

神奈川工科大学

健康生命科学研究所

研究報告

第 10 号

2019 年度

目次

コラーゲン由来ペプチドによる細胞外マトリクスリモデリング促進を介したアンチエイジング機構の解明

応用バイオ科学科 井上英樹

モノクローナル抗体を用いた腸ムチンの分類と機能性評価

応用バイオ科学科 栗原誠

食品添加物を用いた洗浄処理による米の低アレルギー化

管理栄養学科 澤井淳、清瀬千佳子

泡沫分散がゲル状食品の呈味効率（フレーバーリリース）におよぼす影響

管理栄養学科 高橋智子

廃棄物による廃水処理—古紙を用いた廃水の高度処理方法の開発

応用バイオ科学科 局俊明、仲亀誠司

栄養生命科学科 澤井淳

キノコを用いた放射性セシウムにより汚染された土壌の除染の検討

応用バイオ科学科 仲亀誠司

生殖器発達に及ぼす生活リズムとカフェイン摂取の影響

—モデルラットを用いる方法—

管理栄養学科 花井美保

認知症予防のスクリーニングを考慮した加齢による五感の変遷に関する

基礎的検討

管理栄養学科 澤井明香

情報メディア学科学科 坂内祐一

基礎・教養教育センター 竹田裕一

食行動科学と情報科学的観点に基づいた多面的食育展開のためのコンソーシアム型
研究

研究代表者：栄養生命科学科	饗場直美
研究分担者：情報メディア学科	西口磯春
情報メディア学科	福本隆司
ロボット・メカトロニクス学科	高尾秀伸
教職教育センター	佐藤史緒
教職教育センター	田辺基子

コラーゲン由来ペプチドによる細胞外マトリクスリモデリング促進を 介したアンチエイジング機構の解明

応用バイオ科学科 井上 英樹

1. 研究の目的

本研究計画は細胞外マトリックス (ECM) リモデリング機構の維持による抗老化機構を明らかにすることを旨とする。ECM は体組織の構築と維持に極めて重要な役割を持っており、コラーゲンをはじめとするその構成分子の合成/分解を介したリモデリングによって保たれる。加齢に伴うリモデリング能の低下によって ECM 機能が低下することにより、皮膚の皺やバリア機能の低下、血管壁の脆化等につながり、老化進行や疾患発症によって生活の質 (QOL) に影響を及ぼす。

これまでに申請者は、コラーゲンの酸分解物であるコラーゲントリペプチド (CTP) 等の外的因子が、MAPK シグナル経路および TGF- β 経路を介して線虫 (*C. elegans*) の ECM 産生に作用することで老化抑制を導くことを見出した。さらに、ヒトにおいて CTP の線維芽細胞の老化への寄与も明らかにしつつある。しかしながら CTP による老化抑制機構の全体像は明らかとなっていない。そこで本研究は線虫、および動物の代替モデルとなる 3 次元培養皮膚を用いて遺伝学、生化学および生理学的解析手法を用いて CTP による抗老化機構を解明するとともに、CTP 中の老化抑制作用を持つペプチド配列の同定を目指す。

2. 研究の必要性及び従来研究

皮膚は表皮と ECM からなる真皮で構成されている。真皮中の線維芽細胞がコラーゲン等を分泌し ECM が維持されているが、加齢に伴うコラーゲン等の発現低下や、コラーゲン分解に関与するメタロプロテアーゼ (MMP) の発現増加によって ECM の機能が低下する。その結果皺やたるみ、皮膚のバリア機能低下や創傷治癒の遅れなどが生じる。また、皮膚は紫外線を含め外部のストレス由来の活性酸素種 (ROS) による障害を受けやすい。ROS は ECM そのものも損傷し、皮膚の老化を進行させる。以上のことから、皮膚だけを見ても ECM 機能を維持することは老化進行を抑え、QOL を高めるために極めて重要である。しかしながら、ECM 維持に関与する細胞内シグナル伝達機構とその生理的な役割は十分に明らかとなっていない。ECM リモデリングが発生だけでなく老化や疾患に影響することが近年注目されており、ECM リモデリングの改善をターゲットとした創薬も進められている (Bonnans et al., Nat Rev Mol Cell Biol. 15:786 (2014))。しかし、ECM リモデリングに関与する遺伝子機構は十分に知られていなかった。線虫を用いた研究では NF-E2 型転写因子 SKN-1 およびインスリン/IGF-1 シグナルを介した ECM リモデリングと老化についての報告がなされ、ECM リモデリングが老化進行の抑制に不可欠であ

り、ECMの若さを維持する薬剤が人類にとっての大きな利益になると論じられた(Ewald et al., Nature 519:97 (2015))。これらの発表からも、ECMリモデリングによる老化進行の抑制は大きな課題ととらえられており、最近でもコラーゲン由来のペプチドや天然抗酸化化合物がECMタンパク質の生合成に作用するという報告がなされている(Edgar et al., Sci Rep. 8: Article number 10474 (2018))ことから、ECMリモデリングの維持によるアンチエイジングは広く注目されている。

3. 期待される効果

本研究成果は以下の2点についての知見をもたらすことが期待される。

①ECM機能が原因の疾患に対する創薬や化粧品創出への貢献

老化に伴うECMの機能低下は皮膚機能低下のほか、内出血や循環器系疾患発症にもつながる。逆に、肝臓線維化のようなECMの過形成も疾患のリスクとなっている。これらはECMの機能正常化により改善できると考えられるため、本研究成果によるECMリモデリングメカニズムの解明はECMの抗老化作用をもたらす創薬に資することが期待される。さらに、ECMリモデリング維持に寄与するペプチド配列の同定は、肌のアンチエイジングを目指す化粧品業界から注目されることが予想され、今後、発展的な応用研究によって高い産業的価値が得られることが期待される。

②動物実験代替老化モデルの創出

世界的にみて動物実験を使用することは困難になりつつあるため、3次元培養皮膚を用いたECM維持機構の解明は、動物実験の代替となる老化モデルとして今後の応用研究において理論的な根拠と安全性の評価に貢献する。

4. 研究の経過及び結果・評価

2019年度研究計画に基づいた研究の結果、ヒト培養細胞にCTPと共にTGF- β の受容体であるTGF- β Iの阻害剤及びp38 MAPK経路の阻害剤を添加した。その結果、コラーゲン産生およびECMを分解するメタロプロテアーゼ(MMP)発現はCTPがTGF- β Iからp38 MAPK経路を介していることが明らかとなった。さらに、TGF- β I欠損変異体であるsma-6変異体線虫を用いてコラーゲン遺伝子等の発現解析および寿命測定実験を行ったところ、CTP添加によるコラーゲン発現亢進および寿命延長はみられなかった。これらの結果から、CTPによる寿命延長はTGF- β 受容体が関与していることが明らかとなった。本研究成果は高く評価され、2019年10月に開催されたInnovation Hub 2019(神奈川県産業技術総合研究所主催)においてポスター賞が受賞された(Analysis of mechanism of collagen expression by collagen-derived compound, collagen tripeptide. 宇部那菜、森切幸乃、松田絵里、賀佐見千栄子、大谷祥子、井上英樹)。また、2019年12月に開催された第42回日本分子生物学会年会において成果を発表した。今年度の研究により、図1のようにTGF-

β 受容体から p38 MAPK を介して CTP シグナルがコラーゲン遺伝子の発現および MMP の抑制に寄与することを明らかにした。さらに、線虫を用いて老化の過程と複数のコラーゲン遺伝子の発現を調査した結果、TGF- β - p38 MAPK 経路以外にインスリンシグナル経路とも密接な関与があることが示唆され、ECM リモデリングを制御するシグナル伝達経路は複数存在すると考えられる。

また、ヒト正常線維芽細胞を用いた細胞老化と CTP の作用について解析を行った結果、CTP 投与群は細胞集団倍加数 (PDL) が対照群と比較して早く進行したが、細胞分裂回数の上限 (ヘイフリック限界) は対照群と大きな差が見られなかった。

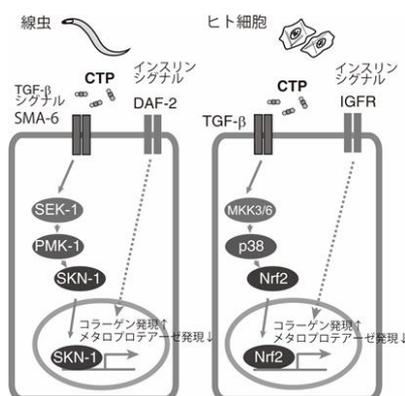


図 1 : 2019 年度に本研究計画で明らかとなった CTP によるシグナル応答経路

5. 今後の計画

2019 年度の成果に続き、以下の①～④を中心に研究を進める。研究分担者変更のため、マウスを用いた個体レベルの検証から 3 次元培養皮膚を用いた老化モデル皮膚を使用することで CTP による ECM リモデリングへの作用機序を生理学的に解析することを目指す。

①コラーゲン産生誘導機構に関与するシグナル伝達機構の解析 (2020、2021 年度)
2019 年度に引き続き、線虫を用いて CTP によるコラーゲン産生に関与するシグナル伝達機構について遺伝学的な解析手法により進める。特に、インスリンシグナルと TGF- β - p38 MAPK 経路の関係を解析する。線虫で得られた知見はヒト線維芽細胞を用いた生化学的解析によって検証を行う。

②ヒト線維芽細胞とコラーゲン産生誘導の維持による細胞老化進行抑制の解析 (2020、2021 年度)

ヒト正常線維芽細胞を用いて、PDL (細胞集団倍加数) が増加した CTP 投与細胞と非投与細胞の老化状態およびシグナル伝達経路およびその活性について、生化学的解析および DNA マイクロアレイを利用したオミクス解析を行うことで明らかにする。

③3 次元培養皮膚組織を用いた老化モデルの検証および CTP による老化抑制の解析 (2020、2021 年度)

ECM リモデリングの維持が結合組織の老化進行の抑制に関与するかを明らかにするため、動物実験の代替として正常ヒト皮膚線維芽細胞と表皮角化細胞を使用した 3 次元培養皮膚組織を作製、近紫外光など真皮に到達する短波長の光照射や薬剤処理によって人為的に老化させたモデル皮膚を作製する。これを用いて①で明らかにしたシグナル伝達経路が 3 次元培養皮膚の ECM リモデリングに関与すること、および CTP による 3 次元培養皮膚の老化改善機能について生化学的および生理学的に検証する。

6. 研究成果の発表

1. Analysis of mechanism of collagen expression by collagen-derived compound, collagen tripeptide. 宇部那菜、森切幸乃、松田絵里、賀佐見千栄子、大谷祥子、井上英樹 Innovation Hub 2019 (2019 年 10 月、ポスター賞受賞)
2. コラーゲン由来のコラーゲントリペプチドによるコラーゲン発現誘導機構の解析 宇部那菜、森切幸乃、松田絵里、賀佐見千栄子、大谷祥子、井上英樹 日本分子生物学会年会 (2019 年 12 月)

モノクローナル抗体を用いた腸ムチンの分類と機能性評価

応用バイオ科学科 栗原 誠

1. 研究の目的

腸の粘膜は腸内細菌や毒物などの異物に常に曝されているが、腸粘膜自らが産生・分泌する粘液が防御バリアとなることによって、異物の攻撃を防いでいる。腸の恒常性は、このような攻撃と防御のバランスがうまくとれていることで保たれているが、防御より攻撃が勝ると、炎症や潰瘍がもたらされる。近年、日本では炎症性腸疾患の患者が急増しているが、その背景には攻撃因子の変化、すなわち腸内細菌叢の欧米化が要因の一つとして考えられている。一方、防御因子としての粘液については、その主要な成分であるムチン（高分子量の糖タンパク質）が重要な役割を果たしていると考えられている。腸では主にシアロムチンやスルホムチンといった酸性のムチンが産生・分泌されているが、出生の前後や寄生虫感染等の腸管内環境の変化に伴い、シアロムチンとスルホムチンの構成が変化することが知られている（Deplancke B, Gaskins HR., *Am J Clin Nutr.* 2001 Jun;73(6):1131S-1141S.）。宿主は、腸内環境に応じて防御の仕方を変化させていると推察される。

