

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2015 Vol.57 No.2

2

論 説

- 食品ロス削減に向けた賞味期限設定とその延長の技術
- トランス脂肪酸問題のその後、部分水素添加油脂の代替
- ポリアミンの生物活性 — 生活習慣病予防と寿命延長に関して —
- 外国産チーズに含まれるアミン類
- 低コストGABA含有液の製造法と食品への利用
- かび毒産生調節機構の解明 デオキシニバレノールの低減化に向けて
- 食肉類による食中毒はいつ、どこで、なにによって起こるのか
- 食行動記録システムによる農産物消費の実態把握

連 載

- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)

隔月連載

- 組織の活性化と人材の育成
エコアクション21の導入による組織の活性化と業務の効率化
Activation of organization and improvement of working efficiency by
introduction of eco-action 21



論 説

- 食品ロス削減に向けた賞味期限設定とその延長の技術
..... 朝田 仁 1

- トランス脂肪酸問題のその後，部分水素添加油脂の代替
..... 藤田 哲 8

- ポリアミンの生物活性 — 生活習慣病予防と寿命延長に関して —
..... 早田 邦康 13

- 外国産チーズに含まれるアミン類
..... 須見 洋行, 永田 祥平, 瀬良田 充, 大杉 忠則, 内藤 佐和, 矢田貝 智恵子 27

- 低コスト GABA 含有液の製造法と食品への利用
..... 遠藤 千絵, 鈴木 達郎, 瀧川 重信, 野田 高弘 33

- かび毒産生調節機構の解明
デオキシニバレノールの低減化に向けて
..... 岩橋 由美子, 鈴木 忠宏 37

- 食肉類による食中毒は
いつ, どこで, なにによって起こるのか
..... 高橋 正弘 43

- 食行動記録システムによる農産物消費の実態把握
..... 大浦 裕二, 山本 淳子, 小野 史, 磯島 昭代 51

連載

- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)

..... ジョアン・サバテ, 訳: 山路 明俊 61

隔月連載

- 組織の活性化と人材育成～
エコアクション21の導入による組織の活性化と業務の効率化
Activation of organization and improvement of working efficiency
by introduction of eco-action 21

..... 北嶋 まどか 79

.....

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料

コクベス

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

エンザップ

new 発酵調味料

D&M

ダイヤモンドエム

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベス

ラクティックイーストエキス

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

DM **大日本明治製糖株式会社**

食品事業部

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

食品ロス削減に向けた賞味期限設定と その延長の技術

朝田 仁 (ASADA Hitoshi)

ヤマキ株式会社

Key Words : 賞味期限 食品ロス 食品廃棄 改善 設定方法 科学的根拠 基準 液体だし

はじめに

農林水産省の「食品ロスの現状とその削減に向けた対応方向について（食品ロスの削減に向けた検討会報告）」¹⁾によると、食品関連事業者と一般家庭から年間1,900万トンの食品廃棄物が排出されている。このうち、規格外品、返品、売れ残り、食べ残しなどの可食部分と考えられる食品ロスは約500～800万トンとみられており、再生利用できるものは約400万トンあるのが現状である²⁾。そのため、こうした食品ロスの発生要因とその削減への取組みが農林水産省、食品業界において行われてきている。特に、食品業界では食品製造業、卸業、小売業の各代表企業が食品ロスの発生要因ともなる商慣習の検討に対してワーキングチームを発足させてフードチェーン全体で取組んできた。

先の「食品ロスの削減に向けた検討会報告」では食品製造者が取り組むべき課題として、科学的・合理的根拠に基づいた適切な販売期間の設定があげられており、消費期限及び賞味期限について期間等の見直しすることが徹底されている。このことは、賞味期限の見直し、すなわち延長を意図したものであり、この数年各食品業界においては賞味期限の延長、賞味期限表示の変更が行われてきている。本稿では、こうした最近の賞味期限に関するニュースも紹介しつつ、賞味期限の見直しにおける科学的根拠のあ

り方を示してみたい。

1. 賞味期限に関する最近の食品業界の動向

2013年から2014年にかけて、賞味期限に関する取組み事例が数多く発表されてきている。これらは、内容的に大きく2つに分かれる。その一つは、食品の賞味期限の延長の事例であり、もう一つは食品に表示されている賞味期限の表示方法の変更の事例である。これらの事例の一部を表1に示した。

これら事例はメーカー各社のホームページや報道で確認できるが、その目的とは、先に述べた食品廃棄・ロスの削減であり、東北大震災で経験された非常食などの保存期限延長などもあげられる。特に、飲料や即席麺などの非常食関連が先行している実情を考えると、こうした事例はメーカー単独ではなく業界あげての動向であることもわかる。これらの事例での賞味期限延長については、科学的根拠をもとに合理的に判断されていることから、かなり以前から取り組まれていたことがわかる。そこで、次はこうした賞味期限設定の科学的根拠に基づく合理的な設定方法について述べてみる。

表1 最近の賞味期限に関するニュース、話題

日付	内容	出典
2009年11月	羊羹の賞味期限の延長	虎屋 HP
2011年9月	缶入り野菜飲料の賞味期間を延長	伊藤園 HP
2013年1月	PB商品の賞味期限を延長	CGC ジャパン
2013年2月	飲料水の大手5社、賞味期限を「年月」表示に変更	産経新聞
2013年5月	3分の1ルール見直し	東洋経済ニュース
2013年9月	和菓子の賞味期限を延長	丸京製菓 HP
2013年11月	即席麺の賞味期限延長へ	日本即席食品工業会
2014年1月	即席麺 賞味期限延長	日清・明星食品 HP
2014年2月	即席麺 賞味期限延長	エースコック HP
2014年3月	賞味期限延長（ウォーターサーバー飲料水）	ウォーターサーバー各社 HP
2014年4月	ドレッシング賞味期限延長へ	キュービー HP
2014年5月	商品の賞味期限延長（調味料）	京阪産業 HP
2014年6月	賞味期限 清涼飲料「年月日」→「年月」に簡略化	毎日新聞
2014年6月	清涼飲料の賞味期限の「年月表示」への移行	サントリー HP

HP：ホームページ

2. 賞味期限の設定に対するガイドライン

賞味期限の設定に関しては、2005年2月に厚生労働省と農林水産省から「食品期限表示の設定のためのガイドライン」³⁾が出されている。この要点としては、期限表示の背景と目的、用語の定義の他に具体的に「期限表示設定の基本的な考え方」が以下のように示されている。

- ①食品の特性に配慮した客観的な項目（指標）の設定
 - ・「理化学試験」, 「微生物試験」, 「官能検査」等において数値化することが可能な項目（指標）
 - ・項目（指標）に基づいて設定する場合の結果の信頼性と妥当性の確保
 - ・各々の試験及び項目（指標）の特性を総合的に判断すること
 - ・長期間に品質が保持される食品は、期限内での品質が保持されていることを確認することで、その範囲内であれば合理的な根拠とすることが可能
- ②食品の特性に応じた「安全係数」の設定
 - ・食品の特性に応じて設定された期限に対して1未満の係数（安全係数）をかける
- ③特性が類似している食品に関する期限の設定

- ・個々の食品ごとに試験・検査で科学的・合理的に期限を設定すべきであるが、その特性が類似している食品の試験・検査結果等を参考にすることで期限を設定することも可能

④情報の提供

- ・製造者等は、設定根拠に関する資料等を整備・保管し、情報提供する

この厚生労働省と農林水産省のガイドライン以外にも冷凍食品、食肉製品、食用油脂、しょうゆ、味噌、小麦粉、即席麺、納豆、乳製品などの各業界団体が作成しているガイドラインも数多く存在している。こうした各ガイドラインを受けて、食品メーカーの技術者、開発者は、可能な限り科学的・合理的な根拠と経験的な知識をふまえた方法を用い、さらには社会通念等の社会性も織り込んでそれぞれ期限の設定を行っている。

3. 科学的根拠に基づく賞味期限の設定手段

本来、賞味期限は商品の流通・保管される温度（例えば25℃）で商品保存テストを実施し、品質が十分に保たれる期間を確認した後に賞味期限を設定する。しかしながら商品開発の実態

を反映すれば、開発期間が短く、商品化から賞味期限まで保存テストの実施期間が確保できない現実がある。そのために、加速試験あるいは強制試験を実施して短い期間で賞味期限を理論的に推定する方法が一般的である。

この加速試験による賞味期限の推定方法は、商品を常温及び常温より高い温度帯（2温度帯以上）に保管し、それらの品質劣化を科学的に数値化した後、高い温度帯での結果から常温での限界賞味期限を推定し、それに安全係数をかけて賞味期限を仮設定するものである。

この賞味期限の理論的な推定には、化学工学でよく用いられる温度と反応速度の関係を利用する。食品の保存時における各成分の劣化については、多くの場合が化学反応とみることができる。この時に、反応速度は温度により強い影響を受ける。そこで、Arrhenius式⁴⁾を用いて、ある温度での化学反応速度を予測することになる。Arrhenius（アレニウス）式⁴⁾は、

$$k = A \exp(-E/RT) \quad (1)$$

で表される。ここで、 k ：反応速度定数、 A ：頻度因子（濃度）、 E ：活性化エネルギー、 R ：気体定数、 T ：絶対温度である。

スウェーデンの物理化学者 Svante Arrhenius は反応速度定数 k の対数と絶対温度の逆数 $1/T$ との間に一次線形（直線）関係が成り立つことを見出した。Arrhenius は、化学反応が一定値以上のエネルギーを持つ分子により引き起こされると仮定し、温度が上昇すると高いエネルギーを持つ分子が指数的に増大するためであると考えて (1) 式を提唱した。(1) 式で両辺の \ln （自然対数）を取ると下の (2) 式になる。

$$\ln k = -(E/R) \cdot 1/T + \ln A \quad (2)$$

頻度因子 A 、気体定数 R は定数であり、活性化エネルギー E も固有の値であるので、 $\ln k$ の値は温度によって変化する。つまり (2) 式は、 $\ln k$ を y に、 $1/T$ を x とした、 $y = -ax + b$ （あるいは $y = b - ax$ ）の簡単な一次式と見ることができる。そこで (2) 式の k と T に、 $k = (1/$ ある

濃度（評点）になる時間）、あるいは $k = (1/$ 品質限界の時間）、 $T =$ 保存温度、と加速試験の結果を代入して常温保存での賞味期限を推定することになる。すなわち、温度 ($1/T$) によって $\ln k$ の値をプロットしていくと直線のグラフを得ることができる。このときの傾きは $-E/R$ であり、切片は $\ln A$ である。このプロットをアレニウスプロットという。そのアレニウスプロットの一次式を求めて、 $1/T$ に求めたい賞味期限の保存温度を代入して、その温度での賞味期限日数を $1/k$ から求めることになる。

ただし、この加速試験によって算出された賞味期限は、計算上の最長期間としての限界賞味期限になる。先に紹介した「食品期限表示のためのガイドライン」では、設定された期限（限界賞味期限）に 1 未満の係数（安全係数）をかけることが基本とされている。この安全係数は、食品の特性や出荷後の商品の取り扱いなどを考慮した上で、各メーカーが独自に定めることになる。

4. 具体的な賞味期限の設定例

ここまでは、賞味期限設定の考え方、科学的根拠、推定方法を述べてきた。ここからは、具体的なデータを示しながら商品での事例を紹介したい。

ここで、紹介する商品は液体調味料の「液体だし」である。この商品は、かつお節、さば節、昆布等を高濃度で熱水抽出し、UHT 殺菌後にアセプティック充填したアルミ包装小袋商品である。工程中で微生物の殺菌が施されているために、商品保存中の微生物による腐敗、変敗については賞味期限設定の項目からは除いて考えることができる。そこで、商品特性上、重要な指標になるのが味、香り、色ということになる。これらの指標となる化学分析値（塩分、Brix、アミノ酸、核酸、等）は、既に予備試験の段階で商品の保存中に変化しないことが確認されているため、この商品の指標として色差計での色変化を測定することになる。

つゆ、たれ、ソース等の液体調味料類はアミ

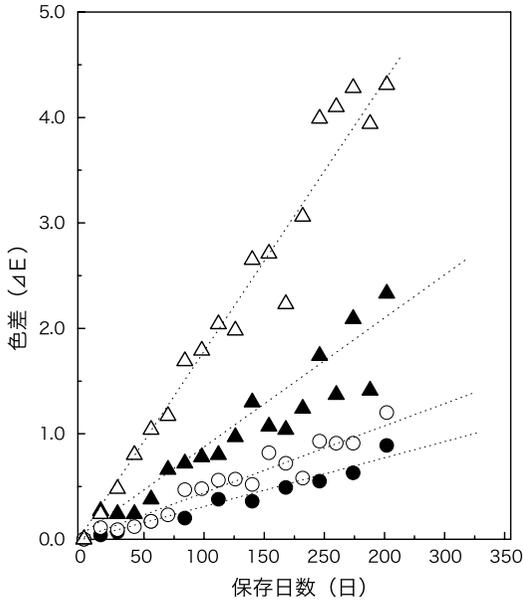


図1 「液体だし」の保存温度と色差の変化
保存温度；●：20℃，○：30℃，▲：40℃，△：50℃

ノカルボニル反応が起りやすく、これら調味料の色が保存時間の経過とともに褐変してくることは良く知られている。この褐変現象を、品質劣化の指標として測定していく方法がある。ここでの色の測定には、日本工業規格 JIS Z8730「色の表示方法 - 物体色の色差」等で推奨されている色差表示方法の L^* , a^* , b^* 値を用いた。この「液体だし」の小袋商品を 20℃, 30℃, 40℃, 50℃の各温度で保存した時の色差 (ΔE) 変化を調べ、結果を図1に示した。図1では、各温度帯での「液体だし」の保存経過日数に対する色差変化は一次の線形近似式で表せる結果となった。そこで、この近似式の傾きから品質の限界値を超える日数を算出する。「液体だし」の場合は、事前試験から $\Delta E=3.05$ が品質限界としてとらえている。そこで、各温度帯での色差が $\Delta E>3.05$ となる日数を官能的な劣化の限界値として算出し（この日数が $1/k$ となる）、温度と劣化速度の関係を示すアレニウスプロットを作成したのが図2である。ただし、商品によって限界値となる色差の値は異なってくるから、事前の予備試験による限界設定は必

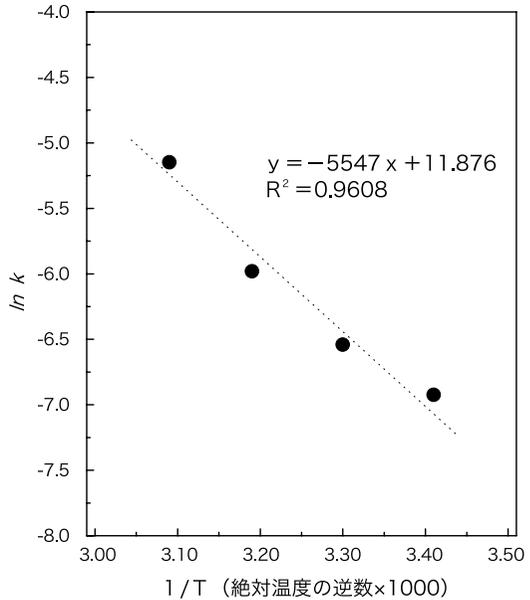


図2 「液体だし」のアレニウスプロット
k：色差が 3.05 を切る日数の逆数

要となる。

この図2の「液体だし」の結果では保存温度と色差変化速度に高い相関が認められたため、このアレニウスプロットの近時式： $\ln k = -5547 \times 1/T$ （絶対温度の逆数）+ 11.876 を用いて、「液体だし」の 25℃保管時の限界賞味期限を予測すると 836 日となる。この場合も、さらにこれに安全係数をかけて商品の賞味期限を算出できる。この結果は、あくまで賞味期限予測方法の一例であり、商品特性の指標を何に設定するか、またその限界値をいくらにするかで最終的に賞味期限を予測、決定すればよい。

5. アレニウス式を適用する時の課題

ここまで述べてきた事例では、アレニウス式を利用することで科学的・合理的根拠をもった賞味期限の設定方法のひとつとして考えることができる。多くのメーカーでは、商品の劣化指標や安全係数は異なるものの劣化反応と温度の関係をj利用して加速試験による賞味期限の設定を実施している。しかしながら、この方法も万能ではないことも理解しておくことが必要であ

る。すなわち、アレニウス式が適用できない場合もあるからである。以下に、実際にあったアレニウス式が適用困難な事例を挙げてみる。

(1) アレニウス式は、劣化反応の速度に温度依存性がある場合に使える。

言い換えれば、劣化反応の速度に温度依存性が認められる範囲だけに成立する予測法であり、アレニウスプロットが一次式となる温度範囲のみで適応できるということである。広い温度帯になると、アレニウスプロットを一次式として解析できない場合もあり、さらには温度域によっては反応の種類が変わっている場合もアレニウス式は利用できない。例えば、微生物の増殖速度などは低温、中温、高温と温度域により増殖する微生物の種類が異なるので、設定温度範囲の中で同一の反応が起こっているとは言えず、増殖速度の温度依存性がないために利用できないことになる。

(2) 劣化反応が単一反応であり一次式で解析できる場合にのみ使える。

先の微生物の増殖の例などが単一反応でないことに該当する。さらに、劣化反応が2段階、3段階の段階的な反応であったり、あるいは反応が途中で止まったりする場合は成り立たない。例えば、アルコールと食酢が入っているドレッシングでの経験例では、アルコールと酢酸が反応してできる酢酸エチルの生成などは等モル反応であるために、商品に酢酸エチル臭がする劣化反応だとしても、賞味期限設定には利用できない。こうした場合は、劣化指標の設定から見直す必要がある。

(3) 評価指標の経時変化が、必ずしも劣化でない場合は使えない。

食品ではよく経験することであるが、出来立ての商品（食品）よりも少し時間が経った商品の方が、味が良くなっているように感じられる場合がある。よく言う「味の馴染み」の現象である。蕎麦つゆのように「だし」と「かえし」を合わせて作る商品などはこうした現象がよくみられるために、官能評価での味覚品質を指標に劣化を測ると適応できなくなる。

(4) 物理現象による劣化の場合は、適用しにくい。

食品の物理現象での劣化では、乾燥、吸湿、分離、凝集、沈殿など様々な場合が経験されている。こうした物理的現象の多くは、温度と関係なく発生するケースが多いため、アレニウス式での予測はできない。すなわち、温度以外の要因（例えば、湿度、pH、酸度など）が関与している場合である。ただし、物理的現象が化学的要因で起こり、温度との関係が見いだせれば賞味期限設定の予測ができることもある。

6. 賞味期限の延長の考え方

賞味期限は、商品品質が微生物的・化学的・物理的变化で劣化すると考えて、これらの劣化反応を制御することで賞味期限を保持、延長することになる。この食品品質劣化の制御は、劣化の指標（評価項目）が微生物的・化学的・物理的变化のどれであるかを判断し、さらにその劣化反応の機構を把握した上で、劣化反応に影響を与える因子の制御を図ることが基本的な考え方となる。一般的には、食品品質の劣化を制御する方法も含めて賞味期限を延長するには、以下の手段が考えられる。

- ①商品の初期品質の制御
- ②商品の包装資材の選択
- ③商品の包装技術の選択
- ④食品添加物の利用
- ⑤保存条件（物流、販売温度条件等）の変更
- ⑥安全係数の考え方と数値の変更

この中で、①商品の初期品質の制御に関しては、多くの食品で起こっている「アミノカルボニル反応」での例を紹介する。アミノカルボニル反応は、食品中の糖源と窒素源が化学反応して褐変物質を生成する反応であるが、この反応に影響を与える因子として、酸素、pH、水分、光などがわかっている。そこで、実際の商品として顆粒の「粉末スープ」を用いて、商品の初期水分含量を変化させた時の商品の色差変化をアミノカルボニル反応の速度として表し、アレニウスプロットをとったものを図3に示した。図3のアレニウスプロットから、「粉末スープ」

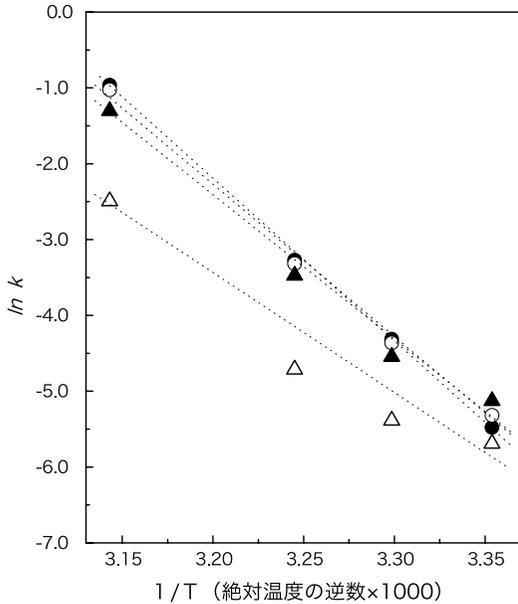


図3 「粉末スープ」の初発水分量別のアレニウスプロットと近似式

水分量; ●:1.59%, ○:1.42%, ▲:1.20%, △:0.60%

の初期水分含量が低くなるほどプロットの傾きが変化しており、色変化を抑えて賞味期限が伸びていることが確認できる。すなわち、商品の初期品質を制御するだけで賞味期限を延ばすことができる例である。

次に、②商品の包装資材の選択での賞味期限延長例を紹介する。商品としては、鰹節を粉砕した粉末であり、家庭用、業務用で様々に利用されているものである。「鰹節粉末」は、保管中に鰹節中の脂質が酸化して味や香りに影響を与える。そのため、包装資材には脂質酸化を抑える酸素バリア性の程度が重要となる。図4に酸素バリア性の異なる資材で包装した「鰹節粉末」の保管中の官能評価結果の変化をアレニウスプロットした。この図4の結果では、アルミ>エバール®(エチレン・ビニルアルコール共重合体)>ポリエチレン>クラフト紙の順で、酸素バリア性が高い包装資材ほど賞味期限が伸びることが確認できた。すなわち、商品の包装資材を変えることでの賞味期限を延長できる例である。

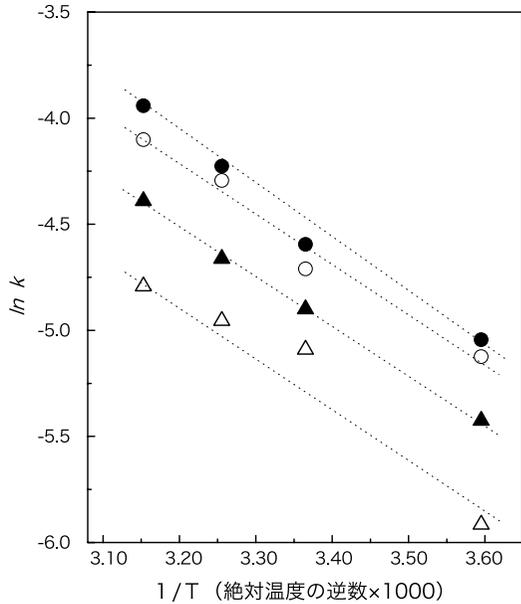


図4 「鰹節粉末」の包装資材別のアレニウスプロットと近似式

●:クラフト紙, ○:ポリエチレン, ▲:エバール, △:アルミ

以上、賞味期限の延長例の具体的な例を2つ示したが、その他にも③~⑥の方法で賞味期限を延ばした事例は数多くみられる。食品廃棄・ロスの削減あるいは、東北大震災での非常食の保存期限等の課題に端を発した賞味期限の延長は、多くのメーカーが取り組んでいるところである。

おわりに

以上、食品ロス削減に向けた賞味期限の設定とその延長方法について述べてきたが、これらはいくまで製造者が取り組める一つの手段でしかない。その他の賞味期限に関連する取り組みとしては表1に示したように、賞味期限の表記を変更する方法もある。さらに、フードチェーンに関連する製造業・卸売業・小売業が「食品ロス削減のための商慣習検討ワーキングチーム」を発足させて、現在、卸売業・小売業の多くで取引条件として設定されている納品期限の見直し・再検討に向けたパイロットプロジェクトも実施されている。これは、商品の納品期限

を賞味期限の1/3期間から1/2期間にしてみるなどの様々な取り組みによって食品ロスの削減効果を実証するプロジェクトである。これらの結果報告⁵⁾は経済産業省のホームページから確認できる。

ただし、こうした食品ロス削減も含めた賞味期限関連については、消費者の理解が必要であ

る。消費者の漠然とした不安に対して、食品メーカー（製造者）は科学的、合理的な根拠で、さらには社会通念との整合性も加味したうえで賞味期限の設定を行うことが大切であり、それらの根拠をいつでも消費者に公開できる体制にしておくことも合わせて望まれている。

参考文献

1. 食品ロスの削減に向けた検討会，食品ロスの現状とその削減に向けた対応方向について－食品ロスの削減に向けた検討報告－，2008年12月
2. 農林水産省，食品ロスの削減に向けて，2012年10月
3. 厚生労働省・農林水産省，食品期限表示の設定のためのガイドライン，2005年2月
4. 久保田清：食品反応工学（矢野俊正，桐栄良三監修）．光琳，pp.4-6, 1990.
5. 経済産業省，News Release，「納品期限の見直しに関する実証事業の最終報告」，2014年3月26日

トランス脂肪酸問題のその後、 部分水素添加油脂の代替

藤田 哲 (FUJITA Satoshi)

藤田技術士事務所

Key Words：トランス脂肪酸 部分水素添加油脂 健康リスク 代替案 食品表示

要旨

トランス脂肪酸は心臓血管病のリスク因子として、多くの国で食品中の含有量の表示義務化や使用の制限がなされた。トランス脂肪酸発生の主要原因は、部分水素添加油脂（食用硬化油）であり、過去10数年間にその低減策が進められた。この小文は種々の特徴をもつトランス脂肪酸の代替経過、新技術の利用、代替が困難な分野、含有量表示の必要性などについて述べた。

1. トランス脂肪酸の概要，まえがきに代えて

トランス脂肪酸はアメリカでの表示が2006年1月から義務化され、世界各国でも順次その表示を義務化するか、または使用を制限してきた。中国、韓国、台湾、タイ、マレーシア、インドネシアなど日本近隣の諸国も表示を義務化した。日本がトランス脂肪酸の表示を要しない理由は、その平均摂取量が全エネルギー摂取量の1%（約2g）未満で、WHOが許容する範囲内であり、実害がないと考えたためである。なおアメリカでは、一食当たりのトランス脂肪酸含有量が0.5%以下の食品では不含（ゼロ）の表示ができる。

トランス脂肪酸の摂取は、血中の低密度リポタンパク質（LDL）を増加し、高密度リポタンパク質（HDL）を減少させ、心臓血管病のリスク因子であることが明確になった。そこで過去約10年にわたって、供給する油脂企業と利用する食品製造業はその低減を進めた。また今年、アメリカの食品医薬品庁（FDA）は、トランス脂肪酸の原因物質である部分水素添加油脂

のGRAS指定（Generally Regarded As Safe）を取り消した。

トランス脂肪酸は反芻動物の脂肪に2～4%含まれ、バターなどにも存在するが、その原因の大部分は液状油脂の部分水素添加（硬化）による食用硬化油であった。多価不飽和脂肪酸が多い液状油の部分水素添加では、トランス脂肪酸がシス型の脂肪酸と共に生成する。また、高トランス酸硬化油のニーズがあり、触媒の選択によってそれらが製造された。他方、植物油脂の精製では脱臭工程の高温処理でトランス脂肪酸が発生し、大豆油で1%、カノーラナタネ油で2%程度を含有する。

食用油脂を構成する脂肪酸には、飽和、一不飽和、多価不飽和の脂肪酸がある。図1に示すとおり天然の植物油脂では、脂肪酸の二重結合部分の構造は全てコの字型のシス型である。トランス脂肪酸は不飽和結合を挟む炭素鎖が異方向（トランス型）に伸びたものであり、図1はオレイン酸の異性体であるエライジン酸の場合を示している。エライジン酸は形態がステアリン酸に近く、融点は46.5℃であって、液

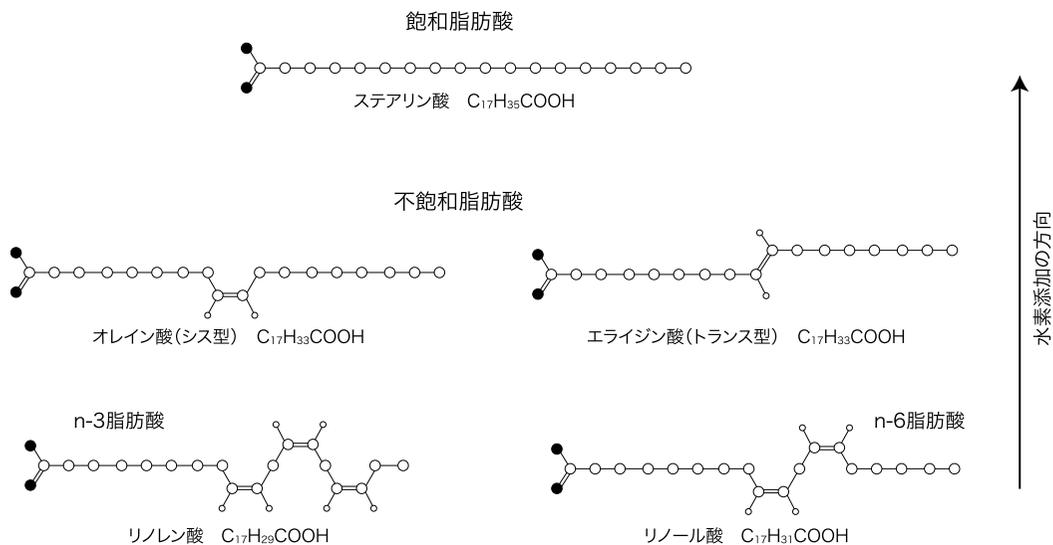


図1 飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸，多価不飽和脂肪酸

融点：オレイン酸 16.3℃，エライジン酸 49.5℃，ステアリン酸 69.6℃，○：炭素，●：酸素，○：水素（不飽和結合以外の水素は省略）

状のオレイン酸の 16.3℃と異なり常温で固体である。

2. 食用硬化油中のトランス脂肪酸

製菓，製パン，フライドポテトなどに用いる油脂は常温で固形である必要があり，牛・豚脂やバター脂に代えて，欧米では過去 100 年以上にわたって部分水素添加油脂（食用硬化油）が用いられた。日本でも硬化油が利用され，トランス脂肪酸の含有量は，マーガリンとショートニングに 5～40%，ファーストフードのフライ用油脂に 20% 程度，安価なチョコレート用油脂には 45% 程度であった。また各種の加工食品中のトランス脂肪酸含量も分析されている¹⁾。チョコレート用の代替脂やクロワッサンなどのペーストリー製品には，硬化油がもつ様々な特性が必要で，特に準チョコレートなどでの硬化油代替は経済的にもかなり難しい。今日でも製菓用チョコレートやペーカリー製品に硬化油が用いられている。

表示規制前のトランス脂肪酸摂取量は一人一日の平均で，カナダは 8.4 g 強，アメリカで 5.8

g とされた。日本でのトランス脂肪酸摂取は，硬化油生産量からの推定で一人一日 1.6 g 程度とされ，この量は一人当たりエネルギー摂取量の 0.7% 程度であった。日本でのトランス脂肪酸摂取量が少ない理由は，液状のサラダ油や天ぷら油の消費が多いためである。日本人は液状油から比較的多量の多価不飽和脂肪酸を摂っており，その健康効果がトランス脂肪酸のリスクを軽減するため，害作用は事実上無視できると考えられた。しかし，これはあくまでも平均としての話であり，準チョコレートなどの安価なチョコレート類や，ペーストリーなどの菓子を多量に食べる習慣のある人では注意が必要である。

過去には牛脂や豚脂，バターなどはコレステロール含量が多く，また飽和脂肪酸が多いため，血中コレステロールを増加させるとして忌避された。しかしこれらの油脂類からのコレステロール摂取は，肉類や魚介類からの摂取に比べれば少なく，飽和脂肪酸の血中コレステロール増加作用も近年の研究で否定された。

脂肪酸の種類と血中コレステロールとの関係

について、HDLの減少、LDLと全コレステロールの増加によって、心臓血管病リスクを高めるのはトランス脂肪酸であることが明白になった。この点に関してミリスチン酸やステアリン酸は無害で、多価不飽和脂肪酸とラウリン酸、オレイン酸にはリスクの改善効果が認められている²⁾。これらの研究結果から、飽和脂肪酸のステアリン酸やパーム核油やヤシ油のラウリン酸、ミリスチン酸の利用は健康問題を起こさないことも明らかになった。

3. 部分水素添加油脂の置き換え

部分水素添加油脂（食用硬化油）は、その特異的な物理・化学的性質の故に、幾つかの加工食品での代替は種々の困難を伴う。例えば、チョコレート用油脂（表示は植物油脂と記載）、パイやペーストリー用油脂、ドーナッツ、クラッカー、ポップコーン用の油脂などである。食用硬化油の有用性を解説すれば一冊の本ができるとされたほどで、食用硬化油はマーガリン、ショートニング、その他の加工油脂に利用されてきた。これらの加工油脂製品には、食用油脂製造業と各種の油脂製品を利用する食品工業との間で、長年にわたって技術が蓄積されてきた。温度と稠度の関係、種々のレオロジー特性や融解の特性、食感や口溶けなどの官能特性などである。そこで、食用硬化油の代替には一定の方法はなく、それぞれの用途に見合った方法が行われた。

最も手早い代替方法はパーム油の利用であった。パーム油は融点が30～35℃であり、またパーム油を低温で分別したパームステアリン（高融点成分）とパームオレイン（低融点成分）の利用が行われた。

アメリカの食品大企業 Kraft Foods 社での硬化油置換作業の紹介があった³⁾。同社は約50の業者から納入される約150種の油脂原料について、処方の見直しを行ってほぼ400種の処方を作り、それらによって約800種の最終製品を得る作業を行ったという。各製品に適した代替物を見いだすためには、種々の方法の中で品質

の変化がなく、風味とコストが大きく変わらない選定を要した。具体的には、まずパームやヤシなどの熱帯油脂の混合利用があり、極度硬化油、乳脂と動物脂、安定性のある綿実油やコーン油などを原料にしたエステル交換油の採用であった。これらの代替物を用いた製品には市場での評価が必要であり、販売部門の要員がそれを担当した。代替物の利用で最終的には製品コストが増加したが、販売価格の値上げで吸収したという。

4. トランス脂肪酸低減の新技術

アメリカでの2006年のトランス脂肪の表示義務化で、多くの食品でトランス脂肪酸の低減が進められ、2012年には加工食品の一食あたりの含有量が0.2gに低下したとされる³⁾。さらに今回のFDAによる食用硬化油のGRASリストからの削除で、加工食品中のトランス脂肪酸低減がさらに進むとみられる。それらを行う新技術には、酵素による油脂のエステル交換反応、改良された水素添加法、油脂の分別、種々の油脂の配合がある。

油脂のエステル交換は、従来はナトリウムメチレートなどを触媒にして、反応タンク内で異種の油脂間、油脂と脂肪酸の間で行われた。しかし、過去10年間に酵素（リパーゼ）の固定化技術の実用化が進み、カラムなどを用いたエステル交換の連続反応が大規模に行われるようになった。リパーゼの酵素作用利用では、グリセロールの水酸基の位置に反応特異性がある酵素があり、その性質を利用してテーラーメイドの油脂を作ることができる。

トランス脂肪酸生成を抑制する改良された水素添加の方法は、触媒に用いるニッケルを化学的修飾によって改変し、高圧下で比較的低温で反応させる技法である。この方法でトランス脂肪酸生成が劇的に減少し、製菓・製パン用油脂が得られるようになった⁴⁾。

欧米でのフライ用油脂は日本の天ぷら油とは異なり、酸化安定性が良好で常温で固形の食用硬化油が主に利用された。この分野での容易な

トランス脂肪酸排除の方法は、通常の育種や遺伝子操作によって育種された植物油の利用である。大豆、カノーラナタネ、ヒマワリの品種の中から、酸化安定性が良好な、低リノール酸、低リノレン酸、高オレイン酸の品種が選ばれて置換が行われた。また製菓・製パンに必須な常温で固形の油脂分野では、熱帯性油脂であるパーム油とパーム核油の利用や、極度硬化油(ステアリンやパルミチン)の利用が進んだ。これら油脂の分別、エステル交換、軽度の水素添加、油脂のブレンドなどの方法である。

・トランス脂肪酸の分析

海外で油脂に関する表示を行う事業者は、製造する原料と最終製品のトランス脂肪酸を分析する必要がある、その方法は AOAC International の公定分析法 19 版によっている。この AOAC 法は、アメリカ油化学者協会 (AOCS) のトランス脂肪酸分析法に準拠しており、対象によって幾つかの分析法がある。それらには、メチル化した脂肪酸について、キャピラリーガスクロマトグラフィーか HPLC で分析する方法。さらに迅速で便利な分析方法としては含有油脂のフーリエ変換赤外分析があり、前処理を要せず一試料あたり 5 分程度で分析ができる⁵⁾。

5. トランス脂肪表示の必要性

日本を除く世界各国では加工食品の表示改革が進み、改革の方向は親切的な栄養表示と、水分を含めた主要および特徴的原料の % 表示である。後者の場合、EU での表示は、5% を超える水分、果物、野菜、畜肉、魚介類、チョコレート、ココア、乳製品、蜂蜜、ナッツなどの含有量が表示される。この量的成分表示は EU に始まり、近隣諸国では韓国、タイ、マレーシア、ベトナムではすでに実施済みであり、世界の約 50 か国に広がっている。

消費者庁は昨 2013 年に新しい「食品表示法」を制定し、その表示基準を策定中である。しかし、その表示基準案の栄養表示内容は、義務表示がエネルギー、タンパク質、脂質、炭水化

物、ナトリウムである。他に任意表示として、推奨するものは飽和脂肪と食物繊維の表示であり、その他として糖類、トランス脂肪、コレステロール、ビタミン・ミネラルを表示してもよいことになっている。日本では 5 年後までによく栄養表示が行われるが、加工食品の原材料の % 表示などは話題にもなっていない。日本の食品表示は世界の主要国はもとより、多くの途上国よりも大きく遅れている。

前述のように、パイやペーストリー類、安価な準チョコレート、チョコレート利用の菓子やベーカリー製品では、現在でも食用硬化油が使われている。これらの製品では、価格面や性能面でトランス脂肪酸の代替は難しい。これらの加工食品を最も多量に食べる年齢層は 10 ~ 18 歳程度の青少年層であり、一日に 100 g も食べればトランス脂肪酸の摂取は 10 g を容易に超えてしまう。

日本の菓子類は近隣諸国に輸出されており、中国、韓国をはじめ多くの国ではトランス脂肪酸の含有量表示が義務化されている。国際的に人気の高い準チョコレート菓子で、国内表示では 100 g 当たり脂質 30 g と表示されているものがある。この製品の輸出先国の表示は 100 g 当たり「総脂肪 21.7 g, 飽和脂肪 11.9 g, トランス脂肪 4.8 g」と表記されているという。WHO によるトランス脂肪摂取の許容範囲は一日 2 g 以下であるから、この量はかなり多い。しかし日本国内での原料表示は単に「植物油脂」であり、栄養表示には脂質の量が記載されるのみであるから、その内容は全く不明である。

近年は食品業界の要望と食用油脂製造業界の努力で、加工食品中のトランス脂肪酸の含有量が大きく低下したのは間違いない。しかし、加工食品中のトランス脂肪酸含有量に関する報告や平均的な摂取量の調査は、筆者の知る限り行われておらず、その摂取量がどの程度であるかは分からない。トランス脂肪酸は牛脂や乳脂にも 2 ~ 4% 含まれ、市販のカノーラナタネ油に 2%, 大豆油には 1% 程度が含まれるので、一人一日 1 ~ 2 g 程度の摂取は避けられない。し

かし、トランス脂肪酸は健康のリスク因子であり、加工食品によってはトランス脂肪酸を多く含むものがある以上、世界各国と同様にその含有量の表示義務化が望ましい。

参考文献

1. 藤田 哲：トランス脂肪と栄養表示問題，月刊フードケミカル，**11**: 78-85, 2005.
2. H. P. Mensink *et al.*, Effects of dietary fatty acids on the ratio of serum total/HDL cholesterol, *Am. J. Clin. Nutrition*, **77**: 1146-1155, 2003.
3. C. Herman, Replacing trans-fats, *INFORM*, **25**(7: July/Aug): 462-463, 2014.
4. G. R. List and D.K. Nakhasi, Innovative technology for trans-fat reduction in shortening and oils, *INFORM*, **25**(7: July/Aug): 464-465, 2014.
5. N. H. Mermelstein, Less Trans-Fat for Mrs. Sprat, *Food Technol.* **68**(6): 99-105, 2014.

