

The 43<sup>th</sup> Annual Meeting of  
the Japan Trace Nutrients Research Society  
第 43 回日本微量栄養素学会学術集会

# Program and Abstracts

## 講演要旨集

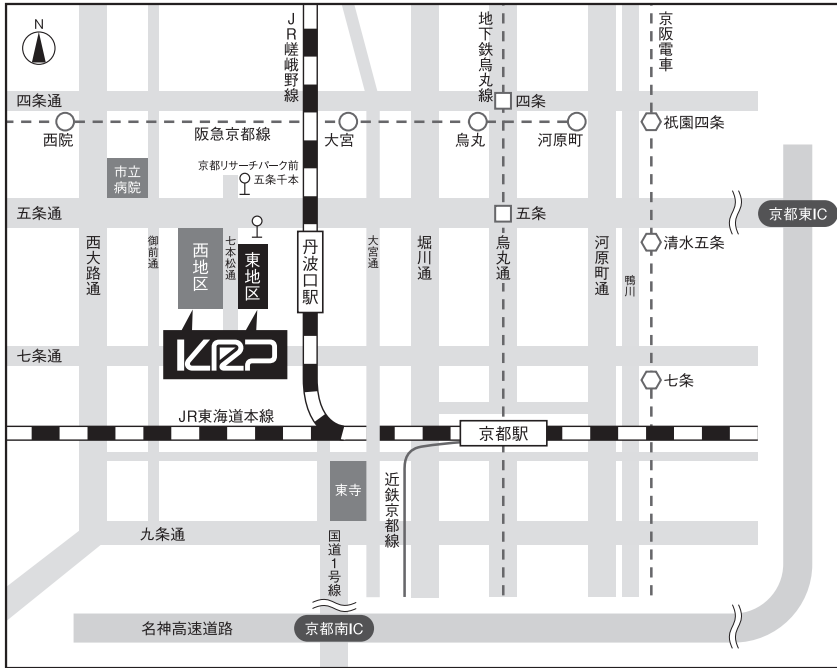
Saturday, June 20, 2026  
Kyoto

Japan Trace Nutrients Research Society  
日本微量栄養素学会

# 交通及び会場案内

会場：京都リサーチパーク、東地区1号館、4階サイエンスホール  
(京都市下京区中堂寺南町134)

## ■京都リサーチパークへのアクセス



### 〈交通のご案内〉

〔JR〕〔近鉄〕〔地下鉄〕 京都駅より

- JR嵯峨野線(山陰線) 乗り換え 丹波口駅下車、徒歩5分
- タクシー (10分)

〔阪急〕 大宮駅・西院駅 / 〔地下鉄〕 五条駅より

- タクシー (5分)

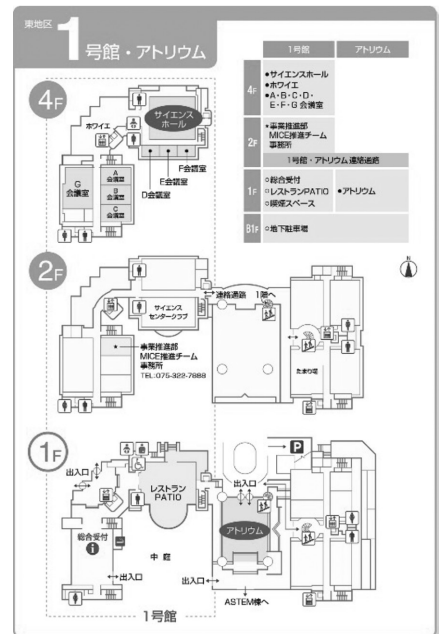
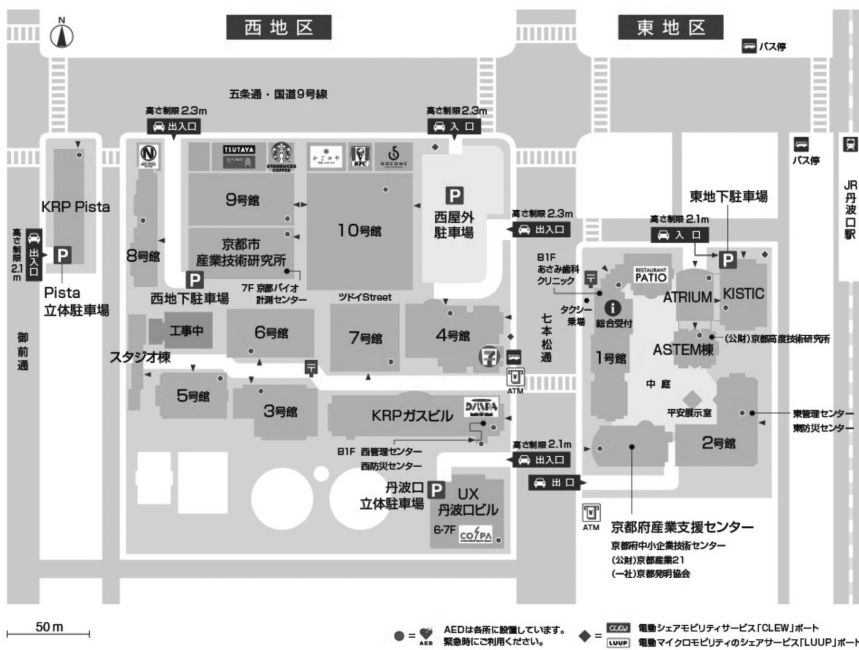
〔京阪〕 清水五条駅より

- タクシー (10分)

お車でお越しの場合

- 名神高速道路「京都南IC」または「京都東IC」より20分

## ■近隣地図



● = AEDは会所に設置しています。緊急時にご利用ください。  
 ◆ = 充電シェアモビリティサービス「CLEW」ポート  
 ◆ = 充電マイクロボティのシェアサービス「LUUP」ポート

# 第43回 日本微量栄養素学会学術集会 プログラム

2026年6月20日  
京都リサーチパーク

9:15 ~ 10:00

受付

10:00 ~ 10:05

開会の辞

会頭：福永健治（関西大学）

10:05 ~ 10:50

口頭発表

座長：神戸大朋（京都大学）

- O-1** ROS誘導性タンパク質分解とピオシアニン誘導性細胞内ROS産生に対するイミダゾールジペプチドおよび2-オキシカルノシンの抗酸化活性評価  
山田 泰成\*<sup>1)</sup>, 林 滉平<sup>1)</sup>, 吉用 賢治<sup>1)</sup>, 廣瀬 恒久<sup>1)</sup>, 下間 志士<sup>1)</sup>, 倉永 健史<sup>2)</sup>, 掛谷 秀昭<sup>2)</sup>, 友永 省三<sup>3)</sup>, 尾崎 誠<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> ナカライテスク株式会社, <sup>2)</sup> 京都大学大学院 薬学研究科 創発医薬科学専攻 システムケモセラピー・制御分子学分野, <sup>3)</sup> 京都大学大学院 農学研究科 応用生物科学専攻)
- O-2** グリセルアルデヒド誘導性ストレスによる神経細胞死におけるイミダゾールジペプチドと2-オキシカルノシンの抗糖化活性評価  
尾崎 誠\*<sup>1)</sup>, 山田 泰成<sup>1)</sup>, 橋田 耕治<sup>1)</sup>, 林 滉平<sup>1)</sup>, 吉用 賢治<sup>1)</sup>, 廣瀬 恒久<sup>1)</sup>, 下間 志士<sup>1)</sup>, 横山 直希<sup>2)</sup>, 原 利明<sup>2)</sup>, 西濃 智<sup>2)</sup>, 友永 省三<sup>3)</sup>  
(<sup>1)</sup> ナカライテスク株式会社 研究開発部, <sup>2)</sup> 浜理薬品工業株式会社 研究開発本部, <sup>3)</sup> 京都大学大学院 農学研究科)
- O-3** ビール苦味成分イソ $\alpha$ 酸の嗜好形成に関する検討  
松下実代\*<sup>1)</sup>, 高岡彩澄<sup>2)</sup>, メイ ケジア ジェダイディア<sup>2)</sup>, 井上和生<sup>3)</sup>, 山崎英恵<sup>1,2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 龍谷大学農学研究科, <sup>2)</sup> 龍谷大学農学部, <sup>3)</sup> 京都大学農学研究科)

10:50 ~ 11:00

休憩

11:00 ~ 11:45

口頭発表

座長：栗原達夫（京都大学）

- O-4** 代替タンパク源としての昆虫食がエネルギー代謝に与える影響の比較検討  
安達光\*<sup>1)</sup>, 柿崎博美<sup>2)</sup>, 榎木寧々<sup>1)</sup>, 石原健吾<sup>1,2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 龍谷大学 食品栄養学科, <sup>2)</sup> 龍谷大学 発酵醸造食品機能性研究センター（龍大発酵 RC）)
- O-5** ヒト細胞におけるメタロチオネインを介した亜鉛と銅のクロストーク機構  
山本朱音\*, 神戸大朋  
(京都大学大学院生命科学研究科)

- O-6 ハマグリ (*Meretrix lusoria*) 含有スフィンゴホスホノ脂質の化学構造解析  
内山萌子\*<sup>1)</sup>, 水戸部千聖<sup>1)</sup>, 上坂彩乃<sup>2)</sup>, 細見亮太<sup>2)</sup>, 福永健治<sup>2)</sup>, 杉本光輝<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 東洋大 食環境, <sup>2)</sup> 関西大 化学生命工)

11:45 ~ 12:15

口頭発表

座長：老川典夫（関西大学）

- O-7 妊娠期における母体のビオチン栄養状態の変化  
湯浅正洋\*<sup>1)</sup>, 澤村弘美<sup>2)</sup>, 渡邊敏明<sup>3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 神戸大学大学院人間発達環境学研究科, <sup>2)</sup> 美作大学生活科学部,  
<sup>3)</sup> 大阪青山大学健康科学部)
- O-8 青みかん発酵茶摂取がマウスの運動能および代謝に与える影響  
荒井 咲映\*<sup>1)</sup>, 大泉 凌<sup>1)</sup>, 李 秦<sup>1)</sup>, 柿崎 博美<sup>2)</sup>, 石原 健吾<sup>1,2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 龍谷大学食品栄養学科, <sup>2)</sup> 龍谷大学発酵醸造食品機能性研究センター（龍大  
発酵 RC))

12:15 ~ 13:10

昼食・評議員会 (A会議室)

13:10 ~ 13:30

総会

13:30 ~ 14:30

特別講演

座長：福永健治（関西大学）

栄養ベースの摂食調節における臓器連関システムの役割

佐々木 努

(京都大学 大学院農学研究科 食品生物科学専攻 栄養化学分野)

14:30 ~ 14:40

休憩

14:40 ~ 15:10

ポスター要旨発表

座長：舟場正幸（京都大学）

- P-1 褐色脂肪細胞におけるマトリックスメタロプロテアーゼ産生  
岡本真太郎\*, 舟場正幸  
(京大院農・動物栄養)
- P-2 餌料中マンガン濃度の相違がラットの鉄・マンガン・亜鉛の臓器蓄積に及ぼす影響  
畑中源喜\*, 細見亮太, 福永健治, 吉田宗弘  
(関西大学 化学生命工学部)
- P-3 マウスの坐骨神経切断による廃用性筋萎縮に対するカキ肉エキスの予防効果  
東島凜\*<sup>1)</sup>, 小川泰輝<sup>1)</sup>, 石田達也<sup>2)</sup>, 吉田宗弘<sup>1)</sup>, 細見亮太<sup>1)</sup>, 福永健治<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 関西大 化学生命工, <sup>2)</sup> 日本クリニック (株))
- P-4 餌料中の銅濃度の相違がラットの臓器ミネラル濃度に及ぼす影響  
杉藤詞野\*, 畑中源喜, 細見亮太, 福永健治, 吉田宗弘  
(関西大 化学生命工)
- P-5 鉄代謝調節因子であるヘプシジン遺伝子のエピジェネティック修飾による発現制御  
安田あかり\*<sup>1)</sup>, 林滉平<sup>2)</sup>, 迫田翔太郎<sup>2)</sup>, 村上賢<sup>2)</sup>, 金森耀平<sup>1,3)</sup>, 下河史枝<sup>2)</sup>,  
舟場正幸<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 京大院農, <sup>2)</sup> 麻布大獣医, <sup>3)</sup> 熊本大院生命科学)

- P-6 *Hansschlegelia* 属細菌におけるメタンサルフィン酸資化とその関連酵素の解析  
小川 瞳子\*, 越智 杏奈, 田中 麻衣, 井上 真男, 村本 涼, 安原 理乃, 青野 陸,  
三原 久明  
(立命大・生命科学部)
- P-7 UVB誘導性皮膚線維芽細胞障害に対する各種カテキンの保護効果  
佐久間 渉\*<sup>1)</sup>, 嶋田 萌花<sup>1)</sup>, 下田 実可子<sup>1)</sup>, 麻生 賢太<sup>2)</sup>, 杉本 明夫<sup>2)</sup>, 田形 千佳<sup>2)</sup>,  
川原 正博<sup>1,3)</sup>, 田中 健一郎<sup>1,3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 武蔵野大学薬学部, <sup>2)</sup> 株式会社伊藤園, <sup>3)</sup> 武蔵野大学薬学研究所)
- P-8 PM<sub>2.5</sub>に起因する皮膚角化細胞障害に対する緑茶成分の有効性解析  
水戸 瞳\*<sup>1)</sup>, 下田 実可子<sup>1)</sup>, 麻生 賢太<sup>2)</sup>, 杉本 明夫<sup>2)</sup>, 田形 千佳<sup>2)</sup>, 川原 正博<sup>1,3)</sup>,  
田中 健一郎<sup>1,3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 武蔵野大学薬学部, <sup>2)</sup> 株式会社伊藤園, <sup>3)</sup> 武蔵野大学薬学研究所)
- P-9 珈琲豆の産地および焙煎度がナイアシン含有量に及ぼす影響  
水谷 悠太郎\*<sup>1)</sup>, 曾根 英行<sup>1)</sup>, 神山 伸<sup>1)</sup>, 小林 和也<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 新潟県立大学・健康栄養, <sup>2)</sup> 新潟食品研究センター)
- P-10 女子大生と妊婦(妊娠中期)における栄養素摂取量とアディポネクチンの関連  
林 直哉\*<sup>1)</sup>, 亀田 隆<sup>2)</sup>, 溝畑 秀隆<sup>3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 大阪樟蔭女子大学, <sup>2)</sup> はしもと産婦人科, <sup>3)</sup> 神戸松蔭女子学院大学)
- P-11 ニコチン酸補給によるアセトアミノフェン(パラセタモール)酵母毒性改善効果について  
根来 宗孝\*<sup>1)</sup>, 森本 雅子<sup>1)</sup>, 鈴木 健太<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 大阪青山大学, <sup>2)</sup> 川西リハビリテーション病院)
- P-12 無機元素分析によるクロマグロの天然と養殖および養殖魚の産地の判別  
吉田 香\*, 廣谷 志奈子, 西野 友菜, 筋籠 もえ, 梅原 侑理沙  
(同志社女子大学生生活科学部)
- P-13 わが国の伝統的な「だし」から持続可能な「プラントベースだし」についての一考察  
前川 隆嗣\*<sup>1)</sup>, 香西 彩加<sup>1)</sup>, 湯浅 正洋<sup>2)</sup>, 榎原 周平<sup>3)</sup>, 渡邊 敏明<sup>1,3,4)</sup>  
(<sup>1)</sup> マエカワテイスト(株)前川 TSH 研究所, <sup>2)</sup> 神戸大学大学院,  
<sup>3)</sup> 大阪青山大学健康科学部, <sup>4)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部)
- P-14 運動時の糖質・ミネラル補給が心理的状態と味覚感受性の変化に及ぼす影響  
内田 由佳\*<sup>1)</sup>, 青木 果琳<sup>1)</sup>, 増田 尚<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 小田原短期大学食物栄養学科, <sup>2)</sup> 愛知学泉大学家政学部)

