

神奈川工科大学
先端工学研究センター研究所研究報告

第 2 0 卷

2 0 1 6

The Memoirs
of
Experiment and Research Center, Kanagawa
Institute of Technology
(1030 Shimoogino, Atsugi-shi, Kanagawa, Japan)
Vol.20(2016)

先端工学研究センター研究報
告第20巻（2016）目次

1. 健康な食生活を促す食事診断法の開発を目指した食のケミカルセンシング	
栄養生命科学科	1
2. 転動中のタイヤ変形・振動の計測・予測・制御の基礎研究	
自動車システム開発工学科 石濱 正男	5
3. 仮想対象と自然なインタラクションを可能にする3次元表示対象の視覚的知覚位置の推定に関する研究	
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 海野 浩	7
4. 高空風力を利用する浮遊型発電システムの開発研究	
機械工学科 大久保博志	10
5. ポリ(ビニルアルコール)ハイドロゲルの高性能化に及ぼす諸因子の検討	
応用バイオ科学科 岡部 勝	14
6. “本学発”の生活習慣病予防のための高機能性食品開発に向けた基盤研究	
栄養生命科学科 清瀬 千佳子	19
7. Hevea brasiliensis の天然ゴム生合成に関わるタンパク質群の同定	
応用バイオ科学科 小池 あゆみ	29
8. サルコペニア予防のための栄養学、臨床工学、情報工学共同のアプローチ	
栄養生命科学科 佐々木 一	32
9. マグネシウム電池による発電と海水のアルカリ化	
電気電子情報工学科 瑞慶覧章朝	37
10. 界面活性剤添加型高機能含油廃水処理法の開発と処理メカニズム解析	
応用バイオ科学科 局 俊明	41
11. 超低消費電力フォトニックノード回路のためのシリコンフォトニクスデバイスの基礎研究	
電気電子情報工学科 中津原 克己	45
12. 複合感覚提示が食感および食行動に及ぼす影響に関する研究	
情報メディア学科 坂内 祐一	50
13. パーソナルなセンシングデータも蓄積するソフトウェアリポジトリ開発と知識抽出の研究	
情報学科 松本 一教	54
14. 8K映像コンテンツを自在にハンドリング可能なストリーミングクラウド環境の実現	
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 丸山 充	57
15. 統合型交通環境評価プラットフォームの構築	
自動車システム開発工学科 山門 誠	66
16. π 共役系を有する新規有機化合物の創製と評価	
応用化学科 山口 淳一	70
17. 健康長寿を目指したシームレスな食育を実現させるための日本人の食基盤づくりに関する	

研究

- 栄養生命科学科 饗場直美 73
18. 生態系に着想を得た社会ネットワークシステムの性能評価・最適化に関する研究
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井家 敦 77
19. 線虫 *C. elegans* を用いた健康寿命延長に寄与する生理活性物質の探索と同定および機能解析
応用バイオ科学科 井上英樹 80
20. バイオテクノロジーを利用したホホバ (*Simmondsia chinensis*) 雌株の選択的増殖技術の開発
応用バイオ科学科 岩本 嗣 83
21. 竹繊維強化積層板の衝撃曲げ特性に関する基礎研究
自動車システム開発工学科 宇田 和史 87
22. ナノ・バイオ物質の構造・機能・電子状態の相関関係の計算科学的研究
基礎・教養教育センター 神谷克政 90
23. 動物実験モデルを用いた唾液の機能性に関する研究
応用バイオ科学部 応用バイオ科学科 栗原 誠 94
24. 圧力センサを用いた胎動検出を目的とした胎動 Viewer の開発
情報メディア学科 小坂崇之 98
25. 様々な朝食の摂取下における顔認知試験回答時の眼球運動および自律神経活性に対する影響について
栄養生命科学科 准教授 澤井明香 105
26. ポリフェノール類のナノ粒子化と生理活性
応用バイオ科学科 清水 秀信 110
27. 帯電体に起因するサージ現象の解明
電気電子情報工学科 下川 博文 114
28. 生態系フィールドワークにおける知識獲得モデル導出のための情報配信基盤の実装と評価
情報工学科 鷹野孝典 118
29. たんぱく質含量（グルテン含量）の異なる小麦粉により調製したクッキーの咀嚼食塊の性状と食べやすさ
栄養生命科学科 高橋智子 125
30. 動的 CPA の手法を用いた磁気的不純物状態の理論的研究
基礎・教養教育センタ 高橋 正雄 129
31. 授業・学習支援システムにおける操作履歴モニタリング・可視化技術の研究
情報工学科 田中哲雄 131
32. ヒラタケを用いたイソプレンの製造 ～ヒラタケの形質転換系の構築の検討～
応用バイオ科学科 仲亀誠司 135
33. 交通流の計測・評価とマイクロシミュレーションモデルへの展開
(オーバーシュートが発生して遅れが蓄積する追従モデルの開発)

	機械工学科 中根一朗	138
34. 結合非線形線路を用いた極短電気パルス列発生に関する研究	電気電子情報工学科 檜原 浩一	142
35. 電流負荷による植物の新しい低温保存の可能性	応用バイオ科学科 鳴海 明	145
36. 遺伝情報の発現制御を狙いとする生物活性物質の探索：ヒストンのリシン側鎖の類似化合物の合成	応用バイオ科学科 野田 毅	149
37. 貧血の発症に対する生活リズムの乱れと摂取栄養素の関連に関する研究ーモデルラットを用いた研究ー	栄養生命科学科 花井 美保	154
38. 張現実感を用いた聴覚障害者向けパソコン要約筆記システムの評価に関する研究	情報工学科 宮崎 剛	158
39. バイオマス由来のフラン含有高分子の合成	応用化学科 森川 浩	162
40. 人工市場を用いたレバレッジドETFが株式市場に与える影響分析	情報工学科 八木 勲	166
41. プロスタサイクリン欠損が引き起こす動脈硬化の in vitro モデル実験系の確立とそれを用いた生活習慣病の予防・改善に向けた研究	栄養生命科学科 横山知永子	169
42. ユーザ使用状況に合わせたタブレット型デバイス向けソフトウェア操作支援手法	情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田 一	171
43. 創作活動に3DCGゲーム活動を加えることの効果分析	情報メディア学科 鈴木浩	174
44. 有彩色照明光が生体に及ぼす影響に関する多面的評価	電気電子情報工学科 高橋 宏	179
45. 熱産生脂肪細胞の分化におけるビタミンEの機能	応用バイオ科学科 田中 理恵子	185
46. モデル形状とその支持装置の空力干渉に関する研究	機械工学科 根本 光正	188
47. 自由視点で鑑賞するアニメーションの研究	情報メディア学科 牧 奈歩美	193

健康な食生活を促す食事診断法の開発を目指した食のケミカルセンシング

研究者名：栄養生命科学科 飯島 陽子 （第一研究室）

1. 研究の目的

本研究では、質量分析計を用いたケミカルセンシング技術を活用し、健康な食事摂取を行っているかどうかの新しい診断法の開発を目指す。実際の食事から直接的に成分抽出し、成分プロファイルを迅速に分析し、包括的に俯瞰できる解析技術を開発する。特に、平成 27 年度は、食事における野菜の調理について重点を置き、成分プロファイルの違いについて調べ、また、香辛料や野菜などの官能評価と機器分析により塩味および甘味増強を促すような香気成分を含む食材を見出す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

現在、食事のメニュー考案における食事の質的判断は、各食材の食品成分表における数値に基づく栄養表示を主としている。しかし食品は成分多様系であり、特に野菜などはその栽培方法や品種、産地、また調理法など様々な要素によって成分変動が生じることが推測できる。本研究では、成分を一斉に分析が可能なメタボローム技術を食品に応用し、栄養表示+ α の食事の質的評価を診断できないかという新しい食事評価法を開発することとした。また、食塩や砂糖の摂取には制限があるため、味覚増強効果のある成分があれば、有効に応用が可能である。特に塩味増強効果を示す成分はほとんど分かっていないため、食品由来の新しい増強効果を示す成分が分かれば、多くの食品加工において有用であるといえる。

3. 期待される効果

本研究では、食品に含まれる低分子成分の解析をターゲットとしている。低分子成分には、呈味成分や香気成分、機能性成分など多くの食品を特徴づける成分が含まれる。食事において、このような成分の組成を簡易的に調べ、知ることができれば、従来の栄養表示の加え、嗜好性や機能性予測が可能であるといえる。近年、“健康な食生活”を維持するには、栄養成分の制限のみならず、いかにおいしく食することができるか？という点も着目され、食品業界でも課題となっている。よって、本研究の成果は、新しい食評価として応用可能であると考えている。

4. 研究の経過及び結果

(1) 食品に含まれるオリゴ糖の GC-MS による迅速分析法の確立

食品において、オリゴ糖は整腸作用を持つ機能性成分として注目されている。従

来、オリゴ糖の分析は HPLC による検出がメインであるが、我々は GC-MS により迅速に分析する方法を開発した。本手法によって、4 糖までのオリゴ糖が検出可能であることが分かった。HPLC よりも GC の方が成分分離において分解能が高いため、オリゴ糖を構成する糖の種類の違いなどを分離可能であることが分かった。また、豆乳をモデルに用いて分析を行ったところ、凍結乾燥サンプル 100mg で十分量のオリゴ糖（スタキオース、ラフィノース）を検出することが可能であった。今後は、大豆加工品やそのほかの食品のオリゴ糖分析を行う予定である。

（２）タマネギの加熱による成分組成の変化

タマネギは、新鮮なまま、または加熱調理により様々な料理に用いられ、コクを深めることが知られている。長年、タマネギの甘さやおいしさについての議論がされてきたが、現在のところその解明には至っていない。本研究では、タマネギの不揮発性成分に着目し、GC-MS および LC-MS により網羅的に加熱の有無による成分変化について調べた。その結果、アミノ酸や糖などには大きな変化はないものの、多変量解析により、加熱時間によって増大するいくつかの成分が見いだされた。現在、その構造について精査中である。

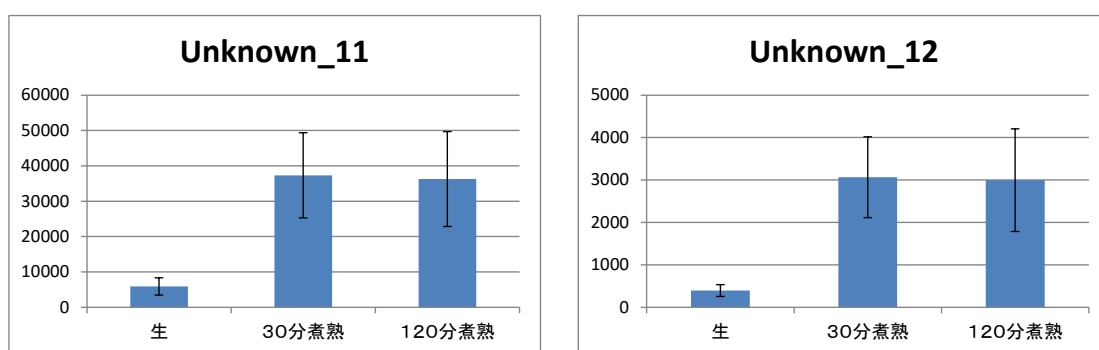


図 1. タマネギの加熱によって顕著に増大する成分

（３）食材 A の香気成分のトマトジュースに対する味覚増強効果

近年、食品の香気成分には、料理の味を増強、抑制したり、コクを深めたりするものが存在することが分かっている。そこで、トマトジュースの味に対する食材 A の香気成分の影響について、官能評価を用いて調べた。食材 A の香気濃縮物は水蒸気蒸留により得、トマトジュースに 1 % および 0.2% の濃度になるように添加し、トマトジュースの味に対する影響を順位法による官能評価で調べた。その結果、食材 A の香気濃縮物を加えることで、トマトジュースのうま味および塩味を増強させることが分かった。現在、これに寄与する成分について精査中である。

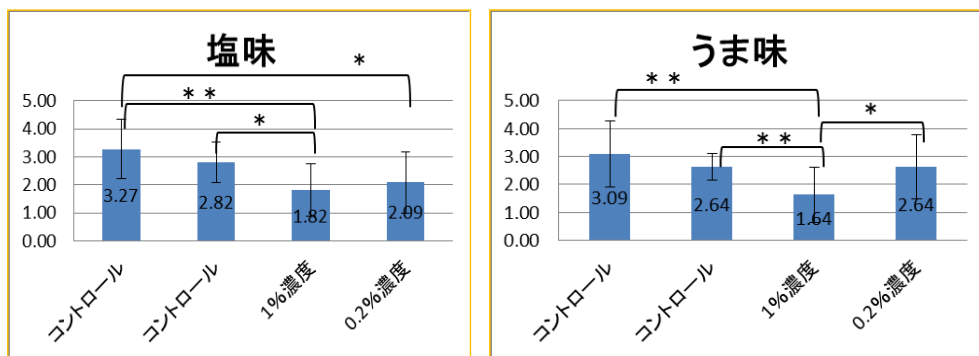


図 2. 食材 A の香気濃縮物を添加した際の塩味およびうま味の増強効果

(数値が小さいほど強く感じられることを意味する。*5%有意差、**1%有意差を示す))

5. 今後の計画

今後は、タマネギの加熱による増大する成分について、構造精査を行う。また、食材 A の呈味増強香気成分について、寄与成分の特定を行う。これらの事例を基に、特に味噌および味噌汁の具の組み合わせを用いて、質量分析を行い、食の多様性について成分レベルでの分析による評価の開発を行う。

6. 研究成果の発表

[印刷物]

- (1) 及川彰, 飯島陽子 ”食品分析におけるメタボローム解析—香りや風味の一斉評価—”, (特集) ニュートリゲノミクス, 生物の科学 遺伝, NTS 社, p58-62 (2015)
- (2) 飯島陽子 ”和食と薬味”, 自動車技術会関東支部報「高翔」, p 24-27, No63 (2015)
- (3) 飯島陽子 ”薬味の化学—ショウガの風味特性とその生成—”, 化学と教育, p 454-455 (2015)
- (4) 飯島陽子, ”食品の質的評価に有用なフードメタボロミクスにおける LC-MS の活用”, バイオインダストリー, 32, p38-45 (2015)

[学会発表・講演]

- (1) 榑原彩加, 小野裕嗣, 櫻井望, 飯島陽子
「LC-MS による様々な市販トマト果実におけるカフェ酸配糖体の定量について」
日本食品科学工学会 第 62 回大会 (2015. 8. 29)
- (2) Yoko Iijima, Yumi Iwasaki, Yuji Otagiri, Tsuneo Sato, Hiroe Otomo, Yukio Sekine, Akio Obata
「Combined analysis of non-targeted volatile profile and sensory evaluation of commercial tomato juices to elucidate flavor characteristics」

Pacificchem2015 (2015.12.18)

(3) 飯島陽子「商品開発における香気成分の分析と評価：基礎講座」工業技術会株式会社
講座 2015.9.11

(4) 飯島陽子「香辛料を主とした植物食材における品質特性関連二次代謝成分の食品分析
学的研究」日本食品科学工学会第 62 回大会奨励賞受賞講演 (2015.8.27)

(5) 飯島陽子「食品におけるメタボローム解析の活用」千葉県バイオ・ライフサイエンス・
ネットワーク会議 (2015.7.14)

(6) 飯島陽子「多様な成分バラエティから見た食品評価」第 37 回 KSS 健康フォーラム
(2015.6.8)

(7) Yoko Iijima 「Application of metabolomics for evaluation of food quality」ACS
ランチョンセミナー (アジレントテクノロジー社) 2015.5.17

転動中のタイヤ変形・振動の計測・予測・制御の基礎研究

自動車システム開発工学科 石濱 正男

1. 研究の目的

道路交通公害の主たる原因となっているタイヤ放射騒音を，路面凹凸，タイヤ表面デザイン，タイヤ構造のパラメータから予測し，それぞれの設計要素の影響を定量的に明らかにする基礎技術を得ること．

2. 研究の意義

道路沿線住民，わが国の場合は人口の約 1 割の 1,000 万人，は自動車騒音の被害を受けている．世界全体でみると，欧州都市部や米国のハイウェイ沿線など，1 億人以上となる．被害は単に仕事の能率低下ではすまず，静穏環境に暮らす人に対して，心臓病での死亡率が 5 倍に達する．また，不動産価格の低下などから，市町村の税収低下などの経済的被害も大きい．この源はタイヤ騒音であるため，この研究者が主となって作成した中央環境審議会での答申によって，わが国の環境省・国土交通省は 2 年後から大幅な規制を行うこと決めた．しかし，対策を行うにも生じている現象解析そのものが十分になされていないので，すべてのタイヤの対策が実現するには 10 年近くの歳月がかかると予想されている．また，タイヤは重量の支持，動力や制動力の路面への伝達，方向の転換，防振などの多機能を，転がり抵抗を抑制するという条件の中で果たす必要があり，騒音放射低減は多くの副作用を招くとされている．本研究は，これらの困難な状況を現象解析技術，予測技術を通じて打開する大きな意義を持っている．

3. 計画概要

研究は大きく分けて次の 5 項目で計画した．

1. 路面とタイヤの接触状況実験解析
2. タイヤへの路面凹凸による入力モデリング技術構築
3. 転動中のタイヤ構造を伝播する波動の実験解析技術構築
4. 複合構造であるタイヤ内を伝播する振動波の予測技術構築
5. タイヤトレッドへの非線形減衰付与による転がり抵抗への悪影響なしでの騒音低減技術開発

4. 研究の経過

平成 26 年度：

1. 路面上の突起のトレッド（踏面）への貫入量とトレッドの歪，樽のタガに相当するスチールベルトへの分散荷重入力のモデル化．複数の突起と接触したときの重ね合わせ効果のモデル化．
2. タイヤ構造を伝播する高周波振動を予測できる構造有限要素モデルの開発．

平成 27 年度＊

1. 複数の路面凹凸（突起）のトレッド（踏面）へのランダムな入力数値モデル構築
2. タイヤ構造上を伝播する波動を予測できる数値モデルの構築
3. 転がり抵抗の原因であるトレッドゴムの減衰を小さくしつつ振動を抑制し、かつ

転がり抵抗を激減する非ニュートン流体の利用を、ベンチャー企業との共同研究により実施した。

5. 研究の成果

1. 路面凹凸のタイヤ構造への入力 of 力学的モデル化： 世界に先駆けて Gauss 関数により分布荷重をモデリングできた。Gauss 関数の有する微分積分のし易さ、フーリエ変換のし易さにより、タイヤ構造の有限要素モデルへの荷重条件設定が、力学的合理性と数値計算の効率性を持ちつつできるようになった。
2. 転動中のタイヤ表面を伝播する高周波振動を予測できる構造有限要素モデルの開発： 世界で初めてレーザー変位計で実測をすることができた。これは、シャシダイナモ上に搭載した車両のサスペンションからレーザー変位計を防振支持することによって実現をすることができた。
3. ポンピング音に関する計画外の成果： タイヤ溝の転動による開閉を3次元スキャナーで実測、この現象を数理的に再現する有限要素モデルを開発した。そしてこの開閉により生ずる空気流をCFD（計算流体力学）により予測することにより、従来は接地による溝の深さ変動が原因とされていた誤解を打ち破り、新たな現象理解を得ることができた。
4. 転がり抵抗を増やさずにタイヤ騒音を減少する方法の開発： タイヤと路面との接触時の大きな加速度の作用時には大きな減衰を得、それ以外ではトレッドゴムの減衰を小さくする発明を行った。これを使うことにより、転がり抵抗の増大なしに高周波振動を低減することができた。

問題点

適切なテストコース（走行実験路）がないこと、タイヤの試作ができないこと、などの研究資源の制約により、基礎研究の枠から出ることができていない。

6. 今後の展開

自動車技術会のタイヤ騒音特設委員会を立上げたので、タイヤ製造協会、各種研究機関、国土交通省、環境省との情報交換を密にし、行政への反映を行う。

7. 発表予定

- 自動車技術会への発表： 4件
- InterNoise(国際騒音制御学会への発表)： 2件
- 自動車技術会での国際フォーラム： 2回主宰
- 本学での先端自動車工学シンポジウム開催： タイヤを主題に2015年8月実施 160名参加（実施済み）
- 中央環境審議会に報告：

仮想対象と自然なインタラクションを可能にする 3次元表示対象の視覚的知覚位置の推定に関する研究

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 海野 浩

1. 研究の目的

本研究では、3D映像の仮想対象が見えている位置を取得する技術を確立して、ユーザーが素手などの自らの身体で仮想対象と相互作用する場合に、実対象と相互作用する場合と同様に自然な相互作用を可能とするヒューマンコンピュータインタラクション技術の実現を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

ユーザーが素手などの自らの身体で3D映像の仮想対象と直接相互作用するシステムは、娯楽や遠隔操作、遠隔医療など、様々な分野で、数多くの魅力的な応用が期待されている。このようなシステムで、実対象との相互作用と同様に自然な相互作用を実現するためには、仮想対象が見えている位置にユーザーの身体が位置して、仮想対象に触れたと見えたときに、仮想対象を反応させたり、触力覚デバイスによって触力覚を与えたりするなど、仮想対象との相互作用のための処理を実行することが必要となる。仮想対象に触れて見えているのに仮想対象との相互作用のための処理が実行されなかったり、仮想対象に触れて見えていないのに仮想対象との相互作用のための処理が実行されると、実対象との相互作用と同様に自然な相互作用は実現できない。このように、システムは、仮想対象が見えている位置を正確に取得する必要がある。

従来技術では、仮想対象が見えている位置を正確に取得することが困難であったので、実対象との相互作用と同様に自然な相互作用を実現できなかった。仮想対象が見えている位置の正確な取得が困難な理由は、両眼視差から計算して取得する点にあった。両眼視差は奥行き知覚に用いられる主要な情報であるが、奥行き知覚に用いられる情報は他にもあり、それらの影響によって、仮想対象が見える位置は必ずしも両眼視差から計算される位置とはならない。また、仮想対象が見える位置は、同一のユーザーが同一のコンテンツを観察する場合でも、必ずしも毎回同一にはならない。

以上の理由から、素手などの身体と仮想対象との相互作用で、実物体との相互作用と同様に自然な相互作用を実現するために、仮想対象が見えている位置を正確に取得する技術の開発が不可欠である。

3. 期待される効果

上述のとおり、仮想対象が見えている位置を正確に取得できると、素手などの身体と仮想対象との相互作用で、実物体との相互作用と同様に自然な相互作用が実現できる。その

結果、遠隔操作や遠隔医療などのアプリケーションでの各種の作業の作業効率を向上させることが期待される。特に、精密な作業を必要とするアプリケーションで本技術の効果は大きいと考える。

4. 研究の経過及び結果

これまで、仮想対象が静止している場合、 x^2 関数により仮想対象に触れようとするときの手のリーチング運動を正確に表現できることを明らかにした。また、仮想対象を叩く動作に対しては、ガウス関数で表現できることを明らかにした。そして、前者については関数値すなわち手の速度が0になる位置、後者については最大値をとる位置をそれぞれ仮想対象の視知覚位置とすることで、視知覚位置を正しく推定でき、これより自然な操作が可能であることを実証した。

これらはいずれも静止している仮想対象を対象としたが、平成27年度においては、ゲームなどのアミューズメントへの応用を想定して、運動する仮想対象を扱った。運動する仮想対象との相互作用では、仮想対象が静止している場合とは異なり、仮想対象の視知覚位置が時間とともに変化する。そこで、まずは、運動する実対象を素手で打つ事態において、打つ動作の特性を検討した。その結果、静止した対象を打つ場合と同様に、動作時間の関数としての動作速度がベル型となり、動作速度が最大となる時刻近辺でインパクトすることを明らかにした。次に、動作時間の関数としての動作速度を表現する最適な関数を検討した。ガウス関数やローレンツ関数などの複数のベル型関数について検討したところ、これも静止した対象を打つ場合と同様に、ガウス関数が最適であることを明らかにした。最後に、未来時刻に動作速度が最大となる空間位置を取得する方法を検討した。その結果、静止した対象を打つ場合と同様の方法で、すなわち、動作時間の関数としての動作速度をガウス関数で表現することで未来時刻の動作速度を取得することができて、取得した未来時刻の動作速度から未来時刻に動作速度が最大となる空間位置を取得できることを明らかにした。このように、運動する仮想対象を打つ動作においても、未来時刻に動作速度が最大となる空間位置を取得することによって、仮想対象の視知覚位置を取得できることを明らかにした。

なお、運動する対象を打つ動作の他にも、運動する対象へのリーチング動作、すなわち運動する対象に手で触れて、運動する対象の動きを止める動作についても検討した。その結果、手が運動する対象に接触する前に手の運動速度を0として、運動する対象を待ち構えて受け止めるケースが多いことを明らかにして、静止する対象へのリーチング動作と同じ方法では仮想対象の視知覚位置の取得が困難であることを明らかにした。つまり、未来時刻に動作速度が0となる空間位置を取得しても、取得した位置に手が到達した時点では、運動する仮想対象はまだ手の前方にあって、取得した位置は仮想対象の視知覚位置とはならない。このようなケースにも対応できるように本技術を改良する必要があり、今後取り組みを進めることとした。

また、実際の応用では、バットやラケットなど道具を用いて仮想対象と相互作用する場合が多いので、これらの道具を使用する場合についても本方法が適用できることを実験により確認した。さらに、平成 26 年度の実験では 3D ディスプレイとして CRT モニタを用いたが、平成 27 年度においては CRT に加えて投写型の画面 3 次元ディスプレイ、テレ-immージョンなどの環境への適用を想定した没入型 3 次元ディスプレイ（CAVE）およびシースルー型のヘッドマウントディスプレイにより生成した複合現実環境での仮想対象との相互作用も検討対象として、様々な応用形態が可能であることを確認した。

5. 今後の計画

平成 27 年度の成果に基づき、本技術のアプリケーションによる評価を実施する。例えば、運動する仮想対象を打って得点を競うゲーム形式の評価用アプリケーションを作成して、仮想対象の視知覚位置を本技術で取得する条件と、従来技術で取得する条件とを設定して、獲得した得点を両条件で比較する。このようなアプリケーションによる評価によって、本技術の有用性を実証する。

また、運動する仮想対象へのリーチング動作に本技術を適用するための改良についても、検討を進める予定である。さらに、本技術を応用した危険回避など、緊急動作を補助、支援するシステムの実現性を明らかにする。

6. 研究成果の発表

- [1] 鈴木雅洋, 海野浩, ピヤラット シラパスパコンウォン, 上平員丈. “運動対象に対する打動作の視覚運動協応”. 電子情報通信学会 2016 年総合大会講演論文集：基礎・境界論文集. 福岡県福岡市, 2016-03-15/18. p. 268. (DVD-ROM).
- [2] Suzuki, M.; Unno, H.; Silapasuphakornwong, P.; Uehira, K. “Visuomotor coordination in straight hitting movements for oncoming objects in front of observers”. The 2nd International Symposium on Affective Science and Engineering. Tokyo, Japan, 2016-03-21/22. p. B4-3-1–B4-3-4, ISBN 978-4-9905104-3-5.

高空風力を利用する浮遊型発電システムの開発研究

研究者名：工学部機械工学科	大久保博志
〃	水野 敏広
創造工学部自動車開発工学科	石濱 正男
首都大学東京客員教授	藤井 裕矩

1. 研究の目的

本研究は高空風力のエネルギーを利用する発電システムの初期実証モデルを開発することを目的としている。都市部のキャノピー層を越えたところでの恒常的で安定している風力を用いるために宇宙新技術であるテザー技術、さらに、宇宙エレベーターで技術開発が進んでいるクライマー技術を適用する点にある。このためには、1) 都市部のキャノピー層より上本研究の最終目標は浮遊型装置を用いた高空風力発電システムの初期実証モデルの開発であるが、将来的にはギガワット級の風力発電を都市部上空の安定した風力エネルギーを利用できるシステムに発展させることが最終目標である。

本研究の成果をベースに NEDO や神奈川県等の資金を得て、地域からの自然エネルギー活用の情報発信をすすめ、神奈川工科大学がその牽引者としての役割を果たせることを目指す。ルギーを、損失を得ることなく地上に伝達する必要がある。風車を装備する飛行体のデザインを決定し、テザー制御技術により安定的に地上にトルクを伝達するシステムを開発することが目標である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

風力発電システムは、洋上モデルなど大型化が進んでいるが、建設コストが高いこと、台風などの気象条件への適合性など課題も多い。一方、良質な風力が高空で得られることから浮遊式の風力発電手法が注目されている。特に最近の材料技術、IT 技術、制御技術など最先端技術により、その実用性、可能性が広がっている。世界的にみても、飛行船型、風型、飛行機型など様々なシステムが提案されており、とりわけオランダの Delft 工科大ベンチャーAmpyx Power 社による 8 の字飛行する自動誘導グライダーを用いたシステムは、本研究と同様にテザーを用いて地上設置の発電機を駆動するシステムであり注目される。わが国では、浮遊型プラットフォームを用いる高空風力発電の研究グループ（TMIT、神奈川工科大学、九州大学、都立産業高専、大阪府立大学、日本大学、前田建設など）が風型飛行船とテザー技術を用いる風力発電システムの開発を進めている。本研究では、その成果をもとに初期実証モデルを開発し、中低空での発電試験を実施する。

3. 期待される効果

他の浮遊型浮力発電システムが発電機を機上に装備するのに対して、本研究で提案するシステムは発電機を地上に設置し、上空の風車のエネルギーをテザー技術により地上に伝達し発電する独創的なものである。都市近郊における風力エネルギーを有効利用する発電システムとして、また、本研究は航空宇宙学専攻を有する神奈川工科大学が牽引するのにふさわしい有望なシーズ技術であり、世界的にも注目される研究である。

高空大気の風力エネルギーを利用する浮遊型発電システムを実現するために下記の技術の獲得を目指す。

1) 高空の風力を利用するために風車を、都市部キャノピー上空の安定した位置に設置すること。

2) 上空で得られた風力エネルギーを地上に損失が少なくなるように送ること。

そのために必要とされる以下の技術的な課題に取り組む。

- ・ 浮上型プラットフォームを、風車を高空に安定な位置と姿勢で設置するための技術を、設計による受動的、また、制御による能動的な技術として開発する。古来より伝統のある凧の技術、アドバルーン浮揚技術、モデルロケット打ち上げ技術、(無人) 模型飛行機技術について、すでに実験経験を有しており、風車を高空に浮遊させる場合の安全性の確保についても経験がある。
- ・ テザー（引き綱）によって効率良くエネルギー伝送を行うため、受動的あるいは制御による能動的な技術として設計開発する。
- ・ 風力発電における定常的な発電による利便性の向上、高空の強い風を用いることによる品質向上、性能改良に資する技術を開発する。
- ・ 短時間の停電時においても、地域・ビル・家屋等に非常用電源を供給可能な再生可能エネルギー利用システムに関連する技術の開発。
- ・ 独立運転可能な再生可能エネルギー利用システムに関連する技術開発（例えば建設現場、ODA、発展途上国、極地、原野、レジャー、山間地：整地困難でソーラーなどが活用できない山村、離島での使用。）離島をはじめとする無電源地帯への電力の供給などの応用について検討する。

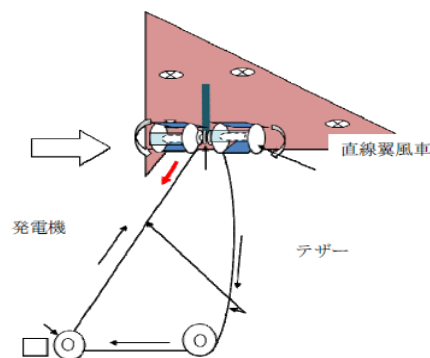


図 1. 高空風力発電システムの概念図

第1フェーズ（0.016KW級）のモデルを制作し、工芸大2m風洞実験（3月16-20日、8月17-21日）を実施した。風車の基本性能とテザーシステムによる地上設置発電機での発電可能性を検証した。

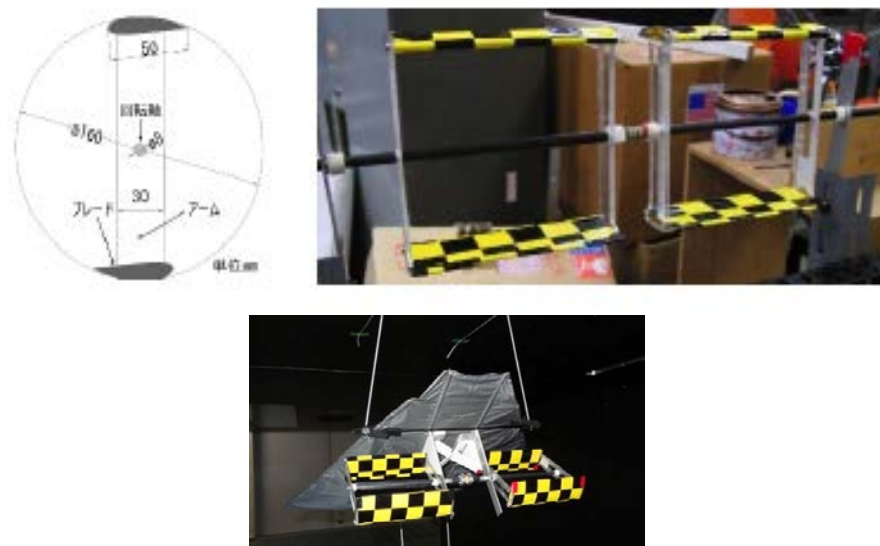


図2. フェーズ1モデルの風洞試験（東京工芸大学風工学センター，2016年3月，8月）

風速高度プロフィール測定をプロジェクト参加大学、高専の協力の下で実施した。（参加：福井大学、神奈川工科大学）神奈川工科大学ではフィールドにおいて、10月、11月に高度0～120m（10mごと）の高度において計測し、風速分布データを得た。50m以上の上空において風速増加についての優位な差が観測された。

第1フェーズモデルの野外実証実験を本年1月に実施した。小型風洞モデルを気球により浮遊させ、テザーにより地上の発電機を駆動することを試みた。風洞試験で使用したゲイラ型風車に懸垂した直線翼風車をアドバルーンにより高度約10mの高さに浮揚させ、発電を試みた。テザーはループ状にして発電機軸と風車軸を結び、張力変動の調整のために開発したテンショナーを風車の直下に配置した。実験時は無風であったため発電には至っていないが、テザーを介して風車と発電機は滑らかに回転することを確認している。

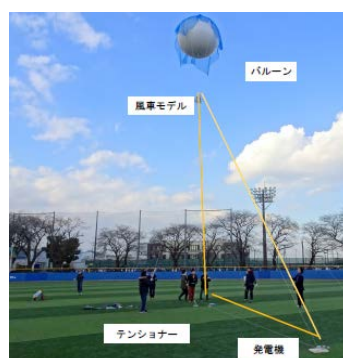


図3. フェーズ1モデルの飛行試験（神奈川工科大学，2016年1月）

より大型の第 1.5 フェーズモデル (0.2KW 級) を開発中である。直径 0.6m、スパン 0.6m × 2 の 3 枚ブレードの風車の試作モデル (九州産業大製作) のブレード 3 分力風洞試験 (工芸大 2m 風洞 8 月 17-21 日)、3 次元風車性能試験 (工芸大 2m 風洞 1 月)、カーボン樹脂一体成型のコの字型支持風車モデルによる性能試験/発電実験 (工芸大 2m 風洞 3 月) を実施した。現状では直線翼垂直軸風車の特長を生かした十分な性能が得られていないので、製作精度を向上させ、より高性能な風車を開発することが必要である。

4. 今後の計画

第 1 フェーズの締めくくりとして、福井大学と共同で風型飛行ロボットによるフィールド実験 (福井県敦賀市松原海水浴場) を予定しており、テザー伝達による発電実証を目指す。

第 1.5 フェーズでは、より軽量で高性能なカーボン製風車 (直径 60cm × スパン 60cm × 2 基) を開発し、風洞試験により性能を検証する予定である。8 月には、神奈川工科大学において風車モデルの組み立て作業および風車支持構造、張力調整機構を含む地上装置とのかみ合わせ試験を行い、9 月には、九州大学 4 m 風洞実験施設において性能試験および発電試験を行う予定である。さらに、福井大学の協力を得て風型ロボットを用いた飛行実験、発電実験を計画している。

本研究の最終目標は、浮遊型装置を用いた高空風力発電システムの初期モデルの開発と発電実証であるが、将来的にはギガワット級の風力発電を都市部上空の安定した風力エネルギーを利用できるシステムに発展させることが最終目標である。本研究の成果をベースに NEDO や神奈川県等の資金を得て、地域からの自然エネルギー活用の情報発信をすすめ、神奈川工科大学がその牽引者としての役割を果たすことを目指す。

5. 研究成果の発表

- 1) 藤井裕矩, 大久保博志, 新川和夫, 草谷大郎, Rob Stroekes, 高橋泰岳、遠藤大希、渡部武雄, 丸山勇祐, 中嶋智也, 浅生利之, 関和市, 高空風力発電研究の紹介, 日本風力エネルギー学会学会誌, 通巻 116 号 (2016 年 2 月)
- 2) 大久保博志, 原田恭輔, 渡辺大誠, 佐藤強, 藤井裕矩, 高空風力発電システム開発のための基礎研究, 日本機械学会関東支部講演会、OS-201, 東工大、(2016 年 3 月)
- 3) 藤井裕矩, 大久保博志, 丸山勇祐, 岩原誠, テザーを用いた風力発電における直線翼風車モデルの性能実験, 日本機械学会関東支部講演会、OS2-202, 東工大、(2016 年 3 月)
- 4) 丸山勇祐, 藤井裕矩, 遠藤大希, 関和市, 松井正宏, 高空風力に適用する直線翼風車の性能計算, 日本機械学会関東支部講演会、OS-204, 東工大、(2016 年 3 月)
- 5) 栗田篤, 藤井裕矩, 丸山勇祐, 高層ビル空間活用技術としての風力発電構想, 日本機械学会関東支部講演会、OS-206, 東工大、(2016 年 3 月)

ポリ(ビニルアルコール)ハイドロゲルの高性能化に及ぼす諸因子の検討

応用バイオ科学科 岡部 勝・清水秀信・和田理征

基礎教養教育センター 三井和博

1. 研究の目的

高分子物理架橋型ゲルは、ゾル-ゲル転移が熱可逆的であることから容易にゲルを作製することが出来る。これに対し、化学架橋型ゲルでは、架橋反応により化学的に架橋するため、未反応のモノマーや架橋剤が残存し、これらを除去する操作が必要となる。また、架橋反応などで不均一構造を取り、強度の面で高分子本来の強度に比べ劣るといわれている。物理ゲルを高性能化するためには、図1に示すように力学的及び熱力学的安定性の両方を兼ね備えなければならない。また、物理ゲルの最大の特徴である成型加工性に優れたゲルでなければならない。

ポリビニルアルコール(PVA)は、合成高分子でありながら生体適合性を有し、更に、含水性や透明性に優れた材料である。PVAは有機溶媒のみならず、水を溶媒としてハイドロゲルを形成することが知られている。そのため、バイオ医療材料などへのドラッグデリバリーシステムや人工血管、人工硝子体、組織工学のスキャホールドなどの応用研究が行われている。しかしながら、PVAハイドロゲルは作製しやすい反面、生成したゲルは温水でゾル化し、さらには、力学強度安定性も低いという欠点もある。PVAハイドロゲルを医療材料として使用を考えた場合、力学的安定性のみならず、熱力学的安定性の両方が必要となる。つまり、「高分子/溶媒系の χ_{12} の値の大きさ」

—「そのような溶媒環境下で生成する物理ゲルの架橋領域の大きさ S 」—「物理ゲルのヤング率の大きさ E 」に関する相関的な知見を得ておく必要がある。このような物理化学的な見地から物理ゲルのキャラクターゼーションを行った研究はほとんど見当たらない。

本研究の目的は、成型加工性及び高強度PVAゲルを作製する条件を検討することである。つまり、タクチシティ及び重合度を変化させてゲルを作製し、ゲルの成型加工性に起因する諸因子(膨潤度 Q 、熱力学的パラメーター χ_{12})、力学的安定性に起因する諸因子(重合度 N 、シンジオタクチシティ S -diad、ヤング率 E 、微結晶間距離 L)の相関性を検討する。

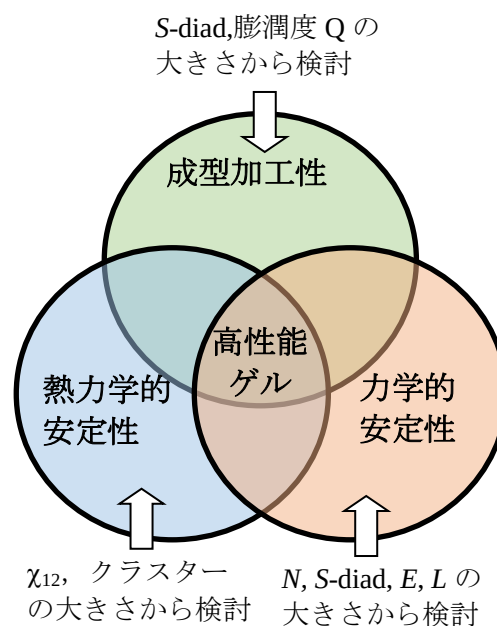


図1. 本研究で目指す高性能PVA物理ゲル.

2. 研究の必要性および従来の研究

PVAハイドロゲルを反復凍結解凍法や凍結低温結晶化法などによって作製すると、比較的高強度なゲルが生成する。しかしながら、力学的強度は向上するものの、作製時間が掛かるという欠点がある。これに対し、ジメチルスルホキシド(DMSO)/水混合溶媒中でPVAゲルを作製すると比

較的短時間で、かつ、簡便に作製できる。また、DMSO/水混合溶媒系で生成したハイドロゲルは、力学強度にも優れたものができることが知られている。

PVA には、アタクチック、シンジオタクチック、アイソタクチックの 3 種類が存在する。ゲル形成能にもタクチシティが影響すると考えられる。ゾル - ゲル転移に関するタクチシティの研究は、数多く研究されている。しかしながら、タクチシティに優れ、かつ、高重合度 PVA の架橋長 ζ や多重度 ρ 、ヤング率 E に関する研究は見当たらない。これらの相関性を明らかにすることによって、PVA ゲルの高性能化が容易になることが考えられる。

3. 期待される効果

これまでに Flory-Huggins の相互作用パラメーター χ_{12} の大きさを見積もり、 χ_{12} の大きさがゲル構造やヤング率 E に影響を及ぼすことを報告してきた。熱力学的安定性や力学的安定性を議論する場合、 χ_{12} の大きさが重要であり、大きすぎても小さすぎてもゲルを形成しない。 χ_{12} の大きさが適切になるような溶媒を選び出すことが、より優れた PVA ゲルを作製するためには重要である。

本研究では、高重合度 PVA を合成し、より優れた PVA ゲルを作製するために、 χ_{12} の大きさから混合溶媒組成を選び出した。また、S-diad や N を変化させてゲルを作製し、基礎的物理量である架橋長 ζ や多重度 ρ 、ヤング率 E 、微結晶間距離 L を推算し、ゲル構造と力学強度の相関性を検討した。これらの諸因子を検討することは、ゲル材料を創製するための基礎研究として意義がある。また、データを系統的に蓄積することによって、ゲル分離膜や生物(組織)工学の分野への開発につながる。

4. 研究経過及び結果

高分子の一次構造は、バルクの性質のみならず、ゲル形成能にも大きな影響を及ぼす。例えば、タクチシティは、分子間または分子内で水素結合を形成するか否かに関係するが、この差異は、融点や溶解性に大きく影響を及ぼす。アタクチックポリスチレンはアモルファスであるのに対し、シンジオタクチックポリスチレンは融点が 270°C 以上となる結晶性の高分子である。PVA にもシンジオタクチックやアイソタクチックが存在する。PVA の結晶化は分子間の水素結合により起こることが知られており、シンジオタクチシティが多くなると分子間水素結合が強くなり、熱力学的に安定な PVA ゲルが生成すると予想できる。

本研究では、シンジオタクチシティに優れ、かつ、高重合度 PVA を合成した。また、シンジオタクチシティの異なる PVA を合成し、比較検討した。モノマーに酢酸ビニル(VAc)及びピバリン酸ビニル(VPi)を、開始剤に α, α' -アゾビスイソブチロニトリル(AIBN)を使用して、UV バルク重合を行った。さらに、重合度 N の異なる試料を作製するために、AIBN の量を変化させて重合した。得られた PVAc 及び PVPi を、NaOH 水溶液及び NaOH メタノール溶液を滴下してけん化し、PVA を得た。また、得られた PVA を再アセチル化し、重合度 N を式(1)より算出した¹⁾。

$$[\eta] = 5.63 \times 10^{-4} [M_n]^{0.62} \quad (\text{PVAc in benzene at } 30^\circ\text{C}) \quad (1)$$

上記で得られた PVA は 10 種類で、PVAc 由来の PVA は a、PVPi 由来の PVA は s として示してある。

PVA/DMSO/水混合溶媒のゲル構造を議論するためにゲル融点を実測し、得られたゲル融点を用いて、式(2)の田中・Stockmayer(TS)理論式²⁾より架橋サイズ(架橋長 $\zeta \times$ 多重度 ρ)を算出した。

$$\ln C = \frac{\Delta h_0}{k_B \cdot T_m^g} - \frac{1}{s-1} \ln M + \text{const.} \quad (2)$$

ここで、(2)式のパラメーターの意味は次の通りである。C: ポリマー濃度 [g/100cm³]; k_B : ボルツマン定数 [J/K]; Δh_0 : 結合エンタルピー [kcal/mol]; M : ポリマーの分子量 [g/mol]; T_m^g : ゲル融点 [K]; s : 多重度(架橋点に入り込む分子鎖の数)。

そこで、 $10^3/T_m^g + \ln M$ を $\ln C$ に対してプロットし、分子量を一定とし、温度を変化させたときの傾きを A、温度を一定として分子量を変化させたときの傾きを B とすると、次の式(3)及び式(4)より、架橋長 ζ と多重度 ρ を求めることができる。

$$\zeta = \frac{10^3 k_B}{|\Delta h_0|} \times A = - \frac{10^3 R}{|(\Delta h_0)_{\text{mol}}|} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{B-1}{B} \quad (4)$$

ここで、 ζ : ゲルの架橋長(架橋点に入り込むモノマーの数); $|(\Delta h_0)_{\text{mol}}|$: 繰り返し当たりの結合エンタルピー (1.64 kcal/mol)。

TS 理論から求めた架橋サイズ($\zeta \times \rho$)を求めたところ、図2に示すように重合度 N が増大すると、架橋サイズも増大する傾向が見られた。また、さらに増大すると、架橋サイズの大きさは一定の値を示した。特に s-PVA では顕著であり、これは、PVA 鎖の絡み合いが関係していると考えられる。つまり、 N が増大すると分子鎖の絡み合いが多くなり、隣接する分子の距離も短くなることから、PVA 分子鎖間で水素結合が形成すると考えられる。さらに $N > 5000$ になると、分子鎖の絡み合いが多くなり、分子運動が抑制されて架橋領域に分子鎖が入り込めなくなったと考えられる。そのため、これ以上架橋サイズが大きくならなかったと考えられる。

次に、高重合度になるにつれ架橋サイズが増加し、その後、一定になったことから、微結晶間距離も変化していると考えられる。そこで、式(5)の Peppas - Barr-Howell の理論³⁾を用いて微結晶間距離 L を推算した。

$$L = \frac{\left[c_n \left(\frac{2M_c}{M_r} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}{v_2^{\frac{1}{3}}} l \quad (5)$$

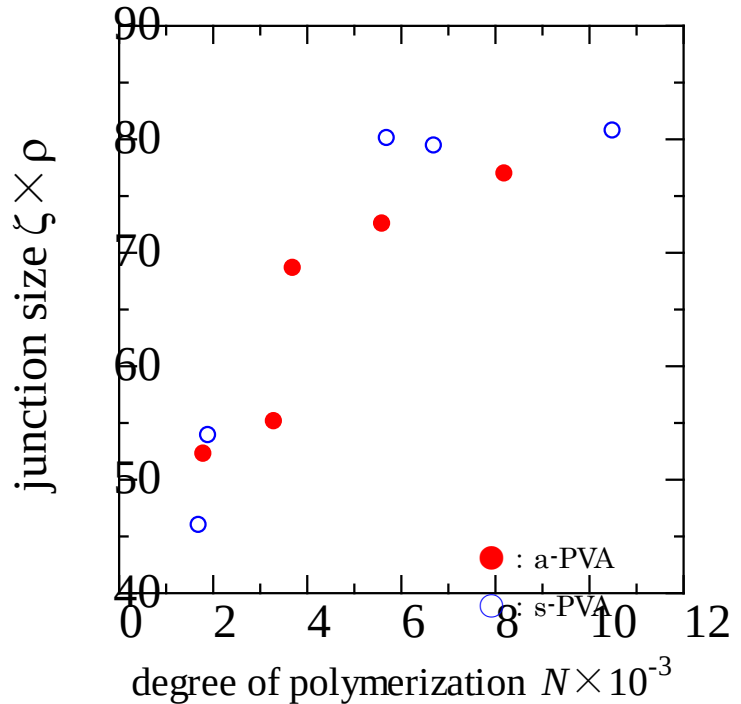


図2. 架橋サイズと重合度 N の関係。

ここで、 v_2 : PVA ゲルの体積分率 ; C_n : Flory の特性比(=8.3) ; $\bar{M}_c$: 架橋間分子量 ; M_t : モノマーの分子量 ; l : C-C 間の結合長(0.154nm)である。

微結晶間距離 L は、膨潤度より求めた。まず、PVA ゲルフィルムを乾燥させ、DMSO/水混合溶媒中に浸漬して膨潤させた。その後、一定時間ごとに測定を行い、膨潤平衡に達した値を用いて算出した。その結果を図 3 に示した。 N が増大すると微結晶間距離 L は減少した。また、a-PVA より s-PVA の L は短い。これは、S-diad が高い s-PVA の方が、PVA 鎖間同士の水素結合が強く働き、その結果、 L が短くなったと考えられる。

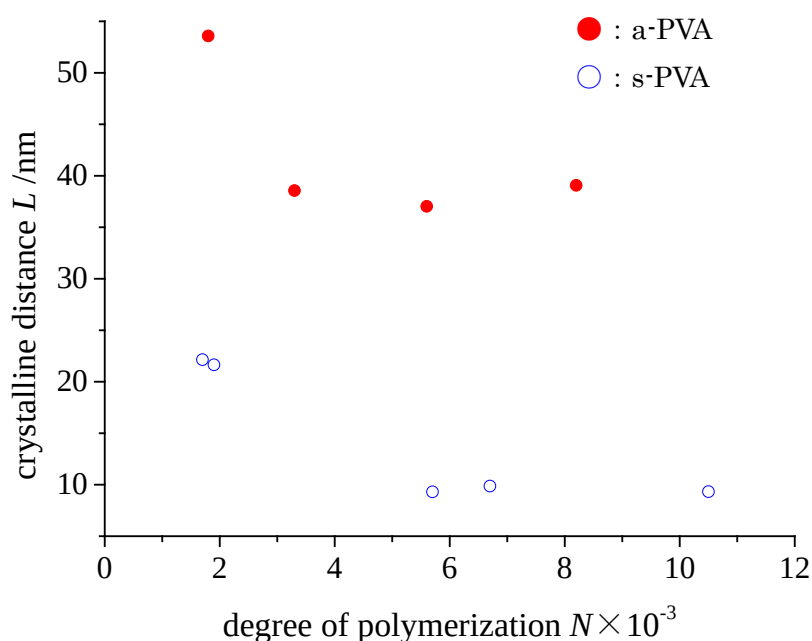


図 3. 微結晶間距離と重合度の関係。

これまでの結果から、以下の結論を得た。

- (1) 架橋サイズの大きさと微結晶間距離の結果から、s-PVA ゲルは a-PVA ゲルより熱的及び力学的安定性に優れている可能性がある。
- (2) 一次構造である S-diad 及び N が架橋サイズに影響を与えていると考えられる。

5. 今後の計画

本研究で、「高分子/溶媒系の χ_{12} の値の大きさ」—「そのような溶媒環境下で生成する物理ゲルの架橋領域の大きさ S 」の相関性については、徐々に明らかになりつつあるが、力学的安定性が議論できていない。そこで、「物理ゲルのヤング率の大きさ E 」との相関性を検討する。また、今回測定を行った微結晶間距離 L は、一度乾燥させているため、as-prepared ゲルではない。そこで、as-prepared ゲルの微結晶間距離 L を小角 X 線測定より検討する予定である。

6. 文献

- 1) J. Brandrup, E. H. Immergut, and E. A. Grulke, ed., “Viscosity-Molecular Weight Relationships and Unperturbed Dimensions of Linear Chain Molecules” in “Polymer Handbook” 4th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York(1989).
- 2) F. Tanaka and W. H. Stockmayer, *Macromolecules*, **27**, 3943(1994).
- 3) For example, A. S. Hickey and N. A. Peppas, *J. Membrane Sci.*, **107**, 229(1995).

7. 研究成果の発表

- 1) 和田理征, 清水秀信, 岡部 勝

「DMSO/水系混合溶媒中での PVA のゲル化とゲルのキャラクタリゼーション」
田中豊一記念シンポジウム 2014, 2014. 9 (日本ゼオンー碧荘)

2)和田理征, 清水秀信, 岡部 勝
「高分子量 PVA ゲルの架橋点の大きさと機械的特性」
第 63 回高分子討論会 (高分子学会), 2014. 9 (長崎大学)

3)大町理未, 和田理征, 清水秀信, 岡部 勝
「ポリ ビニルアルコールハイ ドロゲル膜の構造とその特性」
第 64 回高分子学会年次大会, 2015. 5 (札幌コンベンションセンター)

4)和田理征, 清水秀信, 岡部 勝
「高分子量 PVA ハイ ドロゲルの架橋長の大きさとヤング率」
第 64 回高分子学会年次大会, 2015. 5 (札幌コンベンションセンター)

5)大町理未, 和田理征, 清水秀信, 岡部 勝
「抗菌性ポリ ビニルアルコールハイ ドロゲル膜の特性」
第 64 回高分子討論会 (高分子学会), 2015, 9 (東北大学)

6)大町理未, 和田理征, 清水秀信, 岡部 勝
「抗菌性ポリ ビニルアルコールハイ ドロゲル膜の構造とその特性」
第 27 回高分子ゲル研究討論会, 2016, 1 (東京大学)

“本学発”の生活習慣病予防のための高機能性食品開発に向けた基盤研究

研究者名：栄養生命科学科・教授 清瀬 千佳子
栄養生命科学科・教授 飯島 陽子
応用バイオ科学科・准教授 岩本 嗣

1. 研究の目的

消費者の健康意識が高まり、生活習慣病予防に対する食品の高機能性は、食品の付加価値として消費者の喫食意欲を高め、食材のブランド化への貢献も大きい。近年、このような機能性食品の研究開発が大学や食品業界で挙って行われ、開発された食品は研究のみならず、大学や企業の知名度向上に貢献している。そこで、本研究では、生活習慣病予防を目的とした食品成分の新規機能性を見出す事で、新しい高機能食品の開発を行い、この成果を学外にアピールする事で、本学の知名度向上を行いたい。

2. 研究の必要性及び従来の研究

生活習慣病予防に関しては、日本での最大関心事の一つであり、その予防をどのようにして行うかが問題である。食品は我々が毎日摂取するものであり、その食品の中に含まれる成分で生活習慣病予防が出来れば日本人の関心がさらに高まると推察される。これまでも多くの食品から様々な機能性研究報告がなされているが、生活習慣病が無くならない限りその必要性は高まり続け、新たな食品素材またはその成分が期待される。従来では、期待できる食品成分を取り出して、機能性成分高含有食品の開発が研究の中心であるが、我々は機能性成分を高含有する食材の育種ならびに栽培条件を検討し、さらに効率的に摂取できるような調理加工を検討することに着目している点が独創的である。

3. 期待される効果

上記のような「機能性成分高含有食材」の開発が出来れば、応用バイオ科学科と栄養生命科学科の横断的研究が進み、大学全体として、学外にアピールできる食材を産み出すことができるだろう。また、大学の知名度アップにも十分つながることが期待できる。

4. 研究の経過及び結果（平成 27 年度）

【清瀬】

炎症誘導したマウスに対するゴボウスプラウトの抗炎症効果について

平成 26 年度にゴボウスプラウト抽出物に抗炎症効果がある可能性を報告した。ゴボウスプラウトは可食部と根に分け、可食部を凍結乾燥後に粉末にし、冷凍庫にて保存した。この粉末を用いて、100%エタノールにて 3 回抽出し、エバポレーターにて溶媒除去して、

残渣の重量を測定した。それを 100%エタノール抽出物として実験に用いることにした。マウスマクロファージ細胞である RAW264.7 細胞を培養し、LPS(リポ多糖)を添加すると、RAW264.7 細胞は炎症誘導が起こる。このような炎症誘導を惹起した細胞に予めゴボウスプラウト 100%エタノール抽出物を添加して 24 時間培養後、LPS を添加して 8 時間後に細胞を回収し、炎症物質の mRNA 発現量の検討を行った。その結果、図 1, 2 に示すように LPS の添加によって、TNF- α およびその転写因子である NF κ -B の mRNA は有意に上昇したが、ゴボウスプラウト抽出物を添加すると両物質とも有意に低下させた。以上の結果より、ゴボウスプラウト中には抗炎症作用を示す物質が転写因子レベルで抑制する事が示唆できた。そこで、平成 27 年度は in vivo で同様の効果を発揮することができるかについて検討を行う事にした。

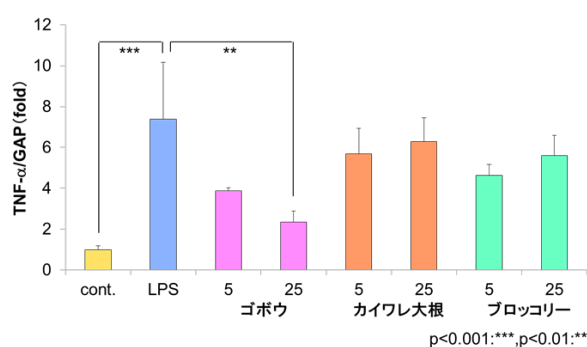


図 1. ゴボウスプラウト抽出物における TNF- α mRNA 発現への影響

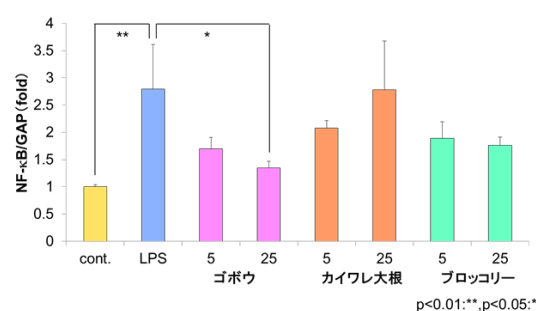


図 2. ゴボウスプラウト抽出物における NF κ -B mRNA 発現への影響

＜実験方法＞ 7 週令雄の BALB/c マウス 25 匹を 5 日間予備飼育後、4 つのグループに群分けした。コントロール群は経口で水を投与し、腹腔内にバッファを投与する群で、LPS 投与群は経口で水を投与し、バッファに溶解した LPS を 9mg/BW kg の割合で腹腔投与する群とした。ゴボウスプラウト+LPS 投与群は凍結乾燥し、粉末化したゴボウスプラウトを水にて分散したものを体重 1kg 当たり 400mg ゾンデで投与することにした。LPS 投与の 24 時間前と 2 時間前に 2 度、ゴボウスプラウトを経口投与したのちに、LPS を投与し、投与 3 時間後に解剖して、血液および肝臓を採取した。

＜結果及び考察＞マウス肝臓中の IL-6 の mRNA 発現量は図 3 に示すように C 群に比べて LPS 投与群(L 群)では有意な上昇がみられたが、ゴボウスプラウトを投与(LG 群)することによる低下は見られなかった。また、TNF- α も同様に LPS 投与による有意な上昇は見られたもののゴボウスプラウト投与の効果は見られなかった(図 4)。

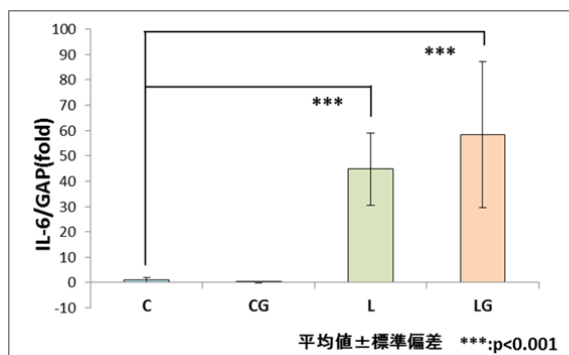


図 3. 炎症誘導マウス肝臓中の IL-6 mRNA 遺伝子発現

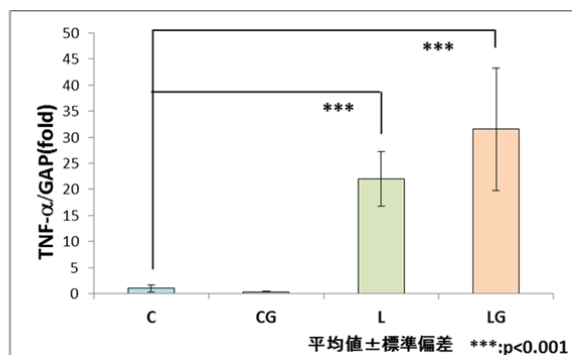


図 4. 炎症誘導マウス肝臓中の TNF-α mRNA 遺伝子発現

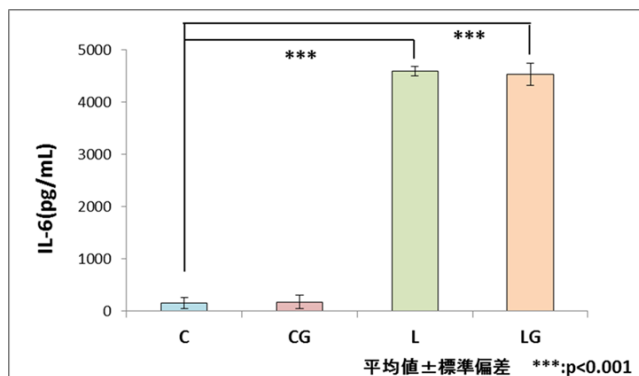


図 5. マウス血漿中の IL-6 濃度

また、血漿中 IL-6 を ELISA 法にて測定した所、やはり肝臓中の遺伝子発現と同様に、L 群、LG 群で有意に高いものの、L 群と LG 群との間で有意な差は見られなかった。(図 5)。

以上の結果より、ゴボウスプラウトには抗炎症作用を認める物質が含まれている事が明らかになったが、in vivo での効果は見られなかった。

【飯島】

ゴボウスプラウトの風味特徴を明らかにするため、その香気特徴に関し、ゴボウスプラウトの香気成分分析および GC-Olfactometry によるゴボウとスプラウトの比較解析、他のスプラウトとの香気プロファイルの比較解析を行った。

GC-MS による香気成分分析、GC-Olfactometry (GC-O) によるゴボウスプラウトとゴボウの香気特徴の比較

＜実験方法＞

ゴボウおよびゴボウスプラウトを凍結粉碎した。それぞれ 200mg を 20mL のバイアルに計りとり、超純水 1ml、内部標準として 3-octanol を加えたのち、超音波溶解を行った。50℃

で 10 分間攪拌後、ヘッドスペースガスを吸着ファイバー (DVB/CAR/PDMS, 2cm) に 30 分間吸着させた。その後、ファイバーを GC-MS 注入口において加熱脱着し、GC-MS 分析を行った。

