

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2011 Vol.53 No.1

1

新春論説

- カカオマスリグニン配糖体の新しい機能性を求めて
- 抗酸化剤および植物抽出液の紫外線に対する細胞保護作用
- 大豆麹乳酸菌発酵液の抗酸化能：*in vitro* 研究
- 納豆酵素の強力な血栓溶解能：
ナットウキナーゼが有する基質特異性について
- 機能性材料としてのバクテリアセルロースゲル（ナタデココ）の利用
- 食用カンナの西南暖地における多用途利用開発
- 山形県米沢産ウコギの機能性と商品化への取り組み
- 寒天ゲル中におけるフレーバーの拡散
- 食塩を半減し，食物繊維を倍増しよう
- 日本の食料事情 その十 膨張しすぎたフードシステム

ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

- 第1回 人類が出会った乳利用



新春論説

- カカオマスリグニン配糖体の新しい機能性を求めて
.....坂上 宏, 前田 裕一, 桜井 孝治 1

- 抗酸化剤および植物抽出液の紫外線に対する細胞保護作用
..... 坂上 宏, 植木 淳一, 島田 亜希, 小野 真那巳, 菅藤 歌織,
若林 英嗣, 南部 俊之, 嶋田 淳, 牧 純, 山本 正次,
北嶋 まどか, 大泉 浩史, 大泉 高明, 牧野 徹 11

- 大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能：*in vitro* 研究
..... 中山 雅晴, 前沢 留美子, 腰原 菜水 20

- 納豆酵素の強力な血栓溶解能：
ナットウキナーゼが有する基質特異性について
.....須見 洋行, 内藤 佐和, 矢田貝 智恵子, 吉田 悦男,
大杉 忠則, 柳澤 泰任, 丸山 眞杉, 笹沼 隆史 33

- 機能性材料としてのバクテリアセルロースゲル（ナタデココ）の利用
..... 沼田 ゆかり 39

- 鶏挽肉とイカナゴすり身を混合した
加熱ゲルのゲル形成について
..... 船津 保浩, 岩崎 智仁 47

- 食用カンナの西南暖地における多用途利用開発
..... 田中 伸幸 57

新春論説

- 山形県米沢産ウコギの機能性と商品化への取り組み
..... 尾形 健明, 野田 博行, 山田 則子 63

- 寒天ゲル中におけるフレーバーの拡散
..... 山田 恭正 70

- 食塩を半減し, 食物繊維を倍増しよう
..... 藤田 哲 75

- 日本の食料事情 その十 膨張しすぎたフードシステム
..... 橋本 直樹 84

ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

- 第1回 人類が出会った乳利用
..... 平田 昌弘 89

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料

コクベース

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

エンザップ

new発酵調味料

D&M

ダイヤモンド

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース
ラクティックイーストエキス

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

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

カカオマスリグニン配糖体の 新しい機能性を求めて

坂上 宏^{*1} 前田 裕一^{*2} 桜井 孝治^{*3}

^{*1}SAKAGAMI Hiroshi (明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野) ,

^{*2}MAEDA Yuuichi, ^{*3}SAKURAI Koji (ロッテ中央研究所)

Key Words : カカオマス・カカオハスク・リグニン配糖体・抗ウイルス活性・マクロファージ・
サイトカイン・リポ多糖・ラジカル消去活性

はじめに

カカオ (学名 *Theobroma cacao*) の木は、中南米を原産として、主に熱帯雨林で生育する。主たるカカオの生育地域は、西アフリカ、南米及び東南アジアである。カカオポッドと呼ばれる約 20 センチのラグビーボール状の実が幹や枝に直接なり、その中にパルプ状の果肉とともに 30 ~ 40 粒のカカオ豆が入っている。カカオ豆に発酵、乾燥などの処理を加えることにより、カカオ特有の色合いや香気が生じるようになる。カカオ豆は胚乳と外皮 (カカオハスク) に分けられ、胚乳はさらに加工されてカカオマスとなり、チョコレートやココアの原料として使用される (カカオの製造工程は、文献 1 の図 1 を参照)¹⁾。日本チョコレート・ココア協会によると 2008 年は 28,800 トンのカカオ豆が輸入されており、222,120 トンのチョコレートが生産されている。一方、カカオハスクは大部分廃棄処理されており、現在、その有効利用が望まれている。

カカオについては、抗酸化作用²⁾、抗動脈硬化作用³⁾、抗菌作用⁴⁾、抗ウイルス作用⁵⁾などの生物活性や、カテキン、エピカテキンやその重合体であるプロシアニジン B₂、プロシアニジン C₁、シンナムタンニン A₂⁶⁾、あるいは食物繊維としてのリグニン⁷⁾などの成分分析

が報告されている。リグニン配糖体は、高い抗ウイルス活性、ビタミン C との相乗作用など、ユニークな生理作用を示すことが明らかになりつつある⁷⁾。しかしながら、カカオ由来のリグニンの生理機能についてはほとんど知られていなかった。そこで、我々は、カカオ成分の新規機能性の解明を目的として、カカオハスクおよびカカオマスよりリグニン配糖体を調製し、抗 HIV 活性、抗インフルエンザウイルス活性、抗菌活性、ラジカル消去活性、マクロファージ活性化能、煙草の煙に対する防護効果を検討した。その結果、カカオハスクリグニン配糖体は、カカオマスリグニン配糖体に比べ高い抗 HIV 活性を示し、ビタミン C のスーパーオキシドアニオンラジカル (O₂⁻) およびヒドロキシラジカル (HO・) 消去活性を相乗的に増強させ、マウスマクロファージ様細胞 (RAW264.7) による一酸化窒素 (NO) の生成を促進することが明らかになった^{1,8)}。しかし、この予備試験は、リグニン配糖体の溶解性、滅菌性については検討していなかった。リグニン配糖体の分子量が増加すると、溶解性は低下し、ミリポアフィルターによる滅菌は難しくなると思われる。この問題に対処するために、リグニン配糖体を 1.39% NaHCO₃ に溶かし、更にオートクレーブ

滅菌を行い、溶解性と滅菌性を確保した。そして、このようにして調製されたりグニン配糖体の活性を再検討した。その結果、カカオマスリグニン配糖体は、新しい生物作用を示すことが判明した⁹⁾。

1. リグニン画分の調製と収率

調製法を図1に示した。カカオマスあるいはカカオハスクに対し、10倍量のヘキサンによる脱脂を3回繰り返した。脱脂処理を行った試料を室温で2時間、1%NaOHで攪拌抽出を行い、不溶物を遠心(14,400xg, 15°C, 10分)により除去した。酢酸を添加して、pH 5.0でリグニン配糖体画分(酸沈殿1回)を沈殿させた。一部を1%NaHCO₃に溶解後、不溶物を遠心で除去後、同様に酢酸を添加して、精製リグニン配糖体を得た(酸沈殿2回)。これらを水に対して透析後、凍結乾燥した。表1に示したようにカカオマスリグニン配糖体、カカオハスクリグニン配糖体の収率は、それぞれ、[9.6 ± 1.1 (酸沈殿1回), 8.2 ± 2.0% (2回)]および[4.8 ± 1.8

(1回), 0.57 ± 0.57% (2回)]であった。リグニン配糖体は、1.39%NaHCO₃に溶かし、オートクレーブ(121°C, 2気圧)により滅菌した。その後、ゲル濾過で求めた分子量は、10万以上であり、高分子状態が維持できていることが確認された。

2. 抗 HIV 活性

ヒト T-細胞白血病細胞 MT-4 を、HIV-1_{IIIIB} で感染させ細胞を死滅させる条件を設定した(m.o.i.=0.01)。HIV-感染、非感染 MT-4 細胞を5日間、種々の濃度の試料とともに培養し、相対的生細胞数を、MTT法で測定した。非感染細胞、感染細胞から、それぞれ50%の細胞を生存させる濃度(CC₅₀, EC₅₀)を測定した。抗 HIV 活性は、選択係数 SI (SI=CC₅₀/EC₅₀)により数値化した(図2)。

オートクレーブで滅菌したカカオマスリグニン配糖体(酸沈殿1回)(SI=61.3 ± 24.1)(図2)は、カカオハスクリグニン配糖体(酸沈殿1回)(SI=44.5 ± 22.1)(図3)よりも高い抗 HIV 活

Cacao mass
or
Cacao husk

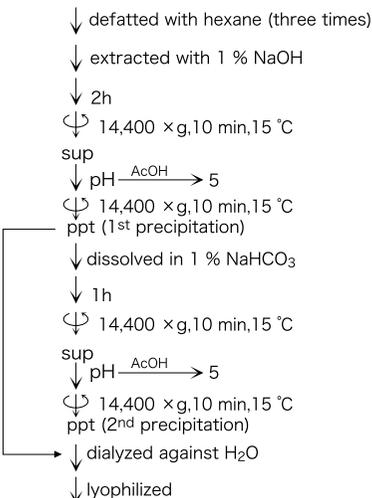


表1 カカオマスおよびカカオハスクリグニン配糖体の収率、ホルメシス誘導活性および抗 HIV 活性

	収率 (%)	最大ホルメシス誘導活性 (%)	抗 HIV 活性 (SI)
カカオマスリグニン配糖体			
酸沈殿 1 回	9.6 ± 1.1	11.3 ± 5.1	61.3 ± 24.1
酸沈殿 2 回	8.2 ± 2.0	7.2 ± 4.8	39.0 ± 23.6
カカオハスクリグニン配糖体			
酸沈殿 1 回	4.8 ± 1.8	15.1 ± 0.6	44.5 ± 22.1
酸沈殿 2 回	0.57 ± 0.57	2.7 ± 4.7	28.0 ± 16.4
デキストラン硫酸			1196
カードラン硫酸			3292
AZT			10120
ddC			1536
LPS			><1.0

図1 カカオリグニン配糖体の調製法

4 回の実験の平均値 ± S.D. を示す。

性を示した (表 1)。アルカリ可溶化と酸沈殿を再度行っても、カカオマスリグニン配糖体の抗 HIV 活性 (SI=39.0 ± 23.6) (図 2) は、カカオハスクリグニン配糖体 (SI=28.0 ± 16.4) (図 3)

よりも高かった。LPS (0.000256 ~ 100 µg/ml) は、抗 HIV 活性を示さなかった (SI=>>1.0)。

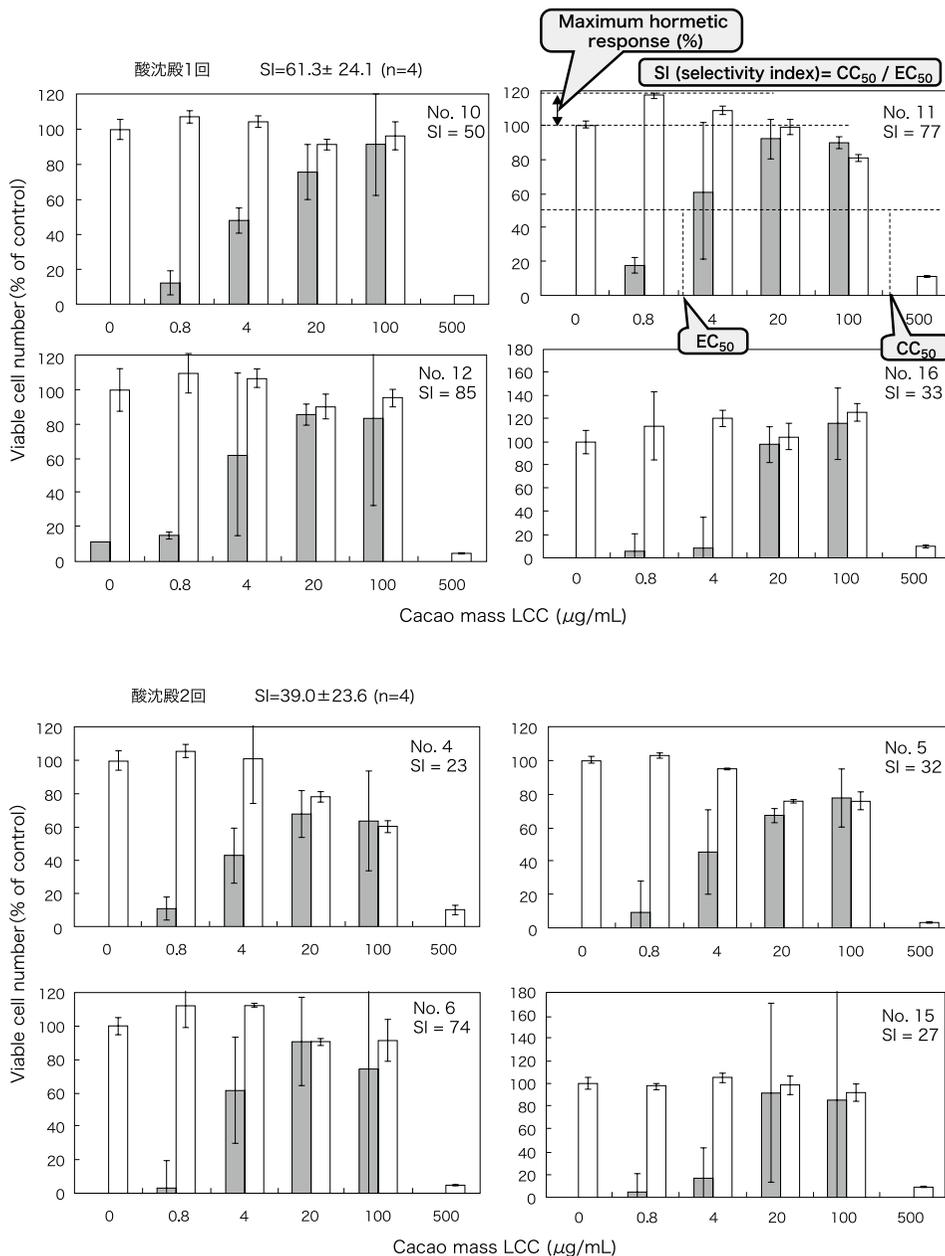


図 2 カカオマスリグニン配糖体の抗 HIV 活性
各点は、3個の実験値の平均値を示す。

3. ホルメシス効果

低濃度のカカオマス及びカカオハスクリグニン配糖体は、MT-4細胞の増殖を若干(15%程度)促進した(図2, 3, 表1)。低濃度における増

殖促進効果は、ホルメシスとして知られており、種々の薬物、放射線照射により誘導されることが報告されている¹⁰⁻¹¹⁾。カカオマスおよびカカオハスクリグニン配糖体に対して、ホルメシス効果を示す細胞は、その細胞の膜表面に受容体を発現している可能性が示唆される。

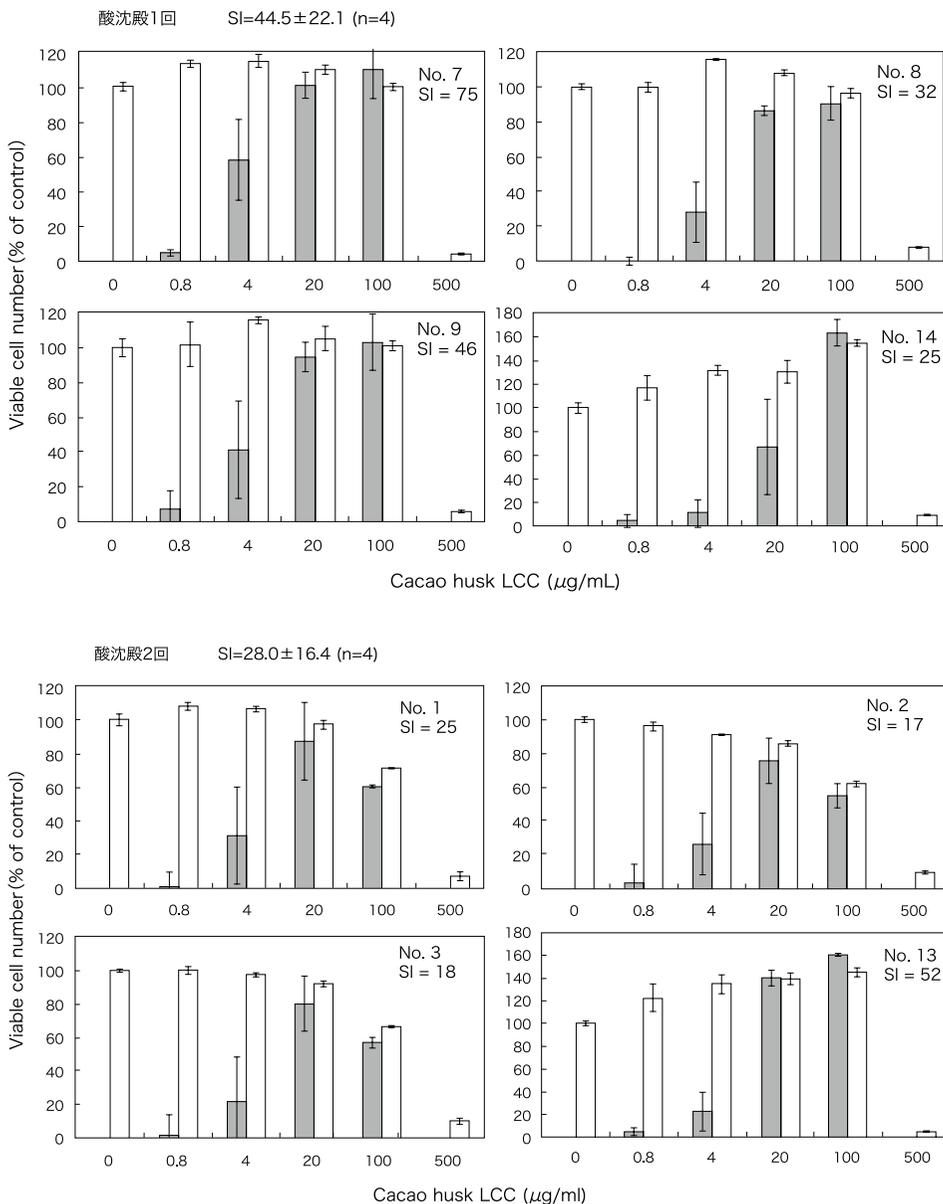


図3 カカオハスクリグニン配糖体の抗 HIV 活性
各点は、3個の実験値の平均値を示す。

4. マウスマクロファージ様細胞における NO 産生に及ぼす影響

マウスマクロファージ様細胞の RAW264.7 細胞¹²⁾あるいは J774.1 細胞¹³⁾は、マクロファージの活性化機構の研究において多数の研究者が使用している。これらのマクロファージ様細胞を、96 穴プレートに付着させ、24 時間、種々の濃度のリグニン配糖体とインキュベーションし、培養液中に放出された一酸化窒素 (nitric oxide, NO) をグリース法¹⁴⁾で、生細胞数を MTT 法により測定した。

カカオマスリグニン配糖体は、酸沈殿 1 回あるいは 2 回のいずれかで調製しても、RAW264.7

細胞あるいは J774.1 細胞による NO 産生を、125 $\mu\text{g/ml}$ までの濃度では促進しなかった (図 4)。

ウェスタンブロット解析により、カカオマスリグニン配糖体は、50 $\mu\text{g/ml}$ まで、単独では、RAW264.7 細胞における誘導型 NO 合成酵素 (inducible NO synthase, iNOS) タンパク質の発現を誘導しなかった。これに対して、LPS は、iNOS タンパク質の産生を促進した。また、カカオマスリグニン配糖体は、LPS により促進される iNOS タンパク質の発現を濃度依存的に促進することが判明した (図 5)。

一方、培養液中の NO の濃度は、NO の産生と分解により規定される。そこで、NO 消去活性を ESR を用いて検討した。カカオマスリ

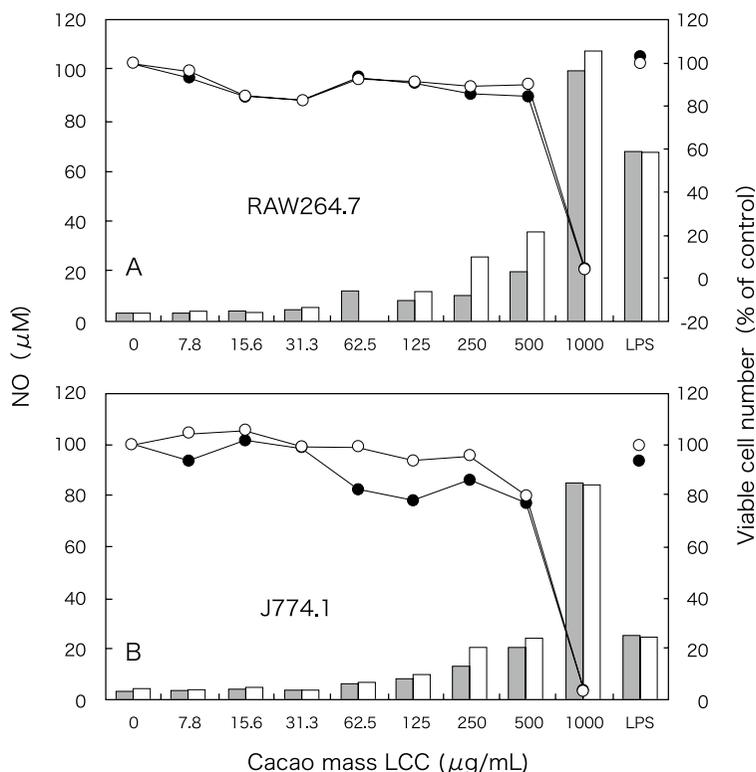


図 4 カカオマスリグニン配糖体によるマウスマクロファージ様細胞の NO 産生に及ぼす効果

RAW264.7 (A) および J774.1 細胞 (B) を種々の濃度のカカオマスリグニン配糖体と 24 時間インキュベートし、培養液中の NO の濃度 (棒) あるいは生細胞数 (丸印) を、それぞれグリース法および MTT 法により測定した。白あるいは灰色は、それぞれ、酸沈殿 1 回、あるいは 2 回により調製されたサンプルを示す。各点は、2 点の平均値を示す。NO の定量には、リグニン配糖体の着色によるバックグラウンド値を差し引いた。

グニン配糖体は、NOC-7から発生するNOを濃度依存的に消去した。50%抑制濃度は、53 $\mu\text{g/ml}$ であった(図6)。これに対して、LPSは、顕著なNO消去活性を示さなかった(data not shown)。以上の結果は、カカオマスリグニン配糖体とLPSは作用点が異なることを示唆する。

5. サイトカイン産生に及ぼす影響

RAW264.7細胞(A)と比較して、J774.1細胞(B)は、一桁高い濃度のTNF- α を自発的に培養液中に産生・放出していた(図7)。この結果は、J774.1細胞の培養液中に、TNFの

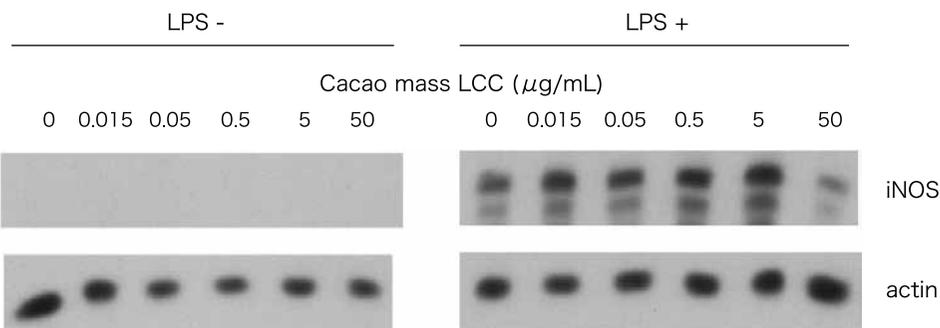


図5 カカオマスリグニン配糖体は、LPSによるiNOSタンパク質の発現を促進するRAW264.7細胞を、LPS(100 ng/ml)存在あるいは非存在下において、種々の濃度のカカオマスリグニン配糖体と24時間インキュベートし、iNOSタンパク質の発現をウェスタンブロット解析により調べた。

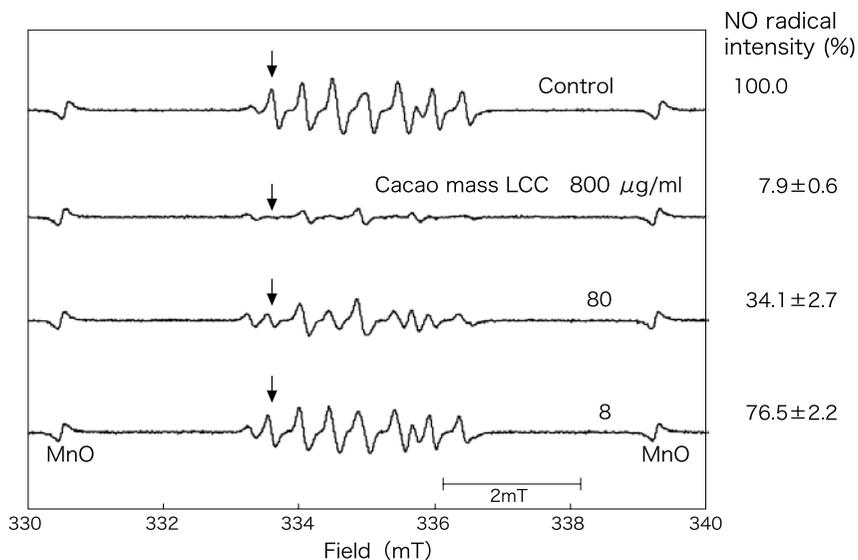


図6 カカオマスリグニン配糖体のNOラジカル消去活性

カカオマスリグニン配糖体およびcarboxy-PTI存在下において、NOC-7から発生するNO産生量をESRにより測定した。NOラジカル強度は、矢印で示したcarboxy-PTIのピークの高さと、外部標準のMnOのピークの高さの比を求め、controlに対する%に換算して表した。各点は、平均値 \pm S.D. (n=3)を示す。

マウスホモログである tumor killing factor を産生・放出するという報告¹⁵⁾を指示する。酸沈殿1回あるいは2回により調製されたカカオマスリグニン配糖体は、いずれも濃度依存的に TNF- α 産生を促進したが、LPS に比べればかなり弱いものであった。

しかしながら、カカオマスリグニン配糖体 (0.005 ~ 500 $\mu\text{g/ml}$) は、LPS とは異なり、RAW264.7 細胞によるインターロイキン- β (IL-1 β)、インターフェロン- α (IFN- α)、IFN- γ の産生を促進しなかった (図8)。

6. 考察

我々の研究により、緩和なアルカリ条件で、オートクレーブ滅菌することにより、高分子構造を維持したリグニン配糖体を完全に可溶化されることが、初めて明らかになった。この様にして調製されたカカオマスリグニン配糖体の抗 HIV 活性 (SI=39.0-61.3) は、カカオハスクリグニン配糖体 (SI=28.0-44.5)、他の8種の植物由来のリグニン配糖体 (SI= 26.8 \pm 30.0)⁷⁾,

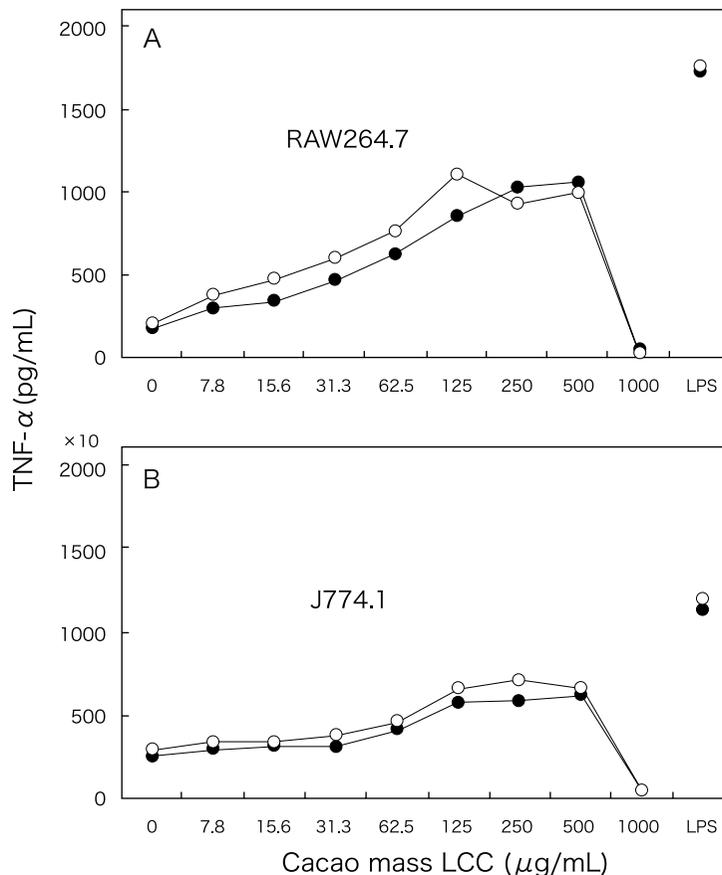


図7 カカオマスリグニン配糖体のマウスマクロファージ様細胞の TNF- α 産生に及ぼす効果

RAW264.7 (A) および J774.1 細胞 (B) を種々の濃度のカカオマスリグニン配糖体と 24 時間インキュベートし、培養液中の TNF- α の濃度を、ELISA により測定した。白あるいは灰色は、それぞれ、酸沈殿 1 回、あるいは 2 回により調製されたサンプルを示す。各点は、2 点の平均値を示す。カカオマスリグニン配糖体 (7.8-1000 $\mu\text{g/ml}$) は、ELISA による TNF- α 産生の測定に影響を与えなかった。

タンニン類 (SI=1-10)¹⁶⁾, フラボノイド類 (SI=1)¹⁷⁻¹⁸⁾ を凌ぐものであった。可溶化されたリグニン配糖体は、シグナル伝達経路の解明に貢献すると思われる。

最近、我々は、DNA マイクロアレー解析を行い、高濃度域のシイタケ菌糸培養液 (LEM) 由来リグニン配糖体が、種々の免疫応答遺伝子の発現を誘導すること、そして、大半は、LPS で誘導される遺伝子と重複することを明らか

にした¹⁹⁾。LPS は、Toll-like receptor 4 (TLR4) シグナル伝達経路を介してサイトカインの産生を誘導し²⁰⁾, JAK-STAT (signal transducer and activator of transcription) シグナル経路を形成する Janus kinase 2 (JAK2) を活性化することが知られている²¹⁾。LEM 由来リグニン配糖体と LPS は、免疫応答遺伝子の発現をともに誘導するが、LPSの方が、より強く発現を誘導することを見出した¹⁹⁾。カカオマスリグニン配糖

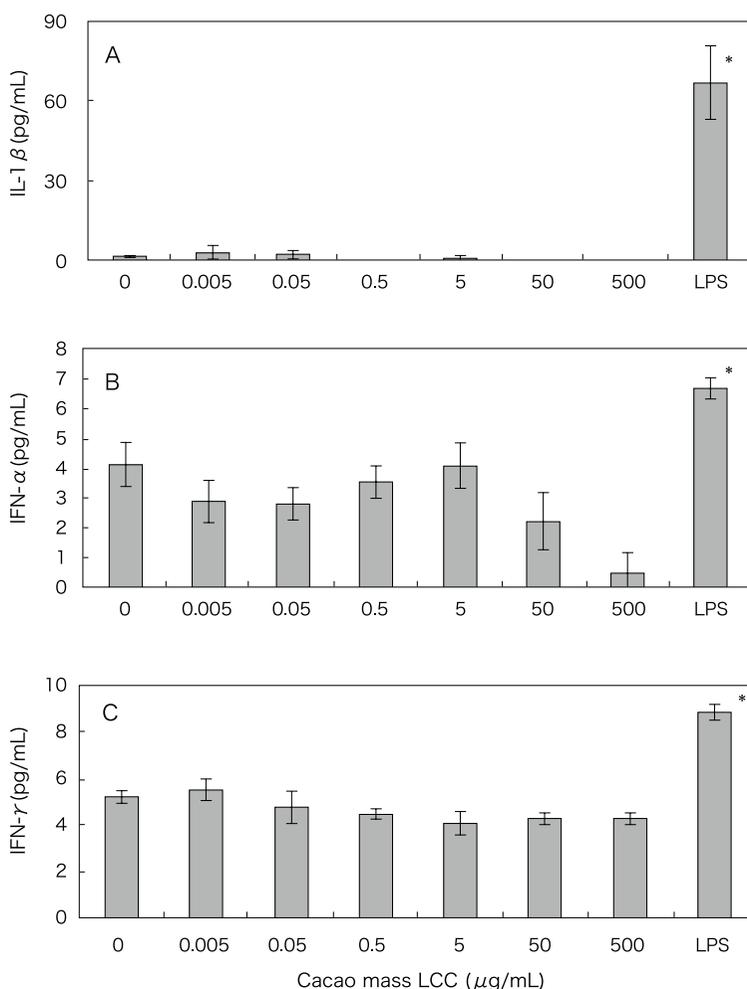


図8 カカオマスリグニン配糖体のマウスマクロファージ様細胞の種々のサイトカイン産生に及ぼす効果

RAW264.7細胞を種々の濃度のカカオマスリグニン配糖体と24時間インキュベートし、培養液中のIL-1β (A), IFN-α (B), IFN-γ (C)の濃度を、ELISAにより測定した。白あるいは灰色は、それぞれ、酸沈殿1回、あるいは2回により調製されたサンプルを示す。各点は、平均値 ± S.D. (n=3)を示す。カカオマスリグニン配糖体は、ELISAによるこれらサイトカインの産生の測定に影響を与えなかった。* < 0.05

体も同様な活性を示すか、また、低濃度域のリグニン配糖体は、高濃度域のリグニン配糖体と同様な活性を示すか否か、今後の検討課題である。

今回の研究は、リグニン配糖体自身には、マウスマクロファージを活性化して、iNOSタンパク質の発現を促進する活性はないが、LPSのiNOSタンパク質の発現を相乗的に増強することを明らかにした。これは、リグニン配糖体の作用点はLPSとは異なること、また、それ自身では、サイトカインの産生能は低いが、宿主細胞を活性化してサイトカインの産生、あるいは、発現を促進する可能性を示唆する。我々は、以前、カワラタケ由来のタンパク結合多糖のPSKが、TNF- α ²²⁾あるいは、IFN- γ ²³⁾のヒト骨

髄性白血球細胞の成熟マクロファージへの分化誘導能を増強することを報告した。リグニン配糖体の糖組成の検討が、カカオマスリグニン配糖体の免疫増強効果発現のメカニズムの解明に必要である。

カカオマスおよびカカオハスクリグニン配糖体は、今回、MT-4細胞の増殖を若干促進することが見いだされた。我々は、カカオリグニン配糖体が、歯肉線維芽細胞の増殖を促進すること¹⁾、五葉松の松かさリグニン配糖体は、マウス脾臓リンパ球の幼若化(³H-チミジンのDNAへの取り込み)を促進することを報告している²⁴⁻²⁵⁾。リグニン配糖体が、選択的な受容体を介して、正常細胞の増殖を選択的に促進するの否かは、今後の重要な研究課題である。

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

- 1) 坂上 宏, 前田裕一, 大澤謙二: カカオハスクの多様な生物作用と代替医療における機能性, *New Food Industry* **50** (4): 1-9, 2008
- 2) Motohashi N, Kawase M, Kurihara T, Shirataki Y, Kamata K, Nakashima H, Premanathan M, Arakaki R, Kanbara K, Ramanan S, Satoh K, Sakagami H, Saito S and Nakamura T: Relationship between radical intensity and biological activity of cacao husk extracts. *Anticancer Res* **19**: 1125-1130, 1999.
- 3) 越坂部奈緒美: ポリフェノール類の抗動脈硬化作用, *ビタミン* **80**(5,6), 2006
- 4) Matsumoto M, Tsuji M, Okuda J, Sasaki H, Nakano K, Osawa K, Shimura S and Ooshima T: Inhibitory effects of cacao bean husk extract on plaque formation *in vitro* and *in vivo*. *Eur J Oral Sci.* **112**(3), 249-252, 2004
- 5) Unten S, Ushijima H, Shimizu H, Tsuchie H, Kitamura T, Moritome N and Sakagami H: Effect of cacao husk extract on human immunodeficiency virus infection. *Letters in Appl Microbiol* **14**: 251-254, 1991.
- 6) Hatano T, Miyatake H, Natsume M, Osakabe N, Takizawa T, Ito H and Yoshida T: Proanthocyanidin glycosides and related polyphenols from cacao liquor and their antioxidant effects, *Phytochemistry* **59**, 749-758, 1998.
- 7) Sakagami H, Kushida T, Oizumi T and Makino T: Distribution of lignin carbohydrate complex in plant kingdom and its functionality as alternative medicine. *Pharmacology & Therapeutics* **128**: 91-105, 2010.
- 8) Sakagami H, Satoh K, Fukamachi H, Ikarashi T, Simizu A, Yano K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Hasegawa H, Nomura A, Utsumi K, Yamamoto M, Maeda Y and Osawa K: Anti-HIV and vitamin C-synergized radical scavenging activity of cacao husk lignin fractions. *In Vivo* **22**: 327-332, 2008.
- 9) Sakagami H, Kawano M, May MT, Hashimoto K, Satoh K, Kanamoto T, Terakubo S, Nakashima H, Haishima Y, Maeda Y and Sakurai K: Anti-HIV and immunopotential activity of cacao mass lignin carbohydrate complex. *In Vivo* **24**: in press, 2010.
- 10) Calabrese EJ: Paradigm lost, paradigm found: The re-emergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences. *Environmental Pollution* **138**: 379-412, 2005.
- 11) Calabrese EJ, Staudenmayer JW, Stanek III EJ and Hoffmann GR: Hormesis outperforms threshold model in national cancer institute drug screening database. *Toxicol Sci* **94**: 368-378, 2006.

