

New Food Industry

食品加工および資材の新知识

<http://www.newfoodindustry.com>

2014 Vol.56 No.6

6

第17回トレハロースシンポジウム講演より

- トレハロースの『美味しさ』と『健康』に貢献する素材としての可能性
- 澱粉含有食品のガラス転移特性と物性制御

論 説

- 肝機能改善素材「発酵大麦エキス・アルコケア[®]」
— 人とお酒の良い関係づくりを目指して —
- ササヘルス配合歯磨剤の口腔環境 改善効果：口臭と舌細菌数の相関
Effect of Sasahealth-containing tooth paste on oral environment
- Relationship between halitosis and bacterial number on the tongue
- 「チョコレートとノーベル賞」 — 科学者の白昼夢? —
- 知っておきたい日本の食文化 その四 肉食を禁忌してきた食文化

連 載

- “地域密着でキラリと光る企業”
純米酒を復活させた『玉乃光酒造株式会社』
- マダイの体色改善 - 1
- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)
- 築地市場魚貝辞典 (シロウオ)



第17回トレハロースシンポジウム講演より

- トレハロースの『美味しさ』と『健康』に
貢献する素材としての可能性
..... 新井 紀恵, 溝手 晶子, 吉實 知代, 山田 未佳, 新井 千加子 1

- 澱粉含有食品のガラス転移特性と物性制御
..... 川井 清司 10

論 説

- 肝機能改善素材「発酵大麦エキス・アルコケア®」
— 人とお酒の良い関係づくりを目指して —
..... 外園 英樹 20

- ササヘルス配合歯磨剤の口腔環境
改善効果：口臭と舌細菌数の相関
Effect of Sasahealth-containing tooth paste on oral environment
— Relationship between halitosis and bacterial number on the tongue
..... 坂上 宏, 新井 友理, 久野 貴史, 久保 英範, 染川 正多, 高野 頌子,
津島 浩憲, 三次 義人, 秋田 紗世子, 健石 雄, 大越 絵実加,
田中 庄二, 松本 勝, 安井 利一, 伊藤 一芳, 牧 純, 渡邊 康一,
北嶋 まどか, 堀内 美咲, 賈 俊業, 大泉 浩史, 大泉 高明 27

- 「チョコレートとノーベル賞」— 科学者の白昼夢? —
..... 菅野 道廣, 古場 一哲 36

- 知っておきたい日本の食文化 その四 肉食を禁忌してきた食文化
..... 橋本 直樹 47

連 載

- “地域密着でキラリと光る企業”
純米酒を復活させた『玉乃光酒造株式会社』
..... 田形 暎作 53

- マダイの体色改善-1
..... 酒本 秀一 67

- ベジタリアン栄養学
歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た,ベジタリアン食の適正度)
..... ジョアン・サバテ, 訳:山路 明俊 79

- 築地市場魚貝辞典 (シロウオ)
..... 山田 和彦 92

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料

コクベース

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

エンザップ

new発酵調味料

D&M

ディアンドエム

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース
ラクティックイーストエキス

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

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

トレハロースの『美味しさ』と『健康』に 貢献する素材としての可能性

新井 紀恵 (Arai Norie) * 溝手 晶子 (Mizote Akiko) * 吉實 知代 (Yoshizane Chiyo) *
山田 未佳 (Yamada Mika) * 新井 千加子 (Arai Chikako) *

* 株式会社林原 研究開発本部

Key Words : トレハロース・生活習慣病・脂肪細胞・耐糖能改善・食品利用

はじめに

食事は、生命活動・健康維持のためのエネルギー源や栄養素の補給といった意義だけではなく、『美味しい』、『楽しい』、『満腹感』などの精神的充足感を与えたり、社会生活を行う上でのコミュニケーションの場としての大きな役割もある。

近年、日本では欧米スタイルの食生活が普及し、美味しくて高カロリーな食事を摂取する傾向にあり、これに起因する生活習慣病の増大が問題となっている。高脂肪・高炭水化物食によるカロリー摂取が、運動等によるカロリー消費

を上回ると、過剰なエネルギーとして内臓脂肪に蓄積されやすくなる。内臓脂肪蓄積が進むと、脂肪細胞由来の生理活性物質であるアディポカインの分泌異常が起こり、耐糖能異常、高血圧あるいは脂質代謝異常といった危険因子が誘発され、生活習慣病に繋がる。さらに、これら危険因子の重複は、血管障害を伴う動脈硬化を引き起し、心筋梗塞、糖尿病合併症などの重篤な疾病に進展するリスクが増大する(図1)。このような背景から、内臓脂肪蓄積を反映するウエスト周囲径の増大に加え、「耐糖能異常」、「高血圧」あるいは「脂質代謝異常」のうちの

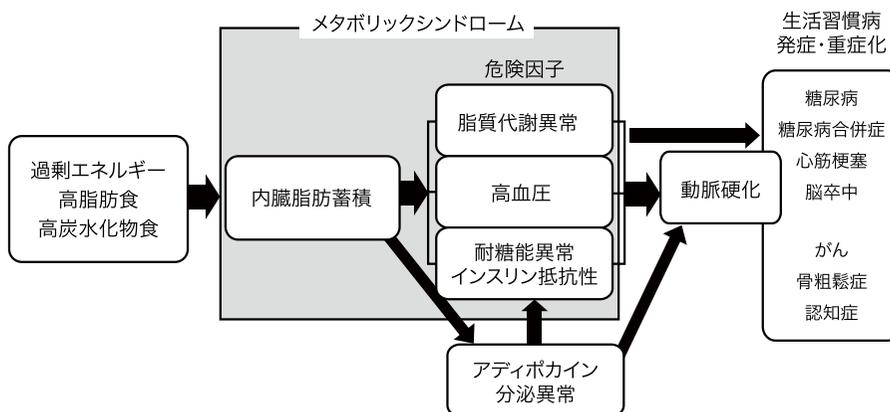


図1 過剰エネルギー摂取と生活習慣病リスク
アディポカイン：脂肪細胞から分泌される生理活性物質

2項目以上を有する場合をメタボリックシンドロームと診断し、厚生労働省はその先にある生活習慣病リスクの指標として活用している。

一方で、高齢者の低栄養によるサルコペニアが深刻化している。サルコペニアは、筋肉の量や機能が低下した状態を指し、主にタンパク質不足が原因である。タンパク質は、炭水化物が不足した場合にエネルギー源として使用されることから、タンパク質と共に炭水化物もバランス良く摂取することが重要である。サルコペニアになると、肥満や骨粗鬆症骨折が起りやすくなり、生活に支障が生じるため、介護などの社会的問題にも発展する。

これらのことから、毎日の食生活において、栄養補給、満足感、健康状態等を考慮しながら、どういった食品を選択し、どのように摂取するかについてのさまざまな提案や取り組みが行われている。

トレハロースは、グルコース2分子が α,α -1,1結合した非還元性の二糖であり、さまざまな物性機能から食品に広く利用されている¹⁾。また、骨粗鬆症予防作用^{2,3)}、歯周病予防作用⁴⁾などの生理機能も報告されており、なかでも、トレハロース摂取時のインスリン分泌刺激が少ないこと(インスリン低分泌性)⁵⁾が特徴のひとつである。インスリンは脂肪蓄積を促進することが知られており⁶⁾、内臓脂肪蓄積の原因として高脂肪・高炭水化物摂取によるインスリンの過剰分泌が考えられることから、トレハロースは健康維持に貢献する可能性が期待できる。

本稿では、トレハロースの物性機能面と、過剰なエネルギー摂取に起因する生活習慣病リスクに対する生理機能について紹介する。

1. トレハロースの物性機能と食品への応用

トレハロースは海藻、きのこ類など自然界に含まれる糖質であり、食経験が長いこと、

Ames試験など数々の安全性試験によって、安全性が担保されている。トレハロースの甘味度は砂糖の38%で、後味の良い上品な味質が特徴である。

トレハロースの物性機能として、保水作用、澱粉老化抑制作用、タンパク質変性抑制作用、氷結晶成長抑制作用、食感調整作用、矯味・矯臭といった風味改善作用などがあげられる¹⁾。トレハロースは水和力が高い⁷⁾ことから、食品の乾燥を防ぎ、保水効果をもたらす。澱粉老化抑制作用は、ご飯が時間経過と共に硬化したり、パサつくといった現象を抑制するものである。タンパク質変性抑制作用は、加熱やpH変化による肉、魚、卵などの硬化を抑制し、ジューシー感を保つ。氷結晶成長抑制作用は、トレハロースが水溶液状態において氷結晶生成を遅らせることから、冷凍保存食品の氷結晶によるダメージを少なくし、食品の品質維持に寄与しているのではないかと推察されている。また、トレハロースの高いガラス転移温度により、クッキーやキャンディーなどのガラス状態がより安定となり、食感の保持・調整が可能となっている。その他にも、ココアの加熱臭などを抑制する風味改善、野菜・果物の鮮度保持、非着色性など、食品の品質保持と美味しさに貢献する機能を数多く有しており、さまざまな食品や料理に用いられている。

2. トレハロースの生活習慣病リスクに対する作用

2-1. 高脂肪食摂取マウスにおける検証

我々は、トレハロースのインスリン低分泌性に着目し、マウスに高脂肪食を摂取させて内臓脂肪蓄積を進行させる試験を実施し、トレハロースの生活習慣病リスクに対する作用を調べた。C57BL/6Nマウス(6週齢、雌)を通常食(NMF、オリエンタル酵母工業株式会社製)に

て1週間馴化後、高脂肪食（HFD32，日本クレア株式会社製）と共に、水、あるいはトレハロース、グルコース、フラクトース、異性化糖、マルトースの2.5%（w/v）水溶液を自由摂取させた⁸⁻¹⁰。高脂肪食摂取8週間後に、内臓脂肪にあたる腸間膜脂肪組織を摘出したところ、通常食摂取群と比較して脂肪組織の増大が認められた。脂肪組織を形態学的に観察した結果、通常食摂取マウスの脂肪細胞は直径が平均40-50 μm

であったのに対して、高脂肪食摂取によって80-90 μmと肥大化していた。これに対し、トレハロースを同時に飲水摂取させたマウスにおいては脂肪細胞の直径は60-70 μmと小さく、肥大化の抑制が認められた⁸（図2）。高脂肪食摂取下における糖質間の比較を行うために、1個体あたり約800個の脂肪細胞の直径を測定し、直径別に出現頻度を算出した⁹（図3）。トレハロース摂取群においては60-70 μmの小型の細

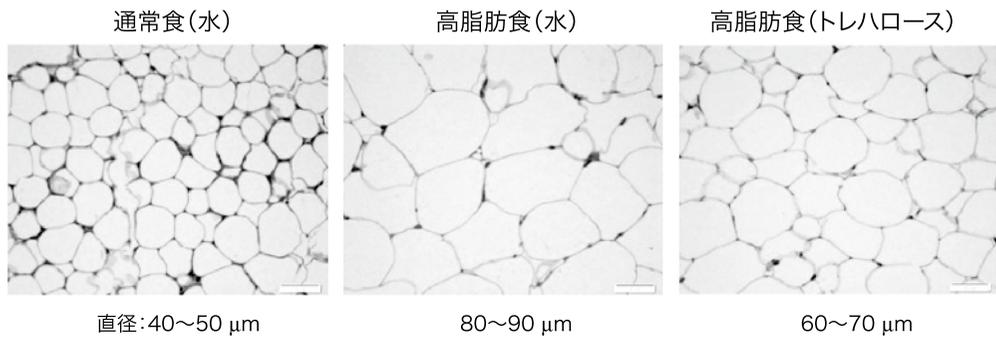


図2 高脂肪食摂取マウスの腸間膜脂肪組織像

マウス（C57BL/6N，雌）に高脂肪食と同時に、水あるいは2.5%（w/v）トレハロース水を8週間摂取させた後に、腸間膜脂肪組織を摘出した。組織切片を作製後、ヘマトキシリン & エオジン染色して観察した。

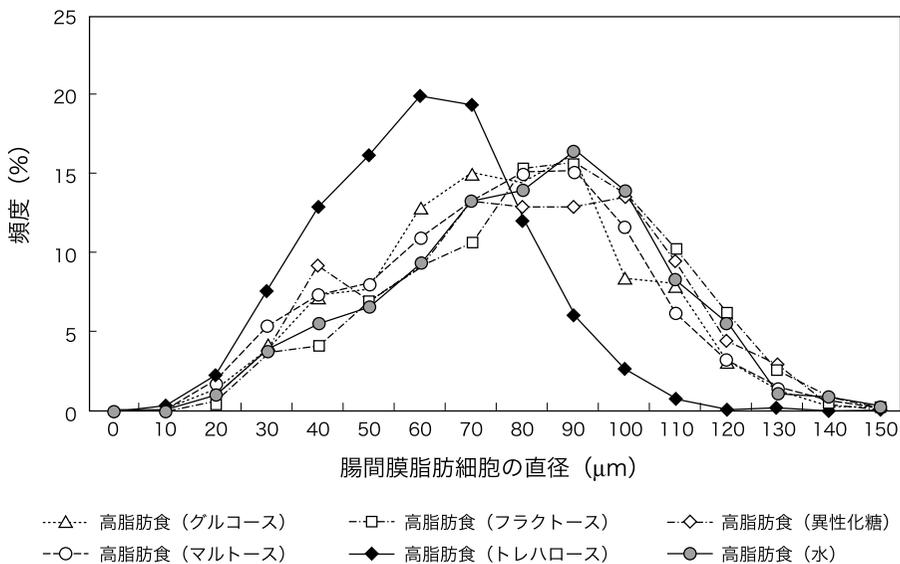


図3 高脂肪食マウスの腸間膜脂肪細胞の直径別出現頻度

マウス（C57BL/6N，雌）に高脂肪食と同時に水あるいは2.5%（w/v）糖水を摂取させ、8週間後に腸間膜脂肪組織を摘出した。脂肪組織写真をTIFに変換後、画像解析ソフト（Scion Image）を用いて約800個の脂肪細胞の直径を測定し、出現頻度を算出した。

胞の出現頻度が高かったのに対して、他の糖質摂取群においては水摂取群と同様に、80-90 μm 付近の脂肪細胞が多かった。このことから、高脂肪食摂取による腸間膜脂肪細胞の肥大化を抑制する効果は、トレハロース摂取に特徴的な現象であることがわかった。

腸間膜脂肪細胞の肥大化は内臓脂肪蓄積を反映すると考えられることから、内臓脂肪蓄積に伴う耐糖能異常に着目して、トレハロースの効果を調べた。耐糖能は血糖値を正常レベルにもどす能力を意味し、グルコース負荷試験により評価可能である。前述した試験系において、高脂肪食摂取7週目にマウスを一晩絶食させた後にグルコース負荷試験を行ったところ、高脂肪食摂取による耐糖能低下は認められたものの、トレハロース摂取による耐糖能低下を抑制する効果は観察されなかった。しかし、空腹時のインスリン値は、高脂肪食を摂取させたマウスの中でトレハロース摂取群が最も低かった。さらに、インスリン抵抗性指数 HOMA-IR [空腹時血糖値 (mg/dL) \times 空腹時インスリン値 ($\mu\text{U/mL}$) / 405] を算出したところ、通常食群の HOMA-IR 値は 0.9 ± 0.4 (平均値 \pm 標準誤差) であったのに対して、高脂肪食・水摂取群では 9.0 ± 3.7 と顕著に増加したにも関わらず、

トレハロース摂取群では 4.7 ± 0.5 と低値を示し、トレハロースは高脂肪食摂取によるインスリン抵抗性の進行を抑制する可能性が示唆された⁸⁾。

インスリン抵抗性が進行すると、血糖値を正常化するために膵臓のランゲルハンス氏島(ラ氏島)の代償性肥大が起こり、 β 細胞からのインスリン分泌が増加する¹¹⁾。そこで、高脂肪食摂取8週目に膵臓を摘出し、ラ氏島の形態的観察を行った。ラ氏島及び β 細胞領域の面積は、高脂肪食摂取により増大したが、トレハロースを飲水摂取させたマウスにおいては面積の増大が抑制されており、糖質間で比較した場合に最も面積が小さかった¹⁰⁾(表1)。

トレハロース摂取による生活習慣病リスクに対する効果を明らかにするため、マウスに高脂肪食と糖水摂取を14週間まで継続させ、グルコース負荷試験を行い、耐糖能の評価を行った¹⁰⁾(図4)。高脂肪食摂取群の空腹時血糖値は、通常食摂取群と比較して高かった。グルコース負荷30分後、全ての群において顕著な血糖値上昇が認められ、通常食摂取群ではその後、経時的に血糖値が低下するのに対して、高脂肪食摂取群ではグルコース負荷120分後においても高血糖状態が持続しており、耐糖能に

表1 高脂肪食摂取マウスの膵臓ランゲルハンス氏島及び β 細胞領域の面積

| | 糖水 | ラ氏島面積 (μm^2) | β 細胞領域面積 (μm^2) |
|------|--------|------------------------------------|------------------------------------|
| 通常食 | 水 | 10574 \pm 1386 ^{**} | 9311 \pm 1236 ^{**} |
| | 水 | 17719 \pm 1448 | 15596 \pm 1209 |
| 高脂肪食 | トレハロース | 11472 \pm 1580 ^{**#} \$ | 10345 \pm 1504 [#] |
| | マルトース | 19857 \pm 1792 | 16802 \pm 1594 |
| | 異性化糖 | 12751 \pm 850 [#] | 10762 \pm 699 [#] |
| | フラクトース | 17752 \pm 1654 | 15365 \pm 1734 |
| | グルコース | 15140 \pm 725 | 13272 \pm 747 |

マウス (C57BL/6N, 雌) に高脂肪食と同時に水あるいは2.5% (w/v) 糖水を摂取させ、8週間後に膵臓を摘出してインスリン/グルカゴンにて二重染色後、ラ氏島および β 細胞領域を観察した。面積は各群約70個のラ氏島と β 細胞領域面積を Scion Image にて計測した。数値は平均値 \pm 標準誤差。^{*} $p < 0.05$, ^{**} $p < 0.01$ vs. 高脂肪食 (水), [#] $p < 0.05$, ^{##} $p < 0.01$ vs. 高脂肪食 (マルトース), ^{\$} $p < 0.05$ vs. 高脂肪食 (フラクトース)

異常が認められた。高脂肪食摂取群の中では、トレハロース摂取群の血糖値ピークが水や他の糖質群と比較して最も低く、また、グルコース負荷 120 分後で最も速い血糖値の下降がみられた。各群の個体差が大きかったため、統計学的に有意な差はフラクトース摂取群に対してのみ認められたが、長期に亘る高脂肪食摂取条件下において、トレハロース摂取群の耐糖能は最も良好であった。

以上の結果より、トレハロースは高脂肪食摂取による内臓脂肪蓄積とそれに伴う耐糖能異常やインスリン抵抗性の進行を予防する可能性が示唆された。

2-2. 肥満後マウスにおける検証

ヒトのメタボリックシンドロームにより近い状態で、トレハロースの生活習慣病に対するリスクを検証するために、あらかじめ4週間の高脂肪食摂取により肥満させたマウスを作成後、高脂肪食を与えながら0.3% (w/v) あるいは2.5% (w/v) のトレハロース飲水摂取を開始し、

8週間継続する試験を行った¹²⁾。この試験系において、対照として高脂肪食と脂質組成の同じ低脂肪食（日本クレア）摂取群を設けた。高脂肪食摂取7週目に、一晩絶食後、空腹時血糖値とインスリン値を測定し、HOMA-IR 値を算出した結果、高脂肪食摂取による HOMA-IR 値の上昇が確認されたが、トレハロース摂取群では低値であり、0.3%のトレハロース摂取においては水摂取群との間で統計学的に有意な差が認められた（図5）。また、高脂肪食摂取8週目に腸間膜脂肪細胞の面積を計測した結果、高脂肪食負荷による増大が認められたが、トレハロース摂取群においてはその程度が小さく、HOMA-IR 値と同様に、0.3%のトレハロース摂取群において有意差が認められた（図6）。

骨格筋細胞、肝臓、脂肪細胞などで行われるインスリン依存的な血糖処理は、細胞膜のインスリン受容体基質（IRS）やグルコーストランスポーターの発現、あるいは脂肪細胞の質的变化に伴って分泌されるアディポカインの種類に影響される。高脂肪食摂取試験において、大腿

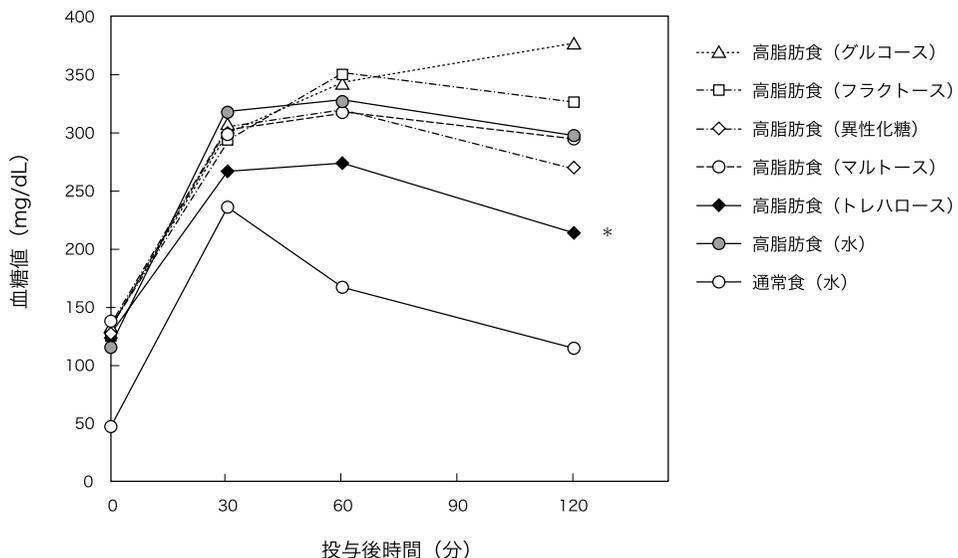


図4 高脂肪食摂取マウスのグルコース負荷試験

マウス (C57BL/6N, 雌) に高脂肪食と同時に2.5% (w/v) 糖水を摂取させ、14週間後にグルコース負荷試験を行い、血糖値を経時的に測定した。* $p < 0.05$ vs. 高脂肪食 (フラクトース)

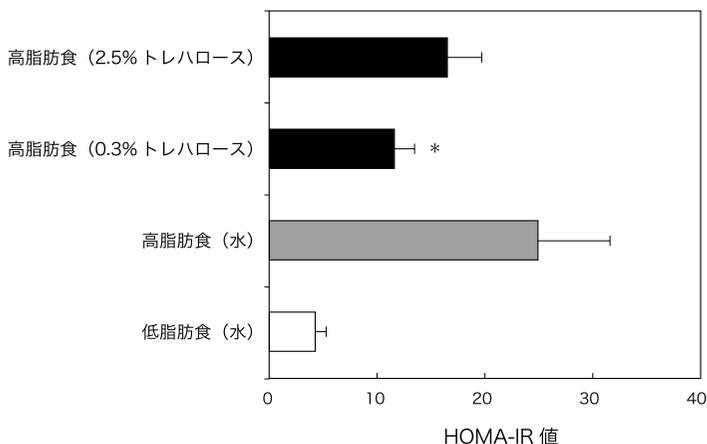


図5 肥満後マウスの HOMA-IR 値の変化

高脂肪食 4 週間摂取によって肥満させたマウス (C57BL/6N, 雌) に、高脂肪食とトレハロース水を 7 週間摂取させ、一晩絶食後にグルコース負荷試験を行い、HOMA-IR 値を算出した。数値は平均値±標準誤差。* $p < 0.05$ vs. 高脂肪食 (水)

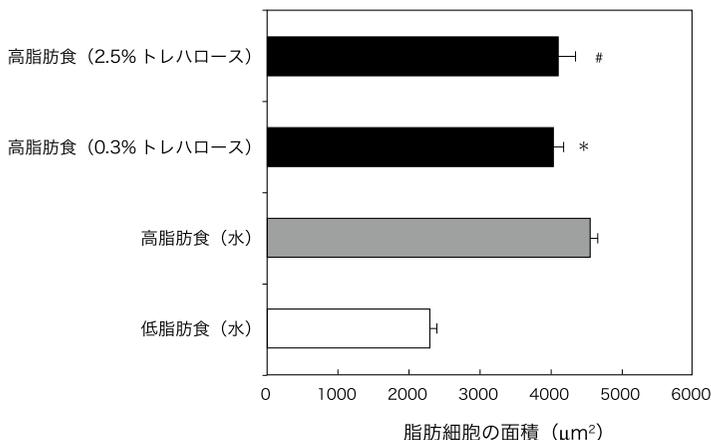


図6 肥満後マウスの腸間膜脂肪細胞面積

高脂肪食 4 週間摂取によって肥満させたマウス (C57BL/6N, 雌) に、高脂肪食とトレハロース水を 8 週間摂取させた。脂肪細胞の面積は、一定面積 (0.29 mm²) の腸間膜脂肪組織あたりの脂肪細胞の数を測定して算出した。数値は平均値±標準誤差。* $p < 0.05$, # $p = 0.06$ vs. 高脂肪食 (水)

部骨格筋の全 RNA を抽出し、IRS1 及び IRS2 の遺伝子発現解析を行ったところ、トレハロース摂取によってこれら受容体の有意な発現亢進が認められた。また、アディポカインの一種である高分子アディポネクチンの血清中含量を測定したところ、0.3%のトレハロース摂取で有意な上昇が認められた¹²⁾。高分子アディポネ

クチンはインスリン感受性を向上させる因子である¹³⁾ことから、トレハロースのインスリン抵抗性の進行抑制効果をサポートするものと考えられた。

これらの結果より、トレハロースは、肥満状態においても内臓脂肪蓄積とそれに伴うインスリン抵抗性の進行を予防する可能性が見出された。肥満後マウス試験におけるトレハロースの有効濃度は0.3%であり、1日当たりの飲水量から有効量を体重換算すると、0.2 g/kgであった。

2-3. ヒトにおける検証

一連のマウス試験で得られたトレハロースの生活習慣病予防効果をヒトで実証するため、社内ボランティア試験を行った。トレハロースの摂取量はマウス試験の有効量を外挿し、体重 50 kg のヒトを想定して1日当たり約 10 g に設定した。

肥満傾向にある BMI 23 以上の被験者 34 名を対象として、ヘルシンキ宣言に基づいた自社のボランティア試験審査委員会及び医師の監督下で、二重盲検

試験を行った (承認番号 142)。被験者は、体重、腹囲、体脂肪率、体幹部脂肪率 (タニタ腹部脂肪計 AB-140)、空腹時血糖値及び HOMA-IR 値が均等になるように 2 群に分けた (表 2)。被験食のトレハロース (トレハ[®], 株式会社林原製) あるいは対照食のスクロース (シュクレース, 株式会社パールエース社製) を効率良く摂取す

るために、固形分含量として 3.3 g ずつ含んだアルミ分包品を作製した。このいずれかの食品を、毎食時に 1 包ずつ飲料に混ぜる、おかずにふりかけるなど、自由な形式で、1 日 3 回、合計 10 g を 12 週間継続摂取してもらった。試験開始時（摂取前）と終了時（摂取 12 週間後）には、前日の 21 時以降絶食をしてもらい、翌朝に身体測定と血液生化学検査を行った。また、耐糖能評価のために、75 g のグルコース負荷試験を行い、空腹時血糖値と共に 2 時間後血糖値（糖負荷 2 時間後血糖値）を測定した。

試験期間中に身体の異常を訴えた被験者は認められなかった。摂取 12 週間後の身体測定及び血液検査値を比較した結果、群間で統計学的な有意差のみられるパラメーターは認められなかった。しかしながら、各パラメーターを摂取前後で比較したところ、スクロース群では糖負荷 2 時間後血糖値は摂取前と変わらなかったのに対して、トレハロース群では摂取前よりも低値を示した。

そこで、個人差を考慮して耐糖能を比較するため、空腹時血糖値を基準とした糖負荷 2 時間後血糖値の割合を換算し、摂取前後の変化を比較した（図 7）。摂取前は、両群とも糖負荷 2 時間後血糖値が空腹時の約 1.3 倍と高めであり、空腹時レベルまで戻っていなかった。しかし、摂取 12 週間後においては、スクロース群は摂取前と同様に高めであったのに対して、トレハロース群では糖負荷 2 時間後血糖値が空腹時の 1.1 倍にまで低下しており、統計学的に有

表 2 群分け及び被験者背景

| | トレハロース群 | スクロース群 |
|----------------|-------------|-------------|
| 被験者数 (男 / 女) | 17 / 0 | 16 / 1 |
| 年齢 (歳) | 47.9 ± 7.7 | 47.2 ± 6.0 |
| BMI | 26.4 ± 2.8 | 26.2 ± 2.6 |
| 体重 (kg) | 77.3 ± 10.1 | 74.6 ± 8.3 |
| 体脂肪率 (%) | 24.2 ± 2.9 | 24.9 ± 3.5 |
| 体幹部脂肪率 (%) | 27.1 ± 5.4 | 27.6 ± 5.4 |
| 空腹時血糖値 (mg/dL) | 92.6 ± 8.7 | 92.9 ± 7.3 |
| HOMA-IR 値 | 1.61 ± 0.73 | 1.61 ± 0.70 |

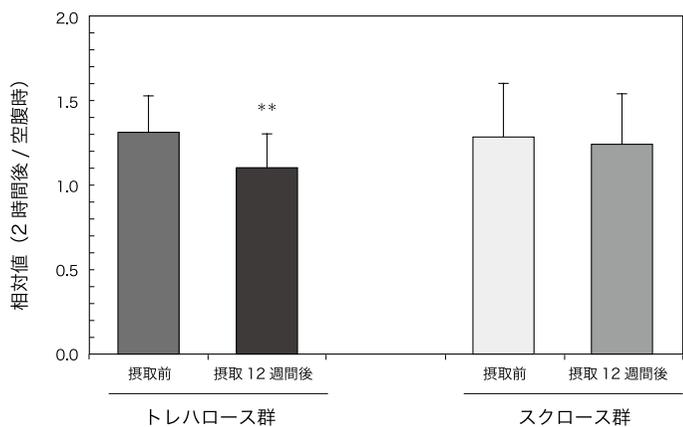


図 7 トレハロース摂取による耐糖能の変化

試験開始前と、トレハロースあるいはスクロースの 12 週間摂取後に 75 g のグルコース負荷試験を行い、空腹時血糖値と糖負荷 2 時間後の血糖値を測定した。耐糖能の評価は、空腹時血糖値に対する糖負荷 2 時間後の血糖値の割合を算出してを行い、摂取前後の比較を行った。数値は平均 ± 標準偏差。** $p < 0.01$ vs. 摂取前 / トレハロース群

意な耐糖能の改善が認められた。

以上の結果から、マウス試験で見出されたトレハロースの耐糖能を改善する可能性がヒトにおいて実証された。

おわりに

食事に起因する生活習慣病予防をターゲットにした一連の試験結果より、トレハロースの耐糖能改善効果が明らかになった。マウス試験の結果から推察すると、この効果は脂肪細胞の肥大化抑制、すなわち内臓脂肪蓄積の進行抑制と、それに伴う脂肪細胞の質的改善による可能性が

示唆された。

トレハロースによる脂肪細胞の肥大化抑制作用のメカニズムとしては、脂肪蓄積は過剰なインスリン分泌によって促されることから、トレハロースのインスリン低分泌性⁵⁾が寄与した可能性があげられる。しかし、日常の食事にトレハロースを上乗せした状態において、実際にどのように作用するかについては、今後の課題である。

その他にも、味覚受容体を構成するT1R3や腸内環境を介した作用メカニズムが考えられる。スクロースなどの甘味料はT1R2/T1R3の甘味受容体と結合するが、われわれはトレハロースがT1R3に直接結合することを確認している¹⁴⁾。また、マウスにトレハロースを5日間経口摂取させた実験において、腸管の免疫を司るパイエル板リンパ球の数やIL-6産生量は水対照群よりも少ないことを見出している¹⁵⁾。甘味受容体を介してインスリン分泌促進因子であるインクレチンが分泌されるとの報告¹⁶⁾、腸内細菌叢あるいは腸内の炎症状態がインスリン抵抗性に関与するとの報告¹⁷⁾があることから、トレハロースが受容体や腸内環境改善を介して耐糖能を改善している可能性についても、今後検討する予定である。

ところで、厚生労働省は、国民の健康増進を

推進するために、2013年度から『健康日本21(第二次)』をスタートし、「生活習慣病の発症予防と重症化予防」を重要課題としてあげている。その対策の中に、食生活や運動などの生活習慣改善による内臓脂肪型肥満の軽減が含まれる。今回、トレハロースのヒトでの検証において、内臓脂肪量を測定することはできなかったが、耐糖能の低下は、糖尿病発症に繋がるだけでなく、高血圧や動脈硬化の原因となり、さまざまな疾病の重症化を助長することから、トレハロースの耐糖能改善効果は意義のあるものと考えている。また、その他にも、トレハロースには骨粗鬆症予防^{2,3)}及び歯周病予防⁴⁾の可能性が報告されており、生活習慣病リスクを低減する『健康に良い糖質』である可能性が示唆された。

はじめに述べたように、食事には栄養補給だけでなく、『美味しい』、『楽しい』といった精神的充足感をもたらす意義がある。また、文部省特定研究「食品機能の系統的解析と展開」(1984-1986年)で示されているように、食品の機能として、栄養面での「第一次機能」、嗜好性に関わる「第二次機能」、生体調節機能に関わる「第三次機能」が知られており、トレハロースはこれら機能を併せ持っていると考えられる(表3)。

表3 食品の機能/食事の意義とトレハロースの可能性

| 食品の機能/食事の意義 | | トレハロースの効果 | |
|-------------|--|--|----------------------------------|
| 第一次機能 | エネルギー・栄養補給 生命維持・活動 | グルコースで構成される二糖類 | |
| 第二次機能 | 嗜好性・食感 味、香り、色、食感 美味しい、楽しいなど 精神的充足感の付与 | 保水 澱粉老化抑制 タンパク質変性抑制 冷凍耐性(氷結晶成長抑制) 食感保持・調整 風味改善(嬌味・嬌臭) | 野菜・果物の鮮度保持 低甘味 結晶性 非着色性 |
| 第三次機能 | 生体調節機能 健康増進、生体防御、疾病予防 | 生活習慣病リスク低減 耐糖能改善 | 歯周病リスク低減 骨粗鬆症リスク低減 |

ヒト試験における1日10gという有効量は、日常的に摂取可能な量であり、1日当たりの砂糖消費量が国民1人当たり約50g(2011年実績/農林水産省)であることから、砂糖摂取量の一部をトレハロースに置き換えることは容易であると考えられる。トレハロースを毎日の食生活に取り入れることで、現代のニーズにマッチした『美味しさ』と『健康』の両面からQOLの

高い生活をサポートすることが期待される。

〔謝辞〕

社内ボランティア試験実施にあたってご協力いただきました、木畑正義医師、並びに、小川理恵子看護師(林原診療所)に感謝の意を表します。

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

- 1) 桑原 理栄：トレハロースの食品での機能と生理作用。食品シリーズ 機能性糖質素材の開発と食品への応用Ⅱ，井上國世監修，シーエムシー出版，9-16, 2013.
- 2) Nishizaki Y, Yoshizane C, Toshimori Y, *et al.* : Disaccharide-trehalose inhibits bone resorption in ovariectomized mice. *Nutr Res*, **20**: 653-664, 2000.
- 3) Arai C, Kohguchi M, Akamatsu S, *et al.* : Trehalose suppresses lipopolysaccharide-induced osteoclastogenesis bone marrow in mice. *Nutr Res*, **21**: 993-999, 2001.
- 4) Taya K, Hirose K, Hamada S : Trehalose inhibits inflammatory cytokine production by protecting IkappaB-alpha reduction in mouse peritoneal macrophages. *Arch Oral Biol*, **54**: 749-756, 2009.
- 5) Oku T, Nakamura S : Estimation of intestinal trehalase activity from a laxative threshold of trehalose and lactulose on healthy female subjects. *Eur J Clin Nutr*, **54**: 783-788, 2000.
- 6) Nishio N, Tamori Y, Kasuga M : Insulin efficiently stores triglycerides in adipocytes by inhibiting lipolysis and repressing PGC-1alpha induction. *Kobe J Med Sci*, **53**: 99-106, 2007.
- 7) 櫻井 実, 浅川 直紀, 井上 義夫：水和特性から探るトレハロースの生体物質保護機構。食品工業，**41**: 64-72, 1998
- 8) Arai C, Arai N, Mizote A, *et al.* : Trehalose prevents adipocyte hypertrophy and mitigates insulin resistance. *Nutr Res*, **30**: 840-848, 2010.
- 9) 向井 和久, 新井 千加子：トレハロースの新たな生理機能 —抗メタボリックシンドローム作用—。 *New Food Industry*, **53**: 23-28, 2011.
- 10) Arai C, Miyata M, Yoshizane C, *et al.* : Trehalose protects islets of Langerhans in HFD-fed obese mice: A morphometric analysis. *J Jpn Soc Nutr Food Sci*, **66**: 17-24, 2013.
- 11) 石原 寿光：肥満に対する膵β細胞の応答と破綻。実験医学，**27**: 1161-1167, 2009
- 12) Arai C, Miyake M, Matsumoto Y, *et al.* : Trehalose prevents adipocyte hypertrophy and mitigates insulin resistance in mice with established obesity. *J Nutr Sci Vitaminol*, **59**: 393-401, 2013.
- 13) Yamauchi T, Kamon J, Waki H, *et al.* : The fat-derived hormone adiponectin reverses insulin resistance associated with both lipoatrophy and obesity. *Nat Med*, **7**: 941-946, 2001.
- 14) Ariyasu T, Matsumoto S, Kyono F, *et al.* : Taste receptor T1r3 is an essential molecule for the cellular recognition of the disaccharide trehalose. *In Vitro Cell Dev Biol*, **39**: 80-88, 2003.
- 15) Arai N, Yoshizane C, Arai C, *et al.* : Trehalose ingestion modifies mucosal immune responses of the small intestine in mice. *J Health Science*, **48**: 282-287, 2002.
- 16) Kojima I, Nakagawa Y : The role of the sweet taste receptor in enteroendocrine cells and pancreatic β-cells. *Diabetes Metab J*, **35**: 451-457, 2011.
- 17) Carvalho BM, Saad MJ : Influence of gut microbiota on subclinical inflammation and insulin resistance. *Mediators Inflamm*, **2013**: 986734, 2013.