白石カルシウムの炭酸カルシウム	
炭酸カルシウムとは？	古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。
	分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈澱を抑制したタイプ等、品揃えております。
	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

ポリアミンの生物活性

— 生活習慣病予防と寿命延長に関して —

早田 邦康 (SODA Kuniyasu)

自治医科大学大学院 循環器病臨床医学研究所

Key Words : ポリアミン スペルミン 脱メチル化 内分泌機能
polyamine spermine demethylation endocrine function

要旨

健康長寿に寄与していると考えられている豆、きのこ、シーフードや野菜のような食品、および地中海食および日本食のような食習慣はポリアミン（スペルミンとスペルミジン）を多く含んでいる。高ポリアミン食を持続的に摂取するとヒトとマウスで血中ポリアミン濃度が上昇し、マウス（Jc1 : ICR, オス）の老化が抑制され寿命が延長する。加齢は DNA methyltransferases（メチルトランスフェラーゼ）の活性の低下や遺伝子の異常メチル化（脱メチル化およびメチル化の亢進）を伴うことが知られている。培養細胞を用いて Not-1 という制限酵素で切断される部分の遺伝子のメチル化の状態を検討したところ、ポリアミン不足に陥ると遺伝子の異常メチル化が誘発され、ポリアミンの添加で異常メチル化が改善されることがわかった。同様に、加齢は炎症の誘発と関連のある免疫細胞の細胞膜タンパクである leukocyte function associate antigen 1 (LFA-1) の発現の増加を伴い、生活習慣病促進の原因の一つと考えられている。ポリアミンは LFA-1 タンパクの量を減少させるが、その機序の一つとして LFA-1 遺伝子のメチル化を変化させることもわかった。これらのことは、加齢に伴って生じる生活習慣病の発症に関与する様々な遺伝子の異常メチル化がポリアミンで抑制される可能性を示している。哺乳類は、寿命研究によく用いられる酵母や線虫などの下位の生物より、はるかに高度な神経・内分泌代謝・免疫機能を有し、これらの機能が相互に関連している。よって、単一もしくは少数の遺伝子の作用によって哺乳類の寿命が左右されるとは考え難く、さまざまな遺伝子が老化や寿命に関与していると思われる。この総説では、糖尿病や高脂血症、動脈硬化などの生活習慣病の発症に密接な関連のある代謝におよぼすポリアミンの機能を検討した研究結果も紹介した。とくに、高ポリアミン食による体内ポリアミン濃度の上昇によって生じる影響に焦点をあてた。

はじめに

これまで、ポリフェノール（イソフラボンやレスベラトロール）などの抗酸化作用を有する食成分によるヒトの健康長寿効果が検討されてきた。しかし、マウスなどの哺乳類を用いた数多くの検討の結果、ポリフェノールなどの抗酸

化作用を有する天然成分や類似の生物活性を有する物質の投与による生活習慣病抑制や寿命延長は認められないことが数多く報告され、その効果には大きな疑問が生じている^{1,2)}。

われわれは、豆、野菜、魚介類や、日本食や地中海食などのように、健康長寿との関係がし

連絡先：〒 330-8503 埼玉県さいたま市大宮区天沼町 1-847

自治医科大学大学院 循環器病臨床医学研究所

E-mail : soda@jichi.ac.jp Tel : 048-647-2111 Fax : 048-648-5188

ばしば指摘されている食品や食習慣に多く含まれるポリアミンという物質の研究をおこなってきた^{3,6)}。そして、ポリアミンを多く含んだ餌を食べ続けたマウスでは、老化の進行が抑制され、寿命が延長する事を報告してきた⁷⁻¹²⁾。

マウスやヒトなどの哺乳類は、寿命研究によく用いられる酵母や線虫などの下位の生物より、はるかに高度の神経・内分泌代謝・免疫機能を有している。酵母や線虫などの下位の生物は短命であり、単一の遺伝子の作用によりその寿命が決定される可能性はあるかもしれない。しかし、先進国のなかで、ヒトの寿命を大きく左右している生活習慣病は、高血圧、糖尿病、脂質異常症、高尿酸血症、大腸癌や乳癌などの癌など様々であり、その一つ一つの疾患の病態も大きく異なっている。よって、これら多くの生活習慣病の発症や、その発症と進行によって左右される寿命が、単一の遺伝子で左右されているとは考えがたい。

この総説では、生活習慣病の発症に密接な関連のある内分泌機能などにおよぼすポリアミンの影響に関する研究結果を紹介したい。とくに、高ポリアミン食によって生じるポリアミン濃度の上昇が生体にどのような影響を及ぼすのかということに焦点をあてて考察を加える。

1. ポリアミンについて

これまでも New Food Industry には私たちが見出したポリアミンの生物活性を紹介してきたので、ここでは概略を解説するとどめる。ヒトの代表的なポリアミンは、アミノ基 (-NH₂) が3個のスペルミジン (Spermidine)、4個のスペルミン (Spermine) である (図1)。細胞内では、アルギニンやグルタミンから、オルニチン、プトレスシン、スペルミジン、スペルミンの順に合成される。分子量は最も大きなスペルミンでも200程度である。アミノ基が2個

のプトレスシンはジ (di =2つの) アミンと呼ばれているが、合成酵素の活性の特性や抗炎症作用などの細胞機能におよぼす作用がポリアミンとは異なっている。ポリアミンは、ヒト、動物、植物、微生物を含んだ、ほとんど全ての生物に共通に存在する。よって、これらの生物やその関連する物質から成り立っている食品は当然ポリアミンを含んでいるが、その濃度は食品毎に大きく異なる¹²⁻¹⁵⁾。

ポリアミン合成酵素であるオルニチン脱炭酸酵素 (Ornithine decarboxylase (ODC)), スペルミジン合成酵素 (Spermidine synthase), およびスペルミン合成酵素 (Spermine synthase) の活性は加齢とともに徐々に低下する。ODC 活性は適切な刺激があると活性化されるが、加齢とともに活性が低下するスペルミジンおよびスペルミン合成酵素を再活性化させる刺激などは不明である。すなわち、アルギニンやオルニチンを高齢者や高齢の哺乳類に投与するとジアミン

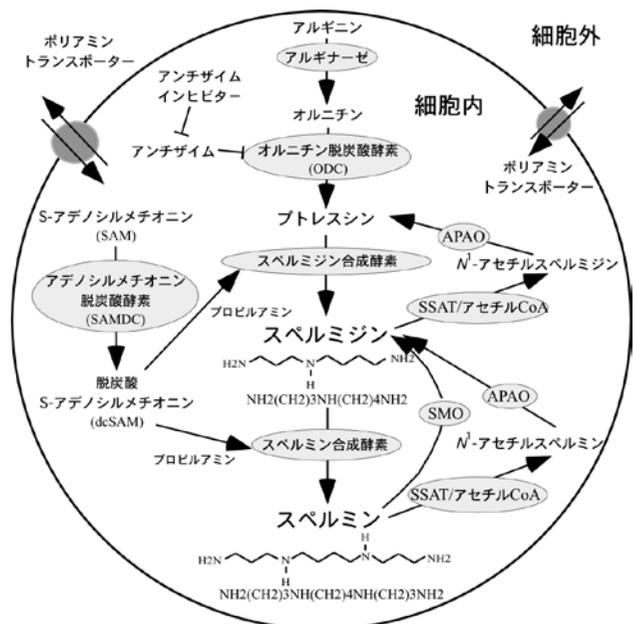


図1 ポリアミン

ポリアミンの代謝経路を示す。アミノ基が4個のスペルミン、および3個のスペルミンがヒトの代表的なポリアミンである。APAO: N¹-acetylpolyamine oxidase, SSAT: spermine/spermidine-N1-acetyltransferase, SMO: spermine oxidase。

であるプトレスシンまでは合成されるが、ポリアミンの合成が刺激されるわけではない¹⁶⁻¹⁹⁾。動物の組織では、ODC 活性は加齢とともに低下し、ポリアミン濃度も徐々に低下する。しかし、成人の血中ポリアミン濃度を測定すると、加齢に伴う低下は決して顕著ではなく、大きな個人差が認められる^{5, 20)}。血液は全身のポリアミン濃度を反映おり、体内の一部の臓器や組織で生じるポリアミン濃度の変化が血液濃度に反映されることはよく知られた事実である。

細胞は細胞内でポリアミンを合成するだけでなく、ポリアミントランスポーターを介して細胞外に存在するポリアミンを細胞内に取り込むことができる。また、腸管からの吸収に関しても詳細に検討されており、腸管内のポリアミンは分解される事なくそのまま体内に吸収され、全身の臓器や組織に分布することが判っている^{21, 22)}。血中濃度の個人差が大きいことに関しては不明な点も多いが、食習慣の違いによる食物からのポリアミン供給量の差や、腸内細菌叢の構成の違いによるポリアミン合成能の差が影響しているのではないかと考えられている。実際に、消化管からのポリアミン供給が増え続けると徐々に体内のポリアミン濃度が上昇する^{8, 9)}。

我々は、ポリアミンが炎症性サイトカインの産生を抑制する^{4, 5)}とともに、Lymphocyte Function-associated Antigen 1 (LFA-1) という免疫細胞の細胞膜に存在するタンパク量を減少させることを見出した^{5, 7)} (図 2a)。LFA-1 は加齢とともに増加し、免疫機能の老化を示す言葉でもある Immunosenescence という現象の一つとして知られおり、加齢とともにその量が増える (図 2b)²³⁻²⁶⁾。LFA-1 は血管内皮細胞の ICAMs (intercellular adhesion molecules) と選択的に結合するが、この結合

によって、免疫細胞は活性化され、炎症性サイトカインなどの細胞障害活性を發揮するタンパクを産生する。生活習慣病は、変性した自己の細胞や物質を免疫細胞が異物として認識して攻撃することによって、持続的な弱い慢性炎症が繰り返され、細胞や遺伝子のダメージが蓄積されることによって生じる。すなわち、高齢者の免疫細胞の LFA-1 が多いということは、微弱な刺激に過敏に反応する免疫細胞が多いということの意味し、生活習慣病が発症しやすく進行しやすい原因の一つとなる。

ポリアミンは炎症性サイトカインの産生や LFA-1 量を減らし、炎症抑制作用を有するが、ポリアミン濃度の上昇した免疫細胞は Phytohemagglutinin (PHA) や ConcanavalinA (ConA) 刺激に対する幼若化反応が亢進していた^{5, 7)}。幼若化反応とは、PHA や ConA などのマイトジェンと呼ばれる物質に対するリンパ球の反応によって、免疫機能の異常を検出する検査方法である。興味深いことに、高齢者では LFA-1 の増加と PHA や ConA に対する反応の低下がしばしば観察されている^{23, 24, 27-29)}。さら

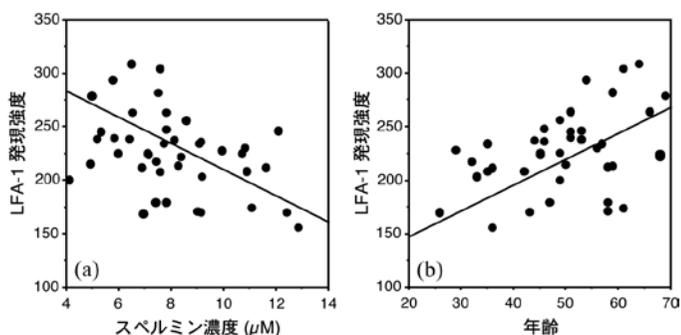


図 2 ポリアミン

(a) 血中スベルミン濃度と末梢血単核球細胞表面 LFA-1 (CD11a) 発現量の関係。

健康な成人男性から採取した末梢血単核球 (リンパ球および単球) の細胞表面に存在する LFA-1 の量と血中スベルミン量を検討した。血中スベルミン濃度が高いと年齢に関係なく LFA-1 量は減少する。

(b) 年齢と LFA-1 の関係。

加齢に伴って LFA-1 の量が増加する。

LFA-1 はフローサイトメトリーで測定した。血中スベルミン濃度は高速液体クロマトグラフィー (High performance liquid chromatography) で計測した。LFA-1 発現量は CD11a の mean fluorescent intensity を表す。

に、他の研究者からはポリアミンが免疫細胞の寿命を延長させることが報告されているが³⁰⁾、我々もヒトから採取した末梢血中の免疫細胞の Natural killer (NK) 活性の変化を調べたところ、培養によって急速に低下するヒト末梢血単核球のNK活性が、ポリアミンの存在によって長時間維持され、培養した細胞の生存率も高い事を観察している^{7,31)}。さらに、ポリアミンは炎症作用以外にも、抗酸化作用やラディカルスキャンジェー作用、さらには放射線などの有害な刺激から細胞や遺伝子を保護する作用などを有することが数多く報告されている^{4,5,32-65)}。

2. ポリアミンと遺伝子のメチル化の関係

遺伝子はアデニン、グアニン、チミン、シトシンという4つの塩基の配列の組み合わせで情報を形成する高度なデジタル情報源である。しかし、この情報を読み取る際には、アナログ形式が採用されている。アナログ形式の調整機構の一つにメチル化というものがある。遺伝子情報を形成する4つの塩基の中のシトシンだけに生じる変化で、シトシンにメチル基を添加してアナログ調整を行っている。遺伝子情報の存在する部位の上流にはシトシンとグアニンの繰り返し配列のある遺伝子情報の開始の目印となる部位が存在する。この目印を合図に遺伝子の情報が翻訳されタンパクが作られる。ところが、シトシンにメチル化が生じると、その部位がシトシンとグアニンの繰り返し配列からなる遺伝子情報の開始点とは認識されなくなり、結果としてその下流に存在する遺伝子のコードするタンパクが作られにくくなってしまふ。反対に、脱メチル化が生じると、シトシンとグアニンの繰り返し配列である遺伝子情報の開始点が明確になり、遺伝子のコードするタンパクが作られやすくなる(図3)。遺伝子に異常メチル化が生じることによって、生活習慣病を抑制するように機能する遺伝子の遺伝子情報の開始部位にメチル化が生じると、生活習慣病の発症が抑制されにくくなる。反対に、生活習慣病を促進す

るように機能する遺伝子の情報開始部位に脱メチル化が生じるとタンパクが多く合成され、生活習慣病が進行しやすくなる^{66,67)}。

ポリアミンの代謝とメチル化には密接な関係がある(図3)。すなわち、ポリアミンの合成には体内のメチル基の供給源であるS-アデノシルメチオニン(S-adenosylmethionin: SAM)が必要であり、ポリアミン代謝の変化により遺伝子へのメチル基の付与に変化が生じる。スベルミジンおよびスベルミンは酵素の働きによりアルギニンから合成されるが、スベルミジン合成酵素とスベルミン合成酵素が作用する際に脱炭酸S-アデノシルメチオニン(Decarboxylated S-adenosylmethionine: dcSAM)からプロピルアミン(propylamine)が供給される。dcSAMはアデノシルメチオニン脱炭酸酵素(S-Adenosylmethionine decarboxylase: SAMDC)の作用によって、S-adenosylmethioninから合成される(図4)。遺伝子のメチル化は、DNAメチルトランスフェラーゼ(DNA methyltransferase: Dnmt)の作用によってSAMからメチル基がシトシンに付加され、メチルシ

プロモーター領域

GTACGCGCGCGCGCGTAGCATGCGTACTGCGTAAT

CGの繰り返し配列(=遺伝子情報の開始合図)

メチル基(●)がついてメチル化された遺伝子

GTA●G●GCG●GCG●G●GTAGCATGCGTACTGCGTAAT

Cが不明瞭になり、CGの繰り返し配列の認識が困難になる

図3 遺伝子のメチル化・脱メチル化とは

遺伝子はアデニン(adenine (A)), グアニン(guanine (G)), チミン(thymine (T)), シトシン(cytosine (C))という4つの塩基の配列の組み合わせで遺伝情報を有している。

(上段) C(シトシン) G(グアニン)の繰り返し配列は、その下流に遺伝子情報があることを示している(CpGアイランドと呼ばれている)。

(下段) シトシンがメチル基を供与されメチル化されると、CGの繰り返し配列が不明瞭になる。このため領域が遺伝子情報の開始領域であることが不明瞭になりタンパクが作られにくくなる。

トシンに変換されることによる⁶⁸⁾。メチル基のドナーである SAM の増加は遺伝子へのメチル基の供与を豊富にするが、dcSAM の増加は Dnmt の活性を抑制する^{69,70)}。

加齢とともにポリアミン合成酵素活性は低下する。培養細胞でこのような状態を再現する際には、ポリアミン合成酵素である ODC やスペルミン合成酵素の活性が低下もしくは欠損した細胞を用いる。アンチザイムという酵素を活性化させて ODC を分解した細胞や、alpha-d,l-difluoromethylornithine hydrochloride (DFMO) で ODC 活性を抑制した細胞、さらにはスペルミン合成酵素活性が欠損してポリアミン合成が低下した細胞ではポリアミン合成に利用されなくなった dcSAM が増加する^{70,73)}。同時に、

このような細胞では遺伝子の脱メチル化が著明になることが報告されている^{69,74)}。我々も、Jurkat 細胞を用いて検討したところ、DFMO によって細胞内ポリアミン濃度が低下した細胞では、DNA メチルトランスフェラーゼ (Dnmt) の活性が抑制された。さらに、LFA-1 のプロモーター領域のメチル化の状態をバイサルファイトシークエンス法で検討したところ、LFA-1 の発現に重要なプロモーター領域^{75,76)} の脱メチル化が進行し、LFA-1 のタンパク量が増加した⁷⁷⁾ (図 5)。

一方、細胞外からポリアミンが供給されて細胞内ポリアミン濃度が上昇すると、ネガティブフィードバック機構が作用し、ポリアミン合成酵素である SAMDC の活性が抑制される^{78,79)}。SAMDC の活性抑制によって、SAM から dcSAM への変換が抑制され、SAM の増加と dcSAM の減少を生じる^{70,71)}。メチル基の供給体である SAM の増加と Dnmt 活性抑制作用のある dcSAM の減少によって Dnmt は活性化される。Dnmt の活性化はメチル化を促進するために、メチル化が進行することが推測できる^{80,81)}。実際に、DFMO で処理した Jurkat 細胞に 500 μM のスペルミンを添加すると、細胞内のポリアミン濃度が著明に増加し、Dnmt が活性化され、LFA-1 のプロモーター領域のメチル化が進行し、LFA-1 のタンパク量が減少した⁷⁷⁾ (図 5)。

ポリアミンによる LFA-1 の発現抑制を検討した際に、LFA-1 と関連する類似の細胞膜分化抗原の発現も検討したが、これらのタンパクにはほとんど変化がなかった。また、LFA-1 の発現抑制は濃度依存性および時間依存性であり、発現抑制が明確になるためには 72 時間程度の長い時間を必要とした⁵⁾。また、LFA-1 の発現に関連する細胞内シグナルである Ras-proximate-1 (Rap1) の発現は変化しなかった。これらのことから、ポリアミンによる LFA-1 発現抑制は、LFA-1 発現に関与する遺伝子の情報開始領域のメチル化の状態が変化することによって生じていると考えられる。

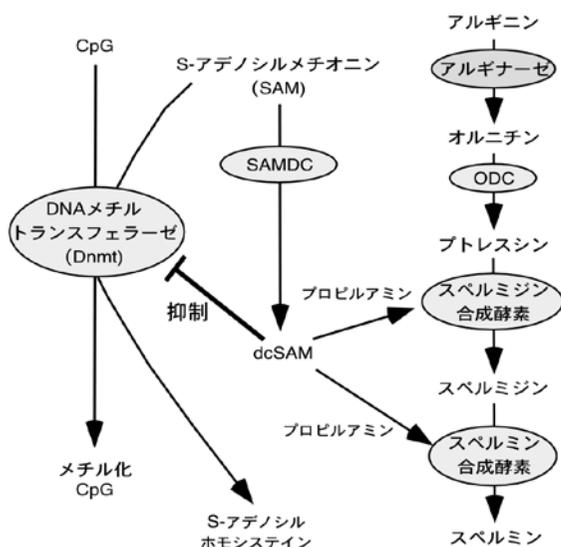


図 4 ポリアミン代謝とメチル化の関係

ポリアミン (スペルミンとスペルミジン) はアルギニンから合成される。合成の過程で、脱炭酸 S-アデノシルメチオニン (dc-SAM) からプロピルアミン (propylamine) を供与される。アデノシルメチオニン脱炭酸酵素 (SAMDC) は S-アデノシルメチオニン (SAM) を dcSAM (脱炭酸 S-アデノシルメチオニン) に変換する。SAM は体内のメチル基のドナーであり、dcSAM は DNA メチルトランスフェラーゼ (Dnmt) を抑制する様に作用する。Dnmt は遺伝子のシトシンにメチル基を供与し、メチル化 (メチルシトシン) させる。

ODC : Ornithine decarboxylase, SAM : S-adenosylmethionine, dcSAM : Decarboxylated S-adenosylmethionine, SAMDC : S-adenosylmethionine decarboxylase, Dnmt : DNA-methyltransferase.

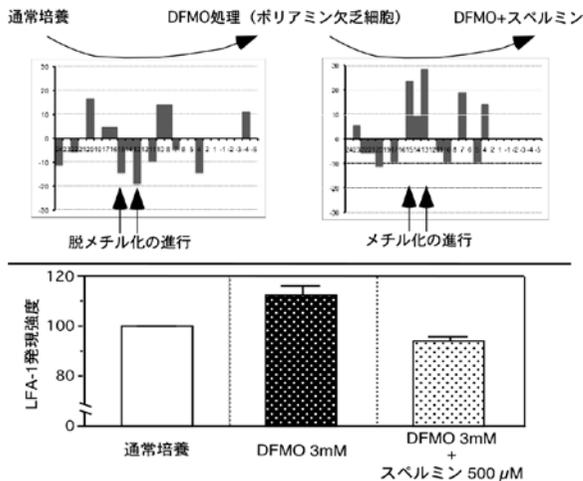


図5 ポリアミンがLFA-1プロモーター領域のメチル化に及ぼす影響

Jukat細胞を用いてLFA-1プロモーター領域(遺伝子情報開始の合図の領域)に及ぼすポリアミンの影響をバイサルファイトシーケンス法で検討した。

通常の培養条件で培養した細胞と比較すると、DFMOとともに培養してポリアミン濃度の低下した細胞ではメチル化の状態が変化していた。特にLFA-1の発現と密接に関係のあることが指摘されている矢印の部位の脱メチル化が進行し(上段左)、LFA-1量が増加した(下段左および中央)。DFMOとスベルミンを加えて培養してポリアミン濃度が上昇した細胞では、DFMOと培養した細胞と比較して、矢印の部位のメチル化が進行し(上段右)、LFA-1の発現量は減少していた(下段右)。

DFMO: d,l- α -difluoromethylornithine

3. 食事が遺伝子のメチル化におよぼす影響

一般的に、いったん付けられたゲノム上のメチル化模様は安定的に次世代の細胞に受け継がれるとされているが⁸²⁾、メチル化修飾は可逆的に変化する部位のあることも報告されている^{70, 83, 84)}。我々が、示したように、LFA-1の遺伝子情報開始領域のメチル化も可逆的に変化すると思われる。

また、ポリアミンは腸管から供給されるので、食成分が遺伝子のメチル化に影響を及ぼすということは極めて興味深い。ポリアミン以外にも、食事内容が遺伝子のメチル化の状態に変化を及ぼすことは以前から報告されている。たとえば、経口的なメチル基の摂取が欠乏すると、DNAのグローバルな脱メチル化を進行させるとともに、遺伝子特異的なメチル化も生じる。また、メチ

ル基の欠乏食はc-myc, c-fox, H-ras, p-53の脱メチル化を生じることが報告されている⁸⁵⁻⁸⁹⁾。反対に、メチル基を供給することによって、メチル化に影響がおよび、遺伝子発現にも変化を与えることも報告されている^{77, 81)}。

4. 加齢と遺伝子のメチル化

サケ、マウス、ラット、ウシ、ヒトの脳、肝臓、小腸粘膜、脾臓やT細胞などで、加齢とともに脱メチル化が進行することが報告されている^{75, 90-94)}。しかし一方で、加齢とともにメチル化が進行する遺伝子領域のあることも報告されている⁹⁵⁻⁹⁷⁾。一般的に、加齢に伴ってポリアミン合成酵素(ODC)の活性低下⁹⁸⁾、Dnmtの活性低下⁹⁹⁻¹⁰¹⁾、および遺伝子の異常メチル化(脱メチル化およびメチル化の増大)^{84, 102, 103)}が進行することが報告されている。そして、遺伝子の異常メチル化は発癌を含めた多くの生活習慣病や老化の原因と考えられている^{66, 67)}。

Dnmtの活性とLFA-1の遺伝子情報の開始点のメチル化の変化が関連していたように、加齢に伴う遺伝子の異常メチル化もDnmtの活性低下が原因の一つであると考えられる。そして、異常メチル化が生活習慣病の発症や老化の進行と関連していること¹⁰⁴⁻¹⁰⁶⁾を考慮に入れると、ポリアミン摂取の増加による異常メチル化の抑制が生活習慣病発症に関連する様々な遺伝子などの発現に作用し、結果としてマウスの寿命延長に寄与したと思われる。

ポリアミンはDnmtを活性化し、遺伝子のLFA-1発現開始領域をメチル化させ、LFA-1のタンパク量を減らした(図5)。ところが、Dnmtの活性化は遺伝子のすべての領域をメチル化傾向に傾かせるのではなく、LFA-1の発現に関連する領域以外では、脱メチル化する部位があることもわかった(図5)。そこで、遺伝子全体のメチル化に及ぼすポリアミンの影響を検討した。遺伝子をNot1という制限酵素で切断して、切断される遺伝子の部位でのメチル化

の状態を検討した。ポリアミンの減少に伴って生じる Dnmt の活性低下は、遺伝子を脱メチル化させるだけではなく、部位によってはメチル化を増強した。すなわち、ポリアミン不足は高度の脱メチル化とメチル化を誘発し、遺伝子全体を異常メチル化という状態に陥らせることが分かったのである (図 6)。この異常メチル化の状態は、ポリアミンを添加することによるポリアミン濃度上昇に伴って生じる Dnmt の活性化で解消されることも分かった。ただし、Not 1 という制限酵素を用いたメチル化の検討で

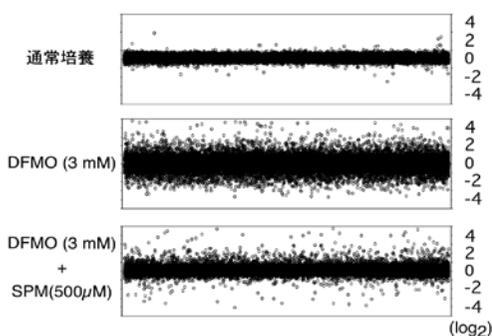


図 6 遺伝子全体のメチル化にポリアミンが及ぼす影響

ポリアミンが遺伝子全体のメチル化に及ぼす影響は Jurkat 細胞を用いた。Not 1 という酵素は、その DNA 認識配列中のシトシン (塩基) がメチル化を受けると遺伝子を切断できなくなる。このことを用いて遺伝子全体のメチル化の状態を検討した。一つ一つの点は切断された遺伝子の断片のメチル化状態を示している。図の 0 の中心線から離れるほど脱メチル化およびメチル化が進んだことを示す。

(上段) 細胞を通常の培養液で培養した際の遺伝子のメチル化の状態である。中心線の 0 に近い部分に多くの点が存在し、メチル化および脱メチル化ともに高度ではないことを示している。

(中段) DFMO とともに培養してポリアミン合成を阻害し、ポリアミン濃度の低下した細胞のメチル化の状態である。各遺伝子断片のメチル化の状態を示す各点は、ばらつきが大きくなり中心線の 0 から大きく離れているものもある。メチル化および脱メチル化ともに進行し異常メチル化と呼ばれる状態になっている。

(下段) DFMO とともに培養した細胞の培養液中にスペルミンを加えてポリアミン濃度が上昇した細胞の遺伝子のメチル化の状態である。DFMO で処理した (中段) の遺伝子のメチル化の状態と比較すると、異常メチル化が抑制されていることがわかる。

DFMO : d,l- α -difluoromethylornithine

は、遺伝子の発現に関連する部位のメチル化の状態、すなわち直接的にタンパクの合成にどのような影響が出るのかは不明な点も多い。しかし興味深かったのは、Not 1 で切断される遺伝子の部位の、おおよそ 10% はポリアミン依存性にメチル化の状態が変化した¹⁰⁾。すなわち、約 5% の部位ではポリアミン不足で脱メチルが誘発され、ポリアミンを補給することで脱メチル化が改善した。また、おおよそ 5% の部位では、ポリアミン不足でメチル化が誘発され、ポリアミンを供給することでメチル化が改善した。

このようにポリアミンは様々な遺伝子のプロモーター領域 (遺伝子の発現に関与する領域) のメチル化の状態にも影響を及ぼし、結果として様々な機能を改善し、マウスの老化抑制と長寿をもたらしたと考えることができる。

5. ポリアミンと内分泌機能 (糖代謝と脂質代謝) などの関連

経口的なポリアミン摂取の制限によって血中ポリアミン量は減少し、継続的なポリアミンの供給は血中ポリアミン濃度を増加させる^{8,9,107)}。腸管から吸収されたポリアミンは全身に移行し^{21,22)}、血中濃度が増加したマウスの寿命は延長する⁸⁻¹⁰⁾。そして、ポリアミンの増加によって遺伝子の異常メチル化が抑制される。このことから、ポリアミンが生活習慣病の誘発に関連する様々な遺伝子の発現に影響を及ぼし、マウスの寿命を延長したと考えられる。同じ哺乳類であるヒトの長寿には糖尿病や動脈硬化などのように加齢とともに発症して進行する生活習慣病と呼ばれている疾患が寿命を左右する。そこで、消化管から吸収されたポリアミンが細胞に供給されることによって生じる、生活習慣病抑制に関連する生物活性を紹介する。

Streptozotocin (STZ) という薬剤をラットに投与すると糖尿病が発症する。STZ を投与されたラットでは、advanced glycation end product (AGE)、中性脂肪、コレステロール、低密度リポタンパク質 (low density lipoprotein = LDL) が上昇する。ところが、STZ を投与したラッ

トにスペルミンを混じた飲料水をのませたところ、対照群と比較してこれらの値が徐々に低下し、高密度リポタンパク質 (high density lipoprotein = HDL) が上昇することが報告されている¹⁰⁸⁾。また、スペルミンの経口投与は Serum paraoxonase/arylesterase 1 (PON1) と Lecithin cholesterol acyltransferase (LCAT) を活性化させる¹⁰⁸⁾。PON1 は血中の HDL に結合して LDL の酸化を抑制し、粥状動脈硬化を防ぐように作用するが、PON1 が作用できないように遺伝子をノックアウトしたマウスでは、野生型マウスに比べ有意に血管病変が亢進することが示されている¹⁰⁹⁾。一方、LCAT は遊離コレステロールからコレステロールエステルへの変換酵素で、この作用によって、結果的に末梢組織の細胞膜表面から遊離コレステロールを引き抜く作用がある。これらの作用は、スペルミンの上昇が動脈硬化の抑制に寄与する可能性を示唆するものである。

ポリアミンはインスリンの産生と分泌にも関与しており、インスリンの mRNA を安定化する作用がある。反対に、ポリアミン不足の状態ではブドウ糖に対するプロインスリン生成の反応が低下することが報告されている^{110, 111)}。同様の結果はアロキサン (alloxan) 投与に対するβ細胞の保護作用の検討でも確認されている。アロキサンは膵臓のインスリン合成細胞であるβ細胞を選択的に破壊し、インスリンの分泌が低下する。スペルミンを投与することによって、アロキサン投与後の血糖値や血中の中性脂肪およびコレステロール濃度の上昇が抑制され、消化酵素などを産生分泌する膵臓の腺房細胞の再生も加速させることが報告されている¹¹²⁾。

ポリアミンが細胞外から供給されると、細胞内のポリアミン濃度を一定に保とうとするホメオスターシスが働き、ポリアミンの分解酵素である spermine/spermidine-N1-acetyltransferase (SSAT) が活性化される^{113, 114)}。ポリアミン摂取によるポリアミン濃度上昇が誘発する SSAT の活性化が代謝におよぼす影響を図7に示す(図7)。SSAT はポリアミン分解酵素であるが、活性を発揮する際にはアセチル-CoA を補酵素として利用する。アセチル-CoA はブドウ糖の解糖や脂肪酸のβ酸化によって生成されるが、SSAT の活性化はアセチル-CoA を消費し¹¹⁵⁾、解糖やβ酸化の活性化を生じさせる。マウスで SSAT を過剰発現させると、白色脂肪内

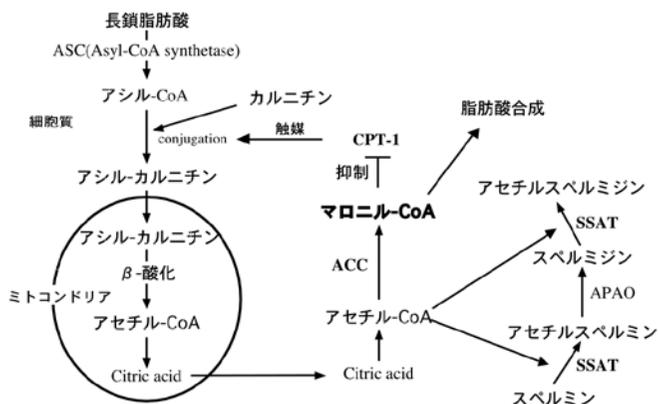


図7 脂質のβ酸化とポリアミンの関係

脂肪酸はエネルギー源として好氣的に代謝される(β酸化)。カルニチンは脂肪酸をミトコンドリア内部に運搬する役割を担う。ミトコンドリア内膜はアシル CoA を直接透過しないため、カルニチンが脂肪酸アシル運搬体の役割を果たす。脂肪酸アシル CoA は、カルニチンと一時的に結合して脂肪酸アシルカルニチンへ転換される。この反応はカルニチンパルミトイルトランスフェラーゼ1 (CPT-1) により触媒される。その後、脂肪酸はミトコンドリア内でβ酸化を受け酢酸にまで分解されながら、生成したアセチル CoA はクエン酸回路を通じてエネルギーに転換される。細胞の外からのポリアミンの供給は、ポリアミン分解酵素である SSAT を活性する。SSAT は補酵素であるアセチル CoA (Acetyl-CoA) を必要とするので、その活性化はアセチル CoA の消費を促進する。アセチル CoA の減少はマロニル CoA (Malonyl-CoA) 量の減少と関連する。マロニル CoA は脂肪酸合成の原料でもあり、その減少は脂肪酸合成を制限する。また、マロニル CoA は CPT-1 の活性を制御しており、マロニル CoA の減少は CPT-1 の抑制を解除する。CPT-1 の活性化によりカルニチンとアシル CoA の結合が促進し、脂質のβ酸化が生じやすくなる。SSAT: spermine/spermidine-N1-acetyltransferase, ACC: Acetyl-CoA Carboxylase, CPT-1: carnitine palmitoyltransferase 1, APAO: N¹-acetylputrescine oxidase

のアセチル CoA が消費され、マロニル CoA の量が減少する¹¹⁶⁾。マロニル CoA は脂肪酸の合成に重要な物質であり、一方でカルニチンパルミトイルトランスフェラーゼ 1 型 (carnitine *O*-palmitoyltransferase type I = CPT-1) の活性を抑制する作用がある。CPT-1 は、脂肪酸から生成されたアシル-CoA とカルニチンを結合させてアシルカルニチンにする反応を触媒する。アシルカルニチンはミトコンドリアへ運ばれβ酸化を受ける。すなわち SSAT の活性化によって生じるマロニル CoA の減少は、脂肪酸合成の抑制とβ酸化の亢進を誘発して蓄積脂肪の減少をもたらす事になる。実際に、SSAT を過剰発現させると、ブドウ糖やパルミチン酸の酸化が 20 倍に増加し、蓄積脂肪の著明な減少が観察され、基礎代謝の亢進、インスリン感受性の亢進、耐糖能の亢進が観察されることが報告されている¹¹⁶⁾。SSAT の過剰発現マウスでは、血漿コレステロール値の低下も観察されている。その背景としては、胆汁酸の合成亢進とコレステロール吸収の抑制が関与していると考えられている¹¹⁷⁾。また、糖代謝に関与しては、SSAT を過剰発現させたマウスの白色脂肪や肝臓内のミトコンドリアは数が増加し活性化し、エネルギー産生効率を高めるように作用することが確認されている¹¹⁸⁾。反対に、SSAT をノックアウトしたマウスでは白色脂肪内のアセチル CoA とマロニル CoA の量が増加し、ブドウ糖やパルミチン酸の酸化が減少し、脂肪組織への脂肪の沈着が認められることが報告されている¹¹⁶⁾。また、インスリン抵抗性を示すようにもなる¹¹⁹⁾。すなわち、現時点では明確な証明がないものの、高ポリアミン食の励行は、運動などにとまって誘発される脂肪燃焼を促進し、体重増加を生じにくくしている可能性がある。

加齢に伴って生じる深刻な問題の一つに、動脈内での血栓の形成による血流障害がある。血栓形成は臓器の血流を阻害して機能不全を誘発し、老化や生活習慣病を進行させる要因となる。これまで、健康長寿食である大豆やその発酵食品の抽出物には血栓の形成を抑制し血栓溶解を

促進する作用のあることが知られている¹²⁰⁻¹²³⁾。しかし、その機序は不明であった。炎症の誘発は血栓の形成促進と血栓溶解の抑制を生じることが判っている。反対に炎症を抑制すると血栓の形成が抑制され血栓溶解が促進される。ポリアミンの有する炎症抑制作用は血栓形成の抑制と血栓溶解の促進に寄与すると考えられるが、実際にポリアミンを投与したマウスでは、血栓の形成が抑制されて血栓溶解が促進されることが報告されている^{124, 125)}。

6. 疫学調査とポリアミンの関係

これまで、食と健康に関しては多くの疫学調査がなされてきた。その中で、健康長寿に関連する食材としては、全粒粉、大豆などの豆類、野菜、および魚介類が挙げられる。精製していない穀物に含まれる胚芽やふすま、大豆などの豆類や野菜、および魚介類はいずれもカロリー当たりのポリアミン濃度が高い食品である¹²⁻¹⁵⁾。一方、生活習慣病の促進と関連のある食品も指摘されてきた。例えば、バター、ミルク、砂糖などを原料とした西洋のデザートがあげられるが、これらの食材はポリアミンをほとんど含まない¹²⁻¹⁵⁾。

我々は、国連のデータベースをもとに、国単位のエコロジカルスタディーではあるが、食物供給量からみた各国の食物の嗜好の傾向を検討し、食品中のポリアミンとの関係を調査した。すると、地中海沿岸諸国ではカロリー当たりのポリアミン濃度が高い食品を好んでいることがわかった¹²⁶⁻¹²⁹⁾。最も興味深かったのは、健康長寿との関連が指摘されているオリーブオイルやワインはポリアミンを全く含まないが、これらの食品を好む国民はポリアミン濃度の高い食品を好んでいるという調査結果であった¹²⁷⁾。一方、オリーブオイルより動物性脂肪を好む国民やワインより蒸留酒を好む国民はポリアミン濃度の低い食材を好む傾向にある¹²⁷⁾。また、しばしば健康長寿と関連のあることが指摘されるチーズを好む国民はポリアミンが多い食材を好み、生活習慣病の発症の増加と関連のある牛

乳を好む国民はポリアミン含量の少ない食材を好む傾向がある¹²⁷⁾。また、健康長寿食として知られている日本人の伝統的な食事は、一般的にポリアミン濃度の高い食材が多い¹²⁹⁾。

また、食材の部位によってもポリアミン濃度が異なる。例えば、魚介類の身や肉にはポリアミンは含まれているが、内臓にはさらに高濃度のポリアミンが含まれている。日本食は大豆や小豆などの豆類や魚介類である。しかし、伝統的な日本の魚食として特徴的なのは、佃煮や甘

