

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

New food indust. 59 (9) : 2017.

9

論 説

- 食後血糖値の上昇を抑制する新規澱粉素材の開発
- コメ糖タンパク質酵素加水分解物中のカチオン性ペプチドは多彩な生理 (抗菌・LPS中和・血管新生促進) 活性を発揮する

解 説

- コーヒー由来のクロロゲン酸類組成の特徴
- 腸内細菌を利用した水素ガス産生乳飲料
- グルテンフリー食品用の各種素材 (1)

連 載

- 野山の花 – 身近な山野草の食効・薬効 –
センブリ *Swertia japonica* (Schult.) Makino (リンドウ科 Gentianaceae)
- デンマーク通信 デンマークのコーヒー消費
- 養殖ヒメマスの品質改善 –まとめ–

ベジタリアンの健康・栄養学

- 第 1 章 ベジタリアニズム:長寿と慢性疾患への影響

解 説

- マスティック抽出画分の薬理作用

伝える心・伝えられたもの

- –落花生–

会 告

- 岐阜大学応用生物科学部公開講演会 パン シンポジウム 2017



論 説

- 食後血糖値の上昇を抑制する新規澱粉素材の開発
..... 秋山 美展, 森 大輝 1

- コメ糠タンパク質酵素加水分解物中のカチオン性
ペプチドは多彩な生理 (抗菌・LPS 中和・血管新生促進) 活性を発揮する
..... 谷口 正之, 落合 秋人, 山中 崇, 築野 卓夫 8

解 説

- コーヒー由来のクロロゲン酸類組成の特徴
..... 土門 さや香, 渡辺 卓也, 岡村 雄介, 草浦 達也 19

- 腸内細菌を利用した水素ガス産生乳飲料
..... 角 沙樹, 坪田 一男, 松本 光晴 23

- グルテンフリー食品用の各種素材 (1)
..... 瀬口 正晴 29

連 載

- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —
センブリ *Swertia japonica* (Schult.) Makino
(リンドウ科 Gentianaceae)
..... 白瀧 義明 38

- デンマーク通信 デンマークのコーヒー消費
..... Naoko Ryde Nishioka 40

- 養殖ヒメマスの品質改善 —まとめ—
..... 酒本 秀一, 佐藤 達朗 42

ベジタリアンの健康・栄養学

- 第1章 ベジタリアニズム：長寿と慢性疾患への影響

.....ゲリー E. フレーザー (Gary E. Fraser), 訳：山路 明俊 55

解説

- マスティック抽出画分の薬理作用

..... 坂上 宏, 天野 滋, 増田 宜子, 横瀬 敏志, 友村 美根子,
友村 明人, 鈴木 龍一郎, 須永 克佳, 白瀧 義明, 福地 邦彦, 金本 大成,
寺久保 繁美, 中島 秀喜, 渡邊 博文, 大川原 正喜, 又平 芳春 67

伝える心・伝えたいもの

- — 落花生 —

..... 宮尾 茂雄 77

会告

- 岐阜大学応用生物科学部公開講演会 パン シンポジウム 2017

..... 前付 6

おいしさと健康に真剣です。 酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ

new 発酵調味料
D&M
ディアンドエム

酵母エキス系調味料
コクベス

セラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料
コクベス
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

食後血糖値の上昇を抑制する 新規澱粉素材の開発

秋山 美展 (AKIYAMA Yoshinobu)¹ 森 大輝 (MORI Daiki)²

¹ 秋田県立大学 生物資源科学部, ² 公益社団法人 日本アイソトープ協会

Key Words: 澱粉 難消化性 酵素分解グリセミックインデックス (EGI) 食後血糖値 脂肪酸

はじめに

日本では食生活の欧米化や、過度な飲酒・喫煙、過剰なストレス等による生活習慣病の増加が懸念されている。厚生労働省により 2012 年に実施された国民健康・栄養調査結果の概要では、糖尿病が強く疑われる者と、糖尿病の可能性を否定できない者との推計人数は約 2050 万人にも及んだ¹⁾。糖尿病に罹患すると、糖尿病網膜症、糖尿病腎症、糖尿病神経障害といった慢性合併症を生じるため、QOL の著しい低下、寿命の低下、さらには医療費の増加が懸念される。実際に糖尿病に罹患すると男性で約 10 歳、女性で約 13 歳寿命が短くなると報告されている²⁾。このため糖尿病を未然に防ぐには、生活習慣病予防および健康増進が重要であり、特に空腹時血糖値のみではなく、食後血糖値の管理をすることが重要であると考えられるようになった。また、アメリカのマクガバン報告(1977)や、我が国の食事バランスガイド(2005)によると、食生活改善の重要性が指摘されている。

食事の中で食後血糖値の変動に最も影響する栄養素は糖質であるが、食品には様々な栄養素や成分が同時に含まれているため、糖質含有量が同一であっても食後血糖値の動態に及ぼす影響は異なっている。このような観点から、カナダのトロント大学の Jenkins らは食品による食後血糖値に与える影響の違いを比較できる指標

としてグリセミックインデックス (GI) の概念を提唱した³⁻⁵⁾。そして近年では、ヨーロッパをはじめ新しい栄養指導の方法として GI に基づいた食品や食品の組み合わせが取り入れられるようになってきた。低 GI 食品の摂取によって、穏やかな消化と緩やかな血糖反応になるため、糖尿病およびその予備群といわれる人々の血糖値をコントロールすることが可能になる。

このような背景から、食品が食後血糖値に及ぼす影響についての研究が盛んに行われてきた。難消化性デキストリン、グアバ茶ポリフェノール、小麦アルブミン、豆鼓エキスは血糖値の上昇を抑制することが見出され、これらの機能性成分を含んだ食品は特定保健用食品として使用されている。加えて、近年これらの機能性成分とは異なる難消化性澱粉 (RS) が注目されてきている。RS は、1982 年に Englyst ら⁶⁾によって名付けられ、1983 年に Stephen ら⁷⁾は、澱粉の一部は大腸に達することを見出した。さらに、1986 年に Björck ら⁸⁾は、小腸での吸収を免れて大腸に達するという観点から RS は食物繊維と類似していることを指摘した。しかしながら、一括して食物繊維として定義することは混乱を招く恐れがあるため、ルミナコイドという概念を提唱し、RS は難消化性デキストリンと同じ澱粉性のルミナコイドとして位置づけられ、非澱粉性の食物繊維と明確に区別している⁹⁾。

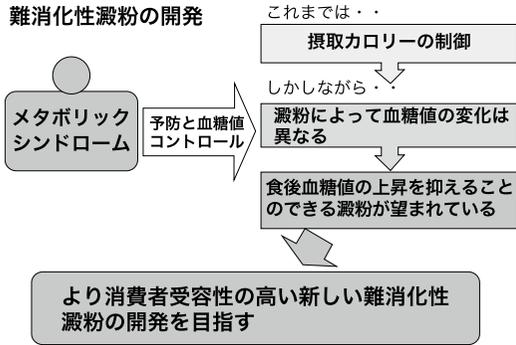


図1 食後血糖値の上昇抑制効果のある新規澱粉素材によってメタボリックシンドロームの予防を目指す。

RSの生理機能は、早川ら¹⁰⁾、奥村ら¹¹⁾によって糞便量の増加効果、大腸内発酵増進作用、コレステロールや中性脂肪低下効果を見出した。また、Granfeldtら¹²⁾によって、RSを摂取することは、食後血糖値の上昇抑制と血中インスリン分泌の抑制に有効であり、Behallら¹³⁾、Byrnesら¹⁴⁾によって、長期間摂取した際に、インスリン抵抗性に傾くのを防止し、糖尿病予防効果が期待されている。近年、このような生理機能を有するRSに着目し、高架橋澱粉(リン酸架橋澱粉)や、高エーテル化澱粉(ヒドロキシプロピル化澱粉)のような耐消化性を強くしたタイプ等が報告されている。しかしながら、これらの加工澱粉は食品添加物であるため、原材料表示においてはその旨を表記する必要がある。また、加工澱粉を製造するための設備が必要であり、処理コストも高くなりがちである。そこで我々は、澱粉に脂肪酸を添加して加熱する簡便な食品加工的処理によって難消化性を付与し、消費者受容性の高い澱粉素材の開発を目指した(図1)。

1. 酵素分解グリセミックインデックスの導入と難消化性の評価

澱粉の消化性を *in vitro* で評価するために酵素分解グリセミックインデックス(以下 EGI) の導入を行った。

1-1. 材料と方法

澱粉は、馬鈴薯澱粉(カルビー株)を用いた。脂肪酸は、パルミチン酸、リノール酸(和光純薬工業株)を用いた。馬鈴薯澱粉の水分を11、20%に調整し、脂肪酸(パルミチン酸、リノール酸)を0、3、5、7% (w/w)になるようにそれぞれ添加、混合した。その後、ステンレス製密閉容器に封入し、試料内部温度が140℃になるまでオイルバス中で加熱処理した。達温後、ただちに氷水中で急冷し、これを測定用試料とした。

1-2. 酵素分解による澱粉消化率の測定

澱粉消化率の測定は、ブタ膵臓α-アミラーゼ(メガザイム社、EC 3.2.1.1)と、アミログルコシダーゼ(メガザイム社、EC 3.2.1.3)(AMG)を用いて試料を酵素分解し、継時的にグルコース量を定量することによって評価した。75 mgの試料に15 mLの0.1 M マレイン酸緩衝液(pH6.0)を加え、100℃、60分間加熱した。試料は加熱後に37℃まで冷却し、ブタ膵臓α-アミラーゼ(EC 3.2.1.1) 0.069 Uを加え、振とう(100 rpm)しながら37℃でインキュベートした。振とう開始から0、15、30、60、90分後に各々0.4 mLずつをマイクロチューブに分取した。その後、α-アミラーゼを失活させるために、サンプルをただちに100℃、5分間加熱処理した。次に、遠心分離(12000 rpm、5分間)を行い、その上清からサンプル0.1 mLを取り出し、0.37 mLの0.4 M 酢酸緩衝液(pH4.5)とAMG(EC 3.2.1.3) 0.1 Uを加え、振とう(85 rpm)しながら60℃、45分間グルコース分解した。グルコースはグルコースオキシダーゼ・パーオキシダーゼ法で定量した。

1-3. 酵素分解曲線のボルツマン関数へのフィッティング

澱粉消化率は、澱粉消化によって生成する酵素分解曲線のボルツマン関数へのフィッティングで表すこととした。図2に示す酵素分解曲線は、実験から得られた異なる酵素分解曲線の例

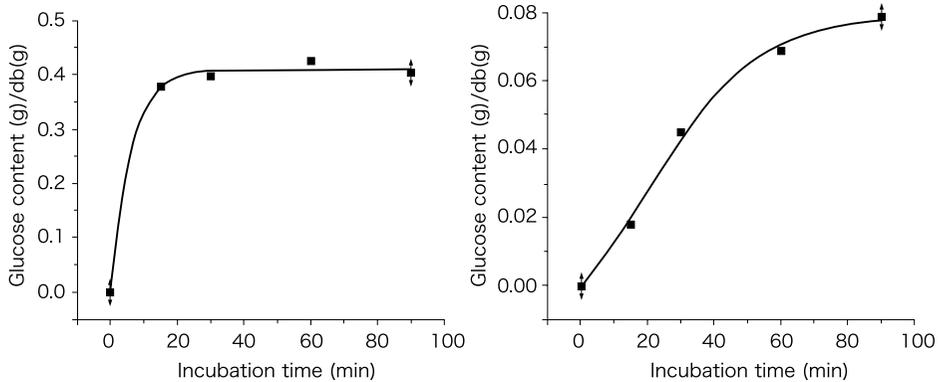


図2 酵素分解曲線のフィッティング

であるが、これらを (1) 式で回帰すると、いずれも 0.988 以上の高い決定係数が得られた。したがって、本実験で得られた酵素分解曲線は、ボルツマン関数で表すことができると判断した。

$$y = (A1 - A2) / [1 + \exp\{(t - x1) / x2\}] + A2 \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 $A1$ 、 $A2$ 、 $x1$ 、 $x2$ はフィッティングパラメーターを示している。酵素分解曲線のボルツマン関数へのフィッティングは、データ解析ソフト Origin 8 (OriginLab Corporation 社) を用いて行った。

1-4. EGI の算出

澱粉消化率の評価は Goni ら¹⁵⁾ の酵素消化に基づく消化モデルによる方法を一部改変し、*in vitro* での EGI を算出した。まず、(1) 式で得られた酵素分解曲線を $0 \leq x \leq 90$ の範囲で積分して、酵素分解曲線下面積 (AUC) を求めた。さらに、以下に示す (2) 式によって白パン (標準食品) に対する比消化率 H_i を求めた。

$$H_i = 100 \times (\text{Sample AUC}) / (\text{White bread AUC}) \quad (2)$$

最後に、Goni らの推奨する (3) 式によって EGI を算出した。

$$EGI = 39.71 + 0.549 H_i \quad (3)$$

Goni らの報告によれば、ボランティア 30 人を対象とした介入試験の結果と EGI は、危険率 5% で相関係数が 0.9 以上となっている。

2. 結果

2-1. 添加脂肪酸の種類と添加率が消化性に及ぼす影響

試料の酵素分解による消化性は、試料に酵素を加えた後、継時的にサンプリングした試料中のグルコース量を測定することによって評価した。馬鈴薯澱粉の水分含量、添加する脂肪酸の種類や添加率が消化性に及ぼす影響を図 3, 4 に示す。

添加する脂肪酸種の違いについて見ると、水分 11% に調製した試料では、パルミチン酸よりもリノール酸を添加した試料で消化性が低下していた。しかしながら、水分 20% に調製した試料では、どちらの脂肪酸を添加した試料でも、消化性の違いはあまり見られなかった。

また、脂肪酸の添加率の違いについて見ると、水分 11% に調製した試料では、両者の脂肪酸の場合でも添加率が増加すると、消化性が低下する傾向が見受けられた。一方で、水分 20% に調製した試料では、パルミチン酸添加試料の消化性にわずかな差が見られたが、添加率の増加との関係性は明瞭ではなかった。同様に、リノール酸添加試料の消化性についても、添加率と消化性の関係性は明瞭ではなかった。

水分含量の違いについて見ると、パルミチン

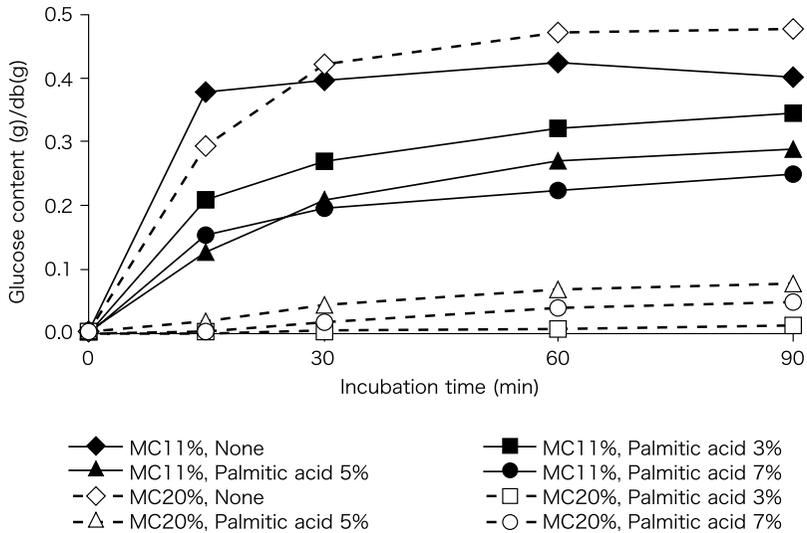


図3 馬鈴薯澱粉の水分含量，パルミチン酸の添加率が消化性に及ぼす影響

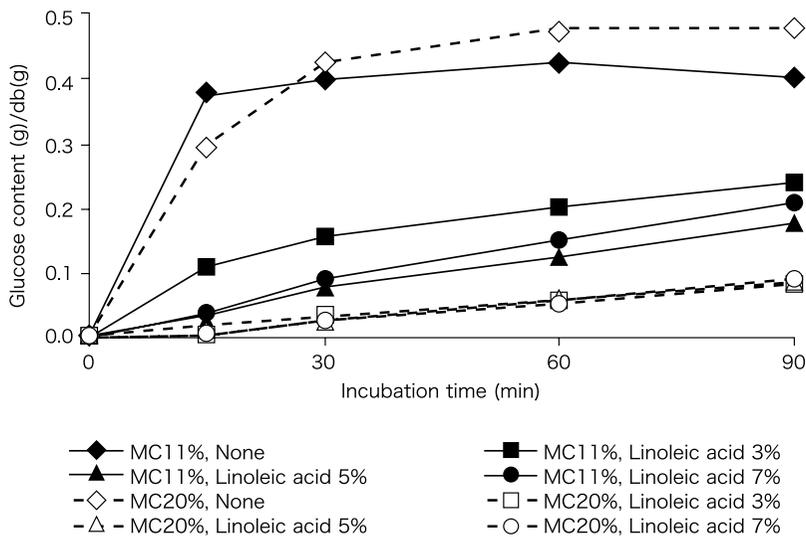


図4 馬鈴薯澱粉の水分含量，リノール酸の添加率が消化性に及ぼす影響

酸およびリノール酸を添加した試料では，水分11%よりも水分20%で，消化性が著しく低下していた。しかしながら，無添加試料では，脂肪酸添加試料のような著しい消化性の低下は見られなかった。

最も消化性が低下したのは，馬鈴薯澱粉の水分を20%に調製し，脂肪酸を少なくとも3%添加した試料であった。

2-2. EGIの変化

澱粉消化率の評価は，図3,4より得られた酵素分解曲線を基に，Goniらの方法を一部改変してEGIを求めた。その結果を図5の(a)および(b)に示した。水分11%に調製した馬鈴薯澱粉(a)では，脂肪酸添加率を上げると，わずかではあるがEGIが減少する傾向が見られた。また，脂肪酸添加試料と無添加試料の間には有意差が見られ，特にリノール酸添加試料

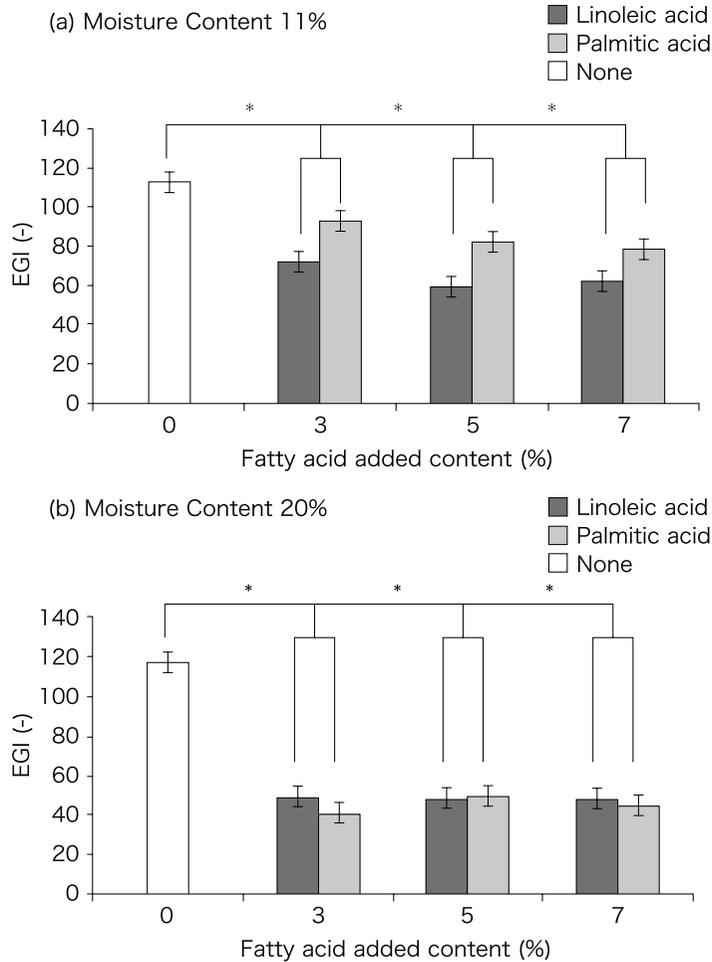


図5 馬鈴薯澱粉の水分含量、添加する脂肪酸の種類や添加率が、EGI に及ぼす影響
* $P < 0.05$ 無添加試料と比較して

では無添加試料と比較して EGI が少なくとも 40% 減少する結果が得られた。

一方、水分 20% に調整した馬鈴薯澱粉 (b) では、脂肪酸添加率が増加しても EGI には影響を与えていなかった。しかしながら、脂肪酸を少なくとも 3% 添加すると、EGI が著しく減少しており、無添加試料と比較して約 60% 減少する結果が得られた。

さらに、(a) と (b) を比較すると、無添加試料での EGI はほとんど変化しないことから、水分と脂肪酸を一緒に添加することによって、EGI が著しく変化することが示唆された。

3. 考察

本実験では、脂質をほとんど含まない馬鈴薯澱粉に、脂肪酸 (パルミチン酸、リノール酸) を添加して加熱する処理を施すと、澱粉の消化性にどのような影響を及ぼすか調べた。

これらの脂肪酸を添加することにより、無添加試料と比較して、初期酵素分解速度 (15 分) が顕著に低下することが示された (図 3, 4)。また、その結果を基に EGI を算出すると、水分 11% では、パルミチン酸よりもリノール酸による効果が大きく、水分 20% では、脂肪酸の種類による違いは見られなかった (図 5)。田村ら¹⁶⁾によると、澱粉中に存在する脂肪酸

は、糊化に関して、澱粉粒の膨潤に必要な水の侵入を直接阻害するためであろうと説明されている。その後、Leachら¹⁷⁾は内部油分の有無が澱粉の膨潤能および溶解度を大幅に左右することを報告し、後藤¹⁸⁾は、脂肪酸が澱粉粒の膨潤を阻害することを述べている。これらのことから、添加した脂肪酸が澱粉と複合体を形成することによって、 α -アミラーゼの作用を抑制し、消化性が低下したものと考える。

澱粉が複合体を形成するメカニズムとしては、パルミチン酸のような直鎖構造を持つ飽和脂肪酸がアミロースのラセン構造の内部に侵入することによって、脂肪酸とアミロース間で複合体が形成される。その結果、疎水領域が形成されるものと考えられる。Schoch^{19, 20)}、および Mikus²¹⁾らは、脂肪酸は澱粉粒中において、アミロースのラセンの中に包摂されていると報告しており、本研究の結果を裏付けている。一方で、リノール酸のような不飽和脂肪酸は二重結合を有するため、分子構造が屈曲し、それが立体障害になり、アミロースのラセン構造に脂肪酸が包摂されにくい。しかしながら、水分11%ではパルミチン酸よりもリノール酸を添加すると EGI が低下していた。阿久澤ら^{22, 23)}は、リノール酸はアミロースの中で複合体は形成しないが、アミロース鎖と共存して、澱粉に包摂されていることを述べている。この他の要因として、馬鈴薯澱粉は他の澱粉に比べて分子表面にリン酸基が多く存在し、リノール酸のような不飽和脂肪酸とリン酸エステル結合する可能性が考えられる。その結果、疎水領域が形成されるのではないかと考えられる。すなわち、馬鈴薯澱粉のラセン内部と外部で、複合体を形成することによって α -アミラーゼの澱粉鎖への接近

が阻止されるためであると推察する。実際に、高岡ら²⁴⁾によると、複合体は、液化酵素に対する抵抗性を持っており、これが難溶性澱粉の主構成成分となり、濾過性も悪くしていると報告している。

水分11%に調製した馬鈴薯澱粉よりも、水分20%で消化性が低下したのは、糊化の進行が抑制される程度の水と共に加熱をすると、澱粉の膨潤性が著しく変化を受け、糊化時の粘度増加速度が遅延し、かつ、最高粘度が低下するためであると考えられる。加えて、水分20%の場合は、添加する脂肪酸の量を増やしても EGI には影響を与えていなかった。これは、Karkalasら²⁵⁾が、アミロースは脂肪酸を重量の6から8%包摂し、過剰の脂肪酸が存在してもアミロース溶液の粘度や複合体の沈殿量は変わらないと報告しているように、複合体の形成が飽和状態になったものと思われる。

高岡らによると、カプリル酸やカプリン酸のような比較的炭素数の少ない脂肪酸の方がアミロースと複合体を形成しやすいことを報告している。しかしながら、いったんアミロースに取り込まれても、エチルエーテルで抽出されやすいことが報告されている。

本研究では、植物澱粉中と植物油脂中に多く含まれているパルミチン酸とリノール酸を用いた。その結果、馬鈴薯澱粉に脂肪酸を添加して加熱するという簡便な食品加工的処理によって、難消化性澱粉を創製することができた。今後は、高価な脂肪酸ではなく食品加工に通常用いられる大豆油やパーム油などの植物油脂を用いて澱粉に難消化性を付与することを目指していきたいと考えている。

文 献

1. 厚生労働省：「平成 24 年 国民健康・栄養調査結果の概要」。2012.
2. 春日雅人：『糖尿病学イラストレイテッド - 発症機序・病態と治療薬の作用機序』羊土社，2012.
3. David J.A. Jenkins, T.M.S. Wolever, R.H. Taylor, H. Barker, H. Fielden, J.M. Baldwin, A.C. Bowling, H.C. Newman, A.L. Jenkins and D.V. Goff: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.* **34**: 362-366. 1981.
4. David J.A. Jenkins, M.J. Thorne, K. Camelon, A. Jenkins, A.V. Rao, R.H. Taylor, L.U. Thompson, J. Kalmusky, R. Reichert and F. Francis: Effect of processing on digestibility and the blood glucose response. *Am. J. Clin. Nutr.* **36**: 1093-1101. 1982.
5. David J.A. Jenkins, T.M.S. Wolever, A.L. Jenkins, R.G. Josse and G.S. Wong: The glycemic response to carbohydrate foods. *The Lancet* **18**: 388-391. 1984.
6. H. Englyst, H.S. Wiggins and J.H. Cummings: Determination of the Non-starch Polysaccharides in Plant Foods by Gas-Liquid Chromatography of Constituent Sugars as Alditol Acetates. *Analyst* **107**: 307-318. 1982.
7. A.M. Stephen, A.C. Haddad and S.F. Phillips: Passage of Carbohydrate into the Colon. *Gastroenterology* **85**: 589-595. 1983.
8. I. Björck, M. Nyman, B. Pedersen, M. Siljeström, N.-G. Asp and B.O. Eggum: On the digestibility of starch in wheat bread — studies in vitro and in vivo. *J. Cereal Sci.* **4**: 1-11. 1986.
9. S. Kiriwara, S. Ikegami, K. Ebihara, S. Innami, Y. Katayama and F. Takehisa: Definition, classification and comprehensive technical terms of dietary fiber in Japan. *J. Jpn. Assoc. Dietary Fiber Res.* **7**: 39-49. 2003.
10. T. Hayakawa and H. Tsuge: Starch Intake and Health-physiological effects of resistant starch. *J. Jpn. Assoc. Dietary Fiber Res.* **3**: 55-64. 1999.
11. K. Okumura, T. Nakagawa and T. Hayakawa: Effects of resistant starch ingestion on lipid metabolism in rats. *J. Jpn. Assoc. Dietary Fiber Res.* **13**: 11-19. 2009.
12. Y. Granfeldt, A. Drews and I. Björck: Arepas made from high amylose corn flour produce favorably low glucose and insulin responses in healthy humans. *J. Nutr.* **125**: 459-465. 1995.
13. K.M. Behall, D.J. Scholfield, I. Yuhaniak and J. Canary: Diets containing high amylose vs amylopectin starch: effects on metabolic variables in human subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* **49**: 337-344. 1989.
14. S.E. Byrnes, J.C. Miller and G.S. Denyer: Amylopectin starch promotes the development of insulin resistance in rats. *J. Nutr.* **125**: 1430-1437. 1995.
15. I. Goni, A. Garcia-Alonso and F. Saura-Calixto: A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr. Res.* **17**: 427-437. 1997.
16. 田村太郎, 半野敬夫, 鈴木繁男: 澱粉のフォトペーストグラフィ (第 2 報) 澱粉の脱脂の影響について. 澱粉工業学会誌, **5**: 24-28. 1957.
17. H. W. Leach, L. D. McCowen and T. J. Schoch: Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starch. *Cereal Chem.* **36**: 534-544. 1959.
18. F. Goto: Determination of Gelatinization Property of Highly Concentrated Starch Suspension by Brabender Plastograph Part 3. Effects of Fatty Acid upon Plastograms. *Denpun Kagaku* **19**: 76-89. 1972.
19. T. J. Schoch: Non-carbohydrate Substances in the Cereal Starches. *J. Am. Chem. Soc.* **64**: 2954-2956. 1942.
20. T. J. Schoch and C. B. Williams: Adsorption of Fatty Acid by The Linear Component of Corn Starch. *J. Am. Chem. Soc.* **66**: 1232-1233. 1944.
21. F. F. Mikus, R. M. Hixon and R. E. Rundle: The Complexes of Fatty Acids with Amylose. *J. Am. Chem. Soc.* **68**: 1115-1123. 1946.
22. S. Akuzawa, S. Sawayama and A. Kawabata: Selectivity and Thermal Properties of Various Starches Incorporating Free Fatty Acids. *Biosci. Biotech. Biochem.* **59**: 1605-1608. 1995.
23. S. Akuzawa, S. Sawayama and A. Kawabata: Thermal Properties of Corn Amylose Incorporating or with Added Free Fatty Acid. *Biosci. Biotech. Biochem.* **61**: 487-490. 1997.
24. K. Takaoka and Z. Nikuni: The Reversion of Starch-Iodine Color Reaction caused by an Enzyme. Part 7. Saturated Fatty Acids as the Amylose-Precipitant. *Nippon Nogekagaku Kaishi* **26**: 186-190. 1952.
25. J. Karkalas and S. Raphaelides: Quantitative aspects of amylose-lipid interactions. *Carbohydr. Res.* **157**: 215-234. 1986.

コメ糠タンパク質酵素加水分解物中のカチオン性ペプチドは多彩な生理（抗菌・LPS 中和・血管新生促進）活性を発揮する

谷口 正之 (TANIGUCHI Masayuki)^{1,2} 落合 秋人 (OCHIAI Akihito)^{1,2}
山中 崇 (YAMANAKA Takashi)³ 築野 卓夫 (TSUNO Takuo)³

¹ 新潟大学自然科学系付置フードサイエンスセンター, ² 新潟大学自然科学系 (工学部), ³ 築野食品工業株式会社

Key Words : コメ糠タンパク質 カチオン性ペプチド 抗菌活性 LPS 中和活性 血管新生促進活性

はじめに

近年,多くの生物が生産する抗菌ペプチドは,感染防御ばかりでなく,炎症制御,創傷治癒,免疫応答の促進などの生体を防御するための作用を兼ね備えていることが報告されており,特定保健用食品,一般食品をはじめとして,化粧品,口腔ケア製品,医薬品,医薬部外品の新しい素材として注目を集めている¹⁻³⁾。また,ヒトも生体を防御するために,多くのペプチドを生産している。例えば,唾液中の histatin は,抗炎症作用や抗菌作用を発揮する⁴⁾。また,好中球などの細胞が産生する LL-37 や β -defensin などのペプチドも,抗菌作用ばかりでなく,多くの生体防御機能(免疫調節,抗炎症,創傷治癒,細胞増殖促進など)を有しており,それらの多機能性に着目した医薬品開発が進められている^{5,6)}。特に,LL-37 は α -ヘリックスを有するカチオン性ペプチドであり,これまでに最もよく研究され,多くの生理活性とその作用機構が解明されている⁵⁾。

筆者らは,正味の正電荷を有する,両親媒性である,2次構造を有する,などの抗菌ペプチドに共通する特徴に基づいて,食品タンパク質のアミノ酸配列から抗菌活性をはじめとする多機能性を発揮する可能性があるカチオン性ペプチドを探索した。その結果,これまでにコメとダイズのタンパク質から9種類のペ

プチドを見出している。すなわち,コメの酵素 cyanate lyase の部分配列であるペプチド CL-12⁷⁾ およびコメの heat shock protein 70 の部分配列であるペプチド Hsp70-13, Hsp70-14, および Hsp70-18⁸⁾ を見出し,それらの抗菌活性,プロテアーゼ阻害活性,抗炎症活性などの生理活性について既に報告している。また,X線構造解析によって立体構造を明らかにしたコメの α -amylase (AmyI-1) のアミノ酸配列から新規ペプチドとして AmyI-1-17 と AmyI-1-18 を見出し,それらがヒト病原微生物に対する抗菌活性,LPS 中和活性などを示すことを報告している^{9,10)}。さらに,最近,ダイズの主要なタンパク質である glycinin と β -conglycinin から3種類のカチオン性ペプチドを見出し,それらが抗菌活性,LPS 中和活性,血管新生促進活性を兼ね備えていることを報告している¹¹⁾。しかし,これらの報告は,タンパク質中のアミノ酸配列に基づいて,化学合成したカチオン性ペプチドを用いた結果である。これらの化学合成ペプチドを産業的に応用する場合には,製造コストや安全性などが問題となるため,天然物由来のカチオン性ペプチドが求められている。

コメ糠中には,フィチン酸,イノシトール,トコトリエノール, γ -オリザノール,フェルラ酸などの生理活性成分が含まれており,コメ糠はこれらの機能性成分を製造する原料として

有効利用されている。しかし、コメ糠中のタンパク質成分は有効に利用されていない。一方、コムギ、ダイズ、トウモロコシなどの穀類タンパク質の加水分解物、およびそれらに含まれるペプチドには多彩な生理活性があることが報告されている¹²⁻¹⁵⁾。そこで、筆者らは生理活性ペプチドを生産するための原料として、コメ糠タンパク質に着目した。既にコメ糠タンパク質の酵素加水分解物から美白効果があるチロシナーゼ阻害ペプチドを既に見出している¹⁶⁾。本稿では、コメ糠タンパク質の酵素加水分解物から多彩な生理活性を兼ね備えたカチオン性ペプチドを調製することを目的として、(1)コメ糠タンパク質の酵素加水分解物の調製、(2)等電点電気泳動によるカチオン性ペプチド素材の調製、(3)逆相クロマトグラフィーと質量分析計を用いた素材中のカチオン性ペプチドの同定、および(4)同定した3種類のカチオン性ペプチドの複数の生理活性(抗菌活性、LPS中和活性、および血管新生促進活性)を検討した結果¹⁷⁾について解説する。

1. 実験材料と実験方法

1-1. コメ糠タンパク質からのカチオン性ペプチド画分の調製¹⁷⁾

最初にコメ糠タンパク質 RBP55 (タンパク質含有量 55%, 築野食品工業(株))に超純水を加え、POLYTRON Homogenizer (KINEMATICA)を用いて溶液の均質化を行い、透析によって、低分子不純物を除去した。その後、ブタ胃粘膜由来ペプシン (Sigma-Aldrich Co.)を用いて5時間、37℃にて加水分解した。さらに、加水分解物を遠心分離し、得られた上澄液を再び透析することによって生成した低分子成分を除き、出発材料を調製した。次に、出発材料をBio-Rad社の等電点電気泳動 (Rotofor Cell System)を用いて、等電点 (isoelectric point, pI)の異なる20の画分に分離した。

1-2. 各ペプチド画分の抗菌活性の測定^{7-9,11,17)}

等電点電気泳動によって分離した20の画

分について、生体防御機能の指標としてヒト病原微生物に対する抗菌活性を測定した。すなわち、各画分のグラム陰性細菌である歯周病菌 (*Porphyromonas gingivalis*) とアクネ菌 (*Propionibacterium acnes*)、グラム陽性細菌であるう蝕菌 (*Streptococcus mutans*)、および日和見感染真菌 (*Candida albicans*) に対する抗菌活性を測定した。生菌数は、BacTiter-Glo™ reagent (Promega Japan KK)を用いて、生菌に由来するATPの発光強度を測定することによって評価した。各画分の抗菌活性の有無は、ペプチドを含まないコントロールの発光強度と比較して、判定した。

1-3. 活性画分からのカチオン性ペプチドの精製と同定^{16,17)}

次に、抗菌活性が検出された画分から逆相クロマトグラフィーによってペプチドを精製した。必要に応じて粗精製画分をもう一度、逆相クロマトグラフィーによって精製し、単一ピークを得た。各ピーク画分中のペプチドをMALDI-TOF/MS (Bruker)によって解析し、ペプチドの分子量を求め、MS/MS解析とデータベース検索によって、ペプチドを含むタンパク質とペプチドのアミノ酸配列をそれぞれ決定した。

1-4. 同定したカチオン性ペプチドの抗菌活性の解析^{7-9,11,17)}

同定したペプチドの中から正味の正電荷が高く、pIが高いカチオン性ペプチドを選択した。それらのペプチドを医学生物学研究所(株)に委託して化学合成し、1-2に記載した方法に従って、4種類のヒト病原微生物に対して抗菌活性を測定した。各ペプチドの抗菌活性は、ATP発光強度の結果から50%増殖阻害濃度 (IC₅₀)を算出し、比較した。

1-5. リムルステストを用いた同定したカチオン性ペプチドのLPS中和活性の解析^{10,11,17)}

リポ多糖 (Lipopolysaccharide, LPS) を特異的に検出するカプトガニの血球抽出物から調

製した *Limulus* amoebocyte lysate (LAL) 試薬を用いるリムルステスト (Endospey ES-50, 生化学工業(株)) は, LPS を検出・定量することができる。本研究では, エンドトキシンとして *Escherichia coli* O55:B5 由来の O 抗原を含む smooth 型 LPS (List Biological Laboratories) を使用した。リムルステストにおいては, LAL 試薬に含まれる Factor C (セリンプロテアーゼ前駆体) と LPS の反応を起点としたカスケード反応により, 最終的に LPS の濃度に応じて遊離した *p*-nitroaniline の 405 nm における吸光度を測定した。本研究では, 予め各カチオン性ペプチドと LPS をインキュベーションした後に反応系に添加し, コントロールと比べたときの吸光度の減少を測定し, LPS 中和活性を評価した。LPS に強く結合・中和することが知られている抗生物質である polymyxin B を, ポジティブコントロールとして用いた。中和活性の強さは, リムルステストの反応を 50% 阻害する濃度, すなわち 50% 有効濃度 (EC₅₀) として表した。