澱粉含有食品のガラス転移特性と物性制御

川井 清司 (KAWAI Kiyoshi) *

* 広島大学大学院生物圏科学研究科

Key Words：非晶質・ガラス転移・水分・食感・クッキー・品質改善・トレハロース・ソルビトール

はじめに

固体食品は一般に非晶質であり，乾燥や冷却によってガラス-ラバー転移（ガラス転移）する。ガラス転移に伴う力学的性質の変化が食品の加工性，保存性，食感などに多大な影響を及ぼすことから，食品のガラス転移温度 (T_g) を理解することが重要と理解されている。本稿では食品のガラス転移特性を理解することの意義とその測定方法について説明すると共に，澱粉含有食品の一例としてクッキーを題材とした研究成果を紹介する。

1. 食品のガラス転移

固体食品における各種成分の物理的性状は結晶質と非晶質とに大別される（図1）。結晶質とは秩序構造を意味しており，少糖などの低分子では結晶が，タンパク質や多糖などの高分子ではヘリックス部分がそれに相当する。一方，非晶質とは無秩序構造を意味しており，低分子では液体（融体）が，高分子ではランダムコイル部分がそれに相当する。結晶質は温度上昇によって融解し，非晶質となる。加工食品では一般に加熱処理が施されるため，固体食品の大部分は非晶質になる。非晶質の物理的性状は更に分子運動性の相違から，流動状態，ラバー状態，ガラス状態に大別される（図1）。流動状態とは非晶質が高い分子運動性を有した状態であり，粘性体としての性質を示す。この状態から温度が低下すると，

によって融解し，非晶質となる。加工食品では一般に加熱処理が施されるため，固体食品の大部分は非晶質になる。非晶質の物理的性状は更に分子運動性の相違から，流動状態，ラバー状態，ガラス状態に大別される（図1）。流動状態とは非晶質が高い分子運動性を有した状態であり，粘性体としての性質を示す。この状態から温度が低下すると，

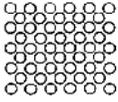
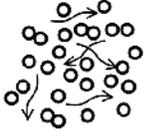
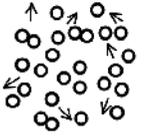
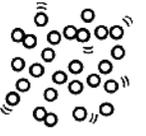
| | 結晶質 (秩序構造) | 非結晶(無秩序構造) | | |
|-----|---|---|---|---|
| | | 流動状態 | ラバー状態 | ガラス状態 |
| 低分子 |  |  |  |  |
| 高分子 |  |  |  |  |

図1 食品成分の物理的性状

分子運動性が低下すると共に硬くなり、粘弾性体としての性質が現れる。この状態をラバー状態（低分子溶液などでは過飽和状態）という。更に温度が低下すると、物体の分子運動性が見かけ上凍結した状態となり、弾性的な性質が現れる。この状態をガラス状態という。ガラス状態となった物質の温度を上昇させていくと、上記とは逆の状態変化を示す。ここで、ガラス状態とラバー状態との間の変化をガラス転移と呼び、ガラス転移が起こる温度を T_g と呼ぶ。食品を構成する成分の多くは親水性であり、その T_g は水分含量の増加によって低下、減少によって上昇する。したがって、ガラス転移は一定温度条件にあっても、水分含量が変化すれば起こり得る。

ガラス転移に伴う力学的性質の変化が食品の加工性、保存性、食感などに多大な影響を及ぼすことから、 T_g を考慮した様々な技術戦略が提案されている¹⁻⁴⁾。食品の加工および保存過程におけるガラス転移と品質との関係は、縦軸に温度を、横軸に水分含量をとった状態図として表される（図2）。図中の灰色領域はガラス状態を、白色領域はラバー状態をそれぞれ示しており、両者の境界線（ T_g の水分含量依存性）を T_g 曲線と呼ぶ。この図を用いて、加熱乾燥や

焼成などの温度および水分含量変化に伴う食品加工について考える。加熱過程において品温が上昇すると共に水分蒸発が起こり、加熱終了によって品温は常温まで低下する（図2-a）。加熱および水分蒸発過程において、食品の T_g が常温以上になるまで水分含量を引き下げると（点A）、その食品は常温でガラス状態となり、硬さ、脆さといった食感が現れる。また、ガラス状態では分子運動性が見かけ上凍結しており、様々な劣化速度が停滞することから、高い保存性が期待される。一方、食品の T_g が常温以下の水分含量範囲で操作を完了した場合（点B）、食品は常温でラバー状態となり、粘弾性的食感が付与される。例えばクッキー、煎餅、チップスなどの低水分系澱粉含有食品の場合^{5,6)}、これらがガラス状態にあればサクサクやパリパリといった弾性的食感に、ラバー状態にあればグニャグニャやモチモチといった粘弾性的食感にそれぞれ反映される。一方、ガラス状態に設計した食品が保存過程において吸湿し、水分含量が T_g 曲線を超えるまで増加した場合、その食品はラバー状態となり、軟化する。これは低水分系澱粉含有食品における品質低下の一つであり、保存過程においてガラス状態を維持することが重要といえる。対象が噴霧乾燥物などの粉

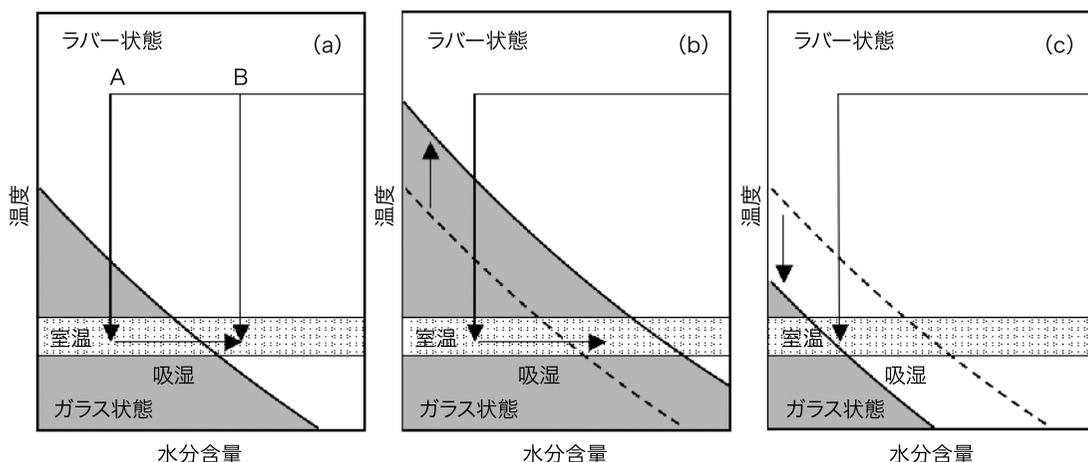


図2 食品の状態図と T_g 曲線

体であった場合⁷⁾、流動性を確保するには粉体をガラス状態に設計しなければならない。吸湿によって粉体表面がラバー状態になると、粉同士が凝集（固着）してしまう。一方、粉体の改質を目的として造粒を行う場合、粉体を一時的にラバー状態にすれば粉体同士、或いは粉体とバインダーとに固着性が生まれ、効率的な操作が可能になる。

食品の T_g は材料の配合によって変化するため、加工や保存が一定条件でも、ガラス転移に基づく技術戦略は適用できる。例えば材料に T_g が高い成分を配合すれば、食品の T_g を引き上げることができる（図 2-b）。これによって食品は高い水分含量でもガラス状態を保つことが可能となり、吸湿に対する耐性を高めることができる。一方、 T_g が低い成分を配合すれば、食品の T_g を引き下げることができる（図 2-c）。一般に低水分系食品は弾性的食感を有するが、近年では粘弾性的食感を有したのもも支持されている。これは、食品に含まれる水分含量を増加させ、ラバー状態に設計することで成し得られるが、水分含量（或いは水分活性）が高いと、保存性が損なわれる。そのため、水以外の可塑剤（糖アルコールなど）を食品に配合することで、低い水分含量（水分活性）を維持しつつ、柔らかい食感を有した食品を作り出すことが望ましい。

2. 食品における T_g の決定

ガラス転移に基づく技術戦略を展開するには対象の T_g を理解する必要がある。一般に、非晶質材料の T_g は示差走査熱量計（DSC）によって調べられる。DSC ではガラス転移に伴う熱容量の変化をベースラインの吸熱シフトとして捉えることが可能であり、その開始点から T_g を決定することができる。その際に注意すべき点として、ガラス状態は熱力学的非平衡状

態であり、試料の熱履歴によってガラス転移挙動が変化することが挙げられる⁸⁻¹¹⁾。即ち、試料がガラス状態に陥った経緯やその後の保存条件（温度および時間）によってガラス転移挙動が変化し得るのである。例として、スクロースに乳酸脱水素酵素（LDH）を加えて凍結乾燥した生物材料モデルの DSC 測定結果を図 3 に示す¹²⁾。LDH の酵素活性は凍結乾燥時に被る損傷によって低下するが、ガラス化したスクロースによって保護される。したがって、試料の T_g が保存温度以上にあることが重要といえる¹²⁾。図 3 には、試料を T_g 以上の温度まで昇温した結果（1st スキャン）と、そこから一定速度で測定開始温度まで冷却後、直ちに T_g 以上まで再昇温した結果（2nd スキャン）とが示されている。凍結乾燥後、更に 1 週間減圧乾燥した試料（RH=0%）において、1st スキャンでは若干発熱した後に吸熱側へのシフトが、2nd スキャンでは吸熱シフトのみが、それぞれ開始点において 81℃ および 76℃ で確認される。1st スキャンでは試料の熱履歴を反映したガラス転移が現れており、凍結乾燥によって熱力学的平衡から大きく逸脱したガラス状態に陥っていたことが伺える。2nd スキャンでは凍結乾燥時の

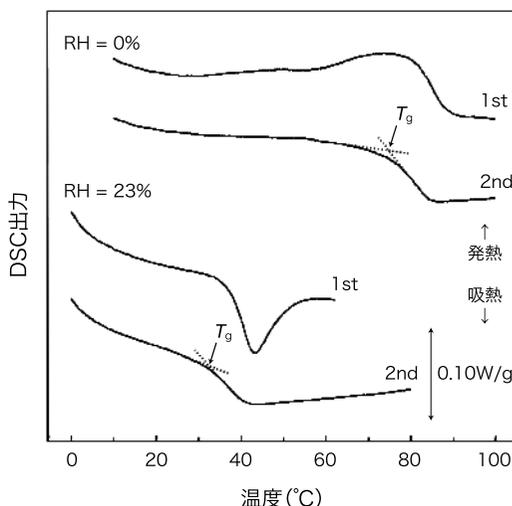


図 3 生物材料モデルの DSC 測定

熱履歴がリセットされ、新たな履歴（一定速度で冷却されてガラス状態に至った）を反映したガラス転移が現れている。凍結乾燥後に相対湿度 23% のデシケーター内で保存した試料 (RH=23%) において、1st スキャンでは吸熱ピークを伴うシフトが、2nd スキャンでは吸熱シフトのみが、それぞれ開始点において 37℃ および 33℃ で確認される。先述と同様に、1st スキャンでは試料の熱履歴を反映したガラス転移が現れるのだが、その挙動はまったく異なる。これは、保存過程において試料が熱力学的平衡状態に自発的に近づいたことが原因であり、 T_g が保存温度よりも若干高い場合に見られる現象である。一方、ガラス転移に伴う熱容量変化が小さい、幅広い緩和時間分布のために吸熱シフトがブロードになるなど、 T_g の決定が困難な試料もある。この場合、試料の熱応答が熱履歴に依存する性質を逆手により、試料に任意の熱履歴を与えたときの熱応答変化からガラス転移を読み解く方法が利用されている^{11, 13-15)}。

組成が更に複雑な食品を対象とした場合、様々な熱応答が連続的に表れた結果、ガラス転移が覆い隠されることがある。この場合、動的粘弾性測定や熱機械測定などの力学的手法の併

用が有効とされる¹⁶⁻²⁰⁾。しかし、これらの装置には測定可能な試料の形状や力学特性領域に制限がある、用途が限定的であり食品系の研究施設や企業には設置されていないことが多い、装置が高価、など問題がある。そこで筆者らはレオメーターに温度制御装置を取り付けることで、試料に一定応力を与えた状態で等速昇温可能な測定システム（昇温レオロジー測定）を構築した（図 4）。測定原理は熱機械測定と殆ど同じであるが、検出感度が高い、様々な試料形状に対応可能、安価といった利点があり、DSC では解釈が困難な食品のガラス転移を明確に捉えることができる。

昇温レオロジー測定の測定手順の一例を簡潔に説明する^{21, 22)}。粉末状試料（100 mg 程度）を成型用金型（ $\phi=7$ mm）に入れ、付属の座板によって試料の上下を挟んだ状態でハンドプレスを用いて 6 ~ 13 MPa で押し固める（図 4-a）。その後、試料下部の座板を外し、成型用金型の下部にアルミフィルムを張り付け、上部から押し込むことで試料を底面のアルミフィルムに密着させる（図 4-b）。これをレオメーターの試料台に取り付けたヒートシンクに設置し（図 4-c）、80N（2 MPa）程度の応力を与えた状態で数分保

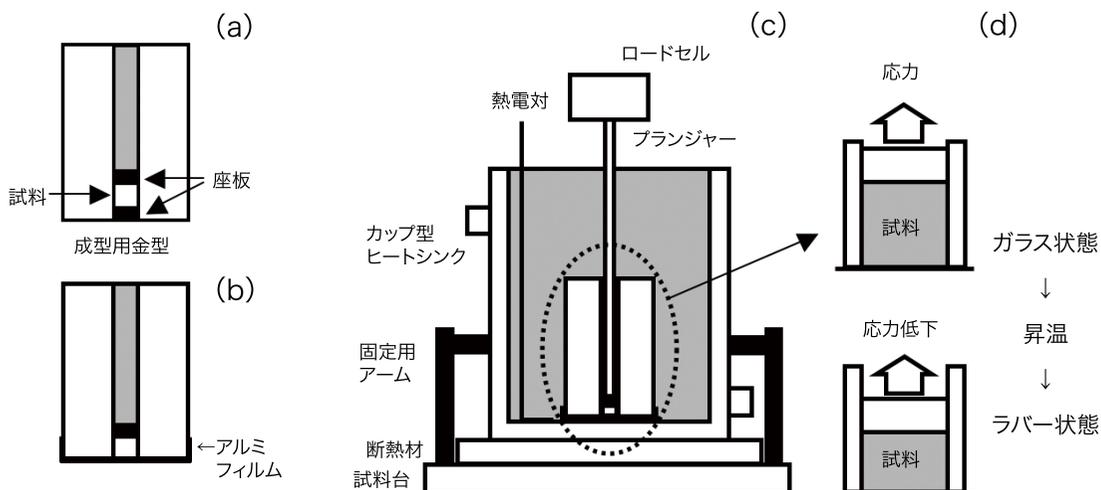


図 4 昇温レオロジー測定

持した後、約 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で 80°C まで等速昇温を行う (図 4-d)。このとき応力の経時変化をレオメーター付属のソフトウェアによって、ヒートシンク温度の経時変化をデータロガーによって収集し、応力と温度とを各時間に対応させることで、応力-温度データを得る。試料とヒートシンクとはアルミフィルム一枚で隔てられた状態にあるため、試料温度とヒートシンクの表面温度とを同一視することに問題は無い。熱は試料下部から伝わるため、試料下部が T_g に達した段階から応力が低下すると考えられる。そのため、応力低下の開始温度を T_g として読み取ることが妥当といえる。成型用金型内部の試料は座板とアルミフィルムとに密着して閉じ込められた状態にあるため、昇温過程における試料の水分蒸発は無視できる。様々なガラス状糖質粉末 (イヌリンなど) について DSC 測定によって得られた T_g と昇温レオロジー測定によって得られた T_g とを比較したところ、両者は殆ど同じ値を示したことから²¹⁾、本測定の妥当性が裏づけられたものと理解される。

上記の一例として、澱粉含有食品であるクッキーの DSC 測定および昇温レオロジー測定結果を図 5 に示す。DSC 測定結果では油脂の融解に由来する吸熱ピークが 15°C から 40°C にかけて現れるため、この温度範囲でのガラス転移は覆い隠されてしまう。 40°C 以上において、ガラス転移の様な吸熱シフトも認められるが、この結果のみから明確な結論は得られない。一方、昇温レオロジー測定結果ではガラス転移に伴う急激な応力低下が現れるため、明確に T_g を決定することができる。脂質の融解には比較的大きな熱量変化が生じるのに対し、弾性率の低下は低いことから、脂質の融解を掻い潜ってガラス転移を捉えることが可能であったと考えられる²¹⁾。次章では、クッキーの T_g データから品質設計について考察した研究事例を紹介する。

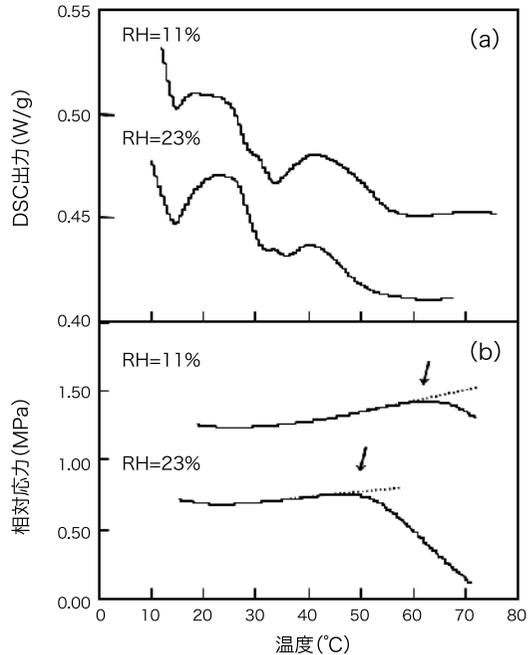


図 5 クッキーの DSC 測定 (a) および昇温レオロジー測定 (b)

3. クッキーにおける T_g 制御と品質設計

クッキーは薄力粉、砂糖、無塩バター、卵を基本材料とした焼き菓子であり、ガラス状態にあるため、サクサクとした弾性的な食感を示すものと理解される。クッキーに含まれる砂糖の一部を他の糖質材料に置き換えると品質は変化するが、そのメカニズムについては十分に解明されていない²³⁾。既往の研究において、クッキーの骨格は砂糖によって形成されるとの考察がなされている^{24, 25)}。このことを踏まえると、クッキーに配合される少糖混合物の T_g がクッキーの T_g に支配的な作用を及ぼすことで、その品質が変化するものと推察される。このことについて検証するため、筆者らは T_g が異なる様々な少糖混合物をクッキーに配合し、それらがクッキーの T_g に及ぼす影響について検討した。

試料として、薄力粉、卵、無塩バターに、砂糖を加えて焼成したクッキー (通常のクッ

キー), 砂糖の40%をトレハロースに置き換えたクッキー(トレハロースクッキー), 砂糖の40%をソルビトールに置き換えたクッキー(ソルビトールクッキー)を用意した。これらを様々な湿度で水分調節した後, 昇温レオロジー測定によって T_g を調べた²²⁾。

各種クッキーの T_g を水分含量に対してプロットした結果を図6に示す。図中には比較としてスクロースの T_g 曲線も示した。既往の論文^{24, 25)}において, クッキーの骨格を形成する主な物質は砂糖であると考え, 砂糖の T_g からクッキーの品質制御を考察した例もあるが, 図6より砂糖とクッキーとは明らかに T_g 曲線が異なることが分かる。この相違は各種成分間の相互作用によるものであり, 高分子成分(小麦澱粉やグルテンなど)によって砂糖の T_g が引き上げられた結果と考えられる。

いずれのクッキーにおいても水分含量の増加と共に T_g が低下すること(水の可塑効果)が確認できた。この結果より, クッキーが軟化する際の水分含量を決定することができる。例えば, 焼成直後のクッキーは水分含量が3~4g-H₂O/100g-DM程度であり, ガラス状態にあるため, サクサクとした弾性的な食感を示す。しかし, 吸湿によって水分含量が増加した場合, 例えば通常のクッキーではおおよそ5g-H₂O/100g-DM以上でラバー状態となり, 弾性的な食感が損なわれる。

クッキーに用いる砂糖の一部をトレハロースに置き換えると, クッキーの T_g は上昇した。非晶質固体の T_g は材料の組成によって変化するため, 砂糖($T_g = 66^\circ\text{C}$)よりも T_g が高いトレハロース($T_g = 113^\circ\text{C}$)を配合したことで, クッキーの T_g が引き上げられたと考えられる。 T_g が高いことは, より高い水分含量に達するまでラバー状態へと変化しないことを意味しており, 吸湿に伴う軟化耐性が向上したことを意味する。また, 一定温度条件で比較した場合,

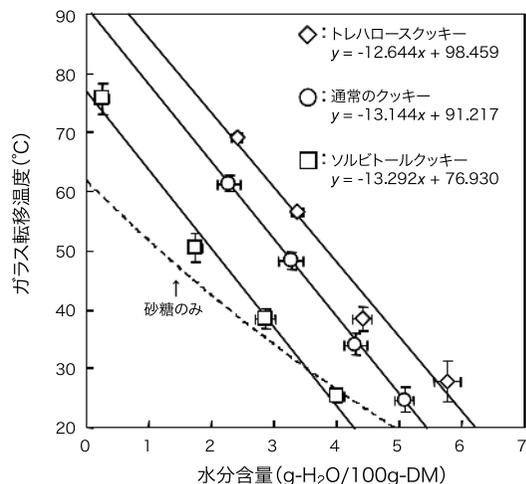


図6 各種クッキーの T_g 曲線

T_g が高いことは分子運動性が低く, 粘性率が高い(硬い)ことを意味する。官能試験において, このトレハロース含有クッキーはコントロールよりもサクサク感, 歯もろさ, 好みが有意に高いことが確認されている²³⁾。このことは, T_g に基づく食感制御の妥当性を支持するものといえる。但し, T_g が水分含量の低下によって上昇することを考慮すると, T_g と硬さとの間に必ずしも比例関係が成立するとは限らない。クッキーなど焼成食品の硬さおよび T_g と水分含量との関係について, 一般的傾向を図7に示す²⁶⁻³⁰⁾。食品の硬さは, T_g が室温となる水分含量でピークを示し, それよりも水分含量が低い場合は若干低下, 高い場合は大きく低下する。水は食品に対して可塑剤として振舞うことで T_g を下げる役割と, 一つの構成成分として構造を強化する役割とを果たしている。したがって, ガラス状態の食品では水分含量の低下によって T_g は高くなるが, 弾性体としての硬さは低下する。一方, 水分含量が増加してラバー状態になると, 粘弾性体へと変化するため, 硬さは大きく低下する。

クッキーに用いる砂糖の40%をソルビトールに置き換えると, クッキーの T_g は低下した。

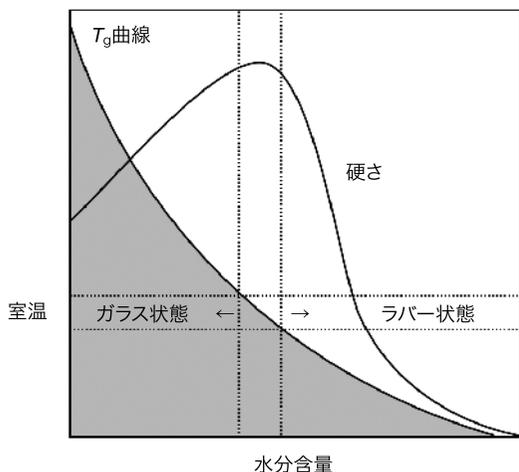


図7 クッキーの硬さおよび T_g と水分含量との関係

砂糖よりも T_g が低いソルビトール ($T_g = -9^\circ\text{C}$) を配合したことで、クッキーの T_g が引き下げられたと考えられる。クッキーにソルビトールを配合することで、クッキーが低い水分含量であってもラバー状態を保つことが可能となり、保存性が高く、柔らかい食感のクッキーを作り出すことができる。砂糖よりも T_g が低い代表的な食品素材として、ソルビトール以外では、グルコース ($T_g = 31^\circ\text{C}$)、フルクトース ($T_g = 5^\circ\text{C}$)、キシリトール ($T_g = -29^\circ\text{C}$)、グリセロール ($T_g = -83^\circ\text{C}$) などの利用も考えられる。

4. 食品の T_g に基づく品質予測

クッキーの品質を T_g と関連付けて理解することの利点として、予測が容易になることが挙げられる。例えば図6において、クッキーにおける T_g と水分含量との関係はいずれも一次式によって近似され、配合する糖質の種類によって、無水クッキーの T_g (近似式の切片) が大きく変化することが分かった。クッキーの骨格は少糖によって形成されると考えられるため^{24,25)}、少糖混合物の T_g がクッキーの T_g に支配的な作用を及ぼすと推察される。そこで、配合した少糖

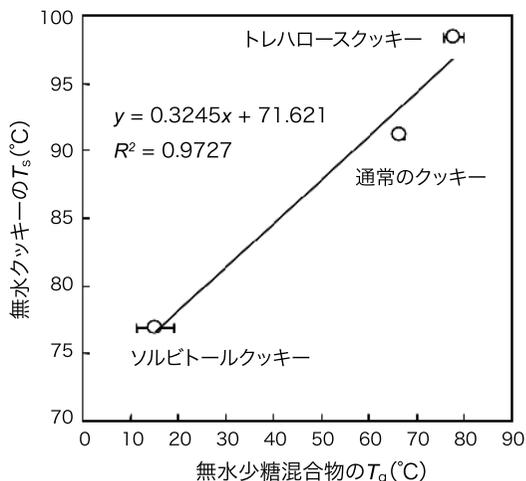


図8 無水少糖混合物の T_g と無水クッキーの T_g との関係

混合物の無水 T_g と無水クッキーの T_g との関係調べたところ、両者には一次の相関が認められた(図8)。この関係式を用いれば、クッキーに配合する少糖の T_g から、クッキーにおける T_g を予測できる。

図8に示した無水少糖混合物の T_g はDSC測定によって得られた実測値であったが、糖質混合系における T_g は既往の経験式からある程度予測できる。例えば、糖質がお互いに低分子であった場合、それらの混合による T_g 変化は単純加成性が成立するものとして次式によって算出できる。

$$(式1) \quad T_g = \sum_{n=i} T_{gi} M_i$$

ここで、 T_{gi} は成分 i の T_g (K) を、 M_i は成分 i のモル分率をそれぞれ示す。ここで得られた少糖混合物の T_g は図8の一次式によって無水クッキーの T_g に関連付けられる。クッキーにおける T_g の水分依存性は配合される少糖の種類に殆ど依存しなかったため、図6に示した傾きの値(三種類のクッキーの平均値として -13.027) を利用すれば、クッキーの T_g 曲線を導き出すことができる。例として、砂糖に様々

な少糖および多価アルコールを混合したときのクッキーの T_g 曲線の計算結果を図9に示す。図9の挿入図より、40%トレハロース、砂糖のみ、40%グルコース、40%ソルビトール配合クッキーにおける T_g の計算結果は、実験値と良く一致することが確かめられる。また、それ以外の物質（例えばグ

ルコースおよびグリセロール）を用いた場合でも、 T_g と分子量とが既知であれば、同様のアプローチが利用可能と考えられる。但し、この計算には実験的に決定された係数を用いているため、少糖の組成以外の条件が及ぼす影響については不明である。特に、多糖は少糖の T_g に大

きな影響を及ぼすため、薄力粉と少糖との混合比率を変化させた場合の予測には別途検討が必要と考えられる。

クッキーにおける T_g の水分含量依存性は見かけ上一次式によって近似できたが、一般には Gordon-Taylor の式(式2)が適用される。

$$(式2) \quad T_g = \frac{W_1 T_{g1} + kW_2 T_{g2}}{W_1 + kW_2}$$

ここで、 W_1 及び W_2 は食品及び水の重量分率を、 T_{g1} 及び T_{g2} は食品及び水の T_g (K) を、それぞれ示す。また、 k は食品と水との相互作用を表す定数であり、 k が高いほど水分含量増加に伴う T_g 低下の度合いが大きい（水の可塑効果が大きい）ことを意味する。

この式は合成高分子を対象とした基礎研究から導かれたものであるが、食品と水との擬似二成分系における T_g 変化を、水分含量がおおよそ20%以下の範囲において、良好に表すことができる³¹⁻⁴¹⁾。 T_{g2} は文献値として136Kが与えられるため、 T_{g1} と k によって T_g の水分含量依存性を特徴付けることができる。例として、様々な食品の T_g 曲線を Gordon-Taylor の式から導いた結果を図10に示す⁴²⁾。食品が示す T_g 曲線の傾向はその種類（澱粉、魚肉・畜肉、野菜、果物）によってある程度分類することができる。このことは、 T_g に基づく乾燥食品の品質設計において重要な知見となる。

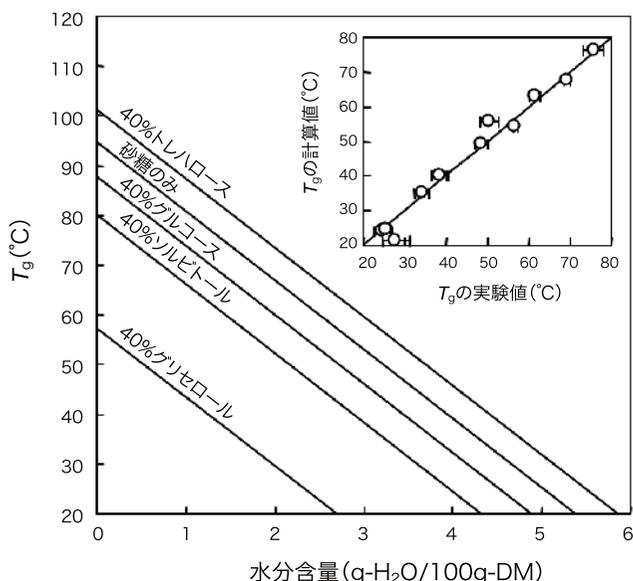


図9 各種クッキーにおける T_g 曲線の計算結果

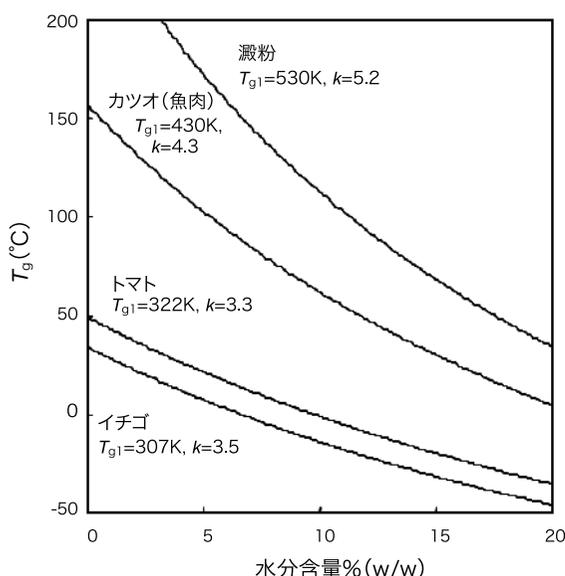


図10 様々な食品の T_g 曲線

おわりに

本稿ではクッキーを実例に取り上げ、ガラス転移に基づく食品の品質設計について概説した。一方、本稿では紙面の都合上扱わなかったが、冷凍食品にも凍結濃縮に伴うガラス転移が起こり^{43, 44)}、それによって様々な品質が変化

することが知られている。それらの制御においても、基本的にはここで紹介したものと同様のアプローチが適用できる。これらの戦略は食品の T_g を理解することによって導かれるものであり、食品開発においては重要なアプローチになるものと期待される。

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

- 1) Y. H. Roos. Food components and polymers. "Phase transitions in foods", ed. Y. H. Roos. San Diego, Academic Press, pp. 109-155, 1995.
- 2) L. Slade, and H. Levine. Polymer science approach to water relationship in foods. 'Food preservation by moisture control' ed. G. V. Barbosa-Cánovas and J. Welti-Chanes. Western Hemisphere, Technomic Publishing, pp. 33-132, 1995.
- 3) M. Le Meste, D. Champion, G. Roudaut, *et al.* Glass Transition and Food Technology: A Critical Appraisal. *Journal of Food Science*, **67**, 2444-2458, 2002.
- 4) S. Kasapis. Relationship between the structure of matrices and their mechanical relaxation mechanisms during the glass transition of biomaterials: a review. *Food Hydrocolloids*, **26**, 464-472, 2012.
- 5) C. R. Payne, and T. P. Labuza. The brittle-ductile transition of an amorphous food system. *Drying Technology*, **23**, 871-886, 2005.
- 6) C. R. Payne, and T. P. Labuza. Correlating perceived crispness intensity to physical changes in an amorphous snack food. *Drying Technology*, **23**, 887-905, 2005.
- 7) S. Palzer The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders. *Chemical Engineering Science*, **60**, 3959-3968, 2005.
- 8) K. Kawai, T. Suzuki, T. Hagiwara, *et al.* Glass transition and enthalpy relaxation of polyphosphate compounds. *Cryo-Letters*, **23**, 79-88, 2002.
- 9) K. Kawai, T. Hagiwara, R. Takai, *et al.* Comparative investigation by two type analytical approaches on enthalpy relaxation for glassy glucose, sucrose, maltose and trehalose. *Pharmaceutical Research*, **22**, 490-495, 2005.
- 10) Md. K. Haque, K. Kawai, and T. Suzuki. Glass transition and enthalpy relaxation of amorphous lactose glass. *Carbohydrate Research*, **341**, 1884-1889, 2006.
- 11) 川井 清司, 黒崎 香介, 鈴木 徹. 製造過程によるガラス状食品の非平衡状態の相違に関する解析手法. 低温生物工学会誌, **54**, 71-77, 2008.
- 12) K. Kawai, and T. Suzuki. Stabilizing effect of four types of disaccharide on the enzymatic activity of freeze-dried lactate dehydrogenase: step by step evaluation from freezing to storage. *Pharmaceutical Research*, **24**, 1883-1890, 2007.
- 13) K. Kawai, T. Suzuki, and M. Oguni. Finding of an unexpected thermal anomaly at very low temperatures due to water confined within a globular protein, bovine serum albumin. *Thermochimica Acta*, **431**, 4-8, 2005.
- 14) K. Kawai, T. Suzuki, and M. Oguni. Low-temperature glass transitions of quenched and annealed bovine serum albumin aqueous solutions. *Biophysical Journal*, **90**, 3732-3738, 2006.
- 15) K. Kawai and Y. Hagura. Discontinuous and heterogeneous glass transition behavior of carbohydrate polymer-plasticizer systems. *Carbohydrate Polymers*, **89**, 836-841, 2012.
- 16) A. J. Sandoval, M. Nuñez, A. J. Müller, *et al.* Glass transition temperatures of a ready to eat breakfast cereal formulation and its main components determined by DSC and DMTA. *Carbohydrate Polymers*, **76**, 528-534, 2009.
- 17) B. S. Chang, and C. S. Randall. Use of subambient thermal analysis to optimize protein lyophilization. *Cryobiology*, **29**, 632-656, 1992.
- 18) P. Boonyai, T. Howes, and B. Bhandari. Instrumentation and testing of a thermal mechanical compression test for glass-rubber transition analysis of food powders. *Journal of Food Engineering*, **78**, 1333-1342, 2007.
- 19) P. Chinachoti. Probing molecular and structural thermal events in cereal-based products. *Thermochimica Acta*, **246**, 357-369, 1994.

- 20) T. Chen and D. M. Oakley. Thermal analysis of proteins of pharmaceutical interest. *Thermochimica Acta*, **248**, 229-244, 1995.
- 21) 川井 清司, 藤 翠, 坂井 佑輔, 他. 昇温レオロジー測定によるクッキーのガラス転移挙動に関する研究. 日本食品工学会誌, **13**, 109-115, 2012.
- 22) K. Kawai, M. Toh, and Y. Hagura. Effect of sugar composition on the water sorption and softening properties of cookie. *Food Chemistry*, **145**, 772-776, 2014.
- 23) 齊藤 典行. トレハロースの機能を食品にどう活かす. “第13回トレハロースシンポジウム記録集” 株式会社林原生物化学研究所編, 岡山, 株式会社林原生物化学研究所, pp.33-40, 2010.
- 24) L. Slade and H. Levine. Water and the glass transition - dependence of the glass transition on composition and chemical structure: special implications for flour functionality in cookie baking. *Journal of Food Engineering*, **22**, 143-188, 1994.
- 25) S. Chevallier, G. D. Valle, P. Colonna, *et al.* Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of Cereal Science*, **35**, 1-10, 2002.
- 26) G. Roudaut, C. Dacremont, and M. Le Meste. Influence of water on the crispness of cereal-based foods: acoustic, mechanical, and sensory studies. *Journal of Texture Studies*, **29**, 199-213, 1998.
- 27) I. Fontanet, S. Davidou, C. Dacremont, *et al.* Effect of water on the mechanical behaviour of extruded flat bread. *Journal of Cereal Science*, **25**, 303-311, 1997.
- 28) Y. Li, K. M. Kloeppel, and F. Hsieh. Texture of glassy corn cakes as a function of moisture content. *Journal of Food Science*, **63**, 869-872, 1998.
- 29) Y. P. Chang, P. B. Cheah, and C. C. Seow. Plasticizing-antiplasticizing effects of water on physical properties of tapioca starch films in the glassy state. *Journal of Food Science*, **65**, 445-451, 2000.
- 30) D. Konopacka, W. Plochanski and T. Beveridge. Water sorption and crispness of fat-free apple chips. *Journal of Food Science*, **67**, 87-92, 2002.
- 31) B. Cuq, and C. Icard-Vernière. Characterisation of glass transition of durum wheat semolina using modulated differential scanning calorimetry. *Journal of Cereal Science*, **33**, 213-221, 2001.
- 32) P. Thanatulsorn, K. Kawai, K. Kajiwara, *et al.* Effects of ball-milling on the glass transition of wheat flour constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **89**, 430-435, 2009.
- 33) V. Orlien, J. Risbo, M. L. Andersen, *et al.* The question of high- or low temperature glass transition in frozen fish. Construction of the supplemented state diagram for tuna muscle by differential scanning calorimetry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 211-217, 2003.
- 34) T. Hashimoto, T. Hagiwara, T. Suzuki, *et al.* Study on the glass transition of Katsuo-bushi (boiled and dried bonito fish stick) by differential scanning calorimetry and dynamic mechanical analysis. *Fisheries Science*, **69**, 1290-1297, 2003.
- 35) C. Ohkuma, K. Kawai, C. Viriyarattanasak, *et al.* Glass transition properties of frozen and freeze-dried surimi products: effects of sugar and moisture on the glass transition temperature. *Food Hydrocolloids*, **22**, 255-262, 2008.
- 36) M. A. Silva, P. J. A. Sobral, T. G. Kieckbusch. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. *Journal of Food Engineering*, **77**, 426-432, 2006.
- 37) G. Moraga, N. Martínez-Navarrete, and A. Chiralt. Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, **72**, 147-156, 2006.
- 38) G. Moraga, N. Martínez-Navarrete, and A. Chiralt. Water sorption isotherms and glass transition in strawberries: influence of pretreatment. *Journal of Food Engineering*, **62**, 315-321, 2004.
- 39) A. M. Goula, T. D. Karapantsios, D. S. Achilias, *et al.* Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, **85**, 73-83, 2008.
- 40) A. F. Baroni, A. M. Sereno, and M. D. Hubinger. Thermal transitions of osmotically dehydrated tomato by modulated temperature differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, **395**, 237-249, 2002.
- 41) R. M. Syamaladevi, S. S. Sablani, J. Tang, *et al.* State diagram and water adsorption isotherm of raspberry (*Rubus idaeus*). *Journal of Food Engineering*, **91**, 460-467, 2009.
- 42) 川井 清司. 凍結乾燥. “第6版 冷凍空調便覧 IV巻 食品・生物編” 公益社団法人日本冷凍空調学会編, 東京, 公益社団法人日本冷凍空調学会, pp. 85-86, 2013.
- 43) 川井 清司. 生体成分の凍結. “第6版 冷凍空調便覧 IV巻 食品・生物編” 公益社団法人日本冷凍空調学会編, 東京, 公益社団法人日本冷凍空調学会, pp. 295-298, 2013.
- 44) 川井 清司. 凍結濃縮による食品および食品素材のガラス転移. 冷凍, **87**, 59-65, 2012.

肝機能改善素材「発酵大麦エキス・アルコケア[®]」

— 人とお酒の良い関係づくりを目指して —

外園 英樹 (HOKAZONO Hideki) *

* 三和酒類株式会社

Key Words：発酵大麦エキス・肝機能改善作用・血清尿酸値・高尿酸血症・臨床試験・ラット

はじめに

日本古来の蒸留酒として、主に南九州で生産・消費されてきた焼酎が全国区のアルコール飲料となった今、その製造過程で生じる“焼酎粕”は、業界全体で年間80万トン以上と推計され、その処理および利用方法には大きな関心が集まっている。従来、焼酎粕は主として海洋投入や畑地還元によって処理されてきた。しかしながら、ロンドン条約の批准に伴う海洋汚染防止法、さらには廃棄物処理法や食品リサイクル法が改正・施行される中、焼酎粕を単に産業廃棄物として処理するのではなく、可能な限り環境負荷の少ない処理や未利用資源として有効活用を図ることがメーカーに強く求められている。麦焼酎「いいちこ」の醸造過程で副生する麦焼酎粕（発酵大麦）には、麹菌の酵素で分解された大麦由来のアミノ酸やペプチド、オリゴ糖、多糖類、ポリフェノールなどが含まれるほか、焼酎麹菌が生産したクエン酸や蒸留中に自己消化した酵母エキスなど、豊富な栄養素が含まれている。これらの栄養素を独自技術により抽出精製した「発酵大麦エキス」について、これまでに多数の生理機能を確認している。その中でも独自性のある研究成果として、肝機能障害や高尿酸血症など、アルコールの有害な使用

に起因、或いは、関連する疾患に対する予防・改善効果が挙げられる。本稿では、発酵大麦エキスの肝機能改善作用（ラット）、並びに、血清尿酸値低下作用（ヒト）について紹介する。

1. 発酵大麦エキスの肝機能改善作用

1-1. オロチン酸誘発脂肪肝の抑制効果

ラットにオロチン酸を含む飼料を与えると、脂肪肝が誘導される。オロチン酸と同時に発酵大麦や様々な発酵粕を摂食させることによって、脂肪肝への影響を検討した。実験には4週齢のWistar系雄性ラットを用い1群6匹とした。25%カゼインをタンパク質源とする半合成飼料を基本食とし、基本食にオロチン酸を1%添加した飼料を対照食とした。対照食に凍結乾燥した発酵大麦、酒粕、ワイン粕、ビール粕および大豆粕をそれぞれ10%添加した飼料を調製し、水道水と共に15日間自由摂取させた。その結果、対照群の肝臓総脂質量は基本食群に比べて顕著に増加したのに対し、発酵大麦、ワイン粕、ビール粕の各群で対照群より有意に低下した。中でも発酵大麦群の値は基本食群の値とほぼ同じレベルにまで低下した(図1)。さらに、各種焼酎粕(麦, 米, 芋)を用いて同様の検討

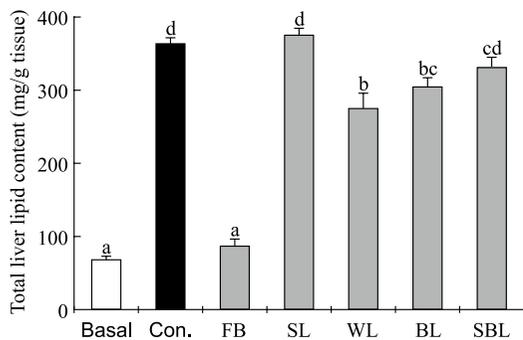


図1 Effects of FB, SL, WL, BL and SBL on liver lipid levels in rats fed on an orotic acid-containing diet. Each value is expressed as the mean \pm SE. (n = 6) ; different letters represent significant differences at $p < 0.05$. FB, fermented barley (barley *shochu* lees) ; SL, sake lees; WL, wine lees; BL, beer lees; SBL, soybean lees.

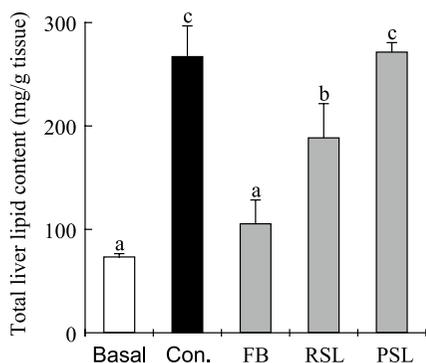


図2 Effects of BSL, RSL and PSL on liver lipid levels in rats fed on an orotic acid-containing diet. Each value is expressed as the mean \pm SE. (n = 6) ; different letters represent significant differences at $p < 0.05$. FB, fermented barley (barley *shochu* lees) ; RSL, rice *shochu* lees; PSL, potato *shochu* lees.

を行った結果、米焼酎粕にも脂肪肝抑制作用が認められたが、その作用は発酵大麦に比べて小さかった(図2)。また、脂肪肝抑制の関与成分は、発酵大麦の上清画分(発酵大麦エキス)であることが明らかとなった^{1,2)}。

1-2. アルコール誘発肝障害の抑制効果

我々酒類メーカーにとって目をつむることのできない問題として、アルコールによる健康被

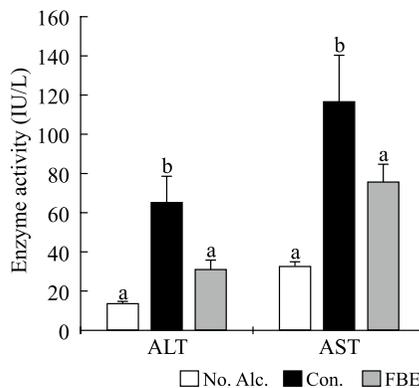


図3 FBE supplementation substantially decreased hepatic injury biochemical markers. Each value is expressed as the mean \pm SE. (n = 6) ; different letters represent significant differences at $p < 0.05$. FBE, fermented barley extract.