露煮のように小さな魚介を内臓を含めてまるごと食べるということであり、“いくら”“数の子”“たらこ”などのように、魚卵を加工した食品が多いということである。

おわりに

ポリアミンによる異常メチル化の抑制が、どのような遺伝子に生じて、その関連するタンパクの発現に影響をおよぼすのかを検討する必要がある。

参考文献

- 1) Couzin-Frankel, J.: Genetics. Aging genes: the sirtuin story unravels. *Science* **334**(6060): 1194-8, 2011.
- 2) Strong, R., *et al.*: Evaluation of resveratrol, green tea extract, curcumin, oxaloacetic acid, and medium-chain triglyceride oil on life span of genetically heterogeneous mice. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **68**(1): 6-16, 2013.
- 3) Soda, K.: Polyamine intake, dietary pattern, and cardiovascular disease. *Med Hypotheses* **75**(3): 299-301, 2010.
- 4) Zhang, M., *et al.*: Spermine inhibits proinflammatory cytokine synthesis in human mononuclear cells: a counterregulatory mechanism that restrains the immune response. *J Exp Med* **185**(10): 1759-68, 1997.
- 5) Soda, K., *et al.*: Spermine, a natural polyamine, suppresses LFA-1 expression on human lymphocyte. *J Immunol* **175**(1): 237-45, 2005.
- 6) Soda, K.: Polyamines - The Principal Candidate Substance of Soybean-Induced Health. Soybean and health. H. El-Shemy. Rijeka, InTech, 489-502, 2011.
- 7) 早田邦康：ポリアミンによるアンチエイジング（その1）。*New Food Industry* **51**(12): 55-64, 2009.
- 8) Soda, K., *et al.*: Long-term oral polyamine intake increases blood polyamine concentrations. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* **55**(4): 361-6, 2009.
- 9) Soda, K., *et al.*: Polyamine-rich food decreases age-associated pathology and mortality in aged mice. *Exp Gerontol* **44**(11): 727-32, 2009.
- 10) Soda, K., *et al.*: Increased polyamine intake inhibits age-associated alteration in global DNA methylation and 1,2-dimethylhydrazine-induced tumorigenesis. *PLoS One* **8**(5): e64357, 2013.
- 11) 早田邦康：ポリアミンによるアンチエイジング（その2）。*New Food Industry* **52**(1): 66-73, 2010.
- 12) 早田邦康：ポリアミンと健康長寿食。 *New Food Industry* **54**(3): 27-36, 2012.
- 13) Cipolla, B.G., Havouis, R., and Moulinoux, J.P.: Polyamine contents in current foods: a basis for polyamine reduced diet and a study of its long term observance and tolerance in prostate carcinoma patients. *Amino Acids* **33**(2): 203-12, 2007.
- 14) Nishibori, N., Fujihara, S., and Akatuki, T.: Amounts of polyamines in foods in Japan and intake by Japanese. *Food Chem* **100**: 491-7, 2006.
- 15) Nishimura, K., *et al.*: Decrease in polyamines with aging and their ingestion from food and drink. *J Biochem* **139**(1): 81-90, 2006.
- 16) Teixeira, D., *et al.*: Dietary arginine slightly and variably affects tissue polyamine levels in male swiss albino mice. *J Nutr* **132**(12): 3715-20, 2002.
- 17) Bedford, M.R., Smith, T.K., and Summers, J.D.: Effect of dietary ornithine on renal and hepatic polyamine synthesis. *Ann Nutr Metab* **32**(5-6): 265-70, 1988.
- 18) Schleiffer, R., *et al.*: Blood polyamine levels after oral ornithine load, a diagnostic marker of hyperproliferative premalignant and malignant stages in a model of colon carcinogenesis. *Cancer Detect Prev* **24**(6): 542-8, 2000.
- 19) Yoshinaga, K., *et al.*: Age-related changes in polyamine biosynthesis after fasting and refeeding. *Exp Gerontol* **28**(6): 565-72, 1993.
- 20) Elworthy, P. and Hitchcock, E.: Polyamine levels in red blood cells from patient groups of different sex and age. *Biochim Biophys Acta* **993**(2-3): 212-6, 1989.
- 21) Bardocz, S., *et al.*: The importance of dietary polyamines in cell regeneration and growth. *Br J Nutr* **73**(6): 819-28,

- 1995.
- 22) Bardocz, S., *et al.*: Luminal and basolateral polyamine uptake by rat small intestine stimulated to grow by Phaseolus vulgaris lectin phytohaemagglutinin *in vivo*. *Biochim Biophys Acta* **1034**(1): 46-52, 1990.
 - 23) Powers, D.C., Morley, J.E., and Flood, J.F.: Age-related changes in LFA-1 expression, cell adhesion, and PHA-induced proliferation by lymphocytes from senescence-accelerated mouse (SAM)-P/8 and SAM-R/1 substrains. *Cell Immunol* **141**(2): 444-56, 1992.
 - 24) Chiricolo, M., *et al.*: Cell adhesion molecules CD11a and CD18 in blood monocytes in old age and the consequences for immunological dysfunction. Preliminary results. *Gerontology* **41**(4): 227-34, 1995.
 - 25) Okumura, M., *et al.*: Age-related accumulation of LFA-1high cells in a CD8⁺CD45RAhigh T cell population. *Eur J Immunol* **23**(5): 1057-63, 1993.
 - 26) Pallis, M., Robins, A., and Powell R.: Quantitative analysis of lymphocyte CD11a using standardized flow cytometry. *Scand J Immunol* **38**(6): 559-64, 1993.
 - 27) Franceschi, C., *et al.*: Inflamm-aging. An evolutionary perspective on immunosenescence. *Ann N Y Acad Sci* **908**: 244-54, 2000.
 - 28) Pisciotta, A.V., *et al.*: Mitogenic effect of phytohaemagglutinin at different ages. *Nature* **215**(5097): 193-4, 1967.
 - 29) Gillis, S., *et al.*: Immunological studies of aging. Decreased production of and response to T cell growth factor by lymphocytes from aged humans. *J Clin Invest* **67**(4): 937-42, 1981.
 - 30) Eisenberg, T., *et al.*: Induction of autophagy by spermidine promotes longevity. *Nat Cell Biol* **11**(11): 1305-14, 2009.
 - 31) 早田邦康：癌病態と栄養成分 —ポリアミン, 脂肪酸, ポリフェノールについて—。静脈経腸栄養 **26**(5): 9-18, 2011.
 - 32) Ha, H.C., *et al.*: The natural polyamine spermine functions directly as a free radical scavenger. *Proc Natl Acad Sci U S A* **95**(19): 11140-5, 1998.
 - 33) Fujisawa, S. and Kadoma, Y.: Kinetic evaluation of polyamines as radical scavengers. *Anticancer Res* **25**(2A): 965-9, 2005.
 - 34) Mackintosh, C.A. and Pegg, A.E.: Effect of spermine synthase deficiency on polyamine biosynthesis and content in mice and embryonic fibroblasts, and the sensitivity of fibroblasts to 1,3-bis-(2-chloroethyl)-N-nitrosourea. *Biochem J* **351** Pt 2: 439-47, 2000.
 - 35) Newton, G.L., *et al.*: Polyamine-induced compaction and aggregation of DNA—a major factor in radioprotection of chromatin under physiological conditions. *Radiat Res* **145**(6): 776-80, 1996.
 - 36) Tadolini, B., *et al.*: Polyamine binding to phospholipid vesicles and inhibition of lipid peroxidation. *Biochem Biophys Res Commun* **122**(2): 550-5, 1984.
 - 37) Lovaas, E. and Carlin, G.: Spermine: an anti-oxidant and anti-inflammatory agent. *Free Radic Biol Med* **11**(5): 455-61, 1991.
 - 38) Rajalakshmi, S., Rao, P.M., and Sarma, D.S.: Studies on carcinogen chromatin--DNA interaction: inhibition of N-methyl-N-nitrosourea-induced methylation of chromatin--DNA by spermine and distamycin A. *Biochemistry* **17**(21): 4515-8, 1978.
 - 39) Di Mascio, P., *et al.*: DNA damage by 5-aminolevulinic and 4,5-dioxovaleric acids in the presence of ferritin. *Arch Biochem Biophys* **373**(2): 368-74, 2000.
 - 40) Brune, B., *et al.*: Spermine prevents endonuclease activation and apoptosis in thymocytes. *Exp Cell Res* **195**(2): 323-9, 1991.
 - 41) Khan, A.U., *et al.*: Spermine and spermidine protection of plasmid DNA against single-strand breaks induced by singlet oxygen. *Proc Natl Acad Sci U S A* **89**(23): 11428-30, 1992.
 - 42) Held, K.D. and Awad, S.: Effects of polyamines and thiols on the radiation sensitivity of bacterial transforming DNA. *Int J Radiat Biol* **59**(3): 699-710, 1991.
 - 43) Warters, R.L., *et al.*: Radioprotection of human cell nuclear DNA by polyamines: radiosensitivity of chromatin is influenced by tightly bound spermine. *Radiat Res* **151**(3): 354-62, 1999.
 - 44) Chiu, S. and Oleinick, N.L.: Radioprotection of cellular chromatin by the polyamines spermine and putrescine: preferential action against formation of DNA-protein crosslinks. *Radiat Res* **149**(6): 543-9, 1998.
 - 45) Spothem-Maurizot, M., *et al.*: Radioprotection of DNA by polyamines. *Int J Radiat Biol* **68**(5): 571-7, 1995.
 - 46) Newton, G.L., *et al.*: Effect of polyamine-induced compaction and aggregation of DNA on the formation of radiation-induced strand breaks: quantitative models for cellular radiation damage. *Radiat Res* **148**(3): 272-84, 1997.
 - 47) Sy, D., *et al.*: Radioprotection of DNA by spermine: a molecular modelling approach. *Int J Radiat Biol* **75**(8): 953-61, 1999.

- 48) Douki, T., Bretonniere, Y., and Cadet, J.: Protection against radiation-induced degradation of DNA bases by polyamines. *Radiat Res* **153**(1): 29-35, 2000.
- 49) Courdi, A., *et al.*: Radiosensitization of human tumor cells by alpha-difluoromethylornithine. *Int J Cancer* **38**(1): 103-7, 1986.
- 50) Snyder, R.D. and Sunkara, P.S.: Effect of polyamine depletion on DNA damage and repair following UV irradiation of HeLa cells. *Photochem Photobiol* **52**(3): 525-32, 1990.
- 51) Snyder, R.D. and Schroeder, K.K.: Radiosensitivity of polyamine-depleted HeLa cells and modulation by the aminothiols WR-1065. *Radiat Res* **137**(1): 67-75, 1994.
- 52) Williams, J.R., Casero, R.A., and Dillehay, L.E.: The effect of polyamine depletion on the cytotoxic response to PUVA, gamma rays and UVC in V79 cells *in vitro*. *Biochem Biophys Res Commun* **201**(1): 1-7, 1994.
- 53) Arundel, C.M., Nishioka, K., and Tofilon, P.J.: Effects of alpha-difluoromethylornithine-induced polyamine depletion on the radiosensitivity of a human colon carcinoma cell line. *Radiat Res* **114**(3): 634-40, 1988.
- 54) Chattopadhyay, M.K., Tabor, C.W., and Tabor, H.: Polyamines protect Escherichia coli cells from the toxic effect of oxygen. *Proc Natl Acad Sci U S A* **100**(5): 2261-5, 2003.
- 55) Chattopadhyay, M.K., Tabor, C.W., and Tabor, H.: Polyamine deficiency leads to accumulation of reactive oxygen species in a spe2Delta mutant of Saccharomyces cerevisiae. *Yeast* **23**(10): 751-61, 2006.
- 56) Jung, I.L., Oh, T.J., and Kim, I.G.: Abnormal growth of polyamine-deficient Escherichia coli mutant is partially caused by oxidative stress-induced damage. *Arch Biochem Biophys* **418**(2): 125-32, 2003.
- 57) Ha, H.C., *et al.*: Structural specificity of polyamines and polyamine analogues in the protection of DNA from strand breaks induced by reactive oxygen species. *Biochem Biophys Res Commun* **244**(1): 298-303, 1998.
- 58) Belle, N.A., *et al.*: Polyamines reduces lipid peroxidation induced by different pro-oxidant agents. *Brain Res* **1008**(2): 245-51, 2004.
- 59) Gaboriau, F., *et al.*: Antioxidative properties of natural polyamines and dimethylsilane analogues. *Redox Rep* **10**(1): 9-18, 2005.
- 60) Sava, I.G., *et al.*: Free radical scavenging action of the natural polyamine spermine in rat liver mitochondria. *Free Radic Biol Med* **41**(8): 1272-81, 2006.
- 61) Farbiszewski, R., *et al.*: Spermine partially normalizes *in vivo* antioxidant defense potential in certain brain regions in transiently hypoperfused rat brain. *Neurochem Res* **21**(12): 1497-503, 1996.
- 62) Marzabadi, M.R. and Livaas, E.: Spermine prevent iron accumulation and depress lipofuscin accumulation in cultured myocardial cells. *Free Radic Biol Med* **21**(3): 375-81, 1996.
- 63) Goss, S.P., Hogg, N., and Kalyanaram, B.: The antioxidant effect of spermine NONOate in human low-density lipoprotein. *Chem Res Toxicol* **8**(5): 800-6, 1995.
- 64) Tadolini, B.: Polyamine inhibition of lipoperoxidation. The influence of polyamines on iron oxidation in the presence of compounds mimicking phospholipid polar heads. *Biochem J* **249**(1): 33-6, 1988.
- 65) Tadolini, B.: The influence of polyamine-nucleic acid complexes on Fe²⁺ autoxidation. *Mol Cell Biochem* **83**(2): 179-85, 1988.
- 66) White, R. and Parker, M.: Developmental changes in DNA methylation around prostatic steroid-binding protein genes. *J Biol Chem* **258**(14): 8943-8, 1983.
- 67) Ono, T., *et al.*: Biological significance of DNA methylation in the ageing process. *Age Ageing* **22**(1): S34-43, 1993.
- 68) Goll, M.G. and Bestor, T.H.: Eukaryotic cytosine methyltransferases. *Annu Rev Biochem* **74**: 481-514, 2005.
- 69) Tsuji, T., *et al.*: Induction of epithelial differentiation and DNA demethylation in hamster malignant oral keratinocyte by ornithine decarboxylase antizyme. *Oncogene* **20**(1): 24-33, 2001.
- 70) Yamamoto, D., *et al.*: Ornithine decarboxylase antizyme induces hypomethylation of genome DNA and histone H3 lysine 9 dimethylation (H3K9me2) in human oral cancer cell line. *PLoS One* **5**(9): e12554, 2010.
- 71) Pegg, A.E., *et al.*: Spermine synthase activity affects the content of decarboxylated S-adenosylmethionine. *Biochem J* **433**(1): 139-44, 2011.
- 72) Shantz, L.M., *et al.*: Regulation of S-adenosylmethionine decarboxylase activity by alterations in the intracellular polyamine content. *Biochem J* **288** (Pt 2): 511-8, 1992.
- 73) Frostesjo, L., *et al.*: Interference with DNA methyltransferase activity and genome methylation during F9 teratocarcinoma stem cell differentiation induced by polyamine depletion. *J Biol Chem* **272**(7): 4359-66, 1997.
- 74) Papazafiri, P. and Osborne, H.B.: Effect of alpha-difluoromethylornithine on DNA methylation in murine erythroleukaemic cells. Relationship to stimulation of induced differentiation. *Biochem J* **242**(2): 479-83, 1987.
- 75) Zhang, Z., *et al.*: Age-dependent DNA methylation changes in the ITGAL (CD11a) promoter. *Mech Ageing Dev* **123**(9): 1257-68, 2002.

- 76) Richardson, B.C.: Role of DNA methylation in the regulation of cell function: autoimmunity, aging and cancer. *J Nutr* **132**(8 Suppl): 2401S-2405S, 2002.
- 77) Kano, Y., Soda, K., and Konishi, F.: Suppression of LFA-1 expression by spermine is associated with enhanced methylation of ITGAL, the LFA-1 promoter area. *PLoS One* **8**(2): e56056, 2013.
- 78) Holm, I., *et al.*: Feedback regulation of polyamine synthesis in Ehrlich ascites tumor cells. Analysis using nonmetabolizable derivatives of putrescine and spermine. *Biochim Biophys Acta* **972**(3): 239-48, 1988.
- 79) Mamont, P.S., *et al.*: Indirect evidence for a strict negative control of S-adenosyl-L-methionine decarboxylase by spermidine in rat hepatoma cells. *Biochem J* **196**(2): 411-22, 1981.
- 80) Bestor, T., *et al.*: Cloning and sequencing of a cDNA encoding DNA methyltransferase of mouse cells. The carboxyl-terminal domain of the mammalian enzymes is related to bacterial restriction methyltransferases. *J Mol Biol* **203**(4): 971-83, 1988.
- 81) Garcea, R., *et al.*: Protooncogene methylation and expression in regenerating liver and preneoplastic liver nodules induced in the rat by diethylnitrosamine: effect of variations of S-adenosylmethionine:S-adenosylhomocysteine ratio. *Carcinogenesis* **10**(7): 1183-92, 1989.
- 82) Hashimoto, H., Vertino, P.M., and Cheng, X.: Molecular coupling of DNA methylation and histone methylation. *Epigenomics* **2**(5): 657-69, 2010.
- 83) Kangaspeska, S., *et al.*: Transient cyclical methylation of promoter DNA. *Nature* **452**(7183): 112-5, 2008.
- 84) Kim, S.H., *et al.*: Differential DNA methylation reprogramming of various repetitive sequences in mouse preimplantation embryos. *Biochem Biophys Res Commun* **324**(1): 58-63, 2004.
- 85) Christman, J.K., *et al.*: Reversibility of changes in nucleic acid methylation and gene expression induced in rat liver by severe dietary methyl deficiency. *Carcinogenesis* **14**(4): 551-7, 1993.
- 86) Bhave, M.R., Wilson, M.J., and Poirier, L.A.: c-H-ras and c-K-ras gene hypomethylation in the livers and hepatomas of rats fed methyl-deficient, amino acid-defined diets. *Carcinogenesis* **9**(3): 343-8, 1988.
- 87) Zapisek, W.F., *et al.*: The onset of oncogene hypomethylation in the livers of rats fed methyl-deficient, amino acid-defined diets. *Carcinogenesis* **13**(10): 1869-72, 1992.
- 88) Pogribny, I.P., *et al.*: Breaks in genomic DNA and within the p53 gene are associated with hypomethylation in livers of folate/methyl-deficient rats. *Cancer Res* **55**(9): 1894-901, 1995.
- 89) Dizik, M., Christman, J.K., and Wainfan, E.: Alterations in expression and methylation of specific genes in livers of rats fed a cancer promoting methyl-deficient diet. *Carcinogenesis* **12**(7): 1307-12, 1991.
- 90) Vanyushin, B.F., Tkacheva, S.G., and Belozersky, A.N.: Rare bases in animal DNA. *Nature* **225**(5236): 948-9, 1970.
- 91) Romanov, G.A. and Vaniushin, B.F.: [Intragenomic specificity of DNA methylation in animals. Qualitative differences in tissues and changes in methylation of repeating sequences during aging, carcinogenesis and hormonal induction]. *Mol Biol (Mosk)* **14**(2): 357-68, 1980.
- 92) Vanyushin, B.F., *et al.*: The 5-methylcytosine in DNA of rats. Tissue and age specificity and the changes induced by hydrocortisone and other agents. *Gerontologia* **19**(3): 138-52, 1973.
- 93) Wilson, V.L., *et al.*: Genomic 5-methyldeoxycytidine decreases with age. *J Biol Chem* **262**(21): 9948-51, 1987.
- 94) Golbus, J., Palella, T.D., and Richardson, B.C.: Quantitative changes in T cell DNA methylation occur during differentiation and ageing. *Eur J Immunol* **20**(8): 1869-72, 1990.
- 95) Wallace, K., *et al.*: Association between folate levels and CpG Island hypermethylation in normal colorectal mucosa. *Cancer Prev Res (Phila)* **3**(12): 1552-64, 2010.
- 96) Issa, J.P., *et al.*: Methylation of the oestrogen receptor CpG island links ageing and neoplasia in human colon. *Nat Genet* **7**(4): 536-40, 1994.
- 97) Issa, J.P., *et al.*: Switch from monoallelic to biallelic human IGF2 promoter methylation during aging and carcinogenesis. *Proc Natl Acad Sci U S A* **93**(21): 11757-62, 1996.
- 98) Minois, N., Carmona-Gutierrez, D., and Madeo, F.: Polyamines in aging and disease. *Aging (Albany NY)* **3**(8): 716-32, 2011.
- 99) Oliveira, A.M., Hemstedt, T.J., and Bading, H.: Rescue of aging-associated decline in Dnmt3a2 expression restores cognitive abilities. *Nat Neurosci* **15**(8): 1111-3, 2012.
- 100) Lopatina, N., *et al.*: Differential maintenance and de novo methylating activity by three DNA methyltransferases in aging and immortalized fibroblasts. *J Cell Biochem* **84**(2): 324-34, 2002.
- 101) Romanenko, E.B., Demidenko, Z.N., and Vanyushin, B.F.: RNA-polymerase, DNA-polymerase, DNA-methyltransferase and sphingomyelinase activities in liver nuclei of rats of different Age. *Biochemistry (Moscow)* **63**(2): 159-63, 1998.
- 102) Morgan, H.D., *et al.*: Epigenetic reprogramming in mammals. *Hum Mol Genet* **14** Spec No 1: R47-58, 2005.

- 103) Li, Y., *et al.*: Age-dependent decreases in DNA methyltransferase levels and low transmethylation micronutrient levels synergize to promote overexpression of genes implicated in autoimmunity and acute coronary syndromes. *Exp Gerontol*, **45**(4): 312-22, 2010.
- 104) Ushijima, T. and Okochi-Takada, E.: Aberrant methylations in cancer cells: where do they come from? *Cancer Sci* **96**(4): 206-11, 2005.
- 105) Maegawa, S., *et al.*: Age-related epigenetic drift in the pathogenesis of MDS and AML. *Genome Res* (doi: 10.1101/gr.157529.113), 2014.
- 106) Borghini, A., *et al.*: DNA modifications in atherosclerosis: from the past to the future. *Atherosclerosis* **230**(2): 202-9, 2013.
- 107) Nishimura, K., *et al.*: Effects of dietary polyamine deficiency on Trypanosoma gambiense infection in rats. *Exp Parasitol* **97**(2): 95-101, 2001.
- 108) Jafarnejad, A., *et al.*: Effect of spermine on lipid profile and HDL functionality in the streptozotocin-induced diabetic rat model. *Life Sci* **82**(5-6): 301-7, 2008.
- 109) Shih, D.M., *et al.*: Mice lacking serum paraoxonase are susceptible to organophosphate toxicity and atherosclerosis. *Nature* **394**(6690): 284-7, 1998.
- 110) Sjöholm, A.: Effects of secretagogues on insulin biosynthesis and secretion in polyamine-depleted pancreatic beta-cells. *Am J Physiol* **270**(4 Pt 1): C1105-10, 1996.
- 111) Welsh, N.: A role for polyamines in glucose-stimulated insulin-gene expression. *Biochem J* **271**(2): 393-7, 1990.
- 112) Mendez, J.D. and Hernandez Rde, H.: L-arginine and polyamine administration protect beta-cells against alloxan diabetogenic effect in Sprague-Dawley rats. *Biomed Pharmacother* **59**(6): 283-9, 2005.
- 113) Persson, L.: Polyamine homeostasis. *Essays Biochem* **46**: 11-24, 2009.
- 114) Casero, R.A. and Pegg, A.E.: Polyamine catabolism and disease. *Biochem J*, **421**(3): 323-38, 2009.
- 115) Kee, K., *et al.*: Activated polyamine catabolism depletes acetyl-CoA pools and suppresses prostate tumor growth in TRAMP mice. *J Biol Chem* **279**(38): 40076-83, 2004.
- 116) Jell, J., *et al.*: Genetically altered expression of spermidine/spermine N1-acetyltransferase affects fat metabolism in mice via acetyl-CoA. *J Biol Chem* **282**(11): 8404-13, 2007.
- 117) Pirinen, E., *et al.*: Activated polyamine catabolism leads to low cholesterol levels by enhancing bile acid synthesis. *Amino Acids* **38**(2): 549-60, 2010.
- 118) Koponen, T., *et al.*: The activation of hepatic and muscle polyamine catabolism improves glucose homeostasis. *Amino Acids* **42**(2-3): 427-40, 2012.
- 119) Niiranen, K., *et al.*: Mice with targeted disruption of spermidine/spermine N1-acetyltransferase gene maintain nearly normal tissue polyamine homeostasis but show signs of insulin resistance upon aging. *J Cell Mol Med* **10**(4): 933-45, 2006.
- 120) Potter, S.M.: Soy protein and cardiovascular disease: the impact of bioactive components in soy. *Nutr Rev* **56**(8): 231-5, 1998.
- 121) Wilcox, J.N. and Blumenthal, B.F.: Thrombotic mechanisms in atherosclerosis: potential impact of soy proteins. *J Nutr* **125**(3 Suppl): 631S-638S, 1995.
- 122) Suzuki, Y., *et al.*: Dietary supplementation with fermented soybeans suppresses intimal thickening. *Nutrition* **19**(3): 261-4, 2003.
- 123) Suzuki, Y., *et al.*: Dietary supplementation of fermented soybean, natto, suppresses intimal thickening and modulates the lysis of mural thrombi after endothelial injury in rat femoral artery. *Life Sci* **73**(10): 1289-98, 2003.
- 124) Pakala, R.: Inhibition of arterial thrombosis by polyamines in a canine coronary artery injury model. *Thromb Res* **110**(1): 47-51, 2003.
- 125) de la Pena, N.C., *et al.*: Inhibition of platelet aggregation by putrescine, spermidine, and spermine in hypercholesterolemic rabbits. *Arch Med Res* **31**(6): 546-50, 2000.
- 126) Soda, K., Kano, Y., and Chiba, F.: Food polyamine and cardiovascular disease--an epidemiological study. *Glob J Health Sci* **4**(6): 170-8, 2012.
- 127) Binh, P.N.T., Soda, K., and Kawakami, M.: Mediterranean diet and polyamine intake: possible contribution of increased polyamine intake to inhibition of age-associated disease. *Nutrition and Dietary Supplements* **3**: 1 - 7, 2011.
- 128) Binh, P.N.T., Soda, K., and Kawakami, M.: Gross domestic product and dietary pattern among 49 western countries with a focus on polyamine intake. *Health* **2**(11): 1327-34, 2010.
- 129) Binh, P.N.T., *et al.*: Relationship between food polyamines and gross domestic product in association with longevity in Asian countries. *Health* **2**(12): 1390-6, 2010.

外国産チーズに含まれるアミン類

須見 洋行 (SUMI Hiroyuki)¹ 永田 祥平 (NAGATA Shohei)¹ 瀬良田 充 (SERATA mitsuru)¹
大杉 忠則 (OHSUGI Tadanori)¹ 内藤 佐和 (NAITO Sawa)¹ 矢田貝 智恵子 (YATAGAI Chieko)²

¹ 倉敷芸術科学大学 生命科学部生命科学科

² 倉敷芸術科学大学 生命科学部健康科学科

Key Words : ポリアミン 発酵食品 チーズ 輸入品 ヤギ乳チーズ

はじめに

腸内での老化物質の産生により寿命はある程度決まっていると考えられているが、無菌状態で動物を飼育すると約 1.5 倍も長生きすること等、腸内フローラと老化の関係は興味深い。また、最近注目すべきは腸内細菌により合成されるポリアミン (プトレシン, スペルミン, スペルミジン) であろう¹⁾ (図 1)。ポリアミン含量は加齢とともに減少するが、ポリアミンが入った餌を食べたマウスは食べなかったものと比べ著しく長生きすることが明らかにされている。

ヒト腸内細菌により産生される物質には、アンモニア, カダベリン, アグマチン, ヒスタミ

ン (図 2), チラミン, 硫化水素等がある。これらは、他の物質と反応するとニトロソアミンのような発がん物質までも形成してしまうが、血圧上昇あるいは降下, 食欲抑制, 記憶学習能力の向上などの生理作用もあり、その量によっては、毒とも機能性成分ともなりうる。

アミン類は、発酵食品中に多く存在するが、ポリアミンに関しては、日本の納豆に多く含まれていることが報告されており、これを 1 日 50 ~ 100 g 摂取すれば若返るといわれている²⁾。今回、世界的に食される発酵食品のチーズ、特に消費量が増加している外国産チーズを中心にアミン量を測定した。また、ヤギ乳チーズの作製過程におけるポリアミン量の測定

を行う機会を得ることができたので、発酵日数によるポリアミン含量の変化について併せて報告する。

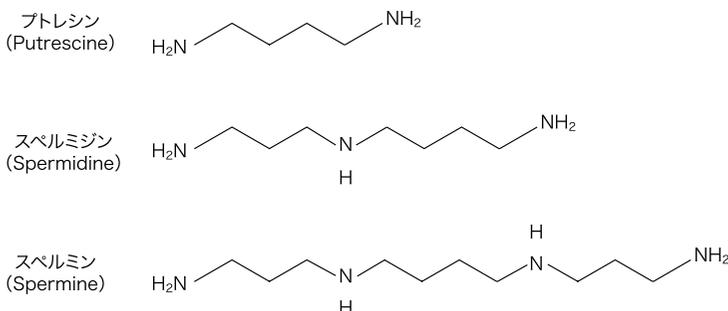


図 1 代表的なポリアミン

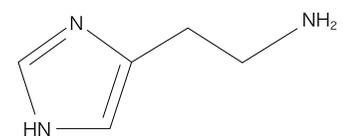


図 2 ヒスタミン (Histamine)

1. 実験材料および方法

市販の国産チーズは、プロセスチーズ2種およびナチュラルチーズ3種類を購入した。また、外国産チーズは14種類（①ゴータチーズ、②フルムダンベール、③ミモレット、④ブルードヴェルニ、⑤レッドチェダー、⑥パルミジャーノ、⑦タレツジョ、⑧フォレストスモークプレーン、⑨マンチェゴ、⑩フォンティーナ DOP、⑪ブリー、⑫レッジャーノヴァツケロッセ、⑬グリエール・アルパージュ、⑭ソブラーノ）（表1）を購入した。また、平成21年～24年の全国納豆鑑評会で受賞した納豆のうち各社より提供された49製品を比較として用いた。ヤギ乳チーズは、New England Cheesmaking社の種菌を用いて、蒜山ラッテバンビーノ（岡山）に作製を依頼した。

1-1. アミンの測定³⁾

サンプル1 ml (1 g) に5% トリクロロ酢酸4 ml 加え、10分間ホモジナイズ後、イオン交換水で総量10 ml にしたものを遠心分離（3000 rpm, 5分, 20℃）した。上清を濾紙 No.5B でろ過し、ろ液1 ml に内部標準液 (Det) 0.5 ml を加え、水酸化ナトリウム水溶液でpH 5.6～7.4 に調整後、0.1 M 酢酸緩衝液 (pH 5.6) で総量

5 ml にした。イオン交換樹脂（アンバーライト CG-50）は1日水に浸漬したものを、カラムに充填し、流速1滴/5秒間で、0.1 M 酢酸緩衝液 (pH 5.6) 6 ml, サンプル5 ml, 0.1 M 酢酸緩衝液 (pH 5.6) 10 ml, イオン交換水5 ml の順で、イオン交換を行った。その後、0.1 N 塩酸5 ml で溶出し、溶出液0.2 ml を真空乾燥（60分間, 50℃）後、残渣を0.05 M 塩酸0.2 ml で溶解し、フィルターろ過したものをHPLC測定サンプルとした。

1-2. HPLC

HPLCによるポリアミンの分析は、カラムにShodex Asahipak ODP-50 4D (4.6 mm × 150 mm) を用い、50 mM ホウ酸ナトリウム緩衝液 (pH 9.9) : アセトニトリル (2 mM OPA 及び 2 mM NAC を含む) (77:23) を移動相とした。還元蛍光発色法にて励起波長330 nm, 蛍光波長430 nm, カラム温度40℃, 流速0.5 ml/min で測定を行った。なお、標準品としてヒスタミン (Him), チラミン (Tym), プトレシン (Put), スペルミジン (Spd), スペルミン (Spm), カダベリン (Cad) を用い（図3）, ピーク面積から100 g (wet wt.) の各種アミン量を算出した。

表1 外国産チーズのアミン含量 (mg/100g wet wt.)

	原産国	Him	Tym	Put	Spd	Spm	Cad
① ゴータチーズ (60ヶ月)	オランダ	13.74	0.05	0.01	0.03	1.08	0.16
② フルムダンベール	フランス	26.63	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10
③ ミモレット (18ヶ月)	フランス	10.47	0.02	0.69	0.16	1.44	0.25
④ ブルードヴェルニ	フランス	34.02	0.20	0.00	0.00	1.41	0.28
⑤ レッドチェダー (12ヶ月)	イギリス	22.67	0.00	0.00	0.00	1.10	0.20
⑥ パルミジャーノ (36ヶ月)	イタリア	3.66	0.00	0.00	0.00	0.92	0.32
⑦ タレツジョ DOP (1.3ヶ月)	イタリア	0.00	0.27	0.06	0.00	1.14	0.27
⑧ フォレストスモークプレーン	フランス	0.00	1.18	0.00	0.00	0.52	0.75
⑨ マンチェゴ (12ヶ月)	スペイン	5.64	0.00	0.17	0.00	1.10	0.18
⑩ フォンティーナ	イタリア	31.49	4.86	0.00	0.00	1.33	0.30
⑪ ブリー	フランス	3.76	0.14	0.00	0.00	0.00	13.70
⑫ レッジャーノヴァツケロッセ	イタリア	20.81	0.00	0.00	0.00	1.39	0.27
⑬ グリエール・アルパージュ	スイス	16.15	5.71	0.00	0.00	1.22	1.78
⑭ ソブラーノ (18ヶ月)	イタリア	3.24	0.00	0.00	0.00	1.51	0.26

() 内は商品に表示されていた熟成期間を示す。

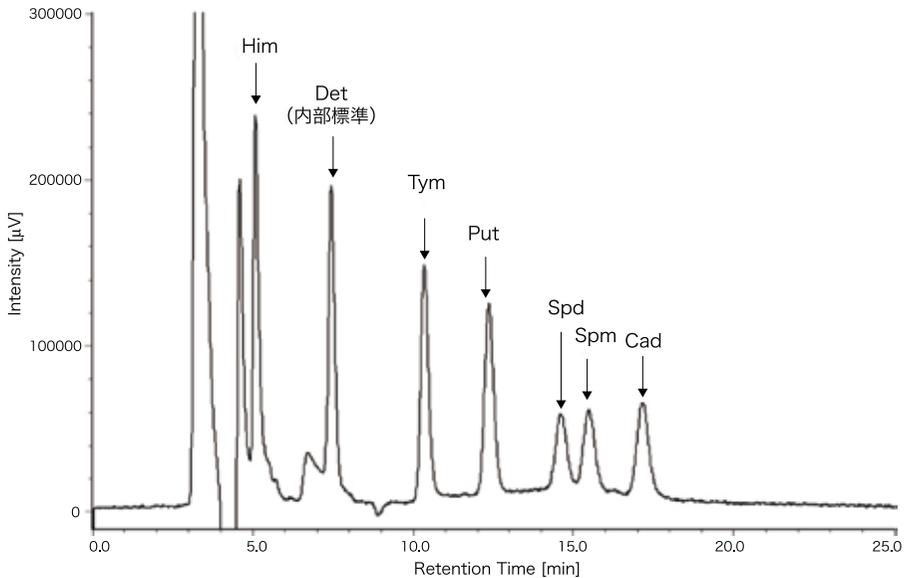


図3 アミン標準品の HPLC パターン

2. 結果

各種チーズのアミン量を測定した結果、国産チーズ5種のポリアミン含量は0.02～1.92 mgであったのに対し、外国産チーズ14種は0.00～2.29 mgであり、中でもスペルミンの割合が高かった(図4, 表1)。いずれも高ポリアミン食といわれる納豆(5.63 ± 2.90 mg; N=49)に対し低かった。

外国産のチーズについてはヒスタミン、チラミンの多いものが目立ち、④、⑩あるいは②では約30 mgのヒスタミン、また⑬、⑩では5 mgのチラミンが検出された。なお、納豆中のヒスタミン、チラミン、カダベリンの濃度は低かった(各0.01 mg/100 g (wet wt.) 以下)。

次に、ヤギ乳チーズの作製過程におけるポリアミン量を調べたところ、発酵3日で1.13 mg、7日で0.82 mg、2週間で0.82 mg、3週間で8.68 mg、6週間で223.41 mgであった。これは納豆のポリアミン量の約36倍であった。中でもスペルミンに関しては、発酵3週間で7.93 mgであったのに対し、発酵6週間では218.93 mgと著しく高くなっていった(図5, 6)。

3. 考察

チーズの消費量は年々増加しているが、特に外国産チーズはワインブームなどにより、20年前と比べて約2～3倍であり、我々日本人にとっても非常に身近な食品となっている。

外国におけるナチュラルチーズのヒスタミンおよびチラミンについては多くの報告があるが、ポリアミンについての報告は少ない。ヒスタミンに関する基準は、Codexでは一般に100 g中に10 mg以下という基準値が設定されているが、我が国においては設定されていない(表2)⁴⁾。

代表的なチーズの含有量⁵⁾はヒスタミンで0～260 mg/100 g、チラミンで0～217 mg/100 gであるが、国産チーズでは検出されず、外国産チーズではヒスタミン、チラミンが多く含まれるものがあった。

外国産チーズのポリアミン量は納豆に比べると少なかったが、その存在が確認された。

また、ヤギ乳チーズ発酵過程において、6週間の長期発酵ではポリアミンの著しい増加が認められたことなどから、使用する微生物、発酵条件、保存状態によりアミン類の産生量が増える可能性が示唆された。

このように発酵食品には比較的多くのアミン

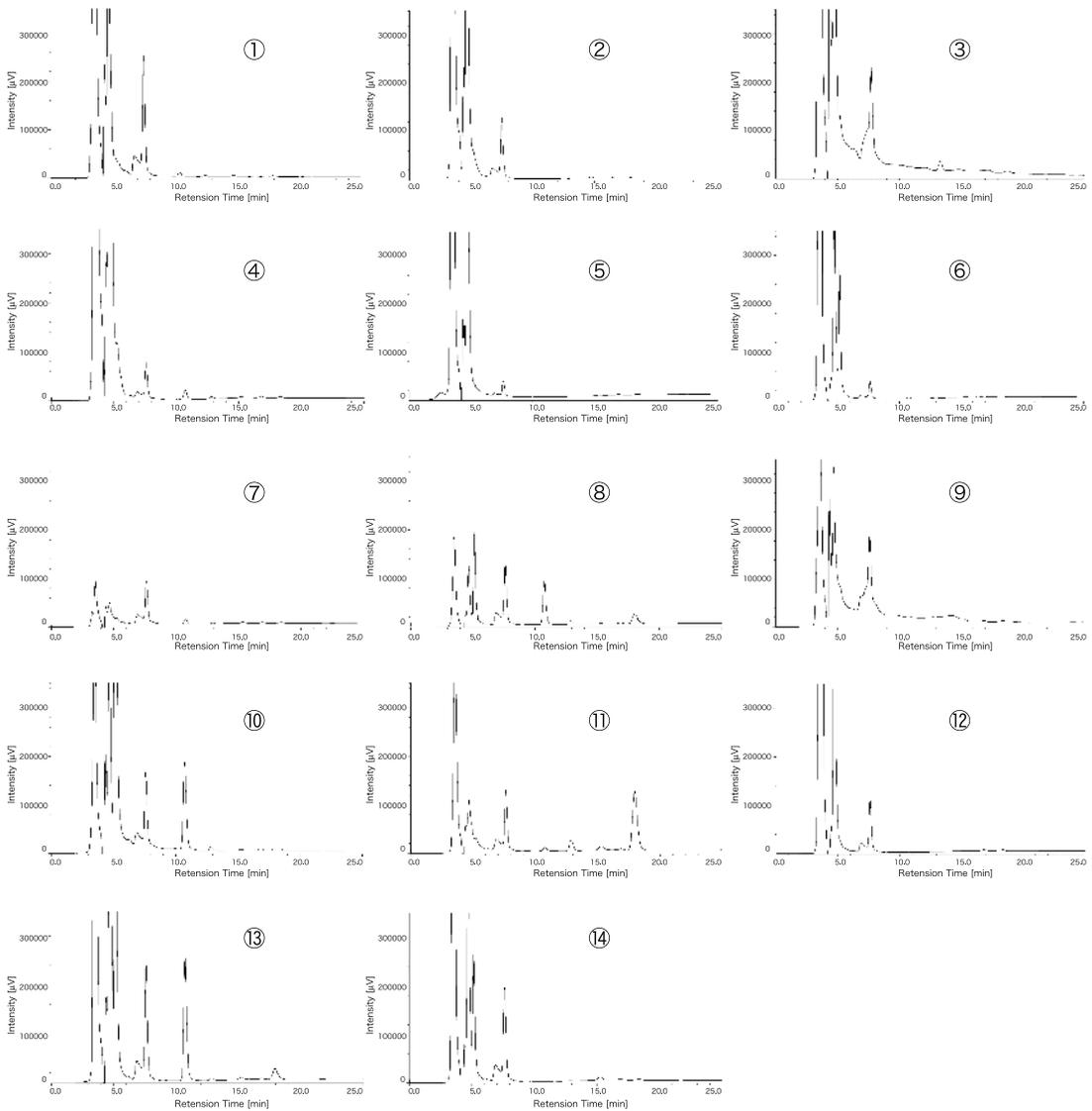


図4 外国産チーズのHPLCパターン



図5 ヤギ乳チーズ

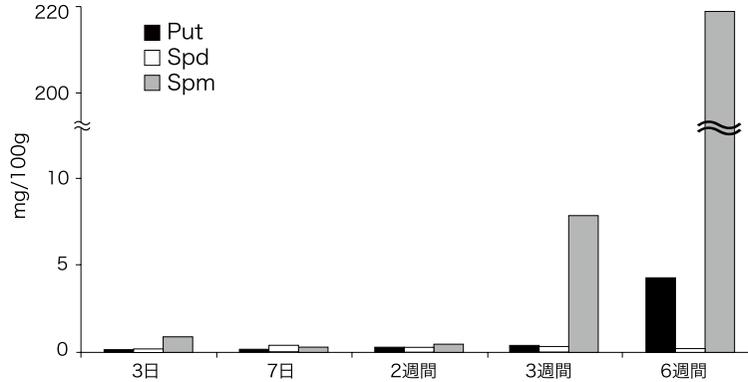


図6 ヤギ乳チーズのポリアミン含量

表2 ヒスタミン濃度に関するコーデックスおよび各国の基準

Codex	<ul style="list-style-type: none"> Decomposition (腐敗基準) 魚の種類: Clupeidae, Scombridae, Scombrosocidae, Pomatomidae, Coryphaenidae 等 通常のサンプリングでヒスタミン濃度の平均値が 10 mg/100 g を超えないこと Hygiene and Handling (衛生及び取扱基準) 魚の種類: Clupeidae, Scombridae, Scombrosocidae, Pomatomidae, Coryphaenidae 等 ヒスタミン濃度が 20 mg/100 g を超えないこと
EC	<ul style="list-style-type: none"> ヒスタジンを多く含む種類の魚 (Scombridae, Clupeidae, Engraulidae, Coryfenidae, Pomatomidae, Scombrosocidae 等) の製品 9 検体を HPLC で検査して次の 3 点を満たすこと 1) ヒスタミン測定値の平均値が 100 mg/kg 以下である 2) 2 検体の最大値が 100 ~ 200 mg/kg の範囲内である 3) いずれの検体も 200 mg/kg を超えない ヒスタジンを多く含む種類の魚 (Scombridae, Clupeidae, Engraulidae, Coryfenidae, Pomatomidae, Scombrosocidae 等) を塩水中で発酵させた水産品 9 検体を HPLC で検査して次の 3 点を満たすこと 1) ヒスタミン測定値の平均値が 200 mg/kg 以下である 2) 2 検体の最大値が 200 ~ 400 mg/kg の範囲内である 3) いずれの検体も 400 mg/kg を超えない
米国	<ul style="list-style-type: none"> 腐敗 (マグロ, マヒマヒ) 少なくとも 2 検体でヒスタミン濃度が 50 ppm 以上 腐敗 (マグロ, マヒマヒ以外の魚) 少なくとも 2 検体で 50 ~ 500 ppm 健康へ有害影響 1 検体が 500 ppm 以上
カナダ	<ul style="list-style-type: none"> 発酵製品 (例: アンチョビ, アンチョビペースト, 魚醤 (Fish sauce)) 20 mg/100 g 他の全ての scombroid fish products (例: 缶詰, 生または冷凍のマグロ, サバ, マヒマヒ) 10 mg/100 g (ただし, 50 mg/100 g を超えた検体はいずれも違反とされ, 再検査も受けられない)
Food Standards Australia New Zealand (FSANZ)	魚または魚製品はヒスタミン濃度が 200 mg/kg を超えてはならない

類が含まれ、その中には人にとって不都合なものもあることから、量的面に注意する必要がある。しかし、長い食経験があることから安全性は担保されており、今後、さらに研究が進み、発酵食品が長寿社会の一助になることを期待する。

[謝辞]

納豆は平成 21 年度～ 24 年度の全国納豆協同組合連合会主催の鑑評会受賞製品のうち、各社より提供されたものであり、紙面を借りて深謝いたします。

参考文献

1. M. Serata, T. Ohsugi, K. Yoshida, M. Imai, M. Maruyama and H. Sumi,: Functional components of Non-Salted Fermentation Soybean: Nattokinase, vitamin K₂, and polyamine, *J. Tempe Soc. Jpn.*, **10**: 1-11, 2014.
2. K. Soda, Y. Kano, M. Sakuragi, K. Takaom, A. Lefor, F. Konishi,: Long-term oral polyamine intake increases blood polyamine concentrations, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **55**: 361-366, 2009.
3. K. Saito, M. Horie, N. Nose, K. Nakagomi and H. Nakazawa,: Determination of polyamines in foods by liquid chromatography with on-column fluorescence derivatization, *Anal. Sci.*, **8**: 675-680, 1992.
4. 登田 美桜, 山本 都, 畝山 智香子, 森川 馨: 国内外におけるヒスタミン食中毒. *Bull. Natl. Inst. Health Sci.*, **127**: 31-38, 2009.
5. 井部 明広: 発酵食品に含まれるアミン類. 東京健安研セ年報, **55**: 13-22, 2004.