- 12) Ralph P and Nakoinz I: Antibody-dependent killing of erythrocyte and tumor targets by macrophage-related cell lines: enhancement by PPD and LPS. *J Immunol* **119**: 950-954, 1977.
- 13) Ralph P, Prichard J and Cohn M: Reticulum cell sarcoma: an effect cell in antibody-dependent cell-mediated immunity. *J Immunol* **114**: 898-905, 1975.
- 14) Takahashi J, Sekine T, Nishishiro M, Arai A, Wakabayashi H, Kurihara T, Hashimoto K, Satoh K, Motohashi N and Sakagami H: Inhibition of NO production in LPS-stimulated mouse macrophage-like cells by trihaloacetylazulene derivatives. *Anticancer Res* **28**: 171-178, 2008.
- 15) Ito A, Ohsawa F and Natori S: Purification of a cytotoxic protein produced by the murine macrophage-like cell line J774.1 in response to Sarcophaga lectin. *J Biochem* **99**: 9-15, 1986.
- 16) Nakashima H, Murakami T, Yamamoto N, Sakagami H, Tanuma S, Hatano T, Yoshida T and Okuda T: Inhibition of human immunodeficiency viral replication by tannins and related compounds. *Antiviral Res* **18**: 91-103, 1992.
- 17) Fukai T, Sakagami H, Toguchi M, Takayama F, Iwakura I, Atsumi T, Ueha T, Nakashima H and Nomura T: Cytotoxic activity of low molecular weight polyphenols against human oral tumor cell lines. *Anticancer Res* **20**: 2525-2536, 2000.
- 18) Shirataki Y, Motohashi N, Tani S, Sakagami H, Satoh K, Nakashima H, Mahapatra SK, Ganguly K, Dastidar SG and Chakrabarty AN: *In vitro* biological activity of prenylflavanone. *Anticancer Res* **21**: 275-280, 2001.
- 19) Kawano M, Thet MM, Makino T, Kushida T and Sakagami H: DNA microarray analysis of signaling pathway in macrophages stimulated by lignin-carbohydrate complex from *Lentinus edodes* mycelia extract (L·E·M) *Anticancer Res* **30**: 2567-2576, 2010.
- 20) Beutler B and Rietschel ET: Innate immune sensing and its roots: the story of endotoxin. *Nat Rev Immunol* **3**:169-176, 2003.
- 21) Kimura A, Naka T, Muta T, Takeuchi O, Akira S, Kawase I and Kishimoto T: Suppressor of cytokine signaling-1 selectively inhibits LPS-induced IL-6 production by regulating JAK-STAT. *Proc Natl Acad Sci USA* **102**:17089-17094, 2005
- 22) Sakagami H, Ikeda M and Konno K: Stimulation of tumor necrosis factor-induced human myelogenous leukemic cell differentiation by high molecular weight PSK subfraction. *Biochem Biophys Res Commun* **162**: 597-603, 1989.
- 23) Kim F, Sakagami H, Tanuma S and Konno K: Stimulation of interferon- γ -induced human myelogenous leukemic cell differentiation by high molecular weight PSK subfraction. *Anticancer Res* **10**: 55-58, 1990.
- 24) Kurakata Y, Sakagami H, Takeda M, Konno K, Kitajima K, Ichikawa S, Hata N and Sato T: Mitogenic activity of pine cone extracts against cultured splenocytes from normal and tumor-bearing animals. *Anticancer Res* **9**: 961-966, 1989.
- 25) Kurakata Y, Sakagami H, Oh-hara T, Kawazoe Y, Asano K, Fujinaga S, Takeda M and Sato T: Mitogenic activity of natural and synthetic lignins against cultured splenocytes. *In vivo* **4**: 377-380, 1990.

抗酸化剤および植物抽出液の 紫外線に対する細胞保護作用

坂上 宏^{*1} 植木 淳一^{*2} 島田 亜希^{*3} 小野 真那巳^{*4} 菅藤 歌織^{*5} 若林 英嗣^{*6}
南部 俊之^{*7} 嶋田 淳^{*8} 牧 純^{*9} 山本 正次^{*10} 北嶋 まどか^{*11} 大泉 浩史^{*12}
大泉 高明^{*13} 牧野 徹^{*14}

^{*1}SAKAGAMI Hiroshi^{*}, ^{*7}NAMBU Toshiyuki, ^{*8}SHIMADA Jun (明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野^{*}, 口腔顎顔面外科学分野),

^{*2}UEKI Junichi, ^{*3}SHIMADA Aki, ^{*4}ONO Manami, ^{*5}KANTOH Kaori, ^{*6}WAKABAYASHI Hidetsugu (城西大学理学部),

^{*9}MAKI Jun (松山大学薬学部), ^{*10}YAMAMOTO Masaji (丸善製薬株式会社),

^{*11}KITAJIMA Madoka, ^{*12}OIZUMI Hiroshi, ^{*13}OIZUMI Takaaki (株式会社大和生物研究所),

^{*14}MAKINO Toru (株式会社ヒューマラボ)

Key Words : 紫外線・細胞保護作用・茶抽出液・抗酸化剤・シイタケ菌糸体培地培養エキス・クマザサ抽出液

はじめに

紫外線は波長が可視光線より短く軟 X 線より長い不可視光線の電磁波であり、波長 380–200 nm の近紫外線、波長 200–10 nm の遠紫外線もしくは真空紫外線、波長 1–10 nm の極紫外線、極端紫外線に分けられる。また、人間の健康や環境への影響の観点から、UVA (400–315 nm)、UVB (315–280 nm)、UVC (280 nm 未満)に分けられることもある。太陽光の中には、UVA、UVB、UVC の波長の紫外線が含まれているが、そのうち UVA、UVB はオゾン層を通過して、地表に到達する。UVC は、物質による吸収が著しく、通常は大気を通過することができない。地表に到達する紫外線の 99% が UVA である。

紫外線は、殺菌消毒¹⁾、ビタミン D の合成²⁾、生体に対しての血行や新陳代謝の促進、あるいは皮膚抵抗力の亢進など有益な作用を示す。しかし、紫外線は、活性酸素種 (reactive oxygen species, ROS) を生成する。この ROS は、DNA やタンパク質などを損傷して、発癌に関与する³⁾。

損傷を受けた DNA 塩基は、通常、修復システムによって修復されるが、修復されないと突然変異を誘発し、長い時間をかけて、癌や老化など様々な疾病を発生させる。4つの DNA 塩基のうち、最も酸化されやすいのが、グアニンであり⁴⁾、酸化されて生じた 8-オキシグアニンは、G:C から T:A への変異を誘発する⁵⁾。

紫外線の線量が極端に高い場合は、急性の細胞死を誘発する。細胞死のタイプは、細胞により異なる⁶⁻⁷⁾。紫外線は、ヒト骨髓性白血病細胞の場合、アポトーシスを誘導するが、T細胞白血病や、赤芽球性白血病細胞、神経膠芽腫細胞の場合には、アポトーシス以外の細胞死が誘導される⁸⁾。

我々は、最近、紫外線に対する細胞保護活性の簡便な測定法を開発した⁹⁻¹¹⁾。今回、この方法を用いて、様々な抗酸化剤、お茶抽出液、シイタケ菌糸体培地培養エキス (L・E・M)¹²⁾、クマザサ抽出液 (SE: 一般用医薬品「ササヘルス」)¹³⁻¹⁵⁾ の紫外線に対する細胞保護作用 (以下、「抗 UV 作用」と略) を比較検討した。

1. 材料と方法

1-1. 細胞培養

ヒト口腔扁平上皮癌細胞 (HSC-2, HSC-3, HSC-4) およびヒト口腔正常組織細胞 (歯肉線維芽細胞 HGF, 歯髄細胞 HPC, 歯根膜線維芽細胞 HPLF) は, 10% 非働化したウシ胎仔血清 (FBS) を含む DMEM 培養液中, ヒト前骨髄性白血病細胞 HL-60 は, RPMI1640/10%FBS 中, 5%CO₂ インキュベーター内, 37℃で培養した。

1-2. 照射条件

HSC-2 細胞を, 96-microwell plate に播き, 48 時間培養してプレートに付着させた。様々な濃度の被検物質を含むリン酸緩衝液 PBS(-)100 μl に置換後, プレートの蓋を外し, プレートを UV ランプ (波長 260 nm) から 20.5 cm 離れた位置に置き, 1 分間紫外線照射した (図 1)⁹⁾。相対的生細胞数は, 未照射の細胞数に対する百分率 (%) で表示した。新鮮培地に置換して, 24 時間培養後, 相対的生細胞数は MTT 法により測定した。濃度依存性曲線から, 50%

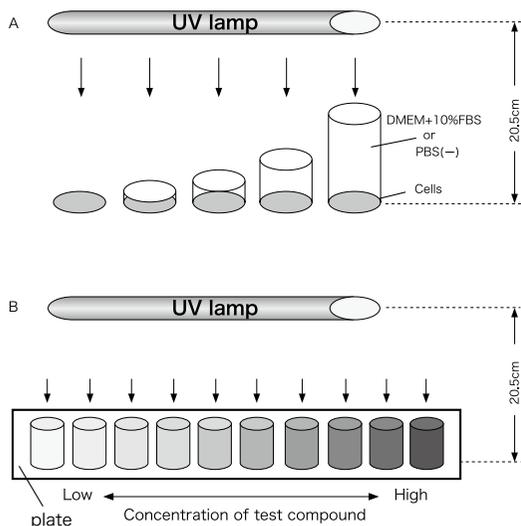


図 1 UV 照射の実験プロトコール

培養液あるいは PBS (-) の量 (A) および試料の濃度 (B) の影響⁹⁾。

細胞傷害濃度 (CC₅₀) および, 紫外線照射細胞の生存率を 50% まで上昇させる濃度 (EC₅₀) を求めた。有効係数 (SI) は, 次式で求めた。
SI=CC₅₀/EC₅₀.

1-3. アポトーシスマーカーの発現

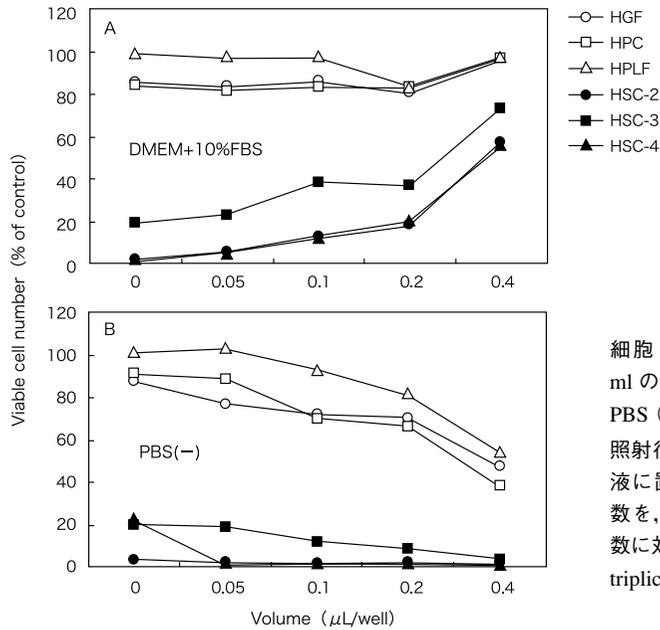
DNA の断片化は, アガロースゲル電気泳動により測定した。カスパーゼ -3 の活性化は, 基質 (DEVD-*p*-nitroanilide) の分解活性により測定した¹⁰⁾。

2. 紫外線感受性

ヒト口腔扁平上皮癌細胞 (HSC-2, HSC-3, HSC-4) は, 紫外線照射に対して, ヒト口腔正常組織細胞 (HGF, HPC, HPLF) に比べて遥かに高い感受性を示した (図 2)⁹⁻¹⁰⁾。紫外線の細胞傷害活性は, 細胞を培養液 (DMEM+10%FBS) 中で照射すると (図 2A), リン酸緩衝液 (PBS(-)) 中で照射した場合に比べて (図 2B), 著しく減弱した⁹⁾。また, その減弱効果は, 培養液の液量の増加に伴いより顕著になった (図 2A)⁹⁾。これらの結果を考慮し, 標的細胞として, ヒト口腔扁平上皮癌細胞 (HSC-2) を, 紫外線照射を行う medium として, PBS(-) を用いることにした。

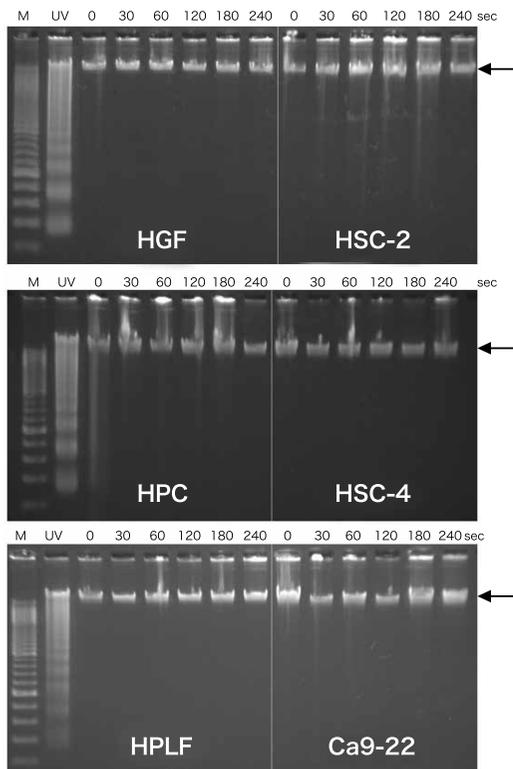
3. 紫外線で誘導される細胞死のタイプ

紫外線照射は, ヒト口腔扁平上皮癌細胞 (HSC-2, HSC-4, Ca9-22) およびヒト口腔正常組織細胞 (HGF, HPC, HPLF) には, 高分子 DNA の断片化を認めたものの (矢印), アポトーシスに特徴的なヌクレオソーム単位の DNA の断片化を誘導しなかった (図 3)。紫外線照射は, 正常細胞に対しては, 全くカスパーゼ -3 を活性化せず, 口腔扁平上皮癌細胞においても, 陽性対照の HL-60 に比べて, ごく僅かしかカスパーゼ -3 を活性化しなかった (図 4)。紫外線は,



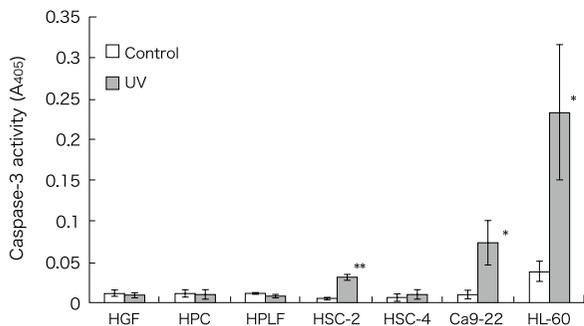
細胞を、2分間、0, 0.05, 0.1, 0.2あるいは0.4 mlの10% FBSを含むDMEM (A)あるいはPBS (-) (B)中で、UV照射 (6 J/m²/min)した。照射後、0.1 mlの10%FBSを含むDMEM培養液に置換し、48時間培養した。相対的生細胞数を、MTT法で測定し、未照射細胞の生細胞数に対する百分率 (%)で表わした⁹⁾。各値は、triplicateの平均値を表す。

図2 ヒト正常細胞 [HGF (15 PDL) (○), HPC (16 PDL) (□), HPLF (15 PDL) (△)] およびヒト口腔扁平上皮癌細胞 [HSC-2 (●), HSC-3 (■), HSC-4 (▲)] の紫外線感受性



細胞を30, 60, 120, 180, 240秒間紫外線照射後、10%FBSを含む培養液でさらに、6時間培養した。DNAの断片化をアガロース電気泳動により観察した。UVは、紫外線照射したHL-60細胞のDNAを示す。Mは、DNA分子量マーカーである。矢印で示す位置に、高分子のDNAの断片化を認めた¹⁰⁾。

図3 紫外線照射は、ヒト口腔正常細胞 (HGF, HPC, HPLF) およびヒト口腔扁平上皮癌細胞 (HSC-2, HSC-4, Ca9-22) にヌクレオソーム単位のDNAの断片化を誘導しない



細胞を1分間紫外線照射し、10%FBSを含む培養液で6時間培養し、カスパーゼ-3の活性を測定した¹⁰⁾。陽性対照として、ヒト前骨髄性白血病細胞HL-60のカスパーゼ-3活性を示す。各値は、平均値±S.D. (n=3)を表す。* <0.05, ** <0.01。

図4 紫外線照射のヒト口腔正常細胞 (HGF, HPC, HPLF) およびヒト口腔扁平上皮癌細胞 (HSC-2, HSC-4, Ca9-22) におけるカスパーゼ-3活性化に及ぼす効果

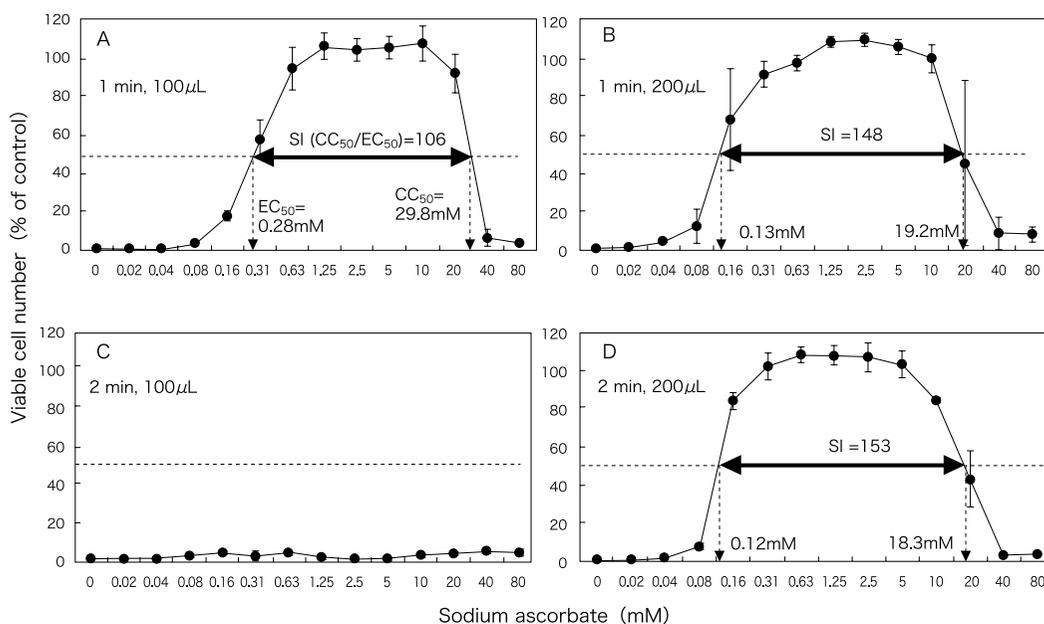


図5 照射時間, 液量の至適条件

HSC-2細胞を、100 (A, C) あるいは200 (B, D) μlのPBS (-)中で、1 (A, B) あるいは2 (C, D)分間紫外線照射した。照射後、0.1 mlの10%FBSを含むDMEM培養液に置換し、48時間培養した。相対的生細胞数はMTT法で測定した。各値は、平均値±S.D. (n=3)を表す¹¹⁾。

これらの細胞に対して、アポトーシスをほとんど誘導しないことが示唆された¹⁰⁾。

4. 抗酸化剤の抗UV作用

Sodium ascorbateは、紫外線照射誘発性の細胞死を濃度依存的に抑制した(図5)。その抑

制効果は、紫外線照射時間が1分の場合、液量が100, 200 μlいずれでも観察された(A, B)。しかし、照射時間が2分の場合には、液量が200 μlにおいてのみ観察され(D)、100 μlでは観察されなかった(C)。この結果をふまえ、照射時間は、1分、液量は、100 μlが適当であると判断した。

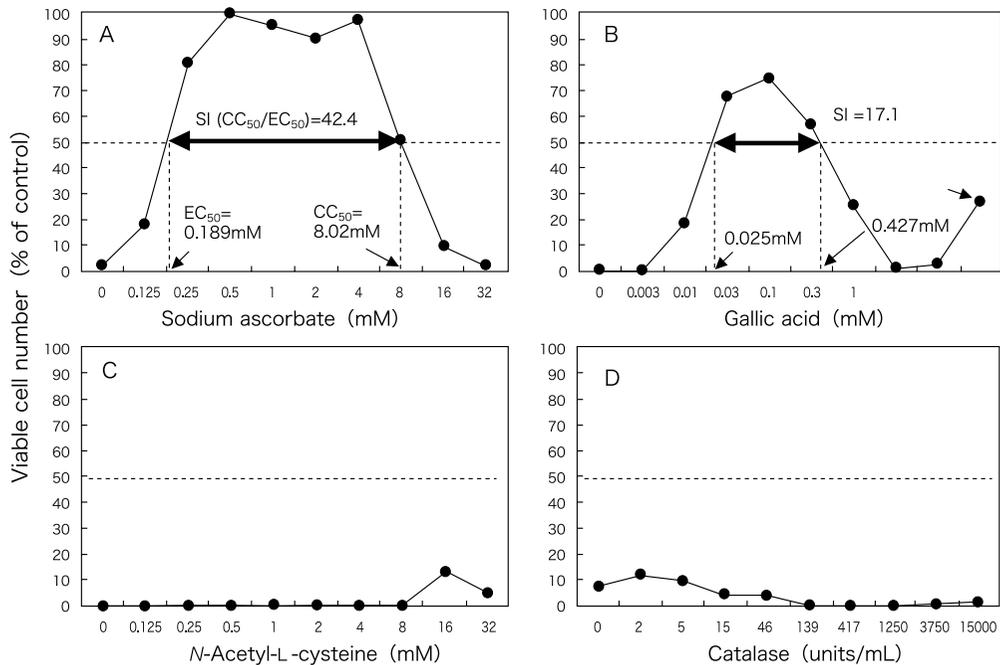


図6 抗酸化剤 sodium ascorbate (A), 没食子酸 (B), *N*-acetyl-L-cysteine (NAC) (C), カタラーゼ (D) の抗 UV 作用⁹⁾

各点, triplicate の平均値を示す。

抗酸化剤の中では, sodium ascorbate が最大の抗 UV 作用を与え (SI=42.4) (図 6A), 没食子酸 (SI=17.1) (B) が続いた。しかし, 抗酸化剤として汎用されている *N*-acetyl-L-cysteine (NAC) (C) や catalase (D) は不活性であった (表 1, 実験 1)。

5. ウコンエキスの抗 UV 作用

ウコンエキスおよび構成成分の抗 UV 作用を検討した (図 7)。ウコンエキス自体 (C) の抗 UV 作用は弱い⁸⁾, *Ar-turmerone* (A) および *curcumin* (B) で若干の抗 UV 作用が検出された。しかし, これらの化合物は, 脂溶性であり, 溶剤の DMSO の効果を検討したところ, 約 1% の濃度で若干の抗 UV 作用が検出された (D) (表 1, 実験 2)。従って, 脂溶性物質の場合は, 溶剤の効果を差し引いて検討する必要がある。

6. 茶抽出液の抗 UV 作用 (図 8, 9)

日常生活でよく飲まれている 3 種のお茶およびコーヒーの熱水抽出液の抗 UV 作用を検討した (図 8)。緑茶 (SI=3.4) (A) およびコーヒー (SI=9.6) (D) 抽出液からは, 抗 UV 作用が検出されたが, 紅茶 (B) およびジャスミン茶抽出液 (C) からは抗 UV 作用は検出されなかった (表 1, 実験 3)。

市販されている 4 種のお茶のペットボトルの効果を検討した (図 9)。緑茶のペットボトル (SI=1.6) (A) に, 前項の緑茶抽出液とほぼ同等の抗 UV 作用が検出された。ウーロン茶 (B), 麦茶 (C), あるいは黄杞茶のペットボトル (D) からはほとんど抗 UV 作用が検出されなかった (表 1, 実験 4)。

表 1 抗酸化剤などの紫外線防護活性の比較

試料	最大反応 (%)	CC ₅₀	EC ₅₀	有効係数 SI (= CC ₅₀ /EC ₅₀)
実験 1 (抗酸化剤)				
Sodium ascorbate	100.0	8.02 mM	0.19 mM	42.4
Gallic acid	74.4	0.427 mM	0.025 mM	17.1
N-Acetyl-L-cysteine	12.7	-	-	-
Catalase	12.2	-	-	-
実験 2 (ウコンエキス)				
DMSO	52.4	>1.00%	0.95%	>1.1
Curcumin	158.6	-	84.3	-
Ar-turmerone	224.1	-	139.4	-
Turmeric extract	28.1	-	-	-
実験 3 (茶, コーヒー抽出液)				
Green tea	100.4	23.40%	6.82%	3.4
Black tea	4.1	1.45%	-	-
Jasmine tea	6.2	5.80%	-	-
Coffee extract	95.6	9.10%	0.95	9.6
実験 4 (市販ペットボトル)				
Oolong tea	5.5	43.80%	-	-
Green tea	76.9	32.50%	19.90%	1.6
Kohki tea	4.1	43.70%	-	-
Barley tea	18.5	-	-	-
実験 5 (LEM, ササヘルス)				
LEM	91.2	4.23%	0.10%	41.9
SE (1回目)		17.02%	1.28%	13.3
SE (2回目)	102.4	9.73%	1.02%	9.5
Sodium ascorbate	89.5	10.5 mM	0.36 mM	29.5
EGCG	101.4	0.405 mM	0.0525 mM	7.7

7.

シイタケ菌糸体培地培養エキスおよびクマザサ抽出液の抗 UV 作用

シイタケ菌糸体培地培養エキス (L・E・M) (SI=41.9), クマザサ抽出液 (ササヘルス) (SI=9.5 ~ 13.3) いずれも, 比較的強い抗 UV 作用を示した (図 10) (表 1, 実験 5)。

8. 考察

今回, 紹介した培養細胞を用いた抗 UV 作用の測定法は, 以下の特徴を有する。

- ・簡便性
- ・低コスト

- ・再現性
- ・迅速性: 細胞の播種から生細胞数測定まで 24 h に短縮可能
- ・食塩を添加して等張にすれば, カラムフラクションも測定可能
- ・紫外線照射しているため, 試料の滅菌操作は不要
- ・濃度不明の試料も, SI 値により抗 UV 作用を数値化できる。
- ・CC₅₀ 値は, 細胞を紫外線照射しても, 照射しなくても, ほとんど差がないので, 紫外線照射なしのデータは省略可能である。
- ・Sodium ascorbate (ビタミン C) は, 陽性対照として使用できる。

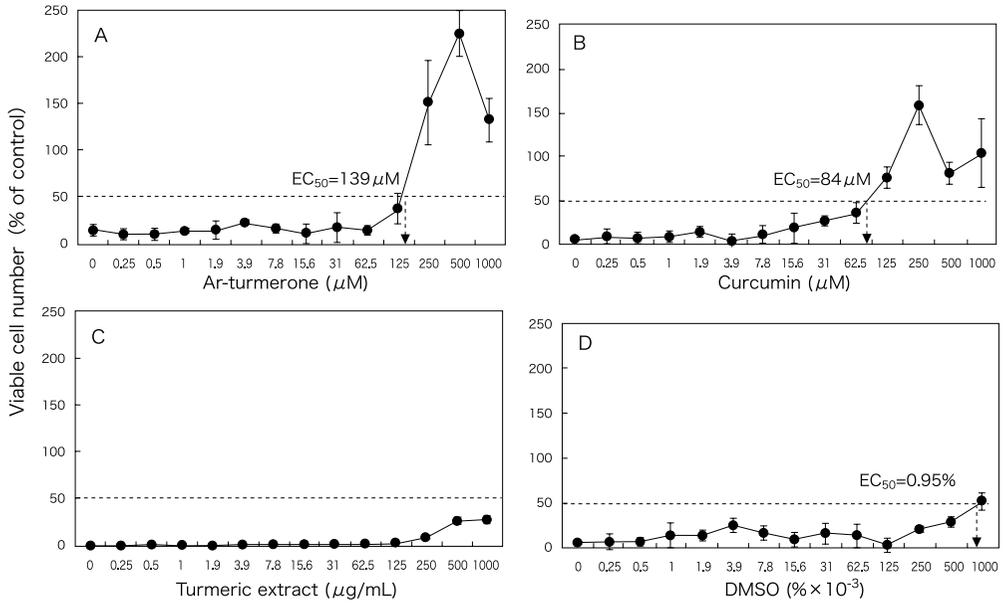


図7 ウコンエキス成分, Ar-turmerone (A), curcumin (B), turmeric extract (C), DMSO (D) の抗 UV 作用¹¹⁾
各値は、平均値± S.D. (n=3) を表す。

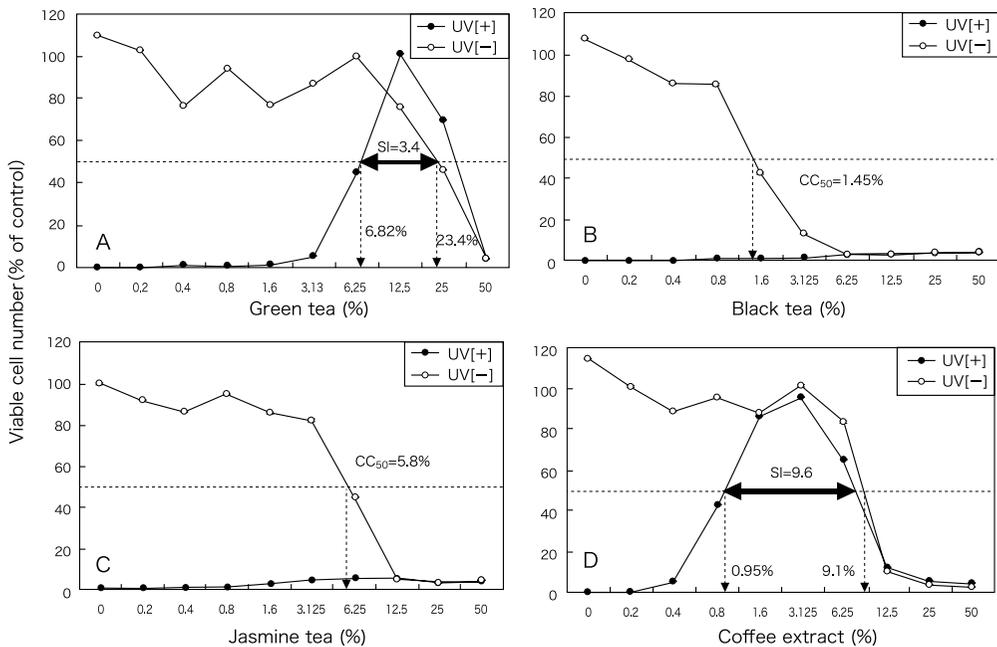


図8 緑茶 (A), 紅茶 (B), ジャスミン茶 (C), コーヒー (D) 熱水抽出液の抗 UV 作用
NaCl を終濃度 0.9% 添加し等張化してから細胞に添加した。UV 照射 (●), 未照射 (○),
各値は、3 点の平均値を示す¹¹⁾。

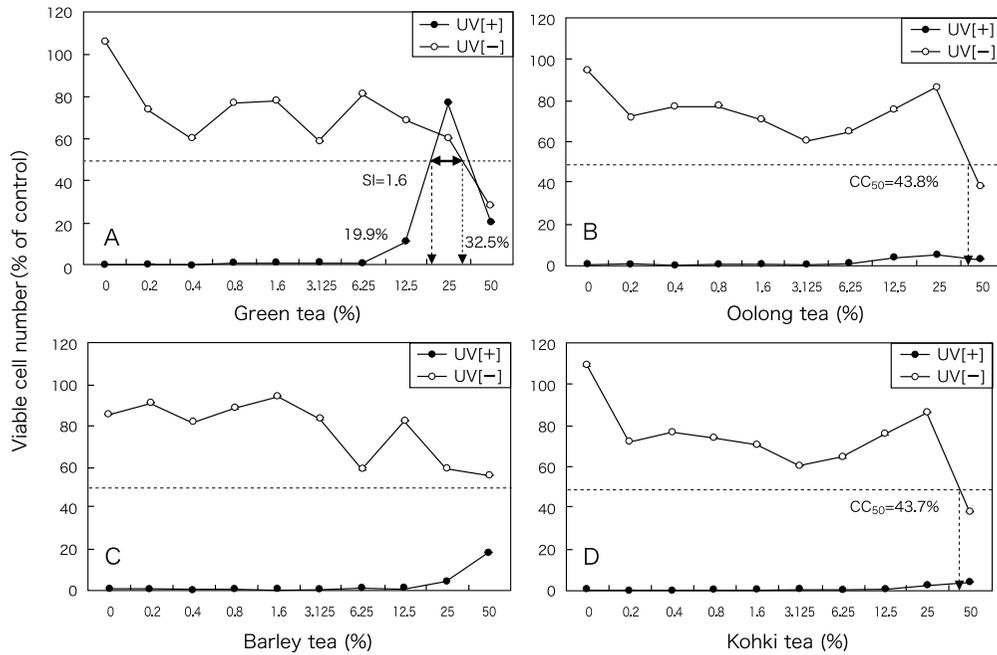


図9 各種ペットボトルの抗UV作用

市販の緑茶 (A), ウーロン茶 (B), 麦茶 (C), あるいは黄杞茶のペットボトル (D) に, NaCl を終濃度 0.9% 添加し等張化してから細胞に添加した¹¹⁾。UV 照射 (●), 未照射 (○)

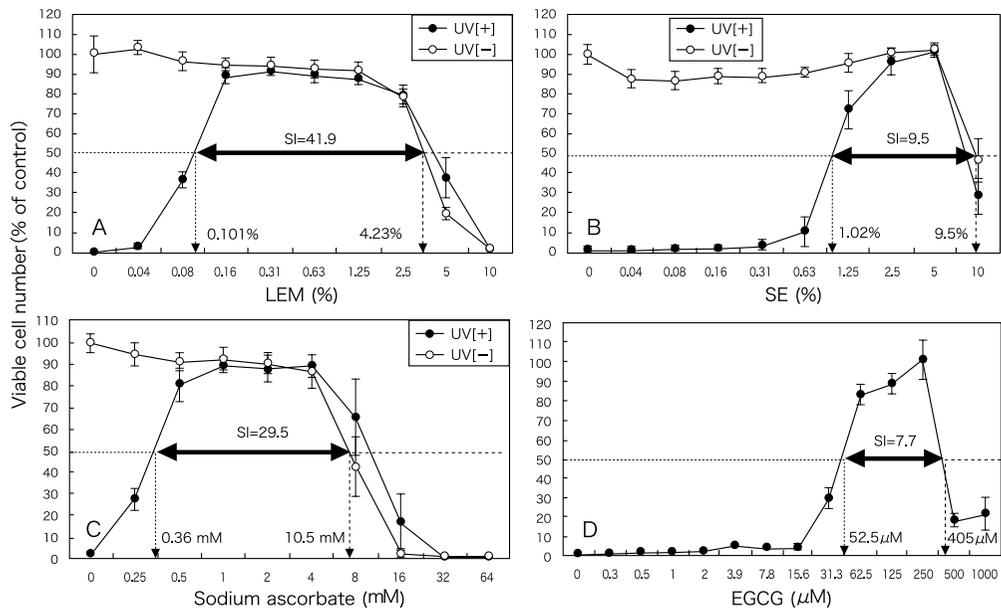


図10 シイタケ菌糸体培養抽出物 (LEM) (A) およびクマザサ葉アルカリ抽出液 (SE) (B), sodium ascorbate (C) および epigallocatechin gallate (EGCG) (D) の抗UV作用 (EGCGのみ文献¹¹⁾)

UV 照射 (●), 未照射 (○)

今回の研究で、抗酸化剤のNACやカタラーゼは無効であることが判明した。紫外線照射による過酸化水素の生成は、この系における細胞傷害には関与していないと思われる。紫外線照射により生成されるラジカル種の特異性、抗UV作用を有する物質によるラジカルの消去については、更なる検討が必要である。

シイタケ菌糸体培地培養エキスおよびクマザ

サ抽出液いずれも、リグニン配糖体が多く含まれている。リグニン配糖体は、ビタミンCの細胞傷害活性、ラジカル強度を相乗的に増強する¹⁶⁾。従って、リグニン配糖体とビタミンCとの併用効果は、今後の検討課題である。また、今回紹介した方法により抗UV作用が検出されたサンプルは、スキンケアを目指した商品への添加・応用が期待される。

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

- 1) Piluso LG and Moffatt-Smiths C: Disinfection using ultraviolet radiation as an antimicrobial agent: a review and synthesis of mechanisms and concerns. *PDA J Pharm Sci Technol* **60**: 1-16, 2006.
- 2) Barylsch MJ, Hofbauer GF and Dummer R: Vitamin D, ultraviolet exposure, and skin cancer in the elderly. *Gerontology* **56**: 410-413, 2010.
- 3) Ridley AJ, Whiteside JR, McMillan TJ and Allinson SL: Cellular and sub-cellular responses to UVA in relation to carcinogenesis. *Int J Radiat Biol* **55**: 177-195, 2009.
- 4) Cadet J, Berger M, Douki T, Morin B, Raoul S, Ravanat JL and Spinelli S: Effects of UV and visible radiation on DNA-final base damage. *Biol Chem* **378**: 1275-1286, 1997.
- 5) van Loon B, Markkanen E and Hübscher U: Oxygen as a friend and enemy: How to combat the mutational potential of 8-oxo-guanine. *DNA Repair* **9**: 604-616, 2010.
- 6) Sakagami H, Kawase M, Wakabayashi H and Kurihara T: Factors that affect the type of cell death induced by chemicals. *Autophagy* **3**: 493-495, 2007.
- 7) Sakagami H: Apoptosis-inducing activity and tumor-specificity of antitumor agents against oral squamous cell carcinoma. *Japanese Dental Science Review* **46**: 173-187, 2010.
- 8) Yanagisawa-Shiota F, Sakagami H, Kuribayashi N, Iida M, Sakagami T and Takeda M: Endonuclease activity and induction of DNA fragmentation in human myelogenous leukemic cell lines. *Anticancer Res* **15**: 259-266, 1995.
- 9) Kantoh K, Ono M, Nakamura Y, Nakamura Y, Hashimoto K, Sakagami H and Wakabayashi H: Hormetic and anti-radiation effects of tropolone-related compounds. *In Vivo* **24**: in press, 2010.
- 10) Ueki J, Shimada A, Sakagami H and Wakabayashi H: Hormetic and UV-protective effects of azulene-related compounds. *In Vivo* **24**: in press, 2010.
- 11) 南部俊之, 佐藤和恵, 坂上宏, 嶋田淳: 紫外線照射による口腔癌細胞死の誘導とビタミンCの保護効果, 第51回歯科基礎医学会, 船堀, 2010年9月.
- 12) 河野みち代, 坂上 宏, 佐藤和恵, 塩田清二, 金本大成, 寺久保繁美, 中島秀喜, 牧野 徹: シイタケ菌糸体培地培養エキス (L・E・M) のリグニン様活性, *New Food Industry* **51** (12): 1-10, 2009.
- 13) 坂上 宏, 渡辺悟, 横手よし子, 谷口純子, 大泉高明: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の多様な生物作用と代替医療における機能性, *New Food Industry* **50** (5), 17-24, 2008.
- 14) 坂上 宏, 周 麗, 儲 慶, 王 勤濤, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の抗炎症作用, *New Food Industry* **51** (1): 27-34, 2009.
- 15) 坂上 宏, 周 麗, 河野みち代, メイ・モウ・テツ, 長谷川秀夫, 田中庄二, 町野守, 天野滋, 黒下礼奈, 渡部茂, 金本大成, 寺久保繁美, 中島秀喜, 関根圭輔, 白瀧義明, 植沢芳広, 毛利公則, 儲 慶, 王 勤濤, 北嶋まどか, 大泉浩史, 大泉高明: クマザサ抽出液 (ササヘルス) の抗炎症作用に基づく口腔環境改善効果の可能性, *New Food Industry* **52** (2) 1-10, 2010.
- 16) Sakagami H, Kushida T, Oizumi T, Nakashima H and Makino T: Distribution of lignin carbohydrate complex in plant kingdom and its functionality as alternative medicine. *Pharmacology & Therapeutics* **128**: 91-105, 2010.