15:10 ~ 16:00

ポスターセッション

16:00 ~ 16:45

口頭発表

座長：小切間美保（同志社女子大学）

- O-9 日本人のヨウ素栄養状態の現状と問題点  
布施 養善\*<sup>1,6)</sup>, 國井 葉<sup>2)</sup>, 山口 真由<sup>3)</sup>, 塚田 信<sup>4)</sup>, 伊藤 善也<sup>5)</sup>, 紫芝 良昌<sup>6)</sup>  
(<sup>1)</sup> 公財) 成長科学協会, <sup>2)</sup> 昭和医科大学横浜西部病院甲状腺センター,  
<sup>3)</sup> 鎌倉女子大学家政学部管理栄養学科, <sup>4)</sup> 日本栄養大学栄養科学研究所,  
<sup>5)</sup> 日本赤十字北海道看護大学臨床医学領域, <sup>6)</sup> Iodine Global Network (IGN)
- O-10 「学校給食のヨウ素量について一実態と意義」  
塚田 信\*<sup>1,5)</sup>, 山口 真由<sup>2)</sup>, 國井 葉<sup>3)</sup>, 伊藤 善也<sup>4,5)</sup>, 布施 養善<sup>5,6)</sup>, 紫芝 良昌<sup>5,6)</sup>  
(<sup>1)</sup> 日本栄養大学栄養科学研究所, <sup>2)</sup> 鎌倉女子大学家政学部管理栄養学科,  
<sup>3)</sup> 昭和医科大学横浜西部病院甲状腺センター, <sup>4)</sup> 日本赤十字北海道看護大学臨床  
医学領域, <sup>5)</sup> 公財) 成長科学協会, <sup>6)</sup> Iodine Global Network (IGN)

- O-11 日本人乳幼児のヨウ素栄養状態の現状- Pilot Study  
山口真由\*<sup>1)</sup>, 塚田信<sup>2)</sup>, 國井葉<sup>3)</sup>, 高橋紀博<sup>4)</sup>, 伊藤善也<sup>5)</sup>, 布施養善<sup>6)</sup>, 紫芝良昌<sup>6)</sup>,  
畑中源喜<sup>7)</sup>, 細見亮太<sup>7)</sup>, 福永健治<sup>7)</sup>, 吉田宗弘<sup>7)</sup>  
(<sup>1)</sup> 鎌倉女子大学家政学部管理栄養学科, <sup>2)</sup> 日本栄養大学栄養科学研究所,  
<sup>3)</sup> 昭和医科大学横浜西部病院甲状腺センター, <sup>4)</sup> 第一薬品産業(株),  
<sup>5)</sup> 日本赤十字北海道看護大学臨床医学領域, <sup>6)</sup> (公財) 成長科学協会ヨウ素関連  
調査研究委員会, Iodine Global Network (IGN), <sup>7)</sup> 関西大学食品栄養化学研究室)

16:45 ~ 17:15

口頭発表

座長：三原久明（立命館大学）

- O-12 *Variovorax boronicumulans* NBRC 103145の D-アルギニン脱水素酵素の機能解析  
加藤志郎\*<sup>1)</sup>, 老川典夫<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup> 香大・農, <sup>2)</sup> 関大・化学生命工)
- O-13 ニワトリ初生期におけるポリアミンシグナルが及ぼす間脳代謝制御機構への関与  
白石純一\*<sup>1)</sup>, 友永省三<sup>2)</sup>, 川瀬貴博<sup>3)</sup>, 太田能之<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 日獣大院・獣医, <sup>2)</sup> 京大院農・動物栄養, <sup>3)</sup> 栄養病理学研究所)

17:15 ~ 17:45

口頭発表

座長：吉田香（同志社女子大学）

- O-14 中等度亜鉛欠乏と食餌摂取制限が低酸素誘導遺伝子の発現へ与える影響  
許斐亜紀\*<sup>1)</sup>, 横井克彦<sup>2)</sup>  
(<sup>1)</sup> ぐんま未来大学（旧称 桐生大学）医療保健学部 栄養学科,  
<sup>2)</sup> 聖徳大学 人間栄養学部 人間栄養学科)
- O-15 軽度鉄欠乏がオープンフィールドにおけるラットの行動に及ぼす影響  
横井克彦\*<sup>1, 2)</sup>, 許斐亜紀<sup>3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 聖徳大学大学院 人間栄養学研究科, <sup>2)</sup> 聖徳大学 人間栄養学部 人間栄  
養学科, <sup>3)</sup> ぐんま未来大学（旧称 桐生大学）医療保健学部 栄養学科)

17:45 ~ 17:50

閉会の辞

次回会頭：神戸大朋（京都大学）

18:10 ~ 19:30

懇親会

(1号館・アトリウム)

# 特別講演

## 栄養ベースの摂食調節における臓器連関システムの役割

佐々木 努

(京都大学 大学院農学研究科 食品生物科学専攻 栄養化学分野)

栄養とは、生物が体外から必要な物質を補給し、生命を維持する活動である。補給する必要がある物質が栄養素と定義されている。日本人の食事摂取基準においては、補給ニーズの高さに応じてエネルギー、主要栄養素、微量栄養素の順番で優先順位がつけられている。生体恒常性を維持するには、体内の各部位の栄養状態（需要）と体外からの栄養素の補給（供給）のバランスに加えて、補給された栄養素が必要とされる部位に運ばれて作用を発揮するまでのタイムラグを加味して、補給量を調節する必要がある。そして、生体が一定の状態を保つには、至適状態（セットポイント）からのズレを感知して補正するネガティブ・フィードバック制御に加えて、外部環境の周期的変動を予測できる場合には、日内リズムのように予防的に自らを変動させてズレを最小限にしようとする。

多細胞生物は、生命を維持するために様々な情報を統合的に処理して、適応行動をとる。そのためには、生体内外で生成される情報を末梢組織のレベルで感知し、適切な情報に変換したうえで中枢神経系に伝達し、統合的な意思決定を行い、適応行動としての摂食行動を表出するサイクルを繰り返す。そのため、栄養ベースの摂食調節には、栄養代謝に関与する各種の末梢臓器（消化管、肝臓、膵臓、骨格筋、脂肪組織など）と脳による臓器連関システムが必要である。そして、調節の対象となる栄養素の量的変化を特異的に反映するシグナルと、そのシグナルを特異的に感知する機構が、それぞれ必要となる。

生体恒常性に基づく摂食調節研究は、これまでエネルギー収支を中心に展開されてきた。しかし、カロリーとは異なる栄養素特異的な生体ニーズは存在するため、各栄養素に特異的な摂食調節システムが存在することが推察される。そこで我々は、この観点から研究を展開してきた。そして、単純糖質やアルコールの摂食を調節する線維芽細胞増殖因子21（FGF21）-オキシトシン系（Matsui S et al., Nat Commun, 2018; Matsui S et al., PNAS, 2026）や、中鎖脂肪酸トリグリセリドの摂食を特異的に調節する肝臓における $\beta$ 酸化依存性の制御機序（Maruyama T et al., Am J Physiol Endocrinol Metab, 2024; Maruyama T et al., Am J Physiol Endocrinol Metab, 2025）など、新しい生体システムの存在と病態生理学的な意義に関して報告してきた。また、タンパク質の摂食調節システムの解明にも現在取り組んでいる。

そこで本講演では、栄養ベースの食欲調節に関する我々が得た最近の知見や、関連文献を中心に紹介するとともに、微量栄養素の摂食調節システムの有無について考察する。

## 口頭発表

### O-1

#### ROS 誘導性タンパク質分解とピオシアニン誘導性細胞内 ROS 産生に対する イミダゾールジペプチドおよび 2-オキソカルノシンの抗酸化活性評価

山田 泰成<sup>\*1)</sup>, 林 滉平<sup>1)</sup>, 吉用 賢治<sup>1)</sup>, 廣瀬 恒久<sup>1)</sup>, 下間 志士<sup>1)</sup>, 倉永 健史<sup>2)</sup>,  
掛谷 秀昭<sup>2)</sup>, 友永 省三<sup>3)</sup>, 尾崎 誠<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup> ナカライテスク株式会社, (<sup>2)</sup> 京都大学大学院 薬学研究科 創発医薬科学専攻 システムケモセラピー・  
制御分子学分野, (<sup>3)</sup> 京都大学大学院 農学研究科 応用生物科学専攻)

【目的】イミダゾールジペプチド (IDP) は、抗酸化作用や抗疲労作用を有する機能性食品成分であり、カルノシン (Car)、アンセリン、バレニンなどがある。近年、IDP の酸化体である 2-オキソイミダゾールジペプチド (2-oxo-IDP) が生体内の様々な組織に微量存在し、IDP と比較して著しく高い抗酸化活性を示すことが報告されている。2-Oxo-IDP は、IDP 試薬にも微量含有している場合が多く、IDP の抗酸化活性に影響を与える可能性が示唆されている。そこで、様々なメーカーの IDP 試薬の純度を HPLC 分析と DPPH アッセイにより評価した。また、IDP と 2-オキソカルノシン (2-oxo-Car) の抗酸化活性について、詳細に比較した先行研究は認められない。そこで本研究では、IDP および 2-oxo-Car における複数種の抗酸化活性評価を行った。

【方法】各メーカーの Car 試薬の純度を HPLC 分析と DPPH アッセイにより評価した。ROS によるタンパク質分解の抑制試験では、IDPs または 2-oxo-Car にオボアルブミンと ROS 調製液を添加し、37°C で 30 ~ 120 分インキュベートした後、SDS-PAGE で得られたバンド強度から分解抑制率を算出した。また、IDP で前処理したマウス筋芽細胞株 C2C12 にピオシアニンを処理した後、ROS 検出プローブの蛍光強度から細胞内 ROS 生成抑制率を算出した。

【結果】HPLC 分析の結果、メーカーによって IDP 試薬中に 2-oxo-IDP が微量混入していることが確認され、それらの IDP 試薬は、DPPH アッセイにおいて高い抗酸化活性を示した。したがって、IDP の抗酸化能の正確な評価には、2-oxo-IDP 不含の高純度の IDP 試薬を用いる必要性が示された。ROS によるタンパク質の分解を IDP により抑制できるのかを SDS-PAGE 法で評価したところ、2-oxo-Car は IDP と比較して、ClO<sup>-</sup> と ONOO<sup>-</sup> によるタンパク質の分解を著しく阻害した。また、IDP、2-oxo-Car またはグルタチオン (GSH) で前処理した C2C12 細胞にピオシアニンを処理し、細胞内に ROS を誘導したところ、2-oxo-Car で処理した細胞では、他の抗酸化剤と比較して ROS の生成が有意に抑制された。以上の結果から、2-oxo-IDP は GSH と同等以上の優れた抗酸化剤であることが示された。

### O-2

#### グリセルアルデヒド誘導性ストレスによる神経細胞死における イミダゾールジペプチドと 2-オキソカルノシンの抗糖化活性評価

尾崎 誠<sup>\*1)</sup>, 山田 泰成<sup>1)</sup>, 橋田 耕治<sup>1)</sup>, 林 滉平<sup>1)</sup>, 吉用 賢治<sup>1)</sup>, 廣瀬 恒久<sup>1)</sup>,  
下間 志士<sup>1)</sup>, 横山 直希<sup>2)</sup>, 原 利明<sup>2)</sup>, 西濃 智<sup>2)</sup>, 友永 省三<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup> ナカライテスク株式会社 研究開発部, (<sup>2)</sup> 浜理薬品工業株式会社 研究開発本部, (<sup>3)</sup> 京都大学大学院 農学研究科)

【目的】食事によって過剰に摂取された糖類は酸化反応を受けることで、4-ヒドロキシ-2-ノネナルやメチルグリリオキサールなどのアルデヒド類に変化する。これらのアルデヒド類とタンパク質が反応することで、細胞毒性を有する終末糖化産物 (AGE) が生成される。近年、AGE の蓄積が 2 型糖尿病やアルツハイマー病などの発症に深く関与することが報告されている。いくつかの研究で、イミダゾールジペプチド (IDP) の一種であるカルノシン (Car) がアルデヒド類と結合することで AGE の生成を抑制 (抗糖化活性) することが報告されている。しかしながら、その他の IDP (アンセリン: Ans, バレニン: Bal, ホモカルノシン: Hom) における抗糖化活性に関する報告例はほとんどない。本研究では、神経細胞に対して高い毒性を示すグリセルアルデヒド (GA) 由来の AGE における 4 種類の IDP と IDP よりも著しく高い抗酸化活性を有する 2-オキソカルノシン (2-oxo-Car) の抗糖化活性を評価した。