害がある。アルコールの代謝を担う肝臓は、その障害を最も受け易い。そこで、発酵大麦エキスがアルコール誘発肝障害に与える影響を検討した。実験には7週齢のWistar系雌性ラットを用い1群6匹とした。エタノール無添加液体飼料を与えた群を基本群、エタノール5%含有液体飼料を与えた群を対照群とし、発酵大麦エキス4%添加飼料(25日間投与)の影響を調査した。その結果、発酵大麦エキス添加群は、血漿ALT、ASTが対照群に比べて有意に低く、エタノール摂取による肝障害を抑制する作用が確認された(図3)。その作用機序は、肝臓における抗酸化酵素の発現亢進^{3,4)}やリポ多糖(LPS)のToll様受容体4(TLR4)への結合阻害等によるものと考えられた⁵⁾。

2. 発酵大麦エキスの血清尿酸値低減作用

2-1. 背景

疾病モデル動物における有効性が確認された発酵大麦エキスについて、ヒトでの機能性を探索することを目的に、社内ボランティアを対象とした発酵大麦エキス配合飲料の12週間連続摂取試験を実施した。その結果、尿酸が高め

の被験者 (6.5 mg/dL 以上) が 28 名中 12 名と高率に存在し、それらの尿酸値は摂取 12 週後に有意に低下した (摂取前 7.4 mg/dL が摂取 12 週後 6.7 mg/dL に低下)。

尿酸は、肝臓において内因性または食事性由来のプリン体最終代謝産物として産生され、主に腎臓から体外へ排泄される。高尿酸血症は男女問わず血清尿酸値が 7.0 mg/dL を超える病態と定義される。食生活の欧米化に伴い、日本における高尿酸血症・痛風は経年的に増加の一途をたどっており、現在では痛風患者は 100 万人、高尿酸血症は 800 万人存在すると推定されている⁶⁾。特徴的なことに、高尿酸血症・痛風には高血圧、肥満、糖尿病、脂質異常症といった生活習慣病が複数重積して合併する傾向があり、血清尿酸値が高い集団ほどメタボリックシンドロームの保有率が上昇することが報告されている⁶⁾。すなわち、高尿酸血症は痛風の基礎疾患だけでなく、メタボリックシンドロームのサロゲートマーカーとして、また、メタボリックシンドロームの諸病態の増悪因子、発症因子として振る舞うことが示唆されている。

社内試験や外部機関における非盲検試験により、発酵大麦エキスのヒトでの有効性として血清尿酸値低減作用が示唆されたため、外部機関における客観的評価試験を行った。すなわち、血清尿酸値が高めで治療は不要な被験者 (血清尿酸値 6.0-7.9 mg/dL) を対象に、無作為化二重盲検並行群間比較試験を実施した⁷⁾。

2-2. 方法

2-2-1. 被験者

血清尿酸値が 6.0-7.9 mg/dL (6.5-7.4 mg/dL の者が中心)、年齢 20 ~ 65 歳の日本人男女を対象とした。除外基準は次の通り：

- (1) 痛風症状を発症したことがある者
- (2) 高尿酸血症に影響を及ぼす可能性のある医薬品や食品を常用している者

- (3) 糖尿病、肝疾患、腎疾患、心疾患などの重篤な疾患を有している者
- (4) 事前あるいは摂取前の検査で、尿蛋白が + 以上かつ尿中クレアチニンが陽性の者、あるいは尿蛋白が 2+ 以上の者
- (5) 本試験に関連してアレルギー発現の恐れがある者
- (6) 本試験開始時に他の臨床試験に参加している者
- (7) 試験期間中に妊娠、授乳の予定がある者
- (8) その他、試験責任医師が被験者として不相当と判断した者

事前検査および事前検査の約 4 週後に摂取前検査を行い、試験目的に適した被験者 111 名を選択した。本試験は、ヘルシンキ宣言および「疫学研究に関する倫理指針 (文部科学省、厚生労働省告示)」に基づく倫理的原則を遵守し実施した。

2-2-2. 試験食品

発酵大麦エキス分画物 (FBEP) を 1 日摂取量 30 mL あたり 2 g (乾燥重量換算) 含有する飲料を試験食品として用いた。なお、対照であるプラセボ飲料は、1 日摂取量 30 mL あたり FBEP を含まず、少量のカラメルを加えて色を合わせたものを用いた。いずれの食品も副原料として、はちみつ、ガラクトオリゴ糖、レモン果汁を等量含むように設計した。

2-2-3. 試験デザイン

無作為割付による二重盲検プラセボ対照並行群間比較試験として実施した。主たるエンドポイントを摂取開始から 12 週後の血清尿酸値の変化とし、副次的エンドポイントは、摂取 12 週後の尿中尿酸濃度および尿酸クリアランスとした。試験スケジュールを図 4 に示した。摂取期間中は、使用食品の摂取状況および体調変化を毎日記録し、検査日前の 3 日間は食事調査票を記載させた。検査日前の 3 日間は禁酒し、検査の 8 時間前までに食事を終えて、以降は飲食

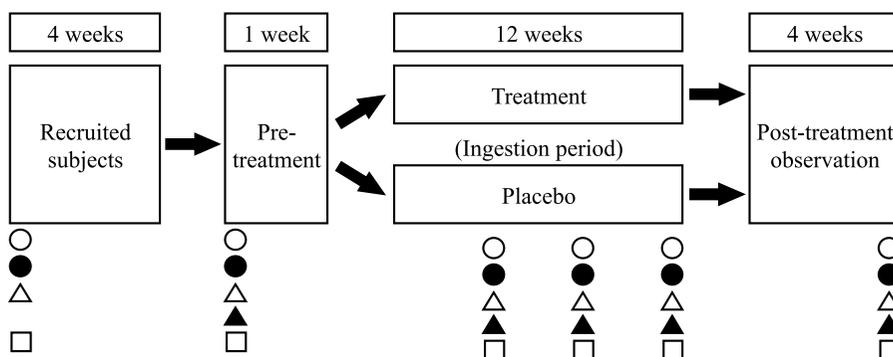


図4 Design of the study.

Unfilled circles, diagnostic interview; filled circles, physical examination; unfilled triangles, blood test; filled triangles, urine test; squares, diet survey.

しないように指導した（ただし、水を飲むことは可能とした）。検査日前日の24時間の蓄尿をユリンメートP（住友ベークライト社製）にて採取させた。なお、検査当日は使用食品を摂取せずに来院させた。「高尿酸血症・痛風の治療ガイドライン」⁸⁾の病型分類より、尿酸クリアランスを算出した。なお、尿酸クリアランスの計算式の体表面積は、藤本らの計算式を用いた⁹⁾。ただし、本試験の尿検体は検査日前日の24時間蓄尿を用いており、ガイドラインの試験実施法には従わなかった。

2-2-4. 検査項目

- (1) 理学的検査：身長，体重，BMI，血圧，脈拍数（身長は事前検査日のみ，他は検査日毎に1回測定）
- (2) 血液検査：白血球数，赤血球数，血小板数，ヘモグロビン量，ヘマトクリット値，MCV，MCH，MCHC，AST，ALT，ALP， γ -GTP，LDH，総ビリルビン，空腹時血糖，総蛋白，アルブミン，A/G比，総コレステロール，HDLコレステロール，LDLコレステロール，中性脂肪，BUN，クレアチニン，尿酸，Na，K，Cl，Ca，P
- (3) 尿検査：尿酸，pH，糖，蛋白，潜血反応
血液および尿検査の測定はSRLにて実施した。

2-2-5. 食事調査

検査日前3日間のプリン体摂取量，試験期間中のプリン体摂取量，飲酒量を評価した。プリン体摂取量は，プリン体含有食品とアルコール飲料に含まれるプリン体量とした。プリン体含有食品中のプリン体量は，「五訂増補食品成分表2006（STJ）¹⁰⁾」中の食品のプリン体含有量および「高尿酸血症・痛風の治療ガイドライン」の附表を用いた。アルコール飲料に含まれるプリン体量は，アルコール飲料販売各社のホームページに掲載された数値を用いた。ただしホームページに掲載のない場合，STJ中に記載の食品のプリン体含有量を用いた。検査日前3日間のプリン体摂取量は，摂取開始前，摂取4週後，8週後，12週後および後観察4週後の各検査日前の1日平均プリン体摂取量を食事記録内容より算出して用いた。試験期間中のプリン体摂取量は，前観察期間，摂取1-4週，5-8週，9-12週，後観察期間の5つの期間に分けて，回収した日誌に記載の食事内容から各期間の1日平均プリン体摂取量（mg）を算出して用いた。飲酒量は，アルコール摂取量（g）とした。アルコール摂取量は，STJ中に記載の嗜好飲料を参考として算出した。前観察期間，摂取1-4週，5-8週，9-12週，後観察期間の5つの期間に分けて，回収した日誌に記載の飲酒内容から，各期間の

1日平均アルコール量 (g) を算出した。

2-2-6. 統計解析

血清尿酸値, 尿中尿酸値, 尿量, 尿酸クリアランスについては, 摂取12週後の検査値および摂取前からの変化量について, 摂取前検査時の測定値を共変量とした共分散分析を用いて試験食品群とプラセボ群を比較した。その他の結果は, 摂取前検査時の値と比べ, 摂取4, 8, 12週後, 摂取終了後4週の変化の有無を, 1標本 *t* 検定を用いて評価した。両側検定で危険率5%以下を有意水準とした。

2-3. 結果

2-3-1. 解析対象者

年齢20歳以上65歳以下の468名(男性410名, 女性58名)が試験の参加に同意し, そのうち選択基準を満たし除外基準に抵触しない111名をエントリーした。個人的な理由で1名が脱落したため, 所定の試験スケジュールを終了した被験者は110名であった。そのうち, 検査結果の信頼性を損なう行為が顕著に見られた者5名, 試験結果に影響する医薬品を服薬した者1名の合計6名を除外対象者とし, 有効性の解析対象者は104名とした。各群の被験者背景は, 試験食品群が54名(男/女:52/2)で平均年齢は43.3 ± 11.3歳, プラセボ群が50名(男/女:44/6)で平均年齢は43.6 ± 9.3歳であった。

2-3-2. 血清尿酸値

各群の血清尿酸値は, 試験食品群が摂取前6.99 ± 0.46 mg/dL に対し, 摂取12週後で6.78 ± 0.62 mg/dL と有意に低下した。それに対し,

プラセボ群は摂取前6.97 ± 0.44 mg/dL に対し, 摂取12週後で6.99 ± 0.74 mg/dL と有意な変動はなかった。軽度および境界域高尿酸血症者(血清尿酸値6.5-7.5 mg/dL)の血清尿酸値の推移を図5に示した。摂取12週後の血清尿酸値の群間比較において, 試験食品群はプラセボ群に対して有意に低下した。

2-3-3. 尿中尿酸値

尿中尿酸値の経時的推移を表1に示した。試験食品群は摂取前に対し, 12週後で有意な増加がみられた。一方, プラセボ群に有意な変化はみられなかった。群間比較では, 12週後で試験食品群はプラセボ群より増加する傾向にあった ($p = 0.072$)。

2-3-4. 尿量, pH

群間, 群内とも有意な差はみられなかった (data not shown)。

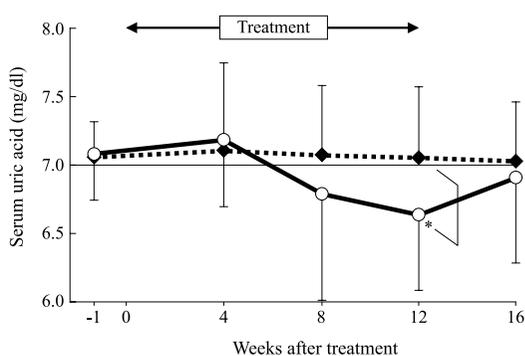


図5 Time-course of serum uric acid level in subjects with the range of 6.5-7.5 mg/dl at the pre-treatment condition.

Unfilled circles, treatment group; filled diamonds, placebo group. Each value is expressed as the mean ± SD. * $p < 0.05$, compared with the placebo group using an analysis of covariance.

表1 Results for 24-h urinary uric acid excretion.

| Item | Normal range | Group | 1 wk before treatment | 4 wks after treatment | 8 wks after treatment | 12 wks after treatment | 4 wks after termination |
|-----------|--------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| UUA (g/d) | 0.4-1.2 | Test | 0.607 ± 0.204 | 0.657 ± 0.175 | 0.639 ± 0.238 | 0.696 ± 0.280** | 0.641 ± 0.249 |
| | | Placebo | 0.676 ± 0.183 | 0.729 ± 0.440 | 0.697 ± 0.242 | 0.676 ± 0.308 | 0.692 ± 0.382 |

UUA, urinary uric acid. Each Value is expressed as the mean ± SD. Significant differences are as follows: ** $p < 0.01$, compared with the pre-treatment condition using the paired Student's *t*-test.

2-3-5. 尿酸クリアランス

摂取前からの変化量推移を図6に示した。摂取前測定値を共変量とした共分散分析では、12週後で試験食品群はプラセボ群より高い傾向を示した ($p=0.054$)。

2-3-6. 安全性項目

身体測定、理学検査、血液検査、尿検査および医師による検診の結果、臨床上問題となる異常な変動は認められなかった (data not shown)。

2-3-7. 食事調査

検査日前3日間の食事調査から算出した1日平均プリン体摂取量および試験期間中の日誌に記載された食事内容から算出した1日平均プリン体摂取量は、両群ともに摂取前と比べて有意な変化はみられなかった (data not shown)。また、日誌から算出した1日平均アルコール摂取量の前観察期間 (試験食品群 17.4 ± 19.0 g, プラセボ群 16.0 ± 14.2 g) に対する変化量推移は、1-4週 (試験食品群 1.1 ± 9.2 g, プラセボ群 3.2 ± 11.5 g), 5-8週 (試験食品群 0.3 ± 9.7 g, プラセボ群 1.7 ± 8.8 g), 9-12週 (試験食品群 -0.1 ± 8.7 g, プラセボ群 0.5 ± 8.3 g), 後観察期間 (試験食品群 1.0 ± 10.2 g, プラセボ群 1.2 ± 8.8 g) であり、有意な違いはなかった。

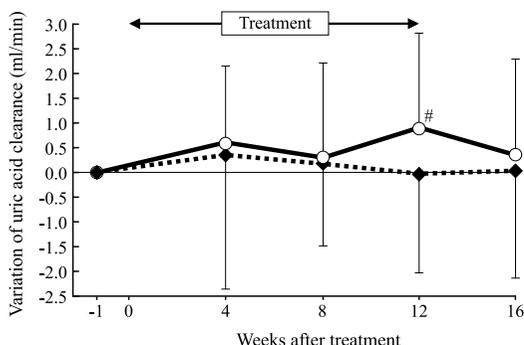


図6 Time-course variation of uric acid clearance. Unfilled circles, treatment group ($n=54$); filled diamonds, placebo group ($n=50$). Each value is expressed as the mean \pm SD. [#] $p < 0.10$, compared with the placebo group using an analysis of covariance.

2-4. 考察

本試験の結果、FBEPの12週間継続摂取は、軽度および境界域高尿酸血症者の血清尿酸値を低減させる効果を有することが示唆された。また、その作用機序は尿への尿酸排泄を増加すること (尿酸クリアランスの改善) であると考えられた。試験食品群54名中、尿酸クリアランスが正常域 ($6.2-12.6$ ml/min) の被験者10名の血清尿酸値は、摂取前 6.94 ± 0.17 mg/dL に対し、4週後では 6.88 ± 0.17 mg/dL (-0.06 mg/dL), 8週後では 7.25 ± 0.31 mg/dL ($+0.31$ mg/dL), 12週後では 6.95 ± 0.17 mg/dL ($+0.01$ mg/dL) と推移し、摂取期間を通じて有意な変化は認められなかった。尿酸の産生過剰が関係する被験者の血清尿酸値に対しては、FBEPの影響は少ないものと考えられた。

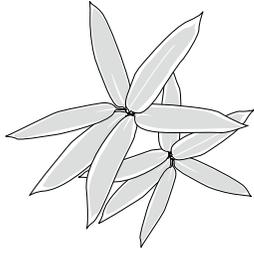
FBEPに含まれる尿酸排泄促進に関与する成分を含めた詳細な分子作用機序は今後の検討課題であるが、現在、有機アニオントランスポーターに着目した研究を進めているところである。

おわりに

適量ならばお酒は「百薬の長」だが、度を過ぎれば万病のもとにもなる。麦焼酎「いいちこ」の『やさしい酔いです。』や『すこし酔いました。』という広告コピーには、お酒との節度ある付き合いを長く続けて欲しいという願いが込められている。本稿で紹介した「発酵大麦エキス」は、酒類製造副産物から生まれた素材が「人とお酒の良い関係づくりに役立つ」という点でストーリー性があり、独自性の高い機能性食品素材である。2014年4月に肝機能改善素材『発酵大麦エキス・アルコケア®』シリーズの第一弾製品を発売し、発酵大麦エキスの普及および認知拡大を図るとともに、今後も継続して更なる研究開発を行う予定である。

参考文献

- 1) Mochizuki S, Miyamoto A, Hagiwara M, *et al.*: Effects of barley shochu lees on the prevention of fatty livers in rats fed an orotic acid-containing diet. *Nippon Jozokiyokai Shi*, **96**(8): 559-563, 2001. [in Japanese]
- 2) Mochizuki S, Miyamoto A, Hagiwara M, *et al.*: Effects of several by-products of alcoholic beverage on the fatty liver in rats fed orotic acid. *Res. Bull. Fac. Educ. & Welf. Sci. Oita Univ.*, **27**(2): 197-206, 2005. [in Japanese]
- 3) Giriwono PE, Hashimoto T, Ohsaki Y, *et al.*: Extract of fermented barley attenuates chronic alcohol induced liver damage by increasing antioxidative activities. *Food Res. Int.*, **43**(1): 118-124, 2010.
- 4) Giriwono PE, Shirakawa H, Hokazono H, *et al.*: Fermented barley extract supplementation maintained antioxidative defense suppressing lipopolysaccharide-induced inflammatory liver injury in rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**(10): 1971-1976, 2011.
- 5) Oguchi K, Giriwono PE, Hokazono H, *et al.*: Fermented barley extract shows anti-inflammatory effect by inhibition LPS-TLR4 interaction. *Proceedings of Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry.*, 3A25a14, March 2013. [in Japanese]
- 6) Ishizaka N, Ishizaka Y, Toda E, *et al.*: Association between serum uric acid, metabolic syndrome, and carotid atherosclerosis in Japanese individuals. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, **25**(5): 1038-1044, 2005.
- 7) Hokazono H, Omori T, Yamamoto T, *et al.*: Effects of a fermented barley extract on subjects with slightly high serum uric acid or mild hyperuricemia. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**(4): 828-834, 2010.
- 8) "Guideline for the Management of Hyperuricemia and Gout," Committee for the preparation of guidelines for the management of hyperuricemia and gout, Japanese Society of Gout and Nucleic Acid Metabolism, 2002. [in Japanese]
- 9) Fujimoto S, Watanabe T, Sakamoto A, *et al.*: Studies on the physical surface area of Japanese. 18. Calculation formulae in three stages over all ages. *Nippon Eiseigaku Zasshi*, **23**(5), 443-450, 1968. [in Japanese]
- 10) "Standard Tables of Food Composition in Japan" fifth revised and enlarged edition, The Council for Science and Technology, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, National Printing Bureau, 2005. [in Japanese]



ササヘルス配合歯磨剤の口腔環境 改善効果：口臭と舌細菌数の相関

Effect of Sasahealth-containing tooth paste on oral environment – Relationship between halitosis and bacterial number on the tongue

坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi) *1, 新井 友理 (ARAI Yuri) *1, 久野 貴史 (KUNO Takafumi) *1, 久保 英範 (KUBO Hidenori) *1, 染川 正多 (SOMEKAWA Shota) *1, 高野 頌子 (TAKANO Shoko) *1, 津島 浩憲 (TSUSHIMA Hirokazu) *1, 三次 義人 (MITSUGI Yoshihito) *1, 秋田 紗世子 (AKITA Sayoko) *1, 健石 雄 (TATEISHI Takeshi) *1, 大越 絵実加 (OHKOSHI Emika) *1, 田中 庄二 (TANAKA Shoji) *1, 松本 勝 (MATSUMOTO Masaru) *1, 安井 利一 (YASUI Toshikazu) *1, 伊藤 一芳 (ITO Kazuyoshi) *2, 牧 純 (MAKI Jun) *3, 渡邊 康一 (WATANABE Koichi) *4, 北嶋 まどか (KITAJIMA Madoka) *5, 堀内 美咲 (HORIUCHI Misaki) *5, 賈 俊業 (JIA Junye) *5, 大泉 浩史 (OIZUMI Hiroshi) *5, 大泉 高明 (OIZUMI Takaaki) *5

*1 明海大学歯学部, *2 太平ビルサービス株式会社, *3 松山大学薬学部, *4 三宝製薬株式会社, *5 株式会社大和生物研究所

Key Words: クマザサ葉抽出液・ササヘルス・歯磨剤・口臭・細菌カウンタ・抗ウイルス活性・口腔疾患

要約

クマザサ葉アルカリ抽出液 (ササヘルス®) は、卓越した抗ウイルス作用、IL-1 β 刺激ヒト歯肉および歯根膜線維芽細胞による PGE₂ 産生抑制作用を示した。ササヘルスとイソプロピルメチルフェノールの併用は、歯周病原性細菌の増殖を相乗的に抑制した。ササヘルス配合歯磨剤、プラセボ、通常の歯磨剤間の口臭および舌表面の細菌数に及ぼす効果を小規模臨床試験により比較検討した。口臭の強い被験者を含めることにより、口臭と舌表面の細菌数の間の相関係数が上昇した。ササヘルス配合歯磨剤の長期投与により口臭が減少する傾向が観察されたが、例数が少ないため有意差検定ができなかった。ウイルスは種々の口腔疾患、そして副鼻腔炎や咽頭炎などの炎症の発症に関与していることを考慮すると、ササヘルス製品の薬効の正確な評価には、被験者の例数を増やすとともに、抗菌活性と抗ウイルス活性を同時に測定することが必要であると思われる。

SUMMARY

Alkaline extract of *Sasa senanensis* Rehder (Sasahealth®) showed prominent antiviral activity, and potent inhibition of PGE₂ production by IL-1 β -stimulated human gingival and periodontal ligament fibroblasts. Combination of sasahealth and isopropyl methylphenol produced synergistic antibacterial activity against both *P. gingivalis* and *S. mutans*. Small scale clinical trial with Sasahealth-containing toothpaste, in comparison with placebo and popular commercial toothpastes, were performed. With inclusion of the patient with higher level of bad breath, more clear correlation was established between the volatile sulfur concentration (VSC) and bacterial count on the tongue surface. Long-term treatment with Sasahealth-containing toothpaste tended to reduce the VSC level, but not significantly due to small number of subjects. Considering the possible involvement of virus in the incidence of various oral diseases, sinusitis and acute pharyngitis, it is crucial to measure both the antibacterial and antiviral activities at the same time in each patient, in order to accurately assess the efficacy of Sasahealth products.

イネ科の植物であるクマイザサ (学名 *Sasa Senanensis* Rehder) は、本邦において、北海道、本州、四国、九州の山岳地帯等に多く自生している。クマ笹およびその近縁植物の葉は、薬用植物として中国の漢方生薬古典である『本草綱目』に「箬 (じゃく)」として記載されている。『本草綱目』では吐血、衄血 (じくけつ)、咯血、下血に効あり、排尿、肺気、喉痺 (こうひ) を利し、癰腫 (ようしゅ) を消すとの記載がみられる。また本邦における民間薬を収載した『和方一千方』『掌中妙薬集』『諸病薬記』などにも、口臭、血の道、たむしなどに対する効用が記載されている。

株式会社大和生物研究所 (事業本部: 神奈川県川崎市) は昭和 43 年の創業以来、クマ笹の葉を原料とした一般用医薬品「ササヘルス」(第 3 類医薬品 効能効果: 疲労回復, 食欲不振, 口臭, 体臭除去, 口内炎) の製造・販売を一貫して行っている。さらに同社では、医薬品分野におけるクマ笹の基礎研究を『農・食・美』分野へ向けた商品開発にも活かしており、平成 11 年には、医薬品製造のノウハウを活かし、スティック (顆粒) タイプで携帯に便利なクマ笹健康食品「SE-10 (エスイーテン)」を上市した。最近では、クマ笹のエキスを 54% 相当配合した、敏感肌の方も使用できる石鹸「笹の恵」を開発し、平成 23 年 11 月に上市した。さらに、平成 25 年 10 月には、ササヘルス配合歯磨剤 (販売名: 「ササヘルスの歯みがき A」) を開発し、上市した。今回は、ササヘルスの卓越した抗ウイルス活性、口内炎モデル系への影響、「ササヘルスの歯みがき A」の口臭および舌表面の細菌数に及ぼす効果 (条件設定) について述べる。

1. ササヘルスとは

ササヘルスは、クマザサの葉より樹脂分を除去した後、含有するクロロフィル中の Mg^{2+} を、

Fe^{2+} に置換して安定化した後、希水酸化ナトリウム溶液にて加熱加水分解した液を、中和して得られる。ササヘルスは、黒緑色を呈する液剤で、わずかな苦味と特有の芳香を有し、液性は低粘性の水性であり、pH8.1 ~ 8.5、比重 1.01 ~ 1.05 を示す。ササヘルス 100 mL には、約 5.82g の凍結乾燥粉末が含まれている。ササヘルスは、リグニン配糖体と同様に、アルカリ溶液で抽出されるため、リグニン配糖体と共通の生物活性を示す。

ササ葉製品は、疲労回復, 食欲不振, 口臭, 体臭除去, 口内炎に有効であるといわれている。我々はこれまでに、試験管内実験により、ササヘルスおよびリグニン配糖体の防腐作用、膜の安定化, 抗炎症作用, 食作用, ラジカル消去作用, 抗酸化作用, 抗菌作用, 抗ウイルス作用, 抗腫瘍作用, そして、リグニンと共通の作用 (卓越した抗ウイルス作用, 紫外線に対する細胞保護作用, ビタミン C との相乗作用) などを報告してきた¹⁻³¹⁾。しかし、我々の研究を含めササ葉製品の臨床効果に関する報告は少ない。我々は、ササヘルスの長期投与が、口腔扁平苔癬異形成症の患者の症状を緩和し、唾液中の炎症性サイトカイン interleukin-6 (IL-6), IL-8 の濃度を有意に減少させること、そして、RANKL 誘導性のマウスマクロファージ様細胞 RAW264.7 の破骨細胞への分化 (TRAP 陽性の多核細胞の形成で評価) を有意に抑制することを報告した^{18, 21)}。これらの実験結果は、ササヘルスの口腔疾患への適応の可能性を示唆する。

2. ササヘルスの卓越した抗ウイルス作用 (表 1)

ササヘルスの特徴は、卓越した抗ウイルス活性である。ササヘルス成分の中では、リグニン配糖体画分 (SI=37 ~ 62) が、未分画のササヘルス (SI=36) より若干高い抗 HIV 活性を示した。ササヘルスは、ルテオリン配糖体 (SI=2

～7), トリシン (SI=24) (A), 置換基導入グルカン (SI<1) (B), タンニン類 (SI=1-11), フラボノイド類 (SI<1), 没食子酸 (SI<1), (-)

表1 ササヘルス成分の抗 HIV 活性

| | SI (=CC50/EC50) |
|-----------------------------------|--------------------|
| A) ササヘルス由来成分 | |
| ササヘルス | 36 |
| リグニン配糖体 Fr I (酸沈殿) | 37 |
| リグニン配糖体 Fr II (酸沈殿×2) | 58 |
| リグニン配糖体 Fr III (酸沈殿×2) | 62 |
| 多糖画分 Fr IV | ><1 |
| Butanol extract | <1 |
| Luteolin 6-C-β-D-glucoside | >2 |
| Luteolin 7-O-β-D-glucoside | 7 |
| Luteolin 6-C-α-L-arabinoside | >7 |
| Tricin | 24 |
| B) 化学修飾多糖 | |
| N,N-dimethylaminoethyl paramylon | <1 |
| N,N-diethylaminoethyl paramylon | <1 |
| N,N-dimethylaminoethyl curdlan | <1 |
| C) ポリフェノール | |
| 加水分解型タンニン単量体 (21 種) | <1 |
| 加水分解型タンニン二量体 (39 種) | <1 |
| 加水分解型タンニン三量体 (4 種) | 3 |
| 加水分解型タンニン四量体 (3 種) | 11 |
| 縮合型タンニン (8 種類) | <1 |
| フラボノイド類 (160 種) | <1 |
| 没食子酸 | <1 |
| (-) -Epigallocatechin 3-O-gallate | <1 |
| Curcumin | <1 |
| Chlorophyllin | 5 |
| D) 漢方関連 | |
| 漢方製剤 (10 種) | <1.0 |
| 漢方製剤及び構成植物抽出物 (25 種) | 1.3 |
| E) 植物抽出液: | |
| アルカリ抽出液 > 熱水抽出液 | |
| 緑茶葉熱水抽出液 | <0.02 |
| 緑茶アルカリ抽出液 | 3 |
| ウーロン茶葉熱水抽出液 | <0.03 |
| ウーロン茶葉アルカリ抽出液 | 13 |
| オレンジフラワー熱水抽出液 | <0.5 |
| オレンジフラワーアルカリ抽出液 | >15 |
| F) 陽性対照 | |
| AZT | 8558 |
| ddC | 905 |

-epigallocatechin 3-O-gallate (EGCG) (SI<1), クルクミン (SI<1), クロロフィリン (SI=5) (C), 漢方製剤 (SI<1) およびその構成植物抽出液 (SI=1.3) (D) よりも高かった^{2, 6, 7, 12, 16, 17, 22, 26, 31}。アルカリ溶液は、熱水よりも効率よく緑茶の葉、ウーロン茶の葉、オレンジフラワーから抗 HIV 物質を抽出できるので (D)²⁹, ササヘルスの高い抗 HIV 活性は、調製法にアルカリ溶液を取り入れていることによると思われる。

3. ササヘルスの抗炎症作用

ササヘルスは、IL-1β で刺激されたヒト歯肉線維芽細胞による IL-8 の産生を抑制することを報告した¹³。ササヘルスは、IL-1β で促進した培養歯肉線維芽細胞 (HGF) および歯根膜線維芽細胞 (HPLF) による prostaglandin (PG) E₂

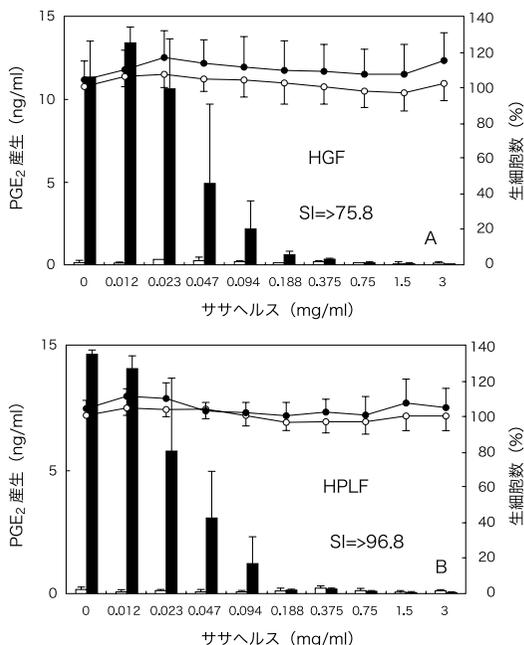


図1 ササヘルスは、IL-1β で刺激されたヒト歯肉線維芽細胞 (HGF) (A) およびヒト歯根膜線維芽細胞 (HPLF) による PGE₂ 産生を抑制する。黒いバーおよび黒丸は IL-1β (5 ng/ml) 処理, 白いバーおよび白丸は対照。各点は、三回の実験 (それぞれ triplicate) の平均値± S.D. を示す。

の産生を強く抑制することが判明した(SI>75.8; >96.8) (図1) (坂上ら, 投稿準備中)³¹⁾。

4. 歯磨剤の開発

(a) ササヘルス, 抗菌薬, 笹炭との相互作用の検討

ササヘルス (50%) およびイソプロピルメチルフェノール (IPMP) (0.31 mM) との10分接触では, ヒト歯肉線維芽細胞, 歯根膜線維芽細胞にほとんど傷害を与えなかった²⁶⁾。ササヘルスとIPMPはいずれも歯周病原性細菌の増殖に対して2相性に作用し, 低濃度では, いずれも増殖を促進するが, 高濃度では, 相乗的に細菌の増殖を抑制した (図2)²⁶⁾。IPMPの相乗作

用は, 250 μM (= 0.0375 mg/ml = 0.00375%) で初めて現れる。一方, ササヘルス単独の抗菌活性は, 0.63% 以上で現れる。したがって, ササヘルス : IPMP=0.63% : 0.00375%= 168:1。実際の歯磨剤中では, ササヘルス : IPMP=26.2% : 0.1%= 262:1 となるので, かなり近似する。

笹炭は, ササヘルスの活性に影響を与えなかった²⁶⁾, 歯磨剤には添加しないことにした。

(b) ササヘルス配合歯磨剤の口臭および舌表面の細菌数に及ぼす影響

学内倫理委員会 (承認番号 A1219), および治験委員会のガイドラインに従い, 7名の被験者の口臭および舌表面の細菌数を, それぞれブレストロンおよび細菌カウンタを用いて測定し

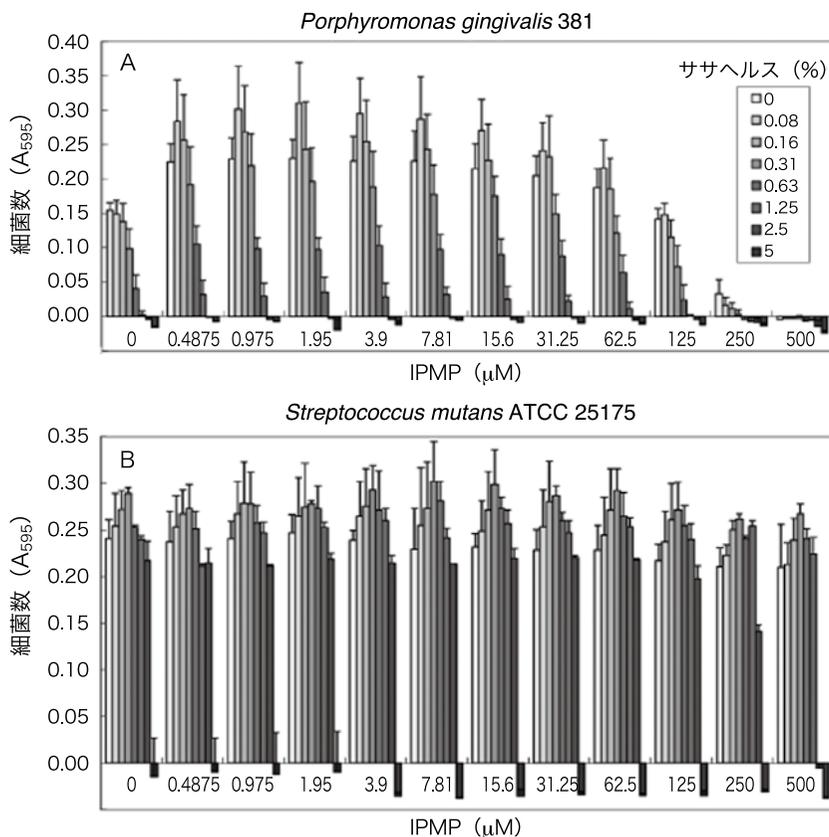


図2 ササヘルスとIPMPの相乗的抗菌活性。各点は, 三回の実験 (それぞれ triplicate) の平均値± S.D. を示す。* $p < 0.01$. 文献²⁶⁾より許可を得て転載

表2 ササヘルス配合歯磨剤の成分

| 配合目的 | 成分 |
|-------|----------------------------------|
| 基 剤 | クマザサ葉抽出物 |
| 清 掃 剤 | 炭酸 Ca |
| 清 掃 剤 | 水 |
| 保 湿 剤 | グリセリン |
| 矯 味 剤 | キシリトール |
| 基 剤 | ヒドロキシアパタイト |
| 清 掃 剤 | シリカ |
| 安 定 剤 | パルミチン酸スクロース |
| 粘 結 剤 | セルロースガム |
| 洗 浄 剤 | ラウリル硫酸 Na |
| 保 湿 剤 | PG |
| 矯 味 剤 | メントール |
| そ の 他 | シメン-5-オール (イソプロピルメチルフェノール, IPMP) |
| 甘 味 剤 | サッカリン Na |
| 安 定 剤 | 銅クロロフィリン Na |

た。この場合、口臭と細菌数の2つのファクターをプロットすると、なだらかなカーブが描かれた。口臭が強い被験者(細菌カウント: 65×10^6 /舌表面)が含まれている場合は、高い相関係数を示すことがわかる(図3)。特に、多項式近似が最大の相関係数を与えた。毎回の測定値はかなり変動するが、5回測定した平均値をプロットしたことも高い相関係数を与えた原因と考えられる。

この場合、通常のフッ素配合歯磨剤と比較し、ササヘルス配合歯磨剤は、口臭および細菌数を増悪させることはなく、むしろ、投与が長期になるほど、特に口臭抑制傾向が増大する可能性が示唆されたが、例数が少ないため有意差検定ができなかった(表3)。

これに対して、口臭がそれほど強くない被験

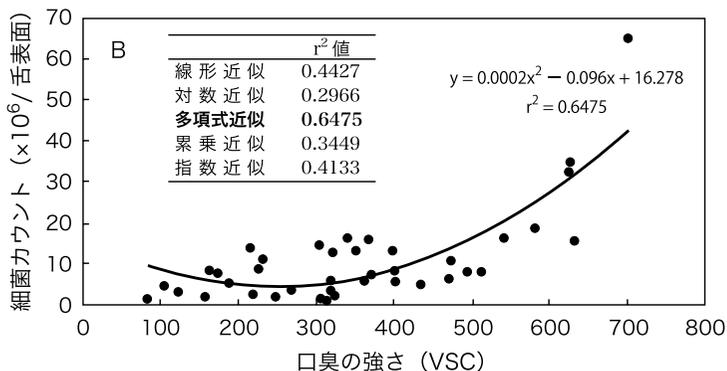
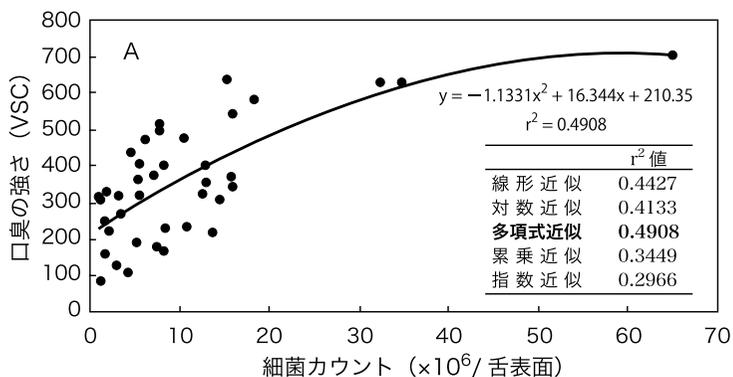


図3 口臭の強さと舌表面の細菌数との相関図
表3をもとに作成した。各点は、5回の測定の平均値である。
右上：口臭測定機(プレストロン)、右下：細菌カウンタ

表3 ササヘルス配合歯磨剤の口臭・舌表面細菌数に及ぼす効果

口臭の強い被験者を含む場合は、長期的にみて、特に口臭の減少傾向があった。1日1回、11:00に口臭、細菌数を測定した。1週間で4～5回測定した。実験値は、通常5回測定の平均値±S.D.

| 被験者 (年齢, 性別) | 細菌数 (× 10 ⁶ / 舌表面) | | | | | | |
|--------------|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| | 通常の歯磨剤 | プラセボ歯磨剤 | ササヘルス配合歯磨剤 | | | | |
| | 1週 | 1週 | 1週 | 2週 | 3週 | 4週 | 5週 |
| HS (61M) | 16.0 ± 11.5 | 4.71 ± 2.20 | 7.82 ± 3.94 | 18.39 ± 31.04 | 15.41 ± 5.28 | 10.9 ± 4.27 | 5.31 ± 2.21 |
| KI (53M) | 5.64 ± 4.41 | 7.14 ± 3.97 | 12.99 ± 4.46 | 13.0 ± 1.53 | 8.25 ± 5.45 | 8.53 ± 3.68 | 7.46 ± 4.20 |
| TI (52F) | 32.4 ± 21.1 | 65.0 ± 33.3 | 34.8 ± 37.5 | 終了 | | | |
| TK (24M) | 1.68 ± 1.19 | 0.962 ± 0.077 | 1.22 ± 0.65 | 1.80 ± 1.62 | 1.27 ± 0.89 | | |
| SS (28M) | 15.8 ± 9.62 | 15.99 ± 7.86 | 12.6 ± 4.68 | 10.55 ± 1.41 | 14.5 ± 5.46 | 13.8 | |
| HK (24M) | 3.51 ± 3.88 | 5.63 ± 4.16 | 1.90 ± 0.42 | 2.27 ± 1.31 | 8.30 ± 9.80 | | |
| HT (24M) | 7.89 ± 5.73 | 6.26 ± 4.59 | 5.49 ± 2.35 | 3.22 ± 2.52 | 4.33 ± 3.93 | 3.04 ± 0.37 | |
| 平均値 | 8.42 ± 6.15 | 6.78 ± 4.99 | 7.00 ± 5.09 | 8.21 ± 6.83 | 8.68 ± 5.54 | 9.07 ± 4.56 | 6.39 ± 1.08 |

| 被験者 (年齢, 性別) | 口臭の強さ (VSC) | | | | | | |
|--------------|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 通常の歯磨剤 | プラセボ歯磨剤 | ササヘルス配合歯磨剤 | | | | |
| | 1週 | 1週 | 1週 | 2週 | 3週 | 4週 | 5週 |
| HS (61M) | 542 ± 175 | 435 ± 169 | 513 ± 79 | 582 ± 128 | 634 ± 250 | 233 ± 114 | 188 ± 63 |
| KI (53M) | 403 ± 89 | 371 ± 80 | 399 ± 106 | 352 ± 130 | 401 ± 185 | 226 ± 191 | 175 ± 42 |
| TI (52F) | 626 ± 237 | 702 ± 416 | 628 ± 450 | 終了 | | | |
| TK (24M) | 248 ± 60 | 312 ± 144 | 307 ± 182 | 157 ± 44 | 84 ± 54 | | |
| SS (28M) | 369 ± 125 | 341 ± 148 | 323 ± 88 | 474 ± 494 | 304 ± 183 | 215 | |
| HK (24M) | 268 ± 98 | 319 ± 141 | 324 ± 147 | 219 ± 36 | 164 ± 213 | | |
| HT (24M) | 495 ± 206 | 472 ± 139 | 362 ± 147 | 319 ± 270 | 105 ± 84 | 124 ± 66 | |
| 平均値 | 388 ± 118 | 375 ± 65 | 371 ± 77 | 351 ± 158 | 282 ± 211 | 200 ± 51 | 182 ± 9 |

表4 ササヘルス配合歯磨剤の口臭・舌表面細菌数に及ぼす効果

口臭の強い被験者を含まない場合は、効果が弱い。n:測定回数。毎日1回、一週間で4～5回測定。平均値±S.D.

