

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2010 Vol.52 No.1

1

新春巻頭言

■たかがデンプン、されど・・・

新春叢論

- 「機能性食品素材・栗渋皮」の加工食品への利用
- テンペが持つ新規生理活性物質「線維素溶解、ビタミンK₂、チロシナーゼ阻害、ポリアミン、血小板凝集阻害など」の応用開発
- ミルクで学ぶ食品の機能
- 日本の伝統的発酵技術で得られた機能性食品 ～多穀麹とプロファイバーの紹介～
- ヤマブシタケの脳機能賦活作用とPLM-フラクション
- フォーミュラ食を用いたダイエット支援プログラムの効果
- 「国産米粉の活用事例」 ライスヌードルの開発
- 室内噴霧消毒におけるバイオイオナースRの有用性 ―厨房内消毒への基礎的検討―
- ワインの熟成と成分の変化について―最近の醸造方法と機能性―

解 説

- ポリアミンによるアンチエイジング (その2)

特別寄稿

- 誰にもわかるバイオ資源利用科学 (最終回)
第8章 バイオ資源としては限界要素が多い海産物



新春巻頭言

- たかがデンプン，されど・・・
..... 福田 恵温 1

新春叢論

- 「機能性食品素材・栗渋皮」の加工食品への利用
..... 樋口 誠一，仲島日出男 3

- テンペが持つ新規生理活性物質「線維素溶解，ビタミン K₂，
チロシナーゼ阻害，ポリアミン，血小板凝集阻害など」の応用開発
..... 須見 洋行，今井 雅敏，丸山 眞杉 9

- ミルクで学ぶ食品の機能
..... 大谷 元 17

- 日本の伝統的発酵技術で得られた機能性食品
～多穀麴とプロファイバーの紹介～
..... 渡辺 敏郎 24

- ヤマブシタケの脳機能賦活作用と PLM-フラクション
..... 安西 英雄 31

TOPICS

- より広く，より深い研究のための
糖転移ヘスペリジン・ビタミン P 研究会
..... 40

Contents

2010 年 1 月号

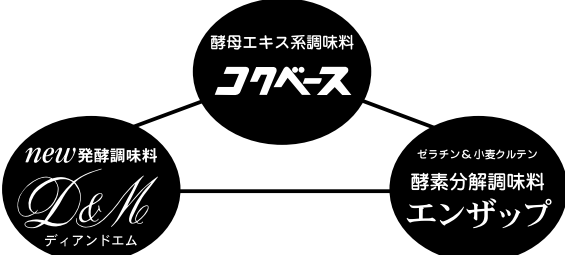
新春叢論

- フォーミュラ食を用いたダイエット支援プログラムの効果
..... 蒲原 聖可 43
- -国産米粉の活用事例- ライスヌードルの開発
..... 李 永玉, 佐竹 隆顕 47
- 室内噴霧消毒におけるバイオイオナース®の有用性
—厨房内消毒への基礎的検討—
..... 窪田 倭, 松澤 皓三郎, 和田 雅年, 森 勲, 山地 信幸 55
- ワインの熟成と成分の変化について -最近の醸造方法と機能性-
..... 佐藤 充克 59
- ポリアミンによるアンチエイジング (その 2)
..... 早田 邦康 66

特別寄稿

- 誰にもわかるバイオ資源利用科学 (最終回)
第 8 章 バイオ資源としては限界要素が多い海産物
..... 兎束 保之 74

おいしさと健康に真剣です。



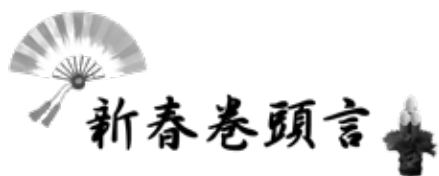
**酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ**

(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
特長がある乳糖酵母エキスです。

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



たかがデンプン，されど・・・

ふくだ しげはる

福田 恵温

(株式会社林原生物化学研究所・常務取締役)

私たちは日々デンプンをエネルギー源として摂取している。お米，パン，うどんなどの主成分はデンプンである。主食だけではない，イモ，カボチャ，豆なども主成分がデンプンであり，最も多量に摂取している食物成分である。しかもグルコースのみから構成された極めて単純な構造をしている。あまりにも身近にありふれて存在しているため，「たかがデンプン」と考えてしまいがちであるが，このデンプンがいろいろなものに生まれ変わるのである。

林原はデンプンを原料とした様々な製品を送り出してきた。ここではデンプンにまつわる話題を二つ紹介したい。

*** 砂糖のようで砂糖でない ***

1980年代まではデンプンの加工，糖化に関する研究は大変盛んであったが，1990年代に入ると糖化の技術開発はほぼ終了し，もうデンプンから新しいものは出来ないと考えられていた。林原においても同様であり，このままではジリ貧になってしまうという危機感から，研究員を集めて新規テーマに関するブレインストーミングを行った。議論を尽くしたがこれはというアイデアが出ない中で，ある研究員が「砂糖のようで砂糖でないものを作りませんか？」と発言した。まるで禅問答であったが，とにかく新しいものを探そうと，大半の研究員はそれまでのテーマを捨て，新しいテーマに変えた。

探索を開始して2ヶ月，配属されて間もない新米研究員がデンプンからトレハロースを生成する反応系を発見した。「デンプンから出来るはずがない」と言われていたトレハロースが出来た瞬間であった。その後は研究所総動員でトレハロースの生成機構の解明，酵素の構造解析，遺伝子解析にあたった。さらには製造部門も巻き込んで酵素産生菌の育種，培養，製法検討と，まさに夜を日を徹しての作業が続けられ，反応系の発見からわずか2年で工場生産に漕ぎ着けることができた。

安い原料であるデンプンから85%以上の収率でトレハロースが生成することがわかり，当時1kg数万円以上していたトレハロースの値段を百分の1以下の350円にすることができた。それまでは大変貴重な糖質であったため，有用性は認識されながらも医薬品や化粧品にごく僅か利用されるのみであったが，使いやすい価格になったことで食品への用途が一挙に広がった。現在では1万種類以上のお菓子，飲料などに使われ，年間の製造量は3万トンを超えた。

前述の研究員が言った「砂糖のようで砂糖でない」ものとは，「トレハロース」に他ならなかったのである。

※※10 年を 2 週間に短縮※※

博物館や美術館に所蔵されている国宝級の巻物、掛け軸などは約 100 年に一度、表装を換える作業を行うが、接着剤として古糊と言われる糊を伝統的に使ってきた。新しく練ったデンプン糊に比べて古糊は、接着性が適度に弱い本紙への負担が少ない、柔軟性に優れていること、修復の際に剥がしやすい、などの特徴を有している。古糊は大寒の時期に小麦デンプンを練って糊を作り、カメに入れて床下に約 10 年間保存、熟成させる。当然、表面にはカビや細菌などの微生物が繁殖するが、下層に残った糊を使う。しかしこの熟成工程は成り行き任せであり、仕込んだ年、保管する場所により品質がずいぶん違ってくる。しかも微生物が繁殖し過ぎると、10 年間で全く無駄になる。ある時、国立東京文化財研究所の方から、「林原はデンプン（研究）が専門でしょう？なんとかなりませんか？」と相談を受けた。

そこで種々の古糊を入手してその構造を詳細に調べたところ、熟成期間中に微生物が分泌する酵素（アミラーゼ）によりデンプンがゆっくりと分解を受け、ある一定の大きさになっていることが分かった。そこで我々は微生物を使わず、アミラーゼのみを用いて熟成過程の再現を試みた。その結果、10 年かかっていた工程が、酵素を使うことにより 2 週間に短縮できたのである。しかも酵素量、反応温度や時間を調節することにより、望み通りの性質を持った「新・古糊」を調製できることが分かった。現在、従来の古糊と我々の作った新・古糊の比較試験を行っているところであるが、専門の職人の方からは「悔しいが、両者の違いが分からない」とまで言われている。商品化されれば是非使いたい、と国内外の著名な博物館、美術館から問い合わせが寄せられている。

我々の酵素技術が文化財修復事業に貢献できたということは大きな自信につながり、またデンプン研究者としての誇りでもある。

たかがデンプンと言うなかれ、デンプンは奥が深いのである。デンプンを授けてくれた自然界に改めて感謝の気持ちを抱かずにはいられない。

「機能性食品素材・栗渋皮」の 加工食品への利用

樋口 誠一^{*1} 仲島日出男^{*2}

^{*1} HIGUCHI Seichi, ^{*2} NAKAJIMA Hideo (埼玉県産業技術総合センター北部研究所 生物工学部)

Key Words: 栗・ポリフェノール・マス킹・機能性食品

はじめに

近年、メタボリックシンドロームをはじめとする生活習慣病の予防には、特定保健用食品などに代表される機能性食品が有効であるとの認識が、消費者の間に高まっている。そのため、埼玉県内の食品製造業者にとっても製品への機能性の付加は最大の関心事であり、消費者にアピールしやすい地元産の機能性素材を求める声は多い。

そこで埼玉県内の植物資源について調査したところ、栗の葉や渋皮、ビワ葉など樹木由来の素材について、ポリフェノール含量が高く、その抗酸化活性も非常に高いことが確認された。本県は栗の収穫量全国第5位であり、栗は県の特産品である。そこで我々は栗の渋皮に注目し、その機能性成分であるポリフェノールを有効活用した素材開発を行うこととした。

栗渋皮に含まれるポリフェノールは、その名のとおおり渋味を呈するなどの性質から、タンニン様の高分子ポリフェノールであると考えられる。タンニンは渋味(収斂味)を呈し、タンパク質などと結合して沈殿を生ずる高分子の植物ポリフェノール成分を指しており、主に加水分解性タンニンと縮合型タンニンに分類される¹⁾。前者はフェノールカルボン酸が糖などの水酸基

とエステル結合したもので、ガロタンニン、エラジタンニンがある。一方、後者はフラバン-3-オール(カテキン類)を構成単位とし、それらがC4-C8, C4-C6, C2-O7などで結合したものであり、結合様式、重合度などにより多数の化合物が存在する(図1)。これらは伝統的な薬用植物などの成分として従来から認識されていたが、近年、食品の生体調節機能が解明されるにしたがい、一般食品中の成分としても注目されつつある。特に縮合型タンニンは「プロアントシアニジン」という呼び名が定着し、ブドウ種子、リンゴ、カカオなどから食品素材が開発されている²⁾。その機能性は非常に多岐にわたり、抗酸化作用をはじめ、動脈硬化予防作用、

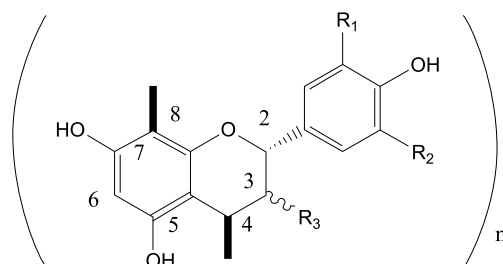


図1 一般的なプロアントシアニジンの構造式

プロペラルゴニン ($R_1, R_2=H, R_3=OH$)、プロシアニジン ($R_1=H, R_2, R_3=OH$)、プロデルフィニン ($R_1, R_2, R_3=OH$) ($R_3=galloyl$ となる場合もある)。

抗アレルギー作用、脂質代謝制御作用、腸内環境改善作用、メラニン生成抑制作用など様々な機能性を示すとして注目されている²⁾。

しかし、これらの物質はタンパク質などと結合して沈殿や濁りを生じる、あるいは渋味を呈するなど、加工性、官能性の欠点のため、取り除かれてしまうことが多い³⁾。今回取り上げる栗渋皮のポリフェノールも、やはり食品製造時に除去されるものであり、有効に利用されていないとも言える。そこで上述のような高分子ポリフェノールの機能性を有効活用した製品の開発を目的に、栗渋皮ポリフェノールの渋味低減処理の検討を行うとともに、栗渋皮を利用した菓子類の試作を行ったので、その内容について本稿で紹介する。

1. 栗渋皮ポリフェノールの性質

実験に供した栗渋皮は、栗全体を凍結乾燥し、渋皮のみを分別して粉碎したものをを用いた。この栗渋皮の80%メタノール抽出液について、総ポリフェノール量をフォーリンチオカルト法により、また、総プロアントシアニジン量をバニリン硫酸法により測定した（いずれも標準物質は(+) - カテキン水和物）。その結果、総ポリフェノール量は318mg/g、総プロアントシアニジン量は296mg/gであり、ポリフェノール成分の多くがプロアントシアニジンであると考えられた。また、得られたポリフェノールを塩酸存在下で加水分解し、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）で分析したところ、シアニジンおよびデルフィニジンを検出した。

次に栗渋皮70%アセトン抽出物について、順相HPLC分析を行った。ここでは分子量が低い順にポリフェノールが溶出されるが、図2に示すとおり、前半に比較的低分子の小さなピークがいくつか溶出し、後半に高分子のものと思われる大きなピークが溶出した。この結果から、

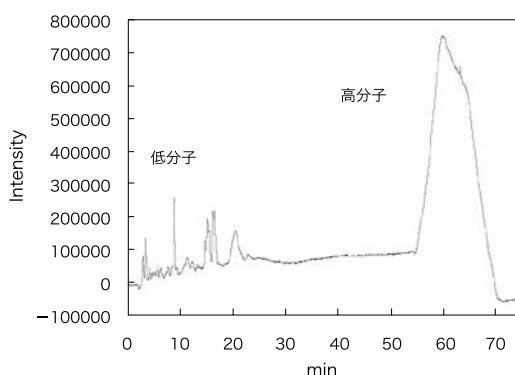


図2 栗渋皮ポリフェノールのクロマトグラム

栗渋皮ポリフェノールは多くの高分子性のポリフェノールからなると考えられた。

さらに栗渋皮70%アセトン抽出物をSephadex LH20カラムにて分画し、低分子画分と高分子画分を得て、それぞれにつきフロログルシノリシス分析⁴⁾を行った。つまり、フロログルシノール存在下でプロアントシアニジンフラバン-3-オール単位に酸分解し、延長ユニットと下端ユニットの比から平均重合度を算出したところ、低分子画分は約7、高分子画分は約13であった。この結果からもやはり高分子プロアントシアニジンの存在が示唆された。

高分子プロアントシアニジンの代謝経路や機能性のメカニズムは、まだあまり解明されていないが、一般的にそのままでは体内に吸収されにくいと考えられている⁵⁾。しかし、腸内細菌で分解されて吸収されたり、消化管内にとどまって機能性を発揮しているのではないかと考えられている⁵⁾。今後、栗渋皮ポリフェノールの機能性について検討を行っていく予定である。

2. マスキングによる渋味低減

前述のとおり、栗渋皮は強い渋味を呈するため、そのままでは食味が悪く利用しにくい。この渋味は高分子ポリフェノール成分に由来する

ものである。高分子ポリフェノールは動物の唾液タンパク質の一種 (Proline rich protein : PRP) などと不溶性複合体を生成しやすい性質を持っており、この沈殿形成が渋味に関連しているといわれている⁶⁾。そこで高分子ポリフェノールをマスキングし、摂取時に口腔内で唾液タンパク質などとの沈殿形成させないことが、渋味低減に有効であると考え、タンパク質、糖質を中心とした各種食品素材について、栗渋皮ポリフェノールのマスキング能のスクリーニングを行った。

Hagerman らの方法⁷⁾ に準じて、各種食品素材の渋味マスキング能の評価を行った。マスキング剤溶液 (0.5mg/mL, 0.2M リン酸緩衝液 (pH7.0)) 300 μ L にポリフェノール溶液 (栗渋皮 70% アセトン抽出物, 3 mg/mL 水溶液) 100 μ L を添加し、室温にて静置した。遠心分離後、沈殿を 5% (v/v) トリエチルアミン / 1% (w/v) ドデシル硫酸ナトリウム水溶液 800 μ L に再溶解した。これに 0.01M 塩化第二鉄 0.01M 塩酸溶液を 200 μ L 添加し、15 分後に 510nm の吸光度を測定した。添加したポリフェノール量に対する沈殿を形成したポリフェノール量の比、沈殿形成率を求め、渋味マスキング能の指標とした。

結果は図 3 に示すとおり、タンパク質ではゼラチン類、乳由来タンパク類が高いマスキング効果を示し、大豆たん白などが中程度の効果を示した。糖質では、メチルセルロースが高い効果を示し、増粘多糖類、溶性デンプンなどが中程度の効果を示した。その他では脂肪分解物が中程度の効果を示した。一般的にプロアントシアニジンは主に疎水結合や水素結合によりタンパク質などと結合し、沈殿を形成していると考えられ、高分子であるものの、立体構造が少ないもの、さらにタンパク質であればプロリン含量が多いものに結合しやすいことが知られている⁸⁾。栗渋皮ポリフェ

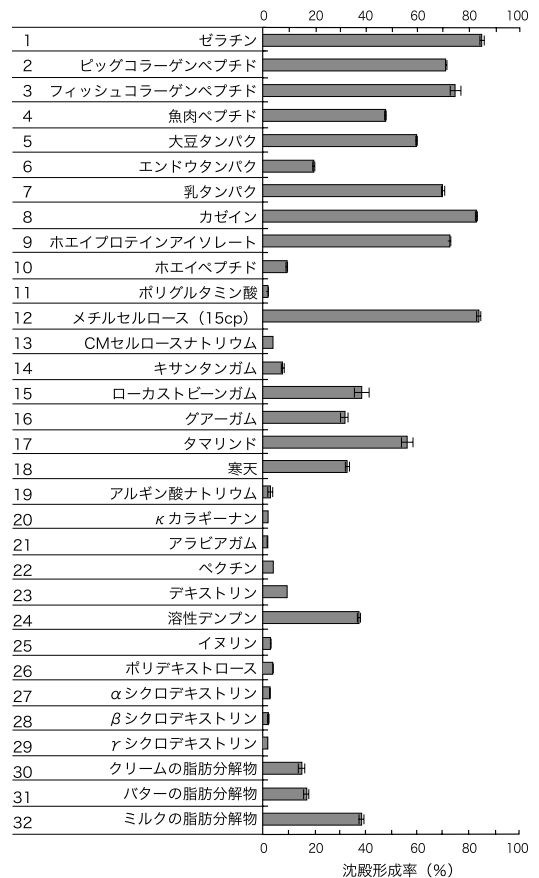


図 3 各種食品素材の渋味マスキング効果
誤差線は標準偏差を示す

ノールについても、プロリンの割合が多いゼラチン類、カゼインとの沈殿形成率が高く、これらと強く結合していると考えられた。また、沈殿形成率が高いマスキング剤でも、20% 近くのポリフェノールが遊離体のままで存在しており、これは順相 HPLC の結果で認められた低分子性のポリフェノールではないかと推測された。

3. 菓子類の試作

実際に栗渋皮そのものを用いた食品として相性のよいと思われた菓子類の試作を行った。高タンパク質含量の和菓子モデルとして

まんじゅうを、低タンパク質含量のモデルとして団子を取り上げた。また、洋菓子、パンのモデルとしてクッキー、ロールパンを取り上げた。栗渋皮粉末は、むき栗加工工場にて発生した果肉の付着した状態の渋皮より調製した。これを130℃で30分間熱風乾燥後、混在する果肉等を除去して粉碎し、30メッシュのふるいを通したものを用いた。マスキング剤は加工適性などを考慮し、乳たん白を用いた。

まず、まんじゅうは以下のとおり作製した。砂糖14gに5～10mLの水を加えて溶かし、これに総量20gの小麦粉および渋皮粉末(1, 5, 10%),並びに膨張剤0.4gを添加して生地を作った。分割、成形または包餡した後、せいろを使用して10分間蒸した。団子は次のとおり作製した。上新粉50gに熱湯45mLを添加して混捏し、せいろを使用して30分間蒸した。その後さらに混捏し、分割、成形した。渋皮粉末(1, 5, 10%)やマスキング剤を添加する場合は熱湯に懸濁させた後、上新粉に添加した。また、渋皮粉末を10%添加した試験区について、マスキング剤として乳たん白を2.5%添加して、その効果を確認した。

クッキーは以下のとおり作製した。バター60gに砂糖40gをすり合わせ、さらに卵20g, 牛乳5gを添加した。これに総量100gの小麦粉および渋皮粉末(5, 10%)を添加し、混ぜ合わせた。生地を冷蔵庫で1時間静置後、3mmの厚さに延ばして型抜きし、200℃で約10～12分焼成した。バターロールについては、渋皮粉末を5%添加し、小麦粉および渋皮粉末の総量を300gとして、常法により作製した。

試作したまんじゅう生地および団子を図4に示す。まんじゅう、団子とも渋皮粉末添加量を増やしたときには、生地をまとめるために加水量を増やす必要があった。まんじゅうは多量に添加される砂糖の影響もあり、渋皮粉末を10%まで加えても渋味は強くなく、渋皮の特徴

的な香りが感じられた。また、餡を包んでもきれいな生地を形成し、外観もよいものであったが、渋皮粉末添加量の増加とともに生地がかたくなる傾向を示した。

一方、団子では、渋皮粉末を1%添加したものではそれほど渋味は感じなかったが、5, 10%添加したものでは渋味が強く感じられ、ざらつき感もあった。また、色味もかなり濃いものとなった。渋皮粉末10%添加試験区において、さらにマスキング剤として乳たん白を2.5%添加し、マスキング剤の効果を確認した。団子はまんじゅうと比較して組成が簡素であり、マスキング剤の効果を確認しやすいと言える。マスキング剤である乳たん白の使用により、渋皮粉末10%添加試験区で感じられた強い渋味が緩和されており、マスキング剤の渋味

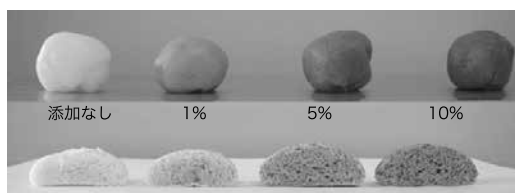


図4 試作した団子(上)とまんじゅう生地(下)
数字は渋皮の添加割合

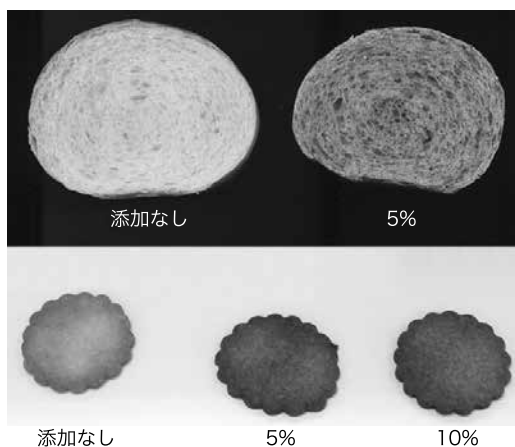


図5 試作したバターロールの断面(上)とクッキー(下)
数字は渋皮の添加割合

低減効果が認められた。

次に、試作したバターロールおよびクッキーを図5に示す。バターロール生地のみキシング時に、渋皮粉末を5%添加したものでは、無添加のものと比較して、生地のグルテン膜が破れやすく、また、パンの成形時においても生地の伸びが悪かった。これらのことから、渋皮粉末では生地形成の阻害作用が強いと考えられた。図4の焼き上がりを比較すると、渋皮粉末添加ではわずかに膨らみが劣っていたが、焼成中にガスが抜けてしまうというほどではなかった。一方、クッキーでは渋皮粉末を添加したものは焼き上がりがかたくなる傾向がみられた。これら洋菓子類の試作ではマスキング剤は使用していないが、その味はやや渋味を感じる程度であった。また、高温で焼き上げるため、渋皮粉末がローストされたよい香りが感じられた。さらに、和菓子で感じられたざらつき感もなく食感も良好であった。

以上の結果より、渋皮粉末の添加量および添加方法は品目により大きく調整する必要があると考えられた。特に糖分や油脂などの添加材料が少ないものはマスキング剤を添加したり、渋皮粉末の添加量を少なくしたりする必要があると考えられた。また、渋皮粉末添加によってかたさを生じるものがあつたが、これは製品ごとの渋皮粉末添加量の検討、あるいは添加剤を工夫することによって改善できると考えられた。

おわりに

栗渋皮に含まれるポリフェノールを有効利用した機能性食品を開発するため、栗渋皮ポリフェノールの評価を行うとともに、製品化の際

に問題となる栗渋皮ポリフェノールの渋味低減処理について検討を行った。その結果、栗渋皮ポリフェノールの大部分は高分子であると考えられた。また、種々の食品素材について栗渋皮ポリフェノールによる渋味のマスキング能を検討したところ、ゼラチン類、乳由来タンパク類、メチルセルロースなどが高い効果を示すことが明らかとなった。さらに、渋皮粉末を添加したまんじゅう、団子、クッキーおよびバターロールの試作試験を実施した。製品ごとに渋皮粉末の添加条件やマスキング剤の使用などの工夫が必要であったが、栗渋皮の添加により、風味や機能性を付加した特徴のある製品の開発が可能であると考えられた。

先に述べたとおり、高分子ポリフェノールは多くの場面において、加工や呈味の観点から取り除かれてしまうことが多い。一方でこの成分の性質を有効に利用しているものがある。それを代表するものが赤ワインや渋味を持つ果物のジュースといったものであり、高分子ポリフェノールはそれらの味や色などの品質に重要なものとなっている。本素材においても加工の工夫により、栗渋皮独特の香り、風味、適度な渋味といったものがプラス面に働き、季節感を持ったユニークな素材となるということが見いだされた。これは製品化に際して、高分子ポリフェノールの機能性を利用できるということに加えて、食品の官能性を向上する重要な要素であると考えている。今後は素材の機能性を確認するとともに、ポリフェノールの加工中における変化など、実用化に向けての検討を行っていく。また、高分子ポリフェノールのもつ様々な機能性に着目し、食品だけでなく化粧品などへの応用も行っていく予定である。

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

- 1) Santos-Buelga, C. and Scalbert, A. : Proanthocyanidins and tanninlike compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health, *J. Sci. Food Agric.* **80**, 1094-1117, 2000
- 2) 吉田隆志, 有井雅幸 : 植物ポリフェノール含有素材の開発—その機能性と安全性—, 東京, シーエムシー出版, 225-290, 2007
- 3) 木村進, 中林敏郎, 加藤博通 : 食品の変色の化学, 東京, 光琳, 128-137, 1995
- 4) Kennedy, J. A. : Proanthocyanidins : Extraction, Purification, and Determination of Subunit Composition by HPLC, Current Protocols in Food Analytical Chemistry, Wrolstad, R. E., New York, John Wiley & Sons, 11.4.1-11.4.11, 2002
- 5) Prior, R. L. and Gu, L. : Occurrence and Biological Significance of Proanthocyanidins in the American Diet, *Phytochemistry*, **66**, 2264-2280, 2005
- 6) Haslam, E. : Practical Polyphenolics –from Structure to Molecular Recognition and Physiological Action–, Cambridge, Cambridge University Press, 178-225, 1998
- 7) Hagerman, A. E. and Butler, L. G. : Protein Precipitation Method for the Quantitative Determination of Tannins, *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 809-812, 1978
- 8) Bennick, A. : Interaction of Plant Polyphenols with Salivary Proteins, *Crit. Rev. Oral Biol. Med.*, **13**, 184-196, 2002

テンペが持つ新規生理活性物質 「線維素溶解，ビタミン K₂，チロシナーゼ阻害， ポリアミン，血小板凝集阻害など」の応用開発

須見 洋行^{*1} 今井 雅敏^{*2} 丸山 眞杉^{*3}

^{*1} SUMI Hiroyuki (岡山テンペ協会・会長 (倉敷芸術科学大学生命科学科))

^{*2} IMAI Masatoshi (岡山テンペ協会・主任研究員) ^{*3} MARUYAMA Masugi (宮崎大学医学部機能制御学)

Key Words：テンペ・大豆・納豆・ビタミン K₂

はじめに

テンペは，東アジアに広く分布する無塩大豆発酵食品群の一つで，インドネシアで古くから常食されている伝統食品^{1,2)}。納豆のすばらしさについては既に報告してきたが^{3~7)}，よく対比されるのであるが，今注目されているのがこの国際食品テンペである^{8~10)}。ニオイや粘りがなく，消化性が良く，食べやすいと同時に栄養学的にも優れ，高タンパク，低脂肪，ビタミン，ミネラルなどが豊富な自然食品で，各種生活習慣病の予防，そして健康増進に役立つ。最近，次々と明らかにされつつあるテンペの機能成分について紹介しよう。

1. 発酵大豆食品

大豆は畑の肉と呼ばれるように栄養的に優れた食品であると共に，最近はそのに含まれるゲニステインやダイゼインなどのイソフラボン類が乳ガンや前立腺ガンの予防に働くということで，特に米国では大豆食がブームを呼んでいる。テンペはその大豆にさらにテンペ菌による発酵過程が加わることにより各種の成分がプラスアルファーされた食品と云える。例えば，ビタミン B₁₂，B₂，B₆，その他パントテン酸，ニコチン酸，葉酸などの栄養価が著しく増加する。特に

ビタミン B₁₂ (コバラミン) 3.9mg/100g はテンペで1日の摂取必要量を十分充たすほど多く含まれており，他の植物性食品には例のないものである。これがテンペは貧血予防食品として注目されている理由であるが，ただし現在日本で入手できるテンペ菌 (*Rhizopus oligosporus*) をスターターに使ってもビタミン B₁₂ はほとんど作られない。インドネシアのテンペはあくまでも自然の状態で発酵させるものでキャッサバデンプンをまんじゅう様に固めた“ラギー”やハイビスカスの葉の間にテンペをはさんで乾燥させた“ウサル”と呼ばれるスターターの中にはカビや酵母，そして細菌類など多くの微生物が含まれており，特にその中に混在する細菌 *Klebsiella pneumoniae* によってビタミン B₁₂ が作られると考えられている¹¹⁾。

2. インドネシア - テンペの製造

テンペの種菌はインドネシアのジャカルタおよびロンボク島の農家で製造された凍結品6種類①～⑥を入手して用いた^{12,13)}。テンペおよび比較のための納豆の製造は納豆試験法に従った。即ち，蒸煮大豆 1kg 当り種菌として凍結乾

表1 テンペ水抽出液、納豆水抽出液およびナットウキナーゼ溶液の線維素溶解活性および合成基質分解活性

試料	フィブリン 溶解活性 (mm ² /4h)	Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA 分解活性 (nmol/min/ml)	H-D-Val-Leu-Lys-pNA 分解活性 (nmol/min/ml)
テンペ①水抽出液	32	49	16
テンペ②水抽出液	121	247	7
テンペ③水抽出液	138	156	—
テンペ④水抽出液	—	2	—
テンペ⑤水抽出液	138	237	—
テンペ⑥水抽出液	144	360	1
納豆水抽出液	868	156	14
ナットウキナーゼ	56	64	1

—：未検出

乾燥テンペ⑥あるいは納豆用種菌（宮城野）を約0.1g 加え、37℃、24 時間発酵させた。

テンペ水抽出液、納豆水抽出液およびナットウキナーゼ溶液の線維素溶解活性を測定してみた結果を表1 に示す。6 種類のテンペのうち、②、③、⑤、⑥の水抽出液に強いフィブリン溶解活性が認められ、特に⑥の水抽出液が最も強力なフィブリン溶解活性を示した。また、テンペ水抽出液の多くはナットウキナーゼの基質となる Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA を強力に分解し、

さらに①、②、⑥の水抽出液はプラスミンの基質となる H-D-Val-Leu-Lys-pNA に対しても分解活性を示した（強い線維素溶解能を示すため、これをテンペキナーゼと呼んだ^{14,15)}。

図1 は研究室で調製したテンペと納豆による活性である。テンペの方が納豆に比べて溶解面積は小さかったが、その溶解状態はより鮮明であった。テンペ⑥水抽出液による18 時間インキュベーション後の溶解面積より、ウロキナーゼを標準として溶解活性を算出すると、テンペ⑥の凍結乾燥物1g 当り約450IU（国際単位）に相当した。一方、このテンペ水抽出液はウロキナーゼとは異なり、平板を85℃、30 分間処理して含まれるプラスミノゲンを失活させた加熱フィブリン平板を用いても溶解活性を示し、また溶解面積は非加熱フィブリン平板の方が大きいことなどから、テンペ⑥水抽出液中にはプラスミノゲンアクチベーターが含まれているものと思われた¹⁶⁾。

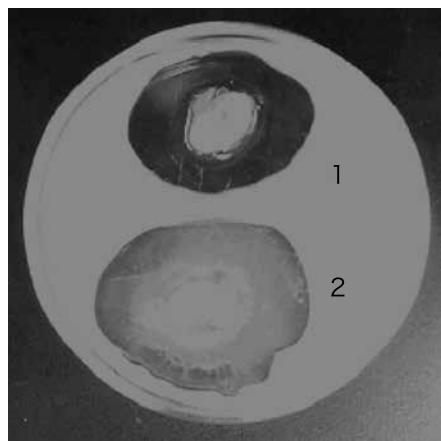


図1 テンペの線維素溶解活性

1：テンペ 2：納豆

両者共にフィブリンを分解するが、テンペキナーゼによる分解部分の鮮明さが際立っている。これは切断部分が多少異なるためと考えられる。

3. テンペ X による小麦発酵物

前記⑥（テンペ X）株を用いて小麦発酵物を作製した。大豆の発酵と違い小麦は発酵臭が少なく食べやすい。テンペ菌培養液中の酵素の性質について調べてみた¹⁷⁾。等電点電気泳動

