

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2014 Vol.56 No.7

7

論 説

- 砂糖と併用する新規機能性甘味料:
希少糖含有シロップの糖代謝および脂質代謝の改善効果
- 竹（孟宗竹）の有効利用を考える
- 紅茶の糖質消化酵素活性抑制作用および食後血糖上昇抑制効果
- ウシ初乳のマウスI型アレルギー軽減機能，並びに抗腫瘍機能
Anti-type I allergic and anti-tumor functions of cow's colostrum in mice
- 酵素食品の製造方法について
- ウイスキーは考えている (4) 貯蔵工程とエタノール/水の愛憎劇 (前編)

連 載

- マダいの体色改善-2
- “地域密着でキラリと光る企業”
沖縄読谷村特産品の紅いもから「元祖紅いもタルト」を
創造した『株式会社 お菓子のボルシェ』

エッセイ

- 伝える心・伝えたいもの - 天日に干す 天草 -



論 説

- 砂糖と併用する新規機能性甘味料：
希少糖含有シロップの糖代謝および脂質代謝の改善効果
..... 木村 友紀, 中村 雅子 1

- 竹（孟宗竹）の有効利用を考える
..... 一森 勇人 10

- 紅茶の糖質消化酵素活性抑制作用および食後血糖上昇抑制効
..... 高見澤（内田） 菜穂子, 鬘谷 要, 矢澤 一良 17

- ウシ初乳のマウス I 型アレルギー軽減機能, 並びに抗腫瘍機能
Anti-type I allergic and anti-tumor functions of cow's colostrum in mice
..... 大谷 元, 長谷川 実希, 遠見 和幸, 内田 健志, 山口 博史 23

- 酵素食品の製造方法について
..... 馬上 元彦 46

- ウイスキーは考えている (4) 貯蔵工程とエタノール/水の愛憎劇 (前編)
..... 古賀 邦正 55

Contents

2014 年 7 月号

連 載

□ マダイの体色改善－ 2

..... 酒本 秀一 65

□ “ 地域密着でキラリと光る企業 ”

沖縄読谷村特産品の紅いもから「元祖紅いもタルト」を
創造した『株式会社 お菓子のポルシェ』

..... 田形 暁作 79

エッセイ

□ 伝える心・伝えられたもの ―天日に干す 天草―

..... 宮尾 茂雄 87

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

new発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料
コクベース
ラクティックイーストエキス
乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな
特長がある乳酵母エキスです。

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

砂糖と併用する新規機能性甘味料：

希少糖含有シロップの糖代謝および脂質代謝の改善効果

木村 友紀 (KIMURA Tomonori) * 中村 雅子 (NAKAMURA Masako) *

* 松谷化学工業株式会社 研究所

Key Words：希少糖・砂糖・甘味料・スクラーゼ・二糖類分解酵素阻害

Key Words：Rare Sugar, sugar, sweetener, sucrase, disaccharidase inhibitor.

はじめに

食生活の変化から生じる肥満とそれに伴う生活習慣病の増加は、世界中で大きな健康問題となっている。最近の国民健康・栄養調査によると、日本人のエネルギー摂取量に対する糖質のエネルギー比率は約 60% を占めているので、糖質カロリーの適切な制御が健康増進、生活習慣病の予防に繋がると考えられる。

一方で、和三盆などの糖で有名な香川県で産官学連携によって開発された希少糖は、生活習慣病を克服する様々な生理機能が認められている。特に、この希少糖の中でもブシコースによる糖代謝および脂質代謝の改善効果が多く報告されている。

本稿では、幾つかの希少糖の紹介を行う。次に、ブシコースを含むシロップとして抗メタボリックシンドローム対策として注目されている“希少糖含有シロップ”（商品名：「レアシュガースウィート」(Rare Sugar Sweet; RSS)）の特徴について紹介する。

1. 甘味料の特性

食品には、糖質系甘味料である砂糖、異性化糖、水あめ、オリゴ糖、糖アルコールや、非糖

質系甘味料である高甘味度甘味料など、多種多様な甘味料が使用されている。

甘味料市場の約 6 割を占める砂糖は、良好な甘味を有し、嗜好性や食生活の潤いなどをもたらしてきた。小腸粘膜二糖類分解酵素（スクラーゼ）によってぶどう糖と果糖に分解され、小腸で吸収後、血糖値上昇およびインスリン分泌が生じる。これに伴い、砂糖の過剰摂取が糖尿病や肥満に繋がる^{1~5)}という報告がある。そこで、スクラーゼを阻害し砂糖の吸収を抑制するなど、砂糖に対して生理効果を有する新規甘味料の開発が健康増進に貢献すると考えられる。しかし、砂糖は優れた味質に加え、親水性（保水性・脱水性）を有しており、防腐効果や泡立ちの保持、タンパク質の凝固抑制、デンプンの老化防止、発酵促進作用などの食品加工上の特徴がある。そのため、砂糖の全てを置き換えるのではなく、一部を置き換える、あるいは砂糖に添加する新規甘味料が必要である。

砂糖の代替甘味料として、これまで異性化糖や高甘味度甘味料などが普及してきた。砂糖よりも低価格な異性化糖は、砂糖よりも甘みが口中に残りにくく、すっきりとした甘味を持つ。低温で甘みが強くなるため、飲料や冷菓などによく利用される。しかし、米国では、異性化糖

の消費量に比例して肥満や生活習慣病が増加するという報告がある⁶⁾。一方、高甘味度甘味料は低カロリーの甘味料として普及してきたが、高甘味度甘味料を使用した食品の摂取では、身体が食事による満足感を得られず、結果としてエネルギーの過剰摂取に繋がるという報告もある^{7, 8)}。

最近では、砂糖様の良好な甘味と、カロリー制限を兼備したいという消費者ニーズに応じて、糖質系甘味料と非糖質系甘味料を組み合わせ使用する方法もある。これらの現状から、今後の甘味料を使用した商品開発を行う上で、美味しさ・カロリーバランス・機能性を併せ持つ

た商品を開発することが、消費者満足に繋がると考えられる。

2. 希少糖とは

近年、甘味料として新たに注目されている希少糖は、「自然界にその存在量が少ない単糖とその誘導体」と国際希少糖学会で定義されている。自然界には、糖鎖や糖タンパク質、核酸などの構成糖や遊離糖などの状態で、ぶどう糖をはじめとする糖が広く存在し、生命活動に欠かせないものとなっている。一方、自然界で存在量が少ない希少糖は、その存在量に反して種類

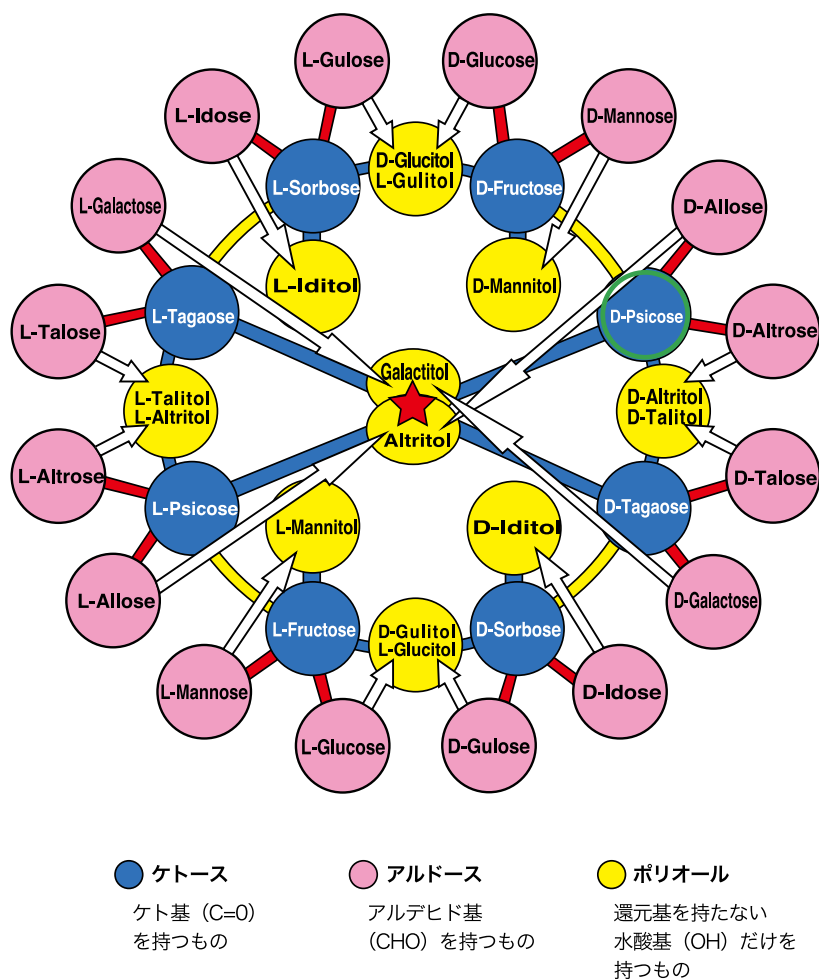


図1 六炭糖の生産工程『イズモリング』

は非常に多く、約 50 種類（中でも六炭糖は約 30 種類）もある。希少糖は、様々な生理活性を有するだけでなく、代謝経路に入りにくいいため、エネルギーとして利用されにくいものが多いことも魅力となっている。これらの点を利用して、エリスリトールやキシリトールなどの希少糖は既に実用化されている。

これら以外の希少糖の開発が進まなかったのは、これまで効率的な希少糖の製造方法がなかったためである。しかし、1991 年に香川大学農学部何森健先生が、希少糖の一つ D- タガトースに作用する酵素（D- タガトース 3- エピメラーゼ；DTE）を発見してから、希少糖の生産研究が世界に先駆けて開花した。また、何森先生によって公表された、酵素反応を主要な経路にした全六炭糖の生産工程「イズモリング」⁹⁾（図 1）は、自然界に多量に存在する安価なぶどう糖や果糖を出発原料として全六炭糖を生産できる方法を示しており、全ての希少糖の大量生産、工業化への道を開くこととなった。このような経緯で、香川県域隣接企業、国や香川県、大学の産官学連携として希少糖の研究開発が行われ、数多くの有用な生理機能が発見されている。

3. 希少糖プシコース、アロース、ソルボースの特徴

希少糖の中で最も開発が進むプシコースは、果糖の C-3 位のエピマーであり、イズモリングでは果糖の隣に位置する。果糖を加熱処理することなどにより生じるため、果糖を含む一般的な食品に含まれている¹⁰⁾。また、自然界では食用植物ズイナの葉に含まれることから、天然の糖でもある。物性は果糖様で、砂糖の 7 割程度の甘味があり、キレと清涼感のある良質な味質を特徴とする。ゼロカロリー¹¹⁾の糖であり、非う蝕・抗う蝕性だけでなく、抗メタボリッ

クシンドロームに関連する食後血糖値上昇抑制作用¹²⁾・膵β細胞変性抑制作用（抗糖尿病作用）¹³⁾、内臓脂肪蓄積抑制効果¹⁴⁾を示すことが報告されている。なお、食後血糖値上昇抑制作用に関しては、特定保健用食品に申請中であり、摂取量としては 1 日 5 g となっている。このように、プシコースはこれまで知られている糖質とは異なり、生体に対して多くの作用点を持つことから、メタボリックシンドロームの予防・改善が期待できる新規甘味料として注目されている。

プシコースに次いで研究が進む希少糖アロースは、ぶどう糖の C-3 位のエピマーであり、イズモリングではプシコースの隣に位置する。最近の報告では臍帯血中にも含まれている¹⁵⁾ことが分かってきた。また、自然界ではインドの薬用の海藻にも含まれる¹⁶⁾ことが知られており、プシコース同様に天然の糖である。エネルギーがゼロ¹⁷⁾であり、味質が砂糖に近く甘味度も砂糖の 8 割程度のため、甘味料としての期待が高い。酸化ストレス軽減機能を持つが、カテキンやビタミン C など還元力を機序とする抗酸化剤とは異なった作用を示す。種々のストレス時に血管内皮など多種多様な細胞から発生する活性酸素の発生を抑制¹⁸⁾し、活性酸素による細胞障害を防御する。この防御機構によって、生活習慣病の重要な危険因子である血圧の上昇抑制¹⁹⁾、虚血再灌流障害の予防²⁰⁾、寿命延長効果²¹⁾などが確認されている。さらに、癌細胞や破骨細胞などの分化増殖抑制効果²²⁾も認められている。従って、甘味料としてだけでなく、生活習慣病の予防・改善作用のある医薬品や医療用食品への応用展開も期待されている。

また、希少糖ソルボースは、プシコースの C-2 位のエピマーであり、甘味度は砂糖の 7 割程度である。小腸でのスクラーゼ阻害によって砂糖の吸収を抑える効果が強く、そのことから

食後血糖値上昇抑制作用を有する²³⁾。糖尿病の予防・改善に向けて、 α -グルコシダーゼ阻害作用を持つ素材としての研究が期待されている甘味料である。

4. 希少糖含有シロップ

これまでは砂糖や異性化糖、高甘味度甘味料を併用することで、「美味しさ」や「カロリーバランス」が追及されてきた。しかし、肥満や生活習慣病などの健康問題が生じている昨今、これらの改善効果のある希少糖を用いて、「糖質の質」(機能性)にも着目した商品設計が可能であると考えられる。そこで、生活習慣病の予防・改善のための新たな理想的なバランス甘味料を以下に提案する(図2)。

- ①エネルギーとなり代謝を是正化する、ぶどう糖を用いる。
- ②甘味バランスの面からも、良質な甘みで低GI (Glycemic Index) の果糖を含む異性化糖を甘味料のベースにする。
- ③カロリーが低く、生理機能も有する希少糖を併用する。すなわち、糖代謝や脂質代謝を改善するプシコース、血圧上昇抑制作用やアンチエイジング効果のあるア

ロース、砂糖の吸収を抑え血糖値上昇抑制効果を有するソルボースなどが含まれる。

これらを満たす理想的なバランス甘味料として、経済産業省の「地域イノベーション創出研究開発事業」を通して『希少糖含有シロップ(商品名: レアシュガースウィート)』が開発され、全国販売されている。文部科学省の「知的クラスター創成事業」による希少糖の生産法の開発は、主に酵素を使用して、その後にクロマト分離を行って希少糖単品を得るものであった。それに対して、希少糖含有シロップは、酵素を用いずに糖をアルカリ性にするすることで、希少糖をその中に生じさせており、もともと混合糖を利用するために開発された製法である。

希少糖含有シロップは、でん粉を原料とする異性化糖を異性化することで製造される天然由来の甘味料である。ぶどう糖や果糖を主成分に、プシコースやアロース、ソルボースをはじめとする希少糖が13～15%(固形分)程度含まれる。砂糖の7割(固形分で9割)程度の甘味度で、味質も砂糖に似た良質な甘さを持つが、後味が甘過ぎず、コクのあるスッキリとした甘味である。エネルギー値は論文ベースで砂糖の8～9割程度であり、物性面では異性化糖と同様であ

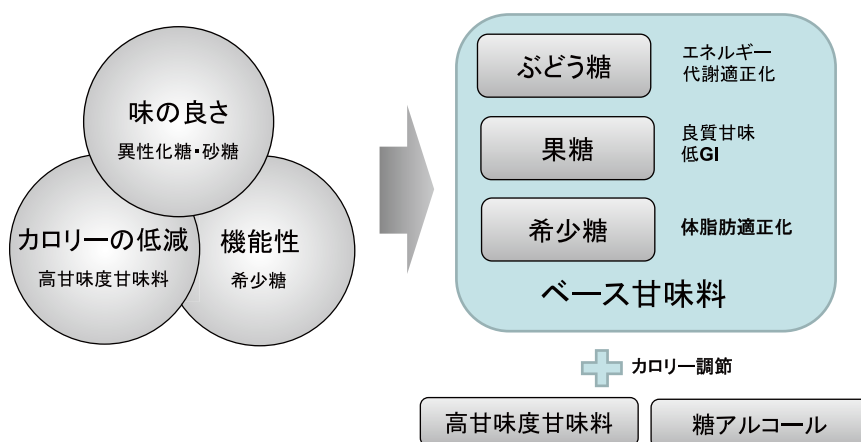


図2 理想バランス甘味料の提案

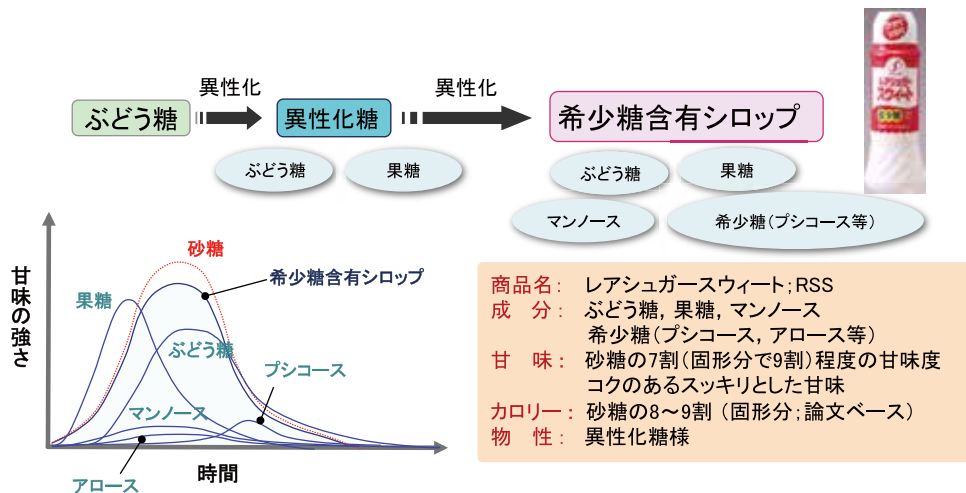


図3 ブシコースなど希少糖を含む希少糖含有シロップ

特徴	食品
卵臭の軽減	煮卵, 茹で卵, おでん, 卵丼, 出汁巻き卵, 茶碗蒸し, 卵豆腐, 中華スープ, プリン など
フレーバーリリースの向上	フルーツジャム, 果汁飲料, たれ, ソース など
コク味付与, 風味向上	キャラメル, カスタードクリーム, 餡製品, コーヒー飲料 など
塩味増強, 減塩効果	たれ, ソース, ドレッシング, スープ, チーズ など
マスキング	高甘味度甘味料, コラーゲン, ウコン, 雑穀 など
発酵食品でのブシコース残存	アルコール飲料, 発酵飲料, 味噌, しょうゆ, 酢 など
水分活性の調整	餡, ジャム, カスタードクリーム, フLOWERペースト など

図4 希少糖含有シロップの食品への使用時の特徴

る(図3)。また、高甘味度甘味料と組み合わせることで、カロリーを低減させつつ、高甘味度甘味料特有の苦味などをマスキングして良質な甘みとなる。これらの特性以外にも、希少糖含有シロップは、惣菜、菓子、デザート、ベーカリー、酒類や飲料など、多種多様な食品のカテゴリーにおいて様々な特徴を持たせた商品設計が可能である(図4)。

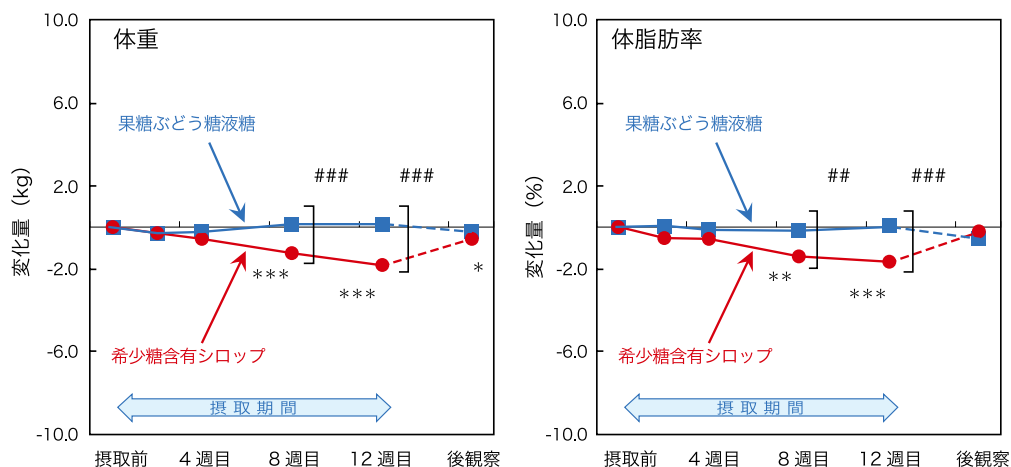
5. 希少糖含有シロップの生理機能

①抗肥満効果

希少糖含有シロップは、ヒトでは内臓脂肪蓄積抑制効果があることが確認されている。普通体重から1度の肥満(BMI25 kg/m²以上30 kg/m²

未満)の健常成人34名を対象に、対照食を用いた2群間並行比較のダブルブラインドで、12週間の摂取試験を行った。試験食は希少糖含有シロップを30g(固形分)含むゼリー飲料200g、対照食は同カロリーで果糖ぶどう糖液糖(異性化糖)を28g(固形分)含むゼリー飲料200gで、1日1回、朝食前に摂取させた。その結果、希少糖含有シロップ摂取群では、体重、BMI、体脂肪率に有意な減少が認められた(図5)。また、希少糖含有シロップの連続摂取による肝機能、腎機能、血液性状などで異常な所見は認められなかった。

これらの結果から、希少糖含有シロップはヒトにおいて体脂肪低減作用を持つ甘味料であることが示されただけでなく、30gを12週間継



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$: 群内比較 (対応のない t 検定), ## $p < 0.01$, ### $p < 0.001$: 群間比較 (Bonferroni 法)

被験者: 軽度肥満を含む健康成人男女 34 名 (平均 BMI 25 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満)

方法: カロリーを一致させたゼリー飲料 200 g [試験食: 希少糖含有シロップ 30 g (固形分) 入り, 対照食: 果糖ぶどう糖液糖 28 g (固形分) 入り] を 1 日 1 回, 朝食前に 12 週間連続摂取させた。

図 5 希少糖含有シロップの内臓脂肪低減効果

続摂取しても安全であることが確認された。

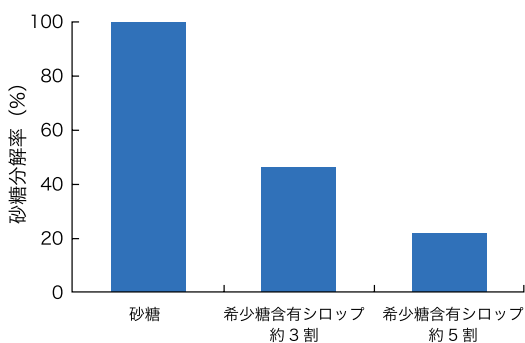
②スクラーゼ阻害効果

このように希少糖含有シロップには抗肥満効果が認められているが、その機序の 1 つとも考えられるのが、スクラーゼ阻害効果である。実験方法としては、市販のラット小腸アセトン粉末から抽出した粗酵素液に、基質として砂糖のみ (対照群)、あるいは砂糖と希少糖含有シロップ (試験群) を添加した反応液を、 37°C で 1 時間反応させた。なお、いずれの群においても砂糖は反応液に対して 3.4 g/100 mL 、希少糖含有シロップは反応液の糖質総量に対し約 3 割あるいは約 5 割 (固形分) となるように調製した。反応前後のぶどう糖量を測定し、ぶどう糖の変化量から砂糖分解率 (砂糖のみで反応させた場合を 100%) を算出した。

この結果、希少糖含有シロップを添加することにより砂糖の分解が減少し、有意なスクラーゼ阻害効果が認められた (図 6)。また、希少糖含有シロップの添加量が増加するのに

伴い、スクラーゼ阻害作用も強くなることが確認された。

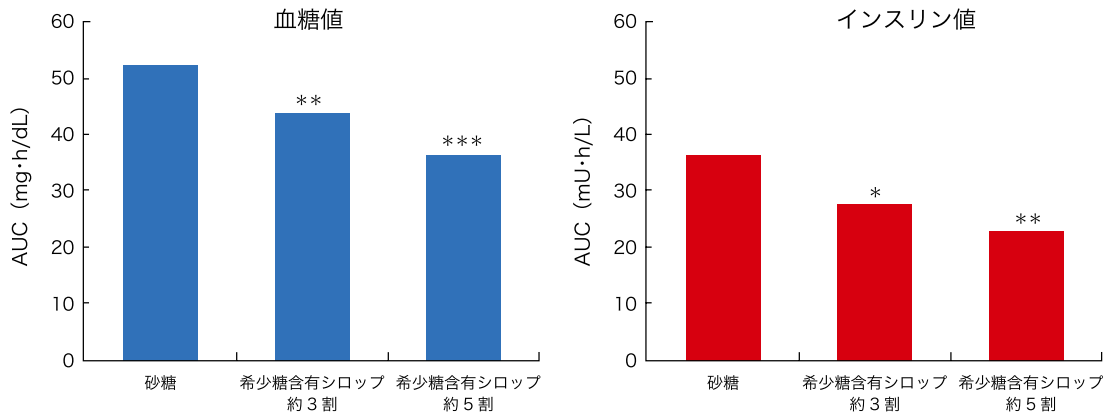
希少糖含有シロップに含まれる単糖でスクラーゼ阻害作用に大きく貢献しているのは、希



酵素: ラット小腸アセトン粉末から抽出した粗酵素液

方法: 粗酵素液と糖溶液を混合し (砂糖 3.4 % のみ, 砂糖 3.4 % + 希少糖含有シロップ), 37°C で 1 時間反応させた。反応前後のぶどう糖量を測定し、ぶどう糖の変化量から砂糖分解率 (砂糖のみで反応させた場合を 100%) を算出した。

図 6 希少糖含有シロップのスクラーゼ阻害作用



* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$: 砂糖群との比較 (Dunnett 検定)

被験者: 健康人男女 (n=6) (平均年齢 34.5 歳, 平均空腹時血糖値 93.0 mg/dL)

方 法: 甘味度を一致させた 200 ml の溶液 (75 g 砂糖摂取群、砂糖+希少糖含有シロップ摂取群) を空腹時に摂取させた。摂取後 120 分までの血糖値, インスリンを測定し, 曲線下面積 (area under curve; AUC) を算出した。

図7 砂糖と希少糖含有シロップの併用による血糖値およびインスリン値への効果

少糖プシコースやソルボースであると考えられる。プシコースとソルボースは、不拮抗型と呼ばれる特徴的な阻害形式をとり, これらの希少糖に対して砂糖の量が比較的多い条件で有効的に阻害する^{23~25)}と考えられる。

③砂糖併用による食後血糖値上昇抑制およびインスリン分泌の節約

スクラーゼ阻害効果により, 希少糖含有シロップは, ヒトにおいて砂糖と併用することで血糖値上昇やインスリン分泌を抑制する効果が予想される。そこで, それを検証するために, 健康成人男女 6 名 (平均年齢 34.5 歳, 平均空腹時血糖値 93.0 mg/dL) を対象にシングルブラインド・クロスオーバー法にて試験を行った。摂取の前日 21 時以降 12 時間以上絶食後, 砂糖 75 g を対照食として, 希少糖含有シロップを約 3 割あるいは約 5 割 (固形分) 置き換えた各溶液 (甘味度およびぶどう糖量同等) 200 mL のいずれかを摂取させた。溶液摂取後 2 時間の血糖値およびインスリン値を経時的に測定し,

AUC (the area under curve) を算出した。

その結果, 希少糖含有シロップを併用することで血糖値やインスリン値の有意な低下作用が認められた (図7)。また, 希少糖含有シロップの置き換え量が増加するにつれて, 食後血糖値の上昇が抑制されインスリン分泌も節約された。インスリンの急激な上昇や長時間高値で維持されることは肥満の原因になる²⁰⁾。希少糖含有シロップと砂糖の併用によって, 血糖値上昇抑制だけでなくインスリン分泌が節約されたことは, 砂糖の過剰摂取が原因で起こる肥満の予防に希少糖含有シロップが役立つことを示唆している。

おわりに

希少糖含有シロップは, ヒトにおいて, 抗肥満効果があるだけでなく, 砂糖と併用することで食後血糖値上昇抑制作用およびインスリン分泌節約作用を有する。そのため, 砂糖や異性化糖によって生じる肥満や生活習慣病を予防・改善する, 新たな機能性甘味料としての期待が高

い。また、このような生理機能だけでなく、良好な甘味や優れた特徴から多種多様な食品に使用することができ、砂糖、異性化糖に代わる新たな甘味料としても期待できる。

最後に、希少糖は糖にも関わらず、糖代謝や脂質代謝の改善、アンチエイジング効果など、様々な生理機能を有し、産業化する上で非常に

魅力のある糖である。まだまだ解明されていないことが多く、これから多くの研究が必要である。これまで希少糖の研究にご尽力して頂いております大学の諸先生方に感謝を申し上げると共に、さらに多くの研究者の方々の助力を乞えれば幸いです。

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

- 1) Reiser S, Hallfrisch J. Insulin sensitivity and adipose tissue weight of rats fed starch or sucrose diets ad libitum or in meals. *J Nutr.* **107** (1): 147-155, 1977.
- 2) Hallfrisch J, Lazar F, Jorgensen C, *et al.* Insulin and glucose responses in rats fed sucrose or starch. *Am J Clin Nutr.* **32** (4): 787-793, 1979.
- 3) Kanarek RB, Marks-Kaufman R. Developmental aspects of sucrose-induced obesity in rats. *Physiol Behav.* **23** (5): 881-885, 1979.
- 4) Kanarek RB, Orthen-Gambill N. Differential effects of sucrose, fructose and glucose on carbohydrate-induced obesity in rats. *J Nutr.* **112** (8): 1546-1554, 1982.
- 5) Qi Q, Chu AY, Kang JH, *et al.* Sugar-sweetened beverages and genetic risk of obesity. *N Engl J Med.* **367** (15): 1387-1396, 2012.
- 6) Gross LS, Li L, Ford ES, *et al.* Increased consumption of refined carbohydrates and the epidemic of type 2 diabetes in the United States: an ecologic assessment. *Am J Clin Nutr.* **79** (5): 774-779, 2004.
- 7) Swithers SE, Martin AA, Davidson TL. High-intensity sweeteners and energy balance. *Physiol Behav.* **100** (1): 55-62, 2010.
- 8) 金沢和樹. 人工甘味料の利点とリスク (特集 人間に必要なエネルギー源についての再考). *医と食.* **2** (6): 307-310, 2010.
- 9) Izumori K. Izumoring: a strategy for bioproduction of all hexoses. *J Biotechnol.* **124** (4): 717-722, 2006.
- 10) Oshima H, Kimura I, Izumori K. Psicose Contents in Various Food Products and its Origin. *Food Sci. Technol. Res.* **12** (2): 137-143, 2006.
- 11) Iida T, Hayashi N, Yamada T, *et al.* Failure of d-psicose absorbed in the small intestine to metabolize into energy and its low large intestinal fermentability in humans. *Metabolism.* **59** (2): 206-214, 2010.
- 12) Hayashi N, Iida T, Yamada T, *et al.* Study on the postprandial blood glucose suppression effect of D-psicose in borderline diabetes and the safety of long-term ingestion by normal human subjects. *Biosci Biotechnol Biochem.* **74** (3): 510-519, 2010.
- 13) Hossain MA, Kitagaki S, Nakano D, *et al.* Rare sugar D-psicose improves insulin sensitivity and glucose tolerance in type 2 diabetes Otsuka Long-Evans Tokushima Fatty (OLETF) rats. *Biochem Biophys Res Commun.* **405** (1): 7-12, 2011.
- 14) 山田貴子, 飯田哲郎, 林範子, 他. 異性化糖食で飼育したラットの体脂肪蓄積に対する D- ブシコースの作用. *日本食品科学工学会誌.* **57** (6): 263-267, 2010.
- 15) Hashimoto F, Nishiumi S, Miyake O, *et al.* Metabolomics analysis of umbilical cord blood clarifies changes in saccharides associated with delivery method. *Early Hum Dev.* **89** (5): 315-320, 2013.
- 16) Ragupathi Raja Kannan R, Arumugam R, Anantharaman P. Chemical composition and antibacterial activity of Indian seagrasses against urinary tract pathogens. *Food Chem.* **135** (4): 2470-2473, 2012.
- 17) Iga Y, Nakamichi K, Shirai Y, *et al.* Acute and sub-chronic toxicity of D-allose in rats. *Biosci Biotechnol Biochem.* **74** (7): 1476-1478, 2010.

- 18) Ishihara Y, Katayama K, Sakabe M, *et al.* Antioxidant properties of rare sugar D-allose: Effects on mitochondrial reactive oxygen species production in Neuro2A cells. *J Biosci Bioeng.* **112** (6): 638-42, 2011.
- 19) Kimura S, Zhang GX, Nishiyama A, *et al.* D-allose, an all-cis aldo-hexose, suppresses development of salt-induced hypertension in Dahl rats. *J Hypertens.* **23** (10): 1887-94, 2005.
- 20) Gao D, Kawai N, Tamiya T. The anti-inflammatory effects of D-allose contribute to attenuation of cerebral ischemia-reperfusion injury. *Med Hypotheses.* **76** (6): 911-913, 2011.
- 21) 佐藤正資, 砂古口博文, 新谷知也, 他. 抗老化効果をもつカロリー制限模倣物質の探索－希少糖 D- アロースの線虫寿命延長効果とその作用メカニズム. 日本農芸化学会 2013 年度大会. 2013.
- 22) Yamada K, Noguchi C, Kamitori K, *et al.* Rare sugar D-allose strongly induces thioredoxin-interacting protein and inhibits osteoclast differentiation in Raw264 cells. *Nutr Res.* **32** (2): 116-123, 2012.
- 23) Matsuo T, Izumori K. d-Psicose Inhibits Intestinal α -Glucosidase and Suppresses the Glycemic Response after Ingestion of Carbohydrates in Rats. *J. Clin. Biochem. Nutr.* **45** (2): 202-206, 2009.
- 24) 特開 2007-99636 (P2007-99636A). 血糖値上昇抑制等組成物, 血糖値上昇抑制等食品, および二糖類水解酵素活性阻害組成物.
- 25) 中井瑤絵, 高柳恵理, 田島香里, 他. ラット小腸粘膜吸収上皮細胞刷子縁膜スクラーゼならびにイソマルターゼに対する D- プシコースの活性阻害様式. 第 17 回日本食物繊維学会学術集会. 2012.
- 26) Bray GA, York DA. Hypothalamic and genetic obesity in experimental animals: an autonomic and endocrine hypothesis. *Physiol Rev.* **59** (3): 719-809, 1979.

