS）を Table. 2 に示す量を用いて、5wt%のものの 1 つは蒸留水 10ml に溶解させ、その溶液中にゲルを浸水させゲル中に取り込ませた。もう一方の 5wt%、(共重合) と記載のあるものは、Am－NIPAM 共重合ゲルを作成するとき、APS を加えてゲル化させるとき、同時に加えてゲル中に取り込ませた。また、37wt%と 45wt%のものは、蒸留水 10mL に SDS を溶解させ、その容器中にゲルを浸水させ、ゲル中に取り込ませた。この濃度は Fig. 2 の相図[2]をもとに濃度を決定した。

濃度	SDS(g)
5wt%	0.5997
5wt%(共重合)	0.6003
37wt%	8.1848
45wt%	5.8742

Table. 2　SDS の量

3．結果

まず Fig. 2 にゲルの乾燥度合いを示す。この結果より、親水性の Am の含有量は 5wt%のものが一番脱水度が高いことがわかり、Am は少なすぎても多すぎても効果が弱まることがかわかる。

次に、Fig. 3 にゲルの温度応答性の有無を確認したものを示す。図の左から Am5wt%ゲル、Am5wt%ゲルを SDS 水溶液に浸したもの、Am5wt%ゲルを作成するときに SDS を同時に共重合させたものである。真空乾燥機を 55℃に加温した状態にして、そこに 2 時間放置した後の状態が Fig. 3 の下の図である。Am5wt%ゲルのみが白濁し、SDS を取り込ませたゲルはどちらも温度応答性が見られなかった。これらのゲルを DSC にて測定したところ、Am5wt%ゲルでは 36℃付近にピークが見られたが、SDS 水溶液に浸水させたものと共重合ゲルでは測定結果でピークが確認できなかった。

Fig. 3　乾燥の度合い

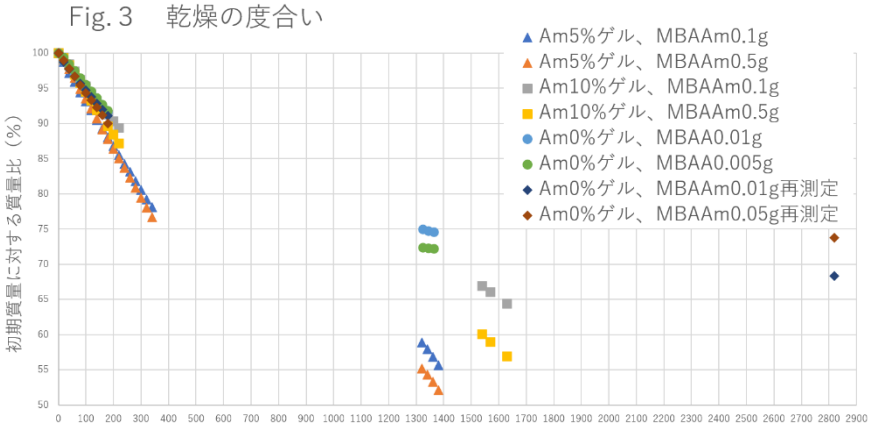


Fig. 4　温度応答性の確認（55℃に加温）

4．考察

SDS は Am－NIPAM の共重合ゲルに対して、浸水させた場合も、共重合させた場合も温度応答性を損なわせる影響があることが確認できた。特に、浸水させた場合、SDS がゲル内に入り込んだと仮定すると、入り込んだのちに、Am－NIPAM の共重合に対して温度が上昇したときに起こるグロビュール化を阻害するだけの働きをしていることから、SDS の粘性がゲル内での分子の動きを緩慢にする原因の一つと推察する。SDS がイオン性の界面活性剤のため、非イオン性の $C_{12}E_5$ についても比較検討したい。

5．結論

ゲルを SDS 水溶液に浸水させるだけでは SDS を取り込むことができないことがわかった。また、共重合させるときに SDS を同時に投入してゲル化させると温度応答性が失われることがわかった。

6．参考文献

[1] 瀬戸秀紀著『ソフトマター　やわらかな物質の物理学』米田出版、2012 年
[2] 笠井裕　中垣正幸　日本化学雑誌　91,19-23,1970

多孔質構造を持つ温度応答性ゲルの含水・脱水特性

高分子科学研究室
1824030 新谷悠之介
指導教員：高木晋作

1.緒言

温度応答性ゲルとはある一定の温度(LCST;Low Critical Solution Temperatute 下限臨界溶液温度)を超えると高分子鎖の収縮に伴い、水を放出して体積収縮するゲルである。上記の現象は体積相転移と呼ばれている。現在最も活発に研究されている温度応答性ゲルは 32℃近傍に LCST を持つ PNIPAM ゲル(ポリ N-イソプロピルアクリルアミドゲル)[1]である。親水性のアミド基と疎水性のイソプロピル基という官能基と溶媒との相互作用により体積相転移を引き起こす。

温度応答性ゲルはドラッグデリバリーシステムのドラッグキャリアとして期待されている。温度変化に応答して膨潤・収縮するため、水に溶かした薬物を高温では放出させ、低温では放出を停止できる。特に、含水量の大きいゲルほど物質拡散性が大きく[2]ドラッグキャリアに適している。しかし、PNIPAM ゲルは LCST 以上に昇温させると表面に薄い疎水性のスキン層を作り[3]、水の放出効率を低下させてしまう。近年、水の放出効率を向上させる手段として多孔質構造を持つゲルが研究されている。この構造ではゲルの表面積が大きくなり、水が放出されやすくなる。本研究では、淡水化技術の一つとして提案されたゲル[4]に倣って、NIPAM と高い保水性を持つ γ-PGA(ポリグルタミン酸)がグラフト共重合され、PEG(ポリエチレングリコール)が添加された多孔質構造を持つゲルを作製し、γ-PGA の含水特性や PEG がゲルの脱水機構に果たす役割を解明することを目的とした。

2.実験方法

ゲルは 6 種類作製した。使用する蒸留水を煮沸し、窒素バブリングを 10 分間行い脱気蒸留水にした。脱気蒸留水 13mL に NIPAM 1g、MBAAm(N,N メチレンビス(アクリルアミド),架橋剤)0.01g、および γ-PGA(平均分子量:400000 以上)、PEG(平均分子量:7300～9300)を Table 1 の条件で加え、30 分間超音波で攪拌した後、25 分間窒素バブリングを行った。続いて、予め脱気蒸留水 2mL に溶かした 0.01g の APS (ペルオキソ二硫酸アンモニウム,重合開始剤)を入れ、TEMED(テトラメチレンジアミン,重合促進剤)を 100μL 滴下した。その後、雰囲気窒素下で 10 分経過した後、110 分密閉状態にした。作製したゲルを 1cm サイズに細かく切り、蒸留水に 5 日間漬け、1 日ごとに水を交換した。試料の相転移温度、相転移熱の測定には DSC(METTLER TOLEDO 社製 DSC823e)を用いて雰囲気窒素中、温度範囲 25℃～45℃を昇温速度 1℃/min で行った。脱水実験は容器と水に浸した各試料を LCST より高温の 40℃まで温めておき、ゲルを取り出し、65℃の等温で 20 分ごとに質量を 6 時間計測した。ゲルの表面観察は乾燥後、卓上走査型電子顕微鏡(SEM,TM3000)を用いて行った。

Table 1　試料作製条件(蒸留水 13ml 中の質量［g］)

	①	②	③	④	⑤	⑥
γ-PGA		0.2	0.2	0.2	0.1	
PEG			1	0.5	1	1

3.結果

DSC の結果を図 1 に示す。全ての試料で体積相転移を確認することができた。最も転移温度が低く、転移熱が高かったのは①の PNIPAM ゲルであった。それ以外のゲルは①に比べて転移温度が約 1～2℃程度高く、転移熱が PNIPAM ゲルの約 3 分の 1 になった。

脱水実験の結果を図 2,図 3 に示す。図 2 は脱水実験時の質量比率の推移である。40 分付近まで最

も速く脱水しているのは①の PNIPAM ゲルと⑥の PNIPAM/PEG ゲルだった。それ以降は⑥や PEG を入れたゲルに比べて①の脱水スピードが緩やかになった。また、②の脱水スピードは一番遅かった。図 3 より脱水後の質量比率は一番低い③が 2.2%、一番大きい①が約 7.8%となった。また、γ-PGA を入れた 4 つのゲルがそれ以外の 2 つのゲルよりも脱水後の質量比率が低かった。

最後に SEM 像を図 4 に示す。温熱乾燥されたことで表面構造が崩れてしまったが、④と⑤のゲルで多孔質構造が確認できた。細孔径は④が約 40μm、⑤が約 15μmだった。

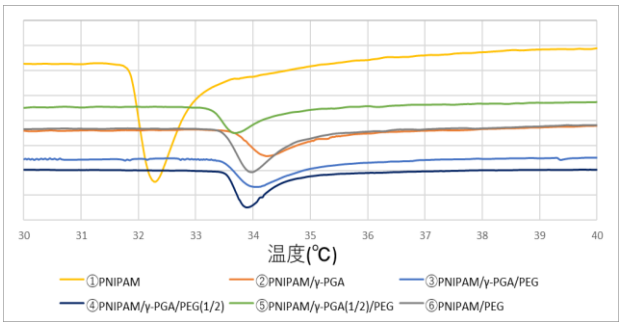


図 1.各試料の DSC 曲線

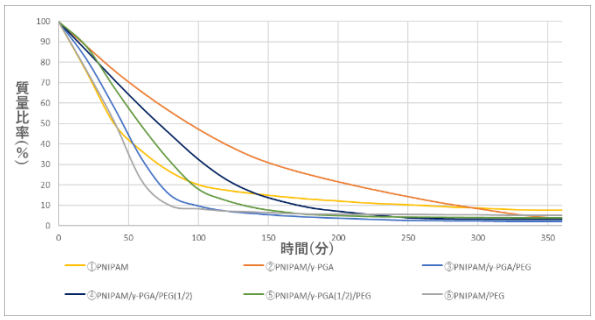


図 2.脱水実験の質量比率の推移

4.考察

水はゲルの表面から排出されるため、表面積が脱水の速さを決める要素になる。40 分付近で PNIPAM ゲルの脱水スピードが緩やかになっている理由は PNIPAM ゲルのゲル表面にスキン層が形成され脱水が阻害されているからだと考えられる。しかし、PEG を添加したゲルは多孔質構造を形成することで内部の水も細孔を通して上手く放出させることができたと考えられる。

