

# New Food Industry

食品加工および資材の新知识

<http://www.newfoodindustry.com>

2014 Vol.56 No.10

# 10

## 論 説

- コリアンダーの保健作用
- おなか満足成分「アルギン酸ナトリウムとカルシウム」の満腹感に及ぼす効果確認試験
- 色彩豊かなカラフルポテトの特徴と健康機能性
- もち性大麦粉の製パン特性
- 甘味受容体の構造から読み解く甘味料の特性
- 原発事故に起因する放射性核種が有畜循環型農業におよぼす影響  
Effect of radionuclides due to the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant on the recycling agriculture including livestock

## 隔月掲載

- 組織の活性化と人材育成～ 人との出会いと開発テーマ  
Encounter with senior people and development of research project
- クロレラ健康栄養研究会 第5回 誌上シンポジウム  
機能性食品の現状と未来像に関する提言

## 連 載

- マダイの体色改善-4
- 社会システムにおける安全・安心・信頼 (2)  
-中国の食を巡る問題の複雑性とルーマンのリスク概念による分析-
- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価



### 論 説

- コリアンダーの保健作用  
..... 芳野 恭士 1
  
- おなか満足成分「アルギン酸ナトリウムと  
カルシウム」の満腹感に及ぼす効果確認試験  
..... 中野 愛子, 川手 雄二, 海老原 淑子 15
  
- 色彩豊かなカラフルポテトの特徴と健康機能性  
..... 森 元幸, 林 一也 26
  
- もち性大麦粉の製パン特性  
..... 嶋田 幸治 33
  
- 甘味受容体の構造から読み解く甘味料の特性  
..... 日下部 裕子 38
  
- 原発事故に起因する放射性核種が有畜循環型農業におよぼす影響  
Effect of radionuclides due to the accident of the Fukushima Daiichi  
Nuclear Power Plant on the recycling agriculture including livestock  
..... 眞鍋 昇, 高橋 友継, 田中 哲弥, 李 俊佑, 田野井 慶太郎, 中西 友子 45

### 隔月連載

- 組織の活性化と人材育成～ 人との出会いと開発テーマ  
Encounter with senior people and development of research project  
..... 山本 正次 51
  
- クロレラ健康栄養研究会 第5回 誌上シンポジウム  
機能性食品の現状と未来像に関する提言  
..... 対談者：阿部 啓子, 石見 佳子, コーディネーター：島崎 秀雄 58

### 連載

- マダいの体色改善- 4  
..... 酒本 秀一 69
  
- 社会システムにおける安全・安心・信頼 (2)  
-中国の食を巡る問題の複雑性とルーマンのリスク概念による分析-  
..... 三好 恵真子 81
  
- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価 9章  
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た,ベジタリアン食の適正度)  
..... ジョアン・サバテ, 訳：山路 明俊 88

**おいしさと健康に真剣です。**

酵母エキス系調味料

**コクベース**

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

**エンザップ**

**new**発酵調味料

*D&M*

ディアンドエム

酵素分解調味料なら  
大日本明治製糖へ

**新発売!** 乳製品にベストマッチな調味料

**コクベース**  
ラクティックイーストエキス

乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの  
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな  
特長がある乳酵母エキスです。

**DM** **大日本明治製糖株式会社**  
食品事業部

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3 日本橋西川ビル7F TEL (03) 3271-0755

# コリアンダーの保健作用

芳野 恭士 (YOSHINO Kyoji) \*

\* 沼津工業高等専門学校 物質工学科

Key Words : コリアンダー・パクチー・シラントロ・抗酸化作用・抗メタボ作用

## はじめに

コリアンダー (*Coriandrum sativum* L.) はセリ科 (Apiaceae) の植物で、主にその果実と葉が香辛料、葉菜あるいは葉味として使用されている。料理によっては、その茎や根も使用されることがある。日本ではあまり馴染みのない食材であったが、近年のエスニック料理の流行とともに摂取される機会も増えてきた。コリアンダーは果実や葉を乾燥して香辛料として用いるものを指すが、生葉はタイではパクチー、中国ではシャンツァイ、中南米ではシラントロなどと呼ばれている。

コリアンダーの果実から得られる精油に含まれる成分としては、以下のようなものがある。主成分は、柑橘系芳香あるいは花様爽香を呈する含酸素モノテルペンの *d*-リナロールである<sup>1)</sup>。香気性の副成分としては、酢酸ゲラニル、ボルネオール、ゲラニオール、酢酸リナリル、デカノール、ネロール、イソボルネオール、ジヒドロリナロール、デヒドロリナロール、 $\gamma$ -テルピネン、 $\rho$ -シメン、カンフル、 $\alpha$ -ピネン、リモネン、フェランドレン、*cis*-ジヒドロカルボン、 $\gamma$ -カジネン、ミロキシド、酢酸ネリル、オイゲノール、ミルセン、ネロリドールなどがある。脂質成分としてはトリグリセリド、

ステロール、リン脂質が主であり、主成分の不飽和脂肪酸としてはペトロセリン酸 (オクタデセン酸)、リノール酸、オレイン酸、バセニン酸、パルミチン酸、リノレン酸、ステアリン酸が、副成分の飽和脂肪酸としてはヘキサデカン酸、テトラデカン酸がある。ステロールの主成分としてはスチグマステロール、 $\beta$ -シトステロールが、リン脂質としてはホスファチジルコリン、ホスファチジルエタノールアミン、ホスファチジルイノシトールが、また、糖脂質としてはアシル化ステリルグルコシド、ステリルグルコシド、グルコセレブロシドがある。アルデヒドやケトン類としては、トリデセナール、2-ドデセナールが含まれ、これは低濃度であれば柑橘系の香気を呈する<sup>2)</sup>。ミネラルとしては、カルシウム、マグネシウム、リンなどが含まれる。ポリフェノール化合物としてはカフェー酸、プロトカテキュ酸、グリシチン、ケルセチン-3-グルクロニド (ルチン) といったフラボノイド類がある<sup>3)</sup>。プロビタミン A であるカロテノイド類として  $\beta$ -カロテン、 $\beta$ -クリプトキサントキサンチン、ルテイン、ゼアキサントキサンチンが<sup>4)</sup>、ビタミン E としてトコフェロール、 $\gamma$ -トコトリエノールがある。その他の成分としては、2-C-メチル-D-エリスリトールグルコシド、タンニ

ン、フィチン酸、食物繊維、メイラード反応生成物（褐変成分）、エスクレチン、スコポレチン、7-ヒドロキシクマリン、キサントトキシン、5-メトキシプソラレン、モノテルペンアルコール、セスキテルペンなどがある。

コリアンダーの葉から得られる精油に含まれる成分としては、以下のようなものがある<sup>5,6)</sup>。主成分は、モノテルペンのセルミンに加え、青臭いフレッシュ様香あるいは脂様香を呈するデセナールなどのC6～C16の2-アルケナール類やデカナールなどのC7～C16のアルカナール類である。これらの香気成分は、コリアンダーの乾燥葉にはほとんど含まれない。香気性の副成分としては、ドデカノール、 $\beta$ -イオノン、オイゲノール、デセノール、デカノール、リナノール、ドデセノール、 $\gamma$ -カジネン、ミロキシド、酢酸ネリル、オイゲノール、ウンデセノールなどが含まれる。脂肪酸類としてはリノレン酸、ヘプタデカン酸、パルミチン酸が、ポリフェノール化合物としてはカフェー酸、フェルラ酸、没食子酸、クロロゲン酸、ルチンなどのフラボノイド類がある。ミネラルとしてはカルシウムとナトリウムが、ビタミン類としてはルテイン、 $\beta$ -カロテン、アスコルビン酸、トコフェロールが含まれる。また、その他の成分としてクロロフィル、不溶性シュウ酸塩がある。

コリアンダーの地上部や全草のその他成分としては、フェノール成分のイソクマリン類として、コリアンドロンA～E、コリアンドリン、ジヒドロコリアンドリン、ウンベリフェロン、*p*-ヒドロキシフェネチルフェラート、ジヒドロキシフェネチルフェラートが含まれる。さらに、アルミニウム、ケイ素、イオウ、塩素、カリウム、セレンなどのミネラルやカルミント、 $\alpha$ -テルピネン、オキシ安息香酸、オキシケイ皮酸も含まれることが知られている。

このような多様な成分を含むコリアンダーは、香辛料や香菜といった食材としてだけでなく、

インドの伝承医学であるアーユルベーダなどで古くから民間伝承薬として使用されてきた<sup>7,8)</sup>。その効能としては、消化促進作用<sup>9,10)</sup>、抗糖尿病作用<sup>10-12)</sup>、脂質吸収抑制作用<sup>12)</sup>、抗リウマチ関節炎作用・抗炎症作用<sup>8,10)</sup>、抗不安作用・抗不眠作用<sup>13)</sup>などが期待されている。実際、コリアンダーにはこれらを含めた多様な保健作用があることが報告されてきたので、ここでは著者が確認した抗酸化作用を含めてその保健作用について概説する。

## 1. 保健作用

### 1-1. 矯臭・消臭作用

コリアンダーには、香辛料として、料理における矯臭・消臭作用がある。例えば、ブタの大腸や臓器の4-メチルフェノールやインドールなどによる臭気<sup>14)</sup>、あるいは魚の臭気<sup>15)</sup>を消す。コリアンダーの香気は、漬物や植物系の料理素材に対しても高い適合性があるとされている<sup>16)</sup>。コリアンダーの葉に含まれるブタ大腸に対する消臭成分としては、ウンデカジエナールが挙げられる<sup>17)</sup>。

### 1-2. 抗菌作用

コリアンダーの果実は、牛肉や鶏肉中の食中毒細菌であるカンピロバクター<sup>18)</sup>、真空包装ハム中のリステリア菌<sup>19)</sup>、塩漬魚中の赤色好塩性細菌<sup>20)</sup>、大腸菌 O157:H7<sup>21)</sup> などに対して抗菌作用を示す。また、枯草菌に対しては、芽胞の加熱滅菌を促進する効果もある<sup>22)</sup>。調理以外でも、大腸菌、黄色ブドウ球菌に抗菌作用を示し<sup>23)</sup>、ヒトの胃組織へのピロリ菌の粘着も抑制すること<sup>24)</sup>が報告されている。コリアンダー果実の抗菌スペクトルは広く<sup>7)</sup>、ポリアセチレン類がその有効成分の一つである<sup>25)</sup>。

コリアンダーの葉も、ソーセージなどの肉製品中のエロモナス菌<sup>26,27)</sup> やリステリア菌<sup>28)</sup>、

サルモネラ菌<sup>29)</sup>などに対して抗菌活性を示し、その貯蔵性を増加させる。調理以外では、枯草菌や大腸菌に対する抗菌作用が報告されている<sup>30)</sup>。その作用機序としては、鉄キレート作用や、長鎖アルコール類、アルデヒド類の非イオン性界面活性作用が考えられる。

以上のような細菌に対する作用だけでなく、真菌に対しても、カンジダ菌の菌糸成長阻害作用<sup>31)</sup>、アスペルギルス菌の菌糸体増殖およびアフラトキシン合成抑制作用<sup>32)</sup>、ミツバチのチョーク病原菌ハチノスカビに対する抗菌作用<sup>33)</sup>といったコリアンダー果実の作用が知られている。酵母菌に対しても、ミトコンドリアDNAへの障害に起因する抗菌作用を示す<sup>34)</sup>。

コリアンダーが示す抗菌作用は、食中毒や感染症を予防するだけでなく、その消臭作用にも関わっているものと考えられる。

### 1-3. 消化管に対する作用

コリアンダーの果実は、ラットでタンパク質消化酵素の膵臓トリプシン活性、キモトリプシン活性、糖消化酵素の小腸アミラーゼ活性、ジサッカリダーゼ活性、脂質消化酵素のリパーゼ活性を上昇させる<sup>35)</sup>。また、*in vitro*において乳酸菌の増殖を促進するほか<sup>36)</sup>、成分のカルミンに胃腸内のガスの排出を促す作用<sup>37)</sup>が認められている。モルモットの回腸やウサギの空腸を収縮し、腸管を刺激することにより蠕動運動を活発化する<sup>38)</sup>という報告もあるが、一方でラットの空腸のNa<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase活性を*in vitro*で阻害することによる消化管の不活性化作用がある<sup>39)</sup>ことも指摘されている。

コリアンダーの果実とクミン (*Cuminum cyminum*) を含む香辛料の組み合わせでも、ラットで膵臓キモトリプシン活性、アミラーゼ活性、リパーゼ活性が上昇するとともに、胆汁流と胆汁酸分泌が促進される<sup>40)</sup>、ラットで食物移動時間が短縮される<sup>41)</sup>といった作用が見られる。

さらに、ラットで盲腸内アンモニア量が減少し、腸内腐敗が抑制されることが期待できる<sup>42)</sup>。このような効果は、消化管の疾病を予防するだけでなく、消化管由来の腐敗臭を抑制する可能性がある。

### 1-4. 重金属等の毒性抑制作用

金属の中には、微量であれば動物の生命活動に必要であっても、多量では毒性を示すものも多い。コリアンダーの葉には、抗菌作用の項で述べたような鉄キレート作用などによる金属の体内への蓄積や毒性の発現を抑制する効果、いわゆる一種のデトックス効果があることが知られている。

まず、金属の体内蓄積抑制作用についてであるが、ヒトにおいて体内の水銀、鉛、アルミニウムの尿からの排泄を促進する<sup>43)</sup>。マウスでも、大腿骨や腎臓からの鉛の排出を促進する<sup>44)</sup>。これにより、抗生物質の効果が高まることが期待される。マウスの脳、腎臓、大腿へのアルミニウムの蓄積も抑制される<sup>45)</sup>。ニジマスでもカドミウムの排泄を促進し、その肝臓、腎臓、腸への蓄積を抑制する<sup>46)</sup>。

水銀の排泄促進作用には、カルボン酸成分による吸着除去作用が寄与しているものと考えられる<sup>47)</sup>。鉛に対しても、マウス体内で鉛をキレートすることで、鉛によるδ-アミノレブリン酸デヒドロゲナーゼ活性の阻害を抑制しその毒性を軽減する<sup>44)</sup>。さらにカドミウムの場合も、ニジマス肝臓中のカドミウムをキレートすることにより肝臓や腎臓に対する毒性を抑制する<sup>48)</sup>。

### 1-5. 抗メタボリックシンドローム作用

コリアンダーの果実には、血糖降下作用があることが報告されている<sup>49)</sup>。その作用機序として、まず、グルコースの胃腸管壁の通過を抑制することが*in vitro*で報告されている<sup>50)</sup>。ラッ

トにおいては、ペントースリン酸経路と解糖系による糖の利用促進に関連して、高脂肪コレステロール食摂取による血糖値の上昇を抑制し、肝臓グリコーゲン濃度を増加させる<sup>51)</sup>。さらに、マウスおよびラットで、ストレプトソトシン誘発糖尿病における血糖値の上昇と体重の増加を抑制するが<sup>52)</sup>、これには筋肉でのグルコース酸化の促進作用、インスリン放出作用、インスリン様作用が関連する<sup>10,11)</sup>。

また、コリアンダーには動物における脂質代謝改善作用があることも知られている、コリアンダーの種子を、コレステロール添加高脂食摂取ラット<sup>53)</sup>あるいはトリトン誘発高脂血症ラット<sup>54)</sup>に投与すると、体内の総コレステロールと中性脂肪のレベルが低下する。また、高脂食摂取ラットでは、血中の低比重リポタンパク質コレステロール+超低比重リポタンパク質コレステロールのレベルが低下し、高比重リポタンパク質コレステロールのレベルは上昇する。血漿レシチンコレステロールアシルトランスフェラーゼ (LCAT) の活性が上昇することから、コレステロールの糞中胆汁酸への排泄や、胆汁酸や中性ステロールへの変換の上昇が促進されることに加え、脂質の吸収が抑制されることがその作用機序と考えられる。有効成分としては、コリアンダー種子油中のペトロセリン酸やオレイン酸などのモノ不飽和脂肪酸が挙げられる<sup>55)</sup>。コリアンダーの葉の投与では、マウスの血清総コレステロールのレベルが低下するとともに、脳コリンエステラーゼ活性が低下し、老齢および若齢マウスの記憶力の改善がみられている<sup>56)</sup>。コリアンダーの花粉にも、老齢ラットの血中コレステロール、トリグリセリド、LDL-コレステロールの各レベルを低下させ、HDL-コレステロールのレベルを増加させるとともに、肝臓の障害マーカーや組織障害を低下させる効果がある<sup>57)</sup>。

血圧に対する作用としては、コリアンダー粗

抽出物は、ウサギ大動脈の薬物収縮に対して拡張作用が、また、ラットに対しても血圧を低下させる効果がある<sup>38)</sup>。以上の結果から、コリアンダーには、高血糖、高脂血症、高血圧等を抑制し、循環器系疾患を予防する作用があることが期待される。

#### 1-6. 抗炎症作用

コリアンダーの果実を含む油性ローションには、ヒトへのUV-B照射による紅斑テストで紅斑の縮小と皮膚耐性の維持といった抗炎症作用があることが報告されている<sup>58)</sup>。そのメタノール抽出物にも、ラット踵浮腫に対する抗炎症作用がある<sup>8)</sup>。また、コリアンダーを含むアーユルベータの処方薬は、臨床試験ではないもののヒトの炎症性腸疾患、さらにはマウスの酢酸誘発大腸炎やラットのインドメタシン誘発大腸炎で抗炎症作用がみられる<sup>59)</sup>。

一方、コリアンダーの葉や茎の揮発性成分のエタノール抽出物は、リポポリサッカライドで誘発されるマクロファージでのNF- $\kappa$ Bの活性化およびMAPキナーゼ信号伝達経路を抑制することにより、NOやプロスタグランジンE<sub>2</sub>といった炎症性メディエーターの産生を阻害して強い抗炎症作用を示す<sup>60)</sup>。

これらのコリアンダーの抗炎症作用には、後述の抗酸化作用も、免疫細胞が産生する活性酸素を消去するという点で関与しているものと予想される。

#### 1-7. 抗がん作用・抗変異原作用

コリアンダーの果実には、マウスの肝がん細胞において解毒酵素の一つであるグルタチオンS-トランスフェラーゼ活性を上昇させる<sup>61)</sup>、*in vitro*で薬物代謝酵素活性を阻害しカビ毒のアフラトキシンB1のDNA付加物の形成を抑制することで発がん抑制作用を発揮する<sup>62)</sup>といった報告がある。また、その水抽出物には抗

変異原作用がみられる<sup>63)</sup>。コリアンダーの果実の抗がん作用には、その成分であるリナロールやミルセン、ネロリドール等が関与しているものと考えられる。これらの化合物には、細胞内活性酸素を増加させることで *in vitro* で肝がん細胞の増殖を抑制する<sup>64)</sup>、胃がんの原因の一つとされる亜硝酸ナトリウムを消去する<sup>65)</sup>などの効果が知られている。また、コレステロールの排泄を促すことでラット結腸がんモデルに効果があるという報告もある<sup>66)</sup>。

コリアンダーの葉に関しては、アミノ酸酸化物である活性型 Trp-P-2 や芳香族アミンの代謝物等の変異原性を抑制するほか<sup>67, 68)</sup>、魚類 *Channa punctatus* の末梢赤血球における抗菌薬メトロニダゾール誘発の遺伝毒性を緩和するという報告がある<sup>69)</sup>。また、水銀の蓄積抑制作用から、ヒトにおける歯科用アマルガムの除去と光線照射の治療の際に起こる口腔前がん状態を、エイコサペンタエン酸およびドコサヘキサエン酸との混合物で抑制することができる<sup>70)</sup>。

以上のような、より直接的な抗がん作用のほかに、コリアンダーの抗炎症作用によってがんにおける痛みが緩和されるといった効果も期待できる。

#### 1-8. 抗酸化作用

これまでに紹介してきた重金属のキレート作用や脂質代謝改善作用、抗炎症作用、抗がん作用、抗変異原作用には、コリアンダーの抗酸化作用が一部関わっていることが予想される。コリアンダーの果実には、*in vitro* で活性酸素や 1,1-ジフェニル-2-ピクリルヒドラジル (DPPH) 等のラジカルを消去したり<sup>71, 72)</sup>、硫酸鉄 (II) - アスコルビン酸誘発の脂質過酸化反応によるヒト赤血球膜の分解を阻害する作用<sup>73)</sup>があることが報告されている。また、*in vitro* でヒマワリ油やダイズ油、ウイキョウ油の熱酸化を抑制し、特にヒマワリ油中ではビタミン E 含量を

保持したり、過酸化脂質の分解物の一つであるヘキサナールの生成を抑制することが知られている<sup>74-76)</sup>。過酸化脂質の分解により生じるヘキサナールやノネナールといったアルデヒド・ケトン類は、細胞毒性が強だけでなく加齢臭の成分としても知られている。調理では、コリアンダーはブタ肉の脂質酸化を防止する<sup>77)</sup>。コリアンダーの果実に含まれる抗酸化成分としては、 $\beta$ -カロテン等のカロテノイド類<sup>78)</sup>、リン脂質、糖脂質、中性脂質、メイラード反応産物である褐変成分<sup>72)</sup>、エスクレチン、スコポレチン、7-ヒドロキシクマリン、キサントトキシン、5-メトキシプソラレン、ルチン等のポリフェノール化合物<sup>79)</sup>、リナロール<sup>80)</sup>、セレン<sup>81)</sup>などが挙げられている。コリアンダーの果実の作用は、*in vitro* だけでなく動物体内でも発揮され、ラットでの有機塩素系殺虫剤による酸化障害の抑制<sup>82)</sup>、ラットでの高脂食摂取時の酸化障害の抑制と抗酸化酵素活性の上昇<sup>83)</sup>、マウスでの鉛による酸化障害の抑制<sup>84)</sup>の各作用が認められている。

以前我々も、コリアンダー果実のエキスの *in vitro* での抗酸化作用を種々のハーブのエキスと比較した。市販のコリアンダー、オレガノ (*Origanum vulgare*)、クローブ (*Syzygium aromaticum*)、ローズマリー (*Rosmarinus officinalis* L.) を微粉碎し、9倍量の水を加え、50℃で1時間振盪抽出した。その後、10℃、5000 rpm で20分間遠心分離し、その上清を凍結乾燥することによって得た粉末をエキスとして用いた。それぞれの収量は、コリアンダー 3.64% (w/w)、オレガノ 9.00% (w/w)、クローブ 6.21% (w/w)、ローズマリー 11.20% (w/w) であった。抗酸化作用の評価系としては、図1に示すように、DPPH を用いたアゾラジカル捕捉力、フェナジメトスルフェート (PMS) およびニトロブルーテトラゾリウム (NBT) を用いたスーパーオキシドアニオンラジカル捕捉力、2,2-アゾビス (2-ア

ミジノプロパン)ニ塩酸塩(AAPH)を用いたペルオキシラジカル捕捉力, t-ブチルヒドロペルオキシド(BHP)を用いたアルコキシラジカル捕捉力, マウス脳自動酸化法を用いた鉄キレート力の5種類を使用した。エキスはすべて、最終濃度0.1 mg/mLに調整して比較した。いずれの評価系においても、コリアンダーエキスによる抗酸化作用は認められたが、スーパーオキシドアニオンラジカル捕捉力以外の抗酸化力は、いずれも他の3つのハーブエキスに比較してそれほど強いものではなかった。

コリアンダーの葉では、*in vitro*で高い酸素ラジカル消去作用がみられるほか<sup>85)</sup>、15-リポキシゲナーゼ活性に対する阻害作用やブタ脳のリン脂質過酸化反応に対する抑制作用があり、その抗酸化力は果実に比較して強いとされる<sup>71)</sup>。ただし、抗酸化力の一つである鉄キレート作

用については、コリアンダーの葉よりもさらに茎の方が強いという報告がある<sup>30)</sup>。調理では、コリアンダーの葉はその還元性から、ソーセージなどの肉製品の貯蔵性を増加させる<sup>26)</sup>。コリアンダーの葉に含まれる抗酸化成分としては、カフェー酸、フェルラ酸、没食子酸、クロロゲン酸といったポリフェノール化合物<sup>85, 86)</sup>のほか、カロテノイド類やビタミンC、ビタミンE等の抗酸化性ビタミン類がある<sup>87, 88)</sup>。このうち、ポリフェノール化合物は比較的熱処理に弱い、ビタミンCはアスコルビン酸酸化酵素活性が高いことから熱処理でも残存することが報告されている。*in vivo*におけるコリアンダーの葉の抗酸化作用としては、ラットでの四塩化炭素による肝臓の酸化障害に対する抑制効果が知られている<sup>89)</sup>。

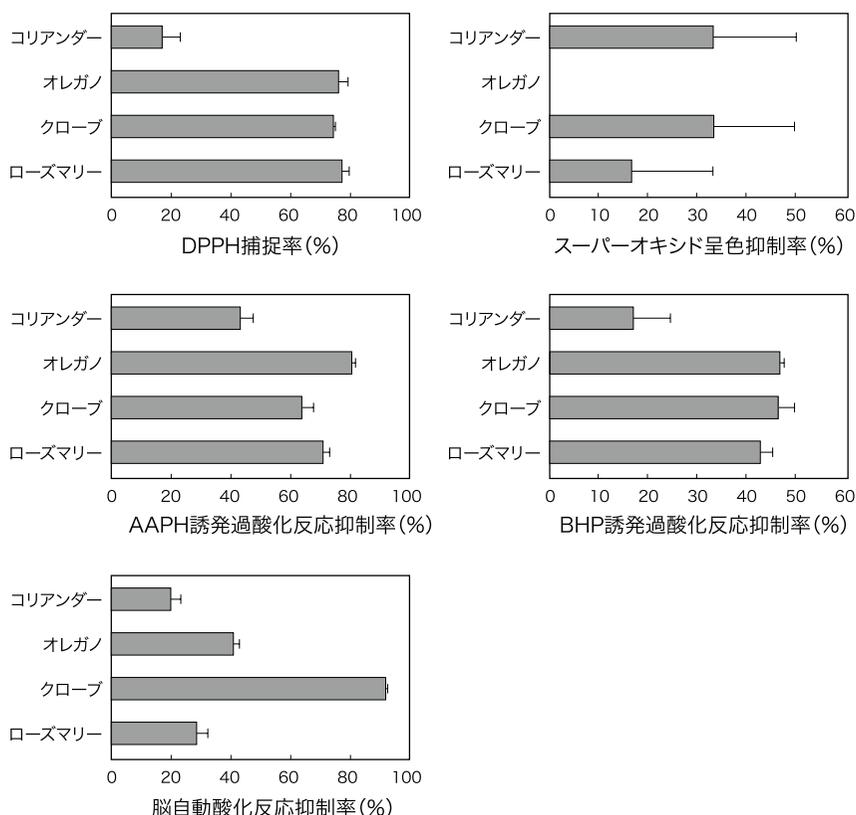


図1 *in vitro*におけるコリアンダー果実エキスおよび各種ハーブエキスの抗酸化作用

### 1-9. 抗不安作用・抗不眠作用

コリアンダーには、マウスにおいて鎮静作用と筋弛緩作用が関連すると考えられる抗不安作用がみられる<sup>13)</sup>。また、GABA<sub>A</sub>受容体応答を亢進することで、睡眠薬との併用によりマウスの睡眠時間を延長する<sup>90)</sup>。コリアンダーに含まれる1,8-シネオールや*d*-リモネンには、ヒト肝細胞の薬物代謝酵素CYP3A4の活性を阻害することで、鎮静薬ミダゾラム等の睡眠薬の代謝を遅らせて睡眠時間を延長する効果もある<sup>91)</sup>。

### 1-10. その他の保健作用

コリアンダーに関するその他の保健作用としては、果実にラットにおける性交後の避妊作用があるが、その効果は完全ではない<sup>92)</sup>。血中プロゲステロンレベルの低下作用が関連すると考えられるが、流産や胎児の異常は認められていない。

コリアンダーの果実やその成分であるペトロセリン酸を含む処方では、毛根鞘細胞の増殖促進作用<sup>93)</sup>やヒトのケラチン産生細胞の増殖促進作用<sup>24)</sup>によると考えられる、女性の加齢による薄毛に対する育毛作用が期待される<sup>94)</sup>。

また、コリアンダーの葉に含まれるカロテノイド類は、ビタミンA欠乏のニワトリのひなにおいて肝臓や血漿のビタミンAレベルの低下を回復し<sup>95)</sup>、ビタミンA欠乏による障害を抑制する<sup>96)</sup>。

## 2. 有害性と安全性

保健作用を有するどのような天然物も、ましてその有効成分単独であればなおのこと、過剰摂取時の有害性には注意する必要がある。以下にコリアンダーに関する有害性と安全性に関するこれまでの報告を示すが、例えば変異原性のようにその有無の両方が提示されているような

ものもある。これらの研究結果は矛盾しているわけではなく、過剰に用いた場合の有害性と通常摂取する量での安全性が示されているものと考えられる。コリアンダーに限らず、保健作用のあるどのような食材の場合にも、それ単独での摂取量や他の食材、あるいは医薬品等との組み合わせによる摂取に注意したいものである。

まず、コリアンダーの果実の有害性についてであるが、調理において、ドライソーセージの貯蔵で香気を悪変させる場合がある<sup>97)</sup>。また、真菌に対してはカビの一種 *Aspergillus parasiticus* の増殖を促進することがある<sup>98)</sup>。ラットで胃酸分泌を促進し、アスピリンで傷害された胃においても酸分泌を増加させる<sup>99)</sup>。コリアンダー果実に含まれるペトロセリン酸の過剰摂取で、ラットにおいて門脈から肝細胞内への強い脂肪浸潤と肝臓重量の増加、肝細胞の変性、肝細胞中のアラキドン酸含有量比の低下とリノール酸含有量比の増加などがみられる<sup>100, 101)</sup>。酢酸ゲラニル単独では、マウスとラットにおける慢性毒性として、生存率低下と体重減少、さらには肝臓と腎臓で細胞質液胞化を起こす<sup>102)</sup>。変異原性については、亜硝酸処理により陽性を示すことがあり<sup>63)</sup>、さらに、環境中の芳香族アミンや殺虫剤成分の変異原性を高めることもある<sup>103)</sup>。二次代謝産物であるN-フェニルプロペノイル-L-アミノ酸アミド類は、*in vitro*でヒト肝がん細胞を活性化してグルタチオンS-トランスフェラーゼ活性を抑制することがある<sup>24)</sup>。コリアンダーとクミンの組み合わせは、盲腸内β-グルクロニダーゼおよびβ-グルコシダーゼ活性を上昇させることで、大腸がんの発症に関与する可能性がある<sup>42)</sup>。酸化反応に対しては、加熱ヒマワリ油中のビタミンEの酸化を促進することがある<sup>104)</sup>。コリアンダー果実に対するアナフィラキシー型のアレルギー患者の例については、かなりの数の報告がある<sup>105)</sup>。その多くはソーセージ製造

者や香辛料製造者といった職業的にコリアンダーに接触する機会の多い者にみられる過敏症である。症状としては、蕁麻疹、気管支喘息、皮膚炎、口腔・鼻咽腔での急性症状が知られている。アレルゲンは、分子量 20 ~ 60 kDa のタンパク質であるとされている。他の香辛料や食材との交叉性もみられる<sup>106)</sup>。ただし、食物アレルギー全体における香辛料アレルゲンの占める割合は 2% と低く<sup>107)</sup>、ゼラチンカプセルに入れて経口投与した場合には、口腔・鼻咽腔での急性症状が予防されるという報告もある<sup>108)</sup>。

コリアンダーの葉の有害性については、肝細胞や腎臓細胞への細胞毒性や、ヒト細胞系統とニワトリの胚細胞に対する催奇形性が報告されている<sup>109)</sup>。また、果実の場合と同様に、香辛料製造者にアナフィラキシー型のアレルギー反応が現れることがあり、症状は気管支喘息や肺および気管支の急性症状と機能障害がある<sup>110)</sup>。コリアンダーの葉には 3 ~ 9 mg/2 g とナトリウムが多く含まれるため、高血圧や腎機能障害等で食塩の摂取制限が行われている場合には注意が必要である<sup>111)</sup>。コリアンダーの葉に含まれる不溶性のシュウ酸塩は、カルシウムの吸収を抑制することがある<sup>112)</sup>。

一方、コリアンダーの安全性を報告した例も多い。コリアンダー果実油には、ラットの成長に有害な作用は認められていない<sup>113)</sup>。ラットに 28 日間経口投与した場合のコリアンダー精油の最大無毒性量は、約 160 ~ 500 mg/kg/日である<sup>7)</sup>。また、*Pediococcus* 属の乳酸菌の増殖には影響しない<sup>36)</sup>。変異原性については、Ames テストによる塩基対置換変異原性は認められていない<sup>114)</sup>。コリアンダーの果実の精油には、染色体異常誘発性は認められず、刺激性はあるが過敏症は誘発されない<sup>7)</sup>。成分であるリナロールには変異原性は認められず、酢酸ゲラニルにも明確な発がん性は認められない<sup>102)</sup>。香辛料としての使用量はそれほど多くないの

で、食品添加物としての現在の使用量では十分に安全と考えられている。コリアンダーの葉についても、その濃縮エキスには有毒性や変異原性は認められていない<sup>63, 68)</sup>。しかし、その水抽出物の濃度が 1.6 µg/mL を超えると催奇形性、細胞毒性、変異原性が起こる可能性もあるという報告もある<sup>109)</sup>。環境中の芳香族アミンや殺虫剤の濃度が 1 ~ 500 µg/2.25 mL 以上の場合には、葉の中で変異原性物質が生成する可能性がある<sup>103)</sup>。従って、安全性や毒性を考える上では、常にこれらの濃度に注意する必要がある。コリアンダーの葉の重金属蓄積抑制作用においては、ニジマスの成長や必須微量元素の体内レベルに影響することはない<sup>64)</sup>。

#### おわりに

ここまで、コリアンダーの食材としての機能性について、これまでに知られている知見を紹介してきた。ほかにも、β-ガラクトシダーゼ活性の高いハーブヨーグルトの素材<sup>115)</sup>として、また、その脱脂果実粉をパンの食物繊維およびミネラルの強化剤<sup>116)</sup>として利用することが検討されている。

ところで、コリアンダーには食材として以外の利用法もある。まずは、有害生物に対する防除作用が多くの論文で報告されている。例えば、コリアンダーの果実でマツ材線虫やアニサキス亜科幼線虫、ネマトーダ線虫に対する殺線虫活性がみられている。特に、ネマトーダ線虫に対する効果はヒツジの体内でも確認されている<sup>117)</sup>。有効成分としては、アルデヒド類、リモネン、オイゲノール、長鎖アルコール類が挙げられる。また、マダニやナミハダニといった節足動物にも防除効果を示す。さらに、貯蔵米害虫、チャバネゴキブリ、アカイエカ、ヤブカ、タバココナジラミなどの昆虫の成虫や幼虫に対しても殺虫活性や忌避効果がみられる。ヤブカに対する有効成分はリナロールとされる。コリ

アンダーの葉では、ナメクジに対する防除作用が知られている。

次に、工業素材としての利用がある。コリアンダーの果実は、リナロールと酢酸リナリルの製造原料として利用可能なほか、ペトロセリン酸をアジピン酸製造原料として利用することもできる。また、その脱脂果実粉または濃縮タンパク質は、カノーラ油の乳化剤として利用可能である。さらに、コリアンダー油のメチルエステル化物は、バイオディーゼル基準に適合する

ため優れた燃料特性を持つとされる。中炭素合金鋼の防食剤としての使用も報告されている。コリアンダーの葉は、その還元力を利用して金ナノ粒子の細胞外での生物学的合成に使用することができる。

以上のように、コリアンダーは果実、葉、茎などの部位が健康に良い効果を持つほか、様々な利用法のある有用な天然物であると考えられる。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) K. Msaada, K. Hosni, M. B. Taarit, *et al.*: Variations in essential oil composition during maturation of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits. *J. Food Biochem.* **33**: 603-612. 2009.
- 2) M. Zviely: Molecule of the month: trans-2-dodecenal. *Perfum Flavorist* **34**: 26-28. 2009.
- 3) E. de Almeida Melo, J. M. Filho, N. B. Guerra: Characterization of antioxidant compounds in aqueous coriander extract (*Coriandrum sativum* L.). *Food Sci. Technol.* **38**: 15-19. 2005.
- 4) T. Daly, M. A. Jiwan, N. M. O'Brien, *et al.*: Carotenoid content of commonly consumed herbs and assessment of their bioaccessibility using an *in vitro* digestion model. *Plant Foods Hum. Nutr.* **65**: 164-169. 2010.
- 5) K. R. Cadwallader, R. Surakarnkul, S.-P. Yang, *et al.*: Character-impact aroma components of coriander (*Coriandrum sativum* L.) herb, in Flavor Chem. Ethnic. Foods, ed. F. Shahidi, C.-T. Ho, Kluwer Academic Publishers, MA, USA, pp.77-84 . 1999.
- 6) K. Kohara, Y. Sakamoto, Y. Hayama, *et al.*: Fluctuations in volatile compounds in leaves, stems, and fruits of growing coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants. 園芸学会雑誌 **75**: 267-269. 2006.
- 7) G. A. Burdock, I. G. Carabin: Safety assessment of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil as a food ingredient. *Food Chem. Toxicol.* **47**: 22-34. 2009.
- 8) V. Nair, S. Singh, Y. K. Gupta: Anti-granuloma activity of *Coriandrum sativum* in experimental models. *J. Ayurveda Integr. Med.* **4**: 13-18. 2013.
- 9) A. Pieroni, C. Gray: Herbal and food folk medicines of the Russlanddeutschen living in Künzelsau/Taläcker, South-Western Germany. *Phytother. Res.* **22** : 889-901. 2008.
- 10) M. Eidi, A. Eidi, A. Saeidi, *et al.*: Effect of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.) ethanol extract on insulin release from pancreatic beta cells in streptozotocin-induced diabetic rats. *Phytother. Res.* **23**: 404-406. 2009.
- 11) A. M. Gray, P. R. Flatt: Insulin-releasing and insulin-like activity of the traditional anti-diabetic plant *Coriandrum sativum* (coriander). *Br. J. Nutr.* **81**: 203-209. 1999.
- 12) P. Dhanapakiam, J. M. Joseph, V. K. Ramaswamy, *et al.*: The cholesterol lowering property of coriander seeds (*Coriandrum sativum*): mechanism of action. *J. Environ. Biol.* **29**: 53-56. 2008.
- 13) M. Emamghoreishi, M. Khasaki, M. F. Aazam: *Coriandrum sativum*: evaluation of its anxiolytic effect in the elevated plus-maze. *J. Ethnopharmacol.* **96**: 365-370. 2005.
- 14) K. Kohara, R. Kadomoto, Y. Hayata, *et al.*: Deodorizing effect of coriander on the offensive odor of the porcine large intestine. *Food Sci. Technol. Res.* **12**: 38-42. 2006.
- 15) 小原 香, 角本 玲子, 早田 保義 他: コリアンダ (*Coriandrum sativum* L.) の豚臓器臭および魚臭に及ぼす消臭効果と消臭成分の解析. 園芸学会雑誌 別冊 **73**: 167. 2004.
- 16) 武政 三男: 新時代のスパイス活用術 34 スパイスの適合性を把握する「頻度パターン分析法」(6). フードリサーチ **604**: 62-64. 2005.
- 17) H. Ikeura, K. Kohara, X. X. Li, *et al.*: Identification of (*E,E*)-2,4-undecadienal from coriander (*Coriandrum*

- sativum* L.) as a highly effective deodorant compound against the offensive odor of porcine large intestine. *J. Agric. Food Chem.* **58**: 11014–11017. 2010.
- 18) P. Rattanachaikunsopon, P. Phumkhachorn: Potential of coriander (*Coriandrum sativum*) oil as a natural antimicrobial compound in controlling *Campylobacter jejuni* in raw meat. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **74** : 31-35. 2010.
- 19) A. O. Gill, P. Delaquis, P. Russo, *et al.*: Evaluation of antilisterial action of cilantro oil on vacuum packed ham. *Int. J. Food Microbiol.* **73**: 83-92. 2002.
- 20) M. M. Prasad, G. Seenayya: Effect of spices on the growth of red halophilic cocci isolated from salt cured fish and solar salt. *Food Res. Int.* **33**: 793-798. 2000.
- 21) M. Elgayyar, F. A. Draughon, D. A. Golden, *et al.*: Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *J. Food Prot.* **64**: 1019-1024. 2001.
- 22) 長谷川 撰, 藤井 正人, 車谷 佳恵 他: 植物に含まれる抗菌性物質の利用技術の開発. 愛知県産業技術研究所研究報告 **1**: 124-127. 2002.
- 23) H. Ono, S. Tesaki, S. Tanabe, *et al.*: 6-Methylsulfinylhexyl isothiocyanate and its homologues as food-originated compounds with antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **62**: 363-365. 1998.
- 24) A. Hensel, A. M. Deters, G. Müller, *et al.*: Occurrence of N-phenylpropenoyl-L-amino acid amides in different herbal drugs and their influence on human keratinocytes, on human liver cells and on adhesion of *Helicobacter pylori* to the human stomach. *Planta Med.* **73**: 142-150. 2007.
- 25) Y. Nakano, H. Matsunaga, T. Saita, *et al.*: Antiproliferative constituents in Umbelliferae plants II. Screening for polyacetylenes in some Umbelliferae plants, and isolation of panaxynol and falcarinidiol from the root of *Heracleum moellendorffii*. *Biol. Pharm. Bull.* **21**: 257-261. 1998.
- 26) A. Palic, D. Krizanec, Z. Dikanovic-Lucan: The antioxidant properties of spices in dry fermented sausages. *Fleischwirtschaft* **73**: 670-672. 1993.
- 27) M. L. Stecchini, I. Sarais, P. Giavedoni: Effect of essential oils on *Aeromonas hydrophila* in a culture medium and in cooked pork. *J. Food Prot.* **56**: 406-409. 1993.
- 28) P. J. Delaquis, K. Stanich, B. Girard, *et al.*: Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils. *Int. J. Food Microbiol.* **74**: 101-109. 2002.
- 29) I. Kubo, K. Fujita, A. Kubo, *et al.*: Antibacterial activity of coriander volatile compounds against *Salmonella choleraesuis*. *J. Agric. Food Chem.* **52** : 3329-3332. 2004.
- 30) P. Y. Y. Wong, D. D. Kitts: Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (*Petroselinum crispum*) and cilantro (*Coriandrum sativum*) extracts. *Food Chem.* **97**: 505-515. 2006.
- 31) 田口 裕基, 新井 亮, 小宮 真由美 他: スパイスおよびハーブの試験管内での *Candida albicans* の菌糸形発育抑制作用およびそれらのマウス腸管内 *Candida* 定着に対する効果. 応用薬理 **64**: 53-57. 2003.
- 32) A. Tantaoui-Elaraki, L. Beraoud: Inhibition of growth and aflatoxin production in *Aspergillus parasiticus* by essential oils of selected plant materials. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* **13**: 67-72. 1994.
- 33) S. Larran, J. A. Ringuelet, M. R. Carranza, *et al.*: *In vitro* fungistatic effect of essential oils against *Ascosphaera apis*. *J. Essent. Oil Res.* **13**: 122-124. 2001.
- 34) F. Bakkali, S. Averbeck, D. Averbeck, *et al.*: Cytotoxicity and gene induction by some essential oils in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutat. Res.* **585**: 1-13. 2005.
- 35) K. Platel, K. Srinivasan: A Study of the digestive stimulant action of select spices in experimental rats. *J. Food Sci. Technol.* **38**: 358-361. 2001.
- 36) P. Darmadji, M. Izumimoto, K. Kataoka: Antibacterial effects of spices on fermented meat. 岡山大学農学部学術報告 **83**: 9-15. 1994.
- 37) R. Vejdani, H. R. Shalmani, M. Mir-Fattahi, *et al.*: The efficacy of an herbal medicine, Carmint, on the relief of abdominal pain and bloating in patients with irritable bowel syndrome: a pilot study. *Dig. Dis. Sci.* **51**: 1501-1507. 2006.
- 38) Q. Jabeen, S. Bashir, B. Lyoussi, *et al.*: Coriander fruit exhibits gut modulatory, blood pressure lowering and diuretic activities. *J. Ethnopharmacol.* **122**: 123-130. 2009.
- 39) S. I. Kreydiyyeh, J. Usta, R. Copti: Effect of cinnamon, clove and some of their constituents on the Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-

