第 56 巻　第 8 号（8月号）　平 成 26 年 8 月 1 日 発 行（ 毎 月 1 回 1 日 発 行）
昭和34年5 月27日　第三種郵便物認可　昭和38年12月24日　国鉄東局特別扱承認雑誌第1721号
ISSN 0547-0277

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

http://www.newfoodindustry.com
2014　Vol.56　No.8
8

論　説

■ 寒天の機能性と食品への応用

■ 機能性オリゴ糖DFAIIIとその合成酵素

■ 「水出し緑茶」による生体防御の活性化　－緑茶を常飲して感染症を予防する! －

■ トマトの花および果実の脱離メカニズム

■ 発酵食品データベースの構築
—日本伝統発酵食品の技術を継承し発展の基礎を作る—

■ 肥満大国アメリカの様相と矛盾

連　載

■ マダイの体色改善－3

■ ベジタリアン栄養学　歴史の潮流と科学的評価

■ 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（後編）

新シリーズ隔月掲載

■ 組織の活性化と人材育成～　自主性とコミュニケーションの大切さ

■ クロレラ健康栄養研究会　第4回　誌上シンポジウム
「食」の期待される効能効果の可能性と将来性について

NFI

New Food Industry
食品加工および資材の新知識
2014 Vol.56 No.8

目 次

論 説

□ 寒天の機能性と食品への応用
…… 三澤 卓也 1

□ 機能性オリゴ糖 DFAIII とその合成酵素
…… 原口 和朋 9

□「水出し緑茶」による生体防御の活性化
–緑茶を常飲して感染症を予防する!–
…… 物部 真奈美 15

□ トマトの花および果実の脱離メカニズム
…… 伊藤 康博, 中野 年継 25

□ 発酵食品データベースの構築
―日本伝統発酵食品の技術を継承し発展の基礎を作る―
…… 曲山 幸生 33

□ 肥満大国アメリカの様相と矛盾
…… 藤田 哲 41

《新製品紹介》

■ 水溶性の高濃度ヘム鉄素材「ヘムロン２ＨｉＷＳ」新発売（ＩＬＳ株式会社）
…… 前付け 8

《会告》

■ 第 41 回食品の物性に関するシンポジウム
…… 前付け 6

Contents

2014 年　8　月号

連　載

□ マダイの体色改善－３
…… 酒本　秀一　53

□ ベジタリアン栄養学　歴史の潮流と科学的評価９章
（第3節　ライフサイクルと特定の集団から見た，ベジタリアン食の適正度）
…… ジョアン・サバテ，訳：山路 明俊　66

□ ウィ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（後編）
…… 古賀 邦正　83

新シリーズ隔月連載

□ 組織の活性化と人材育成～ 自主性とコミュニケーションの大切さ
…… 坂上　宏　93

□ クロレラ健康栄養研究会　第４回　誌上シンポジウム
「食」の期待される効能効果の可能性と将来性について
…… 対談者：清水　誠，合田　敏尚，コーディネーター：島崎　秀雄　99

寒天の機能性と食品への応用

三澤 卓也（*MISAWA Takuya*）*

* 伊那食品工業株式会社 開発本部

Key Words：寒天・食感改善・食物繊維・低カロリー食品・機能性食品・アガロオリゴ糖・抗酸化・抗炎症・商品開発・フィルム状食品・「ウルトラ寒天イーナ」・「トンボのはね」

はじめに

寒天は江戸時代初期（1640 年頃）山城国（京都府）伏見で，冬期に心太（トコロテン）が凍結して乾物化したことにより偶然に発見された。黄檗宗の開祖である隠元禅師がこれを食し「仏家の食用として清浄これにまさるものなし」と賞賛して「寒天」と命名したといわれている。

その後寒天による練り羊羹の技法が見出され，和菓子原料として発展してきた。江戸後期には信州で角寒天という形態での寒天製造が始まった。角寒天は広く市販され，一般家庭でも寒天寄せやみつ豆などの料理素材として利用されるようになった。

寒天はまた「おなかの砂おろし」として便秘の子供に与えられていたように，食物繊維の生理機能を食経験の中からうまく利用されてきた素材でもある。大正年間には寒天が緩下作用の効果により日本薬局方に収載された。現在では寒天の食物繊維での便通改善により健康増進に役立つことが科学的に証明され，特定保健用食品として許可されている。また 100 倍以上の水を抱いてゼリーとして保形し，大腸でもほとんど資化されないノンカロリーのダイエット食品としての一面もある。さらに高齢者社会を迎え，咀嚼・嚥下困難な方のためのゼリー状食品の基材として，あるいは内視鏡的胃ろう造設（PEG）を行った胃ろう患者が摂取する成分栄養剤を固める基材としても利用されている。

本稿では，寒天の基礎的な情報から最近の特徴的な寒天についてその物性を知っていただき，新たな商品開発にご利用いただけるよう，特長・機能・応用を紹介していきたい。

1. 寒天の基礎物性

寒天の原料は，テングサ属（*Gelidium*），オバクサ属（*Pterocladia*），オゴノリ属（*Gracilaria*）などの海藻である。日本近海，東南アジア，地中海，南米など世界各地の海藻が利用され，海藻の種類，原産地などの違いが，得られる寒天の物性にも大きな影響を及ぼす。寒天の主成分は，1,3 位で結合した β-D- ガラクトースと，1,4 位で結合した 3,6- アンヒドロ - ガラクトースを繰返し単位とする中性多糖のアガロースと，アガロースと同様の結合様式をもち，部分的にスルホン酸基，メトキシル基，ピルビン酸基などを含むイオン性多糖類のアガロペクチンからなる（図 1）。分子内でアンヒドロ結合を有する寒天の分子構造は，他の多糖類のなかでも特異的である。

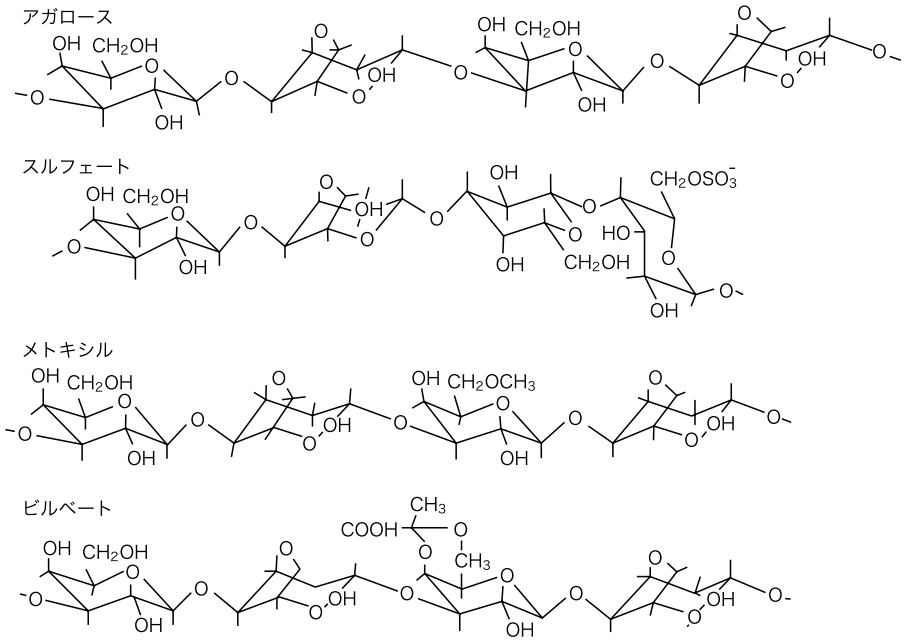


図 1　寒天の構造

寒天は沸騰水中で溶解して水溶液となり，これを冷却すると凝固してゲルを形成する。このゲルは，加熱により再溶解する熱可逆性の性質を有する。寒天のゲル化のメカニズムは，溶液中で寒天の分子は自由度の高いランダムコイルとして存在し，温度低下により分子の運動が水素結合により束縛されて二重らせん状になり，更にこれらが会合して三次元の網目構造をとると考えられている（図 2）。

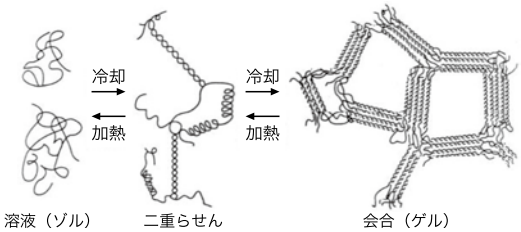


図 2　寒天ゲル化のメカニズム

寒天の凝固点は，商業的な品管方法ではゾルの流動性が失われる初めの温度とされており，熱力学的に見た転移温度に比べ若干の曖昧さを持つ。しかしながら，寒天溶液が部分的に固まり始めれば作業できないことを考えれば，実質的な数字と言える。

一方，寒天のゲルが加熱により溶液化する時の温度を融点としている。最近開発された寒天の中には，分子量が大きく，アガロース比率を高めたことによって 100℃に近い融点を持つものもある。寒天に特徴的なことは，一度ゲルになった状態から再度加熱によって溶解する為には，より高い温度まで上げる必要があることである。凝固点と融点の差をヒステリシスと呼ぶが，寒天はそのヒステリシスが 40 から 60℃と大きいことが特長である。

寒天ゲルの強度を表す手段として，日寒水式による方法が商業的に世界共通の方法として採用されている。この方法の基本的な考え方は，「寒天の 1.5% 溶液を調製し，20℃で 15 時間放置凝固せしめたゲルについて，その表面 1 cm^2 当たり 20 秒間耐えうる最大荷重をもってゼリー強度とする」というものである。この方法により測定された市販の粉寒天のゼリー強度は，400

から 900 g/cm^2 である。しかし当社では，非常にゲル化力の低い強度 10 g/cm^2 の低強度寒天から，ゲル化力の高い強度 2000 g/cm^2 の高強度寒天まで，幅広い強度の寒天を製造している。

2. 低ゼリー強度寒天

2-1．ウルトラ寒天イーナの特長

一般的に多糖類の分子量は，粘度やゼリー強度と密接な関係があり，寒天においても同様のことが言える。寒天の平均分子量とゼリー強度の関係を図 3 に示す。従来市販されている寒天の重量平均分子量は 20 から 40 万程であり，そのゼリー強度はおよそ 400 から 900 g/cm^2 である。

これらの寒天でよりやわらかいゼリーを作る場合，従来は寒天を低濃度で使用してきた。しかし，低濃度で寒天を使用すると離水が多く，水分保持という点では好ましいものではなかった。この課題を解決する為に作られたのが，従来の寒天を酸や酵素によって加水分解することでその重量平均分子量を 10 万以下に下げ，従来の寒天に比べ 1/2 から 1/10 程度というゲル化力の低い，低ゼリー強度寒天である。

この寒天は，ゲルの凝固力を求めてきた従来の用途には不向きかもしれないが，弱いゲルという特性を生かした用途や，増粘用途で新たに使用可能となった。当社ではこの低ゼリー強度寒天を「ウルトラ寒天」と名付け，ヨーグルト，ペースト，ゼリー飲料等にご使用いただき，糊状感の少ないクリーミーなテクスチャー，フレーバーリリース，ウルトラ寒天特有のボディ感などが評価されてきた。しかしウルトラ寒天はペースト化するために機械的なシェアを与える必要があり，またペースト状であるものの微細ゲルの集合であることから，クリーミーさに若干劣っていた。

そこで，当社は原料の選択と新技術の導入によって，従来のウルトラ寒天よりも更に低強度のウルトラ寒天，「ウルトラ寒天イーナ」を作り出した。

従来の「ウルトラ寒天」の平均分子量が 7 から 10 万程度であったのに対し，「ウルトラ寒天イーナ」の平均分子量は数万程度に調整されている。そのため，糊状感の少ないクリーミーなテクスチャーが可能となっている。

「ウルトラ寒天イーナ」は従来の「ウルトラ寒天」と比較して 1/3 から 1/20 のゲル化力しか持たないため，冷却時に非常に弱いゼリー状を呈し，用時に人の力で押し出すだけでペースト状にすることが可能である。このため使用する際にシェアをかけてペースト化する工程が必要ない。

「ウルトラ寒天」は，キサンタンガムや澱粉等を使用した時に起こりやすい曳糸性がなく，寒天の特長であるフレーバーリリースも良いため，ペースト状食品に利用されてきた。「ウルトラ寒天イーナ」のペーストは更にさらっとしたテクスチャーに仕上がり，素材そのものの風味を最大限に生かすことが可能である。同濃度の「ウルトラ寒天」と比較した場合，粘度が 1/10 程度し

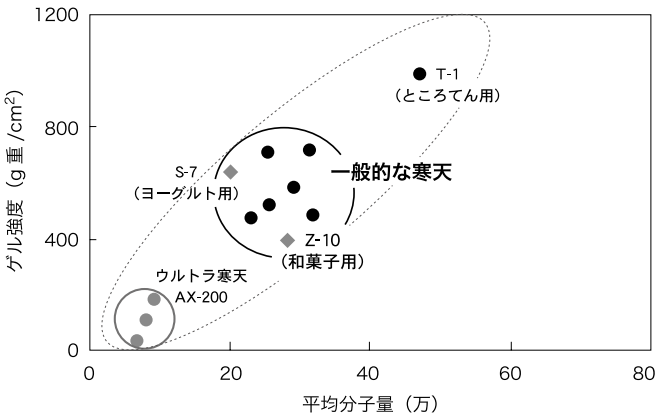


図 3　寒天のゲル強度と分子量の関係

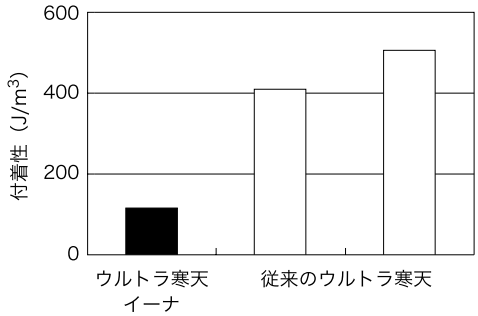


図 4 「ウルトラ寒天イーナ」の付着性

写真 1 「ウルトラ寒天イーナ」使用フルーツスプレッド

写真 2 「ウルトラ寒天イーナ」使用の飲料

かなく，伸展性に優れていることから，絞り出しも可能である。

「ウルトラ寒天イーナ」は図 4 に示したように，付着性が従来の「ウルトラ寒天」と比較し約 1/4 から 1/5 に抑えられている。このため糊状感が少なく，食品の増粘用途に幅広く利用可能であると考えている。

「ウルトラ寒天イーナ」は従来の「ウルトラ寒天」における用途以外にも様々な応用が可能である。以下,代表的な用途について紹介する。

2-2．ウルトラ寒天イーナの代表的用途

ペースト状のジャム，フルーツソース等ではスプレッド性に優れた製品ができる。「ウルトラ寒天イーナ」を使用した製剤は，果汁等を固めてペーストにすることで，果汁の色，味を活かしたフルーツソース，フルーツスプレッドを作製することができる（**写真 1**）。

飲料においても，従来の「ウルトラ寒天」同様，効果的にコク味を付与することができる。更に従来のものではある濃度以上使用すると，全体が弱いゲルになっていたが，「ウルトラ寒天イーナ」ではゲル化することなく，目的のコク味を付けることが可能である。特に甘酒，お汁粉，ココア等では，コク味の付与だけでなく，経時的な固形物の沈降防止に効果を発揮する（**写真 2**）。

カスタードクリームを作る際に「ウルトラ寒天イーナ」を使用すると，澱粉の老化防止効果により耐冷蔵・冷凍性が向上し，寒天の特長であるみずみずしく口溶けの良いクリームとなる。

たれ,ドレッシングに「ウルトラ寒天イーナ」を少量添加すると，具材の沈降防止，分散安定に高い効果が見られる。また使用濃度を上がることで液ダレしないタレ，ドレッシングが作製可能であり，サンドイッチやハンバーガー，生春巻きのソース等に使用した場合，味立ちが良く食べやすい商品を提供できる。

2-3．ウルトラ寒天イーナの新たな用途

近年，食生活における脂質の過剰摂取が問題視されている。なぜなら，脂質の過剰摂取による肥満により，循環器障害，高血圧，および脂質異常などの生活習慣病を誘発するからであ

る。肥満防止の有効な手段は，脂質の摂取を少なくし，摂取カロリーを低くすることである。しかし，食事から脂質を減らしてしまうと脂質独特の旨味が薄れ，食事が味気ないものになってしまう。それを解決するため，脂質の代わりに脂質代替物が利用されている。脂質代替物として，ペクチンや澱粉を用いることが知られているが，食感の物足りなさや糊状感が残るといった課題がある。また，イヌリンを用いることも知られているが，イヌリンは高濃度で使用する必要があり，食感的にも糊状感が強くざらつきを感じるといった課題がある。そこで，当社ではイヌリンに「ウルトラ寒天イーナ」を組み合わせることにより相乗効果を生み出し，脂質らしい食感および旨味を有して糊状感が無い脂質代替物（弊社特許）を作り出すことができた。「ウルトラ寒天イーナ」特有のボディ感，糊状感の少ないクリーミーなテクスチャーによって，イヌリンだけでは高濃度使用しなければならない点や，糊状感やざらつきを感じる点が解消できる。「ウルトラ寒天イーナ」とイヌリンの相乗効果を利用して，脂肪代替物および低カロリー食品への応用が期待される。

3. 寒天の健康機能

3-1．寒天の食物繊維

寒天の成分であるアガロースおよびアガロペクチンはヒトの消化酵素による消化を受けないため，食物繊維としての効果を有する。一口に食物繊維と言っても大きく二種類に分けることができる。一つは水に溶解する「水溶性食物繊維」であり，水分を抱え込み液状となり，食後の血糖値の急激な上昇を防いだり，コレステロールの吸収を抑えたりする。一方，水に溶解しにくい「不溶性食物繊維」は水を含んで膨らんだ状態のまま，腸内の有害物質を抱え込んで体外へ排出し，また腸管を刺激して蠕動運動を促進する。

寒天は熱水に溶けて冷却することによりゲル化するが，このゲルはヒトの体温では溶解しない。このため 100 倍程度の水を含んだゲル状態で，不溶性食物繊維として機能していると考えられる。一般にセルロースやヘミセルロースなどの不溶性食物繊維は水や熱水に不溶であるため，寒天のように溶解してゲルを形成することはできず，多量の水を抱え込むことができない。寒天は熱水に溶解するという水溶性食物繊維の性質を有しながら，形成したゲルは体内では溶解しない不溶性食物繊維の性質を有するユニークな食物繊維といえる。また寒天ゲルは体温程度の範囲では，室温の状態と比べてゲル強度の変化が少ない。このため体内でも保型性のあるゲルを維持して，効果的に働いていると考えられる。

3-2．便秘改善効果

寒天は大正 9 年の第四改正日本薬局方から緩下剤として収載され，古くから便通に対する改善効果は高いとされてきた。また，寒天を使用した特定保健用食品も開発され，おなかの調子を整え，便性を改善する効果が認められている。

寒天の便性改善効果について，実際にヒト試験を行った結果を以下に示す。便秘を自覚する 29 名に寒天ゼリー（寒天量として 2 g または 4 g）を 2 週間摂取させたところ，排便回数および便量の有意な増加がみられ，排便がスムーズになり，腹部状況が良くなることが確認されている[1)]。また，寒天 1 g を含むゼリーを摂取させた試験も行われており，用量依存的に排便日数および排便量の増加，便性の改善が認められている[2,3)]。麺状にした寒天についても試験が行われ，お湯で吸水膨潤させた寒天麺状態で摂取させたところ，便通改善の効果が確認され，便性も改善している[4)]。ゼリー状の寒天ではあるが，その硬さを下げてゼリードリンク状にした形態におい

ても，排便日数，排便回数，排便量の増加，便性の改善が確認され，排便時の爽快感も認められている[5]。以上のように，ヒトでの摂取試験において寒天の有用性は示されている。

食物繊維として寒天に特徴的な点は，他の食物繊維が寒天と同等の効果を得るためには4から6 gと多くの量を必要とするのに対し[6-8]，上記の試験でも明らかなように，寒天の場合では少量で便通改善効果を示すことである。寒天が少量で効果的に機能する理由は先に述べたように，寒天がゲルとして「かさ」を保ったまま分解・吸収されること無く腸内を通過し，便量の増加と腸管の蠕動運動を促進するためであると考えられる。

3-3．寒天のメタボリックシンドローム対策としての利用

近年，メタボリックシンドロームへの対策として寒天ゼリーが注目されている。夕食前に一定の硬さを有する寒天ゼリーを食することにより，食物繊維の摂取，噛む効果による満腹感，ゼリーで胃を膨らませ夕食量を低減するという効果を同時に得ることができるというものである。栃久保らは肥満の耐糖異常者と肥満の2型糖尿病患者76名を対象に1日180 gの寒天ゼリー（食物繊維量4.5 g）を夕食の15分前に摂取させ，12週間継続後の状態を観察している[9]。これによると，寒天の摂取によりカロリーの吸収が抑制され，体重の減少が起こり，各種の代謝パラメーターが改善されることが示された。従来，糖尿病患者に対する寒天の効果についての報告は出されていなかったため，試験の意義は大きい。また近年，脂肪細胞から動脈硬化に関する様々なホルモンが分泌されていることが分かってきているが，この中でもインシュリン抵抗性を改善して血糖や血圧，脂質代謝を正常にするアディポネクチンが注目されている。栃久保らは寒天ゼリーを夕食前に12週間摂取させる同様な試験で，内臓脂肪の減少とアディポネクチンの有意な上昇を確認し，寒天がメタボリックシンドローム対策に有効であることを示している。

4. アガロオリゴ

4-1．アガロオリゴ糖の機能性

寒天を酸や酵素（α-アガラーゼ）で処理すると，ガラクトースとアンヒドロガラクトース間の結合が切断され，ガラクトースとアンヒドロガラクトースからなるアガロビオース，アガロビオースが2個繋がったアガロテトラオース，3個繋がったアガロヘキサオース等のアガロオリゴ糖が得られる（図5）。アガロビオースには，他の2糖類と比較して高い抗酸化能を有していることが報告されており，前述の寒天特有の分子構造に起因していることが推察される。アガロオリゴ糖に関しては，これまでにタカラバイオ株式会社により，抗関節炎作用，解毒作用，発ガン予防作用など，様々な生理機能の解明がなされている[10]。

4-2．アガロオリゴ糖の抗酸化作用

大気汚染物質として知られる一酸化窒素（NO）は，生体内において血管拡張による血圧降下や，血液系や免疫系の細胞増殖を調節するという重要な役割を担っている。しかしストレスや紫外線などの刺激により過剰なNOが生産されると，強力な活性酸素として細胞損傷や遺伝子障害などを引き起こし，各種慢性疾患やがんの原因になることが知られている。アガロオリゴ糖にはこのNOの過剰生産を抑える効果があることが確認されている。アガロオリゴ糖によるNO生産抑制効果は，NO合成酵素の遺伝子レベルでの抑制であることが分かり，活性酸素を消去または捕捉して安定化させるSOD，ポリフェノール，ビタミンCといった抗酸化

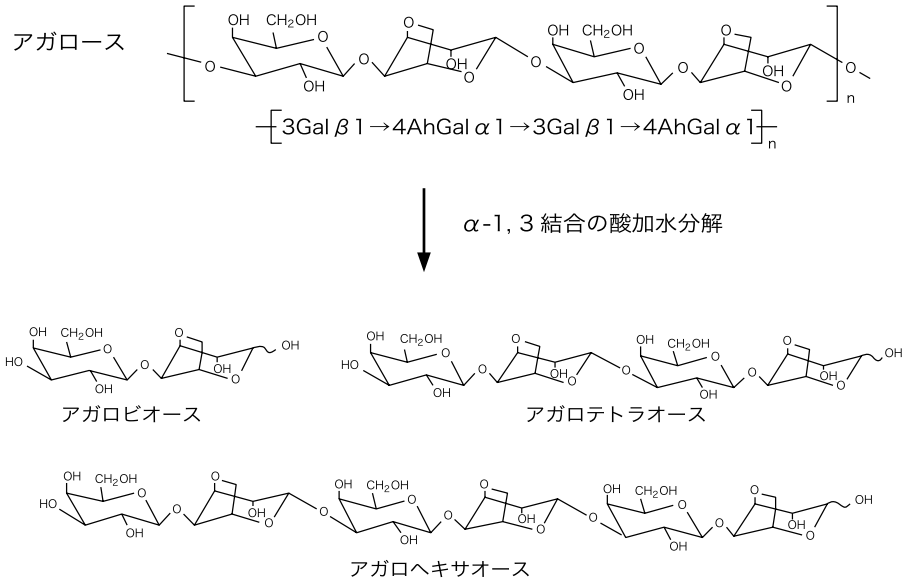


図 5　アガロオリゴ糖の構造

物質とは異なり，発生そのものを抑える作用があるとされている[10]。

4-3．アガロオリゴ糖の抗関節リウマチ・抗関節炎効果

「リウマチ」（正式には「慢性関節リウマチ」）は，「中小関節を対称性におかす多発性関節炎を主症状とする原因不明の慢性炎症性疾患」（生化学辞典第 3 版）であり，インターロイキン -1，インターロイキン -6，腫瘍壊死因子などの炎症性サイトカインの発現や，局所ホルモンの一種プロスタグランジン E_2 の過剰産生などが関与していると考えられる。炎症性サイトカインおよびプロスタグランジン E_2 は，リポ多糖の刺激によりマクロファージから放出されるが，マウス腹腔マクロファージの培養液にアガロオリゴ糖を共存させることで，リポ多糖添加後のそれらの誘導が抑制されることが確認されている。アガロオリゴ糖には各種炎症メディエーターの産生抑制効果が期待され，ある種のリウマチに対し効果を持つことが示唆されている[10]。

5. エコフィルム『トンボのはね』

当社では，環境への配慮と寒天の新しい形態の探索の中から，お湯を注ぐと溶けて食べられ，ゴミにならない環境に優しいフィルムの開発に成功した（**写真 3**）。フィルムの薄くて軽やかな様子から「トンボのはね」と名付けた。「トンボのはね」の物性を以下に示す。

写真 3　「トンボのはね」

「トンボのはね」は食品と食品添加物のみで作られており，食べることのできるフィルムである。フィルムは水溶性であり，お湯に対しては瞬時に溶解する。またヒートシールができ，製袋加工が可能であることから，調味料等の粉末や顆粒品を個包装するなど応用範囲が広がる（**写真 4**）。更に，印刷適性にも優れており，可食性インキを使用すれば食品などへの絵付けや個包装した製品への品質保持期限の記載など様々な用途で使用することが可能となる。

「トンボのはね」は，一般的なプラスティックフィルムや生分解性フィルムの代表的な存在であるポリ乳酸フィルムに比べて極めて酸素透過度が低く，ガスバリア性に非常に優れている。蒸着等の処理を行わなくても，内包物の酸化劣化を防ぐことが可能となる。

「トンボのはね」は冷凍解凍後もフィルムの物性がほとんど変化しない。冷凍解凍後に引張破断伸度がやや低下するものの，引張破断強度は変化しない。-30℃の条件でも「トンボのはね」は柔軟性を維持しており，製袋した場合でも破損して内包物がこぼれるということはない。

写真 4 「トンボのはね」を使用した当社“寒天スープ”

おわりに

寒天は 350 年以上の長い食経験を持つ伝統的な食品であり，多くの優れた特長や生理機能を持つ食品素材である。アメリカの GRAS リストへの収載や，FAO/WHO 食品規格部会食品添加物専門家委員会でも ADI（1 日許容摂取量）について A1 グループの属し，条件は「制限なし =not limited」とされている安全性も非常に高い食品である。様々な特長や生理機能をもった寒天を，今後の商品開発にお役立ていただけるようお願いしたいと思う。

参考文献

1）臨床と研究，**75**: 98-102, 1998.
2）原 博文，滝 ちづる，今 留美子，埋橋 祐二，笹谷 美穂子，佐々木 一晃：日本食物繊維学会誌，**4**(1): 17-27, 2000.
3）明尾 一美，宮下 博紀，滝 ちづる，小島 正明，江田 節子：健康・栄養食品研究，**4**: 27-36, 2001.
4）原 博文，滝 ちづる，今 留美子，埋橋 祐二，笹谷 美穂子，佐々木 一晃：栄養学雑誌，**58**: 239-248, 2000.
5）宮下 博紀，明尾 一美，沖村 由香，笹谷 美穂子，内山 美穂，清水 千晶，佐々木 一晃：健康・栄養食品研究，**9**(2): 1-8, 2006.
6）奥 恒行，中村 禎子，岡村 光子：栄養学雑誌，**56**: 89-99, 1993.
7）里内 美津子，若林 茂，大隈 一裕，藤原 哲子，松岡 瑛：栄養学雑誌，**51**: 31-37, 1993.
8）中川 靖枝，森 貴芳，佐藤 学，辻 啓介：健康・栄養食品研究，**2**: 35-42, 1999.
9）O.Tochikubo, H.Maeda, R.Yamamoto, K.Hirao: Effect of agar (kanten) diet on obese patients with impaired glucose tolerance and type 2 diabetes. *Diabetes Obesity and Metabolism* **7:**40-46, 2005.
10）加藤 郁之進，榎 龍嗣，佐川 裕章：食品と開発，**36**(9): 65-68, 2001.

機能性オリゴ糖 DFAIII とその合成酵素

原口 和朋（*HARAGUCHI Kazutomo*）*

* 独立行政法人農研機構 食品総合研究所

Key Words：イヌリン・オリゴ糖 DFA III・酵素・機能性食品・ミネラル・研究開発・商品化

はじめに

北海道では，甜菜（Sugar Beet）から砂糖が年間 60 万トンほど生産されている。甜菜から生産される砂糖の市場規模は 1000 億円オーダーの大きなものとなっている。このため，甜菜糖の製造は地域経済を支える重要な産業となっている。しかし，日本国内での砂糖の消費が低迷するなかで，甜菜の転作作物の導入を検討する必要が生じている。甜菜の転作作物の導入は欧州諸国でも検討されており，ドイツやベルギーではチコリ（chicory）が甜菜の転作作物として広く栽培されている。チコリは軟白チコリを作って，サラダなどの材料に使用する野菜として知られている。チコリには野菜以外の利用法も存在する。チコリの根の部分には貯蔵多糖類の一種であるイヌリンが含まれている。イヌリンはグルコース 1 分子にフルクトース 10 ～ 30 分子程度が直鎖状に結合した化学構造となっている。欧州ではチコリから抽出，精製したイヌリンが新しい食品素材として製品化され，市場で販売されている。イヌリンは低カロリーの食品素材として，チョコレートの原料など，様々な食品の原料として利用されている。欧州で生産されたイヌリンはユニークな食品素材として日本にも輸出されている。

日本では，イヌリンを食品素材として直接利用するだけでなく，微生物酵素を作用させて，新しい機能性オリゴ糖を生産することが古くから検討されてきた。イヌリンからすぐれた機能性を持ったオリゴ糖を製造することができれば，新しい食品素材として工業的実用化が可能となる。このように，全く新しい機能性の食品素材を開発することを目的として，イヌリンから有用なオリゴ糖を生成する微生物酵素に関する研究が開始されたわけである。イヌリンに特定の微生物が生産する酵素を作用させることにより，今回の論説の対象となるオリゴ糖 DFA III（ディーエフエー・スリー）が生産される。カルシウムや鉄などのミネラルはそのミネラルを含む製剤を摂取しても，吸収率が低く十分に摂取できないことが多いのが難点である。このため，カルシウムや鉄の不足によって起こる骨粗鬆症や鉄欠乏性貧血には有効な対策が乏しいのが実情となっている。DFA III はカルシウムや鉄などのミネラルの腸からの吸収を促進する機能を有している。このため，骨粗鬆症や鉄欠乏性貧血の予防・改善に対する効果が期待される。このような目的に応えるべく，2004 年からオリゴ糖 DFA III の工業的実用化が実現した。商品化されたのは DFA III とミネラルを配

合したサプリメントである。現在，日本全国の薬局やコンビニエンスストアで機能性オリゴ糖 DFA III を使用した製品が広く販売されている。このような，DFA III の工業的実用化につながる基礎研究，応用研究は，主として日本国内で行われてきた。本論説では DFA III オリゴ糖合成酵素に関する研究の歩みと機能性オリゴ糖 DFA III の実用化の動きについて解説を行いたい。

1. DFA III オリゴ糖合成酵素の発見

イヌリンからオリゴ糖 DFA III を生成する微生物酵素が存在することは，1973 年に大阪教育大の研究グループによって初めて発見された[1)]。この酵素は細菌の一種である，*Arthrobacter ureafaciens* によって作られる。*Arthrobacter* は典型的な土壌細菌の一種である。分類学的な性質について検討を行うと，グラム染色陽性の好気性細菌であり，胞子は作らない。菌株の培養の過程で，形態が桿菌から球菌に変化する多形性を有している。本菌株の作る酵素はイヌリンに作用して，フルクトース 2 分子が 2 カ所で結合したオリゴ糖 DFA III を主生産物として生成する。DFA III の化学構造を図 1 に示す。DFA III は砂糖の半分程度の上質な甘味を有するオリゴ糖で，研究が始められた当初は低カロリー甘味料の候補として取り扱われていた。DFA III オリゴ糖合成酵素の反応はイヌリンの鎖長が短くなると自動的に停止するのが特

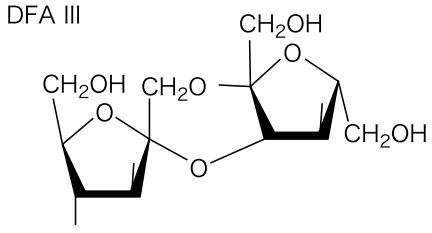


図 1　DFA III オリゴ糖の化学構造

徴である。*A. ureafaciens* の酵素の場合には主生成物の DFA III に加えて，切れのこりの副生成物として，シュークロース（GF）と 1- ケストース（GF2）が少量生成した。本酵素は酵素生産菌の培養上清中に生産される菌体外酵素である。大阪教育大の研究グループは本酵素を電気泳動的に均一に精製し，その酵素学的な特性を解明した。本酵素の反応至適 pH は 6.0，反応至適温度は 50℃であった。本酵素の耐熱性について検討すると 50℃，30 分間の加熱に対して安定であった。本酵素の分子量をゲル濾過によって推定すると分子量 80,000 という値が得られた。

2. DFA III オリゴ糖合成酵素に関する研究の歴史

Arthrobacter ureafaciens の酵素に関する報告の後，1980 年代になって，農研機構・食総研の研究グループ[2)] や大阪教育大の研究グループ[3)] によって，また 1990 年代になって北大のグループ[4)] によって *Arthrobacter* に属する別の菌株が生産する DFA III オリゴ糖合成酵素について報告が行われた。このように，DFA III オリゴ糖合成酵素は多くの場合 *Arthrobacter* 属の細菌によって作られる。これまでに，*Arthrobacter* に属する細菌が生産する DFA III オリゴ糖合成酵素について 10 報程度の論文が発表されている。

これら，*Arthrobacter* 由来の DFA III オリゴ糖合成酵素の中でも，もっとも耐熱性の高い酵素は *Arthrobacter* sp. L68-1 株によって生産される[5)]。本酵素は酵素生産株の培養上清中に生産される。この培養上清を粗酵素液として DEAE- トヨパール , Super Q トヨパールによるイオン交換クロマトを行うことによって電気泳動的に均一な精製酵素を得ることができた。精製の過程で比活性は 54.2 倍に上昇し，16.0%

の収率で精製酵素を得ることができた。本酵素の分子量について検討するとSDS電気泳動から43,000，ゲル濾過から73,000という値が得られ，本酵素は2量体であると推察された。本酵素の反応pHは5.5-6.0，反応至適温度は55℃であった。本酵素の耐熱性について検討すると80℃，60分まで安定という結果が得られた。他のDFA IIIオリゴ糖合成酵素の場合には75℃，30分まで安定というのが限界であることが多く，耐熱性の高さは本酵素の特徴となっている。イヌリンに本酵素を長時間反応させたときにできる反応生産物を分析した。主生産物としてDFA IIIが生産される（80％程度）ほか，切れのこりの副生成物としてGF3（ニストース）とGF4（フルクトシルニストース）が生産されることが示された。このことから本酵素の場合，フラクトオリゴ糖タイプの基質を用いた場合の最小の基質はGF5であると推定された。

Arthrobacter 以外の微生物もDFA IIIオリゴ糖合成酵素を作ることが報告されている。韓国の研究グループ[6]が*Bacillus*に属する微生物由来のDFA IIIオリゴ糖合成酵素を報告している（1998）。また，2006年には，農研機構･食総研[7]のグループが細菌*Leifsonia*由来の酵素について，2011年には北大のグループが放線菌由来の酵素[8]について報告している。

3. DFA IIIオリゴ糖合成酵素の遺伝子のクローン化

DFA IIIオリゴ糖合成酵素の遺伝子のクローン化と遺伝子の塩基配列の決定は1997年に北大の研究グループ[9]によって初めて報告された。このグループがクローン化したのは，*Arthrobacter* sp. H65-7株が作るDFA IIIオリゴ糖合成酵素である。遺伝子をクローン化するために，まず精製された酵素タンパク質の，N-末端および，リシルエンドペプチダーゼ断片のアミノ酸配列を決定した。この一次構造の情報に基づいて，ハイブリダイゼーション反応に用いるMixed probeを化学合成した。このプローブを用いてコロニーハイブリダイゼーションを行い，酵素生産菌のゲノミックライブラリを検索した。その結果Positiveな遺伝子のクローンが得られた。得られたクローンの塩基配列の解析を行うと1314塩基対からなるオープンリーディングフレームが存在することが明らかとなった。この酵素遺伝子には生産された酵素が菌体の中から外（培養上清）に出ることに関与する32アミノ酸残基からなるシグナルペプチドが存在した。遺伝子の解析の結果，親株（*Arthrobacter* sp. H65-7）で作られる成熟酵素は405アミノ酸残基からなると推定された。遺伝子の解析の結果から推定される成熟酵素の分子量は43,400であった。遺伝子の塩基配列から推定される一次構造（アミノ酸配列）はDFA Iオリゴ糖合成酵素[10]の推定アミノ酸配列と49.8%のホモロジー（相同性）が観察された。これに対して，酵母の一種*Kluyveromyces marxianus*が作るイヌリン分解酵素の遺伝子構造から推定されるアミノ酸配列とはホモロジーはみられなかった。本酵素遺伝子を大腸菌で発現させると，発現したDFA IIIオリゴ糖合成酵素の活性はほとんどが大腸菌の菌体内（セルフリー・イクストラクト）に存在した。

その後，農研機構・食総研[11]で2000年に*Arthrobacter globiformis* C11-1が作るDFA IIIオリゴ糖合成酵素遺伝子のクローン化が行われた。本酵素のクローニング場合にはまず精製酵素タンパク質のN-末端およびリシルエンドペプチダーゼ断片のアミノ酸配列がペプチドシークエンサーで決定された。このアミノ酸配列の情報に基づいて，PCR反応を行う際に必要なプライマーが化学合成された。このプライマーを用い，酵素生産菌株（*Arthrobacter globiformis* C11-1）から抽出したゲノムDNAを

鋳型としてPCR反応を行った。その結果，酵素遺伝子の一部が増幅した，約0.5 kbの大きさのPCR産物が得られた。このPCR産物をアガロース電気泳動で分画・精製したのち，そのDNA塩基配列を決定した。決定された塩基配列の情報の一部を用いて2種類のDNAプローブを化学的に合成した。酵素生産菌のゲノムDNAを制限酵素で消化したものに対して，このプローブをもちいてサザンハイブリダイゼーションを行った。酵素生産菌のゲノムDNAを制限酵素Pst Iで消化したときに生じる約2 kbの断片とハイブリダイズすることが示された。そこで，ゲノムDNAのPst I消化物をアガロース電気泳動で分離した。消化物の大きさが2 kb付近のアガロースゲルを切り出しDNAを回収した。この画分をクローニングベクターpUC119と連結した。得られたプラスミドで遺伝子工学用の大腸菌株*E. coli* JM109に形質転換をかけ酵素生産菌のゲノムDNAのライブラリを作成した。先に述べたハイブリ用プローブを用いてコロニーハイブリダイゼーションを行い，Positiveなクローンを得ることができた。このクローンの塩基配列を解析したところ，*Arthrobacter globiformis* C11-1のDFA IIIオリゴ糖合成酵素遺伝子には1353 bpからなるオープンリーディングフレームが存在することが示された。通常酵素をコードする遺伝子の，翻訳開始のコドンはATGであるが本遺伝子で

```
C11-1     1 MVTGKNLENANPSRRRLIGAGAAGTLAAAITFGTTQNANAADGQQGAPLNSPNTYDVTTW    60
H65-7     1 --------MMDPSRRRLLGAGAVATLTGALALGAAAPAQAADSTE-----ETNRYDVTSW    47
S14-3     1 -------------------------------------------------MANTVYDVTTW    11

C11-1    61 RIKAHPEVTAQSDIGAVINDIIADIKQRQTSPDARPGAATIIPPGDYDLHSQVVVDVSYL   120
H65-7    48 KIKGRPEVTAQIDIGAVINDIIADVKKRQTTADARPGAVITIPPGDYDLRTQVVVDVSYL   107
S14-3    12 ---SGATISPYVDIGAVINQIIADIKANQTSQAARPGAVIYIPPGHYDILTRVVVDVSFL    68

C11-1   121 TIAGFGHGFFSRSILDNSNPTGWQNLQPGASHIRVLTSPSAPQAFLVKRAGDP----RLS   176
H65-7   108 TIAGFGHGFFSRSIKDNVDTSGWLELQPGGSHIRVLTPSTAPQAFLVRRAGSP----RLS   163
S14-3    69 QIKGSGHGFLSEAIRDESSTGSWVETQPGASHIRVKNTDGNREAFLVSRSGDPNVVGRLN   128

C11-1   177 GIVFRDFCLDGVGFTPEKNSYHNGKTGIEVASDNDSFHITGMGFVYLEHALIVRGADALR   236
H65-7   164 GVVFRDFCLDGVEFPLDGNSYRNGRTGIEVASDNDSFHITGMGFVYLEHALIVRGADALR   223
S14-3   129 SIEFKGFCLDGVT-DSKPYSPGNSKIGISVQSDNDSFHVEGMGFVYLEHAIIVKGADAPN   187

C11-1   237  NDNMIAECGNCVELTGAGQATTVSGNHMGAGPDGVTLLAENHEGLLVTGNNLFPRGRSL   296
H65-7   224  HDNMIAECGNCVELTGAGQATIVSNNLMGAGPEGATLLAENHEGLLITGNNLFPRGRSL   283
S14-3   188 ITNNFIAECGSCIELTGASQVAKITNNFLISAWAGYSTYAENAEGPLITGNSLL-WAANI   246

C11-1   297 IEFSGCNRCSVTSNR-LQGFYPGMIRLLNGCKENLITANHIRRTNEGYPPFIGRGNGLDD   355
H65-7   284 VELTGCNRCSVTSNR-FQGFFPGIMRLINNCKENLITGNHFRRGMEGFPPFIGTSNGLDD   342
S14-3   247 -TLSDCNRVSISSNKLLSNF-PSMVALLGNCSENLIAANHFRR-VSG----DGTSTRFDD   299

C11-1   356 LYGVVHVAGDNNLISDNLFAYNVPPANIAPAGAQPTQILIAGGDANVVALNHVVSDVASQ   415
H65-7   343 LYGVVHIAGDNNFFANNLIAYDVSPDRIVPPNAQPTMILVAGGDSNVVATNHVVSNVETQ   402
S14-3   300 LFGLVHIEGNNNTVTGNMFSFNVPASSISPSGATPTIILVKSGDSNYLATNNIVSNVSAM   359

C11-1   416 HVVLDASTTHSKVLDSGTASQITSYSSDTAIRPTP                           450
H65-7   403 HVVLDASTVRSKVLDSGPASKVTSYSADTAIRPTP                           437
S14-3   360 -VVLDGSTTATRIIYSAKNSQLNAYTTSYTLVPTP                           393
```

図2　DFAオリゴ糖合成酵素のアミノ酸配列の比較

C11-1；*Arthrobacter globiformis* C11-1のDFA IIIオリゴ糖合成酵素のアミノ酸配列
H65-7；*Arthrobacter* sp. H65-7のDFA IIIオリゴ糖合成酵素のアミノ酸配列
S14-3；*Arthrobacter globiformis* S14-3のDFA Iオリゴ糖合成酵素のアミノ酸配列

はGTGであることが示された。本酵素の遺伝子には酵素タンパク質が菌体外に出ることに関与するシグナルペプチド（40アミノ酸残基）の構造が存在していた。塩基配列の解析の結果から，親株によって（*A. globiformis* C11-1）培養上清中に生産される成熟酵素は410アミノ酸残基からなると推定された。塩基配列の情報から推定される成熟酵素の分子量は43,400である。親株の培養上清から精製した酵素についてSDS電気泳動により推定した分子量は45,000であり両者の実験データーは矛盾しない結果となっている。本遺伝子のDNAの塩基配列から予想される酵素の一次構造（アミノ酸配列）は*Arthrobacter* sp. H65-7のDFA III合成酵素の一次構造と74%のホモロジーがあることが示された。*Arthrobacter globiformis* S14-3がつくるDFA Iオリゴ糖合成酵素の一次構造との比較では45.1%のホモロジーが観察された（図2）。*A. globiformis* C11-1のDFA IIIオリゴ糖合成酵素遺伝子の大腸菌の宿主・ベクター系での遺伝子発現について検討した。一般に外来遺伝子を大腸菌の宿主･ベクター系を用いて発現させると，大腸菌の菌体内にのみ組み替え酵素タンパク質が発現するのが普通である。本遺伝子の場合には大腸菌の中だけでなく菌体外（培養上清）にも活性のあるDFA IIIオリゴ糖が多量生産されていた。大腸菌による，DFA IIIオリゴ糖合成酵素の生産量の4割近くが培養上清に生産されていた。この点は他の遺伝子の大腸菌での発現ではほとんど見られない，本DFA III合成酵素遺伝子の特徴ということができる。

4. DFA IIIオリゴ糖の機能性の解明と工業化への動き

DFA IIIオリゴ糖を機能性オリゴ糖として工業化するための実用的研究・開発は1994年ごろから始まっている。実用化の研究には，これまでに報告された中でDFA IIIオリゴ糖合成酵素の生産性が最も高い，北大で分離された菌株（*Arthrobacter* sp. H65-7）が使用された。この酵素生産菌を用いて北海道の甜菜糖メーカーがDFA IIIを工業的に大量生産する方法の開発を行った。さらに神奈川県に本拠地を置く健康食品メーカーも加わりDFA IIIオリゴ糖の機能性の解明や市販される製品の開発が進められた。

このような実用化研究が行われた背景としては，日本人はカルシウムの摂取量が足りないということがある。カルシウムについてはここ30年あまり，日本人（成人女性）が摂取するべき量（600 mg/ 日）を摂取できていないという統計上の事実がある。このため，中高年の女性を中心に骨粗鬆症の心配のあるかたが1000万人のオーダーでおられるのが実情である。このような現状のなかで，1998年になって北大の研究グループ[12]がラットを使用した実験によってDFA IIIオリゴ糖の機能性について検討を行った。5週齢で体重が約100 g程度のラットをもちいて実験を行った。ラットを4つのグループに分け，対照（オリゴ糖なし），フラクトオリゴ糖，ラフィノース，DFA IIIを含有した飼料を食べさせて検討を行った。飼料中に含まれるカルシウムがラットの体内に吸収される効率がもっともよいのはDFA IIIを添加した場合であった。このように，カルシウムとオリゴ糖DFA IIIを組み合わせるとカルシウムの腸からの吸収が促進されるということが動物試験によって明らかにされた。ミネラルは小腸から大腸までの壁の部分に存在するタイトジャンクション（腸壁の細胞の継ぎ目の部分）から吸収されることが知られている。DFA IIIはミネラルと共存するとミネラルがタイトジャンクションを通過するのを促進する。さらにDFA IIIの一部が腸内細菌によって発酵分解される際に発生する酸がミネラルを溶解させ吸収を促進するわけである。

現在 DFA III の原料となるイヌリンはドイツで栽培したチコリから抽出したものが主に使用されている。これを原料にして北海道の甜菜糖メーカーが DFA III 合成酵素を用い，純度の高い DFA III の原末を生産している。この原末とカルシウム，鉄，亜鉛などのミネラルを組み合わせて健康食品メーカーがサプリメントの製品を製造している。このように，ドイツで栽培されたチコリのイヌリンから，日本の複数の食品メーカーの技術を生かしたかたちで，消費者のもとに届く製品が生産されているわけである。

おわりに

これまで述べてきたように，大阪教育大のグループによってイヌリンからオリゴ糖 DFA III を生産する微生物酵素が存在することが，初めて報告されたのは 1973 年である。これにたいして DFA III の実用化が実現し，日本全国の薬局，コンビニエンスストアなどで製品の販売が開始されたのは 2004 年である。学術的な研究成果である最初の研究論文の発表から，市販されるサプリメントの経済的実用化までには，実に 30 年以上の長い時間が必要であったわけである。この間には多くの研究者，技術者の地道な努力が積み重ねられてきたことは言うまでも無い。このように，新しい基礎的な研究成果が得られてから，それが実用化技術に成長するまでには，気の遠くなるような長い時間が必要である。市場での販売が可能な経済的成果をあげるには，研究を始めてから 15 年 -20 年といった，きわめて長い期間の粘り強い努力が必要だということを御理解いただければ幸いである。

参考文献

1）T. Uchiyama, S. Niwa, K. Tanaka,: Purification and properties of *Arthrobacter ureafaciens* inulase II, *Biochim. Biophys. Acta*, **315**, 412-420, 1973.