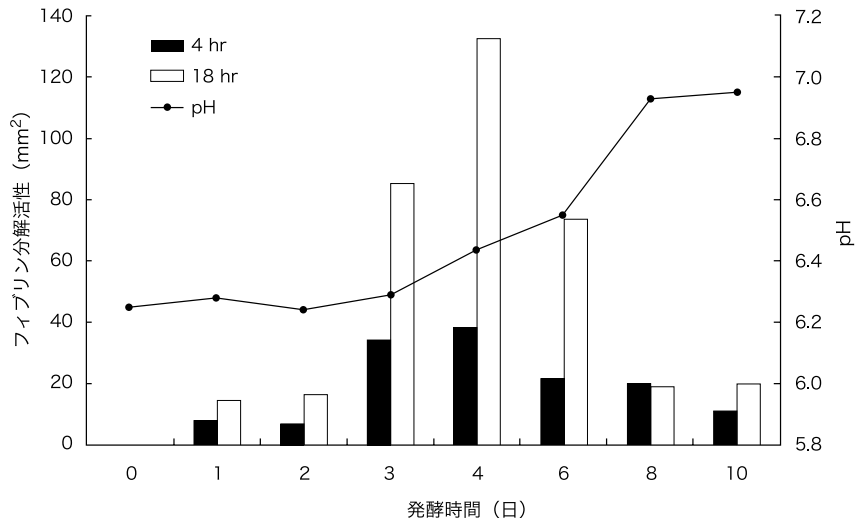


図2 小麦発酵と線維素溶解活性

小麦のテンペ菌発酵後のテンペキナーゼの変化。生理的食塩水で抽出したものを酵素液として、その30μlが示す線維素溶解活性を示す。

の結果であるが、納豆菌の酵素はpI8.3～8.7に一つの活性ピークに対して、テンペX培養物はより酸性のpI3.8～4.5位置に主ピークを示すことが分かった。図2は乾燥物が持

つ線維素溶解活性を調べた結果であるが、3～6日目をピークに明らかな活性を示す。

テンペのある種類（インドネシア産）には強い線維素溶解能（テンペキナーゼ）が認められた（図1）^{12,13)}。最近、特に強い活性を持つ菌株（*Fusarium* sp. BLB）が分離されており、中村ら^{18,19)}は精製した同酵素の分子量は27,000,250個のアミノ酸からなる、セリン酵素であると報告している。

4. ビタミンK₂含量

ビタミンKには2種類が存在し、特に微生物由来のビタミンK₂は骨粗鬆症の患者にとっては必須の因子である。多くの疫学的研究で、骨粗鬆症の中でも特に重篤な大腿骨頸部骨折の

表2 テンペX—小麦発酵物摂取後のビタミンK₂の変化

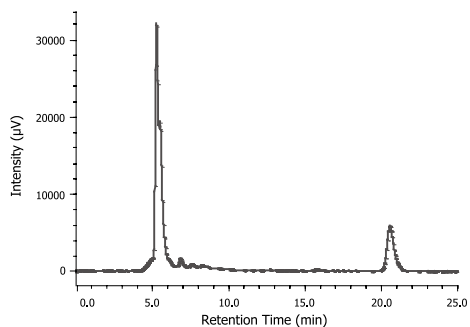
	PT (sec)	APTT (sec)	K ₁ (ng/ml)	K ₂ * (ng/ml)
摂取前	12.4 ± 2.4	45.3 ± 9.1	1.1 ± 0.5	1.6 ± 1.1
摂取2時間後	12.0 ± 1.5	44.1 ± 3.9	1.0 ± 0.9	20.3 ± 11.6

* ビタミンK₂はメナキノン-7濃度（ng/ml血漿）で示す。

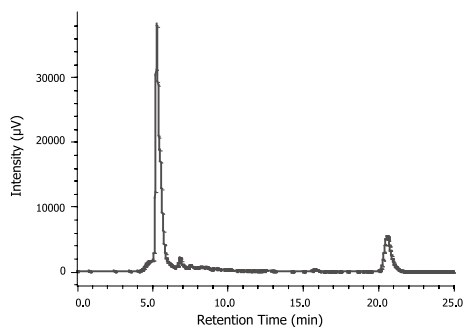
患者は健常人に比べ血中のビタミンK₁ではなく、メナキノン-7などのビタミンK₂濃度が著しく低下していることが確認されている。また、K₂タイプの中でも血中濃度の最も高いのがメナキノン-7であるということから、テンペ発酵物は本来腸内細菌が生産すべきビタミンK₂の補給という意味もある。

表2はこのテンペX—小麦発酵物30gを健康成人（12名）が摂取した場合の血液検査値の比較である。ビタミンK₁あるいはPT, APTT値等の血液凝固-線溶系パラメーターに変化はなかったが、特に著しい血中ビタミンK₂（メナキノン-7）濃度の増加が認められた¹⁷⁾。

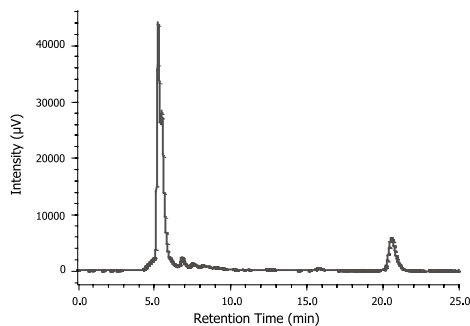
市販のテンペ、納豆のビタミンK₂の定量法を確立した^{20,21)}。即ち、それぞれソックスレーでMeOH抽出し、HPLC法を用いてビタミン



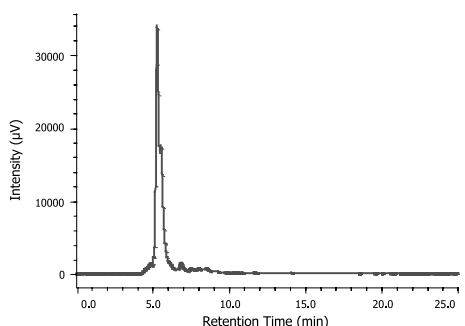
宮城野



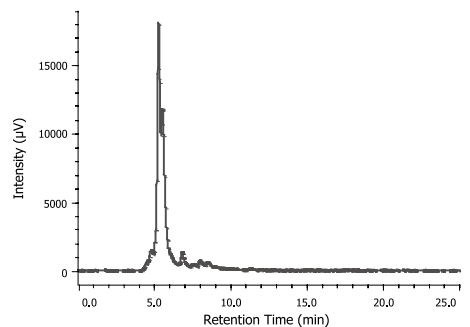
成瀬



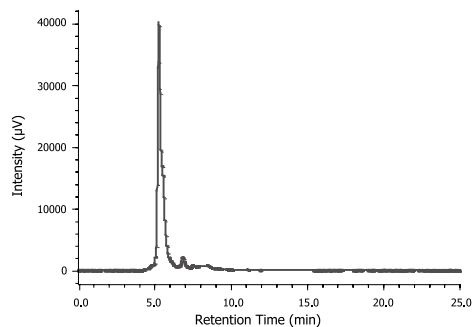
高橋



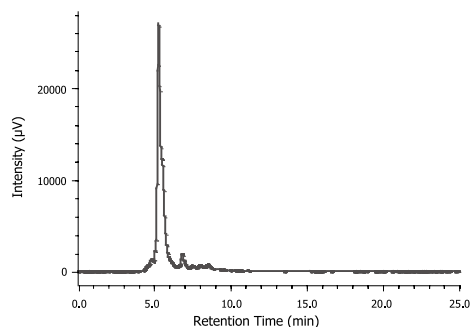
ホットプランニング



ホットプランニング-A



ホットプランニング-B



秋田今野-A

図3 テンペ中のビタミン K₂ (メナキノ-7) 含量

第2ピークがメナキノ-7 (Rt.21 分目) である。

K₂ 含量を測定した (図 3)。対照として用いた市販納豆はどの菌も全て 650 μ g/100g 以上、また市販テンペも 23 μ g/100g 以上の活性を示したが、我々が純粋に分離したテンペ菌は全く活性を示さないことが分かった。Rhizopus は本来ビタミン K₂ を作らないものと思われた。

5. 強いチロシナーゼ阻害活性

テンペはメラニン合成酵素であるチロシナーゼを強力に阻害する働きがある。例えば、大豆発酵物の活性は Sigma 社のチロシナーゼを標準として $IC_{50} = 454 \text{ U/mg}$ であった。これはこれまでよく知られていた麴酸の値 ($IC_{50} = 409 \text{ U/mg}$) よりも高かったものの、各種の大豆たんぱくあるいはペプチドよりもはるかに低く、またそれが Rhizopus 発酵によって生じることが確認された。この阻害物質はアセトン、エチルエーテル、酢酸エチルに不溶、エタノールに難溶、水可溶性の熱安定 (100 $^{\circ}\text{C}$, 5 分) な透析性の物質であると確認された。

György らは²²⁾ フラボノイド類として 6,7,4'-トリヒドロキシイソフラボンを分離しているが、このものや、その誘導体には血圧降下、痛み、炎症、アレルギーの抑制、さらには浮腫治療効果が報告されている。表 3 は最近 Chang ら²³⁾ によって明らかにされた 6,7,4'-トリヒ

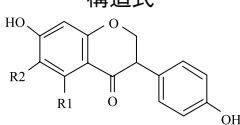
ドロキシイソフラボンのメラニン合成抑制であるが、チロシナーゼを麴酸以上に強く阻害 (competitive) することが分かる。テンペは主にカビ類を用いるため納豆とは異なり、大豆に含まれるイソフラボン類のタイプへの修飾能が強く、従ってダイゼインやゲニステインなどの人間にとってより吸収されやすいアグリコンタイプの濃度が著しく高いのが特徴である。

6. 納豆よりも多いポリアミン

ポリアミンは、地球上のあらゆる生物に存在し、体内ではアミノ酸から合成される。成長期など新陳代謝が活発な時期には盛んに合成されるが、加齢とともに減少し、代謝低下への関与が示唆されるなどアンチエイジングの観点から近年注目が高まっている。

早田ら²⁴⁾ は納豆に含まれるポリアミンを多く食べたマウスは食べなかったマウスより著しく長生きすると発表し、注目された。ポリアミンは老化や生活習慣病の原因である炎症を抑制し、炎症を抑制すると動脈硬化を起りにくくすることを明らかにしている。事実、テンペの場合抽出液は compound48/80 によってラットの腹腔マスト細胞からのヒスタミン放出量を抑えることで知られていた²⁵⁾。つまり、テンペは強い抗アレルギー作用を持つことが示されてい

表 3 テンペのイソフラボンが持つチロシナーゼ阻害活性

薬品	置換基		構造式	IC_{50} (mM)	阻害
	R1	R2			
6,7,4'-Trihydroxyisoflavone	H	OH		0.009	競合阻害
Daidzein	H	H		0.237	— *
Glycitein	H	OCH ₃		0.264	—
Genistein	OH	H		0.822	—
Kojic acid				0.054	ミックス

* 未試験

表4 テンベのポリアミン含量

ポリアミン	put nmol/g	spd nmol/g	spm
テンベ (ホットプランニング)	550	730	42
納豆 (タカノフーズ)	397	630	36

put: プトレシン MW 88.15

spd: スペルミジン MW 145.25

spm: スペルジン MW 202.34

た。炎症抑制による動脈硬化の抑制効果や、腸管の成熟など新たな生理機能の報告もある。低分子のポリアミンは、アミノ酸と同様に腸管から効率よく吸収され、そのまま生体内で利用される。HPLCの結果を表4に示すが、テンベはホットプランニング-Aの方が納豆に比べてむしろ優れていることが分かる。

7. 血小板凝集能に対する抑制効果

図4は、テンベの各種培養液を蒸留している様子であるが、常圧下で沸騰する分画に強い血小板凝集阻害活性が認められた^{26, 27)}。なお、納豆では同じ分画に活性は全く認められない。同物質は熱に安定、低分子量で、無色でさわやかな香りがした。また、振とう培養では37℃で2日間で、血小板凝集阻害が最高値を示した

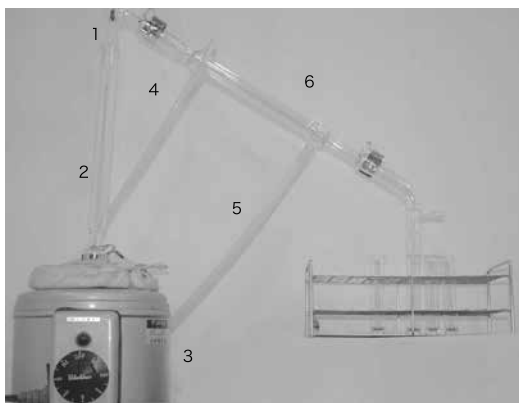


図4 常圧蒸留 (リービッヒ蒸留冷却管)

1. 温度計 2. フラスコ 3. マントルヒーター
4-5. 水冷 6. リービッヒ管

表5 テンベの血小板凝集作用

蒸留	凝集率 (%)	阻害率 (%)
ホットプランニング	14	72.0
秋田今野	37	26.0
蒸留水	50	-

PRP 50μl, Sample 50μl, Buffer 100 μl, ADP 22μl

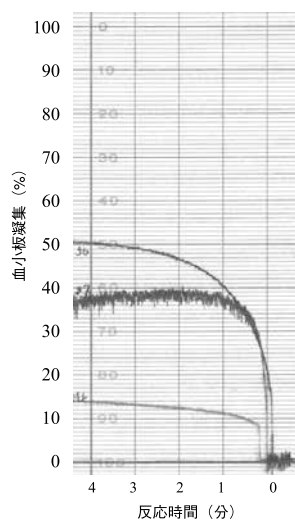
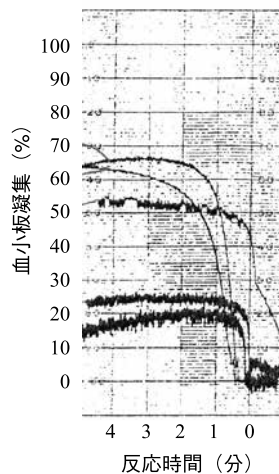


表6 テンベの血小板凝集作用

	培養 日数	凝集率 (%)	阻害率 (%)
ホット プランニング (純粋)	0	65	-
	2	17	73.9
	4	24	63.1
	7	54	16.9

PRP 50μl, Sample 10μl, Buffer 140 μl, ADP 22μl



のに対し、4日、7日後には除々にそれが消失していくことを確認した(表5, 6)。

おわりに

いろいろ羅列に終わった感があるが、それだけテンペに関する情報は少ないといえる。スターターの問題にしてもまだ始まったばかりである^{28, 29)}。2008年度には、工業技術センターなどの支援を受け、純岡山産のテンペ菌(OKAYAMA-003)の培養に成功したが³⁰⁾、岡山テンペ協会は日本における草分け的な存在で、約20社がテンペや加工食品を製造し、消費量は年々増加している。肥満などの生活

習慣病の増加、GABA (γ -アミノ酪酸)、イソフラボンアグリコンなどは全て今後の課題である。現在、テンペセミナーを開いて、アンケート調査を進め、新しい食品の開発を行っている。その他、動物試験におけるテンペのカルシウム吸収促進効果や、ヒト試験での動脈硬化の予防効果(血中脂質および糖代謝の改善)が確認されている³¹⁾。最近、インドネシアではテンペを長期にわたって食べているとIQが高まるといふ興味深い報告が示された³²⁾。テンペ食は学習能力の向上にも役立つ可能性があるであろう。白いカビの作り出すテンペがますます身近な食材として利用されることを願っている。

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

- 1) 吉田集而, 民族学から見た無塩発酵大豆とその周辺, アジアの無塩発酵大豆食品, 相田浩編, STEP, 茨城, p.166-178, 1986
- 2) Shurtleff, W. and Aoyagi, A., The Book of Tempeh, Ten Speed Press, California, USA, 2001
- 3) Sumi, H., Hamada, H., Tsushima, H., Mihara, H., Muraki, H., A novel fibrinolytic enzyme (nattokinase) in the vegetable cheese Natto; a typical and popular soybean in food of the Japanese diet. *Experientia*, **43**:1110-1111, 1987.
- 4) Sumi, H., Hamada, H., Nakanishi, K., Hiratani, H., Enhancement of the fibrinolytic activity in plasma by oral administration of nattokinase, *Acta. Haematol.*, **84**:139-143, 1990.
- 5) Sumi, H. and Yatagai, C., Fermented soybean components and disease prevention, Soy in Health and Disease Prevention, p.251-278, ed. M. Sugano, Taylor&Francis, New York, 2005
- 6) 須見洋行, 納豆の食品機能性に関する研究, 納豆の科学, 建帛社, p.53-57, 2008
- 7) 須見洋行, 納豆の研究法, 恒星社厚生閣, 東京, 2009 (印刷中)
- 8) 岡田憲幸, テンペの機能性, 醸協, **85**: 358-363, 1990
- 9) 野崎信行, テンペを素材とする味噌およびその他の食品の開発, 醸協, **89**: 446-451, 1994
- 10) 須見洋行, 大豆のすべて, 第5章 テンペの機能性, サイエンスフォーラム, 東京, 2009 (印刷中)
- 11) Steinkraus, K. H., Production of vitamin B₁₂ in Tempe, Proceedings of the Asian Symposium on Non-Salted Soybean Fermentation, ed Aida, H., STEP, pp.205-209, 1986
- 12) 須見洋行, 鈴木和彦, 中島伸佳, 浜田博喜, 発酵大豆食品納豆及びテンペが持つ線溶酵素, 生化学, **61**: 834, 1989
- 13) 須見洋行, 馬場健史, 吉田悦男, テンペ中の線溶系に係る生理活性物質, 日本農化誌, **71**: 234, 1997
- 14) Sumi, H., Okamoto, T., Yatagai, C., A very strong fibrinolytic enzyme in Tempeh, a traditional fermented soybean food in Indonesia, *Thromb. Haemostas.*, TH-02-10-0140, 2002
- 15) 須見洋行, 岡本猛, テンペ水抽出液の血栓溶解活性, 家政, **54**:337-342, 2003
- 16) 須見洋行, 矢田貝智恵子, 岡本猛, テンペ菌及び納豆菌が生産する血栓溶解酵素の酵素学的及び免疫

学的性質, 日本テンペ研究会誌, **6**: 1-6, 2003

- 17) 須見洋行, 須見敦, 矢田貝智恵子, 丸山眞杉, テンペ菌処理による小麦粉への機能性付加, 日本テンペ研究会誌, **7**: 8-11, 2007
- 18) Ueda, M., Kubo, T., Miyatake, K., Nakamura, T., Purification and characterization of fibrinolytic alkaline protease from *Fusarium* sp. BLB., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **74**:331-338, 2007
- 19) Sugimoto, S., Fujii, T., Morimiya, T., Johdo, O., Nakamura, T., The fibrinolytic activity of a novel protease derived from a tempeh producing fungus, *Fusarium* sp. BLB, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **71**: 2184-2189, 2007
- 20) 須見洋行, 納豆菌発酵, および納豆摂取時の被験者血液中のビタミン K (メナキノン - 7) 濃度, 家政, **50**:309-312, 1999
- 21) Sumi H., Accumulation of vitamin K2 (menaquinone-7) in plasma after ingestion of natto and natto bacillus (*B. subtilis* natto), *Food Sci. Technol. Res.*, **5**:48-50, 1999
- 22) György, P., Kurata, K., Ikehata, H., Antioxidants isolated from fermented soybeans(Tempeh), *Nature*, **203**:870-872, 1964
- 23) Chang, T., Ding, H. and Lin, H., Identifying 6,7,4'-trihydroxyisoflavone as a potent tyrosinase inhibitor, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **69**:1999-2001, 2005
- 24) 早田邦康, ポリアミンによるアンチエイジング, 食の科学, **340**: 20-28, 2006
- 25) Hasegawa, N., Ishida, K., Yamada, N., Inhibitory effect of an aqueous extract of tempeh on compound 48/80-induced histamine release, *J. Home Econ. Jpn.*, **54**:1041-1043, 2003
- 26) 須見洋行, 今井雅敏, テンペに認められた強い血小板凝集抑制作用, 家政, 中四国第 57 回 (広島), 2008
- 27) Sumi, H., Imai, M., Sumi, A., Anti-platelet aggregation activity observed in the first distillation fraction of tempeh, *J. Tempe Soci. Japan*, **8**:2009 (in press)
- 28) 今野宏, テンペスターターについて, 大豆月報, 8/9: 13-22, 1995
- 29) 奥野剛, 窪聡宏, テンペとは, 日本テンペ研究会誌, **7**: 16-19, 2007
- 30) 岡山県中央会, 地域連携拠点事業を活用, 岡山県産テンペ菌 (OKAYAMA-003) の開発に成功, 中小企業岡山, **570**: 9, 2009
- 31) 松浦栄次, 友近健一, 羽井佐茂, 劉培江, 小林和子, 田淵雅子, 井出将博, 中井彰彦, 上野哲, 綾田潔, 野崎信行, 横田憲治, 四方賢一, 松岡孝, 保田立二, 小熊恵二, テンペの脂質代謝の改善 (抗動脈硬化) 食品としての実用化研究, p.19-21, 平成 17 年度委託研究成果報告集, バイオアクティブおかやま, 2006
- 32) Hogervorst E, Sadjimim T, Yesufu A, Kreager P, Rahardjo TB., High tofu intake is associated with worse memory in elderly Indonesian men and women. *Dement Geriatr Cogn Disord.*, **26**:50-57, 2008

ミルクで学ぶ食品の機能

大谷 元*

* OTANI Hajime (信州大学大学院農学研究科)

Key Words：ミルク・食品の機能

はじめに

ミルクは哺乳類の新生動物が最初に摂取する食物であり、動物の種類によりその成長に適した成分組成と泌乳量のミルクが母動物から与えられる。表1にヒトと私たちのよく知る動物のミルクの成分組成を示した¹⁾。表1から各動物のミルクの成分組成がその動物の発育にとって如何に適したものであるかが考察できる。

すなわち、クジラやシロクマなどの水中や寒い地域で棲息する動物のミルクはヒトやイヌ、ブタ、ウシなどの家畜のミルクと比べて脂肪濃度が非常に高く、乳糖濃度が低い。これは水中や寒い地域での生活はエネルギーの消費量が多

く、エネルギーを効率よく生産する食物を摂取する必要がある。そのために寒い地域や水中で生活する動物のミルクには糖質やたんぱく質よりも重量当たりのエネルギー生産量がそれらの2倍である脂肪含量が多くなっている。また、クジラのように水中で授乳する動物は脂肪の濃度が高いと水中で拡散し難いという利点もある。一方、哺乳類の体は細胞を構成単位として、それに骨、歯、毛など加わってできている。細胞の固形物のおよそ半分はたんぱく質、骨と歯の主要成分はカルシウムとリンなどの無機質とたんぱく質、毛の主要成分はたんぱく質である。したがって、体の形成にはたんぱく質と無機質

表1 ミルクの成分組成 (%)

動物種	固形分	脂 肪	たんぱく質	乳 糖	無機質	出生時の体重が 2倍になるのに 要する日数
ク ジ ラ	51.8	34.8	13.6	1.8	1.6	-
シロクマ	42.9	31.0	10.2	0.5	1.2	-
イ ヌ	21.1	8.6	7.4	4.1	1.2	9
ブ タ	19.2	7.6	5.9	4.8	0.9	14
ヤ ギ	12.1	3.7	3.3	4.3	0.8	22
ウ シ	12.0	3.8	3.1	4.4	0.7	47
ウ マ	10.1	1.3	2.1	6.3	0.4	60
ヒ ト	12.0	3.5	1.1	7.2	0.2	180

(大谷 元, ミルクの先端機能, p27, 1998)

が不可欠である。表1に示すように、ミルク中のたんぱく質濃度と無機質濃度との間には正の相関があり、それらと出生時の体重が2倍になるまでの日数との間には負の相関がある。これは速く体重が増加するためには、たんぱく質と無機質を多く摂取する必要があることを意味している。種保存のための食物として母動物が造るミルク中の各成分は、その種の新生動物の健全な発育のために最も適した濃度になっており、私たちの日々の生活においても年齢や運動量を考慮した食生活をするのが健康を維持する上で重要であることを示唆している。

近年、食品成分の評価は、生きるために不可欠な栄養素としての栄養機能（一次機能）、五感により満足感を与える感覚機能（二次機能）、生命維持には不可欠ではないが健康の維持や増進のための生体調節機能（三次機能）に分類されている。ミルクの三大栄養素は、一次機能において優れているだけではなく、二次機能や三次機能においても種保存のための特徴を備えている。このことはミルク科学の専攻者は周知のところであり決して新しいことではないが、ミルクの三大栄養素が有する二次機能や三次機能を考えることは食品の機能を知る原点と思われる。そこで、以下にミルクの三大栄養素の食品機能について概説する。

1. ミルクの脂肪の食品機能¹⁾

ミルクの脂質の殆どはトリグリセリドであり、脂肪球というエマルジョンを形成してミルク中に分散している。脂肪球が分散できるのは脂肪球が乳腺細胞の細胞膜や細胞質成分からなる脂肪球皮膜によって覆われているからである。脂肪球皮膜は非極性のトリグリセリド、両親媒性のリン脂質、ポリペプチド、グリコペプチドなどから構成されている。図1に示すよう

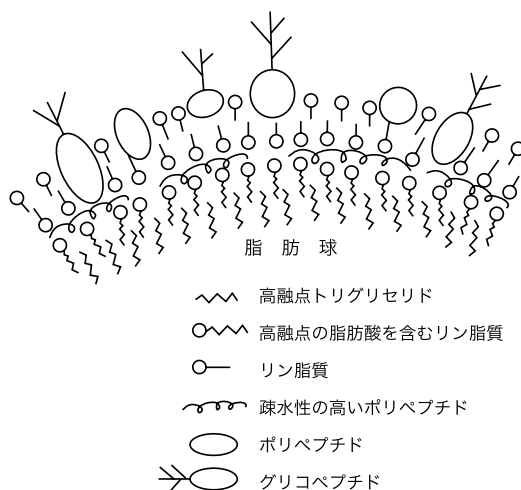


図1 脂肪球皮膜の模式図

(菅野長右エ門, 日本畜産学会報, 51, p75, 1980)

に、トリグリセリドのような非極性物質は皮膜の内部に位置し、リン脂質やグリコペプチドなどの両親媒性物質が外側に親水基を向けて外部に位置している²⁾。脂肪球皮膜に覆われることにより脂肪同士が重合せずに脂肪球として存在でき、このことは、脂肪の表面積を大きく保ち、消化管で脂肪球が酵素と接する機会を多くし、脂肪の消化吸收の向上に寄与する。また、ミルクの色やミルクを飲んだときに感じるまろやかさは、脂肪球に負うところが大きく、二次機能においても脂肪球の意義は大きい。

2. ミルクの糖質の食品機能¹⁾

私たち成人が主食として摂取するご飯やパンに含まれる主要糖質はデンプンであるが、ミルクの主要糖質は乳糖である。乳糖は人乳にはおよそ7.2%含まれ、牛乳にはおよそ4.4%含まれる。乳糖は、以前はエニシダの花粉やアカテツ科の果実などにも含まれると考えられていたが、現在ではミルクにしか含まれていないと考えられている。

デンプンの部分構造と乳糖の構造を模式的に

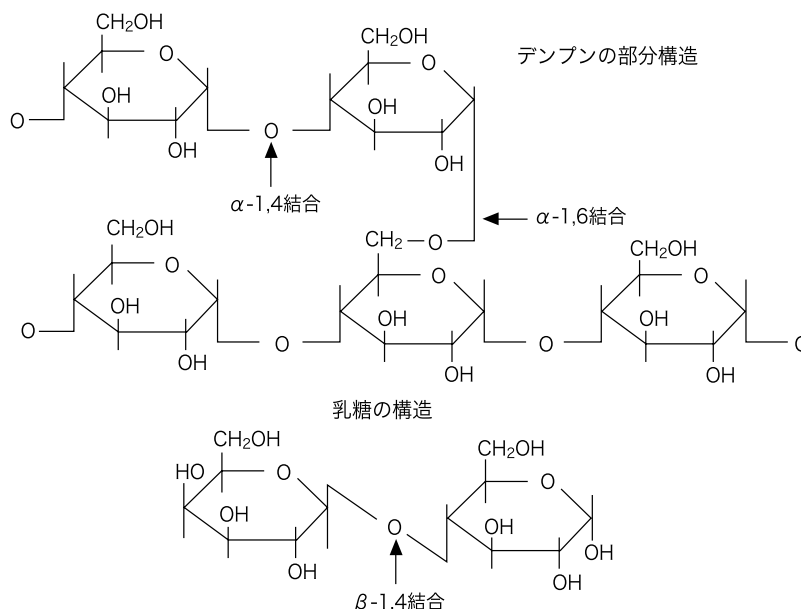


図2 デンプンの部分構造と乳糖の構造 (大谷 元, ミルクの先端機能, p33, 1998)

図2に示すが、前者は多数のD-グルコースが α 1,4結合と α 1,6結合により重合した多糖類であり、後者はD-ガラクトースとD-グルコースが各1分子 β 1,4結合により重合した二糖類である。乳糖1g当たり4キロカロリーのエネルギーを生じるために計算上は人乳の生産する全エネルギーのおよそ半分が、また、牛乳のおよそ1/3が乳糖に由来することになる。

単糖類以外の糖質が私たちのエネルギー源となるためには、消化管で単糖に消化（分解）されなければならない。デンプンを消化するアミラーゼは出生時に既に多量消化管に存在すが、乳糖を消化するラクターゼ（ β 1,4ガラクトシダーゼ）は単糖やデンプンなどがなく、エネルギー源として乳糖を利用しなくてはならない場合においてのみ私たちの消化管内で生合成される。そのために、デンプンや砂糖と比べて空腸における乳糖の消化性は悪く、乳糖の一部はグルコースとガラクトースに分解されずに回腸に到達する。乳糖はカルシウムと結合する能力を持っており、カルシウムを結合して回腸に到達

した乳糖はカルシウムがリン酸と結合して無機リン酸塩として沈殿するのを阻害することにより、カルシウムの吸収を促進する。また、大腸に到達した乳糖は、大腸で溶解するために水分を腸管内に取り込む。その時の水分の移動により腸管が刺激される。また、乳酸菌や大腸菌により乳糖は乳酸や炭酸ガスに変換される。乳酸や炭酸ガスは腸管を刺激して腸の蠕動運動を促し、新生動物の排便を促し、新生動物が便秘に陥るのを防ぐ。また、乳酸菌により生産された乳酸は腸管でたんぱく質の消化により生じるアンモニアやアミンなどの有害物質を中和するとともに、病原性細菌の増殖を抑制し、新生動物が発病するのを抑える。さらに、乳糖の甘さはグルコースの22%であり、同じ二糖類の砂糖の16%しかない。このことにより、多量糖質が含まれているのにも関わらずミルクの甘さは抑えられ、栄養素を摂取するのに必要量飲まなくてはならないミルクを新生動物に飽きさせることなく必要量飲ませることができる。すなわち、乳糖は成人が通常摂取するご飯やパンの

主要糖質であるデンプンにはない食品の二次機能や三次機能を持つことにより新生動物の健全な発育に寄与していると考察される。

なお、成人が牛乳を飲用すると下痢をする場合がある。これは乳児期と比べて成人ではラクターゼ活性が低いことやラクターゼが欠損していることに起因する。このような症状は乳糖不耐症とか低ラクターゼ症と呼ばれ、牛乳を飲むと乳糖が腸管で消化されないために腸管に大量蓄積し、その溶解のために腸管浸透圧に大きな変化を生じることや腸内細菌により大量の炭酸ガスや乳酸が生成することによるものである。牛乳の摂取により下痢を起こす人はラクターゼにより予め乳糖を分解した加工乳やスターター細菌が乳糖を分解したヨーグルトの摂取が推奨される。

3. ミルクのたんぱく質の食品機能^{1,3)}

ミルクのたんぱく質はその存在形態により3種類に大別され、それらは脂肪球皮膜たんぱく質、カゼイン、ホエイたんぱく質と呼ばれている。脂肪球皮膜たんぱく質については既に述べたとおりであるが、ミルクから脂肪を除去した脱脂乳を20℃に保ち、pH 4.6に調整したときに沈殿するたんぱく質をカゼイン、上澄み（ホエイと言う）に残るたんぱく質をホエイたんぱく質と呼んでいる。

カゼインは乳腺細胞で複数の遺伝子により合成されるたんぱく質であり、例えば牛乳を例に用いると4種類の遺伝子により合成されることから、それらは α_{s1} -カゼイン、 α_{s2} -カゼイン、 β -カゼインおよび κ -カゼインと呼ばれている。各カゼイン成分は、ポリペプチド鎖として合成された後にリン酸化やグリコシル化を受けた複合たんぱく質である。牛乳の4種類のカゼインはすべてセリン残基かスレオニン残基の幾つかがリン酸化されたリンたんぱく質である。特に、

α_{s1} -カゼイン、 α_{s2} -カゼインおよび β -カゼインは連続した3個のセリン残基がリン酸化されたホスホセリン集中域を有する。 κ -カゼインはホスホセリン残基を1個しか持たないが、他の3種類のカゼイン成分とは異なりグリコシル化を受けた糖たんぱく質でもある。ホスホセリン残基を1個しか持たない κ -カゼインはカルシウムが共存しても沈殿しないが、ホスホセリン集中域を持つカゼインは一定濃度以上のカルシウムが共存すると沈殿する性質がある（ α_{s1} -カゼイン、 α_{s2} -カゼインおよび β -カゼインはいずれも牛乳中のカルシウム濃度では沈殿する）。そのために、 α_{s1} -カゼイン、 α_{s2} -カゼインおよび β -カゼインはカルシウム感受性カゼインと呼ばれ、 κ -カゼインはカルシウム非感受性カゼインと呼ばれている。牛乳中にカルシウム感受性カゼインの沈殿が見られないのは、カルシウム感受性カゼインを内部にして外部をカルシウム非感受性カゼインが覆うカゼインミセルと呼ばれる会合体を形成して存在しているからである。

牛乳のカゼインミセルの成分組成を表2に示す⁴⁾。カゼインミセルの約93%はカゼイン成分であり、カルシウムとリンはともにおよそ2.9%

表2 牛乳カゼインミセルの成分組成

成分	含量 (g/100g ミセル)
カゼイン	93.3
α_{s1} -カゼイン	35.6
α_{s2} -カゼイン	9.9
β -カゼイン	35.9
κ -カゼイン	11.9
無機質	6.30
カルシウム	2.87
リン	2.89
マグネシウム	0.11
ナトリウム	0.11
カリウム	0.26
その他	0.06
クエン酸	0.40