- ATPase activity and alanine absorption in the rat jejunum. *Food Chem. Toxicol.* **38**: 755-762. 2000.
- 40) K. Platel, A. Rao, G. Saraswathi, *et al.*: Digestive stimulant action of three Indian spice mixes in experimental rats. *Nahrung.* **46**: 394-398. 2002.
  - 41) K. Platel, K. Srinivasan: Studies on the influence of dietary spices on food transit time in experimental rats. *Nutr. Res.* **21**: 1309-1314. 2001.
  - 42) 菅原 正義, 鈴木 紀雄: クミン, コリアンダ, レッドペッパーからなる香辛料摂取がラット腸内環境に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌 **50**: 43-49. 1997.
  - 43) Y. Omura, S. L. Beckman: Role of mercury (Hg) in resistant infections & effective treatment of *Chlamydia trachomatis* and Herpes family viral infections (and potential treatment for cancer) by removing localized Hg deposits with Chinese parsley and delivering effective antibiotics using various drug uptake enhancement methods. *Acupunct. Electrother. Res.* **20**: 195-229. 1995.
  - 44) M. Aga, K. Iwaki, Y. Ueda, *et al.*: Preventive effect of *Coriandrum sativum* (Chinese parsley) on localized lead deposition in ICR mice. *J. Ethnopharmacol.* **77**: 203-208. 2001.
  - 45) M. Aga, K. Iwaki, S. Ushio, *et al.*: Preventive effect of *Coriandrum sativum* (Chinese parsley) on aluminum deposition in ICR mice. *Nat. Med.* **56**: 187-190. 2002.
  - 46) H. Jia, H. Ren, M. Maita, *et al.*: Development of functional fish feed with natural ingredients to control heavy metals. *Toxicol. Mech. Methods* **16**: 411-417. 2006.
  - 47) D. Karunasagar, M. V. Krishna, S. V. Rao, *et al.*: Removal and preconcentration of inorganic and methyl mercury from aqueous media using a sorbent prepared from the plant *Coriandrum sativum*. *J. Hazard Mater.* **118**: 133-139. 2005.
  - 48) H. Jia, H. Ren, H. Endo, *et al.*: Effect of cadmium binding form on rabbit aminolevulinic dehydratase in high molecular weight fraction of rainbow trout liver. *Fish. Sci.* **76**: 495-501. 2010.
  - 49) K. Srinivasan: Plant foods in the management of diabetes mellitus: spices as beneficial antidiabetic food adjuncts. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **56**: 399-414. 2005.
  - 50) A. M. Gallagher, P. R. Flatt, G. Duffy, *et al.*: The effects of traditional antidiabetic plants on *in vitro* glucose diffusion. *Nutr. Res.* **23**: 413-424. 2003.
  - 51) V. Chithra, S. Leelamma: *Coriandrum sativum*. Mechanism of hypoglycemic action. *Food Chem.* **67**: 229-231. 1999.
  - 52) S. K. Swanson-Flatt, C. Day, C. J. Bailey, *et al.*: Traditional plant treatments for diabetes. Studies in normal and streptozotocin diabetic mice. *Diabetologia* **33**: 462-464. 1990.
  - 53) V. Chithra, S. Leelamma: Hypolipidemic effect of coriander seeds (*Coriandrum sativum*): mechanism of action. *Plant Foods Hum. Nutr.* **51**: 167-172. 1997.
  - 54) A. A. Lal, T. Kumar, P. B. Murthy, *et al.*: Hypolipidemic effect of *Coriandrum sativum* L. in triton-induced hyperlipidemic rats. *Indian J. Exp. Biol.* **42**: 909-912. 2004.
  - 55) M. F. Ramadan, M. M. A. Amer, A. A. El-Said: Coriander (*Coriandrum sativum* L.) seed oil improves plasma lipid profile in rats fed a diet containing cholesterol. *Eur. Food Res. Technol.* **227**: 1173-1182. 2008.
  - 56) V. Mani, M. Parle, K. Ramasamy, *et al.*: Reversal of memory deficits by *Coriandrum sativum* leaves in mice. *J. Sci. Food Agric.* **91**: 186-192. 2011.
  - 57) R. S. Farag, H. A. Thabet: Nutritional benefits of pollen grains of some medical and classical plants on elderly rat health. *Adv. Food Sci.* **31**: 2-7. 2009.
  - 58) J. Reuter, C. Huyke, F. Casetti: Anti-inflammatory potential of a lipolotion containing coriander oil in the ultraviolet erythema test. *J. Dtsch. Dermatol. Ges.* **6**: 847-851. 2008.
  - 59) A. G. Jagtap, S. S. Shirke, A. S. Phadke: Effect of polyherbal formulation on experimental models of inflammatory bowel diseases. *J. Ethnopharmacol.* **90**: 195-204. 2004.
  - 60) T. T. Wu, C. W. Tsai, H. T. Yao, *et al.*: Suppressive effects of extracts from the aerial part of *Coriandrum sativum* L. on LPS-induced inflammatory responses in murine RAW 264.7 macrophages. *J. Sci. Food Agric.* **90**: 1846-1854. 2010.
  - 61) S. Banerjee, R. Sharma, R. K. Kale, *et al.*: Influence of certain essential oils on carcinogen-metabolizing enzymes and acid-soluble sulfhydryls in mouse liver. *Nutr. Cancer* **21**: 263-269. 1994.
  - 62) S. Hashim, V. S. Aboobaker, R. Madhubala, *et al.*: Modulatory effects of essential oils from spices on the

- formation of DNA adduct by aflatoxin B1 *in vitro*. *Nutr. Cancer* **21**: 169-175. 1994.
- 63) M. Higashimoto, J. Purintrapiban, K. Kataoka, *et al.*: Mutagenicity and antimutagenicity of extracts of three spices and a medicinal plant in Thailand. *Mutat. Res.* **303**: 135-142. 1993.
- 64) J. Usta, S. Kreydiyyeh, K. Knio, *et al.*: Linalool decreases HepG2 viability by inhibiting mitochondrial complexes I and II, increasing reactive oxygen species and decreasing ATP and GSH levels. *Chem. Biol. Interact.* **180**: 39-46. 2009.
- 65) Z. Lu: Study on chemical composition of aroma and the essential oil of coriander and celery seeds and the NaNO<sub>2</sub> scavenging effect of the essential oil. *香料* **239**: 105-112. 2008.
- 66) V. Chithra, S. Leelamma: *Coriandrum sativum* — effect on lipid metabolism in 1,2-dimethyl hydrazine induced colon cancer. *J. Ethnopharmacol.* **71**: 457-463. 2000.
- 67) 糖谷 東雄: 環境中の変異原・がん原物質の分離同定に関する研究. 厚生省がん研究助成金による研究報告集 1992: 340-343. 1994.
- 68) J. Cortés-Eslava, S. Gómez-Arroyo, R. Villalobos-Pietrini, *et al.*: Antimutagenicity of coriander (*Coriandrum sativum*) juice on the mutagenesis produced by plant metabolites of aromatic amines. *Toxicol. Lett.* **153**: 283-292. 2004.
- 69) S. N. Talapatra, S. Dasgupta, G. Guhab, *et al.*: Therapeutic efficacies of *Coriandrum sativum* aqueous extract against metronidazole-induced genotoxicity in *Channa punctatus* peripheral erythrocytes. *Food Chem. Toxicol.* **48**: 3458-3461. 2010.
- 70) Y. Omura, Y. Shimotsuura, A. Fukuoka, *et al.*: Significant mercury deposits in internal organs following the removal of dental amalgam, & development of pre-cancer on the gingiva and the sides of the tongue and their represented organs as a result of inadvertent exposure to strong curing light (used to solidify synthetic dental filling material) & effective treatment: a clinical case report, along with organ representation areas for each tooth. *Acupunct. Electrother. Res.* **21**: 133-60. 1996.
- 71) H. Wangenstein, A. B. Samuelsen, K. E. Malterud: Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food Chem.* **88**: 293-297. 2004.
- 72) M. F. Ramadan, L. W. Kroh, J. T. Mörsel: Radical scavenging activity of black cumin (*Nigella sativa* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.), and niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) crude seed oils and oil fractions. *J. Agric. Food Chem.* **51**: 6961-6969. 2003.
- 73) R. Sujatha, L. Srinivas: Modulation of lipid peroxidation by dietary components. *Toxicol. In Vitro* **9**: 231-236. 1995.
- 74) P. M. Angelo, N. Jorge: Antioxidant evaluation of coriander extract and ascorbyl palmitate in sunflower oil under thermoxidation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **85**: 1045-1049. 2008.
- 75) G. Singh, O. P. Singh, S. Maurya: Studies on essential oils. Part 31 Volatile oils as natural antioxidants for sunflower and soybean oils. *Riv. Ital. Sostanze Grasse* **81**: 191-193. 2004.
- 76) E. E. Stashenko, M. A. Puertas, J. R. Martinez: SPME determination of volatile aldehydes for evaluation of *in vitro* antioxidant activity. *Anal. Bioanal. Chem.* **373**: 70-74. 2002.
- 77) H. Tanabe, M. Yoshida, N. Tomita: Comparison of the antioxidant activities of 22 commonly used culinary herbs and spices on the lipid oxidation of pork meat. *Anim. Sci. J.* **73**: 389-393. 2002.
- 78) N. B. Guerra, E. D. A. Melo, J. M. Filho: Antioxidant compounds from coriander (*Coriandrum sativum* L.) etheric extract. *J. Food Compos. Anal.* **18**: 193-199. 2005.
- 79) M. Adam, P. Dobiás, A. Eisner, *et al.*: Extraction of antioxidants from plants using ultrasonic methods and their antioxidant capacity. *J. Sep. Sci.* **32**: 288-294. 2009.
- 80) T. P. Krishnakantha, B. R. Lokesh: Scavenging of superoxide anions by spice principles. *Indian J. Biochem. Biophys.* **30**: 133-134. 1993.
- 81) O. M. Musa, A. Uenver, D. Arslan, *et al.*: Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction. *Food Chem.* **106**: 1120-1127. 2008.
- 82) K. R. Anilakumar, N. S. Nagaraj, K. Santhanam: Effect of coriander seeds on hexachlorocyclohexane induced lipid peroxidation in rat liver. *Nutr. Res.* **21**: 1455-1462. 2001.
- 83) V. Chithra, S. Leelamma: *Coriandrum sativum* changes the levels of lipid peroxides and activity of antioxidant enzymes in experimental animals. *Indian J. Biochem. Biophys.* **36**: 59-61. 1999.

- 84) V. Sharma, L. Kansal, A. Sharma: Prophylactic efficacy of *Coriandrum sativum* (coriander) on testis of lead-exposed mice. *Biol. Trace Elem. Res.* **136**: 337-354. 2010.
- 85) M. Isabelle, B. L. Lee, W.-P. Kou, *et al.*: Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore. *Food Chem.* **120**: 993-1003. 2010.
- 86) M. Bajpai, A. Mishra, D. Prakash: Antioxidant and free radical scavenging activities of some leafy vegetables. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **56**: 473-481. 2005.
- 87) 山脇 和樹, 森田 典子, 村上 公一 他: フレッシュハーブとその熱湯抽出液中のアスコルビン酸含量ならびにアスコルビン酸酸化酵素活性. 日本食品工業学会誌 **40**: 636-640. 1993.
- 88) C. N. Kobori, D. B. Amaya: Uncultivated Brazilian green leaves are richer sources of carotenoids than are commercially produced leafy vegetables. *Food Nutr. Bull.* **29**: 320-328. 2008.
- 89) S. Sreelatha, P. R. Padma, M. Umadevi: Protective effects of *Coriandrum sativum* extracts on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats. *Food Chem. Toxicol.* **47**: 702-708. 2009.
- 90) S. Mubassara, 牛嶋 明日美, 青島 均: 睡眠薬で誘導されるマウスの睡眠時間に対する, GABA<sub>A</sub> 受容体応答を強める精油による促進効果. *Aroma Res.* **9**: 257-263. 2008.
- 91) W. Zhang, L. Y. Lim: Effects of spice constituents on P-glycoprotein-mediated transport and CYP3A4-mediated metabolism in vitro. *Drug Metab. Dispos.* **36**: 1283-1290. 2008.
- 92) M. S. Al-Said, K. I. Al-Khamis, M. W. Islam, *et al.*: Post-coital antifertility activity of the seeds of *Coriandrum sativum* in rats. *J. Ethnopharmacol.* **21**: 165-173. 1987.
- 93) 田島 正裕: 新育毛料の開発と展望. *Bio Ind.* **15**: 12-18. 1998.
- 94) 渡辺 真一, 横幕 敦司: エイジング・介護用化粧品の開発と展望 エイジング対応ヘアケア製品の開発と展望. *Fragr. J.* **27**: 36-41. 1999.
- 95) K. C. Goyal, Y. K. Sharma, U. K. Misra: Effect of carotenoid isolates from green leaves on the growth and hepatic vitamin A levels of vitamin A deficient chicks. *Nutr. Rep. Int.* **29**: 1155-1160. 1984.
- 96) K. C. Goyal, Y. K. Sharma, U. K. Misra: Restoration of vitamin A deficiency induced lesions by provitamin A carotenoids in chicks: studies on tissue DNA, RNA and protein. *Nutr. Rep. Int.* **30**: 501-504. 1984.
- 97) G. F. Hammer: Lagerungsstabilisierende wirkung verschiedener naturgewuerze auf rohwurst. *Fleischwirtschaft* **57**: 1944-1947. 1977.
- 98) Z. Oezcan: Inhibitory effects of spice extracts on the growth of *Aspergillus parasiticus* NRRL2999 strain. *Lebensm-Unters -Forsch. A* **207**: 253-255. 1998.
- 99) K. Vasudevan, S. Vembar, K. Veeraghavan, *et al.*: Influence of intragastric perfusion of aqueous spice extracts on acid secretion in anesthetized albino rats. *Indian J. Gastroenterol.* **19**: 53-56. 2000.
- 100) N. Weber, K. D. Mukherjee, K.-D. Richter: Petroselinic acid from dietary triacylglycerols reduces the concentration of arachidonic acid in tissue lipids of rats. *J. Nutr.* **125**: 1563-1568. 1995.
- 101) K.-D. Richter, K. D. Mukherjee, N. Weber: Fat infiltration in liver of rats induced by different dietary plant oils: high oleic-, medium oleic- and high petroselinic acid-oils. *Ernaehrungswiss* **35**: 241-248. 1996.
- 102) National Toxicology Program: NTP carcinogenesis studies of food grade geranyl acetate (71% geranyl acetate, 29% citronellyl acetate) (CAS No. 105-87-3) in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage study). *Natl. Toxicol. Program Tech. Rep. Ser.* **252**: 1-162. 1987.
- 103) J. Cortés-Eslava, S. Gómez-Arroyo, R. Villalobos-Pietrini, *et al.*: Metabolic activation of three arylamines and two organophosphorus insecticides by coriander (*Coriandrum sativum*) a common edible vegetable. *Toxicol. Lett.* **125**: 39-49. 2001.
- 104) C. G. Beddows, C. Jagait, M. J. Kelly: Preservation of alpha-tocopherol in sunflower oil by herbs and spices. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **51**: 327-339. 2000.
- 105) D. G. Ebo, C. H. Britds, M. H. Mertens, *et al.*: Coriander anaphylaxis in a spice grinder with undetected occupational allergy. *Acta Clin. Belg.* **61**: 152-156. 2006.
- 106) 森田 園子, 三田 晴久, 安枝 浩 他: コリアンダに対する HRT 陽性を呈したライチアレルギーの姉弟例. アレルギー **52**: 368. 2003.
- 107) D. A. Moneret-Vautrin, M. Morisset, P. Lemerdy, *et al.*: Food allergy and IgE sensitization caused by spices: CICBAA data (based on 589 cases of food allergy). *Allerg. Immunol. (Paris)* **34**: 135-140. 2002.
- 108) A. Niinimäki, M. Hannuksela: Immediate skin test reactions to spices. *Allergy* **36**: 487-493. 1981.

- 109) M. R. Reyes, J. Reyes-Esparza, O. T. Angeles, *et al.*: Mutagenicity and safety evaluation of water extract of *Coriander sativum* leaves. *J. Food Sci.* **75**: T6-T12. 2010.
- 110) E. Zuskin, B. Kanceljak, Z. Skuric, *et al.*: Immunological and respiratory findings in spice-factory workers. *Environ Res.* **47**: 95-108. 1988.
- 111) E. W. Murphy, A. C. Marsh, B. W. Willis: Nutrient content of spices and herbs. *J. Am. Diet. Assoc.* **72**: 174-176. 1978.
- 112) M. Radek, G. P. Savage: Oxalates in some Indian green leafy vegetables. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **59**: 246-260. 2008.
- 113) A. N. Mironova, G. I. Filippova, N. I. Fedina, *et al.*: Chemical and biological properties of coriander fatty oil. *Vopr. Pitan.* **60**: 59-62. 1991.
- 114) B. A. Al-Bataina, A. O. Maslat, M. M. Al-Kofahl: Element analysis and biological studies on ten oriental spices using XRF and Ames test. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **17**: 85-90. 2003.
- 115) B. R. Chowdhury, R. Chakraborty, U. Raychaudhuri: Study on beta-galactosidase enzymatic activity of herbal yogurt. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **59**: 116-122. 2008.
- 116) L. Y. Chien, V. H. Potty: Studies on use of de-aromatised spices as a source of dietary fibre and minerals in bread. *J. Food Sci. Technol.* **33**: 285-290. 1996.
- 117) T. Eguale, G. Tilahun, A. Debella, *et al.*: *In vitro* and *in vivo* anthelmintic activity of crude extracts of *Coriandrum sativum* against *Haemonchus contortus*. *J. Ethnopharmacol.* **110**: 428-433. 2007.

### 白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸  
カルシウム  
とは？

古くから食品に使用されている  
安全性・吸収性に優れたカル  
シウム源です。  
用途も栄養強化はもちろんの  
こと、練製品の弾力増強など  
の品質改良、粉体の流動性  
向上・固結防止といった加工  
助剤などその目的は多彩です。

分散性・混合性に優れたものや、飲料用として  
沈澱を抑制したタイプ等、品揃えております。

一般の栄養強化には、「ホワイトン」

機能を求めるならば、「コロカルン」

飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては、弊社営業担当に  
お気軽にお尋ね下さい。

 白石カルシウム株式会社

食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL. 03-3863-8913  
本社：大阪市北区同心 2-10-5 TEL. 06-6358-1181

# おなか満足成分「アルギン酸ナトリウムとカルシウム」の満腹感に及ぼす効果確認試験

中野 愛子 (NAKANO Aiko) \*1, 川手 雄二 (KAWATE Yuji) \*1, 海老原 淑子 (EBIHARA Shukuko) \*2

\*1 株式会社 明治, \*2 チョダパラメディカルケアクリニック

Key Words : アルギン酸ナトリウム・満腹感・血糖値

## 要旨

おなか満足成分「アルギン酸ナトリウムとカルシウム」を配合した食品の満腹感に与える影響を、20歳以上40歳未満の女性30名を対象として、アルギン酸ナトリウムとカルシウム配合食品（被験食品）とプラセボ食品による二重盲検クロスオーバー試験にて評価を行った。朝食に代えて被験食品あるいはプラセボ食品を摂取させ、摂取前から摂取180分後までの満腹感、空腹感および食欲を自覚アンケート形式にて調査した。また、摂取前から摂取120分後までの血糖値を測定した。さらに摂取180分後に食事を自由に摂取させその摂取量を調査した。

被験食品はプラセボ食品に比べ、摂取後の満腹感が高く、空腹感や食欲は低く、その作用の持続時間はプラセボ食品に比べて30分から60分程度長いことが示唆され、摂取180分後の食事摂取量が有意に減少することが示された。また、被験食品はプラセボ食品に比べて血糖値の急激な上昇を抑えることが示された。

以上のことから、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを組み合わせたダイエット食品は、満腹感を高めることができることから、ダイエット中の食欲を抑えるという心理的なストレスの少ないダイエット食品であることが示唆された。

## はじめに

食生活の欧米化により高脂肪食や高エネルギー食が増えた一方で、交通網の発達や生活環境の変化により身体活動量が減り、エネルギー収支のバランスが崩れ、肥満症やメタボリックシンドロームが増加している。肥満の多くはエネルギーの過剰摂取が原因であることから、その対策として食事量の低減や低エネルギー食等のダイエット法が用いられている。しかし、単純に食事量を減らしたダイエット法では、栄養バランスが崩れ、健康への影響も懸念される。

また、食事量を減らすとおなかの中の物理的な満腹感が満たされない。また、糖質を制限した低糖食では、満腹と感じるのに十分な血糖値が得られないことなどから「食欲」が満たされず、食べたいのに食べられないという心理的なストレスが大きい。そのため、肥満対策の継続にはエネルギーの過剰摂取を抑えると同時に、満腹感を持続させ、空腹感や食欲を抑えることが課題といわれている。近年、このような課題に対し、満腹感を高める素材が注目されており、様々な食品の開発がすすめられている。

アルギン酸ナトリウム（英：Sodium alginate）は、ワカメやコンブ等の褐藻類に含まれる天然多糖類であるアルギン酸のNa塩で食品添加物（指定添加物）である。アルギン酸そのものは不溶性であるのに対し、アルギン酸ナトリウムは水溶性で、冷水でもすばやく溶解して様々な粘性の液体となる一方、酸性条件下でカルシウムと結合すると瞬時にゲル化する性質をもち<sup>1)</sup>、その多様な特性から幅広い食品に利用され、人工イクラなどの原料にも使用されている。さらに、動物モデルにおいては、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを配合した食餌を摂取させると、胃の中で酸性の胃酸により作用しジェル状の粘性物質質量が増加し、血糖値の急激な上昇を抑え、糖質や中性脂肪の吸収速度を遅らせることが報告されている<sup>2)</sup>。また、ヒトにおいては、アルギン酸、ペクチンとカルシウムを組み合わせた食品を朝食前と昼食前の1日2回7日間摂取したところ、夕食の摂取エネルギー量を低減させたことが報告<sup>3)</sup>されている。

これらの報告から、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを組み合わせた摂取は、ヒトにおい

ても胃内でゲル化することで物理的な満腹感を与え、糖質の吸収を穏やかにすることで満腹感を持続させ、ストレスが少なく食事を低減させる可能性が期待される。

そこで本試験では、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを配合した食品の摂取が、満腹感、空腹感、食欲、血糖値および食事に与える影響について検討したので報告する。

## 1. 試験方法

### 1-1. 対象

試験説明会に参加し、本試験の内容を理解し文書同意の得られた20歳以上40歳未満の女性36例に対して背景調査を実施した。表1の選択基準を満たし、除外基準に抵触せず、食事量、食事の習慣、排便習慣および喫煙習慣を指標に30例を選定し試験へ組入れた。

本試験は、明治臨床試験倫理審査委員会およびチヨダパラメディカルケアクリニック倫理委員会において承認を得た後、ヘルシンキ宣言に基づく倫理的原則および試験実施計画書を厳守

表1 選択基準および除外基準

選択基準
1) 本試験の目的、内容について十分な説明を受け、同意能力があり、十分に理解した上で自由意思により志願し、文書で参加に同意した者
2) 20歳以上40歳未満の健康な成人女性
3) 1日3食を規則正しく摂取している者
除外基準
1) 生活習慣、食習慣が不規則な者
2) 日常的に1回の食事量が少ない者
3) 拒食症や過食症などの摂食障害の既往歴や合併症、症状を有する者
4) 糖尿病や脂質異常症などの生活習慣病の既往歴や合併症を有する者
5) 胃切除など消化管機能に既往歴や合併症を有する者
6) 心臓、腎臓、或いは肝臓に疾患を有する者
7) 重篤または進行性の持病や症状を有する者
8) 試験開始前3ヶ月間に、本試験に影響を及ぼす可能性のある医薬品、医薬部外品、健康食品を常用していた者（緩下剤、消化剤など）
9) 食物アレルギーを有する者
10) 試験開始前1ヶ月間に、他の臨床試験およびモニター試験に参加した者
11) 妊娠している者、試験期間中に妊娠の予定、希望がある者
12) 授乳中の者
13) その他、試験責任医師あるいは試験分担医師が被験者として不適当と判断した者

して実施した。

### 1-2. 試験食品

被験食品は、アルギン酸ナトリウム 625 mg およびカルシウム（主に焼成貝 Ca）350 mg を含有する食品として「プロテインダイエットイチゴミルク味」（1食あたりエネルギー 81 kcal, たんぱく質 10 g, 脂質 0.7 g, 糖質 6 g, ナトリウム 160 mg）を使用した。また、プラセボ食品は、被験食品からアルギン酸ナトリウムとカルシウム原料を除き、被験食品と外観上識別不能な食品とした。被験食品およびプラセボ食品は、それぞれ水 200 mL に溶解して摂取させた。なお、試験食品摂取直後に口内をすすぐために 35 mL の飲料水を摂取させ、摂取 90 分後の血糖値測定および自覚アンケート終了後に水分補給の目的で 100 mL の飲料水を摂取させた。

### 1-3. 試験デザイン

本試験はプラセボ対照二重盲検 2 期クロスオーバー試験で実施した。

食事量を指標として被験者を 2 群に分け、A 群は 1 期目に被験食品、2 期目にプラセボ食品、B 群は 1 期目にプラセボ食品、2 期目に被験食品を摂取させた。摂取タイミングは各試験日で同じ時間になるように設定し、1 期目と 2 期目の間は 5 日間以上の wash out 期間を設けた。

### 1-4. 試験期間中の注意事項

各被験者には、各試験期の試験 3 日前から試験日まで通常通りの生活を送らせるとともに、日常範囲を大きく逸脱するような激しい運動は控えさせた。間食、緑茶、コーヒー、アルコールなどの摂取は、普段摂取している量を超えないように指導し、過度な節食や過食は控えさせた。また、生活日誌は毎日記録させた。試験に影響を及ぼす可能性があるサプリメント、健康食品、医薬品（一般用医薬品を含む）または医薬部外品の使用や摂取は禁止した。

試験前日は、14 時までには普段摂取している

程度の量および種類の昼食を摂取するよう指導した。夕食は 18 時から 21 時の間に規定食（レトルト具入りスープ、レンジアップ米飯）を摂取させ、各試験期で同じ時刻に摂取するよう指導した。間食は通常摂取している量を超えないように指導し、アルコール類の摂取は禁止した。18 時以降は規定食と水やお茶等のカロリーの無い飲料以外の飲食を禁止した。

試験当日は、起床時から試験開始 30 分前までは配布したペットボトル入り飲料水（550 mL）のみ摂取を可とし、飲み残した飲料水は来院時に回収し残量を測定した。試験食品摂取 60 分前までに来院させ、体重、血圧、脈拍数を測定し、医師の問診により体調を確認した後、座位にて待機させた。

### 1-5. 評価方法

各試験日に次の評価を実施した。

#### (1) 自覚アンケート

VAS（Visual Analogue Scale）検査（3 項目）と 7 段階評価を、試験品摂取 5 分前と、摂取 10, 30, 60, 90, 120, 150, 180 分後（計 8 ポイント）に実施した。

VAS 検査は、水平な 100 mm の直線上の左右両端に示した感覚を参考に、今感じている状態を印で示す検査で「満腹感：とても満腹である（0 mm）、まったく満腹ではない（100 mm）」「空腹感：とても空腹である（0 mm）、まったく空腹ではない（100 mm）」「食欲：とても食欲がある（0 mm）、まったく食欲がない（100 mm）」の 3 項目について実施した。7 段階評価は「とても満腹、満腹、やや満腹、ふつう、やや空腹、空腹、とても空腹」の中から最も近い感覚を被験者に選ばせた。なお、データ集計時は、それぞれ「-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3」の数字に読み替えた。調査は、VAS 検査、7 段階評価の順に実施した。

#### (2) 血糖値測定

試験品摂取 5 分前と摂取 10, 20, 30, 40,

50, 60, 75, 90, 105, 120 分後(計 11 ポイント)に、医療用穿刺器で指先穿刺後、血糖値測定機 [ダイアメーター: アークレイ (株)] を用いて測定した。採血および血糖値測定は、機器添付の説明文書に従って、試験責任医師の管理のもと、医師、看護師または臨床検査技師が実施した。

### (3) 食事摂取量

摂取 180 分後の自覚アンケート終了後、いなり寿司、太巻寿司、サラダ巻寿司を各 1 個ずつ摂取させた後、空腹感が満たされるまでバイキング形式で細巻寿司を自由に摂取させ、摂取個数を調査した。摂取重量は、寿司の種類毎にランダムに各 3 個を計量してそれぞれ 1 個あたりの平均重量 (g) を求め、摂取個数を乗じて算出した。また、寿司と同時に摂取したお茶量 (mL) を測定した。

#### 1-6. 統計解析

被験食品摂取時とプラセボ食品摂取時の比較を、摂取前から各観察ポイントまでの変化量を用いて、VAS 検査と血糖値では対応のない t 検定、7 段階評価と食事摂取量では Wilcoxon の順位和検定で比較した。また、被験食品あるいはプラセボ食品の摂取前値に対する各観察ポイントとの比較を、VAS 検査と血糖値では対応のある t 検定、7 段階評価では Wilcoxon の符号付順位検定で比較した。摂取順序 (A 群と B 群) 間での被験者背景の比較を Mann-Whitney の U 検定で比較した。

統計解析は SPSS 20.0 (日本 IBM) で行い、有効性については有意水準 (両側) が 5% 以下、被験者背景は 15% 以下の場合に有意差ありと判定した。

## 2. 結果

### 2-1. 被験者の内訳、背景

摂取順序群 (A 群と B 群) の試験開始前の被験者背景を表 2, 3 に示した。摂取順序群間での有意差はみられなかった。

参加した被験者のうち、試験食品を 100% 摂取出来なかった者、試験実施計画書の制限事項から逸脱した行為により調査結果の信頼性が損なわれると試験責任医師により判断された者を解析対象から除外した。具体的には、2 期の睡眠時間が普段の睡眠時間と比べて 4 時間以上少なかった 1 名と試験前日の夕食摂取時刻が 1 期と 2 期で 2 時間以上異なった 1 名が解析対象から除外された。また、VAS 検査と 7 段階評価の同観察ポイントの結果で、一方は満腹で一方は空腹など明らかに両方で矛盾 (記入ミス) が

表 2 被験者背景 (試験開始前)

項目 (単位)	被験食品摂取先行群 (A 群)	プラセボ摂取先行群 (B 群)
被験者数 (名)	15	15
年齢 (歳)	28.9 ± 6.1	29.0 ± 6.3
身長 (cm)	159.81 ± 6.56	160.63 ± 5.11
体重 (kg)	55.61 ± 11.39	53.11 ± 6.05
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.737 ± 3.929	20.613 ± 2.407
	平均値 ± 標準誤差	

表 3 食事量 (試験開始前)

項目 (単位)	被験食品摂取先行群 (A 群 n=15)					プラセボ摂取先行群 (B 群 n=15)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1 回の食事で食べる「ごはん」の量は通常どのくらいですか	1	11	3	0	0	0	13	2	0	0

数字は人数

評点: 1. 普通の茶碗の 1/2 量, 2. 普通の茶碗の 8 分目, 3. 普通の茶碗の大盛り,  
4. どんぶりで食べる又はおかわり, 5. その他

表 4 被験者の内訳

同意取得被験者数 (36 例)							
試験食品摂取被験者数 (30 例)				不採用例 (スクリーニング除外) (6 例)			
有効性解析対象例 (28 例)				有効性解析不採用例 (2 例)			
				試験実施計画書制限事項からの逸脱 2 例			
有効性解析対象例 (検査時期, 項目別)				有効性解析不採用例 (検査時期, 項目別)			
項目 時期	VAS 評価 (満腹感)	VAS 評価 (空腹感)	VAS 評価 (食欲), 7 段階評価, 血糖値, 食事量	項目 時期	VAS 評価 (満腹感)	VAS 評価 (空腹感)	VAS 評価 (食欲), 7 段階評価, 血糖値, 食事量
摂取 10 分後	27 例	26 例	28 例	摂取 10 分後	b) 1 例	a) 1 例 c) 1 例	0 例
摂取 30 分後	27 例	27 例		摂取 30 分後	b) 1 例	c) 1 例	
摂取 60 分後	26 例	26 例		摂取 60 分後	a) 1 例 a)b) 1 例	a) 1 例 c) 1 例	
摂取 90 分後	27 例	27 例		摂取 90 分後	a)b) 1 例	c) 1 例	
摂取 120 分後	27 例	27 例		摂取 120 分後	a)b) 1 例	c) 1 例	
摂取 150 分後	27 例	26 例		摂取 150 分後	a)b) 1 例	a) 1 例 c) 1 例	
摂取 180 分後	27 例	26 例		摂取 180 分後	b) 1 例	a) 1 例 c) 1 例	
変化量 AUC (-5 分~180 分)	27 例	26 例		変化量 AUC (-5 分~180 分)	b) 1 例	a) 1 例 c) 1 例	
変化量 AUC (120 分~180 分)	27 例	26 例		変化量 AUC (120 分~180 分)	b) 1 例	a) 1 例 c) 1 例	
変化量 AUC (150 分~180 分)	27 例	25 例		変化量 AUC (150 分~180 分)	b) 1 例	a) 2 例 c) 1 例	

- a) VAS 評価と 7 段階評価の検査結果間に矛盾がみられた
- b) 有効性評価不採用と判定された VAS 評価結果が, 同項目内に 3 点以上あった
- c) 摂取前データ不採用のため

みられた評価結果については, 7 段階評価は感覚を表す言葉を選択する評価であり VAS 検査よりも容易であることから, 7 段階評価のみを採用した。さらに, このような矛盾を示す観察ポイントが同項目内で 3 点以上あった被験者は, その項目の全ての評価結果を解析対象から除外した。また, 対応する評価結果が無い観察ポイントについては解析対象から除外した。各評価項目の被験者内訳を表 4 に示した。

2-2. 自覚アンケート

(1) VAS 検査

試験食品摂取前からの経時的变化を図 1~3 に, 摂取 5 分前~摂取 180 分後, 摂取 120 分後~摂取 180 分後および摂取 150 分後~摂取 180 分後の変化量 AUC を表 5 に示した。

a. 満腹感

被験食品摂取時とプラセボ食品摂取時では, 摂取前から各観察時点までの変化量において, いずれの観察時点においても有意な差はみられなかった。評価期間を通じて被験食品摂取の方がプラセボ食品摂取時に比べて高い満腹感を示した。摂取前との比較では, 被験食品摂取時は摂取 180 分後まで有意な満腹感の増加 ( $P=0.042$ ) が継続したが, プラセボ食品摂取時では, 摂取 180 分後には有意な満腹感の増加はみられなかった。

b. 空腹感

被験食品摂取時とプラセボ食品摂取時では, 摂取前から各観察時点までの変化量において, いずれの観察時点においても有意な差はみ

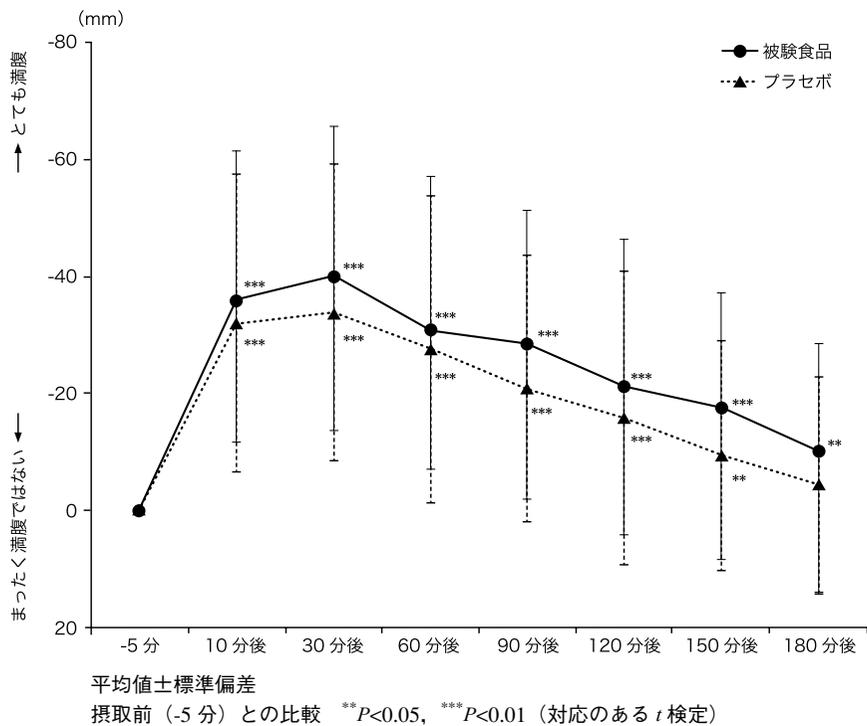


図1 満腹感 (摂取前からの変化量)

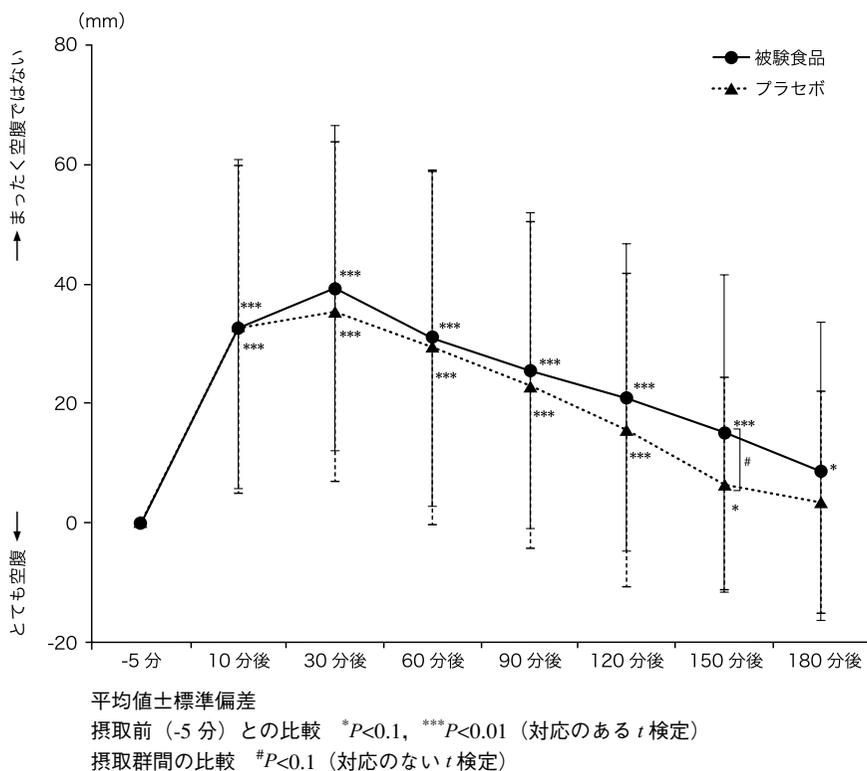


図2 空腹感 (摂取前からの変化量)

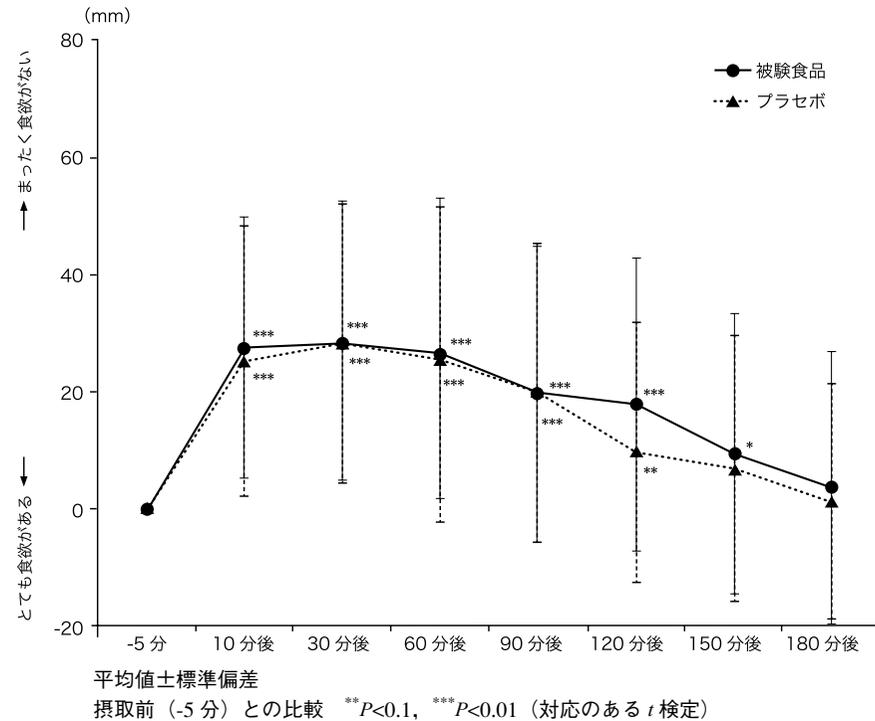


図3 食欲 (摂取前からの変化量)

