

神奈川工科大学

次世代センシングシステム研究所研究報告

第10巻

2017

The Memoirs

of

Experiment and Research Center,

Kanagawa Institute of Technology

(1030 Shimoogino, Atsugi-shi, Kanagawa, Japan)

Vol.10 (2017)

目次

1. アロステリック酵素を用いたエフェクターのフローインジェクション計測	
応用化学科 佐藤生男 	1
2. ストレスマーカーによる多検体迅速分析法の開発及び健康食品中のカテキンの 高選択的センシング	
工学部応用化学科 齋藤貴 	6
3. 医用画像診断支援システムの高度化に関する研究	
電気電子情報工学科 武尾英哉 	10
4. 照明光色による体感温度変化を利用した省エネ空調システムの検討	
ホームエレクトロニクス開発学科 三栖貴行 	14
5. 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	
応用バイオ科学部栄養生命科学科 飯島陽子	18

アロステリック酵素を用いたエフェクターのフローインジェクション計測

研究者名： 応用化学科 佐藤 生 男

1. 研究成果の要約

炭素繊維をディスク状に加工し、次いで化学修飾して酵素固定化用の担体に用いた。昨年度、塩化パラジウム液をこのディスク状の炭素繊維に一度、浸み込ませた後にパラジウム(II)イオンをパラホルムアルデヒドで還元し、次いで金属パラジウムと金酸とをイオン交換させ、金属状態の金に換える方法を適用した。また、酵素タンパク質を振盪・固定化するには予め、炭素繊維表面の気泡の除去が不可欠と思われた。さらに、アミノアルカンチオールでは、炭素数の異なる物質、即ちアミノエタンチオールに加えて、アミノヘキサメチレンチオールを適用した。さらにまた酵素触媒として、代表的なアロステリック酵素の一つであるグリコーゲンホスホリラーゼ *b* を用いた。その結果、酵素グリコーゲンホスホリラーゼ *b* を 72-82% とほぼ定量的に固定化することができた。

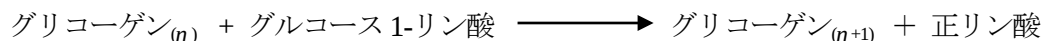
2. 研究概要

2.1 計測原理

アロステリック酵素はその代謝系において、特異な制御作用を発揮することが知られている。酵素タンパク質分子にあって、その活性部位とは空間的に異なる部位（エフェクター部位）に、エフェクターという分子が結合することで、本酵素の触媒活性が調節され、ひいては代謝系の制御がなされていることは既往の事実である。代表的なアロステリック酵素として、グリコーゲンホスホリラーゼ *b* はよく知られ、本酵素のエフェクターである AMP は、この酵素のエフェクター結合部位に配位、結合することで、触媒活性が制御されている。

この実践に際しては、AMP 分子のエフェクターとしての作用に着目し、酵素触媒にグリコーゲンホスホリラーゼ *b* を用い、次のグルコース鎖の伸長反応で生成される正リン酸を分光測光法的にモニタリングすることで活性の計測が果たされるものとした。

グリコーゲンホスホリラーゼ *b*



そこで、この反応で生成される正リン酸をさらに、リンモリブデン酸塩の誘導体とし、マラカイトグリーンと反応させることで発色、生成されるイオン会合体をモニタリングすることにより、ひいてはこの反応を分光測光法的に定量することで、間接的にエフェ

クターのフロー式定量がなされるものとした。医療計測上、血液中の AMP 濃度の計測は、手術後の患者の回復度の指標として、意義を有するものである。

2. 2 グリコーゲンホスホリラーゼ *b* の固定化

代表的なアロステリック酵素としてグリコーゲンホスホリラーゼ *b* (略称 GP*b*, EC 2.4.1.1, 11.8 U/mg 固体物, ウサギ筋肉起源, Sigma-Aldrich 社製) を用いた。

- (a) 炭素繊維の酸処理工程： まず、円盤（ディスク）状（内径 約 7.0 mm, 高さ 5.0 mm）にポンチで打ち抜いた炭素繊維（日本カーボン(株)製 No.シ 01007-044）15 個をアセトン中で超音波洗浄（15 分間）し、脱脂、乾燥した。次いで、10 mM 硝酸液中に浸漬し（30 分間, 75℃）、吸引ろ過後、洗浄、分離して、110℃で乾燥した。
- (b) 金酸液の含浸： テトラクロロ金(III)酸四水和物（0.33 g）を 10 mL の純水中に溶解し（80 mM 液）、50 mL 容の三角フラスコに移し、硝酸処理後に、予め乾燥済の炭素繊維を保冷库内（4℃）で、一晚（約 18 時間）ゆっくりと往復振盪（60 rpm, 振れ幅 25 mm）した。この金酸液に浸漬、振盪済のディスク状の炭素繊維をろ過吸引、洗浄し、保冷库内で乾燥した。因みに、往復振盪する前に、予め、真空ポンプを用いて、炭素繊維表面にある気泡の除去操作の必要性が示された。
- (c) パラジウムによる金酸とのイオン交換法による金属状の金への還元： 化学メッキ法によるパラジウムイオンの金との置換による金属状の金が炭素繊維の表面で被覆されることを試みた。300 mL 容の三角フラスコに飽和塩化パラジウム溶液（100 mL）を先ず加え、次いで硝酸処理済みの炭素繊維を添加し、恒温槽（60℃）中で 2 時間保温し、室温に冷めてから 30 分間減圧状態に置いた。次いで、恒温室（4℃）で約 18 時間以上、振盪（60 rpm; 振れ幅 25 mm）させた。
昨年度と同様、吸着されたパラジウムを還元する為、パラホルムアルデヒド 0.180 g を三角フラスコに秤取し、総量として純水 200 mL を少しずつ攪拌しながら加えて、恒温槽中（60℃）で約 2 時間、溶解させた。このパラホルムアルデヒド溶液 200 mL をディスク状の炭素繊維が浸漬したパラジウム溶液中に、さらに恒温槽中（60℃）で 5 分間毎に 10 mL ずつ添加し、4 時間をかけて反応させた。室温に戻した後、減圧吸引ろ過を行い、100 mL の純水で洗浄した。吸引ろ過操作で水滴が出なくなるまで乾燥させ、恒温室（4℃）で風乾させた。
さて、テトラクロロ金(III)酸四水和物（0.0693 g）を 50 mL 容の三角フラスコで秤量し、塩化ニッケル液 21 mL (Ni^{2+} として、5000 ppm に調製)を加え、溶解した。この液にディスク状の炭素繊維を添加し、30 分間減圧下に置き、恒温室（4℃）で約 1 日間振盪させ、金属パラジウムを金酸（III）イオンとイオン交換し、金属状の金に置換させることとした。その後、パラジウム液の処理と同様の操作でろ過と乾燥を行った。
- (d) アミノエタンチオール化： 金属状の金で置換、被覆したディスク状の炭素繊維を 20 mM 2-アミノエタンチオール液（0.05M リン酸ナトリウム緩衝液中, pH 8.0, 100 mL）に入れ、予め

室温で液中の気泡を真空ポンプで除去し、再び4℃の保冷庫内で往復振盪（24 時間以上、60 rpm、振れ幅 25 mm）した。その後、吸引ろ過して洗浄（0.05M リン酸ナトリウム緩衝液、pH 8.0）し、さらに4℃の保冷庫内で乾燥させた。また一方、別に6-アミノ 1-ヘキサンチオール(塩酸塩)もアミノチオール化に適用した。

- (e) グルタルアルデヒド活性化： 2.5%グルタルアルデヒド溶液（200 mL）で架橋法（0.1M リン酸ナトリウム緩衝液、pH 7.0, 60 min）により作用（グルタルアルデヒド活性化）させた後、0.05 M リン酸ナトリウム緩衝液（pH 8.0）, 次いで純水で洗浄し、グルタルアルデヒドの匂いが消えるまで洗浄し、さらに30分間から引きし、乾燥が十分になるまで空引きを行った。
- (e) 酵素とのカップリング： この乾燥済みのディスク状の炭素繊維に対し、100 mg の重さの GPb を予め最終濃度が0.1Mになるように調整したリン酸ナトリウム緩衝液（pH 7.0）10 mL 中に溶解し、8.0 mL を固定化に適用した。48 時間以上、4℃の保冷庫内で振盪後、0.1 M リン酸ナトリウム、緩衝液0.5 M 塩化ナトリウム、純水の順で各 1L ずつ洗浄し、酵素固定化物を得た（固定化収率：ほぼ 100%）。このようにして本酵素を定量的に固定化することができた。なお、シッフの塩基の残存を考慮し、念のため、水素化ホウ素ナトリウム液で還元処理後、酵素固定化炭素繊維（3 個のディスク）をポリアセタール製のリアクタに詰め、さらにアクリル製の恒温ホルダーに取り付け、計測システムに組み込んだ。