1-6. 同定したカチオン性ペプチドの血管新生促進活性の解析^{11,17)}

ヒト臍帯静脈内皮細胞である (Human umbilical vein endothelial cells, HUVECs: 倉敷紡績(株)) を用いて, 次のようにして, 各ペプチドの血管新生 (管腔形成) 促進活性を測定した。96 ウェルプレートにコラーゲン様マトリゲル (Becton Dickinson and Company) を用いて人工基底膜を作製し, 30 分間, 37℃ にてインキュベーションした。次に, HUVEC と各ペプチドまたはポジティブコントロールとして創傷治癒作用を有するヒトのペプチドである LL-37 を含む培地 HuMedia-EG2 (倉敷紡績(株)) を, 各ウェルに添加した。CO₂ インキュベーター中で 15 時間, 37℃ にて 5% CO₂ 雰囲気下で培養した後, 顕微鏡を用いて管腔構造

を形成した, すなわち血管様に増殖した細胞を観察し, 5 ウェルについて写真を撮った。その後, それぞれの画像中の血管様の細胞の長さを, NIS-Elements BR Analysis software (株ニコン) を用いて測定し, 平均値を算出した。ペプチドを添加しないときの細胞の長さの平均値を 100% として, 各ペプチドの血管新生促進活性を評価した。

1-7. 同定したカチオン性ペプチドの溶血活性の解析^{7-9, 11, 17)}

各ペプチドの細胞毒性を評価するために, ヒツジ赤血球に対する溶血活性を, 次のようにして, 測定した。各濃度に調節したペプチドと赤血球を混合し, 1 時間, 37℃ にて攪拌せずにインキュベーションした。その後, 赤血球を遠心分離によって除去し, 上澄液の 405 nm における吸光度を測定し, 放出したヘモグロビンの割合を算出した。界面活性剤である 0.1% Triton-X-100 によって放出されるヘモグロビンの割合を 100% として, 各ペプチドの溶血活性を評価した。

2. 実験結果

2-1. コメ糖タンパク質酵素加水分解物の調製と等電点電気泳動によるペプチドの分画¹⁷⁾

最適な酵素加水分解条件を検討するために,

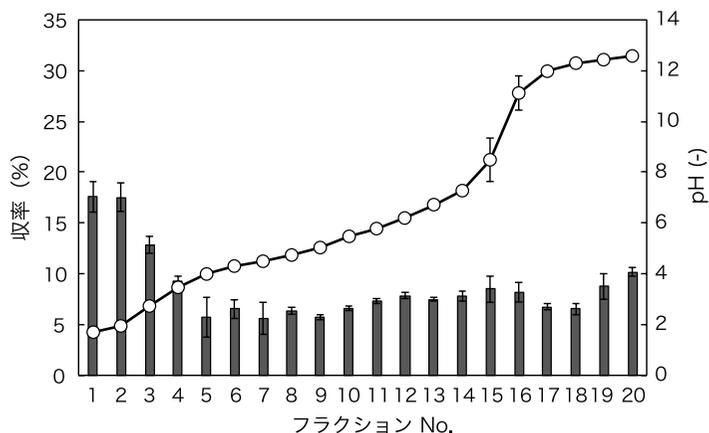


図1 等電点電気泳動によるコメ糖タンパク質酵素加水分解物の分画
バー: 各画分の収率, ○: 各画分の pH (文献 17 より改変)

コメ糖タンパク質 (RBP55) をババイン, トリプシン, ペプシン, またはトリプシンとキモトリプシンの混合物を用いて, 時間を変えて加水分解した。得られた加水分解物を等電点電気泳動によって分離し, 各画分の抗菌活性について検討した結果, ペプシンを用いて5時間加水分解したときに, 高い抗菌活性を有する画分を得ることができた。コメ糖タンパク質をペプシンによって5時間加水分解したサンプルを, 等電点電気泳動によって分画した結果を図1に示す。pHが低い画分を除いて, 各画分の収量は, それぞれ3-5%程度であり, pIの違いによって, ペプチドを20の画分に分離することができた。また, 画分16から20のpHは, 10以上であり, これらの画分にカチオン性ペプチドが含まれていると考えられた。

2-2. 等電点電気泳動によって分離した各画分の抗菌活性¹⁷⁾

ヒト病原微生物として, 歯周病菌 (*P. gingivalis*)

とアクネ菌 (*P. acnes*), う蝕菌 (*S. mutans*), および日和見感染真菌 (*C. albicans*) を用いた。各画分の濃度を3 mg/mLとして抗菌活性を測定した結果を図2に示す。縦軸は, 生菌数を表すATPの発光強度から求めた生存率を示す。ペプチドを添加しないコントロール(図中のC)の発光強度を100%とした。いずれの病原微生物に対しても, pIが高いカチオン性の画分から高い抗菌活性が検出された。特に, 画分20のサンプルは, 4種類の病原微生物に対して, いずれも高い抗菌活性を示すことがわかった。そこで, 画分18, 19, および20からカチオン性ペプチドを精製し, 同定することにした。

2-3. カチオン性ペプチドの精製と同定¹⁷⁾

画分18, 19, および20から逆相クロマトグラフィーによって, それぞれペプチドを精製した。さらに, MALDI-TOF/MSによってペプチドの分子量を求め, MS/MS解析とデータベース検索によって, ペプチドを含むタンパ

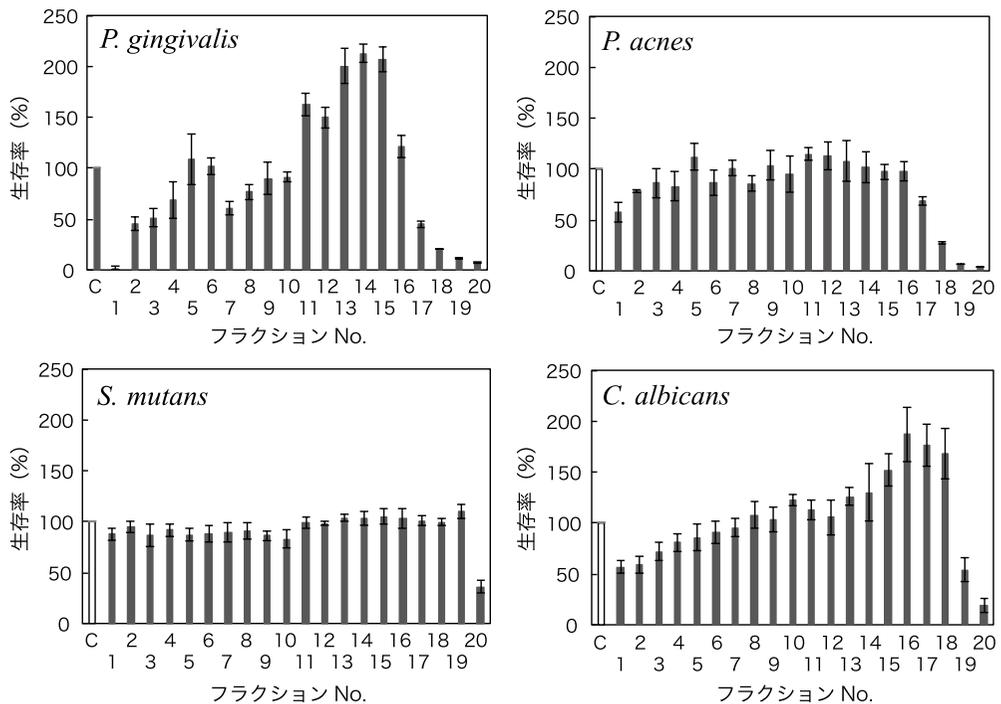


図2 等電点電気泳動によって分離した各分画の病原微生物に対する抗菌活性
C: ペプチドを添加していないときの生存率 (100%) (文献17より改変)

表1 コメ糠タンパク質酵素加水分解物から同定したカチオン性ペプチドのアミノ酸配列とそれらの特性

フラクション No.	分子量 (測定値) (Da)	分子量 (計算値) (Da)	ペプチドの略称	アミノ酸配列	イオンスコア (信頼性)	タンパク質	位置	等電点	正味の電荷
18	1597.0156	1595.7818	LRR	LRRHASEGGHGPHW	81 (95%)	63kDa globulin-like protein ^a	286-299	9.62	1
	1110.4941	1109.5982	—	FSKGVQRAAF ^c	56 (90%)	globulin-like protein, partial ^b	135-144	11	2
	1667.8685	1667.0094	EKL	EKLLGKQDKGVIIRA	86 (95%)	globulin-like protein, partial ^b	152-166	9.7	2
	1284.7872	1283.6622	SSF	SSFSGKVQRAAF ^c	60 (95%)	globulin-like protein, partial ^b	133-144	11	2
19	1284.5777	1283.6622	SSF	SSFSGKVQRAAF ^c	65 (95%)	globulin-like protein, partial ^b	133-144	11	2

^a UniprotKB accession number: Q75GX9.

^b UniprotKB accession number: Q9ZRG9.

^c アンダーラインは、同一のアミノ酸配列を示す。

(文献17より改変)

ク質とペプチドのアミノ酸配列を決定した。同定できたペプチドの中で、同定の信頼性が高く、pIが高く、かつ正味の電荷が正のペプチドを表1に示す。画分18からは4種類、画分19からは1種類のペプチドがそれぞれ同定できたが、画分20からは、信頼性の高いペプチドを同定することができなかった。例えば、SSFSGKVQRAAFは、コメの globulin-like protein の133番目から144番目の12残基のアミノ酸配列であり、このペプチドのpIは11、正味の電荷は+2であった。また、ペプチドSSFSGKVQRAAFは画分18と19からそれぞれ同定され、ペプチドFSKGVQRAAFはSSFSGKVQRAAFの部分配列であることがわかった。そこで、3種類のペプチド(LRRHASEGGHGPHW, EKLLGKQDKGVIIRA, およびSSFSGKVQRAAF)を化学合成し、それらの生理活性を測定することにした。

2-4. 同定したペプチドの抗菌活性¹⁷⁾

同定した3種類のペプチドを化学合成し、それらの4種類のヒト病原微生物に対する抗菌活性を測定した結果、ペプチドLRRHASEGGHGPHW(略称LRR)は*C. albicans*に対して、ペプチドEKLLGKQDKGVIIRA(略称EKL)とペプチドSSFSGKVQRAAF(略称SSF)は、それぞれ*P. gingivalis*に対して抗菌活性を示した。各ペプチドの抗菌活性の濃度依存性を図3に示す。これらのデータに基づいて、各ペプチドのIC₅₀を算出した結果、ペプチドLRRの*C. albicans*に対するIC₅₀の値は289 μM、ペプチドEKLとSSFの*P. gingivalis*に対するIC₅₀の値はそれぞれ75.6 μMと78.5 μMになった。

2-5. 同定したペプチドのLPS中和活性¹⁷⁾

次に、ペプチドの抗炎症活性の1つとして、LPS中和活性を測定した。同定した3種類のペプチドは、図4に示すように、LPSによって引き起こされるリムルステストの反応を濃度依存的に阻害した。したがって、これらのリムルステストの結果から、同定した3種類のペプチド

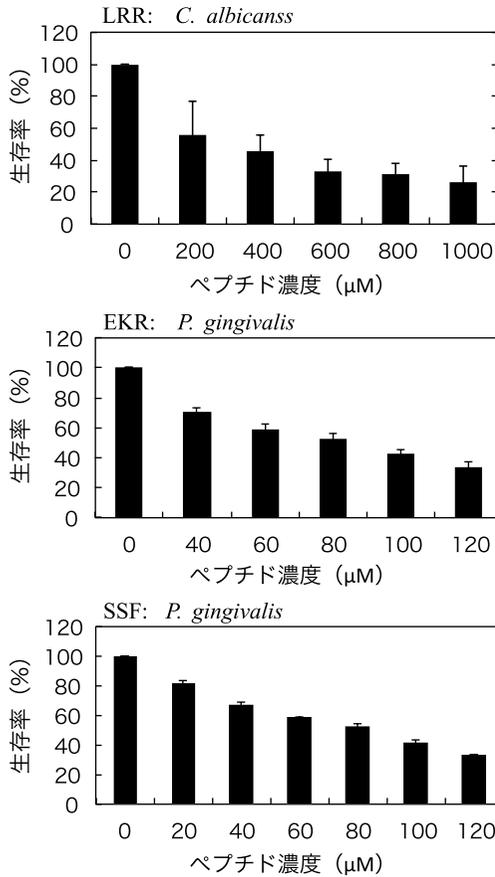


図3 同定した3種類のカチオン性ペプチドの抗菌活性(文献17より改変)

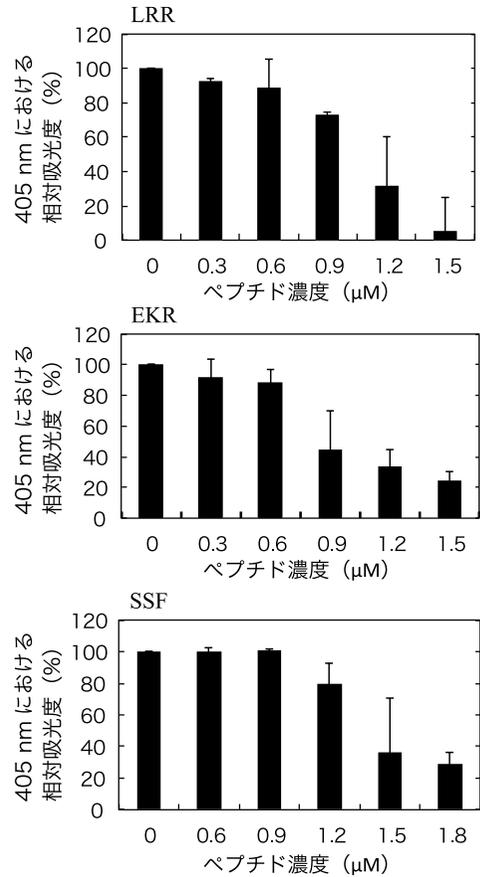


図4 同定した3種類のカチオン性ペプチドのLPS中和活性(文献17より改変)

は、LPSに結合し、中和活性を發揮することがわかった。

Polymyxin BはLPSに強く結合することが知られている抗生物質であり、治療薬として市販されている。以前に、リムルステストを用いて polymyxin BのLPS中和活性を測定した結果、そのEC₅₀は0.11 μMであった¹⁰⁾。図4のデータに基づいて計算した結果、ペプチドLRR、EKL、およびSSFのEC₅₀の値は、それぞれ1.07 μM、0.86 μM、および1.41 μMとなった。これらのEC₅₀の値は、polymyxin Bの値と比較して、10倍程度であることから、同定した3種類のペプチドは、比較的強くLPSを中和できることがわかった。

2-6. 同定したペプチドの血管新生促進活性¹⁷⁾

さらに、ペプチドの創傷治癒活性の1つとして、HUVECを用いて血管新生促進活性を測定した。血管新生促進活性を有するヒトの生体防御ペプチドとして知られているLL-37をポジティブコントロールとして、同定した3種類のペプチドの血管新生促進活性を測定した結果を、図5に示す。同定した3種類のペプチドは、LL-37と同じように、血管新生促進活性を發揮した。すなわち、細胞懸濁液に1 μMまたは10 μMの各ペプチドを添加した後、15時間培養し、マトリゲル内で管腔(血管様)構造を有するHUVECを、顕微鏡を用いて40倍の倍率で観察し、その細胞の長さを計測した。その結果、写真からもわかるように、ペプチドSSF

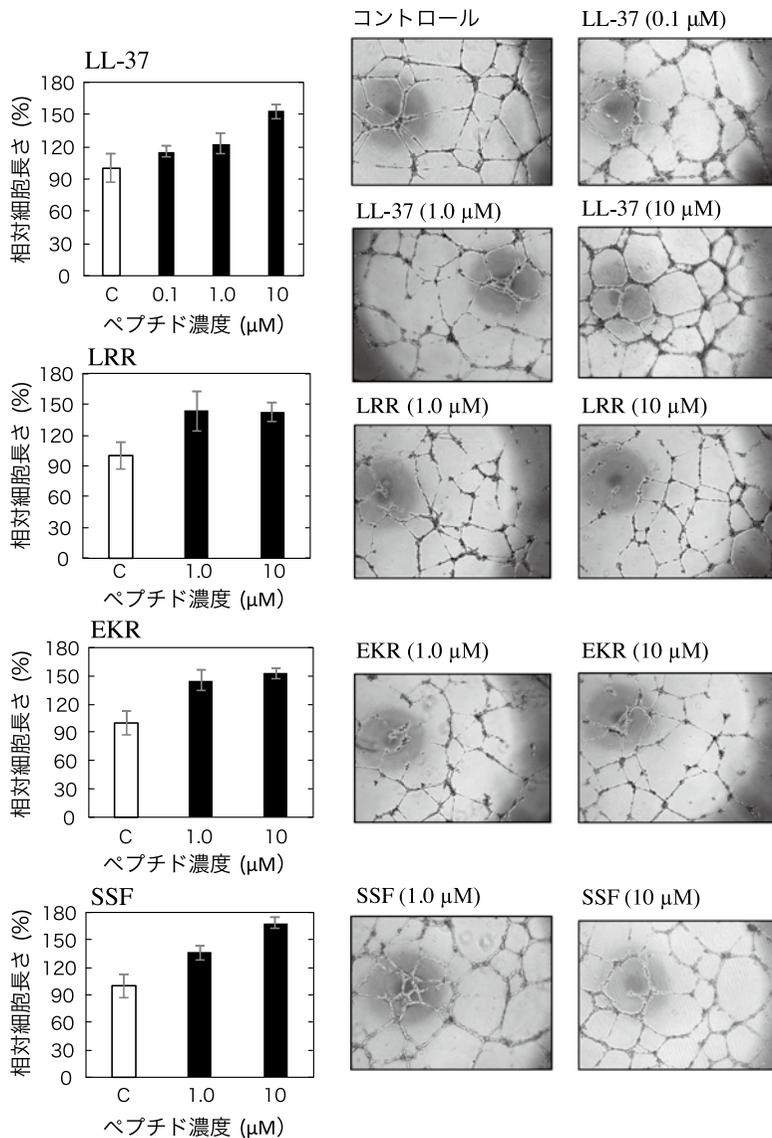


図5 同定した3種類のカチオン性ペプチドとLL-37の血管新生促進活性(文献17より改変)

は、LL-37と同じ濃度(1 μMと10 μM)において血管新生促進活性を示し、その作用は添加した濃度に依存していた。一方、ペプチドLRRとEKLは、1 μMと10 μMにおいて、ほぼ同じ血管新生促進活性を示した。以上の結果から、同定した3種類のペプチドは、LL-37と同じように、HUVECの血管新生を促進する活性を有することから、創傷治癒活性を示すことがわかった。

2-7. 同定したペプチドの溶血活性¹⁷⁾

同定した3種類のペプチドについて、細胞毒性を評価するために、哺乳類の赤血球に対する溶血活性を検討した。ヒツジの赤血球に対する溶血活性の結果を図6に示す。抗菌活性、LPS中和活性、血管新生促進活性を発揮する300 μM以下の濃度範囲では、ほとんど溶血活性を検出できなかった。すなわち、ペプチドLRR、EKLおよびSSFの溶血活性は、コントロールであるTriton X-100(100%)に比べて、500 μM

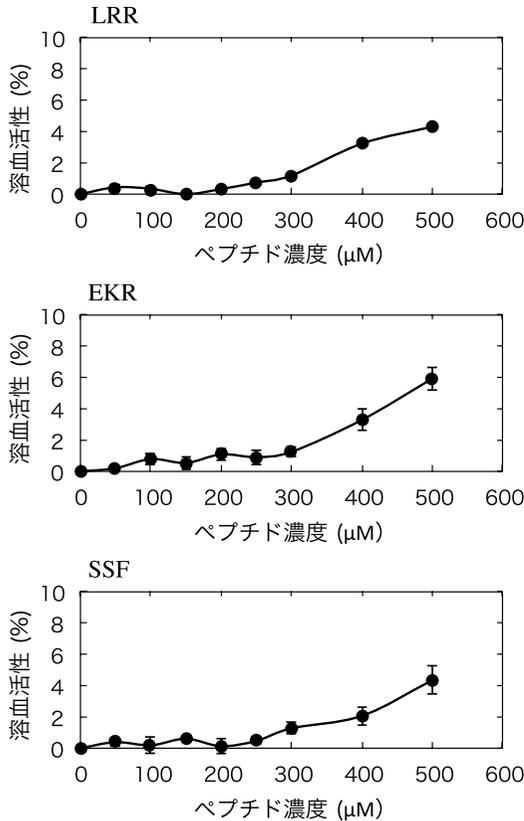


図6 同定した3種類のカチオン性ペプチドの溶血活性(文献17より改変)

においてもそれぞれ4.3%, 5.9%, および4.3%であり,細胞毒性が著しく低いことがわかった。

3. 考察

3-1. カチオン性ペプチドの多機能性と細胞毒性

いろいろなタイプの生理活性ペプチドの中で,カチオン性ペプチドは多機能性を有することから,特に注目を集めている。これまでにヒト由来のLL-37やdefensins, 昆虫由来のcecropinsやmelittin, 両生類由来のmagaininやbuforin 2, ニワトリ由来のfowlicidinsなどのカチオン性ペプチドが同定されており,これらについては多くの研究報告がある^{5,6,18,19)}。しかし,LL-37やmelittinなどは高い免疫調節活性や抗菌活性を發揮するが,一方,濃度に依存して高い細胞毒性を示すことが知られている^{5,9)}。

多機能性を有するペプチドを食品の機能性成分やサプリメントとして利用するには,高い生理活性を有するばかりでなく,細胞毒性がないことが重要である。

3-2. 食品タンパク質酵素加水分解物から得られた生理活性ペプチド

ミルク,卵,魚などの動物性タンパク質ばかりでなく,ダイズ,コムギ,コメ,ノリなどの植物性タンパク質の酵素加水分解物から生理活性があるペプチド画分やペプチドが得られている。特に,angiotensin I-converting enzyme (ACE) 阻害, dipeptidyl peptidase IV (DPP-IV) 阻害, 抗酸化, コレステロール低減などの生理活性があるペプチドに関して,多くの研究報告がある¹²⁻¹⁵⁾。しかし,植物性タンパク質由来の多機能性ペプチドに関する報告は,抗酸化,抗炎症,癌細胞増殖阻害,コレステロール低下などの作用を兼ね備えたダイズタンパク質(アルブミン)由来のlunasin²⁰⁾, ACE阻害と抗酸化の作用を兼ね備えたアサ種子由来の5種類のペプチド(WYT, WVYY, SVYT, PSLPA, およびIPAGV)²¹⁾などに限られており,また,これらのペプチドはカチオン性ではない。さらに,コメ糠タンパク質由来の生理活性ペプチドとして,抗酸化活性を有するペプチド(VAGAEDAAK, AAVVQGQVEK, GGHELK, CQHHDQWKなど)²²⁾, 癌細胞増殖阻害活性を有するペプチド(EQRPR)²³⁾, DPP-IV阻害活性を有するジペプチド(LP, IP)²⁴⁾などが報告されているが,いずれも単独の生理活性を示すペプチドであり,多機能性ペプチドに関する研究報告はない。

3-3. コメ糠タンパク質酵素加水分解物から得られたカチオン性ペプチドの多機能性

本研究では,粗精製のコメ糠タンパク質から生理活性がある低分子成分を除去し,さらにペプシンで加水分解した後にもう一度,アミノ酸や低分子ペプチドを除去して,出発材料を調整した。両性担体を使用しない等電電気泳動に

表2 コメ糠タンパク質酵素加水分解物中から同定したカチオン性ペプチドの生理活性

ペプチド	抗菌活性 ^a IC ₅₀ (μM)		LPS-中和活性 ^b EC ₅₀ (μM)	血管新生促進活性 ^c (%)	溶血活性 ^d (%)
	<i>C. albicans</i>	<i>P. gingivalis</i>			
LRR	289	ND ^e	1.07	142	4.3
EKL	ND ^e	75.6	0.86	153	5.9
SSF	ND ^e	78.5	1.41	168	4.3

^a IC₅₀ の値は、図3の結果に基づいて算出した。

^b EC₅₀ の値は、図4の結果に基づいて算出した。

^c それぞれのペプチドの濃度が 10 μM のときの血管新生促進活性を、図5の結果に基づいて算出した。

^d それぞれのペプチドの濃度が 500 μM のときの溶血活性を、図6の結果に基づいて算出した。

^e ND: 検出できなかった。

(文献 17 より改変)

よって、この出発材料を分画した結果、pI が高い画分 18, 19, および 20 が得られた。重量を基準とした3つの画分の収率は、合計で 13% であった。これらの画分からカチオン性ペプチドを精製し、同定した結果、最終的に3種類のペプチドが得られた。これらの3種類のペプチドの抗菌活性、LPS 中和活性、血管新生促進活性、および溶血活性の結果を、表2にまとめた。3種類のペプチドは *P. gingivalis* または *C. albicans* のどちらかの病原微生物に対して抗菌活性を発揮したが(図3)、*P. acnes* や *S. mutans* に対して抗菌活性を示さなかった。したがって、画分 18, 19, および 20 (特に画分 20) には、まだ同定されていない抗菌ペプチドが存在していると考えられる。今後、これらのペプチドを精製し、同定する必要がある。また、同定した3種類のペプチドは、いずれも LPS 中和活性(図4)と血管新生促進活性(図5)を発揮したが、溶血活性(図6)は著しく低かった。

3-4. カチオン性ペプチドの多機能性とそれらの作用機構

ペプチドが抗菌活性を発揮するためには、負に荷電した微生物の細胞膜(リン脂質)と静電的な相互作用によって結合する必要がある。また、細胞膜内に入り込むか、細胞膜を通過して抗菌活性を発揮するためには、細胞膜の疎水性部分と相互作用する必要がある。したがって、多くの抗菌ペプチドは、リジンやアルギニンを多く含み、かつ疎水性のアミノ酸を有して

いる。すなわち、多くの抗菌ペプチドはカチオン性であり、かつ両親媒性である²⁵⁻²⁷⁾。一方、LPS 中和活性を有する多くのペプチドは、LPS の lipid A 部分(毒性の本体)と相互作用することが知られている^{10, 28, 29)}。この lipid A には負に荷電したリン酸基があり、また疎水性の脂肪酸の鎖がある。そのため、抗菌活性を発揮する多くのペプチドの場合と同じように、カチオン性であり、かつ疎水性アミノ酸を有するペプチドは、lipid A に結合して LPS の毒性を中和すると考えられる。実際、同定した3種類のペプチド(LRR, EKL, および SSF)は、いずれもリジンやアルギニンを有し(表1)、ロイシン、トリプトファン、バリン、フェニルアラニンなどの疎水性アミノ酸も含んでいることから、抗菌活性と LPS 中和活性を発揮したと考えられる。ペプチドの血管新生促進作用に関しては、その作用機構は完全には解明されていない。LL-37 の場合には、血管内皮細胞増殖因子(VEGF)のレセプターに作用して、その後のシグナル伝達経路を活性化して、細胞の増殖を促進していると考えられている^{30, 31)}。本研究で同定したペプチドの血管新生促進の作用機構に関しては、現在、VEGF のレセプターの阻害剤を用いて検討を進めている。

おわりに

カチオン性ペプチドの各生理作用の機構を解明するためには、リジンやアルギニンをアラニンに置換した変異体、または特定のアミノ酸を

アルギニンやリジン, またはロイシンやトリプトファンに置換した変異体を合成して, それらの各生理活性の変化を解析し, カチオン性アミノ酸と疎水性アミノ酸の各生理活性への寄与を解明する必要がある^{29, 32-35)}。

本稿では, コメ糠タンパク質の酵素加水分解物から多彩な生理活性を兼ね備えたカチオン性ペプチドを含む画分を調製できることを

示した。コメ糠タンパク質に限らず, 多くの食品タンパク質から多機能なカチオン性ペプチドを生産できる可能性がある。これらのカチオン性ペプチドを含有する画分が, 食品の機能性成分やサプリメントとして, また化粧品や口腔ケア製品の素材として利用されることを期待したい。

参考文献

1. R. J. S. de Castro, H. H. Sato: Biologically active peptides: Process for their generation, purification and identification and applications as natural additives in the food and pharmaceutical industries. *Food Res. Int.*, **74**: 185-198, 2015.
2. N. B. da Cunha, N. B. Cobacho, J. F. C. Viana, *et al.*: The next generation of antimicrobial peptides (AMPs) as molecular therapeutic tools for the treatment of diseases with social and economic impacts. *Drug Discov. Today*, **22**: 234-248, 2016.
3. B. Mishra, S. Reiling, D. Zarena, *et al.*: Host defense antimicrobial peptides as antibiotics: design and application strategies. *Curr. Opin. Chem. Biol.*, **38**: 87-96, 2017.
4. L.T. Nguyen, E. F. Haney, H. J. Vogel: The expanding scope of antimicrobial peptide structures and their modes of action. *Trends Biotechnol.*, **29**: 464-472, 2011.
5. T. H. Nan, J-K. Bang, B. Jacob, *et al.*: Prokaryotic selectivity and LPS-neutralizing activity of short antimicrobial peptides designed from the human antimicrobial peptide LL-37. *Peptides*, **35**: 239-247, 2012.
6. F. Semple, J. Dorin: β -Defensins: multifunctional modulators of infection, inflammation and more? *J. Innate Immun.*, **4**: 337-348, 2012.
7. N. Takei, N. Takahashi, T. Takayanagi, *et al.*: Antimicrobial activity and mechanism of action of a novel cationic α -helical dodecapeptide, a partial sequence of cyanate lyase from rice. *Peptides*, **42**: 55-62, 2013.
8. M. Taniguchi, A. Ikeda, S. Nakamichi, *et al.*: Antimicrobial activity and mechanism of action of a novel cationic α -helical octadecapeptide derived from heat shock protein 70 of rice. *Peptides*, **48**: 147-155, 2013.
9. M. Taniguchi, A. Ochiai, K. Takahashi, *et al.*: Antimicrobial activity and mechanism of action of a novel cationic α -helical octadecapeptide derived from α -amylase of rice. *Peptide Sci.*, **104**: 73- 83, 2015.
10. M. Taniguchi, A. Ochiai, K. Matsushima, *et al.*: Endotoxin-neutralizing activity and mechanism of action of a cationic α -helical antimicrobial octadecapeptide derived from α -amylase of rice. *Peptides*, **75**: 101-108, 2016.
11. M. Taniguchi, K. Saito, T. Nomoto, *et al.*: Identification and characterization of multifunctional cationic and amphipathic peptides from soybean proteins. *Peptide Sci.*, **108**, in press, 2017. DOI:10.1002/bip.23023
12. T. A. Egorov, T. I. Odintsova, V. A. Pukhalsky, *et al.*: Diversity of wheat anti-microbial peptides. *Peptides*, **26**: 2064-2073, 2005.
13. B. P. Singh, S. Vij, S. Hati: Functional significance of bioactive peptides derived from soybean. *Peptides*, **54**: 171-179, 2014.
14. C. G. Rizzello, D. Tagliacozzi, E. Babini, *et al.*: Bioactive peptides from vegetable food matrices: Research trends and novel biotechnologies for synthesis and recovery. *J. Funct. Foods*, **27**: 549-569, 2016.
15. E. Maestri, M. Marmiroli, N. Marmiroli: Bioactive peptides in plant-derived foodstuffs. *J. Proteomics*, **147**: 140-155, 2016.
16. A. Ochiai, S. Tanaka, T. Tanaka, *et al.*: Rice bran protein as a potent source of anti-melanogenic peptides with tyrosinase inhibitory activity. *J. Natural Products*, **79**: 2545-2551, 2016.
17. M. Taniguchi, M. Kameda, T. Namae, *et al.*: Identification and characterization of multifunctional cationic peptides derived from enzymatic hydrolysates of rice bran protein. *J. Funct. Foods*, **34**, 287-296, 2017.
18. A. L. Hilchie, K. Wuerth, R. E. W. Hancock: Immune modulation by multifaceted cationic host defense

- (antimicrobial) peptides. *Nat. Chem. Biol.*, **9**: 761-768, 2013.
19. Y. Lai, R. L. Gallo: AMPed up immunity: how antimicrobial peptides have multi roles in immune defense. *Trends Immunol.*, **30**: 131-141, 2009.
 20. V. K. Lule, S. Garg, S. D. Pophaly, *et al.*: Poteintial health benefits of lunasin: a multifaceted soy-derived bioactive peptide. *J. Food Sci.*, **80**: R485-R494, 2015.
 21. A. T. Girgih, R. He, S. Malomo, *et al.*: Structure and functional characterization of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein-derived antioxidant and antihypertensive peptides. *J. Funct. Foods*, **6**: 384-394, 2014.
 22. L. Wattanasiritham, C. Theerakulkait, S. Wickramasekara, *et al.*: Isolation and identification of antioxidant peptides from enzymatically hydrolyzed rice bran protein. *Food Chem.*, **192**: 156-162, 2016.
 23. A. Kannan, N. S. Hettiarachchy, L. O. Lay, *et al.*: Human cancer cell proliferation inhibition by a pentapeptide isolated and characterized from rice bran. *Peptides*, **31**: 1629-1634, 2010.
 24. T. Hatanaka, Y. Inoue, J. Arima, *et al.*: Production of dipeptidyl peptidase IV inhibitory peptides from defatted rice bran. *Food Chem.*, **134**: 797-802, 2012.
 25. K. L. Brown, R. E. W. Hancock: Cationic host defense (antimicrobial) peptides. *Curr. Opin. Immunol.*, **8**: 24-30, 2006.
 26. L. T. Nguyen, E. F. Haney, H. J. Vogel: The expanding scope of antimicrobial peptide structures and their modes of action. *Trends Biotechnol.*, **29**: 464-472, 2011.
 27. M. Mihajlovic, T. Lazaridis: Charge distribution and imperfect amphipathicity affect pore formation by antimicrobial peptides. *Biochim. Biophys. Acta*, **1818**: 1274-1283, 2012.
 28. S. Takayama, K. Hashimoto, E. Kokubu, *et al.*: Inhibitory effects of a novel cationic dodecapeptide [CL(14-25)] derived from cyanate lyase of rice on endotoxic activities of LPSs from *Escherichia coli* and periodontopathic *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*. *Microb. Pathogen.*, **94**, 2-11, 2016.
 29. M. Taniguchi, R. Toyada, T. Sato, *et al.*: Effects of arginine- and leucine-substitutions on anti-endotoxic activity and mechanisms of action of a cationic and amphipathic antimicrobial octadecapeptide from rice α -amylase. *J. Peptide Sci.*, **23**: 252-260, 2017.
 30. Y. Brudno, A. B. Ennet-Shepard, R. R. Che, *et al.*: Enhancing microvascular formation and vessel maturation through temporal control over multiple pro-angiogenic and pro-maturation. *Biomaterials*, **34**: 9201-9209, 2013.
 31. H. Tomioka, H. Nakagami, A. Tenma, *et al.*: New anti-microbial peptide SR-0379 accelerates wound healing via the P13 kinase/Akf/mTOR pathway. *Plos One*, **9**: e92597, 2014.
 32. M. Taniguchi, N. Takahashi, T. Takayanagi, *et al.*: Effect of substituting arginine and lysine with alanine on antimicrobial activity and the mechanism of action of a cationic dodecapeptide (CL(14-25)), a partial sequence of cyanate lyase from rice. *Peptide Sci.*, **102**: 58-68, 2014.
 33. M. Taniguchi, Y. Matsuhashi, T. Abe, *et al.*: Contribution of cationic amino acids toward the inhibition of Arg-specific cysteine proteinase (Arg-gingipain) by the antimicrobial dodecapeptide, CL(14-25), from rice protein. *Peptide Sci.*, **102**: 379-389, 2014.
 34. M. Taniguchi, A. Ochiai, K. Takahashi, *et al.*: Effect of alanine, leucine, and arginine substitution on antimicrobial activity against *Candida albicans* and the mechanism of action of a cationic octadecapeptide derived from α -amylase of rice. *Peptide Sci.*, **106**: 219-229, 2016.
 35. M. Taniguchi, A. Ochiai, K. Takahashi, *et al.*: Antimicrobial activity against *Porphyromonas gingivalis* and mechanism of action of a cationic octadecapeptide Amyl-1-18 and its amino acid-substituted analogs. *J. Biosci. Bioeng.*, **122**: 652-659, 2016.