2）OK. Haraguchi, M. Kishimoto, K. Seki, K. Hayashi, S. Kobayashi, K. Kainuma,: Purification and properties of inulin fructotransferase (depolymerizing) from *Arthrobacter globiformis* C11-1, *Agric. Biol. Chem*., **52**, 291-292, 1988.

3）M. Kawamura, S. Takahashi, T. Uchiyama,: Purification and some properties of inulin fructotransferase (depolymerizing) from *Arthrobacter ilicis*, *Agric. Biol. Chem*., **52**, 3209-3210, 1988.

4）A. Yokota, K. Enomoto, F. Tomita,: Purification and properties of an inulin fructotransferase (depolymerizing) from *Arthrobacter* sp. H65-7, *J. Ferment*., *Bioeng*., **72**, 262-265, 1991.

5）K. Haraguchi, M. Yoshida, K. Ohtsubo,: Thermostable inulin fructotransferase (DFA III-producing) from *Arthrobacter* sp. L68-1, *Carbohydr. Polym*., **59**, 411-416, 2005.

6）S-I. Kang, W-P. Kim, Y-J Chang, S-I. Kim,: Purification and properties of inulin fructotransferase (DFA III-producing) from *Bacillus* sp. snu-7., *Biosci. Biotech. Biochem*., **62**, 628-631, 1998.

7）K. Haraguchi, M. Yoshida, K. Ohtsubo,: Inulin fructotransferase (DFA III-producing) from *Leifsonia* sp. T88-4, *Carbohydr. Polym*., **66**, 75-80, 2006.

8）S. Pudjidraharti, N. Takasue, T. Katayama, P. Lisdiyanti, M. Hanafi, M. Tanaka, T. Sone, K. Asano,: Actinomycete *Nonomurae* sp. isolated from Indonesian soil is a new producer of inulin fructotransferase , *J. Biosci. Bioeng*., **111**, 671-674, 2011.

9）H. Sakurai, A. Yokota, F. Tomita,: Molecular cloning of an inulin fructotransferase (depolymerizing) gene from *Arthrobacter* sp. H65-7 and its expression in *Escherihia coli*, *Biosci. Biotech. Biochem*, **61**, 87-92, 1997.

10）K. Haraguchi, K. Seki, M. Kishimoto, T. Nagata, T. Kasumi, K. Kainuma, K. Kobayashi,: Cloning and nucleotide sequence of the inulin fructotransferase (DFA I-producing) gene of *Arthrobacter globiformis* S14-3, *Biosci. Biotech. Biochem*., **59**, 1809-1812, 1995.

11）K. Haraguchi, S. Mori, K. Haraguchi,: Cloning of inulin fructotransferase (DFA III-producing) gene from *Arthrobactet globiformis* C11-1, *J. Biosci. Bioeng*., **89**, 590-595, 2000.

12）T. Suzuki, H. Hara, T. Kasai, F. Tomita,: Effects of difructose anhydride III on calcium absorption in small and large intestine of rats, *Biosci. Biotech. Biochem*., **62**, 837-841, 1998.

「水出し緑茶」による生体防御の活性化
―緑茶を常飲して感染症を予防する！―

物部 真奈美（*MONOBE Manami*）*

* 独立行政法人農研機構 野菜茶業研究所

Key Words：水出し緑茶・エピガロカテキン・免疫活性・感染症・予防・RNA

はじめに

これまでに報告されている緑茶の免疫調節作用は，緑茶の主要カテキンの1つであるエピガロカテキンガレート（EGCG）（図1）による抗炎症作用などの免疫抑制的な作用である。しかし最近，もう一つの主要カテキンであるエピガロカテキン（EGC）（図1）にマクロファージの働きを改善する可能性があることが分かってきた[1)]。緑茶を冷水で淹れる，すなわち“水出し緑茶”にするとEGC含有率の高いお茶が得られるが（図2），この“水出し緑茶”を飲用することで，免疫系の働きが改善される結果が得られていることから[1, 2)]，以下では，最近得られた知見を紹介し，“水出し緑茶”の生体防御活性について作用メカニズムを考える。

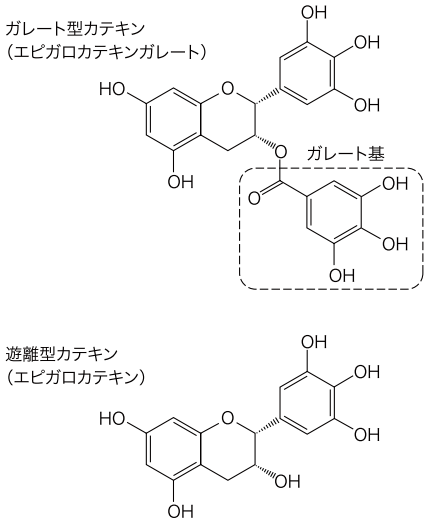


図1　エピガロカテキンガレート（EGCG）とエピガロカテキン（EGC）

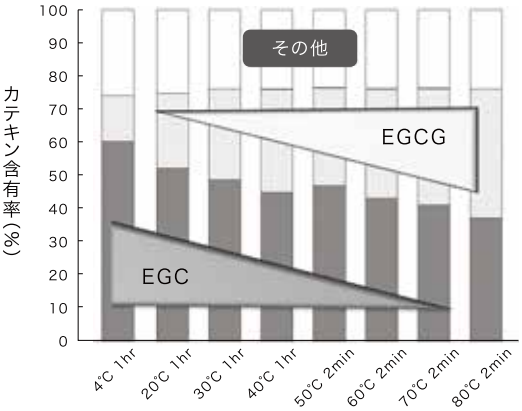


図2　浸出温度の違いによる緑茶液中のカテキン含有率の変化[2)]

1. 緑茶浸出液中のカテキン類

緑茶（煎茶）を浸出する時の水温を変えると，浸出液中の各種カテキンの含有比率が変わる。

緑茶を淹れる時の一般的な温度である 70℃前後の水温では EGC と EGCG の比率は約 1 対 1 であるが，水温を下げるに従い，EGC の占める割合が増える（EGCG 含量が少なくなるため）（図 2）。これは，EGCG の浸出効率が水温に依存しているためであり，水温が低い場合 EGCG は浸出されにくい[1, 3]。一方，EGC の浸出効率は温度への依存度が低く，水温が低くい場合でも時間をかければ（約 1 時間程度）その多くが浸出する[4]。

2. “水出し緑茶”が粘膜免疫系へ与える効果 ―パイエル板細胞の活性化―

細菌やウイルスなどの病原体の主な感染経路は，呼吸器や消化器などの粘膜である。しかし生体は，病原体や異物を簡単に侵入させないための仕組みを持っている。特に，粘膜免疫系は生体防御の最前線で働く免疫システムであり，粘膜からの病原体の侵入を防いでいる。腸粘膜直下には様々な免疫細胞が集結するパイエル板があり，病原体などの異物が侵入しようとした場合，まずマクロファージが生体にとって益・不益を判断して情報を他の免疫細胞に伝える。情報を受け取った免疫細胞はさらに他の細胞に情報を伝えて常に防御体制を整えている。免疫細胞の 1 つである B リンパ球は病原体に特異的に働く抗体を産生するが，中でも分泌型イムノグロブリン A（sIgA）は粘膜表面に配備され，次に同じ病原体がやってきた時に，粘膜表面で病原体の排除に働く。

そこで，緑茶の主要カテキンである EGC と EGCG に，粘膜免疫系を活性化する作用があるかどうかを調べた。方法は，マウスに EGC または EGCG（総量 0.5 mg/ 日）を毎日経口投与し，2 週間後にパイエル板を摘出した。パイエル板細胞を培養し，その中のリンパ球が産生する IgA 産生量の変化を調べた。その結果，EGC を経口投与した群のパイエル板細胞からの IgA 産生量が増加し，EGCG を投与した群では，逆に IgA 産生量が抑制される結果となった（図 3A）。

通常，緑茶は熱水浸出したものを飲用するが，熱水で浸出した緑茶カテキンの約 70% が EGC と EGCG であり，その含有比率は 1 対 1 である（図 2）。このことから，EGC と EGCG を 1 対 1 の比率で混合したカテキン溶液（総量 1 mg/ 日）をマウスへ 2 週間経口投与した。その結果，EGC と EGCG の等量混合液では IgA 産生が抑制される結果となった（図 3B）。そこで，EGC 比率を上げた混合液を投与したとこ

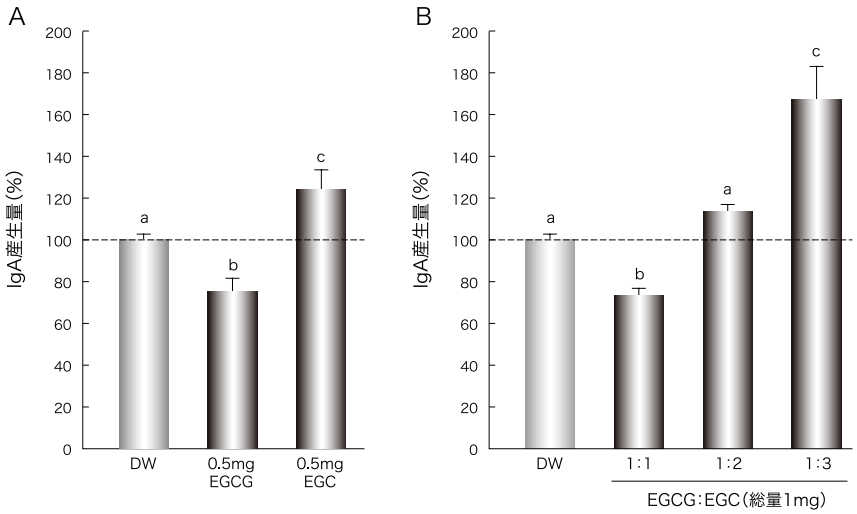


図 3　各種カテキン溶液を 2 週間摂取後にマウスパイエル板細胞からの IgA 産生量の違い[1]

水投与群の活性を 100% としたときの相対値。異なるアルファベットは有意差（$p<0.001$）を示す。

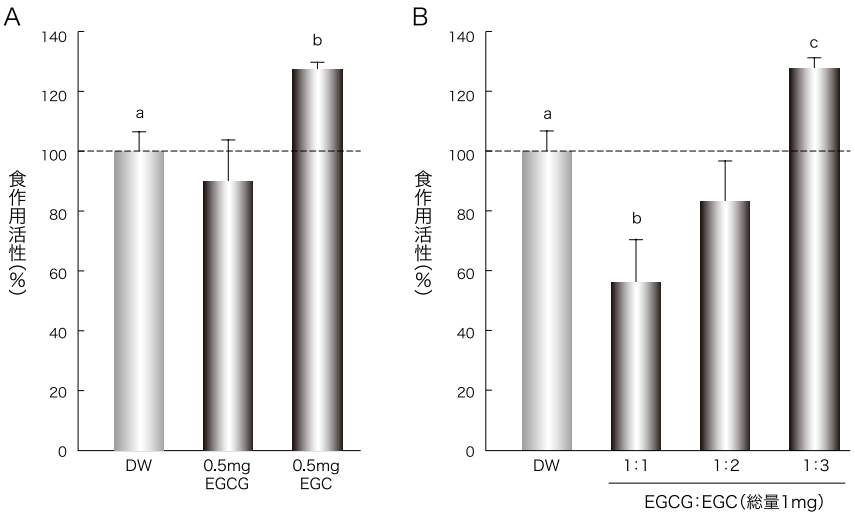


図 4　各種カテキン溶液を 2 週間摂取後のマウスパイエル板細胞の食作用活性の違い
水投与群の活性を 100% としたときの相対値。異なるアルファベットは有意差（p<0.01）を示す。

ろ，EGC の増加とともに活性が回復し，水を投与していた群に比べて，IgA 産生量が有意に上昇することがわかった（図 3B）。

次に，パイエル板マクロファージの食作用活性についても，同じように EGC または EGCG 溶液を 2 週間経口投与して調べた。投与の 2 週間後にパイエル板を摘出し，細胞を培養液中へ懸濁。さらに，培養液へ蛍光ビーズを添加し，細胞内への蛍光ビーズの取り込み率（食作用活性）を調べた。その結果，EGC を経口投与していた群のパイエル板細胞で食作用活性が上昇していた（図 4A）。しかし，IgA 産生の結果と同様に，EGC と EGCG の 1 対 1 混合液投与群では食作用活性が抑制されており，EGC 比率の増加とともに活性が回復する結果となった（図 4B）。

次に緑茶として摂取させた場合の効果も確かめた。冷蔵庫（4℃）または熱湯で浸出した緑茶をマウスに経口摂取させ，前述の試験と同様に，2 週間後に摘出したパイエル板細胞からの IgA 産生量を調べた。その結果，冷蔵庫で浸出させた EGC 含有率の高い“水出し緑茶”を摂取させた群の IgA 産生量が，熱水浸出緑茶摂取群に比べて有意に上昇した。

これらの結果から，1 つの仮説として，パイエル板マクロファージの食作用活性は EGC により増強され，抗原認識能が高まった結果，抗体産生能も高まった可能性が考えられる。

3. “水出し緑茶”の連続飲用による唾液中分泌型 IgA 量の変化

次に，“水出し緑茶”の飲用が粘膜免疫系に与える効果について，唾液中の分泌型 IgA（sIgA）を指標に評価を行った。緑茶には様々な機能性成分が含まれているため，熱水浸出緑茶の常飲者を対象に試験を実施した。熱水浸出緑茶の常飲者において“水出し緑茶”の飲用による変化が認められれば，浸出方法の違いによる効果がより明確となると考えた。図 5 に“水出し緑茶”の摂取前後での唾液中 sIgA の変化を示す。“水出し緑茶”を摂取する前の sIgA 値は，今回の試験では，被験者 15 人中 7 人が以前に報告されていた健常人レベルである 100 ～ 200 μg/mL[5, 6] の範囲内であった。この 7 名の被験者は，“水出し緑茶”の摂取前後で sIgA 値に変化は認められなかった（図 5）。sIgA 値が適正範囲内にあった被験者に対しては，“水出し緑茶”が与える影響は少なかったといえる。“水出し緑茶”を摂取する前の sIgA 値が 100 μg/mL 未満の被験者は 4 名だったが，“水出し緑茶”を 2 週間摂取することにより sIgA 値が有

意に上昇し，平均値，中央値ともに 100 μg/mL を上回った（図 5）。“水出し緑茶”を摂取する前の sIgA 値が 200 μg/mL を超えていた被験者は 4 名だったが，“水出し緑茶”を 2 週間摂取することにより sIgA 値が下がり，平均値，中央値ともに 200 μg/mL を下回った（図 5）。

唾液中 sIgA 値については，100 μg/mL 以下の比較的低い値の被験者に対する改善効果の報告は多いが，健常人における比較的高い sIgA 値の変化を報告するものはない。この理由の 1 つとして，健常人における唾液中 sIgA の比較的高い値は，臨床的意義が少ないことが挙げられる。本試験の被験者における比較的高い値（300 μg/mL 程度）は，健常人の唾液中 sIgA として通常認められるレベルである。しかし，“水出し緑茶”を 2 週間摂取することにより sIgA が 100 ～ 200 μg/mL 付近に収束したことから，sIgA が若干過剰に産生されていた可能性もあり，“水出し緑茶”の摂取により適正な範囲内に下がったとも考えられる。

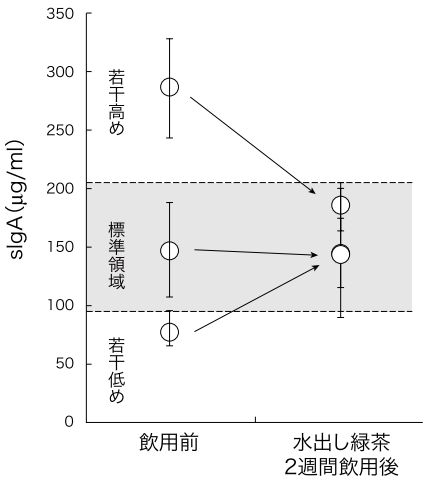


図 5 “水出し緑茶”摂取前後での唾液中 sIgA の変化 [2)]

マクロファージの抗原認識能が適切なレベルに保たれている場合は，適切な抗体産生が行われるが，抗原認識能が低下すると抗体産生が低下もしくは過剰になる可能性が考えられる。マクロファージの反応が悪い場合，病原体が侵入しやすくなるだけではなく，リンパ球等の他の免疫細胞との連携も悪くなるため，抗体産生も減少してしまうことが予想される（図 6）。では，過剰な抗体産生はどう考えるのか？アレル

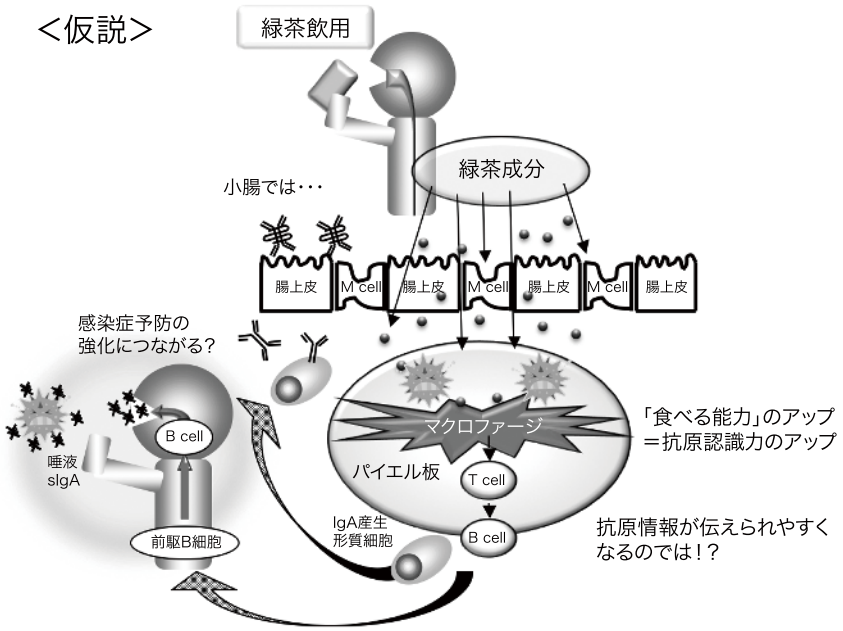


図 6 予想される水出し緑茶の飲用による粘膜免疫系の活性化機序

ギー（過剰反応）治療の 1 つに，抗原を投与して免疫寛容（抗原に対して免疫反応を起こさない状態）へ誘導する「減感作療法」があるように，免疫系は，抗原に対する益･不益の判断を，学習によって獲得している可能性がある。免疫寛容のメカニズムは未だ不明な点が多いが，マクロファージの食作用による抗原認識が重要な役割を果たしていることを示す研究結果がいくつか報告されていることから[7-9]，マクロファージの抗原認識能の低下は，免疫系にとっては抗原に対する学習能の低下にもつながり，抗原に対する益・不益の判断を誤らせ，抗体産生の必要のない抗原に対しても抗体を産生する，すなわち，過剰な抗体産生につながる可能性がある。

2011 年に高齢者を対象に，インフルエンザワクチンに対する“水出し緑茶”の効果が調べられている。そこでは“水出し緑茶”を長期飲用することでワクチンに対する抗体誘導能が有意に持続するという結果が得られている[10]。また，2013 年には若年の成人を対象に，ELISPOT 法を用いてインフルエンザワクチンに特異的なリンパ球の活性化について調べられているが，この試験でもプラセボ群に比べて“水出し緑茶”の長期飲用群で抗原特異的に活性化したリンパ球が増加する結果が得られている[10]。抗原特異的な免疫系の活性増強は，マクロファージの抗原認識能が高まった結果によると推察される。今後症例数が増し，様々な角度から有用性が確認されれば，緑茶による感染症予防効果にさらなる期待が高まるであろう。

これまでの緑茶による健康機能性は，熱水浸出液の飲用を基本として考えられてきた。また，これまでの緑茶の免疫系に対する効果は，抗アレルギーや抗炎症作用などの，免疫抑制的な作用が主であった。その多くは EGCG などのガレート型カテキンによるものであったが，ここで紹介した結果はこれまでとは異なり，非ガレート型カテキンである EGC によるところが大きく，その作用は免疫系に活力を与えるような効果である。熱水で浸出させた緑茶の常飲者であっても“水出し緑茶”のように浸出方法を変えて飲むなど，飲み方の違いによって，これまでに注目されていなかった新たな機能性が見出される可能性がある。

4. “水出し緑茶”による活性メカニズム ―活性に関与する細胞表面受容体―

EGCG は，マクロファージの細胞表面に発現する 67kD ラミニン受容体（67LR）に結合して，抗炎症作用 = 免疫抑制的な作用を示すことが知られている[11, 12]。一方，EGC は 67LR に作用しないことが確認されており，EGC が関わる免疫賦活を誘導する受容体は不明であった。近年，低濃度レベルの過酸化水素が生体内シグナル伝達物質としての働きをもつことが明らかとなってきていることから，EGC から発生する過酸化水素に着目し，活性への関与を調べた。過酸化水素を分解するカタラーゼを作用させると EGC による食作用の活性増強作用が抑制されたことから（図 7），EGC から発生する過酸化水素が免疫活性化シグナルとなる可能性が出てきた。

過酸化水素に反応して免疫細胞を活性化させる受容体として TRPM2 が知られている。免疫細胞は TRPM2 の活性を介して細胞内のカルシウムイオン濃度を変化させて免疫活性を調節する。そこで，TRPM2 の活性を阻害したところ，EGC による食作用の増強活性は抑制された（図 8）。これらの結果から，EGC が産生する過酸化水素によりマクロファージの TRPM2 の活性化を介して食作用活性が増強されると考えられる。マクロファージでは TRPM2 が活性化すると，病原体などの異物に対する反応性が高まることが報告されており[14]，腸管免疫系では

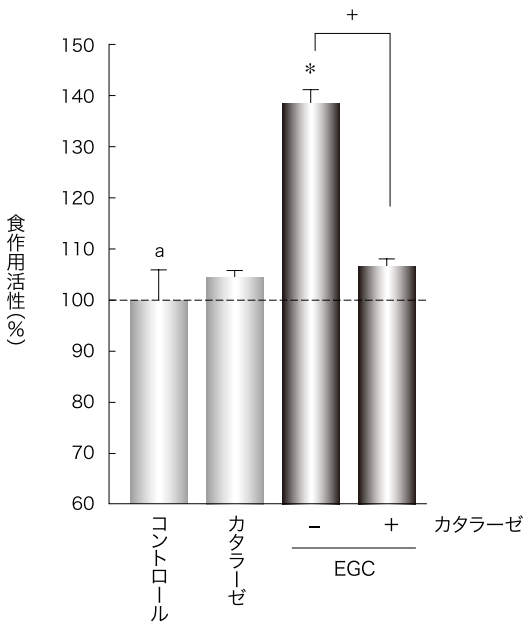


図 7　カタラーゼ添加による活性変化 [13]

*$p < 0.01$ v.s. コントロール，+$p < 0.01$

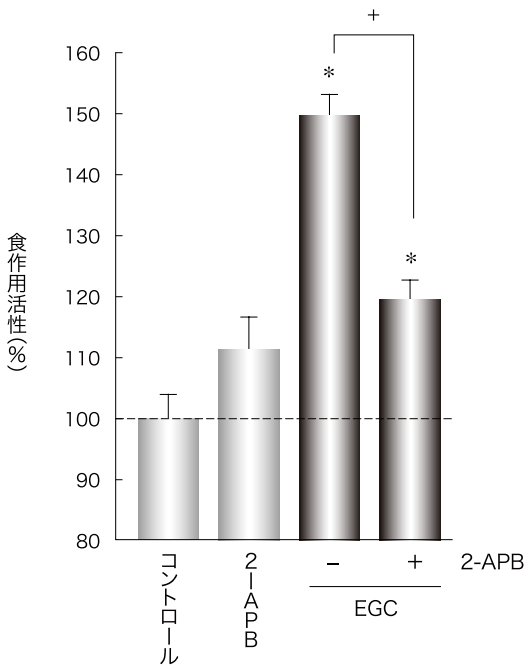


図 8　TRPM2 活性阻害剤による活性変化 [13]

*$p < 0.01$ v.s. コントロール，+$p < 0.01$

EGC がマクロファージの TRPM2 に効果的に作用すると考えられる。加齢や生活習慣による免疫調節の乱れの原因は明確ではないが，外敵に対する反応の低下が TRPM2 の活性低下に起因するものであれば“水出し緑茶”の飲用により改善される可能性がある。

これまでに緑茶の飲用による抗炎症作用の報告はあるが，活性化を報告するものはない。これは，一般的に緑茶といえば熱水浸出液であり，熱水浸出させた緑茶には免疫抑制的に作用する EGCG が多く含まれているため抑制的な作用の報告が多かったと考えられる。“水出し緑茶”の場合，EGC に対して拮抗的に働く EGCG が浸出されにくくなり，水温に関係なく浸出される EGC の作用が有意となり，活性化に傾くと考えられる（図 9）。しかしながら，その詳細は不明であり，現在，67LR シグナルと TRPM2 シグナルの拮抗性について調査中である。

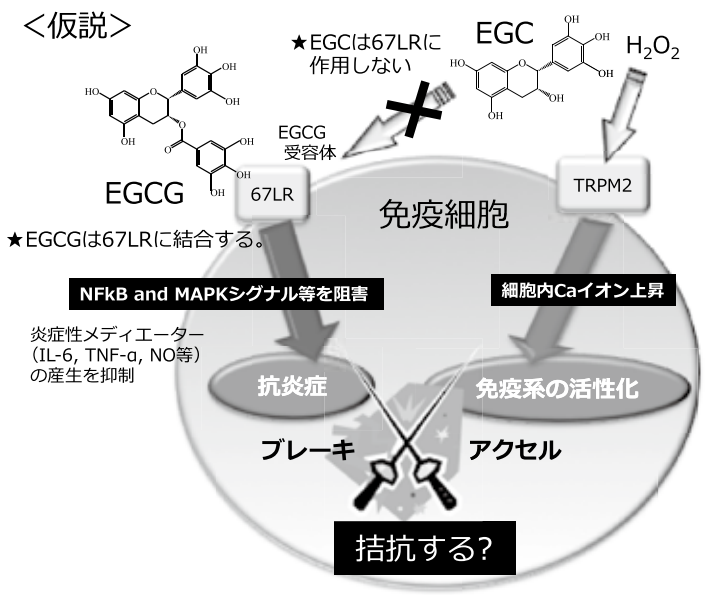


図 9　予想される EGCG および EGC の免疫調節経路

5. EGC 以外の免疫活性化成分

EGC と同じく，マクロファージを活性化する緑茶浸出液成分として，一本鎖 RNA を見出している。この一本鎖 RNA は“水出し緑茶”にも含まれる成分である。現時点ではまだ培養細胞レベルの結果であるが，興味深い結果が得られているので紹介する。

緑茶浸出液にエタノールを添加すると，水溶性の高分子が沈殿してくる。多糖類が主成分であるが，その中には RNA が含まれている。そこで，緑茶浸出液に含まれる水溶性高分子を葉位別に抽出し，マクロファージの食作用活性を増強するかどうかを調べた。活性型ビタミン D でマクロファージ様細胞へ分化させた HL60 細胞に，葉位別に抽出した水溶性高分子を作用させ，HL60 細胞が細胞内に取り込む蛍光ビーズの取り込み率（食作用活性）を調べた。その結果，RNA 含有量の高い上位葉（芽から 3 葉程度の幼葉）由来の水溶性高分子によって有意に食作用が活性化され，RNA 含有量の減少に伴いその効果は低下した（図 10）[15]。

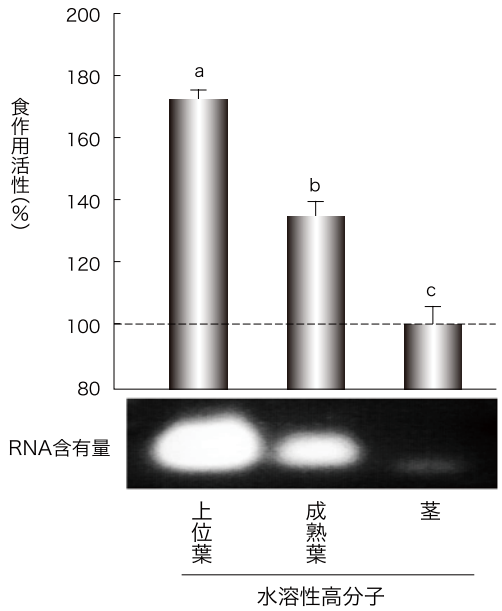


図 10　異なる部位から抽出した水溶性高分子による食作用活性と RNA 含有量の違い [15]

グラフは，水溶性高分子で刺激しない活性を 100% としたときの相対値。異なるアルファベットは有意差（$p<0.001$）を示す。RNA 含有量の違いは，水溶性高分子をアガロースゲル電気泳動後，エチジウムブロマイドで染色した。上位葉とは，ここでは芽から 3 葉程度の幼葉を示し，成熟葉とは 4 葉以下の葉を示す。

RNA は緑茶の上位葉に多く含まれ，熟度が進んだ成熟葉（4 葉以下の下位葉）では減少し，茎にはほとんど含まれない。RNA は緑茶浸出液中では安定であり，その理由の 1 つとして，カテキン類が RNA 分解酵素活性を阻害する [16] ことが考えられるが，詳細は不明である。

次に，RNA 含有水溶性高分子の細胞への作用点（受容体）を調べた。免疫系の活性化に関与する核酸受容体として，Toll 様受容体（TLR）3，7，8，9 が知られている。中でも TLR7 は一本鎖 RNA の受容体であることから，TLR7 の活性を阻害する IRS661 と IRS954（約 20 bp の DNA）を用いて，この活性に対する TLR7 の関与を調べた。その結果，RNA 含有水溶性高分子による食作用の活性化は，TLR7 の活性を阻害することにより抑制されたが，TLR9（DNA 受容体）の活性を阻害しても食作用活性は抑制されなかった（図 11）[15]。この結果から，水溶性高分子中の一本鎖 RNA は，TLR7 の活性化を介して食作用を活性化する可能性が高いことが分かった。

TLR7 は，主にインフルエンザウイルス等の RNA ウイルスの認識に関わると考えられており，抗ウイルス作用や抗腫瘍作用を持つインターフェロン α（IFN-α）の産生誘導にも関わる。そこで，RNA 含有水溶性高分子により IFN-α の産生誘導が可能かどうかを，THP-1 細胞を用いて調べた結果，細胞内に IFN-α が産生誘導された [17]。そこで，TLR7 の関与を確認するために TLR7 の活性を阻害（IRS661）してみたところ，IFN-α の産生は抑制された [17]。

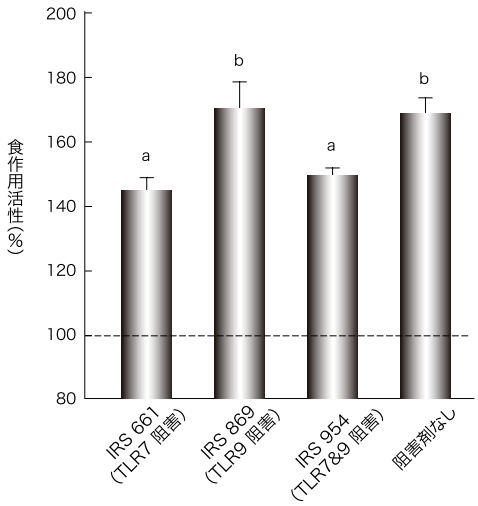


図 11　RNA 含有水溶性高分子による食作用活性と TLR 阻害による活性変化 [15)]

RNA 含有水溶性高分子で刺激しない活性を 100% としたときの相対値。異なるアルファベットは有意差（$p < 0.05$）を示す。

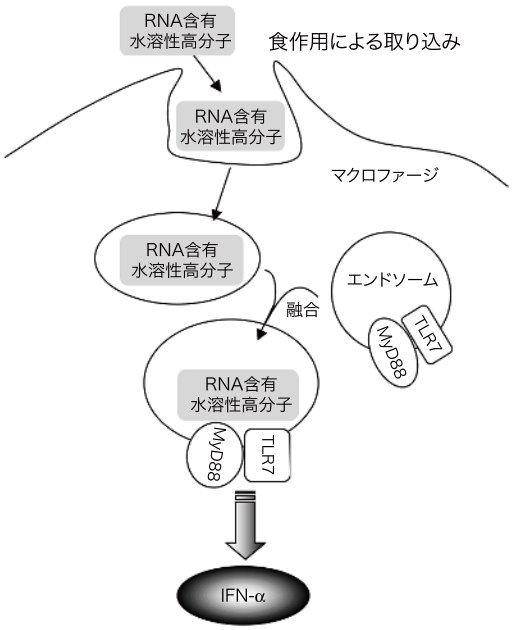


図 12　予想される RNA 含有水溶性高分子の細胞内取り込み経路

TLR7 は細胞内のエンドソーム内にある内因性レセプターであり（図 12），RNA 含有水溶性高分子がどのようにして内因性レセプターまで到達するのかなど不明点が多い。そこで，RNA 含有水溶性高分子の細胞内への取り込み経路を特定するために，食作用を阻害するサイトカラシン B を作用させた。その結果，RNA 含有水溶性高分子による IFN-α の産生が抑制された [17)]。この結果から，RNA 含有水溶性高分子はマクロファージの食作用により細胞内に取り込まれ，エンドソーム内の TLR7 と相互作用することにより，IFN-α が産生誘導される可能性が高いことが推察される。RNA 含有水溶性高分子による TLR7 の活性化は，ウイルス感染症予防などに有用である可能性があるが，現時点では，培養細胞レベルでの研究であり，ヒトレベルで効果が見出せるかどうかは不明である。

参考文献

1）M. Monobe, K. Ema, Y. Tokuda *et al*.: Effect on the epigallocatechin gallate/epigallocatechin ratio in a green tea (*Camellia sinensis* L.) extract of different extraction temperatures and its effect on IgA production in mice. *Biosci. Biotechnol. Biochem*., **74**(12): 2501-2501, 2010.

2）物部真奈美，江間 かおり，徳田 佳子他：冷水浸出緑茶の飲用が緑茶常飲者の唾液中分泌型 IgA 量に与える効果に関する予備的検討．茶研報，**113**: 71-76, 2012.

3）坂本 彬，中川 致之，杉山 弘成 他：煎茶の 1 煎，2 煎，3 煎液の成分組成に基づく溶出特性．茶研報，**94**: 45-55, 2003.

4）物部 真奈美，江間 かおり，徳田 佳子 他：緑茶冷水（4℃）浸出液のカテキン浸出特性及び茶期・品種の異なる緑茶冷水浸出液がマクロファージ様細胞の貪食能へ与える影響．茶研報，**114**: 29-36, 2012.

5）竹内 優子，渡邊 弘子，加藤 保子：唾液中分泌型 IgA の測定条件の検討と大学生の唾液中 IgA 濃度．川崎医療福祉学会誌，**7**(1): 191-198, 1997.

6）N.C. Bishop, G.J. Walker, G. A. Scanlon *et al*.: Salivary IgA responses to prolonged intensive exercise following caffeine ingestion. *Med. Sci. Sports Exerc*. **38**(3): 513-519, 2006.

7）R. Hanayama, M. Tanaka, K. Miyasaka *et al*.: Autoimmune disease and impaired uptake of apoptotic cells in MFG-E8-deficient mice. *Science*, **304** (5674): 1147-1150, 2004.

8）K. Asano, M. Miwa, K. Miwa *et al*.: Masking of phosphatidylserine inhibits apoptotic cell engulfment and induces autoantibody production in mice. *J. Exp. Med*. **200**(4): 459-467, 2004.

9）Y. Miyake, K. Asano, H. Kaise *et al*.: Critical role of macrophages in the marginal zone in the suppression of immune responses to apoptotic cell-associated antigens. *J. Clin. Invest*. **117**(8): 2268-2278, 2007.

10）石坂 信和，竹中 洋：ヒト介入試験による EGC の免疫賦活作用の検証.「タンニン類に着目したリンゴ・茶の生体調節作用の医学的検証と高含有品種育成など活用に関する研究開発」研究成果集，62-70, 2014.

11）E. H. Byun, Y. Fujimura, K. Yamada *et al*.: TLR4 signaling inhibitory pathway induced by green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate through 67-kDa laminin receptor. *J. Immunol*. **185**(1): 33-45, 2010.

12）E. H. Byun, T. Omura, K. Yamada *et al*.: Green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate inhibits TLR2 signaling induced by peptidoglycan through the polyphenol sensing molecule 67-kDa laminin receptor. FEBS Lett. **585**(5): 814-820, 2011

13）M. Monobe, K. Ema, Y. Tokuda Y *et al*.: Green tea catechin induced phagocytosis can be blocked by catalase and an inhibitor of transient receptor potential melastatin 2 (TRPM2). *Cytotechnology* (in press).

14）M. Kashio, T. Sokabe, K. Shintaku *et al*.: Redox signal-mediated sensitization of transient receptor potential melastatin 2 (TRPM2) to temperature affects macrophage functions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **109**(17): 6745-6750, 2012.

15）M. Monobe, K. Ema, Y. Tokuda *et al*.: Enhancement of the phagocytic activity of macrophage-like cells with a crude polysaccharide derived from green tea (*Camellia sinensis*) extract. *Biosci. Biotechnol. Biochem*. **74**(6): 1306-1308, 2010.

16）K.S. Ghosh, T.K. Maiti, S. Dasgupta: Green tea polyphenols as inhibitors of ribonuclease A. *Biochem. Biophys. Res. Commun*. **325**(3): 807-811, 2004.

17）M. Monobe, A. Ogino, K. Ema *et al*.: A crude extract from immature green tea (*Camellia sinensis*) leaves promotes Toll-like receptor 7-mediated interferon-α production in human macrophage-like cells. *Cytotechnology* **64** (2): 145-148, 2012.

好評発売中

定　価：（本体3,200円＋税）
判　型：A5版
頁　数：215頁

酵母との対話

偶然の機会から、酵母菌を研究材料にすることになった。これはどんな生き物だろうかという素朴な疑問から始まり、どのように解析技術を工夫をしたら自分が知りたい内容に近づけるだろうか、という試行錯誤の連続。こちらも相手も生き物だから、素直な対話で相手を理解しようという姿勢から、生理学、生化学、分類学、生態学等の成果が生まれた。それらの成果を応用し、実用技術が企業を支えるまでになった。

内容紹介

序　章　油脂を蓄積する酵母との出会い
第 1章　教育・研究環境を整備する
第 2章　合成培地で培養する：生理学実験の出発点
第 3章　感覚的に把握できる内容を客観的な数値へ導く
第 4章　培地中の無機栄養源の増減がもたらす効果
第 5章　油脂を蓄積する生化学的機構の解析
第 6章　アルコール発酵をする酵母との対話
第 7章　新しい胞子形成用培地を作る
第 8章　Lipomyces属酵母を新しく分離し分類する
第 9章　分子生物学を門の前から覗く
第10章　生態系で果たすLipomyces酵母の役割
第11章　社会ですぐに役立つ工学への参加

著者プロフィール

著者／兎束 保之（うづか　やすゆき）

農学博士。東北大学農学部、同大学院を経て昭和41年に第一製薬株式会社へ入社。
1968年　山梨大学工学部発酵生産科助教授。
1988年　山梨大学工学部発酵生産科教授
2002年　山梨大学退官。名誉教授
2002年　放送大学山梨学習センター所長。
2007年　放送大学山梨学習センター退官。
＜受賞＞
日本醸造協会技術賞

お申し込み・お問い合せは、FAX・お電話・WEBにて
電話：03-3254-9191　FAX：03-3256-9559
http://www.newfoodindustry.com/
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）

トマトの花および果実の脱離メカニズム

伊藤 康博（*ITO Yasuhiro*）[*1]　　中野 年継（*NAKANO Toshitsugu*）[*1, 2]

[*1] 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 食品バイオテクノロジー研究領域 生物機能制御ユニット
[*2] ハノイ農業大学 作物開発研究所

Key Words：トマト・ジョイントレス・離層・落果・落花・転写因子・遺伝子発現・品種改良

はじめに

春の桜が満開の盛りを過ぎると，その花びらは一斉に散っていく。秋には木々は紅葉した葉を落とす。ニュートンが万有引力の法則を発見したのは，熟したリンゴが木から落ちた瞬間だと言われている。これらは植物の「器官脱離（abscission）」という現象であり，古くなったり傷ついたりした葉や受粉しなかった花といった不要な器官を落として健康な植物本体を維持し，また果実や種子を植物体の本体から切り離し子孫を広げるといった，植物に独特な活動の一つである。農業生産においては，特に収穫の対象となる器官の脱離は収量に大きく影響するため，一般にはあまりなじみがないかもしれないが非常に重視される形質である。一例として，イネ等の穀類では野生種からの栽培化の過程で，脱粒性を克服してきた歴史がある。野生にあった栽培イネの祖先種は，種子が完成するとその穀粒は植物本体からポロポロ簡単に落ちる。この現象は植物にとっては種子を広く分散するのに有利だが，人間にとっては，穂を刈り取って収穫・運搬するうちに米粒の多くが飛び散り収量の低下を招く。人類がイネの栽培を始めた当初はこのような野生種の特徴が強く残っていたと考えられ，収穫効率が極めて悪かったことが想像される。ところが長いイネの栽培化の歴史の中で，脱粒しにくい変異株を見つけていくことにより脱粒性を劇的に改善することに成功し，現在の日本の栽培品種においては脱粒が見られることはほとんどなく，収量改善に大きく寄与したといえる。一方，脱離性が良いことが有利な面もある。果樹などでは成熟した果実で離層構造がしっかり発達していれば，容易に手で果実をもぎ取ることができるので，収穫作業が楽になる。

本稿で紹介するトマトにおいても，トマトソースやジュースのような加工品を生産するために用いられる品種では，果実脱離の制御が極めて重要な形質となっている。ここではまず，トマトにおける脱離制御の農業的利用を概説し，次いで，花や果実の脱離制御メカニズムについて，筆者らの最新の研究成果を基に説明する。

1. トマトにおける花柄の離層形成変異とその実用的な利用

トマトの植物体では，複数の花が房状に着生する，いわゆる花房といわれる構造を作る。花房の中のそれぞれの花は，花柄という枝状の組織の先端に位置する。この花柄の中央付近に，

わずかであるが角度がついており，よく見ると継ぎ目の様な部分がある。花が受粉せず，落花する際には必ずこの継ぎ目部分から脱離する。この部分に「離層」という組織が存在する。受粉が正常に起こり果実が肥大していくと，この継ぎ目部分は次第にはっきりとしたコブ状の構造を取るようになり（図 1），収穫する頃にはこの部分に力を加えると“ポキッ”ときれいに離層部分で折れる。店頭に並ぶリンゴでも，木に着生していた果梗（軸）の先端部分は少し膨らんで見えるが，これも離層部分から折られた跡である。

一方で，トマトではこの継ぎ目部分の組織が形成されなくなる「ジョイントレス（*jointless*）」という変異が存在する（図 1）。折れる部分が形成されなくなるのである。この変異体の果実を収穫するために，果実を引っ張ると，離層が形成されていないので果柄が折れることはない。果実が離れるのは，次に植物との結合が弱い部分，果実とヘタ（ガク）の間になる。つまり，ヘタは植物本体側に残り，果実の赤い部分のみが収穫される。生鮮用トマトではヘタが着いた状態で陳列されなければ商品価値がなく，スーパーなどの生鮮野菜売り場でみかけるトマトは必ず，ヘタ付きで売られているが，一方でジュース等に用いられる加工用トマトの場合，ヘタは不要であり，混入すると加工品の品質低下を招くので，必ずヘタを取り去って原材料とする。ここで，上述のジョイントレストマトが活用されることになる。ジョイントレストマトは収穫時にヘタが外れた状態で収穫できるので，ヘタを取り去る手間が不要となる。ほんの一手間ではあるが，商業用の大規模栽培においては大いに省労力化に貢献する。そのため，現在の加工用トマトのほとんどはこのジョイントレス品種が使用されており，普段このジョイントレストマトの果実を見ることはほとんどないが，多くの消費者がその恩恵を受けているといえる。

この離層形成を妨げるジョイントレスという形質は，数種の異なる原因が知られている。1936 年に報告があった *jointless*（*j*）という変異は，2000 年に MADS ボックス型転写因子の変異であることが示された[1, 2]。他には，ガラパゴス諸島に自生していたトマトの近縁種がジョイントレスの形質を持っていることが報告され[3]，*jointless-2*（*j-2*）と命名された。今のところ，*j-2* の原因となっている遺伝子は明らかになっていない。これら *j*，*j-2* の形質はいずれも栽培品種への利用が試みられたが，*j* 変異は花房から生長点が発生するという栽培に不適な形質も同時に生じるため，現在は離層形成阻害以外に変化のない *j-2* を近縁種から導入したジョイントレス品種が主流である。他にも不完全ながら *lateral suppressor*（*ls*）という変異も離層形成を

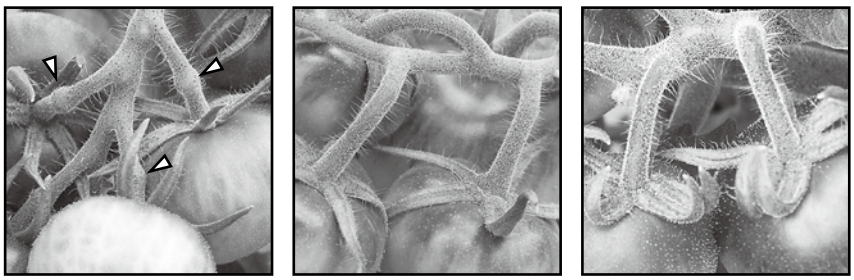


図 1　正常型トマト，ジョイントレス変異体，および *MC* 発現抑制組換えトマトの果柄構造
正常型でみられる果柄の離層構造（白三角）が，ジョイントレス変異および *MC* 発現抑制により消失する。