ゴボウおよびゴボウスプラウト中のにおい寄与成分を調べるため、GC 出口におけるにおいかぎを行うこととした。ゴボウおよびスプラウトの香気濃縮物は、それぞれ 20g から粉碎し、ジエチルエーテル 100ml を加え、一晚浸漬により香気成分を抽出した。その後、無水硫酸ナトリウムを加え脱水し、約 300 μ L まで濃縮した抽出液 (香気濃縮液) を GC-MS-に おい か ぎ に 供 し た。香気濃縮液をジエチルエーテルで 4¹ 倍、4² 倍、4³ 倍、4⁴ 倍、4⁵ 倍、4⁶ 倍、4⁷ 倍、4⁸ 倍に段階的に希釈した溶液 2 μ L を GC に導入し、出口においてにおいかぎをおこなった。においが感じられた最も高い希釈率を FD ファクター (におい寄与率) で求め、アロマグラムを作成した。

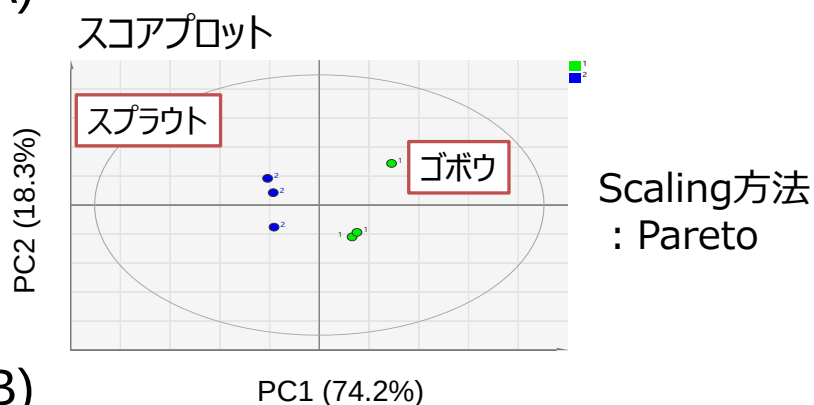
〈結果および考察〉

ゴボウおよびゴボウスプラウトの GC-MS 分析プロファイルの比較を主成分分析によって解析した。その結果、第一主成分 (74.2%) において、ゴボウとゴボウスプラウトは判別された (図 6 A)。さらにローディングスコア値から各サンプルに特徴的に多い成分をスクリーニングした (図 6 B)。その結果、ゴボウに多い成分として、2-Methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine、Phenylacetaldehyde、 β -Elemene、 α -Curcumene、2-Methoxy-3-(1-methylpropyl)-pyrazine が挙げられた。一方、スプラウトに多い成分として、cis-3-Hexenal、cis-3-Hexenyl acetate、2-ethylthiophene が挙げられた。

次に、これらの成分が実際に香気寄与度が高いかどうか知るため、GC 出口におけるにおいかぎ分析を行い、香気寄与度を示すアロマグラムを作成した (図 7)。その結果、上記図 6 でスクリーニングされた成分のうち、ゴボウで 2-Methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine、Phenylacetaldehyde および 2-Methoxy-3-(1-methylpropyl)-pyrazine、ゴボウスプラウトでは、cis-3-Hexenal、cis-3-Hexenyl acetate が香気寄与度が高いことが分かった。また、二つの methoxypyrazine 類は、成分濃度としてはゴボウの方が多いが、スプラウトでも強く感じられ、かなり閾値が低い成分であることが確認できた。また、これらのにおいの質は、“土臭い” “ゴボウのよう” と表現されたことから、これらの成分がスプラウトにも存在することで、スプラウトがゴボウの風味を維持していることが推測された。

さらに、スプラウトでは、“草のにおい” “新鮮・フルーティ” と表現された cis-3-hexenal や cis-3-hexenylacetate もあることから、葉らしい香気特徴を含み、ゴボウよりも新鮮な風味を醸し出していることが予想された。ゴボウはカイワレ大根のように茎の部分が長く、葉は先端についている形状をしている。そのため、葉と茎における cis-3-hexenal と 2-methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine の違いを調べた。その結果、葉では cis-3-hexenal が、茎の部分では 2-methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine が多く存在することが分かり、スプラウトの部位によってもその組成は変化することが分かった。

(A)



(B)

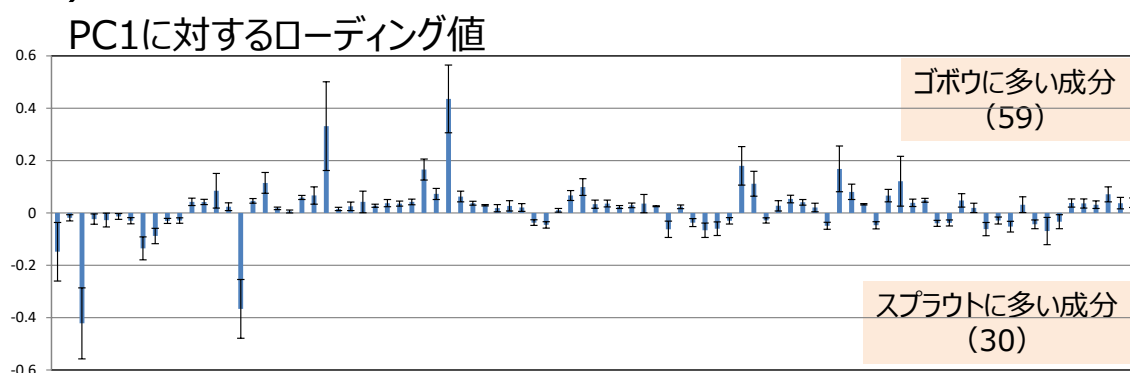


図 6. 主成分分析によるゴボウとゴボウスプラウトの組成の比較 (A) と第一主成分に対する各成分のローディング値 (B)

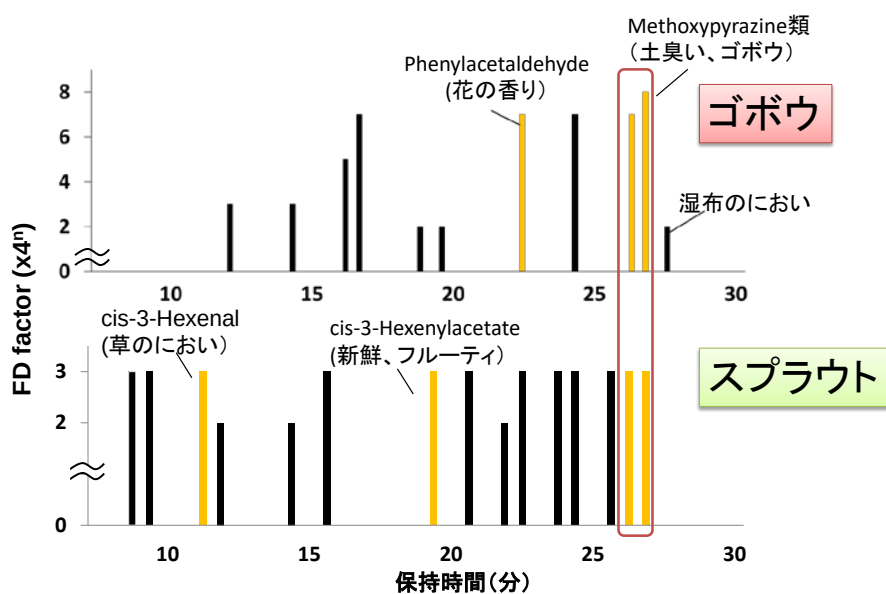


図 7. GC-Olfactometry による香気寄与成分のスクリーニングと香気特徴

ゴボウスプラウトと他の市販スプラウトの比較

＜実験方法＞

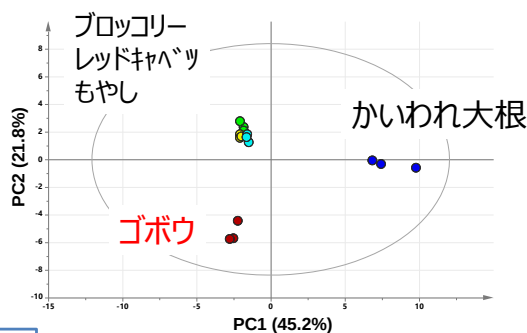
市販のモヤシ、かいわれダイコン、ブロッコリー、レッドキャベツのスプラウトを前項と同様にサンプリングし、香気分析を行った。その結果をゴボウスプラウトの結果とともに主成分分析により評価した。

＜結果および考察＞

スコアプロットおよびローディングプロットの結果を図8に示す。スコアプロットにおいて、ゴボウおよびカイワレダイコンは他のスプラウトと異なる位置にプロットされた。よって、他のスプラウトとは異なる独特の風味をもっていることを示唆した。ローディングプロットにより、ゴボウにおいて量的寄与が高い成分を確認した。その結果、前項で検出された *cis*-3-hexenal や 2-methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine が含まれており、これらの成分がゴボウスプラウトの風味に寄与していることを明らかにした。

スコアプロット

Scaling方法
: Pareto



ローディングプロット

Hexanal
cis-3-Hexenal
trans,trans-2,4-Hexadienal
2-Pentylfuran
2-Methoxy-3-(2-methylpropyl)-pyrazine
Unknown sesquiterpene

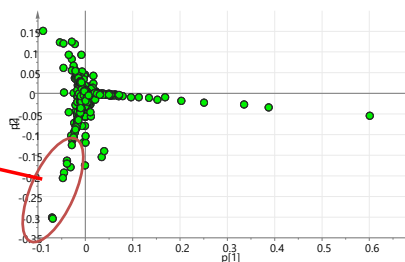


図8. 市販スプラウトとゴボウスプラウト香気プロファイルの主成分分析

【岩本】

抗酸化作用ならびに抗炎症作用の認められた葉ゴボウスプラウトの栽培条件の検討

＜実験方法＞

福井県と大阪府で栽培されている葉ゴボウの種子を実験に供試した。縦 9.30 cm×横 9.30 cm×高さ 4.50 cm のスプラウト栽培容器を実験に使用し、スプラウトは 24℃、16 時間日長

の恒温室内で栽培した。

生育、発芽率が良い種子のサイズを決定するため、篩を用いて 1.70～2.36 mm の種子（小）、2.36～2.80 mm の種子（中）、2.80 mm 以上の種子（大）の 3 つのサイズに分け、暗所で 5 日間、その後明所で 2 日間栽培した。サイズ別の種子の構成割合、発芽率、スプラウトの地上部重量、胚軸重量、草丈を調査した。

適切な葉ゴボウスプラウトの栽培日数を明らかにするため、栽培日数を 8～12 日間とし、スプラウト収穫後、地上部重量、胚軸重量、子葉重量、草丈、子葉長を調査した。

明暗日数を決定するため、栽培日数を 10、11 日間とし、明所日数を 1～3 日間の 6 試験区設け、収穫後の地上部重量、胚軸重量、子葉重量、草丈、子葉長を調査した。

UV 照射ならびに無照射条件で栽培した葉ゴボウスプラウトの子葉凍結乾燥粉末を用い、定法によりルチンを抽出し、HPLC 分析で検出を行った。

<結果および考察>

サイズ別種子の構成割合は種子（大）、種子（中）、種子（小）がそれぞれ 27.4、44.9、27.7% となり、種子（中）の割合が最も高くなった。発芽率は種子（大）、種子（中）がそれぞれ 99.2、98.3% と高く、種子（小）は 95.0% にとどまった（図 9）。また、スプラウト収穫後の調査項目全てで、種子（大）と種子（中）は種子（小）より有意に高い結果となった（表 1）。以上の結果より、種子の構成割合が高く、発芽率、生育の点で優れることから、今後の実験には、種子（中）と種子（大）を混ぜた 2.36 mm 以上の種子を用いることにした。

栽培日数の実験において、栽培日数が長いほどスプラウトの生育も良くなったが、10 日目以降は生長が緩やかになり（表 2）、生長のピークを迎えるまでの 10 日間は、栽培期間を確保する必要があることが明らかとなった。

明暗日数の実験では、明所日数が長くなるほど子葉重量が大きくなった（表 3）。

一般に発芽実生を食用とするスプラウトの場合、収穫物における胚軸の重量が最も大きな割合を占めると言われている。その点を考慮に入れ、葉ゴボウスプラウトの栽培条件を決定した。すなわち、2.36 mm 以上の種子を用い、暗所で 10 日間（図 10）、その後明所で 1-2 日間緑化栽培する（図 11）。以上により、生育旺盛な葉ゴボウスプラウトの生産が可能となった。

蛍光灯照明下で栽培した葉ゴボウスプラウトの子葉において、ルチンは検出できなかったが、UV 照射を加えることにより、ルチンが検出された。

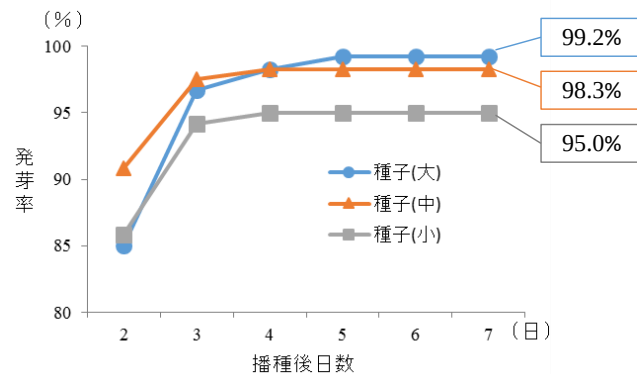


図 9. サイズの異なる種子の発芽率の推移

表 1 スプラウトの生長に及ぼす
種子サイズの影響

種子サイズ	地上部(mg)	胚軸(mg)	草丈(cm)
大	135.5	87.2	4.3
中	123.3	82.8	4.2
小	97.6	66.1	3.8

表 2 スプラウトの生長に及ぼす栽培日数の影響

栽培日数 (日)	地上部 (mg)	胚軸 (mg)	子葉 (mg)	草丈 (cm)	子葉長 (cm)
8	137.8	86.7	51.1	5.0	1.7
9	170.0	100.4	69.6	5.6	2.1
10	182.5	109.7	72.8	5.9	2.3
11	185.8	112.3	73.5	6.1	2.3
12	188.6	112.9	75.8	6.1	2.4

表 3 スプラウトの生長に及ぼす明暗日数の影響

栽培日数 (日)	暗所 (日)	明所 (日)	地上部 (mg)	胚軸 (mg)	子葉 (mg)	草丈 (cm)	子葉長 (cm)
10	9	1	165.9	107.6	58.2	5.9	1.9
	8	2	182.5	109.7	72.8	5.9	2.3
	7	3	171.2	96.8	74.5	5.6	2.3
11	10	1	193.9	126.9	67.0	6.8	2.4
	9	2	185.8	112.3	73.5	6.1	2.3
	8	3	188.3	100.9	87.5	6.3	2.6



図 10. 暗黒条件下で栽培した葉ゴボウスプラウト



図 11. 緑化後の葉ゴボウスプラウト

5. 今後の計画

【清瀬】

マウス肝臓中の炎症性サイトカインである IL-6 や TNF- α の mRNA 発現量を見ると、非常に高い発現量であったことから、今回行った *in vivo* の実験での LPS 濃度が高すぎた可能性が考えられた。今後は、LPS の投与濃度を低くし、ゴボウスプラウト 100%エタノール抽出物を投与するように準備する必要があると思われる。

【飯島】

ゴボウスプラウトにおいて、香気はゴボウの風味をもつ特徴的な性質であることが分かったが、味にえぐ味があるのが現在の難点である。そのため、今後はえぐ味成分の特定、その成分を抑制できる栽培条件等を検討する必要がある。

【岩本】

照射する UV (UV-A、UV-B、UV-C) の波長、照射量、照射時間や温度等の環境条件を検討し、生育が旺盛で、機能性成分として期待されるルチン含量の高いスプラウト栽培条件を明らかにする予定である。

6. 研究成果の発表 (平成 27 年度)

【清瀬】

(学会発表)

1. 高橋知衣、大石沙織、氏原克人、田口裕基、清瀬千佳子「LPS 添加 RAW264.7 細胞におけるスィートバジルの抗炎症効果」第 70 回日本栄養・食糧学会大会 2016 年 5 月 14 日 (武庫川女子大学)

【飯島】

(学会発表)

1. 飯島陽子、長尾望美、小池理奈、岩本嗣「ゴボウおよびゴボウスプラウトの
香気特性とその比較」日本家政学会第 68 回大会 2016 年 5 月 29 日 (金城学院大学)

【岩本】

(学会発表)

1. 畑山靖佳、岩本嗣「 γ 線照射したフキのフェノール成分 (DCQA) の定量分析」日本
農業教育学会第 73 回講演会 2015 年 8 月 30 日 (千葉大学)
2. 松田恭平、岩本嗣「伝統野菜の超低温保存技術の開発」日本農業教育学会第 73 回講
演会 2015 年 8 月 30 日 (千葉大学)

Hevea brasiliensis の天然ゴム生合成に関わるタンパク質群の同定

研究者名：応用バイオ科学科 小池 あゆみ

1. 研究の目的

本研究では、ラテックス中に含まれる天然ゴム生合成関連酵素群の単離・精製ならびに生合成機構の解明を最終的な目的とする。そのために、まずは天然ゴム生合成の反応場である Small Rubber Particle (SRP) の表面構造観察を走査型電子顕微鏡 (SEM) や走査型プローブ顕微鏡 (SPM) で行い、反応場の構造観察とそこに含まれるタンパク質同定を目指す。次に、*Hevea brasiliensis* の天然ゴム生合成に関わるタンパク質の遺伝子を組換え体で発現させ、関連酵素群の精製を目的とした。

また、遺伝子組換え系の準備のため、*Hevea brasiliensis* のカルス形成と再分化系構築の検討を行った。

2. 研究の必要性及び従来の研究

天然ゴムは合成ゴムと比べ、弾性や対摩耗性に優れており、タイヤ等のゴム工業製品に不可欠な天然材料である。近年、化石資源の枯渇や環境汚染、原油高などへの対策から、天然ゴムは生体高分子からなるグリーンマテリアルとして注目を集めている。工業的に利用されている天然ゴムの大部分は、パラゴムノキ (*Hevea brasiliensis*) 由来の乳液状樹液であるラテックスである。そのために栽培地域が熱帯の一部地域に限定されることや農作物の単一種依存による、安定供給への不安が懸念されている。また天然ゴムに含まれるタンパク質によるゴムアレルギーの問題や、ゴムの分子構造が複雑で重合の開始および停止末端構造が未知であることから、より有用なゴム材料開発のためにも天然ゴムの生合成機構解明が求められている。

天然ゴムは、ラテックス中に分散するゴム粒子の表面で、モノマーであるイソペンテニル二リン酸 (IPP) が重合して合成されるが、これら一連のゴム鎖伸長反応に関わる酵素群については未だにほとんど知見がない。REF (rubber elongation factor) などのゴム粒子結合蛋白質 (RPP) のゴム生合成における重要性はわかりつつあるが、現時点で、*in vitro* でのゴム合成はゴム粒子共存下を除いては実施例がなく、精製タンパク質による合成には誰も成功していない。

3. 期待される効果

ゴムの構造解析により生合成過程がわかれば、輸入に頼らずに日本でゴムの安定供給を検討できる。また天然ゴムに含まれるタンパク質によるゴムアレルギーの問題や、ゴムの分子構造が複雑で重合の開始および停止末端構造が未知であることが解決すれば、より

有用なゴム材料開発が可能となる。

4. 研究の経過及び結果

遺伝子クローニングのための *H. brasiliensis* の植物体は、東京大学樹芸研究所の温室で生育している樹木から採集し、直ちにゲノム DNA と total RNA を抽出した。Small rubber particle protein (SRPP8) 遺伝子、Rubber elongation factor (REF6) 遺伝子、*cis*-prenyltransferase (CPT1) 遺伝子のクローニングのため、合成した cDNA をテンプレートに PCR を行い、増幅断片の DNA シーケンスにより、塩基配列を確認した。各遺伝子断片を、pCold、pTrc99A、pRSET ベクターのそれぞれにライゲーションし、発現ベクターを作製した。

発現ベクター *pTrcSRPP8-5*、*pTrcCPT1-6*、*pTrcREF6-12* は *E. coli* DH5 α に、*pRSETSRPP8-5*、*pRSETCPT1-6* は *E. coli* BL21 (DE3) pLysS に形質転換し、37°C で培養した。IPTG 添加の有無、発現誘導後の培養時間 (2、4、6、16 時間) を変化させて培養した菌体は、超音波破碎して上清と沈殿に分け、SDS-PAGE で分離した。発現誘導された可能性のあるタンパク質バンドはアミノ酸シーケンス (島津 PPSQ-21) により配列を決定した。*pTrcCPT1-6*/DH5 α を培養し、IPTG 添加したところ、培養温度 37、30°C で不溶性画分の 38kDa と 34kDa、28kDa 付近に発現誘導されたタンパク質バンドを確認した (図 1 A)。アミノ酸シーケンスの結果、38kDa のバンドは CPT1 の N 末端配列と 10 個中 7 個のアミノ酸が一致した。また、34kDa、28kDa のバンドはそれぞれ、CPT の 19 番目の Met から 10 アミノ酸と 118 番目の Met から 10 アミノ酸の配列と 100% 一致した (図 1 B)。また、*pRSETSRPP8-5*/BL21 (DE3) pLysS で SRPP の可能性のあるタンパク質の発現も確認できており、シーケンスによる同定を行っている。REF に関しては現時点で発現は確認できていない。

次に、カルス化条件の検討のために、*H. brasiliensis* の葉は、東京大学樹芸研究所で採取後、3 日以内に培養を開始した。培地・植物ホルモン・滅菌方法について、葉身・葉柄を用いて検討した。得られたカルスを、ホルモン添加培地で継代して増殖させた後に、発根誘導を行った。また、茎頂及び腋芽の培養も検討した (外植体: 約 0.5mm)。その結果、葉身・葉柄共に Woody plant medium 培地 (WPM 培地) を用いた際に最もカルス化率が高かった。葉身では 2,4-ジクロロフェノキシ酢酸 (2,4-D) + カイネチン (K)、葉柄では 2,4-D 存在下でカルス化率が高く、それぞれ 18%、29% であった。葉の部位は、上方の柔らかい葉の葉柄を用いて WPM 培地 + 2,4-D で培養した際に 50% と最も高いカルス化率が得られた。得られたカルスを発根誘導培地 (WPM 培地、5, 2, 0.5mg/L インドール酪酸 (IBA) + 3, 1, 0.3mg/L ナフタレン酢酸 (NAA) 添加及びホルモンフリーの 4 試験区) に移植し 25 日培養したが、発根はまだ確認出来ていない。

一方、茎頂培養では 3mg/L ベンジルアミノプリン (BA) + 0.3mg/L ナフタレン酢酸 (NAA) 添加 WPM 培地で培養した際に、芽の分化が見られた。数回の継代の後、発根誘導を行う予定である (図 2)。

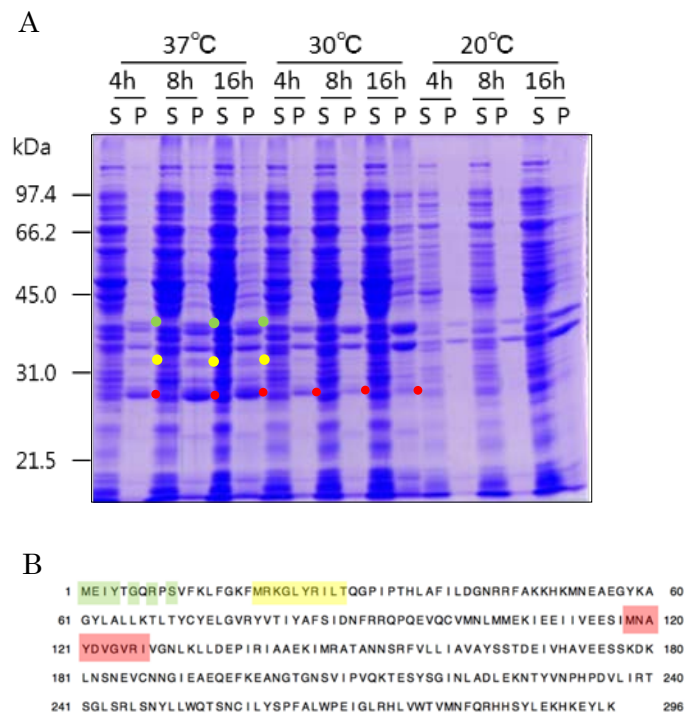


図1 CPT1の大腸菌での発現とアミノ酸配列



図2 カルス（左）と茎頂から分化した芽（右）

5. 今後の計画

今後は、CPT、SRPP の過剰発現条件、可溶化条件、精製を検討する予定である。大腸菌コドンに置き換えた全合成遺伝子在大腸菌内で発現させることも検討し、精製したタンパク質からは抗体を作製する予定である。また、天然ゴムにどのような形でタンパク質が含まれているのかを明確にするために、抗体染色を行い、タンパク質の局在を調べる。

6. 研究成果の発表

得られた成果については特許出願準備中であるため、現段階で外部発表はしていない。

サルコペニア予防のための栄養学、臨床工学、情報工学共同のアプローチ

応用バイオ科学部 栄養生命科学科

佐々木 一

研究の目的

サルコペニア（骨格筋減弱症）は、比較的最近提言された高齢者の重大な身体的問題である⁽¹⁾。サルコペニアでは骨格筋が委縮し機能が低下する。そのため、免疫を含む身体機能が低下し健康寿命が短縮する。最近の調査で、地域在住の 65 歳以上の高齢者で、男性 21.8%、女性 22.1%がサルコペニアと診断され、その発症頻度の高さが報告されている⁽²⁾。

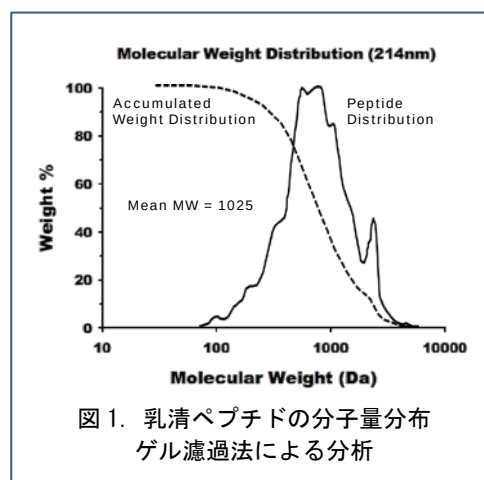
サルコペニアの予防と治療の基本は、運動療法と栄養療法による筋量の増強と維持である。しかし、サルコペニアの成因は複雑であり、さまざまな要因、高齢者の慢性炎症や筋再生幹細胞の減少などが関係する。高齢者の慢性炎症は、サルコペニア発症との関係で特筆すべきであり、炎症の程度が強いほど筋肉の減少量が大きい⁽³⁾。しかし、サルコペニアに伴う炎症について栄養面をも考慮し追及した研究は見受けられない。

当研究は、炎症を抑制する効果が動物および臨床レベルで確認された食素材（乳清たんぱく質分解ペプチド（乳清ペプチド））を、サルコペニアの予防・改善のための栄養療法に応用することを目標とする。当課題では、乳清ペプチドが骨格筋の炎症を抑制するか、また同時に筋たんぱく質合成を促進するかを動物モデルで確認し、目標を達成するための基礎研究を確立することが目的である。初年度は骨格筋炎症を再現する動物モデルを構築することを目標とする。

当研究の基盤となるこれまでの成果

当申請の代表研究者（佐々木）は、牛乳中の乳清たんぱく質が炎症を強力に抑制することを見出した。この結果を応用して開発した炎症抑制効果を持つ栄養食品（流動食「メイン」、㈱明治）⁽⁴⁾は臨床の現場で用いられている。COPD患者では慢性炎症の抑制や栄養状態の改善の効果が確認されている⁽⁵⁾。また、外科領域では急性炎症や感染症の抑制が認められた⁽⁶⁾。ともに、患者のQOL改善に利する結果である。乳清たんぱく質は良質のたんぱく質供給源であると同時に、炎症を抑制する機能素材として働くことを示す結果である。

乳清ペプチドは、牛乳に含まれるたんぱく質群である乳清タンパク質を 2 種のたんぱく質分解酵素で分解して得られるペプチドである。使用するたんぱく質分解酵素は、たんぱく質をアミノ酸配列にかかわらず無差別に切断する特性である。そ



のため、得られる産物は均一なアミノ酸配列のペプチド標品ではなく、平均分子量 1,025Da のペプチド集合体である (図 1)。乳清ペプチドの抗炎症効果は、このペプチド集合体を示す効果であり、特異的なアミノ酸配列のペプチドを特定することはできない。

期待される効果と研究の独創性

筋損傷モデルでは、筋組織内での炎症および破壊が生じている。筋組織内の炎症は、筋組織の破壊を拡大する方向で働き、さらに炎症も拡大するという悪循環が形成されている。乳清ペプチドにより筋組織内の炎症が抑制されることで、この悪循環が抑えられ、筋損傷が軽減すると考えられる。さらに、炎症が抑制された状態での乳清ペプチド摂取は、筋修復時に必要なたんぱく質の供給源となり、筋修復の効率が高まると考えられる。

サルコペニアに対する従来の療法では、サルコペニアに伴う慢性炎症⁽⁷⁾ に対する対策は考慮されていない。そのため、乳清ペプチドの「炎症抑制 + たんぱく質供給」効果は、サルコペニアの進行遅延、および改善を目的とした栄養療法に独自の方法を提供することになる。

健康な高齢者でも、血中の炎症性サイトカインのレベルが高い場合は、筋肉量の減少が見られることが報告されている⁽⁸⁾。これらの高齢者が、乳清ペプチドを利用することで、サルコペニアの予防も期待できる。本研究は、このような目標を実現するための学術的基盤を作ることになる。

研究結果

1. 骨格筋炎症・障害モデルの作成 — マウス (C57BL/6、オス、6 週齢 (チャールズリバー)) を動物用精製飼料 (AIN-93G、たんぱく質源はカゼインを配合 (オリエンタル酵母)) で飼育した後、実験に使用した。マウスの左脚腓腹筋にカルディオトキシン (CTX) を筋注することにより、骨格筋障害を誘発した。CTX は、コブラ毒に含まれるペプチド (分子量 6,693Da) であり、骨格筋の Na/K ATPase を阻害し骨格筋細胞に障害を誘発する。CTX 投与量は、 $10\mu\text{M}$ /リン酸緩衝液溶液の $100\mu\text{L}$ とした。

CTX 投与後、1、3、5 日後に腓腹筋を摘出し 10%ホルマリンに浸漬し固定した。投与前の腓腹筋は対照 (0 日) として使用し病理組織標本を作製した。病理組織標本の観察では、CTX 投与 1 日後で骨格筋の傷害が誘発されていることが確認された。傷害により筋細胞が消失し細胞を取り巻く細胞間組織のみが保持されている状態が観察された。また傷害部位と残余骨格筋との境界が不明瞭な部位が観察された (図 2、Day 1)。

CTX 投与 3 日後には、筋細胞が消失した後の細胞間組織は残るものの、残余筋細胞との境界は明瞭になっていた (図 2、Day3)。CTX 投与 5 日後には、傷害部位と筋細胞の境界部位に線維質性の組織形成が観察された (図 1、Day5)。

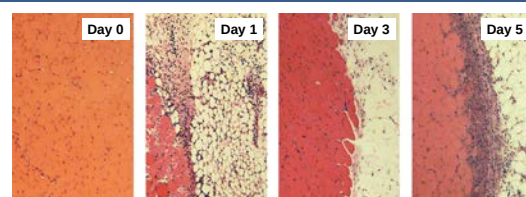


図 2. CTX 投与後の筋損傷の病理学的観察像

これらの観察像から、CTX 投与 1 日後には筋が傷害され、傷害部位の修復がまだ開始していない状態であり、投与 3 日後には損傷部位の修復が開始しているものと考えられる。投与 5 日後には、修復過程の進行が観察された。

2. 乳清ペプチドの抗炎症効果の確認 — マウス

(C57BL/6、オス、6 週齢 (チャールズリバー)) を動物用精製飼料 (AIN-93G、たんぱく質源はカゼイン)、または乳清ペプチドを含む流動食 (「メイン (MEIN)」(株) 明治) の凍結乾燥品を 12 日間与え、その後 CTX を投与し筋障害を誘発した。AIN-93G とメインの組成は表 1 に示す。

CTX 投与 1、3、5、7 日後に血液および腓腹筋を採取した。採取血液は凝固阻害剤として 1/10 量の EDTA・2Na (10mg/mL) を加え、遠心分離 (10,000rpm、20 分) により血漿を分離し採取した。採取した血漿は、ELISA 法による炎症性サイトカイン (IL-6、TNF- α) の測定に使用した。腓腹筋は、筋重量を測定した後に 10%ホルマリンに浸漬し病理組織標本作成に供した (図 3)。

CTX 投与により誘発される筋損傷は、損傷部位で活性化される炎症によりその損傷の程度が影響を受ける。炎症の程度は、損傷部位における浮腫の程度に反映される。浮腫は、損傷組織の重量に影響を与える。そのため、CTX を投与した腓腹筋の重量を測定し、炎症の程度を推測することができる。CTX 投与後に採取した腓腹筋の重量を測定したところ、図 4 に示す結果を得た。CTX 投与 1 日後において、AIN-93G 摂取群、乳清ペプチド摂取群との比較でも、AIN-93G 摂取群の腓腹筋重量が有意に重い結果となった。

次いで、CTX 投与により誘発される炎症が乳清ペプチドによりどの程度抑制されるかを、炎症を誘発する炎症性サイトカインの血中濃度を測定することにより比較した。CTX 投与後に採取した血液中の IL-6 濃度は図 5 に示す結果となった。CTX 投与 1 日および 3 日後において、AIN-93G 摂取群の IL-6 濃度は、メイン摂取群と比較し有意に高い値となった。一方、血中 TNF- α 濃度の測定も行ったが、投与後のいずれの日においても TNF- α 濃度の上昇は認められ

成分	含有量 (%)	
	AIN-93G	メイン
たんぱく質	カゼイン 20	6
	乳清ペプチド -	16
脂質	7	12
炭水化物	63	58
食物繊維	-	5
セルロース	5	-
計	95	97
熱量	3.97kcal/g	4.42kcal/g

表 1. 飼料組成の比較
AIN-93G およびメインのたんぱく質組成が異なる

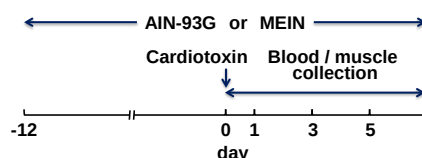


図 3. 乳清ペプチドの効果を確認するための実験プロトコル

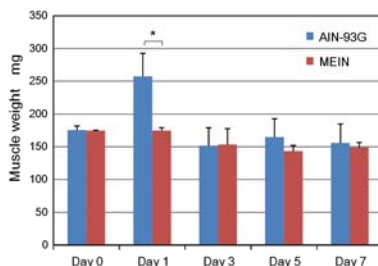


図 4. CTX 投与後の腓腹筋重量の変化

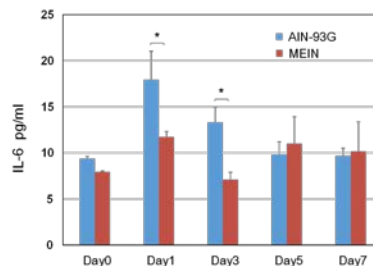


図 5. CTX 投与後の血中 IL-6 濃度の変化

なかった。CTX 投与による骨格筋の炎症には IL-6 が優位に働いているものと推測される。

CTX 投与により誘発される炎症と筋障害が、乳清ペプチドにより抑制されることは、病理組織標本の観察によっても確認された。図 6 は、CTX 投与 1 日後の病理組織像を示す。AIN-93G 摂取群では CTX 投与部位において重度の組織損傷が認められるのに対して、メイン摂取群では、組織損傷は軽度であった。

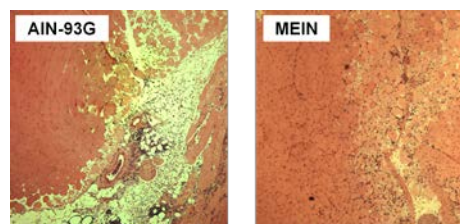


図 6. CTX 投与後の筋損傷
病理組織学的観察像

これらの結果は、1) CTX 投与によりマウス骨格筋の炎症および筋損傷が誘発可能であることを示す。さらに、2) CTX 投与により誘発される炎症誘発因子の産生が乳清ペプチド摂取により抑制され、3) これが炎症および筋障害を抑制することを示すものである。

急性炎症のモデルで得られた効果が慢性炎症でも観察されるかの疑問がある。慢性炎症は、微小環境で生じた炎症が、沈静・再発を繰り返している状態であり、この循環を停止させることにより慢性炎症を軽減することができる。微小環境での炎症発生を抑制する原理は、急性炎症の抑制と変わらない。そのため、検討対象とした素材にきわめて強力な急性炎症を抑制する効果が認められた場合、その素材は慢性炎症を抑制するためにも有効であると考えられる。事実、乳清ペプチドが、循環器系の疾患である COPD に伴う慢性炎症を抑制することが確認されている⁽⁵⁾。

今回の検討の総括

CTX 投与による骨格筋の筋障害モデルは、傷害を受けた骨格筋の再生機構を研究するために利用されてきた⁽⁹⁾。今回の検討で得られた結果は、乳清ペプチドが、CTX 投与により誘発される炎症を抑制し、筋障害を軽減することができることを示す。CTX 投与筋障害モデルが、筋障害軽減効果を検討するために利用されたことはなく、今回の報告が初めての例である。また、きわめて重症度の高い筋障害を軽減する乳清ペプチドの作用は、その有効性を示すものである。

今後の計画

CTX 投与による骨格筋の炎症・損傷モデルは再現性の高いモデルであり、このモデルで乳清たんぱく質の筋損傷・炎症抑制効果を確認できた。この効果の詳細を検討し、乳清ペプチドが炎症抑制効果を表す機構の解析を進める。これにより、より広い臨床の現場で乳清ペプチドを応用するための安全性についての基盤を構築する。具体的には、DNA アレイによる網羅的解析、腸内菌叢の解析を手法として用いる。両方法とも、より多くの情報量を得るための有効な手段である。

研究成果の発表

2016 年度に論文として投稿予定。

文献

- 1) Rosenberg, IH. Summary comments. *Am J Clin Nutr* 50: 1231, 1989.
- 2) Yamada M, Nishiguchi S, Fukutani N, Tanigawa T, Yukutake T, Kayama H, Aoyama T, Arai H. Prevalence of Sarcopenia in Community-Dwelling Japanese Older Adults. *J Am Med Dir Assoc* 14:911, 2013.
- 3) Schaap LA, Pluijm SM, Deeg DJ, Visser M. Inflammatory markers and loss of muscle mass (sarcopenia) and strength. *Am J Med* 119: 526.e9-526.e17, 2006.
- 4) Kume H, Okazaki K, Yamaji K, Sasaki H. A newly designed enteral formula containing whey peptides and fermented milk product protects mice against concanavalin A-induced hepatitis by suppressing overproduction of inflammatory cytokines. *Clinical Nutrition* 31: 283-289, 2012.
- 5) Sugawara K, Takahashi H, Sugawara T, Yamada K, Yanagida S, Homma M, Dairiki K, Sasaki H, Kawagoshi A, Satake M, Shioya T. Effect of anti-inflammatory supplementation with whey peptide and exercise therapy in patients with COPD. *Respir Med*. 106: 1526-1534, 2012.
- 6) Kaido T, Ogura Y, Ogawa K, Hata K, Yoshizawa A, Yagi S, Uemoto S. Effects of post-transplant enteral nutrition with an immunomodulating diet containing hydrolyzed whey peptide after liver transplantation. *World J Surg*. 36:1666-1671, 2012.
- 7) Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, Topinková E, Vandewoude M, Zamboni M. European Working Group on Sarcopenia in Older People et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing* 39: 412, 2010.
- 8) Beyer I, Mets T, Bautmans I. Chronic low-grade inflammation and age-related sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 15:12, 2012.
- 9) Mahdy MA, Lei HY, Wakamatsu J, Hosaka YZ, Nishimura T. Comparative study of muscle regeneration following cardiotoxin and glycerol injury. *Ann Anat* 202:18-27, 2015.

マグネシウム電池による発電と海水のアルカリ化

電気電子情報工学科 瑞慶覧章朝

1. 研究の目的

マグネシウム電池を利用した消費電力が0で海水のアルカリ度を $200 \text{ mg}\cdot\text{CaCO}_3/\text{L}$ に上昇させる全く新しい電解処理装置の開発に取り組む。具体的には、電極材質をマグネシウムと空気として、標準電極電位によって生じた電位差で海水を電気分解しアルカリ化する。

昨年度までに、マグネシウム空気電極を使用した電解処理が、他の方法と比べエネルギー効率の面で有効であることを明らかにしてきた。そこで、海水の温度が電解処理のエネルギー効率に与える影響について実験検討したので報告する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

国際海事機関が条約を発効し定めている船舶排ガス中の SO_x の低減に対して、海水による SO_x 吸収が実用化されている。

我々は海水の SO_x 吸収効率を向上させるため、2010年度から電解処理による海水のアルカリ化について研究をすすめてきた。当初の目的は、実機換算で消費電力 120 kW 以内、電解槽容量 10 m^3 以内で海水のアルカリ度を $200 \text{ mg}\cdot\text{CaCO}_3/\text{L}$ にすることであった。その結果、①実験設備（水槽、電極、電源、各種測定器、各種薬品）の完成、②食塩水、模擬海水、実海水の電解における化学反応プロセスの解明、③隔膜の効果、④マグネシウム電極の効果、⑤空気電極の効果を一挙に明らかにし、海水量を半減すること及び電解槽を 10 m^3 にすることにはある程度のめどがついた。さらに、開発初期2010年度における消費電力は実機換算で 1500 kW であったのに対し、本年度までに 55 kW まで改良でき当初目標をクリアした。

しかし、いまだ 55 kW 、約 11000 A の大電力・大電流を発生させる直流電源設備が必要であり実用化の壁を厚くしている。

3. 期待される効果

本研究は、マグネシウム電極による電池作用を利用しており、これまでに、電流が 1 A 程度であれば海水のアルカリ化は十分に可能であることが分かっている。本装置が実現すれば、電源設備が不要な電解処理が可能となり技術的にも実用的にも革新的である。船舶排ガスによる大気汚染の防止に極めて大きな効果をもたらす新技術である。

4. 研究の経過及び結果

4.1 実験方法

実験システムを図 1 に示す。アクリルケース (210×100×135 mm) に模擬海水 (2 L) を入れ電解処理を行う。模擬海水には、純水と市販の海水成分 (マリンアート SF-1) を混合し、調製したものを使用した。陽極には Mg 合金 (水溶液との接触面積：30cm²)、陰極には空気電極 (水溶液との接触面積：49cm²) を用い、電極間に直流 0 V～8 V を印加した。なお、電極

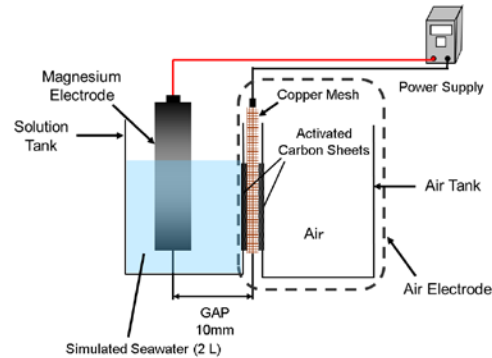


図 1. 実験システム

間隔はいずれも 10 mm, 電解時間は 35 分とし、海水の温度は 0～40 ℃の範囲で変化させた。アルカリ度は、pH の値が 4.8 となるまで塩酸を添加し、その添加量から求めた。また、単位エネルギーあたりに生成されるアルカリ物質の量を (1) 式で算出しアルカリ生成効率 P [g/J] として評価した。

$$P = \frac{\Delta x}{VIt} [g/J] \cdots (1)$$

ただし、 Δx は生成アルカリ量 [g]、 V は印加電圧 [V]、 I は電流 [A]、 t は電解所要時間 [s] である。

4.2 実験結果

4-1. 電流電圧特性に対する水温の影響

本実験システムにおける電流電圧特性に対する水温の影響を図 2 に示す。いずれの場合も、電圧 0 V の時点ですでに約 0.5 A の電流が流れている。これは、陽極と陰極の標準電極電位差が模擬海水の酸化還元電位を超えているためである。また、電圧が高くなるほど電流が上昇しており、海水温度が高くなるにつれ、同一電圧時の電流値が上昇していることがわかる。これは、ギブス自由エネルギー (ΔG) で説明できる。 ΔG は電解に必要なエネルギーであり、(2) 式のように物質そのものが持つエネルギー変化 ΔH (エンタルピー) と粒子の集合状態変化に伴うエネルギー変化 $T\Delta S$ の差によって表される。

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \cdots (2)$$

このため、海水の温度が高くなると $T\Delta S$ が大きくなり、 ΔG が小さくなる。すなわち、低い印加電圧で電流が流れるようになる。一般に電解によって生成されるイオン量は、電極間に流れる電流値に比例するので、海水の温度を高く

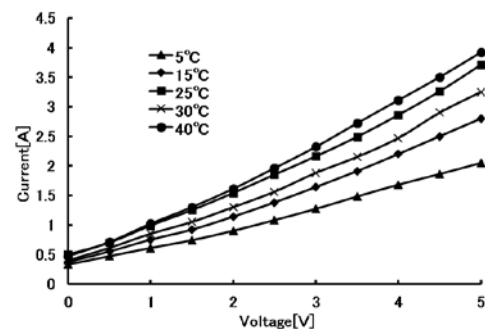
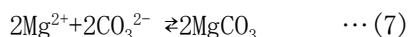
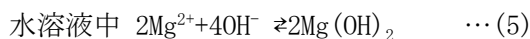
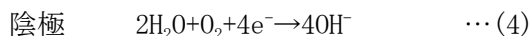
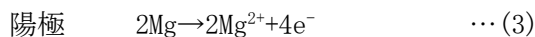


図 2. 電圧電流特性に対する海水温度の影響

することでエネルギー効率向上が期待できる。

4-2. アルカリ度の上昇量と海水温度の関係

本実験システムを用いて水溶液を電解処理することで以下の反応がおこる。



(3) 式で発生した電子は陰極側で(4)式のように OH^- を生成する。水溶液中では(5), (6), (7) 式でアルカリ物質が生成される。

アルカリ度の上昇に対する海水温度の影響を図 3 に示す。ただし、電流は 3.7 A 一定とした。いずれの水温においても、電解時間の経過に伴いアルカリ度は増加している。海水のアルカリ度はおよそ $100 \text{ mg-CaCO}_3/\ell$ であり、この値の 2 倍を目標値とすると、図 3 よりアルカリ化に必要な時間は 5 分以内といえる。各水温の特性を比較すると、規則性はなく海水温度による影響はないといえる。これは、電解によるアルカリ物質の生成は、(3)～(7) 式のように、電子数すなわち電流に依存するためである。

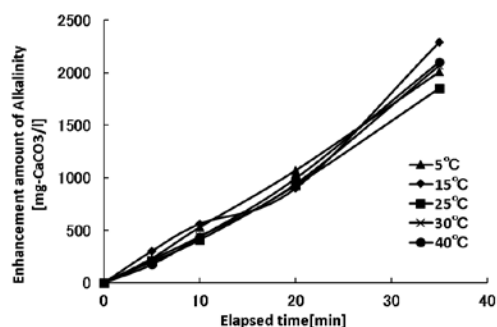


図 3. アルカリ度の上昇量に対する海水温度の影響

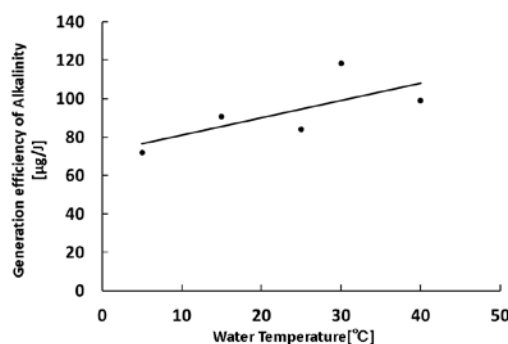


図 4. アルカリ生成効率に対する海水温度の影響

4-3. アルカリ生成効率と海水温度の関係

アルカリ生成効率に対する海水温度の影響を図 4 に示す。海水温度の上昇に伴い、アルカリ生成効率は上昇しており、エネルギー効率が良くなっていることがわかる。これは、図 2 及び図 3 に示したように、水温の上昇に伴い同一電流における電圧値が低下する一方、アルカリ度の上昇量は変化しないためである。

5. 今後の計画

今後は、本研究の目的を達成するため、主に次の 4 つ項目について検討する。

- ① マグネシウムの消費効率
- ② 損失要因と対策
- ③ 実用サイズ的设计

6. 研究成果の発表

学術論文（査読付）

- 1) 乾貴誌, 豊角浩之, 浅川大輔, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 當山広幸, 江原由泰, 「海水のアルカリ化に対する 2 室電解処理法によるエネルギー効率向上」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 2016 (掲載決定)

学会発表

- 1) 豊角浩之, 奥山祐太, 瑞慶覧章朝, 乾貴誌, 當山広幸, 「電解処理による海水のアルカリ化のエネルギー効率向上に対する水温の効果」, 第 85 回 (平成 27 年) マリンエンジニアリング学術講演会, 平成 27 年 10 月。
- 2) Hitomi Kawakami, Yusuke Kobayashi, Hiroyuki Toyozumi, Akinori Zukeran, Hiroyuki Toyama, Takashi Inui, Yoshiyasu Ehara, “Alkalizing Seawater by Corona Discharge for Wet Scrubber”, 3rd ISNPEDADM2015, 平成 27 年 10 月。
- 3) Hiroyuki Toyozumi, Yuta Okuyama, Akinori Zukeran, Takashi Inui, Hiroyuki Toyama, Yoshiyasu Ehara, “Conversion efficiency for alkalizing seawater in Mg-air electrode”, 2015 European Aerosol Confence, 平成 27 年 9 月。
- 4) 海野雄太, 小林祐輔, 瑞慶覧章朝, 乾貴誌, 「コロナ放電における海水のアルカリ化」, 平成 27 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, 平成 27 年 9 月。

界面活性剤添加型高機能含油廃水処理法の開発と処理メカニズム解析

応用バイオ科学科 局 俊明
仲亀 誠一
栄養生命科学科 澤井 淳

1. 研究の目的

廃水中に含まれる油分による環境汚染は大きな社会問題となっている。油分の代表的な処理方法は、浮上法など固液分離法であるが、油分が十分に除去されていない廃水が活性汚泥法などの生物学的水処理システムに流入すると、処理機能が低下することが報告されている。しかしながら、グリーストラップに代表される固液分離法では、十分な油脂の分離が行われていない実態が明らかになっている¹⁾。この油分の分解に関して、近年、界面活性剤を用いて油脂を分散させたうえで微生物処理を行う方法が、高い油分除去率が得られ、また小型装置での油分除去が可能な処理方法として注目されている。

そこで、本研究では、界面活性剤を添加した生物処理法のメカニズム、原理を解明することで、同処理方法の最適運転方法に関する知見を獲得し、その知見に基づき、油分含有廃水の新規・高効率処理方法を開発することを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

(背景と研究の必要性)

廃水中に含まれる油分による環境汚染は大きな社会問題となっている。我々は、これまでの研究の中で廃水中に含まれる油分の分解に関して、生物処理工程において界面活性剤を添加することにより、1) 油分分解速度が上昇する、2) 生物の沈降性が改善される、3) 膜分離法に適用すると膜閉塞の問題が緩和される、4) 界面活性剤の添加濃度によって油脂の生物分解は促進される場合と効果が見られない場合がある、5) 界面活性剤添加濃度はCMCより低い濃度でも油脂除去効率の改善効果が得られる²⁾、等の知見を得た。

しかしながら、上述のような効果が得られるメカニズム、原理の解明には至っていない。廃水中の油分散・再凝集、生物分解性と界面活性剤に関わる研究は世界的に見てもほとんど行われておらず、特にメカニズム解析に関する既往の研究は見い出せない。ここで、界面活性剤を添加した生物処理法のメカニズム、原理が解明されれば、その成果は学術的に非常に高い価値を持つのみならず、同処理方法の最適運転方法に関する知見獲得や、油分含有廃水の新規・高効率処理方法の開発に結び付く社会的に非常に意義のあるものとなる。

(既往の研究・技術)

既往の含油廃水処理に関する研究としては、固液分離等の物理化学処理や微生物製剤処理に関するものが行われているが、界面活性剤を用いた生物処理方法に関する研究はほと

んど行われておらず、特に、反応メカニズムに関する研究例は見いだせない。ただし、現場レベルでその効果があることが認められたとの報告はあるが、界面活性剤の選定や添加量は経験工学の領域を脱していない。

3. 期待される効果

本研究によって、界面活性剤添加による生物学的油脂分解性向上のメカニズムが解明できれば、最適界面活性剤の選定や、最適添加量の決定が可能となり、省エネルギー、小コスト、省スペース型の含油廃水処理装置の開発が可能となる。

4. 研究の経過及び結果

4. 1. 界面活性剤添加による活性汚泥混合液の粒度分布への影響³⁾

従来想定していた（立証しようとしていた）、界面活性剤添加による有機物分解性能向上の機構は以下のようなものであった。

- 1) 油脂分は、徐々に乳化/懸濁/溶解し、微生物に摂取され、分解される。徐々に乳化/懸濁/溶解するため、微生物に対して、有機物負荷が急激に上昇することはない。
- 2) 未分解の油脂分が活性汚泥フロックの表面を覆うことがないので、微生物への酸素供給が維持される。
- 3) 膜分離活性汚泥法に適用した場合、未分解の油脂分が膜分離装置の膜表面に付着し覆うことがないので、膜透過抵抗は上昇せず、高い流速が維持される。このため、膜洗浄の頻度を下げることができ、膜洗浄も容易となる。

しかしながら、レーザー光回折・散乱方式の粒度分布測定装置で

A)界面活性剤 A 添加系活性汚泥（25 μm の篩分級液）

B)界面活性剤無添加活性汚泥（25 μm の篩分級液）

の粒度分布を測定したところ、図 1 に示すような粒度分布が測定された。

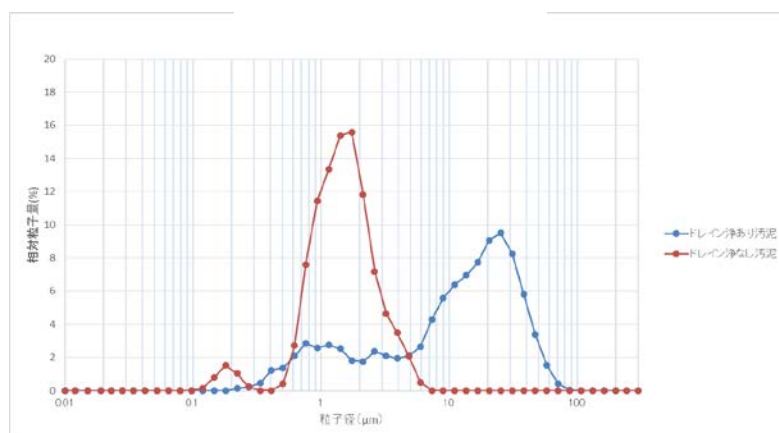


図 1 界面活性剤添加の有無が与える粒度分布への影響

図1の結果から、ある種の界面活性剤は、活性汚泥の粒度を、より大きなものに変化させる性質を持つと考えられた。現在、市販されている膜分離活性汚泥法で用いられる分離膜の公称孔径は $0.1\mu\text{m}$ ～ $2\mu\text{m}$ 程度であり、この範囲の大きさの粒子が、この界面活性剤の添加により減少していることは、分離膜の抵抗係数を減少させる効果をこの界面活性剤が有する可能性を示唆するものである。

次に、図2に、一般的に洗剤として使用される界面活性剤を、廃水に添加した際の粒度分布の変化を測定した結果を示す。

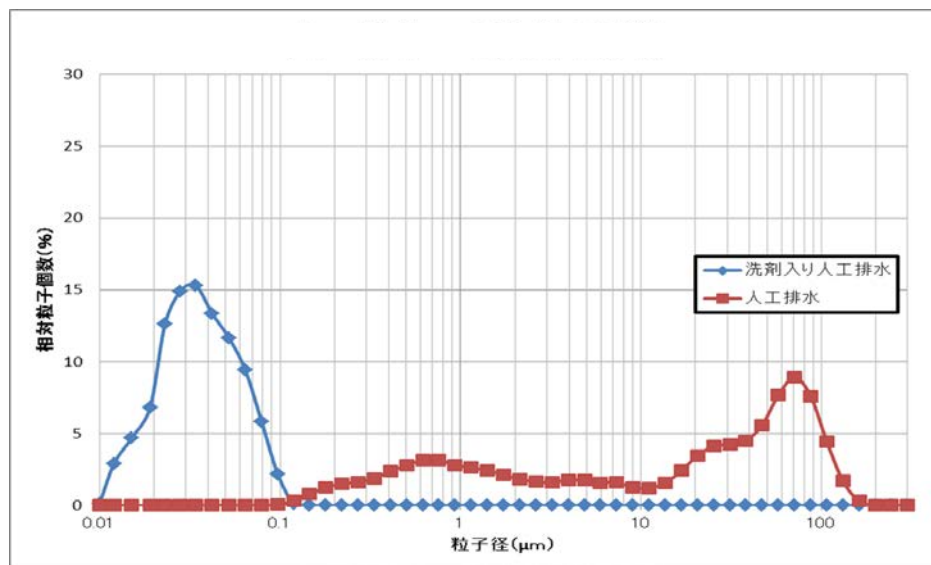


図2 人工廃水の粒度分布に与える洗剤添加の影響

図2の結果から、ある種の界面活性剤を主成分とする洗剤を添加することにより、人工廃水中の粒子の微細化が進行することが示された。

以上の傾向を総合的に考えると、界面活性剤の種類、性質により、活性汚泥混合液の粒度分布が影響を受け、適切な界面活性剤を適量添加することで、粒度分布をより大きな粒度のものに変化させ、膜分離活性汚泥の分離膜の閉塞防止や活性汚泥の沈降性向上に効果があると考えられた。

さらに、H.27年度の実験において、B科和田助教の協力のもと、簡易SEMを用いた膜表面の観察を実施した。

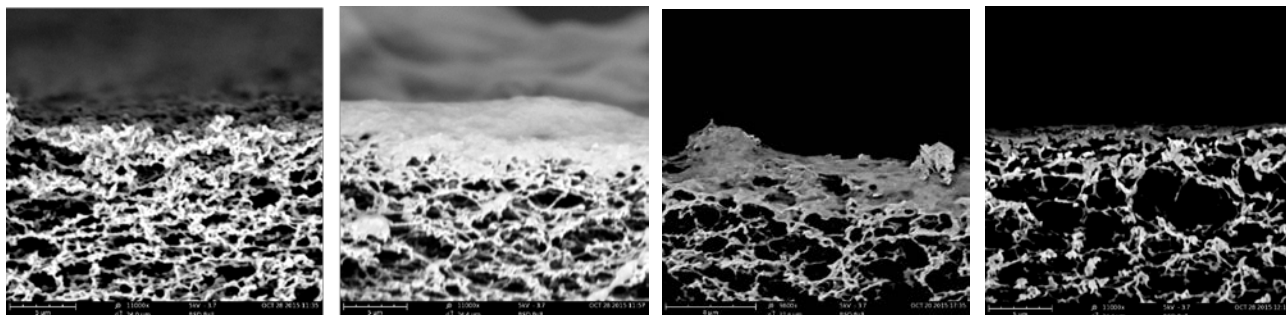


図3 分離膜表面の活性汚泥付着状況（使用膜は $0.45\mu\text{m}$ のPTFE）

(左から、純水透過後、活性汚泥透過後、活性汚泥を水洗後、水洗後表面をキムワイプで拭取ったもの)

図3に示されたように、膜外表面への活性汚泥の付着状況を観察することにより、界面活性剤添加による膜表面の閉塞性を評価できると考えられる。

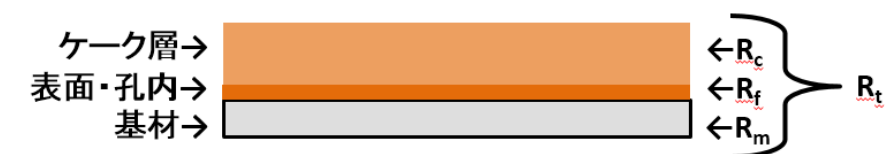


図4 膜表面近傍におけるろ過抵抗

また、本年度の研究で、図4に示すような、膜表面希層におけるろ過抵抗を1) ケーキ層、2) 膜表面、3) 膜内部、に分割して測定する技術と、膜内部の閉塞物質の成分分析技術を確立した。

5. 今後の計画

膜分離法に界面活性剤を適用した場合の粒度分布および膜閉塞性のへの影響を解析するとともに、生物処理機能の定量的解析を行い、処理メカニズムを明らかにしたうえで、最適界面活性剤の選定を行い、最終的には、最適化された“界面活性剤・微生物製剤併用型生物処理方法”の確立につなげたい。

6. 研究成果の発表

本研究の詳細は卒業論文^{3) 4)}にまとめた。今後、本研究で得られた成果は、特許出願を考慮しつつ、適当な時期に成果発表を行う予定である。

(引用文献)

- 1) 渋谷広樹、営業用飲食店におけるグリース阻集器の実態調査、第33回建築物環境衛生管理全国大会(2006)
- 2) 工藤景介、廃水中油脂の生物学的分解における界面活性剤添加効果、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2015年2月
- 3) 鈴木康太、界面活性剤の与える活性汚泥粒度分布と膜処理水質への影響、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2016年2月
- 4) 吉田篤、膜分離活性汚泥法の透過特性に対する界面活性剤添加の与える影響、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2016年2月

超低消費電力フォトニックノード回路のための シリコンフォトリクスデバイスの基礎研究

研究者名：工学部 電気電子情報工学科 中津原 克己
工学部 電気電子情報工学科 小室 貴紀
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 黄 啓新
工学部 電気電子情報工学科 瑞慶覧 章朝
工学部 電気電子情報工学科 工藤 嗣友
情報学部 情報工学科 木村 誠聡
情報学部 情報ネットワーク・コミュニケーション学科 丸山 充
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 三栖 貴行

1. 研究の目的

スマートフォン、タブレットの普及とともに、近年、動画像の利用が身近になってネットワークにおける通信量は飛躍的に増大し、今後も通信容量の増大が求められている。この通信需要の増大に対応するため、長距離通信ネットワークだけでなく、データセンタ間およびデータセンタ内のサーバ間通信においても光化が進んでいる。今後、ネットワークの繋ぎ目となるノードでは、信号経路の選択スイッチおよび波長選択スイッチ、波長可変フィルタなどを高密度に集積して光の特長を最大限に活かすフォトニックノード回路の実現が望まれている。

本研究では、超低消費電力で動作するフォトニックノード回路を実現するための要素技術として、強誘電性液晶(FLC: Ferro-electric Liquid Crystal)装荷シリコン導波路を用いた種々のデバイスの開発とそれらを集積化する技術開発を進めることを目的としている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

波長の異なる複数の光信号を重ねて伝送する波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)技術によって大容量化が進んだ通信ネットワークは、さらに多値変調技術やデジタルコヒーレント技術を取り入れ、周波数利用効率の向上を測っている。このような状況において光通信ネットワークでは、光信号の経路切り替えを行う OXC(Optical Cross Connect) や光信号の波長割り当ての再構成を行う ROADM(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)といった機能は不可欠であり、これらの機能の集積化が望まれている。