竹（孟宗竹）の有効利用を考える

一森 勇人（ICHIMORI Hayato）＊

＊ 阿南工業高等専門学校

Key Words：孟宗竹・竹パウダー・竹チップ・竹活性炭・リグノフェノール・バイオマス

はじめに

日本が平和国家としての国際社会においてその責任を果たすためには、日本が自立することが必要である。明治以降の急速な欧米化による食糧、エネルギー消費量の増加が江戸時代の自給自足経済体制を崩壊させ、日本を対外戦争に駆り立て、東アジアを植民地化し、大東亜戦争の原因となった。日本の選択肢はそれしかなかったのだろうか？戦前、石橋湛山は日本の植民地政策を批判して加工貿易立国論を唱えた。戦後、石橋の策が正しかったことが証明された。戦争には敗れたが、日本は平和国家として存続できたのである。いま、TPPを中心に貿易が話題になっている。食料とエネルギーの自給をベースに、日本がいま為すべきことを検討したい。

最近の農業白書ではカロリーベース食料自給率40%と同時に生産金額ベース自給率という計算式で算出した70%が併記されるようになった。自給率に関しては「重量ベースでの品目別自給率」「重量ベースでの穀物自給率」などが一般に知られている計算方法である。これらの中で国際的に通用する計算方法は「重量ベースでの穀物自給率」なのであって、韓国と日本

だけが、なぜかカロリーベース食料自給率を採用している。また、国内で二つの計算方法が登場した経過をみると、なんらかの作為を感じてしまう。食料自給率がはじめて発表されたのは1968年で、この時は生産金額ベース自給率であった。この計算方法では、非常に高率に算出される。ところが、牛肉やオレンジなどの貿易自由化交渉の頃、1983年になって、カロリーベース食料自給率という「低い値のである」計算方法が公表されたのである。

日本は食糧輸入大国であると思われるが、表1を見ると、日本の農産物輸入量は少ない。このことは、一人当たり輸入額を見れば、さらに明らかになる。この表に載っていない農業国として名高いフランスは、国民一人当たりの輸入額558ドルで、日本を大きく上回っている。

前述の農水省が推定して数字をはじきだし

表1 国別の農産物輸入額

	国別の農産物輸入額	一人当たり輸入額
日本	415 億ドル	324 ドル
イギリス	414 億ドル	690 ドル
ドイツ	508 億ドル	617 ドル
アメリカ	599 億ドル	214 ドル

たこれらの国のカロリーベース食料自給率は、イギリスが70%、ドイツが84%、フランスは122%、アメリカは128%と推定されている。カロリーでの食料自給率十分のはずのこれらの国々が、日本を上回って、これほどまで大量の食品輸入に依存しており、日本は農業大国・フランスやドイツの半分前後の数字である。日本は輸入大国ではなく、国内自給及第点の国であることの証明である。

さらに、金額ベースの食料自給率は、世界トップクラスである。

これまでの論点をまとめると

1. カロリーベースの日本の食料自給率を下げている原因は、飼料輸入量1600万トンである。飼料を自給率に入れることは問題ないように見えるが、飼料は低価格、高カロリーであるので、自給率が低くなる。

2. エネルギーの自給率4%は、福島第一原発事故以降の日本の課題であるが、化石燃料以外のエネルギー源を探し出す努力が必要である。

本研究では、竹資源を食料、エネルギー問題の解決策として捉えたい。

1. 竹とは

竹には、真竹、淡竹（はちく）などがあるが、本研究で対象とするのは、孟宗竹である。孟宗竹は、1736年に島津藩主が琉球から2株導入し、日本各地に広がった。特に筍が美味なため、急速に普及した。孟宗竹の利用方法は、食用の筍以外に、建材材料として用いられる。戦争中鉄が不足した折には、鉄筋コンクリートならぬ竹筋コンクリートをして橋がかけられた。強度、耐久性も十分あり、竹は建築材料として優れている。竹に防腐作用があることは古くから知られていて、竹の皮で食品を包むことで腐敗を防ぎ、竹の水筒を使われてきた。現在では、竹か

らの抽出物を抗菌剤として使用しており、竹にはアレルギーがないので、その用途は広い。竹炭としても製品化されており、様々な用途で使用されており、竹炭を10ミクロン以下にパウダー化して、ミネラルウォーターに混合したり、お菓子等に混ぜ込んだりしている。

徳島県阿南市には江戸末期に伊勢地方から伝わり、一時は、筍の缶詰工場が多数できるほど竹産業は活況であった。徳島では、竹加工品が産業化し、竹ぼうきが北国における雪かき用として出荷された。竹は、様々な原材料となり、燃料にもなり竹林は広がっていった。しかし、現在では、筍は価格競争に敗れ、竹林は放置されている。放置竹林は全国で2500ヘクタールといわれている。放置竹林、山崩れ、鳥獣被害の原因となっている。竹を活用することにより、竹産業を興し、雇用を創り出したい。

2. 竹の成分

昔の人は、筍の皮におむすびを包み、竹の水筒に水を入れ、うるち米を発酵させた酒の腐敗を防ぐための防腐剤として熊笹の葉の粉を使った。笹と竹はともに、タケ科の植物である。竹や笹には、ビタミンK、カルシウム、珪酸、クロロフィル、フラボノイド等が含まれている。ビタミンK、フラボノイドは抗菌作用、カルシウム、珪酸、クロロフィルは腐敗を防ぐ作用があるとされる。

表2から、バイオマスの原材料として検討されている杉（間伐材）とはほぼ同じ成分であるこ

表2 孟宗竹の元素分析 (%)

項目	生竹	杉
C	50.0	49.0
H	6.4	6.4
O	43.0	44.4
N	0.3	0.1
Cl	0.2	-
S	-	0.1

表3 孟宗竹の組成 (%)

セルロース	49
ヘミセルロース	24
リグニン	14
その他	13

表4 竹炭に含まれる微量成分 (単位: daf wt%)

元素	孟宗竹	真竹
K	0.85	0.76
Si	0.62	0.34
Na	0.01	0.01
Ca	0.05	0.04
Mg	0.14	0.06
Fe	0.01	0.01
Mn	0.05	0.01
Ge	<0.05	<0.05

とがわかる。表3より、竹にセルロース（オリゴ糖の原料）、リグニン（リグノフェノールの原料）が多く含まれていることがわかる。表3は、孟宗竹と真竹の竹炭の無機成分を比較したものである。

3. 竹の利用方法

食料としては、古来から筍として食用された。筍山として管理されていれば、竹の増殖を抑えることができ、里山として利用価値は高い。エネルギー源としては、燃料として高カロリーで火力が非常に高い。材料としては、建築材料として活用されて、集合材として様々な用途に使われている。食器としても、防腐作用のみならず竹の香りを楽しむことができる。竹抽出物から食品添加物、化学材料が生み出されている。竹炭と竹炭をつくる過程でできる竹酢液がある。竹炭は、燃やしても煙を出さず、火持ちが良く、腐らないので、エネルギー源として、非常に優れており、空気の浄化、除湿、消臭、防虫効果がある。竹酢液の効能については、まだ明らかではないが、様々な用途に用いることが可能性がある。竹は、肥料、畜産飼料にも活用

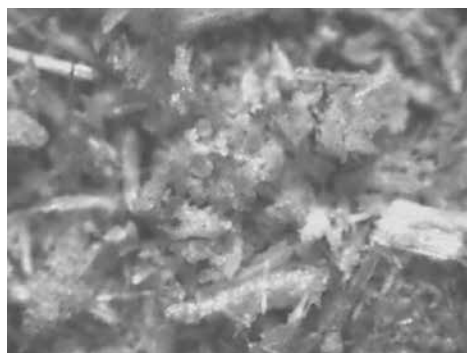


写真1 竹の顕微鏡写真

されている。

竹からオリゴ糖（健康食品）、リグニン（化学材料）を取り出せる。リグニンからリグノフェノール（HIV（エイズウイルス）プロテアーゼ阻害薬としての効能、糖尿病性腎症の改善薬、血圧低下による脳卒中の予防薬等生活習慣病への薬理活性や、アポトーシス抑制効果、アレルギー除去効果、酵素の吸着効果など医薬分野への応用が報告されている）を合成することができる。船岡ら（三重大学）がリグニンの実用化に向けて、徳島県那賀町にバイオマスプラントを建設した。木材10キロを分解して、リグノフェノール3キロと、糖7キロを抽出する計画である。これは、木材の成分の3割を占めるリグニンを抽出することにより、新素材を作り出すものである。リグニンは、セルロースなどを接着して、木質を形作るものである。セルロースは糖に分解されオリゴ糖になり、リグニンはリグノフェノールという物質になる。杉間伐材を対象としたプラントであるが、竹も材料として使用できる。

4. 阿南市における竹研究の概要

放置竹林の拡大は、土砂崩れなどの災害危険度上昇、里山の荒廃、樹木の枯衰を招く。放置された繁茂竹林の整備と里山保全を目的とし



写真 2 徳島県那賀町のバイオマスプラント

て、森林整備と間伐材、竹の有効活用を行いたい。本研究を通じて農林関係者へ経済的寄与することにより、地域経済を活性化したい。

竹の伐採には、大変な労力がかかる。竹材伐採の自動化できる竹伐りロボットを開発して、バイオ燃料、バイオ樹脂、オリゴ糖、リグニン、リグノフェノール、竹繊維、農業用堆肥、家畜飼料、消臭殺菌剤、竹炭、竹酢液を生産する。

4-1. 高専発ベンチャー「バンブーケミカル研究所」の取り組み

阿南市より高専に放置竹林の解決を依頼された。阿南に孟宗竹を持ち込んだのが、阿南市長の先祖で、阿南市は竹で栄えたが、現在は放置された竹林による環境悪化に悩んでいる。地元企業も竹産業に取り組んでおり、「事業は地域の人々のため、環境のため」を合言葉に産官学で取り組むことになった。

那賀町にバイオマスプラントがあり、化学的手法で竹有効成分分離をやろうとしたが、竹を伐採することに多くのコストがかかることがわかった。そこで、竹伐採の自動化を目標にロボット開発を行うことにした。高専の得意分野である機械と化学が融合した技術が必要としていることが、事業化の決め手であった。

竹林は山地にあり、道が狭く、伐採にコストがかかるので、竹林に装置を搬入して、現場でチップ、パウダー化して、工場に輸送することとした。

目標達成のために、H21年にバンブーケミカル・プロジェクト発足させ、H22年に阿南市と共同で、高専内に阿南市インキュベーションセンターを創り、株式会社「バンブーケミカル研究所」を設立した。創業目的は、阿南高専発ベンチャー企業として産学官の研究シーズを地域の活性化に活かし、再生資源であるバイオマス利活用研究を通して地域に豊富な竹や木質材を使い化学商品を活用し、産業の振興と環境保全を行うことであった。業務としては、素材を調達 竹の伐採・運搬を行い、1次加工 表皮粉、竹粉、竹繊維、2次加工 抗菌剤、オリゴ糖、リグニン、リグノフェノール生産を行う。

4-2. 開発した装置（バンブーケミカル研究所）

・自動竹パウダー製造装置

竹から細かな竹パウダーを全自動で作製する装置。独自の切削機構により、自動で能率良く竹粉が作製でき、出来上がった微細な竹粉は均一である。生産効率、生産能力が高く、自動供給機能により安全作業でき、軽量小型のため、どこでも設置可能である。

＜竹パウダーの用途＞

農業用堆肥（米、野菜、果樹など） 竹パウダーで作物が病気に強くなり、野菜の収穫量が増加することが期待される。竹は、一日 1.2 m 成長するので、作物の成長に良い影響を与えるとされている。竹はケイ酸やミネラルが豊富で微生物が繁殖しやすくなるので、土作りに役立つ。表土に竹パウダーをかけることにより、雑草の繁殖の抑制効果も大きい。

家畜飼料 竹パウダーを乳牛のエサに混ぜると乳が良く出る。また、肉牛、豚のエサに混ぜると増体が進む。鶏のエサに混ぜると免疫力が上がり病気に強くなる。

＜竹粉を抽出し工業用の幅広い用途商品＞

竹の表皮約 0.5 mm の粉を抽出すると、強い

抗菌性が得られる。竹粉を熱水処理して、キシロオリゴ糖や、リグニンが精製される。セルロースの精製による各種の化学樹脂材料が得られる。

・自動竹繊維作成装置

竹素材から任意の長さの竹繊維を自動で作製する装置。自動で竹繊維が能率良く作製でき、従来工法に比べて高品質である。独自の竹送り機構と、特殊回転刃物による竹繊維自動加工システムをもつ。自動供給機能付で安全に設定長さ通りの竹繊維を取り出すことができ、小型で、コンパクトである。

＜竹繊維の用途＞

自動竹繊維作製機で作った細かな竹の微細繊維。繊維同士の絡みで、強度が大幅にアップ、竹繊維は幅広い用途に応用できる。長さは短いものから、長いものまで任意のものででき、軟質部が取り除かれた高品質の繊維である。

・量産型竹炭焼き装置

孟宗竹や真竹を割って、炭焼き装置内に投入すれば高品質の竹炭が焼ける。

・竹伐採チョッパー装置

竹林で竹を1mに切断する。その場でチップ、パウダー化も可能である。

開発中の装置

・キシロオリゴ糖 / 天然抗菌剤の精製システム

化学的手法で竹から取り出す。

4-3. 藤崎電機の取り組み

藤崎電機（阿南市）は、2006年から環境セミナーを主催し、太陽エネルギー等の再生可能エネルギー利用を提唱している。藤崎電機がバンブーケミカル研究所に出資し、高専と共同で竹に有効活用を研究開発している。2013年には竹から活性炭を作り出すことに成功した。現在はヤシ殻活性炭が主流であるが、今後、竹由来活性炭で国産化を行いたい。

4-4. NPO 法人徳島県南環境資源ネットワークの取り組み

2013年阿南市のNPO法人徳島県南環境資源ネットワークが阿南市福井町内35.7ヘクタールの竹林の整備を、竹の有効活用を国が進める「森林・山村多面的機能発揮対策事業件」の補助を得て計画している。2013年度は肥料として竹100tを利用し、2014年は、竹をパウダー化して、那賀町のバイオマスプラントと共同で糖質とリグノフェノールを取り出す。

竹を肥料、飼料化し竹林を整備して、タケノコ産業復活を目標としている。

4-5. 国土交通省徳島河川国道事務所の取り組み

吉野川上流域で伐採した竹をチップ化（長さ5-10cm、幅1-2cm）して無料配布している。竹チップは、果樹園、畑、庭にまくと、土の乾燥を防ぎ、雑草の発生を抑制する効果がある。

4-6. 竹繊維のから紙を作る取り組み

アワガミファクトリー（阿波和紙ブランドの総称）、阿波製紙が竹繊維を使った紙を製造販売している。

5. 阿南市以外の竹に関する研究

・竹粉と免疫力

静岡県畜産技術研究所では、孟宗竹をパウダー化して鶏の飼料に2.5%混合すると免疫力が向上する。竹粉が家畜に良い影響をもたらすだけでなく、排泄物による悪臭を防ぐ効果がある。

・おからと竹の有効活用

筆者はおからの有効活用を研究している。竹を使ったおからの有効活用が、愛媛県農林水産研究所畜産研究センターで研究されている。おからは、大量に水分を含み、腐敗しやすい。おからに竹を混合して飼料にすることにより、竹



写真3 竹繊維で作った紙



写真4 竹パウダーを使ったマルチ（雑草抑制と微生物の活性化）

の防腐効果を使い腐りやすいおからを保存する。竹は家畜飼料として、有効であることが証明されているので、高カロリーのおからと組み合わせることは、今後普及が期待される。

・植纖機（バイケミ農業）

タケノコは食べられるが、竹は食べられないのは、表皮が固いケイ酸質で覆われているからである。そのため、そのままでは有効な肥料にならない。竹をすりつぶして竹粉にするとき摩擦熱で加熱（100℃以上）、加圧することにより、セルロース・ヘミセルロース・リグニンの構造をほぐし、細胞内のデンプンをむき出しにする。植纖機で作られた竹肥料は、作物を問わず、表面散布でリン酸が効き、健全な根が伸び、生産物の甘味・旨味が増し、土壤病害が抑制されるとされている。

・竹酢液の抽出技術（アステック）

アステック（高知県佐川町）では、オートクレーブを利用し、竹酢液の連続式で量産可能している。

おわりに

石油資源に乏しい日本では、森林から薪、炭としてエネルギーを利用してきた。しかし現在木材は、材料としてもエネルギー源としても活用されていない。循環なきバイオマスといわれているが、その原因はエネルギー密度が低く、輸送等にコストがかかることにあった。

東日本大震災以降、エネルギー密度が低い太陽光発電、小水力発電等が見直されている。原子力発電に頼ることができず、石油資源のない日本の将来を考えるとエネルギー密度の低いエネルギー源を効率よく利用することが必要となってくる。日本全国で、竹林面積は24万7000 ha（竹全種類）、使用可能な竹は2470万トン（100トン/ha）と推定されている。竹の成長速度は、年間15トン/haであるから年間370万トンが継続的に使用できる。

また日本の森林蓄積量は、44億トンあるが、ほとんど活用されていない。杉の成長速度は、竹よりかなり遅く、年間使用量を総量の1%としても4400万トンである。これらの資源を家畜用飼料として活用できる技術が開発されたとすると、飼料輸入量1600万トンを賄うことは可能であり、カロリーベースの食料自給率を大幅に引き上げることができる。

一方、エネルギー自給率を森林資源エネルギー活用により向上させることは難しい。エネルギー源のベストミックスの検討と並行して、エネルギー消費量の見直しをすることが、日本の安全保障には必要である。TPPは、食料問題としてだけではなく、エネルギー源の保障をメインに考えるべきであると提唱したい。

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

- 1) 竹資源の植物誌, 内村 悦三, 創森社
- 2) 竹炭・竹酢液作り方生かし方, 日本竹炭竹酢液生産者協議会, 創森社
- 3) 竹炭をやく生かす伸ばす, 山梨県・見延竹炭企業組合, 創森社
- 4) 竹肥料農法, バイケミ農業の実際, 橋本 清文・高木 康之, 農文協
- 5) 炭のある暮らし, 道祖土靖子, マール社
- 6) 土・作物を変える不思議パワー 炭 とことん活用読本, 本田 進一郎, 農文協
- 7) 竹資源, 清岡 高俊, マネジメント社
- 8) 旬レボ中国地方 4 月号, バンブー・ファインケミカルズその 1, 竹内 善幸
- 9) エネルギーを選びなおす, 岩波新書, 小澤 祥司
- 10) 一森 勇人, 田中 達治, 柴山 和也: おからの有効利用を考える, *New Food Industry*, Vol.54(3), 59-63, 2012.
- 11) モウソウチク由来の生理活性資材の開発とその応用に関する影響 (1) 岩澤 敏幸, 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告, 2007.

紅茶の糖質消化酵素活性抑制作用および 食後血糖上昇抑制効果

高見澤（内田） 菜穂子（TAKAMIZAWA (UCHIDA) Naoko）^{1*} 鬘谷 要（KATSURAYA Kaname）^{2*}
矢澤 一良（YAZAWA Kazunaga）^{1*}

^{*1} 早稲田大学ナノ理工学研究機構 規範科学総合研究所ヘルスフード科学部門，^{*2} 和洋女子大学総合生活研究科

Key Words：糖尿病・予防・紅茶・血糖上昇抑制作用・ α -グルコシダーゼ活性抑制作用・マウス

はじめに

紅茶は茶の木（*Camellia sinensis*）を原料とし、茶葉の酸化酵素や加水分解酵素により茶葉成分に生化学的変化を生じさせることで作られる。この生化学的変化を発酵と呼び、この発酵が起こる事で緑色の茶葉が褐色に変化する¹⁾。紅茶のなかでも、ダージリン、ウバ、キーマンは世界3大銘茶と呼ばれており、それにアッサムを加えた4種が日本では多く流通している。

近年、糖尿病の予防・進展防止には食後の過血糖の是正が有用であることが臨床的に示されており²⁾、 α -アミラーゼや α -グルコシダーゼ（マルターゼおよびスクラーゼ）等の糖質消化酵素の働きを抑制する事により、糖質の消化吸収を抑制し、食後血糖値の上昇を穏やかにするという考え方が重要視されるようになってきている³⁻⁶⁾。紅茶は*in vitro*において、 α -アミラーゼ⁷⁻¹⁰⁾や α -グルコシダーゼ^{11, 12)}等の糖質消化酵素の働きを抑制する事がすでに報告されており、作用成分に関する検証等、今後の検討が必要とされている。

本稿では、まず*in vitro*において紅茶24種の紅茶を用いて、紅茶の種類による α -グルコシダーゼ抑制作用の違いを比較した。また、紅茶の抽出条件の違いが α -グルコシダーゼ抑制作

用に及ぼす影響についても検討した。加えて、正常マウスに対する紅茶の食後血糖値上昇抑制効果について検討した。

1. 方法

1-1. 酵素の調整

ラット小腸アセトン粉末（SIGMA 社製）に9倍量(w/v)の56 mM マレイン酸緩衝液(pH6.0)を加え、氷冷しながらホモジナイザーで均質化した後、遠心分離し、上清をマルターゼおよびスクラーゼの粗酵素液とした。マルターゼの活性評価には粗酵素液を20倍希釈になるように、スクラーゼの活性評価には粗酵素液を2倍希釈になるように、それぞれ56 mM マレイン酸緩衝液(pH6.0)を用いて調製したものを活性評価用酵素液として用いた。

1-2. 24種紅茶の α -グルコシダーゼ活性抑制作用の比較

ダージリン（インド）、ウバ（スリランカ）、アッサム（インド）、キーマン（中国）についてそれぞれ6社から購入した合計24種の紅茶を用い、茶葉3.0 gに沸騰させた蒸留水200 mLを加え室温環境下にて3分間抽出後、濾過時間を

一定にして濾紙にて自然濾過したものを各種紅茶試料として実験に用いた。

2% マルトース溶液 0.5 mL に、紅茶試料を 0.5 mL 添加し、マルターゼ酵素液を 0.5 mL 加え、37℃で 90 分間反応させた。対照には紅茶試料の代わりに緩衝液を 0.5 mL 添加した。反応後、沸騰水浴中で 10 分間加熱して酵素を失活させ、反応を停止した。また、37℃での酵素反応を行わずに酵素添加後直ちに沸騰水中で 10 分間加熱し、酵素を失活させたものを盲検とした。反応停止後、上清のグルコース量をグルコース C II テストワコー（和光純薬工業株式会社）を用いて測定した。次式により測定したグルコース量から酵素活性抑制率を算出した。

$$\text{酵素活性抑制率 (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

A：対照生成時グルコース量

B：紅茶添加時生成グルコース量

スクラーゼの活性評価では、2% スクロース溶液とスクラーゼ酵素液を用いて同様に行った。また、同様の試験を 6 回行い、その平均値と標準誤差を算出した。

1-3. 紅茶の抽出条件の検討

抽出温度の検討では、蒸留水 100 mL に対してウバの茶葉を 1.5 g 使用し、冷水 (3℃)、室温水 (19℃)、熱水 (沸騰させた蒸留水：80℃) によって抽出後濾過したものを試料として用いた。抽出茶葉量の検討では、熱水 100 mL に対してウバの茶葉を 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0 g 使用し、80℃で 3 分間抽出後、濾過したものを試料として用いた。抽出時間の検討では、熱水 100 mL に対してウバの茶葉を 4.0 g 使用し、10 秒, 1 分, 3 分, 30 分間抽出後、濾過したものを試料として用いた。

以上の条件により抽出した試料について、マルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率を前述と

同様の方法で算出した。

1-4. 実験動物および飼育条件

実験動物としては体重 35 ～ 40g の正常マウス (ICR 雄マウス, 日本クレア株式会社) を用いた。室温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $55 \pm 5\%$ で 12 時間の明暗周期の環境下において、固形飼料 CE-2 (日本クレア株式会社) を用いて飼育を行った。また、飼料、飲料水ともに自由摂取とした。なお、動物実験は内閣府告示の動物実験の飼養および保管等に関する基準に従い、実験動物に十分に配慮した上で行った。また、本研究はヘルシンキ宣言の精神に則り、和洋女子大学動物を対象とする生物学的研究・疫学的研究に関する倫理委員会の審議、承認を経て実施した。

1-5. マウスにおける各種糖質負荷試験

沸騰させた蒸留水 100 mL に対してウバ (スリランカ) の茶葉を 4.0 g 使用し、3 分間抽出後、濾紙で自然濾過したものを試料として用いた。糖質としては、可溶性デンプン、マルトース、スクロース (いずれも関東化学株式会社) の 3 種を用いた。マウスを 18 時間絶食させた後、空腹時血糖値が平均化されるように水群と紅茶群に群分けした ($n=5$)。水群には蒸留水、紅茶群には紅茶をそれぞれ 0.6 mL 経口投与し、その 30 分後に糖質 (2 g/kg body weight) を負荷した。糖質負荷前、負荷後 15, 30, 60, 120 分に尾静脈より採血し、小型自己血糖測定器グルテストエース R (株式会社三和化学研究所) を用いて血糖値を測定した。

2. 結果と考察

2-1. 24 種紅茶の α -グルコシダーゼ活性抑制作用の比較

ダージリン、ウバ、アッサム、キーマンの 4 種をそれぞれ 6 社から購入した合計 24 種の紅

茶におけるマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率を図1に示した。マルターゼ活性抑制率が高い順に並べたところ、6種のうち4種において、ウバが特に高いマルターゼ活性抑制率を示し、次いでダージリン、アッサム、キーマンの順に並ぶ傾向がみられた。中でもA社のウバが最も高いマルターゼ活性抑制率を示し、A～Fの6社すべてにおいて、キーマンが最も低値

であった。スクラーゼ活性抑制率においても、マルターゼ活性抑制率と同様の傾向がみられ、A社のウバに最も高いスクラーゼ活性抑制作用がみられた。従って、紅茶の品種に加えて生産環境等の違いにより α -グルコシダーゼ活性抑制作用に差が見られる事が示唆された。

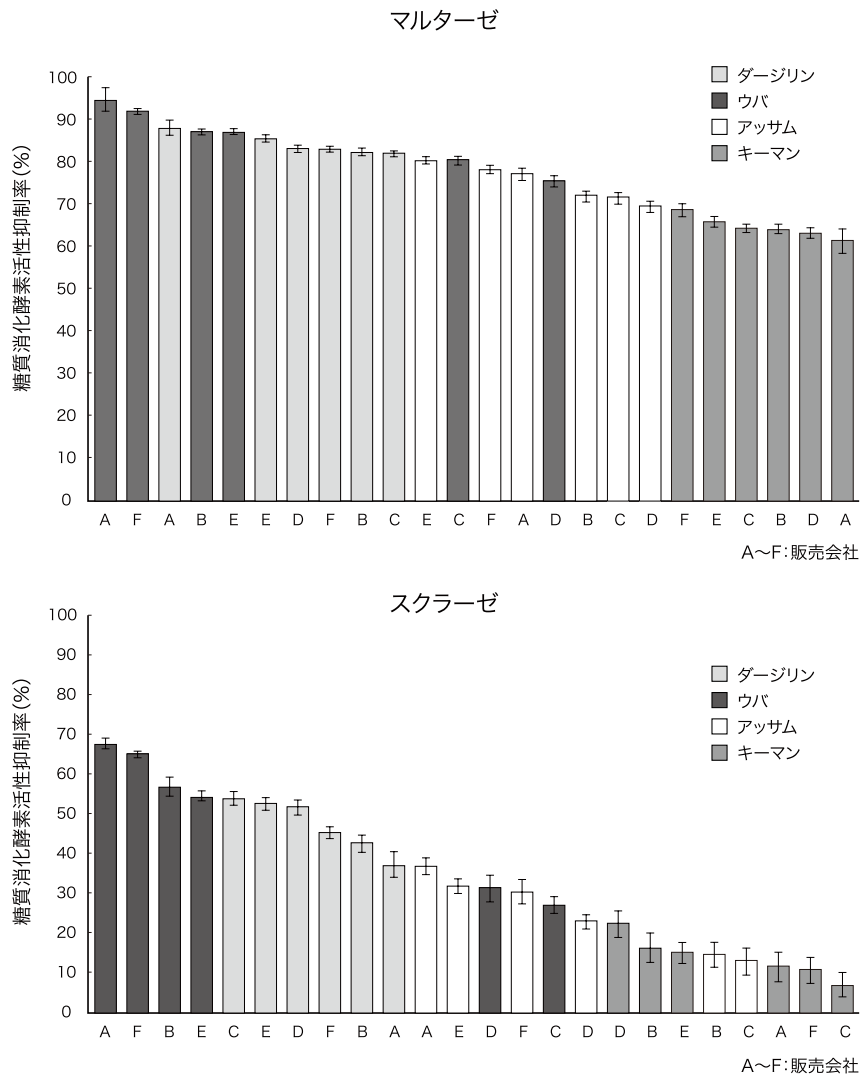


図1 24種紅茶のマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率

ウバ、ダージリン、アッサム、キーマンを6社(A～F)から購入した24種の紅茶の*in vitro*におけるマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率を示す。糖質消化酵素活性抑制率は、紅茶無添加の場合の消化率を100%として算出した。平均値±標準誤差(n=6)。

2-2. 紅茶の抽出条件の検討

抽出温度、抽出濃度、抽出時間を変えた場合のマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率を図2に示した。抽出温度の比較では、熱水で抽出したときに最も高く $96.8 \pm 1.2\%$, $98.0 \pm 1.3\%$ であった。次いで室温 $90.6 \pm 0.8\%$, $70.0 \pm 3.6\%$, 冷水 $75.9 \pm 1.1\%$, $30.7 \pm 3.3\%$ となり、抽出

温度が高いほど α -グルコシダーゼ活性抑制率が高くなることが示された。

また、抽出濃度の比較では、マルターゼ活性抑制率は $0.5 \text{ w/w\%}$ では $66.5 \pm 1.3\%$, $1.0 \text{ w/w\%}$ では $76.8 \pm 1.0\%$, $2.0 \text{ w/w\%}$ では $85.2 \pm 0.6\%$, $4.0 \text{ w/w\%}$ では $96.9 \pm 0.3\%$ となり、茶葉濃度に依存して、順次活性抑制率が上昇した。

しかし、 $5.0 \text{ w/w\%}$ では $97.7 \pm 0.3\%$ となり、 $4.0 \text{ w/w\%}$ で抽出したときと同程度であった。スクラーゼ活性抑制率は $0.5 \text{ w/w\%}$ では $30.3 \pm 2.1\%$, $1.0 \text{ w/w\%}$ では $58.3 \pm 2.2\%$, $2.0 \text{ w/w\%}$ では $91.1 \pm 0.3\%$ となり、茶葉濃度に依存して、順次活性抑制率が上昇した。しかし、 $4.0 \text{ w/w\%}$ では $99.2 \pm 0.2\%$ となり、 $2.0 \text{ w/w\%}$ で抽出したときと有意差がなく、 $5.0 \text{ w/w\%}$ では $99.7 \pm 0.1\%$ となり、 $4.0 \text{ w/w\%}$ で抽出したときと同程度であった。

抽出時間の比較では、マルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率はそれぞれ抽出時間 10 秒では $82.8 \pm 0.7\%$, $73.3 \pm 1.0\%$, 1 分では $90.6 \pm 0.4\%$, $94.5 \pm 0.2\%$, 3 分では $96.9 \pm 0.3\%$, $99.2 \pm 0.2\%$ となり、抽出時間が長いほどマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率が高くなることが示された。しかし、30 分間抽出したときのマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率は $95.6 \pm 0.2\%$, $98.6 \pm 0.1\%$ であり、3 分間抽出したときと同程度であった。

従って、茶葉濃度 $4.0 \text{ w/w\%}$ で 3 分間の抽出により、 α -グルコシダーゼ活性抑制に関与している成分が十分に抽出されると考えられ

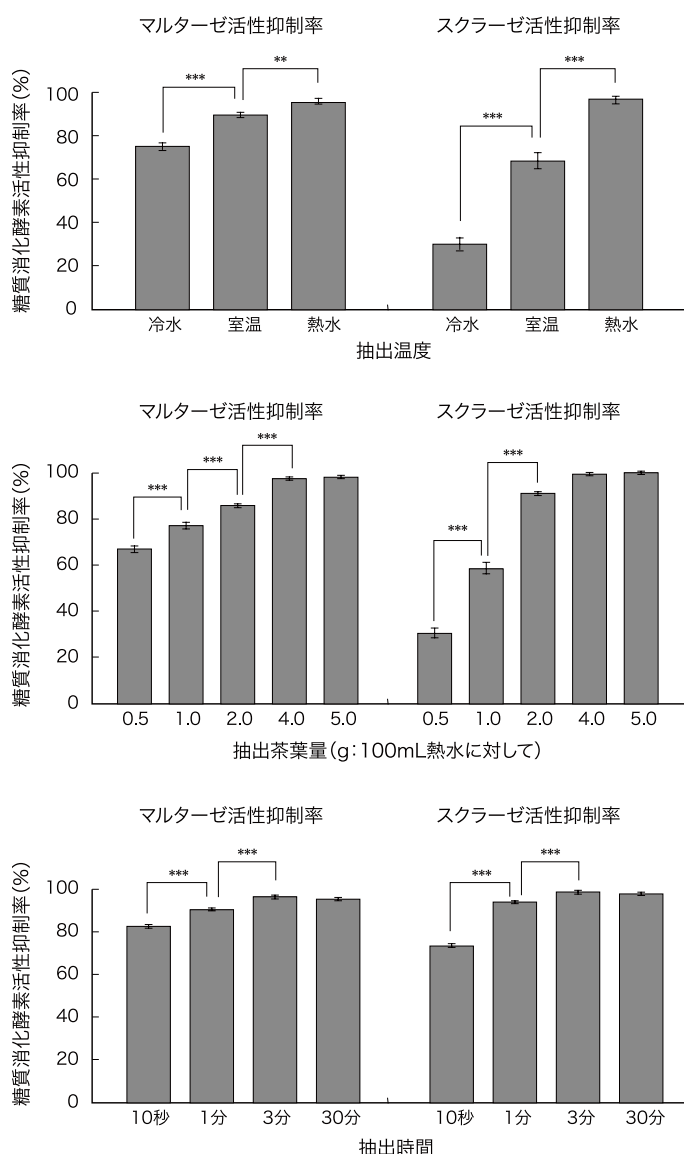


図2 抽出条件の違いがマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制率に及ぼす影響

平均値±標準誤差 (n=6) . ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

た。この抽出濃度は通常飲用する場合よりもおよそ2倍濃い条件であるが少量であれば飲用可能な濃度であると考えられる。

以上の結果より、A社のウバに、より高い α -グルコシダーゼ活性抑制作用が期待できると判断し、以下の実験にはA社のウバを使用することとした。また、紅茶試料100 mLあたり茶葉を4.0 g使用し、3分間熱水で抽出することで、 α -グルコシダーゼ活性抑制成分がより効率的に抽出されると判断し、この方法で抽出した紅茶を次の動物試験に用いることとした。

2-3. 紅茶の投与が各種糖負荷後の血糖値に及ぼす影響

マウスに紅茶0.6 mLを経口投与し、30分後に可溶性デンプン、マルトース、スクロースを投与した際の血糖値の変化を図3に示した。デンプン投与の場合、30分後の血糖値が水群では 281.4 ± 18.6 mg/dLであるのに対し、紅茶群では 226.6 ± 16.3 mg/dLとなり、紅茶群は水群に比べて有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。マルトース投与の場合、血糖値の変化は、紅茶群が投与後30分以降水群に比べ低値を示す傾向が見られ、120分後では水群が 175.5 ± 21.9 mg/dLであるのに対し、紅茶群は 112.4 ± 12.2 mg/dLとなり、有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。スクロース投与の場合では、投与後15分、30分値において水群がそれぞれ 174.8 ± 17.5 mg/dL、 224.2 ± 29.1 mg/dLであったのに対し、紅茶群は 130.6 ± 9.8 mg/dL、 145.8 ± 11.0 mg/dLとなり、スクロース投与の場合においても紅茶群は水群に比べ、有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。従って、どの糖質を負荷した場合においても、紅茶投与群は水投与群と比較し、負荷後の血糖上昇を抑制することが確認された。我々が日常摂取する糖質の大部分はデンプン、マルトースおよびスクロースである。これらの

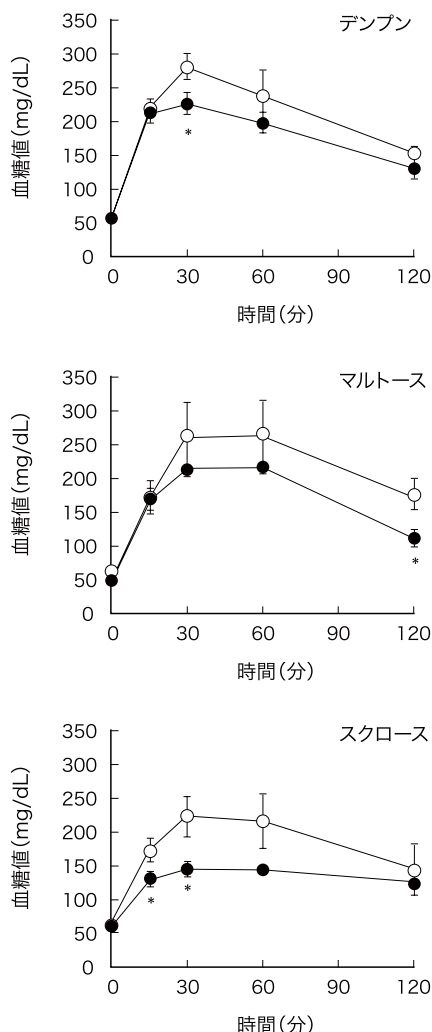


図3 ICRマウスにおけるデンプン、マルトースおよびスクロース投与後の血糖値の変化

平均値±標準誤差。○：水群 (n=5)、●：紅茶群 (n=5)。*： $p < 0.05$ (水群との差を示す)。

どの糖質においても紅茶の食後血糖上昇抑制効果が確認されたことから、紅茶が食後血糖上昇抑制に有用である可能性が強く示された。

3. 総括

本報告において、紅茶の種類によりマルターゼおよびスクラーゼ活性抑制作用に違いが見られ、その作用は紅茶の抽出条件によっても増減

することが示された。加えて、ICR マウスの負荷試験において、デンプン、マルトースおよびスクロース投与時における食後血糖上昇抑制効果が確認され、紅茶の摂取が食後血糖上昇抑制に有用であることが示された。

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

- 1) 佐野 満昭, 斉藤 由美: 紅茶の保険機能と文化. アイ・ケイ コーポレーション, 東京, 第1版: 58-75, 2008.
- 2) Chiasson JL, Josse RG, Gomis R, Hanefeld M, Karasik A, Laakso M: Acarbose for prevention of type 2 diabetes mellitus: the STOP-NIDDM randomized trial. *Lancet*, **359**: 2072-2077, 2002.
- 3) 出口 ヨリ子, 長田 邦子, 内田 和美, 木村 広子, 芳川 雅樹, 工藤 辰幸, 保井 久子, 綿貫 雅章: グァバ葉熱水抽出物の db/db マウスにおける抗糖尿病効果およびヒト飲用試験による食後血糖値上昇抑制効果. 日本農芸化学会誌, **72**: 923-931, 1998.
- 4) 寺本 哲子, 沖 直子, 草野 崇一: マテ (*Ilex paraguariensis*) 葉抽出物の糖質分解酵素阻害作用およびラットにおける糖負荷後の血糖上昇抑制作用. 日本栄養・食糧学会誌, **58**(1): 17-21, 2005.
- 5) 田中 忍, 韓立坤, 鄭毅男, 奥田 拓道: ラットにおける食後の血糖上昇に及ぼすイチヨウ葉由来 フラボノイドフラクションの抑制作用. 薬学雑誌, **124**: 605-611, 2004.
- 6) Tormo MA, Gil-Exojo I, Romero TA, Campillo JE: Hypoglycaemic and anorexigenic activities of an amylase inhibitor from white kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) in Wistar rats. *Br. J. Nutr.*, **92**: 785-790, 2004.
- 7) 田中 伸子, 岡村 浩: 唾液中 α -アミラーゼにおよぼす紅茶抽出成分活性変動因子の検討. 学苑, **570**: 9-15, 1987.
- 8) 田中 伸子, 岡村 浩: 紅茶中の唾液 α -アミラーゼ阻害物質 (ポリフェノール) に関する検討. 学苑, **624**: 26-30, 1991.
- 9) 田中 伸子, 岡村 浩: 唾液中 α -アミラーゼ活性におよぼす紅茶タンニン (ポリフェノール) の影響. 日本家政学会誌, **40**: 587-592, 1989.
- 10) Hara Y, Honda M: The Inhibition of α -amylase by Tea Polyphenols. *Agric. Biol. Chem.*, **54**(8): 1939-1945, 1990.
- 11) Toshiro Matsui, Takashi Tanaka, Satoshi Tamura, Asami Toshima, Kei Tamaya, Yuji Miyata, Kazunari Tanaka and Kiyoshi Matsumoto: α -Glucosidase inhibitory profile catechins and theaflavins. *J. Agric. Food. Chem.*, **55**: 99-105, 2007.
- 12) Honda M, Hara Y: Inhibition of rat Small Intestinal sucrase and α -glucosidase activities by tea polyphenols. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**(1): 123-124, 1993.