【方法】各 IDP と 2-oxo-Car の GA に対する反応性と結合様式を HPLC と LC-MS で評価した。ヒト神経芽腫細胞株 SH-SY5Y を GA で処理する際に、IDP もしくは 2-oxo-Car を添加し、37°C で 48 時間インキュベートした後に細胞生存率を算出した。また、SH-SY5Y 細胞内のタンパク質の糖化レベルを Anti-GA-pyridine 抗体を用いたウエスタンブロットにより評価した。

【結果】HPLC 分析により、各 IDP の GA に対する反応性は Car と Bal が他の IDP や 2-oxo-Car よりも優位に高いことが示された。また、LC-MS に解析により、2 分子の GA が Car と Bal の N 末端のアミノ基に結合することが示された。GA を SH-SY5Y 細胞に処理する際に、IDP もしくは 2-oxo-Car を添加したところ、Car と Bal 添加条件において GA が惹起する細胞毒性が有意に低減した。また、Car と Bal を処理した細胞でのみ、他の IDP や 2-oxo-Car と比較して AGE 産生量の低減が認められた。さらに、マウス初代神経細胞 (皮質と海馬) においても同様の結果が得られた。以上の結果から、Car と Bal が GA を捕捉することで、タンパク質の糖化を抑制し、神経細胞死を低減することが明らかとなった。

## O-3

### ビール苦味成分イソ $\alpha$ 酸の嗜好形成に関する検討

松下実代<sup>\*1)</sup>, 高岡彩澄<sup>2)</sup>, メイ ケジア ジェダイディア<sup>2)</sup>, 井上和生<sup>3)</sup>, 山崎英恵<sup>1,2)</sup>

(<sup>1)</sup> 龍谷大学農学研究科, (<sup>2)</sup> 龍谷大学農学部, (<sup>3)</sup> 京都大学農学研究科)

**【目的】** 苦味は、生得的に有害物質の摂取回避に関与する感覚であり、動物や乳児では嫌悪を引き起こす。一方で、繰り返し暴露されることで、苦味に対する嫌悪が低減することが知られている。これまで、マウスにおける忌避・嫌悪性食品の苦味に対する慣れや耐性獲得に関する研究は報告されているが、たとえばヒトにとってのビールのように、嫌悪的な苦味刺激が嗜好へと転換する過程については十分に検討されていない。実際、菓の苦味には慣れにくい一方で、ビールのように苦味を特徴とする飲料は嗜好される場合もあり、苦味刺激は経験を通じて、単なる受容にとどまらず嗜好へと変化する可能性がある。これまで動物実験で用いられてきた苦味物質はキニーネが中心であり、ビールの主な苦味成分であるイソ $\alpha$ 酸に着目した研究は限られている。そこで本研究では、イソ $\alpha$ 酸の暴露が嗜好形成に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

**【方法】** 雄性 C57BL/6JmsSlc マウスを用いて、水とイソ $\alpha$ 酸溶液の二瓶選択試験により、イソ $\alpha$ 酸に対する濃度反応を評価した。イソ $\alpha$ 酸溶液 (0.01-0.8 mM) を低濃度から順に提示 (暗期 12 時~16 時) し、提示開始 2 時間後にボトル位置を入れ替えた。また、対照苦味物質であるキニーネ (0.001-0.1 mM) を低濃度から順に提示した。苦味溶液摂取量/総摂取量を嗜好性比率として算出した。次に、嗅覚による影響を評価するために、嗅覚遮断を行った。嗅覚遮断群には 5% ZnSO<sub>4</sub> を用い、対照群には生理食塩水を両鼻腔に 8  $\mu$ l ずつ点鼻した。処置後のマウスに対して二瓶選択試験を行い、嗜好性比率を比較した。また、嗅覚機能の確認にはポテトチップス埋蔵試験を実施した。

**【結果および考察】** 対照苦味物質であるキニーネでは、嗜好性比率は濃度依存的に低下した。一方、イソ $\alpha$ 酸では 0.1 ~ 0.2 mM において嗜好性比率に二極化がみられ、一貫した傾向は認められなかった。このことから、イソ $\alpha$ 酸に対する応答には個体差が大きく、キニーネとは異なる応答を示すことが明らかとなった。

くわえて、嗅覚遮断群において、イソ $\alpha$ 酸に対する嗜好性比率は低下傾向を示したことから、イソ $\alpha$ 酸への嗜好形成には、味覚情報に加えて嗅覚情報も関与することが示唆された。

## O-4

### 代替タンパク源としての昆虫食がエネルギー代謝に与える影響の比較検討

安達光<sup>\*1)</sup>, 柿崎博美<sup>2)</sup>, 榎木寧々<sup>1)</sup>, 石原健吾<sup>1,2)</sup>

(<sup>1)</sup> 龍谷大学 食品栄養学科, (<sup>2)</sup> 龍谷大学 発酵醸造食品機能性研究センター (龍大発酵 RC))

**【目的】** 昆虫食は持続可能なタンパク源として注目されており、将来的には食料問題の解決に貢献できる資源として期待されている。一方、外観や形状に由来する嫌悪反応や嗜好性の低さから普及が進みにくいという課題がある。その抵抗感を軽減するためには、昆虫食の栄養機能的価値を示す必要がある。昆虫は種によって脂肪酸組成や栄養成分が大きく異なるが、摂取後のエネルギー代謝への影響は十分に理解されていない。そこで本研究では、4種類の昆虫食を摂取させたマウスを対象に、エネルギー消費量および脂質酸化量を比較することで、昆虫種による代謝への影響を明らかにすることを目的とした。

**【方法】** 10 週齢 C57BL/6 雄マウスを用い、コントロール食群と 4 種類の昆虫食群 (フタホシコオロギ、ヨーロッパイエコオロギ、バッタ、カイコ) に分けた。いずれもタンパク質含量 20%、脂質組成を同等に調製し、1 週間自由摂取させた。摂取 5 日後から 48 時間、呼気ガス分析装置によりエネルギー消費量および脂質酸化量を測定した。

**【結果】** 体重および摂取量に差はみられなかったが、エネルギー消費量はいずれの昆虫食群でもコントロール群に比べ 6.0 ~ 14.7% の低下傾向を示した。一方、脂質酸化量は昆虫種により大きく異なり、ヨーロッパイエコオロギで 35.0%、バッタで 59.6%、カイコで 80.0% の亢進が認められた。

**【考察】** エネルギー消費量の低下は、昆虫に含まれるキチンなどの難消化性成分により消化吸収効率が低下し、利用可能エネルギーが減少したことが一因と考えられる。吸収できるエネルギーが少ない食品では、代謝を抑える方向に調節されることが報告されており、本研究でのエネルギー消費量の低下もこの反応によるものである可能性がある。一方、脂質酸化量が昆虫種により異なったのは、それぞれの脂肪酸組成や脂質含量の違いにより、 $\beta$ 酸化の進みややすさに差が生じたためと考えられる。特に、カイコやバッタは不飽和脂肪酸や中鎖脂肪酸を多く含むことが知られており、これらの脂肪が比較的速やかに代謝されることが脂質酸化亢進に寄与した可能性が高い。今後は、脂質代謝関連経路の詳細解析を通じて、昆虫特異的な代謝反応のメカニズムを明らかにする必要がある。

## O - 5

### ヒト細胞におけるメタロチオネインを介した亜鉛と銅のクロストーク機構

山本 朱音\*, 神戸 大朋  
(京都大学大学院生命科学研究所)

【目的】 亜鉛 (Zn) と銅 (Cu) はともに必須微量栄養素であり、その不足は生命活動に大きな影響を与えるため、これら金属の恒常性維持機構の理解は重要である。Zn と Cu は生体内で相互に影響し合う (クロストーク) ことが知られており、一方の摂取は他方の吸収を抑制する。この一因として両金属に結合可能なタンパク質であるメタロチオネイン (MT) の関与が示唆されている。しかし、この現象の詳細な分子機構は十分に解明されておらず、特に 11 種もの MT 遺伝子を有するヒト細胞においては、ほとんど情報が無い。本研究では、ヒト細胞において樹立した MT 欠損株 (MTs 欠損株) などを駆使して、MT を介した Zn と Cu のクロストーク機構の解明を試みた。

【方法】 遺伝子欠損株の作成が容易なヒトミエローマ HAP1 細胞を用いて CRISPR/Cas9 法により Zn・Cu 関連因子の欠損株を作製した。Immunoblotting による各種タンパク質の発現や細胞生存率の解析により、細胞内 Zn・Cu 動態を検討した。

【結果・考察】 HAP1 細胞野生株を Cu 添加培地で培養すると、遊離 Zn に発現誘導される ZNT1 (Zn エクスポーター) 及び MT の発現が増大した。また、ATP7A (Cu エクスポーター) を欠損し Cu が蓄積した株では、金属非添加条件でも両分子の発現が野生株に比べ増大した。さらに、この結果は Zn 欠乏培地に Cu を添加した場合も同様に得られた。これらのことから、細胞内 Cu の増加は、細胞外からの Zn 取り込みに依存せず、細胞内遊離 Zn の増加を起こすことが示唆された。さらに、遊離 Zn 依存的に MT を誘導する転写因子 MTF1 の欠損株では、Cu 添加による MT 発現増大が抑制されたことから、この応答は Zn-MTF1 経路を介して起こることが示された。また、MTs 欠損株では、野生株に比べて Cu 耐性が著しく低下し、MT が Cu 恒常性の維持に重要であることが示唆された。さらに、野生株を Cu 添加培地で培養した後、Cu キレート剤で処理すると、Cu 添加により誘導された MT は、Cu キレートにより apo-MT となり分解し、著しく発現減少した。このことは、Cu 過剰時に MT の大部分が Cu 結合型として存在することを示している。

以上より、細胞内 Cu の増加により MT 上で Cu と Zn の置換が生じ、その結果増加した遊離 Zn が MTF1 を介して MT 発現をさらに誘導するという機序が示唆された。本研究ではヒトミエローマを使用した解析を実施したが、この MT 依存的クロストークは、遺伝子発現パターンから消化管上皮細胞においても同様に機能的であると予想されるため、体内 Zn 及び Cu の恒常性維持に重要な役割を果たすと考えられる。

## O - 6

### ハマグリ (*Meretrix lusoria*) 含有スフィンゴホスホノ脂質の化学構造解析

内山萌子\*<sup>1)</sup>, 水戸部千聖<sup>1)</sup>, 上坂彩乃<sup>2)</sup>, 細見亮太<sup>2)</sup>, 福永健治<sup>2)</sup>, 杉本光輝<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 東洋大 食環境, <sup>2)</sup> 関西大 化学生命工)

【目的】 マガキ (*Crassostrea gigas*) やホタテガイ (*Patinopecten yessoensis*) などの二枚貝は、スフィンゴホスホノ脂質の一種であるセラミド 2-アミノエチルホスホン酸 (CAEP) を含有する。先行研究において、CAEP の摂取は血清および肝臓のコレステロール濃度低下作用を有することを報告しており、その効果は CAEP を構成する脂肪酸およびスフィンゴイド塩基 (LCB) の化学構造に依存すると推察される。本研究では、日本人の食生活に古くから根付いているハマグリ (*Meretrix lusoria*) に着目し、その生理機能解明の基礎的知見を得るため CAEP の化学構造解析を行った。

【実験方法】 市販のハマグリを試料とした。Bligh & Dyer 法で総脂質を抽出後、冷アセトン沈殿法で粗リン脂質を画分した。この画分をシリカゲル薄層クロマトグラフィー (クロロホルム / メタノール / 水 (60:30:5, v/v/v)) で展開後、リン脂質中の CAEP の比率を求めた。次に粗リン脂質画分をアルカリおよび酸加水分解によって粗スフィンゴ脂質画分を得たのち、Diethyl-(2-hydroxy-propyl)aminoethyl および Diethylaminoethyl を担体としたカラムクロマトグラフィーを行い、粗 CAEP 画分を得た。さらにクロロホルム / メタノール / 水系濃度勾配溶出法によるシリカゲルカラムクロマトグラフィーで CAEP を精製した。CAEP の脂肪酸および LCB 組成はガスクロマトグラフ (GC) および GC - 質量分析計、セラミド組成はマトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析計を用いて解析した。

【結果および考察】 定量分析の結果、リン脂質画分中の CAEP の比率は 33.2% であった。CAEP の脂肪酸組成は C14:0 (0.5%)、C15:0 (0.7%)、C16:0 (80.9%)、br-C17:0 (1.9%)、C17:0 (5.7%)、C18:0 (7.2%)、C19:0 (0.5%)、C20:0 (1.4%)、C22:0 (0.3%) であった。さらに LCB 組成は d16:0 (0.3%)、d16:1 (14.0%)、d17:0 (0.4%)、d17:1 (5.3%)、d17:2 (0.7%)、d18:0 (1.2%)、d18:1 (35.4%)、d18:2 (30.1%)、d19:1 (7.1%)、d20:0 (2.8%) であった。セラミド組成解析の結果、CAEP を構成するセラミドは 16 種検出された。ハマグリは他の二枚貝と比較して、脂肪酸は C16:0、LCB は d18:1 および d18:2 の構成比率が高いという特徴を示したが、検出された脂肪酸および LCB の種類は多岐にわたっていた。本研究により、ハマグリにおけるスフィンゴホスホノ脂質の化学構造を解明し、その生体調節機能解明のための基礎的知見を得ることができた。

## O-7

### 妊娠期における母体のビオチン栄養状態の変化

湯浅正洋<sup>\*1)</sup>, 澤村弘美<sup>2)</sup>, 渡邊敏明<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup> 神戸大学大学院人間発達環境学研究所, (<sup>2)</sup> 美作大学生生活科学部,  
<sup>3)</sup> 大阪青山大学健康科学部)

【目的】 ヒト妊婦は潜在性ビオチン欠乏状態である可能性が報告されている。妊娠期にはたんぱく質や体脂肪の蓄積等に伴ってエネルギー代謝が亢進するため、その関連酵素の補酵素であるビオチンの要求量が高まることで潜在性の欠乏症が生じていると推察されるが、その機序は明確でない。一方、マウス母体のビオチン欠乏は、胎仔に口蓋裂などの奇形を高確率で引き起こすことから、妊娠期における母体のビオチン栄養状態を明らかにし、ビオチン補給の必要性を議論する必要があると考えられる。本研究では、マウス母体のビオチン栄養状態から、妊娠期に潜在性ビオチン欠乏症が生じる可能性を明らかにした。