我々は、これまで、小型の素子を実現できるシリコンフォトリクスと電界駆動により低消費電力化が可能なFLCの屈折率変化を利用した光デバイスの研究を進めている。シリコンフォトリクス技術では生産技術として高精度な加工プロセス技術が活用可能であり、小型、低コスト、高信頼性を有する光デバイスが実現可能である。FLC材料は他の電気光学効果材料に比べ、大きな屈折率差を持ち、比較的高速な応答速度、自己保持特性といった特長を持つ。

本研究では、超省電力フォトニックノード回路を構成する光機能デバイスとして、電界駆動で自己保持特性を有するFLCを用いた導波路型光デバイスの技術開発を行うことで、シリコンフォトリクスの特長を活かした高密度集積化の際に課題となる電力消費と熱干渉問題への対応に貢献することを目指している。

3. 期待される効果

経路選択スイッチならびに波長選択スイッチ等の基本要素デバイスの理論特性解析、製作技術の確立、動作実証、さらに集積化技術の開発を行うことにより、高密度集積化時に懸念されるエネルギー消費や素子間の熱干渉問題への知見が得られ、低消費電力で動作するフォトニックノード回路の実現に貢献するものと考えられる。

また、本重点配分の研究遂行により、他研究機関との共同研究に発展しており、平成27年度からは、産業技術総合研究所電子光技術研究部門インターコネクトフォトニクスグループと「SiNを用いたSi光スイッチ高性能化の研究」の研究課題、香川大学とは科研費基盤(B)での「空間エンコード化と非メカニカル走査を用いたレーザドップラー稠密断面速度分布計測」の研究課題で共同を開始している。さらに、平成26年度からは科研費挑戦的萌芽研究での「コンタクトエピタキシャル法を用いたシリコンフォトニクス用光アイソレータの研究」の研究課題において、東京工業大学及び沼津工業高等専門学校と共同研究を開始している。これらは、本重点配分の研究成果により、本学におけるシリコンフォトニクスを中心とした技術が認められている証であり、今後も相乗効果による発展が望め、集積化技術および技術応用において研究成果の水平展開が期待される。

4. 研究の経過及び結果

光信号の経路切り替えを行うOXC、波長多重された信号を抽出する波長可変フィルタおよび波長割り当ての再構成を行うROADMの機能が集積されたフォトニックノード回路の開発を進めるため、各要素技術に関する基礎研究を進めるとともに集積化技術に関する応用研究についても検討を開始している。

4.1 マトリクススイッチのための要素技術の開発

波長多重された光信号の経路を一括して切り替えるOXC機能を実現するために、当初から検討している2×2チャンネルのMZI型光スイッチの多段接続構成と多チャンネル化への展開に有利な1×Nチャンネルのフェーズドアレイ型光スイッチを用いた構成の検討を行った。本研究の遂行過程で着想したFLC装荷1×Nチャンネルフェーズドアレイ型スイッチの動作原理を実証するため、素子構造の設計から開始した。OXC機能を実現するフェーズドアレイ型光スイッチでは、波長依存性を無くす必要があり、全アレイ導波路の光路長を等しくしなければならない。全アレイ導波路の光路長を等しくするためにアレイ導波路の間隔を一定にして反転対称形状とした構造の設計を行った。図3に示すようにアレイ形状を決める各種パラメータ R_j, S_j, S'_j ($j = 1 \sim N_a$) を定義し、次の拘束条件式を課して設計を行った。

$$\theta_j = \theta_1 + (j-1)\alpha = \theta - \frac{1}{2}\alpha(N_a - 2j + 1) \quad (1)$$

$$H = f \cos \theta_j + S_j \cos \theta_j + R_j \sin \theta_j + S'_j \quad (2)$$

$$(j-1)\Delta L = S_j + \theta_j \cdot R_j + S'_j - (S_1 + \theta_1 \cdot R_1 + S'_1) \quad (3)$$

$$(j-1)\Delta D = (f + S_j) \cdot \sin \theta_j + R_j(1 - \cos \theta_j) - \{(f + S_1) \cdot \sin \theta_1 + R_1(1 - \cos \theta_1)\} \quad (4)$$

素子設計には、動作波長を1.55[μm]とし、SOI(Si on Insulator)ウェハの光学定数(Siコア層、Si、SiO₂、屈折率)および基本となるリブ導波路の構造パラメータ(リブ幅、リブ高さ)、さらにアレイ導波路間隔ΔD、最小曲率半径R、回折次数、アレイ導波路本数N_aを考慮し、数種類の構造を設計した。設計した構造のフェーズドアレイ導波路の形

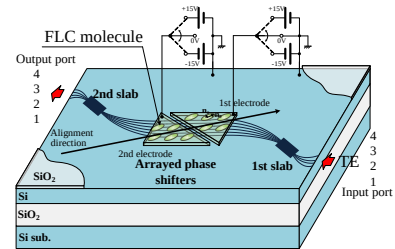


図1 試作した可変波長選択素子

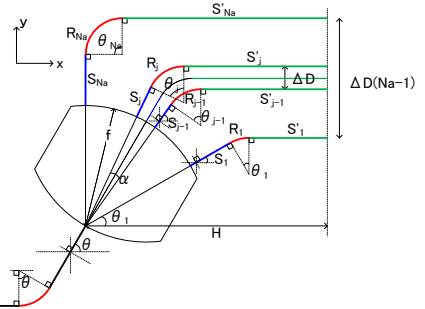


図2 フェーズドアレイ構造のパラメータ

成および導波測定を行い、FLCを装荷しフェーズドアレイ型光スイッチとした。試作したFLC装荷フェーズドアレイ型光スイッチの写真を図3に示す。また、試作素子のFLC領域に電圧を印加し、スイッチング動作の測定を行った。TE偏波の光を入力ポート2から入射した場合の波長特性を図4に示す。試作素子への電極印加パターンを切り替えることにより、通信波長帯であるC-band(1530[nm]～1565[nm])において出力ポートの切り替え動作が得られ、フェーズドアレイ型Si導波路とFLCを組み合わせた構造で、初めてスイッチング動作を得ることに成功した。

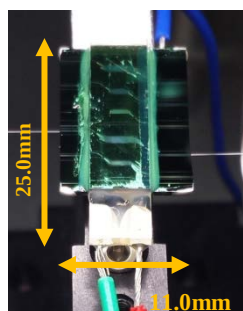


図3 試作フェーズドアレイ型光スイッチ

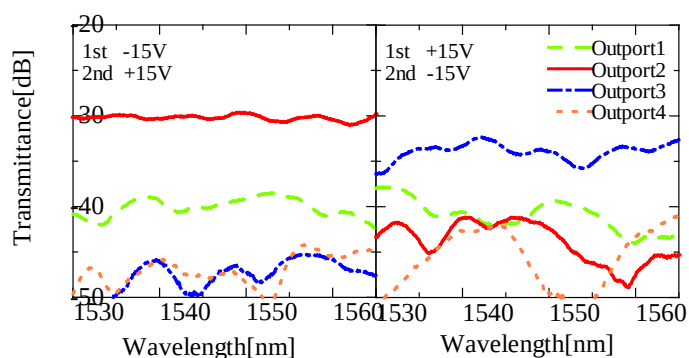


図4 動作結果

4.2 波長選択動作のための要素技術の開発

4.2.1 重み付けグレーティングを用いた可変波長選択素子の動作実証

基本要素となる波長選択スイッチは、図5に示すように、FLC装荷Si導波路で構成される波長可変フィルタをMZIの両アーム導波路に組み込んだ構造であり、4つのポートを有する。入力ポートから入った光はグレーティング構造の波長選択性により、ドロップ、スルーの各ポートに光を分岐するとともに、ドロップポートと同じ波長の光をアドポートから入力することが出来る。この波長選択素子の機能により、再構成可能なアド・ドロップ(ROADM)機能を実現することが可能である。

グレーティングの結合係数を分布的に変調した重み付けグレーティング構造により、均一な結合係数を持つグレーティング構造において生じる帯域外の不要サイドローブの影響効果が期待できる。等価屈折率法とF-matrixを用いた理論解析により、重み付けグレーティングの理論特性計算を繰り返し、構造設計を行った。次に電子ビーム描画装置の描画条件の確立を行い、素子の試作を行った。図6に試作した重み付けグレーティングを用いた可変波長選択素子の波長特性を示す。また、比較のために図7に均一グレーティングを用いた素子の波長特性も示す。FLCへの印加電圧の極性反転により、波長特性のシフトが得られるとともに、重み付

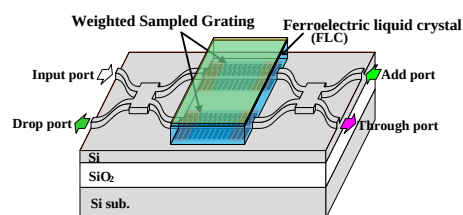


図5 重み付けグレーティングを用いた可変波長選択素子の概要図

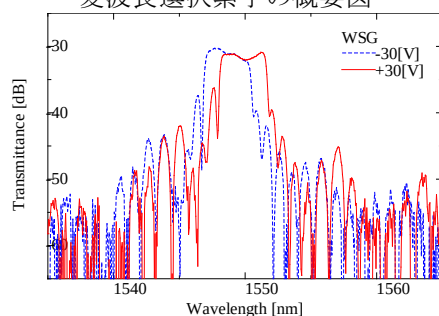


図6 重み付けグレーティングを用いた可変波長選択素子の波長特性

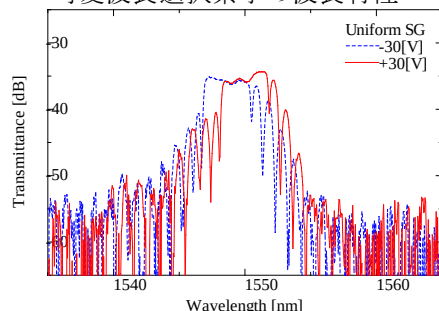


図7 均一グレーティングを用いた可変波長選択素子の波長特性

けグレーディング構造によるサイドロブの抑制効果も得られた。

4.2.2 AWGを用いた可変波長選択素子の検討

波長分割多重通信において波長号分波器に用いられるAWG(アレイ導波路回折格子)に可変位相シフタを組み込んだ波長選択素子についても検討を進めている。図8に示すFLC装荷AWG型波長選択素子は単体で可変波長フィルタとして機能し、2個集積化することで波長選択スイッチ(WSS)として機能する。OXC用として開発を進めているフェーズドアレイ型光スイッチの設計手法で得られた知見を活用し、FLC装荷AWG型波長選択素子の小型化を図り、2012年度に動作実証した素子に比べて1/2以下のサイズにすることに成功した。図9にFLC装荷前の波長分岐特性、図10にFLCへの印加電圧極性の切り替えによるスイッチング動作を示す。現在、さらに小型化を進めており、複数素子集積化に向けた技術的検討を行う予定である。

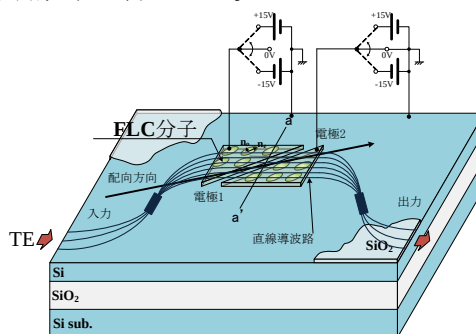


図8 FLC装荷AWG型波長選択素子の概要図

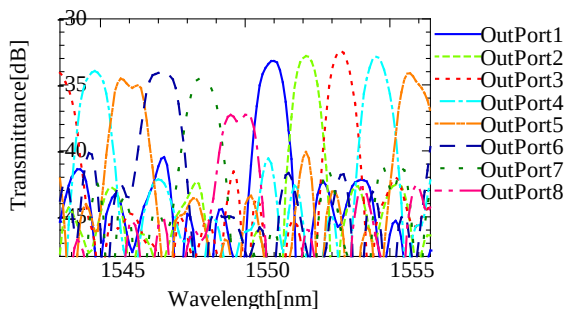


図9 AWGの波長特性

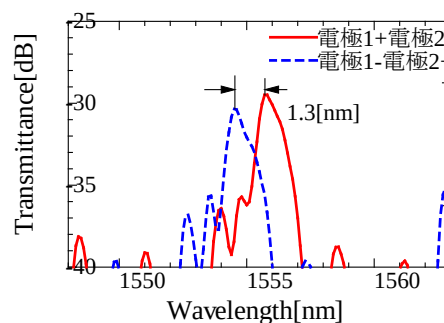


図10 FLC装荷AWG型波長選択素子のスイッチング特性

5. 今後の展開

5.1 フォトニックノード回路のための集積化技術の開発

超低消費電力で動作するフォトニックノード回路の実現に向けて要素技術の集積化を図る。集積化のためには均一性をはじめとする製作技術の向上だけでなく、個々のデバイスの小型化、そのための性能向上も必要であり、要素デバイスに関する基礎研究にも継続して取り組む。特に多チャンネルマトリクス型光スイッチと他デバイスとの集積化には複雑さゆえの困難が予想されるが、その困難さに着実に取り組むことによって、新たな技術の着想およびさらなる技術的な発展の見通しが得られるものと考えている。さらに、本学におけるシリコンフォトニクスデバイスの要素技術の確立は、微細加工技術を中心とした研究開発拠点として地域貢献に繋がると考えられる。

5.2 異種応用分野へ技術展開の検討

フォトニックノード回路の基本要素となるデバイス開発の過程で得られた知見を元にセンサーデバイスなど、他分野への応用展開を積極的に検討する。具体的には科研費基盤(B)の共同研究課題におけるセンサープローブの高精度化や挑戦的萌芽研究での磁気光学デバイスのセンサーデバイスへの展開などを検討していく予定である。

また、今後も企業との共同研究へ発展させる努力を継続しながら、これまでに培ってきた本研究の強みとなる独創的な技術開発も行う。

6. 研究成果の発表

- (1) 榑原 健太郎, 端山 喜紀, 武田 正行, 中津原 克己, 「HfO₂グレーティング層を用いた狭阻止帯域可変光フィルタの製作」, 光エレクトロニクス研究会, 熱海, 2015. 4. 23.
- (2) 清藤 将人, 武田 正行, 野毛 悟*, 水本 哲弥*, 中津原 克己, 「非対称MZI型シリコン導波路を用いたCe:YIG on Si の特性評価」, 光エレクトロニクス研究会, 熱海, 2015. 4. 23.
- (3) 金久保 渉, 武田 正行, 中津原 克己, 「FLC 装荷光スイッチのためのフェーズドアレイの検討」, 光エレクトロニクス研究会, 熱海, 2015. 4. 23.
- (4) 清藤 将人, 武田 正行, 中津原 克己, 野毛 悟, 水本 哲弥, 「非対称マッハツェンダーを用いたCe:YIG装荷Si導波路の伝搬損失評価」, 光エレクトロニクス研究会, 青森, 2015. 8. 27.
- (5) 榑原 健太郎, 武田 正行, 砂田 和紀, 加藤 亜希文*, 山本 宗継*, 中津原 克己, 「Si₃N₄コア層Grating導波路を用いた可変波長フィルタの検討」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 仙台, 2015. 9. 11.
- (6) K. Sakakibara, Y. Hayama, M. Takeda, A. Kato, and K. Nakatsuhara, “Mach-Zehnder interferometer Si structures with weighted sampled grating waveguides featuring FLC cladding”, MOC' 15, Fukuoka, Japan, 2015. 10. 27. (査読有)
- (7) 金久保 渉, 武田 正行, 中津原 克己, “液晶装荷光スイッチのためのフェーズドアレイ導波路の製作”, 信学技法, 別府, 2015. 10. 30.
- (8) 金久保 渉, 木村 大介, 田村 謙太, 武田 正行, 中津原 克己, “Si-AWGとFLCを用いた可変波長フィルタのスイッチング基礎特性”, 信学技法, 高松, 2015. 11. 26.
- (9) 金久保 渉, 武田 正行, 中津原 克己, “FLC装荷フェーズドアレイ型光スイッチの製作と特性評価”, P13, 集積光デバイスと応用技術研究会, 三島, 2016. 3. 3.
- (10) 清藤 将人, 武田 正行, 中津原 克己, 野毛 悟, 水本 哲弥, “導波路型光アイソレータのためのCe:YIG装荷Si導波路形成技術の基礎検討”, P14, 集積光デバイスと応用技術研究会, 三島, 2016. 3. 3.
- (11) 榑原 健太郎, 武田 正行, 砂田 和紀, 加藤 亜希文, 山本 宗継, 中津原 克己, “可変波長フィルタのためのSi₃N₄グレーティング導波路の製作プロセスの検討”, P15, 集積光デバイスと応用技術研究会, 三島, 2016. 3. 3.
- (12) 小河原 龍一, 武田 正行, 中津原 克己, “多段接続光スイッチのためのMZI形導波路の実験的検討”, P16, 集積光デバイスと応用技術研究会, 三島, 2016. 3. 3.
- (13) 金久保 渉, 武田 正行, 中津原 克己, “FLC装荷フェーズドアレイ型光スイッチのスイッチング動作”, C-3-53, 電子情報通信学会総合大会, 福岡, 2016. 3. 18.
- (14) 榑原健太郎, 武田正行, 砂田和紀, 加藤亜希文, 山本宗継, 中津原克己, “可変波長フィルタのためのSi₃N₄コア層グレーティング導波路の製作”, C-3-64, 電子情報通信学会総合大会, 福岡, 2016. 3. 18.

[展示会出展]

・テクノトランスファーinかわさき:「液晶を用いたシリコンフォトニクスデバイスの研究」, かながわサイエンスパーク, 2015年6月

複合感覚提示が食感および食行動に及ぼす影響に関する研究

研究者名：情報メディア学科 坂内 祐一，情報メディア学科 小坂 崇之

栄養生命学科 餐場 直美，ロボット・メカトロニクス学科 高尾 秀伸

1. 研究の目的

「食」は生きるために必要不可欠な行為であるとともに、摂食行動により脳の報酬系に作用して大きな満足感を引き起こす。食事の時の「おいしさ」である食感は、基本的な感覚である味覚に加え、心身の健康状態、感性的満腹感、感情要因、認知要因、社会的要因など様々な要因からなる。本研究では味覚以外の刺激である嗅覚・視覚・触覚の複合感覚刺激を与えて、味覚および食感全体がどう変化するのかを実験によって明らかにし、食バランスの偏向等に対する適切な食育を実践するための、新たな食育方法およびシステムの構築を行うことを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

安価な輸入食糧による「飽食」、小家族化による「孤食」などが増加するに伴って、子供の偏食が大きな問題となっており、食育の確立が急務となっている。食育で重要なのは、栄養価の高い食物を強制的に与えるのではなく、自ら進んで食べられるような状況を作り出すことである。食感は、視覚・嗅覚・聴覚・触覚・味覚的の 5 つの感覚が最終的に脳に統合されることによって生じる感覚であり、これらの感覚間相互作用であるクロスモダリティを利用して異なる食感を与えることが可能である。五感のうち味覚の研究は、味覚受容体が発見された 2000 年頃より急速に進展しているが、味覚以外の感覚が食感に及ぼす影響については、ほとんど明らかになっていない。

そこで本研究では、食感に最も大きな影響を及ぼすと言われている嗅覚刺激を中心に、視覚や触覚を含めた感覚が食感にどのように影響するのかを実験的に検討する。さらに得られた知見をもとに、クロスモダリティを利用した新たな食育方法・システムの開発に結びつけていく。

3. 期待される効果

(1) 摂食行為で使用可能な刺激提示装置およびセンサの開発

嗅覚刺激を提示するための嗅覚ディスプレイ、コントロールされた視覚刺激のみを提示するための実験用ヘッドマウントディスプレイ、口腔付近への温度や振動刺激を与えるためのアクチュエータなど、食行為を定量化するためのさまざまなデバイスが開発される。

(2) 食感や食行動に関連する心的要因および外的要因

食感を構成する要因を、従来研究のサーベイに加えて、行動科学的・心理学的側面から調べるためにアンケート調査することで、社会的要因および認知的要因が明らかになる。

(3) 食感に関する生理的指標の計測および分析

食感に関する生理的指標として、脳機能計測データをもとに客観評価を行い、より定量的な指標を示すことができる。

(4) 食育方法・システムの開発・評価

上記の成果をもとにして、人のより良い摂食行動を促すための総合的な食育プログラムやシステムの開発に結びつく。

4. 研究の経過及び結果

基本的な食動作である咀嚼を検出するセンサについて、実験に使用可能な試作機を開発した。この咀嚼検出センサを用いて食物摂取時の咀嚼回数を増加させることを狙った実世界型の食育シリアスゲーム「咀嚼タン」の開発を行った。ゲームコンテンツ内のトリガーとして飲食物を実際に摂取し咀嚼し、その回数に応じてキャタピラ型の戦車を前進させることでゲームを進行させる。ゲームに対する咀嚼行動の付随は Skinner によって提唱されたオペラント条件付けすなわち外的強化(直接的強化)にあたり、現代の子供たちにとって咀嚼するという行動に対する大きな強化刺激となる。またこのゲームは、ゲームプレイヤーとその周りの聴衆が一体となる会場型のゲームであり、プレイヤーがゲームで成功すると聴衆から賞賛が得られ、その行動が強化されることにつながる。これは、Bandura による社会認知理論に基づいた内的強化(代理強化)にあたるものである。本研究はエンターテインメントコンピューティング 2015 にて口頭発表[1]とデモ発表を行い、最も優秀なデモ発表を行った研究に受賞されるデモ発表賞を受賞した[8]。また、Asia Digital Art Award FUKUOKA 2015 ではエンターテインメント(産業応用)部門にて入賞[6]、GUGEN2015 においてトランジスタ技術賞を受賞した[7]。

また食感覚に影響を与える様々な刺激のうち、嗅覚刺激に関する実験を研究者が開発した嗅覚ディスプレイを用いて行った。このディスプレイは、百ミリ秒という短いパルス状の香りを正確に提示することができる。このパルス状の香りに対する人の感じ方を調べ、2つのパルスの濃度の差を解答する一対比較法を行えるための実験条件を求めた[2]。またヘッドマウントディスプレイ(HMD)による視覚刺激実験として、自身が動いているよう感じさせる錯覚であるベクションを引き起こす映像刺激を用いて、嗅覚に与える影響を調査したところ、ベクションが生起すると嗅覚感度が上がることが示唆された[3]。

食満足や食行動に関連する行動科学的解析では、男子大学学生 2323 人に対して実施した食生活アンケート調査結果に基づいて、大学生の朝食欠食にかかる要因について、環境要因及び意識、態度の面から解析を行った結果、朝食欠食に関連する大きな環境要因として居住形態(親と同居か一人暮らしか)の関連が認められた。また、朝食欠食は一人暮らしの学生の方が多く、食品の選択の基準として、調理が簡単な物や安価なものを 1 人暮らしの学生の方が重要視していることが明らかになった。以上のことから、朝食の摂食状況には、住環境や朝食摂食への意識が影響を与えており、朝食摂取を勧めるための食環境整備や食

意識の変容が必要であることが示唆された[4].

肥満者および非肥満者の食欲求の特性についての研究では、体格と食行動との関連性や体格と味覚の心理量との関連性を調べるため、32名の被験者による味覚官能評価の実験を行った。その結果、体脂肪率が増加するにつれて甘味の味覚感受性が高くなる傾向があることが判明した。逆に、体脂肪率の増加にともない、塩味の味覚感受性は低くなる傾向があることが判明した。また、肥満度に着目して味覚感受性を比較すると、甘味において肥満は非肥満に比べて有意に高い結果となった[5]。また fNIRS（島津製作所）を用いて、中年肥満女性(10名)について食欲求の測定を行った実験では、食品画像（或いは風景画像）を見せることにより、食欲求度が高いと前頭葉が賦活され、背外側前頭前野及び前頭極において、昨年度研究の若年者データと比較して高い、血流の亢進が見られた。この結果より、食欲求による前頭葉の賦活には年齢差があることが示唆された。

5. 今後の計画

摂食行為を計測する咀嚼センサ, 嗅覚刺激を提示する嗅覚ディスプレイ, および HMD による視覚刺激などの開発が完了し、触感に与える影響について実験を通して調査していく。

体格指数と味覚感受性との間には何らかの関係が見られることがわかってきたため、今後はさらにデータ数を増やして一般化を進める。また、fNIRS を用いた客観的評価法の確立をさらに進める。これにより、肥満治療および肥満防止のためのより科学的な栄養指導法の開発を目指す予定である。

食育方法・システムの開発では、朝食摂取を勧めるための食環境整備や食意識の変容を促すための方策を探っていく。

6. 研究成果の発表

[学会大会]

- [1] 小坂 崇之：咀嚼タン:咀嚼をトリガーに設定したシリアスゲームの開発,エンタテインメントコンピューティング研究会 2015 論文集,2015.
- [2] 東樹将志, 坂内祐一：香りパルス射出での強弱一対比較に及ぼす要因について, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.20, No.SBR-1, SBR2015-2, pp.7-12, 2015
- [3] 東樹将志, 坂内祐一：一対パルス比較による香り知覚へのベクションの影響の検討, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.21, No.SBR-1, SBR2016-2, pp.7-12, 2016
- [4] 塩澤裕也, 饗場直美, 中出麻紀子 居住形態による男子大学生の朝食の実態と食意識の違いについて 第 74 回日本公衆衛生学会(長崎) P 1705-11, 2015.10
- [5] 田原諒人, 橘秀貴, 朝川菜月, 七戸遥, 高尾秀伸, 饗場直美, 2016. 体型が味覚に及ぼす影響の検討-肥満判定基準の違いに着目して-, 日本人間工学会第 24 回システム大会, AE16-01.

[受賞]

[6] Asia Digital Art Award FUKUOKA 2015 エンターテインメント(産業応用) 部門 入賞
(2015/02/28) .

[7] GUGEN2015 トランジスタ技術賞(2015/12) .

[8] エンタテインメントコンピューティング 2015 デモ発表賞 (2015/09) .

[9] 日本人間工学会研究奨励賞 上記[5]

パーソナルなセンシングデータも蓄積するソフトウェアリポジトリ開発と知識抽出の研究

I 科 松本 一教, I 科 鷹野 孝典, N 科 岩田 一, I 科 宮崎 剛

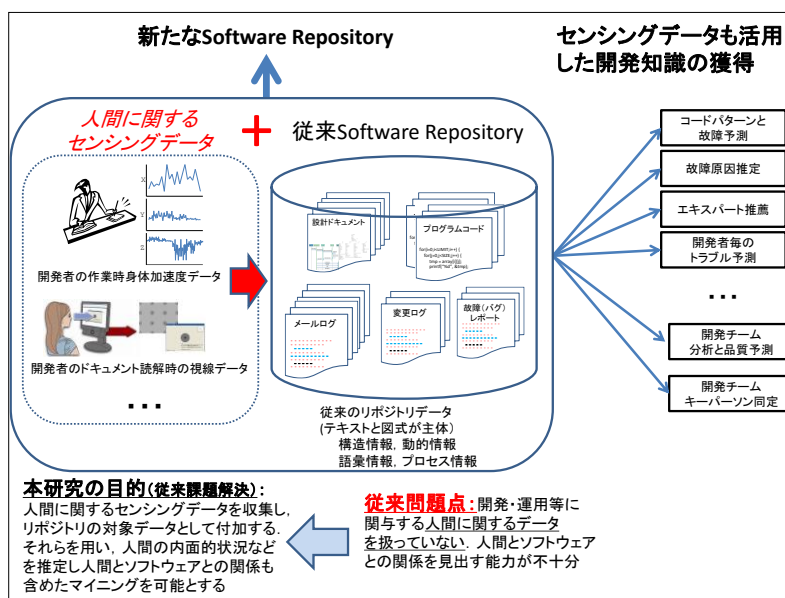
1. 研究の目的

ソフトウェア開発に関わるデータを網羅的に収集したソフトウェアリポジトリを構築し、開発に携わる技術者等についてのセンシングデータも総合的に収集蓄積する。それらセンシングデータを利用して、ソフトウェア品質との関係をビッグデータ解析技術を使って抽出し知識化する。その知識を活用することで、技術者のセンシングデータからソフトウェア品質を予測したり、品質上の問題がある箇所を予測したりする技術を開発する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

ソフトウェアの欠陥（バグ）は、時として重大な社会問題につながる。高品質なソフトウェア生産技術確立は、産業界が強く期待する重要課題である。ソフトウェアは人間の高度な知的活動の産物であり、大部分が技術者の手作業で開発される。従来は開発技術者等の人間側に焦点を絞った生産技術研究がほとんどない。技術者のパーソナルなセンシングデータを大規模かつ詳細に収集し、品質管理につなげる手法の開発が必要である。

この目的を達成するために、まずは視線データ（アイトラッキング）を活用する手法を検討する。可視化以外の視線データ処理技術は未確立であり、データ規格化やノイズ除去手法も未開発十分とは言い難い。従来から申請者らが開発してきた GTD



(Global Tracking Diagram) と命名し 図1 本研究の全体イメージ
た手法に基づいてプログラムレビュー
時の効率を (バグ同定率) レビュー者の視線パターンから推測する技術を開発する。図1
が本研究の全体イメージを示している。

3. 期待される効果

従来のソフトウェア工学には人間に関するセンシングデータを扱うという発想がない。また、従来は開発に携わる技術者からのデータ収集コストが高い上に、大規模データからの有効な知識抽出技術が不十分であった。本研究は、ビッグデータ等の研究で得られている最新技術成果を利用することで、従来にないセンシングデータを活用していくという点が特徴的である。ソフトウェア開発は完全自動化が困難な領域であり、開発を担当する技術者の能力に依存する部分が多い。本研究により、開発技術者の特性も組み込んだ新たな品質保証技術の開拓が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

本年度の研究では視線データの活用手法検討を重点的に行った。従来の視線データ解析においては、ヒートマップ、Gaze プロットなどを用いた可視化が中心であった。可視化はデータ解析の有力な手段ではあるが、定量的な解釈を得ることが難しく解析者個人の能力に依存することが問題となる。また、数百人程度以上の大規模データに対する解析は現実的に処理が不可能となる問題もある。このために、本研究に置いては、視線データの自動的かつ定量的な解析手段を開発することを目標の1つとした。

4.1 GTD (Global Tracking Diagram) の開発

視線データは2次元データである。本研究の主目的はソフトウェア開発中の技術者の視線に注目することである。技術文書特にプログラムや関数仕様書の特徴から、1行当たりの情報量は比較的少なく、多くの行を用いることで必要な情報を提供しているという特徴がある。この特徴を用いて、文書解読時の経過時間と解読している位置（行数）に着目するという方式を開発した。これにより、解読行位置の1次元時系列データとして処理できることになる。1次元時系列データとして処理可能になったことから、申請者らが所有するパターン抽出などに関する様々な技術が適用できるようになった。

4.2 視線部分パターンの抽出とクラスタリング

GTD で表現された視線データの分析から、いくつかの特徴的なパターンが出現することが判明した。これらのパターンは技術文書の理解度と関係が深いことが予備実験の結果で判明している。また前節で述べたように、GTD により1次元時系列データとしての表現に変換されているため、このようなパターン発見をほぼ自動化することもできている。本年度は、技術文書の理解度を5段階評価（自己申告）の教師データとして用いて、さらに特徴パターンとの類似度を特徴パターンを特徴量として機械学習のありゴリズムを適用する実験を行った。すなわち、GTD に出現している特徴パターンから理解度を予測する知識を抽出するという実験である。今年度の実験では、ここで抽出した知識の安定度に問題があり、予測精度の計測にまで至ることができなかった。

4.3 個人識別手法の開発

ソフトウェア開発の真の担当者を同定できる手法は重要である。署名などの方法で担当技術者が明らかにされている場合であっても、実際の開発は別の技術者が行なっていることも良く見られる。技術者毎に欠陥を生じる場合の特徴があることが知られているため、真の開発担当者を明らかにできる技術が必要となる。本研究では、文書（プログラムを含む）読解中の視線パターンを活用する手法の基礎検討を行った。今年度においては、技術文書中に多角形のパターンを埋め込んでおき、読解中にそのパターンを必ず見るという制限の元での同定手法開発とした。図 3 は正六角形を見せたときの約 10 人の被験者の視線パターンを示したものである。これらの視線データからの特徴抽出および機械学習を応用した個人同定手法の研究を行い状況にもよるが 80%程度の精度で個人同定ができることを今年度に確認できた。

5. 今後の計画

今年度の研究により基本的なデータ表現技術や機械学習適用のための前処理方式などの準備が整備できてきた。これらの成果にもとづき、更に他のデータも組み込んで活用できるようにして知的なソフトウェアリポジトリ開発の実現を目指す。

6. 研究成果の発表

- (1) Prototyping and Trial Experiment of Lecture and Learning System that uses Students' History, The 4th Asian Conference on Information Systems, Takayuki Suzuki, Tomohiro SUZUKI, Tetsuo TANAKA, and Kazunori MATSUMOTO, 2015.
- (2) Towards Personal Identification using Eye Tracking Data, The 4th Asian Conference on Information Systems, Daisuke YAGI, Takayuki SUZUKI, Tetsuo TANAKA, and Kazunori MATSUMOTO, 2015.
- (3) Analyzing a Relation between Skill Levels and Eye Tracking Patterns: Towards Effective Learning Systems that Suggest Weak Points, The 21st International Symposium on Artificial Life and Robotics, Atsushi SHIMIZU, Keisuke TAKAHASHI, Daisuke YAGI, Tetsuo TANAKA, and Kazunori MATSUMOTO, 2016.
- (4) Investigating the Relation of Eye Tracking Patterns and Preferences: Towards a Methodology of Digital Documents, The 21st International Symposium on Artificial Life and Robotics, Keisuke TAKAHASHI, Atsushi SHIMIZU, Daisuke YAGI, Tetsuo TANAKA, and Kazunori MATSUMOTO, 2016.
- (5) Towards Visualization of Software Projects using Digital KANBAN, The 21st International Symposium on Artificial Life and Robotics, Atsushi SHIMIZU, Shun NAKAZAWA, Tetsuo TANAKA, and Kazunori MATSUMOTO, 2016.

8K映像コンテンツを自在にハンドリング可能な ストリーミングクラウド環境の実現

研究者名：情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科 丸山 充
情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科 塩川 茂樹
情報学部・情報工学科 清原 良三
情報学部・情報メディア学科 小島 一成
情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井家 敦
工学部・電気電子情報工学科 高取 祐介
情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田 一

1. 研究の目的

ネットワークの広帯域化に伴い、高精細のストリームデータを扱うアプリケーションの普及が見込まれている。例えばハイビジョンの4倍の画素数である4K映像や16倍の8K映像など高画質な映像を扱うアプリケーションである。本研究では、8K/4K等のハイエンドコンテンツの作成向けに、over10Gbpsの広帯域ストリームデータを自在ハンドリングできるクラウド環境をネットワーク上の様々な計算機リソースが協調しあうアーキテクチャにより構築を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

本研究では、ストリームデータという時間連続性・リアルタイム性を持ち伝送状況の影響を受けやすいデータに着目し、変動するネットワーク状況に関わらず安定的かつ即時に配信可能なストリーミングクラウド環境を構築する。本技術を実証的に評価するため、次の2つの観点で広域実験を積極的に実施する。(a)NICTのクラウド設備StarBED3やNII(国立情報学研究所)のクラウド設備で8K/4K映像をリアルタイム処理し、仮想ネットワークと連携した安定的な伝送の検証と放送局関係者との利用実験、(b)クラウド内での大規模エミュレーション環境に連携させた8Kリアルタイム可視化機能を実現し、遠隔地の研究者と可視化データの共有実験。併せて実験中のトラヒック特性を詳細に理論解析し、技術の体系化を図ると共に、実験環境を用いて他組織・異分野の研究者との連携を積極的に進める。

3. 期待される効果

H27年度は、NICTのJGN-Xテストベッドを用いて、提案する仮想化アーキテクチャのプロトタイプを用いて順次検証し、Interop、SC、NICT雪祭りイベントの機会を使って外部に積極的に公表を行う他、平成28年度からのNIIのSINET5の開始に向けて、本学から8K非圧縮(24Gbps)が発信できるネットワークの整備を進める。

- 1) 広帯域ネットワーク構成機能の仮想化
- 2) リアルタイム映像処理機能の仮想化
- 3) ネットワーク構成機能とリアルタイム映像処理機能の連携や時間軸の協調動作

4. 研究の経過及び結果

InteropTokyo2015において、大学初の独自ブースを設置して我々が提唱するアーキテクチャに関する関連成果について展示したところ、Best of Show Awardとして、「ShowNetデモンストレーション部門 グランプリ」の獲得に繋がった。また関連研究が評価され、NII（国立情報学研究所）との公募型の共同研究の採択に繋がった他、総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）の先進的通信アプリケーション開発型の研究に NTT 未来ねっと研究所と共に採択された。研究公表を進め、研究会論文発表4件、国際会議3件、全国大会講演等8件、報道発表1件の成果に繋がった。海外論文1件の投稿を進めている。

また、当初の計画どおりに、検証環境を充実させるために、SINET5（H28年度4月開始）の移行構築に合わせて2016年1末に神奈川工科大学(KAIT)と SINET5 神奈川データセンタとのアクセス回線を100Gbps化する作業を実施し、本大学の8K発信拠点化を行う準備を進める事ができた、以下、今年度の研究活動を項目毎にまとめる。

4.1 8K映像広帯域ストリーム配信のトライアルの成果発表

2015年の2月5日～6日にかけて NICT が主催した“さっぽろ雪まつり”実証実験において、JGN-Xの東京－大阪－北陸の100Gbps回線およびStarBED3のクラウド設備を用いて、8K超高精細映像素材を非圧縮のまま、クラウド内の仮想システムで蓄積配信・加工処理を行った他、そのストリームデータを使ってIPマルチキャストネットワーク上で複数の8K超高精細映像素材の選択切替えを行いながら配信する実験を行った。この研究成果を研究会で発表した。

また8K映像サーバを構成するノードからの一斉送出アルゴリズムにバグが内在していた。また、バースト性を伴うトラヒックを映像IP変換装置（QG70）が受信する事で動作が不安定になる事象があった。これについては図1に示すKAITで作成した80Gbps対応の8K映像トラヒックメータのリアルタイムグラフ機能がサーバの送出タイミングのデバッグ時に活躍し、内在していた同時送出タイミングのバグの発見に繋がった。この経験から、リアルタイム高精度ネットワークモニタの有効性を再確認した。



図1 8K映像トラヒックメータのグラフ機能

関連研究として、以下の海外発表2件についても技術支援を行った。1点目が、NICTが行ったヨーロッパの学術ネットワークの国際会議 TNC2015 (<https://tnc15.terena.org/>)である。2点目が、NTTが行ったAPMediaCast (<http://apmediacast.org/>)で主に、サーバ技術の構成方法について検討した結果をまとめている。また、NTTが昨年のSC14の結果をまとめて、APCC2015の場で発表している。

4.2 Interop Tokyo2015 における実験

2015年6月10日から12日にかけて、国内最大のネットワーク技術の展示会 Interop Tokyo 2015 が幕張メッセにて開催された。本展示会は、世界4ヶ国で開催されており、日本でも1994年以来、毎年開催されており、今年は13.6万人の来場者があった。

今回初めて大学独自のブースを設け、「over 10Gbps のリッチコンテンツを自在に扱えるストリーミングクラウドの実現を目指して」というタイトルで、8K（3300万画素を持つ高精細映像）/4K 非圧縮映像の多地点 IP 配信技術の動態展示を行った。

具体的には、JGN-X テストベッドと Interop ShowNet の相互接続により北陸—大阪—東京—幕張の 100Gbps ネットワークを構築した他、HaaS 環境 StarBED3 の22台のノードを用いて 8K/4K の超高精細映像のリアルタイム蓄積配信が可能なトータル 70Gbps の配信性能を持つ仮想映像サーバを構築し、8K、4K@60P、4K@30P の異なる品質の映像を同期配信し、大学ブース内で QG70 を用いて同時受信や選択的に受信する実験を行った。安定的な配信を確認するためにネットワークに配置された高精度なネットワーク計測装置により伝送状況を実時間で観測した。

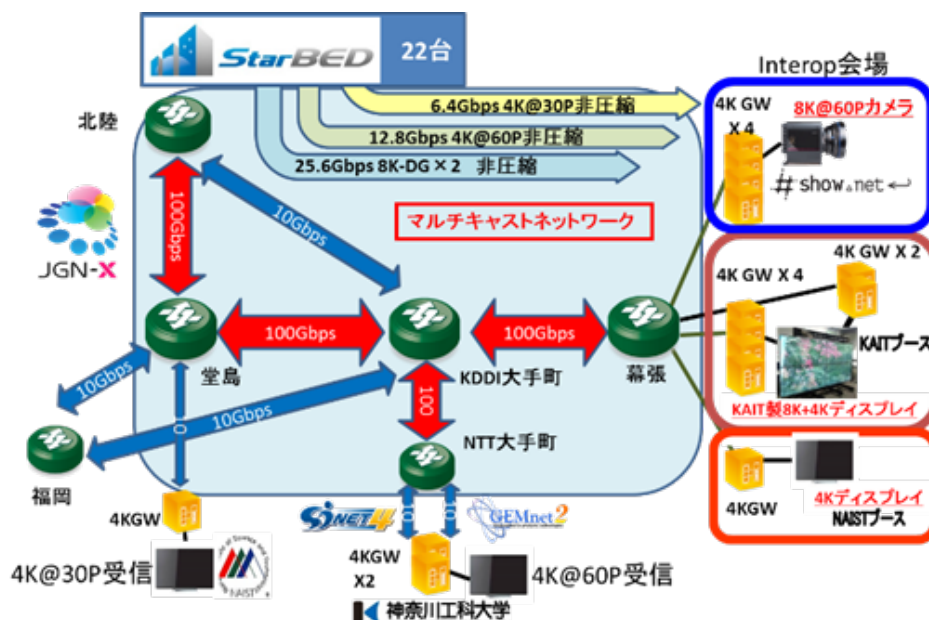


図 2 Interop Tokyo 2015 の超高精細映像マルチレート蓄積配信実験



図 3 展示ブース全景



図 4 8K-DG, 4k@60P, 4K@30P が完全同期

この結果本学の展示ブースが、Best of Show Award として、「ShowNet デモンストレーション部門 グランプリ」および、「サイエンス部門 審査員特別賞」の2部門で受賞し、関連技術のPRに繋げる事ができた。

また後日、高精度ネットワークモニタを用いて、図5に示すマルチレート配信サーバの配信特性を明らかにし、実験環境における受信バッファが100msec分あれば吸収できる事が明らかになった。また複数地点の高精度ネットワークモニタを用いて、実験に使用した図6のマルチキャストネットワークでの挙動を明らかにした他、Leaveが出てから枝刈込に時間がかかるために、切り替えを行うと各地で重複時間が起きる事が分かり、ADVNET/信学会IA研究会での発表に繋げた。

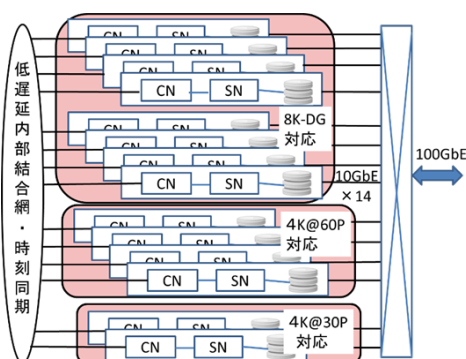


図 5 マルチレート映像サーバ

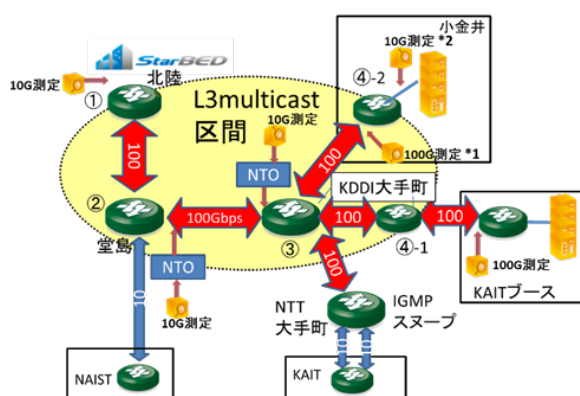


図 6 L3 マルチキャストネットワーク

関連発表として、中国総合通信局主催の最先端 ICT 利活用 セミナーの中で、技術内容について発表を行った。

2.3 高速ネットワーク対応トラフィックモニタについての考察

広帯域でリアルタイム性を持つストリームデータは、伝送状況の影響を非常に受けやすく、安定運用のためには輻輳等の原因箇所の特定が不可欠である。このため、高精度ネットワークモニタ装置を開発し、伝送経路上でアプリケーションレイヤが受ける影響を調査するシステム開発に取り組んできた。これまでに開発した、2種類の高精度ネットワーク測定装置、(1)PC ベースでワイヤレートのパケットキャプチャ/ジェネレーション性能を実

現した PRESTA10G, (2)低遅延で測定表示が可能な 8K 映像トラフィックメータのアーキテクチャをまとめると共に, NICT の JGN-X の広域ネットワークテストベッドを使った 8K/4K 非圧縮広帯域映像伝送トライアルにおける評価結果を NW モニタの観点からまとめ, CQ 研究会において学会発表を行った。

KAIT で設計した 8K トラフィックメータは, EZchip(旧 TILERA)社から発売されている汎用並列処理カード TILEncore-Gx36 を用いて構成される。この並列処理カードには 36 コアあるプロセッサ TILE-Gx36 Processor, 4 ポート分の 10GbE のインタフェース, ハードウェア型パケット処理ネットワークエンジンを搭載している。8K 映像トラフィックメータでは測定したい箇所を光スプリッタでタッピングして利用する。Tilera 1 枚で 10GbE 4 本分のデータがキャプチャ可能である。また, 時刻精度は, 汎用並列処理カード内の時計で 100ns の粒度でタイムスタンプを付与する。

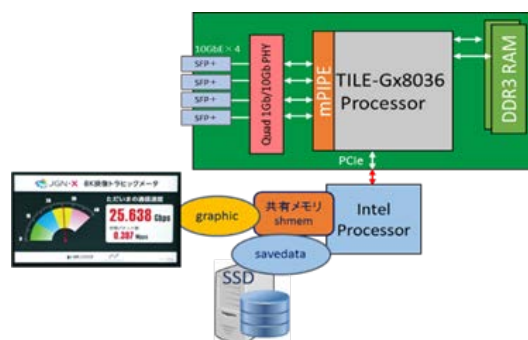


図 7 「8K 映像トラフィックメータ」のアーキテクチャ

Tilera カードを 2 枚使った 80Gbps 版の作成もおこなった。本システムの評価としては, 蓄積されたキャプチャデータを PRESTA10G と比較する事により, システムの有用性を検証する事と, JGN-X 網を使った実験により 80Gbps 版の動作検証を行った。これらの結果を CQ 研究会にて報告した他, Interop における高精度ネットワークモニタを使った解析状況を全国大会で発表した。

2.4 SC15 イベントにおける検討および評価手法

新規応用アプリケーションとして映像合成をとりあげる。NTT 未来ねっと研究所と共に超高速ネットワークの展示会である SC15(米国オースチン H27.11)の NICT ブースの中で, 以下の 2 つの項目について実験を行った。

- (1) 国内および海外のクラウド設備を使って映像合成を実施
- (2) SDN 制御を用いた 4K 非圧縮伝送の実現

(1)の実験においては, 2 つの素材サーバの 4K 非圧縮映像素材を日米クラウド内の複数の計算機ノードで合成し, 会場で合成結果を集約し, 動画として表示するものである。素材を複数の計算機ノードで並列実行させるロードバランスの仕組みとして, SDN 技術の 1 つである OpenFlow を活用した。また, 大学ではこの映像合成に利用した計算機リソースの性能評価測定および可視化を行うシステムを市中ツールの組み合わせにより実現した。

具体的には、図 11 の構成において、時間間隔粒度 1 秒でデータ収集可能なリソース監視システムである。時系列データベースには InfluxDB, データコレクタプラットフォームには Fluentd を用いた。またグラフの可視化ツールには Grafana を用いた。

さらに、本システムに利用するネットワークのリソース観測する手法として、8K 映像トラヒックメータの分かり易い表示を色々な利用シーンで使えるように観測システムを設計しなおした。具体的には、図 9 に示すように、PRESTA10G ネットワークモニターでキャプチャしたデータを使ってこれを 8K 映像トラヒックメータで表示するツールを作成した。これについても SC15 の実験の場で JGN-X の様々な観測ポイントのデータを用いたリアルタイム可視化が行える事を示した。8K 映像トラヒックメータの反応速度を測定する実験も行った。ネットワーク上でパケット欠落等を起こした時の 8K 映像トラヒックメータのトラヒック表示の反応速度を QG70 に接続されたアストロデザイン 4K ディスプレイ (DM-3432) で表示乱れが起きた時の映像を比較する方法で計測した結果、映像表示に乱れが起きる 1/2 フレーム前に反応している事が分かり、リアルタイム性を確認する事ができた。

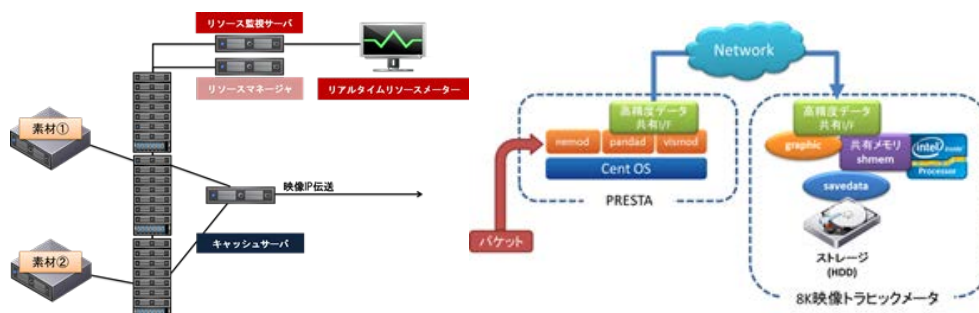


図 8. 映像編集処理システムのリソース観測 図 9 高精度 NW モニタのデータ共有

本関連研究発表は、信学会全国大会 2 件および研究会 1 件である。

(2)の実験としては、ブラジルに設置した 4K 映像サーバからのストリームを米国各地の OpenFlow スイッチ経由で転送し、会場に集約し、QG70 を介して映像表示を行った。本研究成果について 1 件の研究会発表を実施した。

2.5 NICT 雪まつりイベント(H28.2)における 8K セキュア伝送の取り組み

大学側では、検証環境を充実させるために、SINET5 (H28 年度 4 月開始) の移行構築に合わせて 2016 年 1 末に神奈川工科大学(KAIT)と SINET5 神奈川データセンタとのアクセス回線を 100Gbps 化する作業を実施した。この回線を VLAN ベースの仮想ネットワークとして利用する事で、本回線経由で SINET L3 接続および、NTT 大手町経由での JGN-X 接続を多重化した。

本回線を利用し、NICT 雪まつりイベントにおいて、2016 年 2 月に NICT が主催した“さっぽろ雪まつり”実証実験において、札幌、大阪、沖縄を結んだ広域網を用いて 8K および 4K 超高精細映像素材のライブ配信時に、途中経路での悪意あるコンテンツ改ざん、盗聴等

を防ぐリアルタイム暗号化配信を実施した。

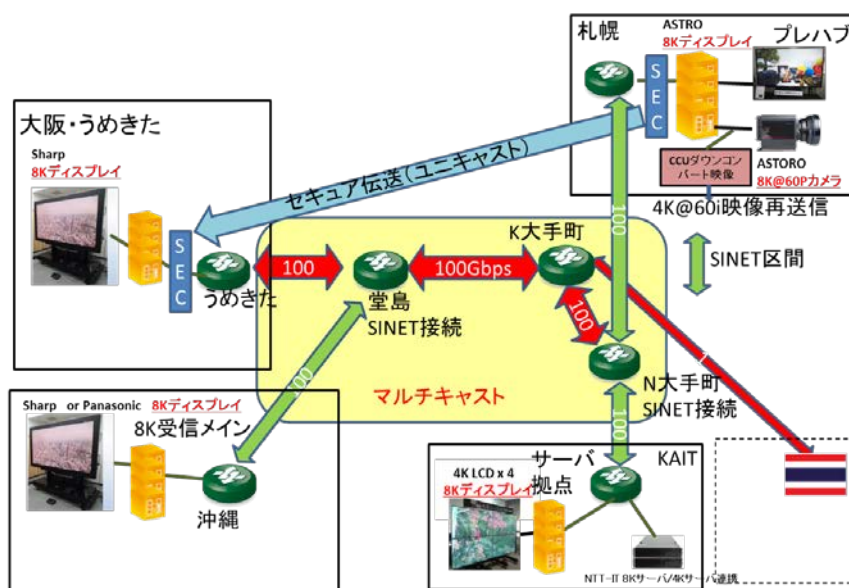


図 10 8K 超高精細映像素材のセキュア伝送実験

JGN-X の国内 100Gbps 基幹回線に加え、NII が構築・運用する SINET5 が実証実験に参加することにより、北海道から沖縄へと日本列島を縦断する 100Gbps 回線の広域ネットワークを構築し、札幌と大阪の両拠点から、8K カメラによるリアルタイム中継伝送を行った。リアルタイム暗号化配信技術としては、IPsec による複数の暗号化技術を用いて、広域ネットワーク上で非圧縮の 8K 超高精細映像をリアルタイムに暗号化、復号化し安全に配信できる仕組みを構築した。さっぽろ雪まつり会場で撮影される 8K 映像データを全て暗号化して大阪「うめきた」の一般公開会場まで送信し、会場内で復号化して中継映像を広域に安全に配信できることを実証した。

また神奈川工科大学は 100Gbps の広帯域アクセス回線を使い、8K/4K 蓄積配信サーバの拠点として、8K 超高精細映像の収録素材から作成した複数解像度の映像を、マルチキャスト配信ネットワークにより札幌、大阪、沖縄に配信を行った。

ネットワーク上でのリアルタイム暗号配信状況の把握や映像素材の安定的な配信を実現するため、高精度なネットワーク計測技術と 8K 映像トラフィックメータを併用して、100Gbps 回線の伝送状況を実時間で観測する実験を行った。また大学でも独自の OpenFlow を使ったセキュア伝送方式を提案し、全国大会で報告している。

5. 今後の計画

各社と共同で進めた 8K 映像伝送・蓄積配信やクラウド上での実現は、世界でまだ類を見ない技術であり、様々な関係者から有益なコメントをいただいているので、期待の高さを感じる。また、測定についてもリアルタイムの可視化性能について、高評価をいただい

いる．並行して SCOPE の枠組みで進めた空リソースを使った映像処理技術については，プロトタイプが完成したところであるので，今後この映像処理プラットフォームを活用した実験も進め，実用化に向けて様々な方の意見を伺いたい．次年度以降も，現在の開発結果を踏まえ，超高精細映像素材を用いたクラウド映像製作ワークフローの確立，マルチメディア研究との連携による新たなメディア製作手法の確立の研究開発を進めたい．またネットワーク解析部分については，分散解析による高速な障害箇所発見手法の検討と共に，400GbE 等の高速化に向けたアーキテクチャの検討の両面から研究に取り組む予定である．

6. 研究成果の発表

- [1] 丸山 充, 君山博之, 油谷 暁, 垣内正年, 大槻英樹, 小林和真, 河野 隆, 林 丈樹, 小林正之, 田中篤史, 佐野道則, 小島 和也, 岩田 一, “非圧縮 8K 超高精細映像素材を用いた over 10Gbps IP マルチキャスト伝送とクラウド上での蓄積配信・加工処理の実現,” 電子情報通信学会 NS 研究会: NS2015-21, pp.39-41, 東京大学 石橋信夫記念ホール, 2015.5.21.
- [2] Hideki Otsuki, Eiji Kawai, Mitsuru Maruyama, Kazumasa Kobayashi, Masanori Goto, Shinji Shimojo, “Ultra-high-speed multi-casting of uncompressed 8K video streams at “Sapporo Snow Festival 2015,” TRANS-EUROPEAN RESEARCH AND EDUCATION NETWORKING ASSOCIATION , TNC2015 Conference, Poster session-06, 2015.6.15.
- [3] H. Kimiyama, M. Maruyama, M. Kobayashi, and M. Sakai, “Uncompressed 8K-Video System Using High-Speed Video Server System Over IP Network,” Proc. of 2015 Asia Pacific Conference on Multimedia and Broadcasting, pp. 99-105, 2015.4.23.
- [4] Hiroyuki Kimiyama, Masahiko Kitamura, Mitsuru Maruyama, Tatsuya Fujii, “High-resolution Video Transmission Network System Using Dynamic SDN,” The 21st Asia Pacific Conference on Communications, APCC2015, 15-PM1-E: SDN/Virtualization 2, 2015.10.15.
- [5] 丸山 充, 君山博之, 大槻英樹, 小林和真, 河野隆, 林丈樹, 瀬戸山勝義, 岩田一, “JGN-X の 100Gbps 広域ネットワークおよび StarBED3 を用いた非圧縮 8K/4K 超高精細映像素材のマルチレート同期配信実験,” 信学会 IA 研究会／ADVNET, IA2015-33, pp.19-24, 東京大学, 2015.10.19.
- [6] 丸山 充, “8K 超高精細の映像伝送とその未来 —2020 年のオリンピックイヤーを超えたその先へ—,” 中国総合通信局, 最先端 ICT 利活用セミナー, KKR 広島ホテル, 2015.12.9.
- [7] 丸山 充, 君山博之, 大槻英樹, 小林和真, 林丈樹, 瀬戸山勝義, “8K/4K 広帯域ストリームデータの安定伝送を支える高精度ネットワークモニタ技術,” 信学技報, vol. 115, no. 496, CQ2015-139, pp. 177-182, 2016.3.8.
- [8] 乙部一真, 丸山 充, 林 丈樹, 瀬戸山勝義, 君山博之, “高精度 NW モニタを用いた解析実例と並列解析ツールの提案,” 信学会 2016 総合大会, 情報システムソサエティポスター, ISS-P-20, 2016.3.15.
- [9] 伊東 亮, 丸山 充, 岩崎裕也, 北村匡彦, 君山博之, “クラウド上のリアルタイム映像処理を支援する非均質計算機環境のリソース監視手法,” 信学会 2016 総合大会, 情報システムソサエティポスター, ISS-SP-162, 2016.3.16.

- [10] 末光孝紀, 林 丈樹, 瀬戸山勝義, 君山博之, 丸山 充, “高精度 NW モニタツール間のデータ共有方式,” 信学会 2016 総合大会, 情報システムソサエティポスター, ISS-P-19, 2016.3.15.
- [11] 北村 匡彦, 君山博之, 澤邊知子, 藤井竜也, 小島一成, 丸山 充, “SDN スイッチを使った動的分散処理方式の提案,” 信学技報, vol. 115, no. 496, CQ2015-134, pp. 147-151, 2016.3.9.
- [12] 君山博之, 北村 匡彦, 藤井竜也, 丸山 充, “OpenFlow スイッチを使った高精細映像動的仮想マルチパス伝送の提案,” 信学技報, vol. 115, no. 496, CQ2015-142, pp. 193-198, 2016.3.8.
- [13] 田内悠希, 岩崎祐也, 丸山 充, 北村匡彦, 君山博之, “SDN 技術を用いた 8K 映像のセキュア伝送,” 信学会 2016 総合大会, B-6-90, 2016.3.15.
- [14] 報道発表「神奈川工科大学が 100Gbps 回線で直結しフルハイビジョンの 16 倍の「8K 超高精細ライブ映像」を, 非圧縮のままリアルタイム暗号化配信する実験に成功」神奈川工科大(大学プレスセンター) 2015.2.5.
<https://www.u-presscenter.jp/modules/bulletin/index.php?page=article&storyid=9073>
- [15] 實重 慧, 丸山 充, “分散エージェントによるユーザ視点の QoS 管理システムの提案,” I T を活用した教育シンポジウム 2015 講演論文集 第 10 巻, 神奈川工科大学, ISSN 1881-6061, pp.90-93, 2016.3.5.
- [16] 丸山 充, 塩川茂樹, 清原良三, 小島一成, 井家 敦, 岩田 一, 高取祐介, “8K 映像コンテンツを自在にハンドリング可能なストリーミングクラウド環境の実現に向けて,” I T を活用した教育シンポジウム 2015 講演論文集 第 10 巻, 神奈川工科大学, ISSN 1881-6061, pp.86-89, 2016.3.5.
- [17] 岩崎 祐也, 田内悠希, 丸山 充, “SDN 技術を用いた 8K 映像のセキュア伝送,” I T を活用した教育シンポジウム 2015 講演論文集 第 10 巻, 神奈川工科大学, ISSN 1881-6061, pp.82-85, 2016.3.5.