(大谷 元, 乳肉卵の機能と利用, p115, 2007)

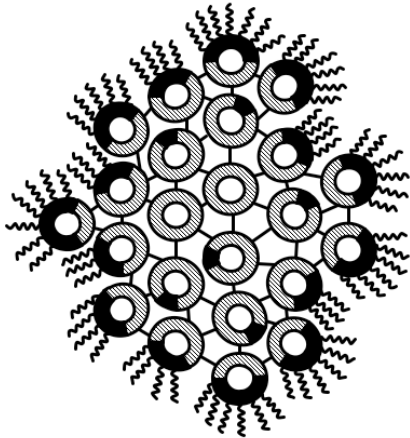


図3 Schmidt (1980) と Walstra のモデル (1990) に基づき作図したカゼインミセルの模式図

ドーナツ状の丸はサブミセル、黒色部分はカルシウム感受性カゼイン (κ -カゼイン)、斜線部部分はカルシウム感受性カゼイン (α_{s1} -カゼイン、 α_{s2} -カゼイン、 β -カゼイン) の重合体を示す。波線および直線は、それぞれ κ -カゼインの C-末端側の親水性領域およびコロイド性リン酸カルシウムクラスターの架橋を示す。

である。それ故に、これら 3 成分だけで 99% 近くを占める。また、このようなカゼインミセルの成分組成、電子顕微鏡によるカゼインミセルの観察結果、カゼインミセルにキレート剤を作用させると小さなミセルになることおよび κ -カゼイノグリコペプチドを優先的に遊離するキモシンを作用させるとカゼインミセルは凝集するという現象に基づいて考えられたカゼインミセルのモデルに基づき描いたカゼインミセルの模式図を図 3 に示す。

ミルク中の主要たんぱく質であるカゼインがミセルとして存在することは新生動物の栄養生理学上、すなわち、一次機能と三次機能において重要な意義を担っている。すなわち、ミルク成分が胃に到達するとペプシンやキモシン（本酵素は反芻動物の胃にのみ存在する）の作用を受け、カゼインミセルを安定化しているミセル表面の κ -カゼインから κ -カゼイノグリコペプチドが遊離することにより、カゼインミセルは

凝固し、それに伴い牛乳全体がゲル化する（凝乳現象という）。ゲル化したミルク成分は液体のミルクの場合よりも消化管の移動速度が遅くなり、牛乳成分の消化吸収を促進する。一方、カルシウム感受性カゼインはミルク中でカルシウムが無機のリン酸と結合して沈殿するのを阻害する作用を有しているが、一定量のカルシウムと結合したカルシウム感受性カゼインは沈殿する。そのために、カゼイン成分がミルク中でミセルを形成して存在していることは、ミルク成分の消化吸収を向上させるとともに、新生動物の発育期に多量必要なカルシウムの吸収を促進することになる。なお、ヒトは、カゼインミセルにキモシンやペプシンのような κ -カゼイノグリコペプチドを優先的に遊離させる酵素を作用させると牛乳が凝固することに着目し、チーズの製造技術を確立した。また、カゼインミセルの等電点は pH 4.6 付近であり、牛乳に乳酸菌を加えて培養すると乳糖が乳酸に変換することにより牛乳はゲル化するというに着目し、ヨーグルトを製造している³⁾。

たんぱく質の重要な食品機能はアミノ酸の供給源である。たんぱく質は一般に煮たり焼いたりすると変性して消化性が向上する。カゼインは本来変性したたんぱく質と言われる繊維状たんぱく質であり、消化性に優れているとともにアミノ酸バランスが良いことからミルクの重要なアミノ酸供給源である。

一方、ミルクたんぱく質においても一つの重要な機能は生体防御機能である。誕生時期よりも早く出生した新生動物はもとより、母動物の体内に十分にいて出生した新生動物においても出生時には感染防御をはじめとした生体防御機構は完成しておらず、その機能はミルクに依存している。表 3 に牛乳と人乳の主要感染防御たんぱく質とその濃度を示すが、初乳、とくに出生後 1 週間以内のミルクには、抗体、ラクトフェリン、リゾチームなどの多様な感染防御機

表3 ミルク中の主要感染防御たんぱく質

たんぱく質	牛乳 ～含量 g/kg, () 内は初乳～	人乳
抗体 (免疫グロブリン)		
IgG	0.72 (32 ～ 212)	0.03 ～ 0.04 (0.43)
IgG ₁	0.6 (20 ～ 200)	
IgG ₂	0.12 (12)	
sIgA	0.13 (3.5)	1 (17.35)
IgM	0.03 ～ 0.04 (8.7)	0.1 (1.59)
ラクトフェリン	0.02 ～ 0.2 (1)	2 ～ 4 (6 ～ 8)
リゾチーム	0.001 以下	(0.4)

(大谷 元, *Biophilia*, 4 (3), p43, 2008)

能を有するたんぱく質が豊富に含まれており、新生動物の健全な発育のための三次機能を担っている。

おわりに

ミルクの三大栄養素が有する主要な潜在的食品機能を中心に概説した。これらの機能に加え

て、ミルク成分は多様な顕在的三次機能を有しており、カゼインの消化により生じるペプチドを用いたカルシウムの吸収促進を目的とした特定保健用食品や血圧の上昇を抑えることを目的とした特定保健用食品が開発され販売されている。経口摂取したペプチドが標的器官や標的細胞に目的とする活性を維持したまま到達するこ

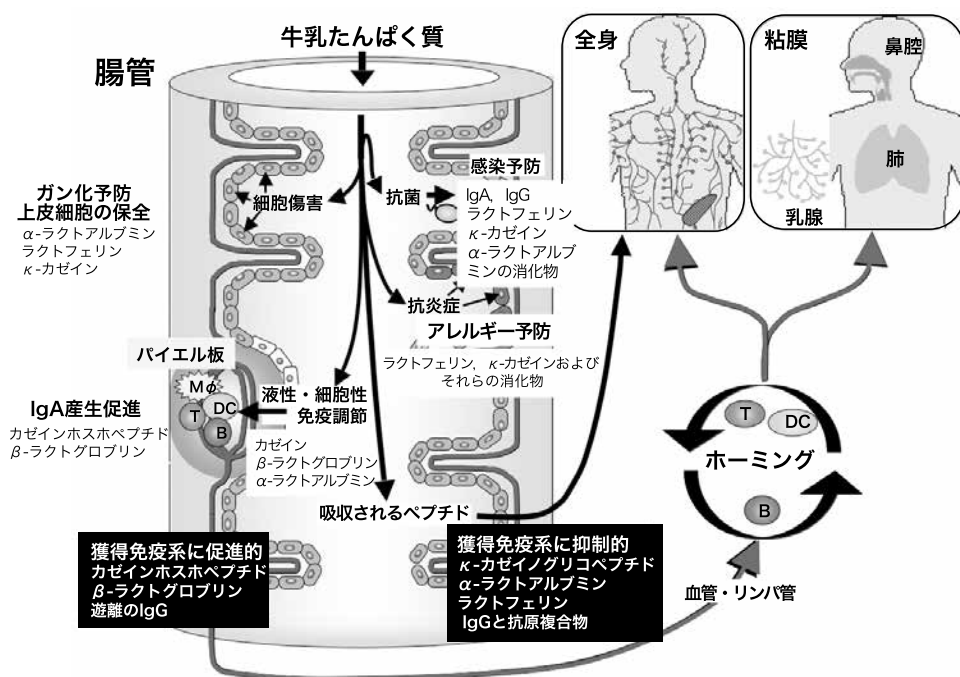


図4 牛乳中の主要たんぱく質およびその消化により生じるペプチドの免疫調節作用

(大谷 元, *ミルクサイエンス*, 55, p1, 2006)

とは特定保健用食品として許可される上で不可欠である。腸管から容易に吸収されペプチドはトリペプチドまでであることは周知のところである。カゼインホスホペプチドはトリペプチドよりも大きいペプチドであり、腸管から積極的に吸収されることはできない。しかし、カルシウムの吸収促進においては、ペプチド自体が腸管から吸収される必要は無く、消化酵素に対して抵抗性を持ち、分解されずに消化管に滞在してカルシウムの吸収を促進できればよい。カゼインホスホペプチドはこの条件を満たすペプチドである。一方、血圧の上昇を抑えるペプチドは腸管から吸収される必要がある。カゼイン由来のアングiotenシンⅠ変換酵素を阻害するペプチドのラクトリペプチドはその名の通り3個のアミノ酸からなるペプチドであり、腸管から容易に吸収される。そのために血圧の上昇が抑えられるのである³⁾。

一方、前述したように、免疫系が発達していない状態で出生する新生動物にとって、ミルクを介した母動物からの感染防御成分の授与はミルクの重要な使命である。ホエイたんぱく質の潜在的感染防御機能については既に述べたとおりであるが、筆者の研究室では牛乳たんぱく質を中心にミルクたんぱく質の顕在的免疫調節機能（消化物の生体防御機能）の特性付けを20数年前から行ってきた。その結果に基づき、牛乳たんぱく質とその消化により生じるペプチド

の生体防御系における機能を模式的に図4に示すが、牛乳たんぱく質は獲得免疫系に対して促進的に働くたんぱく質と抑制的に働くたんぱく質に大別されるという興味深い結果が得られている⁷⁾。すなわち、カルシウム感受性の β -カゼイン、牛乳ホエイたんぱく質の中で最も多い β -ラクトグロブリンおよびカルシウム感受性カゼインの消化により生じるホスホセリン集中域を持つカゼインホスホペプチドは獲得免疫系に対して促進的であり、カルシウム非感受性カゼインである κ -カゼイン、ホエイたんぱく質の中で2番目に多い α -ラクトアルブミンやカルシウム非感受性カゼインの消化により生じる κ -カゼイノグリコペプチドは獲得免疫系に対して抑制的であり自然免疫系に対して促進的である。このことは、カルシウム感受性カゼインと非感受性カゼイン、牛乳ホエイの中で最も多いたんぱく質と2番目に多いたんぱく質は獲得免疫系に対して全く逆の作用を有することを意味しており、このような現象は単なる偶然とは思えないように考えられる。

新生動物におけるミルクたんぱく質の潜在的生体調節機能についての議論は現時点では殆どなされていない。今後、新生動物におけるこれらペプチドの栄養生理学的意義が解明されるとともに、これらの潜在的免疫活性を有するペプチドがヒトの健康維持のために利用されることを期待したい。

・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・

- 1) 大谷元, ミルクの先端機能 (吉川正明, 細野明義, 中澤勇二, 中野覚編) pp.27-36, 弘学出版, 東京 (1998)
- 2) 菅野長右ヱ門, 日畜会報, **51**, 76 (1980)
- 3) 大谷元, たんぱく質の科学 (鈴木敦士, 渡部終五, 中川弘毅編), pp.47-66, 朝倉書店, 東京 (1998)
- 4) 大谷元, 乳肉卵の機能と利用 (阿久澤良造, 坂田亮一, 島崎敬一, 服部昭仁編) pp.115-121, アイ・ケイコーポレーション, 神奈川 (2007)
- 5) 大谷元, 21世紀の食・環境・健康を考える (唐沢豊編), pp.62-74, 共立出版, 東京 (1999)
- 6) 大谷元, *Biophilia*, **4**(3), 43-50 (2008)
- 7) 大谷元, ミルクサイエンス, **55**, 1-14 (2006)

日本の伝統的発酵技術で得られた機能性食品

～多穀麹とプロファイバーの紹介～

渡辺 敏郎*

* WATANABE Toshiro (ヤエガキ醸酵技研株式会社)

Key Words：発酵・麹・酒かす・酵素・難消化成分

はじめに

近年、わが国の高齢者の割合は年々増え続け、総務省の国勢調査報告および国立社会保障・人口問題研究所の調査によると、2015年の日本は、65歳以上の人口が3,300万人を超え、高齢者割合は26%に達すると推測されている¹⁾。高齢になると唾液や胃液、消化酵素の分泌が低下することで、栄養素も成人期に比べて十分な消化吸収ができないため、消化のよい食物を選択することが重要となる。しかしながら、この数十年で日本人の食生活は欧米化が進み、一見、食生活は豊かになったようにみえるが、栄養バランスは大きく偏ってきている。かつて、日本人の摂取エネルギーに占める脂肪の割合はわずか5%であったものが、現在ではその5倍以上に達している。昔の食卓のように、ご飯に味噌汁、焼魚、野菜の煮物といった食事が減り、肉類を食べる機会が増え、炒める、揚げるなど油を使う調理法が増えている。それと共に、わが国の肥満人口は急激に増加し、なかでも腹腔内脂肪蓄積を基盤に耐糖能異常、脂質代謝異常、血圧上昇などが一個人に集積するメタボリックシンドロームは、動脈硬化性疾患の進展リスクを高めることから特に問題となっている。昔の日本人は発酵食品を好んで食べているが、発酵

食品に含まれる様々な成分は健康機能の改善に大きく寄与することが推測される。例えば、発酵食品にはデンプンやタンパク質を消化する酵素活性を有しており、食物の消化・吸収を助ける働きがある。同時に発酵微生物が残した難消化成分は腸内環境を改善して体の調子を整える効果があると考えられる。このように発酵食品素材は、消化、吸収、排泄に関してよい影響を与えるのであれば、メタボリックシンドロームに対する改善効果も期待できると考えた。特に清酒製造過程で得られる麹や酒かすは古くから様々な機能性を有する発酵素材として知られている²⁾。

清酒は、酒米を原料として麹と酵母によって醸し出される日本の伝統的な醸造酒である。麹は様々な酵素の活性を有し、清酒の並行複発酵技術には欠かすことができない。この麹の酵素を食品として利用すれば、麹が高齢者向けの食品素材になることが考えられた。また清酒の製造過程で得られる酒かすは、米由来の成分と麹菌や酵母の菌体成分、またこれらの菌が生産した代謝産物が含まれており、栄養学的にもたいへん優れた食品である。酒かすは、昔から甘酒、かす漬、かす汁などに利用されてきたが、酒かすに含まれる難消化成分には、数多くの生理

機能があると報告されている^{3, 4)}。ここでは、日本の伝統的発酵技術を駆使して得られた「多穀麹」と酒かすを二段発酵させて有効成分の含有量を高めた機能性素材「プロファイバー」について紹介する。

1. 多穀麹

多穀麹とは、あわ、ひえ、きび、たかきび、大麦、紫黒米をそれぞれ等量混合したものを麹菌 (*Aspergillus oryzae*) で製麹したものである (図 1)。すなわち複数の穀物原料を水道水に 1 時間浸漬させた後、30 分間蒸煮、放冷後、種麹にて種付け (品温 35 ~ 36℃) し、製麹管理最高温度を 40 ± 2℃ に設定することで製麹を開始した。12 時間後に一度切り返しをおこない、44 時間後に仕麹したものを 45℃ にて温風乾燥させ多穀麹とした。多穀麹は成分を均一化させるため粉碎し粉末品を製品とした。多穀麹について成分分析をおこなったところ、炭水化物、タンパク質、脂質などの成分値には、もとの原料と大きな違いはなかった。しかし、原料には認められなかった α -アミラーゼ、酸性プロテアーゼ、中性プロテアーゼなどの酵素活性について、多穀麹に高い活性が確認さ

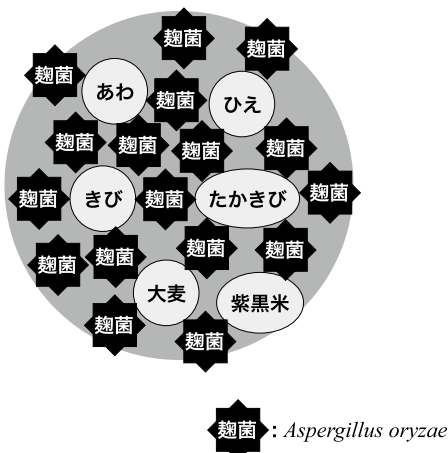


図 1 多穀麹とは

表 1 多穀麹の成分分析結果

	穀物原料	多穀麹
炭水化物 (%)	60.7	62.1
タンパク質 (%)	11.1	12.4
脂質 (%)	2.7	3.3
食物繊維 (%)	11.8	13.7
灰分 (%)	2.2	2.3
水分 (%)	11.5	6.3
α -アミラーゼ (unit/g)	ND	2,900
酸性プロテアーゼ (unit/g)	ND	50,700
中性プロテアーゼ (unit/g)	ND	53,800

3 回の分析の平均値で示す。ND は、検出されず。

れた (表 1)。多穀麹は、穀類の栄養機能はそのまま維持して、でんぷんやタンパク質を分解する酵素活性を有することから、消化を助けながら栄養機能に満ちた食品素材といえる。

そこで、多穀麹は本当に生体内でタンパク質を消化することができるか調べるため人工胃液を用いた *in vitro* 実験で評価した。人工胃液に多穀麹、カゼインを添加し、37℃で 2 時間反応させ、固液分離後の上清を OPA-HPLC にてアミノ酸含量を分析した。対照には多穀麹のみ、あるいはカゼインのみを調製し、これらのアミノ酸量を差し引いたものを多穀麹がカゼインを消化して得られたアミノ酸含量とした。その結果、表 2 に示すように多穀麹のみやカゼインのみに比べ、多穀麹とカゼインの両者を酵素反応させると pH が酸性状態にも関わらず測定したすべてのアミノ酸において高い値を示し、多穀麹は動物の胃内においても食事由来のタンパク質を消化できうる可能性を示した⁵⁾。

次に動物実験により、生体内における多穀麹のタンパク質の消化・吸収について検証した。実験動物は日本クレアから入手した 5 週齢の雄性 ICR マウスを用いた。飼育および保管に関しては「動物の愛護および管理に関する法律」(昭和 48 年法律第 105 号) および「実験動物の飼養および保管等に関する基準」(昭和 55 年総理府告示第 6 号) の基準に沿い、動物実験

表2 人工胃液内における反応後の遊離アミノ酸分析比較

アミノ酸 (mg/l)	(+) カゼイン	(+) 多穀麹	(+) 多穀麹& カゼイン
Asp	ND	2	73
Thr	ND	14	298
Ser	ND	0.2	108
Glu	2	13	570
Pro	ND	ND	99
Gly	ND	0.8	30
Ala	7	7	153
Cys	ND	14	269
Val	ND	0.4	267
Met	ND	ND	79
Ile	ND	ND	40
Leu	ND	0.5	811
Tyr	10	2	398
Phe	2	2	350
His	12	4	612
Lys	4	1	1160
Trp	ND	ND	74
Arg	3	3	888
Total	40	63	6280

3回の分析の平均値で示す。NDは、検出されず。

は、ヤエガキグループ動物実験委員会指針に沿い、新しい指針やガイドラインに遵守して実施した。動物は、粉末CE-2飼料を与えた対照群、CE-2飼料に穀物原料を10%加えた飼料を与えた穀物原料摂取群、CE-2飼料に多穀麹を10%加えた飼料を与えた多穀麹摂取群の3群（1群10匹）で、平均体重が同様となるよう群分けした。実験飼料の給餌期間以外は、CE-2飼料を与え、7日間の予備飼育後、試験飼料に切り替えた。飲料水は水道水を用いて飼料とともに自由摂取とした。飼育室は、温度 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、照明は12時間周期（7:00～19:00）で自動的に明暗が切り替わるように調整し、28日

間飼育した。

飼育終了後、エーテル麻酔下で断頭して採血し、遠心分離（3,000rpm × 10分）によって血清を得た。同時に胃、小腸、大腸内容物を摘出した。血清脂質（総コレステロール（TC）、高密度リポ蛋白質コレステロール（HDL-C）、トリグリセリド（TG）、遊離脂肪酸（NEFA）は酵素法により定量した。胃、小腸および大腸内容物中のアミノ酸は、OPA-HPLCにて測定した。また飼料窒素摂取量と糞便中窒素排泄量を測定し、見かけの消化吸収率を算定した。

マウスの胃、小腸および大腸内容物に含まれる遊離アミノ酸量を調べたところ、図2に示すように、胃内容物では、対照群と穀物原料摂取群に比べて多穀麹摂取群の遊離アミノ酸量が有意に高かった（ $p<0.05$ ）。これは多穀麹に含まれるアミノ酸だけではなく、飼料中のタンパク質を多穀麹の酸性プロテアーゼが胃内で分解したためと考えられた。また、小腸内容物においても胃内容物と同様、対照群と穀物原料摂取群に比べて多穀麹摂取群の遊離アミノ酸量が有意に高かった（ $p<0.05$ ）。これも多穀麹の中性プロテアーゼが小腸内で反応したためアミノ酸

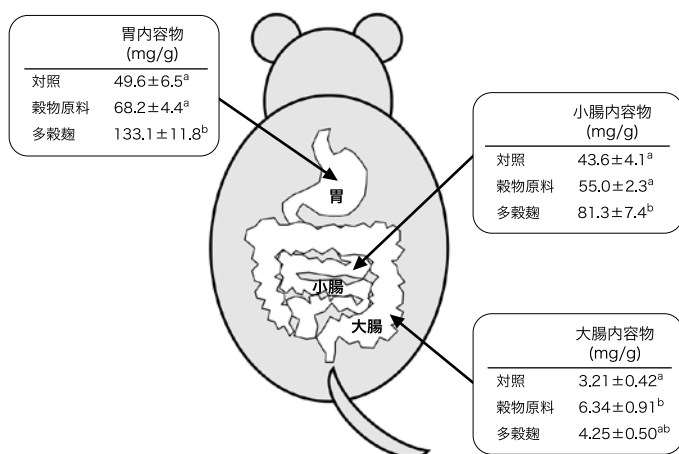


図2 胃内容物、小腸内容物、大腸内容物の総アミノ酸含量の比較値は、平均値±標準誤差で示す。異なるアルファベットは、有意差（ $p<0.05$ ）があることを示す。

量が増加したことが推測された。一方、大腸内容物では、対照群と多穀麹摂取群に比べて穀物原料摂取群の遊離アミノ酸量が有意に高かった ($p<0.05$) が、胃内容物や小腸内容物に比べると低値であり、遊離アミノ酸のほとんどは小腸で吸収されたことが推測された。つまり多穀麹のプロテアーゼが生体内で作用し、飼料に含まれるタンパク質の分解を促進させたことが考えられ、また大腸内容物のアミノ酸量は極めて少ないことから、ほとんどのアミノ酸は小腸から吸収されたものと推測された。またペプチドおよび遊離アミノ酸含量の多い共存系窒素源は吸収速度、吸収量のいずれにおいてもペプチド、アミノ酸の単独および蛋白質に比べて優れている報告がある⁶⁾。

多穀麹においても酵素によってアミノ酸まで消化されていないペプチドと遊離アミノ酸が共存することが考えられるので、その意味からも多穀麹は消化吸収性に優れた素材であることが示唆された。さらに飼料窒素摂取量と糞便中窒素排泄量を測定し、みかけの消化吸収率を算定した結果を表3に示した。摂食量では、対照群に比べて穀物原料群および多穀麹摂取群でやや上昇傾向を示した。しかし、穀物原料あるいは多穀麹が飼料中に10%混合されることで、飼料中の全窒素濃度が下がり、その結果、食餌窒素量では対照群に比べて穀物原料摂取群と多穀麹摂取群で有意に ($p<0.05$) 低下した。また糞便中窒素排泄量を測定したが、対照群および穀物原料摂取群と比べて多穀麹摂取群で有意

に ($p<0.05$) 低下した。これらの結果から、みかけの吸収率をまとめたところ、対照群と穀物原料摂取群に比べて多穀麹摂取群で有意に ($p<0.05$) 向上した⁵⁾。

解剖時における各群の血清脂質分析結果では、血清TC値において対照群に比べて穀物原料群および多穀麹摂取群でやや上昇傾向を示した。しかしHDL-C値において、対照群に比べて穀物原料群および多穀麹摂取群は、TC値と同様に上昇傾向を示しており、わずかなTC値の上昇はHDL-C量の増加であることが確認された。あわ、ひえ、きびなどの雑穀が血中のHDL-C量を上昇させる報告⁷⁾もあることから、多穀麹の摂取でHDL-C量が増加したのは麹の原料に使用しているこれらの雑穀の影響であることが推測された。雑穀をはじめ様々な穀類を等量混合することで得られた麹ならではの特徴といえる。血清TG値では対照群に比べて穀物原料群および多穀麹摂取群が低下傾向を示し、NEFAにおいても同様の傾向であったが、有意差は認められなかった。動物実験の場合、穀物原料や多穀麹を毎日多量に摂取し続けることになるが、これは多穀麹を摂取し続けても生体に対する悪影響等は認められないことを逆に裏付けている。

以上の結果より、多穀麹は特に、現代の高タンパク質中心の食事に適応でき、また生体酵素分泌が低下した高齢者において有効な食品となりうることが考えられた。

表3 飼料摂取量、飼料窒素摂取量、糞重量、糞便中窒素排泄量、みかけの消化吸収率の比較

群	n	飼料摂食量 (g/日)	飼料窒素摂取量 (%)	糞重量 (g/日)	糞便中窒素排泄量 (%)	みかけの消化吸収率 (%)
対 照	10	6.9 ± 0.03	0.29 ± 0.001 ^a	1.2 ± 0.02	0.04 ± 0.0007 ^a	87 ± 0.3 ^a
穀物原料	10	7.0 ± 0.03	0.27 ± 0.001 ^b	1.2 ± 0.02	0.04 ± 0.0006 ^a	87 ± 0.2 ^a
多 穀 麹	10	7.0 ± 0.03	0.28 ± 0.001 ^b	1.2 ± 0.02	0.03 ± 0.0005 ^b	89 ± 0.2 ^b

値は、平均値±標準誤差で示す。異なるアルファベットは、有意差 ($p<0.05$) があることを示す。

2. プロファイバー

プロファイバーとは清酒の製造過程で得られた酒粕をもう一度酵母で発酵させた二段発酵プロセスにより有効成分の含有量を高めた“酵母発酵米”である。プロファイバーは、もとの酒米に比べて有効成分であるレジスタントプロテインと食物繊維の含有量が数倍に濃縮されており、二段発酵させているので酵母の含有量が高く、 β グルカン量も10～15%含んでいる。プロファイバーの特長は、高い油吸着効果があり、余分な油を体外に排泄させる効果を有することを動物実験で検証してきた。またヒト介入試験により肥満抑制効果についてのエビデンスデータも得ることができた（これらに関する詳細なデータは、*New Food Industry* 2009年5月号に掲載されている⁸⁾）。ここでは、プロファイバーの新しい機能について紹介する。

プロファイバーを摂取することでヒトの便通

改善に対して効果が認められた。便秘気味の女性72名について750mgのプロファイバーを夜寝る前に摂取すると、アンケート調査によって「お通じが毎日」に改善された被験者数の割合が増加し、便の質、量、臭いも改善され、排便後もすっきりする体感を得ることができた（図3）。そこで、その効果を検証するため動物実験をおこなった。5週齢のSDラット（オス）をステンレスケージで個別に飼育した。飼育環境は、多穀麹の項で記した同一条件で、体重変化および摂食量は毎日測定した。

試験は、AIN-93に準じた飼料を自由摂取させた対照群とプロファイバー中のタンパク質、脂質および食物繊維含量を試験飼料中のカゼイン、コーンオイル、セルロースの割合と置き換えた実験飼料を自由摂取させたプロファイバー摂取群の2群（1群5匹）に分けておこなった。試験4週間後に解剖し、糞便中の *Lactobacillus*（乳酸菌）、*Bacteroides*、*Clostridium* の生菌数を

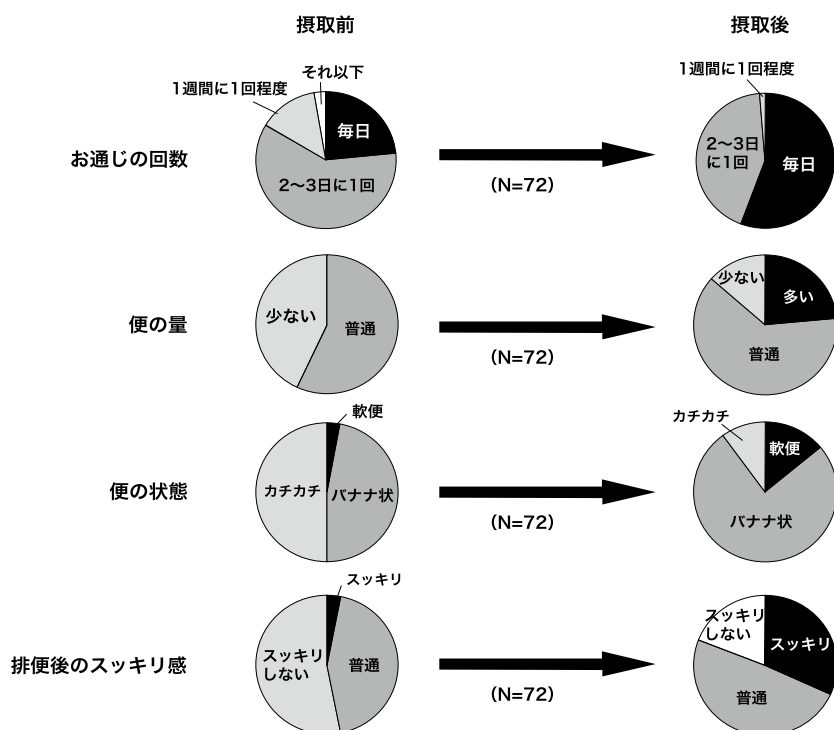


図3 プロファイバー摂取における便秘気味女性の便通改善効果

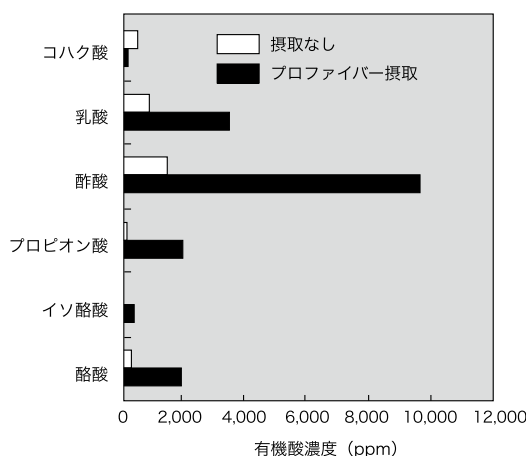


図4 プロファイバー摂取における糞便中の有機酸含量の増加

各種選択培地でカウントした。また糞便中の有機酸組成を調べることで腸内細菌の発酵性について調べた。その結果、プロファイバーの摂取により糞便中の有機酸は、図4に示すように、乳酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸で増加した。またプロファイバーを摂取することで、ラット糞便量が増加し、含水量も増加する結果が得られ、これらの結果は、ヒトの便秘改善効果のアンケート結果とも一致した。

腸内細菌の数では、プロファイバーの摂取により、*Lactobacillus* や *Clostridium* の数では大きな変化がなかったが、*Bacteroides* の増加が確認された。*Bacteroides* は日和見菌と呼ばれ、腸内で善玉菌が優勢のときはおとなしく、悪玉菌が優勢のときは有害な作用を及ぼす細菌である。近年、腸内細菌の食物分解能の差から *Bacteroides* が優勢である人は、栄養の吸収や蓄積がされにくく、肥満者には腸内の *Bacteroides* の数が低く、肥満でない者は *Bacteroides* が少ないとの報告があり、プロファイバーを与えることで、*Bacteroides* が増える状況にあることは、プロファイバーの肥満抑制効果を裏付ける一つの要素となりうる。実際に、ヒトで 750mg のプロファイバーを摂取する前後の糞便を採取

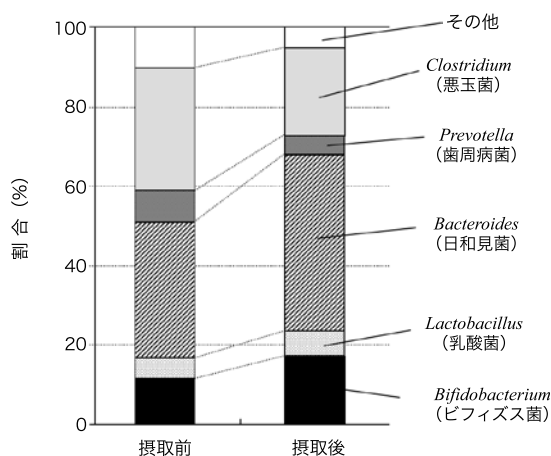


図5 プロファイバー摂取における腸内細菌の割合変化

し、T-RFLP 解析することで、各種腸内細菌の割合を求めた。その結果を、図5に示したが、*Lactobacillus* や *Bifidobacterium* (ビフィズス菌) の善玉菌は、プロファイバーの摂取により、やや増えることがわかった。最も割合が増加した細菌は *Bacteroides* であったが、悪玉菌とされる *Clostridium* と *Prevotella* (歯周病菌) が減少しており、善玉菌が増加したことにより、日和見菌の *Bacteroides* は、腸内環境を善玉の方向に傾けていることが推測された⁹⁾。

以上の結果より、プロファイバーは被験者の肥満抑制効果を示す、いわゆる抗メタボリックシンドロームに適しているだけでなく、腸内の細菌叢を善玉に傾け、糞便量や含水量を調節できる機能性食品であることが考えられた。

3. 消化・吸収・排泄の重要性

ヒトは年齢とともに消化酵素の分泌が減少し、プロテアーゼが最も大きな減少割合を示している¹⁰⁾。消化酵素の分泌が減少すると食べ物の消化がうまくできず、胃や小腸の負担が大きくなる。しかし、多穀麹のような酵素食品を摂ると、体内の消化酵素が減少しても食物をス

ムースに消化することができ、体に負荷がかからない。つまり、消化酵素の分泌が少ない分、代謝酵素の分泌が盛んとなり体は元気になる。一方で、プロファイバーのような難消化成分は、食事の余分な油を排泄し、大腸における腸内細菌の発酵性を高めて、便秘改善を促す。つまり、多穀麹とプロファイバーはヒトの体内における消化・吸収と排泄効果を整えることで、体を健康にする日本の伝統的発酵技術で得られた最高の機能性食品の組み合わせといえる。