ウシ初乳のマウス I 型アレルギー軽減機能, 並びに抗腫瘍機能

Anti-type I allergic and anti-tumor functions of cow's colostrum in mice

大谷 元 (OTANI Hajime) *¹ 長谷川 実希 (HASEGAWA Miki) *¹ 遠見 和幸 (TOMI Kazuyuki) *¹
内田 健志 (UCHIDA Takeshi) *² 山口 博史 (YAMAGUCHI Hiroshi) *²

*¹ 信州大学学術研究院 (農学系) 大学院農学研究科機能性食料開発学専攻

*² 小林製薬株式会社 中央研究所

Key Words : ウシ後期初乳・マウスパイエル板および脾臓細胞培養系・マウス経口投与試験・
I 型アレルギー軽減機能・抗腫瘍機能

はじめに

哺乳類は、多量の抗体を始めとする生体防御タンパク質を母乳 (乳汁) を介して新生仔に与える。与えられた生体防御タンパク質は、母動物が生息している環境の病原性生物を認識したものが中心であり、新生仔の能動免疫系が成立するまでの間、新生仔の感染防御に寄与する。なお、母乳は受動生体防御タンパク質だけではなく、能動免疫の発達を調節する多種多様なタンパク質も含んでいる¹⁾。

乳汁の中でも、食品として世界的に最も多く利用されているのは牛乳である。牛乳の成分組成は泌乳期により異なり、分娩後 1 週間以内の乳を「初乳」、泌乳期終了間近の乳を「末期乳 (乾乳)」, 初乳と末期乳の間の乳を「成熟乳 (常乳)」と呼んでいる。ウシの新生仔は、胎仔期に母親

から生体防御タンパク質を受け取ることができないために、すべての生体防御タンパク質を乳汁を介して受け取る。そのために、受動生体防御タンパク質や能動免疫調節タンパク質は初乳に特に高濃度で含まれる¹⁾。したがって、食品としての牛乳に栄養機能だけではなく、生体防御機能も期待するならば、常乳よりも初乳を対象にする方が合目的である。

しかし、わが国では、厚生労働省が 1951 年に施行した「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令 (乳等省令)」により、分娩後 5 日以内の乳は食品や栄養補助食品としての利用が制限されている²⁾。

そこで、筆者らは、食品として利用できる、分娩後 6 日目および 7 日目のウシ初乳から調製した脱脂粉乳 (以後、本拙文では便宜上、「後

連絡著者 : 大谷 元 (OTANI Hajime)

〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村 8304

信州大学学術研究院 (農学系)

大学院農学研究科機能性食料開発学専攻

E-mail : otani84@shinshu-u.ac.jp

期初乳”と呼ぶ)に注目し,その生体防御機能の解明を目指して研究を行っている。

本拙文では,後期初乳のマウスパイエル板細胞培養系におけるマクロファージとヘルパー T 細胞の分化に及ぼす影響に関する研究成果,後期初乳を添加した飼料での飼育がマウスの I 型アレルギー症状と免疫機能,およびメラノーマ細胞の肺への転移と免疫機能に及ぼす研究成果を紹介する。

1. マウスパイエル板細胞培養系における後期初乳の CD4 陽性細胞 (ヘルパー T 細胞) の分化と CD11b 陽性細胞 (マクロファージ) 数に及ぼす影響

各種濃度の後期初乳存在下で培養したマウスパイエル板細胞中の CD4 陽性 (ヘルパー T) 細胞, T 細胞サブセット, CD11b 陽性細胞 (マクロファージ) および活性化マクロファージ数を蛍光免疫染色法で調べた結果を図 1 から図 5 に示した。図 1 から,後期初乳無添加での培養と較べて,後期初乳 1000 $\mu\text{g/mL}$ 添加での培養により CD4 陽性細胞数が有意に少ないことがわかる。また,図 2 および図 3 から, T 細胞の中でも, IFN- γ 陽性および IL-4 陽性細胞

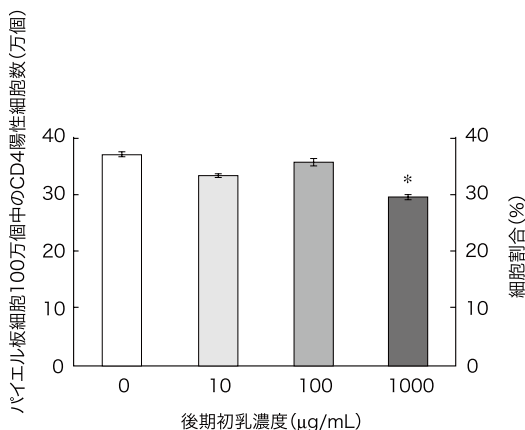


図 1 パイエル板中の CD4 陽性 (Th) 細胞数

* 後期初乳濃度 0 (後期初乳無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

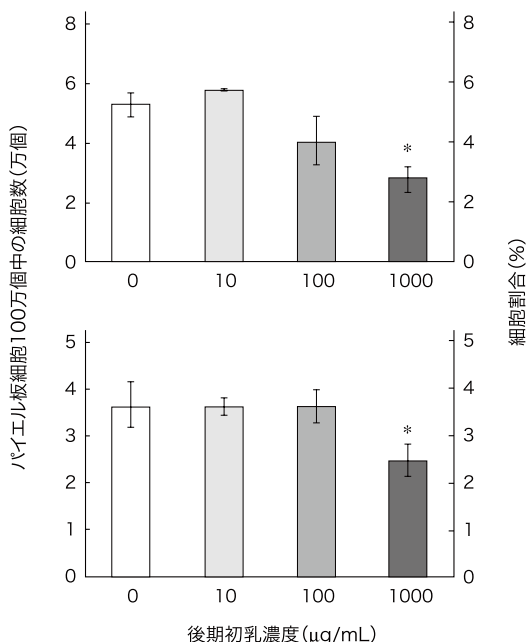


図 2 パイエル板中の IFN- γ 陽性 CD4 陽性 (Th1) 細胞数 (上段) および IL-4 陽性 CD4 陽性 (Th2) 細胞数 (下段)

* 後期初乳濃度 0 (後期初乳無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

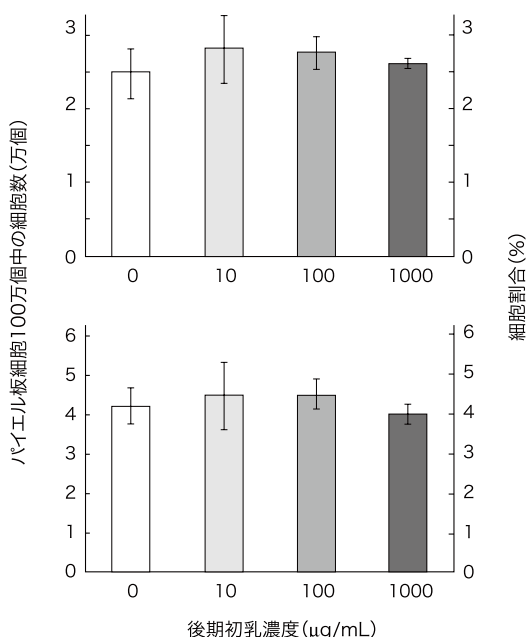


図 3 パイエル板中の TGF- β 陽性 CD4 陽性 (Th3) 細胞数 (上段) および IL-10 陽性 CD4 陽性 (Treg) 細胞数 (下段)

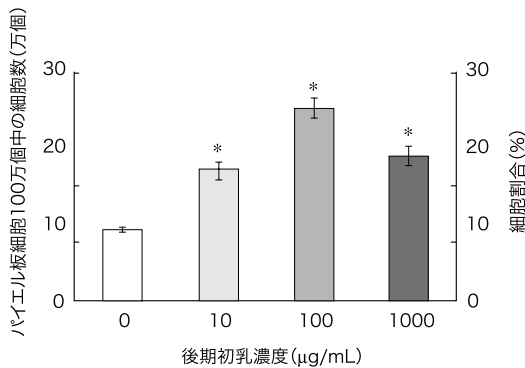


図4 パイエル板細胞中の CD11b 陽性細胞 (マクロファージ) 数

* 後期初乳濃度 0 (後期初乳無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

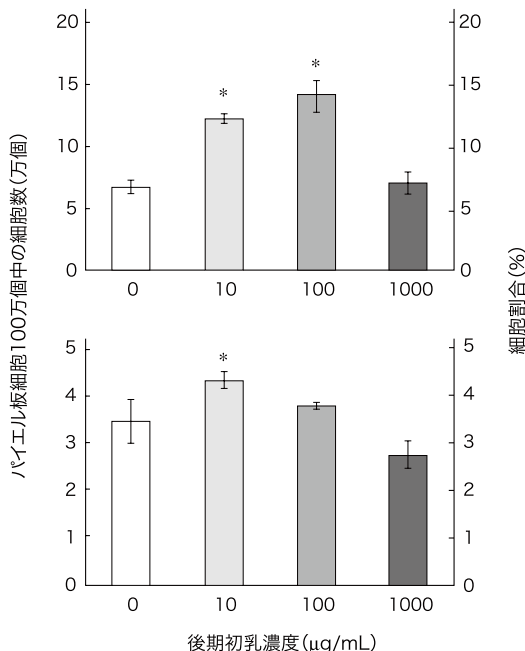


図5 パイエル板中の TGF-β 陽性 CD11b 陽性細胞数 (上段) および IL-10 陽性 CD4 陽性細胞数 (下段)

* 後期初乳濃度 0 (後期初乳無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

胞が後期初乳 1000 μg/mL 存在下で培養すると有意に少ないことがわかる。さらに、図 4 から、後期初乳のいずれの濃度の添加においても CD11b 陽性細胞数は無添加よりも有意に多く

なり、図 5 から、後期初乳 10 μg/mL 添加において、TGF-β 陽性 CD11b 陽性 および IL-10 陽性 CD11b 陽性細胞が無添加の場合よりも有意に多いことがわかる。

初乳は哺乳類新生仔が出生直後に摂取する唯一の食物である。一般に新生仔は自己の感染防御機構が未熟であるため、新生仔が外界の環境に適応し、健全な発育を行うために、唯一の食物である初乳には常乳よりも多くの生体防御タンパク質が含まれる¹⁾。

ウシ常乳と比べて、ウシ初乳に特に豊富に含まれる成分として IgG がある。先に、Ohnuki *et al.* は、牛乳 IgG のマウスへの経口投与により、非投与の場合と比べて血清 IgG が有意に少なくなることを観察し³⁾、Ohnuki and Otani は⁴⁾、投与した牛乳 IgG がマウスの腸内細菌と抗原抗体複合体を形成し、それがパイエル板の抗原提示細胞に FcγRIIb を介して結合して免疫抑制機構を誘導するためと結論づけた。一方、大谷⁵⁾ は、牛乳の主要タンパク質である α_{SI}-カゼインや β カゼインなどのカルシウム感受性カゼインの消化により生じるカゼインホスホペプチドが粘膜免疫において重要な役割を担う分泌型 IgA の産生を促すことをマウスとブタで明らかにし、その促進メカニズムを解明した。すなわち、これらの結果は、初乳には獲得液性免疫応答調節成分が含まれることを示している。しかし、これらの結果はそれぞれのタンパク質を単独で投与した時の結果であり、それらの両方の成分を豊富に含む初乳を投与した時にどのような作用が生じるかは明らかでない。

この点に関する知見を得る目的で、先に Ohashi *et al.*⁶⁾ は、後期初乳を含む飼料で健常マウスを 5 週間飼育し、そのマウスの糞便、血液および腸管中の免疫グロブリン量、脾臓の各種免疫細胞数およびパイエル板細胞の免疫調節タンパク質の遺伝子の DNA マイクロアレイによる網羅的解析により、後期初乳無添加飼料で

の飼育の場合と比べて、後期初乳添加飼料での飼育により腸管 IgG と IgA 量、脾臓の CD11b 陽性（マクロファージ）細胞、CD49b 陽性（ナチュラルキラー）細胞および IL-4 陽性 CD4 陽性（2 型ヘルパー T）細胞が減少することを観察した。また併せて、後期初乳添加群では、パイエル板細胞の T 細胞レセプターのシグナルの伝達に関係するタンパク質の mRNA 発現およびアレルギー疾患の発症を促すタンパク質の mRNA の発現が低下し、IL-2 産生を阻害するタンパク質の mRNA 発現 および未熟 B 細胞マーカータンパク質の mRNA 発現が増加することを観察した⁶⁾。これらの結果は、後期初乳をマウスが経口摂取すると、獲得液性免疫と I 型アレルギーの発症が抑えられることを示唆しており、後期初乳の経口摂取はカルシウム感受性カゼインの作用よりも IgG の作用が強いことを示している。

そこで本拙文では、まず、Ohashi *et al.*⁶⁾ の報告結果を裏づける目的から、健常マウスのパイエル板細胞培養系を行いて、パイエル板のマクロファージとヘルパー T 細胞数に及ぼす後期初乳の影響を調べた。

その結果、上述したように、パイエル板細胞に後期初乳を加えて培養すると、CD4 陽性、IFN- γ 陽性 CD4 陽性および IL-4 陽性 CD4 陽性細胞が無添加の場合より有意に少なくなり、CD11b 陽性、TGF- β 陽性 CD11b 陽性および IL-10 陽性 CD11b 細胞数が無添加の場合より有意に多くなることを確認した。

CD4 はヘルパー T 細胞の細胞表面抗原であり、CD11b はマクロファージおよび樹上細胞の細胞表面抗原である⁷⁾。また、ヘルパー T 細胞は産生するサイトカインの種類により幾つかのサブセットに分類され、IFN- γ を産生して細胞性免疫に関係するサブセットを 1 型ヘルパー T 細胞 (Th1)、IL-4 を産生して液性免疫に関係するサブセットを 2 型ヘルパー T 細胞 (Th2)、

トランスフォーミング増殖因子 (TGF) - β や IL-10 を産生して免疫系を抑制（制御）するサブセットを 3 型ヘルパー T 細胞 (Th3) と呼んでいる⁸⁾。

IFN- γ は、抗ウイルス作用やマクロファージの活性化を誘導する⁹⁾。IL-4 は B 細胞の増殖や IgM の IgG 1 へのクラススイッチの誘導を促し、TGF- β はマクロファージの活性化や B 細胞および T 細胞の増殖を阻害する⁹⁾。さらに、IL-10 は B 細胞の活性化を促してマクロファージの活性化を抑える⁹⁾。後期初乳の添加により Th2 細胞の減少およびマクロファージの増加が生じたことは、後期初乳は獲得液性免疫を抑制し、自然免疫を促すことを示している。すなわち本結果は、Ohashi *et al.*⁶⁾ の報告を支持するものである。

なお、本実験結果に基づいて後期初乳のマウスパイエル板細胞への作用模式図をに示した (図 6)。

以上のことから後期初乳は、I 型アレルギー軽減機能や抗腫瘍機能があることが強く示唆される。そこで、後期初乳添加飼料での飼育がマウスの I 型アレルギー症状と免疫機能に及ぼす影響を次に紹介する。

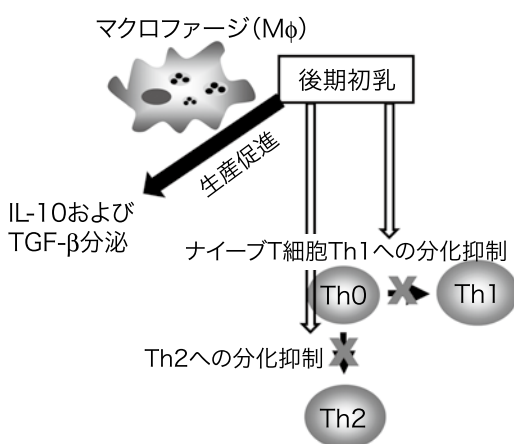


図 6 後期初乳のマクロファージとナイーブ T 細胞の分化に対する作用

2. 後期初乳添加飼料で飼育したマウスの I 型アレルギー症状と免疫機能

平成 15 年度の厚生労働省の調査報告では、日本人のおよそ 3 人に一人が花粉症や食物アレルギーなどの I 型アレルギー疾患に悩まされていたと記されている¹⁰⁾。I 型アレルギーは IgE が関係するアレルギーであり、IgE の産生には IL-4 や IL-13 などのサイトカインが深く関係する¹¹⁾。また、産生された IgE は、肥満細胞や好塩基球上の高親和性 IgE レセプター (FcεRI) に結合して存在し¹²⁾、抗原がその IgE に結合すると細胞が活性化されて脱顆粒を起こす。脱顆粒によりヒスタミンやロイコトリエンなどの化学情報伝達物質が分泌され、血管透過性の亢進や血管の拡張、かゆみなどの I 型 (即時型) アレルギー症状が生じる¹³⁾。そのために、I 型アレルギーの軽減や予防には、① IgE 産生を阻害すること、② FcεRI を有する肥満細胞数や好塩基球数を減らすこと、③脱顆粒のための情報伝達を阻害することなどが効果的と考えられる。

NC/Nga マウスは先天的アレルギー自然発症モデルマウスであり、一方、Th2 応答が強く、ダニやオボアルブミン (OVA) などにより容易に I 型アレルギーが誘導される BALB/c マウスは、後天的な I 型アレルギーモデルマウスである¹⁴⁾。

そこで本項では、後期初乳添加飼料および非添加飼料で飼育しながら、BALB/c マウスにダニに対する I 型アレルギーを誘導し、それらマウスの I 型アレルギー症状と免疫機能を比較検討した結果を述べる。

タンパク質以外の全ての栄養素を含む市販無タンパク質飼料 (Purina Mills 社, St. Louis, USA) とオボアルブミンを重量比で 75:25 の割合で混合した飼料 (対照飼料) および市販無タンパク質飼料とオボアルブミンと後期初乳を

75:15:10 の割合で混合した飼料 (後期初乳添加飼料) で既報¹⁵⁾ に準じて、5 週齢 BALB/c マウスを飼育しながらダニアレルギーを誘導した。図には示さないが、対照飼料で飼育したマウスと後期初乳添加飼料で飼育したマウスの試験期間中の体重の推移に有意な違いは見られなかったが、図 7 に示したように、対照飼料で飼育したマウスのアレルギー症状 (30 分間の鼻の引っ掻き回数) と比べて、後期初乳添加飼料で飼育したマウスのアレルギー症状は 9 週齢、10 週齢および 11 週齢において有意に低く、8 週齢においても有意差はないものの低かった。逆に、図 8 に示したように、血清総 IgE 量およびダニ特異 IgE の相対レベルは対照飼料と比べて、後期初乳添加飼料において有意に低かった。同様に、図 9 に示すように、対照飼料と比較べて、脾臓の IL-4 陽性 CD4 陽性細胞数は後期初乳添加飼料において有意に少なく、逆に IL-10 陽性 CD4 陽性細胞数は後期初乳添加飼料の方が有意に多く、IFN-γ 陽性 CD4 陽性細胞 /IL-4 陽性 CD4 陽性細胞比は後期初乳添加飼料の方

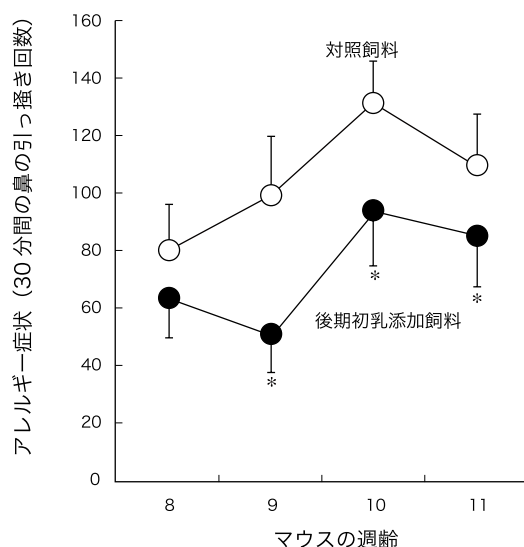


図 7 試験期間中のマウスのアレルギー症状

* 対照飼料と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=6)

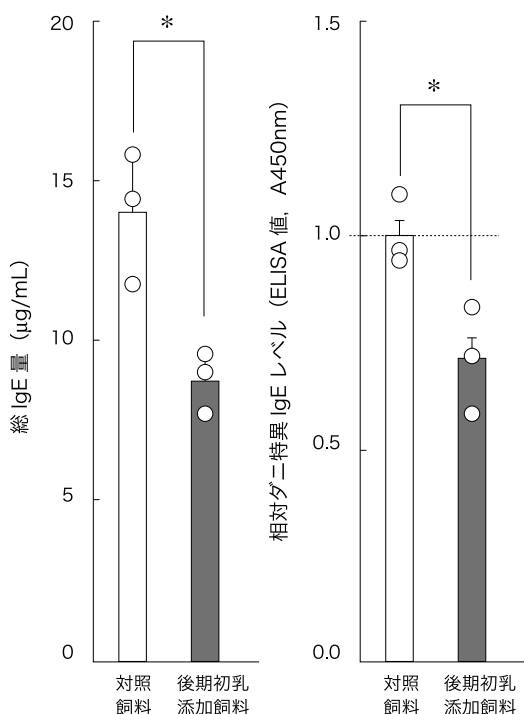


図 8 血清中の総 IgE 量および相対的ダニ特異 IgE レベル

* 対照飼料と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=6)

が高かった。さらに、図 10 に示すように、対照飼料で飼育した場合と比較して、後期初乳添加飼料での飼育により、Stat6, Btk, Itk および Stim1 の mRNA の相対発現は有意に低かった。まず、図には示していないが、試験期間を通じて後期初乳添加飼料と対照飼料で飼育したマウスの体重の推移に有意な違いがなかったことは、本試験で得られた上述の結果は、飼料の栄養価や実験によるストレスの違いではなく、後期初乳の作用によるためと結論できる。

マウスが 30 分間に鼻を引っ掻く回数を指標としたアレルギー症状は、対照飼料の場合と比べて、後期初乳添加飼料での飼育において低く、特に 9 週齢、10 週齢および 11 週齢においては有意に低かった (図 7)。本結果は、後期初乳の摂取により I 型アレルギー症状が軽減することを意味している。

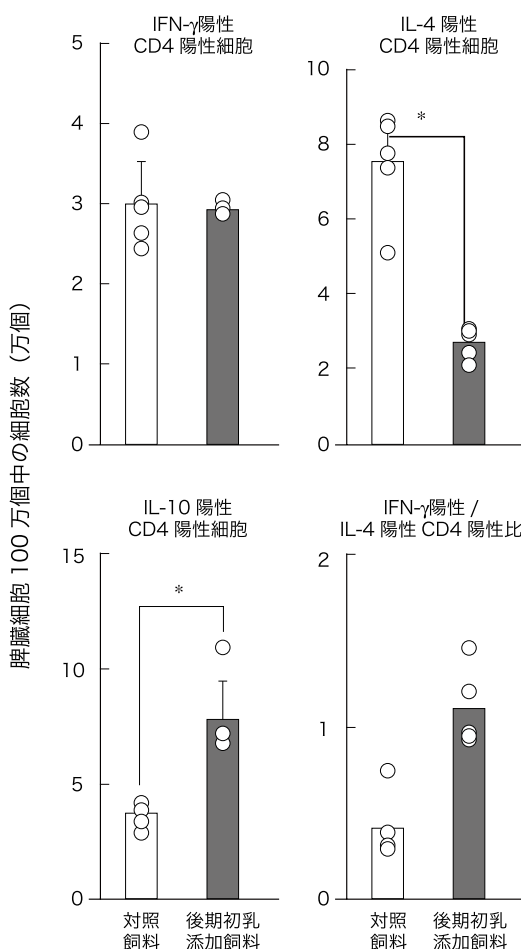


図 9 脾臓の各種免疫細胞数

* 対照飼料と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=6)

I 型アレルギー症状は、体内に侵入した抗原 (アレルゲン) に対する IgE が B 細胞の分化により生じる形質細胞によって産生され、それが肥満細胞や好塩基球表面の FcεR1 に結合し、そこにさらに抗原が結合することにより、細胞表面の FcεR1 が架橋されることにより細胞が脱顆粒を生じ、その結果、放出されるヒスタミンやロイコトリエンなどの化学情報伝達物質が血管透過性の亢進や血管拡張などの薬理作用を示すことにより生じる¹¹⁾。本研究において、血清総 IgE 量とダニ特異 IgE レベルは、対照飼料での飼育と比べて、後期初乳添加飼料での飼育

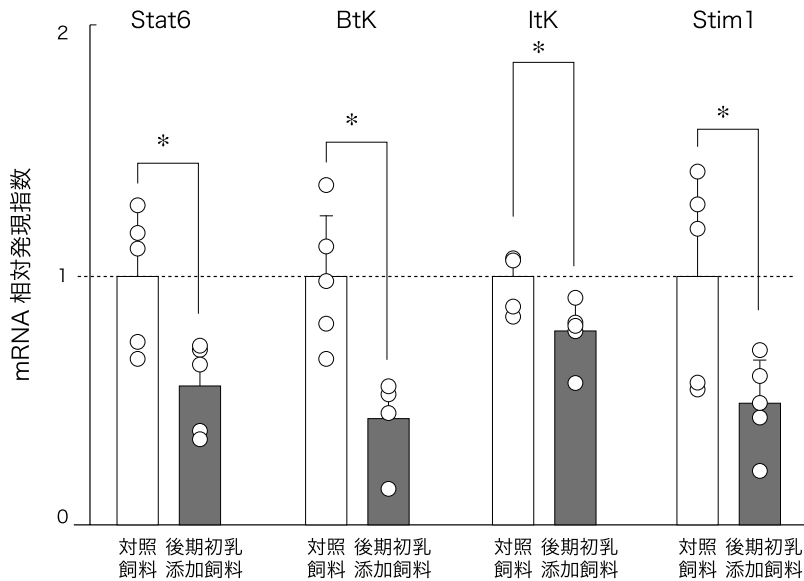


図 10 IgE のクラススイッチと脱顆粒に関係するタンパク質の mRNA の相対発現

* 対照飼料と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=6)

により有意に減少した (図 8)。本結果は、後期初乳は IgE 産生を抑制することにより I 型アレルギー症状を軽減したことを示している。

後期初乳が IgE 産生を抑制する要因としていくつか考えられる。まず 1 つは、後期初乳によりナイーブ T (Th0) 細胞が Th1 細胞に分化することが促されたことや、Th2 細胞への分化が抑制されたことにより Th1/Th2 比を Th1 優位になったこと、或いは免疫制御性 T 細胞 (Th3, Treg) 細胞が誘導されたことにより、B 細胞が IgE 産生細胞に分化するのが阻害されたことである¹⁶⁾。IFN- γ 陽性 CD4 陽性細胞は Th1 細胞であり、IL-4 陽性 CD4 陽性細胞は Th2 細胞である¹⁷⁾。IFN- γ 陽性 CD4 陽性細胞/IL-4 陽性 CD4 陽性細胞比、すなわち Th1/Th2 細胞比は対照飼料と比べて後期初乳添加飼料での飼育において高かった (図 9)。また、IL-10 陽性 CD4 陽性細胞は制御性 T 細胞 (Treg 細胞) と呼ばれ、抗原特異 Th1 細胞および Th2 細胞応答を抑制する¹⁸⁾。対照飼料の場合と比べて、後期初乳添加飼料での飼育において IL-10 陽性 CD4

陽性細胞数は有意に多かった (図 9)。これらのことから、後期初乳が Th1/Th2 比を Th1 優位にしたことと免疫抑制 T 細胞を誘導したことが I 型アレルギー症状の軽減に関係しているものと考えられる。

一方、Itk はナイーブ T 細胞の Th2 細胞への分化に関与するタンパク質である¹⁹⁾。対照飼料の場合と比べて、後期初乳添加飼料の飼育で Itk の mRNA 発現レベルが有意に低下した。また、IgE のクラススイッチに関係するタンパク質として一般に知られている Stat6 は、IL-4 により誘導される免疫応答を調節する重要な転写因子であり、IL-4 レセプターにより仲介されるシグナルを通じてリン酸化され、Stat6 は活性化される。その結果、IgE へのクラススイッチを含む転写が行なわれる²⁰⁾。すなわち Stat6 の mRNA 発現が高くなると、IgE へのクラススイッチが促され、IgE 産生が促進される。上述したように、Stat6 の mRNA 発現は、対照飼料の場合と比べて、後期初乳添加飼料での飼育により有意に低下した (図 10)。これらのこと

から、後期初乳添加飼料での飼育により、対照飼料の場合と比べて血清総 IgE 量およびダニ抗原特異 IgE レベルが低下した要因の一部には、Itk や Stat 6 の合成が阻害されたことも関係しているものと考えられる。

他方、後期初乳添加飼料での飼育によりアレルギー症状が軽減した要因に、肥満細胞における脱顆粒関連因子の抑制や IgE に対する高親和性のレセプターである FcεRI の発現が抑制されたことも関係している可能性もある。Itk は Tec ファミリーチロシンキナーゼの 1 つであり、Th2 細胞への分化に関与するタンパク質であるだけでなく、肥満細胞に発現し、FcεRI を介したシグナル伝達を活性化するタンパク質でもある²¹⁾。また、Btk は肥満細胞の脱顆粒とサイトカイン産生に関与するタンパク質である²²⁾。さらに Stim1 は、様々な細胞に発現し、小胞体のカルシウム濃度の低下を感知し、細胞内へカルシウムを流入させる引き金となり、アレルギー

を制御するタンパク質である²³⁾。FcεRI は高親和性 IgE レセプターであり、IgE 結合活性を持つ FcεRI-α、シグナル伝達に関与する FcεRI-β および FcεRI-γ の 3 つのサブユニットにより形成される²⁴⁾。対照飼料での飼育と比べて、後期初乳添加飼料での飼育により、後期初乳は Btk、Itk および Stim1 の mRNA 発現レベルが有意に低下した。しかし、FcεRI の mRNA 発現は後期初乳添加飼料での飼育による有意な影響を受けなかった。これらのことから、Itk および Btk の合成を抑制することにより、肥満細胞の脱顆粒やシグナル伝達を抑え、また、Stim1 の合成を抑えることにより小胞体でのカルシウム濃度を減少させたことも後期初乳の I 型アレルギーの軽減の一部には関係しているものと考えられる。

以上のように、マウスが後期初乳を経口摂取することにより I 型アレルギー症状が軽減することが明らかになった。そこで、続いて後期初乳

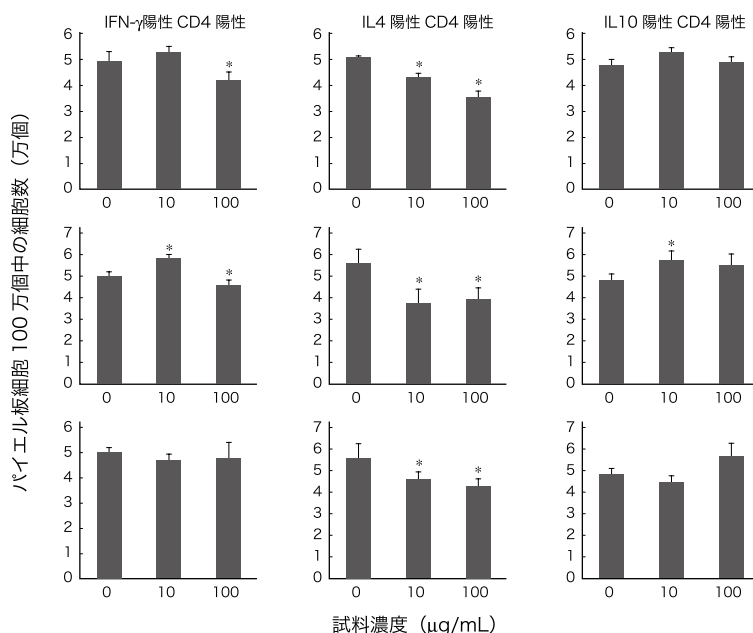


図 11 パイエル板の T 細胞サブセットへの分化に及ぼす後期初乳（上段）、後期初乳から調製したカゼイン（中段）およびホエイタンパク質（下段）の影響

* 試料濃度 0（試料無添加）と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

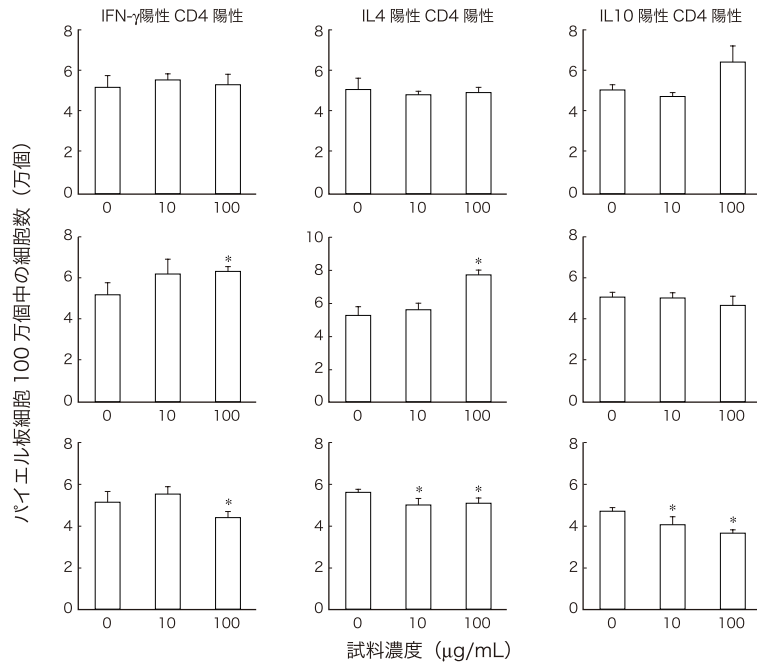


図 12 バイエル板細胞の T 細胞サブセットへの分化に及ぼす α_{s1} - カゼイン (上段), β - カゼイン (中段) および κ - カゼイン (下段) の影響

* 試料濃度 0 (試料無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

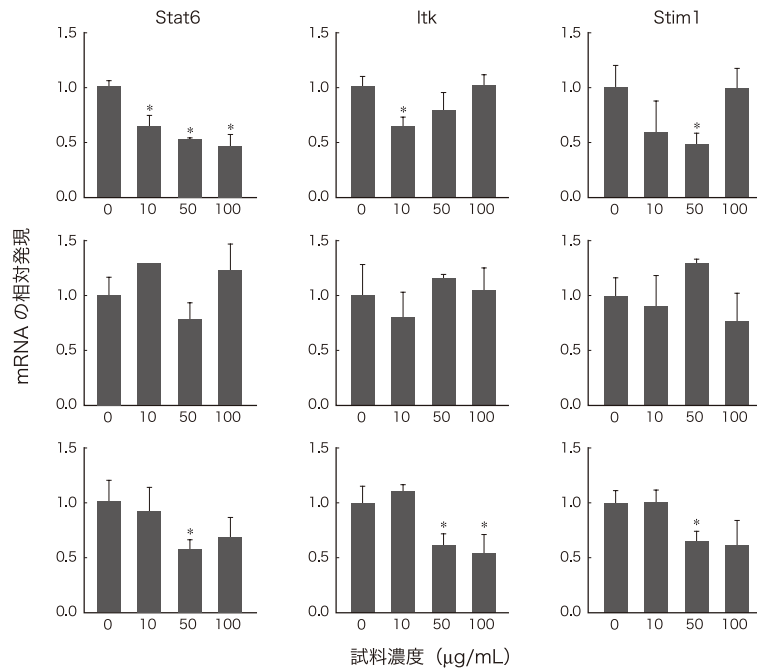


図 13 バイエル板細胞の Stat 6, ITK および STIMI の mRNA 発現に及ぼす後期初乳 (上段), 後期初乳から調製したカゼイン (中段) およびホエイタンパク質 (下段) の影響

* 危険率 5% 以下で試料濃度 0 (試料無添加) の場合と統計的有意差有り (n=3)

mRNA の相対発現: 試料無添加での発現を 1 とし, それに対する相対値

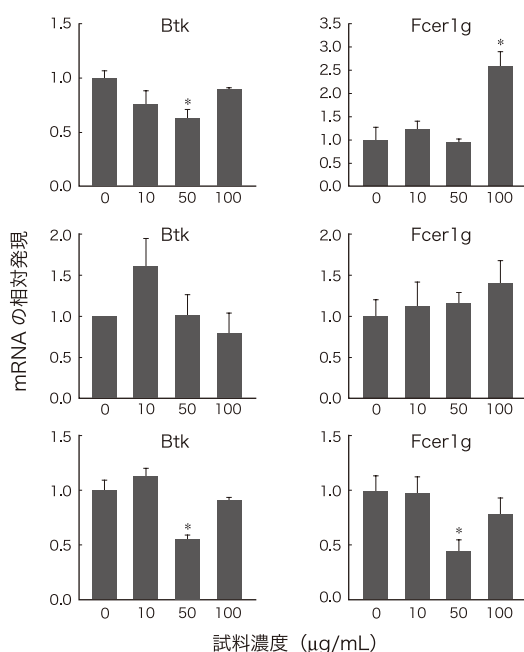


図 14 パイエル板細胞の Btk および FcεR1g の mRNA 発現に及ぼす後期初乳 (上段), 後期初乳から調製したカゼイン (中段) およびホエイタンパク質 (下段) の影響

* 試料濃度 0 (試料無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA の相対発現: 試料無添加での発現を 1 とし, それに対する相対値

中の I アレルギーの軽減と関係するタンパク質をマウスパイエル板細胞培養系により探索した。

まず, 図 11 に後期初乳, 後期初乳から調製したカゼインおよびホエイタンパク質存在下で培養したマウスパイエル板細胞の免疫細胞数を示した。図から, 無添加の場合と比べて, 後期初乳を添加することにより IFN- γ 陽性 CD4 陽性細胞と IL-4 陽性 CD4 陽性細胞はともに有意に減少するが, IL-10 陽性 CD4 陽性細胞に変化がないことがわかる。同様に, カゼイン 10 μ g/ml 添加により IFN- γ 陽性 CD4 陽性細胞と IL-10 陽性 CD4 陽性細胞が有意に増加し, 100 μ g/ml 添加により IFN- γ 陽性 CD4 陽性細胞と IL-4 陽性 CD4 陽性細胞が有意に減少する。さらに, ホエイタンパク質は IL-4 陽性 CD4 陽性

細胞を有意に減少させる。同様に, 図 12 に常乳から調製した α S1-, β - および κ - カゼイン存在下で培養したマウスパイエル板細胞の免疫細胞数を示した。図から, 無添加の場合と比べて, α S1- カゼインの添加により, IL-10 陽性 CD4 陽性細胞が, また, β - カゼインの添加により IFN- γ 陽性 CD4 陽性細胞および IL-4 陽性 CD4 陽性細胞が有意に増えることがわかる。一方, κ - カゼインの添加により, 調べたすべての細胞が有意に減る。

図 13 および図 14 に後期初乳, 後期初乳から調製したカゼインおよびホエイタンパク質と培養したマウスパイエル板細胞の各種遺伝子発現を示した。両図から, 無添加の場合と比べて, 後期初乳の添加により Stat6, Itk, Stim1 および Btk の mRNA 発現が有意に低くなり, FcεR1g の発現が有意に高くなることがわかる。しかし, カゼインは調べたすべての mRNA 発現に有意な影響を及ぼさず, ホエイタンパク質はすべての発現レベルを有意に低くする。同様に, 図 15 から図 19 に主要ホエイタンパク質存在下で培養したマウスパイエル板細胞の各種遺伝子の発現レベルを示した。図 15 から, β - ラクトグロブリンを添加して培養しても, すべての発現が無添加の場合と同様であることがわかる。また, 図 16 から, α - ラクトアルブミンの添加により, 無添加の場合と比べて, Stat6, Itk および Stim1 の mRNA 発現が有意に高くなり, 図 17 から, IgG1 の添加により Stat6, Itk および FcεR1g の mRNA 発現が有意に低くなるのがわかる。さらに, 図 18 から, IgG2 の添加により Stat6, Itk, Stim1 および FcεR1g の mRNA 発現が有意に低くなり, 図 19 から, ラクトフェリンの添加により, Stat6, Itk および Stim1 の発現が有意に低くなり, Btk の発現が有意に高くなるのがわかる。

以上の結果から, 制御性 T (Tr1) 細胞の誘導には α S1- カゼインが関係し, Th2 細胞への分

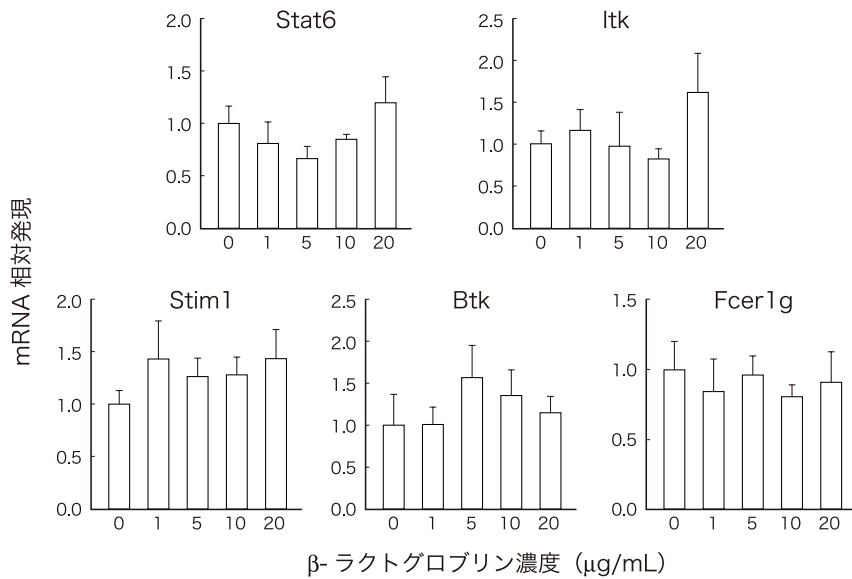


図 15 マウスパリエル板細胞の IgE のクラススイッチおよび脱顆粒に関係するタンパク質の mRNA の発現に及ぼす β -ラクトグロブリンの影響

* β -ラクトグロブリン濃度 0 (無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA の相対発現: β -ラクトグロブリン無添加での培養時の場合を 1 として、それに対する相対値