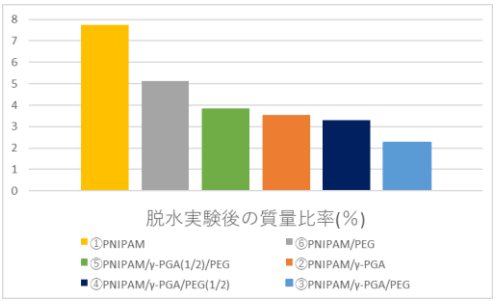


図 3.脱水実験後の質量比率

6 時間脱水実験した後の質量比率について検討するとγ-PGA と共重合しているゲルがそれ以外のゲルよりも低かったのは他のゲルに比べて元々の含水量が多かったからである。高い保水性を持つγ-PGA と共重合したことにより、ゲルの膨潤度が増したからだと考えられる。

PEG 添加量と細孔のサイズには相関がみられなかったが、これは温熱乾燥の際に微細構造を保持できなかったためと考えられる。

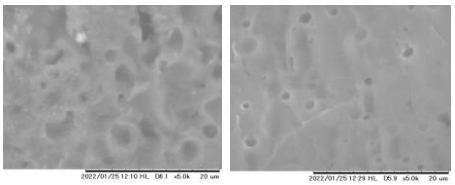


図 4.SEM で観察した多孔質構造
(左：④,右：⑤)

5.結論

γPGA と PEG はどちらも PNIPAM の転移温度を上げ、転移熱を小さくするが、γPGA はゲルの含水量上昇に寄与するのに対して PEG はゲルの脱水速度を上昇させた。また、PEG の分子量や添加量を変えることで脱水特性を向上させる可能性がある。ドラッグキャリアとして応用するにはより詳しい脱水のメカニズムの検討を行う必要がある。

6.参考文献

[1]吉田亮　高分子ゲル　共立出版　2004
[2]岡野光夫 桜井靖久 Y.H.BAE S.W.KIM　パルス型ドラッグデリバリー 人工臓器　1989 18 巻 1 号 p.40-43
[3]中山正道　温度応答性高分子材料　2008　23 巻 6 号 p. 627-636
[4]Keyuan Zhang,Fei Li,Yan Wu,Li Feng,Liqiu Zhang　Construction of ionic thermo-responsive PNIPAM/γ-PGA/PEG hydrogel as a draw agent for enhanced forward-osmosis desalination Desalination　495 巻(2020) 114667

錯視を用いた迷彩デザインの作製

宇宙科学研究室
1824039　仲亀祐希
指導教員：門多　顕司
吉村　風

1.　緒言

既存の迷彩は静止している状態で機能するものが多く、「地形に合えば高いレベルの偽装ができる」「目立たなくできる」「長年研究開発されており使用実績がある」、といったメリットがある反面「動くと偽装効果が薄れる」「地形によっては逆効果になる場合もある」といったデメリットがある。

そこで錯覚を用い、移動時等に見た相手を惑わし着用者の動きを誤認させる、対象の進行方向速度を視覚的に錯乱させる、シルエットをわかりにくくさせるといった効果を期待できる錯視迷彩を開発、研究することにした。

錯覚を用いた塗装は艦艇などに見られるが（ダズル迷彩など)、人間サイズのもので錯覚を用いたユニフォームを着用した例はほとんどみられていない。都市部での近接戦において着用者の生存性を少しでも高められるユニフォームを画期的で新しい切り口から模索していく。

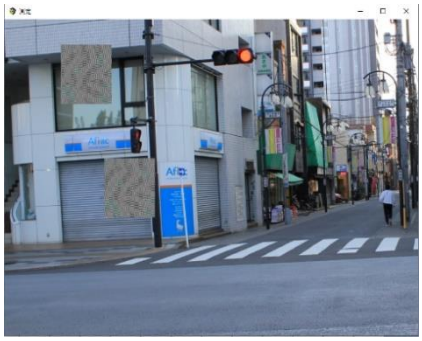
実験方法

ソフトを用いた実験と実際に迷彩をプリントしそれらを見てもらう実地テストの 2 つの実験を行った。ソフトを用いた実験では、「オオウチ」「ダズルオオウチ」「デジタル迷彩」「単色」「紙にプリントしスキャンしたダズルオオウチ」「ダズル迷彩」の 6 種類のデザインを大小 2 つの異なる大きさのものを用意し、計 12 項目のテストを行った。大小の大きさは小を画面上で約 2 センチ、大を 4 センチで表示した。これは視差で計算すると小が訳 1 メートル先、大が 40 センチ先のものとなるが、あくまで近接も含めたデザインの迷彩効果を測定することに重点を置いているのであまり考慮しないこととする。

画面サイズは 816×624 とし、背景を実際に撮影した都市の中からランダムに設定した。

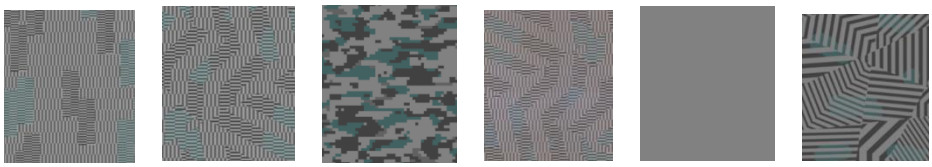
画面上に一定間隔に選択したデザインの画像を計 5 つ表示させ、クリックさせる。クリックした速度とミス数を計算し迷彩の効果を考察した。画像はランダムな位置で出現しランダムな挙動で動くものとした。

実地テストではダズルオオウチを A4 サイズに印刷して 4 枚つなげて固定し、錯視が見える距離と迷彩として周囲に溶け込む距離を計測した。また防弾チョッキに印刷したデザインを貼り付け、実戦形式のテストをかねてサバイバルゲームに参加した。



ソフトテスト画面

屋外テスト風景　迷彩効果を検証している。



使用したデザイン。左から「オオウチ」「ダズルオオウチ」「デジタル迷彩」「単色」「紙にプリントしスキャンしたダズルオオウチ」「ダズル迷彩」。

・結果

実地テスト・視力によって錯視の見える距離は変わる。周囲が暗くなると錯視効果が失われる（少なくなる)。周囲が暗くなると周囲に溶け込むまでの距離が短くなる。

ソフトテスト・大きい画像の方がタイムの短くなる傾向にあった。人によってタイムがまばらであり、迷彩柄よりも単色の方が長いタイムを出している人すらいた。オオウチにてミスをしている人が多い。全体において突出して大きなタイムの差を出した項目は無かった。

・考察

オオウチ錯視においてミスが多かったのは、メニューアイコンの配置的に最初にプレする人が多く、測定の操作に慣れておらずミスをしてしまったという可能性も考えられる。タイムによって大きな差が出なかった。現地テストにて偽装効果はあったので、テスト画面の大きさ、表示させるデザインをより小さくするなどの工夫をすれば結果は変わるかもしれない。一定の大きさで表示させるとデザインによる偽装効果は失われてしまう可能性がある。

・参考文献

一川　誠（2012)「錯視学、知覚の謎を解く」集英社新書

北岡　明佳（2017)「錯視の科学」日刊工業新聞社

小林 政司, 岡本 幾子（2004）被服に用いられる迷彩柄の隠蔽効果に関する研究

ユニチカ　（2006）兵士用偽装シート（https://www.j-platpat.inpit.go.jp/p0200）2022/01/09 最終アクセス

ガンマ線バーストのジェットの速度の算出

宇宙科学研究室
指導　門多　顕司
1824048　福井　陽喜

1.導入

ガンマ線バースト(以下、GRB)は、ガンマ線が宇宙のランダムな方向から突然現れ、20 秒程で消えてしまう突発的な放射を持つ現象である。GRB には 2 種類あるが、本研究は太陽より少なくとも数十倍以上も重い星が重力崩壊で爆発した際に発生するエネルギー的に大きい方の GRB と、その放射モデルとして内部衝撃波モデルを採用する。このモデルは、重い星の重力崩壊で生じた重力エネルギーがガスの加速に使われ、亜光速で互いに反対方向に飛び出す 2 本のジェットを形成する。そのジェットの内部で速いガスが遅いガスにぶつかり、衝撃波が形成されるが、その中で運動エネルギーが高エネルギー電子や強い磁場に渡され、シンクロトロン放射によってガンマ線が生まれるとされている[1]。かつては、GRB は等方的な放射だとされていた。しかし、光度曲線の折れ曲がりからジェットの端が見えたと解釈され[2]、GRB はジェットを持ち、その放射角が 5-6 度だと解明された[3]。文献[4]では、等方的な放射として仮定した場合の衝撃波の速度(Γ>100、光速の 99.995%)しか計算されていなかったため、よりモデルに近いジェット状の際の値を算出すべきだと考えた。

2.原理

GRB にはコンパクトネス問題がある。発生源の密度が高すぎるとガンマ線光子同士が衝突して電子と陽電子を対生成してガンマ線は消滅してしまう。ここからジェットの速度を算出することができる。GRB のガンマ線フラックスはおよそ $f\sim10^{-9}\mathrm{W/m^2}$である。宇宙論的な距離 d=10^{26}m(100 億光年)で 5 度の放射角を持ち、双方に放射している[3]とすると、放射が当たる面積から、中心の光度を求めることができ、$L_\gamma\sim1.2\times10^{41}\mathrm{W}$ と推定される。ガンマ線フラックスの変動時間は大体 $\Delta t\sim10$ ミリ秒なので放射領域のサイズ R は、

$$R\sim c\Delta t\sim3\times10^{8}\cdot1.0\times10^{-2}\sim3\times10^{6}\mathrm{m}$$