大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能：*in vitro* 研究

中山 雅晴^{*1} 前沢 留美子^{*2} 腰原 菜水^{*3}

^{*1}NAKAYAMA Masaharu, ^{*2}MAEZAWA Rumiko, ^{*3}KOSHIHARA Nami (株式会社喜源バイオジェニクス研究所)

Key Words：大豆麴乳酸菌発酵液・活性酸素・抗酸化・液体大豆麴

はじめに

体内に於ける過剰な活性酸素の発生は動脈硬化、糖尿病、ガン等の疾病の原因の一つであると考えられ、その作用機序としては、活性酸素による脂質の酸化や遺伝子傷害等が考えられている^{1,2)}。日常生活に於いては、喫煙等の習慣が体内の活性酸素を増加させる一方で、普段摂取する食物の中には活性酸素消去能を持つものも多く、これらを積極的に摂取する事は上記疾病の予防に繋がる事が期待される³⁾。具体的には、茶や緑色野菜、果物等には、カテキンやケルセチン等のポリフェノール類やビタミンC等の抗酸化物質が含まれ⁴⁾、味噌等の大豆発酵食品には、イソフラボン類や熟成過程で生じる褐色色素、いわゆるメラノイジン等の抗酸化物質を多く含む事が多数報告されている^{5, 6, 7)}。

大豆麴乳酸菌発酵液は、液体大豆麴、黒糖、米糠エキス、炭酸カルシウムよりなる培地に6種類の乳酸菌と1種類の酵母を接種して得られる培養液であり、その作製法並びに一般成分に関しては、以前に本誌上にて詳細に紹介した⁸⁾。製法を簡単に述べると、高压加熱滅菌した10%大豆粉水溶液に麴菌を無菌的に接種し、30℃にて17日間振蕩培養して液体麴を作る。

これに10%に黒糖、2.5%に米糠エキス、1%に炭酸カルシウムを加えて再度加熱滅菌し、大豆麴培地を得る。これを6分割し、*Lactococcus lactis* KN1, *Leuconostoc mesenteroides* KN34, *Lactobacillus curvatus* KN40, *Lactobacillus plantarum* KK1131, *Lactobacillus plantarum* KK1532, *Lactobacillus plantarum* KK2503 をそれぞれに接種する。これに加えて酵母菌である *Saccharomyces cerevisiae* AHU3035 を各々に接種し、30℃で4日間共生培養する。6種の培養液を一つに混じり、加熱滅菌後、最終的に大豆麴乳酸菌発酵液を得る。

前回の報告の中で、大豆麴乳酸菌発酵液は活性酸素種の一つであるスーパーオキシド (O_2^-) に対して強力な消去作用を有することを、 O_2^- と MPEC (2-methyl-6-p-methoxyphenylimidazopyrazinone) との反応によって生じる化学発光を測定する系を用いて示した。今回は、安定したラジカルである DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) に試料を加えた時の520nmに於ける吸光度の減衰を測定する系をこれに加え、大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能に関してより詳細な検討を行ったので、ここに報告する。

1. 材料と方法

1) 試料

始めに、大豆麴乳酸菌発酵液のメタノール、エタノール、或いはイオン交換水抽出物を作製した。各抽出物1個につき、大豆麴乳酸菌発酵液を10mL用意した。これを50mLプラスチック遠沈管に加え、ヘキサンによる脱脂、アセトンによる除タンパク後、3,500rpm、10分間遠心して上清を採取し、これを一旦凍結乾燥した。その後それぞれの乾燥物に15mLのメタノール、エタノール、或いはイオン交換水を加え、16,000rpmで1分間ホモジナイズ (ULTRA TURRAX, IKA LABORTECHNIK) し、遠心して上清を採取した。抽出は3回行い、一つにまとめた後、ロータリーエバポレーター (東京理化学器械) で濃縮した。最終的に初期量である10mLに定容し、0.2 μ mで濾過後、それぞれの抗酸化能を測定した。この結果に基づき、大豆麴培地に6種類の乳酸菌+酵母を乳酸菌別に接種して4日間培養した培養液6種類を用意し、同様にメタノール抽出物を得た。さらに、新たに大豆麴培地、液体大豆麴、10%黒糖水溶液、2.5%米糠エキス水溶液、1%炭酸カルシウム水溶液を用意し、同様な方法で、これらのメタノール抽出物を作製した。全ての試料は、121 $^{\circ}$ C 20分にて加熱滅菌を行った後に、抽出操作を行った。試料は全て、個々に3個ずつ作製した。

液体大豆麴の培養に伴う抗酸化能の経日的変化を調べるため、液体大豆麴を新たに作製した。10%大豆粉水溶液1,500mLを2リットルの三角フラスコに加えたものを3個作り、128 $^{\circ}$ C 60分間加熱滅菌し、冷却後、無菌的に一白金耳の種麴を接種した。これを30 $^{\circ}$ C 130rpmで18日間振蕩培養 (MR-200, 高崎科学器械) し、2日置きに各フラスコから無菌的に10mLずつ採取した。18日目に、採取した全ての試料を45 $^{\circ}$ C

130rpmで24時間自己消化し、その後121 $^{\circ}$ C 20分 で 高 圧 滅 菌 し て、 液 体 麴 の 試 料 と し た。 此 れ ら も 他 の 試 料 と 同 様 な 方 法 で メ タ ノ ール 抽 出 を 行 い、 測 定 試 料 と し た。

これらに加え、他の発酵食品との比較を行うため、豆味噌 (名古屋産)、米味噌 (長野産)、白味噌 (京都産)、ヨーグルトを各1個ずつ用意し、抗酸化能を比較した。いずれも通常のスーパー等で容易に入手出来る市販品で、調味料等が無添加の品を選んだ。ヨーグルトは、有名ブランドのナチュラルヨーグルトを購入した。適当量を3日間凍結乾燥後、粉碎器 (Wonder Blender, 大阪ケミカル) で粉体化した後、100/inchのメッシュを通して粒径を揃えた。各5gずつを採取し、脱脂、除タンパク後、他の試料と同様にメタノール抽出を行った。全て10mLに定容し、これを測定試料とした。尚、文中記載の試薬類のうち、メーカー名無表記のものは、全て和光純薬工業 (株) 社製である。

2) MPEC を用いた抗酸化能測定系

MPEC は ATTO 社 より 購 入 し、 使 用 書 記 載 の 方 法 を 適 宜 改 変 し て 使 用 し た。 O_2^- の 発 生 方 法 と し て は、キサンチン/キサンチンオキシダーゼの系を採用した (図1)。具体的には、

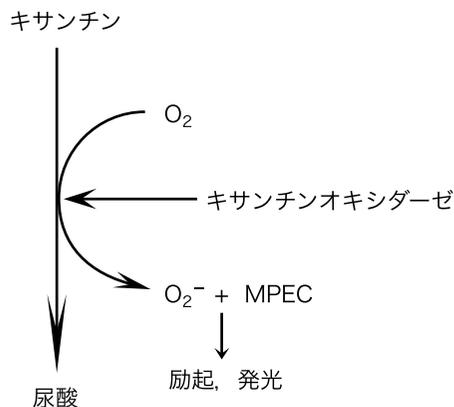


図1 キサンチン/キサンチンオキシダーゼ系に於ける MPEC (2-methyl-6-p-methoxyphenyl imidazopyrazinone) 発光の原理

3.6mM MPEC/エタノール溶液, 0.1M KH₂PO₄/EDTA 緩衝液 (pH 7.5), 1mM キサンチン水溶液, 100mU/mL キサンチンオキシダーゼ /KH₂PO₄ 溶液, 96well プラスチック黒色プレートを用意し, 使用に際しては MPEC/エタノール溶液をエタノールで 300 μ M に, キサンチン水溶液を KH₂PO₄ 緩衝液で 0.2mM に希釈して用いた。キサンチンオキシダーゼはオリエンタル酵母工業 (株) より購入した。各試料は, イオン交換水抽出物はイオン交換水で, メタノール抽出物はメタノールで, エタノール抽出物はエタノールで 1/2 ずつ段階希釈して用いた。プレート各 well に KH₂PO₄ 緩衝液を 170 μ L, キサンチン溶液を 50 μ L, 試料を 10 μ L, MPEC 溶液を 10 μ L 加えた後, キサンチンオキシダーゼ溶液 60 μ L を加え, プレート振蕩器 (TUPLE MIXER, IWAKI) で 10 秒攪拌し, 直後に化学発光検出器 (FLUOstar OPTIMA, BMG Labtechnologies) で測定した。well は各試料毎に 3 個用意し (triplicate), 陽性対照には 1mM のアスコルビン酸水溶液を, ブランクには試料の代わりに KH₂PO₄ 緩衝液を加えた。結果は, 以下の数式を用い, 試料による発光の阻害率 (%) として表した。

$$\text{阻害率 (\%)} = (1 - \text{試験区} / \text{ブランク}) \times 100$$

測定は一つの試料に対して少なくとも 3 回独立して行い, 結果は平均値 \pm 標準偏差として表した。尚, 図 2 に於いては実験結果そのままを, 図 5 と 6 に於いては希釈していない試料濃度 (1/1) の結果を, 図 4 と 7 に於いては試料を 1/4 に希釈した時の結果を示した。

3) DPPH ラジカル消去能測定系

DPPH ラジカル消去能の測定は, 成書記載の方法を適宜改変して行った⁹⁾。具体的には, 400 μ M の DPPH/エタノール溶液, 0.2M の MES (2-morpholinoethanesulfonic acid, pH6.0, 同仁化学研究所) 緩衝液, 陽性対照として 100mM の Trolox (SIGMA) /DMSO

(dimethylsulfoxide, SIGMA) 溶液を用意した。DPPH 測定溶液は, 上記 DPPH/エタノール溶液, MES 緩衝液, 1-ブタノールを 1:1:1 に混和して作製した。ブランク用希釈液として, エタノール, MES 緩衝液, 1-ブタノールを 1:1:1 に混和したものを用意した。

試料は, イオン交換水抽出物は DMSO で, メタノール抽出物はメタノールで, エタノール抽出物はエタノールで希釈して用いた。Trolox/DMSO 溶液も同様に, 試料がイオン交換水抽出物の時は DMSO で, メタノール抽出物時はメタノールで, エタノール抽出物時はエタノールで, 2.5mM に希釈して用いた。96well の ELISA 用透明プラスチックプレートを用意し, 1well につき 50 μ L の試料乃至は陽性対照を加えた後, 1/2 ずつ段階希釈を行った。各試料毎に triplicate で行った。その後, 各 well に 150 μ L ずつ DPPH 測定溶液を加え, プレート振蕩器で 10 秒間振蕩後, 溶媒の蒸発を防ぐためにシールし, 同時に遮光して, そのまま室温で 5 分間放置した。その後, ELISA リーダー (Multiskan MS, Labsystems) を用いて 520nm の吸光度を測定した。結果は, 対数表示に於いて吸光度と濃度間に直線性が得られる希釈度の ΔA_{520} を求め, 以下の数式により相当する DPPH の消費量に換算して表した。尚, 図 3 に於いては実験結果をそのまま表示した。

$$\text{DPPH 消費量 (Trolox 換算値, mM/mL)} = \frac{A_{520}(\text{試料}) - A_{520}(\text{ブランク})}{A_{520}(\text{Trolox}) - A_{520}(\text{ブランク})} \times [\text{Trolox 濃度}] / [\text{試料濃度}]$$

測定は一つの試料に対して少なくとも独立して 3 回行い, 結果は平均値 \pm 標準偏差として表した。

4) 液体麴の L-グルタミン酸と褐色色素濃度の変化, 並びにイソフラボンの消長

液体麴培養時の抗酸化能の変化との関連性を見るために, 0 日から 18 日までの液体麴試料

中の L-グルタミン酸量と褐色色素濃度、並びに各種イソフラボン量の変化を調べた。L-グルタミン酸の抗酸化能は低いが、培養の進捗状況の指標としての意義に加え、アミノ酸や低分子ペプチドの増加は加熱時に於ける褐色色素増加の一因であるため、これらを L-グルタミン酸に代表させて測定した。測定には L-グルタミン酸測定キット II (ヤマサ醤油) を用い、説明書の指示通りに調整後、分光光度計 (Ultrospec 2000, Pharmacia Biotech) で 600nm の吸光度を測定し、1 リットル当たりの量として表した。

メラノイジンとして表現される褐色色素濃度の推移を、分光光度計を用いて測定した。始めに波長測定を行い、350nm 近傍に最大ピークを得た。この結果に基づき、350nm の吸光度として表した。

イソフラボンは HPLC (LC-VP シリーズ, 島津製作所) を用いて測定した (カラム: Shim-Pack VP-ODS, 移動相 A: 15% アセトニトリル, 移動相 B: 35% アセトニトリル, A → B 45min, 流速: 1.3mL/min, カラム温度: 40℃, 検出: 254nm)。イソフラボン標

品は, genistin (フジッコ), daidzin (Fluka), daidzein (同), acetyldaidzin (以下, 和光純薬工業), malonyldaidzin, glycitin, acetylglycitin, malonylglycitin, glycitein, acetylgenistin, malonylgenistin, genistein の 12 種類を用いた。

試料は, 褐色色素濃度とイソフラボン測定に於いては抗酸化能測定時に用いたメタノール抽出試料を用い, 色素測定時には, これを 1/10 にメタノールで希釈して用いた。L-グルタミン酸測定に於いては, メタノール抽出前の粗試料の上清を適宜に希釈して用いた。測定は一つの試料に対して少なくとも独立して 3 回行い, 結果は平均値±標準偏差として表した。また, イソフラボン測定並びに褐色色素の測定は, 上記液体大豆麹以外にも, 必要と考えられる各種試料に対して適宜行った。

5) 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差として表した。必要があるものに関しては統計学的処理 (分散分析, ANOVA) を施し, 引き続き検定処理 (Tukey's HSD test) を行った。両側 5% 以下を有意差と見なした。

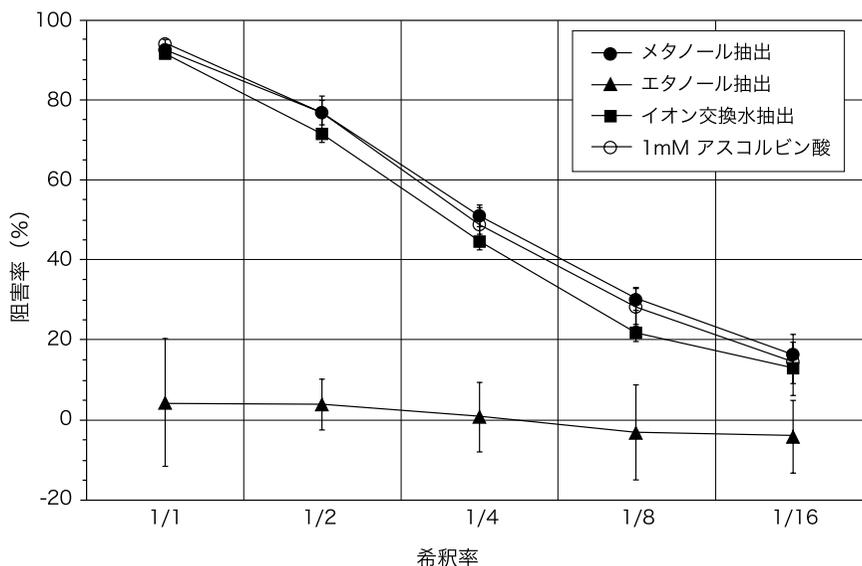


図2 MPEC 試験に於ける大豆麹乳酸菌発酵液各種抽出物の抗酸化能
独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

2. 結果

1) 大豆麹乳酸菌発酵液の各抽出物の抗酸化能の違い

図2に示す通り、エタノール抽出物には O_2^- 消去能は殆ど見られなかった。一方で、メタノール抽出物とイオン交換水抽出物には強い活性が見られ、その程度はメタノール抽出物の方が強かったが、その差はわずかであった。DPPH試験に於いては、図3に見られる通り、イオン交換水抽出物の方がメタノール抽出物よりも強い活性を示したが、ばらつきが大きかった。エタノール抽出物には、MPEC試験と同様、殆ど活性が見られなかった。液体大豆麹も三者の抽出物を揃えてMPEC、DPPH両試験を行ったが、こちらはMPECに於いてはメタノール抽出物の活性が顕著に高く、またDPPH試験に於いてはイオン交換水抽出物の活性の方が高かった

が、大豆麹乳酸菌発酵液と同様結果のばらつきが大きかった (data not shown)。液体大豆麹に於いても、エタノール抽出物には両試験共に抗酸化活性は殆ど見られなかった。以上の結果から、イオン交換水抽出物はDPPH試験結果の信頼性が低いため、以下の試験はメタノール抽出物を用いて行うことにした。

2) 乳酸菌と酵母の影響

乳酸菌と酵母の共生培養が抗酸化能に及ぼす影響を調べた (図4)。MPEC試験に於いては *Lactobacillus plantarum* とその他の菌種の培養液の間に明らかな違いが見られ、その差は有意であった ($p<0.05$)。 *L. plantarum* は大豆麹培地の O_2^- 消去効果を増強したが (KK2503のみ有意差有り, $p<0.05$)、他の菌種は逆に減少させる傾向を示した (有意差無し)。一方、DPPH試験に於いては菌種間の差は殆ど見られなかった。各培養液中のイソフラボン量並びにその構成、並びに褐色色素濃度に於いては、菌種間並

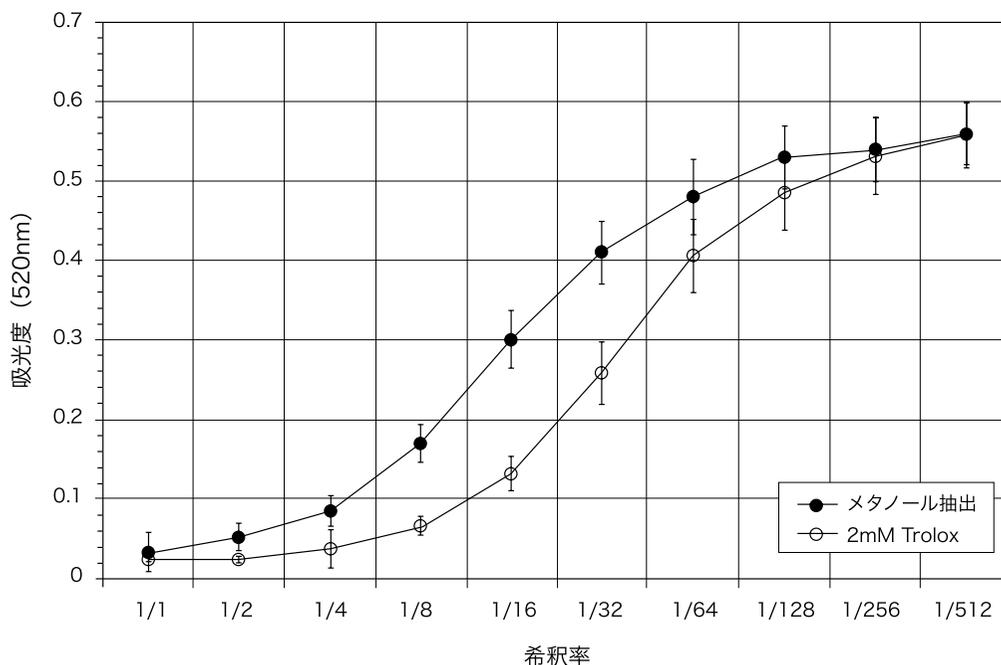


図3A DPPH試験に於ける大豆麹乳酸菌発酵液メタノール抽出物の抗酸化能
独立した3回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

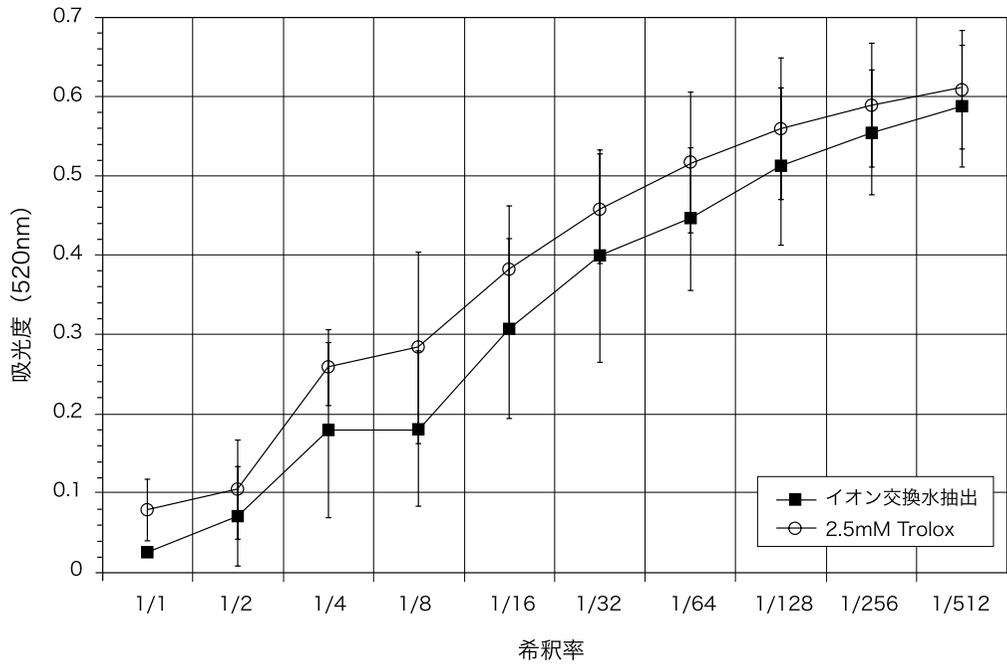


図 3B DPPH 試験に於ける大豆麹乳酸菌発酵液イオン交換水抽出物の抗酸化能
独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

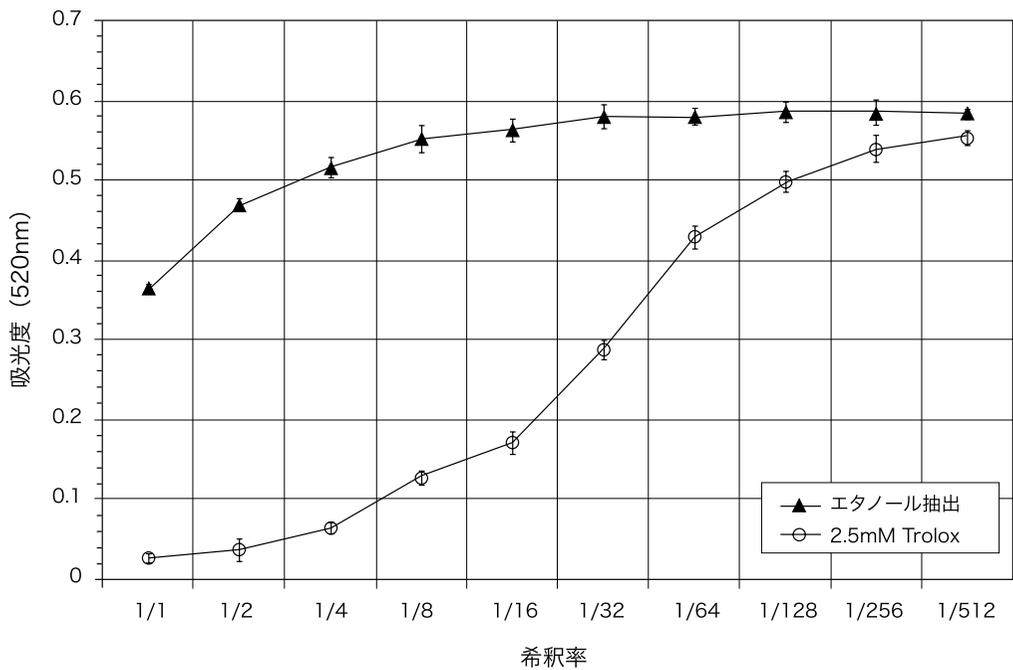


図 3C DPPH 試験に於ける大豆麹乳酸菌発酵液エタノール抽出物の抗酸化能
独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

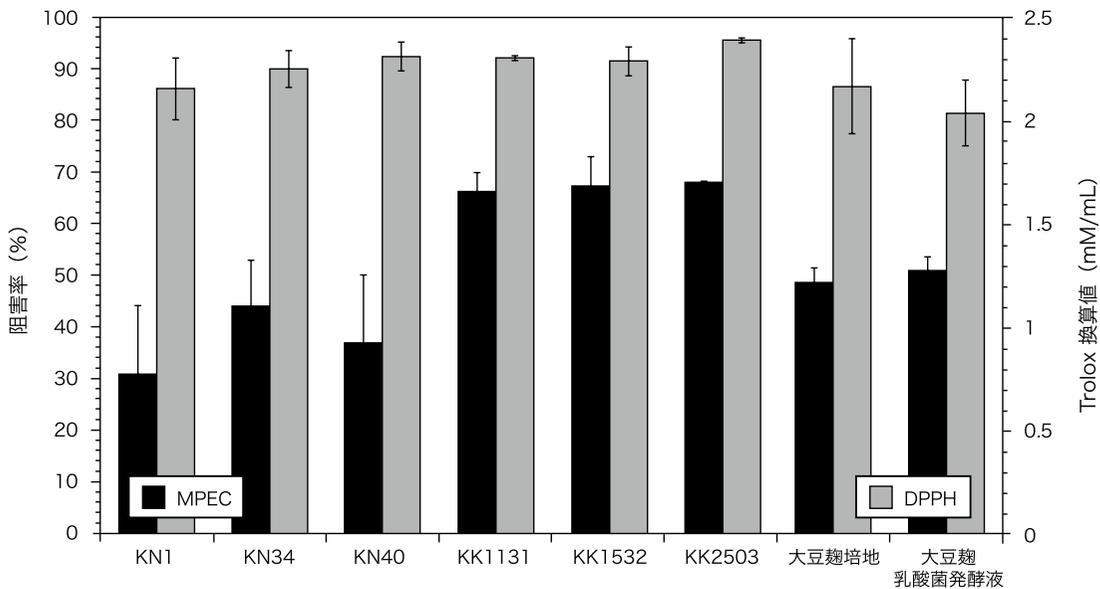


図4 乳酸菌の違いによる大豆麹乳酸菌発酵液の抗酸化能の変化

Lactococcus lactis KN1, *Leuconostoc mesenteroides* KN34, *Lactobacillus curvatus* KN40, *Lactobacillus plantarum* KK1131, *Lactobacillus plantarum* KK1532, *Lactobacillus plantarum* KK2503 の各乳酸菌それぞれと, *Saccharomyces cerevisiae* AHU3035 との共生培養。

MPEC 試験時の試料濃度は 1/4, 独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3), 有意差は本文中で指摘した。

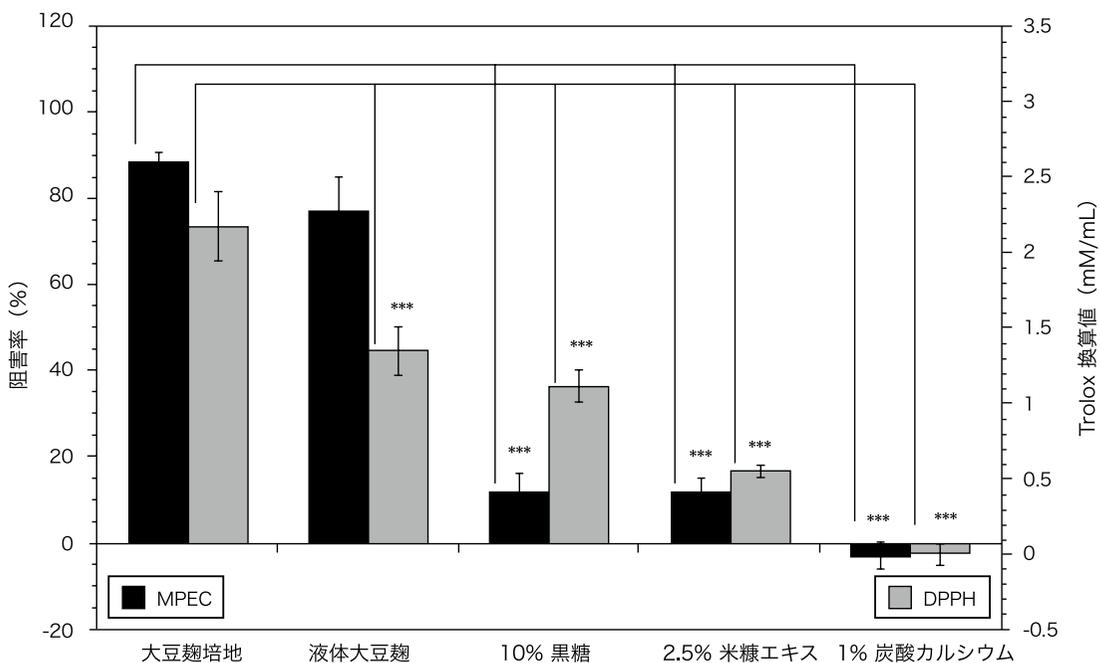


図5 大豆麹培地と各種培地構成物の抗酸化能

MPEC 試験時の試料濃度は 1/1, 独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3), *** $p < 0.001$

びに大豆麴培地中のそれとの明白な差は見られなかった (data not shown)。また、培養液中の乳酸はメタノール抽出物中に殆どそのまま移行するが、少なくとも試料中の濃度に於いては、MPEC, DPPH 共に、その影響は殆ど無かった。加えて、大豆麴乳酸菌発酵液と大豆麴培地との間には両試験共に顕著な差は見られず、大豆麴乳酸菌発酵液の持つ抗酸化能は基本的に大豆麴培地由来である事が示された。

3) 大豆麴乳酸菌発酵液構成物各種の抗酸化能の比較

大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能は基本的に大豆麴培地由来であると考えられる事から、これを各分画に分けたものを新たに作製し、これらに対してメタノール抽出物を用意して、試験を行った。図5に示す様に黒糖と米糠エキスの抗酸化能は、少なくともこの濃度に於いては弱く、炭酸カルシウムには全く抗酸化能は見られ

なかった。従って、大豆麴培地の抗酸化能は基本的に液体大豆麴由来であると考えられた。

4) 液体大豆麴の培養に伴う抗酸化能の変化と、L-グルタミン酸量、褐色色素濃度、並びにイソフラボンの変化

上記結果から、大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能は大豆麴培地由来であり、大豆麴培地の抗酸化能の主体は基本的に液体大豆麴由来であると考えられる事から、液体大豆麴の培養に伴う抗酸化能の推移を調べた。併せて、L-グルタミン酸量、褐色色素濃度、イソフラボン量を測定した。

抗酸化能は、MPEC, DPPH 両試験共に培養日数の増加に従って活性が増加したが、興味深いことに、12日をピークとして、その後は減少に転じた (図6A)。

一方でL-グルタミン酸並びに褐色色素濃度もまた培養日数に伴って増加したが、12日以

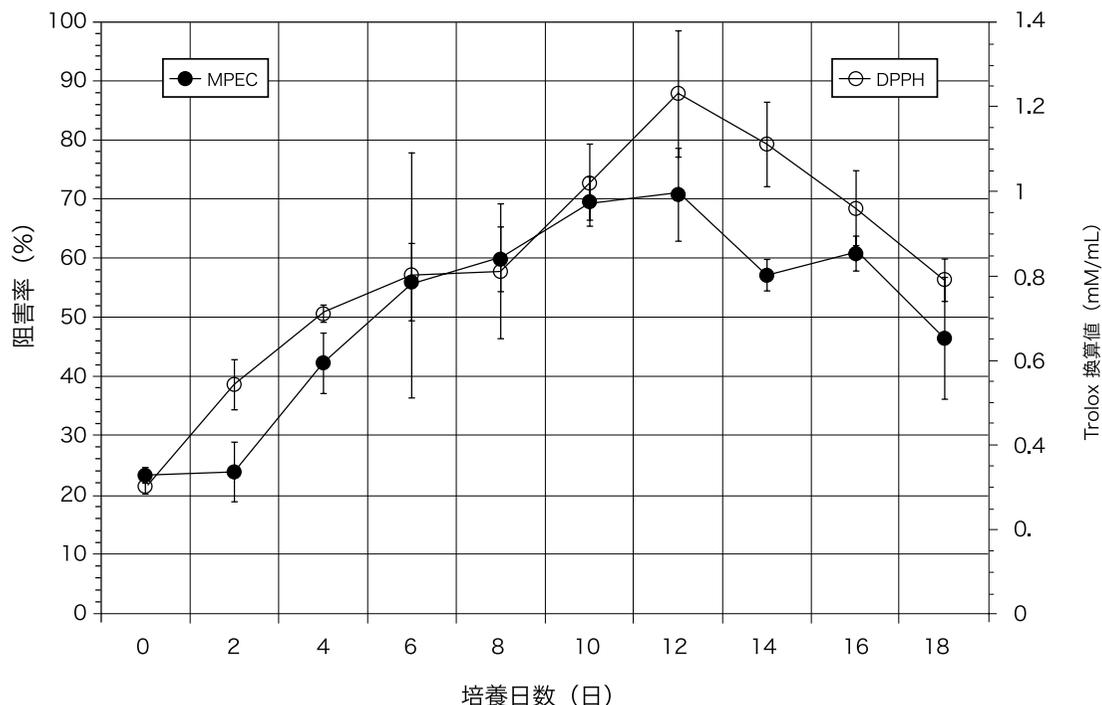


図6A 液体大豆麴の培養に伴う抗酸化能の変化
MPEC 試験時の試料濃度は 1/1, 独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