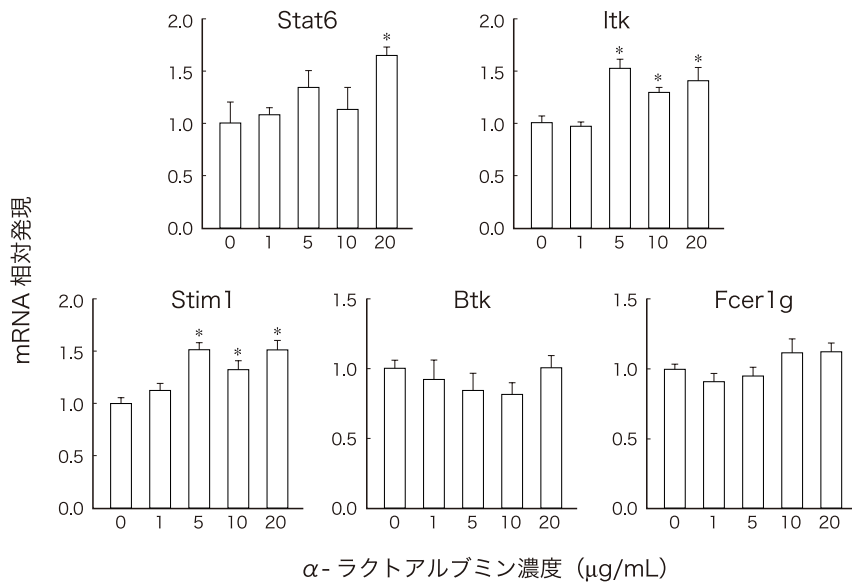


図 16 マウスパリエル板細胞の IgE のクラススイッチおよび脱顆粒に関係するタンパク質の mRNA の発現に及ぼす α -ラクトアルブミンの影響

* α -ラクトアルブミン濃度 0 (無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA の相対発現: α -ラクトアルブミン無添加での培養時の場合を 1 として、それに対する相対値

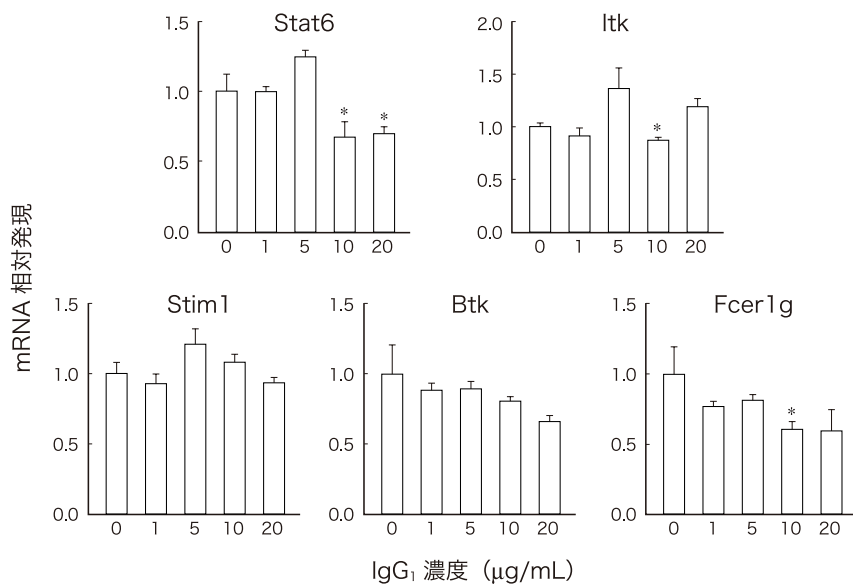


図 17 マウスパイル板細胞の IgE のクラススイッチおよび脱顆粒に関するタンパク質の mRNA の発現に及ぼす IgG₁ の影響

* IgG₁ 濃度 0 (無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA の相対発現: IgG₁ 無添加での培養時の場合を 1 とし、それに対する相対値

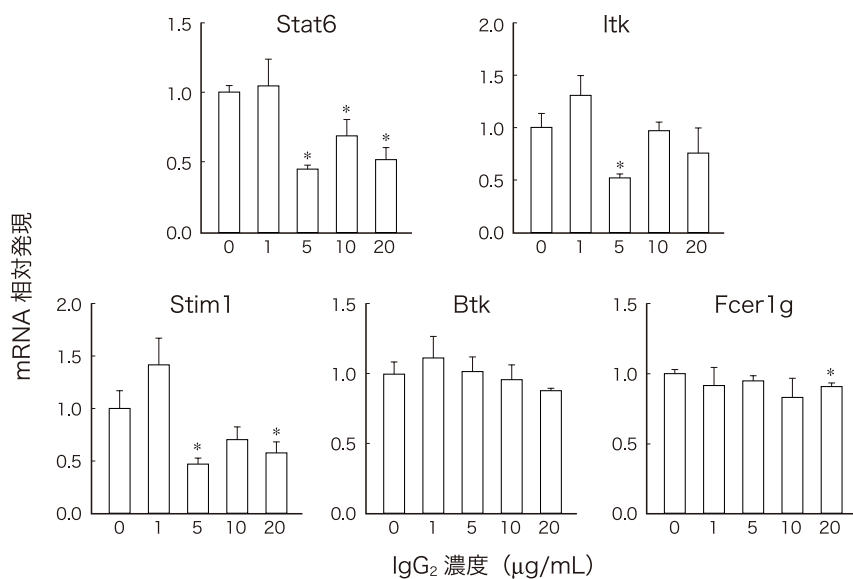


図 18 マウスパイル板細胞の IgE のクラススイッチおよび脱顆粒に関するタンパク質の mRNA の発現に及ぼす IgG₂ の影響

* IgG₂ 濃度 0 (無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA の相対発現: IgG₂ 無添加での培養時の場合を 1 とし、それに対する相対値

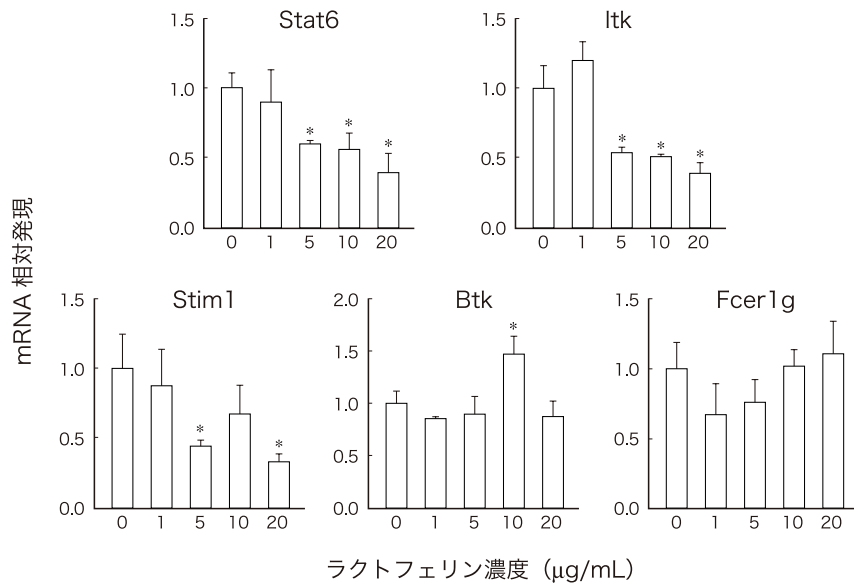


図 19 マウスパリエル板細胞の IgE のクラススイッチおよび脱顆粒に関するタンパク質の mRNA の発現に及ぼす IgG₁ の影響

* ラクトフェリン濃度 0 (無添加) と比べて 5% 以下の危険率で有意差あり (n=3)

mRNA の相対発現: ラクトフェリン無添加での培養時の場合を 1 として、それに対する相対値

化の抑制には κ -カゼインが関係し, IgE へのクラススイッチや脱顆粒の抑制には, α -ラクトアルブミン, IgG₂ およびラクトフェリンが関係していることが明らかである。

以上のように, BALB/c マウスを後期初乳添加飼料で飼育しながら I 型ダニアレルギーを誘導すると, 後期初乳を添加していない飼料 (対照飼料) での飼育の場合よりも I 型アレルギー症状が軽減することが明らかになり, その要因として, 後期初乳がナイーブ T 細胞の Th2 細胞への分化を抑制して Th1/Th2 比を Th1 有意にすること, 制御性 T 細胞の誘導を促すこと, および Stat6 の合成を抑制することにより, 血清総 IgE 量やダニ抗原特異相対的 IgE レベルを減らすこと, 並びに肥満細胞の脱顆粒の誘導に關係するタンパク質の合成を抑制することが関係していることが明らかになった。さらに, 制御性 T 細胞の誘導および Th2 細胞への分化の抑制には, それぞれ α _{s1}-カゼインおよび κ -カ

ゼインが関係し, IgE へのクラススイッチや脱顆粒の抑制には, α -ラクトアルブミン, IgG₂ およびラクトフェリン深く関係していることも明らかになった (図 20)。

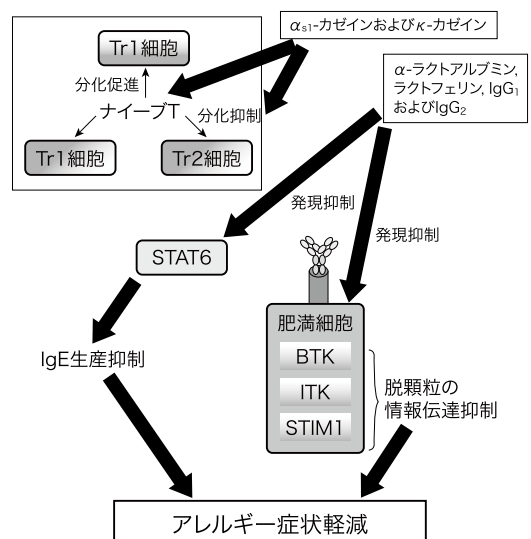


図 20 後期初乳の I 型アレルギー軽減模式図

3. 後期初乳添加飼料でのマウスの飼育がメラノーマ細胞の肺への転移と免疫機能に及ぼす影響

“がん”はDNAの異常によって起こる多段階進行性疾患であり、1981年より日本における死亡原因のトップになっている。“国立がん研究センターがん対策情報センター”が行った2008年の罹患・死亡データによると、日本人のおおよそ二人に一人ががんと診断されている²⁵⁾。しかし、現在の対処療法でのがんの根治は難しく、治療に伴う激しい副作用が懸念される。そのため、がん発症を予防や軽減し、生活の質の向上を図る1つの手法として食品によるがんの予防が注目されており、様々な食品成分が抗腫瘍機能を有することが報告されている。シイタケ菌糸体抽出物中のレンチナンがB16F10メラノーマ細胞の肺への転移を抑制すること²⁶⁾、緑茶ポリフェノールが紫外線で誘発した皮膚がんを抑制することなど²⁷⁾はその例である。

ヒトが生命を維持するためには 10^{14} 個以上の細胞が再生産されることが必要であり、1回の分裂で 10^7 から 10^5 の確率でDNA複製エラーが起こり、異常細胞、すなわちがん細胞が体内に発生する可能性ある²⁸⁾。しかし、生体は優れたDNA修復機構を持ち、がん細胞の増殖を防いでいる²⁹⁾。DNA修復機構を免れたがん細胞のほとんどは、1972年Kerr *et al.*³⁰⁾により定義されたアポトーシスにより排除され、その増殖や蔓延が防がれている。

一方、がんの予防にはDNA修復機構だけではなく、免疫系が重要な働きを担っている。免疫系は、細胞やウイルスなどの抗原に対して非特異的で記憶性のない自然免疫と抗原に対して特異的で記憶性のある獲得免疫に大別される¹⁾。また、これらの免疫応答は抗体による液性免疫とリンパ系細胞による細胞性免疫に分別される¹⁾。特に、がんの予防には細胞性免

疫が大きく関係すると考えられている。細胞性免疫は、ナチュラルキラー(NK)細胞、マクロファージおよびT細胞が深く関係している。既に述べたように、特にT細胞には様々なサブセットが存在し、1型ヘルパーT(Th1)細胞、2型ヘルパーT(Th2)細胞、制御性(免疫抑制)T(Th3, Treg)細胞、細胞傷害性(キラー)T細胞(CTL)などに分類され¹⁾、Th1細胞が優位になると、がんになり難いと考えられている。がんが発症した部位において、これらの免疫細胞はIFN- γ やIL-2などのサイトカインを介してさらに免疫細胞を誘導し、がんを退縮させる²⁶⁾。これらのことと、上述した後期初乳の筆者らの研究成果から、後期初乳は抗腫瘍機能も有することが強く示唆される。

そこで、本項では、マウス脾臓細胞培養系、並びに後期初乳添加飼料および無添加飼料で飼育中のマウスに、メラノーマ細胞を注入し、その細胞の肺への転移を指標にして、後期初乳の抗腫瘍機能を検討した結果を紹介する。

まず、B16F10メラノーマ細胞に後期初乳、後期初乳から調製したカゼインおよびホエイタンパク質を加えて48時間培養した時のMTT値を調べたところ、いずれの場合もそれら無添加の場合のMTT値と有意な違いがなかった。本結果は、後期初乳はメラノーマ細胞に直接作用してアポトーシスを誘導する能力を持たないことを示している。

そこで、後期初乳存在下で培養したマウス脾臓細胞の抗腫瘍作用と関連するタンパク質、すなわちIL-12、IFN- γ 、TNF- α およびパーフォリンのmRNA発現を無添加の場合と比較した。図21に示したように、至適濃度や程度に違いはあるが、後期初乳はIL-12、IFN- γ およびTNF- α のmRNA発現を、無添加の場合と比べて有意に促す。また、後期初乳は、パーフォリンのmRNA発現を濃度依存的に促す。

同様に、後期初乳より調製したカゼインおよ

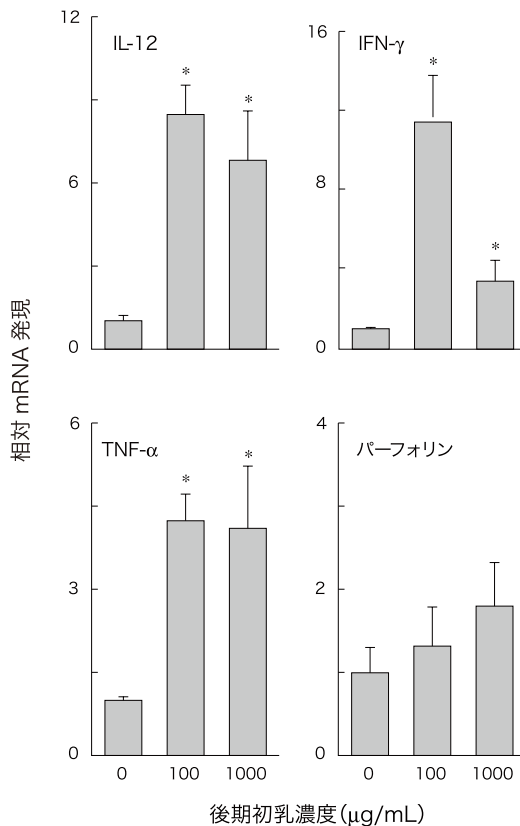


図 21 後期初乳存在下で培養したマウス脾臓細胞の抗腫瘍作用に関するタンパク質の mRNA 発現

* 後期初乳無添加と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA 発現：後期初乳無添加での発現を 1 とし、それに対する相対値

びホエイタンパク質存在下で培養した脾臓細胞の抗腫瘍作用に関連するタンパク質の mRNA 発現を図 22 に示した。図からカゼインおよびホエイタンパク質ともに、後期初乳と同様に、IL-12, IFN- γ および TNF- α の mRNA 発現を有意に促し、カゼインはパーフォリンの mRNA 発現を有意に抑制し、ホエイタンパク質は濃度依存的に促すことがわかる。

これらのことから、後期初乳はがん細胞に直接作用してアポトーシスを誘導することはできないが、免疫系に作用して抗腫瘍機能を誘導

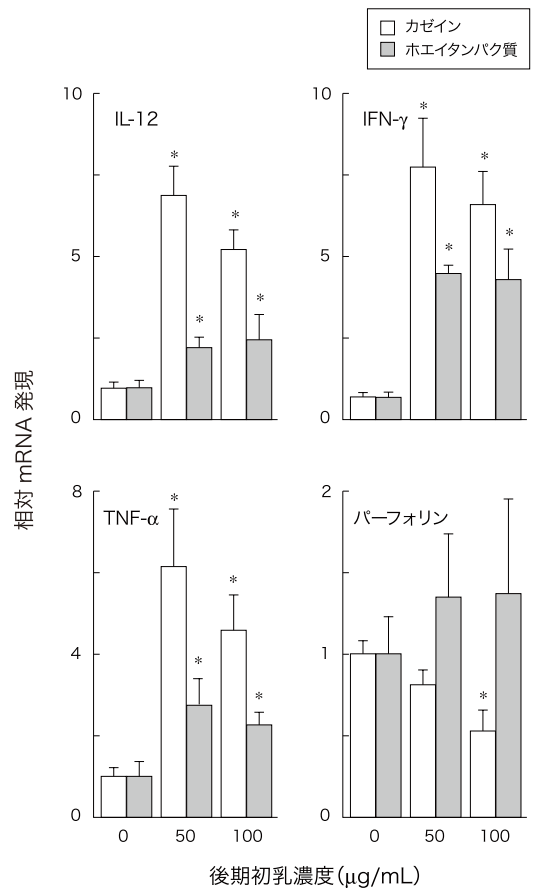


図 22 後期初乳から調製したカゼインおよびホエイタンパク質存在下で培養したマウス脾臓細胞の抗腫瘍作用に関するタンパク質の mRNA 発現

* 試料無添加と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA 発現：試料無添加での発現を 1 とし、それに対する相対値

することが強く示唆される。

そこで、タンパク質以外の全ての栄養素を含む市販無タンパク質飼料 (Purina Mills 社, St. Louis, USA) とオボアルブミンを重量比で 75:25 の割合で混合した飼料 (対照飼料) および市販無タンパク質飼料, オボアルブミン, 後期初乳を 75:15:10 の割合で混合した飼料 (後期初乳添加飼料) で、6 週齢 C57BL/6 マウスを 3 週間飼育後、50 万個の B16F10 メラノーマ細

胞を尾静脈から注入し、さらに2週間飼育した時のC57BL/6マウスの体重推移を図23に示した。図から、対照飼料で飼育したマウスと後期初乳添加飼料で飼育したマウスの試験期間中の体重推移に有意な違いはないことがわかる。

一方、11週齢時の両群のマウスから摘出した肺の写真、並びに肺に転移したメラノーマ細胞数を図24に示した。図から、後期初乳添加飼料で飼育しながらメラノーマ細胞を注入したマウスにおいて肺に転移したメラノーマ細胞数は、対照飼料の場合と比べておよそ半分であることがわかる。本結果は、後期初乳は抗腫瘍機能を有することを示している。

試験終了時(11週齢時)に両群のマウスから摘出した脾臓の主要免疫細胞数、すなわち、IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞、IL-12 陽性 CD11b 陽性細胞および TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞数を図25に示した。図から、両群のそれら免疫細胞数に殆ど違いがないことがわかる。同様に、図には示していないが、両群のマウス脾臓細胞の IL-12、IFN- γ 、TNF- α およびパーフォリンの mRNA 発現にも殆ど違いがなかった。

そこで、上述同様に対照飼料および後期初乳添加飼料でC57BL/6マウスを3週間飼育後、B16F10メラノーマ細胞を尾静脈から注入した20時間後のマウス脾臓の IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞、IL-12 陽性 CD11b 陽性細胞および TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞数を調べ、図26に示した。図から、IL-12 陽性 CD11b 陽性細胞数には両飼料で殆ど違いはないが、IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞数と TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞数は対照飼料と比べて後期初乳添加飼料で有意に高いことがわかる。また、両群のマウス脾臓細胞の IL-10 および

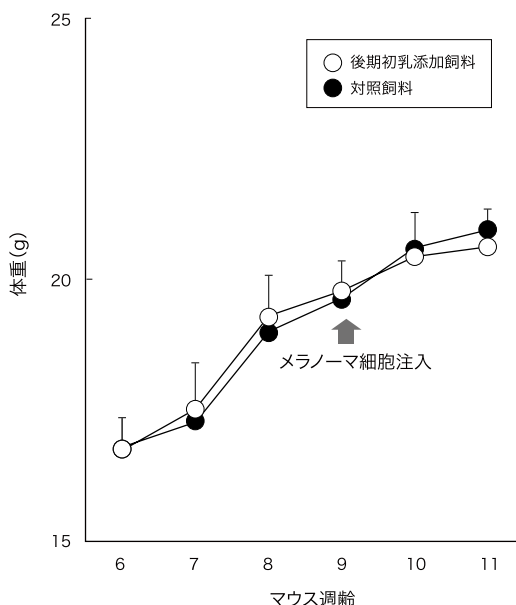


図23 試験飼育中の体重推移 (n=6)

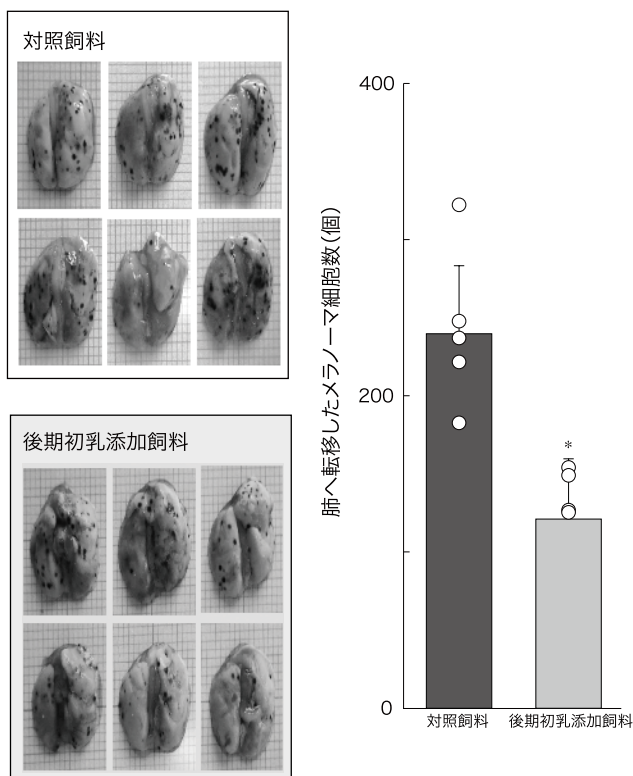


図24 試験飼育後のマウスの肺の写真および肺に転移したメラノーマ細胞数

* 対照飼料と比べて5%以下の危険率で有意差有り (n=6)

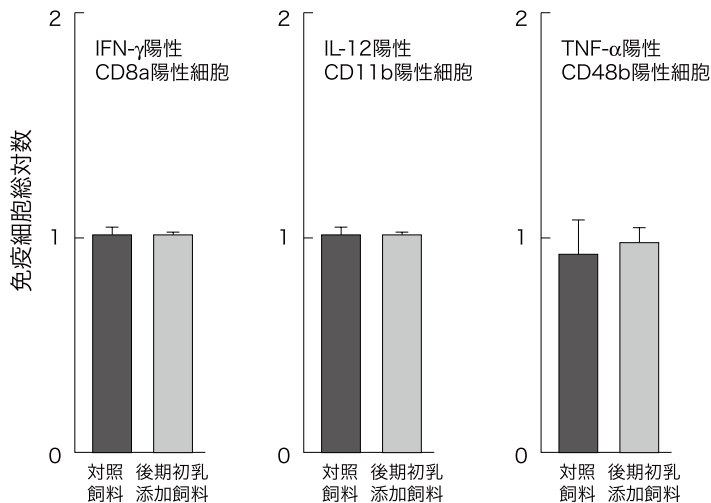


図 25 試験飼育後のマウス脾臓の免疫細胞数 (n=6)

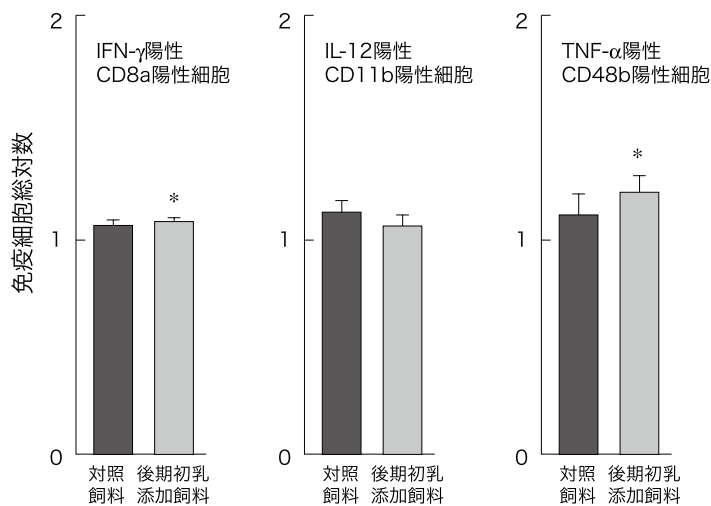


図 26 メラノーマ細胞注入 20 時間後のマウス脾臓の免疫細胞数

* 対照飼料と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=6)

免疫細胞相対数：対照飼料の場合を 1 とし、それに対する相対値

パーフォリンの mRNA 発現を図 27 に示した。図から、パーフォリンの mRNA 発現は両飼料で有意な違いはないが、後期初乳添加飼料の IL-10 の mRNA 発現は対照飼料と比べて有意に低いことがわかる。

私たち成人は日々多種多様な食物を摂取して栄養機能、嗜好機能および生体調節機能を充た

している。しかし、誕生直後の哺乳動物が口にする食物は乳汁のみである。一般に、新生仔は自己の生体防御機構が未熟なために、乳汁には新生仔の健全な発育を促す多種多様なタンパク質が豊富に含まれている。すなわち、乳汁は食品の三つの機能をすべて備えた天然完全食物と考えられる。

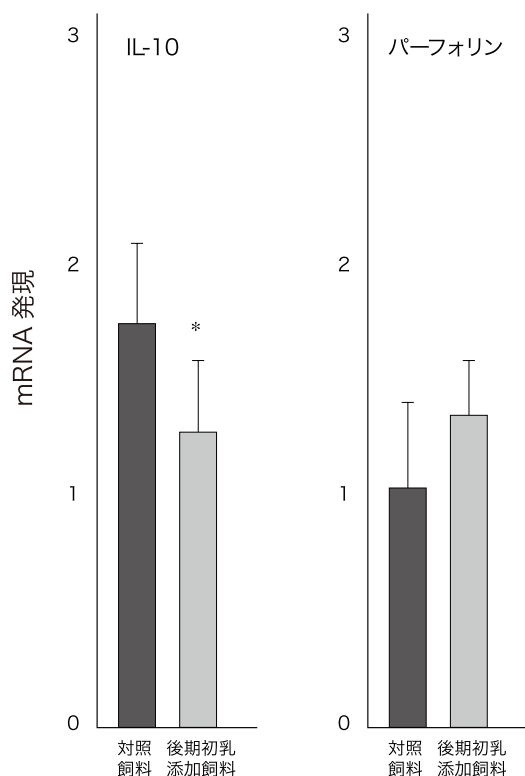


図 27 メラノーマ細胞注入 20 時間後のマウス脾臓の抗腫瘍関連タンパク質の RNA 発現指数

* 対照飼料と比べて危険率 5% 以下で統計的有意差有り (n=6)

mRNA 発現：対照飼料での発現を 1 とし、それに対する相対値

そこで本項では、後期初乳の抗腫瘍機能について注目し、マウス脾臓細胞培養系、並びに後期初乳添加飼料および無添加飼料で飼育したマウスに B16F10 メラノーマ細胞を注入し、その細胞の肺への転移を調べることで後期初乳に抗腫瘍機能があるか否かを検討した。

まず、図には示していないが、細胞培養系で後期初乳にはメラノーマ細胞 B16F10 に対してアポトーシス誘導能が無いことを明らかにした。

続いて、マウス脾臓細胞培養系により、後期初乳は IL-12, IFN- γ および TNF- α の mRNA 発現を促すこと、並びにパーフォリンの mRNA 発現には有意な影響を及ぼさないことを明らか

にした (図 21)。

IL-12 は、主に活性化されたマクロファージや樹状細胞が生産し、NK 細胞の活性化、ナイーブ Th (Th0) 細胞の I 型 Th (Th1) 細胞への分化誘導およびキラー T 細胞やリンフォカイン活性化キラー (LAK) 細胞の誘導に関わる¹⁾。活性化された NK 細胞や NKT 細胞は IFN- γ を放出し³¹⁾、IFN- γ は NK 細胞および細胞傷害性マクロファージを活性化するとともに、Th0 細胞の Th1 細胞への分化を促し、II 型 Th (Th2) 細胞への分化を抑制する¹⁾。活性化 NK 細胞、キラー T 細胞および細胞傷害性マクロファージは TNF- α を産生する²⁸⁾。TNF- α は細胞傷害性を有するサイトカインであり、がん細胞を直接攻撃することは周知のところである。また、活性化 NK 細胞、キラー T 細胞および LAK 細胞は標的細胞と接触すると、細胞内に貯蔵されていた顆粒 (パーフォリンおよびグランザイム) を放出する³²⁾。放出されたパーフォリンはカルシウムイオンと結合することによりパーフォリン同志で重合し、がん細胞の細胞膜に小孔を形成する。この小孔を通してグランザイムなどの細胞傷害分子ががん細胞内に侵入することにより、がん細胞の核が崩壊してアポトーシスが誘導される。後期初乳、後期初乳から調製したカゼインとホエイタンパク質は IL-12, IFN- γ および TNF- α の mRNA 発現を顕著に促したことから (図 21 および 22)、後期初乳は抗腫瘍機能を有することが強く示唆される。

そこで、後期初乳添加飼料および後期初乳無添加飼料 (対照飼料) で飼育しているマウスに、メラノーマ細胞を注入し、肺に転移したメラノーマ細胞数を調べた。まず、マウスの飼育期間中、体重の推移に飼料間の違いはほとんど認められなかった (図 23)。しかし、後期初乳添加飼料で飼育しているマウスの B16F10 メラノーマ細胞の肺へ転移した数は、対照飼料で飼育した場合と比べておよそ半分であった

(図 24)。これらの結果は、後期初乳添加飼料での飼育はメラノーマ細胞の肺への転移を顕著に抑制すること、並びにその抑制は、飼料の栄養価の違いによるものではなく、飼料中の後期初乳の抗腫瘍機能によるものであることを示している。

生体は巧妙な免疫学的生体監視機構を有しており、異常細胞の出現や非自己細胞の侵入を認識し、それらを排除する²⁸⁾。がん細胞の発症および進行を免疫機構が防いでいることは周知のところである。しかし、後期初乳添加飼料および対照飼料で飼育しているマウスに、B16F10 メラノーマ細胞を注入し、その3週間後の脾臓の免疫細胞数(図 25) および図には示さなかったが脾臓細胞の抗腫瘍作用を有するタンパク質の mRNA 発現に有意な違いは見られなかった。これらのことから、後期初乳添加飼料での飼育により肺に転移したメラノーマ細胞数が減少した要因は、メラノーマ細胞注入2週間後の免疫機構によるものではないことが示唆される。

Grundyet *al.*²⁸⁾ は、尾静脈から注入した B16F10 メラノーマ細胞は、注入10分後に肺で検出されると報告している。そこで、後期初乳添加飼料での飼育によりメラノーマ細胞注入後の早い時期にメラノーマ細胞が傷害を受けるものと考え、メラノーマ細胞注入20時間後の脾臓の主要免疫細胞数および抗腫瘍作用を有するタンパク質の mRNA 発現を調べたところ、IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞、すなわちキラー T 細胞および TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞、すなわち TNF- α 産生ナチュラルキラー細胞は、対照飼料での飼育と比べて後期初乳添加飼料での飼育により有意に増加していることが確認された(図 26)。逆に、IL-10 の mRNA 発現は後期初乳添加飼料での飼育により有意に減少することが観察された(図 27)。

CD8a と CD49b はそれぞれキラー T 細胞お

よびナチュラルキラー細胞の典型的な細胞表面抗原である。IL-10 は Th2 細胞、制御性 T 細胞、マクロファージ、樹状細胞および単球から産生される免疫抑制サイトカインの一つである³⁴⁾。IL-10 は活性化された免疫系を負に制御する³⁴⁾。後期初乳添加飼料での飼育により IL-10 の mRNA 発現が対照飼料の場合と比べて減少したことから(図 27)、IL-10 による免疫抑制が後期初乳での飼育により対照飼料の場合よりも生じにくくなったものと考えられる。事実、後期初乳添加飼料での飼育により IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞および TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞が有意に増加した結果(図 26)は、この考察を支持している。

最後に、後期初乳の抗腫瘍作用に関係するタンパク質を明らかにする目的で抗腫瘍作用を有するタンパク質の mRNA 発現に及ぼすカゼインとホエイタンパク質の影響を調べた。 α_{S1} -カゼイン、 β -カゼイン、 κ -カゼイン、 β -ラクトグロブリン、 α -ラクトアルブミン、IgG₁ および IgG₂ をそれぞれマウス脾臓細胞に加えて培養し、培養後の脾臓細胞の IL-12、IFN- γ および TNF- α の mRNA 発現を表 1 に示した。表から、 α_{S1} -カゼイン、 β -カゼイン、 κ -カゼイン、 α -ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよび IgG₂ は、それら無添加の場合と比べて、IL-12 の mRNA 発現を有意に促すことがわかる。また、 κ -カゼイン、 β -ラクトグロブリン、 α -ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよび IgG₂ は、それら無添加の場合と比べて IFN- γ の mRNA 発現を有意に促す。加えて、 β -カゼイン、 κ -カゼイン、 α -ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよび IgG₂ は、TNF- α の mRNA 発現も有意に促すが、 α_{S1} -カゼインと β -ラクトグロブリンは TNF- α の mRNA 発現に殆ど影響を及ぼさない。

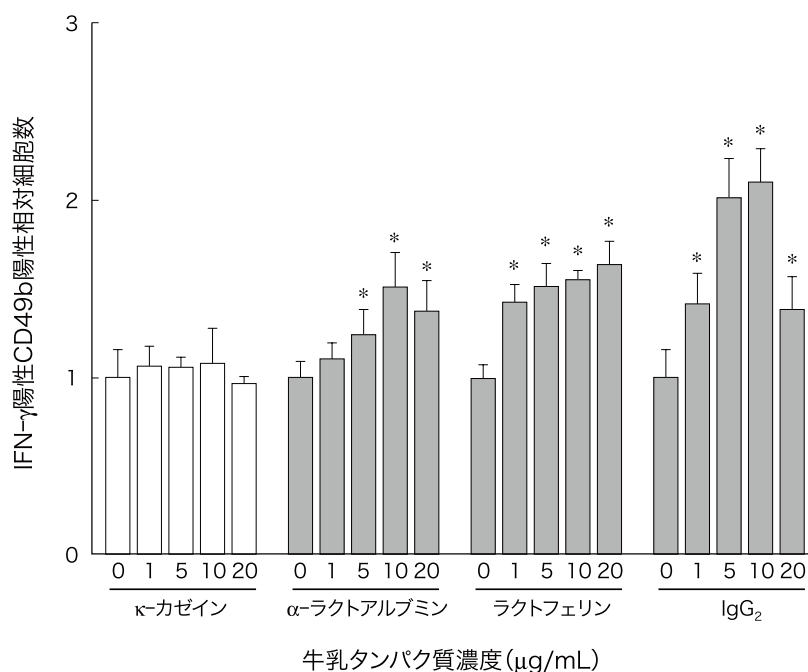
さらに、牛乳タンパク質がマウス脾臓細胞培養系で IFN- γ 陽性 CD49b 陽性細胞数に及ぼす

表1 IL-12, IFN- γ および TNF- α の脾臓細胞の mRNA 発現に及ぼす牛乳タンパク質の影響

	IL-12	IFN- γ	TNF- α
	相対 mRNA 発現 **		
α_{S1} - カゼイン	1.94 $\pm$ 0.14*	1.64 $\pm$ 0.01*	0.18 $\pm$ 0.05
β - カゼイン	1.36 $\pm$ 0.04*	1.64 $\pm$ 0.01*	1.29 $\pm$ 0.04*
κ - カゼイン	3.73 $\pm$ 0.38*	18.02 $\pm$ 2.08*	2.90 $\pm$ 0.17*
β - ラクトグロブリン	1.18 $\pm$ 0.13	2.91 $\pm$ 0.41*	1.16 $\pm$ 0.09
α - ラクトアルブミン	2.71 $\pm$ 0.27*	15.46 $\pm$ 1.32*	4.65 $\pm$ 0.29*
ラクトフェリン	4.22 $\pm$ 0.45*	24.43 $\pm$ 3.89*	3.16 $\pm$ 0.52*
IgG ₁	1.32 $\pm$ 0.11*	1.43 $\pm$ 0.03*	1.33 $\pm$ 0.06*
IgG ₂	9.42 $\pm$ 0.07*	29.90 $\pm$ 2.15*	3.90 $\pm$ 0.04*

* 牛乳タンパク質無添加と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

mRNA 発現: 牛乳タンパク質無添加での培養時の場合を 1 とし、それに対する相対値

図28 κ -カゼイン, α -ラクトアルブミン, ラクトフェリンおよび IgG₂ と培養したマウス脾臓の IFN- γ 陽性 CD49b 陽性細胞

* 牛乳タンパク質無添加と比べて 5% 以下の危険率で有意差有り (n=3)

相対細胞数: 牛乳タンパク質無添加での培養時の場合を 1 とし、それに対する相対値

影響を図 28 に示した。図から, α -ラクトアルブミン, ラクトフェリンおよび IgG₂ は低濃度で, それら無添加の場合と比べて IFN- γ 陽性 CD49b 陽性細胞数を有意に増やすことがわかる。

これらのことから, κ -カゼイン, α -ラクトアルブミン, ラクトフェリンおよび IgG₂ は,

IL-12, IFN- γ および TNF- α の mRNA 発現を強く促すことが明らかである。また, IFN- γ 陽性 CD49b 陽性細胞, すなわち IFN- γ 産生ナチュラルキラー細胞に及ぼすホエイタンパク質の影響を調べたところ, α -ラクトアルブミン, ラクトフェリンおよび IgG₂ が IFN- γ 陽性 CD49b 陽

性細胞を有意に増やすことが明らかである。

本項での結果から、後期初乳は抗腫瘍機能を有しており、その機能は、後期初乳が B16F10 メラノーマ細胞が侵入後の早い時期に IL-10 による免疫抑制を軽減することにより、IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞、すなわちキラー T 細胞や TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞、すなわち TNF- α 産生ナチュラルキラー細胞を増やすためと考えられる。また、それらの機能には κ -カゼイン、 α -ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよび IgG₂ が深く関係しているものと思われる (図 29)。

なお、本研究で用いた各カゼイン成分とホエイタンパク質は後期初乳から調製したものではなく、常乳から調製したものである。それらの各タンパク質は後期初乳と常乳では濃度や糖鎖構造に多少違いが認められるが、初乳にも常乳にも共通して含まれることから、I 型アレルギー軽減機能や抗腫瘍機能は搾乳時期の異なる初乳や常乳にも有るものと考えられる。

おわりに

著者の一人、大谷は、牛乳タンパク質の抗原構造の解析、牛乳タンパク質の低抗原化および免疫調節機能に関する研究、すなわち、ミルクタンパク質の免疫科学的研究を 38 年行っており、得られた研究成果を 2011 年に、「母乳の力：母乳タンパク質に秘められた生体防御機能全 183 頁」(食品資材研究会発行)と題した単行本にまとめた。その後、初乳には I 型アレルギー軽減機能や抗腫瘍機能があるという仮説を立てて検討を行ってきた。その成果をまとめたのが本拙文である。

上述したように、まず、マウスを後期初乳添加飼料と無添加飼料(対照飼料)で飼育しながら I 型アレルギーを誘導すると、対照飼料の場合と比べて、後期初乳添加飼料での飼育により I 型アレルギー症状が有意に軽減することを確認した。また、その要因として、免疫系を抑制する制御性 T 細胞 (Treg) の誘導、Th2 細胞の減少による Th1/Th2 比の改善、IgE へのクラス

- ◎後期初乳は、腫瘍細胞侵入直後にキラー(細胞傷害性)T細胞やナチュラルキラー細胞を活性化し、抗腫瘍作用を示す
- ◎後期初乳の抗腫瘍機能は、主に κ -カゼイン、 α -ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよびIgG₂の作用による

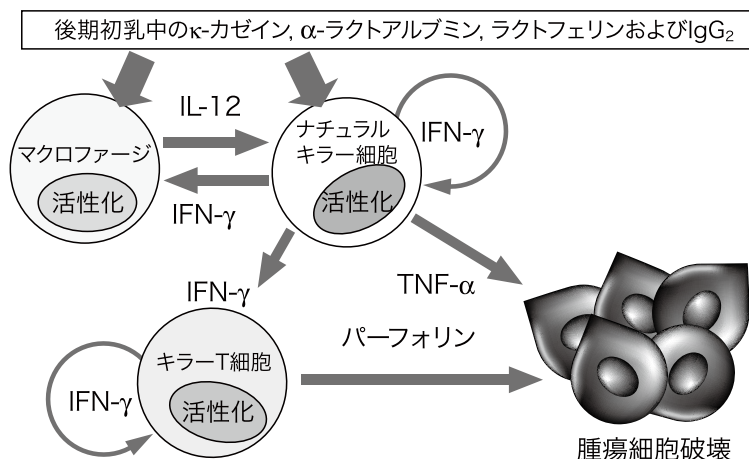


図 29 後期初乳の抗腫瘍模式図

スイッチに関係するタンパク質である Stat6 の遺伝子発現の低下、並びに脱顆粒を促すタンパク質である Itk, Stim1 および Btk の遺伝子発現の低下が関係していることを示した。さらに、免疫系を抑制する制御性 T 細胞 (Treg) 数の増加には α S1- カゼインが関係し、Th2 細胞数の減少には κ - カゼインが関係し、IgE へのクラススイッチや脱顆粒の抑制には α - ラクトアルブミン、IgG およびラクトフェリンなどのホエイタンパク質が関係することを明らかにした。

一方、後期初乳、カゼインおよびホエイタンパク質は B16F10 メラノーマ細胞にアポトーシス誘導能を持たないが、後期初乳添加飼料および無添加飼料 (対照飼料) で飼育しているマウスに B16F10 メラノーマ細胞を尾静脈から注入した場合の後期初乳添加飼料で飼育しているマウスの B16F10 メラノーマ細胞の肺への転移数は、対照飼料の場合のおよそ半分になることを確認した。しかし、その時点でそれぞれの飼料で飼育したマウス脾臓の抗腫瘍機能を有する免疫細胞数および抗腫瘍関連タンパク質の mRNA 発現には、飼料の違いによる差は認められず、マウスに B16F10 メラノーマ細胞注入 20 時間後の比較的早い時期の脾臓の抗腫瘍機能を有する免疫細胞数と抗腫瘍関連タンパク質の mRNA 発現が、後期初乳添加飼料での飼育

において有意に高いことや、IL-10 の mRNA 発現が有意に低いことを確認した。さらに、脾臓細胞培養系において、ラクトフェリンと IgG2 が IFN- γ 陽性 CD49b 陽性細胞、すなわち活性化ナチュラルキラー細胞を有意に増やすこと、並びに κ - カゼイン、 α - ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよび IgG₂ などのホエイタンパク質が IL-12, IFN- γ および TNF- α の mRNA 発現を著しく促すことを確認した。これらのことから、後期初乳は抗腫瘍機能を有していることが明らかであり、その機能はがん細胞が体内に侵入後の比較的早い時に IL-10 の作用で生じる免疫抑制作用を後期初乳が解除し、IFN- γ 陽性 CD8a 陽性細胞、すなわち細胞傷害性 (キラー) T 細胞や TNF- α 陽性 CD49b 陽性細胞、すなわち TNF- α 産生ナチュラルキラー細胞を増やすためと考えられる。併せて、それらの機能には、主に κ - カゼイン、 α - ラクトアルブミン、ラクトフェリンおよび IgG₂ など常乳にも存在するタンパク質が関係しているものと考えられる。

以上のことより、本拙文で研究材料とした後期初乳はもとより、搾乳時期の異なる初乳や常乳を花粉症やダニアレルギーなどの I 型アレルギー軽減食品素材や抗腫瘍食品素材としての利用出来ることが期待でき、今後の実践的研究が望まれる。

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

- 1) 大谷 元著, 母乳の力: 母乳タンパク質に秘められた生体防御機能, 183 頁, 食品資材研究会, 2011.
- 2) 厚生省, 厚生省令第 52 号 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令. 195 年 12 月 27 日.
- 3) Ohnuki H, Mizutani A, Otani H, *International Immunopharmacology*, **6**, 1315-1322, 2006.
- 4) Ohnuki H, Otani H, *Milchwissenschaft*, **62**, 450-453, 2007.
- 5) 大谷 元, 化学と生物, **41**, 428-430, 2003.
- 6) Ohashi Y, Uchida T, Kawasaki M, Otani H, 2008. *Milchwissenschaft*, **65**, 11-15, 2010.
- 7) 烏山 一, 免疫学イラストマップ第 1 版, 株式会社羊土社. 東京, 2004.
- 8) リディヤード, PM, 免疫学キーノート 第 1 版, シュプリング・フェアラーク東京株式会社. 東京, 2001.
- 9) 菅村 和夫, 宮園 浩平, 宮澤 恵二, 田中 伸幸. サイトカイン・増殖因子用語ライブラリー第 1 版, 株式会社羊土社. 東京, 2005.
- 10) 小川 正, 篠原 和毅, 新本 洋士, 抗アレルギー食品開発ハンドブック第一版. **57**, 111. 株式会社サイ

エンスフォーラム, 東京, 2005.