申請者らはこれまでラット腸ムチンに対するモノクローナル抗体を種々作製し、ラット腸内では糖鎖構造の異なるムチンが存在していることを示した。ムチンの多様性は腸粘膜防御の合目的的な表現型であり、例えばある種のムチンは防御バリアとなるゲルの形成に関与し、また他のムチンは微生物に対する抵抗性に関与する、またはこれら両者に寄与するなどの可能性が考えられるが、その詳細は不明である。本研究では腸粘膜で産生、分泌されるムチンを分離、同定し、ムチンの多様性を証明すると共に、各ムチンの性状を明らかにして、その機能の解明を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

腸粘膜におけるムチンの多様性は、もっぱら腸粘膜の粘液組織化学染色による染色領域の違いから推定されてきた。抗ムチンモノクローナル抗体を用いた研究では、粘膜組織切片上で検出されるムチンの局在性の違いがムチンの多様性を示す根拠となっている。一方、染色領域が重なる場合には、ムチンの多様性の判断は困難である。また、ムチンは一本のペプチド鎖に多種多様な糖鎖が密に結合しているといった特殊な構造を有しているため、認識するエピトープが異なる抗体を用いた場合でも、ムチ

ンの多様性が同一分子上に存在する糖鎖の多様性によるものか、複数種の独立したムチン分子によるものなのかの判断は容易ではない。ムチンの機能性を解明するためには、先ず、ムチン分子を単離・精製し、その性状を明らかにする必要があるが、ムチンが分子量 150 万以上の高分子であることもあって、腸粘膜から抽出したムチン分子の単離の試みは実現していない。

3. 期待される効果

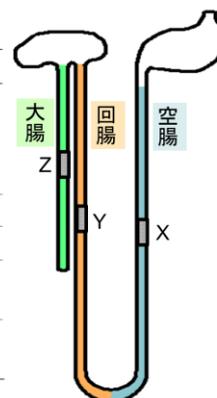
腸粘膜で多様なムチンが産生・分泌されていることは組織化学的に証明されているが、個々のムチンがどのような機能を担っているかは、ムチン分子の分離、同定が困難なため、ほとんど解明されていない。腸粘膜から抽出したムチンの混合物から、特定のムチンを単離することができれば、同一ムチン分子上にどのような糖鎖がどのくらい付いていて、コアペプチドが何で、さらに、**Trefoil factor 2** などのゲル形成に関与するタンパク質との相互作用を調べることによって、粘膜防御における役割を解明できる可能性がある。ムチンは腸粘膜の恒常性の維持に寄与していると推察される。個々のムチンの機能が明らかになれば、炎症等の腸粘膜疾患の病理学的研究の一助になるものと考えている。

4. 研究の経過及び結果

ラット腸粘膜からムチンを抽出・精製し、検討用試料とした。個々のムチン分子を単離するために、モノクローナル抗体固相化カラムを用いたアフィニティー精製を試みた。抗体の選択は、ラット腸ムチンを認識する 10 種のモノクローナル抗体 (表 1) の中からムチンと比較的強く反応

表 1. 抗ムチンモノクローナル抗体のラット腸粘膜に対する反応性

Group	染色領域	反応陽性抗体
1	X Y Z	RSIM3405
		RSIM6601
		RSIM6602
		RCM3601
2	X Y	RSIM3808
3	Y Z	RCM1303
4	Y	RSIM3120
		RSIM3404
5	Z	RCM2135
		RCM3705



した抗体を 5 種選び、さらに、ラットへの食物繊維投与実験において、ムチン産生量が変動したムチンを認識した抗体を選定した。以下、実験結果の概要を示す。

① ラット腸ムチンの調製

ラット腸粘膜から水溶性画分を分取し、ゲルろ過により分子量 150 万以上の糖タンパク質画分を得た。同画分を CsCl 密度勾配遠心法によりさらに分画し、密度約 1.4 g/mL

の糖タンパク質画分（ムチン画分）を分取した。

② モノクローナル抗体の調製

ムチンに対する反応性の強さなどから、RSIM6108、RSIM6601、RSIM6602(表 1 の Group 1)、RCM1303(Group 3)、RCM2135(Group 5)の計 5 抗体を選抜した。各抗体産生細胞を、ウシ胎児血清由来のグロブリンが混入しないよう、それぞれ無血清培地で培養し、各 700 mL 以上の培養上清液を確保した。

③ 食物繊維や DSS を投与したラット腸粘膜におけるムチン産生

食物繊維として水溶性大豆多糖類（SSPS）をラットに 1 週間または 3 週間自由摂取させた後、大腸炎を誘導する DSS（デキストラン硫酸ナトリウム）を 1 週間自由摂取させた。実験終了後、小腸を摘出し、小腸粘膜抽出物をゲルろ過にかけ、分子量 150 万以上の糖タンパク質画分（ムチン画分）を分取した。得られたムチン画分のモノクローナル抗体に対する反応性を ELISA 法で検討した結果、SSPS 単独投与の小腸では、RSIM6601 抗原ムチンは 1 週間投与で増加し、3 週間投与で減少するのに対して、RSIM6602 抗原ムチンは 3 週間投与でも増加傾向にあり、RSIM6601 抗原ムチンと挙動が異なることが示唆された。一方、DSS 投与群では SSPS 投与期間の影響はみられず、コントロール群と同程度ないし若干減少傾向であった。DSS による炎症病変は主に大腸でみられるが、小腸の粘液（ムチン）産生にも影響を及ぼしていることが示唆された。

④ 抗体カラムの作製とムチンのアフィニティー精製

食物繊維摂取による腸内環境の変化に伴って産生量の変動することが示唆されたムチン抗原の中、RSIM6601 抗原ムチンを精製ターゲットとした。抗体のカラムへの固相化は、疎水性クロマトグラフィーの原理を応用した。まず、1.5 M 硫酸アンモニウム存在下で HiTrap Butyl HP カラム（GE Healthcare Bio-Sciences AB）に RSIM6601 無血清培地培養上清液を流し、抗体をカラムに固相化させた。次に、調製したラット腸ムチンを同溶離液に溶解させたムチン溶液（試料溶液）を流し、抗原ムチンをカラムに捕捉させた。吸着したムチンの溶出は、酢酸緩衝液で pH を 4 付近に下げることによって行った。

RSIM6601 固相化カラムに添加したムチン溶液（試料溶液）とカラム吸着画分の抗原活性を ELISA 法により検討した。RSIM6601 と同様にラット小腸ムチンを認識する RSIM3120 抗体を対照としたところ、試料溶液中には RSIM6601 と RSIM3120 の両抗体に対する抗原ムチンが検出されたが、カラム吸着画分には RSIM6601 の抗原性のみ認められ、RSIM3120 の抗原性は検出されなかった（図 1）。RSIM6601 抗原ムチンと RSIM3120 抗原ムチンは相互に異なるムチンであり、RSIM6601 固相化カラムは RSIM6601 抗原ムチンを特異的に吸着、分取できることが示唆された。

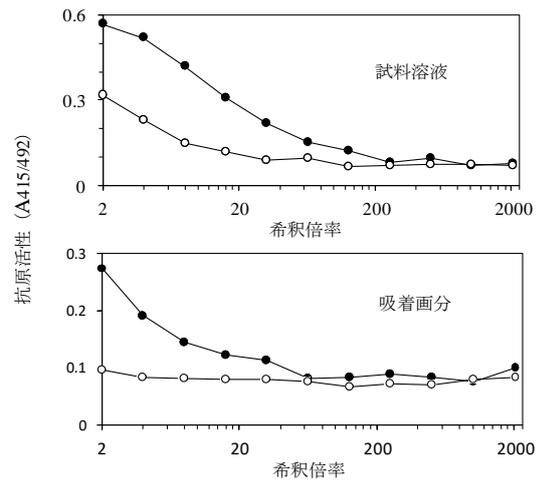


図1. ラット腸ムチンのRSIM6601カラムクロマトグラフィー
RSIM6601 (●), RSIM3120 (○)

5. 今後の計画

RSIM6601 抗原ムチンと他の抗ラット腸ムチンモノクローナル抗体との反応性を検討することにより、エピトープ糖鎖の共有の有無を調べる。同様な手法を用いて、RSIM6602 抗原ムチンの性状を調査する。アフィニティーカラムをスケールアップして抗原ムチンを数 mg 集め、化学組成分析等により、ムチンの生化学的性状を明らかにする。

6. 研究成果の発表

第 93 回日本生化学会大会に演題投稿中。

食品添加物を用いた洗浄処理による米の低アレルギー化

管理栄養学科 澤井 淳、清瀬 千佳子

1. 研究の目的

近年では米に対するアレルギー症が増加している。米アレルギーは主にアトピー性皮膚炎として現れる。米のアレルゲン除去については、他の穀類と比較して幾つかの利点がある。

- 味やテクスチャーの面で重要なのは、米の場合タンパク質ではなくデンプンである。これはタンパク質を除去しても品質の低下が少ないことを意味する。
- 米アレルギーの大部分は塩可溶性であり、表層部に存在している。
- 米の主な貯蔵タンパク質であるグルテリン、プロラミンは米タンパク質の全体の 90% 以上を占め、アレルギー性はなく、プロテインボディに蓄積されている。

したがって、米は抽出などの表面処理によりアレルギー除去が可能な穀類と言える。

ホタテ貝殻を高温で加熱処理することにより、主成分の CaCO_3 が CaO となり殺菌効果を発揮する。このような焼成貝殻粉末を食品などに利用することにより、ミネラル（主に Ca ）の補給だけでなく、保存性の向上が期待できる。現在、ホタテ貝殻は年間約 30 万トンも排出され、大部分は産業廃棄物として処理されており、産地では放置された貝殻からの悪臭、および内臓に含まれている重金属による土壌汚染が、大きな公害問題となっている。食品添加物である焼成ホタテ貝殻粉末および有機酸を用いて米の低アレルギー化が可能ならば、家庭でも容易に実施でき、殺菌効果による保存性の向上も併せ、非常に有効な手段となる可能性がある。以上のことより、食品添加物である焼成カルシウム粉末で、米アレルギーの低減が家庭でも簡便にできる方法として確立されることは、極めて意義が大きく、ホタテ貝殻の廃棄物対策にもなる。本研究では米の低アレルギー化における焼成ホタテ貝殻粉末および有機酸処理のフィージビリティの検証、およびそのメカニズムを解明するとともに、家庭においても容易にできる米の低アレルギー化処理法としての確立を目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

米の低アレルギー化処理については、界面活性剤存在下でのプロテアーゼ処理が報告されている。この低アレルギー米はファインライスの名で製品化されており、特定保健用食品第 1 号として認可されたが、2007 年に販売が終了している。また、アレルギーが塩可溶性タンパク質であることを利用して、精白米を NaCl 溶液への浸漬処理、またアルカリ (NaOH) 処理でもアレルギータンパクの溶出が報告されている（池澤ら、アレルギー, 45, 90, 1996）。食塩処理だけでアレルギーをある程度（45%）除去するには、0.5 M で 24 h 以上の浸漬処理が必要であり（山田ら、日食科工誌, 53, 583, 2006）、もっと簡便に家庭でもできる方法はないものかと考えた。また食塩/圧力併用処理による「A カット米」がアレルギー対応米として販売されているが高価であり、家庭でできる方法ではない。また無洗米であってもその精

米度は不十分であり、アレルギーの子供を持つ家庭では、更なる精米処理の追加や、無洗米をさらに研ぐ操作が必要なのが現状である。

3. 期待される効果

焼成貝殻粉末を食品の保存に応用する研究は、フレッシュ野菜(Kim et al., Horticult., Environ. Biotechnol., 52, 408, 2011)、ソーセージ (Bodur et al., J. Food Safety, 30, 740, 2010)、鶏肉(Cagri-Mehmetoglu, Poult. Sci., 90, 2600, 2011)、凍結肉 (Ro et al., Food Microbiol., 49, 203-210, 2015)、鮮魚 (Ahmed et al., Food Sci. Technol., 64, 270, 2015)と、近年世界中で報告が増加している。焼成ホタテ貝殻粉末および有機酸の組み合わせ使用が本研究のオリジナリティーであり、米の低アレルギー化にも利用できることが証明できれば、その利用範囲を拡大し、世界的にも大きなインパクトのある研究である。