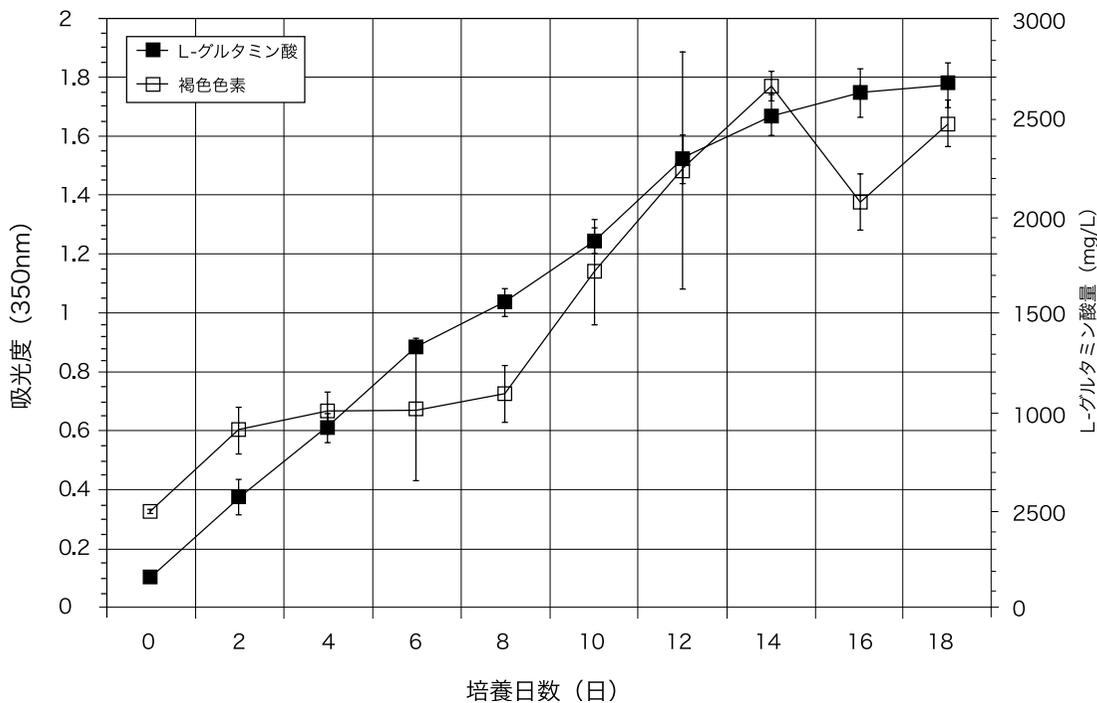


図 6B 液体大豆麹の培養に伴う L- グルタミン酸濃度と褐色色素濃度の変化
独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

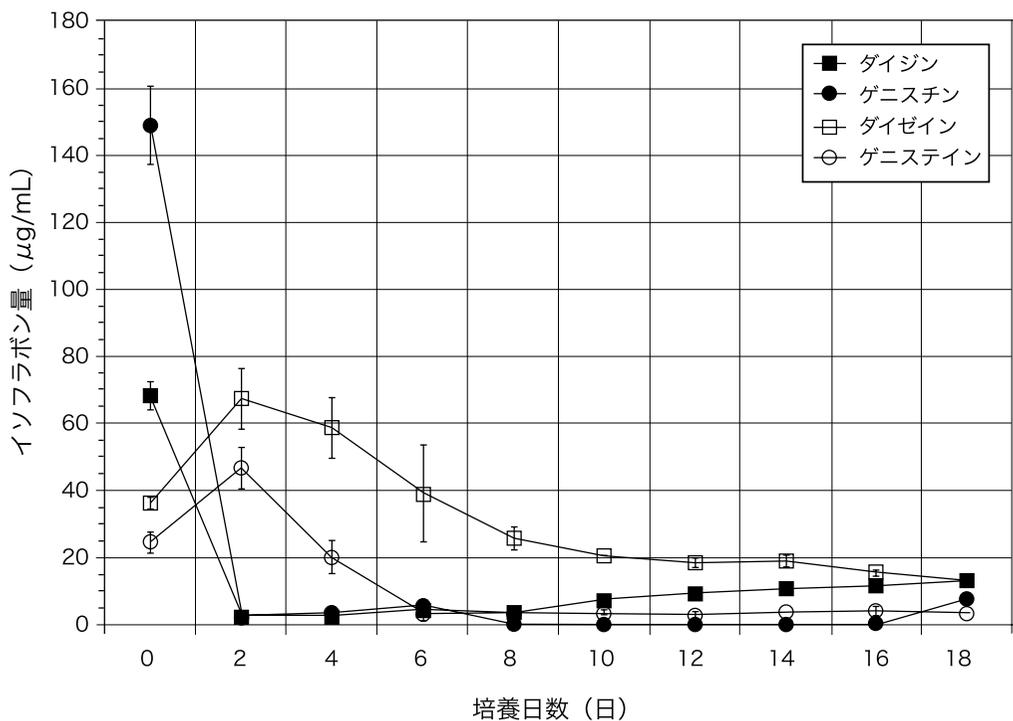


図 6C 液体大豆麹の培養に伴う 4 種のイソフラボン量の変化
独立した 3 回の試験の平均値±標準偏差 (n=3)

降は抗酸化能の変化に一致せず、L-グルタミン酸量はさらに増加して18日にピークを迎える一方で、褐色色素濃度は14日にピークに達し、その後はばらつく傾向を示した(図6B)。

イソフラボンに於いては、図6Cに示す通り、0日目(10%大豆粉水溶液)に於いて顕著に高かったゲニステインとダイジンの値は培養2日目には急激に減少し、代わってそれぞれのアグリコンであるゲニステインとダイゼインの増加が見られた。しかしながら両者ともその後は漸減し、いずれも抗酸化能との相関性は見られなかった。図6Cには上記の4種のイソフラボンのみを記載したが、他の8種類のイソフラボンもこれらと同様、抗酸化能とは全く相関が無かった。

5) 他の発酵食品との比較

白味噌を完全に乾燥化するのは不可能であったので、これは試験から除外した。他の試料では、乾燥重量に於いて等量化した上での比較に

於いて、MPEC, DPPHの両試験共に、大豆麹乳酸菌発酵液の抗酸化能が最も強かった(図7)。一方で350nmでの褐色色素濃度は、豆味噌>大豆麹乳酸菌発酵液>米味噌>ヨーグルトの順であった。また、各試料中のイソフラボンに関しては、豆味噌はダイゼインとゲニステインの量が顕著に高く、大豆麹乳酸菌発酵液とは全く異なる構成を示した。米味噌は両者の中間的な構成比を示し、ヨーグルトにはイソフラボンが全く存在しなかった(data not shown)。

3. 考察

発酵食品の機能性を *in vitro* 試験によって評価することは、その複雑な組成のため、一般的に困難さを伴う。以前に報告した時はMPEC試験のみを行ったが、この方法は他の方法と比較して制約が少なく、多くの場合試料の前処置無しにそのまま用いる事が出来るため、抗酸化

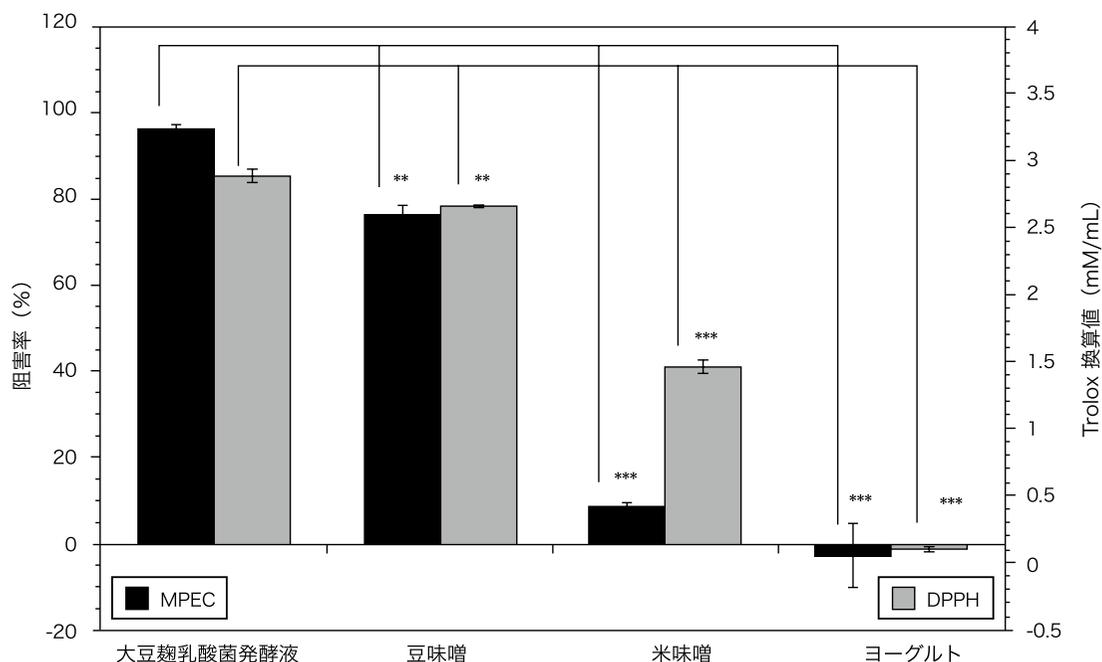


図7 各種発酵食品の抗酸化能の比較

MPEC試験時の試料濃度は1/4, 独立した3回の試験の平均値±標準偏差 (n=1), ** p<0.01, ***p<0.001

能の *in vitro* 試験法の一つとして優れた方法であると思われる。今回は結果の信頼性を高めるため、MPEC 試験に加えて DPPH 試験を行った。DPPH 試験もまた簡便な方法で、食品の抗酸化能を測定する際に非常に良く用いられるが、こちらは試料の前処置等を工夫しないとしばしば測定溶液が白濁し、測定が不可能となるという弱点を有する。今回も試料をそのまま用いることは出来ず、試料中の脂質とタンパクを除去した後、さらにこれをメタノール、エタノール、イオン交換水それぞれで抽出して測定したが、それに加えて、各個に溶媒の極性や試料濃度を工夫する必要があった。試行錯誤の末、「材料と方法」に述べた方法で解決した。しかしながらイオン交換水抽出物の測定では他の二者に比べて明らかに結果のばらつきが大きかったため、結局、ばらつきが少なく、同時に強い活性が見られたメタノール抽出物を用いてその後の試験を行う結果となった。

大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能はその大部分が大豆麴培地由来であり、乳酸菌と酵母の関与は比較的小さかった。これらの培養液と培地との間では、イソフラボンの量と構成、並びに褐色色素濃度にも大きな違いは見られなかった。しかしながら *L.plantarum* とそれ以外の菌種間で明らかな差がある事から、何らかの関与が示唆される。我々は以前に乳酸菌菌体の食塩水抽出物中に抗酸化性を示す分画が存在する事を指摘しているため、一つの可能性としてこの関与が考えられる¹⁰⁾。この分画が有する抗酸化能は大きなものではないが、*L.plantarum* は試験に用いたその他の菌種に比べて増殖性が良く、培養液中の菌数が高いので、仮にこの分画が培養液中に抽出され、同時にメタノールにもある程度可溶であるならば、今回の結果に影響を及ぼしている可能性はあるだろう。

大豆麴培地の抗酸化能は基本的に液体麴由来であると考えられるがそれよりも強く、その差

は DPPH 試験では有意であった。黒糖や米糠エキスにもある程度の活性があるため、培地の抗酸化能はこれらの総和であるとも考えられるが、褐色色素濃度は培地 > 液体麴であるため、アミノ酸の豊富な液体麴に黒糖を加えた後の加熱によって培地中にメラノイジンが増加し、その結果、抗酸化能が増加した事も考えられる。

10% 大豆粉水溶液の麴化の過程に於いて、抗酸化能、L-グルタミン酸量、褐色色素濃度の三者は抗酸化能がピークに達する 12 日目までは培養日数に従って増加し、互いに良く相関したが、12 日以降はそれぞれ異なる動きを示した。イソフラボンに関しては、培養 0 日目（即ち 10% 大豆粉水溶液）に多く見られたダイジンとゲニスチンは培養 2 日目には急激に減少し、以降は痕跡的水準で推移した。一方で、当初液体麴の抗酸化能の主体の一つである可能性が考えられたダイゼインとゲニステインは、培養 2 日目にピークに達した後は次第に減少し、抗酸化能のパターンとは全く異なる動きを示した。測定したその他のイソフラボンも抗酸化能のパターンとは全く相関しなかった。このようなイソフラボンの構成は、液体大豆麴、大豆麴培地、大豆麴乳酸菌発酵液の三者で殆ど同じであった。

一方で味噌類のイソフラボン構成は大きく異なり、特に豆味噌に於いてはダイゼインとゲニステインの量がその他のイソフラボンと比較して圧倒的に高く、ダイゼインは大豆麴乳酸菌発酵液の約 5 倍、ゲニステインは約 100 倍程度存在していた。米味噌中のダイゼインとゲニステインの量は、豆味噌と大豆麴乳酸菌発酵液の中間に位置するものであった。しかしながら、大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能は MPEC、DPPH 試験共に豆味噌より有意に高かった。従って、以上の結果から、ダイゼインとゲニステインの両者が液体大豆麴の抗酸化能に関与している可能性は極めて低く、仮にイソフラボンが関与し

ているとするならば、標品として用いた12種以外のタイプのものであると考えられた。

その他の要因としては褐色色素、いわゆるメラノイジンの関与が疑われる。褐色色素濃度と液体大豆麴の抗酸化能の推移とは比較的良く相関した。しかしながら、液体大豆麴の抗酸化能のピークが12日目であった一方で褐色色素のそれは14日であり、また、味噌類との比較に於いても豆味噌の方が大豆麴乳酸菌発酵液よりも色が濃かったにも関わらず活性はより低かったところから、褐色色素量のみで一義的に説明することは出来ない。

液体麴培養に伴ってL-グルタミン酸量が増加することから、その他のアミノ酸や低分子ペプチドも同時に増加している事が示唆される。アミノ酸や低分子ペプチドの抗酸化能も報告されていることからこれらの関与も考えられる一方で¹¹⁾、メタノールに溶解しない種類のアミノ酸や低分子ペプチドの影響は当然排除される。従って、影響があるとしても、今回の結果に限っては、アミノ酸と低分子ペプチドの影響は限定的であると考えられる。

今回の結果から、大豆麴乳酸菌発酵液は、 O_2^- と DPPH ラジカルに対して強力な消去能を有することが明らかとなった。しかしその主体は当初考えられたものとは異なるようであり、少なくともダイゼインとゲニステインは大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能には殆ど関与せず、乳酸菌と酵母の影響は限定的で、寧ろメラノイジン等の褐色色素の果たす役割がより重要であると思われた。しかしながら大豆麴乳酸菌発酵液の抗酸化能を褐色色素のみで説明する事も出来ず、液体大豆麴の培養の進捗に伴って一方的に抗酸化能が増加するのでは無くてピークを過ぎると抗酸化能は漸次逡減するという興味深い事実から、麴菌による活性主体の代謝回転の重要性が再認識される。従って今回の結果は、測定した12種以外のイソフラボン、例えば Hirota 等が報告する 8-hydroxyisoflavones や 6-hydroxydaidzein^{12~14)}、或いはメタノール溶解性のアミノ酸や低分子ペプチドの関与を示唆するものであるのかも知れない。いずれにせよ、いくつかの要因が複合的に働いている事だけは確かなようである。

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

- 1) 二木鋭雄, 島崎弘幸, 美濃真編集: 抗酸化物質—フリーラジカルと生体防御, 学会出版センター (1994)
- 2) 大柳善彦著: SOD と活性酸素調節剤—その薬理作用と臨床応用, 日本医学館 (1989)
- 3) Sakano N., Wang D. H., Takahashi N., Wang B., Sauriasari R., Kanbara S., Sato Y., Takigawa T., Takaki J. and Ogino K.: Oxidative stress biomarkers and lifestyles in Japanese healthy people, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **44**, 185-195 (2009)
- 4) 吉川敏一監修: 老化予防食品の開発, シーエムシー (1999)
- 5) 五明紀春: 糖尿病の改善やがん予防効果が期待されるみその褐色色素, 味噌の科学と技術, **47**, 205-215 (1999)
- 6) 松田茂樹: 醤油粕に含まれる抗酸化物質について, 醸協, **93**, 263-269 (1998)
- 7) 林田安生, 西村賢了, J.C. スローター: 麦味噌のラジカル補足能, 醸協, **93**, 841-843 (1998)
- 8) 中山雅晴, 前沢留美子, 腰原菜水, 中村泰輝: 新規植物性乳酸菌健康食品基材の開発, *New Food Industry*, **51**, 28-44 (2009)
- 9) 篠原和毅, 鈴木建夫, 上野川修一編著: 食品機能法研究法, 光琳 (2000)
- 10) 藤田稔, 中山雅晴: 国際特許公開番号 WO2008/130036, 乳酸菌を用いた抗変異原性物質の生産方法 (2008)
- 11) 田村貴起, 竹中陽子, 竹中哲夫: おから由来水溶性抗酸化物質の精製およびその性状, 日食工誌, **46**, 25-32 (1999)
- 12) Hirota A., Taki S., Kawaii S., Yano M. and Abe N.: 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical-scavenging compounds from soybean miso and antiproliferative activity of isoflavones from soybean miso toward the cancer cell lines, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **64**, 1038-1040 (2000)
- 13) Chen Y. C., Inaba M., Abe N. and Hirota A.: Antimutagenic activity of 8-hydroxyisoflavones and 6-hydroxydaidzein from soybean miso, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**, 903-906 (2003)
- 14) Hirota A., Inaba M., Chen Y. C., Abe N., Taki S., Yano M. and Kawaii S.: Isolation of 8-hydroxyglycitein and 6-hydroxydaidzein from soybean miso, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **68**, 1372-1374 (2004)

納豆酵素の強力な血栓溶解能：

ナットウキナーゼが有する基質特異性について

須見 洋行^{*1} 内藤 佐和^{*2} 矢田貝 智恵子^{*3} 吉田 悦男^{*4} 大杉 忠則^{*5} 柳澤 泰任^{*6}
丸山 眞杉^{*7} 笹沼 隆史^{*8}

^{*1}*SUMI Hiroyuki* (全国納豆鑑評会選考委員 (倉敷芸術科学大学生命科学部))

^{*2}*NAITO Sawa*, ^{*3}*YATAGAI Chieko*, ^{*4}*YOSHIDA Etsuo*, ^{*5}*OHSUGI Tadanori* (倉敷芸術科学大学生命科学部)

^{*6}*YANAGISAWA Yasuhide* (千葉科学大学薬学部), ^{*7}*MARUYAMA Masugi* (宮崎大学医学部)

^{*8}*SASANUMA Takashi* (全国納豆協同組合連合会会長 (全国納豆鑑評会運営委員))

Key Words: ナットウキナーゼ・血栓溶解・健康食品・納豆・フィブリン

はじめに

伝統的発酵食品である納豆中にはユニークな酵素がある。1980年、シカゴで筆者らによって発見された血栓溶解酵素ナットウキナーゼである¹⁻³⁾。当時はおそらく、大学最初の倫理委員会が開かれ、腸溶カプセルによる経口投与実験がなされた。それから約30年、ナットウキナーゼは健康食品(サプリメント)を目指して各種の企業がしのぎを削っている(図1)。しかし、忘れてならないのはその安全性の問題である。納豆はいうまでもなく食品であり、1,000年間以上食べられてきた日本人の文化でもあるが⁴⁾、同じ「ナットウキナーゼ」にも怪しい物があることが分かってきた。

納豆の評価には年に1度開催される全納連全国納豆鑑評会があり、幸い筆者の須見は第1回目から現在まで15年選考委員を務めている。本著ではこの会で選ばれた食べて旨い最高の納豆商品の性質を、一般のプロテアーゼ類と比較してみた。

1. 納豆が持つ酵素活性

平成21年度全国納豆鑑評会(京都)で納豆商品を審査し、その中で最も優秀な製品のみを分析することになった(表1)⁴⁾。表2はその会で170品目の中から見事に賞を得た12社(商品A~Lは順不同)の納豆の酵素活性を比較

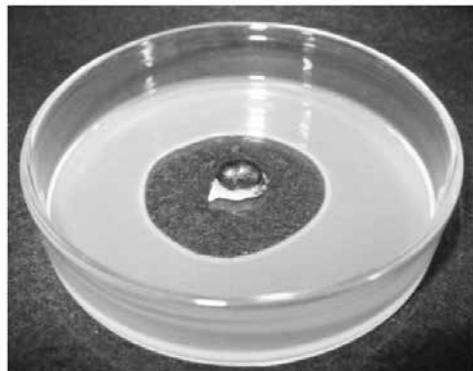


図1 血栓(フィブリン)を強力に溶解するナットウキナーゼ商品が出されている

してみたものであるが、合成アミド基質の中でも特に基質 I (Bz-Ile-Glu-(OR)-Gly-Arg-pNA) を最も強力に切ることが分かった。また、この合成アミド基質分解能とフィブリン溶解能は相関することも分かった。ただし、ここで使われている納豆菌のスターターは宮城野、成瀬、高橋をはじめ、数種の納豆菌に限られているのも事実である。

2. 純粋なナットウキナーゼとは

次に SDS-PAGE で単一にまで精製されているナットウキナーゼの基質特異性を示したものである⁵⁻⁷⁾。標準品は既に和光純薬から出されている⁷⁾。やはり最も強く分解するのは基質 I であり、次に基質 II Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA、その他へと続く。ナットウキナーゼ (0.1mg/

ml) は基質 I に対して、Lineweaver-Burk プロットをとると 1/S と 1/v はきれいな直線関係を示し、 $K_m=7.43 \times 10^{-4}M$, $V_{max}=0.088\mu\text{mol}/\text{min}$ であった。

3. ナットウキナーゼの偽酵素について

図 2 は日本の市販納豆のほとんどのスターターとなっている納豆菌 (宮城野), および動物に投与されている目黒菌をオカラで培養したものである。共に酵素を分泌したが、目黒菌は濃いピンク色の色素を出しかなりの量のビタミン K₂ を作るのであるが、合成基質 I (Bz-Ile-Glu-(OR)-Gly-Arg-pNA) に対する反応は極めて弱いことが分かった。

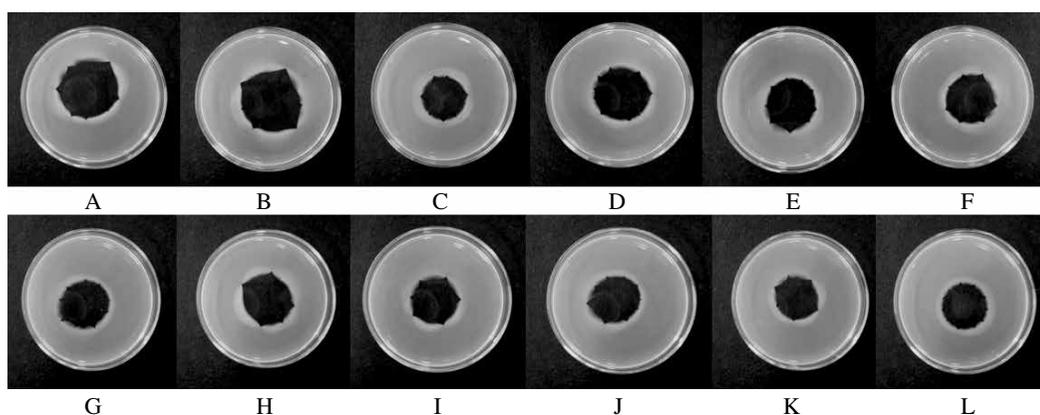
一方、台湾では多くの企業がナットウキナーゼを商品化している。その中から 11 社 (商品

表 1 第 15 回全国納豆鑑評会京都大会 受賞一覧

名 称	商品名	企業名	大豆種類
最優秀賞 農林水産大臣賞	おらが街	内藤食品工業 (北海道)	北海道
優秀賞 (小粒・極小粒部門) 農林水産省総合食料局長賞	国産小粒	原田製油 (大分県)	
優秀賞 (大粒・中粒部門) 農林水産省総合食料局長賞	大粒鶴の子納豆	高橋食品工業 (京都府)	
小粒・極小粒部門 厚生労働省 医薬食品局食品安全部長賞	しっかり小粒納豆 40×2	村田商店 (長野県)	長野県
大粒・中粒部門 厚生労働省 医薬食品局食品安全部長賞	国産 100% 大粒	せんだい (山梨県)	
優秀賞 小粒・極小粒部門・国産大豆使用 全国農業協同組合連合会会長賞	味百年	ヘルシーフーズワタナベ (栃木県)	茨城県
優秀賞 中粒・大粒部門・国産大豆使用 全国農業協同組合連合会会長賞	大粒納豆	那須食品 (栃木県)	北海道
優秀賞 小粒・極小粒部門 全国納豆協同組合連合会会長賞	元気納豆昆布たれ付	マルキン食品 (熊本県)	アメリカ
優良賞 (大粒・中粒部門) 納親会長賞	国産納豆 (九州地大豆使用)	佐藤食品工業 (鹿児島県)	九州
特別賞 近畿農政局長賞	極納豆	エイコー食品 (大阪府)	北海道
特別賞 (小粒・極小粒部門) 永山久夫賞	天狗納豆 丸カップ 2ヶ入	笹沼五郎商店 (茨城県)	北海道
特別賞 (大粒・中粒部門)	秘伝	篠原食品 (山形県)	山形県

表2 全国納豆鑑評会受賞商品の合成アミド基質分解能

商品	Bz-Ile-Glu- (OR) -Gly-Arg- <i>p</i> NA (I)	Suc-Ala-Ala-Pro-Phe- <i>p</i> NA (II)
	$\mu\text{mol}/\text{min}$	$\mu\text{mol}/\text{min}$
A	1.33	0.65
B	0.94	0.39
C	0.32	0.16
D	0.45	0.32
E	0.52	0.26
F	0.58	0.26
G	0.84	0.42
H	0.78	0.39
I	0.81	0.36
J	0.65	0.29
K	0.45	0.26
L	0.45	0.29



各商品に一定量のホウ酸-生食緩衝液を加え、フィブリン平板法を行った。37℃、24時間後の血栓溶解の面積を調べてみた。

A～K) を選択し、2種の合成基質で測定してみた。ほとんどが基質II (Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-*p*NA) を強く分解し、基質I (Bz-Ile-Glu-(OR)-Gly-Arg-*p*NA) を主とするものは3社のみで、しかも弱いものであった⁸⁾ (図3)。多くの商品がナットウキナーゼではない偽の酵素を使っている可能性を示している。

4. 一般のプロテアーゼ (サブチリシン) 活性

ナットウキナーゼのアミノ酸配列は枯草菌およびその近縁菌の生産するアルカリ性セリンプロテアーゼのそれと高い相同性が認められている。活性部位は Asp₃₂, His₆₄ および Ser₂₂₁ に、

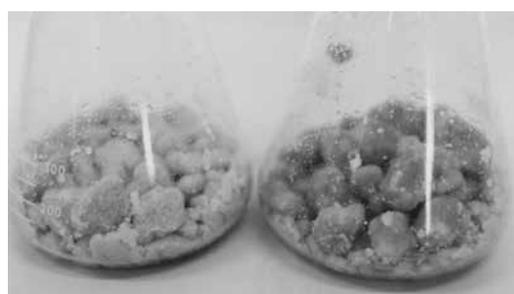


図2 オカラ発酵物

宮城野菌(左)、目黒菌(右)を用いて、比較のため37℃、3日間静置培養を行った。左は納豆に近い色であるが、右は濃いピンク色を呈している。

また基質との結合部位は Ser₁₂₅, Leu₁₂₆, Gly₁₂₇ と想定された。ナットウキナーゼは Carlsberg, BPN', mesentericus, anglasacchariticus, あるい

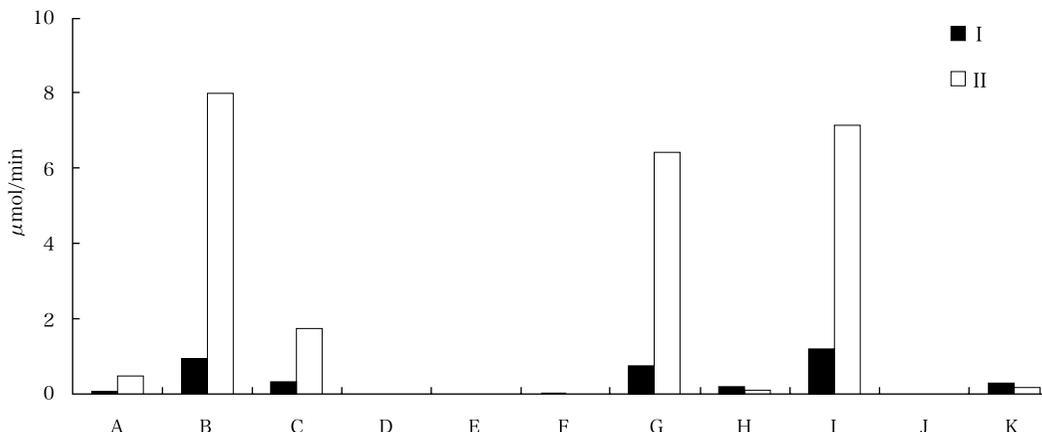


図3 台湾製品による基質特異性

合成基質 5×10^{-4} M, 0.17 M ホウ酸 - 生食緩衝液 (pH7.8) 条件下で, 基質 I : Bz-Ile-Glu-(OR)-Gly-Arg-pNA, 基質 II : Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA に対する分解能

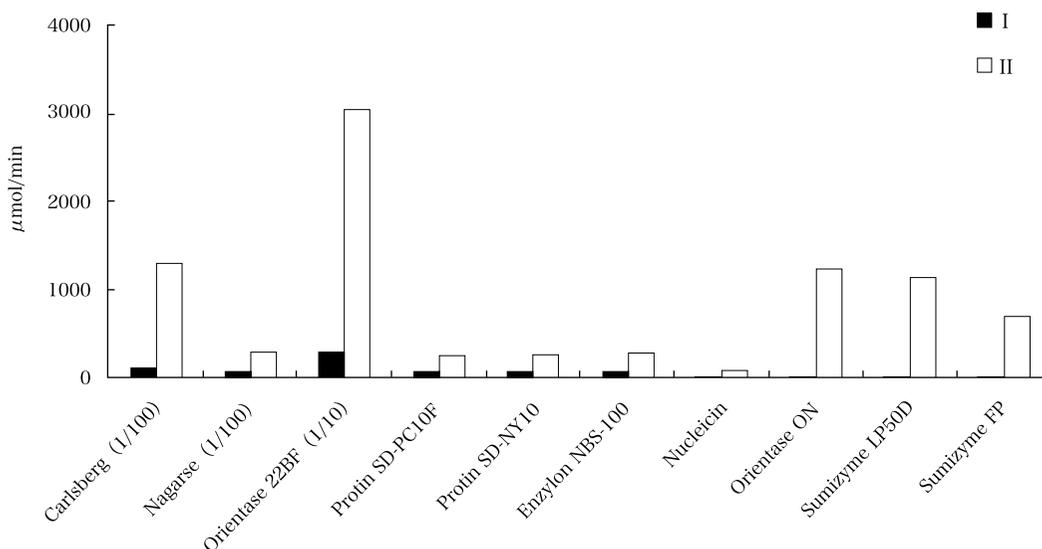


図4 一般のプロテアーゼによる合成アミド基質分解能

合成基質 5×10^{-4} M, 0.17 M ホウ酸 - 生食緩衝液 (pH7.8) 条件下で, 基質 I : Bz-Ile-Glu-(OR)-Gly-Arg-pNA, 基質 II : Suc-Ala-Ala-Pro-Phe-pNA に対する分解能

は strain I168 などと似ているが, 互いに配列は異なる。図4は他のサブチリシンあるいは麴菌が持つプロテアーゼに対して試験した場合であるが, やはり納豆とは異なり基質IIに対して特異性を示すことが分かった。

5. アミノ酸配列が異なる

分子構造上, ナットウキナーゼは275個のアミノ酸が一本鎖でつながった形をしている(図5)⁹⁾。特徴的なのは分子間に“kringle”と

	10	20	30	40	50	60	70	
Carlsberg	AQTVPYGIPLIKADKVAQGFKGANVAVLDTGIQASHPDLNVVGGASFVAGEAYNT-DGNGHGHTHVAG							
BPN'	AQSVPYGISQIKAPALHSQGYTGSNVKVAVIDSGIDSSHPDLKVAGGASMPAETPNFQDDNSHGTHVAG							
Mesentericus	AQSVPYGISQIKAPALHSQGYTGSNVKVAVIDSGIDSSHPDLNVRGGASFVPAETPNYQDGSSSHGHTHVAG							
Amylosacchariticus	AQSVPYGISQIKAPALHSQGYTGSNVKVAVIDSGIDSSHPDLNVRGGASFVPAETPNYQDGSSSHGHTHVAG							
Strain 1168	AQSVPYGISQIKAPALHSQGYTGSNVKVAVIDSGIDSSHPDLNVRGGASFVPAETPNYQDGSSSHGHTHVAG							
"Nattokinase"	AQSVPYGISQIKAPALHSQGYTGSNVKVAVIDSGIDSSHPDLNVRGGASFVPAETPNYQDGSSSHGHTHVAG							
	80	90	100	110	120	130	140	
Carlsberg	TVAALDNTTGVLGVAPSVSLYAVKVLNSSGSGSYSGIVSGIEWATTNGMDVINMSLGGASGATAMKQAVD							
BPN'	TVAALNNSIGVLGVAPSSALYAVKVLGDAGSGQYSWIINGIEWAIANNMMDVINMSLGGPSSAALKAADV							
Mesentericus	TIAALNNSIGVLGVAPSSALYAVKVLDTSGSGQYSWIINGIEWAISNNMMDVINMSLGGPTGSTALLKTVD							
Amylosacchariticus	TIAALNNSIGVLGVSPASLYAVKVLDTSGSGQYSWIINGIEWAISNNMMDVINMSLGGPSSGSTALLKTVD							
Strain 1168	TIAALNNSIGVLGVSPASLYAVKVLDTSGSGQYSWIINGIEWAISNNMMDVINMSLGGPSTSTALLKTVD							
"Nattokinase"	TIAALNNSIGVLGVSPASLYAVKVLDTSGSGQYSWIINGIEWAISNNMMDVINMSLGGPSTSTALLKTVD							
	150	160	170	180	190	200	210	
Carlsberg	NAYARGVYVVAAAGNSGSSGNTNTIGYPAKYDSVIAVGAVDSSNQRASFSSVGAELVMAPGAGVYSTYP							
BPN'	KAVASGVYVVAAAGNEGSGTSSSTVGYPGKYPVIAVGAVDSSNQRASFSSVGPDLVMPGVSIGSTLP							
Mesentericus	KAVSSGIVVAAAAGNEGSSGSSSTVGYPAKYPTIAVGAVNSANQRASFSSAGSELDVMPGVSIGSTLP							
Amylosacchariticus	KAVSSGIVVAAAAGNEGSSGSSSTVGYPAKYPTIAVGAVNNSNQRASFSSAGSELDVMPGVSIGSTLP							
Strain 1168	KAVSSGIVVAAAAGNEGSSGSSSTVGYPAKYPTIAVGAVNNSNQRASFSSAGSELDVMPGVSIGSTLP							
"Nattokinase"	KAVSSGIVVAAAAGNEGSSGSSSTVGYPAKYPTIAVGAVNNSNQRASFSSVSGSELDVMPGVSIGSTLP							
	220	230	240	250	260	270		Homology (%)
Carlsberg	TNTYATLNGTSMASPHVAGAAALILSKHPNLSASQVRNRLSSTATYLGDSFYYGKGLINVEAAAQ							70.2
BPN'	GNKYGAYNGTSMASPHVAGAAALILSKHPNWTNTQVRSLENTATKLGDSFYYGKGLINVQAAAQ							85.5
Mesentericus	GGTYGAYNGTSMATPHVAGAAALILSKHPTWTNAQVRDRLESTATYLGDSFYYGKGLINVQA							98.2
Amylosacchariticus	GGTYGAYNGTSMATPHVAGAAALILSKHPTWTNAQVRDRLESTATYLGDSFYYGKGLINVQAAAQ							98.5
Strain 1168	GGTYGAYNGTSMATPHVAGAAALILSKHPTWTNAQVRDRLESTATYLGDSFYYGKGLINVQAAAQ							99.3
"Nattokinase"	GGTYGAYNGTSMATPHVAGAAALILSKHPTWTNAQVRDRLESTATYLGNSFYYGKGLINVQAAAQ							

図5 ナットウキナーゼのアミノ酸配列
275 残基のアミノ酸からなる。計算分子量 27,724。

呼ばれる特殊なアミノ酸配列を持たないことである。この構造は厳格でほんの少し違ってもその性質は異なってくる。

ところが、我が国においては同じナットウキナーゼという名称でいくつかの企業が商品を出している。1つは、途中ナットウキナーゼからバチロペプチダーゼFに変わった商品である¹⁰⁾。また、ある企業ではナットウキナーゼと言いながらアミノ酸配列はこの構造とは異なると結論付けたままである¹¹⁾。構造がいいかげんならばその品質もおのずから信用できないということになる。

おわりに

1907年、澤村は、納豆より分離した有孢子性のグラム陽性好気性菌を *Bacillus natto* (納豆菌) と命名し、独立の種であるとして発表した¹²⁾。納豆菌の細菌学的な解析結果を踏まえ

て、1975年の *Bergey's Manual* (第8版) において、*Bacillus subtilis natto* は、*Bacillus subtilis* (枯草菌) と分類学上同種と認定された¹³⁾。しかし、枯草菌の中でも納豆製造に利用できる特殊な菌種であるために、納豆菌または *Bacillus subtilis* (*natto*) と慣用的に呼んでいるのが現状である。

少なくとも全国納豆連合会の鑑評会へ出品されているようなものは真の、食べられる納豆であろうが、逆に *Bacillus subtilis* ならば全て納豆であると言い切っているのはおかしい。だいたい、食べれるものであるかどうか分からないのである。同じ“納豆”といってもスターターの違いによっては食中毒を起こしたりするものがあるぐらいである。

一般の酵素の世界市場は2008年で約4000億円と推定されている。その大半はいわゆる産業用酵素で60%以上である。これらはそのまま食品として摂取されることはない。1917年、