- 11) 多田 富雄, 免疫学イラストレイテッド第5版, 301-318, 南江堂. 東京, 2000.
- 12) Tkaczyk C, Okayama Y, Metcalfe DD, Gilfillan AM, *International Archives of Allergy*, **133**, 305-315, 2004.
- 13) Galli SJ, Nakae S, Tsai M, *Nature Immunology*, **6**, 135-142, 2005.
- 14) Liu B, Kimura Y, *Journal of Medical Virology*, **79**, 1600-1605, 2007.
- 15) Tobita K, Yanaka H, Otani H, *Animal Science Journal*, **81**, 699-705, 2010.
- 16) Zyu J, Paul WE, *Blood*, **112**, 1557-1569, 2008.
- 17) Xu D, Chan WL, Leung BP, Hunter D, Schulz K, Carter RW, McInnes IB, Robinson JH, Liew FY, *Journal of Experimental Medicine*, **188**, 1485-1492, 1998.
- 18) Tuji N, Kosaka A, *Trends in Immunology*, **29**, 532-540, 2008.
- 19) Dreborg S, *Ann. Allergy Asthma Immunology*, **89**, 83-85, 2002.
- 20) Yano S, Umeda D, Yamashita S, Yamada K, Tachibana H, *Journal of Nutritional Biochemistry*, **20**, 876-881, 2009.
- 21) Forssell J, Sideras P, Eriksson C, Malm-Erfjelt M, Rydell-Tormanen K, Ericsson PO, Erfjelt JS, *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, **32**, 511-520, 2005.
- 22) Hata D, Kawakami Y, Inagaki N, Lantz CS, Kitamura T, Khan WN, Maeda-Yamamoto M, Miura T, Han W, Hartman SE, Yao L, Nagai H, Goldfeld AE, Alt FW, Galli SJ, Witte ON, Kawakami T, *Journal of Experimental Medicine*, **187**, 1235-1247, 1998.
- 23) Baba Y, Nishida K, Fujii Y, Hirano T, Hikida M, Kurosaki T, *Nature Immunology*, **9**, 81-88, 2008.
- 24) Reischl G, Coward R, Church K, *Biochemical Pharmacology*, **58**, 1841-1850, 1999.
- 25) 公益財団法人 がん研究振興財団. がんの統計 '13. 公益財団法人 がん研究振興財団, 2013.
- 26) Yamasaki H, Kawanishi T, Matsui Y, Tamesada M, Asano K, *Biotherapy*, **17**, 467-472, 2003.
- 27) Mantena SK, Meeran SM, Elmets CA, Katiyar SK, *Journal of Nutrition*, **135**, 2871-2877, 2005.
- 28) 小山 次郎, 大沢 利昭, 免疫学の基礎第四版, 株式会社東京化学同人. 東京, 2004.
- 29) 田沼 靖一, わかる実験医学シリーズ アポトーシスがわかる第一版, 株式会社羊土社. 東京, 2001.
- 30) Kerr JF, Wyllie AH, Currie AR, *British Journal of Cancer*, **26**, 239-257, 1972.
- 31) Roitt I, Brostoff J, Male D, 免疫学イラストレイテッド第五版, 株式会社南江堂. 東京, 2003.
- 32) Kastelan M, Massari LP, Peternel S, *Lijec Vjesn*, **132**, 361-644, 2010.
- 33) Grundy MA, Zhang T, Sentman CL, *Cancer Immunology Immunotherapy*, **56**, 1153-1161, 2007.
- 34) Motomura Y, Kitamura H, Hijikata A, Matsunaga Y, Matsumoto K, Inoue H, Atarashi K, Hori S, Watarai H, Zhu J, Taniguchi M, Kubo M, *Nature Immunology*, **12**, 450-459, 2011.

酵素食品の製造方法について

馬上 元彦 (UMAGAMI Motohiko) *

* こだま食品株式会社 総務部 主任

Key Words：酵素食品・製造工程・醗酵・健康食品

はじめに

果実、野菜類等の種々の植物原料、あるいはそれらのピューレないしはジュースを高濃度の糖類とともに漬け込んで植物の酵素を抽出した製品、さらに醗酵させた製品は酵素食品と称される。酵素食品はかなり以前から愛好家向けの健康食品として特殊な販売経路で販売されていたようだが、最近になって通販ルートで一般消費者をターゲットとして新聞、テレビ、インターネットを通して積極的に広告宣伝され、製品の形態も醗酵原液をペースト状に加工したものから飲料、錠剤、顆粒等の高次加工品が市場投入されるに至った。その結果、一般消費者への認知度も上がりテレビ番組でも取材されるに至っている。酵素食品分野の総売上額は2012年度時点で300億円を越えると推測されている¹⁾。

本稿では酵素食品の製造方法についての情報を総覧するとともに、筆者の試作を通して得た知見も紹介し、酵素食品の製造方法の一般的な原則および酵素食品そのものについて考察してみたい。

1. 技術情報

酵素食品メーカーによっては一般的な見学

コースを設けて製造風景は観察できるものの、製造技術の核心部分については当然に機密として開示していない。しかし、メーカーによっては特許出願して技術の権利化を図り、またホームページ上で製造工程の概観を開示している場合もある²⁾。

原料の植物は野菜、果実、ハーブ、生薬原料系、海藻と多岐にわたり、数十種類、場合によっては100種類を超えることもある³⁾。

ホームページの製造風景映像によれば複数のメーカーがプラスチックの桶状容器中の黒褐色状の粘度の高そうな液状ないしは糊状物を攪拌し、容器の上部をプラスチックシートで覆いゴムのような紐状物で密封して醗酵ないしは熟成している様子が窺える。醗酵・熟成は数ヶ月、ないしは数年のかなり長期にわたると記述している⁴⁾。

筆者は技術情報として信頼できるのは特許出願の明細書であると考え、特許庁の特許情報検索サイトを利用して酵素食品の製造方法と思われるものを抽出し、それらの要約を作成してみた(表1)。これを通して、酵素食品の製造方法の概要が理解できると思われる。

表1 酵素食品に関連する特許文献と技術概要

出願番号	特許番号	出願人	技術概要
特願 昭32-9995 (1958年)	公告番号 昭35-5045 (1960年)	大高登	果実、野菜、根菜、野草、海藻等の植物を積層した状態で砂糖漬けにして、室温下10日程度で植物より酵素類を抽出し、また砂糖を分解させて酵素原液を調整する。
特願 平08-137507 (1996年)	特許 第3565655号 (2009年)	森川健康堂(株)	果実、野菜、海藻等を二段階で黒砂糖とともに仕込み、三段階目に豆類、穀物を加えて発酵・熟成させ、さらにさらに4段階目に熟成を加える。機能性として高度のスーパーオキシドジスムターゼ活性を有することが記述されている。 ※特許文献で初見の自然発酵型酵素食品の記述である。
特願 平10-505059 (1998年)	特許 第2979432号 (1999年)	万田醗酵(株)	果実、根菜、穀類、豆類、海藻類、はちみつ、でんぷん等を醗酵させて調製された水分5～50、タンパク0.5～10、脂質0.05～10、炭水化物30～75、灰分0.5～5(各%)と指定の微量栄養成分類、アミノ酸類を含有する食品とその製造方法。 ※調製法として上記の原料に黒砂糖を添加し、室温付近で攪拌して醗酵させ、ろ過する工程が開示されている。醗酵のための微生物添加について言及がないので自然醗酵を前提にした技術と推測される。
特願 2000-2227	——	ハウス食品(株)	野菜類、果実類のジュースと乳製品の混合物に酵母を添加して醗酵させ、次に乳酸菌を添加して醗酵させて風味の良い飲み易い醗酵飲料を調整する。 ※乳製品として牛乳を原料中35%添加すること、酵母としてワイン酵母を用いること、乳酸菌としてヨーグルトを添加する等の具体的技術の開示があることから、乳酸飲料の製造法に分類すべきかもしれない。生成する醗酵飲料はブリックス15程度で、一般的な醗酵食品の値よりは低い。
特願 2000-404783	公開番号 2002-191324 見なし取り下げ	後藤伸樹	果実ピューレ、きな粉、砂糖、ヨーグルト、クエン酸溶液を添加してブリックス50、pH5.0として0.06mmポリエチレンシートで容器を封印して30℃、1年間醗酵後熟成させて、カビ発生の障害なく風味の良い醗酵食品を調整する。また醗酵食品を押し出し造粒、乾燥して顆粒製品とする技術も開示している。
特願 2001-297230	特許 第3806009号 (2006年)	暁酵素産業(株)	野菜、果実、海藻を刻み、所望により穀物醗酵物を加え、FERM P-18540酵母を添加し、ショ糖、麦芽糖を糖度30～40%になるように添加して原液抽出し、単糖類を50～60%になるように添加してから熟成・醗酵させ、ろ過してから100℃、3時間加熱して滅菌して酵素食品を調整する。このような酵素食品の効能としてSHRラットでの投与試験における血圧降下作用結果を開示し、電気泳動活性染色法での乳酸脱水素酵素、リンゴ酸脱水素酵素、アミラーゼ、フェノールオキシターゼの各検出陽性反応のあったことを開示している。

出願番号	特許番号	出願人	技術概要
特願 2003-85463	特許 第3896338号 (2006年)	暁酵素産業(株)	酵素食品原体の製造方法の記載は特許第3806009号のそれに類似し、高血圧ラットでの血圧上昇抑制効果についても同様である。本明細書では酵素食品原体の凍結乾燥による乾燥食品化の技術と甘味料としての用途を追加記載している。
特願 2005-125985	公開番号 2006-298871 見なし取り下げ	大高酵素(株)	果実、野菜、キノコ、野草、海藻を切断し等量のショ糖を添加して3日～3週間抽出し、抽出液を自然醗酵あるいは人為的に微生物を添加して醗酵させて醗酵食品を調整する。かくして得られる醗酵食品の犬での血液粘度低下作用、血中コレステロール低下作用のデータを開示している。人為的に添加する微生物として、 <i>Candida</i> 属、 <i>Brettanomyces</i> 属、 <i>Saccharomyces</i> 属、 <i>Torulaspora</i> 属、 <i>Zygosaccharomyces</i> 属、 <i>Pichia</i> 属、 <i>Debaryomyces</i> 属、 <i>Trichosporon</i> 属、 <i>Cryptococcus</i> 属、 <i>Sporobolomyces</i> 属、 <i>Rhodotorula</i> 属及び <i>Hansenula</i> 属に属する酵母と <i>Leuconostoc</i> 属および <i>Lactobacillus</i> 属に属する乳酸菌による醗酵の組み合わせをあげている。
特願 2006-70188	公開番号 2008-10 拒絶査定	太院億	黒砂糖、または白砂糖の30～80%溶液をpH3～5に調製し、 <i>Zygosaccharomyces rouxii</i> を接種して20～30℃で1～5日間培養する。刻んだ植物に1.0～1.5倍量の砂糖に2～4週間漬けて抽出しエキスを調整する。エキスを1/10～1/5の培養液を加えて20～28℃、数週間、時々攪拌して醗酵させ数カ月～数年熟成させてまろやかな酵素液を調整する。あるいは刻んだ植物に1/4～1/2の醗酵液を直接加えて醗酵させる。醗酵液の有機酸、エタノール、ギャバ、ベータアラニン等の分析値、抗菌性、DPPHフリーラジカル消去活性、FRAP抗酸化性のデータ開示の記載がある。
特願 2011-13002	公開番号 2012-254960	暁酵素産業(株)	醗酵工程は特許第3806009号のそれに類似するが酵母 FERM P-18540 の添加量は $10^6 \sim 10^7$ 個/g の指定が追加され、FERM P-18540 の培養特性の開示が追記されている。また、醗酵物の効能としてヒト前骨髄性白血病細胞 HL60 に対する増殖抑制作用(がん予防作用)のデータを開示している。
特願 2011-285040	公開番号 2013-133423 審査請求済み	農業生産法人株式会社熱帯資源直物研究所	穀物等の多糖類、野菜・果物・海藻を乳酸菌と酵母の共槽醗酵によりエキスを製造する。製品の抗酸化活性の効能とメラノイジン生成を特徴としている。 ※ここでの「多糖類」とは実質的にでんぷんを指し醗酵による糖化で、グルコース、麦芽糖等の低分子糖類が生成して砂糖添加と同様の効果を発揮するものと推測される。

2. 酵素食品の製造方法の変遷

2-1. 糖液抽出エキス型酵素食品

この分野に属するのは特願昭 32-9995 [公告番号昭 35-5054] である。果実・野菜・根菜・野草・海藻等を砂糖とともに室温で漬け込んで植物から酵素成分を抽出することを核心とする。このタイプが最も古く、またこの 1 件しか特許出願されていないことから始原的な製造方法であると推測される。

2-2. 自然醗酵型酵素食品

次に現れるのは前項のようなエキス型の食品をさらに自然醗酵させたタイプのものである。この分野に属するものとして特願平 08-137507 [特許第 294560 号], 特願平 10-505059 [特許第 2979432 号], 特願 2000-404783, 特願 2003-85463 [特許第 3896338 号] がある。糖漬けにより得られるエキスの糖濃度は相当に高濃度であるので、いわゆる腐敗細菌は増殖できず、自然由来 [植物原料由来, あるいは空気等の製造環境由来] の耐高浸透圧性の微生物が増殖して醗酵の性状を呈するものと推察される。技術によっては pH の酸性側への調整, 乳酸菌の事前接種, 段階的な植物原料の調合等による醗酵条件の調整を加える。しかし, 醗酵に係わる主たる微生物の本体については記述がない。さらに, このうち二つの出願者は現在でも大手の酵素食品の製造・販売企業であることが興味深い。つまり, このタイプの酵素食品は現在も製品として販売されている可能性があると推察される。

また, 特願 2000-404783 によれば, 容器を覆うシートのプラスチックの種類を選定について汚染微生物としてのカビ発生防止, および醗酵条件を調整する目的がある旨が記載されている。このことから, 製造風景で見られる容器上

部のプラスチックシート密封の技術的意味の一端が理解できる。

さらにプロトタイプの製造技術特許出願から 40 年近くの長期にわたって自然醗酵タイプの製造技術が出願されなかったことにも興味を持たれる。醗酵現象を発見するのに長期を要したとすれば, 糖漬浸によるエキスは微生物の繁殖にはかなりの抵抗性を有するののか [プロトタイプの製造を継続する中で, ある日, 偶然に醗酵が観察された], あるいは製造業者が醗酵については意図的に特許出願をせず, 社内機密・ノウハウとして守秘してきたのかのどちらかであったと推察されよう。そして 2000 年前後になって 3 つのメーカーが相次いで自然醗酵法について特許出願したことに何らかの事情があったと推測する [新規業者の参入, あるいは社内機密の拡散の可能性の事態の発生等] のは穿ち過ぎであろうか。

興味深いことに最近になってカルチャーセンターの案内書⁵⁾や雑誌⁶⁾, 新聞の家庭欄記事⁷⁾に手作りの酵素食品の製造の概要が発表されるようになった。これらはいずれも適切な形状にスライスした果実に適量の砂糖を加えて放置すれば醗酵が自然に起こることを記述している。多分, 糖液抽出エキス型醗酵食品は自然に醗酵して自然醗酵型醗酵食品に容易に転換されるものであって, この現象を各メーカーは企業秘密にして維持していたが何らかの事情で特許出願せざるを得なかった。つまり, つまり技術の公開に踏み切らざるをえなかったのであろうと推測される。

2-3. 人為的醗酵型酵素食品

このタイプの技術的萌芽は特願 2000-2227 に見られる。ただし, この特許文献の志向する製品は, いわゆる酵素食品というよりも乳酸醗飲料に近い。植物原料に牛乳を大量に混合した液を乳酸菌 [ヨーグルトを種菌源として接種] で

醱酵させてからワイン酵母を接種して醱酵させる内容である。乳酸菌を先に増殖させてから酵母を接種して醱酵させる技術は日本酒の製造方法で酵母醱酵中の雑菌汚染を回避する方法として伝統的に編み出されたものを彷彿とさせる。

酵素食品の製造方法に直接関係するものとしては特願 2001-297230 と特願 2003-85463 の技術の一部および特願 2011-13002 の酵母 FERM P-18540 の接種、特願 2005-12985 の *Candida* 属、*Brettanomyces* 属、*Saccharomyces* 属、*Torulaspora* 属、*Zygosaccharomyces* 属、*Pichia* 属、*Debaryomyces* 属、*Trichosporon* 属、*Cryptococcus* 属、*Sporobolomyces* 属、*Rhodotorula* 属、*Hansenula* 属から選ばれる酵母と、*Leuconostoc* 属、*Lactobacillus* 属から選ばれる乳酸菌の組み合わせの接種、特願 2006-170188 [公開番号 2008-10] の *Zygosaccharomyces rouxii* 酵母の接種による醱酵方法が該当する。特願 2005-12985 の明細書には列举された酵母と乳酸菌を選択的に接種製造する旨の積極的記載がないので、あるいは出来上がった酵素食品の微生物を同定したら、たまたまこれらの酵母と乳酸菌が検出されたという事後的な結果を記載しただけかも知れないとすると自然醱酵型に分類すべきかもしれない。

これらのうち最初の FERM と称される酵母を用いる方法と、二番目の多種の指定した酵母と乳酸菌とを用いる方法の開示は現在の二つの大手製造・販売企業によるものであり、実際の製品に使用されている可能性がある。

いずれにせよ自然醱酵から意図した種類の微生物 [酵母、あるいは乳酸菌、またはこれら両者の組み合わせ] により植物の糖漬浸抽出液を醱酵させるという、より加工度の高い技術が 21 世紀明けに相次いで開示されている。自然醱酵法の開示 [20 世紀前後] から間なしに、相次いで人為接種による醱酵法が開示されていることも興味深い。自然醱酵法では特許権の第

三者の実施への実質的な抑止力が効かないという危惧を各メーカーが抱いた結果かも知れない。

最も最近の公開特許である特願 2011-285040 (公開番号 2013-133423) は砂糖を添加しない技術であるが、穀物を原料に加えていることから醱酵中のでんぷんの糖化によるグルコース、麦芽糖の生成が砂糖添加の代わりをしている可能性が指摘される。

3. 酵素食品製造の一般原則

酵素食品の始原的な概念は高濃度の糖により植物から酵素を抽出したエキスの形態 [糖液抽出エキス型] であったと推測される。このエキ스가自然に醱酵状態を呈し、醱酵物のヒトに対する食安全性が経験的に確認され、かつ嗜好的にも合致することが確認されて自然醱酵型の酵素食品が製品化されることになった。さらに、人為的に醱酵微生物として特定の種類の酵母、あるいは特定の種類の酵母と乳酸菌を接種してより安定的な条件で醱酵させたタイプ [人為醱酵型] の製品が開発されたと見るのが自然であろう。

では、酵素食品に言う酵素とは何であろうか？ エキス抽出型では間違いなく植物の本来有する酵素であったものと推察される。しかし、自然醱酵型、および人為醱酵型については植物由来の他に醱酵に係わった微生物由来の酵素も当然に含まれると解すべきであろう。

ただし、製品中に微生物が生存し酵素が活性を有したまま含まれる場合には常温での流通・保管の間の変質の怖れが生じる。このために、特願 2001-297230 では製品を 100℃、30 分間加熱殺菌している。加熱殺菌する場合にはタンパクである酵素は当然、熱変性して活性を喪失 [失活] すると考えられる。特願 2001-29723 では加熱殺菌後に電気泳動活性染色法により乳酸脱

水素酵素, リンゴ脱水素酵素, アミラーゼ, フェノールオキシダーゼの検出陽性反応を確認したとの記載はあるが酵素活性についての言及はない。

筆者は市販の酵素食品〔黒褐色ペースト状〕の微生物検査を実施した。結果を表2に示す。これによれば明らかに何らかの滅菌, ないしは殺菌処理がなされていると判断される。ペースト状物は除菌濾過膜処理が不可能なことから, 加熱殺菌処理が実施されたものと推察される。

以上のような検討から現在市販されている酵素食品の製造方法について次のように推論されるだろう。

- ・酵素食品には三種類がある。一つは植物から糖でエキスを抽出し自然醱酵させた自然醱酵型と, エキスに選択された微生物〔酵母, または酵母と乳酸菌の組み合わせ〕を接種して醱酵させた人為醱酵型である。
- ・おそらく, どちらのタイプの酵素食品も品質安定化のために加熱殺菌処理を加えていると推測される。

図1に酵素食品の製造方法の発展過程の概要を示した。図2に最も発展したタイプと思われる人為醱酵型の醱酵食品の推定される製造方法のフローを示した。

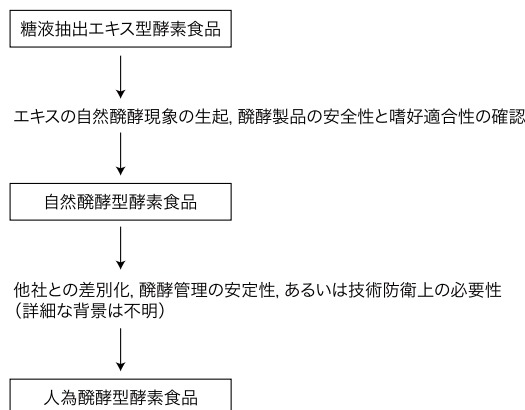


図1 酵素食品の製造方法の発展過程

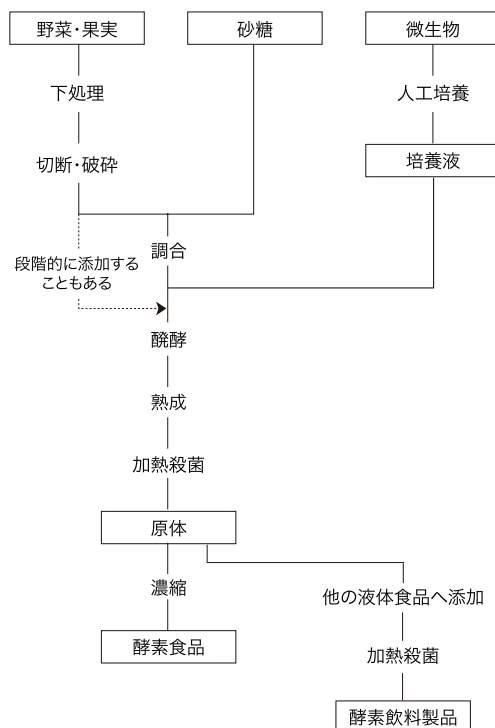


図2 人為醱酵型の醱酵食品の製造の推定フロー図

4. 酵素食品の製造方法についての推論の裏付け

以上のような考察の裏付けを取るため, 筆者はカルチャーセンターの情報, 雑誌, 新聞の記事といくつの特許文献を参照して, 製造が比較的容易と思われる天然醱酵型の酵素食品の試作を実施した。

・原料の配合と処理

野菜: 大根, アスパラガス, ごぼう, ほうれん草, きゅうり, トマト, パプリカ, 人參, 南瓜

果実: いちご, みかん, レモン, ぶどう, なし, いちじく, ブルーベリー

穀物: 白米〔炊飯して使用〕

これらの合計 1,000 g を各々フードスライサーで 3 ~ 5mm 大に裁断し, プラスチック容器に入れて混合してから上白糖をブリックス

55 度になるまで添加・溶解し、0.06 mm 厚のポリエチレンシートをかぶせ紐で縛って密閉した。20 ～ 30℃の室温に数日毎に軽く攪拌しながら静置して観察した。1 日経過頃から細かな泡の発生が始まり、2 日後には激しく泡だって固形物は上層に押し上げられるようになった。腐敗臭はなく、かすかにアルコール、およびエステル化合物様の匂いを感じられた。50 日後

にはほぼ発泡は収まり溶液は淡褐色を呈していた。少量を食べてみると甘く、いわゆる酵素食品様の風味を感じられた。このことから筆者は天然醗酵型の酵素食品原体製造の再現ができたものと推察した。これを仮に「こだま酵素原液」と呼び他と区別することにした。

図 3, 4 に試作過程でのブリックス、pH の変化のグラフを示した。表 2 は試作品と市販品の

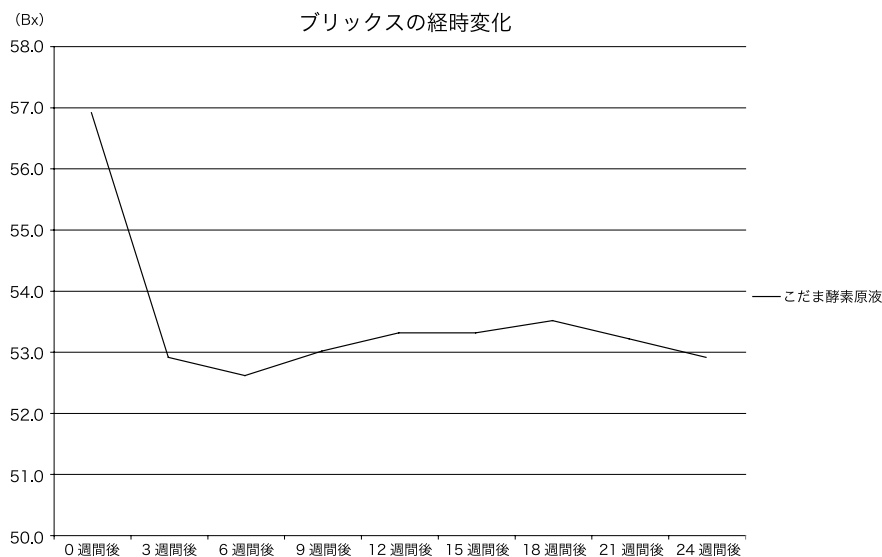


図 3

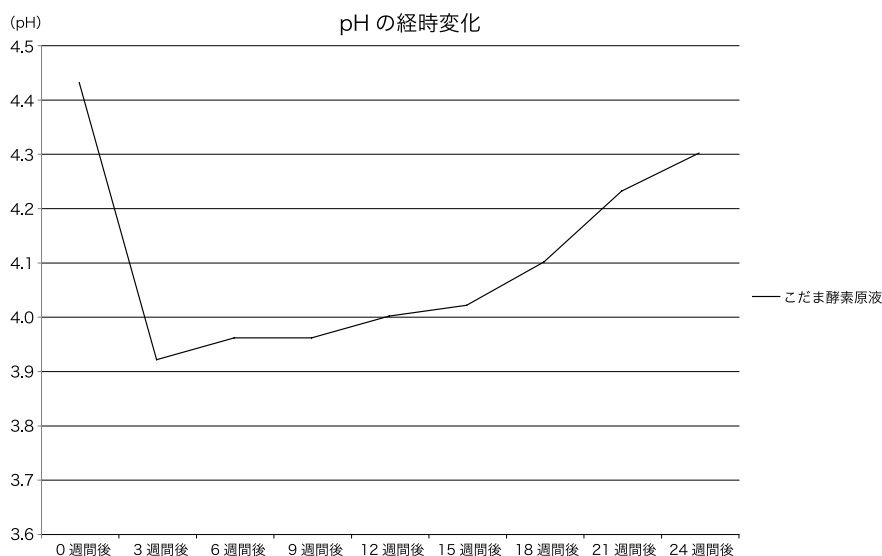


図 4

表2 市販酵素食品と「こだま酵素原液」の分析値

名称	大腸菌群	一般生菌数 (個/g)	かび・酵母	pH	水分活性 (Aw)	ブリックス値
酵素食品〔黒褐色ペースト状〕	陰性	300 以下	陰性	3.08	0.83	62.3
こだま酵素原液（仮称）	陰性	300 以下	2.0×10^2	4.23	0.03	56.9

※ 1：耐酸，耐高浸透圧細菌については分析中

※ 2：耐高浸透圧酵母については本文の記述を参照のこと

成分分析検査値を比較した。醗酵過程におけるブリックス度の低下は微生物によるショ糖の資化，pHの一時的な低下と回復は有機酸の生成・蓄積と資化によるものと推察される。

次に，試作品と市販品の酵素活性の指標としてアミラーゼとカタラーゼの簡易試験を実施した。

・アミラーゼ活性の簡易確認試験

1.0%のデンプン水溶液を70℃，30分間加熱してデンプン溶液を調製した。この溶液50 mLに試作品1.0 g，市販品1.0gを各々添加して均一になるように攪拌してから37℃の恒温水槽中に1時間保持した。市販の局方ヨードチンキを数滴を添加して均一に攪拌しヨードデンプン反応の呈色の有無を観察した。

写真1に示すように市販酵素食品にはでんぷん分解活性は見られなかった。「こだま酵素原液」ではアミラーゼ活性が確認された。

・カタラーゼ活性の簡易確認試験

シャーレに試作品と市販品を各々少量加え，薄く延ばした上に局方のオキシドール液数滴を添加して酸素の発泡の有無を観察した。

写真2に示すように市販酵素食品では発泡せず，「こだま酵素原液」では明確な発砲が見られた。すなわち市販品にはカタラーゼ活性はなく，「こだま酵素原液」にはカタラーゼ活性が確認された。

これらの簡易確認試験の結果から，市販の酵素食品ではおそらく食品品質安定化のための加熱殺菌が施され，アミラーゼ，ガラクターゼも

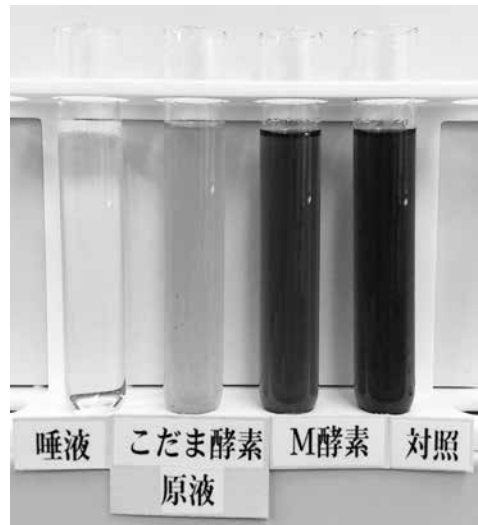


写真1

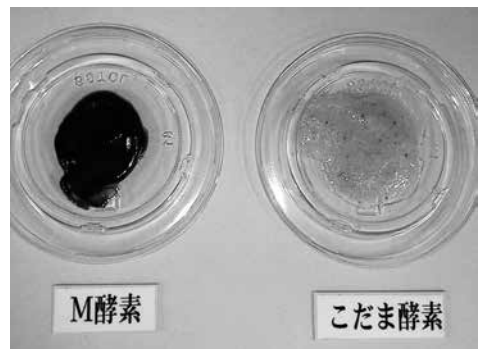


写真2

失活したものと推定された。他の酵素類についても熱処理による失活ないしは活性の低下が起きている可能性がある。

さらに醗酵に関与する微生物はおそらく耐高浸透圧性酵母であろうと推定し，ポテトデキストロース培地での分離を試みた。結果，写真3

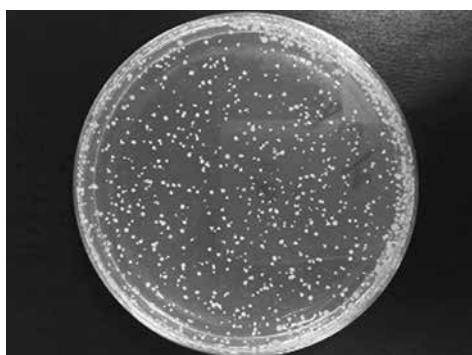


写真 3

のように単一の白色のコロニーが分離された。このコロニーから釣菌して遺伝子解析した結果、*Zygosaccharomyces rouxii* と同定された。奇しくも特願 2006-170188 が指定する酵母に一致した。酵母の他に耐高浸透圧性細菌が関与しているかどうかは引き続き検討中である。

また今回の試作ではチゴサッカミセス・ルキシーが増殖したが他の高浸透圧性酵母が増殖する可能性もある。メーカーで固有の酵母を選抜・使用していることが推察される。

おわりに

筆者は従来、詳細不明であった酵素食品の製造方法について特許文献、インターネット情報他を参照して実体に迫ろうと企図した。細部の

誤りはあろうが、大筋は明らかにできたのではないかと思慮する。併せて酵素食品製造技術の時系列的な変遷についても一定の見解を示すことができた。

酵素食品は「酵素の含有と人体への吸収」を訴求のポイントに置いているようだ。製品安定化のための加熱殺菌処理を加えた場合の酵素の失活の可能性、および他生物由来タンパクである植物や微生物由来の酵素はヒトの消化酵素により吸収前に分解されてしまうのではないかと疑念については未だ確たる検証の根拠が与えられていないように思われる。今回一つの市販品の検討で少なくともアミラーゼ、カタラーゼについての失活が簡易試験で認められた。

食品表示についての大幅な法体制の改正が予定されており、今後、この側面において各メーカー・販売者に当局から問い合わせや指導が行なわれる可能性も否定できない。業者からの情報公開が進むことを期待する次第である。

最近になってカルチャーセンター、雑誌、新聞等で家庭での醗酵食品の簡便な作り方が次々に公開されるようになり、比較的高価な健康食品である酵素食品に対する脅威になりつつあるように思われる。家庭での酵素食品作りが普及した場合、既存メーカー・販売者は販売戦略の大幅な見直しを迫られる可能性がある。

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

- 1) ib-kenko.jp/2012/08/post_834_0825_ib1217_1.html
 - 2) www.kinousei.co.jp/bulk.html
 - 3) www.this.me.jp/news/detail.phb_newsID=235
 - 4) www.manda.co.jp/products/
 - 5) 朝日テレビカルチャー 2014 新春講座案内パンフレット（静岡県島田スクール配布）/2014 年 1 月 27 日 開始「野菜と果実で作る酵素ジュース」
 - 6) Voce 2013 年 4 月号 92 ～ 94 ページ「今年の流行は・・・酵素シロップ」
 - 7) 中国新聞 2014 年 1 月 30 日 暮らしページ (26)「余り食材活用 酵素ジュース」
- ※特許文献は表 1 を参照のこと

ウイスキーは考えている

(4) 貯蔵工程とエタノール / 水の愛憎劇

古賀 邦正 (KOGA Kunimasa), 放送大学 京都学習センター 客員教授

Key Words: ウイスキー・貯蔵・水・エタノール・熟成・美味しさ

はじめに

ウイスキー成分には揮発性成分もあれば不揮発性成分もある。揮発成分は空気中に漂いやすいのだから、主に香りに関与する。不揮発成分は樽のオーク材由来成分という事になるが、これも素晴らしい熟成香を持っている。人は匂いに対して敏感なため、わずかに空気中に漂っている不揮発成分も感知できる。