4. 研究の経過及び結果・評価

Fig.1 に 300°Cおよび 1000°C-HSSP 処理によるタンパク質抽出の結果を示す。ホタテ貝殻粉末処理は処理時間が長くなると、タンパク質抽出量が増加した。山田ら(日食科工誌 53, 583, 2006)は米を 50°Cの 0.5 M-NaCl 溶液に 24 時間浸漬させることで、低アレルギー化が可能であることを示した。Fig.1 に 0.5 M-NaCl 処理による抽出量(0.58 g/100 g-rice)を黄色の実線で示す。HSSP 処理時間 6 分において 0.5 M -NaCl 処理(24 h)と同等または、それ以上の抽出量が得られた。10 分での処理結果を比較すると、タンパク質抽出量は 1000°C-HSSP 25 mM>300°C-HSSP 10 mM>1000°C-HSSP 12.5 mM>300°C-HSSP 5 mM の順に多かった。1000°C-HSSP 12.5 mM は、pH が 12.2±0.2 で 300°C-HSSP 10 mM よりアルカリ性が強かったが、抽出量は 300°C-HSSP 10 mM の方が多かった。米の主なアレルギーは 14-16 kDa のアルブミンと 26 kDa のグロブリンである事が明らかとなっている(山田ら, 日食科工誌 53, 583, 2006)。

Fig. 2 に抽出したタンパク質の SDS-PAGE の結果を示す。矢印で示した箇所にアレルギーに相当するバ

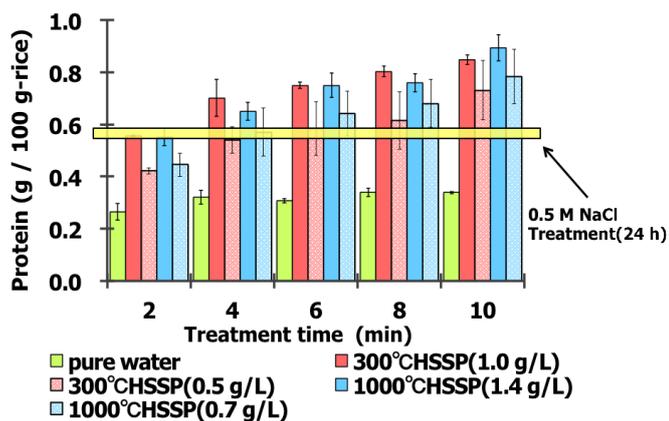


Fig.1 Protein extraction amount from rice treated by HSSP treatment.

ンドが確認された。1000°C-HSSP 25 mM の 1, 10 min 処理、0.5 M-NaCl の 24 h における処理の全ての試料から 14-16 kDa のアルブミンのバンドが認められた。また 1000°C-HSSP 25 mM 処理からは 26 kDa のグロブリンのバンドも認められた。抽出したタンパク質に含まれるアレルゲン量を評価した結果、HSSP 処理(10 min)は山田ら(日食科工誌 53, 583, 2006)が報告した 0.5 M-NaCl 処理(24 h)と同等であり、浸漬後のアレルゲン活性は 45%まで低下した(Fig. 3)。

SEM による米粒表層部の観察により、ホタテ貝殻粉末溶液を用いて研いだ米表面の細胞壁が壊れ細胞内の成分が抜けている部分が、純水で研いだ場合より多く観察された(Fig.4)。これより表層組織を壊すことにより、タンパク質などの成分を抽出したことが推察された。処理後の米に黄変が認められたが、黄変は処理後に食酢と同程度の 4%酢酸を加え溶液を中和することで改善出来た。

また、炊飯米の硬さについては、未処理が $1.0 \pm 0.5 \times 10^6$ dyn、HSSP 処理は $0.9 \pm 0.4 \times 10^6$ dyn、HSSP-4%酢酸処理は $0.8 \pm 0.3 \times 10^6$ dyn を示し、各サンプル米の全体の硬さはほぼ同じ値だった。以上の結果より、焼成ホタテ貝殻粉末を添加して研いだ白米でも食すのに問題はないと考えられ、ホタテ貝殻粉末を用いた米の低アレルゲン化の可能性が示唆された。

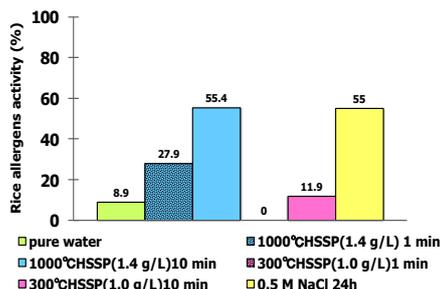


Fig.3 Allergens activity of rice after

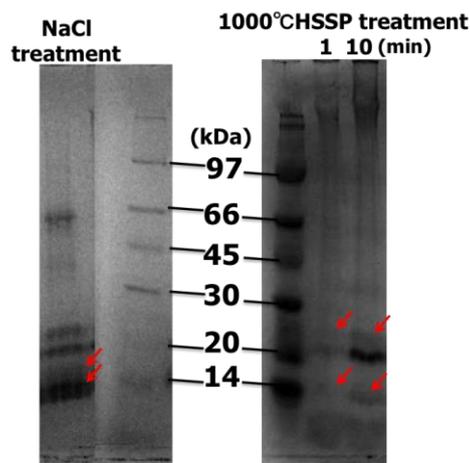


Fig.2 The molecular weight of the extracted protein by HSSP and 0.5 M NaCl treatment.

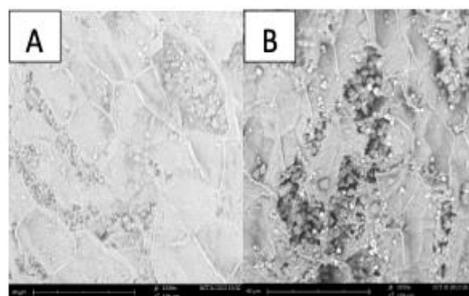


Fig.4 SEM image of rice surface treated by pure water (A) and HSSP (B)

5. 今後の計画

2019 年度の結果をもとに官能評価を行い、焼成ホタテ貝殻粉末および有機酸処理による米の低アレルゲン化処理法としての確立を目指す。

6. 研究成果の発表

学会発表および論文発表 (Food Sci.Technol. Resh 等) を行ってゆく。

泡沫分散がゲル状食品の呈味効率（フレーバーリリース）におよぼす影響

管理栄養学科 高橋智子

1. 研究の目的

本研究では、ゲル状食品（ことに嚥下食として有効な物理的特性を有する）に気泡を分散させることにより調製した気泡混合ゲル、および気泡を含まない基本ゲルの力学的特性の違いや食べやすさ、呈味効率の違いを検討した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

泡沫、すなわち気泡が分散している食品は多く、水越¹⁾は「泡」を含む食品を、液体の分散媒中に気体が分散した液体状の「泡」と、固体の分散媒中に気体が分散した「固体泡」に分類している。「泡」に分類される食品としてビール、シャンパン、メレンゲ、ホイップクリーム、抹茶などがあり、「固体泡」に分類される食品としてパン、スポンジケーキ、カステラ、マシュマロ、ムース、はんぺん、スナックなどが挙げられる。一般的に気泡を微細に分散させた食品は、気泡を含む食品の壁の弾性率が高くても容易に変形しやすくなるとされている。気泡の気液界面に成分が濃縮され、構造を変える効果も有するとされている²⁾。物理的特性以外では、気泡を分散することにより食感が軽く、滑らかになる効果もあるという報告がある³⁾。また、北畠⁴⁾は、食感への効果だけでなく、場合によってはその食品に清涼感を与え、芳香、匂いの分散を良くし、香りを強くする効果があると述べている。泡沫、ことに気泡を分散させた食品に関する研究報告として、起泡卵白混合マシュマロ⁵⁾、起泡生クリームを混合したババロア⁶⁾、サイダーかん⁷⁾、マイクロバブルを利用したゲル状食品⁸⁾がある。これらの論文内容の多くは、ゲル状食品に気泡（泡沫）を分散することによる、食品の物理的特性と食感の変化に着眼したものである。しかし、気泡を分散させることによるゲル状食品の食べやすさと呈味効率（フレーバーリリース）への影響についての研究報告はない。

参考文献

- 1) 水越正彦(2008)、特集：食品ハイドロコロイドの構造と特性ーゲル、エマルジョン、泡「食品における泡の生成と安定性」、FFI JOURNAL、213(5)、468-473
- 2) 堀内久弥(1987)、多孔質食品の物性、日本食品工業学会誌、34(2)、123-134
- 3) 中江利昭(2001)、レオロジー工学とその応用技術、フジ・テクノシステム、東京、pp. 477-485
- 4) 北畠直文、土井悦四郎(1987)、「食品の物性(6)」泡沫の物性、日本食品工業学会誌、34(8)、549-557
- 5) 加藤和子、河村フジ子(1988)、起泡卵白混合マシュマロのテクスチャーとクリープ、東京家政大学研究紀要、第28集、pp. 81-86

- 6) 宮下朋子、長尾慶子(2006)、ババロアの物性に及ぼす起泡生クリームの性状とゼラチンゾルの混合時温度の影響、日本家政学会誌、57(7)、469-475
- 7) 松岡勝子、亀山 春(1993)、サイダーかんについて、熊本女子大学学術紀要、45(1)、141-146
- 8) 藤岡 葵、柘植光代、岩崎裕子、大越ひろ(2011)、マイクロバブルを利用したゲル状食品の開発、日本女子大学大学院紀要、Vol. 17、pp. 39-47

3. 期待される効果

これまでは、気泡を含まないゲルの物理的特性と食べやすさ、および呈味効率についての研究は多く行われてきた。しかし、本研究の挑戦的研究としての特色、および可能性として、泡沫（気泡）を分散させたゲルの食べやすさ、および呈味効率の違いが、嚥下しやすさにどのように影響するかを検討した。

4. 研究の経過及び結果・評価

ゲル化剤として、ネイティブ型ジェランガム(伊那食品工業株式会社)を用いた。ジェランガム溶解濃度が 0.4、0.5、0.6%(w/w)の基本ゲルを調製した。その際、4.0%のスクロース、1.0%の塩化ナトリウムにより着味した。各々の濃度の基本ゲルに、亜酸化窒素ガス(食添用)を封入し、気泡混合ゲルを調製した。気泡混合ゲルは基本ゲルに比べ、密度が有意に小さくなった。気泡混合ゲルの気泡含有率は、0.4%気泡混合ゲルは $33.9 \pm 5.47\%$ 、0.5%気泡混合ゲルは $37.3 \pm 6.02\%$ 、0.6%気泡混合ゲルは $32.7 \pm 5.39\%$ となり、有意差は認められなかった。Fig. 1 に気泡混合ゲルにおける気泡分散状態を示した。気泡の長径の平均は 0.4%気泡混合ゲルが $(8.79 \pm 2.83) \times 10^2 \mu\text{m}$ 、0.5%気泡混合ゲルが $(9.63 \pm 4.62) \times 10^2 \mu\text{m}$ 、0.6%気泡混合ゲルが $(7.99 \pm 3.65) \times 10^2 \mu\text{m}$ となり、有意差は認められなかった。

Fig.2 にひずみ-応力曲線を示した。気泡混合ゲルは基本ゲルに比べ、破断応力、破断エネルギーが有意に小さくなった。また、気泡混合ゲルの広がり係数は、いずれの溶解濃度において基本ゲルに比べ、有意に小さくなった。先行研究では、均一ゲルにおいて、軟らかいものほど広がり係数は大きくなると報告されている。しかし、気泡混合ゲルの広がり係数は基本ゲルに比べ、破断応力が小さいにもかかわらず小さくなった。テクスチャー特性の測定結果より気泡混合ゲルは、嚥下困難者用食品許可基準Ⅱの範囲であることが示された。