られなかったが、摂取 150 分後では、被験食品摂取時の方が空腹感が低い傾向がみられた ( $P=0.082$ )。評価期間を通じて被験食品摂取時の方がプラセボ食品摂取時に比べて低い空腹感を示した。また、摂取 150 ~ 180 分後の変化量 AUC において、被験食品摂取時の方がプラセボ食品摂取時に比べて空腹感が低い傾向を示した ( $P=0.085$ )。摂取前との比較では、被験食品

摂取時は摂取 150 分後まで有意な空腹感の減少 ( $P=0.008$ ) が継続したが、プラセボ食品摂取時では、摂取 150 分後には有意な空腹感の減少はみられなかった。

c. 食欲

被験食品摂取時とプラセボ食品摂取時では、摂取前から各観察時点までの変化量において、いずれの観察時点においても有意な差はみら

表5 観察時点間の各評価スコア変化量 AUC

項目	試験食品	試験食品摂取 5 分前～ 試験食品摂取 180 分後	試験食品摂取 120 分後～ 試験食品摂取 180 分後	試験食品摂取 150 分後～ 試験食品摂取 180 分後
満腹感	被験食品	-4621.3 ± 3835.7	-997.2 ± 1468.3	-415.3 ± 735.0
	プラセボ	-3656.6 ± 3524.2	-587.0 ± 1178.4	-208.1 ± 551.4
空腹感	被験食品	4458.2 ± 4164.8	922.7 ± 1484.6	380.6 ± 754.4*
	プラセボ	3641.0 ± 3914.2	503.8 ± 1229.2	130.9 ± 546.3
食欲	被験食品	3370.2 ± 3731.3	597.9 ± 1394.9	191.4 ± 692.0
	プラセボ	2944.9 ± 3547.2	363.4 ± 1224.8	118.4 ± 602.3
7 段階評価	被験食品	231.1 ± 213.2*	49.8 ± 87.3**	19.8 ± 43.8*
	プラセボ	170.9 ± 203.4	20.9 ± 71.5	4.8 ± 33.9

平均値±標準偏差

プラセボ群との比較 (\* $P<0.01$ , \*\* $P<0.05$ : 対応のない  $t$  検定 (ただし、7 段階評価のみ Wilcoxon の順位和検定))

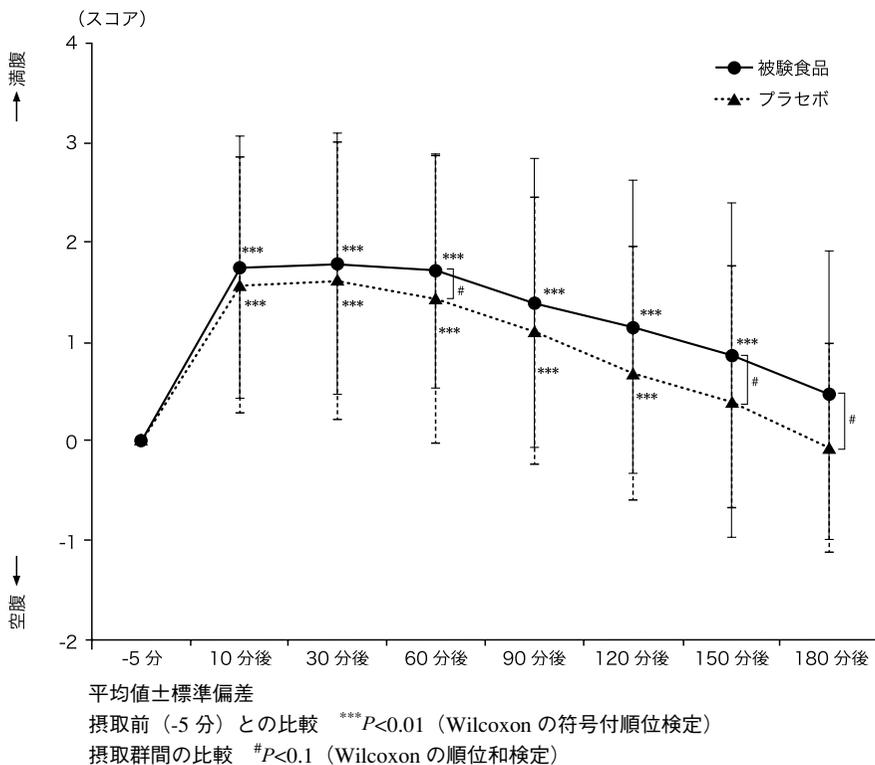


図4 7段階評価 (摂取前からの変化量)

れなかった。評価期間を通じて被験食品摂取時の方がプラセボ食品摂取時に比べて低い食欲を示した。摂取前との比較では、被験食品摂取時およびプラセボ食品摂取時ともに摂取120分後まで有意な食欲の低下がみられ、被験食品摂取時では摂取150分後においても食欲が低い傾向 ( $P=0.050$ ) がみられた。

### (2) 7段階アンケート

試験食品摂取前からの経時的变化を図4に、摂取5分前～摂取180分後、摂取120分後～摂取180分後および摂取150分後～摂取180分後のAUCを表5に示した。

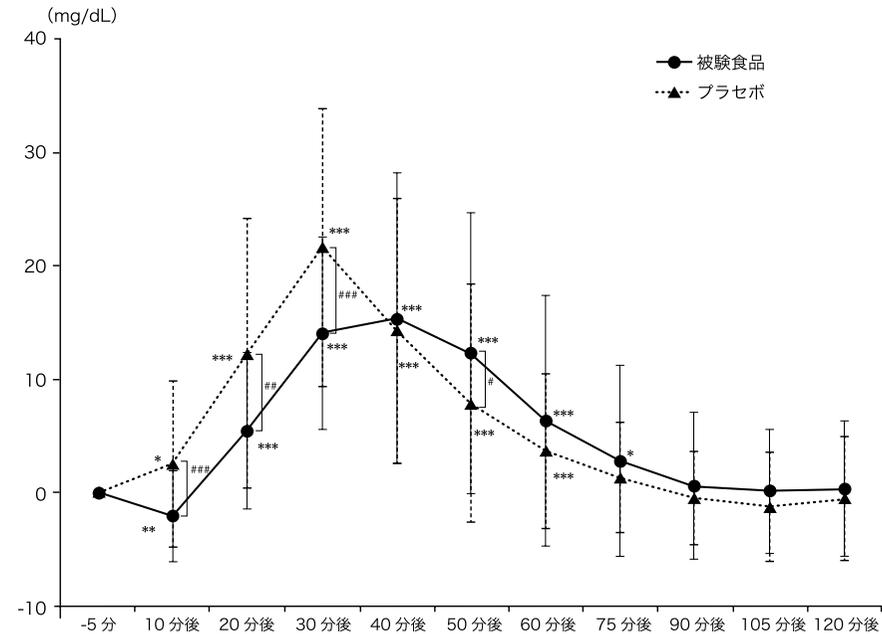
被験食品摂取時とプラセボ食品摂取時では、摂取前から各観察時点までの変化量において、いずれの観察時点においても有意な差はみられなかったが、摂取60、150、180分後では、被験食品摂取時の方が満腹感が高い傾向がみられた ( $P=0.084$ ,  $P=0.051$ ,  $P=0.057$ )。評価期間を

通じて被験食品摂取時の方がプラセボ食品摂取時に比べて高い満腹感を示した。また、摂取120～180分後の変化量AUCにおいて、被験食品摂取時の方がプラセボ食品摂取時に比べて満腹感は有意に大きく ( $P=0.042$ )、摂取前～180分後と摂取150分後～180分後の変化量AUCにおいて、満腹感が大きい傾向 ( $P=0.072$ ,  $P=0.052$ ) がみられた。摂取前との比較では、被験食品摂取時は摂取150分後まで有意な満腹感の増加 ( $P=0.007$ ) が継続したが、プラセボ食品摂取時では、摂取150分後には有意な満腹感の増加はみられなかった。

### 2-3. 血糖値

血糖値の試験食品摂取前からの経時的变化を図5に、試験食品摂取前からの変化量AUC (摂取前～摂取30分後) を図6に示した。

プラセボ食品摂取時は被験食品摂取時に比べて、試験食品摂取前から摂取10、20および

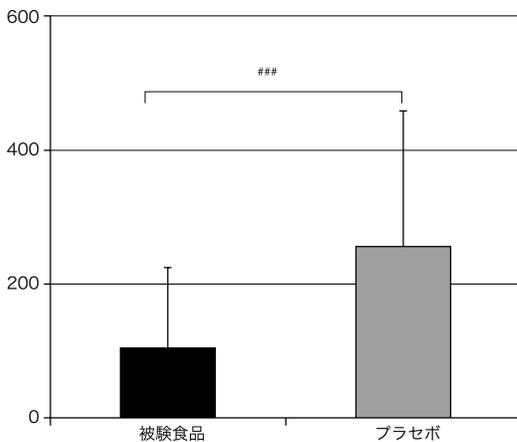


平均値±標準偏差

摂取前 (-5分) との比較 \*  $P < 0.1$ , \*\*\*  $P < 0.01$  (対応のある  $t$  検定)

摂取群間の比較 #  $P < 0.1$ , ##  $P < 0.05$ , ###  $P < 0.01$  (対応のない  $t$  検定)

図5 血糖値 (摂取前からの変化量)



平均値±標準偏差

摂取群間の比較 ###  $P < 0.01$  (対応のない  $t$  検定)

図6 摂取前～摂取30分後の血糖値変化量のAUC

30分後の血糖値が有意に上昇した ( $P=0.006$ ,  $P=0.013$ ,  $P=0.000$ )。一方で、摂取50分後では被験食品摂取時の方が血糖値が高い傾向 ( $P=0.094$ ) がみられた。

摂取前から摂取30分後までの血糖値上昇の傾きを比較してみたところ、被験食品で  $0.5 \pm 0.3$ 、プラセボ食品で  $0.7 \pm 0.4$  であり、両群間に有意 ( $P=0.000$ ) な差がみられた。また、摂取前から摂取30分後の変化量AUCにおいて、被験食品摂取時はプラセボ食品摂取時に比較して有意 ( $P=0.000$ ) に小さかった。摂取前との比較では、被験食品摂取時は摂取10分後に有意 ( $P=0.011$ ) に低下し、摂取20, 30, 40, 50および60分後に有意 ( $P=0.000$ ,  $P=0.000$ ,  $P=0.000$ ,  $P=0.000$ ,  $P=0.005$ ) な上昇がみられ、摂取75分後では増加傾向 ( $P=0.091$ ) がみられた。一方で、プラセボ食品摂取群では、摂取前に比較して、摂取20, 30, 40, 50および60分後に有意 ( $P=0.000$ ,  $P=0.000$ ,  $P=0.000$ ,  $P=0.001$ ,  $P=0.009$ ) な上昇がみられ、摂取10分後には増加傾向 ( $P=0.082$ ) がみられた。摂取前からの血糖値の変化量 (増加) は、摂取

30分後まではプラセボ食品摂取時の方が大きく、摂取40分後以降は被験食品摂取時の方が大きかった。血糖値のピークは、被験食品摂取時は摂取40分後(88.2 mg/dL)、プラセボ食品摂取時では30分後(94.5 mg/dL)であり、被験食品摂取時の方が血糖値の上昇速度が緩やかで、また、ピーク値も低かった。

#### 2-4. 食事摂取量

試験食品摂取180分後の食事摂取量を表6に示した。被験食品摂取時ではプラセボ食品摂取時に比べて、寿司摂取総量(g)、寿司摂取数(個数)、細巻摂取量(g)および細巻摂取数(個数)がいずれも少なく、有意な差がみられた( $P=0.007$ ,  $P=0.014$ ,  $P=0.007$ ,  $P=0.014$ )。お茶摂取量(mL)には有意な差はみられなかった。

#### 2-5. 安全性

30例中1例に1件の有害事象(気持ちが悪い:被験食品摂取時)が認められた。摂取180分後頃に身体の冷えを感じ軽度の消化器症状(気持ちが悪い)が発現したが、当日の室内がやや寒い状態であったこと、試験食品摂取後180分が経過してからの発現で1時間後には消失し食事量調査の食事は普段通り食べたことから試験責任医師により臨床上問題となるものではなく、被験食品との因果関係はないと判断された。その他の被験者では特に有害事象は認められず被験食品の安全性に問題はないと判断された。

### 3. 考察

本試験では、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを添加した食品が、満腹感および空腹感に与える影響について、プラセボ食品を対照に評価を行った。

試験食品はどちらも摂取後に満腹感を上昇させ空腹感を減らしたが、その効果は、被験食品摂取時では、満腹感の増加は摂取180分後まで、空腹感の減少は摂取150分後まで、7段階評価の満腹感の増加は摂取150分後まで有意な変化がみられており、食欲の低下も摂取150分後までその傾向がみられていたことから、摂取150~180分後まで持続したと考えられる。一方で、プラセボ食品摂取時で有意な変化がみられたのは、満腹感の増加は摂取150分後まで、空腹感の減少は摂取120分後まで、食欲の低下は摂取120分後まで、7段階評価の満腹感の増加は摂取120分後までであったことから、その持続時間は摂取120~150分後までであったと考えられる。また、両群間に有意差はなかったが、プラセボ食品摂取時と比較して、被験食品摂取時では摂取150分後の空腹感(VAS検査)で低い傾向がみられた。7段階評価においても摂取60, 150および180分後に被験食品摂取時で満腹感が高い傾向が示され、摂取120分後から180分後までの変化量AUCは、プラセボ食品摂取時と比較して、被験食品摂取時の方が有意に大きかった。さらに、摂取180分後の食事摂取量は、被験食品摂取時はプラセボ食品摂取

表6 試験食品摂取180分後の食事摂取量

	n数	個数(個)		重量(g)	
		被験食品	プラセボ	被験食品	プラセボ
細巻摂取量	28	10.9 ± 5.3**	13.1 ± 6.5	170.2 ± 79.9***	210.9 ± 110.2
寿司摂取総量	28	13.9 ± 5.3**	16.1 ± 6.5	302.9 ± 77.8***	344.3 ± 114.0

平均値±標準偏差

プラセボ群との比較 (\*\* $P<0.05$ , \*\*\* $P<0.01$ : Wilcoxonの順位和検定)

時と比較して有意に少なかった。以上の結果から、被験食品はプラセボ食品に比べ、摂取後の満腹感が高く、空腹感は低く、その作用の持続時間はプラセボ食品に比べて30～60分程度長いことが推察された。

血糖値は、被験食品摂取時はプラセボ食品摂取時と比較して、摂取10～30分後で有意に低値を示し、摂取前から摂取30分後までのAUCはプラセボ食品摂取時に比べ有意に小さかった。また、血糖値のピークは、プラセボ食品摂取時では摂取30分後94.5 mg/dLであったのに対し、被験食品摂取時は摂取40分後88.2 mg/dLで、プラセボ食品摂取時と比較して、被験食品摂取時の方がピーク発現時間は遅く、ピーク高さも低かった。一方で、摂取40分後以降は、両群間に有意な差は認められなかったが、プラセボ食品摂取時と比較して、被験食品摂取時の方が高く推移した。これらの結果から、被験食品摂取時はプラセボ食品摂取時に比べて急激な血糖変化がなく、インシュリン分泌が抑えられていることが推察された。

被験食品は、プラセボ食品にアルギン酸ナトリウムとカルシウムを添加した食品であることを考えると、これらの作用はアルギン酸ナトリウムとカルシウムを組み合わせることによる作用と考えられる。本試験の結果は糖質の吸収速度を遅らせ、血糖値の上昇を緩やかにすることを報告<sup>2)</sup>した動物試験の結果とも合致していることから、アルギン酸ナトリウムとカルシウムによる胃内でのジェル状粘性物質量の増加が

ヒトにおいても生じたと推察される。血糖値は食欲を満足させ次の食事の摂取量を調節する作用を有することから、増加したジェル状粘性物質が胃から小腸への内容物の排出を遅らせ、血糖値の上昇や消失速度を緩やかにし満腹感を維持して食欲を抑えることにより、摂取後の食分量減少にも作用したと考える。また、胃内容物による胃壁の伸展は食欲を抑制することが知られており<sup>4)</sup>、胃内でジェル状粘性物質が増加したことによる物理的な影響も満腹感や空腹感低減に作用したと考えられる。

これらの結果から、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを添加した食品は、食欲の満足感を高め、ダイエット中の「食欲」を抑えることにより心理的ストレスの少ないダイエット法として期待できる。本試験では試験食品を朝食に置き換えて実施したところ、180分後の食量を減少させており、昼食の摂取量を無理なく減らすことが期待できる。また、昼食や夕食あるいは間食として摂取することで、その後の食事摂取量の抑制が期待できると考える。本試験で使用した被験食品は、アルギン酸ナトリウムとカルシウムを、たんぱく質10gと一日に必要なとされるビタミンの1/2量\*やミネラル類と組み合わせた1食当たり約80kcalの食事代替型食品である。満腹感を持続させる成分と栄養素を組み合わせた食品は、栄養不足と食欲抑制というダイエットの課題解決に役立つ食品として期待される。

\*栄養素等表示基準値より

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 宮島千尋：繊維と工業 **65** (12), 444-448 (2009).
- 2) Ohta A, Taguchi A, Takizawa T, et al.: *J Vit Nutr Res* **67**, 55-61 (1997).
- 3) Pelkman CL, Navia JL, Miller AE, Pohle RJ, et al.: *Am J Clin Nutr*. **86**, 1595-1602 (2007).
- 4) 井口利樹：日本内科学会雑誌 **84**, 1221-1225 (1995).

# 色彩豊かなカラフルポテトの特徴と健康機能性

森 元幸 (MORI Motoyuki) \*1 林 一也 (HAYASHI Kazuya) \*2

\*1 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

\*2 東京家政学院大学 現代生活学部

Key Words：ジャガイモ・アントシアニン・カロテノイド・色素・インフルエンザ・アポトーシス

## はじめに

ジャガイモの2011年における作付面積は全国で83,100haであり、このうち「男爵薯」が15,130ha (18.2%)を占め、でん粉原料用の「コナフブキ」が13,716ha (16.5%)、ポテトチップ用の「トヨシロ」が8,675ha (10.4%)、「メイクイン」が8,262ha (9.9%)と続いている。最近では家庭で消費される青果用ジャガイモは減少傾向にあるが、高い知名度を持っている「男爵薯」は消費者に神話のごとく定着しており、長い形で煮くずれの少ない「メイクイン」も広く消費者に受け入れられている。これらジャガイモの代名詞のような2品種以外は、単に無名のジャガイモとして扱われることが多く、青果市場では裾もの扱いとなり単価は安い。新品種がいくら栽培しやすく多収であっても、既存品種と同等の価格で取引されなければ生産者の収益は向上せず、数多くの新品種が「男爵薯」の壁に敗れている。そこで従来の概念からは類推できないほどの衝撃により消費者の既存イメージを打ち壊し、消費の活性化を狙った挑戦の一つが、赤・紫・黄の肉色を有するカラフルポテトの開発である<sup>1)</sup>。

1990年代以降、消費者の嗜好が多様化し、従来はモノトーンであった食品がカラフルに

なる傾向がある。一方で、消費者の健康と安全志向から合成着色料は忌避され、天然色素の機能性が見いだされるなど、赤や黄の色素を含有する野菜が新食材として注目されるようになった。カラフルポテトは、消費者のジャガイモに対する既存イメージを覆し、市場の活性化と新規需要の開拓を狙い開発されたものである。

## 1. カラフルポテトとは

カラフルポテトの開発は、1990年から農林水産省と民間企業との官民交流共同研究として開始され、南米のアンデス地域にあった古いタイプの栽培種 (*S.tuberosum* ssp. *andigena*, *S.phureja*, など) と日本の在来品種を交配母本としてアントシアニン色素含有タイプとカロテノイド含有タイプを1997年に育成した。この初期のタイプの品種が赤肉の「インカレッド」と紫肉の「インカパープル」、濃黄肉で2倍体の「インカのめざめ」である<sup>2,3)</sup>。ところで一般に栽培される普通ジャガイモは4倍体であり、原種の2倍体栽培種は原始的で収量も少ない。

ジャガイモは、同じ品種であっても栽培地や気候、収穫時期や貯蔵期間によって成分値が異なってくる。カラフルポテトの色素含有量は、

表1 主要なカラフルポテト品種の肉色、色素主成分および粗色素量

品種名	肉色	色素主成分	粗色素含量 (生イモ 100g あたり)
ノーザンルビー	赤	ペラニン	185 mg
キタムラサキ	紫	ペタニン	159 mg
シャドークイーン	濃紫	ペタニン	740 mg
いんかのめざめ	黄	ゼアキササンチン, ルテイン	640 $\mu$ g
インカのひとみ	黄	ゼアキササンチン, ルテイン	770 $\mu$ g
インカルージュ*	黄	ゼアキササンチン, ルテイン	710 $\mu$ g

\*: 種苗法に基づく品種登録名は「北海 98 号」

条件により差が大きい。初期のアントシアニン色素含有タイプは色素含有量が少なく、イモの大きさで色素量が異なるなど、色素含有量が安定しないものであった。後代に育成した新しい紫肉の「キタムラサキ」や赤肉の「ノーザンルビー」は、色素含有量などに安定性が見られている。さらに、紫肉品種では色素量が格段に増加した「シャドークイーン」も育成している<sup>4)</sup>(表1)。

## 2. アントシアニン色素含有タイプ品種の色素主成分と利用特性

「キタムラサキ」, 「ノーザンルビー」および「シャドークイーン」の色素は、吸光分光光度計、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) および核磁気共鳴分析装置 (NMR)、質量分析装置での分析により構造を明らかにしている<sup>5,6)</sup>。3 品種の色素は吸光度測定の結果、Harborne (1960)<sup>7)</sup> の報告のようにアントシアニンであり、HPLC 分析の結果、3 品種ともアントシアニンは約 6 種類程度の色素で構成されていた。NMR や質量分析の結果から、「ノーザンルビー」の赤系色素主成分はペラルゴニジン系アシル化配糖体のペラニン (pelanin), 「キタムラサキ」と「シャドークイーン」の紫系色素主成分はペチュニジン系のアシル化配糖体のペタニン (petanin), を主成分とすることを明らかにした<sup>8)</sup>(表1)。

塊茎のアントシアニン含量は、年次により色素濃度が異なり加工原料として製品の色調が

不安定となる問題がある。生いも 100 g あたり 5 カ年の平均色素含量は、赤肉色の「ノーザンルビー」が 185 mg, 紫肉色の「キタムラサキ」が 159 mg である。これに対し濃紫肉色の「シャドークイーン」は 740 mg と他のカラフルポテト品種に比べ 4 倍以上の含量があり、5 カ年の平均値に明らかに有意な差を認めた<sup>4)</sup>(表1)。

このジャガイモ色素の色は、赤系が pH 3 の溶液で赤橙色を示す。これは現在販売されている天然系の食用色素と比較すると、最もオレンジの強いものであり、赤ダイコン色素に近い。赤ダイコンの色素のように特有の匂いがほとんどないため、漬物の着色などへの利用が有望である。紫系の場合は pH 3 の溶液で赤紫色を示し、赤シソや赤キャベツの色素の色調に近い。赤系の色素は比較的安定性があるものの、紫系の色素は非常に不安定で、紫系は添加物には不向きと思われる。

耐光性および耐熱性の調査をしたところ、ペラニンを主成分とする赤系色素の方が、ペタニンを主成分とする紫系色素より安定性が高い。赤系色素の安定性は紫カンショや赤キャベツのアントシアニンより低く、果実類や黒豆などの色素よりは高かった。これはアントシアニンの耐熱性と耐光性が、構成色素数と相関が高く、ジャガイモアントシアニンが 3 ~ 6 の色素数であるのに対し<sup>8)</sup>, 安定性に優れる紫カンショや赤キャベツのアントシアニンでは 8 ~ 12 の色素数であることによる。この現象は、アントシ

アニンの自己会合型スタッキングによるものと考えられている<sup>5,6)</sup>。カラフルポテトを水煮や蒸しにより加熱調理すると赤・紫色は色調がくすみ退色するが、放冷すると色調が戻るため、冷めた状態で利用する料理が望ましい。ところが油を用いたフライ調理では、疎水状態で発色が安定するため赤～紫色が鮮明に残り、品温に関わらず色鮮やかな調理品を得ることができる<sup>4)</sup>。この現象を利用して、フライ加工による赤紫のスナック菓子が市販されている。

アントシアニン含有タイプは、一見すると外観と同様に味も普通とは異なるのでは、と期待される。しかし意外と一般的なジャガイモの味であり、色を抜かせば普通のジャガイモとして美味しいものである。

### 3. カロテノイド色素含有タイプ品種の色素主成分と利用特性

黄肉色の元となるカロテノイドの主成分は、ゼアキサントシン (zeaxanthin) とルテイン (lutein) であり、生いも 100 g あたり 5 カ年の平均色素含量は、「インカのめざめ」が 640  $\mu\text{g}^3$ 、「インカのひとみ」が 770  $\mu\text{g}$ 、「インカルージュ」が 710  $\mu\text{g}$  であり、年次差が大きいので 5 カ年の平均値に明らかな有意差を認めなかった (表 1)。

アントシアニン含有タイプ品種を水煮や蒸しにより加熱調理すると、赤・紫色は色調がくすみ退色した。これに対しカロテノイド含有タイプ品種は、黄で色調が安定したフライ調理ばかりでなく、どの様な調理でも安定した色調を示し、彩りの優れる調理が行える<sup>3)</sup>。

「インカのめざめ」をはじめとする 2 倍体品種は、4 倍体の普通ジャガイモに比べ細胞の大きさが半分以下と小さく、調理した場合は滑らかな食感となる<sup>9)</sup>。またジャガイモは低温貯蔵することでデンプンが酵素で分解され、ブドウ糖や果糖などの還元糖が増加するが、「インカのめざめ」をはじめとする 2 倍体品種は、ショ糖が特異的に増加し普通ジャガイモとは異なる強い甘みを生じる<sup>10)</sup>。これら食感と甘さから、「栗」に近い風味がある。

### 4. カラフルポテトの機能性

カラフルポテトには色素だけではなく、デンプンやイモ自体に様々な機能性が見いだされている<sup>11)</sup>。濃黄色のカロテノイド系色素についてはルテイン、ゼアキサントシン、それらの誘導体が多く含まれ、抗酸化性、抗癌性以外にも目に対する疾病予防、特に、加齢性網膜黄斑変性症の予防効果が期待される<sup>12)</sup> (表 2)。

表 2 カラフルポテトの機能性一覧

成分	評価レベル	機能性
ペラニン、ベタニン (アントシアニン類)	試験管	抗酸化能、活性酸素 (ラジカル) 消去能、紫外線防御効果
	培養細胞	抗インフルエンザ活性、抗酸化酵素誘導
	マウス	胃癌発生抑制作用
色素抽出物 (主としてアントシアニン類)	マウス	肝障害抑制作用
ゼアキサントシン・ルテイン (カロテノイド類)	培養細胞	黄斑変性症予防、白内障予防、心疾患予防、紫外線保護作用
リン酸化オリゴ糖カルシウム	マウス	血糖値上昇抑制作用、脂質代謝改善作用
蒸しいも (カラフルポテト)	マウス	胃癌発生抑制作用
ポテトフレーク	マウス	腸内環境改善作用

そのうちでも特記されるものがジャガイモアントシアニンの抗インフルエンザウイルス活性と抗胃ガン活性(胃癌細胞のアポトーシス誘導)である<sup>13,14)</sup>。ジャガイモのアントシアニンは非常に強い抗酸化性を有する。この能力が様々な機能に影響しているとも考えられている<sup>15)</sup>(表2)。

近年、新型インフルエンザや高病原性鳥インフルエンザの流行が社会的な問題となっている。インフルエンザウイルスはA, B, Cの型があり、A, B型がしばしば流行する。インフルエンザウイルスは、ウイルス粒子の表層にヘマグルチニン(血球凝集素, HA), ノイラミダーゼ(NA)の2つのスパイクを有し、この2つの糖タンパク質が容易に変異するためワクチンなどが作りにくく治療を困難にしている。

インフルエンザウイルスA型とB型のそれぞれを培養しているものに、ジャガイモから抽出したアントシアニン色素を添加するとウイルス感染の抑制が観察された<sup>13)</sup>(図1)。この抑制はAウイルスおよびBウイルスともに抑制し、その効果は非常に少ない濃度で見られる特異的なものである。さらに、抑制効果は中性から酸性と作用域の広さが際立っている(表3)。

発癌は色々な要因で起こり、主にDNAの変異、前癌化、発癌の3段階を経て進行する。食品に含まれる成分で発癌を抑制する研究は広く行われているが、その方法は発癌の予防、前癌状態の正常化、癌細胞の除去(細胞死)など様々である。アポトーシスは細胞死の一形態で細胞自殺とも呼ばれ、細

胞の更新・正常維持に重要なメカニズムである。

現在、癌治療で用いられる抗癌剤の多くは、癌細胞にアポトーシスを起こさせるものである。ジャガイモのアントシアニン(インカレッド粗色素)をヒト胃癌細胞の培養液に添加すると、ヒト胃癌細胞の増殖が抑制され、アポトーシスの誘導が起こり癌細胞が死滅する(図2)。また、ジャガイモアントシアニンで処理したヒト胃癌細胞においてDNAの断片化が認められ、アポトーシスの誘導を確認した(図3)。さらに、 $\alpha$ -ベンゾピレンで胃を前癌状態にしたマウスに、標準飼料を与え、アントシアニン1%

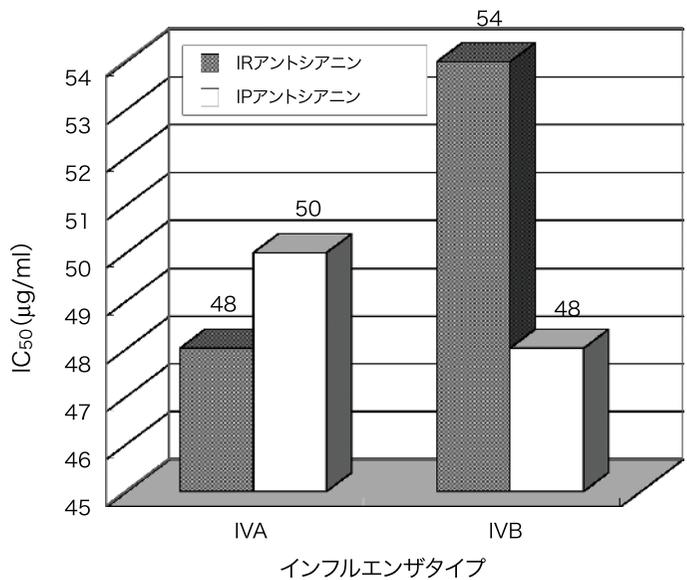


図1 ジャガイモアントシニン色素のインフルエンザウイルス抑制

IR: インカレッド, IP: インカパープル

IC50 µg/ml: 50% インフルエンザウイルス阻害率, pH 7.2

AN 色素を含まない系のプラーク数の 50% プラーク数の時の AN 濃度

IVA: インフルエンザ A ウイルス, IVB: インフルエンザ B ウイルス

表3 インフルエンザウイルスに対し 50% プラーク減少率を示す精製アントシアニンの濃度

色素の種類	溶液の酸度	インフルエンザ A	インフルエンザ B
赤系	pH 3.5	52 µg/ml	40 µg/ml
赤系	pH 7.2	50 µg/ml	48 µg/ml
紫系	pH 3.5	52 µg/ml	54 µg/ml
紫系	pH 7.2	48 µg/ml	54 µg/ml

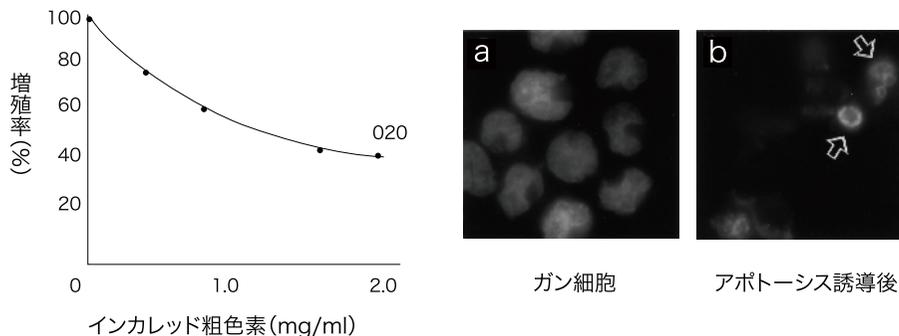


図2 ヒト胃癌細胞の増殖抑制とアポトーシス誘導細胞の蛍光顕微鏡像

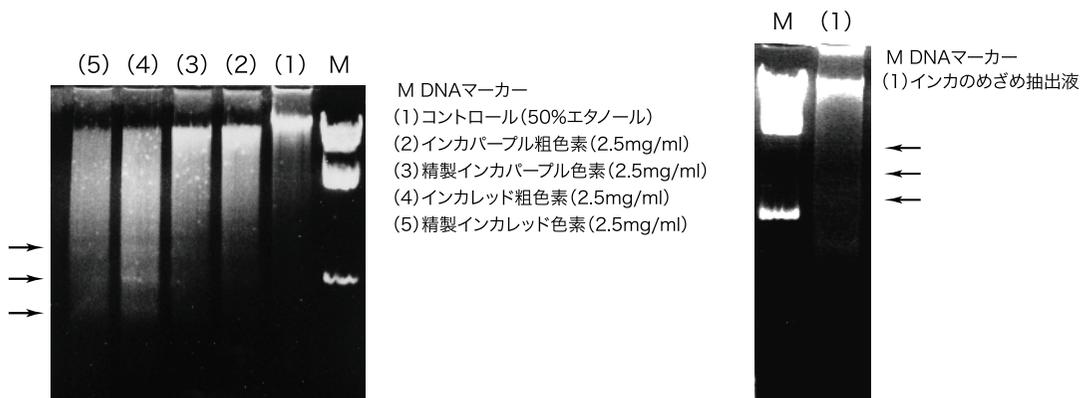


図3 ジャガイモアントシアニンによるヒト胃癌細胞 DNA 断片化

図4 インカのめざめ抽出液によるヒト胃癌細胞 DNA 断片化

表4 ジャガイモアントシアニン投与による胃癌発生抑制率

処理区	腫瘍数 / マウス	腫瘍重量 (g) / マウス	抑制率 (%)
コントロール群 (水)	9.6 ± 1.0	0.21 ± 0.02	-
インカレッド粗色素 (1%)	4.8 ± 0.5	0.11 ± 0.01	47.6
インカパープル粗色素 (1%)	5.2 ± 0.5	0.13 ± 0.01	38.1

表5 蒸しジャガイモ給餌による胃癌発生抑制率

品種名 (肉色)	腫瘍数 / マウス	腫瘍重量 (g) / マウス	抑制率 (%)
男爵薯 (白)	4.9 ± 1.1	0.13 ± 0.04	-
インカレッド (赤)	3.3 ± 1.1	0.07 ± 0.03	46.2
インカパープル (紫)	4.1 ± 0.9	0.08 ± 0.02	38.5
インカのめざめ (黄)	2.4 ± 1.0	0.06 ± 0.03	53.8

溶液を自由に摂取させることによっても、マウスの胃癌細胞の増殖が抑制されることが示された<sup>14)</sup> (表4)。

カロテノイド含有タイプ品種「インカのめざめ」

胃癌発生抑制率(%) =

$$\left( 1 - \frac{\text{試料給餌群マウス胃癌腫瘍重量}}{\text{試料非給餌群マウス胃癌腫瘍重量}} \right) \times 100$$

表6 カラフルポテトの生理機能性に関し取得した知的財産権

登録番号	発明の名称
第 4193161 号	インフルエンザウイルスの増殖抑制剤
第 4656277 号	馬鈴薯アントシアニンに含まれるアポトーシス誘導物質, 馬鈴薯食材及び加工品
第 4228371 号	カロチノイド含有馬鈴薯に含まれるアポトーシス誘導物質, 馬鈴薯由来の胃癌細胞増殖抑制作用又は胃癌発生阻害作用を有する抗癌剤
第 8709504 号 (米国特許)	Apoptosis inductor extracted from potato, potato foodstuff containing the inductor, and processed product thereof. (馬鈴薯より抽出したアポトーシス誘導物質, 及び上記誘導物質を含む馬鈴薯食材並びにその加工品)

より抽出したカロチノイドでも, 同様にヒト胃癌細胞のアポトーシスの誘導を確認した (図4)。

カラフルポテトを食品として摂取することを想定し, 蒸しジャガイモを5ヶ月間摂取させて同様の実験を行うと, 色素を含有しない「男爵薯」に比べ, カラフルポテトでは発癌が4割から5割程度抑制された (表5)。

#### おわりに

カラフルポテトは, 調理加工品に天然由来の色彩を付与するばかりでなく, さらに色素高含有を生かした機能性食品を開発することにより, ジャガイモの消費拡大に結びつけ生産振興に寄与するものと考えている。2006年にアメリカ合衆国アイダホ州で開催された第6回国際バレイショ会議 (6th World Potato Congress) では, 品種見本圃場において紫肉および赤肉の育成品種・系統が多数展示されていた。ジャガイモの含有する色素等の機能性や豊かな色彩性が注目されており, 品種育成と利用開発が進められて

いる<sup>16)</sup>。このようにカラフルポテトの機能性に関する研究は, 世界各国の様々な研究機関で進行中であり, 次々と新しい機能性が報告されている。

アメリカ合衆国で流行する文化的な事象の多くが, 日本へ取り入れられる状況にあり, 食文化も例外ではない。機能性や多様な色彩を特徴とするジャガイモ加工製品が, 日本へ輸入される可能性があり, 赤および紫のポテトチップなどスナック製品は僅かであるがすでに輸入されている。このとき, 生産性と利用適性の優れる国産のカラフルポテト品種とその加工製品が存在すれば, 輸入圧力に対抗可能であると期待する。さらに, カラフルポテトの生理機能性研究において, インフルエンザウイルスに対する増殖抑制効果とヒト胃ガン細胞に対するアポトーシス誘導活性については, その成果の一部を特許化している (表6)。これらの特許が許諾利用されると同時に, 外国から押し寄せる知的財産権の津波に対し防波堤となることを期待する。

#### ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 森 元幸, カラフルポテトをブレイクスルーとして国産バレイショの振興を目指す, 農業技術, **61**, 348-352, 2006
- 2) 森 元幸 他, 肉質部にアントシアニン色素を含有する有色バレイショ新品種「インカパープル」および「インカレッド」の育成, 育種学研究, **11**, 45-51, 2009.
- 3) 森 元幸 他, 橙黄肉色を有する二倍体のバレイショ品種「インカのめざめ」の育成, 育種学研究, **11**, 53-58, 2009.

- 4) 森元幸 他, 有色バレイショ品種「キタムラサキ」, 「ノーザンルビー」 および「シャドークイーン」の育成, 育種学研究, **11**, 145-143, 2009.
- 5) K. Hayashi, T. Ohara, A. Tsukui, Stability of antho- cyanins in various vegetables and fruits, *Food Sci. Technol. Int.*, **2**, 30-33, 1996.
- 6) 林一也 他, 新品種カラーポテトのアントシアニン, ビタミン C, 食物繊維, スクロースについて, 日本家政学会誌, **48**, 589-596, 1997.
- 7) J. B. Harborne, Plant Polyphenols 1 Anthocyanin production in the cultivated potato, *Biochem. J.*, **74**, 262-269, 1960.
- 8) M. Mori, *et al.*, Anthocyanins from skins and fleshs of potato varieties, *Food Science and Techology Rescerch*, **16**, 115-122, 2010.
- 9) C. Matsuura-Endo, *et al.*, Disintegration Differences in Cooked Potatoes from Three Japanese Cultivars: Comparison of Starch Distribution within One Tuber and Tissue Structure, *Food Sci. Technol. Res.*, **8**, 252-256, 2002.
- 10) C. Matsuura-Endo, *et al.*, Changes in sugar content and activity of vacuolar acid invertase during low-temperature storage of potato tubers from six Japanese cultivars, *J. Plant Res.*, **117**, 131-137, 2004.
- 11) T. Noda, *et al.*, Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small and extremely small potato starch granules, *Carbohydrate Polymers*, **60**, 245-251, 2005.
- 12) 末木一夫, 4. ルテイン / ゼアキサンチン, 食品機能素材Ⅲ, シーエムシー出版, 86-89, 2005.
- 13) K. Hayashi, *et al.*, Anti influenza virus activity of a red-fleshed potato anthocyanin, *Food Sci. Technol. Res.*, **9**, 242-244, 2003.
- 14) K. Hayashi, *et al.*, Induction of apoptosis in cultured human stomach cancer cells by potato anthocyanins and its inhibitory effects on growth of stomach cancer in mice, *Food Sci. Technol. Res.*, **12**, 22-26, 2006.
- 15) 石井現相, 森元幸, 梅村芳樹, 赤紫肉ジャガイモ塊茎のアントシアニンの抗酸化性と食品化学的特性, 日本食品科学工学会誌, **43**, 962-966, 1996.
- 16) C.R. Brown, *et al.*, Variability of Phytonutrient Content of Potato in Relation to Growing Location and Cooking Method, *Potato Research*, **51**, 259-270, 2008.