【方法】 ICR系雌性マウスを、①非妊娠対照群、②非妊娠ビオチン欠乏群、③妊娠対照群、④妊娠ビオチン欠乏群の4群に分けた。②④にはビオチン欠乏飼料を、①③にはビオチン欠乏飼料に5 mg/kg飼料のビオチンを添加した飼料を与えた。マウスは18日間個別飼育し、飼育期間中の摂餌量と体重を記録した。飼育終了後、母体の血漿・肝臓などを採取し、胎仔の口蓋裂発生頻度を確認した。各臓器のビオチン濃度はLactobacillus plantarum ATCC8014を用いた微生物学的定量法で、血漿生化学検査は富士ドライケム3500vで実施した。

【結果と考察】 妊娠は、10日目以降の母体体重と12日目以降の摂餌量を増加させ、母体の白色脂肪組織重量を低下させた。これらに対するビオチン欠乏の影響は小さかった。ビオチン欠乏は胎仔数と胎仔体重に影響しなかったが、④妊娠ビオチン欠乏群の胎仔で口蓋裂の頻度が増加し、既報の結果と一致した。母体の血漿・肝臓のビオチン濃度(総量、遊離型、結合型)はビオチン欠乏により低下した一方で、母体の血漿総ビオチン・肝臓総ビオチン・肝臓結合型ビオチンは妊娠により低下した。③妊娠対照群の母体肝臓ビオチン濃度(総量、遊離型、結合型)は、②非妊娠ビオチン欠乏群と同等で、妊娠が母体のビオチン栄養状態を低下させる可能性が示された。妊娠により摂餌量が増加する一方で、妊娠は母体血漿グルコース、総タンパク質、アルブミン濃度を低下させたことから、胎仔発育にエネルギー産生栄養素が利用されることで、アミノ酸異化代謝や糖新生が亢進したと予想される。今後は、妊娠による母体のエネルギー代謝変動とビオチン栄養状態の関連性を検討する必要があると考える。

## O-8

### 青みかん発酵茶摂取がマウスの運動能および代謝に与える影響

荒井 咲映<sup>\*1)</sup>, 大泉 凌<sup>1)</sup>, 李 秦<sup>1)</sup>, 柿崎 博美<sup>2)</sup>, 石原 健吾<sup>1,2)</sup>

(<sup>1)</sup> 龍谷大学食品栄養学科, (<sup>2)</sup> 龍谷大学発酵醸造食品機能性研究センター (龍大発酵 RC))

【目的】 柑橘類に含まれるポリフェノール類のうち、特にヘスペリジンは抗酸化作用など多様な生理作用が報告されている。未成熟果である青みかんは成熟果に比べてヘスペリジン含量が高く、新規素材として注目されているものの、その吸収性の低さが課題である。近年、発酵によりヘスペリジンが水溶性の高い形へと変換され、吸収性や機能性が向上することが示されている。青みかん発酵茶は、こうした発酵の利点を有する食品であるが、生体機能への影響については十分に明らかにされていない。そこで本研究では、青みかん発酵茶の摂取がマウスの運動能および代謝に与える影響を明らかにすることを目的とした。

【方法】 C57BL/6マウスを用い、青みかん発酵茶摂取群(ORN)と緑茶摂取群(CON)に分け、それぞれに安静群(Sed)と運動群(Ex)を設定した。両試料は濃縮後、一定量を毎日経口投与した。運動能はトレッドミルによる漸増負荷走行試験で評価し、最大走行時間・距離・速度を測定した。走行時および安静時には呼気ガス分析装置を用いてVO<sub>2</sub>とVCO<sub>2</sub>を測定し、得られた値から呼吸商(RQ)とエネルギー消費量を算出した。併せて体重および臓器重量を評価した。

【結果】 最大走行速度、走行時間、走行距離のいずれにおいてもORN群はCON群より高値を示し、特に走行距離では有意に増加した。体重および摂餌量には大きな差はみられなかったが、運動条件下ではORN群で副精巣周囲脂肪および肝臓重量が有意に減少した。

また、運動開始40分後以降においてEx ORN群のエネルギー消費量がEx CON群より低値で、RQは高値を示した。また、安静時代謝では暗期においてEx ORN群のエネルギー消費量が有意に増加した。これらの結果から、青みかん発酵茶の摂取は運動時および安静時のエネルギー代謝に影響を与えている可能性が示唆された。

【考察】 青みかん発酵茶の摂取により、持久運動能力を反映する走行距離が有意に増加し、走行時間も延長した。これらの変化は、発酵により吸収率が高まった成分、あるいは発酵過程で生成された生理活性物質がエネルギー代謝に作用した可能性が考えられる。また、ORN群に観察された運動時のエネルギー消費量の効率化や、暗期における代謝の亢進は、持久力向上に関する知見となり得る。今後は、骨格筋におけるミトコンドリア機能やエネルギー代謝関連経路について、qPCRやWBを用いて分子レベルのメカニズム解明を進める予定である。

# ポスターセッション

P - 1

## 褐色脂肪細胞におけるマトリックスメタロプロテアーゼ産生

岡本真太郎\*, 舟場正幸  
(京大院農・動物栄養)

【目的】 亜鉛は300種類以上の酵素の活性化に必要な微量栄養素である。マトリックスメタロプロテアーゼ (MMP) は活性中心に亜鉛を有する細胞外マトリックス分解酵素であり、組織リモデリングに関与する。しかし、MMP発現の組織間差については不明な点も多い。我々は、褐色脂肪組織においてMMP2/9が高発現していることを発見した。また、先行研究では創傷治癒部位における褐色脂肪細胞の集積とマクロファージの関連が報告されている。本研究では、褐色脂肪細胞におけるMMP2/9発現の生理的意義およびマクロファージとの相互作用について検討した。

【方法】 マウスの褐色・白色脂肪組織、肝臓、肺、腎臓、脊髄におけるMMP2/9遺伝子発現を調べた。細胞培養試験には褐色脂肪前駆細胞株HB2、マクロファージ細胞株RAW264.7を用いた。HB2はインスリンにより成熟脂肪細胞へ分化させた。RAW264.7はLPSで刺激し、必要に応じて成熟HB2の条件培地で処理した。遺伝子発現はRT-qPCR、MMP2/9酵素活性はゼラチンザイモグラフィにより評価した。

【結果と考察】 マウスの6組織におけるMMP2/9遺伝子発現を比較したところ、褐色脂肪組織で高い発現が見られた。さらに、ゼラチンザイモグラフィにより成熟HB2で高いMMP2/9活性が確認された。この活性はHB2の分化過程に依存せず、前駆細胞段階から見られた。RAW264.7ではMMP2活性は認められなかった上に、MMP9活性はHB2に比べて低く、成熟HB2由来の因子がRAW264.7におけるMMP活性に及ぼす影響は明確ではなかった。RAW264.7におけるMMP9発現はLPS刺激により増加し、成熟HB2の条件培地処理により抑制された。同様の傾向はRAW264.7における炎症性サイトカインIL-6発現においても認められ、マクロファージが炎症抑制型へシフト(M2化)している可能性が考えられた。褐色脂肪細胞領域の拡大の際には、組織リモデリングが必要となる。このとき、褐色脂肪前駆細胞はMMPを産生することで、マクロファージの浸潤を誘導し、浸潤したマクロファージがM2化されることにより褐色脂肪前駆細胞の分化を促進する可能性がある。つまり、褐色脂肪前駆細胞のMMP産生が起点となる褐色脂肪細胞—マクロファージ連関が考えられる。

P - 2

## 餌料中マンガン濃度の相違がラットの鉄・マンガン・亜鉛の臓器蓄積に及ぼす影響

畑中源喜\*, 細見亮太, 福永健治, 吉田宗弘  
(関西大学 化学生命工学部)

【目的】 必須微量元素の一つであるマンガン (Mn) は、二価金属輸送トランスポーター (DMT1)、Zrt-, Irt-like protein (ZIP) 8 や ZIP14 といった亜鉛輸送トランスポーターを介して体内に吸収される。これらは鉄 (Fe) や亜鉛 (Zn) といった二価金属イオンと吸収経路を共有している。これまでに、Fe 摂取量の減少により Mn 蓄積量が増加することは報告されているが (*Trace Nutrients Research*, 2017)、Mn 摂取量の増減による Fe および Zn との相互作用については十分に明らかになっていない。本研究では、低濃度 (1 ppm)、通常濃度 (10 ppm) および高濃度 (40 および 80 ppm) の Mn 含有餌料をそれぞれラットに給餌し、Fe・Mn・Zn の臓器蓄積量、小腸粘膜・肝臓および腎臓の Mn 輸送関連トランスポーターの遺伝子発現量を評価した。

【実験方法】 実験動物は4週齢のWistar系雄性ラットを用い、1群8匹とした。低Mn (LM) 餌料 (Mn 1 ppm)、対照 (C) 餌料 (Mn 10 ppm)、中程度高Mn (MHM) 餌料 (Mn 40 ppm)、高Mn (HM) 餌料 (Mn 80 ppm) をそれぞれ給餌した。水および餌料は自由摂取とした。飼育4週間後、常法により採血後、肝臓、腎臓、脾臓、空腸、回腸、盲腸、大腸および空腸粘膜を採取した。採取した臓器は湿式灰化を行い0.1 M硝酸で定容し、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)でFeおよびMn濃度を、原子吸光度計でZn濃度を測定した。さらに肝臓、腎臓および空腸粘膜からRNAを採取し、cDNAを合成後、リアルタイムPCR法によりMn輸送関連トランスポーター遺伝子の発現解析を行った。

【結果および考察】 C群と比較してLM群では、臓器中Mn濃度が肝臓、腎臓、脾臓、空腸・空腸粘膜で有意に減少し、腎臓でFe濃度が増加およびZn濃度が増加傾向にあった。また、肝臓・腎臓・空腸粘膜のMn輸送関連トランスポーター遺伝子の発現量に有意差はなかった。

MHM群およびHM群ではC群と比較して、腎臓、空腸、空腸粘膜、回腸、盲腸、大腸のMn濃度が有意に増加した。空腸粘膜でFe濃度が減少し、Zn濃度は有意な変化はなかった。空腸粘膜の*Dmt 1*遺伝子の発現量が減少し、*Znt10*遺伝子の発現量が増加していた。肝臓および脾臓ではMn濃度が増加しておらず、腎臓の増加量も腸に比べてわずかであったことから、Mnの体内への吸収自体が抑えられている可能性がある。

また、LM群の腎臓においてFe、Zn濃度が増加し、HM群の空腸粘膜においてFe濃度が減少しており、Mnの臓器中濃度の増減がFeおよびZn蓄積量に影響を与えるミネラル間相互作用の存在が示唆された。

## P - 3

### マウスの坐骨神経切断による廃用性筋萎縮に対するカキ肉エキスの予防効果

東畠凜\*<sup>1)</sup>, 小川泰輝<sup>1)</sup>, 石田達也<sup>2)</sup>, 吉田宗弘<sup>1)</sup>, 細見亮太<sup>1)</sup>, 福永健治<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 関西大 化学生命工, <sup>2)</sup> 日本クリニック (株))

【目的】 骨格筋量および筋機能の維持は、加齢や不活動に伴うサルコペニアや筋萎縮の予防において重要な課題であり、近年、食品由来成分による筋機能維持への関心が高まっている。カキ (*Crassostrea gigas*) は、タウリン、グリコーゲン、亜鉛、各種アミノ酸およびペプチドを豊富に含む栄養価の高い食品である。これまでに、カキ由来加水分解物はデキサメタゾン誘導性筋萎縮モデルや不動化モデルマウスにおいて筋線維横断面積の低下を抑制し、筋重量および握力を改善することが報告されている (*Nutrients*, 2021)。しかしながら、カキに含まれる成分を抽出・濃縮したカキ肉エキス (OE) が廃用性筋萎縮に及ぼす影響については十分に検討されていない。そこで本研究では、坐骨神経切断により惹起した廃用性筋萎縮モデルマウスを用い、OE 摂取の筋萎縮予防効果を検討した。

【実験方法】 6 週齢雄性 C57BL/6J マウスを用い、対照群 (Sham 群)、除神経群 (Den 群)、除神経 OE 群 (Den-OE 群) の 3 群 (各群 n = 12) に分けた。Sham 群および Den 群には AIN-93G 飼料を、Den-OE 群には OE を 2% (w/w) 添加した AIN-93G 飼料を自由摂取させた。28 日間飼育後、麻酔下で Den 群および Den-OE 群の右後肢坐骨神経を切断した。7 日間飼育後、常法に従い、採血および後肢骨格筋の摘出を行った。除神経側 (右後肢) のヒフク筋についてヘマトキシリン・エオジン染色を施し、筋線維横断面積を測定した。

【結果および考察】 飼育期間中のマウスの餌料摂取量および体重増加量に、群間で有意差は認められなかった。右後肢骨格筋重量は Sham 群と比較して Den 群で有意に減少し、本モデルにおいて廃用性筋萎縮が適切に誘導されたことが確認された。右後肢ヒフク筋重量は Den 群と比較して Den-OE 群で有意に高値を示した。また、右後肢ヒフク筋の筋線維横断面積も Den 群と比較して Den-OE 群で有意に増加していた。一方、除神経を行っていない左後肢骨格筋重量には群間差は認められなかった。

以上の結果より、除神経マウスにおける OE の摂取は、主要な後肢骨格筋であるヒフク筋の筋重量および筋線維横断面積の減少を緩和することが示された。これらのことから、OE の摂取は廃用性筋萎縮に対して予防的効果を有することが示唆された。

## P - 4

### 餌料中の銅濃度の相違がラットの臓器ミネラル濃度に及ぼす影響

杉藤詞野\*, 畑中源喜, 細見亮太, 福永健治, 吉田宗弘  
(関西大 化学生命工)