嚥下時筋電位測定の結果より、気泡混合ゲルは基本ゲルと比較し、食塊形成時間が有意に短くなった。このことより、口中において気泡混合ジェランガムゲルは食塊形成がしやすいことが分かった。次に、食塊形成時間と広がり係数の関係を検討した。広がり係数が小さい気泡混合ゲルは、広がり係数の大きい基本ゲルに比べ、食塊形成時間が短くなる傾向がみられた。以上の結果より、ゲルに気泡を混合することで破断応力が小さく、すなわち軟らかく、口中で広がりにくい食塊を形成可能であることが示された。摂食機能が低下した高齢者の舌圧は、 $5 \times 10^3 \text{N/m}^2 \sim 3 \times 10^4 \text{N/m}^2$ であった。本研究で調製した気泡混合ゲルの嚥下食への

応用は可能であることが示唆された。スクロースと塩化ナトリウムの基本ゲルと気泡混合ゲルの呈味効率の違いは、官能評価の結果、有意差が認められなかった。

以上の結果より、ゲルに気泡を混合することは、物理的特性、食べやすさには影響を及ぼすことが認められた。一方、スクロース（甘味）と塩化ナトリウム（塩味）の呈味効率には大きく影響しないことが示された。

5. 今後の計画

嚥下食への応用可能が示唆された気泡混合ゲルに、実際の食品（肉やごぼうなど、繊維があるために高齢者が食べにくいとされている食品）を混合させて、実際に嚥下食として利用可能な食品の開発を試みる。

6. 研究成果の発表

2020年度は新型コロナの影響で学術大会の軒並み開催中止となり学会発表はできない状態である。日本調理科学会誌に投稿予定である。

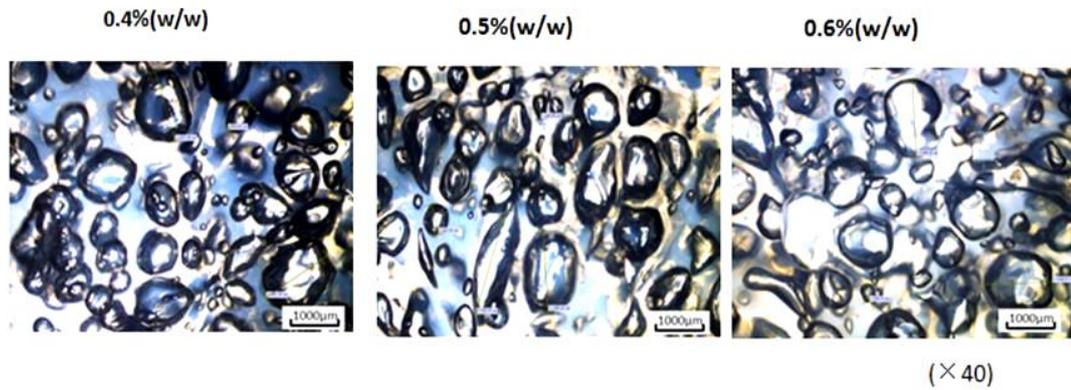


Fig.1 Microphotographs of gel including air bubbles

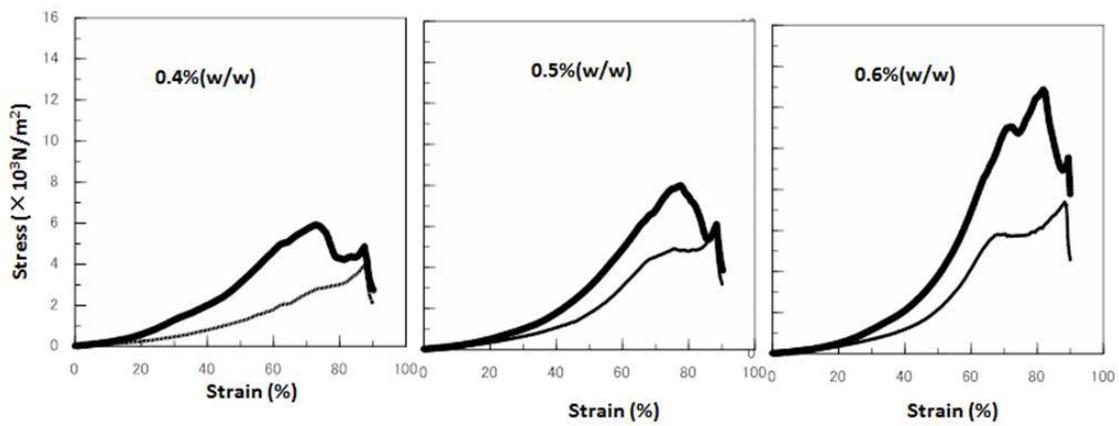


Fig.2 Strain -Stress curve of gel samples
 — : gel samples
 — : gel including air bubbles

廃棄物による廃水処理—古紙を用いた廃水の高度処理方法の開発

応用バイオ科学科 局 俊明 仲亀 誠司
栄養生命科学科 澤井 淳

1. 研究の目的

本研究の延長線上にある最終目的は「低質古紙を用いた高効率下廃水高度処理システムの開発」であり、本研究段階では、最終目的達成に向けて、「古紙を効率的に還元剤/BOD成分まで分解できる微生物を選定」し、「有用微生物の反応タンク内定着性を評価」し、「古紙分解効率化のための古紙の前処理方法を確立」し、「古紙分解反応タンクの最適運転条件を明確化」した上で、「システムとしての評価を行う」ことにある。実用化可能と考えられる研究成果が得られた暁には、実用化のためのパイロットプラント規模実証実験を提案する予定である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

湖沼や内湾等の閉鎖性水域において、アオコや赤潮の発生に代表される富栄養化が問題となっている。富栄養化の主たる原因は、下廃水中に含まれる窒素（以下 N と記す）とリン（以下 P と記す）であり、下廃水中の N/P の除去が喫緊の課題となっている。

現在、下廃水中の N/P 除去方法の代表的なものは、図 1 に示す嫌気（Anaerobic）-無酸素（Anoxic）-好気（Aerobic）法（以下 A2O 法と記す）である。この方法における N 除去の原理は好気槽で硝化細菌の作用で生成した硝

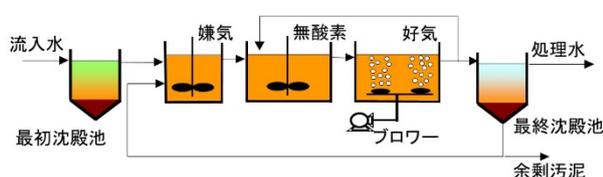


図1 嫌気-無酸素-好気法(A2O法)フロー

酸性あるいは亜硝酸性窒素を無酸素槽に返送し、無酸素槽において脱窒細菌の作用で無害な窒素ガスに変換し大気放散するものであるが、脱窒細菌が硝酸性あるいは亜硝酸性窒素を窒素ガスに変換するには還元剤が必要である。また、P 除去の原理は、微生物を嫌気槽と好気槽の間を循環させると、リン除去細菌（体内にリンを高濃度に蓄積する細菌）が増殖し、リン除去細菌を余剰汚泥として引き抜く際に P を余剰汚泥中成分として除去するものである。ここで、リン除去細菌を増殖させるためには、嫌気槽の嫌気度を上昇させる、言い換えれば嫌気槽を還元的雰囲気にする必要がある。以上のように、A2O 法における効率的 NP 除去には、還元剤が必要である。ここで、還元剤として、流入水中の生物が利用できる還元性成分である BOD 成分が十分に存在する場合、具体的には流入水の BOD/N 比が 3.5 以上の場合には高い NP 除去率が期待できる。しかしながら、我が国の一般的下水の BOD/N 比は 2.5 以下であり、高い NP 除去効率達成のために、還元剤としてメタノールや酢酸などの有機物が添加される場合もあるが処理コストの増大が問題となる。このため、メタノール

等に代わる安価な還元剤の開発が求められており、筆者らは古紙を生物分解してメタノール代替の還元剤として使用することを提案した。

下水処理に用いる還元剤の既往の研究としては、下水処理場最初沈殿池汚泥の一部を還元剤として利用する研究が行われたが、沈殿池汚泥はN分も含むため、C/N比の改善効果は小さいことが示されている。また、下水処理分野における古紙の利用に関しては、引き抜き汚泥の脱水前に、古紙を添加することによって脱水ケーキの含水率を低下させる検討が実施され、古紙添加により含水率が10%程度低下するとの報告がされている。

3. 期待される効果

古紙成分を生物学的に、還元剤成分に転換することができれば、メタノール使用量を削減することが可能となり、処理のコストダウンとともに、下水高度処理の普及が期待できる。また、未分解の古紙成分が余剰汚泥中に残存した場合、汚泥の脱水性が改善され、汚泥焼却工程における助燃剤の使用量低減効果も期待できる。また、古紙として、再生紙製造に不向きなミックス古紙が使用できれば、現在焼却処理されているミックス古紙の資源化が可能になる。

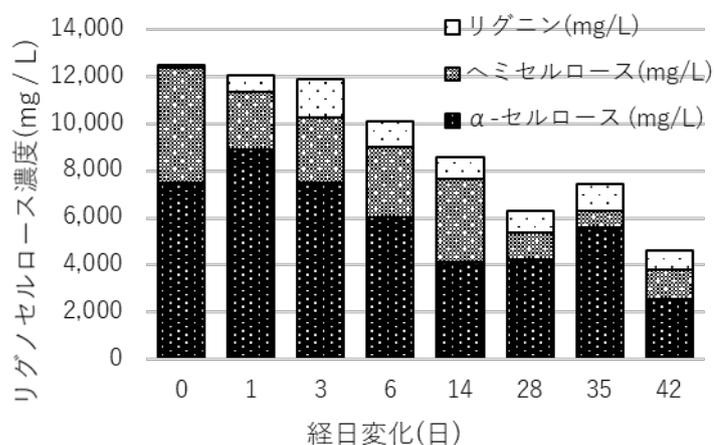


図1 回分実験におけるリグノセルロース濃度の変化

4. 研究の経過及び結果

昨年度の研究では、各種微生物製剤や、活性汚泥を実験室内で嫌気化した汚泥を用いてモデル古紙であるトイレトペーパーの分解性を評価したが、古紙分解能力を有する微生物の選定には至らなかった。そこで今年度は、嫌気性消化槽内にセルロース分解菌が存在するという報告があることに着目し、食品廃棄物のメタン発酵設備から嫌気性消化汚泥を入手し、この汚泥を用いた古紙の回分式生物分解実験および半回分式生物分解実験を行い、古紙の可溶化率並びに、 α -セルロース分解率を求めた。初めに行った回分実験では、図1に示すように、 α -セルロースの分解が確認され、食品廃棄物のメタン発酵設備の嫌気性消化汚泥中にセルロース分解菌が存在することが確認できた。さらに、セルロース成分が分解した結果生成したと考えられるS-BODが確認された。S-BOD成分は、脱窒用の還元剤として有効利用可能であると考えられることから、本技術の実用化の可能性が示された。ただし、バイオガスの発生量から、可溶化して生成したS-BOD成分の一部はバイオガス

化していることが推定されるため、今後はガス化を抑制しつつ可溶化をより促進する条件を検討する必要性がある。

次に、半回分実験を行った。半回分実験とは、リアクターから定期的に内容物の一部を系外に排出し、新たに原料を投入する操作方法である。半回分実験では、同じ嫌気性消化汚泥を使用しているにもかかわらず、 α セルロースの分解は確認できなかった。この理由として、汚泥の入れ替え時に、嫌気性汚泥が空気中の酸素に触れてダメージを受けたことと、嫌気性細菌の増殖速度より大きな引き抜き速度で汚泥を引き抜いていたために、嫌気性細菌が washout したことが考えられるが、従来の研究で得られている嫌気性細菌の増殖速度と比較すると、今回の汚泥引き抜き速度は増殖速度より小さいものであったことから、半回分操作で α セルロースの分解が確認できなかった原因としては酸素ダメージが想定される。