2. 3 酵素触媒反応のモニタリング

マラカイトグリーンを用いた正リン酸の分光測光法の測定条件の改善を既に行った。酵素触媒反応に適した中性付近の pH で、安定した計測条件を検討し、最適計測条件として、キャリアーの組成が 50 μ M グリセロリン酸と 15 mM メルカプトエタノールとからなる緩衝液(pH 6.2)の適用が最適であったことを再確認した。一方、発色試薬としては 0.11 M モリブデン酸液 - 0.22 mM マラカイトグリーン液を用いることとした。

3. 結果

まず、炭素繊維上にメッキ法により金を固定化し、定量的に酵素を固定化できることが確認された。また、この際、アミノアルキルチオールの種類、すなわちアミノ基とチオール基間の炭素数が酵素活性の発現に関与することが示唆された。

4. 今後の展望

炭素繊維を担体とする新たなグリコーゲンホスホリラーゼ b の分光測光法によるエフェクターのフローインジェクション分析法を提唱し、定量的な固定化法を見つけた。予期したように、パラジウムで予め被

覆した炭素繊維を金酸液に含浸（振盪・攪拌）し，金属状の金に置換した標品を酵素固定化用の担体に適用できた．また，気泡を炭素繊維表面から予め，徹底的に除去しておく必要と考え、アスピレーターの使用に代えて、真空ポンプの適用を考慮した。果たせるかな、グリコーゲンホスホリラーゼ *b* を定量的に固定化でき，固定化率の飛躍的改善も示すことができた。次年度は計測的応用を測り，天然由来のグリコーゲンに代え，トウモロコシ由来の人工基質の適用（基質の重合度分布が単一に近く，しかも水への溶解度がより高まることによる酵素活性の増大）とさらにはヒトの管理血清を利用した回収率の測定をも行いたい。

研究発表リスト

印刷物発表

- (1) Ikuo SATOH, Daisuke KIKUCHI and Yasushi KANZAKI: “Flow Measurement and its Characteristics Using Enzymes Immobilized onto Carbon Fibers Chemically Modified”, *Proceedings of the 61th Chemical Sensors Symposium*, **33**, Supplement A, pp.122 - 124, 2017.
- (3) Yasushi KANZAKI, Ikuo SATOH, Yoshio KITAZAWA, and Yoichi ISHIKAWA: “The Standard Electrode Potential of AgClO_2/Ag and Electrochemical Determination of The Solubility Product of $[\text{Ag}^+][\text{ClO}_2^-]$ ”

口頭発表

- (1) 佐藤生男, 菊地大介, 神崎愷: 「化学修飾済みの炭素繊維に固定化した酵素を用いるフロー計測と諸特性」, 公益社団法人電気化学会, 化学センサ研究会, 第 61 回講演会, No.40, 八王子, 3 月 27 日, 2017 年.
- (2) 神崎愷, 佐藤生男, 北沢義男, 石川陽一: 「 $[\text{Ag}^+][\text{ClO}_2^-]$ の溶解度積と AgClO_2/Ag 系の標準電極電位の電気化学的決定」, 一般学術講演, 公益社団法人電気化学会, 第 84 回大会, 1J23, 八王子, 3 月 25 日, 2017 年.

ストレスマーカーによる多検体迅速分析法の開発及び 健康食品中のカテキンの高選択的センシング

研究者名：工学部応用化学科 齋藤 貴

1. 研究の目的

(1) 目的：近年、少子高齢化が急速に進んで人々の健康意識の高まりも大きくなり、これに伴って自己管理の面や、簡易迅速に多検体分析できるなどの種々の分析手法の需要が増えている。そこで、次の2点について検討を行った。

- ・成人病や社会病とも言われるストレスについて、生体物質マーカー(唾液 α -アミラーゼ)を中心に非侵襲的な診断検査に基づくセンシング法を開発を目指した。
- ・近年、健康意識の高まりにより飲料水や食品に健康に関わる成分として、特保食品でも注目されている(+)-カテキンについて、簡易迅速な多検体の分析法の開発を行った。

(2) 研究期間内(平成28年度)に明らかにする事項：ストレスマーカーとして唾液中の α -アミラーゼを指標としたストレスの判定法とその応用計測を行う。また、飲料水中の(+)-カテキンの分析用センサーの開発を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

(1) ヒトストレスの非侵襲的センシング

ヒトストレスは、近年の社会病とも言われ、健康意識の高まりにより注目されているキーワードである。従来より問診法などで医師が直接診断することから、定量的な扱いが難しく、医師の技量にも左右する診察法となっている現状にある。そのため、自主管理的な個人による客観的な測定が不可能なため、これが足かせとなって早期発見の遅延や診断判定の曖昧さがその後の治療の進展に大きく関わってくることになる。そこで、生体試料としてヒト唾液を用いて色彩計を用いた迅速な計測法を確立することは、医療での客観的な診断結果が得られ、継続測定により統計的に被験者の身体モニタリングでき、ストレス管理の指標としての利用も可能となりうる。

(2) 食品中の(+)-カテキンのセンシング

ヒトの健康意識の高まりにより(+)-カテキン成分を強化した特保食品が近年急速に増加していることからわかるように、(+)-カテキンは健康に関わる代表的な天然物の一つにもなっている。この(+)-カテキンの分析法には、一般に紫外検出-液体クロマトグラフィーが利用されている。この手法は既存の分析システムがそのまま利用できるメリットがあるものの、飲料水中の共存物による定量精度の低下や、多検体を迅速に分析するには課題が残っている。

そこで、(+)-カテキンの高選択的・高感度なセンサーを開発し、前処理無しまたはろ過などの最低限の処理のみで多検体を迅速に分析できるセンシングシステムを開発することにより、製造工場での製品管理や食品分析業務などで有用となるであろう。

3. 期待される効果

研究の特色・独創的な点と予想される結果と意義

(1) ヒトストレスの非侵襲的センシング

唾液中の α -アミラーゼの簡易で定量的に計測法により、生活習慣病、社会病でもあるストレスを受けている強度の判定や、ストレスの受けやすさの個人の性格判定などの利用が期待できる。本法をヒトのストレス測定に応用した実試験も行いたい。

(2) 食品中の(+)-カテキンのセンシング

(+)-カテキンは生理活性の高い天然成分であり、種々の飲料製品に標記されることが多い。本法は、(+)-カテキンを特異的に検出するセンサーを開発することにより、複雑な前処理無しで、多くの試料を迅速に連続分析(>10回/時間)できる特色を有しており、多検体処理には非常に有効な分析法であることが期待できる。

4. 研究の経過及び結果

今年度は、次の流れの計画に基づいて研究を進めた。

(1) ヒトストレスの非侵襲的センシング

①測定方法

ストレス評価において、唾液中の α -アミラーゼを生体マーカーとして用いる。この物質はストレスにより負荷がかかることで活性強度が変動する。ストレスが不快ストレスの場合は、酵素活性が増大するため、この酵素活性を測定することで、ストレス強度を評価することができる。

α -アミラーゼ酵素に対する基質として、2-Chloro-4-nitrophenyl-4-O- β -D-galactopyranosyl maltoside (Gal-G2-CNP)を用いた。この物質は α -アミラーゼ酵素の触媒作用により加水分解され、 β -D-galactopyranosylmaltose (Gal-G2)と黄色分解生成物である2-Chloro-4-nitrophenol (CNP)を生成する。すなわち、生成したCNPの濃度が高いほど(CNPによる発色が大きいほど)、唾液中の α -アミラーゼの分泌比率が高い、つまり高ストレスであると判断される。そこで、唾液中の α -アミラーゼを定量的に測定しストレス評価を行った。なお測定には色彩色差計CM-3600d(MINOLTA社)を用いて、色度(a^*b^*) ($a^*b^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$)を算出した。平常時のストレスの経日変動をベースとして評価した。