統合型交通環境評価プラットフォームの構築

研究者名：自動車システム開発工学科	山門 誠
自動車システム開発工学科	狩野 芳郎
自動車システム開発工学科	平山 弘
情報工学科	清原 良三
電気電子情報工学科	高取 裕介

1. 研究の目的

ドライビングシミュレータと交通流シミュレータ、さらに通信環境シミュレータを統合した環境の中に、自車車両情報、周辺車両情報を利用した自動運転車両の機能を組み込み、大規模な交通流における自動運転車両との混合交通の評価や、自動運転に必要な情報、高速演算などの具体的な検討など、次世代の統合制御システムの評価が可能なプラットフォームの基本構造を確立する。運転感覚が評価できる高度な現実感をドライビングシミュレータ(DS)に付加し、地図情報および車両情報等を共有することにより、トラフィックシミュレータ(TS)、通信シミュレータおよび模擬クラウドと統合した評価プラットフォームの基礎を構築するため、以下の項目を達成する。

- ① ドライビングシミュレータの運転感覚向上
- ② ネットワーク型 DS と TS の統合評価環境の構築
- ③ 自動運転用高速演算手法と車両情報共有化技術の確立

2. 研究の必要性及び従来の研究

「安全」、「環境」、「情報」分野における高度な技術力を結集し、社会・交通インフラと車両が高度につながる統合制御システムにより、「人・クルマ(交通)・社会」に対する新たな価値の創造が切望されている。しかし、自動運転やヒューマンインターフェイスなどの要素技術開発は先行しているが、自動運転ではない車両を含む混合交通流や自動運転とドライバの運転移譲など、実際のドライバが運転して評価を行える環境は自動車専用道や模擬市街路など限定した状態である。また、他車の情報を車車間通信で共有するシステムに関する先行研究では、理想的な条件下での通信を想定しており、車車間通信の無線通信における MAC (Media Access Control) の影響を考慮していない。さらに自動運転車両を幅広い層に安価に提供するためには、並列性のある安価なコンピュータで高速に環境を認識するアルゴリズムが重要で、現状では十分とは言えない。

3. 期待される効果

シーン毎の自動運転コンテンツ開発のため、DS、TS、通信シミュレータおよび模擬クラウドにて構成された評価プラットフォームを構築でき、① 人間の感覚に合う経路生成、運動制御アルゴリズムの導出 ② MAC を考慮したデータ通信遅延、演算速度遅延、データ欠落などにロバストな ICT 利用自動運転制御系（高速アルゴリズム）の確立 ③ TS の計算に基づく DS 環境の中で、自動⇄手動切り替え時の安全運転支援の創造・評価が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

① ドライビングシミュレータの運転感覚向上

ドライビングシミュレータは正面を中心とした視野を3画面に分割してプロジェクタで円筒スクリーン上に投影し、ルームミラー、両サイドミラーを小型LCDで再現している。本年度は没入感を向上させるために画像生成用PCおよびプロジェクタの機能改修をおこない、画像の解像度をXGA786,432画素からFullHD2,073,600万画素に向上させ、運転感覚および道路情報（白線や標識）の読み取りを大きく改善することができた。これにあわせて、従来のFRPハニカムと紙スクリーンで構成されていた円筒スクリーンをカーボンFRPと塗装スクリーンに改修することで、画面の平坦度の改善および重量の軽量化を実現することができた。さらに、ルームミラーおよびサイドミラーを更新して実車感を向上させた。

② ネットワーク型 DS と TS の統合評価環境の構築

・DS と TS を統合したプラットフォームの確立のための問題点である地図の共有化およびDSのドライバーモデルの実装を中心に進めており、地図の共有化のための自動変換およびシミュレータ上でのエージェントの実装方式の確立を実施。DS、TS統合のための地図変換においては、ツールを開発。

半自動ではあるが、鈴鹿サーキットに関してはある程度自動化することができた。しかし、DSの持つ地図上のマテリアル属性に基づくため、間違ふこともあるため、半自動となる。マルチエージェント型のエージェント制御においては人の性質に近付けるための不注意運転機能を実装完了し、より現実に近い運転環境に近づいたと考える。しかし、半自動であるため大規模な地図でかつ、複雑な形状をしたものに対して自動変換することが難しいが我々の目指す用途に限れば、大規模な地図を利用することはないため大きな問題とならないと考える。

不注意機能は実装できたが、その他の加速度モデルなどが未実装であるため、これらの実装が完了することにより人のモデルに近いものとなる。

・ホンダのドライビングシミュレータにはフライトシミュレータで使用されている詳細な3Dデータで道路および周辺環境が記載され、路面や構造物の形状・質感まで表現されている。一方トラフィックシミュレータで必要としているデータは道路形状の2次

元データで十分である。これらの異なる環境を統合するために、ドライビングシミュレータに実装されている市街路データから道路形状を抽出してトラフィックシミュレータで用いられている Shape file format を作成した。一般的な Shape File Format に変換することができたが、またトラフィックシミュレータに読み込むための負荷情報が不足しているので、今後はトラフィックシミュレータの仕様に合わせた調整が必要である。

③自動運転用高速演算手法と車両情報共有化技術の確立

- ・自動車の運転時の画像から画像処理を行い、特に交通信号に注目しその認識を行なった。これらの並列処理を行い、高速に認識を可能とするように改良を続けている。

- ・評価用シミュレータの一部構築を行い、全車が通信機器を持った状態における性能評価を行っている。全車両が通信機器を持った状態は車車間通信において、もっとも通信パケットの衝突やチャネルアクセス失敗が生じる可能性の高い状態であり、そのような厳しい条件下の交通における情報共有性能の解析を行った。

自車情報のみを共有する場合と比べ、他車情報も共に共有する方法は、他車情報の分だけ送信する情報が増え、パケットの衝突が起こりやすくなることが予想されたが、シミュレーション結果では、MAC を考慮したシミュレーションでも自車両と周辺他車両の情報を共有するほうが、車両情報共有性能が高いことがわかった。これはパケット衝突による情報の欠損よりも周辺他車による情報補完の効果のほうが情報共有性能に影響を与えることを示唆している。

5. 今後の計画

次年度には共通道路環境でトラフィックシミュレータを稼働させ、得られた車両情報をネットワークを通じてドライビングシミュレータへ提供し、ドライビングシミュレータの I G で他車両として表示させることにより、エージェントによる運転車両と混在する統合環境を実現させ、自動運転、表示システム等の評価プラットフォームとしての機能を完成させる。DS、TS の統合作業は粛々と進めることとし、今後統合環境を利用した上で、様々な課題の解決手法の提案に対して、その評価に利用していく予定である。画像処理から物体の認識はこれまで行ってきたが、並列計算機の扱いについては始めたばかりである。これらの使用法に慣れ高速化をはかる予定である。今後はシミュレータの機能改善をすすめ、MAC 制御を考慮した車両情報共有システムの普及率に対する性能を解析する予定である。

6. 研究成果の発表

【発表済み】

- (1) Yutaka Onuma, Suguru Nakazawa, Daishi Shimizu, and Ryoza Kiyohara, A Study of an Evaluation Platform for Driver Distraction Problem with on-Vehicle Information Devices, IWIN2015, September 6-9, 2015, Amsterdam, Nederland.

- (2) 中澤 克, 小沼 寛, 清水 大史, 清原 良三, 統合ドライビングシミュレータ向けマイクロ交通シミュレーション方式, 情報処理学会 DPS 研究会 2015 年 12 月
- (3) 小沼 寛, 兵藤 俊輔, 狩野 芳郎, 山門 誠, 清原 良三, 統合ドライビングシミュレータにおける地図変換方式, 情報処理学会 DICO2015, Vol. 2015, pp. 1764 - 1771
- (4) 山門 誠, 狩野 芳郎, 安部 正人, 梅津 大輔, 吉岡 透, G-Vectoring 制御による目標コース追従性能向上メカニズムの検討, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会予稿集 pp. 1315-1320 (論文集にも同時投稿)

【発表予定】

- (1) Takatori, Onodera, Sugiyama, Kiyohara, Analysis of Vehicle Information Sharing System by Microscopic Traffic Flow Simulation, IWIN2016, August 28-31, 2016, Riga, Latvia.
- (2) Yamakado, Kano, Abe, Umetsu, Yoshioka, Study on Handling Quality Improvement Mechanism of G-Vectoring Controlled Vehicle, AVEC16, 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control, Sept. 13-16, 2016, Munich, Germany.
- (3) 鈴木 裕也, 山門 誠, 狩野 芳郎, 安部 正人, ドライビングシミュレータを用いた自動運転システムフェイル時のドライバ挙動に関する研究, 自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演会
- (4) 山田 笙平, 山門 誠, 狩野 芳郎, 安部 正人, 車両応答の過渡特性が操舵行動へ与える影響 (第一報), 自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演会

π 共役系を有する新規有機化合物の創製と評価

研究者名：応用化学科 氏名 山口 淳一

1. 研究の目的

本研究では、アズレンを核とする新しい有機化合物を合成し、その性質を明らかにすることが目的である。具体的には、

- 1)アズレンが縮環したアズレン誘導体の合成
- 2)アズレンを含むイノン誘導体を利用した新規化合物の合成

この2点を検討することとした。

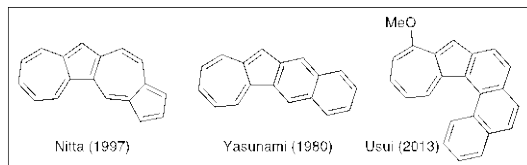
2. 研究の必要性及び従来の研究

アズレンの合成研究は野副鉄男教授（元東北大学教授）を濫觴とする日本発の研究である。Scifinder で「azulene」を検索すると約 7500 件がヒットし、著者名ではベスト 3 が日本人である。研究件数も最近増えてきており、2010 年以降年間約 200 件に及ぶ論文が報告されており、最近研究が盛んになってきている。ちなみに、1990 年代には毎年報文は 100 件を下回っていた。

アズレンはベンゼン類と同じ芳香族化合物の一種であるが非交互炭素芳香族化合物のためベンゼンと異なる性質を示すことが多い。その 1 つに、ヘテロ原子を含まないのにかわらず大きな双極子モーメントを有するなど注目すべき性質が多い。一方、ベンゼン環に比べ合成法が限られており、合成がアズレン研究のネックになることが多い。アズレンの簡便な合成法の 1 つとしてエナミンを用いる安並法が知られており、本法はグラムスケールで大量に合成できるのがメリットの 1 つである。新規な多縮環アズレンを合成することは、光学素子などでの材料となり得る可能性も有り、研究する価値の高い分野である。

3. 期待される効果

アズレンを縮環した芳香族化合物累の合成は多くが試みられているが、その多くは 4 環が縮環した化合物に限られる。Usui らはアズレンにフェナントレンが縮環下化合物を合成しているのが最長縮環化合物である。ベンゼンが直線上に縮環した化合物群は、アセン類と称され縮環数に従って、ナフタレン、アントラセン、テトラセン(tetracene)、ペンタセン(pentacene)と命名されている。いくつかのアセン類は有機半導体としての性質を示し、たとえばテトラセンやペンタセンなどは有機半導体として知られており、この性質を利用して有機 EL などに利用されている(ex. Chen, *et al. Chem. Comm.* 2007)。しかしながら、ベンゼン環が増えていくことにより、溶媒への溶解度が極端に下がることや、酸化を受けやすくなるなど、取り扱いが難しくなるなどの問題点がある。一方アズレンの 7 員環と 5 員環が交互に縮環したアズレン誘導体は Nitta らが報告した azuleno[1,2-f]azulene のみであり、ユニークな構造を有する化合物群であるといえる。

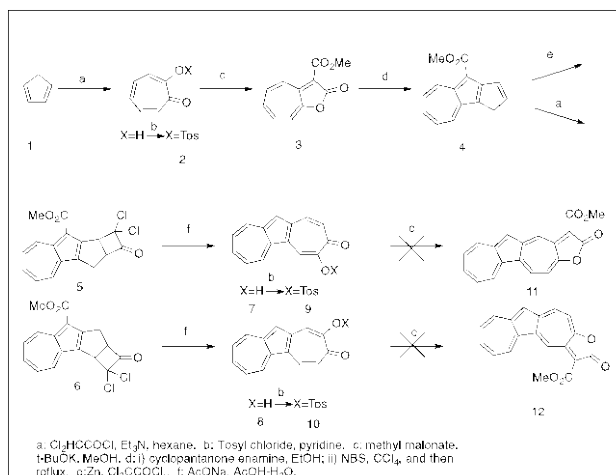


4. 研究の経過及び結果

1)アズレンが縮環したアズレン誘導体の合成

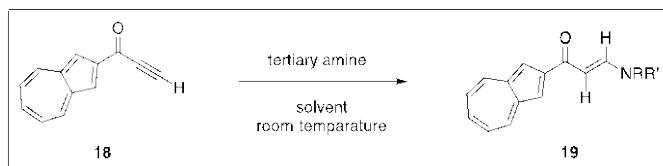
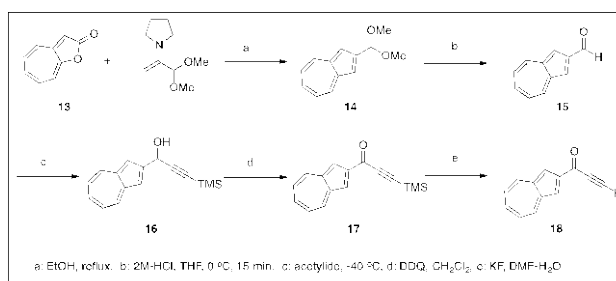
シクロペンタジエンから誘導されるアズレノトロポロン 7 および 8 は、文献記載の方法によってシクロペンタジエン 1 より合成した。これを活性トロポロン 9 および 10 とするためにトシル化を行った。トロポロンのトシル化はピリジン中室温で収率良く進行するが、アズレノトロポロンの反応性は想像以上に悪く加熱条件でのみ生成物を得られることが分かった。このトシル体 9 および 10 は新規化合物でありこれに、塩基存在下マロン酸エス

テルを作用する、常用の方法で環構築を試みた。しかしながら溶媒であるメタノールに溶解せず反応は全く進行せず、目的とする化合物 11 および 12 を確認することは出来なかった。



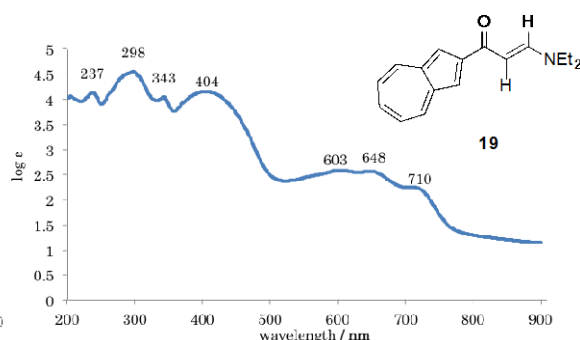
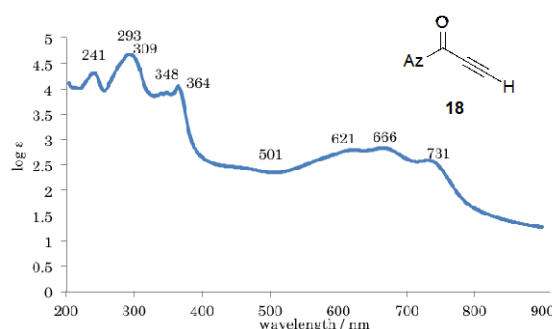
2) アズレンを含むイノン化合物を出発とする新しい反応と新しい化合物の合成

アセチレンにカルボニル基が置換した化合物をイノンと称するが、今回の研究している段階でアズレンの 2 位にイノン部を有するアズレン 18 をシクロヘプタ [b] フラン-2-オン 13 より新規に合成した。18 を Sonogashira カップリングに利用できないかを検討するため、第三級アミンである過剰量のトリエチルアミンで処理した。すると従来のアズレンと異なる色調である緑色のアズレン誘導体が高



収率で得られた (右下表参照)。この化合物の構造を詳しく解析したところ、形式的にジエチルアミンが共役付加したエナミノン 19 であることが分かった。イノンから第三級アミン処理によるエナミノン変換例は、ほとんど報告されておらず 2, 3 報が報告されているに過ぎず極めてまれな反応であることが分かった。さらに、アズレン特有の色がなくなることから、UV-可視スペクトルを測定した結果、アズレン特有の 600–800nm 付近の可視領域とは別に 400nm 付近の可視領域に大きな吸収帯が新たに観測されることが分かった。この波長帯の補色は黄色であることから、全体として緑色を呈色することが分かった。下記にイノン 18 およびジエチルアミンが付加したエナミノン 19 の UV-可視スペクトルデータを示す

Entry	Amine	Equiv.	Solvent	Time/h	Yield/%
1	Et_3N	290	toluene	1.5	88
2	Et_3N	300	CH_2Cl_2	0.1	86
3	DIEA	300	CH_2Cl_2	16	76
4	NMP	300	CH_2Cl_2	26	38
5	NEP	300	CH_2Cl_2	1.5	92



5. 今後の計画

以下の2点を検討する。

1) アズレンを含むエナミノンの合成と反応性

アズレンはベンゼンと異なり非交互炭素芳香族化合物であり、置換位置によって反応性が大きく異なることが多い。今回使用した 2-アズレニルイノン は反応性が高く、容易にエナミノンへ変換できることおよび化合物の色調が大きく異なることが分かった。他の置換位置のイノンに対しても同様な反応性を示すかについて興味を持たれる。まずアズレンの 1 位にイノン部を構築しその反応性について検討する。合わせて、合成したエナミノン部の誘導化についても検討する。一般的なエナミノンに着いての誘導化はいくつかの報告があり、ピリジン環、オキサゾール環構築などが有りこれを参考に新たなアズレン化合物の合成を行う。

2) アズレノトロポンの反応性

アズレノトロポロンは既知化合物で有り合成は可能であった。しかしながら、溶媒に溶解しにくくなることが分かった。トシル化においては溶媒であるピリジンに可溶であったが反応性は低く加熱条件下でなければ反応が進行しないことが分かった。今後、可溶性の高い溶媒、例えば DMF や DMSO などを用いた反応について検討を行う予定である。

6. 研究成果の発表

昨年度、今年度と日本化学会主催の学会において 2 件のポスター発表を行った。現在、Tetrahedron Letters 誌に投稿中である。

口頭発表

- 1) Transformation of ynone bearing azulene into enaminone and construction of a heterocyclic ring using enaminone, 山口 淳一, 杉山 さゆり, 日本化学会第 96 春季年会 (2016), 2PB-067 (京都, 2016.3).
- 2) アズレンを有するイノンへのアミンの共役付加反応, 山口 淳一, 杉山 さゆり, 日本化学会第 95 春季年会 (2015), 3PC-077 (千葉, 2015.3).

印刷論文

- 1) Conjugate addition of an ynone containing azulene with a tertiary amine, J. Yamaguchi and S. Sugiyama, *Tetrahedron Lett.* Submitted.

健康長寿を目指したシームレスな食育を実現させるための日本人の食基盤づくりに関する研究

研究者名：栄養生命科学科 饗場直美、楠木伊津美、横山知永子

1. 研究の目的

2013年から施行されている健康日本21第2次は、「すべての国民がともに支え合い、健やかで心豊かに生活できる活力ある社会の実現」をめざし、健康寿命の延伸と健康格差の縮小をするために、健康づくりのポピュレーションアプローチと同時に社会環境の改善の二面から取組が行われようとしている。健康寿命の延伸のために、特に高齢者の要介護状態を予防するための取り組みが健康寿命延伸に重要な取組とされている。高齢者の健康を保持し、要介護状態を予防すること、あるいは先送りにするためには、良好な栄養状態に保ち、身体、心理、社会的機能を維持することが不可欠である。しかしながら高齢者は老化に伴って様々な身体的機能は低下することは免れないことから、低下してくる身体機能に対応しながら適切な栄養摂取ができるような食支援が必要である。

これまで申請者らは、自立できている高齢者から要介護にいたる高齢者に対して、最後まで口から食べられるような食環境整備の在り方について検討するために、高齢者の食生活や健康状況について疫学的手法を用いて調査検討を行ってきた。人の食習慣は小さいころからの食事の積み重ねであり、その積み重ねが高齢期の食べる能力を維持することに繋がってくる。

本研究は、食をライフステージを通じてそれぞれの特性に合わせながら、継続できる食支援の構築をめざしており、日本人にとっての長寿であるための食のありかたを各ライフステージの局面から提案し、人が生涯を通じてどのような食育を受けていくのが「健康寿命延伸」につながるのか各世代で検討し、シームレス食育展開について検討する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

健康寿命を延伸させるためには、高齢者の健康を保持することに加えて、高齢者が健康に「老いる」ことが可能な食生活習慣を根付かせる必要がある。このためには、幼児・学童からの食習慣確立の時期からの生涯を通じた食育が不可欠であるが、各世代間の食育のありかたについて、人の一生を通じた食育としてつながった食育が構築されていないのが現状である。

これまで、主に食育が行き渡りにくい高齢者に対して、環境整備を中心にそのありかたについて、企業（株式会社明治、ヤクルト本社株式会社）との共同研究や他大学や国立健康・栄養研究所との共同研究によって検討してきたが、さらに健康寿命を延伸させるためには高齢者に対する環境整備だけではなく、全世代を対象としたシームレスな食育を実施するための方法論の確立と総合的な環境整備の必要がある。

申請者は、学校における食育のありかたについては、饗場が主任研究者として女子栄養大学短期大学部金田教授との共同研究(文部科研費基盤 C)において、給食を活用した食育のありかたとのその効果検証を行ってきており、給食便りが家庭での食育に影響を及ぼしていることを学会等において発表を行ってきた。

また、自立生活のできている高齢者の栄養状態について5000人のコホートを使って調査し、食行動や心的状況、栄養状態、食生活状況について基礎的データを取得し、肥満に関連する食行動を明らかにしてきた。また在宅および高齢者施設での要支援、要介護の高齢者の食生活の課題や食環境についても調査を行い、自立できている高齢者から介護の必要な高齢者について、幅広く高齢者の栄養について調査研究を行い、在宅支援を受けている高齢者の食生活状況をみると、摂食嚥下状況が低下するとともに、食生活に対してのQOLが低下してきていることを明らかにし、高齢者が抱える食の課題について明らかにしてきた。

3. 期待される効果

(1) 自立できている高齢者の食生活状況の課題の把握

高齢者の食状況の課題について検討し、健康長寿につながる食生活があきらかになる。

(2) 高齢者施設及びデイサービスを利用する高齢者の健康保持に関する研究

デイサービスを利用する在宅要支援・要介護の高齢者の健康保持のための栄養管理について明らかにする。

(3) 摂食嚥下機能障害を有している胃瘻を有する患者における栄養摂取状況と必要栄養量について

胃瘻を造設している患者を対象として、適切な栄養摂取を目指すために基礎代謝量測定による必要エネルギー量の算定と栄養摂取状況、身体状況について明らかにする。

(4) 若年成人の朝食欠食の要因についての研究

若年成人の食生活確立に影響を及ぼす食環境について検討する。

(5) 学童期における学校での給食を通した食育のあり方

学校での給食を教材とした食育のあり方について明らかにする。

4. 研究の経過及び結果

(1) 自立できている高齢者の食生活状況の課題の把握

長野県S市の総合病院の人間ドックに登録している高齢者5000人を対象として確立されたコホートに登録されている高齢者から、食事調査及び食意識等のアンケート調査を実施し、基本データを収集している。本研究においては、3日間の食事調査のデータベース化を進めている。これまで約300名の食事内容のデータベースを作成してきており、今後もデータベース完成に向けて作業を継続する。

またこれまで得られた食事内容についてBMIを朝食のパターンを解析した結果、パン食とご飯食によって朝食のパターンが異なっていることを明らかにした⁽¹⁾。

(2) 高齢者施設及びデイサービスを利用する高齢者の健康保持に関する研究

デイサービスを利用している要支援・要介護の在宅高齢者の食事状況及び身体状況を

把握するために、食事調査、身体状況（筋肉量、血液検査等）、安静時代謝量のエネルギー測定を行った。その結果、介護度が低いにもかかわらず栄養摂取状況が悪く、筋肉量もサルコペニアのリスクが高い状況であることが明らかになった⁽²⁾。

- (3) 摂食嚥下機能障害を有している胃瘻を有する患者における栄養摂取状況と必要栄養量について

リハビリテーション病院における胃瘻を造設している患者を対象として、適切な栄養摂取を目指すために基礎代謝量測定による必要エネルギー量の算定と栄養摂取状況、身体状況について検討した⁽³⁾。

- (4) 若年成人の朝食欠食の要因についての研究

大学生とその保護者に対して行ったアンケート調査をもとに、若年成人の朝食欠食の実態及びそれにかかわる環境要因について解析を行った結果、男子大学生の朝食欠食には、居住形態や朝食に対するモチベーションが関連していることを明らかにした。また、一人暮らしをしている学生は、食品の価格や利便性を重視しており、また摂取食品の種類が少なくなっていることが明らかになった。このことから、一人暮らしの学生に対し朝食摂食を進めるためには、価格や簡単に食べられる朝食提案とともに食べることの重要性についての教育が必要であることが明らかになった⁽⁴⁾。

- (5) 学童期における学校での食育のあり方

栄養教諭が導入された平成17年度からの10年間で給食がどのように変化したのかについて平成17年度、21年度、26年度の学校給食について8地域（福島、石川、富山、岐阜、滋賀、香川、鹿児島、広島）の11月の給食の食材のデータベースを作成した。

5. 今後の計画

全世代を通じて食育をシームレスに実践するための、各世代が抱える課題を明確にし、世代にあった食支援と食環境づくりについて検討を行っていく。特に、コホート研究及び学校給食の研究においては、食事データ及び給食献立データの継続的な入力により、データベースの充実を図る。またこれらまでに得られた結果を論文化する。

6. 研究成果の発表

<国内学会発表>

- (1) 牧野光沙、饗場直美、中出麻紀子、森田明美、宮地元彦、渡邊昌 佐久健康プロジェクトの摂取食品ベースデータを使った食事構成と体格との関連 第74回日本公衆衛生学会総会 長崎 2015.11
- (2) 小金井恵、殿内秀和、中村健太郎、芦田欣也、三宅（網本）理江子、楠木伊津美、時田佳代子、時田純、饗場直美 在宅要介護高齢者の栄養状態と筋肉量 第19回日本病態栄養学会 横浜 2016.01
- (3) 三橋直樹、國見友恵。高崎美幸、鈴木龍太、今西剛史、中村健太郎、殿内秀和、芦

田欣也、川島輝浩、三宅理江子、楠木伊津美、饗場直美 療養病床における全介助を要する患者の基礎代謝量実測値と Harris-Benedict 式の比較 第 30 回日本静脈経腸栄養学会 神戸 2015.2

(4) 塩沢裕也、饗場直美、中出麻紀子 居住形態による男子大学生の朝食の実態と食意識の違いについて 第 74 回日本公衆衛生学会総会 長崎 2015.11

生態系に着想を得た 社会ネットワークシステムの性能評価・最適化に関する研究

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井家 敦

1. 研究の目的

近年、細胞や昆虫等の生物の相互作用をコンピュータ上でモデル化し、それによりシステムを最適化する手法が注目されている。具体的には、蟻や蜂、コウモリといった小動物の集団行動が結果的に全体として統一された目標を果たし、それらが一種の最適化を達成していることが知られている。これらの技術はこれまでもネットワークにおけるルータの制御等への適用が試みられている。本研究では、それらの技術を用いて社会システムネットワークの1つである大規模サプライチェーン・ネットワークの最適化を実施する。また、大学内のクラウド基盤を有効活用した並列計算技術も組み合わせることで更なる効率化を図る。

2. 研究の必要性および従来の研究

本研究では、社会システムネットワークの1つであるサプライチェーン・ネットワークの効果的な最適制御アルゴリズムを提案することを目標とする。近年、IoT (Internet of Things) を物流・生産システムの運用で活用しようといった動きが注目されている。これらは多くの場合、運用側のムダをいかに IoT により低減できるかが大きな問題となる。

近年、情報通信ネットワークをはじめとした大規模なシステムの制御手法として「生態系に着想を得た (Bio-inspired)」アルゴリズムに期待が寄せられている。例えば、蟻や蜂といった昆虫の生態に注目すると、それぞれがその組織 (コミュニティ) の中で自分の役割を把握し、組織全体を効率化されるように活動していることがわかる。これらの生物の行動規範をうまく最適化アルゴリズムに組み込むことで、社会システム全体を最適化しようということである。

上述したアルゴリズムの1つである「人工蜂コロニーアルゴリズム」は2005年にD. Karabogaによって提案された。「人工蜂コロニーアルゴリズム」はミツバチの群れの採餌行動をモデルにしたアルゴリズムである。「人工蜂コロニーアルゴリズム」のサプライチェーン・ネットワークへの適用は、Szeto等が2011年にオペレーションズ・リサーチの英文誌 (European Journal of Operational Research) で実施している。Szetoらは、「人工蜂コロニーアルゴリズム」の性能について「良くもなく悪くもなく」といった考察を行っている。しかしながら、「人工蜂コロニーアルゴリズム」は従来のサプライチェーン・ネットワークの最適化アルゴリズムと比較的容易に組み合わせることが可能でさらなる性能の向上が十分に見込める。さらに近年のコンピュータのマルチコア化に対応した新たなアルゴリズムの並列化手法についても検討していく必要がある。

3. 期待される効果

情報通信・生産物流ネットワークを設計・運用する上で利用される組み合わせ最適制御問題の多くは NP 困難あるいは NP 完全問題に分類され、実用規模の問題に対し最適解を計算することは不可能とされている。本研究では、「生態系に着想を得た」アルゴリズムを用いて効率的に良解を得る方法を検討する。具体的に NP 困難問題の解法として近年注目されている「生態系に着想を得た」アルゴリズムについて、クラウド環境向きに改良し、「サプライチェーン・ネットワークの最適制御問題」への適用を試みる。大規模 NP 困難・完全問題の多くは、昨今でも最適解を得ることが事実上不可能であり、実時間で有効な解を得るアルゴリズムが依然として重要視されている。ゆえに本研究がその一助となることが期待できる。

4. 研究の経過及び結果

本研究は、平成 24 年度より開始しており、大規模なマルコフ連鎖の解法に対する文献調査はほぼ完了している。また、これまでに大規模な「サプライチェーン・ネットワーク」のシミュレーションによる最適化方法についてはある程度成果も出ており、2013 年 9 月のオペレーションズ・リサーチ学会の研究発表会および 2014 年 3 月の最適化関連の国際会議（CSCI2014）にて発表済みである。本提案では、多工程直列型の生産設備も考慮したサプライチェーン・ネットワークを考え、各期のネットワーク全体での総費用を最小化するための最適な制御パラメータの「タブー探索法」による準最適解の計算手法を考案し、その有効性を明確にした。さらに、上記の問題に対し探索手法を精査しさらなる最適探索計算の効率化を行った。この結果は 2014 年 8 月のオペレーションズ・リサーチ学会の研究発表会および 2015 年 7 月のオペレーションズ・リサーチ関連の国際会議（EUR02015）[1]にて発表済みである。この結果は現在、オペレーションズ・リサーチ関連の英文論文誌に投稿を予定している。

また、ロジスティックス問題に関連した「人工蜂コロニーアルゴリズム」の改良法についても研究を進めており、2014 年 12 月の最適化関連の国際会議（BICT）にて、発表を行った。この研究では、サプライチェーン・ネットワーク上に放射状に配置された拠点を互いにどのように結びつけることで、効率よく物品を集配送できるかを考え、その計算アルゴリズムとして、「人工蜂コロニーアルゴリズム」および「擬似焼きなまし法」のハイブリッドアルゴリズムを提案し、既存のベンチマーク試験により従来法に比べより最適解が得られやすいことを示した。この研究成果は現在、人工知能関連の英文論文誌への投稿を予定している。

一方でシミュレーションによる最適化問題以外にも確率モデルを使用した「サプライチェーン・ネットワーク」の構築法も実施しており、2015 年 9 月のオペレーションズ・リサーチ学会の研究発表会[2]にて報告済みである。この研究では、単一工程・単一品種のサプライチェーン・ネットワークを考え、それを離散時間マルコフ連鎖でモデル化した。さら

に、このモデルにおける特性として、状態数の大幅な削減法およびマルコフ連鎖の特殊構造（M/G/1 型待ち行列に帰着できること）を示した。また、そのモデルに対する数値計算についても議論済みで 2016 年 3 月のオペレーションズ・リサーチ学会の研究発表会[3]にて報告を行った。

5. 今後の計画

これまで我々が扱ってきたモデルは単純化のため、単一工程・単一品種のサプライチェーン・ネットワークのみであった。ゆえに、今後は多工程・多品種のサプライチェーン・ネットワークを考え、その性能評価法を考える必要がある。一般に、多工程・多品種を考えると問題の規模が非常に大きくなり、簡単に計算ができなくなる可能性がある。ゆえに、我々の提案としては多工程・多品種のモデルに対する単一工程・単一品種の部分問題を複数用意し、それらを順番に解くことによって最終的な解を得る手法を提案したい。また、将来的には、本学のクラウド基盤を十分に活用して問題を解くことが望ましい。

6. 研究成果の発表

平成 27 年 4 月以降、現時点までに発表・公開された研究成果は以下のとおりである。

[1] **Atsushi Inoie and Rumiko Kageshima**, ``Simulation-based parametric optimization for pull-controlled manufacturing systems," 27th European Conference on Operational Research, July, 2015.

[2] 影島 るみ子、**井家 敦**、佐久間 大「拡張かんぱんシステムの推移構造について」日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年秋季研究発表会, 2015 年 9 月.

[3] 影島 るみ子、**井家 敦**、佐久間 大「単一工程拡張かんぱんシステムの離散時間マルコフ連鎖モデルにおける数値計算法」日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年春季研究発表会, 2016 年 3 月.

線虫 *C. elegans* を用いた健康寿命延長に寄与する生理活性物質の探索と同定および機能解析

井上英樹、応用バイオ科学科

1. 研究の目的

高齢化社会において、「健康に長く生きられること」は大きな課題である。しかしながら「研究の背景」でも述べたように健康寿命の延長は高齢化社会の現在において十分果たされていない。近年、植物等に含まれる生理活性物質が生物の健康状態の向上に寄与することが知られつつある。そこで植物あるいは食材に含まれる生理活性物質のうち、特に健康寿命の延長に寄与する生理活性物質を探索、同定し、機能解析を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

健康寿命について近年広く注目されているが、健康寿命の維持に関与する生理機構はまだ十分に明らかになっていない。日本は平均寿命が男女ともに世界一である。しかしながらここ 10 年間の高齢者を対象とした厚生労働省の調査により、平均寿命は現在もなお延長されつつあるのに対し、高齢者が「健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間」(健康寿命)の延長は不十分である。このことから、日本人の平均寿命は延びているものの「不健康な期間」が延長されただけであり、平均寿命の延長が必ずしも高齢者の QOL を高めることにはなっていないといえる。このため、健康寿命を延長することは今後ますます高齢化社会を迎える日本にとって大きな課題と考えられ、「21 世紀における国民健康づくり運動」として国を挙げて取り組まれている。健康の維持には運動やストレスを受けない生活習慣が重要であるが、植物や食材等に含まれる生物由来の生理活性物質が生物の健康状態の向上に貢献することが知られている。例えばブドウの果皮などに含まれるポリフェノールの一種レスベラトロールは線虫からマウスに至る研究モデル動物の寿命延長、抗炎症、脂質蓄積抑制などの効果をもたらすことが報告されている (*Dev Cell* 9:605-15 (2005)、*Nature* 444:337-42 (2006)、*Cell* 127:1109-22(2006)) ほか、ウコンに含まれるクルクミンがアルツハイマー病の原因であるアミロイドの凝集を阻害することが知られている (*J. Biol. Chem.* 280:5892-5901 (2004))。これらは基礎的な研究に用いられる一方、有効成分は機能性食品として市販化されており、一般的にも注目されている。これら生理活性物質のように機能する、健康の維持・改善に有用な未知の生理活性物質はまだ多く存在していることが考えられる。そこで応用バイオ科学科と栄養生命科学部教員の協力を得て、線虫を用いて健康寿命の改善に効果のある生理活性物質の探索と同定を行うとともに、その分子的な作用機構について解析する。

3. 期待される効果

本研究により単離・同定した健康寿命改善に効果のあった生理活性物質の作用機序を明らかにすることで老化メカニズム解明の一助となることが期待される。また、それら生理活性物質の合成、安全性等の研究を行い健康寿命の改善に寄与しうる機能性食品の開発が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

各植物の乾燥末を、ソックスレー抽出器を用いてメタノールによる加熱還流抽出を行った。得られた抽出液は減圧濃縮を行った。最初に、粗抽出液を用いて、線虫の抗ストレス、寿命延長能に着目してスクリーニングを行った。その結果、ガジュツ (*C. zedoaria*)、フィーバーフュー (*T. parthenium*)、バナナ (*Musa spp*) 等の粗抽出液が抗ストレスおよび寿命延長作用を持つことを見出した。続いて、それぞれの粗抽出液について脂溶性、水溶性、両親媒性に分画し、どの画分に生理作用があるかを解析した。その結果、ガジュツおよびフィーバーフューは脂溶性および両親媒性画分に、バナナは水溶性画分に生理作用があることを見出した。

続いて、ガジュツに含まれる生理活性物質の寿命やストレス応答等についての作用機序に関して線虫および哺乳動物培養細胞を用いて解析を行った。線虫の寿命はインスリンシグナルによって調節されている。インスリンシグナルはインスリン受容体がインスリンあるいはインスリン様ペプチドを受容することで活性化し、転写因子 FOXO/DAF-16 の細胞内局在を制御することで抗ストレス、寿命制御、および代謝等を直接制御する遺伝子の転写調節を行う。ガジュツ抽出液による線虫の寿命延長は野生型ではみられるものの、DAF-16 変異体での寿命延長はみられなかった。また、DAF-16 下流で転写誘導される寿命延長に関与する遺伝子群は、ガジュツ抽出液の刺激によって DAF-16 依存的に誘導されることをリアルタイム PCR によって明らかにした。これらの結果から、ガジュツ抽出液の寿命延長はインスリンシグナルに依存することが示唆された。続いて、各ガジュツ抽出液の寿命延長作用を調べたところ、平均寿命の延長が両親媒性画分で顕著であった。現在、両親媒性画分中の寿命延長に関与する生理活性物質の単離同定を試みている。脂溶性画分はインスリンシグナルに弱い影響を与える一方、ストレス応答に関与する p38 MAP キナーゼカスケードを強く活性化することをウェスタンブロッティングにより明らかにした。MAP キナーゼカスケードはストレス応答、アポトーシス、細胞の増殖や分化を制御するシグナル伝達経路である、p38 の他にも JNK や ERK といった MAP キナーゼカスケードがあるが、ガジュツの脂溶性画分はこれらの活性には影響を及ぼさなかった。p38 MAP キナーゼカスケードは転写因子 Nrf2/SKN-1 を強く活性化し、GCS 等抗ストレス遺伝子の転写を誘導する。ガジュツ各画分で刺激した線虫におけるこれら抗ストレス遺伝子の転写を調べたところ、脂溶性画分で転写量の増大が確認された。

さらに、以上の結果について、ヒト培養細胞においても同様のシグナル伝達経路が活性

化するかについて検証を行った。293T 細胞の培養培地にガジュツ抽出液を添加し、MAP キナーゼの活性化や、p38 MAP キナーゼ経路およびインスリンシグナルの標的遺伝子について解析した。その結果、ヒト培養細胞においても線虫と同様、脂溶性画分によって p38 MAP キナーゼが強く活性化することや、脂溶性画分および両親媒性画分でインスリンシグナル標的遺伝子の転写増加が確認され、ガジュツ抽出液の生理活性作用は種を超えて共通することが示唆された。現在考えられるモデルを図 1 に示す。

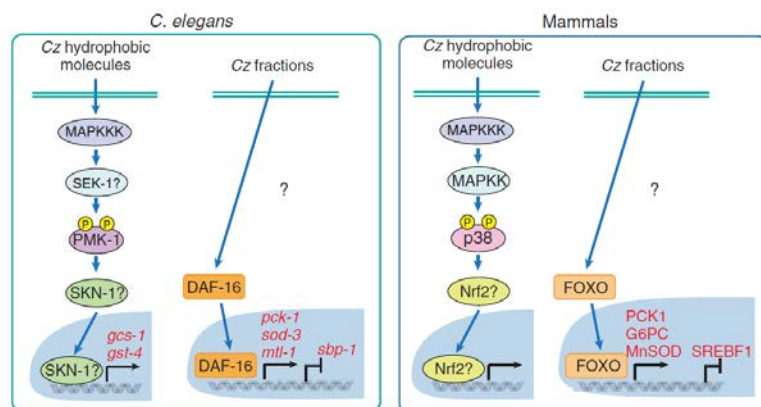


図 1：ガジュツ抽出液は種を超えて p38 MAP キナーゼ経路とインスリンシグナル経路に影響を及ぼす

老化した線虫は人間と同様代謝の低下がみられ、脂質の蓄積が増加する。ガジュツ粗抽出液は加齢線虫の脂質蓄積を強く抑制することを脂質染色によって確認した。さらに、各画分の脂質蓄積作用を調べた結果、脂溶性および水溶性画分で脂質蓄積抑制がみられた。脂質合成に関与する遺伝子の転写を調べたところ、脂溶性および水溶性画分で抑制した。このことから、ガジュツ抽出液中の生理活性物質は脂質合成を抑制することで加齢した線虫の脂質蓄積を抑制することが示唆された。

5. 今後の計画

現在、ガジュツ抽出液をはじめ明らかな生理作用がみられたものについて、抽出液に含まれる生理活性物質の単離同定を最優先に行う。フィーバーフューやバナナ抽出液についてもガジュツ抽出液と同様、線虫および哺乳動物培養細胞を用いてインスリンシグナル経路をはじめとするシグナル伝達経路への関与を解析する。さらに、壮年期以降の線虫においてどのように健康寿命が維持・延長されるのかについて細胞生物学および生理学的な解析を行い、明らかにする。これとともに、細胞分裂回数に限度があり細胞老化がみられる正常繊維芽細胞を用いて、ガジュツ抽出液をはじめとした抽出液中の生理活性物質が細胞老化の抑制に関与するかについて、老化関連酸性 β -ガラクトシダーゼ (SA β -Gal ; senescence associated β -galactosidase) 活性や脂質蓄積といった老化マーカーを利用して解析を行う。さらにその先では、マウスを用いて哺乳動物個体レベルでの生理活性物質の

影響について、マウス飼料に生理活性物質を添加し、壮年期以降のマウスの運動機能や代謝機能の変化について解析を行う。

6. 研究成果の発表

①高木智也、近藤雄太、廣瀬浩太郎、有水一将、今井和希、井上英樹 線虫 *C. elegans* を用いた、健康寿命延長に寄与する生理活性物質の探索 神奈川県ものづくり技術交流会 (2015 年 10 月、神奈川県産業技術センター)

②Tomoya Takagi, Chihiro Kajiware and Hideki Inoue Functional analysis of extract of *C. zedoaria* on stress resistance and aging in *C. elegans* 日本分子生物学会、日本生化学会合同大会 (BMB) (2015 年 12 月、神戸国際会議場)

バイオテクノロジーを利用したホホバ (*Simmondsia chinensis*) 雌株の選択的増殖技術の開発

研究者名：応用バイオ科学科 岩本 嗣

1. 研究の目的

世界規模で拡大しつつある砂漠化は、人類にとって深刻な問題であり、食糧を海外からの輸入に頼っている我国にとっては、対岸の火事と見過ごすわけにはいかない。これまで、国際援助等により、砂漠の緑化が試みられてきたが、経済的に価値の低い緑化樹は、援助が途絶えると薪として伐採される運命にある。提案者は、経済的価値が高い緑化樹の候補としてホホバを提案する。

ホホバはアメリカ原産、アリゾナ砂漠に自生する乾燥に極めて強い植物である。種子中に極めて高価な化粧品原料であるホホバオイルを含み、ジェットエンジンやハイブリッドエンジンの潤滑油、医療用オイルとして用途が拡大しつつある。

提案者は、エジプトのホホバ栽培状況を視察したが、雌雄異株で種子を生産できる雌株が約 4 割と少なく、種子を播いてから開花するまで最低 4 年を要し、開花まで雌雄判別ができない。また、雌株個体間で収量のばらつきが大きいので、収穫開始後に 5 年間の雄株の 95%と雌株の約半数を伐採しており、生産効率が極めて低い。そのため現地では、エリート雌株の大量供給を求める声が多い。そこで、緑化の妨げとなっている雌株率の低さや個体間の収量のばらつきによる生産効率の低さの解決を目指す。具体的には、雌株の判別ならびに選択的増殖技術、エリート雌株の大量増殖技術の開発を目指すものである。

2. 研究の必要性及び従来研究

種子繁殖によるホホバの植林は世界各地で行われているが、種子由来の実生株は実用形質がばらけるため、収量性、ホホバオイル品質等に優れた系統の増殖には利用できない。また、種子を生産できる雌株が約 4 割と少なく、種子を播いてから開花するまで最低 4 年を要し、開花後に雄株を大量伐採するため、緑化効率が極めて悪い。一方、組織培養や挿し木による雌株優良系統の増殖が試みられているが、発根・順化率が低く、効率が悪いので、新たな技術の開発が望まれている。

3. 期待される効果

本研究課題において、発芽種子の子葉から抽出した DNA を用い、雌雄を早期判定できる DNA マーカーを開発できれば、圃場に定植する時点で、雌雄比率を決めた計画的緑化が可能となる。また、組織培養や挿し木の技術が確立できれば、収量性、ホホバオイル品質等に優れたエリート雌株の大量繁殖が可能となる。

4. 研究の経過及び結果（平成 27 年度）

4-1.雌雄の早期判定

ホホバ新葉を材料に用い、CTAB 法により全 DNA を抽出し、RNase 処理後に濃度を 25 μ g/mL に調整した。2 μ L を鋳型 DNA に供試し、Taq ポリメラーゼを用いた PCR を行い、雌雄を判別するプライマーの検討を行った。

PCR による鋳型 DNA の増幅には、Taq ポリメラーゼの中で、GoTaq ポリメラーゼが有効で、21mer と 20mer の 2 種類のプライマー（プライマー 1 : ACT GAC TTG TTT CTG ATG GAG、プライマー 2 : CCC TCC CAG ATA AAC CCT TT）を用い、94 $^{\circ}$ C 4 分の保持後、94 $^{\circ}$ C 30 秒、60 $^{\circ}$ C 30 秒、72 $^{\circ}$ C 1 分で 35 サイクル増幅後、72 $^{\circ}$ C 10 分保持する条件で、雄株にのみ増幅され、雌株には増幅されない雄株特異的なバンドを検出することができ（図 1）、間接的に雌株を同定することが可能となった。一方、雌株にのみ増幅され、雄株には増幅されないバンドを検出できるプライマーの検討を行ったが、雌株特異的なバンドを検出するプライマーは、今年度は見つからなかった。



図 1 雄株特異的なバンド

4-2.挿し木による栄養繁殖

4-1. で雌株と判定されたホホバを材料に供試し、挿し木に適した培土を選定するため、鹿沼土、砂、培養土、バーミキュライトを混合した培土を用いて挿し木を検討した。当研究室で栽培中のホホバの枝を頂芽から数えて 4 節下の節間で切断して挿し穂を採取し、基底から 1/3 までの本葉を取り除いて挿し穂を調整した。培土に挿し木する直前に、枝の基底を鋭利な剪定ばさみで切り戻し、10,000 mg/L の濃度の IBA 溶液に 5 分間浸漬した（図 2）。その後、蒸留水で洗浄して IBA 溶液を除去し、培土に挿し木した。

挿し木後はポリ容器内で 90%以上の湿度を保ちつつ（図 3）、24 $^{\circ}$ C、2,000 lx、16 時間日長の恒温室内で栽培した。挿し木 2 週間後から段階的に湿度を下げ、挿し木 3 ヶ月後に、植物体の発根率、発根数、根長、活着率を記録した。



図 2 調整した挿し穂



図 3 挿し穂の栽培



図 4 挿し穂からの発根

鹿沼土と砂は排水が良すぎるため、単体での使用はホホバの発根には適さなかった。一方、培養土に鹿沼土または砂を混合すると発根が認められ（図 4）、特に、培養土と砂を 1 : 1 に混合した培土と培養土と鹿沼土を 1 : 1 に混合した培土において、40%以上の発根率、30-40%の活着率を得ることができた。特に培養土と鹿沼土を 1 : 1 に混合した培土では、挿し穂あたりの発根数 9.3 本、根長 4.8 cm と高い値を示し、発根した個体は全て活着し、良好な生育を示したことから、ホホバの挿し木に適した培土と考えられる。

4-3.組織培養による栄養繁殖

ホホバの成熟した本葉と若い本葉を 70%エタノールで 1 分殺菌後、有効塩素濃度 1%の NaClO 溶液で 10、20、30、60 分間殺菌し、その後、滅菌蒸留水で洗浄した。表面殺菌した本葉から 5 mm 角の外植体を切り出し、2%スクロース、2.0 mg/L 2,4-D、0.5 mg/L BA、100 mg/L カゼイン加水分解物を加えた MS 寒天培地に置床した。置床した外植体は 24°C、2,000 lx、16 時間日長の恒温室で培養し、1 ヶ月後にコンタミ率、生存率、枯死率、カルス形成率を記録した。

成熟した本葉において、カルス形成率は 30 分区が 87.5%と最も高く、コンタミも生じなかったが、殺菌時間を 60 分に延ばすと、カルス形成率が 50.0%に低下するだけでなく、枯死する外植体も認められた。成熟した本葉に対し、若い本葉は NaClO を用いた殺菌に弱く、殺菌時間 30 分区で、半数の外植体が枯死した。

以上の結果から、成熟した本葉を用い、70%エタノールで 1 分、有効塩素 1%の NaClO 溶液で 30 分表面殺菌することにより、無菌のカルスを効率的に得ることが出来た。

5. 今後の計画

今後は、雌株特異的なバンドを検出できる DNA マーカーを探索し、直接的な雌株の同定を目指す。また、培土の混合比率を詳細に検討し、挿し木の効率を上げるとともにカルスからの植物体再生を行い、ホホバ雌株優良株の栄養繁殖の確立を目指す。

6. 研究成果の発表

- 1) Yuzuri Iwamoto, Naoki Wada, Suguru Tsuchimoto, Kiichi Fukui: Approach of the selective propagation of *Jojoba* female line, International Symposium of *Jojoba* in Egypt., Sadat City University.
- 2) Yuzuri Iwamoto, Kayo Yoshimatsu, Nobuo Kawahara: Propagation of *Scutellaria baicalensis* Georgi, 9th International Symposium 'Exploring the global sustainability-Advances in Plant Biotechnology for Agriculture in Semi-arid land'.

竹繊維強化積層板の衝撃曲げ特性に関する基礎研究

研究者名：所属学科 氏名 自動車システム開発工学科 宇田 和史

1. 研究の目的（2年計画の2年目）

衝撃三点曲げの支持条件下で 3 種類の着力点について衝撃弾性曲げおよび塑性曲げを行う。上述した積層数 N 値と繊維配向角 θ_f 値を組み合わせた積層構成の基で、動的ひずみ履歴を計測した破壊時の最大たわみ y_p を求めて、衝撃力吸収性能が高い積層構成を見出す。その後、衝撃片持ち曲げの結果と併せて総合的にまとめて、竹繊維強化積層板衝撃力吸収材料設計マップを提示したい。

2. 研究の必要性及び従来研究

(1) 研究の必要性

FRP (Fiber Reinforced Plastics) 材の比強度／比剛性は極めて高いために航空機を中心に広く用いられている。一方で価格も高く製造時には多大のエネルギーを消費し、さらに廃棄に至っては循環型ではなく課題が多い。それに対して、比強度／比剛性の点では FRP 材に劣るものの低荷重下での使用を前提とした竹繊維強化積層板は、製造時は自然に対して極めて低負荷であり、廃棄については完全に循環型である。よって、これからの時代に適合した植物繊維製の新しい構造材料として本強化積層板の開発が急務である。

そこで、これまでに得た静的曲げ特性及び衝撃片持ち曲げに続いて衝撃三点曲げ特性を実験的に検討して、衝撃力の吸収性能を明らかにする。

(2) 従来研究

効率的な材料設計を行うために必要な、積層数(N)および繊維配向角(θ_f)における剛性と強度を、静的曲げ実験を行って得た結果を表にまとめて示すことが出来た。

さらに衝撃片持ち曲げ実験行って、以下の結果を得た。

積層構成を $\theta_{f0} = [0/0/0/0]$ 、 $\theta_{f45} = [45/0/0/-45]$ および $\theta_{f90} = [90/0/0/-90]$ の竹繊維強化積層帯板 (BFRS : Bamboo Fiber Reinforced Laminated Strips)と、竹の一方向繊維集成材 θ_{BLLS} (BLLS : Bamboo Laminated Lumber Strips)の試験片を用いて、着力点を3種類とした片持ち支持の条件で衝撃負荷を与えた。主たる結果は、以下の通りである。

- (a) 着力点及び積層構成によらず、衝撃塑性曲げ変形量 Y は衝撃速度 V に対してほぼ直線的に増加している。
- (b) 着力点が最も自由端に近い場合は、 θ_{f45} 及び θ_{f90} の衝撃負荷中の最大振幅 W_{max} 値は衝撃負荷速度 V 値の増加に伴い非線形的に増加している。一方、着力点が帯板の中央部に移動すると、 W_{max} 値は V 値の増加に伴い直線的に増加している。

- (c) 衝撃力吸収能力を初期ひずみパルスの時間積分値 S で見た場合、 S 値は着力点が帯板の中央部から自由端に近くなるに伴い直線的に増加する。
- (d) 本実験範囲では弾性及び塑性域における衝撃力吸収能力は、積層構成を θ_{f45} および θ_{f90} 等の繊維を斜交配向した方が大きくなった。
- (e) 上記の結果を、PBL 教育に適用して超小型電気自動車 pico-EV (後に、Personal Green Mobility: PGM) の開発に適用して実用化の見通しを得た。

3. 期待される効果

- (1) 加工時のエネルギーが少量である竹は、大気汚染、温暖化等々の自然破壊因子が極めて少ない。
- (2) 竹は耐用後に自然へ戻って土の肥料になるため、自然破壊因子は零である。
- (3) 竹の比強度および比剛性が金属やアルミニウム材料よりも大きいことが期待出来、よって軽量化が期待出来る。
- (4) この様な竹繊維強化積層板を用いれば、住宅建築部材としても活用出来る。
- (5) 家庭で竹繊維強化積層板を製作出来る。

4. 研究の経過及び結果

(1) 研究の経過

上記 2. (2) の衝撃片持ち曲げと同一の積層構成 $\theta_{f0} = [0/0/0/0]$, $\theta_{f45} = [45/0/0/-45]$, $\theta_{f90} = [90/0/0/-90]$ の竹繊維強化積層帯板 (BFRS : Bamboo Fiber Reinforced Laminated Strips), および竹の一方向繊維集成材 θ_{BLLS} (BLLS : Bamboo Laminated Lumber Strips) の試験片を用いて、着力点を 3 種類とした衝撃三点曲げ実験を行った。

(2) 研究の結果

衝撃三点曲げにおける主たる結果は、以下の通りである。

- (a) θ_f 値は、衝撃弾性曲げにおけるひずみ波形の立ち上がりから終了時刻 τ までの積分値 S に大きく影響する。 θ_{f45} と θ_{f90} では、同一の衝撃負荷質量 M 値と衝撃速度 V 値における各着力点の S 値は θ_{BLLS} と θ_{f0} よりも大きい。
 - (b) V 値の増加に伴う塑性曲げ変形量 Y は、さほど増大しないうちに材料が破断した。
 - (c) V 値の増加に伴って W_{max} 値は増大するが、同一の V 値に対して着力点の影響は小さく、 θ_{f45} と θ_{f90} の方が θ_{BLLS} と θ_{f0} よりも大きい。
- (3) 衝撃片持ち曲げ及び三点曲げの結果 (過去 2 年間のまとめ)

衝撃曲げを受ける竹繊維強化積層板の動的変形挙動について、実験的に検討した。主たる結果は次の通りである。

- (a) 衝撃弾性曲げでは、ひずみの最大値 ε_{max} は支持条件によらず着力点迄の距離に関わらずほぼ同一の大きさとなるが、衝撃吸収量はその距離にほぼ比例している。

- (b) 衝撃塑性曲げでは、片持ち曲げの塑性変形量 Y は、 θ_f 値によって着力点迄の距離に伴って直線のおよび曲線的に変化をしている。
- (c) 動たわみの最大振幅 W_{max} は着力点によらずほぼ同一の大きさであり繊維配向角 θ_f の影響は小さい。
- (d) 着力点迄の距離と θ_f 値を考慮することにより衝撃吸収部材としての設計が可能であり、本研究の実験範囲では θ_{f45} の積層構成が合理的と考えられる。
- (e) 竹繊維強化積層板を超小型電気自動車 pico-EV (後に, Personal Green Mobility: PGM) の開発に適用した結果、実用化の見通しを得た。

5. 御礼とおわび

2016 年度にて定年退職ゆえ、今年度推進中の課題を以て終了であります。

竹の繊維を長い寸法で活用して繊維強化積層板とした本研究は、現在の処、他に例を見ない様であります。お陰様を持ちまして、学生諸氏の力を借りつつ僅かながら研究成果を出せたのではないかと考えます。大変ありがとうございました。

なお、2015 年度に配分して頂きました研究費につきまして、当初予定していた論文投稿が出来ず、ひいては経費を余らせて多くの研究者にご迷惑をお掛けすることとなり、大変申し訳ありませんでした。ご容赦下さい。

6. 研究成果の発表

(1)	<u>Kazufumi UDA</u> , "Relationship Between Fiber Orientation Angle and Static Bending Characteristic of Laminated Bamboo Plates", 20th International Conference of Composite Material (ICCM20) in Copenhagen, Denmark, 1108-2, pp.1-10, 2015.
(2)	<u>宇田和史</u> , "植物繊維材料を用いたホームメイド Personal Green Mobilityへの試行", 設計工学, Vol. 51, No. 3, pp. 22-27, 2016.
(3)	<u>宇田和史</u> , 亀井延明, " 航空機を用いた広域植樹における種子投下用ポット多量分散植樹装置の試作", 日本材料学会第65期学術講演会講演論文集, 富山大学 五福キャンパス, pp. 233-234, 2016.
(4)	<u>宇田和史</u> , 亀井延明, " 植物繊維材料を用いた柔軟軽量構造体の試作", 日本材料学会第65期学術講演会講演論文集, 富山大学 五福キャンパス, pp. 235-236, 2016.
(5)	<u>宇田和史</u> , 亀井延明, "竹・強化段ボール・紙管を用いた Personal Green Mobility: PGM の一提言", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016「未来社会を創造するロボティクス・メカトロニクス」(ROBOMECH2016 in Yokohama) パシフィコ横浜, 2P1-09b5, 2016.

上記の (1) ～ (5) の印刷物を添付します。ご査収下さい。

以上

ナノ・バイオ物質の構造・機能・電子状態の相関関係の計算科学的研究

基礎・教養教育センター 神谷克政

1. 研究の目的

産業・製薬分野での応用がはじまっている酵素タンパク質は、その反応場に優れた触媒特異性を持つが、より一層の活用には使用目的に応じた反応場の制御が重要な課題である。本研究では、タンパク質の反応場を中心に研究し、その知見を基にナノ物質の反応場を研究することで、両者の反応場の共通項と相違点を解明する。それらの知見に基づき、ナノ・バイオ物質群がつくるナノ反応場を統一的に理解するためのフレームワークを提唱する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

酵素に代表される触媒機能を有する生体物質は、従来の発酵・醸造分野での利用に加え、様々な産業・製薬分野で活用されている[Nature, 485(2012)]。例えば、有用物質や薬剤の合成や、生分解性プラスチックなどの環境負荷の少ない人工化合物の分解がある[Nature, 409(2001)]。さらに近年では、分子工学技術の進展に伴い、酵素活性の向上などの機能改変も可能になっている[FEBS Lett. 580(2006)]。このような酵素の高い有用性は、酵素タンパク質がもつ反応場が、一般の有機合成反応より温和な条件下で省エネルギー的な化学反応を引き起こす場であることに加え、特定の物質だけに作用する基質特異性や、特定の反応だけを触媒する反応特異性など、極めて高い触媒特異性をもつためである。この結果、生産プロセスなどを、低エネルギー、低公害で安全なものに変えることが可能となる。今後のより一層の活用には、使用目的に応じたタンパク質の反応場の制御が重要な課題である。

元来、タンパク質の反応場は進化の過程で環境に適応するように生物が獲得したものである。例えば、動植物や微生物に広く存在するタンパク質分解酵素は、その反応場に触媒3残基と呼ばれる3つのアミノ酸が存在する[Science, 224 (1984)]。これらのアミノ酸は、基質分子に原子レベルで順序よくアタックすることで分解反応を引き起こす。触媒3残基は、長い進化の過程で生物が獲得した分解反応に適したアミノ酸の組み合わせであるため、高等生物からバクテリアまで多様な生物の分解酵素で保存されている。

驚くべきことに、この反応場をより高次に制御させ人工化合物に対する分解能を獲得したバクテリアが発見された[Nature, 306(1983)]。このバクテリアは、ナイロン繊維合成工場近くの土壌中で発見され、ナイロン繊維合成の際に生じる副生成物（ナイロン副生成物）を分解して栄養源の炭素や窒素を得る。ナイロン副生成物のような人工化合物は、天然に存在する化合物とは異なった化学構造を持っているため、生物にとっては元来分解しにくい物質である。これを可能としたのは、このバクテリアがもつ分解酵素（ナイロン副生成

物分解酵素)の反応場に、触媒3残基に加えてチロシンというもう1つのアミノ酸が存在するためと予想されていたが[JMB, 370(2007)]、その詳細は明らかになっていなかった。

最近申請者は、量子論的シミュレーションの手法により、当該酵素の反応場の制御は、反応場を直接駆動するアミノ酸群(触媒3残基)が新たに付加されたアミノ酸と電子レベルで協調することが重要であることを明らかにしつつある[JPCL, 5(2014)]。この研究は国内外で注目され、日経バイオテク ONLINE の記事[2014. 4. 19 付]や、米化学会(ACS)のWebスライド集であるACS LiveSlides]に掲載された。これらの研究結果から、タンパク質の反応場の制御法の解明には、反応場の構造と機能を電子論的観点から原子レベルで解明するアプローチが有効であるといえる。そのさらなる学問的な有効性は、得られる知見が生体分子以外のナノ物質における反応場にも拡張可能である点にもある。実際、申請者はこれまで、生体分子系に加え[JACS, 129(2007)]、有機合成反応系[JPCA, 116(2012)]や次世代ナノ材料系[APL, 100(2012)]に対しても、電子論に基づく構造・機能相関を原子レベルで解明することで、複雑な反応機構の共通項を研究してきた。

3. 期待される効果

本研究の学問的な特色は、タンパク質がつくる反応場とナノ物質の反応場との比較研究から、ナノ・バイオ物質群での反応場の特性を統一的に解明し、タンパク質反応場に対する電子論的な観点からの新たな制御法や、応用目的に応じた反応場制御の指針を提案することが可能な点にある。このような統一的なアプローチが可能となるのは、生体反応に代表される複雑な化学反応系への量子シミュレーション技術の大きな進展[2013 年ノーベル化学賞]に加えて、これまでの申請者の様々なナノ・バイオ物質群に対する量子シミュレーション研究の豊富な経験によるものであり、これが本研究の非常に独創的な点である。本研究の社会的意義は、本研究結果が酵素の様々な産業への応用に直接的な知見を与えることが期待される点にある。加えて、生物触媒の分野などで挑戦的な課題の1つとなっている計算機によるタンパク質デザインに対しても影響を与えることが予想される[Nature, 485(2012)]。さらに、本研究による量子論に基づく反応場解析のスキーマの確立により、タンパク質の反応場制御が合理的に可能となれば、遺伝子治療や新しい医薬品の開発などに結びつく可能性も期待される。この意味で、本研究は社会的要請が非常に強い課題であると同時に、その成果に対する社会的インパクトも大きく、将来的に社会に還元可能である。

4. 研究の経過及び結果

本年度は、タンパク質の反応場の例として、ウリジン-シチジンキナーゼを取り上げた。この酵素は、ウリジンとシチジンのリン酸化を触媒し、核酸の分解によって生じた塩基などがヌクレオチド合成に再利用されるサルベージ経路において重要な酵素である。この酵素の反応場における基質特異性の研究を筑波大学の研究グループと共同で進めた。その結

果、本酵素の反応場における水素結合ネットワークの重要性が見出された[発表論文 1]。これは、これまで申請者が研究してきた別の酵素でも見られた反応場の特徴でもある。すなわち、近年に発見された 6-ナイロン工業副産物（ナイロンオリゴマー）を分解する酵素であるナイロンオリゴマー分解酵素では、その反応場に従来のペプチダーゼ系で見られる反応場とは本質的に異なる水素結合ネットワークが見出され、それが人工化合物の分解能を発現する[JPCL, 5(2014)]。

また、ナノ物質中の反応場の重要な例として、次世代パワーデバイスの候補の 1 つである SiC-SiO₂ を取り上げた。SiC/SiO₂ 系において、水素アニーリングは欠陥を抑制する効果があるが、これによりデバイス特性を悪化させる何らかの可動性の陽イオンが生じる欠点があった。一方、SiC/SiO₂ 系の界面付近には、C03 様の欠陥が生じていることが我々の過去の研究から予想されていた。タンパク質の反応場と比較すると、C03 は周囲の環境に応じて水素イオンの授受を行なう可能性がある。そこで、SiC/SiO₂ 系の可動性イオンが水素イオンであるかどうかを、量子論的シミュレーションの手法により解析した。その結果、可動性イオンは水素イオンであり、電圧を加えることで、C03 様の欠陥から SiO₂ 中のバルク中へ水素イオンが移動してデバイス劣化を引き起こすことがわかった[発表論文 2]。

5. 今後の計画

今後は、タンパク質がつくる反応場の重要な例として、人工物質を分解する酵素（ナイロン副生成物分解酵素）をとりあげる。ナイロン副生成物分解酵素によるナイロン副生成物やエステル分解／合成反応において、異なる反応場における種々の反応活性種や中間体の同定も行う。本酵素の特徴である反応場の動的変化と、種々の基質分子に対する分解／合成反応との相関関係を、第一原理分子動力学法により解明する。ナイロン副生成物やエステルなどの様々な基質に対する当該酵素の反応機構を、異なる反応場中でそれぞれシミュレートして種々の中間体を同定する。得られる自由エネルギー活性化障壁を実験値と比較し、計算結果の妥当性を検討する予定である。さらに、上記以外のナノ・バイオ系の反応場に対する解析も進めていく予定である。

6. 研究成果の発表

以下の学術論文を発表した。

- Wataru Tanaka, Mitsuo Shoji, Fumiaki Tomoike, Yuzuru Ujiie, Kyohei Hanaoka, Ryuhei Harada, Megumi Kayanuma, Katsumasa Kamiya, Toyokazu Ishida, Ryoji Masui, Seiki Kuramitsu, Yasuteru Shigeta, “Molecular Mechanisms of Substrate Specificities of Uridine-Cytidine Kinase” *Biophysics and Physicobiology*, 13, 77-84 (2016).
- Hiroki Shirakawa, Katsumasa Kamiya, Masaaki Araidai, Heiji Watanabe, and Kenji Shiraishi, “Origin of the unidentified positive mobile ions causing the bias

temperature instability in SiC-MOSFETs and their diffusion process", Applied Physics Express, 9, 064301 (3 pages) (2016).