さらに、回分実験で得られた結果をもとに、回分反応タンクを用いた、古紙分解物添加型高度処理システムの机上検討を行った¹⁾。その結果、A2O 下水高度処理法の処理槽容量より、古紙分解反応槽の方が大きいという試算結果となったことから、実用化のためには古紙分解速度と古紙分解率を増大させることが必要である。加えて、嫌気性消化汚泥とトイレットペーパー、無機塩類溶液を混合させた回分反応後の SS 成分が再度、セルロース分解能を持つ種汚泥として次のサイクルで利用可能であるか確認する必要性がある。

5. 今後の計画

2018 年度の実験において、 α セルロースの分解速度が小さく、実用化のためには α セルロースの分解速度、分解率を上昇させることが必要であることが判明した。さらに、発生した S-BOD 成分の有効利用のためには、ガス発生を抑制することが必要であることも確認された。そこで、2020 年度は、従来の研究で加水分解速度は大きい、作戦経路のメタン発酵経路を有さない超高温菌を利用した、反応速度の向上とガス発生量の低減にチャレンジする。

さらに、本システムのメリットである残存繊維分の脱水性向上効果を定量的に評価するために古紙分解物添加条件を想定した汚泥脱水性試験を行い、脱水性向上・含水率低減効果についても並行して検討していく。

最後に、得られたデータから、最適システム構成と最適運転操作条件を明確化した上で、システムの実用性の評価を行う予定である。

6. 研究成果の発表

研究成果をまとめ査読付き論文¹⁾として公表した。

また、本年度の研究の詳細は修士論文²⁾ 卒業論文^{3) 4)}にまとめた。さらに、2019 年 8 月の日本下水道協会研究発表会英語ポスターセッションで行った研究発表⁵⁾では最優秀プレゼンテーション賞を発表者である博士前期課程学生杉之間大貴が受賞した。

(引用文献)

- 1) 杉之間大貴ら、古紙分解物添加型下廃水高度処理システムの開発、用水と廃水、vol.32,No.5,pp356-362(2020)
- 2) Hiroki Suginoma、Development of advanced waste water treatment system with waste paper decomposition product addition, 神奈川工科大学応用化学バイオサイエンス専攻修士論文、2020年2月
- 3) 荻野恭良、リグノセルロースの生物分解に対する影響因子について、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2020年2月
- 4) 原大海、嫌気性消化汚泥を用いた古紙の生物分解に対する影響因子について、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2020年2月
- 5) Hiroki Suginoma et.al、Creation of reducing agent by waste paper decomposition for advanced waste water treatment、The 56th Japan Annual Technical Conference on Sewerage

キノコを用いた放射性セシウムにより汚染された土壤の除染の検討

応用バイオ科学科 仲亀誠司

1. 研究の目的

福島第一原子力発電所事故による放射性物質の拡散により、国の基準値である追加被ばく線量年間 1 mSv 以上の地域では、空間放射線量を低下させるための除染作業が行われている。空間放射線量の軽減には、放射線量の高い表土の削り取りが効果的であるが、汚染土壤の最終処理法は未だ検討されている状況である。キノコは菌体内へのセシウム (Cs) 移行係数が高く、高濃度 Cs 存在下でも生育可能であるため、放射性 Cs を含む土壤を用いてキノコの子実体を発生させ、子実体内に蓄積した放射性 Cs を採取することで、放射性 Cs を土壤から除去できるという可能性がある。本研究では、キノコを用いた効率的な放射性 Cs 除去プロセスの開発を最終目標として、キノコによる Cs 濃縮メカニズムの解明と、Cs 濃縮能を高めた菌株の育種を目的としている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

2011 年の東京電力福島原発事故による放射性セシウム (Cs) の拡散により、空間放射線量が年間 1 mSv 以上の地域では、放射線量を低下させるための除染作業が行われてきている。放射性 Cs により汚染された土壤は、放射線量の高い表土の削り取りにより空間放射線量の軽減ができるが、放射性廃棄物の具体的な最終処分方法については決まっておらず、汚染土壤から放射性 Cs を除去する方法の開発が求められている。

キノコが放射性 Cs を濃縮する性質は、チェルノブイリ原発事故や核実験により拡散した放射性 Cs が、キノコに高濃度で濃縮されたことから明らかになっている¹⁾。福島原発事故においても、事故発生直後から、キノコへの放射性 Cs の濃縮が報告されており、福島原発事故発生から 9 年以上経った現在でも、野生キノコが国の基準値 (100 Bq/kg) を超える放射線量を有するため、青森県から静岡県までの広い範囲で、出荷制限となっている²⁾。

キノコが Cs を高濃度で菌体内に取り込む特性は知られているものの、その詳細なメカニズムは明らかになっていない。今までわかっている事象としては、Cs と同じアルカリ金属の K⁺が培地中に存在すると、キノコの Cs 吸収量が低下することから、K⁺チャネルが Cs 吸収に関与している可能性が高いという報告されている。当研究室においても、キノコの Cs 吸収に対する K⁺の影響を調べるために、ヒラタケ、マイタケ、エノキタケの培養時に K⁺を培地

に添加した際に、Csの吸収量の低下が認められた。これらの結果から、キノコのCsの取り込みにはK⁺チャンネルが関与している可能性が高いと考えられた。当研究室でヒラタケの遺伝子を解析した結果、K⁺チャンネルは14種類存在しているが、どのK⁺チャンネルがCsの取り込みに関与しているのかはわかっていない。また、マツタケのような木材と共生する菌根性のキノコの方が、ヒラタケのような木材を分解して成長する腐生性のキノコと比べて、Csを高濃度で吸収・濃縮するが、その理由も明らかではない。

3. 期待される効果

キノコは他の生物種と比べて、放射性Csの吸収・濃縮能が高いことが知られているが、どのようなメカニズムによって、放射性Csを高濃度で濃縮するのかは明らかになっていない。キノコの放射性Csの吸収・濃縮能を利用して、放射性Csにより汚染された土壌からCsを除去するために、キノコがどのようなメカニズムにより放射性Csを高濃度で吸収・濃縮できるのかを明らかにし、Csの吸収・濃縮に関連する遺伝子を高発現させることでCs吸収・濃縮能を高めたキノコを作製できれば、放射性Csに汚染された土壌の除染への利用が期待できる。

4. 研究の経過及び結果・評価

放射性Csで汚染された地域から野生キノコを採取後、キノコに含まれる放射性Cs量を比較した結果、コムラサキシメジ(学名：*Lepista sordida*)の放射性Csの含有量は4,928(Bq/kg)であり、他のキノコと比べて放射性Cs含有量が高かったとの報告があった。本研究室では遺伝子組換え技術が適用できるキノコとして、ヒラタケの形質転換系を保有している。ヒラタケは生育が早く、人工栽培できるため工業的規模で放射性Csを汚染土壌から除去できる可能性があるが、福島原発事故で汚染された土壌から採取されたヒラタケの放射性Csの含有量は24(Bq/kg)であり、コムラサキシメジの方が放射性Cs含有量が約200倍高かった。このため、本研究ではヒラタケを放射性Csの除去にそのまま用いるのではなく、コムラサキシメジのCsの吸収・濃縮に関与する遺伝子をヒラタケに導入して、放射性Csの吸収・濃縮能を増強させたヒラタケを作製し、放射性Csの除去を行う方法を用いることにした。放射性Csの吸収・濃縮に関与している可能性が高い遺伝子としてはK⁺チャンネル遺伝子が考えられるため、2019年度は、①コムラサキシメジのK⁺チャンネル遺伝子がヒラタケで発現するための塩基配列の最適化、②コムラサキシメジのK⁺チャンネル遺伝子がヒラタケで機能するためのベクターの構築、③構築したベクターを用いたヒラタケの形質転換を行った。

5. 今後の計画

2019 年度に作製した形質転換体の培養を行い、どの種類の K⁺チャネル遺伝子を遺伝子導入した場合にヒラタケの Cs 吸収・濃縮能が高められるかを調べるとともに、形質転換体の選抜を行う。また、Cs 吸収・濃縮能が向上した形質転換体を得られた場合には、放射性 Cs で汚染された土壌からの放射性 Cs の除去の検討を行う。

6. 研究成果の発表

2019 年度卒業研究発表会において、3 件の口頭発表を行った。

(参考文献)

- 1) K. Haselwandter et al., “Fungi as bioindicators of radiocesium contamination: pre- and post-Chernobyl activities”. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 90, 171-174 (1988).
- 2) 林野庁ホームページ, 「きのこや山菜の出荷制限等の状況について」, アクセス日 2020 年 5 月 26 日, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/kinoko/syukkaseigen.html>

生殖器発達に及ぼす生活リズムとカフェイン摂取の影響-モデルラットを用いる検討-

管理栄養学科 花井美保

1. 研究の目的

本研究では、生活リズムが24時間周期でないモデルとして連続暗黒下で飼育したラットを用い、生殖器発達に対するカフェイン摂取の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

この数十年間でヒトの精子数が激減したとの報告がなされ、男性不妊が問題視されている。この原因として、生活リズムの乱れや食生活の影響などがあげられている。生殖器の発達は思春期にピークとなり青年期初期で完了する。それゆえ、生殖器の発達が完了するまでの生活環境は生殖器の発達に多大なる影響を与え、成人後の生殖機能を左右すると考えられる。成人の精子数の減少が問題となっている現在、生殖器の発達段階における種々の因子の影響を解明することは重要課題である。

コーヒーなどに含まれるカフェインは、成人だけでなく成長期の子供も緑茶、ほうじ茶、コーヒー乳飲料などから日常的に摂取している。また、思春期の子供では眠気覚まし、一時的な体力強化のためカフェインを含んだエナジードリンクを摂取する機会が増加しており、生体に与える影響が危惧されている。

カフェインが男性生殖器に与える影響に関する研究では、カフェインは男性ホルモンであるテストステロンの分泌を高めるとの報告がある一方で、低下させるとの報告もあり、結果は一致していない。また、これらの研究は、24時間周期の規則正しい生活リズムの下で実施されたものである。カフェインは、不規則な生活を送っている場合に摂取することも多いと想定されるため、24時間周期の生活リズムでない場合のカフェイン摂取の影響についても検討する必要があると考える。

これまで、生活リズムが24時間周期でないモデルとして連続暗黒下で飼育したラットを用い、生体に与える影響を検討してきた。連続暗黒飼育は、光による体内時計のリセットがなされないため、自身のもつ約24時間周期の体内時計に従って行動するフリーラン状態となる。ラットを連続暗黒飼育すると生殖器の発達抑制が起こること、また、その影響は低タンパク質食により悪化、高タンパク質食により軽減されることは報告済みである(JNSV2011, 2012, 2013, 2016など)。

そこで本実験では、連続暗黒飼育ラットにカフェインを摂取させ、連続暗黒飼育による生殖器の発達抑制が改善されるのか、あるいは、さらに悪化するのか明らかにすることとした。

3. 期待される効果

カフェイン摂取の影響が、生活リズムの違いによって異なるか否かを明らかにすることで、様々な生活スタイルの人々へのカフェインの影響を説くことができる。

4. 研究の経過及び結果

4-1. 研究方法

3週齢 Fischer 系 (F344) 雄ラット (日本チャールス・リバー (株)) 50 匹を 3 日間、AIN-93G 飼料で予備飼育後、明暗飼育条件の違い、カフェイン添加の有無により 4 群 (1 群 12 または 13 匹) に群別した。明暗飼育条件は、正常明暗飼育 (明期 : 7:00~19:00、暗期 : 19:00~7:00、N 群) または連続暗黒飼育 (D 群) とした。実験飼料は AIN-93G 飼料を標準食 (C 飼料) とし、カフェイン添加食は、標準食に 0.02% のカフェインを添加した (CF 飼料)。4 群はそれぞれ、正常明暗・標準食群 (NC)、正常明暗・カフェイン添加食群 (NC 群)、連続暗黒・標準食群 (DC 群)、連続暗黒・カフェイン添加食群 (DCF 群) とする。