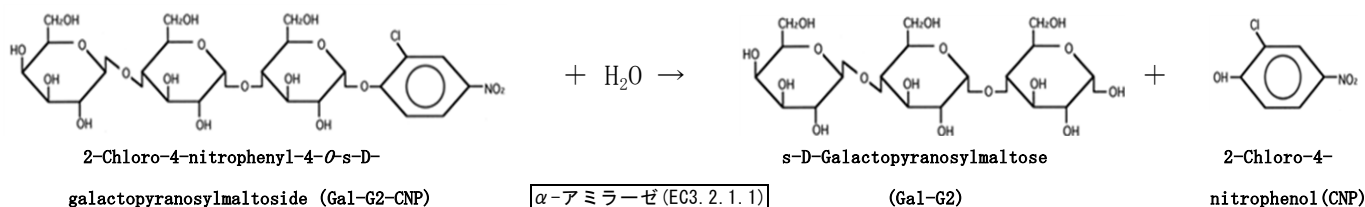


図1 α -アミラーゼの反応

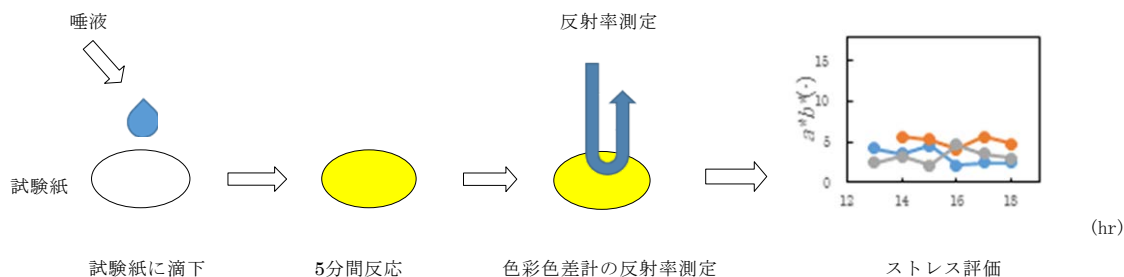


図2 測定方法

② α -アミラーゼ色彩計測用試験紙の作製

ストレス評価用の試験紙は、分析用濾紙No. 26-WA(ADVANTEC)を直径10 mm ϕ に切り取り、80 $^{\circ}$ Cで1時間以上乾燥させた。その後、試薬R1(緩衝溶液ベース溶液)620 μ Lと試薬R2(2-Chloro-4-nitrophenyl-4-O- β -D-galactopyranosyl maltoside(Gal-G2-CNP)180 μ Lの混合液40 μ Lを濾紙に滴下し、乾燥してストレス評価試験紙を作製した。

③ヒト由来 α -アミラーゼの濃度に対する色度変化(0~3000 U/L)

図4に α -アミラーゼの濃度と色度(a^*b^*)の間にはほぼ直線関係があり、定量的に唾液中の α -アミラーゼが定量できることが分かった。

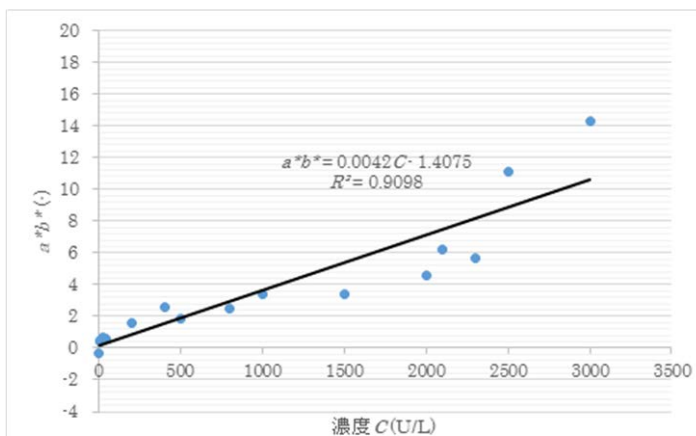


図3 発色5分時の濃度と色度の関係(0~3000 U/L)

④ストレスの測定

・被験者(22歳大学生)

被験者のストレス負荷は、階段昇降、WORD タイピング、数学の計算、手術映画、音楽鑑賞、の計5種を実施した。測定結果を図4に示した。また、 α -アミラーゼ比活性値を表1に示した。この被験者は平常時の比活性値の変動も合わせて考えるとストレス負荷後変動に大きな変化は見られないため、精神的ストレスには強いタイプと判断されるが、ただし、唯一階段昇降に関しては負荷後は大きく変動している。この傾向は個人差があることも分かった。そのため、この被験者は肉体的負荷の方がストレスを感じやすい体質であることが示唆された。

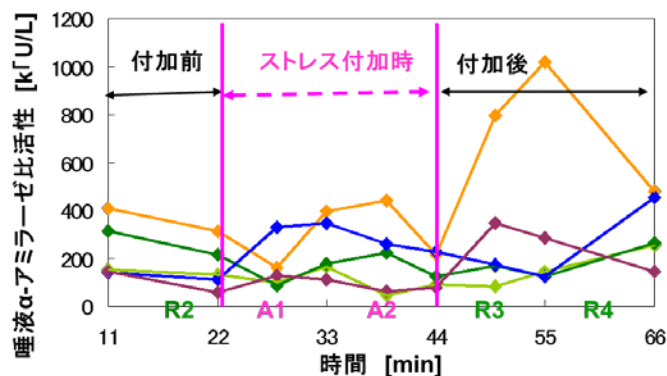


図4 ストレス度チェック

表1 負荷時の α -アミラーゼの比活性値

ストレスプログラム	ストレス付加した時の唾液 α -アミラーゼ比活性 [kU/L] (n=9)
階段昇降	469 (55.1 %)
PC (Microsoft word) によるタイピング	130 (43.8 %)
数 I・A の計算	188 (36.6 %)
人の眼球の角膜手術の映像視聴	241 (46.1 %)
音楽視聴	151 (62.6 %)

(2) 食品中の(+)-カテキンのセンシング

①(+)-カテキン鋳型薄膜の合成とQCMセンサの作製

ギ酸にnylon 6と(+)-カテキンを加え、3時間攪拌した。溶解したnylon 6-ギ酸溶液をデュアルチャンネル型水晶振動子(ATカット、30MHz、日本電波工業(株))の金電極部位の1chへキャストした。その後、作製したQCMをフローセルに装着し、シリンジポンプ-周波数モニター系に組み込んだ。そして、メタノール水溶液を移動相として通液し、(+)-カテキンテンプレート分子を脱離させ、(+)-カテキン分子の鋳型サイトを有するnylon 6薄膜((+)-カテキンIP)を金電極面上に作製した。

このQCMシステムにより(+)-カテキンの応答能を評価し、さらに飲料水中に共存する物質や類似した分子構造を持つゲスト分子の検出能の比較評価を行った。またゲスト分子の検出能の評価に非鋳型薄膜を被覆したQCMを組み込んだ同システムを用いて測定し、比較評価した。

図5に(+)-カテキンの鋳型形成原理を示した。ホスト分子にナイロン6を用い、これにテンプレート分子である(+)-カテキンをOH基間の水素結合により捕捉させる。その後、ホスト分子の溶媒を揮発させ、(+)-カテキンを取り込んだナイロン6薄膜を作製する。この薄膜を水晶振動子センサ(QCM)の金電極部位にコーティングすることで、(+)-カテキン鋳型薄膜QCMセンサを作製した。

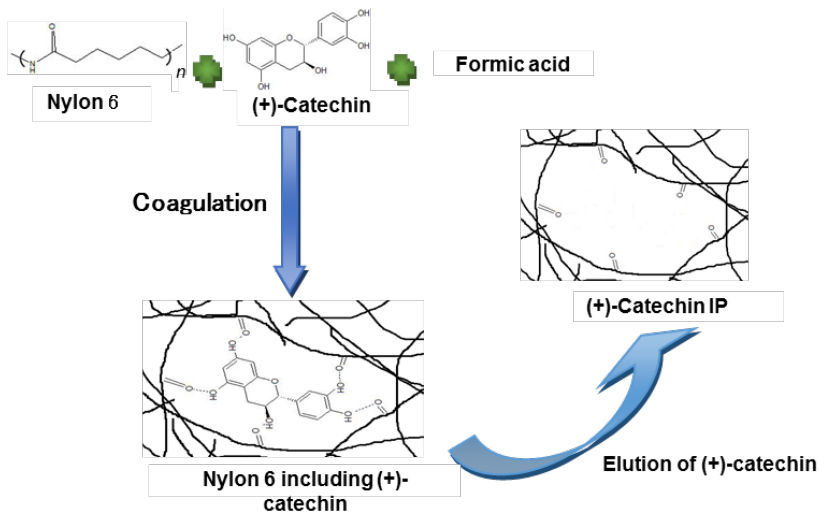


図5 (+)-カテキン鋳型薄膜の形成原理

このQCMをフローセルにセットし、高速液体ポンプ、レオダイインジェクター、フローセルの順でセットした。なお、フローセルにセットされたQCMから周波数応答を測定するため、周波数カウンタを取り付けた。QCMには30MHzのデュアルチャンネル型水晶振動子(日本電波工業(株))の高感度のものを用いた。