阻害することが知られている[4]。

2. 離層形成を制御する新規転写因子の発見

上記のような興味深い背景とは別に，筆者らは全く離層とは関係のないと思われていた研究を行っていた。筆者らのもともとの興味はトマト果実の成熟にあり，特に成熟が全く進まない *ripening inhibitor*（*rin*）という変異体の解析を進めていた[5]。その研究の過程で，ある時，*rin* 変異体の離層形成の程度が弱いことに気付いた。*rin* 変異は成熟を制御する遺伝子の機能を完全に阻害する[6]一方で，この成熟制御遺伝子のすぐ隣にある *MACROCARYX*（*MC*）という遺伝子の発現を弱めている（が，完全には抑えていない）ことが分かった。そこで *MC* 遺伝子の発現を強く抑えた組換え体を作出したところ，*rin* 変異体よりも明確に離層形成が抑えられ，ジョイントレス変異体に近い性質を示した（図 1）[7]。*MC* 遺伝子は MADS ボックス型転写因子をコードしていることが知られていたが[8]，上述の通り，*j* 変異の原因遺伝子も MADS ボックス型転写因子をコードしている。

ここで MADS ボックス型転写因子について簡単に説明を加えておく。このファミリーの転写因子機能に関して特に有名なのは，「ABC モデル」として知られている，花器官（がく，花弁，雌蕊，雄蕊）の分化制御のシステムを明快に説明している研究である[9]。このモデルについては，植物の分化に関わる勉強をした人なら一度は聞いたことがある程有名であり，少し調べれば解説がいくらでも得られるのでここでは詳細は省くが，大事なことは，このファミリーの転写因子は，自分自身あるいは他の MADS ボックス転写因子と複合体を形成して機能するということである。二量体が一つの機能単位であり，二量体が 2 つ組み合わさった MADS ボックス転写因子の四量体として，転写制御を行っていると考えられている。

話を離層形成に戻すと，J，MC いずれも MADS ボックス転写因子であり，いずれも離層形成の制御を行っていることを考慮すると，J と MC が複合体を形成することは容易に想像される。実際に生化学的実験においてこの二つが複合体を形成することを証明し，特に，ヘテロ二量体を形成することで，DNA に結合する能力が，それぞれ単独よりも格段に高まることが明らかになった[7]。これらの結果から，離層形成を制御する新しい遺伝子 *MC* を発見し，この遺伝子がコードする転写因子 MC は J と協調して機能する，という作用メカニズムを新規に同定することができた。その後，さらにトマトの離層形成の制御に関与する新しい MADS ボックス転写因子遺伝子 *SlMBP21* が発見され，コードする転写因子が MC や J と複合体を形成することが示されている[10]。

3. 離層領域で強く発現している遺伝子

花柄で MC と J が協調して離層形成制御に重要な役割を果たすことが明らかとなったので，次に，この転写因子複合体がどのような遺伝子を制御しているのかを研究するために，マイクロアレイによる大規模な遺伝子発現解析を行った。また一方で，花柄の離層で強く発現する遺伝子を見出せば，離層の機能をより深く理解できることを期待し，やはりマイクロアレイでそのような遺伝子の探索を行った。それぞれのマイクロアレイによる発現解析では興味深い遺伝子発現の傾向が数多く見出されたが，ここでは，その中でも特に今後の離層研究のブレークスルーとなり得るような遺伝子発現変化について紹介する。*j* 変異または *MC* 発現抑制により発現が強く低下する遺伝子の一覧を眺めていると，予想外の遺伝子群が見つかった。これらは植物の生長点で発現が認められていた 4 つの

転写因子，WUSCHEL（WUS），REGULATOR OF AXILLARY MERISTEMS（RAX），CUP-SHAPED COTYLEDON（CUC），LATERAL SUPPRESSOR（LAS）のホモログであり[7]，頂芽や脇芽において未分化細胞の維持や分化等の制御に関与していると考えられているものである。これらの遺伝子は，花柄の中では離層領域のみに強く発現しており，離層より花側あるいは植物本体側の枝状の部位では発現がほとんど見られないこともマイクロアレイ解析およびRT-PCR解析で明らかになった（図2）[11]。また落花を誘導する処理をすると，*WUS*，*CUC*および*LAS*それぞれのホモログは発現が急激に低下し，逆に*RAX*ホモログは顕著に誘導されるといった明確な反応を示すことから，これらの遺伝子が脱離過程において何らかの機能を担っていることが推察される。脱離前の離層領域には，未分化と思われるコンパクトな細胞が層状に維持されており，これらの転写因子遺伝子と何らかの関係があると思われる。しかしこれらの転写因子が花柄の離層でいったい何をしているのか，今のところ実質的に何も証明されていない。生長点において未分化細胞が新しい組織・器官に分化していくダイナミックな制御に関わっている転写因子群が，離層においてどのような機能を果たしているのか，非常に興味深い。今後これらの機能解明により離層形成や脱離制御の仕組みがより明快にされていくかもしれない。おもしろいことに，イネの脱粒が起こる離層部分でも強く発現している*RAX*や*CUC*，*LAS*のホモログ遺伝子があり（図2）[12]，単子葉植物と双子葉植物の双方に保存されている普遍的な制御システムが示唆される。

他にもマイクロアレイ解析で選抜された興味深い遺伝子がいくつもある中で，筆者らは次にERFファミリーに属する転写因子SlERF52に注目し研究を進めた結果，離層機能に非常に重要な役割を果たしていることが明らかになったので，次の章で紹介する。

4. 脱離の開始を制御する新規転写因子

ERFとはもともとEthylene-Responsive Element Binding Factorsの名前から取られた略称であり，その名の通りエチレン反応性の遺伝子のプロモーターに結合する転写因子として同定されたが，その後，エチレンに対する反応に限らず多様な植物の制御過程に機能するERFファミリーが同定されている。このファミリー遺伝子は植物ゲノムに非常に多く存在することが明らかになってきており，シロイヌナズナでは少なくとも122遺伝子がゲノム上に見出されている[13]。

先のマイクロアレイ解析において*SlERF52*は明確な離層領域での特異的発現を見せたこと

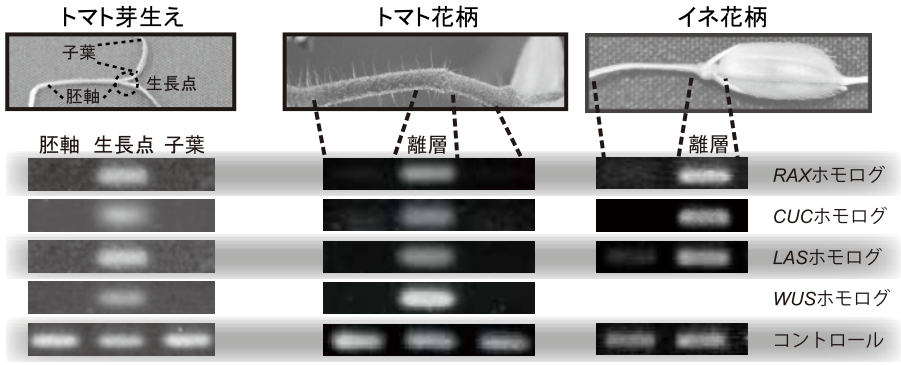


図2　生長点で機能する転写因子のホモログ遺伝子がトマトおよびイネの花柄離層部で特異的に発現している

から，当初，離層が形成される過程に何らかの役割を果たすことを期待して，本遺伝子の発現を抑制した組換え体を作出した。ところが組換え体の離層は正常型と比べても見た目に何ら変化がなく，期待はずれの結果となった。しかし気を取り直して，組換え体の離層における脱離反応に変化が生じていないかを試験することにした。

開花期の花柄において，離層からの脱離を促進するには簡単な方法がある。花の付け根，ガクの直下で花を切り落とすのである。花や肥大生長している果実から植物ホルモンであるオーキシンが花柄 / 果柄に供給されており，このオーキシンの効果により脱離の開始が抑制されているといわれている。花を切り離すことで，オーキシンの供給が停止することと，同時に傷害ストレスによるエチレン発生により，脱離開始のシグナルが生じると考えられている。

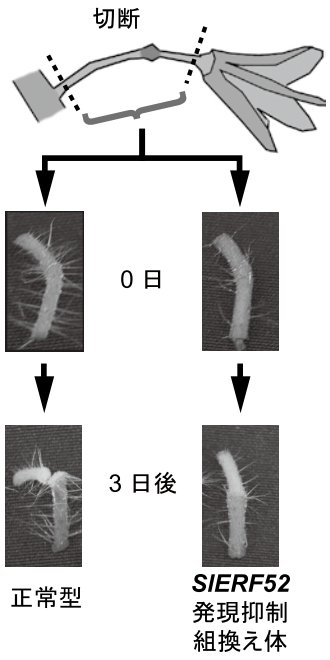


図 3　花柄の離層における脱離開始が *SlERF52* の発現抑制により遅延する

正常型および *SlERF52* 発現抑制組換え体について，花を切除して脱離を促す処理を行い脱離の進行を比較した。

SlERF52 の発現抑制組換え体について，この花を切除する脱離促進処理を適用したところ，組換え処理をしていない植物と比べ，明らかに花の脱離が遅くなる系統が存在した（図 3）[14]。脱離反応の進行過程において，離層での細胞壁の接着が分解されることにより，組織の分離が起こるのだが，その際に働く酵素としてポリガラクチュロナーゼ（PG）やセルラーゼ（Cel）があり，脱離時にはこれらの酵素の遺伝子発現が急激に上昇する。しかしながら，この *SlERF52* の発現抑制組換え体では，花を切除してもこれらの酵素遺伝子の発現上昇が，非組換え体と比べ強く抑制されていることが分かった。つまり，*SlERF52* が脱離を進行させる酵素遺伝子の活性化を制御する重要な因子であったのである。しかしながら，脱離時に発現が上昇する遺伝子のいくつかについては，*SlERF52* の抑制にあまり影響されないものもあった。これは，この組換え体で花の切除を行った時に，脱離が遅れるものの，完全に脱離を抑制するものではなく，時間が経てば脱離がそれなりに進行するという現象をよく説明できる結果である。

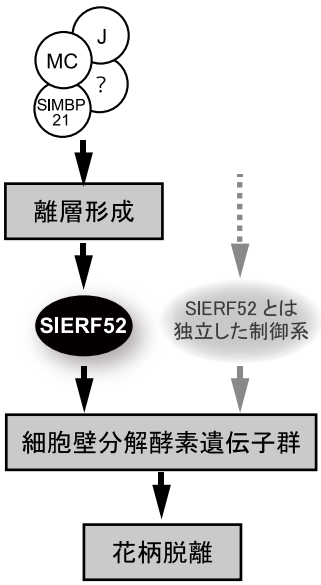


図 4　花柄の脱離反応における *SlERF52* の機能モデル図

まとめると，*SlERF52* は脱離開始のシグナルが発生したときに，脱離の実行へ向けてシグナルを伝達する主要な因子の一つであり，特に細胞壁分解酵素群の誘導に必須の転写因子であることが明らかになった（図 4）。

5. リンゴにおける *JOINTLESS* ホモログ遺伝子

ここまではトマトの花柄 / 果柄の研究について紹介してきたが，トマトで得られた離層制御のしくみが植物に普遍的であるならば，将来的に，他の作物においても離層の制御技術を適用し，「ジョイントレストマト」でみられるような実用的な利用法の開発につながることが期待できる。プレリミナリーではあるが，筆者らがリンゴの離層形成について開始している研究について紹介する。

リンゴにも，果梗の付け根（植物本体側）に，離層形成がみられる。そこでトマトのように JOINTLESS/MC に相当する転写因子による離層形成制御が存在するかを検証することにした。まず，リンゴの開花期に離層部周辺の RNA を抽出し，RNA-Seq 法で発現している遺伝子を網羅的に解析し，まず *JOINTLESS* のホモログ遺伝子を探したところ，2 種の遺伝子が見つかった。これらをトマトの *j* 変異体にそれぞれ強制発現させた組換え体を作出したところ，1 種については *j* 変異体で抑制されていた花柄の離層形成を回復させた（図 5A；Nakano *et al.* 論文準備中）。この組換え体では，離層の位置が花のすぐ近くに形成されるという点は本来の野生型植物体とは少し違ったが，構造自体は正常であり，花を切除する脱離促進処理をしてやれば明確な花柄脱離がみられた（図 5B）。この組換え体花柄における遺伝子発現を解析したところ，*j* 変異体で発現がみられなかった *SlERF52* の発現が回復しており，また，花の切除により *PG* や *Cel* の遺伝子発現の急激な上昇

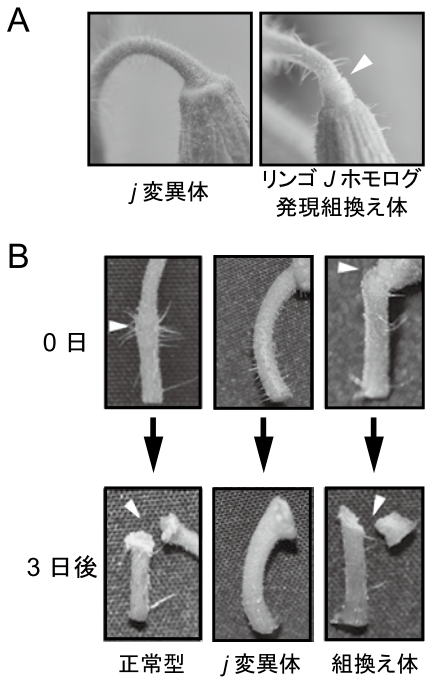


図 5　トマトジョイントレス変異体におけるリンゴ *J* ホモログ遺伝子の発現の影響

（A）ジョイントレス変異体にリンゴの *J* ホモログ遺伝子を発現させた組換え体を作出したところ，花の付け根に花柄離層構造を形成した。

（B）花の切除による脱離促進処理を行ったところ，リンゴの *J* ホモログ遺伝子を発現させた組換え体では脱離反応が回復した。

が再現された。なお，2 種のリンゴ *J* ホモログ遺伝子のうちもう 1 種ついては，強制発現により，花柄中央部にコブ状の構造を形成した形質転換体も現れたが，脱離促進処理を行っても離層としての機能は全くなく，細胞壁分解酵素遺伝子の発現や脱離反応の回復は起こらなかった。これらの結果から，リンゴにはトマト *J* 遺伝子と同等の分子機能を持つホモログ遺伝子が，少なくとも 1 種存在することが明らかになった。

このリンゴの J ホモログはトマトの J と配列が似ているだけでなく，トマトで離層形成を回復した実績から，このホモログ遺伝子がリンゴの離層形成を制御している可能性が強く示唆さ

れる。しかしながら注意が必要なのは，このホモログ遺伝子がリンゴの離層形成を制御しているとは，この段階では必ずしも言い切れないことである。今後さらにリンゴの植物体における証明が必要であり，直接的な証明としては，このホモログ遺伝子の発現を抑制したリンゴの組換え体を作出し，離層形成の成否を検証することである。当然リンゴでは組換え実験がトマトのように容易ではなく，時間も掛かるため困難な研究ではあるが，もし，トマトとリンゴで共通の離層形成システムがあることが証明できれば，さらに広い範囲の作物種での応用が期待できる。また，現在リンゴの *MC* ホモログ遺伝子の機能についても同様にトマトを使った解析を進めており，トマトで明らかになったシステム全体がリンゴでも機能しているのかも，興味深い点である。

おわりに

トマトを中心とした離層機能に関する最新の知見を，筆者らの研究成果を中心に概説してきた。最後に，将来的に離層機能の制御を多様な作物へ応用するアイデアを簡単に紹介する。基本的には，離層をなくす，あるいは折れにくくする，といった方向で果実の歩留まりを良くすることが考えられる。例えば，リンゴやナシなどは収穫期が台風の季節であるために，強風による多大な落果被害の報道を目にすることも多い。この落果に関しては，果柄の離層から脱離する頻度が最も高いので，ジョイントレス化が可能であれば，落果被害の縮小に貢献できるかもしれない。また，イネ等の主要穀類では脱粒しにくくなっているが，ソバではまだそのような育種が進んでおらず，脱粒を抑える技術が開発できれば収量が数倍にできることも期待できるという。逆に，脱離を促進する技術の開発が必要になる場合もあろう。離層があまり発達しない作物の場合は，しっかりした離層を形成させることで収穫が容易になることが期待できる。また，先ほどのジョイントレスリンゴの例とは矛盾するが，リンゴでは着果した果実がすべて生長してしまうと，すべての果実に栄養が十分に行き渡らず品質低下を招くので，着果後果実がまだあまり肥大していない時期に適度に摘果して着果数をコントロールする必要がある。脱離制御の解明から，ある程度の脱離を促すような薬剤が開発されれば，現在手作業で行われているこの摘果作業の軽減に役立つと思われる。これらの他にも，この研究を紹介させていただく機会には必ずと言っていいほど，こんな作物でこんなことはできないだろうか？というアイデアをたくさんお聞かせいただく。器官脱離に関する研究への潜在的な期待は，当初想像していたよりもずっと大きいように感じており，今後本研究の成果が脱離制御による農作物の安定生産化，作業の軽減，コストダウンが可能になる応用へ発展していくことを期待したい。

［謝辞］

本研究は生研センターイノベーション創出事業（平成 21-24 年度），農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（平成 25 年度）の助成を受けて行われた。

参考文献

1）Mao, L, Begum, D, Chuang, HW, *et al*.: JOINTLESS is a MADS-box gene controlling tomato flower abscission zone development. *Nature* **406**(6798):910-913, 2000.
2）Butler, L: Inherited characters in the tomato. II. Jointless pedicel. *J. Hered*. **37**:25-26, 1936.
3）Rick, CM: Fruit and pedicel characters derived from galapagos tomatoes. *Economic Botany* **21**(2):171-184, 1967.

4）Roberts, JA, Elliott, KA, Gonzalez-Carranza, ZH: Abscission, dehiscence, and other cell separation processes. *Annu. Rev. Plant Biol*. **53**:131-158, 2002.
5）伊藤 康博，北川 麻美子：トマトの *rin* 変異体果実はなぜ赤くならないのか？．化学と生物 **47**(7):465-472, 2009.
6）Ito, Y, Kitagawa, M, Ihashi, N, *et al*.: DNA-binding specificity, transcriptional activation potential, and the rin mutation effect for the tomato fruit-ripening regulator RIN. *Plant J*. **55**(2):212-223, 2008.
7）Nakano, T, Kimbara, J, Fujisawa, M, *et al*.: MACROCALYX and JOINTLESS interact in the transcriptional regulation of tomato fruit abscission zone development. *Plant Physiol*. **158**(1):439-450, 2012.
8）Vrebalov, J, Ruezinsky, D, Padmanabhan, V, *et al*.: A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato *ripening-inhibitor* (*rin*) locus. *Science* **296**(5566):343-346, 2002.
9）Coen, ES, Meyerowitz, EM: The war of the whorls: genetic interactions controlling flower development. Nature 353(6339):31-37, 1991.
10）Liu, D, Wang, D, Qin, Z, *et al*.: The SEPALLATA MADS-box protein SLMBP21 forms protein complexes with JOINTLESS and MACROCALYX as a transcription activator for development of the tomato flower abscission zone. *Plant J*. **77**(2):284-296, 2013.
11）Nakano, T, Fujisawa, M, Shima, Y, *et al*.: Expression profiling of tomato pre-abscission pedicels provides insights into abscission zone properties including competence to respond to abscission signals. *BMC Plant Biol*. **13**:40, 2013.
12）Nakano, T, Ito, Y: Molecular mechanisms controlling plant organ abscission. *Plant Biotechnology* **30**(3):209-216, 2013.
13）Nakano, T, Suzuki, K, Fujimura, T, *et al*.: Genome-wide analysis of the ERF gene family in Arabidopsis and rice. *Plant Physiol*. **140**(2):411-432, 2006.
14）Nakano, T, Fujisawa, M, Shima, Y, *et al*.: The AP2/ERF transcription factor SlERF52 functions in flower pedicel abscission in tomato. *J. Exp. Bot*. (in press)

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

発酵食品データベースの構築
―日本伝統発酵食品の技術を継承し発展の基礎を作る―

曲山 幸生（*MAGARIYAMA Yukio*）*

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

Key Words：発酵食品・データベース・継承・食文化・和食・ユーザインターフェイス・維持管理組織

はじめに

発酵食品は，①高い保存性，②独特な香りと味，③原材料にない栄養成分を含むこと，といった特長を持ち，長い年月，日本人に愛されてきた。また，地域の特産農林水産物と強く結びついている場合が多く，先人たちの努力により各地域で独自の進化を遂げた。その結果，現在の多様な発酵食品群を形成し，生活の中で食を重視する日本人を満足させている。

しかし，文字による記録が始まる前から存在する発酵食品の長い歴史の中で，日本の発酵食品は数 10 年以上にわたって危機的状況に直面したという現代史を持つ。物資が不足した戦争中や戦後に極端に品質が低下した発酵食品が数多く造られ，高品質の発酵食品を製造する技術者が激減した。これがその危機である。その後の高度経済成長期においては，核家族化につれ食生活も変化したこともあり，発酵食品分野にも機械による少品種大量生産を目指す事業者が現れ，高品質で比較的安価な発酵食品を安定的に供給するようになった。有能な技術者が少なくなった状況下において事業の大発展につながったこの戦略は成功を収めたと言える。伝統技術を科学的視点から捉えなおしたという点でも評価できる。しかし，完全に元の状態に回復したわけではなく，発酵食品の特長の一つであった多様性は大きく損なわれた。現在残っている物の中にも生産者が減り技術が途絶える危険性を抱えた発酵食品がある。また，高度経済成長期に始まった食生活の変化は現在も進行し，家族で食卓を囲む米飯中心の伝統的な日本型食生活は減ってきた。それに伴い伝統発酵食品の消費量も減少し，その傾向は現在もなお続いている。

ところが，最近になってその状況が変わり始めたように思われる。2013 年 12 月に「和食；日本人の伝統的な食文化」がユネスコ文化遺産に登録された。長い歴史を持つ豊かな日本の食文化がますます世界で注目されるようになっているという面もあるが，一方日本国内では時には贅沢に食事（食文化）を楽しみたいという価値観を持つ人が増えつつあり，そのような人たちがユネスコ文化遺産登録活動を支援したのも一因であろう。和食の重要な一翼を担う日本の伝統発酵食品は製造に手間と時間がかかる上に，かつては一年中生産できるものではなく，大量生産は難しかった。つまり，今でこそ手軽に楽しむことができるが，実は貴重品であるという見方もできる。伝統発酵食品は新しい時代の表舞台に立てる条件を備えていると思える。

社会環境に目を向けると，日本では多品種少量生産商品の販売に適したインフラが整備されてきている。つまり，宅配便と結びついたカタログ販売やネット販売の隆盛である。完成度の高い商品，それを好む消費者，きめ細かく効率的な流通販売システムがそろった今日の日本は，発酵食品分野にとって最高の環境だと言える。

この状況の中で発酵食品分野が発展するためには，次のことを着実に進めていく必要があると考える。

①発酵食品加工技術を保存・継承した上で，体系化する。
②それに基づいて加工法を時代に合わせて近代化する。
③商品開発・原材料の確保・加工・販売にわたる一体的なビジネスを考える。
④時代に合った発酵食品の開発や，発酵食品を利用した料理の提案を続ける。

本解説で紹介する発酵食品データベースは，これらの方策の助けになると考えている。つまり，発酵食品データベースは直接①に関係する。それ以外の項目についても，参考となる情報を入手するためのツールとして利用できるだろう。上述したように，今，発酵食品分野にとって最高の環境が到来しており，これを活かそうとする取り組みも積極的に行われている。うまくいけば発酵食品分野が飛躍するかもしれない。さらに，その繁栄が長く持続すれば理想的である。私たちは発酵食品データベースを提供することによって，このような取り組みを行う関係者を永続的に支援したいと考えている。

1. 目的

発酵食品データベースの目的は，情報を蓄積すること（＝データベースを構築すること）ではなく，発酵食品分野の関係者が活用できる情報を提供することである。ここで対象とする発酵食品分野の関係者とは，発酵食品の製造業者を始め，原材料提供業者，流通販売業者，消費者や料理店，さらには発酵食品に関わる研究者，開発者，指導者，教育者を指している。

この目的を達成するために重視している課題は次の 2 点である。

1-1．使いやすいユーザインターフェイス

想定している発酵食品データベースの利用者は多様で，データベースやコンピュータについて十分な知識を持つ人とは限らない。また，発酵食品そのものについての予備知識も人によって相当な違いがあると想像される。そこで，知識の多少にかかわらず，とりあえず操作ができ，その操作がどのような意味を持つかを理解できるようなユーザインターフェイスを装備することが重要だと考えている。

1-2．永続するデータベース維持管理組織

発酵食品データベースのゴールはデータベースの構築の先にある。すなわち，公開後にどれだけ利用してもらえるかが，成否の評価基準となる。このため，公開後もデータ更新（新しいデータの登録，登録済みデータの修正，不適当なデータの削除）やユーザに対するサービスは絶え間なく継続していかなければならない。研究機関が開発するデータベースにおいては，構築されたままメンテナンスされずに放置されてしまうものがかなりの数に上っている。研究機関ではデータベースの開発に予算を付けることができても，維持管理に割く予算と人手を用意することが困難なためである。したがって，データベースを開発する組織とは別に，維持管理する組織を考えたほうがよい。発酵食品データベース公開前に，十分に維持管理組織について検討することが重要である。

2. 三つの開発段階

発酵食品データベースの公開までに十分な開発期間を設けることにした。登録データ数が多くなった後，あるいはウェブ公開した後になると，データベースシステムや管理体制を変更するためには膨大な作業が発生してしまうからである。公開時点で発酵食品関係者がある程度使えるものにするのは当然だが，システム変更等によって使用停止期間が発生するのを極力避けるために，十分な準備が必要だと考えている。

さらに，開発期間を二つの段階に分けた（表 1）。PC 開発段階（主にユーザインターフェイスを開発する）と，サーバ開発段階（主にシステムをネットワークアプリケーション化する）である。あえて二つの段階に分けたのは，ユーザインターフェイスの改善に充てる時間を多くとり，十分に検討されたユーザインターフェイスを提供したいと考えたからである。

PC 開発段階では，データベースの基本設計とユーザインターフェイスの最適化に重点を置くため，データベース構造（テーブル（表 2 参照）とクエリ（表 2 参照））とユーザインターフェイスを手軽に開発できる Microsoft Access を開発ツールとした。Access は PC 単体で一人のユーザが使用することを基本としている。そのため，サーバ開発段階では，ネットワークを介して複数のユーザが同時に発酵食品データベースを使えるようにするため，Access で開発したシステムを拡張（アップサイジング）しなければならない。その際，処理速度の向上，同時実行機能の付加，バックアップ機能の付加，セキュリティの高度化も同時に考慮する項目となる。

表 1　発酵食品データベースの三段階

	PC 開発段階	サーバ開発段階	公開段階
関係者	事務局	事務局 アドバイザグループ	維持管理組織 支援者 ユーザ
開発ベース	PC	PC，サーバ	PC，サーバ
開発ツール	Access	Access，SQL Server	Access，SQL Server
作業	システム開発 データ試験入力	システム開発 データ入力 データ発掘	システム改善 データ入力 データ発掘

表 2　データベース基本用語

用語	説明
データベース	整理されたデータの集まり。テーブルの集まり。また，ユーザインターフェイスを含めたシステムを指す場合もある。発酵食品データベースは後者。
テーブル	まとまったデータの集まりを格納するデータベースの基本単位。Excel の表のような構造。例えば，住所録。
クエリ	データベースからデータを抽出したり操作したりする命令。
レコード	一つの物を示すデータの集まり。テーブルの行。住所録では，一人の人。
フィールド	レコードに含まれるデータの種類。テーブルの列。住所録では，氏名や住所，電話番号等。
リレーショナルデータベース	別々のテーブルに格納されたデータを自由に組み合わせて取り扱えるようにした，複数のテーブルからなるデータベース。発酵食品データベースはリレーショナルデータベースである。

前述したように，発酵食品関係者に役立つデータベースとして使ってもらうためには，開発と同様に公開後の維持管理も重要である。新しいデータの登録，登録済みのデータの修正，ログインユーザの管理のような日常的な業務に加え，発酵食品データベースが理念に沿って適正に運営されているかを定期的に評価することも必要である。これらを実行していくために，公開前に資金計画を含めてきちんとした運営ができる維持管理組織を設立することが必須となる。

3. 現状

このプロジェクトは2011年度に細々と始まった。当初は食品産業技術ロードマップに沿って「伝統発酵食品の発酵プロセスに関与する有用微生物の機能特性や利用法のデータベース化」を考えていた[1)]。しかし，約1年間の検討の結果，微生物に関する情報だけでなく，発酵食品そのもの，発酵食品に含まれる成分，発酵食品を利用した料理，発酵食品の原材料，発酵食品に関係する行事やことば等の食文化，これらに関連する文献と問合せ先を総合的に収集し互いに関連付けたデータベースのほうが，利用できる場面が増え価値が高いと結論した。その後，前述したように，Microsoft Accessを使ってシステム開発を行い，これまでにデータを登録しながらシステムの改良を実施してきた。現在（2014年6月）は，前述したPC開発段階の終盤だと認識している。

また，大学や地方試験研究機関の発酵食品関係の研究者・指導者を中心に，発酵食品データベースの開発について将来アドバイスをしてもらえるようお願いしている（図1）。現在このアドバイザグループは約40名で，発酵食品データベースの構築に取り組んでいることをお知らせし，今後支援をしていただくよう依頼した。第二段階になったら本格的にアドバイスをお願いする予定である。

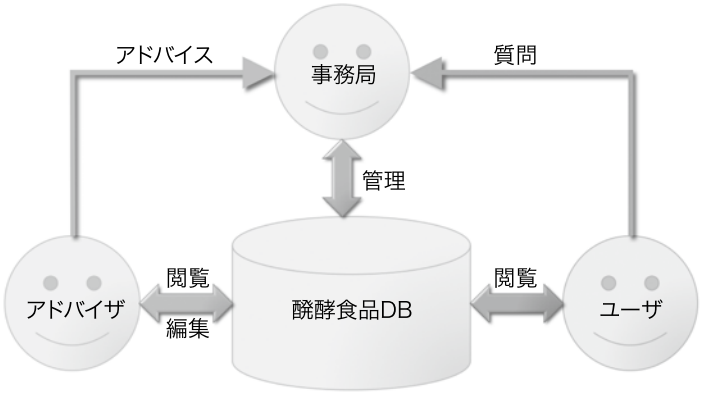


図1　発酵食品データベースの関係者

4. 特徴

「発酵食品分野の関係者が活用できる情報を提供する」という理念のもと，発酵食品データベースに次のような特徴を持たせている。

4-1．一覧と単票の対

ある程度の予備知識を持っていくつかの操作をしなければデータを表示しないデータベースシステムは，初心者にとっつきにくさを感じさせる。検索画面から始まるシステムはその典型であるが，そのようなユーザインターフェイスを採用しているデータベースは多い。

一方，初心者にとってExcelのような一覧表は安心して作業を始められる。ユーザに安心感を与えている要因は最初からデータが表示されていることだと私は考えている。つまり，一覧表は，特別な操作をすることなしに，①どのようなデータ（データベース用語では「レコード」（表2参照））が登録されているのか例を見ることができ，

図 2　一覧フォームと単票フォームの対

②データの構造（レコードに含まれている個別情報，データベース用語では「フィールド」（表 2 参照））を把握できる。実際には登録されているデータのごく一部しか見えていなくても，ユーザが全体像を理解している気分になることが重要だという考えである。

そこで，発酵食品データベースでは，一覧フォームと単票フォームの対の画面構成を基本とすることにした（図 2）。一覧フォームではフィールドを限定して登録されているレコードを一覧表示し，単票フォームでは一つのレコードの全フィールドを表示する。初期状態では一覧フォームに全レコードが表示され，興味により表示するレコードを絞り込むという作業の流れになる。もちろん，画面は有限の広さしかないため，一定数以上のレコードを同時に表示することはできないので，実際にはスクロールによって表示するレコードを変えることになる。最終的な結果は発酵食品データベースのような絞込み型データベースでも従来からよく見られる検索型のデータベースでも違いはない。計算機の中の処理もほとんど変わらない。しかし，ユーザの心理が大きく違うのではないだろうか。釣りに例えると，どのような魚種がどの程度いるのかがわかっている釣堀と，何がいるのかわからない（何もいないのかもしれない）自然の海とを比較しているようなものだと思う。

4-2. 6 つの基本テーブルとその間の関係性情報

発酵食品データベースは，6 つの基本テーブル（食品，微生物，原材料，食文化，文献，問合せ先）とそれぞれのレコードに登録されたレコード間の関係性を表す関係テーブルから構成されるリレーショナルデータベース（表 2 参照）である（図 3）。この構造により，性質の異なる 6 種類のデータが結びつき，ユーザの興味に合わせて次々に登録データを見ていくことができるようになっている。例えば，基本テーブル _ 食品には「みそ」，基本テーブル _ 原材料には「大豆」，関係テーブル _ 食品 _ 原材料にはみそと大豆を関係付けるレコードがそれぞれ登録されているので，単票フォーム _ 食品で「みそ」を表示させると，みその原材料の一つが大豆であることがわかるようになっている。さらに，そこから大豆の単票フォームを表示させれば，大豆を原材料とする別の発酵食品も簡単に調べることができる。

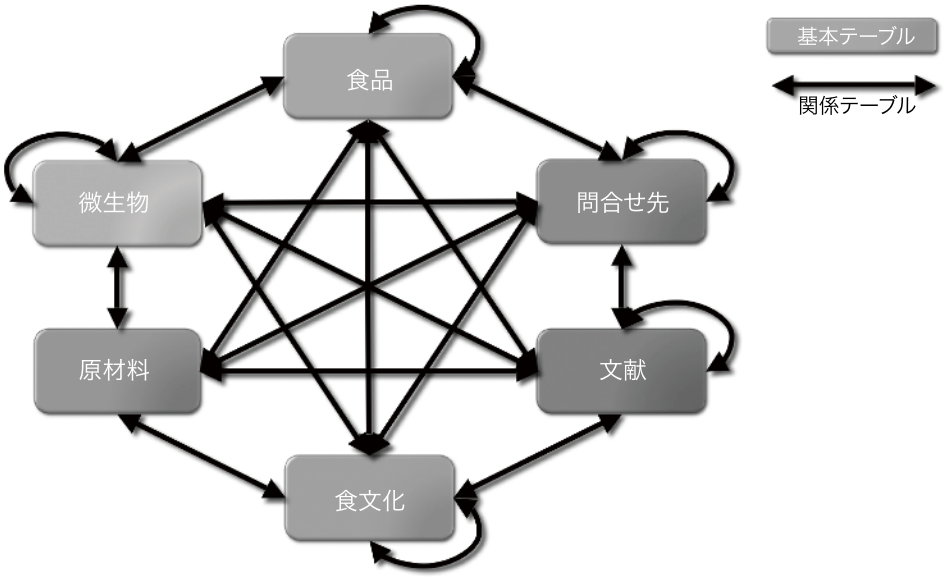


図 3　発酵食品データベースの基本構造

4-3．食文化

前述したように，当初は発酵食品に関係する微生物の機能特性や利用法をデータベース化しようと考えていた。しかし，発酵食品関係者の役に立つデータベースとは何かを時間をかけて検討した結果，登録するデータを微生物に限らず，発酵食品に関わる広い範囲の情報を一元的に取り扱うことができるデータベースを構築することが望ましいと結論した。新商品開発等多くの場合，発酵食品関係者の興味は微生物に限定されるわけではなく，他の発酵食品や原材料に関する情報，それを裏付ける文献等，幅広い。必要な情報のうちできる限り多くを 1 か所で収集できるようにすることが，発酵食品関係者に貢献できると考えた。現在の発酵食品データベースは，食品，微生物，原材料，食文化，文献，問合せ先の 6 つの基本テーブルから構成されることはすでに述べた。

発酵食品データベースは 2012 年 10 月に最初の形が現れたが，このときはまだ食文化テーブルは含まれていなかった。食文化テーブルを導入したのは 2013 年 5 月であるが，今では他のテーブルに格納されている技術的なデータと食文化に関するデータが融合している点が発酵食品データベースの大きな特徴であると考えている。

このテーブルには，発酵食品に関する歴史，行事，場所，人物，ことば等を格納する。例えば，秋田県男鹿半島の根元にある「東湖八坂神社」で行われる国指定無形文化財の神事「統人行事」において，「みそ」に関係した行事が含まれていると「みそ文化史」に記載されている [2]。3 月 24 日に行われる「御味噌煮式」，3 月 25 日に行われる「御味噌埋め式」，6 月 25 日に行われる「御味噌揚げ式」である。統人行事は江戸後期の民俗学者「菅江真澄」が紀行文「真澄遊覧記」に記している。このようなデータが食文化テーブルに格納される。少し具体的に言えば，食文化テーブルには，「東湖八坂神社」，「統人行事」，「御味噌煮式」，「御味噌埋め式」，「御味噌揚げ式」，「菅江真澄」というレコードを登録，この内容を記載し，互いに関連付ける。さらに，食品テーブルの「みそ」，文献テーブルの「みそ文化史」と「真澄遊覧記」にも関連付けるの

である。

このテーブルに格納されるデータは発酵食品事業者にとって役に立たないと思われるかもしれないが，その考えは間違っている。食品に限らず，直接消費者に販売する商品では，その品質・価格に加えて，ブランド戦略が売り上げの成否を決定する。大量生産・大量消費が期待できない伝統発酵食品は，高品質を競ってもよいが，低価格を競ってはならない。ブランド戦略作りが勝負どころである。その際発想を助けるために様々な情報を収集したほうがよいが，食文化テーブルに格納されているデータはブランド戦略作りにも適した良質な情報を提供できると考えている。

5. 課題

ここまで述べたように，発酵食品データベースの形は一応見えてきたが，システム開発，データの登録，維持管理組織の面で大きな課題が残っている。

システム開発のうちユーザインターフェイスに関しては，発酵食品の製造工程に関するデータをどのように表示し入力編集するかがまだ確定していない。データベースに登録されるデータは文字列であるが，表示はできる限りグラフィカルなものにしないと理解しにくい。次に，どこでも誰でも利用できるようにするためのネットワークアプリケーション開発が迫ってきているが，これは専門会社に外注するのが妥当である。しかし，そのための資金計画は未定である。

現在データの登録は，システムの検証も兼ねて，試験的に実施している。ネットワークアプリケーション化する第二段階では，本格的なデータ入力・編集作業を行うことになる。その段階では，どのデータをどのように入力するのかを明確にしておく必要がある。また，大量のデータを入力するために，どのような体制を構築すればよいのかを検討しておかなければならない。

維持管理組織についてはまったく未着手だが，発酵食品データベースが関係者の役に立てるかどうかを決める最大の課題であると認識している。

これらの課題を乗り越えるために，いくつかの面で支援が必要である。ひとつめが経済的支援である。幸いなことに，すでに発酵食品データベースの趣旨をご理解いただいた公益財団法人浦上食品・食文化振興財団とみそ健康づくり委員会には，データ入力補助者の雇用と各地の発酵食品の現地調査のための旅費の支援をいただき，立ち上げ時期から現在までの計画推進にたいへん役に立っている。しかし，ネットワークアプリケーション化を実施するサーバ開発段階にはこれまでより大きな金額が必要で，さらに公開後の維持管理組織を運営するには永続的な資金計画を立てなければならない。

また，発酵食品データベースにおけるデータの登録基準（登録するデータと登録しないデータの境界）の決定や，新しいデータの発掘は，多くの方からお知恵を拝借したほうがよい。大学や公的研究機関に所属する研究者ですでに構築しているアドバイザグループをさらに充実させて，その力を有効に利用させてもらいたい。真の課題は，発酵食品データベースが発酵食品関係者（消費者も含めているので，国民全員）に興味を持ってもらい，応援してもらえる存在になれるかである。一時的な熱狂ではなく，家族のように，順調な時は静かでも途絶えることなく温かく見守り，危機が訪れた時には手を差し伸べるような対象になることが目標である。できれば本解説の読者には，発酵食品データベースを温かく見守る心情的な支援者になっていただけるとありがたい。

おわりに

私たちが豊かな食生活を送ることができるのは,日本の変化に富んだ自然環境（南北に長く,四季がある）とそれを受け入れ楽しむ国民性を育んでくれた先人たちのおかげである。各地,各季節で収穫される農林水産物の旬を楽しむだけでなく，その地域，季節で消費しきれなかった物を別の地域や別の季節にも味わいたいという欲求を満たすために，様々な保存方法を開発した。そのうちの一つが微生物の力を借りた発酵食品である。燻製や乾物・干物のような他の伝統保存食品と同様に，発酵食品も元の食品とは違う味わいを持ち，それが日本人に好まれ受け継がれてきた。多くの伝統的食品保存技術が生まれた時代に冷蔵冷凍技術を利用することができたら，私たちはこれほどまでに多様な食を楽しむことはできなかったかもしれない。冷蔵冷凍技術を使えなかった時代に，たぶん生きるために苦労して多くの食品保存技術を開発し発展させてきた先人たちに感謝したい。同時に,私たちが享受しているこの幸せを未来の人たちに引き継ぎたい。発酵食品データベースがそのための活動の一つになることを希望している。

（本解説で紹介する発酵食品データベースは,現在（2014 年 6 月）開発中で未公開です。）

参考文献

1）食品産業技術ロードマップ策定委員会：食品産業技術ロードマップ集，社団法人農林水産先端技術産業振興センター，東京，2011.
2）みそ健康づくり委員会編:みそ文化史，全国味噌工業協同組合連合会，社団法人中央味噌研究所，東京，2001.