【目的】 銅 (Cu) は、酸化還元反応や鉄 (Fe) 代謝に関与する必須微量ミネラルである。Cu、亜鉛 (Zn)、Fe の間には生体内で相互作用が存在することが知られている。例えば Zn 摂取量の増加による腸管上皮細胞内メタロチオネインの誘導に伴う Cu 吸収の抑制 (*J Nutr*, 1967) や、Cu 欠乏による Fe 輸送障害などが報告されている (*J Clin Invest*, 1970)。しかしながら、Cu とその他のミネラルとの相互作用については不明な点が多い。そこで本研究では、Cu と相互作用する可能性のあるミネラルを探索することを目的として、Cu 含量の異なる餌料をラットに投与し、各臓器中のミネラル濃度を誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) による多元素同時分析により定量した。

【実験方法】 AIN93G に準拠した Cu (炭酸銅由来) 濃度の異なる 3 種類の餌料 (低 Cu 群: 0.5 ppm, 対照群: 6 ppm, 高 Cu 群: 20 ppm) を調製した。3 週齢 Wistar 系雄ラットに実験餌料を自由摂食条件下で 4 週間飼育した。飼育終了後、常法に従って解剖を行い、採血および各臓器を採取した。末梢血一般検査および血清生化学検査を実施した。各臓器中ミネラル濃度を ICP-MS による多元素同時分析により定量した。

【実験結果および考察】 餌料中の Cu 濃度は摂食量、給水量、体重増加量に影響を与えなかった。さらに臓器 (肝臓、脳、回腸、大腸、腎臓、副腎、精巣、精巣上体白色脂肪組織、ヒラメ筋、腓腹筋、大腿骨) 重量にも影響を与えなかった。低 Cu 群では対照群と比較して、肝臓、十二指腸、空腸、腎臓で Cu 濃度が有意に低値を示した。とくに肝臓 Cu 濃度において、低 Cu 群は対照群の 19.3% であった。既報で Cu と相互作用が存在するとされている Fe および Zn については、一部臓器中濃度、血中鉄関連項目において低 Cu 群と対照群で有意差が認められ、Cu 摂取量の変化が他のミネラル代謝に影響を及ぼす可能性が示唆された。さらに、低 Cu 群では肝臓でモリブデン (Mo)、腎臓でセレン (Se) 濃度が低下し、空腸ではカルシウム (Ca) 濃度が上昇した。一方、高 Cu 群では、空腸で Se 濃度が上昇し、マグネシウム (Mg) 濃度は低下した。以上より、Cu 摂取量の違いによって Ca、Mg、Se、Mo の臓器蓄積量を変化させたことから、Cu は Fe および Zn のみならず、これらのミネラル代謝にも影響を及ぼすことが示唆された。

## P - 5

### 鉄代謝調節因子であるヘプシジン遺伝子のエピジェネティック修飾による発現制御

安田あかり<sup>\*1)</sup>, 林滉平<sup>2)</sup>, 迫田翔太郎<sup>2)</sup>, 村上賢<sup>2)</sup>, 金森耀平<sup>1,3)</sup>, 下河史枝<sup>2)</sup>, 舟場正幸<sup>1)</sup>  
(<sup>1)</sup> 京大院農, <sup>2)</sup> 麻布大獣医, <sup>3)</sup> 熊本大院生命科学)

【目的】ヘプシジンは肝臓で合成される鉄吸収を抑制するホルモンである。鉄過剰時の BMP 発現増加に伴いリン酸化された Smad1/5/9 (pSmad1/5/9) は、ヘプシジンプロモーター上の BMP 応答領域 (BMP-RE) 1 および BMP-RE2 に結合し、ヘプシジン転写を促進する。近年では、グローバルな DNA メチル化やヒストン修飾によるヘプシジン遺伝子発現変化も報告されているが、詳細な作用機序は明らかではない。本研究は、ヘプシジン遺伝子プロモーター上のエピジェネティック変化を介した発現調節メカニズムを検討した。

【方法】マウス組織ならびにラット初代肝細胞、ラット肝細胞株 RLN-10、マウス肝細胞株 Hepa1-6、ヒト肝細胞株 HepG2、Huh-7、Li-7 を用いた。遺伝子発現量を RT-qPCR、タンパク質量をウェスタンブロット、pSmad1/5/9 のプロモーターへの結合度を ChIP-qPCR、クロマチン状態を FAIRE-qPCR、ヘプシジンプロモーター中の CpG メチル化状態をバイサルファイトシーケンシングにより評価した。また、ヘプシジンプロモーターの CpG をメチル化したレポーターを複製し、ルシフェラーゼレポーターアッセイにより転写活性を評価した。

【結果と考察】初代肝細胞と比較して全ての肝細胞株で、ヘプシジンの基礎発現量は顕著に低く、HepG2 では BMP で刺激しても pSmad1/5/9 の BMP-RE への結合増加は認められなかった。しかしながら、pSmad1/5/9 タンパク質量は肝細胞株で豊富であったことから、pSmad1/5/9 の BMP-RE への結合を阻害する機構が想定された。BMP-RE 周辺の CpG メチル化の程度は肝組織では低かったが、Hepa1-6 では BMP-RE1、2 の両方、HepG2 では BMP-RE2 の周辺領域で高メチル化状態であった。また、レポーターアッセイにより BMP-RE 中の CpG メチル化は基礎転写活性および BMP 応答性を減弱した。以上の結果は、BMP-RE 周辺の DNA 高メチル化が肝細胞株におけるヘプシジン発現低下の一因であると示唆する。さらに、初代肝細胞では BMP-RE のクロマチンは開放的であったが、HepG2 では閉鎖的であった。つまり、鉄代謝調節因子ヘプシジン遺伝子はプロモーター上の主要な転写調節領域である BMP-RE のエピジェネティック修飾により発現制御される。

## P - 6

### *Hansschlegelia* 属細菌におけるメタンスルフィン酸資化とその関連酵素の解析

小川 瞳子\*, 越智 杏奈, 田中 麻衣, 井上 真男, 村本 涼, 安原 理乃, 青野 陸, 三原 久明  
(立命大・生命科学部)

【背景・目的】硫黄は生物にとって必須の栄養素であり、その地球規模での循環は微生物の代謝に大きく依存している。海洋微生物の代謝により生成されるジメチルスルフィド (DMS) は、大気中へ放出され、酸化されて硫酸やメタンスルホン酸 (MSA) などの化合物となり、雲凝結核の形成に関与することが知られている。メタンスルフィン酸 (MSIA) は、DMS の酸化過程において生成する中間体であり、硫酸や MSA の生成にも関与すると考えられている。これまでに MSA を炭素源および硫黄源として利用する細菌およびその代謝経路については複数の報告がある。一方、MSIA については硫黄同化経路における酸化酵素の報告はあるものの、MSIA を炭素源として利用する代謝経路や関連酵素については未だ明らかになっていない。本研究では、MSIA を炭素源として利用可能な細菌の探索と、関連代謝経路の解明を目的とした。

【方法・結果・考察】MSIA を単一炭素源とする最小培地 (M8 培地) を用い、立命館大学 BKC 構内で採取した土壌サンプルを培養した。13 日目に生育が見られたため、培養液を MSIA 含有 M8 寒天培地に塗布し単離を行った結果、MSIA を資化して生育する細菌株 f3.4 を取得した。本菌株は、MSIA、MSA および MA を炭素源として生育可能であったが、グルコースは資化できなかった。全ゲノム解析の結果、本菌株は *Hansschlegelia* 属の新種であることが示唆された。

MSIA と特異的に反応するジアゾニウム塩である Fast Blue BB を用いた比色法により MSIA の定量系を構築した。f3.4 株を 10 mM MSIA を単一炭素源とした条件下、30°C で培養し、培養上清中の MSIA 濃度を測定した。その結果、14 日後には MSIA は検出限界 (10 μM) 以下まで減少しており、本菌による MSIA の消費が示された。

さらに、本菌を MSIA または MSA 存在下で培養したところ、約 35 kDa のタンパク質の特異的な発現が見られた。PMF 解析の結果、本タンパク質は amidohydrolase ファミリーに属する酵素 (Hf16410) であることが示唆された。そこで、Hf16410 が MSIA 資化に関与する可能性を考え、機能解析に向け、リコンビナント発現系を構築した。現在、精製酵素の活性評価を進めている。

## P - 7

### UVB 誘導性皮膚線維芽細胞障害に対する各種カテキンの保護効果

佐久間渉<sup>\*1)</sup>, 嶋田萌花<sup>1)</sup>, 下田実可子<sup>1)</sup>, 麻生賢太<sup>2)</sup>, 杉本明夫<sup>2)</sup>, 田形千佳<sup>2)</sup>, 川原正博<sup>1,3)</sup>, 田中健一郎<sup>1,3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 武蔵野大学薬学部, <sup>2)</sup> 株式会社伊藤園, <sup>3)</sup> 武蔵野大学薬学研究所)

【目的】紫外線 (UVB) の曝露は、真皮に存在する皮膚線維芽細胞に酸化ストレスを与え、光老化を進行させる主要な要因である。細胞が UVB に曝露されると、活性酸素 (ROS) が過剰に産生され、これがシグナル伝達系を介して、細胞外マトリックスの主成分であるコラーゲンの合成低下や分解を誘発する。緑茶に含まれるカテキン類 (EC, ECg, EGC, EGCg) は強力な抗酸化作用を有することが知られているが、これら 4 種のカテキンが UVB 曝露下における ROS 産生およびコラーゲン代謝に与える影響については、詳細な解析がなされていない。そこで本研究では、NIH/3T3 細胞を用いて、UVB 依存の皮膚線維芽細胞障害に対する各種カテキンの保護効果を解析した。

【方法】 NIH/3T3 細胞は、非働化 FBS 10% を含有した DMEM-low glucose 培地で培養した。UVB 照射には、Vilber Bio Imaging 社の UV ランプを用いた。NIH/3T3 細胞の生存率は CellTiter-Glo 2.0 Assay (Promega)、細胞内 ROS 産生は H<sub>2</sub>DCFDA を用いて測定した。また、ISOGEN を用いて全 RNA を抽出し、ReverTra Ace® qPCR RT Master Mix を用いて cDNA を合成した。その後、KAPA SYBR Fast qPCR キットを用いてリアルタイム RT-PCR を行い、コラーゲン等の遺伝子発現を解析した。

【結果】 NIH/3T3 細胞に対し UVB を照射したところ、細胞内において顕著な ROS の産生が確認された。この UVB 依存的な ROS の増加に対し、検討した 4 種すべてのカテキン (EC, ECg, EGC, EGCg) を前処置した結果、いずれのカテキンにおいても ROS 産生を有意に抑制する高い抗酸化能が認められた。一方で、UVB 照射によって NIH/3T3 細胞のコラーゲン等の発現量は著しく低下したが、EGCg (エピガロカテキンガレート) はこの低下を顕著に回復させ、細胞のコラーゲン産生能を維持する効果を示した。本研究の条件下において、EGCg は酸化ストレスの軽減とマトリックス維持の両面で機能することが判明した。なお、現時点では EGCg 以外の 3 種 (EC, ECg, EGC) についてはコラーゲン発現への影響を検討しておらず、これらは今後の重要な課題である。

【考察】 本研究により、4 種すべてのカテキンが共通して UVB 誘導性の ROS 抑制能を持つ一方、コラーゲン発現の回復においては EGCg が優れた有効性を示すことが示唆された。今後は未検証である他のカテキン類についても解析を進めたいと考えている。

## P - 8

### PM<sub>2.5</sub> に起因する皮膚角化細胞障害に対する緑茶成分の有効性解析

水戸瞳<sup>\*1)</sup>, 下田実可子<sup>1)</sup>, 麻生賢太<sup>2)</sup>, 杉本明夫<sup>2)</sup>, 田形千佳<sup>2)</sup>, 川原正博<sup>1,3)</sup>, 田中健一郎<sup>1,3)</sup>  
(<sup>1)</sup> 武蔵野大学薬学部, <sup>2)</sup> 株式会社伊藤園, <sup>3)</sup> 武蔵野大学薬学研究所)

【目的】微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) などの大気汚染物質が呼吸器や循環器に与える影響は詳細に解析されているが、皮膚に対する PM<sub>2.5</sub> の影響はほとんど解析されていなかった。最近の研究から、PM<sub>2.5</sub> は皮膚のバリア機能を破壊し、活性酸素種 (ROS) の過剰産生を介して、細胞死や炎症反応を引き起こす可能性が指摘されている。一方、緑茶に含まれるカテキン、テアニン、サポニンなどの成分は、抗酸化作用などの種々の生体保護作用を有する事が明らかになっているが、大気汚染物質による皮膚角化細胞障害に対する有効性は明らかとなっていない。そこで、本研究では、ヒト表皮角化細胞株 (HaCaT 細胞) を用いて、PM<sub>2.5</sub> が皮膚に与える影響を評価する系の確立を試みた。また、皮膚傷害予防のためのカテキン類 (EC, ECg, EGC, EGCg) の抗酸化作用、および抗炎症作用を解析した。

【方法】 HaCaT 細胞は、10% 非働化 FBS を含有した DMEM-high glucose 培地で培養した。PM<sub>2.5</sub> (都市大気粉塵) は国立環境研究所から購入した。HaCaT 細胞の生存率は CellTiter-Glo 2.0 Assay (Promega)、細胞内 ROS 産生は H<sub>2</sub>DCFDA を用いて測定した。ISOGEN および ReverTra Ace® qPCR RT Master Mix を用いて、抽出した RNA から cDNA を合成した。KAPA SYBR Fast qPCR キットを用いて、リアルタイム RT-PCR を行い、炎症関連因子の遺伝子発現を解析した。

【結果】 HaCaT 細胞に PM<sub>2.5</sub> を処置すると、24 時間後の細胞生存率の低下、および 1 時間後・24 時間後の細胞内 ROS 産生が、PM<sub>2.5</sub> の用量依存的に認められた。また、HaCaT 細胞への PM<sub>2.5</sub> 処置により、tumor necrosis factor (TNF) -  $\alpha$  や interleukin (IL)-6 などの炎症関連因子の発現が亢進することを確認した。一方、4 種類のカテキン (EC, ECg, EGC, EGCg) は、細胞毒性を示すことなく、PM<sub>2.5</sub> 依存の細胞内 ROS 産生増加を顕著に抑制することを見出した。また、緑茶に最も多く含まれるカテキンである EGCg が、PM<sub>2.5</sub> 依存の炎症関連因子の発現増加を有意に抑制することを見出した。