コーヒー由来のクロロゲン酸類組成の特徴

土門 さや香 (DOMON Sayaka)* 渡辺 卓也 (WATANABE Takuya)*

岡村 雄介 (OKAMURA Yusuke)* 草浦 達也 (KUSAURA Tatsuya)*

*花王株式会社 ヘルスケア食品研究所

Key Words：ポリフェノール コーヒー クロロゲン酸類 CQA FQA diCQA

はじめに

ポリフェノールとは、植物が自身を活性酸素から守るために作り出す物質で、抗酸化成分として知られる代表的な成分である。コーヒー中に含まれる代表的なポリフェノールとしては、クロロゲン酸類が広く知られている。コーヒーには多くのクロロゲン酸類が含まれていること

が知られ、我々の分析によると、1杯のレギュラーコーヒーには30～230mg/杯、インスタントコーヒーには50～140mg/杯のクロロゲン酸類が含まれていた。また市販のよく飲まれる缶コーヒーには70～240mg/缶のクロロゲン酸類が含まれていた。コーヒー以外にも、クロロゲン酸類は、野菜類、果実類等に存在して

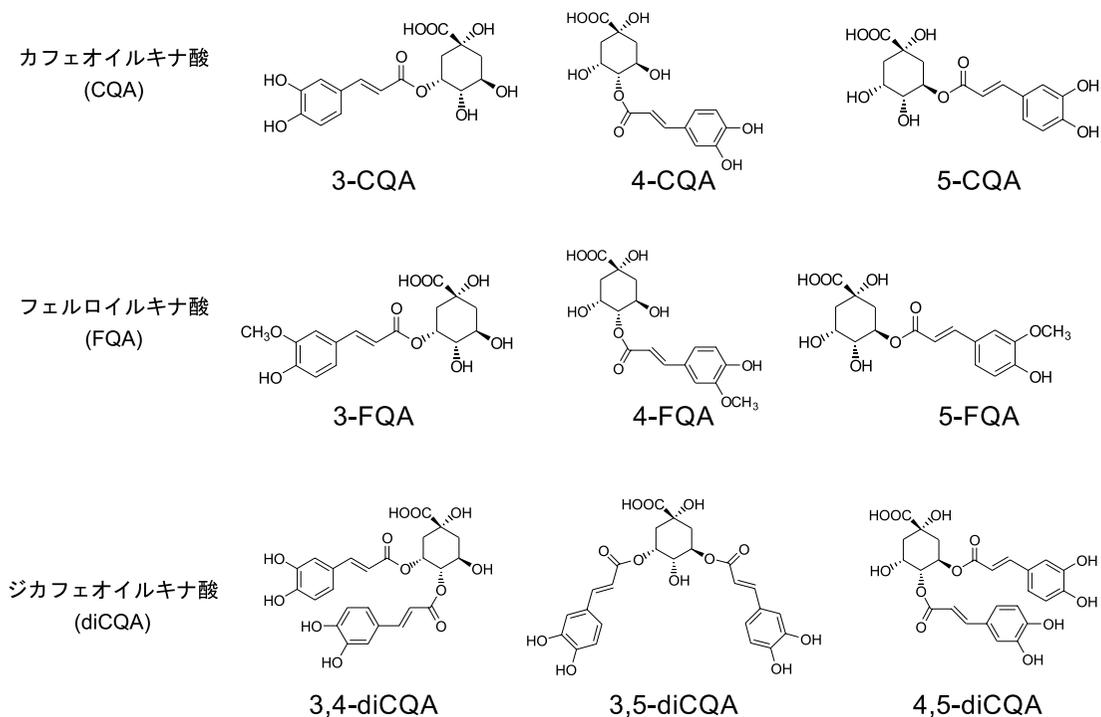


図1 クロロゲン酸類

いると報告がある¹⁾。

クロロゲン酸類は、一般に数種類の化合物からなる混合物の総称として表現されている。本稿では、コーヒー由来のクロロゲン酸類の組成の特徴を検討し、コーヒー以外由来のクロロゲン酸類の組成との比較を試みた。

1. クロロゲン酸類とは

クロロゲン酸類は、一般に桂皮酸誘導体とキナ酸のエステル化合物と定義され、カフェオイルキナ酸 (CQA ; caffeoylquinic acids) 3成分 (3-CQA, 4-CQA, 5-CQA), フェルロイルキナ酸 (FQA ; feruloylquinic acids) 3成分 (3-FQA, 4-FQA, 5-FQA), ジカフェオイルキナ酸 (diCQA ; dicaffeoylquinic acids) 3成分 (3,4-diCQA, 3,5-diCQA, 4,5-diCQA) を合わせ、9種類の成分が知られている (図1)。コーヒー由来のクロロゲン酸類は、これらの組成からなるクロロゲン酸類を含有している²⁾。

2. コーヒー以外由来のクロロゲン酸類

コーヒー以外にも、クロロゲン酸類は、野菜類 (ナス, プロッコリー, ジャガイモ, ニンジン等), 果実類 (プラム, チェリー, モモ, リンゴ, ナシ), 葉類 (マテ, ケール) 等に存在していると報告されており^{1,3)}, 日常摂取する食物に幅広く含有されている。しかし、クロロゲン酸類の組成や食物のどの部位に分布しているかなどの詳細な情報は不足であった。

3. クロロゲン酸類の組成の特徴

クロロゲン酸を多く含むコーヒーについて、複数のロットを分析することにより、クロロゲン酸類の組成を調べた。また、クロロゲン酸類を含有するとされる、コーヒー以外の食品として、近年、健康素材として注目されているマテおよびケールについても同様にクロロゲン酸類の組成を調べた。

3-1. コーヒー由来のクロロゲン酸類組成

我々が入手した缶コーヒー複数ロット

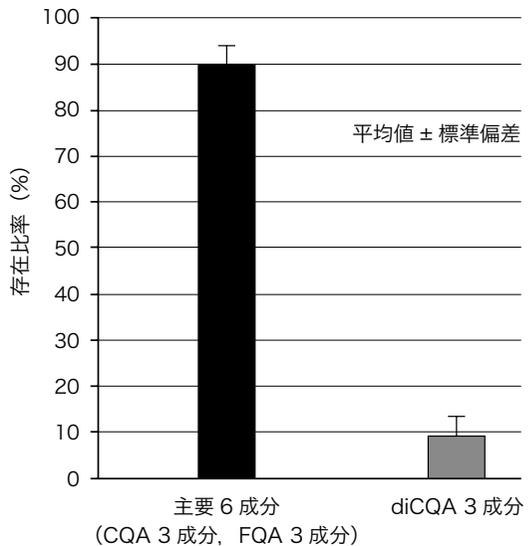


図2 コーヒー由来のクロロゲン酸類の組成

(n=22) とインスタントコーヒー (n=7) について、HPLC法を用いてクロロゲン酸類の組成を調べた。その結果、カフェオイルキナ酸 (CQA) 3成分、およびフェルロイルキナ酸 (FQA) 3成分の合計量が、ジカフェオイルキナ酸 (diCQA) 3成分も含めた9成分量に対して、90.2 ± 3.8% (平均値 ± 標準偏差) を占めていた (図2)。

3-2. その他食品のクロロゲン酸類組成

コーヒー以外の食品についても、予備的にクロロゲン酸類組成を調べた。マテはブラジル南部、アルゼンチン北部やパラグアイおよびウルグアイで栽培されている。マテを乾燥させた茶葉に水または湯を注ぎ、成分を浸出したマテ茶は、南アメリカの多くの地域で伝統的な飲み物として飲用されている。マテ茶に含まれるポリフェノールの総量は、緑茶や赤ワインと同じくらいと推察され、高い抗酸化能力を有することが知られている⁴⁾。また、ケールはトルコ原産で黒海地方で広く栽培されている。アブラナ科に属する植物で、ビタミン類やミネラルなどがバランスよく含まれており、高い抗酸化能力を有し、健康飲料といわれている青汁の原料に使

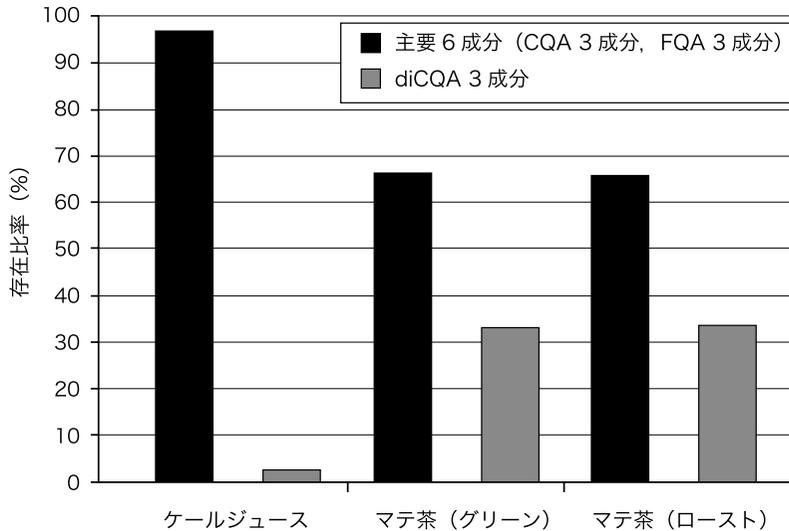


図3 クロロゲン酸類含有食品のクロロゲン酸類の成分組成

用されている。

マテ茶、ケールジュースについて、クロロゲン酸類組成を比較した (n=3)。コーヒー由来のクロロゲン酸類に比べ、マテ茶においては、カフェオイルキナ酸 (CQA) 3成分、およびフェルロイルキナ酸 (FQA) 3成分の合計量の割合が低く、ケールジュースでは、高い傾向が見られた (図3)。

4. 考察

コーヒー中のクロロゲン酸類においては、クロロゲン酸類 全9成分において、カフェオイルキナ酸 (CQA) 3成分、およびフェルロイルキナ酸 (FQA) 3成分の合計量の割合は、 $90.2 \pm 3.8\%$ (平均値±標準偏差) を占めており、この比率はほぼ一定であった。コーヒー豆中のクロロゲン酸類を抽出溶媒を用いて抽出し分析している文献によると、9成分に対する6成分の比率は約90%であることが報告されているものもある⁵⁾。弊社開発品「ヘルシアコーヒー無糖ブラック」(クロロゲン酸類 (5-カフェオイルキナ酸として) 270mg/1本 (185g)) も今回の分析サンプルに含まれており、9成分に対する6成分の比率は約90%であった。これら

の数値に基づけば、開発品のクロロゲン酸類がコーヒー豆 (抽出液) 由来であることを説明できる。また、コーヒー以外由来のマテ茶とケールジュースでは、コーヒーと比較してクロロゲン酸類組成が異なる傾向がみられた。今後、産地や焙煎度等、分析サンプルの種類や数を増やして、その妥当性をより明確にしていく必要がある。クロロゲン酸類は、食品加工中の加熱等によって組成が変化する可能性もあるので、この点も考慮していく。

以上より、コーヒーなどに含まれるクロロゲン酸類の組成は、起源植物によって異なる特徴をもつことが明らかとなった。

おわりに

クロロゲン酸類の組成が一定であれば、すべての成分を測定しなくとも含有量が計算できると考えられ、コーヒー飲料中のクロロゲン酸含有量の品質管理においては、分析時間の短縮やコストの面で有用であると思われる。さらには、様々な食品中のクロロゲン酸類の組成を調べることで、その由来が推定できたり、クロロゲン酸類の組成の特徴と生体への効果への検証が期待される。

参考文献

1. 津志田藤二郎：食品由来のフェニルプロパノイド系抗酸化成分，食品工業，**41**(14), 33-41, 1998.
2. 中林敏郎，本間清一，和田浩二，箆島豊，中林義晴：コーヒー焙煎の化学と技術，弘学出版，1995.
3. Bravo L, *et al.*: LC/MS characterization of phenolic constituents of mate (*Ilex paraguariensis*, St. Hil.) and its antioxidant activity compared to commonly consumed beverages. *Food Research International*. **40**, 393-405, 2007.
4. Dudonne S, *et al.*: Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J. Agric. Food Chem.*, **57**, 1768-1774, 2009.
5. 河野洋一，藤田和弘：コーヒー豆中のクロロゲン酸類と総ポリフェノールの分析，分析化学，**65**(6), 331-334, 2016.

腸内細菌を利用した水素ガス産生乳飲料

角 沙樹 (TSUNO Saki)¹ 坪田 一男 (TSUBOTA Kazuo)² 松本 光晴 (MATSUMOTO Mitsuharu)¹

¹協同乳業株式会社研究所技術開発グループ, ²慶應義塾大学医学部眼科学教室

Key Words: 腸内細菌 水素ガス産生 乳飲料

はじめに

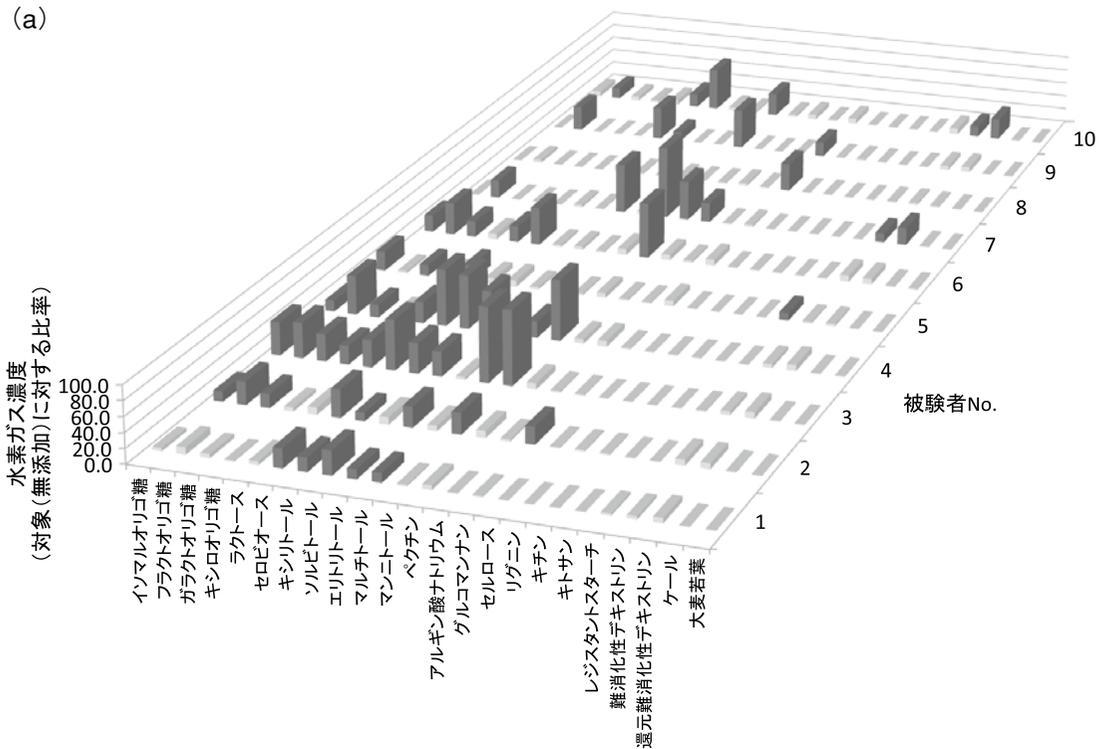
2007年に Ohsawa ら¹⁾が、虚血再灌流モデルラットにおいて、水素ガスが活性酸素種の中でも生体への悪影響が強いヒドロラジカル等と特異的に反応し、細胞を酸化ストレスから守り、脳梗塞を抑制することを報告した。この研究以来、水素ガスの抗酸化ストレスに関する研究論文が多数報告されている²⁾。水素ガスの摂取方法には水素ガス吸入法や水素ガス溶存水(水素水)の摂取等が知られている。水素ガス吸入法は救命救急の分野で既に有効性が示され、慶應義塾大学医学部を中心に心肺停止後の脳蘇生における臨床試験で成果が出始めているが³⁾、特殊な水素ガス供給装置が必要で、一般健常人の健康維持には適していない。一方、水素水は手軽に摂取できるが、製品化するには水素ガスが抜け難い容器で密封しなければ透過消失してしまい、表記濃度未満の商品が流通していることが問題視されている⁴⁾。

大腸に届いた食物繊維類(オリゴ糖類、糖アルコールを含む)は腸内細菌によって利用され、最終産物の一つとして水素ガスが産生されることが知られている。牛乳に含まれる乳糖も大腸に届けば同様に水素ガスが産生される⁵⁾。日本人の90%は乳糖不耐症であり⁶⁾、乳糖が大腸に到達しやすい体質のヒトが多く、

水素ガスを産生する可能性が高いと考えられる。本稿では、我々が開発したヒト(特に日本人)の大腸内での効率的な水素ガス産生を誘導する食物繊維類を含む乳飲料⁷⁾について概要を述べる。

1. 腸内で水素ガスを産生する食物繊維の探索

腸内菌叢は個体差が大きく、各成分に対して水素ガスを産生できる菌叢とできない菌叢が存在すると考えられた。そこで、様々な腸内菌叢で共通して水素ガスを発生する食物繊維類を探索するために、食経験があり比較的安価な食物繊維類23種類からスクリーニングした。ガラス容器にヒト新鮮糞便(嫌気性希釈液: KH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , L-cysteine HCl, Tween 80, and 0.1% resazurin 懸濁物)および各成分を添加、嫌気ガスに置換しブチル栓で封をし、37℃で24時間培養後の気相の水素ガス濃度をTRIlyzer mBA-3000で測定した。その結果、予想通り、10名全ての糞便に共通して水素ガスを発生させる成分は存在せず、糞便毎に水素ガスを産生する成分が異なった(図1a)。そこで、より幅広いヒトで水素ガス産生が可能になる組合せを探索した結果、ガラクトオリゴ糖、マルチトール、グルコマンナンの組み合わせを見出した(図1b; 以下、水素ガス誘



(b)

	被験者No.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ガラクトオリゴ糖	5.3	18.5	35.8	16.9	15.4	22.1	0.8	0.8	0.1	5.9
マルチトール	12.5	7.2	386.6	22.1	2.6	8.4	315.5	0.8	55.6	32.3
グルコマンナン	1.8	22.9	1.6	1.9	7.6	8.2	3.2	39.1	20.4	7.3

図1 各食物繊維類添加による水素ガス産生量

(a) 対象(無添加)の水素ガス濃度を1としたときの各食物繊維類添加時の水素ガス(10倍以上の増加を黒で示した)
 (b) 試験対象糞便全てで無添加時の10倍以上の水素ガスを産生する食物繊維類の組み合わせ(数値は(a)と同値)

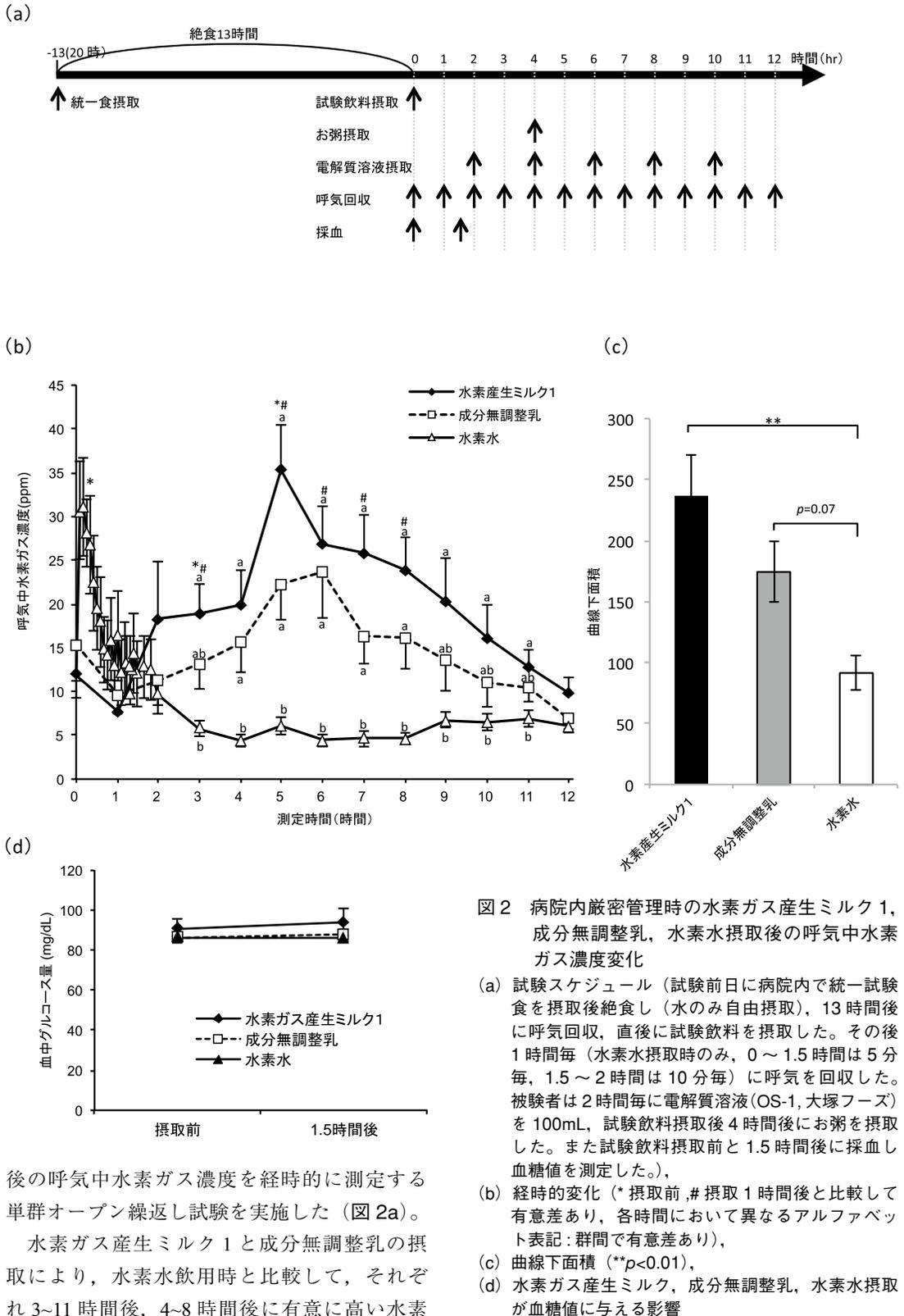
導成分混合物)。

2. 水素ガス誘導成分混合物摂取によるヒト臨床試験

大腸管腔内で発生した水素ガスは門脈血を介して生体内に拡散し、その一部は呼気中から放出され、大腸内と呼気中水素ガス濃度は正に相関していることが知られていることから⁸⁾、本研究では大腸内水素ガス産生量と呼気中水素ガスでモニターした。

2-1. 病院内厳密管理による試験 (UMIN000019957)

健康成人(男性9名,平均年齢40.0歳)に対し、成分無調整乳に水素ガス誘導混合物を各1%添加したミルク(以下、水素ガス産生ミルク1)、成分無調整乳(牛乳),および水素水(市販品,当研究グループ調べ1.57ppm含有)を試験飲料とし、それぞれの試験飲料を週に1回(日曜日夜に入院し、夕飯摂取後は絶食し、月曜日の朝から本試験)、試験飲料(200mL)摂取



後の呼気中水素ガス濃度を経時的に測定する単群オープン繰返し試験を実施した (図 2a)。水素ガス産生ミルク1と成分無調整乳の摂取により、水素水飲用時と比較して、それぞれ 3~11 時間後、4~8 時間後に有意に高い水素

ガス産生が認められた (図 2b)。水素ガス産生ミルク 1 では、摂取前と比較し 5 時間後に有意に呼気中水素ガスが上昇した。また摂取 1 時間と比較して 3, 5~8 時間に有意に水素ガス濃度が高かった。成分無調整乳では有意差は認められなかったが、水素ガス産生ミルク 1 同様の増加傾向を示した。それに対し、水素水では摂取後 10 分後に摂取前と比較して有意な上昇を示したが、それをピークに 1 時間後にはベースライン付近まで減少した。曲線下面積 (水素ガス総産生量) では、水素ガス産生ミルク 1 が水素水と比較して有意に高く ($p < 0.01$)、成分無調整乳でも水素水に対し高い傾向を示した (図 2c)。また、全被験者で摂取前より摂取後 3~7 時間後のいずれかで呼気中水素ガス濃度が上回っていることが確認された。

食物繊維類はグルコースを構造中に含有するものが多く、腸内細菌に分解されるとグルコースが大腸内で遊離する可能性があるため、

血糖値への影響を調べた。その結果、水素ガス産生ミルク 1 の摂取による血糖値の上昇は認められず (図 2d)、腸内細菌が食物繊維類を分解後、自ら吸収・利用し、ヒト体内へは移行しないことが確認できた。

2-2. 日常生活下での食事管理による試験

健康成人 (男性 15 名, 女性 6 名, 平均年齢 38.5 歳) に対し、日常生活での食事管理下 (入院なし) で、2-1 の臨床試験と条件を揃え、単群オープン繰り返し試験を実施した。なお、本試験では、工業ラインでの製造を考慮して水素ガス誘導成分混合物の添加比率を変更した水素ガス産生ミルク 2 (ガラクトオリゴ糖 :1.5%, マルチトール :1.0%, グルコマンナン :0.1%) を用いた。

水素ガス産生ミルク 2 の摂取により、成分無調整乳および水素水飲用時と比較して、それぞれ 5~9 時間後、3~10 時間後に有意に高い水素ガス産生が認められた (図 3a)。水素ガス産生

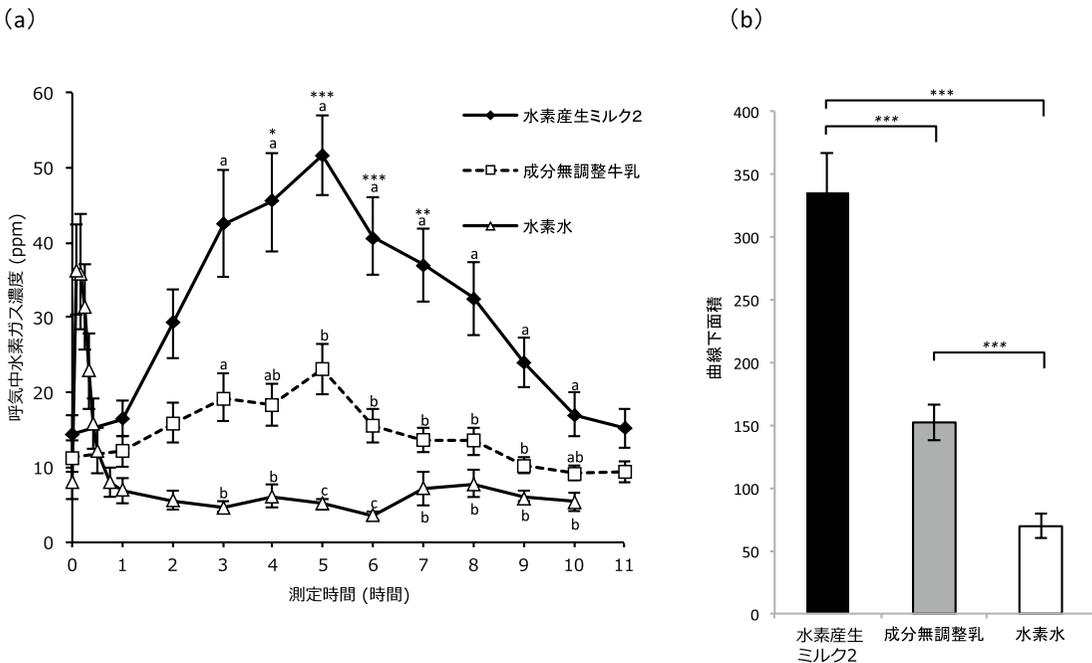


図 3 日常生活での食事管理時の水素ガス産生ミルク 2, 成分無調整乳, 水素水摂取後の呼気中水素ガス濃度変化

(a) 経時的変化 (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.01$: 摂取前と比較して有意差あり, 各時間において異なるアルファベット表記: 群間で有意差あり) (b) 曲線下面積 ($p < 0.01$: 有意差あり)

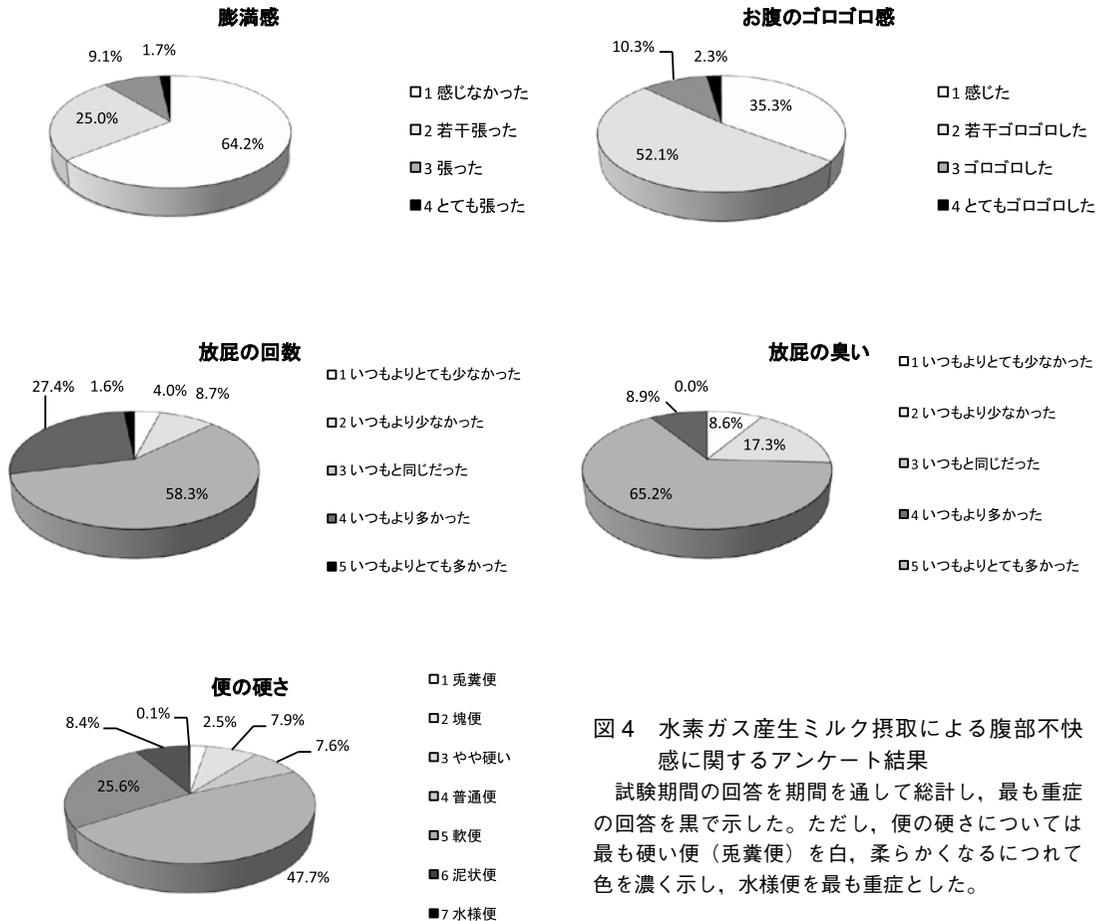


図4 水素ガス産生ミルク摂取による腹部不快感に関するアンケート結果

試験期間の回答を期間を通して総計し、最も重症の回答を黒で示した。ただし、便の硬さについては最も硬い便（兎糞便）を白、柔らかくなるにつれて色を濃く示し、水様便を最も重症とした。

ミルク2では、摂取前と比較し4~7時間後まで有意に呼気中水素ガス濃度が上昇した。成分無調整乳では有意差は認められなかったが、水素ガス産生ミルク2同様の増加傾向を示し、水素水では摂取後10~20分後に摂取前と比較して上昇傾向を示したが、それをピークに1時間後にはベースライン付近まで減少した。本試験では、水素ガス産生ミルク2の曲線下面積が成分無調整乳および水素水と比較し有意に ($p < 0.001$) 高く、成分無調整乳も水素水と比較して有意に ($p < 0.001$) 高い値を示した (図3b)。また、全被験者で摂取前より摂取後3~7時間後のいずれかで呼気中水素ガス濃度が上回っていることが確認された。

3. 水素ガス産生ミルクによる腹部不快感(107名によるアンケート試験)

腹部不快感に関しては、別途107名のアンケート試験で調査した。牛乳が飲めないレベルの乳糖不耐症の方を除いた健康成人107名(男性:53名,女性:54名,平均年齢:42.4歳)に対し、水素ガス産生ミルク2(200mL/日)を連続7日間摂取し(摂取時間は指定なし)、毎日5項目(腹部の膨満感,ゴロゴロ感,放屁の回数,放屁の臭い,便の硬さ),最終日のみ摂取期間後の体調の変化を記録した。各項目において最も重度の症状が占めた割合は、全期間を通してそれぞれ、膨満感:1.7%,ゴロゴロ感:2.3%,放屁の回数:1.6%,放屁の臭い:0%,便の硬さ:0.1%(下痢による脱落者が1名)であった(図4)。以上の結果より、水

素ガス産生ミルクによる重度の副作用はほぼ無いことが認められた。また、7日間摂取後の体調の変化として、37.4%の被験者が便秘の軽減を感じたと回答した。その他にも皮膚状態の改善、疲労感の減少、目覚め・寝付きの改善を感じた被験者がそれぞれ5~8%程度認められた。

おわりに

ヒト臨床試験において、成分無調整乳が水素水と比較して水素ガス総産生量が高いことが確認されたことから、乳糖を分解できない

大半の日本人にとって、牛乳は水素産生を介して保健効果を誘導する機能性飲料として捉えることができる。事実、94,980人の40~79歳の日本人を対象とした疫学調査では、牛乳を3~4回/週以上飲む女性は死亡率が低いとの報告があり⁹⁾、この可能性を示唆している。さらに水素ガス誘導成分混合物は、サプリメント等への応用も可能である。今後はこの水素ガス産生ミルクを用いて、まだ十分に解明されていない大腸内で産生された水素ガスの保健効果とそのメカニズムを明らかにしていく予定である。

引用文献

1. Ohsawa I, Ishikawa M, Takahashi K, Watanabe M, *et al.*: *Nat. Med.* **13**: 688-694, 2007.
2. Ichihara M, Sobue S, Ito M, Hirayama M, *et al.*: *Med Gas Res.* **5**: 12, 2015.
3. Tamura T, Hayashida K, Sano M, Suzuki M, *et al.*: *Circulation journal : official journal of the Japanese Circulation Society.* **80**: 1870-1873, 2016.
4. 国民生活センター, 2016. http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20161215_2.pdf
5. Shimouchi A, Nose K, Yamaguchi M, Ishiguro H, *et al.*: *Biomark Insights.* **4**: 27-32, 2009.
6. Nose O, Iida Y, Kai H, Harada T, *et al.*: *Arch. Dis. Child.* **54**: 436-440, 1979.
7. Matsumoto M, Fujita A, Yamashita A, Kameoka S, *et al.*: *Journal of Functional Foods.* **35**: 12-23, 2017.
8. Hammer HF: *Gut.* **34**: 818-822, 1993.
9. Wang C, Yatsuya H, Tamakoshi K, Iso H, *et al.*: *J. Epidemiol.* **25**: 66-73, 2015.