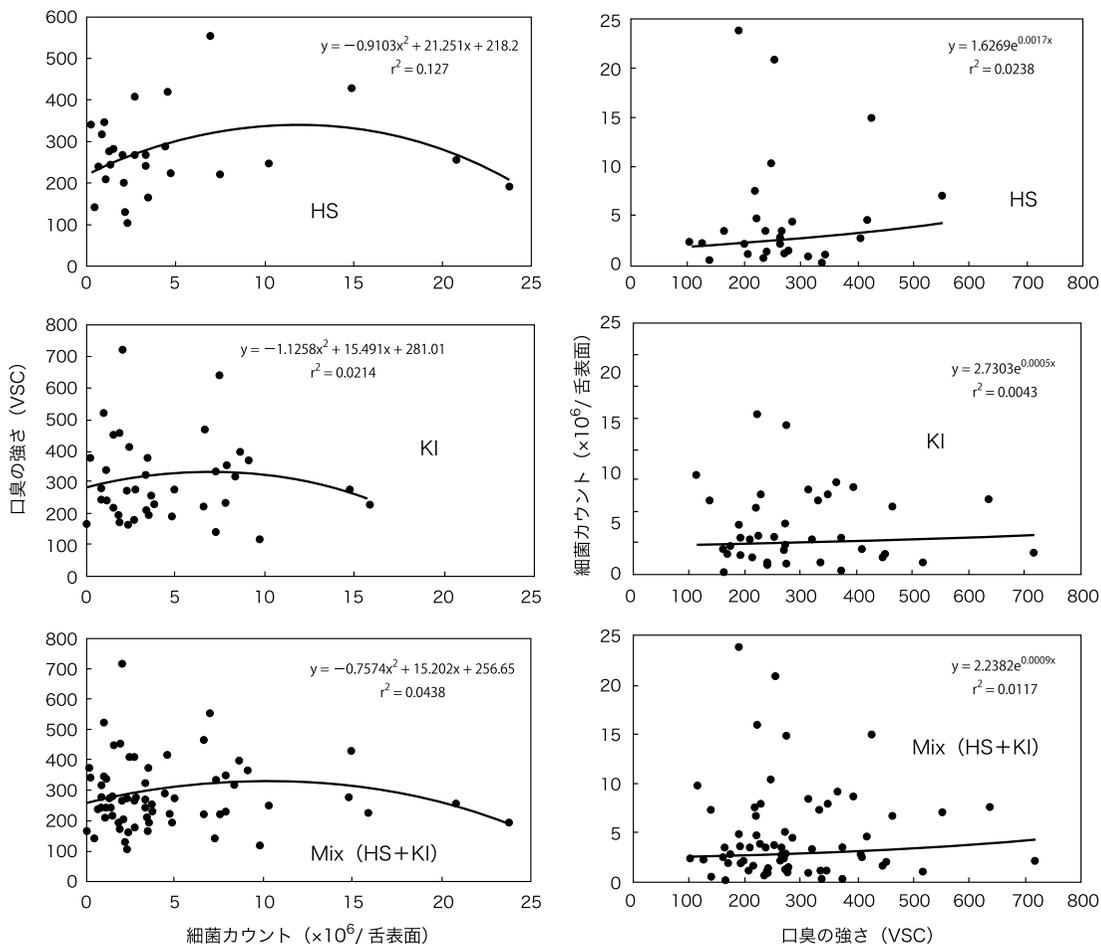
| 被験者の年齢と性別 | 細菌数 (× 10 ⁶ / 舌表面) | | | 口臭の強さ (VSC) | | |
|-----------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | 通常の歯磨剤 | プラセボ歯磨剤 | ササヘルス配合歯磨剤 | 通常の歯磨剤 | プラセボ歯磨剤 | ササヘルス配合歯磨剤 |
| HS (61M) | 4.94 ± 5.07 (n=6) | 4.78 ± 7.32 (n=10) | 4.53 ± 5.59 (n=12) | 260 ± 94 (n=6) | 265 ± 60 (n=10) | 272 ± 128 (n=12) |
| KI (53M) | 未測定 | 4.47 ± 4.00 (n=25) | 5.08 ± 3.22 (n=17) | 未測定 | 347 ± 136 (n=25) | 262 ± 136 (n=16) |

者のみを対象にした臨床実験(1～4週間)では、細菌数と口臭とのファクターの間には、有意な相関は見られず(図4)、ササヘルス配合歯磨剤の効果も不鮮明であった(表4)。

5. 今後の方向性

今回、ササヘルス配合歯磨剤の臨床効果を測定するための予備試験を行った。その結果、口臭の高い被験者を含めないと臨床効果が得にく

いこと、また、効果発現までに時間がかかることが判明した。これは、緑茶、ウーロン茶、オレンジフラワーのアルカリ抽出液は、熱水抽出液と比較して、抗HIV活性は強いが、抗菌活性が若干弱いことから²⁹⁾考えると、ササヘルスは抗ウイルス性が強いが、抗菌性がそれほど強くないことが原因ではないかと考えられる。副鼻腔炎、急性咽頭炎は、細菌性よりもウイルス性であることが報告されている^{32,33)}。また、口内炎や扁平苔癬などの発症のリスクファク



| | r^2 値 | | |
|-------|--------------|---------------|---------------|
| | HS | KI | MIX |
| 線形近似 | 0.0081 | 0.00005 | 0.0014 |
| 対数近似 | 0.0238 | 0.0043 | 0.0117 |
| 多項式近似 | 0.127 | 0.0214 | 0.0438 |
| 累乗近似 | 0.0162 | 0.0034 | 0.0096 |
| 指数近似 | 0.0076 | 0.000002 | 0.0015 |

| | r^2 値 | | |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| | HS | KI | MIX |
| 線形近似 | 0.0081 | 0.00005 | 0.0014 |
| 対数近似 | 0.0076 | 0.000006 | 0.0015 |
| 多項式近似 | 0.0109 | 0.00006 | 0.0015 |
| 累乗近似 | 0.0162 | 0.0034 | 0.0096 |
| 指数近似 | 0.0238 | 0.0043 | 0.0117 |

図4 ササヘルス配合歯磨剤の口臭・舌表面細菌数に及ぼす効果

各点は、図3の実験とは異なり、1回の測定値である。そのため、データのバラツキが大きく、口臭の強い被験者を含まない場合は、明確な相関は得られない。

ターには、ウイルスも含まれている。したがって、今後、ササヘルス製品の効果を正確に評価するためには、口臭、細菌数以外にも、唾液中のウイルス量を同時に測定することが必要であると思われる。この分野は未開拓であり検討す

る価値は十分にあると思う。

ササヘルスは、歯肉および歯根膜の炎症を抑制する可能性が生じた。現在そのメカニズムを検討中である。ササヘルスはリグニン配糖体を含むため、ビタミンCと相乗的にラジカル消去

活性を示す。最近、炎症は老化および癌化に関与することが明らかにされつつある³⁴⁻³⁶。特に、NF-κBの活性化は、老化を促進すること

が明らかにされた^{35,36}。ササヘルスの抗炎症作用は、老化を促進するNF-κB経路の阻害を介するか否かについても検討する予定である。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 坂上 宏, 渡辺悟, 横手よし子, 谷口純子, 大泉高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の多様な生物作用と代替医療における機能性, *New Food Industry* **50** (5), 17-24, 2008
- 2) Sakagami H, Amano S, Kikuchi H, Nakamura Y, Kuroshita R, Watanabe S, Satoh K, Hasegawa H, Nomura A, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Taniguchi S and Oizumi T: Antiviral, antibacterial and vitamin C-synergized radical scavenging activity of *Sasa senanensis* Rehder extract. *In Vivo* **22**(4): 471-476, 2008.
- 3) 坂上 宏, 周 麗, 儲 慶, 王 勤壽, 北嶋まどか, 大泉 浩史, 大泉 高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の抗炎症作用, *New Food Industry* **51**(1): 27-34, 2009
- 4) Zhou L, Hashimoto K, Satoh K, Yokote Y, Kitajima M, Oizumi T, Oizumi H and Sakagami H: Effect of *Sasa senanensis* Rehder extract on NO and PGE₂ production by activated mouse macrophage-like RAW264.7 cells. *In Vivo* **23**: 773-778, 2009
- 5) 坂上 宏, 周 麗, 河野みち代, メイ・モウ・テツ, 長谷川秀夫, 田中庄二, 町野守, 天野滋, 黒下礼奈, 渡部茂, 金本大成, 寺久保繁美, 中島秀喜, 関根圭輔, 白瀧義明, 植沢芳広, 毛利公則, 儲 慶, 王 勤壽, 北嶋まどか, 大泉 浩史, 大泉 高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の抗炎症作用に基づく口腔環境改善効果の可能性, *New Food Industry* **52** (2) 1-10, 2010.
- 6) Sakagami H, Kushida T, Oizumi T, Nakashima H and Makino T: Distribution of lignin-carbohydrate complex in plant kingdom and its functionality as alternative medicine. *Pharmacology & Therapeutics* **128**: 91-105, 2010.
- 7) Sakagami H, Zhou Li, Kawano M, Thet MM, Takana S, Machino M, Amano S, Kuroshita R, Watanabe S, Chu Q, Wang QT, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Sekine K, Shirataki Y, Hao ZC, Uesawa Y, Mohri K, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Multiple biological complex of alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **24**: 735-744, 2010.
- 8) 坂上 宏, 植木淳一, 島田亜希, 小野真那巳, 菅藤歌織, 若林英嗣, 南部俊之, 嶋田 淳, 牧 純, 山本正次, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明, 牧野 徹: 抗酸化剤および植物抽出液の紫外線に対する細胞保護作用, *New Food Industry* **53** (1): 11-19, 2011.
- 9) 坂上 宏, 岩本祥子, 松田友彦, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明: クマザサ抽出液(ササヘルス)の口内炎治療効果の可能性: 培養ヒト歯肉線維芽細胞による炎症性サイトカイン産生の抑制 *New Food Industry* **53** (7): 11-18, 2011
- 10) 松田友彦, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明, 坂上宏: クマザサ抽出液(ササヘルス)及び luteolin 配糖体の紫外線に対する細胞保護効果, *New Food Industry* **53** (7): 19-25, 2011
- 11) Matsuta T, Sakagami H, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Anti-UV activity of alkaline extracts of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5): 751-755, 2011.
- 12) Matsuta T, Sakagami H, Satoh K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Biological activity of luteolin glycosides and tricetin from *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5): 757-762, 2011.
- 13) Ono M, Kantoh K, Ueki J, Shimada A, Wakabayashi H, Matsuta T, Sakagami H, Kumada H, Hamada N, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Quest for anti-inflammatory substances using IL-1β-stimulated gingival fibroblasts. *In Vivo* **25**(5): 763-768, 2011
- 14) 坂上 宏: 代替医療としてのリグニン配糖体の機能性—漢方における分子的会合の意義, *日本歯科東洋医学会誌* **30**:32-39, 2011.
- 15) 坂上 宏, 浅野和仁: 食品による生体酸化反応の予防, *昭和大学保健医療学雑誌*, 第9号, 21-46, 2012
- 16) Sakagami H, Iwamoto S, Matsuta T, Satoh K, Shimada C, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Morita Y, Ohkubo A, Tsuda T, Sunaga K, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Comparative study of biological activity of three commercial products of bamboo leaf extract. *In Vivo* **26**: 259-264, 2012.
- 17) Sakagami H, Matsuta T, Satoh K, Ohtsuki S, Shimada C, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Morita Y, Ohkubo A, Tsuda T, Sunaga K, Maki J, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Biological activity of SE-10, a granulated powder of *Sasa senanensis* Rehder leaf extract. *In Vivo* **26**: 411-418, 2012.

- 18) 坂上 宏, 松田友彦, 田中庄二, 町野 守, 安井利一, 伊藤一芳, 北嶋まどか, 杉浦智子, 大泉浩史, 大泉高明: クマ笹葉エキス由来製品の開発, 機能性評価及び口腔疾患への適応 *New Food Industry* **54** (6): 11-26, 2012.
- 19) Sakagami H and Matsuta T: Biological activity of cacao husk and mass lignin carbohydrate complexes. In: *Chocolate in Health and Nutrition* (ed: Watson RR, Preedy VR and Zibadi A, Springer) pp247-262, ISBN 978-1-61779-802-3
- 20) 坂上 宏: リグニン配糖体の構造と機能性, 書籍『ポリフェノール: 薬用植物および食品の機能性成分』(監修: 波多野力), pp100-116, 2012, 10月, ISBN978-4-7813-0672-8, シーエムシー出版
- 21) Matsuta T, Sakagami H, Tanaka S, Machino M, Tomomura M, Tomomura A, Yasui T, Itoh K, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Pilot clinical study of *Sasa senanensis* Rehder leaf extract treatment on lichenoid dysplasia. *In Vivo* **26** (6): 957-962, 2012.
- 22) Kato T, Horie N, Matsuta T, Umemura N, Shimoyama T, Kaneko T, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Kusama K and Sakagami H: Anti-UV/HIV activity of Kampo medicines and constituent plant extracts. *In Vivo* **26** (6): 1007-1013, 2012.
- 23) Matsuta T, Sakagami H, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Structural characterization of anti-UV components from *Sasa senanensis* Rehder extract. *In Vivo* **27**: 77-84, 2013.
- 24) Nanbu T, Shimada J, Kobayashi M, Hirano K, Koh T, Machino M, Ohno H, Yamamoto M and Sakagami H: Anti-UV activity of lignin-carbohydrate complex and related compounds. *In Vivo* **27**, 133-140, 2013.
- 25) Sakagami H, Matsuta T, Yasui T, Oguchi K, Kitajima M, Sugiura T, Oizumi T and Oizumi T: Chapter 8: Functional evaluation of *Sasa Makino* et *Shibata* leaf extract as group III OTC drug In: *Alternative Medicine* (eds. Sakagami H), pp171-200, InTech ISBN 980-953-307-811-8
- 26) Sakagami H, Amano S, Yasui T, Satoh K, Shioda S, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Watanabe K, Sugiura T, Kitajima M, Oizumi H and Oizumi T: Biological interaction between *Sasa senanensis* Rehder leaf extract and toothpaste ingredients. *In Vivo* **27**: 275-284, 2013
- 27) 坂上宏, 田中庄二, 杉本昌弘: 老化マーカーとしての唾液中グリシンおよびプロリンの動態, 検査診断学への展望—臨床検査指針: 測定とデータ判読のポイント— pp696-699, 2013, 南江堂
- 28) 坂上 宏: リグニン配糖体の卓越した抗ウイルス活性と臨床への応用, バイオテクノロジーシリーズ 機能性配糖体の合成と応用—糖転移酵素を中心に— シーエムシー出版, 159-169, 2013
- 29) Sakagami H, Ohkoshi E, Amano S, Satoh K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Sunaga K, Otsuki T, Ikeda H and Fukuda T: Efficient utilization of plant resources by alkaline extraction. *Altern Integr Med* **2**, 2013 ISSN:2327-5162, 2013
- 30) 坂上 宏, 第1編第1章, 口腔ケアとアンチエイジング (オーラルヘルスケア機能性食品の開発と応用—アンチエイジングを目指した口腔ケアを中心に—監修: 坂上 宏) pp1-10, シーエムシー出版, 2013年12月
- 31) 坂上 宏, 大越絵実可, 松田友彦, 田中庄二, 松本勝, 安井利一, 渡邊康一, 北嶋まどか, 堀内美咲, 賈俊業, 大泉浩史, 大泉高明: 第3編企業の開発動向, 第5章, 抗ウイルス素材, 1. クマザサ葉抽出液「ササヘルス」配合歯磨剤 (オーラルヘルスケア機能性食品の開発と応用—アンチエイジングを目指した口腔ケアを中心に—監修: 坂上 宏) pp217-243, シーエムシー出版, 2013年12月
- 32) 岩田健太郎, 外来における抗菌薬使用の大原則, *Medical ASAHI* November, p16-17, 2013
- 33) 山本舜悟, ペニシリンの使い方, *Medical ASAHI* November, p18-20, 2013.
- 34) 大谷直子, 細胞老化による炎症とがん, *細胞* **45** (10), 462-465, 2013.
- 35) 長谷川豊, 血管内皮細胞における NF- κ B 経路遮断による抗老化・長寿, *Aging & Health* 38-41, 2013.
- 36) Zhang G, Li J, Purkayastha S, Tang Y, Zhang H, Yin Y, Li B, Liu G and Cai D: Hypothalamic programming of systemic ageing involving IKK- β , NF- κ B and GnRH. *Nature* **497**, 211-216, 2013.

連絡先:

坂上 宏: 明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野

〒350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1

Tel: 049-279-2758, 2759; Fax: 049-285-5171; e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp

大泉高明: 株式会社大和生物研究所

〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 かながわサイエンスパーク内 (KSP)D 棟 8F

Tel: 044-819-2291; Fax: 044-812-7482; e-mail: takaakio@daiwaseibutu.com

「チョコレートとノーベル賞」 — 科学者の白昼夢? —

菅野 道廣 (SUGANO Michihiro) *1 古場 一哲 (KOBA Kazunori) *2

*1 九州大学・熊本県立大学 名誉教授, *2 長崎県立大学シーボルト校 教授

Key Words : チョコレート・フラバノール・牛乳・ノーベル賞受賞者・消費量・比較・食習慣

はじめに

表題に係わる情報はネット上にも数多く取り上げられているので、周知の方も多いのではないだろうか。話の筋は「フラバノールは脳の機能を高める」→「チョコレートにはフラバノールが含まれている」→「チョコレートを食べれば頭がよくなる」→「頭がよくなればノーベル賞が取れる」という「風が吹けば桶屋が儲かる」的なものであるが、内容は実に奥深い。

研究者の間では金科玉条の感がある“Impact Factor”。少しでもこの値が高い専門誌へ投稿し、研究歴に箔を付け、よい職位を得たいと念願している。ここで登場する New England Journal of Medicine (NEJM) 誌は Impact Factor が 51.7 (2013 年度) の超一流医学誌 (ちなみにわが国の関連誌ではせいぜい 3 程度)。その雑誌の 2012 年 10 月号に "Chocolate Consumption, Cognitive Function, and Nobel Laureates" と題する論文が Occasional Notes として掲載された¹⁾。執筆者の Messerli 博士はニューヨークの Columbia 大学 St. Luke' Hospital の高血圧プログラムのディレクターで、PubMed で検索すると 500 報以上の研究論文がある実力研究者。ただし、Occasional Notes は NEJM 誌

の分類上 Research, Reviews, Clinical Cases の次の Others に属し、そこには Book Reviews, Correction, Correspondence および Retraction と共に含まれていて、研究論文とは格差がある。年間 1 報程度しか掲載されておらず、どちらかと言うと時折々の読み物的なものと判断される。だから、Scientific Americans 誌²⁾ が翌月にこの話題を「もしあるとすれば奇妙な並置」というタイトルで取り上げ、「この論文はこれまで長年に亘って読んできた限りもっとも奇妙でもっとも辻褄が合わない論文の一つと断言したい」と酷評しているが、それほど目くじらを立てることもなかろう。なお、時を同じくして BBC NEWS MAGAZINE でも「チョコレートはあなたを賢くするか?」と題し取り上げられたが、別項で紹介する。ともかく Messerli の論文¹⁾ を紐解くことにしよう。

1. チョコレートの消費量が多いとノーベル賞受賞者も多い

植物性食品に含まれるフラボノイドには認知機能改善作用があることが報告されていて、なかでもココア、茶 (緑茶・紅茶・ウーロン

茶)、赤ワインなどに含まれるフラバノール(flavanol)は加齢に伴う認知行動の低下を抑えるだけでなく、末梢血管や脳の血管を拡張させ血圧を下げることも知られている。ご存じのエピカテキンが代表的なフラバノールの一つである。チョコレートを食べると認知機能の改善が期待でき、国のチョコレート消費量とノーベル賞受賞者数との間には関係があるかもしれないと考えた研究者がいても何ら不思議ではない。Messerliは2011年10月10日までのノーベル賞受賞者とその国のチョコレート消費量との関係を調べ、両者の間には有意な正の相関があることを認めている($r=0.791, p<0.0001$) (図1)。検討した23カ国のうちから、例外国であるスウェーデンを除くと相関係数は0.862にもなった。この回帰直線から、チョコレート摂取量1人年間0.4kgの割合で受賞者数が1名増すことになる。当然のことながら、著者も述べているようにこの結果はあくまでも仮説に基づくものであり、因果関係を示すものではない。

図1で唯一の例外はスウェーデンである。チョコレート消費量6.4kg/年からすると受賞者数は約14と見込まれるが、実際には32であり、予期値の2倍以上であった。著者が「ストックホルムのノーベル委員会の愛国的な依怙最良によるものなのか、はたまたスウェーデン人はチョコレートに殊の外敏感でごく僅かな量でも認知能が大きく高められるのであろうか」と考えたのは至極もったもなことも知れない。

今回のデータは国の平均値に基づくものであり、過去および現在でのノーベル賞受賞者自身のチョコレート摂取状況や、どれくらい食べれば受賞の確率が十分に高まるのかは不明である。両変数は年と共に変わるので暫定的なものであると結論している。

この論文を掲載直後に読んだ時、曖昧さが避けられない観察研究の結果であり、それも利害関係が大きく到底まっとうには評価できない、ただ単なるお遊びではないかとの印象であった。しかし、格好の話題であり、すぐに管理栄

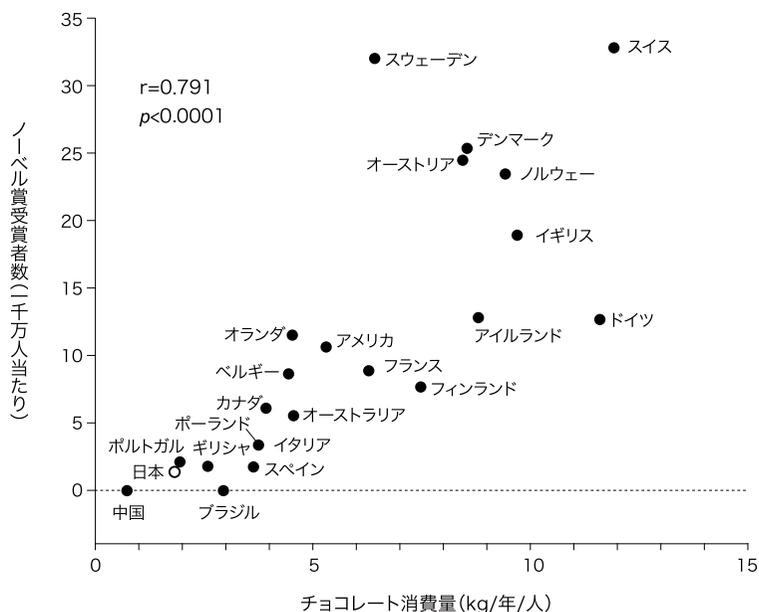


図1 各国の年間1人当たりチョコレート消費量とノーベル賞受賞者数との間の相関関係

掲載論文では各点は各国の国旗で示されているが、図ではその中心位置に○印を描いている。以後の図でも同様に処置。(文献1)

養士さんを対象としている植物油栄養の講演に構造脂質の一例として取り込み、「安物のチョコレートでは駄目ですよ」、「京大の山中先生はどのくらいチョコレートを食べているのでしょうか」など、閑話休題的に紹介してきた。しかし、ノーベル賞の授賞式では金箔を被せたメダルチョコレートが手渡されると聞くと、ノーベル財団がチョコレートは大事なものと考えているとも空想できる。このチョコレートは受賞記念のお土産として人気があり、山中先生は1,000個も購入されたと聞く。いずれにしても、掲載誌は超一流であり、筆者も名の通った学者である。だが、誰かきつと「クレームを付ける」との期待?は抱いていた。ただ、このような「グッドニュース(?)」がわが国のチョコレート業界で生かされたことは寡聞にして知らない。業界は冷静な判断力を備えていたのであろうか。

2. 百出する議論：本当にそうなのか

Misserli 自身も観察研究の限界を認識しているが、この方法論上の問題点に対する批判が2か月後には書かれた。なお、以後いろんな専門誌に論評が掲載されているが、それらはすべて名の通った雑誌ばかりであり、なかには Nature 誌も含まれ「ことの重大さ?」を物語るかのようである。

2012年12月に出された小文で、Kayser³⁾がメディアを介して初めて Messerli 論文のことを聞いた時の第一印象は、「悪ふざけに違いない」であった。そして実際に論文を読んでみて、関係のあるなしに係わらずいろんな要素の間で見られる相関性の一例を示したに過ぎない「笑わせる論文だ」と思ったと酷評している。そして鶏が先か卵が先かというシナリオにおけると同様に、フラバノールやその他のチョコレート成分がヒトの認知機能に及ぼす影響をもっと直接的に解明できるように計画された実験によって

より徹底的に調べられるまでは、正確なところは解らない。「何よりもチョコレートをたくさん食べ、すぐに研究室へ戻るか、パソコンで次期のノーベル賞に値する研究を検討しよう」と茶化している。

Fo Ben⁴⁾も2013年2月、英国の医学雑誌 Practical Neurology 誌の Carphology 欄（捜衣模床：高熱・危篤状態のとき指でふとんをつまもうとする症状。最後のあがきとも言うべき捻くった欄?）で、「天才は1%が地域、99%は咀嚼」と題して寸評し、「中国は国情を改善するために国がスポーツのスポンサーになることなどは差し置いて、ノーベル賞受賞数を増すためにチョコレートの消費量を0.4 kg/人/年に上げることが唯一の対策であることを何にもましてすぐに認識すべきである」と皮肉っている。

より本質的な批評論文が2013年4月、基礎栄養学の分野ではもっとも著名な Journal of Nutrition 誌（米国栄養学会誌 Impact Factor 4.2程度）に、「チョコレートを食べると本当にノーベル賞のチャンスが増すのか?健康研究における相関性の過剰解釈の危険性」と題する Maurage らの論文が掲載され、先ず方法論上の問題点が指摘された⁵⁾。まず、観察された相関性は国の平均的なチョコレート消費量に基づくもので、ノーベル賞受賞者の実際の消費量に基づくものではない。このことは生態学的誤謬（集団単位で認められた関連性が個人単位でも同様に認められると誤って推論してしまうこと）の例として周知のことであり、集団レベルで観察された関係が個人レベルでも必ずそうであることの保証はなく、集団の挙動データを基にした個人の挙動についての結論には、解釈上重大な問題がある。加えて、使われたデータがチョコレート消費については過去2年間、ノーベル賞受賞者については1世紀以上にわたっている点である。この時間的ギャップ故に、相関分析の妥当性は限定される。チョコレートの消費習慣

は過去 10 年間に劇的に変化しており（世界の cocoa 生産量は 1960 年と 2010 年との間で 4 倍にも増加）、最近の消費は過去を評価するよい判断基準とはなり得ない。もっとも重要な点は、チョコレートはフラバノイドの供給源の一つに過ぎないと言う点である。フラバノイドの含量で断定的な説明をするなら、ノーベル賞受賞者数と他のフラバノイドに富む食品の摂取との相関性も調べられなければならない。実際に、図 2 (A, B) に示すようにフラバノイドを高濃度を含む茶やワインの平均年間消費量と受賞者数との間に、チョコレートの場合のような相関性は認められなかった。つまりフラバノイド濃度だけでは、チョコレートとノーベル賞受賞者との間の高い相関性をうまく説明できない。

さらに、統計学上、相関は決して因果関係を示すものではない。因果関係の解釈に際しては無意味な例にしばしば遭遇する。例えば、

図 2C は何ら関係がない IKEA の店舗数とノーベル賞受賞者数との間に高い相関 ($r = 0.82$, $p < 0.0001$) があることを示している。まさか IKEA が主としてノーベル賞受賞者輩出国にだけ店舗を設置するように意図しているとか、あるいは IKEA の家具組み立て説明書が集団の認知機能を改善したと言うようなことはあるまい。一方、国内総生産 (GDP) と受賞者数およびチョコレート消費量との間でも強い相関性が得られた（それぞれ $r = 0.66$ および 0.73 , ともに $p < 0.001$) (図 2D, E)。さらに、強度が異なる相関の間での統計学的比較を可能にする Fisher r-to-z 変換を行ったところ、原報でのチョコレートとノーベル賞との間の相関性 ($r = 0.79$, $p < 0.0001$) が GDP- ノーベル賞 (Fisher z-test = 0.49, 有意差なし) および GDP- チョコレート (Fisher z-test = 0.9, 有意差なし) での相関より高いことは認められなかつ

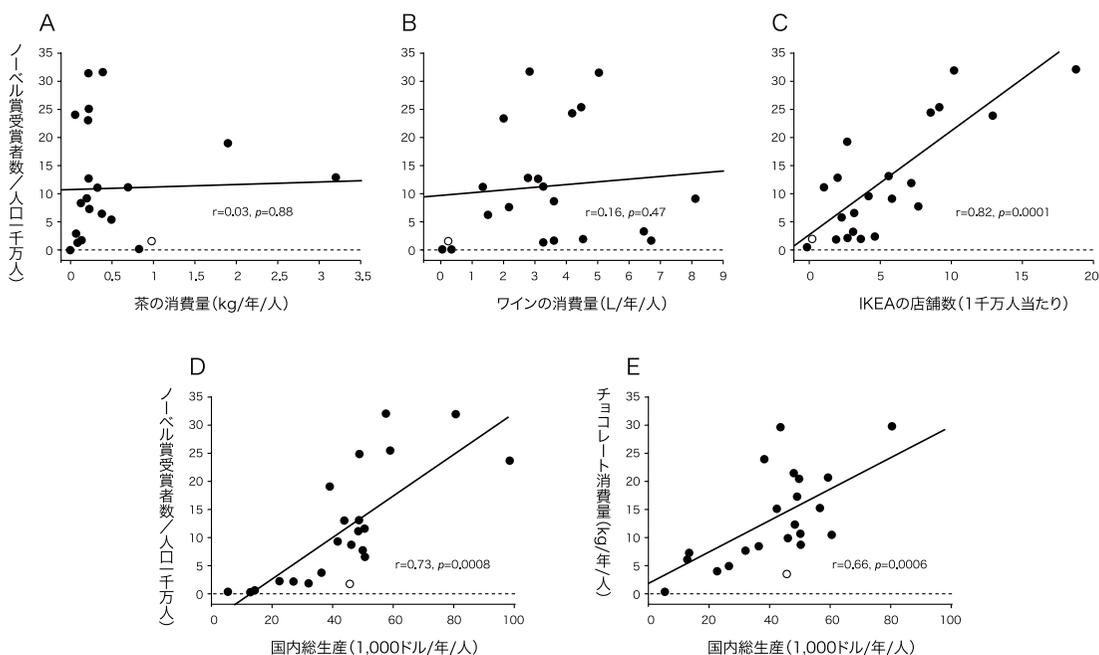


図 2 各国の年間 1 人当たりの茶の消費量 (A)、ワインの消費量 (B)、IKEA の店舗数、(C) および国内総生産 (D) とノーベル賞受賞者数との間の相関、ならびにチョコレート消費量と国内総生産との受賞者数との間の相関 (E)

図 1 参照。茶は緑茶、紅茶、ウーロン茶を含む。白抜きは日本。(文献 5)

た。つまり、原因と結果の関係を検討する実験計画に際しては、常に細心の注意が必要であることを強調している。

いずれにしても、相関性は因子間の関係の程度を示すもので、それ以上の何物でもない。Messerli の報告は相関性を過大解釈した危険を孕んでいる。栄養研究では、誤った推論は誤った原因に有益（あるいは有害）な効果を与えることになるので劇的な影響力があり、健康に対し返ってリスクをもたらしかねない。読者が原報の妥当性を正しく位置付け、栄養健康研究の障害となる相関性の誤説明を避けることを望んでいると結んでいる。

2013年6月に発表された統計学的方法論の観点からの Dunstan⁶⁾ の反論もなかなか厳しい。先の Maurage らと同じ論拠で、Messerli が示した相関性も個人レベルでも同様に認められるなら、彼の結論は注目に値し、世界中の学術機関は生涯の夢を現実化するために山ほどのチョコレートを購入するに違いないと皮肉っている。そして、チョコレート消費量の代わりに WHO の年齢標準化した冠動脈心疾患による死亡率のデータを適用すると、受賞者数との相関係数は 0.41 でチョコレート消費の場合よりは低い有意な相関が認められ、これは因果関係を実証するものであろうかと頭を捻っている。チョコレートとミルクの両者の消費量についてのデータは、西ヨーロッパあるいは北米など限られた国々に限られている。ノーベル賞受賞者のリストに載っている 72 の国家すべてを用いると、1人当たりの GDP（国内総生産）と受賞数との間の相関係数は 0.68 であり、この値は限られた国々でのチョコレート消費量との間の相関性とほとんど同じくらい高い。教育システムの確固さは GDP とノーベル賞受賞の両者とも関係するだろうから、この相関性は可能性が高い。

いずれにしても、納得のいく説明ができれば

相関性は大きな意義をもつことになる。後で述べるように、Linthwaite & Fuller⁷⁾ は牛乳の消費量との間にも同様な相関性があることを例示し、可能性のあるメカニズムを提示しているが、興味あることに、ノーベル賞は乳糖不耐性者の割合が高い、すなわちミルク消費量が少ない国々の人にも授与されている。牛乳との相関性は乳糖消費量と業績達成との間の因果関係によるものか、あるいは賞を授与した学問分野の専門家がたまたま特定の地域に集中していたことを反映しているためによるのであろうかと疑義を挟んでいる。

Li⁸⁾ は「経済とノーベル賞：チョコレートとミルクの背景にある原因」と題し意見を述べている。Messerli あるいは Linthwaite & Fuller はそれぞれチョコレートに含まれるフラボノイドあるいは牛乳に含まれるビタミン D の摂取が認知機能を改善するメカニズムを介して、国レベルでのノーベル賞獲得成功率を高めると論じているが、ここで2つの疑問が浮かぶと言う。まず、食習慣や食品の種類は世界各国で大いに異なる。例えばフラボノイドは茶にも含まれており、チョコレートや牛乳の場合と同様に茶の消費とノーベル賞との間にも相関性があるだろうか（相関性がないことは既に紹介した）。次に、食べ物や栄養素は国民レベルでの認知行動決定要因としては非常に漠然とした指標であるので、この疑問に対するより包括的で意義のある要素を加えるべきではないか。すなわち社会経済的構造である。国家間での社会的な不平等性と人々の健康不良との間には十分な証拠がある。国家間の社会経済的不平等さとノーベル賞受賞数との間に相関性はあるのだろうかと考え、先の2つの報告での手法を適用して、Wikipedia からノーベル賞受賞者についての国のリスト（2012年10月15日までの各国の1,000万人当たりの受賞者数）および2009年の国の1人当たりの茶消費量（kg単位）のデータと

2010～2011年での国の1人当たりのGDP（米ドル単位）の値を得て調べた結果、茶の消費とノーベル賞数との間に有意な相関は認められなかった（ $r = -0.05346, p = 0.6773$, 63カ国のデータ）。なお、先述したMaurageの解析では $r = 0.03, p = 0.88$ ）。しかし驚くべきことに、69カ国についての1人当たりのGDPと1,000万人当たりの総ノーベル賞数との間には明確な直線相関性があつた（ $r = 0.79535, p < 0.0001$ ）。MisserliおよびLinthwaite & Fullerは23ヶ国からのデータしか使っていないが、それらの国の内、20カ国がヨーロッパ、北米およびオセアニアの国々であり、いずれも高収入国で、かつノーベル賞受賞数が多い国である。さらに、チョコレートと牛乳はそこに住む人々にとってはポピュラーな食品である。ノーベル賞を受賞している40以上の中ないし低収入国は、彼らの分析には含まれていない。加えて、23カ国に限定した分析でも茶の消費とノーベル賞数との間に有意な相関は見られなかった（ $r = 0.07272, p = 0.7416$ ）が、1人当たりのGDP当たりではなお一定してノーベル賞数と相関性が確認された（ $r = 0.71144, p = 0.0001$ ）と記している。

食品の生産、選択そして利用は世界中で異なる。例えば、世界中のココアの80%はアフリカ（69%）とアジア（17%）で生産されている。これらの国々ではココアと容易にアクセスできるだろうが、それらの地域からのノーベル賞受賞者は非常に少ない。さらに、ココアとその産物（チョコレートを含む）の消費量は関連産業によって完全には把握されておらず、ココアの消費量が国内住居者によるものか国外からの訪問者に依っているのかははっきりしない。動物性食品の消費が最低の国もまたアフリカやアジアであり、それは経済的な不利と貧困によるものである。確かに、経済は食品選択に対する重大な要因である。

Li論文は、ノーベル賞と相関するマクロ社

会経済的な因子の解明を第二の目的としており、1人当たりのGDPを社会経済状態の指標として用いて、総ノーベル賞受賞数と十分に相関することを見出している。一般に、科学研究は個人の知力だけでなくマクロな環境事情に依存する贅沢な活動である。安定した政策的支持、継続した財政投資、そして好ましい心理社会的な支援や生活環境なしには、聡明な頭脳をもつ科学者でも先端的な成果を挙げることは難しい。

結論として、茶の消費は認知機能に有益であるが、ノーベル賞の獲得とは相関しない。一方、いろんな国での1人当たりのGDPとノーベル賞受賞者数との間には強い相関性が見られ、受賞数から判断すると科学的卓越性に対するマクロ社会経済的状态が決定的役割を果たすことを示唆している。

こうなると、ノーベル賞に近づくためにはよい教育環境をつくるのが最重要で、そのためには国の経済的基盤の確立が求められるわけであり、単に個々の食品や食品成分で片付けられるような問題ではない。

3. 牛乳でもノーベル賞が取れる？

「フラバノールが有効であるなら、チョコレート以外の食品（例えば茶や赤ワイン）にも同様な効果が期待できるのでは」とか、「フラバノール以外の有効成分があるのではないか」という考えがすぐに頭に浮かぶ。これまでに述べたように、茶と赤ワインの効果は認められなかったが、牛乳には相関性があることが言及されている。

2013年2月、チョコレートだけでなく牛乳でも同様な相関性があることが指摘された。Linthwaite & Fuller⁷⁾は、通常、チョコレートだけを食べることはなく、牛乳あるいはミルクチョコレートと一緒に食べる人が多いので、

牛乳消費量とノーベル賞との間に関係があるのではないかと考えた。FAOの牛乳消費量データとMisserliのデータを用い、1人当たりの牛乳消費量とノーベル賞受賞者数との間に有意な指数関数的相関 ($r^2 = 0.573, p < 0.0001$) があることを見出した (図3)。相関の強さはチョコレートの場合と同等であったが、多く摂取した場合には受賞数の増加はより大きくなる傾向が示唆された。チョコレート消費量との相関性についてはいろんな可能性が説明されているが、牛乳消費量は優れた教育体制を反映するものであろうか? 牛乳を飲むことだけでノーベル賞受賞者が輩出するのだろうか? 牛乳は認知機能の改善効果を示すビタミンDに富むので、メカニズムとして考えられそうである。加えて、牛乳との相関性の場合にはスウェーデンは例外国とはならず、Misserliが示唆したノーベル委員会の愛国的偏見説は無視できる。ともかく、ノーベル賞を取るチャンスを高めるためにはチョコレートだけを食べるのではなく、牛乳も一緒に飲もう。あるいはホットチョコレートとの相乗効果に期待しましょう? と言及している。

2013年3月、Loney & Nagelkerke⁹⁾ もまた牛乳効果に関し別の観点から持論を展開している。日本や中国のようなノーベル賞受賞数が少

なく、かつ牛乳消費量も少ない国では、成人の乳糖不耐性が多く見られるのに対し、スウェーデン、デンマーク、イギリスのような高ノーベル賞受賞国では乳糖不耐性は稀である。一方、乳糖不耐性の遺伝子状態が(成人の)牛乳消費量と緊密な負の相関を示すので、牛乳消費仮説(液体としてあるいはチョコレートとして)が確認されるならば、ノーベル賞を期待している研究機関は乳糖不耐性の学者を振り分けることも考えられよう。重要なことは、乳糖分解酵素の遺伝子は二番染色体にあり、その多型性は学術的業績の多少とも当てはまる。このような研究は疑いもなく科学的才能への新しい洞察を導き、高く聳えるノーベル賞受賞者の遺伝子ドーピングもまた可能としよう。このような議論まで生むに至っては、まさに学者の偏屈としか言えないようである。

なお、ブラックチョコレートとしては含まれるフラバノールはよく吸収されるが、乳タンパク質は吸収を抑える作用があるようであり、ホワイトチョコレートにはこれまで述べて来たような生理効果は期待できないことになる。いずれにしても、ミルクチョコレートの消費低下の原因がこのような点にあるのであれば、いささか心外でもある。ただし後述するようにココア

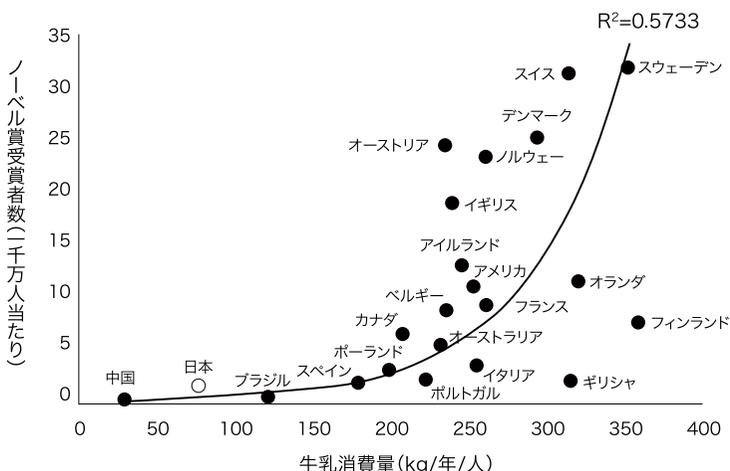


図3 各国の年間1人当たり牛乳の消費量とノーベル賞受賞者数との間の相関 (文献7)

に含まれるフラバノールのかかなりの部分はチョコレート製造中に失われていることも認識しておく必要がある。

4. ノーベル賞受賞者のチョコレート癖：アンケート調査

Misserli の論文を BBC NEWS MAGASINE は早々に取り上げ、報告の概要を説明した後に、ノーベル賞受賞者がどのくらいチョコレートを食べているかを確かめるために非科学的な調査を独自に行っている¹⁰⁾。ロンドン経済大学の Christopher Pissaides はチョコレート摂取が2010年のノーベル経済学賞の基礎を築いたと判断している。彼にとっては少年時代から生涯を通じチョコレートは食事の一部であり、毎日食べていた元気づけ食品の一つであった。ノーベル賞を獲得するためには他人が思い付かない思考が不可欠であり、気分を良くするチョコレートが少しは役に立つ。もちろんそれは主要因ではないが・・・よい人生に役立つもの、そしてよい人生観を与えるものは仕事の質に貢献すると述べている。

しかし、1996年のノーベル医学賞受賞者で、主にスイスで教育を受けた Roll Zinkernagel は、「私は例外である。なぜなら年間0.5 kg 以上のチョコレートを食べないし、食べてこなかった」。2005年ノーベル化学賞を協同受賞した米国人の Robert Grubbs はチョコレートを可能な限り食べたと言っている。ところが、Grubbs の同郷人である Eric Cornell (2001年のノーベル物理学賞受賞者) はロイターに「本質的に私の成功のすべては非常に沢山のチョコレートを食べていることに依存している。個人的には、ミルクチョコレートは頭を悪くすると感じている。・・・ブラックチョコレートが成功への道だ。すくなくとも、もしノーベル物理学賞が欲しいならダークチョコレートをできるだけ食べるべ

きである」と応えている。だが、このコメントを詳しく知るために彼に再接触したところ、「メディアに軽率な対応をしたことを非常に遺憾に思っている。科学者たるものは中立の目標を持つように努めるべきであり、ミルクチョコレートとかブラックチョコレートに帰属させるようなことを断言すべきではない」と前言を翻した。

科学者も黙っていない。より科学的解答を得ようと、カリフォルニア大学サンディエゴ校の Golomb は、何と23名の男性ノーベル賞受賞(物理・化学・生理学・医学および経済学)を対象に受賞対象となった研究を行っていた時点でのチョコレート消費状況についてアンケート調査を行ったのである¹¹⁾。医学・生理学賞を受賞した利根川博士も含まれているが、各受賞者のコメントは実に興味深い。

この調査で10名(43%)は1週2回以上チョコレートを食べていたと答えている。年齢・性別が対応する高等教育を受けた人237名についての調査では25%であったことと比べると、この値はかなり高い。3名はチョコレートの摂取は実際にノーベル賞に寄与したと述べたが、ほとんどの人は結び付きを否定した。2名はチョコレート癖に関係なく受賞したと応えた。幾人かの受賞者はチョコレートを食べることで、すなわち自然の力が受賞に導いたという印象を強めたと言え、控えめに語っている。しかし、例えチョコレートと寿命との間に好ましい相関があるにせよ、チョコレートの熱烈な愛好者はデザートだけでも生き延びることができようと思っている。要するに、受賞者の応答は半分冗談でもあったようである。

5. フラバノールは本当に脳の認知機能を改善するのか

最後に、今回の論争の根源となったフラバノールの健康機能について、脳の機能に焦点を

当て現状を紹介しておこう。

フラバノールには強い抗酸化作用に加え抗炎症作用があり、冠動脈の健全化に寄与することがわかっているが、最近、認知機能や行動にも影響する可能性が指摘されている。吸収されたフラバノールは、血液脳関門を通過して記憶や学習能力に関わる大脳の海馬領域に蓄積するが、とくにフラバノールの中でもエピカテキンは血液脳関門を通過しやすいようである¹²⁾。そして、次の2つの作用を介して学習機能、記憶能力、認知力といった脳機能に影響すると考えられている。1つは脳機能を推進する一連の神経保護タンパク質および神経調節タンパク質の発現を誘起する細胞内カスケードへの直接的な作用、もう1つは一酸化窒素(NO)生成促進を介した脳および感覚系における血流改善および脈管形成である。

カカオフラバノールの摂取が認知機能低下に対し保護的に作用することは、これまでに老化モデル動物などを用いた動物実験で示されているが、比較的長期間のヒト介入試験や観察研究でもいくらか報告がある。例えば、Desideriらが行ったヒト介入試験¹³⁾では、平均年齢71歳の軽度認知機能障害者90名(男性43名、女性47名)に8週間、カカオフラバノールを多量(990 mg/日)または中程度(～520 mg/日)摂取させたところ、少量(～45 mg/日)しか摂取させなかった場合に比べ、複数の認知症テストの結果に改善が認められ、その際、多量および中程度のフラバノール摂取によりインスリン抵抗性、血圧および過酸化脂質の血中濃度が低下したことも観察されている。

Camfieldらが行ったヒト介入試験¹⁴⁾では、平均年齢52歳の中年ボランティア63名に30日間、カカオフラバノール500 mg/日または250 mg/日をココア飲料として与えた際の脳機能への影響が調べられており、空間的作業記憶能力(正確さや応答時間)に摂取量依存的な影

響は観察されなかったものの、後部頭頂部および中側頭部・前頭部の各所で脳波に明確な変化が認められ、一連の記憶の過程(符号化、保持および検索)がフラバノール摂取により活性化されたことを示唆する結果が報告されている。そして、フラバノール摂取により脳が活性化されたことで、空間的作業記憶における神経効率が高められたと推察している。Francisらはヒトでの単回投与試験で、カカオフラバノール450 mgを摂取した2時間後に、大脳の血流量が有意に増加したことを報告している¹⁵⁾。

ところで、カカオ豆には多いもので20%のフラボノイドが含まれ、その主要な成分はフラバノール(カテキンおよびエピカテキン)である¹⁶⁾。フラバノール含量はカカオの品種や産地、栽培条件、製造条件などにより大きく異なる。チョコレートの原料となるココアパウダーを製造する際に品質改善の目的で行われるダッチプロセスとよばれるアルカリ処理によりココアパウダーのフラバノール含量は減少し、処理の程度によりフラバノール含量は35 mg/gから4 mg/g程度と大きく影響を受ける。チョコレートには通常30%以上(多いもので70%以上)のカカオ分(ココアパウダーやカカオバターなど)が含まれるので、チョコレートの種類次第でフラバノール含量は大きく異なるとことになる。なお、steam roastingすることによりフラバノールの損失を抑える方法が報告されている¹⁷⁾。

カカオフラバノールの脳機能についての研究はまだ限られている。一定の結論に達するためには、適当な摂取期間や摂取量、適切な脳機能評価法の選択などの課題が残されている。今後、機能核磁気共鳴(fMRI)、脳波検査(EEG)、脳磁図(MEG)のような脳機能イメージング技術もあわせて、長期的あるいは短期的なカカオフラバノールないしはチョコレートの摂取とヒトの認知機能や行動との関係が明らかにされ

ていくであろう。

6. まとめ：問題の落とし所

まず、この冗長な一文を最後までお読み頂いた読者には深甚の謝意を表したい。観察研究が決して因果関係を示すものではないことはよく理解されているが、それでもなお多くの研究者が真面目に論争する姿は滑稽にも見える。一面では自己主張精神の強さとも思われ、彼我の研究者養成の土壌の違いを痛感する。本来お遊び的一面がある Messerli 論文に、海外の研究者がこのように熱中するのを読むと、主張せざるを得ない財政的背景でもあるのかなど穿った妄想に落ち込みそうでもある。逆に、何もしないでほくそ笑んでいるわれわれの方が常軌を逸しているのだろうか。

いずれにしても、栄養が頭脳と不可分の関係にあることは言うまでもないが、チョコレートだけで解決しようとするのは到底無理なことはよく理解している筈である。とかく一つの食品（あるいは食品成分）に万事を期待しがちな日本人としては、全体像を見渡すことの大切さを学ぶよい機会であったと、理解しよう。

フラバノイドにはきわめて多様な機能性が知られている^{12-15, 18)}。さらに「性的な健康と機能」を向上させる可能性も推測されている¹⁹⁾。さ

あ、ブラックチョコレートを食べない手はないようである。それでも高砂糖・高カロリーを嫌うなら、既に市販されている高タンパク質（大豆・牛乳など由来のタンパク質）、低糖、低カロリーそして高食物繊維をうたい文句にするチョコレートバーをどうぞ。ただ、需要の増加は価格の上昇を招くことも肝に銘じておかれたい。ブラックチョコレートの消費は楽しみかそれとも治療のためか個人の判断に待つしかないが²⁰⁾、血圧に対するチョコレートの有益性は高齢者の中でも若齢者ほど明確のようであり、手遅れのないようにご注意ください²¹⁾。

最近の Mintel の報告によると (<http://tinyurl.com/Mintel-Choco>)、シカゴでの市場調査では米国成人の半数以上（51%）はお好みのプレーンチョコレートはミルクチョコレートで、ブラックチョコレートで35%、ホワイトチョコレート8%の順であった。フラバノール効果をどう理解するか、少々厄介であるが、それでもなお米国では2013年度でも多数のノーベル賞受賞者を輩出している。市場にはココア含量を高めた IQ Super Food Chocolate が出回り、さらに健康効果を高めた新しいチョコレート作りも展開されている²²⁾。さあ、一服して「神の食べ物」ココアたっぷりのチョコレートでも頬張りませんか²³⁾。

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

- 1) Messerli FH, Chocolate consumption, cognitive function, and Nobel laureates. *N. Engl. J. Med.*, **367**:1562-1564, 2012.
- 2) Jogalekar A, Chocolate consumption and Nobel prizes: a bizarre juxtaposition if there ever was one. *Scientific American*, November 20, 2012.
- 3) Kayser M, Editors' pick: Christmas is coming – time for chocolate to get ready for your Nobel Prize. *Investig. Genet.*, **3**:26, 2012.
- 4) Fo BA, Genius is 1% location and 99% mastication. *Pract. Neurol.*, **13**:66, 2013.
- 5) Maurage P, Heeren A, Pesenti M, Does chocolate consumption really boost Nobel award chances? The peril of over-interpreting correlations in health studies. *J. Nutr.*, **143**:931-933, 2013.
- 6) Dunstan F, Nobel prizes, chocolate and milk. The statistical view. *Pract. Neurol.*, **13**:206-207, 2013.
- 7) Linthwaite S, Fuller GN, Milk, chocolate and Nobel prizes. *Pract. Neurol.*, **13**:63, 2013.