おわりに

多穀麹とプロファイバーは、粉末状で吸湿性もなく、取り扱いやすい素材である。麹や酒粕は食経験がしっかりしており、安心・安全な素材である。日本人は欧米人に比べ、昔からス

リムで健康であった。しかし、食が高脂肪、高タンパク質、低食物繊維に変化したことで、日本人も肥満者が増え、メタボリックシンドロームの進展リスクを意識しなければならなくなった。日本人は昔から麹や酒粕などの発酵食品が体に良いことを知っており、発酵素材を積極的に摂取することで体の調子を整えてきた。今こそ、日本の伝統的発酵技術で得られた機能性食品を再認識すべきである。

謝辞

プロファイバーは、大関(株)との共同研究により開発されたものである。プロファイバーの生理機能評価を遂行するにあたり、ご指導いただきました広島大学大学院生物圏科学研究科、加藤範久教授に感謝いたします。

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

- 1) 平成 19 年版 高齢社会白書，内閣府，p.4
- 2) 持田和美ほか：日本食品科学工学会誌，**47**，78-84 (2000)
- 3) 渡辺敏郎ほか：FOOD Style 21，**11**，51-54 (2007)
- 4) 渡辺敏郎：食品と開発，**44**，76-77 (2009)
- 5) 井上美保ほか：日本醸造学会誌，**102**，847-853 (2007)
- 6) 吉原大二ほか：日本栄養・食糧学会誌，**50**，411 - 416 (1997)
- 7) Nishizawa, N. and Fudamoto, Y., *Biosci. Biotech. Biochem.*, **59**, 333 - 335 (1995)
- 8) 渡辺敏郎：New Food Industry，**51**，27-36 (2009)
- 9) 谷口隆雄ほか：第 63 回 日本栄養・食糧学会大会講演要旨集 (2009)
- 10) 食生活と栄養の百科事典，丸善，p630

ヤマブシタケの脳機能賦活作用と PLM-フラクション

安西英雄*

*¹ ANZAI Hideo (Anzai & Associates)

Key Words：ヤマブシタケ・PLM-フラクション・認知機能・NGF・認知症

はじめに

ヤマブシタケ (*Hericium erinaceum*) は食用および薬用に用いられるキノコである。人工栽培法の確立とともにわが国でも一般に普及しつつあるが、近年ヤマブシタケの神経細胞や脳機能に対する作用がとりわけ注目を集めている。本稿ではヤマブシタケに関するこれまでの薬理研究を概観し、その脳機能賦活作用に着目して抽出・開発された PLM-フラクションについて、研究の現状を紹介する。



図1 ヤマブシタケ

1. ヤマブシタケとは

ヤマブシタケはヒダナシタケ目サンゴハリタケ科に属し、日本や中国など北半球温帯地方に広く分布する食用・薬用キノコである。ナラ、カシ、ブナ、クルミなど広葉樹の立ち木および腐木に発生する。形状に特徴があり（図1）、山伏の衣装の丸い胸飾り（結袈裟の梵天）に似ているところからヤマブシタケと言われる。またジョウゴタケ、ウサギタケ、ハリセンボンなどとも呼ばれるという¹⁾。中国では猴頭菇（サル頭のキノコ）、米国では Lion's Mane（ライオンのたてがみ）などと呼ばれる。

ヤマブシタケは中国では四大名菜の一つに数

えられ、かつては貴重な食材であった。伝統的に、五臓を利し、消化を助け、滋養を補い、消化不良・神経衰弱・十二指腸潰瘍・胃潰瘍などに効果があるとされ、現在でも消化器系のがんなどにも用いられている。栽培法が確立するとともに、わが国でも食用キノコとして知られるようになり、薬理研究の対象にもされるようになった。

2. 免疫賦活・抗腫瘍作用

これまで報告されたヤマブシタケの薬理研究のひとつの中心テーマは、免疫賦活作用および抗腫瘍作用である。

ヤマブシタケの子実体や菌糸体の各種の抽出物は、腹腔内マクロファージの IL-1 産生を促進し²⁾、マウス胸腺細胞に対する PHA 刺激や脾臓リンパ細胞に対する LPS 刺激を増強し³⁾、マウス T 細胞とマクロファージを増加させ⁴⁾、マウス脾臓細胞の IL-12 と IFN- γ 分泌を刺激して NK 細胞を活性化し⁵⁾、RAW264.7 細胞の NF κ -B を活性化して IL-1 β 産生を刺激し⁶⁾、ラットマクロファージの NF- κ B を活性化し iNOS を誘導して NO 産生を高め⁷⁾、ヒト末梢血単核球から分離した未成熟樹状細胞の成熟を促進することが報告されている⁸⁾。また、ヤマブシタケの各種抽出物は HeLa 細胞の増殖を抑制し⁹⁾、TNF- α による腫瘍細胞の増殖抑制を促進し²⁾、Sarcoma180 移植マウスにおいて抗腫瘍活性を示し^{2,10)}、AMES 試験で抗変異原性を示し¹¹⁾、マウスの実験的腫瘍肺転移を抑制し⁴⁾、DMH (dimethylhydrazine) 誘発ラット大腸がんモデルにおいて腫瘍発生率に有意な影響を与えなかったが細胞増殖能の指標である PCNA labeling index を抑制した¹²⁾。このようにヤマブシタケは、他の多くのキノコと同様、免疫系を賦活し抗腫瘍作用を示すことが *in vitro* および *in vivo* の実験で示されている。

3. 神経細胞への作用

近年、ヤマブシタケの神経細胞に対する作用についての関心が高まり、ヤマブシタケ研究のもうひとつの焦点を形成するようになってきた。そのきっかけを作ったのは河岸らによる 1991 年の次の報告であった。

河岸らはヤマブシタケ子実体に含まれるヘリセノン類がマウスの培養アストロサイトの NGF (nerve growth factor) 合成を促進することを見出した^{13~15)}。動物以外の天然物由来の活性物質としてはこれが世界で初めてという。中でもヘリセノン D (図 2a) の活性が最も強く、

NGF 合成を顕著に活性化することが知られているエピネフリンにはほぼ匹敵する作用が認められた (図 3)。河岸らはその後、培養ヤマブシタケ菌糸体の抽出物から得られるエリナシン類がマウスやラットの培養アストロサイトの NGF 合成を促進することを見出した^{16~18)}。エリナシン A (図 2b) を幼若 Wistar ラットに投与し、脳の各部位における NGF 含量とカテコールアミン含量を測定したところ、エリナシン投与群では青斑核の NGF, DOPAC, HVA, ノルエピネフリン含量が有意に高く、海馬でも NGF 含量が有意に高かった¹⁹⁾。

Mori らもヤマブシタケのエタノール抽出物

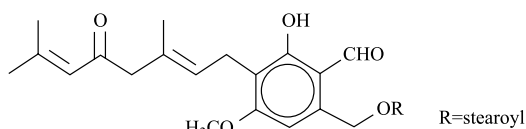


図 2a ヘリセノン D

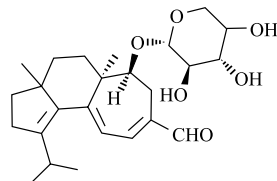


図 2b エリナシン A

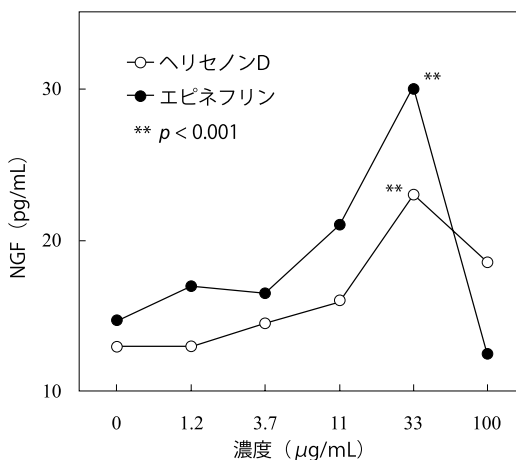


図 3 アストロサイトの NGF 合成に対するヘリセノン D の作用

(古川ら, 1991)¹⁵⁾

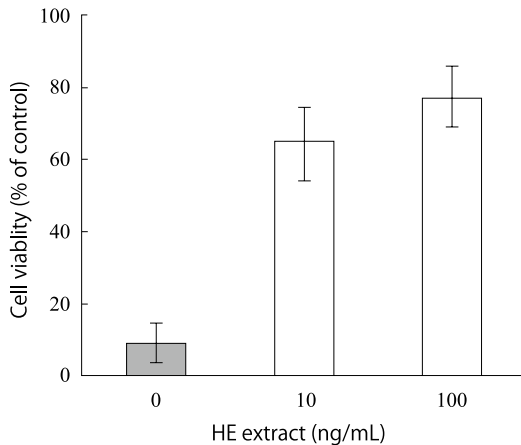


図4 小胞体ストレスによる neuro2a 細胞死の抑制
(Nagai, *et al.*, 2006 より改変)²¹⁾

をヒトのアストロサイトーマ 1321 N1 細胞に添加して培養し、NGF-mRNA の発現が有意に高まり、NGF 分泌が増加することを示した。また同抽出物と 1321N1 細胞の培養液を PC12 細胞に添加培養すると神経突起の伸長が促され、ヤマブシタケ粉末を 5% 含む餌で ddY マウスを飼育すると海馬の NGF-mRNA 発現が増加することを報告した²⁰⁾。

Nagai らは、培養 neuro2a 細胞に tunicamycin を添加し小胞体ストレスによるアポトーシス死を誘導する実験系を用い、ヤマブシタケをエタノールとアセトンで抽出した非極性抽出物がこの細胞死を抑制することを示した (図4)²¹⁾。また、Ueda らも、ヤマブシタケ栽培後の培地をエタノール、アセトン等の有機溶媒で抽出し、neuro2a 細胞の tunicamycin および thapsigargin による小胞体ストレス死を抑制する物質を見出した^{22, 23)}。さらに藤原らは、ヤマブシタケが中大脳動脈閉塞術を施した ddY マウスの梗塞巣の体積を抑制し、脳神経保護作用があることを示した²⁴⁾。このように、ヤマブシタケには脳細胞における NGF 合成を促進し、神経細胞死を抑制する成分が含まれており、脳神経に対する保護効果があることがさまざまな薬理研究により強く示唆されている。

4. ヤマブシタケの認知症に対する応用

わが国では高齢化の急速な進展に伴い、認知症患者の増大が医療・介護上の大きな問題になってきている。なかでもアルツハイマー型老人性認知症が増加してきており、後述するがその病因として、アミロイドベータと呼ばれる異常タンパクの蓄積がもたらす、小胞体ストレスなどによる神経細胞死が疑われている²⁵⁾。また神経細胞の生存には NGF の存在が不可欠であり、認知症への臨床応用も試みられている²⁶⁾。

このようにヤマブシタケの前述のような神経細胞に対する作用は認知症に対する臨床応用の可能性を期待させるものである。かくして 2000 年代に入るとヤマブシタケの認知症への臨床応用が報告されるようになった。笠原らは 66 ～ 90 歳の 7 例の入院中の認知症患者 (アルツハイマー型と脳血管性を含む) に凍結乾燥したヤマブシタケ 5g/ 日を 6 ヶ月間投与し、日常生活動作の変化を FIM (機能自立度評価表) を用いて評価した。認知項目と運動項目の合計でも認知項目のみでも、投与後の FIM 値は有意に高かった ($p < 0.01$)²⁷⁾。

また、笠原らは 73 ～ 87 歳の 15 例の入院中の認知症患者 (アルツハイマー型 7 例、脳血管性 6 例、混合型 1 例、Pick 氏病 1 例) にヤマブシタケ 3g/ 日を 3 ヶ月間投与し、FIM と MMSE (ミニメンタルステート検査) を用いて変化を評価した。FIM の運動項目の移動、認知項目の社会認知が有意に改善した ($p < 0.05$)。MMSE には有意差が無かった²⁸⁾。

大友らは 66 ～ 86 歳の 18 例の外来通院中のアルツハイマー型老年期認知症患者にヤマブシタケ 3g/ 日を 3 ヶ月間投与した。MMSE は有意に上昇し ($p < 0.05$)、周辺症状を中心に臨床症状の改善が認められた²⁹⁾。Mori らは 50 ～ 80 歳の軽度の認知障害のある 30 例の男女を対象

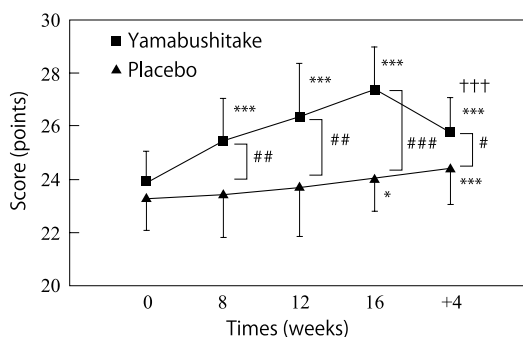


図5 軽度の認知障害患者の HDS-R の改善

(Mori, et al., 2009) ³⁰⁾

に二重盲検試験を行った。ヤマブシタケ 12 錠 (2880mg 含有) / 日またはプラセボを 16 週間投与し、HDS-R (改訂長谷川式認知症スケール) にて認知機能の推移を評価した。ヤマブシタケ群のスコアは服用に伴い開始時より有意に上昇し ($p < 0.001$), また服用期間を通じてプラセボ群より有意に高かった ($p < 0.05 \sim 0.001$)³⁰⁾ (図 5)。

5. PLM- フラクシヨンの開発

このようにヤマブシタケは、認知症患者の周辺症状や認知機能に対し、いくらかの改善をもたらす可能性が示唆されている。もしもその効果が臨床的にも意義があるほどのものならば、増大の一途をたどることが見込まれている認知症の予防と治療において、大きな貢献をすることができる。

これまでの臨床研究では、すべてヤマブシタケの乾燥粗粉末をそのまま、あるいはそれを錠剤化しただけのものが用いられてきた。その臨床的有用性は今後もさらに検討する必要があるが、それと平行して、粗粉末が最善の素材かどうかとも検討すべきであろう。すなわち、基礎研究において示されたヤマブシタケの活性成分を、食品工業において使用が認められた安全な溶媒のみを用い、より濃縮したかたちで抽出し、より効率よく摂取することができれば、従来の臨

床試験の報告を上回る効果が期待できるかも知れない。そのような濃縮製剤を開発する試みの例として、PLM- フラクシオンを以下紹介する。

5-1. 新抽出物の開発

庄らはヤマブシタケをエタノールと水のみを溶媒とする新規な製法³¹⁾により抽出分離精製し、抽出物 PLM- フラクシオンを得た。PLM- フラクシオンには前述のヘリセノンも、Nagai らの示した小胞体ストレス死を抑制する画分も含有されており、それぞれ定量規格化されているという³²⁾。

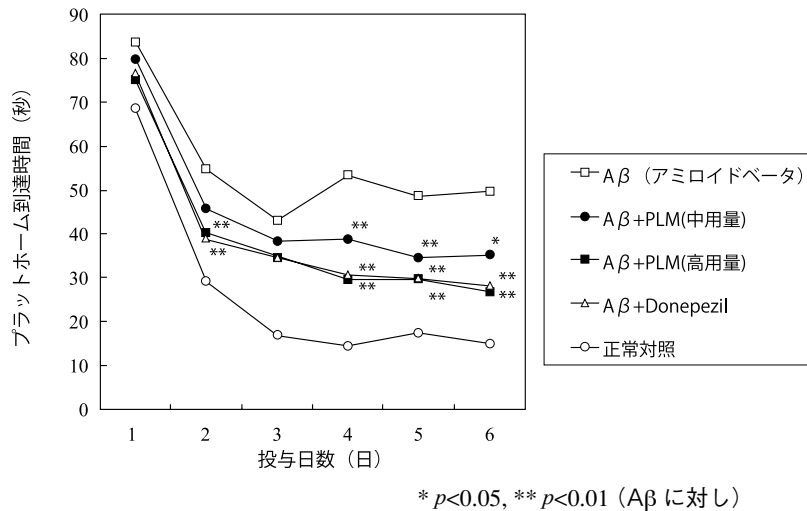
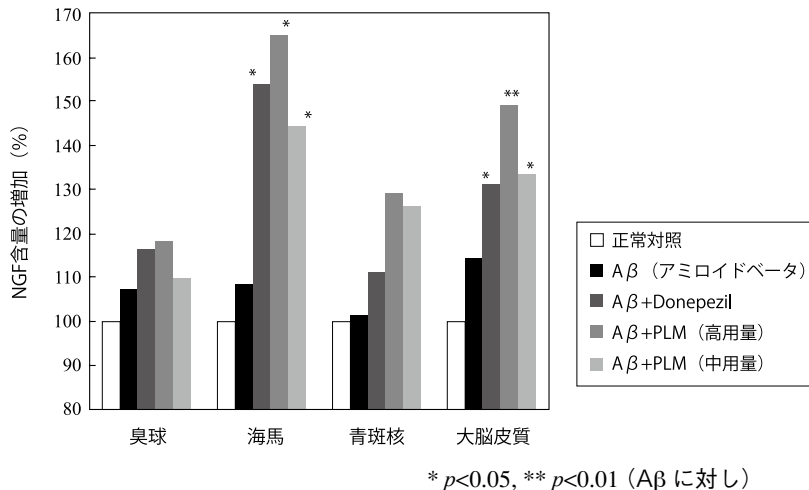
認知症の病理はいまだ十分明らかではないが、脳の神経細胞の死はその中核をなすものである。神経細胞の生存に不可欠である NGF は当然ながら大きな注目を集め、NGF を投与したり NGF の産生を促す多くの試みがなされている³³⁾。NGF 自体は経口投与しても血液脳関門を通過できないが、ヘリセノンは経口投与で脳内の NGF 産生を促進する。これは臨床応用の上で大きな利点である。

さらに、アルツハイマー型認知症患者の脳には老人斑とよばれる特徴的な変性が見られる。老人斑の主要な構成成分はアミロイドベータと呼ばれる異常タンパクであり、またアミロイドベータは神経細胞に酸化ストレスや小胞体ストレスなどを惹起し、神経細胞死をもたらすところから、アルツハイマー型認知症の原因物質として疑われている。アミロイドベータの蓄積、あるいは毒性の発現を抑制しようという研究も世界中で数多くなされており³⁴⁾、小胞体ストレスによる神経細胞死を抑制する試みもその中に位置づけられる。

このように、NGF とアミロイドベータの毒性という 2 つの作用点を可能性として有する PLM- フラクシオンがどのような効果を示すか、非常に興味をもたれるところである。

5-2. 基礎研究

Kawagishi らはアミロイドベータを SD ラッ

図6 モーリス水迷路実験 (Kawagishi, *et al.*, 2009)³⁵⁾図7 脳内 NGF 含量の増加 (Kawagishi, *et al.*, 2009)³⁵⁾

トの海馬に注射し、認知症モデルラットを作成した。これを PLM-フラクションを含有する餌で飼育し、モーリスの水迷路実験を行った。PLM-フラクション投与群は認知症ラットの空間記憶学習能力を有意に改善し、その度合いは代表的な認知症治療薬の donepezil に匹敵するものであった (図6)。また PLM-フラクション投与群では海馬および大脳皮質の NGF 含量が有意に高まっており、その作用は donepezil よりも強い可能性が示唆された³⁵⁾ (図7)。また、PLM-フラクションは単回投与毒性試験、13週

表1 Amyloban3399® の組成

1粒中に下記の成分を含む：

PLM-フラクション 325mg
(hericenones 0.5%, amyloban 6% を含む)

その他の非活性成分：

微結晶化セルロース、リン酸一水素カルシウム、
ショ糖脂肪酸エステル、二酸化ケイ素

の反復投与毒性試験において投与可能な最大量でも毒性を示さず、安全であることが示された³¹⁾。これらの結果に基づいて、PLM-フラクションを成分とするダイエタリー・サプリメント

表 2 Amyloban3399 投与に伴い著しい症状の改善をみた一例

(小城ら, 2008 より抜粋)³⁷⁾

1月10日受診。Amyloban 使用開始後2ヵ月経過していたが、Amyloban 使用前と比較して著しい変化に夫は気づいている。お正月に近くの温泉宿に泊まり、夫が入浴したが、それまでは入浴後10分も経つと「まだ入浴中か?」と夫に入浴を終えるように催促していたが(夫と離れているのが不安である)、催促しなかったという。

また最近炊事が前より出来るようになり、野菜の名称もすらすらとできるようになり、二桁の引き算が可能となり、仮名拾いテストは誤りが10以上あったのが誤りなく出来るようになり、面接していて表情がおだやかになり、態度も落ち着いてきた。夢の内容が怖い夢が多かったのが、現在は日常的な夢になったという。HDS-Rは20～22点(4年前)でその後もあまり変化がなかったのが、この日29点である。かなり劇的な変化に夫は驚いている。しかし改善がどの時点で起こったのか正確ではない。しかし11月上旬より1月10日までの間に行ったかな拾いテストの成績をみると、誤りの数が次のように減少していることから、この期間に注意集中力が次第に改善して来ていることが分る。

検 査 日	誤りの数
平成19年11月8日	8
12月6日	7
12月8日	4
12月23日	2
平成20年1月10日	0
2月24日	0

2月28日、正しい記憶が増えてきた。しかしやはり一人でおれない。一人でいるのが怖い。気がせく。献立は自分です。注意集中が出来るようになり、精神的に安定するようになった。昨年の暮れから食事が美味しくなった。笑顔が見られた。4月3日、午前中はうつであるとう夫がいう。夕方にはよくなる。しかし「一人でおれない」「時間が待てない」といった症状は残っている。しかし「時間が待てない」のは若いときからその傾向はあり、病気になり際立ってきたという。

5月8日、記憶力もよくなり、漢字も十分に書けるという。

Amyloban による変化は (1) ぼんやりした神経が蘇った (2) 行動に移せるようになった (3) 注意力がましてきた事にまとめられるという。

が米国で上市された (Amyloban[®]3399, Maitake Products, Inc., New Jersey) (表1)³⁶⁾。

5-3. 臨床研究

小城らは患者と家族の同意を得てこの PLM-フラクション製剤6粒/日をうつ病・認知症の高齢女性に投与した。HDS-R (長谷川式認知症スケール) は20～22点から29点に劇的に改善し、ぼんやりした神経が蘇った、行動に移せるようになった、注意力がましてきた、など大きな変化が見られたと患者の夫は報告した (表2)³⁷⁾。

Lottor は物忘れを訴える8例のボランティアに対し、同意のもとでこの製剤6粒/日を2ヶ月間投与するパイロット試験を行った。その結果3例が忘れたものを思い出すまでの時間が短くなり、4例が気分が改善したと報告した。別の1例は服用を中止したら短期記憶が悪くなったと報告したが³⁸⁾、これも短期記憶への効果を示唆するものかも知れない。これらの臨床報告はいまだ初期的な段階を出ていない。しかしいずれも記憶力の改善や気分の改善を伺わせるものであり、PLM-フラクションの臨床的な可能性を期待させる。今後も着実に臨床研究が進むことが大いに期待される。

6. 考 察

わが国では正確な認知症患者数はいまだに把握されていないが、何らかの介護・支援を必要とする痴呆がある高齢者 (痴呆性老人自立度Ⅱ以上) は2010年208万人、2015年250万人、2025年には323万人に達するという将来推計を厚生労働省は発表している³⁹⁾。認知症は患者本人にとってはもちろん、介護者や社会全体にとっても大きな負担と損失をもたらす深刻な疾患である。ゆえに認知症治療薬が渴望され、世界の製薬企業が開発の努力を重ねているが、現在までのところ、進行をやや遅らせる程度の

効果しか得られていないのが実情である。

とりわけ問題なのはアルツハイマー型認知症の増加である。その病理はいまだ十分明らかではないが、加齢に伴い神経細胞などの進行性変性が慢性的に蓄積し、やがて目に見える症状として発現するものと考えられる。ならば発病してから治療にあたるよりも、日ごろから神経細胞や脳機能が健全に維持されるように努め、もし何らかの生理的偏りが生じて、未病段階のうちに対応修復できるよう心がけるほうが、より合理的で効果も期待できるだろう。

そのような予防的介入においては、医薬品のように作用の強いものは使いにくく、より作用が緩和で自然なものが求められる。食事⁴⁰⁾や運動⁴¹⁾などの生活習慣を見直し、メタボリック症候群などのリスク要因⁴²⁾の排除にまず努めるべきことは論を待たないが、それに加えて食品などに含まれる機能性成分の臨床応用を、真剣に検討すべきではないだろうか。

認知症におけるヤマブシタケはそのひとつの好適な例である。ヤマブシタケは食用・薬用に古来用いられ、安全性は高いことが知られている。しかもヤマブシタケにはNGF分泌を促進したり小胞体ストレスを緩和するような脳保護機能成分が含まれており、認知症への何らかの作用が期待できる。実際初期的な臨床試験では、さらなる研究を支持するような結果も得られている。より臨床効果を高める目的で、活性画分を濃縮した食品用抽出物 PLM-フラクションが開発された。PLM-フラクションは実際に認知症モデルラットの空間記憶学習能力を改善し、海馬や大脳皮質のNGF産生を著しく高め

た。また PLM-フラクションは認知症患者や物忘れを訴える健常高齢者において、記憶や認知機能や気分を改善する可能性を示した。

食品・サプリメントがこれだけの機能性を実際に示したことの意味は小さくない。もしもこの介入により軽度認知障害の発症や認知症への移行を少しでも抑制することができれば、社会に対してきわめて大きな貢献になるであろう。さらに NGF 産生促進作用に注目するならば、PLM-フラクションは筋萎縮性側索硬化症(ALS)やパーキンソン病に対しても何らかの作用を示す可能性が考えられる。

おわりに

増大する認知症への社会的対応の一環として、予防的介入を検討することが重要である。それには食品の機能性成分のような、作用が緩和で自然なものが適切である。その実例としてヤマブシタケから得られる PLM-フラクションをとりあげ、薬理作用を概観し、臨床研究の現状を紹介した。研究はまだ緒についたばかりであるが、今後も基礎的・臨床的な研究が着実に進むことが期待される。

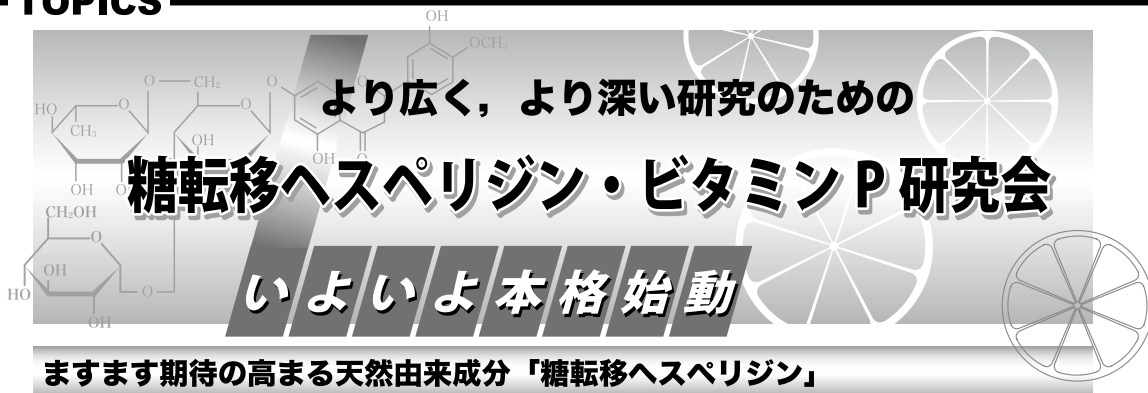
謝辞

研究成果の引用と開示を快くご承諾くださいました中国薬科大学新薬スクリーニングセンターの Lu-Yong Zhang 教授と Zhen-Zhou Jiang 博士、静岡大学の河岸洋和教授、および社内資料の開示を快くご了承くださいました Maitake Products, Inc. の白田正樹氏に深謝いたします。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考・引用文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 水野卓：“ヤマブシタケ（山伏茸，猴頭）”「キノコの化学・生化学」水野卓，川合正允（編）東京，学会出版センター，2000年，p.309 (ISBN 4-7622-5683-8)
- 2) 佐藤恭広，飯森武志，町田誠，八代洵，馬替純二，山崎真狩，永井和夫：ヤマブシタケ (*Hericium erinaceum*) の抗腫瘍作用と免疫調節活性，農化 1991;65:364.
- 3) Xu HM, Xie ZH, Zhang WY. Immunomodulatory function of polysaccharide of *Hericium erinaceus*. *Zhongguo Zhong Xi Yi Jie He Za Zhi* 1994;14(7):427-8.
- 4) Wang JC, Hu SH, Su CH, Lee TM. Antitumor and immunoenhancing activities of polysaccharide from culture broth of *Hericium* spp. *Kaohsiung J Med Sci* 2001;17(9):461-7.
- 5) Yim MH, Shin JW, Son JY, Oh SM, Han SH, Cho JH, Cho CK, Yoo HS, Lee YW, Son CG. Soluble components of *Hericium erinaceum* induce NK cell activation via production of interleukin-12 in mice splenocytes. *Acta Pharmacol Sin* 2007;28(6):901-7.
- 6) Son CG, Shin JW, Cho JH, Cho CK, Yun CH, Han SH. Induction of murine interleukin-1 beta expression by water-soluble components from *Hericium erinaceum*. *Acta Pharmacol Sin*. 2006;27(8):1058-64.
- 7) Son CG, Shin JW, Cho JH, Cho CK, Yun CH, Chung W, Han SH. Macrophage activation and nitric oxide production by water soluble components of *Hericium erinaceum*. *Int Immunopharmacol*. 2006;6(8):1363-9.
- 8) Kim SK, Son CG, Yun CH, Han SH. *Hericium erinaceum* induces maturation of dendritic cells derived from human peripheral blood monocytes. *Phytother Res* 2009; Published online:May 13.
- 9) Kawagishi H, Ando M, Mizuno T. Hericenone A and B as cytotoxic principles from the mushroom *hericium erinaceum*. *Tetrahedron Lett* 1990;31:373-6
- 10) 水野卓，和佐哲也，伊藤均，鈴木千春，鶴飼暢雄，石黒幸雄，李敬軒：制癌性多糖類に関する研究（第17報）ヤマブシタケ子実体（猴頭）多糖の抗腫瘍活性について，静岡大学農学部演習林報告 1992; 第16号別刷 :63-76.
- 11) Wang JC, Hu SH, Lee WL, Tsai LY. Antimutagenicity of extracts of *Hericium erinaceus*. *Kaohsiung J Med Sci* 2001;17(5):230-8.
- 12) 田中真伸，寺井潔，須田寸実人，五藤倫俊，山口浩彦，松岡隆，笠巻伸二，坂本一博，鎌野俊紀，狩野元成：1,2dimethylhydrazine 誘発ラット大腸癌に対する *Hericium erinaceum* の抑制効果，順天堂医学 2006;52:239-46.
- 13) 河岸洋和，安藤基治，坂本秀樹，吉田知史，古川昭栄：ヤマブシタケからの神経成長因子（NGF）合成促進物質，農化 1991;65(3):364.
- 14) Kawagishi H, Ando M, Sakamoto H, Yoshida S, Ojima F, Ishiguro Y, Ukai N, Furukawa S. Hericenones C, D and E, stimulators of nerve growth factor (NGF)-synthesis, from the mushroom *Hericium erinaceum*. *Tetrahedron Lett*. 1991;32(35):4561 - 4.
- 15) 古川昭栄，河岸洋和：神経成長因子（NGF）の生理的意義とその合成促進物質，化学と生物 1991;29(10):640 - 6.
- 16) Kawagishi H, Shimada A, Shirai R, Okamoto K, Ojima F, Sakamoto H, Ishiguro Y, Furukawa S. Erinacines A, B and C, strong stimulators of nerve growth factor (NGF)-synthesis, from the mycelia of *Hericium erinaceum*. *Tetrahedron Lett* 1994;35(10):1569-72.
- 17) Kawagishi H, Simada A, Shizuki K, Mori H, Okamoto K, Sakamoto H, Furukawa S. Erinacine D, a stimulator of NGF-synthesis, from the mycelia of *Hericium Erinaceum*. *Heterocyclic Communications* 1996;2(1):51-4
- 18) Kawagishi H, Shimada A, Hosokawa S, Mori H, Sakamoto H, Ishiguro Y, Sakemi S, Bodner J, Kojima N, Furukawa S. Erinacines E, F and G, stimulators of nerve growth factor (NGF)-synthesis, from the mycelia of *Hericium erinaceum*. *Tetrahedron Lett* 1996;37(41):7399-402.
- 19) Shimbo M, Kawagishi H, Yokogoshi H. Erinacine A increases catecholamine and nerve growth factor content in the central nervous system of rats. *Nutr Res* 2005;25:617-23
- 20) Mori K, Obara Y, Hirota M, Azumi Y, Kinugasa S, Inatimi S, Nakahata N. Nerve growth factor-inducing activity of *Hericium erinaceus* in 1321N1 human astrocytoma cells. *Biol Pharm Bull* 2008;31(9):1727-32.