その間に放射されるガンマ線のエネルギーは$L_\gamma\Delta t\sim1.2\times10^{39}\mathrm{J}$ である。このうちガンマ線が電子陽電子対を生成することができる割合をf_pとする。一対の電子陽電子対を生成する断面積はトムソン断面積σ_Tくらいなので、対生成の全断面積は$\sigma_T f_p L_\gamma\Delta t/m_e c^2$となる。これを放射領域の断面積$R^2$で割ると、光学的厚さ$\tau_\gamma$が出てくる。

$$\tau_\gamma\sim\frac{\sigma_T f_p L_\gamma\Delta t}{R^2 m_e c^2}\sim1.1\times10^{11}f_p$$

以上より、光学的にかなり厚いことが分かる。τ_γが 1 以上であると、ガンマ線が電子陽電子対となって消滅してしまう。同じ慣性系として考えるとガンマ線は GRB から出てくることが不可能なはずである。しかし、相対論的に考えるとコンパクトネス問題は解決される。電子陽電子のエ

ネルギーをそれぞれE_1, E_2とすると、$E = mc^2$より、ジェットの系では、$E_1'E_2'$>$(m_e c^2)^2$となる。しかし観測者の系で$E_1 > \Gamma^2(m_e c^2)^2/E_2 \propto \Gamma^2$となり、GRB の光度曲線を経験的に表したバンド関数 *N(E)*より、

$$f_p \propto \int_{E_1} N(E)dE \propto E_1^{\beta+1} \propto \Gamma^{2(\beta+1)}$$

が表される。β~-2 程度[5]なので、f_pをΓ^{-2}倍して再計算する必要がある。また、放射領域のサイズ R は意外と狭くない。視線の延長線上にある 2 地点 A,B から、亜光速υで光が放たれたとする。A,B 間の距離をR_1、B から観測者までの距離をR_2とすると。観測者に到着するその時間差は、$\Delta T = (R_1/\upsilon + R_2/c) - (R_1 + R_2)/c$ と表されるが、$\upsilon/c \approx 1$ と考えると、$\Delta T \sim R_1/\Gamma^2 c$となり、$R_1 \sim \Gamma^2 c\Delta T$から、$R$を$\Gamma^2$倍して再計算すべきである。また、相対論的ビーミングより、放射がΓ^{-1}の角度に限られたように見えてしまうため、視線の延長線上にない 2 地点を考えても結果は近似できる[6]。

3.結果

原理より、f_pをΓ^{-2}倍、RをΓ^2倍してτ_γを再計算すると、およそΓ>68 であれば、τ_γ<1 の値を取るので、ガンマ線が出てくることが可能である。不確定要素としてf_pが残るが、Γ=68 より、GRB のジェットは少なくとも光速の 99.989%の速度を持つ放射だと算出された。

4.考察と今後の課題

等方的な放射よりもジェット上の放射の方が総エネルギーは少ないため、ジェットの速度は遅く算出されると考えていたが、それでも光速に近い速度で動いている必要があることが分かった。しかし、双方とも相対論的な速度を与えなければならないため、これを可能にする放射メカニズムを解明することが今後の課題である。また、磁場の発生方法、シンクロトロン放射では低エネルギー側のべきを説明できない点、ジェットの生成過程等、関係する未知の部分を観測と理論の双方から解決することが放射メカニズムを解明する手がかりになるかもしれない。

5.参考文献

[1]郡司 修一 ほか.(2013)「ガンマ線偏光で探るガンマ線バーストの放射メカニズム」
https://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2013_106_03/106_214.pdf(閲覧日:2021 年 12 月 27 日)
[2]小林史歩.(2002)「ガンマ線バーストと火の玉」
https://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2002/pdf/20020202c.pdf(閲覧日:2021 年 12 月 27 日)
[3]村上 敏夫.『ガンマ線バースト』.講談社.
[4]『ブラックホールと高エネルギー現象』.日本評論社.
[5] Preece et al. 2000, ApJS, 126, 33-35.
[6]https ://www.miz.nao.ac.jp/staffs/MarekiHonma/lecture/note2008-9.pdf(閲覧日:2021 年 12 月 27 日)

電波観測による空気シャワーの検出方法について

宇宙科学研究室
1824049　藤田　楽
指導教員：門多　顕司

１．緒言

宇宙線は、1912 年にヘスによって発見されたが、100 年ほど経った今現在もなお発生起源がよくわかっていない。宇宙線とは、宇宙空間を飛び交う高エネルギーの放射線のことである。高エネルギーの宇宙線が地球の大気圏に入ると空気分子に衝突し、多数の二次粒子を生成する。これを二次宇宙線と呼ぶ。この二次宇宙線がシャワーのように地上へ降り注ぐことから、「空気シャワー」とも呼ばれている。宇宙線の正確な到来方向が発見出来れば、宇宙線の発生機構を解明することができる。しかし、宇宙線の大部分は荷電粒子である為に、地球に到達するまでに銀河磁場の影響で進行方向が曲げられてしまい、宇宙線源の情報が得られない。そこで、銀河磁場の影響を受けにくい 10^{19}eV 以上の超高エネルギー宇宙線を観測することで、宇宙線の到来方向に対応する発生起源が発見できる可能性が高まる。超高エネルギー宇宙線の観測方法として、多数の粒子検出器を地表に設置して空気シャワーの粒子を観測する方法と空気シャワー中の電子によって励起された空気中の窒素分子が放出する蛍光を望遠鏡で観測する方法がある。しかし、これらの観測方法では、観測するのに広大な面積が必要であることや時間の制限があるなど観測する上で支障をきたすことがある。空気シャワーの粒子による電波放射を検出することで上記の方法でのデメリットを解決することが期待できる。そこで本研究では、宇宙線の電波観測を想定して観測される電波波形を計算することで、宇宙線のエネルギー決定と入射方向を推定できるか検討する。さらに、電波観測による宇宙線の観測が可能であるか検討する。

２．電波発生機構[1]

空気シャワーに伴う電波発生機構として、以下の３つを考慮した。

1 静電的寄与

空気シャワー中のすべての荷電粒子により放射される電波である。

2 空気シャワー中の負荷電過剰による寄与

空気シャワーの縦方向発達で生成される電子陽電子対では負電荷が過剰に存在している。負電荷過剰率は空気シャワー中の総粒子数の 20%程度であり、この過剰に存在する負電荷の時間変化により放射される電波である。

3 地磁気による横方向電流の時間変化による寄与

空気シャワー中の電子と陽電子が地磁気によってローレンツ力を受ける為、空気シャワー内に電流が流れる。この電流の時間変化によって電磁波が放射される電波である。

時刻tに位置$\vec{r}$で観測される電場は式(1)で表される。ここで、$\vec{n_i}$は粒子iの検出器方向を向く単位ベクトル、R_iは粒子iと検出器までの距離、$\vec{\beta_i}$は粒子iの速度$\vec{v_i}$を光速cで割った速度ベクトル、t_{ret}は遅延時間、q_iはt_{ret}に電波を放出する粒子の電荷量、ζ は時刻tに検出される粒子の総数を表している。なお、ε_0は真空の誘電率である。

$$E_{tot} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\sum_{i=1}^{\zeta}\left[\frac{\vec{n_i}q_i(t_{ret})}{R_i{}^2(1-\vec{\beta_i}\cdot n_i)}\right]_{\mathrm{ret}} + \frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\sum_{i=1}^{\zeta}\left[\frac{\vec{n_i}q_i(t_{ret})}{R_i(1-\vec{\beta_i}\cdot n_i)}\right]_{\mathrm{ret}} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t}\sum_{i=1}^{\zeta}\left[\frac{\vec{v_i}q_i(t_{ret})}{R_i(1-\vec{\beta_i}\cdot n_i)}\right]_{\mathrm{ret}}\right\} \quad (1)$$

3．シミュレーション方法

電波波形の計算を以下の条件で実行した。

一次宇宙線のエネルギー$E=10^{17},10^{18},10^{19}$eV、天頂角 θ =0,10,20,30,40,50 度、方位角 ϕ = 0,90,180,270 度の場合について計算を行った。また、アンテナの位置をシャワーコアの東 100mの位置に設定し、宇宙線の最初の相互作用点を 80g/cm^{2}で固定する。また、この時を t_{ret}=0 とした。

4．計算結果及び考察

図 1 は、一次宇宙線のエネルギーを 10^{19}eV、天頂角 θ =50 度、方位角 ϕ =90,270 度で入射した場合の電波の計算結果を示したものである。電波の波形は宇宙線のエネルギーや入射角によって、電波のピーク値の正負やピーク時間の違いが見られた。また図 2 は、天頂角 θ =50 度、方位角 ϕ =0,90,180,270 度で入射してくる一次宇宙線のエネルギーとシミュレーションで求めた電場の絶対値のピーク値との相関関係である。なお、横軸と縦軸は対数目盛りである。電場のピーク値は一次宇宙線のエネルギーの値が大きくなると増加することが分かった。また、この結果は、天頂角が異なる場合でも同様の結果が得られた。さらに到来方向の条件を変えて電波波形を計算したが、どの場合においても一次宇宙線のエネルギーのピーク値が異なったため、実際に観測された電波波形から一次宇宙線のエネルギーを推定できると考えられる。また、図 1 では方位角によって電波波形の違いが見られる為、観測される電波波形から到来方向が推定できると考えられる。以上の事から、電波観測による宇宙線検出が可能であると考えられる。今後、検出器の性能やノイズなどの観測条件を考慮して空気シャワーのエネルギーと到来方向の決定精度を調査する必要がある。