グルテンフリー食品用の各種素材 (1)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)¹

¹ 神戸女子大学 (日本穀物科学研究会会長)

Key Words : グルテンフリー ベーカリー 小麦 セリアック病

要約

本論文「グルテンフリー食品用の各種素材 (1)」は、海外のグルテンフリー食品のための素材の現状について解説したものである。具体的には、米国の穀物科学者、Jeff Casper と Bill Atwell によって書かれた本 (“Gluten-Free Baked Products” 2014 by AACCC International, Inc. 3340 Pilot Knob Road St. Paul, Minnesota 55121, U.S.A.) の一部 (“The Gluten-Free Ingredients”) を翻訳し紹介するものである。ここでは、マルトデキストリン、コーン、アワ、オートムギ、米、モロコシ、テフ、擬似穀物 (アマランス、ソバ、キノア) を述べる。

グルテンフリー食品用の各種素材

グルテンフリーベーカリー食品の製造用仕込みは、まずグルテンフリー穀物粉、デンプン、ハイドロコロイド、タンパク質からなる合成粉をつくり、小麦粉で作るベーカリー食品と同様のものを製造することを目標とする。グルテンフリーの素材メーカーは新マーケット開発を目的とし、それが時にその素材が栄養的欠損があっても、多くのグルテンフリー食品に見られるような貧弱な嗜好性であっても、意欲的に売り込もうとしている。しかし食品関連雑誌、ベーカリー関連雑誌にグルテンフリー素材に関する多くの論文、記事が増えていることから、そこでは栄養的改善が非常に進んでいることが感じられる。

ここではグルテンフリー合成粉の一般的な素材の性質とその栄養的プロフィールをレビューする。さらに次論文では、素材中に隠れているグルテンを各メーカーが理解する必要性を示

し、本当に使われるべき素材の理解と、さらに最終食品中のグルテンフリー確認のためのグルテン試験のプロトコールを示す。さらに素材がグルテンフリーであっても、供給チェーンの中でグルテンのコンタミの可能性に関心を持ち続けることが大切である。

グルテンフリー穀物と種子

穀物、擬似穀物、マメ、ナッツ、オイルシードは全て種子であり、これらは植物のもつ再生手段である¹⁾。新しい生長には、栄養素、微量栄養素が必要である。これらの栄養素は人間にも利用され、食物中の主要栄養源となる。グルテンフリーベーカリー食品として有用な種子、ナッツ類の殆どは、本質的にはグルテンフリーである。種子成分はいろいろであり、各色調、フレーバーを持ち、小麦ベースのベーカリー食品と比べて違いは大きい。グルテンフリー食品成分のどれ一つとっても、小麦と同じようなテ

クスチャー、機能性を持つものはない。穀物という言葉は、一般に grass family (イネ科の植物) の品種 (*Poaceae* あるいは *Gramineae*) の種、属に使われ、さらに擬似穀物に使われるが、そこから legumes(マメ科植物) や tree nuts (木の実) は除外される²⁾。これらの多くの穀物、例えば米、トウモロコシ等は世界中のカロリー源となり、その内、注目されるもの小麦は地球規模の食物として栽培される唯一の穀物である。多くのグルテンフリー穀物、擬似穀物、種子等は、グルテンと類似の機能をもつものではないが、何れもエネルギー源と健康維持に必要である。

多くのグルテンフリー穀物、擬似穀物、種子類は、バイタリティ、健康維持に必要な栄養分を与えてくれる。

粉体のまま、さらにそのデンプン

多くのグルテンフリー穀物、擬似穀物、オイルシード、イモ類をそのまま粉に挽くか、あるいはデンプン分離の操作を行なう。デンプンは湿式製粉法で全粒から分離され、かなりきれいなデンプン材が得られる。この純度では殆どフレーバーもなく、色も白あるいは僅かに黄色があった白色を示す。多くのグルテンフリー材料から調製されたデンプンは、最終食品栄養分濃度を薄め、繊維量を減らすため、長期間、健康にむすびつけるグルテンフリー食品としては悪い印象を与えるだろう。グルテンフリーの仕込みには、普通は米、コーンデンプンが、イモデンプンとしてタピオカ、ポテトデンプンが用いられる。

ベーキング中、デンプンにはクラム構造をセットする第一の役割がある。グルテンフリー食品の仕込み中、いろいろな粉とデンプンのブレンドの際、ガス保持成分のバランスが必要で、そのため適当な糊化、ペースト化、老化を示すことが必要である。表 3-1、3-2 に、普通の穀物粉の性質、各デンプンの性質のサマリーを示した。

加工デンプンもグルテンフリー食品の仕込みに用いることができる。最も一般的なデンプンの加工処理とは、糊化前の水和による早急の粘り増加が目的である。“加工した=modified” という印は、U. S. Food and Drug Administration (FDA) が化学修飾したものだけに付けた印で、糊化前のデンプンには必要ない、糊化前は物理変化である。これらのことは AACC hand book starch¹¹⁾ に述べられている。加工デンプンには、酸性化、酸化、架橋化、置換タイプがあり、さらに機能性に特異性を出すため糊化前に処理するものもある。

マルトデキストリン

マルトデキストリンはデンプンを加水分解したグルコースポリマーである。それはデキストリンとも言われ、重合度 (DP) によって特徴づけられ、DP とはポリマー当たりグルコースの平均数を示す。市販のマルトデキストリンはデキストロース当量 (DE) に基づいて販売されており、全てグルコース (100%) とした時の、マルトデキストロース中の還元糖の % で測定するものである。DE はまた 100/DP でも計算される。より高い DE を持つマルトデキストリンは DP はより低い。18-22 の DE 値範囲内という高い値で、グルテンフリーパンにはうまく用いられており、ベーキング容積を増加させ、さらにデンプンの老化をおそくさせシェルフライフを改良した¹²⁾。低 DE 値を持つマルトデキストリンはパン容積を高める効果を持つが、それはクラム品質を低下させる。マルトデキストリンによるパン容積を高める効果は、ドウ中のマルトデキストリンによる水結合力の結果と考えられ、さらにパン中のデンプンの膨化とセットする温度が上昇するためと考えられている。

コーン

コーン、*Zea mays*, はアメリカ起源の植物であり、広い高収穫能のために栽培され、食品、飼料用に用いられ、高付加価値材料 (value-added materials) として用いられている。アメリカに

表 3.1 小麦粉と比較したグルテンフリー粉の典型的成分^a

成分	水分含量 (%)	灰分 (%)	脂質 (%)	タンパク質 (%)	炭水化物 (%)	全食物繊維 (%)	デンプン (%)	デンプン kcal/100g
小麦, パテント, 精製	11.9	0.5	1.0	10.3	73.6	2.7	73.3	364
小麦, 全粒粉	10.7	1.6	2.5	13.2	61.3	10.7	57.8	340
アマランス	11.3	2.9	7.0	13.6	58.6	6.7	48-62 ^b	371
そば	9.8	2.1	3.4	13.3	61.5	10.0	61.4	343
トウモロコシ	9.8	0.5	1.4	5.6	80.9	1.9	80.2	375
トウモロコシ, 白	10.5	1.2	3.5	8.0	66.8	10.0	66.2	333
アワ	10.7	1.2	4.3	10.8	73.1	3.5	56-65 ^d	373
オート麦, 一部脱ふすま	8.6	2.0	9.1	14.7	59.2	6.5	58.4	404
ジャガイモ ^c	6.5	3.7	0.3	6.9	79.1	5.9	73.7	357
キノア	13.3	2.4	6.1	14.1	57.2	7.1	52.2	368
米, 茶色	12.0	1.5	2.8	7.2	71.9	4.6	71.0	363
米, 白	11.9	0.6	1.4	6.0	77.7	2.4	77.6	366
モロコシ, 脱殻	10.1	1.3	3.3	7.9	70.9	6.6	69.0	361
テフ	8.8	2.4	2.4	13.3	65.1	8.0	36.6	367

参考文献: a⁹⁾, b⁴⁾, c¹⁰⁾, d⁷⁾, e データーはデンプンではなくジャガイモの粉

表 3.2 小麦デンプンと比較したグルテンフリー粉殻のデンプン組成^a

粉	アミロース (% デンプン)	アミロペクチン (% デンプン)	糊化温度範囲 (°C)	粒直径 (µm)	粒形
小麦	25	75	58-64	1-45	球, レンズ
アマランス	7	93	69-91 ^b	1-3	多角形
そば	50	50	61-80 ^c	2-14	多角形 ^d
トウモロコシ (dent)					
Dent	25	75	62-80	5-30	球, 多角形
Waxy	< 1	> 99	63-72	5-30	球, 多角形
High-amylose	55-80	20-45	140-160	5-30	球, 多角形
アワ (パール)	20-22	78-80	61-68 ^c	4-12	球, 多角形
オート麦	19	81	55-65	7-10	多種, 多面形, 不定形
ジャガイモ	20	80	58-65	15-100	卵形, 球
キノア	11	89	57-61	< 1-2.5	多種, 多角形
米,					
長粒, 全茶色	23-26	70-80	71-74	3-8	多種多角形, 単純多面形
長粒, 白	23-26	70-80	71-74	3-8	多種多角形, 単純多面体
短粒, 白	18-20	80-82	65-67	3-8	多種多角形, 単純多面体
モロコシ	24	76	68.5-75	16-20	球, 多角形
タピオカ	17	83	52-65	5-35	不完全卵形
テフ	28	72	68-74	< 1-2	多種粒, 多面形

参考文献: a³⁾, b⁴⁾, c⁵⁾, d⁶⁾, e⁷⁾, f⁸⁾

小麦がくる前に、コーン、トリテイラ、あるいはコーンポリジの用なグルテンフリー食品が土着の人々により食べられていた。現在はコーンは世界中の人々によって用いられ、栄養の20%以上を供給している。

幾つかのタイプのコーンが存在している。
・デントコーン (*Z. mays* var. *indenate*) は、フィールドコーン (飼料用コーン) としても知られているが、コーンデンプン、他の工業用コーンの生産に用いられている。粒にはデンプン成

分を含む場所があり、ギザギザだとか凹みとかある。

- ・フリントコーン (*Z. mays* var. *indurata*) は、インディアンコーンとしても知られ、デントコーンと同じ目的で用いられている。フリントコーンは堅い外皮が内部と分けていて、粒には白、黄色の色がある。
- ・スウィートコーン (*Z. mays* convar. *Saccharata* var. *rugosa*) は、デント、フリントあるいは他のコーンの品種と比べ、名前からわかるように高レベルの糖を含む。糖は、収穫後、素早くデンプンにかわるので、加工業者は収穫後直ちにフリーズし、消費者の望むような糖レベルにする。
- ・フラワーコーン (*Z. mays* var. *amylacea*) は、柔らかいテクスチュアの穀質をもち、高デンプン含量のため製粉しやすい。高デンプン含量でベーカリー食品に対して都合が良いが、このコーンは一般的でない。

全粒コーンは、グルテンフリー消費者に対し幾つかの重要な栄養素を与える。高ビタミンA含量、抗酸化剤、カロチノイド(例えばルテイン、ゼアキサンチン)である。コーンは“ニクスタマライズ”したものが一般的である。“ニクスタマライズ”とは、コーンをアルカリ溶液中に浸け、その後ドラマチックに粒中のナイアシンをバイオアクセシビリティ面で増加させること。さらにこのプロセスは粒中で増えるカビ毒、マイコトキシン除去にも有効である。“ニクスタマライズ粒”は“ニクスタマル”と呼ばれている。“ニクスタマル”を粉にしたものを“マサ”と呼ぶ。“マサ”はU. S. Department of Agricultureによって全粒のことといわれているが、“マサ”の栄養プロフィールは全粒コーンのものと類似している¹³⁾。

グルテンフリーベーカリー仕込みには、コーンはミール用、フラワー用、あるいはデンプン用と分けられている。ミール用には、粒子の最も荒い(coarsest)ものがアメリカンスタイルのコーンパンやマッフィンに使われ、クラムに

僅かな“ざらつき”が期待される。より細かい粒子のコーンフラワーは、滑らかなテクスチュアのクラムが望まれるときに用いられる。コーンは黄色の色合いでインパクトを与え、そのまま用いられるが、もし黄色が望ましくないなら白色のコーンを用いることもできる。コーンデンプンは、より細かいテクスチュアのベーキング食品で、しかも白色の組織を与える。多くのタイプのコーンデンプンは、いろいろなコーン品種からえられる。ワキシコーンデンプンは、低糊化温度を与え、柔らかいゲルテクスチュアを与えるが、一方、高アミロースコーンはグルテンフリーベーカリー食品に、より堅いクラムを与える。コーンデンプンは、また加工して特異的な機能も与える。

コーンツエインは、コーングルテンとしても知られているが、タンパク質をさがしている化学者にとって興味深いものであり、それは小麦グルテンと類似の粘弾性機能を示すからである。加工して修飾したツエインは、そのベーキング機能を強く示した。コーンツエインの表面の脂質を除去するとツエインドウの粘弾性を増加させることができたという報告がある¹⁴⁾。

アワ, Millet

アワは、異なったグルテンフリー穀物で幾つかの属からなるファミリー(科)で、小さな丸い直径2-3mmの種子で、サイズ、形はマスタードあるいはコリエンダー種子に似ている。4種のアワ属は地球上どこでも生育する:

- ・ Pearl millet (*Pennisetum glaucum*),
- ・ Foxtail millet (*Setaria italic*),
- ・ Proso millet はまた common millet (*Panicum milia ceum*) として知られ、そのアワは最も広範に米国で作られている¹⁵⁾、そして
- ・ Finger millet (*Eleusine coracana*)

アワは、一般に乾燥した暖かい条件下で成長し、はじめにインド、アフリカ、中国で見出された。あるアワは米国でも育つが、広域には栽培はされていない。粒は堅い皮で包まれ、食品に使われる前に除去されねばならな

い。全てのアワは高レベルのフェノール成分をもっていて、抗酸化性活性¹⁶⁾を示す。アワはまた、ミネラルが多く、葉酸、チアミン、ナイアシン、リボフラビン、パントテン酸、ピリドキシン（ビタミンB₆）を含んでいる。アワで興味深いのは、その栄養価とアグロノミック的意味である。さらに低水分要求性と成長時期が短いことである。

アワは、グルテンフリーへの応用に全粒粉として用いられることがあり、ブレンドにそのままの種子が用いられる。粉は、軽くクリーミーで黄色く、味が無いが、ベーキングしたものやパスタに少々ナッツ的な甘いフレーバーを与える。機能的には、アワ粉は比較的low水分であるが、アマランス、キノアに比べ、ベーカリー食品を作るときはより高タンパク質のため高吸水性を与える。

オート麦

オート麦, *Avena sativa*, は寒冷地作物であり、温暖地作物の生育困難な地域で育つ。米国、ミネソタ、ノースダコタの北部州が主要地域である。カナダも食料、飼料用オート麦の主要生産地である。食料、飼料前に、外皮、殻を可食部から、あるいはひきわり (groat) から分離せねばならない。除去した後、高脂肪含量による悪臭だす酵素の失活のさせるため groat はしばしば釜に入れられる。高脂質含量はほぼ小麦の3倍である。

オート麦がセリアック病気に安全かどうかという問題は、数十年間議論されてきた。オート麦中の貯蔵タンパク質は *avenin* として知られているが、このアベニン感受性の人の問題があるが、それらのうちのある人はセリアック病であろう¹⁷⁾。しかし多くの化学的研究から、いつも食べてる適量のオート麦なら、セリアック病患者 (大人) には安全であると言われている¹⁷⁾。もう1つの研究では、新たにセリアック病と診断された子供がオート麦ベースの穀物を食べても、6ヶ月の試験期間では安全であった¹⁸⁾。多くの権威者の結論している真実は、

小麦、ライ麦、大麦がオート麦へのコンタミがその原因だろうと言うことだ。こうしてセリアック病を持つ人は、たしかにグルテンフリーオート麦食品のみ取るべきだが、もし変な効果がでたら使用を中止すべきだ。

オート麦は、セリアック病患者に多くの重要な栄養素を与えてくれ、特に可溶性繊維β-D-グルカンである。オート麦には、幾つかの健康上の利益があり、その中にはコレステロール低下作用がある。他のどんな穀物よりも多くの可溶性繊維が含まれており、それがセリアック病の消費者にとり、非常に大きな重大事である。あるスカンジナビア人研究者は、グルテンフリーのオート麦添加でセリアック病患者に必要な毎日の繊維量摂取を成就させることができた。それは小麦、ライ麦、大麦を食べれない人にとって大変なチャンスである¹⁹⁾。マグネシウム、亜鉛、カルシウムはオート麦中の金属類で、セリアック病患者にとり重要な金属類である。オート麦にはポリフェノール類の1つアベナンスラミド類があり、これには抗酸化性効果、抗炎症活性がある。

オート麦は僅かに甘味があり、あたりさわりのないフレーバーと香りのため、グルテンフリー仕込みに非常に使いやすい。それらもいつも全粒を使い、オート麦ブラン (ふすま) は市販の口当たりのよい繊維として有用なものとしているが、ロールにしたオート麦は、ベーカリー食品のテクスチャーを良くするのに用いる。オート麦粉は、グルテンフリーベーカリー食品に用いられるが、しかし機械加工する時には高レベルの加水がドウに必要とされ、加工ベーキング上問題となっている。

米

米 (*Oryza sativa*) は、コーンのように極めて重要なグルテンフリー穀類である。アジア、インド、インドネシア、北米、アフリカの一部、アメリカの一部の人々にとって、カロリー、栄養面で重要な源である。

多くのタイプの米は、グルテンフリーベーキ

ングに適し、粉にして用いられる。米は粒の大きさの違いで、調理後のテクスチュアに違いがでて分類される。粒のサイズ、“短粒”、“中粒”、“長粒”の米があり、料理後の”ねばり“、“ガム性”に違いがある。”ガム性“の米という言葉には、何かこの米はグルテンを含んでいるように消費者に聞こえる。”ガム性“は、米粒の粘りを述べるのに用いられる。側鎖デンプン(アミロペクチン)の高含量の場合は”ガム性“の米で、米粒同士の結合性を引き起こす。このデンプンタイプはまた、グルテンフリーのベーカリー食品のクラム品質を修正できる。長粒米は典型的な高アミロースで、直鎖状デンプン含量の高いものである。この性質は糊化を遅らせ、グルテンフリーベーカリー食品中、老化を遅らせる。

収穫し、繊維状の皮を除去後、全茶色米(玄米)がのこる。さらに搗精し、ふすまと胚芽を除き、磨かれた白米を得る。ふすま、胚芽からの栄養成分がないとすれば、白米からのものは茶色米(玄米)からのものよりグルテンフリー食品に重要な栄養分は低レベルである。

米粉は、荒い粒子、中くらいの粒子、細かな粒子、さらに細かな粒子にして利用される。細かな粒子、さらに細かな粒子は、例えばざらつきのテクスチュアを防ぐために低加水のクッキーに用いられる。中くらいの粒子はほとんどでのベーキング製品に用いられ、例えばパン、バターベースの食品で使われる。米タンパク質を集めたもの、あるいはそれを分けたものはグルテンフリーの仕込みに用いられるが、それは低コストで比較的アミノ酸組成が完全であるため、しかも抗アレルギーの性質であるためである。米ふすまもグルテンフリー仕込みに用いられるが、他の穀類同様に、安定化したふすまは天然の酵素により脂質酸化で出る悪臭を押さえるのに好ましい。官能テストから、新鮮な茶色米粉は僅かにナッツの風味と甘味がある。白米粉は淡白でこれと言ったくせはない。

もろこし, Sorghum

もろこし (*Sorghum bicolor*) は、グルテンフリー穀物であり、栽培に興味深いのは他のグルテンフリー食材に比べ比較的低コストで不毛条件下でもよく育つ点である²⁰⁾。最近、4クラスのもろこし属が、U.S.Federal Grain Inspections Service²¹⁾で認定された。もろこし属の種子は、キビ、アマランス、キノア、テフの種子より大きく丸い。

もろこしは、B-Vitamins、金属、抗酸化能と言った点で幾つかの栄養的価値を与えるが、キノア、オートのような栄養的長所はない。もろこしの栄養成分はコーンに似ているが、コーンよりはタンパク質の消化性の悪いことが報告されている²²⁾。さらにコーンによく似ている脂質部分では、80%以上の脂肪酸が不飽和脂肪酸である³⁾。もろこしは約70-80%がデンプンであり、エネルギー源として重要である。栄養の見地から、米、トウモロコシのような可能性があり、全ての繊維、微量栄養素、ポリフェノールを食べられる最も都合良いものである。もろこしの栄養的長所にも関わらず、ふすま層は研磨精製工程で典型的に除去される。デンプン区分はひいて粉にして製品中に混ぜ込み、最終食品をきれいにし、色を明るくする²³⁾。

もろこし粉は風味が少々甘く、ナッツのようなフレーバーがあり、ブレンドしたとき、グルテンフリー全粒粉によく合致し、きれいなデンプンともよく合致する。全粒粉の色の点で、あるやり方はもろこし利用には限界があり、それは灰色の最終食品中の色である。

テフ

テフ (*Eragrostis tef*) は、1年生植物でその非常に小さい粒がグルテンフリーで、エチオピア高原が原産と言われている。テフはエチオピアやエリトリア地方の最も重要な穀物の一つで、インゲラ(パン)やおかゆとして主食として食べる。粒が小さいため早く調理でき、不毛地の調理燃料の節約ができる。

セリアック病患者は、食事にしばしばビタミ

ン類, 金属, 繊維の欠乏をきたすが, テフの消費は大きな価値を与える。テフ粉のタンパク質含量は13%以下と報告されているが³⁾, これはコーン, もろこし, ある種の小麦よりも高い。テフにはカルシウム, 鉄, マグネシウム, リン酸, 亜鉛という金属が多く, 健康に重要である。テフの変った所は, ビタミンCが含まれていることでこれは他の穀物にはない。テフの脂質中の脂肪酸の半分以上は高度不飽和脂肪酸で, 酸化による異臭発生になりやすい。

テフ粉は褐色で, ベーキング時に高レベル入れると濃い茶色となる。全種子そのままでもホットシリアルやベーキングに用いられる時, もし全粒がそのまま見えるようなインパクトが欲しい時, 余り小さいサイズは考えねばならない。テフ粉はナッツのようにさくさくし, 黒砂糖の様な感じを食品に与える。エチオピアサワードウ, フラットパン(インジェラ)はテフ粉を発酵させた手作り伝統料理で, 100% テフベースのインジェラは伝統的なグルテンフリー食品である。これはテフの色, フレーバーを示す好例である。小料理店では普通インジェラに小麦粉を混ぜて値段を下げているが, テフがアメリカでは簡単に手に入らないためだ。しかしアメリカでも育てられ, グルテンフリー材料としてテフへの関心が高まっているためである, 伝統的な東アフリカ食品の消費が増えている。さらに牧草としてテフに関心の高まっており, 穀物生産を促進するのにも役立つかも知れない。

小麦グルテンの機能は,

- ドウやバターのガス保持,
- 水分結合,
- パン等の構造のセット,
- 乳化,
- 口腔のチューイング性。

これらの1つかそれ以上の機能を得るために,

- ある成分と酵素類との合わせ,
- アマランスやソバのような粉,
- ハイドロコロイド,
- グルテンフリータンパク質に交換。

擬似穀物

擬似穀物とは穀物であるが, 非草植物の種子である²⁴⁾。最も一般的な擬似穀物は, キノア, ソバ, アマランスである。これらの種子は, 粉に挽かれグルテンフリーベーカリー, スナック, パスタ用穀物類に用いられるが, なぜか擬似とラベルされる。栄養的に全擬似穀物は全ての穀物成分と似ていて, このためFDA全穀物粒規格(the FDA definition of whole grains)に入れる。

アマランス

アマランス, *Amaranthus* 種は, 1年生の広葉植物(broad-leaf plant)で, 小さな種子で, アメリカ原産。メキシコ, 中央アメリカにつづいて, インド, 中国でも育つ。アマランスは乾燥条件でもよく育つが, 種子が発芽するのに水分を必要とする。

この擬似穀物は小麦に比べ, 高タンパク質で繊維, 脂質含量の高いが目立つ。アマランスのタンパク質含量は, 普通14%以上と報告され, グルテンフリー食品に用いられる最も高タンパク質の粉の1つである。さらにアマランスのタンパク質品質は非常に良い。アマランスにはまた, セリアック食事に必要な幾つかの金属, 鉄, カルシウムがある。

アマランス粉はクリーミーな黄色がかった色で, ナッツの香りがある。繊維とタンパク質のコンビネーションによる高水和能のため, 食品ははじめからの湿気増加を示し, シェルフライフの改良を示す。アマランスは, 市販のグルテンフリーベーカリー食品に使われている。その粉はパン, パンケーキ, シリアル, 麺, クッキー, パン用ミックス粉, クラッカーに用いられる。アマランスはまた, フレークに加工され, グラノラ, ホットシリアルに使われる。

ソバ

ソバは, グルテンフリー擬似穀物としてほとんどの人に親しみ深いものであり, それは灰色の色と三角形あるいはピラミッド状の形状をしているためである。脱穀されたソバは, 特に“ひ

きわり，グロート”されたものと言う。グロートは普通，粉とされ，新鮮なうちは多少ナッツの香りがあるが，焼くと少々苦い匂いが出る。高不飽和脂質含量のため，ソバは酸化により異臭になりがちである。ソバの他成分として粘質成分含量があり，これは可溶性繊維のためで，バターに粘度を与え，水結合性をグルテンフリーベーキング食品，パスタ類似物に与える。栄養的には，ソバは高レベルの金属を与え，小麦と比較しても平均以上の上等な品質のタンパク質を与える。テフのようにソバ粉は，幾つかの仕込みで限界の茶色を示し，最終食品の見てくれの効果はその色にかかっている。

キノア

キノアは大根，ほうれん草と関連のある植物の種である²⁵⁾。キノアには多くの種類があり，

3種は既に商品化されている：白，赤，黒である。キノアは，この5年の間，人気があがり，それはその栄養価プロフィールと不良土壌の過酷な条件下でも成長するためであり，消費量増加によりコストは3倍に増加した²⁵⁾。キノアは，グルテンフリー消費者にとって栄養的に高品質タンパク質と高金属含量のため，重要な食材である。キノアのタンパク質含量は約13.5%で，製パン用の市販小麦粉より高い³⁾。キノアの並外れた栄養価プロフィールと，一部，異常に大きな胚芽で，種子の60%に相当することが知られる。小麦の胚芽は種子の約3%である。キノアは高レベルのサポニンを種子の皮に含み，これは抗栄養因子として働く。このため，北アメリカで用いられているほとんどすべての市販キノアはサポニン除去されている²⁵⁾。
他は次報に。

参考文献

1. McGee, H. 2004. *On Food and Cooking; The Science and Lore of the Kitchen*. Scribner, New York.
2. HEALTHGRAIN Consortium 2010. Definition. http://www.healthgrain.org/webfm_send/44
3. Hager, A., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., and Arendt, E. K. 2012. Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared with wheat flours. *J. Cereal Sci.* 56:239-247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.005>
4. Hoover, R., Sinnott, A. W., and Perera, C. 1998. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grains. *Starch/Staerke* 50:11-12.
5. Qian, J., Rayas-Duarte, P., and Grant, L. 1998. Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch. *Cereal Chem.* 75:365-373.
6. Acquistucci, R., and Fornal, J. 1997. Italian buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch: Physico-chemical and functional characterization and *in vitro* digestibility. *Nahrung* 41:281-284.
7. Beleia, A., Varriano-Marston, E., and Hosney, R. C. 1980. Characterization of starch from pearl millets. *Cereal Chem.* 57:300-303.
8. Atwell, W. A., Patrick, B. M., Johnson, L. A., and Glass, R. W. 1983. Characterization of quinoa starch. *Cereal Chem.* 60:9-11.
9. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26. 2013. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
10. Cargill, Inc. Maizewise MW 102-010 corn meal nutritional data sheet. Updated May 20, 2011.
11. Atwell, W. A., and Thomas, D. J. 1999. Starch modifications. Pages 31-48 in: *Starches*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

12. Witczak, M., Korus, J., Ziobro, R., and Juszczak, L. 2010. The effects of maltodextrins on gluten-free dough and quality of bread. *J. Food Eng.* 96:258-265.
13. USDA. 2013. Policy memo SP 02-2013. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
14. Schober, T. J., Moreau, R. A., Bean, S. R., and Boyle, D. 2012. Removal of surface lipids improves the functionality of commercial zein in viscoelastic zein-starch dough for gluten free breadmaking. *J. Cereal Sci.* 52:417-425.
15. Lorenz, K., and Hwang, Y. S. 1986. Lipids in proso millet (*Panicum miliaceum*) flours and brans. *Cereal Chem.* 63:387-390.
16. Chandrasekara, A., and Shahidi, F. 2010. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 58:6706-6714.
17. Thompson, T. 2003. Oats and the gluten-free diet. *J. Am. Diet. Assoc.* 103:376-379.
18. Hoffenberg, E. J., Haas, J., Drescher, A., Barnhurst, R., Osberg, I., Bao, F., and Eisenbarth, G. 2000. A trial of oats in children with newly diagnosed celiac disease. *J. Pediatr.* 137:361-366.
19. Kempainen, T. A., Heikkinen, M. T., Ristikankare, M. K., Kosma, V.-M., and Julkunen, R. J. 2010. Nutrient intakes during diets including unkilned and large amounts of oats in celiac disease. *Eur. J. Clin. Nutr.* 64:62-67.
20. Asif, M., Rooney, L. W., Acosta-Sanchez, D., Mack, C. A., and Riaz, M. N. 2010. Uses of sorghum in gluten-free products. *Cereal Foods World* 55:285-286.
21. Rooney, L. W., and Serna-Saldivar, S. O. 2000. Sorghum. Pages 152-153 in: *Handbook of Cereal Science and Technology*, 2nd ed. K. Kulp, ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
22. Wrigley, C., Corke, H., Walker, C. E. 2004. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Academic Press, Waltham, MA.
23. Awika, J. M., McDonough, C. M., and Rooney, L. W. 2005. Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. *J. Agric. Food Chem.* 53:6230-6234.
24. Frølich, W., and Åman, P. 2010. Whole grain for whom and why? *Food Nutr. Res.* 54:5056.
25. Goldman, I. 2012. Five things everyone should know about quinoa. *Grow Magazine* 5(3):10.

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

センブリ *Swertia japonica* (Schult.) Makino (リンドウ科 Gentianaceae)

夏が去り、秋の気配が漂う頃、日当たりのよい山の斜面で可憐な花をつけたセンブリを見かけます。センブリは、日本、朝鮮半島、中国に分布する2年生草本（初年は根生葉のみ）で、茎は直立して分岐し、高さ5～25cm 太さ1～2mm でほぼ4稜形。暗紫色を帯び、葉は対生で無柄、線形ないし線状長円形で先端はわずかに鈍頭、長さ1～3.5cm、幅1～3mm でしばしば紫色を帯びています。9～10月ごろ枝先および葉腋に円すい花序を出し、白い花を多数つけます。花冠は5つに深裂して（稀に4深裂や6深裂もあります）、ほとんど離弁花のように見え、裂片は白色で紫色の条線がたてに通っています。裂片の基部には毛の生えた腺体が2個あり、果実はさく果で熟すると2片に裂けます。根はよく分枝して黄色、質はややかたく、全草に強い苦味があり、センブリ（千振）の名の由来は千回振りだしてもまだ苦いということによります。開花期の全草を採り乾燥したものをセンブリ（当薬、*Swertiae Herba*）といい、食欲不振、消化不良等に苦味健胃薬として粉末（センブリ末）、あるいは苦味チンキ（トウヒ、センブリ、サンショウの3種の生薬からつくられるチンキ剤）として種々の処方に使用され、家庭では乾燥したものの1本を熱湯にしばらくつけて、苦味が出たところでその湯を内服するとよいそうです。不思議なことに、本植物は中国では、中薬として薬用には使われず、ドクダミ、ゲンノショウコとならび、日本三大民間薬の一つとされています。また、当薬とは、「^{まさ}当に薬」の意で、薬効が^{あつたか}灼であることにより、日本でつけられた漢字名です。全草のエキスは毛根を刺激し発毛を促すとし、若はげ、円形脱毛症などに発毛促進薬として用いら



写真1 センブリ (5 深裂花)



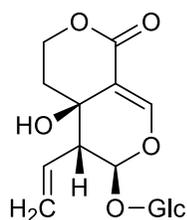
写真2 センブリ (4 深裂花)

れています。以前、市販品のほとんどは、山形、秋田、石川、福島などの各県で野生品を採取したものでしたが、1977年頃より長野県で栽培が成功し、今では、長野県、高知県などで年間15トンの生産があるそうです。成分は苦味の本体をなすセコイリド配糖体（苦味配糖体）の swertiamarin, フラボノイドの swertisin, キサントン系化合物の swertianin, トリテルペイドの oleanolic acid などが知られ、swertiamarin には動物実験で唾液、胆汁、膵液分泌増加作用が報告されています。

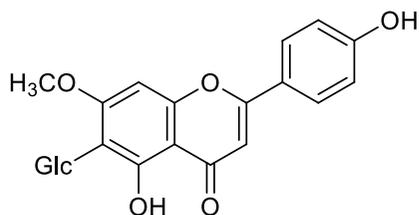


写真3 生薬：センブリ（千振，当菜）

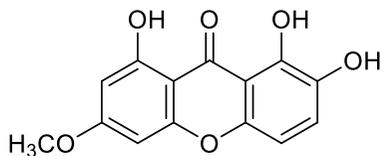
同属植物のムラサキセンブリ *S. pseudochinensis* は我が国中部以南の山野に自生し、以前は、生薬として局方にも収載されていましたが、6局で削除されました。イヌセンブリ *S. diluta* var. *tosaensis* は我が国各地の原野に自生しますが、苦味が極めて弱く薬用に適さないとされています。また、チレッタソウ *S. chirayita* はインドで健胃薬とします。



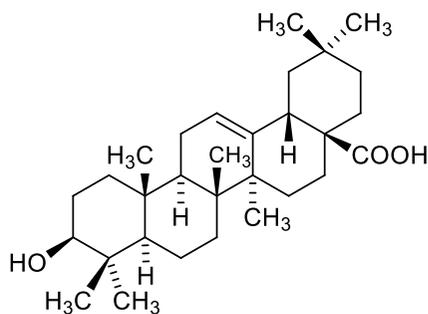
swertiamarin



swertisin

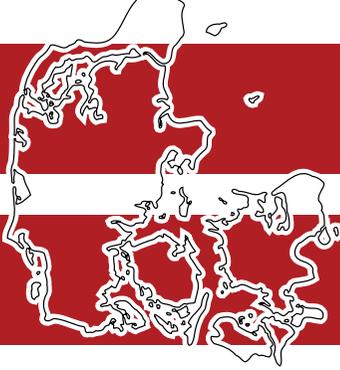


swertianin



oleanolic acid

図1 成分の構造式



デンマークのコーヒー消費

コーヒーは日本でも老若男女に幅広く親しまれていますが、ここデンマークでもコーヒーは日常に欠かせない飲料です。コーヒーといえば、日本では、以前より自動販売機で様々な缶コーヒーが販売され、近年は、スターバックスコーヒーなどが大きな街のいたるところに見られるようになり、美味しいコーヒーへの需要の高まりか、最近ではマクドナルドやセブンイレブンなどでも美味しいコーヒーを販売していることをアピールしています。デンマークでは、もともと飲料の自動販売機がほぼないので、コーヒーは、コンビニで買うか、コーヒーショップで飲むか、職場や家にあるコーヒーマシンで淹れて飲むか、などが主流です。

デンマーク人のコーヒーの消費量は、実は世界でもトップクラス。2013年のある統計を見ると、デンマークは世界7位で一人当たりの年間消費量は5.3kg、毎日平均1.46杯のコーヒーを飲むとされています。同じ調査で日本は、1.5kgで43位、また、スターバックスコーヒーなどの発祥地アメリカは意外に低く3.1kgで22位となっています。コーヒーといえば、ヨーロッパではイタリアやベルギーが消費量が多いのでは？と思われる人も多いと思いますが、イタリアは18位、ベルギーは9位で、いずれもデンマークがそれよりも上位にランクしています。ちなみに同じ調査の1位はフィンランド、2位はノルウェーで、北ヨーロッパでのコーヒー消費が多いことがわかります。これらの消費量は重量ベースなので、エスプレッソなどの黒くて濃いコーヒーをよく飲むヨーロッパが、アメリカや日本などの、薄いコーヒーやミルクと一緒にラテやカプチーノなどをよく消費する国よりも上位にランクしているようです。

確かに、デンマーク人はエスプレッソをよく飲みます。朝起きてグイッとエスプレッソを飲んだり、職場でも、打ち合わせにはコーヒーがテーブルに置いてあり、誰でも打ち合わせ中に飲めるようになっていたり、夕飯を終えて、ちょっとゆっくりという時に、コーヒーを片手にリラックス、などなど、コーヒーの登場する場面は様々です。また誕生日会（大人の）や、学校や保育園の保護者参加のイベントなどの際には、ケーキとコーヒーが振る舞われることも珍しくありません。その際、デンマークらしいと感じるのは、コーヒーの入れてあるポットが北欧デザインのおしゃれなものが多いことです。どのイベントでも、どの家庭でも、職場でも、どこかで見たことのある、素敵な北欧デザインのポットを目にすることができます。



家庭でコーヒーを入れる場合の豆ですが、豆 左は Georg Jensen, 右は Stelton の北欧デザインポット



イヤマのブルーコーヒー

は通常日本と同様、スーパーで買います。すでに挽いてある豆がパックになっているもの、スーパーの一角で豆を機械にかけて挽いて買えるものなど、様々な豆が売っています。ここで一つ紹介したいのが、イヤマ (IRMA) のブルーコーヒー。このコーヒーはスーパーで買えるコーヒー豆で、価格も手頃、味もいいので、多くの人に親しまれています。イヤマは、デンマークの各地に店舗を持つ高級スーパーで、リボンをした可愛いイヤマちゃんというキャラクターがブランドのマークに使われていることで有名です。デンマークの観光ガイドにも、現地で行くべきスーパーとして紹介されていることが多いので、機会があったらイアマスーパーに行き、ブルーのパッケージのコーヒー豆を買って試してみるといいかもしれません。

また、職場や家庭でのコーヒーではなく、外のカフェでコーヒーを飲む場合ですが、いわゆるチェーン展開しているコーヒー屋さんも街中に見かけますが、多くのパン屋さん (ベーカリー) でも、店内の一角に小さなカウンタースペースが設けてあり、買ったパンと一緒にコーヒーを飲むようになっていました。コーヒーの価格ですが、デンマークなのでやはりやや高く、カフェラテやカプチーノの普通のサイズで、35~50 クローネ (600円から800円くらい) します。それでも美味しいパンと美味しいコーヒーを飲んで、心地よいひと時を過ごすための人々で、街のカフェやベーカリーは賑わっています。機会があれば、スーパーのコーヒー豆コーナーでも、街角のパン屋さんでもいいので、デンマークのコーヒー文化に触れてみると面白いかもしれません。



スーパーのコーヒー豆売り場

養殖ヒメマスの品質改善 一まとめ一

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi) 佐藤 達朗 (SATO Tatsuro)¹

¹ (元) 中禅寺湖漁業協同組合

Key Words : 養殖ヒメマス, 品質, 体表色, 体型, 脂質含量, 脂質クラス, 脂肪酸組成, 肉色, アスタキサンチン, カンタキサンチン, 卵質, 発眼率, 配合飼料, 天然餌料, 消化性, 摂餌量

ヒメマスはベニザケの陸封型で、チップとも呼ばれる。日本でも数か所の湖に棲息しており、中禅寺湖もその一つである。中禅寺湖の天然ヒメマスは完全に自然条件下で再生産した魚は少なく、多くは生活環の初期に人の手が加わっている。秋の繁殖期に遡上するために河口に集まった親魚を捕獲し、中禅寺湖漁業協同組合（以下漁協と略記）の陸上池で完全に成熟するまで短期間無給餌で蓄養する。完全に成熟して放精、排卵した個体から採精、採卵して人工授精を行う。漁協の種苗生産施設で卵管理を行って孵化させ、配合飼料で翌年の6～7月まで飼育し、4～5gになった魚を一定尾数中禅寺湖に放流する。この時に鱭の一部を切り取って標識し、放流魚であるか否かが判別出来るようにしておく。この放流された魚が中禅寺湖中の動物プランクトン、昆虫、小魚等の天然餌料を食べて育ったのが大部分の天然ヒメマス（天然魚）である。養殖ヒメマス（養殖魚）は放流後に残った魚を漁協で引き続き配合飼料を与えて育てた魚である。

中禅寺湖ではヒメマス資源の安定化を図るために禁漁期が設けられているし、解禁時でも天候等の

状況で好漁、不漁の波が有り、何時でも天然魚の需要を満たし得る状態ではない。漁協では天然魚の不足を補うために養殖魚を生産、供給してきた。ところが遺伝的に全く同じ魚であるにも拘らず、養殖魚は天然魚より品質が劣るとの評価で、著しく安価で取引されてきた。

著者らは養殖魚の品質が天然魚より劣ると評価される理由を明らかにし、その解決策を検討してきた。本報告ではこれまでの検討結果を纏め、今日までに養殖魚の品質をどの程度まで天然魚に近付けることが出来たかを説明する。

天然親魚の漁獲数は年によって大きく変動する。この9年間の漁獲数の変化を示したのが図1である。平成24年度の漁獲数が異常に多い

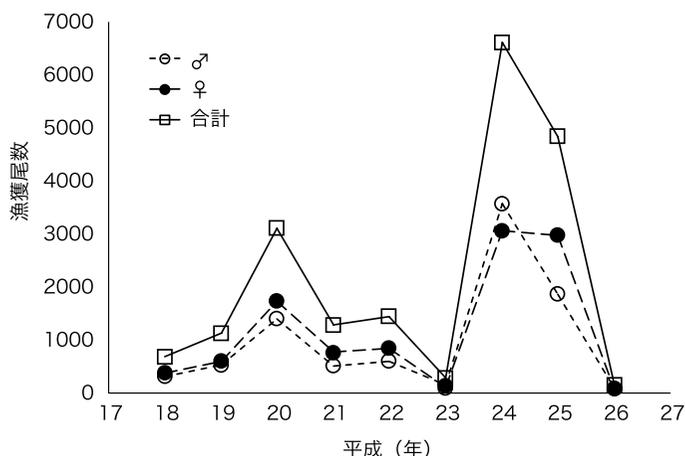


図1 天然親魚漁獲尾数の変化

のは、24年度に釣った魚の持ち出し禁止処置が採られたため、キャッチ&リリースが行われたことによる。これによって生残尾数が多くなり、親魚の回帰尾数も多くなったものと考えられる。25年度も魚の持ち出し禁止処置が継続されたので、漁獲数が例年より多かった。ところが26年度には同じ処置が継続されているにも拘らず145尾しか漁獲されず、これまでで最低の漁獲尾数となった。原因は未だ解明出来ていない。

漁獲数が少ない年には翌年に放流する天然親魚由来の稚魚数も少なくなり、放流尾数が不足する事態になる。この不足を補うのが養殖親魚であり、毎年の放流尾数確保のために養殖魚から得られる受精卵はヒメマス資源の安定化にとって重要な意味を持っている。養殖魚の品質は食材としてのみでなく、再生産用親魚としての品質も重要である。

1. 天然魚と養殖魚の違い

1-1. 体表の色

天然魚の体表は金属光沢の有る銀白色をしていて非常に綺麗である。一方、養殖魚は時季によって銀白色が強くなるが、総じてくすんだ白色～薄い黄褐色をしていて明らかに天然魚とは異なっている(写真1)。この銀白色はグアニンによるもので、背部から腹部へと下るに従ってグアニン量が増え、銀白色が強くなる(図2)。同時に明度(L値)も高くなる。天然魚と養殖