動物実験モデルを用いた唾液の機能性に関する研究

応用バイオ科学部 応用バイオ科学科 栗原 誠

1. 研究の目的

唾液は口腔内環境を良好な状態に維持する重要な役割を担っている。唾液分泌能の低下は口腔乾燥症を招き、口内炎、う蝕などの様々な口腔トラブルの他、嚥下障害を招くことが知られている。唾液分泌能の評価は専ら唾液流量（単位時間当たりの唾液量）に基づいており、唾液流量は口腔乾燥症を診断する指標になっている。一方、少ないながらも唾液分泌能を有し、口腔乾燥症とは診断されない患者が口の渇き（ドライマウス）を訴えるケースがある。また、口腔乾燥症に伴って発症した口内炎が極めて重篤化するケースもあれば、重篤化しないケースもある。このように、口腔内の乾燥に伴って生じると考えられる口腔内トラブルは、唾液分泌量の低下のみでは説明できない場合がある。

申請者は、唾液の機能維持には「唾液の量」のみならず、「唾液の質」も重要ではないかとの仮説を立て、本研究に着手した。唾液には電解質、消化酵素、ホルモンの他、生体防御に関わるリゾチーム、分泌型 IgA、粘液糖タンパク質（ムチン）などが含まれており、これら成分の種類や濃度が唾液の質を左右すると考えられる。本研究ではムチンを主なターゲットとし、唾液におけるムチンの役割を精査し、唾液の質と口腔粘膜疾患との関連性の有無を明らかにすることを目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

申請者はモノクローナル抗体を用いて粘液の主要成分であるムチンを同定し、消化管の恒常性の維持や粘膜傷害からの治癒過程における各種ムチンの役割について研究している。これまでに、固有の糖鎖構造をもつムチンが消化管の部位や層に局限して発現していること（*Glycoconj J* 13: 857-864, 1996; *Biochem J* 318:409-416, 1996; *Biomed Res* 23:63-68, 2002; *J Biochem* 133:453-460, 2003 他）、また、ラット急性胃粘膜傷害モデルの治癒過程においてある種のムチンが特異的に発現すること（*J. Gastroenterol.* 39:113-119, 2004）などを明らかにし、特定のムチンが生体内環境に応じて機能していることを示した。

唾液ムチンは唾液に粘性を付与することで粘膜残留性を高め、唾液による粘膜防御バリアの形成に寄与する他、抗菌作用を発揮して粘膜防御に働いていると考えられる。ヒト唾液に対するこれまでの研究では、唾液ムチンは MUC5B や MUC7 といったペプチドコアの違いの他、糖鎖構造の異なる様々なムチンの存在が示唆されている。唾液に含まれるムチン分子種の違いが唾液の粘膜防御能に影響を及ぼす可能性は十分に考えられる。しかし、このような基礎研究をヒトを対象に行うのは、唾液分泌能の低下した患者から唾液を採取するといった倫理面の問題があり、また、ヒトでの研究は要因が複雑で個体差が大き

く、唾液腺組織の状態も把握できないなど、困難な課題が多い。そこで本研究では、実験動物としてラットを選定し、新たに動物実験モデルを構築して研究を進めることとした。

3. 期待される効果

口腔乾燥症と唾液成分（sIgA、総タンパク質など）との関係については報告されているが、唾液ムチン、殊にムチン分子種の **population** の観点からその関連性を検討した例は見当たらない。動物実験モデルにて関連性を証明できれば、ムチン産生の観点から当該病態を捉えることができる。本研究はヒト口腔粘膜傷害の発症機序の解明や、予防・治療法の開発研究に貢献できると考えている。

4. 研究の経過及び結果

1) ラット唾液腺ムチンに対するモノクローナル抗体の作製

唾液ムチン分子種の同定、検出、定量を行うにはモノクローナル抗体が有用であるが、抗ラット唾液ムチン抗体は市販されておらず、また、当研究室がこれまでに樹立した抗ムチン抗体ライブラリーの中にラット唾液腺由来ムチンと反応する抗体は見出せなかった。そこで、新たにラット唾液ムチンを認識するモノクローナル抗体の作製を試みた。

ラットの唾液はごく少量しか採取できないため、免疫原とするムチンは唾液からではなく、唾液腺組織から抽出、精製することとした。8週齢雄性 Fischer 系ラット 31 匹から摘出した唾液腺組織 7.9 g を 50 mM Tris-HCl 緩衝液 (pH 7.2) 中でホモジネートした後、遠心分離 (20,000 rpm, 4 °C, 30 min) により上清液を分取した。得られた上清液をエタノール沈殿法により分画し、エタノール濃度 33~70 % で沈殿した画分 (0.344 g) を得た。得られた画分をさらにゲル濾過 (図 1)、次いで、CsCl 密度勾配遠心法により分画し (図 2)、分子量 150 万以上で密度 1.4 g/mL 前後の糖タンパク質画分 (ムチン画分) を得た。

ラット唾液腺より抽出、精製したムチンを BALB/c マウス 3 匹に免疫後、免疫したマウスの脾臓細胞とマウス骨髄腫細胞 Sp2/0 を常法に従って細胞融合した。HAT 選択後、免疫原と反応する抗体産生細胞株を 3 種 (RSM2403, RSM2603, RSM2707) 樹立することができた。

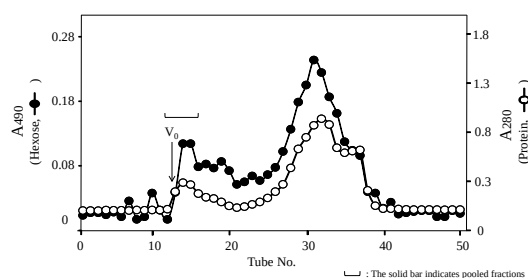


図 1. ラット唾液腺から得られた水溶性画分の 8%アガロースゲルクロマトグラフィー

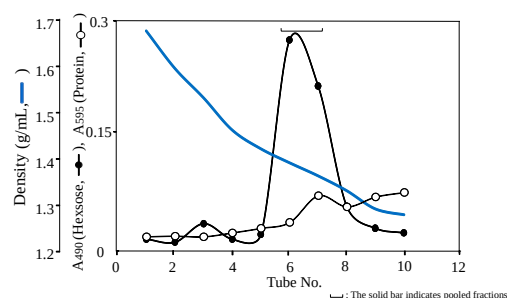


図 2. ラット唾液腺から得られた高分子量糖タンパク質画分の CsCl 密度勾配遠心

得られた抗体の唾液腺抽出物との反応性を ELISA 法により検討したところ、いずれの抗体も分子量 150 万前後で密度 1.4 g/mL 付近の糖タンパク質画分（ムチン画分）と特異的に反応することが確認された（図 3, 4）。また、各抗体のラット唾液腺組織に対する反応性を免疫組織染色法により検討した結果、いずれの抗体も舌下腺と反応することがわかった（図 5）。これらの結果から、RSM2403、RSM2603、RSM2707 は舌下腺で産生されるムチンを認識することが示唆された。

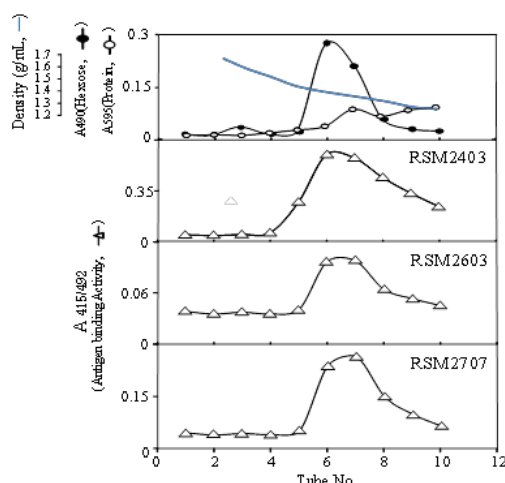


図 4. ラット唾液腺から得られた高分子量糖タンパク質画分の CsCl 密度勾配遠心

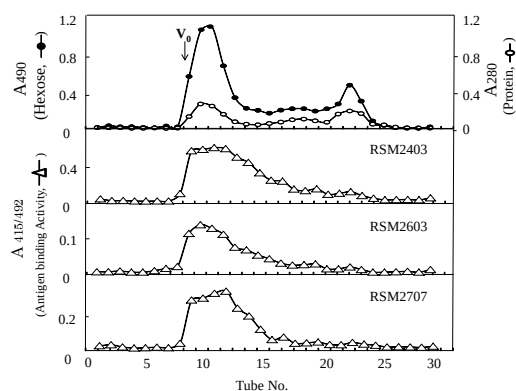


図 3. ラット唾液腺から得られた水溶性画分の 8%アガロースゲルクロマトグラフィー

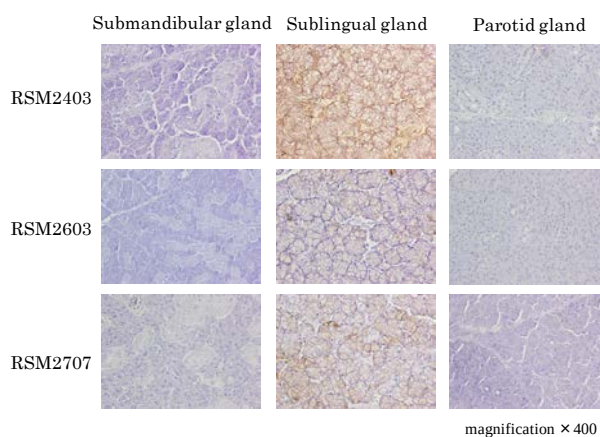


図 5. ラット唾液腺の免疫組織染色

2) ラット唾液の採取と抗ムチンモノクローナル抗体との反応性

13 週齢雄性 SD ラットを無麻酔下、覚醒状態で仰向けに抱きかかえて固定し、口腔内に円筒（ポリプロピレン製、外径約 3 mm）を挿入し、ポンプ（日東工器製 UPS-112E, 自吸力 3 kPa, 最大流量 36 mL/min）で約 5 分間吸引して唾液を採取した。ラットの固定には習熟したラット取り扱い技術が必要であるが、ラットが唾液を採取されるのに慣れてくれば、比較的にストレスなく唾液を採取できた。なお、餌と水は自由摂取とした。

採取した唾液に対する各抗体との反応性を

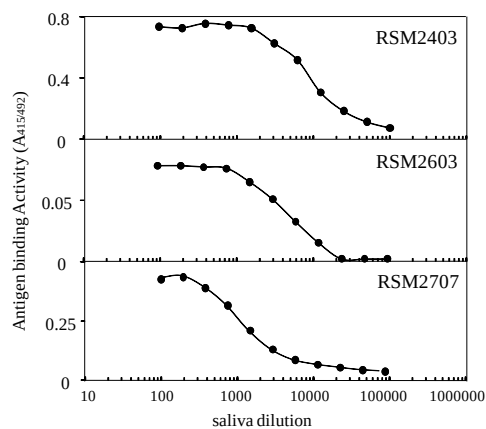


図 6. ラット唾液に対する抗ムチンモノクローナル抗体の反応性

ELISA 法で検討した。その結果、いずれの抗体も唾液の用量依存的な反応性を示し、唾液と反応することが確認された (図 6)。これらの結果と上記 1) の結果を総合して判断し、RSM2403, RSM2603, RSM2707 が認識するムチンは舌下腺で産生され、唾液中に分泌されていると結論付けた。

3) 口腔粘膜の実験口内炎モデルの作製検討

ラットの難治性口内炎病態モデルの作製を目指し、消化管慢性潰瘍を発生する酢酸潰瘍モデルの適用を試みた。13 週齢雄性 SD ラットを仰向けに抱きかかえ、左手で前足と頭を押さえ、右手で体を押さえて固定した。50%酢酸をしみこませた綿球をピンセットを用いて口腔粘膜に 30 秒間押し当て、粘膜を酢酸に暴露させた。酢酸暴露 24 時間後に暴露部位を観察し、48 時間後に安楽死させて粘膜を採取した。

酢酸暴露 24 時間後、48 時間後の粘膜を肉眼および小型カメラを用いて観察した。24 時間後では顕著な変化はみられなかったが、48 時間後では酢酸を暴露させた部位に白い変色がみられた (図 7)。

48 時間後に採取した粘膜を HE 染色したところ、酢酸暴露部位は非暴露部位より扁平上皮が薄い傾向がみられた (図 8)。但し、顕著なリンパ球浸潤等の炎症像は確認できなかった。今後、5FU 投与ラットにおいて酢酸暴露の影響が顕在化するか否か検討する予定である。

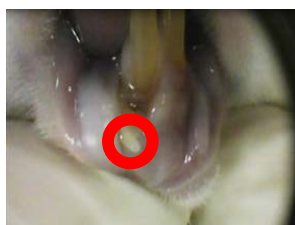


図 7. 50%酢酸を暴露したラットの口腔粘膜
(左: 24 時間後、右: 48 時間後)

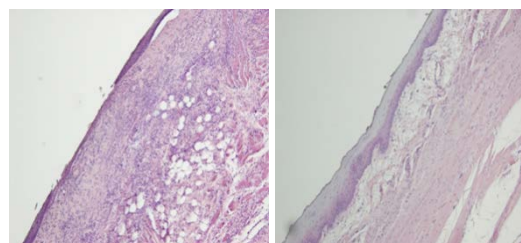


図 8. ラット口腔粘膜の HE 染色像
(左: 酢酸暴露部位、右: 酢酸非暴露部位)

5. 今後の計画

下記の項目について検討する計画である。

- 1) 正常ラット唾液ムチンの生化学的および免疫学的性状。
- 2) 抗癌剤 (5FU 等) の投与によって唾液ムチンの性状が変化するか否か。
- 3) 頬粘膜の実験潰瘍モデルの作製と、発症・治癒過程における唾液ムチンの変動。

6. 研究成果の発表

合田瑞紀, 飯田泰広, 門谷祐一, 川嶋麗, 五艘行信, 石原和彦, 栗原誠「ラット唾液ムチンを認識するモノクローナル抗体の作製」, BMB2015, 神戸, 2015.12.3.

圧力センサを用いた胎動検出を目的とした胎動 Viewer の開発

研究者名：情報学部 情報メディア学科 氏名：小坂崇之

1. 研究の目的

妊娠・出産は、人間が存続する上で欠かせない行為である。われわれは誰しも母親の胎内で命を授かる。精子と卵子が結びつき、生命のもとである受精卵になり成長を続ける。妊娠期間は、日ごとに大きくなるお腹と胎動を感じながら、生まれてくる子供に思いを募らせる幸せな時間である。一方で、最も命が危険にさらされやすい時期でもある。胎動とは『母胎内で胎児が動くこと。また、その動き。』と表現されている。成長過程に合わせて胎動の頻度が増加していくという考え方が一般的であり、10 回の胎動を感じるまでの時間を計測し特定のチャートに記録する「胎動カウント法」により胎動の頻度を計測し成長具合を計測する手法がある。胎動が活発になる 7 ヶ月目で急に胎動が感じなくなり病院に駆け込むと臍帯が首に絡まっていたというケースも報告されており、胎動は胎児の健康のバロメータであるともいわれている。しかし、妊娠は病気ではなく胎動に関する研究があまり行われていないのが現状である。

妊産婦の胎動に注目し、妊娠週数毎による胎動の場所と頻度を計測することで胎児の成長状況を通知し、異常があれば病院への診療を促すことができるシステムの開発を行う。妊婦帯に複数の圧力センサを配置することにより皮膚表面に現れる胎動の場所と頻度を計測し記録することができる胎動スキャナを開発する。胎動カウント法では妊産婦が主観的に胎動の知覚を行うが、本システムではセンサを用いての客観的な計測が可能である。妊娠週数毎の胎動の頻度と場所を計測しデータベースの構築を行う。胎動スキャナを装着した妊産婦の胎動と胎動データベースに蓄積されたデータを比較することにより、現在の胎児の健康状態を妊産婦に通知することができる。また異常があれば病院への診療を促すことができる。

さらに計測した胎動を体験者に呈示するデバイスの開発を行う。胎動は子宮内の胎児の状態によって感じる場所が変化する。たとえば臨月になると胎児の頭が妊産婦の骨盤に固定されるので腹部上部に胎動頻度が増加し、反対に逆子の場合は腹部上部以外に感じる事が報告されている。このような経験を、妊娠前にあらかじめ体験し学習させることができれば、実際に妊娠して異常を感じたときに迅速に対応することができる。また、胎動は

妊産婦だけの特権であり夫やパートナーは体験することができない。そこで夫やパートナーに対して胎動を提示することができれば生まれてくる子供に対して愛情をもって接することができるのではないかと考える。

2. 研究の必要性及び従来の研究

胎動とは「母胎内で胎児が動くこと。また、その動き。」と表現されている。成長過程に合わせて胎動の頻度が激しくなっていくという考え方が一般的であり、10回の胎動を感じるまでの時間を計測し特定のチャートに記録する「胎動カウント法」により胎動の頻度を計測する手法も存在する。胎動が活発になる7ヶ月目で急に胎動が感じなくなり病院に駆け込むと臍帯が首に絡まっていたというケースも報告されており、胎動の頻度を計測することは成長過程を示すバロメータであるともいわれている。しかし、妊娠、出産は病気ではなく、これまで胎動をセンシングする技術の開発は行われていないのが現状である。妊産婦の腹部に装着し、胎児の心拍数、胎動、子宮収縮を計測する分娩監視装置も存在するが、胎動の検出は被験者が胎動を知覚した時に主観的にボタンを押すものであり、客観的にセンシングを行う装置の開発は行われてない。

そこで我々は、胎動検出を目的とした胎動 Viewer の開発を行なう。妊婦帯に複数の圧力センサを配置することにより皮膚表面に現れる胎動を計測することが可能である。胎動カウント法では妊産婦が主観的に胎動の知覚を行うが、本システムでは客観的な計測が可能である。胎動検出の手法として被験者に筋電位センサなどの装着を行う手法も考えられるが、母体や胎児への悪影響も考えられる。妊娠期間中は非常にデリケートな期間であり、実際の妊産婦への装着は技術的、倫理的にも難しいのが現状である。そこで我々は、高分子圧幕フィルムを用いた圧力センサを用いて計測を行う。圧力センサは圧力抵抗性物質を塗った特殊フィルムに圧力を加えることで抵抗値が変化するもので人体への影響を考える必要はない。

胎動の種類にも複数の胎動が存在するが、我々は皮膚表面に現れる胎動のセンシングを目的とする。市販されている妊婦帯に圧力センサを複数個貼り付け妊産婦に装着を行うことで、皮膚表面に現れる胎動のセンシングを行うことができる。

本システムを用いることで胎動のセンシングとアーカイブ化が可能になる。また我々が既に開発している妊婦体験システムと組み合わせることで胎動のリアルタイム通信も可能になる。

3. 期待される効果

- 妊娠は病気ではなく胎動に関する研究があまり行われていないのが現状である。我々は胎動に着目し胎動の場所と頻度によって成長具合の判定を目指している。
- 胎動を計測し胎動データベースに蓄積し、蓄積されたデータと、現在の胎動のデータを比較することで胎児の成長具合を判定する。これまで胎動は回数のみが重要とされてきたが胎動の場所と頻度を計測することでよりリッチなデータを得ることができる。
- 出産に至るまでの妊娠期間中に欠かせないのが妊婦健診である。病院、妊娠週数などによっても異なるが、月 1 回から臨月になると週 1 回のペースで通院する必要がある。そのため、妊婦健診は一般的には合計 14 回、受診する計算になる。健診も健康保険がきかないため、1 回 4,000~5,000 円（特別な検査を受ける場合には 1 万円程度）かかるともいわれており、一般的に妊娠出産にかかる費用は約 100 万円と高額になるといわれている。そのため体に異常を感じても健診に高額な費用がかかるため「たいしたことないかも」と健診を躊躇する妊産婦も存在し、取返しのつかない事態が発生した事例も存在する。本システムは家庭で胎動を用いた簡易的な健診を行うことができ明らかな異常の場合は、受診を促すことが可能である。
- 妊娠中にも関わらず胎動を自覚しない症例が報告されている。自覚症状がないだけなのか皮膚表面の感覚器官が鈍いだけなのか原因が明らかにされていない。胎児は体内で必ず動いているはずであり、胎動を自覚しない妊産婦に対してもセンサを用いた本システムは有効である可能性は高い。
- 報告者はこれまでに、内蔵感覚呈示による胎動呈示可能な妊婦体験システム『MommyTummy』を開発している。MommyTummy は、育っていく胎児の重さ、暖かさだけでなく胎動などの胎児の成長過程を体験者に呈示し、妊産婦が受ける身体的負担と胎児が成長する喜びを疑似体験することができるシステムである。本研究課題は胎動の計測に重点を置いており、MommyTummy は胎動の呈示に応用することができ親和性が高く胎動のリアルタイム通信やアーカイブと再生など応用分野が広がる。
- 計測した胎動データをもとにリアルタイムにプロジェクタを用いて妊産婦の腹部にプロジェクションマッピングすることにより胎児や胎動の視覚化を行うことが可能である。

4. 研究の経過及び結果

本研究課題にて胎動を検出する胎動ベルトと胎動を表示する Viewer (胎動ベルト、Viewer)、胎動ロガーを開発した。また、妊産婦に対してアンケート調査を行い妊娠週数毎の胎動について調査を行った。

4.1 胎動ベルト

開発した胎動ベルトを図 4-1 に示す。高分子圧幕フィルムを用いた圧力センサを用いて胎動 Viewer の作成を行った。市販の妊婦帯に圧力センサ (FSR-406) を 11 個配置した。FSR-406 は 1~100N (100g~10Kg) までの圧力の検出が可能である。本ベルトを妊産婦が装着することで皮膚表面に現れる胎動を圧力センサにてリアルタイムに計測を行うことが可能になった。

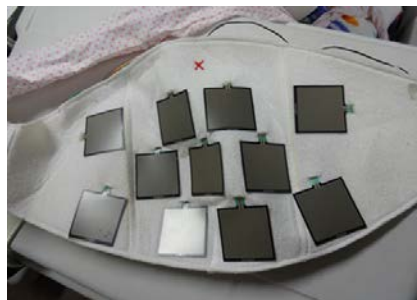


図 4-1 胎動ベルト外観図

4.2 胎動 Viewer

胎動ベルトで計測した圧力分布をリアルタイムで表示することができるソフトウェアである。胎動ベルトで腹部にかかる圧力を提示するのであって胎動のみを提示するシステムではない。圧力の閾値を設定することで胎動として表示することも可能である。4.3 に示すデータロガーシステムからデータを読み込み時系列通りに再現することも可能である。再生スピードも任意に変更することもできる。



図 4-2 胎動 Viewer 外観図

4.3 胎動ロガー

申請時のプロトタイプではコンピュータが必要不可欠であったが、マイコンボード(Arduino Mega)を用いて SD カードに胎動を登録するデータロガーも作成した(図 4-3)。これによりコンピュータがなくてもスタンドアローンで動作させることが可能である。胎動ベルトを用いてどの程度の胎動を計測できるのかは明らかになっていない。また、現在の胎動ベルトは被験者の呼吸によっても圧力を計測してしまう可能性がある。そのためデータロガーシステムには、被験者が胎動を感じたときに押すスイッチを実装した(図 4-4)。SD カードには 30Hz にて 17 個の圧力センサ値、スイッチの値を記録する。

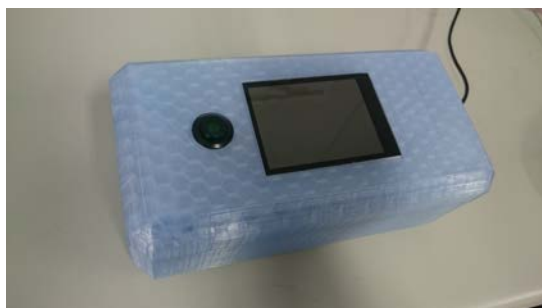


図 4-3 胎動ロガー外観図



図 4-4 胎動スイッチ外観図

4.3 アンケート調査

実際の妊産婦に対してアンケート調査を行い妊娠週数毎の胎動について調査を行った。胎動カメラで計測した胎動とアンケート調査での胎動を比べることにより胎児の成長具合を検知する指標とするためである。アンケートは我々がすでに開発している妊婦体験システムでの展示会で行った(表 1)。アンケートの総数は 78 名であった。

表 1: アンケート調査

日時	場所
2015 年 6 月 13-14 日	伊勢丹 (静岡)
2015 年 10 月 10-11 日	高知大学 医学祭 (高知)
2016 年 3 月 19 日	JR 高島屋 (名古屋)
2016 年 4 月 29 日	日本橋高島屋 (東京)

アンケート実施には神奈川工科大学「ヒトを対象とする研究に関する倫理規定」などを遵守し神奈川工科大学の研修倫理審査を受け承認を得た。アンケート該当者には研究の内容、方法、危険性、予測される不利益、データの用途や公表方法について口頭および文書(同意書)で説明を行った。さらに、自由意志での参加であることを説明した上で同意が得られたなら文書(同意書)に本人による捺印またはサインを受けた。

アンケートの詳細な集計、検定は終わっていないが、以下のようなデータを得ることができた。図 4-3 はアンケートによる月別の胎動種類の頻度である。

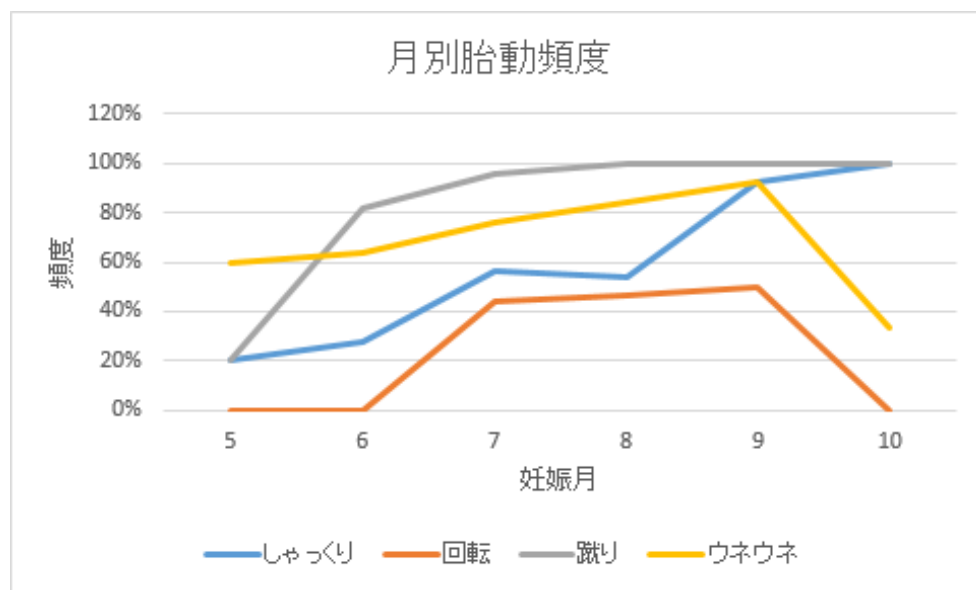


図 4-3 妊娠月別胎動頻度

横軸が妊娠月、縦軸が頻度である。妊娠月が臨月に近づくほど胎動の頻度が激しくなっていることが分かる。また、胎児の呼吸器官が形成されるのが 30 週目 8 か月あたりといわれており、8 月目あたりから「しゃっくり胎動」の頻度が多くなっているのが分かる。さらに、臨月には胎児が子宮に固定されるので、回転胎動の頻度が減少している。胎動は病気ではなく胎動に関する研究は明らかになってはおらずこのデータは、胎動頻度による成長過程を示すデータとして有益なデータであると考えられる。

5. 今後の計画

胎動を計測する胎動ベルトを作成したが、実際の胎動を検出できるかは明らかになっていない。実験により胎動が実際に検出できるかの実験を行う予定である。そのために神奈川工科大学の研修倫理審査を受け認証を得る予定である。またアンケート調査を継続して行い胎児の成長過程の教師データとして蓄積する予定である。また、本研究課題において妊娠中のデリケートな妊産婦の被験者を集めるのは困難である。現在、名古屋市立大病院産婦人科病院 尾崎康彦教授と胎動に関する共同研究を行っており、名古屋市立大学病院の倫理審査(受付番号:1249, 研究課題:胎動の継続的変化の解析及び産科合併症との関連性の検討)に平成27年11月12日承認された。今後も引き続き行っていく予定である。

6. 研究成果の発表

なし

様々な朝食の摂取下における顔認知試験回答時の 眼球運動および自律神経活性に対する影響について

神奈川工科大学 応用バイオ科学部 栄養生命科学科 准教授 澤井明香

1. 研究の目的

顔および顔表情の適切な認知は、社会生活を送るうえで重要であり、近年、疾患や精神状態による認知の違いが報告されている。顔認知研究は現在、脳科学、生理学、心理学を中心に認知の仕組みや反応性に主眼をおいた研究が行われているが、栄養学の分野では当テーマに取り組む者は、著者の知る限りは見当たらない。一方で、朝食欠食者は20代男性の3割以上存在し食育の重要課題として位置づけられている。朝食欠食に関するその関連資料の一つに、薬物使用や窃盗等で補導された非行少年では、欠食率が高かったとの県警の報告があり、欠食は家庭環境や経済的背景等の様々な事情が絡みあうなかで、人の情動と食事摂取（或いは欠食）との関係を分析することは、これまでにあまり成されていないが、社会生活を送るうえで精神の制御は重要であり、食事と精神とを結びつけて考えることは重要ではないかと筆者は考えた。我々はこれまでに、食事と顔認知の関係性の検討において児童の顔認知機能は欠食日で低下することや、暗算課題やストループ課題よりも食事の影響が強い可能性があることを示している。また本学においてfNIRSを用いて実施した実験では、摂取した朝食の内容（流動食：栄養比率適正、糖質のみの飲料、固形食：栄養比率適正）により顔再認試験回答時の脳血流の動態が異なることが観察された。顔の認知は視覚により得た情報を脳で処理して行われるため、脳血流に差異がみられた当現象において、さらなる詳細を調べる必要があると考えている。そこで本研究では、様々な食事を摂取した場合の眼球運動に及ぼす影響について、調べることを目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、朝食の欠食者は20代男性では3割にも上り、また摂取していても栄養比率のバランスが整わない食事を摂る者が多いと考えられる。インスタント食品や健康補助食品が手軽に入手できるようになったことで、食事を摂取していると申告する者のなかには、飲料のみの者も含まれると推察される。本学のNIRSを用いて顔再認試験と脳血流の関係を調べた実験では、欠食日は種々の食事の摂取日より脳血流の変動が激しい事、さらに100%糖質食（砂糖水）摂取時は他の一般食を摂取した場合とは、異なる独特の脳血流の動態が観察されている。そこで、本研究では、これらの反応が、体内の他の組織とどのような関係にあるのか検討することにより、偏った栄養比率の食事や咀嚼を伴わない食事を摂取する事に対する問題点を提示し、またその現象の解明の一端につながると考える。

3. 研究の経過および結果

男子学生 19 名に欠食、和食、洋食、糖質過多食、脂質過多食、を順不同に提供し、咀嚼回数、血糖値も同時に測定した。朝食は 700kcal にし、エネルギー比率 (PFC 比 : (%)) は、和食 (12 : 27 : 62)、洋食 (13 : 42 : 45)、糖質過多食 (100 : 0 : 0)、脂質過多食 (14 : 43 : 43) とした。眼電計の電極を左右のこめかみ、瞼の上下に貼付し、実験前に各人の視野限界を調べ上下、左右の測定の限界値を設定し、課題回答時の眼球運動の回数・移動範囲を測定した。課題には 1 枚の写真を 30 秒間提示し記憶させ、56 枚の記憶した写真を選ぶ顔再認試験を用い、測定後は顔写真毎に眼電図の移動距離から積分値と最大値最小値の差を算出し、SPSS ver.22 を用いて Kruskal-Wallis の検定および Bonferroni の補正を行った。

【結果】

咀嚼回数の平均値は和食が洋食より多かった。血糖値は糖質過多食→和食→洋食、脂質過多食→欠食の順に低くなり、糖質は欠食、洋食、脂質過多食と有意差が見られ、和食は欠食との間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。眼電図は、欠食では装置の測定限界値を超過する者も多く他食との間に有意差が生じた。測定限界内の比較では、積分値、最大値最小値の差はともに欠食と和食、欠食と洋食、欠食と脂質過多食に有意差が認められ、欠食では眼球運動が大きかった。糖質過多食と脂質過多食との間にも有意差が認められ、糖質過多食では眼球運動が大きかった。



Figure 1. 電極の装着位置と出力図

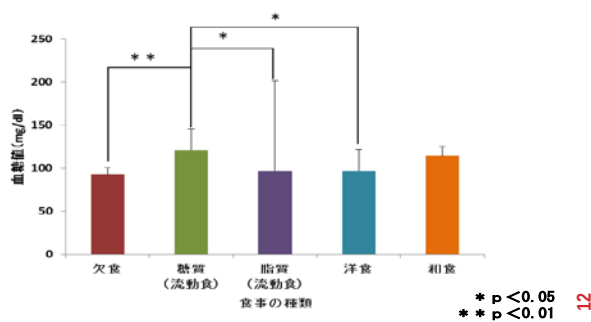
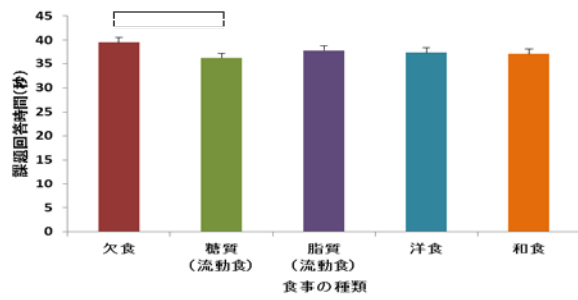


Figure 2. 血糖値の比較



13

Figure 3. 食事ごとの課題回答時間の比較

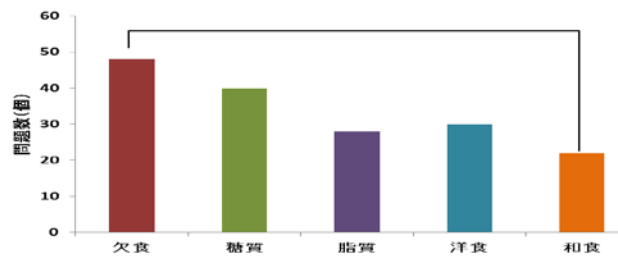


Figure 4. 食事ごとの視界限界を超過した問題数の比較

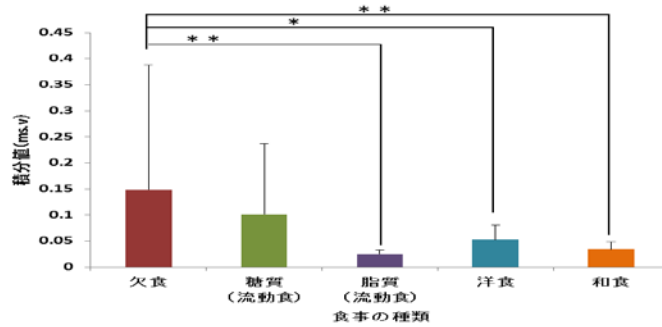


Figure 5. 眼球運動の積分値の比較

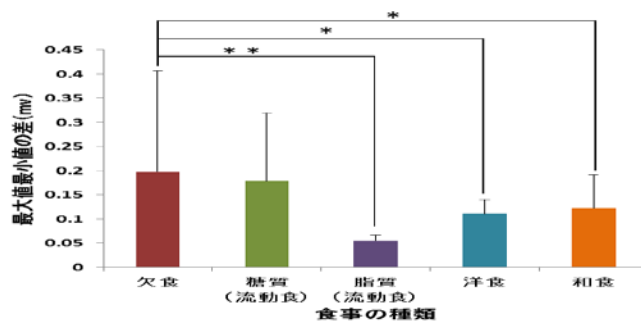


Figure 6. 眼球運動の最大値と最小値の差の比較

Table 1. 眼球運動の測定結果のまとめ

	PFC比	血糖値	回答時間	視野限界	視線移動
欠食	0	低い	普通	多い	長い
糖質過多流動食	C=100	高い	普通	多い	長い
洋食・脂質過多流動食	13:39:48	普通	普通	普通	短い
和食	12:27:62	普通	普通	少ない	短い

和食<洋食<脂質過多<糖質過多<欠食

【考察】

食事の有無と眼球運動の関係は、欠食時は脂質過多流動食、洋食、和食摂取時より眼球運動の移動距離が長いことがわかった。我々の過去の報告で欠食時のフリッカー値の低下が確認されていることなどから、欠食により覚醒度が低下し、課題回答に対応するために眼球運動の移動が大きくなることが考えられる。

また、視野限界を超過する者が欠食で多かったことについては自律神経のバランスの崩れによる交感神経活性の亢進による過剰な反応の可能性が推察されるため、今後自律神経を調べる必要があると考える。咀嚼と眼球運動の関係は洋食と脂質過多流動食は栄養比率が同じ程度であったため、咀嚼の有無についてこれらの2種について比較を行った。洋食と脂質過多流動食は、ほぼ同等な結果となった。咀嚼による覚醒度の上昇は過去の報告により示唆されていたが、今回、咀嚼による影響はみられなかった。さらなる詳細の検討としては、同じ食事内容での検討が必要である。欠食時や食事を摂取しているが、糖質100%と糖質比率が高いなどバランスの悪い食事では、眼球運動を活発にさせ、視野限界の超過も多いため、姿勢保持や精神的な落ち着きに問題を含む可能性がある。恒常性の維持のためには栄養比率のバランスのととのった食事の摂取が好ましいことが推察された。本研究では食事と眼球運動の関係について、欠食において最も有眼球運動の移動距離が大きくなるという結果を得ることができ、測定条件などの詳細な検討は今後とも必要ではあるが、欠食が眼球運動に及ぼす影響が顕著であることが示唆された。

5. 今後の計画

眼球運動が欠食や食事内容により異なる可能性が生じており、その理由には欠食のストレスによる循環動態や交感神経活性の亢進により視野が定まりづらく大きな変動がみら

れることが推察され、また、体勢が定まらない（多動、姿勢保持の困難性）も考えられる。今後は姿勢保持の詳細を調べるために、下顎を完全固定したうえで、眼球運動の計測を行う必要がある。また予算の都合によりで貯蔵唾液サンプル（小学6年生の欠食実験）の分析と、大学生の自律神経の実験について実行できなかったため、次年度に助成を得て実施したい。

6. 研究成果の発表

澤井明香，食事内容の違いが認知課題回答時の眼球運動に及ぼす影響，第70回日本栄養・食糧学会大会，2016年5月21日，武庫川女子大学女子栄養大学.

ポリフェノール類のナノ粒子化と生理活性

応用バイオ科学科 清水 秀信

1. 研究の目的

カテキンなどのポリフェノール類は、優れた抗酸化性、抗ガン活性、抗菌性、抗炎症性、抗ウイルス性などの様々な生理活性を有する機能性食品として知られている。近年、これらのポリフェノール類を高分子化、あるいは、粒子化することにより、機能性や安定性が向上するという報告がなされている^{1), 2)}。しかしこれまでのところ、ポリフェノール類を重合し、大きさが揃った粒子を作製する技術が確立されていないため、粒子化(大きさや表面特性など)と機能の相関については不明な点が多い。

われわれはこれまでに、カテキン水溶液中に酵素ペルオキシダーゼと過酸化水素を添加すると、カテキンの単独重合反応が起こり、重合体が沈殿物として得られることを明らかにしてきた。しかし得られた沈殿物は、表面に分散安定成分が存在しないため、水分散性を示さなかった。そこで本研究課題では、水に安定に分散するカテキン粒子を作製するために、カテキンと以下の2つの化合物との共重合について検討を行った。

- ① 水溶性ポリフェノール(アルブチン)との共重合
- ② 水溶性ポリマーにより化学修飾したカテキンとの共重合

2. 研究の必要性及び従来の研究

機能性食品分子(ファイトケミカル)を高分子・粒子化することにより、フリーの機能性分子では達成できない以下の効果が期待できる。

- 不安定な機能性分子の安定性を向上させる効果
- 局所濃度を高くできるため、機能性分子の使用量を低減させる効果
- 摂取した場合、胃で分解されず腸まで到達させることができる効果

このような意義があるにも関わらず、機能性食品分子を高分子・粒子化する技術構築が困難であるため、高分子・粒子化することによる有用性を検証する研究はほとんど進んでいない。したがって、これらの研究を推進することは、機能性食品分子の未知なる機能を引き出す可能性を秘めているという点でも非常に重要であるといえる。

3. 期待される効果

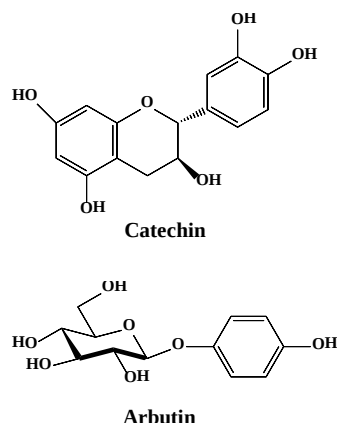
機能性食品分子を高分子・粒子化することは、機能性食品分子の呈味性・吸収性・安全

性・安定性を改善することにつながる。そのため、機能性食品分子の機能を保持したまま、機能性分子を望みの場所に効率的に適切な量だけ届けることができる「ニュートリションデリバリーシステム」への展開が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 アルブチンとの共重合

カテキンとアルブチンの構造式を図 1 に示す。アルブチンは親水性の糖鎖を分子内に有する水溶性ポリフェノールである。したがって、アルブチンの単独重合体は水溶性を示す。ここで、カテキンとアルブチンの共重合反応をうまく進行させることができれば、アルブチンを表面に有するカテキン粒子を作製できる可能性がある。そこで、以下に示す重合条件において、酵素ペルオキシダーゼ(HRP)と過酸化水素(H_2O_2)を用いて、カテキンとアルブチンの重合を試みた。反応は pH 7.5 の HEPES 緩衝液中で、40 °C により行った。



Catechin + Arbutin / HRP / H_2O_2 / 20 mM HEPES buffer = 1.4 / 0.010 / 0.54 / 48.6 (g)

カテキンとアルブチンの仕込み組成を変化させて酵素重合を行ったところ、カテキン組成が 60 wt%以下の条件では、得られる重合体は水溶性となった。これは、カテキンの割合が低くなると、水溶性であるアルブチンが重合体中に含まれる割合が高くなるためである。一方カテキンの割合が 90 wt%より高くなると、多分散で分散安定性の低い粒子が得られた。水分散性が良好な粒子が得られたのは、カテキンの割合が 70 から 90 wt%のときであった。

得られた粒子の大きさを動的光散乱により測定した結果を図 2 に示す。分散体を得られた系の粒子径はいずれも 100 nm 程度であり、カテキンの仕込み割合が低くなるにつれ粒子径は小さくなる傾向が認められた。これは、アルブチンの仕込み量が増えるにつれ、ポリマー鎖の沈澱が起りにくくなったためと考えられる。

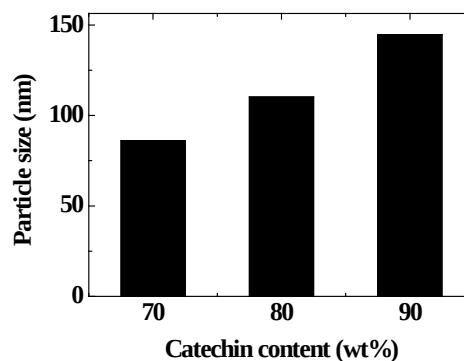
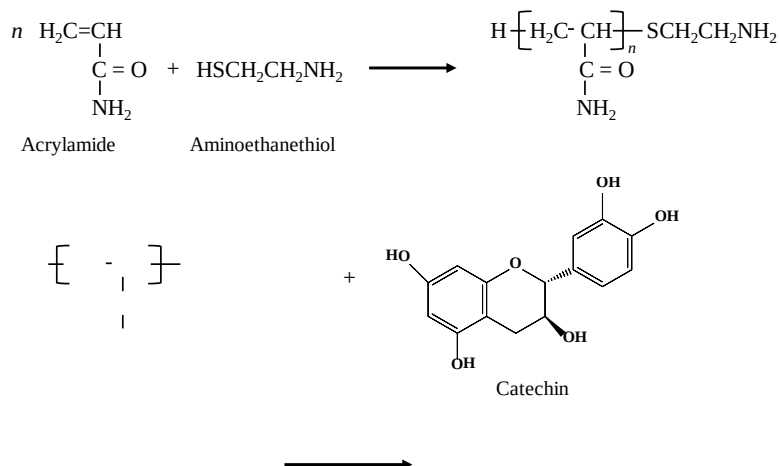


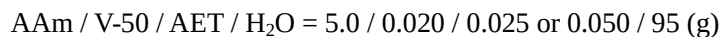
Figure 2. Effect of catechin content on particle size.

4.2 水溶性ポリマー修飾カテキンの作製

アクリルアミド(AAm)の重合反応を、連鎖移動剤であるアミノエタンチオール(AET)存在下で行い、末端にアミノ基を有するポリアクリルアミドを作製した。得られたポリマーを、酵素ラッカーゼを用いてカテキンに修飾することにより、水溶性ポリマーで修飾されたカテキンの作製を試みた。合成スキームを図3に示す。



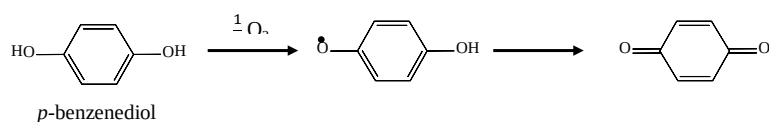
ポリアクリルアミドは、以下の組成でアクリルアミドを水系溶液重合させることにより作製した。重合温度は 70 °Cとした。



V-50 : 2,2'-Azobis(2-methylpropionamidine) dihydrochloride

ポリアクリルアミドの分子量を、末端のアミノ基量を電導度滴定により求め算出したところ、AAm の仕込み量に対して 0.50 wt% の AET を用いて作製したポリマーでは 1,600, 0.25 wt% の AET を用いて作製したポリマーでは 3,800 となり、AET の仕込み量が多くなるほど分子量は小さくなる傾向を示した。

ラッカーゼは *p*-または *o*-benzenediol に作用し、ラジカル中間体を経て、相当するキノンを生成する酵素である。反応スキームを図4に示す。



現在は、この酵素反応を利用して、末端にアミノ基を有するポリアクリルアミドとカテキンを結合させるための反応条件について検討しているところである。

5. 今後の計画

年度内に、ポリマー鎖末端にアミノ基を有するポリマーの合成までは達成できたが、ラッカーゼを用いて、得られたポリマーをカテキンに修飾する反応については十分検討の時間が取れなかった。今後反応条件の検討を行い、水溶性のポリアクリルアミドで修飾されたカテキンを合成し、得られた修飾カテキンと未修飾カテキンを共重合させることにより、ポリアクリルアミドを表面に有するカテキン粒子の作製を目指す予定である。

6. 研究成果の発表

水溶性ポリマー修飾カテキンの合成条件の確立、並びに、水分散性を示すポリアクリルアミドを表面に有するカテキン粒子の作製を行った後、得られた成果を論文としてまとめる予定である。

帯電体に起因するサージ現象の解明

電気電子情報工学科 下川 博文

1. 研究の目的

樹木や建物などに落雷があった場合、その近くにある電源線や通信線に過電圧が発生する。誘導雷と呼ばれるこの雷サージにより、電気・電子機器は深刻な影響を受ける。また、過電流は機器内部の焼損、その通過により基板内に誘導電圧が生じ、故障や機器の誤動作が発生する。近年、ファンデグラーフ形静電発電機の実験中に室内の様々な箇所から放電現象が起きることが明らかとなっている(1)。図1にその一例を示す。この放電現象に対して計測機器を用いると、次々と破損する事態が起きた。この結果から、何らかの要因がサージ現象として機器を破損させていると考えられる。ファンデグラーフ形静電発電機近傍の機器から破損することから、誘導された電荷がサージとなって電源線等を伝わり機器内部に流入していると考えられる。この現象を誘導サージと呼ぶことにする。この現象は自然界の誘導雷現象と非常に酷似している。室内環境下で、誘導雷と同様の現象が起きていることが示唆される。

本研究は室内環境下で高電位の帯電物体が存在し、その近傍で起こるサージ現象のプロセスを明らかにすることを目的とした。



図1 放電の1例

2. 研究の必要性および従来の研究

送電線や配電線に落雷（いわゆる、直撃雷）すると電力システムに重大な雷害が発生する。また直撃雷でなくとも、送電線や配電線の近くの樹木や建物などに落雷があった場合、その近くにある電源線や通信線に過電圧が発生する。これは誘導雷と呼ばれており、この雷サージにより、電気・電子機器は深刻な影響を受ける。建設物に侵入する雷サージに関して多くの報告がなされており、雷害に関する本も出版されている(2)(3)。

一方、高電圧機器の存在する室内環境でのサージ現象に関する報告は皆無である。今回観測した誘導サージは全く新しい現象である。

3. 期待される効果

誘導サージ現象が室内の高圧機器に起因することを明らかにし、その発生機構を解明することで、静電気障災害の予防に貢献するものと思われる。また、誘導サージから発生する火花放電が粉じん爆発の着火源になり得ると考えられる。粉じん爆発の着火源は必ずしも明らかではないが、浮遊する帯電した粉体雲に起因する誘導サージが着火源の一つにな

り得るものと考えられる。

4. 研究の経過および結果

4.1 測定

サージ電圧波形の測定装置を図 2 に示す(点線部分は別の実験室であることを示している)。本実験では、波形観測をする際に E/O-光ファイバ-O/E 変換をしてからオシロスコープに信号を入力している。これはサージ電圧を直接プローブ等で測定を行うとオシロスコープを破損させる可能性が高いためである⁽¹⁾。従って、実験室と計測室を別々に設け、計測器に対しての障害を最小限に抑制している。ファンデグラーフ形発電機(以下、発電機とする)の近傍に絶縁ビニル銅線(IV 線:長さ 2m, 芯の太さ 1.6mm)を設置し、その終端には機器の定格 $\pm 5V$ 以下に減衰するように分圧処理を施しサージ電圧を取得している。使用した発電機は大きさ縦 60cm, 横 30cm, 奥行き 20cm であり、直径 30cm のステンレスボールを設置している。上部には正に帯電しやすいナイロン丸棒(直径 2.5cm, 長さ 28cm), 下部には負に帯電しやすい塩化ビニル丸棒(直径 2.5cm, 長さ 28cm)があり、それらをシリコンゴムベルト(長さ 94cm, 幅 24cm, 厚さ 2mm)で回転させる。二本の丸棒とシリコンゴムによる接触と剥離によって電荷が発生する。

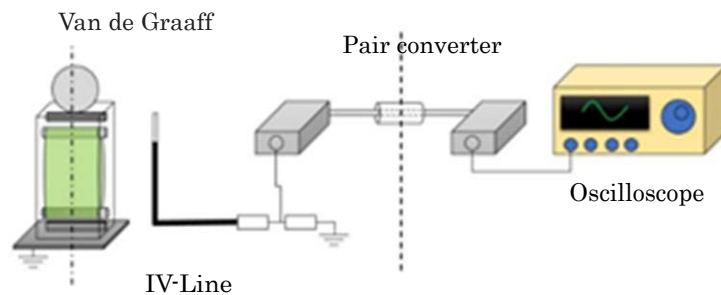


図 2 測定装置

4.2 実験結果と考察

(1) 誘導サージ電圧波形

図 3 は観測した誘導サージ電圧波形である。波形は高周波とサージ成分からなり、後者のサージ成分は最大で 47.3kV であり、立ち上がり時間は 2.21 μs である。波形の最初の部分には 20MHz 程度の高周波成分が含まれており、これは観測した波形全てに確認できる。観測した波形は立ち上がりから 50 μs 程度かけ電圧が減衰している。

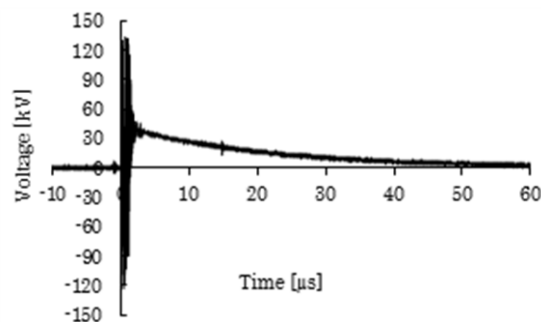


図 3 サージ電圧波形

現段階で誘導サージが起きる原因の1つとして考えられるのが、何らかの放電現象が起き、その際に帯電体の電位が急変し電線に誘起していた電荷がサージとなって流れるというものである。その放電箇所は、現状調査中である。従って、現在ではステンレスボール表面から10mmの距離に放電電極を設け意図的に電位を急変させて実験を行っている。

(2) 誘導サージ電圧の距離依存性

図4は過去に発電機中心から電線(金属体)の距離を120cmまで離し、電線に流入するサージ電圧の距離による依存性を調査したものである。縦軸の電圧値は非常に大きなばらつきがあり、極性に関しても再現性が低いのが問題である。帯電体の電位より非常に大きな電圧値を示しているのが特徴である。使用している発電機は正の電荷をステンレスボールに随時供給しているため、その近傍の電線には負電荷が誘導し、それがサージとなり線路内に流れ込むと考えられる。しかし、図4の結果よりサージ極性は負極性のものばかりではなく、正のものも観測される。この原因は未だわかっていない。

図5は横軸を発電機を中心距離から表面距離に変え、計測する際にE/O変換を用いず、その他は先と同様の実験方法で行った結果である。E/O変換を行わない理由はステンレスボールの電位を放電により意図的に急変させることでサージ電圧を観測しているが、その放電の影響でE/O変換器に障害が発生することがわかったからである。この条件下での結果は、過去の測定結果⁽¹⁾とは大きく異なり、最大サージ電圧値は-225V程度であり以前の結果と比較すると二桁以上値が小さくなった。また、その値は距離による依存傾向が見られた。電圧極性も全ての測定距離で同極性を示した。これは電線に対する誘導帯電現象として説明することが可能である。しかし、現状の測定値では機器の破損まで至る原因として考えにくいと、異なった現象と考えざるを得ない。

E/O変換器はサージ電圧から計測器を保護する目的で使用していたが、実際はそれ自体に電氣的な障害が出ていた。誘導サージの計測系は未だ発展途上であり安定した計測方法を確立させる必要がある。

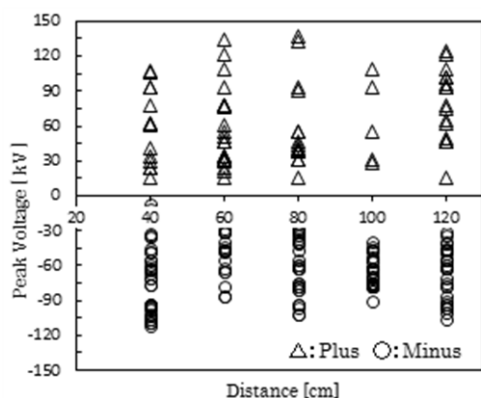


図4 電圧の距離依存性
(E/O変換器あり)

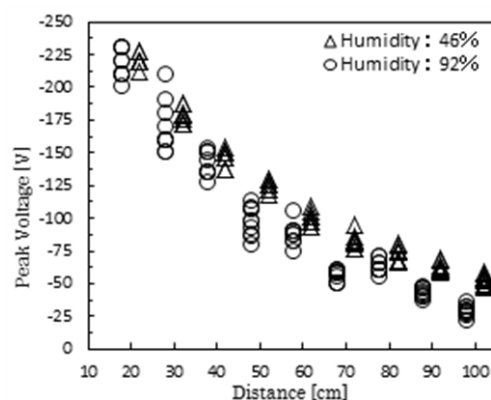


図5 電圧の距離依存性
(E/O変換器なし)

4.4 まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 帯電電位の高い物体が室内に存在し、その電位が放電により急変した際に、近傍の導体に誘導電荷が瞬時に移動し誘導サージが発生する。
- (2) 本実験では意図的に放電環境を作り出したものであり、誘導サージが具体的にどの

場所で起きているかは不明である。

- (3) 静電気放電を用いた測定は既存の計測器に影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

- (1) 渡邊健太、下川博文：「帯電体からの誘導サージの発生プロセス」静電気学会講演論文集, p.99(2014)
- (2) 電気設備学会：「電気・電子機器の雷保護－ICT 社会をささえる－」オーム社(2011)
- (3) 横山茂：「配電線の雷害対策」オーム社(2005)

5. 今後の計画

今後、次の点について検討を進める必要がある。

- (1) E/O 変換の性能を検討する。
- (2) 誘導サージの発生機構を明らかにする。
- (3) 静電発電機からの接地電流とサージ電圧の関係を調べる。
- (4) 冬場に誘導サージが激しく発生することから、湿度との関係を明らかにする。
- (5) 誘導サージを使った粉じん爆発を実現する。

6. 研究成果の発表

発表論文

- (1) 渡邊健太、下川博文：「帯電体からの誘導サージの発生プロセス（第二報）」静電気学会春期講演会, p.45(2016)

生態系フィールドワークにおける知識獲得モデル導出のための 情報配信基盤の実装と評価

情報工学科 鷹野孝典

1. 研究の目的

本研究では、拡張現実 UI を備えた次世代型の情報コンテンツ配信システムを用いて、モバイルユーザを対象とした情報閲覧・獲得行動に基づく知識獲得モデルを、生態系フィールドワークを通じた実証実験により導出し、提案することを目的とする。本年度は、特に、自然環境保全や生態系理解のための知見を得る事を目的としたデータ分析作業の効率化を図るため、事前の入念な調査や事後の詳細なデータ分析を支援すると共に、フィールドワーク実施中でも利用可能な、周辺環境や調査意図の文脈に即した適切な結果の得られる情報検索・配信機能や知識抽出機能を備えたデータ分析システムの実現に焦点を当てる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

自然環境保全や生態系理解のための自然環境調査は、世界各国で重要項目として扱われている。我が国では、自然環境測定のための専門装置の技術発達が顕著であり、自然環境に関する調査結果も Web 上で情報公開されている。一方、モバイル機器の小型・高性能化は目覚ましく、様々な学術的分野でフィールドワークのための高度な情報収集・記録ツールとして利用されている。しかし、自然環境観測フィールドワークにおいて資料採取やデータ記録等を行うことにより、観測対象となっている事物への学術的な知見を獲得し、理解を深めるのに十分適したモバイル端末用フィールドワーク支援機構は実現されていない。

3. 期待される効果

実現する生態系フィールドワークのための拡張現実 UI を備えた情報配信基盤を用いて、植生、野生動物等を対象とした自然環境調査フィールドワークを支援することが可能となる。本研究では、特に、実世界とのインタラクティブ性が高い拡張現実 UI を中心とした情報ブラウザ（検索・閲覧・記録）、スケッチ画像検索機能、複数の観察者による観察記録データ統合機能を実装することにより、自然環境調査に適したモバイルシステムとしての操作性、情報取得性に優れた新しい UI 機能が実現する点に新規性がある。

4. 研究の経過及び結果

平成 27 年度の主な成果として、(1) カメラ視野に基づく空間メタデータを用いた自然観察記録データ共有システム、及び(2) サンプル写真の利用による画像検索を支援するスケッ

チ GUI の構築の提案を行った。以下にそれぞれの提案システムについての詳細を述べる。

(1) カメラ視野に基づく空間メタデータを用いた自然観察記録データ共有システム

自然環境観察において、複数人の観察者が独立して観察記録を行う場合、観測時間や場所によって変化する記録データを共有するためのシステムの導入が求められている。このような自然環境観察記録データの共有システムを用いて、ユーザは着目している観測地点に対して記録された観察データを、自身の観察データと照らし合わせることで、定量的・定性的に分析作業を効率的に進めることができる。

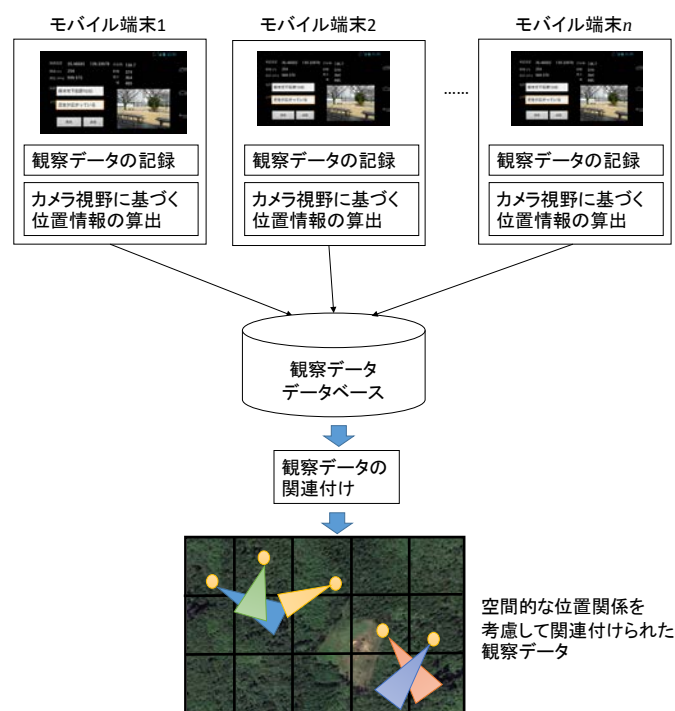


図1 自然観察記録データ共有システム

本研究では、携帯端末を用いて自然環境を観察・記録する際に、携帯端末のカメラ映像上の空間領域を 3 次元ポリゴン形式で抽出し、記録内容を空間メタデータとして対応づける方式（図 3）について示した。記録内容に関する空間メタデータを対象とした空間結合を行うことにより、複数の地点からの観測結果を関連付けて提示し、分析者間で情報共有することが可能となる。本研究では、実際に構築したプロトタイプを用いた実験により、本システムの実現可能性を検証した。

表 2、表 3 の実験結果はそれぞれ、提案方式および円領域の重なりに基づいた統合を用いて、8 つの観測エリア I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII における 11 個の観測地点(a~k)からの 14 個の観測記録（図 2）について統合した結果を示している。なお、表 2、表 3 の結果において、再現率と適合率は、あらかじめ関連のあると判断された観察記録（表 1）を正解デ

ータとして用いて計算を行った。表 2 の結果より、提案方式において、カメラ視野に基づいて抽出した三角形領域に基づいて空間結合に基づいて空間結合を行った場合、5 つの統合された観測記録が得られていることがわかる。同一観測エリアにおける観察記録データが関連付けられていた場合に適合判定を○とし、そうでない場合を×とすると、80%の適合率であった。これに対して、円領域の重なりに基づいた空間結合を行った場合、統合結果として得られた 7 つの観察記録のうち適合しているものは 1 つであったので、適合率は、14.2%であった（表 3）。

以上の結果より、提案方式による空間結合を行った場合、観察記録をより適切に関連付けることによって有意な知識データとして統合し、自然環境観察者間で共有可能であることが確認できた。