- 8) Li J, Economy and Nobel prizes: cause behind chocolate and milk? *Pract. Neurol.*, 2013 Jul 23, doi: 10.1136/practneurol-2013-000545
- 9) Loney T, Nagelkerke N, Milk, chocolate and Nobel prizes: potential role of lactose intolerance and chromosome 2. *Evid. Based Med.*, **18**:120, 2013.
- 10) Pritchard C, Does chocolate make you clever?, *BBC NEWS MAGAZINE*, **19** Nov. 2012, <http://www.bbx.co.uk/news/magazine-20356613>
- 11) Golomb BA, Chocolate habits of Nobel prizewinners. *Nature*, **499**:409, 2013.
- 12) Nath S, Bachani M, Harshavardhana D, Steiner JP, Catechins protect neurons against mitochondrial toxins and HIV proteins via activation of the BDNF pathway. *J. Neurovirol.*, **18**:445-455, 2012.
- 13) Desideri G, Kwik-Uribe C, Grassi D *et al.*, Benefits in cognitive function, blood pressure, and insulin resistance through cocoa flavanol consumption in elderly subjects with mild cognitive impairment: the Cocoa, Cognition, and Aging (CoCoA) study. *Hypertension*, **60**:794-801, 2012.
- 14) Camfield DA, Scholey A, Pipingas A *et al.*, Steady state visually evoked potential (SSVEP) topography changes associated with cocoa flavanol consumption. *Physiol. Behav.*, **105**:948–957, 2012.
- 15) Francis ST, Head K, Morris PG *et al.*, The effect of flavanol-rich cocoa on the fMRI response to a cognitive task in healthy young people. *J. Cardiovasc. Pharmacol.*, **47**: S215–S220, 2006.
- 16) Miller KB, Hurst WJ, Payne MJ E *et al.*, Impact of alkalization on the antioxidant and flavanol content of commercial cocoa powders. *J. Agric. Food Chem.*, **56**:8527-8533, 2008.
- 17) Zzaman W, Bhat R, Yang TA, Effect of superheated steam roasting on the phenolic antioxidant properties of cocoa beans. *J. Food Process. Preserv.*, 20 Oct 2013, doi: 10.1111/jfpp.12166
- 18) Sokolov AN, Palova MA, Klosterhalfen S, Enck P, Chocolate and the brain: neurobiological impact of cocoa flavanols on cognition and behavior. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **37**:2445-2453, 2013.
- 19) Bianchi-Demicheli F, Sekoranja L, Pechere-Bertschi A, Sexuality, heart and chocolate. *Rev. Med. Suisse*, **9**:624, 626-629, 2013.
- 20) Lippi G, Franchini M, Montagnana M *et al.*, Dark chocolate: consumption for pleasure or therapy? *J. Thromb. Thrombolysis*, **28**:482-488, 2009.
- 21) d' El-Rei J, Cunha AR, Burla A *et al.*, Characterisation of hypertensive patients with improved endothelial function after dark chocolate consumption. *Int. J. Hypertension*, **2013**:Article ID 985087, doi: 10.1155/2013/985087
- 22) Van Damme I, Rheological aspects of chocolate with an improved health profile. *New Food*, **16** (Issue 4):40-44, 2013.
- 23) 佐藤 清隆, 古谷野 哲夫, カカオとチョコレートのサイエンス・ロマン. 幸書房, 2011.

知っておきたい日本の食文化

その四 肉食を禁忌してきた食文化

橋本 直樹 (HASHIMOTO Naoki) *

* 食の社会学研究会

Key Words : 肉類・肉食・食文化・食習慣・家庭料理・和食・洋食・中華料理

1. 仏教信仰から始まった肉食の禁忌

伝統的な日本食の特徴は、米を主食にすることと獣肉を食べないことであった。肉食をしなかったことは仏教信仰と深い関係がある。仏教が日本に伝来してきたのは欽明天皇の13年(552)、百済の聖明王が仏像、経典と僧侶を送ってきたときである。推古天皇は推古2年(594)に仏教興隆の詔を出し、執政、聖徳太子は法隆寺、四天王寺などを建立した。仏教は朝廷の保護を受けて国家仏教の性格を強め、聖武天皇は国家の平安を祈願するために 都に東大寺、全国の国府に国分寺、国分尼寺を造営させた。

仏教信仰が広まると、殺生禁断の戒律を守るために天武天皇の4年(675)に肉食を禁止する詔が公布された。農耕が忙しい4月から9月までは牛、馬、犬、猿、鶏を殺して食べてはならないという命令である。民衆の多くはまだ仏教の殺生戒律を知らなかったから、狩猟、漁撈を全面的に禁止することはできなかったであろう。そこで、殺生禁止の詔はその後、何回も繰り返して発布された。なかでも、聖武天皇は天平17年(745)に3年間、一切の禽獣を殺してはならないと厳しく命じている。中国では殺生禁断の戒律は寺院の僧侶だけで守られ、民衆

に強制されることはなかったが、わが国では仏教が国家権力と結びついていたため、一般民衆にまで肉食禁止が強制されたのである。

それでは、昔の日本人は動物の肉を全く食べていなかったのかと言えばそうではない。縄文時代には猪や鹿などの肉は貴重なタンパク源であり、貝塚からは多くの獣骨が出土する。弥生時代には野獣、野鳥はもとより、家畜として飼っている牛、馬、豚や犬、鶏なども食用にすることがあった。中世になって仏教信仰が民間に広まってからでも、野獣や野鳥を食べることは止まなかった。武士が武術修練のために狩猟を行い、その獲物を食べるのはごく普通のことであり、農民は農作物を荒らす鹿や猪を捕えて、その肉を健康の維持、病人の体力回復のために「薬喰い」していた。雉、鶴、鴨、鶉などの野鳥は上流階級に高級食材として使われ、江戸の市中には鹿肉を「もみじ」、猪肉を「ぼたん」あるいは「山くじら」と呼んで食べさせる店があった。

しかし、宮中から始まった肉食の禁忌は次第に一般民衆の食生活を規制するようになっていく。中世になり仏教信仰が民間にまで広まると、肉食をすることは仏教で禁じている殺生に反する行為であり、忌むべきこと、穢れた行為であ

ると考えて、牛、馬、鶏、そして卵を食べるのはタブーとなったのである。殺生を穢れとする意識は殺生の対象となる生き物が人間に近いほど強い。農耕に使う牛、戦闘に使う馬、身近に飼う犬、鶏を殺すことは嫌うが、野生の獣、鳥、魚を獲ることはそれほどでもない。川や海で魚介類を獲ることは動物性タンパクを手に入れるために止めなかったが、家族同様に暮らしている牛馬、そして犬、鶏を殺して食べることは躊躇したのであろう。江戸時代になると鶏と卵は食べるようになったが、牛馬は明治維新に肉食が解禁されるまで頑として食べなかった。東南アジアの米作地帯では残飯で豚を飼って食用にするのが普通であるが、日本では平安時代以降は豚を飼うことも止めてしまった。

しかし、仏教では牛乳を飲むことを禁じていないので、奈良時代には牛乳はもとより、「酥」、「酪」、「醍醐」などの乳製品が宮中で愛用されていた。しかし、民衆の嗜好には合わなかったためか、平安時代以降は牛乳を飲み、乳製品を食べる習慣は廃れてしまった。わが国では牛馬は農耕、労役に使うための動物であり、食用、乳用に利用することはなかった。日本の食料生産はあくまでも稲作が主体であり、地形の制約もあって食用、乳用にするため多数の家畜を飼育する牧畜を行なわなかった。

獣肉を食べることしなくなった日本人は、魚介類、野菜、海藻、茸などをおいしく調理する日本料理を考案するのである。日本料理は殺生禁断の戒律を守って獣肉、魚介類を使わない禅院の精進料理を基本にして発達したのであり、鰹節、昆布、煮干し、干し椎茸などで出汁(だし)を採って汁物や煮物に使うのは日本人が考案した革命的料理法であると言ってよい。

タンパク質や脂肪の多い肉類を使う料理であれば肉からうま味が出るが、うま味が少ない野菜をおいしく料理するには出汁を欠かすことができない。昆布のうま味成分、グルタミン酸と

鰹節のイノシン酸、あるいは干し椎茸のグアニル酸と一緒に合わせると相乗効果でうま味が数倍に増すことを経験的に知ったのであろう。西欧では「味」を酸甘塩苦の4つの基本味(四原味という)で説明しているが、そのほかに出汁の「うま味」があることを発見したのは日本人である。うま味や出汁に相当する外国語はないから、今では「UMAMI」、「DASHI」が国際的に通用している。

昆布を味付けに使うのは、室町時代に蝦夷地(北海道)から運ばれてきた昆布を京都で味付けに使ったのが始めらしく、江戸時代になると大量の昆布が江戸にも運ばれた。鰹の煮干しを作るときの煮汁を煮詰めた煎汁(いろうり)は奈良時代から調味に使われていたが、煮干し鰹を燻煙し、青カビをつけて脂肪やタンパク質を分解させてうま味を引き出す現在の鰹節の製法が考案されたのは江戸時代である。淡口醤油と昆布の出汁で調理する薄味の京料理に対して、江戸料理では濃口醤油と鰹節の出汁を使う。味噌も関西では大豆と米で作る甘い白味噌を好み、関東では大豆と麦で作る塩味の強い赤味噌が好まれている。

2. 明治維新になって肉食を解禁した

明治維新になり、日本の社会は「文明開化」をスローガンにして欧米の先進文明を積極的に吸収し、殖産興業、富国強兵の近代化路線を歩み始めた。食生活においては欧米の肉料理を滋養のある進歩的なものとして受け入れることが近代化の始まりであった。欧米を視察して帰朝した福沢諭吉は「西洋衣食住」を著して、西洋風に肉を多く食べる食事をすれば日本人の貧弱な体格を改良できると推奨したが、肉食は容易には普及しなかった。日本にはそれまで千二百年の間、殺生を禁じる仏教戒律を守り、肉食は忌むべきもの、穢れたものとする習慣が広

く定着していたからである。

そこで、それまで日本の食生活を拘束してきた肉食の禁止令を解くために、明治4年(1871)、宮中で率先して肉食を解禁し、天皇の食事に牛肉、羊肉を使い、在日外国人高官を招く天長節祝賀の晩餐会にはフランス料理を出すことになった。このことが新聞で報道されると、たちまちいくつかの府県で肉食奨励の布告が出されたのである。

明治10年ごろになると、東京、横浜、函館や神戸には本格的な西洋料理を提供するホテルやレストランが相次いで開業したが、お客は外国人、貿易商、軍人と高級官吏ばかりであった。米、魚、野菜、味噌、醤油に慣らされてきた日本人の舌には、牛肉、牛乳、バター、コーヒなどはなじみにくいものであり、テーブルと椅子、ナイフとフォークも使いにくいものであった。庶民は高価な西洋料理には手が出せないから、安い牛鍋屋に出かけた。牛鍋は牛肉を鉄鍋で焼き、葱と一緒に味噌あるいは醤油と砂糖で煮る和風味であったから抵抗が少なかった。当時、牛肉は1斤、600グラムが16銭もする高価なものであったが、牛鍋は一人前5銭で食べることができた。「牛鍋を食わねば開けぬ奴」と西洋かぶれの人々に大流行し、東京だけで五百数十軒の牛鍋屋が繁盛したという。

政府は国民の疾病予防、体位の向上を目的として栄養知識の啓蒙に努め、牛肉、牛乳、乳製品の摂取を奨励したが、依然として肉食を穢れとして嫌う人は多く、欧米風の牛肉料理は容易には普及しなかった。それでも、女学校で始まった栄養教育と調理実習、それに新聞、婦人雑誌などの料理記事、また、軍隊の給食にパン、牛肉料理を採用したことが肉食の普及に役立った。当時、軍隊における食肉の消費量は民間の20倍も多く、日清、日露戦争の戦地で牛肉大和煮の缶詰を食べた兵士はそのおいしさに驚いたのである。

西洋料理と言えば牛肉だけでなく、パン、牛乳、バター、コーヒ、紅茶がつきものである。東京では明治2年、木村安兵衛がオランダ人にパンの製造を習ってパン屋、文英堂(後の木村屋)を創業し、パン生地を酒麴で発酵させ、小豆餡を芯に包んで焼いた「餡パン」を発売して大人気を博した。しかし、続いて発売されたジャムパン、クリームパンなど菓子パンの需要は増えたが、ご飯の代わりに食パンが食卓に並ぶことはなかった。主食としてパン食が普及するのは第二次大戦後の学校給食にパンが使われてからのことである。

バターは明治19年に国産化に成功したが、バター料理はその匂いが嫌われて普及しなかった。牛乳は滋養になるというので乳児用、病人用に飲まれるようになり、家庭への配達も明治7年に東京で始まっている。コーヒもすぐには普及せず、東京の町に喫茶店が増え始めるのは明治末年のことである。ワイン、ウイスキー、ビールなどの洋酒も物珍しいだけで需要は少なく、明治末年になっても酒は日本酒の独壇場であった。西洋料理に使う野菜も移入され、ジャガイモとタマネギ、キャベツはすぐに栽培が広まったが、セロリ、パセリ、カリフラワー、トマト、ピーマン、レタス、アスパラガス、マッシュルームなどが普及するのは第二次大戦後のことになる。

それでも、明治30年ごろになると東京の中流家庭では時々、洋食を食べるようになるが、農村では依然として牛肉を食べなかった。全国的に見れば、当時の肉の消費量は一人あたりにすると、現在の20分の1、1日にわずか4グラムに過ぎなかった。明治末年から大正時代になると、西洋料理が和洋折衷型の「洋食」に形を変えて庶民の食生活に入ってきた。米飯に合うおかずとして考案されたカツレツ、カレーライス、コロケ、少し遅れてトンカツが町の洋食屋で人気を集めた。日本橋の三越デパート

仮名垣魯文著「安愚楽鍋」1871年刊の挿絵



図1 牛鍋屋が繁盛した

に大正11年、洋食堂が開かれると、オムレツ、ハヤシライス、サンドイッチ、チキンライスなど洋風料理を主婦や子供が楽しめるようになった。次いでながら、串カツ、エビフライ、カキフライやハヤシライス、オムライスなどは日本にしかない洋風料理なのである。

3. 日本食の栄養改善が進んだ

明治から第二次大戦前までの家庭の食事は、ご飯が主であり、おかずは野菜、大豆、魚の一汁二菜という和食が中心であった。日本人が食べ続けてきたこのような食事は栄養素の摂取の大部分を米食に頼っているから、ともすれば栄養バランスが悪くなりがちである。明治44年から大正4年までの5年間の食料摂取状況を見てみると、国民1人当たりの食料カロリー摂取量は1日、2124キロカロリーであるが、その93%を米、麦、芋、豆に依存していたのである。

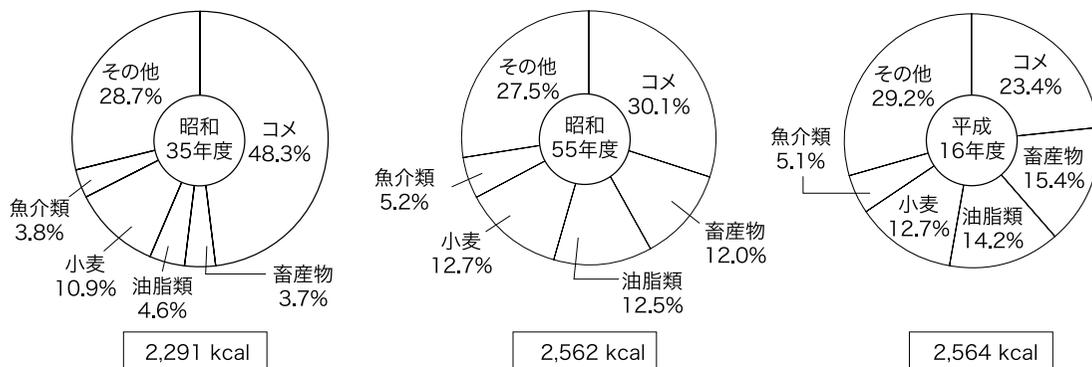
明治時代、収入の少ない家庭では朝は味噌汁と漬物、昼はめざし、煮豆、福神漬、夜はがんもどきの煮つけ という粗末なおかずでご飯を食べていた。製糸工場で働く女工の食事は、1日に4合のご飯、おかずは朝、夕が味噌汁と漬物のみ、昼は野菜の煮物であり、干鰯、塩鮭や

生り節などが食べられるのは月に数回に過ぎなかった。明治43年、朝日新聞に連載された長塚節の小説「土」には茨城県、鬼怒川沿いの貧しい農村が描かれている。小作人の食事は米が申しわけほどに入った麦飯に、おかずと言えは青菜や大根の漬物だけであり、飼っている鶏の卵も食べずに売っている。

大正、昭和前期になると、都市の家庭では副食が少し増えて、朝は味噌汁、納豆、佃煮、漬物、昼は塩鮭、野菜の煮物、漬物、夕食には鯖の味噌煮、切干大根と油揚げの煮物、漬物、時にはコロッケ、トンカツ、カレーライスを食べるようになった。しかし、農村では明治の頃とさして変わらぬ自給自足の食事を続けていて、麦飯と味噌汁、漬物、野菜の煮物が主であり、塩鮭や干物を食べるのは月に5～6回の贅沢であった。

このような米、麦、大豆などが中心の食事は第二次大戦前まで大きくは変わらず、食肉、魚介類、鶏卵、食用油などを摂ることはごく少なかったから、タンパク質の摂取比率は総エネルギーの12%、脂質は6%と少なく、栄養素のバランスが極めて悪い食事であった。したがって、国民の体格は欧米人に比べて貧弱で、栄養不足による感染症が多く、平均寿命は男性45歳、女性47歳と短いものであった。

そこで、第二次大戦後は米食に偏った食生活から脱却して、肉料理、油料理を多く摂る欧米型の食事を摂って栄養状態を改善する指導が行われた。その結果、戦前と現在で1日の食料を比較してみると、米の消費は半分以下に減り、油脂類の消費が15倍に、肉類は13倍に、牛乳、バターなど乳製品は28倍と大きく増加したのである。昭和50年頃になると米や麦、芋など澱粉質から摂るカロリーは全体の6割に減り、残りの4割をタンパク質と脂肪から摂るようになったから、タンパク質、脂肪、炭水化物の摂取比率がほぼ理想的なバランスになった。それ



国民1人1日当たりの供給エネルギー構成による
日本フードスペシャリスト協会編 フードスペシャリスト論 建帛社 2007年より

図2 米の消費が減り、畜産物、油脂類の消費が増えた

で成人の身長は平均で10センチ伸びて、平均寿命が男性は81歳、女性は87歳に伸びて世界有数の長寿国になったのである。

4. 家庭の食事が急速に洋風化した

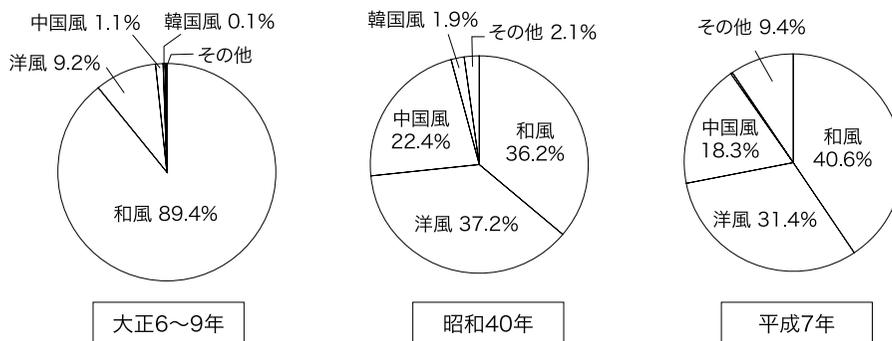
西洋風の肉料理が家庭に本格的に普及するのは第二次大戦後のことである。そのきっかけになったのは敗戦によってアメリカ軍の駐留を受け、彼らが食べている肉料理や乳製品の多い欧米風の食事を知ったことである。そして、朝鮮動乱によって経済が復興し、その後も高度経済成長が続いたので国民の所得が増え、欧米風の肉料理、油料理を食べる余裕ができたからである。

政府は国民の貧弱な栄養状態を改善するため、キッチンカーを全国に巡回させて肉料理、油料理のレシピを紹介した。昭和27年から始まった学校給食により、パンとミルク、魚のフライ、カレーシチュー、ポタージュスープ、マカロニサラダ、グラタン、八宝菜などの給食を全国1500万人の児童、生徒が成長期の9年間、毎日食べたことも、児童たちの栄養改善に役立っただけでなく、家庭でのパン食の普及、

おかずの洋風化を促進することになった。かくして、朝食はパン、牛乳、卵、ハムという家庭が増え、夕食の食卓にハンバーグ、ビーフステーキ、カレーライス、トンカツ、焼き肉などが並ぶようになるのである。昭和35年になると食肉の消費量は戦前の2倍、1日、14グラムに増え、現在では食べられてきた魚の消費量を追い越して80グラムになっている。

これに対して、和食の人気は低落している。肉料理、油料理の多い洋風、中華風の料理が歓迎され、ご飯を主体にして魚と野菜のおかず、味噌汁と漬物という戦前までの日本食、つまり「和食」は少なくなった。日本食とか和食という呼称は日本酒、日本茶、日本蕎麦などと同じで戦後から使われるようになった用語であり、それまで日本人が日常的に食べていた料理を戦後急に普及した欧米料理や中華料理と区別するために使われている。かつては明治の文明開化によって、近くは第二次大戦での敗戦を経験して、肉、ハム、ソーセージ、バター、チーズなどを多く使う欧米風の料理が多くなり、家庭の日常食はかつてなかったほど大きく変わったのである。

現在、家庭で食べている「おかず」を調査し



婦人雑誌に掲載された料理記事 2054 件を分類した。
江原絢子, 石川尚子, 東四柳祥子著 日本食物史 吉川弘文館 2009 年より

図 3 家庭食に洋風料理, 中華風料理が増えた

てみると、焼き魚、刺身、野菜の煮物、きんぴらごぼう、和え物、冷奴、味噌汁、漬物などの和風料理が少なくなり、ハンバーグ、トンカツ、魚フライ、ビーフステーキ、カレーライス、シチュー、グラタン、コロッケ、肉じゃが、野菜サラダなどの洋風料理、餃子、鶏肉唐揚げ、酢豚、焼肉、野菜炒め、マーボー豆腐など中華風料理が増えている。副菜はまだ和風の料理であるが、主菜は洋風、中華風のものが多い。

大正年間の婦人雑誌の料理記事はほとんど全部が和風料理で占められていたが、現在、テレビの料理番組や書店に並ぶ料理レシピ本で紹介されるのは和、洋、中華、そしてそれらの折衷料理である。諸外国の料理を積極的に受け入れ、日本風アレンジしていつの間にか家庭の

定番料理にしているのに驚かされる。戦前の家庭食は和食メニューが9割を占めていたが、昭和40年には洋風料理や中華風料理が増えて和風料理は4割に激減している。世界のどの国でも家庭ではその国の伝統の料理を食べることが多く、日本のように外国風の料理が家庭にまでどっぷり入り込んでいるのは世界的にみてきわめて珍しい。

このような家庭食の変化は特に昭和35年から昭和60年頃までに急速に進んだ。終戦から数えて僅か40年ほどの短い期間に、それまで千年も続けて食べてきた民族食の和食が一変して欧米風になるという急激な変化が起きた国は世界のどこにも見つからない。

“地域密着でキラリと光る企業”

純米酒を復活させた『玉乃光酒造株式会社』

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

Key Words : 純米酒・米 100%・二日酔いなし・醸造アルコール無添加・酒米・水・米麴・商品開発・伏見の酒・伝統文化

はじめに

玉乃光酒造株式会社は初代、中屋六左衛門が、和歌山市寄舎町にて、紀州国紀州藩の第二代藩主、徳川三貞(家康の孫)の免許で延宝元年(1673年)に創業した。玉乃光の酒銘は、代々の六左衛門が紀州熊野の速玉(はやたま)神社に帰依しており、主神たる「イザナギノミコト、イザナミノミコトの御魂が映える」との意味を込めて命名されたと伝えられている。現会長福時は十一代目である。

1964年(昭和39年)に業界に先駆けて、アルコール、糖類を添加しない「無添加清酒」(今日の純米酒)を発売した。日本の伝統文化である清酒の本来の姿は米100%の純米酒であると主張してきた。「よい酒づくりは、よい米づくりから」の信念のもとに、酒米生産地の篤農家との契約的な栽培により、良質の酒米づくりに取り組んでいる。さらに、よい米づくりはよい土づくりであると考え、有機肥料による土壌づくりも十数年前より行っている。また、一生懸命つくられた酒米を責任を持ってお酒にするため、精米業者にまかせず自社工場にて、ていねいに精米をしている。入荷した最高級の酒米を大切に手造りで仕込み、日本固有の伝統文化である純米吟醸酒づくりに磨きをかけ、今後も真に米100%の良さを伝えていきたいと考えてお

られる。純米酒を復活させた玉乃光酒造十二代蔵元の宇治田宏氏に日本酒の歴史、玉乃光酒造の歩みと今後の展開について伺った。

1. 日本酒の歴史

1) 神話の時代

日本の酒の成立をたどると、3世紀に書かれた『魏志東夷伝』(ぎしとういでん)(魏志倭人伝)の中に「喪主泣シ、他人就ヒテ歌舞飲酒ス」<父子男女別無シ、人性酒ヲ嗜ム>といった酒に関係する記述を見つけることができる。ただし、それが米の酒なのか、また、液体かゆ状のものか、他の穀類、果実から造られた酒なのかは不明である。

2) 弥生時代

酒が米を主体として造られるようになったのは、縄文時代以降、弥生時代にかけて水稲農耕が渡来定着した後で、西日本の九州、近畿での酒造りがその起源と考えられる。この頃は、加熱した穀物を口でよく噛み、唾液の酵素(ジアスターゼ)で糖化、野生酵母によって発酵させる「口噛み」という、最も原始的な方法を用いていた。酒を造ることを「醸す」というが、この語源は「噛む」によるといわれている。この「口噛み」の酒は『大隅国風土記』等に明記されて

いる。「口噛み」の作業を行うのは巫女に限られており、酒造りの仕事の原点は女性からであるということが伺える。



古墳時代のはぞう（須恵器）
（管から酒を吸う用具であった。）

3) 大和時代

この時代、徐々に国内に広まっていった酒造りは『古事記』『日本書紀』『万葉集』『風土記』などの文献に見られるようになる。また「サケ」という呼称ではなく「キ」「ミキ」「ミワ」「クシ」などとさまざまな呼ばれ方をされていた。鳥根県の出雲地方に「八塩折の酒」(やしおりのさけ)の逸話が残っている。ヤマタノイロチを退治する際にスサノオノミコトがオロチを酔わせて退治したという酒で「何度も何度もくりかえし醸造した良い（濃）酒」であった。「神々の酒」「天皇の酒」の時代である。また、古代の酒は食物的な要素が強く、固体に近い液体を箸で食べていた。



鳥根県出雲大社内にある須佐之男の銅像

4) 奈良時代（710～794年）

奈良時代初期、周の時代の中国で開発された麴による酒造りを百濟から帰化した“須須許里”

（すすこり）が伝承したと古事記に記されており、この麴が、“加無太知”（かむたち）と呼ばれている。これにより、米麴による製造法が普及するようになる。律令制度が確立され、造酒司（さけのつかさ）という役所が設けられ、朝廷のための酒の醸造体制が整えられ、酒造技術が一段と進んでいったことがうかがい知れる。



奈良時代の酒器（須恵）

5) 平安時代（794～1192年）

平安時代初期に編纂された『延喜式』（えんぎしき）には「米」「麴」「水」で酒を仕込む方法、さらにはお爛に関する記載がされている。この時代の政治はすなわち祭事であり、その際のハレの日の食事として酒は不可欠のものであったが、宗教儀礼的要素が強く、ひんぱんに庶民の口に入ることはなかった。また、この時代から発展していったものに「僧坊酒」がある。中世の寺院で醸造され、非常に高い評価を受けた。高野山の「天野酒」（あまのさけ）、奈良、平城の「菩提泉」（ぼだいせん）がとくに有名である。



桶師『人倫訓蒙図彙』より

6) 鎌倉・室町時代 (1192 ~ 1573 年)

平安末期から鎌倉、室町にかけ、質素を旨とする気風は守られながらも都市化が進み、商業が盛んになるにつれ、米と同等の経済価値を持った商品としての酒が流通する。朝廷の酒造組織にかわって寺院、神社が酒を造るようになり、京都を中心に造り酒屋が隆盛し始める。京都の「柳酒屋」「梅酒屋」などが大手の酒屋として記録に残っている。南北朝から室町初期の『御酒之日記』(ごしゆのにつき)によると、化学知識などの学問がないこの時代に、今でいう麴と蒸米と水を2回に分けて加える段仕込みの方法、乳酸醗酵の応用、木炭の使用などが、明確に記されている。この頃に現在の清酒造りの原型がほぼ整ったことになる。



左) 麹売り『七十一番職人歌合』より
右) 酒売り『七十一番職人歌合』より

7) 安土桃山時代 (1582 ~ 1600 年)

一方、大桶を作る技術の完成によって、瓶や壺で少量ずつ仕込んでいた頃よりも、生産量が飛躍的に増大し、まさに近代清酒工業の基盤が確立されることになってきた。また、この時代には異国文化の到来と共に、蒸留技術が伝来し、日本における蒸留酒(焼酎)造りの原形ができた。



桶師『今様職人尽百人一首』から

8) 江戸時代 (1603 ~ 1867 年)

江戸時代初期頃までは、新酒(しんしゅ)、間酒(あいざけ)、寒前酒(かんまえざけ)、寒酒(かんざけ)、春酒(はるざけ)と1年間に計5回仕込まれていたが、中でも冬期における「寒造り」が最も優れていることが明らかになり、優秀な酒造りの技術集団の確保がしやすい時期であることと、低温・長期発酵といった醸造条件の上からも重要視されるようになった。

1698年(元禄11年)には2万7,000件もの酒造場があったと記録されている。天保年間、酒造用水の水質の重要性が広く知られるようになり、鉄分が少なく、有効ミネラルに富んだ水が酒造りにいかに重要であるかを実証することになった(灘の宮水等)。

江戸中期、海運の発達や問屋組織の確率と共に、酒造りが「地の酒」を超越して巨大な装置産業へと発展していった。最も台頭してきたのが灘の酒であり、樽廻船という船に積み込み江戸へ運ばれ、庶民の絶大な人気を誇るようになった。酒の消費が増えるにつれて、米を大量に使用する酒造りを統制することが、米価安定のための重要な政策となった。米価を高騰させる原因となる「端境期の酒蔵」は、禁止されねばならなかったのである。

こうして、「寒造り」が制度として慣例のようになると、清酒は限られた期間中に、「貯蔵性の良いもの、アルコール分が高いもの」と、長持ちしていかに効率よく量産できるかが、最重要課題となってきた。そのために、仕込み技術の改良・合理化が進み、酒造りの労働力を農閑期の農民の出稼ぎに頼るようになってきた。これが、職業として確立した「杜氏」である。



伊丹の酒造りの図

左上は足踏みによる米搗き、下は洗米作業。
『摂津名所図会』より

9) 明治時代 (1869 ~ 1912 年)

新政府のもと富国強兵策がとられ、国は税金の収集を強化し始めた。

「酒税」もその対象となり、自家醸造が「密造」とされ完全に禁止になった。

明治 15 年には、酒造場が 1 万 6,000 件、生産量は 55 万 kl だと記録されている。また、それまで木樽や小壺に入れ量売りをされていた酒が、明治 19 年にビン詰めが行われ始め、明治 42 年には 1 升びんが開発された。同時期に、速醸法が編み出され、国立の醸造試験所が開設。化学理論が酒の製造に不可欠の要素として広く認識されるようになった。



醸造試験所

10) 大正・昭和・戦中 (1900 年 ~ 1945 年)

大正時代に 1 升ビンが普及し始め、昭和初期に堅型精米機の発明、温度管理や微生物の管理が容易なホーロータンクの登場、6 号酵母の採取、分離、純粋培養といった技術革新が相次ぎ、昭和 10 年 (1935 年頃までに酒造に近代化・効率化を迎えるのに必要な計器機器類はほぼ揃う。

昭和 3 年 (1928 年)、昭和 5 年、昭和 7 年と 3 回連続で全国清酒品評会で優等賞を受賞した秋田県秋田の『新政』(あらまさ)の秋田流低温長期醗酵が注目を集め、ここから分離された「新政酵母」が昭和 10 年 (1935 年)に、第 6 号酵母となった。第 6 号酵母は現在も使われている酵母としては最も古い清酒酵母であり、また、低温長期醗酵はのちの吟醸酒造りの原型となった。

昭和 5 年 (1930 年)ごろ、広島県西条町 (現在の東広島市)の佐竹利市 (精米機メーカーのサタケの創業者)が米の形を保ったまま高度精米ができる堅型精米機を発明し、果実様の吟醸香を持つ酒の製造が容易になった。これにより吟醸酒造りが飛躍的に発展する機運が高まった。

現在、株式会社サタケとして広島県東広島市西条西本町に広島本社がある。
業種は食品産業総合機械および食品の製造販売である。
代表は佐竹利子氏。

酒米は、後に「酒米の王者」として全国に君臨することになる山田錦が、兵庫県立農事試験場において 1923 年 (大正 12 年)に山田穂と短稈渡船を交配させ、昭和 11 年 (1936 年)に兵庫県奨励品種として登場した。ただし、山田錦が普及したのは昭和 15 年 (1940 年)の臨時米穀配給統制規則により県をまたがる米の移出入が制限されるようになったため、灘の大手酒造場が兵庫県産米を使用せざるを得なくなってか

らのことである。戦前の品評会・鑑評会の上位を占める酒には、雄町がもっとも使われていた。

【経済統制化】

しかし、昭和14年に米の統制が始まり精米が制限されるようになると、酒造場の統制が始まり生産量が通常の半分に制限されるようになった昭和18年(1943年)には特級、1級、2級という級別制度が始まる。級別の分け方は昭和19年に一級～三級、昭和20年に一級～二級、そして昭和24年に特級・一級・二級となり、この級別制度は平成4年(1992年)まで続いた。

【アルコール添加法開発】

昭和16年(1941年)、太平洋戦争が始まり米不足に拍車がかかった内地では、昭和17年、食糧管理法が制定され、酒造米も配給制となった。このような中『白鶴』嘉納合名会社の嘉納純社長が、満州の自社工場(奉天市の嘉納酒造)におけるアルコール添加酒の実績を当時の賀屋興宣大蔵大臣に進言し、日本政府も清酒増産のためにアルコール添加が最も近道と考えるに至った。そこで醸造試験所で昭和17年11月に試験醸造を行い、昭和17酒造年度に55の酒造場で試験醸造を行った。

このときの当局から各酒造場に対する指示事項によれば、白米10石の醪につきアルコール30度換算のもの5石以内(白米1トンあたり100パーセントのアルコール180リットル)を限度とした。これに伴い、昭和18年、政府は清酒の原料にアルコールを追加できるよう酒税法を改正、また、アルコールを酒類製造業者へ売り渡すことができるようアルコール専売法を改正するなど関係法令の整備をおこなった。このようにしてアルコール添加による清酒増量(増醸)が実用化されたが、アルコールの精製が悪いと香気を損じ、アルコール味を残し酒の旨味やゴク味が乏しくなる。また、割水すると酸が希薄になり、従来に比べてPHの値がアルカリ性に傾くため、市販酒には火落ちするものも出ると

いった欠点が生じた。これを補うため、甘味成分の増強を目的とする四段添加や、乳酸・コハク酸・クエン酸などを添加する補酸が行われた。昭和18年(1943年)には酒類もすべて配給制となり、同時に日本酒はもっぱら闇市場で取引されるようになった。酒の闇値はほぼ半年で2倍の割合で上昇していった。横流しの酒のほか、家庭に配給された酒までが換金のために闇へ流されるようになった。昭和19年には、内地の全酒造場でアルコール添加酒が製造されるようになったが、識者から日本酒の純粋性と品質低下を招くとの根強い批判があったために、大蔵省は、アルコール添加酒を原則として清酒三級として取り扱うよう通達を出した。

11) 戦後～現在(1945年～)

【国民の食生活の変化】

余裕ができファッションに関心が向き始めた日本人に対して、「お米は太る。パンでスタイルを良くしましょう」といった、科学的根拠に乏しい宣伝も盛んになされた。経済企画庁の発表する生活革新指数も、国民生活の「革新」の度合いを測るのに「穀物消費中のパン支出割合」が一つとして採用され日本人はしだいに主食を米からパンへと乗り換え、食生活が和風から洋風になっていった。

1950年代後半は洋酒、とりわけ気軽に飲めるビールの伸長がめざましく、昭和34年(1959年)日本麦酒からサッポロ缶ビールが発売された。当時はまだスチール缶であったが手軽さが受け、ビールは瓶から缶で流通する時代に入っていき、やがて自動販売機で手軽に入手できるようになる。このことはのちに1980年代、日本酒のシェアが急速にビールに奪われていく素地となった。昭和35年10月1日、政府によって昭和14年(1939年)4月に定められた酒類の公定価格が撤廃され、酒の値段は市場原理に沿って決められるようになった。当時、酒類市場は飽和に達しつつあり、瓶や缶など手軽な容