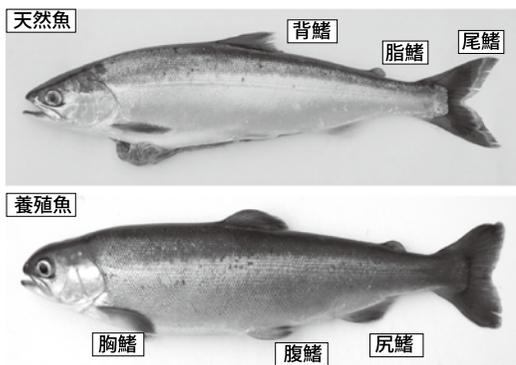


写真1 天然魚と養殖魚の違い

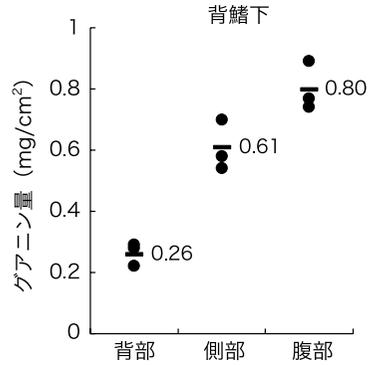


図2 天然ヒメマスの体表グアニン量

表1 ヒメマス体表の明度(L)

部位	天然魚	養殖魚
背部	34.4	34.7
体側部	85.6	65.5
腹部	92.4	76.1

天然魚：尾叉長 25.4-34.6cm

養殖魚：尾叉長 24.4-27.0cm

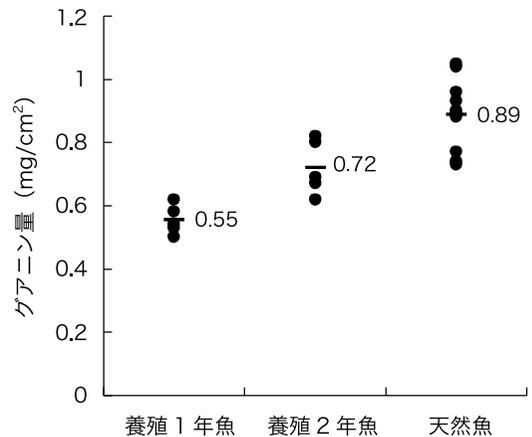


図3 天然魚と養殖魚の体表グアニン量

魚のL値とグアニン量を比較すると明らかに天然魚が高かった¹⁾(表1, 図3)。

1-2. 体型

体型も天然魚と養殖魚では大きく違い、一目で天然魚であるか養殖魚であるかが分かる。写真1は中禅寺湖産の天然魚と漁協の角型コンクリート製露地池で飼育した魚である。天然魚は開腹後の写真なので一部内臓がはみ出ているが、これは無視して欲しい。



写真2 頭部と尾鰭の違い

全体像を比較すると天然魚は流線型でスマート、体の線にキレが有る。一方、養殖魚は丸っこく、ズングリしている。細かく比較すると、天然魚は口の先端（吻）が尖っていて鋭い。養殖魚は吻部が丸くて短く、目の先端から口の先端までの距離が短い。このため養殖魚は口裂も浅く、口が小さく見える。頭部から肩口にかけての線は天然魚では滑らかであるが、養殖魚では段差が有り、肩口の部分が出っ張って見える。この段差は狭い池で高密度に飼育するとより顕著になり、こぶ状に見えるようになる事も有る。また、養殖魚の方が全長に対する体高が高い。これらの体型の違いによって天然魚はスラリとして見え、養殖魚はズングリして見える。

各鰭の形状も可也違っている。天然魚の鰭は先端まで綺麗に伸びており、鋭い形状をしている。養殖魚の鰭は何れも形が歪になっていたり、先端が擦り切れて丸くなったりしていてシャープさが無い。特に背鰭や尾鰭で違いが目立つ(写真2)。

放流されるまで天然魚も養殖魚も同じ条件で飼育されていたので、体表の色や体型の違いは放流後の環境の違いによって生じたものといえる。

1-3. 肥満度と臓器体重比

養殖魚の体型がズングリして見えるので肥満度(体重×100/尾叉長³⁾)を比較してみたところ、尾叉長25cm以下の魚では養殖魚の値がや

や大きかった。体の長さに対する体重が大きいためズングリして見える事がハッキリした。25cm以上の大きさになると違いが認められなくなった²⁾が、これは両者共体高が高くなってサケ型の体型に変化する事によっているのであろう。

内臓全体の体重比は養殖魚の方が大きかった。腹腔内脂肪蓄積組織(DL)体重比は約150g以下の魚では天然魚と養殖魚で違いは認められなかったが、それ以上の大きさの魚では天然魚の方が大きかった。養殖魚で内臓の占める割合が高いのは、消化管が肥大する事に原因が有る可能性が高い。内臓の占める割合が高いということは可食部が少ないということで、養殖魚の品質が天然魚より劣ると判断される一つの原因ではないかと思われる。

天然魚は年度と時季によって内臓体重比、DL体重比、肝臓体重比が大きく変動していた。湖の状態が良く、ヒメマスの餌が豊富な年度と時季には何れの指標も大きくなるものと推測出来る。一方、養殖魚では水温の違いに起因する摂餌量の違いが生じるので、前述の指標は魚の大きさと時季によって変化するものの、条件が同じであれば年度による違いは小さいと思われる。

DL体重比の違いから、養殖魚は体内に蓄積されている脂質が天然魚より少ないと判断出来る。

生殖腺の発達状態は雌雄共天然魚と養殖魚で違いは認められなかったが、最終成熟時の体重に対する精巣と卵巣の占める割合は天然魚の方が大きかった^{3,4)}。養殖魚の品質を食品としてのみで評価するのであれば生殖腺体重比は問題にならないが、再生産用親魚としての評価も加えると、この点は大きな問題になる。

1-4. 体成分

背肉の一般成分は魚の大きさに関係無く天然魚で脂質が多く、水分とタンパク質は少なかった。脂質含量の違いが最も大きく、天然魚と養殖魚で重なる点は殆ど無かった。この脂質含量

の違いは魚の放流直後からスタートしており、天然魚で急速に高くなっている事が分かった。配合飼料と天然餌料の脂質含量の違いを反映したものと思われる。肝臓の一般成分も背肉と同じ傾向を示し、天然魚と養殖魚の違いは肝臓でより明確であった²⁾。

肉の脂質含量の違いが味にも反映され、養殖魚の肉にはコクが無く、パサパサしていた。一方、天然魚の肉にはコクが有って美味で、甲殻類を多量に食べた魚特有の風味が有った。

背肉の脂質クラスで天然魚と養殖魚の最も大きな違いは天然魚で中性脂質 (NL) の占める割合が高い事であった。NLの主体は蓄積脂質であるトリグリセライド (TG) であった。この結果からも養殖魚は天然魚に比べて魚体に蓄積されている脂質の量が少ない事が分かる。

背肉の脂肪酸組成を調べると、n3系脂肪酸の占める割合 ($\Sigma n3$) は天然魚では魚が成長しても大きく変化しなかったが、養殖魚では明らかに減少していた。炭素数 20 以上の n3 系高度不飽和脂肪酸の占める割合 ($\Sigma n3HUFA$) も同様であった。n6系脂肪酸の占める割合 ($\Sigma n6$) は天然魚では成長に伴う大きな変化は認められなかったが、養殖魚では増えていた。養殖魚の $\Sigma n6$ が高いのはリノール酸 (18:2n6) によっており、アラキドン酸 (20:4n6) は天然魚の方が高かった。

サケ・マス類の必須脂肪酸はアラキドン酸やエイコサペンタエン酸 (EPA, 20:5n3), ドコサヘキサエン酸 (DHA, 22:6n3) 等で、特に DHA が重要であるとされている。上記の結果から、養殖魚は蓄積脂質の量が不足していたのみでなく、必須脂肪酸の充足度も天然魚より低いのではないかと推測出来る。魚体の脂質含量と脂肪酸組成は食べた餌の脂質含量と脂肪酸組成を反映する。養殖魚に与えた配合飼料の脂質と必須脂肪酸が十分ではなかった可能性が高い。

背肉のアミノ酸組成は天然魚と養殖魚で全く違いが無かった。天然魚と養殖魚の品質の違いに魚体のアミノ酸組成は関与していないと判断

出来る。

種苗生産用の親魚としての価値を判断するため、天然魚と養殖魚の精巢と卵巣 (卵) を分析した。背肉や肝臓と同じ結果で、養殖魚の脂質と必須脂肪酸が少なく、アミノ酸組成には違いが無かった³⁾。この成分の違いが原因してか、養殖魚由来の受精卵の発眼率は天然魚より低かった³⁾。

1-5. 肉の色

白黒なので見難いとは思うが、天然魚と養殖魚の肉の色を写真3に示す。天然魚の肉は赤く、養殖魚の肉は白くて着色していなかった。天然魚の肉の赤い色はカロチノイド色素で、アスタキサンチンが最も多かったが、魚の成長と共にカンタキサンチン他の色素が占める割合が多くなっていった²⁾。

魚は体内でカロチノイドを合成出来ず、餌から取り込んだカロチノイドをそのまま魚体に蓄積するか、他の色素に転換して蓄積するだけである⁵⁾。天然魚の肉が赤いのは湖中の植物プランクトンが生合成したカロチノイドを動物プランクトンが食べ、その動物プランクトンを小魚が食べ、動物プランクトンや小魚をヒメマスが食べる事によっている。つまり、植物プラン

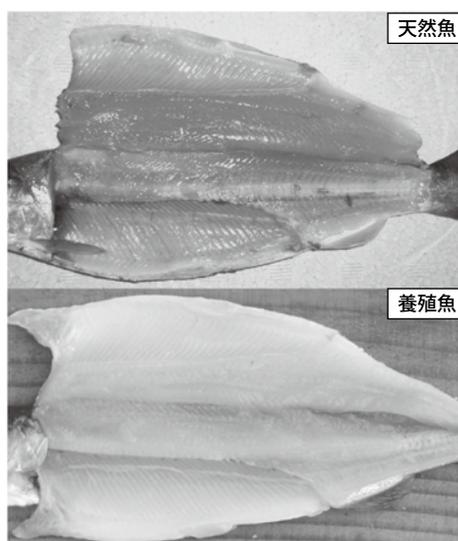


写真3 天然魚と養殖魚の肉色

クトンによって合成されたカロチノイドが食物連鎖を通じてヒメマスの肉に濃縮、蓄積された結果である。

養殖魚の肉が着色していなかったのは、与えた飼料にカロチノイドが添加されていなかったためである。

1-6. まとめ

天然ヒメマスと養殖ヒメマスでは体表の色、体型、魚体成分、味、肉の色、再生産用親魚としての価値など多くの面で違いが認められ、天然ヒメマスの方が優れているといわざるを得ず、養殖ヒメマスの評価が低いのも無理は無いと思える結果であった。

上記の違いのうち、体表の色と体型は飼育(棲息)環境の違いに起因し、その他の違いは食べている餌の違いに起因すると判断した。以下でそれぞれの違いをどの様にして解消し、養殖ヒメマスの品質を天然ヒメマスに近付けるかを検討した。

2. 飼育環境の検討

魚の体表の色は飼育環境によって大きく変化する事が知られている。よって、養殖魚の体表の色が飼育環境によって如何変化するかを調べた。

露地で直射日光が当たる池、露地であるが寒冷紗で遮光した池、室内で十分な照度は有るが直射日光は当たらない池、室内あるいは屋外で水槽壁と底が青く着色された池など、色々な条件下でヒメマスを飼育した。露地池では黒っぽい魚になり、寒冷紗を掛けた池の魚はやや黒味が薄い程度であった。青く着色された池の魚は全体的にうす青い色になっていた。室内で十分な照度は有るが直射日光は当たらない池で飼育された魚が最も天然魚に近い色になり、5～6月には可也銀白色になっていた。異なる条件下で飼育した魚はそれぞれ異なる体表の色になったが、やはり天然魚の色とは異なっていた。

天然魚のグアニン量は平均 1.0mg/cm² 程度で、養殖魚のグアニン量は5～6月の最も銀白

色化した時の値が 0.8mg/cm² で、やはり天然魚のグアニン量が多かった¹⁾。

但し、この 0.2mg/cm² の差のみで見ただけの大きな違いを生んでいるとは考え難く、グアニン量以外にも何らかの要因が関与している可能性が高い。

魚類の色素細胞は色で分けると黄～赤、黒、白～反射(虹色)の3種類になる。色素細胞はそれぞれ特有の色素を産生し、特有の色素顆粒を持つ。銀白色はグアニンを主とするプリン類を含む虹色細胞によっている。色素胞内で色素顆粒や光反射性あるいは散乱性細胞小器官が動くことによって体表の色が変化する⁶⁾。この動きは交感神経と内分泌系によって制御されており、光や温度といった物理的な環境要因が直接影響を及ぼす場合も有る⁷⁾。また、魚類や両生類などでは、色素胞は三次元的に上下に位置しており、上から黄色細胞、白(虹)色細胞、黒色細胞の順で位置している事も報告されている⁶⁾。

ヒメマスは湖沼から降海時に銀白色化(スモルト化)し、体表のグアニン量が増える。乾⁸⁾はこの時期に魚にとって最も重要な海水に対する適応能の増加に必要な成長ホルモンの産生量を増やす一過程としてグアニンやヒポキサンチンの沈着が起こるので、体表が銀白色になるとしている。さらに、雌雄共に性ホルモンがグアニンの合成を阻害することも報告している⁹⁾。

紙数の都合で文献6～9および11の内容を細かに説明出来ないので、詳細はそれぞれの文献を参照して欲しい。

色々な条件下で飼育試験を行って体表の色の変化を調べた結果、十分な照度は確保されているが直射日光(紫外線)は当たらない室内で飼育した魚が5～6月に銀白色化して天然魚に近い色になったこと¹⁰⁾、養殖魚でも幼魚、成魚共に5月前後に銀白色化したこと^{1, 10)}、露地池で飼育された魚はくすんだ白～薄い黄褐色になったこと²⁾、成熟に伴ってグアニン量が減少したこと¹⁾などから、照度、紫外線、ホルモン、虹色素胞と他色素胞との相互関係等が体表の色

に大きな影響を及ぼしている可能性が高い。

天然魚と養殖魚の棲息環境で最も大きく違うのは、天然魚は広くて深い湖で育っているのに対し、養殖魚は狭くて浅い陸上池で育てられている事である。長期間一定の環境下に置かれると背地適応が起こって色素胞の数や形状が変化して形態学的体色変化が生じることが知られている¹¹⁾。深くて透明度の高い湖では背側が青っぽく（グアニンが少ない）、腹側が銀白色（グアニンが多い）であると外敵から見え難く、攻撃される危険性が低くなるのであろう。養殖池では直射日光（紫外線）や水槽の色、飼育密度等の影響が大きいのであろう。また、飼育環境に関して、池に濁りが入ると魚が光り始めるとの話やニジマスの養殖業者からよく聞く。水中照度の変化によって魚が外界の光情報に素早く対応し、生理学的体色変化を起こしているのかも知れない。

上記以外で考えられるのは食べている餌の影響である。理由は分からないが、同じ魚種でも配合飼料を食べている魚より生きた餌を食べている魚の体表が綺麗になる現象はしばしば観察出来る。天然魚は生物餌料を食べ、養殖魚は配合飼料を食べている。この違いが影響している可能性も有る。

天然魚と養殖魚の体表色の違いは現在も解決出来ておらず、今後解決すべき問題として残っている。魚のグアニン代謝に不明な点が多い現状では、直ぐに養殖魚の体表の色を天然魚と同じにするのは難しいのかも知れないが、環境要因の調節によってある程度改善出来たので、今後環境要因と未検討の要因を組み合わせる事によって可也改善出来るのではないかと推測している。例えば、メラニンの合成を抑制する（直射日光を遮断する）、水槽の色を変える、照度を調整する、餌の種類を検討する等を組み合わせれば良いのではないかと考える。

3. 池の構造

養殖魚の体型には飼育池の構造や飼育密度が大きな影響を及ぼすことが知られている。狭い

コンクリート池に高密度で魚を飼育すると写真1, 2の様な体型変化が起こるのはニジマスで良く知られている。コンクリート部分に魚がぶつかったり、擦れたりして吻部や鰭が傷付き、このような変化が生じるといわれている。また、飼育密度を高くするとこれらの症状がより酷くなるので、魚がお互いにつつき合っている可能性も有る。特に給餌時は魚が密集してダンゴ状になって摂餌するので問題である。また、出荷前に選別した魚を狭い池に一時的に収容しているだけで鰭が傷付き、白く見える様になるのも良く経験する事である。

体表が傷付いて粘液が剥がれると *Flavobacterium* 属等の細菌が感染し、タンパク質分解酵素を分泌して鰭を溶かしたり、体表に穴を開けたりする¹²⁾。この現象は魚の飼育密度と非常に強い相関が有るのがニジマスで証明されている^{13, 14)}。

養殖魚の体型変化を防ぐにはどのような構造の池が良いかを明らかにするため、極一般的な角



写真4 八角池と素掘り池の魚

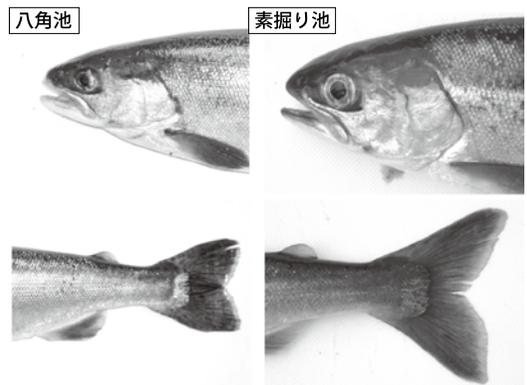


写真5 頭部と尾鰭の形

型コンクリート池、コンクリート製であるが八角形で注水部を工夫して水流が回転する様にした池、池壁や底が土や砂である素掘り池等でヒメマスを長期間飼育した。

写真4, 5に示す様に八角池では角型コンクリート池より体型は改善されたものの、まだ天然魚とは可也の違いがあった。八角池で体型が改善されるのは、ヒメマスは遊泳性が強く、無限遊泳が出来る様な池の構造が適しているためではないだろうか。また、この様な構造の方が池壁にぶつかる機会も少ないのであろう。素掘り池で飼育した魚は吻が長く、口裂も深くなり、頭部から肩部にかけての段差も無くなり、全長に対する体高も低くなっていた。また、それぞれの鱗の変形や擦れも殆ど無くなっていた。素掘り池で飼育した魚の体型は天然魚と略同じになっていた。

以上の結果から、コンクリート池では硬くてザラザラした池底や壁に体をぶつけたり、鱗を擦ったりすることによる体表の傷みが体型や鱗の形状に大きな影響を与えている可能性が高いといえる。

陸上の池で天然魚と同じ体型を有する魚を生産するには、飼育池を素掘り池にする、どうしてもコンクリート池を使用せざるを得ない場合には円形に近い形で無限遊泳が出来る池にする、飼育密度を低くする、給餌法を工夫する等の方法が有効であろう。

4. 飼料への魚油添加

天然魚と養殖魚の違いに養殖魚は魚体の蓄積脂質が少なく、必須脂肪酸の充足度も低い可能性があった。これは与えた飼料に脂質と必須脂肪酸が不足しているためであると判断した。飼料の脂質量や脂肪酸組成は魚の成長や飼料の効率、肉の味、卵の質、抗病性などに大きな影響を及ぼすことが知られている。

まずヒメマスの稚魚を用いて飼料に添加すべき油の種類と添加量を調べたところ、植物油(大豆油)より魚油の添加効果が高く、高い効果が得られるのは飼料に外割で5%以上添加(飼料

の脂質含量として12%以上)した時であることが分かった⁴⁾。魚油添加によって成長(表2)は促進され、魚体の蓄積脂質量(表3)、脂質クラス(表4)および脂肪酸組成(表5)も明らかに改善されていた。

次に平均体重200gの魚を魚油5%添加飼料で7カ月間飼育したところ、背肉の脂質含量は天然魚と略同じになるまで増えていたが、肝臓の脂質含量はまだ天然魚の方が多かった。また、生殖腺が完全に成熟して放精、排卵した段階で

表2 飼育終了時の魚体測定結果

油添加量 (%)	体重 (g)	尾叉長 (cm)	肥満度
0	3.2	7.1	0.89
2.5	5.0	8.2	0.91
5	4.9	8.1	0.92
7.5	4.5	7.9	0.91
10	4.9	8.0	0.96

表3 全魚体の一般成分

油添加量 (%)	0	2.5	5	7.5	10
水分 (%)	79.0	76.7	76.5	75.4	74.5
タンパク質	14.6	15.1	14.4	14.7	14.5
脂質	4.1	6.5	7.6	8.3	9.3
灰分	1.9	2.0	1.9	1.9	2.0
タンパク質 (% 乾物)	69.5	64.8	61.3	59.8	56.9
脂質	19.5	27.9	32.3	33.7	36.5
灰分	9.0	8.6	8.1	7.7	7.8

表4 全魚体の脂質クラス

油添加量 (%)	0	2.5	5	7.5	10
NL (%)	89.8	95.3	96.4	96.9	97.4
PL	10.2	4.7	3.6	3.1	2.6
NL (%)					
SE	5.9	2.0	4.2	2.3	2.3
TG	74.9	89.1	88.4	91.4	91.2
FFA	3.0	1.7	1.7	1.5	2.0
DG+FS	6.0	2.5	2.0	1.7	2.1
PL (%)					
PEA	2.1	0.9	0.5	0.5	0.5
PS		0.2	0.1	0.1	
PC	7.1	3.2	2.3	2.2	1.8
SM+LPC	0.9	0.4	0.7	0.4	0.5

NL:中性脂質, PL:極性脂質, SE:ステリールエステル, TG:トリグリセライド, FFA:遊離脂肪酸, DG:ディグリセライド, FS:遊離ステロール, PEA:フォスファチジルエタノールアミン, PS:p-セリン, PC:p-コリン, SM:スフィンゴメリン, LPC:リゾ-p-コリン

表5 全魚体の脂肪酸組成

油添加量 (%)	0	2.5	5	7.5	10
14:0 (%)	2.4	3.2	3.3	3.2	3.9
16:0	18.9	19.0	17.0	15.7	17.3
1n7	3.5	4.4	4.4	4.5	5.2
18:0	5.7	5.4	4.9	4.7	4.7
1n9	23.3	22.8	20.9	19.9	20.0
2n6	10.9	9.3	8.3	8.0	7.5
3n3	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7
4n3	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3
20:0	1.0	1.3	1.7	2.1	2.2
2n6	0.5	0.3	0.2	0.3	0.2
4n6	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9
5n3	3.6	4.6	5.6	6.7	6.8
22:1	0.9	1.3	1.9	2.5	2.4
5n3	1.3	1.6	2.0	2.3	2.2
6n3	17.4	15.2	15.8	16.7	14.5
Σn3	23.7	22.9	25.2	27.7	25.5
Σn6	12.3	10.4	9.3	9.2	8.6
Σn3/Σn6	1.93	2.20	2.71	3.01	2.97
Σn3HUFA	22.3	21.4	23.4	25.7	23.5
Σ 飽和酸	28.0	28.9	26.9	25.7	28.1
Σ モノエン酸	27.7	28.5	27.2	26.9	27.6

は全魚体、背肉および肝臓の脂質含量は天然魚が遥かに多かった(表6)。養殖魚を最終成熟段階においても天然魚と同じ体成分組成にするには、飼料に添加すべき魚油の量が5%ではまだ不足していた可能性が高い。今後さらに添加量を増やした時に如何なるかを検討しておく必要が有る。但し、魚油の添加量をあまり多くすると魚油臭が付くなど味の面で問題が生じる可能性が高いので、植物油との併用を考えるべきであろう。

魚油を5%添加した飼料でヒメマスを7カ月間飼育する事によって生殖腺の一般成分(表7)、脂質クラス(表8)、脂肪酸組成(表9)は精巢の一般成分以外天然魚と殆ど違いが無くなるまで改善出来、飼料への魚油添加効果が明確であった⁴⁾。

精液(精子)には殆ど脂質は含まれず、卵には多量に含まれていたため、飼料への魚油添加効果は卵においてより明確に表れていた可能性が高い。魚油添加によって卵の成分が改善されたのみでなく、魚の成長も改善されていたので

表6 成熟個体の体成分

	天然魚		養殖魚	
	♂	♀	♂	♀
全魚体				
水分 (%)	77.7	75.4	82.0	77.7
タンパク質	16.3	17.7	14.5	17.0
脂質	4.34	4.93	2.15	3.07
灰分	2.91	2.24	2.05	2.40
背肉				
水分 (%)	79.4	78.1	80.8	79.7
タンパク質	17.2	18.1	17.2	18.0
脂質	1.69	2.03	1.18	1.40
灰分	1.33	1.41	1.21	1.33
肝臓				
水分 (%)	77.3	79.1	78.9	78.9
タンパク質	13.4	16.0	13.0	16.6
脂質	3.76	3.76	3.18	3.01
灰分	1.42	1.64	1.45	1.59

表7 精巢と卵の一般成分

	精巢		卵	
	天然魚	養殖魚	天然魚	養殖魚
水分 (%)	78.9	74.9	65.9	65.3
タンパク質	23.5	28.0	22.5	22.7
脂質	2.10	1.63	8.31	8.46
灰分	4.19	4.59	1.68	1.91
タンパク質 (% 乾物)	111	116	65.9	65.3
脂質	9.94	6.49	24.3	24.4
灰分	19.8	18.3	4.92	5.50

雄は天然魚、養殖魚共に放精個体

表8 生殖腺の脂質クラス

	天然魚		養殖魚		
	精巢	卵	精巢	卵巢	卵
NL (%)	52.1	71.9	49.0	66.6	71.9
PL	47.9	28.1	51.0	33.4	28.1
NL (%)					
TG		67.0		60.7	67.3
FFA	8.8		8.4		
DG+FS	43.3	4.9	40.6	5.9	4.7
PL (%)					
PEA	17.5	1.7	18.3	1.6	1.1
PC	29.1	26.4	31.7	31.8	27.0
SM+LPC	1.3		1.1		

親魚が大型化しており、卵径も大きくなっていたのではないかと推測する。卵が大きくなると孵化仔魚も大きくなり、その後の飼育管理が楽になるので利点が多いと考える。

定量は出来ていないが、魚油添加飼料で飼育

表9 生殖腺の脂肪酸組成

	天然魚		養殖魚		
	精巢	卵	精巢	卵巣	卵
14:0 (%)	2.2	2.6	1.0	1.5	1.5
16:0	17.1	11.1	21.5	13.8	13.4
1n9	1.0	1.9	0.6	1.0	0.8
1n7	3.7	7.8	1.0	3.3	3.2
18:0	3.1	3.8	4.0	4.7	4.6
1n9	8.4	10.8	13.1	23.9	24.5
1n7	3.4	2.6	4.2	3.0	2.9
2n6	4.5	5.1	6.1	9.6	9.6
3n3	5.6	8.3	0.2	0.6	0.6
4n3	1.8	3.7		0.6	0.6
20:1	1.0		0.6	0.9	1.1
3n6	0.3	0.4	0.8	1.7	1.6
4n6	8.1	4.1	6.0	1.8	1.8
4n3	4.3	3.5	0.4	0.7	0.8
5n3	11.4	9.8	13.7	5.7	5.7
22:5n3	2.3	3.0	1.3	1.9	1.9
6n3	12.4	13.0	21.6	20.2	20.1
Σn3	38.0	41.3	37.2	29.7	29.7
Σn6	12.9	9.6	12.9	13.1	13.0
Σn3/Σn6	2.95	4.30	2.88	2.27	2.28
Σn3HUFA	30.4	29.3	37.0	28.5	28.5
Σ飽和酸	22.4	17.5	26.5	20.0	19.5
Σモノエン酸	17.5	23.1	19.5	32.1	32.5

すると体表の粘液量が増えていた。体表の粘液は細菌感染を予防するのに重要な役割を果たしている^{12,13)}。飼料への魚油添加によって魚の抗病性も高くなっていった可能性が高い。

魚油添加飼料で飼育した魚と無添加飼料で飼育した魚および天然魚を塩焼きにして食べ比べてみたところ、魚油添加によって明らかに味が良くなっており、パサパサ感が無くなり、コクが出ていた。魚油臭は感じられなかった。但し、まだ天然魚との違いは有り、甲殻類を多量に食べて育った魚特有の風味は感じられなかった。

5. 飼料への色素添加

養殖魚の肉の色を赤くするには飼料にカロチノイドを添加する必要が有る。そこでニジマスの肉の色を赤くするのに極一般的に用いられているカンタキサンチンを

8mg/100g 添加した飼料でヒメマス成魚を4カ月間飼育したが、肉にはあまり着色していなかった。この原因としてカンタキサンチンの添加量が少なすぎたこと、あるいはカンタキサンチンが色素源として適していないこと等が考えられた。養魚用飼料に添加が認められている合成の赤いカロチノイド色素にはアスタキサンチンとカンタキサンチンが有る。よって、両方の色素を用いて養殖魚の肉色改善試験を行った。

まず両色素の添加量をそれぞれ15mg, 30mg/100gとした4種類の飼料でヒメマス成魚を約3カ月間飼育して肉の色の変化を調べたところ、ヒメマスの肉の色を良くするにはニジマスより遥かに多量の色素を必要とすること、両色素とも添加量が多い程早く肉の色が良くなること(図4)、アスタキサンチンよりカンタキサンチンの方が色素源として適していること等が分かった¹⁵⁾。但し、本試験ではアスタキサンチン添加区の飼育を2カ月で中断せざるを得なかった事や、これまでに行ったアマゴ¹⁶⁾やニジマス¹⁷⁾の結果も併せ考え、アスタキサンチンとカンタキサンチンのヒメマスに対する色素源としての適性については再検討が必要と考えている。また、大型の天然魚を用いて肉部の部位別色素量を調べたところ、ヒメマスとニジマスでは色素の分布が全く違い、ヒメマスでは頭部に近い方、ニジマスでは尾部に近い部分の色素

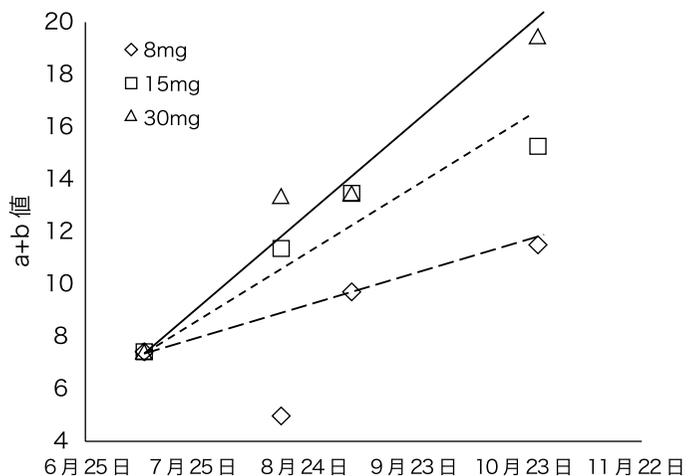


図4 カンタキサンチン添加区のa+b値の経時変化

量が多く、色も濃い事が分かった¹⁵⁾。

次にカンタキサンチンを 30mg/100g 添加した飼料で平均体重 40g と 110g の魚を 1 年間継続して飼育し、その間定期的に魚をサンプリングして肉の色の変化を調べたところ、大きな魚で肉色改善処理を行った方が最終的な色素量は多くなること (図 5, 図 6)、小型魚でも大型魚でも色素量は天然魚に及ばないものの、肉眼では両者の違いが分からない程度まで養殖魚の肉の色を赤く出来る事等が分かった¹⁵⁾。養殖魚の色素量が天然魚に及ばない原因として、配合飼料の消化性が天然餌料 (生きた餌) より劣ること、天然魚の摂餌量が養殖魚より多い事等が有るのではないかと推測している。

カロチノイドを添加していない飼料で育てた親魚から得られた卵は薄い黄色であったが、アスタキサンチンやカンタキサンチンを添加した飼料で育てた親魚から得られた卵は綺麗な赤い色をしており、天然魚の卵と違いが無かった。卵中でカロチノイドは活性酸素の消去や正常な組織の分化促進などの重要な役割を担っている事が知られている¹⁸⁻²⁰⁾。飼料にカロチノイドを添加する事によって卵の質も改善されていた可能性が高い。

アスタキサンチンの単独投与で肉の色は沈んだ感じの赤、カンタキサンチンの単独投与では橙色がかった明るい赤になることがニジマスの試験¹⁷⁾で分かっている。天然魚の肉の主要な色素はアスタキサンチンであったが、成長に伴ってカンタキサンチンの占める割合が増えてくることから、両色素を併用して最も綺麗に見える肉の色にするのが良いと考える。

その後アスタキサンチンとカンタキサンチンの添加割合を検討し、両者合わせて 30mg/100g 添加した飼料でヒメマス进行飼育する事によって、肉の色が天然魚と変わらない養殖魚が生産出

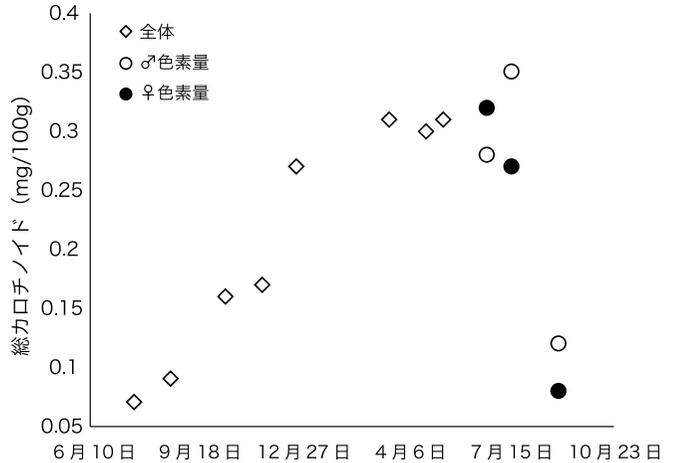


図 5 40g で肉色改善処理を開始した場合の色素量経時変化

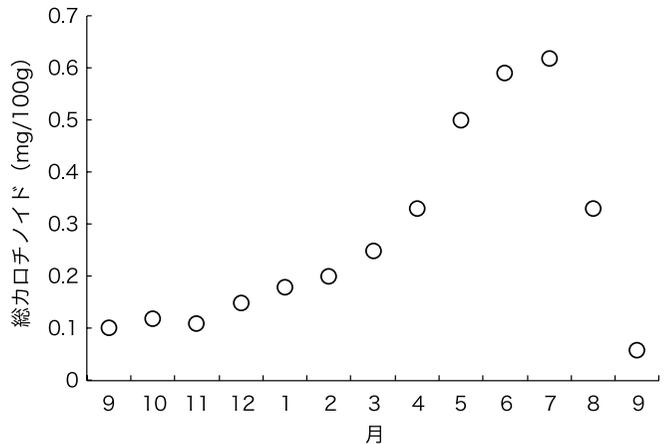


図 6 110g で肉色改善処理を開始した場合の色素量経時変化



写真 6 肉色改善処理後の養殖魚

来ようになった (写真 6)。また、飼料へのカロチノイド添加と素掘り池での飼育を組み合わせる事によって、体型、肉色共に天然魚と殆ど変わらない養殖魚が生産出来ている (写真 7)。



写真7 品質改善処理後の養殖ヒメマス

6. 飼料へのオキアミミール添加

天然魚の肉には甲殻類を多量に食べた魚特有の風味があったが、養殖魚には無かった。この味の問題を解決するには飼料に甲殻類由来の原料を用いれば良いと考えた。

嗜好性を高めるのを目的として養殖魚飼料の原料として一般的に用いられているオキアミミールを20%配合した飼料でヒメマス成魚を3カ月間飼育して味の変化を調べたところ、わずか1ヶ月間の飼育で明らかに味が変わり、独特の風味が感じられるようになった²¹⁾。

オキアミミールは飼料原料としては高価なので、今後ヒメマスの味を変えるのに最低限必要な量や必要な飼育期間等を検討する必要がある。また、オキアミミール以外の甲殻類由来の原料、例えばエビの頭部や殻、カニ殻等の有効利用を図るのもひとつの方法ではないかと思われる。

7. 親魚としての評価

平成18年度から26年度まで雌1尾当りの抱卵数の変化を纏めたのが図7である。明らかに天然魚の抱卵数が多

い。年ごとのバラツキは天然魚の方が大きかったが、これは親魚の大きさの違いによるものと思われる。残念ながら体重が測定してないので、単位体重当りの抱卵数を求める事は出来なかったが、これだけの違いが出る程養殖魚が天然魚より小さかったとは考え難い。また、卵の大きさも天然魚の方がやや大きかったため、この違いは最終成熟時の体重に対する卵巣の占める割合の違いによると推測出来る。天然魚では魚体に蓄積された栄養成分の全てを生殖腺の発達に利用している様であるが、養殖魚ではそう出来ない何らかの原因が有るのであろう。

受精卵の発眼率も天然魚の方が高かった(図8)。養殖魚由来の受精卵の発眼率は養殖ヒメ

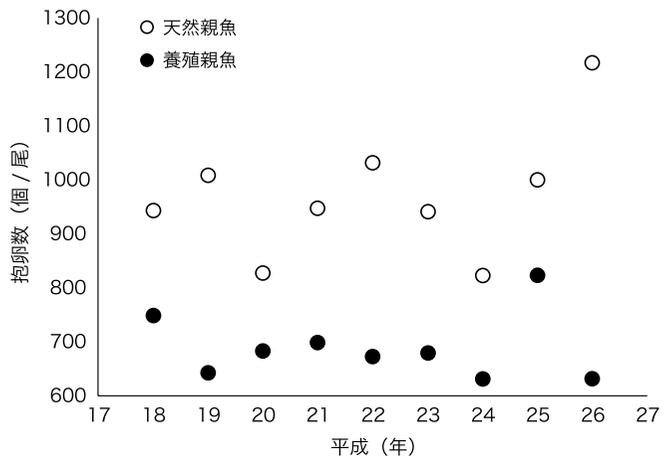


図7 雌1尾当りの抱卵数

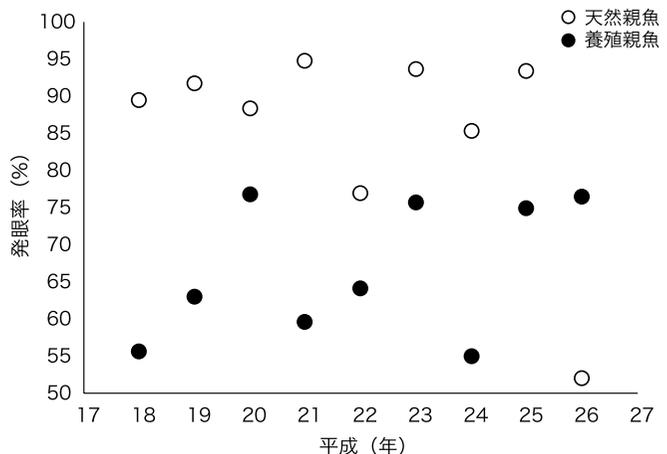


図8 受精卵の発眼率

マスの品質改善試験を開始する前の値³⁾から殆ど変化していない。この原因は、これまで販売用の魚の品質改善を重視し、色素は添加してあるが魚油は添加していない飼料で飼育を行ってきたことによると考える。残念ながら魚油添加飼料で飼育した親魚を用いて再生産試験を行ったことが無いので断言は出来ないが、魚油を5%添加した飼料で飼育した魚から得られた卵の一般成分、脂質クラス、脂肪酸組成等は天然魚のそれと殆ど同じであったことから、魚油添加飼料を与えていれば可也改善出来ていたのではないかと推測する。なお、卵の色素量やビタミン類等の微量成分が発眼率に及ぼす影響は未だ検討出来ていない。これらの微量成分が養殖魚の卵には少なく、それが発眼率に影響を及ぼしていた事も考えられる。