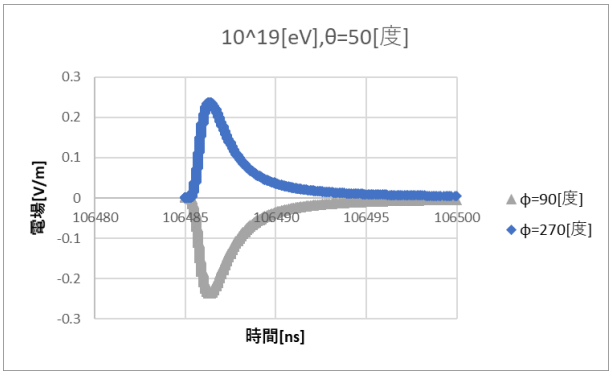


図 1.電波の波形

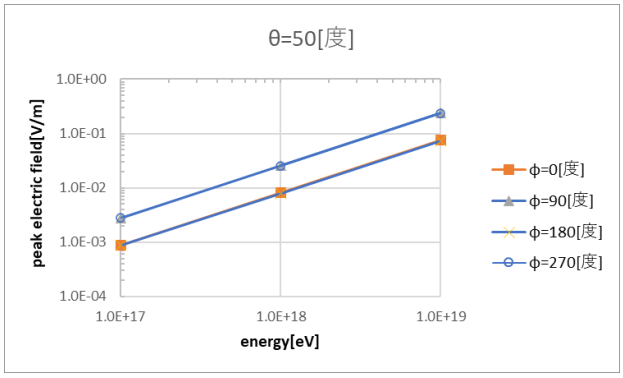


図 2 .エネルギーと電波の相関関係

5．参考文献

[1] BENOˆIT REVENU AND VINCENT MARIN. “Coherent radio emission from the cosmic ray air shower sudden death” THE ASTROPARTICLE PHYSICS CONFERENCE(2013)

[2]東京大学宇宙線研究所「宇宙線望遠鏡計画」p.119-p.121

[3]鈴木裕二郎「超高エネルギー宇宙線観測のための電波アレイの検討」(東京工業大学 1992)

宇宙線の銀河磁場内での伝播

宇宙科学研究室
指導　門多　顕司
1824059　山下由楽

1.　諸言

宇宙線が発見されてから、いまだに宇宙線の起源は解明されていない。その理由として、エネルギーが低い宇宙線(CR)は宇宙空間に存在する磁場により軌道を曲げられてしまうため、起源を特定することは難しいことがあげられる。しかし、エネルギーの高い宇宙線(超高エネルギー宇宙線)は磁場の影響を受けにくく軌道も曲がりにくいため、起源を特定することが出来るのではないかと宇宙線実験が行われている。

本研究では銀河磁場モデル(GMFmodel)を仮定し、エネルギーが 10^{18}、10^{19}、10^{20} eV の時の陽子と鉄の伝播シミュレーションを行った。加えて、シミュレーション結果より宇宙線陽子と鉄の flux の計算を行い作成した skymap と、テレスコープアレイ実験、ピエールオージェ観測所の結果と比較し考察することで宇宙線の異方性について研究した。

2.　原理

本研究で使用した GMFmodel は M.F Pshirkov et al.(2011)[1]を参考にした。GMFmodel はディスクフィールドとハローフィールドに分けて計算した。太陽中心座標における、銀河中心方向にx座標、銀河面から北を指す方向にz座標をとる。

ディスクフィールドの動径(r)成分および方位角(θ)成分は(1)(2)(3)式で表される。

$$B_\theta^D = B^D(r,\theta,z)\cos p \quad \cdots(1) \qquad B_r^D = B^D(r,\theta,z)\sin p \quad \cdots(2)$$

$$B^D(r,\theta,z) = B^D(r)\left|\cos\left(\theta - b\ln\frac{r}{R_\odot} + \varphi\right)\right|\exp(-|z|/z_0) \quad \cdots(3)$$

ここで、$z_0 = 1$ kpc, $p = -5°$, $\varphi = b\ln\left(1+\frac{d}{R_\odot}\right) - \frac{\pi}{2}$, $d = -0.6$ kpc, $b \equiv \frac{1}{\tan p}$, $R_\odot = 8.5$ kpc であり

$$B^D(r) = \begin{cases} B_0^D \frac{R_\odot}{r\cos\phi}, & r > R_c \\ B_0^D \frac{R_\odot}{R_c\cos\phi}, & r < R_c \end{cases}, \quad R_c = 5\text{ kpc}, \quad B_0^D = 2\mu\text{G} \quad \cdots(4)$$

である。

ハローフィールドの磁場の大きさは(5)(6)式で求められる。

$$B_\theta^H(r,z) = B_{0,n,s}^H\left[1+\left(\frac{|z|-z^H}{z_0^H}\right)^2\right]^{-1}\frac{r}{R_0^H}\exp\left(1-\frac{r}{R_0^H}\right), R_0^H = 8\text{ kpc} \quad \cdots(5)$$

$$B_{0,n,s}^H = \begin{cases} 4\mu\text{G(銀河面の北)} \\ -2\mu\text{G(銀河面の南)} \end{cases} \qquad Z_0^H = \begin{cases} 0.25\text{ kpc } (|z| < z^H) \\ 0.40\text{ kpc } (|z| > z^H) \end{cases} \quad \cdots(6)$$

以上 GMFmodel の式から軌道計算を行った。P.G.Tinyakov(2016)[2]より、宇宙線源の分布を銀河系内でのパルサー分布とし、$\rho(r)$と$\rho(z)$はそれぞれ radical profile と gaussian profile を用いた。

$$\rho(r) = r^p\exp(-r/\sigma_r)\,;\, p = 2.35、\sigma_r = 1.528\text{ kpc} \quad \cdots(7)$$

$$\rho(z) = \exp(-z^2/2\sigma_z^2)\,;\, \sigma_z = 50\text{ pc} \quad \cdots(8)$$

地球で観測される任意の方向$\vec{n}$からの宇宙線の flux $\Phi(\vec{n})$は式(9)のように宇宙線の軌跡と宇宙線源の分布の積に比例する。

$$\Phi(\vec{n}) \propto \int_\oplus^{end} \rho(\mathrm{l})\mathrm{dl} \quad \cdots(9)$$

3.　結果

宇宙線陽子のエネルギーを 10^{18}、10^{19} eV と仮定し銀河磁場内の伝播シミュレーション結果から式(9)を用いて flux を計算し作成した skymap を図 1、2 に示す。ただし、横軸を銀経(l)、縦軸を銀緯(b)とし原点を銀河中心としている。

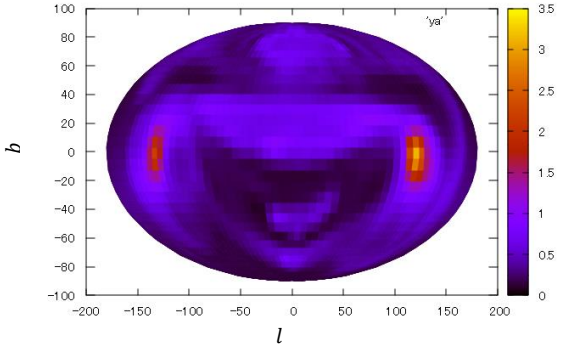


図 1.　銀河座標における 10^{18} eV 宇宙線陽子の skymap

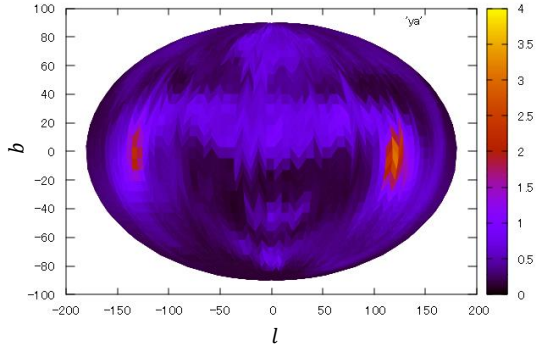


図 2.　銀河座標における 10^{19} eV 宇宙線陽子の skymap

4.　考察

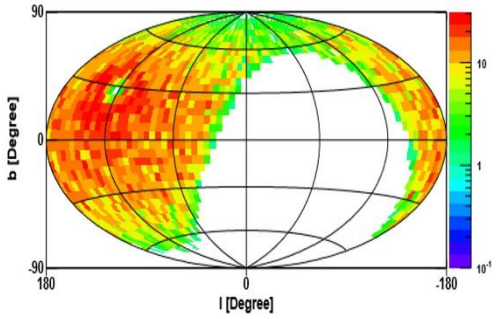


図 3.TA data の skymap

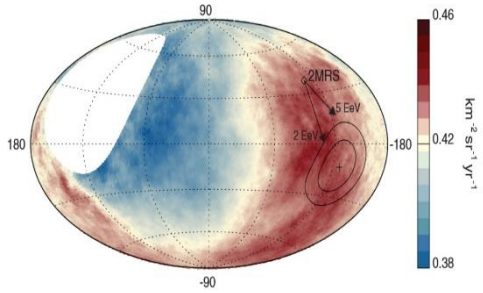


図 4.Auger data の skymap

図 1 で示した 10^{18} eV の宇宙線陽子の skymap では、$(-130° < l < 120°, -20° < b < 20°)$の範囲で、図 2 で示した 10^{19} eV の宇宙線陽子の skymap では、$(-130° < l < 120°, -20° < b < 20°)$の範囲で異方性が示された。図 1、2 では、陽子のエネルギーの高いほうから異方性が強く見えた。方角については、違いは見られなかった。

図 1、2 と図 3、4 の skymap を比較した。図 3 の skymap では、$(l{\sim}120°, b{\sim}20°)$の付近で、図 4 の skymap では、$(l{\sim}-160°, b{\sim}-20°)$の付近で異方性が示された。図 1、2 と図 3、4 の skymap を比較した結果、少しのずれが確認できた。

5.　結論

図 1 で示した 10^{18}eV の宇宙線陽子のエネルギーの skymap では、(-130<1<120°,-20<b<20°)の範囲で,図 2 で示した 10^{19}eV の宇宙線陽子のエネルギーの skymap では、(-130<1<120°,-20<b<20°)の範囲で異方性が示された。
図 1、2 では、陽子のエネルギーの高いほうから異方性が強く見えた。方角については、違いは見られなかった。
また、図 1、2 と図 3、4 の skymap を比較した結果、少しのずれは確認できた。

図 1、2 と図 3、4 の skymap を比較した結果、異方性が完全に一致しなかったことから、銀河磁場モデルを変えて計算し skymap を作成することで、TA、Auger との異方性を検討することを今後の課題とする。

6.　参考文献

[1]M.S.Pshirkov et al.(2011),「Deriving the global structure of the galactic magnetic field From faraday rotation measures of extragalactic sources」,Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 436(2013)2326.