低コスト GABA 含有液の製造法と食品への利用

遠藤 千絵 (MATSUURA-ENDO Chie) 鈴木 達郎 (SUZUKI Tatsuro)
瀧川 重信 (TAKIGAWA Shigenobu) 野田 高弘 (NODA Takahiro)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

Key Words : GABA 製造技術 コスト低減 モヤシ 機能性食品 トクホ 商品開発

1. GABA とは？

GABA (γ -アミノ酪酸, ギャバ) はグルタミン酸が脱炭酸してできる非タンパク質性アミノ酸 (図 1) で、発芽玄米等に多く含まれる。ヒトが摂取した場合に血圧を下げる効果やリラククス効果があるとされ^{1,2)}、近年注目の機能性成分のひとつである。このためトクホ取得の飲料、チョコレート等の菓子、しょうゆなど多くの食品に GABA が添加され、GABA 含有食品として市場流通している。これらの原料となる GABA は、微生物による発酵法で製造されたものがほとんどであり、価格は GABA1kg あたり 4 ~ 11 万円程度と非常に高価である。GABA を幅広い食品に応用するため、筆者らは小麦胚芽に含まれる GABA 合成酵素を用いて、グルタミン酸から GABA を低コストに製造する方法を新たに開発した^{3,4)}。本稿ではこれら製造法と食品への利用について簡単に解説する。

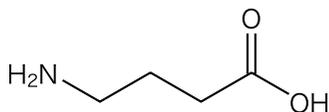


図 1 GABA の構造式

2. GABA の低コスト製造法とその特徴

微生物による発酵法で GABA を製造する場合、培養のための設備が必要であり、また製造に時間がかかる⁵⁻⁷⁾。今回新たに開発した GABA 製造法は、発酵過程を必要としないことが大きな特徴である。培養設備が不要であり、製造時間も短時間であることから低コスト化が可能となっている。具体的には、反応容器に水、小麦胚芽、グルタミン酸ナトリウム、補酵素のピリドキサルリン酸等の原料を入れ、温度と pH を一定に保ちながら液を混ぜることで GABA を製造する (図 2)^{3,4)}。小麦胚芽に含まれる「グルタミン酸脱炭酸酵素」が、グルタミン酸から二酸化炭素を取り外すことで GABA が合成されるが、この反応により原料中のグルタミン酸のほぼすべてが GABA に変化する。原料はすべて食品添加物や食品として流通しているグレードを用いている。「グルタミン酸脱炭酸酵素」は、小麦胚芽以外にも、米糠、カボチャ、柑橘類など、植物に広く存在するが、中でも小麦胚芽は高いグルタミン酸脱炭酸酵素活性を持つことがわかり、本製造法に採用した。小麦胚芽は、大規模な製粉工場では製

連絡先：〒 082-0081 北海道河西郡芽室町新生南 9 線 4 番地
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター
遠藤 千絵
E-mail : mechie@affrc.go.jp

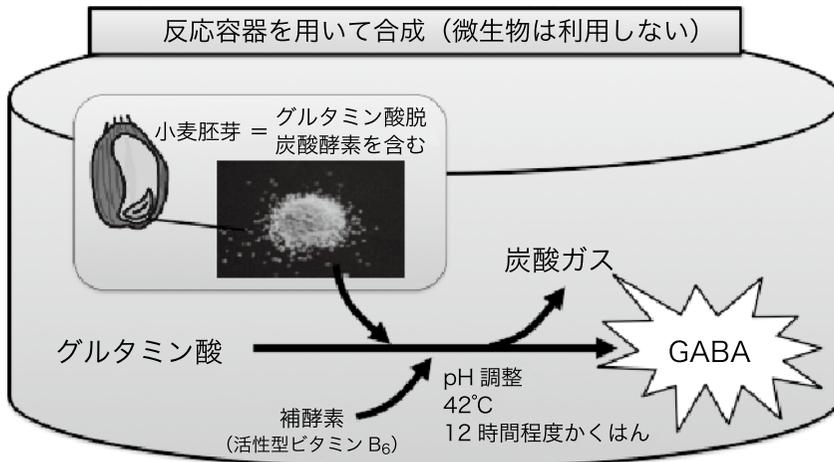


図2 小麦胚芽を利用した GABA の合成反応の模式図

粉過程で大量に産出されるため、機能性物質抽出原料等の用途があるが、道内の中小企業では採算ベースに乗るほどの量が集まらず、産業廃棄物として処理されることが多い。この点からも本技術による GABA 製造は小麦胚芽の新たな用途として期待できる。

本技術の開発過程で最も大きな課題となったのは、反応槽の上部に生じる厚い泡への対処であった。GABA 合成反応はグルタミン酸の脱炭酸反応のため、大量の二酸化炭素が生成し激しく発泡する(図3)。反応を効率的に行うためには補酵素を反応液へ連続的に自動投入し続ける必要があるが、補酵素は固体のため、この泡の層にさえぎられ反応液へうまく投下しないことが判明した。検討を続け、補酵素を低 pH リン酸溶液中に溶かして安定化し、その液をチューブで直接反応液へ供給するシステムを構築した。これにより反応行程の自動化が実現できた。その後、原料の最適投入比率や製造後の保存性などを検討し、現在では 12% (w/v) と高濃度の GABA 含有液の製造が可能となり、保存性についても GABA 含有液に終濃度 7.5% 程度のエタノールを加えることで、少なくとも 6 ヶ月は一般性菌・大腸菌群が陰性で室温での保存が可能となった。開発した GABA 含有液の機能性について、高血圧自然発症ラットへの



図3 GABA 合成反応中の反応槽上部の発泡現象

単回投与試験にて検証したところ、投与量依存的な血圧降下作用があり、その程度は試薬(純品)の GABA と同じであることが明らかとなった(図4)。

3. GABA 含有液の食品への利用

3-1. GABA 高含有モヤシ

植物は主に根から養分を吸収するが、最近の研究では GABA 等の比較的高分子の物質も吸収し体内に高濃度に蓄積することが明らかになってきた⁸⁾。この特性を利用することで、例えばモヤシ等に高濃度に機能性物質を蓄積させることができると考えられる。しかし従来の発酵法によって製造された GABA は高価であるため、モヤシなどへの応用はコスト面が高いハードルとなっていた。本技術で商品化された GABA 含有液は、従来の市販 GABA と比較し 3 分の 1 程度と低価格のため、モヤシへ

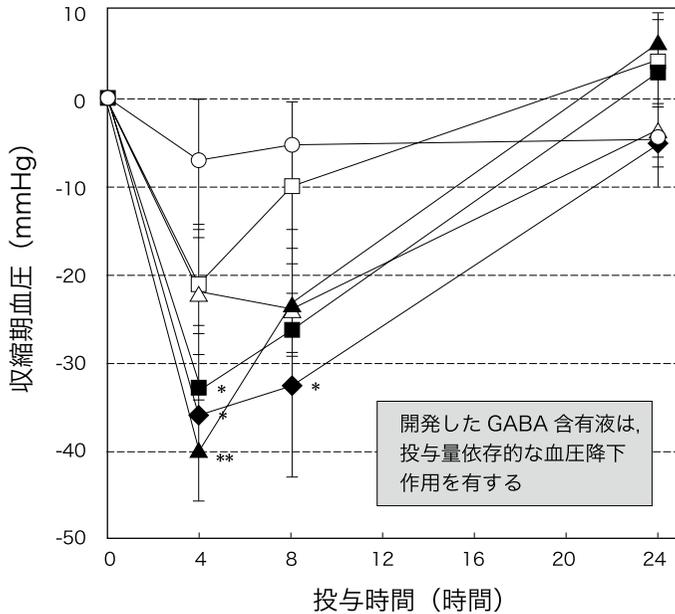


図4 GABA 含有液の血圧降下作用の検証

高血圧自然発症ラットを用いての単回投与試験。

○：ネガティブコントロール（GABA 投与量（mg/kg）：0），

□：試薬 GABA（同：0.8），△：GABA 含有液（同：0.8），

■：GABA 含有液（同：0.6）+ 試薬 GABA（同：0.6），

▲：試薬 GABA（同：1.2），◆：GABA 含有液（同：1.2）

* はネガティブコントロールと比較し統計的に有意な差があることを示す。

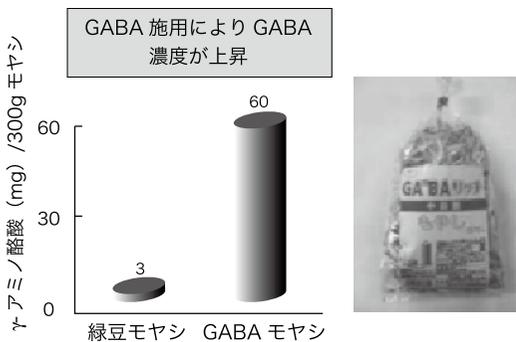


図5 GABA 高含有モヤシの GABA 含量と製品化例

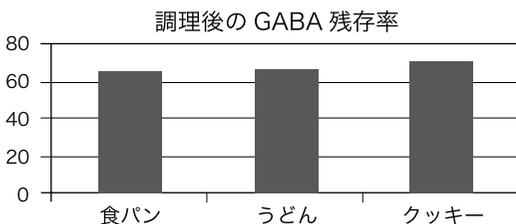


図6 GABA 含有液を配合した食パン、うどん、クッキーにおける調理後の GABA 残存率 (%)

の応用が可能となり、この技術を利用して現在、北海道十勝地域で GABA 高含有モヤシが商品化された。この GABA 高含有モヤシは、通常の緑豆モヤシの 20 倍程度の GABA：100 g モヤシあたり 20 mg 程度を含有する（図5）。技術的には更に高濃度の GABA を蓄積させることも可能である。GABA 高含有モヤシ中の GABA 含量は、賞味期限内では大きく減少することはない、また野菜炒めや味噌汁などに調理した後もほとんど減少しないことがわかっている。消費者にとって、普段の生活に密着した品目のモヤシから簡単に GABA を摂取できるというメリットがあると考えている。また、モヤシは差別化が難しい品目とされているが、GABA を強化することで客観的な付加価値を付与することができる。モヤシの他に、レタス・ニラ・ベビーリーフ等の野菜⁸⁾、キノコ⁹⁾、発芽穀物¹⁰⁾ においても GABA を強化することが可能で、今後はこれらの実用化にも期待したい。

3-2. 他の食品への応用

開発した GABA 含有液は、食品副原料としての利用も可能である。筆者らが食パン、うどん、クッキーに GABA 含有液を配合し試作したところ、調理後も添加量の 60% 以上の GABA が残存していることがわかった（図6）。GABA 含有液の配合量を適切に調節することで、味・におい・食感などを変化させず、食品 100 g あたり数十 mg の GABA を含有させることができた。また、トマトジュースなどの飲料への応用も検討している。今後は、これら GABA 強化食品をヒトが摂取した場合の効果について検証し機能性を評価していきたいと考えている。

現在のところ、開発した GABA は液体品だ

が、予備試験の結果、低コストに粉末化できることがわかってきた。粉末化により、さらに長期間の保存が可能となり、また用途によってはハンドリング面が向上することから、今後の

実用化に期待している。今後は GABA 高含有モヤシ、野菜等に加え、本技術をパン・麺・菓子・飲料等の分野においても実用化をすすめてゆき、普及拡大を目指したいと考えている。

参考文献

1. Takahashi, H., Tiba, M., Iino, M. *et al.*: The effect of gamma aminobutyric-acid on blood pressure. *Jpn. J. Physiol.*, **5**: 334-341, 1955.
2. 藤林 真美, 神谷 智康, 高垣 欣也 他: GABA 経口摂取による自律神経活動の活性化. 日本栄養・食料学会誌, **61**: 129-133, 2008.
3. 瀧川 重信, 大笹 稿, 鈴木 達郎 他: 小麦胚芽を用いた γ -アミノ酪酸の効率的製造法. 日本食品科学工学会誌, **56**: 114-117, 2009.
4. 山内 宏昭, 瀧川 重信, 鈴木 達郎 他: γ -アミノ酪酸の効率的生産方法. 特許第 5252412 号, 2013.
5. 早川 潔, 上野 義栄: 発酵食品の製造方法. 特許第 2704493 号, 1997.
6. Yokoyama, S., Hiramatsu, J.I. and Hayakawa, K.: Production of γ -aminobutyric acid from alcohol distillery lees by *Lactobacillus brevis* IFO-12005. *J. Biosci. Bioeng.*, **93**: 95-97, 2002.
7. 広瀬 直人, 氏原 邦博, 照屋 亮 他: γ -アミノ酪酸 (GABA) を増強したサトウキビ乳酸発酵飲料の開発, 食科工, **55**: 209-214, 2008.
8. 鈴木 達郎, 山内 宏昭, 瀧川 重信 他: GABA を高濃度に含有する食用植物体及びその製造方法. 特許第 4635159 号, 2010.
9. 鈴木 達郎, 山内 宏昭, 瀧川 重信 他: GABA および/またはタウリンを含有する土耕栽培野菜およびキノコ, 並びにそれらの製造方法. 特許第 4982829 号, 2012.
10. 遠藤 千絵, 山内 宏昭, 瀧川 重信 他: GABA, タウリン高含有発芽種子及びその製造方法, 並びに食品の製造方法. 特開 2011-103801, 2011.

かび毒産生調節機構の解明 デオキシニバレノールの低減化に向けて

岩橋 由美子 (IWAHASHI Yumiko) 鈴木 忠宏 (SUZUKI Tadahiro)

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 : *Fusarium asiaticum* アグマチン デオキシニバレノール (DON)

はじめに

日本では、麦類の生育期の後半が梅雨に差し掛かり、年によっては大雨が降る事もある。赤かび病は水分が多い所では簡単に広がる麦類に多い病態であり、フザリウムに代表される病原菌群がさまざまなトリコテセン系かび毒を産生することで問題になる^{1,2)}。トリコテセン系かび毒とはトリコテセン骨格を共通骨格とするかび毒であり、トリコテセンはC-12,13にエポキシ環、C-9,10に二重結合を有する特徴的な4環構造をもつ化合物である。側鎖の違いにより現在100種類以上が知られている。トリコテセン系かび毒は、その構造によりタイプA～Dに分類されているが、本稿ではタイプBに分類され、C-8にカルボニル基を有するデオキシニバレノール(DON)を取り上げる。同じBグループには、他にニバレノール(NIV)やフザレノン-X(FX)などが含まれる。トリコテセン系かび毒の毒性はおおむね共通しており、主として消化器系や免疫機能に与える影響が大きいとされている。穀物の汚染は、人や経済動物が摂取した際に下痢、嘔吐、胃腸炎、骨髄及びリンパ組織の壊死など広範な毒性作用を現し、大きな問題となる。DONの毒性はたんぱく質合成やDNA、RNA合成及びミトコンドリア機能の阻害、細胞膜への影響等であるとされている³⁾。

梅雨時の降雨の他、冬期においても土壌や作

物残さ中に残存出来る気候条件がそろうと、翌年に被害が拡大する事があり、次の生育期間のDON汚染被害予測パラメーターに冬期の残存量が使われる⁴⁾。一般に欧米での感染の報告が多い*F.graminearum*の他に*F.asiaticum*の大半は、年間平均気温が15℃以上のアジアの温帯地域で見つかっており⁵⁾、日本ではより問題となる可能性がある。赤かび病の感染及びかび毒の産生の有無に加えてその絶対量は様々な要因の影響を受け、具体的には罹患植物の種類や栄養状態、湿度や温度、競合微生物等に影響され変動する。しかしながら、その産生調節機構の全容は未だ明らかになってはいない。トリコテセン系かび毒は熱によって分解されにくいいため、健康被害を出さない為には穀物類へのかび毒の混入を出来る限り少なくする必要がある。本研究ではDONの産生調節機構の解明を行い、かび毒の低減化を目的とする。

1. アグマチンが *F.asiaticum* のかび毒産生に与える影響

ポリアミンは、植物および真菌の両方に見られる代謝産物であり、植物のストレス応答と関連している事が報告されている^{6,7)}。生物相互作用におけるポリアミンの役割に関する研究は多く、ポリアミン生合成に関与する遺伝子の発現の変化は植物の防御応答の間に多く観察され

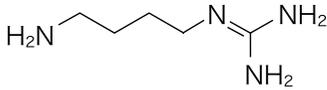


図1 アグマチンの構造

ている⁸⁾。ポリアミンの一種であるアグマチン(図1)は、*F. asiaticum* の増殖には影響を与えない(データは示していない)がDONの産生を誘導する(図2)。

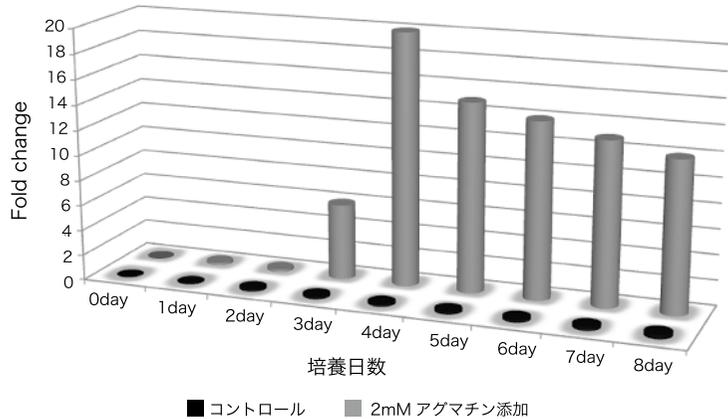


図2 アグマチン(2 mM)によるDONの生産誘導

2. DNA マイクロアレイの製作及び遺伝子発現解析

アグマチンを添加してDONを産生している*F. asiaticum*の遺伝子発現を詳細に調べるため、DNA マイクロアレイを作製した。作製したDNA マイクロアレイ(Agilent社製, e-array)は60-merのオリゴヌクレオチドからなり、1遺伝子当たり4個のプロープを設計し、全11,619個の遺伝子群計43,067個を搭載している。アグマチンを添加して培養した*F. asiaticum*からmRNAを調製し、無添加培養菌体からのmRNAをコントロールとして、DNA マイクロアレイ上でハイブリダイズを行い、遺伝子の発現量の解析を行った。搭載11,619個の遺伝子のうち、3倍以上に誘導されている遺伝子は556個、0.3倍以下に抑制されている遺伝子は453個であった。アグマチン添加によって、DON産生関連遺伝子の多くが誘導されていた⁹⁾。

3. メタボローム解析方法

アグマチンを添加して培養した*F. asiaticum*の培養細胞をAgilent CE-TOFMSシステムを用いてカチオンモード、アニオンモードによる測定を実施し、無添加培地で生育した菌体との代謝産物量の比較を行った。この解析により108の代謝産物を同定する事が出来た⁹⁾。

4. 解糖系及びTCA回路、グリオキシル酸回路の変動

アグマチンを添加して培養した*F. asiaticum*において、解糖系を構成する代謝産物はピルビン酸を除いて概ね増加していた(図3)。一方TCAサイクルに関連する代謝産物(図4-A)及び関連遺伝子の発現(表1)に大きな影響は観察されなかった。またアグマチンを添加していない培地ではほとんど測定出来なかったグリオキシル酸が検出された(図4-B)。同時にグリオキシル酸サイクル関連遺伝子isocitrate lyase, malate synthaseの増加がみられ、アグマチンを添加することにより、グリオキシル酸回路が活性化していることが判明した(表1)。

5. アセチル CoA と脂肪酸のβ-酸化関連遺伝子の変動

DONの合成に必要なアセチル CoA がどこから供給されているかを知る事はDONの産生抑制技術の開発に重要である。まず解糖系で生成したピルビン酸はミトコンドリア内に運ばれアセチル CoA を生成する。過剰なアセチル CoA はミトコンドリア膜をそのままの形では通過出来ないため、クエン酸-ピルビン酸シャトルを用いてミトコンドリア外に輸送される。クエン酸はミトコンドリア外でATP citrate lyaseの働きでオキサロ酢酸とアセチル CoA を生成す

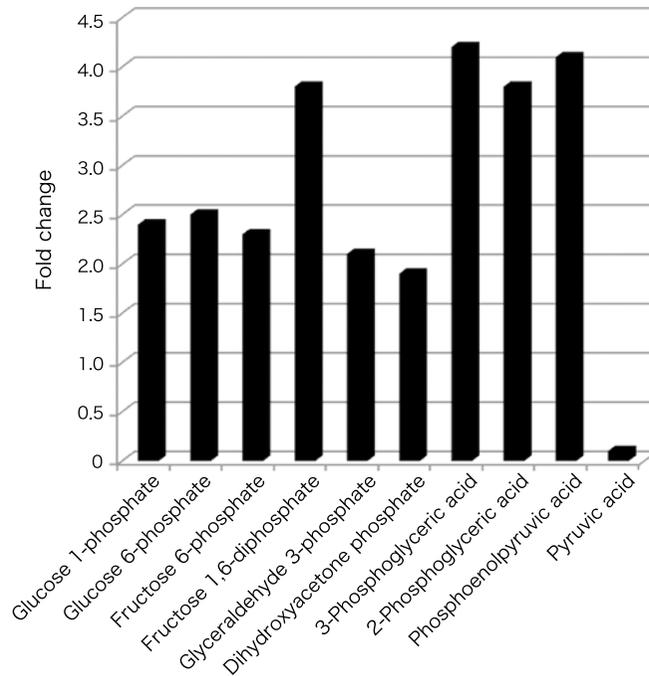


図3 LC-TOFMS システムを用いた解糖系代謝産物量の比較

アグマチンを添加して培養した *F. asiaticum* において、解糖系を構成する代謝産物はピルビン酸を除いて概ね2倍以上増加していた。

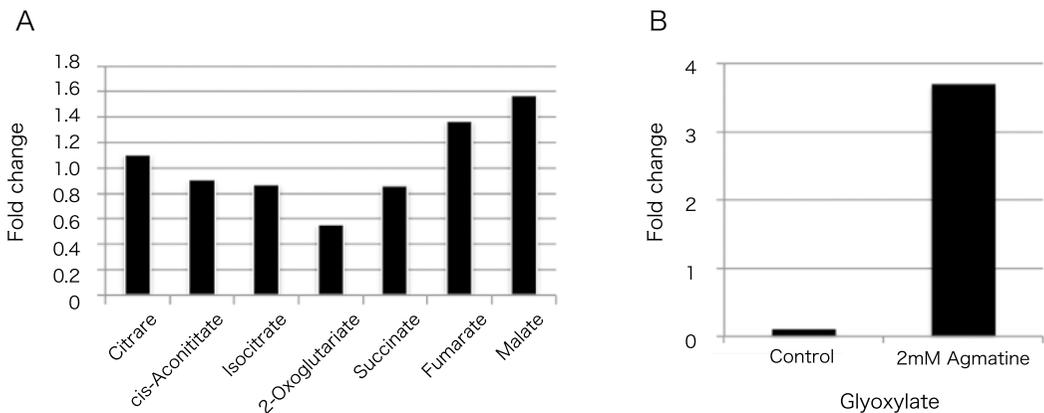


図4 TCA サイクルとグリオキシル酸サイクル中の代謝産物の変化

A: アグマチンを添加して培養した *F. asiaticum* における、TCA サイクルに関連する代謝産物

B: アグマチンを添加して培養した *F. asiaticum* における glyoxylate の増加

る¹⁰⁾。ATP citrate lyase は糸状菌において成長とトリコテセン類の産生に参与している事が知られている¹¹⁾。本研究でも ATP citrate lyase 関連遺伝子群の発現は約3倍に上昇していた。アグマチンを添加する事により解糖系代謝産物は

増加しているにもかかわらず、TCA 回路には大きな変動は見られず、*F. asiaticum* の増殖曲線もアグマチンの有無で変わらない⁹⁾。一方ピルビン酸含量が低下している事から(図3)、解糖系で作られたピルビン酸はATPを生成する

表 1 アグマチン添加時の DNA マイクロアレイによる遺伝子群の発現量の変化

Gene ID (mips)*	Fold change	Description
TCA cycle		
FGSG_05454.2	1.5	Pyruvate dehydrogenase
FGSG_00175.2	1.7	Citrate synthase
FGSG_07953.2	1.4	Aconitase family (aconitate hydratase)
FGSG_05733.2	1.1	Isocitrate/isopropylmalate dehydrogenase
FGSG_04309.2	1.4	2-Oxoglutarate dehydrogenase
FGSG_02030.2	1.3	Succinyl-CoA ligase
FGSG_05610.2	1.3	Succinate dehydrogenase
FGSG_08712.2	0.9	Fumarate hydratase
FGSG_02504.2	0.7	Malate dehydrogenase
Glyoxylate cycle		
FGSG_09896.2	2.6	Isocitrate lyase
FGSG_08700.2	3.3	Malate synthase
Acetyl CoA-related genes		
FGSG_09321.2	3.5	Acetyl-CoA acetyltransferase
FGSG_09266.2	1.6	Hydroxymethylglutaryl-CoA synthase
FGSG_06039.2	2.8	probable ATP citrate lyase subunit 2
β -oxidation		
FGSG_02287.2	1.3	Acyl-CoA oxidase
FGSG_13398.2	2.5	3-ketoacyl-CoA thiolase B
FGSG_03546.2	45.2	3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase
FGSG_06457.2	2.0	Enoyl-CoA hydratase/isomerase family

*The given gene IDs are entry numbers from the *F. graminearum* genome annotation FG3 by the *Fusarium* comparative sequencing project, Broad Institute of Harvard and MIT (<http://www.broadinstitute.org/>).

Genes classified as induced or reduced were those passing a sample *t*-test ($p < 0.05$).

Each value is the mean of three independent experiments ($n = 3$).

よりアセチル CoA を生成することに使われていると推測できた。また、アセチル CoA は脂肪酸の β -酸化によっても生成する。アグマチン添加により脂肪酸の β -酸化関連酵素遺伝子の高発現が特徴的となり、acyl-CoA oxidase, 3-ketoacyl-CoA thiolase B, 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenase 関連遺伝子の発現が増加していた (表 1)。ある種の *Aspergillus* 属では宿主の種の中の脂肪酸を利用してペルオキシゾーム内で β -酸化を行い、アセチル CoA を産生する¹²⁾。ペルオキシゾームはグリオキシル酸サイクルと脂肪酸の β -酸化経路を有する。従ってアグマチンを添加した場合、アセチル CoA がペルオキシゾーム中の脂肪酸の β -酸化により供給されている可能性が高いと考えられた。

6. GABA 含量の増加

さらに、アグマチンを加えた *F. asiaticum* では GABA 含量が約 2 倍であった (図 5-A)。グルタミン酸から GABA を生成する GABA シェントの一部である glutamate decarboxylase 遺伝子の発現は低く、4-aminobutyrate aminotransferase, および succinate-semialdehyde dehydrogenase 遺伝子の発現量が高かった (図 5-B)。この結果は、GABA 含量の増加はアグマチン添加に依存するものであることを支持している。*Cladosporium fulvum* はトマトに感染するとき GABA を窒素源として利用する¹³⁾。また、糸状菌において、GABA が植物細胞壁分解酵素を誘導する為のシグナルとなっている事も報告されている¹⁴⁾。本実験では、アグマチンが *F. asiaticum* に取り込まれ、細胞内で GABA へと変換された後、かび

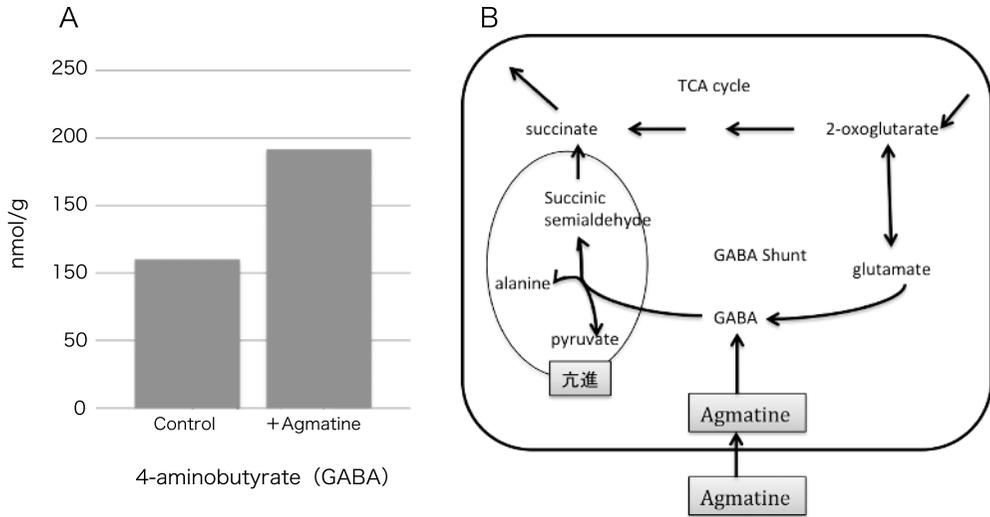


図5 GABA含有量の変化と遺伝子発現量の変化

A : 4-aminobutyrate(GABA) 含量の変動

B : アグマチン添加による GABA シャントに含まれる遺伝子群の発現量の変動

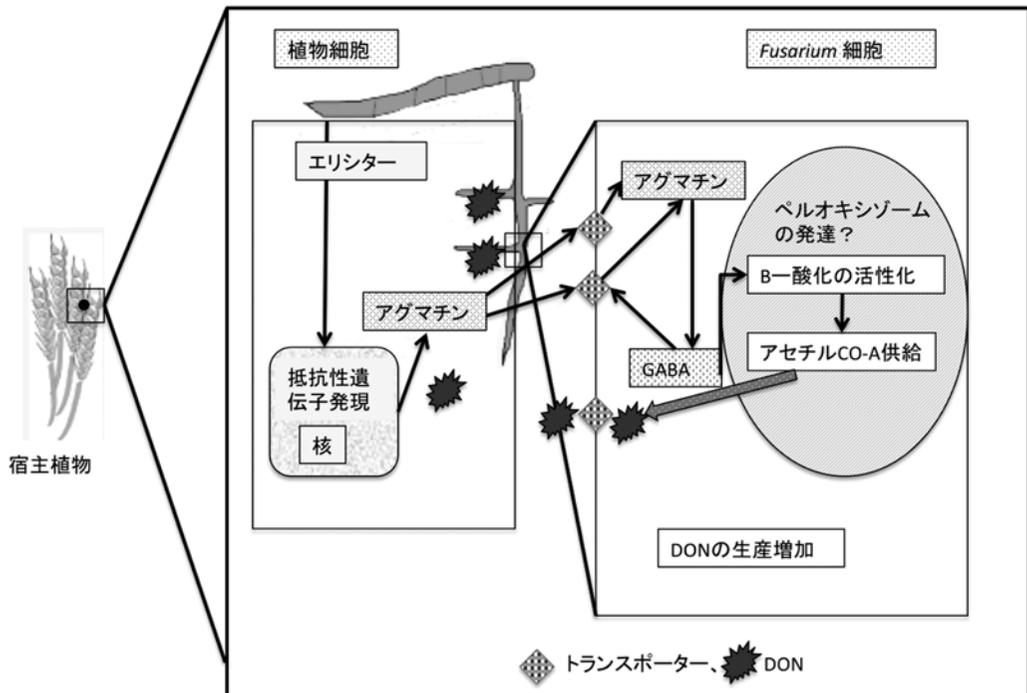


図6 アグマチン添加による *Fusarium* の DON 生産誘導モデル

毒を含む2次代謝産物産生のトリガーになっている可能性を示唆している。*Fusarium* における DON の生産誘導モデルを図6に示した。

おわりに

Fusarium 遺伝子の発現や代謝産物はアグマチンの添加によってダイナミックに変化する。特に DON 産生に関与する遺伝子群やアセチル

CoA の産生に関与する遺伝子群の変化が特徴的であった。これは *F. asiaticum* が植物の抵抗性物質に反応してかび毒を産生していると考えられ、そのような抵抗物質を出さない、あるいは

はかび毒を産生させない抵抗物質を出すような穀物類の育種に役立てることができると考えている。

参考文献

1. T. Bottalico, G. Perrone,: Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe, *Eur J Plant Pathol.*, **108**: 611-624, 2002.
2. R.S. Goswami, H.C. Kistler,: Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops, *Mol. Plant Pathol.*, **5**: 515-525, 2004.
3. J.J. Pestka,: Toxicological mechanisms and potential health effects of deoxynivalenol and nivalenol, *World Mycotoxin J.*, **3**: 323-347, 2010.
4. S. Landschoot, W. Waegeman, K. Audenaert, J. Vandepitte, J.M. Baetens, B. De Baets, G. Haesaert,: An empirical analysis of explanatory variables affecting *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol content in wheat, *J. Plant Pathol.*, **94**: 135-147, 2012.
5. H.Zhang, Z. Zhang, T. van der Lee, W.Q. Chen, J. Xu, J.S. Xu, L. Yang, D. Yu, C. Waalwijk, J. Feng,: Population genetic analyses of *Fusarium asiaticum* populations from barley suggest a recent shift favoring 3ADON producers in southern China. *Phytopathol.*, **100**: 328-336, 2010.
6. R. Alcázar, F. Marco, J.C Cuevas, M. Patron, A. Ferrando, P. Carrasco, A.F. Tiburcio, T. Altabella,: Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress, *Biotechnol. Lett.*, **28**: 1867-1876, 2006.
7. F. Jiao, A. Kawakami, T. Nakajima,: Effects of different carbon sources on trichothecene production and Tri gene expression by *Fusarium graminearum* in liquid culture, *FEMS Microbiol. Lett.*, **285**: 212-219, 2008.
8. W.M. Haggag, F. Abd-El-Kareem,: Methyl jasmonate stimulates polyamines biosynthesis and resistance against leaf rust in wheat plants, *Arch. Phytopathol. Plant Protect.*, **42**: 16-31, 2009.
9. T. Suzuki, Y.K Kim, H. Yoshioka, Y. Iwahashi,: Regulation of metabolic products and gene expression in *Fusarium asiaticum* by agmatine addition, *Mycotoxin Res.*, **29**: 103-11, 2013.
10. B.L. Fatland, L. Ke, M.D. Anderson, W.I. Mentzen, L.W. Cui, C.C. Allred, J.L. Johnston, B.J. Nikolau, E.S. Wurtele,: Molecular characterization of a heteromeric ATP-citrate lyase that generates cytosolic acetyl-coenzyme A in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.*, **130**: 740-756, 2002.
11. S. Hokyoung, L. Jungkwan, R.P. Ae, L. Yin-Won,: ATP citrate lyase is required for normal sexual and asexual development in *Gibberella zeae*. *Fungal Genetics and Biology*, **48**: 408-417, 2011.
12. L.A. Maggio-Hall, R.A. Wilson, N.P. Keller,: Fundamental contribution of beta-oxidation to polyketide mycotoxin production in planta. *Mol. Plant Microbe. Interact.* **8**: 783-793, 2005.
13. P.S. Solomon, R.P.Oliver,: Evidence that *Cladosporium fulvum* metabolises aminobutyric acid during infection of tomato, *Planta*, **214**: 414-420, 2001.
14. R. Carapito, D. Hatsch, S. Vorwerk, E. Petkovski, J.M. Jeltsch, V. Phalip,: Gene expression in *Fusarium graminearum* grown on plant cell wall, *Fungal Genet. Biol.*, **45**: 738-48, 2008.