- 21) Nagai K, Chiba A, Nishino T, Kubota T, Kawagishi H. Dilinoleoyl-phosphatidylethanolamine from *Hericum erinaceum* protects against ER stress-dependent Neuro2a cell death via protein kinase C pathway. *J Nutr Biochem* 2006;**17**(8):525-30.
- 22) Ueda K, Kodani S, Kubo M, Masuno K, Sekiya A, Nagai K, Kawagishi H. Endoplasmic reticulum (ER) stress-suppressive compounds from scrap cultivation beds of the mushroom *Hericum erinaceum*. *Biosci Biothechnol Biochem* 2009;**73**(8):1908-10.
- 23) Ueda K, Tsujimori M, Kodani S, Chiba A, Kubo M, Masuno K, Sekiya A, Nagai K, Kawagishi H. An endoplasmic reticulum (ER) stress-suppressive compound and its analogue from the mushroom *Hericum erinaceum*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 2008;**16**:9467-70.
- 24) 藤原道弘, 江頭伸昭, 三島健一: ヤマブシタケの脳神経保護効果. *FFI Journal* 2006;**211**(2):141-7.
- 25) Mattson MP, Gary DS, Chan SL, Duan W. Perturbed endoplasmic reticulum function, synaptic apoptosis and the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Biochem Soc Symp* 2001;**(67)**:151-62.
- 26) Levi-Montalcini R, Angeletti PU. Essential role of the nerve growth factor in the survival and maintenance of dissociated sensory and sympathetic embryonic nerve cells *in vitro*. *Dev Biol* 1963;**7**:653-9.
- 27) 笠原浩一郎, 金子澄子, 清水佳代子: ヤマブシタケの高齢障害者への効用, 群馬医学 2001; 第 76 号別冊, 77-81.
- 28) 笠原浩一郎, 清水通隆: ヤマブシタケの老年痴呆に対する臨床効果, 日本補完代替医療学会総会 2004; 演題番号 P26.
- 29) 大友英一, 清水通隆, 小松靖弘: アルツハイマー型老年期認知症に対する「ヤマブシタケ子実体」食品, 「山伏乃賜玉」の臨床効果, *Geriat. Med* 2009;**47**(8):1061-6.
- 30) Mori K, Inatomi S, Ouchi K, Azumi Y, Tuchida T. Improving effects of the mushroom Yamabushitake (*Hericum erinaceus*) on mild cognitive impairment: A double-blind placebo-controlled clinical trial. *Phytother Res* 2009;**23**:367-72.
- 31) 日本国特許出願中 (特願 2009-90483), 米国特許出願中 (No.12/151,037)
- 32) Maitake Products, Inc. 社内資料
- 33) Cattaneo A, Capsoni S, Paoletti F. Towards non invasive nerve growth factor therapies for Alzheimer's disease. *J Alzheimers Dis.* 2008;**15**(2):255-83.
- 34) Masters CL, Beyreuther K. Alzheimer's centennial legacy: prospects for rational therapeutic intervention targeting the Abeta amyloid pathway. *Brain* 2006;**129**(11):2823-39.
- 35) Kawagishi H, Zhang LY, Jiang ZZ, Nagai K, Zhuang C, Anzai H. Anti-dementia effects of a low polarity fraction extracted from *Hericum erinaceum*. Abstracts of the 5th International Medicinal Mushroom Conference p.18-9 5th-8th September 2009 Nantong, China
- 36) Maitake Products, Inc. http://www.maitake.com/product_detail.php?product_id=37 accessed Oct 5,2009
- 37) 小城公宏, 檜垣有世, 石田開太, 吉原結子, 稲永和豊: うつ病と診断された高齢患者の 6 年間の経過, 筑水会神情報研・病院年報 2007;**26**:07-12. (2008 年 12 月 25 日発行)
- 38) Lottor E. Amyloban 3399 products study for cognitive function impairment. *Townsend Letter* 2009;May:94-5.
- 39) 厚生労働省老健局高齢者介護研究会報告書「2015 年の高齢者介護」<http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/kentou/15kourei/index.html> accessed Oct 8,2009
- 40) Scarmeas N, Stern Y, Mayeux R, Manly JJ, Schupf N, Luchsinger JA. Mediterranean diet and mild cognitive impairment. *Arch Neurol.* 2009;**66**(2):216-25.
- 41) Taaffe DR, Irie F, Masaki KH, Abbott RD, Petrovitch H, Ross GW, White LR. Physical activity, physical function, and incident dementia in elderly men: the Honolulu-Asia Aging Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2008;**63**(5):529-35.
- 42) Raffaitin C, Gin H, Empana JP, Helmer C, Berr C, Tzourio C, Portet F, Dartigues JF, Alpérovitch A, Barberger-Gateau P. Metabolic syndrome and risk for incident Alzheimer's disease or vascular dementia: the Three-City Study. *Diabetes Care* 2009;**32**(1):169-74.



より広く、より深い研究のための
糖転移ヘスペリジン・ビタミンP研究会
いよいよ本格始動

ますます期待の高まる天然由来成分「糖転移ヘスペリジン」

柑橘系ポリフェノールの一種であるヘスペリジンは、昔から知られている物質だが、その低い溶解性のため利用範囲が限られ、また研究素材としても扱いにくいものであった。しかし林原生物化学研究所が、酵素を活用する糖転移技術を使い、その溶解性を飛躍的(約10万倍)に向上した糖転移ヘスペリジンを開発したことにより、研究も容易になり、食品での活用が広がり始めた。ヘスペリジンの最大の特長は、その多岐にわたる生理機能による多彩な効能にあり、今までも医学、薬学、農学、栄養学など様々な分野で独自に研究されてきた。そういった背景の中で、斯界の研究者達をメンバーにした、糖転移ヘスペリジンに関する研究を推進する「糖転移ヘスペリジン・ビタミンP研究会」が2009年7月1日に正式発足した。これにより、各研究者はそれぞれの分野で分散して行っている研究を、研究会の中で発表・聴講でき、他分野の研究者との交流やネットワークの構築、共同研究などが可能となる。糖転移ヘスペリジンの持つ様々な機能や効果を社会へ広く効果的に情報発信する場として、今後の発展が大変期待されている。

■事業内容

- (1) 糖転移ヘスペリジンに関する基礎的および応用的研究
- (2) 学術集会等の開催
- (3) 会員相互の情報交換
- (4) 関連する学会および専門誌との連携による研究成果の普及活動

糖転移ヘスペリジン・ビタミンP研究会 第1回研究発表会

開催日：2009年11月30日(月)

■講演内容

- | | |
|-----|---|
| 講演1 | 骨粗鬆症モデル動物におけるヘスペリジンの骨・脂質・糖代謝調節作用
上原万里子〈東京農業大学応用生物科学部 栄養科学科〉 |
| 講演2 | 糖転移ヘスペリジンの血流改善効果
米谷 俊〈江崎グリコ株式会社 研究本部〉 |
| 講演3 | 糖転移ヘスペリジンのビタミンC消費抑制作用とその生理的意義
松本洋介〈株式会社林原生物化学研究所 開発センター〉 |
| 講演4 | Glucosyl hesperidinのA型インフルエンザウイルス感染阻害効果
鈴木 隆〈静岡県立大学薬学部 生体分子薬学分野〉 |
| 講演5 | 糖転移ヘスペリジンのNC/Ngaマウス皮膚炎抑制効果
田辺創一〈広島大学大学院生物圏科学研究科 食資源科学講座〉 |

糖転移ヘスペリジン・ビタミンP研究会

事務局：〒700-0907 岡山市北区下石井1-2-3 株式会社林原生物化学研究所開発センター内

<http://www.ghes.jp/>

糖転移ヘスペリジンとは

糖転移ヘスペリジンは柑橘類ポリフェノールの一種であるヘスペリジンにグルコース1分子を付加したもので、従来のヘスペリジンに比べ、水に対する溶解度が10万倍と極めて高く、飲料や食品などに利用されている。ヘスペリジン自体は、温州みかんやレモン、バレンシアオレンジなどの柑橘類に豊富に含まれている。毛細血管を強化し、血管の浸透性を抑制する因子と考えられていることから、浸透を意味する permeability の頭文字をとってビタミンPと呼ばれる。

●ヘスペリジンの多彩な生理機能

ヘスペリジンは、多彩な生理機能をもっていることが、これまでの研究や臨床データからわかっている。たとえば毛細血管を強くする（ビタミンP作用）、血中の中性脂肪やコレステロールなどの血清脂質を改善する、血流の循環を改善する、血圧の上昇を抑制する、ビタミンCの消耗を抑制する、抗酸化作用、免疫機能を調節する、骨代謝を改善するなど、健康を維持するうえで見逃せない機能が報告されている。

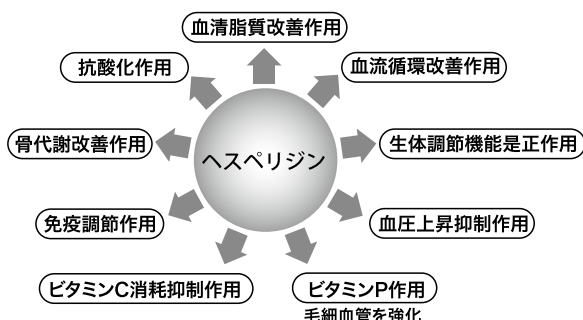


図1 ヘスペリジンの生理機能

天然由来の成分糖転移ヘスペリジンで「血管力」を高めよう！

●日本人の死因の約3割が血管に関わる疾患

日本人の約3割は血管のトラブルが原因で亡くなっている。死因の2位（15.9%）と3位（11.1%）を占める心疾患や脳血管疾患は、老化した血管の詰まりや破れが原因で起こる。血管の老化は、過食や運動不足、喫煙、過度のストレスなどの生活習慣が原因で加速し、放置すれば命に関わる重大な疾患につながるおそれがある。加齢とともに老化していく血管を鍛え「血管力」を高めることは動脈硬化を予防し、生活習慣病にならないためにも重要である。

「糖転移ヘスペリジン」は「血管力」を高める機能性素材としてのエビデンスが豊富になったことで、さまざまに商品化が期待される。食品としてはトクホの素材としての商品開発が進んでいる。今後は中性脂肪を下げるドリンク、冷え改善の菓子など、また、医療現場では治療食のひとつとして、化粧品分野ではアンチエイジングや美白、アレルギー肌向け化粧品としての利用など、様々な方面でその高い機能性を利用することが可能であり、今後大きく展開されていく機能性素材のひとつである。

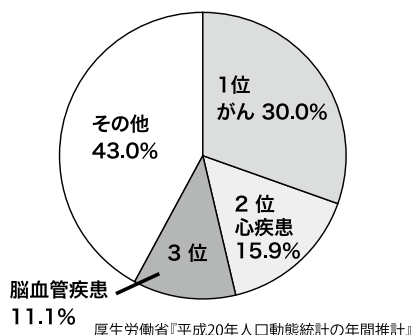


図2 日本人の死因ベスト3

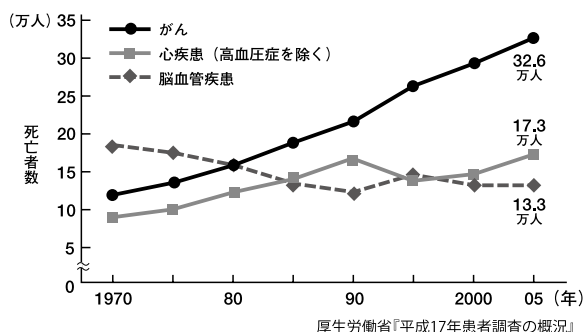
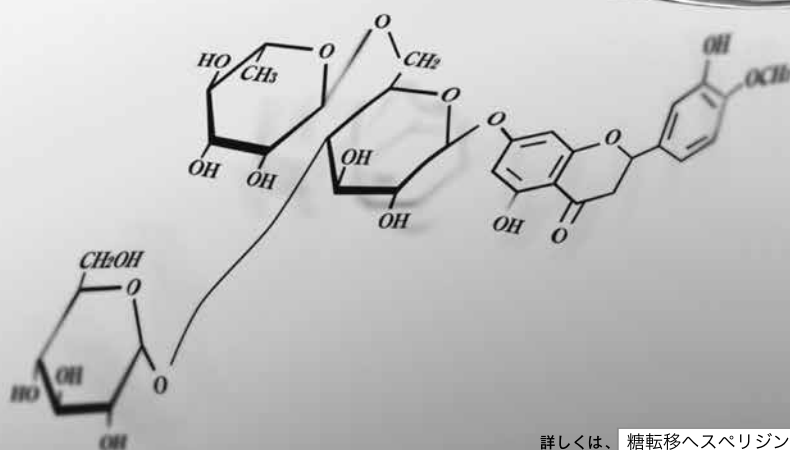


図3 増える生活習慣病の患者数

Hayashibara

明日の健康へ、 10万倍*のヘスペリジン



詳しくは、[糖転移ヘスペリジン](#) 林原 [検索](#)

ヘスペリジンはポリフェノールの一種で、冬を代表する果物“みかん”や寒い冬にお風呂に浮かべる“柚子”などの皮に多く含まれています。幅広いテーマで機能研究がすすめられている、いま最も注目を集める素材の一つです。林原は、「水に溶けにくい」性質を持つヘスペリジン、糖転移酵素技術によって10万倍にまで水溶性を高めることに成功*。食品加工への適性と体内への吸収性を飛躍的に改善しました。



特性1 溶解性

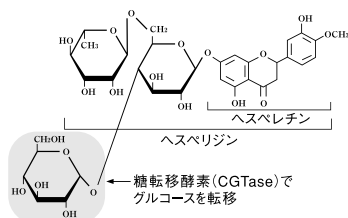
ヘスペリジンに糖転移させることで、従来の約10万倍の溶解性を実現。体内吸収率が高く、より効果的なビタミンP機能を期待できます。

特性2 耐光性

糖転移ヘスペリジンは強い光照射を受けてもほとんど分解されません。また、熱や酸(pH)に対しても高い安定性を示します。

特性3 耐熱性

糖転移ヘスペリジンは熱に対して極めて安定な特性を持ち、飲料やお菓子、レトルト食品などあらゆる加工食品での応用が可能です。



糖転移ヘスペリジン 林原ヘスペリジン® S

株式会社 林原商事
〒700-0907 岡山市北区下石井1-2-3
TEL:086-224-4312 FAX:086-233-2265
<http://www.hayashibarashoji.jp>

フォーミュラ食を用いた ダイエット支援プログラムの効果

蒲原 聖可*

¹ KAMOHARA Seika (健康科学大学教授・DHC 研究顧問)

Key Words：フォーミュラ食・肥満・ダイエット

はじめに

肥満の改善に対しては、食事療法としてのフォーミュラ食による一定の減量効果が示されている^{1~3)}。また、肥満関連遺伝子変異の検索により、体質に応じた肥満治療の可能性が示唆されている^{1,2,4)}。さらに最近、インターネットを活用した非対面式介入法による減量サポートの効果が報告されるようになった⁵⁾。今回、フォーミュラ食および低エネルギー食品を用いた食事療法を中心に、肥満関連遺伝子変異検査、運動療法を併用し、インターネットを活用したダイエット支援プログラムを開発し、その効果を検証した。

1. 目的

減量希望者に対して、フォーミュラ食である DHC プロテインダイエット（ディーエイチシー）を用いたダイエット支援プログラムを開発し、3ヶ月間にわたる介入が体重や体組成に及ぼす影響を検討した。

2. 対象

フォーミュラ食を中心とした3ヶ月間のダイ

エット支援プログラムによる減量を希望する262名（男性28名、女性234名）。

3. 方法

食事療法としてのフォーミュラ食および低エネルギー食品、肥満関連遺伝子変異の検査に基づくライフスタイルの提案、運動療法として啓蒙書、管理栄養士による電話や電子メールでの相談とフォローアップ、インターネットサイトの専用ホームページを用いたフォローアップから構成されるダイエット支援プログラムを3ヶ月間実施。今回のダイエット支援プログラムの具体的な内容は、次の通りである。

①食事療法

高タンパク質低エネルギーのフォーミュラ食である「DHC プロテインダイエット」を用いて1日1食あるいは2食を置き換え。また、低エネルギー食品である DHC ダイエットサポート食品を補助的に利用。なお、「DHC プロテインダイエット」製品は、1袋50グラムあたりのエネルギー量が174～178kcalであり、タンパク質20.2～21.0グラム、食物繊維7.0～8.2グラムを含有する。これらに加えて、22種類のビタミン類とミネラル類、コエンザイム

Q10, L- オルニチン塩酸塩も含む。例えば、ココア味の製品はエネルギー量 177kcal, タンパク質含有量 20.9 グラム, 食物繊維含有量 8.2 グラムである。

②肥満関連遺伝子変異検査

DHC 遺伝子検査のうち「ダイエット対策キット」による肥満関連遺伝子変異の検査を実施し、対象者の体質に基づいた個別のライフスタイルを提示。

③運動療法

減量を目的とした運動療法に関する啓蒙書 (DVD 付) を配布。体操や呼吸法, リラクゼーション法を紹介。

④管理栄養士による支援

電話あるいは電子メールを介したフォローアップ。

⑤インターネット専用サイト構築による支援

専用ホームページを構築し、ダイエットに有用な情報の発信, 参加者各自に「マイページ」の提供を実施。専用サイトの「マイページ」では、参加者が体重や体脂肪率を記録し、推移を把握できるように設定した。

⑥「DHC ダイエットアワード 2009」等による動機付け

減量のための啓蒙・解説書「DHC の美ダイエット」の提供。ダイエット支援プログラムでは、開始から 1 ヶ月毎, 合計 3 回のレポート提出を依頼し、レポート提出者全員にフォローアップを実施。さらに、今回のダイエット支援プログラムでは、参加者への動機付けのために「DHC ダイエットアワード 2009」として、対面方法による減量の効果測定を行った。

4. 結果

ダイエット支援プログラム開始 1 ヶ月後の時点における第 1 回レポート提出者は 217 名 (継続率 82.8%) であり、そのうち、体重の記載が

あった 146 名中 140 名 (男性 24 名, 女性 116 名) が体重減少, 6 名が体重増加を示した。2 ヶ月後の時点における第 2 回レポート提出者は、167 名 (継続率 63.7%) であり、そのうち、体重の記載があった 148 名中 141 名 (男性 20 名, 女性 121 名) が体重減少, 7 名が体重増加を示した。3 ヶ月後の時点における第 3 回レポート提出者は、126 名 (男性 21 名, 女性 105 名) であった。そのうち、体重の記載があった 115 名中 111 名が体重減少, 4 名が体重増加を示した。

ダイエット支援プログラム終了後に行った対面による減量の効果判定「DHC ダイエットアワード 2009」には 115 名が参加し、そのうち、114 名において体重減少が認められた。体重減少者 114 名 (男性 21 名, 女性 93 名) における体重減少幅を男女別に図 1 に示す。3 ヶ月間で 20 キログラム以上の減量を達成した参加者は男女各 1 名ずつであった。減量幅の層別で最も人数が多かったのは、男性では「15kg 以上 20kg 未満」の 7 名 (33.3%), 女性では「5kg 以上 8kg 未満」の 31 名 (33.3%) であった。また、男性 13 名 (61.9%), 女性 20 名 (21.5%) では、10kg 以上の減量幅が認められた。

フォーミュラ食の利用状況を調べた結果、3 ヶ月間のダイエット支援プログラム完了者全員が、DHC プロテインダイエットを継続して利用していた。フォーミュラ食の利用頻度の内訳では、1 日 1 回 (1 食) を置き換えたとする参加者が最多であった (図 2)。また、フォーミュラ食に加えて、低エネルギー食品 (DHC ダイエットサポートミールや DHC 米コンニャク等) やサプリメント / 健康食品 (ダイエットパワーやビタミン B ミックス等) を併用した参加者も多く認められた。

減量達成者の割合に関して、その算出方法を体重申告者のうちの体重減少者とした場合、3 回のレポート提出および 3 ヶ月後の対面式の効果判定時の合計 4 回において体重を申告した

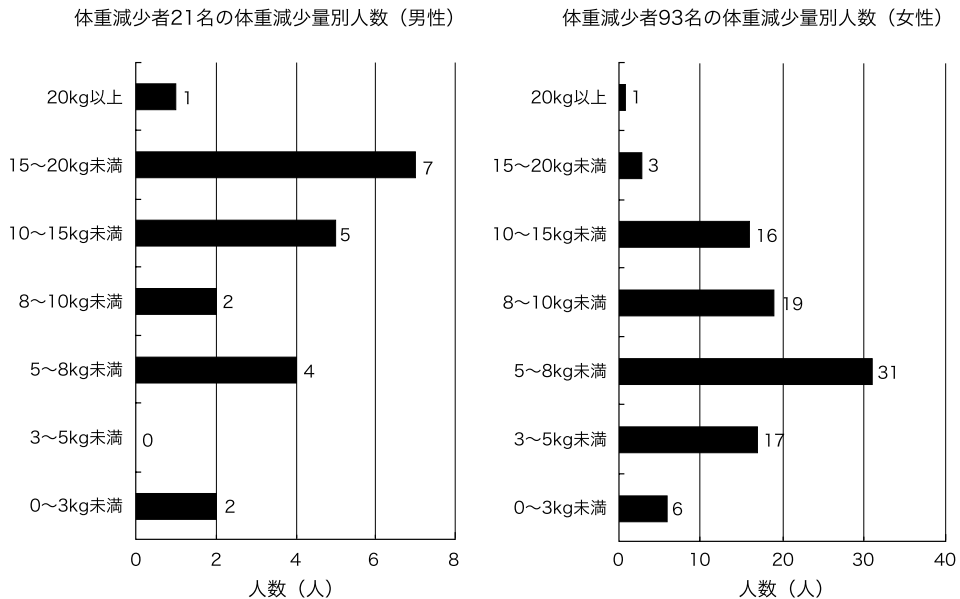


図1 体重減少者の内訳

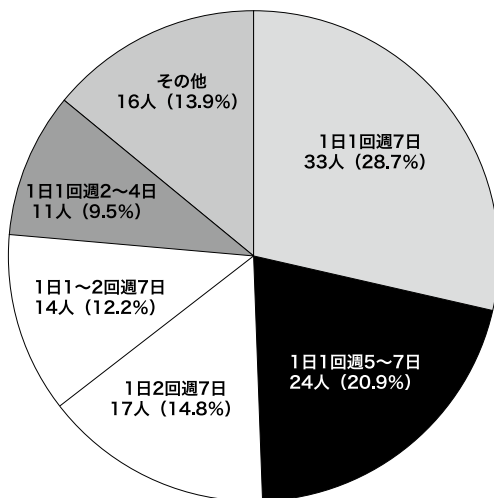


図2 DHC プロテインダイエットの利用状況

参加者数が延べ524名であり、体重減少者が延べ506名であったことから、減量達成者の割合は96.56%と算出された。男女別では、男性が93.3%であったのに対して、女性では97.2%であり、女性において減量達成率が高いことが示唆された。

5. 考 察

今回実施した3ヶ月間のダイエット支援プログラムの継続率は48.1%（262名中126名が完了）であった。男女別の割合は、男性が28名中21名、女性が234名中105名であり、参加者数は少数であるが男性における継続率が高い傾向を認めた。減量達成者の割合は、96.56%と高値であった。男女別では、男性が93.3%であったのに対して、女性では97.2%であり、減量達成率は女性のほうが男性よりも高値であった。

今回のダイエット支援プログラムにおける減量達成率は、非常に高率であった。この理由として、フォーミュラ食による食事療法に加えて、プログラム専任の管理栄養士によるサポートやインターネットの専用ホームページを介したフォローアップによって、一定の行動変容が得られた結果と考えられる。

一方、今回のプログラムでは、3ヶ月間の実施期間中に半数が脱落した。これは、実施の主

体が、医療機関の肥満外来等によるものではなく、フォーミュラ食の製造販売企業であったこと、また、自由意思による任意の参加であったことなどが影響したと推察される。

近年、非対面式の減量プログラムでは、インターネットを用いた方法が検討されており、例えば、プライマリケアにおける肥満と高血圧の患者を対象にしたランダム化比較試験では、対照群に比べて、ウェブ版プログラムによる介入群において、有意な体重減少効果が示されている⁵⁾。また、費用対効果に関する検討では、インターネットを介した非対面式の減量維持プログラムは、従来型 / アナログ型のものよりも

優れていることも報告されている⁶⁾。

まとめ

今回のダイエット支援プログラム・DHC ダイエットアワード2009の結果、フォーミュラ食による食事療法を主体として、インターネット等によるフォローアップを行う場合、肥満解消に対する一定の有用性が示唆された。

謝辞

今回のダイエット支援プログラム実施に際してご尽力いただきました株式会社ディーエイチシーの販売促進部、医薬食品相談部、その他の関係者の皆様に深謝いたします。

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

- 1) 蒲原聖可, 砂山聡: 肥満症診療ハンドブック, 医学出版社, 2001.
- 2) 蒲原聖可: ダイエットを医学する, 中央公論新社, 2001.
- 3) Delbridge E, *et al.* State of the science: VLED (Very Low Energy Diet) for obesity. *Asia Pac J Clin Nutr.*, **15** Suppl:49-54.2006.
- 4) Hotta K, *et al.* Variations in the FTO gene are associated with severe obesity in the Japanese. *J Hum Genet.*, **53**(6):546-53.2008.
- 5) Bennett GG, *et al.* Web-based Weight Loss in Primary Care: A Randomized Controlled Trial. *Obesity*. Aug 20.2009.
- 6) Meenan RT, *et al.* Development and implementation cost analysis of telephone- and Internet-based interventions for the maintenance of weight loss. *Int J Technol Assess Health Care.*, **25**:400-410.2009.

—国産米粉の活用事例—

ライスヌードルの開発

李 永玉^{*1} 佐竹 隆顕^{*2}

^{*1} *LI Yongyu* (中国農業大学工学院) ^{*2} *SATAKE Takaaki* (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

Key Words：ライスヌードル・米粉・高アミロース米・理化学的特性・食味官能評価

はじめに

近年、食の多様化に伴い世界の様々な国より多種多様な食品・食材が輸入される一方で、日本の食料自給率（カロリーベース）は約40%程度まで減少している。米は唯一自給可能な食材であるが消費量は漸減傾向にあり、農林水産省では平成元年から米を普通の食事用（一般米飯用途）としてのみ考えるのではなく、新たな観点でとらえ様々な可能性を持った米を造ろうとする研究（スーパーライス計画）が行われ、様々な形質を持つ「新形質米」が開発された。

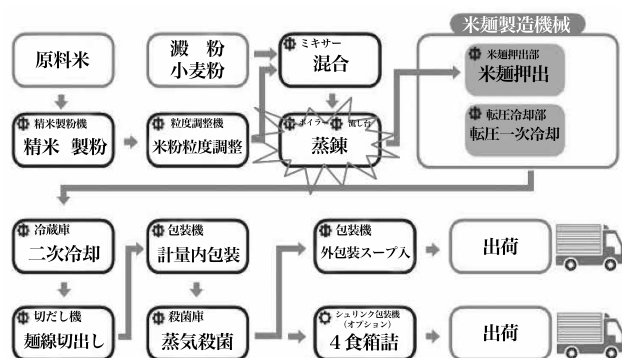
新形質米は世界中の様々な特性を持つ一般米飯用途からすると異端な品種を親として造られ、一般米飯用途に求められてきた良質・良食味の形質とは異なる独特の特性が新規用途につながり脚光を浴び始めている。その中で高アミロース米はアミロースの含量が27～33%であり、特徴としては「粘りがなく、冷えると硬くばさつく」点でピラフやカレーライス、チャーハン、パエリアなどの調理への利用や、ばさつき感から食品加工上の作業性に優れ加工品への用途も期待されている。

現在、日本においては収穫米の約90%が米飯として食されており、残りの約10%は加工用として消費されている。米を粉碎し食品素材

として利用することは、従来から製菓など多くの分野でみられるが、主食に準ずる分野での利用は少ない。麺類は嗜好性の強い日本の主食の一つであり、米粉を素材とし日本人の好む食感をもつライスヌードルが新規に開発されれば今後広い普及が見込まれる。ライスヌードルに関する既往の研究では、輸入素材の小麦粉やタピオカ澱粉などの副材料の添加によるヌードルの品質向上や製造方法に関する基礎的研究がなされているものの、日本産米粉のみを素材とするライスヌードルの開発までには至っておらず、新機軸の研究が求められている。

1. ライスヌードルに関する加工技術・研究の状況

従来、ライスヌードルはアジア地域の伝統食品であり、中国南方やタイ・ベトナムでは主食の一つとして昔から広く食されている。しかし、ライスヌードルの製造は主に生産者の勘や経験に負うところが多く、ライスヌードルに関する研究は一步遅れているのが現状である。中国の伝統的なライスヌードルは無発酵ライスヌードルと発酵ライスヌードル、搾麺と切麺に分けられる¹⁾。ライスヌードルの伝統的な製



【開発元】藤井製麺株式会社



図1 Processing Sequences of rice noodles and the rice noodles saled in Japan

(http://www.okomeramen.co.jp/item.html)

造方法は米を水に浸漬し湿式粉碎する。搾麺は製粉した生地を加熱して部分的に糊化させて混和し、エクストルージョンにより成形する。その後、熱湯又は蒸気で完全糊化させてから冷水に入れ老化させて搾麺になる。切麺は製粉後の生地を20～30%の完全糊化させた生地とミックスして、1～2mmの厚さに広げる。その後、蒸気によって完全糊化させてから冷却して、一定の寸法に切って製品とする。発酵ライスヌードルは米を浸漬したまま4～6日間置いてpH値が4.0ぐらいになるまで発酵させてから同上的方法により製造する。

一方、タイの興味深い食品の一つであるライスヌードルは、タイでは「カノン・チーン」と呼ばれている²⁾。その伝統的な製造法は、米を1～2時間浸漬し、竹箆などで水切りしたまま2～3日間置いて第一次発酵をさせる。この際の米の温度は40℃近くにもなっている。その後、米を磨碎し、壺などに入れ、水を加えて1～2日そのまま発酵させる。発酵後のpH値は4.0ぐらいにまで低下する。その後、水切りをして、フットボール状の団塊を熱湯に入れ部分的に糊化し、よく練ってエクストルージョンによって成形する。その後、再び熱湯に入れ糊化させてから、冷水で老化して製品とする。

最近、日本でも量が非常に少ないものの米麺

が販売されている。主原料として50～60%の国産米を使用し、副材料として馬鈴薯でんぷんや小麦粉などを添加している。その米麺の製造方法は図1に示すように、原料を部分的に糊化してから麺帯を形成し、その後冷蔵庫で老化させてから麺線化している³⁾。

日本におけるライスヌードルの研究には、斉藤ら(1979)がジャポニカ種米での麺状化について日本式の「米切り」(救荒食として屑米などを製粉して、自然薯などをつなぎとして作られたもの)と東南アジア式の「ビーフン」(押出式)、「カーフン」(薄板状に蒸し上げ切断)の製造技術における特徴と問題点を述べ、スパゲッティのような熱湯で茹でる「ライスヌードル」を開発したが、ジャポニカ種特有のベタツキや付着性などの品質的な要因と価格などの問題が重なり広く普及しなかったと報告している⁴⁾。今井ら(1982)は小麦粉の一部を米粉で置換した米粉うどんを調製したが、製造工程や官能検査から5%添加が限界であったとして、米を主原料とした場合では茹で耐性がなく、嗜好的にもかなり厳しい評価なので、新しいタイプの麺であるという認識の下に調理加工法を検討して行く必要があると述べている⁵⁾。山田ら(1990)は米粉を蒸練し、生粉をさらに添加して麺線化する方法

をとり、各種澱粉粉を添加し、麺のベタツキや付着性の改善を試み、アミロース含量を調整して物性改善を検討した⁶⁾。宍戸ら（1993）は麺用米粉の具備条件として、酵素処理や粉碎法・粒度・グルテンや増粘多糖類などのつなぎの面から検討している⁷⁾。対崎ら（1995）は澱粉分解や澱粉遊離除去などでライスヌードルの食感改善を試みた^{8,9)}。Lai ら（2002）は高アミロース（インディカ種）米粉と低アミロース（ジャポニカ種）米粉から作ったパスタを比較し、押出成型特性や食感品質はインディカ種が良好であり、ジャポニカ種に乳化剤の添加で調理特性を改善できることを報告している¹⁰⁾。長尾ら（2006）はタピオカ澱粉や豆乳などの添加により茹で麺の破断応力が大きくなり、ライスヌードルの食感の改善が認められたと報告している¹¹⁾。これらの研究以外にもヌードル品質の向上を目指し、コーンスターチ・リン酸塩など副材料の添加による品質の向上^{12,13)}と発酵によるライスヌードル品質の向上^{14,15)}などの研究が行われてきた。

以上、ライスヌードルは中国南方やタイでは主食の一つとして昔から広く食されているものの、原料米の理化学特性およびライスヌードル

品質などに関する系統的な研究はほとんど行われていない。また、日本ではライスヌードルの品質向上や製造方法に関する先駆的な研究はなされているものの、日本産米 100%を使用したライスヌードルは研究途上であり、品質的な問題で広く普及していないのが現状である。このような背景から、著者らのグループでは小麦粉等の副材料を添加せず、日本産米粉 100%の高品質なライスヌードルの開発を 2004 年から試み、原料米粉の理化学特性値と茹で麺物性値および茹で麺物性値と官能評価値の相関分析を行うとともに、ライスヌードル素材として適切だと考えられる日本産の高アミロース米夢十色に着目し、日本産米により試作したライスヌードルの品質向上に向け実験的な研究を進めて来た。以下に研究の概要を紹介する。

2. ライスヌードルの素材

著者らの研究グループは、米粉 100%の高品質なライスヌードルの開発を試み、小麦粉等の副材料を添加せず糊化生地と生地の混和によるライスヌードル調製方法を新たに提案した。ライスヌードルに適する素材の選択指標を明ら

表 1 Correlation coefficients between physico-chemical characteristics of rice flour and rheological properties of rice noodles

Indexes	Maximum tensile stress σ	Maximum strain ϵ	Apparent elasticity index E	Storage modulus G'	Loss modulus G''	Loss tangent $\tan \delta$
Amylose content	0.975**	0.798	0.926**	0.929**	-0.669	-0.929**
Protein content	-0.689	-0.895*	-0.525	-0.830*	0.643	0.767
Peak viscosity	0.318	-0.175	0.413	-0.078	0.078	0.168
Holding viscosity	0.799	0.228	0.878*	0.422	-0.312	-0.390
Breakdown	-0.383	-0.496	-0.328	-0.561	0.445	0.657
Setback	0.942**	0.858*	0.851*	0.919**	-0.820*	-0.929**
Final viscosity	0.967**	0.576	0.968**	0.725	-0.609	-0.711
Pasting gelatinization temperature	-0.035	-0.543	0.141	-0.391	0.494	0.461