一方、味はどうだろうか。発酵学の泰斗、坂口謹一郎先生は熟成した酒の味を「美德を備えた味」と評しておられる。味に関しては、不揮発成分の寄与が大きいので、ウイスキー不揮発性成分の味に興味をわくところだ。しかし、これが何とも地味な味なのだ。「わずかに渋く、かすかにほろ苦く」という感じで、美德の味とはほど遠い。

そこで、関心はウイスキーの量的主成分であるエタノールの味に向かう事になる。貯蔵している間に、エタノールが荒々しい味から美德を備え、円熟した味に変化するのではないだろうか？しかし、そんな事があるのだろうか？

16 エタノールの味

酒を評価するとき、“甘い”、“辛い”という表現をよく耳にする。清酒では“甘口”、“辛口”はごく日常的に用いられている。醸造酒の場合は、エキスの成分の量や質の影響が大きく、当然、“甘・辛”も違ってくるだろう。しかし、“甘・辛”はウイスキーなどの蒸留酒を評価する際にも大きなポイントの一つになっている。この場合、“甘・辛”の違いはエキスの成分の味質や量などとは異なり、舌への刺激の強さを含めた、微妙な味わいの違いをさしている。

蒸留酒には原料由来の糖分は含まれていない。ウイスキーの場合は樽由来の糖分がわずかに含まれてはいるが、甘さを感じさせるほどの量ではない。ウイスキーの不揮発成分を味わってみても甘さは殆ど感じられない。蒸留酒の微妙な“甘・辛”の違いは、量的主成分であるエタノールが決めている可能性がきわめて強い。

“生命の水”蒸留酒が本格的に造られるようになったのは13世紀以降といわれている。人は濃度の高い蒸留酒を手に入れてエタノールそのものの味に関心を持つようになったのではないだろうか。もとより、ウイスキーなどの嗜好

品を味わうときは、そのすべてをまるごと感じとって楽しんでいる。目で楽しみ、香りを楽しむ、味わって楽しむ。場合によっては、グラスの重さを楽しむ、氷塊がグラスにぶつかる音を楽しむ。まさに、味覚・嗅覚・視覚・聴覚・触覚の五感を駆使して楽しんでいる。さらに言うなら、その製品に付随した情報や知識も楽しむ上で重要な役割を担っている。しかし、ここでは、ウイスキーの“甘・辛”にしぼって考えてみる。

現在、甘み、苦み、酸味、塩味、旨みが基本味とされており、味物質はそれぞれ味細胞で受容され、知覚される。味細胞は舌の表面の乳頭中にある。一方、われわれが日ごろ親しんでいる味のうち基本味に入らないものがある。それは辛みと渋みとエタノールの味だ。それぞれの味を味覚として感じる受容体が明確には見つかっていない。辛みは、舌や口の中の痛覚受容体であるパニロイド受容体が刺激され、味覚ではなく痛覚情報として知覚される。痛覚への刺激は、打撲などの機械的刺激、熱さ寒さの刺激、刺激性物質による刺激であり体性感覚に属する。これらの刺激を受容する体性感覚受容器は身体中に分布していて、刺激信号を末梢神経に伝えて伝達する。体制感覚受容器は外部からの侵害を察知する受容器でもあることから、侵害受容器とも呼ばれる。口の中で受容された痛覚・触覚・圧覚・温度刺激は三叉神経を介して脳（体性感覚野）に伝わり認識される。食品の熱さ・冷たさ、硬さ・軟らかさはこのルートで認識される。辛み物質を口にしたら時、その痛覚刺激に加え、発汗や発熱などの他の刺激を統合して辛みとして認識している。体性感覚受容器は身体への侵害に対する警報として備えられているのだが、適度な辛みは、日常の食生活の幅を広げる上で欠かせないものになっている。一般に、辛みは年をとるにつれて好まれる事から“大人の味”とも言われる。

“大人の味”という意味では、渋みも、同様だ。渋柿の渋みはとても我慢できないが、適度な渋みはほかの味と交じり合って特徴的な風味を呈する。とくにお茶やコーヒーでは、渋みが美味しさのもとになっている。渋みも明らかな受容体がない事から、基本味の仲間入りをしていない。だが、渋みは苦味や酸味の受容体を刺激しているという報告もある。主要な渋み物質にはタンニンやその構成成分であるポリフェノールがある。これらの成分はタンパク質と結合して凝固させる作用があるため、渋みの主要な発現メカニズムはタンニンやポリフェノールなどの渋み物質が口の中の粘膜上皮細胞のタンパクに直接作用して変性させ、その際の痛覚刺激を介して渋みとして認識されるのだらうと推察されている。

量的主成分であるエタノールについて生理作用に関する研究は数多くなされているが、味そのものについての研究は意外に少ない。しかし、エタノールの舌への刺激に関して興味深い報告もされている。その多くは電気生理学実験によるもので、それによると、エタノールを与えると味覚刺激が応答するが、それだけではなく体性感覚受容器も応答するのだ。また、エタノールの刺激を受容する味覚は一つだけではなく複数あり、濃度によって変化する。低濃度では甘みの味覚刺激が応答するが、高濃度ではどの味覚が応答しているか明確ではないようだ。さらに、基本味の場合、味覚応答は一過性であるのに対し、エタノールの場合是一定時間、応答が継続している。しかし、味神経がどのようなメカニズムでエタノール刺激を受容しているかは、今のところよく分かっていない。一方、エタノールはパニロイド（カプサイシン）受容体などの痛覚に関与する体性感覚受容器を活性化させる事が明らかにされている。この事は、エタノールの味は痛覚を介した皮膚刺激によっても知覚されている事を示している。

エタノールの味もまた、“大人の味”だ。辛味はワサビや香辛料、渋みはお茶やコーヒー、エタノールの味は酒類、というようにこれらの味は嗜好品にとって非常に大事な味わいである。これらの味成分が侵害受容器を刺激する際、バランスのとれた適度な刺激であれば嗜好性を高め、その品質に深みや彩りを添える事になる。しかし、一步間違えると刺激が強すぎてとても楽しめるような代物でなくなってしまう。身体への侵害に対する警報として備えられている侵害受容器を介して楽しむ刺激なのだから、それも当然の事だろう。食の遊びの部分、ゆとりの部分、ひいては食文化といわれるものの領域に関わっているのが侵害受容器の適度な刺激なのではないだろうか。それらは「痛み」をとまなう味わいであり、従って、子供にはまだ理解できない“大人の味”なのだ。

こうして考えると酒を評価する際の“甘・辛”は、砂糖や食塩のような味質について評価しているのではなく、エタノールが皮膚を刺激する強さの程度を評価していると考えたほうが適当ではないだろうか。エタノールによる痛覚刺激は濃度が高いほど強い。したがって、清酒・ビール・ワインなどの醸造酒よりも、ウイスキー・焼酎・ウオッカなどの蒸留酒の刺激のほうが強い。なかでも、アルコール度数が37%～43%であるウイスキーは刺激が強くなりすぎるため、刺激の度合いの調節に細心の注意が払われる。ブレンダーなどの専門家がウイスキーを評価する際には皮膚感覚にまつわる表現が多い。「とがった」、「角がある」、「固い」、「ざらざら」、「粗削り」、「ゴツゴツ」、「チクチク」といった言葉は刺激の強さを、「やわらかい」、「まるい」、「なめらか」、「ピロードのよう」、「厚みがある」といった言葉は熟成によるまろやかさを表現している。いずれも触感、皮膚感覚、体性感覚を鋭敏に働かせたものだ。私たちはそれらの刺激によって、エタノールの熟成の度合いを感じと

り、それをウイスキーの「味わい」ととらえている。エタノールの味は、皮膚刺激が決め手にちがいない。

17 水の性質

エタノール濃度が高い蒸留酒ではエタノールの味質への影響が大きいと考えられるが、清酒やワインなどの醸造酒でも、微妙な味わいを評価する際には、エタノールによる皮膚刺激のわずかな違いを比較しているに違いない。

「白玉の 歯にしみとおる 秋の夜の 酒はしずかに 飲むべかりけり」、牧水もまた、酒の微妙な皮膚刺激を楽しんでいたのだ。

ウイスキーは熟成とともに、その「まろやかさ」や「皮膚刺激」が変化していく。一つの樽の中でも、熟成とともにそのバランスは刻々と変わっていく。ましてや、様々な種類のウイスキーを比べてみると、「まろやかさ」や「皮膚刺激」は千差万別で、どれも同じ表情ではない。ウイスキーのエタノールは、なぜ、これほど多くの表情を持つことができるのだろうか？それを可能にするために、エタノールはどのような存在のしかたをしているのだろうか？

前回、エタノール濃度が60%付近のとき、オーク材からの色素や不揮発成分が最もよく抽出される事、また、純水と純エタノールを混合した際の体積の収縮率は混合後のエタノール濃度が60%付近で最も大きい事を紹介した。特定の性質がある値を中心に最大ピークを示す場合、ピークを示す形がベルの形に似ていることからベル・シェイプと呼ぶ。エタノール濃度と物理的性質の間には、ベル・シェイプを示す場合が多い。たとえば、水とエタノールを混ぜると発熱する事はよく知られているが、種々の混合比での発熱量を比べると、混合後のエタノール濃度が約40%のときに発熱量が最も大きい。また、

エタノールと水の混合液の粘性は、純水や純エタノールに比べて大きい。エタノール濃度約45%を中心にして、その粘性が最も高くなる(図17-1)。エタノール濃度が60%付近で、その体積が最も収縮するという事は、その濃度を中心にして水分子とエタノール分子が最もコンパクトに存在するという事だろう。また、一般に物質の状態は発熱して安定な状態に移行し、吸熱して不安定な状態に移行する事から、エタノール溶液はエタノール濃度約40%が最も安定な状態にあるのだろうか。粘性については、エタノール濃度約45%を中心にして最も高いという事は、この濃度領域で分子間の相互作用が最も強く働いているという事だろうか。エタノール溶液のこれらの性質が、酒の「まろやかさ」と「皮膚刺激」に関わっている可能性は十分にある。エタノール溶液がこれらの性質を示す理由を明らかにするには、溶液中での水とエタノールの存在の仕方について、分子レベルで解き明かさなければならないが、残念ながら、現在の研究はいまだそこまでには至っていない。ただ、エタノール溶液中では水とエタノールが特異な相互作用をしていて、それぞれの量的な割合の違いによってその相互作用が変化するために、さまざまな物性がベル・シェイプを示すのだらうと推測される。まず、水について考えてみたい。

水が普通の液体と比較すると大変な変わり者である事は、昔から多くの人々によって指摘されている。ご存じの通り、水は1気圧のもとでは100℃で沸騰し、4℃で最大の密度となり、0℃で凍結する。水は液体として存在できる温度領域が広い。これは水の分子どうしが引きつけあっているためと考えられている。水分子どうしが引きつけあうのは、水分子は電子の分布に偏りがあるためだ。水素原子に比べて酸素原子は電子を引きつけやすいため、電子が酸素原子の周りを回っている確率が22～25%増している。水素原子は2個あるから、合計では44～50%となる。したがって、酸素原子の周りにはおよそ2分の1の電子が余分に存在する事になるため、酸素原子側はマイナスに、水素原子側はプラスに偏ることになる。この電子分布に偏りがある状態を分極という(図17-2(A))。この水分子にもう1個の水分子が近づくと、(プラスの電荷を持つ)水素原子は、もう一方の水分子の(マイナスの電荷を持つ)酸素原子と強く引きつけあう事になる。この引きつけあいが水素結合だ(図17-2(B))。水分子が水素結合を基本としてネットワーク構造を形成しているため、水は実際の分子量よりも大きな化合物のような振る舞いをする。この事が水が他の液体に比べて“変わりもの”といわれる理由なのだ。

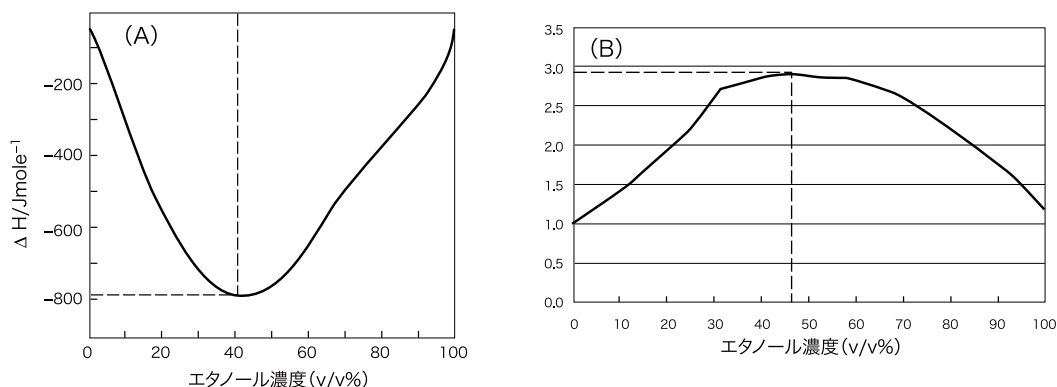


図 17-1 エタノール濃度と混合発熱量 (A) および粘性率 (B)
(混合熱量は混合後のエタノール濃度)

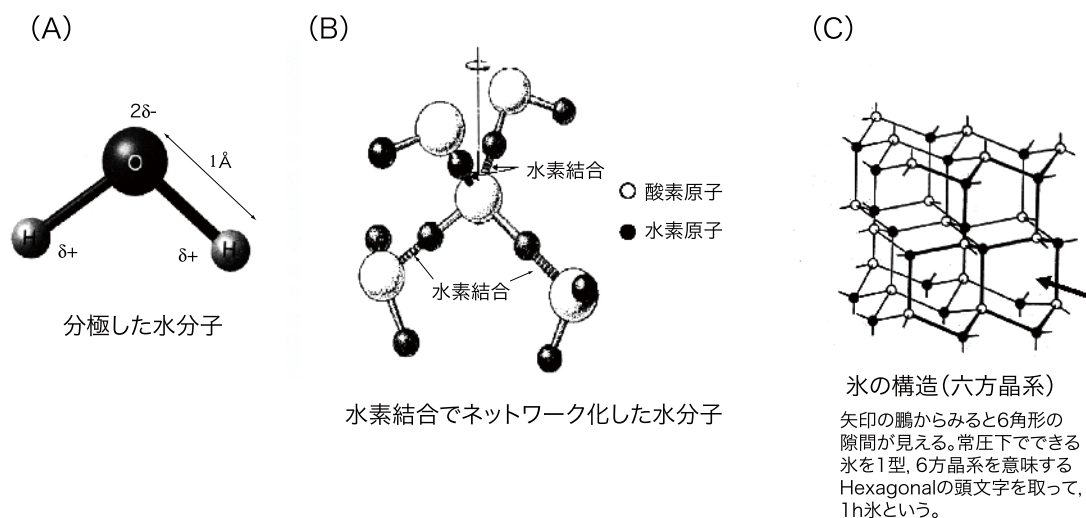


図 17-2 水分子と氷の構造

図 17-2 (C) に氷の構造を示している。水の構造は氷ほど強固に安定したものではないが、水素結合を介したネットワーク構造を形成している。分子動力学の専門家の計算によって水分子どうしの水素結合が保たれる時間は 2～4 ピコ秒のオーダーであるとの結果が得られているが、切断された水素結合に匹敵する水素結合が新たに生成されるのでネットワーク構造は維持されている。

水がいかにか“変わりもの”であるかを、詳しく見ていこう。水の比熱は 1 グラムあたり約 1 カロリー。これは、通常の液体のなかでは最も大きい。また、液体が気体や固体になる事を相転移といい、その際には熱の出入りがある。水が気化する際に発生する蒸発熱は 1 グラムあたり約 540 カロリーで、通常の液体では最大値だ。一方、水が氷となる際に奪われる凝固熱は約 80 カロリーで、やはり液体中で最大の値だ。従って、水が構成する環境は温度変化に対して安定な状態にある。100 グラムの水の温度を 1 度上げるには約 100 カロリーの熱量を与えなければならない、逆に 1 度下げるには約 100 カロリーの熱量を奪わなければならない。また、1 グラムの液体状態の水を気化させようとする

と約 540 カロリーの熱量を投入する必要がある、凍らせようとする約 80 カロリーの熱量を奪う必要がある。このことから、水は液体状態で存在し続けるのに好都合な性質を持っている事が分かる。

乾いた氷塊とウイスキーの取り合わせはよく似あう。ロックグラスに氷塊を入れ、上から芳醇な香りのウイスキーをゆったりと注ぐのは一つの贅沢と言える。ウイスキーであれば氷塊は浮かず、グラスの底にずっとしりと落ちていたままだ。しかし、これが水であれば、そうはいかない。氷塊はおかぶかと氷山のように水面を漂いはじめる。氷よりも水 (4℃) の方が密度の大きい事も水の異常性の一つだ。普通の物質は液体よりも固体のほうが規則正しい構造をとり、物質が無駄なく空間を埋めるために密度が大きくなる。氷の場合、1 個の水分子には 4 つの電子の偏りの部分があるから、その水分子のまわりに四個の水分子が配位した構造が常圧下での氷の基本構造となり、正四面体配位構造と呼ばれている。代表的な氷の結晶は六方晶系に属し、図 17-2 (C) のように正六角形の空隙ができるので、水分子がコンパクトに詰まっているかという必ずしもそうではない。むしろ

ろ、たえず水素結合の組み換えをしながらネットワーク化の状態にある水（4℃）の方が氷よりも一定体積のなかにコンパクトに水分子が存在し、水は氷よりも密度や比重が大きくなるのだ。ウイスキーと氷塊の場合、エタノール濃度の高いウイスキーの比重は氷より小さい。したがってウイスキーに氷塊を入れても、氷塊が浮いてしまうような事はない。氷塊を入れたウイスキーを“オン・ザ・ロック”というが、これはウイスキーが氷塊の上にあることを表現している。

18 水とエタノールの愛憎劇

次に、エタノール（ C_2H_5OH ）分子について考えてみる。エタノールは親水性の水酸基（OH）と疎水性のエチル基（ C_2H_5 ）の両方でできた化合物だ。そのために、エタノール分子は水に対して愛憎半ばする挙動をとる。水酸基は水に近づこうとするが、エチル基は離れようとする。エタノール水溶液のさまざまな性質がエタノール濃度によって変化してベル・シェイプを示すのは、水とエタノールの量比によって、エタノールの水に対する“愛憎”の程度が異なっているためではないだろうか（図 18-1）。

エタノールと水を混ぜると一瞬のうちに透明な液体になる。しかも混ぜるときには発熱し、混ぜたあとの体積は混ぜる前のそれぞれの体積

の和よりも小さくなる。これらの事から一般的に、エタノールはきわめて親水性の、水とよく混ざり合う物質であると考えられている。混合すれば、一瞬のうちに水分子とエタノール分子とが均一に混じり合った溶液になると思われていた。混ぜれば水分子はエタノール分子の持つ水酸基と水素結合を介して新たな結合を形成するものと考えられていた。そして、圧倒的に大量の水と少量のエタノールとを混ぜると、エタノールは1分子ずつバラバラになって均一に溶けた状態で存在しているのだろと考えられていた。この従来の考え方でゆくと、エタノール分子は均一に溶けているのだから酒の中で多様な表情を持ち、その表情に応じた「まろやかさ」と「皮膚刺激」を示すという事はどうも考えにくい。ところが、どうもそうではないらしいという実験結果が、最近、報告されている。いくらエタノール濃度が低く、まわりに水ばかりあるような状態になっても、エタノールは決して1分子ずつバラバラになって溶けていないようなのだ。

この事を指摘したのは、愛知県岡崎市にある自然科学研究機構・分子科学研究所の西信之博士（現、金沢大学）である。この結果は、1998年に、ジャーナル・フィジカル・ケミストリーに掲載された。一般に、分子はたえず動いているが、水分子の場合は酸素原子から水素原子に向かって伸びた2本の腕の角度が、たえず広くなったり狭くなったりしている。また、腕の長さも伸びたり縮んだりしている。この運動の激しさの程度は、温度などの環境条件や、共存する他の成分に影響される。西博士らはエタノール溶液中の水分子とエタノール分子それぞれの伸縮振動をラマンスペクトルによって観測した。物質が単色の光によって照射されると、その散乱光には照射光よりやや低い振動数、あるいは高い振動数の光が含まれる（発見した科学者の名前をとってラマン散乱と呼ばれる）。こ

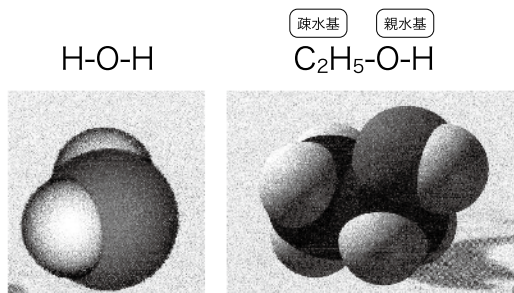


図 18-1 水分子とエタノール分子

の散乱光のスペクトルがラマンスペクトルだが、低振動数のラマンスペクトルから水やエタノールのように水素結合している場合の分子間の腕が伸び縮みする運動、すなわち、分子間の伸縮振動を観測する事ができる。

西博士らはエタノール溶液の濃度をモル分率で0（純水）、0.1, 0.2, 0.25, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0（純エタノール）と変えて、その低振動数ラマンスペクトルを測定した。そのときのスペクトルを重ね合わせて図18-2に示している。純水の場合（ $\chi_E = 0$ ）には200cm⁻¹付近に水素結合した水分子どうしの伸縮振動が現れ、純エタノール（ $\chi_E = 1.0$ ）の場合にはエタノール分子どうしの伸縮振動が80cm⁻¹付近に現れることが図から分かる。この測定結果を見て西博士らは、エタノールを加えるに従って水分子どうしの200cm⁻¹付近の信号が減少し、エタノール分子どうしの80cm⁻¹付近の信号が単純に増加している事に注目した。また、一組の水分子どうし（W—W）、および、一組のエタノール分子

どうし（E—E）の結合が切れて新たに二組のエタノール分子と水分子の結合（W—E）ができるなら、160 cm⁻¹ 付近に極大値を示す W—E の信号が2 倍の強度で現れるはずだが、これが観測されない事に注目した。さらに、エタノール濃度を変化させたスペクトルを重ね合わせて見ると、130cm⁻¹ 付近にすべてのスペクトルが交差する「等強度点」が出現している事に注目した。「等強度点」とは、ある状態から他の状態への変化(すなわち2 状態間の変化)が起こっているときにのみ観測される。この事から、エタノール溶液においてはどのように濃度を変えても、基本的に水分子どうしの結合状態とエタノール分子どうしの結合状態の2 状態しか存在せず、水分子とエタノール分子とが相互に結合したような状態はないという解釈ができる。とはいえ、水分子とエタノール分子の結合がまったく起きないという事は理解しにくいので、水—エタノールの結合体はできたとしても、その寿命は分子間振動の周期よりも短く、その量は

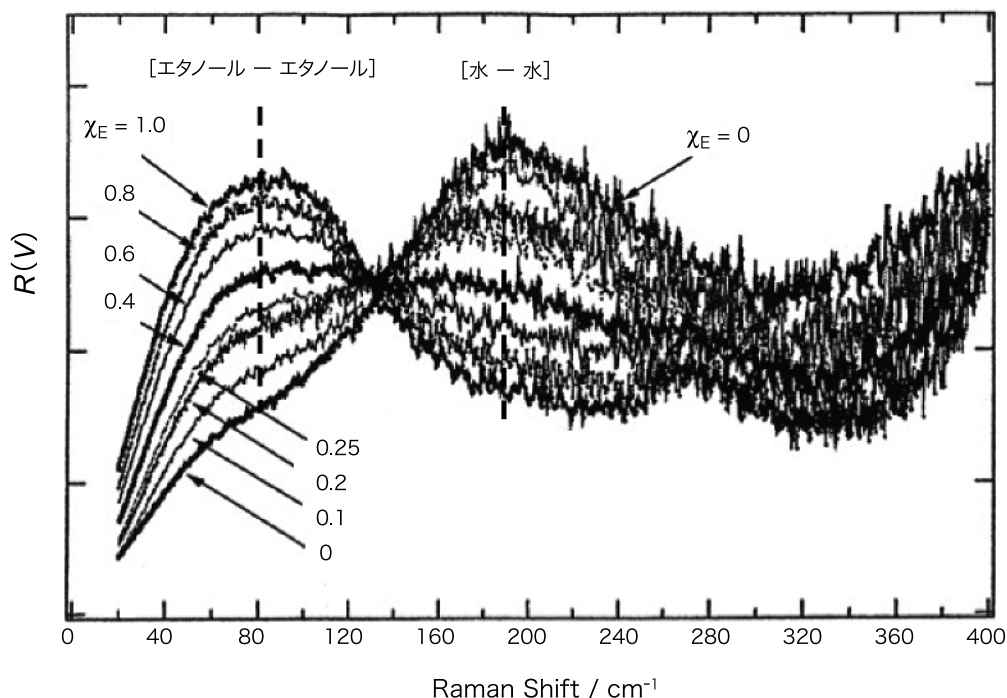


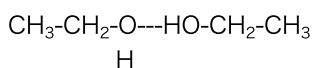
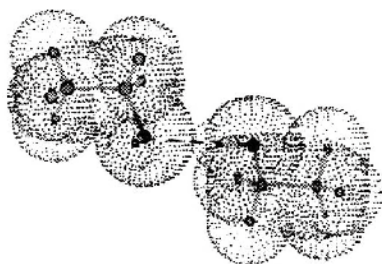
図 18-2 種々の濃度のエタノール水溶液のラマンスペクトル

水分子どうしの結合体やエタノール分子どうしの結合体の量に比べてきわめて少ないと考えられる。見た目には均一で透明なようでも、光の波長の千分の一という分子の次元でエタノール溶液を解析すると、水とエタノールは決して均一に混合していない。それは水分子どうしが集合した状態とエタノール分子どうしが集合した状態との混合物であり、それらが大きさと形を変化させながら動いているのだ。

この結果を踏まえて西博士らは、エタノールの持つエチル基の疎水性に注目して、エタノール水溶液の興味深い構造モデルを提示している。まず、エタノール分子に注目すると、エタノールの2量体が安定しているときは、図18-3 (A) のような水素結合を介した構造をとっていると考えられる。ラマンスペクトルによる振動数の値はエタノール分子がこのような安定構造をとったときの場合とよく一致するという事だ。次に、このエタノールに水を加えると、エタノールの疎水基であるエチル基は、その性質から水を避けようとして重なり合う（疎水的相互作用）。このエチル基の重なりによって、エタノールの水酸基どうしの水素結合鎖が補強され、安定度の高い構造であるポリマー化

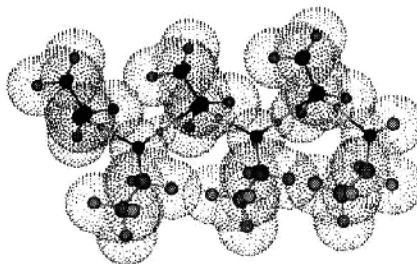
したクラスターを形成すると考えられる（図18-3 (B)）。この場合、水がない場合に比べて水がある場合、エチル基が重なりを増す。この場合のように原子や分子が集まって周囲との界面を持った集団を形成している集合体をクラスターと呼んでいる。この安定化したエタノールクラスターと水分子との相互作用について、西博士らが示したのが図18-4であり、これがエタノール水溶液の構造モデルだ。すなわち、疎水性のエチル基どうしが図の内側で互にくっつき、安定化する（疎水的相互作用）。エタノールの酸素原子は、このクラスターの外側にのみ位置し、エタノール分子どうしは互いに水素結合によって会合して、さらに構造が強化された状態になる。そして、水分子はエタノールクラスターの外側を取り囲む形になる。水は疎水性物質に接したとき、それを避けようとして水分子どうしが集まる性質を持っているため、この水の状態を「疎水性水和」と呼ぶ。通常の水も水素結合によるネットワーク構造が維持されている事は前述したが、疎水性水和の水は、通常の水よりもっと相互作用を強め、構造化が進んだ状態にあると考えられている。これらの事からエタノール溶液は、安定した疎水性水和の水

(A)



安定なエタノール2量体構造

(B)



エタノールクラスターのモデル

図 18-3 エタノールの2量体構造とクラスターモデル

(N.Nishi, *Bull.Cluster Sci.Tech.*, 2(1), 3-7 (1998) より)

が、エタノールクラスターを閉じ込めた状態になっていると考えられる。なお、図 18-4 では水クラスターが 1 分子の厚さで描いてあるが、水の量比が増せばこの厚さが増し、エタノールクラスターのサイズは小さくなってゆく。さらに、疎水性水和を形成している水の層の外側には、通常の水の集団であるバルクの水が存在しており、その量も水の量比に応じて増減している。

この構造モデルであれば、エタノール水溶液中のエタノールクラスターは水のクラスターよりも安定なはずであるが、このことは“断熱膨張破裂”という方法で確認されている。これは、エタノール水溶液の液滴流を真空中に発生させ、液滴が内部エネルギーによって粉々に膨張飛散した断片を質量分析するという手法である。その結果、断片として残っているのは主にエタノールクラスターであり、水クラスターは殆ど残っていなかった。この事は、前述したように、エタノールは疎水基であるエチル基どうしの疎水結合と親水基の水酸基どうしの水素結

合を介してクラスターを形成し、さらにそのエタノールクラスターは外側を疎水性水和の水によって覆われているため水クラスターより安定だと考えれば素直に納得できる。

しかし、ここに図示したエタノール溶液の構造モデルは固体結晶のように空間的に決まった構造をとるわけではない。液体の場合には、特定の分子に着目したときにその周囲にどのような分子がいくつ、どれくらいの距離のところに存在しているかといった、時間でならした平均構造を考える事になる。エタノール溶液では、個々のエタノール分子や水分子は動きまわっているのだが、エタノールと水との間に特徴ある相互作用が働いて、ここで述べた平均構造をとっている、と考えられる。

西博士らがエタノール溶液の構造モデルを考案するにあたって注目した、疎水性水和という現象そのものは、昔から知られていた。身近な例としては、近年、新しい資源として脚光を浴びているメタン分子の包接水和物がある。メタンのような疎水性物質と水が共存したときに、

疎水性水和が形成されることは知られていた。だが、エタノールのように水によく溶ける物質でも、疎水性水和が形成されることを示唆した点に、西博士らのエタノール溶液構造モデルの新しさがある。エタノールクラスターの周囲を疎水性水和による水が取り囲むというこの説は、きわめて興味深いものだ。西博士はこの状態の水を「水和シェル」と称している。シェルとは貝殻や、植物の幹を覆う外皮のことだ。エタノール溶液では、エタノールが安定化するとともに、貝殻や植物

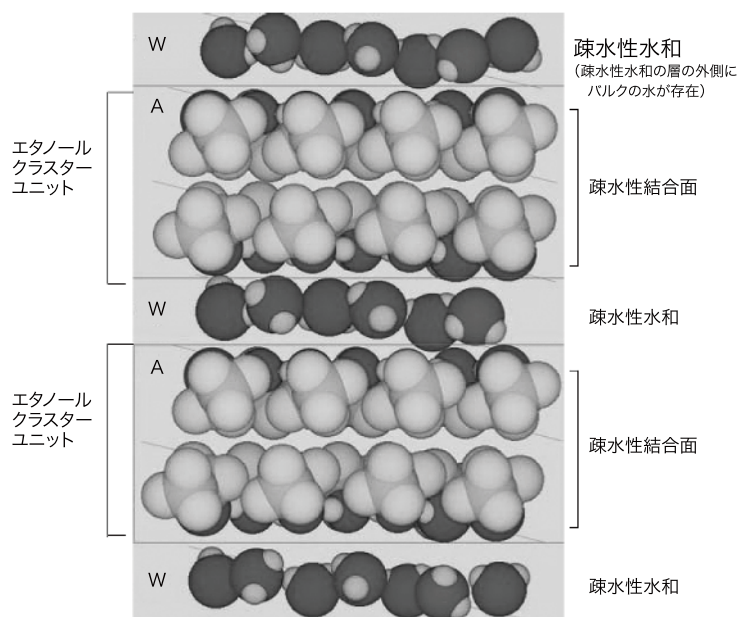


図 18-4 エタノール水溶液の構造モデル

の外皮が生物体を囲い込んで守っているように、水和シェルがエタノールクラスターを守っているのだ。この構造モデルであれば、水和シェルの厚さや安定性の違いによって、水和シェルに守られているエタノールクラスターの安定性も異なってくる。その結果、酒の中のエタノールが多様な表情を持ち、多彩な「まろやかさ」や「皮膚刺激」を示す事も十分に可能となる。純水と純エタノールを混ぜると発熱し、体積が縮小すること等から、従来は、水素結合によって水とエタノールが新たに会合して、構造化が進むものと考えられていた。これは、エタノールの水酸基にのみ目を向けた解釈である。しかし、純水や純エタノールでも、水素結合を介して構造化は進んでいる。そのような純水と純エタノールを混ぜることによって、水分子とエタノール分子の間に新たな水素結合は形成されても、一方では水分子どうし、あるいはエタノール

分子どうしの水素結合が切断されるわけだから、そう話は単純ではないはずだ。水酸基による水素結合のみに目を向けて、混合する事でさらに構造化が進むと考えるのはどうもすっきりしなかった。それに比べると、純水と純エタノールを混ぜ合わせることによって、疎水性水和構造を持つ水や、疎水的相互作用により構造が強化されたエタノールクラスターが新たに出現し、トータルとしてさらに構造化が進んだ状態になると考えるほうが、無理がないように思える。エタノールの親水基だけではなく、疎水基にも注目して水との相互作用を考えたとき、初めてあのエタノール水溶液の性質の不思議な挙動が説明できるようになるのではないだろうか。長年、水とエタノールの不思議な現象が気になっていた私は、西博士の話を伺って“目からうろこ”の状態になったのだった。

(以下、次号へつづく)

マダイの体色改善－2

酒本 秀一*

* SAKAMOTO Shuichi,

Key Words: マダイ、体色改善、オキアミミール、アスタキサンチン、色素油、オキアミ抽出油、体表色素量

前報¹⁾で以下の点を明らかにした。

・マダイはオキアミミールの色素を吸収し、体表に蓄積することが出来る。

・オキアミミール色素の主体であるアスタキサンチンは膵液と胆汁によってディエステル→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において吸収される。この機構はニジマスと同じであった。

・マダイの体表は僅かな刺激によって極短時間のうちに色素量の変化を伴わない色調の変化を起こす。よって、色彩色差計で測色する場合には測定条件を厳密に決めておく必要が有る。

・色彩色差計での測色結果で色素量を表すことは現段階では難しい。特に養殖現場では不可能に近い。体表の色は色素の種類と量で表すのが妥当である。

・色素量は単位重量当りと単位面積当りで表せるが、単位面積当りで表記する方が良い。これは魚が大きくなるに従って体表が厚くなり、同じ面積でも重さが増す為である。

以上の結果を踏まえ、今回は4試験を行った。試験-1でオキアミミールを多量に添加した飼料でマダイを飼育した時に異常が生じるか否かと、オキアミミールの添加量と体表色素量の関係を調べた。更に、試験-2でエビ・カニ類の

殻から油で色素を抽出した色素油の体色改善効果、試験-3でオキアミミールと色素油を併用した飼料でマダイを長期間飼育した場合の体色変化、試験-4でオキアミ抽出油の体色改善効果等を調べた。以下に夫々の試験の詳細を説明する。

試験 -1

前報¹⁾でオキアミミールによってマダイ体表の色が改善出来ることを明らかにしたが、飼料へのオキアミミールの添加によって魚の成長が劣ったり異常が生じたりするようであれば利用出来ない。よって本試験では、オキアミミールの添加量を数段階にした飼料でマダイを飼育した場合に何らかの異常が生じるか否かと、飼育成績や体表の色素量が如何変化するか等を調べた。

1. 方法

1-1. 試験区と飼料

オキアミミール由来の色素が0, 1, 2.5 および 5mg/100g 飼料となる様にオキアミミールの添加量を調整した4試験区を設定し、夫々の試験区をC, L, S, Hとした。飼料は何れもハー

表1 試験飼料の組成と分析値

試験区	C	L	S	H
魚粉 (%)	65.5	59.0	46.5	34.0
オキアミミール		7.0	15.0	32.0
小麦粉	24.9	27.4	25.4	24.4
脱脂大豆粕	9.0	12.5	12.5	9.0
ビタミン・ミネラル混合	0.6	0.6	0.6	0.6
水分 (%)	12.4	12.5	12.4	12.2
タンパク質	49.9	48.6	48.3	48.8
脂質	6.25	6.85	6.52	7.51
炭水化物	16.4	17.3	17.4	15.3
灰分	11.6	10.6	10.1	10.2
総カロチノイド (mg/100g)	0.80	1.50	2.88	5.17

ドペレット²⁾で、組成と分析値は表1に示してある。オキアミミールの添加量は夫々0, 7, 15 および 32% であるが、各飼料のタンパク質、脂質、炭水化物、灰分等の一般成分を可能な限り合わせる為、魚粉、小麦粉、脱脂大豆粕等の含量も調整した。各飼料の色素量（総カロチノイド含量）は最下段に記してある通りであった。L, S, H 区の値から C 区の値を差し引いた値は何れも設定値より低かったが、これはオキアミミール以外の原料から来る色素の量がやや高めに出的為ではないかと推測している。なお、飼料の一般成分は飼料分析法、総カロチノイド含量はニジマスの試験で説明した方法³⁾で分析した。

1-2. 飼育試験

10 × 10 × 7m 深の金網生簀に各区表2に示す平均体重のマダイを約 9000 尾ずつ収容し、6 月 12 日から 9 月 16 日まで 3 カ月間飼育した。飼育期間中の平均水温は 6 月が 24.9℃, 7 月が 28.2℃, 8 月が 28.5℃であった。なお、28℃以上の高水温時に十分量の給餌を行うと水温

表2 試験開始時の体重と尾数

試験区	体重 (g)	尾数
C	686	8993
L	820	8993
S	820	9009
H	662	8989

が低下する秋からの成長が思わしくなくなるので、7月中旬から9月は給餌率をやや低くした。給餌は自動給餌機によって行い、体表へのメラニン蓄積を抑制する為の生簀上の遮光は行わなかった。

1-3. 魚体測定と分析

6 月 12 日（開始時）、7 月 11 日、8 月 22 日および 9 月 16 日（終了時）に各区から 3 尾ずつサンプリングし、図1の手順で魚体測定と分析を行った。

取上げた魚は FA100 で麻酔し、5ml のヘパリン処理プラスチック注射筒を用いてキュビエ氏管から各尾等量ずつ採血した。区毎に 3 尾分を一緒にした血液は 3000rpm で 15 分間遠心分離して血漿を得、グルコース (Glu)、総タンパク質 (TP)、トリグリセライド (TG)、総コレステロール (T.Cho) 含量およびアルカリ性フォスファターゼ (ALP) 活性の測定に供した。これらの 5 成分は何れも魚の状態を判断するのに重要な指標であることが知られている。血漿の分析はヒト用の半自動分析機で行ったが、魚の血液でも正しい値が得られることは確認してある。採血後の魚は体重と尾叉長を測定して肥満度（体重 × 100 / 尾叉長³⁾）を求めた後延髄を切断して即殺した。背鰭第 1 ～ 7 棘の下で、側線