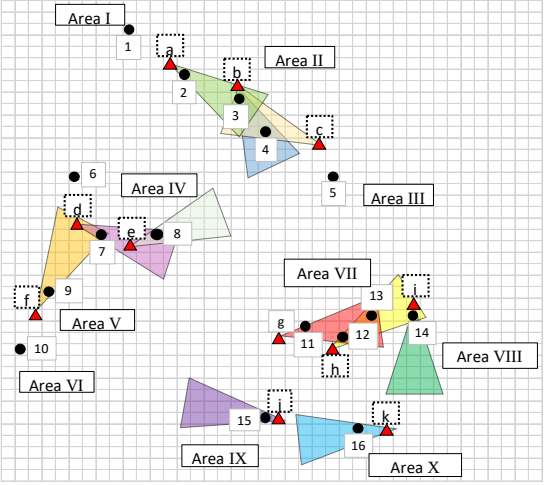


図 2 観測エリア，観測地点，観測対象の地点の位置関係

表 1 関連のあると判断された観察記録（正解データ）

No	関連のある観察記録
1	2, 3
2	2, 4
3	3, 4
4	7, 8
5	7, 9
6	11, 12, 13
7	12, 13, 14

表 2 実験結果（提案方式）

提案方式による 観測記録の統合結果	適合判定
2, 3	○
3, 4	○
7, 9	○
11, 12, 13	○
11, 14	×
再現率: 57%, 適合率: 80%	

表 3 実験結果（円領域の重なりに基づいた統合）

円領域の重なりに基づいた 観測記録の統合結果	適合判定
1, 2, 3, 4	×
2, 3, 4, 5	×
6, 7, 8, 9, 10	×
11, 12, 13	○
11, 12, 13, 14	×
11, 12, 15, 16	×
11, 12, 13, 15, 16	×
再現率: 14.2%, 適合率: 14.2%	

(2) サンプル写真の利用による画像検索を支援するスケッチ GUI の構築

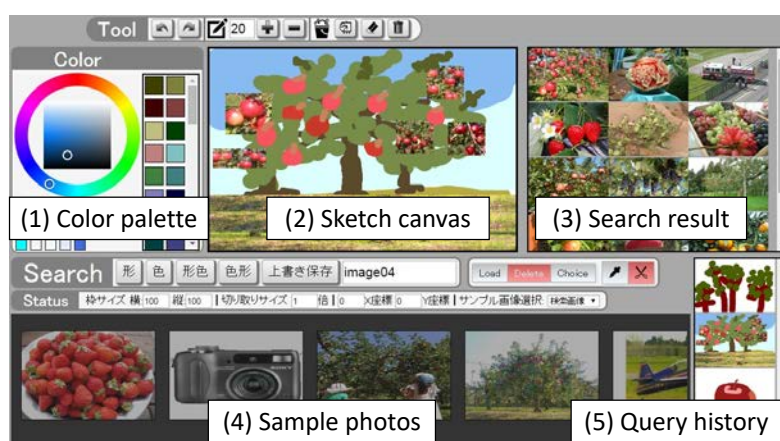


図 3 スケッチ GUI の例

スケッチによる画像検索は、自分のイメージに合致する画像を直感的に表現して獲得できる可能性があるが、目的の画像を得るまで、形や色を調整しながら何度も描き直す場合

がある。また、上手くスケッチが描けた場合も、検索対象の画像集合中に、そのスケッチに形や色が類似した画像が存在しなければ、自分のイメージに適った画像を獲得することができない。

本研究では、あらかじめ用意したサンプル写真から、その一部を切り抜いたものや、使用されている色を自分のスケッチ中に流用することで、効率的なスケッチ検索を支援するためのスケッチ GUI（図 9）を提案した。本スケッチ GUI では、検索対象となる写真集合のサンプルからの色抽出による、カラーパレット生成機能、および、写真から自分が表現したい内容を部分的に抽出し、スケッチに流用することで、描画が困難なものや、複雑な配色のものも取り入れた表現力のあるスケッチ描画を支援する切り貼り機能を備えている点が特徴である。プロトタイプを用いた実験により、提案方式の実現可能性を検証した。

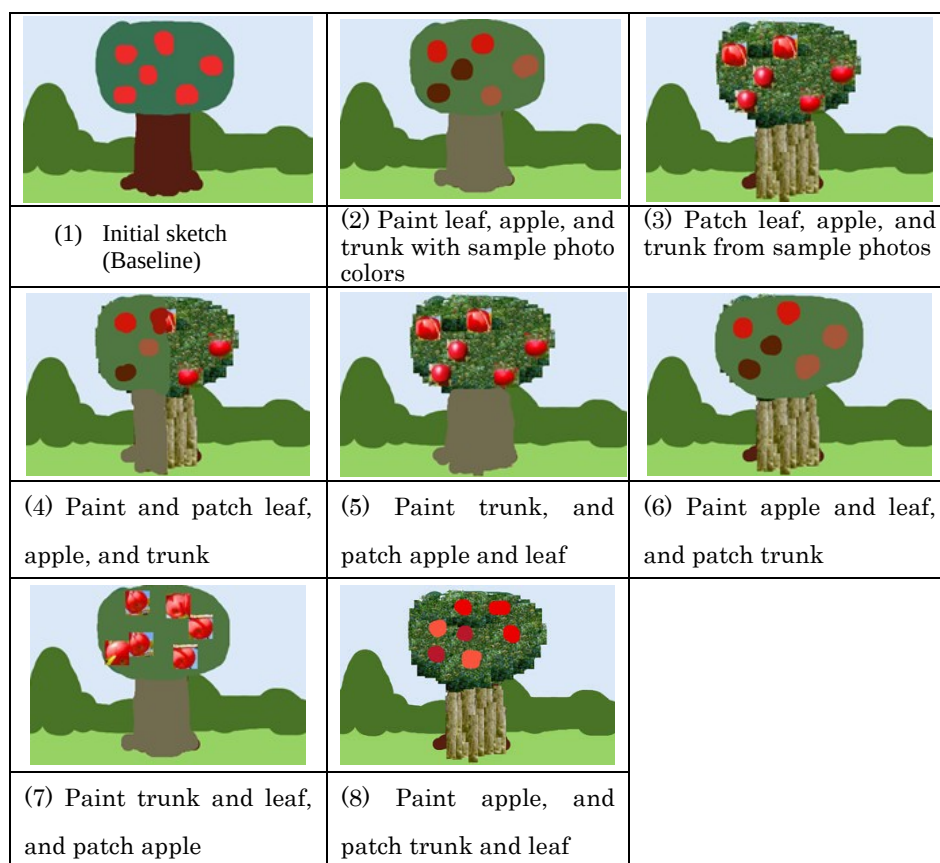


図 4 問い合わせに用いたスケッチ画像

図 5 に、問い合わせとして図 4 の 8 個のスケッチ画像を用いた場合の検索結果を示す。図 4(1)は、サンプル画像を用いない場合のスケッチ画像であり、その他(2)-(8)は、提案方式に示すように、サンプル画像を利用して描いたスケッチ画像である。図 5 の結果において、提案方式を適用した場合に検索結果の適合率が向上しており、検索結果が改善されていることが確認できる。また、スケッチ画像の作成において、サンプル画像からのスケッチの切り貼りを行うには少なからず時間がかかり、一方、サンプル画像から抽出した色を用い

て、輪郭などを描くことは比較的短時間でできることが確認できた。これは、スケッチ画像検索を目的とした効率的なスケッチ画像の作成のために、まず適切な色を用いて輪郭を先に描いておき、後から徐々にスケッチの切り貼りを行ってスケッチ画像を調整させていくことで、問い合わせスケッチ画像の描画コストの削減が可能であることを示唆している。

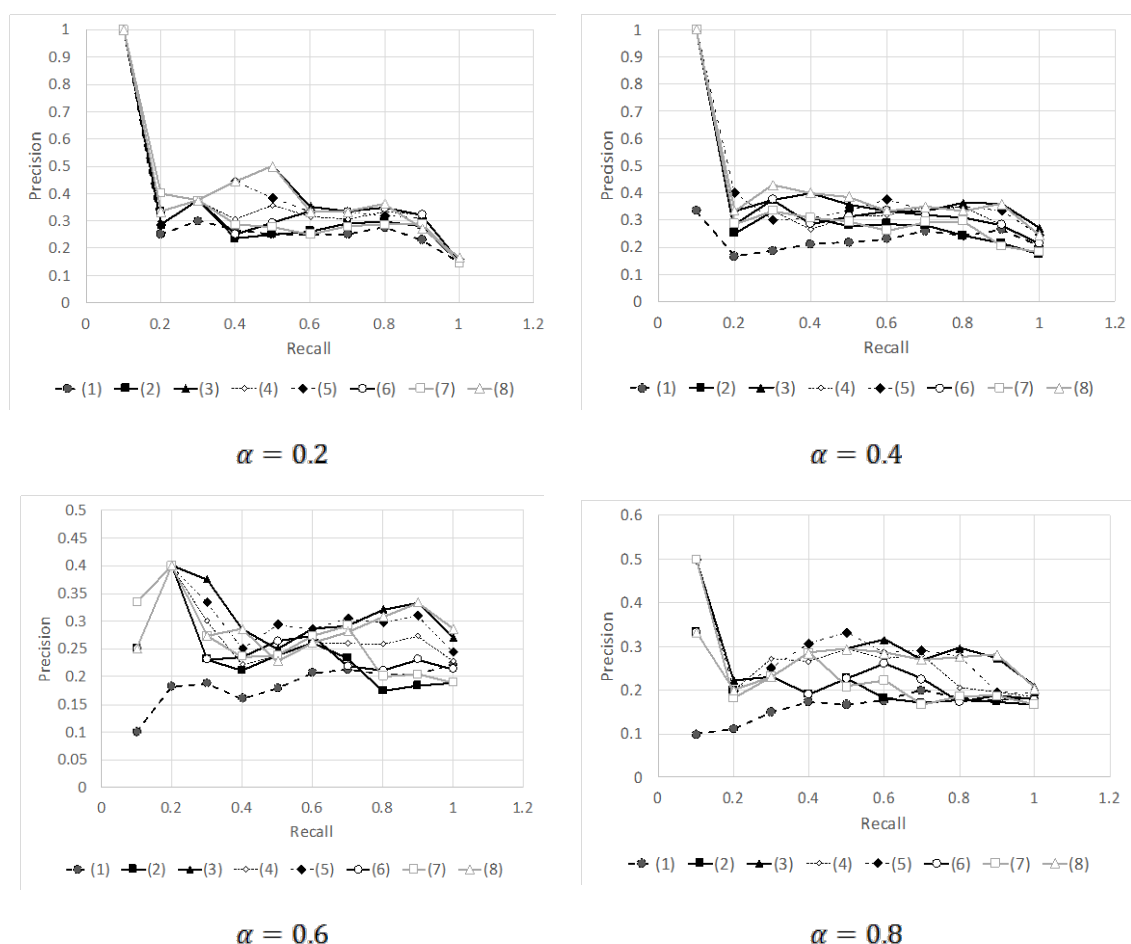


図5 検索結果

5. 今後の計画

提案システムを用いて実際のフィールドワークを行うことにより実証実験を行い、自然観察データに関する情報獲得の効率性、およびモバイルシステムとしてのユーザビリティの観点から、提案システムの有用性を検証していく予定である。

6. 研究成果の発表

- (1) Hitoshi Sugimura, Hayato Tsukiji, Mizuki Kumada, Toshiya Iiba, Kosuke Takano, A Sketch-based User Interface for Image Search Using Sample Photos, Springer Lecture Notes in Computer Science (LNCS), 2016, 査読有, (To be appeared, 8 pages).

- (2) Masato Kasahara, Kosuke Takano, Implementation and Evaluation of a Spatial Metadata Join Method Based on Camera-Viewing Area, Proceedings of the 18th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2015), 2015, 査読有, pp.227-231.
- (3) Minami Suzuki, Shu Li, Toshiya Iiba, and Kosuke Takano, Related-Item Display Support Based on Customer Queries in a Store, Proceedings of the 10th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC), 2015, 査読有, pp.478-483.
- (4) Hiroshi Honda, Masato Kasahara, Shu Li, Kosuke Takano, A Prototype of an Augmented Reality Browser for Natural Environment Studies, Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM 2015), Vol.1, 査読有, 2015, pp.311-314.
- (5) Shizuki Nishitani, Kosuke Takano, An information sharing system for children's food allergy symptoms with automatically-generated multiple queries from observation records, Proceedings of the 4th Indonesian-Japanese Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing, 査読有, 2015, pp.131-135.

たんぱく質含量（グルテン含量）の異なる小麦粉により調製した クッキーの咀嚼食塊の性状と食べやすさ

研究者名： 栄養生命科学科 氏名 高橋智子

1. 研究の目的

これまで、たんぱく質含量の異なる市販ビスケットの咀嚼中の物性の変化を検討した研究結果はあるが、あくまで市販品での検討であり、そのたんぱく質含量が小麦粉由来であるのか、使用されている生卵由来のものかは明確ではない。そこで、本研究では、たんぱく質を全く含まない小麦でんぷんと 12%程度のたんぱく質を含む小麦粉強力粉の割合を変えて混合した小麦粉を用い、たんぱく質含量の異なる、すなわちクッキードウのたんぱく質含量の異なるクッキーを調製し、ドウ中のたんぱく質含量が、焼成したクッキーの咀嚼しやすさ、食塊形成を中心とした食べやすさにどのように影響するか検討した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

唾液を吸収しやすく、咀嚼による破碎の度合いと唾液の質に大きく影響されるテクスチャーを有する低水分食品であるクッキーを試料とした。高齢者は唾液量が少なくなり、また、唾液の粘性率も高くなる傾向にある。本研究ではクッキーの硬さと食塊の性状、および高齢者、若年者による食べやすさの違いを知ること、口腔内感覚の加齢への影響を検討した。

3. 期待される効果

多孔質性食品の代表であるクッキーの物理的特性を変えて調製し、嚥下直前までの咀嚼回数、およびその食塊の性状を把握することで、食べやすいクッキーの調製方法の一考察となると考える。

4. 研究の経過及び結果

(1) クッキーの調製方法、および測定方法

試料クッキーの調製には、強力粉（日清製粉カメラ：たんぱく質含量 11.6%）、小麦でんぷん（和光純薬）、グラニュー糖、無塩バター、市販新鮮卵を用いた。材料配合は、小麦粉 45%、バター26%、砂糖 21%、卵 8%とした。小麦粉については、強力粉のたんぱく質含量を 12%として、小麦粉中のたんぱく質含量が 0、8、12%になるよう強力粉と小麦でんぷんを配合して調製した。以下、たんぱく質含量 0%のものを 0%クッキー、8%のものを 8%クッキー、12%のものを 12%クッキーとする。

クッキー試料のテクスチャー特性はテクスチャーアナライザーにより、くさび形プラ

ンジャーを用いて測定を行い、硬さ、付着性、凝集性について測定値を得た。

クッキーの咀嚼中の唾液吸収量を推測する目的で、吸水率の測定を行った。吸水率の測定方法は、クッキーを蒸留水 100ml に 5 秒、10 秒、30 秒浸漬したのち、濾紙に 15 秒間のせ、余分な水分を除去して、クッキーの吸水後の重量を得、吸水率に換算した。

クッキー食塊の性状の検討では若年被験者より嚥下直前のクッキー食塊を採取し、そのテクスチャー特性、および食塊中の唾液分泌率の測定を行った。また、若年者パネルおよび高齢者による食べやすさの官能評価を順位法により行った。

(2) 研究の結果、および考察

クッキーのテクスチャー特性は、たんぱく質含量が多くなるに従いクッキーの硬さは硬くなり、凝集性は小さくなる傾向を示した。付着性はいずれの試料においても得られなかった。クッキーの吸水率の結果では、いずれのクッキーもはじめの 5 秒間で急速に吸水し、以後吸水率は増加するものの緩慢となり、また、たんぱく質 0%の 0%クッキーの吸水時間 5 秒と 30 秒の間で吸水率に有意差が認められた。吸水時間が同程度の場合は、たんぱく質含量が大きいクッキーほど、吸水率は低くなった。このことより、タンパク質含量が低いクッキーほど口溶けがよく、唾液と混ざりやすいことが推測される。

若年者によるクッキー食塊形成の検討を行い、その結果を表 1 に示した。たんぱく質含量が高い、すなわち硬いクッキーの食塊形成完了までの咀嚼回数は多くなった。これはクッキーの硬さと吸水率が影響していると考えられる。すなわち、0%クッキーは軟らかいため、噛み砕きやすく、吸水性もよいことから、咀嚼回数が少なくなったと考えられる。また、嚥下直前のクッキー食塊中の唾液量を唾液分泌率として算出した。嚥下直前に含まれる唾液分泌率は被験者間の差が大きく、クッキー試料による明確な差は認められなかった。

表 1 嚥下までの咀嚼回数と食塊中の唾液分泌率

Sample	0%	8%	12%
Number of chewing movements	21±7	25±10	28±11
Rate of secreted saliva ^{*1}	43.85±17.92	42.69±17.99	43.40±20.49

*1 はクッキー食塊中の唾液分泌率を示す。

次に、咀嚼回数と唾液分泌率の関係を図 1 に示した。クッキー試料による咀嚼回数ごとの唾液分泌率には有意差が認められず、クッキーの硬さは、咀嚼中の唾液分泌率に影響を及ぼさなかった。嚥下直前の食塊のテクスチャー特性の結果を表 2 に示した。いずれのテクスチャー特性においても、クッキー試料間では有意差は認められなかったが、食塊の硬さはたんぱく質含量が多くなるに従い硬くなる傾向が見られた。

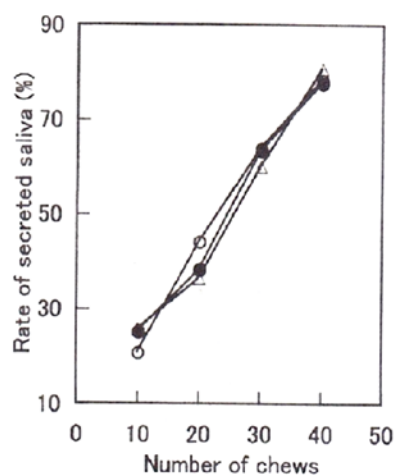


表 2 クッキー食塊のテクスチャー特性

Sample	0%	8%	12%
Hardness ($\times 10^4 \text{ N/m}^2$)	1.61 ± 1.78	1.78 ± 1.57	1.86 ± 1.50
Adhesiveness ($\times 10 \text{ J/m}^3$)	2.70 ± 1.90	4.09 ± 2.97	3.35 ± 2.53
Cohesiveness	0.77 ± 0.28	0.76 ± 0.17	0.70 ± 0.14

図 1 咀嚼回数と唾液分泌率の関係

○:0%クッキー, △:8%クッキー, ●:12%クッキー

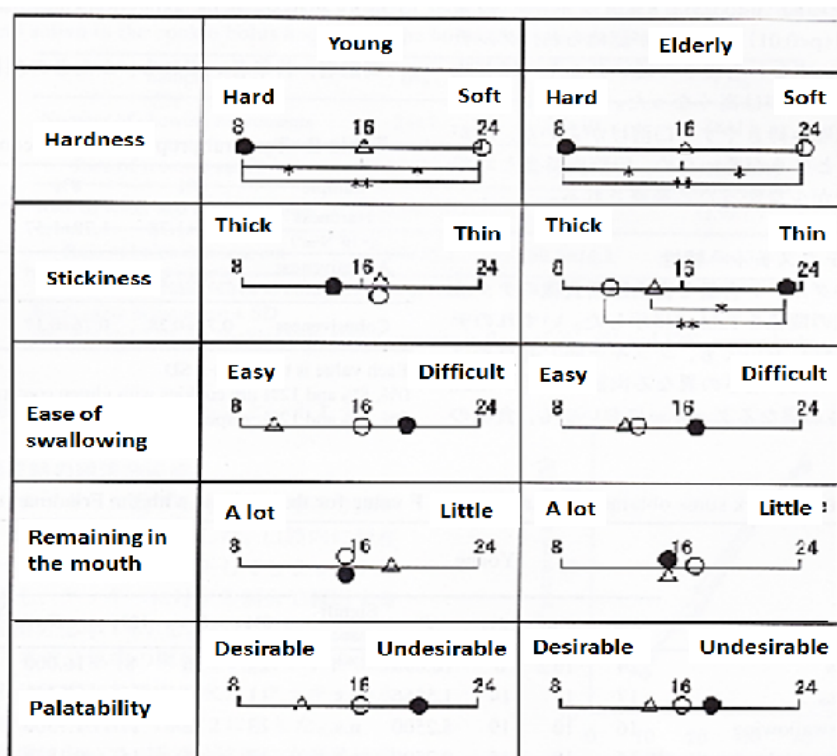


図 2 高齢者と若年者の官能評価結果

○:0%クッキー, △:8%クッキー, ●:12%クッキー

高齢者、および若年者をパネルとした官能評価結果を図 2 に示した。高齢者、若年者いずれのパネルにおいても口中で感じるかたさの項目で、また、高齢者パネルにおいて、口腔内のはりつき感の項目で有意差が認められた。高齢者、若年者ともにたんぱく質含

量が多いクッキーほどかたいと評価された。高齢者における口腔内でのはりつき感の項目で、12%クッキーと他の試料との間で有意差が認められ、0%クッキー、8%クッキーは12%クッキーに比べ、口中ではりつくとも評価された。一方、若年者パネルにおいて、口腔内でのはりつき感の評価項目で有意差は認められなかった。これは、年齢による唾液量、唾液の質の差によるものと推測される。

(3)まとめ

以上の結果より、硬さの異なるクッキーでは、咀嚼回数を調節することで食塊中の水分および食塊のテクスチャー特性を調節していることが示唆された。この水分量やテクスチャー特性がクッキーの嚥下域であることが推測される。官能評価において、かたさの項目の結果は、機器測定による結果と同様の結果が得られた。口腔内でのはりつき感で、高齢者においては有意差が認められるものの、若年者では有意差が認められなかった。これは加齢により唾液量が減少し、また唾液の粘度も上昇しているため、口腔内でのはりつき感をより強く感じたと考えられる。また、高齢者は咀嚼力や歯の欠損のため、食塊を形成するまでの咀嚼回数を多く要することより、口腔内での食塊の滞留時間が長いことも影響していると推測される。

5. 今後の計画

クッキー以外の多孔質食品の食塊の性状を解明し、食べやすい多孔質性食品の開発を行う予定である。現在、酵素を添加することで食べやすいパンの開発を食品企業の受託研究で行っている。

6. 研究成果の発表

日本調理科学会、バイオレオロジー学会で発表する予定である。

「動的 CPA の手法を用いた磁気的不純物状態の理論的研究」

研究者名：所属学科 高橋 正雄：基礎・教養教育センター

1. 研究の目的

動的コヒーレントポテンシャル近似 (CPA) の手法を使って、EuO 中の磁気的不純物状態とキュリー温度上昇の機構を理論的に研究する。とりわけ、異常磁化曲線のしくみと、電気抵抗曲線の不純物濃度および伝導電子数依存性を解明する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

EuO は長い歴史をもつ強磁性半導体であるが、2009 年磁性不純物として 20%までの Gd 含む良質の試料が精製された。高いキュリー温度を持つスピントロニクス素材としての期待も高まっているが、基礎研究としても興味深い対象である。これまでは、1 % 前後の不純物を前提とした磁気ポーラロン等の研究がなされてきたが、高濃度の磁気的不純物によるバンドの生成まで考慮した系統的研究はなされてこなかった。

3. 期待される効果

GaAs に Mn をドーピングした III-V 族半導体が、キュリー温度の低さから応用面で制限されるのに対して、EuO はドーピング以前の段階で 70K のキュリー温度を持っていて、5 % ドーピングすると 120K になる。磁気的不純物バンドの性質と役割を明らかにすることで、より高いキュリー温度を持つ試料作製の指針となることができる。

4. 研究の経過及び結果

申請者は動的 CPA の手法に関して既にレビュー論文を発表した[M. Takahashi Materials 2010, 3(6), 3740-3776]。Gd をドーピングして生じる磁気曲線の異常の起源を調べ JPSJ に発表した[J. Phys. Soc. Jpn 80 (2011) 075001]。Gd-doped EuO について、Gd 濃度 x に応じて磁気的不純物状態から磁気的バンドへと変わること、それが興味深い磁気的光学的現象を引き起こすことなどを説明し、アメリカ物理学会誌にも発表した[Phys. Rev. B 86, 165208 (2012)]。EuO 中の酸素格子欠陥の役割についてはアジア太平洋国際会議 (APPC12) で発表済みで、プロシーディングとして発表した[JPS Conf. Proc., 012014 (2014)]。その後、磁性不純物 Gd だけでなく非磁性不純物 La でもキュリー温度が上昇することが実験的に報告されたので、その類似性と違いについて磁性については 2014.3 月、電気抵抗については 2015.3 月、本学の研究報告で発表した。更に、これらの研究成果は、日本物理学

会第 69 回年次大会 (2014. 3 月) および国際半導体会議 (ICPS2014. 8 月 USA) で発表された。その後、計算を進めて、①磁化曲線は各 Gd ドナーが必ずしも 1 つずつ伝導電子を供給していないこと (低活性) で説明できること、②電気抵抗率が Matthiessen's rule を満たすこと、つまり局在スピンによる抵抗とドナーサイトでのクーロン散乱との和として説明されることを示した。更に、Gd 濃度 x 、伝導電子数 n とすると、各寄与分は $n^{(-2/3)}$ と $x(1-x) n^{(-2/3)}$ に比例することを示し、実験結果と比べた結果満足できる一致をみた。

5. 今後の計画

EuO 中の酸素格子欠陥の役割について、研究を進める。この系は束縛電子が 2 電子系であるから、電子相関の扱いなどに特別な工夫を擁する。

6. 研究成果の発表

この分野で最も権威のある雑誌のアメリカ物理学会誌 Physical Review B に発表された。

Masao Takahashi, Phys. Rev. B 93, 235201 (2016)

<http://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.93.235201>

授業・学習支援システムにおける操作履歴モニタリング・可視化技術の研究

研究者名： 情報工学科 田中哲雄，鈴木孝幸

1. 研究の目的

私立大学などでの受講学生が 100 名を超える多人数の授業では，教員から学生への一方向の講義が基本となり，少人数の授業に比べ学生の反応が得られにくく，学生の理解度や集中度に応じた授業を実施するのは困難である．また，一方向の講義で教員の説明を聞く時間が長くなったり，板書の量が多くノートをとる時間が長くなったりすると，学生が教員の話に集中できなくなり，聞き逃しが発生する．多人数講義では学生が聞き逃したことを質問したり自分の意見を述べたりすることを恥ずかしがる傾向にあり，教員と学生の，あるいは学生間のコミュニケーションは低調である．ミニットペーパーなどを用いて，講義時に質問や意見を書かせて回収し，次の講義時にコメントすることで，質問や意見を引き出すことはできるが，この方法では回答までにタイムラグが発生してしまう．

これらの背景から本研究では，教員による学生の理解度や集中度の把握，学生と教員のコミュニケーションの増加，および，教員による授業の振り返りと次回授業へのフィードバックの容易化を目的として，授業・学習支援システムを開発する．目的を達成するために本システムは，講義資料を電子化し講義資料に対する講義中の学生の操作履歴（ページめくり，マーキング，質問）をモニタリングする．また，それらのデータを集計・可視化して，講義中・講義後に教員に提示する．

2. 研究の必要性及び従来の研究

講義資料や学生のレポートを管理する LMS (Learning Management System) の整備が進められている。Blackboard Learn や Moodle がそうしたシステムである。しかし，LMS では，学生が教材のどのページをどの時間だけ閲覧したかの情報は得られるが，その内容についてどれだけ理解したか，どこが分らなかったは特定できない。

LMS にチャットや掲示板などのコミュニケーションツールを導入して教員と学生のコミュニケーションを促進し，学生の理解度向上を図る研究が行われている。関口らは，学生が自由に書き込み可能な電子テキストリーダを導入し，予習時に教材の理解が難しかった個所を教員に伝える講義方法を提案している。菅原らは，リアルタイムの掲示板を備えた e-ラーニングシステム Sheet Oriented Education System (SHoes) を提案している。SHoes では，学生同士や教員が相互に質疑応答を行い，コミュニケーションをしながら講義を進める。これらのシステムは学生教員間あるいは学生同士が講義についてリアルタイムな質疑応答を可能にすることで学生間のインタラクションを増加させ，理解度の向上を図っている。しかし，対面講義形式の授業では講義は常に進行しているので，学生同士が質疑応答している間は教員の話に集中して聞くことができない。また，

学生同士であるため回答も常に正しいとは限らないという問題がある。質問は教員に直接聞くことが確実であるが、学生が 100 人から 200 人の授業では、教員が授業中にすべての質問に答えていたのでは授業が進まない。

また、Learning Analytics (LA)や Education Data Mining (EDM)が注目を集めている。これらの手法は、LMS などに蓄積された学生の学習行動の履歴をデータマイニングの手法を使って可視化、分析することにより、学習者の達成度の評価、将来的な能力の予測、隠された問題の発見などを目的とする。これらは、MOOCs(Massive Open Online Courses)などのオンラインコースや、オンライン協調学習を対象に、マンスリーやクォーターリーなどのバッチ処理によってデータ分析するものが主流であり、本研究のように、授業中の学生の活動をリアルタイムに収集し、その結果を可視化して授業中や授業直後にタイムリーに教員や学生にフィードバックするようなシステムや研究の事例は見当たらない。

3. 期待される効果

本研究により、次の効果が期待される。

(1) 教員による学生の理解度や集中度の把握

授業の理解度・集中度・進度の適切さを教員が把握でき、教員はそれに応じて講義の進め方（進度や説明の詳細度）をその場で調整することができる。結果、学生は講義への集中度・理解度を向上させることができる。

(2) 学生と教員のコミュニケーションの増加

教員は、授業の進行を止めない範囲でできるだけタイムリーに質問や意見に応えることが可能になる。また、学生は授業の進行の妨げとなることを気にせず質問や意見を言いやすくなる。結果として、わからない部分を残さずに授業を受けることができ、学習効率が向上する。

(3) 教員による授業の振り返りと次回授業へのフィードバックの容易化

教員は講義後にどこについていけなくなったか、どの資料が理解出来なかったかを把握でき、わからない部分の資料を追加したりすることで、学生の講義意欲を高めることができる。

4. 研究の経過及び結果

本研究では、右図に示す構成の授業支援システムを試作した。システムは Web ベースとし、サーバ側は PHP, Apache HTTP Server, MySQL により実装した。クライアント側は、HTML5, CSS3, JavaScript とそのライブ

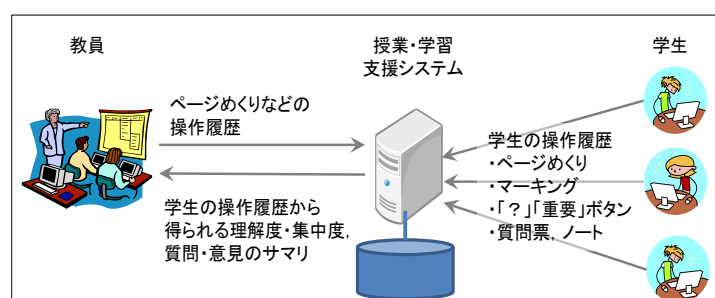


図 システム構成

ラリ群により実装した。

本システムでは、学生は授業資料を Web ブラウザで参照し、自分の好きなタイミングで資料をページめくりする。ページめくりボタンには「次（わかった）」「次（よくわからない）」「とにかく次」「待って」の 4 種類があり、そのページを理解したか否かをシステムに通知する仕掛けとなっている。また、重要だと思ふ個所をマーキングしたり、質問があれば質問フォームに入力したりできる。

教員は、授業資料の各ページについて学生がどれくらい理解できたか（理解度）、現在のページをどれくらいの学生が参照しているか（集中度）、および、学生がどのワードを重要（あるいは難解）と考えているかを、授業をしながら参照することができる。また、授業後にページごとの理解度と集中度を一覧で参照することができる。さらに、学生からの質問に対して適切なタイミングで回答することができる。

本システムの有用性を確認するために、少人数の学生（10 名）に対して模擬授業を行なった。その結果はつぎの通りである。

(1) 教員による学生の理解度や集中度の把握

ページ送り、アンダーライン、ノートとり、質問といった学生の操作履歴から、理解度、集中度を教員用画面に表示できた。画面中の「集中度」ペインから学生は教員に遅れず講義についてきていることを確認できた。また、「理解度」ペインから教材のページ毎の学生の理解度を把握できた。

一方で、模擬授業では、学生による「待って」ボタンの押下を見逃すことがあった。教員が表示を見逃して学生からのアクションに対応できないと学生の満足度を低下させてしまう。表示に工夫の余地があることが確認できた。また、教員はシステムの操作や表示画面に習熟しておく必要があることが確認できた。

(2) 学生と教員のコミュニケーションの増加

今回の模擬授業では「質問タイムライン」には学生からの質問が出なかった。少人数での模擬授業であったため学生は講義に集中して取り組んだためであると考えられる。実験後のアンケート調査により、教員・学生間のコミュニケーションの心理的なハードルが下がり、質問や自分の意思表示が行い易くなったことを確認した（10 名中 7 名の学生）。

(3) 教員による授業の振り返りと次回授業へのフィードバックの容易化

学生の操作履歴を集計してその一覧を講義後に教員に提示する機能は、実装まで至らなかったが、設計に基づき、手作業で可視化した結果、下図に示す通り、集中度・理解度ともに一目でどのページで集中度や理解度が低下するかを把握できることを確認した。

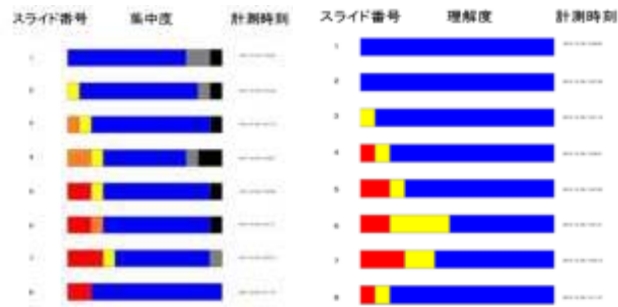


図 集中度と理解度の一覧表示

5. 今後の計画

今後の課題は以下の通りである。

- 大人数での実験と評価：本システムは 100 名から 200 名の大人数授業を対象としている。下記の課題を解決後、大人数での評価を行う。
- 機能の拡充および改良：学生のアクションを教員が見逃すことのないようユーザインターフェースを改良する。また、集中度や理解度の一覧表示などの実装を進める。
- パフォーマンスの改善：大人数での使用に耐えるパフォーマンスチューニングを行う。
- オーサリングツール：現実装では、教材は一度 PDF ファイルに変換してから、さらに HTML ファイルに変換して使用している。Microsoft PowerPoint などプレゼンテーションソフトで作成したファイルから直接変換する機能などを検討する。
- 用語レベルでの理解度の把握：今回の実装では、ページレベルでの理解度の把握はできたが、用語レベルでの理解度の把握が不十分であった。これを改良する。
- ノート情報の分析：学生がとったノートを記録する機能はあるが、分析と活用が行われていない。これを解析し活用する手法を検討する。

なお 2016 年度より、本研究は共同研究者の鈴木助教に移管する。

6. 研究成果の発表

本研究の成果を以下の通り発表した。

- Takayuki Suzuki, Tomohiro Takahashi, Tetsuo Tanaka, Kazunori Matsumoto, Prototyping and Trial Experiment of Lecture and Learning Support System that uses Students' Action History, The Fourth Asian Conference on Information Systems (ACIS2015) Proceedings, pp. 44-49, 2015.
- 鈴木孝幸, 山下智也, 田中哲雄, 学生の操作履歴を利用した対面講義支援システムの試作・評価, IT を活用した教育シンポジウム 2015 講演論文集 第 10 巻, pp. 10-13, 2016.

ヒラタケを用いたイソプレンの製造 ～ヒラタケの形質転換系の構築の検討～

研究者名：応用バイオ科学科 仲亀誠司

1. 研究の目的

「再生可能資源であるリグノセルロースからイソプレンを製造する方法を確立すること」が本研究の目的である。今までの多くの研究開発にも関わらず、リグノセルロースを用いた化成品原料の製造が実用化に至らない原因は、リグノセルロースが物理的に強固であり、多成分から構成されるために製造工程が複雑になるためである。本研究では、基幹化成品中間原料であるイソプレン合成能を有する白色腐朽菌を分子育種により作製し、バイオリファイナリーに活用することを目的として、バイオマス分解力が高いヒラタケの薬剤耐性マーカーを用いた形質転換系の構築の検討を行った。

2. 研究の必要性及び従来の研究

イソプレン (C_5H_8) は原油由来のナフサを熱分解した際の副産物であり、工業的に年間約 40 万トン生産されている。イソプレンの主な用途はポリイソプレンゴム (IR) であり、用途の 90%以上を占めている。今後、東南アジア諸国におけるタイヤ需要の拡大が見込まれており、天然ゴムと同等の性能を有する IR は天然ゴム代替素材として重要な素材となる。しかし、上述のようにナフサの熱分解設備の縮小が見込まれており、世界的に原油由来のイソプレン生産量の低下が見込まれている。イソプレンは、植物の葉緑体内で非メバロン酸経路による生産が知られており、イソプレン合成遺伝子がポプラやクズから単離されている¹⁾。非メバロン酸経路の最終生成物の一つであるジメチルアリル二リン酸 (DMAPP) は、イソプレン合成酵素によってイソプレンへと変換される。これらの植物由来のイソプレン合成遺伝子の塩基配列を最適化して遺伝子導入することで酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)²⁾や、大腸菌 (*Escherichia coli*)³⁾等がイソプレン発酵能を持つようになったとの報告がある。しかし、*S. cerevisiae*や *E. coli* の形質転換体を用いたイソプレン製造における炭素源は精製されたグルコースであり、リグノセルロースを炭素源としたイソプレンの製造は実現していない。

3. 期待される効果

イソプレン発酵能を有するヒラタケを分子育種により作製し、バイオリファイナリーに应用することで、リグノセルロースからのイソプレン製造の実用化への道筋を示すことができる。また、本方法の成功により、他の高付加価値の基幹化成品中間原料をリグノセルロースから製造することが可能となる。将来、本プロセスが実用化された際には、イソプレンを製造するための化石資源の使用量を軽減させることのできるため、低炭素社会の実現

に貢献できる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 プロトプラスト生成条件の検討

供試菌株として *Pleurotus ostreatus* CECT 20311(和名：ヒラタケ)を用いて、形質転換系の構築に必要なプロトプラスト作製条件の検討を行った。グルコース・ペプトン (GP) 液体培地で *P. ostreatus* を静置培養 (26 °C, 前培養 10 日, 本培養 2 日) することで得られた菌体に対し、細胞壁分解酵素 (Cellulase Onozuka, Yatalase) を加え、28 °C で振とう (75 min⁻¹) 処理を行った。光学顕微鏡を用いて、経時的に生成するプロトプラストの個数を計測した結果、酵素反応時間の経過に伴いプロトプラスト濃度の増加が認められ、4.5 h 後には 1.3×10^7 個/ml となった (図 1)。

4.2 ハイグロマイシン B 耐性マーカー遺伝子の作製

GP 液体培地で振とう培養 (26 °C, 1 週間) した *P. ostreatus* の菌体から DNeasy Plant Mini Kit を用いてゲノム DNA を抽出し、本ゲノム DNA をテンプレートにして β -tubulin 遺伝子のプロモーター領域と、ターミネーター領域の増幅を行った。また、pCSN44 プラスミド DNA に含まれるハイグロマイシン B 耐性遺伝子の ORF を PCR 法で増幅した。増幅した領域を Double joint PCR 法で連結した後、PCR 産物を TA クローニングキット (Target Clone Plus ,TOYOBO) を用いてクローニングして、目的産物 (3.3kbp, 図 2. Lane2-4) と同じ長さの遺伝子断片を含むプラスミドを得ることができた。本プラスミドのシーケンスを行なった結果、*P. ostreatus* の β -tubulin 遺伝子のプロモーター領域と、ターミネーター領域を持つハイグロマイシン B 耐性遺伝子の構築が確認できた。

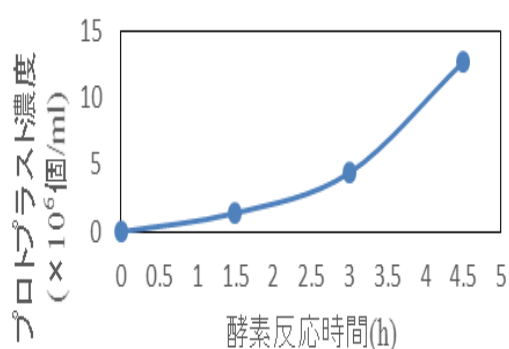


図 1. プロトプラスト濃度の経時変化

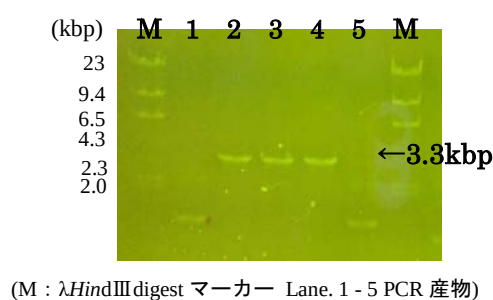


図 2. コロニーPCR の電気泳動結果

5. 今後の計画

本研究で構築したハイグロマイシン B 耐性マーカー遺伝子の機能を *P. ostreatus* を用いて

確認する。また、イソプレン合成遺伝子を作成して *P. ostreatus* を形質転換することで、イソプレン発酵能を得ることができるか確認する。

6. 研究成果の発表

本研究の詳細は卒業論文⁴⁾にまとめた。今後、学会発表や学術雑誌に対して成果発表を行う予定である。

(参考文献)

- 1) Sharkey, T. D., Yeh, S., Wiberley, A. E., Falbel, T. G., Gong, D. M., Fernandez, D. E., "Evolution of the isoprene biosynthetic pathway in Kudzu." *Plant Physiology*, 137(2).700-712.
- 2) Hong, S. Y., Zurbriggen, A. S., Melis, A. "Isoprene hydrocarbons production upon heterologous transformation of *Saccharomyces cerevisiae*." *Journal of Applied Microbiology*. 113. 52-65.(2012).
- 3) Zurbriggen, A., Kirst, H., Melis, A. "Isoprene Production Via the Mevalonic Acid Pathway in *Escherichia coli* (Bacteria)." *Bioenergy Research*, 5(4). 814-828 (2012).
- 4) 横田 修平, ヒラタケを用いた非可食性バイオマスからのイソプレン製造, 神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2016年2月

交通流の計測・評価とミクロシミュレーションモデルへの展開 (オーバーシュートが発生して遅れが蓄積する追従モデルの開発)

研究者名： 機械工学科 中根一朗

1. 研究の目的

現在、世界中のいたるところにおいて発生している深刻な社会問題の一つが、交通渋滞である。特に、交通渋滞の発生は、経済損失だけではなく、二酸化炭素の排出増加と化石燃料消費にも直結することから、渋滞が発生している都市や地域だけの局所的な問題にとどまらず、地球規模の環境問題と言える。

このような渋滞問題において、我々が解決の一助となることを期待し、その構築を目指しているものに、物理・数理モデルを用いたシミュレーションを中心とした交通流予測システムがある。これは、スーパーコンピュータを利用することで飛躍的に精度の向上した現在の天気予報と同様に、数値シミュレーションを利用して交通流を予測した上で、渋滞の発生・解消の予報をナビゲーションシステムや移動体通信システム等に発信するものである。そして、このようなシステムが構築されれば、画期的な対渋滞システムとなることが期待できる。

ただし、このシステムにおいて最も重要で難しいのが、シミュレーションの予測精度を実用レベルにまで高める交通流モデルを開発することである。そこで、我々は、交通流の計測結果に基づいて物理・数理モデルを開発することで、実用レベルへの到達を目指している。このため、特に本研究においては、実用的なモデル開発への第一歩として、最も単純な片側一車線道路を対象とし、交通流の計測、計測結果の評価と、これに基づき、“オーバーシュート(O.S.)が発生し、遅れが蓄積するモデル”の作成を目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

渋滞による損失に関して我が国の都心部を例にとると、首都高速道路(外回り)の川口JCT～小菅JCT～船堀橋、三郷JCT～小菅JCT～船堀橋においては、1台あたりの損失時間が約30.2分、12時間当たりの損失額が約5,118万円にも昇っている⁽¹⁾。加えて、このような渋滞問題は、日本国内のみならず世界中で発生しており、先進国、開発途上国を問わず問題となっている。

このため、例えば、メリーランド大学では先端交通技術研究所を設置し、蓄積された計測データから判断される渋滞予測を配信している。また、国内に限っても、渋滞緩和を目的として利用されている交通流シミュレータは約20モデルにも及んでいる⁽²⁾。従って、本研究が対象としている交通流ミクロシミュレーションにおいても、その核となる車両追従モデルには実に多様なモデルが提案されている。例えば、代表的な車両追従モデルを挙げると、直前方車両あるいは前方2車両と自車との速度差によって自車両の加速度を決定するモデルを、それぞれChandlerら⁽³⁾、Bexeliusら⁽⁴⁾が提案している。また、Newellら⁽⁵⁾は直前方車両と自車との車間距離により自車両の速度を決定するモデルを提案している。さらに、Bierleyら⁽⁶⁾は直前方車両との車間距離と速度差に応じて自車両の速度を更新するモデルを提案しているし、Bandoら⁽⁷⁾は直前方車両との車間距離に応じた最適速度と自車両の速度差から自車両の加速度を更新するモデルを提案している。ただし、これまでの研究においては、渋滞相への相転移のメカニズムに代表される定性的な予測に関しては既にかんがりの知見が得られているものの、未だ実用的な予測手法とはなっていない。

3. 期待される効果

我々の最終的な目標は、物理・数理モデルによる実用レベルの交通流のリアルタイム予測シミュ

レーション手法を開発することと、これによる予測結果をナビゲーションシステムや移動体通信システムに発信するシステムの構築であり、これを可能とすれば、渋滞問題解消において非常に強力なツールとなる。加えて、このような実用的な交通流数理・物理モデルより得られる知見は、将来の車両の自動航行システムにおいても、非常に有用なデータをもたらすものと考えられる。

4. 研究の経過及び結果

前記した通り、本研究では、交通流マイクロシミュレーションのための交通流物理・数理モデルを計測結果に基づいて開発する。このため、最も基本となる片側1車線道路の定点計測データを採取するため、神奈川工科大学情報学部棟12階より県道63号線を移動する車をビデオ撮影した。撮影画像の一例を図1に示す。なお、この動画より、VideoPointと表計算ソフトを用いて1/30秒毎の各時間 t における車両位置 $x(t)$ 、ならびにその位置での車両速度 $V(t)$ と加速度 $a(t)$ を算出した。ただし、広角レンズを使用した撮影のため画像に歪みを生じていることから、撮影領域内の距離を実測して計測値を補正するとともに、この補正した座標値を車両毎に最小自乗近似することで各車両位置を決定している。また、この地点を観測点として選定した理由は、計測範囲内に歩行者用信号が設置されているからである。そして、これにより、信号での停止と発進を含めることで、通常に走行している状態だけからでは得られない幅広い車間距離と速度の関係が得られるとともに、後記するように、本研究が提案するモデルの特長である車間距離の広がる状況下と詰まる状況下に分けての検討を容易にしている。

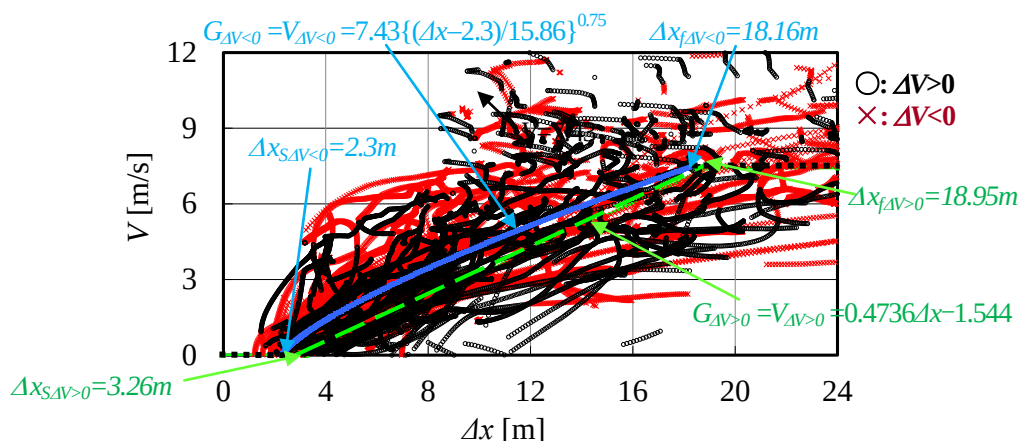


Fig.1 An example of recorded movie to measure the traffic flow.

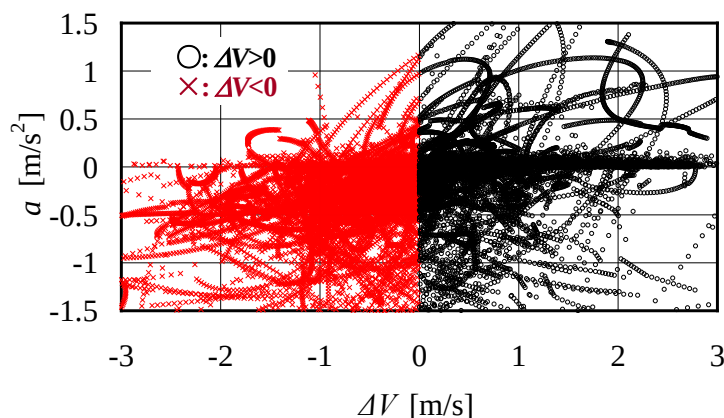
得られた計測結果から交通流物理・数理モデルへの展開を図るため、前方車両との車間距離・速度差と自車速度・加速度の相関を検討した。これは、交通流マイクロシミュレーションにおいて使用する物理・数理モデルが、前方車両との車間距離や速度差に応じて自車両の速度や加速度を制御するモデルであるためである。そして、この計測結果の評価・検討から、本研究では“前車との車間距離に応じて自車速度を増減する車両追従モデル”を採用することとした。ただし、ドライバーが前車との速度差に応じて車両加速度を増減していると推察されたため、車間距離の広がる状況下(速度差正)と詰まる状況下(速度差負)を区別し、速度差の正負で異なる速度関数を与えることとした。これにより、速度関数のみでオーバーシュート(O.S.)を表現するというこれまでにない特長を持つとともに、加速度の上限を設けるモデルとしている。ただし、車間距離・速度差ともに前車との関係のみを問題とし、影響が少ないと推察される前々車や後車との関係は無視している。

この計測結果の評価・検討の一例を図2に示す。同図では、図(a)が“車間距離 Δx と自車速度 V の相関”、図(b)が“速度差 ΔV と自車加速度 a の相関”であり、前記した通りに ΔV により分類している。ただし、 Δx と ΔV は、それぞれ、直前方車両の位置と速度から自車の位置と速度を減じたものである。まず、同図より分かることとして、計測データが相当にばらついている。しかしながら、図(a)からは、ある車間距離範囲内においては速度の右肩上がりの相関が、加えて、それ以上とそれ以下においてはほぼ一定速度となっていることが見て取れる。従って、この傾向を鑑み、それぞれの領域における車両の状態を、自由走行状態、停止状態、追従走行状態と呼称して3通りに分類する。そして、それぞれの状態の計測結果を近似した式を交通流モデルの速度関数とすることとし、自由走行と停止の状態を2本の定数関数で、さらに、追従走行の状態を1次関数($\Delta V > 0$)とべき関数($\Delta V < 0$)で近似したものが、同図中の破線($V_{\Delta V > 0}$)と実線($V_{\Delta V < 0}$)である。次に、上記した通りに、図(a)が右肩上がりの傾向を有しているため、図(a)の変数を時間微分した図(b)においても、右肩上がりの

相関が表れている。また、図(b)からは、加速時と減速時で加減速度の大きさに著しい差の有ること
も分かる。例えば、 $a>0$ においては計測データの 90%が 0.436 m/s^2 以下の加速度であるのに対し、
 $a<0$ で減速度が 0.436 m/s^2 以下となるのは計測データの 60%に過ぎず、計測データの 90%が含ま
れるのは、減速度の条件を 1.20 m/s^2 以下とする場合である。これに加え、同図からはオーバーシュ
ート(O.S.)の発生も見てとれる。これは、本来、ドライバーは、車間距離が広がる $\Delta V>0$ の場合には車
両に正の加速度 $a>0$ を与え、逆に車間距離が縮まっている $\Delta V<0$ の場合には車両に負の加速度(減速
度) $a<0$ を与えるはずであるが、これが逆になっているものであり、同図において相当数計測されて
いる $\Delta V>0$ で $a<0$ 、 $\Delta V<0$ で $a>0$ となっている点である。さらに、ここでは、 ΔV の絶対値が小さな
領域において、大きな O.S.の発生していることが分かる。また、この O.S.の発生割合を算出すると、
 $\Delta V>0$ の場合が 31%、 $\Delta V<0$ の場合が 18%となっており、 $\Delta V>0$ の場合に O.S.が頻繁に発生して
いることが分かる。そして、その原因としては、物理的要因だけではなく、衝突回避の観点から、 $\Delta V>0$
であっても拙速に加速をしたくないと言う心理によるところが大きいと推察される。なお、この
 $\Delta V>0$ の場合に O.S.の発生が多く頻繁に減速していることは、図(a)にも現れており、 $\Delta V<0$ の場合に
比べてわずかではあるが、 $\Delta V>0$ の場合の速度が車間距離の全領域において遅くなっている。つま
り、加速時には減速時に比べて広い車間距離を取っている。



(a) Correlation between Δx and V



(b) Correlation between ΔV and a

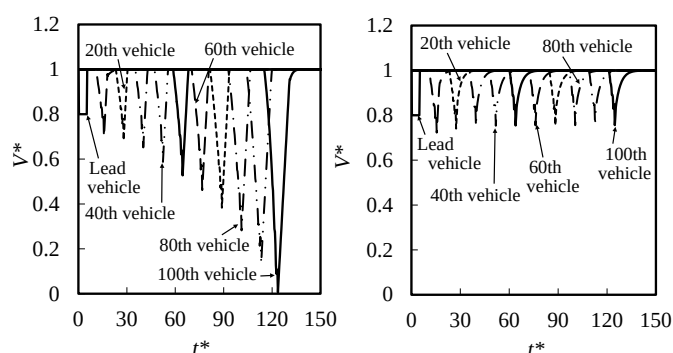
Fig. 2 Measured correlation between the forward and host vehicles

これら計測結果を踏まえ、本研究の物理・数理モデルにおいては、加減速度の上限 a_{max} 、 a_{min}
が存在していたことも鑑み、図 2(a)に示す車間距離 Δx だけで表わされる速度関数 G により自車
速度 V が決定されるものとした上で、次タイムステップの加減速度 a を算出し、上限を超えな
い加減速度を与えるものとする。また、速度関数を図 2(a)の破線と実線の G として、 ΔV に応じ

て速度関数を使い分け、破線と実線により囲まれた領域の内部や外部の値は取らず、線上の値のみを取るものとする。 $\Delta V > 0$ の場合の速度が $\Delta V < 0$ の場合の速度に比べて常に小さくなることから、速度関数のみで O.S. の表現が可能となる。さらに、本モデルの他の特徴も記すと、制御むだ時間 Δt は、計測結果より算出した $\Delta V < 0$ の速度差の平均値 ΔV_{dm} と加減速度の最大値である減速度の上限 a_{min} から、 $\Delta t = \Delta V_{dm} / a_{min}$ [s] としている。加えて、本モデルでは一般性を考慮して無次元化を行っており、その基本となる参照値は、図 2(a)中の $U=7.43$ [m/s] と $\Delta x_{f\Delta V>0} - \Delta x_{s\Delta V<0}=16.65$ [m] である。従って、計算結果では、変数は全て上付き * を伴った無次元量により表記している。ここで、モデルに関する記述の最後として、計算手法をまとめると “①：各車両の $\Delta x(t)$ と $\Delta V(t)$ より $\Delta x(t+\Delta t)$ を算出、②：図 2 の速度関数を用いて $\Delta x(t+\Delta t)$ と $\Delta V(t)$ より $G(\Delta x(t+\Delta t))$ を算出、③：加減速度が上限 (図 2 で 90% のデータが含まれる $a > a_{max} (=0.436[\text{m/s}^2])$, $a < a_{min} = (-1.20[\text{m/s}^2])$ を超えないかを判断して次タイムステップ $\Delta t (= \Delta V_{dm} / a_{min} = 0.682[\text{s}])$ の速度を決定” となる。ただし、これらの式等は全て有次元であるが、前記した通り、計算の際には無次元化された式を用いている。

提案する追従モデルを用いた数値シミュレーション結果の一例を図 4 に示す。なお、この際の計算条件は、101 台の車が初期車間距離 $\Delta x = 18.95$ [m] ($\Delta x^* = 1.14$)、車速 $V = 7.43$ [m/s] ($V^* = 1$) で自由走行中に、突然、先頭車両 (Lead vehicle, 0 台目) が、速度を 80% に減速して走行し、その後、 $t = 10.9$ [s] ($t^* = 4.87$) あるいは $t = 10.2$ [s] ($t^* = 4.56$) 経過して元の速度に戻した場合の各車両速度の時系列変化である。同図より明らかなように、先頭車両が減速した時間の違いは僅か 0.7 [s]

でありながら、後方車両の挙動は著しく異なっている。これは、図(a)の条件においては、O.S. の発生により加減速度が上限を超えてしまうため、加減速度が頭打ちし、後方車両において遅れが蓄積するためである。そして、これに比べ、図(b)における後方車両の速度低下は小さい。これは、図(b)の条件では、加減速度の頭打ちが発生しないためであり、従って、遅れの蓄積が無く、速度の時間積分値は全ての車両において等しい。なお、経験より鑑みた場合、実際の交通流における渋滞相への転移も、ここでの結果と同様に、僅かな違いがドラスティックに現れると推察される。また、このように、僅かな違いでドラスティックに相転移することから、相転移に関しては物理現象と同様であると言える。



(a) Deceleration time $t^* = 4.87$ (b) Deceleration time $t^* = 4.56$
Fig4 Propagation behavior of the lead vehicle deceleration

5. 今後の計画

本研究では、計測結果に基づいてシミュレーションモデルを開発するため、計測結果が非常に重要である。このため、図 1 に示すような交通流の定点撮影を既に 4 カ所で実施しており、撮影した動画の記録時間は数十時間以上にのぼっている。そこで、新たに購入する解析ソフトを用いて、当面はこれらのデータ解析・評価を行う予定でいる。

参考文献

- (1) ちくちく東京 ROAD, <http://www.ktr.mlit.go.jp/toukoku/info/mobility/shutoranking.htm> 2016.6.15
- (2) 交通シミュレーションクリアリングハウス, <http://www.jste.or.jp/sim/models/> 2016.6.15
- (3) Chandler, E., R., Herman, R., and Montroll, W., E., Traffic dynamics; studies in car-following, *Operations Research*, Vol.6, No.2(1958), pp.165-184.
- (4) Bexelius, S., An extended model for car-following, *Transportation Research*, Vol.2, No.1(1968), pp.13-21.
- (5) Newell, G., Nonlinear effects in the dynamics of car following, *Operations Research*, Vol.9, No.2(1961), pp.209-229.
- (6) Bierley, L., R., Investigation of an intervehicle spacing display, *Highway Research Record*, No.25(1963), pp.58-75.
- (7) Bando, M., Hasebe, K., Nakanishi, K., Nakayama, A., Shibata, A., and Sugiyama, Y., Phenomenological study of dynamical model of traffic flow, *Journal of Physics I France*, Vol.5(1995), pp.1389-1399.

結合非線形線路を用いた極短電気パルス列発生に関する研究

電気電子情報工学科 檜原 浩一

1. 研究の目的

本研究は、新しい動作原理に基づいて、従来困難とされる高繰り返し電気パルス列発生を全電氣的に達成する代替のない手法を提供する。数多い電子デバイスのなかで最も単純で最も速度性能に秀でるショットキーダイオードを唯一の半導体素子として用いていること、そして素子の寄生容量・寄生抵抗による特性劣化を低減しうる分布定数型回路構成をとることで比類無い効果を発揮する。次の細目を含む原理実証までを目的とする。

- ①結合非線形線路上の逆相・同相ソリトンの相互作用の体系化と設計論への昇華
- ②汎用回路シミュレータを用いた実践的な結合非線形線路設計指針の提供
- ③プリント回路ボード（PCB）による試作評価による原理確認
- ④集積化に向けた要素技術の構築

2. 研究の必要性及び従来の研究

本研究で中心的な役割を有する非線形孤立波（ソリトン）は、非線形性と分散性をともに持つ伝送線路において両者のつりあいが図られる場合に生成される形状不変のパルス波であり、数理的な興味にとどまらず工学的利用においても盛んに研究が行われている。近年では、非線形線路のリング状構成（Ricketts et al. 2007）や、境界からの反射を重畳する構成（Yildirim et al. 2009）をとることによって、パルス列の繰り返しレートを向上させる手法が各所で提案されている。しかしながら繰り返しレートはまだ小さく、非線形線路の本来の高速性を引き出すには至っておらず、また、その相互作用を積極利用する研究は立ち遅れている。概してエレクトロニクス分野においてはソリトンやショックの発生に関するものにとどまり、非線形波動の相互作用を積極利用する研究は立ち遅れている。本研究は、結合非線形線路をプラットフォームとし、逆相ソリトンの相互作用により生成される同相パルスを用いるという独創的なアイデアにより、従来困難とされている高繰り返し極短パルス列発生技術を創出するものである。かかる「結合非線形線路上のソリトン相互作用」を動作の源とする研究は他に類をみない。また、これまでの研究実施によって、結合非線形線路上のソリトン相互作用の描写に特化した回路解析ツールを世界に先駆けて準備し課題解決の具体的な枠組みを構築している。以上示すように本研究は、非線形線路の新しい応用として魅力的かつ自立的であり高い必要性を有している。

3. 期待される効果

第一に、結合非線形線路上の逆相・同相ソリトンの相互作用の体系化によって高度の設計性を得ることができるようになる。そして、SPICE などの汎用回路シミュレータを用いた実践設計に道がひらかれる。一方、プリント回路ボード (PCB) による試作評価による原理確認は重要なマイルストーンとなる。これまでの理論的検討結果の定量的妥当性検証は以降の研究遂行のためにマストである。

4. 研究の経過及び結果

当初、同相および逆相ソリトンの生成条件、相互作用による小振幅パルスの属性、線路定数と生成パルス振幅の相関を明らかにし、結合非線形線路のパルス列応答の精緻な描写を行った。申請した経費からの減額著しく PCB 試作を完成させることができなかった。そこで、今期に基板製造までを行い次年度以降に素子実装の後に特性評価を行うよう計画を変更した。実装の先送りに伴って、結合非線形線路上のパルスダイナミクスを発展させる議論を進展させた。大きくは以下の3項である。

(1) 対称非線形線路における対称性の破れ

対称非線形線路において入力パルス振幅が大となると、対称極性パルス伝搬が不安定化し、非対称極性パルス伝搬が実際には生じることを新たに見いだした。この非対称パルスの追いつき現象を詳細に検証した結果、追い越されるパルスから追い越すパルスへのエネルギー輸送が生じ、パルス振幅の増大が見込まれる。この現象に立脚したパルス増幅法を考案した。被増幅パルスに先んじて複数の低速パルスを用意する。結合非線形線路上を前者が伝搬すると、次々に低速パルスを追い越していくことになる。追い越すごとに被増幅パルスは増幅される。これを動作原理とするものである。

(2) 対称非線形線路における蛙飛びパルス伝搬

弱結合 Korteweg-de Vries (KdV) 方程式は、位相・振幅が周期的に振動するソリトン解を持つことが知られている。これはその伝搬の様子から蛙飛びパルスと呼ばれている。相互容量値を小として弱く結合した非線形線路において、蛙飛びパルスが生成されることをはじめて明らかにした。結合強度やパルス間初期位相を大とした非摂動的状況における蛙飛びパルス伝搬の検証を進めた。

たとえば、出力パルス振幅を装荷した電圧制御容量のバイアス電圧によって各線路より出力されるパルス振幅を制御することができる。また、初期のパルス位相差を出力パルス振幅差に変換することができる。

(3) 進行波型トランジスタにおける蛙飛びパルス伝搬

第(2)項に示した蛙飛びパルスは安定ではなく振動エネルギーを徐々に失い最終的には非振動状態に至る。パルスへの恒常的なエネルギー入力をトランジスタによって実現することで、振動状態の恒常化が可能となることを見いだした。将来的に高度なパルス制御を展望することができる。

5. 今後の計画

今後は、実証実験が最大の検討項目である。すでに PCB 試作に向けた実践設計を終了しており、適当な研究費を得て試作に取り組みたい。試作回路の動作周波数帯域を計測の利便性から MHz 帯に求める。実績ある専門業者に試作発注する。

一方で、対称性の破れ・蛙飛びパルスに基づく機能拡張を主軸として、結合非線形線路のエンジニアリング応用の検討を継続する。

6. 研究成果の発表

本研究実施によって査読付き論文 3 件、ブック・チャプター 1 件の外部発表を行った。査読付き論文[1]は、対称結合非線形線路における対称性の破れに関する。同[2]は、対称結合非線形線路における蛙飛びパルス伝搬に関する。同[3]は、分散性を与えた非線形線路において生ずる調和共鳴現象に関する。ブック・チャプター[4]は、結合非線形線路に関するレビューである。

[1] K. Narahara, "Asymmetrical solitary waves in coupled nonlinear transmission lines," *Wave Motion*, Vol. 58, pp. 13-21, 2015. DOI:10.1016/j.wavemoti.2015.06.004.