[2]P.G Tinyakov et al.(2016)「A signature of EeV protons of Galactic origin」,Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 460(2016)3479-3487

Doomsdayアルゴリズムの改良とアプリの開発

位相幾何学研究室
1824050 松木彰吾
指導教員　中井洋史　准教授

1　はじめに

年月日を表す数字の情報から曜日を当てる方法の数理的な考察は、「鏡の国のアリス」「不思議の国のアリス」の著者であり数学者としての顔ももつL.キャロルの1887年の論文[2]に始まる。彼は、曜日計算をCentury, Year, Month, Dayの4つの成分に分け、モジュラー算術を用いて計算する方法を論文[2]で提唱した。

さらにL.キャロルの方法を改良したのが、フィールズ受賞者としても名高いJ.H.コンウェイである。彼は 1973年に論文[3]でDoomsdayアルゴリズムと呼ばれる方法を考案し、曜日計算の暗算の大幅な高速化を達成した。残念ながら彼は2020年4月11日にコロナで亡くなったが([8])、この事が私が曜日計算に興味を持った一つのきっかけだった。

この卒論では曜日計算の数理に関する歴史的な背景をまとめ、 Doomsdayアルゴリズムを改良することを試みた。さらに、彼の開発したアルゴリズムをプログラムとして実現し、コンウェイのDoomsdayアルゴリズムを普及させる一助となる事を目指した。

2　Doomsdayアルゴリズムの概略

Doomsdayアルゴリズムは、一年の中で同じ曜日をもつ日付の中で覚えやすいものの一群を定義することが最大の特徴である。例えば、閏年でない任意の年において下記の表の日付（これらをDoomsdayと呼ぶ）は同じ曜日となることが確かめられる（閏年の場合は1月と2月の情報を修正する）。

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日	31	28	7	4	9	6	11	8	5	10	7	12

例えば 4/4, 6/6, 8/8, 10/10, 12/12 などは記憶が容易である。 Century, Yearの情報から該当年のDoomsdayの曜日を計算して、曜日を求めたい日付とDoomsdayの差分を考慮すれば、求めたい日付の曜日が計算できる。

コンウェイのDoomsdayアルゴリズムは、後に若干の改良を加えられたバージョンも知られている。例えばX.S.Wang [5]は、コンウェイのDoomsdayの代わりに以下の4つのグループに分けた基準日を記憶することを提唱した。またC.Fong [4]は、コンウェイの方法ではCenturyとYearから基準日の曜日を計算する方法を改良してより暗算に適した形を提案した。

3　主結果

本卒業研究では、曜日計算の歴史と背景にある数理について先行研究を調べ、特にコンウェイのDoomsdayアルゴリズムに関する考察をおこない、より暗算を高速かつ容易にするために改良する試みをおこなった。

一方で、JavaScriptおよびSwiftのプログラミングを用いることによって、曜日当てクイズの教育用ゲームを開発した。これらのコンピュータ言語は「オブジェクト指向」と呼ばれるものであり、クイズを作成するオブジェクトや正誤判断後の処理をするオブジェクト等に分解することで追加機能を実装し易いという特徴がある。このような特徴を活かし、後継者が機能を追加することも容易であるようにプログラムを設計した。

プログラムのインターフェイスとしては、複雑な操作を排除して直感的に操作できるよう見やすくシンプルなデザイン構成とした。また、小学生が遊んでも楽しいものになるように努め、途中で悩んで立ち止まった際にもゲームを進めることが出来るように問題ごとに適切なヒントを設置する等の工夫をした。

References

[1] 加藤明史. 新装版親切な代数学演習. ISBN: 978-4-7687-0431-8

[2] L.Carroll. To Find the Day of the Week for Any Given Date. *Nature*, March 31, 1887.

[3] J.H.Conway. Tomorrow is the Day After Doomsday. *Eureka. October* 1973. p. 28–32.

[4] C,Fong. Methods for Accelerating Conway's Doomsday Algorithm (part 1 and part 2).

[5] X.S.Wang. Calculating the day of the week: null-days algorithm. *Recreat. Math. Mag.* 2015, no. 3, 5–9.

[6] M.Walters. "An easier doomsday algorithm"

[7] YingKing Yu. A Perpetual Calendar in Your head.

[8] John Horton Conway (Wikipediaの記事).

ポアソン分布によるプロ野球のホームラン数予想

微分幾何学研究室
1824002　秋山直也
指導教員:橋本義武

1 ポアソン分布

定義（ポアソン分布）

X を確率変数，λ>0 とする。k=0,1,2,…に対し，

$$P(X=k) = \frac{\lambda^k}{k!}e^{-\lambda}$$

が成り立つとき、X はパラメータ λ のポアソン分布 (Poisson distribution) に従うという。

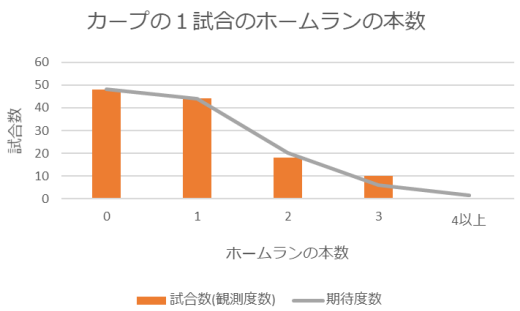
ポアソン分布はまれに起こるある事象に対し、その事象が一定時間内に何回発生したかを表す分布として用いられる。

2 ホームラン数とポアソン分布

ホームランの数がポアソン分布に従うかを２０２０年の広島東洋カープのデータを使って確かめる。

期待度数は λ を 110/120 として計算した。

ホームラン1日で(本)　k	試合数(観測度数)	期待度数	χ^2
0	48	47.98195852138170	0.00000678369455
1	44	43.98346197793320	0.00000621838667
2	18	20.15908673988600	0.23124338966846
3	10	6.15972094829852	2.39422261474539
4以上	0	1.71577181250055	1.71577181250055
計	120	120.00000000000000	4.34125081899563



χ 2 乗分布は、

$$P(\chi^2) = 0.23$$

となるので、仮説を受容する。

3 ホームラン数の予想方法

各チームのホームラン指数を

$$\text{ホームラン指数} = \frac{(\text{球場別各チーム本塁打/球場での試合数})}{\text{各球場の 1 試合当たり本塁打}}$$

とする。

また、各チームの被ホームラン指数も同じように定める。

以下に球場別各チームのホームラン力と被ホームラン指数をまとめる。

	東京D		神宮		横浜		ナゴヤD		甲子園		マツダ	
	ホームラン指数	被ホームラン指数	ホームラン指数	被ホームラン指数	ホームラン指数	被ホームラン指数	ホームラン指数	被ホームラン指数	ホームラン指数	被ホームラン指数	ホームラン指数	被ホームラン指数
巨人	1.133858268	0.866141732	1.589403974	0.860927152	0.743801653	0.991735537	1.392405063	1.012658228	0.730769231	1.043956044	1.01010101	1.414141414
阪神	0.837270341	0.837270341	0.662251656	0.993377483	0.991735537	1.32231405	1.265822785	0.632911392	1.142857143	0.857142857	1.414141414	0.707070707
中日	0.608923885	0.837270341	0.927152318	0.794701987	0.578512397	1.818181818	0.784810127	1.215189873	0.417582418	1.148351648	0.606060606	1.212121212
DeNA	0.989501312	1.37007874	1.059602649	0.728476821	1.223140496	0.776859504	0.506329114	0.759493671	1.774725275	0.730769231	1.111111111	0.909090909
広島	1.141732283	0.913385827	1.059602649	1.324503311	0.826446281	0.909090909	1.898734177	0.759493671	0.695970696	1.67032967	0.96969697	1.03030303
ヤクルト	0.730708661	1.826771654	0.940397351	1.059602649	0.743801653	1.074380165	1.012658228	0.759493671	0.626373626	1.252747253	1.01010101	0.606060606

次に λ をホームチームとアウェーチームでそれぞれ以下のように定義する。

λ(ホーム)=球場別1試合当たり本塁打×ホームチームの本拠地ホームランカ×アウェーチームのその球場での被ホームランカ

λ(アウェー)=球場別1試合当たり本塁打×アウェーチームの本拠地ホームランカ×ホームチームのその球場での被ホームランカ

これらからポアソン分布を用いて各チームのホームラン数を予想する。

4 結果

ホームチームを H で表す。

	最頻値	期待値		最頻値	期待値
広島(H)	1	1.123895395	広島	1	1.076537293
巨人	0	0.856365873	巨人(H)	1	1.126368717

	最頻値	期待値		最頻値	期待値
広島(H)	0	0.565323869	広島	0	0.476041391
阪神	1	1.192412196	阪神(H)	0	0.476041391

	最頻値	期待値		最頻値	期待値
広島(H)	0	0.965896014	広島	1	1.493558262
中日	0	0.514936139	中日(H)	0	0.392345229