なお、QCMセンサに高選択性を持たせているため、分離カラムは用いていない。

② (+)-カテキン濃度に対する周波数減少及び水晶振動子への吸着量の関係

(+)-カテキンIP-QCMを用いて、濃度の異なる(+)-カテキンを測定し、その応答を調べた結果を図6に示した。

(+)-カテキン濃度が5mg/Lから100mg/Lの範囲での周波数の減少量は12.5Hzから175.4Hzに比例的に増加した。その際、0.044ngから6.14ngの(+)-カテキン分子のQCMへの吸着が認められた。このことより(+)-カテキンは、濃度に依存して定量的にQCM上の鋳型薄膜に捕捉されることが分かった。

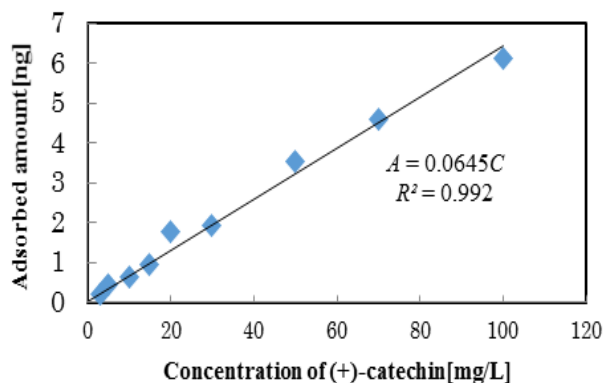


図6 (+)-カテキン濃度とQCMへの吸着量の関係

③ (+)-カテキン IPの検出における選択性の評価

(+)-カテキンIP-QCMを用いたQCMセンシングで(+)-カテキン、ゲスト分子として、ダイゼイン、フェノール、カテコール、ゲニステイン、L-アスコルビン酸、エピカテキンガラート、カフェイン、エピカテキンについてゲスト分子の吸着選択性を図7に示した。

テンプレート分子である(+)-カテキン分子の応答が得られた。一方、(+)-カテキン以外の分子構造が類似しているゲスト分子類の応答はまったく生じなかった。

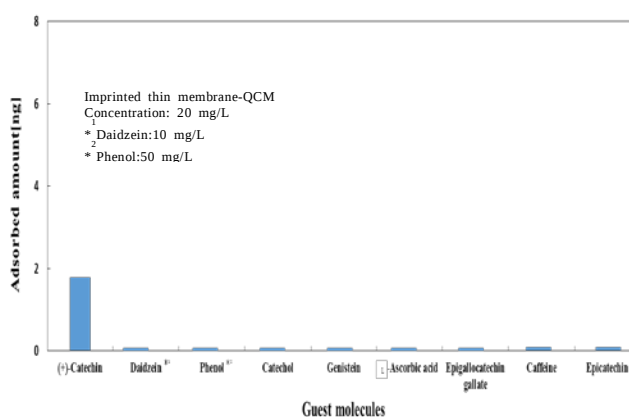


図7 (+)-カテキン濃度とQCMへの吸着量の関係

このことより、(+)-カテキンIPは特異的に(+)-カテキンを捕捉していることが明らかとなった。

5. 今後の計画

今回、2つのテーマである検討項目において、下記の結論が得られた。

①生体唾液成分の一つであるα-アミラーゼをストレスマーカーとした多検体迅速分析法を確立することができた。この方法は、試験紙の色変化に基づく定量法で、将来的には視覚的な色変化のみでマーカーが測定できる方法に改良することで、個人レベルで試験紙を使った簡易分析に発展させることも可能である。

②健康食品中の生理活性物質である(+)-カテキンを前処理が必要なく、高選択的に短時間(1検体あたり約5分)で測定できるセンシングシステムとすることが可能である。本法により、従来の分析手法より格段に迅速に測定ができ、付随して多検体迅速分析につながる手法となることが期待できる。

今後は唾液中に存在する微生物種から疾病の早期診断や健康者と自覚しているヒトを対象に、日常保有する微生物種より体質的な判断としての疾病を発症する予期診断の確立を目指す目的で、腔内微生物種のメタゲノム解析を基にした遺伝子学的同定による腔内微生物の評価、解析を行う予定である。

6. 研究成果の発表

研究成果の主な公表に関しては次の通りである。(+) -カテキンに関する研究成果について、現在論文を作成中で投稿準備中(投稿先予定：分析化学)である。

- 1) 学術論文：斎藤貴、日本材料科学会、53巻、No. 1、p. 1-5、2016年(平成27年度)
- 2) 口頭発表論文：18件(平成28年度)
- 3) 特許：特願2015-150237「高分子化合物膜で被覆された基材、その用途及び製造方法」

(2015年7月30日)

特願2015-150267「温度応答性ポリロタキサンゲル及び薬物保持体」(2015年7月30日)

医用画像診断支援システムの高度化に関する研究

研究者名：電気電子情報工学科 武尾 英哉

1. 研究の目的と概要

コンピュータ支援画像診断 (CAD: Computer Aided Diagnosis) システムの開発における症例画像の不足を補うことを目的に、病変の存在しない画像に腫瘍などの病変を埋め込み、人工的に症例画像を作成する取り組みが行われている。筆者は、人工症例を含む学習データを用いて設計した判別器による検証から、肝腫瘍 CAD への有用性の一例を示した。本研究では、様々なバリエーションの人工症例データベース (DB) を作成し、実運用を視野に入れ、CAD の未知データへの判別性能向上が見込める最適な組み合わせ法や生成方法を提案する。サイズの大小やコントラストの濃淡を様々に変化させることにより、埋め込む病変を強調した人工症例を学習データとして作成、設計した判別器の未知データに対する性能から最適な学習データ構築法を検討し、その有効性を確認した。さらに本手法の汎化性を確認するために、他部位への応用として、乳がん腫瘍 CAD にも適用し、有効性があることを確認した。また、人工症例 DB を各種 CAD の性能評価尺度として用いることも提案する。すなわち、標準的なサイズやコントラストの病変 (腫瘍など) に対して、定量的に大きさや淡さを変えた場合の検出性能を比較することで客観性のある評価基準になり得ると考えられる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

これまで国内外の研究機関では、X 線画像や CT 画像を用いて、乳がん、肺がん、胃がん、肝臓がんなど一部の部位を対象とした CAD が開発されてきたが、これらは人体の疾病 (病変) の一部にすぎない。そこで、将来的には全身のあらゆる病変を対象とした CAD システムを開発するために、本研究では、以下の部位とモダリティを対象とした CAD の適応領域の拡大を目指す。

(A) CT 画像による胸部疾患の診断支援技術の確立と更なる高精度化

(B) 他部位への診断支援技術の適用拡大の可能性検討

(C) CAD システム開発の効率化および FDA・薬事認可のための客観的評価仕組みの確立

本年度は、上記のうち、(C) の CAD システム開発の効率化と客観的評価仕組みの確立 に関して、基礎技術の確立と高精度化を目標に研究を進めた。本研究の進め方の特徴は、これまで乳がんを中心に 20 年間以上研究を進めて築いてきた CAD の基盤技術を、広く他部位やマルチモダリティに展開するとともに、臨床の現場と連携を図りながら実用化 (役に立つシステムの運用の実現) を目指していく点にある。

3. 期待される効果

本研究は、医療分野のある単一のモダリティにとどまらず、X 線撮影、CT、MRI、さらには細胞画像 (明視野もしくは顕微鏡画像) にまで至っている。また、検診～診断、さらには治療や新薬研究に至るまでの分野にわたっている。このように、CAD の応用領域の拡大化を図っており、医学・臨床 (医療・治療) の発展に大きく寄与している。

なお、本研究を進める上で、市場サイドの声を反映するために、より一層、臨床サイド (医療機関) との連携を強めた。 本学に加え、亀田京橋クリニック (黒木放射線科医)、国際医療福祉大学病院 (縄野放射線科医)、東埼玉病院 (永井臨床放射線技師) と共同研究および共同開発を進めた。

4. 研究の経過及び結果

本研究の特徴は、これまで乳がんを中心に 20 年間以上研究を進めて築いてきた CAD 技術を、広く多部位や他モダリティに展開するとともに、臨床の現場と連携と図りながら実用化（役に立つシステムの開発）を目指していく点にある。本研究課題は、新村病院、国際医療福祉大学病院、東埼玉病院の医師および放射線技師と連携を図り、臨床データの収集および臨床評価を進めてきた。そして、その研究成果は CARS2016 国際会議^[1]で発表するとともに、日本医用画像工学会(JAMIT) 論文誌 (MIT 誌) にも掲載された^[3]。