肥満大国アメリカの様相と矛盾

藤田　哲（*FUJITA Satoshi*）*

* 藤田技術士事務所

Key Words：肥満・アメリカ合衆国・BMI・医療問題・栄養表示・食料栄養政策

はじめに

人の体格に関して，その太り具合を判断する指標として，体重指数（Body Mass Index: BMI）がよく知られている。BMI は体重（kg）と身長（m）を用いて，体重÷（身長×身長）で計算する。世界保健機関（WHO）は，BMI が 18.5 ～ 25 を標準体重，18.5 以下は痩せすぎ，25 ～ 30 を太り気味（over weight: 過体重），30 以上を肥満（obesity）としている。なお BMI 40 以上を激しい肥満，同 50 以上を極度の（病的な）肥満と呼ぶことがある。

アメリカの肥満人口の比率は世界最多であったが，2013 年にメキシコがアメリカを僅かに上回った。アメリカでは，20 歳以上の成人肥満人口は 2010 年に全体の 35.7% に達しており，子供でも 17% になっていた。肥満人口の増加によって，二型糖尿病や心臓血管病その他の成人病への医療費増加を始め，社会経済に数多くの直接・間接的損失が発生し，重大な政策問題になっている。

最近の *Food Techinology* 誌に，同国の肥満人口と食品政策，特に低所得階層への公的支援との関連について，興味深い特集が掲載された[1)]。アメリカで増加した肥満の実態，社会的背景と対策については多くの報告があり，それらから得られた知見について以下に述べてみた。

1. 世界の肥満問題

経済協力開機構（OECD）の 2012 年の報告によると，加盟 34 か国の成人人口の 57% が太り気味と肥満であり，過体重者が 50% を超える国は 21 か国であった。BMI が 30 以上の肥満者の成人人口が多い国は，アメリカ (36%)，メキシコ（36%），ニュージーランド，チリ，オーストラリア，カナダ，アイルランドなどであった。OECD 加盟国の成人肥満人口の平均は 18% で，フランスとスイスは少なく，最低は日本の 34 位と韓国の 33 位が 3.9% であった。しかし，加盟国の肥満人口は，2010 年までの 10 年間に約 40% 増加している[2)]。

日本肥満学会は BMI が 25 以上を肥満としている。この定義に従うと，2011 年の国民健康・栄養調査で，日本の成人の 25.1% が肥満に該当し，内訳は男性 30.3% と女性 21.5% であった。日本の肥満人口は，男性で増加を続けており過去 30 年間にほぼ倍増したが，女性ではほとんど変化がなかった。日本人の肥満は，男性では 40 歳代が最高で若年と高齢者で

減少し，女性では加齢と共に増加し高齢では男性を超えた。男性の肥満は所得と無関係であるが，女性では低所得者にやや肥満が多い傾向がある。また世界的には，年収一人 50 万円程度までの途上国では，肥満が所得と比例関係にあるが，年収が 100 万円を超えると肥満との関連がなくなる [3, 4]。

2. アメリカにおける肥満の様相

Wikipedia によると，アメリカ成人の BMI 30 以上の肥満率は，50 年前の 1962 年に 13% であり，その 35 年後の 1997 年に 19.4% であった。連邦政府の失病管理予防センター（CDC）の発表では，肥満は過去 20 年間に急増し，前述のとおり 2010 年時点での肥満率が成人で 35.7% になり，小児の肥満は 17% とされた。なお，アメリカの人口は 2010 年に 3.16 億人であった。2008 年時点での肥満率は，男性 32.2%，女性 35.5% と報告され，最近の肥満傾向は男性で増加し女性の増加は少なかった。1986 ～ 2000 年の間に BMI が 40 以上の激しい肥満は 0.5% から 2% に，BMI が 50 以上の極度の肥満は 0.05% から 0.25% に増加した。この肥満傾向は，乳幼児から子供，10 代の若者にまで広がった。最近は肥満の増加が収まっているが，その原因は肥満の弊害の認識と，生物学的な限界によるのではないかと考えられている [5]。

アメリカの肥満による弊害は，年間の死亡が 10 ～ 40 万人であり，肥満が原因の疾病や健康維持のため増加する直接 / 間接費用は，2000 年に 1170 億ドルと推定された。この費用は成人と子供の肥満への対策費で，その 52% が直接の医療費であり，他に休業損失，早期死亡による賃金減少などを含んでいた。この額は，喫煙関連や飲酒に関連する健康管理の費用を上回った [5]。

2-1．失病管理予防センター（CDC）の肥満報告

アメリカの疾病管理予防センター（CDC）の 2012 年の「成人肥満の実態」報告 [6]，同じく「成人の健康統計」[7] から同国の肥満状況を概観する。

・肥満は一般化し，重大で費用がかさむ

アメリカ成人の 1/3 以上が肥満になり，肥満に関連する病態は心臓病，脳卒中，二型糖尿病，ある種のガン，防止可能な死である。肥満の医療コストは 2008 年に年間 1470　億ドル（15 兆円）で，肥満者の医療コストは標準体重者より 1429 ドル増える。

・肥満には人種差がある

黒人の年齢補正肥満率は 47.8%，次いでヒスパニックの 42.5%，非ヒスパニック白人 32.6%，東洋人 10.8% であった。肥満は 40 ～ 59 歳の中年に最多で 39.5%，20 ～ 39 歳は 30.3%，60 歳以上は 35.4% であった。

・肥満と社会経済的状態

非ヒスパニック黒人とメキシコ系アメリカ人男性では，高額所得者が低所得者より肥満が多い。女性は高所得者が低所得者より肥満が少ない。男性では学歴と肥満に関連はないが，女性は大学卒の方が低学歴者より肥満が少ない。

・過去の肥満増加

1990 ～ 2010 年に肥満は劇的に増加した。政府によるアメリカ人の健康管理の指針「Healthy People 2010」では肥満率を 15% 以下にする目標であったが，達成した州はなかった。2000 年には肥満率が 30% を超える州はなかったが，2010 年にはそれが 12 州になった。

・人種および性別，地域と肥満

人口 3.16 億のアメリカ人を構成する各人種の成人間で，BMI 30 以上の肥満分布は異なっており，またアメリカの各地域，各州の肥満状況にも差がある。CDC はアメリカ人の肥満実

態について報告を重ねており，2010 年の状況を以下にまとめてみた。

白人の肥満：

白人成人の肥満率（BMI>30）は 26.8 で，男性が 27.5%，女性 24.5% であった。

黒人またはアフリカ人：

黒人とアフリカ系成人の肥満率は 36.9% で，男性 31.6%，女性 41.2% であった。

アメリカインディアンとアラスカ人：

アメリカ原住民成人の肥満率は 39.6% であった。

アジア人：

アジア由来の各人種の成人肥満率は 11.6% であった。

ヒスパニックまたはラテン系：

この分類の成人肥満率は 31.9% で，男性 30.7%，女性 33.1% であった。

メキシコ人またはメキシコ系アメリカ人：

成人肥満率は 34.1% であった。

ハワイ人または太平洋諸島人：

成人肥満率は 43.5% であった。

・性別：

アメリカ成人の 6600 万人が肥満で 3000 万人が男性，3600 万人は女性であった。過体重者は 7400 万人で，男性は 4200 万人，女性 3200 万人であった。

・年齢別の肥満：

子供（6 ～ 11 歳）の肥満は 19.6%，10 代の青年層の 18.1% が肥満で，この 20 年間に 3 倍に増加した。これらの肥満は成人になっても継続することが多い。高齢者では肥満が減少する。

・地域別の肥満：

アメリカの各州での成人肥満人口は，CDC の 2011 年の調査によると，最低はコロラドの 20.7% で，最高のミシシッピーは 34.9% であった。南部の肥満人口は 29.5% で最高であり，次いで中西部の 29.0%，北東部は 25.3%，西部は 24.3% であった。肥満人口が 25% を超える州は 39，30% 以上の州は 12 であり，それらはアラバマ，アーカンサス，インディアナ，ケンタッキー，ルイジアナ，ミシガン，ミシシッピー， ミズリー，オクラホマ，サウスカロライナ，テキサス，ウエストバージニアであった[7]。

2-2．肥満の疫学と社会環境

前項でも述べたが肥満は多くの慢性疾患の原因になる。最大の問題は二型糖尿病で，次いで高血圧と心臓血管病であり，大腸がんなどの腫瘍，骨関節炎，肝臓病，睡眠時無呼吸，うつ病などの罹患に関連し，罹病率と死亡率が高まる。アメリカの低所得者に対する農務省の栄養支援制度，フードスタンプ*を 2 年以上受けた女性では，その 50% に肥満が高まる。また，青春期に過体重であった人の 70% が，過体重か肥満の成人になるとされる。

肥満の原因は種々の社会的要因に関連する食習慣にある。ファーストフードの肥満への影響は大きく，4 ～ 19 歳の若年層の 1/3 が毎日ファーストフードを食べている。アメリカ人の多くが好むハンバーガー，フレンチフライ，ドーナッツは脂肪と炭水化物の含有が多く，必要な栄養要求を満たしていない。しかも，それらの食品形態は過去 50 年間に 4 倍の大きさになり，高カロリーで比較的安価であるから肥満を招きやすい[8]。砂糖入り炭酸飲料と果汁飲料の場合も同様で容量は 2 倍以上になっている[9]。

*フードスタンプ：アメリカ農務省が行う低所得者への食料費支援制度。2008 年に SNAP と名称変更。州や収入によって異なるが，例としては 4 人家族で月収 2500 ドル以下の世帯では，最多で一人 120 ドル / 月ドルの金券（カード）が与えられ，2012 年に人口の 15% に当たる約 4700 万人が受給。費用は連邦政府と州が折半する。

アメリカ人の家庭内調理は減り，食事の 50% を外食に依存しているが[10]，提供される美味な食事は一般的に多脂肪，高糖，高塩で高カロリーである。また多くの人々の仕事は座業になり，TV の視聴やゲーム機の普及などでスポーツの機会が減り，アメリカ人の 25% が運動せず身体を使わないことも肥満増加の原因になっている。

3. 肥満の進行と社会的コストの増加

BMI が 30 以上の肥満人口は 1960 年から 3 倍に増加して 2010 年に 35% になり，BMI が 40 以上の激しい肥満は 6 倍になった。過去 20 年間に急増した肥満は，アメリカ社会全般に種々のコスト増加を迫っている。健康・医療費の増加，公共施設や交通機関設備の仕様変更，エネルギー消費の増加その他がある。最近，肥満人口の増加による社会のコスト増加が把握されだしたが，その額は数年前の予測よりはるかに多くなっている。例えば，肥満に関する医療費は以前の推定の 2 倍になり，これらの費用増大の結果として健康保険料が値上げされた[11]。

3-1．肥満への医療費

まず肥満に関連する医療問題では，前述のように二型糖尿病，心臓血管病などの罹患が増える。アメリカの保健省によると，2008 年に成人の 5700 万人（人口の 18%）が前期糖尿であり，2400 万人の糖尿病患者の 90 ～ 95% が二型であるとされた。肥満の健康影響は広範囲で，当人の死亡率が高まり，出産障害や死産，新生児の高死亡率などである。肥満への直接的な医療費の増加と休業や早死になどの間接コストを加えると，2000 年に 1170 億ドル（12 兆円）と推定された。前述したが，このコストは喫煙や過度の飲酒による損失より大きかった。これら費用の約半分は高齢者医療保険や低所得者への医療費補助制度が負担している。また，6 歳以下の子供の肥満人口は 2006 年に 25 万人とされ，子供の肥満に関連する医療費は，2000 年までの 20 年間に 3 倍に増加した[5]。

肥満による医療費増加には幾つかの研究がある。BMI が 29.9 以下の過体重者では標準体重者と比べて医療費増加はない。これらの通常的な体重者に比べて，肥満男性にかかる医療費の増加額は年間 970 ～ 1152 ドルで，肥満女性ではそれが 3220 ～ 3613 ドル（32 ～ 36 万円）になるとされる。2010 年の肥満に関連する医療費は年間 1900 億ドル（19 兆円）と計算され，その額はアメリカ全体の医療費支出の 20.6% と計算された。この医療費の増加分は，高い税金と保険料によって肥満でない者が支えている。喫煙は医療費を 20% 押し上げるが，それを非喫煙者が支えている。肥満の費用は喫煙の場合をやや上回るが，極端な肥満ではそのコストが 50% 増加する。アメリカの病院では肥満患者のために，壁に並べた男性用の縦型トイレを壊して，大型の床置式に改造した。また，車椅子のサイズを広げ 115 kg の重量に耐える構造にした[11]。

3-2．生産性の低下

肥満によって健康状態は悪化し，心臓血管病や慢性的な痛みなどが増加するため，健康的な体重者に比べて肥満者は罹病率が高まる。仕事を病気で休む日数は肥満男性で年間 5.9 日，肥満女性で 9.4 日以上になっている。肥満が原因の企業の休業コストは年間 64 億ドルと算出されている。不健康な肥満労働者が仕事を休まないとしても，肥満による種々の身体的不都合で生産性は低下し，また肥満者による時間外労働の不能の損失は大きい。肥満による年間損失は一月分に相当し，その年額は男性で 3792 ドル，女性で 3037 ドルとされ，時間外労働不能の損失は年に 300 億ドル（3 兆円）という研究がある。

生産性の低下は賃金の低下につながり，肥満者の収入は標準体重者と過体重者より少なく，また肥満者の雇用機会や昇給も少なくなる。特に肥満女性ではこの傾向が顕著で標準体重の女性より賃金が 11% 少ない。アメリカ女性の平均週給は 2010 年に 669 ドルであったから，肥満女性は週に 76 ドルの肥満税を支払っていたことになる [11]。

3-3．社会的コストの上昇

喫煙者は早死にが多いので，年金や老後の医療への出費が少なめになるが，肥満では早死にはそれほど多くない。糖尿病薬その他の薬剤は肥満者の寿命を保ち，老後の医療費は大きく増加する。

連邦運輸省は肥満運転手のためにハンドルとブレーキ装置の改善を検討させている。肥満の乗客を移動させるには，体重に比例して余分なエネルギーを要し，ガソリン消費は体重に比例して増加する。その量は年間 938 百万ガロン（356 万 KL）で，アメリカのガソリン消費量の 0.8% に当たり 40 億ドルになる。国民の体重増による車のガソリン消費は，50 年前に比べて年間 10 億ガロン（3800 万 KL）増加した。

増えた肥満者のために，交通機関の椅子は現在の 50 cm から 56 cm に広げる必要があり，バスの入り口を広め，椅子の強度を高めなければならない。バス停など公的施設での椅子の幅を広げる必要があり，野球やサッカーのスタンドも同様である。バス乗客の平均体重は従来 68 kg であったが，それを平均 79 kg に変更の必要が生じた。バスの後部に肥満者が集中すると運転は困難になり，またブレーキなどの仕様の変更を要する。南部の病院ではドアの幅を広げ，トイレを改造して 110 kg 以上の肥満者の使用を可能にした。

肥満の増加コストを肥満でないものが支えるのは，非喫煙者が喫煙の二次被害を支えるのと同様である。しかし，肥満者の犯罪は通常者より 64% 少ないという統計がある [11]。

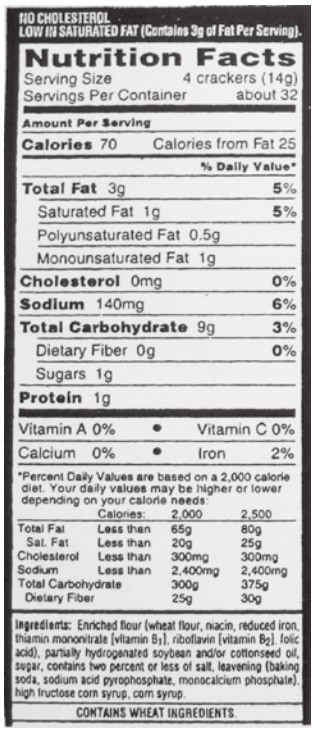
4. 肥満防止の対策

近年，アメリカ人の肥満問題への関心が高まり，食事改善のボランティア活動，法的手段，学校でのジャンクフード禁止などが進んだ。種々の肥満防止策が行われたため，肥満化の速度は下がった。しかし標準体重より 100 ポンド（45.4 kg）以上重い，極度の肥満人口は依然として増え続けている。

4-1．学校その他での対策

アメリカでは親や肥満防止推進団体などの影響で，学校内でのジャンクフードや菓子類，高カロリーのソーダ飲料の禁止が行われた。カリフォルニア州は 2003 年に法律で，小学校での自動販売機によるスナックと飲料の販売を禁止し，また 2009 年には高等学校でのソーダ飲料販売を禁止した。コネティカット州議会も 2005 年に同様の法案を可決したが，州知事は親の学童への監督責任を放棄させるとして，拒否権を行使した。また，アメリカ飲料協会は 2006 年に，高カロリー飲料の学校での販売を中止し，飲料の容量を小・中・高の各学校で 220 ～ 340 ml に制限した。

一方，健康的な食事普及の運動を始める非営利の民間団体も増えた。オバマ大統領夫人は，子供の肥満と闘う「Let's Move」の運動を提唱し，小学生の体力増強に歩行と自転車を勧めている。2008 年，ペンシルバニア州では小学校レベルでの「学校栄養政策推進」を定め，親の協力を得て，選定した学校で不健康な飲食を禁じ，健康的な食事を推進した。この成果は，実施しなかった学校に比べて，過体重と肥満の発生を 50% 低減させたとされた。今日では，肥満解消の医学的治療と生活習慣の改善によっ



A

クラッカー

無コレステロール　低飽和脂肪

栄養の実態
供給サイズ 4 枚（14g）
包装内は約 32 回供給

一供給中の量
カロリー 70，脂肪カロリー 25

	一日量中 % *
全脂肪 3g	5%
飽和脂肪 1g	5%
多価不飽和脂肪 0.5g	
一不飽和脂肪 1g	
コレステロール 0mg	0%
ナトリウム 140mg	6%
全炭水化物 9g	3%
食物繊維 0g	0%
糖類 1g	
たん白質 1g	

ビタミン A 0%・ビタミン C 0%
カルシウム 0%・鉄 2%

* 一日量の % は 2,000 カロリー摂取の場合で，自分のカロリー必要量で増減すること

B

クラッカー

名　　称：クラッカー
原材料名：小麦粉，ショートニング，砂糖，食塩，果糖ぶどう糖液糖，コーンシロップ，膨張剤
内 容 量：453g
賞味期限：2006 年 1 月 24 日
保存方法：直射日光，高温多湿をさけて保存してください
原産国名：アメリカ合衆国
輸 入 者：

* 開封後は口をしっかりと閉め，お早めにお召し上がり下さい。

原材料：強化粉（小麦粉；ナイアシン；鉄強化；チアミン一硝酸塩，ビタミン B_1；リボフラビン，ビタミン B_2；葉酸）部分水素添加大豆油および／または綿実油；砂糖
2% 以下の塩分，膨張剤（重曹，ピロリン酸ナトリウム，リン酸一カルシウム）；高フルクトースコーン液糖，コーン液糖。
原材料に小麦を含む

図 1　アメリカのクラッカー表示例 A と，輸入後の日本国内表示 B[12)]

て，多くの患者の肥満が解消される例が知られている。一方で主要な加工食品製造業でも，食味を損なうことなく食塩や糖，脂肪を減らした製品の開発を進めている[5)]。

4-2．アメリカの食品栄養表示

アメリカでは，1994 年に栄養表示教育法（NLEA）が施行され，加工食品に親切で詳細な栄養表示が行われた。加工食品の供給サイズ当たり（包装された一個あたり）のカロリー，脂肪その他の栄養素と，ビタミン類を含めた 10 項目の栄養内容を示し，それらの栄養素が一日摂取推奨量の何 % であるかも表示させた（図 1 参照）。この栄養表示は急増する肥満と成人病予防の目的で，国民が摂取する食品の内容把握を容易にするために義務化された。なお現在，この種の栄養表示は世界のほとんどの国で義務化されており，日本以外に東洋で義務化されていない国は，北朝鮮とラオスとみられる。

最近の調査結果では，8 割のアメリカ人は栄養表示を理解でき，その必要性を認めている。また 6 割の消費者が食品の購入で栄養表示を読んでおり，特に脂肪とカロリーの量に注意するとされる。現在世界各国では理解を容易にするために，主要栄養内容の図案による表示を始めており，アメリカでは商品の前面への図案表示義務化を進めている[12)]。

5. 過食と肥満をもたらすもの

肥満を起こす過食の習慣は，頭脳の食事要求機能が異常になって，食物を切望することによるとする説がある。また他の研究者は，この種の習慣の矛盾は切望と定義することはできず，科学的な根拠がなく臨床的にも証明できないとしている。また過度な異常食欲は神経性の食欲

亢進症と関連しており，動物実験では過食症は必ずしも肥満と関連しないとされる。人が急激なストレスを受けると，30 ～ 40% は食が細り，20% は変わらず，40% 以上が食事量が増える。そこで肥満には幾つかの神経的影響があると考えられ，肥満抑制には，エネルギーバランスや運動と共に，精神的影響についても考慮しなければならないとされている[13]。

5-1．所得と性別，人種と肥満の関連

アメリカの Pew 研究センターが発表した，アメリカの成人の所得と BMI 30 以上の肥満の関連は興味深い。図 2 に示すとおり，所得階層と肥満率の関連が男性と女性でかなり異なる傾向が認められた。この図は男女別にその所得階層，人種と肥満率の関連を示し，2005 ～ 2008 年の疾病管理予防センター（CDC）のデータと，全国健康栄養調査データを利用した解析である。従来からアメリカの肥満は貧困が原因との考え方があったが，この報告はその考えに一石を投じた[14]。

当時の CDC は，68% のアメリカ人は過体重で，全体の 1/3 以上が肥満とした。黒人とメキシコ系アメリカ人男性は収入増で肥満が増え，前者は 44.5% 後者は 40.8% が有意に肥満であった。一方収入が最低の階層の肥満は，黒人男性が 28.5%，メキシコ系男性は 29.9% であった。また，黒人とメキシコ系男性の肥満は収入と教育に正に相関した。なお，黒人とメキシコ系男性の低所得層に肥満が少なめになる理由は，この階層に肉体労働者が多いためとされている。

女性では，貧困ラインの 130% 以下の低所得層の肥満が 42% に達し，350% 以上の富裕層は 29% であった。高収入の女性と白人女性に肥満が少なく，この数字は有意であった。女性の肥満は傾向として全ての人種で同様であったが，所得の低い黒人女性では肥満が 50% を超えた。なお，2008 年には貧困ラインの年収は，65 歳以下の単身者で 11,201 ドル（約 115 万円）であり，大人二人子供二人世帯では 21，834 ド

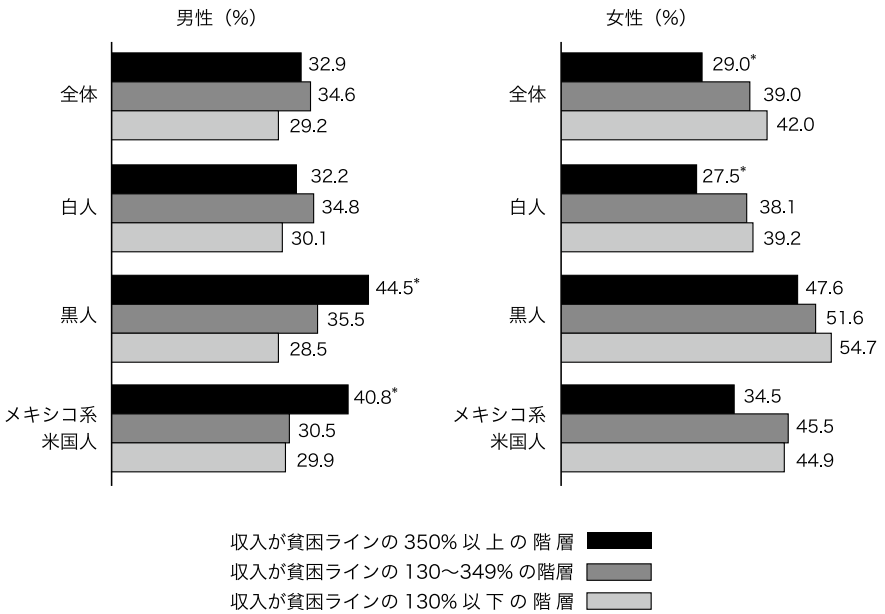


図 2　収入と肥満の頻度：20 歳以上のアメリカ人の収入と肥満 % の人種別の関連[14]
（CDC ／ NCHS の 2005-08 年調査データによる，Pew Research Center の報告）
＊印は統計的に有意な差異を示す

ルであった。なお 2010 年に，貧困ライン以下の市民は 4600 万人で，母子家庭が多く子供は 1600 万人であった。

2011 ～ 2012 年の最新調査では，黒人女性の肥満はさらに進み 56.8% になり，黒人男性は 37.1% に増加した。なお男女平均で，アジア系アメリカ人の肥満は 10.8%，白人は 32.6%，ヒスパニックが 42.5%，黒人は 47.8% であった。1990 ～ 2010 年までの肥満人口増加に比べて最近の増加は止んだ。政府の報告によると成人の肥満は，2007 ～ 08 年は 34.2%，2009 ～ 10 年が 35.7%，2011 ～ 12 年では 34.9%（7860 万人）とされている。

肥満は世界的に，途上国よりも先進国で大きな問題になっているが，アメリカとメキシコが最も多い。WHO の 2010 年のデータでは，15 歳以上のアメリカ人では，男性 44.2% 女性 48.3% が肥満と推定している。

5-2．欠食への不安と肥満

世界には貧困や内戦などによる食料不足で，約 8.4 億人の飢餓人口があり，また食料の安定的な入手が困難な住民も多く，その半分は東アジアに分布している。サブサハラや東南アジアでは，栄養状態が悪く BMI が低く痩せた住民が多い。半世紀前までの東洋では，肥満は富の象徴であった。世界の肥満人口増加の原因には，近年まで常に欠食への不安を持ち，入手した食料を無駄なく消費していた消費者の性行があると見られる。

経済協力開発機構（OECD）によると，肥満の蔓延には種々の要因があるが，20 世紀後半から食品の供給と入手しやすさが劇的に変化したことを挙げている。つまり，カロリー当たりの価格は大きく低下し，加工食品が急増して買いやすくなり，家庭での調理の時間が減ったこと。また，仕事は座業が増えて，多くの女性が職業に就いたことが原因で，加えてスーパーマーケットやコンビニ店，レストランが増え，家電製品の普及で家事労働が減ったことが肥満を助長したとしている [15]。

5.3. アメリカの食料栄養政策と肥満 [1]

アメリカでは食料の入手は容易であり，低所得層で栄養知識に乏しく，不健康な食生活を営む層で，特に女性に肥満が多いとされた。アメリカでは低所得の住民はしばしば政府の食糧支援を受けており，また家庭で食事を調理することも少なく，コンビニ食品の利用が多い。アメリカの肥満人口は増加してきたが，それらの人々は社会経済的に恵まれない階層で，特に女性と子供に多い。これらの人々は複数の食料支援計画：補助的栄養支援計画の Supplemental Nutrition Assistance Program(SNAP)，学校給食の National School Lunch Program(NSLP)，School Breakfast Program(SBP)，Special Supplemental Nutrition Program for Women，Infants，Children(WIC) の恩恵を受けている階層である。

・政府の強力な取り組み

SNAP はアメリカ最大の栄養支援計画で，低所得者の適切な食料取得のため，農務省が低価格のパンや穀物，野菜・果物，肉や乳類などの購入を促すことを目的にしている。いわゆるフードスタンプ（金券）の支給であった。この制度は，酒類やタバコ，ビタミン類の購入を禁止するが，ソーダ飲料や菓子類，スナックなどの購入を禁じていない。WIC も低所得者に栄養のある主食の提供を目的にしている。NSLP と SBP の運用は改訂されて，子供が野菜や果物の多い食品を選ぶようになった。

これらの支援計画を行う農務省と各州の機関，支援団体は健康的で適切な食事の普及に努め，また 2010 年の国民栄養ガイドラインでも，適切な食事の重要性が広く示された。また，SNAP レシピのデータベースの普及や健康的な

食品の選定法，「少ない予算での正しい食料選び」などがウエブで示された。このように種々の助言にかかわらず，SNAP を受ける人々は野菜や果物を選ばず，高カロリー，高脂肪，高糖などの簡便食を摂る傾向が強い。低所得層のみならず，アメリカ人の多くはその社会経済的なレベルに関係なく，低カロリーで栄養的な野菜・果物の消費が少ない。この傾向も肥満の増加に関連する。

食事が不健全な家庭では，健康的な食生活の家庭に比べて，二型糖尿病の罹患率が 50% 多いとする驚くべき健康統計がある。不健全な食事と二型糖尿病の強い関連は，アメリカの食料支援の受給者が，安価な澱粉原料食品を多量摂取することによっているとされている [16]。そこでは血中グルコース濃度が高まり，糖尿病のリスクが高まる。肥満はまた心臓血管病その他の成人病の罹患に関連し，これらは食料支援を受ける低所得層に多い。しかし，この層は適切な医療を受けにくいので被害はより深刻である。

・政策上の困難

肥満による平均余命の減少は，女性で 42%，男性で 67% とする研究がある [17]。加えて，肥満と関連がある疾病は医療費の増加を招き，年間 1900 億ドル（19 兆円）に達するとの推定された。政府は，食事政策による幾つかの健康維持と肥満防止策を試行している。2013 年に FDA は部分水素添加油（トランス脂肪）の排除を提唱し，その GRAS 指定を廃止した。また幾つかの市では，学校やレストランでのトランス脂肪の完全禁止を立法した。ニューヨーク市（NY）は砂糖の多い大型飲料の販売禁止を決めたが，覆されている。さらに 2013 年には，NY，ボストン，シカゴなど 18 の主要都市の市長は，アメリカ議会に対し，肥満防止のために SNAP（元のフードスタンプ）を受ける市民による，ソーダ飲料など糖分の多い飲料購入の禁止を申し出た [18]。しかし，SNAP を管轄する農務省はこれを拒否した。飲料業界は甘味飲料だけが肥満の原因ではなく，また飲料は低所得層だけの肥満を助長していないと反論している。また多くの市や郡の長がキャンデー，ソーダ，ポテトチップなどジャンクフードの消費税の増額を提案した。

1994 年に義務化された栄養表示や，レストランメニューへのカロリー表示は，全ての消費者への表示である。また，文化的，社会的，心理的な面で，消費者が何をどれだけ食べるべきかについて，政策的な介入はできない。例えば，食料支援を受けている家庭の親は，十分な食料を得ることが重要で，それらを無駄にすることはない。十分以上の食事があれば，たとえ子供が満腹であっても，それらを残さず子供に食べさせる。そこで子供の肥満が起こり，その習慣は大人になっても続けられる。

加えて，低所得層には人種的少数者が多く，伝統的な習慣を守るとその食事には高カロリーな食品が多くなる。また低所得者の母親は野菜などの調理の経験が浅く，低カロリーで健康的な食事を提供しにくい。また行政は低所得層への食習慣改善の教育投資が困難で，限られた金額でも正しい食事を摂る方法，栄養教育や栄養表示の利用法，その他の栄養知識の普及が進まない。他方で読み書きが不自由，算術能力不足などの消費者が多い。包装食品への健康主張は規制さているが，食品企業は表示や広告で健康効果を宣伝しており，宣伝に根拠がなくても消費者はそれらの食品を買ってしまう。

肥満防止政策にとって最も明白な技術問題は，食品産業が負うべき責任である。過去 10 年間，食品会社はその製品について，カロリーを下げ，包装を小型化し，脂肪とナトリウム，糖を減らしてきたが，アメリカの肥満は増えてしまった。アメリカでは，野菜・果物，その他の低カロリーで栄養に富む食品は安価で，どこのスーパーでも容易に手に入る。しかもこの

種の健康的食品のコストは不健全な食品と比べて，一日あたり一人 1.5 ドルの余分な出費で済むとされる [19]。

・代替する他の方策

OECD の報告にあるように，アメリカの肥満は低所得層への支援が，直接的な原因でないことを示している [15]。政府の支援を受ける低所得者の肥満は「各個人の生活習慣に責任があるが（原因があるが），しかし，各個人のライフスタイルもまた地域社会，州，国の政策の影響を受ける」はずである。そこで，食糧支援以外に肥満を助長する他の政策には次のようなものがある。すなわち，農業補助金，公共輸送を増やさない運輸政策，歩行その他の肉体活動を促進しない道路などの都市計画，不健康な食事やライフスタイルを助長する一部の都市構造などである。

OECD は，食事の改善や身体活動の増加に政策的に介入しても，肥満に関連する慢性疾患への出費を 1% しか減らさないと推定している。そこで他の解決法として，例えば，良好な都市計画，公共輸送の改善，労働環境と賃金の改善，歩行習慣の増加と継続，より厳格な食料支援策の管理，などが行われるべきである。

アメリカ人の 2/3 以上が過体重か肥満である現実は，全ての市民に影響する。統計的にみれば女性の肥満は低所得者層に多い。種々の食料・栄養支援制度は低所得家庭での肥満の真の原因ではないが，これらの制度は肥満の原因になる食品の過剰摂取を可能にし，不健康な食品の購入と消費を援助するパターンを永続させている。アメリカの食料援助政策は，過体重と肥満を招いており，意図しない矛盾をもたらすとみられる [1]。

おわりに

世界の肥満の定義は体重指数（BMI）が 30 以上であり，BMI 25 ～ 30 は太り気味である。日本は BMI 25 以上を肥満としており，この定義による日本の成人肥満人口は，女性の 21.5% にほとんど変化はないが，男性では 30% を超えて増え続けている。アメリカ人の肥満人口は 35% に達した後に増加が止まったが，BMI 40 以上の激しい肥満は増加している。

過去 50 ～ 70 年間にあらゆることが便利になり，食料は安価で入手は容易になり，生活のために使われた多くの労力は不要になった。身体を使わずに飽食した結果が肥満に至るのは自明の理である。特にアメリカに肥満が際立つのは，世界最高の富と機械文明，エネルギー消費の国として当然の帰結と言えよう。加えてアメリカの弱者救済の制度が肥満を助長することは，少数の富裕層だけが富を拡大し，活力のない貧困層が増加するという，この国の矛盾を象徴すると事象と思われる。

参考文献

1）Tomi Tarver: Fat and Hungry: Are U.S. Food Policies Obesogenic?, *Food Techinology*, **68** (3), 24-33, 2014.
2）http://www.oecd-ilibrary.org/sites/factbook-2013-en/12/02/03/index.html?itemId OECD iLibrary: Statistics / OECD Factbook / 2013 / Overweight and obesity
3）http://www.nissay.co.jp/enjoy/keizai/19html: 日本人の肥満率は 22.4％
4）http://www.jili.or.jp/lifeplan/rich/health/2.html: 肥満の人の割合はどれくらい？
5）http://en.wikipedia.org/wiki/Obesity in the United States
6）http://www.cdc.gov/obesity/data/adult.html Obecity and Overweight for Professionals: Data and Statistics: Adult Obesity
7）http://www.cdc.gov/obesity/data/adult.html. CDC 2012. Summary Health Statistics for U.S. Adults: 2010.

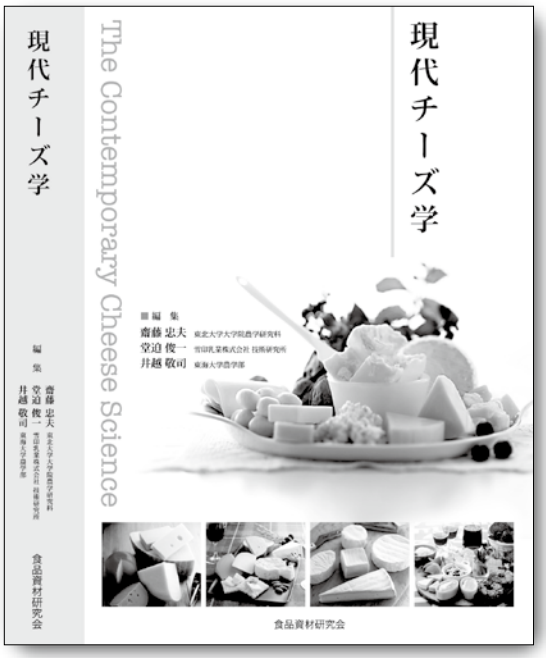
8）L. Young. *et al*.: The Contribution of Expanding Portion Size to the US Obesity Epidemic (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1447051), *Am J Public Health*. **92** (2),246-249, 2002.
9）Three Studies link obesity to sweet drinks (http://www.torontosun.com/2012/09/24/three-studies-link-obesity-tosweet-drinks). Toronto Sun. September 24, 2012.
10）Toni Tarver: The Blame Game: Who's Responsible for Health and Wellness?, *Food Technol*. **67** (2), 90, 2013.
11）Sharon Begley: As America's waistline expands, cost soar. Roiters (http://www.reuters.com/article/2012/04/30/us-obesity-idUSBRE83T0C820120430)
12）藤田 哲：食品表示は誰のためにあるのか，食品と科学，**55** (10) 72-81 (2013).
13）Roger Clemens, The Science Behind Disordered Eating Drives, *Food Tecnol*. **67**. (5), 21(2013)
14）Pew Research Center Nov.13. 2013: D. Desilver, Obesity and poverty don't always go together, (http://www.pewresearch.org/fact-tank/2013/11/13/obesity-and-poverty-dont-always-go-together)
15）F. Sassi, Obesity and Economics of Prevention: Fit not Fat., OECD Publishing, Paris 2010.
16）H.K. Seligman, *et al*., Food insecurity associated with cronic disease among low-income NHANES participants. *J. Nutri*. **140** (2), 304-310 (2010).
17）OECD. 2013., Obesity and the economics of prevention, fit not fat (U.S. key facts). OECD. (http://www.oecd.org/els/health-systems/obesityandtheeconomicsofpreventionfitnotfat-unitedstateskeyfacts.htm.)
18）CBS/AP, June 19. 2013, Limit food stamps for sodas, 18 mayors ask government, (http://www.cbsnews.com/news/limit-food-stamps-for-sodas-18-mayors-ask-government)
19）M. Rao, *et al*., Do healthier foods and diet patterns cost more than less healthy options?, *Brit. Med. J. Open* **3** (12) 2012. (http://bmjopen.bmj.com/content/3/12/e004277.full.)

The Contemporary Cheese Science

480 ページ超の大迫力！
業界第一人者が集結！
チーズ研究の必携書

チーズ研究の頭脳集結！
熟成した研究成果を、
じっくり書き上げた
問い合わせ殺到の
究極のチーズ技術書！

■B5 版／ 496 ページ
■定価：（本体 7,500 円＋税）
■発行：食品資材研究会



現代チーズ学

編集
齋藤 忠夫 東北大学大学院農学研究科
堂迫 俊一 雪印乳業株式会社 技術研究所
井越 敬司 東海大学農学部

現代チーズ学　目次

1. チーズの歴史、食文化、分類および生産
1.1 チーズの起源と歴史　大谷　元
1.2 チーズの食文化　村山　重信
1.3 チーズの分類と名称　村山　重信
1.4 世界のチーズの生産・輸出入と消費　伊藤　晋治

2. チーズの基礎科学
2.1 乳の成分科学　石田　光晴
2.2 チーズ製造の基本フロー　齋藤　忠夫
2.3 乳酸菌スターターの科学　宮本　拓
2.4 キモシンによる凝乳機構　阿久澤良造
2.5 チーズの熟成機構　井越　敬司

3. チーズの製造技術と衛生管理
3.1 クリームチーズ　岩附　慧ニ
3.2 モッツァレラチーズ　橋本　英夫
3.3 カッテージチーズ　久米　仁司
3.4 熟成型チーズ　田中　穂積
3.5 キモシン酵素利用の現状　高見　修平
3.6 プロセスチーズ　川﨑　功博
3.7 チーズの包装技術　佐々木敬卓
3.8 チーズ製造の衛生管理　柳平　修一
鈴木　明
花形　吾朗

4. チーズの機能性
4.1 チーズの微細構造　木村　利昭
4.2 一次機能　根岸　晴夫
4.3 二次機能　井筒　雅
4.4 三次機能　堂迫　俊一
4.5 チーズとホエイに含まれるタンパク質の免疫科学　大谷　元

5. ホエイ成分の高度利用
5.1 チーズホエイとその成分別調製技術　元島　英雅
野畠　一晃
5.2 機能性オリゴ糖　浦島　匡
5.3 機能性ホエイ味噌　六車三治男

6. チーズの諸制度と知的財産権
6.1 チーズの規格基準と表示規制　石田　洋一
6.2 チーズの知的財産権　工藤　力

7. 近未来のチーズ学
7.1 チーズ製造技術の変遷と進歩　相澤　茂
7.2 近未来のチーズ製造技術　市橋　信夫
7.3 新しいタイプの機能性チーズの開発　松尾　光郎
7.4 スターター乳酸菌における遺伝子組替え技術の応用　佐藤　英一

お申し込み・お問い合せは、
FAX・お電話・WEB にて
電話：**03-3254-9191**　FAX：**03-3256-9559**
http://www.newfoodindustry.com/cheese.html
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）

マダイの体色改善－３

酒本　秀一 *

* *SAKAMOTO Shuichi*,

Key Words: マダイ・オキアミミール・低色素飼料・体表色素量・イサザアミ・放卵・放精・魚油添加

前報[1]でエビ・カニ類の殻から植物油で抽出した色素油とオキアミ抽出油はオキアミミール同様にマダイの体色改善用原料として利用出来ることと，オキアミミール添加量が多くて色素含量が高い飼料程体表色素量の増加が早いことを説明した。

体表の色を良くした魚の全てが同時に出荷出来るとは限らない。色素を高濃度に含む飼料は如何しても価格が高くなるので，出荷残の魚には色素を含まない安価な飼料を与えることになる。色素を含まない飼料を与えると経時的に体表の色素量が減少し，褪色する可能性が高い。一年中安定した色調の魚を出荷する為には，ある程度体表の色素量を高くした魚をストックしておき，必要に応じて最終的な体色改善処理を行って出荷するのが合理的である。ある程度体表の色素量を高めた魚をストックしておく為には，育成も兼ねて低色素濃度の飼料で長期間飼育する方法が考えられる。この方法の実用性を確認する為，試験 -1 でオキアミミールの添加量を少なくした低色素濃度飼料でマダイ成魚を周年飼育した時に体表の色素量が如何変化するかを調べた。次に試験 -2 で生のイサザアミを色素源とするモイストペレットで飼育した場合の体色改善効果，試験 -3 で体色改善処理を行った魚の体表色素量を維持する為には，どの程度の頻度で色素添加飼料を与えれば良いか等を調べた。

試験 -1

ある程度体表の色素量を高めた魚を常時準備しておく為には，比較的価格が安い低色素濃度の飼料で長期間飼育することが考えられるが，低色素濃度飼料で長期間飼育した例は見当たらない。よって，本試験ではオキアミミールの添加量を少なくした飼料でマダイ成魚を周年飼育し，体表の色素量が如何変化するかを調べた。

1．方法

1-1．飼料

試験に用いた飼料はハードペレット[2]で，**表 1** に示す組成と分析値であった。これまでのオキアミミール分析値を参考にして，オキアミミール由来の色素が約 1mg/100g 飼料になる様にオキアミミールを 7% 添加した。試験期間中に数回飼料を製造したので，その都度分析した値の平均値を下段に示した。各成分の分析は飼料分析法に従った。

表 1　試験飼料の組成と分析値

魚粉（%）	59
オキアミミール	7
小麦粉	27
脱脂大豆粕	6
ビタミン・ミネラル混合	1
水分（%）	12.6
タンパク質	48.7
脂質	7.17
炭水化物	18.0
灰分	10.3
総カロチノイド（mg/100g）	1.64

1-2．飼育試験

飼育試験は奄美大島の養殖業者の生簀で行った。10 × 10 × 7m 深の金網生簀に平均体重 820g のマダイ成魚を 8993 尾収容し，6 月 9 日から翌年の 6 月 8 日まで 1 年間飼育した。その間水温は 19℃から 28℃の間を変動した。給餌は自動給餌機を用いて行い，給餌率や飼育管理法は業者に一任した。

1-3．魚体測定と分析

略月に1回の間隔で3尾ずつサンプリングし，図 1 に示す手順に従って魚体測定と分析を行った。生簀から取上げた魚は FA100 で麻酔し，体重と尾叉長を測定して成長の状態を観察すると共に肥満度（体重× 100/ 尾叉長 $^{3)}$）を求めた。次いでヘパリン処理した 5mL 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。血液は 3 尾分を一緒にして 3000rpm で 15 分間遠心分離し，血漿を得た。血漿はグルコース（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 成分は魚の状態を示す有用な指標である事が分かっている。分析はヒト用の半自動分析計によった。

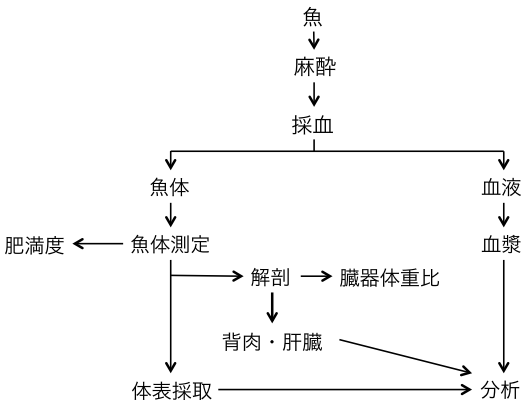


図 1　魚体測定と分析試料作製の手順

採血後の魚は即殺して外観を調べた後解剖し，各臓器の状態を観察すると共に内臓（心臓と腎臓を除く全ての臓器を含む），肝臓，生殖腺および腹腔内脂肪蓄積組織（DL）の重さを測定して体重比を求めた。

背肉（体表の色素量を測定したのと同じ部位の背肉）と肝臓を各尾から等量ずつ採取し，3 尾分を纏めて一般成分の分析に供した。分析は定法によった。

体表は背鰭の第 1 棘から第 7 棘の下で，側線より上の部分を鱗を剥がさないように注意して鋭いメスで分離した。体表の下に付着している脂肪層や肉は可能な限り丁寧に取り除いた。採取した体表の面積を調べる為，体表採取時にトレーシングペーパーを被せて体表と一緒に切り取った。切り取ったトレーシングペーパーの形をコピー用紙に移し，重量法で面積を求めた。色素量の測定は前報 $^{3)}$ に従った。

2．結果

2-1．魚体測定と解剖

約 9000 尾の魚から毎回 3 尾のみのサンプリングなので，夫々がグループを代表する魚であったとは云い難いが，表 2 の様に体重，尾叉長共に飼育期間が長くなるに従って大きくなっており，順調に生育していたことが窺えた。また，肉眼による観察では年間を通じて体型や臓器が異常な魚は認められなかった。

7 － 9 月の夏場に成長の伸びが滞っている様であるが，これは高水温時には給餌率を低くしていた為である。肥満度も同様で，夏場には伸

表 2　魚体測定と解剖の結果

調査日	6 月 12 日	7 月 11 日	8 月 22 日	9 月 16 日	11 月 10 日
体重（g）	695	797	807	835	1110
尾叉長（cm）	31.9	33.2	33.9	33.0	36.5
肥満度	2.13	2.17	2.08	2.29	2.28
内臓体重比（%）	7.43	7.08	8.01	8.24	9.29
腹腔内脂肪蓄積組織体重比	2.18	3.55		4.61	5.51
肝臓体重比	1.28	1.26	1.18	1.38	1.35
生殖腺体重比					
♂	0.22	0.24	Tr	0.05	0.18
♀	0.75	0.53	0.56		0.86
調査日	12 月 24 日	1 月 21 日	3 月 4 日	5 月 12 日	6 月 8 日
体重（g）	1065	1336	1138	1327	1356
尾叉長（cm）	35.4	38.5	37.5	41.2	40.7
肥満度	2.41	2.34	2.12	1.88	1.99
内臓体重比（%）	9.96	10.5	11.9	8.28	5.31
腹腔内脂肪蓄積組織体重比	6.16	3.99	2.87	1.85	1.81
肝臓体重比	1.32	1.19	1.38	1.16	1.06
生殖腺体重比					
♂	0.70	4.11	6.27	2.04	0.42
♀		1.81	5.32		0.58

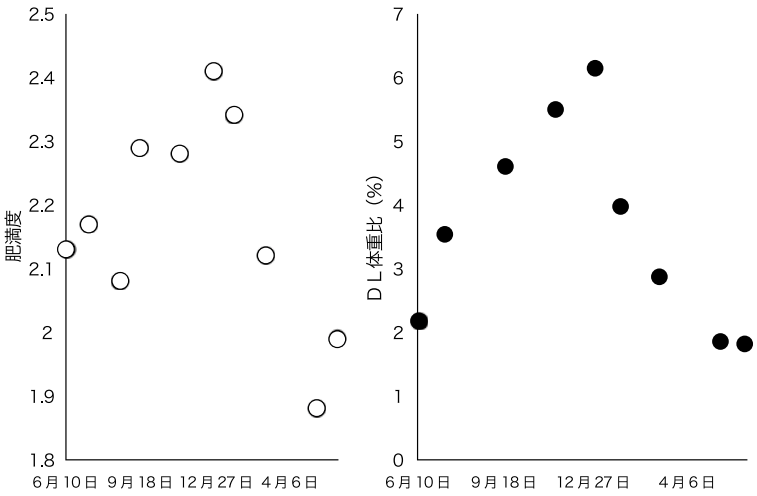


図 2　肥満度と腹腔内脂肪蓄積組織（DL）体重比

びが停滞していたが，秋口から大きくなって 12 月に最大値を示し，1 月から減少に転じた。この肥満度の変化は図 2 の様に DL 体重比の変化と略一致しており，肥満度は DL の量に左右される部分が大きいことが分かる。

内臓体重比は 11 月まで略一定の値を示していたが，11 月から 3 月にかけて大きくなり，それ以降急激に小さくなっていた。この変化は図 3 の様に生殖腺の発達具合と良く一致していた。雌雄共に生殖腺は 11 月から 3 月にかけて急激に大きくなり，完熟して放卵・放精した後著しく小さくなっていた。内臓体重比は生殖腺の発達程度に最も影響を受けていると云える。

図 2，図 3 から分かる様に生殖腺が大きくなり始めると DL は逆に減少する。これは生殖腺が大きくなると摂餌量が減少することによるエネルギー不足を DL を利用することによって補っていることと，生殖腺，特に卵巣の脂質源として DL を利用していることによるのであろう。

肝臓体重比は年間を通じてそれ程大きな変化は認められなかったが，夏場に小さく，秋から生殖期直前まで大きく，その後急激に小さくなる傾向が認められた。夏場に小さいのは給餌率

抑制の為で，秋から生殖期直前まで大きいのは秋口から給餌率を増やすことと，繁殖に向けて栄養成分を蓄えること，蓄積された体成分を分解して肝臓経由で生殖腺に送っていること等が関係しているのであろう。放卵・放精が終了するとこれらの役割が必要無くなるので，肝臓は小さくなる。

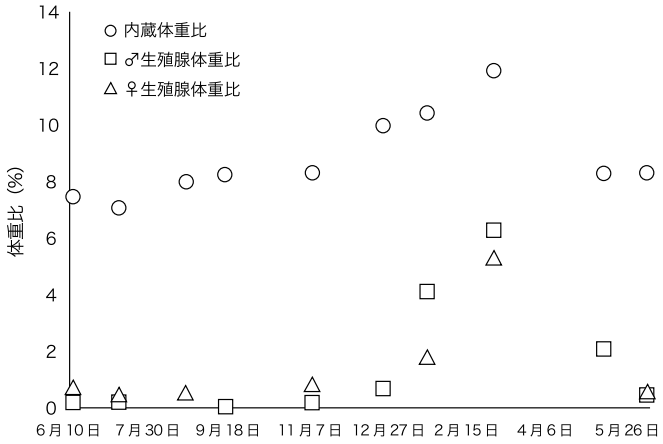


図 3　内臓体重比と生殖腺体重比

表 3　背肉の分析値

調査日	水分	タンパク質		脂質		灰分	
		湿物	乾物	湿物	乾物	湿物	乾物
6 月 21 日	73.7	24.1	91.5	1.54	5.85	1.45	5.51
7 月 11 日	72.4	23.9	86.5	2.77	10.0	1.38	5.00
8 月 22 日	73.3	21.1	79.3	2.02	7.58	1.54	5.78
9 月 16 日	72.7	23.9	87.5	2.60	9.51	1.43	5.23
11 月 10 日	72.9	24.1	89.2	2.43	8.98	1.37	5.06
12 月 24 日	72.5	23.2	84.3	3.18	11.6	1.29	4.69
1 月 21 日	72.2	22.8	82.0	3.00	10.8	1.36	4.90
3 月　4 日	74.6	22.3	87.7	1.66	6.52	1.40	5.50
5 月 12 日	75.6	21.4	87.8	1.14	4.67	1.46	5.98
6 月　8 日	75.6	22.1	90.3	1.07	4.38	1.44	5.89