	最頻値	期待値		最頻値	期待値
広島(H)	0	0.72621966	広島	0	0.646763296
DeNA	0	0.941059432	DeNA(A)	1	1.114074442

	最頻値	期待値		最頻値	期待値
広島(H)	0	0.484686262	広島	1	1.393904205
ヤクルト	0	0.856365873	ヤクルト(H)	1	1.538458518

5 参考文献

日本野球機構「2020 年度 公式戦成績」NPB.JP
https://npb.jp/bis/2020/stats/

シンプソンのパラドックス

イスラエルと日本のワクチンに関するデータの比較

微分幾何学研究室

1824012　　岡本渚生

指導教員　橋本義武　教授

1.　シンプソンのパラドックスの概要と例

シンプソンのパラドックスとは、主にデータをいくつかのグループに分割した表において、グループ間に見られる相関関係が全体でも成り立つだろうと直感的に推測されるのに対し、場合によってはデータ全体に見られる傾向が真逆になってしまうというパラドックス(逆説)現象において、その逆説的なデータを数学的な解釈とは異なる因果関係を想定させる解釈を与えてしまうことで矛盾が起きることをいう。次のようなデータセットを用い、新薬 A と従来型治療薬について男女各々と全体でデータを比較し、シンプソンのパラドックスの紹介をする。まず女性に着目して新薬 A と従来型治療法の有効性を計算する。

	新薬A		従来型治療法	
	効果無	効果有	効果無	効果有
女性	3	37	1	19
男性	8	12	12	28
合計	11	49	13	47

新薬A→37/(3+37)=0.925

従来型治療法→19/(1+19)=0.95>0.925

次に、男性も同様の計算を行う。

新薬A→12/(8+12)=12/20=0.6

従来型治療法→47/(13+47)=47/60=0.7>0.6

男女各々について従来型治療薬の方が「効き目が良い」という結果となった。最後に男女全体で同様の計算を行う。

新薬A→49/(11+49)=49/60≒0.82，従来型治療法→47/(13+47)=47/60≒0.78＜0.82

データを全体で見ると新薬 A の方が「効き目が良い」という結果となった。ここに集団全体とその小集団でデータを比較したときに結果の逆転が起きている。また、このデータから「効き目が良い」という解釈を与えたことにより、治療の種類と効果の有無の間に因果関係が生まれ、シンプソンのパラドックスが見られる。

2.　イスラエルのコロナ入院患者に占めるワクチン接種者におけるシンプソンのパラドックスの実例

イスラエル政府のコロナダッシュボードから 2021 年 8 月 15 日までのワクチン接種の有無で分けた年齢階層別と全年齢での重篤者数を人口 10 万人あたりで正規化し有効性を算出したデータ表を左記に示す。有効性=(1-V/N)、V:ワクチン接種済の感染者数 N:ワクチン未接種の感染者数とする。このイスラエルにおけるワクチン有効性対重篤化データから作成したグラフを作成する。

年齢	重症者数(ワクチン未接種):N	重症者数（ワクチン接種済):V	有効性(%)
12～15	0.3	0	100
16～19	1.6	0	100
20～29	1.5	0	100
30～39	6.2	0.2	96.8
40～49	16.5	1	93.9
50～59	40.2	2.9	92.8
60～69	76.6	8.7	88.7
70～79	190.1	19.8	89.6
80～89	252.3	47.9	81.1
90～	510.9	38.6	92.4
全年齢	16.4	5.3	67.5

表　イスラエル　ワクチン有効性対重篤化

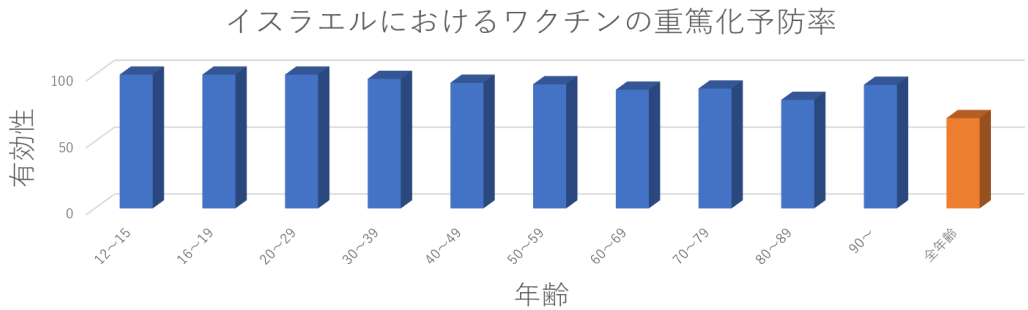


図.イスラエルにおけるワクチン対重篤化有効性

グラフの通り、全年齢でのワクチン対重篤化有効性と年齢階層別での有効性に矛盾と感じられるデータが見られた。この全年齢でのデータをメディアが誇張し、ワクチン接種と重篤化に因果関係を想定させる解釈を与えた事でシンプソンのパラドックスが起きている。

3. 日本とイスラエルのワクチン有効性の比較

まず日本とイスラエルにおけるワクチン対感染有効性のデータからグラフを作成する。

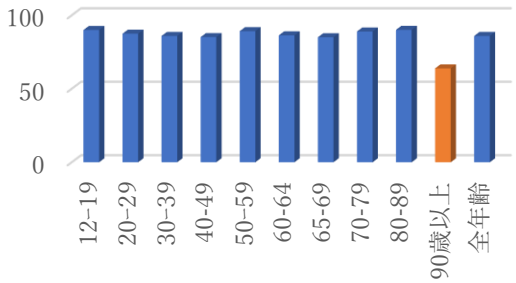


図. 日本 ワクチン有効性 対感染

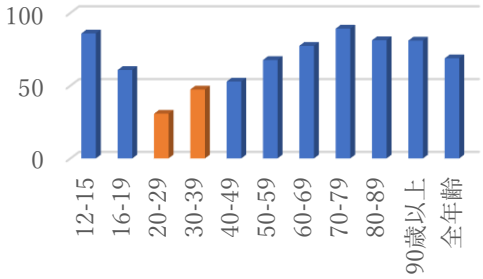


図. イスラエル ワクチン有効性 対感染

日本、イスラエル共に各年齢層と全年齢でデータの逆転は見られなかった。日本では 90 歳以上で有効性が低く、イスラエルでは若年層で特に低い有効性が示されている。

4. 日本とイスラエルにおけるワクチン対感染データの差異に関する考察

日本においては 90 歳以上の人口が比較的多く、感染しやすい 90 歳以上でワクチン接種率も高いことから低い有効性が示されたのではないか。また、イスラエルでは若者の人口割合(14 歳以下)が総人口の 1/3 を占めており、若年層の人口が総人口の多くを占める。さらに、イスラエルは日本比べ極めて高い出生率を誇ることから、若年層での社会活動が活発であり接触の機会が多く有効性が低く出たと考える。

5. 参考文献

【1】 Covid-19 Data Science https://www.covid-datascience.com/post/israeli-data-how-can-efficacy-vs-severe-disease-be-strong-when-60-of-hospitalized-are-vaccinated

【2】 和から株式会社 シンプソンのパラドックスという不思議な現象 https://wakara.co.jp/mathlog/20200825

2021 年度卒業研究概要

コロナ禍における人流分析

微分幾何学研究室

1824043　中村　祥

指導教員　橋本義武　教授

1　人流分析範囲

新型コロナウイルス感染対策として日本政府は 2020 年４月を初めに過去４回緊急事態宣言を発出した。ゲーム理論を用いて、小田急電鉄と東急電鉄、東京地下鉄の人流を分析することにより、緊急事態宣言下での東京都民の行動を考察する。中でも、３回目の緊急事態宣言と４回目の緊急事態宣言下での行動に焦点を当てた。

緊急事態宣言　１回目（2020/4/7~5/25）２回目（2021/ 1/8~3/21）３回目（2021/ 4/25~5/31）４回目（2021/7/12~9/30）

2　コロナ禍においてのゲーム理論定義

東京都の都民を【活動をしたい都民】と【感染を避けたい都民】に分ける。このゲームの利得の定義について

感染による損害の期待値を a とする。コロナ前の生活に戻れる度合いに応じて得られる利得を b とする。

感染による損害の期待値 a による利得は (自粛した場合＝0,自粛しなかった場合＝a)となる。

コロナ前の生活に戻れる度合いに応じて得られる利得 b は(活動しなかった場合＝0,活動した場合＝ b)となる。

基本型		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-a)
	自粛しない	(-a,0)	(-a,b-a)

人流の表		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	人流が減る方向に行く	人流が増える方向に行く
	自粛しない	人流が減る方向に行く	人流が増える方向に行く

【慣れ率】

慣れ率には割引因子を適用する。2020 年４月の１回目の緊急事態宣言の価値を１とする。緊急事態宣言に都民が１ヵ月単位で慣れていく度合い(慣れ率)を r とする。１ヵ月後の 2020 年５月の緊急事態宣言の価値は 1+ r である。その時、2020 年５月からみた 2020 年４月の緊急事態宣言の価値は 1/(1+ r)となる。1/(1+ r)＝δ とすれば ２か月後の緊急事態宣言の価値は δ^2 となる。よって n ヵ月後から見た 2020 年４月の緊急事態宣言の価値はδ^n となる。

【感染状況】

１回目の緊急事態宣言下での新規感染者数の ７日間移動平均の平均値 88 を基準として各期間の７日間平均の最大値との倍率を求め使用する。ワクチンを打った都民は a が小さくなるとする。

3　ゲーム理論の実践

①緊急事態宣言**開始月**の都民の行動のゲーム理論での比較

【3 回目の緊急事態宣言】2021 年 ４月　δ^{12}

３回目:緊急事態宣言		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-8.5)
	自粛しない	**(-8.5,0)**	(-8.5,b-8.5)