さらに現在は、本研究結果をより発展させて、他部位への適用（乳がん石灰化）と実症例を全く用いない CAD 開発手法の開発を進めており、その研究成果は平成 29 年度中に海外を中心とする学会で発表する予定である（現在、CARS2017 国際会議および MIT 誌へ投稿中）。

（1）人工症例画像の CAD 開発への有効性検証^{[1], [2]}

CAD システムの開発における症例画像の不足を補うことを目的に、病変の存在しない画像に腫瘍などの病変を埋め込み、人工的に症例画像を作成する取り組みが行われている。我々は、人工症例を含む学習データを用いて設計した判別器による検証から、肝腫瘍 CAD への有用性の一例を示した。本研究では、様々なバリエーションの人工症例データベース (DB) を作成し、実運用を視野に入れ、CAD の未知データへの判別性能向上が見込める最適な組み合わせ法や生成方法を提案する。サイズの大小やコントラストの濃淡を様々に変化させることにより、埋め込む病変を強調した人工症例を学習データとして作成、設計した判別器の未知データに対する性能から最適な学習データ構築法を検討し、その有効性を確認した。さらに本手法の汎化性を確認するために、他部位への応用として、乳がん腫瘍 CAD にも適用し、有効性があることを確認した。また、人工症例 DB を各種 CAD の性能評価尺度として用いることも提案する。すなわち、標準的なサイズやコントラストの病変（腫瘍など）に対して、定量的に大きさや淡さを変えた場合の検出性能を比較することで客観性のある評価基準になり得ると考えられる。

ポアソンブレンディングによる人工症例画像の作成法を図 1 に示す。この方法により多数の人工症例画像を作成し、従来の本物 100% による学習データによる CAD 開発に代わって、人工症例画像を何割かを混ぜて学習させて CAD 開発した判別器を用いる。

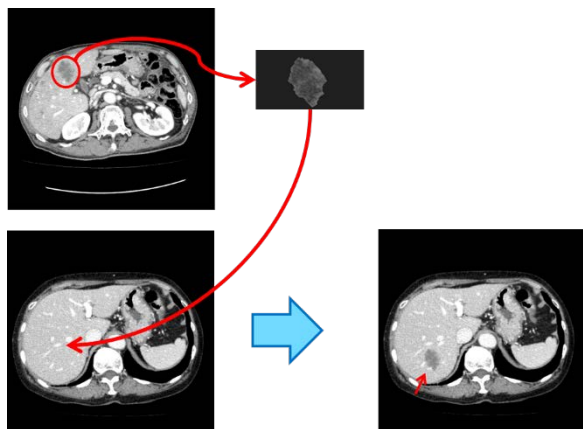


図 1 腫瘍埋め込み概要

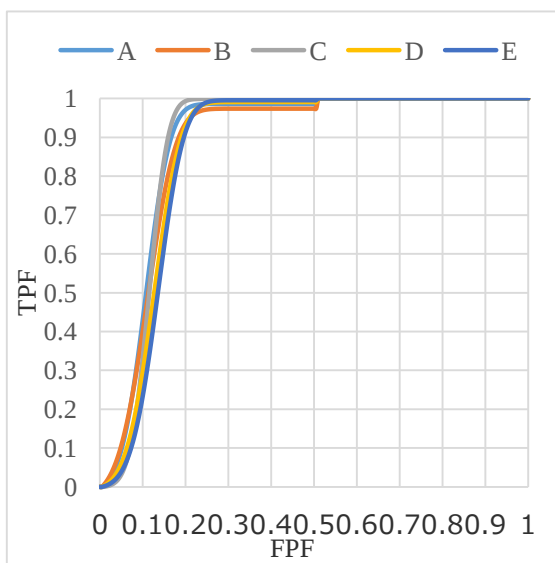


図 2 ROC 解析による人工症例比率の検討

図 2 にはその結果を示す。A は従来通り 100% 実症例で学習させた CAD 判別器の場合、B～E は、順に 25%、50%、75%、100% づつ人工症例の割合を増した場合の結果であり、いずれも未知画像に対する性能評価結果に

差がないことがわかる。すなわち、肝腫瘍 CAD においては、人工症例を用いた本手法の有効性が確認された。

一方、同様な検証を他部位である乳がん腫瘍影検出 CAD についても行った結果を図 3 に示す。A が従来通り 100%実症例で学習させた CAD 判別器の場合、B が人工症例画像を用いて CAD 判別器を開発した場合であり、両者に差はなく、乳がん腫瘍影に対しても、人工症例を用いた本手法の有効性が確認された。

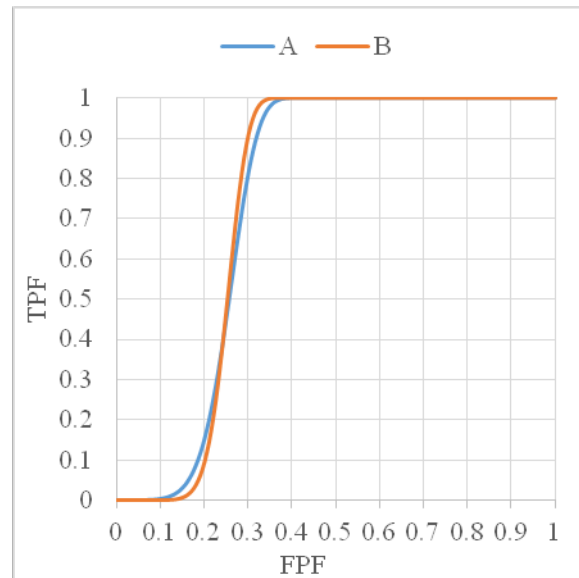
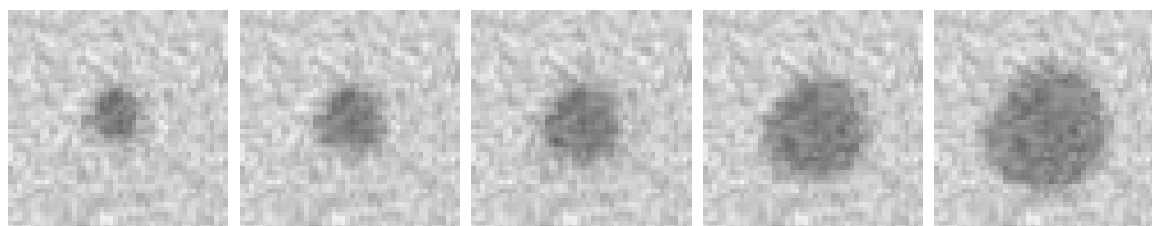


図3 ROC 解析による乳がん腫瘍影検出 CAD への人工症例の有効性検証

(2) 人工症例の客観的評価基準としての提案^[3]

人工症例画像の活用法の 1 つとして、開発された CAD の客観的評価指標としての活用法を提案する。基準となる症例を基に濃度や淡さ、大きさなどを自由に変更しそれに対する結果から CAD の性能を客観的に評価ができると考えられ、それぞれの機関で開発された CAD システムに対する一律の評価基準としての利用が可能と思われる。基準となる腫瘍の大きさやコントラストは、医師複数の意見により絶対的に決定する。CAD が検出すべき腫瘍の大きさは、ヒアリングを行った医師らの意見から 10～15mm が望ましいとの意見に集約されたため、中間値である 12.5mm を基準と考えた。図 4 に基準画像並びに性能評価のための人工画像を示す。



60%

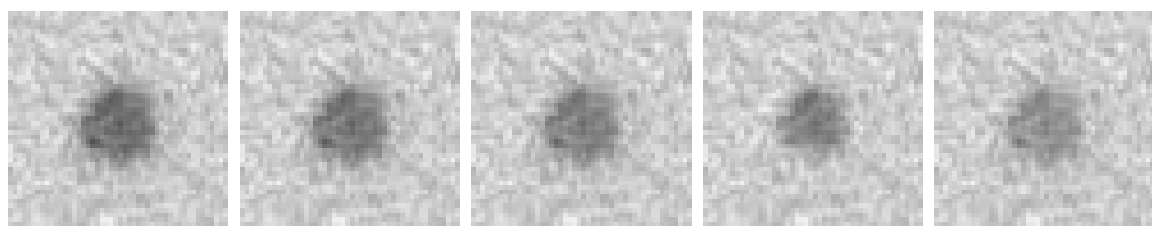
80%

12.5mm

120%

140%

(a) 大きさの変化（濃度は標準）



-20

-10

平均 40HU

+10

+20

(b) 濃度の変化（大きさは 12.5mm）

図4 人工症例画像を用いた評価基準

(3) CAD コンテストへの参加^[4]