Boidin & Efron が枯草菌 *Bacillus subtilis* の液体表面培養によってデンプン分解酵素を製造する方法を確立し、1960 年には *Bacillus* 属からプロ

テアーゼを発見している¹⁴⁾。しかし、実際にはその大方が食べられることはない洗濯用の洗剤なのである。

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

- 1) H. Sumi, H. Hamada, H. Tsushima, H. Mihara, H. Muraki: 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
- 2) H. Sumi, H. Hamada, K. Nakanishi and H. Hiratani: Enhancement of fibrinolytic activity in plasma by oral administration of nattokinase, *Acta Haematol.*, **84**:139-143, 1990
- 3) H. Sumi, C. Yatagai: Chapter 17. Fermented soybean components and disease prevention, In "Soy in Health and Disease Prevention", ed. M. Sugano, CMC Press Book, New York, p.251-278, 2005
- 4) 納豆近代 50 年史, 12 章 鑑評会, クリエイティブ・オフィスハッピーブック編集, 全国納豆協同組合連合会, 東京, シーティーシー, 2004
- 5) H. Sumi, C. Yatagai, S. Naito, T. Ohsugi, J. Saito: Substrate specificity of nattokinase : Application to the assay of its potency, XXII International Society on Thrombosis and Haemostasis, Boston, USA, 2009
- 6) 須見洋行, 内藤佐和, 矢田貝智恵子, 大杉忠則, 柳澤泰任, 丸山真杉: ナットウキナーゼの国際単位 (IU) による力価検定法, *Food Style 21*, **14**: 52-55, 2010
- 7) 須見洋行: ナットウキナーゼの合成アミド基質に対する基質特異性, 並びにキニン産生能 (血圧降下, 循環改善), 和光純薬時報, **78**: 8-10, 2010
- 8) 健康産業新聞, 台湾バイオ展, ナットウキナーゼの新活性測定法, 食品化学新聞社, 東京, 8/26, 2009
- 9) H. Sumi, N. Taya, N. Nakajima, H. Hiratani: Structure fibrinolytic properties of nattokiase, *Fibrinolysis*, **6**:86-89, 1992
- 10) X. C. Wu, S. Nathoo, A. S. Pang, T. Carne, S. L. Wong: Cloning, genetic organization, and characterization of a structural gene encoding bacillopeptidase F from *Bacillus subtilis*, *J. Biol. Chem.*, **265**:6845, 1990
- 11) 健康食品新聞, ナットウキナーゼ特許訴訟, 食品化学新聞社, 東京, 4/21, 2010
- 12) S. Sawamura: On the micro-organisms of natto, *Bull. Coll. Agric. Imp. Univ. Tokyo*, **7**:107-110, 1907
- 13) D. Claus and R.C.W. Barkely: Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol.2, ed. P.H.A. Sneath, Williams & Wilkins, Baltimore, p.1104, 1986
- 14) 高木忍: 産業用酵素—古くて新しいエコな未来産業, 温故知新, **47**: 50-60, 2010

機能性材料としてのバクテリアセルロースゲル (ナタデココ) の利用

沼田 ゆかり*

* NUMATA Yukari (旭川工業高等専門学校物質化学工学科)

Key Words: バクテリアセルロース・ゲル・可逆的温度応答性・物理的性質

はじめに

セルロースは地球上でもっとも豊富に存在する有機物であり、近年、環境問題への関心の高まりから、循環型社会の形成に貢献できる再生産可能な資源として注目を集めている。セルロースの中で、微生物によって産生されたものはバクテリアセルロース (Bacterial Cellulose, BC もしくはバイオセルロース) と呼ばれ、培地と大気の界面に約 99 wt.% が水、約 1 wt.% がセルロース繊維のヒドロゲルの状態で産生される¹⁻²⁾。BC の特徴の 1 つとして、植物セルロースと比べ、約 100 分の 1 ~ 1000 分の 1 という微細な繊維の三次元網目構造を持つことがあげられる³⁻⁴⁾。図 1 に示した割り箸 (木材由来) と BC の電子顕微鏡 (SEM) 画像から繊維の違いが確認できる。BC はフィリピン発祥の伝統食品であり、日本では 1990 年代に食物繊維が豊富なデザートとしてブームになった「ナタデココ」として一般的によく知られている。このように BC の用途はヒドロゲルでの食品がもっとも有名で、現在でもナタデココ入りヨーグルトなどを店頭でよくみかける。また、清涼飲料水に入れて食感を楽しむ商品も市販されている。ゲル状態以外

の用途としては、BC ゲルを乾燥させたシートが高ヤング率を示すことを利用し、スピーカーの振動板として製品化・実用化されている。近年では BC の微細な網目構造 (ナノファイバー) に着目した研究開発が数多く発表されている。例えば、圧縮し乾燥した BC を紙のように曲げられるディスプレイの基盤に用いる研究⁵⁻⁶⁾ や、DNA を高精度に解析するチップに BC ナノファイバーを用いる研究⁷⁾ などが発表されており、食品分野以外でも非常に注目されている。

また、BC は生分解性・生体適合性など生体高分子ならではの優れた性質を有するため、医療・医薬、化粧品など食品以外の分野でも新しい機能性材料としての利用が期待されている³⁻⁴⁾。しかし、ゲル材料として利用するには乾燥や圧縮・引張りによって水が抜け出てゲルとして機能しなくなることが欠点になる。図 2 に

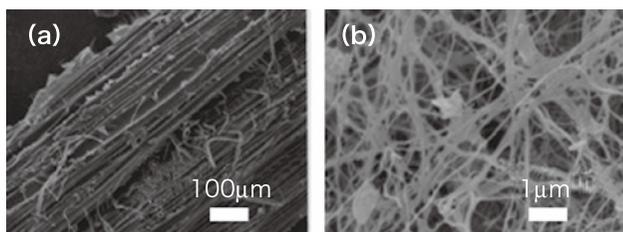
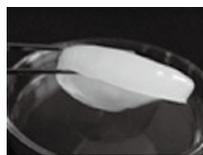


図 1 (a) 割り箸と (b) BC の SEM 画像



乾燥

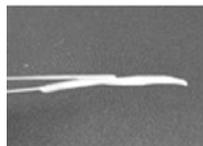


図2 BCゲルの収縮
乾燥によって水
が抜け出た例

数日間室温の空气中で乾燥させたBCの様子を示す。完全にゲル中の水が乾燥し、紙のようになる。この水が抜け出て乾燥してしまったBCを再び水に浸漬しても繊維同士が結合してしまっているため、元のゲルの膨潤度まで回復することはない。

本稿では我々が試みているこれらのBCゲルの欠点を克服することによる、機能性材料としての開発について紹介する。

機能性材料としての開発について紹介する。

1. 乾燥に弱い欠点を克服⁸⁾

通常BCゲルの分散媒は水であるが、水の代わりに不揮発性の有機化合物でBCゲルを膨潤することで、乾燥によって収縮しないBCゲルの作製を試みた⁹⁾。有機化合物の選択にあたっては、サンプル調製の容易さから水溶性の有機化合物であること、ゲル形成のため常温付近で液体であることを条件とした。さらに、機能性材料の開発という点から、生体適合性を有すること、分子量によって物性が異なることの2点を考慮した。これらの条件から、さまざまな分

子量のものが市販されているポリエチレングリコール(PEG)をゲルの分散媒として選択した。

分子量200および1000のPEG(PEG200およびPEG1000)とPEG200とPEG1000の混合物(PEG200-1000)を用いて膨潤したBC(BC/PEG)ゲルは、含水率約2wt.%,PEG含有率約98wt.%であった(繊維の重量は1wt.%以下)。BC/PEG200の写真を図3に示す。得られたゲルは通常のBCヒドロゲルと比較して高い透明性を有することがわかる。また、28℃で2週間乾燥した場合、通常のBCゲルは完全に水が蒸発して収縮し、図3bは乾燥前に比べて直径は約10%減少、厚さは10分の1以下になっているが、BC/PEG200は目視で確認できる変化はなかった。このことから、PEGで膨潤することによって不揮発性BCゲルの創製に成功した。図4に各温度におけるBC/PEGの様子を示す。BC/PEG200-1000およびBC/PEG1000は室温(20℃)では白色不透明な固形物である。ところが、それぞれ28℃、40℃のときは弾力性に富む透明なゲルを示し、室温にもどすと白色不透明に可逆的に変わる。BC/PEG200-1000は20~25℃、BC/PEG1000は35~40℃で温度応答を示す。これはPEGの融解・凝固に依存する変化であり、繰り返し応答可能である。このことから、PEG200-1000およびPEG1000を用いた場合は、可逆的な温度応答性を有す

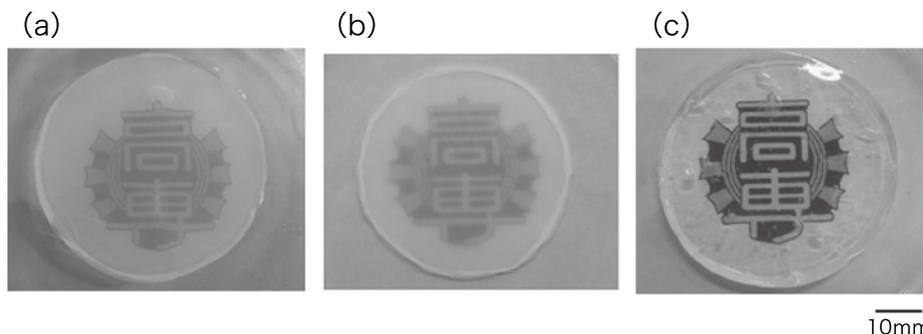


図3 (a) 通常のBCゲル, (b) 28℃で2週間乾燥した後のBCゲル, (c) 28℃で2週間乾燥した後のPEGで膨潤したBCゲル

る機能性ゲルが得られた。一方、BC/PEG 200 については PEG 200 が凝固点をもたないため、常に透明ゲル状態である。

温度応答性の有する BC/PEG 200-1000 および BC/PEG 1000 の DSC 測定の結果を図 5 に示す。破線は純粋な PEG、実線は BC/PEG の結果をそれぞれ示している。BC/PEG 200-1000 と PEG 200-1000 では 40 °C 付近にシャープな吸熱ピークが観測された (図 5a)。これは PEG 1000 の

融解由来のピークだと考えられ、BC/PEG では少し高温側にシフトしている。このことから、PEG 周辺に存在する BC ネットワークが PEG の融解に関与していると考えられる。図 5b に示した BC/PEG 1000 と PEG 1000 では 51 °C 付近に PEG 1000 の融解に由来する吸熱ピークが観測され、BC/PEG 200-1000 の場合と比べて大きく高温側にシフトした。このことは BC と PEG 分子の相互作用がより強いことを示して

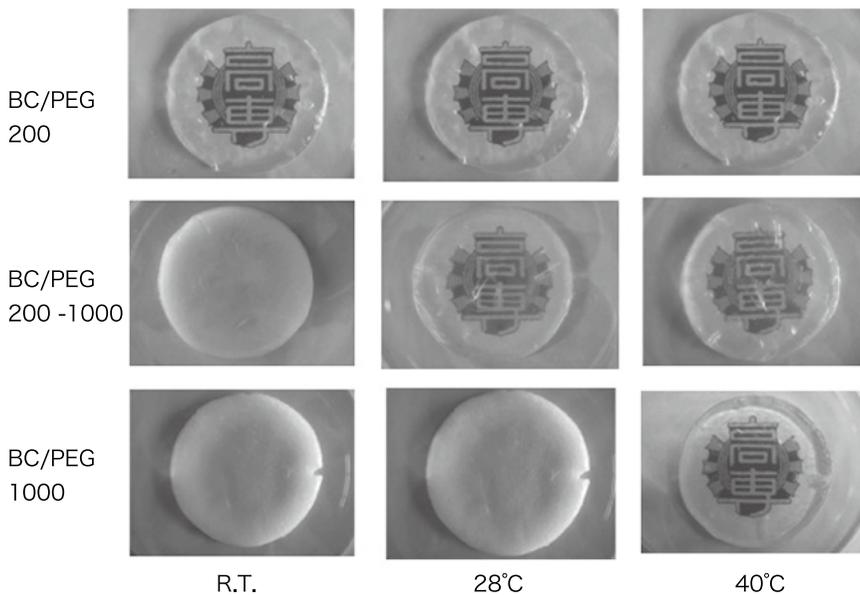


図 4 異なる分子量の PEG で膨潤した不揮発性 BC ゲルの温度応答性
透明なゲルと白色不透明固形

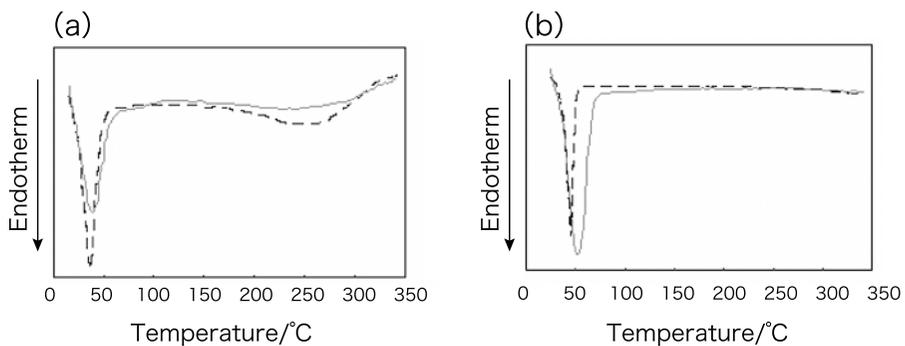


図 5 BC/PEG ゲルの DSC 曲線

昇温速度 10 C/min, 破線: 純粋な PEG, 実線: PEG で膨潤した BC ゲル
(a) PEG 200 と 1000 で膨潤した BC, (b) PEG 1000 で膨潤した BC

いる。この相互作用は今後 BC/PEG ゲルの温度応答性の制御や物性の改善に重要であると考えている。

2. 圧縮に対する強度を改善

BCゲルを PEG で膨潤することによって乾燥に弱い欠点は克服したが、圧縮に対する欠点は克服できていない。最近、ゲルの高強度化の方法として、ダブルネットワーク (Double-Network, DN) 化によるゲルの高強度化¹⁰⁾が報告されており、BC ヒドロゲルに対してもこの理論を適応した研究が報告されている¹¹⁻¹²⁾。そこで、DN 化による高強度化の方法論を BC/PEG 200-1000 に応用することで、圧縮に対する欠点の克服を試みた。架橋剤には poly (ethylene glycol) dimethacrylate n=9, 14, 23 (PEGDMA 9G, 14G, 23G) を用いた (図 6)。PEGDMA は紫外線 (UV) を照射することで、末端が重合される。ゲルへの架橋導入を確認するため、各種架橋剤の仕込み濃度 10 ~ 90 wt.% の範囲で 10 wt.% ごとに濃度を変化させたサンプルの UV 照射前後の IR スペクトルの比較を行った。架橋剤 PEGDMA 14G 仕込み濃度 20 wt.% と 60

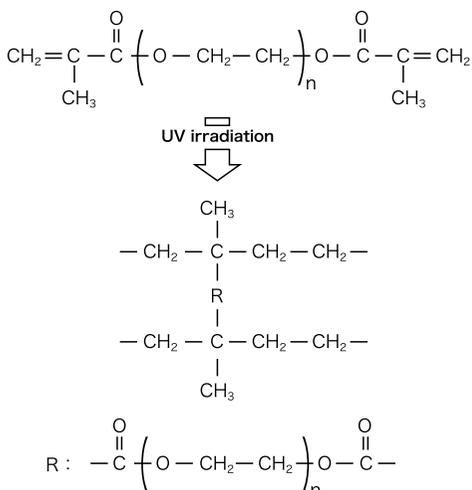


図 6 PEGDMA の UV 架橋

wt.% のスペクトルを図 7 にそれぞれ示す。架橋することで消滅する C=C 結合由来のピークが UV 照射前後で完全に消滅していることから PEGDMA はゲル内部に浸透し、架橋剤の末端は結合していることが明らかになった。他の UV 照射前サンプルの場合も濃度の増加にともない、C=C 結合由来のピークの強度が増加することからゲルへの浸透量が増加し、UV 照射によってこのピークは完全に消滅した。このことから、架橋剤濃度が小さいゲルでは浸透した架橋剤は網目構造より環状構造をとっていることが示唆される。UV 照射前後で変化が無い 1100 cm⁻¹ 付近のエーテル由来ピーク強度を基準とし、1190 cm⁻¹ 付近のアクリレート由来の吸収ピーク強度の相対比を算出した結果を図 8 に示す。PEGDMA 9G, 14G では濃度の増加にともない、浸透量も増加していることがわかる。一方、今回の調製条件では PEGDMA 23G の場合、濃度 50 wt.% 以上において浸透量がほぼ一

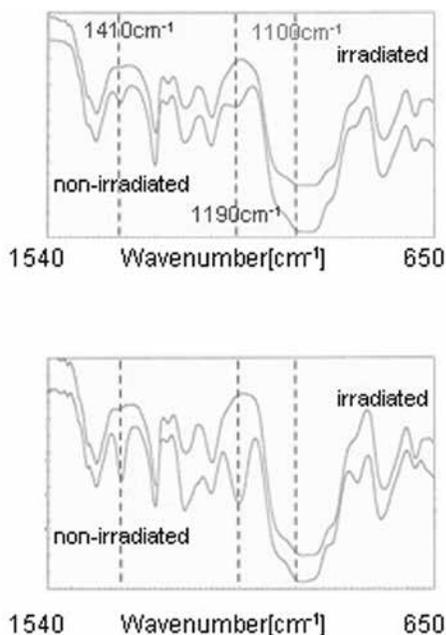


図 7 UV 照射前後の BC/PEG-PEGDMA ゲルの IR スペクトル
(上) 20 wt.% PEGDMA 14G, (下) 60 wt.% PEGDMA 14G

定となっていた。したがって、今後の課題として、さらなる架橋導入にはサンプル調製の条件検討が必要である。

架橋導入による温度応答性へ変化は、PEGDMA 30 wt.% と 60 wt.% の各ゲルに対して波長 600 nm での透過率を測定することで確認した。温度を上昇させると、架橋を導入していない BC/PEG 200-1000 は 20 ~ 25℃ で白色不透明固形状態から透明ゲルに変化する。一方、PEGDMA 9G と 14G を用いた場合は温度に関係なく常に白色不透明であるが、20 ~ 30℃ の範囲で柔軟性は増加しゲルに変化した。PEGDMA 23G の 30 wt.% では 25 ~ 30℃, 60 wt.% では 20 ~ 25℃ で透明ゲルに変化した。し

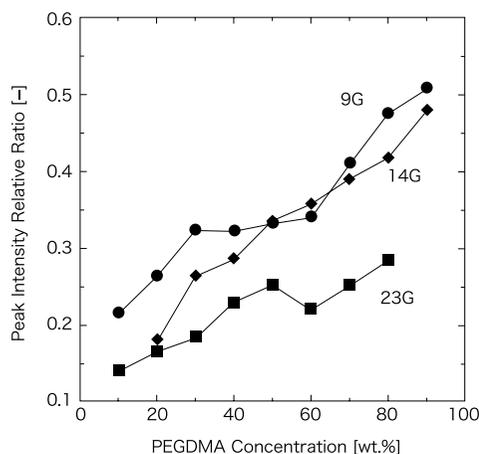


図8 PEGDMA 濃度とゲルへの浸透量の関係
●: PEGDMA 9G, ◆: PEGDMA 14G, ■: PEGDMA 23G

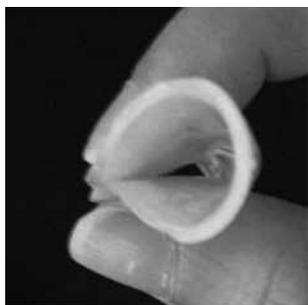


図9 30℃で BC/PEG-PEGDMA 30 wt.% を指で潰した様子

かし、透過率は架橋導入前の半分以下に減少した。高温領域から温度を下降させたときには、BC/PEG 200-1000 の場合と同様に逆の変化が起こり、架橋導入後も可逆的温度応答性が保たれていることが示された。また、通常の BC ゲルや BC/PEG ゲルは指で潰すと容易に分散媒である水や PEG が抜け出てくるが、DN 化した BC/PEG ゲルでは指で潰しても分散媒が抜け出ることがなくなった (図 9)。

各種架橋剤濃度のゲルの圧縮試験 (30℃) より得られた応力 - 歪み曲線から求めた初期弾性率、破断応力、破断歪みの結果を図 10 に示す。初期弾性率は応力 - 歪み曲線の歪み 0 ~ 0.1 mm/mm の傾きから算出した。圧縮初期弾性率 (図 10 a) は架橋剤濃度が増加するほど大きくなる傾向を示すが、それにともない 70 wt.% 以上になるとゲルの柔軟性はかなり減少した。40 ~ 50 wt.% 以上で変化量が増大するが、PEGDMA 14G, 23G はその後ほぼ変化がみられなかった。70 wt.% 以下では PEGDMA 重合度の違いによる初期弾性率の顕著な差はみられなかった。DN 化前に比べて 60 wt.% の場合約 10 ~ 20 倍 (2 ~ 2.8 MPa), PEGDMA 9G 90 wt.% で約 30 倍 (4.2 MPa) の高弾性化に成功した。破断応力 (図 10 b) については架橋剤濃度が 40 wt.% 以下では DN 化前よりも破断応力が小さくなった。このことから、導入された架橋剤がゲルを高強度化する三次元網目構造を形成するよりも、BC ネットワークの阻害に影響している可能性が示唆される。50 wt.% 以上で破断応力の変化量が増大することから、架橋剤がゲルを高強度化する網目構造を形成していることが示唆される。また、60 wt.% 以下では初期弾性率と同様に、PEGDMA 重合度の違いによる破断応力の顕著な差はみられなかった。60 wt.% の場合、DN 化前に比べて約 2 ~ 3 倍 (6.9 ~ 9.2 MPa), 14G 90 wt.% で約 6 倍 (18.8 MPa) の値に上昇した。一方、各ゲルの破断歪み (図 10 c)

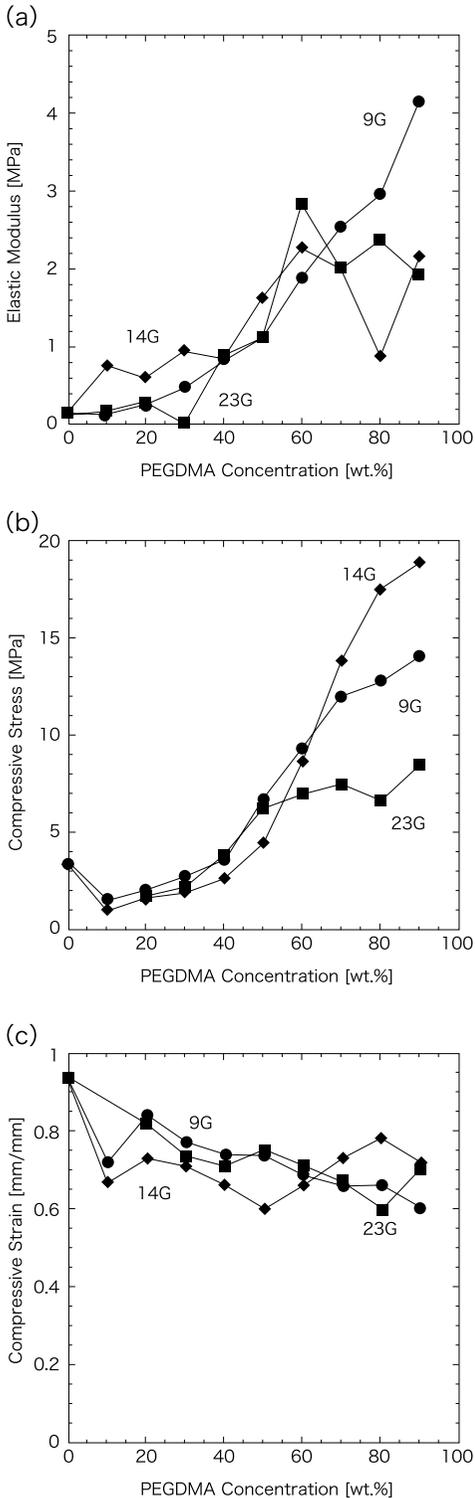


図 10 BC/PEG-PEGDMA の圧縮試験

● : PEGDMA 9G, ◆ : PEGDMA 14G, ■ : PEGDMA 23G

(a) 初期弾性率, (b) 破断応力, (c) 破断歪み

は 0.6 ~ 0.8 mm/mm となり、架橋剤混合率と破断歪みの間に相関はみられなかった。

架橋剤浸透条件や架橋密度、架橋剤重合度の選択による 2nd ネットワークの制御によって、BC/PEG の圧縮に対するさらなる高強度化が示唆される。

3. 引張強度の改善

BC ゲル材料の製品化において、引張りに対する対抗性も重要な課題である。BC ゲルと水溶性多糖の複合体化を用いる不揮発性 BC ゲルの引張強度の改善の試みを紹介する。水溶性多糖を培地に添加して酢酸菌を培養した場合、BC と水溶性多糖の複合体ゲルが得られる。これを利用し、デキストランを培地に添加し酢酸菌を培養することで、BC-デキストラン複合体ゲルを得た。通常の BC と得られた複合体の SEM 画像を図 11 に示す。デキストランを 3 w/v% 添加した BC (図 11b) は通常の BC (図 11a) と比べ繊維密度・太さに大きな変化は見られなかった。一方、5 w/v% 添加した BC (図 11c) は繊維が太くなり、繊維間に大きな空孔が多数観察され、通常の BC と比べて繊維密度が減少した。このことから、デキストランを 5 w/v% 添加して調製した BC-デキストラン複合体ゲルは引張試験における物性変化の可能性が示された。

BC ゲル、5 w/v% デキストランを添加した BC-デキストラン複合体ゲル、BC/PEG ゲルおよび 5 w/v% デキストランを添加した BC-デキストランを PEG200 で膨潤した (BC-デキストラン/PEG) ゲルの引張試験の結果から得られた応力-歪み曲線を図 12 に示す。BC/PEG ゲルは BC ゲルに比べて引張破断応力に大きな変化は見られなかったが、破断伸びが約 1.5 倍 (3.3 mm/mm) に上昇した。BC ゲルは繊維間の水素結合によって三次元網目構造を形成している物

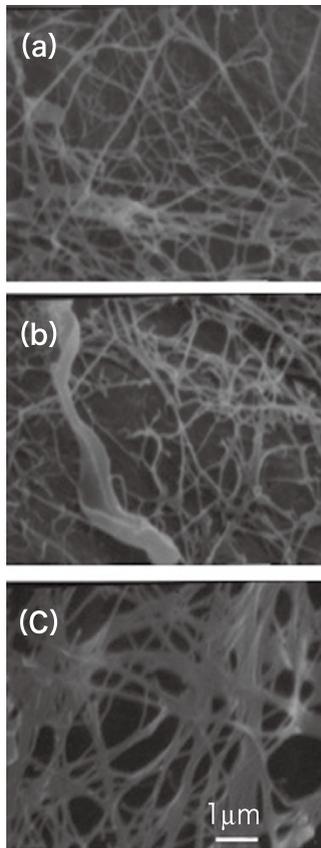


図11 BC および BC 複合体の SEM 画像
(a) 通常の BC, (b) デキストラン 3w/v% 添加した BC,
(c) デキストラン 5w/v% 添加した BC

理ゲルであるが、水の代わりに PEG で膨潤することで、繊維間の相互作用の大きさが変化した可能性が示唆される。一方、複合体化した BC-デキストラン複合体ゲルでは破断伸びには大きな変化が見られなかったが、破断応力は約 1.5 倍 (0.98 MPa) に上昇した。このことからデキストランとの複合体化によって繊維自体または繊維同士の相互作用が強化されたと考えられる。デキストラン添加濃度を増加することでさらなる破断応力の増加が見込まれる。

5 w/v% デキストランを添加した複合体を PEG で膨潤した BC-デキストラン/PEG ゲルでは BC ゲルと比べて破断伸びは約 1.8 倍 (3.8 mm/mm) に上昇した。この値は BC/PEG ゲ

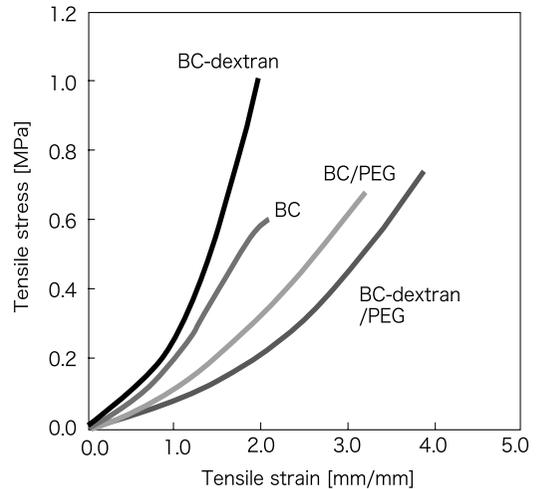


図12 BC/PEG および BC-デキストラン/PEG の引張試験における応力-歪み曲線

ルよりもさらに大きく、複合体化によって伸びやすいゲルが得られることが明らかになった。一方、破断応力は約 1.2 倍 (0.75 MPa) であった。この値は複合体化せず PEG で膨潤した BC/PEG ゲルと比べてほとんど差がみられなかった。

以上の結果から、引張りに対するさらなる高強度化のためには BC 繊維の強化と網目構造の制御が重要であることが示された。今後は得られた知見をもとに、引張破断伸びに加え、破断応力強化が望まれる。

おわりに

BC は植物繊維が豊富な健康食品・ダイエット食品「ナタデココ」としてよく知られている。カロリーゼロや食感がユニークなだけではなく、生体高分子ならではの多くの優れた性質を持つため、食品分野以外での機能性材料としての利用にも注目されている。我々は、特にゲル材料としての利用に注目し、機能性材料としての開発を試みている。これまでの成果として、乾燥に弱いという欠点を克服し、不揮発性 BC ゲルを創製することに成功した。さらに、不揮

発性 BC ゲルを DN 化することによって圧縮に対する対抗性を付与し、指で潰したくらいでは分散媒が出ないゲルの調製、および、通常の BC ゲルよりも伸びるゲルの調製に成功した。これらのゲルは大きな力学物性が必要な工業分野等での利用はまだ困難であるが、化粧品分野でのパック剤や医療分野での外傷治療等での利用には有効であると考えられる。化粧品分野では現在パック剤として再生セルロース系シートに美容液成分を染み込ませたものが主流であるが、使用中シートが乾燥することによって顔からはがれてくることや、シートの形状と使用者の顔型が合わない場合シートが密着しないことが欠点として挙げられる。この伸びる BC ゲルを使用することによって、適度に伸び、顔の形状に一致するゲルシートが作製でき、それぞれ使用者の顔への密着性が改善されると予想される。また、使用中のパックシートの乾燥が改善されることで長時間の利用が可能となり、さら

に、温度応答性を利用することで機能性パックシート開発が期待される。

これまでに得られた知見をもとに、圧縮に強い BC/PEG ゲルを作製する技術と引張強度を改善したゲルを組み合わせることで、医療分野での生体代替材料および工業分野で利用できる乾燥・圧縮・引張りに強い BC ゲルの創製が可能になると考えている。

謝辞

本研究をすすめるにあたり、実験装置の提供およびご助言いただいた北海道大学大学院先端生命科学研究所 龔剣萍教授、山形大学大学院理工学研究所 古川英光准教授に感謝いたします。

「3. 引張強度の改善」は平成 21 年度ノーステック財団「研究開発助成事業」若手研究人材育成事業 Talent 補助金の補助を受けて実施されました。

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

- 1) Hestrin, S., Schramm, M.: Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. 2. Preparation of freeze dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose. . **58**: 345-352, (1954)
- 2) Hestrin, S., Schramm, M.: Bacterial cellulose. . **3**: 4-9 (1963)
- 3) Klemm, D., Schumann, D., Udhardt, U. et al: Bacterial synthesized cellulose —artificial blood vessels for microsurgery. **26**: 1561-1603 (2001)
- 4) Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P. et al: Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. . **44**: 2-37 (2005)
- 5) Yano, H., Sugiyama, J., Nakagaito, A. N. et al: Optically transparent composites reinforced with networks of bacterial nanofibers. . **17**: 153-155 (2005)
- 6) Nogi, M. Yano, H.: Transparent nanocomposites based on cellulose produced by bacteria offer potential innovation in the electronics device industry. . **20**: 1849-1852 (2008)
- 7) Tabuchi, M. Baba, Y.: Design for DNA separation medium using bacterial cellulose fibrils. . **77**: 7090-7093 (2005)
- 8) Numata, Y., Muromoto, K., Furukawa, H. et al: Nonvolatile and shape-memory bacterial cellulose gels swollen by poly (ethylene glycol) . . **41**: 524-525 (2009)
- 9) 特許公開 2010-095654 「不揮発性バクテリアセルロースゲル及びその製造方法」
- 10) Gong, J. P., Katsuyama, Y., Kurokawa, T. et al: Double-network hydrogels with extremely high mechanical strength. . **15**: 1155-1158 (2003)
- 11) Nakayama, A., Kakugo, A., Gong, J. P. et al: High mechanical strength double-network hydrogel with bacterial cellulose. . **14**: 1124-1128 (2004)
- 12) Hagiwara, Y., Putra, A., Kakugo, A. et al: Ligament-like tough double-network hydrogel based on bacterial cellulose. **17**: 93-101 (2010)

鶏挽肉とイカナゴすり身を混合した 加熱ゲルのゲル形成について

船津 保浩^{*1} 岩崎 智仁^{*2}

^{*1}FUNATSU Yasuhiro, ^{*2}TOMOHIITO Iwasaki (酪農学園大学酪農学部食品科学科)

Key Words：採卵廃鶏・鶏ムネ肉・イカナゴすり身・乾燥粉末卵白・破断強度・ゲル剛性・タンパク質濃度

はじめに

北海道で漁獲されるイカナゴの漁獲量は1.7万トン（平成19年現在）であり、夏季（6－8月）に漁獲が多く、大きさも瀬戸内海産のものに比べ大きい¹が、加工用途が乏しいため、大部分が養殖用魚類の餌として利用されているにすぎず、食用としての付加価値向上が求められている^{1,2}。また、北海道の漁業生産量も昭和62年に比べると平成19年度では半減（135万トン）している³。ことから加工用原料の品質の調査も急務とされている。さらに、イカナゴの冷凍原料を用いた乾製品、調味乾製品およびいづし等の試験研究^{1,4}は行われているが、筋肉タンパク質を利用した練製品に関する加工研究はほとんどない。

一方、鶏舎単位で全群更新方式が採用されて以来、産卵率の低下した20ヵ月齢の成鶏が一度に数万羽単位で採卵廃鶏となり、平成21年2月1日現在、国内では1億3991万羽の採卵鶏が飼養されている⁵。食鳥流通統計調査（平成19年現在）によると、食鳥処理量はブロイラーが175万トンで全体の約90%を占め、廃鶏は15万6千トンと全体の約8%であった⁶。廃鶏はブロイラーに比べ肉質が劣り、産肉性も乏しいことから、濃縮スープの具材やソーセージ等

に利用されてきた。これまでに廃鶏の付加価値向上を目的とした研究例があり、廃鶏の骨付きモモ肉部を酸液で軟化処理・アルカリ液での中和処理によりペットフードとしての利用可能であること⁷や、廃鶏のモモ肉とムネ肉より筋漿タンパク質を抽出・添加することによるモデルソーセージの物性改善効果⁸があることが報じられている。しかし、廃鶏肉そのものを活用したゲル化食品に関する研究は少ない。

牛、豚や家禽類などの陸上動物と魚介類のような海洋動物との一般的性状を比較すると、筋原線維タンパク質の熱安定性には種特異性があること⁹から両者の加工特性に関する研究はそれぞれ独自に行われてきた。また、両者では凍結貯蔵中の筋原線維タンパク質の変性速度も異なり、後者では冷凍変性防止のため糖および糖アルコールの添加が必須である¹⁰。さらに、卵白粉末などの動物タンパク質は弾力補強剤として食肉製品よりも水産練製品での利用度が高い¹¹。

このような背景下で陸上動物と海洋動物の筋肉タンパク質を混合したゲル化食品の開発を行い、新たな独特の食感を有する製品を創出することで、採卵廃鶏とイカナゴの有効活用につながると考えられる。

本稿では実用的な見地に立ち、採卵廃鶏挽肉と市販イカナゴすり身を混合し、鶏卵白粉末添加有無で加水（水伸ばし）した種々の肉糊を調製し、それらの加熱ゲル形成能を、冷凍すり身のゲル形成能を評価するために利用されている新しいアプローチ¹²⁾から調査したのでご紹介する。

1. 鶏挽肉と各種加熱ゲルの製造方法

1-1. 原材料

本稿では、鶏挽肉と稚内近海で漁獲されたイカナゴ (*Ammodytes personatus*) を原料として製造された市販魚肉冷凍すり身（イカナゴ、(株)草地商店）を使用した（表1）。調製した鶏挽肉はイカナゴすり身に比べて水分量が6.1%低く、タンパク質量が8.1%高く、脂質量が0.6%低く、pHが0.5低かった。また、得られた各種ゲルのゲル形成能の増強のため、乾燥鶏卵白（Kタイプ；キューピー（株）、東