食肉類による食中毒は いつ、どこで、なにによって起こるのか

高橋 正弘 (TAKAHASHI Masahiro)

東京海洋大学大学院・湘北短期大学非常勤講師

Key Words：食中毒 食肉類 発生頻度 原因施設 病因物質

はじめに

「O157 患者数、今年 2 倍ペース、馬刺し要因が 4 割」、これは 2014 年 5 月 20 日付け日本経済新聞電子版の見出しである。

国立感染症研究所の集計で腸管出血性大腸菌 O157 の感染患者数が 4 月 20 日までに延べ 126 人と、昨年同時期（同 67 人）の約 2 倍となり例年を上回る増加ペースで死者も出ている。約 4 割が馬刺しを食べたことなどによる感染で、O157 の夏の流行期を前に厚生労働省は食肉の十分な加熱処理などの予防を呼びかけた、という記事である。

病原体 O157 による感染症への予防を喚起する内容であるが、「馬刺し」など原因食品が特定された場合、行政的には食中毒として取り扱われる。

近年、食肉類のカンピロバクター、サルモネラ属菌、腸管出血性大腸菌などによる食中毒は、死者の発生や発生件数の増加などが社会的にも問題となっている。これら食中毒の発生は世の中で起こる事柄である。世の中で起こる多くの事柄は、少数の事例で観察すると不規則に起こっているように見える。しかし、長期間にわたって発生状況などを観察すると不規則な現象が平滑化され規則的な挙動を示す、と言われている。このような考え方から、食中毒が「いつ」起こるかの検討は、腸炎ビブリオ食中毒、カンピロ

バクター食中毒、ノロウイルス食中毒などの発生した「とき」を長期間にわたって観察して行われている¹⁾。

さて、食中毒の発症は宿主としての「ヒト」、O157 などの「病因物質」、「食品」、「外部環境」などの発生要因によって支配される。食中毒はこれらの発生要因が相互に絡み合ながら作用して発生する²⁾。食中毒予防対策はこれら要因へのアプローチとなるが、病因物質の細菌やウイルスはヒトの目、耳、鼻、もちろん手でもその存在を確認できない。これらの病因物質名に由来する O157 食中毒、O157 感染症はその姿、形をイメージすることができない。また、食品の調理・加工などの日常的な営みは、食材を観て、聴いて、触れて、嗅いで、味わうなどの五感レベルで行われ、時には検査レベルで数値化・可視化して行われている。

そこで、食中毒の発生要因のうち姿、形を五感レベルでイメージできる「食品」に着目し、「食肉類」による食中毒が「いつ」、「どこ」（原因施設）で、「なに」（病因物質）によって発生していたかを長期間にわたり観察し、これらを明らかにした。

1. 研究方法

試料（標本）は著者が厚生労働省「全国食中毒事件録第三編」をもとにアプリケーションソ

フト FileMaker Pro で作成したデータベースから 1998 年～2008 年の 11 年間の食肉類による食中毒事例 734 件を抽出して用いた。

食肉類の種別、病因物質の種別、原因施設の種別の内訳は発生件数によって求めた。

食肉類による食中毒の発生頻度は年別、月別、週別、日別、曜日別に発生件数を整理し、和、平均値、95%・99%の事例が含まれる値の上限值である $2\sigma \cdot 3\sigma$ 上方限界値、変動係数などの基礎統計量から求めた。発生件数は棒グラフ化し、平均値を中心線、 $2\sigma \cdot 3\sigma$ 上方限界値を $2\sigma \cdot 3\sigma$ 上方限界線として記入した。なお、月別発生頻度では食肉類全体に加えて食肉類を「生食品」と「生食品以外」に分け検討した。

発生件数の平均値を横軸、変動係数を縦軸とし、これらの平均値を基準点に第 I 象限から第 IV 象限に分割し、各曜日を付置した。

検定は、一元配置多重比較および対応のない平均値の差の検定 (*t* 検定) を行い、Student あるいは Welch の式を用いた。

解析は Microsoft®Excel およびアドインソフトのエクセル統計の解析ツールを使用した。

2. 結果・考察

2-1. 食中毒原因食品の食肉類の種別内訳

食肉類の種別内訳は図 1 のとおり鶏肉（生食品）41%、食肉（調理加工食品）23.3%、食肉（生食品）18.6%、鶏肉（調理加工食品）16.7%、食肉製品（加熱殺菌食品）0.4%の順に多く、危険率 1% で有意差が認められた。なお、

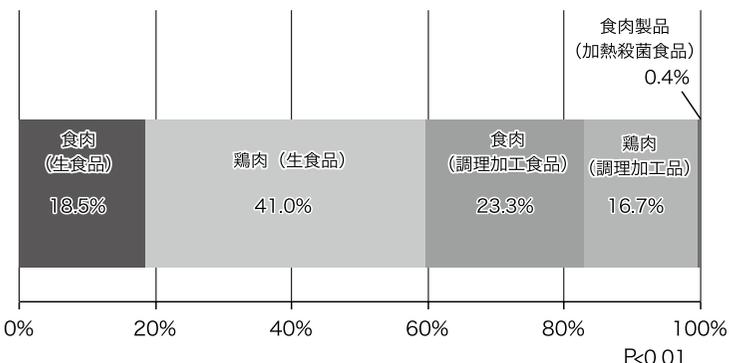


図 1 食中毒原因食品の食肉類の種別内訳

食肉類（生食品）は 59.6%、食肉類（生食品以外）40.4% で食肉類（生食品）が約 6 割を占めていた。

食品は微生物汚染度合によって次の 3 つに分類することが提唱されている³⁾。つまり、①生で摂取されるさしみ・発酵食品・果実（菜）類など生菌数が多いもの、② 63℃ 30 分間の加熱殺菌後、摂取される牛乳など、病原菌が存在しないもの、③滅菌の状態までの加熱加工後、摂取される缶詰・びん詰など、ほとんど無菌に近いものの 3 つである。各種食品は上述のいずれかの分類に入ると述べられている³⁾。

そこで、食肉類の種別は食材別に微生物汚染度合や微生物制御方法から生食品、調理加工食品および加熱殺菌食品にわけた著者らの衛生学的分類⁴⁾に従い、食肉（生食品）、食肉（調理加工食品）、鶏肉（生食品）、鶏肉（調理加工食品）および食肉製品（加熱殺菌食品）の 5 種類とした。

食肉（生食品）はレバ刺しやユッケなど、鶏肉（生食品）は鳥刺しや鳥レバ刺しなどで、これらを合わせて食肉類（生食品）と分類した。食肉（調理加工食品）は焼き肉やとんかつなど、鶏肉（調理加工食品）は焼き鳥や蒸し鳥など、食肉製品（加熱殺菌食品）はハムやソーセージなどで、これらを合わせて食肉類（生食品以外）と分類した。

2-2. 食肉類による食中毒の病因物質別内訳

病因物質の種別は図 2 右側のとおりで、厚生労働省の分類に従った。

病因物質別の内訳は図 2 のとおりで、カンピロバクター 67.8%、サルモネラ属菌 11.2%、腸管出血性大腸菌 9.7%、ウェルシュ菌 3.2%、ブドウ球菌 3.1%、ノロウイルス 2.0% などの順で、危険率 1% で有意差が認められた。食肉類はカンピロバクターによる食中毒が最も多いことが明らかになった。食中毒は発生国ごとに病因物質の順位が異なるが⁵⁾、わが国の

カンピロバクター食中毒の原因食品は食肉類が多いという結果⁶⁾と一致していた。

2-3. 食肉類による食中毒の原因施設別内訳

原因施設の種別は図3右側のとおりで、厚生労働省の分類に準じた著者らの分類⁷⁾に従った。

原因施設別の内訳は図3のとおりで、飲食店85.6%，その他3.6%，家庭3.1%，旅館・ホテル2.6%などの順で、危険率1%で有意差が認められた。なお、飲食店は飲食店営業許可を受けている営業施設のうち事業場、学校、病院等の施設を除いた施設である。

食中毒全般では発生件数の多い原因施設は、飲食店、家庭、旅館・ホテル、仕出屋・弁当屋の順と言われているが⁷⁾、食肉類による食中毒もこれとほぼ同様の傾向を示した。

2-4. 食肉類による食中毒の年別発生頻度

年別発生頻度は図4のとおり発生件数で示した。発生件数は1998年以降増加傾向を示し、2003年から中心線(67.5件)を超えたが、2σ上方限界線(129.0件)以下で推移していた。平均値を超える値は通常の年より発生件数が多いと評価できる。2σ上方限界値は平均値に2倍の標準偏差を加えた値なので、この値を超える値は異常値と評価できる。

厚生労働省発表の食中毒発生状況によれば2009年から2011年の間は発生件数が中心線を越えていたが、2012年51件、2013年48件と平均値以下で推移していた。

2011年10月1日から生食用食肉(生食用として販売される牛の食肉(内臓を除く。))は食品衛生法に基づく「規格基準」と「表示基準」

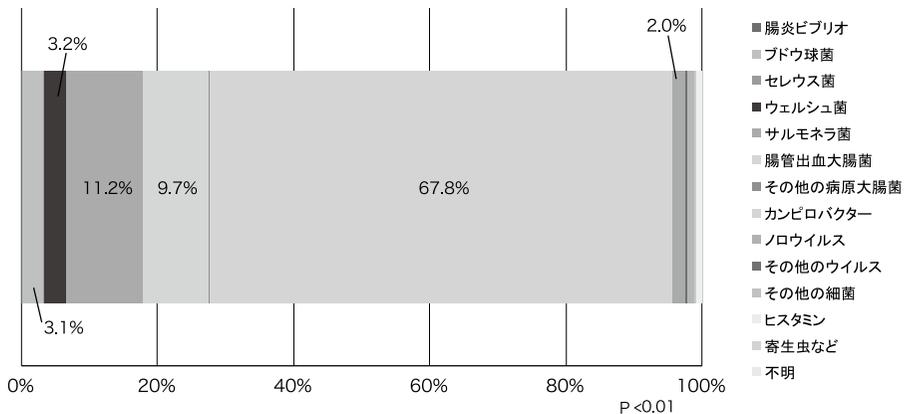


図2 食肉類による食中毒の原因物質別内訳

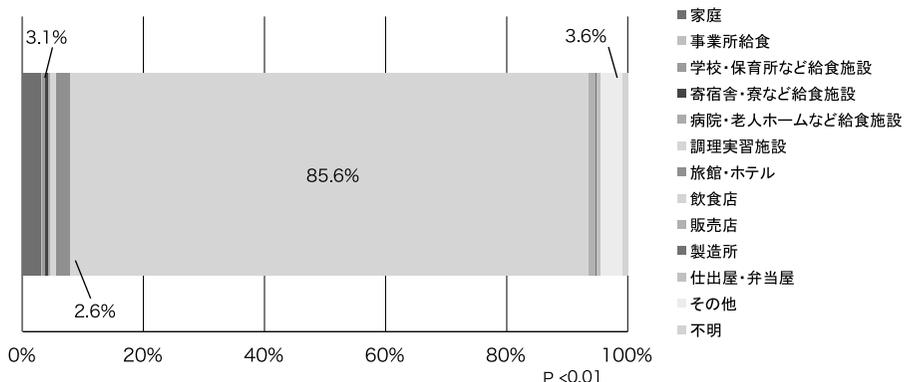


図3 食肉類による食中毒の原因施設別内訳

が定められるなど規制が強化された。水産食品（規格基準 2001 年）・鶏卵（農林水産省の鶏卵のサルモネラ総合対策指針 2005 年）が規制強化された年次以降腸炎ビブリオ・サルモネラ属菌食中毒は減少傾向を示した⁵⁾。豚肉も規制強化対象となるので、今後、食肉類による食中毒の発生件数の推移は注視したい。この際、食中毒発生件数の評価には得られた平均値、2σ 上方限界値などが活用できると考えられる。

2-5. 食肉類による食中毒の月別発生頻度

月別発生頻度は各月の発生件数（11 年間の平均値）から明らかにした。

(1) 食肉類全体

食肉類による食中毒の月別発生頻度は図 5 のとおりであった。

1 月から 12 月のすべての月で食中毒の発生

が認められた。発生件数は 3 月ごろから増加し始め、5 月から中心線（5.6 件）を超え、6 月（9.5 件）ピークに達したが 2σ 上方限界線（11.2 件）以下で、その後、10 月までほぼ横ばいで 11 月から中心線を下回った。5 月から 10 月の間は有意差が認められず、5 月は 4 月より有意に高く、11 月は 10 月より有意に低かった。通常より発生件数が多い、つまり、発生頻度が高い月は 5 月から 10 月の間、と推測できた。

カンピロバクター食中毒の発生件数は 5 月から 10 月の間が平均値を超えていた¹⁾。食肉類による食中毒はカンピロバクターが 67.8% を占めることから、食肉類の発生件数の多い月が 5 月から 10 月であったのは、カンピロバクター食中毒の発生件数が反映した、と考えられる。

季節的には春から秋にかけて発生頻度が高いことが明らかになった。

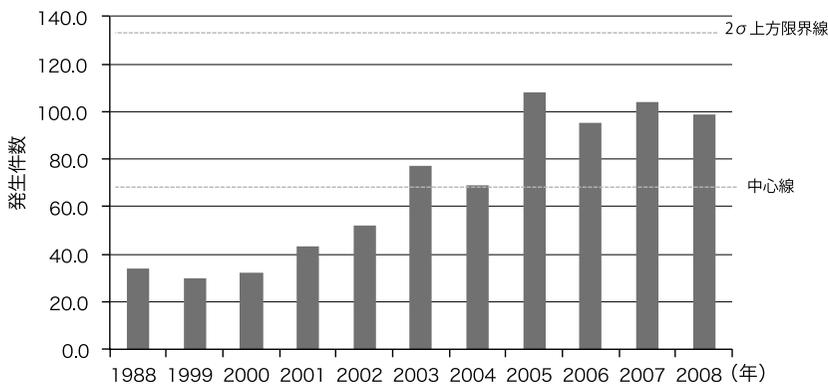


図 4 食肉類による食中毒の年別発生頻度

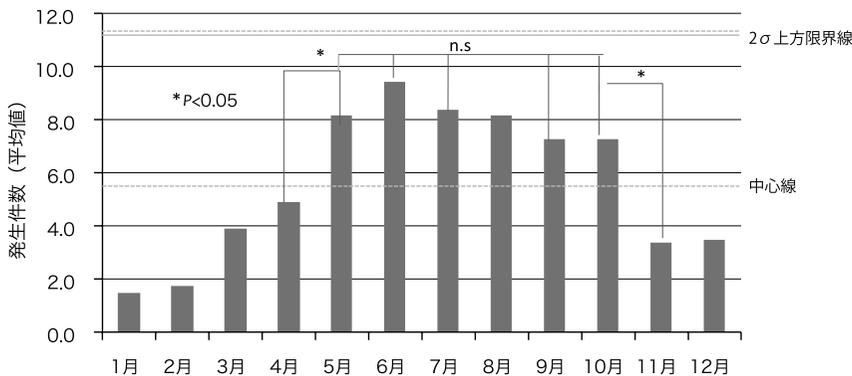


図 5 食肉類による食中毒の月別発生頻度

ノロウイルス食中毒は冬、腸炎ピブリオ食中毒は夏にピークがある山型（富士山型）、カンピロバクター食中毒は春から秋の台形型（八ヶ岳型）を示した¹⁾。食肉類による食中毒は台形型（八ヶ岳型）を示す、と言える。

(2) 食肉類の生食品と生食品以外の月別発生頻度

食肉類の生食品と生食品以外の月別発生頻度は図6のとおりであった。

食肉類（生食品）は1月から12月のすべての月で発生していた。発生件数は3月頃から増加し始め4月から中心線(3.4件)を超え、6月(6.0件)ピークに達したが2σ上方限界線(6.7件)以下で、その後、10月まで横ばいで11月から中心線を下回った。

4月から10月の間は有意差が認められなかった。3月と4月の間は有意差が認められなかったが、10月は11月より危険率1%で有意に高かった。

食肉類（生食品）の発生頻度が高い月は、3月と4月の間に有意差が認められなかったが平均値を超えてた4月から10月の間、と推測できた。

食肉類（生食品以外）は1月から12月のすべての月で発生していた。発生件数は3月頃から増加し始め、5月に中心線(2.3件)を超え、8月(4.3件)ピークに達したが2σ上方限界線

(4.9件)以下で、その後、10月まで横ばいで11月から中心線を下回った。

5月から10月の間は5月と8月の間を除き有意差は認められなかった。また、4月と5月、10月と11月の間は有意差が認められなかった。

食肉類（生食品以外）の発生頻度が高いのは、前後の4月、11月との間で有意差は認められなかったが平均値を超えてた5月から10月の間、と推測できた。

食肉類（生食品）は食肉類（生食品以外）より1か月早い4月から発生頻度が高くなる、と推測できた。

2-6. 食肉類による食中毒の週別発生頻度

週別発生頻度は各週の発生件数（11年間の平均値）から明らかにした。1月1日を含む月曜日から日曜日までの7日間を第1週とし、1年間を52週あるいは53週とした。

図7のとおり、すべての週で食中毒の発生が認められた。発生件数は第18週（4月下旬）から第44週（10月下旬）にかけて第35週から第37週（8月下旬から9月上旬）の間を除き中心線(1.3件)を超えた。発生件数は2σ上方限界線(2.8件)を超えた第27週（7月上旬）(3.4件)、第22週（5月下旬）(2.9件)、続いて第26週・第40週(2.5件)の順に多かった。

中心線を下回った第35週から第37週の間は、

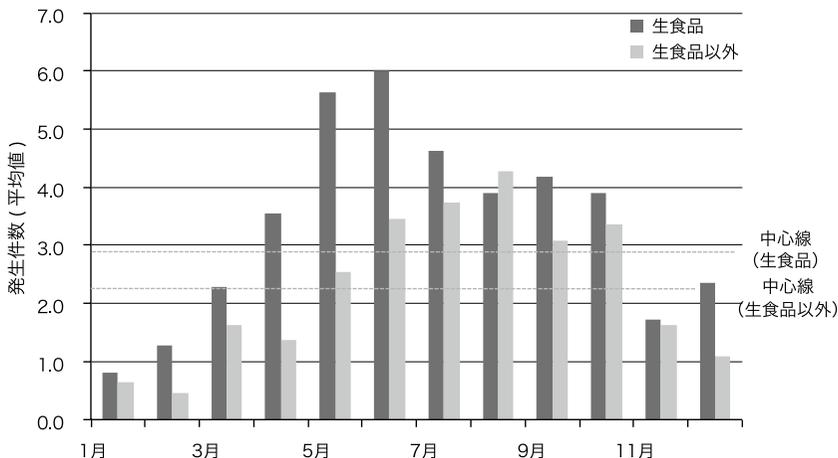


図6 食肉類（生食品と生食品以外）による食中毒の月別発生頻度

前後の週よりも危険率5%で有意に低かった。

第32週から第34週と比較したところ、第35週から第37週は原因食品では食肉類（生食品）および鶏肉（調理加工食品）が、病因物質では腸管出血性大腸菌が、原因施設では飲食店が危険率1%あるいは5%で有意に低かった。8月下旬～9月上旬は飲食店における食肉類（生食品）・鶏肉（調理加工品）の喫食の機会が減り、これらにより発生件数が有意に減少した、と考えられる。

発生頻度の高い時期は月単位より週別によってさらに限定できた。

2-7. 食肉類による食中毒の日別発生頻度

日別発生頻度は各月日の発生件数（11年間の平均値）から明らかにした。発生件数は平均

値0.2件、2σ上方限界値0.5件、3σ上方限界値0.7件であった。

図8のとおり、発生件数が3σ上方限界線を超えた日は6月29日(0.9件)、7月4日(0.8件)、7月19日(0.7件)、2σ上方限界線を超えた日は6月27日・8月7日・8月16日・9月29日・9月30日(0.6件)、3月30日・5月25日・5月30日・6月2日・6月18日・6月28日・7月1日・7月3日・8月25日・9月23日・10月20日・10月26日(0.5件)であった。

3σ上方限界線を超えた6月29日、7月4日、7月19日は特に発生頻度が高い日と言える。6月29日はカンピロバクター食中毒の発生頻度が特に高い日であった¹⁾。6月29日の食肉類による食中毒の病因物質の内訳は、カンピロバクター60%、ウェルシュ菌20%、ブドウ球菌・

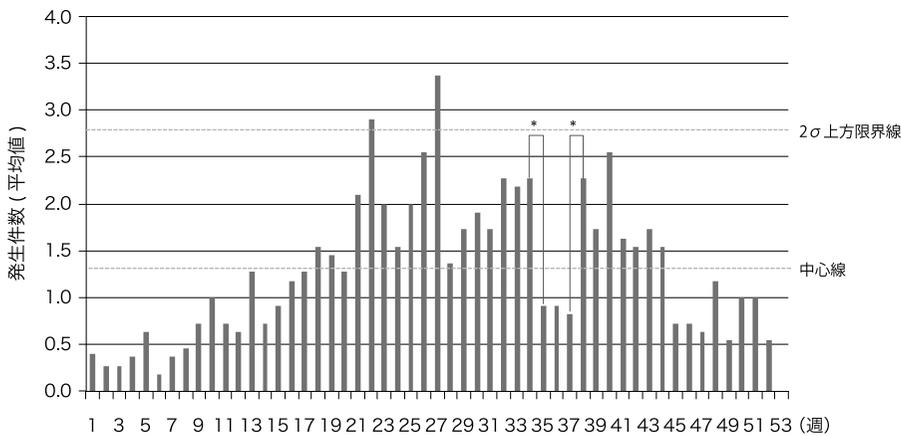


図7 食肉類による食中毒の週別発生頻度

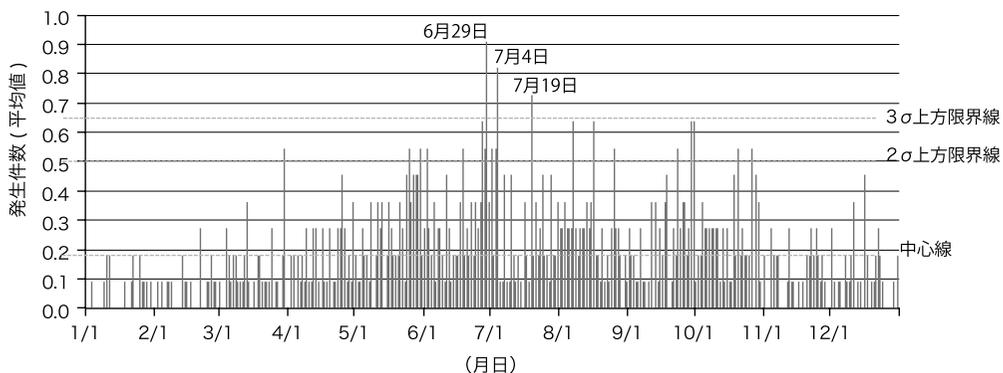


図8 食肉類による食中毒の日別発生頻度

サルモネラ菌 10%であった。したがって、食肉類による食中毒の発生頻度が高い6月29日はカンピロバクター食中毒の発生件数が反映した、と考えられる。

2-8. 食肉類による食中毒の曜日別発生頻度

曜日別発生頻度は各曜日の発生件数（11年間の平均値）および変動係数から明らかにした。発生件数は平均値 9.6 件、 2σ 上方限界値 16.2 件であった。

図9のとおり、第IV象限には土曜日、月曜日が付置された。平均値が高く変動係数が低い（バラツキが小さい）ので最も発生頻度が高い象限である。第I象限は2番目に発生頻度が高い象限で、日曜日が布置された。日曜日は土曜日よりバラツキが大きい曜日、と考えられる。土曜日、日曜日、月曜日の曜日間には有意差が認められなかった。第II象限には金曜日、水曜日が、第III象限には火曜日、木曜日が布置された。この火曜日から金曜日の曜日間には有意差が認められなかった。第II象限・第III象限に付置された曜日は第I象限・第IV象限に付置された曜日より危険率1%あるいは5%で有意に低かった。よって、発生頻度が高い曜日は第IV象限・第I象限に布置された日曜日、土曜日、月曜日、と推測できた。

食中毒の発生日は症状が現れた日である。原因食品を摂取した時間から発症までの時間を潜伏時間といい、病因物質によって潜伏時間は異なる。食肉類による食中毒の主な病因物質であるカンピロバクターや腸管出血性大腸菌の潜伏時間は2日間から7日間、サルモネラ属菌が8時間から48時間以上、と言われている。よって、暴露日は週末と考えられる。日曜日、土曜日、月曜日に食中毒の発生頻度が高いのは、週末に飲食店などで喫食した食肉類が原因である、と考えられる。

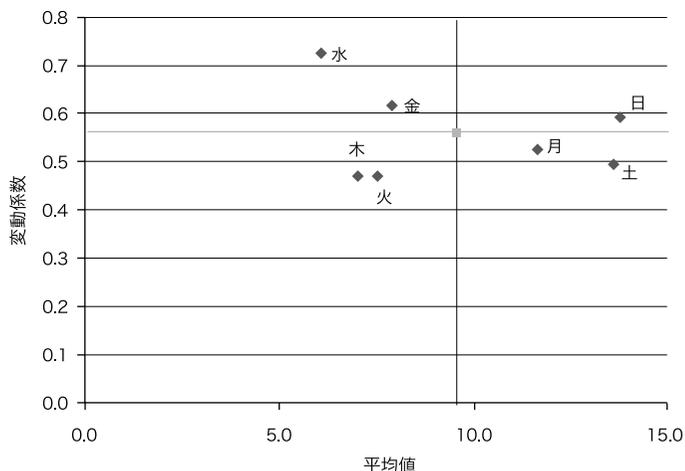


図9 食肉類による食中毒の曜日別発生頻度

結論

- 食中毒原因食品の食肉類の種別内訳は鶏肉（生食品）41%、食肉（調理加工食品）23.3%、食肉（生食品）18.6%、鶏肉（調理加工食品）16.7%、食肉製品（加熱殺菌食品）0.4%で、有意差が認められた。病因物質別内訳はカンピロバクター 67.8%、サルモネラ属菌 11.2%、腸管出血性大腸菌 9.7%、ウェルシュ菌 3.2%、ブドウ球菌 3.1%、ノロウイルス 2.0%などで、有意差が認められた。原因施設別内訳は飲食店 85.6%、その他 3.6%、家庭 3.1%、旅館・ホテル 2.6%などで、有意差が認められた。
- 年別発生頻度が高い年は平均値を超えた2003年から2011年の間であったが、 2σ 上方限界値以下であった。発生件数は平均値 67.5 件、 2σ 上方限界値 129.0 件であった。
- 月別発生頻度が高い月は平均値を超えた5月から10月の間で、6月（9.5件）ピークに達したが、 2σ 上方限界値以下であった。5月から10月の間は有意差が認められなかった。発生件数は平均値 3.4 件、 2σ 上方限界値 11.2 件であった。食肉類（生食品）の発生頻度が高い月は平均値を超えた4月から10月の間で、6月（6.0件）ピークに達したが、 2σ 上方限界値以

下であった。4月から10月の間は有意差が認められなかった。発生件数は平均値3.4件、 2σ 上方限界値6.7件であった。

食肉類（生食品以外）の発生頻度が高い月は平均値を超えた5月から10月の間で、8月（4.3件）ピークに達したが、 2σ 上方限界値以下であった。5月から10月の間では5月と8月の間を除き有意差が認められなかった。発生件数は平均値2.3件、 2σ 上方限界値4.9件であった。

- 週別発生頻度が高い週は平均値を超えた第18週（4月下旬）から第44週（10月下旬）の間で、第35週から第37週（8月下旬から9月上旬）の間を除いた週であった。第35週から第37週の間は前後の第34週、第38週より有意に低かった。食肉類による食中毒の発生頻度が特に高い週は 2σ 上方限界値を超えた第22週（5月下旬～6

月上旬）、第27週（6月下旬～7月上旬）であった。発生件数は平均値1.3件、 2σ 上方限界値2.8件であった。

- 日別発生頻度が特に高い日は 3σ 上方限界値（0.7件）を超えた6月29日、7月4日、7月19日であった。発生件数は平均値0.2件、 2σ 上方限界値0.5件であった。
- 曜日別発生頻度が高い曜日は平均値を超えた土曜日、日曜日、月曜日であった。発生件数は平均値9.6件、 2σ 上方限界値16.2件であった。

[謝辞]

本研究の概要は第16回バイオクリマ研究会研究成果発表会（東京）で発表したが、データ解析等にご協力いただいた管理栄養士栗本香織氏に感謝いたします。

参考文献

- 高橋 正弘：わが国の食中毒はいつ起こるのか—食の安全・安心に向けて—。 *New Food Industry*, **54**(12): 17-26, 2012.
- 高橋 正弘：からだと温度の事典 5. 温度と食中毒。朝倉書店，東京，2010.
- 獣医公衆衛生学教育研修協議会編：獣医公衆衛生学。東京，株式会社文永堂，1977.
- 高橋 正弘ほか：食品カテゴリーのリスクランキング設定への疫学的アプローチ。 *神奈川県立保健福祉大学誌*, **7**(1): 37-47, 2010.
- 高橋 正弘ほか：食中毒の病因物質別のリスクランキング設定に関する研究，厚生労働科学研究費補助金「食品衛生監視員による食品衛生監視手法の高度化に関する研究」（主任研究者：豊福肇）平成22年総括・分担研究報告書，367-391, 2011.
- 高橋 正弘ほか： *Campylobacter* 食中毒における原因施設および原因食品のリスクランキング設定への疫学的アプローチ。 *獣医疫学雑誌*, **16**(1), 52-60, 2012.
- 高橋 正弘ほか：わが国の食中毒はどこで多く発生するのか。 *New Food Industry*, **52**(10): 60-66, 2010.

食行動記録システムによる農産物消費の実態把握

大浦 裕二 (OOURA Yuji)¹ 山本 淳子 (YAMAMOTO Junko)² 小野 史 (ONO Fumi)³
磯島 昭代 (ISOJIMA Akiyo)²

¹ 東京農業大学国際食料情報学部 食料環境経済学科

² 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

³ 日本農業経営大学校

Key Words：農産物 消費者行動 食行動記録システム マーケティング

はじめに

農産物をはじめとする食品の製造、販売にあたっては、消費の実態やニーズを的確に把握しておくことが不可欠である。しかし、消費者のライフスタイルや価値観が多様化する中で、食品の消費行動は複雑化し、その実態を捉えることが難しくなってきた。

そこで本稿では、食品の消費実態を詳細に把握するための Web アプリケーション「食行動記録システム」^{注1)}を紹介するとともに、この「食行動記録システム」を用いた分析例をもとに、複雑な農産物消費の一端を述べる。

1. 農産物消費の実態を捉えることの難しさ

この数十年で、消費者を取り巻く状況は大きく変化した。食品を販売する業態は、今やスーパーマーケットや専門小売店、コンビニエンスストアからインターネット専門販売まで、きわめて多様である。また、冷凍食品やレトルト食品、惣菜（中食）の開発が進むとともに、一つの品目に対するアイテム数（商品の種類）も増

加した結果、消費者は多様なラインナップから商品を選択できるようになった。さらに、外食産業の発展も著しく、専門料理店のほか、ファミリーレストランやファーストフード店などが広く展開している。

このような中で、消費者自身の多様化も進んでいる。近年の傾向としては、世帯規模の縮小、特に高齢世帯や単身世帯の増加が顕著であり、消費の基本単位である世帯の姿が変化しつつある。また、女性の社会進出などライフコースが多様化する中で、世帯によって様々な食事スタイル（食事をとる時間、場所、メニュー、一緒に食卓を囲む人など）がとられるようになるとともに、食に対する関心や価値観も多様化している。そして、同じ消費者でも、誰と食べるか、あるいは日常か非日常かなど TPO によってメニューや購入する店、商品を変えるといったことは、ごく一般的に行われており、食品の消費にあたって消費者はきわめて複雑な選択行動をとっているといえる。

これまで農業経済学や消費者行動研究の分野では、消費実態の把握に向けて、統計やアンケー

注1) 本システムは独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構において開発したものである。詳細は、農研機構 Web サイト「農産物の購入・調理・食事プロセスを把握できる食行動データ収集・分析システム」(http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2012/330e0_01_08.html)を参照されたい。

ト調査を用いた分析が多く、また、購入する店舗や商品の選択場面に注目した研究が中心であった。しかし、消費者の行動がきわめて複雑化している中では、従来とは異なる新たなアプローチが必要である。

筆者らは、農産物を含む食品の消費を、「購入・加工・調理・摂食」という一連の食行動過程として捉えるという視点が重要であると考えている（図1）。例えば購買行動には、その後の保存や調理、摂食の各場面での行動やそれに対する意識・考え方などが大きく影響する。そこで、食品の消費に関わる消費者の行動をより細分化して捉えた上で、各場面の相互の関連や、それら行動に影響を及ぼす消費者の属性や意識等を詳細に把握、分析することで、消費実態やその規定要因を明らかにしようとするアプローチである。

なお、農産物は加工食品とは異なり、そもそも規格や品質が産地や季節によってまちまちである。さらに、一つの農産物をとっても利用の仕方は複数あり、それによって消費者が求める規格・品質が異なることも少なくない。このような商品特性が、農産物の消費実態やその規定要因を把握することをさらに難しくしており、したがって、食行動過程の把握を通じたアプローチがより求められているといえる。

2. 食行動記録システムの概要

そこで筆者らは、消費者が Web から食品の購入や食事等の食行動を記録し、得られたデータを解析するシステムを開発した。本システムは、収集システムと分析システム（定量データ分析と定性データ分析）から成る（図2）。収集システムでは、消費者モニターが Web 上のシステムにアクセスし、家族構成等を事前に登録した後、買い物の内容（日時、商品名、購入先、価格、産地、量、個数、店舗・商品選択理由など）と食事の内容（日時、食卓についての人、場所、メニュー、使用食材、調理時間、メニュー選択理由など）をその都度入力する（図3）。その際、食事の写真を記録する機能もある（図4）。購入食材は在庫登録され、食事ごとに使用食材を入力すると在庫量も減少するため、食材の使用過程が把握できる。また、購買理由やメニュー選択理由、調理後の食材の評価など消費者の意識も記録できる。

入力されたデータはサーバー上に蓄積され、そのデータを CSV 形式でダウンロードして分析システムに用いる。定量データ分析システムでは、消費者属性や購買・食事データから分析したい項目を選択し、マイクロソフト社エクセルのピボット機能によりクロス集計等の基礎集計を行う。定性データ分析システムでは、食品の購買理由等の文章データを形態素へ分解する

とともにキーワードの抽出・二値化を行い、キーワードの出現頻度等の基礎集計を行う。いずれの分析システムでもデータセット（CSV 形式）が作成され、高度な分析（多変量解析）に利用可能である。

なお本システムは、農産物の消費実態を捉えることを主眼に開発したものであるが、農産物以外の加工食品や中食・外食の利用状況も把握可能であり、様々な食品を対象とした分析に利用することができる。

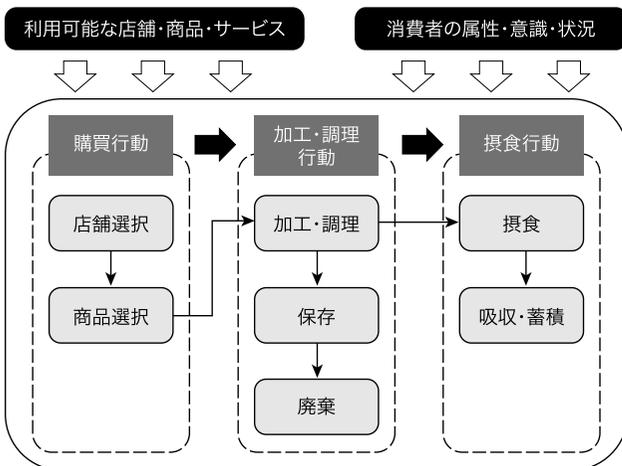


図1 食行動過程の概念

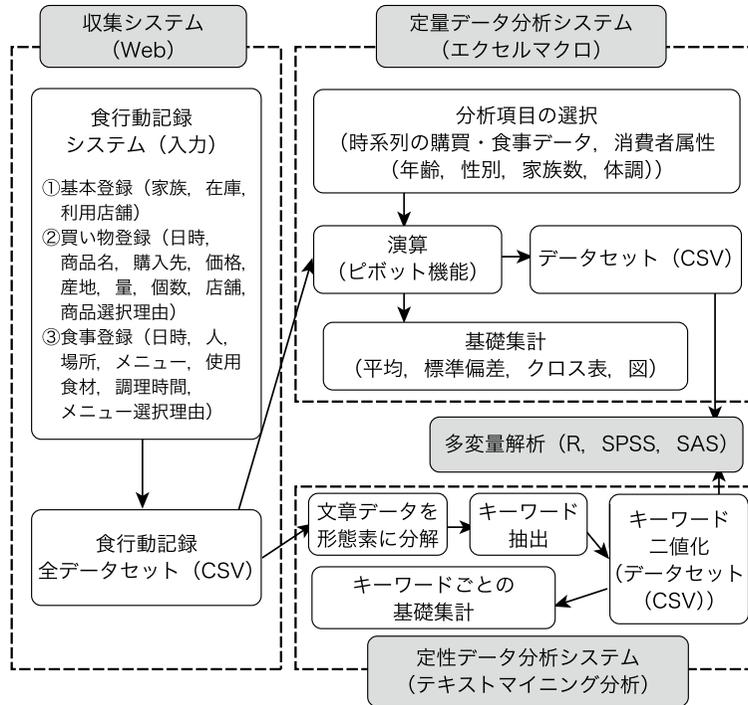


図2 食行動記録システムの構成

行動記録
 食事記録
 買物記録
 在庫管理
 個人設定

事履歴
 食事登録

食事日 2012/12/25
食事時刻 午前 7時00分
食事場所 自宅 学校 会社 その他 レストラン・食堂
だれが 農研A子 農研B夫 親族 友人 親 その他:
食形態 朝食 昼食 夕食 間食 弁当 作り置き
調理者 農研A子 農研B夫 親族 友人 親
メニュー

大分類	小分類	名称	食べた(食べる)人
主食	ご飯	ご飯	<input checked="" type="checkbox"/> 農研A子 <input checked="" type="checkbox"/> 農研B夫 <input type="checkbox"/> 親族 その他:
副菜	その他副菜	豚汁	<input checked="" type="checkbox"/> 農研A子 <input checked="" type="checkbox"/> 農研B夫 <input type="checkbox"/> 親族 その他:

調理時間 0分 5分 10分 15分 30分 45分 1時間 1時間以上
使用食材

食材名	消費分量
野菜	(01/01)にんにく 残70% <input type="radio"/> 50% <input type="radio"/> 100% <input type="radio"/> 残り全部 <input checked="" type="radio"/> 指定: 30

 使用した料理: ご飯 豚汁

メニューにした理由 なぜそのメニューにしたのか記入してください。
 寒かったので体が温まるように豚汁を作った。

図3 食行動記録システムの画面（食事内容の入力画面）



図4 食行動記録システムで収集した食事写真の例

3. 分析事例

3-1. 「摂食」場面から見た生鮮野菜消費の実態

野菜の消費拡大が政策的に進められてきているが、実際の野菜類摂取量は1日あたり286.5g(2012年)にとどまり、目標とされている350gには届かない状況にある(厚生労働省「国民健康・栄養調査」)。もちろんこれは平均値であり、実際には、世帯によって生鮮野菜の消費実態は大きく異なると考えられる。

そこで、生鮮野菜の購入量に違いをもたらす要因を把握するために、「加工・調理」及び「摂食」の場面での行動やその背景にある食に関する意識が、「購入場面」の行動の結果である「生

鮮野菜の購入量」にどのように影響しているかを検討した^{注2)}。

表1は、「小学生のいる世帯」における朝食及び夕食での生鮮野菜の使用状況を、生鮮野菜購入量の異なる3つのグループで比較したものである。朝食1回あたりの料理(メニュー)数自体はどのグループもほぼ同じであるが、生鮮野菜購入量が多いグループは、生鮮野菜を使用した料理数が多く、2週間のうち生鮮野菜が朝食に登場する回数も多い。一方、夕食では、生鮮野菜が登場する回数には差はないが、食事1回あたりの生鮮野菜を使った料理の数やそこで使用される生鮮野菜の品目数(種類)が多い。ただし、生鮮野菜使用量が多いグループとその

注2) 本稿では、以下の調査Aと調査Bのデータを用いた分析結果を報告する。調査Aは、小学生以下の子供がいる既婚の女性モニター42人を対象としたもので、茨城県R市の女性19人に対して2008年2月に、また、R市と近接する茨城県T市の女性23人に対して2009年2月に、それぞれ2週間実施した。調査Bは、首都圏在住で末子が高校生以下の既婚の女性モニター40人を対象としており、2009年11月と2010年6月に各2週間実施した。生鮮野菜の分析事例は調査Aのデータ、主食に関する分析及び食品の購買理由のテキストデータ分析には調査Bのデータを使用している。なお、調査A及び調査Bは、ライフステージや家族構成が異なる様々な世帯を比較するのではなく、「子供のいる世帯」という特定のライフステージに限定して調査を行ったものである。これは、ライフステージの影響を除いた上でなお消費実態にどのような違いがあるかを把握するためであるが、今後は様々な属性の世帯・消費者を対象に調査を実施していく予定である。

他のグループの食事1回に使用する生鮮野菜の品目数の差は1.5～2程度であり、また、生鮮野菜を使った料理数の差も1程度で、それほど大きくない。

次に、生鮮野菜購入量が多いグループが、どのような料理によく生鮮野菜を使用しているかを確認すると(表2)、朝食ではサラダ、カットしただけのもの(具体的にはトマト、キュウリ等)、カット・加熱のみ施したもの(茹でブロッコリー等)、炒め物・焼き物(ほうれん草炒め等)の出現回数が多い。一方、夕食では汁物(味噌汁等)、煮物・煮込み(カレー、シチュー等)

など様々な料理で生鮮野菜を使用の出現回数が多い。

以上のことから、どのグループも野菜を摂取すること自体はこころがけていることがうかがえる。しかし、より時間的余裕が少ないと考えられる朝食において、トマトやブロッコリーなど簡単な1品を出すかどうかや、夕食であと1品、野菜メニューを作るかどうかといったことが、全体としての生鮮野菜の購入量に影響していると考えられる。