2016 年 7 月 21～23 日に千葉大学で開催された日本医用画像工学会主催の 2016 年度医用画像処理コンテスト（通称 CAD コンテスト）において優勝し、大会賞を受賞した。手元にある実際の疾病サンプルから擬似的な疾病サンプルを生成し、それが実物と遜色のないものかどうかを 6 人の医師の評価により競うコンテストである。2016 年度のテーマは「3 次元腹部 CT 画像への肝腫瘍の埋め込み」であり、全国から集まった大学や研究機関のチームの中、それぞれが開発した埋め込み処理によりその出来栄を競った。

図 5 には、参加 5 チームのスコアを示す。スコアは提出した 10 個の人工症例画像の本物らしさを平均点（100 が満点）を表し、本チームは唯一、本物よりもスコアが高く、またばらつきも小さい。これにより、人工症例を作成する技術力が客観的にも高いことが証明できたものと言える。

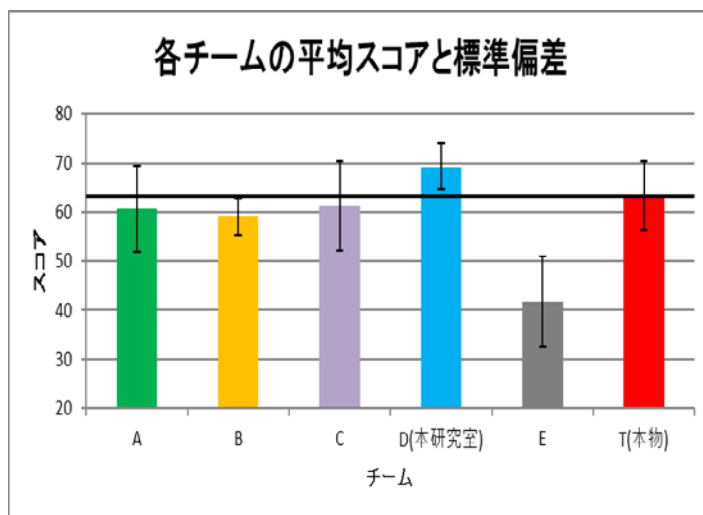


図 5 CAD コンテストの各チームのスコアの比較

5. 今後の計画

本研究成果で得た CAD 技術を発展させて、今後も多部位展開(最終的には全身 CAD の開発を夢見ている)、すなわち研究課題 (B) を進め、CAD システムの普及に貢献したい。また、本技術を HEMS やホームヘルスケア分野にも応用していきたい。

6. 研究成果の発表

- [1] Kazuya ABE, Hideya TAKEO, Yoshifumi KUROKI, Yuuichi NAGAI, “Proposal for a novel CAD development technique using artificially created case images”, Computer Assisted Radiology and Surgery 30rd International Congress and Exhibition, Vol.11, No.1, S273-S274, 2016.6.
- [2] 安倍和弥, 武尾英哉, 黒木嘉典, 永井 優一, 縄野繁, 北坂 孝幸, 「人工症例画像の CAD 開発への有効性検証と客観的評価基準としての活用の提案」, 第 35 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2016), OP7-7, 千葉大学, 2016.7.23.
- [3] 安倍和弥, 武尾英哉, 黒木嘉典, 永井 優一, 縄野繁, 北坂 孝幸, 「人工症例画像の CAD 開発への有効性検証と客観的評価基準としての活用の提案」, Medical Imaging Technology, Vol.35, No.2, pp.110-120, 2017.
- [4] JAMIT-CAD コンテスト (3 次元腹部 CT 像への肝腫瘍の埋め込み), 第 35 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2016), 中村友弥, 石田勝, 三枝駿介, 佐野天人, 安倍和弥, 武尾英哉, 千葉大学, 2016.7.22. (優勝・大会賞)

照明光色による体感温度変化を利用した省エネ空調システムの検討

研究者名：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

家庭環境を再現できる施設内でフルカラーシーリングライトの調色調光により、エアコンの設定温度をどの程度まで変化させられるかを明らかにし、節電効果の検証を行いたい。今回の研究は神奈川工科大学 HEMS (ECHONET Lite) 認証支援センターと同大学ホームエレクトロニクス開発学科 IoT スペースを活用し、家庭のリビング・個人室内環境を再現した実験施設を使用する。学生被験者を募り、エアコンで設定された温湿度環境下で LED シーリングライトを調色調光させ、サーモグラフィによる被験者の体温と体感温度の官能評価、および室内温度の測定を行う。LED 照明の調色された色と被験者の体温と体感温度、および室内温度の関係性から、エアコンの暖房使用時であれば設定温度の低下、また冷房設定時は設定温度を上昇できるか明らかにする。フルカラーシーリングライトやエアコンが ECHONET Lite などの通信規格から自動制御可能か検討し、快適で省エネな家庭環境の構築を検討する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

照明の研究として LED 照明器具の調色調光と体感温度との関係を検討する研究は多くの研究機関・住宅関連企業が行っている。しかしながら、ECHONET Lite 通信規格を活用したシーリングライト、エアコンの制御および省エネ・節電効果が容易に確認できるシステムを活用し、家庭環境に近い実験施設を使用できる研究機関は少ないと思われる。神奈川工科大学 HEMS (ECHONET Lite) 認証支援センターは ECHONET Lite 通信規格と家庭環境の再現を同時に行うことができる。

本研究は単に調色調光の効果を検討するだけでなく、家庭環境に模した実験室で照明制御の実験を同時に行うことができる。したがって LED の調色調光効果の研究者および制御システム研究者に対して本研究の必要性は高いと考えられる。

3. 期待される効果

照明光色の調整により人体の体感温度が変わると仮定すれば、大きな省エネ効果が期待される。仮に夏季に照明光色により人間の体感温度を 1℃下げることができれば、エアコンの使用者が設定温度を 1℃上げる可能性がある。このように夏期にエアコンの設定温度を 1℃上昇させれば約 10%の節電効果が期待できる {財団法人日本エネルギー研究所「夏期における家庭の節電対策と消費電力抑制効果 (IEEJ:2011 年 4 月掲載) } }。冬期でも同様の効果が期待されている。

4. 研究の経過及び結果

C2 号館 2 階 E205 号室の IoT 試験室においてフルカラーLEDシーリングライト（東芝ライテック社製 LEDH81718LC-LT3）の照明光色を ECHONET Lite を利用し調光調色制御できるシステムを作成した。各照明光色の xy 色度座標を図 1 に示す。測定は放射照度計（コニカミノルタ社製 CL-500A）を用いている。設定した光色は照明光色の制御指標を色温度で検討している。

照明光色を図 1 のように変更したとき、体感温度がどのように変わるのか VAS (Visual Analogue Scale) 法により評価を行った。室内温度は 23℃一定とし被験者は色覚に異常のない 24 歳の女性 1 人とし、心拍データを測定できるウェアラブルデバイスである hitoe を着用させる。hitoe は心拍数やストレス指標である LF/HF を測定できる。さらに被験者の体表面温度の計測のためにサーモグラフィ（NECAvio 製 InfReC-R300S）を使用した。

図 2 に各照明光色の VAS 評価結果を示す。グラフ内に色が塗りつぶされていない時間帯があるが、昼白色の照明光色に設定されている。これは被験者の目を初期化させる効果を期待している。被験者は暖色系の照明光色で暖かく感じ、寒色系の照明光色で涼しさを感じている。従来の照明光色研究と同様の結果が得られた。

次に被験者のストレス状態を評価する。省エネ効果が期待できる照明光色に制御し、人間が不快と感じれば設定状態を確保できない。図 2 の測定と同時に hitoe による LF/HF の評価を行った。図 3 に LF/HF の測定結果を示す。白色は時間が 10 分のため全体の時間の平均値のみ示している。各色の経過時間により LF/HF の低下からストレスの低下が認められる。しかしながら、実験に対する被験者の「慣れ」が生じた可能性がある。照明光色の順番を変更して実験する必要がある。赤以外の照明光色は昼白色と比べて低い値となり、ストレスを感じにくい色になったと考えられる。