[2] K. Narahara, "Characterization of leapfrogging solitary waves in coupled nonlinear transmission lines," *Nonlinear Dynamics*, Vol. 81, pp. 1805-1814, 2015. DOI 10.1007/s11071-015-2108-z.

[3] K. Narahara, "Harmonic resonance in a composite right- and left-handed transmission line periodically loaded with Schottky varactors," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 44, pp. 492-503, 2016. DOI: 10.1002/cta.2089.

[4] K. Narahara, "Solitary waves in coupled electrical nonlinear transmission lines," *Advances in Soliton Research* Chapter 4 (Nova Science Publishers, New York, 2016).

電流負荷による植物の新しい低温保存の可能性

応用バイオ科学科 鳴海 明

1. 研究の目的

低温保存技術は、食品、医療などさまざまな分野において重要な役割を果たしてきた。今後も世界人口の爆発的増加および地球温暖化を原因とする異常気象による食糧危機の可能性を考えると、低温保存技術の役割は一層重要になることが予想される。しかし、一般的に生体材料は多くの水を含んでおり、冷却の進行に伴い、多くの場合過冷却状態を経て、細胞外凍結そして細胞内凍結に至り、その結果細胞内凍結時の氷結晶が細胞膜損傷を引き起こし、細胞を死に至らしめると言われている。この原因として、細胞外凍結の氷核が細胞膜を通して侵入すると考えられている。しかし、それはあくまで仮説であり、実証されていない。とくに、植物は生きた状態で保存されるケースが多いことから、細胞内凍結を避ける工夫が必要になる。一方で、凍結された野菜を解凍すると、細胞壁の破壊により、しゃきしゃき感が失われ、野菜の凍結保存は難しいと言われている。

本研究は、このような背景の下、植物の新しい低温保存技術の開発の可能性を検討するために、以下の二つの視点から検討を行うものである。一つの視点は、高速度カメラを用いて細胞内凍結が起こる際の状況を詳細に観察することにより、細胞内に氷核が発現する位置、氷結晶の進行パターン、すなわち細胞内凍結の瞬間から氷結晶の成長挙動を把握し、細胞内凍結が起こるメカニズムとともに、細胞にダメージが生ずる過程を明らかにすること、もう一つの視点は、植物組織に微弱な電流を与えることで、電流負荷が過冷却度、細胞形状の変形度および細胞内凍結挙動（特に氷結晶のサイズおよび成長速度）にどのような影響があるかということを確認することである。以上の研究の成果として、電流負荷効果があった場合には、その効果のメカニズムについても検討を行う。これらの結果を整理し、低温保存技術の開発に繋がる新技術の可能性を検討する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

目的のところで述べたように一般的に用いられる冷却速度の場合、細胞外凍結を経て、氷核が細胞膜を介して細胞内に入り、その結果細胞内凍結が起こると言われている。しかし、それは実証されている訳ではなく、細胞内凍結前後の電子顕微鏡写真からそのように推論されているに過ぎない。したがって、新たな低温保存技術を考慮するうえで、細胞内凍結のメカニズムをより高い確度で実証しておくことは極めて重要である。本研究に類似した研究として、上村らにより（2003 年）高速度カメラを用いて細胞内凍結の瞬間および成長の挙動を捉えようとした試みが行われたが、鮮明な画像を得るまでには至っていない。それ以外にも何度か高速度カメラの撮影は試みられているが、いずれも鮮明な画像を得る

ことはできなかった。一方、農学分野において、植物細胞の活動度を示す指標として細胞内 pH_i がしばしば用いられている。植物組織を冷却すると、冷却の進行とともに、酸性化し、やがて死に至ることが Yoshida らにより報告されている。また、Murai and Yoshida は、キクイモの対凍性を調べる目的で、低温環境下における pH_i の酸性化と、pH_i と生存率の関係を調べ、pH_i が高いほど生存率が高くなることを報告している。しかし、この研究の場合、冷却速度は一定で行われており、冷却速度による細胞内 pH_i の低下の影響についてはまだ明らかにされていない。

以上の背景の下、本研究において、本年度は、細胞内凍結挙動に着目し、冷却速度を変化させながら、微小電流を負荷する場合、しない場合について、細胞内凍結時の氷核の発現位置、氷結晶の進行パターン、進行速度、氷核のサイズなどについて、冷却速度および電流負荷の影響を検討した。

3. 研究の経過及び結果

実験は、倒立型顕微鏡 (IX71, OLYMPUS) に高速度カメラ (Phantom V4. 2, VISION RESEARCH), 冷却 CCD カメラ (DXM1200C, Nikon), 通常の CCD カメラ, および冷却速度の設定および制御が可能な冷却ステージ (STC200, INSTEC) を取り付けた低温顕微鏡システムを用いて行った。試料には、2014 年 12 月中旬から 2015 年 1 月中旬にかけて神奈川工科大学キャンパス内のプランターから採取したユキノシタ (*Saxifrage stolonifera* L.) の葉の表皮組織を用いた。10 mm² に切り出した試料を蒸留水と共にカバーガラス上に置き、この上に端にシリコングリースを塗布したカバーガラスで蓋をした。これを冷却ステージ上に置き、冷却速度を 1~100° C/min で変化させて、室温 (約 22° C) から細胞内凍結が起きるまで冷却した。撮影は、高速度カメラの撮影エリア内において細胞内凍結の発生を確認したタイミングで行った。冷却速度は 1° C/min から 100° C/min まで変化させ、キクイモの塊茎組織を室温 (約 22° C) から細胞内凍結が起こるまで冷却した。冷却時の電流負荷は電流刺激装置 (SEN-3401, 日本光電) を用い、電流値がアイソレータ (SS-203J, 日本光電) の値で 1 μA と 10 μA に変化させ、また波形パターンは、0.5 msec 間に 0.1 msec 通電させる波形を 60 sec 繰り返し、60 sec 毎に極性を反転させた。試料への電流負荷は、Cooling Stage 内のカバーガラスにアルミシールを貼り、これを介して行った。

4. 実験結果および考察

(1) 細胞内凍結時の氷結晶形成挙動の撮影

高速度カメラにより、細胞内凍結の開始直前から細胞内凍結が完了するまでをクリアーに捕えることができた。得られた高速度カメラの画像から、細胞内凍結時の細胞内の氷結晶の発現の位置や氷結晶の形成挙動を明確に評価することができた。細胞内の氷結晶は、ほとんどの場合において細胞壁 (膜) 近傍に出現し、稀に細胞の中央部から出現する場合もあった。細胞膜近傍から出現した氷結晶の成長のパターンは、細胞膜に沿って成長する

場合と細胞の内部を横切って成長する場合に大別することができた。また、細胞の中央部から出現した氷結晶は、細胞膜側へ広がって成長した。冷却速度による影響としては、冷却速度が高くなるほど、細胞の中央部から出現し細胞膜側に向かって広がるパターンが見られるようになる結果となった。

(2) 細胞内に形成される氷結晶の成長速度の評価

水の冷却において、冷却速度が高いほど過冷却解除温度が低くなることおよび過冷却度が高くなると氷結晶の成長速度が増加するとともに粒径が細かくなることが知られている。本研究においても、細胞内凍結時の高速度カメラの画像を用いて、細胞内に出現した氷結晶の成長速度を評価してみた。氷結晶の成長速度は、細胞内に氷結晶が出現してから 2 ms 間隔で 8 ms 経過するまでの間、細胞内の氷結晶の面積を計測して面積速度として評価した。結果として、細胞内に氷結晶が出現した直後の氷結晶の面積は冷却速度による差がほとんどないが、2ms 以降になると、冷却速度が高くなるほど、形成される氷結晶の面積も大きくなる、すなわち、冷却速度が高くなるほど、細胞内の氷結晶の成長速度も増加することを定量的に確認した。

(3) 細胞内に形成される氷結晶の粒径の評価

急速冷凍は細胞内に形成される氷結晶の粒径を細かく均質化させるため、冷凍食品の品質を高めると言われている。凍細胞内凍結が起こると、氷結晶の生成によりフラッシングとして知られる細胞内が暗くなる現象が見られる。これを利用して、高速度カメラの画像における氷結晶の外縁部の輝度のプロファイルを取り、氷結晶粒径の評価を試みた。その結果、冷却速度が $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合と $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合を比べると、 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合、輝度の変化量の変動が大きく、その周期（ピクセルの間隔）が広がっている。このプロファイルを基にして見積もった氷結晶の粒径の結果から、冷却速度が $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合は $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合と比較すると約 70%のサイズとなり、より細かくなっていることを定量的に評価することができた。

(4) 電流負荷による影響

結論を得るほどの十分なデータを得ていないが、電流を負荷すると、冷却速度 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合にも、電流負荷なしの場合には見られなかった細胞の中心部からの氷結晶の出現が観察された。その際の氷結晶の粒径も電流負荷するとより細かくなった。また、電流負荷した場合、冷却速度 $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合の氷結晶の成長速度も電流負荷なしの場合に比べて減少するようになった。電流負荷により氷結晶の粒径が細かくなり、それに加えて進行速度が減少するという結果は、細胞内凍結において形成される氷結晶の細胞へのダメージの観点から好ましい結果であり、電流負荷による損傷低減の可能性が見出せた。

5. 今後の計画

細胞内凍結時の氷結晶形成挙動を鮮明に捕えられたことで、これらの画像を用いて細胞内に形成されている氷結晶の成長速度や氷結晶の粒径を定量化し、冷却速度による違いを

評価することができた。今後、より多くの条件下での細胞内凍結時の画像を取得し、今回の結果の普遍性を確認するとともに、さらに実験を行い、電流負荷による氷結晶挙動への影響を明らかにする必要がある。一方、電流負荷による冷却時の細胞内 pH の低下抑制のメカニズムの理解に向けて、細胞内 pH と液胞内 pH の推移との関係を明らかにしていく予定である。

6. 研究成果の発表

本年度は低温生物工学会で発表し論文投稿、日本機械学会年次大会で発表、ISTP27 で発表、Journal of Cryobiology に 2 報を論文投稿する予定である。

遺伝情報の発現制御を狙いとする生物活性物質の探索 ：ヒストンのリシン側鎖の類似化合物の合成

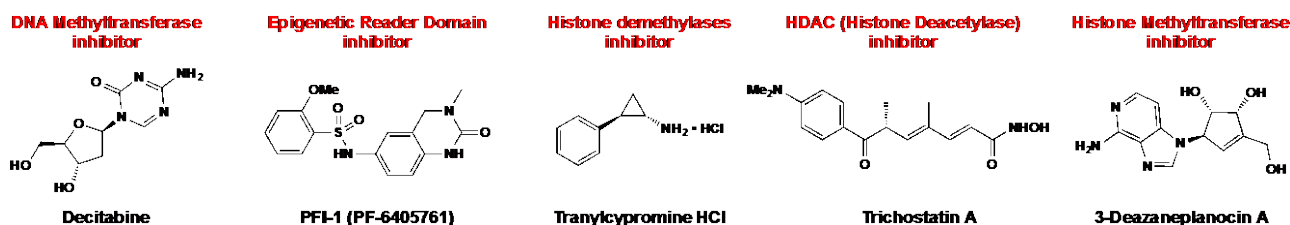
応用バイオ科学科 野田 毅

1. 研究の目的

申請者が開発した塩基性アミノ酸であるオルニチンから医薬品をはじめとする生物活性物質にみられる 3-アミノピペリジンを部分構造として有する 2-置換-3-アミノピペリジンの合成法を利用してゲノム解読以後最も世界的に注目されているエピジェネティクス分野に貢献できる化合物を創製することを計画した。このような化合物は、がん細胞の正常化や治療薬の開発が進まない難治性疾患の治療に貢献することができる。

2. 研究の必要性および従来の研究

エピジェネティクスとは、DNA の塩基配列に依存せず遺伝子の発現を制御する機構であり、DNA やヒストンのリシン側鎖部分の修飾などにより発現をコントロールすることにより、多様な細胞への分化等に関係し、その情報は、次世代の細胞にも保存される。そのため、ガンをはじめとした多くの病気に関与しており、その発現制御により、医薬品へと応用でき、その発現制御を目的として、発現制御に関わる酵素をターゲットとして、多くの阻害剤の開発が活発に行われている。DNA メチル基転移酵素、ヒストンメチル基転移酵素、ヒストン脱メチル化酵素、ヒストンアセチル基転移酵素などをターゲットにした低分子化合物の探索が行われている。



3. 期待される効果

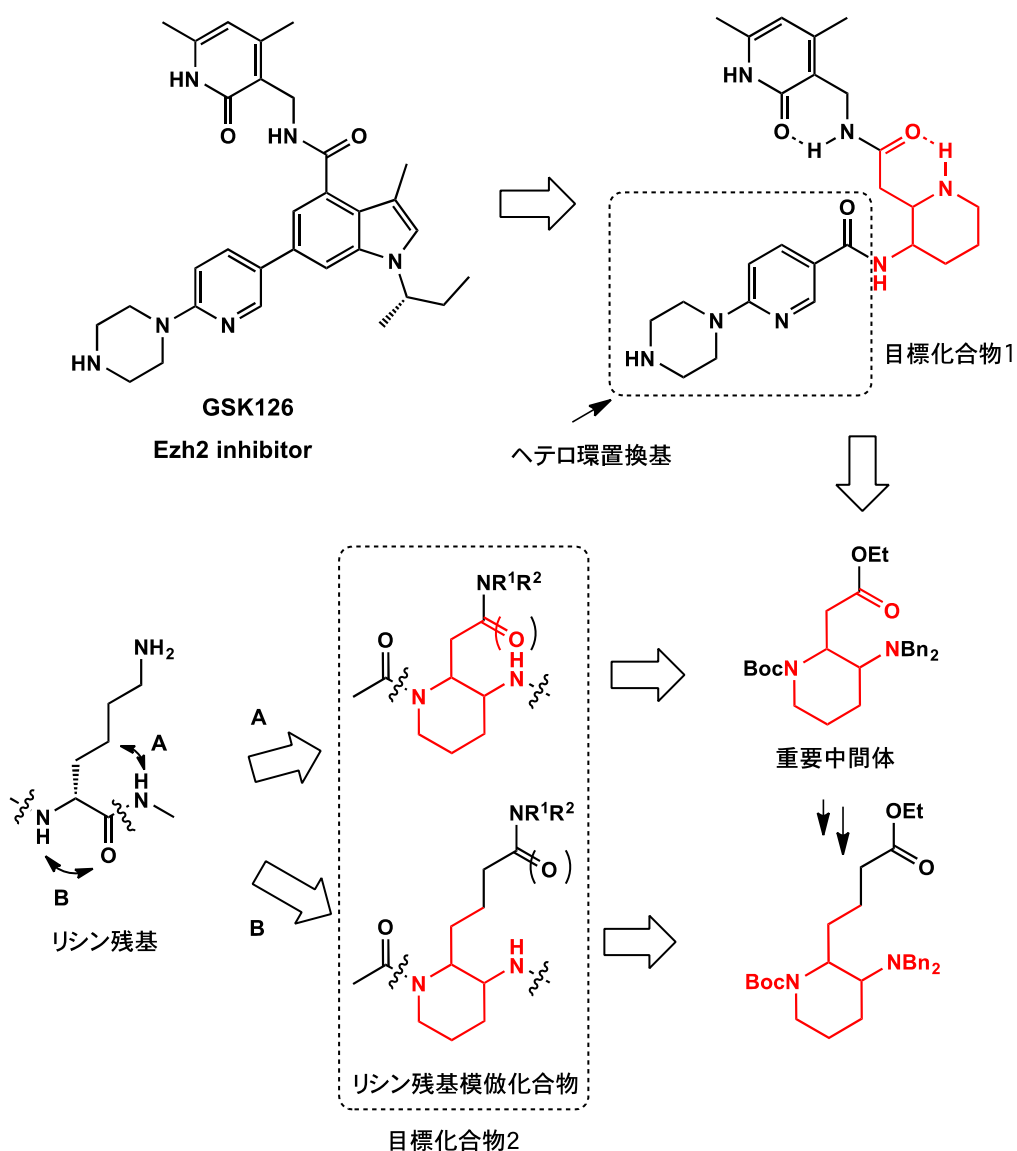
本研究では、エピジェネティックな発現制御を可能にする化合物を創製するため、発現制御において重要な役割をもっているヒストンのリシン側鎖の構造に着目し、多様な立体構造にリシン残基をもつペプチド模倣化合物を合成し、発現制御において選択的にリシン残基を修飾する酵素を阻害、活性化する低分子化合物を見つけ出す。エピジェネティクスは胚発生、細胞分化、体細胞クローン、ゲノムインプリンティング、X 染色体不活性化、神経機能、老化など、さまざまな生物現象と関わっており、がんや先天異常をはじめとする多数の病気の原因とも関係し、しかも、対象とされる生物は酵母から植物や哺乳類に至るまで幅広い。この現象を制御

する物質の創製は、遺伝子の発現過程を分子レベルで明らかにするとともに発現量をコントロールすることで、医薬品へとつながる研究が進展すると考えられる。

4. 研究の経過及び結果

実験計画

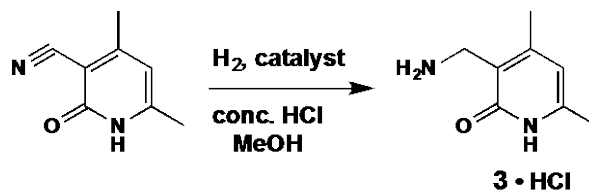
目標化合物として、Ezh2 阻害剤 (GSK126) をリード化合物にして、当研究室で開発した方法により合成した 2 置換 3-アミノピペリジン (赤で示した構造) を母格にもつ目標化合物 1 を設定した。3 位のアミノ基には多様なヘテロ環を導入する。また、リシン側鎖の構造を模倣し、コンフォメーションを固定した 2 つのリシン残基模倣化合物を標的化合物 2 とした。この場合も 3 つの窒素原子に多様な置換基を導入した化合物を合成する。いずれも同じ重要中間体から合成する。この中間体には、光学活性体を含め 4 つの異性体が存在する。これらを合成するためには、天然型の L-オルニチンおよび非天然型の D-オルニチンもしくは DL-オルニチンを出発原料とする必要がある。L-オルニチンと比較して、D-オルニチンもしくは DL-オルニチンは 10 倍以上高価なため、L-オルニチンから生じる中間体において、ラセミ化を検討し、最終目標物は、ラセミ体として合成することとした。(スキーム 1)



スキーム 1

(1) 目標化合物 1 の合成検討

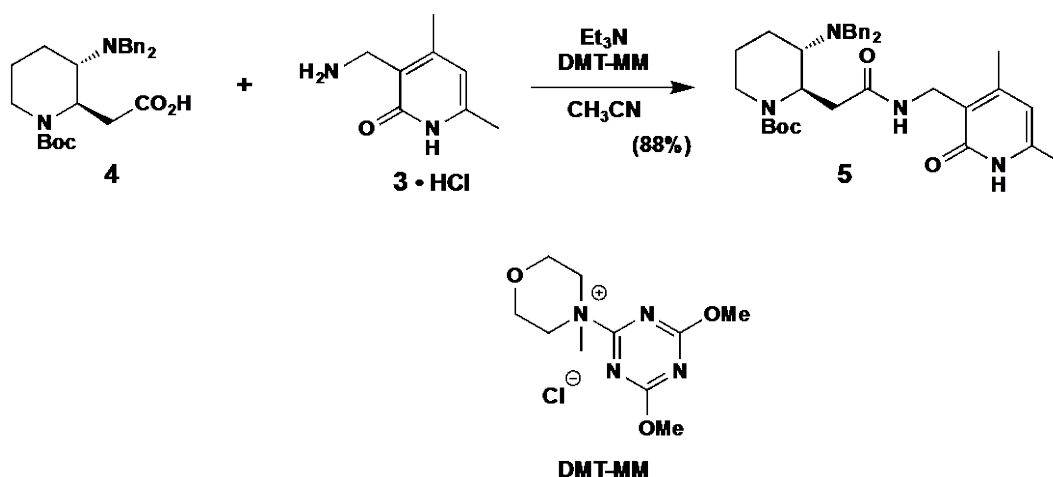
市販の原料よりアミノピペリジノン **3** の合成を検討した。文献記載の方法に従い、 $\text{Pd}(\text{OH})_2$ を用いる還元は、問題なく進行した。より一般的な安価な触媒 Pd/C を用いたところ、収率よく定量的に目的とする化合物が得られた。



得られたアミノピペリジノン **3** を未精製のままカルボン酸 **4** と縮合剤DMT-MMを用いた縮合反応を行った。縮合化合物 **5** がシリカゲルクロマトグラフィーによる精製で88%得られた。

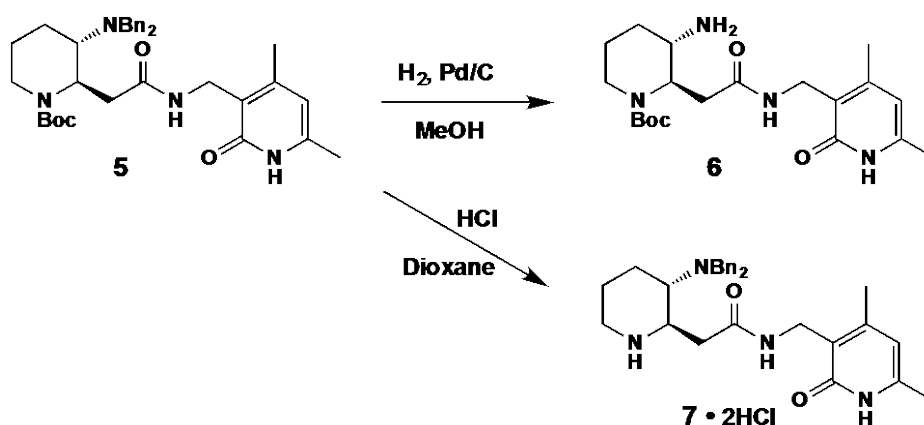
(スキーム 2)

entry	catalyst	yield (crude)
1	20% $\text{Pd}(\text{OH})_2/\text{C}$	59%
2	5% Pd/C	100%



スキーム 2

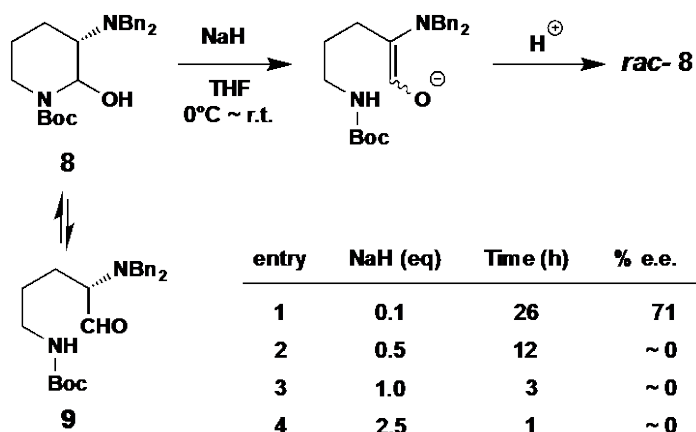
得られた **5** の2つのアミノ基の脱保護を検討した。3位のアミノ基の時ベンジル基は、Pd/C を用いる水素添加ではほぼ定量的に進行し、**5** を生じた。また、Boc基の脱保護も、酸性条件下、脱保護でき、**5** の塩酸塩として得ることができた。(スキーム3)



スキーム 3

(2) アミノアセタール **8** のラセミ化の検討

カルボン酸 **4** の中間体となるアミノアセタール **8** は塩基性アミノ酸オルニチンから光学的に純粋に得ることができる。しかし、**8** はアルデヒド **9** と等価なため、容易にラセミ化すると予想できた。そこで、塩基として NaH を用い、ラセミ化の検討を行った。NaH の当量を 0.1 から 2.5 まで変化させた。0.1 当量では、26 時間でもラセミ化は十分に進行しなかった。しかし、0.5 当量以上の場合には、完全にラセミ化することがわかった。(スキーム4)



スキーム 4

5. 今後の計画

多くの誘導体を合成するために、重要中間体となる化合物の 2,3-*cis* 体、2,3-*trans* 体のラセミ体の大量合成法を検討する。また、進行中の化合物の合成を進めるとともに、生物活性によく見られる芳香族ヘテロ環およびベンゼン環等をこれらの骨格に加えることを検討する。

貧血の発症に対する生活リズムの乱れと摂取栄養素の関連に関する研究

ーモデルラットを用いた研究ー

栄養生命科学科 花井 美保

1. 研究の目的

本研究は、生活リズムを乱したモデル動物として連続暗黒飼育雌ラットを用い、貧血の発症に対する摂取栄養素の影響を明かにすることを目的として実施した。検討する栄養素としてタンパク質レベルを取り上げた。

2. 研究の必要性及び従来の研究

日本では、若年女性の4人に1人が貧血と診断されている。貧血は、運動能力・作業効率の低下だけでなく、妊娠・出産に対しても悪影響を及ぼすことが知られている。貧血に関わる栄養因子には、タンパク質、鉄、銅、ビタミンB12、葉酸などがあるが、生活リズムが乱れた場合、これらの栄養因子が貧血の発症とどのように関わっているかは明らかとされていない。生活スタイルの多様化により生活リズムが乱れた女性が増加している現代、貧血の発症原因に生活リズムの乱れが関わっているとすれば、それを改善するために栄養面からの介入が必須である。本実験は、そのための基礎実験に位置するものである。

24時間周期の生活リズムの形成に必要な光情報がない連続暗黒下でラットを飼育すると、24時間のリズムが形成されず、自身がもつ体内時計に従い行動するようになる。そのため、摂食時刻や活動時刻がフリーラン状態となる。連続暗黒下で飼育した雄ラットでは生殖器の発達が顕著に抑制されることはすでに報告している。また、その生殖器の発達抑制は低タンパク質食で顕著となり、高タンパク質食で緩和されること、たんぱく質中の含硫アミノ酸が生殖器の発達抑制に効果があることも報告している。しかし、鉄の栄養状態に関する検討はこれまで行っていない。本研究では、連続暗黒飼育雌ラットを用い、生活リズムが24時間周期でない場合における鉄の栄養状態、貧血の発症に摂取タンパク質レベルが関与するか否かを検討することとした。

3. 期待される効果

連続暗黒飼育が雌ラットの貧血の発症に何らかの影響を与え、その影響が摂取栄養素により改善できることが示されれば、生活リズムが不規則な若年女性に対する栄養指導をする際の基礎データとしての利用が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

3 週齢のフィッシャー系雌ラット 36 匹を 1 週間の予備飼育後、明暗飼育条件の違い(連続暗黒飼育または正常明暗飼育(12 時間明期、12 時間暗期))、飼料組成の違い(10%カゼイン食、20%カゼイン食、30%カゼイン食)により 6 群に群別し、4 週齢から 8 週齢まで 4 週間飼育した。6 群とは、連続暗黒飼育・10%カゼイン食群(D10%群)、連続暗黒飼育・20%カゼイン食群(D20%群)、連続暗黒飼育・30%カゼイン食群(D30%群)、正常明暗飼育・10%カゼイン食群(10%群)、正常明暗飼育・20%カゼイン食群(20%群)正常明暗飼育・30%カゼイン食群(30%群)である。実験飼料は、AIN-93G 飼料組成をもとにタンパク質源であるカゼインの添加量を 10%、20%または 30%と変化させ、他の組成は AIN-93G 飼料組成と同様とした。AIN-93G 飼料の標準カゼインレベルは 20%であり、本実験飼料の 10%カゼイン食は、標準の 1/2 量の低タンパク質食、30%カゼイン食は標準の 1.5 倍量の高タンパク質食となる。飲料水には純水を与え、飼料・飲料水は自由摂取とした。4 週間飼育後、血液や臓器を摘出し実験に供した。

4-1. 体重増加・飼料摂取量・飼料効率について

体重増加には、明暗飼育条件の影響がみられ、連続暗黒飼育群で低値を示したが、この傾向は、飼育 2 週目からみられるようになった。飼育 1 週目は、連続暗黒飼育群で高値を示した。総飼料摂取量には、明暗飼育条件の影響はみられず、飼料の影響のみがみられ、30%カゼイン食は 10%カゼイン食に比較し低値を示した。また、飼料効率には、明暗飼育条件と飼料の影響がみられ、連続暗黒飼育群で低値、30%カゼイン食が、10%カゼイン食および 20%カゼイン食に比較し高値を示した。

連続暗黒飼育による体重増加の抑制は、飼料効率の低下によるものであることが示された。

4-2. 主要臓器重量について

肝臓、腎臓および脾臓重量(g/100g 体重)には、明暗飼育条件および飼料の影響がみられ、連続暗黒飼育群で低値、飼料タンパク質量が増加すると高値を示した。

また、後腹壁脂肪と腸間膜脂肪に関しては、腸間膜脂肪重量(g/100g 体重)に飼料の影響、明暗飼育条件と飼料の交互作用がみられる傾向があった。正常明暗飼育群では、3 群間に差はみられなかったが、連続暗黒飼育群では、D30%群が D10%群、D20%群に比較し低値を示す傾向がみられた。

生殖器官である卵巢重量や子宮重量(g/100gBW)は、連続暗黒飼育群で有意に低値を示したが、飼料の影響はみられなかった。

4-3. 血清鉄濃度、フェリチン濃度および肝臓鉄濃度について

血清鉄濃度には、明暗飼育条件と飼料の交互作用がみられ、10%カゼイン食、20%カゼイン食では明暗飼育条件の影響はみられなかったが、30%カゼイン食のみ D30%群が 30%群に比較し有意に低値を示した。

一方、フェリチン濃度には、明暗飼育条件の影響がみられ、連続暗黒飼育群は正常明暗飼育群に比較し低値を示した。

肝臓鉄濃度については、飼料の影響がみられる傾向があり、連続暗黒飼育群では D30%群が D10%群に比較し低値を示す傾向であった。

4-4. 肝臓中ヘプシジンのmRNA 発現量について

生体内の鉄代謝を調節しているヘプシジンのmRNA 発現量には、明暗飼育条件の影響がみられ、連続暗黒飼育群で低値を示した。特に D30%群は 30%群に比較し低値を示す傾向であった。

4-5. まとめ

4 週齢の雌ラットを 4 週間連続暗黒下で 10%カゼイン食(低タンパク質食)、20%カゼイン食(標準タンパク質食)、または 30%カゼイン食(高タンパク質食)で飼育した結果、連続暗黒飼育により体重増加は抑制され、体重あたりの主要臓器、生殖器官重量も低下し臓器の発達が抑制された。

また、血清鉄量、肝臓鉄含有量は、D30%群が低値を示し、体内の貯蔵鉄量の指標となるフェリチン濃度も連続暗黒飼育により低値を示した。これらのことより、体内の鉄の栄養状態は、連続暗黒飼育により低下すること、特に高タンパク質食摂取により低下程度が助長する可能性が示された。

しかし、鉄代謝の調節をになっているヘプシジンに関しては、mRNA の発現量が連続暗黒飼育により低下、特に D30%群で低下しており、上記の血清鉄濃度、肝臓鉄濃度、フェリチン濃度とは、矛盾する結果であった。

5. 今後の計画

本実験の結果は、すべてのラットを同一時刻内に屠殺したものである。血清鉄濃度やヘプシジン濃度に日内リズムがあることが報告されているため、今後は、ラットを経時的に屠殺し、連続暗黒飼育によるこれらの日内リズムの変化を検討していきたい。その上で、鉄の栄養状態に対する連続暗黒飼育と飼料栄養素の影響について解明を進めていく予定である。

6. 研究成果の発表

本実験の結果をもとにさらに別の条件で実験をし、総合した結果を関連学会に発表する予定である。

拡張現実感を用いた聴覚障害者向けパソコン要約筆記システムの 評価に関する研究

研究者名：情報工学科 宮崎 剛

1. 研究の目的

近年の講演会や講習会，研究発表会等では，パソコンで作成したスライドをプロジェクタでスクリーンに投影しながら話をする機会が増えてきている．そして，このような会場に聴覚障害者がいる場合には，話の内容を文字で伝えるための支援体制が取り入れられている．これは，“要約筆記”と呼ばれ，要約筆記者が話の要約を手書きしたりパソコンを使って入力したりして，その内容を別のスクリーンに投影する．特に，パソコンを使った要約筆記は“PC要約筆記”と呼ばれ，これを支援するためのアプリケーションソフトも開発されている．このように，障害者等に別の手段を用いて情報を伝達することを，“情報保障”とよぶ．

情報保障に要約筆記が用いられている場合，聴覚障害者は講演者やスライドが投影されているスクリーンと要約筆記のスクリーンを交互に見ながら話の内容を理解していくことになる．しかしながら，この状況では2つのスクリーン間で視線の移動が起こり，1つのスクリーンを見ているときは，他方のスクリーンの状況を理解するのは困難となる．本研究では，この問題を解決するため，視線の移動を無くし，講演者やスライドのスクリーンと要約筆記を同時に見られる仕組みを考案する．そして，その仕組みを情報技術（IT）によって実現し，聴覚障害者のストレスを軽減すると共に，健聴者とのギャップを埋めていく．

2. 研究の必要性及び従来の研究

先述の通り，スクリーン上に要約を投影する方法では，講演者やスライドを見ながら話の内容を理解していくことは困難である．最近では，パソコン要約筆記ソフトとスマートフォンを連携させて，パソコンに入力した要約文をスマートフォンに送信して，手元で話の内容を確認できる仕組みも開発されてきている．しかし，この場合でも手元と前方とのスクリーン間で視線の移動が発生する．視線を移動させないようにするには，前方を見ている顔の前にスマートフォンを持って行く方法もあるが，あまり見やすくはならない．

スマートフォンのように，時代が進むにつれて，新しい情報機器が次々に現れてくる．このような情報機器がどのような場面でどのような用途に活用できるか考えて行くことは我々の重要な課題である．本研究では，頭部に装着するメガネ型の表示装置（Head Mounted

Display; HMD) を利用する。この装置は、映画鑑賞やビデオゲームの表示といった、娯楽用途として使用されることがあるが、これを情報保障の装置として活用する。このように、新しい情報機器を用いた障害者支援技術を研究し、その技術を発展させて行くことは非常に重要であり、有意義であると考える。

また、人は年を取るにつれて様々な器官の機能が低下してくる。聴力についてもその1つで、年を取ることで聞こえが悪くなる人がある。今後、日本が高齢化社会を迎えるにあたり、低下した機能を補う情報技術を開発していくことは重要であると考える。

3. 期待される効果

HMDを用いたPC要約筆記システムを利用することで、視線の移動量を減らすことができ、講演者の話の内容のスムーズな理解に役立てることができると思う。聴覚障害者も健聴者と同じように社会に出て活躍できたり、いろいろなイベントに参加できたりするようになると思う。

さらに、本学もそうであるが、視覚または聴覚に障害を持った学生も大学に入学し、一般の学生と一緒に勉強するようになってきた。聴覚に障害のある学生の場合は、ボランティアによるノートテイクが授業の内容等をPC等を使って情報保障を行っているが、そういった場面でも提案システムは有効に活用できると考える。また、聴覚障害者のみならず、一般の学生が使用した場合でも有効である。例えば、授業中に教員の話が聞き取れなかった場合でも、入力された話の内容を後から確認することもできる。

また、これまでは主に娯楽用途として使用されていたHMDを福祉分野に広げるなど、新しい利用方法の創出にも役立つと考える。

4. 研究の経過及び結果

本研究では、ビデオシースルー型のHMD, EPSON MOVERIO BT-200AV を使用する (図 1)。ビデオシースルー型のHMDでは、透明なレンズに映像を映し出すことができるため、前方の風景を見ながら、その視界の中に情報を映し出すことができる。そして、このHMDには Android OS が搭載されているため、アプリケーションソフトをインストールすることで、本体のみで動作させることが可能となる。本システムの構成を図 2 に示す。



図 1 使用したHMD

本システムでは、要約筆記ソフトに“IPtalk”を使用し、IPtalk がインストールされた要約筆記入力用 PC と、要約筆記配信用の Web サーバを LAN で接続する。HMDには、本システム用に開発したアプリケーションを搭載し、こちらも LAN に無線接続する。本アプリ

ケーションは、一定時間毎に Web サーバに HTTP でアクセスし、HTML 形式の要約筆記内容を取得する。そして取得した要約筆記内容をHMDのスクリーンの下部に表示させる。ただし、要約筆記を見ながらメモを取ることなども考慮し、手元を見ているときは要約筆記の内容が視界の邪魔にならないように、スクリーンの上部へ移動するようにする。手元を見ているかどうかの判定には、HMDに内蔵されている加速度センサの値を利用し、正面を向いているのか手元の方を向いているのかを判定する。

構築したシステムを用いて、研究室の学生による実験を実施した。実験では、発表者が実際に発表を行い、それに合わせて要約筆記者がその内容をノート P C (IPtalk) に入力し、HMDを装着した被験者が要約筆記内容を確認して以下の項目を評価した。なお、被験者は発表者の声が直接聞けないように、耳栓をして実験を行った。

- 文字の見やすさ
- 要約筆記内容の更新間隔
- メモを取る際に下を向いたときの要約筆記内容の移動のタイミング

何度か実験を繰り返し、HMDに搭載したアプリケーションの要約筆記表示部の背景色や文字色、Web サーバからの要約筆記取得間隔等を評価した結果、適切な設定値は表 1 のようになった。なお、要約筆記表示位置を移動させる加速度センサの閾値は、Z 軸の値を 5.0 とした。この値は、正面からおよそ 45 度顔を下に向けたときの値となる。被験者が正面を向いているときと手元を見ているときの見え方を図 4 に示す。

表 1 要約筆記表示部の設定内容

背景色	文字色	文字サイズ	文字の影の色	要約筆記取得間隔等
墨色	白	35sp	Coral	100 ミリ秒

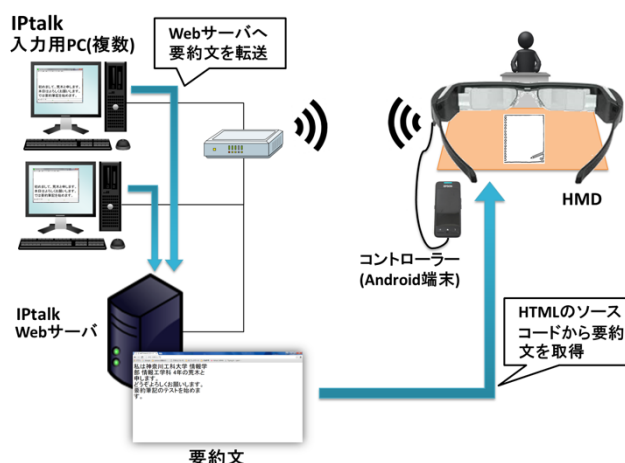


図 2 システム構成



図 3 要約筆記の評価実験

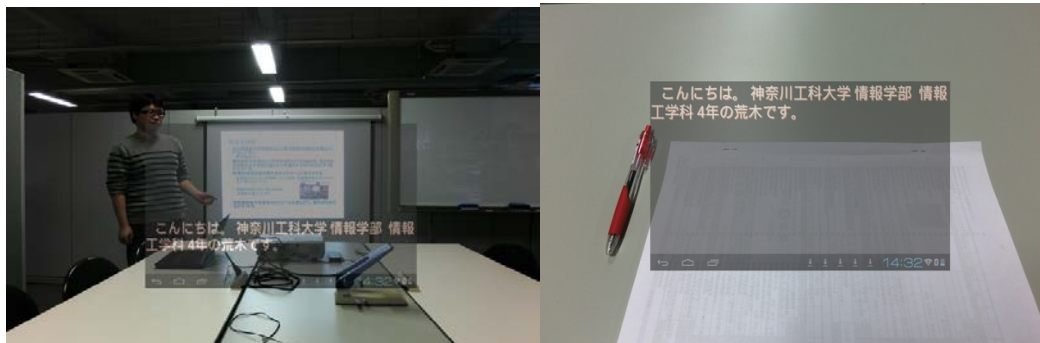


図 4 正面を向いているとき（左）と手元を見ているとき（右）の要約筆記内容表示位置の違い

R=51, G=51, B=51	R=G=B=255		R=255, G=127, B=80	
------------------	-----------	--	--------------------	--

5. 今後の計画

今回の研究期間では、HMDとPC要約筆記を連携させたシステムを構築した。Webサーバからの要約筆記文の取得や、HMDへの表示、顔が下を向いたときの表示位置の移動等、本システムに必要な機能の実現と評価ができた。今後は、実際の利用に向けてインタフェースに関する評価と改善を行っていききたい。現在、HMDに表示される要約筆記文は、最新の情報が全角約20文字×3行分である。従って、少し長めの要約筆記が入力されたときに、読み終わる前に新しい文に更新されてしまう可能性がある。個人によって読む速度は異なるため、読めずに消えてしまった内容を戻す機能も必要になってくる。文字サイズを小さくすれば、1行に表示できる文字数や表示できる行数が増えるため、一度に表示できる内容が増えるが、文字サイズを小さくしすぎると読みづらくもなるため、個人毎に適正なサイズに設定できるようにする等、利用者に応じてカスタマイズする機能も追加していく必要がある。

6. 研究成果の発表

- [1] 荒木雄登, 宮崎 剛: “頭部装着ディスプレイを用いた聴覚障害者向け情報保障アプリケーションの開発”, 電子情報通信学会 2016 年総合大会後援論文集 基礎・境界 ソサイエティ H-4-5, p. 316, 2016.

バイオマス由来のフラン含有高分子の合成

応用化学科 森川 浩

1. 研究の目的

環境にやさしい高分子の合成法構築は、社会的要請の大きなテーマである。本計画は、バイオマス由来の高分子として、フラン環を有する高分子化合物を新規に合成する内容である。既存のポリ乳酸を凌ぐバイオマス由来のフラン含有高分子の創製をめざし、基礎研究を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

バイオマス由来のプラスチック及び高分子材料は、炭素循環の点から最も材料創製として要望がある。循環型社会構築の時代の要請でもある。現在、でんぷんやトウモロコシを原料とするポリ乳酸は最も普及が進んだバイオマス由来の高分子である。しかし、ポリ乳酸は、本質的に耐熱性が低い ($T_g = ca. 60^{\circ}C$)、その構造が極端にシンプルであるがゆえに化学変換・化学修飾が難しい。したがってポリ乳酸に関しては、他のモノマーとの共重合や他のポリマーとのブレンドが行われている。もう一方では、他の「新たな」バイオマス由来の高分子が模索されており、その中でもフラン骨格を有する高分子化合物は、フラン樹脂として昔から用いられ、古くて新しいバイオマス由来の材料である。

五単糖や六単糖を原料として酸性下で脱水させることにより、フルフラールやヒドロキシメチルフルフラール HMF が生成することが報告されている。フルフラールや HMF は、医薬・農薬原料、バイオ燃料原料やプラスチック原料となるために、バイオマスからの効率的合成法が、近年新たに脚光を浴びている (*Nature*, 2007, **316**, pp.1597)。さらに、HMF をさらに酸化させた 2,5-フランジカルボン酸では、エチレングリコールとの縮合重合により、ポリエチレンテレフタレート PET に準じたフラン含有ポリエステルが合成され、PET との物性の比較検討が研究されている (*Macromolecules*, 2014, **47**, pp.1383)。

3. 期待される効果

下記の事項により、フラン環含有高分子は優れた熱/力学物性を有することが期待される。

- (1) フラン環は芳香族性を有するために、比較的耐熱性や力学物性がよい。
- (2) HMF などのフラン環の 2,5-位の置換基を変化させることで、様々なヘテロ二官能性モノマーとなる。
- (3) 上 (2) のモノマーを反応させることで、エステルやアミドなどの様々なスペーサーを高分子内に導入できる。

フラン環は芳香族性を有するので比較的安定であるが、合成条件が厳しくなると副反応を起しやすい(着色化、黒色化しやすい)。したがって、フラン含有高分子の合成の方法論

の一つを確立することは、バイオマス由来の高分子合成において大きな意味をもつ。

4. 研究の経過及び結果

(1) エポキシ化合物

フラン環を有する各化合物は、HMF などから報告例を参考にして～三段階で合成した。各化合物や反応生成物は、 ^1H NMR や IR により同定した。

まず、エポキシ基を1つ有するフラン化合物のカルボン酸に対する反応性を評価した（図1）。モデル反応である。

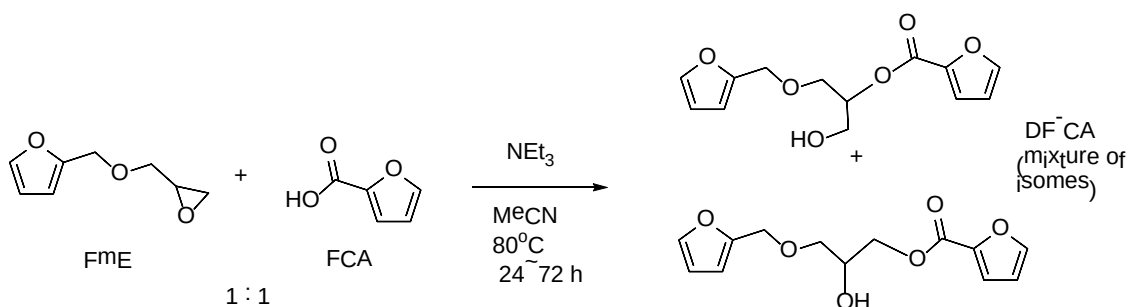


図1. エポキシ基を1つ有するフラン化合物の反応

モノエポキシ体 FmE と 2-フランカルボン酸 FCA を 1:1 のモル比で混合し、無水アセトニトリル MeCN を溶媒として、主にトリエチルアミン NEt_3 を塩基触媒に用いた。80°C に加熱し、反応液のエポキシ基の反応率を見積もった。また、反応条件を変え、同様な評価を行った。

その結果、最大 64%の収率で DF-CA（図1）を得ることができた。図2に NEt_3 の量と反応率（反応時間=24 及び 96 時間）の関係を示す。

反応時間が長く、触媒の量が多ければ反応率は大きくなるが、0.1 当量より多く NEt_3 を添加しても反応率に大きな差が無く、ほぼ一定値であった。

また、フラン化合物の反応は望まない着色が多発するが、今回の反応液の色は NEt_3 の添加量が多いものは薄く、逆に添加量が少ないものは濃かった。

以上の結果より、FmE と FCA のモデル反応では、塩基触媒を添加することにより速やかに反応し、反応液の着色が抑えられることが分かった。

この結果をもとに、ポリマー合成を試みた（図3）。

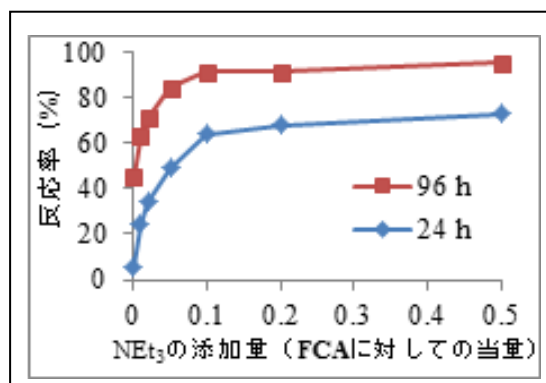


図2. NEt_3 の添加量と反応率の関係

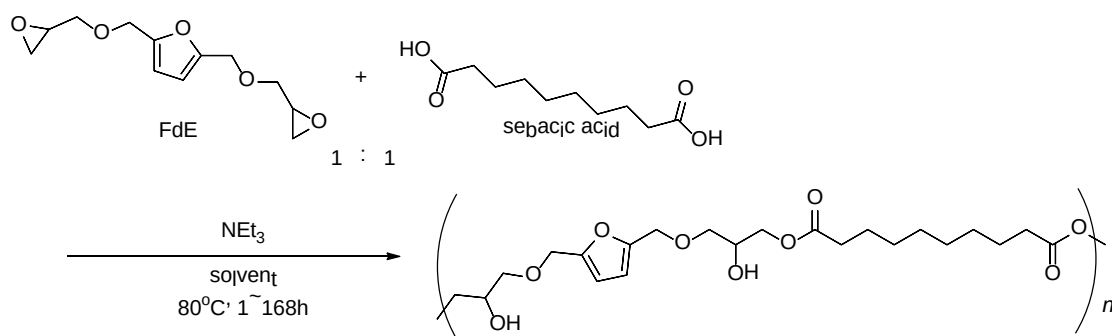


図 3. エポキシ基を 2 つ有するフラン化合物の重合反応の試み

ジエポキシ体 FdE とセバシン酸を 1:1 のモル比で混合し、無水 MeCN またはジエチルホルムアミド DEF を溶媒とし、NEt₃ を塩基触媒に用いて、モデル反応と同様に反応を仕掛けた。NMR, IR, SEC により評価した。

エポキシ基の反応率は 95~99% となった。また、MeCN より DEF を溶媒として用いた時の方が、反応が早く進んだ。エーテル不溶分として反応生成物を得たが、この油状物の数平均分子量は 250~530 程度（ポリスチレン換算）であり、生成物はオリゴマーだった。MALDI-TOF MS の結果からも、その分子量は 1000 前後であった。温度や濃度を変えて、重合反応を行ったが、大きく分子量が増大することはなかった。エポキシドとカルボン酸の反応では副反応が併発しているので、分子量が伸びなかった可能性が考えられる。

(2) ヒドロキシ酸誘導体の縮合重合

HMF から対応する塩素誘導体 CMFA を合成した。この CMFA を用いて、溶液重合を行った (図 4)。

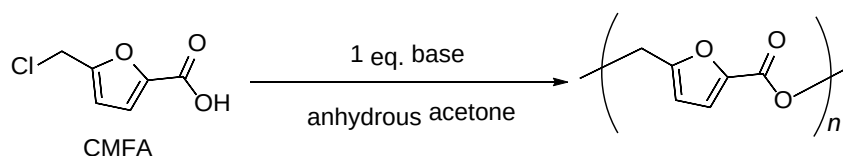


図 4. CMFA の重合

塩基として NEt₃、N,N-ジイソプロピルエチルアミン DIPEA、トリフェニルアミン TPA のいずれかを使用し、溶媒として無水アセトンを加え、加熱撹拌を行った (表 1)。反応生成物に対して MALDI-TOF MS 及び ¹H NMR を用いて評価した。

TPA を塩基として用いた場合、反応率は 0% (run 3) だった。これは、TPA の立体障害が大きく、CMFA と反応しなかったためと考えられる。一方、NEt₃, DIPEA を用いた場合、反応率はそれぞれ 96, 85% だった。立体障害はそれぞれ TPA < DIPEA < NEt₃ の順に小さくなるため、これを反映して反応率が大きくなったと考えられる。

表 1. 反応条件と重合結果

run	base	Conversion of CMFA (%)	Precipitation	Yield (%)
1	NEt ₃	96	○	47
2	DIPEA	85	○	21
3	TPA	0	×	0

NEt₃, DIPEA を用いて得られた反応生成物 O-HMFA の MALDI-TOF MS スペクトルの結果から、分子量は 1000~2000 程度でありオリゴマー程度の分子量であった。O-HMFA は溶解性に乏しく、クロロホルムや THF などに溶けず、DMSO などの非プロトン性有機溶剤にしかならなかった。実際に、アセトン溶媒で反応をかけていると、O-HMFA は反応中に不溶分として沈殿してきた。沈殿したために、重合反応がすすまず、オリゴマー程度の分子量であったと考えられる。

また、H NMR 及び MALDI-TOF MS スペクトルの結果から、O-HMFA の構造（片末端 X₁~X₃が異なる）を下図 5 のように評価できた。

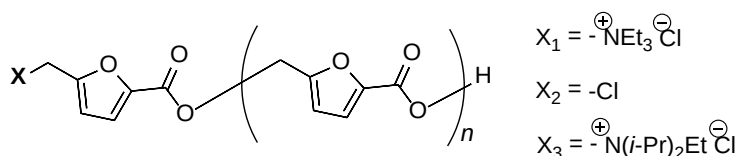


図 5. O-HMFA の構造

NEt₃を用いた場合 (run 1)、生成物の片末端は、ほぼ全て TEA 付加構造 (図 5, X₁) であると考えられる。DIPEA を用いた場合 (run 2) 生成物の片末端は、そのほとんどがクロロメチル基であると考えられる (図 5, X₂)。NEt₃は、塩基性が強く求核性が大きいため、反応点であるクロロメチル基を攻撃し、反応したと考えられる。一方、DIPEA は、塩基性は強いが求核性は小さいため、反応点であるクロロメチル基を残したまま反応が進行したと考えられる。

以上の結果から、オリゴマー程度の分子量ではあるが、オリゴエステル体を得ることができた。また、用いた塩基の種類によって生成物の末端構造がことなることを、半定量的に評価することができた。

5. 今後の計画

- エポキシ化合物では、エポキシ基とカルボキシル基の反応性が高選択的でないと考えられる。そのため、エポキシ基を別の官能基に変えて、アミン類との反応を検討する。
- ヒドロキシ酸誘導体の縮合重合では、反応条件（特に、溶媒）を中心に再検討を行い、分子量が大きくなる反応条件を模索する。

6. 研究成果の発表

今後、学会発表予定（特に、(2) ヒドロキシ酸誘導体の縮合重合について）

人工市場を用いたレバレッジド ETF が株式市場に与える影響分析

研究者名：情報工学科 八木 勲

1. 研究の目的

近年リーマンショックやギリシャ危機により金融市場のボラティリティが大きくなることが度々起こっている。このとき市場を不安定にする直接的な原因として指数先物（日経平均 225 先物, S&P500 先物など）取引やプログラムによる自動売買などが挙げられてきたが、最近ではレバレッジド ETF のリバランス取引も一因ではないかと言われている。

レバレッジド ETF は原資産（例えば、日経平均 225 など）の収益率の何倍かの収益率を目指す ETF である。これらの ETF は、金融市場指数に投資するため、個別株式銘柄よりもローリスクでありながら、レバレッジの恩恵により収益が望めるので、運用残高が飛躍的に伸びてきている。レバレッジド ETF は、レバレッジを維持する（保有する原資産の純資産総額を、レバレッジ ETF の純資産総額の決められた倍数に維持する）よう、原資産が上昇すれば原資産を買い、原資産が下落すれば原資産を売るというリバランス取引を日々行わなければならない。そのため、これらの売買が原因で原資産の価格を不安定にするのではないかとされている。

レバレッジド ETF が原資産の与える影響についてはこれまでにいくつかの実証研究がなされてきたが、千差万別な結果が得られている。また、金融市場の形成にはさまざまな事象と要因が複雑に関わってくるため、実証分析では一部の要因だけを抽出して分析することが困難である。

この課題を解決する分析法の 1 つとして人工市場を用いる方法がある。人工市場とはコンピュータ上に人の手によって人工的に作りだされた架空の金融市場のことである。人工市場に参加している投資家は、エージェントとよばれる、計算機プログラムによって表現された仮想的なディーラーである。人工市場上の各エージェントは、金融価格の変動に関連する情報を入力として受け取り、その情報とエージェントルールに基づき行動し、その売買行動の修正を行っていく。人工市場には現実の金融市場を反映した価格決定メカニズムがあり、各エージェントの投資行動が集積して、人工市場における仮想的な金融価格が決定される。そこで、本研究ではこれまでに構築した人工市場モデルをもとにレバレッジド ETF 取引モデルを実装し、レバレッジの違いが原資産価格変動に与える影響について実験を行った。

2. 研究の必要性及び従来の研究

上記のように、市場を不安定にする直接的な原因として、これまでは指数先物（日

経平均 225 先物, S&P500 先物など) 取引やプログラムによる自動売買などが挙げられてきたが, 最近ではレバレッジド ETF のリバランス取引も一因ではないかと言われている. これらの ETF は金融市場指数に投資するため, 個別株式銘柄よりもローリスクでありながら, レバレッジの恩恵により収益が望めるので, 運用残高が飛躍的に伸びてきている.

レバレッジド ETF が原資産の与える影響についてはこれまでにいくつかの実証研究がなされてきた. 例えば, Cheng らは, 1 日で株式指標が 1% 動くと, その日の市場取引終了時点のレバレッジド ETF の売買量は全体の 16.8% を占める可能性があることを示唆している. 一方, Trainor Jr. は, レバレッジド ETF のリバランスが S&P500 のボラティリティに与える影響を, 前日の取引終了前のボラティリティと翌日の取引開始後のボラティリティを比較することで検証したが, 悪影響を与えるという結果は得ることができなかったと結論づけている.

このように実証分析を主とした先行研究では, レバレッジド ETF が市場に与える影響は千差万別である. また, 金融市場の形成にはさまざまな事象と要因が複雑に関わってくるため, 実証分析では一部の要因だけを抽出して分析することが困難である.

この課題を解決する分析法の 1 つとして, 上述した人工市場を用いる方法がある. 人工市場を用いた金融市場シミュレーションによる先行研究は数多くあるが, まだレバレッジド ETF に関する研究は行われていない.

そこで, 本研究ではこれまでに構築した人工市場モデルをもとにレバレッジド ETF 取引モデルを実装し, レバレッジの違いが原資産価格変動に与える影響について実験を行った.

3. 期待される効果

本結果は, 金融当局はレバレッジド ETF の売買を規制すべきか否かの判断材料の 1 つになると考えられる. また, 投資家もレバレッジド ETF の動きを考慮した投資戦略が考えられるようになる.

4. 研究の経過及び結果

本研究では, 人工市場を用いてレバレッジド ETF の運用者を想定したエージェント (レバレッジドエージェントおよびインバースエージェント) が原資産に与える影響について検証を行った. その結果, レバレッジドエージェントおよびインバースエージェントのレバレッジや初期キャッシュ量が大きくなるにしたがって, 市場価格のヒストリカルボラティリティが小さくなることが判明した.

各エージェントの出来高を調査したところ, レバレッジドエージェントとインバースエージェントの出来高は, それらエージェントのレバレッジや初期キャッシュ量が大きくなるにしたがって大きくなることがわかった. そして, これらのエージェント

の注文は、一般投資家を想定したファンダメンタルエージェントの注文と取引成立していることがわかった。その結果、ファンダメンタルエージェントによって発注される価格トレンドに逆行する注文と、レバレッジドエージェントとインバースエージェントによって発注される価格トレンドに順行する注文が相殺され、市場のヒストリカルボラティリティが小さくなったと考えられる。

5. 今後の計画

本研究では、価格決定の際に一般投資家エージェントとレバレッジドエージェントとインバースエージェントを含む全エージェント取引を板寄せしてから価格決定を行っている。しかし、より現実のレバレッジド ETF 取引に近い環境を構築するため、一般投資家エージェントのみの取引を板寄せし、このとき決定した仮の取引価格からレバレッジドエージェントとインバースエージェントの売買行動を行うことで、一般投資家エージェントとレバレッジドエージェントとインバースエージェントの価格決定を分けて行うように修正することが考えられる。

6. 研究成果の発表

1. 早川 鈴音, 内藤 大輔, 水田 孝信, 八木 勲: “人工市場を用いたレバレッジド ETF が原資産価格変動に与える影響の分析,” 計測自動制御学会 第10回社会システム部会, (2016-3).
2. 内藤 大輔, 早川 鈴音, 水田 孝信, 八木 勲: “人工市場を用いたレバレッジド ETF が原資産価格変動に与える影響の分析,” 経営情報学会 2015 年秋季全国研究発表大会, pp. 121--124, (2015-11).