京）を供試した。なお、乾燥鶏卵白は水分量11.6%、タンパク質量76.0%およびpHは10%水溶液で7.1であると報じられている¹³⁾。

1-2. 鶏挽肉の製造

採卵廃鶏の浅胸筋（*M. superficial pectoral*）と深胸筋（*M. deep pectoral*）を含むムネ肉部を-20℃で凍結した原料肉を（株）中央食鶏（三笠市）より購入した。流水中で一晩解凍後、皮下脂肪や皮を除去し、4mm目サイズの挽肉を調製した。次に、裏漉し機（41-AS-NF型；(株)明石鉄工所、東京）を用いて魚肉すり身と同じ1.5mm目のサイズの挽肉を調製し、4.0%ソルビトールを混合後、約1kgの大きさに個別包装し、-30℃で実験開始まで凍結保管した。以下、本稿では裏漉し処理後の挽肉を鶏挽肉とよぶ。

1-3. 鶏挽肉と魚肉すり身およびその混合肉の加水処理

凍結した鶏挽肉と冷凍イカナゴすり身を解凍（-7~-5℃、一晩）した後、表2に示す配合比で両者を混合し、水を18~150%添加して

表1 鶏挽肉とイカナゴすり身の一般成分

成分	原料	含量 (%)					pH
		水分	タンパク質	脂質	糖および糖アルコール	重合リン酸塩	
採卵廃鶏	ムネ肉	69.2	23.6	1.9	ソルビトール, 4.0	0.25	6.3
イカナゴすり身 (陸上)	イカナゴ	75.3	15.5	2.5	砂糖, 3.0 ソルビトール, 3.0	0.30	6.8

表2 鶏挽肉とイカナゴすり身の混合割合と加水量

鶏挽肉	混合割合 (w/w)		加水量 (%)	乾燥粉末卵白 (%)
	イカナゴすり身	水		
50	50	0	0	0
42.5	42.5	15	18	0
35	35	30	43	0
27.5	27.5	45	82	0
20	20	60	150	0
50	50	0	0	2
42.5	42.5	15	18	2
35	35	30	43	2
27.5	27.5	45	82	2
20	20	60	150	2

これを 3.0% (w/w) の NaCl および 0.2% (w/w) の乾燥鶏卵白と共に小型サイレントカッター (SCP-2 型; (株) 花木製作所, 東京) を用いて約 15 分間カッティングを行った。なお, カッティング終了後の混合肉糊の温度は, 約 5℃ に保持した¹⁴⁾。また, 本研究では, 表 2 の配合比の他に比較のため, 鶏挽肉単独およびイカナゴすり身単独の場合についても同様に実験を実施した。

1-4. 各種加熱ゲルの製造

一般に魚肉のすり身はカッティング後, 初めに低温 (25 ~ 30℃), そして高温 (85 ~ 90℃) で二段階の加熱をして加熱ゲルを調製することが多い。これによって物性値が増強されるからである。しかし, 鶏挽肉の場合, カッティング後, 25 ~ 30℃ で加熱しても加熱ゲルの物性にほとんど影響を及ぼさなかったで, 本研究では 50℃ で予備加熱を実施した。本研究での加熱ゲルの調製方法は下記のとおりである。すなわち, 肉糊を折径 48mm のポリ塩化ビニリデン製チューブに充填し, 50℃ の恒温水槽で 6 時間にわたって予備加熱を行った (以下, 得られたゲルを予備加熱ゲルとよぶ)。この間, 経時的に取り出し, 90℃ の恒温水槽で 30 分間加熱して二段加熱ゲルを調製した。なお, 予備加熱を行わず直接 90℃ で 30 分間加熱して得られたゲルを直加熱ゲルとよぶ。

2. 各種加熱ゲルの物性測定

予備加熱ゲルは氷水中で 30 分間冷却後, 速やかに, また, 二段加熱ゲルの場合は流水中で 30 分間冷却後, 25℃ で一晩保管後, 直径 30mm × 高さ 25mm の大きさに切断してレオメータ (NRM20021; 不動工業 (株), 東京) を用いて直径 5mm の球形プランジャー (進入速度 6cm/min) で破断強度 (BS; g) と破断凹み (bs; mm) を測定し, これらのゲル剛性 ($G_s = BS/bs$;

g/cm) を算出した¹⁵⁾。なお, ゲル剛性は先に阿部ら^{15, 16)} がバネ定数と表現した値と同じであり, かまぼこのゲル物性上の特徴を表す尺度として品質評価に利用されているものである。

3. 加水して調製した各種加熱ゲルの性状

北上ら¹⁴⁾ はこれまでに各種すり身に対して加水してタンパク質濃度を変えて調製した二段加熱ゲルの物性の最大値を走査測定し, 加熱ゲルの物性の最大値とタンパク質濃度の関係式から各パラメータを算出し, すり身の等級との関係を調査した。表 2 に示す配合で実験を行ったところ, 卵白粉末添加の有無にかかわらず, 各試料からは坐りゲルは形成しなかった (加熱ゲルの破断強度と破断凹みは予備加熱時間に伴い増加せず, ほぼ一定か, または低下傾向を示した)。そこで, 予備加熱を行わない直加熱ゲルの破断強度と破断凹みを選択し, タンパク質濃度との関係式とパラメータの算出を行った。その結果, 卵白添加の有無にかかわらず, いずれの加熱ゲルの場合でも加えられた水分は直加熱ゲルの構造中に保持され, それに応じてタンパク質濃度が減少する傾向が示され, また, pH はイカナゴすり身の混合割合が高い程, やや上昇する傾向にあり, 6.4 ~ 6.9 の範囲であった (結果は図示せず)。

4. ゲル形成能のタンパク質濃度依存性と鶏挽肉およびイカナゴすり身の混合比率との関係

これまでに加熱ゲルの物性の試料濃度依存性に関する研究では, 原料素材がタンパク質か, 高分子量の糖質かにかかわらず, ゲルの弾性定数は濃度に強く依存し, 形成されるゲルの弾性率 (G) は, その濃度 (C) のほぼ 2 乗に比例することが多く, $G = kC^n$ (k と n は物質によって決まる定数) で表されると報じられている¹⁷⁾。北

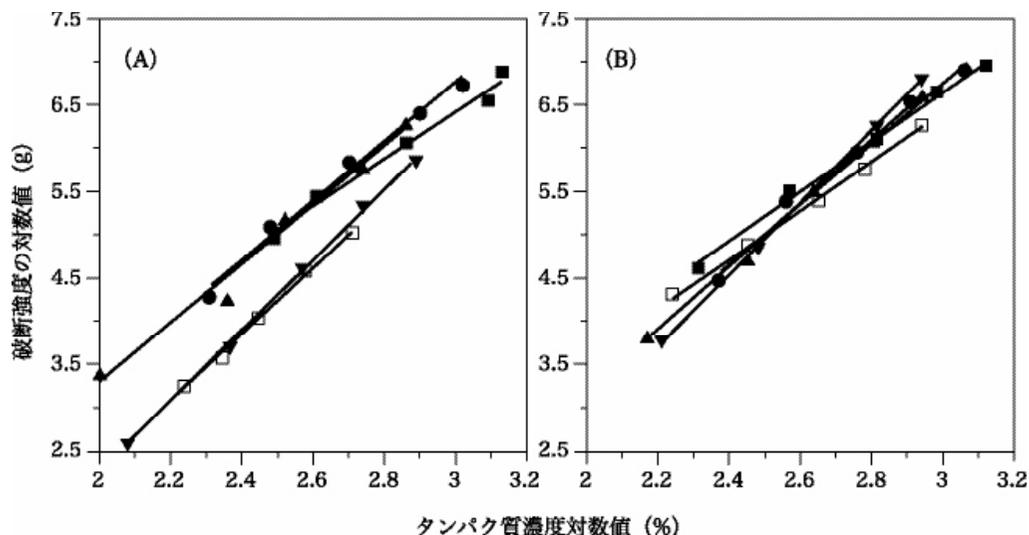


図1 鶏挽肉、イカナゴすり身および水を混合した直加熱ゲルの破断強度のタンパク質濃度依存性
破断強度は表1に示すように5段階に加水して鶏挽肉とイカナゴすり身を混合した直加熱ゲルを用いて測定した。タンパク質の混合割合；100:0 (■), 75:25 (●), 60:40 (▲), 25:75 (▼), 0:100 (□)。 (A): 卵白無添加, (B): 2% 卵白添加。

上ら¹³⁾は数種類の冷凍すり身について、二段加熱ゲルの破断強度 (BS) とタンパク質濃度 (C) との関係はいずれも $BS = kC^n$ の式で表され、n の値は等級が上位のものほど低い値を示す傾向があると報じている。本研究では解析結果の比較を容易にするため本加熱ゲルの破断強度の対数値 (Ln BS) に対してタンパク質濃度の対数値 (Ln PC) をプロットした。その結果は図1に示すが、卵白の添加の有無、鶏挽肉とイカナゴすり身の混合割合にかかわらず、両者の関係は直線式で表示され、関係直線の一次式を最小二乗法で求めた。これによると、卵白無添加の場合 (図1 (A)) は、直線の勾配はやや異なるが、イカナゴ単独 (鶏挽肉：イカナゴすり身 = 0:100) およびイカナゴ75% 混合試料 (鶏挽肉：イカナゴすり身 = 25:75) の加熱ゲルの破断強度が、他の複合試料の値に比べるとかなり低値となる点が特徴である。また、イカナゴすり身の混合割合が多い試料、すなわち、鶏挽肉：イカナゴすり身 = 25:75 とイカナゴすり身単独 (鶏挽肉：イカナゴすり身 = 0:100) 試料の加熱ゲ

ルの破断強度とタンパク質濃度の関係は近似していた。

一方、卵白を添加した場合 (図1 (B))、いずれの試料からの加熱ゲルの場合も直線の勾配には僅かな違いがみられたが、破断強度はほぼ同じレベルの近似する値となることが示された。また、この関係直線は卵白無添加の鶏挽肉単独、イカナゴすり身25% 混合およびイカナゴすり身40% 混合試料 (鶏挽肉：イカナゴすり身 = 75:25 および鶏挽肉：イカナゴすり身 = 60:40) からの加熱ゲルの直線関係にも近似していた (図1)。卵白無添加 (A) のイカナゴすり身75% 混合試料からの加熱ゲルは破断強度と破断凹みの最大値がやや低いことを除けば他はほぼ類似した結果が得られた。したがって、鶏挽肉に40% 程度のイカナゴすり身を混合するか、または、少量の卵白粉末の添加によりイカナゴすり身の混合量を多くしても鶏挽肉単独の加熱ゲルとゲル物性 (破断強度と破断凹み) の良く近似した製品が得られるため、資源の有効活用につながると思われる。

5. 異なるタンパク質濃度下での混合加熱ゲルの破断強度とゲル剛性との関係

これまでに魚肉すり身のタンパク質が形成する加熱ゲルの破断強度と破断凹みは予備加熱時間の進行に伴い増加する（坐り加熱ゲル）ことから、破断強度に対してゲル剛性をプロットすると、両者の間に正の相関が成り立つため、その関係の解析結果からかまぼこゲルの物性を評価する試みがなされてきた¹²⁾。しかし、非

坐り加熱ゲル（直加熱ゲル）の場合は予備加熱の時間は破断強度とゲル剛性に影響及ぼさないので、上記の方法では評価ができない。そこですり身に対して加水してタンパク質濃度を変えた場合の破断強度とゲル剛性の関係の変化を調べ、両者の間に成り立つ正の相関関係を利用してゲルの物性を評価している¹⁸⁾。本稿では直加熱ゲルを研究対象としたためこの評価手法を応用し、破断強度とゲル剛性の関係を解析した。その結果を図2と表3に示す。卵白添加の有無

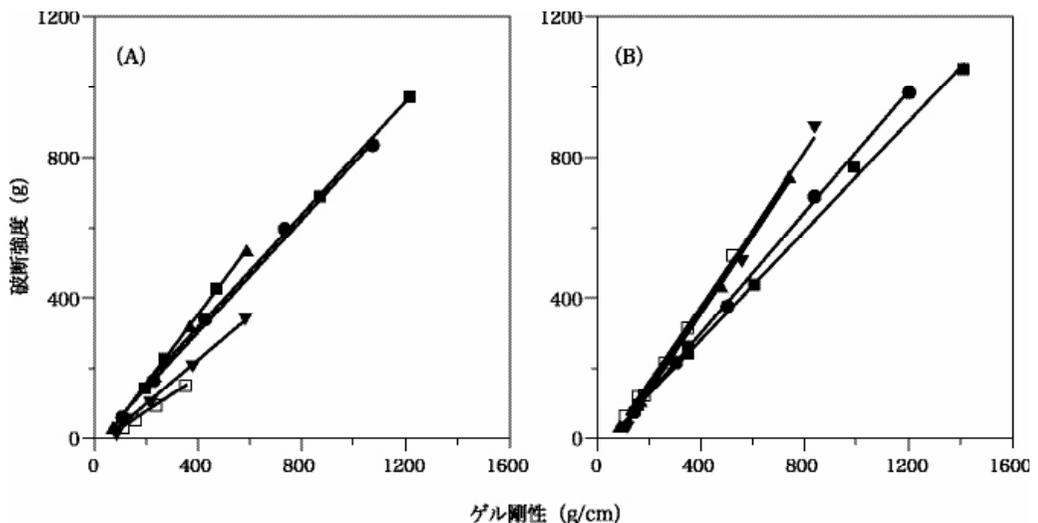


図2 得られた直加熱ゲルの破断強度とゲル剛性との関係

図2に示したデータからゲル剛性(Gs)はBS/Bsで算出し、破断強度に対してプロットした。図中のシンボルは図2のとおり。(A): 卵白無添加, (B): 2% 卵白添加。

表3 卵白有無で鶏挽肉とイカナゴすり身を混合した直加熱ゲルの破断強度 (BS) とゲル剛性 (Gs) の関係

添加物	鶏挽肉とイカナゴすり身のタンパク質濃度の割合 (% , w/w)	y=ax+b (y: BS, x: Gs)		r ²
		a	b	
なし	100:0	0.786	-18.5	0.995
	75:25	0.804	-12.4	0.998
	60:40	0.989	-43.4	0.999
	25:75	0.657	-42.2	0.999
	0:100	0.485	-19.0	0.999
	100:0	0.773	-14.3	0.998
2.0% 乾燥卵白	75:25	0.863	-43.3	0.999
	60:40	1.092	-67.0	0.997
	25:75	1.153	-101.3	0.994
	0:100	1.112	-60.6	0.996

にかかわらず、いずれの試料でも直加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の間には正の強い相関が成り立ち、一次式 $BS=a \cdot Gs+b$ (a と b は加熱ゲルごとの定数) を認めた。これによると、卵白無添加の場合 (A), イカナゴ単独およびイカナゴ75% 混合加熱ゲルの関係直線の勾配 ($a=0.485$ と 0.657) は他の試料のそれらに ($a=0.786$ と 0.989) 比べてかなり小さかった。また、破断強度とゲル剛性の最大値もかなり低いレベルであった。イカナゴ40% 混合加熱ゲルの関係直線の勾配 ($a=0.989$) は大きく、鶏挽肉によるゲル物性への影響が認められたものの、物性の最大値は依然として低いレベルに留まった。イカナゴすり身25% 混合加熱ゲルと鶏挽肉単独加熱ゲルの直線の勾配 ($a=0.804$ と 0.786) はイカナゴ40% 混合すり身のそれよりも僅かに小さかったが、物性の最大値は約2倍高く、イカナゴ75% 混合および単独の加熱ゲルよりも著しく高い値を示した。一方、卵白を添加すると (B), イカナゴすり身25% 混合および鶏挽肉単独加熱ゲルでは、関係直線の勾配 ($a=0.868$ と 0.773) がやや小さくなり、卵白無添加の加熱ゲル (A) のそれら ($a=0.804$ と 0.786) にほぼ近似した値となったが、物性の最大値はやや高くなった。また鶏挽肉25% 以下の混合加熱ゲルでは関係直線の勾配 ($a=1.112 \sim 1.153$) が大きくなり、さらに鶏挽肉25% 混合試料ではゲル物性 (破断強度とゲル剛性) の最大値も著しく高くなったことから、卵白添加による物性の向上効果が最も強く発揮されたこと示している。すなわち、同じ破断強度の加熱ゲル間で比べると変形する時に壊れにくい (噛んだときに弾力が感じられる) 物性であることを示す。しかし、鶏挽肉25% 以上の混合加熱ゲルでは卵白による加熱ゲルの物性の改良効果はやや異なると考えられた。このことは卵白をゲル物性の補強剤として使用する際に有用なデータベースとなると考えられる。

6. 鶏挽肉と鶏すり身のゲル形成能の相違

本稿では鶏挽肉との混合にイカナゴすり身を用いたが、混合するイカナゴすり身は水晒・脱水により魚肉中の水溶性成分が除去され、塩溶性タンパク質が濃縮された魚肉すり身であるため、鶏の場合でも挽肉とすり身では同じタンパク質濃度でも加熱によるゲル形成が異なると考えられる。そこで、魚肉すり身の製造方法¹⁹⁾ に準じて鶏のすり身を供試した実験を実施した。すなわち、挽肉を水晒・脱水後、裏漉し、添加物 (4% ソルビトール, 0.3% 重合リン酸塩) を混合後、 -30°C で凍結保管した。得られたすり身の組成は、水分が79.6%, タンパク質が14.8% で、pHが7.0であった。このすり身を解凍し、カッティング、成型した肉糊を

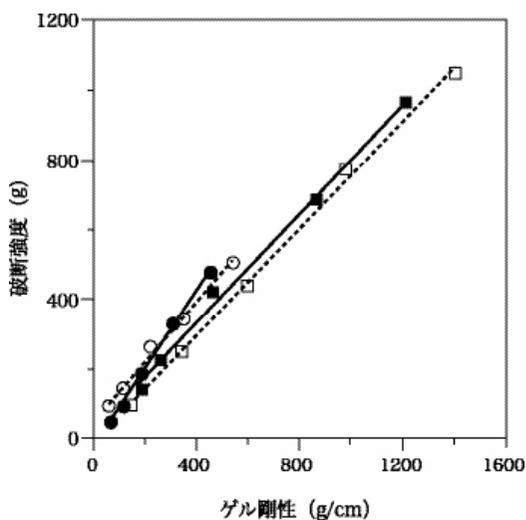


図3 鶏挽肉 (■, □) と鶏すり身 (●, ○) より調製した直加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の関係

鶏すり身は北上ら (2003) の方法に準じて研究室レベルで調製した。鶏すり身の食品添加物量は4% ソルビトールと0.3% 重合リン酸塩で、タンパク質濃度およびpHはそれぞれ14.8%と7.0であった。鶏すり身の直加熱ゲルは鶏すり身と同様の方法で調製した。(黒色, 実線): 卵白無添加, (白色, 点線): 2% 卵白添加。

鶏挽肉と同様な方法で予備加熱後、90℃で30分間加熱したところ、挽肉の場合と類似した傾向のゲル物性の結果が得られた。鶏挽肉と鶏すり身の直加熱ゲルの破断強度とゲル剛性との関係を図3に示す。卵白添加の有無にかかわらずいずれも両値の間に直線関係が認められた。卵白無添加の場合、図3に示すように、鶏挽肉では $BS=0.786Gs-18.5$, $r^2=0.995$ で、鶏すり身では $BS=1.13Gs-31.4$, $r^2=0.998$ であり、同じBS値のゲルで比較すると、鶏すり身の加熱ゲルの方が鶏挽肉のそれよりも変形に際し壊れにくい加熱ゲルとなった。

卵白添加の加熱ゲルは、鶏すり身の関係直線の勾配 ($a=0.858$) が卵白無添加のそれ ($a=1.131$) より小さくなったが、鶏すり身の場合、関係直線の勾配は卵白添加有無にかかわらず近似した ($a=0.786$ と 0.773)。ただし、鶏すり身加熱ゲルの物性の最大値は鶏挽肉のそれに比べればかなり低値に留まった。これは調製したすり身の水分量が著しく低値となることに起因するものと推定される¹³⁾。したがって、鶏挽肉と鶏すり身では卵白添加の有無にかかわらず、同じBS値で比べると前者は後者より変形に際し壊れやすい加熱ゲルとなる点では共通しているが、卵白添加によるゲル物性への影響力は前者と後者ではやや異なる。

次に、鶏挽肉と鶏すり身から調製した加熱ゲルのゲル物性の最大値のタンパク質濃度依存性を図1と同様に $\ln BS$ に対する $\ln PC$ の関係から調査した。その結果を図4に示す。破断強度の場合 (A)、直線の勾配は近似したが、同一タンパク質濃度で比較すると、鶏すり身の加熱ゲルの方が鶏挽肉のそれよりも破断強度が高値であることが特徴である。タンパク質濃度が15% ($\ln 2.7$) 以上の加熱ゲルの破断強度は、鶏すり身からは求められなかった。その理由は、鶏すり身は水晒しにより水溶性の筋形質タンパク質が除去され、筋原線

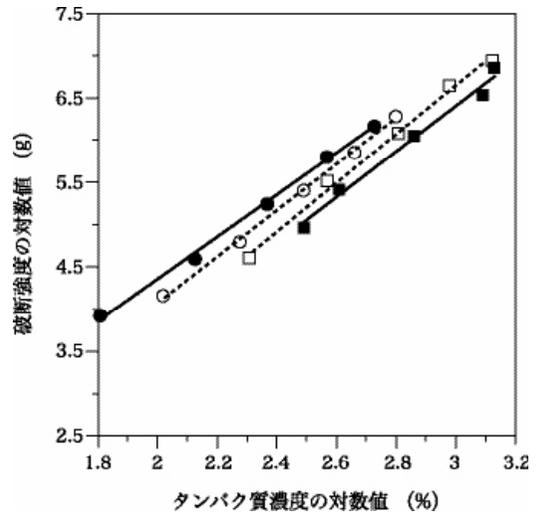


図4 鶏挽肉 (■, □) と鶏すり身 (●, ○) より調製した直加熱ゲルの破断強度のタンパク質濃度依存性

鶏すり身は北上ら (2003) の方法に準じて研究室レベルで調製した。鶏すり身の食品添加物量、タンパク質濃度およびpHは図3に示すとおりである。(黒色, 実線): 卵白無添加, (白色, 点線): 2% 卵白添加。

維タンパク質の増加が加熱ゲルの物性の増強に役立つものの、脱水には限界があって調製された製品中には水が残存し水分量が増加するため、タンパク質量が減少する。これが高い物性の加熱ゲルの形成を成し難くしたものと推察される。卵白を添加した加熱ゲルの場合も、同一タンパク質濃度で比較すると鶏挽肉と鶏すり身の加熱ゲルの値がやや近似してくる点を除いては卵白無添加の場合と同様な傾向を示した。したがって、破断強度が同値の加熱ゲル間で比較すると、タンパク質濃度が15% ($\ln 2.7$) 以下であれば、鶏すり身の方が鶏挽肉よりも噛んだ時に歯ごたえのある加熱ゲルの調製が可能であるが、タンパク質濃度が18% ($\ln 2.9$) 以上の加熱ゲルは鶏挽肉を利用しなければ調製できないので、高い物性値の製品を創出する原材料として鶏すり身よりは有利である。

おわりに

本稿では採卵廃鶏とイカナゴの有効活用と独特な食感を有するゲル化食品の開発例²⁰⁾をご紹介した。その結果、本加熱ゲルの破断強度 (BS)、破断凹み (bs) およびゲル剛性 ($G_s=BS/b_s$) を測定すると、直加熱ゲル (予備加熱=0) の BS とタンパク質濃度 (C) の対数値の間、また、直加熱ゲルの BS と G_s の間にはいずれも正の相関関係がみられること、上記した2つの直線関係は鶏挽肉とイカナゴすり身の混合割合や乾燥卵白粉末添加の有無によりそれぞれ異なった。したがって、鶏挽肉とイカナゴすり身の混合割合や両者に乾燥卵白粉末を添加することによって多様な食感の加熱ゲル化製品を創出できることが明らかとなった。しかし、ゲル化食品の開発には下記に示すような様々な問題点がある。

Nowsad ら²¹⁾ は成鶏 (98 週齢) と若鶏 (12

週齢) のムネ肉とモモ肉からそれぞれすり身を調製し、3%NaCl で水分量 80% に調整してカット後の肉糊を 90℃ で 15 分間加熱して得られた加熱ゲルの物性 (ゲル強度と破断強度) を比較した。その結果、得られたゲルの伸縮性、弾力、水分保持の特性は両者ではほぼ同じであるが、8 週間冷凍貯蔵後で異なり、その理由が凍結防止剤の効果の相違に起因していると報じている。本稿では鶏挽肉は冷凍貯蔵約 1 ヶ月以内に実施しているため凍結貯蔵中のタンパク質の変性は少ないと考えられるが、今後は鶏挽肉を長期凍結貯蔵した後のゲル形成能の調査研究も必要と考えられる。

また、加藤ら²²⁾ は三種の魚肉すり身 (ホッケ、スケトウダラおよびその混合物) から形成される加熱ゲルの BS と G_s 値の比率から評価して、血漿粉末および卵白粉末のいずれの場合も 0.5 ~ 1.0% の添加量が実用上適当であ

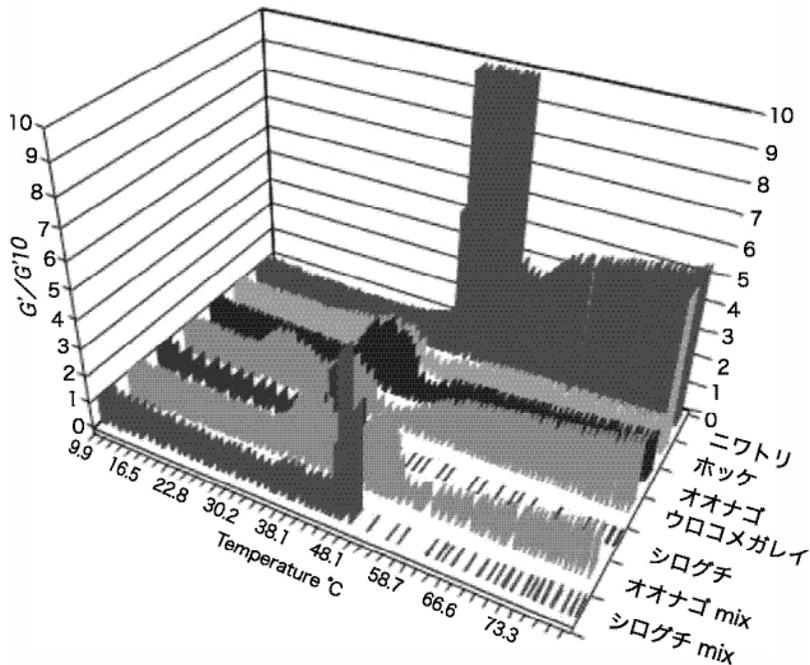


図5 各種アクトミオシンの加熱による相対貯蔵弾性率 (G'/G'_{10}) の変化

アクトミオシンを 0.3 M NaCl, 10 mM K phosphate (pH 7.0) に 10 - 14 mg/ml にて溶解させ、昇温 2℃/min で 10 - 80℃ まで加熱した。得られた結果を G'_{10} (各種アクトミオシン溶液の 10℃ での貯蔵弾性率) で除した相対値として示した。

り、無添加の加熱ゲルと相似じた物性上の特徴をもつ製品となるが、3%以上になると両値の比率が変わり、同じBS値間で比べて変形に際して壊れやすいゲルとなると報じている。本稿では2%卵白粉末添加の例を紹介したが、1%以下での実用的な添加レベルでの検討が必要と思われる。

さらに、岩崎ら²³⁾はアクトミオシン混合溶液の加熱ゲル化特性を調査した。その結果、混合アクトミオシン溶液の貯蔵弾性率のプロファイルは、魚と鶏アクトミオシンの貯蔵弾性率のピーク温度がそれぞれ検出されること(図5)、一定濃度の個々のアクトミオシン溶液と混合アクトミオシンの表面疎水性の平均値がほぼ一致していることなどから、異種アクトミオシンを混合加熱しても、単独のアクトミオシンの場合と同程度のタンパク質間相互作用は生じず、混合による相乗的なゲルの網状構造の形成も生じないと報じている。今後は異種筋肉タンパク質を混合した際のゲルの網目構造形成に相乗的に影響する食品添加物の検索も必要であろう。

謝辞

本研究は2006-2007年財団法人旗影会一般研究助成および2008年度酪農学園大学・酪農学園短期大学部共同研究助成の一環として実施されたものである。本研究を遂行するに当たりご助言、ご協力いただいた(社)全国すり身協会顧問 新井健一博士、同協会理事長 北上誠一博士、同協会研究員村上由里子氏、酪農学園大学教授 山本克博博士、同大学教授 石下真人博士、同大学教授 金田 勇博士、東海大学海洋学部教授 加藤 登博士、北海道立中央水産試験場加工利用部加工開発科長 菅原 玲氏、北海道立稚内水産試験場資源管理部長 前田圭司氏、キューピー(株)研究所タマゴR&Dセンター タマゴ素材グループリーダー 青山 忍氏、(株)明石鉄工所専務取締役 佐野智彦氏並びに酪農学園大学学生諸氏に深く謝意を表します。また、本研究で用いた乾燥卵白とソルビトールはそれぞれキューピー(株)および(株)東和化成工業よりご分与いただいたものであり、厚く感謝します。

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

- 1) 加藤健二, 金子博実, 佐々木政則, 蛭谷孝司, 麻生真悟, 菅原 玲: 集積活性化支援事業費補助事業報告書(イカナゴの食用化技術開発). 北海道中央水産試験場・北海道稚内水産試験場, 北海道, pp.1-19, 1996.
- 2) 三宅博哉. 新・北のさかなたち(水島敏博, 鳥澤 雅監修). 第二版. 北海道新聞社, 北海道, pp.220-223, 2005.
- 3) 北海道農林水産部総務課. 平成19年北海道水産現勢. 北海道農林水産部, 北海道. p.30, 2009.
- 4) 佐々木政則. ウロコメガレイの利用加工について, 試験研究は今, 1992年4月12日. [homepage on the Internet], マリンネット北海道, 北海道; [Cited 17 April 1992]. Available from URL: <http://www.fishexp.hro.or.jp/SHIKENIMA/101to150/101/101.htm>
- 5) 農畜産業振興機構. 畜産の情報, 採卵鶏, 飼養戸数, 羽数ともに減少, 2009年8月. [homepage on the Internet], 農畜産業振興機構, 東京; [Cited 1 February 2009]. Available from URL: <http://lin.alic.go.jp/alic/month/domefore/2009/egg-jp.htm>
- 6) 農畜産業振興機構. 畜産の情報, トピックス, 2007年7月月報. [homepage on the Internet], 農畜産業振興機構, 東京; [Cited 18 March 2007]. Available from URL: <http://lin.alic.go.jp/alic/month/dome/2007/jul/topics.htm>

- 7) 多田耕太郎, 菅野三郎. 骨軟化処理による採卵廃鶏を用いたペットフードの開発. 富山食研研究報告, **5**, 25-30, 2004.
- 8) 宮口右二, 坂本太郎, 林 佑樹, 永山精美. 採卵廃鶏の有効利用: 鶏筋漿タンパク質画分によるモデルソーセージの物性改善効果. 食科工, **52**, 572-577, 2005.
- 9) 新井健一. 水産食品学 (須山三千三, 鴻巣章二編) 第一版. 恒星社厚生閣, 東京, pp.171-184, 1987.
- 10) 新井健一. 魚の品質 (内山均, 松宮弘幸, 河端俊治, 石若金吾編) 第一版. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 51-72, 1974.
- 11) 岡田 稔. かまぼこの科学. 第一版. 成山堂書店, 東京, 1999.
- 12) 北上誠一, 阿部洋一, 新井健一. 冷凍すり身の品質を評価する新しいアプローチ. *New Food Industry*, **44**, 9-16, 2002.
- 13) 北上誠一, 村上由里子, 安永廣作, 加藤 登, 新井健一. スケトウダラ冷凍すり身タンパク質のゲル形成能とその濃度依存性. 日水誌, **71**, 957-964, 2005.
- 14) 北上誠一, 村上由里子, 小関聡美, 阿部洋一, 安永廣作, 新井健一. 2004. スケトウダラ冷凍すり身のゲル形成能とその加熱温度依存性. 日水誌, **70**, 354-364.
- 15) 阿部洋一, 安永廣作, 北上誠一, 村上由里子, 大田隆男, 新井健一. 1996a. 等級の異なるスケトウダラ冷凍すり身にトランスグルタミンナーゼ製剤を添加して調製したかまぼこの品質. 日水誌, **62**, 439-445.
- 16) 阿部洋一, 安永廣作, 北上誠一, 村上由里子, 大田隆男, 新井健一. TGase 製剤または牛血漿粉末を添加して調製したかまぼこゲルの特徴. 日水誌, **62**, 446-452, 1996b.
- 17) 西成勝好. ゲルのレオロジー「食品の物性」(松本幸雄編)(株)食品資材研究会, 東京, pp.41-74, 1978.
- 18) 北上誠一. スケトウダラ冷凍すり身のゲル形成能に関わる基礎研究. (社)全国すり身協会, 網走, pp.90-107, 2006.
- 19) 北上誠一, 安永廣作, 村上由里子, 阿部洋一, 新井健一. スケトウダラ冷凍すり身のゲル形成能のpH依存性と重合リン酸塩の影響. 日水誌, **69**, 405-413, 2003.
- 20) 船津保浩, 山本恭子, 岩崎智仁, 金田 勇, 石下真人, 山本克博, 大堀忠志, 北上誠一, 新井健一. 鶏挽肉と魚肉すり身を混合した加熱ゲルの物性に及ぼす鶏卵白粉末の影響. 日畜会報, **81**, 169-180, 2010.
- 21) Noesad AAKM, Kanoh S, Niwa E. Thermal gelation characteristics of breast and thigh muscles of spent hen and broiler and their surimi. *Meat Science*, **54**, 169-175, 2000.
- 22) 加藤 登, 鈴木康宏, 國本 弥衣, 北上誠一, 村上由里子, 新井健一. 三種の魚肉すり身製加熱ゲルの物性に及ぼす豚血漿と卵白粉末の添加効果の比較. 食科工, **57**, 26-31, 2010.
- 23) 岩崎智仁, 角間育弘, 鈴木克洋, 奥村円香, 櫻井敬太, 船津保浩, 金田 勇, 石下真人, 山本克博, 加藤 登, 北上誠一, 新井健一. 異種筋肉タンパク質の複合による新規食品素材の開発とその応用: 鶏肉と魚肉アクトミオシン混合溶液の加熱ゲル化特性に及ぼす鶏卵白の影響. 酪農学園大学紀要, **34**, 197-209, 2010.