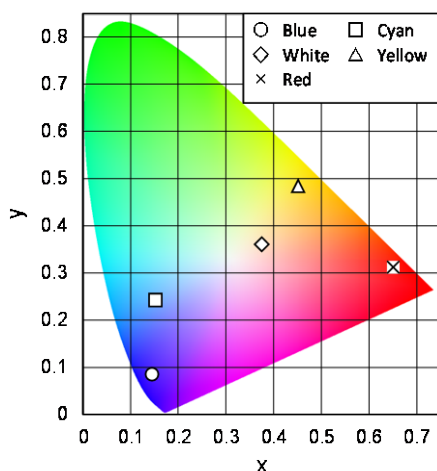


図 1 各照明光色の xy 色度座標

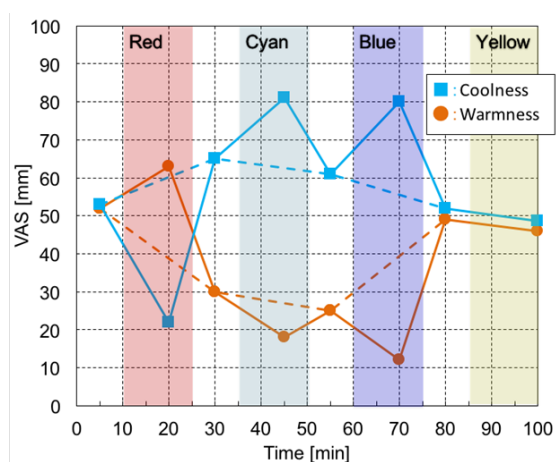


図 2 各照明光色の VAS 評価
(涼しさ, 暖かさ)

照明光色の体感温度の変化と同時に人体の体表面温度に変化があるのか測定した。図 4 に顔面表面温度の最高値の時間変化を示す。顔面表面温度の全計測時間における最高値 36℃, 中央値 34.5℃, 最低値 33℃を破線で示した。寒色での顔面表面温度の最大値は 34.5℃の破線から低くなる傾向を示したと考えられる。計測値が 33℃以下になるときは被験者の体が動いており、顔面部が撮影されていない場合がある。

被験者 1 名の結果で、照明光色を変化させることで体感温度および体表面温度に変化がある可能性を見出した。ストレス評価指標である LF/HF の測定データの傾向から照明光色の影響だけではなく、評価の順序が関係していると考えられる。

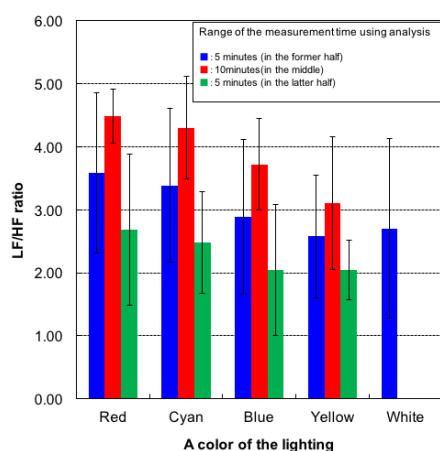


図 3 LF/HF の測定結果

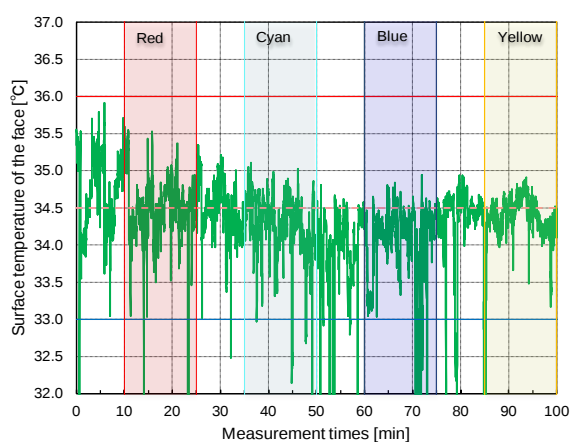


図 4 顔面表面温度の最高値の時間変化

5. 今後の計画

前述の成果が得られるまで多くの被験者を擁して試行錯誤を繰り返しながら測定条件を決定してきた。決定した測定条件下で被験者を増加させ、評価結果の正確性を向上させていくことが今後の大きな課題である。

今年度は体表面温度だけでなく、体温データロガーを用いて 4 点法（体温評価法）によりサーモグラフィの体表面温度との比較を行う。また、LF/HF の測定結果から被験者ごとに測定順序を変更して実験を実施する。

制御システムは照明光色の変更だけでなく、エアコンの設定温度を照明光色と連動して変化するように変更する予定である。

6. 研究成果の発表

研究成果発表(2016 年度)を以下に示す。

[1] 小田原健雄, 貝瀬峻, 磯部譲, 山本弥沙季, 佐藤侑希, 三栖貴行, 渡部智樹, 一色正男, “心理状態に基づく照明光色制御システムの開発”, 第 79 回情報処理学会全国大会論文集, pp1-2, Mar. (2017)

- [2] 小田原 健雄, 貝瀬 峻, 磯部 譲, 山本 弥沙季, 佐藤 侑希, 渡部 智樹, 三栖 貴行, 一色正男, “心理状態を考慮した照明光色制御システムの提案”, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS) , 2017-CDS-18(8), pp. 1-6 Jun. (2017)
- [3] 小田原 健雄, 磯部 譲, 貝瀬 峻, 山本 弥沙季, 佐藤 侑希, 渡部 智樹, 三栖 貴行, 一色正男, “ ECHONET Lite 照明における光色と心理的影響の考察”, ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会, 信学技報, pp1-6, . Jan. (2017)
- [4] 小田原健雄, 磯部譲, 貝瀬峻, 三栖貴行, 渡部智樹, 一色正男, “ECHONET Lite による室内照明光変化に対する主観評価”, 電気通信学会および光源・照明システム分科会共催研究会, pp1-5, Nov. (2016)
- [5] 小田原健雄, 数野翔太, 藤田裕之, 三栖貴行, 一色正男, “暖寒色を利用した省エネ空調制御システムの構築”, 照明学会全国大会, pp1-2, Aug. (2016)

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：応用バイオ科学部栄養生命科学科（次世代センシングシステム研究所第一研究室） 飯島 陽子

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、健康な食事摂取情報に寄与する診断のための基礎的データの提供を目指す。食事、食材から網羅的に成分抽出し、成分プロファイルの解析の迅速化、包括的に俯瞰できる解析技術の開発を目的としている。特に成分バリエーションが豊富な植物性食品の摂取を指標にし、加熱調理の影響や食材混合系における食品成分の成分間反応について着目している。また香りと味の官能的な相互作用について、官能評価と機器分析の相関解析によって解明を目指している。

2. 研究の必要性及び従来の研究

現在、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、とくに野菜などはその栽培方法や品種、産地、鮮度、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、食事では様々な食品の成分が含まれているが、個々の成分のみならず、“相互作用”が特に嗜好性において関与することが最近知られるようになった。特に香気成分の食品の味との相互作用は大きい。食事摂取において、食塩や砂糖には制限があるため、これらの味覚増強効果がある香気成分があれば、有効に応用が可能である。しかし特に塩味増強に寄与する香気成分はほとんど見つかっていないのが現状である。

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、健康維持に関与する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、調理の有無による安定性などを知ることができれば、従来の栄養表示に加え、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) 食品に含まれる糖類の迅速分析法を用いた様々な食用キノコの成分組成の特徴

シイタケを代表とするキノコ類は、低カロリーで水溶性食物繊維が多いことから、健康食材とされるが、その種類による成分組成の違いはよく分かっていない。そこで、本研究では、エリンギ、エノキタケ、ブナシメジ、シイタケ、マイタケについて、その水溶性低分子成分に着目して分析を行い、比較することを目的とした。さらに、各キノコの保存による影響についても検討した。

〈試料〉スーパーで購入した市販品のキノコ 1 株を 2 つに分け、すぐに凍結乾燥・粉砕したものを 0 日サンプル、7 日間冷蔵庫保存した後、凍結乾燥・粉砕したものを 7 日サンプルとした(各 5 連)。

〈実験方法〉粉砕したサンプル 10mg に抽出溶媒 1ml、内部標準として、2-Isopropylmalic acid (20mg/ml) 40 μ L を加え、粉砕、攪拌後、蒸留水を加え遠心分離を行い、上清を抽出液とした。抽出液 50 μ L を遠心分離乾燥させた後、20mg/ml メトキシアミン/ピリジン溶液 50 μ L を加えメトキシ化を行った。インキュベーション後、MSTFA 50 μ L を加え誘導体化を行った後、GC-MS 分析を行った。GC-MS 分析により得られた生データを、MetAlign 及び AIoutput ソフトウェアを用いて化合物の同定を行った。また、AIoutput により作成したデータ配列を用いて PCA 解析を行い、サンプルごとに異なる寄与成分と保存による影響について検討した。