プロスタサイクリン欠損が引き起こす動脈硬化の *in vitro* モデル実験系の確立 とそれを用いた生活習慣病の予防・改善に向けた研究

研究者名：所属学科 栄養生命科学科 氏名 横山知永子

1. 研究の目的

生活習慣病による動脈硬化の予防・治療のため、血管機能維持に重要なプロスタサイクリン(PGI₂)の作用機序を、PGI₂欠損細胞を用いた動脈硬化の *in vitro* モデル実験系を確立して明らかにすることを目的に、PGI₂欠損マウスの腎血管障害の発症時期と発現変動する遺伝子について調べた。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年我が国では平均寿命が延長しているが、必ずしも健康に過ごせる期間(健康寿命)が延びているわけではない。実際、生活習慣病が原因となる脳・心血管系の疾患による死亡率は、年々増加している。生活習慣病である肥満、糖尿病、脂質異常症、高血圧、そしてそれらが複数组み合わさったメタボリックシンドロームは、いずれも動脈硬化が生じて虚血性心疾患や脳梗塞などに進展するが、同時に慢性腎臓病や糖尿病性腎症などの腎障害を併発するリスクを非常に高め、透析治療を余儀なくされる患者数の上昇が大きな問題になっている。我々はこれまでに、PGI₂合成酵素遺伝子を欠失させ、血管系の恒常性維持に重要な PGI₂を産生できない遺伝子改変マウス(PGI₂欠損マウス)を作製し、このマウスが加齢に伴い慢性腎臓病様の病変を生じることを見出した。しかしながら、PGI₂欠損マウスにおいて腎臓だけに障害が認められる理由は不明である。

3. 期待される効果

PGI₂欠損による腎障害発症機序の詳細が明らかになれば、生活習慣病の合併症として発症する腎障害や動脈硬化の動脈硬化の予防・治療へ発展させるための基礎になるものと考ええる。また、動物実験により得られた結果をもとに細胞レベルでの実験系が確立できれば、施設、費用、時間、倫理面の問題が減少し、分子レベルでの詳細な研究が可能になる。

4. 研究の経過及び結果

PGI₂合成酵素欠損マウスにおいて、生後 28 日までに腎臓に炎症が惹起されていること、さらに、この時に血管由来の炎症関連遺伝子の発現が変動していることを見出した。また、PGI₂の情報伝達系には、細胞膜上の特異的受容体(IP 受容体)と核内受容体の PPARδを介した経路があるが、PGI₂欠損マウスの腎障害の発症・進展には、この 2つの情報伝達系のバランスが重要であると考えられた。

5. 今後の計画

PGI₂欠損状態を反映する組織細胞を作成し、動脈硬化の *in vitro* モデル実験系を確立を試みる。炎症刺激の有無で細胞障害や線維化を起こす系を探索し、血管障害抑制効果評価システムの確立を目指す。

6. 研究成果の発表

論文作成中

ユーザ使用状況に合わせたタブレット型デバイス向け ソフトウェア操作支援手法

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田 一

1. 研究の目的

近年、一般的なユーザが使用する情報端末として、タブレット型デバイスが普及してきている。主に Web ブラウジング、電子メール、SNS (Social Networking Service) といった閲覧を中心としたエンドユーザ用の端末として広く用いられてきている。タブレット型デバイスの OS は従来の PC (Personal Computer) で広く使用されている Windows に限らず、スマートフォンで使用する Android や iOS などが使用されていることも多い。しかし、キーボードやマウスが入力デバイスとして前提となる従来の PC と違い、タブレット型デバイスはタッチパネルでの操作が中心であり、エンドユーザがすぐに操作方法に気づかない場面も増えてきている。

このようなタブレット型デバイス向けのエンドユーザの操作支援として、ソフトウェアの初回起動時にタッチできる場所と機能を図示する、操作説明画面に遷移できるボタン等を設置する、操作説明の Web ページを別途インターネット上に用意し必要に応じてアクセスしてもらう、などの対応をしている。しかし、これらの支援を使用するためにはエンドユーザが能動的に参照する必要がある。

そこで本研究では、タブレット型デバイスを使用するエンドユーザの現在の使用状況に応じて、エンドユーザが期待する機能を実現するための操作について支援を行うことを目的とする。また、エンドユーザがタブレット型デバイスの操作に迷う、戸惑う場면을指摘して、開発者に対してユーザインタフェースの改善を行うことができるようにする。タブレット型デバイスにおける適切なユーザインタフェースデザインやエンドユーザに対する操作支援はまだ十分ではなく、本研究の重要性は高いといえる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

タブレット型デバイスの入力デバイスは従来型の PC と違い、液晶画面のタッチパネルと、数種類程度のボタンのみで構成されることが多い。PC 向けソフトウェア開発のユーザインタフェースデザインにおいては、入力キーの数が多く多種多様な組み合わせも実現が可能なキーボードや、画面上の場所を精密にポイントすることが可能なマウス等を使用することが前提であり、タブレット型デバイスのユーザインタフェースとは大きな違いがある。タッチパネル上にソフトウェアでキーボードを再現するスクリーンキーボード機能が OS の機能としてサポートされているが、現在の画面にオーバーラップして表示されるため、PC と同様な使い方をすることは難しい。

そのため、タッチパネルのみで多くの操作を受け付けるためのジェスチャーを取り

入れているが、ソフトウェアによって受け付けるジェスチャーの種類や、対応する機能が違うために、エンドユーザの行った操作とエンドユーザが求める機能の対応に気づきにくい場面もある。そのため、タブレット型デバイスに合わせた、操作環境を改善する研究を行う必要がある。

既存 PC 上のソフトウェアにおける、エンドユーザの操作環境を改善する手法として、エンドユーザの操作履歴から頻繁に利用している操作の組み合わせを提示することにより、操作学習システムを生成する手法を提案した[1]。また、ソフトウェアの操作ログを対象に、マウス操作やキーボード操作の頻度からエンドユーザのソフトウェアの習熟度を分析することで、それぞれの習熟度の段階に適した操作支援を行えるようにする手法について提案した[2]。操作の一貫性を確保するためのガイドラインを独自に制定できるようにし、レイアウトを調整する手法について提案した[3]。また、タブレット型デバイスの操作支援の手法として、Android ベースのソフトウェアにおいて音声入力による操作を受け付ける機能を、多くのソフトウェアで標準的に使用されている機能の単語を登録することによって、少ない修正で使えるようにする手法について提案した[4]。

タブレット型デバイスの操作支援およびユーザインタフェースデザインの改善においても、これらの手法を応用することができると考えている。

3. 期待される効果

本研究では、エンドユーザのタブレット型デバイス特有の操作状況を確認し、タッチパネルの操作履歴などから、エンドユーザが期待する結果を推測し検出できるようにする。さらに、その場面においてソフトウェアが受け付けることのできる操作と機能についても提示・選択できるようにして、エンドユーザの期待する機能を実現する。これらによって、タブレット型デバイスにおけるユーザインタフェースデザインの問題点および改善箇所も検出できる。

タブレット型デバイスを使用するエンドユーザ層は厚くなっており、慣れないソフトウェアを使用するときに戸惑うエンドユーザは、今後確実に増加することが予想される。本研究により、エンドユーザが操作に戸惑う場面が減り、タブレット型デバイス用ソフトウェア全体の満足度の向上が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

タブレット型デバイス向けのソフトウェアの操作支援を行うにあたり、ソフトウェアごとに操作方法が異なることに着目した。従来型 PC 向けソフトウェアでは、ボタンなどの GUI (Graphical User Interface) 部品の配置方法や、キーボードのショートカットキーの組み合わせがソフトウェア間で共通になるようにする、一貫性の確保が重視されている。しかし、タブレット型デバイス向けのソフトウェアは、

従来型 PC 用ソフトウェアと比べて操作の一貫性が十分に確保されていない。

そこで、タブレット型デバイス向けソフトウェアにおける操作と対応する機能を調査し、またエンドユーザのこれまでのソフトウェアの使用経験をもとにして、場面ごとの操作においてエンドユーザが期待する機能を導き出す手法について研究を行っている。そのために、タブレット型デバイスのソフトウェアに現れる操作の特徴をソフトウェアのジャンルごとにまとめ、ジャンル内の典型的なソフトウェアの操作方法と異なる操作方法が実装されている場合は修正案を開発者に提示するシステムに取り組んでいる。現在、Web ブラウザやカレンダーといったソフトウェアの種類ごとに備える基本的な機能と、ソフトウェアごとに備える独自機能を切り分けてデータベースを作成する部分について、アプリケーションのストアなどを用いて自動化および精度の向上を行うことを検討している。

また、タブレット型デバイスにおけるエンドユーザの操作情報の履歴を取得し、タッチパネル特有の各種操作のアクション回数や、タスクの操作時間などを統計学的に分析することによって、ユーザビリティ評価を支援する手法を提案した[5]。

従来型 PC のソフトウェアの操作支援に関しても進めており、Web ブラウザなど同じジャンルに属する複数ソフトウェアにおける操作方法の違いに着目し、ショートカットキーの差異について提示することで学習支援を行うシステムを生成する手法について提案した[6]。

これらの研究により、エンドユーザのソフトウェア操作の環境を改善することができた。また、従来型 PC 向けソフトウェアの操作支援手法をタブレット型デバイスのソフトウェアに対応させる方法についても進めている。ソフトウェアの対応しない操作を繰り返し行っている場面を操作履歴から検知するシステム、Android の GUI に関するガイドラインをまとめ、レイアウトの修正案を提示するシステム、などがあげられる。

5. 今後の計画

平成 27 年度内の研究によって、タブレット型デバイスにおける操作の一貫性を保つことによって、エンドユーザの操作を支援する手法を提案することができたが、まだ開発者に手動で修正を必要とする箇所が多くある。そのため、ソフトウェアのソースコードの解析などを行い、できる限り開発者にかかる負担を減らすことができるようにしたい。

また、タブレット型デバイスの操作履歴からユーザビリティを評価する手法についても、タッチパネルの操作履歴だけでなく、加速度センサーなどのログなどからもエンドユーザの戸惑う場面を解析することも引き続き検討している。合わせて、従来型 PC を対象としているソフトウェア操作支援手法についても、タブレット型デバイスに対応できるように進めていきたい。

6. 研究成果の発表

本成果報告書に対応する成果発表は以下の通りである。

- [1] Hajime Iwata, Junko Shirogane, Yoshiaki Fukazawa: “Generation of an Operation Learning Support System by Log Analysis”, Proc. of 2nd International Conference on Software Engineering and Data Mining (SEDM 2010), March 2010.
- [2] Hajime Iwata, Nobuo Ikumi, Junko Shirogane and Yoshiaki Fukazawa: “Automatic Assessment of End-user Adaptive Operation Styles for Software Tutorial Systems”, 7th IADIS International Conference on Information Systems 2014(IS2014), March, 2014.
- [3] Junko Shirogane, Kazuya Sugiuchi, Hajime Iwata and Yoshiaki Fukazawa, “Support Method to Apply User Interface Guidelines to GUIs Using Guideline Templates”, Proceedings of the 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE 2014), September 2014.
- [4] Hajime Iwata and Kazuhide Koyama: “Method of Software Operation Consistency for Tablet Devices by Sound Recognition”, Proceedings of the 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE2014), September 2014.
- [5] Misaki Matsuzawa, Hajime Iwata, Junko Shirogane and Yoshiaki Fukazawa, “Support Method of Usability Evaluations for Android Applications Based on Operation Histories”, The Fifth International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC2015), October 2015.
- [6] Hajime Iwata, “Method to Generate an Operation Learning Support System by Shortcut Key Differences in Similar Software”, The 17th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2015), August 2015.

以上

創作活動に3DCGゲーム活動を加えることの効果分析

情報メディア学科 鈴木浩

1. 研究の目的

研究代表者は、子どもが積極的にものづくりに取り組むシステムとしてロボットのペーパークラフトを利用した3DCGゲームシステムを開発してきた。これまで本システムを利用したワークショップは、様々な教育的な施設で実施し、多くの子ども達が体験している。本研究では、これまでのワークショップ実践で得たシステム課題を解決しつつ、研究代表者が設置運営しなくても利用できるワークショップシステムとしてパッケージ化を行う。また、本システムのポータルサイトを構築し、作品の共有や情報交換、システム利用の手続きやシステムの評価の場として利用する。そして、それらのシステム群から収集したデータを分析し、創作活動に3DCGゲームによる演出を加えることで子ども達のものづくりに対する姿勢にどのような影響を与えるかを調査する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、コンピュータを利用したデジタルデザイン技術が発展し、ぬいぐるみやステンシルデザインといったハンドワークのデザインを支援するシステムの研究開発が行われている。それに伴い、このようなシステムを利用した創作系のワークショップが大学や科学館などの教育的な施設で数多く実施され、子ども達が先端技術に触れ合う機会として重要視されている。

こうした体験教室の多くは、マウスとキーボードといった、従来のインタフェースを利用することが一般的である。これは、マウスやキーボードの操作が不慣れな子ども（特に未就学児）が積極的に参加できる創作環境でない。また、コンピュータを利用して簡単に工芸品の制作が可能となったとしても、ワークショップのテーマである工芸品自体に興味をもっていない子どもにワークショップを体験させることは容易ではない。ものづくり教育は、我が国の根幹を左右する重要なものと認識されながら、ものづくりに興味のない子どもに対して、先端技術を利用して動機づけの側面から積極的にものづくりへと取り組ませる試みは少ない。研究代表者は、主体的に「ものづくり」という行為をすることが「ものづくり」に興味をもたせることの第一歩だと考えている。このような理念に基づいて開発したシステムがシャドウロボシス

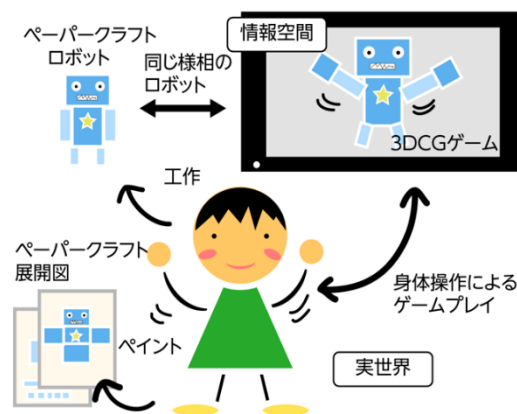


図 1 システムの概要図

テム[3]である。シャドウロボシステムは、ペーパークラフト作りと 3DCG ゲームを融合させた体験型のシステムである。本システムの流れは次のとおりである。はじめに、ペーパークラフトのロボットとなる紙媒体の展開図に自由に絵を描き、オリジナルのロボットをデザインする。次に、絵を描いた展開図をスキャナでデジタル画像として変換し、その画像を 3DCG ゲームに登場するロボットのテクスチャとして利用する。3DCG ゲームでは、モーションセンサを利用して子どものモーションデータを取得し、身体動作を利用してロボットを操作する。最後に展開図を組み上げることで紙のペーパークラフトを作成する。図 1 にシステムの概要図を示す。

②研究期間内に何をどれだけあきらかにするか

本システムの特徴は、誰にでも体験できるインタラク션을備えることで、システム体験の窓口を広げ、3DCG ゲームをペーパークラフトと組み合わせることでゲームの魅力をペーパークラフト作りへの動機として利用することができた。しかしながら、これまで子ども達が制作したロボットは、デジタルデータとしてシステムに蓄積されてはいるが、制作したロボットの展開図を自宅で印刷することや、創作物の比較や振り返りとして利用することができなかった。さらに、本システムを利用したワークショップは、研究代表者らがシステムを事前に準備し、期間中に運営しなければ実施できなかった。このため、ワークショップの開催依頼があったとしても、リソース不足により実施できないことも多かった。これらの問題を解決するために、本研究では以下の 4 点の改良及び拡張を行う

1. 子ども達のデザインしたロボットの要素を抽出する作品分析プログラムを実装する。
2. シャドウロボシステムをパッケージ化する
3. 制作した作品を共有できるポータルサイトを構築する
4. 体験者のデータを管理するシャドウロボ DBMS を構築する

この 4 点の実装目的は、本システムを体験する子ども達のシステムへの満足度を向上させるだけでなく、本システムの効果測定をするためでもある。研究代表者らは、子ども達を主体的にものづくりに参加させることで、ものづくりに興味を持たせたいという理念から本システムを実装した。しかしながら、現状では、子どもがものづくり（ペーパークラフト作り）に興味を持ったかどうかを客観的に確認するすべがない。そこで、積極的に創作活動を実施したかどうかの指標(どのように利用するかは計画・方法にて記述)を得るしくみとして上記項目 1~4 を利用する。上記 1 の作品分析プログラムでは、子ども達が描いた作品を画像処理プログラムによって、創作活動の要素を抽出する。次に、上記項目 2 のポータルサイトでは、体験者同士の作品共有のためだけでなく、体験者のポータルサイトへのアクセス履歴を取得することができる。ワークショップ実施によって得られたデータと作品分析プログラムで得られたデータ、そして、ポータルサイトで得られるデータを上記項目 3 により管理し、これら本システムに関わるデータを分析することによって量的なデータを使ったシステムの効果検証ができると考える。また、上記 1 により本システムを利

用したワークショップを研究代表者のみでの活動とするのではなく、多くの場所で実施できるような体制を整えることで、体験者数を増やし、より多くのデータを収集することができる。

3. 期待される効果

本研究での基盤となるシャドウロボシステムは、表1に示す場所で継続して実施している。システムの体験者数は、**延べ 24,073 名**にのぼっており、先端技術を利用したペーパークラフト作りが行えるシステムとして、子ども達からも、主催者側からも好評を得ている。上記項目2、3は、こうした実践の場で上がってきた要望である。本システムをパッケージ化し、ミュージアムキットのように貸し出しの体制を整えることで、より多くの子ども達が本システムを体験することができる。また、本システムを体験した子ども達が、自分の制作したロボットの展開図をポータルサイトで自由に手に入れること可能となるし、友達のロボットとの比較や、体験者同士の交流の場として利用できる。さらにこれらのシステム群を実装することで、本システムを評価するためのデータの収集が効率的に行える。ものづくりに3DCGゲームによる演出を加えることが、ものづくりに対する姿勢にどのような影響を与えるかを調査した研究はほとんどなく、**3DCG ゲームとものづくり活動を組み合わせることの効果**を追求することに本研究の独創性がある。

4. 研究の経過及び結果

本研究の研究期間は3年間で予定としており、27年度は初年度であるため、主に以下の2点のことを実施した

1. シャドウロボシステムのパッケージ化
2. 作品分析プログラムの実装

27年度では研究実施計画に従い、研究代表者ら以外の第3者でも本システムを利用したワークショップの開催が可能となるように本システムの設置・運営マニュアルを制作した。また、お絵描きデータと創作活動と相関を分析するためにお絵描きデータを量的に評価できる作品分析プログラムを開発した。これらの制作・開発に平行して全国の科学体験イベントや、百貨店、地方イベントなどで、本システムを利用したワークショップを**6件**（延べ**28日間**）実施し、新たに**1247名**が本システムを体験した。これらのワークショップのうち**2件**は、研究代表者らが設営のみを実施し、運営に関しては、制作したマニュアルに従い、現地のスタッフでシステム運営をすることができた。このことから、運営マニュアルがあれば、研究代表者らがイベント会場に赴くことなく本システムを利用したワークショップの実施ができる可能性が高いことが示された。

また、開発した作品分析プログラムにおいては、これまでのワークショップで蓄積された子ども達の作品の中から無作為に選んだ**100件**の作品を利用して作品の量的評価による分析を実施した。その結果、子ども達のお絵描きパターンが**5種類程度**に大別できるとこ

とがわかった。しかしながら、アンケートで取得した属性情報と作品の制作時間、そして、お絵描きの分析結果の間には現状では、相関を見いだすことができなかった。今後は、28年度で制作する DBMS に格納される他のデータを交え更なる分析を実施したい。

5. 今後の計画

これまで開発してきたシャドウロボシステムでの 3DCG ゲーム部は、Kinect1 を利用していたが、Xbox360 の生産終了に伴い、今後、Kinect1 を入手することが困難になる見込みである。28 年度では、システムの貸し出し管理体制を整え、29 年度から本格的にシステムの貸し出しを開始しユーザデータの収集を予定しているため、3DCG ゲーム部の実装を Kinect2 へ移行させる必要がある。

また、ポータルサイトや DBMS の開発を進めながら、今年度も平行してワークショップを実施し、現場の意見を取り入れながら制作したマニュアルのブラッシュアップする予定である。また、これらの研究の進展で得られた成果は逐次国内外の会議等で発表を行う。

6. 研究成果の発表

展示及びワークショップ

1. 「たたかえ僕らのシャドウロボ」展示 ゴールデンフェスタ岡山 2015
2015. 5. 2-5. 4
2. 「たたかえ僕らのシャドウロボ」展示 科学の広場 2015 2015. 6. 20
3. 「たたかえ僕らのシャドウロボ」展示 はじまりのカフェ 三越百貨店本店
2015. 4. 20-5/5
4. 「たたかえ僕らのシャドウロボ」展示 夏休み空き箱工作展 ～高橋和真 パッケージフト～ 東急百貨店本店 2015. 8. 13-8. 18
5. 「たたかえ僕らのシャドウロボ」展示 科学と技術の広場 2015 2015. 11. 28

学会発表

1. 情報処理学会 第 12 回 デジタルコンテンツクリエーション研究会, 「お絵描きデータから描画特徴を抽出する画像分析ツールの試作」 2015. 1. 15, 天草市民センター
2. 情報処理学会 第 13 回 デジタルコンテンツクリエーション研究会, 「描画活動と 3DCG ゲームを利用したストーリーテリング支援システムの開発」, 2016. 5. 28, 金沢工業大学

有彩色照明光が生体に及ぼす影響に関する多面的評価

研究者：電気電子情報工学科 高橋 宏

1. 研究の目的

近年、LED 照明の普及に伴い、照明の光色が注目されている。しかし、これまでの照明光色に関する研究では、完全放射体軌跡に近い範囲の色温度を扱っており、LED 光源で再現が可能な、より鮮やかな光色範囲についての研究はほとんど行われていない。一方で、青色光の強い LED 照明や PC ディスプレイ等からの光刺激による生体への影響が懸念されている。就寝前のタブレット端末使用により、覚醒度が高くなるという報告もなされている。しかし、覚醒度を高めることを目的としてこれらの光刺激を利用する研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、有彩色照明光が生体に及ぼす影響に関して、実生活に適用できる照度範囲において、光色を変化させたときの覚醒度および認知作業への影響を作業効率に着目して明らかにする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、照明技術の発展によって LED の低価格化が実現し広く LED 照明が普及しつつある。日本政府は、2020 年までに普及率 100%とする目標を掲げている。このことより、普段の生活でもこれまで以上に LED と多く接する機会が増えることが予想される。この LED 照明は一般的に昼白色や白色が使用されているが、フルカラーLED の登場により有彩色を簡単に使用できる環境にある。過去には、青は精神的にリラックスできる色等、色による心理的影響があることが明らかにされている。日本各地でも青色防犯灯や自殺抑制効果を目的とした青色灯が鉄道の駅のホームに使われ始めている。このことから照明環境を変化させ心理的影響を変えることで、作業している時の集中力や思考力が変化するのではないかと考えられる。しかし、青色灯の効果について科学的な検証データはなく、実効性が不明な中で導入が進んでいる。さらにこれまでの照明光色に関する研究では、完全放射体軌跡に近い範囲の色温度を扱っており、LED 光源で再現が可能な、より鮮やかな光色範囲についての研究はほとんど行われていない。また、光環境が覚醒度へ及ぼす影響に関しては、数多くの研究がなされているが、色純度の高い有彩色光が覚醒度へ及ぼす影響は明らかにされていない。LED 光源で再現可能な有彩色光下での作業時は、通常の白色照明光下とは違い、作業中の覚醒度が変化することが予想される。

3. 期待される効果

LED 照明の普及に伴い、照明の光色についても注目されている。これまでの照明光色に関する研究では、完全放射体軌跡に近い範囲の色温度を扱っており、LED 光源で再現が可能な、より鮮やかな光色範囲についての研究はほとんど行われていない。

本研究は有彩色光がヒトに及ぼす影響を生体反応と実作業の両面からアプローチする非常に独創的な研究である。有彩色光と作業効率の関係が明らかになれば、工場やオフィスなどで作業効率を上げることに貢献できる。特に、本研究で着目する認知作業の一つである創造的作業の作業効率と光色の関係が明らかになれば、オフィスなどの会議室やブレインストーミングの場など、新しいアイデアを検討する空間に非常に有効な照明環境を提案することが可能となり、社会的意義も非常に大きい。また、短時間の有彩色光刺激による覚醒度向上効果が明らかになれば、単純作業時の眠気の抑制等に貢献できると考えられる。さらに、リフレッシュ照明への応用や、うつ病や認知症の治療・予防への展開も期待できる。

4. 研究の経過及び結果

本研究では、有彩色照明光下で4つの作業を3分ずつ行い、その時の覚醒度及び作業効率を検討する。光色は白、赤、緑、青の4色であり、被験者は20代男性8名である。覚醒度の指標はKSS(カロリンスカ眠気尺度)と呼ばれる評価法を使用し主観評価とする。また、そのうちの3名からはメラトニン分泌量を測定し生理評価も行った。メラトニン分泌量の測定は唾液を採取し、ELISA法を用いて測定した。

作業内容は、思考作業、創造作業、単純作業、手作業である。思考作業は数独パズルであり、3×3のブロックに区切られた9×9の正方形の枠内に1～9までの数字を入れるペンシルパズルの一つを実施する。創造作業では現実ではありえない事象が一文あり、それに対して結果を予想、創造することで創造性を計る作業とした。単純作業ではマス目状の用紙で、先が交差している点に線を書いていくグリッドタスクとした。手作業では机におはじきを置き、お箸で横においた紙皿におはじきを入れる作業とした。

測定手順を以下に示す。

1. 暗室入室時の覚醒状態を測定する。
2. 被験者に暗室内で10分間の色順応をさせる。
3. 色順応後2度目の覚醒状態の測定をする。
4. 測定後、思考作業、次に創造作業を行う。
5. 終了後3度目の覚醒状態の測定を行う。
6. 測定後、単純作業、次に手作業を行う。
7. 終了後、4度目の覚醒状態を測定する。
8. 測定後、印象評価用紙で印象評価させる。

これらの手順をランダムな光色条件で4日間に分けて実施した。思考作業の結果を図1に、創造作業の結果を図2に示す。図1より思考作業は白色光が最も成績が良く、続いて青色光が良い結果となった。光色間で一元配置の分散分析を行ったところ、各光色間に有意差は見られなかった。この結果より、数独パズルのような思考作業には、有意差は見

れなかったものの、普段用いられているような白色の照明環境が適している可能性が示唆された。図2より、創造作業では緑色光が最も回答数が多く、白色光が最も回答数が少ない結果となった。光色間で一元配置の分散分析を行ったところ、緑色と白色の間で有意傾向が見られた。この結果より、創造的な作業をする場合には緑色の照明環境が適している可能性が示唆された。単純作業および手作業については、光色間で作業成績にほとんど違いが見られず、有意差も見られなかった。

図3に覚醒度の主観評価結果を、図4に覚醒度の生理評価を示す。図3より、各光色ともほとんど差が見られず、一定であることがわかる。しかし白色のみ10分から30分にかけて主観評価値が増加している。これは白色は思考作業での成績が最も良いことから、思考することで疲労が生じ、眠気の主観評価が増加していることが考えられる。これらの結果より本研究においては、有彩色光は覚醒度の主観評価に影響を与えないことが示唆された。図4より、有彩色光は0分時に比べてメラトニン分泌量が増加していることがわかる。しかし、時間毎の傾向が光色間で異なり、被験者間の個人差も大きいため、本結果のみでは有彩色光と覚醒度の生理評価の関係について明らかにすることはできなかった。今後は被験者数やデータ数を増やしてより詳細に検討する必要がある。

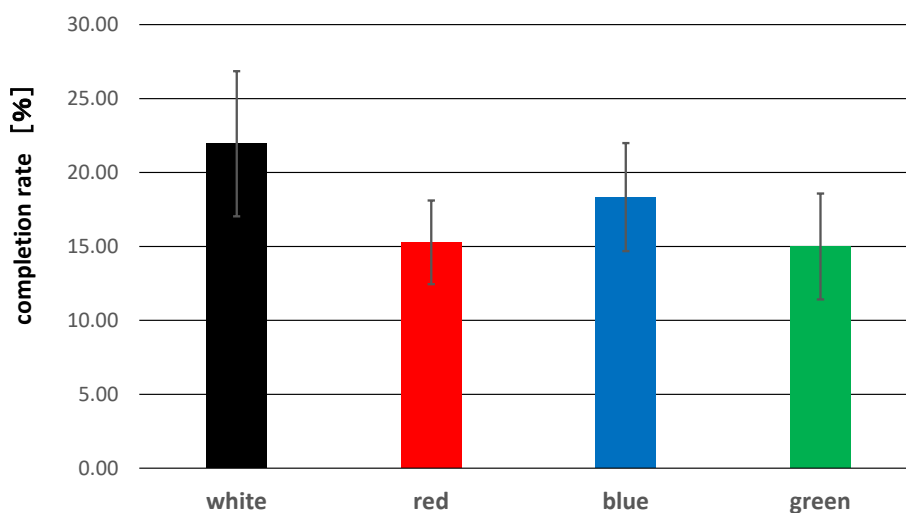


図1 思考作業結果

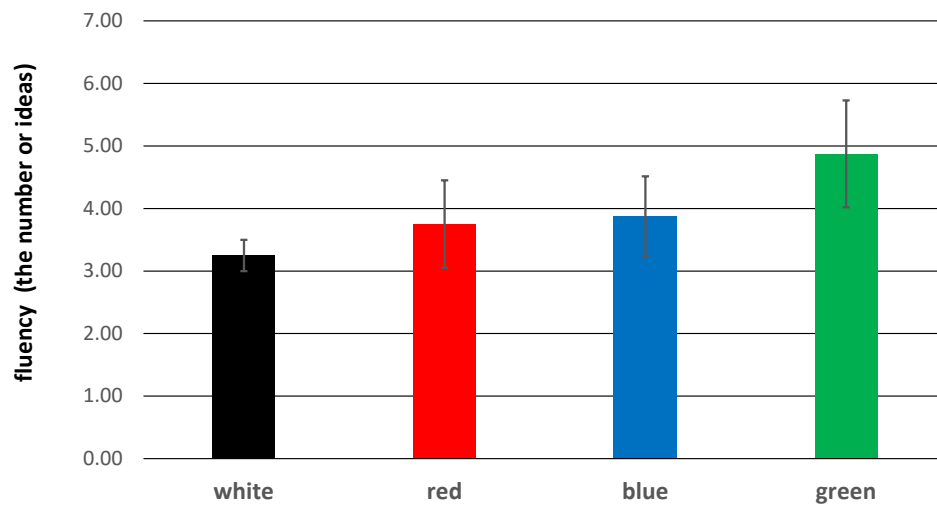


図2 創造作業結果

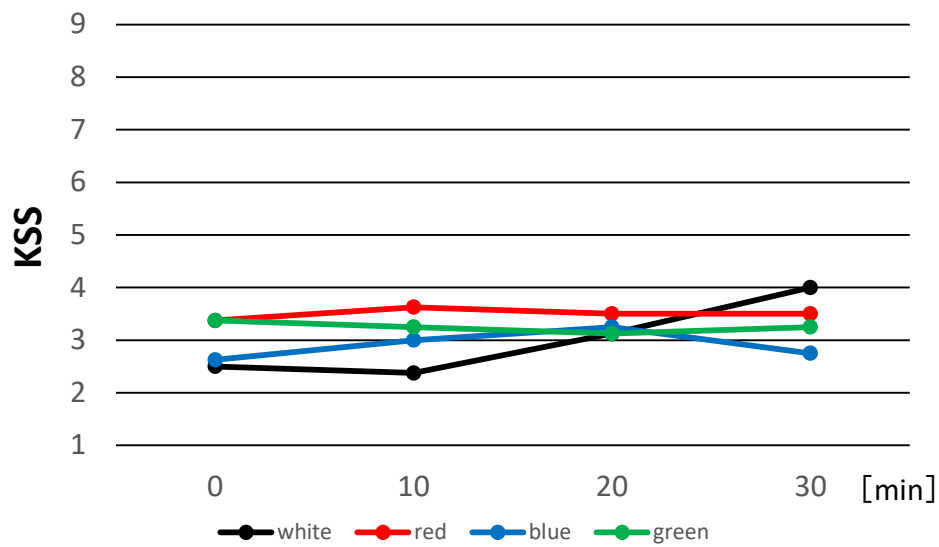


図3 覚醒度の主観評価結果 (KSS 評価結果)

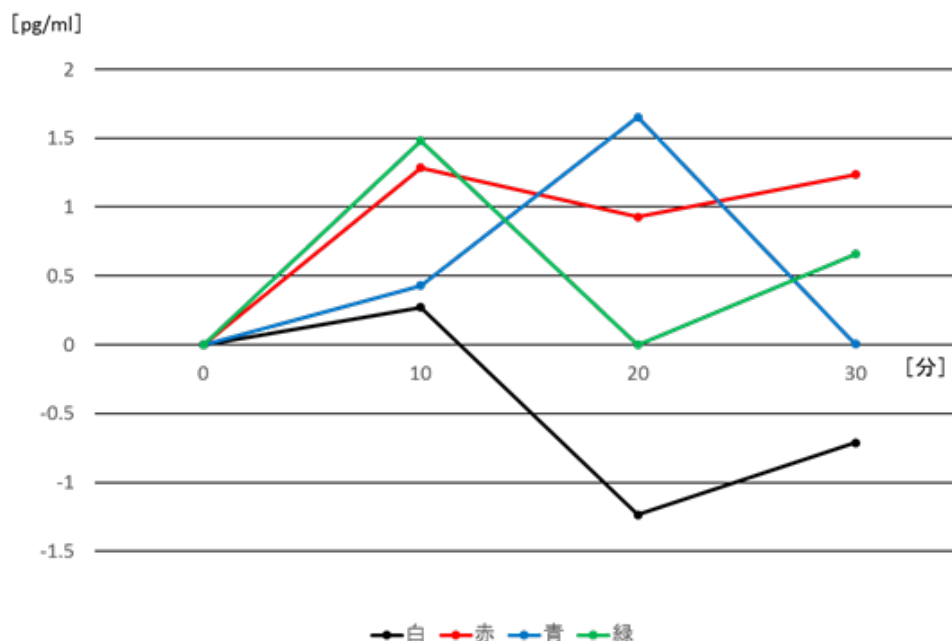


図 4 覚醒度の生理評価結果（メラトニン分泌変化量）

5. 今後の計画

本研究では、有彩色光が作業効率に及ぼす影響と覚醒度の主観評価へ及ぼす影響をある程度確認することができた。しかし、覚醒度の生理評価に用いたメラトニン分泌量には個人差があり、測定結果の傾向もばらつきが大きかった。今後の展望として、データ数を増やすことでより確かな変動傾向を調べ、覚醒度の主観評価と生理評価の関係を明らかにする必要があると考えられる。今後は覚醒度の生理指標として、心電図を用いた検討を行う予定である。

6. 研究成果の発表

(1)S. Tateyama, Y. Sakai, S. Sato, Y. Shoji, H. Takahashi 「Effects of chromatic color lighting on work efficiency and alertness」 LS15 (15th International Symposium on the Science and Technology of Lighting) (2016, 5)

また、関連研究として以下の発表を行った。

(2)Hiroshi TAKAHASHI, Tomokazu HASEGAWA, Yuhei MATSUO and Kazutaka ITAKO 「THE EFFECT OF CHROMATIC COLOR LIGHTING ON COGNITIVE PERFORMANCE」 Lux Pacifica2015 (2015, 11)

(3)高橋 宏, 長谷川 智一, 松尾 勇併, 板子 一隆 「有彩色照明光による認知作業への影響に関する研究」第 48 回照明学会全国大会 (2015, 8)

(4)Hiroshi TAKAHASHI, Satoshi MISAWA 「The Influence of Elapsed Time on the Subjective Evaluation of Interior Lighting」 Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol.20,No.1,pp.29-35 (2015)

熱産生脂肪細胞の分化におけるビタミン E の機能

研究者名：応用バイオ科学科 田中 理恵子

1. 研究の目的

褐色脂肪組織はヒトの肩甲骨や鎖骨周囲に局在する特殊な脂肪組織であり、体温維持や代謝調節において重要なラジエーターとして働く組織である。2012 年に、白色脂肪細胞と同一の前駆細胞から褐色脂肪様の細胞（ベージュ脂肪細胞）が分化する事が報告された。ベージュ脂肪細胞はホルモン刺激等によって分化増殖が促進されることから、誘導性 BAT (iBAT) とも呼ばれている。さらにベージュ脂肪細胞の分化を促進する新規のホルモンとして、骨格筋組織から分泌される「Irisin」というホルモン様タンパク質が同定され、抗肥満研究のターゲットとして注目されている。当研究室では最近、ビタミン E の一種である α -tocopherol を摂取したラットの皮下脂肪組織中に褐色脂肪様の細胞が出現し、熱産生関連遺伝子の発現が上昇することを見出した。これらの結果は α -tocopherol がベージュ脂肪細胞の分化を促進する可能性を示唆しており、非常に興味深い。本研究では α -tocopherol によるベージュ脂肪細胞の分化促進効果を *In vivo*、*In vitro* の両面から検討した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

α -tocopherol は転写因子 PPAR γ の発現誘導を介してインスリン抵抗性を改善する他、脂肪肝や肝炎に対しても改善効果を有する事が報告されている。 α -tocopherol によるベージュ脂肪細胞の分化促進効果が、このような耐糖能の向上や脂質代謝の改善に寄与している可能性が考えられる。これまで肥満治療は脂質の吸収抑制や食事制限、運動療法を中心として展開されてきた。しかし日本における肥満人口の割合は数十年間に渡って増加の一途を辿っており、肥満に伴う糖尿病、高脂血症、睡眠時無呼吸症候群、変形性関節炎等の罹患率も増加している。この状況を打破するためにも肥満症を根本から改善する新規の治療法及び予防法の開発が望まれる。ベージュ脂肪細胞は発見されて間もない新規の脂肪細胞であり、分化や増殖、活性化の機序には未だ不明な点が多い。ベージュ脂肪細胞の分化を制御する因子の探索とその作用機構の解明は、抗肥満研究において極めて重要であると言える。

3. 期待される効果

高脂肪食負荷等による肥満モデルラットにおいて体重増加の抑制や血中脂質パラメータの改善が認められた場合、ビタミン E の摂取が肥満やそれに伴う生活習慣病の発症を予防する可能性が期待される。本研究のように食品成分によってベージュ脂肪細胞の分化を促進しようという試みは、効率よく熱産生を行う体質への「体質改善」をターゲットとした新しいサプリメントの開発に繋がると期待される。

4. 研究の経過及び結果

1) 高脂肪食負荷ラットにおけるビタミン E 同族体摂取の効果

高脂肪食 (HFD)、高脂肪+ α -tocopherol 食 (HFD+ α -toc) または高脂肪+ γ -tocopherol 食 (HFD+ γ -toc) を 8 週間摂取したラットより白色脂肪組織を採取し、脂肪細胞の分化に関する転写因子 (PPAR γ 、PGC-1 α)、熱産生遺伝子 (UCP1)、ベージュ脂肪細胞マーカー (CD137) の遺伝子発現解析を行った。これらの遺伝子発現量は Control と比較して α -tocopherol 食摂取群で有意に増大していた。一方で γ -tocopherol 食摂取群においてはこのような影響が見られなかった。さらに HE 染色による病理組織学的検査を行った結果、 α -tocopherol 摂取ラットの白色脂肪組織中に褐色脂肪様の細胞が観察された (図 1)。これらの褐色脂肪様細胞は UCP1 を高発現していることが免疫組織染色の結果から明らかとなり (図 2)、 α -tocopherol 摂取が熱産生脂肪細胞の分化を促進する可能性が示唆された。しかしながら、8 週間の飼育期間中の体重推移には差が見られず、脂肪組織重量や血中脂質濃度についても低下傾向が見られるものの有意な差は見られなかった。

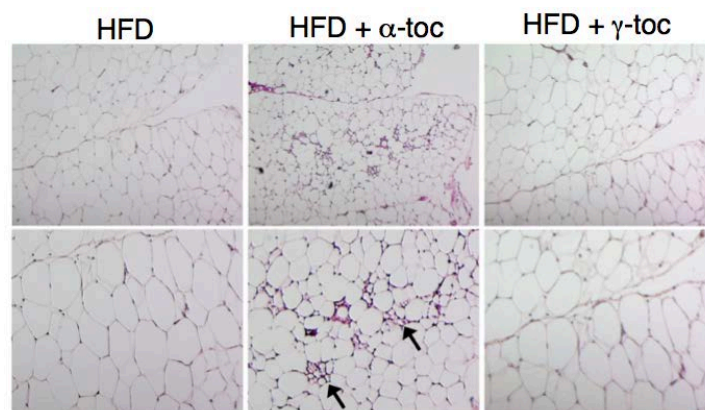


図 1. ラット腎周囲脂肪組織の HE 染色

α -tocopherol (α -toc) 摂取ラットでは脂肪組織の褐色化が見られる (矢印)。

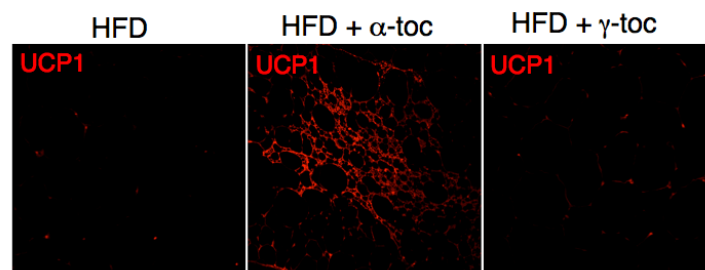


図 2. ラット腎周囲脂肪組織における UCP1 の免疫組織染色

α -tocopherol (α -toc) 摂取ラットで見られる多胞化した細胞は UCP1 を高発現している。

2) マウス白色脂肪細胞におけるビタミン E 同族体添加の影響

同族体ごとの効果をマウス白色脂肪前駆細胞 (3T3-L1) を用いて検討した。細胞を各種ビタミン E 同族体 (α -tocopherol、 γ -tocopherol、 δ -tocopherol) 存在下で分化誘導し、10 日間培養後に PPAR γ 、PGC-1 α 、UCP1 の遺伝子発現を定量した。さらに UCP1 の免疫染色を行い共焦点レーザー顕微鏡で観察した。 α -tocopherol または δ -tocopherol 存在下で分化誘導した 3T3-L1 細胞では、PPAR γ 、PGC-1 α 、UCP1 の遺伝子発現量が有意に増加しており、特にその効果は δ -tocopherol において顕著であった (図 3)。蛍光免疫染色の結果からも、 δ -tocopherol 添加細胞が UCP1 を高発現している事が明らかとなり、熱産生脂肪細胞への分化が促進されている可能性が示唆された。

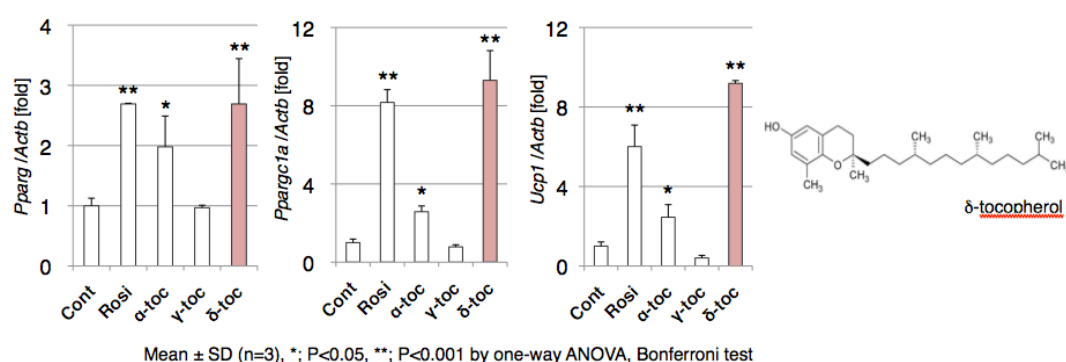


図 3. 3T3-L1 細胞における各種遺伝子発現解析

δ -tocopherol の添加によって PPAR γ 、PGC-1 α 、UCP1 の遺伝子発現量が顕著に増大する。

5. 今後の計画

細胞レベルで熱産生関連タンパク質の発現を誘導する効果は、 δ -tocopherol で特に顕著であった。今後は δ -tocopherol のベージュ脂肪細胞分化促進効果を中心に研究を進行する。 δ -tocopherol によって PGC-1 α の発現と活性化が亢進する事から、今後は PGC-1 α の活性化に関与するリン酸化酵素 (MAPK、AMPK) の活性化状態について *In vivo* の *In vitro* の両系で評価を行う予定である。また、PGC-1 α の下流で転写されるホルモン様タンパク質のうち、ベージュ脂肪細胞の分化に寄与する Irisin や FGF21 の発現・分泌に対する影響についても検討を行う。 δ -tocopherol の生体内分布についてはこれまでに報告が無いので、 δ -tocopherol 摂取マウスより各種組織を採取し、HPLC による定量を行うことで組織分布を明らかにする。

6. 研究成果の発表

- 1) 田中 理恵子, 高橋 知衣, 足立 和也, 嵐山 賢一, 栗島 彩希, 清瀬 千佳子: ビタミン E 同族体によるベージュ脂肪細胞の分化促進効果. 日本油化学会第 54 回年会 (2015 年 9 月)
- 2) 山田 翔太, 栗島 彩希, 周防屋 夏美, 高橋 知衣, 清瀬 千佳子, 田中 理恵子: δ -tocopherol によるベージュ脂肪細胞の分化促進効果. 第 27 回ビタミン E 研究会 (2016 年 1 月)
- 3) 神奈川工科大学 応用バイオ科学科 卒業研究発表会 (2016 年 2 月)

モデル形状とその支持装置の空力干渉に関する研究

機械工学科 根本 光正

1. 研究の目的

流体の流れの中に置かれた船舶や車あるいは航空機などの飛翔体などに作用する流体力の解析には、流れと同じ方向に働く力の抗力 (Drag), 鉛直方向に働く力 (Lift), 水平方向に働く力の横力 (Side Force) の 3 力と, 各作用力方向の軸周りのローリング (Rolling), ピッチング (Pitching), ヨーイング (Yawing) の 3 モーメントの計 6 分力を計測する必要がある (図 1). 抗力や揚力については多くの報告例⁽¹⁾があり, これらの計測には, 6 分力天秤型模型支持装置という精密測定機器が用いられる.

古くには, 供試体 (空力解析模型) がワイヤーを介して吊られるワイヤー吊り式 3 分力天秤などが用いられたが, ワイヤー自体の抗力も無視できないほど大きい. 通常は, 外部の力量センサーと模型が支持装置を介して支えられるストラット方式や, 支持装置先端部に設置された力量センサーが模型内部に内蔵されるスティング方式などが用いられる. 力量センサーと支持部が流れに曝されないスティング方式は, 内蔵がゆえに汎用性に欠けるため, 汎用性を優先するストラット方式が多用されている. ストラット方式の場合, 支持部に加わる流体力の影響を常に考慮しなければならない.

本研究では, 本学既設のゲッチンゲン型風洞 (循環式風洞) の性能および吹出口や計測部寸法に合わせた 6 分力天秤型模型支持装置 (以下, 6 分力天秤という) を試作し, 完成した 6 分力天秤による供試体に働く流体力の測定を実施している. そこで本報告では, 供試体に作用する抗力の測定に際して, その供試体を支える支持部の影響について実験的に検討したので以下に述べる.

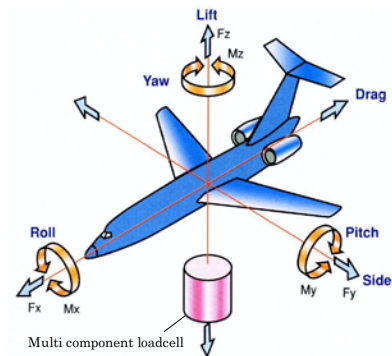


Fig. 1 Three forces and three moments⁽²⁾

2. 研究の必要性及び従来の研究

ストラット方式では供試体とそれを支持するストラットとの流体力の相互干渉が避けられず, 従来より様々な方法で相互干渉の影響を除去しているが, その内容はブラックボックス化して明らかにされないケースが多く見受けられる. 例えば, 供試体の空力特性のみを求める際, 相互干渉の影響がどの程度の割合になるかを知らずにストラットのみ空力特性を単独で計測し差し引くケースが多く見受けられ, 特に風洞実験において初学者は間違った結果を得ていることに気が付かない. 6 分力天秤の試作を期に, 本研究では流体力の相互干渉の影響の重要性ならびに周知の必要性を改めて示した.

3. 期待される効果

本研究では、物体に加わる流体力計測装置として 6 分力天秤型模型支持装置を試作し、本学既設のゲッチンゲン型風洞の計測部に設置した。完成した 6 分力天秤を用い基本形状である円板と球体の抗力の測定を行い、従来からの研究とほぼ同様の結果を得た。抗力のみの検討ではあるが、試作した 6 分力天秤の信頼性をまず確認できた。測定対象とする供試体の形状により、その後流域に位置する支持部に及ぼす流体力にも大きな差異が生じ、相互干渉考慮の重要性を常に認識しなければならないという効果が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

完成した 6 分力天秤と支持部を図 2 に示す。天秤に内蔵されている 6 分力検出器の容量は、200N (200N 型) と 20N (20N 型) の 2 台で、その仕様を表 1、表 2 に示す。200N 型検出器には迎角調整器が補器されており、流れに対する支持供試体の迎角 α は、後方のサブストラットを上下移動制御することで、 $\alpha = -25 \sim 30 \text{ deg}$ (約 15 deg/min) の範囲で制御できる。本報告では、供試体として円板 (直径 $d_D = 130 \sim 230 \text{ mm}$, いずれも板厚 $t = 5.0 \text{ mm}$, 直径 300 mm では板厚 $t = 3.8 \text{ mm}$)、球 (直径 $d_S = 200 \text{ mm}$) を用いた。これらの供試体は、天秤支持装置 (メインおよびサブストラット) 上に水平に取り付けられた支持棒 (直径 $d = 15 \text{ mm}$, 長さ $L = 400 \text{ mm}$) を介して、支持棒前方端の中心軸上に固定した。実験範囲は、空気は常温で大気圧、風洞吹出口 ($800 \times 800 \text{ mm}$) での流速は $v \doteq 3 \sim 26 \text{ m/s}$ (最大流速 $\doteq 36 \text{ m/s}$, 吹出口での気流乱れ強さ $\doteq 1\%$)、流れに対する支持供試体の迎角は $\alpha = 0 \text{ deg}$ (供試体支持棒水平) で行った。

図 3 に、直径がほぼ同じ供試体 (円板, 球) に加わる抗力 $D(\text{N})$ の測定例を示す。横軸には、風洞吹出口流速 $v(\text{m/s})$ を示す。それぞれの供試体の抗力 D の値には、その供試体を後方で支えている支持棒の抗力も含まれている。円板 (直径 $d_D = 130 \text{ mm}$) の抗力 D (Δ 印) は、流速 v の二乗に比例して推移している。球 (直径 $d_S = 200 \text{ mm}$) の抗力 D ($\bigcirc$ 印) は、 $v = 15 \text{ m/s}$ 近傍で一旦減少し再び増加する、いわゆる層流から乱流境界層はく離への遷移の現象が再現されている。 $v > 15 \text{ m/s}$ では、前方投影面積がほぼ同一の円板と球とでは、抗力 D は約 5 倍の差が生じ、それぞれの後流の大きさの違いによる特徴的な抗力値の差異の例を示している。

円板の抗力係数 $C_D = D / (\rho S v^2 / 2)$ に及ぼす、支持棒の影響を図 4 に示す。横軸には、円板の直径 d_D を代表寸法とするレイノルズ数 $Re = d_D v / \nu$ を示す。ただし、 ν は空気の動粘度、 D は抗力、 ρ は空気の密度、 S は円板の前方投影面積 $= \pi d_D^2 / 4$ を示す。支持棒の抗力を取り除いた円板だけの C_D 値 (Δ 印) は、従来から知られている円板の抗力係数 $C_D \doteq 1.2$ とほぼ一致した。支持棒の抗力を含んだ円板の C_D 値 ($\blacktriangle$ 印) は、 $C_D \doteq 1.2$ より小さい値を示した。円板のように、後流が大規模なはく離領域を生じる場合、円板を支える支持棒には、流れ方向とは逆の風上に押し戻す力が作用している。

球 ($d_S = 200 \text{ mm}$) の抗力係数 C_D に及ぼす支持棒の影響を図 5 に示す。横軸には、球の

直径 d_s を代表寸法とするレイノルズ数 $Re = d_s v / \nu$ を示す。ただし、 S は球の前方投影面積 $= \pi d_s^2 / 4$ を示す。支持棒の抗力を取り除いた球だけの C_D 値は、従来から知られている層流境界層はく離域 ($Re < 2 \times 10^5$) の球の抗力係数 $C_D \approx 0.44$ とほぼ一致した。支持棒の抗力を含んだ球の C_D 値 (●印) は、 $C_D \approx 0.44$ より大きい値を示した。乱流境界層はく離域 ($Re > 2 \times 10^5$) への遷移後での球の C_D 値 (○印) は、 $C_D = 0.15 \sim 0.2$ とほぼ一致した。支持棒の抗力を含んだ球では、 $C_D \approx 0.2$ より大きい値を示した。流れが面に沿って流れるような球の場合、後流が円板のような大規模なはく離領域にならず、球を支える支持棒の一部 (後部) がはく離領域の外になるため、球を支える支持棒には風下に向かう力が作用している。

供試体 (円板, 球) とその供試体を支える支持棒の風洞内での相対位置は変えずに供試体と支持棒の接合部を切り離し、供試体が支持棒に触れないよう僅かに離して供試体を 6 分力天秤外で支持した場合の、支持棒単体の抗力係数 C_D の差異を図 6 に示す。横軸には、支持棒の軸方向長さ L を代表寸法とするレイノルズ数 $Re = L v / \nu$ を示す。支持棒の前方に円板がある場合 (△印)、支持棒が円板の後流はく離内にあるため、支持棒が空気流から受ける抗力 D は風上方向となり、 C_D 値はマイナスの値を示した。一方、前方に球がある場合 (○印)、層流境界層はく離域では大規模なはく離内にあるため、支持棒が気流方向に受ける抗力 D は小さいが、乱流境界層はく離域では、後流が層流はく離に比べて小規模となり支持棒が流れに曝され、支持棒単体の C_D 値 (◇印) に漸近する傾向を示した。本実験では支持棒の抗力係数は、前方に円板がある場合は $C_D < 0$ 、球では $C_D > 0$ となった。

5. 今後の計画

供試体として流れ方向に軸対称である円板および球体を対象に、今回は抗力に関して供試体と支持部との流体力相互干渉の影響を主に検討したが、揚力や横力を発生するような流れに非軸対称モデルについても明らかにしたい。

6. 研究成果の発表

研究成果報告については、日本機械学会はじめ航空宇宙学会のシンポジウムあるいは講演会等で発表する予定である。

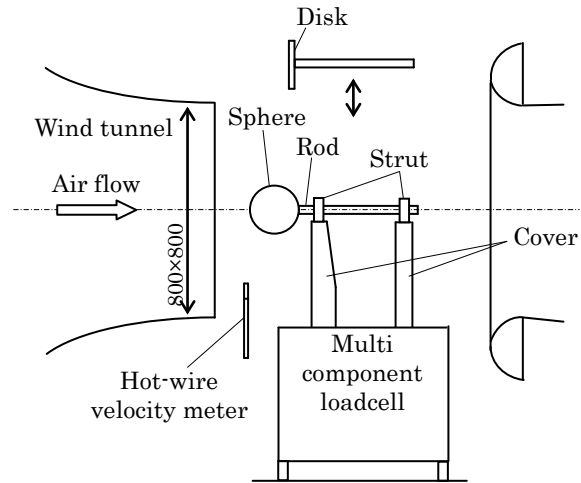
最後に、実験装置および治具の制作に際しては、ワイヤーカット (放電加工機)、NC マシンによる加工をいただいた本学実験研究センター工作工場、さらにレーザーカット装置による加工のご指導をいただいた KAIT 工房の関係諸氏に感謝の意を表する。

参考文献

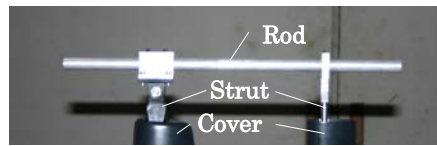
- (1) 例えば, Sighard F. Hoerner, et al., Published by the Author (or AIAA), Fluid-dynamic drag: practical information on aerodynamic drag and hydrodynamic resistance, (1965).
- (2) Nissho Electric Works Co., LTD, <http://nissho-ew.co.jp>.

Table 1 Spec of multi component load-cell

Type	$F_x(N)$	$F_y(N)$	$F_z(N)$	$M_x(N\cdot m)$	$M_y(N\cdot m)$	$M_z(N\cdot m)$
200N	± 200	± 200	± 200	± 80	± 80	± 40
20N	± 20	± 20	± 20	± 2	± 2	± 2



(a) Schematic diagram of experimental apparatus



(b) Strut and rod

Fig. 2 Tested strut and rod supporting solid model

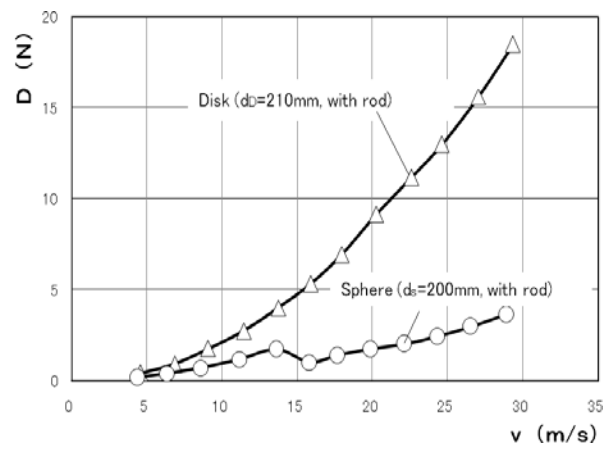


Fig. 3 Measured drags of disk and sphere

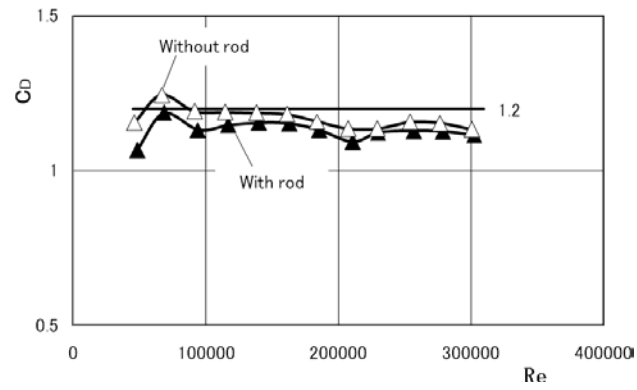


Fig. 4 Drag coefficients of disk ($d_D = 150\text{mm}$)

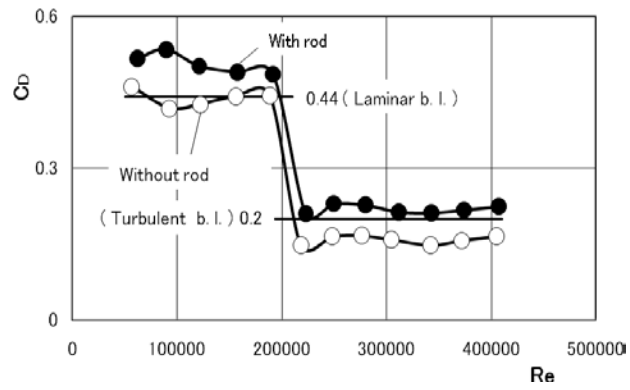


Fig. 5 Drag coefficients of sphere ($d_s = 200\text{mm}$)

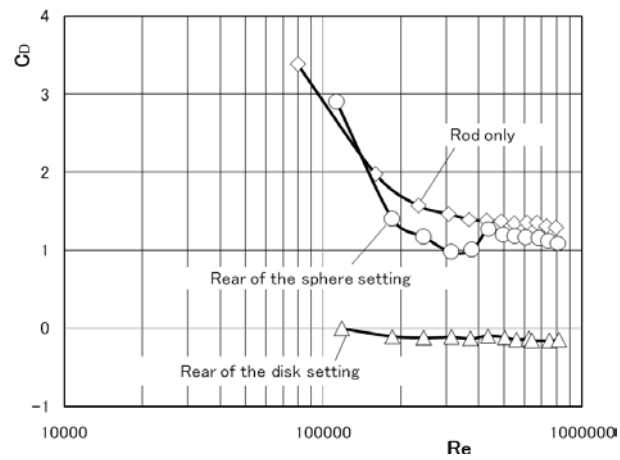


Fig. 6 Drag coefficients of rod

自由視点で鑑賞するアニメーションの研究

研究者名：情報メディア学科 牧 奈歩美

1. 研究の目的

映画・テレビなどの映像作品では、鑑賞者に作品の世界に入り込んだような感覚（没入感）を与えることは重要である。その目的を達成する方策としては、大画面高精細化や立体化などの表示系の改善や、鑑賞者が好きな視点から作品を鑑賞できる自由視点化が有効と考えられる。表示系の改善の例としては、IMAXやスーパーハイビジョンなどがある。また立体化は映画が先行しており、アナグリフ、偏光メガネ、液晶シャッター（時分割表示）、携帯端末における端末表示（裸眼方式）などがある。このような動きがある中で、自由視点を持つことは、立体感や没入感を得られるだけでなく、物体のきらめきや輝きなどのマテリアル表現にもつながることが分かった。本研究では、自由視点に注目し、それにより得られる3DCGアニメーションやマテリアル表現の可能性を探ることを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

自由視点を持つ静的なシーンを作成し、さらにCGマテリアルと組み合わせることで新たな質感表現につながるかを検証する。映像作品では、鑑賞者に没入感を与えることは重要である。そのための方法として、鑑賞者が好きな視点から鑑賞できる自由視点化が有効であると考えられる。ヘッドトラッキング機能を有するヘッドマウントディスプレイ（以下HMD）の登場で原理的には可能になったが、制作者のデザイン性やストーリーに重点を置いた芸術性のある作品は、いまだ応用として未開拓であり、新たな研究分野であるといえる。現在HMDによる映像作品やゲームは、エンタテインメント重視のものから実験的なコンテンツまで多岐にわたり目覚しく発展を遂げており、HMD視線の方向を検知するトラッキングシステムの特徴を生かしたエンタテインメント型システムが多数発表されている。その代表的な例として、冬のフランスを旅するヘラジカとマンモスの物語である Jason Ochoa による The Cave が挙げられる。

3. 期待される効果

これまでの映像作品の鑑賞形態としては、平面的な画面での映像表示であった。しかし自由視点をもつ映像形態としてVR映像などの360度映像により、その鑑賞方法は多岐にわたる可能性を持っている。効果的なコンテンツを制作するために、その特徴を

研究し、ストーリーテリングの方法やマテリアルの質感表現として効果的な方法を探ることで新たな表現を有するコンテンツの開発につながる。

4. 研究の経過及び結果

HMDによる映像制作としてホラー映像作品を作成し、その演出方法を研究した。当研究では、ヘッドトラッキングシステムの特性を効果的に利用した演出方法として、音による視線誘導に注目した。鑑賞者が音のなる方向を振り向くことを想定し、驚きや恐怖感を誘う映像演出を試みた。また、HMDの使用時に起こる特有の酔いを軽減させるための方法も模索し、鑑賞者は着席した状態で鑑賞する設定にし、映像内でもトロッキに座った状態で頭部のみ自由に動かせる状況に限定した。

5. 今後の計画

上記4で述べた映像作品は、頭部のみ動かすことのできるVR映像作品として演出方法を模索し制作したが、今後は映像内の3DCGマテリアル表現の研究へと発展させる予定である。自由視点を持つことができる環境で、鑑賞者が3DCGの質感やマテリアルを、どのように知覚するかというところに焦点を当てる。

また、上記4の映像作品は、鑑賞者の目線（頭部）の方向のみが自由であるため、VRに期待されるインタラクティブ性は高くない。しかし、本研究ではゲームのようなインタラクティブ性は求めていないため、今後の研究では、あくまで「映像作品制作と研究」に限定したいため、フルドーム映像作品などの360度映像をテーマに研究を進めたいと考える。現段階では、3DCGフルドーム映像作品の制作と3DCG質感研究を関連付けた研究を開始している。その製作中の映像の一部を以下図1に示す。

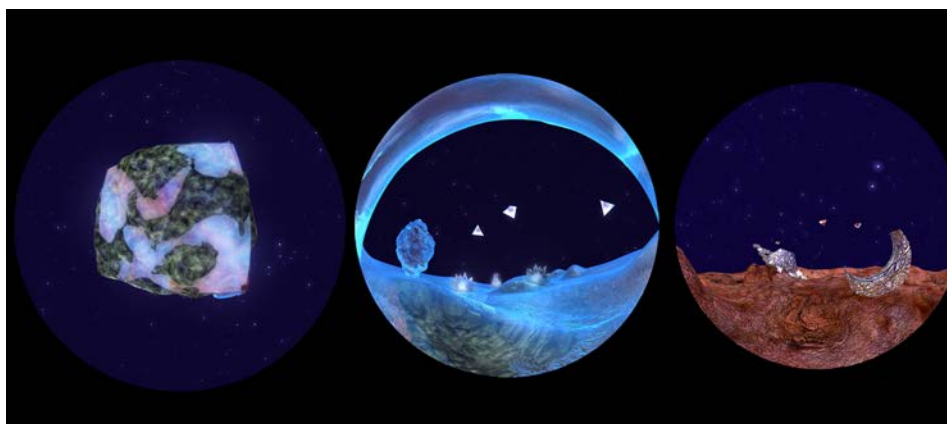


図1. フルドーム映像のレンダリング結果例

6. 研究成果の発表

自由視点をもつアニメーション表示の関連研究として、裸眼立体表示による泳ぐ魚のアニメーション表現の研究発表を the 17th International Conference on Human-Computer Interaction において発表した。

また2016年7月には the 18th International Conference on Human-Computer Interaction において、ヘッドマウントディスプレイの鑑賞者の視線に注目した3DCGホラー映像作品制作について“Production of a VR Horror Movie Using a Head-mounted Display with a Head-tracking System”と題し、論文発表を行う予定である。