** , significant level 0.01; * , significant level 0.05

表2 Correlation coefficients between noodle quality and rheological properties

Indexes	Maximum tensile stress σ	Maximum strain ϵ	Apparen elasticity index E	Storage modulus G'	Loss modulus G''	Loss tangent tan δ
Appearance	0.809	0.874*	0.715	0.952**	-0.517	-0.919**
Springness	0.838*	0.911*	0.721	0.944**	-0.803	-0.967**
Hardness	0.835*	0.868*	0.747	0.950**	-0.533	-0.915*
Smoothness	0.985**	0.773	0.936**	0.886*	-0.775	-0.903*
Total score	0.980**	0.814*	0.915*	0.912*	-0.760	-0.914*

**, significant level 0.01; *, significant level 0.05

かにすることを目的とし、アミロース含量の異なる6品種の米をそれぞれ原料として用い、米粉の理化学特性値と茹で麺物性値および茹で麺物性値と官能評価値の相関関係を求める一方、各品種の米をそれぞれ原料とするライスヌードル品質について比較検討を行った¹⁶⁾。

その結果、アミロース含量は茹で麺の最大引張り応力・見掛け弾性率・貯蔵弾性率と正の相関、損失正接と負の相関が認められ(表1)、茹で麺物性に大きな影響を与える因子であることが明らかになった。また、米粉のRVAの糊化特性値セットバックは茹で麺の全ての物性測定値と相関が認められ(表1)、茹で麺物性に対して最も重要な指標であることが明らかになった。以上のことから、米粉のアミロース含量とセットバック値はライスヌードルに適する素材の選択指標として考えられ、今後ライスヌードル素材の選択における利用が見込まれた。また、茹で麺の官能評価の総合評点は最大応力・最大ひずみ・見掛け弾性率・貯蔵弾性率と正の相関、損失正接と負の相関が認められた(表2)。なお、日本産米の内高アミロース米の一種である夢十色はライスヌードル素材として比較により適切だと考えられた。

えられた新形質米夢十色に着目する一方、ライスヌードル素材として中国において実績のあるインディカ米中早22号と、米粉の膨潤度と溶解度・DSCによる吸熱特性およびそれらの米粉により試作した茹で麺の動的粘弾性の経時変化・茹で上がり倍率と茹で損失などについて詳細な比較検討を行った¹⁷⁾。その結果、夢十色の米粉は中早22号の米粉に比べ、低い膨潤度と高い溶解度の特性を示すことが明らかとなった。また、示差走査熱量計による夢十色米粉の吸熱エンタルピーは中早22号より有意に低く、糊化ピーク温度は中早22号より約16℃低温側にシフトしていることから(図2)、中早22号が夢十色より強固な結晶構造を形成していると推察された。さらに、茹で麺の貯蔵弾性率と損

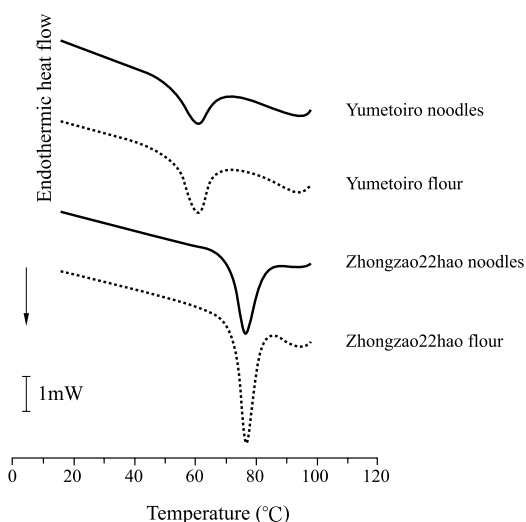


図2 DSC profiles of rice flour and noodles

3. 日本産米によるライスヌードル

次に、米麺素材の選択指標により日本産米の内ライスヌードル素材として比較的適切だと考

失弾性率を経時的に測定した結果から、夢十色の茹で麺が中早 22 号より老化が遅く、硬くなり難いことが明らかになった。また、夢十色の茹で麺の損失正接は中早 22 号より小さい値を示し、夢十色の茹で麺のほうが中早 22 号の茹で麺より弾性の寄与率が大きいことが明らかとなった。なお、夢十色のライスヌードルは中早 22 号に比べ、茹で上がり倍率は有意に低く、茹で損失は有意に高い値を示した。官能評価においては、夢十色の総合評点は中早 22 号より高い値を得ているものの、茹で過程においては中早 22 号が夢十色よりライスヌードル素材として適切だと考えられた。

4. ライスヌードル品質の向上

一方、副材料を用いないライスヌードルの品質向上に向け、ヌードル製造中最も重要なプロ

セスである生地の部分的な糊化に着目し、生地に占める糊化米粉割合を種々変えて試作したライスヌードルの色彩および茹で麺の最大引張り応力・最大引張りひずみ・動的粘弾性の経時変化などの物理特性について検討するとともに、走査電子顕微鏡を用い生地に占める糊化米粉割合の異なる茹で麺の表面微細構造を観察した¹⁸⁾。その結果、夢十色と中早 22 号の茹で麺の最大引張り応力と最大引張りひずみは、生地に占める糊化米粉割合の増加によりともに有意な増加傾向を示し、生地に占める糊化米粉割合の高い茹で麺ほど最大伸びが大きく弾性の高い茹で麺が形成され则认为られた。また、貯蔵弾性率と損失弾性率の経時変化を求めた結果、両品種の茹で麺においては生地に占める糊化米粉割合の高い茹で麺ほどその上昇速度が顕著であり、老化が早く硬くなり易いことが明らかになった。

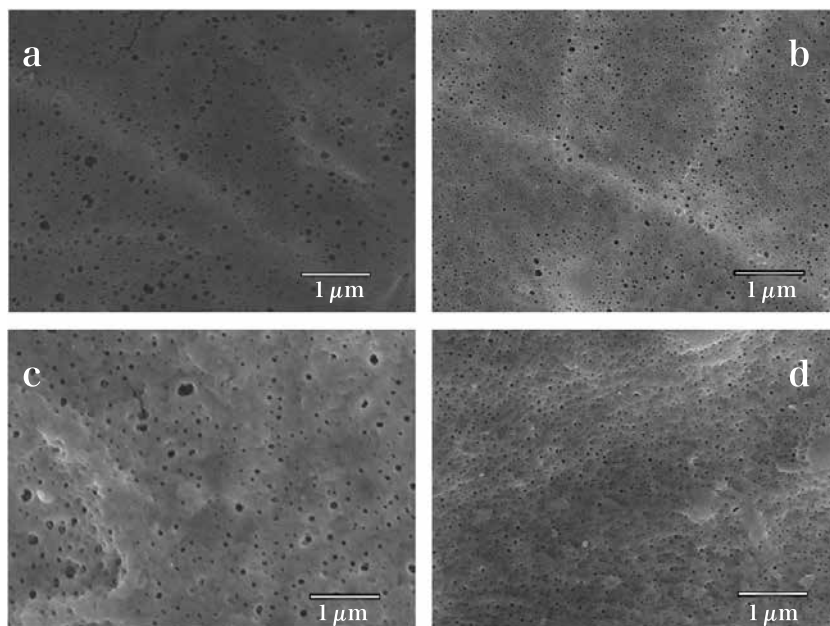


図 3 Surface structures of Yumetoiro and Zhongzao22hao rice noodles with different gelatinized rice flour ratio in dough

- a: Yumetoiro noodles Surface of 5% gelatinized rice flour in dough after cooking
- b: Yumetoiro noodles Surface of 20% gelatinized rice flour in dough after cooking
- c: Zhongzao22hao noodles Surface of 5% gelatinized rice flour in the dough after cooking
- d: Zhongzao22hao noodles Surface of 20 % gelatinized rice flour in the dough after cooking

その要因としては、生地 zu 占める糊化米粉割合の高いライスヌードルほど茹で過程においてアミロースの茹で損失が少ないことが重要な要因として考えられた。なお、走査電子顕微鏡による茹で麺の表面構造観察により、夢十色と中早 22 号ともに生地 zu 占める糊化米粉割合の高い茹で麺ほど多数のより微細な小孔を有する緻密な表面構造が形成されていることが明らかとなった (図 3)。即ち、生地 zu 占める糊化米粉割合の異なる茹で麺は異なる微細構造を形成しており、茹で麺の物性および硬さなどの食感に影響を与えることと考えられた。さらに、夢十色と中早 22 号の生麺は、生地 zu 占める糊化米粉割合が増すに従い明度が低く黄化する傾向が認められた。一方、茹で麺は生地 zu 占める糊化米粉割合の増加による明度の変化は認められなかったものの、生麺帯と同様に生地 zu 占める糊化米

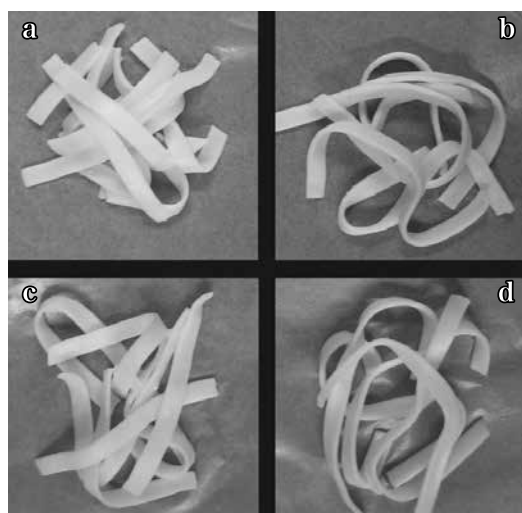


図 4 The effect of the gelatinized rice flour ratio in the dough on the color of cooked rice noodle.

- a: Zhongzao22hao noodles color of 5% gelatinized rice flour in dough after cooking
- b: Zhongzao22hao noodles color of 20% gelatinized rice flour in dough after cooking
- c: Yumetoiro noodles color of 5% gelatinized rice flour in dough after cooking
- d: Yumetoiro noodles color of 20% gelatinized rice flour in dough after cooking

粉割合の増加にともない黄化する傾向が認められた (図 4)。その原因としては、ライスヌードル素材の一部である糊化生地の色特性ならびに SEM により観察した茹で麺の表面構造の変化などが要因として考えられた。従来は副材料の添加によるライスヌードル品質の向上が主流であったが、実際のライスヌードル製造中の生地 zu 占める糊化米粉割合の調整による米粉 100% のライスヌードル品質の向上が期待できた。

5. 冷蔵保存に伴うライスヌードルの品質変化

米粉は小麦粉と異なりグルテンを含まず、米粉 100% のライスヌードルの成形にはつなぎとしての糊化生地が必要となる。ライスヌードルの試作で添加した糊化生地は、ライスヌードルの冷蔵保存に伴い老化し、ライスヌードルの茹で品質に影響を与えられられる。著者らのグループは日本産米の夢十色を原料と用い、示差走査熱量計によりライスヌードルの冷蔵に伴うアミロペクチンの再結晶化の程度を解析するとともに、茹で麺物性への影響について検討を行い、生麺の冷蔵保存に伴う茹で麺物性の変化

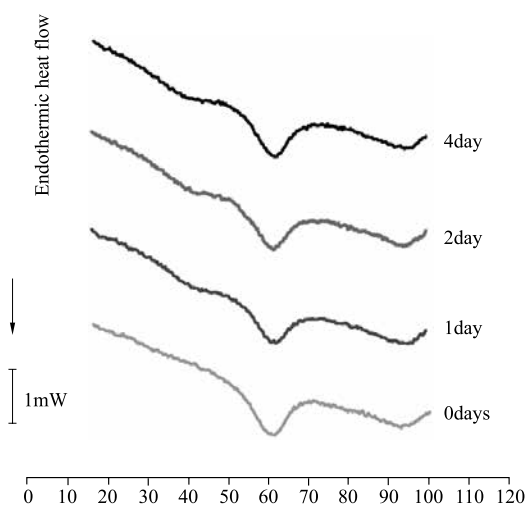


図 5 DSC profiles of Yumetoiro rice noodles with storage period at 5°C

を明らかにした。即ち、冷蔵保存に伴い、麺のつなぎとして用いた糊化生地の澱粉分子は再配列が生じ、約43℃と61℃で二つの吸熱ピークが見られた(図5)。一方、冷蔵していない生麺は生澱粉による一つの吸熱ピークしか見られなかった。また、冷蔵保存1日・2日・4日の茹で麺の貯蔵弾性率と損失弾性率は、冷蔵していない茹で麺に比べ大きい値を示し、生麺の冷蔵保存に伴い硬い食感の茹で麺が形成されると推察された。なお、冷蔵保存1日・2日・4日の生麺の間にはDSCによる吸熱エンタルピーの有意差が認められず、それらの茹で麺の貯蔵弾性率と損失弾性率も明らかな変化が認められなかった¹⁹⁾。

おわりに

食生活の多様化や簡便化・生活スタイルの変化など様々な要因により、日本における米の消費は年々減少傾向にあり、国民一人あたりの年間消費量は60kgを下回る状況になっている。このような社会状況を背景として米の消費や用途

の拡大を目的とし米粉を素材としたパンやケーキが開発されているものの、製麺素材への適用事例はわずかである。

著者らの研究グループは、米粉の理化学特性値とそれらの米粉により試作した茹で麺の物性値および官能評価値の相関関係を分析するとともに、ライスヌードルに適する素材の選択指標および茹で麺品質の評価指標の一端を明らかにしてきた。また、従来の副材料の添加によるライスヌードルの品質向上法とは異なり、生地に占める糊化米粉割合の調整によるライスヌードル品質の改善の可能性を明らかにし、ライスヌードルの製造過程において副材料を添加しない米粉100%のライスヌードルの開発に道を開いた。さらに、生麺の冷蔵保存に伴う澱粉老化による茹で麺物性の変化を明らかにしてきた。以上の研究成果はライスヌードルの製造工程における品質管理や製麺機械・装置・プロセス等の設計に幅広く活用が可能であり、農産業に加え食品工業や食品機械工業などの地域産業の振興・活性化への貢献が期待される。

・・・・・・・・・・ 参考・引用文献 ・・・・・・・・・・

- 1) Xiaoru Fu: 米麺生産技術, 中国金盾出版社, 48-98, 1999
- 2) 内村泰, 高尾哲也, 菊池孝治, 新村洋一, 岡田早苗, 小原直弘, Wiwut DAENG SUBHA, 小崎道雄: タイ国発酵米麺中の乳酸菌の同定, 日本食品工学会誌, **6**, 465-475 (1991)
- 3) <http://www.okomeramen.co.jp/item.html>
- 4) 齊藤昭三: 米粉の特性とその麺状化について, 日本調理科学会誌, **12**, 74-84 (1979)
- 5) 今井徹: ライスヌードルの製造, 食糧その科学と技術, **22**, 50-65 (1982)
- 6) 山田進, 秋本隆司: ライスヌードルの物性改善, 新潟県食品研究所研究報告, **25**, 41-44 (1990)
- 7) 宍戸功一, 江川和徳, 諸橋敬子, 泉田又蔵, 山田進: 酵素処理米粉を利用した製麺, 新潟県食品研究所研究報告, **28**, 1-6 (1993)
- 8) 村崎岩夫, 小野寺隆, 一石昌作, 宍戸郁郎: 新形質米の高度利用化の研究 新形質米の他用途性の開発, 宮城県工業技術センター, **26**, 73-78 (1995)
- 9) 村崎岩夫, 小野寺隆, 伊藤啓夫: 新形質米の高度利用化の研究 新形質米の他用途性の開発, 宮城県工業技術センター, **27**, 64-68 (1996)
- 10) Hismeil Lai: Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta, *J. Sci. Food Agric.*, **82**, 203-206 (2002)
- 11) 長尾慶子, 喜多記子: ジャポニカ種米粉麺の調整とその力学特性ならびに官能評価の検討, **69**, 17-21 (2007)

- 12) George.E.Inglett, Steven C.Peterson, Craig J.Carriere, Saipin Maneepun: Rheological, textural, and sensory properties of Asian noodles containing an oat cereal hydrocolloid, *Food Chemistry*, **90**, 1-8 (2005)
- 13) Haihong Wang, Dawen Sun, Qingxiao Zeng, Yinquan Lu: Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour, *Journal of Food Engineering*, **46**, 133-138 (2000)
- 14) Yuki Sawatari, Hisashi Sugiyama, Yasuyuki Suzuki, Akihiro Hanaoka, Katsuichi Saito, Hiroaki Yamauchi, Sanae Okada, Atsushi Yokota: Development of fermented instant Chinese noodle using *Lactobacillus plantarum*, *Food Microbiology*, **22**, 539-546 (2005)
- 15) Zhanhui Lu, Lite Li, Wei Cao, Zhaigui Li, Eizo Tatsumi: Influence of natural fermentation on physico-chemical characteristics of rice noodles, *International Journal of Food Science and Technology*, **38**, 505-510 (2003)
- 16) 李永玉, 鈴木啓太郎, 神山かおる, 胡耀華, 大坪研一, 院多本華夫, 佐竹隆顕: 品種の異なる米を素材とする米麺の品質評価, 日本食品工学会誌, **8**, 147-154 (2007)
- 17) 李永玉, 鈴木啓太郎, 胡耀華, 大坪研一, 院多本華夫, 佐竹隆顕 (2008): 日本産と中国産の高アミロース米により試作した米麺の品質評価に関する一考察, 農業施設学会誌, **38** (4), 293-299
- 18) 李永玉, 鈴木啓太郎, 宮村新一, 胡耀華, 大坪研一, 院多本華夫, 佐竹隆顕: 生地に占める糊化米粉割合の米麺物性への影響, 日本食品工学会誌, **8**, 267-273 (2007)
- 19) 李永玉, 鈴木啓太郎, 大坪研一, 院多本華夫, 佐竹隆顕, 冷蔵保存に伴う米麺の動的粘弾性の変化, 農業施設学会, **40** (1), 1-6 (2009)

室内噴霧消毒におけるバイオイオナース®の有用性

—厨房内消毒への基礎的検討—

窪田 倭^{*1} 松澤 皓三郎^{*2} 和田 雅年^{*3} 森 勲^{*4} 山地 信幸^{*5}

^{*1}KUBOTA Sunao, ^{*2}MATSUZAWA Kozaburo, ^{*3}WADA Masatoshi, ^{*5}YAMAJI Nobuyuki (セパレーターシステム工業株式会社 技術開発部) ^{*4}MORI Isao (美吉野製薬株式会社)

Key Words：クエン酸・噴霧消毒・厨房・バイオイオナース

はじめに

一般に厨房はその機能上環境内に有機物の残存が多く、湿度も高いことから細菌類の生存率が高く、空中菌および付着菌として常在しており、取り扱う調理器具・機器、作業員の手指、衣服などとともに二次汚染の原因となる。その結果細菌性食中毒の誘因となるので、調理器具・機器、作業者に至るまで細菌の汚染を防ぐと同時に、厨房内環境も除菌の対象としなければならない。しかしながら、作業員の手指の消毒は当然なことながら床面、調理器具などの洗浄除菌が頻繁に施行されているが、空中菌や付着菌、特に洗浄困難な大型機器と床面、壁面間の付着菌の除菌は日常的に施行されにくいのが現状である。

空中菌や洗浄困難な部位の付着菌には室内噴霧消毒が有効であるが、吸入毒性や金属腐食性などの問題があり使用される消毒剤は限られている。そこで本研究では空中菌や付着菌の二次汚染による食中毒予防を目的として、既に著者らが開発した除菌効果があり、かつ環境に安全なクエン酸を基体とした電解水に低濃度のアルコールを含有したバイオイオナース®¹⁾ およびそのアルコール非含有の室内噴霧消毒の除菌効果の基礎的検討をした。すなわち食中毒に最も

関連する大腸菌と黄色ブドウ球菌含有シャーレを厨房内とほぼ同程度の温度、湿度を設定した室内に静置し、バイオイオナース®の噴霧消毒によるこれらの菌に対する除菌効果、さらにその消臭効果および錆び発生の有無を検討し良好な結果を得たので報告する。

1. 材料および方法

1) クエン酸を基体とした電解水（バイオイオナース®）の作成法

既に報告した方法¹⁾によりバイオイオナース®を作成した。今回はさらにアルコール非含有のものも用いた。

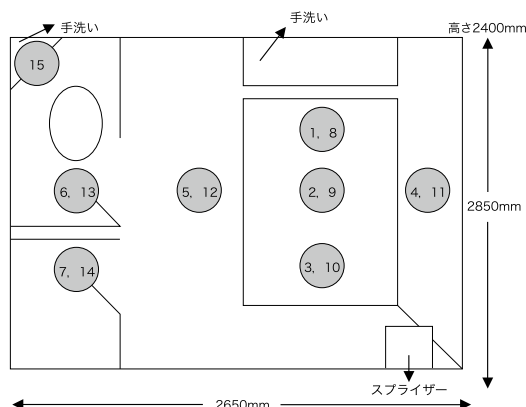
2) 噴霧消毒試験

使用菌株

大腸菌 (*Escherichia coli* NBRC 3972) と黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* NBRC 12732) の2種の病原細菌を用いた。

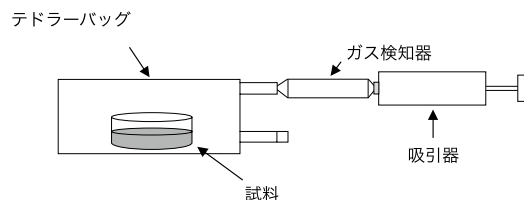
作業手順

大腸菌および黄色ブドウ球菌をそれぞれ 10^6 に調整されたシャーレ (検体) を図1に記載された場所に設置した。設置後直ちに噴霧器 (高園メデイウエル株式会社) によりバイオイオナース®を約3分間で300ml 持続噴霧した。圧



1～7はアルコール含有，8～15はアルコール非含有バイオイオナース®噴霧中の検体設置場所をしめす。

図1 検体設置場所



- 1) 臭気ガスとしてアンモニア (100ppm), 酢酸 (50ppm), トリメチルアミン (28ppm), 硫化水素 (4ppm) を用いた。なお () 内は初発濃度を示す。
- 2) 直径 3cm のガラスシャーレに 4 個に試料液体をそれぞれ 3ml 注いだ。
- 3) ブランク試験として直径 3cm のガラスシャーレにイオン交換水をそれぞれ 3ml 注いだ。
- 4) 2 時間後, 24 時間後のテドラーバッグ内の濃度をガステック社製ガス検知管を用いて測定した。

図2 消臭評価試験法

縮空気圧 3.0-4.0kg/cm², 噴射角度 30 度, 吐出量 100ml/ 分であった。

噴霧終了後 1 時間室内を密閉した後シャーレ (検体) を取り出し, 標準寒天スタンプ培地に移し変えて 35.0℃, 24 時間培養した。アルコール非含有のバイオイオナース®も同様の方法で噴霧消毒による除菌効果を検討した。

図1に記載された番号の1～7は5%エタノール含有, 8～15はエタノール非含有バイオイオナース®を噴霧した大腸菌と黄色ブドウ球菌シャーレの静置部位を示す。いずれも室温は 28℃, 湿度は 68% であった。

3) 消臭評価試験

臭気ガス

臭気ガスとしてアンモニア (100ppm), 酢酸 (50ppm), トリメチルアミン (28ppm), 硫化水素 (4ppm) の 4 種を用いた。なお () 内は初発濃度を示す。

試験方法

直径 3cm のガラスシャーレ 4 個にエタノール非含有バイオイオナース®3ml 注いだ。ブランク試験として直径 3cm のガラスシャーレ 4 個にイオン交換水 3ml 注いだ。2 口スリーブ付

き 5.0L のテドラーバッグ (GL サイエンス株式会社) の片隅をカットし, テドラーバッグ 1 枚につきシャーレ 1 個入れた後密閉した。真空ポンプで 1 度脱気した後, 空気 3.0L を封入した。ついで臭気ガスを所定の初発濃度になるように注入した後密閉し, 静置した。2 時間後, 24 時間後のテドラーバッグ内のガス濃度をガス検知管 (ガステック社) を用いて測定した (図2)。

用いたガス検知管はアンモニア No.3L (0.5-78ppm), No.3La (2.5-200ppm), 酢酸 No.81L (0.125-25ppm), No.81 (1-100ppm), トリメチルアミン No.180L (0.5-10ppm), No.180 (5-100ppm), 硫化水素 No.4LB (0.5-12ppm) であった。臭気ガスの除臭率 (%) は, 初発臭気ガス濃度—2 時間後又は 24 時間後の臭気ガス濃度/初発臭気ガス濃度×100 より求めた。試験は全て 20℃, 湿度 65% の恒温恒湿内で行った。

4) 鉄錆び発生の有無試験

さび止め油防錆力評価用片 (60×80×2mm, JISK2246, 日本テストパネル株式会社) をエタノール非含有バイオイオナース®に半分を浸漬, 残り半分を空気中にさらし, 1 ヶ月間静置した。

表1 消臭評価試験結果

	クエン酸を基体とした電解水		ブランク実験	
	2 時間後	24 時間後	2 時間後	24 時間後
アンモニア	測定範囲以下	測定範囲以下	30ppm	5ppm
酢酸	13ppm	測定範囲以下	16ppm	測定範囲以下
トリメチルアミン	15ppm	測定範囲以下	21ppm	0.7ppm
硫化水素	4ppm	3.3ppm	4ppm	4ppm



図3 錆び発生有無試験結果

2. 結 果

1) 噴霧消毒試験

大腸菌，黄色ブドウ球菌ともにエタノール含有，非含有いずれにも菌は検出されなかった。

2) 消臭評価試験

表1に示す如くアンモニアについては2時間後，24時間後いずれも除臭率100%と完全に消臭効果が認められた。酢酸，トリメチルアミンは2時間後に於いてそれぞれ除臭率74%，47%の消臭効果を認めた。しかし，硫化水素については2時間後，24時間後ともに消臭効果は認められなかった。

3) 鉄錆び発生の有無試験

図3に示す如くバイオイオナース[®]浸漬部に錆はほとんど認められなかった。

3. 考 察

厨房内は湿度が高く，有機物が多く存在するため細菌，真菌類は増殖し二次汚染源となる。この空中菌に対する除菌効果は室内噴霧消毒が

最も効果的である。使用される薬剤は吸入毒性，皮膚・粘膜刺激性などがなく，さらに金属腐食性や引火性がないことが必須条件である。この条件を満たす薬剤はヒビテングルコネート，グアニジン系のポリヘキサメチレンピグアニジン塩酸塩や両面界面活性剤のアルキルジ（アミノエチル）グリシン塩酸塩などである。これらの薬剤の能力を最大限に発揮させるため5～20μの微粒子として噴霧する必要がある。即ち，この程度の微粒子になると薬剤の表面積を増大させ吸着力が増し浮遊する塵埃，浮遊菌・胞子などと衝突し，吸着して除菌効果を示す。

厨房内の室内噴霧消毒の除菌効果についての基礎的および応用的研究が少なく^{2, 3)}，さらに実施現場に於けるその有効性を評価した報告はほとんどないのが現状である。今回著者らは厨房内の室内噴霧消毒の除菌効果の基礎的研究として食品衛生上問題となる大腸菌と黄色ブドウ球菌に対するバイオイオナース[®]の除菌効果の有無を検討した。厨房内の条件とほぼ同一の室内温度28℃，湿度65%で，室内空間容積約17.5m³の室内にバイオイオナース[®]を約3分間で300mL持続噴霧した。結果の項で述べた如く大腸菌，黄色ブドウ球菌は6log減少したことより効果ありと判定した。しかも噴霧により液が届きにくいと予想された設置場所5，6，12，13，15においても除菌出来たことより液（微粒子）が空間全体に満遍なく行き渡ったものと推定している。さらにアルコール非含有液の除菌効果はアルコール含有液と同程度の効果を認めた。バイオイオナース[®]のアルコール含

有, 非含有 3 分間の持続噴霧直後の室内は全体に霧がかかった状態 (濃霧) となったが, アルコール含有液は噴霧 1 時間後に於いても若干霧が残った状態に対して, 非含有液は噴霧後 10 分程度で霧が無くなった。この現象はアルコール含有液の粒子径が非含有液のそれと比較して小さかったことによると推定している。今後は厨房内, また室内噴霧消毒にはアルコール非含有液が噴霧後の室内霧状況やアルコールによる鼻・咽頭粘膜刺激性がないことより推奨される。

厨房内には肉類, 鮮魚介類, 野菜類, 穀類, これらの加工品, その他の調理前後の残渣物が存在する。これらの残渣物の細菌汚染による腐敗から種々の悪臭物質が産生される。例えば肉類, 魚介類からアンモニア, トリメチルアミンなどが, 野菜類の腐敗からメチルメルカプタン, 鶏卵からは硫化水素などの悪臭物質が産生される。関与する腐敗菌は緑膿菌, 大腸菌, 連鎖球菌, ブドウ球菌などである。これらの細菌に対して除菌効果がありかつ上記悪臭物質に対しても消臭効果を有する消毒剤があれば厨房内使用に理想的である。これまで消毒剤の消臭効果について検討した報告は中藤らの強酸性電解水のみである⁴⁾。強酸性電解水の消臭効果はアンモニア, トリメチルアミン, ピリジンで優れてい

るが, 硫化水素についてはわずかに認められたことが報告されている⁴⁾。著者らのバイオイオナース[®]はこれらの細菌全てに対して除菌効果があり¹⁾, かつ強酸性電解水と同様にアンモニアで除臭率 100% と優れた除臭効果が認められたが, 硫化水素についてはその効果が認められなかった。

バイオイオナース[®]は PH3.0 と強酸性であるにもかかわらず錆び発生が認められなかったのは酸化還元電位が + 150mV から + 250mV と低いと思われる。

4. 結 論

クエン酸を基体とした電解水にアルコール含有液および非含有液 (バイオイオナース[®]) の室内噴霧消毒において除菌効果, 消臭効果, および金属腐食性について検討した。その結果 1) 食中毒に関与する大腸菌, 黄色ブドウ球菌に対していずれも除菌効果が認められた。2) アンモニアに対して優れた消臭効果があり, 3) 金属腐食性も認められなかった。バイオイオナース[®]は厨房内の噴霧消毒に有効性が示唆された。

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

- 1) 窪田俊, 松澤皓三郎, 和田雅年, 山地信幸: 強酸性電解水にクエン酸と低濃度アルコールを添加した消毒剤 (バイオイオナース[®]) の殺菌効果. *New Food Industry*. **50** (9) 43-48, 2008.
- 2) 井上耕博, 松山勝彦: 室内消毒薬の効果について. 防菌防黴, **9** (10) 471-475, 1981.
- 3) 佐藤久聡, 前原信敏, 井川房欣, 齊藤洋介, 他: 厨房内の消毒における電解水の有用性. 日本化学療法学会誌, **48** (10) 768-774, 2000.
- 4) 中藤誉子, 木村一志: 強酸性電解水と強アルカリ性電解水による特定悪臭物質の除臭効果. 第 6 回日本機能水学会講演要旨集, 83-84, 2008.