器の浸透と、潤沢な供給の実現によって「飲みたいときに飲みたいだけ飲める」世の中になっていた。昭和43年(1968年)、酒造米の配給制度がようやく終わりを告げた。

昭和45年(1970年)、古米や古々米などの在庫が増加の一途をたどったため、政府は、新規の開田禁止、政府米買入限度の設定と自主流通米制度の導入、一定の転作面積の配分を柱とした米の生産調整を開始した。これによって未納税取引は割高につくようになったため、やがて減少していく端緒となった。また、そのため多くの酒蔵が近代化促進計画の元で転廃業や集約製造への参加を余儀なくされた。酒蔵の近代化とは、工業的にコスト削減をめざすということであった。その一環としてこのころ昭和40年代、「短期蒸し理論」という製法理論が編み出された。これは、酒米処理の蒸しの時間を、従来の約1時間よりも、米のデンプンがアルファ化する(糊状になる)までの20分程度に短縮するというものであった。

【純米酒復興の模索】

昭和39年(1964年)、京都・伏見の玉乃光酒造は業界に先駆け純米酒を復興し発売した。純米酒はアル添の普通酒に比べ1.8倍の米の量が必要で、アル添の2級酒に比べ価格が2倍ほどの純米酒を「無添加清酒」として、発売に踏み切った。今日でいう純米酒である。埼玉県では昭和50年(1975年)ごろから蓮田市「神亀」(しんかめ)の神亀酒造がアルコール添加をしない酒造りへの移行を始め、昭和62年(1987年)には全国で最初に全量純米へ切り替えた。

当時はこの意味が評価されず、「最初是一滴も売れなかった」と蔵人が回顧しているが、この変革は各地の酒蔵に勇気を与え、石川県「加賀鷹」(かがとび)、「黒帯」の福光屋、兵庫県「富久錦」(ふくにしき)の富久錦、茨城県「郷乃誉」(さとのほまれ)の須藤本家などが同様の選択をおこなった。平成時代に入ってこれらの蔵に

範を取り、いわゆる「純米蔵宣言」する酒蔵が増えてきている。また、長野銘醸によれば「元禄の時代より1年たりとも休む事もなく酒造りを継続し、戦後全面的に三倍醸造法が普及する中で、『清酒の技術を冒瀆するようなもんはみとめられん』と大反対し、純米酒を守り続けた、としている。日本酒業界の衰退が明らかとなったために、皮肉なことに、昭和48年(1973年)以降は消費の減退というかたちでかえって光が当たり、これ以後はむしろ復活への試みと努力が歴史の表に出てきた。

2. 玉乃光酒造の会社概要

| | |
|--------|---|
| 創業 | 延宝元年(1673年) |
| 会社名 | 玉乃光酒造株式会社 |
| 代表者名 | 代表取締役社長 丸山恒生 |
| 資本金 | 6,540万円 |
| 従業員数 | 110名(関連企業含む) |
| 本社 | 〒612-8066 京都府伏見区東堺町545-2 |
| 東京支店 | 〒194-0004 東京都町田市鶴間471-6 |
| 札幌営業所 | 〒060-0807 札幌市北区北七条西4丁目東カー 第一札幌ビル |
| 事業内容 | 清酒、焼酎、酒粕の製造販売 |
| 主要製品 | 純米大吟醸 備前雄町100% 純米吟醸 凜然山田錦100% 純米吟醸 祝100% 純米吟醸 酒魂 純米本格焼酎 |
| 関連外食企業 | 株式会社 玉乃光酒蔵 有限会社 京橋玉乃光酒蔵 |

3. 玉乃光 沿革

| | |
|-----------------|--|
| 延宝元年 (1673年) | 初代、中屋六左衛門が、和歌山市寄合町にて、紀州国紀州藩の第二代藩主、徳川光貞(家康の孫)の免許で創業。玉乃光の酒銘は、代々の六左衛門が紀州熊野の速玉(はやたま)大社に帰依しており、主神たる「イザナギノミコト、イザナミノミコトの御魂が映える」との意味を込めて命名されたと伝えられている。会長福時は11代目。 |
|-----------------|--|

| | |
|---------------------|--|
| 昭和 24 年 (1949 年) | 玉乃光酒造株式会社設立。戦災以後（昭和 27 年から 40 年代半ばにかけて）、京都伏見に移転。 |
| 昭和 39 年 (1964 年) | 米 100% の純米清酒を、業界に先駆けて独自に開発し、以後純米吟醸酒の品質向上に尽力し、今日に至る。天然の酸味と甘味のバランスが取れ、香り高く飲み飽きしない日本酒造りを、究極の目標としている。東京支店を東京都町田市に開設。 |
| 昭和 44 年 (1969 年) | 純米清酒玉乃光の実物宣伝のため、大衆割烹「玉乃光酒蔵」を、東京に出店。以後、名古屋、大阪の都心に展開。札幌夢天下会開始。 |
| 昭和 52 年 (1977 年) | 純米焼酎製造販売開始 |
| 昭和 55 年 (1980 年) | 純米清酒を全て純米吟醸造りにグレードアップ。福時著「酒通入門」出版。 |
| 昭和 58 年 (1983 年) | 京都夢天下会開始。 |
| 昭和 59 年 (1984 年) | ソ連よりライセンス導入した、ミルクざけ「クムイス」の製造販売に着手。 |
| 昭和 60 年 (1985 年) | 純米吟醸酒の輸出開始。 |
| 昭和 63 年 (1988 年) | 京都府井手町に井手蔵を設立。 |
| 平成 10 年 (1998 年) | ミルクざけ「クムイス」を本格的に製造販売。 |
| 平成 11 年 (1999 年) | 福時著 続・酒通入門「土魂商才」出版。 |



4. 玉乃光のこだわり

4-1) 酒米について

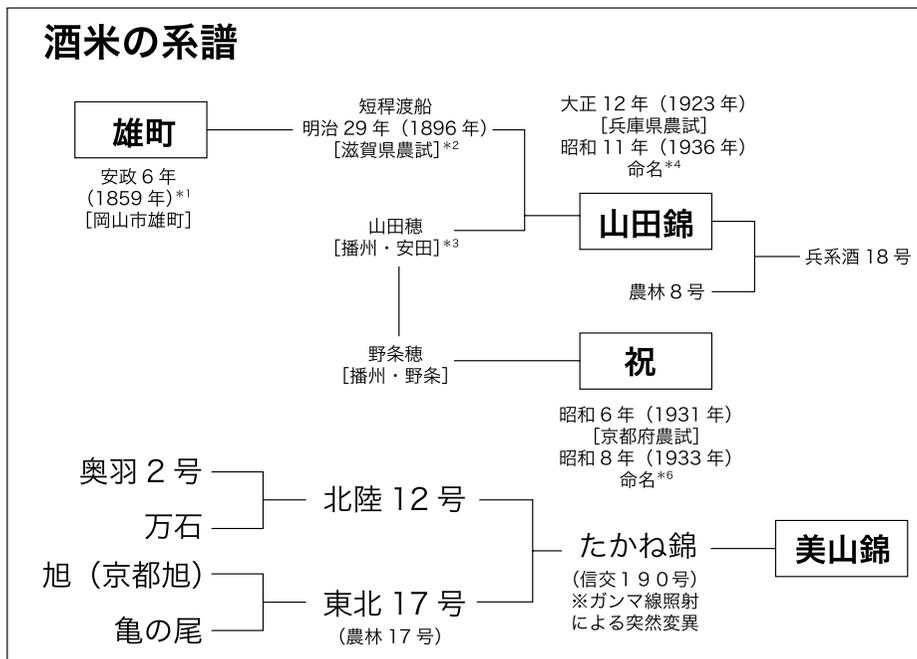
良いお酒を造るためには、原料に良質の米、しかも酒造りに適した米（酒米：酒造好適米）

が必要である。玉乃光の酒米へのこだわりを紹介する。良い料理を作るためにはまず素材が第一。いくら料理人が腕を振るっても、素材が悪いと本当に良い料理はできない。同じように、良い酒を造るためには、原料に良質の米、しかも酒造りに良い酒米は一般の食用米と全く異なる。安政 6 年（1859 年）に発見され、今なお最高級品としてその地位を不動のものとしている酒米、それが備前の雄町米である。背が高く作りづらいという理由から、戦後の食糧難の時期には絶滅寸前まで減少した。しかし、酒米としての価値を認め、栄えある伝統を復興すべく、玉乃光は雄町米振興会と共に昭和 57 年（1982 年）以来、この雄町米の復興に尽力してきた。

| | 酒米 | | 食用米 |
|------|-----|-----|-------|
| | 雄町 | 山田錦 | コシヒカリ |
| 玄米 | | | |
| 精白米 | | | |
| 歩止まり | 45% | 60% | 90% |

【酒米の特長】

酒米には心白と呼ばれる中心が白色不透明でデンプン質を多く含んだ部分がある。逆に周辺部分には、脂肪や蛋白質が多く含まれている。そのため精米することによって、その周辺部分を取り除くと、良質な米デンプンが得られる。心白は細胞構造が粗であるため、光が乱反射して白色不透明に見える。米の中にはデンプン質、脂肪、蛋白質などの成分が含まれている。酒を造る上で最も大事な成分は米のデンプン質である。他の成分は雑味の元となり、少ない方が酒造りに適している。精米で米を磨くほど、その米を使って仕込んだ酒の味はきれいになる。一般的な米は小さ



出展 *4 酒米の品種 平成 5 年 8 月

*5 福井県大野市 資料 昭和 61 年 2 月

*6 京都府農総研 資料 平成 4 年 3 月

*1 岡山県雄町 碑文 昭和 5 年 10 月

*2 滋賀県農試 昭和 27 年 7 月

*3 兵庫県中町安田 碑銘文 明治 37 年 2 月

く、もろくて硬いので、磨いてるうちに割れてしまう。高級酒用の高度な精米に耐えられる米には、粒が大きく、柔らかくて、粘りのある特徴を持つ酒米が最も適している。

【酒米の系譜】

酒米のうち、現在確認されている最も古い品種は岡山県の「雄町」という酒米である。安政 6 年(1859 年)に発見されて以来、100 年以上経った現在でも最高級の酒米として不動の地位を築いている。愛飲者の間で良く知られている兵庫県の「山田錦」は「雄町」の孫に相当する。

4-2) 水へのこだわり

桃山丘陵から湧き出る伏し水(中軟水)をたっぷり使い、短時間で丁寧に洗米するから「米」の味が生きる酒「玉乃光」ができるのである。

【御香宮の御香水】

玉乃光で、精白された酒米を洗い・蒸し・もとを造り、醪(もろみ=仕込み)に使用する水は、桃山丘陵を水源とする「伏し水」である。古くは、

豊臣秀吉が醍醐の茶会の際に御香宮で汲み上げたとされる御香水と同じ伏流水で、現在、環境省選定の「日本名水百選」に選ばれている名水である。毎年、定期的に京都市水道局の検査を受け、昔も今も品質が変わらないと保障されている。

4-3) 造りへのこだわり

「酒は生き物」だからこそ、製造工程には手を抜けない。玉乃光の酒造りへのこだわりを紹介する。

【備前雄町米との出会い】

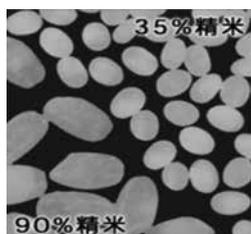
伝統的な日本酒とは、100% 米の酒のこと。でもそんな純米酒は、実際売られている日本酒全体の 15% 前後。戦時中の米不足のため、昭和 19 年に日本酒はすべて、アルコールの添加が強制された。しかし、戦後の米余剰が始まった昭和 38 年以降も価格の安い通称「アル添酒」が市場での主役であった。さらに、日本酒が本来持っていた旨味を補うためブドウ糖を加える

ので、味のバランスも崩れたようだ。そんな「アル添酒」主流の昭和39年に、業界に先駆けて「玉乃光」は米100%の酒（純米清酒「無添加清酒」）を復活させた。消費者からも高い評価を得たが、その後も若き日の宇治田福時（現、会長）は「もっとおいしい純米酒を造りたい」とどん欲に酒米を求めて全国を旅した。昭和50年代に入り、岡山市北部の町での小さな出会いが「玉乃光」の歴史を大きく変えた。現在確認されている最も古い品種に出会った。有名な山田錦は備前雄町米の孫に当たる。宇治田福時氏は「こんないい酒米をなくしてはいけない」と篤農家と協力して、絶滅寸前だった名米の復興に情熱を注いだ。

【酒は生き物】

その酒米と伏見の水、そして「一麴、二もと、三造」と言われる工程が旨い酒のカギを握る。10月にその年の新米が届くと純米・吟醸造りと翌年の晩春まで休みなく作業を行う。最初の工程は米の表面を削り取る精米工程だ。酒米の場合、40%を削り取り、内側60%だけを使うのが純米吟醸酒だ。「削れば削るほど酒の旨さも洗練される」。この60%精米に約30時間を掛ける。専用のローラーを使い、ゆっくり丁寧な研磨、「でんぷんだけの白米」にする精密作業。

ちなみに、純米大吟醸の場合は48時間かけて50%以上を削る。精米後に余分な糠を洗い取る洗米を行い、さらに水分を吸わせるため、水に浸けておく。浸漬を終え水を切った米は、釜に入れられ1時間ほど蒸して、冷ます。一方で麴室（むろ）の中で蒸した米に種麴を混ぜ、麴菌を繁殖させる。麴と蒸米と水、そして酵



母を入れて酒のもとになる酒母（しゅぼ）ができる。この麴造り・酒母造りは杜氏が特に力を注ぐ工程で、できた酒母が調

和した酒の味と香りを生む「源」となる。酒母、麴、蒸米、水は3段階に分けてタンクに仕込まれてもろみとなる。

もろみは20～30日間かけて管理され、この工程の中で麴が蒸米のでんぷんをブドウ糖に変え、そのブドウ糖を酵母がアルコールに変えている。「もろみ管理は温度管理」といわれるほど品温の管理は重要で約10度に保たれた醗酵室で20日間発酵させて、搾ると酒と酒粕（かす）に分かれる。そして、さらに出荷まで蔵で寝かせて味を調える。原酒はアルコール17～19度だが、瓶詰時には割水をして15～16度に調整する。「酒は生き物」と言われる理由は全工程から分かる。

4-4) 純米酒ルネサンス

2008年、源氏物語千年紀、光源氏の時代から1000年、日本酒は純米酒であった。室町時代（1440年代）、奈良菩提山正暦寺で現在の日本酒の製法の基礎が確立されたとされているが、それに先立つ平安時代（10世紀前後）に同じく奈良（南都）の寺院で「南都諸白」（なんともろはく）といわれる僧坊酒（寺院が造るお酒）が造られていた。この僧坊酒は麴米・掛け米とも精白米が使われ、純米酒であったとされている。以来1,000年、日本酒は米だけを原料とする純米酒だった。源氏物語千年紀を記念して純米大吟醸ころの京を「源氏物語バージョンラベル」にて発売している。



4-5) 純米酒の復興

玉乃光酒造 11 代当主宇治田福時は、食料難が解消された時期を見計い 1964 年（昭和 39 年）、業界に先駆け純米酒を復興し発売した。しかし、純米酒の原価高に苦しむことになる。純米酒はアル添酒に比べ 2 倍の米の量が必要になる。そこで、当時の農林省や大蔵省に原料米にかかわる食管法の規制緩和や酒税の特例措置を求めるが、いずれも叶わず、やむなく、アル添の 2 級酒に比べ価格が 2 倍ほどの純米酒を「無添加清酒」（2 級酒）として、翌 1964 年（昭和 39 年）発売に踏み切る。福時は、得意先・友人・知人・先輩を訪ね、「無添加清酒」の良さを説いてまわるが、その味わいは直ぐに理解が得られても、価格高のため販売は伸びず、販売面・資金面での苦労が始まった。



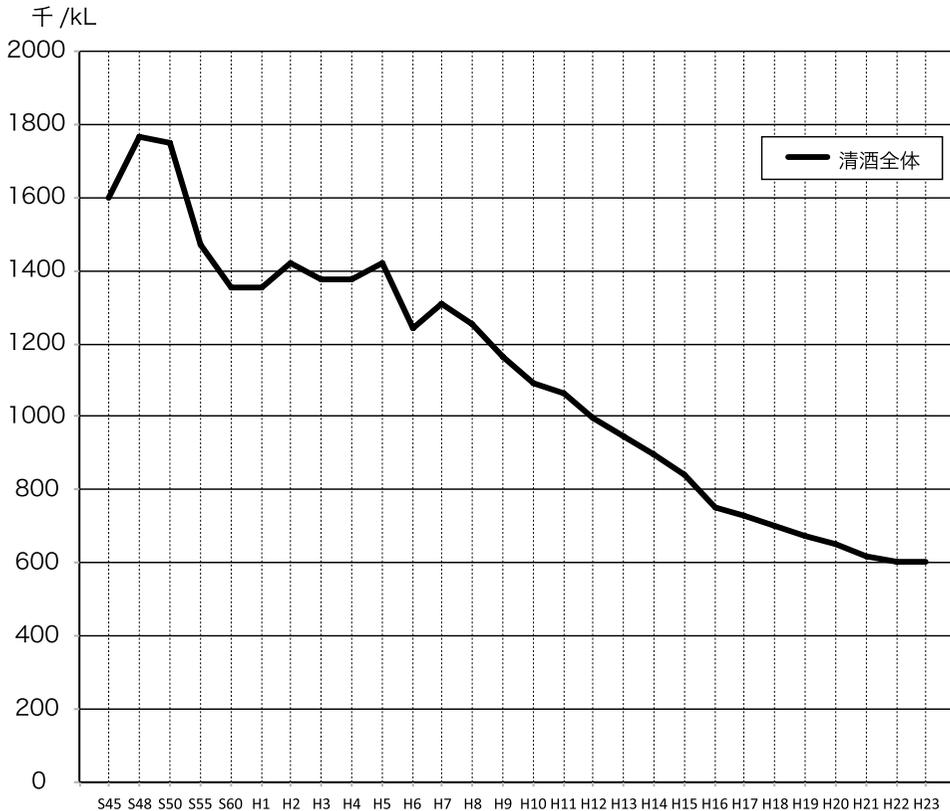
昭和 39 年発売当時の「無添加清酒」ラベル

○二日酔いしません

しかし、この「無添加清酒」を味わった愛飲家の皆様から、「おいしい」「いくらでも呑める」「少々過ぎしても二日酔いしない」との噂が少しずつ広がり、わずかずつではあるが、販売量は伸びはじめる。

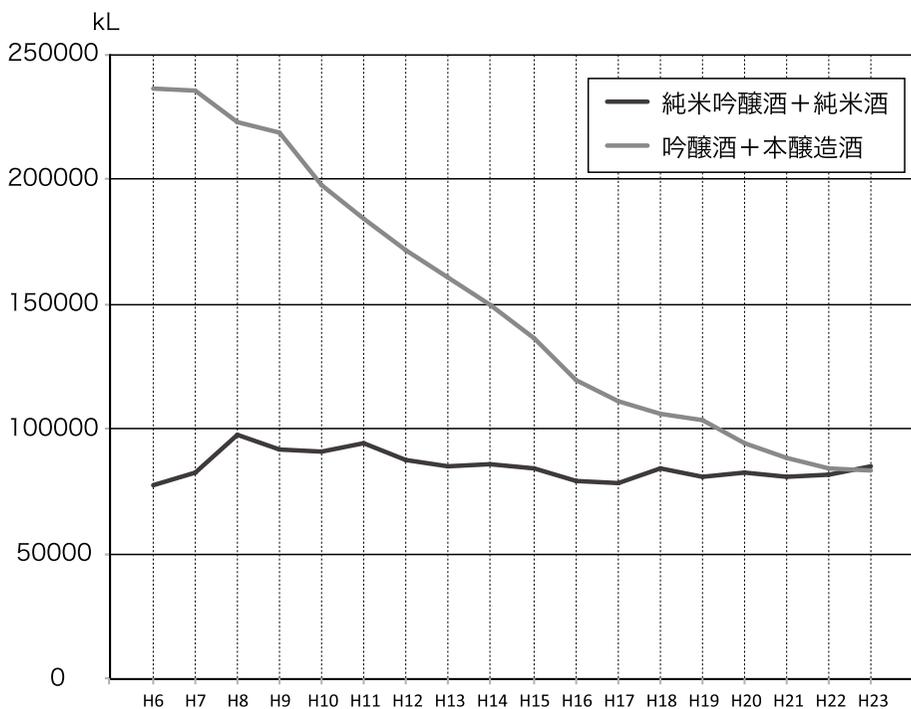
4-6) アル添酒の凋落

図 1 に清酒全体の出荷数量推移を時系列で示



出典：国税庁「酒のしおり」

図 1 清酒課税移出数量時系列推移



出典：国税庁「酒のしおり」

図2 特定名称酒課税移出数量時系列推移

した。1973年(昭和48年・会計年度以下同じ)、日本酒は課税移出数量で1,760千kLと出荷量のピークを迎えるが、第1次オイルショックを契機に凋落の一途をたどり、30年後の2003年(平成15年)にはピーク時の50%を割り込み、2011年(平成23年)には35%を割り込んだ。また、図2に特定名称である純米酒(純米吟醸酒+純米酒)とアル添酒(吟醸酒+本醸造酒)の出荷数量推移を時系列で示した。

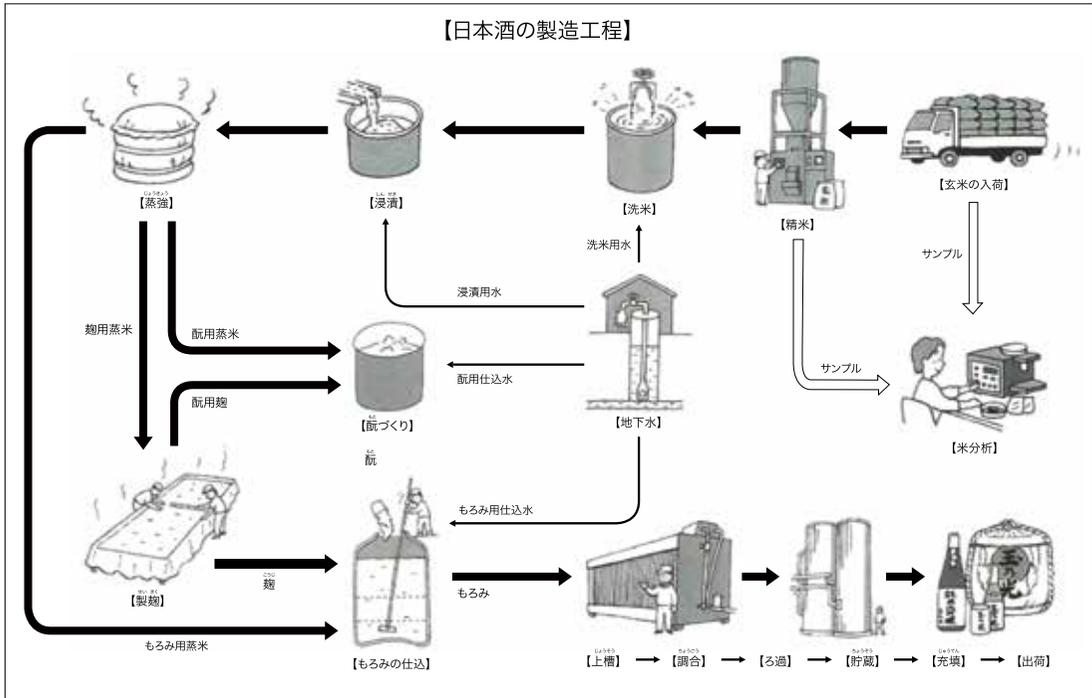
アル添酒は毎年出荷量が減少しているが、純米酒はしぶとく出荷量を維持している。2011年(平成23年)には純米酒の出荷量がアル添酒の出荷量を始めて追い越した。それ以後は純米酒の出荷量の方が多くなっている。これは、日本の大衆消費者が「忘れかけていた純米酒への高貴な鑑賞能力」を、40年掛けて取り戻したことを示すものといえるのではないか。純米酒はアル添酒に比べると価格は高いが、純米酒の特徴である二日酔いしない、口当たりがすっ

さりしているなどが現在では消費者に支持されているに違いない。

5. 玉乃光純米酒の製造工程

玉乃光酒造の純米酒の製造工程を示した。純米酒は酒米の精米から始まる。酒米の表面に多く含まれるたんぱく質・脂肪を削り除去する。精米された米は、精米工程で表面に付いた糠、米くずなどを洗米工程で除去する。洗米された米は、水に付けられ、水分を吸わせる浸漬工程を行う。浸漬を経た米は広げて、湿度を保たせる。

その後、麴の酵素が米のデンプンを分解しやすくさせるために米を蒸す。タンクに蒸した米、水、米麴を入れ、発酵させる。いわゆる、醪(もろみ)造り工程である。醱酵が終了するころ過して出荷する。



玉乃光純米酒の製造工程

6. 商品紹介

酒は米から造るから、玉乃光は米にこだわる。米の旨みは酒の旨み。米米の違いにより米の種類や精米の割合によって、分類している。

1. 玉乃光 純米大吟醸 備前雄町 100%

【商品特徴】

麴米，掛米それぞれ100%の備前雄町米を用いた純米大吟醸酒。雄町米特有の自然な柔かい香り，天然の酸味と雄町米の旨みが調和

したスッキリした飲み口，ふっくらした厚みを感じさせるボディ，滑らかなのどごし。いつまでも，飲み飽きない逸品。ふっくらした柔らかみある香り・味わいが特徴。



◆まぼろしの酒米とも言われ，絶滅寸前になり，玉乃光酒造がその再興に協力した最高級の酒造好適米・備前雄町米。その備前雄町米を100%使用した，玉乃光の傑作。（酒造好適米として有名な山田錦は，備前雄町米の孫にあたる。）

2. 玉乃光 純米吟醸 凜然山田錦 100%

【商品特徴】

麴米，掛米それぞれ100%の山田錦米を用いた純米吟醸酒。酒米の横綱と呼ばれる山田錦のみを使用し，60%まで自社精米し，手間・暇を惜しまず醸した，玉乃光最高級の純米吟醸酒。吟醸の香りとともに，天然の酸味と旨味が調和した味わいは，酒の王道にふさわしい逸品。



3. 玉乃光 純米吟醸 祝 100%

【商品特徴】

近年、熱心な農家と行政の協力により復活した京都産酒造好適米「祝」だけで醸した純米吟醸酒。ふんわりと香る京友禅のような、ほのかな吟醸香。甘味と旨味のバランスがとれた、はんやりとした味わいが特徴。



4. 玉乃光 純米吟醸 酒魂（しゅこん） “爛酒で最高”

【商品特徴】

ほのかな米の旨味と、高酸度のキレ味。酒の魂に一步でも近づこうと、米由来のおいしさをさらに追求し、「天然の酸味と旨みの最高のバランス」を実現した。「酒魂」は、発売以来 30 年近くに渡り、多くのファンの方に愛されている。



5. 玉乃光 純米吟醸 冷蔵酒パック

【商品特徴】

フレッシュな味と香りを保つため、低温で貯蔵し急速冷却充填をした。天然の酸味と旨味が調和した、冷酒向きのすっきりした飲み口。

◆『みぞれ酒』が楽しめるように造られている。凍結時に発生する、エグ味を低減できているう



え、解凍時にアルコールと水分に分離しないようにできている、画期的な商品である。

おわりに

アルコール飲料には多くの種類があるが、筆者は日本酒が一番好きである。海の近くで育ったため魚料理を食べることが多かった。現在でも魚が好きである。魚料理にあうアルコール飲料は日本酒が一番である。ところが、社会人になった頃にはもっぱらアル添酒（現在の普通酒・本醸造酒）を飲んでいて。ついつい飲みすぎると翌日は二日酔いで頭が痛く、午前中は仕事にならなかった。ある時、アルコールがあまり強くない人と日本酒を飲んでいたら、「私は純米酒しか飲まない。純米酒はいくら飲んでも二日酔いしない。仕事と健康を考えると純米酒を飲むことをすすめる」といわれた。確かに、純米酒を飲んだ翌日はすっきりしていた。頭が痛くなることはなかった。筆者もそれ以来、日本酒は純米酒しか飲まないことにしている。

こういった時に、純米酒しか置いていない玉乃光酒蔵八重洲店に行く機会があり、それ以後、機会があればこの店に集まっている。つい飲みすぎても、翌日の目覚めがすっきりしており、もちろん、二日酔いがないことはうれしい。

純米酒は二日酔いしない事を日本酒を飲むときに話をするが、多くの人はそのことを認識していない。純米酒を知らない人も多い。純米酒をさらに広めるためにはこの特長を多くの人に知ってもらうことが重要と考える。玉乃光酒造は純米吟醸酒を製造販売しており、種類は多くはないがそれぞれに特徴があり楽しい。特に変わり種は「冷蔵酒」を用いた『注いで凍るみぞれ酒』である。専用のフリーザーで過冷却状態になったパックの封を切って、高い所から容器に注ぐと、見事にみぞれ状態になり、超低温の口触りがあり、「冷蔵酒パック」しか味わえない驚きがある。こういった商品開発力には脱帽

である。

最近、日本酒を控えつつある。その最大の理由は肥満が気になりだしたからである。アルコール類の100mLあるいは100g当たりのカロリーを比較すると、ビールが40kcal、ワインが77kcal、焼酎が103kcal、日本酒も103kcalとなっている。焼酎も日本酒もカロリーは同じである

が、日本酒はおいしいので焼酎に比べると飲む量が多いのであろうか。素人であるので勝手なことを言わせていただくと、“日本酒もビールのように低カロリー純米酒”を開発していただくと有難い。肥満を心配しながら純米酒をおいしく飲んでおられる人には朗報であることは間違いない。

参考資料

- 1) 玉乃光酒造ホームページ
- 2) 酒通入門 著者；宇治田福時（玉乃光酒造前社長），発行所；地球書館
- 3) 日本酒の歴史 ウイキペディア
- 4) 日本酒の歴史 日本酒サービス研究会・酒匠研究連合会
- 5) 日本酒 著者；秋山裕一，発行所；株式会社 岩波書店

| | |
|---|---|
| 白石カルシウムの炭酸カルシウム | |
|  | 古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。 |
| 分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈澱を抑制したタイプ等、品揃えております。 | |
| 一般の栄養強化には、「ホワイトン」 | |
| 機能を求めるならば、「コロカルン」 | |
| 飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」 | |
| 詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。 | |
|  | 食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL. 03-3863-8913 本社：大阪市北区同心 2-10-5 TEL. 06-6358-1181 |

マダイの体色改善－1

酒本 秀一*

* SAKAMOTO Shuichi,

Key Words: オキアミミール・アスタキサンチン・マダイ・消化吸収・体色改善・色彩色差計・総カロチノイド含量

マダイは赤くて姿形が良いので見栄えがし、しかも美味しいことから、祝いの席には欠かせない魚になっている。祝い魚の常として最も強く要求されるのは見た目の良さで、特に体表の色は重要である。マダイ体表の色の主体はアスタキサンチンと云われる赤いカロチノイド色素で、マダイ自身で生合成は出来ないのが餌として取り入れる必要が有ることは既に明らかにされている¹⁾。

オキアミミールの色素の主体はアスタキサンチンで、ディエステル (DE) >> モノエステル (ME) > フリー (F) の3種類の形で存在していることを前報²⁾で説明した。マダイでもニジマス同様オキアミミール中のアスタキサンチンを消化吸収して利用出来れば、オキアミミールを飼料に添加することによって体表の色を美しくすることが出来ると考えられる。

本報告ではオキアミミールによるマダイの体色改善の可能性、マダイによるオキアミミール色素の消化吸収機構、色彩色差計で体表の色を測定する場合の留意点や色彩色差計による測色結果で色素量を表すことが出来るか否か等を調べた。試験は6回に分けて行ったので、以下夫々の試験の詳細を説明する。

試験 -1

マダイがオキアミミールの色素を消化吸収出来るなら、飼料にオキアミミールを添加して飼育することによって体表の赤い色を濃く出来るはずである。よって、本試験ではオキアミミール添加飼料でマダイを飼育した時に体表の色調と色素量が如何経時変化するかを調べた。

1. 方法

1-1. 試験区

対照区と試験区の2区を設定し、対照区は雑魚、試験区は表1に示すオキアミミール添加飼

表1 試験飼料の組成と分析値

| | |
|-------------------|------|
| 魚粉 (%) | 34 |
| オキアミミール | 35 |
| スピルリナ | 3 |
| 小麦粉 | 18 |
| 飼料用酵母 | 2 |
| 米糠 | 2 |
| 脱脂大豆粕 | 2 |
| ビタミン・ミネラル混合 | 4 |
| 水分 (%) | 10.9 |
| タンパク質 | 50.2 |
| 脂質 | 7.22 |
| 炭水化物 | 16.4 |
| 灰分 | 11.4 |
| 総カロチノイド (mg/100g) | 2.35 |

料を与えて飼育した。試験飼料はハードペレット³⁾で、オキアミミールが35%添加してある。総カロチノイド含量は2.35mg/100gであった。但し、この色素は全てがオキアミミール由来のアスタキサンチンと云う訳ではなく、飼料に3%添加してあるスピルリナ由来の色素も相当量含まれていた。スピルリナに含まれる色素はゼアキサンチンやルテイン等のオレンジ色～黄色のカロチノイドが主体である。飼料にスピルリナを添加したのは、マダイの体表は単純な赤色だけでなく、黄色に見える色素も可也の量含まれていると推測したからである。

飼料の一般成分は飼料分析法、総カロチノイド含量は前報²⁾の手順に従って分析した。

1-2. 飼育条件

3×3×3m 深の網生簀に平均体重140gのマダイ1才魚を200尾収容し、8月27日から10月29日までの2カ月間飼育した。対照区にはビタミン剤と粘結剤を添加した雑魚のミンチ肉を、試験区には試験飼料を日に一回手撒きで飽食量与えた。なお、直射日光による体表へのメラニン蓄積⁴⁾を防止する為、生簀上には黒色寒冷紗の覆いを設けた。

1-3. 色彩色差計による測色と総カロチノイド含量の測定

物の色を表現するには色彩色差計等の測色計で測定した値で示す方法と、その物が持つ色素の種類と量で表す方法が有る。マダイの体色改善効果の評価するには何れの方法が良いかを確認する為、両方の方法で調べることにした。

8月27日(開始時)、9月29日(1カ月後)、10月29日(2カ月後、終了時)に両区から5尾ずつサンプリングし、体表の測色と色素量の測定を行った。魚はFA100で麻酔し、延髄を切断して即殺した。直ちに背鰭の第1棘から第7棘の下で、側線より上の部分の色調をミノルタ色彩色差計CR-100でLab表色系によって測定した。なお、測色時には色彩色差計の測定ヘッ

ド部分にサランラップを密着し、測定窓が魚の粘液等で汚れないように注意した。Lab表色系を簡単に説明すると、「Lの数値が大きい程明度が高く、明るい色であることを示す。aは(+)側では数字が大きい程赤の度合いが大きく、(-)側では数字が小さい程緑の度合いが強いことを示す。bは(+)側では黄色の度合い、(-)側では青の度合いを示す。このLabの値を夫々高さ、縦、横の座標軸上にとると、その物が持つ色調の位置が決まり、二つの物の色調の違いをどの様にどれ位違うのかを数字で表すことが出来る。」となる。

色彩色差計での測色後同じ部位にトレーシングペーパーをあて、鱗を剥がさないように注意してメスでトレーシングペーパーごと体表を切り出した。体表の下に付着している脂肪層や肉を出来るだけ丁寧に取り除き、色素量測定用試料とした。体表は細切した後前報²⁾の背肉色素量の測定手順に従って分析した。色素量は試料の単位重量当たり、あるいは単位面積当たりで示すことが出来るので、両方で求めた。重さは体表を直接電子天秤で精秤することによって求めた。面積は体表と一緒に切り出したトレーシングペーパーをコピー用紙に乗せ、硬質の鉛筆で形をなぞり、その形に沿ってコピー用紙を切って重さを測定することによって求めた。なお、コピー用紙は予め数種類の面積を有する物を切り出して重さを計り、面積と重さの関係を求めておいた。

2. 結果

測色と色素量測定の結果を表2に示す。L値は両区共飼育期間が長くなるに従って高くなり、体表が明るい色になる傾向を示していた。これは寒冷紗によって直射日光が遮られたので、体表のメラニン含量が次第に減少したのではないかと考える。a値は逆に両区共次第に低くなっており、見た目での赤色が薄くなって

表2 測色と色素量測定の結果

| 測定日 | 8月27日 | 9月29日 | 10月29日 |
|---------------------------|-------|-------|--------|
| 対照区 | | | |
| 色調 | | | |
| L | 54.2 | 56.8 | 63.9 |
| a | 1.3 | -0.3 | -2.7 |
| b | 5.9 | 9.2 | 8.8 |
| a+b | 7.2 | 8.9 | 6.1 |
| 総カロチノイド | | | |
| mg/100g | 2.22 | 2.30 | 2.45 |
| $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ | 0.84 | 1.09 | 1.03 |
| 試験区 | | | |
| 色調 | | | |
| L | 54.2 | 54.5 | 63.1 |
| a | 1.3 | 0.9 | -2.2 |
| b | 5.9 | 7.9 | 7.6 |
| a+b | 7.2 | 8.8 | 5.4 |
| 総カロチノイド | | | |
| mg/100g | 2.22 | 3.14 | 3.74 |
| $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ | 0.84 | 1.37 | 1.47 |

いることを示した。b値は両区共飼育1カ月後まで高くなっていましたが、その後は殆ど変化がなかった。1カ月後までb値が高くなり、黄色味が強くなったのはスピルリナの添加によるのかも知れない。サケ・マス類の肉で色素量との間に強い相関が認められたa + b値⁵⁾は両区共1

カ月後まで高くなっていましたが、その後低くなり、2カ月後には開始時の値より低くなっていました。

色素量の測定結果は色彩色差計の測色結果とは明らかに異なっており、図1に示す様に単位重量当たりの総カロチノイド含量は両区共飼育期間が長くなるに従って多くなり、その増加量は試験区の方が遥かに多かった。単位面積当たりでも略同様の傾向であったが、対照区では1カ月以降やや減少していた。

以上の結果は、オキアミミールやスピルリナの色素はマダイによって消化吸収され、体表の色素量を増やすのに役立っていることと、体表では色素量の変化を伴わない色調の変化が起こっている可能性が高いことを示している。

魚類では肉部に蓄積されたカロチノイド色素はタンパク質と結びついているのに対し、体表の色素は色素胞中に色素顆粒として存在している。よって、体表の色は色素胞中の色素顆粒の状態によって大きく変化する。色素胞中の色素顆粒の動きは神経支配を受けており、多少の刺

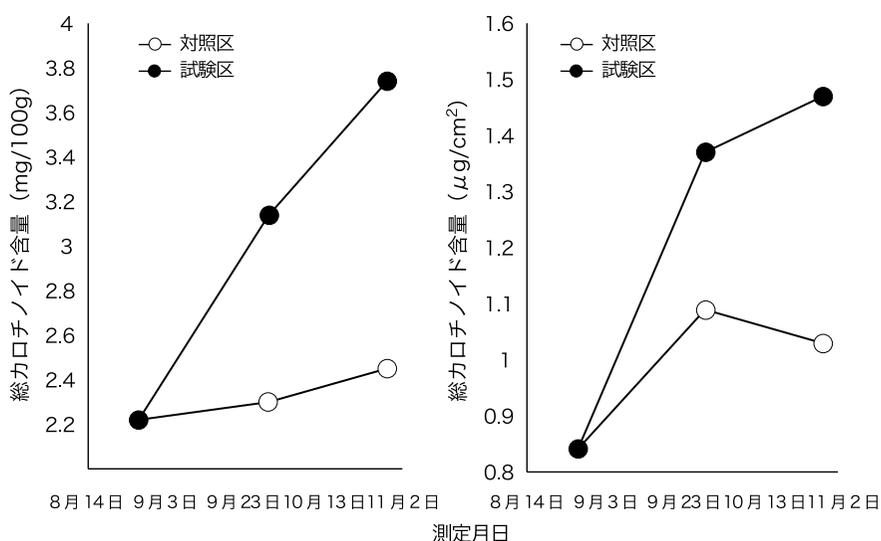


図1 体表総カロチノイド含量の経時変化

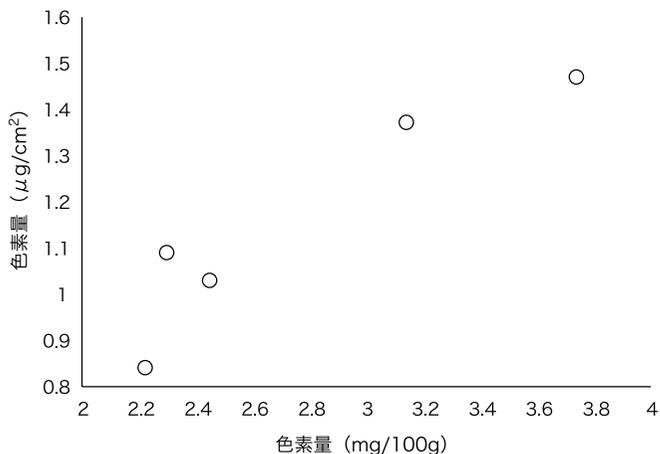


図2 単位重量当たり色素量と単位面積当たり色素量の関係

激で極短時間のうちに拡散、収縮を起こすことが知られている。色素顆粒が色素胞中で拡散すれば色素量は変わらないのに色が濃くなり、逆に凝集すれば色が薄くなる。本試験の結果と上記の内容を併せ考えると、体表の色は色彩色差計による測色結果よりも色素量で表す方がより正確であると判断する。但し、色彩色差計での測色は現場において短時間で多数の検体を処理できるのに対し、色素量の測定には多くに時間と人手、更に特別な分析機器と試薬が必要であることに大きな問題が有る。今後色彩色差計による測色結果で色素量を表し得る様に測定条件を検討する必要がある。

単位重量当たりの色素量と単位面積当たりの色素量の関係を図2に示す。両者の間には綺麗な直線関係は認められなかった。これは魚が大きくなるにつれて体表が厚くなり、同じ面積でも重さが重くなることに原因が有ると考える。従って、色々な大きさの魚で比較を行う為には単位面積当たりの色素量で表すことが必要である。

3. 要約

・オキアミミールの色素はマダイによって消化吸収され、体表に蓄積される。

・体表では色素量の変化を伴わない色調の変化が起こっている可能性が高い。よって、体表の色は色彩色差計の測色結果より色素量で表す方が妥当である。

・色素量は単位面積当たりで示すべきである。

試験-2

試験-1でオキアミミールの色素はマダイによって消化吸収され、体表に蓄積されることを知った。よって本試験では、オキアミミール色素がマダイの消化管のどの部位で消化され、吸収されているのかを調べた。

1. 方法

オキアミミール添加飼料（スピルリナは無添加）を3カ月間与えて体色を改善した平均体重約600gのマダイ5尾を供試魚に用いた。消化管内容物の採取法と色素の分析法は前報²⁾のニジマスで用いた方法に従った。給餌後一定時間経ってから魚を麻酔下で延髄切断によって即殺し、直ちに解剖した。消化管の内容物が移動しないように注意して内臓を取り出し、胃、幽門垂部、腸部を動脈クリップで止めて分離する。但し、マダイの幽門垂は数がニジマスより遥かに少なく、幽門垂部の長さも極短いので、幽門垂部の内容物には多少腸前半部の内容物が混入していた可能性が有る。夫々の内容物を押し出して回収し、5尾分を一緒にして分析試料とした。色素を抽出、濃縮後薄層クロマトグラフィによって展開し、Rf値からアスタキサンチンのDE、ME、Fを確認した。試験に用いたオキアミミールと飼料も同様に処理した。