養殖魚も天然魚も年に数回採卵している。養殖魚で毎年の採卵日と発眼率の関係を調べると、両者の間に相関が有るのではないかと思えた。平成18年度から26年度までの採卵日と発眼率の関係を纏めたのが図9である。全体の発眼率は天然魚が高いこと、養殖魚の採卵開始日が天然魚より約1カ月早いこと、養殖魚の発眼率は採卵日が遅い方が高くなる傾向が認められること、養殖魚でも9月下旬以降採卵分の発眼率は天然魚に近い例が多いこと、天然魚の採卵は9月下旬以降で、採卵開始初期には発眼率が低い傾向が認められること等が分かる。

採卵開始初期に養殖魚の発眼率が低いのは、この時期にはまだ完熟個体が少ないので、作業の効率上採卵間隔を長くしている事によるのかも知れない。過熟個体の卵は極力除いているが、目で判断出来ない初期過熟状態の卵の混入率が高かった可能性が有る。

養殖魚の発眼率が低い原因のひとつに採卵時期が早すぎる事が有るのではないかと推測出来る。この問題を解決するには日照時間の調節を行って成熟の抑制を行い、天然魚と同じ時期に

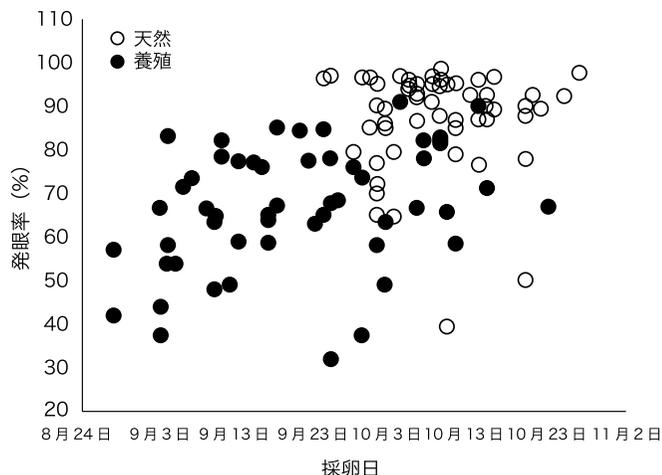


図9 採卵日毎の発眼率

成熟する様にすれば良いと考える。成熟時期の調整はニジマス等で略完成された技術であり、特に問題は無いと思われる。

養殖魚の再生産用親魚としての適切な評価はまだ出来ていない。親魚用飼料としては魚油、カロチノイドおよびビタミン類等の添加量がまだ不足していた可能性も考えられる。今後、成熟抑制処理や必要な栄養成分の検討を行い、養殖魚の再生産用親魚としての評価を高める努力が必要である。

8. まとめ

- ・販売目的の養殖ヒメマスの品質は魚油を外割で5% (飼料の脂質含量で12%), カンタキサンチンとアスタキサンチンを合わせて30mg/100g, オキアミミールを20%添加した飼料で飼育する事によって体型と体表の色以外天然ヒメマスと殆ど違いが無い程度まで改善出来た。

- ・体型は飼育環境、特に飼育池の構造や飼育密度を変える事によって可也天然魚に近付けることが出来た。

- ・体表の色の問題は未だ解決出来ていない。但し、飼育環境 (照度, 紫外線, 池の色) や未検討の餌の問題等と組み合わせれば養殖魚の体表の色も可也天然魚に近付けることが出来るのではないかと考えている。

・養殖魚の消化管肥大は配合飼料の物性や消化性を改善しないと解決出来ない問題であろう。

・養殖魚の再生産用親魚としての評価はまだ出来ていない。成熟抑制を行って採卵時期を遅くすることや、魚体および生殖腺にまだ不足している栄養成分が有るか否か等を明らかにし、

適切な処置を講じる必要がある。

・上記の全てを同時に行おうとすれば生産コストが高くなる。養殖は事業なので赤字になっては意味が無い。何が優先的に解決すべき問題なのかを明確にし、適切な対応策を採れば良いと考える。

参考文献

1. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマスのグアニン量. *New Food Industry*, **54**(9): 48-58, 2012.
2. 酒本秀一, 佐藤達朗: 天然ヒメマスと養殖ヒメマスの違い. *New Food Industry*, **59**(7): 39-51, 2017.
3. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマスの天然親魚と養殖親魚の違い. *New Food Industry*, **59**(5): 67-79, 2017.
4. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマス飼料への魚油添加効果. *New Food Industry*, **59**(6): 41-54, 2017.
5. 片山輝久: 海産動物. 水産動物のカロテノイド (水産学シリーズ 25, 日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 41-59, 1978.
6. 秋山豊子, 佐々木誠, 竹中淑子: 動物の体色発現と紋様形成の仕組み I. 慶應義塾大学日吉紀要 自然科学, No.37, 73-94, 2005.
7. 大島範子: 硬骨魚類における色素胞とその運動制御の仕組み. 比較生理生化学, **20**(3): 131-139, 2003.
8. 乾靖夫: 銀化するサケ-塩漬けにならない変化-. 魚の変態の謎を解く (ベルソープックス 025), 成山堂書店, 東京, 101-113, 2006.
9. 乾靖夫: ヒラメの眼が移動する訳-変態の司令塔を探る-. 魚の変態の謎を解く (ベルソープックス 025), 成山堂書店, 東京, 25-92, 2006.
10. 酒本秀一, 佐藤達朗: 異なる水温で飼育したヒメマスの成長と体成分. *New Food Industry*, **59**(4): 30-44, 2017.
11. 岡村直道: メダカの色素胞と体色変化-生物学実験 実験6について. 筑波医療科学, **1**(3): 63-66, 2004.
12. 酒本秀一, 糟谷健二: 魚類の細菌感染に対するブドウ種子抽出物とβ-1,3/1,6-グルカンの予防効果. *New Food Industry*, **53**(7): 26-40, 2011.
13. 酒本秀一: ニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の被害を軽減する方法 -1. *New Food Industry*, **54**(6): 51-62, 2012.
14. 酒本秀一: ニジマスで *Flavobacterium* 属細菌の被害を軽減する方法 -2. *New Food Industry*, **54**(7): 49-58, 2012.
15. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマスの肉色改善. *New Food Industry*, **59**(8): 40-63, 2017.
16. 酒本秀一: アマゴ用飼料 -2. カンタキサンチンとアスタキサンチンの比較. *New Food Industry*, **54**(12): 51-61, 2012.
17. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -1. *New Food Industry*, **57**(9): 39-51, 2015.
18. 清水延寿, 幹渉: カロテノイドの生物活性・活性酸素消去活性. 海洋生物のカロテノイド-代謝と生物活性 (水産学シリーズ 94, 日本水産学会監修, 幹渉編), 97-104, 1993.
19. 眞岡孝至: アスタキサンチンとは. アスタキサンチンの科学 (矢澤一良編著), 成山堂書店, 東京, 11-27, 2009.
20. 山下栄次: アスタキサンチンの効果 抗酸化作用. アスタキサンチンの科学 (矢澤一良編著), 成山堂書店, 東京, 28-35, 2009.
21. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマス肉質改善の取り組み. ヒメマスワークショップ講演要旨 (2008年12月17日, チサンホテル宇都宮)

第1章 ベジタリアニズム：長寿と慢性疾患への影響

ゲーリー E. フレーザー (Gary E. Fraser) *1 訳：山路 明俊 (Akitoshi Yamaji) *2

1. なぜ、アドベンチストの健康を研究するのか？

セブンスデー・アドベンチストとは？

セブンスデー・アドベンチストとは、一体どのような人なのか。彼らのライフスタイルは、他の人の健康にどの様に役に立つのだろうか。セブンスデー・アドベンチストは、世界中で1,300万人以上いる伝統的な宗教グループである。1863年に初めて、東部米国で組織化された宗派である。彼らのルーツは、メソジストであると言える。彼らは、プロテスタント教会の戒律の多くを共有するが、安息の日として、日曜日より土曜日を比較的厳密に順守することで異なっている。また、いくつかのプロテスタントグループと以下の点で異なっている。

- ・キリストのそのままの再来が間近に起こることを待ち望んでいる。
- ・それが起こるまでは、死は無意識の状態であると信じている。
- ・聖書の預言の重要性を伝統的に強調している。
- ・創造論者である。

アドベンチスト教会の初期の年代で鍵となったのは、エレン・G・ホワイトである。彼女は、夫のジェームズと共に、力強く、才能ある語り手で、賢明な管理者でもあった。様々な場面で、天からのメッセージを受けとったと発し、その中には、ライフスタイルと健康に関するものが含まれていた。これらのエピソードは、しばしば

ば、祈りの時間の最中に起こり、彼女に深い影響を及ぼし、時折、長時間、恍惚状態にさせた。彼女は、多くを出版し (Goen, 1971年)、稀代の経験を文書にし、さらには、聖書の殆どの箇所

の解説に及んだ。

1863年、教会が設立された同じ年に、小規模のアドベンチストグループが、健康と幸福と精神の向上を増進するライフスタイルの役割を強調し始めた。このようにして、アドベンチストは、独自のライフスタイルを140年間強力に推奨してきて、アルコールとタバコ、豚肉のような聖書で不浄とされるものの摂取を禁じてきた。さらには、教会は、他の肉類、鶏肉、魚、コーヒー、紅茶、カフェインを含む飲料、高度に精製された食品や辛い調味料やスパイスも避けるよう勧告した。また、教会は、定期的な運動も勧めた。これらの推奨内容の点から見ると、少なくとも米国のアドベンチストの半数は、ラクト・オボ・ベジタリアンで、肉の摂取は1回/週未満であるが、他の推奨事項については、バラツキが見られる。

Ellen Whiteは、これらのライフスタイル勧告案の採用を推し進めてきた。実際のところ、1960年代中期の初めに、彼女は、よりよい健康に導くことに繋がる変化を広く鼓舞した。彼女の考え方は、それ自体独自のものではないが、オリジナルな組み合わせもあった。これらの記述の中の3点はこの章の脚注に引用されている。

19世紀中期や初期の他の健康変革者は、同様の変化の提唱に積極的であった。これらの人の

*1 ロマリンダ大学メディカルセンター教授、*2 ニュートリション・アイ

中には、ジョン・ウエスレー等の聖職者（メソジスト教会の設立者）：広く健康に関して出版した人、聖書教会の牧師であるウィリアム・メットカフェ：組織的にベジタリアニズムを米国にもたらした人、長老教会の牧師であるシルベスター・グラハム、そして、ミラー説信奉者の牧師と医師でもあるラーキン B. コールズである。多くの宗教関係者は、アルコールの乱用に関心を持ち始め、宗派を超えた運動を立ち上げることをけん引した。Ellen White や他のアドベンチストは、活発な禁酒改善の提唱者であった。

アドベンチストの健康への関心は、自分自身の為や健康メッセージを他の人々に広げる目的でのヘルスケア協会の設立へと繋がった。このメッセージは、適切なライフスタイルの変更が疾病を予防すること、現在の低い健康状態を改善すること、さらには、宗教的な経験を後押しすることへの議論でもあった。ミシガンのバトルグリークは、最初の保健機関である、西部健康改善協会の地となった。1878年までに、この協会は活発で若い John Harvey Kellogg 博士によって牽引され、大きな規模の医療手術用療養所と引き継がれた。バトルグリーク療養所はすぐに世界的な著名な機関となったが、John Kellogg は、1905年頃に、教会指導者との神学の点、行政機関、その後の彼の提唱した医療法の考え方の相違等により、アドベンチスト教会とは袂を別った。

彼がアドベンチスト教会を去る前に、Kellogg と弟は、すでにシリアルフ레이크とピーナッツバターを開発していた。このことはまもなく、おなじみの Kellogg 社の設立に繋がった。現在は、アドベンチストのビジネスではないが、似たような、又は同じ動機により、最近までアドベンチストの所有であった、いくつかの著名な健康食品企業の設立へと繋がった。これらの企業として、米国の Loma Linda Food, La Loma Food, Worthington Food, 英国の Granose Food, Weetbix Marmite にある、おそらく、オーストラレーシアでは最も知られた the Sanitarium Health Food 社で、ピーナッツバ

ターは国際的な食品である。朝食用食品を作り出すだけでなく、これらの企業の多くは、植物性のたんぱく質食品、大豆使用の飲料、小麦グルテンやピーナッツタンパク質に力を入れている。

20世紀の初頭、使節として中国を訪問した Harry Miller 博士は、極東在住の成人が大豆を良く食べることに注目した。また、彼は、おそらくその一部はタンパク質源の牛乳の不足に起因すると思われる、幼児の重篤な栄養失調も観察した。1930年代の中期までに、彼は、豆乳のおいしさの改良と大豆由来の不消化の炭水化物の大腸発酵で生じる腸の不調を軽減する方法を開発した。彼は、幼児食としての豆乳の有効性を明らかにし、世界に広めることに力を注いだ。こうして、70年前に、彼は大豆の健康効果の強力な提唱者となり、当食品を科学的に評価する方向へと導いた。

アドベンチスト教会は、世界中にヘルスケア協会のシステムを広めた。最も知名度の高いセンターは、John Harvey Kellogg が教会を離れ、Battle Creek の療養所が閉鎖された後、Ellen White により1905年に設立されたカリフォルニアのロマリダ大学医療センターである。アドベンチストは、社会での個人の健康を促進する牽引車であり続け、ベジタリアンの料理学校や人間ドックの運営をすることも良く知られている。彼らは、グループで行う禁煙プログラムを最初に開発し、特に良く知られている「Five-Day Plan」は、アドベンチストの医師である、J. ウェイン・マクファーランドと、牧師でカウンセラーであるエルマン J. フォーゲンバーグによって開発された。

殆どのアドベンチストは、ライフスタイルに関しての教会の推奨に従い、幾世代に渡って続けてきているので、このことが、宗教的信条に健康問題を取り入れることに対して強力な影響力を与えている。アドベンチストは、健康にとってよいことを実践することは、宗教的な価値の尺度とは考えてなく、健康にとってよい習慣を選択することは、価値のある精神的な規律と見

ている。

他の人々は、社会的な規律を変更することや健康的な行動にこだわることを促すことに際し、宗教の効果的な影響を推測してきた。例えば、Vaux は、ユダヤ・キリスト教の信仰体系となっている「生活の中の純粋さ」の概念を作り出した。体や健康が神聖なものと考えられるならば、健康維持は、「信仰の核」となる。このことは、動機や行動に強く影響している。健康問題を正式に信仰の枠組みの中に取り入れる宗教的グループは数少ないが、アドベンチストは、それを実施し、キリスト教、ユダヤ教あるいはイスラム教に自然な形で合致している。また、Vaux は第2の概念を作り出し、それは「満足と目的達成を引き出す信仰」「健康に対処する姿勢と行動」について議論した「存在の平和」である。健康と目的を意識することは、「健康を守る」欲求を引き出し、毎日、スリルを味わいながらより良い生活への欲求を導くことになるかも知れない。

最後に、同様な非伝統的な価値や健康行動に賛同するグループから得られる知識や社会的な支援は、力強い援助となる。アドベンチストの友人の殆どは、教会のメンバーで、Bandura により提唱された社会学習に適した環境にあることは事実である。



疫学調査が示すアドベンチストの優位性

研究者らは、なぜ、集団としてセブンスデー・アドベンチストの健康を研究することに興味を持つのか。数多くの人が捜し求める、何か特別な若さの泉を見つけたのだろうか。

この特別な集団のいくつかの特徴が、疫学研究に対し、彼らを魅力的なものとしている。これらの研究は、被験者が長期間、質問事項に完全に対応し、医療機関に通うことが要求される際に、測定の問題や意識の低さのトラブルが起きやすい。特定の食品や栄養素がある一定のサイズの相対リスクに関与している複雑な食事の

仮説を検討するためには、数百の新規な疾病のケースを分析に利用できるようにすることが最良である。さもないと、リスク因子の影響を決めるための統計的な力は、極めて限定的になる。従って、前向き研究では、特殊な慢性疾患は、一般的でないので、対象の研究集団は、望ましくは、数万の被験者が求められる。

集団の多くを対象にした思いだし調査票を送ったり、最終的な返答率の数を2倍にするために質問票を送ることが必要な場合でも、数千の被験者から、開始時の健康習慣のデータを入手することは、費用がかかる。アドベンチストは、健康に興味があると認知されていて、長い質問票を完成することに好意的であることを示してきている。

研究によって、個人から得られる回答の正確性は、統計的検出力とバイアスの回避にとって重要である。質問の回答中のランダムエラーは、効果なしの出現に対する相対リスクに、最も一般的なバイアスとなり、その結果、実際的な影響を検出する機会を失わせてしまう。従って、データの正確性は研究の有用性を改善する。アドベンチストは、一般的に教育レベルが高く、食事や食事習慣に特別な関心を持っているので、何を食べたかを比較的正確に報告できるのである。

これらの集団のメンバーは、習慣が似通っていて、いくつかの点で、事実であることを多くの人が考えている。例えば、教会は、タバコとアルコールは禁忌をとされている。タバコについては、ほぼ、遵守が見られるが、アルコールの摂取は見られる。我々の研究では、10%未満の人が摂取し、それでも、ごく少量である。たった1.8%の人がタバコを容認し、4%が豚肉を摂取しているとしている。その結果、アドベンチストが楽しんでいる特異的な健康生活は、事実、タバコやアルコールは程ほどであることが部分的に起因している。この事は、実際には、全ての人が絶っているもので、これらの2つの要因の独立した貢献度を調査することは困難であることを示している。事実、有用な比較集団は

存在しない。しかし、食事や、運動、心理社会的な面や他の要因に関係する理論を検証する際には、タバコとアルコールの不使用が厳格に一定ではないので、アルコールやタバコの使用に関するサブグループの相違が想定される影響を歪めるかもしれないことを研究者は気に留める必要はない。恐らく、研究の為にアドベンチストを超えた土地にする最も重要なことは、カギとなるある種の生活行動で見いだされる多種多様なところである。食事、運動や心理社会的な要因が問題になった時、集団の中では統一性は見られない。特に、食事に関しては、アドベンチストは、かなり、不揃いである。教会だけが、肉の禁忌を推奨していて、卵と乳製品については、制限なしで認めている。我々の研究では、結果的に、アドベンチストの約3%のみがビーガンで、約27%がラクト・オボ・ベジタリアンで、肉摂取については、約20%が1回未満/週、残りは、平均して、4回/週である。

野菜、ナッツや果実は、平均して、一般的な量より多く摂取しているが、それでもまだ、大多数は、少量に留まっている。従って、集団の中では、これらの食品群は、一般よりも目に触れる機会が多い。このことは、特に、測定誤差が問題となる調査研究での効率や統計力に対し、重要な助けとなる。もし、食品が効能を有している場合には、このことを証明する機会が存在することになる。多量摂取の1群は、めったにあるいは殆ど摂取しない群との比較が可能である。例えば、ナッツ摂取量と心臓疾患（5章参照）に関する我々の知見は、もし、24%のアドベンチストが5回以上/週、ナッツを摂取しているという驚くべき知見がなかったならば、見出されることはなかったが、34%は1回未満/週の摂取であることもまた、比較対象群として必要なのである。



当研究で用いられた2つの前向き研究

アドベンチストの健康を調査するために、本

来は前向き研究である、2種類の異なる研究がたびたび用いられてきた。これらの研究は異なる考え方が導きだされること、及びその強さや制限事項を明快に理解した上での解釈が要求される。

最初の研究は、集団としてのアドベンチスト間の疾病率の比較を提供するデータを集めたもので、同一の地域にいる集団からのものである。このタイプの研究は、アドベンチストであるという興味ある要因が容易に正確に決められ、測定されるという利点がある。例えば、疾病率が非アドベンチストより低い場合、疾病を予防するという「喫煙をしていない」「ベジタリアニズム」「食事の違い」「心理社会的」や「宗教的な要因」があるかないかにかかわらず、アドベンチストのライフスタイルには何かあると合理的に結論付けることができる。ある人は、遺伝的違いが関与していると考えたが、この考えを支持するエビデンスは無く、それを疑う多くの理由がある。

この種のデータの脆弱なところは、入手したエビデンスを拡大解釈してしまう誘惑が存在するということである。これらの研究は、特別で潜在的な決定要因を得られることには成らず、実際、アドベンチストと他との違いを提供できるすべての要因を知ることは通常、困難である。古くて小規模研究の殆どは、この種のものである。それらは、興味ある何かがあるので貴重である。しかし、特別な結論を導き出すためには、より多くの注意深さと詳細な作業が必要である。

アドベンチズムは、生き方であり、殆どが一つの文化である。もし、アドベンチストが長生きであったり、良く見られる慢性疾患の罹患が少ないとした場合、自然に、アドベンチストのライフスタイルの特徴の何がこれに貢献しているのだろうかという質問がわいてくる。アドベンチストのライフスタイルのすべての点が有用であるか、少なくとも有用に等しいと考えることは合理的とは言えない。この質問に答える為には、異なる健康習慣を持つアドベンチストの健康状態を比較することが役に立つ。外部の

集団との比較よりも、異なるアドベンチスト間の未測定で予想外の違いは重要性を減じてしまう。従って、異なる変数間の交絡因子や混乱は、第2のタイプの研究では、減少する。

第2のタイプの研究は、外部の集団ではなく、アドベンチスト集団内での比較である。この研究は、個人の特異的なライフスタイルの属性を洗い出す必要性を暗に示している。例えば、食事（食品や栄養素）、運動、肥満や病歴を洗い出すことは、この研究タイプの強みでもあり、弱みでもある。第1のタイプの研究で見られた違いを説明するアドベンチストの詳細な特徴のいくつかを明らかにする可能性がある。

しかし、アドベンチズムというレッテルを正確に測る能力とは異なり、食事や運動等の複雑な行動を正確に測る能力は限られているので、第2のタイプの研究での計測の特異性は弱さでもある。それから、分析時の測定エラーの影響を全体の問題として、議論する必要がある。このことは、研究の性格上非常に重要な問題で、著者の視点では、食事や疾病に関する既存の文献の殆どがこの難しさを無視するという事実が、食事と健康との関連性に似て、専門家の間に多くの混乱を生み出すことになる。測定エラーの起こり得る影響についてのより詳しい議論は、5章か他の章で記載されている。(Thomasら、1993)

第2の研究の別の問題点は、アドベンチストと他のアドベンチストを比較することにより、いくつかの変数の可能な設定範囲を必然的に制限することになる。アドベンチストが一定の方法で申告する習慣を測定することが変数である。例えば、喫煙、飲酒や、日に数回赤肉を食べるアドベンチストは極めて少数である。それでも、一般的な人々では、喫煙、飲酒や肉を良く食べることはまれな事ではなく、第1の研究で見られた、アドベンチストと非アドベンチスト間の違いが一部ここにある。

要約すると、第1のタイプの研究は、これらの集団では、健康的な行動の違いを生み出す何かがあるという一般的な結論を導き出してい

る。アドベンチスト死亡率調査（AMS）（付録参照）は、同時期の米国がん協会（ACS）調査での、アドベンチストと非アドベンチスト間の疾病率の比較を分析した計画がその例である。第2のタイプの研究は、個人の要因をピックアップする試みであり、また、リスクの増加や低下の影響を調べることである。例は、アドベンチスト健康調査（AHS）のデータに基づいた解析である。しかし、このタイプの解析では、測定エラーは潜在的な問題であり、しばしば（常時でないが）、効果の過小評価を導くことになる。



アドベンチストの健康行動のデータ

特別な生活習慣を推奨することも一つで、また、その勧告を実施させるのも一つである。医師は、患者を継続的に運動させることや、より健康的なものを食べさせることは難しいと良く知っている。アドベンチストの健康を調べる前に、実際に実践している健康に関する習慣の性質を理解しなければならない。教会が勧告を行うことは、その厳守になることもあれば、ならないかも知れない。従って、目的の情報を集める意図のある調査結果を検証することは有用なことである。

この様な情報の想定される客観性は、熟考の価値が十分にある。アドベンチストの詳細な研究の殆どは、アドベンチストの組織である、ロマリンダ大学で行われたものである。従って、アドベンチストが調査に応じる際、教会の基準に従うようなことは、ある種のプレッシャーを感じる可能性がある。この種の微小な影響を除外することは不可能であるが、重要なバイアスはないようである。

まず第1に、殆どの食品に関して、教会だけが勧告を実施する。メンバーの間では順守は自発的であり、これらへの傾倒は一定でない。従って、飲酒、豚肉やタバコのようなアイテムを除き、外部に於いては順守度が低いという言うことはない。

第2に、ロマリンドの調査では、気密性に関し、我々のこだわりの主眼を明らかにした。そして、データの安全性について、しくじったことはない。個人の名前は、ライフスタイルのデータに繋がることは決してなく、1～2名のシニア調査官のみがコンピューターファイル上で、名前を特定ナンバーにリンクできる知識を持っている。

第3に、アドベンチストの健康調査データの入力時の消失データの頻度は、宗教性のないアイテムよりも、敏感な質問の方が規模は小さい。さらに、アドベンチスト間では、これらの敏感なアイテムに関しては、非アドベンチストに比べ、応答の程度は悪くない。この事を維持しているので、少数のアドベンチストは、アルコール(8.9%)、タバコ(1.8%)と豚肉(4%)を容認している。

この章では、カリフォルニアのアドベンチストが、特殊なカテゴリーの行動に分類されるものの割合を注視することによって生活している方法を示す。ここでの焦点は食事、運動と心理社会的な要素である。これらの変数が血圧のレベル、血中脂質や疾病に及ぼす直接的な影響等の重要な中間リスク指標に対する効果は、後の章で取り上げられる。

アドベンチスト研究での関心は、多くの部分、食事に関係しているので、異なる食事パターンが他とはどのくらい異なるのかを理解しなければならない。ベジタリアン事情が、他の多くの相違点の指標であり、データを注意深く分析したり、解釈しないと、それが、ベジタリアン事情なのか、あるいは、がん、心疾患や早死のリスクに真に影響している関連変数なのかは、明確にはならないであろう。また、非肉食の摂取、運動、肥満、教育、年齢や性別に関して、ベジタリアンと非ベジタリアンを比較しなければならない。

○心疾患リスク因子研究

我々の研究に関与してきたアドベンチストの習慣を示すために、この本は2つの集合データ

を取り上げる。心疾患リスク因子(HARF)研究(Fraserら, 1987)と、アドベンチスト健康調査(Beesonら, 1989)である。アドベンチスト健康調査は、カリフォルニア在住のアドベンチスト34000人の前向き研究で、詳細は付録に記載されている。

HARF研究の目的は、代表的なアドベンチスト男性群と非アドベンチスト住民間の健康行動と冠動脈リスク因子を比較することである。1982年、我々は、オレンジとロサンジェルス地域の127名のアドベンチスト集団のうち、13名を無作為に選んだ。これらの教会から、年齢35～55才の非ラテン系アメリカの白人男性全てが招聘され、90%(160名の男性)が質問表を完成し、血液の検体の提供を行った。中年の非アドベンチストの男性(アドベンチストから少なくとも6軒離れている)は、それぞれの参加アドベンチストの年齢と合致された。

この研究計画の利点は、適格なアドベンチストであることなので、まず、最初は、ボランティアの数が多い記述研究で見られるバイアスの割合は少ないことである。

次に、学歴と収入に従い、相互比較性を的確にマッチングされた近隣住民なので、近隣男性との比較は、心理社会的事情での違いによって影響はされないことである。

○アドベンチストの食事

食事の習慣は、主に、2つの方法で説明される。食べる時に選択する食品としてか、食品が含む全体の栄養素や化学物質かである。勿論、特異的な栄養素は、多くの食品に共通しているかも知れない。両者の方法からの情報は以降に示される。食品の化学的な成分は一部しか理解されていないので、既知の成分では想定されない健康効果を示すかもしれないことを常に記憶に留める必要がある。食事を正確に測ることの困難性は、良く知られているが、表1-1～1-6のデータは、大規模の被験者を代表するように平均レベルを用いることで、個人の食事思い出し法からの不規則なエラーを最小限にしている。

心疾患リスク因子研究にリスト化されているアドベンチストと近隣住民(表1-1)の毎日の食品摂取を調査することで、すぐに2つのグループの違いを見つけられる。アドベンチストは、肉、アルコール、クリーム、コーヒー、バターや白いパンの摂取は少なく、全粒パン、マーガリンや肉代替品は多いことをデータは示している。栄養素で見た場合(表1-2)、違いはそれほど際立ってはいないが、明確である。アドベンチストの食事は、約300カロリーより少なく、脂肪カロリーも約16%少ないのが、特徴である。このことは、飽和脂肪とモノ不飽和脂肪の摂取がかなり少ないことに起因しており、多価不飽和脂肪/飽和脂肪(P/S)が高い結果となっている。食事由来のコレステロールもまた、25%以下で、P/S比は高く、キース値がかなり低くなっていて、血中コレステロール値に対する食事の効果を予測している。アドベンチ

スト男性の粗繊維の摂取は57%多い。

従って、教会の勧告と伝統は、一部しか実施されていないが、様々な食品の選択が顕著で、アドベンチストと非アドベンチストとの比較では、栄養素の摂取の違いはそれ程大きくはない。一般的には、アドベンチストの食事の選択が健康的な習慣に反映している。

アドベンチストの集団を拡大しての食習慣が、この場合男性と女性であるが、アドベンチストの健康調査から別の視点で得られた。34192名の非ラテン系白人に配布された食品頻度質問表と特別栄養調査(Special Nutrition Substudy)の147名から、食事情報が集計された。特別栄養調査で、我々は、食品頻度データと5件の24時間思い出しで得られた正確な平均値とを比較することで、栄養素摂取の索引を開発した。それから、コホート全体を通して、食品頻度情報を栄養素摂取の推定に変換した。この研究では、

表1-1 アドバンチスト中年男性と近隣住民の食品群の平均摂取量
(標準偏差)各175名(心疾患リスク因子研究より)

食品	単位	アドベンチスト		近隣住民		p 値
クリーム	卓上スプーン	0.18	(0.69)	0.31	(1.08)	<0.10
コーヒー	カップ	1.20	(1.77)	3.30	(2.98)	<0.0005
アルコール	杯	0.008	(0.29)	1.93	(2.88)	<0.001
野菜サラダ	3/4 カップ	0.89	(0.86)	0.62	(0.58)	<0.001
かんぎつ類	中程度	0.45	(0.53)	0.27	(0.44)	<0.03
バナナ	中程度	0.43	(0.51)	0.21	(0.30)	<0.0001
メロン	中程度	0.13	(0.29)	0.13	(0.35)	NS
他の生果実	中程度	0.67	(0.83)	0.36	(0.70)	<0.005
果実缶詰	1/2 カップ	0.23	(0.34)	0.09	(0.23)	<0.002
レーズン/デーツ	卓上スプーン2杯	0.28	(0.48)	0.11	(0.41)	<0.001
他のドライフルーツ	卓上スプーン2杯	0.07	(0.24)	0.02	(0.07)	<0.02
総果実	中程度	2.68	(1.98)	1.47	(1.57)	<0.0001
トマト	中程度	0.37	(0.40)	0.22	(0.25)	<0.0001
食パン	1枚	0.44	(1.01)	0.99	(1.47)	<0.0005
全粒パン	1枚	1.61	(1.67)	0.99	(1.24)	<0.0005
バター	1塊	0.37	(0.91)	0.22	(0.25)	<0.005
マーガリン	1塊	1.26	(1.38)	0.88	(1.10)	<0.005
卵	1個	0.50	(0.57)	0.59	(0.56)	NS
ビーフ	3オンス	0.40	(0.51)	0.75	(0.70)	<0.0005
ポーク	3オンス	0.002	(0.014)	0.14	(0.22)	<0.0005
チキン	3オンス	0.22	(0.38)	0.34	(0.37)	<0.005
魚	3オンス	0.12	(0.17)	0.21	(0.34)	<0.005
肉代替物	3オンス	0.28	(0.43)	0.03	(0.15)	<0.0005

NS: 有意差なし

表 1-2 近隣住民と比較した、アドベンチストの平均主要栄養素摂取量 / 日
(各 157 名) (心疾患リスク因子研究より)

	アドベンチスト		近隣住民		p 値
カロリー	2255	(781.0)	2547	(1128.6)	<0.01
炭水化物 (g)	267	(105.8)	243	(111.2)	NS
脂肪 (g)	101	(45.8)	119	(59.8)	<0.005
タンパク質 (g)	80	(30.4)	87	(43.2)	<0.06
粗繊維 (g)	6.9	(3.3)	4.4	(2.3)	<0.001
飽和脂肪 (g)	23.5	(11.5)	29.0	(14.8)	<0.001
リノール酸 (g)	24.4	(13.4)	24.0	(14.9)	<NS
オレイン酸 (g)	33.8	(15.9)	42.5	(21.9)	<0.001
コレステロール (mg)	312	(188.7)	419	(242.9)	<0.001
P/S 比 a	1.09	(0.42)	0.88	(0.37)	<0.001
キースの食事スコア	192.8	(8.97)	198.4	(8.86)	<0.001

NS: 有意差なし, a: 不飽和脂肪 / 飽和脂肪

出典: Fraser GE et al., IHD risk factors in middle-aged Seventh-day Adventist men and their neighbors, Am J Epidemiol 126:638-646, 1987.