【考察】 以上の結果から、主要な緑茶成分であるカテキン類 (特に、EGCg) は、抗酸化作用を介して、PM<sub>2.5</sub> に起因する皮膚角化細胞障害を抑制することが示唆された。今後は、PM<sub>2.5</sub> 誘発性の炎症反応に対する他のカテキン (EC, ECg, EGC) の予防効果や細胞老化に着目した解析を実施したいと考えている。

## 珈琲豆の産地および焙煎度がナイアシン含有量に及ぼす影響

水谷悠太郎<sup>\*1)</sup>, 曾根英行<sup>1)</sup>, 神山伸<sup>1)</sup>, 小林和也<sup>2)</sup>  
 (1) 新潟県立大学・健康栄養, 2) 新潟食品研究センター)

【背景】近年、珈琲豆には、価格高騰に伴い嗜好品としての価値に加え、健康増進に寄与し得る新たな機能性の付加が求められている。本研究では、珈琲豆に含有し、エネルギー代謝において重要な役割を持つナイアシンに着目した。ナイアシンは焙煎工程におけるトリゴネリンの熱分解によって生成される。しかし、珈琲豆の産地や精製方法、焙煎度合いの影響を定量的に解析した知見は乏しい。そこで、主要4産地の生豆成分プロファイルを評価した上で、焙煎度合いに伴うナイアシン含有量の変化を詳細に検討し、最適な珈琲豆の選定と焙煎条件を明らかにすることを目的とした。

【方法】試料には主要4産地5種の生豆(エチオピア・ナチュラル、エチオピア・ウォッシュド、グアテマラ、コロンビア、ブラジル)を用い、グラインダーにて粉碎後、その1gに蒸留水10mlを加え、室温にて10分間攪拌抽出した。得られた抽出液を遠心分離後、0.2μmフィルターにてろ過し、分析用試料とした。成分分析はLC/UVを使用し、ナイアシンおよびトリゴネリンを定量した。焙煎度合いの影響の実験では、ナイアシンおよびトリゴネリンを安定的に含有している産地を選定し、大学内の熱風恒温槽を使用して、浅煎り、中煎り、深煎りの3段階で焙煎を行い、成分変化を解析した。

【結果・考察】生豆分析の結果、ナイアシン含有量はエチオピア・ナチュラルが他種の約1/3と有意に低値であった。一方、コロンビアおよびエチオピア・ウォッシュドでは、約1.5倍と有意に高値を示した。対照的に、トリゴネリン含有量はブラジルが最も高値を示し、コロンビア、エチオピア・ウォッシュドは他種と比較して低値であった。これらの結果から、ナイアシンおよびトリゴネリンを安定的に含有しているコロンビアを試料として選定し、焙煎実験を行った。その結果、ナイアシン含有量は深煎りで最大値を示し、焙煎の進行に伴い増加することが明らかにされた。

以上の結果から、機能性珈琲の原料として、コロンビア産の生豆が最も適しており、焙煎度合いについては、深煎りが最適と示唆された。

## 女子大生と妊婦(妊娠中期)における栄養素摂取量とアディポネクチンの関連

林直哉<sup>\*1)</sup>, 亀田隆<sup>2)</sup>, 溝畑秀隆<sup>3)</sup>  
 (1) 大阪樟蔭女子大学, 2) はしもと産婦人科, 3) 神戸松蔭女子学院大学)

【目的】アディポネクチンは脂肪組織から分泌されるアディポサイトカインの1つであり、肥満により分泌が低下する。アディポネクチンの低下はインスリン抵抗性を増大させ、動脈硬化や高血圧の発症に関与する。妊娠期にはアディポネクチンが低下し、胎児発育や分娩・授乳に必要なエネルギー蓄積を助け、脂肪組織の増加による妊娠高血圧症候群や妊娠糖尿病のリスク上昇が報告されている。本研究では、女子大生と妊婦(妊娠中期)における栄養摂取量と血清アディポネクチン値の関連を検討することを目的とした。

【方法】2022年6月8日～8月24日に、女子大生30名と妊婦(妊娠中期)24名、計52名を対象とした。栄養素摂取量は食物摂取頻度調査票(FFQ NEXT)を用いた自己記入方式で調査した。血清アディポネクチン濃度はラテックス免疫比濁法によりメディック(株)で測定した。統計解析は統計解析ソフトIBM SPSS Statistics28を使用し、t検定、Spearmanの順位相関係数、回帰分析を行った。両側検定で危険率5%未満を統計学的有意とした。本研究は神戸松蔭女子学院大学倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号2022松蔭研倫-001)。

【結果】女子大生と妊婦(妊娠中期)の間で、エネルギー、たんぱく質、脂質、炭水化物の摂取量に有意差は認められなかった。BMI(女子大生 $21.0 \pm 2.6$  kg/m<sup>2</sup>、妊婦 $22.1 \pm 2.0$  kg/m<sup>2</sup>)および血清アディポネクチン値(女子大生 $9.5 \pm 3.5$  μg/mL、妊婦 $11.3 \pm 5.1$  μg/mL)にも

差は見られなかった。女子大生ではBMIと血清アディポネクチン値の間に有意な負の相関が見られた( $r = -0.622$ ,  $p < 0.001$ ,  $y = 28.091 + 1.556x$ ,  $R^2 = 0.411$ )。一方、妊婦(妊娠中期)ではBMIと血清アディポネクチン値の間には相関は見られなかった。

【考察】女子大生と妊婦(妊娠中期)の栄養素摂取量には差はみられなかった。女子大生ではBMIの上昇に伴い血清アディポネクチン値が低下し、メタボリックシンドロームのリスクの増大につながる可能性が示唆された。このことから、女子大生に対する適正体重の維持を目的とした栄養指導の重要性が示された。一方、妊婦(妊娠中期)ではBMIと血清アディポネクチン値の関連が認められず、妊娠による体重増加が血清アディポネクチン値低下と必ずしも結びつかない可能性が示唆された。今後は妊娠前のBMIや体組成との関連について、さらに検討する必要がある。

## P - 11

### ニコチン酸補給によるアセトアミノフェン(パラセタモール)酵母毒性改善効果について

根来宗孝\*<sup>1)</sup>, 森本雅子<sup>1)</sup>, 鈴木健太<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> 大阪青山大学, (<sup>2)</sup> 川西リハビリテーション病院)

【目的】近年ヒトや動物の腸内細菌叢に存在する酵母に関する知見が蓄積されつつある。また、最も広く使用されている鎮痛剤の一つであるアセトアミノフェン(AAP、パラセタモール)は、過剰摂取や特定の病態において毒性を示すが、その毒性発現のメカニズムは、特に酵母において未だ完全には解明されていない。投与されたAAPが腸管を通過して血流に入る前に腸内細菌叢に影響を及ぼすことは容易に想像できる。そのため、酵母を用いたAAPの毒性を解明する取り組みもこれまでに活発に行われており、薬剤トランスポーター、ユビキチンおよびアミノ酸トランスポーターなどがその標的として候補に挙げられてきた。そこで我々は、AAP-セファロース樹脂を調製し、酵母由来のAAP親和性タンパク質を探索し、ニコチン酸(NA)添加が酵母におけるAAP毒性に与える影響について検討したので報告する。

【実験方法】やまぐち・桜酵母(山口県産業技術センター所有株)(出芽酵母:*Saccharomyces cerevisiae*)をモデル細胞として供試し、増殖度の測定は、マイクロプレートリーダーを用いて、600nmの吸光度を測定した。0~60 mM AAPを含むY-1培地を37°Cで維持し経時的に吸光度を記録した。AAPの細胞周期に与える影響は、常法によりフローサイトメトリー(FACS)で解析した。添付マニュアルに準じてEpoxy-activated sepharose 6BにAAPをカップリングし、1mLのベッド容積のカラム(AAP-sepharose)を作製した。培養した酵母から蛋白質を抽出し、AAP-sepharose アフィニティークロマトグラフィーを実施した後、AAP親和性蛋白質を得た。得られた蛋白質を断片化し、質量分析計を用いて計測後、PMF法による蛋白質を同定した。AAP添加培地にNAを補給することによる酵母増殖能に与える影響について確認した。

【結果と考察】AAPの濃度依存的酵母増殖抑制効果および細胞周期に与える影響を確認した。AAP-sepharose 結合蛋白質としてNicotinamidaseが同定された。AAP添加培地にNAを加えて酵母の培養を行った結果、増殖改善効果を認めた。従って薬剤トランスポーター、ユビキチンおよびアミノ酸トランスポーター以外にも、NicotinamidaseがAAP毒性発現に関与している可能性が示唆された。今後の臨床研究および栄養学研究において、AAP投与した腸内細菌叢に存在する*S. cerevisiae*に対するNA補給の影響を調査することは重要であると考えられる。

## P - 12

### 無機元素分析によるクロマグロの天然と養殖および養殖魚の産地の判別

吉田香\*, 廣谷志奈子, 西野友菜, 筋篁もえ, 梅原侑理沙

(同志社女子大学生生活科学部)

【目的】食品表示法に基づき、水産物には国産品であれば水域名や地域名、輸入品であれば原産国名の表示が義務付けられている。また、養殖品については「養殖」の記載が必要である。しかし、水産物は天然・養殖の別や産地により市場価格に大きな差が生じるため、不当な利益を目的とした偽装表示が懸念されている。偽装表示は消費者の信頼を損なうだけでなく、公正な流通・価格形成を阻害するため、客観的な検証手法の確立が求められている。無機元素分析を用いた産地判別の報告はあるが、天然と養殖の判別に本手法を用いた例は少ない。しかし、天然と養殖では生育環境や餌の組成が大きく異なるため、無機元素組成に差が生じる可能性が高い。そこで本研究では、日本産クロマグロの「天然と養殖」の判別および養殖クロマグロにおける「地中海産と日本産」の産地判別が、無機元素分析により可能か検討した。

【方法】試料としてクロマグロ(刺身、刺身用切身)の日本産天然10検体、日本産養殖20検体(東シナ海側10、太平洋側10)、地中海産養殖10検体(マルタ8、スペイン2)を市場より購入した。食品衛生検査指針・理化学編に準じ、試料中の無機元素(Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu)濃度を原子吸光度法で測定した。天然・養殖間および産地間で統計的に有意差が認められた元素を中心に散布図を作成し、その結果より元素の組合せを選択、線形判別式を構築した。判別精度の検証には一つ取って置き法(Leave-one-out法)を用い、判別率を算出した。

【結果および考察】日本産における天然と養殖の比較では、MnおよびFeに有意差が認められ、これは養殖における配合飼料等の影響によるものと考えられた。これらの元素を中心に他元素と組み合わせる線形判別式を構築した結果、天然・養殖の判別率はFeとCaの組合せで82.7%であった。一方、養殖のみを対象とした判別では、FeとCa、FeとMg、FeとZnのいずれの組合せにおいても100%の判別率が得られた。また、養殖クロマグロの地中海産と日本産の産地判別では、MgとCaまたはMg・Ca・Mnの組合せにより93.3%の判別率が得られ、日本産の判別では100%であった。以上より、無機元素分析により、日本産クロマグロの天然・養殖の判別および養殖クロマグロの地中海産と日本産の産地判別が高い精度で可能であることが示された。

## P - 13

### わが国の伝統的な「だし」から持続可能な「プラントベースだし」についての一考察

前川隆嗣\*<sup>1)</sup>, 香西彩加<sup>1)</sup>, 湯浅正洋<sup>2)</sup>, 榎原周平<sup>3)</sup>, 渡邊敏明<sup>1,3,4)</sup>

(<sup>1)</sup> マエカワテイスト(株) 前川 TSH 研究所、<sup>2)</sup> 神戸大学大学院、

<sup>3)</sup> 大阪青山大学健康科学部、<sup>4)</sup> 兵庫県立大学環境人間学部)

【目的】「だし」とは、動植物由来の原料から水または熱水によって抽出された呈味成分を主体とする液体またはその加工物である、と定義できる。だし・エキスは原料、製法、機能、品質・規格で分類できる。原料でみると、かつお節、こんぶ、煮干し、椎茸などの原料から抽出された「植物だし」、「動物だし」、「合わせだし」がある。製法でみると、「天然だし」と「加工だし」に分けることができる。また機能で分けると、「有機だし」と「機能性だし」がある。現在演者らが開発している「プラントベースだし」は持続可能な機能性だしと言える。本研究では、このような日本の食文化を支えてきた「だし」について、歴史的背景と科学的特徴を整理する。さらに、近年注目されているプラントベース食品の広がりを踏まえ、植物原料のみで構成されるプラントベースだしの特徴とその可能性について検討した。

【方法】だしをろ過した後、試料をプレカラム誘導体化し、HPLCにより遊離アミノ酸を分析しアミノ酸パターンの違いを比較検討した。また文献検索には、医中誌およびPubMedを主要なデータベースとして使用した。

【結果】天然だしは、自然原料を水や湯で煮出して作る液体だしである。加工だしは、だしの風味を再現するために加工・調味されたものであり、うま味調味料や酵母エキスなどを含むことが多い。近年、海洋汚染や水産資源の減少に対する持続可能性の観点から、植物原料のみで構成される「プラントベースだし」への関心が高まっている。プラントベースだしの科学的特徴としては、基本的にはグルタミン酸とグアニル酸の相乗効果がうま味の増強に寄与している。プラントベースだしは昆布、椎茸、野菜などの乾物を中心とする植物だしであり、精進だしと分類できる「伝統的なだし」の現代的再現とも位置づけられる。

【考察】プラントベースだしと精進だしの共通点としては動物原料を使用せず、味の強さや香りが類似している。さらに、これらのだしは環境負荷の低減に加え、ヴィーガン・ベジタリアン対応、ハラール・コーシャなど宗教的配慮、高齢者や子どもに適したまろやかねうま味など、多様な社会的ニーズにも応える可能性を有している。以上より、だしは日本の食文化の核として継承されつつ、「プラントベースだし」の普及は持続可能なだし文化の多様化と未来への発展に寄与するものと示唆される。