ワインの熟成と成分の変化について

—最近の醸造方法と機能性—

佐藤 充克*

¹ SATO Michikatsu (山梨大学大学院医学工学総合研究部・ワイン科学研究センター)

Key Words：ワイン・ポリフェノール・アントシアニン・醸造

はじめに

ワインは熟成すると、アントシアニンを含むポリフェノールの重合が進み、色調も紫色から赤、そしてレンガ色になり、味も角が取れてスムーズでマイルドになることが知られている。

ここでは、前回の報告¹⁾と若干重複するところもあるが、ワインの熟成とアントシアニンの挙動、最近行われるようになったマイクロオキシゲネーション (Micro-oxygenation) と言われるワイン醸造方法と、そのワインの色調と味に及ぼす効果、さらに生成される重合体について、生理活性も含め解説したい。

1. ワインの活性酸素消去活性と熟成期間の関係

私どもは世界に先駆け、ワインの活性酸素消去 (または捕捉) 活性を測定した。活性酸素消去能 (SOSA) 測定はヒトの消化器系細胞で働く、キサンチンオキシダーゼを用い、スピントラップ剤として DMPO を使用した電子スピン共鳴測定装置 (ESR) による直接系で行った。本研究は日研フード(株)日本老化制御研究所・(故) 越智らとの共同研究である。結果^{2~4)}を図1に示すが、SOSA が最も高かったのは、マーカム・カベルネ '83 (カリフォルニア産)、次い

でバローロ '82 (イタリア産) であった。チリ産のカベルネも非常に高かった。ブドウの品種的には、カベルネソービニヨン、ネビオロ、メルローなどが高い傾向であった。

同じ銘柄で製造年 (vintage) の違いを見ると (図1)、マーカム・カベルネは製造年が1989年より1983年のワインのSOSAが高く、バローロは1987年より1982年が高く、チリ・カベルネは1988年より1987年が高く、Ch ポンテカネは1990年より1988年が高く、いずれもヴィンテージが古く、熟成年数の長いワインがSOSAの高いことが示された。そこで、ワインは熟成によって、活性酸素消去活性が上がるのではないかと考えられたので、モデル実験を行った。

2. 赤ワイン熟成のモデル実験

モデルワイン系 (エタノール 12%, 酒石酸 0.5%, pH 3.2) に、ブドウ・アントシアニンとして一番量が多い、マルビジン-3-グルコシド (Mv3-glc) および (-)-エピカテキンを添加し、その挙動を調べた⁵⁾。本研究は名古屋大学農学部・大澤教授らとの共同研究である。

最初に、アントシアニンがワイン発酵中に変化するかどうかを調べるため、スクロース

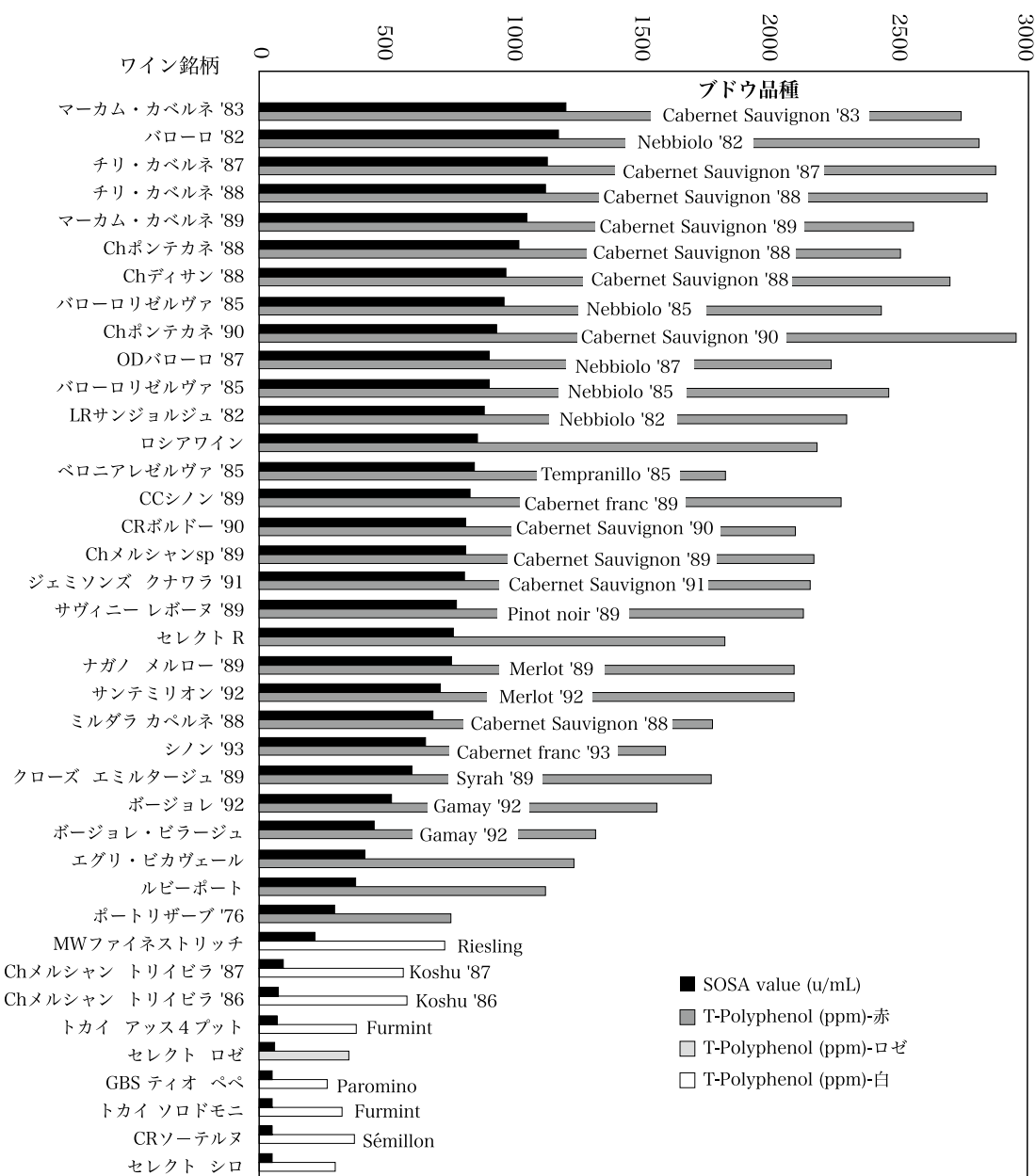


図1 ワイン銘柄と活性酸素消去能 (SOSA) およびポリフェノール含量

20%, 酒石酸 0.5% の水溶液に前記の Mv3-glc 0.3 mM および (-) -エピカテキン 2 mM を添加し, ワイン酵母にてアルコール発酵を行った。その結果, ワイン発酵中にはアントシアニンは何ら変化を受けないことが判明した。次に, ワイン熟成中の変化を調べた。モデルワイン系

に Mv3-glc 0.3 mM および (-) -エピカテキン 2 mM, さらにアセトアルデヒド 35 mM を添加し, 常温にて放置した。経時的 HPLC 分析の結果, 4 日目から 520 nm に吸収を示す Mv3-glc 以外のピーク 2 本が出現し, 9 日目にはピーク強度が最大となり, さらに放置すると, 重合が

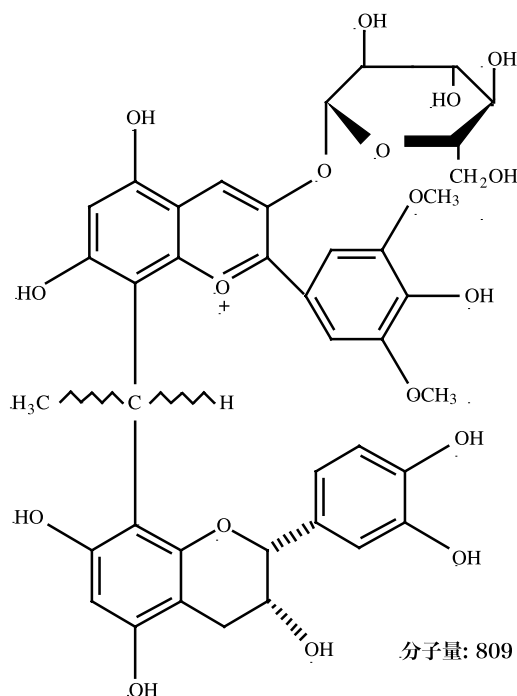


図2 アントシアニン重合体（ピーク1および2）の構造

進んだと思われる多数のピークが現われた。アセトアルデヒド無添加でも、40日後には非常に微小ではあるが同様の2本のピークが出現した。一方、アントシアニンとアセトアルデヒドだけでは何ら変化は認められなかった。即ち、同じアントシアニン同士では重合体を生成しないが、Mv3-glcはエピカテキンと重合体を形成することが示唆された。

そこで、新たに出現した2物質をHPLCにて分取し、各種機器分析にて構造を検討した。主としてNMRとマスマスペクトル(MS)分析にて、図2に示す構造であることが分かった。本物質の存在は示唆されていたが、物質を単離し、構造を決定したのは我々が初めてであると思われる。ピーク1およびピーク2は立体異性体である。市販ワインの分析を行ったところ、本ピークはワイン中からも検出さ

れ、実際にワイン中で熟成中に生成することが確かめられた。

この現象は、アセトアルデヒド架橋のフラバノール縮合については、Saucierら⁶⁾により、LC-MS分析で示唆され、ほぼ同時期にアントシアニンとプロシアニジンB2の縮合については、Francia-Arichaら⁷⁾により示唆された。その後、Es-Safiら⁸⁾により、我々と同様のモデル実験から確認された。2005年には、Cheynier⁹⁾により、詳細な総説にて解説されている。

3. アントシアニン-カテキン重合体の生理活性

分取して得られたピーク1およびピーク2について、血小板凝集阻害活性および活性酸素ラジカル消去活性を調べた。

ヒト血液を使用しアラキドン酸およびADPにて血小板凝集を誘導する系に、種々の濃度のピーク1およびピーク2物質を添加し、その50%凝集阻害濃度(IC₅₀)を求めた。同時に原料として使用したMv3-glcおよびエピカテキンも測定した。結果を表1に示す。その結果、エピカテキンには殆ど血小板凝集阻害活性が無く、ピーク1およびピーク2は原料のMv3-glcより3~4倍高い活性が認められた。

次に、ヒポキサンチン-キサンチンオキシダーゼ系でO₂を発生させ、定法通りESRにて各物質の活性酸素消去活性(SOSA)を測定した。結果を50%消去濃度(IC₅₀)にて表2に

表1 血小板凝集阻害活性(IC₅₀, μM)

	凝集誘導剤	
	アラキドン酸	ADP
マルビジン-3-グルコシド	330	411
エピカテキン	> 1000	> 1000
ピーク1	105	109
ピーク2	170	138

ピーク1および2物質はマルビジン-3-グルコシドよりも活性が3~4倍高かった。

示す。表から明らかなように、エピカテキンが最も高い活性を示したが、ピーク 1 およびピーク 2 は殆どエピカテキンと同レベルの活性を示した。この活性は Mv3-glc と比較すると、4～5 倍高かった。

アントシアニン・モノマーである Mv3-glc は、

表 2 活性酸素ラジカル消去活性

	SOSA (IC ₅₀ , M)
マルビジン -3- グルコシド	78
エピカテキン	13
ピーク 1	20
ピーク 2	16

ピーク 1 および 2 物質は原料のカテキンと同程度で、マルビジン -3- グルコシドよりも活性が 4～5 倍高かった。

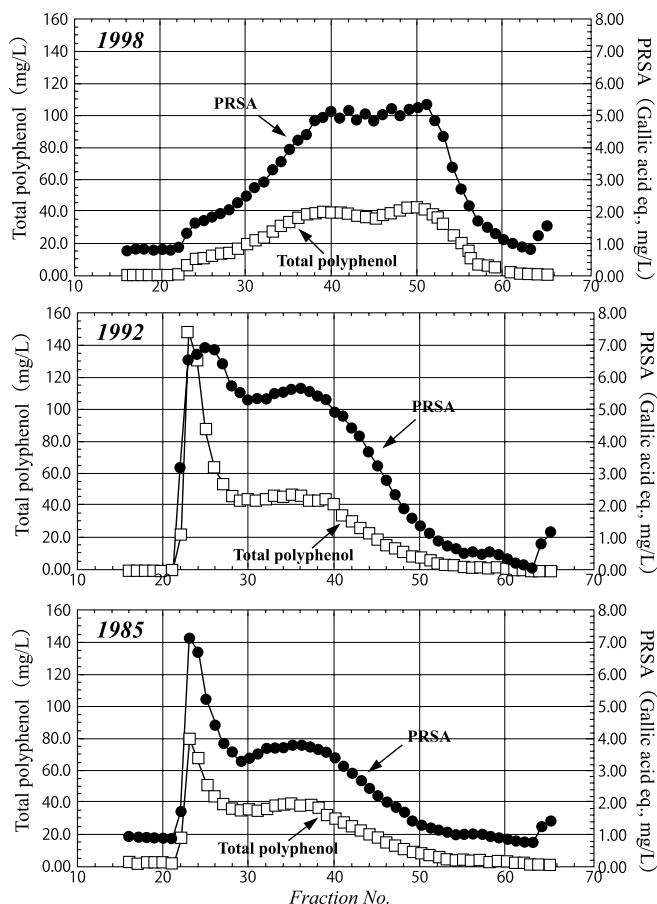


図 3 1998, 1992, 1985 年メルローの GPC プロファイル (●: PRSA, DPPH ラジカル消去活性, □: 総ポリフェノール, T-PP)

ワインの熟成中に、ワイン中に存在するエピカテキンと重合体を形成し、その重合体の活性はモノマーよりはるかに高いことが判明した。

4. ワインの熟成とアントシアニンの重合およびラジカル捕捉活性

我々はワイン・アントシアニンの重合と熟成の関係をさらに詳細に調べた¹⁰⁾。種々のヴィンテージのメルロー・ワイン（メルシャン、桔梗ヶ原メルロー、1985 年～1998 年）について、アントシアニンを吸着する Empore Disk を用い、アントシアニン画分を得、これを分子篩であるゲル浸透クロマトグラフィー（GPC）に掛け、分子量による分画を行った。

図 3 に結果を示す。図中、白抜きの□はポリフェノールであり、●は DPPH ラジカル捕捉活性である。1998 年ワインには溶出時間の遅いアントシアニン・モノマーのピークが大きく出ているが、1992 年のワインでは、モノマーに相当するピークはなく、代わりに、溶出時間の短い（分子量の大きい）ピークが大きく現われた。1985 年ワインではさらに溶出時間の遅いピークが低くなっており、大部分が溶出時間の早い、重合の進んだ分子量の大きいピークにシフトしていることが分かる。1985 年ワインでは全体にピークの高さが低くなっており、アントシアニンやタンニンの重合が進んだ結果、かなりの部分が沈殿したものと考えられる。即ち、ワインのアントシアニンは熟成と共に、分子量の大きい重合体へと変化し、ラジカル捕捉活性もポリフェノールと平行の関係であることが示された。

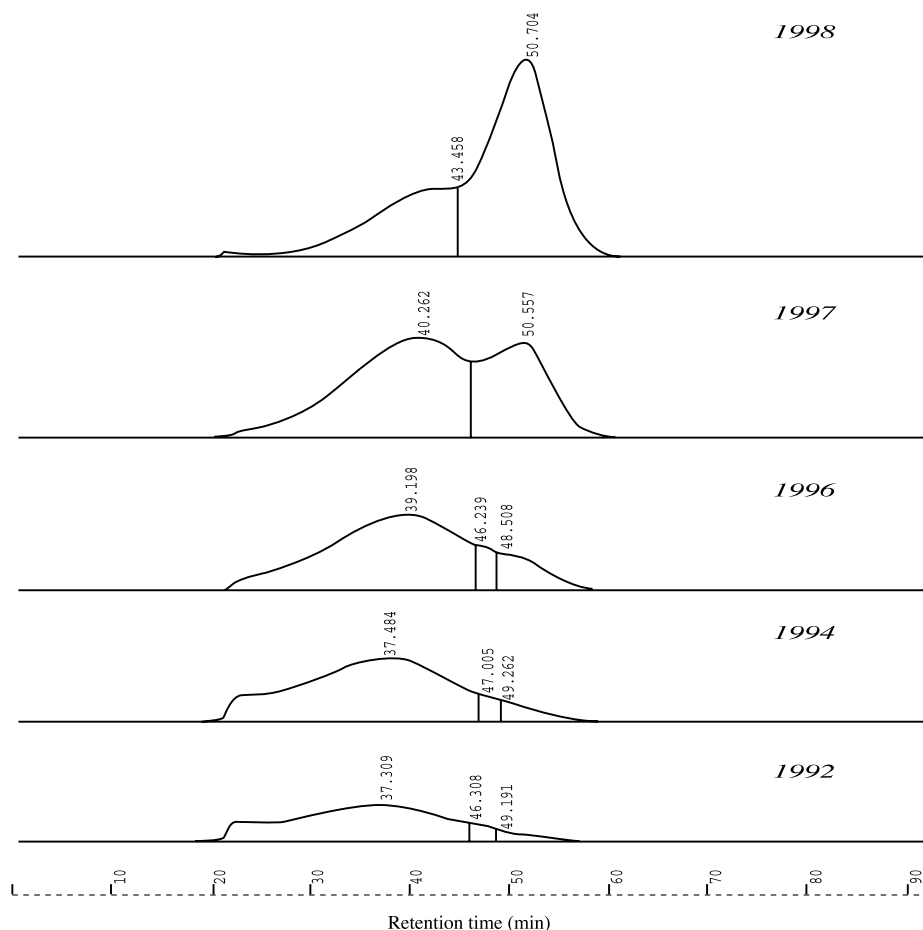


図4 種々のビンテージ・メルローワインのGPC プロファイル

それでは、何年熟成したら、アントシアニン・モノマーは消失するのであろうか？熟成を細かく見たGPCの結果を図4に示す。実験は1999年に行っており、1996年には殆どアントシアニン・モノマーのピークが消失していることから、熟成期間が3年で、ほぼアントシアニン・モノマーは重合により消失したことが分かる。即ち、このメルロー・ワインでは約3年でモノマーは消失し、より分子量の大きいアントシアニン重合体へと変化したことがわかり、おそらく、他の赤ワインでも同様の現象が起こっていると類推できる。

アントシアニンとカテキンのエチル架橋の重合体は、原料のモノマーよりラジカル消

去活性も血小板凝集抑制活性も上昇することが分かったので、熟成したワインでも活性が上昇していることが考えられた。そこで、ワインのラジカル捕捉活性を含まれるポリフェノールで割り、ポリフェノール当りのラジカル捕捉活性（比活性）を熟成年ごとに調べた。結果を図5に示す。図より、ラジカル捕捉比活性は、熟成4年までは直線的に上昇し、5年でピークを示し、後は徐々に減少した。即ち、ワインは5年程度までは、熟成と共にポリフェノールの性能が上昇することが示された。ワインは熟成と共に、タンニンの荒々しさが消え、滑らかな味になるが、ポリフェノールの性能も熟成期間数年までは上昇することが分かった。

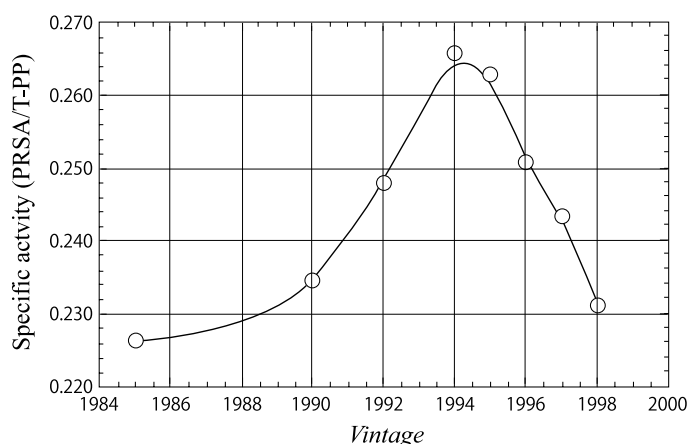


図5 ワイン・ビンテージとポリフェノールのラジカル消去比活性の関係

5. ワインのミクロオキシゲネーション (Micro-oxygenation)

赤ワイン熟成のモデル実験で明らかになったように、ワインにアセトアルデヒドが存在すると、アントシアニンはカテキンとエチル基で架橋することが明らかになった。このエチル基架橋アントシアニン-カテキン重合体は、亜硫酸を添加しても脱色せず、色素が安定であることが分かっている。最近、アントシアニン・モノマーを速やかに重合させ、赤ワインの色調も安定し、味も良くなる方法として、ミクロオキシゲネーション (Micro-oxygenation) といわれる醸造方法が、ボルドーを中心として各国で行われるようになった。ミクロオキシゲネーションを行うと、ワイン中にアルデヒドが発生し、エチル架橋アントシアニン重合体が生成することが報告されている。

この手法は、1991年にPatrick DuCournau^{11,12)}により、南西フランスで栽培されている非常にタンニンの多い赤ブドウ、タナー (Tannat) の醸造にて、少量の酸素をワインに注入することで始められた。この醸造方法は2006年にEUから正式なワイン醸造方法としてオーソライズされている。ワインの成分が酸化しない程度の

少量の酸素 ($0.75 \sim 3.0 \text{ cm}^3/\text{L}$) をワインに注入すると、発酵初期に行えば、酸素不足で発酵が停滞 (スタック) し、硫化水素を生成するのを防ぐことが出来る。また、ワイン熟成段階で酸素を添加すれば、微量のアセトアルデヒドが生成され、アントシアニンがエチル架橋の重合体となり、ワインの色調が安定する。また、タンニンも重合するため、味が短時間で滑らかになる効果がある。通常、ミクロオキシゲネーションはワイン熟

成中、3～8ヶ月かけて行われる。ワインは樽熟成を行うが、熟成中に樽材を通し僅かな酸素がワインに入り、ゆっくりアントシアニンやタンニンが重合し熟成する。ミクロオキシゲネーションは、樽熟成におけるアントシアニンやタンニンの重合を短期間で行うことに相当する。最近の Maria del Carmen Llaudy らの報告¹³⁾では、カベルネ・ソービニヨンの発酵後、3ヶ月ミクロオキシゲネーション (3 mg/L) を行くと、8ヶ月の樽熟成後、対照ワインと比べ、総アントシアニン量が約2倍、アントシアニン・モノマー残存量も約2倍で、エチル架橋アントシアニン重合体である、カテキン-エチル-マルビジンも有意に多くなり、プロアントシアニジンの重合度が高くなった。何よりも、対照と比べ、苦味が顕著に少なくなり、その後の樽熟成によるトースト香が強くなった。色素の安定化効果と樽熟成の節約効果が期待できると考えられる。

おわりに

ワインの熟成とポリフェノール成分の変化およびエチル架橋のカテキン-アントシアニン重合体の生理活性について解説した。昔から行われてきた樽熟成には、微量の酸素をワインに導

入し、アントシアニンとカテキンなどの重合を促進し、色素を安定化させると共に、ポリフェノールの重合を促進し、味を滑らかにする効果のあることが、最近開発されたマイクロオキシゲネーションの解析から確認された。また、我々の試験結果から、エチル架橋アントシアニン重

合体は活性酸素捕捉活性や血小板凝集抑制活性（血栓防止効果）が、原料の単量体より顕著に高いことが示された。ワインは適度に熟成すると、味も良くなり、健康にも良くなることが理解され、適量のワインを美味しい食事と共に楽しんでいただければ幸いである。

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

- 1) 佐藤充克：ニューフードインダストリー，**50**, No. 11, pp. 9-21.(2008)
- 2) 佐藤充克，越智宏倫ら：日本農芸化学会 1995 年度大会，講演要旨集 p. 366. (1995)
- 3) M. Sato, *et al.*: *J. Agric. Food Chem.*, **44**, 37-41. (1996)
- 4) M. Sato *et al.*: "Food Factors for Cancer Prevention," H. Ohigashi, T. Osawa, *et al.* (Eds.), Springer-Verlag Tokyo, pp. 359-364. (1997)
- 5) 森光康次郎ら：日本農芸化学会 1997 年大会，講演要旨集 ,p. 58. (1997)
- 6) C. Saucier *et al.* : *Am. J. Enol. Vitic.*, **48**, 370-373. (1997)
- 7) E.M. Francia-Aricha, *et al.* : *J. Agric. Food Chem.*, **45**, 2262-2266. (1997)
- 8) N.-E. Es-Safi *et al.* : *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 2096-2102. (1999)
- 9) V. Cheynier : *Am. J. Clin. Nutr.*, **81**, 223S-229S (2005)
- 10) 鈴木由美子，佐藤充克：JASEV Jpn., **10**, 112-113. (1999)
- 11) DuCournau & Laplace, Patent No. 93.11073. (1993)
- 12) J. Robinson ed., The Oxford Companion to Wine, 3rd ed. pp. 442-443, Oxford University Press. (2006)
- 13) M.C. Llaudy *et al.*, : *J. Agric. Food Chem.*, **54**, 4246-4252.(2006)

ポリアミンによるアンチエイジング（その2）

Key Words: ポリアミン ■ アンチエイジング ■ 大豆 ■ 抗酸化物質

早田 邦康*

はじめに

ポリアミンによるアンチエイジング（その1）では、ポリアミンによる炎症抑制作用を紹介した^{1~3)}。近年の研究で抗酸化物質によるアンチエイジング効果に多くの疑問が指摘されている事をうけ、近年では酸化物質産生の原因である炎症を抑制する抗炎症がアンチエイジングのキーワードになってきている。ここでは、動物実験の結果を中心に紹介し、ポリアミンのアンチエイジング効果を解説する。

食物中のポリアミンと体内ポリアミン

日本人の食生活の特長は、味噌、醤油、納豆などの大豆の発酵食品が食生活の中心になっていることである。大豆などの豆類は、天然の食品のなかではスペルミンおよびスペルミジン濃度が最も高い食品の一つである。さらに、発酵という過程は菌が自らの細胞増殖に必要なポリアミンを合成するために、発酵食品中のポリアミン濃度は一般的に高いことが多い。例えば、牛乳にはポリアミンは含

まれていないが、牛乳を発酵させて作ったチーズにはポリアミンが含まれている^{4~6)}。興味深いことに、動脈硬化の少ないフランスやスイスでは、発酵食品であるチーズの消費量が周囲の国より多く、同じく動脈硬化の少ない日本は大豆を発酵させた食品が食文化の中心になっている。このように、ポリアミン濃度の高い食品は長寿や動脈硬化抑制との関連が示唆される疫学調査の結果が存在する。

細胞は細胞外に存在するポリアミンを容易に取り込む事ができ、血液中のポリアミンも大半が赤血球や白血球に存在する。体のどこかにポリアミン合成の活発な細胞、例えば腫瘍が存在すると、血液中のポリアミン濃度は上昇する。そして、腫瘍を除去すると血中ポリアミン濃度も低下する。すなわち、血液中のポリアミン濃度は、体の一部のポリアミン産生能を反映している。

ポリアミンであるスペルミンとスペルミジンは腸管粘膜からそのまま吸収されて、血液細胞に受け渡され全身に運ばれていると考えられている⁷⁾。担癌状態の動物にポリアミン濃度を減らした餌を投与すると、血中ポリアミン濃度が

* SODA Kuniyasu（自治医科大学大宮医療センター，自治医科大学大学院医学研究科循環器病臨床医学研究所）

低下する事が知られている⁸⁾。すなわち、ポリアミンの摂取量の変化は血中ポリアミン濃度を変化させる事がわかっており、ポリアミン濃度の高い食品を摂取すると体内ポリアミン濃度が上昇する事が推測される。

吸収と代謝の問題

健康成人とマウスで行った我々の研究結果を紹介する前に、食物に含まれる成分の消化吸收などについての基本的な事項を記述したい。食物は、私たちの体に入るときにはかならず口から入る。食物は胃や腸などの消化管の中で、消化を受ける。消化とは、食物中の物質（タンパク質、炭水化物、脂肪など）を腸管から体内に吸収できる様にするために、小さな分子に分解することをいう。消化管に存在する消化酵素は、タンパク質をアミノ酸に、炭水化物をブドウ糖に、脂肪を脂肪酸などの小さな分子に分解して、消化管から体内に取り込む（吸収する）事が出来るようにするのである。たとえば、DHA（分子量 328）や EPA（分子量 302）、および α リノレン酸（分子量 328）は分子量が小さい。しかし、コラーゲンやヒアルロン酸などの分子量は数十万以上から百万以上になる。当然の事ながら、消化管に入ったこのような分子量の大きな物質は消化液で小さな分子に分解されて、分子量が 1000 程度以下の状態で始めて吸収されると一般的に考えられている。もちろん例外はあるのであろうが、このような例外を証明するためには、多くの科学者が納得できる様な研究結果を提示する必要がある。

さらに、現在では、これらの物質が体内に移行する可能性を消費者にアピールするために、分子量を小さくしたペプチドの状態にした製剤がある。しかし、これらが体内に吸収されたとしても、目的の物質が体内で再合成される可能

性はきわめて低い。特に、高齢者では物質を合成するための酵素の活性が低下している事が一般的であり、吸収された物質が目的の物質に再合成されると考えるのは無理がある。若年者と高齢者では物質を作る合成酵素などの活性が異なり、同じ原料があっても異なる物質を合成する可能性の方が大きい。簡単に説明すると、子供は食べれば身長がのびるが、高齢者が食べれば脂肪が作られてしまう。

前述したように、ポリアミンは分子量が 200 程度と低分子であり、生物に共通の物質である。実際に、スペルミンとスペルミジンは消化管から直ちに吸収され全身の組織や臓器に移行する事が報告されている。しかし、消化管にはプトレスシンを分解する酵素が存在するために、分子量がスペルミンやスペルミジンより小さいにも関わらず吸収されにくいことが判っている⁹⁾。

有効成分の臓器や組織への到達

ポリアミンは免疫細胞の LFA-1 を抑制し、炎症性サイトカインの産生を抑制することを報告してきた。食物のポリアミンが体内で抗炎症作用を発揮するためには、ポリアミンを摂取す

表 1 実験食の成分

水分 (w/w %)	7.6
蛋白 (w/w %)	26.4
脂肪 (w/w %)	10.2
繊維 (w/w %)	2.5
Ash (w/w %)	6.0
Nitrogen Free Extract (w/w %)	47.3
カロリー (kcal / 100g)	397

原料：ミルクカゼイン、白身魚肉、酵母、小麦胚芽、ラード、ふすま、脱脂米ぬか、アルファルファ、小麦全粒粉、とうもろこし、マイロ、ビタミン、ミネラル。脂肪は総カロリーの 23.1 % を供給

ることによって血液中の免疫細胞のポリアミン濃度が上昇する事を示す必要がある。

そこで、ポリアミン濃度を低下させた餌を作った(表1)。この餌に各種ポリアミンを混入して、低ポリアミン餌、普通ポリアミン餌、高ポリアミン餌を作成した(表2)。さらに、作成した餌のポリアミン濃度を液体クロマトグラフィー(High Performance Liquid Chromatography = HPLC)で測定し、餌の作成過程でポリアミン濃度が低下しないことを確認

した(表3)。

マウスに3種類の餌を投与すると、血中ポリアミン濃度は実験開始後8週後と16週後では差が認められなかった。しかし、26週後に高ポリアミン餌群のマウスの血中スベルミンおよびスベルミジン濃度が上昇することを確認できた(図1)¹⁰⁾。

次に、ヒトを対象に同様の検討を行った。天然の食品では、大豆などの豆類にポリアミンが多く含まれている。そこで、健康な男性成人ボ

表2 低ポリアミン濃度餌に混じたポリアミン量

	低ポリアミン餌	通常ポリアミン餌	高ポリアミン餌
プトレスシン (w/w)	0 %	0.002 %	0.015 %
スベルミジン (w/w)	0 %	0.008 %	0.06 %
スベルミン (w/w)	0 %	0.002 %	0.015 %

作成した低ポリアミン餌(表1)に3種類のポリアミンをそれぞれ表に示す濃度で混じた。

表3 各種餌のポリアミン濃度

	低ポリアミン餌	通常ポリアミン餌	高ポリアミン餌
プトレスシン (nmol/g)	496	625	1075
スベルミジン (nmol/g)	224	434	1540
スベルミン (nmol/g)	143	160	374

餌のポリアミン濃度はHPLCにて測定した

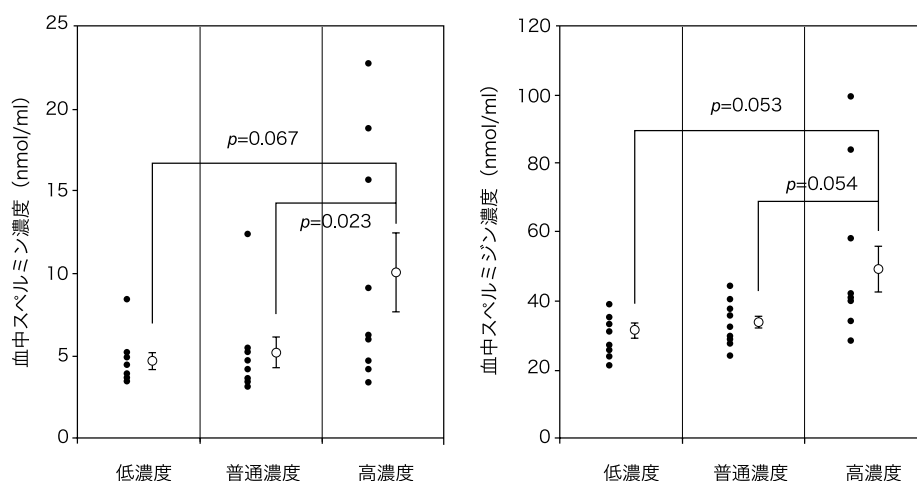


図1 高ポリアミン濃度餌によるマウス血中ポリアミン濃度の上昇

24週齢のマウスを、低、普通、および高濃度のポリアミンを含む餌で飼育した。26週投与後のマウス血中ポリアミン濃度を検討すると、高ポリアミン餌の群のマウスでは血中ポリアミン(スベルミンおよびスベルミジン)濃度の上昇が認められたが、低および普通ポリアミン濃度餌群のマウスでは濃度の上昇が認められなかった。

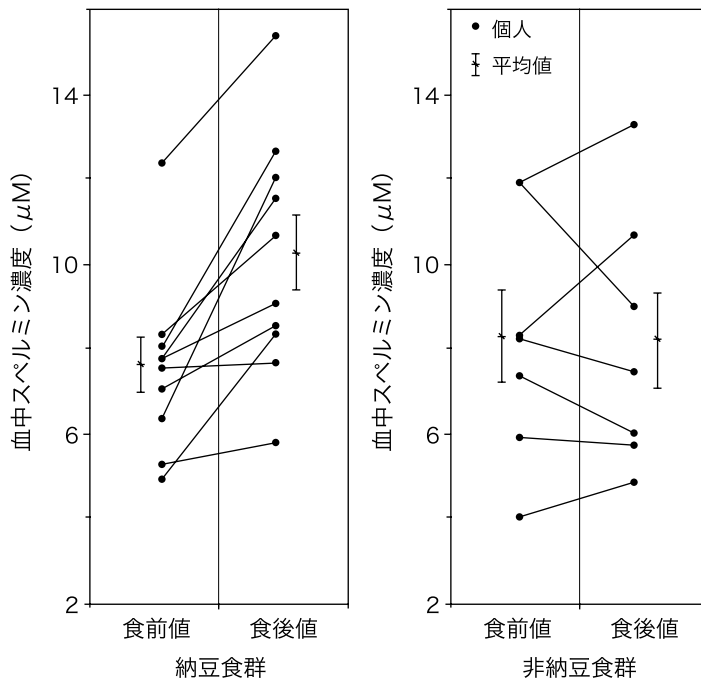


図2 高ポリアミン食（納豆）の継続摂取による血中スベルミン濃度の変化

(a) 成人男性ボランティアに、毎日 50g から 100g の納豆を継続して食べてもらった。(b) 同期間に、対照群の成人男性のボランティアには、納豆や発酵食品を極力食べないようにしてもらった。試験終了前と 2 ヶ月後の血中スベルミン濃度の変化を示す。納豆食群の血中スベルミン濃度は、全員において食後値が食前値より高く、食後値は食前値の 1.36 倍に上昇した。しかし、納豆を食べなかった対照群の血中スベルミン濃度には変化がなかった。

ランティアに高ポリアミン食である納豆を毎日 50 - 100g 摂取してもらった。同時に、対照群の男性成人ボランティアには、同時期に納豆を食べないようにしてもらった。すると、納豆食群では、約 2 ヶ月に血中スベルミンの濃度が上昇した（図 2）。一方、同じ期間に納豆を食べなかった対照群では血中ポリアミン濃度の変化が認められなかった¹⁰⁾。

高ポリアミン食がマウスやヒトの血中ポリアミン濃度を上昇させるためには、長時間を要することがわかった。短期間の高ポリアミン食が血中ポリアミン濃度を上昇させないのは、他の論文でも指摘されている。血中濃度