表3 飼料と消化管内容物のアスタキサンチン

| アスタキサンチン | F | ME | DE |
|----------|------|------|----|
| オキアミミール | ○ < | ○ << | ○ |
| 飼料 | ○ < | ○ << | ○ |
| 消化管内容物 | | | |
| 胃 | ○ < | ○ << | ○ |
| 幽門垂部 | ○ >> | ○ ≒ | ○ |
| 腸部 | ○ | | |

F: フリー, ME: モノエステル,
DE: ディエステル

2. 結果

表3に結果を示す。オキアミミール、飼料および胃内容物はアスタキサンチンのDEが大部分であり、次いでME、Fの順であった。これはオキアミミールの色素はマダイの胃では殆ど消化吸収されていないことを示している。但し、マダイも有胃魚なのでpH2程度の強酸性である胃酸を分泌する。よって、ニジマス同様マダイでも胃内でアスタキサンチンの一部が崩壊している可能性は有る。幽門垂部内容物のアスタキサンチンは大部分がFで、少量のMEとDEが略同量ずつ存在していた。幽門垂部には膵液と胆汁が分泌されるので、両消化液によってアスタキサンチンはDE→ME→Fへと分解され、吸収されるのであろう。腸内容物では殆どがFで、MEとDEは痕跡程度にしか認められなかった。

以上の結果は前報²⁾のニジマスの結果と略同じで、マダイにおいてもオキアミミールの色素は膵液と胆汁によって分解され、幽門垂部と腸前半部において吸収されるものと考えられる。本試験では内部標準物質を添加した飼料を用いていないので、夫々の部位での吸収率は知ることが出来ない。今後各部位でのオキアミミール色素の吸収率を求めておく必要が有る。

3. 要約

マダイにおいてもオキアミミールの主要色素であるアスタキサンチンは膵液と胆汁によって

DE→ME→Fへと分解され、幽門垂部と腸前半部で吸収されているものと判断する。

試験 -3

試験-1でマダイの体表では色素量の変化を伴わない色調の変化が起こっている可能性が高いので、体表の色は色素の種類と量で表す方が正確であることを説明した。ところが色素の種類と量を調べるには煩雑な操作が必要で時間が掛かり、しかも特殊な分析機器が必要なので、養殖現場で対応することは略不可能である。

一方、色彩色差計は小型で持ち運びに便利であるうえ測定操作も簡単で、1時間に数十検体の処理が可能である。サケ・マス類の肉では既に色彩色差計による測色結果と色素量の相関が調べられ、測色結果から色素量がある程度推測出来る様になっている。マダイでもこの方法が確立出来れば現場で色素量の推測が可能になり、有益な手段になり得ることは間違いない。その為にはマダイの体表の色がどの様な条件下で、どの様な変化を示すのかを予め明らかにしておく必要が有る。

マダイの体表は全体が均一に赤い訳ではなく、部位によって可也色に違いが有る。よって本試験では、部位の違いによる色調の違いを明らかにし、色彩色差計で測色すべき部位を決めるのを目的とした。

1. 方法

オキアミミールによって体色改善を行ったマダイ(平均体重約500g)3尾を用いた。FA100麻酔下で延髄切断によって即殺した後、体表の10カ所(A~J)で色彩色差計による測色を行った。A~Cは背部、D~Fは体側正中線上、G~Iは腹部で、Jは尾鰭である。より具体的にはAは背鰭基部、Bは背鰭棘部下の中央部、Cは背鰭軟条部前方の下で何れも側線より上の部

分である。D～F, G～Hは夫々A～Cの下の部分で, Jは尾鰭中央部である。

2. 結果

表4に結果を示す。値は3尾の平均で示してある。何れの部位においても背部から腹部に下るに従ってL値は高くなり, 明るい色になる傾向が認められる。腹部は白っぽく, 背部と体側部は赤いが, 背部の色は体側部より沈んだ暗い感じがするマダイの見た目と良く一致している。尾鰭のL値は最も低く, 暗い色をしていることが分かる。a値は尾鰭が著しく高く, 体側>背>腹と続く。尾鰭が著しく高いのは, 鰭が薄い為に測色した裏側の色も反映されているのかも知れない。b値は体側>尾鰭>背>腹の順で, a+b値は尾鰭>体側>背>腹の順であった。体の前部, 中央部, 後部の違いでは, L値には大きな差は無かったが, a値は後部に行くに従って高くなる傾向が認められた。b値は前部より中央部と後部がやや高い様である。

この様にマダイの体表の色調は部位によって大きく違うので, 測色部位は厳密に決めておかないと他の魚との比較が出来なくなる。腹部は赤色が薄いので避けるとして, 背部あるいは体

側部で一見して正確な位置が特定できる場所を測色部位にすれば良いと考える。

試験-4

市場ではマダイを競りに掛ける前に即殺し, 最も体色が良くなって見栄えがする様になった時に競りに掛かるようにする処置が採られていると聞く。これは即殺後経時的に体色が変わり, 見栄えも変わることを示している。よって本試験では, 即殺後マダイの体色がどの様な変化を示すか調べた。

1. 方法

オキアミミール添加飼料で体色改善したマダイ1才魚(体重144.5g, 尾叉長18.2cm)1尾をFA100で麻酔し, 背鰭棘部中央下で側線より上の部分(A部位)と背鰭軟条部中央下で側線より上の部分(B部位)を色彩色差計で測色した。その後延髄切断によって即殺し, 26時間後まで同じ部位の色調の変化を経時的に調べた。その間魚は海水で湿らせた布に包んでビニール袋に密封し, 体表が乾燥しないように注意して冷蔵庫で保存した。

2. 結果

測色結果を表5と図3-6に示す。L, a, b, a+b値共にA部位とB部位で値に多少の違いは有るものの略同様の経時変化を示していた。L値は即殺後直ちに上昇した後3時間目位から減少に転じ, その後殆ど同じ値が続いた。a値は即殺後急激に減少し, 1時間位で最低値を示した後上昇し, 6時間後位にピークを示した後再び減少して13時間目以降は略同じ値を示した。b値もa値と略同様の変化のパターンを示したが, 即殺直後に大きく減少することは無い点と, 上昇後減少に転じる時間がa値より早い点が異なっていた。a+b値はb値と略同

表4 各部位の測色結果

| | L | a | b | a+b |
|------------|------|------|------|------|
| 背部 | | | | |
| A | 46.8 | 3.3 | 7.9 | 11.2 |
| B | 49.2 | 4.7 | 10.2 | 14.9 |
| C | 48.9 | 4.8 | 10.3 | 15.1 |
| 体側部 | | | | |
| D | 67.7 | 6.6 | 15.9 | 22.5 |
| E | 65.4 | 8.7 | 16.6 | 25.3 |
| F | 70.0 | 9.5 | 16.0 | 25.5 |
| 腹部 | | | | |
| G | 79.7 | 1.2 | 5.0 | 6.2 |
| H | 77.9 | 6.2 | 11.2 | 17.4 |
| I | 73.2 | 3.0 | 8.5 | 11.5 |
| 尾鰭 | | | | |
| J | 46.3 | 15.2 | 14.3 | 29.5 |

表5 麻醉下及び即殺後のL, a, b 値の経時変化

| | A 部位 | | | | B 部位 | | | |
|----------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|
| | L | a | b | a+b | L | a | b | a+b |
| 麻醉下 | 50.3 | 5.0 | 10.2 | 15.2 | 52.2 | 7.0 | 9.3 | 16.3 |
| 即殺後 (時間) | | | | | | | | |
| 0 (直後) | 52.2 | 2.8 | 10.2 | 13.0 | 54.4 | 5.6 | 8.6 | 14.2 |
| 0.5 | 57.4 | 1.2 | 6.8 | 8.0 | 53.3 | 2.0 | 1.8 | 3.8 |
| 1 | 52.9 | 0.8 | 3.9 | 4.7 | 52.7 | 2.7 | 2.4 | 5.1 |
| 3 | 54.8 | 1.8 | 5.5 | 7.3 | 53.0 | 4.8 | 4.6 | 9.4 |
| 6 | 50.7 | 2.4 | 4.7 | 7.1 | 48.4 | 2.5 | 2.4 | 4.9 |
| 10 | 51.1 | 1.6 | 3.6 | 5.2 | 49.5 | 2.7 | 2.0 | 4.7 |
| 13 | 51.3 | 0.9 | 4.1 | 5.0 | 50.2 | 1.7 | 1.6 | 3.3 |
| 26 | 46.7 | 1.0 | 1.3 | 2.3 | 48.6 | 1.8 | 2.1 | 3.9 |

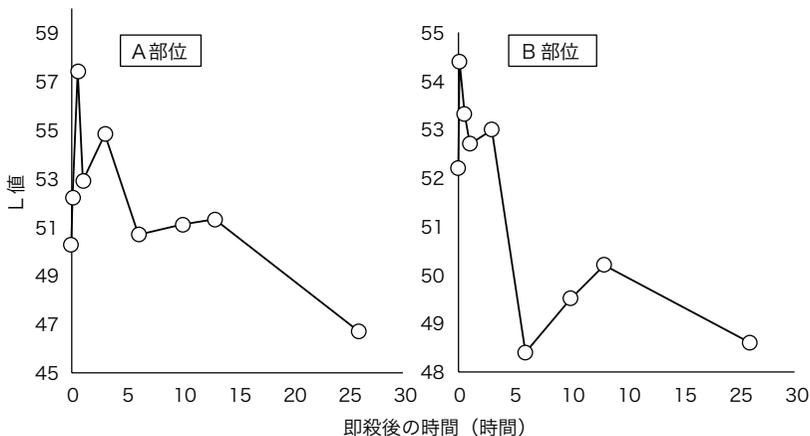


図3 麻醉下及び即殺後L 値の経時変化

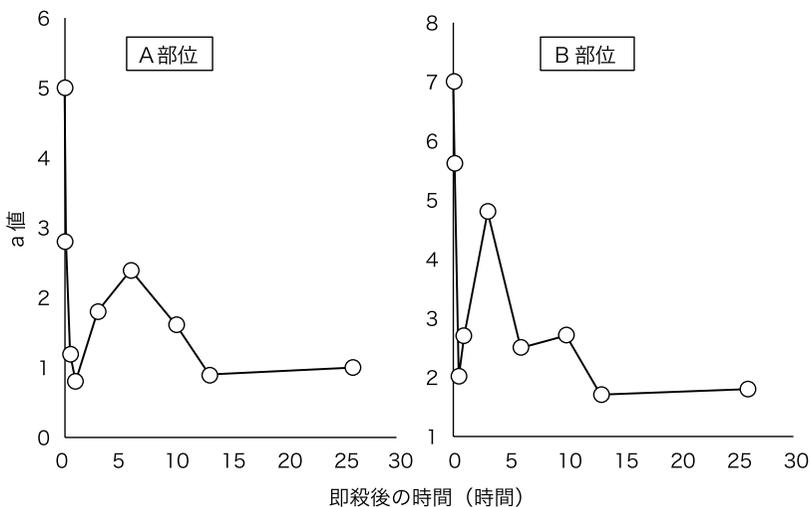


図4 麻醉下及び即殺後a 値の経時変化

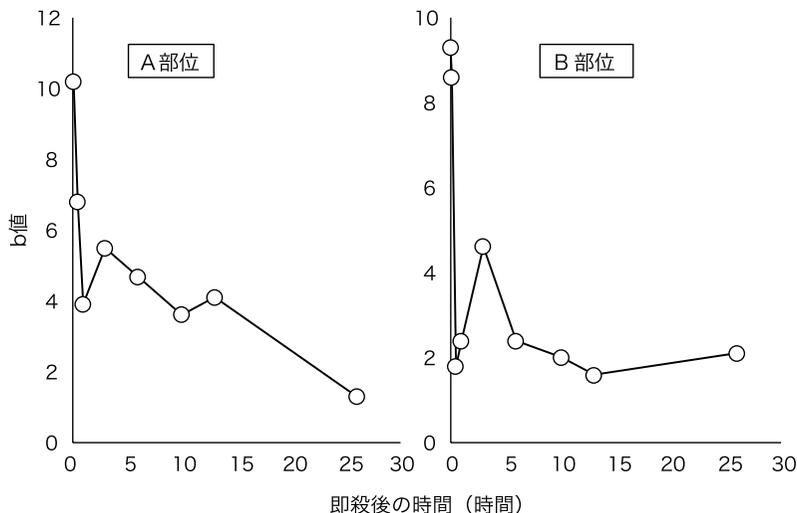


図5 麻醉下及び即殺後 b 値の経時変化

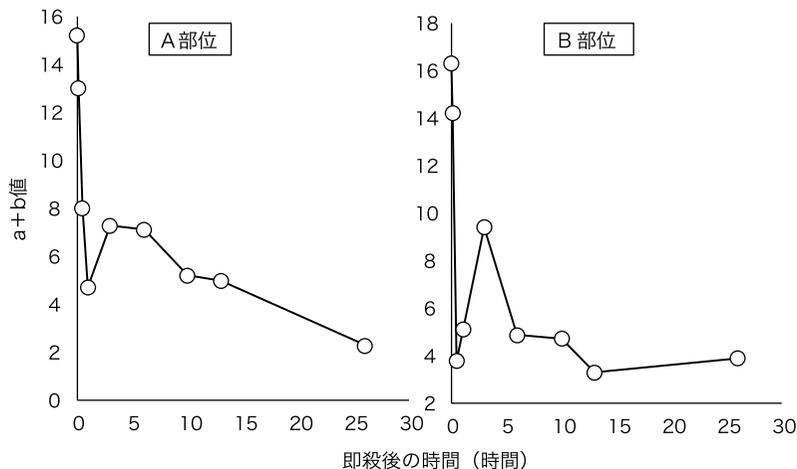


図6 麻醉下及び即殺後 a + b 値の経時変化

じ変化のパターンであった。

L 値が即殺後急激に高くなるのは、色素胞中のメラニン顆粒が延髄切断の刺激によって速やかに凝集する為に体色が明るく、白っぽくなったことを示す。凝集したメラニン顆粒は再び拡散していくことによって体色も元の様な色に戻る。赤色の色素顆粒は逆で、即殺によって急激に凝集するので体表の赤味が弱くなり、その後一時的に拡散してやや赤みが持ち直した後再び凝集して赤味が弱くなっていくことを示している。黄色の色素顆粒は即殺直後に大きく変化する

ることは無いが、30分後位から急速に凝集する。その後僅かに拡散してから再び凝集に転ずることを示している。

以上の結果から、マダイ体表の色調は即殺後短時間で色素胞中で色素顆粒の凝集、拡散が起こる為に大きく変化することが分かる。よって、即殺後に測色する時間を厳密に規定しておかないと測定しても意味が無いことになる。本試験では検討しなかったが、魚の殺し方やその後の保存条件等の一寸した違いでマダイの体色は大きく変わる可能性が有るのではないだろうか。

試験 -5

試験 -4 でマダイは即殺後短時間で体表の色が大きく変化することを説明した。この間色調に合わせて色素量に変化しているとは考え難い。そうなると色調と色素量の相関に疑問が生じる。よって本試験では、色彩色差計で測色した結果と色素量の関係を調べた。

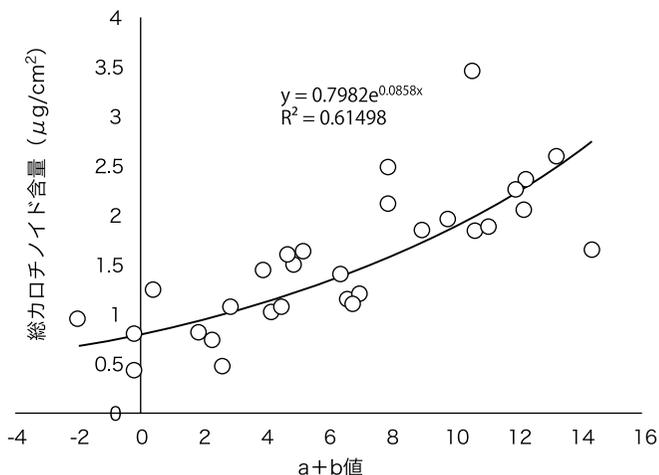


図7 a + b 値と総カロチノイド含量との相関

1. 方法

3カ所の異なる養殖場でオキアミミール添加飼料を用いて体色改善したマダイを1尾ずつ入手した。魚の年齢, 大きさ, オキアミミール添加飼料の投与期間等は養殖場によってバラバラであったが, FA100 麻酔下で延髄切断による即殺直後に色彩色差計で測色を行った後, 魚をそのままドライアイスで急速凍結して実験室に持ち帰り, 色素量を測定したのは各魚とも一緒であった。測色と色素量の測定を行った部位は試験 -3 と同じ 10カ所であった。

2. 結果

測色結果と総カロチノイド含量の関係を図7に示す。両者の間には $Y=0.7982e^{0.0858X}$, $R^2=0.615$, Y: 総カロチノイド含量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), X: a + b 値, の相関が認められたが, サケ・マス類の肉色と色素量の関係より明らかに相関が弱かった。

この結果は色彩色差計で測色するまでの条件をよほど厳密に規定しておかない限りマダイの体表の色素量を色彩色差計の測色結果で代表するのは危険であることを示している。養殖現場で測色条件を厳密に規定するのは難しいと考えざるを得ないので, 残念ながら色

色彩色差計による測色結果は参考値に止めておくのが無難であろう。

試験 -6

これまで色彩色差計による測色は魚の取り扱いが容易な事もあってFA100による麻酔下で行ってきたが, 麻酔が体表色の変化に影響を及ぼしている可能性も考えられる。よって本試験では, 麻酔の有無が生きた状態の色と, 即殺後の体色変化に及ぼす影響を調べた。

1. 方法

試験にはオキアミミール添加飼料を6カ月以上与えて飼育したマダイ4才魚6尾を用いた。供試魚の詳細は表6に示してある。何れも体重が900~1000g, 尾叉長が36~37cm, 肥満度(体重×100/尾叉長³)が1.9~2.0の外見上健全な魚であった。試験方法は図8の通

表6 供試魚の詳細

| 処置 魚 No. | 麻酔 | | | 直接 | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 体重 (g) | 948 | 1040 | 959 | 970 | 946 | 910 |
| 尾叉長 (cm) | 36.6 | 37.0 | 36.1 | 36.3 | 36.2 | 35.8 |
| 肥満度 | 1.93 | 2.05 | 2.04 | 2.03 | 1.99 | 1.98 |

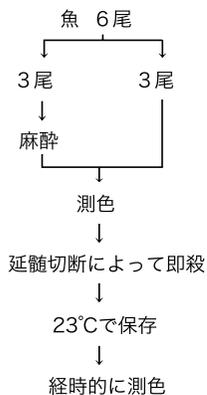


図8 試験方法

り、6尾中3尾は生簀から取上げた後FA100で麻醉し、背部の3カ所（試験-3の背部3カ所と同じ部位）を色彩色差計で測色した。残りの3尾は麻醉をしないままスポンジで包み、暴れないように無理やり押さえつけて測色した。この様な方法を行ったので、麻醉無しの魚は測色時に可也興奮していたものと思われる。その後両方の魚は延髄切断によって即殺し、23℃の保存温度下で経時的に色調の変化を調べた。なお、保存中は体表が乾燥しないように海水を含ませたティッシュペーパーを入れたビニール袋に密封しておいた。

2. 結果

各尾3カ所で測色した結果の平均値を表7に示す。図9の様に生きた魚のL値は麻醉下で測定した方がより高い値を示していた。麻醉無しの魚は取扱いによって興奮し、メラニン顆粒が色素胞内で拡散していたのであろう。麻醉した魚は即殺直後にL値はやや低下した後上昇し、再び低下した後一定の割合で高くなって行った。麻醉無しの魚の値は即殺直後に高くなり、その後も略一定の割合で高くなって行った。この様に麻醉下で即殺した魚の方が直後の

表7 麻醉の有無による即殺後の体色変化

| | L | | a | | b | | a+b | |
|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|
| | 麻醉 | 直接 | 麻醉 | 直接 | 麻醉 | 直接 | 麻醉 | 直接 |
| 即殺前 | 41.8 | 34.9 | 3.4 | 5.0 | 6.0 | 6.5 | 9.4 | 11.5 |
| 5分後 | 38.2 | 42.7 | 3.1 | 4.5 | 3.7 | 7.2 | 6.8 | 11.7 |
| 15 | 43.2 | 43.0 | 2.4 | 3.9 | 5.3 | 6.7 | 7.7 | 10.6 |
| 30 | 47.6 | 43.5 | 1.6 | 3.8 | 7.5 | 7.4 | 9.1 | 11.2 |
| 60 | 44.5 | 45.2 | 0.0 | 3.5 | 3.3 | 8.5 | 3.3 | 12.0 |
| 120 | 46.9 | 47.7 | -1.5 | 3.1 | 2.7 | 8.3 | 1.2 | 11.4 |
| 180 | 50.0 | 51.2 | -0.9 | 0.4 | 1.6 | 6.2 | 0.7 | 6.6 |
| 240 | 53.4 | 52.6 | 1.4 | -1.3 | 5.0 | 4.6 | 6.4 | 3.3 |

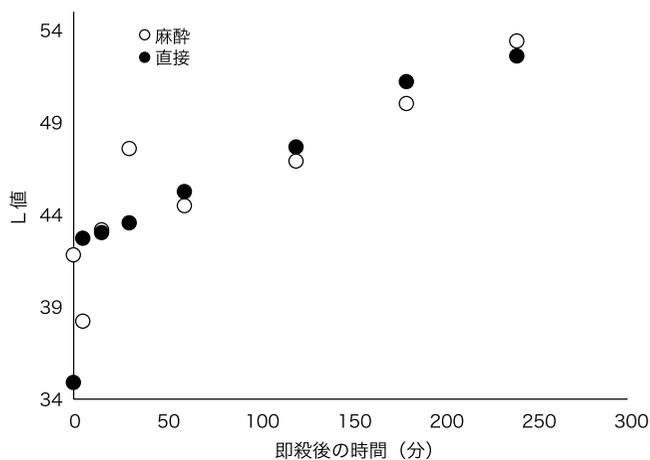


図9 麻醉の有無による即殺後L値の経時変化

L値の変化は大きかったが、即殺1時間以降の変化は麻醉の有無に拘らず略同じであった。

麻醉下で測定した生きた魚のa値はL値とは逆に麻醉無しの魚より低かった（図10）。麻醉無しの魚は興奮によって赤色の色素顆粒が色素胞内で拡散していたものと思われる。麻醉下で即殺した魚のa値の低下は著しく、麻醉無しで即殺した魚の変化とは明らかに異なっていた。麻醉無しの魚のa値は即殺後2時間目まで緩やかに減少したものの、比較的高い値を維持していた。2時間目以降は急激に低下した。

生きた状態で測定したb値は麻醉の有無に拘らず略同じ値であった。麻醉下で即殺した魚のb値は一時的に低下した後上昇に転じ、30分後に最高値を示してから再び低下した（図11）。

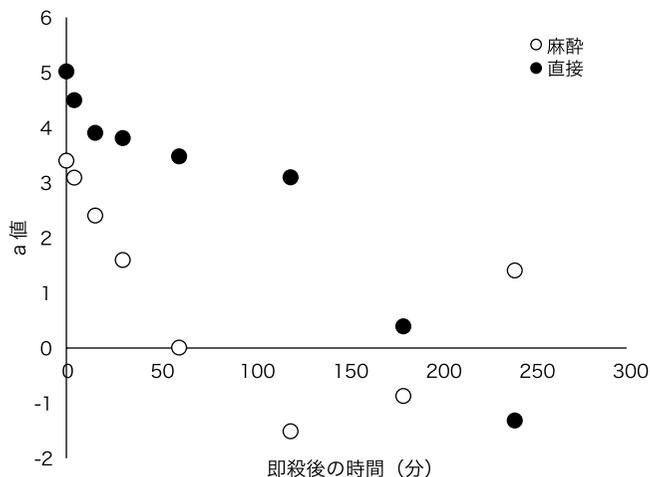


図 10 麻酔の有無による即殺後 a 値の経時変化

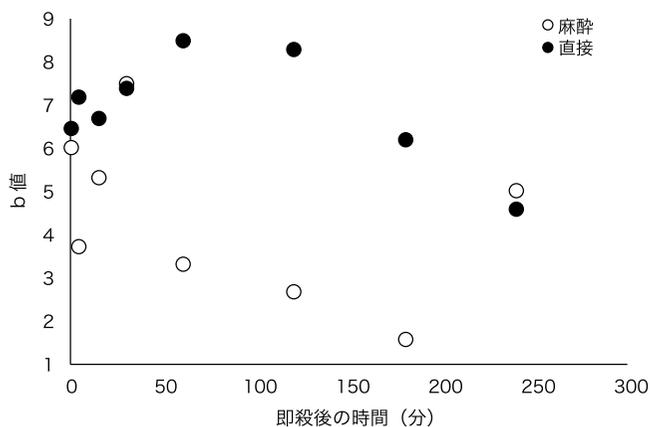


図 11 麻酔の有無による即殺後 b 値の経時変化

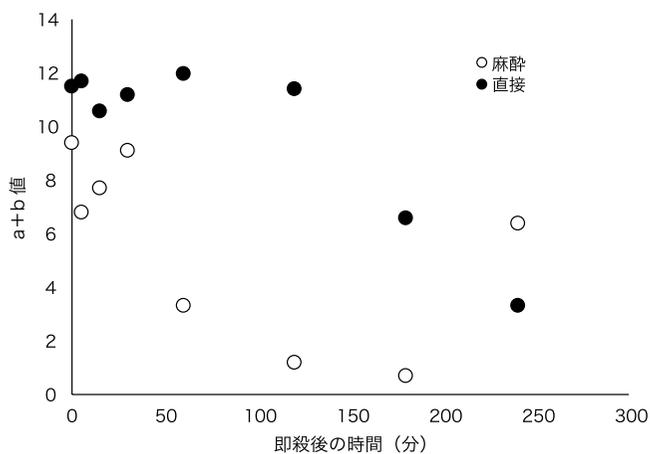


図 12 麻酔の有無による即殺後 a + b 値の経時変化

一方、麻酔無しの魚の b 値は即殺後ゆっくり高くなって 1 時間から 2 時間後にかけて最も高い値を示し、その後低下した。

a + b 値の変化は a 値と b 値の変化を反映し、生きた魚では麻酔下の魚の方が小さかった (図 12)。麻酔下の魚は即殺後一時的に低下した後上昇し、30 分後にピークに達してから再び急速に低下していた。一方、麻酔無しの魚は即殺後極短時間の間に多少の変化が生じていたが、高い値を維持しており、2 時間後まで麻酔下で即殺した魚より遥かに高い値を示していた。

上記の体色の変化を色素顆粒の動きで考えると以下の様になる。

L 値の変化からメラニン顆粒は即殺後直ちに凝集、拡散を行うが、1 時間後位から略一定の割合で凝集するのではないと思われる。赤色の色素顆粒はメラニンの動きとは全く違っており、麻酔下で即殺すると 2 時間後まで急速に凝集した後拡散する。一方、麻酔無しの魚は取扱いによって興奮している為か、色素顆粒は拡散していたが、即殺後 2 時間目までゆっくり凝集し、それ以降急速に凝集した。黄色顆粒の動きもメラニンや赤色素とは違っていた。生きた状態では麻酔の影響は殆ど認められなかったが、麻酔下で即殺すると一時的に凝集した後拡散していた。一方、麻酔無しの魚では即殺後ゆっくりと拡散し、1 時間から 2 時間後に最も拡散した後凝集し始めた。

この様に即殺前の麻酔の有無、云いかえると魚の興奮状態の違いに

よって、その後の体色変化が大きな影響を受ける。マダイの見た目の色はL, a, b値の何れにも影響を受ける。本試験条件下では麻酔無しで即殺した後1～2時間目位に市場で競りに掛けられれば最も高い評価を受けられるのではないかと推測する。

生きたマダイを競りに掛ける一定時間前にメる処理を行っているのは、本試験の結果から判断して理に適っている様に思える。

麻酔無しで即殺した魚のa, bおよびa + b値は何れも2時間目以降は低下する一方であったのに、麻酔下で即殺した魚のa値は2時間目以降、b値とa + b値は3時間目以降高い値を示す様になっていた。本試験では4時間目までしか測色していないので断言は出来ないが、麻酔下で即殺した魚の体色は2～3時間目以降に良くなるのかも知れない。そうであれば出荷前に魚をメるタイミングを変えることによって、最も見栄えの良い状態で競りに掛けられる時間の範囲が広げられる可能性が有る。

まとめ

今回行った6回の試験結果から以下の点を明らかに出来た。

・マダイはオキアミミールの色素を消化吸収し、体表に蓄積することが出来る。

・マダイにおいてもオキアミミールの主要色素であるアスタキサンチンは膵液と胆汁によってダイエステル→モノエステル→フリーへと分解され、フリーの形で幽門垂部と腸前半部で吸収される。

・マダイ体表の色調は部位によって著しく異なるので、色彩色差計による測色部位は厳密に規定しておかなければならない。

・延髄切断による即殺によって極短時間内に色素胞中で色素顆粒の凝集、拡散が起こり、体色が著しく変化する。体色を測定する場合には、魚の殺し方や保存条件等を厳密に規定しておく必要が有る。

・即殺前の麻酔の有無によって即殺後の体色の変化に大きな違いが生じる。言い換えると即殺前の魚の興奮状態によって即殺後の体色が大きく変わる。よって、測色するまでの魚の取り扱いには十分な注意が必要である。

・色彩色差計による測色結果と色素量の相関はあまり強くなかった。よって、マダイ体表の色素量を色彩色差計による測色結果で代表するのは現段階では危険である。測色条件について今後より多くの検討が必要である。

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

- 1) 片山輝久：水産動物のカロテノイド代謝－海産動物．水産動物のカロテノイド，恒星社厚生閣，東京，41-59（1978）
- 2) 酒本秀一：ニジマスによるオキアミミール色素の吸収．*New Food Industry*, **56**（5），46-58（2014）
- 3) 北村佐三郎：飼料．魚類の栄養と飼料（新水産学全集 No.14），荻野珍吉編，恒星社厚生閣，東京，247-306（1980）
- 4) 酒本秀一，佐藤達朗：ニジマスのグアニン含量－ヒメマスとの比較－．*New Food Industry*, **56**（4），44-56（2014）
- 5) 酒本秀一：カロチノイド色素．「養殖」臨時増刊 添加商品，32-39（2000）

歴史の潮流と科学的評価

(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)

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

*1 ロマリンダ大学栄養学部, *2 食のフロンティア塾

Key Words：食習慣，厳格な食養法，身体計測法，潜在リスク，シュタイナー代替食

8章 ベジタリアン児童と青年の身体的成長と発達

1. はじめに

西欧諸国の寿命は、大体、75～80歳です。人の寿命の約1/4は、遺伝と環境要因によって影響を受ける成長と発達のプロセスに費やされます。環境要因に関して、栄養は、身体の器官を健やかに成長させる為の、主要で最大の関心事です。両親、特に母親と、さらに社会的な制度に依存する幼児と児童の食べ物は、成長と発達の過程に関係し、重要です。環境要因は、妊娠中と殆どの幼児、児童期の間、物質的な支配化にあります。

ベジタリアン食を実施している親は、ベジタリアン食で育てる傾向があります。さらに、多くの北アメリカと西ヨーロッパの学童達は、強いられることなく、ベジタリアン食を信奉し始めています¹⁻⁴⁾。

成長と発達のプロセスには、特別なエネルギーと栄養要求が加わります。成長の研究では、

年齢と性別を参考にしたデータとの比較をする際の身長、体重が、初期の健康の指標となり、さらに、胴囲と皮下脂肪の測定が体組成に対する適切な情報を提供します。

特に、ビーガンやマクロビオティックのような、厳格な食養法で育った若いベジタリアンの成長と発達に影響する、栄養不足のリスクについての懸念が持ち上がっています⁵⁾。

この章での、ベジタリアン食の適正度に関する課題は、誕生から成人までの身体的成長と発達の段階を研究することで明らかにされます。また、この章は、ベジタリアン児童の食養法についての最近の文献と、成長と発達に対するこれらの食事の影響を解説します。

ベジタリアン児童と青年の成長と発達の最新の調査・研究を論説するためには、ベジタリアン食のカテゴリー、成長研究のタイプ、発達年齢を考慮しなければなりません。

2. 定義

A. ベジタリアン食のカテゴリー

ベジタリアン食は、主要な2つのカテゴリー

があります。これらのカテゴリーには、肉、魚、鶏肉はありません。2つのうちの最も緩やかなものは、ラクト・オボ・ベジタリアン食 (LOV) で、牛乳、乳製品、卵の摂取を認めています。一方、ラクト・ベジタリアン (LV) は、牛乳、乳製品は摂取しますが、卵は食べません。通常、ビーガンと称される純粋で厳格なベジタリアン食は、動物由来の食品は含みません。マクロビオティック食は、多くの場合、ビーガンのカテゴリーとされますが、この広く、精神性に基づく食養法を実施している人は、時折、ある種の栄養価値の少ない魚や肉を使います。未精製米、全粒穀類、海藻、大豆製品や味噌のようなマクロビオティック食が通常、消費され、新鮮な果物やサラダは避けられるか、たまにしか使用されません。過去 30 年の間、ベジタリアン児童と所謂、代替食で育った児童の成長と発達を検討した数多くの研究は、実際には、マクロビオティック食を実践している児童を主に対象にしているもので、この解釈は重要なことです⁶⁻¹²⁾。

B. 成長研究のタイプ

児童の成長を研究する2つの方法があります。同じ児童で、各年齢毎の研究手法は、縦断的フォローアップ又は前向き研究と呼ばれ、一方、各年齢毎で異なる児童を調査する研究は、断面研究と呼ばれます。断面研究法では、各児童はほんの一度だけ計測されるので、その年齢時のサイズだけが得られます。それゆえに、成長速度を計算することができません。所謂、混合縦断法がよく使用され、異なるコホートの児童が、比較的短い期間を通して繰り返し調査されます。例えば、3群 (コホート) の児童で、1群は、4～10カ月、2群目は、9～14カ月、3群目は、13～18カ月で、一斉に計測されます。この方法は、4～18カ月間の年齢を対象にし、比較的短い5カ月という期間の成長速度を推定することを可能にします。この研究方法は、デー

タから最大限の情報を得るために、注意深い標本抽出と特別な統計的手法が必要とされます。

C. 発達年齢と年代別の年齢

成長の研究には、発達年齢と生物的成熟の計測が必要です。これは、彼又は彼女という個人が、成人に向かってどのくらい成長したかという年代別の年齢よりも正確であることを示しています。年齢が同じ少年や少女の場合は、身体的発達の違いは明らかです。しかし、成熟時の身長は異なるので、身長は、身体的発達のあまり良い指標ではありません。

発達年齢を推定する様々な方法が考えられます。例えば、歯の年齢 (歯が始める時期と本数)、思春期の年齢 (思春期の様々な段階が始まる時期)、骨格と骨の年齢 (骨格が出来上がる状態) です。骨格の特殊な部分の発達を放射線写真で継続的に計測できる最後の方法のみが、成長の全期間を通じて適用できます。

3. ベジタリアンの幼児、児童、青年の成長と発達の総説

A. 症例研究

栄養失調を患っているベジタリアンの幼児についての医学的学術報告は、むしろ例外と言えます。これらの症例研究は、注意が必要です。というのは、全体として、それらは、ベジタリアンにとっては、それ程、特有なことではないのです。これらの栄養不足の例をさらに注意深く検討すると、幼児は通常のようなバランスの取れたベジタリアン食でなく、離乳時に、さらに制限されたベジタリアン養生法を受けていることが明らかになります^{5,14-18)}。

児童に与えられる、特別に制限されたベジタリアン食と、マクロビオティック食の潜在的リスクの問題は無視されてはならず、適切な関心と両親の食事哲学を重視しながら、適切に対応

されなければなりません。この点について、バランスの取れたベジタリアン養生法の知識を持つ栄養士は、児童への適切なベジタリアン食を提供することのために、両親を指導する重要な役割を演じることができます。

B. グループ研究

この章では、ベジタリアンの児童、青年の身体的成長と発達に関連して、人体計測学を用い、疫学的調査研究を解説します。表 8-1 は、これらの成長研究のわかりやすい一覧表です。この表から、以下の予備観察ができます。

1. ベジタリアン カテゴリー

23 件の研究のうち 9 件が、ラクト・オボ・ベジタリアン (LOV)^{19, 21-23, 25, 27, 28, 37, 38)} の被験者に関連するもので、5 件が、ビーガン^{20, 26, 39-41)}に関連し、3 件がマクロビオティック (Mbiot)^{1, 2, 24, 47)}で、6 件がマクロビオティックと LOV⁶⁻¹¹⁾に関連していました。

2. 年齢群

幼児、就学前の児童と就学児童は、最も良く研究された年齢群で、半面ベジタリアン青年の人体計測学データは、不足しています¹⁹⁻²³⁾。

3. 研究のタイプ

ベジタリアン児童の縦断的な成長研究は大変に少なく、殆どは、非常に短期間のものです^{6, 10, 20, 21)}。さらに、これらの研究の殆どは、断面研究の統計的手法を採用し、成長速度は実測していません。適正な統計的デザインを決めるためには、マクロビオティック児童についての複合縦断研究のみが、必要な手順を明記していました²⁴⁾。2 件の研究^{9, 23)}のみが、発達年齢を考慮に入れていました。

4. 身体測定

身長のみが考慮された、2 件を除く全て^{22, 25)}の研究で、身長と体重が計測され、また、他の多くの研究では、生活環境と皮下脂肪が計測されました。しかし、両親の身長も考慮に入れな

いとすると、身長だけでは比較的弱い健康指標であることを指摘されなければなりません。個人の健康を監視するために、頻繁で短期間で、しかも正確な計測に基づいた、成長率や成長速度を用いることは、バランスの悪い栄養から発生する共通の疾病を観察し、最終的に見つけるためには、良好な研究デザインです。

5. 標本

登録者はいないため、ベジタリアン児童の無作為標本を選ぶことは不可能でないにしても、大変に困難なので、全ての研究は、1 つか別の方法で、応募者を募集します。しかし、ある研究では、実際、地域社会の全ての児童が計測され、また、他の研究では、マッチド・ペアデザインが採用されました²⁷⁾。標本サイズは大きく変化し、例えば、17 人²⁸⁾という小さいものから、2,000 人以上の被験者²¹⁾に及びました。

ベジタリアンの成長と発達に関連した研究の結果を討議する際、特に 1960 年代と 1970 年代の初期の、何年にもわたって、ベジタリアン成人が実施した、生活態度、信条や行動の顕著な変化を心に留めなければなりません²⁹⁾。これらの変化は、ベジタリアンの両親の育児への行動と、若いベジタリアンの子供に影響を及ぼしたようです。この実態を調べる研究は、かなり内容のある文献を生み出しましたが、基本的には、同じグループの児童から回収した情報の、比較的少ないコホートに基づいていました。(Sabate, Dwyer, Sanders の研究参照) セブンスデー・アドベンチスト (SDA) 児童と青年の成長に関する多くの研究が実施されましたが、ベジタリアンの代々受け継いだ、生活習慣の及ぼす影響に焦点を当てたものはありません。長寿ベジタリアンの正確なデータは不足していますが、ベジタリアニズムの教義と、健康に繋がる生活習慣の実行と、世代の継承が順調に経過したグループなので、栄養問題は少ないことが期待できます。ベジタリアン児童と青年の生涯の

表 8-1 ベジタリアン児童の成長研究についての概要

| 著者 (文献NO) | 年 | ベジタリアンの分類 | 年齢層 (歳) | 研究方法 | 標本数 | 身体計測 | 備考 |
|----------------|------|-----------------------|----------|---------------|----------------------|---|---------------------------|
| hardinge (19) | 1954 | ラクト・オボ・ベジタリアン (LOV) | 13-17 | 断面研究 | 30 | 身長, 体重 | セブンスデー・アドベンチスト, 終生 |
| Shull (6) | 1977 | LOV, マクロビオテック (Mbiot) | <5 | 縦断研究 | 38 (LOV), 34 (Mbiot) | 身長, 体重 | |
| Dwyer (7) | 1978 | LOV, Mbiot | <5 | 断面研究 | 119 | 身長, 体重 | |
| Dwyer (8) | 1980 | LOV, Mbiot | 0-6 | 断面研究 | 65 (LOV), 77 (Mbiot) | 身長, 体重 | |
| Fuison (39) | 1980 | ビーガン | 2-5 | 断面研究 | 48 | 身長, 体重, 腕囲, 上腕三頭筋と肩甲下の皮下脂肪 | 農場, 終生 |
| Sanders (40) | 1981 | ビーガン | 1-5 | 断面研究 | 23 | 身長, 体重, 腕囲, 頭囲 | 終生 |
| Dwyer (9) | 1982 | LOV, Mbiot | 0.8-8.4 | 断面研究 | 39 | 身長, 体重 | 20名の Mobit の骨年齢 |
| Dwyer (10) | 1983 | LOV, Mbiot | 0-6 | 縦断研究 | 142 | 身長, 体重 | 1980年の Dwyer と同じ被験者? |
| Hebert (38) | 1985 | LOV | <6 | 縦断研究 | 627 | 身長, 体重 | 全員魚を摂取, マドラスの児童 |
| Staveren (11) | 1985 | LOV, Mbiot | 0-8 | 断面研究 | 33 (LOV), 33 (Mbiot) | 身長, 体重 | アントロポゾフィー食の児童 |
| Rona (37) | 1987 | LOV | 6-12 | 断面研究 | 2506 | 身長, 体重, 上腕三頭筋皮下脂肪 | インド系の英国児童 |
| Sanders (20) | 1988 | ビーガン | 0-17 | 縦断研究 | 39 | 身長, 体重, 腕囲, 頭囲 | |
| Dagnelie (47) | 1988 | Mbiot | 0-8 | 断面研究 | 243 | 身長, 腕囲, 上腕三頭筋と肩甲下の皮下脂肪 | 時折, 赤身肉と魚 |
| Staveren (12) | 1988 | Mbiot | 0-8 | 断面研究 | 300 | 身長, 体重, 腕囲 | 既報の要約 |
| Dagnelie (24) | 1989 | Mbiot | 4-18 カ月 | 縦断研究, 他 | 53 | 身長, 体重, 尻長, 稜間径, 頭囲, 腕囲, 上腕三頭筋と肩甲下の皮下脂肪 | 時折, 赤身肉と魚 |
| O'Connell (26) | 1989 | ビーガン | 4-18 カ月 | 混合縦断研究 | 53 | 身長, 体重 | 農場, 終生 |
| Tayler (28) | 1989 | LOV | 11-12 | 断面研究 | 17 | 身長, 体重, 腕囲, 上腕三頭筋皮下脂肪 | 終生 |
| Sabate (21) | 1990 | LOV | 6-18 | 縦断研究 (1年) | 2272 | 身長, 体重 | セブンスデー・アドベンチスト |
| Sabate (22) | 1991 | LOV | 7-18 | 断面研究 | 1765 | 体重 | セブンスデー・アドベンチスト |
| Sabate (25) | 1992 | LOV | 11-12 | 断面研究 | 68 | 体重 | セブンスデー・アドベンチスト |
| Sanders (41) | 1992 | ビーガン | 5.8-12.8 | 縦断研究 (断面分析) | 20 | 体重, 身長, 腕囲, 頭囲, 上腕三頭筋と上腕三頭筋と肩甲下の皮下脂肪 | 終生, 児童 15名は非ビーガン食を気にしなかった |
| Nathan (27) | 1997 | LOV | 7-11 | 縦断研究 (マッチドペア) | 50 | 身長, 体重, 腕囲, 上腕三頭筋と上腕三頭筋の皮下脂肪 | 被験者数名は魚を時折食した。 |
| Hebbelinc (23) | 1999 | LOV | 6-18 | 断面研究 | 82 | 身長, 体重, 上腕三頭筋と上腸骨と下腿の皮下脂肪 | 運動機能テスト |