# もち性大麦粉の製パン特性

嶋田 幸治 (SHIMADA Koji) \*

\* 株式会社はくばく 市場戦略部製品開発グループ

Key Words：大麦・大麦粉・もち性大麦粉・アメリカ産大麦・製パン・食物繊維・β-グルカン

## はじめに

大麦は、トウモロコシ、小麦、米に次ぐ穀物であり、世界で年間約1億5千万トン生産されており、飼料用としての消費が約1億トン、残りの約5千万トンが食用として消費されている<sup>1)</sup>。ビール、洋酒など、醸造原料としての利用が主ではあるが、北アフリカや西アジアでは、大麦粉を使用した平パンとしても食されている。古代エジプトやローマ時代には主食として扱われていた穀物であり、粉状に加工し、主食のパンを焼いていた記録も残されているが、グルテンを含まないこと、発酵パンが出現したことによって、小麦粉の利用が主流となり、現代に至っている<sup>2)</sup>。

日本では年間約20万トン生産されており、精麦された麦が、麦ご飯用の麦や味噌、焼酎原料として利用されている他、焙煎され麦茶として使用されている<sup>3)</sup>。

近年の消費者の健康志向、生活習慣病や食物アレルギー疾患患者の増加などを背景に、大麦や雑穀は、栄養バランスの高い自然素材として、健康・美容・アンチエイジングなどに関心が高い人々に認知されている。中でも大麦は、米や小麦など、主食穀類と比較して、食物繊維、特に水溶性食物繊維(β-グルカン)を多く含有

しており、厚生労働省が推奨する食物繊維の1日の食事摂取基準、成人男性19g及び成人女性17gの目標量に対する不足分を摂取できる有用な食品として期待されている<sup>4,5)</sup>。

食の多様化が進む中、従来の麦ご飯として利用だけではなく、パンやスープ具材としての利用も徐々に増えている。大麦の栄養機能性に関する研究は数多くあるものの<sup>6-8)</sup>、大麦の調理特性や粉体特性、二次加工技術に関する研究は、少ないのが現状である。本稿では、水溶性食物繊維(β-グルカン)を豊富に含有しているアメリカ産もち性大麦に着目し、もち性大麦粉の製パンにおける生地特性および二次加工特性の研究について報告する。

## 1. アメリカ産もち性大麦 BG012

米と同様に、大麦にも“もち性”“うるち性”が存在する。本試験で供試した「アメリカ産もち性大麦 BG012」の栄養成分を表1に示す。うるち性大麦(佐賀県産大粒種)に比べて、アミロペクチン比が高く、栄養機能性特徴である水溶性食物繊維(β-グルカン)を豊富に含むもち性大麦である。

表1 もち性大麦粉およびうるち性大麦粉の栄養成分

	もち性大麦粉	うるち性大麦粉
エネルギー	339kcal	341kcal
蛋白質	9.5%	10.9%
脂質	1.6%	2.1%
糖質	65.2%	61.8%
食物繊維	12.9%	10.3%
β-グルカン	8.8%	3.8%
アミロース / アミロペクチン比	4%/96%	22%/78%



## 2. 澱粉特性（ビスコグラフ試験，図1）

ビスコグラフ試験における大麦粉の粘度は、小麦粉の粘度よりも高くなることを経験的に把握していたため、本試験においては、通常小麦粉 65 g で測定するところ、大麦粉 45 g で測定を実施した。うるち性大麦粉の最高粘度時温度（M.V.T.）95℃に対し、もち性大麦粉は71℃と糊化温度が非常に低い。また最終粘度（F.V.）

がうるち性大麦粉よりも低いレベルであり、澱粉の耐老化性もあることが示唆された。小麦粉のM.V.T.も90℃付近であることから、もち性大麦粉の糊化温度の低さは特異的であった。澱粉の糊化温度が低下すると製パン性が低下することは経験的に知られており、もち性大麦粉の配合率が高くなるに連れて、窯伸びが悪くボリュームが小さくなることが予測される結果であった。

## 3. 生地への吸水性および物性の変化

小麦粉：もち性大麦粉=100：0から70：30の割合で配合した場合の生地物性の変化について、ファリノグラフ試験により測定した（表2）。吸水率は、もち性大麦粉1%当たり0.55%程度増加する傾向であった。物性的には、弱化し易く安定性に欠け、特にもち性大麦粉20%以上の配合で、この傾向が顕著に現れる結果となった。生地形成時間（Development time）に達する時間が遅く、平行存続時間（E.E.）及び生地安定性（Stability）が長い、又、生地弱化度（Weakness5, Weakness10）及び混捏耐性指数（MTI）の値が小さい程、製パン時には混捏耐性に優れ、ミキシング時間を長く設定できるとされているが、もち性大麦粉を配合する場合、

配合率が高くなるほど混捏耐性に劣る生地物性となるため、オーバーミキシングにならないよう高速ミキシング時間を短くするなど、製パン作業上の工夫も必要になる。またArrival timeが長くなる傾向もあるので、低速ミキシングでの生地の纏まりにも注意しなければならない。

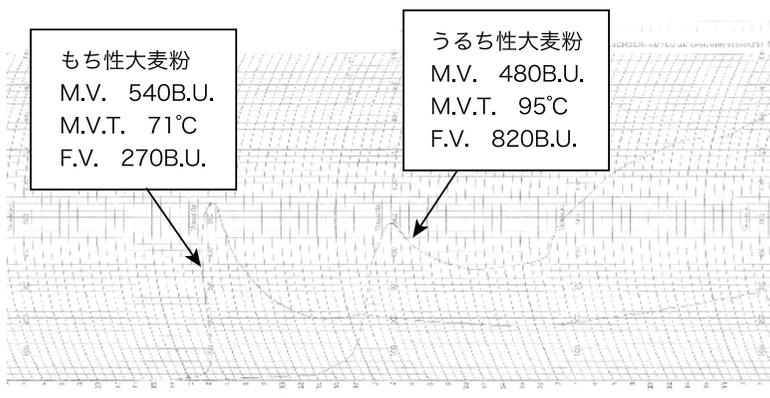


図1 もち性大麦粉およびうるち性大麦粉のビスコグラフ測定結果  
（M.V.- 最高粘度，M.V.T.- 最高粘度時温度，F.V.- 最終粘度）

表2 ファリノグラフ試験結果

試料名	小麦粉 100%	もち性大麦粉			
		5%	10%	20%	30%
吸水率 (%)	67.0	69.6	72.9	78.2	83.5
生地形成時間 (分)	11.0	10.0	10.0	10.0	9.5
Arrival time (分)	2.0	2.5	2.5	4.0	6.0
平行存続時間 (分)	11.5	9.0	9.0	5.0	3.5
生地安定性 (分)	23.0 以上	22.5 以上	22.5 以上	12.0	8.0
生地弱化度 (W5, B.U.)	8	8	8	18	30
生地弱化度 (W10, B.U.)	15	13	13	40	63
混捏耐性指数 (B.U.)	10	10	10	30	35

#### 4. 製パン性評価 (70% 標準中種生地法 (食パン配合))

製パン試験 (ラボレベル製パンテスト, 一般財団法人日本パン技術研究所にて実施) では, ファリノグラフ試験データを参考に, 小麦粉

100% の吸水率 69.0% 設定に対し, もち性大麦粉 5% で 71.5%, 10% 配合で 74.0%, 20% 配合で 78.0%, 30% で 81.0% に設定し, さらにもち性大麦粉を配合したものは, 本捏時の高速ミキシング時間を短く調整することで適性生地状態に仕上げた。しかし発酵後, 分割および成形時

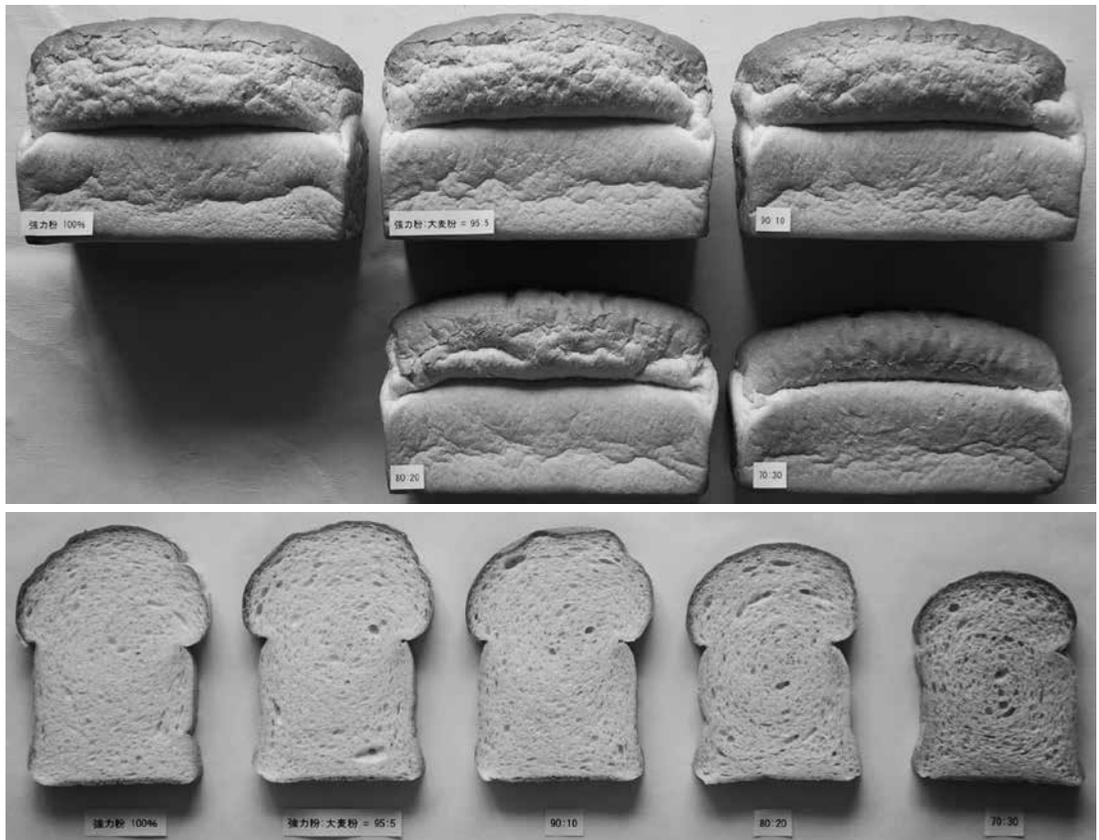


図2 ラボレベル製パン試験, 焼成後の外観および内相写真

表3 ラボレベル製パンテスト製品評価審査得点

試料名	小麦粉 100%	もち性大麦粉			
		5%	10%	20%	30%
外観 (計 30 点)					
体積 (10)	10.00	9.80	9.70	8.90	7.40
表皮色 (5)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
形均整 (5)	5.00	4.90	4.85	4.45	3.70
表皮質 (5)	5.00	5.00	5.00	4.90	4.75
内相 (計 70 点)					
内部色相 (10)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
す立 (10)	10.00	9.70	9.40	8.50	7.00
触感 (15)	13.95	14.25	15.00	14.10	10.95
香り (10)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
食感 (15)	15.00	15.00	15.00	15.00	12.00
味 (10)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
合計 (100 点)	98.95	98.65	98.95	95.85	85.80

には、伸び難く弾性の弱い生地に変化し、ガス抜き後のモルダー回転数は、小麦粉 100% では 10 回の設定であったところ、5% が 8 回、10% が 5 回、20% が 2 回、30% が 1 回で型の長さに調整できるような弾性の弱い生地物性に変化していた。

焼成後の品質評価において (図 2)、もち性大麦粉を配合することによるボリュームへの影響に関しては、10% 配合まではボリュームへの影響は小さい結果であったが、配合率が高くなるにしたがってボリュームの減少率は大きくなった。また官能評価においては (表 3)、特に内相の触感および食感で評価される結果であった。触感においては、小麦粉 100% のソフトな触感に対して、もち性大麦粉を配合したパンはしっとりとした触感に、また食感においては、小麦粉 100% のソフトで口溶けの良い食感に比べ、もち性大麦粉を配合したものは、しっとりとした歯切れの良い食感であった。

もち性大麦粉 10% 程度配合までは、小麦粉 100% と遜色の無い品質と評価することができた。20% 以上では、しっとりとした食感が強くなるものの、ボリュームの悪い、気泡膜の厚いす立の構造から、やや重い食感となってしまう

た。但し、他の雑穀類に比べ、雑味・えぐ味・酸味など、食味に大きくマイナスとなる要素は認められなかった。

## 5. 今後の展開

日本では、戦後、アメリカの製パン技術の影響を多大に受け、また古くから米飯文化もあって、小麦粉を使用したしっとりともち感の強いパンが好まれ、大麦やライ麦、雑穀を使用したパンは、健康には良いことは理解されていても食感の悪さから一般的には敬遠される傾向にある<sup>9)</sup>。本稿においては、もち性大麦粉を 5～10% 配合することで、小麦粉 100% パンと遜色ない評価が得られ、特にしっとりとした触感および食感が特徴として評価される結果が得られた。 $\beta$ -グルカンは、吸水性の高い水溶性食物繊維であり、もち性大麦粉の  $\beta$ -グルカン含量の高さは、生地吸水を高め、焼成後の製品のしっとり感にも影響を与えていると考えられる。さらに澱粉質がもち性であることから、もち感のあるしっとりとしたソフトな食感となって製品に現れ、さらに  $\beta$ -グルカンの吸水能ともち性の澱粉質の相乗効果によって、製造 2 日経過しても

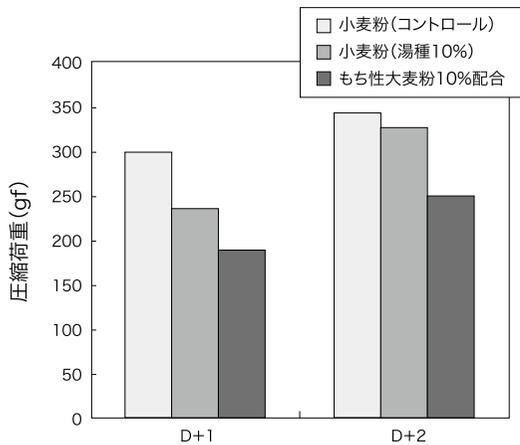


図3 レオメーターによる圧縮試験

クラムの柔らかさが持続しているのではないかと考えている(図3)。この食感は、大手ホールセールベーカリーで広く採用されている湯種製法に類似した食感であり、もち性大麦粉を混合するだけという手間を考えると、今後、有用な材料になりうると期待している。

一方、もち性大麦粉の栄養機能性を訴求ポイントとして商品設計した場合、焼成後のパン

が一定量以上の $\beta$ -グルカンを含む必要がある。2006年にアメリカの栄養表示教育法(NLEA)に基づくヘルスクレーム(健康強調表示)として、「1日3g以上の $\beta$ -グルカン摂取が、血中コレステロールを低下させて冠動脈心疾患のリスクを低減させる」ことが認められ、1食当たり $\beta$ -グルカンを0.75g以上含む大麦食品について、ヘルスクレームが認められている<sup>10)</sup>。現時点で日本では、 $\beta$ -グルカンの健康強調表示が認められてはいないが、仮に前述の数値を目標とした場合、計算上、もち性大麦粉20%配合パンで、 $\beta$ -グルカン含量が100g当たり0.75gとなり、これ以上の配合率での商品設計を考えていく必要がある。本稿で供試したもち性大麦粉を使用することで、栄養機能が担保されたソフトで柔らかい日本人の好みに合った食感を併せ持つパンを作ることができると考えるが、ボリュームの確保および機械耐性の向上のため、実際の製パン手法に沿った検討が今後の課題である。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) アメリカ穀物協会サイト, 取り扱い穀物 大麦, <http://grainsjp.org/grains/barley-g/>, (アクセス: 2014年1月6日)
- 2) 河野 友美 編, 穀物・豆. 新食品辞典1, 真珠書院, 東京, 62-63, 1994.
- 3) 日経バイオテク, 2014年2月17日号, 38-40.
- 4) 厚生労働省, 2010年版日本人の食事摂取基準, 109-117.
- 5) 厚生労働省, 平成21年国民健康・栄養調査, 17-27.
- 6) 内松 大輔, 中川 裕子, もち大麦の摂取がBMI, 腹囲周囲径, 排便状況に及ぼす影響, 山梨学院短期大学研究紀要, **32**: 147-151, 2012.
- 7) 小林 敏樹, 金子 誠治, 松岡 翼, 大麦粉含有うどんの摂取がII型糖尿病患者の血糖に及ぼす影響, ルミナコイド研究: 日本食物繊維学会会誌, **17**(1): 35-40, 2013.
- 8) 前田 亜耶, 名引 順子, 芝地 美樹 他, 大麦および高アミロース米配合低GI米の血糖上昇軽減効果とその意義, 日本臨床栄養学会雑誌, **34**(2): 2-7, 2012.
- 9) パン産業の歩み刊行会 編, パン産業の歩み, 毎日新聞社, 東京, 28, 1987.
- 10) FDA(U.S. Food and Drug Administration) サイト, Food>Ingredients, Packaging & Labeling>Labeling>Label Claims>Health Claims Meeting Significant Scientific Agreement (SSA), <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2006-05-22/html/06-4703.htm>, (アクセス: 2014年3月5日)

# 甘味受容体の構造から読み解く甘味料の特性

日下部 裕子 (KUSAKABE Yuko) \*

\* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

Key Words：甘味料・甘味受容体・甘味度・測定・評価法・商品開発

## はじめに

たいいていの人にとって、甘い味のする食品はおいしい。甘味とは、カロリー源を心地よい味として認識するという動物としてのヒトが本来持ち合わせている能力による感覚である。人類は、古代より甘味に魅了され、何がどうして甘いのかを追求し続けてきた。近年になり、分子生物学や構造生物学など様々な科学の進展により、甘味料がどうやって甘味を発生させるスイッチをオンにするのが解明され始めている。本稿では、増え続ける甘味料の種類も含め、甘味のスイッチである甘味受容体について、その歴史も併せて紹介したい。

## 1. 甘味料の種類について

甘味料というと、真っ先に砂糖を始めとする糖が頭に浮かぶと思うが、実は糖以外にも様々な物質が甘味を呈する。例えば、アミノ酸、ペプチド、タンパク質であり、合成甘味料の中にはこれらとも全く構造が異なる物質もある。それ故、甘味料の分類については諸説あるが、ここではその一例を挙げる(表1)。特に、合成甘味料、人工甘味料といった呼称は、人によって異なる定義で使われている。おそらく、合成化合物か非合成化合物か、天然物か非天然物かという分類の仕方が混同しているものと思われる

表1 代表的な甘味料の一覧 (JOHNS<sup>14)</sup> より転載)

天然甘味料：天然に存在する甘味料。植物などの精製物・濃縮物を利用する場合と、デンプンなどから人工的に合成される場合がある。	
糖	ショ糖, 果糖, ブドウ糖, トレハロースなど
糖アルコール	キシリトール, エリスリトール, ソルビトールなど
配糖体	グリチルリチン (甘草), ステビオシド (ステビア)
アミノ酸*	グリシン, アラニン, D- フェニルアラニン, D- トリプトファンなど
タンパク質	ソーマチン, モネリン
合成甘味料：天然には存在しない甘味成分を人工的に合成したもの	
糖を由来とするもの	スクラロース
ペプチド	アスパルテーム, ネオテーム
その他	アセスルファムカリウム, サッカリンなど

\* 以前はL型が天然型, D型が非天然型とされていたが, 現在ではD型アミノ酸も生体内にごく微量含まれていることが明らかになったため, 天然甘味料として分類した。

る。その背景には、天然に存在する甘味料であっても、濃縮や抽出・精製という単純な製法のみならず、人工的に合成する場合が多くあるということがある。人工的に合成したものを避けたいと考える方々にとっては、天然に存在する甘味料であっても人工的に合成されれば「合成甘味料」として取り扱うことがある。一方、単に物質の分類という観点から考えれば、生物から抽出したものであれ、人の手で合成したものであれ、同じ物質であるということに変わりはなく、自然に存在するものを天然甘味料、存在しないものを合成甘味料と呼ぶことが多い。また、最近では天然・非天然にかかわらず、砂糖の百倍以上の甘味を持つ物質について高甘味度甘味料と称することが多くなってきている。

## 2. 甘味受容体の構造

現在でこそ、私たちの細胞膜には受容体という膜タンパクが存在して、外界からの情報を受け取り細胞内に伝達するということが分かっているが、このような考えがなされるようになったのは1970年代に入ってからである。味覚受容体が膜タンパク質であることが実験で示されたのも1970年であり、それまでは、味の受容は味物質の親水度・疎水度の差による膜への吸着度の違いであると長い間考えられていた。1970年代に、タンパク質科学が進展してくると、舌の上にタンパク質分解酵素を作用させることで、甘味受容体というものの存在があるかどうか解析された。その結果、タンパク質分解酵素より甘味の感受性が低下することが明らかになり、甘味料は受容体タンパク質で受容されていることが示唆された<sup>1)</sup>。当時の味覚の研究者も様々な種類の化合物が甘味を呈することに興味を抱き、タンパク質分解酵素の種類を変え、様々な甘味料を用いて感受性の変化を解析した。その結果、タンパク質分解酵素の種類と

甘味感受性の低下のパターンは、どの甘味料も一緒ではなく、甘味料により異なることが観察され、この結果から、甘味受容体は複数存在すると予想された<sup>2)</sup>。

甘味受容体が同定されたのは2001年と比較的最近である<sup>3,4)</sup>。昔から蓄積されてきた動物の遺伝学の知見とゲノム配列の解読の進捗がもたらした成果である。実験に用いるマウスは系統によりサッカリンに対する甘味感受性が異なっていたことが知られているが、この原因となるのはマウスの第4染色体上にある人工甘味料のサッカリンの感受性の差に関する遺伝子座(Sac 遺伝子座)である<sup>2)</sup>。Sac 遺伝子座の近傍に味蕾の限定された細胞に発現する受容体遺伝子T1r1, T1r2が位置することが明らかにされた後<sup>5)</sup>、Sac 遺伝子座にT1r1, T1r2と同じ遺伝子ファミリーに属するT1r3が発見され、その後、T1r2とT1r3で甘味受容体を形成することが証明された。

甘味受容体のT1r2とT1r3はGタンパク質共役型受容体のファミリーに属し、その中でも細胞膜外に大きな領域を持つ構造を特徴とするグループのメンバーである。T1r2とT1r3は二量体を形成することで甘味受容体として機能しており、甘味受容体T1r2/T1r3の細胞膜外領域はVenus Flytrap (VFT) ドメインと呼ばれている。その他には膜貫通ドメインと、VFTドメインと膜貫通ドメインをつなぐシステインリッチドメインが存在する(図1)。甘味受容体の立体構造は未解明であるが、T1r2やT1r3と同様に細胞膜外に大きな領域を持つ代謝型グルタミン酸受容体1(mGluR1)を参考に、甘味料と甘味強度の関係を解析する研究が進められている。mGluR1とT1r2およびT1r3では類似の構造が随所に見られること、mGluR1はすでに受容体の立体構造が明らかにされており研究が先行しているため、T1r2とT1r3の構造機能の予

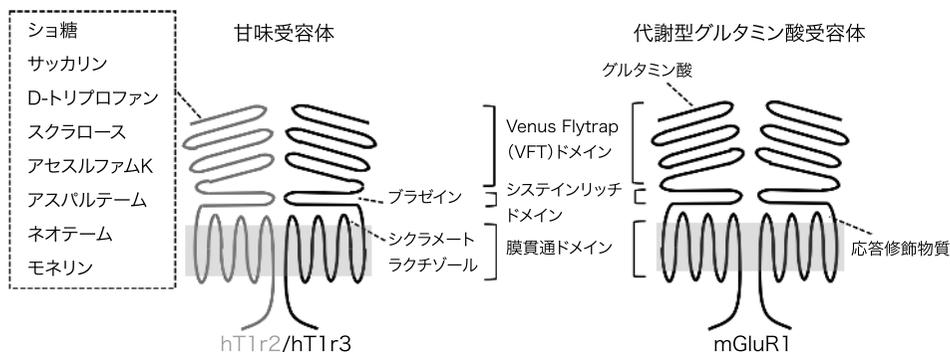


図1 甘味受容体 T1r2/T1r3 と代謝型グルタミン酸受容体 mGluR1 の構造特性と受容体に結合する物質の結合部位の概略 (ソフトドリンク技術資料 (2009)<sup>15)</sup>, 遺伝 (2012) より転載<sup>16)</sup>)

左側: 甘味受容体 T1r2/T1r3 における甘味料および甘味阻害物質の結合部位。図中の物質名はラクチゾールのみ甘味阻害物質でその他は甘味料である。  
右側: 代謝型グルタミン酸受容体 mGluR1 の構造の模式図。応答修飾物質は、そのものは応答を引き起こさず、グルタミン酸と受容体が結合したシグナルを増強あるいは抑制する効果を持つ。

測に大きく貢献している。

今までに同定されている甘味受容体は T1r2/T1r3 の 1 種類であり、多くの甘味料が T1r2/T1r3 に結合することが確認されている。多様な甘味料を一つの受容体でどのように受容するのかについての研究は、T1r2/T1r3 の同定後、盛んに行われてきた。その結果、甘味受容体は甘味料との結合部位を多数持っており、甘味料はその全てに結合する訳ではなく、物質によって結合様式が異なることが明らかになってきた。甘味料は、T1r2 の VFT ドメインに結合する物質、T1r3 のシステインリッチドメインに結合する物質、T1r3 の膜貫通部位に結合する物質に大まかに分けられる (図 1)。T1r2 の VFT ドメインには甘味料に対する結合部位が多数存在し、ショ糖からアスパルテームのような人工甘味料に至るまで多くの甘味料が T1r2 の VFT ドメインに結合するが、甘味料は全ての結合部位に結合するのではなく、それぞれの分子構造に合った部位に結合すると考えられている<sup>6,7)</sup>。甘味料は分子構造や甘味強度が様々であるが、多くの甘味料に対して 1 つの受容体で対応できることに対する答えの 1 つであ

ろう。T1r3 のシステインリッチドメインには、西アフリカに見られる植物の果実に含まれショ糖の 2 千倍以上の甘味を有するタンパク質ブラゼインが結合することが知られている<sup>8)</sup>。また、T1r3 の膜貫通ドメインには人工甘味料のシクラメートが結合することも明らかになっている<sup>9)</sup>。一つの受容体に多数の甘味結合部位があるということは、1970 年代に行われた実験でタンパク質分解酵素による甘味受容の抑制効果が異なるという結果とも一致しており、昔の研究者の精度の高い実験能力と深い洞察力が伺える。

### 3. 甘味度の測定方法

甘味の指標でよく知られているものは、甘味度と糖度ではないだろうか。糖度は厳密には甘味度ではないが、農作物の甘味度を知る手がかかりとなっている。糖度は糖度計あるいは Brix 計と呼ばれる装置で測定される。光が異なる媒体を進むときの屈折率を利用して、試料に含まれる糖の含有量を推定する方法である。糖度計の測定対象は液体試料であるため、果物などの

農産物は絞らなければ測定できない。そこで、近年では、近赤外線分光測定法など、非破壊的手法での糖度測定が行われるようになっていく。

糖以外の甘味はどのようにして測定するのか。基本的にはヒトが実際に味わってみる官能評価が主流である。様々な呈味成分に対して選択性を持つ人工脂質膜を用いた「味覚センサー」が開発され、様々な味の評価に利用されているが、甘味については、糖と糖アルコールの評価への利用に留まっている。最近、高甘味度甘味料は砂糖の数倍甘いなどの宣伝があるが、この根拠となる実験は、ほとんどがヒトによる官能実験結果であり、希釈した高甘味度甘味料と砂糖の甘さを比較することで、算出している。高甘味度甘味料の中には非天然物のものが多いが、それらの食品への使用が許可されるまでには、安全性の確認などが必須であり、安全性が担保されないものについて、官能検査を行うことは困難である。実験動物が利用できれば、とも考えるが、ここに甘味感受性と動物の進化の関係が関わってくる。味覚などの末梢感覚の受容機構は、その動物の食環境によって大きく変化する。例えば、甘味受容を必要としない肉食のネコ科の動物の甘味受容体は不完全な形で甘味を受容することができないように進化している<sup>10)</sup>。また、アスパルテームなどの高甘味度甘味料の中には、霊長類以上の動物のみが甘味を感じることができる物質がある。よって、医薬品のように動物を使った評価は現実味が乏しいと言わざるを得ない。そのような状況下で2001年に甘味受容体遺伝子が同定され<sup>4)</sup>、ヒトの甘味受容体を培養細胞に導入して、ヒトの代わりに培養細胞が「味見」の一部を肩代わりできるようになった。そこで、味覚研究の分野では、甘味受容体を導入した培養細胞を用いた甘味強度の評価法の開発と利用が進んできている。

#### 4. 甘味受容体を導入した培養細胞を用いた甘味強度の評価法の発展

甘味受容体内の甘味結合部位と甘味料の関係の解析は、主に、甘味受容体を導入した培養細胞を用いて行われている。甘味受容体と甘味料の結合を評価する方法は様々あるが、主要な方法は、細胞内のカルシウムイオン濃度を経時的に測定する方法（カルシウムイメージング）である。カルシウムイオンによって蛍光を発する優れた指示薬が、カルシウムイメージングの利用を後押ししている。一方、カルシウムイメージングには致命的な短所もある。応答時間の問題である。カルシウムイメージング法では、細胞の応答は、甘味料が受容体に結合した直後には観察されず、受容体への結合により、細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇して初めて観察される。よって、細胞の応答がピークに達するまでに、甘味料を添加してから10秒以上を有することが多い（図2）。実際に食品を口してから甘味を感じるまでの時間は1秒以下であるのは自明であり、その差は歴然としている。甘味料はその種類により、甘味の立ち上がりや、後引きの時間などに特徴を持つことが多い。立ち上がりや後引きといった特徴は食品の品質を決定づけることが多く、食品開発の現場からは甘味強度の最大値ではなく経時的な変化の可視化が求められることが多分にあるが、カルシウムイメージング法ではその要望に応えることは困難である。また、カルシウムイメージングは励起光により蛍光指示薬が発した蛍光を測定するが、励起光により蛍光を発してしまう食品中の物質の存在も問題点となっている。メーラード反応物の中には励起光により蛍光を発する物質が多いことが知られている他、食品の粗抽出物では、何が蛍光を発しているのかすら分からないことも多々ある。現在、この問題については、励起光のいらない発光タンパク質の利用で

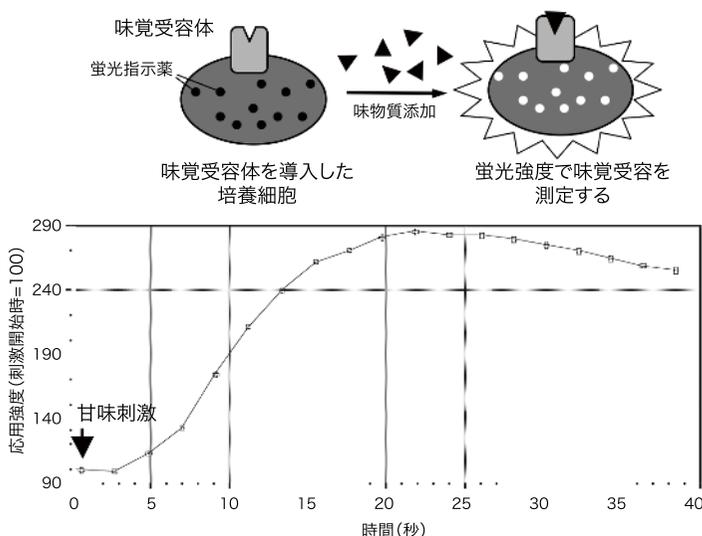


図2 カルシウムイメージングの概要と測定例

上：味覚受容体を導入した培養細胞を用いた味応答測定の概要を模式化した。  
下：蛍光プレートリーダーを用いた応答測定の例。甘味刺激をしてから応答がピークに達するまで約20秒かかっている。

の対策が試みられている<sup>11)</sup>。励起光によらず、カルシウムイオンとの結合によって自ら発光する蛍光タンパク質を利用することで、非特異的応答を排除でき、食品への応用範囲が広がる事が期待される。

5.

甘味受容体の構造機能を活かした甘味研究の最前線

このように、現状では、甘味受容体を利用した甘味度評価を食品開発の現場で利用する場面はなかなか出てこない。そんな中で、筆者は、甘味料のブレンドによる甘味強度の変化と甘味受容体の構造特性についての解析を始めている。甘味受容体の構造は前述の通り、代謝型グルタミン酸受容体 (mGluR) と類似である。mGluR の構造機能は、薬品開発と密接な関わりがあるため研究が先行している。中でも、アロステリック修飾薬の開発が盛んである。mGluR1 は細胞膜外の VFT ドメインでグルタミン酸を受容するが、それ以外に膜貫通領域に

作用部位が存在している<sup>12)</sup> (図1)。膜貫通領域に結合する物質は、それ自体はシグナルを発生せず、グルタミン酸と mGluR の VFT ドメインにおける結合シグナルの大きさを調節する作用がある。電灯で言えば、VFT ドメインでのグルタミン酸との結合がスイッチであり、膜貫通領域での調節は灯りの大きさを調節する調光器といったところである。この調節作用を持つ物質がアロステリックモジュレーターと呼ばれ、副作用の少ない薬品開発のキーポイントの一つとなっている。ヒト甘味受容体の T1r3 の膜貫通領域にも甘味

料が結合することが知られているが、mGluR と異なり、それ自体が甘いというシグナルを発生している。そこで、筆者らは、この膜貫通領域に結合する甘味料 (シクラメート, NMDC) が甘味度を修飾するかどうかの解析を始めている。まだ、はっきりとした結論が得られる研究段階ではないが、シクラメートと NMDC は T1r2 の VFT ドメインに結合する甘味料であるアセスルファム K やスクラロースの甘味応答を増強する効果が観察されている (図3)。一方、シクラメートと NMDC を混合した場合は両方とも膜貫通領域に結合するためそのような増幅は観察されない。よって、T1r2 の VFT ドメインへの甘味料の結合により発生した甘味シグナルが膜貫通領域へのシクラメートあるいは NMDC の結合により増幅されるのではないかと筆者は推測している。ただし、シクラメート、NMDC の両方もが、日本では甘味料として認可されていないことから、実際の食品への展開は現在のところ困難で、官能評価を行うことも難しい状況である。よって、すぐに食品に

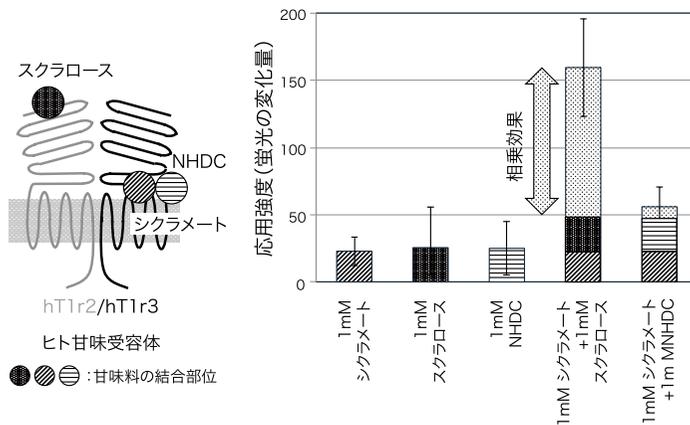


図3 甘味受容体構造と甘味料のブレンドによる甘味増強の関係

左図：甘味料の結合部位の概略。NHDC：ネオヘスペリジンジヒドロカルコン

右図：甘味料の結合部位とブレンドによる増強効果の関係。結合部位が異なる領域に位置する甘味物質をブレンドした場合（1 mM シクラメート + 1 mM スクラロース）は、それぞれ単独での甘味応答強度を加算したよりも大きな応答、すなわち相乗効果が認められる。結合部位が膜貫通領域に位置するもの同士の甘味物質をブレンドした場合（1 mM シクラメート + 1 mM NHDC）は、それぞれの甘味応答強度を加算した値に近い値を示し、相乗効果は小さい。

用できる知見とはならないのが難点である。また、甘味増強機構はこれのみでなく膜外領域の VFT ドメインに結合する甘味料同士でも相乗効果を引き起こすことも報告されており<sup>13)</sup>、甘味受容体が様々なシグナルの増幅機構を保有することが伺える。まだまだ、研究は途上であるが、今回紹介した甘味受容体構造との関係も甘味料のブレンドのデザインの現場で利用して

頂ければと考えている。

おわりに

甘味について、甘味料からその受容機構に至るまで、ざっと紹介をさせて頂いた。本稿で紹介した、甘味受容体を導入した培養細胞による甘味測定方法では、甘味応答強度の経時的な変化を測定することが困難である。そこで、個々の甘味料の持つ甘味強度と時間の関係については控えた。また、甘味以外に苦味などの雑味が併存したり、清涼感などを併せ持つものが多くあり、甘味強度だけで食品への適用を考えることはできない。そのため、食品会社の方々

が甘味料を食品に利用する際に大変な努力をしていることが伺える。本稿で紹介した研究内容には、後味の改良や雑味の抑制に対する直接的な答えはないが、味の改良のために行う甘味料のブレンドには、甘味受容体と甘味料の相互作用という現象が含まれているということを頭の片隅にでも置いて頂ければと考えている。

..... 参考文献 .....

- 1) Hiji Y: Selective elimination of taste responses to sugars by proteolytic enzymes. *Nature* **256**: 427-429, 1975.
- 2) Faurion A, Saito S, MacLeod P: Sweet taste involves several distinct receptor mechanisms. *Chemical Senses* **5**: 107-121, 1980.
- 3) Kitagawa M, Kusakabe Y, Miura H, et al.: Molecular genetic identification of a candidate receptor gene for sweet taste. *Biochem Biophys Res Commun* **283**: 236-242, 2001.
- 4) Nelson G, Hoon MA, Chandrashekar J, et al.: Mammalian sweet taste receptors. *Cell* **106**: 381-390, 2001.
- 5) Li X, Inoue M, Reed DR, et al.: High-resolution genetic mapping of the saccharin preference locus (Sac) and the putative sweet taste receptor (T1R1) gene (Gpr70) to mouse distal Chromosome 4. *Mamm Genome* **12**: 13-16, 2001.
- 6) Xu H, Staszewski L, Tang H, et al.: Different functional roles of T1R subunits in the heteromeric taste receptors.

*Proc Natl Acad Sci USA* **101**: 14258–14263, 2004.

- 7) Masuda K, A. Koizumi A, K. Nakajima K, *et al.*: Characterization of the modes of binding between human sweet taste receptor and low-molecular-weight sweet compounds. *PLoS One* **7**: e35380, 2012.
- 8) Jiang P, Ji Q, Liu Z, *et al.*: The cysteine-rich region of T1R3 determines responses to intensely sweet proteins. *J Biol Chem* **279**: 45068–45075, 2004.
- 9) Jiang P, Cui M, Zhao B, *et al.*: Identification of the cyclamate interaction site within the transmembrane domain of the human sweet taste receptor subunit T1R3. *J Biol Chem* **280**: 34296–34305, 2005.
- 10) Li X, Li W, Wang H, *et al.*: Pseudogenization of a sweet-receptor gene accounts for cats' indifference toward sugar. *PLoS Genet* **1**: 27–35, 2005.
- 11) Toda Y, Okada S, Misaka T: Establishment of a new cell-based assay to measure the activity of sweeteners in fluorescent food extracts. *J Agric Food Chem* **59**: 12131–12138, 2011.
- 12) Conn PJ, Christopoulos A, Lindsley CW: Allosteric modulators of GPCRs: a novel approach for the treatment of CNS disorders. *Nat. Rev Drug Discov* **8**: 41–54, 2009.
- 13) Zhang F, Klebansky B, Fine RM, *et al.*: Molecular mechanism of the sweet taste enhancers. *Proc Natl Acad Sci USA* **107**: 4752–4757, 2010.
- 14) 日下部 裕子：甘味料の受容機構 *JOHNS* **29**: 29–32, 2013.
- 15) 日下部 裕子：味の現象を分子でどこまで説明できるようになったか。ソフト・ドリンク技術資料 **158**: 63–78, 2009.
- 16) 日下部 裕子：味受容の現象を分子で説明する —甘味受容体を例として—。生物の科学 遺伝 **66**: 614–619, 2012.

# 原発事故に起因する放射性核種が 有畜循環型農業におよぼす影響

Effect of radionuclides due to the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant on the recycling agriculture including livestock

眞鍋 昇 (MANABE Noboru) \*1 高橋 友継 (TAKAHASHI Tomotusgu) \*1 田中 哲弥 (TANAKA Tetsuya) \*1  
李 俊佑 (RI Toshihiro) \*1 田野井 慶太郎 (TANOI Keitarou) \*2 中西 友子 (NAKANISHI Tomoko) \*2

\*1 東京大学農学生命科学研究科附属牧場 (Animal Resource Science Center, The University of Tokyo) ,

\*2 東京大学附属放射性同位元素施設 (Radioisotope Center, The University of Tokyo)

Key Words : 堆肥・好気性超高温発酵法・家畜・農作物・栽培試験・放射性セシウム・動態

## Abstract.

Appropriate treatment of wastes of farm and pasture that has been contaminated with radionuclides due to the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant has not yet been developed. To block the intestinal infectious diseases, we have developed the aerobic ultra-high temperature (more than 110 °C) fermentation method. The fertilized wastes were used as compost to grow the crops. We examined the kinetics of radioactive cesium in the farm and pasture. The compost was contaminated with radioactive cesium (about 900 Bq/kg). In the field of the University of Tokyo ranch, corn, soybean, eggplant, ginger etc. were cultivated in a hole of about one cubic meter dug and filed with the compost in there. We measured the radioactive cesium levels of roots, stems, leaves and fruits of these crops at each harvest time. Radioactive cesium levels in all sites of these crops were lower than 20 Bq/kg, which was lower than the reference value, 100 Bq/kg, in food. In conclusion, when the crops were planted using radioactive cesium contaminated compost (more than twice provisional tolerance of radioactive cesium contamination of compost, 400 Bq/kg), the radioactive cesium levels in each part of the crops was found to be low.