連続暗黒飼育群の給餌、給水および体重測定などに際しては、光同調による生体リズムの位相変異を引き起こさない写真用暗室赤色ランプを 2 日に一度、約 2 時間使用した。室温は $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $55 \pm 5\%$ の環境下で飼育し、飼料、飲料水 (イオン交換水) は自由摂取させた。3 週間飼育後、イソフルラン麻酔下で解剖し、血液および精巣を採取し、実験に供した。

4-2. 最終体重、総飼料摂取量および飼料効率について

最終体重は、DC 群と NC 群、NCF 群の間に差はみられなかったが、DCF 群は NC 群、NCF 群より有意に低値を示した。総飼料摂取量は、4 群間に差は認められなかった。飼料効率は、DC 群は NC 群より、DCF 群は NC 群、NCF 群より有意に低値を示した。標準食の場合、連続暗黒下で飼育しても体重増加は低下しないが、カフェインを摂取し、連続暗黒下で飼育すると体重増加が低下し、それは飼料効率の低下によることが示された。

4-3. 精巣重量について

精巣の絶対重量 (g)、体重 100g 当たりの精巣重量 (g/100gBW) は、DC 群は NCF 群より、DCF 群は NC 群、NCF 群より有意に低値を示した (図 1)。標準食の場合、連続暗黒下で飼育しても精巣重量の低下はみられないが、カフェインを摂取し、連続暗黒下で飼育すると精巣重量が低下することが示された。

4-4. 血清テストステロン濃度について

血清テストステロン濃度に有意差は認められなかった。ただし、DCF 群は NC 群より低値傾向であった ($p < 0.07$) (図 2)。標準食の場合、連続暗黒下で飼育してもテストステ

ロン濃度は低下しないが、カフェインを摂取し、連続暗黒下で飼育するとテストステロン濃度が低下する傾向が示された。

4-5. 精巣の *Ins13* mRNA 発現量について

Ins13 (Insulin-like peptide 3) の mRNA の発現量は、DC 群、DCF 群は NC 群、NCF 群より有意に低値を示した。*Ins13* は、精巣のライデッヒ細胞から分泌され、ライデッヒ細胞の分化程度の指標となる。連続暗黒飼育により *Ins13* の mRNA 発現量が低下したことから、ライデッヒ細胞の分化が低下していることが示された。

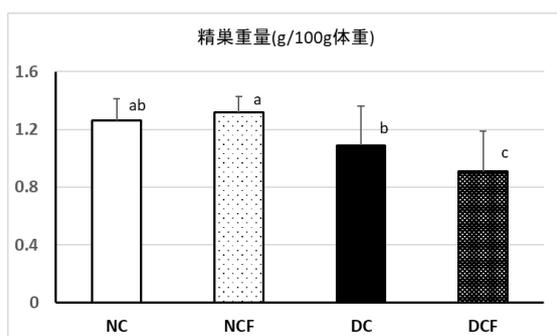


図 1. 精巣重量に及ぼす連続暗黒飼育とカフェインの影響(異なるアルファベットは有意差あり)

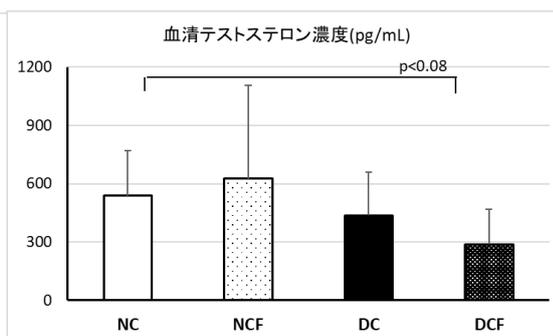


図 2. 血清テストステロン濃度に及ぼす連続暗黒飼育とカフェインの影響

4-6. まとめ

カフェインを飼料に 0.02% 添加し生殖器発達に対する影響を検討したところ、正常明暗飼育ラットではカフェインの影響はみられなかったが、連続暗黒飼育ラットでは、精巣重量の低下がみられた。この精巣重量の低下は、テストステロン生成細胞であるライデッヒ細胞の分化の低下が関与している可能性が示唆された。

本実験で用いたカフェインの摂取量は、過去の研究においても影響がみられない量であり、ヒトにおいてはコーヒー2杯程度の摂取量である。24時間周期の規則正しい生活をしている場合は影響がみられないカフェイン摂取量でも、24時間周期の生活リズムでない場合、悪影響がみられる可能性が示された。

5. 今後の計画

本実験結果は、生活リズムが不規則な場合にカフェインを摂取すると、これまで影響がみられないとされてきた摂取量でも生殖器の発達抑制が起こるといものである。今後は、この悪影響を解除する栄養素・食品成分を探索していく予定である。

6. 研究成果の発表

本研究の結果は、今年度の第74回日本栄養・食糧学会大会で発表した。さらに詳細

な研究結果を蓄積し、関連学会誌に投稿予定である。

認知症予防のスクリーニングを考慮した加齢による
五感の変遷に関する基礎的検討

研究者名： 研究代表者：管理栄養学科・准教授 澤井明香
研究分担者：情報システム学科・教授 坂内祐一
研究分担者：基礎教育センター・准教授 竹田祐一

1. 研究の目的

軽度認知症(認知症予備軍)の症状を的確に把握し、認知症を予防することは重要である。現在、認知症は、脳の高次機能(複雑性注意、遂行機能、学習および記憶、言語、知覚-運動、社会的認知)や身体機能の低下等が評価されている。認知機能は五感知覚の受容の上に成り立つため、これらの機能低下の前に五感が衰退している可能性があり、この段階でスクリーニングを経て適切な対策を行えば、早期段階から認知症等の予防に繋がる可能性がある。しかし現状では、五感知覚(「感覚機能」)は、認知や運動機能との関連を調べた研究が乏しい。本研究は「機器測定で得た五感(特に味覚や嗅覚)の加齢変化を捉えること」「軽度の認知機能スコアに五感の評価を加え、より詳しく評価すること」を目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

わが国では高齢者が急増すると共に認知症も多くなり大きな社会問題である。また認知症とは診断されないが、軽度認知症に分類される認知症予備軍が認知症の数倍存在する。この軽度認知症にあたる層の症状を的確に把握し、健常高齢者と共に、認知症にならないように予防することは極めて大切である。現在、認知症の診断基準は認知領域の低下であるが、これは主に脳の高次機能に相当する。また身体機能の低下も社会生活に支障をきたすため、厚生労働省の介護予防の評価基準も設けられている。認知機能は五感の受容の上に成り立つため、「高度認知機能」や「運動機能」の低下の前に、五感が衰退している可能性があり、この段階でスクリーニングを経て適切な対策を行えば、早期の段階から認知症等の予防に繋がる可能性がある。しかし、五感は、加齢や認知や運動の機能変化との関連を示す基礎データが乏しい。また、基本味の味覚の年齢毎の測定や既に認知症を患った者の報告はあるが、健常者や認知症予備軍の測定値を認知や運動機能と関連づけた研究は国内外に殆どない。

3. 期待される効果

本研究により、主に機器測定により得られた加齢に伴い変化する五感（特に味覚や嗅覚）の変化を今後、アンケート方式による軽度の認知機能スコアに加えることで、より詳しく把握できることが期待できるとともに、軽度認知症を悪化させないための味覚・嗅覚刺激を用いた感覚機能回復方法の開発に結び付けることが、意義であり、最終的な目標となる。

4. 研究の経過及び結果・評価

本研究は3年計画であり、本年度は初年度に相当する。

味覚は、少数の高齢者の試行で、加齢による当初の予想を上回る鈍化が確認され、正確な分析の為に高濃度の味覚液を準備する必要があるとわかった。試行後は、高齢者団体へ出向き15名で実験を開始し、学内若年被験者と比較した。その結果「苦味」「酸味」は加齢の影響を受けづらく、「甘味」「塩味」は著しい鈍化が生じ、生存本能（毒物や腐敗物の分別）に直結する感覚の維持と、それ以外の鈍化が推察された。辛味は我々が初めて測定を試みたものであり、辛味は脳で痛覚として認知されるため、生存本能に直結する感覚と推察され、加齢の影響は低いと我々は予想したが、著しい鈍化が生じたケースがあり、当被験者は認知機能試験の点数も低いことがわかった。また鈍化の原因追究のために、同時に測定した皮膚の痛覚もこれらの者では低下していた。全被験者での比較も、高齢者の痛覚は若年者の約4倍鈍化しており、例えば、高齢ドライバーの反応の遅延など、感覚測定は、加齢変化を捉える指標に役立つ可能性が考えられた。なお、高齢被験者の定年前は指導的立場にあり、現在ではボランティア活動を行う活発な健常者だが、既に味覚や痛覚や皮膚感覚の低下は著しく、認知機能の低下も生じ始めていることがわかった。現在までの結果では、認知機能の衰退に先駆けて感覚の低下が生じるという、我々の推測に沿う結果が得られているため、今後はさらに被験者数を増やし検証したい。なお、味覚と、味覚の他に辛味の評価を被験者30名で検証した成果は、学会にて誌上にて報告した（栄養士会学術集会2020年3月）。

嗅覚は、ラベンダー・レモン・バナナ3種類の香料を、独自に開発した嗅覚ディスプレイ Fragrance Jet Medical Check から射出して、香りを感じるか否かを回答してもらい検知閾値を求める実験を行った。若年者14名と高齢者14名のデータを比較したところ、ラベンダーとレモンで5%の水準で有意差が見られ高齢者の知覚機能が低下していたのに対して、バナナにおいては有意差が見られなかった。一方嗅覚と認知機能の関連性については、レモンの知覚と認知機能のスコアに正の相関がみられたことから、レモンの香りが加齢にともなう嗅覚および認知機能を調べるのに有効ではないかとの仮説を得た。（神奈川工科大学研究ブランディングシンポジウム2019ポスター発表、TBSラジオホームページに記事掲載）なお、坂内の開発装置（自動味覚・嗅覚噴霧機）の精度は既に論文報告した（長草他・有賀他）。

5. 今後の計画

<研究計画：第2年度（2020年度）>

予備実験の結果に基づき、本実験を実施する。本実験では、上記2019年度実施者に対して、解析を深めると共に、被験者のさらなる人数の確保を行う。2019年度は、若年者と高齢者を被験者としたので、2020年度は中高年を主な対象として実験を継続していく。嗅覚の実験では、香りによる差が大きかったため、香りの種類を増やして検知閾値を測定する予定である。

本実験において著しく計測スコアが低い被験者をピックアップして、ヒアリングなどを行う。まず各機能の担当者がデータをまとめ、全員でレビューし解析方法を検討して、加齢（年齢軸）を横に、機能軸を縦にとり、加齢による機能スコアの辺かを見る。また機能間のデータの相関関係を調べ、相関の高い機能を統計的にまとめた主成分を抽出し、加齢の指標づくりを目指す。

具体的には、初年度に設定した条件（以下）における実験を継続し、被験者の人数を増やす。

- ① 味覚：味覚実験で標準テストディスクの4味（塩味、甘味、酸味、苦味）と辛味の5種類の濃度の味覚溶液を味覚ディスプレイから射出して味の種類がわかる認知閾値を求める。
- ② 嗅覚：2019年度の実験で、香りによる差が大きかったため、嗅覚実験で標準的に用いられているT&Tオルファクトメータの5種類（バラ臭、ごけ臭、古靴下臭、桃臭、糞便臭）のにおい溶液を参考に決定する。嗅覚ディスプレイから問題なく射出できていることを確認の上、ランダムに濃度変化させた0.3秒程度の香りパルスと無臭のパルスを一対にて比較させることで、検知閾値を計測する。
- ③ 運動機能：円陣内での足踏み、2.5km/歩行、4.0km/h歩行は高齢者も取り組めたが、4.0km/h歩行は個人により不安定な者もみられた。脚力、握力、歩幅（2STEP法）の測定を行う。
- ④ 認知機能：改定長谷川式認知機能検査、MoCA-J (Montreal Cognitive Assessment) を行う。
- ⑤ 味覚や嗅覚の変遷と意識に関する調査票（オリジナル）を実施する。
若年者、中高年、高齢者のカテゴリから数人の被験者に参加してもらい上記の機能測定実験を行い、異常値・データ欠損、またすべての年齢層の測定結果が事件の想定範囲を超えなかったかなどをチェックして、本実験計画に反映させる。データ集計の方法は、まず機能間のデータの相関係数を計算し、主成分分析により相関の高い項目を集約して幾つかの主成分を抽出する。最終的には年齢（加齢）軸 vs 機能軸（主成分ごとの要因）を描き、回帰曲線などで傾向をみる。