食用カンナの西南暖地における多用途利用開発

田中 伸幸*

*TANAKA Nobuyuki (高知県立牧野植物園 (高知大学客員准教授))

KeyWords：食用カンナ・バイオマス・澱粉・サイレージ

はじめに

カンナは、新大陸を原産とするカンナ科(ショウガ目)の大型多年生草本類で、古くから西欧諸国で園芸品種の作出が盛んに行われ、暖地を中心とした世界中で園芸用の植物としての利用が一般的である。しかし、カンナの中には、根茎が肥大する種類が知られており、アンデス地方でインカ文明の頃から澱粉源作物として、ジャガイモなどの主要作物以外の補食源として食用に供され、それが東南アジアにも伝播して利用されている。「食用カンナ」とは、そのような根茎を食用にするカンナの総称を言う。

食用カンナは、最も一般的に栽培されているものは *Canna discolor* Lindl. といい、染色体は $2n=27$ の3倍体である^{1,2)}。かつてはオーストラリアやハワイに導入されて栽培が見られたことで、英名を Queensland Arrowroot というが、現在はすでにほとんど見られなくなった。現在でも栽培が行われている地域は、パプアニューギニアから中国南部にかけてである。主として根茎を茹でたり焼いたりして食用にするが、唯一ベトナムでは商業的栽培が見られ、根茎から春雨

様の麺類が製造されて市場に出るほか、屋台でこの麺を食べさせる風景も見られる。アジアの一部やアフリカでは、葉や根茎を解熱薬、南米では、茎をリュウマチの薬用とするなど一部薬用としての利用も見られる。特異的な利用方法としては、中国南部での根茎澱粉からの醸造酒がある^{3,4)}。一方、地上部(茎葉)のバイオマス生産量は非常に高く、豚の飼料としての利用が南米のブラジルのほか、アジアの中国、ベトナムなどでも見ることができ^{3~6)}。ベトナムの商業的な利用は、世界でも希な例であり、一般的には食用カンナは東南アジア地域でも地



図1 ミャンマー北部カチン州で栽培される食用カンナ(上)と地元の市場で根茎を売る女性(左)

域的作物としてわずかに利用が見られるに過ぎなくなりつつある。栽培地域の多くでは、自家消費用の作物として村落部民家のバックヤードで栽培されることがほとんどで、希に根茎が市場で売られる程度である（図1）。

食用カンナの地上部のバイオマス量の高さ、澱粉粒の大きい根茎澱粉などの特性を活かすことができれば、有望な資源植物となる可能性を十分にもっていると考えられる。また、熱帯・亜熱帯が原産のため日本の西南暖地のような温暖な気候の地域に導入する作物として適していると考えられる。しかし、いままで食用カンナの開発研究は限られたものしかなく、日本での栽培事例も少ない⁷⁻⁹⁾。そこで、高知大学農学部⁷⁾の山本由徳教授との共同研究として、西南暖地での栽培特性、食用カンナの系統比較、地上部も含めた多用途利用の検討を行ったところ、食用カンナには潜在的遺伝子資源として有望な性質が見いだされてきた。ここでは、次第と明らかとなりつつある食用カンナの实体及び性質と西南暖地における多用途利用開発研究について紹介し、食用カンナの可能性について多面的に考察したい。

1. 高知県での栽培

これまでの研究により、食用カンナには2倍体種と3倍体種があることが判明している。東南アジアで一般的に用いられている系統は、3倍体で、この3倍体系統には、花が赤色で葉緑及び葉脈上が赤紫を呈するものと花が橙色で葉に紫を帯びないものがある。実験には3倍体の葉に赤紫を帯びるベトナム産を用いた（以下、ベトナム赤と呼ぶ）。一方、2倍体系統では、台湾（以下、台湾赤）、パプアニューギニア（以下、パプア緑）を材料に用いて、栽培実験を行った。ベトナム赤はベトナム南部のホーチミン郊外のブンカウ村、パプア緑はラエ南西のワウ



図2 高知県南国市で実施した食用カンナの栽培実験

近郊から導入したもので、台湾赤は牧野植物園の小山鐵夫博士により台湾の南投県より導入されたものを使用した。標本は高知県立牧野植物園・標本室に収蔵している。

2006年より食用カンナの多用途利用を検討するに当たり、これら数系統の比較も含めて食用カンナの高知県における栽培特性を明らかにするための基礎的な作物学的栽培実験を行った（図2）。根茎は、100～200gに調整したものを種芋として、切断面をベンレートで消毒を施した上で、5月中旬に南国市の圃場に植え付けを行った。土壌はパーク堆肥400kg/aおよび苦土石灰15kg/aを均一に施して耕耘した。畦間1m、株間0.5mとして、化学肥料N1.5kg/a、P₂O₅1.3kg/a、K₂O1.3kg/aを投与し、マルチ被覆した上で種芋を植え付けた。2007年は、株間を0.5m、0.8m、1.1mとして最適栽植密度の検討に関する栽培実験を行った。そして、2008年からは、系統間での栽培特性及び収量の比較研究を行った。

2. 食用カンナの形質と栽培特性、高いバイオマス

食用カンナの地上部は、大型の葉が水平に展開し、草丈は約3ヶ月で2.5～3mに達する。根茎はよく分枝し、それに伴って茎数が増加し、さらにバイオマス量が増加していく。

表1 各系統の澱粉収量およびその関連形質の比較

系統	根茎乾物重 (g/株)	乾物率 (%)	澱粉含有率 (%, 乾物当たり)	澱粉収量 (t/ha)
台湾赤	554a	14.2bc	30.9bc	3.36a
パプア緑	559a	17.9a	37.5a	4.33a
ベトナム赤	561a	16.6ab	36.2ab	3.94a

異なるアルファベットには5%水準で有意差あり (Tukey 検定)

5月に植え付けて11月の収穫時点での茎葉部の生重量は、台湾赤が137t/ha、ベトナム赤で150～160t/haであり、3倍体の方が収量が多い。3倍体系統は、2倍体系統に比べて、葉の大きさも草丈も大きく、根茎もより肥大する。根茎の収量、澱粉収量には、栽植密度による優位な差は見られなかったが、地上部のバイオマス生産量は密植区ほど高くなることが示された。

しかし、倍数化の問題だけではなく、台湾系統やベトナム系統に比べて2倍体のパプア緑は、1株当たりの根茎重量(生)が、5.2kgと特に大きく、系統間での根茎収量を比較すると、パプア緑が、103t/haと台湾緑やベトナム赤の典型的な3倍体食用カンナと比べて非常に高い数値を示した。乾物重に換算すると12～16t/haとなり、過去のタイでの栽培研究例より高い値を示し、関東地方での栽培研究例とほぼ同等の値であった^{8,10)}。全根茎の乾物重あたりの澱粉含有率は、台湾赤30.9%、パプア緑37.5%、ベトナム赤36.2%で、パプア緑が最も多かった(表1)。澱粉収量の結果は、台湾赤336.2g/m²、パプア緑432.7g/m²、ベトナム赤393.9g/m²で、やはりパプア緑が最も多かった。パプア緑は、食用カンナとしては有望な系統と考えられる。このタイプの食用カンナは南米でも用いられており、いまのところ、南米の *Canna plurituberosa* と同一であることが判っている。

3. 食用カンナ根茎澱粉の特性及び食品栄養成分

澱粉の性質に関する研究は、過去に台湾産食用カンナ澱粉とジャガイモ澱粉の諸性質が詳しく比較されている。それによると、食用カンナ澱粉はジャガイモ澱粉よりも大きい粒径をもち、酵素による分解を受け難く、糊化温度は高く、糊の老化度が高い。またアミロース含量はジャガイモ澱粉よりも高く、その平均鎖長はジャガイモアミロースよりも短く、X線回折図形はジャガイモ澱粉と同じ図形を示し、リン含量はジャガイモ澱粉とほぼ同じとされている¹¹⁾。

田中らは、食用カンナの澱粉粒について、最も一般的に利用されているベトナム産食用カンナ(ベトナム赤)を材料に用いて、その澱粉の物理化学的性質を調べ、カンナ澱粉はコーンスターチよりもアミロペクチンの鎖長が長く、糊化温度がわずかに低く、その糊は高い粘性と老化性もち、ジャガイモ澱粉に似た結晶構造を示す大きな粒径の澱粉という特徴ある性質を持っていることを報告した¹²⁾。さらに、食用カンナの澱粉粒は直径が16～140μmと、現在までに知られている植物澱粉中最大径をもち、消化性が低い。カンナ澱粉の糊は高い粘性と老化性もち、ジャガイモ澱粉に似た結晶構造を示す大きな粒径の澱粉という特徴ある性質を持っている。

根茎澱粉の食品成分については、タンパク質、脂質、炭水化物、灰分の分析の結果、キャッサバ

表2 食用カンナとその他のイモ類の成分比較

作物名	無機質 (mg)				ビタミン類				食物繊維 (g)
	K	Ca	P	Fe	A(ug)	C(mg)	D(ug)	E(mg)	総量
食用カンナ	568	13.2	72.8	1.66	0	9	0	0.2	2.4
ジャガイモ	410	3	40	0.4	0	35	0	Tr	1.3
サトイモ	640	10	55	0.5	1	6	0	0.6	2.3
サツマイモ	470	40	46	0.7	4	29	0	1.6	2.3
キウイモ	630	13	55	0.2	0	12	0	0.1	2.0

注) 食用カンナは、日本食品分析センター調べによる。
その他の値は「五訂食品成分表 2001」(女子栄養大学 2001) による

の澱粉と類似したが、脂質が少なく、灰分が高い傾向を示したことはすでに報告されている¹³⁾。これに加えて、栄養分の基礎分析を実施したところ、食用カンナの根茎にはジャガイモやサツマイモよりも多くのリンやカリウムが含まれており、ビタミンCは、ジャガイモやサツマイモに比べるとかなり少ないがサトイモよりわずかに多く含有することがわかった。食物繊維はジャガイモの約1.8倍多く含み、サトイモやサツマイモとはほぼ同等であった(表2)。

4. 食用カンナの多用途利用の検討

中国広西省の石灰岩地域の平孟規剛山の山中の村で食用カンナ根茎からアルコール飲料を造っていることを報告したが⁴⁾、これは自家消費としての利用のみであった。高知県は酒の産地としても有数の県であり、県内には焼酎の新素材を求めている企業もあったことから、食用カンナの多用途利用の検討の一環として、根茎澱粉から焼酎を開発する研究を実施し、高知県工業技術センターの上東治彦主任研究員の技術協力により県内企業と根茎から蒸留酒を造ることを試みた。工業技術センターでの蒸留の結果、3kgの根茎から濃度29.3%の焼酎を1300mL造ることができた。純アルコール取得量としては、1t当たり108.6Lであった。完成した焼酎は、カンナのこを



図3 食用カンナの根茎から造られた焼酎「美人蕉酒」

中国語で「美人蕉」ということから、「美人蕉酒(かなしゅ)」という名称で牧野植物園のショップで販売している(図3)。高知の南国のイメージと南国の花カンナをイメージして研究成果の一つとしてばかりでなく、酒所の珍しい商品となっている。

もう一つの根茎の利用として、澱粉の食品への応用である。ベトナムのハノイやホーチミン近郊の農村では、食用カンナの栽培が多く見られ、澱粉を麺に加工し、市販されるほか、その春雨のような麺を鶏肉入りのスープで食べさせる屋台もある。麺類への加工利用について検討するため、高知県内企業の協力で小麦粉とカンナ粉を50%ずつ入れた麺を試作したところ、



図4 食用カンナの茎葉部を粉碎して乳酸発酵を施したサイレージ(左)と肉牛への投与試験(右)

茹でると透明感が増し、表面が滑らかで喉ごしの良さが特徴的であった。洋風より和風の麺として合うと考えられ、開発研究の余地があろう。

一方、食用カンナの利用については、地上部のバイオマスの高さを利用しない手はない。その一つの可能性が禾本科作物と異なる品質のサイレージ原料としての利用である。食用カンナの地上部のサイレージ品質については、過去にも報告がある^{5,6)}。実際に南米や東南アジアでは家畜の飼料として利用していることは前述の通りである。この地上部利用の検討についても、高知大学の山本由徳教授との共同研究によって同大学農学部農場にて茎葉部のサイレージ化の実験を行っている。乳酸発酵させたサイレージは、同大学の所有する肉牛へ与える実験を行い、摂食性もよいことがわかった(図4)。今後は、さらなる品質評価や家畜の嗜好性研究を進める必要がある。

おわりに

食用カンナは、澱粉源作物としての有望な潜在的遺伝子資源と考えられ、多面的な研究開発の必要性が指摘されている¹⁴⁾。カンナ澱粉はコーンスターチよりもアミロペクチンの鎖長が長く、糊化温度がわずかに低く、その糊は高い粘性と老化性もち、ジャガイモ澱粉に似た結晶構造を示す大きな粒径の澱粉という特徴ある

性質を持っている¹²⁾。澱粉粒の直径は、現在までにわかっている植物のどの澱粉よりも大きい。澱粉の特性を生かした用途、例えば、ヒトの消化酵素に対する難消化性に基づく体内での機能性への期待なども考えられる。

一方、バイオエタノール原料植物や生分解性プラスチックなどの工業原料としての利用の可能性もある^{15,16)}。また、薬用としての利用が見られるが、科学的な根拠を得るための成分の化学的研究はほとんど行われていないため、研究の余地がある。食品では、高い粘性と老化性のある糊の特性を活かした製品への応用が考えられ、これまでにない食感が得られれば、うどんや素麺、パンや菓子類の原料の一部としての利用なども考えられる。このように様々な用途での利用や太りにくい澱粉というダイエット食品の開発などができれば、インカの失われた作物の一つとされる食用カンナが再び注目を浴びることになるかも知れない。いずれにしても課題も多い。一つは、日本だと冬期の低温には耐えられないため、種芋を保存する必要があるが、その保存方法の確立が必要であること、二つ目は、大型化するため収穫が容易ではなく、栽培法の工夫が必要であること、三つ目は、澱粉を根茎から抽出するための機械化が必要であることである。多用途利用の検討と同時に、これらの課題について取り組む必要がある。

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

- 1) Tanaka, N. Taxonomic Revision of the Family Cannaceae in the New World and Asia, *Makinoa New Series* **1**: 1-75, 2001
- 2) Tanaka, N., H. Uchiyama, H. Matoba and T. Koyama, Karyological Analysis of the genus *Canna* (Cannaceae). *Pl. Syst. Evol.* **280**: 45-51, 2009
- 3) Tanaka, N. Economic Botanical Notes on Edible *Canna* (Cannaceae) in South Vietnam. *J. Jap. Bot.* **73**: 319-324, 1998
- 4) Tanaka, N. The Utilization of edible *Canna* plants in southeastern Asia and southern China, *Economic Botany* **58** (1): 112-117, 2004
- 5) Jun, H., I. Jo, S. Hwangbo, J. Lee and K. Imai Feeding value and In situ digestibility on edible canna for silage. *Plant Prod. Sci.* **9**(4): 408-414, 2006
- 6) 玉置雅彦, 岸利美, 遠藤祐子, 小橋健, 中村照臣: 食用カンナ (*Canna edulis* Ker.) のサイレージとしての飼料化についての一考察. 日草誌 **40**(3): 333-335, 1994
- 7) 葵一八, 田之上隼雄: 種子島における食用カンナの栽培特性 (1) 栽植様式の検討, 農業及び園芸 **64**(7): 866-872, 1989
- 8) Imai, K, T. Kawamura, K. Shimabe, K. Intabopn and K. Tanaka. Studies on matter production of edible canna (*Canna edulis* Ker.) II. Changes of dry matter production with growth. *Jpn. J. Crop. Sci.* **62** (2): 601-608, 1993
- 9) Imai, K. K. Shimabe, K. Tanaka and T. Kawana. Studies on matter production of edible canna (*Canna edulis* Ker.) III. Changes of production structure with growth. *Jpn. J. Crop. Sci.* **63**(2): 345-351, 1994
- 10) Oka, M., O. Boonseng and W. Watananonta . Characteristics of Dry Matter and Tuber Production of Queensland arrowroot. *Jap. Jour. Trop. Agr.* **31**(3), 172-178, 1987
- 11) Inatsu, O, I. Maeda, N. Jimi, K. Takahashi, H. Taniguchi, M. Kawabata and M. Nakamura, Edible canna starch. I-Some properties of edible canna starch produced in Taiwan, *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* **30**, 38-47, 1983
- 12) 田中伸幸, 井ノ内直良, 小山鐵夫: 未開発の澱粉源植物・食用カンナとその澱粉, *Foods Food Ingredients J. Jap.* **210** (11): 1-7, 2006
- 13) Imai, K. Edible Canna: A Prospective Plant Resource from South America. *Jap. J. Pl. Sci.* **2**(2): 46-53.
- 14) 山本由徳: 西南暖地における食用カンナのバイオマス生産, デンプン収量と多用途利用開発, 今月の農業 6月号, p 90-95, 2008
- 15) 小山鐵夫: 資源植物学, 講談社サイエンティフィック, 1984
- 16) 小山鐵夫: 資源植物学フィールドノート, 朝日新聞社, p45-92, 1992

山形県米沢産ウコギの機能性と 商品化への取り組み

尾形 健明^{*1} 野田 博行^{*2} 山田 則子^{*3}

^{*1}OGATA Tateaki, ^{*2}NODA Hiroyuki (山形大学大学院理工学研究科)

^{*3}YAMADA Noriko (山形県立米沢女子短期大学)

Key Words: ウコギ・ポリフェノール・血糖上昇抑制・ウコギ商品

はじめに

本誌にウコギの抗酸化性を紹介させていただいたのが2003年であった¹⁾。それから7年を経た現在、著者らのウコギの研究成果をもとにウコギの活用が進み、地元米沢市において多くのウコギ商品が開発され販売されるようになった²⁾。米沢のウコギはウコギ科ヒメウコギ (*Acanthopanax sieboldianus* Makino) であり、中国から入ってきた落葉低木である。その根皮は漢方薬として利用され、種々の薬理作用をもっている。ウコギ科には、ケヤマウコギ、ヤマウコギ、エゾウコギのほか、タラノキ、ウド、コウライニンジンなど薬効成分を持つものが多い。ヒメウコギは、昨年のNHKの大河ドラマの主人公であった直江兼続が米沢の街づくりに使い、その後米沢藩第九代藩主上杉鷹山が食用と防犯を兼ねた垣根として植栽を奨励した植物である。現在の米沢市のヒメウコギの垣根は総延長20 km以上あり、一種類の生垣としては全国で最も長く質・量ともに日本一であり、今でも市民の日常生活に溶け込んでいる。このような地域伝統作物ウコギの活用を目指して、産学官連携による取り組みが進められてきた。その成果として、古くから食用として利用されてきたウコギ葉にも、多くの機能性成分(ポリフェ

ノール類, ビタミン類, ミネラル, 食物繊維, アミノ酸類, サポニン類)が含まれ、種々の薬理作用を持つことが明らかになった。また、茶飲料「うこぎ茶」等の商品が開発・販売され、最近では、ウコギ葉粉末を含んだサプリメントが市販されるに至っている。以上のようにウコギは、消費者にとって魅力的な機能性成分を多く含有しているとともに、文化的・歴史的ストーリー性をも有した高い商品性の潜在力を秘めた素材である。本稿では、前回の執筆内容も一部繰り返し紹介しながら、その後の「ウコギ」について概説する。

1. 機能性成分

ウコギ葉には、サポニン類が多く含まれていることが知られている^{3,4)}。また、抗酸化性の強い成分として、図1に示すポリフェノール類が含まれている。その中で、クロロゲン酸、ルチン、ケンフェロールルチノシドがウコギ葉に多く含まれる代表的な物質である。これらは高い抗酸化能とくに活性酸素であるスーパーオキシド消去能をもつことで注目されている物質であるが、この含有量はウコギの生産地によって異なる値を示した。土壌、肥料、日照時間など、

生育条件が異なるためと思われる。図2には、カルシウム、ビタミンC、総ポリフェノール、および食物繊維の含有量について、他の野菜との比較を示す。ウコギ生葉には、一般野菜に比べてこれら4種の成分が特に多く含まれていることが分かった。中でもポリフェノール類

と食物繊維が多く含まれていることから、血糖上昇抑制効果が期待され、後述するようにこの機能が実験動物試験とヒト試験により明らかにされた。他の成分としていくつかのアミノ酸が見いだされている⁵⁾。たとえば、味に反映されるグルタミンとグルタミン酸、エネルギー補給

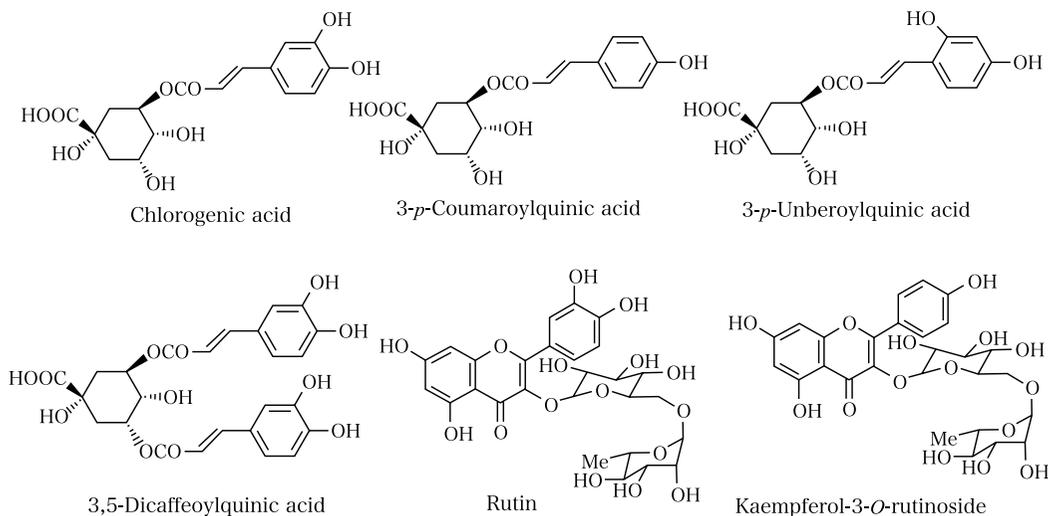


図1 ウコギ葉に含まれているポリフェノール類

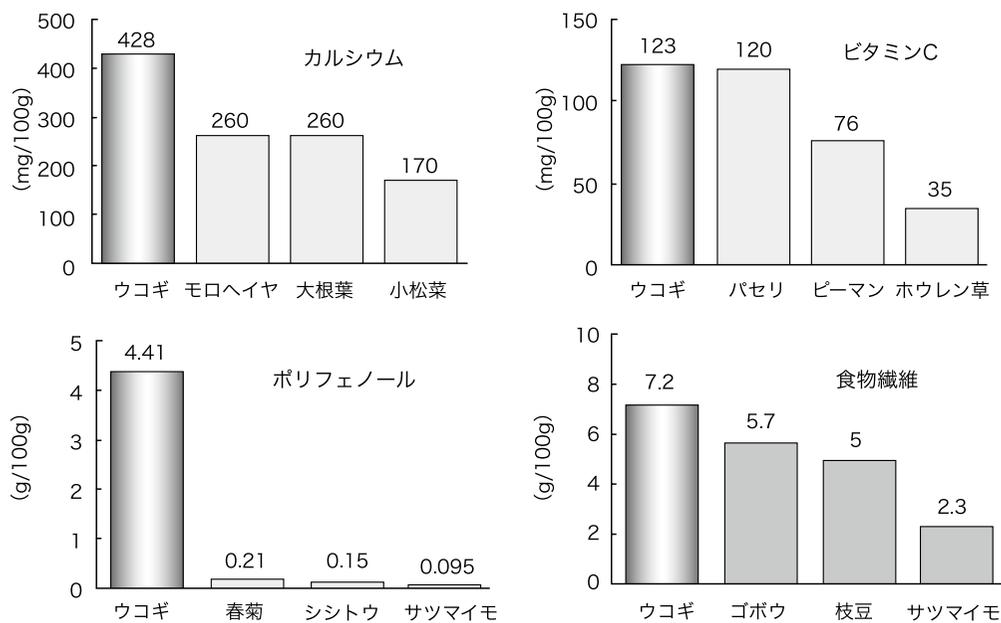


図2 ウコギ生葉の成分特性—野菜としての比較—

や疲労回復が期待されるアスパラギン酸、スレオニン、イソロイシン、ロイシンなど、さらに血圧上昇抑制が検討されている GABA が、比較的多く含まれている。

2. 抗酸化性

前報に記したように¹⁾、スピントラップ電子スピン共鳴 (ESR) 法を用いて、スーパーオキシド消去能力すなわち抗酸化性を調べたところ、ウコギ生葉のスーパーオキシド消去活性値は、一般の緑色野菜よりかなり高い値を示すことが分かった。この結果は、ウコギ葉には前述したポリフェノール類が多く含まれるという事実と一致している。ただし、季節によって抗酸化性能は変動し、春の新芽のころは低く夏から秋にかけて活性が増大する。これは、夏に強烈な日光に曝されたウコギ葉が、自ら身を守るために抗酸化物質を増産したためと考えられる。したがって、ウコギ葉を利用する場合、夏以降に採取した葉が望ましい。

ラットを用いた動物実験でも抗酸化性が確かめられている⁶⁾。血漿の過酸化脂質や総コレステロールの成績は、ウコギ群がもっとも低い値を示した。これらは、ウコギ葉中の成分が生体内に取り込まれて、抗酸化作用を示すことの証拠である。詳細は、山田の論文⁶⁾を参照されたい。

3. 糖尿病ラットにおける耐糖能

田淵ら⁷⁾により、ウコギ葉の新生児期のストレプトゾトシン投与による 2 型糖尿病ラット (n-STD ラット) の空腹時血糖値および耐糖能に及ぼす影響が検討されている。n-STD ラットは生後 2 日目の新生児に 80 mg/kgB.W. の STZ を投与して作成された。8 週齢から n-STD ラットには標準飼料 (DM 群)、ウコギ葉粉末 (10%)

混合飼料 (DM-U 群) を 10 週間摂取させた。実験終了時すなわち摂取 10 週間における DM 群の空腹時血糖値は、正常値に比べても明らかに増加していたが、図 3 に示すようにウコギ葉粉末を与えた DM-U 群は DM 群より有意に低値であること ($p < 0.05$) から、ウコギ葉が n-STD ラットにおいて空腹時血糖値を改善していることが分かった。また、この論文では耐糖能および血清中性脂肪の改善効果も述べられている。このような作用を示すのは、ウコギ葉にはポリフェノール類が多量に含まれていること、また、多量食物繊維が含まれていることによるものであると推定された。

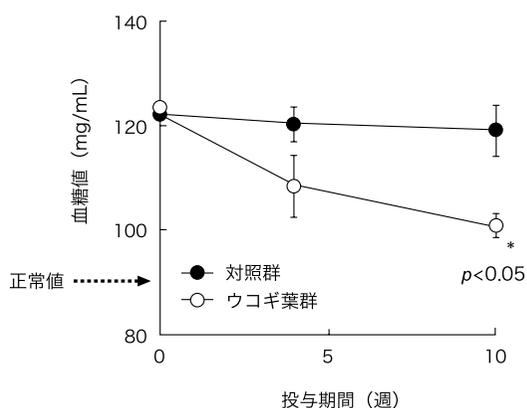


図 3 ウコギ葉摂取が実験的 2 型糖尿病ラットの空腹時血糖値に及ぼす影響

4. 食後血糖値上昇抑制効果

田淵ら⁸⁾により、ウコギ葉の食後血糖値上昇抑制作用を検討する目的で、ラットへの糖負荷試験が行われた。図 4 に、ラットにウコギ葉と同時に可溶性デンプン、マルトース、グルコースを経口投与したときの血糖上昇値変化を示す。ウコギ葉摂取がマルトースおよびグルコース投与後の血糖上昇を有意に抑制することが示されている。また、*in vitro* においてウコギ葉

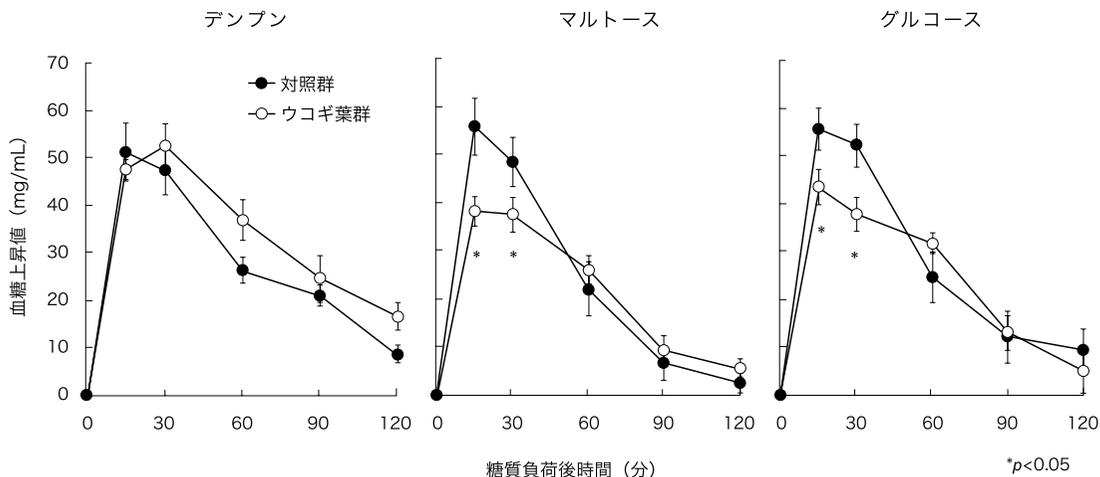


図4 ウコギ葉同時摂取がラットの糖質負荷後の血糖上昇に及ぼす影響

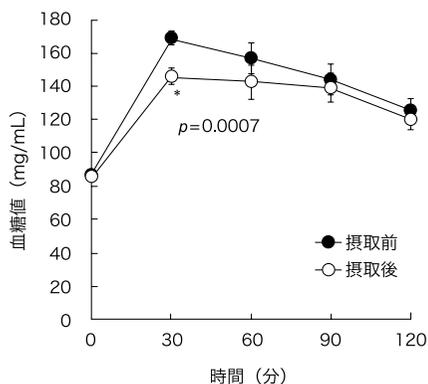


図5 ウコギ茶の長期摂取の食後血糖上昇抑制作用

のマルターゼ阻害活性を認めている。とくに、ウコギ葉の水溶出部および1%アンモニア/メタノール溶出部が高いマルターゼ阻害作用を有することを明らかにしている。以上により、ウコギ葉はマルターゼ阻害作用およびグルコース吸収抑制により、食後の血糖上昇を抑制すること、マルターゼ阻害作用はウコギ葉に含まれるポリフェノール成分が関与している可能性が高いことを結論づけている。

ヒト試験についても検討がなされている（未発表）。健常人約40名を対象に、ウコギ茶の効果を調べたところ、ウコギ茶は健常成人の食後

の血糖上昇を抑制し、とくに食後血糖値が上がりやすい人に対して有効であった。図5に示すように、ウコギ茶の長期摂取によって、食後の過度な血糖上昇が改善されている。なお、ウコギ茶の長期摂取による临床上問題となる変化は認められなかった。

5. 血糖上昇抑制機構

以上のように、ウコギ葉には血糖上昇抑制が認められた。その生体内機構として、ウコギ葉の成分であるポリフェノール類が、糖化酵素を阻害することでグルコースへの変換を阻止し、また、食物繊維がグルコースの吸収を阻害することで、食後血糖上昇を抑制している。食後血糖上昇抑制は、結果として空腹時血糖上昇も抑制するものと考えられることができる。また、高い抗酸化力によって酸化ストレスが軽減されるため、合併症発症も抑えることが期待される。

6. ウコギの利用を図るための取り組み

平成15年9月、ウコギ食品研究会が山形県の産学官連携事業の一つとして発足した。ここ

では、山形大学工学部、山形県立米沢女子短期大学、山形県、米沢市、民間団体のうこぎの町米沢かき根の会の会員企業、米沢商工会議所、米沢地方森林組合、うこぎ菜栽培研究会、機械メーカーなどが会員として参加し、ウコギの産業化を目指して、ウコギの栽培から加工、商品化にいたる一連のプロセスの研究が進められている。当研究会においては、抗酸化能の季節変化の実験結果から、夏季に大きく成長した硬い葉に有用成分が多く含まれていることに着目し、その葉の利用を目指すこととした。以下に研究会が検討している事項を紹介する。

原料確保において従来の垣根から手摘みする方法では産業化には好ましくない。したがって、茶畑のように広大なウコギ畑が必要となる。その一歩として、大量の苗木の供給法を検討した。山形県の研究機関である産地研究室では、従来がない一芽種莖法というウコギの枝から芽と根を出させる方法が確立され、一度に多くのウコギ苗を作り出すことが可能になった²⁾。また、ウコギの生育方法や施肥方法を改善して、一本の枝を1年で約1.5～2メートルまで成長させることにも成功した。

葉の採取は枝を切り倒して行われる。畑に残された切り株から、翌春には新芽が出て成長し始め、夏には前年と同様の背丈まで成長させることができる。雪深い米沢では、落葉後の枝の倒伏が問題になっているが、この方法ではその心配はないことになる。一株に4～5本の枝が生えているため、コーンカッターを改良した刈取り機械をつくり、短時間に刈り取ることに成功している。また、ウコギの枝は鋭いトゲをもっているため、切り取った枝から手作業で葉を摘みとることは危険である。そこで、枝を差し込むだけで葉を枝からはずす機械を試作した。

洗浄後の大量の葉を一度に乾燥する乾燥機についても検討を行った。これは、山形大学工学部と民間企業との共同研究で開発されたもの

で、室温レベルで100kgの生葉を2日間程度で乾燥できる能力がある。

乾燥後の加工としては粉末化が有効であると考えている。冷凍保存によって大量にかつ品質を一定に保つての長期保存ができるだけでなく、種々の食品に加工しやすい利点がある。このことから、ウコギ葉の通年利用が可能になった。

7. ウコギの商品化

これまでのウコギの利用は、新芽を使ったウコギごはん、新芽の切り和え、新芽や新梢の天ぷら、新芽や新梢のおひたしの伝統食に限られていた。これらは郷土料理として現在でも人気が高いため、とくに新梢を通年提供するための栽培研究が進められている。しかし、産業化のためには新規の商品化は不可欠である。現在、市販されているいくつかのウコギ関連商品を紹介する。

ウコギのパスタソース…ジェノベーゼ（バジルペーストにオリーブオイルなどを合わせたソース）のバジルをウコギに代え、松の実、にんにく、味噌で仕上げたソースである。オイルは健康に配慮し、グレープシードオイル（ぶどう種子油）を使っている。パスタ100gをゆで、「ウコギのパスタソース」とよく混ぜ合わせて食べる。

ウコギのふりかけ…「ウコギ」と米沢の特産品である「雪菜」を凍結乾燥し、ごま、食塩、のり、みそ等を加えたふりかけである。

ウコギ煎餅…味噌を加えた小麦粉ベースの生地、生のウコギの葉を1枚入れて焼き上げたものである。焼いてもウコギの葉の緑色を残すため温度や焼き時を工夫している。冷凍は使わず生の葉を1枚ずついれている。

ウコギ茶…「ウコギ」の青汁タイプのお茶である。飲み易くするため「ウコギ粉末」に焙煎玄米粉末をブレンドしている。ウコギの風味と

焙煎玄米が香ばしい。

ウコギ飴…ウコギ粉末・水飴・砂糖だけで練り上げた飴である。保存料や着色剤等の合成添加物は一切使用せず、甘さ控えめでウコギ独特の風味が味わえる。

ウコギアイス…ウコギ粉末をアイスクリームに混ぜて仕立てたものである。ウコギのほろ苦さがアイスの甘さと一緒にあって、特別な美味しい味を出している。

ウコギこんにゃく…ウコギの葉を糸こんにゃくに混ぜて加工したものである。レタスやブロッコリーなどお好みの野菜と合わせてサラダとして、また、とろろ和えなどにしても美味しい。

ウコギ卵…廃棄物であったウコギの枝を利用した例である。樹皮にも機能性成分が含まれていることが実験によって明らかになり（未発

表）、その枝をチップ化して鶏の飼料に混入したところ、味の良い鶏卵を得ることができた。ウコギ枝成分が、鶏の健康維持・増進に寄与した可能性がある。

ウコギ茶飲料…ウコギ葉だけを使用したお茶風仕立ての飲料（350 mL）である。無農薬栽培の「ウコギ葉」を焙煎し、その独特のほろ苦さ（きどさ）・渋みを生かしながらも飲みやすくすっきりした味わいに仕上げられている。

ウコギ焼酎…米麴にウコギ葉を加えて蒸留した焼酎が市販されている。ウコギの香りが生かされていて、すっきりした味の焼酎である。

サプリメント…「ポリフェノールC」という商品名のサプリメントが開発され市販された。ウコギ葉粉末にウコンとアセロラがブレンドされカプセル化されている。



図6 ウコギ商品の例

おわりに

以上述べたように、ウコギ葉はいわゆる健康食品になりうる素材であることが判明した。健康を指向した食品を開発するには、本研究のように確かな科学的根拠に基づいて商品開発を行う必要がある。現在、山形大学大学院理工学研究科では、「食農の匠」育成プログラムを推進中である。「食農の匠」とは、科学技術を基盤とし新たな食農産業の担い手となる「生産技術からマーケティング・経営まで」を総合的にマネジメントでき得る人材のことであり、研究開発から消費に至るまで全体のプロセスを俯

瞰できる新しい商品づくりのエキスパートである。平成 18 年度文部科学省科学技術振興調整費「地域再生人材創出拠点の形成」事業として全国 72 大学から採択された 10 大学の一つであり、5 年間で総額 2 億 5 千万円の事業である。この採択を受けて、平成 19 年 4 月山形大学大学院理工学研究科博士前期課程ものづくり技術経営学 (MOT) 専攻に「食品創製コース」(食品 MOT) を開設して、「食農の匠」の育成が開始され、今春 3 月まで 16 名の修士 (工学) を輩出している。今後、食農の分野での彼らの活躍が期待されている。

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

- 1) 尾形健明, ウコギの抗酸化性について, *New Food Industry*, **45**, 33-38 (2003) .
- 2) 農山漁村文化協会, 地域資源活用 食品加工総覧 素材編, **11**, 78 の 2-78 の 14 (2008) .
- 3) M. Miyakoshi, Y. Ida, S. Isoda, and J. Shoji, 3-Alpha-Hydroxy-Oleanane-Type Triterpene Glycosyl Esters from Leaves of *Acanthopanax-Spinosus*, *Phytochemistry*, **34**, 1559-1602 (1993) .
- 4) H. Sawada, M. Miyakoshi, S. Isoda, Y. Ida, and J. Shinoda, Saponins from Leaves of *Acanthopanax-Sieboldianus*, *Phytochemistry*, **34**, 1117-11121 (1993) .
- 5) 山田則子, 田村朝子, 田淵三保子, ウコギの成分特性と抗酸化能, 山形県立米沢女子短期大学紀要, **38**, 1-6 (2003) .
- 6) 山田則子, ウコギの抗酸化能に関する研究, 山形県立米沢女子短期大学紀要, **31**, 61-68 (1996) .
- 7) 田淵三保子, 田村朝子, 山田則子, ウコギ (*Acanthopanax sieboldinus*) 葉投与が新生児期のストレプトゾトシン投与による 2 型糖尿病ラットの耐糖能に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌, **56**, 243-246 (2003) .
- 8) 田淵三保子, 田村朝子, 松葉滋, 小野寺準一, 山田則子, ウコギ (*Acanthopanax sieboldinus*) 葉のラットにおける食後血糖上昇抑制作用, 日本栄養・食糧学会誌, **57**, 271-275 (2004) .