## 要旨

福島第一原子力発電所の事故による放射性核種で汚染された農場や牧場の廃棄物の適切な処理法が未開発です。私たちが腸管伝染病統御のために開発している好気性超高温発酵法にて農場や牧場の廃棄物を発酵させたものを堆肥として施肥して、作物を栽培し、放射性セシウムの動態を調べています。原発事故の発生した2011年春から夏にかけて行った栽培試験では、東京大学附属牧場の圃場に約1立方メートルの穴を掘り、そこに放射性セシウムで汚染した堆肥(約900 Bq/kg)を施肥して、トウモロコシ、ダイズ、ナス、ショウガなどを栽培し、各作物の収穫時期に根、茎、葉、実に含まれる放射性セシウムレベルを測定しましたが、作物の全ての採材部位において、放射性セシウムレベルは20 Bq/kg以下でした。これは食品中の基準値100 Bq/kgより低いものでした。暫定許容値(400 Bq/kg)の2倍以上の放射性セシウムで汚染した堆肥を用いて栽培した場合でも、作物の各部位に移行する放射性セシウムレベルは低いことが実証されました。さらに原発事故の次の年、2012年にも同様に栽培試験を行いました。堆肥の放射性セシウムレベルが約60 Bq/kgまで低下していて、これを用いた栽培試験の結果、収穫時期の各作物の全ての採材部位において、放射性セシウムレベルは検出限界以下でした。

## はじめに

20世紀の人類にとっての最大の発明は、ハーバー・ボッシュ法によって空気中の窒素をアンモニアへと安価かつ大量に工業的に固定できるようになったことです。これによって、食料増産になくはならない肥料として硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウム、尿素などのいわゆる窒素系の化学肥料が安価かつ安定的に供給できるようになりました。この方法が発明されなかったならば、人口はおそらくは現在の四半分にも満たないものに留まっていると考えられています。しかし、農作物を安定的に生産しつづけるためには化学肥料だけでなく適切な量の有機肥料を施肥しつづけてはならないことが経験的に知られています。

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所（原発）事故によって、放射性セシウムなどの放射性核種によって関東圏から東北圏の広範囲にわたって土壌が汚染されてしまいました。放射性セシウムの作物への吸収はカリウムと競合するとの考えがあるので、カリウム系化学肥料を多施することで、土壌中の放射性セシウムの吸収を軽減しようと試みられています。他に窒素系化学肥料やリン系化学肥料を施肥して、放射性セシウムレベルが食品中の基準値（100 Bq/kg）以下の農作物を生産する手法がみだされてきています。しかしながら、長期的な視点で考えると、適切な量の有機肥料を施肥することが安定的な農産物生産には欠かせないので、その手法の開発が重要です。本稿では、約40ヘクタールしかない小さな東京大学大学院農学生命科学研究科附属牧場（東大牧場）で実証してきた有畜循環型農業における原発事故に起因する放射性セシウムの動態を紹介します。

## 1. 家畜と畜産物への原発事故に起因する放射性セシウムの影響

私たちは、これまで、被災地の復興支援の要となる農産物や畜産物の安全を担保する方策を模索することの一環として、原発から約130km離れた茨城県笠間市に位置する東大牧場で事故約2ヶ月後に収穫した事故に起因する放射性セシウムを含む牧草を乳牛に給与すると、約6%の放射性セシウムが牛乳に移行することおよびその後放射性セシウムを含まない飼料にきりかえると牛乳中レベルがすみやかに低下すること、警戒区域内（原発から半径20キロ以内）の放れ家畜やそれらが生存していた環境においては事故約6ヶ月後でも放射性セシウムのレベルが高かったこと、事故後約3ヶ月半の間比較的放射能汚染レベルの高い警戒区域内で飼養されていた5種類の雌雄原種豚を附属牧場に救出して生殖機能や次世代の健全性を調べる調査研究の中間報告として、救出約30ヶ月後では救出した親世代の種豚および子世代の仔豚と孫世代の仔豚において特記すべき異常は認められないこと、馬に暫定許容値の約5倍（約480 Bq/kg）の放射性セシウムで汚染した飼料を8週間給与した後、汚染していない飼料に切り替えて8週間すると骨格筋や血液中の放射性セシウムは検出限界以下にまで低下することなど、家畜と飼養環境および畜産物の放射性セシウムによる汚染について多面的に調べてきました<sup>1-8)</sup>。併せて、原発事故に起因する放射性セシウムで汚染した牧草、それを摂取した家畜、この家畜の糞尿を発酵させた堆肥、この堆肥を有機肥料として施肥した土壌、そこで生育した作物における放射性セシウム動態を調べて原発事故に起因する放射性セシウムが有畜循環型農業に及ぼす影響について実証的に調べています。

## 2. 好気性超高温発酵

東大牧場では、腸管伝染病を統御するために発酵温度が110℃をこえる好気性超高温発酵法を開発し、この方法で牧場の糞尿、敷料、飼料残渣、廃棄飼料などを発酵させています。この発酵産物を堆肥として施肥して、作物を栽培し、放射性セシウムの動態を調べていますが、この好気性超高温発酵法は、広く採用されている伝統的な堆肥調製法とは大きく異なりますので、概要を言及しておきます。

我が国では、家畜は古くから農耕や運搬に用いられ、その糞尿は肥料の原料として重要であったことから「農宝」と呼ばれて耕種農業と共生しながら個々の農家で大切に飼養されてきました。例えば、東北地方や北関東地方の常陸地方では、人間の住居と馬小屋や物置が一体となった伝統的家屋である曲がり屋が建てられ、馬は人間と同じ屋根の下で家族の一員として大切に飼われてきました。太平洋戦争後になって、食生活が急速に米国風が変わって畜肉、牛乳、鶏卵などの畜産物が日常的に食されるようになり、消費量が爆発的に増加しました。これにともなって、従来農家の庭先で小規模に飼われているにすぎなかった家畜が、大規模な専門化した畜産農家で集約的に飼養されるようになりました。それまでは広範囲に分散して少量ずつ排泄されていた家畜の糞尿が、大規模な牧場でスポット的に大量に排泄されることとなり、処理のためのスペースや経費不足が生じて、野積みや素堀りといった不適切な処理が頻繁に行われるようになりました。このことは、悪臭発生の原因となったり、河川や地下水へ流出したものが水質汚染を招くなど、広範に環境を汚染する要因となってしまいました。加えて、糞を介して伝播する腸管感染症は、家畜から家畜に伝播する（牛ではヨーネ病、牛ウイルス性下痢・粘

膜病、口蹄疫、腸管出血性大腸菌感染症、リステリア症、サルモネラ症など、豚では豚丹毒、E型肝炎、サーコウイルス感染症、口蹄疫、サルモネラ症、エルシニア感染症など、鶏ではカンピロバクター症、サルモネラ症、鳥インフルエンザなど）ばかりでなく、家畜から人間にも伝播（牛からは腸管出血性大腸菌感染症、リステリア症、サルモネラ症など、豚からはサルモネラ症、エルシニア感染症など、鶏からはカンピロ症、サルモネラ症などが人間に伝播し、これらの多くは食中毒を引き起こします。さらに、豚のE型肝炎や鶏の高病原性鳥インフルエンザなどの伝染病も社会的に看過できない重要な疾病です。）して多くの被害が繰り返し発生してきました。家畜排泄物は適切に堆肥化处理されると、いまもって農村地域において耕種農業を永続させるためには欠かせない貴重な資源であり、優れた有機肥料や土壌改良資材として有用なものとなります。そこで、「家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（家畜排泄物法）」が、1999年に制定されて、家畜排泄物の野積や素堀などの不適切な処理を解消して、適正に処理されて有効に利用されることで畜産業が健全に発展することがはかれることとなりました。この法律の制定を受けて家畜を飼養している農場では、家畜排泄物の処理に関わる施設などの拡充が図られることとなりました。このような社会状況をうけて、私たちは、腸管感染症の伝播を容易かつ安価に統御できる手法を創出するために、好気性細菌叢を活用した糞尿の発酵処理法を開発してきました。この新規な家畜糞尿超高温発酵処理法では、これまでに最高発酵温度が117℃に達するまでになり、多くの糞を介して伝播する腸管感染症を統御できるようになってきています。

発酵システムは、発酵槽と送風機からのみ構成される簡便なものです（図1）。底面、奥面と両側面がコンクリート製壁で囲まれ、前面と

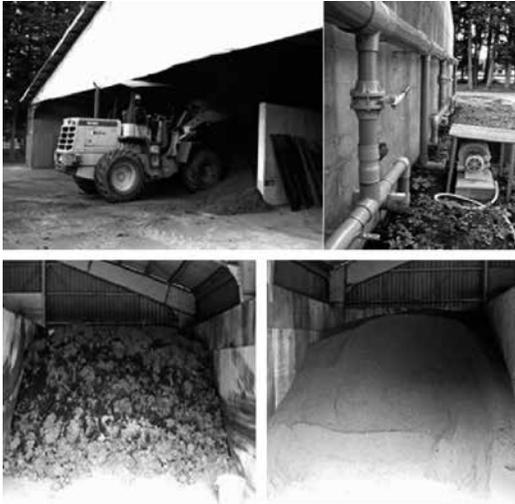


図1 好気性超高温発酵槽

上面は解放されている発酵槽（適切サイズは、間口約4～6メートル、奥行約8～10メートル、高さ約2メートルです。）には直接雨水が吹き込まないように屋根が設けられています。発酵槽の底面には数本の凹型の溝が掘られ、その溝には底側に穴が数十センチメートルおきに開けられた通気用の塩化ビニル製送風管が設置されています。この送風管に、発酵槽奥面の室外側に置かれた送風機から空気が常時送られています。送風機と発酵槽底面の送風管とを繋ぐパイプの途中には、送風量を調節せきるようにバルブが設けられています。この発酵槽に、約20～50立方メートルの原料および発酵終了物（発酵産物）を投入し、ホイールローダーを使ってよく攪拌し、発酵産物の量を調節して発酵開始時の水分率を約55～60%に調整し、積み上げてから送風を開始します。水分率と送風量が適切ですと外気温度が0℃前後の真冬でも発酵開始3～4日で中央部の発酵温度は100℃以上まで上昇し、その後、発酵温度は低下しはじめるので、発酵開始5日後には発酵物をホイールローダーを使ってよく攪拌しながら、別の空いている発酵槽に移し、再び送風を開始します。このように発酵サイクルを5～6回繰り返すと、水

分率が30～35%まで低下し、かつ発酵菌叢が利用できる原料がなくなるので発酵温度が上がらなくなり、発酵処理は終了します。この発酵産物の一部は、原料と攪拌されて次の発酵処理に供され、残りは倉庫内などに保管されます。この最終発酵産物を堆肥として23種類の作物に施肥したところ、イネ、ネギ、インゲンマメなど22種類の作物では優れた施肥効果が認められましたが、トウモロコシの場合は減収となりました。興味深いことに、土壌病害による連作障害を起こしやすい作物（マメ科のインゲンマメ、ナス科のトマト、ピーマンとジャガイモ、ウリ科のキュウリ、アブラナ科のハクサイ、キャベツ、ダイコン、カブなど）において連作障害が軽減され、増収が認められました。

### 3. 家畜糞尿の処理

近年の我が国の食料の自給率は、カロリーベースで約40%（金額ベースでは約70%）であり、農業総産出額は約8.3兆円です。そのうち耕種農業の生産額が約4.6兆円です（米が約1.8兆円、野菜が約2.1兆円、果実が約7千万円）。畜産業の生産額は約2.6兆円で、農業総産出額の約1/3をしめています。2012年初頭の時点における畜産業の生産は、約145万頭の乳用牛、約272万頭の肉用牛、約974万頭の豚および約1.8億羽の採卵鶏と約1億羽の肉用鶏の飼養によって支えられています。これらを飼養するためには一年間に約2,500万トン（約75%を輸入しています。）の飼料が必要です。これらの家畜が排泄する糞尿の量は、一年間で約9千万トン（内訳は、乳用牛が約3.3千万トン、肉用牛が約2.7千万トン、豚が約2千万トンおよび採卵鶏が約5.4百万トンと肉用鶏約3.3百万トンです。）に達すると試算されており、これらを従来からの手法で発酵処理すると約5千万トンの堆肥が生産されることになります。

牛糞尿由来の堆肥は、窒素の肥効が低いので農耕用土壌をつくるために使われ、作物の耕作に必要な養分は別途化学肥料を用いたり、窒素の肥効が高くてカリウムやリン酸も豊富な鶏糞由来の堆肥を与えることが一般的です。多めに見積もって10アールの耕作地あたり毎年1トン家畜由来堆肥を施肥すると、我が国の耕地は約450万ヘクタールですので、約4億5千万トンの堆肥が必要ということになります。また世界的に化学肥料用のリン資源不足が大きな問題となってきたこともあり、家畜糞尿を原料とした堆肥の有効利用は、安定した食料生産のために今後とも必須であり続けます。しかし、従来からの手法で家畜糞尿を堆肥化しようとすると、長時間広い堆肥場に山積み続けるか、加温して発酵を早めたり、乾燥させたりしなくてはならず、多くのエネルギーを消費するので畜産農家の経済的負担は無視できない大きなものとなりがちです。

近年、家畜糞尿、穀類や野菜類の残渣などの農場残渣、食用油の廃油、食品残渣、下水汚泥などの様々な廃棄物を原料として嫌気性発酵によってメタンガスを発生させ、これで発電するバイオガス発電システムが地球温暖化を軽減する対策として注目されています。このシステムは、2012年の時点で豚を約2,800万頭飼養しているドイツで先行しており、発電能力が250メガワットを超えています。家畜糞尿を原料とするメタン発酵が先行している欧州諸国では、発酵残渣（消化液）の多くは液肥として耕作地に散布されているので、消化液の処理に要する経費を必要としていません。しかし、畜産農家が液肥として散布できる十分な耕作地を持っていない日本では、消化液の処理が容易ではありません。さらに消化液には糞尿に由来するミネラル、重金属、化合物などが含まれていますので、耕作地に投与することに関わる環境や収穫物の安全の担保などの多面的な検討が必要です。

#### 4. 放射性セシウム汚染堆肥中で栽培した作物における放射性セシウムの動態

上述のように、原発事故によって放射性核種によって関東圏、東北圏の広範な農耕地が汚染されてしまいました（本稿では、代表例として放射性セシウムについてふれます）。原発事故前の農地土壌の放射性セシウムレベルの全国平均は約20 Bq/kg（5～140 Bq/kg）でした。上述のように、原発事故後、国は肥料、土壌改良材、培土などの暫定許容値を400 Bq/kgとしました。放射性核種で汚染された農場や牧場の廃棄物の適切な処理法が未だ確立していないので、私たちは、その基盤的知見を提供するために、原発から南西に約130 km離れた東大牧場で好気性超高温発酵法にて家畜糞尿、敷料、飼料残渣などの農場廃棄物を発酵させたものを肥料として用いて、栽培した作物における放射性セシウムの動態を調べています。事故後約3ヶ月、牧草の収穫時期にあたる2011年6月3日に調べた東大牧場の飼料栽培圃場の土壌におけるヨウ素131は検出限界以下で、セシウム134およびセシウム137のレベルは各々40～110 Bq/kgおよび10～130 Bq/kgでした（以下は、セシウム134とセシウム137とを併せて放射性セシウムとします）。すなわち、放射性セシウムレベルは、50～240 Bq/kgでした（培土の暫定許容値は400 Bq/kg以下です）。この2011年6月に家畜の飼料として東大牧場の圃場で栽培していたイタリアンライグラスを刈り取って、乾燥後、プラスチックフィルムで梱包して嫌気発酵させたヘイレージ（牧草の漬け物です。）を調製しました。これの放射性セシウムレベルは3,900 Bq/kgでした（家畜の飼料の暫定許容値を100 Bq/kg以下です）。これをヤギに給与しますと、骨格筋の放射性セシウムレベルは約130 Bq/kg（一般食品の基準値は100 Bq/kg以下です。）でした。このヤギの糞の放射性セシウムレベルは約

150 Bq/kg で、それを原料にして調製した発酵産物（堆肥）の放射性セシウムレベルは約 900 Bq/kg でした。東京大学附属牧場の圃場に約 1 立方メートルの穴を掘り、そこにこの肥料を投入して、そこでトウモロコシ、ダイズ、ナス、ショウガなどを栽培しました。各作物の収穫時期に根、茎、葉、実に含まれる放射性セシウムレベルを測定しました。各作物の全ての採材部位において、放射性セシウムレベルは 20 Bq/kg 以下で、食品中の基準値 100 Bq/kg より低いものでした。すなわち、堆肥の放射性セシウム汚染の暫定許容値の 2 倍以上高いレベルの放射性セシウムで汚染した堆肥を用いて栽培した場合でも、作物の各部位に移行する放射性セシウムレベルは低いことが分かりました。さらに原発事故の次の年、2012 年にも同様に栽培試験を行いました。堆肥の放射性セシウムレベルは約 60 Bq/kg まで低下していて、これを用いた栽培試験をした場合、各作物の全ての採材部位において、放射性セシウムレベルは検出限界以下でした。

#### おわりに

暫定許容値の 2 倍以上の放射性セシウムレベルの堆肥を用いて作物を栽培した場合でも、各作物の収穫時期に根、茎、葉、実に移行する放射性セシウムレベルは食品中の基準値より低いものであること、および暫定許容値の約半分の放射性セシウムレベルの堆肥を用いて同様に栽培試験を行った場合には、作物の放射性セシウムレベルは検出限界以下になることが実証されました。このような実証試験の所見に基づいて、我が国の重要な食料生産地帯である関東圏と東北圏で安全で安心な畜循環農業が活性化することを祈念しています。

今回紹介させていただいた好気性超高温発酵技術の多くは、平成 20～22 年度に農林水産省の「レギュラトリ-サイエンス新技術開発事業」として支援を受けた「糞尿媒介感染症統御のための処理技術の実用化と先進的衛生管理法」で研究開発した成果によるものです。

#### ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 橋本 健, 田野井 慶太郎, 桜井 健太, 飯本 武志, 野川 憲夫, 桧垣 正吾, 小坂 尚樹, 高橋 友継, 榎本 百合子, 小野山 一郎, 李 俊佑, 眞鍋 昇, 中西 友子. 福島第一原子力発電所事故後の茨城県産牧草を給与した牛の乳における放射性核種物質濃度. *Radioisotopes*, **60** (8): 335-338, 2011.
- 2) 眞鍋 昇, 李 俊佑, 高橋 友継, 遠藤 麻衣子, 榎本 百利子, 田野井 慶太郎, 中西 友子. 飼料中の放射性物質の牛乳への移行と今後の対策. *デイリージャパン*, **12** (5): 25-27, 2012.
- 3) 眞鍋 昇. 乳牛における放射性セシウムの動態. *化学と生物*, **50**(9): 668-670, 2012.
- 4) 高橋 友継, 榎本 百利子, 遠藤 麻衣子, 小野山 一郎, 富松 理, 池田 正則, 李 俊佑, 田野井 慶太郎, 中西 友子, 眞鍋 昇. 福島第一原子力発電所事故後の茨城県産牧草を給与した牛の乳における放射性核種濃度の経時変化 (第 2 報). *Radioisotope*, **61**(11): 551-554, 2012.
- 5) 眞鍋 昇. 原発事故による放射線被曝が種豚とその子孫におよぼす影響. *養豚の友*, **10**: 49-52, 2013.
- 6) 眞鍋 昇, 高橋 友継, 小野山 一郎, 遠藤 麻衣子, 飯塚 祐彦, 李 俊佑, 田野井 慶太郎, 中西 友子. 福島第一原子力発電所事故からの畜産業の復興のための家畜や畜産物の放射性核種汚染の実証的調査研究. 東日本大震災からの農林水産業と地域社会の復興 (シリーズ 21 世紀の農学), 東京, 養賢堂, 24-36, 2013.
- 7) Noboru Manabe, Tomotusugu Takahashi, Jun-You Li, Keitaro Tanoi, Tomoko M. Nakanishi. Changes in the transfer of fallout radiocesium from pasture harvested in Ibaraki Prefecture, Japan, to cow milk two months after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident*. Tomoko M. Nakanishi, Keitaro Tanoi eds, Heidelberg, Germany, Springer, 87-95, 2013.
- 8) 眞鍋 昇, 高橋 友継, 李 俊佑. 畜産物の安全を重視した畜産廃棄物処理の将来. *畜産の研究*, **68**(4): 447-451, 2014.

# 組織の活性化と人材の育成～

Improving the working environment and nurturing human resources :

## 人との出会いと開発テーマ

Encounter with senior people and development of research project

山本 正次 (YAMAMOTO Masaji)

丸善製薬株式会社 R & D戦略部

General Manager, R&D Planning Dept. Reserch&Development Div.  
MARUZEN PHARACEUTICALS CO.,LTD.

Key Words : 甘草・グリチルリチン・フラボノイド・植物エキス

### Abstract

Since the entry into Maruzen Pharmaceuticals, a manufacturing company of plant extraction located in Hiroshima Prefecture, I have devoted myself in isolating the active ingredients from licorice, investigating their pharmacological actions and possible applications. At the initial stage of these research projects, I had collaborated with, and received nice suggestions, advices and ideas from senior researchers from many universities, research institutions and companies. Without them, recent progress of the company could not have been achieved.

### はじめに

私が、今から 35 年前に入社した丸善製薬株式会社は、広島県尾道市の本社を置く植物抽出物メーカーであり、入社した経緯は、たまたま大学の研究室の先輩の誘いであり、尾道が私の実家に近いということであり、会社の業務内容も知らなかったし、勿論、大学での研究テーマともかけ離れたものであった。その様な経緯で入社したに拘わらず、今まで、自分なりに人生の目標として仕事に打ち込んでこられたのは、多くの諸先輩方のアドバイスが頂けたことであり、生き様を目の当たりにし、目標とすることが出来たからであろう。丸善製薬という会社は甘草という漢方の王様的な植物を抽出し、食品や医薬品に利用して頂くという仕事を長くやっており、その利用方法を拡大していくというのが私の与えられた役割であった。その中で、人との出会い、商品開発の考え方について本稿で、多少なりとも紹介させて頂きたい。

### 1. 甘草の歴史

甘草は中国東北部から中央アジア、南ヨーロッパにかけて分布するマメ科の多年性草本で、グリチルリチンという甘味物質を含んでいる。遠くメソポタミアの渓谷で発見され、強壯薬、美容薬として用いられたのが起源とされている。東洋でも、後漢時代に著された中国最古の薬物書「神農本草経」に収載され、日本の一般用漢方処方でも最も配合されている種類が多い素材である。甘草が初めて日本に来たのは、遣隋使として中国に遣わされた小野妹子が持ち帰ったとされており、明治の末、

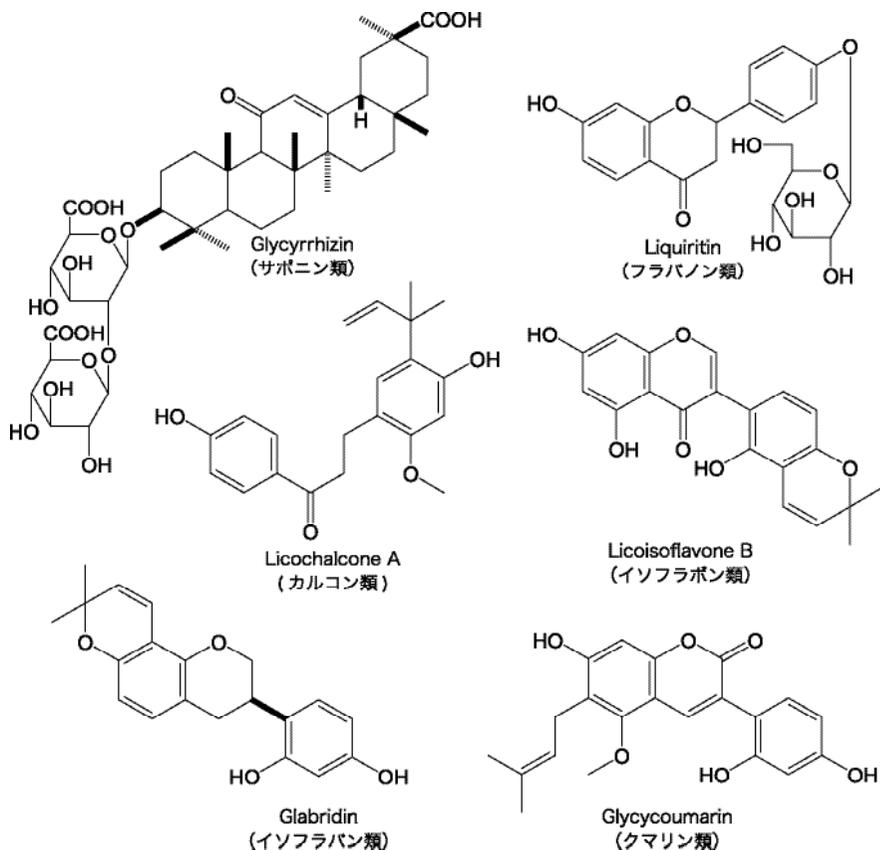


図1 甘草の代表的な成分一覧

大阪の薬種商、乾卯兵衛が甘草の煮汁液を醤油に入れ、塩馴れのために使用したのが食品への使用の始まりであった。丸善製薬も昭和13年の創業以来75年間、甘草エキス、それを精製したグリチルリチンを製造し続けている。また、グリチルリチンから分子内に含まれるグルクロン酸を外したグリチルレチン酸およびその誘導体の製造も行っている。

甘草の主成分としてはトリテルペノイドであるグリチルリチンがあり、抗炎症、抗潰瘍、抗アレルギー等の薬理作用が報告されている。グリチルリチンの特徴である持続する高い甘味は、他の薬理成分の苦味を緩和し、飲み易くするという重要な役割も果たしている。しかし、甘草中の成分(図1)に示した通り、グリチルリチン以外にも、様々な成分が含まれており、丸善製薬の研究開発では、それらの成分の有効性の検索と未利用資源の活用ということが、大きな課題となり、私も、入社当時からその課題に取り組んできた<sup>1)</sup>。

## 2. グリチルリチンの用途開発

本来、グリチルリチンは食品として、日本では醤油、漬物、海産珍味(サキイカなど)など、食塩を多く含む食品への利用を中心に使用を拡大し、他の合成甘味料(チク

ロ、サッカリン)との置き換えで増えていき、食品そのものの低塩化の傾向の中で、縮小していった。しかし、新たな用途として、スナック菓子のシーズニングに各種フレーバーの風味増強の目的として幅広く利用されており、その代表がカルビーの「かっぱえびせん」である。また、パン・菓子類のコク付け、乳酸飲料の酸味の緩和、マヨネーズ・ドレッシング類のまる味・酸味緩和、かき氷の甘味増強(氷点降下)、キャンディー、ガム、チョコレートのフレーバー強化などの効果で利用されるようになった。キャンディー、ガムは虫歯予防、カロリーオフの効果も併せて利用されている。これらの用途は、香料メーカーや糖アルコールメーカーの開発との共同開発でなされたことであり、特に、かき氷での利用については冷たい食品では甘味が感じにくい事、ソフトな氷の感触を得ることなど、グリチルリチンがなければ、現在のかき氷の商品が生まれなかったほどの発明であった。この発明は、乳業メーカーとわが社の研究員が共同で行ったことである。最近では、低脂肪食品のコク付け、ミルク感の増強などカロリーオフ食品への利用も増えている。

変わったところでは、グリチルリチンのサポニンという特徴を生かして、界面活性剤としての乳化剤・発泡剤としても利用されることもあり、ボールペンのインクに配合し、インクの伸びを良くし、切れ難くするために配合される例もある。

### 3. 水溶性フラボノイドの用途開発

リクイリチン、イソリクイリチンなどの水溶性フラボノイドは古くはラーメン用の天然色素として弊社で開発したことがあるが、安定性に難があることより、色素としては既存添加物名簿から削除となっている。医薬品では抗潰瘍剤がある(日本化薬)。最近では、水産大学校、福山大学や大分県水産試験場との共同研究により、免疫賦活作用、抗炎症作用、抗菌作用を見だし、魚の養殖用(ヒラメ、ブリ、フグ、ウナギなど)飼料に配合されることも多くなった。魚の養殖では、抗生物質や合成抗菌剤が多く利用されてきたが、食の安心・安全の観点からそれらが避けられる傾向にあり、更に、薬剤の大量使用による、耐性菌の問題なども起こっており、カンゾウフラボノイドの利用は世界的にも求められているところである。

本研究を行うにおいては、我々は全くの素人であり、水産大学校 芝先生、福山大学 楠田先生、大分県水産試験場 福田先生など諸先生方に一からご教授いただき<sup>2)</sup>、展開しているところである。水産養殖と同時期に植物の病害防除効果がないかという話が入り、同様に研究を開始した。本件もたまたま植物病害の大家である近畿中四国農業研究センターの宮川先生<sup>3)</sup>が、弊社総合研究所がある福山市の研究所にいらっしゃった事より、また、宮川先生が天然植物エキスに関心を持たれた事より、共同研究を行うことになったということである。その後、宮川先生の紹介で、様々な研究者に繋がり、研究を広げていったということである。私も、直接農家の方々(長野のりんご農家 荒井氏、山形のさくらんぼ農家 松田氏、山梨のブドウ農家 網野氏、千葉のいちご農家 市川氏など)と圃場試験を行わせていただく機会があり、彼らの良いものを作りたいという情熱に触発され、我々自身もこれ

からの取り組みの励みになっている。カンゾウ以外にも、植物や食品素材を利用した植物活性剤は多く出てきているが、カンゾウには多くのエビデンスがあり、信頼性ということでは抜きん出ているものである。

#### 4. 疎水性フラボノイド（グラブリジン、リコカルコン A など）の開発

疎水性フラボノイドには、抗酸化性、抗菌性、抗う触作用<sup>4)</sup>、抗チロシナーゼ効果などがあり、特にグラブリジンの種々の活性の高さは他の天然成分の中でも格別である。グラブリジンの研究に関しても、弊社だけでは無く、様々な研究機関が行っている。

弊社で最初に行った疎水性フラボノイドの研究は、既存添加物として収載されている「カンゾウ油性抽出物」であり、グラブリジン、リコカルコン A などの疎水性フラボノイドが活性成分である。有効性としては食品添加物としての酸化防止剤、抗菌剤、黒変防止剤などであり、化粧品素材としてチロシナーゼ阻害活性、メラニン産生抑制作用が見出された。

丸善では「サンカノン」というブランド名をつけ、かりんとう、あられなどの菓菓、卵スープ、えびせんなどの菓子類を中心に油脂専門商社幸商事と共同で展開している。抗菌剤としても、耐熱性芽胞菌や乳酸菌、水カビに有効であるということから、お茶飲料、麺つゆ、ゼリーなどのデザート、惣菜類に利用されている。抗菌性の研究については、丸善製菓だけでなく、三井農林、ヒガシマル、上野製菓、日本コカ・コーラ社など多くの研究機関で行われた。抗菌性については食品汚染菌だけでなく、ピロリ菌、フケ菌、アクネ菌など様々な菌に対する抗菌性が報告されており（表 1）、利用されてる。

化粧品素材としては美白作用、肝斑に対する有効性についての臨床試験データもある。本件に関しても、聖マリアンナ医科大学皮膚科学教室の溝口先生（故人）、原本先生にお世話になった<sup>5)</sup>。美白作用、紫外線によるダメージの回復など、日本人を含めアジア系の人々に特有の要望であり、これから急激に伸びて行く市場である。丸善製菓では既に古い素材として考えられているきらいがあるが、他分野の方々から見れば、目新しいものだということを改めて見直す必要がある。

グラブリジンに関しては、Q10 の商品化で大きな成果を挙げたカネカがメタボ対策・ダイエット素材として日本国内はもとより、米国や EU へも展開しており、これから、大きな市場を築いていくものと予想される。丸善製菓としては足元を掬われた態である。それでも、甘草そのもののステータスが上がることは、丸善のステータスも引きつられて上がることなので、有難いことだとも思っている。

#### 5. 甘草工業懇話会について

日本国内の企業で、甘草エキス、グリチルリチンを抽出精製物製造販売している会社が集まり、原料問題、成分規格の作成、安全性・有効性の評価、広報活動、行政対応などに対応してきた団体である。設立後、既に 40 年以上経過するが、未だに、

表1 様々な菌に対する抗菌性

	黄色ブドウ球菌	食中毒菌 アトピー性皮膚炎原因菌	油溶性抽出物					
			G.glabra	G.inflata	G.uralensis	G.glabra glabridin	G.inflata licoalcone A	G.uralensis glycycomarin
<i>Staphylococcus aureus</i>			○	○	○	○	○	○
<i>Prevotella intermedia</i>		歯周病菌	○			○		
<i>P. melaninogenica</i>		歯周病菌	○			○		
<i>Actinomyces viscosus</i>		歯周病菌	○			○		
<i>Porphyromonas gingivalis</i>		歯周病菌	○			○		
<i>Actinobacillus actinomycetemcomitans</i>		歯周病菌	○	○		○	○	
<i>helicobacter pylori</i>	ピロリ菌	歯周病菌	○	○		○	○	
<i>S. aureus</i>	MRSA	メチリシン耐性 黄色ブドウ球菌	○	○		○	○	
<i>Enterococcus spp.</i>	VRE	バンコマイシン耐性腸球菌	○	○		○	○	
<i>Arthrinium sacchari</i>		茶飲料汚染カビ	○			○		
<i>Chaetomium funicola</i>		茶飲料汚染カビ	○			○		
<i>Micrococcus luteus</i>		体臭関連菌	○	○		○	○	
<i>Corynebacterium xerosis</i>		体臭関連菌	○	○		○	○	
<i>Propionibacterium acnes</i>		ニキビ菌						
<i>Streptococcus pyogenes</i>	化膿連鎖球菌	呼吸器感染症菌						○
<i>Haemophilus influenzae</i>	インフルエンザ菌	呼吸器感染症菌						○
<i>Moraxella catarrhalis</i>		呼吸器感染症菌						○

活発な活動を行っている。最近では、甘草の原料問題がクローズアップされ、栽培技術などについても各社で取り組んでいるところである。また、一般の方々にも、甘草を知っていただくために、展示会への出展、パンフレットの作成・配布などの活動を行っている。同業者という立場にあることより、ある意味ライバル関係であるが、全体のイメージアップで市場そのものが広がるため、私自身は、非常に大事な仲間として捉えてきた。その意味も込めて、甘草工業懇話会のメンバーをここに紹介したい。アルプス薬品工業株式会社、池田糖化工業株式会社、岩井商事株式会社、宏輝株式会社、昭和化学工業株式会社、昭和商事株式会社、株式会社常磐植物化学研究所、ツルヤ化成株式会社、丸善製薬株式会社の9社である。

## 6. 植物エキスの機能性開発について

今まで、述べてきたように、私は甘草の用途開発（機能性開発）を目指すことにより、結果的に、甘草以外の種々の植物エキスの利用拡大にも寄与してきたような感じられる。また、成分としても、サポニン（グリチルリチン、キラヤ、ユッカ、ムクロジ、ニンジン、エゾウコギなど）、フラボノイド（アスチルビン、タキシフォリン、リクイリチン、カテキン、ケルセチンなど）、多糖類、ペプチド、テルペン類、リグニン配糖体など植物に存在する色んな成分の有効利用を試みてくることが出来た。甘草中にも、タンパク質、多糖類も多く存在するが、それらの成分についてはまだ未研究であり、弊社にとっても、今後の大きな研究課題である。また、弊社は植物中のグリチルリチン、ステビオシドなど低分子成分の開発・商品化を中心に行ってきたため、明海大学坂上教授が研究されていた、松かさリグニン配糖体の有効性や化学構造をご教授いただいた時には、目から鱗であった。

### おわりに

組織の活性化には、構成員たるスタッフのやる気、独立心、コミュニケーション意欲を掻き立てることが必要である。それが実現できる友好的な環境を整えることが職場の長の仕事であると思う。私は、様々な会合において多くの方と出会い今日の共同研究体制を築くことができた。次世代を担う若い研究者の方も、是非積極的にコミュニケーションをとり、人生を楽しんで欲しい。

## 引用文献

- 1) 「甘草およびその成分(グリチルリチン酸等)について;宏輝株式会社 吉川展司, 伊藤眞: *Foods&Food Ingredients J. Jpn.*, **217** (1), 2012
- 2) 三好泰之, 大野裕和: 養殖 **10**, 57-59 (2010)
- 3) 宮川久義: *FOOD RESERCH*, **10**, 36-39 (2009)
- 4) 「甘草ポリフェノール成分による抗う触作用」: オーラルヘルスケア機能性食品の開発と応用, 2013年12月3日シーエムシー出版刊
- 5) 「油性甘草エキス配合クリーム of 肝斑に対する臨床評価」: 西日本皮膚科第57巻第3号

---

連絡先: 山本 正次  
〒150-0021 東京都渋谷区恵比寿西 2-6-7  
丸善製薬株式会社  
研究開発本部 R & D戦略部 部長  
Tel: 03-3496-1521  
Fax: 03-3496-1641  
e-mail: m-yamamoto@maruzenpcy.co.jp

# 機能性食品の現状と未来像に関する提言

## 【出席者】

対談者 阿部 啓子氏

東京大学名誉教授 東京大学 大学院 農学生命科学研究科 特任教授  
公益財団法人 神奈川科学技術アカデミー「健康・アンチエイジング」  
プロジェクトリーダー

石見 佳子氏

独立行政法人 国立健康・栄養研究所 食品保健機能研究部長

コーディネーター 島崎秀雄氏

(一社)クロレラ健康栄養研究会 理事長

## 機能性食品の研究の在り方

**島崎** 今日は阿部先生と石見先生に忌憚のないお話をさせていただきたいと思っております。また、一般の人たちにも内容を知っていただきたいと思っておりますので、できるだけ解かりやすくお話しくださいますようお願いいたします。

**阿部** 石見先生とはいろいろなところでご一緒させていただく機会が多いんです。一つはやはり皆さん、機能性の具体的な評価内容も含めて、機能性の評価のシステムに関する研究者の数も増え、課題も増えているということと、研究の幅が広がってきているということでしょうね。機能性食品の学術的な研究からスタートして応用に橋渡しされて、消費者のところに商品を提供するところまで、それが一つの流れだと思いますが、実際は、スタートからジ・エンドに至るまでパートに分かれています。そして基礎研究も、パートとしては面白い研究がどんどん出てくるんだけど、製品となると往々に

してまるでそれとは縁がないような製品になっていたりします。ある意味では最初はしょうがないと思っているんですけど、製品としてどういうものが欲しいかというところで、基礎研究と応用研究を一体化してやらなければいけないんじゃないかって、わたしはアカデミアにいますのでごくそういうふう思うんです。石見先生の場合は、どちらかというところ、消費者の方の側から見られて何がいいとか、足りないとか、あるいはどうしたらいいとかかご意見がおりになると思いますので伺わせていただけますか。

**石見** やはり機能性食品の研究といいますが、基本は栄養バランスの取れた食事と身体活動で、そういう大枠のなかで、何が足りないか見つけて、そしてそこを研究していく。で、先生がおっしゃったようにいろんな研究者の方あるいは企業の方と共同研究しながら、最終的にそのところにたどりつくということだと思います。自分が興味があるものということではなくて、現在の食生活の中で何が足りないのか、例えばそれは高齢者に向けてでもいいですし、

メタボに向けてでもいいです。大きな目で見てそういう目標を設定してスタートすることが重要ではないでしょうか。

## 健康寿命の延伸とクオリティ・オブ・ライフを目指して

**阿部** いきなりベーシックサイエンスとアプライサイエンスの話をしたんですけれども、何がこの研究で一番求められているかという、先生おっしゃったように、一体わたしたちは何を食べれば健康寿命を維持してクオリティの高い毎日を送ることができるのかということです。そのテーマの中で、例えば「機能性」というような、一つの特化したアイデアが生まれてきた。アカデミアの立場、大学の立場でいいますと、やっぱりサイエンスは絶えず新しいことを発見しなくてはいけない。科学者は会社に入っても当然クリエイティブな研究が求められ、今までにないようなものを創り出す視点をもたなければいけない。そういうところは、サイエンティストはみんな同じだと思います。石見先生が今いらっしゃる国立健康・栄養研究所のミッションという、どういうことになりますか。

**石見** 国立健康・栄養研究所は、今、独立行政法人になっていますけれども、独法というのは、国が必ずしもやらなくてもいい業務でかつ民間に任せるときに必ずしも民間がやってくれるとは限らない、中間的な仕事をやっているんです。行政のミッションに科学的なエビデンスをつけて提供するということなんです。ですから、新しいことを見つけるということではないんです。行政が国民のために行っているさまざまな仕事、例えば国民栄養調査ですとか特別用途食品の分析ですとか。今、推進している「健康日本21」という取り組みでは生活習慣病の予防が大きなテーマになっていて、それに対するエ

ビデンスをつくっていくということで、人でのエビデンスを蓄積していくことが求められています。目新しい研究というよりは、行政の方針に従ったミッションがまずはある、ということですね。ただ、メカニズムの解析などもやっていますので、そういうところでは生活習慣病関連の新しい遺伝子を見つけていくなど、新しい研究もないわけではありません。

**阿部** 栄養ということを考えると、欠乏の栄養に関しては、ほぼ研究は完結したようなかんじがありますが、わたしは一方で、研究はもう一回栄養に戻ってこなければいけないと思うんです。例えば、5大栄養素をどういうバランスで摂ったらいいのかとか。その時に個人差があるので、毎日食べる食事に一部不足しているもの、あるいは、わたしにはこういうものが必要だというものが機能性食品として提案されてきたんです。けれども、それがだんだんリスク軽減のみを目指した、どちらかというとファーマシューティカルな方向へ。

**石見** 医薬品的な感じですよ。

**阿部** 食品というのは本来、日頃こういう食事をして、こういうものを摂っていれば、病気の予備軍にならないよと、そういうところに食品研究の醍醐味といいますか、面白さがあると思うんです。今の研究は、クスリだけより、これを摂ると相乗効果があるところに軸足が移っているようにおもいます。もちろん、クスリを単独で飲むよりもいいとか、あるいはクスリまでいかずにその手前で、クスリを飲む時期を遅らせることができるという研究もあっていいんですけど、やっぱり主役としての食品に目を向けて、研究の方向性においても商品作りにおいても、そこへ回帰しているような気がします。

**石見** 今、2015年の食事摂取基準がでたばかりですけど、PFC比はこれからも永遠の課題です。低炭水化物食がもてはやされながらも、それに



(写真左から) 阿部啓子氏, 島崎秀雄氏, 石見佳子氏

真っ向から反論できるエビデンスがなく、これも研究課題です。やはりそういった基礎の基礎のところ、それは年代によっても性別によっても違うと思いますけど、まだそういう根本のところ固まっていません。まずはそのあたりのエビデンスをしっかりヒトで作っていくということ、わたしどもとしては、そこに向かい合っていかなければいけないと思っています。

### 確実なエビデンスを得るために

**阿部** 食事をするのはヒトですから、ヒトでのデータをということなんですが、ヒトでのデータを急ぎすぎていきなりそこに跳んでしまうと、なんだかわからないけれども風が吹いたら……ってというタイプのデータしかでないとしたら……。

**石見** 最終的にヒトでのデータを、ということですね。

**阿部** 最終的に、なんですよ。エビデンスをといって、いろんな省庁で、あるいはお医者さんのグループもヒト試験がなければダメだとおっしゃるんですけど、わたしは、それは当たり前、だけどそこへ行く前に何をみたらいいんですか、と。そこが空洞なんですよ。そこが空洞のままヒト試験をやる。それだったらコホートと変わらないです。