の上昇に時間がかかる原因は今後の検討課題であるが、細胞内ポリアミン濃度はポリアミンの合成酵素と分解酵素の作用（ポリアミンによるアンチエイジングその 1 の図 3 を参照）や細胞外に存在するポリアミンの取り込みと細胞内からの放出によって調節されており、細胞内は急激な濃度変化から守られている。よって、長期間の持続的なポリアミンの供給によって、細胞が徐々に高いポリアミン濃度に順応し、細胞内濃度が上昇したと考えられる。また、納豆を用いたヒトでの検討では、摂取した納豆の量と血中ポリアミン濃度の変化には関係を認めなかったが、高齢者ほど血中ポリアミン濃度が上昇する傾向があった。よって、ポリアミン合成能が低下した高齢者ほど、食物からのポリアミン供給の影響を受けやすい

可能性も示唆された。

ポリアミン長期投与によるマウスのアンチエイジング効果

アンチエイジングを検討するのであれば、目的の物質を混入した動物の餌を作成し、カロリーや成分などを同一にして高齢の動物に投与して検討すべきである。そこで、ポリアミンによるアンチエイジングの検討では、餌の成分やカロリーは通常の餌とほぼ同じように調整し、ポリアミン濃度だけが異なった 3 種類の餌を作り（表 1, 2, 3）、遺伝子操作を加えて

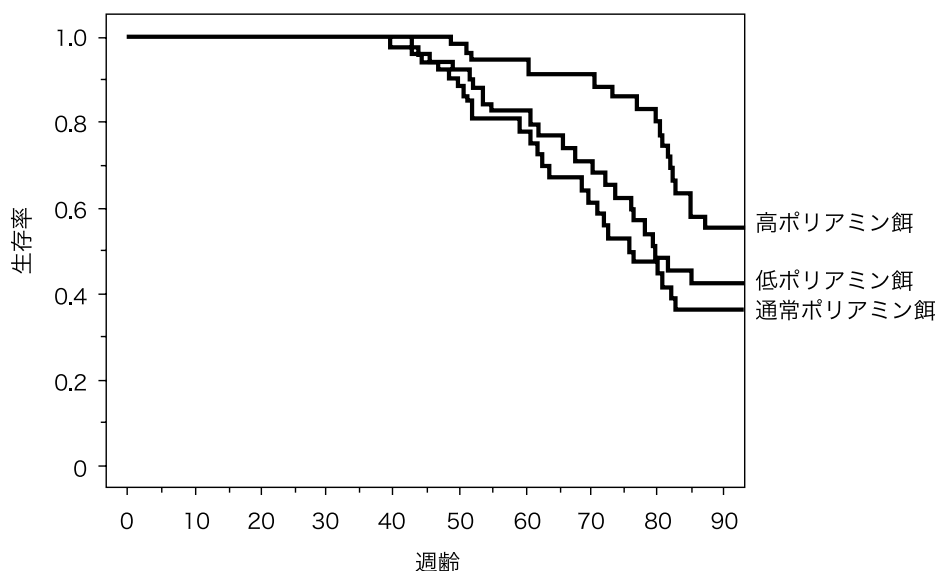


図3 高ポリアミン餌によるマウスの寿命延長効果

24 週齢のマウスに3種類の餌（低、普通、および高ポリアミン餌）を投与し、生存率を検討した。生存曲線は Kaplan-Meier 法で、生存率の差の検定は generalized Wilcoxon 法でおこなった。50 週齢を過ぎたところから、高ポリアミン餌群のマウスの生存率は、低もしくは普通ポリアミン餌のマウスの生存率より高かった。

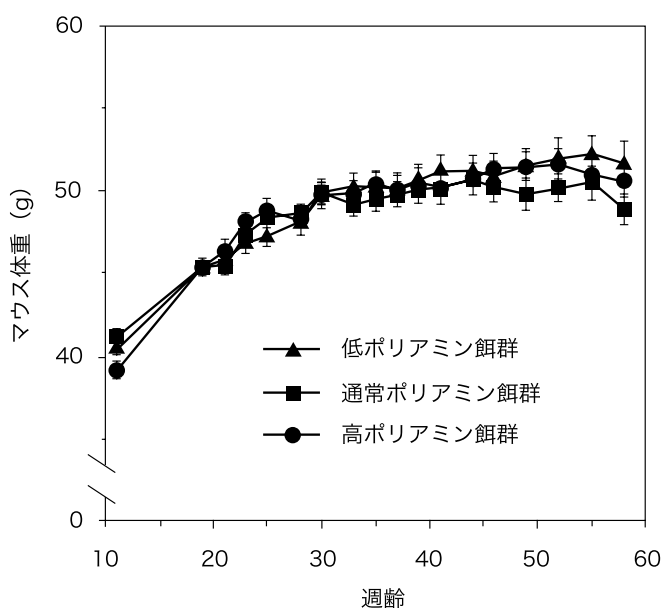


図4 高ポリアミン餌によるマウス体重への影響

24 週齢のマウスに3種類の餌（低、普通、および高ポリアミン餌）を投与し、各群のマウスの平均体重の変化を検討した。3 群間のマウスの体重には差を認めなかった。

いないマウスに投与し続けた。すると、高ポリアミン濃度の餌を食べ続け、血中ポリアミン濃度の上昇した高齢マウスの生存率は、低もしくは普通のポリアミン濃度の餌を食べたマウスより高かった（図3）。ヒトでも動物でも、過食、すなわちカロリー摂取が過剰になると早死にする事がわかっている。以前に抗酸化物質によるアンチエイジング効果を報告した研究では、抗酸化物質群の動物の食餌摂取量や体重が対照群より低下しているものがあつた。すなわち、抗酸化物質を含まない餌を食べた動物が高カロリーと体重増加によって早死にしたと解釈されている。しかし、我々の検討では、各群のマウスの食餌摂取量には差を認めなかった。また、各群間のマウスの体重にも差を認めなかった（図4）。

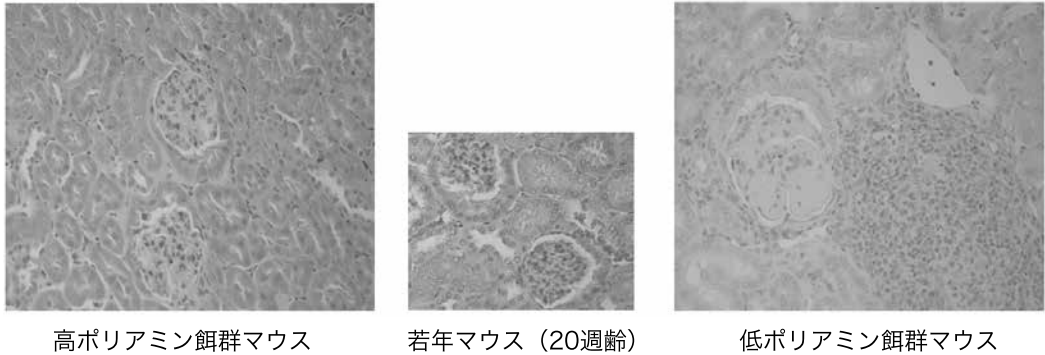


図5 高ポリアミン餌によるマウス腎臓の病理組織学的変化への影響

88週齢まで生存していたマウスの腎臓を取り出し、H&E染色による腎臓の組織学的検討を行った。高齢マウスの腎臓の糸球体は、若年(20週齢)マウスの腎臓と比較すると、繊維化が進行し糸球体硬化が認められた。しかし、高ポリアミン餌を食べたマウスでは、低もしくは普通ポリアミン餌を食べたマウスと比較すると、糸球体硬化症の程度が弱かった。

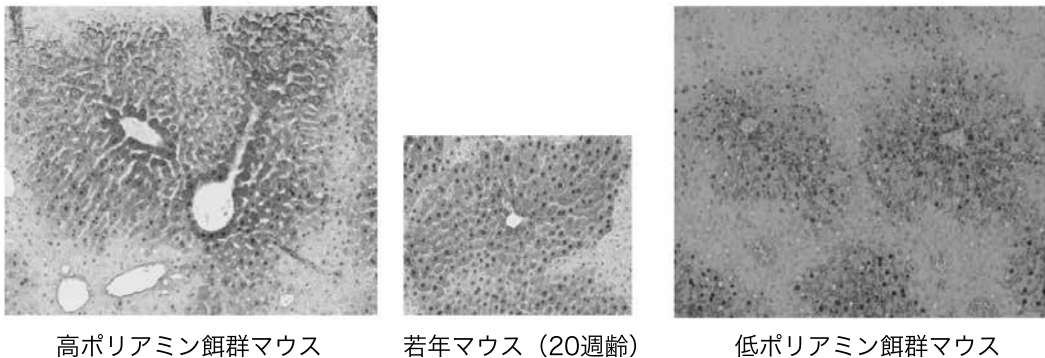


図6 高ポリアミン餌によるマウス肝臓の Senescence Marker Protein 30 (SMP30) の発現

88週で生存していたマウスの肝臓を取り出し、Senescence Marker Protein 30の免疫染色を行った。高齢マウスの肝臓のSMP30の発現は、若年(20週齢)マウスと比較すると、低下していた。しかし、高ポリアミン餌を食べたマウスでは、低もしくは普通ポリアミン餌を食べたマウスと比較すると、SMP30の量が保たれていた。

マウスの臓器を摘出し、老化に関する病理組織学的検討を行った。高齢になるにしたがって腎臓の尿を濾過する糸球体という装置が炎症性細胞浸潤と繊維化を起こす。この状態を糸球体硬化と呼ぶが、糸球体硬化は老化とともに生じる典型的な組織学的変化である。20週齢の若年マウスと比較すると、検討対象となった高齢のマウスの糸球体は繊維化が生じ、老化に特徴的な糸球体硬化症の状態であった。しかし、高ポリアミン餌を食べて寿命が延長したマウス

は、低もしくは普通のポリアミン餌を食べていたマウスと比較すると、糸球体硬化の程度が軽度であった(図5)。糸球体硬化は老化とともに進行するが、ヒトでは動脈硬化、高血圧、糖尿病などの生活習慣病によって進行が促進される事が判っている。

さらに、肝臓と腎臓の Senescence Marker Protein 30 (SMP30) というタンパクの量を検討した。SMP30は加齢に伴って減少するタンパクで、肝臓や腎臓および肺に多く存在する。若年

マウスと高齢マウスを比較すると、肝臓と腎臓のSMP30の発現量は高齢マウスで少なかった。しかし、高齢マウス同士を比較すると、高ポリアミン餌を食べていたマウスは、低もしくは普通濃度のポリアミン餌を食べていたマウスより、SMP30の発現が多かった（図6）。SMP30は酸化ストレスなどに対して細胞や臓器を防御する働きがあると考えられており、遺伝子操作によりSMP30を合成できないようにしたノックアウトマウスは、早期に老化に伴う変化が進行して早死にすることが報告されている。

以上のように、高ポリアミン食はマウスのカロリー摂取量や体重に影響を及ぼす事なく、老化に伴う病理組織学的な変化を軽減し、結果として長寿をもたらしたと考えられる^{11~13)}。

おわりに

大豆や納豆の抽出物などには、血栓溶解作用のあることが動物実験で明らかにされている。ポリアミンの持つ抗炎症作用は、大豆や納豆の抽出物による血栓溶解作用も科学的に矛盾

することなく説明可能である。通常、動物の血栓の形成に関する検討では、血管に何らかの処置を加え炎症を誘発させる。炎症によって血栓が生じやすくなるからである。体内ではplasminという物質が血栓溶解作用を発揮するが、plasminを活性化するplasminogen activator (PA) という酵素が存在し、反対にplasminの活性化を阻害するplasminogen activator inhibitor type 1 (PAI-1) という酵素も存在する。炎症が誘発されると、血栓が出来やすくなるとともにPAI-1が活性化され、plasminの活性化が阻害される。すなわち、炎症が生じる事により血栓が生じやすく、溶けにくくなるのである。大豆や納豆の抽出物には高濃度のポリアミンが含まれ、ポリアミンは食物から体内に吸収される事が示されている。強力な抗炎症作用を有するポリアミンは体内で炎症を抑制することによって血栓の形成を軽減し、PAI-1の活性化を抑制して血栓溶解作用を発揮している可能性が考えられる¹⁴⁾。

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

- 1) Soda K, Kano Y, Nakamura T, *et al* : Spermine, a natural polyamine, suppresses LFA-1 expression on human lymphocyte. *J Immunol* **175**: 237-245, 2005.
- 2) Zhang M, Caragine T, Wang H, *et al* : Spermine inhibites proinflammatory cytokine synthesis in human mononuclear cells: a counterregulatory mechanism that restrains the immune response. *J Exp Med* **185**: 1759-1768, 1997.
- 3) 早田邦康：ポリアミンによる leukocyte function-associated antigen-1 (LFA-1) 抑制 . 臨床免疫 **45**: 226-230, 2006.
- 4) Bardóc S, Grant G, Brown DS, *et al* : Polyamines in food—implications for growth and health. *J Nutr Biochem* **4**: 66-71, 1993.
- 5) Cipolla BG, Havouis R, Moulinoux JP : 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**: 203-212, 2007.
- 6) Nishibori N, Fujihara S, Akatuki T : Amounts of polyamines in foods in Japan and intake by Japanese. *Food Chem* **100**: 433-872, 2007.
- 7) Bardóc S, Duguid TJ, Brown DS, *et al* : The importance of dietary polyamines in cell regeneration and growth. *Br J Nutr* **73**: 819-828, 1995.
- 8) Nishimura K, Araki N, Ohnishi Y, *et al* : Effects of dietary polyamine deficiency on tripanosoma gambiense

- infection in rats. *Exp Parasitol* **97**: 95-101, 2001.
- 9) Bardocz S, Brown DS, Grant G, Pusztai A. Luminal and basolateral polyamine uptake by rat small intestine stimulated to grow by *Phaseolus vulgaris* lectin phytohaemagglutinin *in vivo*. *Biochim Biophys Acta*. **1034**: 46-52, 1990.
 - 10) Soda K, Kano Y, Sakuragi M, *et al* : Long-term oral polyamine intake increases blood polyamine concentrations. *J Nutr Sci Vitaminol* **55**: 361-366, 2009.
 - 11) Soda K, Dobashi Y, Kano Y, *et al* : Polyamine-rich food decreases age-associated pathology and mortality in aged mice. *Exp Gerontol* : 2009. in press.
 - 12) 早田邦康：日本人はなぜ長寿世界一になったのかーあなたの若返りをかなえる「ポリアミン発酵食」の秘密ー。東京，現代書林，2009.
 - 13) 早田邦康：納豆一日1パックの若返り術。東京，グラフ社，2009.
 - 14) 早田邦康：ポリアミンによるアンチエイジング，*Food style* **21**, **10** : 43-54, 2006.

第8章 バイオ資源としては限界要素が多い海産物

兎束 保之*

はじめに

石油、石炭などの化石燃料の燃焼から発生する二酸化炭素量は、約56%が大気中に残留し、約44%が海洋水や陸上植物によって吸収される。海洋に溶け込んだ二酸化炭素は植物性プランクトンの光合成によって有機化される。植物性プランクトンの一部は動物性プランクトンに捕食され、その動物性プランクトンの一部は魚類によって捕食される。魚類の糞は残っていたプランクトン類の死骸と共に大型粒子（マリンスノー）を形成して沈降し、深層水に運ばれ、海底に堆積する。

うっかりすると、化石燃料を使えば魚類の増殖を促進するように解釈されかねない。ところが海洋中の魚類の増殖量にはさまざまな要素が関係している。特に人類による捕獲と自然環境の改変、そして海流の強さと海水温度とが大きな影響を与えている。

8-1. 乱獲の繰り返し

魚類は人類にとって太古から重要なタンパク（蛋白）質源で

あった。ところが漁具が発達し、魚が国際的な流通商品になるに従って漁獲量が増殖可能量の上限に近くなり、ついには幾つかの魚種では漁獲量の方が自然生態系の増殖量を上回るようになってしまった。過去には北洋漁場でサケ、マスを獲りすぎたことが発端となり、200海里漁業専管水域が国際条約として制定された。現在ではクロマグロを代表とするマグロ類が乱獲によって絶滅すると心配されている。世界の年間

表 8-1 世界の漁獲量（単位／千トン）

	1990	2000	2001	2002	2003	々 %
中国	6715	17192	16796	16850	17052	18.6
ペルー	6869	10660	7988	8769	6098	6.7
アメリカ合衆国	5620	4760	4982	4985	4989	5.5
インドネシア	2644	4164	4309	4400	4732	5.2
日本	9767	5109	4837	4494	4709	5.1
チリ	5354	4547	4031	4515	3930	4.3
インド	2863	3726	3817	3745	3698	4.0
ロシア	7399	4027	3656	3288	3320	3.6
タイ	2498	2997	2834	2842	2817	3.1
ノルウェー	1800	2892	2862	2923	2703	3.0
フィリピン	1833	1899	1952	2034	2172	2.4
アイスランド	1521	2000	2001	2145	2000	2.2
ベトナム	779	1451	1490	1507	1667	1.8
世界計※	86119	96727	94050	94294	91512	100.0

「日本国勢図会 2006/07」（財）矢野恒太記念会 編集・刊行 184 頁（2007）から引用

* UZUKA Yasuyuki（山梨大学・南陽理工学院（中国河南省）名誉教授）

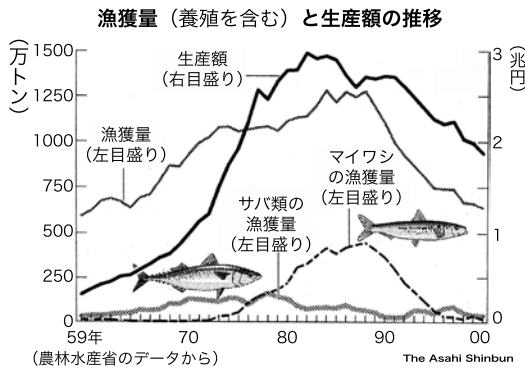


図 8-1 日本の漁獲量（養殖を含む）と生産額の推移
朝日新聞 夕刊 2002 年 11 月 28 日 から引用

漁獲量は、過去 10 年以上にわたって、およそ 9000 万トン前後を推移しており、これ以上は望めないところにある（表 8-1）。

日本近海には暖流と寒流が流れ、浅海と深海のいずれもある。漁業にとって、これだけの好条件が揃っているが、日本の漁獲量は年々減少している（図 8-1）。「昔に比べて魚が取れなくなった」という漁師の言葉ばかりが耳に残る。真冬になると、日本海に面した秋田県の沿岸では、ふだんは深層を生息域にしているハタハタが、群れをなして海岸付近へ産卵に来る。それを乱獲したために、漁獲量が激減した。その激減を何とか食い止めようとして、思い切って 3 年間の禁漁にしたところ、目に見えて資源量が復活してきた。

人類は、過去に経験して積み上げた幾多の知識と、新しい方法を考え出す発想力を持っている。ところが自然界が与えてくれる生物を考察対象として、経験と知識を上手に活用する積極性が充分ではない。

すでに資源として利用できる漁獲量に限界が見えている中で、新たにバイオ資源として魚類の利用を考えるとすれば、現在は捕獲対象になっていない魚種になる。それらから健全な生物に共通して存在する生体構成成分を抽出し、活用するのが最良の方法であろう。

8-2. 海流と海水温

1970 年代の初めまではほとんど獲れなかった太平洋マイワシ（真鯛）が、1985 年前後には漁獲量が年間 400 万トン以上にも上がった。その後は漁獲量が急激に減少し、2000 年頃には 10 万トン前後になってしまった（図 8-1 参照）。このように、魚類には数十年の周期で漁獲量の急増と急減を繰り返す魚種がある。

マイワシの漁獲量が急減した頃、海外では日本が乱獲したからだと発表する研究者があった。しかし、日本の研究者達の独自の調査研究が見事な結論へと導いた。調査の大筋を記述して、地球科学的な気候現象が引き起こす海流の強さ、それが原因となる寒流と暖流の接触域の大きさが漁獲量に与える影響を理解したい（図 8-2）。

日本の近海には寒流の親潮（北海道東岸を経

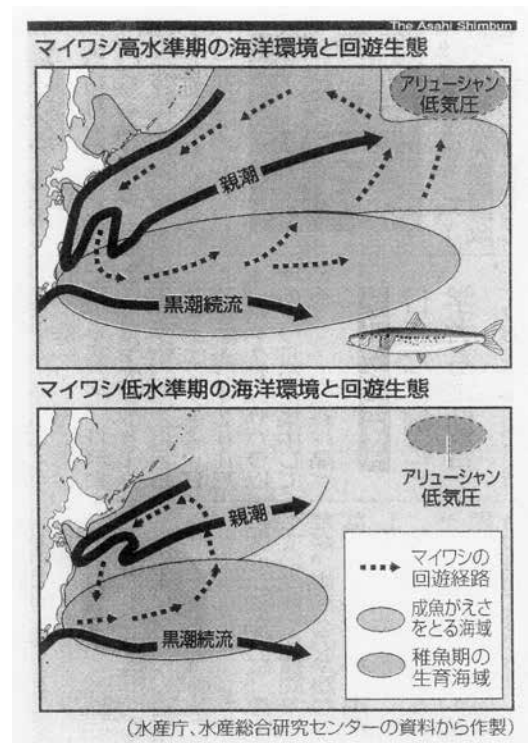


図 8-2 マイワシの漁獲高とアリューシャン低気圧、海流の関係

朝日新聞 夕刊 2003 年 10 月 27 日 から引用

て本州東岸を南下する栄養塩豊富な海流)と、暖流の黒潮(フィリピンから沖縄、九州を経て四国、本州の南岸を北上する海流)が流れている。マイワシが豊漁になる期間は、冬に北太平洋のアリュエーション低気圧の勢力が大きくなり、周辺の海水がよく冷やされるので、親潮の流れが強まって福島県沖まで下る。そこから東へ向きを変えて太平洋の彼方へと向かう。他方、黒潮の流れは千葉県沖までは流れが強く、その後は弱まりながら東へ屈曲する。したがってイワシの豊漁期には、ともに勢いがある親潮と黒潮との接触域が大きく広がる。その接触域では親潮に運ばれた栄養塩類が黒潮の暖かさに触れて、植物プランクトンがさかんに増殖する。

ところがマイワシ漁獲量が低い期間には、親潮は三陸沖までしか南下しないで、太平洋沖へと向きを変えてしまう。その緯度では黒潮の勢いが弱いので、親潮と黒潮との接触域が小さくなる。

マイワシの産卵域は黒潮が流れる九州から千葉県に広がる太平洋沿岸である。孵化した稚魚は主として植物プランクトンを餌にしている。植物プランクトンは太陽エネルギーを直接利用して増殖し、その増殖速度は日照量と海水温、そして栄養塩類の濃度で大きく変動する。

春に孵化したマイワシの稚魚は沿岸で植物プランクトンを摂餌しながら、黒潮の流れに乗って北上する。その稚魚は、ある程度成長するまでは、低温に曝されると簡単に死滅する。親潮が福島県沖まで南下して黒潮との混合海域が大きいと、海水中の植物プランクトンが多くなり、マイワシはそれを食べながら太平洋沖へ向けて回遊範囲を大きく広げて成長する。夏に入って大きくなった稚魚たちは低温に耐えられるようになり、そこからは栄養源が豊かな北太平洋域に入って大きく回遊しながら豊富な餌をとり、成魚になる。

マイワシの漁獲量を決定的に支配しているの

は親潮の南下範囲であり、これは周期が長い地球科学的要素である。海流の流れ方と海水の温度は、マイワシの稚魚の餌となるプランクトンの量と稚魚の回遊範囲の双方に響く。その内容を科学的に解析立証した研究者達に敬意を捧げたい。

8-3. 海の魚を育てる山の森林

海に面した陸地に木がなくなると、海産生物が減少する。数十年前、北海道東部の襟裳岬周辺では、原生林を皆伐したために土砂が川から海へ流出し、強風が砂塵を舞い上げた。その土砂や砂塵が入った海域は濁り、その濁りで海草は光合成を阻害され、海草を求めて集まる魚介類も激減した(1-8. 参照)。地域住民が一致協力して陸上で植林をした結果、現在では海草(日高コンブ)の収穫量が大きくなり、漁獲量も著しく増大した(図8-3)。この例を見習い、04年度には日本の186カ所で漁民による森づくりがおこなわれている。

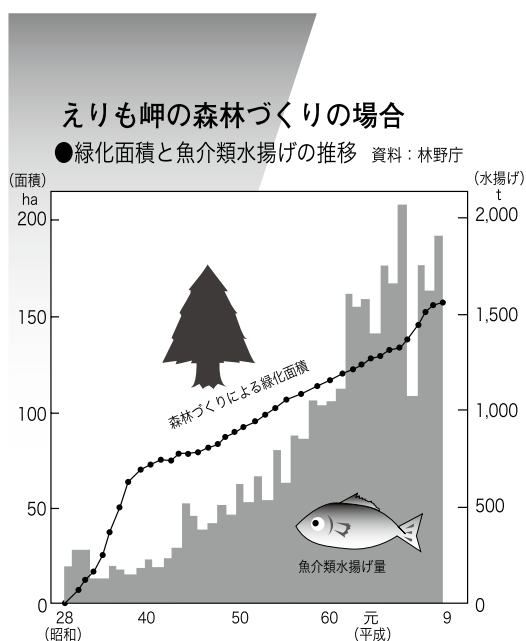


図8-3 襟裳岬の森林づくりと魚介類水揚げ高の推移

(昭和28年:西暦1953年~平成9年:西暦1997年)(社)国土緑化推進機構 発行「暮らしのまん中に森林(もり)がある」から引用

陸上には草や樹木が茂り、成長期が終わると落葉落枝が地上に堆積する。それらは微生物に分解されてリン酸塩や窒素化合物などの無機栄養分となり（3-1-2 参照）、雨水に溶けて川を流れ下って海へ入る。無機栄養分は植物性プランクトンや海藻を育てる。海藻は魚類が産卵し、稚魚が育つ場（藻場）になる。日本各地には、半島や島の木を切らない地区がある。そこに茂った森は「魚付き林」とよばれ、大切な漁場として保護されている。

8-4. 海洋生態系を理解する重要性

無機的な環境と生物相互の関係を総合して生態系という。生態系は、それぞれの構成要素が直接的に、あるいは間接的に関連している。人間の一方的な、あるいは一時的な欲望や都合で構成要素のつながりを断ち切ると、崩れやすい相互関係で結びついていた生態系から、思い掛けない報復を受ける。海洋の生態系を解析するには長い時間と膨大な経費が必要である（8-2. 参照）。一見地味な学問である海洋生態学の裏付けがないまま、海洋性生物を誰もが勝手に利用できるバイオ資源と考えるのは危険である。

海洋は明確な境界線がなく広がっているだけに、「少しくらいなら」という安易な考えから生まれる行為が、多くの生物資源を壊滅状態に追い込む危険性がある。例えば、内分泌攪乱物質（環境ホルモン：生殖に著しい影響を与える物質）として働く化学薬品が海水に入れば、多数の海産生物種を絶滅に追い込むおそれがある。

8-5. 海産魚類は永続的なバイオ資源として利用できるか

地球表面の約7割が海面であるにもかかわらず、バイオマス生産量は地球全体の3分の1にすぎない（3-3. 参照）。しかも、海洋性バイオマスの生産量に対して、どのような自然的あるいは人為的要因が、どの程度の影響を及ぼす

かを理解する知識は豊かではない。そのような状況下で将来への見通しを立てるのは冒険であるが、いくつかのヒントはある。ヒントに隣接した難問点も含めて、僅かな思考例を提示してみたい。

珊瑚礁や浅い湾内は太陽光が海底にまで届くから、バイオマスの年純一次生産量（NPP）は大きい（3-3-3 参照）。海の特徴として水は十分に存在し、浮力がはたらくので、藻類は光合成をしない太い幹や枝を必要とせず、光合成面積を大きく広げられる。そこへ流入する河川から適度な栄養塩類が補給されると、植物プランクトンから動物プランクトン、そして魚介類へと食物連鎖が広がる。ところが、人間社会が排出した濃厚な栄養源を含んだ河川水が湾内に流入すると、プランクトンの異常繁殖である赤潮を招く。赤潮の発生は有用水産物を大量死に追い込む危険性をはらんでいる。海面に深層水を混合するなら、栄養塩類の補給には最適である。問題は、豊かな生態系を形成できる珊瑚礁や浅い湾に、人為的に深層水を供給できるような地形がどれだけあるかである。

海洋の中には、深層海流の流れをさえぎるよ

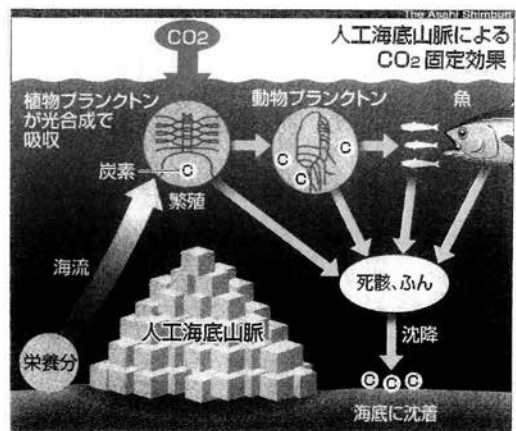


図 8-4 平坦な海底に作った人工湧昇流によって漁獲量は高くなる

（長崎県平戸市生月島の沖 5km、水深 100m でおこなった実験例）朝日新聞 夕刊 2006 年 6 月 29 日から引用

うに海底地形が隆起しているところがあり、そこでは深層水が海面の近くまで湧き上がる（湧昇流）。湧昇流のあるところは、漁獲量が高い優れた漁場になる。人工的に湧昇流を作る（図8-4）、あるいは汲み上げた深層水を表層に散布すれば、魚類が集まる要素のひとつは与えられたことになる。長崎県の沖合で、深層海流を上層へ誘導する人工湧昇流を作った実験では、その海域でアジの漁獲量が6倍にもなったと報道されている。次の課題は、集まった魚類の産卵と孵化した稚魚を守る藻場をどのように確保して定着させられるか、である。

海の可能性を考えだすと難問が多い。地道な研究を継続するとともに、暴走しやすい人間の欲望を抑制する国際的な規制を確立する積極的な行動が必要である。

おわりに

1937年生まれの私は、小学生の前半は第二次世界大戦中で、“ほしがりません、勝つまでは”の標語のもとに我慢で過ごし、後半は敗戦後の食糧難に直面した。食糧が無ければ生きられない、行き抜くためには食べられそうな山野の産物を自分の手で採取してくる、という精一杯の生活だった。そうした状態から、食糧の主要部分を占める生物への関心が育ったような気がする。その間に、栄養失調から大腸カタルを患い、母と医師であった祖父の並々なぬ看護努力により、ようやく命を取りとめた。

このような経験から、初めは生命を直接守る医師への憧れが強かったが、次第に生命現象全体へと関心が移った。生命現象と表現できる内容は身近にいくらでも観察できるが、関心の深まりを自分の職業へどう結びつけたらよいのかは、見当がつかないでいた。

定まらない気持のままで医学部受験を失敗し、浪人生活に入った。止むを得ず通った大学受験予備校で、旧制水戸高校の生物学教授で

あった佐藤正義先生の講義を受けた。その講義からは、客観的に評価できる手段で生物を観察し、観察結果をなぜだろうと謙虚に考える姿勢で生物を理解してゆく、という自然科学の道筋が伝わってきた。その佐藤先生が、「日本は資源小国だが、夏の気温は高く雨量が多いから、微生物の宝庫です。微生物を利用する産業を盛んにするのが、この国では最も相応しいと思います」と授業の合間におっしゃった。この時ほど、自分の進路を意識し、息が詰る思いで過ごした時間はなかった。

微生物学を学ぶ道筋はいくつかあった。病原菌を中心にするなら医学部であろうし、純粹生物学の立場から学ぶなら理学部であろう。日常生活に役立つ応用微生物学は、農学部で農芸化学科が最も近道であると思われた。

東北大学の農学部に入學し、自分が身を立てる道として基礎の基礎から欠落が無いように学ぼうと心がけた。ところが、生物現象を理解しようとすれば、それを支えている化学を学ばねばならず、化学は物理学と数学を基礎にしているとわかり、途方に暮れた。自分の頭脳の程度を考えると、全てを理解しようとするのは所詮無理であった。

応用微生物学の直接的な基礎科目になっているのは生化学（生物化学）である。膨大な広がりを持つ有機化学の中で、生化学の基礎になっている部分さえ身につけておけば、あとはその場に応じた勉強をする、という辺りで妥協せざるをえなかった。

大学院博士課程を経た後、製薬会社へ就職し、利益を追求する実務社会の厳しさを体験した。その後、縁あって山梨大学工学部醗酵生産学科へ転職した。そこでは学生を相手に生化学の授業をするのが私の役目であった。授業を進行させる中で最も役立ったのが、自分流に物理学と化学を理解しようと手探りをしてきた経験であった。単純に教科書の内容を受け売りするだ

けではなく、身近な例を出し、比喩的な表現を説明に加え、学生の将来に必要な理解度へと到達できるように努めた。

学科構成が改組され、新設された科目の「バイオマス工学」も担当した。山梨大学を定年退職し、放送大学山梨学習センターに勤務先が移ってからは、「バイオ資源利用科学」を授業担当した。これらの授業経験と資料の蓄積が、本連載を執筆する基礎になった。

私は簡潔明瞭な文章表現が苦手なので、読者

の方々の中には“ここは不必要だ”と思われた記述があったのではないかと懸念している。一方で、“もっと先端技術まで詳細に紹介して欲しい”というご要望があったかもしれない。自分の研究内容を中心にした論文記事ではないだけに、記述にかけた時間と気苦労の割には、私自身の理解不足や誤解を与える文章表現があったであろうと怖れている。諸々の至り無さは、全て私の努力不足であり、責任である。

(完)

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

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

ニューフードインダストリー 第52巻 第1号

印刷 平成 21 年 12 月 25 日

発行 平成 22 年 1 月 1 日

発行人 宇田 守孝

編集人

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）

T E L : 03-3254-9191（代表）

F A X : 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 株式会社アイエムアート

定 価 2,100円（本体2,000円＋税）（送料100円）

email : info@newfoodindustry.com