<研究計画：第3年度>

本実験の継続と前期内で完了させ、前年度の結果をよく吟味しながら実験の妥当性を調

べる。データの欠損や異常値が多い場合には、被験者を追加して実験を行う。高齢者で平均値をかなり下回った被験者がいた場合には個別のヒアリングを行い、必要であれば、再実験および軽度認知障害のテストを受け、特に味覚・嗅覚機能スコアと認知スコアの相関を求め、加齢軽度認知障害スクリーニングスコアの作成を目指す。また認知症の予防となる訓練法についての仮説をたてて、次の研究に結び付ける。の指標の妥当性を検討し、軽度認知障害のスクリーニングとして利用できるかを検討する予定である。

5. 研究成果の発表

[学術論文]

1. Asuka Sawai, T Motomura et al, Influence of acute mental arithmetic stress on taste and pungency. Journal of Nutritional Science and Vitaminology 65(3) 224-232, 2019年
2. Asuka Sawai, M Endo et al., Relationship between the evaluation of lifestyle factors of elderly people as measured by the Health Wrist Watch and the health index. GMI, in press.
3. Asuka Sawai, N Nie et al., Effect of skipping breakfast on cerebral blood flow and cardio-vascular function under a mental load in healthy female student. Progress in Nutrition 22, 2, 2-9, 2020.
4. 有賀 安央衣, 坂内 祐一, 妹尾 武治: HMD 提示によるベクシオン刺激と嗅覚刺激の知覚的相互作用に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 24 , No. 4, 361-370, 2019年.
5. A. Aruga, Y. Bannai, and T. Seno, Investigation of the Influence of Scent on Self-Motion Feeling by Vection, International Journal of Informatics Society, Volume 11, No 2 , 65-73, 2019.

[学会発表]

- 1 土田美紗, 澤井明香. 欠食及び咀嚼の有無がフリッカー値及び顔認識試験に及ぼす影響の検討. 第30回 日本咀嚼学会記念学術大会 (東京医科歯科大学) 2019年10月5日
2. 佐野 史弥, 澤井 明香, 武藤 優菜, 朽久保 修. 精神ストレスが味覚・辛味感覚に与える影響の検討. 第40回日本臨床栄養学会総会 2019年10月26日
3. 奈良 航成, 澤井 明香, 朽久保. 欠食及び朝食 (和食・糖質食) が課題回答時の自律神経に及ぼす影響. 第40回日本臨床栄養学会総会 2019年10月26日
4. 森みのり, 澤井明香, 小山田冴恵, 渡邊海斗, 朽久保修. 健康腕時計の体型別の消費エネルギー量の換算係数の検討. 第80回 日本生理人類学会大会 2019年10月27日
5. 武藤優菜, 澤井明香, 佐野史弥, 朽久保修. 定期試験のストレスが味覚・辛味感覚に与える影響の検討. 第80回日本生理人類学会大会 2019年10月27日
6. 澤井明香, 森住弥生, 大島達弘, 朽久保修. 欠食及び栄養比率の違いが顔再認試験回

答に及ぼす影響の検討. 第 72 回日本栄養食糧学会大会 (静岡県立大学) 2019 年 5 月

7. 坂内祐一: 液滴噴霧型嗅覚ディスプレイと射出性能, 電気学会研究会資料 CHS-20-006, BMS20-006, pp.27-32, ケミカルセンサ、バイオ・マイクロシステム合同研究会 2020 年 3 月 19 日.
8. 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治: HMD によるベクシオン刺激提示下での嗅覚閾値について, 情報処理学会第 82 回全国大会, 4ZC-08, 2020 年 3 月 6 日 (オンライン開催)
9. 有賀安央衣, 榊優弥, 安田拓径, 澤井明香, 坂内祐一: 加齢による嗅覚の変化と認知・運動機能との関係に関する考察, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.25, No.SBR-4, pp.19-24, 日本バーチャルリアリティ学会第 25 回香り・味と生体情報研究会, 東京都港区東海大学, 2020 年 3 月 2 日.
10. 長草恭斗, 澤井明香, 坂内祐一: 2 本の液滴噴霧型味覚ディスプレイを用いた味覚閾値計測, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.25, No.SBR-3, pp.13-18, 日本バーチャルリアリティ学会第 25 回香り・味と生体情報研究会, 東京都港区東海大学, 2020 年 3 月 2 日.
11. 瀬田陽平, 牧野光則, 坂内祐一, 服部元史: 粒子法シミュレーションによる嗅覚ディスプレイ香りパルスの可視化, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.25, No.SBR-2, pp.7-12, 日本バーチャルリアリティ学会第 25 回香り・味と生体情報研究会, 東京都港区東海大学, 2020 年 3 月 2 日.
12. 中村重明, 坂内祐一: 圧電素子を用いた嗅覚ディスプレイの開発と嗅覚検知閾値測定, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.25, No.SBR-1, pp.1-6, 日本バーチャルリアリティ学会第 25 回香り・味と生体情報研究会, 東京都港区東海大学, 2020 年 3 月 2 日.
13. 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治: HMD 提示によるベクシオン刺激と嗅覚刺激下における感覚間相互作用, 日本認知心理学会第 11 回多感覚研究会, 立教大学, 36, pp.10, 2019 年 12 月 14, 15 日.
14. 長草恭斗, 澤井明香, 坂内祐一: 2 種類の味溶液が噴霧可能な小型味覚ディスプレイの開発, 日本味と匂い学会第 53 回大会、高知市文化プラザかるぼーと、2019 年 9 月 18 日.
15. 有賀安央衣, 中村重明, 坂内祐一: 微細液滴吐出型嗅覚ディスプレイ, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, O-02, 東京都文京区東京大学, 2019 年 9 月 13 日.
16. 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治: ベクシオンと香りの強弱による知覚強度変化の相互作用, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.24, No.CS-2, SBR2019-8, pp.17-22, 日本バーチャルリアリティ学会第 24 回香り・味と生体情報研究会, 佐賀県武雄市, 2019 年 6 月 13 日

食行動科学と情報科学的観点に基づいた多面的食育展開のためのコンソーシアム型研究

研究代表者：栄養生命科学科	饗場直美
研究分担者：情報メディア学科	西口磯春
情報メディア学科	福本隆司
ロボット・メカトロニクス学科	高尾秀伸
教職教育センター	佐藤史緒
教職教育センター	田辺基子

1. 研究の目的

これまで申請者らは、生涯間断のない食育の実現することを目指して、様々な年代や健康人から障害者にいたる幅広いフィールドで疫学調査を実施し、各世代で様々な人の食の課題やニーズを疫学的手法で検討してきた。

その一方で、人の食習慣や食行動を確実に変容させる方法を確立するために、食の選択や嗜好について、味覚の官能試験や視覚情報が食嗜好にどのような影響を与えるのか、また視覚から食情報が入った際の人の脳の反応性について fNIRS で脳解析を行うなど人の食行動の特性や食の嗜好性を脳科学の面から解析してきた。

本研究では、人の食生活を健全に保ち、生涯を心豊かに生活することができるような人の育成を目指した食育を実現する為に、これまで申請者らが実施してきた各世代を対象とした食生活や食行動についてのフィールド調査から、それぞれの世代での食と健康課題を疫学的観点から課題やニーズを掘り起こし、その課題に関連する要因分析を実施し、科学的根拠に基づいた効果的な食育実践の方法論を様々な情報科学理論を踏まえて検討する。また、食品の嗜好や食品選択にかかる要因について、食心理的指標からの解析や様々な環境設定における食品に対する官能評価を行い「食品と人」の関連性について人の持つ特性について人間工学的（脳科学的）な観点や心理学的な観点から食行動を解析し、食行動を心理的、脳科学的な特性を明らかにする。

脳科学的な食の理解と疫学的な環境要因をふまえた人の食生活や食行動を変えるようなアプローチを検討し、人が生涯を通じて継続的な食育を受けられるような、多面的な食育情報の提供の仕方について情報科学的観点から検討し、各世代のニーズに対応した多面的食育媒体を作成し、人の食習慣や食行動を変えられる食育のあり方について検討し、神奈川県立川工科大学発信の食育法の確立を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

我が国は世界の中でも長寿であるが、疾病構造はほかの先進諸国と同じ非感染性疾患(生活習慣病)による死因が約 6 割を占めており、これら疾患が要介護の要因の一つとなってい

る。生活習慣病予防には食生活の改善が必須であることから 2007 年に食育基本法が制定され、全ての世代にわたる中断のない食育の展開により国民全体の食生活改善が目指されている中、2013 年に施行された健康日本 21 第 2 次でも、「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、食生活改善を大きな柱とする健康づくりの取組を全世代に実施するための目標が世代ごとに設定された。中断のない食育を生涯通じて年齢に応じて継続的に受けることが可能になれば、国民すべてが健康的な食事を自ら選択して摂取できるようになることで生活習慣病の予防が期待でき、それが介護予防につながることで、高齢化社会を迎える我が国において高齢者の QOL を維持する生活の実現が近づくことが期待される。

中断のない食育を実践する上において、世代によって課題やニーズが異なっており、また、世代間、地域間等において格差が生じており一律的なアプローチでは効果が得られないという問題がある。そこで対象者の特性を把握し、その世代に必要な教育をその特性に合わせた食育を継続することが必要であり、人の生涯を通じての様々なアプローチでの食育のマネジメントが必要とされている。加えて現在の食育は食行動や食習慣を確実に変容させることが必要であり、人を確実に変えられることが求められている。そのためには、食行動についての心理的および行動科学的研究を食育、栄養教育と結びつけることが必要であるが、現時点では食の心理学的、食行動学的研究と結びついた食育が実践されているとは言い難く、現在の食育の効果がなかなかあられない理由として考えられる。人の食行動を心理と行動を理解したうえで、各世代にあった多面的な食育アプローチ法の確立が喫緊の課題である。また、各世代で様々なアプローチがなされているにもかかわらず、それらが国民の中に定着しえない現状があり、各食育の生涯を通じた統合化がおこなえていないのが現状である。

本研究は、食と栄養、情報科学、人間工学・行動科学の各分野の専門家よりなるコンソーシアムを形成し、各分野の知見を統合させながら、各世代、性別、体格別等人の特性ごとに集団をセグメント化し、その集団に属する人の食行動および食心理学の特性を心理学的、脳科学的、フィールド調査によって多面的に解析する。その特性に合わせた食育法を情報工学的技術に基づいて構築し、最終的に生涯を通じて継続した食育を統合化させることで、食育効果を最大限に発揮させるための継続的かつ多面的食育法の確立を目指す。

3. 期待される効果

本研究は、申請者らが管理栄養士養成課程である栄養生命科学科が工学系と教育課程を有する大学にあることにより初めて可能となる学内コンソーシアム型研究である。多くの栄養学系の学科は農学、家政学系の大学が中心であり、一部医学・薬学系の中でメディカル分野としてとらえられている。その理由として、栄養学が食物を取扱い、調理の過程を必要とすることから、これら分野の関連分野ととらえられている。疾患管理を中心として人をとらえる際においては、医学・薬学との連携としてとらえることができるが、人を