**石見** そうですよ。

**阿部** 栄養疫学ではコホートの分析は上流から下流にむかって、何を食べたか調査して、食習慣と疾病の因果関係を研究していますが、「だろう」でしか結論はいえないでしょう。ヒト試験も、いきなりやったら、おなじように「だろう」で終わってしまう。「だろう」はヒト試験では許されないと思いません。

**石見** もちろんそうですね(笑)。細胞実験でメカニズム、動物実験で代謝・吸収・排泄、そして疫学研究と介入研究ということになりますけど、どの研究が優れているということではなくて、みんな重要で、四つ揃ってはじめて確実なエビデンスが得られるということなので、そこは、ヒトだけというのは大変な間違いかなとおもいます。

**阿部** それぞれの研究が乖離してるんですよ、一体化してやらなければいけないところなんですけども。

**石見** 細胞、動物、ヒト、疫学エビデンスとなったら長いスパンが必要ですが、現在は2年、3年で成果を出せという感じです。

**阿部** 基礎研究からのスタートを1として、ヒト試験を10としますと、1から10までやらなくてはいけないというわけではなくて、3くらいから始まって5で終わってもいいだろうし、4から始まって10までいくとか、いろいろな



阿部啓子氏

タイプの研究がコンビネーションで行われることが大事ですね。

**石見** 動物試験で分かったことを、あとで細胞に戻ってメカニズムを見るとか、ま、ヒト試験は最終ですけども、初め細胞試験か動物試験か、場合によっては逆になることもありますよね。

**阿部** そうですよ。大体、基本的な効能とか効果は、一部ヒトとアニマル・スタディで違う場合もあるけれど、骨格はそう大きく変わらないと思います

**石見** 最終的な効果が違うってことは、そんなにはないと思います。吸収率の違いで、動物には作用が見られたけれどヒトでは作用が見られなかった、ということはある得ますけど。

**阿部** だからヒト試験をするためにも、もっと細胞や動物のデータをたくさん出さなくては行けない

## 医師と食品研究者の立場で違う食品の機能性の評価

**石見** 細胞や動物での十分なエビデンスがないとヒト試験の的確なプロトコルができないと思います。こういう吸収率だから、ちょっとこういう風にしなければいけないとか練ってやらないとヒト試験で上手いかなと思います。

**阿部** それからインフォームドコンセントを取るときに、これをこういう形で計りますっていうところが詳細にないと、インフォームドコンセントがとれません。そのためには、やっぱりその前段階でかなりのトライアルをしておかないといけません。

**石見** ヒト試験をやるとなると、被験者さんに来ていただくかなければいけないし、研究費もかかりますよね。ですから知りたいと思っていたデータが出なかった時にはどうするのか、その時には、こういう方法でいきましょうっていうことは、いろんなエビデンスを持っていないと考えつかないわけです。

**阿部** 石見先生がおられる国立健康・栄養研究所では、いわゆる Ph.D. の方と M.D. の方がうまくコラボしてらっしゃるんでしょうけど、往々にして医師の立場から見る食品の機能と、Ph.D. の立場と違いますか、ベーシックサイエンスのほうから見る機能性というのは、どうも一致しなくて、一致しない一番のところはヒト試験に対する考え方です。ヒトに効かなければそんなものはダメだよとお医者様はいうんですけど、ヒトに効くものを作るためのベーシックサイエンスが必要でしょうって、わたしはいうんです。なかなかそこが分かっていただけない。

このあいだ 65 歳以上の方が 25% に達したというニュースが報じられました。あと 10 年もしたら 30% を超えるでしょう。そこで国民医療費の増大が前から問題になっているんですけども、メタボになる前に、あるいはメタボ予備軍になるまでに、人としてオギャーと生まれてからどういった食事を摂ってきたのか、子どもを対象とした研究も大事だと思います。例えば記憶力だとか認知力とか、脳は子供のころ一番発達しますよね。身体能力と一緒に脳も発達するんですけど、そういう時期にどういう食事を摂ったほうがいいのかということです。

**石見** そういう研究は、研究費がなかなか付かないこともあって、皆さんあんまりやらないとか、やれないとか。厚労省の子ども対策のなかで研究費があることはあるんですけど。あと、子どもを対象にした介入研究はなかなかやりにくいので、観察研究ということになりますけども、研究者が本当に少ないんですね。だから食事摂取基準でも、子どものデータは本当に少なく。アメリカではアイソトープの介入研究と行われているんですけど、なかなか日本では、そういう研究ができません。エネルギーについては二重標識水など倫理上全く問題のないものを使って、健康・栄養研究所でも研究しています。食事摂取基準では、データがないところは国民健康・栄養調査の値を使っているわけですけども、エビデンスはあるのかといわれると、そこは、ないとしか答えようがありません。子どもに関しては、非常に重要なところですけども、やりにくいところでもあります。

### 機能性食品を魅力あるものに

**阿部** 話はちょっと変わりますが、機能性食品を生み出したのはこの国なんですけど、機能性食品をもっと魅力的なものにするには、次のステップをどうするか。消費者にとってどんなものが魅力的なのか、どういう商品が望まれているのか。そこへ行くためには、ベーシックサイエンスとしてこういう新しいことが分かりましたといった、誰にでも分かりやすい普遍的な事実を明らかにしていかないと。ネズミだけとか、ハエだけとか、線虫だけといった研究データでは、これは普遍性があるとはいえないので、どんな生物にでも当てはまるといえるような研究がもっともっとないといけないのではないのでしょうか。皆さんすごく研究は熱心で、いいと思ったものをおいしく作る技術も進んでいる。ただ、こういうことが必要だよということ



石見佳子氏

をコーディネートして、それをあるところはエンカレッジしながら、あるところは期限を切っとうやりなさいとか、そういうマネージをするところが、日本の場合は、厚労省、農水省、文科省と別れているんです。

**石見** 今度、医療に関しては一緒になるみたいです。

**阿部** NIHのなかには、食がないんですよ。健康しかない。

**石見** 医療と健康ですね。でも食はない。健康医療政策っていうことで農水省は入っていないんです。

**阿部** いや、文科省でもいいと思うんですよ。文科省に食品系の先生いっぱいいらっしゃるのですね。やっぱりクスリの代用という考え方はやめてもらって、クスリを使わなくするための食事、もっと攻撃的な食事、そういう視点に立って機能性をやるべきだと思いますね。

**石見** それにしても、今の国の研究体制といいますか国の政策のなかにはそれがありませんよね。

**阿部** あのですね、家政学部の食品系が、全部、管理栄養士になったんですね。学校がつぶれないよう経営するために。でも、管理栄養士って研究はしてませんよね。Ph.D. 取ってる人の数も、その分母に比べるとものすごく少な

いです。別にその人たちがいけないというわけではないけども、管理栄養士を目指す人たちは、教科書に載っていることとか厚労省や文科省がいった研究をやる以外にないんですね。そのために、今までと違う視点でものを見たり新しいアイデアを出して研究する人が減ってしまったんです。例えばメタボ対策として食事をどうするか、機能性をどう利用するかということすら、もうできる人がいないんじゃないでしょうか。昔は家政学部の人たちも研究をしてその成果を発表したりしてましたけど、今は栄養士の指導要領みたいなものとか、お医者さんが書かれたカロリーの本かなんか読んで、安住してしまっている。

**石見** 食事と運動が重要だということで、運動に関してはいろいろなエビデンスに基づいて運動指針や運動基準が出てくるんですけども、栄養については食事摂取基準とか国民健康・栄養調査のデータによると栄養が不足している人はほとんどおりません。そのために、確かに今、先生がおっしゃったように、積極的な研究はほとんどないですね。

**阿部** 運動もね、このごろコラボをしませんかといってくれたところがあって、個人的にですが一緒に研究を始めているんです。子どもは今、学校が終わるとすぐ塾に行くので、ほとんど運動をしない。就職して社会人になると、仕事が忙しくて運動する暇はほとんどない。ジムに行って運動をしたくてもできない。だったら運動しなくても、運動をしたのと同じような働きをしてくれる食事はできませんか。あるいは、運動量が少なくても、その食事を摂ることでフルの運動をした以上の相乗効果を発揮する食べ物はないだろうか。運動の時間が十分取れないとすると、そういうことが、これから求められる研究となってくるのではないのでしょうか。

## 運動と食事の併用効果について

**石見** 食事と運動、うちの研究所の使命になっております。運動と栄養の併用効果を研究しています。コホート研究で栄養指導と併せて栄養調査を行い、それから身体活力をつけるための運動指導ですね。栄養指導は全員にしますが、運動指導は、それを受ける人と受けない人を設定しています。運動をする人、しない人、それからすごくアクティブな人、と分けて調べますと、栄養指導して運動指導した人のほうが、体重が増えない、腰痛が発生しにくい、メタボになりにくいということが徐々にわかりつつあります。

**阿部** 運動するのは体に良いと。食事も、体重のコントロールのためには、バランスよく何をどれくらい食べたらいいか分かる。あと、それを二つ合わせるとなぜいいのか、そのあたりのメカニズムを知りたいですね。あるスポーツ医学の先生が、脳にある程度刺激を与えると、なにも運動しなくても運動したと同じように脳を活性化するとおっしゃっています。実際に、血中に運動したと同じあるファクターが出てくるそうです。そういうような研究を、部分的にですがやっていたらいいですね。

**石見** こんど厚労省でも、アルツハイマーの予防にどれだけ運動が貢献できるかを研究する大きいプロジェクトを発足させるようです。脳活動と運動の研究を国でもやり始めるという動きです。身体活動基準とその指針については、今回はじめて2013年版で成人に加えて65歳以上の高齢者の指針が出ました。

**阿部** 運動が、メタボの予防にはもちろんのことアルツハイマーの予防にも貢献するだろうって皆が思っていると思います。知りたいのはその先で、どれくらい運動をすれば効果があるのか、あるいはこんな食べ物と組み合わせると、

運動が少なくてもフルの運動に近い相乗効果が得られるかとかいうことです。そのわけは、かくかくしかじか・……と。

**石見** ちょっと私の話になって恐縮なんですけれど、大豆の中にあるイソフラボンの摂取と運動の併用効果を、中高年女性を対象に研究しました。中高年になると、どうしても女性ホルモンに対する反応性が悪くなるのですが、女性ホルモンがないと、若い人と同じ運動量でも、骨に信号が伝わらないために、骨量の減少が抑えられません。そこで弱い女性ホルモン様作用のある大豆イソフラボンを摂取して、運動してもらいました。それぞれ単独よりも併用効果がありました。どう食事を組み合わせていったらいいかは、一つ一つ埋めていくしかないと思います。

**阿部** プラスアルファして、こういう食品も、より相乗的ですよとかね。それには、そういう研究をやる研究者を増やすことが、まず第一ですが、今のところ文科省には、そこまでミッションとする考えは、ないようです。

### 新たな機能性表示制度を巡って

**石見** 今、食品の新しい機能性表示制度が消費者庁で検討されています。保健機能食品として特定保健用食品と栄養機能食品がありますけども、政府の主導で、いわゆる健康食品の表示の規制緩和を行おうとしています。トクホのような許可制ではなく、アメリカのダイエタリーサプリメントのように企業の自己責任において表示をする制度です。今、その枠組み作りを、消費者庁でやっているんですね。検討会が開かれていて、多分、この8月くらいに最終報告が出ると思います。ただ、その自己責任というのが、言葉でいうのは簡単ですけど、ではどうやって安全性を担保するのか、どのくらいのエビデンスレベルで機能性表示をするのか、普及啓発を

どうするのかと、いろいろ問題が残っていて、そのあたりをこの1年でやらなくてはいけないのです。

**阿部** 先生ご自身は、どのように考えておられるんですか。

**石見** トクホは、いろいろな機能性を謳う健康食品が増えてきたので、消費者保護の立場から、消費者の皆さんが適切な食品を選べるようにということで作られた表示の制度なんですね。トクホの表示許可をうるには、それに適したエビデンスレベルが要求され、厳正な審査を通らなくてはなりません。だから、そここのところを規制緩和しなさいということなんですけども、私たちの観点からすると、消費者保護という観点が一番重要なので、安全性はしっかり担保していただきたいということです。

これまで錠剤とかカプセル型の健康食品についてはGMP制度ですとか自主点検制度のもとで、原材料の安全性を事業者が担保してきました。今、検討中の新しい制度は、錠剤・カプセルだけでなく、いわゆる健康食品全体が対象で、さらに、あきらか食品であっても、ある一定のエビデンスがあれば健康表示ができるようにしようとしているようです。だから、そういう新しい制度に見合った安全性の基準を作る必要があると思います。それから有効性のほうは、表示に見合ったエビデンスを取っていただく。事業者の自己責任でヒト試験を行っていただいて、そのデータを求められたときには、いつでも出せるようにしていただきたい。そこはしっかりやっていかないといけませんね。健康被害が出てしまったら、なんのための制度かわかりません。それではトクホと変わらないじゃないかといわれるんですけど、トクホは分厚い書類を作成して審査会に出したあと、1,2年位かけて審査員とのやり取りが行われ、それからようやく表示許可がおりてあのマークが付くわけです。新しい制度では、国ではなく事業者の自己

責任でそれをしていただくわけです。

**阿部** ちょっと教えていただきたいんですが、アメリカは、その制度を前からやっていますよね。届け出制で。

**石見** ええ。

**阿部** あれはサプリメントですよね。

**石見** サプリメントです。日本のは原材料も含めて、あきらか食品を含めてということで、そこが違うんですよ。錠剤・サプリメントの法律がないからです。サプリメントを摂るのは、健康意識の高い大人ですよ。それが普通の食品の形をしていたら若い人も子供も機能性の表示を意識せずに口に入れてしまうことがあるでしょう。日本にサプリメント法がなく、このまままいってしまうというのは、ちょっと注意しなければいけないところです。

**阿部** ところでアメリカのその制度には、何か問題があるんですか。

**石見** この前報じられた野球選手のエフェドラのように、医薬品が混入していたり、健康被害が出たり、死者が出たこともあります。事業者はFDAに届け出ていますけれども、保健省が、本当に届け出通りの試験がやられているのかと中味をチェックしたところ、ほとんどのものが届け出と異なっていました。現行の制度には、少し問題があるということで、新しい成分を出すときは必ず75日以内に、安全性に関するデータを出して、それをFDAがチェックするなど少しずつ改革が行われているようです。日本でもそういうチェック体制はおそらく必要じゃないかと思います。トクホは高いエビデンスレベルが要求されますが、そのレベルには届かないけれど一定の有効性が確認されるものについて「条件付き特定保健用食品」が制度化されました。そこにいわゆる健康食品が入ってきて、一定のレギュレーションの中で、皆さんに使っていただければ良かったんですけど、悲しいかな「条件付き」はまだ1

食品しか申請がありません。

## これまで以上にエビデンスが求められる

**阿部** 条件付きトクホの認可を取得する意味がないですね。「根拠は必ずしも確認されていませんが」と但し書きを付けたら、必ずしも売り上げに結びつきませんから。それに今のトクホの制度は、エビデンスがありますということ、知らしめることができないんです。知らしめようとする法律にひっかかるんですよ。売る方は情報を出せない、買う方はTVコマーシャルや新聞・雑誌の広告以外情報なし、TVコマーシャルで自分の好きな俳優さんがいっていたから買う。これはサイエンスじゃありません。新しい制度のもとに企業の責任で出すんだったら、こういうエビデンスがありますということ、企業がいえるようにするには。

アメリカでは、3兆円の市場が出来ているのに日本の市場は約5,000億円でしょう。それはアメリカでは企業の自己責任で販売することが出来るのにそういうことが日本では出来ないからです。日本でも出来るようにするためには、いくつか問題はあるんだけど、今まで以上にエビデンスが求められるでしょう。アメリカのように抜き打ちでチェックをすることも必要だから、どこかがそのためのセンターを作らなければいけない。互助会じゃないけれど、企業のほうで何か大きいセンターを作ったらどうでしょうか。製薬協がやっているように。そのようにして産業的にも高品質の製品を提供する体制を整える。私は、日本は今まで以上にエビデンスを求めると思いますよ。

**石見** ですから新しい制度は、今まで全く枠組みがなかったところに、新たな枠組みを作ろうというのですから、規制緩和というより規制強化の側面を併せ持っているんですね。今まで、GMPも自主点検も任意ですから、別にや

らなくても良かった。今度は、機能性表示をするからには、安全性のデータをはじめ有効量も明らかにしなくてはいけない。ヒト試験をしっかりやっていないと機能性表示は出来ないわけです。

**阿部** そういうデータを全部自社で作成してレビュー性のある国際誌に出して通るかっていうと、普通は通らないですよ。だからそういう意味では、今度の規制緩和はいろいろ問題があるかもしれないけど、基礎研究をしなければいけないという気運が広まってくれば、これは最終的には消費者にプラスかなと思います。とにかく今まではそういう情報すら消費者に届けることが出来なくて、小さいパンフレットなんかに……

**石見** グレーな感じの文言で書くしかない。

**阿部** それを読んで、素直な人は全部試してみる、そのためどんどん機能性食品を買うお金が増えていく。10も20もサプリメントを知ってますよってという笑い話があるんですけども、消費者がいろいろサイエンスを知って買うことができるようになることが必要なんです。

**石見** 多分、消費者は、初めは、混乱するのではないかと思います。何でこういう制度が出来たのか、なぜトクホではないのか、どうして企業責任で機能性表示をするのか、何かあったら何処に言えばいいのかと、かなり混乱すると思います。

**阿部** だから、大事なのは消費者にちゃんと説明して企業も国側もそれから研究者も共に進めていくことですよ。

**石見** 国の視点としては、消費者保護の立場なので、安全性はまず第一にやりましょうというところだと思います。他の二つも重要ですけどもアメリカに習って健康食品の市場を広げるために消費者が健康被害に遇ってしまったら本末転倒です。

**阿部** エビデンスを企業で責任を持って取りな

さいといったときに、そこは、抜け落ちることがないように仕組みを何か作っておかないといけないと思います。

**石見** 取去試験のようなところで、企業にデータを出していただいてチェックするとか……

**阿部** 今は食品に対してもクスリと同じ方法で安全性試験が行われています。けど、どうして食品に合ったその技術を開発しないのかなと思っています。

**石見** 今度の規制緩和では、食経験があるものはよいとして、食経験がないものは、少し毒性試験とかやりなさいよ、ということになると思います。

## 基礎研究から「出口」を見据えて

**島崎** 阿部先生がおっしゃられるように、わが国では世界に先駆けて食品の生理学的研究が進み、その成果がトクホとして制度化されました。しかし、現在のトクホ市場は5000億円位です。いわゆる食全体の市場から見ると数パーセントに過ぎずごく一部です。しかもトクホとして認可されている保健の用途は少なく、偏っています。これでは食卓に載る機会も少なく医療費高騰の抑制に繋がる健康長寿社会の発展に寄与するのには限界があると思います。

いわゆる機能性食品の正しい発展が思うように進まない大きな理由の1つは、私見ですが、社会に広く受容される食の科学が進展していないからだだと思います。生鮮食品を含めた食の期待される効能効果を標榜できる食の科学の発展が望まれます。

阿部先生は、食の科学の進め方についてどのようにお考えになりますか。

**阿部** 私が研究者にしていることは、基礎研究でも必ず出口を見据えた研究をするようにアドバイスしています。うまくいかなかった場合も、例えばアルツハイマーのデータの量がたま

らないというんだったら、たまらない証拠を動物できちっと出すことだと思います。それでないとヒト試験なんてとてもできません。それをこのごろ日本の研究者がぼつぼつ出し始めています。世界を見てもそういう論文はほとんどありません。アルツハイマーのもっと手前で、評価系もないときに、間違いなく何年か経つとアルツハイマーになるというモデル動物をいっぱい使って、試験をするのが一番核になる研究だと思います。そういう研究が、これから基礎研究の中で増えていくと思います。それでヒト試験も出来るようになるだろうし、そして提案がで、世界に打って出られます。基礎研究がイノベーションに繋がるのは研究者の喜びです。最初に機能性食品を作って、皆さんご苦労されたけれども、その蓄積の上に今があるので、やっぱり食品が帰るべきところは、戻らばいいところは、攻めるべきところは、何処だっというたら、今たとえばの話しでいわせていただいたんだけど、そこじゃないかと思ひます。

## 高齢化社会でクローズアップされる研究課題……脳と骨と筋肉の研究

**島崎** 石見先生は、大豆イソフラボンの権威でいらっしゃる。大豆イソフラボンの研究に関わるご自身のご経験からお話しいただけますか。

**石見** まさしく高齢化社会ですので、今一番のテーマは健康寿命の延伸だと思います。食事と運動で健康寿命の延伸を図ろうということです。人は年を取りますと骨の量が減り、筋肉の量も減ります。年を取っても骨の健康を維持するためには、若いときにピークボーンマスを高めておかないと、後で骨粗しょう症になってしまいます。生涯を通して長い目で見ていかなければいけませんので、若いときはしっかり食事をとり、運動をする、日光に当たる。それを

ライフスパンを通して続けることです。いかに骨量を減らさないかということに重点が置かれると思います。骨というのは回りに筋肉がついていますから、筋肉の影響をすごく受けるんです。高齢者になりますとその筋肉の量が減ってきます。

今、それをサルコペニアといって、いかに高齢者の筋肉の量を減らさないようにするかということが注目されていますね。ですから高齢化社会になって、アルツハイマーの研究と同様に筋肉の研究も重要になってくるんじゃないかと思ひます。それは地上だけではなくて、宇宙に行った時にも問題になってきます。阿部先生とそれから徳島大学の二川先生と JAXA で宇宙の研究をやらせていただいています。残念ながら宇宙飛行士の試験はできなかったんですけど、そこのトライアルのところまで行きました。短期間で骨の量が減っていきます。しかし、運動すると骨の量は減らず、また、クスリを飲めば減らないということも分かりました。宇宙に行っても食事を摂りますから、やはり基本は食事と運動ということになります。クスリほど効果はないに決まっていますが、食事によって骨の減少や筋肉の減少を抑えることが出来ます。この前の大震災の時、お年寄りの方が、一つの避難所に集まって身動きがとれない、そういうときに災害食として筋肉や骨の減少を抑える食事をプラスしていく、そういう活用も出来るんです。脳と骨と筋肉の研究が、これから重要になってくると思います。

**阿部** 話を、評価のシステムのところに戻させていただくと、私は安全性の評価もそれから有効性の評価も、きちとした数値で表さなければいけないのではないかとということで、ニュートリゲノミクス的手法を用いて研究を進めてきました。産学連携で機能性のエビデンスをなるべく沢山発信したいと思っていました。今から11年前に東京大学に ILSI 寄附講座を作らせて

いただいたんです。ILSIに入っておられる30社位の方々の賛同をいただいております。企業の方々とこういうことをしたいという研究デザインから一緒にさせていただいています。細胞や動物の臓器、このごろはヒトの血液も用いて、ニュートリゲノミクスの手法で解析をします。その解析したデータを統計学に基づいて処理し、有効性を検証します。当初はトライ&エラーからのスタートでした。ところが10年位やってくると、案外これは出来そうだということと、これには限界があるなということが分かるようになってきました。

マーカーを遺伝子で見ることは出来ないか、ヒトの血液で動物試験の評価と同じことが出来ないかとか、いわゆるニュートリゲノミクスに関しての技術の開発、それから最近では、マイクロRNAが登場してエピゲノムまで調べられるので、ゲノムに関してのその効能・効果を含めてニュートリゲノミクスでの研究が行われています。今ではニュートリゲノミクスに関する論文数は日本は世界一です。

ただし、ILSIと東京大学は、一緒に研究するんですけども、最新のデータを出すということが、やっぱり東京大学のミッションなんです。なるべくインパクトのあるものを皆が見てくれる雑誌に出すということです。研究教育もミッションですから、企業の方々にも、ゴール

は、論文を出していただきます。レビューあてのある論文を出していただいて、その論文が出たら、企業ですから皆外国で発表します。そうしたところ今度は神奈川県黒岩知事から特区の中で、評価系としての検査機関を作りたいというお話を頂戴しました。

機能性の評価を行う検査機関を目指すとなると、そのためには人は何人くらい必要で、どれ位のスペースで、何を順番にやるか決めて、練習もしなくてははいけません。神奈川県黒岩知事がそういう環境作りをやってくださって、今年7年目です。神奈川県がバックアップをして世界に向けて機能性の評価をします、安全性の評価もします。これから企業が、このような研究システムと連携を密にして研究を行っていくことは有意義ではないかと考えます。

**島崎** 今日には有益なお話をいただき有難うございました。内容を良く吟味して本研究会の活動に活かして行きたいと思います。次回の第6回誌上シンポジウムは、「健康長寿社会の正しい発展に寄与する食の科学のあり方と正しい普及推進に関する提言」というテーマで、山野井昭雄先生(味の素株式会社(元)副社長)と山田和彦先生(女子栄養大学大学院教授)の御二人に対談していただくことにしております。

# マダイの体色改善－4

酒本 秀一\*

\* SAKAMOTO Shuichi,

Key Words: マダイ・体色改善・オキアミミール・合成アスタキサンチン・魚油添加

著者はこれまでオキアミミールを主色素源とする飼料を用いてマダイの体色改善試験を実施してきた。その結果、供試魚の大きさによって投与色素量に対する体表色素量の増加割合が異なっていること、飼料に魚油を添加して与えると体色改善効果が劣る可能性が有ること等が分かった。よって今回は試験-1でオキアミミール添加飼料投与開始時の魚体重と投与色素量に対する体表色素増加量との関係、試験-2で合成アスタキサンチンの投与量と体表色素量の関係、試験-3で合成アスタキサンチン添加飼料への魚油添加が体表色素量の増加に及ぼす影響等を調べた。以下夫々の詳細を説明する。

## 試験-1

これまでの試験<sup>1-3)</sup>で、オキアミミールを色素源とする飼料でマダイを飼育して投与色素量 (mg/尾) と体表色素量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) の関係を調べたところ、両者の間には  $Y=AX + B$ , Y: 体表色素量, X: 投与色素量の関係が有ることが分かった。また、供試魚の大きさによってAの値、即ち直線の傾きが異なり、魚が小さい程傾きが大きいのではないかと推測出来る結果であった。よって本試験では、オキアミミールを

色素源とする飼料を用いて色々な大きさのマダイを供試魚とした試験の結果を纏め、魚体重と投与色素量に対する体表色素増加量との関係を明らかにした。

## 1. 方法

オキアミミールを色素源とするハードペレット飼料<sup>4)</sup>で大きさの異なるマダイを飼育し、1尾当りの投与色素量と体表色素量の関係を調べた。供試魚の大きさは飼育試験開始時に120gから730gであった。飼育試験は日本各地で行い、その場所その場所の実情に合わせた条件設定下で実施したので、飼料の色素濃度、給餌率、供試魚の大きさと尾数、生簀や水槽の大きさ、給餌期間、水温等には統一性が無く、試験毎に異なっていた。何れの試験においても略1カ月毎に3-5尾をサンプリングし、魚体測定と体成分組成の分析を行うと共に体表の色素量を調べた。本報告では体表の色素量についてのみ説明する。

試験飼料の色素量 (総カロチノイド含量) は前報<sup>5)</sup>の手順に従って測定し、マダイ体表の色素量は以下の手順に従って測定した。

体表色素量の測定部位は図1に示す背鰭第1-7棘の下で、側線より上の部分であった。

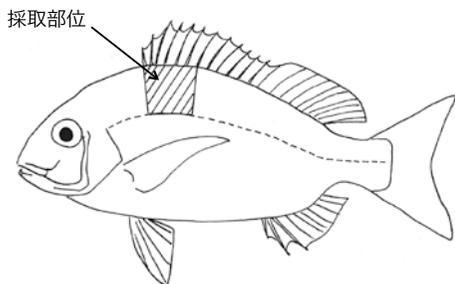


図1 色素量測定用体表の採取部位

この部分にトレーシングペーパーを被せ、鱗を剥がさない様に注意して鋭いメスの刃でトレーシングペーパーごと体表を切り出した。体表の下に付着している脂肪層や肉は可能な限り丁寧に取り除いた。切り取った体表の面積は、体表と一緒に切り取ったトレーシングペーパーをコピー用紙に乗せ、硬質の鉛筆で形をなぞり、その形に沿ってコピー用紙を切り取って重さを測定することによって求めた。なお、コピー用紙は予め数種類の面積を有する物を切り取って重さを計り、面積と重さの関係を求めておいた。

体表は約5mm角程度の大きさに細切し、前報<sup>5)</sup>で説明したニジマス背肉色素量の測定手順に従って体表色素量を求めた。

## 2. 結果

投与色素量 (mg/尾) と体表色素量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) の関係式  $Y=AX + B$ , Y: 体表色素量, X: 投与色素量の A と B の値を魚体重別に示したのが表1である。体重は飼育試験開始時と終了時の平均体重の1/2で表すべきであるが、生産現場で行った試験が大部分である為、供試魚数が多いのにサンプリング尾数が少なく、終了時の正確な平均体重を得ることができなかつたので、開始時の平均体重を用いた。

線の傾きAは魚が小さい程大きかっ

た。魚1尾当りに与える色素量は同じでも、魚が小さい程体表色素増加量が大きいと云うことである。Bは試験開始時に既に魚が有していた体表色素量である。これは供試魚の飼育履歴によって変化するので、当然のことながら魚の大きさとは関係無くバラバラな値を示していた。

体重と線の傾きAの関係を示したのが図2である。両者の間には  $Y=-0.0006X + 0.4848$ , Y: 線の傾きA, X: 体重 (g),  $R^2=0.9768$  の強い負の相関が認められた。この式から魚体重別の線の傾きを計算出来るので、オキアミミール添加飼料投与開始時の体重とその時の体表色素量が分かれば一定の体表色素量、例えば出荷可能な  $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$  以上の色素量<sup>2)</sup>にするのに必要な飼料由来の色素量が分かる。オキアミミール添加飼料の色素含量が分かれば、魚1尾当たりどれ位の量の飼料を与えれば出荷可能な

表1 投与色素量と体表色素量

$$Y=AX+B$$

Y: 体表色素量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

X: 投与色素量 (mg/尾)

体重 (g)	A	B
120	0.4265	1.21
430	0.2047	0.67
500	0.1296	0.39
700	0.0484	0.57
730	0.0427	1.19

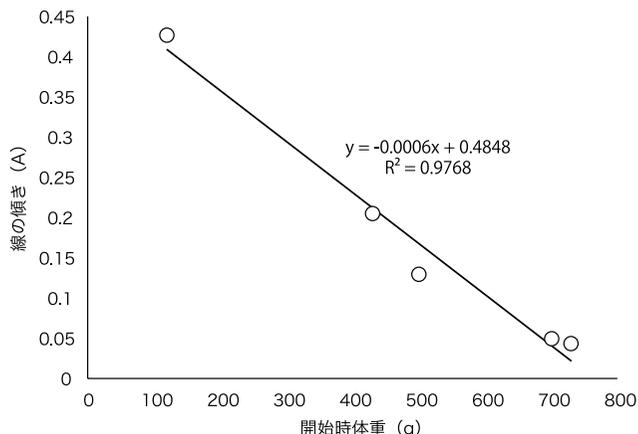


図2 開始時魚体重と線の傾き (A) の関係

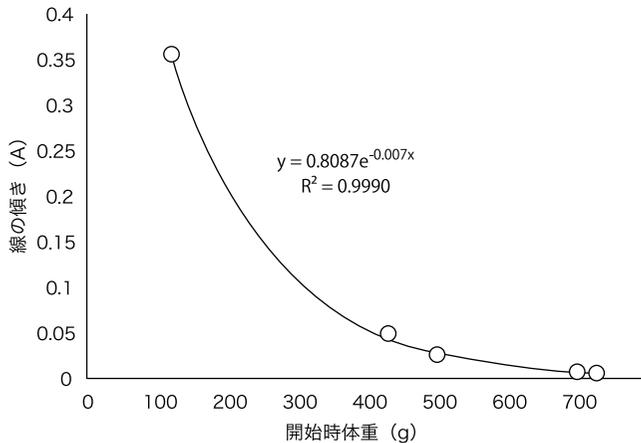


図3 体重100g 当り投与色素量で求めた魚体重別線の傾き(A)

体色になるかを計算出来、キチンとした生産計画を立てることが出来る。

魚の大きさの違いによって単位体重 (100g) 当りの投与色素量と体表色素量の関係式の A の値が如何変化するかを示したのが図3である。両者の間には  $Y=0.8087e^{-0.007X}$ , Y: 傾き A, X: 開始時体重 (g),  $R^2=0.9990$  の非常に強い相関が認められた。

単位体重に対する投与色素量が同じでも魚が小さい程体表色素量の増加が大きいのは前述の  $Y=AX + B$  と同じであるが、両者の関係が直線でない点が異なっている。これは体重と体表面積の関係が直線ではないことを表しているのものと推測する。魚が大きくなるに従って体が丸くなり、体重に対する表面積が小さくなることと関係しているであろう。図から分かる様に体重が 700g 以上になると線の傾きは略一定になるので、投与色素量に対する体表色素量増加の割合は略一定になるのではないかと考える。

## 2. 要約

・投与色素量 (mg/尾) と体表色素量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) の間には  $Y=AX + B$ , Y: 体表色素量, X: 投与色素量の関係が有る。

・線の傾き A と魚の体重 (飼育試験開始時体重) の間には  $Y= -0.0006X + 0.4848$ , Y: 線の傾き, X: 体重 (g) の関係が有る。

・上記の式によってオキアミミール添加飼料投与開始時の体重とその時の体表色素量が分かれば、目標とする体表色素量にするのに必要な飼料由来の色素量を計算で求めることが出来る。

・上記の式を利用することによって出荷可能な体色のマダイを計画生産出来るようになる。

・魚体重別に単位体重 (100g) 当りの投与色素量と体表色素量の関係式の傾きを求めると、 $Y=0.8087e^{-0.007X}$ , Y: 線の傾き, X: 開始時体重 (g) が得られる。線の傾きが直線でないのは体重と体表面積の関係が直線でないことを示す。

## 試験 -2

マダイの体色改善にはオキアミミールやイサザアミのような天然素材が用いられるだけでなく、合成アスタキサンチンの使用も認められている。よって本試験では、合成アスタキサンチンを数段階の濃度で含む飼料を長期間投与しても魚に異常が生じないか否かを調べた。また、合成アスタキサンチンの投与量と体表色素量の関係を調べ、合成アスタキサンチンによるマダイの体色改善効果をオキアミミールと比較した。

### 1. 方法

#### 1-1. 試験区と飼料

魚粉, 小麦粉, 脱脂糠, ビール酵母, ビタミン・ミネラル混合より成る飼料にアスタキサンチン量が 0, 2, 4 および 8mg/100g 飼料になる様

表2 試験飼料の分析値

試験区	A	B	C	D
Ast 添加量 (mg/100g)	0	2	4	8
水分 (%)	4.41	3.63	3.01	3.06
タンパク質	52.2	52.7	52.8	53.4
脂質	5.58	5.43	5.38	5.56
炭水化物	18.8	19.8	19.9	19.8
灰分	14.3	14.4	14.4	14.4
総カロチノイド (mg/100g)	1.0	2.1	4.2	7.6

に合成アスタキサンチンを添加した4試験区(A-D)を設定した。なお、合成アスタキサンチンは遊離型のアスタキサンチンを空気に触れない様にコーティングして酸化・分解を防いだ物である。飼料はハードペレットに成型した。各飼料の分析値を表2に示す。色素量(総カロチノイド含量)が違うだけで、一般成分含量は各飼料共殆ど同じであった。なお、合成アスタキサンチン無添加の対照区(A区)の色素量は1.0mg/100gであったが、これは飼料原料に由来するカロチノイド色素であろう。この原料由来の色素を除いて計算すると、B-D区のアスタキサンチンは1.1、3.2および6.6mg/100g飼料となり、合成アスタキサンチンの添加量より可也低い値を示していた。ペレット成型時の水、熱及び圧力等によってコーティングが一部壊れ、アスタキサンチンの一部が分解したのかも知れない。また、対照区の総カロチノイド含量が従来値より高い様に思えたので、対照区の値を0と仮定してみるとB-D区の値は略理論値通りの値であり、ペレット成型時に分解は起こっていなかったことになる。何れが原因であったかは確認していないので、本試験では総カロチノイド含量の数字を用いて検討した。

### 1-2. 飼育試験

平均体重734gのマダイ成魚を各区100尾ずつ3×3×3m深の海上網生簀に收容し、8月11日から11月19日まで3カ月間飼育した。但し、最初の1週間は供試魚を飼育環境に慣ら

す為の予備飼育期間とし、試験飼料の投与は8月18日からとした。給餌は日に1回飽食量とし、魚が餌を食べなくなるまで時間をかけて丁寧に与えた。生簀上は体色の黒化を防止する為に遮光シートで覆った。水温は開始時の27.9℃から終了時には19.9℃まで低下していた。

### 1-3. 魚体測定と分析

飼育試験終了時に各区から3尾ずつサンプリングし、図4の手順に従って処理した。生簀上でFA100によって麻酔し、ヘパリン処理した10mLプラスチック注射筒を用いてキュービエ氏管から各尾等量ずつ採血し、区毎にプールした。採血後の魚は直ちに延髄穿刺によって即殺し、血液と共に氷冷下で約1時間かけて実験室に持ち帰った。

プール血は3000rpmで15分間遠心分離して血漿を得、グルコース(Glu)、総タンパク質(TP)、トリグリセライド(TG)、総コレステロール(T.Cho)含量およびアルカリ性フォスファターゼ(ALP)活性の測定に供した。各成分の測定はヒト用半自動分析計によった。余った血漿を用いて総カロチノイド含量の測定を行い、更にD区の血漿は薄層クロマト(固定相:珪酸95%+石膏5%、移動相:石油エーテル80%

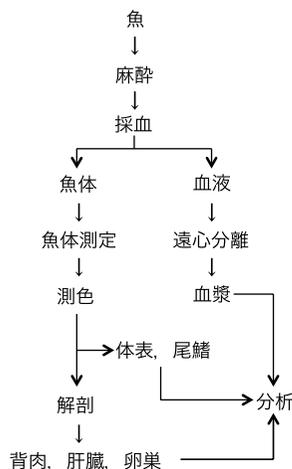


図4 処理手順

+アセトン 20%) による色素の分画に用いた。色素の組成は薄層の Rf 値によって調べた。

魚体は体重と尾叉長を測定して肥満度 (体重  $\times$  100/尾叉長<sup>3</sup>) を求めた後、体表の 10 カ所 (背側, 体側, 腹側の頭部から尾柄部にかけて 3 カ所ずつと尾鰭中央部の 1 カ所) をミノルタ色彩色差計 CR-100 によって Lab 表色系で測色した。測色時には魚体表面をラップで覆い、体表の粘液等で色彩色差計の測色窓が汚れない様に注意した。なお, Lab 表色系では, L の数字が大きい程明度が高く, 明るい色であることを示す。a は+側では数字が大きい程赤の度合いが大きく, 一側では緑色の度合いが強いことを示す。b は+側では黄色の度合い, 一側では青の度合いを示す。この Lab の値を夫々高さ, 縦, 横の座標軸上にプロットすると, その物の持つ色調の位置が決まり, 二つの物の色調の違いを数字で表すことが出来る。

測色後の魚体から試験 -1 と同じ部位, 同じ方法で体表を採取して色素量を測定した。更に, D 区の体表は血漿と同じ方法で色素の組成も調べた。また, 尾鰭も全体を切り取って同様に処理した。

残りの魚体は解剖して各臓器の状態を肉眼で観察し, 異常の有無を確認した。また, 内臓 (心臓と腎臓を除く全ての臓器を含む), 肝臓, 腹腔内脂肪蓄積組織 (DL) および生殖腺の重さを測定して体重比を求めた。

体表色素量を測定した部位の背肉と肝臓を各尾から等量ずつ採取し, 区毎に纏めて一般成分の分析に供した。分析は定法によった。また, 卵巣の色素量と色素の組成も調べた。

## 2. 結果

### 2-1. 飼育成績

表 3 に結果を示す。合成アスタキサンチンの添加量が最も多い D 区の増重量,

飼料効率 (増重量  $\times$  100/ 給餌量), タンパク質効率 (増重量  $\times$  100/ 給与タンパク質量) が他区よりやや劣るのが気になるが, その他の区では殆ど違いが無かった。D 区は摂餌量 (給餌量) も他区よりやや少なかったもので, これが増重量他にも影響を及ぼした可能性が有る。魚の摂餌量は飼料以外でも生簀の設置場所による潮通しの良否等極僅かな飼育環境の違いによっても影響を受ける。合成アスタキサンチンの添加量が多くなるとマダイの嗜好性を損なって摂餌量が減るか否かは, 厳密な条件設定をした試験によって確認する必要がある。少なくとも合成アスタキサンチンの 4mg/100g 飼料までの添加量では何ら異常は認められなかった。

### 2-2. 魚体測定と解剖

肉眼による観察では各区共体型や各臓器の外観に異常は認められなかった。表 4 に示す様にサンプル数が 3 尾と少ない為か, 体重, 尾叉長, 肥満度, 内臓体重比, 肝臓体重比, DL 体重比にはバラツキが大きく, 合成アスタキサンチン添加量との間に相関は認められなかった。また, 生殖腺体重比は雌雄共 1% 以下で, 性成熟による体色や体成分の変化は考える必要が無いこと

表 3 飼育成績

試験区	A	B	C	D
生残率 (%)	100	100	100	100
増重量 (Kg)	48.7	45.1	48.2	40.8
給餌量 (Kg)	100.5	98.9	99.6	98.4
飼料効率 (%)	48.5	45.1	48.4	41.5
タンパク質効率 (%)	93.0	86.6	91.7	77.7

表 4 魚体測定と解剖の結果

試験区	A	B	C	D
体重 (g)	1207	1032	1127	1255
尾叉長 (cm)	37.5	36.6	36.6	38.9
肥満度	2.28	2.07	2.28	2.13
内臓体重比 (%)	8.12	5.96	8.16	6.43
肝臓体重比	2.13	1.68	1.67	1.94
腹腔内脂肪蓄積組織体重比	3.17	2.20	2.81	1.75
生殖腺体重比				
♂	0.09	0.13	0.37	0.11
♀	0.81	-	0.72	0.83