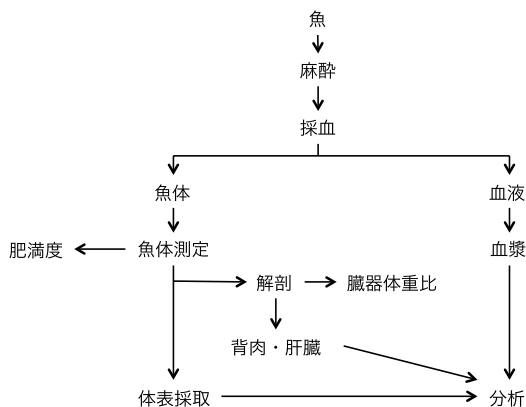


図1 分析試料の調製法

表3 魚体測定の結果

調査日	6月12日	7月11日	8月22日	9月16日
体重 (g)				
C	730	646	872	920
L	695	797	807	835
S	718	871	577	943
H	623	670	805	607
尾叉長 (cm)				
C	32.6	30.6	34.5	34.7
L	31.9	33.2	33.9	33.0
S	32.3	33.9	30.1	35.7
H	31.4	31.5	32.7	30.7
肥満度				
C	2.06	2.23	2.11	2.17
L	2.13	2.17	2.08	2.29
S	2.12	2.23	2.11	2.06
H	2.01	2.13	2.30	2.10

表4 臓器体重比の変化

調査日	6月12日	7月11日	8月22日	9月16日
内臓体重比 (%)				
C	6.22	7.39	8.79	8.50
L	7.43	7.08	8.01	8.24
S	8.09	7.39	6.84	7.94
H	6.41	8.24	9.07	7.94
肝臓体重比 (%)				
C	1.79	1.47	1.30	1.16
L	1.28	1.26	1.18	1.38
S	1.36	1.06	1.06	1.12
H	1.62	1.50	1.14	0.95
DL 体重比 (%)				
C	1.08	3.37		4.97
L	2.18	3.56		4.61
S	3.61	2.70		3.85
H	1.87	3.82		4.47
生殖腺体重比 (%)				
C	0.45	0.28	0.13	0.14
L	0.40	0.33	0.19	0.05
S	0.25	0.21	0.16	0.11
H	0.84	0.34	0.28	0.31

DL: 腹腔内脂肪蓄積組織

より上の部分の体表を色素量測定用試料として採取した。分析試料の調製と色素量の測定は前報^{1, 3)}の手順に従った。体表を採取した後の魚体は直ちに解剖して各臓器の観察と重量測定を行い、外観的な異常の有無と各臓器の体重比を調べた。その後各尾から等量ずつ背肉(体表採取部位と同じ部位)と肝臓を採取し、区

毎に纏めて一般成分の測定試料とした。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法、脂質はソックスレー法、灰分は直接灰化法によって分析した。

2. 結果

2-1. 魚体測定

表3に体重、尾叉長および肥満度の変化を示す。生簀内の約9000尾の魚から毎月3尾のみをサンプリングしたので、何れの区も月毎のバラツキが大きかったが、異常な値は認められず、外見的には全て正常な魚であった。何れの区でも8月、9月の肥満度がやや低い傾向が有るのは、高水温時にやや給餌率を減らした結果であろう。

2-2. 臓器の外観と体重比

各区共何れの魚においても心臓、肝臓、腎臓、脾臓、胆嚢、鰾、消化管、腹腔内脂肪蓄積組織等に肉眼的な異常は認められなかった。各臓器の体重比を表4に示す。内臓(心臓、腎臓以外の全ての臓器を含む)体重比は各区共飼育期間が長くなるに従って大きくなる傾向が認められたが、これは腹腔内脂肪蓄積組織の量を反映していた。繁殖期に向けてエネルギーの蓄積が進んでいたのかも知れない。なお、8月22日の腹腔内脂肪蓄積組織の量は作業時間の関係で調べることが出来なかった。各区共肝臓体重比は8月、9月にやや小さくなっていたが、これは給餌率抑制の結果であろう。生殖腺体重比は何れも1%以下で、未だ性成熟は進んでいないことを示していた。よって、性成熟に伴う体成分や体表色素量の変化は考える必要が無い。各区

共腹腔内脂肪蓄積組織体重比は飼育期間が長くなるに従って高くなっており、これが内臓体重比に影響を及ぼしていた。内臓から肝臓、腹腔内脂肪蓄積組織および生殖腺を除いて求

めた消化管体重比は、何れの区でも 2.0 ～ 3.5% の範囲に有り、区によって消化管の大きさが違うことは無かった。

以上の様に各臓器の体重比にも各区共異常な値は認められなかった。

表 5 背肉成分の変化

調査日	6月12日	7月11日	8月22日	9月16日
水分 (%)				
C	74.4	72.2	73.5	72.4
L	73.7	72.4	73.3	72.7
S	73.0	73.7	73.8	74.1
H	74.1	72.6	73.4	73.3
タンパク質 (%)				
C	23.1	22.8	21.3	23.9
L	24.1	23.9	21.1	23.9
S	24.2	23.2	21.2	22.5
H	23.8	22.8	20.6	22.9
脂質 (%)				
C	1.10	2.57	2.02	2.79
L	1.54	2.77	2.02	2.60
S	1.59	1.81	2.25	2.49
H	1.11	2.94	2.82	2.69
灰分 (%)				
C	1.44	1.46	1.66	1.45
L	1.45	1.38	1.54	1.43
S	1.38	1.37	1.51	1.40
H	1.43	1.32	1.59	1.40

表 6 肝臓成分の変化

調査日	6月12日	7月11日	8月22日	9月16日
水分 (%)				
C	68.1	58.5	57.5	53.1
L	65.5	59.9	55.4	57.2
S	63.8	60.6	57.4	59.8
H	61.1	56.3	57.6	51.2
タンパク質 (%)				
C	15.1	11.9	10.2	10.7
L	14.9	13.4	9.27	11.1
S	17.1	12.3	8.97	12.2
H	15.1	11.7	9.61	11.1
脂質 (%)				
C	8.45	19.3	23.0	25.6
L	11.1	16.4	25.4	21.4
S	13.3	16.6	23.2	18.0
H	12.9	22.8	21.2	27.1
灰分 (%)				
C	1.45	0.92	1.12	0.90
L	1.17	1.06	1.04	0.95
S	1.18	1.01	1.09	1.03
H	1.08	0.92	1.05	0.90

2-3. 背肉と肝臓の分析値

表 5 に背肉、表 6 に肝臓の分析値を示す。背肉では何れの区においても 8 月の水分と灰分がやや高く、タンパク質と脂質が低い傾向が認められた。これは高水温時の給餌制限の影響であろう。脂質含量は飼料の脂質含量を反映している様である。マダイに限らず魚では、背肉の脂質含量は飼料の脂質含量を反映することや、水分含量とタンパク質含量、脂質含量の間には負の相関、灰分含量との間には正の相関が有ることはよく知られている。本試験で得られた結果もこれに良く一致していた。

肝臓成分の動きは背肉とは全く違っていた。何れの区でも水分は 6 月から 8 月にかけて次第に減少し、タンパク質も 6 月から 8 月にかけて次第に減少した後 9 月には増加していた。脂質は最も変化が大きく、6 月から 8 月にかけて急激に増加していた。灰分は 6 月から 7 月にかけて減少した後略一定の値を示した。何れの成分も飼料成分との間に強い相関は認められなかった。本試験では測定しなかったが、魚でも肝臓にグリコーゲン量が多いことはよく知られているので、その影響を受けているのではないかと思われる。

以上の様に、背肉、肝臓共に何れの区においても異常な値は認められなかった。

表7 血漿成分の変化

調査日 試験区	7月11日				8月22日			
	C	L	S	H	C	L	S	H
Glu (mg/dL)	71	82	70	86	91	67	86	79
TP (g/dL)	5.12	4.95	4.68	4.95	4.71	5.26	5.23	5.14
TG (mg/dL)	297	297	278	482	262	365	284	202
T.Cho (mg/dL)	224	226	217	232	182	206	204	217
ALP (K-A.U.)	1.5	1.5	1.8	2.0	1.7	1.4	1.7	1.8

調査日 試験区	9月16日			
	C	L	S	H
Glu (mg/dL)	57	79	60	58
TP (g/dL)	4.69	4.69	4.84	4.60
TG (mg/dL)	317	417	239	212
T.Cho (mg/dL)	228	217	219	233
ALP (K-A.U.)	1.6	1.9	1.6	1.6

表8 体表色素量の変化

調査日	6月12日	7月11日	8月22日	9月16日
C	0.50	0.59	0.67	0.51
L	0.35	0.71	1.14	1.23
S	0.39	0.91	1.43	1.72
H	0.45		1.90	2.46

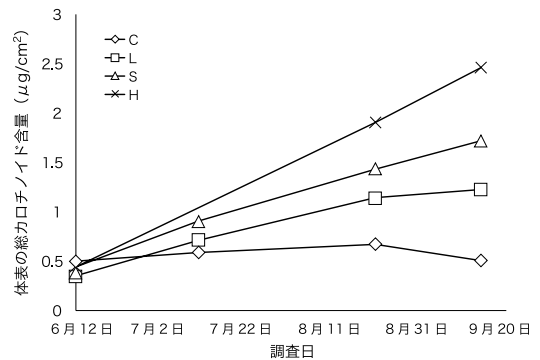
単位: $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 

図2 体表色素量の経時変化

であった。

6月12日から7月11日, 8月22日および9月16日までの魚1尾当り給餌量と投与色素量および体表の色素量を示したのが表9で, 区毎の投与色素量と体表色素量の関係を示したのが図3である。但し, 開始時の値とオキアミミール無添加区の値は除いてある。各区の測定が3点と少ないが, 全体で投与色素量と体表色素量の関係を求めてみると $Y=0.0484X+0.5685$, X : 投与色素量 (mg/尾), Y : 体表色素量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), $R^2=0.9592$ の直線式が得られた。マダイの養殖業者によると, これまで $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上の体表色素量を有する魚で色に対するクレームは無いとのことであった。体色改善処理開始時(オ

2-4. 血漿成分

表7に分析結果を示す。Glu, TP, TG, T.Cho含量及びALP活性共に各区間で一定の傾向は認められず, 何れの成分も正常範囲内にあった。また, 飼料成分との相関も無い様であったが, これは各飼料の一般成分が略同じになる様に調整してあるので, 当然の結果かも知れない。

2-5. 体表の色素量

体表の色素量(総カロチノイド含量)の経時変化を表8と図2に示す。7月11日のH区が空欄になっているが, これは3尾中2尾が異常に高い値を示した為である。この2尾は胃内に生簀網の付着生物が充満しており, 飼料は殆ど食べていなかった。飼育期間中与えた飼料を食べずに網への付着生物, 特にカロチノイド色素を多く含む甲殻類を集中的に食べていたのではないと思われる。

オキアミミール無添加飼料を与えたC区では飼育期間中体表の色素量に殆ど変化はなかったが, オキアミミールを添加したL, S, H区は何れも飼育期間が長くなるに従って色素量が多くなっており, その傾きはオキアミミールの添加量が多い区ほど急であった。また, オキアミミール添加量が少ない区ほど早く線の傾きが小さくなっており, 平衡値に近づくのが早い様

表9 投与色素量と体表色素量の関係

	～7月11日	～8月22日	～9月16日
L			
給餌量 (g/尾)	343	614	745
投与色素量 (mg/尾)	5.15	9.21	11.18
体表色素量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	0.71	1.14	1.23
S			
給餌量 (g/尾)	339	619	761
投与色素量 (mg/尾)	9.76	17.83	21.92
体表色素量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	0.91	1.43	1.72
H			
給餌量 (g/尾)		593	736
投与色素量 (mg/尾)		30.66	38.05
体表色素量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		1.90	2.46

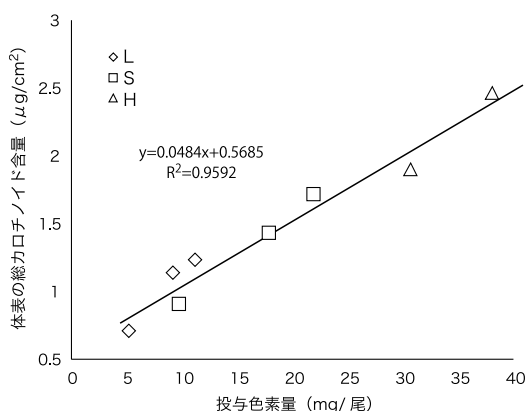


図3 投与色素量と体表色素量の関係

キアミミール添加飼料投与開始時)に体表の色素量が0であったとすれば、 $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の体表色素量にする為には魚1尾当り62mgの色素を与える必要が有ることになる。言い換えると、体重700～800gの魚には1尾当り62mgのオキアミミール色素を与えれば確実に体表の色素量は $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上になり、色に関してはクレームの心配が無いことになる。但し、この値は魚の大きさや飼育水温によって変わる可能性が有るので、今後色々な条件下で検討を重ねておく必要が有る。

図4に魚1尾当りの投与色素量と体表色素増加量(終了時色素量－開始時色素量)の関係を示す。オキアミミール添加飼料を与えたL, S, H区の間には $Y=0.0421X + 0.4091$, X: 投

与色素量 (mg/尾), Y: 体表色素増加量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), $R^2=1$ の完全な直線関係が認められた。体色改善処理開始時の体表色素量がPであったとすると、体表の色素量を $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上にする為には $3 - P=0.0421X + 0.4091$ となり、 $X = (2.5909 - P) / 0.0421\text{mg}$ の色素量が魚1尾当りに必要なことになる。この様に開始時の体表色素量を測定しておけば、その

後魚1尾当りどれ位の量の色素を与えれば良いかを計算で求めることが出来る。本試験の結果は700～800gの魚で求めたものであるが、今後色々な大きさの魚で試験を行って単位体重当りの投与色素量と体表色素増加量との関係を明らかにすることによって、どの様な大きさのマダイでも、どれ位の色素量を与えれば良いかを計算で求めることが出来るようになる。

3. 要約

・700～800gのマダイにオキアミミール含量が32%の飼料を3カ月間与えても外観、肥満度、臓器の状態、背肉、肝臓および血漿成分に異常を生じなかった。従って、マダイ用飼料には可也の量のオキアミミールを添加出来ると

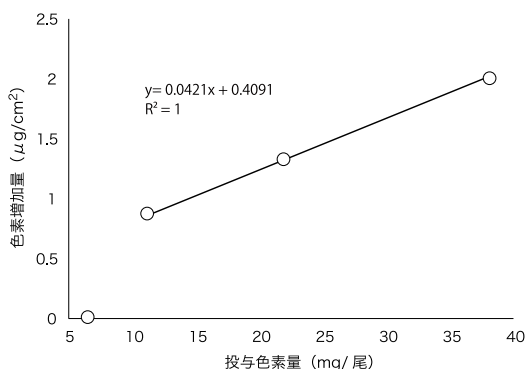


図4 1尾当りの投与色素量と体表色素増加量

考える。

・オキアミミール添加量が多い飼料を与えた区ほど体表色素量の増加が急であった。また、オキアミミール添加量が少ない飼料を与えた区ほど早く体表色素量が平衡値に達する様であった。

・魚1尾当りの投与色素量と体表の色素量の間には $Y=0.0484X + 0.5685$, X: 投与色素量(mg/尾), Y: 体表色素量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), $R^2=0.9592$ の相関が認められた。マダイの養殖業者によると体表の色素量が $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上であれば色に関するクレームは無いとのことなので、本試験の条件下では開始時の体表の色素量が $0\mu\text{g}/\text{cm}^2$ であったとしても $62\text{mg}/\text{尾}$ の色素を与えれば良いことになる。

・魚1尾当りの投与色素量と体表色素増加量の間には $Y=0.0421X + 0.4091$, X: 投与色素量(mg/尾), Y: 体表色素増加量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), $R^2=1$ の完全な直線関係が認められた。よって、オキアミミール添加飼料投与開始時の魚の体表色素量を $P\mu\text{g}/\text{cm}^2$ とすると、 $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上の体表色素量にする為には $3 - P=0.0421X + 0.4091$, $X = (2.5909 - P) / 0.0421\text{mg}$ の色素を与えれば良いことになる。

・本試験条件下であれば、オキアミミール添加飼料投与開始時の魚の体表色素量を測定しておく、その後魚1尾当たりどれ位の色素を与えれば出荷出来るようになるかが計算出来る。

試験 -2

オキアミミールの主要な色素はアスタキサンチンであるが、この色素はオキアミだけに含まれているのではない。その他の甲殻類にも種類によっては多量に含まれている。よって本試験では、水産加工場やレストラン等から廃棄物として出るエビ・カニ類の殻から植物油によって色素を抽出した色素油がオキアミ

ミール同様にマダイの体色改善に利用出来るか否かを調べた。

1. 方法

1-1. 試験区と飼料

A ~ C の3試験区を設けた。Aは雑魚にビタミン剤と粘結剤を添加した餌を与えた生餌区、Bはオキアミミールを25%添加した配合飼料区、CはB区のオキアミミール添加飼料に外割で2%色素油を添加した区である。B、C区の飼料はハードペレットであった。生餌の調製は毎日行ったので分析はしなかったが、B、C区飼料の組成と分析値を表10に示す。C区の飼料には色素油を添加してあるので脂質と総カロチノイド含量がB区の飼料より高かった。それ以外の成分は両区で殆ど違いが無かった。B区とC区の総カロチノイド含量の差は $0.98\text{mg}/100\text{g}$ であったので、色素油が正確に外割で2%添加されていたとすると、色素油の色素量は $0.98/2 \times 1.02=0.48\text{mg}/\text{g}$ であったことになる。また、飼料の脂質含量の差が1.8%だったので、これから計算すると色素油の色素含量は $0.98/1.8=0.54\text{mg}/\text{g}$ であったことになる。両者の平均を取ると $0.51\text{mg}/\text{g}$ となり、色素油の色素含量は約 $50\text{mg}/100\text{g}$ であったことが分かる。

表10 飼料の組成と分析値

	B	C
魚粉 (%)	41	41
オキアミミール	25	25
小麦粉	21	21
脱脂大豆粕	5	5
米糠	4	4
ビタミン・ミネラル混合	4	4
色素油 (外割 %)		2
水分 (%)	8.86	8.62
タンパク質	49.4	49.1
脂質	7.34	9.14
炭水化物	21.0	21.7
灰分	10.2	10.0
総カロチノイド (mg/100g)	4.45	5.43

表 11 飼育成績，体表の色調および色素量

試験区	A	B	C
体重 (g)	697	813	877
尾叉長 (cm)	31.7	33.7	34.3
肥満度	2.19	2.12	2.17
色調			
L	39.3	51.6	48.6
a	4.57	4.89	3.55
b	3.65	8.54	9.17
a + b	8.22	13.43	12.72
総カロチノイド含量			
mg/100g	1.58	2.24	2.41
μg/cm ²	1.20	1.88	2.11

1-2. 飼育試験

1.5 × 1.5 × 1.5m 深の網生簀にマダイ 2 才魚 (平均体重 734g) を各区 25 尾ずつ収容し、10 月 21 日から 12 月 21 日まで 2 カ月間飼育した。餌は毎日手撒きで飽食量与えた。飼育期間中に水温は 22.5℃ から 15.1℃ まで低下した。なお、生簀表面には直射日光を遮る為に黒色寒冷紗の覆いを設けた。

1-3. 魚体測定と分析

同一グループの魚を 3 区に分けて試験を行ったので、飼育試験開始時の魚は各区共同じ性状であったと判断し、開始時の魚体測定と分析は行わなかった。飼育試験終了時に各区から 3 尾ずつサンプリングし、魚体測定と色彩色差計による測色ならびに体表色素量の測定を行った。測色と色素量の測定を行った部位は試験 -1 と同じで、前報¹⁾の手順に従って測定した。

2. 結果

測定結果を表 11 に示す。各区サンプル数が少ないので断言は出来ないが、肥満度を見ると $A \geq C > B$ となっており、餌のエネルギー含量が高い区の方が良く肥っていたのではないかとと思われる。A 区の生餌は分析しなかったが、ハードペレットより雑魚の方がエネルギー含量は高いのが一般的である。

色彩色差計による測色では、L 値は配合飼料

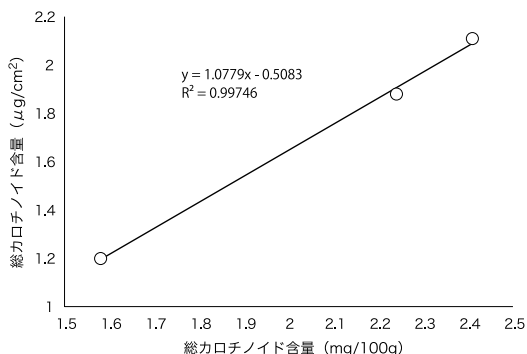


図 5 単位重量当りと単位面積当りの体表色素量

を与えた区の方が生餌を与えた区より高く、飼育期間中に体表の黒味が減少していたことが分かる。a 値はバラツキが大きくて一定の傾向は認められなかったが、b 値は飼料の色素量が多い区ほど高い値を示していた。a+b 値は A 区のみが低かった。

体表の色素量は単位重量当りでも単位面積当りでも餌の色素量が多い区ほど高かった。単位重量当たりの色素量と単位面積当たりの色素量の間には図 5 の様な傾きが略 1 の非常に強い正の相関が認められた。また、魚 1 尾当りあるいは魚 1g 当りの投与色素量 (表 12) と体表の色素量の間には、単位重量当りでも単位面積当りでも $Y=AX+B$, X: 投与色素量, Y: 体表色素量の正の相関が認められた (図 6)。なお、魚 1g 当りの投与色素量は魚 1 尾当りの投与色素量を飼育試験開始時と終了時の平均体重で除して求めた。

以上の結果から、オキアミミールの色素と色素油中の色素はマダイによって略同等に利用されていたものと推測する。色彩色差計での測色

表 12 投与色素量

試験区	B	C
総給餌量 (g)	9680	9480
1 尾当り給餌量 (g)	387	379
1 尾当り投与色素量 (mg)	17.22	20.58
魚 1g 当り投与色素量 (μg)	21.80	26.05

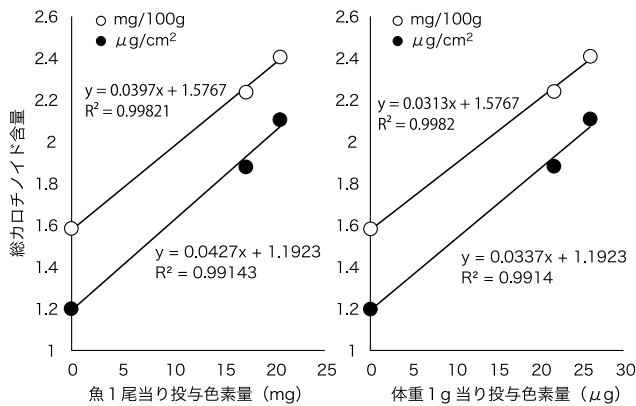


図 6 投与色素量と体表色素量

結果と色素量の測定結果では明らかに異なっていたが、前報¹⁾で説明した様にマダイの体表は測定条件の一寸した違いで極短時間内に色素量の変化を伴わない色調の変化を生じる。これが本試験の色彩色差計による測色結果と色素量測定結果との違いの原因であろう。なお、試験現場の倉庫に2カ月間保存しておいた飼料の色素の残存率はB区、C区共に約80%であったので、オキアミミールや色素油を添加した飼料の保存は遮光して冷暗所に保存する等の注意が必要であろう。

3. 要約

エビ・カニ類の殻から植物油で色素を抽出した色素油の色素はオキアミミールの色素と同等にマダイによって利用され、体色改善効果を有する。

試験 -3

試験-2で色素油の色素はオキアミミールの色素と同等にマダイによって利用され、体色改善効果が有ることが分かった。マダイの体色改善は長期間かけて行うのが一般的なので、本試験ではオキアミミールと色素油を併用した飼料でマダイを長期間飼育した場合に異常が生じるか否かと、体表の色が如何変化するかを調べた。

1. 方法

試験-2のC飼料、即ちオキアミミール25%添加飼料に色素油を外割で2%添加した飼料を試験飼料として用いた。平均体重700gのマダイ3才魚、4才魚の混合グループの魚450尾を10.2×5.2×0.82m深の陸上角型コンクリート水槽に収容し、11月10日から翌年の3月9日まで4カ月間飼育した。飼料は体重の0.7～1.0%を1日1回手撒きで与えた。飼育期間中1カ月に1回4才魚を3尾ずつサンプリングし、体重測定と色彩色差計による測色および色素量の測定を行った。測定部位と方法は試験-1、2と同じであった。

2. 結果

表13に結果を示す。毎月3尾のみの調査なので平均的な大きさの魚が採取出来ておらず、月毎の体重にはバラツキが大きかった。但し、

表 13 色調と色素量の変化

	体重 g	色調				総カロチノイド含量	
		L	a	b	a + b	mg/100g	μg/cm ²
開始時	947	38.9	0.9	-5.1	-4.2	1.20	1.13
1カ月後	733	37.2	2.9	-4.9	-2.0	1.65	1.77
2カ月後	1047	42.7	-0.1	-3.0	-3.1	4.08	4.00
3カ月後	878	35.9	6.0	-4.0	2.0	4.36	4.02
4カ月後	1123	40.6	2.5	-3.3	-0.8	5.01	4.18

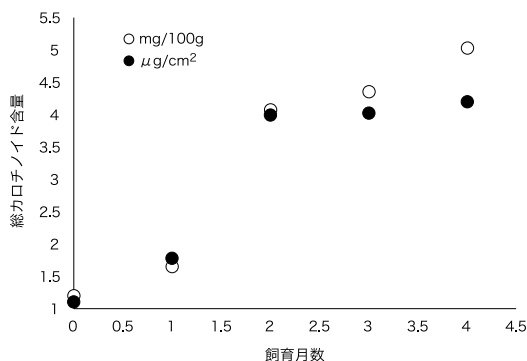


図7 体表色素量の経時変化

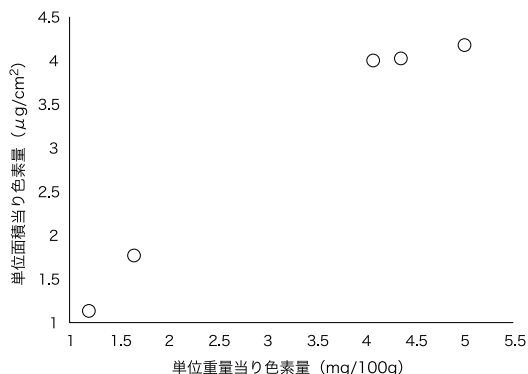


図8 単位重量当りと単位面積当りの色素量

外見や活力は何れのサンプル魚にも異常は認められず、全て健全な魚であったと判断する。

色彩色差計による測色結果は従来通りバラツキが大きく、飼育期間との間に一定の傾向は認められなかった。一方、体表の色素量は単位重量当りでも単位面積当りでも飼育期間が長くなるに従って高くなっていった。

飼育月数と体表の色素量の関係を図7に示す。最初の1ヶ月間は色素量の増加が少なかったが、これは試験飼料に慣れて十分に摂餌するようになるまでに時間が掛かり、その間摂餌量が少なかったため摂取した色素量も少なかったことによるのであろう。多分新しい飼料に慣れるまでに2週間ほど要したのではないかと考える。1か月目から2か月目にかけて色素量は急激に増え、2か月目以降の色素量の増加は少なかった。これは水温調整を行わなかったことで1月以降水温が低下して摂餌量が減少したことと、体表の色素量が2か月目には $4.2\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、 $5.0\text{mg}/100\text{g}$ に達しており、本試験に用いた飼料を与えた場合の最高の色素量に近い値に達していたことの2点が原因ではないかと考える。

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8に示す。単位重量当たりの色素量が増えても単位面積当たりの色素量は約 $4\mu\text{g}/\text{cm}^2$ で増え方が急に小さくなっていった。体表は魚が大きくなるに従って厚くなるので一

定面積であっても重くなる。よって、単位重量当たりの色素量は魚の大きさの影響を強く受ける。ところが単位面積当たりの色素量は魚の大きさの影響を殆ど受けない。

以上の結果から、本試験に用いた飼料をマダイに与えた場合の体表色素量は約 $4\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 程度が最高に近い値なのではないかと推測する。また、本試験で魚が餌に慣れて十分に摂餌し、水温等の環境条件もマダイに適していれば、可也短期間で体表の色素量は増えることが分かった。今後マダイの体色改善をより効率良く行えるのではないかと思える結果であった。

3. 要約

・オキアミミール 25% 添加飼料に色素油を外割で2% 添加した飼料でマダイを長期間飼育しても異常は生じず、オキアミミール、色素油共に体表の色素量を増やすのに有効であった。

・上記飼料(総カロチノイド含量 $5.43\text{mg}/100\text{g}$)を与えたマダイの体表色素量の到達点は約 $4\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 程度ではないかと思われる。試験-1で説明した様に、この色素量は問題無く市場に出荷出来る値である。

・魚が十分に餌を食べ、飼育環境も適切である場合には可也短期間で体表の色素量が増えることが分かった。今後マダイの体色改善をより効率良く行うことが出来る可能性が示された。

試験 -4

試験 -2, 3 に用いた色素油以外にアスタキサンチンを豊富に含む油にオキアミ抽出油が有る。本試験ではオキアミ抽出油に含まれる色素がオキアミミールの色素と同様にマダイの体色改善に利用出来るか否かを調べた。

1. 方法

1-1. 試験区と飼料

A～Cの3試験区を設けた。Aはオキアミミール無添加の飼料を与えた区、Bはオキアミミール添加飼料を与えた区、CはBのオキアミミール添加飼料にオキアミ抽出油を外割で2% スプレーコーティングした飼料を与えた区である。夫々の飼料の分析値を表 14 に示す。A 区飼料のタンパク質と脂質含量がやや少なく、炭水化物含量が多かった。脂質含量とエネルギー含量はA<B<Cの順であった。これは用いたオキアミミールは魚粉より脂質が多かったこと(A<B)と、オキアミ抽出油が添加されていること(B<C)による。カロリー/タンパク質比はA=B<Cであった。

総カロチノイド含量はAが検出限界以下で、Bは4.53mg/100g、Cは7.39mg/100gであった。試験 -2と同じ手順でオキアミ抽出油の色素量を計算すると、オキアミ抽出油が正確に外割で2%添加されていたとすると1.40mg/g、B、C飼料の脂質含量の差からすると2.31mg/gとなり、両者の間で大きな違いがあった。この原因として考えられるのは、オキアミ抽出油の脂質含量が低いか、あるいはオキアミ抽出油のスプレーコーティングが計算通りの量行われていなかったことである。多分後者であろう。

1-2. 飼育試験

平均体重約120gのマダイ1才魚を室内の実験室に設置された150L容角型塩ビ製前面ガラ

表 14 飼料の分析値

試験区	A	B	C
水分 (%)	9.10	8.71	8.56
タンパク質	47.0	49.5	48.5
脂質	6.34	7.62	8.86
炭水化物	22.6	19.1	18.9
灰分	9.81	10.2	10.0
エネルギー (Cal/100g)	290.3	304.8	311.5
C/P 比	6.18	6.16	6.42
総カロチノイド (mg/100g)	ND	4.53	7.39

ス張り水槽に16尾ずつ収容し、10月16日から11月19日まで1ヶ月間飼育した。給餌は午前1回、午後1回手撒きで飽食量与えた。水温は調節しなかったため、開始時の19℃から終了時には14℃まで低下していた。

1-3. 測定

飼育試験開始時と終了時に全個体の体重を測定し、生残率と増重量を求めた。更に給餌量と飼料のタンパク質含量から飼料効率(増重量×100/給餌量)とタンパク質効率(増重量×100/給与タンパク質量)を計算した。

飼育試験終了時に各区から平均的な大きさの魚5尾をサンプリングし、従来通りの方法で色彩色差計による測色と体表色素量の測定を行った。

2. 結果

2-1. 飼育成績

表 15 に結果を示す。飼育期間中に死魚は生じず、何れの区も生残率は100%であった。増重量はB>A>Cの順であったが、これには摂取した飼料の量が大きな影響を及ぼしていた。

表 15 飼育成績

試験区	A	B	C
生残率 (%)	100	100	100
増重量 (g)	407.1	421.5	382.7
給餌量 (g)	1010.5	961.4	855.1
飼料効率 (%)	40.3	43.8	44.8
タンパク質効率 (%)	85.8	88.4	92.5

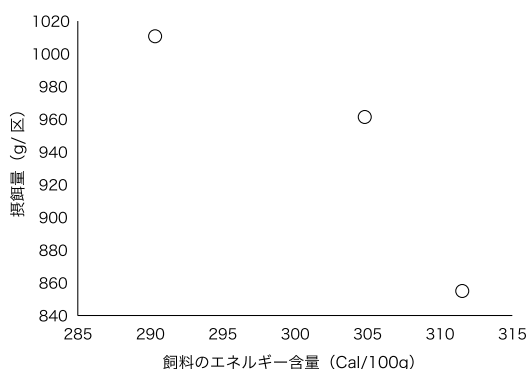


図9 飼料のエネルギー含量と摂餌量

図9の様にエネルギー含量が少ない飼料程多く食べており、飼料のエネルギー含量によって魚が食べる量を調整していたことが窺われる。飼料効率とタンパク質効率は飼料のエネルギー含量が多くなるに従って高くなっており、正の相関が認められた (図10)。つまり同じ量の飼料を食べた場合にはエネルギー含量が高い飼料の成長が良いと云うことである。但し、マダイに限らず魚の場合には飽食量給餌にするとエネルギー含量が高い飼料の場合には魚が摂餌量を減らす傾向が有り、反って成長が劣る結果になる場合が有るので注意が必要である。最高の成長を得る為には水温別に飼料のエネルギー含量、給餌率および増重量の関係を明らかにしておく必要が有る。

2-2. 測色と色素量

結果を表16に示す。L値は飼料の色素量が多くなるに従って低くなり、a、bおよびa+b値は逆に高くなっていった。また、飼料の色素量とa+b値およびa+b値と体表の色素量の間には図11の様に強い正の相関が認められた。このような綺麗な相関は厳密な測定条件を設定出来る室内実験であるから得られるのであって、養殖現場では難しく、殆ど不可能に近い。飼料の色素量と体表の色素量の間にも単位重量当りあるいは単位面積当り

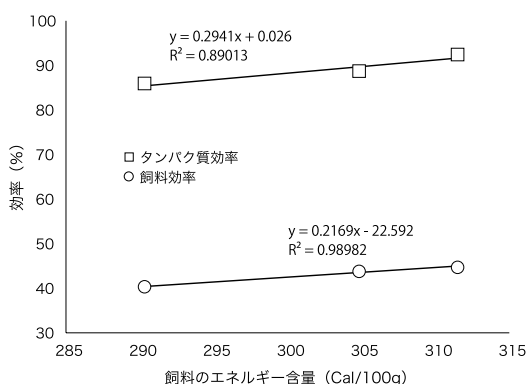


図10 飼料のエネルギー含量と飼育成績

表16 色調と色素量 (終了時)

試験区	A	B	C
色調			
L	44.0	42.6	41.0
a	4.2	4.9	5.8
b	-2.2	-0.2	0.0
a + b	2.0	4.7	5.8
総カロチノイド含量			
mg/100g	1.46	2.93	3.51
μg/cm²	1.21	2.37	2.53

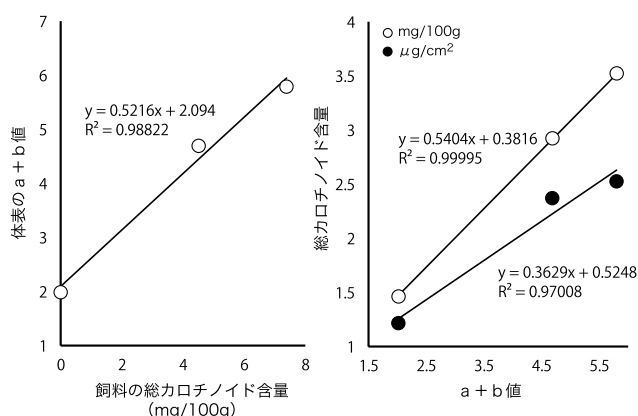


図11 飼料の色素量と体表の色調と色素量

のいずれでも正の相関が認められたものの、上記の相関よりは弱かった (図12)。これは飼料の摂取量が区によって大きく違っており、魚1尾当たり摂取した色素の量と飼料の色素量が比例していなかったことによる。

体表の単位重量当りの色素量と単位面積当りの色素量の関係を図13に、魚1尾当たりある

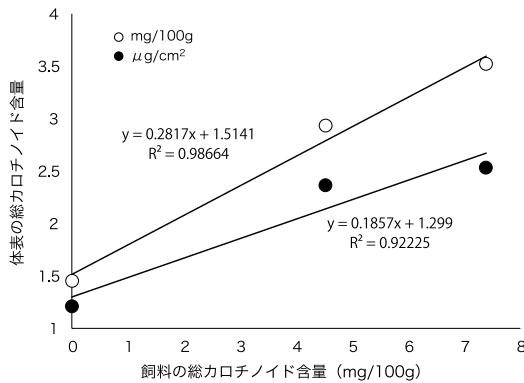


図 12 飼料の色素量と体表の色素量

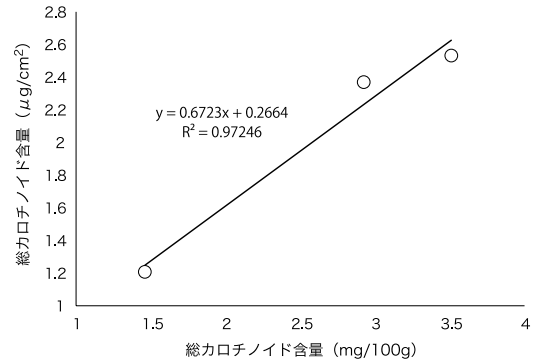


図 13 単位重量当りの色素量と単位面積当りの色素量

いは魚 1g 当りの投与色素量と体表色素量との関係を表 17 と図 14 に示す。何れにも正の相関が認められた。

以上の結果から、マダイの体表色素量の増加には飼料の色素量のみでなく、摂餌量が大きな影響を及ぼすので、魚 1 尾当たりあるいは魚 1g 当たりどれ位の色素を摂取したかを明らかにしておく事が大事である。

表 17 投与色素量と体表の色素量

試験区	A	B	C
投与色素量			
mg/ 尾	0	2.72	3.95
μg/g 魚体重	0	20.4	29.8
総カロチノイド含量			
μg/cm²	1.21	2.37	2.53

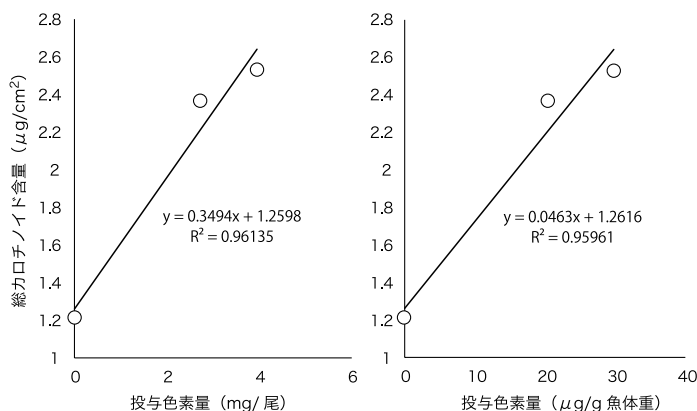


図 14 投与色素量と体表の色素量

3. 要約

・飽食量給餌で飼育すると飼料のエネルギー含量によって魚が摂餌量を調整する。よって、魚が摂取した色素の量と飼料色素の量が比例しなくなるので注意が必要。

・色素添加飼料を与えて体色改善処理を行う場合には、魚 1 尾当たりあるいは魚 1g 当たりどれ位の量の色素を摂取したかを明らかにしておくことが重要である。

・オキアミ抽出油の色素もマダイに利用され、体色改善効果が有る。

まとめ

今回行った 4 回の試験によって以下の点を明らかに出来た。

・マダイ用飼料には少なくとも 32% のオキアミミールの添加が可能である。

・飼料の色素量が少ない区ほど早く体表色素量が平衡値に達する傾向が認められる。

・色素油とオキアミ抽出油もオキアミミール同様マダイの体色改善に効果が有る。

・投与色素量と体表色素量の間

には強い正の相関が有る。

・体表色素量は単位面積当りの色素量、例えば $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ で表すのが適切である。