〈結果および考察〉GC-MS 分析により得られた生データから、糖やアミノ酸が 43 成分同定された。その他に糖の一種である糖アルコールも多く見受けられた。各キノコの 0 日サンプルで PCA 解析を行った結果、ブナシメジとエリンギについて組成が近いことが示された(図 1)。Score Plot より判別された、各キノコの種類によって特徴的に多い成分は、エノキタケに γ -Aminobutyric acid(GABA)、ブナシメジに Inositol、マイタケに Galactose があつたが、エリンギとシイタケでは確認できなかった。他にも Citric acid や Malic acid などの有機酸や、Arabitol、Mannitol など、キノコによって呈味成分の含有量は大きく異なり、これらがキノコを食した時に感じる呈味の差異要因の 1 つではないかと考えられる(図 2)。

次に、各キノコにおける保存の影響について調べた。PCA 解析を行った結果、0 日サンプルと 7 日サンプルの間でエノキタケ、ブナシメジ、マイタケは、成分組成が大きく異なっていたのに対し、エリンギ、シイタケについては組成に変化が見られなかった。このことから、エリンギ、シイタケは、保存による影響が少なく、他サンプルより比較的に日持ちする食材である可能性が示唆された。

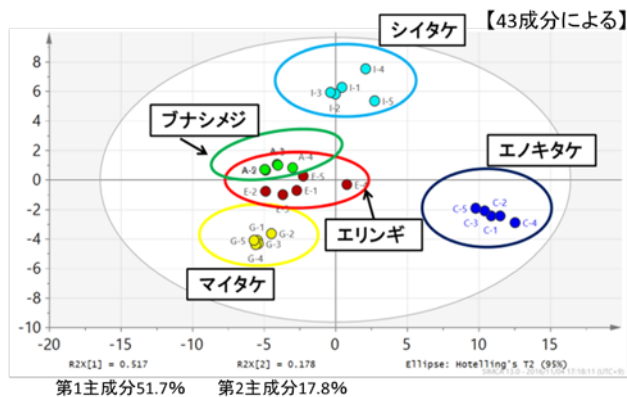


図 1. キノコサンプルの GC-MS 分析に基づく主成分分析

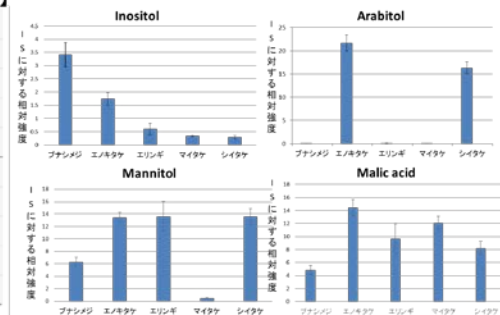


図 2. キノコにより成分が大きく異なった成分

(2) 生食用トマトと加工用トマトの生および加熱による香気特性の比較

トマトは、欧米を中心に日本でも人気の高い野菜の 1 つである。その品種は、サラダなどに使用される生食用トマトとジュースやピューレ、ケチャップなどに使用される調理加工用トマトに区別されている。そこで本研究では、生食用トマトと加工用トマトそれぞれの生鮮と加熱の香気比較を行うことを目的とした。

＜試料＞生食用トマトとして桃太郎 J、加工用トマトとしてシシリアンルージュを用いた。それぞれ 1/4 または 1/2 にカットし、ジューサーでホモジナイズを行った。ホモジナイズ後、そのままの状態のものを生サンプル、オートクレーブ加熱 (121℃、5min) したものを加熱サンプルとし、各サンプル 4 連で調製した。

＜方法＞各トマトジュース 200mL に塩化ナトリウム 3.8g、ジクロロメタン 100mL、I. S. としてデカン酸メチル (濃度 0.871mg/mL) 100 μ L を入れ、室温で攪拌 (6h) を行った。攪拌後、遠心分離 (4℃、2000rpm、10min) を行い、ジクロロメタン層を抽出した。抽出したジクロロメタン層は、SAFE 装置を用いて香気成分を分離し、エバポレーター (550mmHg) で 2mL まで濃縮、窒素ガスで 0.5mL まで濃縮を行い、これを香気濃縮物とした。香気濃縮物は GC-MS で分析を行った。各サンプルの香気濃縮物をジクロロメタンで 4 倍 (=41)、16 倍 (=42)、64 倍 (=43)、256 倍 (=44) と段階的に希釈し、原液とこれらの希釈溶液についてにおい嗅ぎを行った。

＜結果および考察＞得られた各サンプルの香気濃縮物は、それぞれで特徴的な香気特性を示していた。各サンプルの GC-MS プロファイルを基に主成分分析を行った結果では、第 1 主成分で品種の違い、第 2 主成分で加熱の有無で判別された (図 3)。このことから、トマトの品種および加工によって香気プロファイルが異なることが分かった。また、加熱することで品種間の差がより大きくなると推測した。品種間および生鮮と加熱において判別分析を行った結果では、桃太郎 J には eugenol、シシリアンルージュには geranylacetone などが多く、品種により香気組成が異なることが分かった。また、加熱の有無による違いも見ら

れた。AEDA 法の結果では、シシリアンルージュよりも桃太郎 J の方が、香気組成がシンプルであり、品種に関係なく、生サンプルよりも加熱サンプルの方が寄与の高い香気成分が多かったことが分かった。また、判別分析の結果で香気組成の差が大きかった成分において香気寄与が高かった(図 4)。したがって、品種や生鮮と加熱の香気特性の違いは、これらの成分のバランスの違いによって決定され则认为られる。

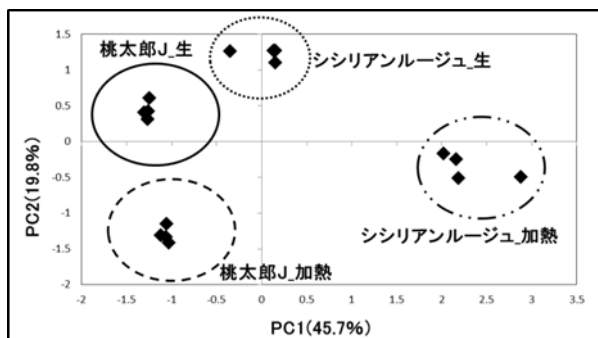


図 3. トマト香気組成の主成分分析

〈桃太郎J_生〉 - eugenol 2-methoxyphenol - methyl salicylate - benzylalcohol - cis-3-hexenal	〈シシリアンルージュ_生〉 - hexanol - geranylacetone 2-phenylnitroethane (E,E)-2,4-decadienal 3-methylbutanenitrile
〈桃太郎J_加熱〉 - eugenol 2-methoxyphenol 5,6-dihydro-2H-pyran-2-one (E,E)-2,4-decadienal 2-methoxy-4-vinylphenol	〈シシリアンルージュ_加熱〉 - geranylacetone 2-phenylnitroethane - hexanal - benzaldehyde - hexanol

図 4. 判別分析 (OPLS-DA) による各品種に寄与する成分

(3) 食材 A の香気成分の塩味増強効果について

前年度の結果から、食材 A の香気濃縮物をトマトジュースに加えると有意に塩味増強効果があることが分かった。今年度はトマトジュースのみならず、食塩水を用いてその効果を調べた。その結果、塩味が濃くなるだけでなく、コクも深まることが分かった。現在、分画を行い、その寄与成分について精査している途中である。

5. 今後の計画

当初の予定では、味噌汁などのモデル食事を用いた成分間反応についても考慮していたが、食材そのものが予想以上に成分複雑系であること、鮮度や加熱で変動しやすいことが分かった。特に香気組成の変動が大きいことから、特に香気成分に着目し、風味増強効果について深く進める予定である。

6. 研究成果の発表

〈印刷物〉

(1) Iijima Y, Iwasaki Y, Otagiri Y, Tsugawa H, Sato T, Otomo H, Sekine Y, Obata A.

Flavor characteristics of the juices from fresh market tomatoes differentiated from those from processing tomatoes by combined analysis of volatile profiles with sensory evaluation. *Biosci Biotechnol Biochem.* 80(12), 2401-2411.(2016)

(2) 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研究” 日本食品科学工学会誌, 63, 190-198 (2016)

(3) 飯島陽子, 肥塚崇男 “香辛植物の香りの生合成とバイオテクノロジー” 香料, 270,

31-39 (2016)

<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 (2016.5.29)

(2) 板宮鼓、岩崎由美、飯島陽子 “カラフルトマトを用いたトマト果実の色調と香気組成の関連について” 第 60 回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会 (2016. 10.29)

(3) 藤巻美穂、岩崎由美、飯島陽子 “トマト果実とトマトジュースの香気特性の比較：生食用トマトと加工用トマトの違いについて” 第 60 回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会 (2016. 10.29)