成長と発達に関して、ある種の適切な機序が、最終的な結果に影響しているかも知れません。しかし、今まで、この問題に光を当てた研究で、長寿のベジタリアンと何世代にもわたるベジタリアン家族に対しては実施されていません。

C. 食事のカテゴリー別からみた研究の総説

生化学的な成長と発達に関連する栄養要求度が高いので、不適切な食事の問題は、幼児、児童や青年期に発生し易いようです。ベジタリアン児童と青年の成長の問題は、ベジタリアン食のカテゴリーを考慮に入れることが最良です。なぜなら、成長の状態に見られる違いは、食品の選択が反映するからです。以下のベジタリアン児童の研究は、食事のカテゴリー別で論じられます。

1. ラクト・オボ・ベジタリアン
2. ビーガン
3. マクロビオティック

1. ラクト・オボ・ベジタリアン (LOV) の児童と青年

a. SDA 研究

殆どが LOV である SDA は、非ベジタリアンと比べ、学童や青年の体格は、同じか^{19,25,28)} それ以上^{21,22)} です。1件²¹⁾を除き、これらの研究の全ては、断面研究であることに注目すべきです。また、SDA の人々は、タバコは吸わず、アルコール飲料も飲まないという健康志向の規律にこだわっていることを踏まえ、Sabate ら²²⁾ は、SDA のベジタリアン児童と SDA の雑食者の児童とを比べ、ベジタリアンの少年、少女の方が、少し身長が高いことを報告しました。

Tayter と Stanek は、10～12歳の少数 ($n=17$) のラクト・オボ・ベジタリアン児童を対象に、同年齢で同性の雑食者グループの児童と比べた場合、人体計測学的数字 (身長、体重、腕中部の円周、三頭筋の皮下脂肪、体重/身長指数) は、

グループ内では有意差がないことを報告しました。驚くべきことに、体重/身長指数は、LOV の少女で 30%、雑食者群の少女で 10% の体重オーバーを示しました。この特別な研究は、標本数が少ないので、注意深く結論を出さなくてはなりません。しかし、ベジタリアン食は、自動的に、痩身には繋がりません。さらに、エネルギー摂取、身体活動量も、この問題に対し光を当てるために記録される必要があります。研究の多くは、エネルギー消費を報告していますが、あったとしても、記録されているものはわずかです。

6～18歳の2,272人の学童と青年の縦断研究において、SDA 少女は公立学校の同群よりも有意に痩身で、SDA 学校の少女は、青年への急成長期は1年遅れることを、Sabate ら²¹⁾ は報告しました。身長の成長速度がピークになるのは、女子で11歳、男子で14歳です。急成長度は、SDA の学童よりも、公立学校の児童の方が大きいのです。

以前に報告された SDA についてのデータに基づく異なった分析では、SDA の思春期前の女子 (11～12歳) は、対照よりやや低く (3 cm) なる傾向にあり、アドベンチスト・ベジタリアン女子は、思春期の成熟期が遅れることを示唆していることに、Sabate²⁵⁾ らは注目しました。思春期が遅れるこれらの知見は、肉のない食事と初潮年齢間には有意な相関があるという証拠を提供した、Sanchez ら³²⁾、Kissinger と Sanchez³³⁾ の研究によって支持されます。この点から、乳がんのリスク因子は早い初潮に関連し、これに注目することは重要です^{34,36)}。結局、ベジタリアン女子の遅い初潮は、健康に利点をもたらすこととなります。

b. フランダースのベジタリアン児童、青年、若齢成人の研究

フランダースの LOV 児童、青年、若齢成人の最近の研究では、ベジタリアン青年群の、

BMI, 身長, 体重が有意に低い ($p<0.05$) ことを除いて, 対照の標準群と比べ, 身長と体重には差がないことが示されました。三頭筋と腸骨上部の皮下脂肪は, 3群 (児童, 青年, 若齢成人) で, 有意に ($p<0.05$) 低く, ふくらはぎの皮下脂肪は, 青年女子でのみ有意に低値 ($p<0.05$) でした。思春期の判定の結果は, 明らかに遅い12歳の女子だけを除き, ベジタリアン被験者の全ては, 通常の発達の範囲 (P3 ~ 97) にありました。さらに, ベジタリアン女子の平均初潮年齢の13.2歳は, フランダース対照データと同じでした。

この研究は, 初潮の遅れが, 身体的成熟の遅れを意味するという仮説を支持してはなりません²⁵⁾。この点から, 食事が初潮年齢と相関してホルモン量を変化させるという仮説³³⁾を調べるために, 早めか, あるいは遅れておこる初潮の前後を通して, 食事とホルモンとの関係についての研究が実施されるべきであることを示唆しています。

この研究の特色は, 身体適正検査を含んでいることです。総合的には, ベジタリアン児童 (6 ~ 12歳) 群は, 標準と比べ, 身体的能力に違いはありません。しかし, ベジタリアン青年は, 瞬発力 (立ち幅飛び) と筋肉の持久力 (30秒間の座り立ちテスト) 値は有意 ($p<0.05$) に低く, 反面, 心肺テスト (ステップテスト) は, 対照の数値に比べ, 有意に良好な結果を示しました。この知見は興味深いことですが, 研究の対象となった, ベジタリアン児童 ($n=10$) と青年 ($n=19$) の数は少ないので, 結果については, 注意深く解釈されなければなりません。さらに, 著者が指摘しているように, 研究の対象となった集団には, 力を必要とするスポーツよりも, 多くは持久力運動を実施しているという, スポーツのタイプや, 数多くの交絡因子があります。

c. 北英国の縦断的成長研究

最近, 年齢, 人種や性別を補正した, 50人

のベジタリアン児童と雑食者50人の児童との縦断的比較研究が実施されました²⁷⁾。この研究では, ベジタリアン食は, 乳製品, 卵と, 時折, 魚を含み, 肉や肉製品は含まないと定義され, また, もう一つの基準として, 少なくとも, 3カ月間, ベジタリアン食を続けることでした。50人のうち, 43人が, 1年以上肉を食べず, 2人が6 ~ 12カ月, 残りの5人が3 ~ 6カ月でした。身体計測 (身長, 体重, 中・上腕状態, 上腕皮下脂肪) が, 研究開始時と1年後に実施されました。父親の身長, 両親の喫煙習慣と兄弟の数を考慮に加えて, 測定結果を全て検討したところ, ベジタリアンの身長の増加は予想より少なめでしたが, 雑食者の群より, 有意 ($p<0.05$) な増加でした。しかし, ベジタリアンも雑食者群も, 英国の身長と体重の標準値の50パーセントイルに対し, 近接していたことは, 注目すべきです。

最後に, インド人ベジタリアン児童の2件の研究は, ラクト・オボ・ベジタリアン児童のついでに報告で, 興味のある内容です。

d. 英国のインド人ベジタリアン児童

英国連邦在住小学校生の栄養監視機構の一貫として, Ronaら³⁷⁾は, インド人のGujarati, Urdu, Punjabi グループ内での, 成長の状態とベジタリアニズム間の関係を研究しました。これらのインド人の家族の多く, 特にGujaratiは, ベジタリアンの生活習慣を実践していました。アジアでは, ベジタリアンの女子は, 非ベジタリアンに比べ低い身長の傾向がありました。この差は, Urdu群でのみ有意 ($p<0.05$) でした。交絡因子を補正した後でさえ, ベジタリアンと非ベジタリアンの体重/身長と三頭筋皮膚厚には有意な差はありませんでした。

e. マドラスのインド人ベジタリアン児童

この研究は, 15カ月以上の期間で, 身長と体重を3回測定し, 縦断的に実施されました³⁸⁾。

気質や社会経済的に似通った、マドラスの3カ所の漁村の身元が証明できる家庭から、6歳以下の児童 ($n=191$) が無作為に選ばれました。平均的には、3～6歳の肉を食べない児童（乳製品や魚は摂取する）は、123人の肉食者の児童より、有意に高い身長でした。

成長と発達に関し、ラクト・オボ・ベジタリアンの研究から得られるこれらの知見から、何を学べばよいのでしょうか。

■様々なラクト・オボ・ベジタリアン集団の食事習慣は、全て同じではなく、ある人は、魚を食べ、また、ある人は少量の肉を食べています²⁵⁾。

■潜在的な交絡因子を考慮した後でさえ、ベジタリアン児童は、肉食者の児童と少なくとも同じ身長に成長しているということを、身体測定の結果は示していました。その上、研究の大多数で、ベジタリアン学童は、肉食の学童に比べ、痩身を示しています。

■ベジタリアン少女は、肉食者の人より思春期が遅れることを、2件の研究^{25, 28)}は示唆し、また、初潮は第2次性成長の始まり同様、標準指標の範囲内にあることを、1件の研究は示しました。

2. ビーガン児童

a. The Farm 研究

80年代、サマータウン近郊のテネシーにある、厳格なベジタリアン社会のThe Farmに住む、ビーガン児童についての2件の研究が、科学的な論文で報告されました^{26, 39)}。マーガリンを除き、白砂糖、最小限の穀類、酵母や共同体員向けの全ての食品は、The Farmで生産されました。しかし、この全種植物性の食事は、問題が明らかになったので、ビタミンB₁₂で栄養補給が実施されました。

2～5歳の48人の児童が最初の被験者となりました³⁹⁾。標本は無作為になされました。

身体計測結果の要約は以下になります。

■全ての年齢と性別群の平均身長は、国の標準より低く、28人の男子のうち、5人は50パーセント以上で、4人が、10パーセント以下でした。2人を除く、2～3歳少女の全員が、50パーセント以下でした。身長に関するこれらのデータを解釈する場合、両親の計測はしていないので、遺伝的な影響は加味されていないことを注目すべきです。

■2歳の少女群だけが、平均身長を越えていました。15人の少年の体重は50パーセント以上で、3人が、10パーセント以下でした。少女群の体重では、9人が、50パーセント以上で、2人だけが、10パーセント以下でした。不幸にも、体重/身長の関係は検討されなかったため、それだけで、体重を評価することは困難です。

■4, 5歳の少女の数字を除き、三頭筋皮下脂肪の平均値は、標準と同じか、越えていました。5歳の少女の肩甲骨下の皮下脂肪は標準を越えていました。

■4, 5歳少女の腕周りは標準以下でした。さらに、4歳の少年、少女の腕力は、標準には達せず、また、一方、5歳女子の腕力の平均値は標準より高い値でした。

総合的に見ると、この研究は、多くの興味深いデータを提供していますが、一定の偏差値がなく、また、統計的な推定ができない為に、不可能でないにしても、結論を出すことは困難です。

この共同体に住んでいる、植物性食品を摂取する4カ月から10歳までの404名のビーガン児童の幅広い研究が、疾病管理センター (CDC) とThe Farmにより実施されました²⁶⁾。これらの児童の83%が、離乳後ビーガンとなり、動物性食品を全く食べませんでした。身長、体重、体重/身長のデータの殆どは、国の基準に対し、

25～75パーセント以内であることをこの研究は示しました。しかし、身長、体重の平均値は、標準値より少し低い値でした。年齢が異なる群では、標準値より、平均身長は、0.2～2.1 cm 低く、平均体重は、0.1～1.0 kg 低い値でした。最も大きな身長差は、1～3歳児で見られました。10歳までは、標準値より平均して0.7 cm、1.1 kg 低い値でした。結果として、著者らは、標準値より少し低い値であるが、これらの児童は、適正に正常な成長状態に到達していると結論付けました。この研究では、又、両親の身長と社会経済的レベルの補正は実施していませんでした。

b. 英国連邦のビーガン研究

Sanders ら^{20, 40, 41)}によって、ビーガン児童の成長期と発達期について、3件の一貫した研究が報告されました。最初の研究⁴⁰⁾は、17軒のビーガン家族の、1～5歳で、23名(8名の男子、15名の女子)のビーガン児童という小規模の集団で構成されていました。この横断研究の主要な成果として、全ての児童の出生体重(平均3.23kg, s.e=0.87)は、正常な範囲であり、年齢別体重も正常な範囲でしたが、殆どは50パーセント以下で、5名の児童は、10パーセント以下でした。年齢別身長は、両親が低い兄弟姉妹を除き、正常な範囲であり、50パーセント以下の児童が多数でした。限界体重だった1名の18カ月の女子を除き、体重/身長の比率は、全て正常な範囲にありました。この児童は、アレルギー反応の為に食事制限が必要でした。栄養不足を示す中腕囲の児童はいませんでした。頭囲は標準に比べ正常で、50パーセント以上の児童が多数でした。

これらの知見に基づき、1人の少女を除き、学童前のビーガン児童の成長期は正常であると著者らは結論付けました。

1988年、Sanders ら²⁰⁾は、ビーガン児童の成長についての縦断研究による、3件のコホー

トを報告しました。(児童の正確な人数は示されていません。成長のチャートにプロットされた点は、34～42個ですが、1981年の23人のビーガン児童の研究は参考となります)アレルギーを患う13カ月の一人の少女を除き、身長、体重、頭囲、胸囲は正常の範囲でした。(上記)興味深いことに、8歳時の再調査では、少女の身長と体重は、追いついていました。(P75)一般的に、女子の体重は、50パーセント以下以下の傾向になり、男子は身長、体重が、50パーセント以下になる傾向があります。

3回目の研究では、それ以前の2回のコホートから、5.8～12.8歳の20名のビーガン児童が選出され、身体計測が実施されました⁴¹⁾。それ以降も、これらのビーガン児童の成長と発達は正常で、身長、体重は正常に範囲にありました。しかし、体重は、標準と比べ軽い傾向にありました。彼らは全て痩身で、低い皮下脂肪に反映されていました。児童は全て平均15.5カ月(3カ月～8年)の母乳であったことは注目すべきことです。20名のうち、3名が市販の幼児用牛乳が与えられ、それぞれ1週間、2年と5年でした。歯の健康に関しては、19名の児童が歯医者にかかり、18名が定期的に通いました。標準指数と比べ、抜歯、虫歯、詰め歯の数は低い値でした。(DMF指数1.2, S.E.0.38)後者の知見は、同じ地域に住む非SDA学童と比べ、SDA児童と青年(6～17歳)は、低い虫歯率を示すという初期の研究結果を確認することとなります⁴²⁻⁴⁴⁾。歯の健康に関するこれらの研究の内の2件は、精製炭水化物の食事を減らすことを強調し、過度の甘いものとスナック菓子を制限する、アドベンチストの教育プログラムにとっての標準となります。この生活習慣は、虫歯に罹患しにくくなることを示唆しています。

ビーガンの生涯を研究したThe Farm研究と英国連邦研究の双方から、変化に富んで、良く

考えられたビーガン食で育てられた幼児、児童、青年は、正常な成長と発達に必要な適正な栄養素とエネルギーを獲得しているように思われます。彼らは、無制限食の児童より、瘦身の傾向がありますが、身長、体重は標準の範囲にあります。ビーガン幼児の成長は雑食者の児童に比べ、ゆっくりとしており、また、瘦身という知見は、ビーガン女性が平均的雑食者の女性に比べ、より長く母乳で児童を育てる傾向によるものです。このゆっくりとした成長期の体重増加は、その後の生涯において、ある種の疾病の罹患率を制御する因子に関連しているようです^{45,46)}。

3. マクロビオティック児童

a. ボストン研究（ベジタリアンとマクロビオティック）

これらの就学前児童の成長研究では、最初に、マクロビオティックと非マクロビオティック児童を分けることから実施されました⁶⁾。2歳以下の非マクロビオティック・ベジタリアン児童 ($n=72$) の成長（体重と身長）は抑制が見られ、一方、2歳以上の男子の体重は、遅れはありませんでした。さらに、2歳以上では、マクロビオティックは非マクロビオティック・ベジタリアンより、有意に早い体重増加を示しました。2歳前では、マクロビオティック児童の平均的体重と身長の増加速度は、非マクロビオティックと有意な差はありませんでした。

その後の出版の中で、Dwyer ら⁷⁾ は、ベジタリアン食を動物性食品の避け具合により分類し、3種かそれ以上の場合は「極度に制限 (extensive)」とし、3種以下の場合は「制限 (limited)」としました。(sic) かなり幼い幼児は、殆どが母乳なので、6カ月以下の被験者の忌避食品のパターンは、分離して扱われました。6カ月以下 ($n=18$) の被験者の半数以上（全て、母乳育ち）の、体重、身長、三頭筋皮下脂肪は

50パーセントに到達していたか、超えていました。また、6～17カ月 ($n=27$) の半数以上は、同じ指標で、50パーセント以下でした。18カ月かそれ以上の児童 ($n=74$) の半数以上は、50パーセント以下の、体重、身長、三頭筋皮下脂肪でした。平均よりかなり低い ($2<sd$) 頭囲の1名のベジタリアンを除き、ベジタリアンと非ベジタリアン幼児双方の頭囲は、期待値に近いものでした。食事のタイプへのこだわりに関して言えば、極度に動物性食品を避けた食事では育てられた、母乳育ちでない年長の幼児は、全ての被験者の中で、最も小さく、瘦身ということをデータは示唆しています。これらの被験者の45% ($n=22$) は、極端な瘦身でした。(三頭筋皮下脂肪は $<3sd$ パーセント) パーセントの身長を考えに入れた場合、ベジタリアン幼児の半数以上の低めの被験者は、まだ、10パーセント以下に入っています。(87%はマクロビオティックです)

異なるタイプのベジタリアン食を摂取する就学前児童を対象にした比較的少数の標本 ($n=39$) の中で、両親の身長を補正した後でさえ、ベジタリアン児童 (0.8～8.4歳) はグループとして低く、また、国の基準より軽いことを Dwyer ら⁹⁾ は、見出しました。20名のマクロビオティック児童の妊娠月は平均43.2カ月で、一方、平均月齢は51.7カ月でした。マクロビオティック被験者の1/4 ($n=5$) は骨年齢を遅延させ、一方、被験者の殆どは正常な範囲にあり、さらに、1名骨年齢の早い者がいると、著者らは、結論付けました。これらの少数の標本からの結果を一般的なものとするには、その間には、どれだけの距離があるのかという問題が発生します。著者らは、これらの限界を感じており、非ベジタリアン児童とベジタリアン児童のサブグループの年齢と性別を一致させることは不幸にも困難であるので、身体計測による知見から、確実な結論は見出せないとしています。

また、マクロビオティック児童の誕生月の遅れは、他のベジタリアン群のデータが無いので、あまり明確にはなりません。

1983年、Dwyerら¹⁰⁾は、2,3週間から6歳にいたる、142名という比較的規模の大きいベジタリアン児童の結果を報告しました。児童は、動物性食品の制限の程度に従って分類されましたが、この時の研究者らは、被験者を、5種の動物性食品のうち4種かそれ以上避けた場合を「極度に制限」とし、4種未満の場合は「制限」としたことは注目すべきです。著者らは、動物性食品の限度を3種(従来の研究)から4種(今回の研究)になぜ変更したかは、説明していません。身長と体重測定結果が、Jenss-Bayley曲線適合法を用いた成長曲線に当てはめられました。ベジタリアン児童の成長曲線は、標準に比べ、0.5～1.0 kg, 1～2cm 下回っていました。さらに、マクロビオティック児童の身長、体重曲線は、他のベジタリアン児童より抑えられていました。成長曲線での差は、幼児を最も長期間母乳で育てたマクロビオティックの離乳後で、最も顕著でした。ベジタリアンの成長速度は、ベジタリアン食に関連する数多くの異なる因子が関与していることを、後者の知見は、再度、示しています。

b. 代替食でのオランダの児童

予備研究として、代替食(33名のベジタリアン、26名のシュタイナー派、33名のマクロビオティック*)で育てられた1～3歳の92名の児童の身長と体重が、対照群としての雑食者の50名の児童と比較されました¹¹⁾。ベジタリアンとシュタイナー食で育てられた児童は、雑食者群に比べ、少し、軽量で、低い身長でし

たが、測定値は、標準の範囲内でした。しかし、マクロビオティック児童は、対照群に比べ、体重と身長は有意に低い値でした。

1988年、van Staveren¹²⁾らは、3種の代替食(エコロジカル、シュタイナー、マクロビオティック)の児童に関する4件の研究の総説を出版しました。マクロビオティック児童(8カ月～8歳、 $n=300$)、特に5カ月の成長(身長と体重)の遅れを確認しました。Dwyerの研究とは対照的に¹⁰⁾、成長が追い付くことは見られませんでした。1部の標本($n=43$, 4～6歳)を選び、知能を試験したところ、マクロビオティック児童群では、異常な精神的発達を示さなかったという事実は、興味のあることです。

Dagnelieら⁴⁷⁾は、同じ年齢で、243人(0～8歳)のマクロビオティック児童の生涯についての横断研究を報告しました。出世時体重は、オランダ人の標準より150g少なく、魚と乳製品の摂取と正の相関がありました。6～8カ月の体重、身長、腕囲は標準曲線に比べ明らかに低く、この抑制は男子より女子で明らかでした。標準に対して50パーセント以下以下の1～1.5の標準偏差の最小値は、18カ月で到達していました。2～4歳の間では、50パーセント以下に対する部分的な追い付きが腕囲で見られ、男子のみに身長と三頭筋厚で見られましたが、身長では見られませんでした。

年齢を合わせた対照群と比較して、53人のマクロビオティック幼児の複合縦断的成長研究が実施され、Dagnelie²⁴⁾らは、次の結果を報告しました。4～8カ月の年齢では、マクロビオティック被験者の全ての身体計測値は有意な低値でした。誕生から4カ月のマクロビオティッ

* 当研究での、代替食の児童を分類する基準は、通常のベジタリアン食に関する分類とは異なることに注目することは理にかなっています。例えば、1週間に2回以下肉を食べる場合の児童でも、ベジタリアンと分類され(sic)、シュタイナー食は原則ベジタリアンではありませんが、実際は、死亡した動物の肉は、めったに利用されません。マクロビオティック食はビーガン食のパターンに類似していて、実際、離乳後の幼児は動物性食品は摂りません。後者の状況は、32名のマクロビオティック児童のうち、1名は、肉、魚、魚介類、卵、乳製品を食べ、6名は、肉及び肉製品を摂らず、7名は、肉、魚を、9名は、肉、魚、卵を、9名は、肉、魚、魚介類、乳製品を摂らないという著者が報告した事実と異なっています。

ク幼児の体重増加は、対照群より低い値でした。体重、身長、腕囲の成長率は、8～14カ月の間が最も低い値でした。同じ成長期間では、腕の筋肉の増加は、対照群に比べたった半分以下でした。14カ月の年齢から成長は安定し、オランダの標準の10パーセントイルになりました。マクロビオティック離乳食の低いエネルギーとたんぱく質量は、6カ月後の成長の遅れに影響していると著者らは考え、そして、このマクロビオティックコホートでは、適正值よりはるかに低い成長と発達であると結論付けました。事実、マクロビオティック群は、運動神経全般の発達では有意な、言語発達では、少しの程度の遅れがありました。しかし、運動神経全般と言語発達の遅れは一時的で、4～6歳時でのテストでは、精神面での発達について明らかな遅れは見られませんでした。

マクロビオティック幼児の潜在的栄養不足について、交絡因子を分析した後、Dagnelieとvan Staveren⁴⁸⁾は、マクロビオティック幼児の複合的栄養不足を研究の中で見出したボストン研究者らの結果と照らし合せ、マクロビオティックと雑食者群との成長と発達の差は、食事の差であるとししました⁶⁻¹⁰⁾。その結果、成長と発達の遅れを改善するために、著者らは、幼児と児童のマクロビオティック食を改良する実用的な推奨法を提案しました。

マクロビオティック食の児童は成長と発達が遅れ、もし、マクロビオティック食への適正な栄養的補正が行われない場合は、成長の追い付きが個人では必ずしも明らかではないことを、ボストンとオランダの研究は双方共、示しています。

4. 要約とまとめ

この章は、様々なベジタリアン食についての児童と青年の成長と発達の複合的な研究を総括

しました。様々な代替食をしている児童の栄養不足の症例研究は討議されてきませんでした。というのは、これらは偶発的で、様々なタイプのベジタリアン集団の中では、必ずしも、どこにでも見られる栄養不足でないことは明白だからです。

食事のタイプに基づく実用的な方法を確立するために、ベジタリアン児童に関する複合的な研究は、3つのグループに集約されます。つまり、セブンスデー・アドベンチスト児童、ビーガン児童、マクロビオティック児童の研究です。SDAベジタリアン児童は一般的にラクト・オボ・ベジタリアンかラクト・ベジタリアンで、これらの研究結果は、標準か非ベジタリアンSDA児童と比べ、身体的成長と発達についての明らかな差はありませんでした。それゆえに、ラクト（オボ）ベジタリアン食は、一般的に、正常な成長に至ると結論付けられます。

勿論、Dwyerら⁴⁹⁾が指摘したように、ベジタリアンの中で、動物性食品を避けるパターンは、グループ毎にかなり異なります。このことは、ラクト・オボ・ベジタリアンのような、特別なカテゴリーの中でもあります。純粋なベジタリアンとビーガン食は、適正な成長と発達を阻害するようには見えず、良く考えられた、バランスのある植物性食品は、サプリメントで適正に強化されることが可能です。バランスを注意深く考えたとしても、成長は期待より遅いということを両親と医者は認識すべきです。しかし、この遅い成長は、健康そのものが、劣っているということを意味してはいません。

マクロビオティック食は、ラクト・オボ・ベジタリアン、あるいは、ビーガン食と比べて、特に、最も望ましいレベルのマクロビオティック食養法が実施された場合、かなり厳格になります。一般的でない食事をしている幼児の間での、栄養不足の最も重度の場合は、マクロビオティックに関連しているようです¹⁴⁾。現在の

マクロビオティック研究は、マクロビオティック食で育てられた幼児と児童の成長と発達に関する潜在的な栄養問題を追認しています。ベジ

タリアニズムとは対照的に、高いレベルのマクロビオティック食養法で育てられた児童は健全に生長することはできそうにありません。

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

- 1) Growing interest in vegetarianism among campus food services. *J. Am. Diet. Assoc.*, **94**:596,1994.
- 2) The Realeat Survey 1984-1995. Realeat, London,1995.
- 3) Vegetarian Society U.K. Trends in vegetarianism among adults and young people, Vegetarian Society. Altrincham(U.K.), 1991.
- 4) Pysma Onderzoeksbureau, *Onderzoeksverslag over vegetariërs*(Research Report on vegetarians), The Netherlands,1989.
- 5) Jacobs,C.,and Dwyer,J. T. Vegetarian children: appropriate and inappropriate diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**:811,1988.
- 6) Shull,M.W., Reed,R.B., Valadian,I., Palombo,R.,Thorne,H.,and Dwyer, J.T. Velocities of growth in vegetarian preschool children. *Pediatrics*,**60**:410,1977.
- 7) Dwyer,J.T., Palombo,R., Thorne,H., Valadian,I., and Reed,R.B. Preschoolers on alternate life-style diet. *J.Am.Diet. Assoc.*,**72**:264,1978.
- 8) Dwyer,J., Andrew,E.M., Valadian,I., and Reed,R.B. Size, obesity, and leanness in vegetarian preschool children. *J.Am.Diet.Assoc.*,**77**:434,1980.
- 9) Dwyer,J.T., Dietz,W.H.,Andrews,E.M., and Suskind, R.M. Nutritional status of vegetarian children. *Am.J.Clin. Nutr.*,**35**:204,1982.
- 10) Dwyer,J.T.,Andrews,E.M., Berkley,C., Valadian,I., and Reed,R.B. Growth in new vegetarian preschool children using the Jenss-bayler curve fitting technique. *Am.J.Clin.Nutr.*,**37**:815,1983.
- 11) van Staveren,WA., Dhuyvetter,J.H., Bons,A., Zeelen,M., and Hautvast,G.A. Food consumption and height/weight status of Dutch preschool children on alternative diets. *J. Am.Diet.Assoc.*,**85**:1579,1985.
- 12) van Staveren,W.A., and Dagnelie,P.C. Food consumption, growth, and development of Dutch children fed on alternative diets. *Am.J.Clin.Nutr.*,**48**:819,1988.
- 13) van't Hot,M.A., Roede,M.J., and Kowalski,C.J. A mixed longitudinal data analysis model. *Hum.Biol.*,**49**:165,1977
- 14) MacLean,W.C., and Graham,G. Vegetarianism in children. *Am.J.Dis.Child*,**134**:513,1980.
- 15) Langley,G. Vegan Nutrition. The Vegan Society, St. Leonards-on-Sea (U.K.),1991,14.
- 16) Sanders,T.A. B. and Reddy,S. Vegetarian diets and children. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(suppl):1176s,1994.
- 17) Dagnelie,P.C., Vergote,F.J., van Staveren,W.A., van den Berg,H., Dingjan,P.G., and Hautvast,J.G.A.J.High prevalence of rickets in infants on macrobiotic diets. *Am.J.Clin.Nutr.*,**51**:202,1990.
- 18) Roberts,I.F., West,R.J., Ogilvie,D., and Dillon,M,J. Malnutrition in infants receiving cult diets: a form of child abuse. *Brit.Med.J.*,**1**:296,1979.
- 19) Hardings,M.G. and Store,F.J. Nutritional studies of vegetarians: Nutritional, physical, and laboratory studies. *Am.J.Clin.Nutr.*,**2**:73,1954.
- 20) Sanders,T.A.B. Growth and development of British vegan children. *Am.J.Clin.Nutr.*,**48**:822,1988.
- 21) Sabate,J., Lindsted,K.D., Harris,R.D., and Johnston,P.K. Anthropometric parameters of schoolchildren with different life-styles. *Am.J.Dis.Child*,**144**:1159,1990
- 22) Sabate,J.,Lindsted,K.D.,Harris,R.D., and Sanchez,A. Attained height of lacto-ovo vegetarian children and adolescent. *Eur.J.Clin.Nutr.*,**45**:51,1997.
- 23) Hebbelinck,M., Clarys,P., and De Malsche, A. Growth, development and physical fitness characteristics of Flemish vegetarian children, adolescents and young adults. *Am.J.Clin.Nutr.*,**70**:3(Suppl),579s,1999.
- 24) Dagnelie,P.C., van Staveren,W.A., Vergote,F.J.,Burema,J., van't Hof,M.A., van Klaveren,J.D., and Hautvast,J. G.A.J. Growth and psychomotor development in infants aged 4 to 18 months on macrobiotic and omnivorous diets:a mixed-longitudinal study. *Eur.J.Clin.Nutr.*,**43**:325,1989.
- 25) Sabate,J., Llorca,M.C., and Sanchez,A. Lower height of lacto-ovo-vegetarian girls at preadolescence: an indicator of physical maturation delay? *J.Am.Diet.Assoc.*,1263:1992.

- 26) O'Connell,J.M., Dibley,M.J., Sierra,J., Wallace,B., Marks,J.S., and Yip,R. Growth of vegetarian children: The Farm study. *Pediatr.*,**84**,475,1989.
- 27) Na an,I., Hackett,A.F., and Kirby,S. A longitudinal study of the growth of matched pairs of vegetarian and omnivorous children, aged 7-11 years, in the Northwest of England, *Eur.J.Clin. Nutr.*,**51**:20,1997.
- 28) Tayter,M. and Stanek,K.L. Anthropometric and dietary assessment of omnivore and lacto-ovo-vegetarian children. *J.Am.Diet.Assoc.*,**89**:1661,1989.
- 29) Freeland-Graves,J.H., Greninger,S.A., Graves,G.R., and Young R.K. Health practices, attitudes, and beliefs of vegetarians and non-vegetarians.*J.Am.Diet.Assoc.*,**86**:913,1986.
- 30) Slonacker,J.R. The Effects of a Strictly Vegetable Diet on the Spontaneous Activity, the Rate of Growth, and the longevity of the Albino Rat. Stanford University Publications, Stanford(CA),1912.
- 31) Tanner,J.M. Fetus into Man: Physical Growth from Conception to Maturity. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts,1990.
- 32) Sanchez,A., Kissinger,D.G., and Phillips,R.J. A hypothesis on the etiological role of diet on age of menarche. *Med. Hypotheses*,**7**:139,1981.
- 33) Kissinger,D.G., and Sanchez,A. The association of dietary factors with the age of menarche. *Nutr.Res.*,**7**:471,1987.
- 34) Miller,A.B., and Bulbrook,R.O. The epidemiology and etiology of breast cancer. *New.Engl.J.Med.*,**303**:1246,1980.
- 35) Kelsey,J.L., and Hildreth,N.G. Breast and Gynecological Cancer Epidemiology. CRC,Boca Raton,1983.
- 36) De Waard,F., and Trichopoulos,D.A. A unifying concept of the aetiology of breast cancer. *Int.J.Cancer*,**41**:666,1988.
- 37) Rona,R.J., Chinn,S., Dugal,S., and Driver,P. Vegetarianism in Urdu, Gujarati, and Punjabi children in Britain. *J.Epid.Commun.Health*,**41**:233,1987.
- 38) Herbert,J.R. Relationship of vegetarianism to child growth in South India. *Am.J.Clin.Nutr.*,**42**:1246,1985.
- 39) Fulton,J.R., Hutton,C.W., and Stitt,K.R. Preschool vegetarian children. *J.Am.Diet.Assoc.*, **76**:360,1980.
- 40) Sanders,T.A.B., and Purves,R. An anthropometric and dietary assessment of the nutritional status of vegan preschool children. *J.Hum.Nutr.*,**35**:349,1981.
- 41) Sanders,T.A.B., and Mannig,J. The growth and development of vegan children. *J.Hum.Nutr.Diet.*,**5**:11,1992.
- 42) Downs,R.A., Dunn,M.M., and Richie,E.L. Report of dental findings of Seventh Day Adventist students. *Bull. Am.Assoc.Pub. Health Dent.*,**18**:19,1958.
- 43) Donnelly,C.J. Comparative study of caries experience in Adventist and other children. *Publ.hlth. Reports*,**76**:209,1961.
- 44) Glass,R.L., and Hayden,J. Dental caries in Seventh-Day Adventist children. *J.Dent.Child.*,**33**:22,1966.
- 45) Ross,M.H. Nutrition, disease and length of life, in Diet and Bodily Constitution, CIBA Foundation, Study Group No.17, Wolstenholme,G.E.W. and O'Connor, M.,Eds.,J&A. Churchill, London,1964,90.
- 46) Ross,M.H., Lustbader,E., and Bras,G. Dietary practices and growth responses as predictors of longevity. *Nature*.(London),**262**:548,1976.
- 47) Dagnelie,P.C.,van Staveren,W.A., Klaveren,J.D., and Bureme,J. Do children on macrobiotic diets show catch-up growth? *Eur.J.Clin.Nutr.*,**42**:1007,1988.
- 48) Dagnelie,P.C.,and van Staveren,W.A. Macrobiotic nutrition and child health:results of a population-based, mixed-longitudinal cohort study in the Netherlands. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(Suppl):1187s,1994.
- 49) Dwyer,J.T., Mayer,L.D.V.H., Dowd,K., Kandel,R.F., and Mayer,J. The new vegetarians: The natural high? *J.Am. Diet.Assoc.*,**65**:529,1974.

築地市場魚貝辞典（シロウオ）

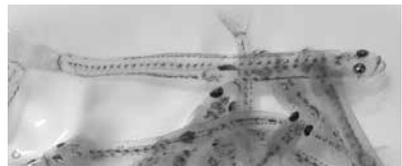
日本橋は、東海道の基点として有名である。江戸時代は木造であったその橋を、多くの旅人や商人、そして武士が渡って行ったことであろう。明治に入り、現在の荘厳な石造りの橋に掛け替えられた。そして東京オリンピックを機に橋の上を高速道路が通り、現在に至っている。その橋のもとに日本橋魚河岸の碑が建てられている。かつて江戸庶民の台所としてこの川沿いにあった日本橋の魚市場を記念して建てられたものである。魚河岸が描かれた絵や古写真を見ると、川沿いに立ち並ぶ蔵と、川にはたくさんの小舟が見える。川の両岸はビルが立ち並び、川の上を高速道路が覆う閉鎖的な今の光景からは想像もできない。2014年3月、いよいよ豊洲新市場の起工式が行われた。市場機能が豊洲に移転したあとの築地は、どんな姿に変わるのだろうか。今回も春の魚、シロウオを紹介する。



日本橋魚河岸

一分類一

シロウオはスズキ目ハゼ科シロウオ属の魚である。スズキ目はタイ科やアジ科、サバ科、メバル科などふつうの魚のほとんどが含まれる大所帯である。この大所帯の中でももっとも種類数の多いのがハゼの仲間である。ハゼの仲間はスズキ目の中でもハゼ亜目というくくりでまとまっていてハゼ科のほか

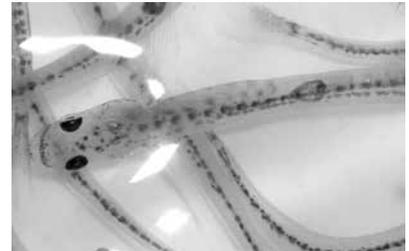


シロウオ

カワアナゴ科やオオメワラスボ科などいくつかのグループが含まれる。このうちハゼ科だけでも世界におよそ 2000 種、日本だけでも約 450 種が知られていて、未だに毎年新種が発見される巨大なグループなのである。ハゼといえば釣りの対象や天ぷらの種とされるマハゼが有名で、築地市場にも入荷している。ところがそれ以外のハゼとなると、食卓に上る機会もあまりなく、築地市場でもせいぜい 10 種程度が入荷するだけである。なので、ハゼの仲間がこれほど多様性に富んでいるといわれても一般の方にはピンと来ないかもしれない。シロウオはハゼ科の中でも体の作りが独特で、シロウオ 1 種でシロウオ属というグループを作っている。

—形態—

あまり流通量の多い魚ではないので、見たことのない方がほとんどではないかと思われる。見た目の第一印象は、やや茶色がかった透明の、いくぶん細長い小魚といったところであろうか。体はやや細長く、断面は縦長の楕円形。表面はなめらかで、鱗がない。頭は小



透き通った体と浮き袋

さめで丸みがある。そんな頭なので口も眼も大きくはない。腹鰭は胸鰭の下方にあってかなり小さい。腹鰭はいくぶん小さなものが体の後ろの方に 1 つだけある。ふつうのハゼは腹鰭が大きく吸盤状になっている。また背鰭は目立つ背鰭が 2 つあるのに対して、シロウオの鰭は独特で、そのためにハゼ科の中でも独立したグループに分けられている。

全身が透明であるが、白い入れ物に入れてみると茶色がかって見える。そんな透明の体の中で、銀色に光る眼と、体の中央にある眼より少し大きい鰓（ひょう；うきぶくろ）が目立つ。そのほかは腹側と背骨付近に黒い色素が並んでいるだけである。雌は鰓より前の腹部に黒点が並ぶが、雄にはこの黒点がない。

体長は 4cm。

—生態—

分布範囲は北海道南部から九州までと、朝鮮半島南部である。沿岸の波静かな入江などで水のきれいな場所で群れている。主に小型の甲殻類などの動物性のプランクトンを食べている。産卵期は春で、南で早く、北に行くほど遅くなっている。宇和島では 1 月下旬から、熊本から福岡では 2 月上旬から 4 月上旬、山口や和歌山で 2 月下旬から 4

月上旬，新潟で3月上旬から5月上旬，宮城や青森で4月上旬から5月下旬となっている。海から川の河口に遡り，川底の石の下を掘って巣穴を作る。そして天井になる石にシャンパングラスを逆さにしたような3mmほどの卵をおよそ300粒産み付ける。雄は卵が孵化するまでの2週間，卵を保護する。雌雄とも産卵後は死亡する。孵化した稚魚は海へ下るが，海での生活はよくわかっていない。寿命は1年。

一漁業一

シロウオが群れを作るのは，産卵のために海から川に上ってくる時期なので，このときを狙い河口に設置された網で漁獲されている。川の中に壁を作って誘導する「やな」，魚の群れを網で巻いて取る引網，水底に沈めた網の上に魚が集まったところをすくい上げる四手網などで漁獲される。以前はシラウオと同じように鮮魚でも流通したが，1970年ごろに活魚で輸送する方法が考案された。現在ではビニール袋に少量の水とともにパックした活魚の流通が主流である。分布が日本近海に限られているので，輸入はない。また養殖もされていない。

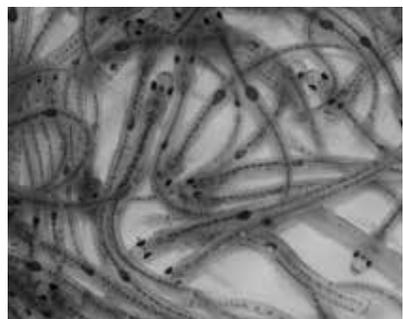
仲卸店舗に生きたシロウオが入ったビニール袋が並ぶと，春が来た感じがするほど季節性の高い魚である。店先にビニール袋がならぶことは少ないので，シロウオがあると目に付く（活イカもビニールに入って入荷することもある）。以前は鮮魚での入荷があったようであるが，鮮度の低下が早く，現在では入荷しない。おもな産地は佐賀県や岡山県，石川県などであったが，最近では佐賀県のもの以外あまり見かけない。そのため築地で見られるのは，1年のうちでも2月下旬から3月下旬までのごく限られた期間となっている。



活魚で入荷

一利用一

シロウオといえば，なんといってもおどり食いであろう。生きているシロウオを小皿からすくい口に含む。すぐに噛まないといつまでも口の中で動いていて，かえって気持ち悪い。思い切って噛むと，コリコリしてほろ苦い味が口の中に広がる。美味しいというよりは，



おどり食い

春を感じる珍味であろう。自身の小魚なので椀種、天ぷら、酢の物、卵とじなどにされる。シロウオの入った器に豆腐を入れ火にかけると、苦し紛れに豆腐に潜り込むのでそれを食べるという湯豆腐もあるらしい。

シロウオは産卵のために川へ上ってくるものを漁獲するので、春が旬である。というより、ほかの季節にはお目にかかれない魚なのだ。

－エピソード－ 築地市場には、1985年頃から活魚が入荷するようになった。はじめは鮮魚で入荷し「どろめ」という呼び名であった。高知県でシラスを「どろめ」と呼ぶが、シロウオがシラスに似て見えるのでこの呼び名がついたものと思われる。現在では「いさざ」と呼ばれているが、これは北陸でのシロウオの呼び名で、これも産地での名称が築地に伝わった可能性が高い。

文 献

- 1) 川那部浩哉・水野信彦（編）：山溪カラー名鑑 日本の淡水魚，山と溪谷社（1992）
- 2) 中坊徹次（編）：日本産魚類検索 全種の同定 第三版，東海大学出版会（2013）

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

ニューフードインダストリー 第56巻 第6号

印刷 平成 26 年 5 月 25 日
 発行 平成 26 年 6 月 1 日
 発行人 平井 朋美
 編集人 結城 ななみ
 発行所 株式会社食品資材研究会
 〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)
 TEL:03-3254-9191(代表)
 FAX:03-3256-9559
 振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318
 三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432
 郵便振替口座 00110-6-62663
 印刷所 モリモト印刷株式会社
 定 価 本体2,000円 +税 (送料100円)

email:newfood@newfoodindustry.com