単位：%

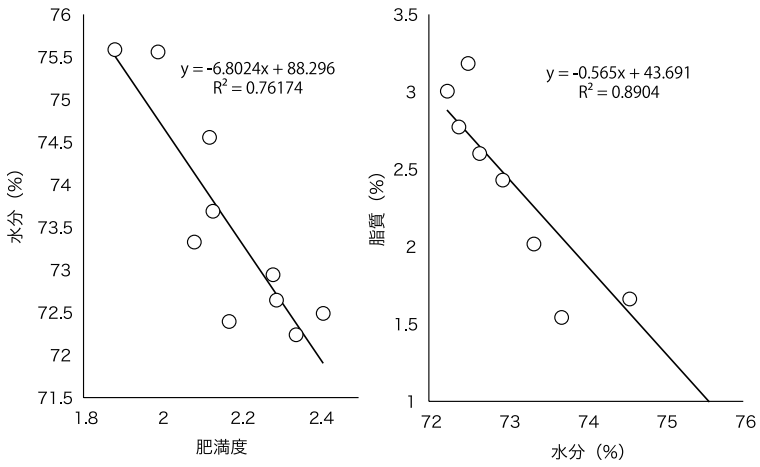


図 4　肥満度と背肉の水分，水分と脂質の関係

2-2. 背肉と肝臓の成分

表 3 に背肉の分析値を示す。水分は 1 月まで緩やかに減少した後 3 月には急に高くなり，5 月，6 月は更に高い値を示した。脂質は次第に高くなって 12 月に最高値を示したが，1 月にはやや減少し，その後急速に減少して 5 月，6 月には開始時より低い値を示していた。タンパク質は 11 月まで略一定の値であったが，その後直線的に減少していた。

図 4 左図の様に背肉の水分含量は肥満度との間に負の相関が有り，肥満度は DL 体重比と正の相関が有った（図 2）。よって，魚体の蓄積脂質の量が減少すると肥満度が小さくなると共に背肉の水分含量が増えると云える。水分と脂質の関係を示したのが図 4 の右側である。両者の間には強い負の相関が認められた。この様に魚体の蓄積脂質量が背肉の脂質量に影響を及ぼし，脂質量がその他の成分量に影響を及ぼしていることが分かる。つまり，背肉成分の変動の主要因は脂質で，脂質量の変化によってその他の成分は相対的に変動しているものと云える。

表 4 に肝臓の分析値を示す。水分は秋から冬にかけ

表 4　肝臓の分析値

調査日	水分	タンパク質		脂質		灰分	
		湿物	乾物	湿物	乾物	湿物	乾物
6 月 21 日	65.5	14.9	43.2	11.1	32.1	1.17	3.39
7 月 11 日	59.9	13.4	33.5	16.4	41.0	1.06	2.64
8 月 22 日	55.4	9.27	20.8	25.4	57.1	1.04	2.33
9 月 16 日	57.2	11.1	25.8	21.4	49.9	0.95	2.22
11 月 10 日	53.2	9.80	20.9	24.7	52.8	0.97	2.07
12 月 24 日	53.1	10.5	22.4	27.5	58.7	0.88	1.88
1 月 21 日	62.2	11.4	30.0	15.6	41.3	1.11	2.93
3 月　4 日	67.7	13.7	42.4	10.4	32.1	1.27	3.94
5 月 12 日	68.8	12.7	40.6	5.22	16.7	1.27	4.06
6 月　8 日	65.8	15.3	44.6	10.5	30.8	1.23	3.60

単位：%

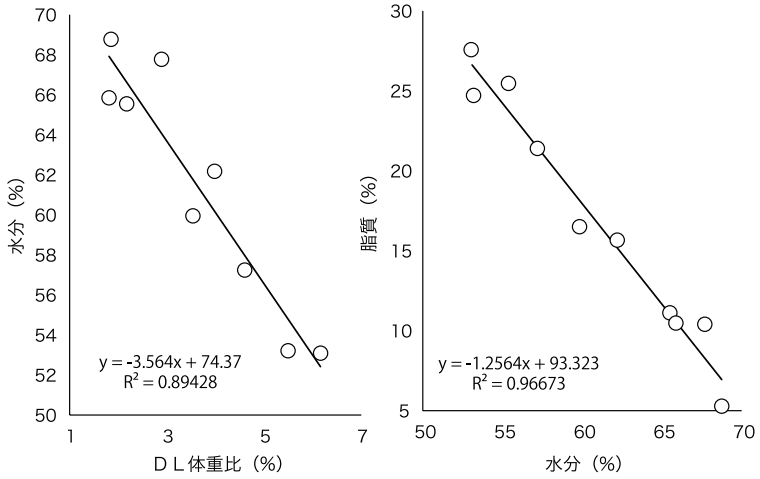


図 5　DL 体重比と肝臓の水分，水分と脂質の関係

て少なくなり，生殖腺が大きくなると多くなるパターンの周年変動を繰り返している様である。放卵・放精後の 5 月に最大値を示し，6 月にはやや回復していた。脂質は逆に秋から冬に高くなり，生殖腺が大きくなり始めると急速に低くなり，5 月に最低値を示し，6 月にはやや回復していた。タンパク質は秋にかけて減少し，生殖腺が大きくなると増え，6 月には略元の値に戻っていた。

肝臓の水分含量も背肉同様魚体の蓄積脂質量が多い程低い値を示し（図 5 左図），水分と脂質の間には強い負の相関が認められた（図 5 右図）。この結果は肝臓の成分についても背肉と全く同じことが云える事を示す。つまり，魚体の蓄積脂質量が肝臓の脂質量に影響を及ぼし，脂質量がその他の成分量に影響を及ぼしている。肝臓においても成分変動の主要因は脂質で，脂質量の変化によってその他の成分は相対的に変動しているものと考えられる。なお今回は測定していないが，肝臓には可也の量のグリコーゲンが含まれているのが普通で，背肉より肝臓の方が成分変化の様相が複雑になっているものと推測する。

2-3．血漿成分

表 5 に血漿成分の分析結果を示す。Glu と

表 5　血漿成分の分析値

成分	Glu	TP	TG	T.Cho	ALP
単位	mg/dL	g/dL	mg/dL	mg/dL	K-A.U.
7 月 11 日	82	4.95	297	226	1.5
8 月 22 日	67	5.26	365	206	1.4
9 月 16 日	79	4.69	417	217	1.9
11 月 10 日	91	4.48	171	284	2.1
12 月 24 日	55	4.48	586	269	1.1
1 月 21 日	57	4.75	544	292	2.4
3 月　4 日	77	3.22	232	150	1.5
5 月 12 日	66	3.95	968	194	2.7
6 月　8 日	116	4.76	157	179	1.5

TG 含量および ALP 活性はバラツキが大きく，年間を通じて一定の傾向は認められなかった。これらの成分は摂餌量や摂餌後の時間等に影響を受けることが分かっているので，季節別の給餌率や飼育管理法の影響を受けているのであろう。

TP は 1 月まで一定の値を示した後減少し，放卵・放精後の 5 月には回復し始め，6 月には元の値に戻っていた。T.Cho は 11 月から 1 月にかけて高く，3 月に最低値を示し，5 月にはやや回復していた。この様に TP と T.Cho は明らかに性成熟の影響を強く受けていた。

2-4．体表の色素量

表 6 と図 6 に体表色素量の周年変化を示す。6 月から 8 月にかけて大きな傾きで色素量は増え，その後やや傾きは小さくなるものの 3 月まで直線的に増加した。3 月以降は略一定値を示していた。性成熟が体表の色素量に及ぼす影響はあまり強くない様である。性成熟期にはマダイの体表が黒ずんで見えることは良く知られているが，これは体表の赤や黄色のカロチノイド色素が減少した為ではなく，黒色のメラニン色素の増加あるいは色素胞内でのメラニン色素顆粒の拡散に原因が有るものと思われる。

体表の色素量は約 2μg/cm^2 で平衡に達していたことから，オキアミミール由来の色素量が約 1mg/100g の飼料（飼料の色素量は 1.64mg/100g）を与えた場合に達し得る体表色素量は約 2μg/cm^2 程度ではないかと思われる。

この様にオキアミミール由来の色素量が 1mg/100g の飼料を 1 年間継続投与しても出荷可能とされる 3μg/cm^2 の体表色素量には至らなかった。但し，約 8 ヶ月で 2μg/cm^2 になっており，出荷前段階の魚を準備しておくには低色素濃度飼料は十分に利用出来ることを明らかに出来た。この後必要に応じて高色素濃度の飼料を短期間与えて出荷可能な体色の魚にすれば良い。

表 6　体表の色素量

調査日	総カロチノイド（μg/cm^2）
6 月 21 日	0.35
7 月 11 日	0.71
8 月 22 日	1.14
9 月 16 日	1.23
11 月 10 日	1.49
12 月 24 日	1.54
1 月 21 日	1.81
3 月　4 日	2.09
5 月 12 日	1.85
6 月　8 日	1.94

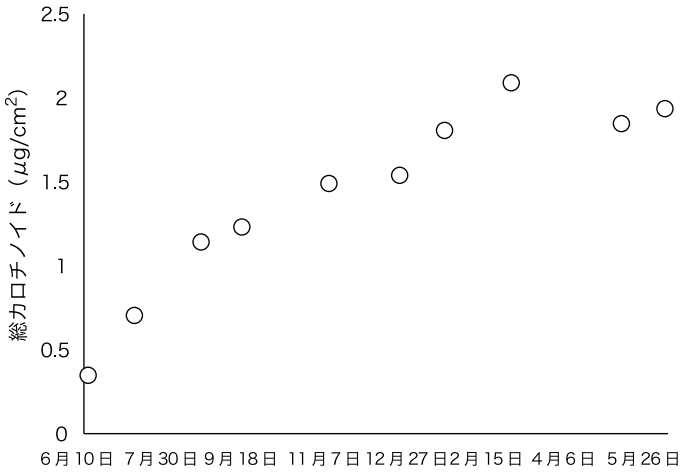


図 6　体表色素量の変化

3．要約

・マダイ成魚の場合，年に一度の性成熟期を中心に体成分の周年変化を繰り返している。その変化の中心になっているのは脂質である。飼料の脂質含量や給餌率がこれに副次的な影響を及ぼしている。

・性成熟が体表の色素量に及ぼす影響は弱い。

・オキアミミール由来の色素量が 1mg/100g の飼料（飼料の色素量は 1.64mg/100g）を長期間与えても達し得る体表色素量は約 2μg/cm^2 程度である。

・低色素濃度飼料で長期間飼育

して出荷前段階の魚を準備しておく方法は実用的である。

試験 -2

マダイの体色改善にはオキアミミール以外に生のイサザアミがよく利用される。よって本試験では，生のイサザアミを色素源とするモイストペレットでマダイ成魚を飼育し，オキアミミールを色素源とするドライペレットと体色改善効果の違いを比較した。モイストペレットの製造法等については既に報告[4]してあるので，そちらを参照して欲しい。

1．方法

1-1．試験飼料

モイストペレットにはその季節で安価に入手出来る良質な鮮魚類が原料として利用されるのが一般的で，時期によって組成が異なっている。また，モイストペレットの栄養成分を略一定に保つ為に粉末飼料の添加量も異なっている。**表 7** に飼育試験中に使用したモイストペレット 3 例の組成と分析値を示す。この 3 例以外にも多数回製造しているが，栄養成分組成は概ね水分：35 － 39%，タンパク質：31 － 37%，脂質：9 － 13%，炭水化物 :4 － 9%，灰分：7 － 9%，総カロチノイド：1.2 － 1.4mg/100g の範囲内であった。モイストペレットは陸上の成型機で製造し，冷凍庫で完全に凍結した後使用した。

1-2．飼育試験

試験 -1 と同じ奄美大島の養殖業者の生簀で行った。福岡県産と熊本県産の天然種苗を一緒にし，マダイ育成用のドライペレットで平均体重が約 850g になるまで飼育した成魚約 9000 尾を供試した。10 × 10 × 7m 深の金網生簀に収容し，9 月 24 日から翌年の 6 月 8 日まで約 8 カ月間飼育した。給餌はモイストペレット用の自動給餌機によって行い，給餌率や飼育管理法は業者に一任した。生簀の表面は体色の黒化を防止する為に厚手のビニールシートで覆って遮光した。

1-3．魚体測定と分析

11 月 10 日，翌年の 1 月 21 日，3 月 4 日，5 月 12 日，6 月 8 日にそれぞれ 3 尾ずつサンプリングし，試験 -1 と同じ手順と方法で魚体測定と分析を行った。

表 7　試験飼料の組成と分析値

	11 月 10 日	3 月 4 日	5 月 12 日
イサザアミ（Kg）	75	75	75
イワシ	120	110	66
イカナゴ			60
粉末飼料	222	242	246
魚油（L）	30	30	30
水分（%）	38.6	35.6	37.2
タンパク質	31.4	33.3	36.8
脂質	10.2	12.1	9.11
炭水化物	8.50	7.90	4.03
灰分	7.18	7.65	8.21
総カロチノイド（mg/100g）	1.30	1.20	1.37
タンパク質（% 乾物）	51.1	51.7	58.5
脂質	16.7	18.8	14.5
炭水化物	18.3	12.3	6.41
灰分	11.7	11.9	13.1
総カロチノイド（mg/100g 乾物）	2.12	1.86	2.18

2．結果

2-1．魚体測定と分析

肉眼による観察では全てのサンプル魚で体型や臓器に異常は認められなかった。

測定結果を**表 8** に示す。肥満度は生殖腺が大きくなるまでの間は試験 -1 の値より小さかったが，これは DL の量が少なかったことが主原因である。生殖腺が大きくなってからと放卵・放精後の値は試験 -1 と略同じであった。よって，肥満度は主に DL の量によって決

表 8　魚体測定と解剖の結果

	11 月 10 日	1 月 21 日	3 月 4 日	5 月 12 日	6 月 8 日
体重（g）	885	1152	1110	1138	1048
尾叉長（cm）	34.8	37.8	37.0	39.8	37.4
肥満度	2.08	2.10	2.13	1.79	1.98
内臓体重比（%）	6.04	9.33	11.16	6.00	5.78
DL 体重比	3.21	2.49	1.93	0.72	1.96
肝臓体重比	0.68	1.51	1.33	0.93	1.19
生殖腺体重比					
♂	0.21	3.64	6.44	2.34	0.32
♀	0.77	3.82	5.43	1.12	0.66

表 9　背肉と肝臓の分析値

	11 月 10 日	1 月 21 日	3 月 4 日	5 月 12 日	6 月 8 日
背肉					
水分（%）	73.7	72.6	73.4	76.4	75.5
タンパク質	22.5	22.9	22.3	21.3	22.0
脂質	2.14	3.82	2.83	0.98	1.15
灰分	1.34	1.34	1.41	1.47	1.15
肝臓					
水分（%）	57.4	61.0	68.3	69.8	67.6
タンパク質	14.0	9.24	13.9	15.1	13.9
脂質	20.0	15.9	10.3	5.57	7.13
灰分	1.08	1.11	1.25	1.29	1.21

められていた。

内臓体重比も DL 体重比の変化と同じパターンを示し，生殖腺の大きくなり方は雌雄共試験 -1 と略同じであった。

この様に肥満度は DL 量，内臓体重比は DL 量と生殖腺量が大きく作用していることは試験 -1 と同じ結果で，餌がドライペレットであれモイストペレットであれ，各臓器は同じパターンの変化を示すことが分かった。

2-2．背肉と肝臓の成分

表 9 に分析結果を示す。背肉では 1 月 21 日と 3 月 4 日の脂質含量が試験 -1 の値よりやや高かったが，その他の成分は試験 -1 と同じ変化のパターンを示していた。肝臓成分は背肉に比べてバラツキが大きかったが，これにはグリコーゲン含量の影響も可也有るのではないかと考える。11 月 10 日の脂質が少なく，水分とタンパク質が多い点が目立つが，これは魚体に蓄積脂質が少なかったことを反映している。従って脂質の占める割合が少なく，相対的に水分とタンパク質の占める割合が多くなっていたのであろう。

背肉，肝臓共に成分組成は生殖腺の発達と放卵・放精の影響を強く受けており，時期による変化のパターンは試験 -1 と同様であったと云える。背肉と肝臓の成分においても各臓器の大きさ同様，ドライペレットで飼育した魚であれ，モイストペレットで飼育した魚であれ，夫々の成分含量変化のパターンは同じであった。

この様にマダイ成魚においては年一回の性成熟期を中心として体組成や生理機能が周年変化を行っているものと考えられる。

2-3．血漿成分

表 10 に分析結果を示す。5 月 12 日の TG が試験 -1 に比べて低い値である他は何れも試験 -1 と略同じ動きを示していた。5 月 12 日は放卵・放精直後の時期であり，魚が最も衰弱している時期である。この時に TG 含量が高いことは考え難い。試験 -1 の 5 月 12 日の値は高い値を示しており，異常であった可能性が高い。分析ミ

表 10　血漿成分の分析値

	11 月 10 日	1 月 21 日	3 月 4 日	5 月 12 日	6 月 8 日
Glu（mg/dL）	58	58	55	63	80
TP（g/dL）	4.36	4.23	3.79	2.96	4.51
TG（mg/dL）	226	341	308	99	208
T.Cho（mg/dL）	325	248	162	122	191
ALP（K-A.U.）	2.0	1.0	1.5	1.0	1.5

表 11　体表色素量の変化

	mg/100g	μg/cm^2
11 月 10 日	1.18	0.84
1 月 21 日	1.95	1.93
3 月　4 日	2.84	2.36
5 月 12 日	3.40	3.31
6 月　8 日	4.22	3.59

スが有ったのかも知れない。

2-4．体表の色素量

表 11 と図 7 に単位体重当りと単位面積当りの体表色素量の経時変化を示す。単位重量当りでも単位面積当りでも飼育日数との間に強い正の相関が認められたが，単位面積当りのバラツキが少なく，相関係数も大きかった。今回用いたモイストペレットの平均色素含量を 1.29mg/100g（乾物で 2.05mg/100g 乾物）とすると，略同じ大きさの魚をオキアミミールが色素源のハードペレットで飼育した結果と比較すると，直線の傾きがモイストペレットで飼育した魚の方が大きいように思える。この点は後日キチンとした比較試験を行って確認しなければならないが，生のイサザアミ色素の方が乾燥物であるオキアミミールの色素より吸収率が高い可能性が有る。

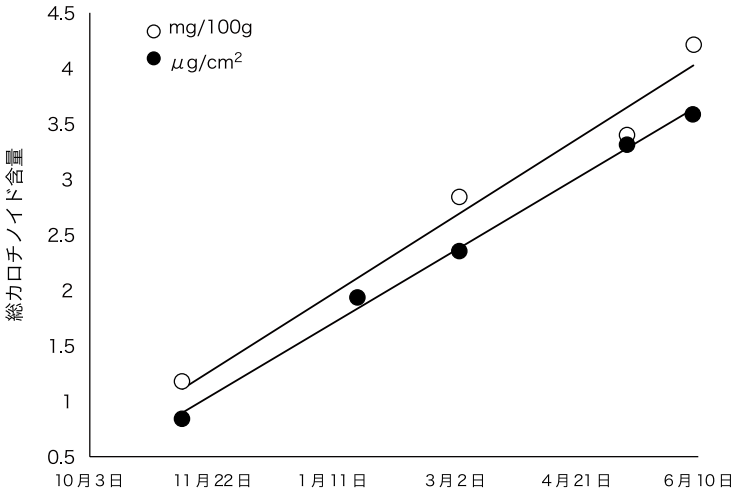


図 7　体表色素量の変化

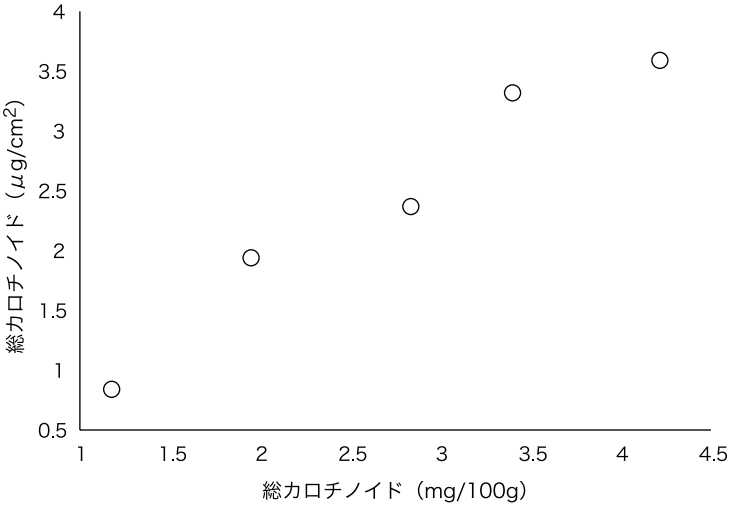


図 8　単位重量当りと単位面積当りの色素含量

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 8 に示す。両者の関係は直線ではない。これは魚の大きさによって体表の厚さが変わり，同じ面積でも重さが変化することによっている。面積を求める為の前処理が面倒でも，やはり体表の色素量は単位面積当りで表す方が良いことがこの結果からも分かる。

表 12　卵巣成分の変化

	1 月 21 日	3 月 4 日
水分（%）	72.7	70.3
タンパク質	19.3	20.7
脂質	6.69	7.53
灰分	1.58	1.85
総カロチノイド（mg/100g）		0.70

2-5．卵巣の色素量

表 12 に 1 月 21 日と 3 月 4 日の卵巣の分析値を示す。この表には記してないが，11 月 10 日の卵巣色素量は 0.03mg/100g であり，卵巣体重比は 0.77% であった。よって，体重 100g 当り卵巣に存在する色素量は 0.03 × 0.77=0.023mg となる。一方，産卵前の 3 月 4 日の色素量は 0.70mg/100g であり，卵巣体重比は 5.43% であった。よって，体重 100g 当り 0.70 × 5.43=3.801mg の色素が卵巣に存在した。11 月 10 日から 3 月 4 日の間に体重 100g 当り約 3.8mg の色素が卵巣に蓄積したことになる。この量は相当な量であり，体表の色素量に影響を及ぼすのではないかと思われるが，図 7 の様に体表の色素量は直線的に増加しており，試験 -1 の結果同様，性成熟が体表の色素量に及ぼす影響はそれ程強くないことが窺える。

3．要約

・ドライペレットで飼育した魚であれ，モイストペレットで飼育した魚であれ，性成熟期を中心に体成分が周年変化を繰り返していることに違いは無い。これに飼料の脂質含量や給餌率が副次的に影響を及ぼしている。

・生のイサザアミを色素源とするモイストペレットの方がオキアミミールを色素源とするドライペレットより体表色素量の増え方が早い様である。生のイサザアミ色素の方がオキアミミールの色素より吸収率が高いのではないかと思われる。

試験 -3

市販出来るまで体色を良くした生簀の魚全てが同時に出荷出来るとは限らない。その場合，残った魚の体色を次の出荷時まで維持しておかねばならない。よって本試験では，出荷出来るくらいに体色を良くした魚に色素添加飼料をどの程度の頻度で与えれば体色が維持出来るかを調べた。

また，養殖業者から色素添加飼料に魚油を吸着させて与えると体色改善効果が著しく低下するとの話が出された。マダイの成長や飼料効率を改善したり，体表の状態を良くしたりする為に飼料へ魚油を添加する方法は極一般的に行われている。本当に飼料への魚油添加によって体色改善効果が低くなるのであれば大きな問題であると考え，この点も同時に確認することにした。

1．方法

1-1．試験区と飼料

表 13 に示す 3 試験区を設定した。Ⅰはオキアミミールを添加して色素量を約 5mg/100g に調整した飼料（色揚用飼料と表記）とオキアミミール無添加の飼料（育成用飼料）を一日交代で投与した区。両飼料への魚油添加は行わなかった。Ⅱは色揚用飼料を 4 日に 1 日の割合で

表 13　試験区の詳細

Ⅰ	色揚用飼料と育成用飼料を一日交代で投与。 飼料への魚油添加は行わない。
Ⅱ	色揚用飼料を 4 日に 1 日の割合で投与。その他の日は育成用飼料を投与。 飼料への魚油添加は行わない。
Ⅲ	色揚用飼料と育成用飼料に魚油を外割で 5% 添加した飼料を一日交代で投与。 色揚用飼料への魚油添加は行わない。

表 14　飼料の分析値

	色揚用飼料	育成用飼料
水分（%）	10.8	12.5
タンパク質	48.2	49.2
脂質	7.56	6.94
炭水化物	20.6	19.4
灰分	10.3	10.4
エネルギー（Cal/100g）	301.8	298.1
総カロチノイド（mg/100g）	4.84	-

与え，その他の日は育成用飼料を投与した区。両飼料への魚油の添加は行わなかった。Ⅲは色揚用飼料と魚油を外割で 5% 添加した育成用飼料を一日交代で与えた区。色揚用飼料に魚油を添加しなかったのは，事業規模での試験である為，もし業者の云う様に著しく体色改善効果が劣る結果になった場合，出荷に何らかの支障が出ることを心配したからである。また，自動給餌機による投餌なので魚は終日摂餌出来，消化管内で前日に食べた飼料が未消化のまま当日の飼料と混在する可能性が高く，色揚用飼料に直接魚油を添加した場合程ではなくても，ある程度魚油の影響を調べることが出来るのではないかと考えたからである。

色揚用飼料，育成用飼料共にハードペレットで，分析値を**表 14** に示す。両飼料で色素含量は違うが，一般成分は殆ど同じ値であった。育成用飼料に魚油を添加した飼料の分析は行わなかったが，正確に外割で 5% 魚油が添加されていたと仮定すると，水分は 11.9%，タンパク質は 46.8%，脂質は 11.4%，炭水化物は 18.5%，灰分は 9.87%，エネルギー含量は 326.5Cal/100g となる。色揚用飼料，育成用飼料，魚油添加育成用飼料を毎日同量ずつ食べたとすると，全体としての各区飼料のエネルギー含量はⅠ区 :300Cal/100g，Ⅱ区 :299Cal/100g，Ⅲ区 :314Cal/100g となり，Ⅲ区のみが著しく高かった。なお，エネルギー含量はタンパク質 4Cal/g，脂質 9Cal/g，炭水化物 2Cal/g の値を用いて計算で求めた。

1-2．飼育試験

試験 -1，2 と同じ奄美大島の養殖業者の生簀で行った。供試魚は 3 才魚で，Ⅰ，Ⅱ区は飼育試験開始前年の 6 月 6 日から，Ⅲ区は 7 月 21 日から色揚用飼料を与えて体色改善処理を行った魚である。各区共体重約 1000 － 1300g の魚約 8900 尾を 10 × 10 × 7m 深の金網生簀に収容し，7 月 9 日から 10 月 23 日まで 3 カ月余り飼育した。その間水温は 26℃から 29℃の間を変動した。体表の黒色化を防ぐ為に生簀の表面は厚手のビニールシートで覆って遮光した。なお，10 月 6 日以降は各区共出荷に備えて両飼料共に魚油を添加した。給餌は自動給餌機によって行い，飼育管理法は業者に一任した。

1-3．魚体測定と分析

略ひと月に 1 回ずつ各区から 5 尾をサンプリングし，試験 -1，2 と同じ手順と方法で魚体測定と分析を行った。

2．結果

2-1．魚体測定と分析

試験 -1，2 と同じ項目が測定してあるが，煩雑になるので数値の記述は避け，飼料の脂質含量と関係する部分のみ簡単に説明する。飼育試験開始時の肥満度，DL 体重比，背肉と肝臓の脂質含量はⅢ区 > Ⅰ区≒Ⅱ区であったが，高水温時には給餌制限を行ったので 8 月の値は各区略同じ値になっていた。その後の 9 月と 10 月の値は何れもⅢ区が高く，Ⅰ区とⅡ区は項目によっては順位が入れ替わっていたが，略同じ値を示していた。これは色揚用飼料，育成用飼料に係わらず飼料の脂質含量やエネルギー含量が魚体の脂質含量に大きな影響を及ぼしていることを示している。

2-2．体表の色素量

単位重量当りと単位面積当りの体表色素量の経時変化を**表 15** と**図 9** に示す。Ⅰ区の体表色素量は経時的に増加し，Ⅱ区とⅢ区は途中

表 15　体表色素量の変化

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
mg/100g			
7 月　9 日	3.55	4.29	3.48
8 月 20 日	3.93	4.33	3.24
9 月 17 日	4.00	4.28	3.45
10 月 22 日	4.17	3.98	3.08
μg/cm^2			
7 月　9 日	3.51	4.01	2.96
8 月 20 日	3.97	4.10	3.13
9 月 17 日	3.97	4.12	3.15
10 月 22 日	4.16	3.94	3.08

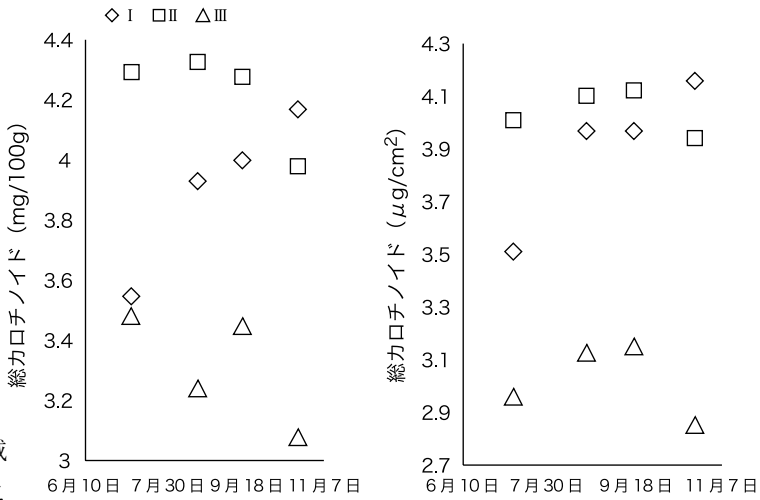


図 9　体表色素量の変化

まで増えていたが，後半に減少しているように見える。これは各区の投与色素量を考慮に入れていないことと，10 月 6 日以降全ての飼料に魚油を添加したことに関係しているものと推察する。

飼育期間中の投与色素量と体表の色素量の関係を表 16 と図 10 に示す。残念ながら 9 月 17 日以降の正確な投餌量が記録してなかったので，開始時から 9 月 17 日までの数値である。表から分かる様に育成用飼料への魚油添加によってもⅢ区の摂餌量は減少していなかった。魚 1 尾当りの投与色素量（X）と単位面積当りの体表色素量（Y）の間には，Ⅰ区で Y=0.032X+3.5458，Ⅱ区で Y=0.0143X+4.0162，Ⅲ区で Y=0.0106X+2.9723 の直線式が成り立っていた。この様に飼育試験開始時から 9 月 17 日の間の魚 1 尾当りの投与色素量と体表の色素量の関係で見ると，何れの区も体表の色素量は減少しておらず，直線の傾きはⅠ区 > Ⅱ区≒Ⅲ区であった。

以上の結果から，体表の色素量を維持する為には色揚用飼料を 4 日に 1 日位の

表 16　投与色素量と体表色素量

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
7 月 9 日ー 8 月 20 日			
投与色素量（mg/ 尾）	10.02	4.79	11.76
体表色素量（8 月 20 日）			
mg/100g	3.93	4.33	3.24
μg/cm^2	3.97	4.10	3.13
8 月 20 日ー 9 月 17 日			
投与色素量（mg/ 尾）	5.32	3.15	6.97
体表色素量（9 月 17 日）			
mg/100g	4.00	4.28	3.45
μg/cm^2	3.97	4.12	3.15

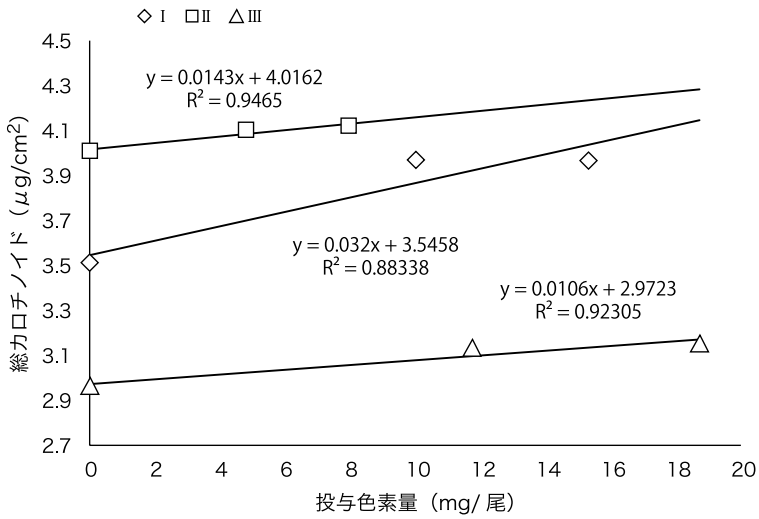


図 10　投与色素量と体表の単位面積当り色素量

割合で与えれば良いこと，飼料に魚油を添加すると体色改善の効率が悪くなる可能性が高いこと等が分かった。

自動給餌機による投餌では終日摂餌が可能で，一日毎に飼料を交替しても消化管内で色揚用飼料と魚油添加の育成用飼料が混在していた可能性が高い。オキアミミールの色素アスタキサンチンは幽門垂部と腸前半部で胆汁と膵液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，吸収されることが分かっている[3, 5]。飼料に含まれる脂質量に対して胆汁と膵液の分泌量が不足し，色素の吸収量が減少していたのかも知れない。

業者の云う様に色揚用飼料に直接魚油を添加して与えれば，より明確に体色改善の効率が悪くなる可能性が高く,注意が必要である。また，前報[1]で説明した様に色素油中の色素はオキアミミール中の色素と同等に利用されていたことから，飼料への魚油の添加量が問題になることも考えられる。今後キチンとした試験を行って原因を明らかにしておく必要が有る。

3．要約

・体色改善処理を行ったマダイ成魚の体表色素量を維持する為には，約 5mg/100g の色素量を有する飼料を 4 日に 1 日位の割合で与えれば良い。但し，飼料へ魚油を添加した場合にはこの限りでない可能性が有る。

・色揚用飼料に直接魚油を添加しなくても，間に与える育成用飼料に魚油を添加すれば体色改善効率が悪くなる。

参考文献

1）酒本秀一：マダイの体色改善 - ２．*New Food Industry*, **56**(7) , 65-78（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：マダイの体色改善 - １．*New Food Industry*, **56** (6), 67-78（2014）
4）酒本秀一：製造法の違う飼料がニジマスの消化管内移動時間，消化管内容物の pH および血漿成分に及ぼす影響．*New Food Industry*, **56** (2), 59-75 (2014)
5）酒本秀一：ニジマスによるオキアミミール色素の吸収．*New Food Industry*, **56** (5)，46-58（2014）

歴史の潮流と科学的評価

（第３節　ライフサイクルと特定の集団から見た，ベジタリアン食の適正度）

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

*1 ロマリンダ大学栄養学部，*2 食のフロンティア塾

Key Words：マクロビオテック，リノール酸 /α- リノレン酸，鉄，ビタミン B_{12}

９章　妊娠と授乳におけるベジタリアン食

1. はじめに

妊娠と授乳は，栄養状態の善し悪しが，母親とその後の遺伝体質に対し影響を及ぼす時期と考えられています。ライフサイクルの中でこの期間は重要ですが，ベジタリアンの価値を評価することはあまり行われてきませんでした。特に，若い女性達がベジタリアン食* への関心を高め，それを実行したことで，妊娠と授乳期間中には，さらに注意をすることとそれを適切に実施する必要性を示しました。

さらに，長期間にわたる食習慣と栄養摂取に対する関心の高まりが，勢いを増しています[1]。この章の目的は，妊娠と授乳期間中の栄養問題を論議するのでなく，妊娠又は授乳ベジタリアンに対し，適切な情報を提供することにあります。

2. 食事パターンと妊娠の影響

妊娠ベジタリアンの食事摂取や栄養状態，さらには病歴に関する最初の総合的な研究は，1954 年，Hardinge ら[2] によって報告されました。別の大規模研究の中で，ビーガンは一部対象となっていましたが，妊娠の人はいませんでした。そこで，ラクト・オボ・ベジタリアン（LOVs）と雑食者の比較がされました。妊娠中の身長，体重，体重増加に差はなく，また，双方のグループ共に重大な分娩の問題はありませんでした。出生時体重と身長には，有意な差はありませんでした。

20 年の時を過ぎて，Thomas と Ellis は，英国で 14 人のビーガン（28 回の妊娠）と 18 人の対照群（41 回の妊娠）について，妊娠の影響を比較しました[3]。安産，死産，妊娠中毒，出生時体重には，有意な差はありませんでした。最近になって，出生時体重の低い傾向が英国の

* この章で用いられる「ベジタリアン」は，動物性食品を含むか又は含まないベジタリアン食の全てを含みます。LOV と称するラクト・オボ・ベジタリアン食は，牛乳，乳製品，卵を含みます。全ての動物性食品を除くのは，ビーガンと称されます。マクロビオティック食は，全粒穀類（特に，玄米），海草，豆類，野菜類を重要視しています。たとえ含んだとしても，果物は地場産です。乳製品，肉は推奨されません。白身魚の量は限られています。

ビーガンで報告されました[4]。

英国では，ベジタリアン食は長い間の実績があり，豊富なベジタリアン研究が得られます。最近，英国のLOVsについて，栄養摂取の評価と妊娠の影響が報告されました[5]。LOVs，魚を摂取する人，非ベジタリアンの間で，妊娠期間，出生時体重，出生時身長，頭囲には差はありませんでした。米国の報告でも，LOVsと雑食者の間には，出生時体重には差はありませんでした[6, 7]。

英国の他の研究では，回教徒かヨーロッパの女性から生まれた幼児と比べて，ヒンズー教のベジタリアンの女性から生まれた幼児の出生時体重は低いことが報告されました[8, 9]。この差は，妊娠期間，幼児の性別，出産歴，喫煙，母親の年齢や身長を補正した後も，変わりありませんでした[9]。

オランダ人のマクロビオティックでの低出生時体重の割合が，一般の人に見られる割合の2倍以上であることを，Dagnelieらは報告しました[10]。 低出生時体重の者を除いた後のマクロビオティック幼児の平均出生時体重は，オランダ人の標準より200 g低い値でした[11]。著者らは，出生時体重と，乳製品と魚を良く食べることの間には，強い正の相関があることを見出しました[10]。1週間に3回かそれ以上乳製品を摂取する家族の調整出生時体重は，1カ月に1回以下の家族に比べ，350 g高い値でした。もし，魚を1週間に1回摂取した場合には，調整出生時体重は，1カ月に1回以下の家族に比べ，180 g高い値でした。出生時体重とマクロビオティックを続けた期間との間には，有意な差は見られませんでした。著者らは，食事の組成は妊娠前よりも妊娠期間中の方が，出生時体重を決める重要な因子であると結論付けました[10]。彼らは，教育レベルの高いマクロビオティックの両親は，出生時体重が低い方よりも，高い方を望んでいることに注目しました。また，マクロビオティックの人は低出生時体重であることを米国の研究で報告されました[12, 13]。一般的に，ベジタリアンの出生時体重は，標準値とほぼ等しいのですが，厳格なマクロビオティックの幼児の半数以上は，2,500 g以下の出生時体重です[13]。別の小規模研究では，体重が2 kg少ないベジタリアンでも，ベジタリアンの幼児は雑食者の幼児に比べ，体重が200 g高いことが示されました[6]。11人のベジタリアンの幼児で，3 kg未満はいませんでしたが，雑食者の幼児の6人中2人は，2.75 kg未満でした。

あるベジタリアンの集団では，食事に原因があるため，低出生時体重が明らかに考えられますが，栄養因子が何であるか明確にされる必要があります[14]。必須脂肪酸の栄養状態が研究されましたが，研究者らは出生時体重との明らかな関係を示すことはできませんでした[4]。鉄，葉酸，ビタミンB_{12}の不適切な状態が考えられる因子として示唆されました[15]。その中で，エネルギー摂取は，低出生時体重に主要な因子と考えられます[14]。

あるベジタリアン幼児に見られるわずかな低出生時体重は目立っていませんが，低出生時体重は，長く続く生活に及ぼす影響と，その後の慢性疾患のリスク増大に関係しているという科学的証拠への関心を呼び起こしました[11, 15]。全ての妊娠ベジタリアンは，妊娠中は適正な食事摂取が重要であることに強く関心を持つべきです。

3. エネルギー摂取

ベジタリアンの体重は一般の人と同様か，やや低いと言えます[16]。これは，特にビーガンにおいては事実で，雑食者の人又はLOVsよりも10 ～ 20%低い値です[2, 17]。これは多くの繊維を含み，脂肪摂取がやや低めと，動物性食品よりも低エネルギーである植物性食品を多く摂

取するような食事因子から一部由来します。このように，一部のベジタリアンは，低い体重 / 身長で妊娠に入るので，体重の変化を注意深く見守る必要があります。最近の LOVs の研究が示しているように，マクロビオティック幼児の出生時体重は，妊娠中の母親の体重増加と正の相関があります[5, 18]。

ベジタリアンとして生まれた幼児の出生時体重の研究が報告されていますが，この様な集団での母親のエネルギー摂取と妊娠期間中の体重増加についてはあまり知られていません。ヒンズー教のベジタリアン女性のエネルギー摂取は低いとされていますが，回教徒の女性より低いという証拠はありません[14]。体重増加の報告はありません。マクロビオテック幼児の低出生時体重は，低いエネルギー摂取と，また，特殊な食品の摂取，妊娠中の低い体重増加と関係しています[10, 18, 19]。妊娠中の LOVs のエネルギー摂取は，雑食者の人より多い場合も，少ない場合もあると報告されています[2, 5, 6]。米国のあるビーガン女性の研究は，標準の集団より体重増加がやや多いことを示しています[20]。ビーガン女性は標準の集団より 10 ポンド少ない状態で妊娠に入りますが，出生時体重には差はありませんでした。

ベジタリアン集団でのエネルギー摂取と体重増加は様々であることを，一部のデータは示唆しています。制限された食事を続けると，適正なエネルギー摂取へのリスクを高めることになります。あるベジタリアンにとっては，妊娠中は，通常の食事よりも高濃度のエネルギー源が必要とされます。女性が低い体重 / 身長で妊娠に入った場合は，このことは特に大切です。妊娠ベジタリアンは，適正な体重増加が得られるように，十分なエネルギーと全ての栄養素を適正に摂ることに努力すべきです。

4. 栄養問題

組み合わせの良いベジタリアンの食事は，妊娠と授乳時のエネルギーと栄養要求を満たすことができます[21]。しかし，摂取する食事の量や種類が制限された場合，適正さが欠けるリスクが高まり，制限が大きくなればなるほど，リスクが大きくなります。妊娠中はエネルギー要求への増加よりも，栄養要求への増加の方が高まりますので，栄養豊富な食品を選び，エネルギー要求に応えなければなりません。

A．タンパク質

妊娠中，母親と胎児の組織の成長と血液量の増加に対応するために，たんぱく質は約 20%，60 g へと必要量が増加します。LOVs 女性の場合，妊娠と授乳の時の推奨たんぱく質摂取量の達成は容易です[6, 22]。一般的に，ビーガンのたんぱく質摂取は，量的にも総カロリーに対する % としても，LOVs か雑食者と比べて，低いのです[16]。しかも，殆どが，植物性食品です。しかし，組み合わせの良いビーガン食は，たんぱく質は適正で，妊娠と授乳中，必要な全ての必須アミノ酸を供給することができます[21]。エネルギー摂取が妨たげられたり，穀類や豆類からのミネラル摂取が果物ばかりになった場合，たんぱく質摂取に注意する必要が出てきます。炭水化物や脂質からのエネルギー必要量が不足した場合，たんぱく質の一部がこれらの要求を満たすために使われ，その結果，細胞合成に供給できなくなります。エネルギー摂取を増加させることは，必要とされるたんぱく質を残すことになります。

たんぱく質の必要量は，他の重要な窒素含有化合物の合成に必要な非特異的窒素と同様に，事実上，必須アミノ酸の要求量なのです[23]。体が要求するたんぱく質に対する食品の貢献度

は，アミノ酸と，生理学的な要求に関係した窒素の量と利用率に依存しています[23]。アミノ酸スコアは，食品中のたんぱく質の適正度を計る一つの方法です。アミノ酸スコアは，対象とする食品中の制限アミノ酸量と標準パターン中の同アミノ酸量とを比較します[23]。たんぱく質を補うという考え方は，植物性食品が異なれば，制限アミノ酸も異なるということを認識することです。一つの食品中にアミノ酸が少ない場合は，他の食品で補うことが出来ます。一般的に，リジンは，穀類，ナッツや種子では制限アミノ酸です。含硫アミノ酸は，豆類では制限アミノ酸です。穀類と豆類の組み合わせは，全ての必須アミノ酸を提供し，一方の食品では制限アミノ酸であっても，一方ではかなりの量のアミノ酸を含んでいるので，一つの食品以上のたんぱく質の品質を高めることができます。

以前は，一回の食事で，アミノ酸を補えるような食品を食べる必要があると考えられていました。現在は，このことは必ずしも必要ではないと認識されています。その日以外でも可能です[23]。一つの例外は，若年の児童と幼児で，短い期間内でたんぱく質の補給が必要です。Young は，これらの結論に対して，生理学の面からの議論することを提案しています[23]。

特に，動物性食品を含まないベジタリアン食は，常に豆類（乾燥いんげん豆，そら豆）を摂取すべきです。大豆は，他の必須栄養素と同様に，特に，アミノ酸の豊富な供給源で，様々な形で摂取することができます。それらは，乾燥したものや生の大豆の料理であり，豆腐，テンペ，豆乳や加工肉様食品です。牛乳，乳製品や卵を食べると同様に，様々な全粒穀類製品，野菜，ナッツやナッツバターは，たんぱく質への要求に答えてくれます。

B．必須脂肪酸

リノール酸（18:2n-6）と α- リノレン酸（18:3n-3）は，2 系統の必須脂肪酸と代謝物の供給源です。元の脂肪酸は，最初に植物性食品より供給されますが，動物組織と同様にヒトでも，長鎖不飽和脂肪酸（LCP）を生成するために，鎖長延長と不飽和化が進行します[24]。リノール酸は，アラキドン酸に代謝されます（20：4n-6，AA）。α- リノレン酸の主要な末端化合物は，ドコサヘキサエン酸（22：6n-3，DHA）です。必須脂肪酸の 2 系統は，LCP を作るために必要な不飽和化酵素が拮抗しています[25]。

ヒトは α- リノレン酸から DHA を作ることができますが，リノール酸の多量摂取は，転換を阻害し，トランス酸も同じ作用をします[24]。このように，加工食品やコーン，ひまわり，ベに花のような植物性油脂を多く含む食事は，DHA の生成を阻害します。さらに，脂肪の少ない食事は，α- リノレン酸の十分な供給はできません。

1．ベジタリアン食の脂肪酸

ベジタリアン食は，トランス酸をあまり含まない加工食品からなります。しかし，雑食者の食事と比べた時，n-6 系脂肪酸を含む植物性油脂を多く含んでいるのが特徴です。このことは，特に，ビーガン食で見られます。ベジタリアン食での n-3 系脂肪酸量は，利用する料理油の種類に強く影響され，一般的に，雑食者の食事と同じか，やや多い量と言えます[24]。DHA はビーガン食には含まれず，他のベジタリアン食でも，含まれないか少ししか含まれず，基本的に，わずかに含む卵黄を摂るかどうかに影響されます。このように，n-6/n-3 比は，一般的にベジタリアン食で高く，特に，全ての動物性食品を除くベジタリアン食では高いのです[24]。

2．妊娠ベジタリアンと新生児の必須脂肪酸

妊娠の最後の 3 カ月の間，AA と DHA は，胎盤から胎児に選択的に運び込まれます。それらは，胎児の脳と網膜に集積し，妊娠の最初の 1 カ月の間続きます。胎児と新生児は，DHA

を前駆体から作る能力を持っていますが，その能力には限度があることが示唆されます[26]。それゆえに，供給される食事が，特に重要となります[26]。このことは，出生前の幼児にとって大切なことです[24]。