また、記録調査の後に実施したアンケート調査で、食に対する行動・考え方の自己評価を把

表1 朝食および夕食での生鮮野菜の使用状況

消費者 モニター グループ	食事	料理(メニュー)の数 (飲料・デザートを除く) (食事1回あたり)	生鮮野菜を使用した 料理数(食事1回あたり)	使用した生鮮野菜の 品目数(食事1回あたり)	生鮮野菜を使った料理 が出た食事回数 (2週間あたり)
		生鮮 野菜 購入量	少 中 多	2.9 2.9 3.2	0.6]# # [0.6 # [1.2]
検定結果			*	*	*
生鮮 野菜 購入量	少 中 多	3.5]# # [3.3 # [4.4]	1.4]# # [1.7 # [2.5]	2.6]# # [3.1 # [4.6]	12.2 12.1 13.6
検定結果		*	*	*	

注1) 調査Aによる。生鮮野菜の購入量により調査対象者を3グループに分けて比較した。

注2) 野菜は品目によって形状や重量、価格が異なり、購入量を統一的に把握する指標がないことから、代替する指標として「点数」を用いた。これは、1回の店舗利用毎に生鮮野菜1品を1点とするものである。

注3) 3要因の分散分析の結果10%水準で有意であった項目は*を示した。また、分散分析で有意差が確認された項目に対して、Tukey法による多重比較を行い、10%水準で有意であったものは、#を示した。表2、表3も同じ。

表2 生鮮野菜を使用した料理の出現回数

消費者 モニター グループ	食事	サラダ	カットのみ	カット・ 加熱のみ	炒め物・ 焼き物	煮物・ 煮込み	お浸し・ 和え物・ 酢の物	汁物	鍋料理
		生鮮 野菜 購入量	少 中 多	0.3]# 0.4]# 1.3]#	0.9]# 2.2]# 3.4]#	0.4]# # [0.1 # [1.9]	0.1]# # [0.6 # [1.9]	1.1 0.8 1.5	0.7 0.3 0.8
検定結果		*	*	*	*	-	-	-	-
生鮮 野菜 購入量	少 中 多	2.5 2.6 4.3	1.5 1.6 2.0	0.6]# # [1.0 # [2.9]	2.6 2.6 4.3	3.3]# # [3.9 # [6.2]	0.9]# # [1.7 # [3.8]	3.8]# # [4.1 # [7.1]	0.6 1.1 1.2
検定結果		-	-	*	-	*	*	*	-

注1) 調査Aによる。

注2) 「カットのみ」はトマトやキュウリなどをカットしただけのもの。「カット・加熱のみ」は、カットして茹でる・焼く等の加熱処理のみを行ったもので、茹でブロッコリーなど。

握した。ここでは、様々な項目のうち有意差が確認できたもののみ示しているが（表3）、生鮮野菜購入量の多いグループは他のグループに比べて、食品の買い物が苦にならず、購入する食品の産地等に関心がある傾向が見られる。また、料理を作ることが好きで、レパートリーも多く、料理の彩りや盛りつけにも気を配る、さらに下ごしらえ済みの食材はあまり利用しない傾向が見られ、生鮮野菜の購入量に対しては、食品の購入や調理が好きかどうかといったことが大きく影響している可能性が示された。

3-2. 「摂食」場面から見た主食選択行動

食事は、穀類を主な原料とする主食と多様な

食品を調理した副食からなり、特に主食は主なエネルギー源であるほか、副食の組み合わせを規定するなどの重要な役割を担っている。日本においては、国内の主要農産物である米が主食の中心となっているが、その消費量は減少を続けており、今後の動向を検討する上でも主食選択行動を明らかにすることは重要な課題といえる。

そこで、米を含めた様々な主食の食卓への出現状況を把握した。記録された3774件の食事のうち92.5%の食事に主食が含まれ、主食なしは4.3%にとどまった。主食の内訳をみると（表4）、朝食、昼食、夕食で異なる特徴が確認できた。朝食はご飯類とパン類に二分されるが、パン類が57.2%と最も多い。昼食では、家庭で

表3 食に関わる行動・考え方に関する自己評価

消費者モニターグループ	食料品の買い物には時間をかけたくない	地場産の農産物を利用する方である	料理を作ることが好きである	料理のレパートリーが多い方である	料理の彩りや盛りつけにも気を配る方である	下ごしらえ済みの食材を利用する方である
生鮮野菜購入量	少 中 多	3.4 3.7 2.4	3.1 3.7 4.3	3.1 3.6 4.6	2.5 3.3 3.6	2.1 2.7 1.3
検定結果	*	*	*	*	*	*

注1) 調査Aによる。

注2) 各設問に対して5段階で自己評価してもらった結果である。「あてはまる」を5、「ややあてはまる」を4、「どちらともいえない」を3、「あまりあてはまらない」を2、「あてはまらない」を1として集計した。

表4 主食の種類別出現数

	ご飯類				麺類					パン類			その他	合計
	計	白米	白米以外のご飯	寿司・おにぎり	計	うどん・そば	パスタ	中華麺・その他	焼きそば	計	食パン	惣菜パン・サンドイッチ・菓子パン		
出現数（食）	2064	1329	503	271	570	163	164	158	95	1071	623	498	117	3491
割合（%）	59.1	38.1	14.4	7.8	16.3	4.7	4.7	4.5	2.7	30.7	17.8	14.3	3.4	100
朝食（1176食）	44.3	32.0	6.7	6.0	3.2	1.1	1.4	0.3	0.4	57.2	41.8	18.9	5.0	100
昼食（1125食）	49.2	22.5	15.3	12.5	30.1	9.1	7.4	10.6	3.9	28.9	9.3	20.3	3.0	100
手作り弁当以外（939食）	40.1	12.6	16.8	11.9	35.4	10.9	8.3	12.7	4.5	33.0	10.6	23.2	3.6	100
手作り弁当（186食）	94.6	72.6	7.5	15.6	3.8	0.0	2.7	0.0	1.1	8.1	2.7	5.4	0.0	100
夕食（1190食）	83.2	58.8	21.2	5.0	16.2	4.1	5.4	3.0	3.9	6.1	2.2	4.0	2.0	100

注1) 調査Bによる。

注2) 外食、調理済み食品（中食）を含む。

注3) 3774件の食事のうち、主食が含まれる3491件について集計したものである。

作られた弁当（手作り弁当）とそれ以外で傾向が異なり、手作り弁当の主食はご飯類が94.6%と圧倒的に多いが、それ以外の昼食はご飯類、麺類、パン類がかなり似通った頻度で出現している。夕食ではご飯類が83.2%を占め、夕食における中心的な主食はご飯類といえる。

また、ご飯類では白米が全体の38.1%を占め、主食の軸は「白いご飯」であるといえるが、同時に「混ぜご飯」「炊き込みご飯」などの「白米以外のご飯」が夕食では21.2%を占める。麺類は、昼食での出現率が高く、特に「中華麺その他汁麺」が昼食全体の10.6%を占めるのが特徴的である。夕食時に出現する麺類で最も多いのは「パスタ」である。パン類では、「食パン」はもっぱら朝食で出現する一方、「総菜パン・サンドイッチ、菓子パン」は朝食・昼

食とも2割程度を占める。

次に、このような多様な主食がどのような要因で選択されているかを検討した。選択の要因には様々なものが考えられるが、ここでは、その一つとして選択時点で置かれた「状況」に注目した。記録調査後に実施したインタビュー調査において、食事の際に家族が揃うかどうか、特に夫がいるかないかで献立を変えるという発言が複数あったからである。

このことを確認するために、食卓構成メンバーと主食の種類との関係を見たのが表5である。朝食では、夫がいる/家族が揃っていると主食がご飯類になる傾向があり、逆に夫がいない/家族が揃っていないと主食がご飯類ではないという傾向がみられる。夕食においても、夫がいると主食がご飯類になり、パン類は選

表5 食卓構成メンバーと主食選択

	朝食		昼食				夕食					
	ご飯類		ご飯類		麺類		パン類		ご飯類		パン類	
	出ない	出る	出ない	出る								
夫がいる	54.6%	45.4%	62.4%	37.6%	57.3%	42.7%	79.3%	20.7%	18.9%	81.8%	95.5%	4.5%
夫がいない	61.4%	38.6%	55.3%	44.7%	78.5%	21.5%	73.3%	26.7%	25.5%	74.5%	92.2%	7.8%
家族が揃っている	52.4%	47.6%	65.8%	34.2%	50.3%	49.7%						
家族が揃っていない	61.3%	38.7%	55.7%	44.3%	76.8%	23.2%						

注1) 調査Bによる。

注2) 食卓構成メンバーと各主食が出る割合との関係について χ^2 乗検定を行い、有意傾向が確認された主食を表に示した。また、調整済み残差分析の結果、有意に大きいもの（+1.96以上）は太字とし、小さいもの（-1.96以下）は下線をつけた。

表6 内食における主食の種類と調理時間・副食数

主食のタイプ	食事数		調理時間（分）	副食数
	度数	構成比		
ご飯（炊飯）	789	33.2%	$\# \left[\begin{matrix} \# \left[\begin{matrix} 20.2 \\ 10.4 \\ 13.4 \\ 6.9 \end{matrix} \right] \# \\ \# \left[\begin{matrix} 3.4 \\ 2.3 \\ 1.0 \\ 1.2 \end{matrix} \right] \# \end{matrix} \right] \#$	
ご飯（保存）	501	21.1%		
めん類	357	15.0%		
パン類	729	30.7%		
合計	2376	100.0%		13.0
検定			**	**

注1) 調査Bによる。

注2) 分散分析の結果5%水準で有意であった項目は**を示した。また、分散分析で有意差が確認された項目に対して、Tukey法による多重比較を行い、5%水準で有意であったものは#を示した。

注3) 副食は食事を構成する料理のうち、主食以外のおかず、汁物、デザートを指し、飲み物は含まない。また、主食と副食が組み合わさった料理については、副食部分を分離して数えることは困難であるため、一品として独立している副食についてのみ検討をおこなった。

ばれない傾向がある。これに対して昼食では、夫がいる/家族が揃っているとご飯類が選ばれず、麺類が選ばれる傾向がある。さらに、夫がいる場合にはパン類が避けられる傾向もある。

夫がいない昼食や夕食でパン類を選択する理由としては、「簡単に済ませたかった」という記録が多くみられ、夫がいないという状況が「簡単に済ませる」誘因になっていること、パン類が簡単な食事の主食として選ばれていることが推察される。

そこで、肉食（家庭内で調理した食事）における主食の種類と調理時間、副食数との関係を整理した（表6）。ご飯類（調理時に炊飯したもの）の調理時間が最も長く、副食数も多い。調理時間は次いで麺類、ご飯類（保存していたものを利用）、パン類の順で長く、副食数ではご飯類と麺類・パン類との間に有意な差が確認できる。すなわち、ご飯が主食の献立からパン類や麺類が主食の献立に切り替えるときには、副食数を少なくでき、また調理時間も短縮される。家庭における調理担当者は、おそらくこのような各主食の特性を経験的に理解しており、調理の簡便化を図りたい状況において主食選択によってそれを実現している実態がうかがえる。

3-3. 食品の購入理由に関するテキストデータの分析

食行動記録システムでは、買い物のシチュエーション、食品の購入理由や使用後の評価、食事メニューの決定理由など、文章データを入力する箇所を設けている。購入商品や食事内容のデータは、いわば行動の結果を表すものであり、その行動をとった状況や行動の背景にある意識・考え方を同時に把握することで、消費の実態により深く迫ることができるからである。ここでは、「食品の購入理由」のデータを用いて、消費者が食品を購入する際の動機について分析した事例を紹介する。分析にあたっては、まず食品の購入理由についての文章データを形態素に分解して、出現頻度の高い200語を抽出した。次に、この200語から文章内容を想起させる語

を抽出し、それらのうち同義語をまとめて1つのキーワードとした。

キーワードを抽出した結果が表7である。出現数が多いのは、値段の安さや割引などを示す「安価」、朝食・昼食・夕食・弁当などの「食事」、お鍋やおでん、炒め物など具体的な料理名をあげた「料理」、夫・子ども・自分など「家族」、買い置きや在庫など「ストック」などである。

これらキーワードの出現数と食品の種類との関係をカイ二乗検定で確認したところ、14のキーワードにおいて出現傾向が有意に異なることがわかった。そこで、有意差の認められた14のキーワードの出現数と食品の種類との関係について、コレスポネンス分析を行った（図5）。

「新鮮」や「彩り」は野菜の購入理由として特徴的に出現するキーワードである。他に、野菜と肉では「安価、料理、便利、使用」などが共通して多く出現している。すなわち、野菜や肉は、消費者がある料理を想定した上で、それへの使用を目的として購入していることを示している。魚も料理の「材料」として購入される一方、家族からの「リクエスト」も大きな購買動機であることがわかる。

一方、卵は「ストック」に関する用語が他の食品に比較して多い。常に冷蔵庫に入れておく食材として意識されており、在庫が切れそうになると購入するという購買行動が読み取れる。乳製品も比較的「ストック」の出現が多く常備される食材といえるが、「家族、好き」というキーワードから家族の好みが反映されているとみられる。また、「好き」は「リクエスト」とともに果物での出現も多く、果物が嗜好品的な位置づけにあることが読み取れる。

惣菜および「その他」では、「食事、家族、美味しい」の出現が多くなっている。「その他」にはパンや麺類、加工品等が含まれており、惣菜とともに「家族」のどれかの朝食やお弁当等の「食事」に供することを目的に購入される。そして、野菜や肉など他の生鮮食料品に比較すると圧倒的に「美味しい」という言葉の出現割合が高く、惣菜や加工品は味の良さが購

表7 「食品の購入理由」データから抽出したキーワード

キーワード	出現語	出現数
1 安価*	値段, 特売, 半額, 見切り, 安売り, セール, 広告, 価格, 割引, 値引き, タイム, お買い得, 特, 均一, 値段	1444
2 食事*	夕食, 朝食, 弁当, 夕飯, おかず, 昼食, ご飯, ごはん, デザート, つまむ, 食事	1000
3 料理*	鍋, サラダ, 料理, おでん, 餃子, 炒める, すき焼き, 味噌汁, スープ, なべ, うどん, 天ぷら, 刺身, ラーメン, 焼きそば, 麻, 婆, お鍋, 揚げ	496
4 家族*	子供, 夫, 子ども, 娘, 主人, 自分, 家族, 旦那, 息子	487
5 ストック*	買い置き, 常備, 在庫, 備品, ストック, 保存	487
6 便利*	便利	458
7 美味しい*	美味しい, おいしい, 味	439
8 使用*	使う, 作る, 入れる, 使える, 使用, 利用	410
9 好き*	好き, 好物, 大好き	291
10 材料*	材料, 具	107
11 新鮮*	新鮮, 鮮度	95
12 リクエスト*	欲しい, リクエスト, 希望	71
13 冷凍	冷凍	28
14 必要	必要	22
15 安心	安心	18
16 何となく	何となく	18
17 彩り*	彩り	13
18 試食*	試食	11
19 簡単	簡単	10

注1) 調査Bによる。

注2) 「キーワード」は「出現後」を代表する言葉。

注3) *は食品の種類で出現傾向が異なることを示す。なお、食品の種類には、野菜、果物、肉、魚、総菜、卵、乳製品、その他がある。

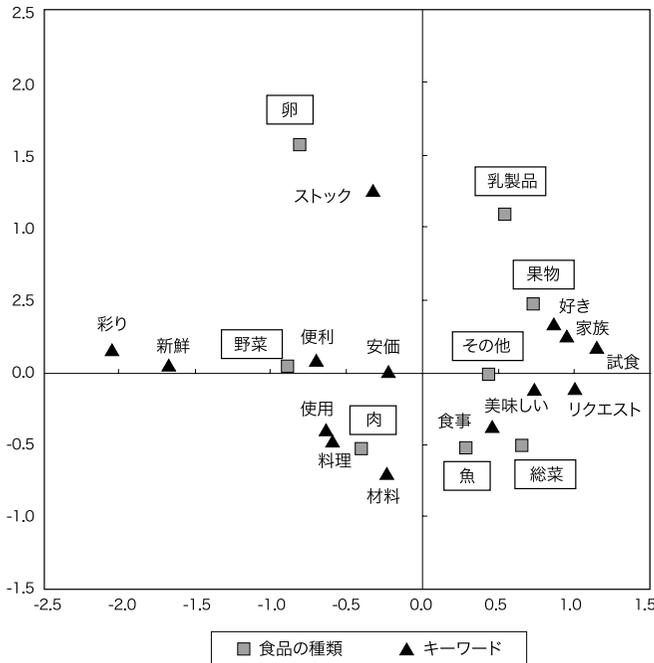


図5 食品の種類と購入理由に関するコレスポンデンス分析結果

入の重要な決め手となっていることがわかる。

4. 食行動記録システムの活用方向

本システムの活用場面としては、次の3つを想定している。1つめは、食品の消費を規定する要因を解明するといった基礎的研究である。本稿で紹介した生鮮野菜と主食に関する分析事例はこれにあたる。食品の購入・摂取の有無やその頻度・量に何が影響しているかを分析することは、我が国の消費の現状を理解する基礎資料になるとともに、消費拡大方策の提案等に活用できる。例えば生鮮野菜の分析では、朝食や夕食で「あと1品」あるかないかが、全体としての生鮮野菜の購入量に影響し

ていることを指摘した。これを踏まえると、野菜消費の底上げを図るには、啓発活動の進め方として「朝食に1品野菜を」あるいは「夕食にあと一品野菜を添えよう」など、より具体的な目標を示すといったことが提案できる。

2つめは、特定の品目を対象とした、販売方法や商品形態などのマーケティングへの活用である。前述の農産物の購買理由に関する分析のようなアプローチは、農産物の消費実態を明らかにする基礎的研究であるとともに、ある特定の農産物や食品の購買動機に基づいた販売戦略の構築にも活用できる。分析では、野菜や肉、魚は、作ろうとする料理が先にあり、その材料として購入されていたことから、ある野菜の購買を促すのであれば、その野菜を用いた「作りたいと思うような料理」を提案することが有効であると考えられる。一方、惣菜や加工品など

は、「誰の、どんな食事か」という使用シーンをイメージしやすくするとともに、「美味しさ」のアピールが重要といえる。

その他にも、食行動記録データをもとに、購入の頻度や場面、調理方法、組み合わせている食材、購入してから使い切るまでの日数、食卓で実際に食べている人等を詳細に観察すれば、販売方法や商品形態についてのより実践的な提案ができると考えられる。

3つめは、食に関する活動の効果の検証である。食育等の教育的取り組みや特定の食品の販売促進活動が、消費者の実際の行動（食事内容や購入商品）にどう影響したか、またその持続性はどうかを把握し、取り組みの効果を検討するものである。筆者らの研究グループでは、これら様々な観点から今後の調査・分析を進めていく予定である。

参考文献

1. 大浦 裕二：食に関する多様な消費者行動の解明に向けた視点と方法．フードシステム研究，**19-2**，46-49，2012．
2. 山本 淳子，大浦 裕二：子育て世代における野菜の購買・消費行動の特徴．フードシステム研究，**16-3**，100-105，2009．
3. 小野 史，山本 淳子：主食消費の多様化と選択要因に関する一考察－食行動記録データから－．フードシステム研究，**18-3**，203-208，2011．
4. 小野 史，山本 淳子，大浦 裕二：内食における主食選択による食の簡便化－主婦の就労と世帯規模に注目した分析－．2013年度日本農業経済学会論文集，197-204，2013．
5. 磯島 昭代，大浦 裕二，山本 淳子：食行動記録データの分析による購買動機の解明．東北農業研究，**64**，169-170，2011．

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 : α -リノレン酸, γ -リノレン酸, トランス脂肪酸, ビタミンD

11章 ベジタリアン食：高齢者に対する健康効果

1. はじめに

合衆国で最も急激に人口が増えているのは、85歳以上の年齢層です¹⁾。同様に1900年以降、65歳以上の年齢層も顕著に増加しています。この傾向は、1980年から目立っていて、2000年までには、約3,800万人が65歳以上になります。ヒトの寿命を延長させる優れた栄養状態の正確なエビデンスを、最良の状態で証明することは困難です。しかし、栄養改善は最大寿命に到達する人々を増やし、また、集団全体の寿命を進展させるのにも貢献すると思われます。寿命の延長は、20世紀以降、幼児や児童の死亡率の低下に始まり、1歳の誕生日を祝える幼児を2倍にさせ、また、多くの子供の疾病を減少させてきました。さらに、安定した食品供給と医療技術の進歩が多くの人を65歳に到達させてきました。

現代の医療への挑戦は、120歳の潜在寿命に

到達する前に塞がる壁に打ち勝つことを目指しています²⁾。この章は、多くの因子に由来する死亡率が、ベジタリアン食によって低下することができるという考えを支持するエビデンスを要約します。最大寿命に到達するためには、西欧型の肉食を改善する食事が主要な部分となります。実際、高度な技術にもかかわらず、慢性の退行性疾患はしっかりと私達の社会に根を張り続けています。雑食者は、米国と北ヨーロッパの主要な死亡原因の半数以上と見られます³⁾。

老化を縮小することは全ての年齢で関心があり、若い人にとっては若さを維持することであり、老人にとっては、老化速度を減少させることです。40年前より、エイジングの研究はフリーラジカルと体の酸化還元バランス状態に集約されてきました⁴⁾。抗酸化サプリメントは、実験動物の平均寿命を延長させました⁵⁾。ミトコンドリアの細胞活性が最大となり、ミトコンドリアの電子伝達系複合体活性が顕著に改善されます⁶⁾。N-アセチルステイン等のチオール供給体や他の特別な化合物が、ミトコンドリアの主要な酸化還元調整剤であるグルタチオン

の供給を直接実現するために必要なようです⁷⁾。

生きた脊椎動物は常に、食事から抗酸化物質を必要とします。ヒトの体にとっては、果物、野菜やある種のミネラルのサプリメントが複合の補給剤として摂取される必要があります。食事による血清中の抗酸化物質増加 ($P<0.05$) のデータは、15日間、果物や野菜を10サービング追加することで得られ、この食事は、雑食者の血清抗酸化物質量を増加させます⁸⁾。酸素ラジカル吸収活性 (ORAC) と α -トコフェロール濃度は、酸化値を示します。ORAC 単位の1~16日の平均値は統計的に $P<0.005$ で有意です。面白いことに、60~80歳のグループは、20~40歳のグループに比べ、学習前も学習後も有意に高い α -トコフェロール濃度を示しました⁸⁾。事実、抗酸化物質の増加と高齢者との高い相関は Mecocci ら⁹⁾によって示され、百歳老人はビタミンAとE濃度が高く、さらに抗酸化的酵素活性は若年よりも高いことを指摘しました。

2. 雑食者とベジタリアンとビーガンにおけるたんぱく質の差

75g/kgの体重群では、たんぱく質の推奨量 (RDA) は若年成人と老人では同じようです¹⁰⁾。このことは驚くべきことで、成人の体のたんぱく質量は年齢と共に減少し、明らかに脂肪と筋肉が入れ替わるからです。筋肉量は、たんぱく質合成率における体全体のたんぱく質の代謝回転率と関連しています。Campbell ら¹¹⁾の最近の研究では、高齢者では、窒素バランスを維持するためには1.0g/kg/日のたんぱく質を推奨しています。高齢者のストレスのかかる身体的、生理学的刺激は負の窒素バランスを引き起こします。

ビーガンと雑食者での、たんぱく質によるカロリー%は8%と18%で、ベジタリアンに比べ

雑食の人は約2~10%多くたんぱく質を摂っています。たんぱく質摂取が最も低いのはビーガンです¹²⁾。動物性たんぱく質は、必須アミノ酸、含硫アミノ酸量がかなり高く、単独の植物性たんぱく質よりも動物の成長速度を促進します。植物性たんぱく質を2種以上、単一の食事かその日の食事のいずれかに組み合わせると、児童の成長における潜在的な成長の差が相殺されます^{13,14)}。

Haddad らの研究での成人ビーガンは、雑食者の対照群より血清アルブミン値が高く、ビーガン食でのたんぱく質の適正さを示していました。また、ビーガンは、低い血中尿素態窒素値を保持していました。長期のこのパターンは、慢性腎疾患罹患率の低下を助けます。

動物性たんぱく質は、メチオニンやシステインとして硫黄をかなり含んでいます。これらのアミノ酸は雑食者に高い酸性負荷を起し、骨疾患とエイジングにおける筋肉浪費の病因学的主要な成分として、一部、影響しているようです¹⁶⁾。このことは、重炭酸カリウムを摂取した閉経後の女性の、ミネラルバランスと骨代謝の改善の説明としても有用です¹⁶⁾。また、脂質過酸化は細胞外pHの低下を促進します。酸性側のpHは、フリーラジカル活性を促進する遊離イオンが存在する「安全」結合部からイオンを放出させます¹⁷⁾。このように、全植物食による少ない硫黄とリンの摂取は、高齢者に対し有意に長寿への利点を提供するように思われます。

高齢者に対する動物性たんぱく質の減少あるいは削減のもう一つの利点は、ベジタリアンとビーガンの低い血清脂質濃度で見られます。食事のたんぱく質、つまり、動物性か植物性かは、血清コレステロール値に対するたんぱく質の影響の初期の因子となります。この様に、たんぱく質のアミノ酸組成は血清コレステロール値を調節する因子です¹⁹⁾。16件の引用文献は、た

んぱく質のリジン：アルギニン比が血清コレステロール値とアテローム化に対するたんぱく質の影響を説明していることを示しています¹⁹⁾。図 11-1 は血清コレステロール値に対する動物性と植物性たんぱく質の関係を示しています。大豆たんぱく質は、長期の研究で、高脂血症患者の血清コレステロール値を低下させる有効な手段とされてきました。しかし、飽和脂肪酸を多く摂取すると大豆たんぱく質の効果を阻害してしまいます²⁰⁾。血清コレステロール値が低下すると、血清中のアルギニン、グリシン、セリン、スレオニン濃度は有意に増加し、リジン、ロイシン、バリン、フェニルアラニン、チロシン、ヒスチジンは減少します。この点に関し、ロイシン：アルギニン比の変化指数はリジン：アルギニン比と同程度の有意差に思われます¹⁹⁾。

グルカゴン分泌はアルギニン濃度に依存します²¹⁾。インスリン分泌はロイシンに依存します^{19,22)}。しかし、アルギニンを大量に摂取すると、グルカゴンとインスリン双方の分泌を起こさせます²³⁾。大豆たんぱく質の摂取は、血

清アルギニン濃度とグルカゴンの穏やかな増加、HMG CoA リダクターゼの阻害、コレステロール生合成における酵素の律速をもたらします²⁴⁾。ロイシンは、インスリンの分泌促進剤で、一方、インスリンは HMG CoA リダクターゼを活性化します²⁵⁾。

脂質と炭水化物を一定にし、動物性たんぱく質として牛乳由来のカゼインと大豆由来の大豆たんぱく質を含む実験食を試したところ、正常な人と高コレステロール血症の人のインスリン：グルカゴン比に対する反応は低いものでした。高脂血症の人に対して、大豆たんぱく質は、カゼインの影響とは対照的に有意 ($P<0.001$) にこの比率を低下させました²⁶⁾。図 11-2 は、インスリン：グルカゴン比をプロットした後の差を示しています。高濃度のインスリンは、冠動脈心疾患²⁷⁾と糖尿病のリスク因子と考えられています²⁸⁾。II 型糖尿病は、成長期と壮年期に植物性たんぱく質を摂ることでインスリン分泌を低下させ予防できるかも知れないことを、最近の研究は示唆しています²⁹⁾。このこ

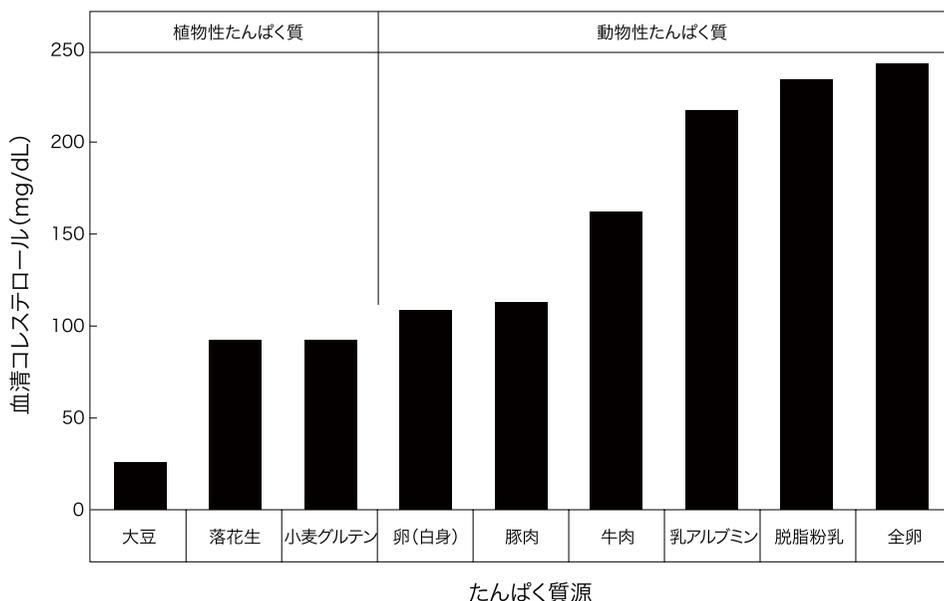


図 11-1 植物性たんぱく質を摂取したうさぎは、動物性たんぱく質を摂取したものより、血清コレステロールが低い。(Sanchez と Hubbard より)¹⁹⁾

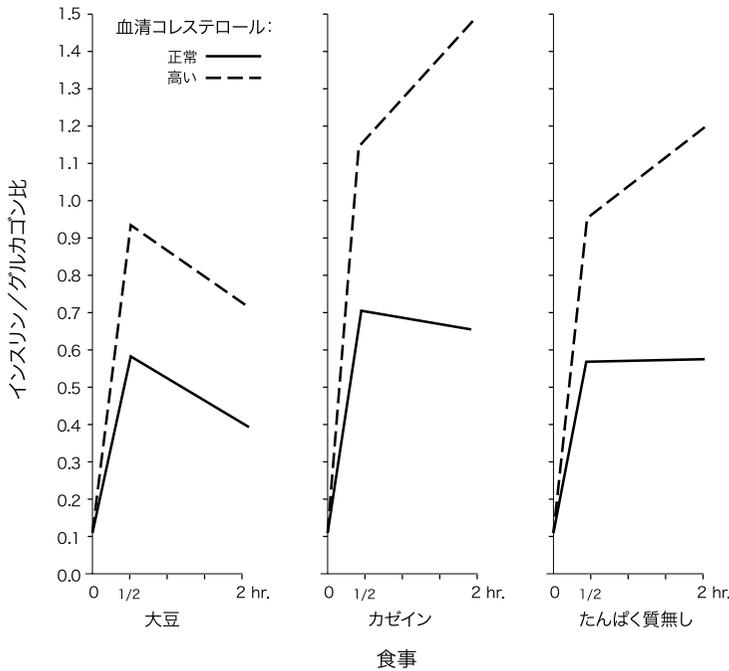


図 11-2 コレステロール値が正常な人と高コレステロール血症の男性に、たんぱく質のない食事、大豆タンパク質、又はカゼインを与えた血清インスリン/グルカゴン比 (Hubbard らより)²⁶⁾

とは、生涯を通して運動の継続も加えることで、NIDDM から高齢者を保護するように思われま
す^{30,31)}。

甲状腺活性の増加は、ビーガンの高い安静時代
代謝量³²⁾と甲状腺刺激ホルモン濃度の上昇によ
って示されます³³⁾。このことは、なぜ、ビー
ガンが平均して低いBMIで、瘦身であるのか
の説明になっています³²⁾。また、サイトカイン
2と γ -インターフェロン濃度が有意に上昇
することに関し、ビーガンの免疫は雑食者に比
べ、上昇している状態にあります³⁴⁾。

さらに、低ロイシン食がDOPA 摂取との競
合を低下させるので、パーキンソンの患者は低
ロイシンのビーガン食が効果的で、DOPA の多
量摂取による望ましくない副作用なしで、パー
キンソン疾患症状を抑制することができる医療
が可能になります³⁵⁾。

食事によるたんぱく質摂取の適切さを評価す
ることは、近年、複雑になっており、きちんと

食事をしている人の殆どが、たんぱく質を吸収できない
ということが示されています。これは特に高齢者に於いて深
刻です。血清アミノ酸パターンはアラニンの過剰を示し、
尿素態アミノ酸は、アラニン、イソロイシン、ロイシン、チ
ロシン、フェニルアラニン、リジンの低値を示します³⁶⁾。
このことは、消化たんぱく質のアミノ酸吸収の低下と相関
した不適性なたんぱく質摂取を表しており、コリサイクル
の糖新生³⁷⁾か骨格筋肉の分解を示しています。 γ -リノ
レン酸の供給源である月見草油かボラージ油を用いたn-6系
脂肪酸によりこの状態を改善

することにより、減量した体重を増加させて骨
格筋肉の分解³⁶⁾を低下させるか、阻止します。
この説明は後の脂質の項でさらに詳しく述べま
す。明らかなのは、栄養不足の高齢者は、窒素
の働きを活性化させるために、できるだけ早く
たんぱく質とエネルギーのサプリメントを摂る
必要があるということです³⁸⁾。

植物性食品を基礎にした変化に富んだ食事は
適切なものであり、成長と体の恒常性は動物性
たんぱく質を基にした食事と同等の結果をも
たらします³⁹⁾。肥満、便秘、肺がん、高血圧、
冠動脈疾患、II型糖尿病、胆石、憩室疾患、結
腸がん、カルシウムの腎臓結石や骨粗鬆症の低
い罹患率や乳がんリスクの低下を示す、特にバ
ランスのとれたビーガン食は、高齢者にとって
明らかに有効と考えられます^{3,39,40)}。Key ら⁴⁰⁾
は、毎日の新鮮な果物が虚血性心疾患や脳血管
疾患、肺がんに対し、生のサラダは虚血性心疾
患に対し予防効果があることを示しました(表

表 11-1 年齢と性別を補正後の、喫煙と 6 種の食事因子の死亡比率 (95% 信頼区間) (男性 4336 人, 女性 6435 人)

要因	全ての原因	虚血性心疾患	脳血管疾患	肺がん	結腸直腸がん	乳がん (女性)
喫煙家	1.52 (1.34 ~ 1.73)**	1.43 (1.11 ~ 1.84)**	1.53 (1.02 ~ 2.2) *	5.43 (3.22 ~ 8.15)**	0.92 (0.45 ~ 1.87)	1.01 (0.5 ~ 2.02)
パイプ又は葉巻	1.22 (0.96 ~ 1.55)	1.49 (1.02 ~ 2.18) *	1.44 (0.72 ~ 2.91)	1.96 (0.67 ~ 5.73)	0.72 (0.17 ~ 3.05)	*
たばこ 1 ~ 14 本 / 日 *	1.39 (1.15 ~ 1.69)**	1.42 (0.97 ~ 2.09)	1.05 (0.53 ~ 2.06)	3.7 (1.68 ~ 8.15)**	1.21 (0.48 ~ 3.01)	1.25 (0.57 ~ 2.74)
たばこ 15 本 / 日	2.00 (1.66 ~ 2.42)**	1.36 (0.87 ~ 2.12)	2.42 (1.36 ~ 4.31)**	11.28 (6.26 ~ 20.28)**	0.68 (0.17 ~ 2.79)	0.6 (0.16 ~ 2.3)
ベジタリアン	0.98 (0.88 ~ 1.1)	0.82 (0.66 ~ 1.02)	0.91 (0.66 ~ 1.27)	0.79 (0.46 ~ 1.35)	0.79 (0.47 ~ 1.33)	1.64 (1.01 ~ 2.67)
白パン (毎日)	0.83 (0.75 ~ 0.98) *	0.82 (0.66 ~ 1.02)	1.02 (0.72 ~ 1.45)	0.76 (0.45 ~ 1.28)	1.08 (0.63 ~ 1.86)	1.08 (0.65 ~ 1.81)
ふすま入り穀類 (毎日)	0.97 (0.86 ~ 1.1)	0.98 (0.78 ~ 1.24)	0.91 (0.63 ~ 1.31)	0.4 (0.91 ~ 0.84) *	1.05 (0.61 ~ 1.81)	0.68 (0.37 ~ 1.24)
ナッツ又は ドライフルーツ	0.93 (0.83 ~ 1.04)	0.86 (0.79 ~ 1.07)	0.76 (0.54 ~ 1.06)	0.53 (0.29 ~ 0.95)	0.75 (0.44 ~ 1.27)	1.4 (0.86 ~ 1.34)
生果実 (毎日)	0.74 (0.66 ~ 0.84)**	0.73 (0.58 ~ 0.93)**	0.63 (0.44 ~ 0.91) *	0.4 (0.24 ~ 0.68)**	0.73 (0.41 ~ 1.3)	0.75 (0.42 ~ 1.34)
生野菜 (毎日)	0.87 (0.789 ~ 0.97) *	0.72 (0.58 ~ 0.89)**	1.15 (0.83 ~ 1.59)	0.67 (-.39 ~ 1.16)	0.79 (0.48 ~ 1.33)	1.15 (0.71 ~ 1.88)

* 両側 ($p < 0.05$)

** $p < 0.01$ のカテゴリー: 非喫煙, パイプ又は葉巻, たばこ 1 ~ 14 本 / 日, 15 本以上 / 日

*** 喫煙家 (男性 8 人, 女性 13 人) を含む

**** パイプ又は葉巻だけを吸う女性 33 人はたばこ 1 ~ 14 本 / 日に含まれ, 女性 13 人は本数不明

key, T.J.A., Thorogood, M., Appleby, P.N., and Burr, M.I. Dietary habits and mortality in 11,000 vegetarians and health conscious people: 17 年間のフォローアップ. *BMJ*, 313, 775, 1996.