表 1-3 ベジタリアンの年齢との相関 (アドベンチスト健康調査より)

年齢 (歳)	ベジタリアン	ほぼベジタリアン	非ベジタリアン
25 ~ 44	0.94	0.94	1.18
45 ~ 64	0.88	0.95	1.20
65 ~ 79	0.93	1.10	0.98
80 以上	1.36	1.02	0.72

* 性別を補正, p<0.0001

表 1-4 ベジタリアンの学歴との相関 (アドベンチスト健康調査より)

学歴	ベジタリアン	ほぼベジタリアン	非ベジタリアン
高校前	0.84	1.01	1.19
高校又はカレッジ	0.91	0.98	1.12
カレッジ又は大学院	1.31	1.01	0.75

* 年齢と性別を補正, p<0.0001

非アドベンチストの比較グループがないので、これらのデータは、アドベンチストの食事習慣に関する差異を表すことに利用される。特に興味深いのは、肉摂取の異なる頻度を報告した、アドベンチストのその他の特徴の比較である。これらの異なる頻度分類はベジタリアン、ほぼベジタリアン (セミベジタリアン) と非ベジタリアンとなり、次のように定義される。

ベジタリアン:

肉、魚あるいは家禽の摂取無し

ほぼベジタリアン又はセミベジタリアン:

肉、魚と家禽の摂取は、週末満

非ベジタリアン:

ある種の肉の摂取が少なくとも、毎週 1 回

非ラテン系白人のアドベンチストの間では、29% がベジタリアン、21.3% がセミベジタリアン、49.2% が非ベジタリアンである。肉の摂取でカテゴリーが定義されるが、グループ間には他に多くの相違があるかも知れない。肉摂取よりも、異なる病歴を決定するかも知れない。第 1 に、アドベンチストの年齢、性別や学歴等の強力な健康予測因子が肉摂取を特徴付けるかどうか疑問がある。第 2 に我々は、異なるベジタリアンのカテゴリーに分類されるグループ間

表 1-5 ベジタリアンと非ベジタリアンアドベンチストとの食品摂取比較 a

(アドベンチスト健康調査より)

	ベジタリアン	ほぼベジタリアン (白人)	非ベジタリアン	白人	黒人
占有% (サービング/週)	32.0	22.8	45.2	100	100
果実					
缶詰	3.17	2.78	2.3	2.69	1.85
ドライ	3.13	2.56	1.81	2.40	2.19
かんきつ類	2.92	2.65	2.5	2.67	3.33
冬	5.64	5.07	4.55	5.02	4.47
他	4.26	3.97	3.57	3.88	3.98
総果実	19.12	17.03	14.73	16.66	15.82
トマト	3.77	3.65	3.54	3.64	3.15
豆	2.30	1.87	1.23	1.72	1.67
ナッツ	3.89	3.26	2.19	2.98	2.49
野菜サラダ	4.72	4.67	4.72	4.71	4.07
パンにつけたマーガリン	6.19	6.22	5.96	6.09	4.49
卵	1.25	1.64	2.17	1.75	1.77
ドーナッツ	0.38	0.51	0.89	0.64	0.74
コーヒー	0.34	1.39	5.1	2.73	0.74
ビーフ	0	0.20	3.05	1.42	1.94
家禽肉	0	0.09	0.72	0.35	0.71
魚	0	0.10	0.61	0.30	0.46
肉代替物 (%)	3.48	3.05	1.35	2.42	3.08
全粒パンを好む	96.7	94.5	82.5	89.7	87.4
少々ビール又はワイン	0.5	1.5	11.3	5.6	5.6
少々ウイスキー等	0.3	0.5	5.8	3.0	4.5

a: 年齢と性別を補正

b: 対象が少数であることと、黒人のアドベンチスト全体を代表するには、レスポンス率がかなり低いので、ベジタリアンを分類せず。

で、その他の食事の特徴が違うのかどうかを判定する。

ベジタリアンのアドベンチストは、他より老いているか、若そうであるかどうかは表 1-3 に示されている。表 1-3 と 1-4 を解読すると、その年齢グループ (又は表 1-4 の学歴グループ) にいるアドベンチストの割合が、肉摂取のカテゴリーの全体平均よりも高くもなく低くもない場合に 1.0 となることを知ることは有用である。事実、若年者は、予想より約 18% ~ 20% 多くベジタリアンで、一方、80 才以上の人は、予想より約 36% 多いベジタリアンである。

女性は男性より、ややベジタリアンのようであり、年齢を補正 (詳細なデータは示していな

い) した後は、男性は非ベジタリアンカテゴリー ($p < .0001$) の中では 10% 過剰になっているからである。運動習慣は、また、ベジタリアンの食事パターンと関連しているが ($p < .001$)、ほんの少しである。データの年齢と性別を補正すると、少なくとも週 3 回激しい運動をする人は、予想の 7% よりベジタリアンのようである。ベジタリアンと世代の効果を示さない人の比率では、年齢は異なる。あるいは、アドベンチスト世代として、彼らは、健康にもっと関心を示すようになるかも知れないし、選択には、もっと保守的になるかも知れない。我々のデータは、これらの 2 つの可能性を区別することができない。また、他の集団で高い教育を受けた人は、

表 1-6 ベジタリアンと非ラテン系白人で非ベジタリアンとの平均栄養摂取量の比較 a
(アドベンチスト健康調査)

	ベジタリアン	ほぼベジタリアン	非ベジタリアン
エネルギー (kcal)	2064	2053	2013
総脂肪 (g)	83.5	83.7	85.2
多価不飽和脂肪 (g)	21.4	20.8	19.3
モノ不飽和脂肪 (g)	28.2	28.3	29.7
飽和脂肪 (g)	23.3	24	28.8
P/S 比	0.92	0.87	0.67
キース スコア (mg/DL)	188.5	190.2	198.5
植物油 (g)	57.5	55.5	48
動物脂 (g)	22.8	24.4	32
コレステロール (mg)	193.6	211.6	271.9
タンパク質 (g)	69.3	69.9	71.7
植物性たんぱく質 (g)	38.9	36.8	32.6
動物性たんぱく質 (g)	30.3	31.4	36.4
繊維 (g)	8.57	8.02	7.07
カルシウム (mg)	1010	1019	992
マグネシウム (mg)	384	374	350
ビタミン E (mg)	9.28	8.89	7.66

a: 年齢と性別を補正

b: 食品のみで、サプリメントは除外

ベジタリアニズムを選ぶ傾向がある。この事が、健康やエコロジーに結び付く選択への理解度が向上し、あるいは、新しい食品を探求する意欲アップに反映するかも知れない。

ベジタリアンは、肉摂取不足を回避した方法で、非ベジタリアンとは異なるように思える。予想されることではあるが (表 1-5 参照)、我々の研究では、非ベジタリアンは、「ほぼベジタリアン」よりもかなりの肉を摂り、その殆どはビーフである。赤肉は一般的に魚や鶏肉よりも健康的でないと考えられていることは驚きであり、非ベジタリアンのアドバンチストの間では、健康が選択する際の主要な動機ではないことを示しているようである。ベジタリアンのアドベンチストは、トマト、豆やナッツ等の果物や野菜を良く食べるが、卵、ドーナッツやコーヒーは少なめである。ベジタリアンは、パン食にはバターよりもマーガリンを使用し、白パンよりも全粒粉のパンを選び、アルコールはかなり、少ないようである。彼らはまた、市場で入手できる植物性のたんぱく食品 (肉もどき食品) も良く食べ、その一部は、肉代替品として摂取し

ていることは疑いがない。

ベジタリアンの状態別の食品摂取の相違は、3つのグループ間 (表 1-6 参照) の栄養素摂取にいくつかの違いを生じさせる。これらの違いは小さいが、ベジタリアンにとって価値あることは、健康的と考えられるパターンを示すことである。P/S 比は、非ベジタリアンではかなり低く、食事由来のコレステロールは多いが、アドベンチスト全体でのコレステロール摂取は、比較的少ない。予想される、野菜と動物源からの脂質とたんぱく質の傾向がそのまま見られる。ベジタリアンの食事由来のカルシウムは、やや多めであり、ベジタリアンのカルシウム摂取の妥当性に関し、しばしば懸念が出ることは興味あることである。また、冠動脈疾患に対し、予防効果のある抗酸化物であるビタミン E の摂取は、ベジタリアンは高めである。

米国の黒人の食事習慣や運動、また、死亡率に対する影響に対する調査資料はわずかである。アドベンチスト健康調査には 1739 名の黒人が含まれ、食事情報を提供している。黒人と白人アドベンチストの食事習慣を比較すること

は興味深い。(表 1-5 参照) 多くの点で、これら2つのエスニックグループのアドベンチストは、極めて類似の食事パターンを持っている。実際に、黒人のアドバンチストは、白人より果物、野菜やナッツの摂取は少なく、飲酒はさらに少ない。しかし、彼らは、50%以上の人々が肉を食べ、やや予想に反し、白人より肉もどき食品を多く食べる。

○運動の計測

それぞれの個人は通常、殆どある程度の運動をしているか、各種の運動のタイプの幅が広

表 1-7 アドベンチスト男性と近隣住民の婚姻状況 (%)
35～55歳 .各 157名(心疾患リスク因子研究より)

婚姻状況	アドベンチスト	近隣住民	p 値
結婚歴あり(現在)	98.1	96.3	NS
既婚	91.2	80.0	p<0.05
別居	1.3	4.4	
離婚	5.6	10.6	
死別	0	1.3	
未婚	1.9	3.7	

NS: 有意差なし

表 1-8 アドベンチストと近隣住民の、子供、親友、近親縁者、満足度の平均数
(各 157名) (心疾患リスク因子研究より)

	アドベンチスト	近隣住民	p 値
子供の数 (子供との接触度)	2.6	2.4	NS
大変満足	91	89	<0.1
やや満足	55	49	
それ程満足していない	8	15	
全く満足していない	3	4	
(信頼のおける近親縁者)	4.0	3.1	<0.005
大変満足	69	70	NS
やや満足	66	65	
それ程満足していない	20	19	
全く満足していない	2	3	
(親密な友人)	4.7	4.1	<0.1
大変満足	80	77	NS
やや満足	62	65	
それ程満足していない	11	11	
全く満足していない	3	4	

NS: 有意差なし

表 1-9 気にかけてもらっているか、孤独感を感じるか、その頻度 アドバンチスト男性と近隣住民
(各 156名) (心疾患リスク因子研究より)

	他の人がどのくらいあなたを 本当に気にかけてくれたか? (p<0.001)		孤独感を感じた頻度は? (NS)	
	アドバンチスト	近隣住民	アドバンチスト	近隣住民
頻繁に	117	81	4	12
時々	32	60	47	54
まれに	7	12	70	61
殆ど無し	0	3	35	29

NS: 有意差なし

出典(表 1-7～1-9 共通):Fraser GE et al.,Selected social support variables in middle-aged Seventh-day Adventist men and their neighbors, J Religion Health 36:231-239,1997

く、調査で定量化することは難しいことを考えると、正確に身体活動を計測することはかなり困難である。その結果、異なる集団間の比較をする時、運動習慣を評価するためには少なくとも同じ質問をしなくてはならなくなる。このことは HARF 研究で起こるおそれがあり、アドベンチストの男性は、近隣の同世代の非アドベンチストより、数多くの「汗をかくくらいのエクササイズ」集会を毎週（約 50% 以上）実施との報告がある。また、彼らは、心臓の休息率はかなり低く、このことはエクササイズの結果、相当大きな身体フィットネスであることを示している。運動習慣のもう一つの評価が、南部に居住する 1028 名の黒人のアドベンチストを対象に実施された。身体エクササイズに参加した 46% が 3 回以上 / 週、26% が 1 回か 2 回 / 週、26% が 1 回未満 / 週であった。

○心理社会的な特徴

アドベンチストと非アドベンチストを含む集団間の心理社会的な変数の研究は、数がかなり少なく、範囲も限られている。様々な心理社会的な変数は、慢性疾患のリスクに影響すると疑われていて、主要な部分としては、社会的なサポートが高かったり、低かったりしていることである。他者との支援関係から生まれる社会的サポートは、ストレスに対する解毒剤と考えられてきた。しばしば、それは、対象者が結婚しているかどうか、教会活動を活発に継続してい

るか、クラブや組織で活動的なメンバーであるかどうかの点から、計測される。ソーシャルネットワークのサイズと実際に得られるサポートのレベルに対する個人の認知力の間で、識別が可能である。

アドベンチストとその近隣住人との興味あるいくつかの相違が、HARF 研究で見られた。質問表は、ソーシャル・サポート・ネットワークに関する 1 つの区分を含んでいて、これらのネットワークの感情的な結果について、ある種の認知力を示した。アドベンチストは、既婚のようであるが、子供の平均数は 2 つのグループ間では異なっていなかった。

アドベンチストは、数多くの信頼のおける近親縁者と、おそらく親密な友人を持っているが、(表 1-8 参照) 子供や、信頼のおける近親縁者や親密な友人との接触の回数は、異なっていなかった。(データは示されていない) さらに、これらの接触回数に伴う満足度には、明白な違いはなかった。

孤独と感じる回数に於いては、アドベンチストと近隣住民間には差が見られなかったが、アドベンチストのかなりの割合が「本当に自分達を心配してくれる」と感じていた。(表 1-9 参照) アドベンチストが、教会に通う率 (/ 週) が 84% で、それに比べると近隣住民はたった 30% ということは驚くことではない。しかし、他のグループや団体機関に所属する違いは見られない。

マスティック抽出画分の薬理作用

坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi)¹ 天野 滋 (AMANO Shigeru)¹ 増田 宜子 (MASUDA Yoshiko)¹
 横瀬 敏志 (YOKOSE Satoshi)¹ 友村 美根子 (TOMOMURA Mineko)¹ 友村 明人 (TOMOMURA Akito)¹
 鈴木 龍一郎 (SUZUKI Ryuichiro)² 須永 克佳 (SUNAGA Katsuyoshi)² 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)²
 福地 邦彦 (FUKUCHI Kunihiko)³
 金本 大成 (KANAMOTO Taisei)⁴ 寺久保 繁美 (TERAKUBO Shigemitsu)⁴ 中島 秀喜 (NAKASHIMA Hideki)⁴
 渡邊 博文 (WATANABE Hirofumi)⁵ 大川原 正喜 (OKAWARA Masaki)⁵ 又平 芳春 (MATAHIRA Yoshiharu)⁵

¹ 明海大学歯学部, ² 城西大学薬学部, ³ 昭和大学大学院保健医療学, ⁴ 聖マリアンナ医科大学, ⁵ 三生医薬株式会社

Key Words : マスティック樹液 口腔ケア 抗腫瘍 抗酸化 薬用植物

Abstract

Ethyl acetate extraction following the removal of cytotoxic substances by *n*-hexane can enhance antitumor and antibacterial activity of mastic.

1. 「マスティック樹液」と口腔ケア食品への展開

マスティックとは、東エーゲ海に浮かぶギリシャのヒオス島南部にしか生育しないウルシ科の低木 *Pistacia lentiscus* var. *Chia* の樹液状滲出液である。ギリシャの伝統医学では、胃痛や、消化性潰瘍などの病気に 3000 年以上使用されてきた。

三生医薬株式会社では、マスティックガム (図 1A) をヤシ油などの中鎖脂肪酸トリグリセリドに溶解、精製したオリジナル原料「マスティック樹液」を商品化している。マスティック樹液は、微黄色の流動性の高い液状であり、マスティックガム特有の風味を有している。含有量はマスティックガムとして 30 ~ 50% である。近年の高齢化の進展に伴う口腔衛生への関心から、口腔ケア食品が注目されている。その剤形としてソフトカプセルやシームレスカプセルが注目されている。液状化した「マスティック樹液」は、こうしたソフトカプセル、シームレスカプセル (図 1B) への製剤化に適した原料である。特にシームレスカプセルは、直径 0.5mm から 10mm まで幅広く対応でき、皮膜の厚さを調整することで、口腔内崩壊型カプセルとすることも可能である。マスティックというユニークな素材と独自の製剤技術を組み合わせることにより、新たな口腔ケア食品を提案している。

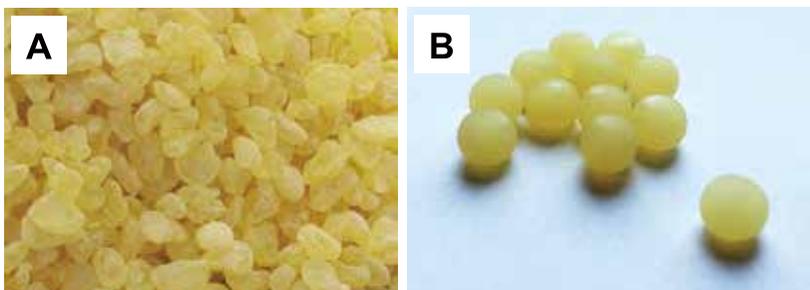


図 1 (A) マスティックガム, (B) マスティック樹液含有シームレスカプセル

2. マスティックの多彩な生物活性

マスティックは、抗腫瘍活性（抗癌剤の作用増強やアポトーシス誘導活性）^{1,2)}、抗酸化作用（フェノール類やフラボノイド類の作用を介する）³⁻⁸⁾、抗菌活性⁹⁻¹¹⁾、薬物代謝酵素の発現や活性に及ぼす作用¹²⁻¹³⁾や抗ウイルス作用（弱い）¹⁴⁻¹⁷⁾、創傷治癒作用（コラーゲン形成、血管新生促進）^{18,19)}、抗動脈硬化作用^{20,21)}を示し、ピロリ菌¹¹⁾や、クローン病^{22,23)}に対して有効であるとされている。そのユニークな形と多彩な作用により、「キリストの涙」と称されている。ヒオスマスティックは、海外に輸出され、香味、芳香を提供するため、化粧品、歯磨剤、軟膏、食品などに添加されている。しかしながら、これまでのマスティックの生物活性の研究者は、マスティックが強い細胞傷害活性を示すにも関わらず²⁴⁾、化学療法係数（安全域）に基づく生物活性の評価をして来なかった。我々は、マスティックを有機溶媒により、5画分に画分し、化学療法係数により生物活性を再評価した。

3. マスティックの分画法の確立

生薬をはじめとする薬用植物の抽出エキスを調製する場合、乾燥させた根や葉をメタノールなどのアルコール性溶媒で加熱還流抽出することが一般的であるが、マスティックはメタノールで加熱還流抽出すると溶解してしまうため、従来のエキス調製法は採用できなかった。そこで、今回はアルコールよりも極性の低い溶媒である *n*-ヘキサンや酢酸エチルエステル（酢酸エチル）にマスティックを室温にて浸漬し、エキスを調製する冷浸抽出法を選択することとした。またアルコール性溶媒ではあるが、水にはあまり溶解しない *n*-ブタノールを用いて同様に冷浸抽出し、エキスを調製することも試みた。*n*-ブタノールは沸点が水よりも高く（約 117℃）、溶媒留去が困難であるため通常、抽出溶媒には用いないが、今回は抽出溶媒としての利用を検討することとした。なお、*n*-ブタノールの留去は水を加えて共沸混合物とし、両者の沸点を下げロータリーエバポレーターにて減圧留去した。次に実際の操作方法を示す。

粉碎したマスティックガム（10 g）を室温にて 24 時間、*n*-ヘキサン（50 mL）で冷浸抽出した。*n*-ヘキサンを除去後その残渣に酢酸エチル（50 mL）を添加して同様に冷浸抽出し、酢酸エチル抽出液を得た。これとは別に、粉碎したマスティックガム（5g および 10g）を、室温でそれぞれ、*n*-ブタノールおよびメタノールに 24 時間浸漬することにより抽出した。一方、粉碎したマ

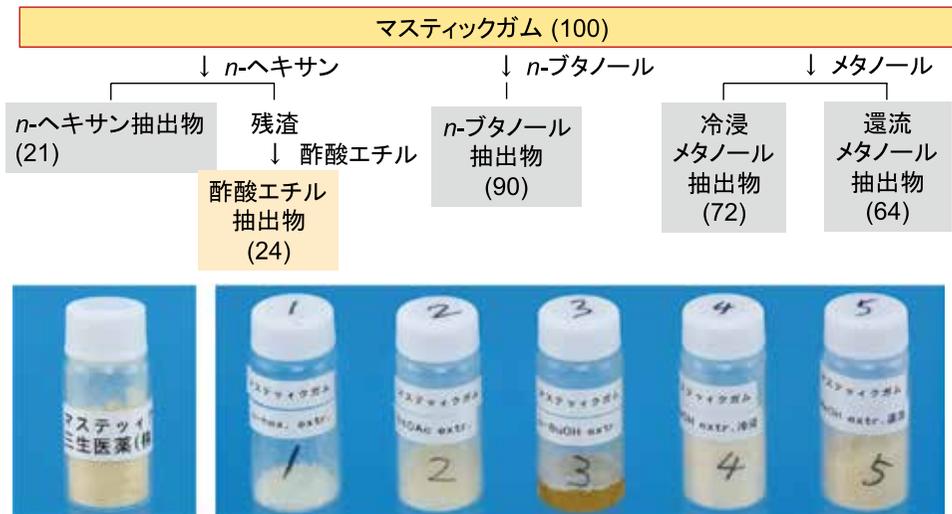


図2 マスティックの分画。カッコ内は収率 (%) を示す

ティックをメタノールで還流抽出したところ、マスティックの大部分は溶解してしまっていたが得られたエキスをろ紙濾過し、メタノール抽出液も調整した。何れの抽出液も溶媒を減圧下で留去したところ、それぞれ異なる形状および色調の抽出物が得られた(100gの出発材料から、*n*-ヘキサン抽出物 2.1g; 酢酸エチル抽出物 2.4 g; *n*-ブタノール抽出物 9.0 g; メタノール抽出物(冷浸) 3.6 g, メタノール抽出物(還流) 6.4 g) (図2)。

4. マスティック画分の抗腫瘍活性

未分画および分画したマスティック抽出物をDMSOに溶かし、4種類のヒト口腔扁平上皮癌細胞(Ca9-22, HSC-2, HSC-3, HSC-4)およびヒト口腔正常細胞(歯肉線維芽細胞 HGF, 歯根膜線維芽細胞 HPLF, 歯髓細胞 HPC)に対する傷害活性をMTT法により測定した²⁵⁾。濃度依存性曲線より、50%細胞傷害濃度(CC₅₀)を求めた。全ての抽出物は、正常細胞よりも、口腔扁平上皮癌細胞を強く傷害した(癌細胞に対するCC₅₀値=13.5~24.4 μg/mL, 正常細胞に対するCC₅₀値=28.1~84.8 μg/mL)。

腫瘍選択係数(TS)を、3種の正常細胞に対するCC₅₀値の平均値(D)を4種の癌細胞に対するCC₅₀値の平均値(B)で割ることにより求めた(TS=D/B)。マスティック抽出物のTS値は、1.4~2.6に分散した。歯肉組織由来のCa9-22細胞²⁶⁾とHGF細胞を用いた場合、TS=1.3~2.3を与えた(表1)。陽性対照のドキソルピシンよりは腫瘍選択性が低いが、若干の腫瘍選択性を示すこと、その中でも、酢酸エチル抽出液は、他の抽出液よりも僅かに強い腫瘍選択性を示すことが判明した(表1)。

5. マスティック画分の抗菌活性

マスティック抽出物の抗菌活性について検討した。*Streptococcus mutans* ATCC 25175, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 は、好気的な条件でBrain Heart Infusion (BHI) mediumで培養した。*Porphyromonas gingivalis* 381と*Fusobacterium nucleatum* ATCC 31647 は、嫌気的な条件(83%窒素, 7%水素, 10%CO₂の混合ガス)で、5 μg/mL hemin および1 μg/mL menadioneを含むGifu Anaerobic Medium (GAM)中で培養した。細菌(1×10⁶cfu/mL)を、37°Cで種々の濃度のサンプルと24あるいは48時間培養し、細菌数の相対量を、細菌懸濁液の595 nmにおけ

表1 マスティック抽出物の細胞傷害活性と腫瘍選択性

	CC ₅₀ (μg/mL)												腫瘍選択性 (TS)		
	ヒト口腔扁平上皮癌細胞				ヒト正常口腔細胞										
	(A)	(B)			(C)			(D)			(D/B)	(C/A)			
未分画マスティック	Ca9-22	HSC-2	HSC-3	HSC-4	mean	SD	HGF	HPLF	HPC	mean	SD	2.0	2.0		
<i>n</i> -ヘキサン抽出物	22.4	26.9	16.8	27.1	23.3	4.8	43.9	22.8	76.4	47.7	27.0	2.0	2.0		
酢酸エチル抽出物	21.5	18.6	22.2	18.0	20.1	2.1	28.6	24.5	31.2	28.1	3.4	1.4	1.3		
<i>n</i> -ブタノール抽出物	34.8	26.1	27.7	40.9	32.4	6.8	73.7	87.9	92.7	84.8	9.9	2.6	2.1		
メタノール抽出物(冷浸)	11.9	11.8	14.2	16.0	13.5	2.0	27.0	38.7	26.7	30.8	6.8	2.3	2.3		
メタノール抽出物(還流)	22.6	18.9	14.6	17.3	18.4	3.3	37.2	61.5	39.4	46.0	13.4	2.5	1.6		
ドキソルピシン(陽性対照)	26.8	25.8	21.1	23.7	24.4	2.6	36.9	67.9	53.0	52.6	15.5	2.2	1.4		
	0.26	0.14	0.23	0.13	0.19	0.06	0.54	2.44	137.47	46.82	78.51	244.7	2.1		

HGF, ヒト歯肉線維芽細胞; HPLF, ヒト歯根膜線維細胞; HPC, ヒト歯髓細胞; Ca9-22, 歯肉由来ヒト口腔扁平上皮癌細胞, HSC-2, HSC-3, HSC-4, 舌由来ヒト口腔扁平上皮癌細胞; CC₅₀, 50%細胞傷害活性; 各値は、3群の平均値を示す。

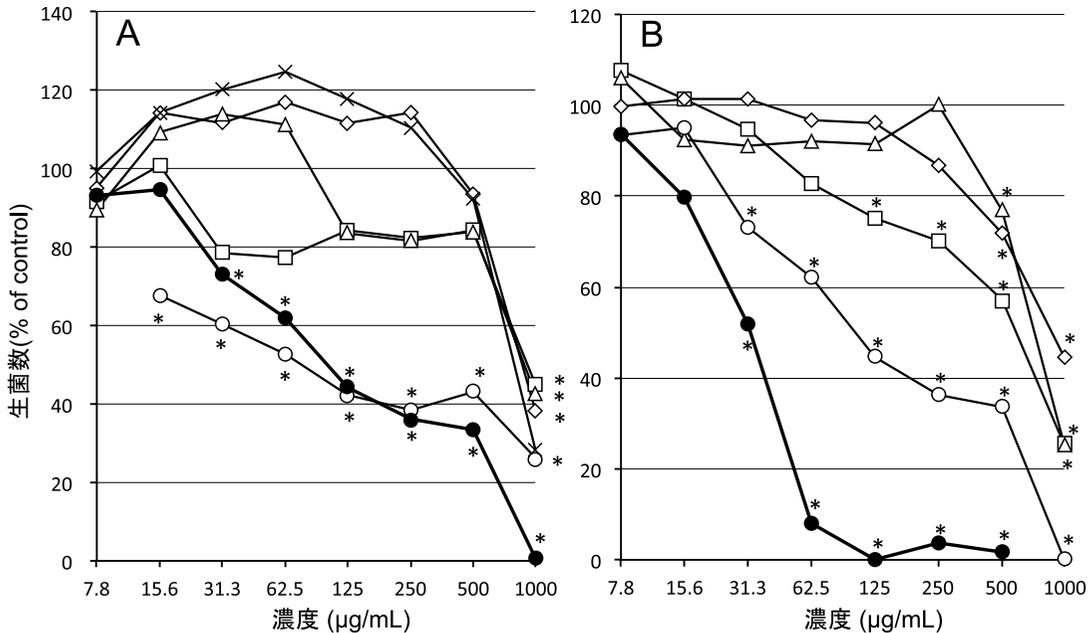


図3 マスティック画分の抗菌活性

(A) *Streptococcus mutans* に対する未分画のマスティック (○), *n*-ヘキサン抽出物 (□), 酢酸エチル抽出物 (●), *n*-ブタノール抽出物 (◇), メタノール抽出物 (冷浸) (△), メタノール抽出物 (還流) (×) の抗菌活性, (B) マスティック酢酸エチル画分の *Porphyromonas gingivalis* (●), *Streptococcus mutans* (○), *Staphylococcus aureus* (□), *Fusobacterium nucleatum* (△), *Escherichia coli* (◇) に対する抗菌活性。各点は, 3群の実験地値平均値を示す。* コントロールに対して有意な抑制効果を示す ($p < 0.05$)。

る吸光度により測定した。濃度依存性曲線から, 細菌の生細胞数を 50% 減少させる濃度 (IC₅₀) を測定した。選択係数 (SI) は, IC₅₀ 値を, 口腔正常細胞に対する CC₅₀ 値 (表 1 の D) で割り算出した (SI=CC₅₀/IC₅₀) (表 2)。抗菌活性が大きく (すなわち, IC₅₀ が小さく), 細胞毒性が小さいほど (すなわち, CC₅₀ が大きいほど), SI 値は大きくなる。

全ての抽出物は, *Streptococcus mutans* の生菌数を有意に減少させた ($p < 0.05$) (図 3A)。酢酸エチルは最大の抗菌活性を示した (IC₅₀=104 µg/mL)。その活性は, 他の抽出物 (IC₅₀=831 ~ 936 µg/mL) の 8 ~ 9 倍であった。興味深いことに, 酢酸エチルを 1000 µg/mL の濃度で添加すると, 完全に殺菌したが, 未分画のマスティックを同濃度添加しても 27% の菌は生きていた (図 3A)。抗菌活性を定量化するために, 正常細胞に対する毒性の補正を行った。すなわち, 抗菌活性の指標であ

表2 マスティック抽出画分の抗菌活性は酢酸エチル抽出により濃縮される

分画	抗菌活性 IC ₅₀ (µg/mL)	口腔正常細胞に対する 細胞傷害活性 CC ₅₀ (µg/mL)	SI
	(A)	(D)	(D/A)
未分画マスティック	81	47.7	0.587
<i>n</i> -ヘキサン抽出物	936	28.1	0.030
酢酸エチル抽出物	104	84.8	0.813
<i>n</i> -ブタノール抽出物	900	30.8	0.034
メタノール抽出物 (冷浸)	917	46.0	0.050
メタノール抽出物 (還流)	831	52.6	0.063

(A) 図 3A から算出, (D) 表 1 の D の値を転用した。

る IC₅₀ 値を、3 種のヒト口腔正常細胞（歯肉線維芽細胞、歯根膜線維芽細胞、歯髄細胞）に対する CC₅₀ 値の平均値で割ることにより、選択係数（SI）を算出した（表 2）。酢酸エチルは、最も高い抗菌活性をもち、正常細胞に対する毒性は最も低いため、最も高い SI 値（0.813）を示した。以下、未分画マスティック（0.587）>メタノール抽出物（還流）（0.063）>メタノール抽出物（冷浸）（0.050）>n-ブタノール抽出物（0.034）>n-ヘキサン抽出物（0.030）の順に抗菌活性が低下した（表 2）。

次に、最大の抗菌活性を示す酢酸エチルの抗菌スペクトラムを検討した。酢酸エチルに最も高い感受性を示したものは、*Porphyromonas gingivalis*（IC₅₀=32.7 μg/mL）であり、以下、*Streptococcus mutans*（IC₅₀=104 μg/mL）、*Staphylococcus aureus*（IC₅₀=609.4 μg/mL）、*Fusobacterium nucleatum*（IC₅₀=759.6 μg/mL）、*Escherichia coli*（IC₅₀=907.4 μg/mL）の順に感受性が低下した（図 3B）。

6. マスティック画分の抗ウイルス活性

抗 HIV 活性を測定するために、96 穴マイクロタイタープレートに、種々の濃度の試験物質とともに HIV 感染 MT-4 細胞（3.0 × 10⁴/well, MOI:0.01）を感染直後に加えた。試験物質の MT-4 細

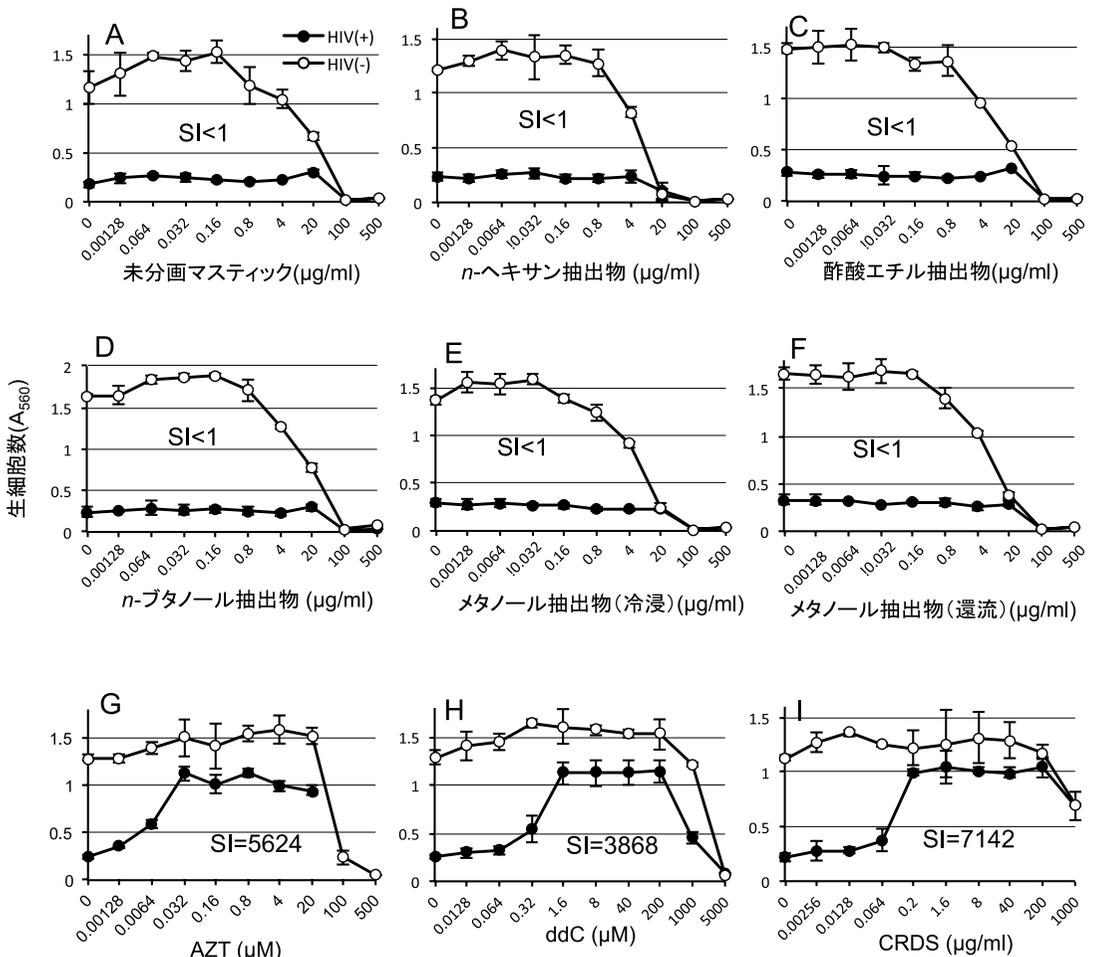


図 4 マスティック抽出物（A～F）および抗エイズ剤（G～I）の抗 HIV 活性
HIV 非感染（○）あるいは感染（●）細胞を、5 日間、種々の濃度の試料で培養後、生細胞数を MTT 法で測定した。各値は、3 群の平均値 ± S.D. を示す。

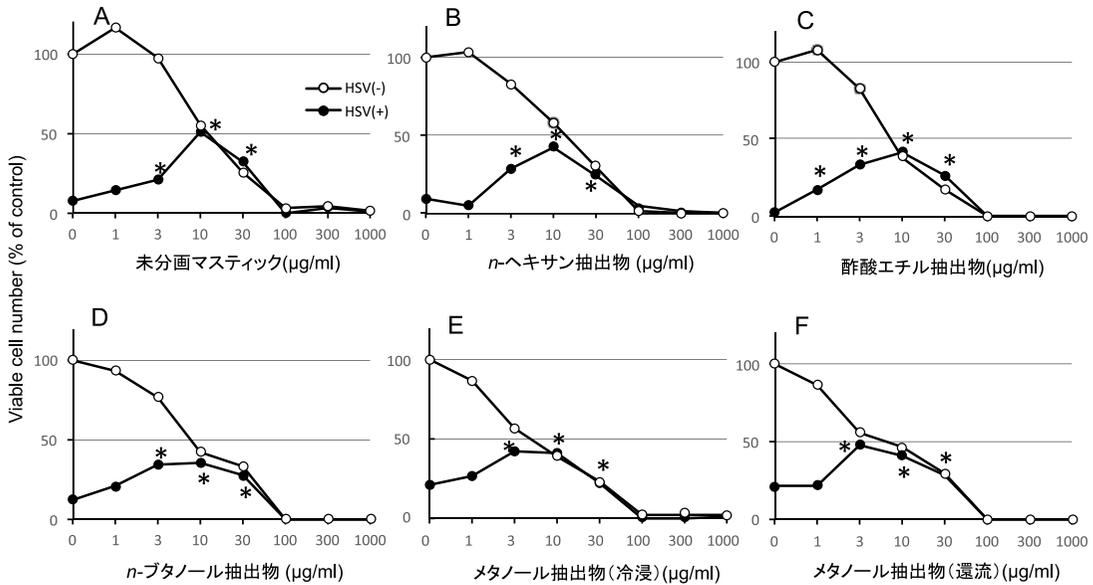


図5 マスティック抽出物の抗 HSV 活性

非感染 (○) あるいは HSV 感染 (●) Vero 細胞を、4 日間、種々の濃度のマスティック抽出物と培養して、生細胞数を MTT 法で測定した。各値は、3 群の平均値を示す。* コントロールに対して有意な抑制効果を示す ($p < 0.05$)。

胞に対する細胞毒性を測定するために、ウイルス非感染細胞を同様に種々の濃度の試験物質とともに培養した。CO₂ インキュベーターで 37℃ 5 日間培養した後、MTT 法で生存細胞数を測定した。抗ウイルス活性は、HIV 感染による細胞傷害を 50% protection する濃度 (EC₅₀; 50% effective concentration)、細胞毒性は試験物質による 50% 細胞傷害濃度 (CC₅₀; 50% cytotoxic concentration) でそれぞれ表現した。また、有効係数 (Selectivity Index; SI) は CC₅₀/EC₅₀ として計算した²⁷⁾。

MT-4 細胞を、HIV-1_{IMB} で感染させると、細胞の生存率は、非感染細胞の 18.8 ± 1.9% (n=9) にまで減少した。全てのマスティック抽出物は、HIV の細胞変性効果を防止することはできなかった (SI < 1) (図 4A ~ F)。これに対して、陽性対照の 3 種の抗 HIV 剤 (AZT, ddC, CRDS) は高い抗 HIV 活性を示した (SI=5624, 3868, 7142) (図 4G ~ I)。

抗 HSV 活性は、我々が開発した MTT 法を用いた測定法を用いた²⁸⁾。アフリカ緑ザルの腎臓由来の Vero 細胞 (10,000 個) を 96 穴マイクロタイタープレートに播種し、24 時間後に HSV-1 (m.o.i=0.01) で感染した。HSV-1 とサンプルを添加 20 分前に混合してから細胞に添加した。MEM-10% fecal calf serum 培地で 4 日間培養後、PBS で一回洗浄後、MTT 試薬で生細胞数を測定した。抗 HSV 活性は、下記で求めた選択係数 (SI) で表した。すなわち、SI=CC₅₀/EC₅₀ と表すことができる。ここで CC₅₀ は、非感染細胞に対する 50% 細胞傷害濃度である。EC₅₀ は、感染により低下した生存率を、非感染細胞の 50% まで復帰させる濃度である。Vero 細胞を HSV-1 で感染させると、生細胞数は、非感染細胞の 12.5 ± 7.6% (n=6) まで低下した (図 5)。全てのマスティック抽出物は、HSV-1 感染による細胞変性効果を有意に抑制し ($p < 0.05$)、生存率を非感染細胞の 43.2 ± 5.3% まで復帰させたが、マスティック抽出物の毒性のために、完全復帰はできなかった (図 5)。

7. マスティック画分の CYP3A4 阻害活性

CYP3A4 活性は、ヒト組換型の CYP3A4 (Cypex Ltd., Dundee, U.K.) によるテストステロン

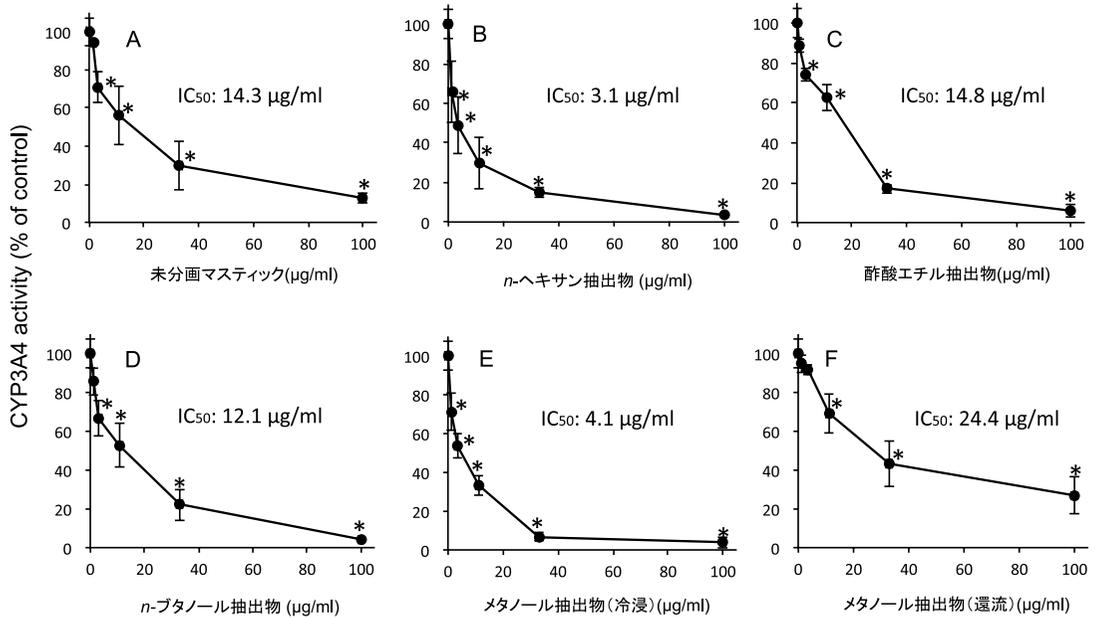


図6 マスティック抽出物の Cytochrome P450 enzyme (CYP) 3A4 阻害活性
各値は、平均値± S.D. (n=3) を表す。* 無処理 (対照) に対して有意な抑制効果を示す ($p < 0.05$)。