が分かる。

### 2-3. 背肉と肝臓の成分

背肉の分析結果を表5に、肝臓の分析結果を表6に示す。前項の結果同様背肉、肝臓共に何れの成分もバラツキが大きかった。

背肉においては合成アスタキサンチン添加区の脂質が多く、しかも添加量が少ない区の脂質が多い傾向が有ることと、D区のタンパク質が他区より多く、脂質が少ないことが分かる。背肉成分の変動の主体は脂質で、脂質含量の変化によってその他成分が相対的に変化することと、脂質含量は飼料の脂質含量や魚の肥満度、DL体重比等によって変化することがこれまでの試験で分かっている。ところが本試験の結果はその何れにも当て嵌まらなかった。

肝臓成分の動きは従来の試験結果同様背肉とは全く違っていた。肝臓にはグリコーゲンが可

也の量含まれているので、グリコーゲン量を補正すると何らかの傾向が認められるのかも知れない。

本試験の結果では、背肉、肝臓の一般成分と合成アスタキサンチン添加量との間に明確な相関は認められなかった。

### 2-4. 血漿成分

表7に分析結果を示す。各成分共合成アスタキサンチン添加量との間に相関は認められなかった。TG含量とALP活性は背肉の脂質含量との間に正の相関が有り、合成アスタキサンチンの添加量よりも体成分含量の影響を強く受けていることが分かる。

### 2-5. 体表の色調

飼育試験終了時に肉眼で観察した体表の色は、A区は黒っぽく、D区は赤すぎる感じで好ましくなかった。C区の見目が最も良く、B

表5 背肉の分析値

試験区	A	B	C	D
水分 (%)	73.3	73.3	73.1	73.3
タンパク質	23.9	23.9	23.6	25.2
脂質	1.24	1.90	1.72	1.57
灰分	1.47	1.44	1.40	1.49
タンパク質 (% 乾物)	89.5	89.5	87.7	94.4
脂質	4.64	7.12	6.39	5.88
灰分	5.51	5.39	5.20	5.58

表6 肝臓の分析値

試験区	A	B	C	D
水分 (%)	59.2	61.2	61.5	57.0
タンパク質	12.0	12.0	13.1	10.4
脂質	18.8	15.5	12.8	19.5
灰分	1.01	1.05	1.11	0.93
タンパク質 (% 乾物)	29.4	30.9	34.0	24.2
脂質	46.1	39.9	33.2	45.3
灰分	2.48	2.71	2.88	2.16

表7 血漿成分の分析値

試験区	A	B	C	D
Glu (mg/dL)	48	50	61	57
TP (g/dL)	4.13	4.50	4.34	4.55
TG (mg/dL)	768	1163	896	680
T.Cho (mg/dL)	205	206	209	191
ALP (K-A.U.)	1.2	2.0	1.6	1.4

表8 測色結果

試験区	A	B	C	D
L				
背	44.6	41.2	48.3	42.6
体側	70.6	64.5	67.7	68.2
腹	78.4	77.4	76.9	73.2
尾鰭	44.1	39.8	46.3	47.3
a				
背	1.17	4.20	4.27	4.70
体側	2.23	6.07	8.27	9.23
腹	-0.97	2.63	3.47	3.67
尾鰭	3.30	13.2	15.2	21.2
b				
背	3.33	8.23	9.47	9.03
体側	11.6	14.9	16.2	15.6
腹	4.70	6.83	8.23	7.33
尾鰭	10.5	12.7	14.3	18.9
a + b				
背	4.50	12.4	13.7	13.7
体側	13.8	21.0	24.5	25.4
腹	3.73	9.46	11.7	11.0
尾鰭	13.8	25.9	29.5	40.1
a/b				
背	0.35	0.51	0.45	0.52
体側	0.19	0.41	0.51	0.59
腹	-	0.38	0.42	0.50
尾鰭	0.31	1.04	1.06	1.12

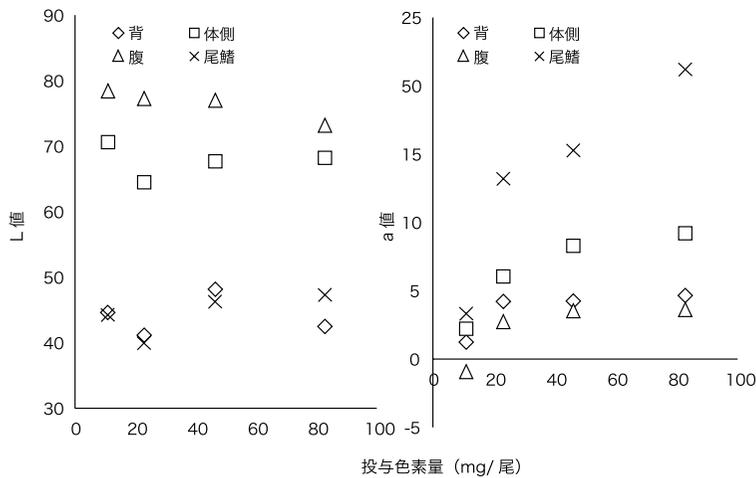


図5 投与色素量とL値, a値

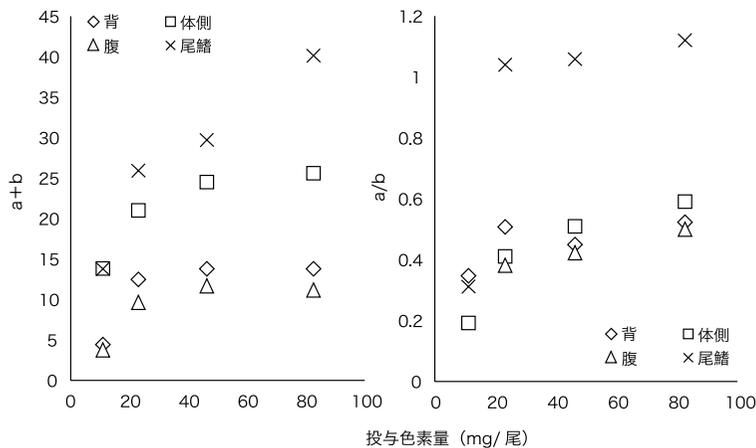


図6 投与色素量とa+b値, a/b値

区がそれに次いでいた。但し、見た目が良かったC区の魚も天然魚の光り輝くような薄い赤色とは全く色調が異なり、ただ赤いだけと云う感じであった。

マダイの体表は均一な色をしている訳ではなく、部位によって可也異なった色調を呈しており、個体差も結構ある。よって、背側、体側、腹側の夫々において3カ所で測色した値の平均値を求め、更に3尾の平均値としてL, a, b値を示したのが表8である。なお、尾鰭は中心部の1カ所しか測色していないので、単純に3尾の平均値である。

魚1尾当りの投与色素量と各部位のL値, a値, a+b値およびa/b値との関係を示したのが図5と図6である。

L値は投与色素量とは関係なく、部位毎に略一定の値を示していた(図5左)。また、腹側>体側>>背側=尾鰭の順にL値が高く、背から腹に向かうに従って白っぽく明るい色になっていたことが分かる。背側と尾鰭は略同じ値であった。これは太陽光の影響を強く受ける部位のメラニン量が多いことを表しているであろう。

a値は何れの部位においても合成アスタキサンチン添加区が無添加区より高く、投与色素量との間に正の相関が認められた(図5右)。特に尾鰭と体側において明確であった。背側と腹側は投与色素量が多くなるに従ってa値も高くなるもの

の、高くなり方は尾鰭と体側より少なかった。何れの投与色素量においても尾鰭の値が著しく高いのは、鰭は薄い為に測色した面とは反対側の色も色彩色差計が計測した可能性が有る。また、肉眼観察の結果と併せると腹側の値が低いのは赤い色素が少ない為である事が分かるが、背側が低いのは赤い色素が少ないのではなく、黒い色素が上に被さっている為ではないかと思われる。

a+b値はa値より値が大きくなっているだけで、略a値と同じパターンの変化を示していた(図6左)。これは合成アスタキサンチンの

添加によって体表は赤味だけでなく黄色味も増すことを示している。赤い色素であるアスタキサンチンを飼料に添加することによって黄色味も強くなることは、マダイでは体内でアスタキサンチンから黄色の色素への転換が行われている可能性を示唆している。

a/b 値は合成アスタキサンチン添加区の方が明らかに無添加区より高く、しかも投与量が多い区ほどやや高い傾向が認められた (図 6 右)。特に尾鰭では著しく高い値を示していた。これは尾鰭では黄色に対して赤色が著しく強いことを表しており、体表と尾鰭では色素の組成が異なる可能性や、色素胞中で色素顆粒の拡散・収縮のパターンが異なる可能性を示している。

2-6. 体表と尾鰭の色素量

魚 1 尾当りの投与色素量と体表および尾鰭の単位面積当り色素量の関係を表 9 と図 7 に示す。投与色素量が多くなるに従って体表、尾鰭共に色素量が増えていたが、直線的に増えるのではなく、投与量が多い区ほど増加の割合が少なくなっていた。これは総カロチノイドの投与量ではなく合成アスタキサンチンの投与量で調べてみても同じ結果であった。また、尾鰭より体表の方が単位面積当りの色素量が多かったので、色彩色差計で測定した尾鰭の a 値、a + b 値が体表より著しく高かったのは測色面の反対側の色も合わせて測定されていたこと他に、尾鰭のカロチノイド色素の分布が均一ではなくて末端部になるに従って少なくなっていることや、メラニン量等が影響していたのではないかと推測する。

本試験で得られた投与色素量に対する体表色素量の増加量を、略同じ大きさの魚で行ったオキアミミールやオキアミミール+エビ・カニ殻抽

表 9 投与色素量と体表および尾鰭の色素量

試験区	A	B	C	D
投与色素量 (mg/尾)	11.1	23.0	46.3	82.7
体表色素量 (μg/cm <sup>2</sup> )	1.08	2.76	3.40	3.66
尾鰭 (μg/cm <sup>2</sup> )	0.44	1.71	2.33	2.50

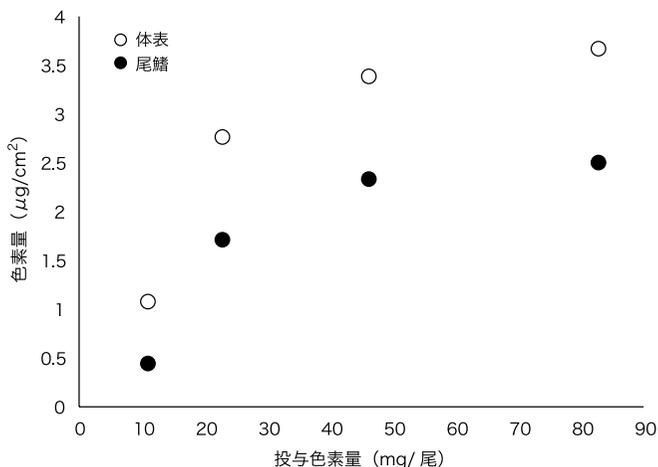


図 7 投与色素量と体表および尾鰭色素量の関係

出油<sup>2)</sup>の試験で得られた値と比較すると、明らかに合成アスタキサンチン投与区の増加量が大きい。これはオキアミミールやエビ・カニ殻抽出油の色素より合成アスタキサンチンの方が吸収・蓄積率が高いことを示唆している。オキアミミールや抽出油の色素の主体はダイエステル型のアスタキサンチンであるが、合成アスタキサンチンは遊離型であることと、アスタキサンチンはダイエステル→モノエステル→遊離型と分解されてから吸収されることが関係しているであろう。

2-7. 卵巣と血漿の色素量

卵巣と血漿の色素量を表 10 に、魚 1 尾当りの投与色素量と卵巣および血漿の色素量との

表 10 卵巣と血漿の色素量

試験区	A	B	C	D
卵巣色素量 (mg/100g)	0.05	-	0.23	0.24
卵巣体重比 (%)	0.81	-	0.72	0.83
卵巣色素量 (mg/100g 体重)	0.041	-	0.166	0.199
血漿色素量 (mg/dL)	ND	0.045	0.081	0.042

ND: 検出せず

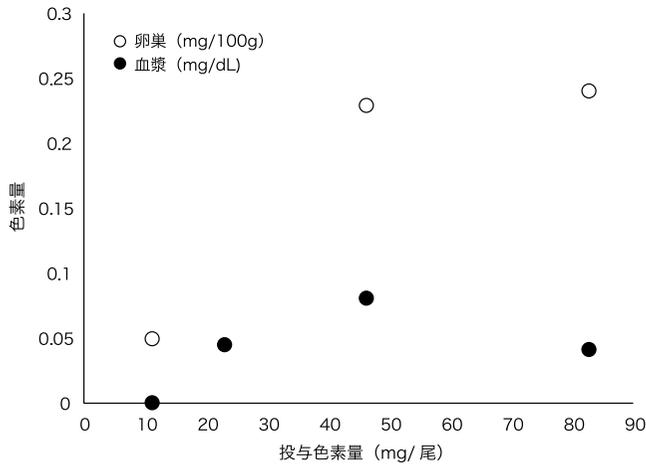


図8 投与色素量と卵巣および血漿色素量の関係

関係を図8に示す。体表と尾鰭の色素量同様、合成アスタキサンチンの投与量が多い区ほど卵巣、血漿共に色素量が多い傾向を示したが、投与量が少ない区が増え方が大きく、46.3mg/尾(C区)以上では略同じ値を示していた。

### 2-8. 色素の組成

薄層クロマトのRf値で調べた体表、尾鰭、卵巣および血漿の色素の組成を表11に示す。但し、夫々の色素の定量は行わなかったため、ただ単に各色素が存在したことを示すのみである。比較対照物としてオキアミミールと合成アスタキサンチンを用いた。

体表のアスタキサンチンはディエステルのみで、それとは別に黄色の色素も可也の量含まれていた。尾鰭はアスタキサンチンのディエステルが主体であるのは体表と同じであったが、アスタキサンチンのモノエステルと体表と同じ色

素であると思われる黄色の色素も可也の量含まれていた。卵巣と血漿には遊離型のアスタキサンチンのみが含まれていた。

以上の結果から、消化管から遊離型で吸収されたアスタキサンチンは血液中でも遊離型で存在して全身に運ばれていること、卵へはそのまま移行、蓄積されていること、体表や鰭では遊離型からモノエステル、ディエステルへと転換され、更に黄色の色素へと転換されていること等が推測出来る。

### 3. 要約

・合成アスタキサンチンをマダイ用飼料に4mg/100gまで添加しても飼育成績や体成分組成に何ら悪影響を及ぼさない。それ以上の量については再検討が必要。

・魚1尾当りの投与色素量と体表色素増加量の関係を見ると、オキアミミールやエビ・カニ殻抽出油より合成アスタキサンチンの体色改善効果が高い。これはアスタキサンチンが遊離型で吸収されることと関係しているものと推測する。

・遊離型で吸収されたアスタキサンチンはそのまま血液を介して全身に運ばれ、卵へはそのまま移行、蓄積されるが、体表や鰭では遊離型→モノエステル→ディエステルへと転換され、ディエステルが主体になっている。更に体表と鰭では赤い色素のアスタキサンチンが黄色の色

表11 体表、尾鰭、卵巣および血漿のRf値

	アスタキサンチン			黄色色素
	フリー	モノエステル	ディエステル	
オキアミミール	0.16	0.35	0.58	
合成アスタキサンチン	0.17			
体表			0.54	0.62
尾鰭		0.34	0.59	0.66
卵巣	0.17			
血漿	0.17			

素へ転換されている可能性が高い。

・合成アスタキサンチンで体色改善した魚の色調は天然魚の色とは明らかに異なる。養殖魚の色調を天然魚に近付ける為には更なる検討が必要である。

### 試験 -3

前報<sup>3)</sup>でオキアミミール添加飼料と無添加飼料を1日おきに与えた区と無添加飼料のみに魚油を外割で5%添加した区を比較すると魚油添加区の体色改善効果が劣ったことから、飼料への魚油添加がアスタキサンチンの吸収・蓄積を阻害する可能性が有る事を指摘した。よって本試験では、合成アスタキサンチン添加飼料に魚油を添加した時に投与色素量と体表色素量の関係が如何変化するかを調べ、魚油を添加しなかった試験-2の結果と比較し、飼料への魚油添加がマダイの体色改善効果を悪くするか否かを調べた。

## 1. 方法

### 1-1. 試験飼料と試験区

魚粉、小麦粉、グルテン、酵母、澱粉、ビタミン・ミネラル混合より成る原料をハードペレットに成型し、魚油を外割で10%添加した。飼料の分析値は水分11.2%、タンパク質45.0%、脂質15.6%、炭水化物18.5%、灰分9.64%で、やや乾燥不足であった。試験-2の飼料と比較すると水分と脂質が多く、タンパク質、炭水化物および灰分は少なかった。水分と脂質を除いて計算すると本試験で用いた飼料は試験-2で用いた飼料よりややタンパク質が多く、灰分がやや少ない程度の違いであった。この違いは使用した魚粉の違いによるものと推測する。

この飼料にアスタキサンチン含量が0, 4および40mg/100gになる様に合成アスタキサンチンを添加した3試験区を設定した。夫々の

区のアスタキサンチン含量は0, 4.23および39.3mg/100g飼料で、略計算通りの値であった。本試験ではハードペレットの製造時に合成アスタキサンチンの分解は生じていなかったことから、試験-2における飼料の分析値では対照区の値が高く出過ぎていた可能性が強い。

### 1-2. 飼育試験

平均体重804gのマダイ成魚を3×3×3m深の海上網生簀に各区約100尾ずつ収容し、8月22日から11月20日まで約3カ月間飼育した。飼料は毎日1回手撒きで飽食量与えた。飼育期間中に水温は28.9℃から18.5℃まで低下した。

### 1-3. 分析

本試験では体表と尾鰭の色素量のみを測定し、魚体測定や成分分析は行わなかった。色素の測定部位は試験-2と同じであるが、測定した部分の面積を求めることが出来なかったため、単位重量当りの色素量で計算した。測定試料の調製や分析は試験-2と同じ方法で行った。

## 2. 結果

### 2-1. 飼育成績

結果を表12に示す。生残率、飼料効率、タンパク質効率共に試験-2の結果より低かった。飼料効率とタンパク質効率は飼料の水分含量を補正してもやはり本試験の値が可也低かった。試験-2と魚を飼育した場所が異なっていたので、本試験を行った場所の飼育環境が試験-2を行った所よりマダイの飼育に適していなかったためであろう。

表12 飼育成績

Ast 添加量 (mg/100g)	0	4	40
生残率 (%)	96.2	97.5	96.4
増重量 (Kg)	15.2	18.9	12.6
給餌量 (Kg)	76.1	80.2	72.0
飼料効率 (%)	20.0	23.6	17.5
タンパク質効率 (%)	40.4	47.7	35.3

アスタキサンチン添加量の違いで飼育成績を比較すると、添加量が最も多い40mg/100g区の摂餌量(給餌量)、増重量、飼料効率、タンパク質効率が0および4mg/100g添加の区より明らかに低かった。試験-2でも合成アスタキサンチンの添加量が最も多かった区が何れの指標も低い値を示していた。よって、飼料に合成アスタキサンチンを多量に添加すると何らかの理由でマダイの嗜好性を損ない、摂餌量が減少することによって成長が劣る可能性も考えられるので、合成アスタキサンチンの添加量については今後十分に検討しておく必要が有る。また、合成アスタキサンチンの色素はオキアミミール等の天然原料由来の色素より吸収率が高いと考えられることから、同じ量の色素を与えたとしても合成品と天然物では吸収される量が異なる為、体内での作用の強さが異なり、これが飼育成績に影響を及ぼす可能性も考えられる。

一方、オキアミミールやオキアミ抽出油の様な天然物を添加して飼料の色素濃度を7.39mg/100gまで高めた試験では、やはり色素量が最も多かった区の摂餌量が少なく、増重量も少ないと云う結果であった<sup>2)</sup>。但し、この試験では色素含量が最も多かった飼料のエネルギー含量が他区より高かったので、色素量が多かったことが嗜好性に影響を及ぼしたと判断するのは無理が有る。

天然物であれ合成品であれ、マダイ用飼料への適切な色素の添加量は今後明らかにしておく必要が有る。

## 2-2. 体表と尾鰭の色素量

魚1尾当りの投与色素量と体表および尾鰭の単位重量当り色素量の経時変化を示したのが表13で、試験-2の結果を単位重量当りに計算し直して求めたのが表14である。また、それを図にしたのが図9と図10である。図中表示のAが試験-2、Bが本試験の結果であることを表している。

試験-2では80mg/尾まで投与色素量が増えるに従って体表、尾鰭共に色素量が多くなっていった。ところが飼料に外割で10%魚油を添加した本試験では体表、尾鰭共に試験-2より増え方が少ないうえに37mg/尾以上になると略横這いの状態を示していた。

この結果は奄美大島でオキアミミールを用いて体色改善試験を行った時に養殖業者から出された意見<sup>3)</sup>と一致しているのみでなく、前報<sup>3)</sup>の結果から行った推測とも一致していた。

何故飼料に魚油を添加すると体表や鰭の色素

表13 投与色素量と体表および尾鰭の色素量

期間	投与色素量 (mg/尾)	色素量 (mg/Kg)	
		体表	鰭
開始～9月22日			
0	0	0.4	0.3
4	12.01	3.9	2.9
40	113.32	5.3	3.6
開始～10月21日			
0	0	0.6	0.3
4	24.87	8.7	5.5
40	205.88	9.6	5.0
開始～11月20日			
0	0	1.2	0.7
4	37.35	6.8	6.8
40	310.82	15.4	10.5

(注) 開始時色素量 体表：0.3mg/Kg, 鰭：0.2mg/Kg

表14 投与色素量と体表および尾鰭の色素量 (試験-2)

期間	投与色素量 (mg/尾)	色素量 (mg/Kg)	
		体表	鰭
開始～9月19日			
0	0	1.4	1.6
2	8.00	6.7	6.7
4	15.86	10.4	10.4
8	29.29	14.2	16.2
開始～10月20日			
0	0	2.7	2.5
2	14.62	14.9	15.5
4	29.25	15.0	18.6
8	53.73	16.5	18.2
開始～11月19日			
0	0	1.4	1.4
2	21.78	15.8	17.5
4	43.72	17.0	19.9
8	79.86	23.1	22.5

(注) 開始時色素量 体表：1.7mg/Kg, 鰭：2.8mg/Kg

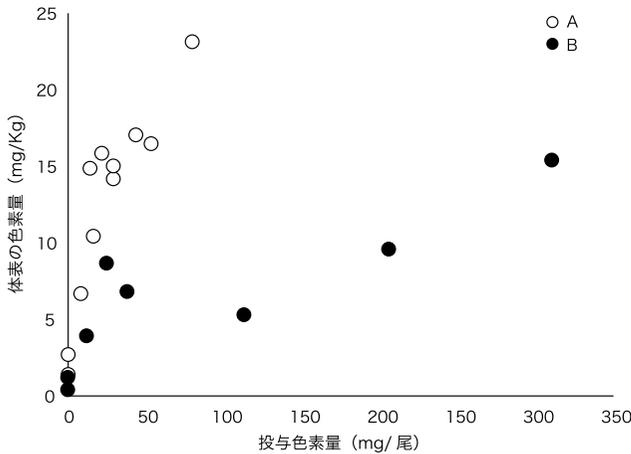


図9 投与色素量と体表の色素量

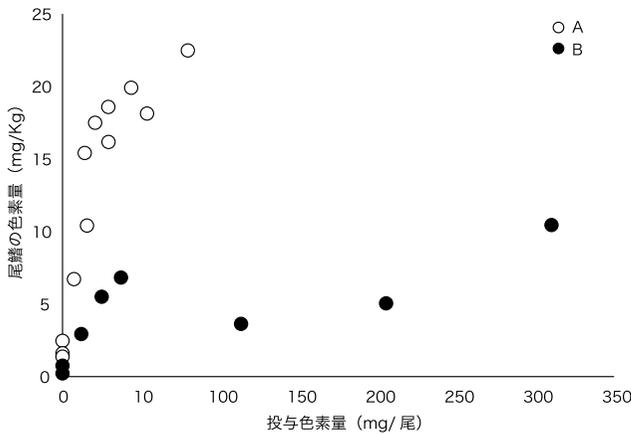


図10 投与色素量と尾鰭の色素量

量増加が少なくなるのであろう。投与する色素がオキアミミールのようにアスタキサンチンのディエステルが主体である場合には、魚油の添加によって脂質の消化・吸収に必要な胆汁や膵液が不足してアスタキサンチンが遊離型にまで分解されずに吸収出来ないことも考えられるが、本試験では遊離型のアスタキサンチンで

ある合成アスタキサンチンを色素源としている。消化液の不足による分解不十分は考えられない。油の添加によって合成アスタキサンチンをコーティングしている物質の消化が阻害されるのであろうか。また、魚油のみでなく植物油でも同様な結果になるのであろうか。油の添加量が何%以上になると違いが明らかになるのであろうか。現時点では不明な事だらけであるが、マダイの場合には色素を含む飼料に魚油を添加すると体色改善効果が劣るのは確かな様である。

マダイは油無添加で脂質含量が少ない飼料で長期間飼育すると粘液の質や量に変化する為か、体表がザラザラになり、鱗が剥がれて傷付き易く、活魚輸送時に問題が生じる事が多い。よって、出荷前には飼料への油の添加が一般的に行われている。また、出荷前に体色改善処理を行うことも必須である。この両方を同時に行うには色素添加飼料に油を添加するのが最も簡単である。ところが色素添加飼料に油を添加すると体色改善効果が著しく劣るのではこの方法を用いることが出来ない。早急の原因の解明と対応策の確立が必要である。

### 3. 要約

合成アスタキサンチン添加飼料に魚油を外割で10%添加するとマダイの体色改善効果が著しく悪くなる。

..... 参考文献 .....

- 1) 酒本秀一：マダイの体色改善 -1. *New Food Industry*, **56** (6), 67-78 (2014)
- 2) 酒本秀一：マダイの体色改善 -2. *New Food Industry*, **56** (7), 65-78 (2014)
- 3) 酒本秀一：マダイの体色改善 -3. *New Food Industry*, **56** (8), 53-65 (2014)
- 4) 北村佐三郎：飼料. 魚類の栄養と飼料 (新水産学全集 No.14), 荻野珍吉編, 恒星社厚生閣, 東京, 247 - 306 (1980)
- 5) 酒本秀一：ニジマスによるオキアミミール色素の吸収. *New Food Industry*, **56** (5), 46-58 (2014)

# 社会システムにおける安全・安心・信頼 (2)

## —中国の食を巡る問題の複雑性とルーマンのリスク概念による分析—

三好 恵真子 (MIYOSHI Emako) \*

\* 大阪大学大学院 人間科学研究科グローバル人間学専攻

Key Words : リスク社会・中国・食の安全・安心・システム信頼・日中関係・コミュニケーション

### 3. 社会的複雑性の縮減としての「信頼」

ルーマンによる信頼理論は、信頼が果たす「社会的機能」に着目するという機能的分析がその基礎に置かれている<sup>14,24)</sup>。ギデンズとルーマンは、ともに近代社会におけるリスクの回避/縮減のために設置された「信頼」システムを言及しているが、ギデンズが指摘するのは、「抽象的システム」(貨幣などの「象徴的通標(例えば貨幣)」と「専門家システム」への信頼)である<sup>26)</sup>。これに対し、ルーマンは、「社会的複雑性の縮減」という「信頼」の機能を検討し、近代における「人格的信頼」から「システム信頼」への重心の移動について考察している。

ここでは、3の結果を踏まえ、「信頼」の側面から考察を試みるが、ルーマンが信頼を「誇張された情報」と捉えている点にも留意したい。なぜなら、「情報」との関連性において「信頼」を考察する際、情報がなければ基本的に信頼もあり得ないものの、完璧な情報と質とが備わっていることが必要条件

ではない。つまり「信頼」は、一定の情報量を持っている状態における現象であるものの、対象を「信頼」する行為とは、その一定の情報量に賭けることを意味しているのである。

#### 3-1. 「慣れ親しみ」から派生する「信頼」の低下

日中国交正常化から40年が過ぎ、この間、両国は、政治、経済、外交等あらゆる分野において関係性を発展させてきた。しかし、内閣府が実施している「中国に対する親しみの程度」の経時変化を概観すると(図2)、年々減少傾向

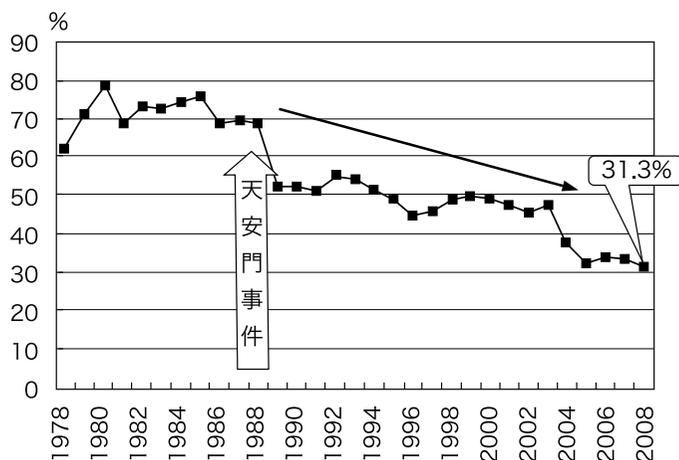


図2 親しみの割合の推移

向にあり、本事件が起こった2008年には、最低値である31.3%にまで低迷している<sup>27)</sup>。これは、本事件によりその値が減少したというよりも、中国への親近感の潜在的な下降傾向が、今回の中国製冷凍餃子中毒事件をより複雑なものしていると考えられる。

以上のように、日本と中国が真に対話し、理解し合い、協力するという関係性を支える慣れ親しみによる「信頼感」は、経年的に弱く揺るぎやすいものになっているという実態が明らかになった。さらにこうした現象は、リスク文化論を「危険の現実性についてではなく、それがどのように政治化されるかについての議論である」とする、ダグラスの見解<sup>28)</sup>と一致すると考えられる。

### 3-2. システム信頼への課題

ルーマンは、慣れ親しみによる信頼は、単純な秩序社会では最もよく当てはまるものの、「文化の進んだ社会秩序」においては、人格的な信頼は保持されながらも、「システム信頼」が生じてくると述べている。一方、社会心理学の分野において、人々の他者へ対する「信頼」が確立される要因として、相手のリスク管理能力を意味する「能力 (Competency)」とリスク管理の姿勢を意味する「動機づけ (Motivation)」、さらに、リスク管理者と自分とが同じ価値観を共有していると感じられる場合の「主要価値類似性 (Salient Value Similarity)」の3つが挙げられている<sup>18,29)</sup>。

そこで、既報<sup>8,9)</sup>では、先行研究<sup>18)</sup>を参考にしながら、本学大学生100名を対象に中国製冷凍食品に対する人々の「関心」の高さや各組織(中国政府、中国製造者・輸出業者、日本政府、日本の輸入業者)に対する「信頼」やそれを導く「価値類似性評価」、「能力評価」、「動機づけ(公正さ)評価」についての分析を試みた。その結果、関連各組織に対する信頼を導く要因はそれぞれ異なるものの、価値類似性を高めるような

行為が有効であり、その公正さも重要な要因であることが示唆された。したがって、様々な関係者が情報を共有しつつ、お互いの立場を尊重して、相互理解を深めるためのリスクコミュニケーションの場を設けることが今後のリスク管理の鍵を握ることが、本結果からも再確認されたといえよう。

ただし、ここで留意したいのは、リスクコミュニケーションが成功し、合意や達成された信頼が調達できたとしても、問題が解決された訳ではなく、ルーマンは「合意調達の多様な信頼の技法の危うさ」を指摘している点である。すなわち、合意に達したとしても、被影響者は一枚岩ではないために、リスクコミュニケーションは、決して解消されることのない「決定者/決定に関与しない被影響者」の差異を、むしろ隠蔽してしまう危険性をはらんでいるという。よって、ルーマンの「被影響者を絶えず可視化すること」の意味は、「説得されない意思疎通」という政治文化の構想にもつながり、結論において再び議論を深めていきたい。

### 3-3. 二次的観察による自己相対化：中国人留学生への半構造化インタビューより

「社会システム理論」において、コミュニケーションとは、「観察すること」であり、社会システムは、他のシステムと同様に、観察するシステムであるとされる<sup>15,16)</sup>。また、観察についての観察を「第二次観察」と呼び、これを実行するとき、他の観察者の盲点、他の観察者のアプリアリ、他の観察者の「潜在的構造」を観察することができるが、「第一次観察」と異なり、自分自身が行っている観察操作に逆推理を行い、自分自身の立場を相対化することができるとしている。

さらに、危険とリスクの概念に収斂させると、第一次観察では、「リスク/安全」の二分法で使用されるが、第二次観察では、「リスク/危険」

の二分法が採用される。ここでは、第一次観察よりも第二次観察が優れていることを主張するのではなく、「リスク/危険」という識別を設けることで、日常的に使用される「リスク/安全」の区別では、「見えないものを観察できるようになる」というルーマンの意図が存在する。

本研究では、信頼に関する分析と並行して、2009年1月末に中国からの本学留学生4名を対象に半構造化インタビューを行っているが、この結果をルーマンの観察の概念と応答させた検討を試みる。この調査の実施時期は、事件発生から約一年後であり、また中国政府が容疑者拘束を伝える1年前のことであることに留意したい。質問は、概して下記に示す4点で、それらの内容としては、①中国食品（特に毒入り餃子事件）に対する日本の報道について、②中国国内の食の安全性、③食における日中関係についての率直な意見を抽出した。

**Q1：この事件に対する日本の報道をどう思うか？**

**A1a：**事件が起きたのは事実。でも、事件の真意がまだ明らかになっていない段階で、日本のメディアはすぐに中国の責任を追究した。中国だけでなく日本の食品管理問題も平等に追求すべき。

**A1b：**日本か中国か、どちらかの国に責任を押しつけようとしている報道の仕方に問題があると感じた。あれは、個人の恨みなどの問題だと思う。個人の間で起こった問題に、貿易などのような国際要因が絡むと、国家間の問題になるのですよ。毒入りギョーザ事件の報道で、日本は必要以上に中国の悪い面を取り上げたように感じる。

**A1c：**事実関係ははっきりしない段階で、大々的に報道するのは問題！視聴率を意識しているように見える。

**Q2：中国の食の安全性についてどう思うか？**

**A2a：**中国ではメラミン混入事件以来、食の安全性がかなり改善されている。2、3年ほど前から中国でも無農薬野菜が市場に回るようになった。でも、値段は普通の5倍するので、なかなか手が出ず、上海などに暮らす富裕層はよく買っているみたい。

**A2b：**食の安全に対する消費者の意識は高まり、国内の食の安全管理体制は大きく改善されているが、政策を国内全土に徹底させることは非常に難しい。中国の諺に「上に政策あれば、下に対策あり」というものがあり、下からの対策というのは、人民が政策に欠陥を見つけて、法律の穴をかいくぐって、自分の利益を追求することを意味する。中国のように、国土が広く、多民族国家で人口が多いと、ずる賢い人も必ず出る。政策には限界があるので、一人一人の意識の向上に期待するしかない。

**A2c：**日本で中国産の食品を購入することに抵抗は全くない。食品に限らず、海外向けのもものは検査も厳しいし、質もかなり良い。でも中国で食品を購入するときの不安は払拭できない。それでも確実に消費者の食に対する安全意識は向上していると思う。以前、消費者は不衛生なものは自分で清潔にすれば良いと考えていたが、最近では、輸出用の製品の品質をあれほど高く維持できるのだから、中国国内の製品も同様に衛生的にできるだろうという考えの方が増えてきた。製品を提供する側に責任を求めようになってきた。

**A2d：**企業よりも政府の責任が重大。食品衛生局など、食品の安全性に関する機関は国の管轄ですから。

Q3：日本で多くの中国食品の問題が発生しているが、日本側にも非があるか？

A3a：いいえ。生産する立場にある中国に問題があると思う。例えばレストランで料理に何か問題があれば、店側の責任で、客に責任が問われることはない。でも問題があるとすれば、メディア。中立性を保ってほしい。中国でも食品の安全に対する意識は高まってきているのに、日本のメディアはそうした先進的な部分は一切扱わず、内陸部の貧困層ばかりを取材しますよね。そういう不満を感じている。

A3b：日本人の食に対する意識に問題がある。日本人は「中国」と「中国人」を切り離して考えるべきである。日本人は「中国」という言葉に過剰に反応していると思う。中国食品の問題は、日本人の友人と話していても話題に上がらず、暗黙の了解という感じ。でも、こういう中国産の食品の問題について、もっと話し合うべき。おかしな偏見である。

Q4：中国と日本はどういう関係を構築すべきか？

A4a：マスコミの多くは、視聴者の関心を引きつけようとして、問題を煽りすぎ。批判し合うのではなく、両者が協力し合う必要がある。両者が協力し合って、中国側の食品の安全管理体制の向上に努めるべき。

A4b：日本の中国に対するイメージは近頃本当に悪くなっている。このマイナスイメージを払拭する努力が中国には必要。また、食の問題に関しても、日本の協力も不可欠。今、中国が自国の食品の安全性を主張しても、日本側は信用しないであろう。

日本には高度の技術と管理体制があるのだから、それらを中国側に提供し、中国食品の安全と品質向上に協力してもらいたい。

以上の結果より、中国人留学生たちは、事件がある種の決着を見せる前に、冷静に事態を判断しており、またメディアのフィルターを通じての中国人像とは異なり、双方向の対話と協力による解決を求めるといふ真摯なものであった。ルーマンの論理に立ち返ると、第一次観察から第二次観察へと進んでゆくことで、世界理解、存在理解あるいは現実理解の根本的な転換が行われるとしている<sup>15,16)</sup>。このように、学びの場で日中双方の理解をつなぎ合わせることでできる留学生の存在は、両国の未来に極めて重要な展望を秘めていると考えられ、本稿の結論に結びつけてゆきたい。

#### 4.

#### 結論：リスク社会と中国の食を巡る構造的課題解決に向けて

21世紀に突入して、世界市場をめぐる競争環境に新たな構造変化が生じており、もはや「グローバルイゼーション (Globalization)」を超えた「グローバリティ (Globality)」<sup>注8)</sup>への時代の到来が叫ばれている。このような時代であるがゆえに、「非知」の概念をここで再確認してみたい。「非知」という一見ネガティブなニュアンスを持つ概念こそが、今日的リスク状況の描写にむしろ積極的な意義を持つ。そしてルーマンは、ベックと同様に非知を重視しているが、それぞれの理解は異なり<sup>注9)</sup>、ルーマンの非知は、リスクコミュニケーションにおける重要な考察点を提示している。すなわち、「統一的世界記述の欠如」、「万人を拘束する理性の

注8) Sirkin, Harold L.; Hemerling, James W.; Bhattacharya, Arindam K (2008) 'Globality : Competing with Everyone from Everywhere for Everything' Business Plus. から引用

注9) ベックは、再帰性と密接に関連するのが「非知」であり、構造的に捉えている。

欠如]、「世界及び社会に対する共通の唯一正しい態度の欠如」、さらに「最終的思想」や「権威」は、全て現代社会が「中心価値」を有していないことを指摘し、近代社会の機能分化によって、社会秩序全体を統御する場がもはや失われたと認識し、非知を論じている。よって、グローバルな課題である食や環境問題等に対する包括的な解答を与える「最高の知」というものがもはや存在せず、こうした状況にあるからこそ、非知であることについてのコミュニケーションが求められ、このコミュニケーションの中で科学的知の限界やそれへの対処法が議論の対象となる。つまり、ルーマンは、社会的課題の認識レベルを引き上げるコミュニケーションを喚起するものとして非知を指摘しているのである。

ルーマンの理論を本研究課題にも援用すると、はじめに述べたように、経済大国化する中国が、食の安全面でも世界水準に追従しようとする姿勢が高まっているものの、こうしてグローバルスタンダード化へ射程を置くことが必ずしも有効であるとは限らず、中国固有性の問題に注視し、細部の関係性に端を発する対策がなされるべきではないだろうか。つまり、食や環境における「構造的な問題」のコミュニケーションを捉え直す必要があり、特に中国の場合、その課題が如実に反映されると考えられるからである。グローバリゼーションの進展を背景にして深刻化している「社会的排除」の問題は、合意形成の元に、政治的に関与し得ない被影響者そのものが、空間的に隠蔽される事態を生みだし、環境問題はまさにそれにあたると言える。したがって、環境問題は、その被害を受ける人々の多くが、経済的・社会的に不利益な立場に置かれている社会的弱者や生理的弱者であることから、ルーマンの理論との応答により、システムの作動が、不可避免的に依拠することによる問題を絶えず可視化してゆく眼差しこそ、重要になるのと考えられる。

以上を踏まえ、本研究の検討から導かれた課題等を、再度ルーマンの理論との応答による再構築により得られた知見を、以下三点にまとめておきたい。

## 1) コミュニケーションの不断の再生産による社会システムの持続

コミュニケーションが連鎖し、それが再生産される時に、システムが成立し、さらにその存続は、自己増殖という内発的過程を通して行われるという、社会システム理論に鑑みても、システムの体系だけではなく、構成要素のコミュニケーション（関係性）に注視する必要がある<sup>15,16)</sup>と考察される。さらに本稿で述べてきたように、概して人々の安心・信頼というものは、科学的安全性の追求だけでは計り知れず、それゆえに当事者間で十分に理解し合えるための適切なインターフェースの関係性作りが求められるといえよう。ルーマンが述べる「コミュニケーション」は、複数の存在が、相互作用を行うことであり、科学知と経験知が同等の立場で議論することが重要になるとし、意思疎通の可能性に期待を寄せる側面も、上述の教訓と親和性を有している。またコミュニケーションは、人間だけに限らず、人間と社会との相互関係や社会事象間の相互関係（インタラクション）も含まれるものである。さらに、ルーマンによれば、問題解決のための科学的活動によるオペレーションが可能な域を超えて、特定化が不可能な状況が交錯しており、だからこそ、不可避的な「知」をめぐるコミュニケーションが求められるのである。

## 2) 観察による相対化、学習による開放性：

### 日中における学術交流等の果たす役割

1) を踏まえて、創造的コミュニケーションの具体的な実践的検討を考えてみたい。

ルーマンは、リスク/危険の二分法において、

「観察」を重視しており、第一次観察に加えて第二次観察を設定する試みは、ギデンズやバックと異なる独自性を有していると上述した。ただし、ルーマンの説の重点は、「リスク」と「危険」の差異化にあるのではなく、「未来の損害の可能性を、人間は二種類の帰属先に分けて判断している」という「現実」を指摘するところにあると強調できる。