主な対象とする栄養教育（食育）で人を変えていくためには、「ヒトの行動」をより広く理解する必要がある。行動科学はヒトの行動を科学的に分解し、行動に関連した心理も行動の内因としてみなすことから、ヒトの食行動を理解するためには、食に関する脳機能を理解することが必要となる。人の食行動を効果的に変えるためには、心理学的分析などのヒトの食行動の特性を明確にし、その特性に基づいて多面的なアプローチをする必要がある。その際、人を変える専門としての教育的観点と様々な面からのアプローチが必要である。そのアプローチには、情報の提供の仕方や情報のとらえ方等情報科学的観点からの適切な教育が求められている。本研究においては、食に関する行動を多面的に解析するための専門家が、それぞれの専門家としての観点からのアプローチをすることによって、食行動を変えられる食育体系が確立させようとしているところに特徴がある。本研究は、分断化されやすい異分野を「食」と中心に統合させ、人を変えられる食育法の確立を多分野の研究者で「ヒト」中心として統合させていくところに独創性があり、神奈川工科大学発の食育を発信していくことに本研究の新規性があり、工学・栄養・情報・教育のそろった本学だからこそ実現できえる学内帰結のコンソーシアム型研究であり、新たな食育ツールの開発を含めた様々な食育のアプローチ法を開発することにより、より効果的な食育の実践が可能になることが期待される。

4. 研究の経過及び結果

(1) フィールド調査に基づいた栄養疫学研究による各世代の課題、ニーズ抽出に関する研究（饗場、佐藤）

① 学校給食を教材として使用した食育の指導を、「よく噛む」ことをテーマで介入研究を実施した。小学1年の児童を対象に、かむことと食品嗜好、幼少期での保護者の家庭での食指導状況等についてアンケート調査を実施した。児童の食品の嗜好状況と硬さの関連性においては、食品の硬さによって児童の食品の嗜好性に違いが認められた。しかしながら、保護者の幼少期の咀嚼・嚥下教育の有無と児童の食品の嗜好には関連性が認められなかった。

児童生徒に、実際に学校給食において食事を提供し、その食材の咀嚼状況とその食材の嗜好について調査を行った結果、その食材を「噛みにくい」と答えていた児童において「嫌い」と答えた児童が有意に多く、噛みにくさが好き嫌いに影響していることが明らかになった。

② 人間ドック受診者を対象とした健康長寿コホート（4500人）を用いた健康指標と現在概量法にて調査を行った。3日間の食事調査データのうち入力終了した約2800人の食事データを結合させ、生化学指標と食品摂取パターンについて解析し、健康長寿につながる健康的食事の在り方について検討した。今年度は、特に乳製品の摂取状況と各健康との関連性について検討した結果、男性において、乳製品を摂取と空腹時血糖値及びHbA1cの値に関連性が認められたことから、乳製品摂取が血糖値のコントロールに関連しているこ

とが明らかになった。

(2)ヒトの食行動と心理要因についての人間工学的研究（高尾、饗場、佐藤）

視覚障害を有する高齢者を対象に、食事摂取における、食品の認知状況及び食生活状況についてグループインタビュー調査を実施した。これまでの我々の調査結果から、視覚障害を有する男性高齢者は、緑黄色野菜の摂取量が視覚障害を有さない男性高齢者に比べ少ないことを報告してきており、その理由として、野菜の摂取にかんして視覚による認知が特に野菜の認知に影響していることを想定していたが、実際に様々な種類の野菜を含む食事を摂取してもらった結果、その食材を食した際には認知できていた。

しかしながら、実際の食事の場において、今どの食材を食べているのかについて、確認しながら食べていないことから、自分が日常の食事において、野菜の判別をしておらず、それが自己申告によるアンケート調査結果からは、摂取不足につながっている可能性が示唆された。

また、食の情動に与える視覚情報の影響について、アイスクリームのトッピングを光の三原色のうち、赤と緑をトッピングとして添えた際の食欲について、画像提供による調査を行った。その結果、男性の方が女性より色による食欲の修飾を受けにくいことが明らかになった。

(3)ヒトの食行動を変えられる食育についての情報科学的研究（西口、福本、小坂、田辺）

申請者らがこれまで行ってきたポピュレーションアプローチのための本学開発の様々な教育媒体の試作を継続的に行った。これまで作成し、街頭ビジョンにて放映してきた野菜摂取のためのプロモーションビデオを2本（『カフェテリア編』『コンビニ編』）を作成し、立川保健所と共同作品として立川市の伊勢丹ビジョン及びアレアレアビジョンにて放映し、それらの動画を東京都の動画サイトにアップし公開した（<https://www.youtube.com/user/tokyo/videos>）。

また、デジタルサイネージによる食情報が、消費者の購買に影響を与えるかどうか検討を行った。大学カフェテリアにおいて、デジタルサイネージで野菜摂取を増やすための「カフェテリア編」のビデオを一定期間放映し、食堂での野菜メニューの購入への影響を検討した。

5. 今後の計画

(1)フィールド調査に基づいた栄養疫学研究による各世代の課題、ニーズ抽出に関する研究

①本学学生を対象とした食意識および食態度の調査結果に基づいて、昨年度明らかにされたニーズや課題についてポピュレーションアプローチを試みるための食育法を検討する。本学で作成したビデオをデジタルサイネージを用いて放映し、新たな栄養情報提供の在り方と検討する。

②人間ドック受診者を対象とした健康長寿コホート（4500人）を用いた健康指標と食品摂

取パターンについて解析し、健康長寿につながる健康的食事の在り方について検討する。これまで研究者が取り組んできたコホート登録者から得られた摂取食品のデータ入力を行い、摂取食品のビッグデータベースの構築を継続させ、簡易食事摂取歴法（BDHQ）で得られた栄養素摂取量とのデータ統合を行い、食品摂取と栄養摂取との関連性を検討し、高齢者の健康維持に必要な栄養摂取と健康的な日本型食事の提案を試みる。

④在宅高齢者の食生活や健康における課題をフィールド調査により明らかにし、高齢者のフレイル予防のための支援を検討する。

(2) ヒトの食行動と心理要因についての人間工学的研究

ヒトの食行動と心理要因についての人間工学的研究を継続し、ヒトの食行動を心理学的脳科学的な観点から明らかにする。また、学童の食行動、特に咀嚼行動に焦点を当て、正しい咀嚼ができるような食育プログラムの構築を試み、学校での実践研究に取り組む。

(3) ヒトの食行動を変えられる食育についての情報科学的研究

間断のない食育実践を目指して、年代や特性に合った食育媒体を作成し、その食情報の発信の仕方について検討する。特に、本学と地域との共同で、すべての世代に対して提供できる統合的な影響教育媒体を作成し、地域に対してその媒体を提供し、市町村と協働で実際の栄養教育（食育）実践のための媒体の完成を目指す。

体験型教育媒体やパネルシアターでの食育媒体を作成し、新たな食育媒体として本学から発信する。また、メディアを用いた食育情報発信媒体を作成し、本学のHP内に専用サイトを立ち上げ、本学からの食育情報発信を行う。

6. 研究成果の発表

<論文発表>

- (1) Kushiro A, Shimizu K, Takada T, Kusunoki I, Aiba N, Decreased number of days of fever detection and duration of fever with continuous intake of a fermented milk drink: a randomized, double-blind, placebo-controlled study of elderly nursing home residents. *Bioscience of microbiota, food and health* 38(4) 151 - 157 2019
- (2) 饗場直美, 食育における調理科学の観点 *日本調理科学会誌* 53(2) 136 - 141 2020年
- (3) 川原昌士、臼田典子、高見智恵、斎藤七絵、藤田浩子、松原恵子、伊藤裕子、遠山致得子、金田雅代、饗場直美 *小中学校教職員の食育の意識と栄養教諭との連携栄養教諭食育研究会誌* 3 25-30 2019
- (4) 宮崎律子、児玉むつみ、福田恵子、吉田三千代、鮫島久子、成相律子、鎌田理恵、今熊香奈、中西智美、大堤香緒理、池田良子、永山恵、橋本雅代、土元麻未、榊順子、中馬和代、金田雅代、饗場直美 *学校における教職員の食育に関する意識と指導の実態について 栄養教諭食育研究会誌* 3 63-70 2019

- (5) 饗場 直美 いま、子どもの「食」を考える 現代の学校給食にみられる献立内容の変化 保健の科学 61(10) 662 - 666 2019
- (6) 田邊基子 合科・総合学習の実践史における技術・ものづくり教育の視点 教職教育センター研究報告 Vol. 3, 3月, PP. 41~44 2020.

<国際学会発表>

- (1) Nakade M, Shiozawa Y, Aiba N. Vegetable intake at breakfast and associated factors among young adults in Japan Asian Congress of Nutrition (インドネシア, Bali) 2019年8月4-7日
- (2) Sakuma N, Aiba N, Kawamura M, Katayama R, Takao H. The Current Situation of Masticatory Behavior of First Grader at Elementary School—A Relationship between Masticatory Ability and Students' Likes and Dislikes— EURASIA RESEARCH INTERNATIONAL CONFERENCE (ドバイ) 2020年2月16日

<国内学会発表>

- (1) 吉田三千代, 今熊香菜, 児玉むつみ, 福田恵子, 鮫島久子, 成相律子, 宮崎律子, 鎌田理恵, 大堤香緒里, 中西智美, 橋元雅代, 土元麻未, 永山恵, 池田良子, 中馬和代, 榑順子, 金田雅代, 饗場直美 小学生における噛むことに関する給食指導の効果(1) ~介入前の実態~赤・緑・黄の三色を組み合わせたバランスのよい朝ごはんを食べるための要因 第66回日本栄養改善学会学術総会 2019年9月6日 富山
- (2) 今熊香菜, 吉田三千代, 児玉むつみ, 福田恵子, 鮫島久子, 成相律子, 鎌田理恵, 宮崎律子, 永山恵, 橋元雅代, 土元麻未, 中西智美, 大堤香緒理, 池田良子, 中和代, 榑順子, 金田雅代, 饗場直美 小学生における噛むことに関する給食指導の効果(2) ~介入後の変化~ 第66回日本栄養改善学会学術総会 2019年9月6日 富山
- (3) 藪内咲希, 赤松美雪, 安岡あゆみ, 宮武千津子, 大平美佳, 大西卓子, 辻村方弘, 藤本麻由, 村井栄子, 金田雅代, 饗場直美 小・中学校の教職員の食育に関する意識と指導状況の比較 第66回日本栄養改善学会学術総会 2019年9月6日 富山
- (4) 赤松美雪, 亀ヶ谷昭子, 村井栄子, 長島美保子, 金田雅代, 饗場直美 栄養教諭等の配置と職務の実態について 第66回日本栄養改善学会学術総会 2019年9月6日 富山
- (5) 新妻祐美, 服部恵未子, 井間眞理子, 酒井良枝, 小泉弘子, 近内千由里, 齋藤明美, 志賀敦子, 丹有希乃, 横田みえ子, 川本輝子, 金田雅代, 饗場直美 小中学校教職員の食育への意識と食に関する指導の現状 第66回日本栄養改善学会学術総会 2019年9月6日 富山
- (6) 佐久間直緒美, 平野康子, 山田万里, 眞部華穂, 饗場直美, 高尾秀伸 正月料理の伝承に学校給食は役立つか—献立と日々の食育指導を通して— 第66回日本栄養改善学会学術総会 2019年9月7日 富山

- (7) 田邊基子 総合学習としての技術・ものづくり教育ーデューイ実験学校と現代技術教育におけるカリキュラムの共通性に注目してー 日本機械学会 2019 年次大会 (東北大学) 2019.9 月
- (8) 田邊基子他、流体力学に関する誤情報の拡散 (学校教育と教科書による拡散効果) および初年次基礎力学のブレンド型授業の設計と実践 日本機械学会技術と社会部門講演会「技術と社会の関連を巡って：過去から未来を訪ねる」(東北大学) 2019.11 月
- (9) 田邊基子 流体力学に関する誤情報の拡散 (前提条件の理解度による認識の差) 日本機械学会東海支部講演会 (岐阜大学) 2019.3 月