の β -水酸化反応の阻害度により測定した。反応液は、200 mM potassium phosphate buffer (pH 7.4), NADPH regenerating system (1.3 mM NADPH, 1.3 mM glucose-6-phosphate, 0.2 U/mL glucose-6-phosphate dehydrogenase, 3.3 mM $MgCl_2$) とヒト組換え型 CYP3A4 (16.5 pmol/mL) および 0, 1, 3, 11, 33, 100 $\mu\text{g/mL}$ mastic (DMSO で溶解) を含み、予め 37°C で 5 分間 加温しておいた。そこに、基質として 300 μM testosterone substrates を添加して 15 分間反応させた。500 μL 酢酸エチルを添加して反応を止め、酢酸エチルで抽出して、代謝物を HPLC で解析した。CYP3A4 活性を 50% 抑制する濃度 (IC_{50}) を濃度依存性曲線から求めた。全てのマスティック抽出物は、CYP3A4 の活性を強力に阻害した (図 6)。n-ヘキサン抽出物の阻害活性も最も強く ($IC_{50}=3.1 \mu\text{g/mL}$) (B), 以下、メタノール抽出物 (冷浸) ($IC_{50}=4.1 \mu\text{g/mL}$) (E), n-ブタノール抽出物 ($IC_{50}=12.1 \mu\text{g/mL}$) (D), 未分画サンプル ($IC_{50}=14.3 \mu\text{g/mL}$) (A), 酢酸エチル抽出物 ($IC_{50}=14.8 \mu\text{g/mL}$) (C), メタノール抽出物 (還流) ($IC_{50}=24.4 \mu\text{g/mL}$) (F) の順であった (図 6)。

まとめ

今回の研究で、n-ヘキサンで洗浄後、酢酸エチルで抽出を行うと、マスティックの抗腫瘍活性 (TS=2.0 \rightarrow 2.6) (表 1), および、抗菌活性 (SI=0.587 \rightarrow 0.813) (表 2) が上昇することが明らかになった。これは、おそらく n-ヘキサンによる洗浄で、細胞傷害物質が取り除かれたためであろう。しかしながら、全てのマスティック画分の抗腫瘍活性は、抗癌剤のドキソルピシンよりかなり弱かった²⁹⁾。最近、抗癌剤 (cisplatin, 5-fluorouracil,





etoposide) の FTC-133 甲状腺がん細胞に対する傷害活性が、マスティックの地上部(葉, 小枝, 果実) から抽出されたエッセンシャルオイルにより増強されることが報告されている¹⁾。酢酸エチル抽出物にも同様な相乗作用があるかを検討する必要がある。

今回の研究は、マスティック抽出液が、強い CYP3A4 阻害活性を示すことを明らかにした。CYP3A4 は、CYP ファミリーの中で、最も多くの化合物の代謝に関与している³⁰⁾。従って、マスティックの添加により CYP3A4

の活性が阻害されれば、併用薬の薬理作用および副作用いずれもが増加する。逆に、*n*-ヘキサンで CYP3A-4 阻害物質が除去されれば、併用薬の薬理作用や副作用が減弱するであろう。

マスティックの酢酸エチル抽出液は、*Porphyromonas gingivalis* を選択的に傷害した。*Porphyromonas gingivalis* は、バイオフィームと言われる細菌のコミュニティを支配し³¹⁾、インプラントの周囲の微生物フローラにおいてコロニーを形成し³²⁾、重度の歯周病³³⁾やファンコニ貧血患者³⁴⁾の唾液や歯肉縁下プラークに分布している。マスティック含有歯磨剤は日本で入手可能であるが、マスティックの酢酸エチル抽出液は、未分画材料よりも抗菌活性が高いので、歯周病治療に応用できる可能性がある。

マスティックは、抗 HIV 活性は示さなかったが、弱い抗 HSV 活性を示した。これはマスティックの、これら 2 つのウイルスに対する作用メカニズムが異なることを示唆する。マスティックの細胞傷害性と抗 HSV 活性は重複するので(図 5)、細胞傷害物質の除去により抗 HSV 活性は増大するかも知れない³⁵⁾。

今後、活性物質の同定を行うとともに、口腔内崩壊型カプセルや新たな口腔ケア食品への応用を検討したい。

参考文献

1. Catalani S, Palma F, Battistelli S and Benedetti S: Oxidative stress and apoptosis induction in human thyroid carcinoma cells exposed to the essential oil from *Pistacia lentiscus* aerial parts. *PLoS One*. **12**:e0172138. 2017 doi: 10.1371/journal.pone.0172138.
2. Piccolella S, Nocera P, Carillo P, Woodrow P, Greco V, Manti L, Fiorentino A and Pacifico S: An apolar *Pistacia lentiscus* L. leaf extract: GC-MS metabolic profiling and evaluation of cytotoxicity and apoptosis inducing effects on SH-SY5Y and SK-N-BE(2)C cell lines. *Food Chem Toxicol* **95**: 64-74, 2016.
3. Hatamnia AA, Rostamzad A, Malekzadeh P, Darvishzadeh R, Abbaspour N, Hosseini M, Nourollahi K and Mehr RS: Antioxidant activity of different parts of *Pistacia khinjuk* Stocks fruit and its correlation to phenolic composition. *Nat Prod Res* **30**: 1445-1450, 2016.
4. Toul F, Belyagoubi-Benhammou N, Zitouni A and Atik-Bekkara F: Antioxidant activity and phenolic profile of different organs of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* from Algeria. *Nat Prod Res* **31**: 718-723, 2017.
5. Rauf A, Uddin G, Siddiqui BS, Khan H, Shah SU, Ben Hadda T, Mabkhot YN, Farooq U and Khan A: Antinociceptive and anti-inflammatory activities of flavonoids isolated from *Pistacia integerrima* galls. *Complement Ther Med* **25**: 132-138, 2016.
6. Ahmad NS, Waheed A, Farman M and Qayyum A: Analgesic and anti-inflammatory effects of *Pistacia integerrima* extracts in mice. *J Ethnopharmacol* **129**: 250-253, 2010.

7. Gholami M, Ghasemi-Niri SF, Maqbool F, Baeeri M, Memariani Z, Pousti I and Abdollahi M: Experimental and pathological study of *Pistacia atlantica*, butyrate, *Lactobacillus casei* and their combination on rat ulcerative colitis model. *Pathol Res Pract* **212**: 500-508, 2016.
8. Toloeei M, Mirzaei A. Effects of *Pistacia atlantica* extract on erythrocyte membrane rigidity, oxidative stress, and hepatotoxicity induced by CCl4 in rats. *Glob J Health Sci* **7**: 32-38, 2015.
9. Koychev S, Dommisch H, Chen H and Pischon N: Antimicrobial effects of mastic extract against oral and periodontal pathogens. *J Periodontol* **88**: 511-517, 2017.
10. Karygianni L, Cecere M, Skaltsounis AL, Argyropoulou A, Hellwig E, Aligiannis N, Wittmer A and Al-Ahmad A.: High-level antimicrobial efficacy of representative Mediterranean natural plant extracts against oral microorganisms. *Biomed Res Int* 2014;2014:839019. doi: 10.1155/2014/839019.
11. Miyamoto T, Okimoto T and Kuwano M: Chemical composition of the essential oil of mastic gum and their antibacterial activity against drug-resistant *Helicobacter pylori*. *Nat Prod Bioprospect* **4**: 227-231, 2014.
12. Attoub S, Karam SM, Nemmar A, Arafat K, John A, Al-Dhaheri W, Al Sultan MA and Raza H: Short-term effects of oral administration of *Pistacia lentiscus* oil on tissue-specific toxicity and drug metabolizing enzymes in mice. *Cell Physiol Biochem* **33**: 1400-1410, 2014.
13. Katsanou ES, Kyriakopoulou K, Emmanouil C, Fokialakis N, Skaltsounis AL and Machera K: Modulation of CYP1A1 and CYP1A2 hepatic enzymes after oral administration of Chios mastic gum to male Wistar rats. *PLoS One*. **9**:e100190, 2014 Doi: 10.1371/journal.pone.0100190.
14. Ezz Eldin HM, Badawy AF. In vitro anti-*Trichomonas vaginalis* activity of *Pistacia lentiscus* mastic and *Ocimum basilicum* essential oil. *J Parasit Dis* **39**: 465-473, 2015.
15. Loizzo MR, Saab AM, Tundis R, Statti GA, Menichini F, Lampronti I, Gambari R, Cinatl J and Doerr HW: Phytochemical analysis and *in vitro* antiviral activities of the essential oils of seven Lebanon species. *Chem Biodivers* **5**: 461-470, 2008.
16. Özçelik B, Aslan M, Orhan I and Karaoglu T: Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of the lipophylic extracts of *Pistacia vera*. *Microbiol Res* **160**: 159-164, 2005.
17. Sakagami H, Kishino K, Kobayashi M, Hashimoto K, Iida S, Shimetani A, Nakamura Y, Takahashi K, Ikarashi T, Fukamachi H, Satoh K, Nakashima H, Shimizu T, Takeda K, Watanabe S and Nakamura W: Selective antibacterial and apoptosis-modulating activities of mastic. *In Vivo* **23**: 215-223, 2009.
18. Khedir SB, Bardaa S, Chabchoub N, Moalla D, Sahnoun Z and Rebai T: The healing effect of *Pistacia lentiscus* fruit oil on laser burn. *Pharm Biol* **55**: 1407-1414, 2017.
19. Farahpour MR, Mirzakhani N, Doostmohammadi J and Ebrahimzadeh M: Hydroethanolic *Pistacia atlantica* hulls extract improved wound healing process; evidence for mast cells infiltration, angiogenesis and RNA stability. *Int J Surg*. **17**: 88-98, 2015.
20. Marinou KA, Georgopoulou K, Agrogiannis G, Karatzas T, Iliopoulos D, Papalois A, Chatziioannou A, Magiatis P, Halabalaki M, Tsantila N, Skaltsounis LA, Patsouris E and Dontas IA: Differential effect of *Pistacia vera* extracts on experimental atherosclerosis in the rabbit animal model: an experimental study. *Lipids Health Dis*. 2010 **9**:73. doi: 10.1186/1476-511X-9-73.
21. Dedoussis GV, Kaliora AC, Psarras S, Chiou A, Mylona A, Papadopoulos NG and Andrikopoulos NK: Antiatherogenic effect of *Pistacia lentiscus* via GSH restoration and downregulation of CD36 mRNA expression. *Atherosclerosis* **174**: 293-303, 2004.
22. Kaliora AC, Stathopoulou MG, Triantafyllidis JK, Dedoussis GV and Andrikopoulos NK. Alterations in the function of circulating mononuclear cells derived from patients with Crohn's disease treated with mastic. *World J Gastroenterol*. **13**: 6031-6036, 2007.
23. Kaliora AC, Stathopoulou MG, Triantafyllidis JK, Dedoussis GV and Andrikopoulos NK. Chios mastic treatment of patients with active Crohn's disease. *World J Gastroenterol* **13**: 748-753, 2007
24. Vlastos D, Drosopoulou E, Efthimiou I, Gavriilidis M, Panagaki D, Mpatziou K, Kalamara P, Mademtzoglou D and Mavragani-Tsipidou P: Genotoxic and antigenotoxic assessment of Chios mastic oil by the *in vitro* micronucleus test on human lymphocytes and the *in vivo* wing somatic test on *Drosophila*. *PLoS One*. **10**:e0130498, 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0130498.

25. Sakagami H, Okudaira N, Masuda Y, Amano O, Yokose S, Kanda Y, Suguro M, Natori T, Oizumi H and Oizumi T: Induction of Apoptosis in human oral keratinocyte by doxorubicin. *Anticancer Res* **37**:1023-1029, 2017.
26. Horikoshi M, Kimura Y, Nagura H, Ono T and Ito H: A new human cell line derived from human carcinoma of the gingiva. I. Its establishment and morphological studies. *Jpn J Oral Maxillofac Surg* **20**: 100-106, 1974 (in Japanese).
27. Nakashima H, Murakami T, Yamamoto N, Sakagami H, Tanuma S, Hatano T, Yoshida T and Okuda T: Inhibition of human immunodeficiency viral replication by tannins and related compounds. *Antiviral Res* **18**: 91-103, 1992.
28. Fukuchi K, Okudaira N, Adachi K, Odai-Ide R, Watanabe S, Ohno H, Yamamoto M, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Uesawa Y, Kagaya H and Sakagami H: Antiviral and antitumor activity of licorice root extracts. *In Vivo* **30**: 777-785, 2016.
29. Sakagami H: Biological activities and possible dental application of three major groups of polyphenols. *J Pharmacol Sci* **126**: 92-106, 2014.
30. Erratico CA, Deo AK and Bandiera SM: Regioselective versatility of monooxygenase reactions catalyzed by CYP2B6 and CYP3A4: examples with single substrates. *Adv Exp Med Biol* **851**: 131-149, 2015. Review.
31. Kommerein N, Stumpp SN, Müssen M, Ehlert N, Winkel A, Häussler S, Behrens P, Buettner FF and Stiesch M: An oral multispecies biofilm model for high content screening applications. *PLoS One*. 2017 12: e0173973. doi: 10.1371/journal.pone.0173973.
32. Herekar M, Sethi M, Prithviraj DR, Bhat K, Fernandes A and Patil V: A clinical study evaluating changes in the microbial flora around dental implants during various stages of implant restoration. *Implant Dent* **24**: 527-532, 2015.
33. Feng X, Zhu L, Xu L, Meng H, Zhang L, Ren X, Lu R, Tian Y, Shi D and Wang X: Distribution of 8 periodontal microorganisms in family members of Chinese patients with aggressive periodontitis. *Arch Oral Biol* **60**: 400-407, 2015.
34. Lyko K, Bonfim C, Benelli EM, Torres-Pereira CC and Amenábar JM: Salivary detection of periodontopathic bacteria in Fanconi's anemia patients. *Anaerobe*. **24**: 32-35, 2013.
35. Suzuki R, Sakagami H, Amano S, Fukuchi K, Sunaga K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Shiraaki Y, Tomomura M, Masuda Y, Yokose S, Tomomura A, Watanabe H, Okawara M and Matahira Y: Evaluation of biological activity of mastic extracts based on chemotherapeutic indices. *In Vivo*, **31**: 591-598, 2017.

連絡先

坂上 宏: 明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO)

e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp

鈴木 龍一郎: 城西大学薬学部生薬学研究室

e-mail: ryu_suzu@josai.ac.jp

又平 芳春: 三生医薬株式会社

e-mail: y.matahira@sunsho.co.jp

イラスト: H.Y.



伝える心・伝えられたもの

— 落花生 —

宮尾 茂雄

(東京家政大学)

落花生好きが高じて、昨年から庭で落花生を育てている。毎年ミニトマト、キュウリ、ナスなど夏野菜を少し作っているが、今春はトマトと以前から興味をもっていた落花生（オオマサリ、千葉半立）を植えた。7月下旬になると、キチョウの小さな黄色い翅のような花が咲き始め（写真1）、葉も青々と繁り、暑い日差しにも負けずに元気に育った。秋にはわずかだが、収穫した我が家の落花生の味を楽しんだ。



写真1 蝶の翅のような落花生の花（自宅、8月上旬）

「落花生？ 南京豆？」

南京豆、南京錠、南京玉簾、南京虫、南京袋、南京（かぼちゃ）と「南京」とつく言葉にはいろいろある。そもそも南京とは現在の中国江蘇省の省都の南京と関係があるのだろうか。広辞苑によると、『中国または東南アジア方面から渡来したものに冠する語』、『珍奇なものや小さく愛らしいものに冠する語』とある¹⁾。南京豆は「落花生の別称」であるが、何時頃、どこから日本に渡来したものなのだろうか。

落花生 *Arachis hypogaea* の故郷

落花生の原産地は南米のペルー、ボリビアあるいはブラジル付近といわれている²⁾。紀元前200年ごろのペルー中部の考古学遺跡からはトウモロコシ、キャッサバ、サツマイモ、カボチャなど熱帯、亜熱帯性の栽培作物とともに落花生が出土している³⁾。

日本には宝永年間（1706年頃）に中国より渡来したが、この時はほとんど広がらなかった。明治4年（1868年）に神奈川県の寺坂慶次郎氏、明治6年には同県の二見小兵衛氏が、中国産の種を取り寄せて栽培を始めたことが、今日の落花生へと繋がっている⁴⁾。

明治政府も明治7年にアメリカから種を購入している⁵⁾。推測ではあるが、落花生は最初、近代農業の振興を目的に欧米の技術、品種の導入や研究のために設立された「内藤新宿試験場（明治5年）」で試験栽培され、その後各地に種を配布して栽培を奨励したのではないだろうか。明治38年の農商務省（現在の農林水産省）生産統計には初めて落花生が登場する。その時の作付面積は約5400ヘクタール⁴⁾で、平成27年の作付面積（6560ヘクタール）をやや下回る耕作面積であった。国内での栽培が普及し、一般にもよく知られるようになると、渡来原産地に因んで南京豆（ナンキンマメ）、唐人豆（トウジンマメ）と呼ばれるようになった³⁾。沖縄では地豆（ジーマミー）として親しまれ、ジーマミー豆腐は、落花生を使った沖縄



写真2 枯れた花柄の基部より地面に延びる子房柄
(自宅, 8月上旬)



写真3 地面に潜る子房柄 (同左)

県の代表的な郷土料理である。

受粉後に花は萎れ、子房の付け根が伸びて(子房柄)(写真2)、地中にもぐり(写真3)、地下で実を結ぶ。「花が落ちて(マメが)生れる」ことから落花生と名がつけられた。莢には2粒入りの品種が多いが(写真4)、3粒、4粒入りの品種もあるそうだ。高温多照と適度の降雨を必要とし、排水のよい軽い砂質土壌が栽培に適している。東京近辺では千葉県八街市が落花生の特産地として有名だ。



写真4 莢の中の種実(八街市, 9月上旬)

南京豆のお汁粉

「小児には徳育よりも智育よりも体育よりも食育が先き」という有名な言葉を残した明治の大衆作家、村井弦齋(1863年～1927年)の『食道楽』⁶⁾は、1903年(明治36年)報知新聞に連載され、その後単行本として刊行されてベストセラーになった。これには当時珍しかった洋風料理のレシピや食品衛生的な知識なども載っていて、今読んでも面白い。その中に、年始廻りの挨拶に立ち寄った客人に、その家の奥様が「今まで召上った事のないというご馳走」と言って「南京豆のお汁粉」を勧める場面がある。落花生を焙烙(写真5)で気長に炒ってから渋皮を剥き、すり鉢で碎いてすり潰し、塩と砂糖で味付けをしたものにお湯を加えてドロドロにする。牛乳やコンデンスミルクやクリームを湯に溶いて加えてもよい。「これは美味しい」と客人は3杯も平らげる。さすがに腹いっぱいになり、苦しげな様子が描かれている。

この家の奥様は新物(あたらしもの)好きの性格のようで、「南京豆は胡桃よりも淡白で、胡麻よ



写真5 焙烙(八街市立郷土博物館展示物)

りもよほど美味しい」と煮物や和え物などの料理も紹介している。ちょうどこの頃、家庭にも南京豆が普及し始めたのだろう。今のように焙煎したものではなく、たぶん天日干しの乾燥豆が流通していたものと思われる。

中国山東省半島部の落花生畑

落花生は日本では炒って(焙煎)そのまま食べる、あるいは和え物などの料理に使われることが多いが、世界的に見ると油を採る「油性植物」としての利用が多い²⁾。世界の落花生総生産量はおよそ3200万トンで、約1500万トンが搾油用に使われている⁷⁾。生産量の30～40%を占める中国では、大豆、油菜(菜種)、芝麻(胡麻)、落花生を四大油料作物と呼び⁸⁾、なかでも落花生油は「花生油」として盛んに料理に使われている。

中国山東省にある山東半島は中国でも有数の落花生栽培が盛んな地域である。中国では1954年頃から南方では冬期に油菜、北方では夏期に砂瘠地を利用した落花生の生産など油性作物の栽培を奨励した⁸⁾。半島では冬作の小麦と夏作の落花生、大豆、トウモロコシ、カンショなどとの輪作が以前は一般的に行われていた³⁾。2016年9月中旬半島に行く機会があった。青島から萊州(らいしゅう)



写真6 延々と続くトウモロコシ畑
(9月中旬、中国、山東半島)



写真7 味付け落花生「黒花生」
(中国、済南市特産)

にある醤油工場に向かうバスの車窓からはトウモロコシと落花生の畑が交互に延々と続くのが見えた(写真6)。掘り起こされた落花生が根を上にして畑に並べられていた。帰国前に立ち寄ったスーパーマーケットでは何種類もの落花生が販売されていた。せっかくなので山東省済南市特産の殻付き黒花生を購入した(写真7)。以前台湾の高速鉄道雲林駅で購入した黒落花生(黒金剛と名付けられた皮の黒い品種)は実に美味しかった。中国のものはどうであろうかと殻付きで渋皮の黒い落花生を購入してみたが、食塩と香辛料による味付けが落花生本来の味をじゃましてるように私には思えた。

落花生、胡桃、胡麻の栄養成分の比較

食道楽に登場する奥様は「落花生は、胡桃よりも淡白で、胡麻よりもよほど美味しい」と自慢しているので、炒った落花生、殻から取り出して炒った胡桃、炒り胡麻の栄養成分を比較してみた(表1)。落花生は、タンパク質が豊富で、脂質はやや低く、カリウム、ナイアシン、パントテン酸などに富み栄養バランスが良い。落花生油(ピーナッツオイル)はオレイン酸やリノール酸等のいわゆる「悪玉コレステロール」を減らす働きのある不飽和脂肪酸を多く含み、健康に良いといわれている。胡桃も胡麻もバランスも良く栄養価に富んでいるが、日本ぐるみの殻を割るのは、力も根気も必要である。ゴマはカルシウムや鉄分の豊富な食

表1 落花生、胡桃、胡麻の栄養成分の比較（製品 100g 当たり）

成分	落花生* (炒り)	胡桃 (炒り、殻なし) ※	ごま (炒り) ※
エネルギー (kcal)	585	674	599
水分 (g)	2.1	3.1	1.6
タンパク質 (g)	26.5	14.6	20.3
脂質 (g)	49.5	68.8	54.2
炭水化物 (g)	19.6	11.7	18.5
灰分 (g)	2.4	1.8	5.4
カリウム (mg)	770	540	410
カルシウム (mg)	50	85	1200
マグネシウム (mg)	200	150	360
リン (mg)	390	280	560
鉄 (mg)	1.7	2.6	9.9
VB ₁ (mg)	0.23	0.26	0.49
VB ₂ (mg)	0.10	0.15	0.23
VB ₆ (mg)	0.46	0.49	0.64
ナイアシン (mg)	17.0	1.0	5.3
パントテン酸 (mg)	2.19	0.67	0.51
V.E (mg)	18.3	27.5	24.1
食物繊維 (g)	7.2	7.5	12.6

七訂日本食品標準成分表：編集文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会（2015年版）、*炒り落花生廃棄率：大粒種30%（殻27%、種皮3%）、※炒り胡桃と炒り胡麻の廃棄率各0%。

材だが、料理で使う量は限られる。となると落花生は身近にあって栄養バランスが良く食べやすい食材といえる。

八街市（やちまたし）の落花生畑

9月上旬、庭の落花生には次々と花が咲いていた。本場千葉県の落花生はどうだろうか、そろそろ収穫の時期ではないかと気になってきた。休みを利用して八街市に落花生畑を探しにでかけた。東関東自動車道を佐倉インターチェンジで降りて、県道77号を通過して八街市内を目指した。まもなく背の低い落花生の畝が見え、道沿いに落花生畑が広がっていた（写真8）。そばに寄るとまだ花を付け、子房柄が何本も地中目指して伸びていた（写真9）。近くの農家の方に伺ったところ、早くてもお彼岸過ぎ、10月に入ってか



写真8 落花生畑（八街市，9月上旬）



写真9 落花生の子房柄と莖（同左）



写真 10 落花生畑
(八街市の落花生店 (ますだ), 9月上旬)



写真 11 落花生を掘り取る
(同左)



写真 12 掘りあげた落花生 (同上)



写真 13 土を払った落花生 (同上)

ら本格的な収穫が始まるようだ。しばらく行くと、落花生店「ますだ」があった。「落花生掘り 1 株 200 円」と書いた張り紙が見えたので、店の方に尋ねてみた。店の裏が畑になっていて、今は「郷の香」や「オオマサリ」という早生のゆで豆用品種の収穫期だそうだ。「ナカテユタカ」や「千葉半立」など莢炒り落花生の収穫は 10 月に入ってからだという。

早速、畑に案内してもらった。防風林に囲まれた広い緩やかな傾斜地一帯が落花生畑だった (写真 10)。柔らかく、サラサラした軽い土のため、根は張っているが、株元をしっかりと持ってちょっと力をいれるとゴソッと勢い良く引き抜けた (写真 11)。根っこにはびっしり莢が付いていた (写真 12)。根のところどころには小さな数珠玉のように膨れた根粒がみられた。落花生掘りは初めての経験で面白く 5 株程抜いて、押し切りを使って葉茎の部分の切り落として持ち帰った。

帰り道、八街市郷土資料館に立ち寄った。江戸時代には、佐倉七牧と呼ばれた幕府直轄の馬の育成牧場(牧)があり、この辺りには「小間子牧 (おまごまき)」, 「柳沢牧」の二箇所があった。現在の八街市の大半が牧場だったそうだ。年に 1 度放牧馬を捕える野馬捕りに使われた野馬捕込跡 (のまとっこめあと) などが残っている。明治になりお茶、落花生などの栽培が始まった。その頃農家で使われていた道具類の展示もあり、北総台地といわれる火山灰の畑作地帯の歴史に触れることができ、興味深かった。台地上を吹きぬける強風から民家や農地を守るために昭和 20 年代に屋敷林や防風林などが植林された。畑のわきには今も畦畔茶



写真 14 ゆで落花生（郷の香）



写真 15 落花生を使った炒め物
（調理、くれあちゃん（小学4年生））



写真 16 ポッチ積み（八街市、10月下旬）



写真 17 地ならし後の落花生畑
（八街市の落花生店（ますだ）、9月上旬）

の生垣が残り、武蔵野台地にある狭山の茶畑を思い出した。

翌日、莢の数を数えた。1株に充実した大きな莢79、未熟な小さい莢54、土の中で虫に食べられたのか穴の開いた空の莢が3個ほど混じていた（写真13）。平均すると1株で80前後の成熟した莢がえられた。さっそく茹でて食べたが、甘味と香りがあり、やや柔らかめで美味しかった（写真14）。ちょうど遊びに来ていた妹に泥付きのままを渡したところ、炒め物に入れたら美味しかったと、さっそくメールで知らせてくれた（写真15）。

10月に入り、八街の落花生の収穫が気になってきたが、連日雨が続けていた。八街市役所に問い合わせたところ、落花生は掘り上げた後、地干し、ポッチ積みにしてさらに1ヶ月近く乾燥させるので、雨の続く時期には収穫しないと教えて下さった。落花生の収穫は天候次第、人の都合通りにはいかないようだ。ようやく晴天が続くようになった10月の最終土曜日、再び八街市を訪れた。畑の落花生はすっかり掘りあげられ、あちらこちらに半円球のドーム、落花生でできた「雪のかまくら」のようなポッチが並んでいた（写真16）。前回行った「ますだ」の落花生畑は抜き取った後、すでに地ならしが行われていた（写真17）。畑の傍には莢を天日干しする乾燥用の台が一面に並んでいた（写真18）。脱莢後、日差し、風の状態などを見ながら1～2日乾燥させるとさらに甘みが増すそうだ。殻を振ったときにカタカタ音がすれば、天日



写真 18 落花生の乾燥台
(八街市の落花生店(ますだ), 10月上旬)



写真 19 時々天地返しをする(同左)



写真 20 乾燥台(同上)



写真 21 千葉県農林総合研究センター落花生研究室

干しは終了とのことだった(写真 19, 20)。干し場を見せていただいてから新豆と前回家族に好評だったゆで落花生を土産に帰途についた。

途中「千葉県農林総合研究センター落花生研究室」の前を通った(写真 21)。味、甘み、コクともに最高品質といわれる「千葉半立(昭和 28 年)」, あっさりした甘みの「ナカテユタカ(昭和 54 年)」などの品種の開発や, 落花生農家の指導を行っている。生産地の真ん中にある伝統ある研究室だ。

落花生を育てる

①種をまく

5月中旬, 自宅の庭に落花生の種を播いた。八街市では保温や雑草防止のためにマルチというフィルムを畑に張って種を播く。1週間ほどで発芽した。自宅の落花生は発芽から40~50日, 7月下旬から9月にかけて, 次々と花が咲き始めた。受粉後に子房柄からは一寸釘のような子房柄が伸び始め, 地面にもぐっていく(写真 2, 3, 9)。地中では子房柄の先が膨らみ, 莢(殻)ができ, その中で落花生の実(種)が育つ。莢の中は最初, スポンジのように柔らかくその中で種が育つそう(八街市郷土資料館展示物解説より)(写真 22)。日差しの強い8月, 9月と地下で種は生長を続ける。

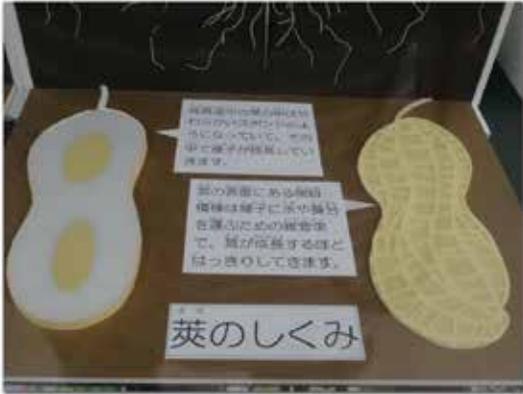


写真 22 莢のしくみ（八街市立郷土博物館展示物）



写真 23 試し掘りした落花生
（八街市，9月上旬）

②収穫

落花生の収穫時期は農家にとってもなかなか難しいようだ。秋になると組合や県の研究所による作況調査も行われる。

千葉県の農業関係のホームページには、「おいしい落花生を生産するためには適期に掘り取ることが重要です。掘り遅れは食味を低下させますので、開花期からの日数を目安に収穫時期の5～7日前から「試し掘り」を行いましょう」という農家向けの情報も載っていた⁹⁾。

9月には早生品種「郷の香」の試し掘りが行われていた。畑から抜かれた落花生はびっしりと莢のついた根っこを天に向けて畑に行儀良くならんでいた（写真 23）。

③地干しと野積み（ポッチ）作業

収穫後の落花生は、カビが発生しやすいため、畑に並べて地干しをする。地干しは、野積み前の予備乾燥だという。掘りあげた後、土をふるい落とし、莢が上になるよう反転させて5～7日程かけて乾燥させる。莢が乾いたら、裏返して茎葉の部分を数時間乾かす¹⁰⁾。

地干しの後は、風通しの良いところに円筒状に野積み（ポッチ積み）し、さらに乾燥させる。ポッチの下面には地面からの湿気を防ぐためにおが屑やポリフィルムを敷き、土台になる部分はかなり多くの株を寄せ、締め付ける¹⁰⁾。そのうえに葉茎部分を外側に、莢を中心に向け、通気性を考えて少し隙間をとりながら積み上げる。ポッチの頂部には稲わらで編んだ「雨よけ帽子」をかぶせる（写真 24）。今では稲わらがあまり手に入らないこと、また雨で湿るのを防ぐために、ビニールシートで覆う農家も多いそうだ（写真 25）。あちらこちらの畑にポッチが点在する光景は八街の晩秋の風物詩といわれている。

ポッチの由来は分らなかったが、形としては稲を干すときに造られる「にゅう」に似ている（写真 26）。これは刈り取った稲の天日干しの方法の



写真 24 伝統的な稲わらで編んだ「雨よけ帽子」をつけたポッチ



写真 25 ビニールシートの「雨よけ」をつけたボッチ



写真 26 にゅう積みによる稲わらの乾燥
(奈良県明日香村, 11月)

一つだ。乾いた風の吹く太平洋側の稲作地帯では、大人の背丈ほどの木を心棒にして、その周りに稲束をかける「にゅう積み」で乾燥する¹¹⁾。昔は稲わらを使い筵、ござ、俵、わら縄、草鞋などを編んだ。藁仕事という言葉があるように稲わらと農家の生活は切り離せないものであった。「今は稲わらを手に入れることも難しい」とボッチの近くで作業をしていた農家の方が話してくれた。

長年落花生の研究をされた高橋芳雄氏によると、「地干し後の野積みにより、秋から初冬にかけての、ある程度の低温と季節風下で時間をかけての自然乾燥が、味の良し悪しに重要な役割を果たしている¹⁰⁾」という。ボッチ積みは日光があたるだけでは蒸れてしまう。風に曝されることも必要だ。落花生の苦味を抜いて、うま味を生み出す大切な工程であり、昔からの方法が受け継がれている。ただし、なかなかの重労働で家族だけでは足りない時は近所の人の手を借りてボッチ積みをするそうだ。

④脱莢

ボッチ積みしてから40～50日たって脱莢を行う。茎葉や空の莢などを吹飛ばし、実がしっかり詰まったものだけを残す。落花生の栽培は、どの工程も人の手を必要とする手間仕事だが、なかでも脱莢が手作業で行われていたころは、最もきつかったという話を伺った。今は機械化が進み、脱莢機に株ごと突っ込むと、莢と葉茎、根などが分けられる。茎葉などは堆肥の原料に使われる¹⁰⁾。

莢は水洗いしてからさらに乾燥させる。「ますだ」では天日乾燥をしていた。乾燥台は茅野で冬に行われている寒天の干し場(乾凍場)の木製の台(改良台)と同じような形で、底には金網が張られ、風通しがよい。乾燥台は太陽の向きに合わせて方向や角度が調整されているという話も寒天作りに共通していた。どちらも太陽光や風などの自然の力を上手に利用する工夫だ¹²⁾。その後、煎り釜で1時間以上焙煎され、莢炒り落花生になる。

我が家の落花生は、9月中旬に大粒の「オオマサリ」の収穫を行い、ゆでて食べた。莢いっぱい大きな種が二つ入っていて実にこくがあって美味しかった。10月末には「千葉半立」を掘りあげ、葉がカサカサになるまで1週間余り地干しを行った(写真27)。莢を水洗いしてから、数を数えたら7株分の合計が138粒だった。八街の「郷の香」が1株でおよそ80個の莢がついていたのとは大違いだ。葉の勢いが良かったので、たくさん莢がついているものと期待していたため、ちょっとがっかりした。専門家と素人との違いはもちろん大きいですが、北総台地の太陽と土、風などが美味しい落花生を育てているのだろう。植物の生育の基本は光合成であり、太陽光は必須だ(今は植物工場というものもあるが)。日照が午前中数時間と短



写真 27 地干し（千葉半立，自宅，11月上旬）

我が家の庭では、太陽光を充分あびることができなかったのだろう。

乾燥した落花生をフライパンで炒ると、暖かいうちはちょっと銀杏のように柔らかく生っぽい食感だが、粗熱をとると、コリッとした歯ごたえになるので面白い。新豆は甘味も良いがなんともいえない香りが楽しめる。

私の幼い頃、正月の夜はミカンや落花生を食べながら家族でカルタやトランプをして夜更かしをした。このときばかりは夜遅くまで起きていても叱られることはなかった。新聞紙を広げて落花生の殻を割っていると、たちまち机の周りには砕けた殻や渋皮が散らばった。もう 60 年も昔のことである。時を経て、我が家の正月風景も昔とは様変わりである。そんな中でも変わらないものは食卓上の落花生、ほのかな甘みは自然の賜り物である。

謝辞

落花生について教えていただき、資料や「ボッチ積み」の写真を送っていただいた八街市農政課島田様に感謝申し上げます。写真 5、写真 22 は八街市立郷土博物館の展示物を使わせていただきました。ご許可いただいた同博物館に深謝いたします。

参考資料

1. 新村 出編：広辞苑第六版，岩波書店（2008年）
2. 菅洋：もの与人間の文化史 19・有用植物，法政大学出版局（2004年）
3. 前田和美：もの与人間の文化史 154・落花生，法政大学出版局（2011年）
4. 中山兼徳他編著：ラッカセイのつくり方，農山漁村文化協会（昭和51年）
5. 高嶋四郎他：標準原色図鑑全集第13巻，保育社（昭和46年）
6. 村井弦齋：増補・註釋食道楽，報知社出版部（明治38年）
7. 企画発行一般財団法人全国落花生協会：落花生読本（2013年）
8. 編著者 田中静一，中山登紀子他：中国食品事典，書籍文物流通会（昭和45年）
9. 千葉県農業改良普及情報ネットワーク，フィールドノート，平成28年5月25日：〈千葉が誇る特産物「落花生」をつくろう！〉
10. 高橋芳雄著，全国農村教育協会編：落花生—ある研究者の記録—，発行者高橋てる子（1992年）
11. 飯村茂樹：科学のアルバム・かがやくいのち 20 イネ 米ができるまで，あかね書房（2014年）
12. 宮尾茂雄：伝える心・伝えられたもの—雪に晒す 天然角寒天を訪ねて—，*New Food Industry*，Vol.5，No.3（2015）

New Food Industry のアドバイザーボード

月刊 New Food Industry は、「アドバイザーボード」を設置しております。本「アドバイザーボード」は、弊誌の学術業界誌としてふさわしい論文・解説記事の掲載、査読誌としての編集課題等、社外の有識者の意見を得ることを目的としております。また、研究者のご紹介など有意義なご指導・ご助言をいただき、編集委員会として貢献していただいているものです。

■ ボードメンバー（敬称略 / 五十音順）	
氏名	所属
大石 隆介氏	（明海大学 経済学部経済学科）
大谷 元氏	（信州大学名誉教授）
岡 希太郎氏	（東京薬科大学名誉教授）
坂上 宏氏	（明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO) 所長）
宮尾 茂雄氏	（東京家政大学教授）
山口 正義氏	（University of California, Los Angeles (UCLA) 医学部） （University of Hawaii Cancer Center Adjunct Professor 兼務）

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

ニューフードインダストリー 第59巻 第9号

印刷 平成 29 年 8 月 25 日
発行 平成 29 年 9 月 1 日
発行人 平井 朋美
編集人 今西 和政
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(喜助新神田ビル3F)
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

印刷所 株式会社メイク
定価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

e-mail: newfood@newfoodindustry.com