## P - 14

### 運動時の糖質・ミネラル補給が心理的状態と味覚感受性の変化に及ぼす影響

内田由佳\*<sup>1)</sup>, 青木果琳<sup>1)</sup>, 増田尚<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> 小田原短期大学食物栄養学科、<sup>2)</sup> 愛知学泉大学家政学部)

【緒言】運動中の発汗による水分および電解質の喪失は、骨格筋の機能低下のみならず、中枢神経系を介して心理状態や感覚機能に影響を及ぼす可能性がある。先行研究では運動後の塩味感受性の亢進が報告されているが、運動中に摂取する飲料の糖質やミネラルが心理状態と味覚感受性の変化に及ぼす影響については未解明な点が多い。

本研究では、運動中の糖質・ミネラルを含む水分補給の有無が、運動前後での気分状態と味覚感受性の変化に及ぼす影響を検討することを目的とした。

【方法】対象は高校生ソフトテニス部員14名とした。調査は2日間行い、調査1日目を水摂取条件(W条件)、2日目をスポーツドリンク摂取条件(S条件)とした。日常のトレーニングの取り組む運動中は飲料を自由摂取させた。運動前後に、気分プロフィール検査(POMS2青少年用・短縮版)、全口腔法による甘味、塩味、酸味、苦味の味覚閾値検査、体重、咀嚼唾液分泌量を測定した。統計解析は、飲料(W条件、S条件)と時間(運動前、運動後)を要因とする反復測定二元配置分散分析を行い、事後検定には対応のあるt検定を用いた。

【結果】POMS2では、「怒り-敵意」「疲労-無気力」「緊張-不安」「活気-活力」「総合的気分状態」尺度の交互作用が有意だった。S条件では、運動後に「怒り-敵意」「総合的気分状態」の値が有意に低下し、「活気-活力」の値が有意に上昇した。一方、W条件では全ての尺度で運動前後での値の差が有意ではなかった。

味覚閾値では、甘味、塩味、酸味、苦味の全ての交互作用が有意ではなかった一方、塩味、酸味、苦味では時間要因の主効果が有意であった。飲料の種類に関わらず、運動後にこれらの閾値が有意に低下した。

【考察】本研究の結果、糖質とミネラルを含むスポーツドリンク摂取条件でのみ運動後のネガティブな気分の低下と活気-活力の増大が認められ、運動中の糖質とミネラルを含む水分補給の有無によって運動前後での気分の変化が異なっていた。中枢性疲労に関与するセロトニン系はうつ症状を含むネガティブな気分と関連することが報告されている。運動中に適切な糖質とミネラルを補給することで、ネガティブな気分状態の悪化が抑制された可能性がある。一方で、運動による味覚感受性の亢進は糖質とミネラルを含む飲料組成の影響を受けず、運動そのものに伴う生理的变化に起因する蓋然性が高い。

# 口頭発表

O - 9

## 日本人のヨウ素栄養状態の現状と問題点

布施養善<sup>\* 1, 6)</sup>, 國井葉<sup>2)</sup>, 山口真由<sup>3)</sup>, 塚田信<sup>4)</sup>, 伊藤善也<sup>5)</sup>, 紫芝良昌<sup>6)</sup>

<sup>(1)</sup>公財) 成長科学協会, <sup>(2)</sup>昭和医科大学横浜西部病院甲状腺センター, <sup>(3)</sup>鎌倉女子大学家政学部管理栄養学科, <sup>(4)</sup>日本栄養大学栄養科学研究所, <sup>(5)</sup>日本赤十字北海道看護大学臨床医学領域, <sup>(6)</sup>Iodine Global Network (IGN)

【目的】ヨウ素は生命維持に必須な甲状腺ホルモンの構成要素であり、その欠乏、過剰ともに甲状腺機能異常を主徴とする多彩な症状を示し、胎児、新生児では永続的な精神発達・身体発育障害をきたす。日本以外の国ではヨウ素欠乏症が重要な公衆衛生問題で、ヨウ素を添加した食用塩が予防に使われている (USI: universal salt iodization)。日本には集団としてヨウ素欠乏症が存在しないためヨウ素栄養について関心は低く、日本人のヨウ素摂取量についての全国的な調査はなかった。我々は2002年から2023年の間に妊産婦を含むすべての年齢層を対象に全国の複数の地域においてヨウ素摂取量調査を行ったので、その結果をまとめて報告する。

【方法】WHOの推奨する疫学的調査方法は6-12歳の小児を対象に随時尿中ヨウ素濃度 (UIC: urinary iodine concentration) を測定し、対象集団の中央値によりヨウ素栄養状態を評価する。適切なヨウ素摂取量は100-299 μg / Lであり、50 μg / L未滿は重度のヨウ素欠乏、300 μg以上はヨウ素補充によるヨウ素欠乏の予防には過剰とされている。結果: 1) 日本全体としてヨウ素摂取量は適切であるが (UIC: 269 μg / L)、地域、年齢差がある。2) 習慣的なヨウ素摂取量を正確に定めるのは年齢差、地域差があるので困難であるが、1日400 μg以下と推測される。3) 授乳婦のヨウ素摂取量は少なく、WHOの推奨量 (250 μg / 日) を下回っている。

	n	Mean age (years)	UIC (μg/L)	eUIE (μg/day)	DII (μg/day)		n	Mean age (years)	UIC (μg/L)	DII (μg/day)
小学生	32,025	9.6	269.0	190.3	NA	妊婦	683*	30.9	219.0	NA
			164, 511	112.8, 379.4					124, 436	
中学生	117	13.5	216.0	161.4	265.9		149**	32.1	164.0	369
			131, 428	97.4, 386.6	137.9, 590.0				91, 300	196, 623
大学生	126	20.0	231.0	146.9	168.1	授乳婦 (産後1ヶ月以内)	532	30.9	135.0	78, 262
			146, 401	83.2, 287.4	85.8, 393.3				78, 262	
	334	47.6	213.0	218.2	388.8		149	32.1	116.0	NA
			125, 422	118.5, 509.6	175.1, 778.8				62, 250	
成人	2,530	45.6	295.0	333.4	465.1		178	30.9	86.0	
			154, 739	164.9, 850.6	203.4, 1077				53, 175	

Median (IQR). \*21.2weeks. \*\*32.2 weeks gestation. NA: not available. UIC: Urinary iodine concentration. eUIE: estimated urinary iodine excretion. DII: dietary iodine intake

【考察】現在、世界的に問題になっているのは、1) USIによりヨウ素欠乏が克服された国において、再びヨウ素摂取量が減少していること、2) ヨウ素欠乏に脆弱なグループ (妊産婦、胎児、新生児、乳幼児) への対策である。かつて日本人のヨウ素摂取量は過剰とされてきたが、国際基準では適量である。しかし、食生活の西欧化、重要なヨウ素摂取源である昆布の生産量、消費量の激減により、将来的に国民全体のヨウ素摂取量の減少が推測される。特に妊産婦においては現時点でもヨウ素摂取量が推奨値以下であり、早急な対応 (現状把握のための全国的調査と対策) が必要である。

O - 10

## 学校給食のヨウ素量について一実態と意義

塚田信<sup>\* 1, 5)</sup>, 山口真由<sup>2)</sup>, 國井葉<sup>3)</sup>, 伊藤善也<sup>4, 5)</sup>, 布施養善<sup>5, 6)</sup>, 紫芝良昌<sup>5, 6)</sup>

<sup>(1)</sup>日本栄養大学栄養科学研究所, <sup>(2)</sup>鎌倉女子大学家政学部管理栄養学科, <sup>(3)</sup>昭和医科大学横浜西部病院甲状腺センター, <sup>(4)</sup>日本赤十字北海道看護大学臨床医学領域, <sup>(5)</sup>公財) 成長科学協会, <sup>(6)</sup>Iodine Global Network (IGN)

【背景と目的】ヨウ素は小児の成長発達に必須の微量栄養素で、その欠乏、過剰ともに甲状腺機能異常をきたす。ヨウ素は日常的な食事から摂取され、小児では家庭での食事と学校給食が主要なヨウ素摂取源である。日本では全国の約94%の小児が良好な栄養管理システムを持つ学校給食を食べているが、学校給食のヨウ素については関心が寄せられず、その実態は不明であった。本研究の目的は全国すべての県を対象に給食中のヨウ素量を調査し小学生のヨウ素栄養に給食がどの程度寄与しているかを明らかにすることである。

【方法】2018年から2023年に全国の県庁所在地の教育委員会に2019年度(12か月分)の小学校給食詳細献立表の提供を依頼し、「日本食品標準成分表2020(八訂)」を用いてヨウ素量を算出した。

【結果】1. 給食は1日の1/3食と考えると給食ヨウ素量は全都道府県において厚生労働省の「日本人の食事摂取基準2025年」ヨウ素の推奨量の1/3を充足していた。2. 給食ヨウ素量の中央値は全国で51.1μg / 給食であった。都道府県では差がありその範囲は37.5—219.5μg / 給食であった。3. 耐容上限量を超えるヨウ素が給食に含まれている割合は8.1% (給食実施日12.3日に1回)であった。4. 給食ヨウ素量の季節間差はなかった。5. ヨウ素の摂取源は76.1%が藻類、12%が牛乳からであった。6. 昆布や昆布だしの使用がヨウ素量に大きく影響していた。7. 給食の主食がご飯の時にヨウ素摂取量が多かった。

【考察】給食の各栄養量は「日本人の食事摂取基準」に基づき、文部科学省の「学校給食摂取基準」に定められており、教育の一環として実施されている。また、学校給食の残食率は全国平均で6.9%であるので給食中のヨウ素量の93.1%相当がヨウ素摂取量と考えられ、全国的に充足していた。ヨウ素栄養においても給食が重要な役割を果たしていることを初めて明らかにした。

## O - 11

### 日本人乳幼児のヨウ素栄養状態の現状 - Pilot Study

山口真由\*<sup>1)</sup>, 塚田信<sup>2)</sup>, 國井葉<sup>3)</sup>, 高橋紀博<sup>4)</sup>, 伊藤善也<sup>5)</sup>, 布施養善<sup>6)</sup>, 紫芝良昌<sup>6)</sup>,  
畑中源喜<sup>7)</sup>, 細見亮太<sup>7)</sup>, 福永健治<sup>7)</sup>, 吉田宗弘<sup>7)</sup>

(<sup>1)</sup> 鎌倉女子大学家政学部管理栄養学科, (<sup>2)</sup> 日本栄養大学栄養科学研究所,

(<sup>3)</sup> 昭和医科大学横浜西部病院甲状腺センター, (<sup>4)</sup> 第一薬品産業(株), (<sup>5)</sup> 日本赤十字北海道看護大学臨床医学領域,

(<sup>6)</sup> (公財)成長科学協会ヨウ素関連調査研究委員会, Iodine Global Network (IGN), (<sup>7)</sup> 関西大学食品栄養化学研究室)

【背景と目的】小児の発育、発達にヨウ素は不可欠であり、その欠乏、過剰ともに甲状腺機能異常を主徴とする多彩な症状を示す。日本人の食事摂取基準 2025 年では小児のヨウ素の推定平均必要量、推奨量、耐容上限量は根拠になる報告がないため、成人の値を外挿して作成している。我々は 2002 年から新生児、6 歳以上の小児、成人、妊産婦を対象に全国の複数の地域においてヨウ素摂取量と甲状腺機能について調査を行ったが、6 歳未満の乳幼児のヨウ素栄養状態については日本では報告がない。本研究の目的は就学前児のヨウ素栄養状態の現状を明らかにする事である。

【方法】横断的観察研究。千葉県と神奈川県にある保育園と幼稚園において、園児とその女性保護者を対象に、随時尿、母乳、頭髮を採取し、ヨウ素濃度を島津 ICPMS-2030 を用いて測定した。同時に食事調査（食物摂取頻度調査法）によりヨウ素摂取量を評価した。さらに、保育園、幼稚園の給食献立からヨウ素量を計算するとともに、1 ヶ月分の給食を入手し、ヨウ素含有量を ICP-MS で測定した。

【結果】保育園・幼稚園児は 403 名、男児 225 名、女児 178 名が参加した。年齢は生後 4 ヶ月から 6.6 歳で、平均(標準偏差)4.9(1.1)歳、年齢別には、0 歳児:1 名、1 歳児:5 名、2 歳児:7 名、3 歳児:61 名、4 歳児:118 名、5 歳児:113 名、6 歳児:94 名、未確定:4 名である。女性保護者は 80 名で平均(標準偏差)年齢は 36.5(4.4)である。園児の尿検体は 401 検体(幼稚園児 353 名、保育園児 48 名)が得られた。一部の尿についての予備的分析では尿中ヨウ素濃度は 200  $\mu\text{g/L}$  以下が多い。

考察:我々の調査では 6-12 歳の小児と新生児の尿中ヨウ素濃度中央値はそれぞれ、269  $\mu\text{g/L}$  と 272  $\mu\text{g/L}$  (生後 7 日以内)、265  $\mu\text{g/L}$  (生後 1 ヶ月)であり、幼児のヨウ素摂取量はこれらの群に比べて少ないことが推測される。今後、乳幼児のヨウ素摂取量と年齢、性別などとの関連及び食事調査によるヨウ素摂取量と母体のヨウ素栄養状態との関連も含めてさらに検討する。

## O - 12

### *Variovorax boronicumulans* NBRC 103145 の D-アルギニン脱水素酵素の機能解析

加藤志郎\*<sup>1)</sup>, 老川典夫<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> 香大・農, (<sup>2)</sup> 関大・化学生命工)

【目的】細菌における主要な D-アミノ酸分解系の 1 つは脱水素酵素によるものであるが、これらの酵素は基質特異性が低い例も多く、その生理的役割には不分明な点が残る。コマモナス科に分類される細菌群には、ゲノム上に D-アミノ酸に対する脱水素酵素をコードすると配列から予測される複数の遺伝子が保持される種が多く含まれ、細菌における D-アミノ酸およびその分解酵素の生理的役割の研究の良好なモデルとなり得る。本研究では、コマモナス科細菌の一種である *Variovorax boronicumulans* NBRC 103145 を対象とし、D-アミノ酸代謝酵素の機能解析とその生理的役割の解明を目的としている。