本研究における中国人留学生への半構造化インタビューの結果から、現実を相対的に理解し、双方向の対話と協力による解決を求めるといふ真摯な姿が描き出された。さらに彼ら彼女らの観察から日中間のシステムの中で恩恵を受けている我々の消費のあり方を再認識し、またその基底に存在する中国という国、そしてそこに暮らす人々とどう向き合うかを考えるという、さらなるコミュニケーションを行動させてゆくことが可能になるであろう。すなわち、経済システムにおいて、消費者としての我々は「支払う/支払わない」という二値のコードから排除された価値にも目を向け、再導入する必要がある、「コード化」と「プログラム化」をセットにして構想しているルーマンの理論とも一致する。

以上のように、日中間の理解を共有する次世代の育成を推進してゆくことは重要な課題の一つであり、さらには大学間交流等の学術的対話の基盤は、国境による壁を相対化してある種の共存のシステムを構築し<sup>15,16)</sup>、さらにそれが社会的な複雑性の縮減のメカニズムとして機能するため、相互の信頼醸成と相互理解を促進するための有効な手段となり得ると期待される。

### 3) オートポイエティック・システムとしての学際的パラダイム

2) をさらに拡張・深化させて、世界がシステムと環境の差異の統一体と捉えるならば、システムとしての東アジアにおける共同体の構築の重要性が導かれてくる。ここではシステムの

境界が、むしろ諸関係を結合する状況を生み出す「システム境界」の機能<sup>15,16)</sup>にも着目していきたい。このオートポイエティック・システムが成立するためには、コミュニケーションが絶えず生み出されなくてはならず、それと連動して、システム境界も再生産されるという連続性を求める。つまり、人間による再生産の独自性(社会的次元)をクローズアップするためには、「コミュニケーションか自然か」といった、大まかな二分法に依拠するのではなく、「コミュニケーションが物質代謝をどのように主題化できるか(あるいはどこまでしか主題化できないか)」という問いに向き合い続けてゆくことであり、コミュニケーションの継続的な生成のプロセスを指し示すのである。

さらに、ルーマンは、オートポイエティック・システムとしての学際的パラダイムを強調しており、この論理は、21世紀における「グローバル大国・中国」の出現により、従来の中国研究の枠組みを越えた学際的な対話のプラットフォームの構築が要請される地域研究の現状にも連動してくる。我々が組織化する「大阪大学中国文化フォーラム」も、日本・中国・台湾の国際学術交流を発展・緊密化させながら、学際的・包括的討究を重ねることにより、東アジア地域における「知の共同体」の一環をなす現代中国研究の拠点の確立を目指している<sup>30,31)</sup>。すなわち東アジアにおける日中関係というバイラテラルな視点のみならずマルチラテラルな構造から再検討が求められることを意味し、同時に交錯・対抗から共存・共生・共創に向けての共進化を促すという方向性を明確化することが必要になってくるであろう。したがって、学際的パラダイムとしてのこの東アジアにおける知の共同体の構築が、ひいては食の安全・安心信頼を巡る課題解決にも貢献しうる可能性に大いに期待してゆきたい。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) Ni Hong-Gang, Zang, Hui Zang: Law Enforcement is key to China's food safety, *Environmental Pollution*, **157**, 1990-1992, 2009.
- 2) Global Food Safety Forum, The China Path to Global Food Safety, GFSF, 1-76, 2011.
- 3) Liu Shan, Xie Zhimei, Zhang Weiwei, Gao Xia, Pei Xiaofang: Risk assessment in Chinese food safety, *Food Control*, **30**, 162-167, 2013.
- 4) 南石 晃明:『東アジアにおける食のリスクと安全確保』農村統計出版社, 2010.
- 5) 馬場 靖雄:『ルーマンの社会理論』勁草書房, 2001.
- 6) 小松 丈晃:『リスク論のルーマン』勁草書房, 2003.
- 7) Luhmann, N.: Risk: A sociological theory. translated by R. Barrett. New Brunswick: Transaction Publishers, 2005.
- 8) 三好 恵真子:「中国食品を巡るリスクコミュニケーションの構築を目指して—中国製冷凍ギョーザ中毒事件を通じての食の安全と消費者の安心・信頼の検証—」 *New Food Industry*, **51**, 51-66, 2009.
- 9) Miyoshi, E.: The Establishment of Risk Communication for China-made Foods: An investigation of food safety, consumer perception of food-related risks and social trust based on the toxic Chinese dumpling scare in Japan, *Contemporary China Studies*, Osaka University Forum on China, 2009-4, 1-33, 2009.
- 10) Renn, O.: Concepts of Risk: A Classification, (eds.) S. Krimski & D. Colding, in "Social Theories of Risk", 53-79, 1992.
- 11) Japp, K. P.: Soziologische Risikotheorie. Funktionale Differenzierung, Politisierung und Reflexion. Juventa, Weinheim and München, 1996.
- 12) Beck, U.: "Risikogesellschaft", Suhrkamp, 1986.
- 13) ベック・ウニリヒ (著), 東 廉・伊藤 美登里 (訳):『危険社会—新しい近代への道』法政大学出版局, 1998.
- 14) Luhmann, N.: "Vertrauen", q.Auflag., Lucius und Lucius, 1968.
- 15) ルーマン・ニクラス (著) 佐藤 勉 (訳):『社会システム理論 (上)』恒星社厚生閣, 1993.
- 16) ルーマン・ニクラス (著) 佐藤 勉 (訳):『社会システム理論 (下)』恒星社厚生閣, 1995.
- 17) 中谷内 一也:『環境リスク心理学』ナカニシヤ出版, 2003.
- 18) 中谷内 一也, Cvetkovich, G.:「リスク管理機関への信頼: SVS モデルと伝統的信頼モデルの統合, 社会心理学研究, **23**, 259-268, 2008.
- 19) 厚生労働省『報道発表資料』: <http://www.mhlw.go.jp/>
- 20) 読売オンライン: <http://www.yomiuri.co.jp/>
- 21) 中華人民共和国駐日本大使館: <http://www.china-embassy.or.jp/jpn>
- 22) 中国国際放送局: <http://japanese.cri.cn/>
- 23) 日刊毎日新聞 (2008年1月号~2009年1月号)
- 24) ルーマン・ニクラス (著) 佐藤 勉 (訳):『信頼—社会的な複雑性の縮減メカニズム』勁草書房, 1990.
- 25) 財務省『財務貿易統計』: <http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>.
- 26) ギデンズ・アンソニー (著) 松尾 精文, 小幡 正敏 (訳):『近代とはいかなる時代か?—モダニティの帰結』而立書房, 1993.
- 27) 内閣府: <http://www.cao.go.jp/> 2009年1月アクセス
- 28) Douglas, M.: "Risk and Blame: Essays in cultural theory", London and New York: Rouledge, 1992.
- 29) Cvetkovich, G. & Lofstedt, R., "Social Trust and the Management of Risk", London: Earthscan Publications, 1999.
- 30) 田中 仁・三好 恵真子編:『共進化する現代中国研究—地域研究の新たなプラットフォーム—』大阪大学出版会, 2012.
- 31) Miyoshi, E.: Practical research aimed at building risk communication over the safety, security and reliability of food in China, in "International Innovation in a special publication, Regional Research: Asia Pacific", *RESEARCH MEDIA* (EU), (in press 2014).

## 歴史の潮流と科学的評価

### (第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)

ジョアン・サバテ (Joan Sabate) \*1 訳：山路 明俊 (Akitoshi Yamaji) \*2

\*1 ロマリンダ大学栄養学部, \*2 食のフロンティア塾

Key Words：排卵周期, 初潮年齢, 閉経年齢, フイトエストロゲン, ハーブ療法

## 10章 女性の生殖機能 (2)

### 4. 閉経期の変化

閉経は、出産能力の停止や肺がん、心疾患、骨粗鬆症のような様々な慢性疾患のおそれへの変化と関係しています<sup>66)</sup>。ベジタリアンと雑食者の閉経年齢には差があり、慢性疾患の違いにも関係しています。さらに、幾人かの女性は、閉経期には不快な症状を経験し（寝汗やほてり等の血管系神経症、躁鬱、不眠症、体重増加、頭痛、倦怠感）、これらの症状は、異なる文化を持つ女性間では異なることが観察されます<sup>67,68)</sup>。食事の変化がこれらの症状の違いに影響を及ぼすかどうかは明確にされてはいませんが、影響しているとの推測があります<sup>68-70)</sup>。ベジタリアンと雑食の女性との間には、いくつかの食事の違いがあります。そして、閉経の変化の定義を説明した後、閉経年齢と関係する様々な因子の研究が示され、閉経年齢がベジタリアンと雑食者では差があるのかどうかの問題が検討されま

す。また、閉経の症状に対する植物性成分の影響が論じられます。

#### A. 定義と解説

閉経の変化に関する研究は、明確な定義がないので混乱しています。「閉経」は、ある時期を点として起こるものでなく、数年にわたって起こる複雑な分泌学的な変化です<sup>71)</sup>。WHO<sup>72)</sup>は、前閉経を「閉経直前の期間（閉経に向かう内分泌学的、生物学的、臨床学的な特徴の開始）で、閉経の最初の年」と定義しています。ここでは、「閉経」は、最後の月経期として定義され、12カ月間生理がない、後ろ向き研究のみで判断されることを指しています<sup>72)</sup>。過去に遡った証拠と関連している問題と、ホルモン変化は最後の年に入っても続くので、閉経は、また、生理のない年が継続する始まりとも定義されてきました<sup>71)</sup>。

全体の変化は6年の間続き、5段階で起こると言われてきました<sup>71)</sup>。最初と2番目の段階で、閉経周期は一定ですが排卵不順があり、正常より短い女性もあり、正常な生理が増加の場合もあります。閉経前の症状は、乳房の症状、麻痺や頭痛の増加を伴います。この時期、通常、中

間周期か生理が始まる前の早朝の寝汗として、血管系神経症の症状が現れます。FSH量は正常か断続的に増加し、エストラジオールは緩やかに上昇します。

第3, 4段階では、周期は不定期になり、最初に短期、長期に周期が変化し、その後、少月経が頻繁に起こる期間へと進展して行きます。月経前の症状は減少しますが、血管系神経症は強まり、日中たびたび起こるようになります。FSH量は確実に増加し、エストラジオール量は、正常と高い間で変化します。最終の段階は、最後に生理があつてからの12カ月を表しています。血管系神経症は頻繁に増加し、さらに強まりますが、前もって経験のある女性は、消失することもあるかも知れません。FSHは高い状態を維持し、エストラジオール量は減少しますが、断続的に高い状態になります。

## B. 閉経期年齢と相関する因子

疫学的な研究により、正常な閉経年齢に関する様々な因子の影響が検討されてきました。また、特に、ベジタリアンと雑食者の違いを評価する際に、混乱させる潜在性の因子があるので、この文献を分かりやすく説明することは重要です。

### 1. 生殖に関連する因子

#### a. 初潮年齢

平均的な初潮と閉経年齢の集団間の差に基いて、特に、栄養豊富な集団では、早期の初潮は遅い閉経と相関していると、Frisch<sup>73)</sup>は推測しました。前述のように、栄養豊富なベジタリアンの初潮年齢は、栄養豊富な雑食者と同様なので、グループ間の閉経年齢の差は、初潮年齢の差によって混乱させられるようには見えません。さらに、集団でなく、個人の女性から得られたデータは、Frischの仮説を支持してはいません。例えば、閉経が早期か、遅く起きるかで分類された、3,756人のオランダ女性の前向き研究では、初潮年齢と閉経年齢には相関は見れ

られません<sup>74)</sup>。1,267人の早期の閉経女性(平均45.0歳)の平均初潮年齢は、13.88で、1,144人の遅い閉経女性(平均=54.6歳)の平均初潮年齢13.94にかなり近い数字でした。同じく、スコットランドと英国女性の横断的な研究では、初潮年齢は、閉経年齢と相関していませんでした<sup>75)</sup>。このように、初潮の個人的な年齢は、閉経年齢に影響しているようには見えません。

#### b. 排卵回数

閉経に関する排卵細胞の損耗仮説は、排卵細胞損耗の遅延率の差が、卵巣損耗と閉経年齢の差に影響することを示唆しています<sup>76)</sup>。従って、経口避妊薬の使用、妊娠や授乳を含んだ排卵を阻害する因子は、閉経年齢の遅延の原因となります。経口避妊薬を使用していた女性<sup>66, 74, 77)</sup>の閉経年齢が遅くなることと、未産婦女性<sup>66, 74, 75, 78)</sup>が早期であることの観察によって、この仮説を支持するエビデンスが得られます。この仮説は、20歳から35歳までの間に、不定期な月経周期があつた女性は閉経が遅れるという知見によって強固なものになります。

## 2. ライフスタイル因子

### a. タバコ、アルコール、カフェイン摂取

喫煙は、後ろ向きと前向きの双方の研究で、閉経の早期年齢と強く相関しています<sup>74, 75-81)</sup>。他のライフスタイルのデータは、やや弱いことを示しています。例えば、Torgersonら<sup>75)</sup>が実施した45～49歳の約1,500人のスコットランドと英国女性の横断研究では、アルコール摂取は、遅い閉経年齢と相関していました。これらの結果は、元の研究では閉経ではなかった1,227人を対象にした、その後の2年間の前向き研究で、確認されました<sup>81)</sup>。しかし、デンマーク女性の11年間の前向き研究では、アルコール摂取との相関は見られませんでした<sup>80)</sup>。同様に、4,186人の日本女性の横断研究では、コーヒーの摂取は、遅い閉経年齢と相関していましたが、デンマークの前向き研究では相関は見ら

れませんでした<sup>80)</sup>。

#### b. 食事習慣

食事の違いと閉経年齢との関係を示したデータはそれ程多くはありません。Torgerson ら<sup>75)</sup>の横断研究では、肉や家禽を決して摂らない人に対し、1回/日、肉や家禽を摂る女性の閉経後のオッズ比は0.25 (95%CI 0.1 ~ 0.65) でした。しかし、当初は閉経前であった女性の2年後に実施された追加の研究では、肉摂取との相関は見られず、一日以上肉を摂取する女性の閉経後のオッズ比は、1.07 (95% CI 0.94 ~ 1.22,  $P=0.28$ ) でした<sup>81)</sup>。Nagata の日本女性の横断研究では、大豆製品の摂取が年齢補正の閉経後、閉経前女性を有意に高くしましたが、( $P<0.001$ ) この相関は前向き研究では示されませんでした。

#### 3. 体型因子

体型は閉経年齢の有意な決定因子ではないようです。スコットランドと英国女性の横断研究では、BMI との相関は見出されず<sup>75)</sup>、また、20, 30, 40 歳時の体重も報告されました。同様に、デンマークの11年間の前向き研究<sup>80)</sup>と、7~9年間の3,756人のオランダ女性の前向き研究<sup>74)</sup>では、様々なBMIにもかかわらず、閉経になった女性間、あるいは、閉経前女性間のBMIには差はありませんでした。Nagata らの日本人の横断研究では、閉経後の平均BMIは有意に低い値にもかかわらず、実質的な差は少ないものでした。(22.2対22.5 kg/m<sup>2</sup>)<sup>78)</sup> 要約すると、閉経の様々なタイプと年齢にはある相関が見られますが、多くの場合、これらの相関は一定せず弱いものです。例えば、オランダ女性の大規模前向き研究では、閉経年齢、兄弟数、最初の出産年齢、出産経歴、BMI、喫煙、経口避妊薬の使用、SESについて検討されました。被験者全体の重回帰分析(全ての因子を含んだ)は、閉経年齢の分散は2.3% だけと予測しまし

た<sup>74)</sup>。

#### C. ベジタリアンと雑食者における閉経年齢研究

驚くことに、ベジタリアンと雑食者との間の閉経年齢を比較したデータはあまりありません。80人のアドベンチストのラクト・オボ・ベジタリアンと、アドベンチストでない280人の雑食者との間の閉経年齢を比べた、抄録の形で報告された1件の研究があります。ベジタリアンの平均閉経年齢は48歳、雑食者では50歳で、有意な差がありました。アドベンチストは喫煙しないので、喫煙による差ではなく、体重による差(ベジタリアンの方が平均BMIが高い)か、あるいは、その他の因子によるものでした。しかし、抄録は経口避妊薬がグループ間に差を生んだかどうかは示していませんでした。旧来の食事習慣を引用したデータ(肉の摂取は閉経の遅れと、大豆製品は早期の閉経と相関している横断研究)は、この研究に対して、ある程度の裏づけを示しているようにも見えますが、さらなる研究が待たれます。

#### D. 植物性成分はホルモン療法の代用になるか?

閉経の時に、膣乾燥、ほてりやめまい等の閉経時の症状緩和の為にホルモン療法を選択する女性がいます<sup>83)</sup>。しかし、一般にはホルモン使用を好まず、食事やハーブ療法を求めます。ホルモン使用は、また、いくつかの慢性疾患のリスクを緩和すると考えられます<sup>66)</sup>。しかし、ここではそれに触れず、閉経の変化に伴う症状に対する、植物性成分の影響に焦点を当てます。

##### 1. フィトエストロゲン

日本や中国のような国の女性では、閉経の症状がそれ程の頻度と苦痛でないように見えることが注目されてきました<sup>68-70)</sup>。これらの国では、フィトエストロゲン豊富な大豆製品は日常の食品なので、成分のエストロゲンのような作用が、閉

経の症状学における差を説明していると推測されてきました。

この仮説は、様々な結果を生む、いくつかの公開実験で検討されてきました。Brzezinski<sup>84)</sup>は初期の閉経女性に、症状を加味し、約25%カロリー/日になる、とうふ、豆乳、みそと亜麻仁か (n=78)、あるいは、通常食と大豆製品と亜麻仁のない食事 (n=36) を割付けました。研究開始時と12週後に血清ホルモン、フィトエストロゲン濃度と閉経症状の苦痛度 (膣乾燥、ほてり、寝汗、動悸、頭痛、機能低下、尿疾患、性欲低下、不眠症) が測定されました。血清フィトエストロゲン濃度は投与群で劇的に増加し、食事による影響が確認されました。この公開実験の閉経症状度は、投与群で  $10.65 \pm 0.60$  から  $5.31 \pm 0.45$  へ、対照群で  $9.23 \pm 0.87$  から  $4.79 \pm 0.71$  へと、双方の群で同じ様に顕著に低下しました。しかし、症状をそれぞれに分析すると、投与群のほてりと膣乾燥度は大きく低下していました。

他の公開実験で、Baird<sup>85)</sup>は、対照食 (通常食) に対し (n=25)、大豆製品として約33%エネルギーを有する大豆食 (n=66) の、少なくとも2年間の閉経女性の反応を比較しました。尿中エストロゲンが追跡調査され、また、膣成熟指標がエストロゲン指標として評価されました。4週間後、大豆群の尿中へのフィトエストロゲン分泌は、顕著に増加しましたが (平均で、100倍以上)、成熟指標には有意差がありませんでした ( $P=0.40$ )。差を見出すためには、さらなる研究が必要と研究者らは考えました。ほてりの数、閉経症状の問診や膣成熟指標を観察データとして、Muckies<sup>86)</sup>は、無作為二重盲検法を実施しました。少なくとも14回/週、ほてりのあった閉経女性が、45g/日の大豆粉か (n=28)、小麦粉 (n=30) を補助食品として12週間割付けられました。大豆群女性の尿中フィトエストロゲンが顕著に増加しました。ほ

てりと閉経症状は双方の群で有意に改善され、大豆群の改善度はわずかに大きいだけでしたが、投与群間では差はありませんでした。(それぞれ、ほてりで  $P=0.82$ 、症状度で  $P=0.90$ ) 膣成熟指標は双方共変化ありませんでした。

無作為二重盲検法が、Albertazzi<sup>87)</sup>により実施されました。試験の前に、ほてりが穏やかな時と、強い時を少なくとも7回/日を経験した閉経女性に、60gの分離大豆たんぱく質 (n=40) か、60gのカゼイン (n=39) をプラセボとして12週間与えられました。ほてりの回数の記録に加え、閉経時の様々な苦痛の度合いを指標化しました。(ほてり、しびれのような異常な感覚、きりきりとうずく痛み、ちくちくする痛み、不眠症、神経過敏、機能低下、ふらつき、関節の痛み、頭痛、動悸) ほてりの回数は双方の群で低下し、12週間で、大豆群では45%低下し、プラセボ群は30%低下しました。ほてりの低下は大豆群で有意に高く、閉経指標値での改善や差は認められませんでした<sup>87)</sup>。さらに、ほてりの低下と血清および尿中フィトエストロゲン濃度とは相関はありませんでした<sup>88)</sup>。

さらなる確実な結果をもたらすこの分野での多くの研究が進行中です。しかし、現在、介入試験には、明らかなプラセボ反応があるようです。ほてりに対し、大豆フィトエストロゲンの穏やかな差をもたらす効果がありますが、他の閉経症状には影響しないようです。

## 2. ハーブ療法

フィトエストロゲンに加え、様々なハーブによる対処法が更年期の症状を緩和する為に利用されています<sup>89)</sup>。北アメリカでは系統的な研究はあまりありませんが、他の社会ではハーブ療法が広く知れ渡っています。安全性と有効性に関する最も優れたデータは、1978年に設立され、1,400種以上のハーブを収録している、ドイツのE委員会のものかも知れません。E委

員会は、様々な更年期症状に対し有効な8つのハーブを認めています。バーム、ブラックコホシュ、チェストベリー、イチヨウ、薬用ニンジン、パッションフラワー、セントジョーンズワート、バレリアンです<sup>89)</sup>。しかし、委員会は一部、薬用ニンジンの3か月以上の使用制限やブラックコホシュの6か月以上の使用制限等の警告を発しています。素人の出版物に見られる更年期症状の緩和に対するハーブ療法は危険を孕んでいます。例えば、スカルクアップやライフルートは肝臓毒性、ドンクアイは発ガン性があると言われていています<sup>89)</sup>。ここでも同様に、盲検法による試験研究が望まれます。

## 5. 要約と結論

この章の目的は、生涯を通じた女性の正常な生殖機能を保持する為のベジタリアン食の適切性を検討することでした。総合すると、ベジタリアンと雑食者間の生殖機能について、差を示すデータはあったとしてもわずかで、いくつかの問題が未解決として残ります。

研究資料に基づき、次の結論が導き出されます。

1. 正常な成長を維持するためのエネルギーが適切に供給された場合は、ベジタリアン食は、思春期の変化、特に初潮年齢には影響しないようです。
2. ベジタリアン女性が成人になって、高い頻度の月経障害を経験するかどうかは、さらなる研究が必要です。

- a. 月経障害がベジタリアンで良く見られるという初期の研究は、通常、この問題を検討するためにデザインされてなく、適切な調整もありませんでした。
  - b. ベジタリアンと非ベジタリアンでは摂取が異なる、フィトエストロゲン、繊維や脂肪等の食事成分の影響に関するデータは、一定していません。
  - c. ベジタリアン食を始めるという動機付けは重要で、月経障害に伴う不規則な食事の為にベジタリアンになった女性もいます。さらには、食事制限への強い拘束が、非臨床的な月経障害と関係しています。従って、体重と関連した理由で、ベジタリアンになった女性群はリスクが増えることとなります。
  - d. しかし、注意深く選別したベジタリアンと非ベジタリアン女性群の場合では、非臨床的月経障害はベジタリアンではそれ程共通して見られるものではありませんでした。
3. ベジタリアンと雑食者との閉経年齢には差があるかどうかを決めるデータは殆ど見当たりません。この分野でのさらなる研究が必要です。
  4. 大豆フィトエストロゲンはプラセボに比べ、閉経期ののぼせの回数を少し減少させますが、他の更年期障害の苦痛には影響しないようです。

## 参考文献

- 1) Tanner, J.M. *Growth at Adolescence*. 2nd ed., Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1962.
- 2) Emans, S.J. Menarche and beyond — do eating and exercise make a difference? *Pediatr. Ann.*, **26**(2):S137, 1997.
- 3) Apter, D. Development of the hypothalamic-pituitary-ovarian axis. *Ann. NY Acad. Sci.*, **816**:9, 1997..
- 4) Wildt, L., Marshal, G., and Knobil, E. Experimental induction of puberty in the infantile female rhesus monkey. *Science*, **207**:1373, 1980.
- 5) Marshal, J.C. and Kelch, R. P. Low dose pulsatile gonadotropin-releasing hormone in anorexia nervosa: a model for human pubertal development. *J. Clin. Endocrin. & Metab.*, **49**:712, 1979.
- 6) Cameron, J.L. Nutritional determinants of puberty. *Nutr. Rev.*, **52**(2):S17, 1996.
- 7) Bongaarts, J. Does malnutrition affect fecundity? A summary of evidence. *Science*, **208**:564, 1980.
- 8) Frisch, R.E. and McArthur, J.W. Menstrual cycles: fatness as a determinant of minimum weight for height necessary for their maintenance or onset. *Science*, **185**:949, 1974.
- 9) Frisch, R.E. Weight at menarche: similarity for well-nourished and undernourished girls at differing ages, and evidence for historical constancy. *Pediatrics*, **50**(3):445, 1972.
- 10) Zacharias, L., Rand, W.M., and Wurtman, R.J. A prospective study of sexual development and growth in American girls: the statistics of menarche. *Obstet. Gynecol. Survey*, **31**(4):325, 1976.
- 11) Sanchez, A., Kissinger, D.G., and Phillips, R.I. A hypothesis on the etiological role of diet on age of menarche. *Medical Hypotheses*, **7**:1339, 1981.
- 12) Frisch, R.E., Hegsted, D.M., and Yoshinga, K. Carcass components at first estrus of rats on high-fat and low-fat diets: body water, protein, and fat. *Prod. Nat. Acad. Sci. USA*, **74**:379, 1977.
- 13) Kralj-Cercek, L. The influence of food, body build, and social origin on the age at menarche. *Hum. Biol.*, **28**(4):393, 1956.
- 14) Burrell, R.J.W., Healy, M.J.R., and Tanner, J.M. Age at menarche in South African Bantu schoolgirls living in the Transkei reserve. *Human Biol.*, **33**:250, 1961.
- 15) Moisan, J., Meyer, F., and Gingrans, S. Diet and age at menarche. *Cancer causes and Control*, **1**:149, 1990.
- 16) Maclure, M., Travis, L.B., Willet, W., and MacMahon, B. A prospective cohort study of nutrient intake and age at menarche. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**:649, 1991.
- 17) Persky, V.W., Chatterton, R. T., Van Horn, L. V., Grant, M. D., Langenberg, P., and Marvin, J. Hormone levels in vegetarian and non-vegetarian teenage girls: potential implications for breast cancer risk. *Cancer Res.*, **52**(3):578, 1992.
- 18) Hardings, M.G., Sanchez, A., Waters, D., Ghale, M., Bartholomew, E., Yahiku, P., Hoehen, G., and Scharffenberg, J.A. Possible factors associated with the prevalence of acne vulgaris. *Federation Proc.*, **30**:300, 1971.
- 19) Roberts, D.F., Chinn, S., Giriya, B., and Singh, H.D. A study of menarcheal age in India. *Ann. Human Biol.*, **4**(2):171, 1977.
- 20) Ghosh, D., Kochhar, K., and Khanna, S.D. The study of puberty and after in 557 Indian school girls at Poona. *J. Obstet. Gynecol. India*, **23**:716, 1973.
- 21) Fritz, M., and Speroff, L. Current concepts of the endocrine characteristics of normal menstrual function: the key to diagnosis and management of menstrual disorders. *Clin. Obstet. Gynecol.* **26**:647, 1983.
- 22) Vollman, R.F. *The Menstrual Cycle*. Philadelphia, W.B. Saunders, 1977.
- 23) Prior, J.C., Vigna, Y.M., Schechter, M.T., and Burgess, A.E. Spinal bone Loss and ovulatory disturbances. *N. Eng. J. Med.*, **323**:1221, 1991.
- 24) Barr, S.I., Janelle, K.C., and Prior, J.C. Vegetarian vs non-vegetarian diets, dietary restraint, and subclinical ovulatory disturbances: prospective 6-mo study. *Am. J. Clin. Nutr.*, **60**:887, 1994.
- 25) DeSouza, M.J., Miller, B.E., Loucks, A.B., Luciano, A.A., Pescatello, L.S., Campbell, C.G., and Lasley, B.L. High frequency of luteal phase deficiency and anovulation in recreational women runners: blunted elevation in follicle-stimulating hormone observed during luteal-follicular transition. *J. Clin. Endocrin. & Metab.*, **83**:4220, 1998.
- 26) Pettersson, F., Fries, H., and Nillius, S.J. Epidemiology of secondary amenorrhea. I. Incidence and prevalence rates. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, **117**:80, 1973.
- 27) Singh, K. Menstrual disorders in college students. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, **3**:299, 1981.

- 28) Schweiger,U.,Laessle,R.,Pfister,H.,Hoehl,C.,Schwingenschloegel,M.,and Schweiger,M. Diet-induced menstrual irregularities:effects of age and weight loss. *Fertility and Sterility*,**48**:746,1987.
- 29) Schweiger,U.,Lassle,R.,Schweiger,M.,Hermann,F.,Riedel,W.,and Piekr,K.M. Caloric intake, stress and menstrual function in athletes. *Fertility and Sterility*,**49**:447,1988.
- 30) Loucks,A.B.,and Heath,E.M. Dietary restriction reduces lutenizing hormone(LH) pulse frequency during waking hours and increases LH pulse amplitude during sleep in young menstruating women. *J.Clin. Endocrin. & Metab.*,**78**:910,1994.
- 31) Loucks,A.B.,Verdun,M.,and Heath,E.M. Low energy availability, not stress of exercise, alters LH pulsatility in young women. *J. Appl.Physio.*,**84**:37,1998.
- 32) Rogers,J.,and Mitchell,J.W. The relationship of obesity to menstrual disturbances. *N.Eng.J. Med.*,**247**:53,1952.
- 33) Pasquali,R.,and Casimirri,F. The impact of obesity on hyperandrogenism and polycystic ovary syndrome in premenopausal women. *Clin.Endocrin.(Oxford)* **39**:1,1993.
- 34) Guzick,D.S.,Wing,R.,Smith,D.,Berga,S.L.,and Winters,S.J. Endocrine consequences of weigh loss in obese, hyperandrogenic, anovulatory women. *Fertility and Sterility*,**61**:598,1994.
- 35) Clark,A.,M.,Ledger,W.,Galletly,C.,Tomlinson,L.,Blaney,F.,Wang,X.,and Norman,R.J. Weight loss results in significant improvement in pregnancy and ovulation rates in anovulatory obese women. *Human Reproduction*,**10**: 2705,1995.
- 36) Jones,D.,Judd,J.,Tayler,P.,Campbell,W.,and Nair,P. Influence of dietary fat on menstrualcycle and menses length. *Human Nutr. Clin.Nutr.*,**41C**:341,1987.
- 37) Reichman,M.E.,Judd,J.T.,Taler,P.R.,Nair,P.P.,Jones,Y.,and Campbell,W.S. Effect of dietary fat on length of the follicular phase of the menstrual cycle in a controlled diet setting. *J. Clin. Endocrin.& Metab.*,**74**:1171,1992.
- 38) Hagerty,M.A.,Howie.J.,Yan,S.,and Shultz,T.D. Effect of low- and high-fat intakes on the hormonal milieu of premenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*,**47**:653,1988.
- 39) Rose,D.P.,boyar,A.P.,Cohen., and Strong,L.E. Effect of a low-fat diet on hormone levels in women with cystic breast disease. I. Serum steroids and gonadotropins. *J.Natl.Cancer Inst.*,**78**:623,1987.
- 40) Rose,D.P.,Goldman,M.,Connolly,J.M.,and Strong,L.E. High-fiber diet reduces serum estrogen concentrations in premenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*,**54**:520,1991.
- 41) Woods,M.N.,Gorbach,S.L.,Longcope,C.,Goldin,B.R.,Dwyer,J.T.,and Morrill-LaBrode,A. Low-fat, high-fiber diet and serum estrone sulfate in premenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*,**49**:1179,1989.
- 42) Goldin,B.R.,Woods,M.N.,Spiegelman,D.L.,Longcope,C.,Morrill-LaBrode,A.,Dwyer,J.T.,Gualtieri,L.J.,Hetzmark,E., and Gorbach,S.L. The effect of dietary fat and fiber on serum estrogen concentrations in premenopausal women under controlled dietary conditions.*Cancer* **74**:1125,1994.
- 43) Hill,P.B.,Barbaczowski,L.,Haley,N., and Wynder,E,L. Diet and follicular development.*Am.J.Clin.Nutr.*,**39**:771,1984.
- 44) Hill,P.B.,Garbaczewski,L.,Daynes,G.,and Gaire,K.S. Gonadotrophin release and meat consumption in vegetarian women.*Am.J.Clin.Nutr.*,**43**:37,1986.
- 45) Phipps,W.R.,Martini,M.C.,Lampe,J.W.,Slavin,J.L., and Kurzer,M.S. Effect of flax seed ingestion on the menstrual cycle. *J.Clin.Endocrin. & Metab.*,**77**:1215,1993.
- 46) Cassidy,A.,Bingham,S., and Setchell,K.D. Biological effects of a diet of soy products rich in isofalavones on the menstrual cycle of premenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*,**60**:333,1994.
- 47) Cassidy,A.,Bingham,S., and Setchell,K. Biological effects of isoflavones in young women: importance of the chemical composition of soybean products. *Br.J.Nutr.*,**74**:587,1997.
- 48) Lu,L.,J.W.,Anderson,K.E.,Grady,J.J.,and Nagamani,M. Effects of soya consumption for 1 month on steroid hormones in premeopausal women: implications for breast cancer risk reduction. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevenntion*,**5**:63,1996.
- 49) Nagata,C., Kabuto,M.,Kurusu,Y.,and Shimizu,H. Decreased serum estradiol concentration associated with high dietary intake of soy products in premenopausal Japanese women. *Nutrition and Cancer*,**29**:228,1997.
- 50) Janell,K., and Barr,S,I. Nutrient intakes and eating behavior scores of vegetarian and non-vegetarian women.*J.Am. Dietetic Assoc.*,**95**:180,1995.
- 51) Harlow,S.D.,and Matanoski,G.M. The association between weight, physical activity, and stress and variation in the length of the menstrual cycle. *Am.J.Epidemiol.*,**133**:38,1991.

- 52) Stunkard, A.J., and Messick, S. The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *J. Psychosomatic Res.*, **29**:71, 1985.
- 53) Tepper, B.J., Trail, A.C., and Shaffer, S.E. Diet and physical activity in restraint eaters. *Appetite*, **27**:51, 1996.
- 54) Schweiger, U., Tushl, R.J., Platte, P., Brooks, A., Laessle, R.G., and Pirke, K.M. Everyday eating behavior and menstrual function in young women. *Fertility and Sterility*, **57**:771, 1992.
- 55) Barr, S.I., Prior, J.C., and Vigna, Y.M. Restrained eating and ovulatory disturbances: possible implications for bone health. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**:92, 1994.
- 56) Barbarino, A., De Marinis, L., Tofani, A., Della Casa, S., D'Amico, C., Mancini, A., Corsello, S.M., Sciuto, R., and Barini, A. Corticotropin-releasing hormone inhibition of gonadotropin release and the effect of opiate blockade. *J. Clin. Endocrin. & Metab.*, **68**:523, 1989.
- 57) Bakan, R., Birmingham, C.L., Aeberhardt, L., and Goldner, E.M. Dietary zinc intake of vegetarian and non-vegetarian patients with anorexia nervosa. *Int. J. Eating Disorders*, **13**:229, 1993.
- 58) O'Connor, A.M., Touyz, S.W., Dunn, S.M., and Beumont, P.J. Vegetarianism in anorexia nervosa? A review of 116 consecutive cases. *Med. J. Aus.* **147**:540, 1987.
- 59) Martins, Y., Pliner, P., and O'Connor, R. Restrained eating among vegetarians: does a vegetarian eating style mask concerns about weight? *Appetite*, **32**:145, 1999.
- 60) Brooks, S.M., Sanborn, C.F., Albrecht, B.H., and Wagner, W.W., Jr. Diet in athletic amenorrhoea. *Lancet*, **1**:559, 1984.
- 61) Slavin, J., Lutter, J., and Cushman, S. Amenorrhoea in vegetarian athletes. *Lancet* **1**:1474, 1984.
- 62) Pirke, K.M., Schweiger, U., Laessle, R., Dickhaut, B., Schweiger, M., and Waeshtler, M. Dieting influences the menstrual cycle: vegetarian vs. non-vegetarian diet. *Fertility and Sterility*, **46**:1083, 1986.
- 63) Pedersen, A.B., Bartholomew, M.J., Dolence, L.A., Aljadir, L.P., Netteburg, K.L., and Lloyd, T. Menstrual differences due to vegetarian and non-vegetarian diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**:879, 1991.
- 64) Lloyd, T., Schaeffer, J.M., Walker, M.A., and Demers, L.M. Urinary hormonal concentrations and spinal bone densities of premenopausal vegetarian and non-vegetarian women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**:1005, 1991.
- 65) Prior, J.C., Vigna, Y.M., Schulzer, M., Hall, J.E., and Bonen, A. Determination of luteal phase length by quantitative basal temperature methods: validation against the midcycle LH peak. *Clin. Invest. Med.*, **13**:123, 1990.
- 66) Soers, M.R., and La Pietra, M.T. Menopause: its epidemiology and potential association with chronic diseases. *Epidemiol. Rev.*, **17**:287, 1995.
- 67) Studee, D.W. Clinical symptoms of estrogen deficiency. *Current Obstet. Gynecol.*, **7**:190, 1997.
- 68) Lock, M. Ambiguities of aging: Japanese experience and perceptions of menopause. *Culture Med. & Psych.*, **10**:23, 1986.
- 69) Adlercreutz, H., Hamainen, E., Gorbach, S., and Goldin, B. Dietary phytoestrogens and the menopause in Japan. *Lancet*, **339**:1233, 1992.
- 70) Lock, M. Contested meaning of the menopause. *Lancet*, **337**:1270, 1991.
- 71) Prior, J.C. Perimenopause: the complex endocrinology of the menopausal transition. *Endocrine Rev.*, **19**(4):397, 1998.
- 72) WHO Scientific Group. Research on the menopause in the 1990s. A report of the WHO Scientific Group, World Health Organization, Geneva, Switzerland, volume **866**:1, 1996.
- 73) Frisch, R.E. Body fat menarche, fitness and fertility. *Human Reproduction*, **2**:521, 1987.
- 74) Van Noord, P.A.H., Boersma, H., Dubas, J.S., te Velde, E., and Dorland, M. Age at natural menopause in a population-based screening cohort: the role of menarche, fecundity, and lifestyle factors. *Fertility and Sterility*, **68**:95, 1997.
- 75) Torgerson, D.J., Avenell, A., Russel, I.T., and Reid, D.M. Factors associated with onset of menopause in women aged 45-49. *Maturitas*, **19**:83, 1994.
- 76) Gougeon, A., Regulation of ovarian follicular development in primates: facts and hypotheses. *Endocrine Rev.*, **17**:121, 1996.
- 77) Stanford, J.L., Hartge, P., Brinton, L.A., Hoover, R.N., and Brookmeyer, R. Factors influencing the age at natural menopause. *J. Chronic Dis.*, **40**:995, 1987.
- 78) Nagata, C., Takatsuka, N., Inaba, S., Kawakami, N., and Shimizu, H. Association of diet and other lifestyle with onset of menopause in Japanese women. *Maturitas*, **29**:105, 1998.
- 79) Bromberger, J.T., Matthews, K.A., Kuller, L.H., Wing, R.R., Meilahn, E.N., and Plantinga, P. Prospective study of the determinants of age at menopause. *Am. J. Epidemiol.*, **145**:124, 1997.
- 80) Nilsson, P., Moller, L., Koster, A., and Hollnagel, H. Social and biological predictors of early menopause: a model for

- premature aging. *J.Intern.Med.*,**242**:299,1997.
- 81) Torgerson,D.J.,Thomas,R.E.,Campbell,M.K.,and Reid,D.M. Alcohol consumption and age of maternal menopause are associated with menopause onset. *Maturitas*,**26**:21,1997.
- 82) Baird,D.D.,Tylavsky,F.A.,and Anderson,J.J.B. Do vegetarians have earlier menopause? *Am.J.Epidemiol.*,**128**:907,1988.
- 83) Belchetz,P. Hormonal treatment of postmenopausal women. *N.Eng.J.Med.*,**330**:1062,1994.
- 84) Brzeninski,A.,Adlercreutz,H.,Shaol,R.,Rosler,A.,Shmueli,A.,Tanos,B.,and Schenker,J.G. Short-term effects of phytoestrogen-rich diet on postmenopausal women. *Menopause*,**4**:89,1997.
- 85) Baird,D.D.,Umbach,D.M.,Lansdell,L.,Hughes,C.L.,Setchell,K.D.R.,Weinberg,C.R.,Haney,A.F.,Wilcox,A.J.,and McLachlan,J.A. Dietary intervention study to assess estrogenicity of dietary soy among postmenopausal women. *J.Clin.Endocrin.& Metab.*,**80**:1685,1996.
- 86) Murkies,A.L.,Lombard,C.,Strauss,B.J.G.,Wilcox,G.,Burger,H.G.,and Morton,M.S. Dietary flour supplementation decreases post-menopausal hot flushes: effect of soy and wheat. *Maturitas*,**21**:189,1995.
- 87) Albertazzi,P.,Pansini,F.,Bonaccorsi,G.,Zanotti,L.,Forini,E.,and De Alyosio,D. The effect of dietary soy supplementation on hot flushes. *Obstet.Gynecol.*,**91**:6,1998.
- 88) Albertazzi,P.,Pansini,F.,Bottazzi,M., Bonaccorsi,G.,De Aloysio,and Morton,M.S. Dietary soy supplementation and phytoestrogen levels. *Obstet.Gynecol.*,**94**:229,1999.
- 89) Israel,D.,and Youngkin,E.Q. Herbal therapies for perimenopausal and menopausal complaints. *Pharmacotherapy*,**17**(5):970,1997.

<http://www.newfoodindustry.com/>

## ニューフードインダストリー 第56巻 第10号

印刷 平成 26 年 9 月 25 日

発行 平成 26 年 10 月 1 日

発行人 平井 朋美

編集人 結城 ななみ

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

印刷所 モリモト印刷株式会社

定価 本体2,000円 +税 (送料100円)

email:newfood@newfoodindustry.com