・体表の色素量を色彩色差計の測色結果で代表するのは難しい。

・飽食量給餌（自由摂餌）にすると飼料のエネルギー含量によって魚が摂餌量を調整するので、飼料の色素量と摂取色素量が比例しなくな

るので注意が必要。

・マダイの体色改善を行う場合には、魚1尾当たりあるいは魚1g当りの摂取色素量を明らかにしておく事が重要である。

・体色改善処理開始時（色素添加飼料投与開始時）の体表色素量を調べておけば、魚1尾当たりあるいは魚1g当たりどれ位の色素を与えれば出荷出来るようになるかが計算出来る。

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

- 1) 酒本秀一：マダイの体色改善－1. *New Food Industry*, **56** (6), 67-78 (2014)
- 2) 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)
- 3) 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)

白石カルシウムの炭酸カルシウム



炭酸カルシウムとは？

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

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

一般の栄養強化には、「ホワイトン」

機能を求めるならば、「コロカルソ」

飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。

**白石カルシウム株式会社**

食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL. 03-3863-8913
本 社：大 阪 市 北 区 同 心 2-10-5 TEL. 06-6358-1181

“地域密着でキラリと光る企業”

沖縄読谷村特産品の紅いもから「元祖紅いもタルト」を創造した『株式会社 お菓子のポルシェ』

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

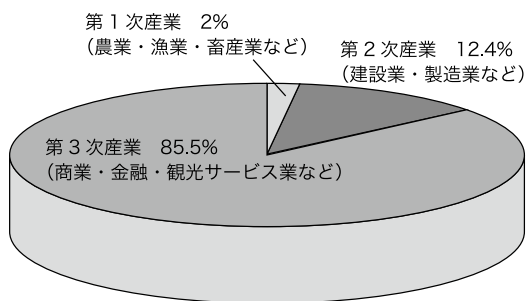
Key Words : 沖縄読谷村特産品の紅いも、元祖紅いもタルト、沖縄銘菓、商品開発、市場拡大

はじめに

沖縄県の産業の特徴は、第3次産業（商業、金融、サービス業など）の割合が高く、第2次産業（建設業、製造業）の割合が低いことである。暖かい気候を利用して、野菜や花の県外出荷が盛んになってきているが、農業や漁業、畜産業などの一次産業が、沖縄の産業全体に占める割合は低い。現在の沖縄県の暮らしを支えている大きな産業は、観光産業である。美しい自然を求めて沖縄を訪れる観光客は、年々増え続けていて、2012年（平成24年）には、これまでで最も多い592万人を達成した。今後、800万人を目標としている。また、人口も増え続けており、2014年1月1日現在で142万に達した。日本国内で人口が増えている都道府県は東京都と沖縄県のみと言われている。沖縄県は若者の移住人口も多く平均年齢も下がっている。

こういった状況下で、株式会社お菓子のポルシェは昭和54年に創業、小さな洋菓子店をオープンした。素材にこだわり、素材そのものの味を生かしたもの。作りたてのおいしさ、あたたかさが感じられるもの。どこか沖縄らしさを残したもの。そして、お客様が笑顔になれるもの。こういった考えが御菓子御殿の原点である。

沖縄読谷村の特産品である紅いもを使用した「紅いもタルト」をはじめ、沖縄の素材を活かした商品の開発に取り組み、自社工場による生産体制の確立と豊富な品揃えによって今日まで沖縄特産品の市場拡大に取り組んでこられた。紅いもで作るお菓子は様々な困難と試行錯誤を重ねながら鮮やかな紫の色と風味豊かな味わいにこだわり続けた結果、「紅いもブランド」、「読谷ブランド」、「沖縄ブランド」として多くのお客様から好評を頂き、支持を賜ってこられた。そして、より安心、より安全な商品提供を目指し、平成13年に御菓子御殿恩納店、平成17年に読谷本店、平成21年に国際通り松尾店をオープンしガラス越しに製造ラインが見える工場が出来立てを賞味していただけるように常に品質管理にも配慮し続けてこられた。



今後も、創業以来のモットーである「やさしい心くばり」を心に携え、沖縄の素材を活かした商品の提供に邁進される。平成20年(2008年)には全国菓子大博覧会において菓子業界では最高の栄誉とされる名誉総裁賞を文化部門で受賞するなど、沖縄県内にとどまらず、日本全国で通用する菓子会社として発展し続けている。

1. 会社概要

全従業員数	545名
代表者名	澤岬カズ子
本社	〒904-0328 沖縄県中頭郡読谷村字字座 657 番地 1
電話番号	098-958-7333
FAX 番号	098-958-7330
創業	1979 年 6 月
資本金・出資金	4,500 万円
売上高	49 億円
事業内容	和洋菓子製造および販売、喫茶店・レストラン経営
事業所	1. 御菓子御殿 読谷本店 2. 御菓子御殿 恩納店 3. 御菓子御殿 国際通り松尾店 4. 御菓子御殿 国際通りむつみ橋店 5. 御菓子御殿 那覇空港店 6. 御菓子御殿 名護店 7. 御菓子御殿 石垣空港店 8. 御菓子御殿 国際通り牧志店 9. パティスリー・ボルシェ 大木店 10. パティスリー・ボルシェ 豊崎店 11. パティスリー・ボルシェ イオンタウン読谷店 12. カフェでタルト
関連会社	有限会社ボルシェ食品

2. 経営理念

- ・私たちは、沖縄の素材にこだわり、お客様へ安心して安全なおいしい商品を提供します
- ・私たちは、和の精神で、社員の幸せと働き甲斐のある職場環境を作ります。

斐のある職場環境を作ります。

- ・私たちは、思いやりとやさしい心くばりで地域社会に貢献します

3. 組織構成

販売本部、料飲本部、営業本部、生産本部、仕入本部、管理本部

4. 沿革

昭和 54 年	読谷村伊良皆でドーナツ、チョコレートケーキ、パイの製造・販売を行う
昭和 61 年	読谷村の村おこし事業に参加し紅いもとと出会う。生産に携わる
平成 2 年	有限会社ボルシェ法人登記
平成 3 年	読谷村大木に工場・店舗併設の新社屋完成
平成 4 年	有限会社ボルシェ食品設立
平成 9 年	那覇店（現国際通り牧志店）オープン
平成 11 年	株式会社お菓子のボルシェへ組織変更、体制強化
平成 13 年	御菓子御殿 恩納店オープン
平成 16 年	御菓子御殿 国際通り松尾店オープン
平成 17 年	御菓子御殿 読谷本店オープン及び本社移転、那覇空港店オープン
平成 18 年	御菓子御殿 国際通りむつみ橋店オープン
平成 18 年	読谷大木店がパティスリー・ボルシェとしてリニューアル
平成 19 年	パティスリー・ボルシェ 豊崎店オープン
平成 20 年	パティスリー・ボルシェ イオンタウン読谷店オープン
平成 21 年	御菓子御殿 国際通り松尾店新装オープン
平成 23 年	カフェでタルトオープン

5. 受賞の軌跡

平成 3 年	第 15 回沖縄県産業まつり 県知事賞
平成 5 年	第 17 回沖縄県産業まつり 県知事賞

平成 6 年	第 18 回沖縄県産業まつり 県知事優秀賞 第 2 回古波津製造業育成基金 製造業起業賞 第 22 回全国菓子大博覧会 栄誉賞、金賞、技術優秀賞受賞
平成 9 年	第 21 回沖縄県産業まつり 県知事奨励賞
平成 10 年	第 23 回全国菓子大博覧会 食糧庁長官賞、栄誉金賞、金賞、技術優秀賞受賞
平成 14 年	日本おみやげアカデミー賞実行委員会デザイン賞受賞 第 24 回全国菓子大博覧会 金賞、農林水産大臣賞、中小企業庁長官賞、技術優秀賞 受賞
平成 15 年	平成 14 年度ビジネスオンリーワン賞受賞
平成 16 年	内閣府沖縄総合事務局長表彰 ISO9001, ISO9001-HACCP マネジメントシステム認証取得
平成 19 年	琉球新報活動賞 受賞 モンドセレクション特別金賞受賞 (塩胡麻ちんすこう)
平成 20 年	「農商工連携 88 選 認定」 第 25 回全国菓子大博覧会 名誉総裁賞、中小企業庁長官賞受賞
平成 22 年	農商工連携ベストプラクティス 30 認定

6. 主力店の紹介

主力店 3 店（読谷本店、恩納店、国際通り松尾店）には筆者も足を運んだ。店内は広く、自社工場で作られた商品が多数陳列・販売されている。紅いもタルトをはじめ、紅いもで作られた多くのお菓子が並んでいる。試食販売をされているので、商品説明を聞きながら味も楽しめる。また、県内各酒造メーカーの酒が勢ぞろいした豊富な品揃えコーナーもある。泡盛が初めてという方も気軽に試飲ができる。シーサーや琉球ガラス陶磁器など、沖縄の伝統文化があふれる工芸品も並んでいる。また、ストラップや地域限定のグッズも揃えてある。敷地内には地

元の食材を使用したレストランが併設してあるので、観光客が地元の美味しい料理を食べることが出来る。

◆ 御菓子御殿 読谷本店



こだわりの紅いもを特産品とする読谷村にある御菓子御殿の本店。さざ波のように揺れるさとうきび畑の真ん中に、ぱっと咲いた大輪の花。琉球舞踊で使われる大きな「花笠」がお迎え。店内には自社工場で作られたお菓子が売られている。また、製造ラインもあり、焼きたてのお菓子が出てくる。カフェがあり、焼きたてのお菓子や紅いもスイーツが食べられる。

● 自社工場で作られた、紅いもや黒糖など沖縄の素材を使った様々な種類のお菓子が並べられている。広々とした店内でゆっくり買い物ができる。



● 製造ラインでは、紅いもタルトやちんすこうなどを製造しており、次々とお菓子が流れてくる。



●カフェ花笠

「工場併設店舗限定メニュー」

工場で出来たての紅いもタルトがお召し上がり頂ける。できたてならではの香ばしさとサクサクの食感がお楽しみ頂ける。



紅いもアイスぜんざい



紅いもスイーツ

◆御菓子御殿 恩納店

沖縄のリゾートエリア・恩納村。海沿いの国道をドライブすると見えてくる琉球の門、そして



その奥には首里城を想わせる朱色の御殿・・・
ここが「御菓子御殿恩納店」。

●紅いもタルト手作り体験



● 広い店内では、紅いもや黒糖など沖縄の素材を使った様々な種類のお菓子が賑やかに並べられている。



●紅いもタルトの製造ラインが併設されており、次々に製造されるお菓子づくりをガラス越しで見学することができる。また、工場からそのまま直売しているため、できたての紅いもタルトも食べられる。



◆御菓子御殿 国際通り松尾店



いつも賑やかな国際通りに、まるで琉球王朝へタイムスリップしたような赤瓦の御殿が松尾店。

● 広々とした店内には、自社工場でつくられた紅いもや黒糖など沖縄の素材を使った様々な種類のお菓子が並べられている。



● 紅いもタルトのできあがりをガラス越しに見学することができる。



● 琉球ダイニング松尾

店舗2階の琉球ダイニング松尾は、沖縄の古民家をイメージした落ち着いた空間。掘りご

たつ席や星空を眺めるようなボックス席がある。また、沖縄民謡も楽しめる。



7. 主力商品の紹介

7-1. 元祖紅いもタルト



◆ 紅いもを使ったお菓子は数々あるが、元祖は御菓子御殿の「紅いもタルト」である。

① 商品特長

沖縄県産、紅いもの自然の美味しさを！紅いもの豊かな風味と甘味、そして美しい紫色はそのままに、自然の味わいにこだわって作ったお菓子が、元祖「紅いもタルト」。

②商品情報

名 称	洋菓子
原材料名	紅いもペースト、砂糖、小麦粉、バター、鶏卵、寒天、食塩（原材料の一部に小麦、乳、卵を含む）
内 容 量	6個入
賞味期限	箱面に記載
保存方法	直射日光、高温多湿の場所を避けて保存
製 造 者	株式会社 お菓子のポルシェ

③栄養成分 製品一袋（32g）あたり

エネルギー	111kcal
タンパク質	1.2g
脂 質	4.2g
炭 水 化 物	17.2g
ナトリウム	10mg

沖縄県環境科学センター

④生産量

3つの工場で、毎日合計約9万個を製造している。（読谷本店、恩納店、国際通り松尾店）

⑤美味しさの秘密



沖縄の豊かな自然の恵みと農家の皆様の愛情を受け育った紅いものにこだわり、お菓子づくりをしている。こだわりの、紅いもそのものの風味や色合いを楽しんで頂けるよう、保存料や着色料は一切使用していない。

⑥モンドセレクション 2013 金賞受賞

モンドセレクション2013金賞受賞
6年連続金賞受賞
2010年、2013年国際優秀品質賞受賞

第25回全国菓子大博覧会 名誉総裁賞受賞



⑦マーケティング

多くの雑誌に広告を入れていると同時に、多くのマスコミからの取材があり、テレビにもたびたび取り上げられている。



8. 紅いもについて

8-1. 歴史

沖縄でお芋と言えば紫色をした紅いもである。紅いもは紫いもとも呼ばれ、本土でも食べられているが、サツマイモと比べるとその消費量は少なくなってきた。紅いもはサツマイモと同様に、焼いたり、天ぷらにしたり、お菓子にしたりなど、いろいろな調理方法で食べることができる。そのため沖縄土産の紅いも商品にも様々な種類がある。有名なところでは、紅いもタルトである。他にも紅いもを練り込んで作った紅色の羊羹や紅いも饅頭、紅いもチップス、紅いもパイ等がある。しかし、生の紅いもを沖縄県から持ち出すことは禁止されているため、お土産にする際は加熱後の物を選んでいただきたい。

紅いもは1605年に野国総管が中国の福建省から苗を持ち帰ったことが始まりだと言われて

いる。その後、儀間真常が栽培の普及に努め、各地に広められていった。沖縄の土壌は水はけが良く、稲作には適さない。その点、紅いものは台風や干ばつに強く、沖縄の風土によくなじむ物であった。そして、いつしか紅いものは沖縄にとって、なくてはならない食べ物の一つになった。

沖縄県で紅いもの産地として有名なのは読谷村である。伝来当初から現在まで数々の品種改良を重ね、県内でも有数の紅いもの産地へと成長した。沖縄で主に栽培されている品種は、備瀬（びせ）と宮農 36 号の 2 種である。備瀬は皮色が白く、肉色は紫紅色で、本土では少し目新しい感じがするが、収量が宮農 36 号より多いため、沖縄での栽培量は増えている。肉質は宮農 36 号よりきめ細かく、舌触りが良いクリーミーな物だとされている。宮農 36 号は皮色が赤紫色で、肉食は紫紅色である。栽培上の問題から量が減ってきているが、備瀬よりも甘みが強いことと、出荷量の少なさから逆に人気が高まっているようである。

8-2. 栄養

紅いもにはでんぷんやブドウ糖、ビタミン A や C、カルシウムやカリウムなどのミネラルも多く含まれている。また紅いもの紫紅色は、アントシアニン系の色素によるもので、抗酸化作用に優れている。なお、アントシアニンには動脈硬化およびコレステロールの抑制効果などがあるとされている。紅いもの紫紅色は生活習慣病の原因となる活性酸素の働きを抑制してくれることで有名なポリフェノール（アントシアニン）によるものである。また、食物繊維も豊富に含んでおり、便秘や高コレステロール、腸の病気、ガンなどの予防にも効果があると言われている。意外なのが、カルシウムを豊富に含むことである。皮をむいた紅いも 100g 中に、カルシウムを牛乳の約 1/3 にも当たる 32mg も含んでいることである。しかも、皮ごと食べるとさら

にその 4 ～ 5 倍も含まれる。紅芋を食べることでカルシウムの補給ができる。そのため、紅いものは健康面・美容面からも注目を集めている。

おわりに

『紅いもタルト』はいまや沖縄銘菓である。どこに行っても販売されている。この『紅いもタルト』を創造し、市場に初めて出したのが株式会社お菓子のポルシェである。沖縄には多くの『紅いもタルト』を製造販売している会社はあるが、まさしく元祖である。紅いもは 1605 年中国福建省から持ち帰り、読谷村で栽培され始め、読谷村に根付いた。『紅いもタルト』は読谷村の村おこしをきっかけに多くの人たちの協力のもと、さまざまな努力を重ねた結果誕生した。沖縄県としても今後更に観光に力を入れていき、2012 年（平成 24 年）の 592 万であった観光客を 800 万人にしようという目標をたてている。国際線の滑走路を新たに増設することでも決まったようである。観光客のおもてなしのためにも『紅いもタルト』はますます重要な商品になってくると考える。『紅いもタルト』を初めて接した時には形・色・味に驚きを感じた。紅いもから、よくもこういった商品を創造したものだという驚きである。

紅いもには沖縄読谷村の気候や土壌から豊富なカルシウムをはじめとしたミネラルや紫色の色素であるアントシアニンが豊富に含まれている。生活習慣病予防にも効果がある。こういった栄養面での良さもアピールすべきと考える。

マーケティング & 販売では、会社名をポルシェとした由来は、社長が世界で一番の車はポルシェと考えたからであると聞いている。社長は自らポルシェに乗り、車の色は紅いもタルトの紫色にしておられると聞いている。まさに、走るトップ自らの広告塔である。こういった考えは、主要店にも表われている。主要店 3 店で紹介したように、読谷本店は琉球舞踊で使われ

る大きな「花笠」をイメージしている。

恩納店は琉球の門，そしてその奥には首里城を想わせる朱色の御菓子御殿である。国際通り松尾店は琉球王朝へタイムスリップしたような赤瓦の御殿である。これらの店は旅行会社の観光ルートになっており，連日，観光バスと観光客でにぎわっている。店の中には紅いものを原料とした「紅いもタルト」をはじめとする商品の

他，沖縄の伝統菓子である「ちんすこう」も数種類販売されている。その他，黒糖を使用したお菓子などもある。販売する場として観光にもなっている店があることは販売手段としては大変好ましい。商品の企画・開発，店頭での生産，マーケティング・販売と一連の体制がそろっている。これらを武器に益々，強く，愛される商品を育てて戴くことを希望する。

参考資料

- 1) お菓子のポルシェのホームページ
- 2) ウィキペディア

伝える心・伝えられたもの

— 天日に干す 天草 —

宮尾 茂雄

(東京家政大学)

私が東京都立食品技術センターに勤務していた頃、「島おこし」として伊豆諸島の食材を使った食品開発に携わったことがあった。そのひとつが神津島や新島産天草だった。伊豆諸島は良質な天草の産地で、乾燥した天草を寒天や菓子などの原料用に出荷していた。神津島のSさんと一緒に、島内の小さな加工場で「神津島産天草ゼリー」や「ところ天」を製造し、商品化した。その後、私は大学に移ったが、2013年の春と夏に西伊豆を訪れる機会があり、海辺や道路沿いに干してある天草を目にした時、ふとそのことが思い出された(写真1)。



写真1 水揚げした天草の天日干し

天草の利用方法

奈良時代に制定された日本最初の法令、大宝律令(大宝元(701)年)には租税の種類や納め方などが定められている。租税の一つ「凝海藻(古留毛波(こるもは))」は、煮れば溶け、放置しておくで凝固する海藻類のことで、天草を指すものといわれている¹⁾。天草は昔から貴重な食材として平城京の市でも扱われ¹⁾、大凝菜(おおこるもは)、布乃利(ふのり)、小凝菜(いぎす)、などはところ天の材料や吸いものとした。天草は大凝菜、心太草(ところてんぐさ)、石花菜(せっかいさい)などとも呼ばれていた。1600年代半ばのある冬の夜、「ところ天」を屋外に放置しておいたところ凍りつき、今の「寒天」の原型ができたと伝えられている^{1,3)}。

平成24年の天草生産量は481トンで、そのうち静岡産115トン、愛媛産86トン、次いで東京産63トンとある(株森田商店ホームページ)。一方、総輸入量は1890トンでモロッコ、韓国産が大半を占める。伊豆半島の天草は65%が寒天製造用、残りはところ天や羊羹の原料に利用されている¹⁾。

「和漢三才図会」には寒天の用途として「濃汁を紙に塗り、晒し干すと礬膠(砂)紙(どうさし)(膠液の中に明礬を少量加えたものを紙や絹の表面に引いて乾かしたもの。明礬はにじみ止め、膠は平滑にして墨の発色をよくする)のようで、ながく損傷しない。それでこれを団扇に張る⁴⁾」とある。この性質を利用し、太平洋戦争中は風船爆弾(直径およそ10mの和紙、コンニャク糊、寒天などで作った気球爆弾)の製造に接着補強剤として寒天が用いられた。「当時、陸軍が買い漁ってくれたので茅野の寒天倉庫は空っぽになった⁵⁾」そうだ。それを裏付けるように、伊豆では戦時中の一時期、天草漁が非常に盛んだったと石廊崎に近い大瀬のお年寄りから聞いたことがあった。

天草の種類

天草という種類の海藻はない。寒天原藻は世界で 30 種以上³⁾、日本近海にはテングサ目テングサ科 6 属 28 種¹⁾ が生育している。伊豆半島沿岸で採取されるのは、マクサ（全生産額の 60%、外海の 1～20m の深さの岩上に生育、体色は黄色から濃紅色、多年生³⁾）、オオブサ、オニクサ、オバクサ、ユイキリ（トリアシ）、ヒラクサなどであり、採り初めはマクサが多く、漁期が進むとヒラクサ、オニクサが多くなる¹⁾。静岡県 대표적인天草産地、伊豆市八木沢では女草、男草、鬼草、シダ草などと呼ばれ（地方名）、女草は品質が最も良いといわれている⁶⁾。

天草を採る

天草の採取は 4 月から 9 月半ば頃までと聞いていたが、実際には 8 月お盆過ぎには八木沢、小下田など西伊豆の多くの浜で天草漁は終了し、アワビ、サザエ、トコブシなどの貝類の採取で忙しくなるそうだ。天草の生長が最も早いのは 6 月頃といわれている¹⁾。

天草の漁場は波打ち際から約 1km の沖合までの間で、最初は浅いところから採り始め、段々と沖合の深いところまで採取場所を広げる。採取法は大きく分けて、①直接採取する方法（採り草）、②舟上からマンガ（マグワ）でひっかけて海底の天草をかきとる方法（マンガ引き⁷⁾）、③漂流する草を採取する方法（寄り草）などがある。

昭和 40 年頃が伊豆の天草漁の最盛期で、多くの海女さんが活躍していた¹⁾。手で直接採取する腰海女（磯に潜らず腰までつかって草を採る）、泳いで潜る樽海女（岸から樽などの浮材をもって泳いでいき潜水する⁶⁾）。ギリ海女（海底の草を採るため錘をもって潜水する。引き上げる時に滑車がギリギリ音を立てることからギリ海女と呼ばれた⁷⁾）、ヘルメット式（カブト）や簡易式潜水器（面潜）など潜水具をつけた漁法もあった。当時天草漁に従事していた海女さんはおよそ 3200 人、そのうち 800 人余りが樽海女だった¹⁾。現在、海女さんが潜って採ることはほとんどない。

天草の乾燥はどのように行われているのだろうか。天草漁の盛んな伊豆漁業協同組合土肥支所を訪ねたところ、丁度これから天草の梱包作業を行うという鈴木忠幸さんにお会いした。八木沢出張所まで車で連れて行っていただき出張所にある天草倉庫・梱包施設で、作業を見学させていただきながら、天草のお話を伺った（写真 2）。

鈴木さんのお話

現在、八木沢地区は日本一の天草の生産地といわれている。乾燥した天草は年に数十回行われる入札で値段が決まる。入札前には集荷された天草が天井まで山積みになり、業者は各倉庫を廻って商品の下見をしていくそうだ。

海から採ってきた天草には雑草が混ざっているのをそれを除去し、重ならないように並べ、表面が乾いたら裏返す⁸⁾。夕方には袋詰めして持ち帰る（写真 3）。乾燥した天草（干し草）に付いている砂や小石、貝の殻などは手で取り除く。

乾燥した天草は木の樽に詰めて圧縮し、梱包した。圧縮



写真 2 鈴木忠幸さん（右側、八木沢出張所倉庫・梱包施設にて）



写真3 乾燥した天草を夕方、取り込む（仁科）

する様子（写真4）を昔は「タルダンス」などと呼んでいた。今は生産者個人ではなかなかできないので、漁協で一括して梱包している。圧縮梱包機（㈱スターボウ天草圧縮梱包機）（写真5）を使っておよそ25kgの俵型に梱包する。

採取から乾燥、選別などは昔とあまり変わらない手作業で行われているが、梱包作業は機械化され、効率化が図られている。事前に計量した天草を加減をしながら梱包機に詰め込み（写真6）、圧縮してからビニールで覆って紐で留める（写真7）。蒸し暑い中で、汗まみれの作業だ。

天草をそのまま乾燥したものを赤（汐赤、赤草）、真水で洗い乾燥したものを赤ぬき（汐抜き、ぬき、ぬけ）という。赤草を何度も水につけて天日に晒したものを晒草（さらしぐさ）という。天草の晒しは、寒天の白さに関係するようで、



写真5 天草圧縮梱包機



写真6 梱包機に天草を詰め込む



写真4 樽を使い天草を圧縮（八木沢）



写真7 梱包作業、俵型にまとめる

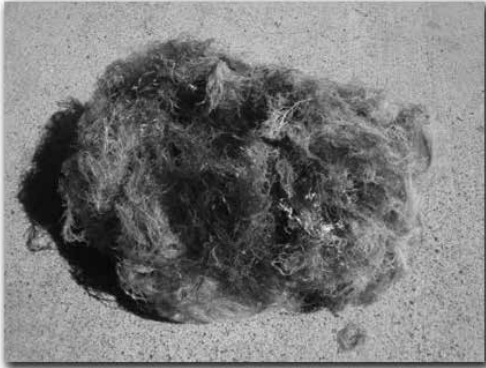


写真8 天草「赤とら」



写真9 天草を水で洗う



写真10 天日に干す

「赤」を購入した寒天生産者は、秋口に河原で水洗いし、天日干しをしてから寒天の製造に使っていた。繰り返し晒すことで、最初は赤紫色だった天草が淡い黄色に変わっていくが、晒す時期によっては青くなることもある。晒しの具合で赤、赤とら（写真8）、とら、青とらなどに分類する。赤2、黄色8位の割合のものを「とら」という。

天草の色自体は味覚にはあまり関係はないそうだ。むしろ産地、クサの種類、時期、天候、晒し方などで様々に仕上がる。晒しは5月から10月の天日が良く、冬は紫外線が弱いので向かない。また梅雨時も乾燥には不向きでやや青色に仕上がる。稲取、白浜など東伊豆と西伊豆でも物が違う。それぞれに特徴があり、一概にどれが良いとは言えない。天草には20以上の等級がある。ところ天や寒天を製造する業者は産地や種類の異なる原藻を組み合わせで好みのものを仕上げていくそうだ³⁾。わが家の近所にあるところ天屋さんも伊豆産、長崎産等を混ぜて使っているが、ロットが変わると同じ産地でも弾力や粘りなどが変わるので、毎回出来上がったものを試食しているそうだ。

鈴木さんが漁協の近くで天草の水洗い（写真9）と天日干し（写真10）を行っている方に声をかけて下さったので作業を見せていただいた。「晒すと色が抜けるように変わるので、やってごらん下さい。」と「あか」の天草をいただいた。

漁師さんのお話

天草倉庫から海に沿って少し西に進むと丸い小石が並ぶ入り江がある。空は快晴、穏やかな波が寄せていた（写真11）。先程の男性の話では、風の強い日の明け方にはこの浜に天草が打ち上げられることが多い。そんな時は何をおいても天草採りに行くそうだ。浜では炎天下、天日干しが行われていた（写真12）、漁師さんの作業小屋では年配の女性が白い大きな袋から乾燥した天草を取り出し（写真13）、貝殻や石灰質の塊を指やハサミを使って取り除き（写真14）、細くやわらかい女草と太くてゴワゴワした男草に分けていた（写真15）。

そばに腰かけていた年配の漁師さんとお話しているうちに、ちょうどその頃、北海道に水揚げ



写真 11 八木沢海岸



写真 12 天日干し（八木沢海岸）



写真 13 干し草が詰まった布袋に囲まれて、貝殻や小石などを取り除く



写真 14 指でむしる、ハサミで切り取る

されたマグロの話になった。「いつも扱っている魚でないと、どう扱ったら良いか漁師でも分からない。マグロを入れられるような大きな発泡箱があるけれど、日頃扱ったことのない港にはあんなものはない。マグロが揚がったと大騒ぎしてもけっきょく扱いが悪ければ魚も傷んでしまう。」

漁師だからといって、どんな魚も上手に扱えるわけではないのだ。「八木沢は天草が良く採れる。昔はわかめも採れたが、今は全く駄目になった。今まで揚がらなかった魚が獲れるということは、海が変わってきたからだろう。ここ 10 年くらいか、そんな気がする。」という。海が変わるとはどんなことだろう。海に暮らす漁師さんの言葉が心に残った。

乾燥した天草は 2～3 年保管すると、質が少し変わり、早く煮えるようになるそうだ。この辺りでは天草は採れる時期に採って乾燥しておき、貝殻などを除く作業は手の空いた時に行う。1 日かけても干し草がいっぱい詰まった布袋 1 つ（約 20kg）を処理しきれないという根気のいる作業だ。

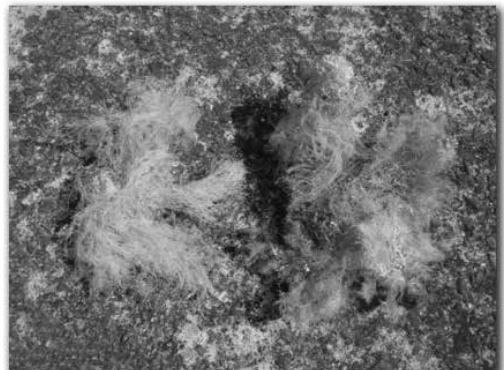


写真 15 女草（左）と男草（右）

文子さんのお話（小下田海岸にて）

国道 136 号線をさらに南下し、国道からそれで狭い急な脇道を 50m 近く下ったところにある小下田地区に立ち寄った。港近くの坂道で元海女さんの文子さんにお会いした。

ここでは 4 月から 8 月のお盆頃までが天草の採取時期にあたる。昔からお盆を過ぎると海水の温度が高くなり、天草がとけてしまう（質が悪くなる）ので採らない。お盆過ぎから 9 月まではトコブシやサザエなどの貝類を採り、10 月から 3 月はイセエビ漁（刺し網漁）が行われている。



写真 16 小下田港

今は海に潜るより波で寄せられた天草を集めることが多い（寄り草）。港が整備されるまでは、周囲に磯があり良い天草が育ち、たくさん採れたそう。防波堤や港を作ってからでは良い天草が少なくなった。波が寄せる大きな岩のまわりに天草が育つのもかもしれないという（写真 16）。

「今（8 月末）は乾燥しておいた天草から牡蠣殻などを取り除き、漁協に出荷する準備をしている。昔は業者が直接買い付けにきたが、今は一括して漁協に出している。貝殻などが付いていると厳しくチェックされるので、きれいにするのに手間がかかる。海女の仕事は志摩（三重県）からお嫁に来た海女さんから教えてもらった。大工等技術のある男の人は、ここから出て外で稼いでいた。残ったものや女の人が海の仕事をしていた。昔は天草だけで 1 年暮らせたが、今ではそれも出来なくなり、若い人は外に働きにでている。この辺りではカーネーションやフリージアを栽培していた時期もあったが、若い人がいなくなり、傾斜地なので労力のいる花の栽培はできなくなった。自分が食べる分の野菜を作り、一人で暮らしている。バスに乗るには国道まで上がらなければならないので、つい億劫になり、あまり町には出なくなった。

ここで生まれ、ずっとここにいる。今 82 歳になる。海を見るのが大好きで、朝夕こうして眺めている。いろいろ大変なこともあったけれど、よくやってこられたなと思う。」

文子さんのお話に引き込まれ、長居してしまった。そのことをお詫びすると、いろいろ話を聞いてもらって良かったと言って下さった。生まれ育った土地で海を見ながら暮らす文子さんのゆったりした時間をわけていただいたようで嬉しく思った。

小学校に「天草休み」があった頃

安良里の中央公民館図書室にある郷土史資料には天草漁が盛んだった頃の浜の暮らしが描かれていた。昔は天草漁の一番忙しい時期には、東京などに働きに出ていた親戚も帰ってきて舟をだした。子供達も始業前に黒板に名前を書いておけば「天草休み」と云って欠席扱いにはならなかった。3～5 日学校を休み、夢中になって働いた。当時は家の畳を上げ、天井裏も干し草でいっぱいになった。女性が潜るので、娘が三人もいる家は、たいへん良い稼ぎになったそう⁹⁾。昭和 20 年代から 30 年代までは天草の収入で 1 年間暮らしていけるほどだったが、今は天草だけの収入ではとても暮らしていけない^{6,8,9)}。

干し草を業者に売るだけではもったいないと昭和 29 年に伊豆賀茂地区に漁業協同組合連合会白田寒天工場が設立された。天然細寒天や角寒天は冬場、凍乾法により作られる。この化学寒天工場では温泉熱を利用し、圧搾脱水法により粉末寒天を年間を通して製造していた。昭和 29 年 12 月には「輸出水産業の振興に関する法律」が施行され、寒天はまぐろなどの缶詰とともに指定品目となり、主にアメリカに輸出された¹⁰⁾。化学寒天はゼリー強度が良く、不純物の混入もない「郷土の優れた産業」として当時有望視されたが、今、工場は残っていない。

ところ天を作る

鈴木さんにいただいた天草を水でザブザブ洗い、朝から天日に晒した。夕方には赤紫の色（写真 17）から淡黄色に変わってきた。まだ残暑が厳しく太陽の光にもあった。これを 2 日繰り返し、さらに色が抜けたところで（写真 18）、さっそくところ天を作った。天草を軽く水洗いし、一晚そのまま水につけておく。天草と水の割合を 1:40 にして鍋を火にかけ強火で沸騰させながら、ときどきかき回す（写真 19）。ふきこばれそうになると、火力をやや弱め、およそ 40 分ドロドロになるまで加熱した。ザルと布で濾して（写真 20）、バットに流し込む。

そのまま静置すると 1 時間ほどで固まった。ザルに残った天草残渣（写真 21）を再度加熱して濾液をバットに流し込んだ。とろみはあるが、固まる力が弱く半流動状態だった。寒天工場で多量に出る天草残渣には窒素、リン酸、カリが含まれ、肥料として使われている。寒天を細長く切って、



写真 17 晒し前の天草



写真 18 晒し後の天草



写真 19 天草を煮熟



写真 20 ザルと布で濾過



写真 21 煮出し後の天草残渣



写真 22 ところ天突き器で押し出す

天突きで小鉢に押し出すと (写真 22), 弾力のあるしっかりとした透明感のあるところ天ができた (写真 23)。昔からの私の好物だ。さっそく酢醬油で食べた。海の香りが口に広がった。この磯臭さがところ天の魅力だと思う。

八木沢地区のような波が比較的穏やかな所の天草に比べると伊豆諸島のある外洋産は、これが天草かと思うくらいゴワゴワしていると八木沢の漁師さんが話していた。ちょうどその頃知人から伊豆大島の天草をお土産にいただいた。

亀の子たわしまではいかないが、かなり堅い。できあがったところ天は西伊豆産も大島産も申し分なく、磯の香りを運んで来てくれた。まさに海と太陽の恵みだ。

早春から夏にかけて、伊豆半島は天草をはじめフノリ、ヒジキ、シワメ（コンブ科アントクメ、シワメは田子や仁科での呼び名）と海藻の季節だった。それを天日の力で干し上げる。海辺や道路沿いの空き地、家の庭先が天然の乾燥場になっていた。ビニールの小袋に包装された乾物を見慣れた私には眩しいような光景だった。



写真 23 ところ天

貴重なお時間を使い、八木沢地区の天草漁について教えていただき、また作業を見学させていただいた伊豆漁業協同組合土肥支所の鈴木忠幸様に感謝申し上げます。八木沢や小下田でお会いし、天草や海の暮らしのお話を聴かせて下さった皆様に感謝申し上げます。

参考資料

- 1) 伊豆の天草漁業: 伊豆の天草漁業編纂会編集, 成山堂書店 (平成 10 年)
- 2) 食の万葉集: 廣野卓, 中公新書 (1998)
- 3) 原色新海藻検索図鑑: 新崎盛敏、北隆館 (平成 14 年)
- 4) 和漢三才図会 17: 寺島良安著島田勇雄他訳注, 東洋文庫 527, 平凡社 (1991)
- 5) 寒天・トコロテンの科学 その奇妙な性質と効用: 松橋鐵次郎, 光琳 (2012)
- 6) 静岡県文化財調査報告書第 33 集 伊豆における漁撈習俗調査 I: 編集静岡県教育委員会文化課, 発行静岡県教育委員会 (昭和 61 年)
- 7) 西伊豆町の文化財: 西伊豆町教育委員会発行 (昭和 55 年)
- 8) 西伊豆町誌 資料第三集 民俗編下巻: 編集西伊豆町教育委員会, 西伊豆町誌編さん委員会, 発行西伊豆町 (平成 9 年)
- 9) 沢田の民俗一賀茂郡西伊豆町仁科一: 編集静岡県教育委員会文化課県史編さん室, 発行静岡県 (昭和 62 年)
- 10) 新南豆風土誌: 編纂責任者松枝輝雄, 発行責任者賀茂郡教育研究会代表鈴木萬治 (昭和 32 年)

※ 榊森田商店ホームページ: <http://www.tengusa.jp/infomation/tengusa.html>

※ 伊豆漁業協同組合土肥支所: 〒 410-3302 静岡県伊豆市土肥 212-2 電話 0558-98-0073

※ 西伊豆町中央公民館図書室: 〒 410-3502 静岡県賀茂郡西伊豆町安良里 97-2 電話 0558-56-0211

西伊豆町中央公民館図書室 (安良里) にある郷土史を参考にしたが、天草漁や天草類の呼び名、道具類や乾燥方法などは八木沢、下流、仁科、沢田など浜によって多少異なる。今回は参考資料 1「伊豆の天草漁業」を中心にまとめたことを申し添える。

月刊 ニューフードインダストリー

NEW FOOD INDUSTRY

定期購読の
ご案内

月刊「ニューフードインダストリー」は創刊56年の食品業界誌です。

多くの食品メーカー、技術開発部門、研究機関、全国の大学・大学院などの教育機関、図書館などでご愛読いただいております。食の安全・健康・美に関する情報発信、新しい食品のご案内など広く情報を発信しております。

1年間の定期購読は、一括前払いで、定価の10%割引でご提供させていただいております。

本体2000円+税(送料100円)×12ヶ月

お申し込み・お問い合わせは下記 FAX かお電話で

電話：03-3254-9191 担当：村松

FAX：03-3256-9559

ニューフードインダストリー年間購読申込用紙

住所 〒

氏名

会社名・所属

電話

FAX

E-mail

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

ニューフードインダストリー 第56巻 第7号

印刷 平成 26 年 6 月 25 日

発行 平成 26 年 7 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