【方法】大腸菌を宿主として発現させた *V. boronicumulans* NBRC 103145 推定 D-アルギニン脱水素酵素の組換え体を調製し *in vitro* での機能解析を実施した。また、D-アミノ酸を単一窒素源または炭素源とした最小培地を用いて *V. boronicumulans* NBRC 103145 を培養し、その生育を評価することで D-アミノ酸に対する資化性を検証した。

【結果・考察】組換え体の解析より、*V. boronicumulans* NBRC 103145 の推定 D-アルギニン脱水素酵素は酸性 D-アミノ酸および側鎖に水酸基を含有する D-アミノ酸以外の多様な D-アミノ酸に対する活性を示した。また、最小培地を用いた生育評価から、*V. boronicumulans* NBRC 103145 は D-Leu や D-Phe 等の複数の D-アミノ酸に対する窒素源または炭素源としての資化性を示した。酵素の基質特異性と原株が資化可能な D-アミノ酸との間に一定の相関が認められたことから、*V. boronicumulans* NBRC 103145 における D-アルギニン脱水素酵素の生理的役割の 1 つは D-アミノ酸の資化である可能性が示唆されたが、*in vitro* での機能解析の結果と原株の資化能との直接の関連を明らかにする必要があると考えている。

## O - 13

### ニワトリ初生期におけるポリアミンシグナルが及ぼす間脳代謝制御機構への関与

白石純一<sup>1\*</sup>、友永省三<sup>2)</sup>、川瀬貴博<sup>3)</sup>、太田能之<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup> 日獣大院・獣医, (<sup>2)</sup> 京大院農・動物栄養, (<sup>3)</sup> 栄養病理学研究所)

【目的】 幼若期の栄養状態は、その後の成長や代謝特性を規定するメタボリックプログラミングに深く関与するため、家禽においても初生期の栄養制御機構の解明は重要である。特に肉用鶏と卵用鶏では摂餌量や増体量に差があり、その背景には中枢性の摂食・エネルギー代謝調節機構の違いが関与すると考えられる。近年、孵化直後の血中低分子代謝産物の鶏種差も報告され、候補分子としてポリアミン類が注目されている。そこで本研究では、孵化直後のニワトリヒナの主要組織中のポリアミン含量を同位体希釈質量分析法 (IDMS) により解析するとともに、胚発生後期へのポリアミン投与がヒナの成長および間脳の代謝関連遺伝子発現に及ぼす影響を検討した。

【方法】 初生ヒナ (Ross308) の間脳、浅胸筋、縫工筋および残存卵黄を用い、プレカラム誘導体化処理後、IDMSによる各種ポリアミンの定性・定量解析を行った。また、孵卵 18 日目のニワトリ胚に、ポリアミン (プトレシン、スベルミジン、スベルミンおよびカダベリン) を等モル濃度で *in ovo* 投与し、孵化後に体重測定および各器官重量の測定を行った。さらに、間脳を採取して、ポリアミン輸送体 SLC18B1、SLC22A16、摂食・エネルギー代謝調節因子 NPY、POMC、AGRP、ならびに DNA メチル化関連因子 DNMT1、DMAP、DNMT3a、DNMT3b の遺伝子発現量を相対定量した。

【結果】 供試したすべての組織でプトレシン、スベルミジン、スベルミン、カダベリンが検出され、卵黄中濃度は他組織より 1 ~ 70 倍低値であり、各組織における局在性が確認された。*in ovo* ポリアミン投与は、孵化時体重および各器官重量に有意な影響を及ぼさなかった。一方、間脳においては SLC22A16、DNMT3a および DNMT3b の遺伝子発現量が有意に増加したが、その他の因子には有意差は認められなかった。さらに、SLC22A16 発現量は NPY および DNA メチル化関連因子の発現量と正の相関を示した。

【考察】 ポリアミンは孵化直後のニワトリ各組織に広く存在し、その供給には組織内生合成に加えて卵内移行経路も関与する可能性が示唆された。また、胚後期のポリアミン刺激は体成長への影響は示さなかったが、間脳のポリアミン輸送および DNA メチル化関連機構に作用し、初生期の代謝制御やその後の成長形成に関与する可能性が推察された。

## O - 14

### 中等度亜鉛欠乏と食餌摂取制限が低酸素誘導遺伝子の発現へ与える影響

許斐亜紀<sup>\* 1)</sup>、横井克彦<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup> ぐんま未来大学 (旧称 桐生大学) 医療保健学部 栄養学科,

<sup>2)</sup> 聖徳大学 人間栄養学部 人間栄養学科)

【目的】 中等度亜鉛欠乏は造血障害を起こすこと、また、長期的な食餌摂取制限は造血障害を起こす可能性があることを報告してきた。今回、これら 2 つの要因で造血障害が発生するメカニズムを明らかにするために、腎臓皮質及び髄質中の低酸素誘導遺伝子の発現への中等度亜鉛欠乏と食餌摂取制限の影響を検討した。

【方法】 3 週齢 SD 系雄性ラット 30 匹を、体重が等しくなるように対照群 (Control 群: AIN-93G)、中等度亜鉛欠乏群 (ZD 群: 飼料中亜鉛濃度 4.5 ppm)、亜鉛欠乏による食餌量低下の影響を検討するための Pair-Fed 群 (PF 群: AIN-93G) の 3 群に割り付け、対応する飼料及びイオン交換水を与えて 4 週間飼育し、腎臓を皮質と髄質に分けて採取した。それぞれの組織中 Hif1a、Hif1an、Hif2a、Hif3a の発現量を quantitative RT-PCR により測定した。中等度亜鉛欠乏時および食餌量低下時には total RNA 量自体が低下することをこれまでに報告している。そこで、得られたデータは total RNA 量との比率で比較している。正規性と等分散性が認められなかった場合に対応するため、対数変換したデータを用いて Brown-Forsythe ANOVA 後に Welch' s t-test により群間比較を行った。危険率は 5% 未満を有意とした。

【結果】 腎臓皮質中の Hif1a と Hif 3a は ANOVA で有意な差が見られず、3 群間にはほぼ変化がなかった。Hif1an は ANOVA の危険率が 0.098 ではあったが、PF 群の平均値が高く、仮に群間比較をすると、Control 群との危険率は 0.045 であった。Hif2a は ANOVA の危険率が 0.076 であったが、平均値は ZD 群で低く、PF 群で高かったことから、仮に群間比較を行うと、この 2 群間の危険率は 0.048 であった。腎臓髄質中の Hif1a、Hif1an、Hif3a はいずれも ANOVA で有意な差が見られず、3 群間にはほぼ変化がなかった。Hif2a は ANOVA が有意 ( $P = 0.0005$ ) で、ZD 群で減少し、PF 群で増加したことから、この 2 群間に有意な差が見られ ( $P = 0.0002$ )、PF 群と Control 群の間にも有意な差が見られた ( $P = 0.012$ )。

【まとめ】 中等度亜鉛欠乏と食餌摂取制限では、ヘモグロビンなどの血液生化学データの他、血中エリスロポエチン濃度にも変化が現れる。鉄欠乏性貧血では、低酸素により低酸素誘導遺伝子が誘導され、エリスロポエチンの生成に影響することが知られている。本結果では、中等度亜鉛欠乏では低酸素状態にはならず、食餌摂取制限では腎臓組織で低酸素状態と検知されていた可能性がある。しかし、エリスロポエチンの生成状況とは合致しないことから、食餌摂取制限における低酸素誘導遺伝子のエリスロポエチン生成への関与は直接的ではないと考えられた。

## 軽度鉄欠乏がオープンフィールドにおけるラットの行動に及ぼす影響

横井克彦\*<sup>1,2)</sup>, 許斐亜紀<sup>3)</sup><sup>(1)</sup> 聖徳大学大学院 人間栄養学研究科, <sup>(2)</sup> 聖徳大学 人間栄養学部 人間栄養学科,<sup>(3)</sup> ぐんま未来大学 (旧称 桐生大学) 医療保健学部 栄養学科)

【目的】軽度の鉄欠乏がある女性では、疲労、不安、緊張などの症状が存在することが、明らかになっている。一方、実験動物を用いた研究は、重度の鉄欠乏に関する研究が中心で、軽度の鉄欠乏に関する研究は進んでいない。そこで、オープンフィールドにおけるラットの行動を行動解析ソフトウェアで解析し、軽度の鉄欠乏が行動に及ぼす影響を検討した。

【方法】48匹の3週齢Wistar系雄ラットを、2×4の2要因（飼料中铁レベルとマンガンレベル）に均等に割りつけた。鉄レベルは、鉄充足（National Research Council, NRC 必要量）及び軽度鉄欠乏（NRC 必要量の60%）、マンガンレベルは、NRC 必要量の1、3、6、9倍量に設定した。飼育期間は7週間半とし、飼育終了前に動物をオープンフィールドの中央に置き、その後の15分間の行動をビデオ撮影した。ビデオ記録をANY-maze動物行動解析ソフトで解析した。15分間を、5分間ずつの前期、中期、後期に分け、各期の行動を、2要因分散分析で解析した。グルーミング開始までの時間と移動距離の分散は、F検定で解析した。危険率5%未満を有意とした。

【結果】前期において、凍結行動（freezing、体の動きが認められない行動）の回数ならびに時間は、鉄レベルの主効果が有意で、軽度の鉄欠乏で低下した。凍結ではない不動行動（重心の移動はないが、体の各部の動きを伴う行動）の回数と時間に、鉄レベルの主効果は認められなかった。移動距離、最大速度、平均速度のいずれにも鉄レベルの主効果は認められなかった。中期、後期の行動に鉄の主効果は認められなかった。マンガンレベルの主効果と鉄×マンガンの交互作用は認められなかった。また、グルーミングを開始するまでの時間と移動距離の分散は、軽度の鉄欠乏によって有意に増加した。

【考察】ラットが初めての環境であるオープンフィールドに置かれた場合、まず周辺に移動して立ち上がり、上方を観察しつつ、周辺部を移動して、その後グルーミングを行い、床に伏せて休むという自然経過をとる。動物の行動の解釈には限界があるが、軽度の鉄欠乏によって前期に凍結行動が増加したことから、軽度の鉄欠乏が、初めての環境に対する探索行動を完遂することを妨げていた可能性がある。実際、軽度の鉄欠乏でグルーミング開始までの時間が遅れ、グルーミング開始までの移動距離が延長する個体も出現した。軽度の鉄欠乏ラットで見られた行動には、徘徊や注意欠陥・多動等の徴候との類似性が想定される。

## 日本微量栄養素学会役員名簿

会長 吉 田 宗 弘 (関西大学)  
理事 老 川 典 夫 (関西大学)  
神 戸 大 朋 (京都大学)  
栗 原 達 夫 (京都大学)  
小切間 美 保 (同志社女子大学)  
三 原 久 明 (立命館大学)  
監事 舟 場 正 幸 (京都大学)  
吉 田 香 (同志社女子大学)

## 第 43 回日本微量栄養素学会 学術集会実行委員名簿

会頭 福 永 健 治 (関西大学)  
委員 老 川 典 夫 (関西大学)  
神 戸 大 朋 (京都大学)  
栗 原 達 夫 (京都大学)  
小切間 美 保 (同志社女子大学)  
舟 場 正 幸 (京都大学)  
三 原 久 明 (立命館大学)  
吉 田 香 (同志社女子大学)  
吉 田 宗 弘 (関西大学)

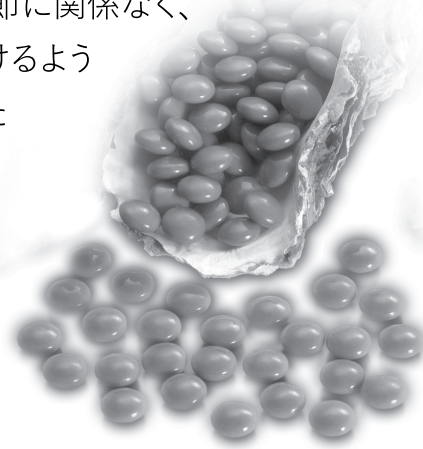
### 日本微量栄養素学会事務局

〒603-8331 京都市北区大將軍西町1番地  
日本クリニック株式会社内  
TEL (075) 465-3560  
FAX (075) 465-3566  
E-mail bureau@jtnrs.com  
2026年5月30日発行

# TIMELESS : Oyster Extract

## 時をこえてゆく「かき肉エキス」

牡蠣(かき)は、「海のミルク」と呼ばれています。  
 ビタミン、ミネラル、アミノ酸などの40数種類の  
 栄養素をバランスよく含んでいます。そのため、海  
 のミルク、海の玄米などと呼ばれているのです。  
 一万年前から牡蠣は、人類に愛され、  
 貝塚には牡蠣の殻がたくさん見つかっています。  
 栄養豊富な牡蠣を季節に関係なく、  
 お召し上がりいただけるよう  
 科学で設計しなおした  
 日本クリニックの  
 かき肉エキス。  
 この一粒に  
 50年の歴史と  
 19の特許が  
 凝縮されています。



かき肉エキス  
主要栄養素

【炭水化物】  
グリコーゲン

【ミネラル】

亜鉛・ナトリウム  
カルシウム・鉄・カリウム  
リン・マグネシウム・銅  
マンガン・セレン  
総クロム・リチウム  
コバルト

【ビタミン】

ビタミンB1  
ビタミンB2・ビタミンB6  
ビタミンB12・ビタミンC  
葉酸・ビオチン  
イノシトール・ナイアシン  
コリン

【アミノ酸】

タウリン・アルギニン・リジン  
ヒスチジン・フェニルアラニン  
チロシン・ロイシン・イソロイシン  
メチオニン・バリン・アラニン・グリシン  
プロリン・グルタミン酸・セリン  
スレオニン・アスパラギン酸  
トリプトファン・シスチン  
オルニチン

# 牡蠣を超えた「かきの栄養」

## THE OYSTER EXTRACT SINCE 1974



【牡蠣】



【オイスター-Z】



【バランスター-Z】



【バランスター-WZ】

(C)2009 日本クリニック

日本クリニック

検索

<https://www.japanclinic.co.jp>

牡蠣の神秘を科学で届ける——かき肉エキスのパイオニア  
**日本クリニック株式会社**

■本社 / 〒603-8331 京都市北区大將軍西町1番地  
 ■オフィス / 札幌・東京・本社・広島・福岡 ■工場 / 京都府宮津市