BMJ 出版グループより掲載許可⁴⁰⁾

11-1)。彼らはまた、ベジタリアン女性には乳がんが多いことを示しましたが、信頼区間は幅広いものでした。彼らの研究では、喫煙者は虚血性心疾患、脳血管疾患、肺がんが高率で、喫煙が疾病に関与していることが強調されています。

3. 雑食者とベジタリアンとビーガンの脂質

ベジタリアンの高齢者、特にビーガンの高齢者は、虚血性疾患、プラーク形成、アテローム性動脈硬化症による脂質沈着、高血圧、心臓病やリウマチ性心疾患を最小限にする生活習慣を実施しています。植物性たんぱく質は、前述のように外因性コレステロールと中性脂質の生成を最小限に抑えます。植物性たんぱく質の食

事は、飽和脂肪酸よりも不飽和脂肪酸を優性にし、アテローム性動脈硬化症ばかりでなく、ある種のリュウマチ性疾患、骨粗鬆症によるミネラルの問題や多価不飽和脂肪酸 (PUFA) に関係するいくつかのがんを最小限に抑えます^{3, 40, 41)}。適度な運動を組み合わせたこの予防食は、脂質沈着が起こる前に、フリーラジカルによる最初の攻撃を抗酸化物質で減少させ、これらの疾患を防ぎます。例えば、冠動脈心疾患に対して、ベジタリアンやビーガン食は、豊富な穀類、果物、野菜、ナッツや種子から抗酸化ビタミンやミネラルを提供します^{3, 40, 41)}。高齢者にとってのこの抗酸化物質の豊富な摂取による成長因子については、次の項で詳細に述べられます。

ベジタリアン食の飽和脂肪酸に対する不飽

和脂肪酸の優性さが、総コレステロールとLDL-C量を低下させています。飽和脂肪酸(SFA)のラウリン酸(C12:0)、ミリスチン酸(C14:0)、パルミチン酸(C16:0)は、強い高脂血症因子です。パルミチン酸は、ヒトの体の中で、脂肪に転化する余剰エネルギーから合成される主要な脂肪酸です⁴²⁾。こうして、植物性たんぱく質を摂取するベジタリアンの高齢者は、大量のパルミチン酸を合成することはないのです。SFAであるステアリン酸(C18:0)は、血中リポたんぱく質には影響を及ぼさず、適度な炭水化物がある時は、中性と考えられています⁴³⁾。可食性脂質の中で、最も高い高脂血症因子は、パーム核油、ココナッツ油、パーム油とバターです。SFAはLDL受容体の合成と活性を低下させることで、LDL-Cを上昇させます。食事の炭水化物を置き換えると、全ての脂肪酸は絶食時の中性脂質を低下させる可能性があります⁴⁴⁾。LDL-Cを低下させ、HDLを上昇させる最も有効な方法は、代表的なオメガ-6多価不飽和脂肪酸(PUFA)のリノール酸(C18:2)を炭水化物と置換することです。これは、食事エネルギーの30%以下が脂質である、全て植物性食品の食事の主要な部分であり、30%の中の1/2か2/3がMUFA(単価不飽和脂肪酸)とPUFAです⁴⁵⁾。しかし、SFAの低下は、PUFAを上昇させるよりも血清コレステロールを低下させる2倍の効果があります⁴⁶⁾。PUFA:飽和脂肪酸比(P/S比)の平均は、雑食者では約0.64で、ビーガンでは、1.36です⁴⁷⁻⁴⁹⁾。

地中海型食事は、オリーブ油中のオレイン酸であるMUFAによって、顕著な健康効果を有しています。健常な北ヨーロッパ男性の23人の食事をSFAからMUFAに代えたところ、食後の因子Ⅶ(factorⅦ)の活性を伴い、LDLコレステロール濃度($P=0.01$)を有意に低下させましたが、中性脂質は有意に増加しました($P=0.003$)⁵⁰⁾。南ヨーロッパの同様な研究では、食後の血清中

性脂質濃度はかなり高く、北ヨーロッパ人よりも早く、絶食時濃度に戻りました⁵⁰⁾。オリーブ油の豊富な食事は、消化液の分泌を促進し、胃の空腹感を刺激し、結果的に脂質の吸収を早めます⁵²⁾。しかし、南ヨーロッパ人によるオリーブ油の豊富な摂取も、通常8週間の試験に比べると6週間と短く、意味を持ちません⁵¹⁾。オメガ-3脂肪酸のサプリメントをオリーブ油に添加すると、中性脂質は有意に低下するはずで

す⁵³⁾。また、オリーブ油の機能性成分は、血小板凝集の低下に有用です。高脂肪食の習慣のある60歳代の14人の閉経前女性を対象に、単価不飽和脂肪酸豊富な2種類の油、エクストラ・バージンオリーブ油(EVOO)と高オレイン酸のひまわり油(HOSO)の血小板凝集効果を比較しました。双方の油のオレイン酸は約76%で、パルミチン酸、リノール酸やその他の成分には有意差がありました。28日の間で使用した油はこれらのみで、脂質摂取全体の約62%を占めていました。(エネルギー換算では46%に相当)他の食事成分は、殆ど同じに調整しました。血小板凝集はEVOOではHOSOよりも有意に低下しました。 $(P<0.05)$ ここでは、EVOOとHOSO中のオレイン酸は同量に調整されていても、血小板凝集には有意差がありました。研究者らは、脂肪酸とは異なる他の機能性成分が存在し、血小板凝集を調整しているかも知れないと考えました^{54,55)}。

PUFAはオメガ-3、オメガ-6、オメガ-9群に分類されます。 ω -3、 ω -6PUFA群は、2つの必須脂肪酸、 ω -6として、リノール酸、 ω -3として、 α -リノレン酸を含んでいます(図11-3)⁴²⁾。 α -リノレン酸の必要性は、発がん、アレルギー性機能亢進、血栓症、卒中、高血圧、高脂血症、動物の老化を抑制する効果があることで示されています。アレルギー性機能亢進の抑制は免疫機能の抑制であり、特に、 α -リノレン

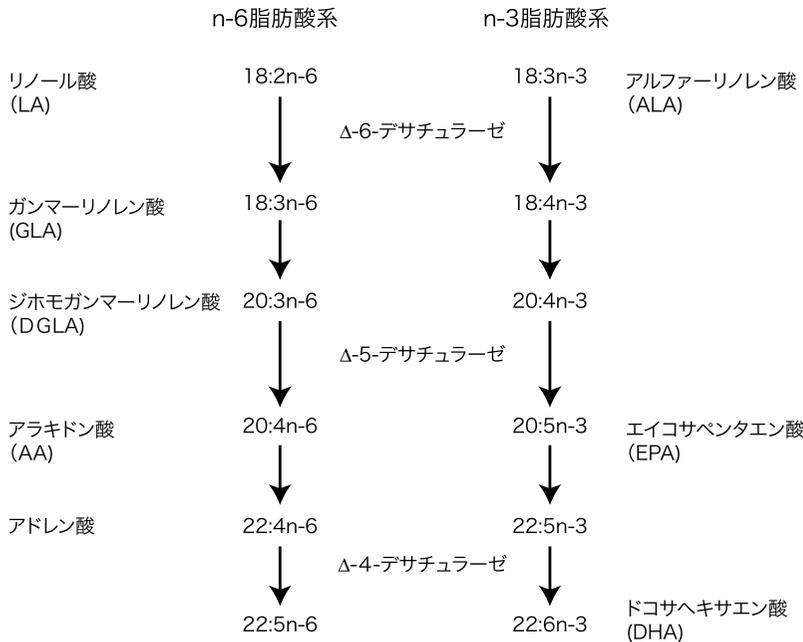


図 11-3 ω-6 と ω-3 必須脂肪酸系の代謝

ン酸の多量摂取は、アスピリン錠を一日数回摂取したと同様の、出血時間を顕著に増やします⁶⁰⁾。海産由来のω-3脂肪酸は、収縮期血圧と中性脂質を低下させますがLDLコレステロールを上昇させ、反面、植物性由来のα-リノレン酸は、LDLには影響を及ぼしません⁶¹⁾。必須脂肪酸である、ω-6脂肪酸のγ-リノレン酸、ω-3脂肪酸のEPAは、強い抗がん性を有しています⁶²⁾。

酸、エイコサペンタエン酸 (EPA)、ドコサヘキサエン酸 (DHA) の組み合わせとして、ω-3脂肪酸の供給源である魚油の場合で顕著に見られます⁵⁶⁾。魚油は、過剰な免疫反応、特に、リウマチ様関節炎の患者の症状を改善します⁵⁷⁾。結論として、ω-3脂肪酸は、老化、発がんや慢性疾患における過酸化脂質による障害に対して予防の役割を果たします。ω-3に対するω-6脂肪酸は同量か、最小限の量が推奨されます⁵⁸⁾。ω-6よりもω-3の多い食事は、細胞膜のリン脂質脂肪酸含量をすばやく置き換えることで、ω-6脂肪酸のリン脂質含量を低下させます⁵⁹⁾。α-リノレン酸の良く知られた植物性原料として、キャノーラ、亜麻仁、くるみ、大豆油があります。α-リノレン酸の動物性原料では、魚油やあざらし油があり、また、かなりの量のEPAとDHAを含みます。α-リノレン酸の食事は、体の中性脂肪の増加を抑えて、際立った治療効果をもたらすことができます。特に魚油からの、何か月にもわたるα-リノレ

4. トランス脂肪酸

ベジタリアン高齢者のω-3脂肪酸摂取は適正な量で、リノール酸としてのω-6脂肪酸は、ω-6/ω-3比が20:1かそれ以上を越える十分すぎる状態です⁶²⁾。しかし、γ-リノレン酸に変換する為のLAの能力は、加工油脂に幅広く利用されている水素添加油と称される成分によって妨げられます。水素添加油、あるいは、部分水素添加油は天然でないトランス脂肪酸を含んでいます。(TFA) シス型が天然の脂肪酸です。これらのTFAは、長鎖多価不飽和脂肪酸の生合成を阻害し、様々な体組織たんぱく質の保持や合成も阻害します^{62, 63)}。食事によるTFA又は組織に蓄えられたTFAは、様々な食事由来の慢性的退行性疾患の主要な因子です。さらには、脂肪組織に蓄えられたTFAと、TFAは閉経後の乳がんの原因因子であるということに強い相関があります^{63, 64)}。また、トランス単価不飽和脂肪酸はLDLを上昇させ、HDLコレス

テロールを低下させます^{64,65)}。これは、年齢と総エネルギー摂取の補正後でも CHD のリスクを高めることを示しています。脂肪酸のトランス異性体の摂取は、CHD のリスクと正の相関があります^{65,66)}。部分水添油中の TFA の摂取は、エネルギーが必要な際、リポたんぱく質受容体を阻害し、高コレステロール血症、アテローム性動脈硬化、肥満やインスリン抵抗性を誘導します^{66,67)}。

脂質代謝が阻害されている、初期の糖尿病患者への TFA の影響は、この異常な脂肪酸によってさらに障害を与えることとなります^{67,68)}。Horrobin の研究は⁶⁹⁾、すでに既知である、緩慢で律速酵素である Δ -6- デナチュラーゼの分解による、リノール酸から γ - リノレン酸の生合成の阻害を示しています。 Δ -6- デナチュラーゼ活性を低下させる水素添加油の直接の影響は、Mahfouz ら⁷⁰⁾ や、つい最近では、Whle や James の研究で特に力説されています⁷¹⁾。

月見草油を治療的な意味で用いた γ - リノレン酸のサプリメントに関する Horrobin の研究は、アトピー性皮膚炎、糖尿病性神経症、リウマチ性関節炎、炎症、組織硬化症、消化器系障害、ウイルス感染、感染性疲労症候群、子宮内膜炎、統合失調症、アルコール依存症、アルツハイマー、他の認知症、冠動脈疾患、腎臓病、がん、肝臓疾患のような疾患に対して、処方の効果力を力説しています。われわれ独自の研究は³⁶⁾、子供の手におえない発作、成人の慢性疲労症候群や多発性硬化症 (MS)、高齢者の体重やエネルギー管理の失敗に対し、月見草油 (EPO) の効果を示しています。多発性硬化症を研究している Swank は、MS 患者の処方に対し、EPO 使用とビーガン食を実施し顕著な改善を得て、同じ結論に至っています。雑食者、ベジタリアン、ビーガンの高齢者に関する最近の研究は、それぞれの食事を摂っている代表的な 50 人中 48 人が骨格筋肉の障害があり、健康維持ができない

エビデンスを示しました⁷⁴⁾。

5. 雑食者、ベジタリアン、ビーガンの炭水化物

澱粉、複合炭水化物、水溶性と不溶性食物繊維は、単糖類のぶどう糖から成る炭水化物分子です。ぶどう糖の遊離糖、果糖、蔗糖 (ぶどう糖と果糖から成る 2 単糖) は澱粉と共に、ヒトのエネルギー摂取の 40 ~ 80% を占める主要なエネルギー源です⁷⁵⁾。澱粉や繊維の場合、グルコシド炭素の α 、 β 鎖は、ヒトの消化管がそれらを分解してグルコース分子にできるかどうかを広く制御しています。消化できない炭水化物は、セルロースや関連する多糖類 (ヘミセルロース、ペクチン、ガム類、粘質物) のような β 鎖が主流を占めています。これらは、大便の不消化物となります。果物の遊離糖は、たんぱく質、少量の脂質、ミネラル類、ビタミンを含む様々な補助的な食品因子、水溶性、不溶性繊維と結合しています^{76,77)}。ベジタリアンとビーガンの高齢者は、ごく当たり前に豊富な繊維食を摂っています。これは、繊維が不足するか、あるいは適正な大便量を確保するために繊維のサプリメントを摂る必要がある雑食者の食事とは対照的です。ぶどう糖は、脳の機能にとって主要なエネルギー源です。食事を摂らないか、飢餓状態の場合、ぶどう糖の濃度は、通常、肝臓のグリコーゲンによって保たれます。飢餓状態が長く続くか、多大なエネルギー消費を伴う飢餓の場合、ぶどう糖は枯渇し、ぶどう糖を供給するために、骨格筋肉の分解が起こります。(ぶどう糖新生) 血中ぶどう糖濃度の保持の為に、エネルギー量を維持するためクエン酸サイクルにピルビン酸を供給する目的で、乳酸とピルビン酸を伴い、高濃度のアラニンが放出されます^{37,77)}。消耗性疾患、特に高齢者の場合、迅速で効率良く実施されないとこの過程は致

命的になります。消耗性疾患と悪液質に関する多くの文献は、この疾患を治療することのできる現実的な治療法を提供することには至っていません⁷⁸⁾。筋肉量と正常なエネルギー量を保持できないこの消耗性疾患は、リノール酸やオレイン酸と同様に γ -リノレン酸を含んだ、 ω -6源であるEPOの経口投与がしばしば実施されます³⁶⁾。消耗性疾患は、多くの疾病と似たような症状を伴い、進行段階では表に現れてきません。ゆっくりとした消耗過程は、大きなストレスがかかると突然、急激になります。それから、体重とエネルギーの消耗は突然急激になります。この ω -6の不足は、好きな食事の楽しみを無くし、骨格筋肉の分解速度を速め、われわれの研究でも、雑食者、ベジタリアン、ビーガンでこの障害は見られました⁷⁴⁾。食事と共に、2~2.5gm/日の γ -リノレン酸を摂ると体重とエネルギーをゆっくりと正常に機能するレベルまで戻していきます³⁶⁾。

筋肉消耗の作用機序は研究される必要がありますが、分解過程での窒素バランスを改善する他の効果的な方法は見つかっていません⁷⁹⁾。消耗性疾患患者の筋肉崩壊は、クエン酸サイクルに直接入るピルビン酸や、乳酸化合物の元であるぶどう糖やエネルギーをつくるために筋肉分解が起こる程度までのたんぱく質の吸収が不足することによります。たんぱく質吸収不足はおそらく、インターロイキン-6 (IL-6) の存在があるからです。 γ -リノレン酸不足が原因と思われるプロスタグランジンの調整不足は、たんぱく質吸収能力不足の鍵のようです。サプリメントとしてのEPOからの γ -リノレン酸は、6週間~6カ月間で6人の消耗性患者に体重増加をもたらし、筋肉量とエネルギー量も増加させました³⁶⁾。 γ -リノレン酸は、ジエンからの障害を受けやすく、不安定な酵素 Δ -6-デサチュラーゼの生成物ですが、モノエンのトランス脂肪酸からは受けないことは明らかです⁷⁰⁾。

予期しない体重減少の疾患へのわれわれの観察結果は、高頻度で高齢者に見られることでした。しかし、どの年代でも観察されました。ぶどう糖は脳のエネルギーに必要なので、いくつかのぶどう糖と砂糖は、脂肪燃焼を最小限にするための食事の一つとしてなくてはならないのです。たんぱく質摂取を増やすことだけでは助けになりません。アスパルテームのような砂糖代替物は、疲労しているか酸素欠乏の脳には、有毒な神経細胞の興奮剤であるアスパラギン酸の過剰摂取をもたらすので、エネルギー問題をさらに複雑にします⁸⁰⁾。グルタミンナトリウムとして一般的に利用される調味料のグルタミン酸の使用も同じです。

6. 他の成長因子

中高年のベジタリアンの食事は、全ての栄養素を十分に含んでいるわけではありませんが、ビタミンB群と抗酸化物質である脂溶性ビタミン群が欠乏する雑食者の食事と比較すると、様々な栄養素を含んでいます⁸¹⁾。しかし、ベジタリアンとビーガンにおいて、この一般論に対し、特別に強調しても良い、2つの明らかな例外があります。

最初の1つは、ビタミンB₁₂で、2つ目は、ビタミンとしてよりもホルモンとして働くビタミンDです³⁹⁾。ビタミンB₁₂吸収についての適正な条件を付与するために、ベジタリアン高齢者は適正な貯蔵鉄を調べる必要があります。というのは、長期間の鉄欠乏は、胃液に損傷を与え、ビタミンB₁₂吸収を消失させながら、胃収縮を促進し、胃酸と内在性因子(IF)の減少を伴います⁸³⁾。遺伝的に、さらには年齢に相関してビタミンB₁₂の吸収能力が徐々に失われるので、55歳から毎年5年毎に健康診断が推奨されます。特に、ホロトランスコバラミン(holoTC II)の測定は、DNAを合成する細胞

にビタミン B₁₂ が適切に運ばれているかの指標になります。これは、臨床症状が表れる前の血清総ビタミン B₁₂ 量が低いと部分的に欠乏しているかを示します^{84,85)}。ビタミン B₁₂ 活性は、大量のビタミン C によって失われます。これは高濃度の血清鉄があると実際に起こり、鉄に高濃度のビタミン C が加わるとビタミン B₁₂ と IF を攻撃する鉄分解型フリーラジカルになります⁸⁴⁾。ビタミン B₁₂ 欠乏を予測するための血清ホモシステイン濃度の利用は妥当に見えますが、葉酸欠乏はホモシステイン濃度を上昇させることを忘れてはなりません。

ビタミン D は、実際には、ビタミンそのものではなく、内分泌器官の活性ホルモンです⁸⁶⁾。ビタミン D の補給が半世紀以上、米国のミルクで実施されてきました。ヒトは通常、皮膚に日光の紫外線を当てることでビタミン D を合成することができます⁸⁷⁾。しかし、60 歳付近の人は、ビタミン D を合成する皮膚能力は 40 歳時の能力に比べ 25% に低下します⁸⁸⁾。このビタミン D 欠乏の認識が高齢者に対してミルクのビタミン D 添加の推奨を急がせることになりました⁹²⁾。適正なビタミン D 量は、骨損失に対抗するために、カルシウムが必要です。しかし、過剰なビタミン D は有毒です⁹⁰⁾。ビタミン D 過剰を生じる貧血症は、おそらく、まだ、理解が不足しています⁹¹⁾。高齢者では、ビタミン D 要求量はおそらく少なく、400 ~ 800 IU/週です。腸、腎臓や皮膚でのビタミン D の働きは効果的に制御されています⁹³⁾。ビタミン D 欠乏は、腸側底膜の脂質組成とカルシウム搬送に影響します⁹⁴⁾。カルシウム代謝とビタミン D 受容体異常での上皮小体と関連して、初期の上皮小体機能亢進のメカニズムは良く研究されています⁹⁵⁾。高カルシウム血症、初期の甲状腺機能亢進症とがんとの関係は、カルシウムの過剰摂取と関連する健康リスクとして研究されています⁹⁶⁾。

7. ミネラルそしてベジタリアンとビーガンの高齢者

ヒトの栄養におけるミネラル代謝は、今もって、詳細な研究が必要な課題として残っています。簡単なミネラル測定法でさえも不足しており、特に、体全体での適正な量、あるいは不足の問題に答える安価なサンプリングの方法です。ベジタリアンとビーガンの高齢者に対し、この章は、カルシウム代謝についてのミネラルを簡単に解説し、高齢者には重要性が高く、しかも摂取量が低いマグネシウムとセレンについて力説します。

雑食者の動物性たんぱく質の多量摂取は、高濃度の硫黄を含み、高カルシウム尿症と負のカルシウムバランスを招きます。穀類を基本にした食事をしている女性は、300 mg/日近辺のカルシウム必要量ですが、米国の雑食の女性は、5 倍の 1,500 mg/日を越える量を必要としています。動物性たんぱく質はまた、高リン酸を含みます。これは、副甲状腺ホルモン (PTH) に対するリン酸の低カルシウム血症活性を引き起こし、カルシウムの PTH 依存性の腎臓管による再吸収をもたらします。PTH 活性の上昇は、骨再吸収を増加させ、増大する骨損失のリスク因子と見なされるようです³⁾。雑食者の動物性たんぱく質の多い摂取は、老化に伴う骨と筋肉の消費に影響する高酸性の負荷を引き起こします^{16,18)}。ビーガン高齢者は、この酸性負荷を避けています。LOV が利用するミルクと卵は硫黄負荷を増加させます。ビタミン D 摂取がサプリメントで保持される場合は、ビーガン高齢者は、LOVs と雑食者に比べ、骨密度は十分に保持されます³⁾。

種子、ナッツ、豆類、未精製の穀類や緑黄色野菜がマグネシウムを多く含むので、ベジタリアンとビーガン高齢者は、マグネシウム源として有意な利点を有していますが、高度に精製さ

れた食品や乳製品はマグネシウムをあまり含みません⁹⁷⁾。高齢者での潜在的欠乏と毒性は良く研究されています⁹⁸⁾。ビタミンDの薬理量は、ビタミンD欠乏の人、充足している人双方に対し、マグネシウム吸収を増加させますが、正常な必要量を超えたビタミンDを増加させ、マグネシウムの尿中排泄を上昇させます。ビタミンDの働きとは無関係に、マグネシウムの吸収は良好で通常のプロセスに見えます⁹⁹⁾。

Chelら¹⁰⁰⁾は、高齢者に対する紫外線暴露の増加、あるいはビタミンDの補給に関する大胆な仮説を提案しました。様々な疾病はマグネシウム欠乏に関与し、臨床的な混乱はマグネシウムを要求する酵素系の乱れに起因するよう見えるというものです¹⁰¹⁾。マグネシウム量は、カルシウムと同様に副甲状腺ホルモン(PTH)の分泌に定性的に影響します¹⁰²⁾。低カルシウム血症は、ヒトでの重度のマグネシウム欠乏に対する、一般的な緩慢な症状です。マグネシウム単独の治療でも血清カルシウムを正常な状態に戻しますが、カルシウムあるいはビタミンD治療は効果が出ません¹⁰³⁾。

過去5年にわたり、Durlachら¹⁰⁴⁾は、マグネシウムの消耗が神経変性、筋神経症、喘息、僧帽弁脱に関与していることを示してきて、高齢者におけるマグネシウム量を保持する重要性のアドバイスとなっています。II型糖尿病の高齢者にとって、マグネシウム消耗は一般に見られ、糖調節の改善と糖尿病の慢性的な症状を防ぐために、マグネシウムの補給を日常的なものとして安定化することは大変に重要なことです¹⁰⁵⁾。

ビーガン高齢者は、マグネシウムを含む適正な食事をとっています。しかし、脳損傷のような外傷のリスクはどの食事群にもあり、マグネシウムの継続的な摂取の場合でも、マグネシウムの急速な減少は、十分に神経機能を働かせるためにマグネシウム塩の補給を必要とします¹⁰⁶⁾。高マグネシウム血症は進行すると、急性の腎炎を

引き起こすので、マグネシウム治療は少しでも腎炎のある人には注意が必要です¹⁰⁷⁾。

多くの薬理学的なセレンの機能があります。つまり、グルタチオン・パーオキシド(GSH-Px)のセレン酵素として、たんぱく質のセレン含有メチオニンあるいはセレン含有システインとして、ビタミンE欠乏動物の肝臓壊死に対し、効率よく効果を発揮します。様々な形態のGSH-Pxは、エイコサノイド代謝、アラキドン酸や脂質過酸化を制御しています。また、I型ヨードチロニン-5'-ジオジナーゼはセレンたんぱく質です⁹⁷⁾。食事からのセレンの摂取は、土壌中と水に含まれるセレン含有量に依存します。セレンが不足する土壌は世界のいたるところにあります。ベジタリアンの食事からのセレンの摂取は、ブラジルナッツ、小麦胚芽、蜂蜜、ひまわり種子や全粒小麦に依存しています⁹⁷⁾。卵やミルクはセレンが少なすぎるので、供給源として考えることはできません。高齢者に対する推奨一日所要量は、60~70 µg/日です。吸収効率は欠乏を改善します。セレンの事前診断は足の爪からの検体で可能です。症例研究の補正データを解析すると、高濃度のセレンは、前立腺進行がんのリスク低下と相関していました¹⁰⁸⁾。Clarkら¹⁰⁹⁾の研究によると、セレンを補給した群はプラセボ群に比べ、前立腺がんの罹患率は、2/3に低下したことを明らかにしました。ビタミンEとセレンとの相乗効果がこの前立腺がん低下の主要な因子と考えられます¹¹⁰⁾。セレン欠乏は3つの作用機序で免疫細胞の機能低下をもたらします。最初に、セレンは、T細胞に高い親和性を持つIL2受容体の発現を調節します。第2に、免疫細胞に対する酸化ストレスによる損傷を予防します。第3に、トロンボキサンからロイコトリエンへの生成率を低下させ、血小板凝集を変化させます¹¹¹⁾。セレンたんぱく質のGSH-Px濃度は、n-3脂肪酸へのヒトの腫瘍細胞の感受性に

影響します¹¹²⁾。高濃度の GSH-Px は、感受性を上昇させ、がん細胞に対し、n-3 必須脂肪酸の毒性を増加させます。また、ヒトの皮膚細胞への UV 照射に対し、セレンは予防効果があるようです¹¹³⁾。GSH-Px の効果に対し、セレンは化学的予防効果があります。チオール酸化とフリーラジカルの生成は、セレンががん細胞に対し毒性を発揮する時に起こるようです¹¹⁴⁾。

8. 要約

植物性たんぱく質の食事は、高齢者にとって、インスリン応答を低下させる利点があり、引き続いて、脂肪合成（コレステロールと中性脂肪）を減少させることを、この章は力説しました。動物性たんぱく質としてミルクに含まれるカゼインは、LOV 食には欠点になります。植物性たんぱく質は、コレステロールと中性脂肪を低レベルに保持する顕著な働きがあります。植物性の食事は、雑食者の食事よりも複合炭水化物が豊富です。ベジタリアンとビーガンの食事での豊富な抗酸化物質の摂取は、高齢者の寿命を延長させるようです⁹⁾。ベジタリアンとビーガン的高齢者に対して、ビタミン B₁₂ とビタミン D が補給される必要があるということは問題かもしれませんが、多くのビタミンとミネラルが

要求される雑食者の高齢者に比べると少ないのです。ビタミン D のサプリメントを取っている場合は、ビーガン的高齢者ではカルシウム必要量が低いという点で、ミネラルが最も大きい利点かも知れません。

生活習慣の健康上の利点は、他の生活習慣で改善された死亡率と比較することで判断することができます。確かに、われわれは改善された生活の質、あるいは低下した疾病率を比較しなければなりません。健康意識の高い集団、ベジタリアンは、虚血性心疾患、脳血管性疾患や関連する疾患での死亡率を低下させてきました^{40,41)}。もっと特異的なことは、彼らは雑食者に比べ、肥満、便秘、肺がん、高血圧、II 型糖尿病、胆石による死亡率と疾病率を低下させてきました⁴⁰⁾。食事と免疫機能は、ベジタリアンとビーガンの生活習慣によって死亡率が低下した大変に重要な 1 部分で、ビーガン高齢者は、雑食者に比べ、免疫能力が増加していると注目されてきました^{15,34)}。

高齢者への食事指針は、高品質で栄養価の高い食品の摂取を力説しています¹¹⁶⁾。表 11-2 は、体組成の年齢による変化と生理機能による高齢者の栄養要求量の変化を示しています¹¹⁶⁾。ビーガン高齢者の殆んどは、ビタミン D とビタミン B₁₂ の補給で要求を満たします。LOV 高齢

表 11-2 栄養要求に影響する体組成と生理機能の中で、年齢に関係する変化の例

体組成と生理機能の変化	栄養要求量への影響
筋肉量の低下（サルコペニア）	カロリーに対する要求低下
骨密度の低下（骨減少症）	カルシウム、ビタミン D への要求増加
免疫機能の低下	ビタミン B ₆ 、E、亜鉛への要求増加
胃液 pH 増加（委縮性胃炎）	ビタミン B ₁₂ 、葉酸、カルシウム、鉄、亜鉛への要求増加
皮膚のビタミン D 合成低下	ビタミン D 要求増加
副甲状腺生成低下	ビタミン D 要求増加
カルシウム生体利用率低下	カルシウム、ビタミン D への要求増加
肝臓網膜取り込みの低下	ビタミン A 要求低下
ピリドキサールの活性低下	ピリドキサルへの要求増加
酸化ストレスの増加	β-カロテン、ビタミン C、E の要求増加
ホモシステインレベルの低下	葉酸、ビタミン B ₁₂ 、B ₆ の要求低下

Blumberg の「高齢者の栄養要求」からの引用。J.Am.Coll.Nutr.16,6,517,1997。
J.Am.Coll.Nutr. より許諾

表 11-3 血清脂質と絶食時の血清グルコースレベルに応じた、結腸直腸がんの症例、対照、オッズ比 (OR)、補正 OR、95% 信頼区間 (CI) 数

変数 (mg/mL)	区分	症例	対照	OR (95%CI)	補正 OR (95%CI) *
総コレステロール	<170	23	55	1.0 (対象)	1.0 (対象)
	171-195	39	81	1.2 (0.6-2.1)	1.1 (0.6-2.1)
	196-220	29	64	1.1 (0.6-2.1)	1.2 (0.6-2.5)
	221+	38	58	1.6 (0.8-3.0)	2.0 (1.0-4.1)
	傾向			$p=0.17$	$p=0.03$
トリグリセリド	<70	23	67	1.0 (対象)	1.0 (対象)
	71-110	39	92	1.2 (0.7-2.3)	1.1 (0.6-2.2)
	111-150	28	61	1.3 (0.7-2.6)	1.3 (0.6-2.7)
	151+	39	38	3.0 (1.6-5.7)	3.0 (1.4-6.4)
	傾向			$p=0.0003$	$p=0.0008$
グルコース	<95	52	103	1.0 (対象)	1.0 (対象)
	96-105	43	95	0.9 (0.5-1.5)	1.0 (0.6-1.7)
	106-115	14	38	0.7 (0.4-1.5)	0.7 (0.3-1.5)
	116+	20	22	1.8 (0.5-3.6)	2.0 (0.9-4.4)
	傾向			$p=0.12$	$p=0.11$

* 年齢、性別を補正。BMI は (<21.5, 21.6-23.4, 23.5-25.1, 25.2+), 喫煙は (無し, 1-15, 16-30, 30+/日), 飲酒は (無し, 1-20, 21-40, 40+g/日) の 4 分位に区分して補正。

Yamadar に「よる」結腸直腸がんに対する血清総コレステロール、血清トリグリセリド、絶食時の血清グルコースの関係」研究より。Situ.Int.J.Epid.27, 794, 1998. Int.J.Epid より許諾。

者は、乳製品からビタミン D を充当できますが、ビタミン B₁₂、カルシウム、マグネシウムの補給が必要になります。雑食者は、カルシウム、マグネシウム、葉酸、ビタミン B 群の補給の必要があるようです。高齢者にとっての必須脂肪酸の摂取は、臨床上明らかな体重減少と、標準に対するエネルギーの減少の例として考慮されなければならないと最近の研究は示しています^{36,74)}。鉄の蓄えが正常であれば、貧血症は老化によるものではありませんが、どのような貧血状態でも良く調べられなければならない、鉄欠乏と形式的に扱われてはなりません。計

画性のある一定の運動は、高齢者の健康を増進します^{117,118)}。結腸がんに対するコレステロールと中性脂質の関係を考えることは、ベジタリアンとビーガン高齢者の健康状態を増進させます¹¹⁹⁾。このことを顕著に示しているのが、表 11-3 です。特に、ビーガン高齢者は、明らかに低血清脂質濃度を維持しています。ベジタリアンあるいはビーガン高齢者の抗酸化物質の必要量と、退行性神経筋、特にアルツハイマーである神経疾患との相関を明らかにする更なる研究が必要で¹²⁰⁾。

..... 参考文献

- 1) Campion, E.W. The oldest old. *N.Engl.J.Med.*, **330**, 25, 1819, 1994
- 2) Olshansky, S.K., Carnes, B.A., and Cassel, C. In search of Methuselah: estimating the upper limits to human longevity. *Science*, **250**, 634, 1990.
- 3) Hubaard, R.W., Mejia, M.S., and Horning, M.C. The potential of diet to alter disease process. *Nutr. Res.*, **14**, 12, 1853, 1994.
- 4) Becman, K.B., and Ames, B.N. The free radical theory of aging matures. *Physio.Reviews*, **76**, 2, 547, 1998.
- 5) Kumari, M.V., Yoneda, T., and Hirantsu, M. Effect of "beta catecchin" on the life span of senescence accelerated mice (SAM-P8 strain). *Biochem.Mol.Bio.Int.*, **41**, 1005, 1997.
- 6) Harman, D. The aging process. *Proc.Natl.Acad.Sci.USA*, **78**, 7124, 1981.

- 7) Satog,K. and Sakagami,H.,Effect of cysteine, N-acetyl-L-cysteine and glutathione on cytotoxic acivity of antioxidants. *Anticancer Res.*,**17**,2175,1997.
- 8) Cao,G.,Booth,S.L.,Sadowski.,J.A.,and Prior,R.L. Increases in human plasma antioxidant capacity after consumption of controlled diets high in fruit and vegetables. *Am.J.Clin.Nutr.*,**68**,1081,1998.
- 9) Schafer,F.Q.,and Buettner,G.R. Acidic pH amplifies iron-mediated lipid peroxidation in cells. *Free Radical Biol.& Med.*,**28**,1175,2000.
- 10) Protein and amino acids. In: Recommended Dietary Allowances. 10th ed.,National Academy Press,Washington,D. C.,1989,chap 6.
- 11) Campell,W.W.,Crim,M.C.,Dallas,G.E.,Young,V.R.,and EvansW.J. Increased protein requirements in elderly people: new data and retrospective reassessments. *Am.J.Clin.Nutr.*,**60**,501,1994.
- 12) Messina,M. and Messina,V. Issues and applications. The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets. Aspen Inc.,Gaither sburg,1996,Appendix A.
- 13) Sabate,J.,Lindsted,K.D., Harris R.D.,and Johnston,P.K. Antropometric parameters of school children with different life-style. *Amer.J.Diseases Child*,**144**,1159,1990.
- 14) Taylor,M. and Stanek,K.L. Anthropometric and dietary assessment of omnivore and lacto-ovo-vegetarian children. *J.Am.Diet.Assoc.*,**89**,1661,1989.
- 15) Haddad,E.H.,Berik,S.L.,Kettering,J.D.,Hubbard,R.W.,and Perters.W.R. Dietary intake and biochemical and immune status of vegans compared with non-vegetarians. *Amer.J.Clin.Nutr.*,**70**(suppl.),586s,1999.
- 16) Sebastian,A. and Rence,R. NCRN Reporter,September/October 9,1997.
- 17) Mecocci,P.,Polidori,C.M.,Trojano,L.,Cherubini,QA.,Cechetti,R.,Pini,G.,Straatman,M.,Monti,D.,Stahl,W.,Sies,H., Franceshi,C.,and Senin,U. Plasma antioxidants and longevity: a study on health centenarians. *Free Radical Bio.& Med.*,**28**,1243,2000.
- 18) Sebastian,A.,Harris,S.T.,Ottaway,J.H.,Todd,K.m.,and Morris,R.C. Improved mineral balance and skeletal metabolism in postmenopausal women treated with potassium biocarbonate. *N.Engl.j.Med.*,**330**,25,1776,1994.
- 19) Sanchez.A.and Hubbard,R.W. Dietary protein modulationof serum cholesterol: the amino acid connection. In: Absopton and Utilization of Amino Acids. Freidman,M.(Ed.),CRC,Boca Raton FL, Vol II ,1989,chap 16.
- 20) Grundy,S.M.,and Abrams.J.J. Comparison of actions of soy protein and casein on metabolism plasma lipoproteins and cholesterol in humans. *Am.J. Clin.Nutr.*,**38**,245,1982.
- 21) Assan,R.,Efendie,S.,Luft,R.,and Cerasi,E. Dose-kinetics of pancreatic glucagon responses to arginine and glucose in subjects with normal and impaired pancreatic B-cell function. *Diabetologia*,**21**,452,1981.
- 22) Reaven,G. and Grecaberg,R.E. Experimental leucine-induced Hypoglycemia in mice. *Metabolism*,**14**,615,1965.
- 23) Palmar,J.P.,Walter,R.M.,and Ensink,J.W. Arginine stimulated acute phase of insulin and glucagon secretion in normal man. *Diabetes*,**24**,735,1975.
- 24) Nepokroff,C.M.,Lakshmanan,M.R.,Ness,G.C.,Dugan,R.E.,and Porter,J.W. Regulation of the diurnal rhythm of fatty liver hydroxymethylglutaryl coenzyme A reductase activity by insulin, glucagon, cyclic AMP and hydrocortisone. *Arch.Biochem.Biophys.*,**160** 387,1974.
- 25) Ingebristen,T.S.,Geelen,M.J.H.,Parker,R.A. Evenson,K.J.,and Gibson,D.M. Modulation of hydroxymethylglutaryl CoA reductase activity, and cholesterol synthesis in rat hepatocytes in response to insulin and glucagon. *J.Bio. Chem.*,**254**,9986,1979.
- 26) Hubbard,R.W.,Kosh,C.L.,Sanchez,A.,Sabate,J.,Berk,L.,and Shavik,G. Effect of dietary protein on serum insulin and glucagon levels in hyper- and normocholesterolemic men. *Atherosclerosis*,**76**,55,1989.
- 27) Pyorala,D.,Savolainen,E.,Kaukola,S.,and Haapaloski,J. Plasma insulin as a coronary heart disease risk factor in relationship to other risk factors and oredictive value during 9-year follow up of the Helsinki Policemen study population. *Acta.Med.Scand.*,**701**(Suppl),38,1985.
- 28) Fajans,S.S.,Floyd,J.C.,Knopf,R.F.,and Conn,J.W. Effect of amino acids and protein on insulin secretion in man. *Recent Progr.Horm.Res.*,**123**,617,1967.
- 29) Sprintsma,K.F.,and Schuitemaker,G.E. Diabetes can be prevented by reducing insulin production. *Med. Hypoth.*,**42**,15,1994.
- 30) Eriksson,K.F.,and Lindgarde,F. Prevention of type 2(non-insulin-dependent) diabetes mellitus by diet and physical exercise, the 6-year Malmo feasibility study. *Diabetologia*,**34**,891,1991.
- 31) Goldberg,R.B. Prevention of type 2 diabetes. *Med.Clin.North Am.*,**82**,804,1998.
- 32) Toth,M.J.,and Poehlman,E.T. Sympathetic nervous system activity and resting metabolic rate in vegetarians. *Metabolism*,**43**,621,1994.
- 33) Hubbard,R.W.,Berk,L.,Tan,S.,and Haddad,E. Significance of elevated throtropin levels in vegans? *FASEB J.*,**9**(Abstr),3381,1995.
- 34) Berk,L.,Hubbard,R.W.,Haddad,E.,Ketterig,J.D., Peters,W.R.,Blix,G.G.,and Tan,S. Basal fasting cytokine levels in vegans and omnivores. *Amer.J.Clin.Nutr.*,**61**,904(Abstr.74),1995.
- 35) Hubbard,R.W.,and Wan,L. Dietary protein type as an aid to lower DOPA medication in Parkinson Disease.*FASEB*

- J.*,**10**(Abstr.),2803,1996.
- 36) Hubbard,R.W.,and Horning,M. Daytime gluconeogenesis in the young and old apparently caused by essential fatty acid deficiency.*FASEB J.*,**10**(Abstr.),935,1997.
 - 37) Mayes,P.A. Gluconeogenesis and control of the blood glucose. In: *Harpers Biochemistry*,24th ed. Murray,R. K.,Granner,D.K.,Mayes,P.A.,and Rodwell,V.W.(Eds.) Appleton,and Lange,Stamford,CN,1996,chap 21.
 - 38) Bios,C.,Benamouzig,R.,Bruhat,A.,Roux,C.,Mahe,S.,Valensi,P.,Gaudichon,C.,Ferriere,F.,Rautureau,J.,and Tome,D.,Short-term protein and energy supplementation activates nitrogen kinetics and accretion in poorly nourished elderly subjects. *Am.J.Clin.Nutr.*,**71**,1129,2000.
 - 39) Walter,P. Effects of vegetarian diets on aging and longevity. *Nutr.Rev.*,**55**,s61,1990.
 - 40) Key,T.J.A.,Thorogood,M.,Appleby,P.N.,and Burr,M.J. Dietary habits and mortality in 11,000 vegetarians and health conscious people :results of a 17-year follow up. *BMJ*,**313**,775,1996.
 - 41) Rosenberg,I.H.,and Miller,J.W. Nutritional factors in physical and cognitive functions of elderly people. *Am.J.Clin.Nutr.*,**55**,1237s,1992.
 - 42) Mayes,P.A. Gluconeogenesis and control of the blood glucose. In:*Harpers Biochemistry*, 24th ed. Murray,R. K.,Granner,D.K.,Mayes,P.A.,and Rodwell,V.W.(Eds.)Appleton,and Lange,Stamford,CN,1996,chap 23.
 - 43) Grundy,S.M. Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. *Am.J.Clin.Nutr.*,**60**(Suppl),986s,1994.
 - 44) Katan,M.B.,Zock,P.L.,and Mensink,R.P. Effects of fats and fatty acids on blood lipid in humans: An overview. *Am.J.Clin.Nutr.*,**60**(Suppl),986s,1994.
 - 45) Nydahl,M.C.,Gustafsson I.B.,and Vessby,B. Lipid lowering diets enriched with monounsaturated or polyunsaturated fatty acids but low in saturated fatty acids have similar effects on serum lipid concentrations in hyperlipidemic patients. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**,115,1994.
 - 46) Kris-etherton,P.M.,Krummel,d.,Russell,M.E.,Dreon,D.,Mackey,S.,Borcher,J.,and Wood,P.D. The effect of diet on plasma lipids, lipoproteins, and coronary heart disease. *J.Am.Diet.Assoc.*,**88**,1373,1988.
 - 47) Denke,M.A.,Sempos,G.T.,and Grundy,S.M. Excess body weight. An under recognized contributor to dyslipidemia in white American women. *Arch.Intern.Med.*,**154**,401,1994.
 - 48) Melby,C.L.,Goldflies,D.G.,and Toohey,M.L. Blood pressure differences in older black and white long-term vegetarians and non-vegetarians. *J.Am.Coll.Nutr.*,**12**,262,1993.
 - 49) Janelle,K.C.,and Barr,S.L. Nutrient intakes and eating behavior scores of vegetarian and non-vegetarian women. *J.Am.Diet.Assoc.*,**95**,180,1995.
 - 50) Roche,H.M.,Zampealas,A.,Knapper,J.M.E.,Webb,D.,Brooks,C.,Jackson K.G.,Wright,J.W.,Gould,B.,Kafatos,A.,Gibney,M.J.,and Williams,C.M. Effect of long-term olive oil dietary intervention on postprandial acyglycerol and factor VII metabolism.*Am.J.Clin.Nutr.*,**68**,552,1998.
 - 51) Zampelas,A.,Roche,H.,Knapper,J.M.,Jackson,K.G.,Tornaritis,M.,Hatzis,C.,Gibney,M.J.,Kafatos,A.,Gould,B. J.,Wright,J.,and Williams,C.M. Differences in postprandial lipemic response between northern and southern Europeans. *Atherosclerosis*,**139**,83,1998.
 - 52) Kafatos,A.,and Comas,G.E. Biological effect of olive oil in human health. In:*Olive oil*. Kiritskis,A.(Eds.), American Oil Chemists Society, Champaign,IL,1990,57.
 - 53) Sirtori,C.R.,Gatti,E.,tremolo,E.,Galli,C.,Gianfranceschi,G.,Framcesjomo,G.,Colli,S.,Madenra,P.,Marangoni,F.,Pe rego,P.,and Stragliotto,P. Olive, corn oil, and n-fatty acids differently affect lipids, lipoproteins, platelets, and superoxide formation in type II hypercholesterolemia. *Am.J.Clin.Nutr.*,**56**,113,1992.
 - 54) Sanchez-Muniz,F.j.,Oubina,P.,Benedi,J.,Rodenas,S.,and Cuesta,C. A preliminary study on platelet aggregation in postmenopausal women consuming extra-virgin olive oil and high oleic acid sunflower oil. *JAOCS*,**75**,217,1998.
 - 55) Howell,T.J.,MacDougall,D.F.,and Jones,P.J.H. Phytosterols partially explain differences in cholesterol metabolism caused by corn or olive oil feeding. *J.Lipid Res.*,**39**,892,1998.
 - 56) Maki,P.A.,and Newberne,P.M. Dietary lipids and immune function. *J.Nutr.*,**122**,610,1992.
 - 57) Fortin,P.R.,Lew,R.A.,Liang,M.H.,Wright,E.A.,Beckett,L.A.,Chambers,T.C.,and Sperling,R.I. Validation of a meta-analysis: the beffects of fish oil in rheumatoid arthritis. *J.Clin.Epidemiol.*,**48**,1379,1995.
 - 58) OKuyama,H. Minimum requirements of n-3 and n-6 essential fatty acids for the function of the central nervous system and for the preventionof chronic ddisease. *Proc.Soc.Exp.Biol.Med.*,**200**,174,1992.
 - 59) Lands,W.E.M.,Libelt,B.,Morris,A.,Kramer,N.C.,Prewitt,T.E.,Bowen,P.,Schmeisser,D.,Davidson,M.H.,and Burns,J.H. Maintenance of lower proportions of (n-6) eicosanoid precuesors in phospholipids of human plasma in response to added dietary (n-3) fatty acids. *Biochemica et Biophysica Acta*,**1180**,147,1992.
 - 60) Sinclair,H.M. Prevention of coronary heart disease: the role of essential fatty acids. *Postgrad.Med.J.*,**56**,579,1980.
 - 61) Kestin,M.,Clifton,P.,Belling,G.B.,and Nestel,P.J. n-3 fatty acids of marine origin lower systolic blood pressure and triglycerides but raise LDL cholesterol compared with n-3 and n-6 fatty acids from plants. *Am.J.Clin. Nutr.*,**51**,1028,1990.
 - 62) Jiang,W.G.,Bryce,R.P.,and Horrobin,D.F. Essential fatty acids: molecular and cellular basis of their anti-cancer