【4 回目の緊急事態宣言】2021 年 ７月　δ^{15}

４回目：緊急事態宣言		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-16.2)
	自粛しない	**(-16.2,0)**	(-16.2,b-16.2)

②緊急事態宣言開始 **1 ヵ月後**の都民の行動のゲーム理論での比較

【3 回目の緊急事態宣言】2021 年　5 月　δ^{13}

3 回目:緊急事態宣言		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-8.4)
	自粛しない	**(-8.4,0)**	(-8.4,b-8.4)

【4 回目の緊急事態宣言】2021 年 8 月　δ^{16}

4 回目：緊急事態宣言		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-47.9)
	自粛しない	**(-47.9,0)**	(-47.9,b-47.9)

③緊急事態宣言開始 **2 ヵ月後**の都民の行動のゲーム理論での比較

【3 回目の緊急事態宣言(**解除後**)】2021 年　6 月

3 回目:緊急事態宣言		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-4.8)
	自粛しない	(-4.8,0)	**(-4.8,b-4.8)**

【4 回目の緊急事態宣言】2021 年 9 月　δ^{17}

4 回目：緊急事態宣言		活動をしたいと思う都民	
		自粛する	自粛しない
感染を避けたい都民	自粛する	(0,0)	(0,b-15.3)
	自粛しない	**(-15.3,0)**	(-15.3,b-15.3)

4　結論

【ゲーム理論での予測結果について】

3 回目の緊急事態宣言を基準とし、4 回目の緊急事態宣言の人流を比較する。

開始月どうしの比較では(上記①太枠)感染リスクが約 2 倍、同様に 1 ヵ月後(上記②太枠)は約 6 倍、2 ヵ月後(上記③太枠)は約 3 倍となり、各月とも 4 回目の緊急事態宣言の感染リスクが高いため、ゲーム理論では人流が減ると予測した。

結果、それぞれの比較月とも人流は減少した。

【わかったこと】

緊急事態宣言の慣れ率が結果に影響。

デルタ株の脅威：感染力が強く、重症化率が高いことで都民が自粛する方向に向かった

ワクチン接種の関与：8 月人流が減少⇒ 接種率が上がった 9 月に人流が増加

【今後について】

コロナウィルスの流行はまだ収束していないことから、変異を続けるウィルスと、政府の対策、人々の行動でさらなるゲームが続くと考える。今後発生するウィルスの性質によって結果が異なると考えるが、現在蔓延しているオミクロン株は、感染力は大きいが重症化率は低いとすると、人流は増加する方向になると予測する。

5　参考文献

[1]　ロバート・ギボンズ　訳者　福岡 正夫　須田 伸一 「経済学のためのゲーム理論」　岩波書店　2020 年

[2]　東急電鉄　決算短信　https://www.tokyu.co.jp/ir/library/library_04.html

[3] 小田急電鉄　月次営業概況　https://www.odakyu.jp/ir/monthly/

[4] 東京メトロ　決算情報　https://www.tokyometro.jp/corporate/ir/accounting/index.html

[5] NHK 特設サイト新型コロナウィルス　https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/emergency_third/detail/detail_20.html

[6] NHK 首都圏ナビ　https://www.nhk.or.jp/shutoken/

[7] 山中伸弥による新型コロナウイルス情報発信　https://www.covid19-yamanaka.com/index.html

自然対数の底 e と社会現象

微分幾何学研究室
1824044　西垣翔平
指導教員：橋本義武 教授

０．e の定義

$$\mathrm{e}=\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^{n}=2.718281828\ldots$$

１．理想の恋人を選ぶには何人待つべきか

無限に時間があってかつ競争相手がいない場合、全ての相手を観察しベストな相手を選ぶのが最適な方法である。ところが実際はそうではなく、観察できる時間は有限であるし、競争相手も存在する。そこで理想の相手、つまり１位の人を選ぶにはどのようにすればよいか。

最初の１人目が１位である確率は$\frac{1}{\mathrm{N}}$であり、逆に言えば$1-\frac{1}{\mathrm{N}}$の確率でその人は１位ではない。よってその人を選んでしまうのは確率論的に合理的ではない。かといって観察する人数を増やしすぎると１位の相手を見逃してしまう可能性が高くなる。では理想の相手を選ぶには具体的に何人ほど観察するのがよいのか。この問題の構造は以下のとおりである。

1. N 人の候補から１人ずつ観察する
2. 最初から R 人は観察するだけ。その中の暫定１位を決める
3. R+1 人目からは暫定１位の相手より良かったらその人を選択
4. N 人の候補は順序付けられている

この問題構造において J 番目の候補がN人中の１位であるとし、その人を選択することが出来たら成功とすると、成功条件は以下の２つを満たした時である。

・ J ＞ R
・ $\mathrm{J}-1$番目の人までの暫定１位が存在する。

ここで J 番目が１位となる確率は$\frac{1}{\mathrm{N}}$である。また$\mathrm{J}-1$番目までの１位が R 番目までに含まれる確率は$\frac{\mathrm{R}}{\mathrm{J}-1}$である。 $\mathrm{J}-1$番目までの１位が R 番目までに含まれ、かつ J 番目に１位がいる確率は

$$\frac{R}{J-1}\cdot\frac{1}{N}$$

成功する場合の J の位置は$R+1$番目からN番目まであり得るので、１位である候補を選ぶことができる確率を P とすると

$$P=\sum_{J=R+1}^{N}\frac{R}{J-1}\cdot\frac{1}{N}$$

となる。

ここで $t=\frac{J-1}{N}$ 、$x=\frac{R}{N}$とおくと $t: x \to \frac{N-1}{N}$ （t は$\frac{1}{N}$ずつ増える）

$$P=\sum_{J=R+1}^{N}\frac{R}{J-1}\cdot\frac{1}{N}=\sum_{t=x}^{1-\frac{1}{N}}\frac{x}{t}\cdot\frac{1}{N}$$

ここで N について極限をとると区分求積法を用いて以下の様に式を変形することができるので

$$\lim_{N\to\infty}P=\lim_{N\to\infty}\sum_{t=x}^{1-\frac{1}{N}}\frac{x}{t}\cdot\frac{1}{N}=\int_{x}^{1}\frac{x}{t}dt=-x\log x$$

となる。これが成功する確率である。

成功する確率を最大化するxを求めるには$f(x)=-x\log x$とおき、$f(x)$を最大化するx を求めればよい。

$\frac{d}{dx}f(x)=0$ となるのは$x=\frac{1}{e}$のとき。よって$x=\frac{1}{e}$のとき$f(x)$は最大値をとる。

従って$\frac{R}{N}=\frac{1}{e}\fallingdotseq 0.36$ のとき成功する確率が最大となる。このようにして e が登場した。

２．くじ引きの問題

$\frac{x}{n}$の確率で当たり、$1-\frac{x}{n}$ の確率で外れるくじをn回ひく。くじは引いたら戻すものとする。Xを当たった回数とし、k回当たる確率P(X＝k)を求めると

$$P(X=k)={}_nC_k\left(1-\frac{x}{n}\right)^{n-k}\left(\frac{x}{n}\right)^{k}$$

となる。ここで n→∞とすると

$$\lim_{n\to\infty}P(X=k)=\lim_{n\to\infty}{}_nC_k\left(1-\frac{x}{n}\right)^{n-k}\left(\frac{x}{n}\right)^{k}=\lim_{n\to\infty}\frac{{}_nP_k}{k!}\ \frac{x^k}{n^k}\ \left(1-\frac{x}{n}\right)^{n}\ \left(1-\frac{x}{n}\right)^{-k}$$

$$=\frac{x^k}{k!}\lim_{n\to\infty}\frac{{}_nP_k}{n^k}\ \left(1-\frac{x}{n}\right)^{n}\ \left(1-\frac{x}{n}\right)^{-k}=e^{-x}\ \frac{x^k}{k!}$$

また、

$$\sum_{k=0}^{\infty}e^{-x}\ \frac{x^k}{k!}=e^{-x}\times e^{x}=1$$

となるので P は確率の公理を満たす。このようにして確率分布においても e が登場した。また、このような分布をポアソン分布という。ポアソン分布は稀にしか起こらない事象の確率分布の代表例として様々な分野で応用されている。

３．参考文献

[１]金川秀也・吉田稔・堀口正之　「理工系学生のための確率・統計講義」（培風館、2014）
[２]浜田宏　「その問題､数理モデルが解決します　社会を解き明かす数理モデル入門」（ベレ出版､2018）

楕円曲線 $y^2 = x^3 + 4x$ の有理点について

1824020 熊谷 将紀

整数論研究室　指導教員　服部新准教授

本論ではピタゴラス数を用いて楕円曲線 $y^2 = x^3 + 4x$ と $y^2 = x^3 - x$ の有理点について論じる。ピタゴラス数とは

$$a^2 + b^2 = c^2$$

を満たす整数の組 (a, b, c) のことである。例えば $3^2 + 4^2 = 5^2$ や $5^2 + 12^2 = 13^2$ などがある。

楕円曲線とは $4a^3 + 27b^2 \neq 0$ を満たす a, b に対し、方程式

$$y^2 = x^3 + ax + b$$

を満たす点 (x, y) の集合である。a, b が有限体の元である場合は楕円曲線の有理点が楕円曲線暗号と呼ばれる暗号技術に応用されており、数学だけでなく産業においても重要な対象である。

楕円曲線の有理点を求めるような問題はディオファントス問題と呼ばれ、フェルマーの最終定理もこの一種である。フェルマーの最終定理は $n \in \mathbb{Z}_{\geqq 3}$ のとき

$$X^n + Y^n = Z^n$$

を満たす $X, Y, Z \in \mathbb{Z}_{>0}$ は存在しない、というものであり予想から証明までに 300 年以上かかっている。このようにディオファントス問題は非常に難解なものが多い。