Reddy らは，ベジタリアン女性から生まれた幼児と雑食者の女性からの幼児の必須脂肪酸の状態を比較しました[9]。ベジタリアン女性は,エネルギーの多くをリノール酸として摂り，18：2n-6/18：3n-3 の高い食事を摂っていました。彼らは DHA を摂りません。DHA の比率は，ベジタリアンの血清索と動脈のリン脂質中では，約 30% 低い値でした[15]。最後の妊娠 3 カ月の間，n-3 系脂肪酸を補給した女性から生まれた新生児の血清中と赤血球中の DHA 量の増加が，他の人で見られました[27]。幼児の血清と赤血球中の DHA 量は，母親の摂取量と相関していました。このことは，妊娠中の母親の食事が新生児の DHA の状態に影響することを示唆しています。ベジタリアンに見られる DHA の比率の違いは，食事に DHA が不足すること，18：2n-6 を多く摂ること，DHA を合成する能力に限度があることの反映であることを示唆していました[9]。

3．母乳育ちの幼児と，母乳中の必須脂肪酸

DHA は母乳中に含まれますが，量は食事パターンによって変化し，母親が DHA を補給すると増加します[24, 28, 29]。英国では，LOVs の母乳中の DHA は，雑食者の人と差はありません。ビーガンの母乳では，約 2/3 以下です[4, 15]。米国では 3 者間には，差は見られませんでした[30]。このことは，米国では，大豆油に含まれる α-リノレン酸の摂取が多いことか，マクロビオティックの場合は，魚や DHA を食べるからと考えられています[24]。

ビーガンの母親から生まれたか，母乳で育った幼児の赤血球脂質中の DHA は，雑食者の母乳の幼児に比べ，1/3 でした[4]。これらの差は明らかになっていません。しかし，母乳を飲む幼児は，高レベルの DHA を摂ることができ，市販のミルク（米国ではまだ，この脂肪酸を含んでいません）で育った幼児よりも良好な神経細胞機能を有しているという証拠が増えています[31-33]。全てではありませんが，いくつかの研究は，母乳か DHA を補給した食事で育った幼児は，DHA の補給のない食事で育った幼児より，視覚機能が優れていることを示しています[9, 24, 26, 28, 32]。10 カ月齢の幼児において，これらの LCPs のない食事で育った幼児より，DHA と AA を補給した食事で育った方が問題解決能力が優れていることを，他の研究では報告しています[31]。この年齢での問題解決スコアと 3 歳での語彙スコアは IQ と関連しています。

4．ベジタリアンへの提言

母乳の脂質と脂肪酸量は食事パターンによって異なります[22]。血中，組織の脂質，母乳中の AA 比は，ベジタリアン，ビーガン，雑食者の人では類似しています[24]。それゆえ，ベジタリアンは適正に AA を合成し，食事には必要としていないように見えます[24]。ベジタリアンの母親の母乳で育った幼児は，この必須脂肪酸を適量摂る必要があります[24]。

研究者達は，AA と DHA 共，脳と目の適正な発達に必要と結論付けています[26]。ビーガンとベジタリアンの血中及び細胞脂質中と同じく，母乳中の低比率の DHA に注意が注がれてきました[15, 24]。ベジタリアンに見られる，高リノール酸摂取は，n-6 と n-3 脂肪酸の不飽和化酵素を競合するために，DHA の生成を阻害します。この競合があるので，幼児食に対する n-3，n-6 脂肪酸の適正なバランスがあることを示唆しています[26]。

ベジタリアンは，過度でない，適正な 18：2n-6，18：3n-3 になるように努力が必要です。必須脂肪酸の不足とバランスの欠如による生理学的な問題が報告されてきました[24, 25, 29]。リ

表 9-1　食事中の必須脂肪酸の適正な割合を達成するためのガイドライン

1	脂肪を極端に制限した食事にしない
2	良質な α- リノレン酸を毎日とる
3	べに花やひまわり，とうもろこし油等のリノール酸を多く含む油は適量にする
4	リノール酸の多い油を，α- リノレン酸の多いカノーラや大豆，亜麻仁油と，又オリーブ油等の 1 価不飽和脂肪酸と置き換える
5	固形マーガリンをソフトマーガリンと置き換える。又加工食品の摂取を控える

ノール酸 /α- リノレン酸比は 10：1 以上にならず，望ましくは 4：1 が推奨されます[24]。表 9-1 は必須脂肪酸摂取の望ましいバランスを提言しています。

C．鉄

妊娠中の適正な鉄の摂取は，母親の血液量を増加し，胎児の発達を促すために必要です。現在，妊娠中の鉄の補給が適正なのかどうかの議論があります[34]。最初の 3 カ月に，鉄貯蔵が低い場合には，早熟と低い出生時体重のリスクが増大するというデータがあります[15, 35]。授乳中の鉄の補給は，母乳中の鉄量を増やすようには見えないのですが，母親の貯蔵の再構築を助けることができます。食事パターンにかかわらず，これらの重要な期間中に適正に鉄を摂取することへの関心が高まっています。

特に妊娠しているベジタリアンにとって鉄がどんな状態にあるか，注意がたびたび喚起されています。なぜかと言えば，ベジタリアン食の供給源は非ヘム鉄で，肉食に含まれるヘム鉄より利用効率が悪い為だからです。最近の報告は，非ヘム鉄の吸収を高めたり，阻害したりする様々な物質を提示しています[36]。鉄吸収を高めるのは，アスコルビン酸，クエン酸，リンゴ酸，乳酸，酒石酸や他の有機酸です。大豆の発酵産物もまた，鉄の利用率を高めます。阻害物質は全粒穀類，大豆製品やふすまに含まれるフィチン酸，ほうれん草やルバーブに含まれるシュウ酸塩，お茶のタンニン，コーヒーやある種の植物性食品中のポリフェノールです。卵，牛乳や亜鉛，カルシウムを多く摂取すると鉄の吸収を阻害します[36, 37]。妊娠中，貯蔵鉄が低かったり，要求量が高まると多量の鉄が吸収されることになります。

1．ベジタリアン女性の鉄摂取

鉄の栄養状態は長期間の摂取に反映されるので，妊娠している人と同様にベジタリアン女性の研究を検討することは適切なことです。雑食者の人と比べ，LOVs の女性が同じかかなり多くの鉄を摂取していいるとの報告が数件ありました[17, 38-41]。ビーガンは，LOVs と肉食者よりも鉄摂取が多いとの報告がありますが，必ずしも一定でなく，有意差はありませんでした[5, 36, 38, 40, 41]。ベジタリアン，特にビーガンはアスコルビン酸（非ヘム鉄の利用率を改良する）をたびたび摂取します[5, 17, 39-41]。しかし，フィチン酸のような阻害物質もベジタリアン，特にビーガン食では多いのです[42]。

妊娠しているベジタリアンの鉄摂取は，妊娠している雑食者の人と同じか多いという報告はあまり見当たりません[2, 5, 6]。アスコルビン酸の摂取はベジタリアンでは有意に高いのです[2, 5, 6]。

2．ベジタリアン女性の鉄の栄養状態

貯蔵鉄が低いのにもかかわらず，ベジタリアンは一般的に，鉄欠乏性貧血症の罹患率は高くはありません[36, 38, 43]。鉄欠乏性貧血症は，特に，小麦よりも米に依存している，イギリスと北米のアジア人ベジタリアンで見られます[15]。

カナダの 14 ～ 19 歳の女性においては，雑食者の 17% に対し，LOVs の 29% は血清フェリチンとしての貯蔵鉄は低い状態にあります[44]。しかし，グループ間の平均血清フェリチンには有意差はなく，ヘモグロビン値，ヘマトクリット値にも差はありませんでした。LOVs も雑食者の人も，同量の鉄を摂取していますが，LOVs はフィチン酸を有意に多く摂取していました。ベジタリアンの女性は，雑食者の人に比べ，有意に低い血清フェリチン濃度でしたが，鉄の摂取は，ベジタリアンの中では，有意に多いと他の研究者は報告しています[38]。両群共，フェリチン値は同様でした。イギリスでは，子供を持つ年代の白人とアジア人のベジタリアンの女性，双方共，雑食者の人より低い血清フェリチン濃度でした[43]。妊娠の生理学的ストレスが，低い貯蔵鉄の状態である鉄欠乏性貧血症を誘導するということに関心が高まっています[43, 44]。

3．妊娠ベジタリアンにおける鉄の栄養状態

妊娠しているベジタリアンにおける鉄の栄養状態についての報告はあまりありません。26 人の妊娠 LOVs と 28 人の雑食者のヘモグロビン値とヘマトクリット値は似通っていましたが，7 人の女性のヘモグロビン値は <11g/dl で，5 人が LOVs で，<9g/dl の 1 人は LOVs でした[2]。Thomas らは，36 人の対照妊娠群の 5.5% に対し，24 人のベジタリアン妊娠群の 12.5% が貧血症と報告しましたが，この差は有意ではありませんでした[3]。ビーガンではたった 21% が，対照群では，66% が鉄のサプリメントを取っていました。最近のイギリスでの研究では，34 人の LOVs の 26% が妊娠中の貧血症を医者か助産婦から告げられていて，81 人の雑食者では 11% でした[5]。この差は p=0.057 では，ほぼ有意差に等しいものでした。これらの報告を評価できるデータがないことに注意する必要があります。妊娠しているベジタリアンの鉄の栄養状態を示す指標について，他の報告は見当たりません。

4．妊娠時の推奨される鉄摂取

制限食では鉄不足のリスクが増大しており，ベジタリアンの女性では貯蔵鉄が低い値になる傾向のようです。身体機能のはっきりとした機能傷害がなくても，貯蔵鉄は広い範囲で変化すると言われてきました[36]。それでも，貯蔵鉄の低下は，鉄不足のリスク増加と関連しています[36, 43]。

妊娠による必要量の増加と，最初の 3 カ月での低貯蔵鉄が低出生時体重か未熟な乳児のリスクを増加させるので，妊娠している全ての女性と同様に，妊娠しているベジタリアンが確実に適切な量の鉄を摂取することは重要です。さらに，低い貯蔵鉄の女性の幼児は，低貯蔵鉄で誕生することが示唆されており，ベジタリアンで良く見られることですが，長期間母乳の場合には，鉄欠乏性貧血のリスクがより大きくなります[15]。

妊娠しているベジタリアンは鉄欠乏のリスクがあると決めつける必要はありません。しかし，全ての妊娠女性のように，鉄の栄養状態を確認することは適切なことです。全ての妊娠女性は，相乗的に働くアスコルビン酸を含む食品と鉄を豊富に含む食品をバランス良く食べることが奨励されるべきです。妊娠中に推奨される 30 mg/ 日の鉄のサプリメントを摂取しているかどうかにかかわらず，この考え方は理にかなっています。

D．亜鉛

妊娠している女性について，亜鉛の栄養状態の研究はあまりありません。従って，ベジタリアン研究の結果は限られたものですが，妊娠中の栄養状態を評価する道筋となります。LOV 女性は雑食者の人よりも亜鉛の摂取は少ないといういくつかの研究がありますが，双方共，似

たような摂取との報告もあります[17, 38, 40, 41, 44]。ビーガンの亜鉛摂取は，LOVsと雑食者の人より少ないことがたびたびあります[17, 38, 40, 41]。

LOV女性の平均亜鉛摂取はRDAの2/3以下で，ビーガンは，RDAの1/3以下であると，Freeland-Gravesらは報告しました[17]。かなり低い亜鉛摂取が見られる人達は，主に，果物，サラダや野菜で構成される食事に起因しているようです[17]。肉食者の人と比べ，ベジタリアン男女の血清亜鉛濃度には，有意差は見られませんでしたが，ベジタリアンの毛髪亜鉛濃度は有意に低い値でした。LOVsと雑食者の人に比べ，ビーガンの血清亜鉛濃度は低い値でしたが，有意差はありませんでした。また，彼らは，唾液沈殿物中の亜鉛を測定し，雑食者の人に比べ，LOVsとビーガン双方共，有意に低く，ビーガンでは，約1/2であることを見い出しました[17]。唾液中の亜鉛と粗繊維の摂取とには，反比例の関係がありました。雑食者の人に比べ，LOVsは2倍，ビーガンは4倍，粗繊維を摂取していました。少ない摂取量に加えて粗繊維を多く摂取することで，亜鉛の栄養状態は，さらに複雑な様相を示すようです。

若年のベジタリアンと雑食者の女性において，亜鉛の栄養状態が検討されました[44]。群間の亜鉛摂取，食事の亜鉛濃度，血清，毛髪濃度，血清アルカリ燐酸塩濃度や味覚感度には有意差はありませんでした。食事中のフィチン酸と，亜鉛モル比，血清亜鉛濃度間には，反比例の関係が見られました。

イギリスと米国の2件の研究では，妊娠LOVsの亜鉛摂取は，妊娠中の雑食者の人より有意に低い値でした[5, 6]。また，LOVsにおける亜鉛の栄養的な濃度は低く，さらに，平均血清亜鉛濃度は雑食者の人に比べ有意に低い値でした[6]。典型的なLOV食の亜鉛は，おそらく，雑食者より10～30%低いことが，近年，示唆されています[42]。さらに，ベジタリアン食の低い亜鉛含量に加え，高い繊維含量とフィチン酸量に起因する亜鉛の生体利用度の低さに関心が高まっています[42]。低エネルギーの摂取，限られた食品や果物や野菜への偏重が，不適切な亜鉛摂取のリスクを増大させます[17]。ベジタリアンが摂取する多くの食品が，適正な量の亜鉛を供給します。それらは，豆類，大豆製品，全粒穀類，穀類，ナッツ，種子類，スプラウト，醸造酵母やLOVs向けのハードチーズです[45]。

ベジタリアンは，亜鉛の適正な摂取を確実なものにするために，毎日の食生活にこれらの食品を豊富に取り入れることが必要です。

E．カルシウム

妊娠と授乳の間，カルシウム代謝において，驚くべき適応が行われています。ここ最近のカルシウム摂取に対する考え方は，妊娠や授乳という時期よりも，年齢別になっています[46]。それは，相当する年齢以上のカルシウム摂取増加は推奨されないからです。しかし，子供を持つ女性は，推奨値以下の摂取に留まっていることが報告されていることは重要なことです。

1．ベジタリアンのカルシウム摂取

雑食者の人と比べたLOVsの摂取研究は有意差を見出していませんが，いくつかの研究は，LOVsの方が多いことを報告しています[5, 6, 48, 52]。ビーガンのカルシウム摂取は，LOVsと雑食者の人と比べても，かなり下回っているようです[16]。若年のビーガン女性は，LOVsと雑食者の人と比べ，300～450 mg/日少ないとの報告があります[38, 40]。いくつかの植物性食品はカルシウムの豊富な供給源ですが，推奨量を満たす程の十分な摂取はないようです[48, 49]。

2．授乳中のカルシウム摂取とビタミンDの栄養状態

授乳中と非授乳のマクロビオティック女性のカルシウム摂取は，授乳中と非授乳の雑食者の1,038 mg/日と681 mg/日と比べ，夫々，

486 mg/ 日と 340 mg/ 日であると，Specker[50] は報告しました。マクロビオティック食は必ずしもビーガンではありませんが，乳製品は避けられています[51]。生物学的に活性であり，カルシウム濃度が要求量を満たさない場合，増加する 1.25- ジヒドロキシビタミン D の血清濃度が，マクロビオテック女性のカルシウム状態の評価に利用されました[53]。一般的に，6 カ月以上か双子でなければ , 授乳中，濃度の上昇は見られません[53]。授乳と非授乳の雑食者の人と比べ，授乳と非授乳のマクロビオティック・ベジタリアンにおいて，1,25- ジヒドロキシビタミン D の増加が見られました。このことは，カルシウム吸収を促進させるための適応が起きていることを示唆しています[53]。この適応は，カルシウム要求が増加した場合，生じることが期待されます。マクロビオティック女性に見られる低カルシウム摂取は，1,25- ジヒドロキシビタミン D 濃度の上昇を引き起こすと研究者たちは考えました。雑食者と比べ，ベジタリアンの乳中のカルシウム濃度には差はありませんでした[50]。骨に影響があるかどうかは，わかっていません[55]。

3. ベジタリアンのカルシウムと骨の栄養状態

カルシウム摂取と栄養状態の適切さを測定する簡単なテストはありません。大量にカルシウムを貯蔵している骨格と，他の組織による生体恒常性機構で，血清濃度は保持されています。しかし，カルシウム摂取が慢性的に不足した場合，骨密度（BMD）は危険な状態になります[56]。

何箇所かの部位を測定したところ，LOVs の BMD は雑食者の人に比べ大きいことをいくつかの研究は報告しましたが，有意差のない報告もあります[57-61]。最初，Marsh らは，ビーガンの幾人かは，BMD が低いことを報告しました[62]。15 人の閉経前 LOVs と 8 人のビーガンを比較したところ，BMD には有意差はありませんでしたが，ベジタリアン群としては，対照の雑食者の人に比べ，BMD が低い傾向がありました[63]。長期間ビーガンだった台湾の閉経前女性は，腰椎骨折域を越える有意なリスクがあり，LOVs と雑食者の人に比べ，大腿頸部の骨減少があると分類されました[64]。LOVs に比べ，若年のビーガン女性の BMD は有意に低いと最近の研究は報告しています[65]。LOVs の BMD は雑食者の人より大きいのですが，有意差はなく，また，雑食者と比べたビーガンの低い BMD も有意差はありませんでした。また，最近，子供時代，ビーガンタイプのマクロビオティック食を続けた青年において，骨の栄養状態が検討されました[66]。初期の食事は，低カルシウムと低ビタミン D 摂取が特徴でした。年齢，部位，体重，身長，体脂肪率や思春期を補正した骨密度は，対照の雑食者と比べ，ビーガン前期の方が有意に低い値でした。これは特に，脊柱と大腿頸部で明確でした。

主要な影響を及ぼす身体活動と同じく，最大骨密度の 80% までは遺伝やカルシウム摂取によって決定されますが，他の食事因子もまた重要です[56]。たんぱく質やナトリウム摂取が低い場合には，<500 mg/ 日のカルシウムでも適切であることが示唆されています[67]。動物性たんぱく質は，カルシウムバランスに対し，負の効果を及ぼすと見られ，これらの素材を控えることは骨損失の防止として推奨されました[57, 68]。一方 , あまりに少ないたんぱく質は，老人では骨の栄養状態を悪くし，たんぱく質のサプリメントは，骨粗鬆症患者を劇的に改善してきました[69, 70]。少ないたんぱく質の摂取は，常に，骨に傷害を与えることが注目されました[71]。ビーガン食の全たんぱく質は植物性であるという事実にもかかわらず，ビーガンのカルシウム摂取が適正な骨の状態に到達するかどうかに関心が集まってきています[48, 49]。

4．妊娠中のカルシウムと血圧

カルシウムは，骨格としての健康への役割に加え，他にも重要な機能を持っています。無作為割付臨床試験における最近のメタ分析は，妊娠中のカルシウム補給が，収縮期，拡張期の血圧を低下させることを示しました[72]。さらに，カルシウム補給は，妊娠による高血圧のリスクを 70% 低下させることに関与し，妊娠腎症になる率は 60% 低下し，早熟になる率は 30% 低下しました[72]。20 歳かそれより若い妊娠女性の方が，年長の女性より有利です。このことは，自分自身の骨格の成長と胎児の要求に応えるために，若年の女性にとっては，より多くのカルシウムが必要であることを示唆していました[73]。女性がすでに，980 mg/ 日のカルシウムを摂取している場合には，カルシウム補給は妊娠腎症には効果がないことを一部の研究は示しています[74]。

5．推奨

妊娠中の血圧を改善する潜在的能力と同様に，骨の健康を保持する役割の面から，食事パターンにかかわらず，推奨値に近づく様にカルシウム摂取を奨めることは賢明と言えます[16]。ビーガンとして実施できるカルシウム源の生体利用率は分かっています[48, 49]。

F．ビタミン D

ビタミン D は，カルシウム吸収と代謝に密接に関与しています。低カルシウム摂取は，このビタミンの低摂取によってさらに，リスクが増えます。食品からのビタミン D 源はわずに動物性食品ですが，様々な食品に添加されています。太陽光だけでは，必要な量は満たしません。

妊娠中のビタミン D 摂取は，雑食者の人に比べ，ベジタリアン（11 人の LOVs と 1 人のビーガン）では有意に低いとの報告があります[6]。ビタミン D 栄養状態の指標である，25（OH）D の血清濃度は，授乳中のマクロビオティック女性では低い値でした[50]。ビタミン D 不足とくる病が，マクロビオティック，ベジタリアン，ビーガンで見られ，特に，色の濃い皮膚と，太陽光が不足する地域に住んでいる人達に見られました[16]。

妊娠中のビタミン D への最近の推奨値は，妊娠していない女性の 2 倍となっています[46]。母乳中の量は低く，母乳で育った幼児のレベルは，太陽光に触れた程度によって変化します[50]。ベジタリアンは，自分自身と幼児の為に，このビタミンの適正な供給源が何であるかを確認する必要があります。

G．ビタミン B_{12}

ビタミン B_{12} はベジタリアン，特に，ビーガンにとって高い関心があります。というのは，強化していない日常の食品源は，唯一，動物性由来だからです。また，不足の影響は不可逆で，幼児の不足は継続するという報告があるので特別な関心が寄せられています[75, 76]。定例の新生児調査により，出生時かなり低い量を示唆していて，不足が 2，3 例確認されていました[77]。ある期間，動物性食品を摂らなかった母親から影響を受けた幼児が生まれました。さらに，幼児は，偏った母乳育児でした。

1．幼児のビタミン B_{12} 不足

ビタミン B_{12} 不足の幼児は，ある特徴があります。初期の発達期間は様々な面で正常ですが，問題は，3 ～ 8 カ月から発生します[76]。彼らは，怒りっぽく，無感情になり，発達は退行し，社会性が失われます。頭囲を含めた成長は止まり，硬い食品を拒絶します。また，意識のない行動をします[76, 78]。ある場合には，昏睡に至ります[78, 79]。

ビタミン B_{12} 不足の幼児の母親は，不足の兆候を示しませんでした。しかし，たび重なる試験で，血清中とミルク中の低濃度が明らかにな

りました[75, 80]。さらに，母親の尿中メチルマロン酸（MMA）上昇が，機能的な不足の証しになっています[81, 82]。Specker ら[81, 82]は，ミルク中の低ビタミン B_{12} 量が母親の血清中低濃度と，幼児の尿中 MMA 上昇に関与していることを報告しました。ミルク中のビタミン B_{12} 濃度は，母親の尿中 MMA 濃度と正の相関がありました[82]。

最近の報告は特に興味のあるものです。最初は，9 カ月齢の時に重度のビタミン B_{12} 不足を経験した青年男子です[78]。ビタミン B_{12} の補給により，すぐに回復しましたが，18 カ月齢での神経学的回復は不完全でした。12 歳時での追跡調査では，遅延の境界域を示しました[75]。14 歳の時には，医者は，「彼は，身体は頑丈で，健康だが，明らかに，教育の発達には助けがいる」と言いました[83]。

2 番目の例は，18 カ月齢の幼児です[76]。体調の問題もあったので，乳製品や卵，豆乳をを始める前の 3 週間は，極端な母乳でした。始めの 6 カ月は発達は見られませんでした。20 カ月齢の時，6 カ月齢レベルの機能と判断されました[76]。

6 歳まで厳格な（ビーガン）マクロビオティックだった青年の調査が，近年，実施されました[84]。彼らは，結果的には他のベジタリアンに変更するか，雑食者になりました。しかし，対照よりは有意に少ないものの，乳製品，肉，鶏肉，卵を頻繁に食べました。魚だけが以前のマクロビオティックより多い回数でした。乳製品からのビタミン B_{12} 摂取では明らかに低い量でした。

73 名のマクロビオティック経験者において，血清ビタミン B_{12} 濃度の有意な低値と MMA の有意な高濃度が，94 名の対照に比べて観察されました[84]。機能的な B_{12} 不足の指標である MMA 濃度の上昇が，マクロビオティック経験者の 21% に見られました。以前にも，ビタミン B_{12} 不足と MMA の上昇が，マクロビオティック幼児で報告されていました[85]。

マクロビオティックを経験した女性と男性のビタミン B_{12} の平均摂取量は，各々，1.2 μg/日，1.5 μg/ 日か，オランダの推奨摂取量に対し，67%，81% と研究者達は見積もりました。幼児期と児童期の初期での厳格なマクロビオティック食は青年期のビタミン B_{12} の栄養状態を損ない，6，7 歳からの動物性食品の適度な摂取は，ビタミン B_{12} を蓄積することにはならず，機能を保つことにもならないことを，この研究は示しました[84]。これらの被験者の認識力と運動神経に起因する筋運動を調査する研究は現在も進行中です。

これらの研究は，ビタミン B_{12} の重要性を明らかにしています。このビタミンの適正な摂取が，食品源かサプリメントによっては，健常人への効果が妨げられるかも知れません。食事中のビタミン B_{12} 不足は極めてまれですが，多くの場合，ビーガン幼児には十分な教育が必要であることが報告されています。

2．ビタミン B_{12} の供給源

ビタミン B_{12} の供給源については，いくつかの混乱があります。食品中のビタミン B_{12} を測定する分析法は不活性と活性の同族体を分別しません[86, 87]。このように，リストされている食品中の量は正確ではありません。最新の放射性分析法では，海草，スピルリナ，テンペのような発酵食品中のこのビタミンの実態を知ることには役立ちません[86]。ビーガンにとっての適正な供給源としては，強化食品，赤星印の栄養酵母，サプリメントです。

妊娠は，食事や健康に関連する多くの話題について，妊娠女性を教育する良い機会です。この中には，子供の発達の履歴情報や，これらの情報から得られる偏りを検討する必要性を含むべきです。動物性の食品を選択しない人達が，特に，彼らの子供へ長い期間にわたっ

て，神経学的な健康に強い影響を及ぼすので，このビタミンの必要性を認識することは大切なことです[80]。

H．他の栄養問題

葉酸，ビタミンCやβ-カロテンを含む多くの予防的栄養素が，ベジタリアン食の中に多量に見出されています[16]。葉酸を妊娠の前か，初期の段階で適正な量を摂取すると，神経管疾患を予防するという働きが確認されています[88]。

ヨウ素：Lightowlerらは，最近，ビーガンにおけるヨウ素摂取と栄養状態を検討した研究を発表しました[89]。ビーガン女性の平均摂取量は推奨値よりかなり低く，生化学データは食事の摂取状況を表していました。

米国では，ヨウ素強化食塩がこの栄養素の不足をかなり軽減しましたが，イギリスでは，食塩のヨウ素強化はほんのわずかです[89]。肉製品，魚，ミルクや乳製品等のヨウ素を含む食品はビーガンにとっては,受け入れ難いものです。さらに，ヨウ素の適正な補給にはならない海塩に代えて,ヨウ素強化食塩は使用しないのです。海草には高濃度のヨウ素が見出されますが，必要量を供給するほどの量は一般的には，摂取されません[89]。さらには，添加物や保存料を含んだ加工食品は，ビーガンには，受け入れ難いのです。

妊娠中のヨウ素不足は，かなりの悪影響をもたらします。ビーガンでの摂取を検討し，必要度を高めるようにすることは適切なことです。

5. ベジタリアンの母親への食事指導

LOVsは，保健指導士からの有用な食事のアドバイスを受け入れていないと感じていることが,最近の報告が示しています[5]。このことは，保健指導士がベジタリアン食について，適切な情報を持っていないために起こるのかも知れません。事実，ベジタリアン食の内容に関心があるのは，2/3であるという，イギリスの助産士の例にも見られます[91]。

適切なアドバイスが欠如するということは，ベジタリアン食が栄養的に適正かどうか疑わしいと見なされてきていることに起因するのかも知れません。これらの問題は，ベジタリアン食を実践することによって明らかにされる栄養問題を持つ人達の研究を参考にすることによって補われます。栄養素利用率の短期間の研究，特に，微量ミネラルと，繊維やフィチン酸等の栄養素の吸収を制限するある種の植物性食品成分の影響を理解することが，ベジタリアン食の適切性に関する問題を提起してきました。食事摂取の適切性に関する問題は，成長の期間と同じくらい，妊娠と授乳中の特別な関心事です。

最近の科学的証拠は，良く考えられたベジタリアン又はビーガン食が，健全な妊娠に必要な栄養素を提供することができるという米国栄養協会（American Dietetic Association）の意見を支持しています[21]。妊娠ベジタリアンは，彼らが摂取しない食品群から通常得られる栄養素の供給源に関するアドバイスには確実性があると受けいれるべきです。このことは，保健指導士は知識を有し，様々なベジタリアンの哲学に対し受容可能な代替の栄養素供給源についての知識を有する栄養士でもあることを意味しています。

食事は母乳中の多くの栄養素の濃度に影響することが知られていて，一方では，それ程影響しないようにも見られます[22,92,93]。ベジタリアンの母親はかなりの割合で子供を母乳で育て，できるだけ長く続けます[94]。たんぱく質濃度が，授乳の度合いが増えるに従い低下することがマクロビオティック女性の母乳で見られ，授乳期間の補正後でも，カルシウム，マグネシウム，ビタミンB_{12}，飽和脂肪酸，多価不飽和脂肪酸ではさらに，含量が低下しました[94]。他

の研究でも同様に，マクロビオティックの母親の母乳は，様々な成分濃度は低い値でした。

ベジタリアンは，かなり長い間，乳児を母乳で育てると言われているので，適切な食事指導を実施し，授乳の期間中，適切な栄養摂取を確実に取れるようにすることは重要なことです。注意すべき栄養素を明らかにし，それらを摂取するような指導が実施されてきました。食事の制限があるので，もし，適切な摂取のための注意が不足すると，潜在的な不足が増加してきます。通常の評価法が，潜在的な問題がどこにあるのかを明らかにするために用いられます。夫々の年齢とエネルギー量に対する食事パターンが提案され，ベジタリアンフードガイドは発達を遂げてきました[95, 96]。あるベジタリアンには，栄養源によってはリスクがあるかもしれないことが示されてきました[97]。

妊娠しているベジタリアンは，雑食者と同様に胎児の発達のために注意を注ぎます。ベジタリアンは，また，食事の仕方にも注意を注ぎます。こうして，保健指導士は妊娠しているベジタリアンを指導する際には，栄養学の知識に基づいて，研ぎ澄まされた感覚を活用しなければなりません。ベジタリアンにとっての快適な食事は，食事指導をする保健指導士が通常選ぶ食事とはかなり異なります。批判的でない態度，有益な食事行動の補強，母親の受容性は，コミュニケーションの継続に大切な基盤となります[98]。

その食事法が何であれ，禁止される実際の食事行動と食品についての完全な情報は，意味のあるガイダンスの大切な基盤となります。通常の食事が良質でも，栄養学的な適切さを検討するためには，日常摂取される食事の頻度や量を認識することは，また，重要なことです[98]。様々な種類の植物性食品の栄養学的価値を良く知っている栄養士は，リスクのある栄養源を明確にする手助けとなります。

授乳中の母親が大量の混合ハーブ茶を摂取し，2 人の幼児に毒性を示した最近の報告があります[99]。その飲み物を 24 ～ 36 時間中止することで，状態は改善されました。これらの例は，いわゆるナチュラルフードと呼ばれる物の，潜在的なマイナスの影響を示しており，あるベジタリアンには，良く利用されているようです。代替療法の利用の拡大に伴い，保健指導士は，これらの方法の潜在的な影響を理解し，利用してよいものかどうかを決めるための感覚を磨く必要があります。

まとめ

様々な種類のベジタリアン食を取り入れている，特に若年の女性達が増加しています。食事行動は米国の基準とは異なっていますが，適切に設計されたベジタリアン食は，妊娠と授乳に対する栄養学的な要求を満たすことができるということを，ベジタリアンは確信する必要があります。食卓に載らない食品が多くあるので，栄養学的な適切さを満たす為には，より多くの注意が必要です。それでも，栄養学的要求には，創意工夫をすることによって，多くの異なる手段で満たすことが可能で，ベジタリアン食は，ライフサイクルの異なるステージでの要求を満たすことができます。保健指導士は，現代の様々な食事行動に対応できるように学習し，訓練をする責務があります。

参考文献

1）Barker,D.J.P. *Mother,Babies and Health in Later Life*. 2nd rdition,Churchill Livingstone, Edinburgh,1998.
2）Hardinge,M.G., and Stare,F.J. Nutritional studies of vegetarians. I. Nutritional, Physical and laboratory studies. *J.Clin.Nutr*.,**2**:73,1954.

3) Thomas,J. and Ellis.F.R. The health of vegans during pregnancy. *Proc.Nutr.Soc*.,**36**:46A,1977.
4) Snaders,T.A.B., and Reddy,S. The influence of a vegetarian diet on the fatty acid composition of human milk and the essencial fatty acid status of the infant. *J.Prediatr*.,**120**:S71,1992.
5) Drake,R., Reddy,S., and Davis,J. Nutrient intake during pregrancy and pregrancy outcome of lacto-ovo-vegetarians, fish-eaters and non-vegetarians. *Vegetarian Nutrition:An International Journal*,**2**:45,1981.
6) King,J.C., Stein,T., and Doyle,M. Effect of vegetarianism on the zinc status of pregnant women. *Am.J.Clin. Nutr*.,**34**:1049,1981.
7) Abu-Assal,M.J., and Craig,W.J. The zinc status of pregnant women. *Nutr.Rep.Int*.,**29**:485,1984.
8) MacFadyen,I.R., Campbell-Brown,M., Abraham,R., North,W.R.S., and Haines,A.P. Factors affecting birthweight in Hindus, Moslems and Europeans. *Br.J.Obstet.Gyn*.,**91**:968,1984.
9) Reddy,S., Sanders,T.A.B., and Obeid,O. The influence of maternal vegetarian diet on essential fatty acid status of the newborn. *Euro.J.Clin.Nutr*.,**48**:358,1994.
10) Dagnelie,P.C., van Staveren,W.A., van Klaveren,J.D., and Burema,J. Do children on macrobiotic diets show catch-up growth? *Euro.J.Clin.Nutr*.,**42**:1007,1988.
11) Dagnelie,P.C., and van Staveren,W.A. Macrobiotic nutrition and child health: results of a population-based, mixed-longitudial cohort study in The Netherlands. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1187S,1994.
12) Shull,M.W., Reed,R.B., Valadian,I., Palonbo,R., Thorne,H., and Dwyer,J.T. Velocities of growth in vegetarian preschool children. *Pediatrics*,**60**:410,1977.
13) Dwyer,J.T., Palmbo,R., Thorne,H., vakadian,I., and Reed,R.B. Preschoolers on alternate life-style diets. *J.Am. Diet.Asssoc*.,**72**:264,1978.
14) Sanders,T.A.B., and Reddy,S. Vegetarian diets and children. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1176S,1994.
15) Sanders,T.A.B., and Reddy,S. Nutritional implications of a meatless diets. *Proc.Nutr.Soc*.,**53**:297,1994.
16) Messina,M. and Messina,V. *The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets*. Aspen,Gaithersburg,MD,1996.
17) Freeland-Graves,J.H., Bodzy,P.W., and Eppright,M.A. Zinc status of vegetarians. *J.Am. Diet.Assoc*.,**77**:655,1980.
18) Dagnelie,P.C., van Staveren,W.A., Vergotte,F.J.V.R.A., Burema,J., van't Hof,M.A., van Klaveren,J.D., and Hautvast,J.G.A.J. Nutritional status of infants aged 4 to 18 months on macrobiotic diets and matched omnivorous control infants: a population-based mixed-longitudinal study, II. Growth and psychomotor development. *Euro. J.Clin.Nutr*.,**43**:325,1989.
19) Dagnelie,P.C., van Dusseldop,M., van Staveren,W.A., Hautvast,J.G.A.J. Effects of macrobiotic diets on linear growth in infants and children until 10 years of age. *Euro.J.Clin.Nutr*.,**48**:S103,1994.
20) Carter,J.P., Furman,T., and Hutcheson,H.R. Preeclampsia and reproductive performance in a community of vegans. *South Med.J*.,**80**:692,1987.
21) Messina,V., and Burke,K. Position of the American Dietetic Association: Vegetarian diets. *J.Am.Diet.Assoc*.,**97**:1317,1997.
22) Finley,D.A., Lonnerdal,B., Dewey,K.G., and Grivetti,L.E. Breast milk compositon: fat content and fatty acid composition in vegetarian and non-vegetarians. *Am.J.Clin.Nutr*.,**41**:787,1985.
23) Young,V.R.,and Pellett,P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *Am.J.Clin. Nutr*.,**59**:1203S,1994.
24) Sanders,T.A.B. Essential fatty acids in pregnancy, lactation and infancy in vegetarians. *Am.J.Clin. Nutr*.,**70**:555S,1999.
25) Simopoulos,A.P. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am.J. Clin. Nutr*.,**54**:438,1991.
26) Birth,E.F., Hoffman,D.R., Uauy,R., Birth,D.G.,and Prestidge,C. Visual acuity and the essentiality of docosahexaenoic acid and arachidonic acid in the diet of term infants. *Prediatric Res*.,**44**:201,1998.
27) Conner,W.E., Lowensohn,R., and Hatcher,L. Increased docosahexaenoic acid levels in human newborn infants by administration of sardines and fish oil during pregnancy. *Lipids*,**31**:S-183,1996.
28) Gibson,R.A.,Neumann,M.A., and Markrides,M. Effect of increasing breast milk docosahexaenoic acid on plasma and erythrocyte phospholipid fatty acids and neural indices of exclusively breast-fed infants. *Euro.J.Clin. Nutr*.,**51**:578,1997.
29) Conquer,J.A.,and Holub,B.J. Docosahexaenoic acid (Omega-3) and vegetarian nutrition. *Vegetarian Nutrition:An International Journal*,**1**:42,1997.

30）Specker,B.L., Wey,H.E., and Miller,D. Differences in fatty acid composition of human milk in vegetarian women: Long-term effect of diet. *J.Prediatr.Gastroent.Nutr*.,**6**:764,1987.
31）Willatts,P., Forsyth,J.S., DiMOdugno,M.K., Varma,S., and Colvin,M. Effect of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant formula on problem solving at 10 months of age. *Lancet*,**352**:688,1998.
32）Uauy,R., Peirano,P., Hoffman,D., Mena,P., Birch,D., and Birch,E. Role of essential fatty acids in the function of the developing nervous system. *Lipids*,**31**:S167,1996.
33）Life Sciences Research Office,LSRO Report: Assesment of nutrient requirements for infant formulas,1999.
34）U.S. Preventive Services Task Force,Routine iron supplementation during pregnancy: Policy statement. *JAMA*,**270**:2846,1993.
35）Scholl,T.O., Hediger,M.L., Fischer,R.L., and Sheater,J.W., Anemia,vs. iron deficiency: increased risk of preterm delivery in a prospective study. *Am.J.Clin.Nutr*.,**55**:985,1992.
36）Crag,W.J. Iron status of vegetarians. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1233S,1994.
37）Dwyer,J.T. Nutritional consequences of vegetarianism. *Ann.Rev.Nutr*.,**11**:61,1991.
38）Alexander,D., Ball,M.J., and Mann,J. Nutrient intake and haematological status of vegetarians and age-sex matched omnivores. *Enro.J.Clin. Nutr*., **48**:538,1994.
39）Shultz,T.D. and Leklem,J.E. Dietary status of Seventh-day Adventists and nonvegetarians. *J.Am.Diet. Assoc*.,**83**:27,1983.
40）Janelle,K.C. and Barr,S.I. Nutrient intakes and eating behavior scores of vegetarian and nonvegetarian women. *J.AM.Diet.Assoc*.,**95**:180,1995.
41）Draper,A., Lewis,J.,Malhotra,N., and Wheeler,E. The energy and nutrient intakes of different types of vegetarians: a case for supplements? *Br.J.Nutr*.,**69**:3,1993.
42）Hunt,J.R.,Matthys,L.A.,and Johnson,L.K. Zinc absorption, mineral balance, and blood lipids in women consuming controlled lactoovovegetarian and omnivorous diets for 8 wks. *AM.J.Clin.Nutr*.,**67**:421,1998.
43）Reddy,S. and Sanders,T.A.B. Haematological studies on premenopausal Indian and Caucasian vegetarians compared with Caucasian omnivores. *Br.J.Nutr*.,**64**:331,1990.
44）Donovan,U.M., and Gibson,R.S. Iron and zinc status of young women aged 14 to 19 years consuming vegetarian and omnivorous diets. *J.Am.Coll.Nutr*.,**5**:463,1995.
45）Freeland-Graves,J.H., Ebangit,M.L.,and Bodzy,P.W. Zinc and copper content of foods used in vegetarian diets *J.Am.Diet.Assoc*.,**77**:648,1980.
46）Institute of Medicine, Dietary reference intakes of calcium, phosphorus,magnesium, vitamin D, and fluoride, National Academy Press, Washington, D.C., 1997.
47）Alamo,K., MaDowell,MA., Briefel,R.R., et al. U.S. Depertment of Health and Human Services. Dietary intake of vitamins, minerals, and fiber of persons ages 2 months and over in the United States: Third Natianal Health and Nutrition Examination Survey, Phase 1, 1988-91. *Advance data from vital and health statistics, no. 258*, National Center for Health Statistics, Hyanttsville, MD,1994.
48）Weaver,C.M. and Plawecki,K.L. Dietary calcium: adequacy of a vegetarian diet. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1238S,1994.
49）Weaver,C.M., Proulx,W.R., and Heaney,R. Choices for achieving adequate dietary calcium within a vegetarian diet. *Am.J.Clin.Nutr*., **70**:543S,1999.
50）Specker,B.L. Nutritional concerns of lactating women consuming vegetarian diet. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1182S,1994.
51）Kushi,M., and Jack,A. The Book of Macrobiotics: *the Universal Way of Health, Happines, and Peace*. Japan Publications, Boston,1987.
52）Finley,D.A., Dewey,K.G., Lonnerdal,B., and Grivetti,L.E. Food choices of vegetarians and nonvegetarians during pregnancy and lactation. *J.Am.Diet,Assoc*.,**85**:678,1985.
53）Specker,B.L., Tsang,R.C., Ho,M.L., and Miller,D. Effect of vegetarian diet on serum 1,25-dihydroxy vitamin D concentrations during lactation. *Obstet.Gynecol*.,**70**:870,1987.
54）Allen,L.H.Women's dietary calcium requirements are not increased by pregnancy or lactation, editorial. *Am.J.Clin. Nutr*.,**67**:591,1998.
55）Kalkwarf,H.J., Specker,B.J., Biabchi,D.C., Ranz.J., and Ho,M. The effect of calcium supplementation on bone density during lactation and after weaning. *N.Engl.J.Med*.,**337**:523,1997.
56）Heaney,R.P. Bone biology in health and disease: a tutorial, in *Modern Nutrition in Health and Disease* 9th ed,

Shils,M.E., Olson,J.A., Shike,M., and Ross,A.C.,Eds., Wiiliams & Wilkins, Baltimore,1998,chap.83.

57) Marsh,A.G., Sanchez,T.V.,Mickesen,O., Keiser,J., and Mayor,G. Cortical bone density of adult lacto-ovo-vegetarian and omnivorous women. *J.Am.Diet.Assoc*.,**76**:148,1980.

58) Tylavsy,F.A. and Anderson,J.J.B. Dietary factors in bone health of elderly lactoovovegetarain and omnivorous women. *Am.J.Clin.Nutr*.,**48**:842,1988.

59) Lloyd,T., Schaeffer,J.M.,Walker,M.A., and Demers,L.M. Urinary hormonal concentrations and spinal bone densities of premenopausal vegetarian and nonvegetarian women. *Am.J.Clin.Nutr*.,**54**:1005,1991.

60) Hunt,I.F., Murphy,N.J., Henderson,C., Clark,V.A., Jacobs,R.M., Johnston,P.K., and Coulson,A.H. Bone mineral content in postmenopausal women:comparison of omnivores and vegetarians. *Am.J.Clin.Nutr*., **50**:517,1989.

61) Tesar,R., Notelovitz,M.,Shim,E., Kauwell,G., and Brown,J. Axial and peripheral bone density and nutrient intakes of postmenopausal vegetarian and omnivorous women. *Am.J.Clin.Nutr*.,**56**:699,1992.

62) Marsh,A.G., Sanchez,T.V., Michelasen,O., Chaffee,F.L.,and Fagal,S.M. Vegetarian lifestyle and bone mineral density. *Am.J.Clin.Nutr*.,**48**:837,1998.

63) Barr,S.I., Prior,J.C.,Janelle,K.C., and Lentle,B.C. Spanal bone mineral density in premenopausal vegetarian and nonvegetarian women: Cross-sectional and prospective comparisons. *J.Am.Diet.Assoc*.,**98**:760,1998.

64) Chiu,J.F., Lan,S.J.,Yang,C.Y.,Wang,P.w.,Yao,W.J.,Su,I.H and Hsei,C.C. Long-term vegetarian diet and bone mineral density in postmenopausal Taiwanese women. *Calcif.Tssue Int*., **60**:245,1997.

65) Johston,P.K.,Makola,D.,Knutsen,S.,Haddad,E.H.,dos Santos,H.,Kuehl,K., and Schultz,E. Spanal bone mineral density in vegan, lacto-ovovegetarian and omnivorous premenopausal women. 3rd International Symposium on Nutritional Aspects of Osteoporosis, May 20-29,1997, Lausanne, Switzerland.

66) Parson,T.J., van Dusseldorp,M., van der Vliet,M.,van de Werken,K.,Schaafsma,G., and van Staveren,W.A. Reduced bone mass in Dutch adolescents fed a macrobiotic diet in early life. *J.Bone Miner.Res*.,**12**:1486,1997.

67) Heaney,R.P. Nutrition and osteoporosis, in, *Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism*, 3rd ed.,Favus,M.,Ed.,Lippincott-Raven, Philadelphia,1996,chap 48.

68) Zemel,M.B. Calcium utilization: effect of varing level and source of dietary protein. *Am.J.Clin.Nutr*.,**48**:880,1988.

69) Bonjour,J.P.,Rapin,C.H.,Rizzli,R.,Tkatch,L.,Delmi,M.,Chevalley,T.,Nydegger,V., Slosman, D., and Vasey,H. Hip fracture, femoral bone mineral density, and protein supply in elderly patients, in *Nutrition of the Elderly*, Munro, H. and Schlierf, G., Eds., Nestle Nutrition Workshop Series, Vol 29, Vevey/Raven Press, New York,1992,151.

70) Poter,K.H., and Johnson,M.A. Dietary protein supplementation and recovery from femoral fracture. *Nutr. Rev*.,**56**:337,1998.

71) Heaney,R.P. Excess dietary protein may not adversely affect bone. *J.Nutr*.,**128**:1054,1998.

72) Bucher,H.C.,Guyatt,G.H.,Cook,R.J., Lang,J.D.,Cook,D.J.,Hatala,R., and Hunt,D.L. Effects of dietary calcium supplementation on pregnancy-induced hypertension and preeclampsia, a meta-analysis of randomized controlled trials. *JAMA*.,**275**:1128,1996.

73) McCarron,D.A. Dietary calcium and lower blood pressure, we can all benefit, editorial. *JAMA*.,**275**:1113,1996.

74) Levine,R.J.,Hauth,J.C.,Curet,L.B.,Sibai,B.M.,Catalano,P.M.,Morris,C.D.,derSimonian,R.,Esterlitz,J. R.,Raymond,E.G.,Bild,D.E.,Clemens,J.D.,and Cutler,J.A. Trial of calcium to prevent preeclapsia. *N.Engl. J.Med*.,**337**:69,1997.

75) Graham,S.M.,Arvela,O.M., and Wise,G.A. Long-term neurologic consequences of nutritional vitamin B_{12} deficiency in infants. *J.Pediatr*.,**121**:710,1992.

76) Gratten-Smith,P.J.,Wilcken,B.,Procopis,P.G., and Wise,G.A. The Neurological syndrome infantile cobalamin deficiency: developmental regression and involuntary movements. *Movement Disorders*,**12**:39,1997.