- action and clinical implications. *Crit.Rev.oncol.Hematology*,**27**,179,1998.
- 63) Koleitzko,B. Trans fatty acids may impair biosynthesis of long-chain polyunsaturates and growth in man. *Acta Paediatr.*,**81**,302,1992.
 - 64) Kohlmeier,L.,Simonsen,N.,Veer,P.V.,Strain,J.J.,Martin-Moreno,J.m.,Margolin,B.,Huttunen,J.K.,Navajas,F. C.,Martin,B.C.,Akwin,M.T.,Kardinall,F.M.,nd Kok,F.J. Adipose tissue trans fatty acids and breast cancer in the European community multicenter study on antioxidants, myocardial infarction.and breast cancer. *Cancer Epid. Biomarkers and Prev.*,**6**,705,1997.
 - 65) Mensink,R.P.,Temme,E.H.M.,and Hornstra,G. Dietary saturated and trans fatty acids and lipoprotein metabolism. *Annals of Med*,**26**,461,1994.
 - 66) Willet,W.C.,Stampfer,M.J.,Manson,J.E.,Colditz,G.A.,Speizer,F.E.,Rosner,B.A.,Sampson,L.A.,and Hennekens,C.H. Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women. *Lancet*,**341**,581,1993.
 - 67) Mann,G.V. Metabolic consequences of dietary trans fatty acids. *Lancet*,**343**,1268,1994.
 - 68) Simopoulos,A.P. Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio and trans fatty acids in non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Lipid and Syndromes of Insulin Resistance of: Annals New York Acad.Sci.*,**827**,327,1997.
 - 69) Horrobin,D.F.Fatty acid metabolism in health and disease: the role of delta-6-desaturase activities and the biosynthesis of fatty acids in rat liver microsomes. *Lipids*,**19**,214,1984.
 - 70) Mahfouz,M.M.,Smith,T.L.,and Kummerow,F.A. Effect of dietary fats on desaturase activities and the biosynthesis of fatty acids in rat liver microsomes. *Lipids*,**19**,214,1984.
 - 71) Wahle,K.W.J.,and James,W.P.T. Isomeric fatty acids and human health.(Review),*Eur.J.Clin.Nutr.*,**47**,828,1993,.
 - 72) Horrobin,D.F. Gamma-linolenic acid: an intermediate in essential fatty acid metabolism with potential as an ethical pharmaceutical and as a food. In: Reviews in *Contemporary Pharmacotherapy*. Johnson,S. and Johnson,F. N.(Eds.),vol 1, No.1,Marius Press,1990,1.
 - 73) Swank,R.L. Multiple sclerosis: fat-oil relationship. *Nutr.*,**7**,368,1991.
 - 74) Hubbard,R.W.,Westgard,J.,Sanchez,A.,and Barth,J. Chronic Gluconeogenesis lowers urinary amino acids. *FASEB J.*,**13**(Abstr 688.20)A935,1999.
 - 75) Asp,N-G. Nutritional classification and analysis of food carbohydrates. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(Suppl),679s,1994.
 - 76) Bjorck,I.,Granfeldt,Y.,LiJeberg,H.,Tovar,J.,and Asp,N-G. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(Suppl),699s,1994.
 - 77) Mahan,L.K.,and Escott-stump,S. Carbohydrates. In: *Krause's Food, Nutrition, and Diet Therapy*.Mahan,L. K.,andEscott-Stump,S.,(Eds.),W.B.,Saunders,Philadelphia,1996,Chap.3,31.
 - 78) Raiten,D.J.,and Talbot,J.M.(Eds.) Clinical trials for the treatment of secondary wasiting and cachexia: selection of appropriateendopoints. *J.Nutr.*,**129**,(1s),223,1999.
 - 79) Mitch,W.W.,and Goldberg,A.L. Mechanisms of musle wasting (Review). In: Mechanisms of Disease. Epsen,H.(Ed.),*N.Eng.J.Med.*,**335**,25,1897 1996.
 - 80) Blaylock,R.L. Excitotoxins: *The Taste that Kills*. Health Press, Santa Fe,1997.
 - 81) Mahan.L.k.,and Escott-Stump,S. Vitamines. In: *Krause's Food, Nutrition, and Diet Therapy*. Mahan,L.K.,Escott-stump,S.(Eds.),W.B. Saunders,Philadelphia,77,1996,chap.6.
 - 82) Herbert,V. Everyone should be treated for iron disorders. *J.Am.Diet.Assoc.*,**92**,1502,1992.
 - 83) Simopoulos,A.,Herbert,V.,and Jacobson,B. *Genetic Nutrition: Designing a Diet Based on Your Family Medical History*. Macmillan,New York,1993.
 - 84) Herbert,V. Staging vitamin,B-12(Cobalamin) status in vegetarians.*Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(Suppl),1213s,1994.
 - 85) Shaw,S.,Herbert,V.,Colman,N.,and Jayatilleke,E. Effect of ethanol generated free redicals on gastic intrinsic factor and glutathione. *Alcohol*,**7**,153,1990.
 - 86) Norman,A.w.,The vitamin D endocrine system: Identification of another piece of the puzzle. *Endocrinology*,**134**,1 601A, 1994.
 - 87) Norman,A.W. Sunlight, season,skin, pigmentation, Vitamin D,and 25-hydroxy vitamin D: Integral components of the vitamin D endocrine system. *Am.J.Clin.Nutr.*,**67**,6,1108,1998.
 - 88) MacLaughlin,J. and Hollic,M.F. Aging decreases the capacity of human skin to produce vitamin D-3.*J.Clin. Invest.*,**76**,1536,1985.
 - 89) Keane,E.M.,Healy,M.,O'Morre,R.,Coakley,D.,and Walsh,J.B. Vitamin D-fortified liquid milk a highly effective method of vitamin D administration for home-bound and institutionalized elederly. *Gerontology*,**38**,280,1992.
 - 90) Sterkel,B.B. Bone density and vitamin D intoxication. *Ann.Intern Med.*,**128**,6,506,1998.
 - 91) Puig,J.,Corocoy,R.,and Rodriquez-Espinosa,J. Anemia secondary to vitamin D intoxication. *Ann.Intern. Med.*,**128**,7,602,1998.
 - 92) Utiger,R.D. The need for more vitamin D. *N.Engl.J.Med.*,**338**,12,828,1998.
 - 93) Zineb,R.,Zhor,B.,Odile,W.,and Marthe,R,R. Distinct, tissue-specific regulation of vitamin D receptor in the intestine, kidney, and skin by dietary calcium and vitamin D. *Endocrinology*,**139**,4,1844,1998.
 - 94) Alisio,A.,Canas,F.,De Bronia,D.N.,Pereira,,E.,and De Talamoni,N.T. Effect of vitamin D deficiency on lipid

- composition and calcium transport in basolateral membrane vesicles from chick intestine. *Biochim.Mol.Biol. Int.*,**42**,2,339,1997.
- 95) Carling,T.,Ridefelt,P.,Hellman,P.,Rastad,J.,Akerstrom,G. Vitamin D receptor polymorphism correlate to parathyroid cell function in primary hyperparathyroidism. *J.Clin.Endocrinol.Metab.*,**82**,6,1772,1997.
 - 96) Reid,I.R. The investigation of hypercalcaemia. *Clin.Endocrinology*,**41**,405,1994.
 - 97) Czaika-Narins,D. Minerals In: *Krause's Food Nutrition and Diet Therapy*. Mahan,L.K.,and Escott-Stump,S(Eds.),W.B. Saunders,Philadelphia,1996, chap 7.
 - 98) Greger,J.I.Potential for trace mineral deficiencies and toxicities in the elderly. In: *Mineral Homeostasis in the Elderly*. Bales,C.W.(Ed.), Alan R.Liss,New York,1989,171.
 - 99) Hardwick,L.L.,Jones,M.R.,Brauatbar,N.,and Lee,D.B.N. Magnesium absorption: mechanism and the influence of vitamin D, calcium and phosphate. *J.Nutr.*,**121**,13,1991.
 - 100) Chel,V.G.M.,Ooms,M.E.,Popp-Snijders,C.,Pavel,S.,Schothorst,A.A.,Melemans,C.C.E.,and Lips,P. Ultraviolet irradiation corrects vitamin D deficiency and suppresses secondary hyperparathyroidism in the elderly. *J.Bone and Min.Res.*,**13**,8,1238,1998.
 - 101) Rude,R.K.,Oldham,S.B.,Sharp,C.F.Jr.,and Singer,F.R. Parathyroidism hormone secretion in magnesium deficiency. *J.Clin.Endocrinol.Metab.*,**47**,800,1978.
 - 102) Rude,R.K.,Oldham,S.B.,and Singer,F.R. Functional hypoparathyroidism and parathyroid hormone end-organ resistance in human magnesium deficiency. *Clin.Endocrinol.*,**5**,209,1976.
 - 103) Rude,R.K. Magnesium deficiency: a case of heterogenous diseases.,in humans.(Review) *J.Bone and Min.Res.*,**13**,4,749,1998.
 - 104) Durlach,J.Bac.,P,Durlach,V.,Durlach,A.,Bars,M.,and Guiet-bara,A. Are age-related neurodegenerative diseases linked with various types of magnesium depletion? *Magnesium Res.*,**10**,4,339,1997.
 - 105) DE Lourdes Lima,M.,Cruz,T.P.,Pousada,J.C.,Rodrigues,L.E.,Barbosa,K.,and Canguqu,V. The effect of magnesium supplementation in increasing doses on the control of type 2 diabetes. *Diabetes Care*,**21**,5,682,1998.
 - 106) Heath,D.L.,and Vink,R. Neuroprotective effect of MgSO₄ and MgCl₂ in closed head injury: a comparative phosphorus NMR study. *J.Neurotrauma.*,**15**,3,183,1998.
 - 107) Mordes,J.P.,and Wacker,W.E.C. Excessive magnesium. *Pharmacol.Rev.*,**29**,273,1978.
 - 108) Yoshizawa,K.,Willet,W.C.,Morris,S.J.,Stampfer,M.J.,Spiegelkamm,D.,Rimm,E.B.,and Giovannucci,E. Study of prediagnostic selenium Level in toenails and the risk of advanced prostate cancer. *J.Nat.Can. Inst.*,**90**,16,1219,1998.
 - 109) Clark,L.C.,Combs,G.F.Jr.,Turnbull,B.W.,Slate,E.H.,Chalker,D.K.,Chow,J.,Davis,L.S.,Glover,R.A.,Graham,G.F.,Gross,E.G.,Krongrad,A.,Leshner,J.L.,Jr.,Smith,G.L.,and Talor,J.R., effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. A randomized controlled trial. Nutritional Prevention of Cancer Study Griup/ *JAMA*,**276**,1957,1996.
 - 110) Tayler,P.R.,and Albanes,D. selenium, vitamin E, and prostate cancer-Ready for Prime Time? *J.Nat.Can. Inst.*,**90**,16,8,184,1998.
 - 111) MacKenzie,R.C.,Rafferty,T.S., and Beckett,G.J. selenium: an essential element for immune function. *Immunology Today*,**19**,8,3432,1998.
 - 112) Schonberg,S.A.,Rudra,P.K.,Noding,R.,Skorpen,F.,Bjerve,K.S.,and Krokan,H.E. Evidence that changes in S-glutathionine peroxidase levels affect the sensitivity of human tumour cell lines to n-3 fatty acids. *Carcinogenesis*,**18**,10,1897,1997.
 - 113) Rafferty,T.S.,Mckenzie,R.C.,Hunter,J.A.A.,Howie,A.F.,Arthur,J.R.,Nicol,F.,and Beckett,G.J. Differential expression of selenoproteins by human skin cells and protection by selenium from UVB-radiation-induced cell death. *BioChem.J.*,**332**,231,1998.
 - 114) Stewart,M.S.,Spallholz,J.E.,Neldner,K.H.,and Pence,B.C. Selenium compounds have disparate abilities to impose oxidative stress and induce apoptosis. *Free Rad.Biology Med.***25**,1/2,42,1999.
 - 115) Hannigan,B.M. Diet and immune function.*Brit.J.Biomed.Sci.*,**51**,252,1994.
 - 116) Blumberg,J. Nutritional needs of seniors. *J.Amer.College Nutr.*,**16**,6,517,1997.
 - 117) gill,J.M.R.,Murphy,M.H.,and Hardman,A.E. Postprandial lipemia: effects of intermittent vs. continuous exercise. *Med.Sci.Sports and Exer.*,**30**,10,1515,1998.
 - 118) Kostka,T.,Drai,J.,Berthouze,S.F.,Lacour,J.R.,and Bonnefoy,M. physical activity, fitness and integrated antioxidant system in healthy active elderly women. *Int.J.Sports Med.*,19461,1998.
 - 119) Ymada,K.,Araki,S.,Tamura,M.,Sasaki,I.,Takahashi,Y.,kashihara,H.,and Kono,S. Relation of serum total cholesterol, serum triglycerides and fasting plasma glucose to colectal carcinoma in situ. *Int.J.Epid.*,**27**,784,1998.
 - 120) Subramaniam,R.,Koppal,T.,Green,M.,Yatin,S.,Jordan,B.,Drake,J.,and Butterfield,D.A. The free radical antioxidant vitamin E protects cortical synaptosomal membranes from amyloid beta-peptides(25-35) toxicity but not from hydroxynonenal toxicity: relevance to the free radical hypothesis of Alzheimer's disease. *Neurochemical Res.*,**23**,11,1403,1998.

現代チーズ学

編集

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



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

The Contemporary Cheese Science

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 慧二 |
| 3.2 モッツアレラチーズ | 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 | 川崎 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 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
野島 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・お問い合わせは、
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)

組織の活性化と人材の育成～

Improving the working environment and nurturing human resources :

エコアクション 21 の導入による 組織の活性化と業務の効率化

Activation of organization and improvement of working efficiency
by introduction of eco-action 21

北嶋 まどか (KITAJIMA Madoka)

株式会社大和生物研究所 営業部学術グループ

Key Words : ササヘルス・環境マネジメントシステム・エコアクション 21

Abstract

Our company has introduced the environmental management system so-called "eco-action 21" since July, 2012. Continuing engagement in the eco-action 21 should produce the good circulation of reduced expenses and increased working efficiency, and thus establish the best working atmosphere for human resource development and activation of organization.

はじめに

21世紀に入り、環境分野では、砂漠化、生物多様性の危機、地球温暖化など、深刻かつ複雑な問題が発生し、社会のあり方が問われている。持続可能な社会を構築するために、事業者は製品・サービスを含む全ての事業活動において、省エネルギー、省資源、廃棄物削減等の取り組みを行うことが求められている。

このような中、環境を守ることに配慮しながら、企業を持続的に発展させるための経営ツールとして注目されているのが「エコアクション21」である。事業者にとって、環境マネジメントシステムの導入は、環境改善のみならず、組織の活性化や仕事の進め方の革新等、経営体質強化にも有効である。

1. 大和生物研究所について

私が勤める株式会社大和生物研究所（事業本部：神奈川県川崎市）は、昭和43年の創業以来、クマ笹の葉を原料とした一般用医薬品「ササヘルス」（第3類医薬品 効能効果：疲労回復，食欲不振，口臭，体臭除去，口内炎）の製造・販売を一貫して行っている。さらに、医薬品分野におけるクマ笹の基礎研究を『農・食・美』分野へ向けた商品開発にも活かしており、食品「SE-10（エスイーテン）」「クマ笹のど飴」、化粧品「クマ笹歯みがき」「笹の恵シリーズ」等を開発・上市した（図1）。

2. 企業理念「自然随順」とエコアクション（EA）21

株式会社大和生物研究所は、創業時より「自然随順（しぜんずいじゅん）」とい



図1 クマ笹を原料とする製品群

う企業理念を守ってきた。人間の幸せと健康は、自然の摂理に従うことによるのみ実現するという考えである。この「自然随順」という理念から導かれ、社名のもとともなった「大和（だいわ）の精神」とは、自然との調和、人の和、生物循環という意味である。

自然が減少している現代の環境、社会、生活は、ストレスをはじめとして、人体が持つ自然治癒力を弱める因子が多数存在する。自然治癒力を回復させ、健康で病気に負けない身体をつくるためには、自然との調和が欠かせない。この自然治癒力を補う力を持つものとして、医薬品「ササヘルス」をはじめとするクマ笹製品が開発された。当社で使用しているクマ笹は、国内の標高 1000 メートル以上の林に自生するもので、雪の中でも枯れずに生き抜く強い生命力を持ち、自然治癒力を補うものと考えている。荒廃した自然の中ではどんなに良い薬があっても、本当の健康は望めない。豊かで、清浄な自然があってこそその健康である。

当社では、企業理念である「自然随順」を実現し、真の健康を実現する更なる一歩とするため、環境マネジメントシステム「エコアクション 21」を 2012 年 7 月より導入。2013 年 3 月に、認証登録を取得した。図 2 は、当社のエコアクション 21 の認証・登録を示す EA21 ロゴマークである。

エコアクション 21 は、環境省が推進している中小企業や学校などが低コストで手軽に継続的な環境改善活動に取り組むための環境マネジメントシステムである。大手企業の場合、ISO14001 規格により導入する例が多いが、初期投資で最低でも数百万円かかり、多額の運営コストもかかる。エコ



エコアクション21
認証・登録番号 0009208

図2 EA21 認証マーク

アクション 21 の導入コストは十分の一程度で済み、ISO14001 に準拠し同等の効果を得ることも可能である。

エコアクション 21 は、環境省のガイドラインに沿って環境経営の仕組みを構築し、取り組み状況についての審査を受け、合格すると認証・登録証が発行される。継続して環境改善に取り組む仕組みを構築することで、経費の削減や生産性の向上、目標管理の徹底や業務の効率化など、経営改善にもつながるという利点がある。エコアクション 21 の導入により、組織の活性化や業務効率の改善が図れたため、その事例について以下に紹介する。

3. 部署を超えた連携体制

当社では表 1 に示す環境方針を掲げ、この方針のもとに各種エコ活動を行なっている。エコアクション 21 の取り組みにおいて重要なことは、部署を超えた連携体制をとり、社員間のコミュニケーションを図ることである。当社のエコアクション 21 の組織図を図 3 に示す。事業本部の 4 部署、生産本部の 4 部署それぞれに環境

表 1 大和生物研究所の環境方針

1. 以下について具体的な環境目標を定め環境活動計画に基づき継続的な改善に努めます。
 - 1) 地球環境保全のため、電気及び化石燃料の使用量削減に取り組み二酸化炭素の排出量を削減します。
 - 2) 循環型社会形成の為に省資源・廃棄物の削減及び再資源化に取り組みます。
 - 3) 節水や水の再利用に努め水資源を有効活用します。
 - 4) 化学物質への適正管理を行ないます。
 - 5) グリーン購入を推進します。
2. 環境保全に関連する法律・条例・協定・その他の要求事項を遵守します。
3. 地域における社会貢献活動を推進します。
4. 当社で働く全ての社員にこの環境方針を周知徹底し、環境保全意識の向上に努めます。

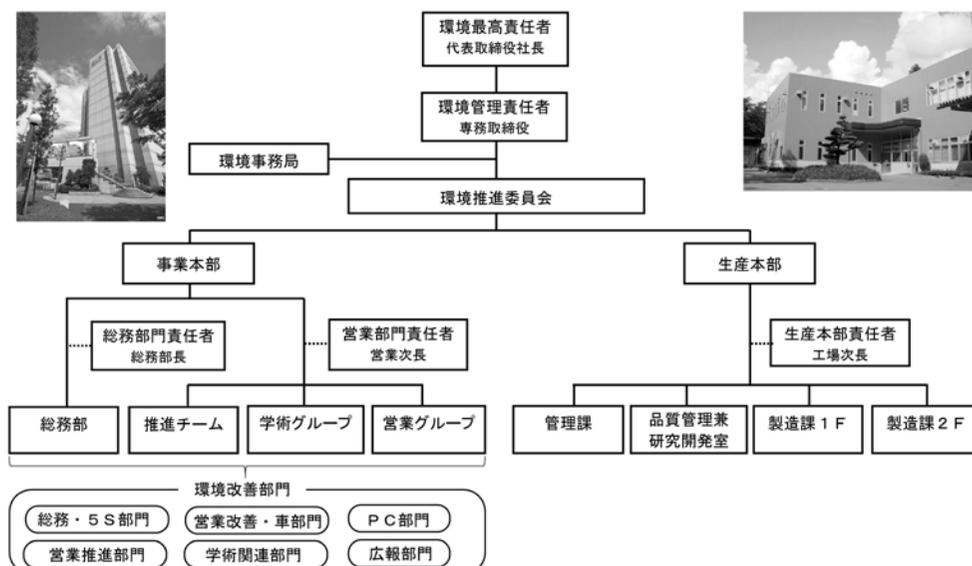


図 3 エコアクション 21 組織図 (2014 年度)

推進委員（活動するにあたり、中心となって動く人）をおいている。

- * 各部署に一人、環境推進委員（中心となって動く人）を任命。
- * 事業本部は環境改善部門ごとに活動を行い、電力、一般廃棄物、グリーン購入等、事業本部全体にかかわるものは項目ごとに責任者をおき、各部署が連携をとり活動を進める。
- * 生産本部は基本的に部署ごとに活動。電力、灯油、水、一般廃棄物等、工場全体にかかわるものは項目ごとに責任者をおき、各部署が連携をとり活動を進める。

事業本部では、環境改善部門として6部門に分かれて活動を行なっている。この環境改善部門は、通常業務において各自が所属する部署と必ずしもイコールではない。基本的には総務部所属の者は総務・5S部門、学術グループ所属の者は学術関連部門など、通常業務と関わりのある部門で活動を行なうが、一人が複数の部門に所属するというケースも多い。環境推進委員がそれぞれの部門の活動をチェックするが、この環境推進委員も様々な部署のメンバーからなっている。

通常業務では、各部署内で仕事が完結することも多いが、エコアクション21では、異なる部署のメンバーが集まり活動を行なう。そのため、様々な視点から活発な意見が出て、組織の活性化にもつながる。

4. エコアクション21 取り組みのフロー

前項で環境管理体制を紹介したが、今度は環境活動への取り組み方について述べる。全体の流れは図4に示す通りである。

当社で実施している内容としては、まず環境推進委員が電気やガソリン、一般廃棄物等の削減目標、グリーン購入（製品やサービスを購入する際に、環境を考慮して環境への負荷ができるだけ少ないものを選んで購入すること）等について活動計画書を作成する。手順書やPOP（図5左）等を用いて、削減に対する社員の意識を高める。それぞれの部門での活動に際しては責任者を任命し、積極的に活動を行

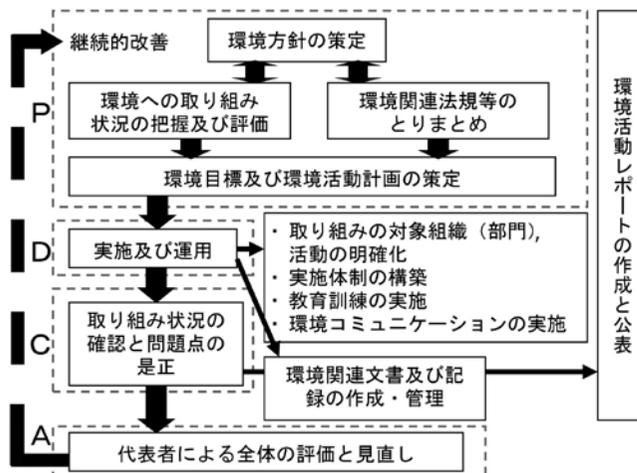


図4 エコアクション21 取り組みのフロー

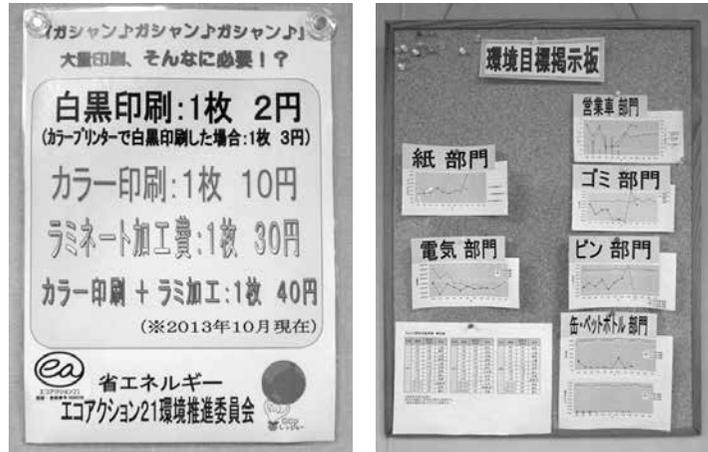


図5 印刷のムダを減らすため注意を促すPOP（左）と事業本部の環境目標掲示板（右）

なう体制を整える。各部門の実施事項については表2に示す。また、社内には目標に対する実績を掲示する「環境目標掲示板」（図5右）を設置して、社員が活動結果を随時確認できるようにしている他、毎月初めに、発表担当者が朝礼で前月の実績報告を行なっている。

原則、月1回、環境推進委員会による全体ミーティングを実施する他、部門ごとも、毎月メンバーが集まってミーティングを行い、目標の進捗状況や、その月の実施事項について確認をしている。目標を達成できたもの、できなかったものそれぞれについて分析を行ない、未達成の項目については原因の究明と対策を行なう。

具体例として、私が所属する部門での取り組みを紹介する。私は普段、「営業部 学術グループ」という部署に所属している。主な業務内容は、会社の製品を販売している薬局・薬店、製品愛用者からの問い合わせ対応、また、薬事や製品に関する情報等の社内外への発信である。このような通常業務に関連し、エコアクション21の組織上では「学術関連部門」、「広報部門」の2部門に所属している。

その一つである「学術関連部門」は、学術2名、営業2名からなり、主に学術情報の発信に関して、ムリ・ムラ・ムダを減らす取り組みを行っている。一例として、今までFAXで送信していた情報を、メール配信へ切り替えたことが挙げられる。当社では毎週1回、製品を取り扱っている薬局・薬店を対象に学術情報を発信しているが、FAXがメインだった。そのため、FAX送信先へ、メール配信への移行を呼びかけた。メール配信に切り替えることで、FAX機使用にかかる電力を減らしたり、用紙の無駄を減らしたりすることができる。FAX機の使用を減らすことは、同時にCO₂の削減にも貢献する。この取り組みは継続中で、今後も月ごとにFAXの送信件数をチェックし、メールに移行できるところは随時移行していく予定である。

先にも述べたが、エコアクション21では、全社的な環境方針をベースに、環境マネジメントシステムに基づく月毎、年毎の目標設定（Plan）を行い、各部門、部署がこれを実施（Do）、その成果を調査・評価（Check）し、必要に応じて見直

表2 環境改善部門ごとの実施事項

	部門・部署名	主な実施事項
事業本部	PC 部門	・社員の PC 操作スキル向上のための情報提供（業務の効率化）
	営業改善・車部門	・エコ運転による燃料使用量削減 ・営業車内の荷物の整理整頓、ムダな荷物を降ろす（燃費向上）
	営業推進部門	・営業販促物の発送方法の見直し（運賃削減） ・データ保管方法の見直し
	学術関連部門	・学術情報の内容と発信方法の見直し（業務の効率化、電気代の削減）
	広報部門	・エコアクション 21 の取り組みに関する情報発信
	総務・5S 部門 （5S:「整理」「整頓」「清掃」「清潔」「習慣化」の頭文字「S」をとったもの）	・社内の整理整頓チェック ・クールビズの実施 ・電話代の削減
生産本部	管理課	・大型の暖房機を小型のジェットボイラーに変更（灯油代の削減） ・作業の見直し（業務の効率化） ・出荷の効率化（運賃の削減）
	品質管理兼研究開発室	・保管品を移動し、凍結防止用電気暖房の使用中止（電気代の削減） ・MSDS（化学物質安全性データシート：化学物質や化学物質が含まれる原材料などを安全に取り扱うために必要な情報を記載したもの）の整備や薬品使用量の減量化
	製造課 1F （クマ笹よりエキスを抽出する作業をメインに行なう）	・冷蔵庫の霜取り装置改良（電気代の削減） ・ボイラーの使用時間短縮（灯油代の削減） ・清掃作業で使う水の削減（水道代の削減）
	製造課 2F （抽出した笹のエキスをビンに充填し、熱処理、包装を行なう）	・扇風機を併用しエアコン設定温度上げる（電気代の削減） ・清掃作業で使う水の削減（水道代の削減） ・熱処理で使う水の削減（水道代の削減） ・包装工程等作業の見直し（業務の効率化）

し（Action）を行い、継続的な改善を図っている。尚、エコアクション 21 の認証・登録は 2 年ごとの更新のため、PDCA サイクルにおける新たな目標・計画策定では、1 年ごとの評価をもとに、当社が展開していくべき、より効果的な環境保全活動の計画を立て、次回の更新に備えている。

5. 本来業務の見直しと効率化

エコアクション 21 においては、環境負荷削減活動を通じて本来業務の無駄な部分を排除し、業務の効率化を図ることも重要である。業務の改善は、ゴミや電力の削減等と異なり数値化は難しいが、環境負荷削減と企業経営を両立、または融合さ

せるには、本来業務の中に環境の視点を常に取り入れることが必要である。

組織全体だけでなく、個人単位でも小さなことからすぐに始められ、十分に成果が見えるのが業務改善である。エコアクション 21 では、「問題点の洗い出し」「現状分析」「改善対象の見つけ方」「対策検討」という業務改善の一連の流れを部門ごとに実施し、率先して自らが行っていき重要性を理解する仕組みを作っている。自分の所属する部署で不便やムダを感じていた事項について、自ら改善策を考え実行していくことで、当事者意識を持ち、個人レベルから組織レベルで俯瞰して業務を見る力を養うこともできると考えられる。

私の所属する学術関連部門では、受け身での問合せ対応だけでなく、積極的な学術情報の発信・配信をするための取り組みを実施している。

当社は、明海大学歯学部薬理学分野の坂上宏教授との共同研究を 2007 年よりスタートした。今までの研究により、医薬品「ササヘルス」には、抗炎症作用、歯周病菌等に対する抗菌作用、インフルエンザウイルス、エイズウイルスに対する抗ウイルス作用、ラジカル消去作用、抗腫瘍作用、紫外線に対する細胞保護作用（抗 UV 作用）等が認められている¹⁻¹⁷⁾。これらの研究成果は随時、薬局・薬店・製品愛用者向けの資料としてまとめ、発信している。2013 年は、新しい情報をスピーディーに届けられるよう、情報発信の方法を見直した。その一つが、新しく当社製品を取り扱っていただく薬局・薬店向けに送る「スタートアップ情報」の作成である。これは製品の効能効果、用法用量、使用上の注意等の基本的な情報に加え、最新の研究成果等の情報を盛り込んだ資料で、入会后すぐに発信する仕組みを作り、2013 年 11 月より運用を開始した。当社の場合、学術情報の発信は媒体や状況により、毎週、月 1 回、4 ヶ月に 1 回、年 1 回等様々なケースがあるが、ムリ・ムダなくスムーズに取引先の薬局・薬店、製品愛用者へ届けられるような仕組みづくりを今後も進めていく。

尚、仕事をする以上、何らかのムリ・ムダ・ムラは生じるものである。そのため、業務改善は 1 度やって成果が出たら終わりではなく、業務改善を継続・定着させることが重要である。エコアクション 21 の取り組みによって、個人が業務改善の意識を身につけ、仕事をしている中で目につく様々なムリ・ムダ・ムラを改善することで、組織のコストダウンに寄与することができる。また、業務改善を継続的に実践していくことは、長期的には社員のモチベーションアップにもつながるものと考えられる。

6. 社内外への広報活動

私が所属するもう一つの部門「広報部門」は、総務 1 名、学術 1 名、営業推進チーム 1 名、営業 2 名からなる。まさに部署を超えて組織された部門であるが、この部門では、環境活動に対する取り組み内容をホームページに掲載する他、取引先の薬局・薬店へ、活動内容とその成果について、定期的に情報発信を行なっている。また、隔月で発行する社内報へも、各部門の取り組みとその結果、活動に取り組んで

みでの感想等を掲載する取り組みをしている。このような啓蒙活動も、社員の環境に対する意識の向上や組織の活性化に欠かせないと考える。

おわりに

2012年7月のエコアクション21導入より2年以上が経過し、省エネ・省資源・廃棄物削減・節水等によるコストダウンが実現した。人材の育成という観点からは、自分も含め、エコアクション21に取り組んだ社員に「PDCA」の理解が広まり、目標管理やリスク管理の意識が高まったことが大きいと考えられる。目標達成のために計画を立てて実行し、その結果を確認・評価して見直すというPDCAサイクルは、どのような業務、活動にも適用でき、マネジメント力向上にも活用できるものであると考える。

今まで述べてきたように、事業所にとってこのような環境マネジメントシステムを導入することは、組織の活性化にも有効ということも実践を通じて実感している。また、エコアクション21は、活動の結果をまとめた「環境活動レポート」の作成と公表を必須の要素として規定しており、社会との環境コミュニケーションを促進、さらには社会からの信頼を得るのにも役立つものである。当社は今後も「エコアクション21」を継続しつつ、「自然随順」という企業理念のもと、人間の健康と幸福に寄与する研究や製品開発を通じて、社会貢献していきたいと考えている。

引用文献

- 1) 坂上 宏, 渡辺悟, 横手よし子, 他: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の多様な生物作用と代替医療における機能性, *New Food Industry* **50** (5), 17-24, 2008
- 2) 坂上 宏, 周 麗, 儲 慶, 他: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の抗炎症作用, *New Food Industry* **51**(1): 27-34, 2009
- 3) Zhou L, Hashimoto K, Satoh K, *et al.*: Effect of *Sasa senanensis* Rehder extract on NO and PGE2 production by activated mouse macrophage-like RAW264.7 cells. *In Vivo* **23**: 773-778, 2009
- 4) 坂上 宏, 周 麗, 河野みち代, 他: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の抗炎症作用に基づく口腔環境改善効果の可能性, *New Food Industry* **52** (2) 1-10, 2010.
- 5) Sakagami H, Kushida T, Oizumi T, *et al.*: Distribution of lignin-carbohydrate complex in plant kingdom and its functionality as alternative medicine. *Pharmacology & Therapeutics* **128**: 91-105, 2010.
- 6) Sakagami H, Zhou Li, Kawano M, *et al.*: Multiple biological complex of alkaline extract of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **24**: 735-744, 2010.
- 7) 坂上 宏, 植木淳一, 島田亜希, 他: 抗酸化剤および植物抽出液の紫外線に対する細胞保護作用, *New Food Industry* **53** (1): 11-19, 2011.
- 8) 坂上 宏, 岩本祥子, 松田友彦, 他: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の口内炎治療効果の可能性: 培養ヒト歯肉線維芽細胞による炎症性サイトカイン産生の抑制 *New Food Industry* **53** (7): 11-18, 2011
- 9) 松田友彦, 北嶋まどか, 大泉浩史, 他: クマザサ抽出液 (ササヘルス) 及び luteolin 配糖体の紫外線に対する細胞保護効果, *New Food Industry* **53** (7): 19-25, 2011

- 10) Matsuta T, Sakagami H, Kitajima M, *et al.*: Anti-UV activity of alkaline extracts of the leaves of *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5): 751-755, 2011.
- 11) Matsuta T, Sakagami H, Satoh K, *et al.*: Biological activity of luteolin glycosides and tricrin from *Sasa senanensis* Rehder. *In Vivo* **25** (5): 757-762, 2011.
- 12) Ono M, Kantoh K, Ueki J, *et al.*: Quest for anti-inflammatory substances using IL-1 β -stimulated gingival fibroblasts. *In Vivo* **25**(5): 763-768, 2011
- 13) Sakagami H, Iwamoto S, Matsuta T, *et al.*: Comparative study of biological activity of three commercial products of bamboo leaf extract. *In Vivo* **26**: 259-264, 2012.
- 14) 坂上 宏, 松田友彦, 田中庄二, 他: クマ笹葉エキス由来製品の開発, 機能性評価及び口腔疾患への適応 *New Food Industry* **54** (6):11-26, 2012.
- 15) Matsuta T, Sakagami H, Tanaka S, *et al.*: Pilot clinical study of *Sasa senanensis* Rehder leaf extract treatment on lichenoid dysplasia. *In Vivo* **26** (6): 957-962, 2012.
- 16) Matsuta T, Sakagami H, Sugiura T, *et al.*: Structural characterization of anti-UV components from *Sasa senanensis* Rehder extract. *In Vivo* **27**: 77-84, 2013.
- 17) Sakagami H, Amano S, Yasui T, *et al.*: Biological interaction between *Sasa senanensis* Rehder leaf extract and toothpaste ingredients. *In Vivo* **27**: 275-284, 2013

連絡先: 北嶋 まどか

〒 213-0012

神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 かながわサイエンスパーク (K S P) 内 D 棟 8F

株式会社大和生物研究所

営業部学術グループ

Tel: (044)819-2291

Fax: (044)812-7482

e-mail: m_kitajima@daiwaseibutu.com

月刊 ニューフードインダストリー

NEW FOOD INDUSTRY

定期購読の
ご案内

月刊「ニューフードインダストリー」は創刊56年の食品業界誌です。

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

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

本体2000円+税(送料100円)×12ヶ月

お申し込み・お問い合わせは下記 FAX かお電話で

電話：03-3254-9191 担当：村松

FAX：03-3256-9559

ニューフードインダストリー年間購読申込用紙

住所 〒

氏名

会社名・所属

電話

FAX

E-mail

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

ニューフードインダストリー 第57巻 第2号

印刷 平成 27 年 1 月 25 日

発行 平成 27 年 2 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