今回用いる命題などを以下に示す。特に命題 1 は先に紹介したピタゴラス数を全て表すことができる。

補題 1　[1, 15 ページ]
$x, y, z, w \in \mathbb{Z}_{>0}$ とする。x, y, z はどの二つも互いに素で $xyz = w^2$ が成立すれば

$$x = a^2, \quad y = b^2, \quad z = c^2$$

を満たす $a, b, c \in \mathbb{Z}_{>0}$ が存在する。

命題 1　[1, 16〜17 ページ]
正整数 x, y, z に対して次の条件は同値である。

1. x, y は互いに素、x は奇数、y は偶数かつ次式が成立する。

$$x^2 + y^2 = z^2$$

2. 互いに素な整数 $a > b > 0$ で a, b のどちらかは偶数であり、かつ次式を満たすものが存在する。

$$x = a^2 - b^2, \quad y = 2ab, \quad z = a^2 + b^2$$

$y^2 = x^3 + 4x$ と $y^2 = x^3 - x$ の有理点についての研究結果を以下で述べる。

定理 1　$y^2 = x^3 + 4x$ を満たす有理数の組 (x, y) は $(0, 0), (2, 4), (2, -4)$ の三つのみ。

$(x, y) = (0, 0)$ は解の一つである。$x \neq 0$ の場合、$\frac{y}{x} = \alpha$ と置き $y^2 = x^3 + 4x$ に代入し整理すると $x \in \mathbb{Q}$ より

$$\sqrt{\alpha^4 - 16} = \frac{n}{m} \tag{1}$$

を満たし,$(m, n) = (1)$ と $m \neq 0$ を満たす $m, n \in \mathbb{Z}$ を見つければ良い。$x, y \in \mathbb{Q}$ を $x_1, x_2, y_1, y_2 \in \mathbb{Z}$ を用いて $x = \frac{x_1}{x_2}$,$y = \frac{y_1}{y_2}$ と置き (1) 式を整理すると

$$(x_2 y_1)^4 - (2x_1 y_2)^4 = (nd)^2 \tag{2}$$

となる ($d \in \mathbb{Z}, d = \frac{(x_1 y_2)^2}{m}$). ここで次の命題を導入する。

命題 2　$A^4 - B^4 = C^2$ かつ $ABC \neq 0$ を満たす整数の組 (A, B, C) は存在しない。

証明　この式を満たす整数の組 (A, B, C) が存在すると仮定する。必要とあらば A, B, C を $-A, -B, -C$ と置き換え $A > 0, B > 0, C > 0$ を満たすとしても良い。このような解の中で第一成分 A が最小の組を (a, b, c) とする。$A^4 - B^4 = C^2$ に最小の解の組 (a, b, c) を代入し変形すると

$$(a^2)^2 = (b^2)^2 + (c)^2$$

となる。a^2, b^2, c が命題 1 の仮定を満たすことが示せるので命題 1 より

$$a^2 = u^2 + v^2, \quad b^2 = 2uv, \quad c = u^2 - v^2$$

を満たし偶奇が異なり,$u > v > 0, (u, v) = (1)$ を満たす $u, v \in \mathbb{Z}_{>0}$ が存在する。u, v の偶奇で場合分けをする。

$u =$ 奇数, $v =$ 偶数のとき、再度命題 1 より

$$u = s^2 - t^2, \quad v = 2st, \quad a = s^2 + t^2$$

を満たし偶奇が異なり $s > t > 0, (s, t) = (1)$ を満たす $s, t \in \mathbb{Z}_{>0}$ が存在する。$u = s^2 - t^2$, $v = 2st$ を $b^2 = 2uv$ に代入すると

$$b^2 = 4st(s^2 - t^2) \tag{3}$$

となる。$s, t, s^2 - t^2$ が補題 1 の仮定を満たすことが示せるので, 補題 1 より

$$s = \delta^2, \quad t = \epsilon^2, \quad s^2 - t^2 = \zeta^2$$

を満たす $\delta, \epsilon, \zeta \in \mathbb{Z}_{>0}$ が存在する。$s = \delta^2$, $t = \epsilon^2$ を $s^2 - t^2 = \zeta^2$ に代入すると

$$\delta^4 - \epsilon^4 = \zeta^2 \tag{4}$$

$t^2 > 0$ より $a - t^2 < a$ と $\delta^2 = s$, $s^2 = a - t^2$ により

$$\delta^4 = s^2 = a - t^2 < a \Rightarrow \delta < a$$

(4) 式の解の第一成分の δ はこの不等式より a より小さく、a の最小性に矛盾する。u と v の偶奇が逆の場合も同様に矛盾する。以上のことより $A^4 - B^4 = C^2$ かつ $ABC \neq 0$ を満たす整数の組 (A, B, C) は存在しない。 □

命題 2 より $ABC \neq 0$ の場合は存在しないので $ABC = 0$ を満たす。これを (2) 式に当て嵌めると

$$2x_2 y_1 x_1 y_2 nd = 0$$

となる。それぞれの記号の置き方から $y_1 n = 0$. $y_1 = 0$ のとき $x = 0$ が導き出され矛盾。従って $y_1 \neq 0$, $n = 0$.
$n = 0$ を (1) 式に代入すると $\alpha = \pm 2$, これを $\alpha = \frac{y}{x}$ に代入し整理すると $y = \pm 2x$, これを $y^2 = x^3 + 4x$ に代入すると $x = 2, y = \pm 4$. を得る。以上のことより $y^2 = x^3 + 4x$ を満たす $x, y \in \mathbb{Q}$ は

$$(x, y) = (0, 0), (2, 4), (2, -4)$$

の三つのみである。 □

定理 2　$y^2 = x^3 - x$ を満たす有理数の組 (x, y) は $(0, 0), (1, 0), (-1, 0)$ の三つのみ。

定理 2 も同様の手法を用いることにより、

$$A^4 + 4B^4 = C^2, \quad ABC \neq 0$$

の整数解の非存在に帰着することで示すことができる。 □

参考文献

[1] 山崎隆雄,『初等整数論 数論幾何への誘い』, 共立出版株式会社,2015 年 5 月 25 日初版 1 刷発行

多項式の多項式解を求める

1824015 金子翔真

January 24, 2022

整数論において，方程式の整数解を求める問題はディオファントス問題と呼ばれ，盛んに研究されているが，一般には解決するのが難しい．

一方で，最近解決されたとされる abc 予想を用いると，ディオファントス問題の解を容易に求めることができる．

abc 予想は方程式の整数解に関する主張であるが，方程式の多項式解の場合に対応する結果は以前から知られており，ABC 定理と呼ばれ, この ABC 定理を用いることで，方程式の多項式解を求めることができ, 実際に参考文献の中でも広く応用され, 多くの方程式の多項式解を求めている．

また, ABC 定理は次のように表される．

定理 1 ([1]，32 ページ, 定理 2.20)**.** *$A, B, C \in \mathbb{R}[t]$ を, すべてが定数ではなく, どの二つも互いに素な多項式で, さらに $A = B + C$ を満たすものとする．このとき, 次が成り立つ.*

$$\max(\deg A, \deg B, \deg C) < \deg \operatorname{rad}(ABC)$$

そこで，本稿でも先程の ABC 定理を応用して，方程式の多項式解を求めた．

本稿の最終的な目的は, 次の定理を証明することである．

定理 2. *$m, n \in \mathbb{Z}_{\geq 2}, a \in \mathbb{R}$ とする．*
$X^m - Y^n = t - a$ を満たすような $X, Y \in \mathbb{R}[t]$ は,

1. *$(m, n) \neq (2, 2)$ ならば存在しない.*
2. *$(m, n) = (2, 2)$ ならば $(X, Y) = \left(\frac{1}{2}(\lambda' + \frac{1}{\lambda'}(t-a)),\ \pm\frac{1}{2}(\lambda' - \frac{1}{\lambda'}(t-a))\right)$ $(\lambda' \in \mathbb{R})$*

証明の流れとしては，まず, $X, Y \in \mathbb{R}$ のとき,

1. $X \in \mathbb{R}$ かつ $Y \notin \mathbb{R}$ の場合，$\deg(X^m - Y^n) \geqq 2$ より，矛盾.
2. $X \notin \mathbb{R}$ かつ $Y \in \mathbb{R}$ の場合，(i) と同様.
3. $X \in \mathbb{R}$ かつ $Y \in \mathbb{R}$ の場合，$X^m - Y^n = 0$ または $\deg(X^m - Y^n) = 0$ より, 矛盾.

よって，X, Y が定数のとき, 定理 2 の解は存在しない.

従って, 以下では $X, Y \notin \mathbb{R}$ とする.

次に,

1. $(m, n) \neq (2, 2)$ のときには, 存在すると仮定して、矛盾を導く.
2. $(m, n) = (2, 2)$ のときには, 別途，解を求める.

まず, 定理 1 を用いることを考え, 以下のような方針で示す.

1. $A = Y^m, B = t - a, C = X^2$ とおく.
2. $X \notin \mathbb{R} \Rightarrow X^m \notin \mathbb{R}$ を示す.
3. $(Y^n, t - a) = (1), (Y^m, X^n) = (1), (t - a, X^m) = (1)$ を示す.
4. 定理 1 を用いる.

上記の流れによって, 定理 1 を用いると

$$\max(\deg Y^n, \deg t, \deg X^m) < \deg \mathrm{rad}(Y^n t X^m)$$

上式を式変形すると, (m, n) の組は

$$(m, n) = (2, 2), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (3, 2), (4, 2), (5, 2).$$

とわかる.

(m,n)=(2,2) のときは, $X^2 - Y^2 = (X + Y)(X - Y)$ より解を求める.

(m,n)=(2,3),(2,4),(2,5),(3,2),(4,2),(5,2) のときには, それぞれ deg を取ることで，矛盾を導く.

以上より $X^m - Y^n = t - a$ を満たすような $X, Y \in \mathbb{R}[t]$ は存在しない.

References

[1] 山崎隆雄, 初等整数論 − 数論幾何への誘い, 共立出版