77) Michaud,J.L.,Lemieux,B.,Ogier,H.,and Lambert,M.A. Nutritional vitamin B_{12} deficiency: two cases detected by routine newborn urinary screening. *Eur.J.Pediatr*.,**151**:218,1992.

78) Wighton,M.C.,Namson,J.I.,Speed,I.,Robertson,E.,and Chapman,E. Brain damage in infancy and dietary vitamin B_{12} deficiency.*Med.J.Aust*.,**2**:1,1979.

79) Higginbottom,M.C.,Sweetman,L.,and Nyhan,W.L. A syndrome of metylmalonic aciduria, homocystinuria,maga loblastic anemia and neurologic abnormalities in a vitamin B_{12}-deficient breast-fed infant of a strict vegetarian. *N.Engl.J.Med*.,**299**:317,1987.

80) Kuhne,T.,Bubl,R., and Baumgartner,R. Maternal vegan diet causing a serious infantile neurological disorder due

to vitamin B_{12} deficiency. *Eur.J.Pediatr*.,**150**:205,1991.

81） Specker,B.L.,Miller,D.,Norman,E.J.,Greene,H.、and Hayes,K.C. Increased urinary methymalonic acid excretion in breast-fed infants of vegetarian mothers and identification of an acceptable dietary source of vitamin B_{12}. *Am.J.Clin.Nutr*.,**47**:89,1988.

82） Specker,B.L.,Black,A.,Allen,L., and Morrow,F. Vitamin B_{12}: low milk concentrations are related to low serum concentrations in vegetarian women and to metylmalonic aciduria in their infants. *Am.J.Clin. Nutr*.,**52**:1073,1990.

83） Manson,J.I.,Personal communiacation,1991.

84） Van Dusseldorp,M.,Schneede,J.,Refsum,H.,Ureland,P.M.,Thomas,C.M.T.,de boer,E.,

85） Schneede,j.,Dagnelie,P.C.,van Staveren,W.A.,Vollset.S.E.,Resum H., and Ureland,P.M. Metylmalonic acid and homocysteine in plasma as indicators of functional cobalamin Deficiency in infants on macrobiotic diets. *Prediar. Res*.,**36**:194,1994.

86） Herbert,V. Staging vitamin B12: plant sources, requiremants,and assay. *Am.J.Clin.Nutr*,**48**:852,1988.

87） Herbert,V. Staging vitamin B12(cobalamin) status in vegetarians. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1213S,1994.

88） Butterworth,Jr.,C.E. and Bendich,A. Folic acid and the prevention of birth defects. *Annu.Rev.Nutr*.,**16**:73,1996.

89） Lightowler,H.J.,Davies,G.J., and trevan,M.D. Iodine in the diet: perspectives for vegans. *J.Roy.Soc. Hlth*.,Feb:14,1996.

90） Hetzel,B.S.,Potter,B.J.,and Dulberg,E.M. The iodine deficiency disorders: nature, pathogensis and epidemiology. *Wld.Rev.Nutr.Diet*.,**62**:59,1990.

91） Mulliner,C.M.,Spiby,H.,and Fraser,R.B. A study exploring midwive's education and attitudes to nutrition in pregnancy. *Midwifery*,**11**:37,1995.

92） Finley,D.A.,LOnnerdal,B.,Dewey,K.G.,and Grivetti,L.E. Inorganic constituents of breast milk from vegetarian and nonvegetarian women: relationships with each other and with organic constituents.*J.Nutr*.,**115**:772,1985.

93） Worthinton-Roberts,B.S. Human milk composition and infant growth and development, in Nutrition in Pregnancy and Lactation, 6th ed, Worthington-Roberts,B.S. and Williams,S.R.,Eds,Brown & benchmark, Madison,WI,1997,Chap 12.

94） Dagnelie,P.C.,van Staveren,W.A.,Roos,A.H.,Tuinstra,J.G.M.,Th,., and Burema,J. Nutrients and contaminants in human milk from mothers on macrobiotic and ominivorous diets. *Eur.J.Clin.Nutr*.,**46**:355,1992.

95） Haddad,E.H.Development of a vegetarian food guide. *Am.J.Clin.Nutr*.,**59**:1248S,1994.

96） Haddad,E.H.,Sabate,J.,and Whitten,C.G. Vegetarian food guide pyramid: a conceptual framework.*Am.J.Clin. Nutr*.,**70**:615S,1999.

97） Johnston,P.K.,and Haddad,E.H. Vegetarian and other dietary practices, in *Adolescent Nutrition*: *Assessment and Management*, Rickert,V.I.,Ed.,Chapman & Hall, New York,1996,chap 4 and p637.

98） Johnston,P.K. Counseling the pregnant vegetarian. *Am.J.Clin.Nutr*.,**48**:901,1988.

99） Rosti,L., Nardini,A., Bettinelli,M.E., and Rosti,D. Toxic effects of a herbal tea mixture in two newborns, letter. *Acta.Pediatr*.,**83**:683,1994.

100） Johnston,P.K. Vegetarians among us: implications for health professionals. *Top Clin.Nutr*.,**10**:1,1995.

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

19 水和シェルと樽由来成分，そして熟成との関わり

人は蒸留酒を手に入れる事でエタノールの味に興味を持つようになった。樽に貯蔵するとおいしくなる事を知ったのは，それから更にずっと後のことだ。アメリカの禁酒法時代（1920-1933）のウイスキーは，まだ玉石混淆だったに違いない。しっかりと貯蔵管理したウイスキーが手軽に手に入るようになったのは，まさに近代になってからなのだ。おいしく飲むためなら製造期間の 90% 以上を貯蔵に費やしてもいいと納得するまでには，それだけの時間が必要だったという事だろう。

ウイスキーを樽で貯蔵すると，なぜおいしくなるのか。その理由は依然として，謎の部分が多い。だが，今まで述べたように，少しずつ説明ができるようにはなってきた。まず，原料・発酵・蒸留・貯蔵，それぞれの工程由来の熟成成分の寄与がある。これらの成分は量的主成分ではないが，熟成においては非常に重要な意味を持つ成分群だ。なかでも貯蔵工程で樽のオーク材から溶け出てくる樽由来成分は長い時間をかけて形づくられ，熟成に大きく貢献する。量的主成分であるエタノールと水は，舞台でいえば「背景」に相当する。しかし，エタノールはウイスキーの“甘さ”と“辛さ”，あるいは「まろやかさ」や「皮膚刺激」と関わりを持つ重要なファクターだ。エタノール水溶液が多様な表情を示すことを可能にする，新たな構造モデルも提出されるようになった。エタノール水溶液が興味深い構造をとるのも，疎水基と親水基の双方をあわせもつエタノールの特性が水と共存することで色濃く顔を出すためだ。しかし，エタノールは，なぜ，貯蔵することによって荒々しい若武者のような表情が美徳を備えた大人の表情に変わるのだろうか？疑問は尽きないが，以下に，西博士らの構造モデルに立って樽由来成分とエタノール・水との関わりについて検討する事でウイスキー熟成の謎に迫ってみたい。

オーク材からの不揮発成分，つまり樽由来成分がもっとも多く抽出されるのは，ニューポットのエタノール濃度が約 60% のときである事は前回述べたとおりだ。これはエタノールが持つ疎水性と親水性のバランスが濃度 60% のときにもっとも効果的にエタノリシスによる分解を促し，オーク材の中のこのバランスに合った成分が優先的に溶け出してくる事が理由だろう。また，エタノール濃度 60% という場で様々

な反応が進行し，結果として多様化したウイスキー成分が形作られるのだろう。長い貯蔵期間中，ウイスキー樽由来成分はエタノール濃度約60% の疎水性 / 親水性バランスに合わせるようにその形づくりを進めてきたとも言える。樽由来成分はエタノールの持つ疎水性 / 親水性バランスを基本とするエタノール溶液の構造の安定化に寄与するように形作られてきたとしても不思議はない。そして，樽由来成分が溶液構造の安定化に寄与する事を介してエタノールの味にも影響するに違いない。樽由来成分が本来持っている熟成香味に加えて，ウイスキーの量的主成分であるエタノールの表情を変え，ひいては「まろやかさ」や「皮膚刺激」にも影響を及ぼす事になる。

エタノールと水の相互作用に加えて，さらに樽由来成分の関与を総合的に評価する方法は少ない。そのなかで，「熱」指標は多様な成分が共存する複雑系においても様々な変化に対応して発生し，その複雑系の状態を総合的に捉えるのに適している。示差走査熱量計（Differential Scanning Calorimeter，DSC）を用いてウイスキーを凍結・融解した時の熱の出入りを測定したところ，エタノールと水と樽由来成分の相互作用を反映すると考えられる結果が得られたので以下に紹介する。

常圧のもとで水を零度以下にすると結晶氷になる。この氷は六方晶系と呼ばれ，六角形の空洞を持つ安定な構造の結晶だ（図 17-2（C））。凍結して安定した結晶構造に移行する際，大きなエネルギーが放出され，発熱が観測される（80カロリー /g）。一方，様々な濃度のエタノール水溶液について凍結に伴う発熱量を測定した結果が図 19-1 である。純水とは違って，純エタノールは凍結温度（-114.5℃）以下にまで冷却しても発熱ピークが観察されない。これは，エタノールは急速に冷却すると結晶化せず，非晶質のまま固まってしまうためだ。正確には，純エタノールは凍結状態ではなく，「ガラス状態」にある。ガラス状態では分子は規則正しく配列せず，バラバラに存在している。そして，液体からガラス状態に至る過程では凝固熱のような大きな熱の出入りは伴わない。さまざまな濃度のエタノール水溶液を冷却すると発熱ピークが観察されるが，これはエタノール溶液中の水の凍結・結晶化によるものと考えられる。図の点線は，エタノール溶液中の水がすべて結晶化して氷となったと仮定した場合の発熱量と濃度の関係を示しているが，実測された発熱量は，この計算値よりも相当に小さい。これは，エタノール溶液中のかなりの水が結晶化せずにガラス状態で存在しているためと考えられる。たとえばエタノール濃度 60% の場合，実際の発熱量は計算値の約 28% である事から，エタノール溶液中の水のうち約 28% が結晶化し，残りの約 72% はガラス状態であると考えられる。エタノール濃度 60% の溶液では，約 4 分の 3 の水は結晶化せず，ガラス状態で固化してしまうのだ。このように，エタノール溶液には冷却過程の初期に凍っ

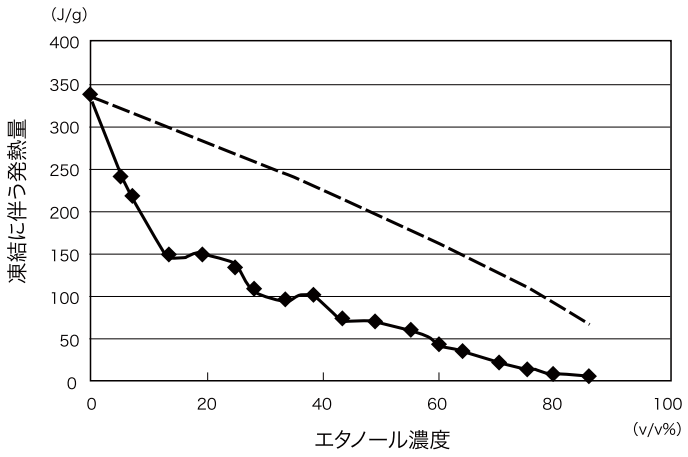


図 19-1　エタノール水溶液の凍結に伴う発熱量

て結晶氷となる水もあれば，結晶化せずにエタノールとともにガラス状態で固まる水もあり，試料中の水は必ずしも均一ではない事がわかる。このことから，濃度 60% のエタノール溶液やウイスキー原酒の降温冷却過程と昇温加熱過程でどのような相変化が起こっているかという事を知れば，水とエタノールと樽由来成分の相互作用について情報を得る事ができるだろうと考えられる。しかし，残念ながら降温過程については過冷却がおきてしまい，再現性のよい結果を得るのが難しいが，いったん冷却固化させた後の昇温過程での相変化は再現性よく測定できる。濃度 60% のエタノール溶液を急激に冷却固化させた後，一定速度で昇温してゆくと 2 個の発熱を伴う変化と 3 個の吸熱を伴う変化を経て融ける（図 19-2）。冷却固化したエタノール水試料は昇温過程でどういう事が起きているのだろうか。

急激に冷却固化した 60% エタノール水試料には，結晶化した氷とガラス状態の水およびエタノールが存在する。この試料の温度を上げてゆくと，まず，零下 100℃あたりにピークを持つ発熱ピーク（ピーク 6）が出現する。この発熱ピークはガラス状態で固まっていた水とエタノールが次第に動きを取り戻し，過冷却状態の水がエタノールを取り込んでクラスレートⅠという結晶構造を形成する事による事が知られている。それまでガラス状態にあって不規則な配列だった水分子が規則正しい結晶構造に変化する際，エタノールを取り込んだ包摂水和物を形成するのだ。結晶状態のクラスレートⅠに移行するので発熱を伴う。続いて零下 62℃～ 64℃付近から吸熱ピーク（ピーク 4）が現れる。この吸熱はクラスレートⅠの融解を示しており，この段階でガラス状態だった水とエタノールが融けた状態にある。一方，水和シェルを形成していた水と凍結過程の初期に発熱を伴って凍った水は結晶氷となった状態で残っている。どちらも，結晶構造を取って凍っているが，水和シェルを形成していた水のほうが安定化しているため，通常のバルクの水より低温で凍結・融解するに違いない。それが，零下 55℃～零下 60℃で出現する吸熱ピーク（ピーク 3）だろう。水和シェルの形成に関与している水が融けた後も，凍結初期に凍った結晶氷が融けずに残っている。この氷が昇温過程で発熱を伴っていった

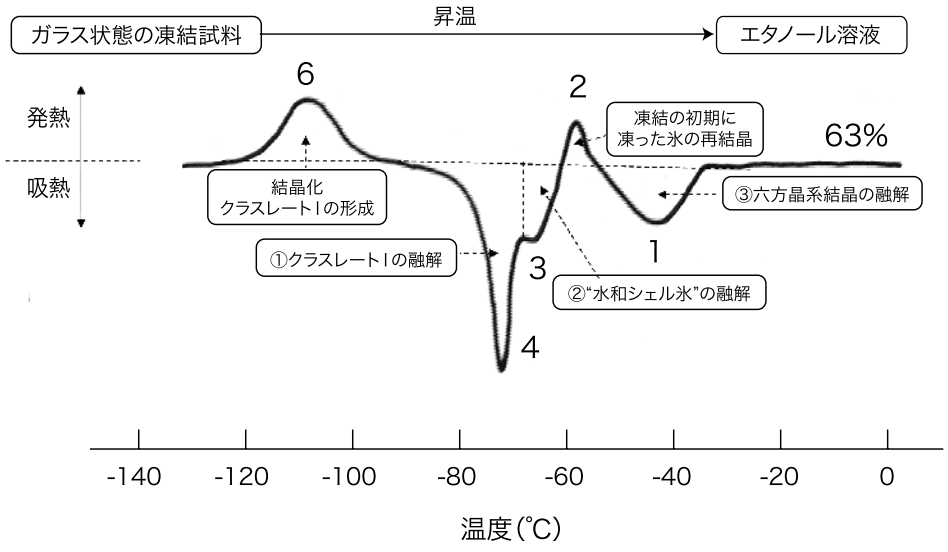


図 19-2　冷却固化エタノール水溶液（60%）の昇温に伴う熱変化曲線（融解サーモグラム）

ん再結晶した後（ピーク 2），零下 47℃から零度の間で融解する（ピーク 1）。この結晶氷の水はエタノールクラスターと関わりの少ない，水和シェルの外側に存在していたバルクの水だろう。冷却固化したエタノール水試料の融解過程の熱の出入りは 30 年前に私が報告したが，結果の解釈については西先生の構造モデルを参考にする事によってずいぶん明確になった。

それでは長い間貯蔵したウイスキー原酒をいったん冷却した後に昇温すると，どんな相変化をするのだろうか。凍結固化した熟成年数 12 年のウイスキー原酒とニューポットウイスキーの昇温過程を比較した結果が図 19-3 だ。熟成ウイスキー原酒は，ニューポットウイスキーに比較して，水和シェル由来と考えられる水の融解ピーク（ピーク 3）が大きくなり，バルクの水由来と考えられる結晶氷のピーク（ピーク 2 とピーク 1），およびガラス状態の水由来のピーク（ピーク 6 とピーク 4）が小さくなっている。この結果は，熟成するに従ってエタノールクラスターを囲い込む水和シェル形成に関与する水の量が増している事を示しているのだろう。ウイスキー原酒を蒸留した留液のサーモグラムを測定すると，水和シェル形成にあずかる水は少なくなり，ニューポットと同じ結果を示した。一方，蒸留液に不揮発成分を加えるとウイスキー原酒と同じサーモグラムが得られた。この事から水和シェル形成に関与する水をふやし，エタノールクラスターを安定化させているのはウイスキー原酒中の不揮発成分，すなわち，長い貯蔵中に形づくられる樽由来成分ではないかと考えられる。ニューポットに不揮発成分をさまざまな濃度で添加したときの融解過程を図 19-4 に示している。不揮発成分の添加量が増すに従い，水和シェル形成に関与している水の融解ピーク（ピーク 3）が大きくなり，通常の結晶氷をつくるバルクの水由来のピーク（ピーク 2 と 1）およびガラス状態

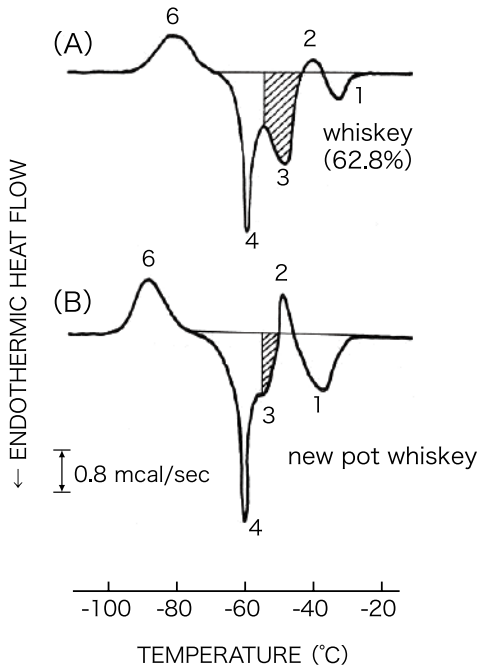


図 19-3　低温固化した熟成ウィスキー原酒（A）とニューポットウィスキー（B）の融解過程を示すサーモグラム

の水由来のピーク（ピーク 6 と 4）が小さくなる。不揮発成分の含量が 10,000 ppm になると，ピーク 3 のみになってしまう。不揮発成分のうち，オーク材のリグニンやタンニン由来の化合物を多く含んでいる画分がとくに水和シェル形成に寄与している事が示唆されている。リグニン由来成分はフェニルプロパン構造を基本骨格とし，タンニン由来成分はポリフェノール酸を基本としている。これらの成分は，疎水性の芳香族環（ベンゼン環）に，親水性の水酸基やアルデヒド基，カルボキシル基が結合している化合物が多い。水への愛憎半ばする 60% エタノール濃度のウイスキー原酒に溶け込む成分は，やはり水に対して愛憎半ばする性質を持っているのだ。しかし，これらのオーク材由来成分が，水和シェルに関与する水を具体的にどのように増やし，ウイスキーの溶液構造の安定化に関与しているかについては依然として謎である。

ウイスキーの熟成には樽のオーク材由来の不

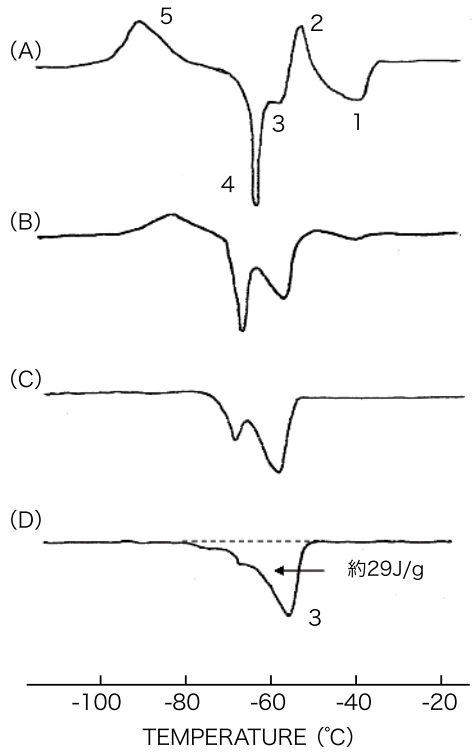


図 19-4　ウィスキー樽由来不揮発成分がエタノール水溶液融解サーモグラムに及ぼす影響

（A）0 ppm,（B）3,000 ppm,（C）7,000 ppm,（D）10,000 ppm

（EtOH conc. 59.8（v/v%））

揮発成分のはたらきが重要であるが，決してすべてではない。不揮発成分が含まれていないウイスキー蒸留液も，まことによい香りがしている。逆に，ニューポットに不揮発成分だけを添加したところで，とてもウイスキー原酒にはならない。熟成とは決して，そんな単純なものではない。ただ，エタノールの持つピリッとした刺激が，ウイスキー原酒の蒸留液では強まった感じがするし，そこに不揮発成分を添加すると，刺激が穏やかになってゆく感じがする。これがなぜなのかを理解するためには，もう一度，西博士のエタノール溶液構造モデルに登場を願うことになる。繰り返せば，エタノールは水と共存することによって，エタノール分子の水酸基どうしの水素結合とともに，エチル基どうしの疎水的相互作用が働いてエタノールクラスターを形成する。さらに，その周囲を構造的に安定化した疎水性水和の水，いわゆる水和シェルが取り囲む。エタノールクラスターは“水カプセル”に包まれているのだ。エタノールによる皮膚刺激は，水カプセルによって包まれることで当然，和らげられるに違いない。したがって水和シェルを安定化させることは，エタノールによる皮膚刺激を和らげることにつながるのだろう。この安定化に寄与するのがウイスキー原酒中の不揮発成分である樽由来成分，とくにリグニンとタンニン由来の成分なのだ。おそらくこれらの成分は，エタノールクラスターを取り囲む水和シェルの構造を安定化させる“揺りかご”のような役割を担っているのだろう。そして，水カプセルに包まれる事でエタノールクラスターはまろやかな適度の刺激をわれわれに与えてくれることになるのだろう。

熟成は樽由来成分だけでなしえるものではない。しかし，永年の貯蔵の間に徐々にウイスキー原酒に溶出し，さらに，エタノール濃度60%の場で様々な反応が繰り返された結果つくられた多様な樽由来成分群はウイスキーならではのものだ。樽由来成分群は，それぞれの特徴ある熟成香味をウイスキーに与えているのみならず，量的主成分であるエタノールと水の存在のしかたにまで働きかけてウイスキーに独特の「まろやかさ」をもたらす営みに寄与しているのだ。樽による長期熟成という他の酒にはないプロセスをもつウイスキーの素晴らしさに，つくづく感服してしまう。

長い熟成の時間を過ごしたウイスキー原酒が製品となるにあたって，経由しなくてはならない工程が「加水」と「後熟」だ。エタノール濃度約 60% のウイスキー原酒は，通常，加水され，37% ～ 43% の濃度に調整される。加水に用いる水は，もちろん，無色・無味・無臭の水でなければならないが，それだけではない。サントリー

の前会長で，ながらくマスターブレンダーだった佐治敬三氏はその著書で，ウイスキーの加水に用いる水を「光におけるプリズムのようだ」と言い表している。これは，プリズムによって光が七色の虹を見せてくれるように，加水することによってウイスキーの香りが大きく広がるような水でなければならない，という事を意味している。加水に用いる水は，そのウイスキーが育った蒸留所の水が一番よいと昔から言われている。育った地の水に遭遇する事で，ウイスキーは思いきりその香りを広げる事ができるのだろう。不思議な事に，加水後，ウイスキーの香味が落ち着くまでには，さらに数ヶ月以上を要する事がウイスキーづくりの現場で昔から指摘されている。加水後，しばらく攪拌するとエタノール濃度は一定になる。しかし，エタノールによる刺激的な味がまろやかな味に落ち着くまでに，まだ相当な時間を待たねばならないのだ。加水操作のあと，瓶詰めして出荷するまでの間にもう一度，貯蔵する工程は「後熟」と呼ばれている。後熟には長い場合で 1 年，短くても数ヶ月を要する。

なぜ，このようなまわりくどい工程が必要なのだろうか。水の場合，その水素結合は 1 秒間に約 3 ～ 5 千億回くらい切断・結合を繰り返している。水とエタノールを混合した場合も，混合後のエタノール溶液の構造は水素結合を介して一瞬のうちに安定化するというのが，水素結合にのみ注目した，従来の一般的な考え方だ。この立場に立てば，加水された水とエタノールは一瞬のうちに均一になってしまうのだから，その後わざわざコストをかけて再貯蔵する後熟工程は意味がない事になる。だが，ウイスキー造りにたずさわる人々の鋭敏な感覚による評価は，科学的予測に反する。理屈では説明できなくても，彼らは官能評価の結果を重んじて，後熟工程を守り通している。いったい，加水してエタノール濃度が一定になった後に，さらに何が起こっているのだろうか。これは“後熟にひそむ謎”としてよく話題になっている。この謎を解くカギも，エタノール溶液の構造モデルにあるのではないだろうか。加水されるまでの，エタノール濃度 60% のウイスキー原酒においては，水・エタノール・樽由来成分による安定した溶液構造が形づくられていた。ところが加水操作によって，溶液構造を取り巻く環境がエタノール濃度約 40% という新たな状態に移行する。これに対応して，エタノールは新たに疎水的相互作用を介したクラスターを形成し，その周囲を水和シェルが覆いなおし，さらに樽材由来成分が新しくできた構造を支える，といった分子レベルでの再編が起こるとすれば，それが安定した状態に移行するまでにはある程度の時間を要するとしても不思議ではないだろう。後熟にはこのような意味があることを，いちはやく官能評価によって言い当てていたのだとしたら，現場の慧眼はたいしたものだと敬服せざるをえない。“後熟にひそむ謎”も，そう遠くない日にヴェールを脱ぐ事になるのかもしれない。

4 回に分けてウイスキーづくりの工程から熟成の神秘まで述べてきたが，最後にウイスキーに関するキーワードを 3 つあげてまとめとしたい。まず，その第一は，「待つ」だ。ウイスキーづくりの発芽工程から蒸留工程までに要する期間は長くても 1 ヶ月。10 年貯蔵のウイスキーであるならば，貯蔵期間は 120 ヶ月なのだから，実に製造期間の 99% 以上は貯蔵期間という事になる。発芽・製麦・仕込み・発酵・蒸留の各工程で様々な工夫がなされ，出来上がったニューポットがウイスキーの基本的な性格を決めているとはいえ，ニューポットが熟成して素晴らしい品質に仕上がるためには樽に入れ，製造期間の 99% の時間を費やしてひたすら待ち続けるのだ。

待ち続けるためには想像力を働かせて将来に

向けて期待や予測を持たなければならない。また，自分から働きかけることを意思的に抑制しなければならない。想像力を持つことと自制することはきわめて知的な行為だ。最近の技術の進展はますますわれわれの社会を便利にしてくれ，私たちは「待たない社会」，「待たせない社会」をつくりあげた。しかし，「桃栗三年，柿八年」と言うように，待たなければ育たないものがある。人は人知を超えた時の流れの働きに対して謙虚にならなければならない。「待たない社会」の流れのなかで，10 年後，20 年後の品質を想像してひたすら待ち続けるウイスキーづくりはきわめて特異な存在と言える。ウイスキーは，何かを夢見て「待つ」ということの大事さを示す身近な象徴として実に貴重な製品という事ができる。

将来のウイスキー原酒を想像して，貯蔵樽を注意深く観察する。すると，貯蔵樽は周囲の環境の変化と呼応して息づいている事を知る。貯蔵樽の呼吸の原動力は，大気と地球の間の 2 大循環系である水と空気の循環だ。人知を超えた，この循環の系の中に長く置かれた時，ウイスキーが育つ事を知ると，人はおのずから謙虚になる。容器である樽は，その循環を邪魔しないように，充分に蒸留所（貯蔵庫）の環境に慣らした樽材で丁寧につくられる。そして，貯蔵中，清浄な環境のもと，水と空気の循環が滞りなく進行するように心を配る。研ぎ澄ました感性を駆使して，ゆっくりではあるが，着実にウイスキーが育っている事を確認する。循環の系の中でウイスキーは変化してゆく。酸化やエタノリシスによって樽材成分が分解されてウイスキー成分の仲間入りをする。ウイスキー成分の化学変化や成分同士の反応がおこる。熟成成分の形成とともにアルコールが表情を変える。これらの変化の起動力は，美しい水と空気が樽を通して出入りする反復の動きだ。ウイスキーに関する 2 番目のキーワードは「循環」という事になるだろう（図 20-1）。

長い貯蔵期間を経てウイスキーは香味がまろやかになり，おいしくなってゆく。まさに，「美徳」と言う表現が，その本質を言い当てている。ウイスキーの熟成中にできる成分の特性が様々な形で発揮され，ウイスキーの香味形成に寄与している。例えば，フェノール化合物はバニリンの様な華やかな香りと適度な渋みを持ち，ウイスキーの溶液構造を安定化させ，アルコールの味をマイルドにしているのだろう。しかし，フェノール化合物が多ければ，よいウイスキーかというと必ずしもそういう事にはならない。フェノール化合物が少なくても品格があって美味しいウイスキーもある。ウイスキーには何千種類もの成分が含まれており，その成分の一つ一つがく多様な特性を発揮して，ウイスキーの香味形成に関与しているのだろう。実際，ウイスキー中の不揮発成分を分子量別に分けてみると，分子量 10 万以上の成分から 1000 以下の成分まで幅広く分布している。しかも，その成分群が独立して個性を発揮しているわけではない。成分同士が互いに関わりあいながら存在し，ウイスキーの性格づくりに寄与しているのだ。ウイスキー中の水とエタノールの構造化に関わる樽由来不揮発成分群の寄与はそのよい例だろう。蒸発して，嗅覚を刺激する揮発性の成分さえ，いくつかの分子が会合しているという。無数の成分群が，様々な形で相互作用を持ちながら存在し，われわれの官能を刺激しているのだ。従って，ウイスキーには，これを加えれば美味しくなる，まろやかになる，という特効薬はない。熟成中に生成した無数の成分がウイスキーを形作り，「美徳」に寄与しているのだ。あるものを取り出して，「これが熟成の本体です。重さは何グラムです」という事はできないが，熟成した状態のウイスキーは目の前に確かに存在している。しかし，その本体を取り出す事はできない。そもそも，熟成に本体はない。

図 20-1　ウイスキー蒸留所（A），貯蔵庫（B），ウイスキー原酒（C）

（サントリー白州蒸留所）

あるとすれば，そこにある全ての成分が作り上げている「状態」が本体だ。ウイスキーに関する 3 つ目のキーワードは「状態」だろう。ウイスキーは「状態の酒」だ。「状態」は確かにあるが，掴み取る事はできない。

「待てない社会」である現代社会は，同時にモノ中心の社会でもある。しかし，ウイスキーはまったくそれとは逆の 3 つのキーワードの大切さをわれわれに示してくれている。芳醇なウイスキーを口にするとき，われわれは自然の循環の系の中に一定時間貯蔵され，自然の変化と一体化することでウイスキーが到達した熟成という「状態」の素晴らしさを実感することが出来る。そして，日々の生活の中でつい見過ごしてしまう「待つこと」と「循環」と「状態」の大切さを思い出させてくれる。

状態の酒，ウイスキーは考えている。

最後になりましたが，本稿を執筆するにあたり資料提供してくれたサントリー酒類株式会社ならびにアドバイスして下さった同社チーフブレンダー輿水精一氏に感謝します。

＜参考書籍・文献＞

・坂口 謹一郎著，「愛酒楽酔」，講談社文庫（1992）
・佐治 敬三著，洋酒天国，文芸春秋（1960）
・西 信之，佃 達哉，斉藤 真司，矢ケ崎 琢磨著，「クラスターの科学」，米田出版（2009）
・古賀 邦正著，「ウイスキーの科学」，講談社（2009）
・I. Matsumoto, K. Abe, S. Arai, Molecular logic of alcohol and taste, Jpn.J. *Alcohol & Drug Dependence*, **41**(5), 431-444(2006)
・田辺 正行，中川 圭一，ウィスキーの味覚，化学工業，**2**, 10-16, 1997.
・K. Egashira, N. Nishi, Low-Frequency Raman Spectroscopy of Ethanol-Water Binary Solution: Evidence for Self-Association of Solute and Solvent Molecules, *J. Phys. Chem. B*, **102**, 4054-4057, 1998.
・N. Nishi, K. Koga, C. Ohshima, K. Yamamoto, U. Nagashima, K. Nagami, Molecular Association in Ethanol-Water Mixtures Studied by Mass Spectrometric Analysis of Clusters Generated through Adibatic Expansion of Liquid Jets, *J. Am. Chem. Soc*., **110**, 5246-5255, 1988.
・P. Boutron, A. Kaufmann, Metastable states in the system water-ethanol. Existence of a second hydrate; curious properties of both hydrates, *J. Chem. Phys*., **68**(11), 5032-5041, 1978.
・R. W. Cargill, Solubility of Oxygen in some Water+Alcohol Systems, *J. Chem. Phys*. Faraday Ⅰ, **72**, 2296-2300, 1976.
・古賀 邦正，酒精水溶液と酒類の物理化学的性質，日本食品工業学会誌，**26**(7), 311-324, 1979.
・K.Koga, H.Yoshizumi, Differential Scanning Calorimetry (DSC) Studies on the Structures of Water-Ethanol Mixtures and Aged Whiskey, *J. Food Science*, **42**(5), 1213-1217, 1977.
・K. Koga, H. Yoshizumi, Differential Scanning Calorimetry (DSC) Studies on the Freezing Processes of Water-Ethanol Mixtures and Distilled Spirits, *J. Food Science*, **44**(5), 1386-1389, 1979.
・P. Boutron, A. Kaufmann, Metastable states in the system water-ethanol. Existence of a second hydrates; curious properties of both hydrates, *J. Chem., Phys.*, **68**(11), 5032-5041, 1978.

New Food Industry へ原稿をお寄せください。

「New Food Industry」では、斯界の先生や企業の研究者の方々にご執筆をお願いしています。最近のトピックス、日頃のご研究内容の論説等を弊誌へご寄稿ください。

執 筆 要 項

1．最新の情報をもとにした，食品業界の活性化に資することを目的とした論文・解説とします。

2．原稿の送付先および照会先は弊社とします。

3．著作権：食品資材研究会に準じます。

4．原稿枚数

弊誌刷り上がり 1 ページ（2 段組み 1596 字）で 5 ～ 10 ページ（図表含）。長文になる場合はご相談下さい。アプリケーション（ワード・エクセル等）をご使用の場合は、字詰めの指定は必要ありません。本文はメール添付にてご提出下さい。なお、手書きの図などがありましたらお手数でもスキャニングして jpeg ファイル等でご提出願います。

◆図・写真・表にはタイトルをいれてください。

◆写真は鮮明なものに限り，印刷物などからスキャニングする場合は 300dpi 以上の解像度で保存してください。

◆引用文献は最終ページにまとめてください。

＜対応ソフト＞

Windows98 以降，MachintoshOS8.6 以上・Word，Excel，PowerPoint・Adobe Photoshop，Illustrator 等

4．原稿提出方法：

本文は横書きで作成し保存したデータをメールに添付してご提出ください。図表内の文字データはテキスト入力とし，フォントのアウトライン化はしないでください。複写原稿や手書きの原稿は出来るだけ避けるようにください。原稿全体のデータ容量が 20M を超えるような場合は数回に分けてご送信ください。また，本文中の図表の位置などは欄外または本文中にご指示くださるようお願いいたします。

◆原稿提出締切日：毎月 5 日～ 10 日締め切り

◆原稿料の支払い：掲載誌発行の翌々月末日に弊社より指定の銀行口座にお振り込みいたします。原稿料の詳細については編集部までお問い合わせください。

◆送付先：株式会社食品資材研究会　編集部宛

〒 101-0038 東京都千代田区神田美倉町 10 共同ビル新神田

◆メールによる原稿添付送信先

E-mail:newfood@newfoodindustry.com

お問い合わせ，ご質問については出来るだけメールにてご連絡くださるようお願い申し上げます。

組織の活性化と人材の育成～

Improving the working environment and nurturing human resources :

自主性とコミュニケーションの大切さ

Importance of independence and communication

坂上　宏（*SAKAGAMI Hiroshi*）

明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野

Division of Pharmacology, Department of Diagnostic and Therapeutic Sciences, Meikai University School of Dentistry

Key Words：組織の活性化・人材の育成・コミュニケーション力・独立心

Abstract

Due to the rapid growth of technical innovation and IT industry, competition in each field became much severe. To become winners, the leaders at any working places should set up friendly atmosphere so as to create the motivation, independence and communication especially in the mind of young persons.

はじめに

技術革新そしてIT産業の急成長により，各分野における競争は一段と激化している。競争に生きてゆくためには，関連分野の進展状況を把握しつつ，ニーズにあった研究課題を捻出して遂行することが求められている。これらを迅速に，手際よく遂行できないと，時代から取り残されてしまう。それでは，どのようにしたら，競争に負けない強い組織を作ることができるであろうか？

1．個人の幸せと組織の発展

毎日仕事が楽しくでき，それが，自分が所属する組織の発展に繋がれば，これ以上の幸せはない。「仕組み」経営法[1)]を導入し，仕事のマニュアル化を達成できれば，仕事は能率化し，一定の成果が上がるだろう。だが，それだけでは部下は満足しない。また，職場の長が退職すると，部下は方向性を見失ってしまう（図1A）。しかし，部下に自分の城を持たせておけば，退職後の不安はなくなり，安心して仕事に打ち込める（図1B）。

2．スタッフに自分の城を持たせる

やる気のない部下がいる研究室は，暗い雰囲気が漂い，精神的にも良くない。従って，部下のやる気と自主性を高める努力をすべきである。部下の夢を実現できる環境が整備できれば，部下からの信頼と協力が得られる。私の研究室の3名のスタッフは，いずれも通年の薬理学の講義ができ，研究意欲が高く，教授あるいは主任研

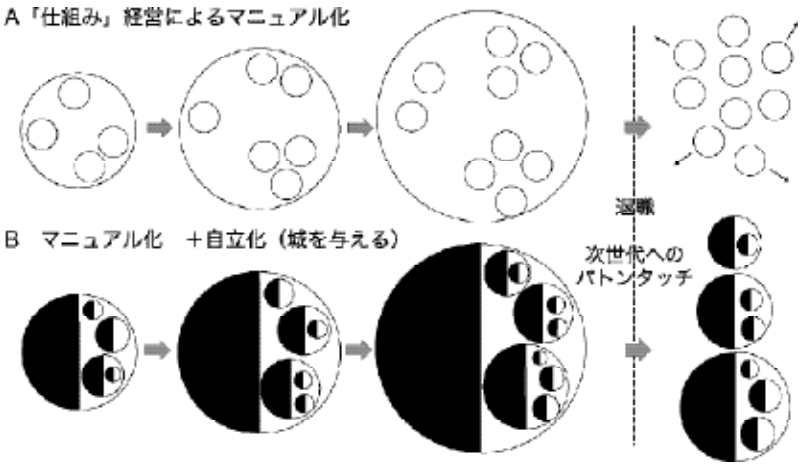


図 1　二つの経営法の比較，白丸は，組織のマニュアル化に従う部分，黒の領域は，自主的な仕事が許されている部分。マニュアル化に従っているだけでは，一生組織の長になれない（A）。自主的な仕事を許されている部下は，上司が退職後も，自分の城をそのまま引き継ぎ更に発展させることができれば，やがて，組織の長になれるチャンスもある（B）。

究者になりたいと思っているものばかりである。私はスタッフ全員に，自分の城を与え，自主的な研究テーマの選定，科研費の申請，そして，他施設との共同研究を行っていただいている（図 2）。今年は，文部科学省の競争的研究資金の採択率が高かったためか気合いが入っている。私は，日本以外にも，香港，カナダ，トルコの共同研究者と論文活動を行っている。スタッフ全員が，同世代の共同研究者（相棒）を早く見つけて欲しいと思う。

しかし，同じ研究室にいる以上，個人プレーに暴走してもらっては困る。場の雰囲気を読み，チームとして行動していることにも気遣って欲しい [2]。

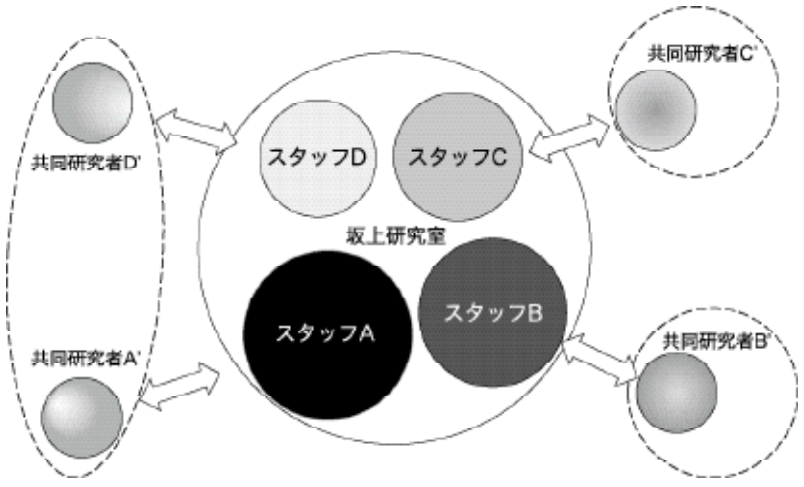


図 2　薬理学研究室は，一国一城の城主が群雄割拠している

次に考慮すべきことは，論文の共著者として教授の名前を入れるか否かである。米国では，論文の執筆に責任をもてる人（アイデアの提供者，実験の自主的遂行者，論文執筆者）以外は，共著者として加えない。日本でこれを行うと研究室の雰囲気がぎすぎすしてしまう。私の研究室には，学内外の教員，大学院生，学部生が出入りしており，他講座との連携を維持する都合上，学会抄録と原著論文には教授を共著者として加えてもらっている。しかし，総説は，スタッフのライフワーク以外の何物でもないので，教授の名前を外し，単著（場合により，共同研究者との共著）として発表していただいている。

最も大切なのは特許申請である。企業においては，重要な発見の場合には，論文投稿をする前に，特許申請が必要となる。基礎研究者においても，特許は将来の研究の生命線になり，自身の研究を守る最大の味方になるので重要である。従って，特許申請に関しては，教授の名前を外し，第一発見者に取得させている。第一発見者が企業と組んで特許を維持してもらいたい。このような配慮をしているためか，スタッフからは，私の研究テーマに対して技術的なサポートをいただいている。

3. 重要な仕事は朝に行う

ノーベル賞候補作家の村上春樹は，朝早く仕事をする。彼は何十年もの間，午前中に 1 日分の執筆を行い，午後は用事を済ませたり運動に充てたりして，夜は絶対仕事をしない。ビール 1 本かワイン，またはウイスキーを少し飲みながら音楽を聴いたり本を読んだりし，大抵は 10 時には就寝する。8 時半に寝ることもあるそうだ。この修験者のような生活の繰り返しが，質の高い小説を書くための体力と環境を作り上げている [3]。

ダビンチコードを書いたダン・ブラウンも朝早く仕事をする。彼は，毎朝 4 時までにはキーボードに向かい正午まで執筆する。毎日これを行い，クリスマスも休まない。推敲を重ねており，10 ページ書いて採用するのはたったの 1 ページである [4]。ジェフリー・アーチャーは，クリフトン年代記の第 3 作目目の文中で，次のように述べている [5]。My father always used to say, if you' ve got a problem, sleep on it before you make a decision you might later regret. Things always look rosier in the morning.（父は，いつも口癖のように言っていた。もし困ったことが起きたら，あとで後悔するような決断をする前に，一晩寝て考えなさい。朝になると，物事がいつもよりバラ色に見えますよ。）

私も毎朝 4 時起床し，9 時に就寝するという規則正しい生活をこの 2 年間続けている。そのお蔭か，20 年ほど続いた脂肪肝も完全に癒え，論文の生産量は加速している。行きの電車の中では，洋書（小説）を読むのを楽しみにしている。大学には，7 時前に到着し 10 時間ほど勤務する。午前中の活動時間が長いためか，昼食後決まって睡魔が襲ってくる。従って，下記に登場するジンカイ教授（南方医 科大学，広東省口腔医院歯周病学）の箴言に従い，簡易式のベッドを 広げて 30 分の昼寝をとることにしている。そうすると，午後の仕事の能率が上がるだけではなく，帰り

の電車でも寝ることはなく，有効に時間を使える。スタッフ全員の出勤簿を 6 ヶ月毎に提出しなければならないので，「おはようございます」の挨拶を義務付けている。個人的な話があれば，その時に聞くことができる。これまで 10 年以上続いた，早朝ミーティングは，効率の悪さと，早朝から開始する実験などを考慮して，LAN 会議に切り替えた。会議での報告事項，予定の変更などをメールし，スタッフからは確認のメールを受け取っている。議事録として自動的に残せるので効率的である。

4. コミュニケーションは人生を豊かにする

リラックスした時に素晴らしいアイデアが浮かぶとよく言われている。カリー・ムリスは，PCR のアイデアを，バークレーからメンドシノ岬にドライブしている最中に思いつき，ノーベル化学賞を受賞している[6]。私は，学会会場あるいは出張先などでの，ふとした出会いから，研究テーマをいただき，共同研究を進めてきた[6]。また，旅先では，吃驚するような出会いに遭遇することがあるが，この思わぬ出会いは，勇気を出して話しかけてみないと，発掘されない。話しかけた相手とは，たまに共通の人物，場所，イベントなどが見つかり，人生を楽しいものに変えてくれる（図 3）。

大和生物研究所株式会社の蓼科工場のある敷地で植樹祭に招待された。大泉浩史専務に，植樹祭の日が，たまたま，私の誕生日（3 月 15 日）と同じであることを打ち明けたところ，偶然にも専務の誕生日も同じ月日であることが発覚した。更に，我々はともに，「ヒロシ」同志である。

私の所属している薬理学研究室は 2 階にある。隣の隣にある歯周病学講座の助教をされていた小村尚徳先生（現非常勤講師）と廊下で出会った時，小村先生も，同じ誕生日であることが解り吃驚した。同じ日に，同じ場所で小村先生と話をしていたら，薬理学の隣の補綴学研究室にいた中貴弘先生が通りかかった。なんと，中先生も，同じ誕生日あることが解り，飛び上がって驚いた。我々はお互いに遭遇すべき運命にあったとしか思えない。人生の巡り会わせの不思議さを感じた。3 人が同じ生年月日である確率は，$(1/365)^2$ である。大泉先生を含めて，3 月 15 日会を開催することを提案したが，まだ実現していない。

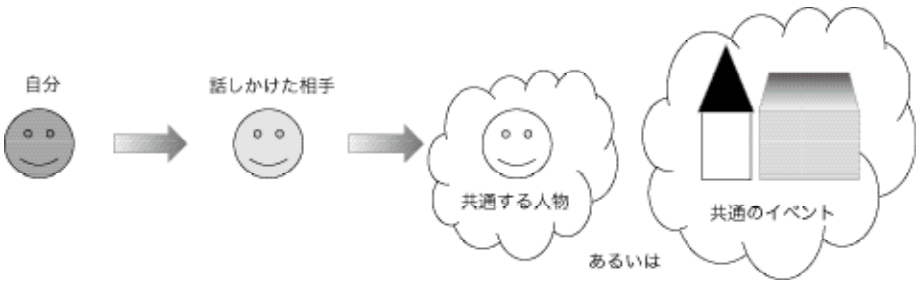


図 3　勇気を出して話しかけてみると，意外なところに接点があった

生化学会で仙台に出張した時，乗ったタクシーの運転手が生化学の話に非常な関心を示した。彼の息子も薬学部出身の研究者であることを教えてくれた。出身校を聞いて吃驚した。彼の息子は，私の大学時代の同じ研究室の後輩であった。廃棄物委員として，真駒内の東海大学で開催された会議に出張するよう命じられた。懇親会での帰途，（当時）立教大学理学部の堀内昭教授とタクシーの相乗りすることになった。堀内先生の住所を聞いたところ，私の弟の家（大田区蒲田）から歩いて5分以内のところにあることが判明した。そんなご縁もあり，共同研究が開始されることになった。

愛知学院大学で開催された歯科理工学会でポスター発表した。坂戸駅のホームのベンチに座っていた明海大学の学生に，学会参加の楽しさを教えようとしたところ，彼女の実家は，愛知学院大学のすぐ近くであることが発覚した。これが契機となり，彼女の姉が私の研究室の忘年会に来ることになった。お蔭様で忘年会も大変盛り上がった。

オーストラリアのブリスベンで開催されたIADR国際歯科学会に出張した。鯨見学ツアーに参加した時，ボートに同乗していたジンカイ教授に話しかけた。彼からは大変参考となる話を聞いた。ジンカイ教授の病院では，スタッフ全員に2時間の昼休みを与え，そのうち1時間は，強制的に自分専用のベッドで昼寝を取らせる。昼寝の功あってか，これまで一度も医療事故を起こしたことがないそうである。私の研究室に6ヶ月間研修に来た姉妹校の中国第四軍医大学口腔医学院歯周病科のチュー先生の上司の王教授は，ジンカイ教授の親友であることが発覚した。ジンカイ教授とは，武漢で開催されたIADR会議で再会したが，大分恰幅が良くなられていた。

明海大学に，研究のdiscussionのために，菊池寛高先生が来られた。しかし，私は，たまたまその日は，国際交流委員長として，埼玉大学教育学部で開催された埼玉県留学生推進会議に出席しなければならず，菊地先生に会うことはできなかった。埼玉大学に向うため，埼京線の南与野駅で下車し，バス停に向おうとしていたら，菊地先生の「けやき台」診療所の看板がはっきりと見えてきた。丁度，菊地先生が明海大学に着いた頃，私は，菊地先生の診療所の目の前のバス停に立っていた。

昨年の2月，メディアセンターの合同熱海旅行で思いがけない方と再会した。熱海駅を去る5分前，買い物が終わり，さて，モア美術館を見て帰ろうとしていた矢先。ちょうど，その方向に指をさして連れの方に説明している方がおられたので，モア美術館の場所を確認するために声をかけた。その方は，実際は，そのモア美術館の近くにあるアイトソープセンターの関連施設方面を指さしていたのだが，モア美術館の場所を教えてくれた。お礼を言って別れた直後，何とはなしに振り向いて，立ち去る二人の後姿をみて，はっとした。連れの方の頭の恰好がパイナップル型をしていた。私は，咄嗟に浜道則光先生を思い浮かべ，思わず，「浜道先生」と口ずさんでいた。藤が丘の千草台団地で家族ぐるみのお付き合いをさせていただいた浜道先生とは，25年ぶりの再会を果たしたことになる。浜道先生は，現在，本郷にあ

るアイソトープセンターに勤務されている。

今年の日本薬理学会は仙台で行われた。懇親会場では早くも寿司バーに長蛇の列が作られていた。私の真後ろにいた先生から，後ろに並ぶと時間がかかるから，私の隣に割り込みなさいと，声をかけられた。最初，躊躇したが，厚かましくも割り込んでしまった。この先生は，私が以前学位論文の指導をしていた大学院生の上司の中村信一先生であった。

これまで，明海大学に赴任して以来，17 年間の間に，9 回ほど，はっとするような偶然の出会いを経験してきた。確率論的に考えると，これからも，2 年おき位の間隔で同様な体験をする可能性がある。人生はかくも楽しきものか，とつくづく考えている。

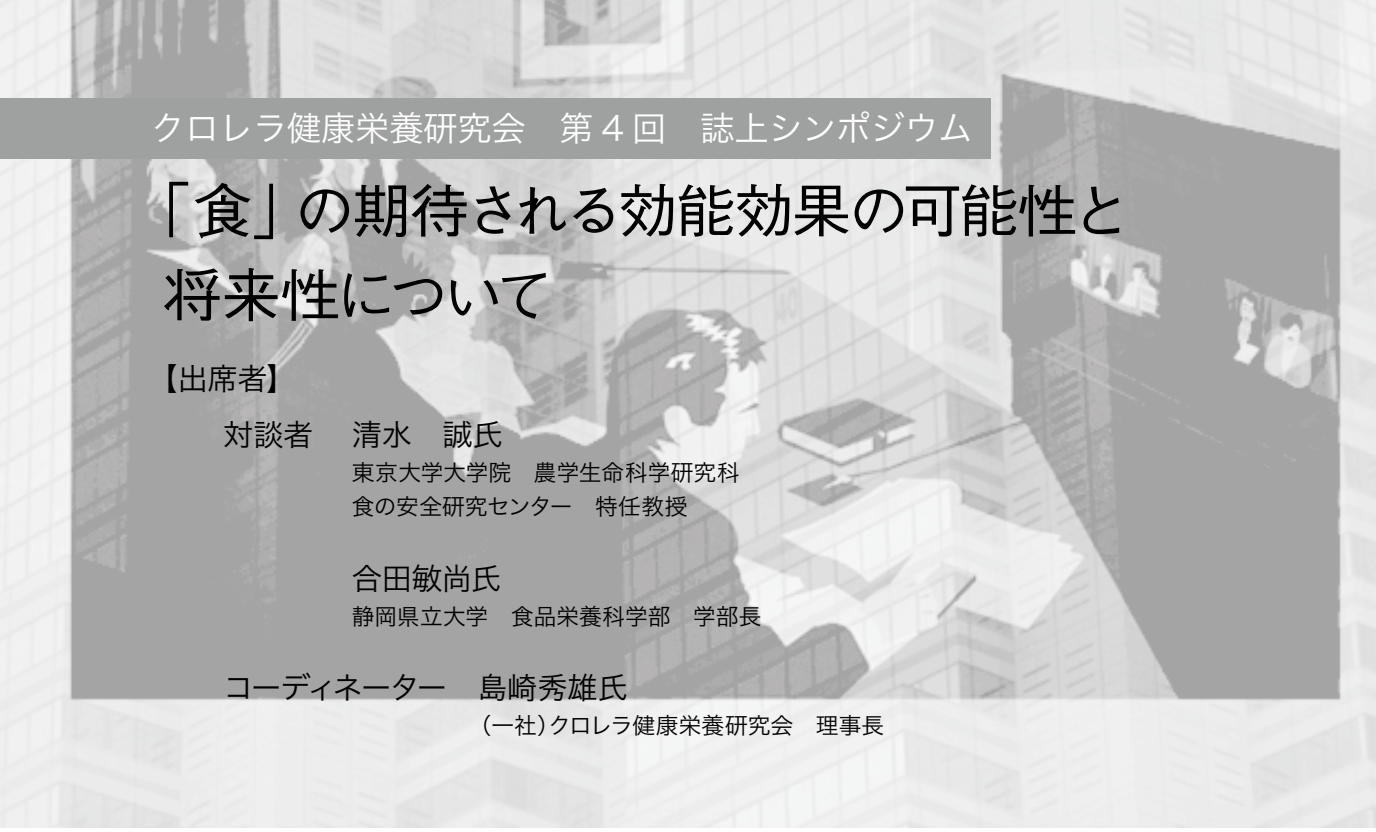
おわりに

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

引用文献

1）堀越吉太郎ガーバー流「仕組み」経営， カドカワ　2014 年 2 月
2）斎藤孝，気の力，文藝春秋　2007 年 7 月
3）Newsweek（日本版）May 21, 2013, p50-51.
4）Newsweek（日本版）June 11, 2013, p56-57
5）*The Clifton Chronicles* Vol. 3: Best kept secret p242(Macmillan)
6）ブルース有機化学第 5 版下巻 p1355 化学同人，2009
7）坂上　宏セレンディピティの種：抗ウイルス素材の開発：ネットワークはふとした出会いから始まる。機能材料 2014 年 6 月号　Vol.36 No.6, p65-67

連絡先：坂上　宏
〒 350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1
明海大学 歯学部病態診断治療学講座 薬理学分野教授
明海大学 歯学部 MPL 室長
明海大学 理事
朝日大学 理事
Tel: 049-279-2758, 2759 (dial-in); 049-285-5511 (ex 336)
Fax: 049-285-5171
e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp



クロレラ健康栄養研究会　第４回　誌上シンポジウム

「食」の期待される効能効果の可能性と将来性について

【出席者】

対談者　清水　誠氏
東京大学大学院　農学生命科学研究科
食の安全研究センター　特任教授

合田敏尚氏
静岡県立大学　食品栄養科学部　学部長

コーディネーター　島崎秀雄氏
(一社)クロレラ健康栄養研究会　理事長

はじめに

～健康長寿社会の発展に寄与する食の科学の進展と正しい活用を目差して～

食物摂取は極めてエコロジカルな事象であり，「食」は生物がこの世に出現して以来，間接，直接的に生物進化に関わってきております。「食」に由来する生理学的作用は生物の進化過程において淘汰され，生物進化の過程はこれを証明していると思われます。こうした意味における「食」は，生命の根源に関わる歴史性を有していると言えます。そのため，「食」に関わる研究は，生態系（物質・生命・自然）を越えた文態系 (生態系に人工環境を含めた体系) の視点に立つことが必要と考えます。「食」の科学は，生物的生命に加え，食文化という社会的・文化的生命とも深く関わるため，これからの「食」の科学の方向性や価値は，学問領域の真理追求という内的論理で決まるものから，社会的な活動として真に社会貢献するものへとパラダイムシフトが求められております。

これらに応えるために重要なことは，「食」の科学の成果を社会に如何に貢献して行くかを論じながら，産・学・官・民が協力して対話に基づくコミュニケーションをとることであり，それに相応しいコミュニティーを作り出していくことです。非営利型一般社団法人クロレラ健康栄養研究会は，このような「食」の科学体系を構築し，その成果の正しい活用を通して健康長寿社会に貢献することを目差し，“誌上シンポジウム”を企画致しました。本シンポジウムでは，科学者に加え，企業，メディア，独立行政法人関係者の忌憚のない対談を 1 年間かけて隔月 6 回にわたり実施することにしております。

既に第 1 回から第 3 回までを「食品工業（廃刊）」（出版社：株式会社光琳）にて掲載しておりましたが，第 4 回から第 6 回までは本誌「ニューフードインダストリー」へ掲載することになりました。本シンポジウムの趣意に御賛同頂き，多大の御協力を頂きました「ニューフードインダストリー」の今西和政氏に心底から感謝申し上げます。

非営利型一般社団法人 クロレラ健康栄養研究会
理事長　島崎　秀雄

トクホの 8 割は消化管で働く成分

島崎　今日は，食と健康の科学の分野で鋭意御活躍されておられる清水誠先生と合田敏尚先生のお二人に日頃考えておられることを御自由にお話ししていただきたく思います。よろしくお願い致します。合田先生の方から話題を提供する形で自由に話を進めていただければ幸甚でございます。

合田　本日頂いたテーマは，「『食』の期待される効能効果の可能性と将来性について」という大きなテーマです。このテーマはどれくらいのスパンで考えるかによって切り口がかなり違ってきます。3 年間くらいの短期的な期間での課題，6 年間から 10 年間くらい先までを考えての構想，さらには 30 年先，50 年先の次の世代に何を引き継いでもらうか…。ここでは現実的なところから話を進めていって，将来的にどういう展望が必要かということに話が及んでいくかと思います。『食』の期待される効能効果をどう考えるかは，トクホの話につながっていくと思います。トクホは食品の成分で健康に有効な効果がありそうなものを取り上げて，食品を再構成します。そのとき，安全性の問題は必ず付いてきます。最近，トクホとして商品化されるものは，消化管の中で作用するものが多いわけですが，これは，安全性の面で極めて受け入れやすい議論がしやすいということです。

清水先生は消化管の研究をずっとされてこられたので，その辺のところをわかりやすくご説明して頂きたく思います。

清水　消化管で働く成分は，まさにトクホの 8 割くらいを占めています。一つは腸内細菌の改善，もう一つは，主に栄養素の吸収抑制だったり，促進ということで，今，合田先生が言われたように，体の中に入って効くわけではないので安全性の評価もしやすいし，ある意味ではターゲットが体の外に露出しているので，効果が期待しやすい，開発がしやすいというメリットがあったと思います。ただ栄養学の立場から言うと，腸管吸収というのは，生物が生きていくために効率よく栄養素を取り込むためのいろいろなシステムとして進化の過程で作られてきたのに，それを阻害するようなことを一生懸命やっているというのは，生物の本質と少し違うことをやっている感じがしてじくじたる思いもあります。もう一つは，エンザイムの活性を抑えるとか，あるいは脂質関係だと混合ミセルへの栄養素の取り込みとか，わかりやすいけれど，メカニズムがシンプルすぎてサイエンスとしてはちょっと面白くないところがあるような気がします。

ただ，そこをもうちょっと深めていくともう少し新しいことも出てきて，最近は，腸管上皮細胞の輸送にかかわるようなタンパク質の活性を制御するような作用機構も登場しています。また，腸内細菌の方はご承知のように，特に常在菌の重要性が次々とわかってきて，医学の分野の人たちも腸内細菌にものすごく関心を持つようになってきました。「腸内細菌は，われわれの体の中の臓器の一つである」という考え方も出てきています。昔は，腸内細菌はビタミンを作ってくれるとか，短鎖脂肪酸を作ってくれてそれが腸内のエネルギー源になったり，あるいは腸の運動性を高めて便通改善になるという話でしたが，今は，腸内細菌は腸管免疫系を調節し，感染防御やアレルギー予防，炎症抑制といったところに効いていることがわかってきました。また，メタボリックシンドロームのほうにもいろいろな影響を及ぼすというように，大きな広がりを見せてきています。

この前，清野先生（東京大学医科学研究所所長）と会ったときに，「今，国際免疫学会では，ヒューマンイムノロジーに焦点が集まってきた」と言われていましたが，清野先生がやっ

（写真左から）清水 誠氏、島崎秀雄氏、合田敏尚氏

ている粘膜免疫学は今や免疫学の中心になっていて，多くのイムノロジストが粘膜における免疫系――腸管免疫系がその代表例ですが――に注意を払うようになっています。

合田　なるほど。栄養学では，これからは，一人一人の違いをきちんと見極めることが必要だとされています。そのときに，腸内細菌の状態も個々に違っているので，一人一人のメタボロームの解析をするときに，腸内細菌叢も含めて考えなければいけないというように捉え方が拡大してきました。

そこまでくると，医学が粘膜の免疫学で考えていた，病気の予防とか治療に近いところにくる気がします。特に医学の先生方は，腸内細菌叢が体全体の健康指標にどれだけ結び付くかということにとても関心があります。そのことからすると，腸内細菌叢の変化をどうやって体全体のバイオマーカーにつなげるか，消化管から直接波及できるマーカーのようなもの,例えば,体全体に及ぼすものとか，もしそういったアイデアがあったら大変ありがたいです。

腸管免疫系と全身免疫系

清水　その前に，まず，腸管免疫系と全身免疫系の間にどういう関係があるかということを考える必要があります。そこにはいろいろな相互作用があるし，実は腸管で分化して機能を持つようになった細胞，T 細胞がよい例ですが，それが全身に廻っていって，いろいろなところに定着して働くということが既にわかっています。

腸管のところで T-cell（T 細胞）の分化が進み，制御性 T-cell ができるとか，かなりいろいろなことが決まってきます。それが食品によっても影響を受けることがあるとすれば，ものを食べることで腸管免疫系が影響を受けて，それが全身に波及することはあると思います。そのマーカーが何かというのはなかなか難しいところです。

合田　多分，一つ，二つではなくて，児玉先生が言っている「多重フィードバック」のことを考えると，複雑系の中にどうやって取り込むかという話になります。ものすごく複雑なことが起こっていて，腸管免疫系が非常に深くかかわっています。そのときに，児玉先生の言葉を借りれば,「最初から構造が決まっていて，ブラックボックスにして,『それでいいんだ』ではなくて，やはり，ヒトのフィードバック機構を明らかにしていくことによって，より予測ができるようなかたちにしていく」ということなので，考え方としては，それぞれ得意な分野の先生方がいますから，その先生方にいろいろなアイデアをいただきながら，きちんとした実証

清水　誠氏

できるモデルをつなぎ合わせていくような努力が必要だと思います。

私は栄養のほうをずっとやってきたのですが，例えば，和食がユネスコ無形文化遺産になったということを考えると，大豆とか，和食がもともと持っていた，われわれが古来から持っていた食品そのものがどういった意味を持っているかということは，実は，農学の領域では非常に重要なテーマだったと思います。1970 年代，1980 年代に農芸科学のすばらしい発展がありましたが，そのときのきっかけは，食の中にいろいろ重要なものが含まれているというところの解明から始まった気がします。和食の文化がすばらしいというからには，その中の成分をもう一度見直して，その役割とか機能，価値というものを明確に示す研究も重要ではないかと思います。

先生はグラナダに行かれてプレゼンテーションにかかわったと思いますが，2021 年には国際栄養学会議（ICN）があります。そのときに，われわれが古来より持ってきた「和食の中にはこういった成分の組み合わせがあった」ということが言えればいいような気がするのですが，どうでしょうか。

清水　そうですね。和食が文化遺産になったのは，多分，喜ぶべきことでしょうけど，その「和食というのは何ぞや」という疑問はまだいろいろなところであるみたいですね。単に和食という食事が評価されたというよりも，それを取り巻く文化，生活を引っくるめて文化遺産になったということだと思います。和食自体がベストなヘルシーフードだと認められたということとはちょっと違う気がします。和食は戦前からずっと食べていましたが，それがベストだったわけではなくて，そこにウエスタンのフードスタイルにあるようなたんぱく質などが入ってきて日本人の寿命が延び，健康が増進したということがあります。私は，地中海食にしろ，欧米の食事，ほかのアジアの食事の中にも優れたものは当然あって，和食だけが優れているということではないと思います。

でもわれわれは日本人ですから，和食の中にはどういういいものがあるかということは研究していかなければいけないし，それをこういう国際会議のような場で発信していくのはとても大事なことだと思っています。ターゲットはいろいろあると思います。魚は，オメガ -3（ω-3）脂肪酸の効能とかそういう話が中心になってくるのかもしれませんし，海藻類とかキノコ類の中にもいろいろな生理活性物質があり，その作用の仕方もだんだんわかってきたところがあるので，その辺をもう少し明確にして示していくことはやったらいいと思っています。

先制医療に食品，サプリメントを活かす

合田　トクホでは，安全性の評価のときに必ず「食経験」ということが問われます。経験として，安全性が確保できるだけその食品を摂ってきたかという食経験が問われますが，食品とか口から入ってくるさまざまな化学物質に対する応答性は，恐らく民族によって違います。

そういう観点からすると，安全性の面でどう

いった素材を選んで食品を作るかというときに，大豆とか，魚とか，われわれが一般的に食べている素材の中に有効性のあるものがもしあったとしたら，私は，そういったものを中心にして考えたほうが安全な気がしますが，そういうことはどうですか。

清水　そうですね。どこまでそれが言えるかどうかわかりませんが，安全性にも程度があるからなかなか難しいけれども，本当に安全でないものというのは恐らくどの人種に対しても有害でしょうが，ある食品に対してある民族だけ適応障害を起こすという例はありますね。乳糖にしてもそうだし，いくら飲んでも平気な民族とそうでない民族がいるから，アルコールにしてもそうです。先ほど言った海藻に関しては，何年か前の「ネイチャー（Nature）」に，日本人の腸内細菌には，ある種，海藻の多糖類を切れる酵素を持っているバクテリアがいて，それは欧米人にはなかったという記事がありました。腸内細菌の持つ酵素の違いが，食品の機能性，安全性，栄養素の摂取にかかわっていることは間違いなくあると思います。

それを少しふえんすれば，確かに，日本人が長いことかけて食べてきた食経験のある固有の食品のほうが日本人には合っていて，安全性を考える場合には，そちらのほうがより確実であるということは……。

合田　可能性としては高いですね。今の話は，もともと遺伝するような民族ごとの違いと，一人一人が持っている遺伝素因の違いがかかわっていると思います。民族によって，脂質代謝とか，糖質代謝とか，糖尿病のなりやすさとか，違いがあることがわかってきたので，それは明確です。

トクホの効果にしても，日本人という遺伝素因を設定したうえで評価をする。もっと言えば，一人一人の遺伝素因が違えば，一人一人の状態によって評価の仕方が変わっていいかもしれないということになります。最近は，薬理遺伝学，一人一人の多型を考えたうえで処方するとか，薬剤を投与するというようになってきましたから，それからすると，食品の選択についてもそういった個別の，最初から個体差を想定したうえでの選択になると思います。

合田敏尚氏

最近，ある方から井村裕夫先生がこういうことを考えているということを聞いて，調べてみたのですが，医学の領域では，病気になった人を診断して，どう治療するかという治療医学をずっとやってきました。それでは生活習慣病に対する対応の仕方が後手に回ると。それで，一つの考え方として，「先制医療（プリエンプティブメディシン）」と言うそうですが，先駆けてリスクの高い人を診断し，その方に，薬剤，食品，栄養療法，保健指導をすることを先制的に医療としてやったらどうかという考え方があり，井村先生はそれを進めようとしています。

井村先生は，京都大学元総長で，2015 年に日本医学会の会頭をされる先生なので，これからはそういったことを鮮明に出されると思います。先制医療の一つのオプションは確実に食べることですから，食品のほうからすると，歓迎すべきことです。しかも，医療として扱うのであれば，サプリメントで非常に効能効果のはっきりしたものをその中にオプションとして入れ

ることができます。

効能効果の高いもの，個別に対応できるものを，薬剤に非常に近いものとして食品で提供できることになると思います。そこのところは，そういう考え方を持っている医学の領域の先生方と，議論をしていくと，これから6年後，10年後ぐらいの国家レベルの事業の構想を考えるときに，割と発展的なことができるのではないかと思います。

医学と農学，薬学，工学にしても，「連携しましょう」という勢いが高まっています。ですから，それぞれの領域でどういったメリットがあるかを明確にすると，本気でそういったことと向き合うことができそうな感じがしますが，先生は，その辺はどうお考えになりますか。

機能性食品研究の今後と「食」の期待される効能効果の可能性

清水　そういう考え方は，30年前に文科省の機能性食品のプロジェクトが始まったときにあったと思います。その頃，私はまだ助手で，中枢の議論は垣間見ることぐらいしかできませんでしたが，実は，井村先生は，第一期の機能性食品プロジェクトの班長でした。確か，内分泌関係の第四班です。私のボスは第七班で，どういうタイトルだか忘れましたが，機能性食品の開発につなげていくような基礎研究でした。話がちょっと違いますが，私のボスの第七班と井村先生の第四班が一度，合同の班会議を京都でやったことがあって，私もカバン持ちで参加をし，いろいろな議論を聞いていました。医学の先生方が食品の効能にある意味関心を持って，そこから何かを導き出していこうと取り組んでいることもわかりました。

合田　なるほど。

清水　また，農学の人たちも，やはり医学の先生と組まないと話が進まないということを実感したときだったと思います。だから，30年前に始まったプロジェクトの3期続いた10年間は，農学と医学，もちろん薬学の先生もおられましたが，コラボレートして，新しい学問を生み出していこうという時期だったという気がします。多分，そこでいろいろ考えたり，学んだことが，20年たってまた出てきたのではないかと。

合田　そうですね。

清水　今はまた少しかたちを変えて，「より具体的な次のステップに踏み出したらどうだ」という思いを井村先生はお持ちなのではないかと推測します。

合田　30年前と今の違いは，農学にしても，医学にしても，それぞれの分野の技術革新がどんどん進んで，医学のほうは，今，先端医療ではiPS細胞が使えるとか，再生医療ができるとか，いろいろな技術革新が起こっていて，ある意味ではほかの領域と組みやすくなっているはずです。

農学の領域では，例えば，食品の分析にしてもものすごく高度化したし，マスの技術がすごく進みました。そうすると，革新できた技術をうまく持ち合わせれば，一人一人の栄養状態の判定とか，健康状態の指標とか，バイオマーカーにしても，プラットホームをちゃんと作れば相当なところまで行けるはずです。

清水　そうですね。

合田　その中で，食品のエビデンスということからすると，一つ大きなところで医学の領域の先生方がよくわかっていないところがあります。それは，何を食べているかの調査法をほとんど知らないということです。

例えば，機能性食品の成分――イソフラボンでもカテキンでもポリフェノールでも何でも構いませんが，こういった成分をどれだけ取っている人が，将来どういう病気の発症リスクを抑えることができるかです。どれだけ食べているかの調査法がきちんとないと，それはわかりま

せん。

栄養素は，誤差はありますが，「（日本人の）食事摂取基準」に載っているものは，調査をすればある程度の確率で測定できます。機能性食品成分についてもその成分表のようなものを構築し，食品調査法の中に組み入れ，ある程度摂取量が評価できるようにしていく必要があると思います。

医学の大規模な，高度な調査をするとき，それを組み込んでいけば，データが積み上がってくるはずです。

清水　多分，30年前というのは，今，先生が言われたようなコンセプトを探っている時期ですね。

合田　ええ。

清水　食品の中に何かありそうだから，その何かをもうちょっと見極めようと。当時，ちょうど動物細胞を使った実験法が一般化した頃です。それまでは一部の人しか動物細胞を使った実験ができませんでした。

合田　そうですね。

清水　動物細胞が一般化して「食品の成分は実は細胞にいろいろな影響を及ぼしたり，動物に影響を及ぼすことがあるから，これは面白いじゃないか」と。三次機能というコンセプトを作り，その流れで走ったけど，10年くらいして壁にぶち当たって，そのあとどうしたらいいかわからない。お金も入ってこなくなる。それで研究者が離散したというのが現状だと思います。

その後，ゲノム解析が進み，遺伝子レベルでものを考えられるようになりました。また，今言われたようなマスなどのいろんな機器の開発があり，恐らくエピジェネティクス的な考え方とか，次々と新しいのが出てきて，それが調べられるようになったというのが今ですから，ここで新しく組み直してやるというのはとてもリーズナブルなことだと思います。

合田　そうですね。今は非常にいい機会であると思います。ここは6年から10年くらいの国家プロジェクトを組んで，先を見据えて取り組むいい機会だと思います。

トクホの開発とヒト試験

清水　動物細胞を使った仕事でかなり明確な結果が出てきたときは，ある意味ではものが言いやすかった。しかし，トクホを開発するためにはヒト試験をしなければいけないので，ここ10年ぐらいはいろいろなところでヒト試験をやるようになりました。ヒト試験は，動物細胞を使うのと違って，エビデンスを明確にするのがとても難しいということがあると思います。医者も，ヒト試験をやってみたけど，このぐらいの変化で本当に役に立つのだろうかと。エフェクトサイズがどうのこうのとか，トクホでも言うようになりました。そういうことになってきて，本当にヒトに対して効果があるものはいったいどれほどあるのか，という疑念を持っている人も多い気はします。

合田　そうですね。

清水　だからこそ，先ほど先生が言われたように，対象を絞って，ある特別な集団に対して効くことを証明することは大事なことかもしれません。

合田　そういうことですね。実際に医療にかかわっている医師の考え方からすると，例えば，糖尿病を例に採ると，「耐糖能が少し落ちてきたけど，まだ薬までいかなくていいのでちょっと様子を見ましょう。食事をきちんとしましょう」位のレベルの人をターゲットにして何かを指導しようとしたときに，食品には血糖値の上昇を抑制できるものがたくさんありますから，工夫することができます。

その効果は体の中の状態の変化を捉えて判断します。客観的に，これだったら確実にリスクが下がったと見なせるマーカーをそろえる必要

があるということです。そういうことで,私は,そういうマーカーがあるかどうかをずっと調べてきましたが，耐糖能がおかしくなると，確かに血液のいろいろな指標がおかしくなるということがある程度わかります。多分，そういう状態がもっと蓄積したものを見る，履歴を調べるマーカーの方がいいです。そうすると，エピゲノムのマーカーになると思います。

先制医療という概念の中にも繰り返しエピゲノムが出てきますが，これまでの生活習慣の履歴とか，あるいは胎児期，成長期における環境因子とか食事の要因といったものが履歴として遺伝子の中に組み込まれていって，それがいろいろな病気の発症のリスクにかかわってくるという概念になっています。ですから，これまでの生活習慣とか食事の条件によってどこまで病気のリスクが上がってきたかというリスクをエピゲノムのマーカーできちんと示せれば,多分,これは先制医療の分野の研究者も認めることができます。

清水　エピゲノムでその個人がこれまでどういう履歴でリスクファクターに暴露されてきたかがわかれば，対症療法を考えやすいというのはあると思います。エピゲノムの変化が一番効いてくる病気は，やはり糖尿病とかそういうのですか。

合田　糖尿病は非常に明確です。エピゲノムが一番よく使われているのは癌です。癌にもいろいろな癌がありますが，エピゲノムのマーカーを調べればわかります。ただ，それは癌によって全部違うのです。代謝性の疾患で考えると，一番わかりやすいのは糖尿病だと思います。糖尿病が先制医療の中の一つに挙げられている理由は，耐糖能がおかしくなってきて代謝の異常が見られたときには，既に動脈硬化とかの合併症が始まっています。そういうことから，早期の対応が必要だからです。

一般に空腹時の血糖値のデータを採って見てみると，炎症性サイトカインの血中濃度は血糖値と関連します。空腹時の血糖値が上がっているというのは，ある意味で，その人の食事の状態を反映しています。多分，炎症が起こりやすいような食事をしていて，それによる血液の変化が,そこにずっと残っているのだと思います。

炎症性サイトカインの IL-1β（アイエルワンベータ）などを見てみると，血中濃度が明らかに人によって違います。多分，IL-1β の遺伝子の発現の仕方は人によって違っていますから，そこをワンポイントでエピゲノムのマーカーで調べて，再現良く出てくるのであれば，先制医療の中のエピゲノムマーカーとして使え，また食品の効果の判定にも使えます。

清水　今やいろいろな疾患は，みんなどこかで炎症とかかわることがわかっていますね。

合田　今は慢性炎症がキーワードになっていますよね。

清水　だから，炎症が起こりやすい状況，炎症性サイトカインが常に多く分泌されているような状況を改善するだけで，いろいろな病気の発症を遅らせることができるということはあります。

合田　代謝性疾患の治療に携わっている医師は，多分気が付いています。一次予防を考えてきた人たちがそのデータを出してあげると，炎症のリスクを避けることができる生活習慣とか食品の選択につなぎ合わせることができると思います。

清水　そういう意味で，今は 30 年前と違って，研究のターゲットというものがかなり明確になってきて，それは農学の人たちがかかわれる分野でもあり，もちろん医者がその成果をすぐに何らかの形で検証したり，利用できる状況が整ってきました。

合田　特定保健用食品が 1 千食品を超えてきました。トクホはこれまで基本的に個別に食品を評価してきましたが，これだけ数が増えて，あ

るものは規格基準型にシフトしてきました。規格基準型にシフトできるのであれば，個別評価をやめてアメリカやヨーロッパがやっているように，それぞれ栄養素について判断するとか，医薬品のように成分の評価でいいのではないか，という時期に来ている気がするのですが，どう思われますか。

機能性食品科学と栄養学

清水　おっしゃるとおりです。個別評価は，個別の食品の効能と安全性を厳密に評価するという点ではまさに理想ですが，全体を眺めたときにそれが妥当なアプローチかというと，そうは思えません。やはり，成分の評価でいいのではないかと。多分，「成分の評価だと，実際の食品では実際に効くかどうかわからないじゃないか」という声があるだろうけど。

合田　でも，それは，栄養素とか医薬品でも同じ話です。

清水　そうですよね。厳密に言うと，実際に食品としての機能があったかどうかを評価する方法はいまだにありません。

合田　ありません。

清水　まさに，どういう食品を食べている，どういう生活をしているかによっても変わるし，ジェネティックの問題もあるし，エピジェネティック的な問題もあるかもしれないという中で，平均値として議論することはできても，ある食品を食べてそれが本当に効果を示したかどうかという証拠を厳密に出すことは難しい。だから，どうせわからないなら，成分でより明確な実験ができているのであれば，それで勝負するほうがサイエンスとしては正しいのではないかという気はしています。

合田　私もそんな気がします。できるだけ規格基準のほうにシフトして栄養素の拡大につながるようにしていくのが……。

清水　栄養素の拡大とはどういう意味ですか。栄養素の種類を増やしていくということですか。

合田　ええ。例えば食事摂取基準になっている栄養素がこれだけあるという話があります。食物繊維はそこからはずれたけれども，もちろん栄養素で，機能はあります。同じことで，栄養素に近い食品成分でこれだけ機能性の明確なもので，量と，それに対する生体機能，応答のデータがきちんと付いていれば，機能性食品科学と栄養学はある意味では一致してきますから，それは栄養素が拡大したことになります。そういう方向に持ってくるとすると，例えば，機能性食品成分の目標量を設定できるかという議論が始まるはずです。

栄養素の中でビタミンのグループは，欠乏症のリスクを抑えるためにどれだけ必要かという議論をしてほとんどのものは推奨量が決まることになっています。抗酸化ビタミンも，不足しないようにこれだけという数値が出ています。それを3倍，5倍と摂取すると抗酸化機能が高まり，ある種の病気の発症を抑制できることが明確になれば，そのときは，推奨量ではなくて目標量という言葉が使われることになるはずです。機能性食品成分も，それを体の中で評価ができるようなマーカーを決めて，食事摂取量としてきちんとデータが採れるようにしておいて，例えば動脈硬化のリスクをどれだけ下げることができるかというデータを採るようにしていけば，将来的には，そういった機能性食品成分は，生活習慣病のリスクを十分低下させるための食品群として，目標量が入ってくる気がします。

清水　そうですね。最初に合田先生は，栄養素の捉え方が昔と変わってきていると言われました。欠乏症でその線引きをしていたものが，今言われたようにビタミン活性と抗酸化活性という異なる二つの活性について見なければいけな

くなってきました。そもそも，30年前に一次機能，二次機能，三次機能と分けましたが，あの分け方が，今や通用しなくなってきている感じがします。

例えば一つの例ですが，アミノ酸は，いわゆる栄養としての一次機能があって，摂取しなければ死にます。でも，同時に，アミノ酸自身のシグナル栄養素としての機能がたくさんわかってきて，一次機能と三次機能の境目がつけにくくなっています。最近は，それが二次機能にまで来て，二次機能でおいしいと感じることが，生体の中のいろいろな神経系を介した影響を及ぼして，生理機能を示す場合が出てきています。

合田　味覚のレセプターを介した調節があり得ますね。

清水　あれだけレセプターがいろいろ出てくるとそうです。そうなると，一次機能，二次機能，三次機能と分けた考え方は，ここで少し考え直さなければいけなくなってきました。結局，今，成分表に出ている栄養素は，もっと拡大解釈をしないといけなくなる気が私もします。

農産物の機能性評価

清水　一昨年，消費者庁が，サプリメントの機能性評価モデル事業を委託で行い，日本健康・栄養食品協会がそれを請けてやっていました。それの流れで，今は，農水産物の機能性評価という事業が動いています。私はそこにかかわっていて，まだ作業中ですからどこまで内容を出していいかわかりませんが，農産物の機能性をどうやって評価すればいいかという議論から始めると，難しすぎて，結局，そこに含まれている成分の評価にならざるを得ないところがあります。単純なことを言えば，お茶といえば多分カテキンになりますが，要するに，お茶の機能はカテキンの機能として，それで評価していくしかないだろうと。そうすると，成分表の中にカテキンと書いて，機能情報もそこに書き加えていけばいいのではないかという話になっていて，食品総合研究所なんかは，そういうデータベースを作ろうとしています。だから，今，先生が言われたように，食品成分表がどんどん拡大して，そこに機能性の情報も付け加えるのはこれからの流れかなという気もします。

合田　私は，その方向は非常にいいと思います。それを拡大していくと，さっきの機能性食品成分の摂取量の評価にも使えるようになります。

清水　そうですね。

合田　日本の場合は，農産物の安全性は非常にしっかり確保されていますから，質が高く，安全性が高く，しかも機能性食品成分の明確な規格基準を決められそうな，非常にすばらしい一次産物ができていると思います。私は，むしろ，それを国際的な戦略として使うべきではないかと感じています。

清水　農水省は真剣に考えています。今までに機能性成分を高濃度に含む品種を，いろんなところでたくさん挑戦して作って来ましたが，その機能をなかなかうたうことができません。何か言おうとすると，他の省庁からストップが入ります。だから，いろいろ開発したにもかかわらず，それを世の中に活かすことができないというジレンマを抱えてここ何年もやってきたのが現実ではないかと思います。

それが，アベノミクスで，去年の閣議決定で，場合によっては農水産物の機能性も表示を解禁するという方向になってきたので，ひょっとするとこれまでの苦労が実るかもしれないということに今，元気づいています。それは当然，TPPにもかかわってくるので，日本の優れた農産物で海外に進出して稼ぐことも試案の中に入っています。

合田　表示の問題は，行政的な規制がかなりあるところなので，簡単にはいかないと思います

が，機能性成分がどれだけ含まれているとか，その成分の規格はこのようになっていますということは言えそうな気がします。それがどういった効果を持っているかという情報は，別途用意して，検索できるようにしておきます，成分の規格をきちんと出すことが，現実的な対応として，今やるべきことだと思います。

清水　そうですね。サプリメントの機能性評価のプロジェクトのときは，ご存じだと思いますが，非常によく売れている市場利用の大きい11種類のサプリメントを選んで，そこに含まれる主要な機能性成分と考えられるものについて，それが効いているかどうかを，文献で調査しました。

その成分に関するありとあらゆるものをデータベースから拾うと多いものでは論文が万の単位で出てきます。そこから，人を対象にしたものでその成分の効果を言っている論文を，ネガティブ，ポジティブにかかわらず，全部引っ張ってきて，その研究の質がどのくらい信用できるか，どういうジャーナルに出ているかとか，RCT（ランダム化比較試験）かどうかとか，そういうことも全部合わせて総合評価をする作業をやりました。

評価メンバーは医学，薬学，獣医学，食品，統計学者と，いろんな分野の先生方が10人ぐらいいました。座長が，医者の金澤一郎先生でした。私は，最初，座長が医者で，他にも医者が何人もいる委員会でサプリメントの機能性評価をしたら，きっとぼろくそに言われる結果になるのではないかと少し危惧していました。しかし，非常に客観的に，論文をベースに機能性のデータが集められ，総合評価をしたら，コンビンシングは僅かだったけど，プロバブルは意外と多くのものが出てきました。統計の先生が，集められたデータを前にして，「こういうふうに実験をやって，こういう結果で，解析をやって，こう出ているから，これは効くとしか言えませんね」と言うと，誰も反論できません。

合田　なるほど。エビデンスベースになりそうなものがあるということですね。

清水　そうです。よく知られている機能性成分に関しては，そうやって調べてみると，世界中にたくさんの論文があります。日本にはデータがないようなものもあって，先ほどの人種とかそういうものを考えると，そのまま受け入れられない部分もあるかもしれませんが，かなりたくさんのデータがあって，そういう機能性のデータベースを作ることは可能だと，私も初めて理解しました。だから，そういうものを充実させて，成分表みたいなところに加えて利用するのは，一つのとてもいい糸口なると思います。

合田　そのとき機能性食品成分は，たくさんの種類があるので，例えばビタミンEでトコフェロール，トコトリエノールを括ったように，ある機能を持った一群の成分をまとめて，栄養学でやっている何々当量というような考えをすることもできると思います。

清水　そうですね。例えば，フラボノイドといってもたくさんあって，その中でもメジャーな，野菜で言えば玉ネギはケルセチンがずば抜けて多いということがあるから，そういうものを中心にやっていけばいいのかもしれません。カロテノイドにしても，ベータカロテンもあればリコピンもあればキサントフィルもあります。実際にそれがいろいろ入っているときに，そういうものをどう考えたらいいかというのは，また次のステップとして出てくる問題ではあります。

食と健康の科学のあり方

島崎　清水先生は荒井綜一先生の下で助教授を務められたと思います。私たちは，荒井綜一先生とかつて機能性食品連絡会で，産・学協調で仕事をしました。その当時，わが国では文部省

の重点領域研究プロジェクトが食と健康の科学の潮流を作り，機能性食品の研究が体系化され，特定保健用食品が制度化されました。厚生労働省が特定保健用食品を制度化していくとき，法的な面で何かギャランティーすることが必要だということで，三次機能という概念がクローズアップされたという面がありました。

しかし，今，清水先生ならずとも一般に言われているのは，一次機能の栄養学的効果と，三次機能の生理学的効果をどこで切っていくのかということです。二次機能の味覚にしても，おいしく食べて健康作りというように，生理学的にかなり影響を持っています。だから，一次機能，二次機能，三次機能という分け方を見直さなければいけないということです。

アベノミクスの成長戦略である規制緩和政策の中で食の効能を広くうたっていこうとしております。先ほども，「非常にいいチャンスが来ている」と言われましたが，確かにそうだと思います。食の効能を一つの足掛かりとして，健康長寿社会を作っていこうという意味で食と健康の科学のあり方を考えなければいけません。

私は，食と健康の分野に足を突っ込んで20年以上になりますが，いつも感じるのは，トクホは本当の意味で医療費抑制につながっているのか，健康長寿につながっているのかということです。食と健康の科学というものが，私たちがやっていた当時とどこか変わってきているかというと，堂々巡りしているだけで，どうも，あまり変わっていないのではないかと。

重点領域研究のプロジェクトは三期続きました。第一期の代表は藤巻正生先生，第二期は千葉英雄先生，そして，第三期が荒井綜一先生です。このプロジェクトも，お金を投入したけど大山鳴動してなんとやらで，あまり成果が出ていないではないかという評価があって，プロジェクト終了後も，いろんな先生方も，国から研究予算を得るためにいろいろ努力されておられますが，なかなかすっきりお金が出てきません。

私は進化論者ではないので進歩という言葉は使いませんが，時代性に則したかたちでの食と健康の科学の発展は，なされていないのではないかと感じています。清水先生や合田先生は，どういうふうに考えておられますか。

清水　トクホを摂取してどういう結果が出たかというのは，ものによっては会社がデータを持っている場合もあるようですが，薬のようにアフターケアというか，調査が全くないので，本当に効いたかどうかは誰にもわかりません。そういう問題は仕方がないと思います。もう一つ，先程の文科省の機能性研究プロジェクトが大山鳴動して何も出なかったというのは私も聞いたことがありますが，それは，大きな間違いです。大体，機能性研究があったことで，7千億円というトクホの市場が形成されました。あれは，社会に明確なインパクトがあったと思います。サプリメントが2兆円の規模になったり，人々がそういうものを取り入れて健康になろうという意識を持ったりしたことにも，機能性研究がかなりの貢献をしています。

ただ，さっき合田先生が話されたように，トクホは，個別評価でやってきたがために，食の機能の根本的な考え方が置き去りにされてきた部分もあるかもしれないので，ここらで，それをもう少しきちんとした形にしなければいけないと思っています。そのときは，もはや，いわゆる機能性成分だけではなくて，栄養素全体を考えて，もう一度栄養学に戻らなければいけない部分があります。

機能性のサイエンスは，本来の栄養素は置いておいて，こういう食品成分にこういう機能があるという研究でしたが，トクホにも「主食・主菜・副菜をバランスよく」と書いているとおり，それが基盤です。いわゆる栄養学で見える栄養素の機能は大きなもので，われわれの健康

にものすごく大きく影響します。そのことをもう1回見直して，その中での生理機能性成分の存在ということになります。

科学的エビデンスはどの程度のものが必要か

島崎　食について，今の清水先生の言葉では，栄養学をもっと基本的に考えて，そういうことの中で食品成分をしっかり考えなければいけないと言われていると思います。

合田先生はさっき機能性食品成分を評価するバイオマーカーの話を出されました。バイオマーカーを考えるときに，その時点時点ではなく，いわゆる予備群の人たちが病気になっていく，あるいは病者が健全になっていくというような時間経時の中で履歴を調べるバイオマーカーを考えていくと。つまり，メタボリズムの中でバイオマーカーを考えていくことも必要だと言われたように思います。そのことも含めて食と健康の科学について，今後，こういう方向に持っていったらいいという見解を話していただけるとありがたいです。

合田　代謝の変化を捉えるということですが，先ほど来言っている，代謝性疾患，例えば，糖尿病のバイオマーカーが非常にわかりやすい例だと思います。けれど，一人一人ステージが全部違いますし，病気のなりやすさも違います。人によって非常にばらつきがあって，それを，このレベルだったら病気，このレベルだったら大丈夫と判断するのは，もともとみんな遺伝素因が違いますからとても難しいのです。やり方としては，それぞれの人の，例えば炎症だと，炎症がこのレベルで，ある食品を摂ることでそのレベルが時間的にどう変化するかを評価します。それによって，一人一人の今の状態を客観的な指標で判断することが初めてできます。

方向性としては，一人一人の今の健康・栄養の状態の評価を，複数のバイオマーカーを使ってきちんと示します。それを経時的に見ていって，効果があるかどうか判断するのが一番よいと思います。

島崎　私は，産業界の発展を通して健常社会を作っていきたいと考えておりまして，食は極めて重要なものであるという視点に立ってコンサルテイング活動をしています。

そのとき科学的根拠に基づいた正しい情報をわかりやすく提供をしていく，エビデンスを作っていくときに，RCT法に基づいてのエビデンスの構築については，実践を通して研究することもいろいろ多いですが，なかなかすっきりデータが出てきません。まさしく，今，合田先生が言われるように,それぞれの体質だとか,食歴だとかで結果がバラツイテいることに由来しているようです。

医者も含めて広く受容してもらえる臨床試験でエビデンスを作るには，どうしてもお金もかかるし,期間もかかります。そうすると,ステップワイズにこれをやっていくためにどのように考えたらいいとお考えでしょうか。

清水　食の機能を明確にして，それを産業化して消費者に利用してもらいたいという方向の中で，食の機能の科学的エビデンスはどの程度のものが必要なのかという話だと思います。それで，n数が少ないとか，試験対象者の性質などいろんな問題で，さっきも言ったとおり，実際にはとても難しいです。

だけど，その限られた条件の中で試験をやって，統計的な有意差が出たとすれば，私は，それを一つの事実として提示をして，あとは消費者がそれを見て選択するかどうか判断するという形にせざるを得ない，それ以外にはないような気がしてきました。そんなに明確には出ません。多分，薬もそんなに確実に出るわけではないでしょう。

島崎　合田先生，その点はどうでしょうか。

合田　特定保健用食品でやってきた疫学の手法

は，ある程度ゴールデンスタンダードにのっとっているので，ある意味ではものすごい財産です。これだけのところが出ます，だから間違いないですと，薬剤の方々も，「このデータは間違いがないですね」というデータを積み重ねてきました。私は，そこのところは評価していいと思います。

島崎　今日はいろいろどうもありがとうございました。今後とも，ご指導をいろいろお願いしたいと思います。

次回の第五回誌上シンポジウムは，東京大学名誉教授 阿部啓子先生と独立行政法人国立健康・栄養研究所食品保健機能研究部長 石見佳子先生の対談を予定しております。

http://www.newfoodindustry.com/

ニューフードインダストリー　第56巻　第８号

印　刷　平成 26 年　　7月 25 日
発　行　平成 26 年　　8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