寒天ゲル中におけるフレーバーの拡散

山田 恭正*

* YAMADA Yasumasa (同志社女子大学)

Key Words：フレーバー・寒天・ゼラチン・ゲル状食品・バニリン・嚥下・咀嚼

はじめに

最近、高齢者が咀嚼・嚥下しやすい食物として、また携帯に便利な食物として寒天、ゼラチン、カラギーナンなどを用いたゲル状食品が広く用いられるようになって来た。しかし、食品の加工・調理に利用されるフレーバーのゲル中における挙動、特に拡散現象に関する研究はこれまであまり充分とは言えない。

筆者が行っている研究について述べるにあたり、先ずこれまでに食品分野で行われてきた拡散現象に関する研究について述べる。小竹らは、2% 寒天ゲルを一定時間食塩水に浸漬し、寒天中の塩化ナトリウムと水分を定量して見かけ上の拡散係数を算出した¹⁾。また藤居らは、食塩水溶液中で加熱した大根の食塩濃度を予測することを試みている²⁾。小見山らは、調理時に呈味成分が食材中へ拡散する現象に対して、染色分野における二元収着拡散理論を適用した³⁻⁴⁾。また、高野ら⁵⁾や宮脇ら⁶⁾はアガロースゲルの凍結過程におけるポリマーネットワークの構造変化を調べるために氷の結晶成長を観察し、水の拡散について言及している。阿部らはパルス磁場勾配 NMR を用いた拡散係数の測定によりゼラチン鎖の構造とダイナミクスを研究している⁷⁾。このように国内では、調理過程や高

分子ゲルの凍結過程において食素材やゲルに拡散する食塩⁸⁾、水などを対象とする研究例が見られる。海外では、Bayarri らがκ-カラギーナンとジェランガムゲルの中でショ糖と人工甘味料アスパルテームが拡散することを報告している⁹⁾。また Savary らはモデルフルーツ(ショ糖、デンプン、κ-カラギーナン、硫酸カルシウム、塩化カリウムから作られている)の中におけるアロマ化合物(酢酸エチル、酪酸エチル、カブロン酸エチル、リナロール、ヘキサナール)の自己拡散を、DOSY-NMR を用いて研究している¹⁰⁾。以上のように国内外の研究について紹介したが、フレーバーなど比較的疎水性の有機化合物が高分子ゲル内を拡散する現象に関する研究は、現時点ではまだ少ないと言えるであろう。

1. 重層した寒天ゲル中におけるバニリンの拡散

筆者は、代表的な食品フレーバーであるバニリンを含む寒天ゲルをモデルにして実験を行った。ゲル中におけるフレーバーの拡散現象を捉えるためにガスクロマトグラフ(FID-GC)とガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)を用いてバニリンの拡散現象を追跡した¹¹⁾。

バニリンを少量のエタノールに溶解してメン

プランフィルターで濾過滅菌し、オートクレーブで滅菌した1.2%の寒天溶液に添加して均一に攪拌後、図1に示したようにシリンダー内に流し込んで固化させた。(4.0 mmol/Lのバニリンを含む寒天第1層, エタノールの濃度は2.0%)次に、その第1層の上へ寒天のみを無菌的に重層して固化させた。(寒天第2層) 無菌的な条件で実験を行ったのは、拡散現象を数日間から

数カ月にわたる比較的長期間まで調べられるようにするためである。シリンダーに入れた寒天を一定期間(1~4日間)インキュベーションした後、プランジャーで第2層を押し出して連続的に厚さ5mmの薄片を切り取った。各薄片を磨碎してエタノールで抽出し(図2), GC-MSでフレーバーを同定した。(図3) またオイゲノールを内部標準としてFID-GCでバニリンを定量

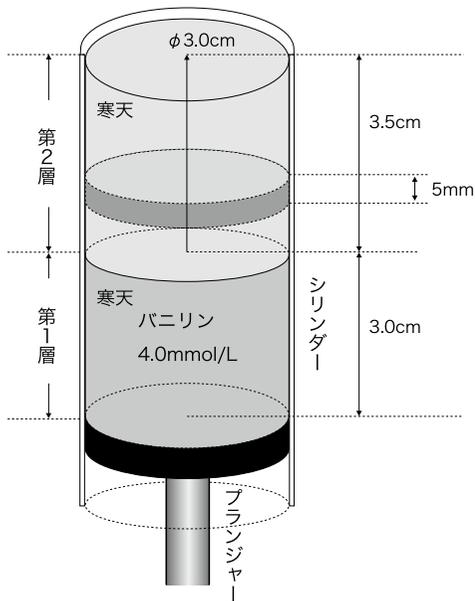


図1 寒天ゲル層の調整

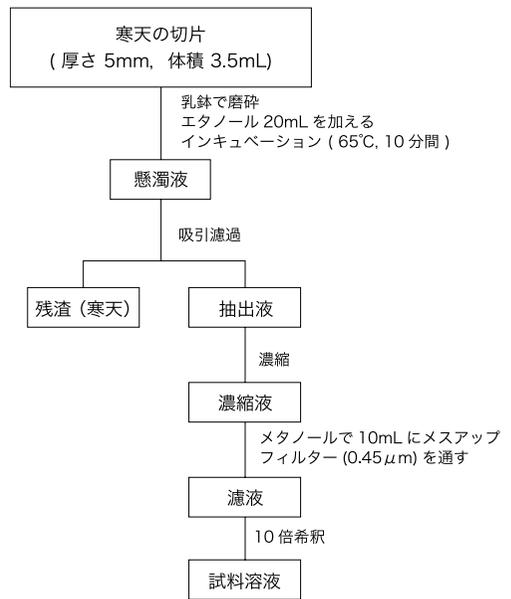


図2 バニリンの抽出方法

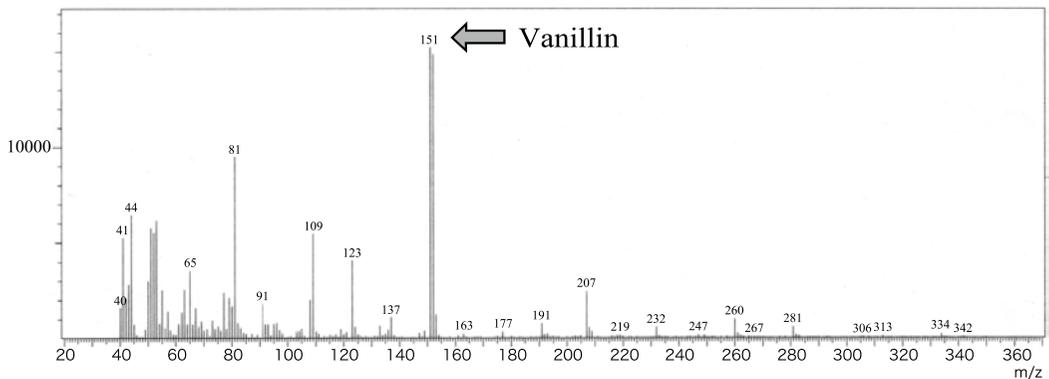
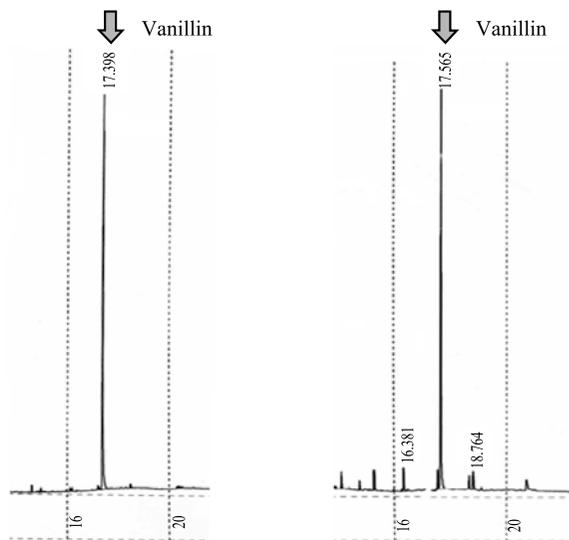


図3 GC-MSのマススペクトル

MS部 分析条件

Interface Temp.	250°C	Ionization Voltage	70V
Ion source Temp.	200°C	Detector	0.84kV

した。(図4) フレーバーの寒天中における1～4日間での拡散距離と濃度分布を調べた結果を図5に示した。1日後では、寒天第1層と第2層の界面からの拡散距離が3.0 cm までに留まった。1～4日間における拡散距離と濃度分布の関係は、指数関数的に減少した。1日間では $[y=1985 \exp(-1.05x)]$, 2日間では $[y=518.7 \exp(-0.44x)]$, 3日間では $[y=437.3 \exp(-0.38x)]$, 4日間では $[y=284.4 \exp(-0.26x)]$ であった。また、1～4日間に寒天第2層(0.5～4.5 cm)へ拡散したバニリンの総質量を図6に示した。インキュベーションした日数が2日以上になると、寒天第1層に含まれるバニリンの質量12 mg に対して、寒天第2層に拡散したバニリンの総質量は平均625 μg となり、ほぼ一定の5.2%であった。以上の結果から1.2%の寒天に添加した4.0 mmol/Lのバニリンは、2日間で拡散現象が見かけ上、ほぼ停止するとみなされた。



バニリン 50 mg / L (標品) 第二層の切片 (厚さ 5 mm) より抽出されたバニリン

図4 寒天抽出液のFID-GCクロマトグラム

分析条件

カラム: Stabilwax ϕ 0.25 mm length 30 m Film 0.25 μm
 昇温分析: Inj. Temp. 240 $^{\circ}\text{C}$
 Column: Initial Temp. 70 $^{\circ}\text{C}$ (3.0 min.)
 Final Temp. 240 $^{\circ}\text{C}$ (3.0 min.)
 昇温速度: 12 $^{\circ}\text{C}$ / min. Stop time 30 min.
 Atten 2 $^{\text{d}}$ =1 Inj. Volume 1 μL
 キャリアーガス: He Flow rate 60 mL / min.

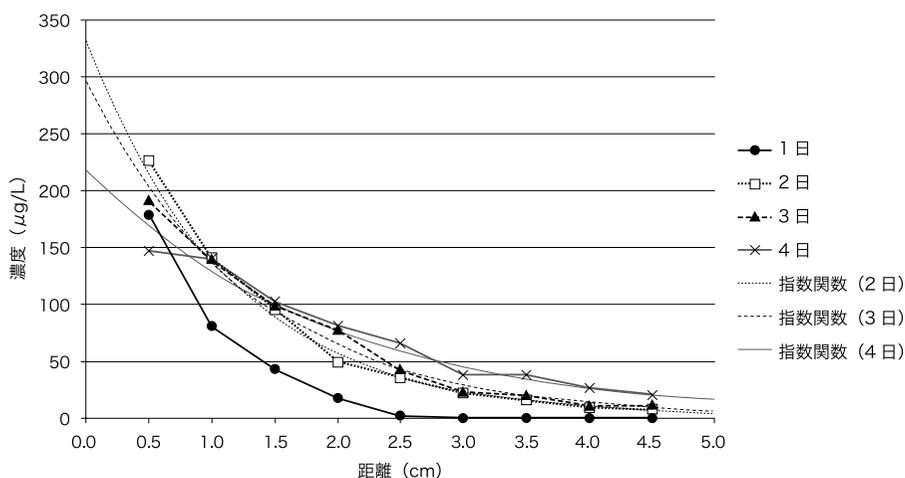


図5 バニリンの拡散距離と濃度分布

1日	2日	3日	4日
$y = 1985 \exp(-1.05x)$	$y = 518.7 \exp(-0.44x)$	$y = 437.3 \exp(-0.38x)$	$y = 284.4 \exp(-0.26x)$
$R^2 = 0.930$	$R^2 = 0.994$	$R^2 = 0.975$	$R^2 = 0.980$

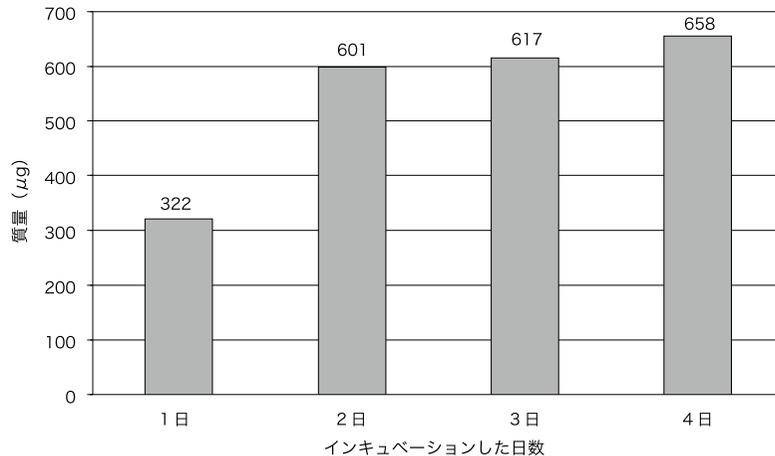


図6 拡散したバニリンの総質量

おわりに

ここでは、代表的なフレーバーであるバニリンの寒天ゲル中における拡散現象に関する研究事例について述べたが、この種の研究は未だ途についたばかりと言える。特に物質移動現象という観点から、寒天など高分子ゲルの3次元的な網目構造の粗密によってもフレーバーの拡散速度に影響を与えるであろう。これら基礎研究のデータを蓄積することによって、実際の食品に応用展開することが重要であると思われる。調理・加工を経て数日間から数カ月以上にわた

る保蔵期間をカバーして追跡する必要がある。また、高分子ゲルでフルーツなどの素材を封じて固化させた場合、フルーツ由来の香気成分や呈味成分もゲル中を拡散して行くと考えられる。それらが食品の風味に与える影響についても明らかにして行く必要があると考えている。

[謝辞]

本実験を行うにあたり協力して頂いた西河雅代、北川純子、辻美帆、山根美保の諸姉に感謝致します。

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

- 1) S. Odake, K. Hata, A. Shimada, S. Iibuchi : Apparent diffusion coefficient of sodium chloride in cubical agar gel, *Agric. Biol. Chem.*, **54** (11), 2811-2817, 1990.
- 2) 藤居東奈, 香西みどり : 食塩水溶液加熱時のダイコンの食塩濃度の予測, *Thermophysical properties*, **29**, 40-42, 2008.
- 3) 小見山二郎, 橋場浩子, 牛腸ヒロミ, 仲西正 : 調理時における呈味成分の食材中への拡散 序論 二元収着拡散染色理論の適用, *日本海水学会誌*, **58** (4), 404-412, 2004.
- 4) 橋場浩子, 牛腸ヒロミ, 小見山二郎 : 染色と調理における二元収着拡散, *日本家政学会誌* **59** (7), 533-536, 2008.
- 5) 高野哲也, 林英樹, 鈴木徹, 高井陸雄 : Change of polymer network by the freezing of food hydrogel, *低温生物工学会誌*, **41** (2), 58-66, 1995.
- 6) O. Miyawaki, T. Fujii, Y. Shimiya : Analysis of ice structure formed in frozen agar gel, *Food Science and Technology Research*, **10** (4), 437-441, 2004.
- 7) 阿部絹子, 松川真吾, 渡部徳子 : パルス磁場勾配 NMR 法による水溶液中のゼラチン鎖の構造のダイナミックスに関する研究, *高分子学会予稿集* **51**, 1258, 2002.
- 8) 奥本牧子, 畑江敬子 : 加熱後の温度履歴が煮物野菜における調味料の拡散に及ぼす影響, *日本調理科学会平成 21 年度大会研究発表要旨集*, 42, 2009.
- 9) S. Bayarri, I. Rivas, E. Costell, L. Duran : Diffusion of sucrose and aspartame in kappa-carrageenan and gellan gum gels, *Food Hydrocolloids*, **15**, 67-73, 2001.
- 10) G. Savary, E. Guichard, J-L Doublier, N. Cayot, C. Moreau : Influence of ingredients on the self-diffusion of aroma compounds in a model fruit preparation, A nuclear magnetic resonance diffusion-ordered spectroscopy investigation, *J. Agric. Food Chem.*, **54**, 665-671, 2006.
- 11) 山田恭正, 喜多晃子, 小泉亜希子, 山根美保 : 寒天ゲル中におけるフレーバーの拡散, *日本調理科学会平成 21 年度大会研究発表要旨集*, 108, 2009.

食塩を半減し，食物繊維を倍増しよう

藤田 哲*

*FUJITA Satoshi (藤田技術士事務所)

Key Words：食塩・食物繊維・食生活・疾病予防

はじめに

多くの先進国が減塩運動を推進し，食塩摂取が減少する中で，日本の減塩の歩みは遅い。日本では，加工食品の栄養表示は任意であり，しかも表示される栄養成分は，熱量，タンパク質，脂質，炭水化物，ナトリウム（食塩）の5種である。世界的に栄養表示が義務化され，5種の栄養素以外に，総脂肪，飽和脂肪，トランス脂肪，糖分，食物繊維を表示させる国が多い。これらの栄養素の中で，食塩は2倍の過剰摂取であり，食物繊維は推奨量の半分であることが，ほぼ世界的に共通している。

ヒトの食事では，精製した穀物，食肉，油脂と糖が増加し，食塩は減少してはいるが，なお過剰であり，植物タンパク質と食物繊維が大きく減少している。このような食習慣の変化と産業の増加で，肥満と生活習慣病（癌，心臓疾患，脳血管疾患，二型糖尿病）が増えている。これらの生活習慣病の予防法として，減塩に加えて，食物繊維の多い食事が推奨されている。減塩と食物繊維増加が，生活習慣病の予防に重要であることは，多くの科学研究で支持されている。この小文では海外事情を紹介して，これらの問題を概説した。

1. 文明の発達と食生活の急変

初期の人類や我々の先祖は，主として食物繊維が多い植物性食品に依存していた。その食料は現在の類人猿，チンパンジーやゴリラのそれと類似していたと考えられている。人類が発生したアフリカの大地溝帯では食塩は不十分で，ヒトも他の多くの動物と同様に，断層などに露出した塩を摂っていたのであろう。食塩に対する嗜好は，ヒトのDNAに強く刷り込まれていたと考えられる。人類は世界各地に移動し，食塩は入手しやすくなったが，塩へ嗜好は続いている。

1万年程度の昔に，農耕による穀物の栽培と家畜の飼養が始まり，栄養面でも人類史上に大きな変革をもたらされた。易消化性のデンプンの増加，食物繊維量の減少，タンパク質の増加である。しかしこの頃から，産業革命までの1万年間，人の食事は主として食物繊維の多い未精製穀物と野菜類であった。王侯貴族を除けば，日常生活では何をするにも，種々の筋肉運動が必要であった。しかし19世紀の産業革命以降は，ヒトの生活様式が大きく変化し，過去100年，特に過去50年間は激変とも言える状況であった。

この50年間の食事では、加工食品が増えて食塩摂取は減少せず、食物繊維は減少した。種々の技術進歩で、大規模な動物の飼養と大量の漁獲が可能になり、動物性蛋白質とその製品の価格が低下し、それらの消費が劇的に増加した。また、植物油も安価になり、加工油脂の消費も増加した。このような変化の結果として、コレステロールと飽和脂肪の摂取が増加した。しかし、ヒトの遺伝子は栄養に関して先祖と同様であり、摂食内容の大きな変化に対応できず、それが生活習慣病の原因をなしているとみられている。

戦後間もない60年前の平均的日本人の食事では、一人一日当たりで、食塩を25g程度、食物繊維は30～40g程度を摂取していたと推定されている。食塩摂取は特に青森、秋田など東北地方に多く、重労働では最大40gにも達したという。その後、国民栄養調査によると、1960年代末での一日摂取量は、食塩が17～18g、食物繊維は16～17gに減少し、1990年には、それぞれおよそ13gと15gであった。2008年の国民健康・栄養調査では、食塩が10.9g、食物繊維は14g程度になった。なお、この栄養調査の結果は、国民一人当たりであるため、成人一人当たりではその量がやや増加する。

食塩の必須量は一日約1.5g程度とされるが、世界保健機関（WHO）は2003年に、一日5g以下の食塩摂取を推奨した。現在厚労省は成人の目標値を、男性9g以下、女性7.5g以下としている。また食物繊維については、好ましい摂取量は成人男性で25g程度、成人女性で20g程度とされているが、達成は不可能であるため目標値として、それぞれを20gと17～18gに定めた。なお、カリウムには血圧降下作用があり、3g/日が規準であるが、野菜・果物中の含有量が多く、それらを十分摂っておれば問題になりにくい。

2. 減塩は世界共通の健康課題

食塩は最も安価で有効な呈味料であり、過去の食習慣のゆえに減塩は容易ではない。食塩の摂取量は高血圧と正に相関し、多量摂取は特に脳卒中と心臓血管病、また発癌のリスクを高めることが知られてきた。過去にはどの国でも平均的食塩摂取は一日10gを超えていた。しかしこの10年近くの間、先進国を中心に政府による減塩運動が進められており、その成果が少しずつ現れている。2008年のヨーロッパでの食塩摂取は、一日当たりで、フランス8.6g、イギリス9g、イタリア10g、スペイン12g、ハンガリー16.5gなど概して西欧が少なく東欧が多い。またアジアでは食塩摂取が多い。アメリカでは2010年に8.6gと推定されている。日本では厚生労働省が目標値を定めているが、具体的で強力な施策に欠け、減塩の進みは遅々としている。

国による差異はあるが、現代人の摂取する食塩の70～80%は、加工食品とレストランなどの給食業に由来しているとされる。従って食品製造業と給食業が、減塩運動に参加しない限りは、消費者の減塩が進まない。欧米各国では企業による減塩が進んでいる。

2-1. 食塩（ナトリウム）と生活習慣病

食塩（ナトリウム）の多量摂取が、高血圧と関連することはよく知られている。食塩摂取に関して、世界的に行われたIntersalt Studyでは、ナトリウムの尿中排泄量と血圧の間の正相関が証明されている。食塩摂取と生活習慣病の関連については、欧米での多くの疫学研究の結果で、減塩が高血圧、心臓血管病、脳卒中および癌の予防に有効であるとされた。また、日本人を対象にした疫学研究でも、食塩摂取と脳卒中の罹患および死亡率との間に、正相関が認められている。また最近の疫学研究で、日本人の食塩摂

取量と、胃癌の罹患率および死亡率の間に正の相関が認められた。

各国では、減塩の健康効果について、関連する団体や協会が種々のPRを行っている。例えば、アメリカ心臓協会による2009年の「心臓血管病の疫学および予防」の大会で、アメリカ人が食塩を1g減らすごとに、今後の10年間にわたって、25万人の心臓病の発病と20万人以上の心臓病死を減らすとの推定がなされた。また、一日3gの減塩(Naで1200mg)で、新規の心臓病の発病が6%減少し、心臓発作が8%、死亡が3%減ると推定している。特に食塩に鋭敏なアフリカ系アメリカ人には減塩が有効であり、心臓病罹患率は10%減少し、心臓発作は13%、死亡が6%減少するであろうとしている¹⁾。

マサチューセッツ医学会によると、アメリカ人の3g/日の減塩で、心臓血管病発病を年間12,000人減らし、脳卒中は66,000件、心筋梗塞が99,000件減少すると推定している。またそれぞれの死者は、44,000人と92,000人減少するであろうとした²⁾。

現在の日本人の三大死因は、癌>心疾患>脳血管疾患である。2007年に人口10万人当たりそれぞれ、267人、139人、101人の死亡であり、癌と心疾患が増加し、脳卒中が減少した。減塩はこれらの疾患予防に、直接・間接的に関連する。

正常な活動に関して、細胞の機能を正常に保つため、ヒトの身体が要求する食塩量は比較的少なく、一日1.5g程度とされ、血圧を上昇させない食塩量は3~5g/日とされる。他方で、「高血圧、心臓血管病リスクの原因は食塩だけではない。ライフスタイル、肥満、喫煙、アルコール多飲、野菜・果物不足がこれらに関係する」、「多くの人は、食塩を多く摂っても血圧は実質的に上がらない」との反論もある。肥満を解消すれば降圧効果があるが、これは減塩とは別の問題である。

2-2. 食塩の摂取規準

日本人の食塩摂取は2008年の調査で、一人1日当たり男性11.8g、女性10g、平均で10.9gとされた。1995年には平均13.2gであったから、過去13年間に17%程度減少した。これに対して2010~2014年度の第8次の食事摂取規準は、目標量として男性9g以下、女性7.5g以下である。第7次(2005~2009年度)の目標量は、男性10g、女性8g以下であったから、共に目標値を2gも上回っており、この目標に到達し得るとはとても思われない。図1は過去8年間の日本人の食塩摂取量の変化を示している。

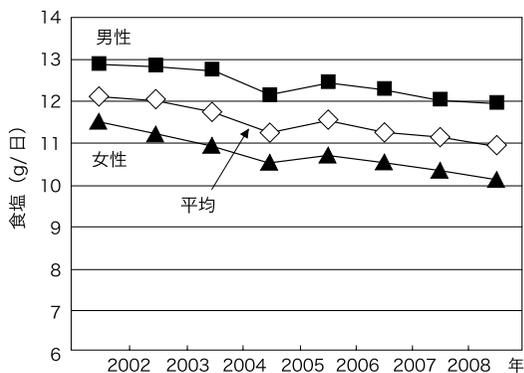


図1 最近の日本人の食塩摂取量変化

(愛知県食品工業技術センターニュース、平成22年1月15日より)

なお、食塩以外にもナトリウムを含む食品原料があり、例えば、ベーキングパウダー、グルタミン酸ナトリウムなどの食品添加物に含まれる。しかし、これらの総量は食塩に比べれば実質的には無視できる。最大の問題は種々の加工食品に含まれる食塩量である。市販加工食品の食塩含有量は概して多量で、またレストランなど給食業の食事も食塩が多く、ラーメン一杯に約6g、かけそばは5gなどが知られている。これだけでWHOの勧告量を超えてしまう。合成保存料無添加を表示する弁当類やおにぎりは、保存性向上のために多量の食塩を使用する。余談になるが、食塩と安全性が同等なソルビン

酸カリは、食塩の 1/10 量ではるかに良好な日持ちを与える。

アメリカでは食塩の勧告摂取量は 5～6 g/日であり、現在アメリカ人は 9 g/日程度の食塩を摂取している。減塩の必要性は明白であるが、消費者にとってその達成は難しい。その理由は「摂取する食塩の大部分は加工食品や、レストランの食事に起因する」からである。食塩の過剰摂取の原因の 70% 以上は、加工食品と外食に由来するとされる。

アメリカでは、全ての加工食品に栄養実態表示がなされる反面、レストランなど給食業では、通常、食塩などの栄養表示をしない。一食分で食塩の一日推奨量の半分以上を含むものがあり、政府や自治体による給食業への減塩が勧告されている³⁾。

2-3. 各国が進める減塩運動

西ヨーロッパ諸国の食塩摂取量には国や食習慣の差異があり、8～12 gである。現在は各栄養素の含有量と一日摂取規準は、先進国と BRICs 諸国でほぼ全ての包装食品に表示されている。そこで消費者は表示を利用して、栄養バランスのとれた食生活を営むことが可能である。

EU では、公衆衛生の改善は国の責任であるとして、欧州委員会が減塩運動を提唱した。減塩に参加している国は、フランス、ベルギー、イギリス、オランダ、スペイン、デンマークなどで、ドイツは不参加である。EU は 4 年間 (2010～2013 年) で 16% の減塩を目標にしているが、それを上回る国が多い。パン、肉製品、チーズ、調理食品など個々の食品に関して、各国は全国プランを作っているが、品目は国によって異なる。以下はその概要である⁴⁾。

イギリス：15 年前に国際都市のロンドンを訪れた人は、レストランの食事の塩分が多いことに驚いたはずである。イギリス人もかつては一日 10g 以上の食塩を摂取していた。減塩を推進するために食品基準庁 (FSA) は、2004 年

に食塩一日 6g 運動を始めた。業界を巻き込んだ種々の努力の末に、一日 6g 摂取が 2012 年に達成できるだろうと、FSA は予測している。また FSA は今後心臓血管病の罹患が劇的に減少すると予測している。

オランダ：政府の干渉を避けた食品業界は 2008 年に行動計画をたて、次の 2 年間に 12% の減塩をかけた。オランダでは食塩摂取の 75% は、家庭料理以外の加工食品と外食に由来するとされる。

スイス：連邦公衆衛生局は、WHO が推奨する 5g/日を目標にした。食塩の 70～80% は加工食品に由来するので、政府は食品産業の代表と協議している。

ノルウエー：ノルウエーの減塩運動は、同国の 2007～2011 年の栄養行動計画と関連している。この計画は行政、産業界、公的および民間の機関からの専門家で構成され、その中に減塩計画が含まれる。

ベルギー：ベルギーの減塩運動は、連邦の公衆安全サービスなどが主導し、2009 年に、全国食品健康計画の枠組みに組み込まれた。食品工業と流通業は減塩計画に関し、連邦公衆衛生省長官と同意した。

2-4. 減塩を進める企業と自治体

日本でも減塩をうたった加工食品が増加している。特にアメリカでは、消費者の減塩要求圧力に応じて、食品製造業は今後も数年にわたって減塩を推進しようとしている。

2010 年 1 月に、ニューヨーク市と 40 都市および全国健康協会が、全国減塩運動 (National Salt Reduction Initiative, NSRI) を発案した。これはボランティアの減塩運動で、61 種類の包装食品と 25 種類のレストラン食品が対象である。同市によると、アメリカの消費者は食塩の 11% を自家消費し、その 80% は販売される食品に含まれるとした。そこで、これらの食品から 5 年間で、25% の食塩を減らす計画である。食

品企業がこの運動に加盟すると、2014年にその達成状況をNSRIがチェックすることになっている。Sara Lee社などがこれに応じた⁵⁾。

欧米の主要食品企業はすでに減塩を始めている。クラフト社(Kraft Foods)は、2010年3月からの2年間で北米向け食品の10%を減塩し、さらに2012年末には、多くの製品の食塩を20%減らす目標を発表した。ケロッグ社(Kellogg)は2010年の初めに、ヨーロッパで販売の主要スナック2品種の30%減塩を発表。同社はすでに1998年から減塩を始め、主要製品の50%減塩を実施済みである。ペプシ社(Pepsi)は、2015年までに主要な食品製品を25%の減塩する。ユニリーバ社(Unilever)は、世界的に22,000以上の製品の減塩を宣言した。

顕著に減塩された製品はスープに多く、そのパイオニアはキャンベルスープ社(Campbell)である。同社は、1980年代からスープその他の飲料から食塩を減少させており、代表的銘柄の濃縮トマトスープの食塩を32%減らした。他の濃縮スープ類についても減塩も始めており、25~45%を減少させつつある。2010年に、ある野菜果汁の12%減塩を行い、その製品は減塩の健康主張が可能である⁵⁾。その他、穀物加工製品ではジェネラルミル社、魚缶詰ではバンブルビー社などが、40%程度の減塩を行った³⁾。

アメリカ食品企業の減塩はヨーロッパなどより進んでおり、オランダのInnova社の調査では、2007~2009年に世界で発売された減塩新製品4,413中で、その39%はアメリカが占めた。アメリカでは減塩された新製品の数は過去2年間で倍増した。イギリスでの減塩成功には、FSAの減塩目標の成功がある。イギリスの穀物食品製造業協会は、2010年末に、平均して100g中に0.3g以上のNaを含む朝食シリアルがなくなると発表した。同協会によると1998年から食塩の削減量はほぼ50%であり、他国に対するイギリスの影響は大きかった。メーカーに

よっては減塩を宣伝せずに、食塩量を数%づつ年数をかけて、徐々に減らすものがあった⁵⁾。

食品添加物メーカーは、減塩のために、塩化カリの混合、酵母エキス、乳酸などを用いた製品を提供している。これらの減塩法は企業によって異なり、時間をかけて単に減塩するもの、調味処方の見直しなどによる減塩がある。また香辛料やハーブの利用で減塩を補うものがある³⁾。

2-5. 加工食品でのナトリウムの役割

多くの食品は天然のナトリウム(Na)を含むが、しかし食塩は主要なNa源であり、加工と安全での役割が大きい。食塩は食味を向上し、食品の天然の風味を発揮させ、苦みと酸味をマスクし甘味を増強する。食塩は酒や生地中の酵母の発酵を制御し、食品の香味、色、テクスチャに影響する。塩は呈味上、極めて重要な成分でその量は簡単に操作できない。食塩およびNa化合物は、細菌増殖を抑制し食品の保存性を高める。加工食品のNaを減らすことは、それほど簡単ではない。そこで、健康に悪影響のない程度にまでNaを減らすには、それを徐じょに行う必要がある。消費者の味覚上の許容は食品製造業の重要な関心事であるが、それでも食品企業は減塩を行うべきである。

20%の減塩は製品テクスチャに影響し、生産性を低下させ、シェルフライフの低下、微生物汚染が増加する。イギリスでは減塩が進んだが、リステリア菌汚染が増加する兆しがあるという³⁾。加工食品の減塩には、合成や天然の保存料の利用が重要である。減塩は技術的、またシェルフライフの点でそれほど大きな問題はないが、風味、味覚が制限因子になるだろう。

3. 食物繊維摂取の増加を

過去100年間、ヒトの食事のかなりな部分を占めていた食物繊維の摂取が次第に減り続けた。しかし1970年代に、D. BurkittとH.

Trowellによる、食物繊維の重要性に関する仮説で、「心臓血管病、糖尿病、癌の減少への食物繊維の代謝効果⁶⁾」が注目を集めた。それ以来、多くの研究がなされるようになり、成人病の予防と治療に食物繊維が及ぼす保護作用を支持する科学的データが増加した。誰しもが実感できる食物繊維の効果は、良好な便通であり、このことは数日間の菜食や、粗粒穀物や野菜摂取の多い国での生活で体験できる。

3-1. 食物繊維とは

食物繊維には世界共通の定義が確立されていない。しかし、ヒトの小腸で酵素分解されない難消化性の多糖類が主である点では一致している。食物繊維は大腸内の微生物に利用され、嫌気発酵によって有機酸などが生産される。

20～30年以前は、栄養補助食品として市販された食物繊維源は糠が主であり、食べやすいものではなかった。今日では、良好な食物繊維源として、果物、野菜、全粒穀物、全粒粉、豆類、種子、ナッツ、オート麦の摂取が推奨されている。

2008年に、コーデックス委員会の栄養および特別栄養利用食品部会は、食物繊維を「10個以上の単糖で構成される高分子炭水化物で、ヒトの小腸内酵素によって加水分解されないものであり、以下の3種に属するものとした。

- 1) 食品として摂取される天然の可食性高分子炭水化物。
- 2) 食品からの物理・化学的処理で得られる高分子炭水化物であって、健康に有利な生理学的効果があるもの。
- 3) 合成された高分子炭水化物で、健康に有利な生理学的効果が示されたもの。

EUでは食物繊維を非デンプン性の多糖類とし、アメリカではさらに難消化性の水溶性オリゴ糖を食物繊維に加えている。また最近、アミロースその他の消化抵抗性デンプンが加わっている。これらの食物繊維は水に対する親和性

で、不溶性食物繊維と水溶性食物繊維に分類することができる。通常は、食品中の食物繊維は75%が不溶性で、25%が可溶性である。

不溶性食物繊維は、植物やきこの類の細胞壁の主要な構成成分で、セルロース、ヘミセルロース、ペクチン、リグニンであり、甲殻類のキチンを含む。野菜、果物、穀類の糠から多く得られる。これらは小腸内で消化されにくく保水性があり、大腸に移って微生物に利用され、結腸内の糞便量を増加させて便通を促進する。

水溶性食物繊維は、植物細胞内のペクチン、寒天（アガロース）、コンニャクマンナン、褐藻類のアルギン酸、植物ガム質（アラビアガム、グアールガムなど）、微生物が生産するキサンタンガム、ジェランガム、などである。最近は、数個の単糖で構成される非消化性のオリゴ糖やデキストリンを含めている。水溶性食物繊維は保水性に富み粘性が高く、消化吸収速度を低下させ、消化管内で食品の滞留時間を増す。このことで食後のグルコース発生とインシュリン応答を遅らせる。水溶性食物繊維は、大腸内での短鎖有機酸の生成を促進するとみられ、また、胆汁酸を物理的に結合し、血中コレステロールの低下に貢献するとされる。

3-2. 食物繊維の摂取規準

2008年の国民健康・栄養調査によると、食物繊維の成人の一日摂取量に関して、年齢区分による中央値が、男性12.8～18.0g、女性12.5～17.3gであった。しかも、60歳代が最多で、最も多量に摂取すべき20歳代は最低であった。健康維持に十分な量である目安値は、20代が最高で男性27g、女性21gであり、高齢なほど必要量は減少する。つまり40歳代までの男性は必要量の半分以下、同じく女性は半分強と、摂取量は極めて少ない。摂取量が最多の60歳代では、男性18g、女性17gであった。

そこで厚労省は、2010～2014年度の5年間の「第8次食事摂取規準」について、年齢に無関係に、

男性19g以上、女性17g以上を達成の目標とした。この目標値は前回の第7次（2005～2009年）の目標値が、それぞれ、20gと17gであったことから、現在の施策の延長線上では、実現可能とはとても考えられない。

なおアメリカの食品医薬品局（FDA）によると、勧告食物繊維摂取量は、摂取熱量が2,000kcalで25g、2500kcalで30gであり、女性25g/日、男性38g/日程度になる。しかし実際には、それぞれ、12gと16gしか摂られていないとされる⁷⁾。

3-3. 食物繊維と疾病予防

産業革命後、特にこの100年間のヒト食事パターンの変化と、近年の座業生活の増加で、肥満と心臓血管病などの生活習慣病が増加した。最も顕著な食生活変化は、高食物繊維食の全粒穀物、野菜・果物を、食肉と消化の早い炭水化物（穀物加工品と添加された糖）に替えてしまったことである。高食物繊維食品から易消化性食品への変化が、成人病の増加の理由の一つとみられる。最近、食物繊維の健康効果研究で有名な、D. J. Jenkins と C. W. Kendall らの興味深い総説が発表され⁸⁾、以下それらについて簡単に解説した。

3-3-1. 食物繊維と癌

多くの疫学研究では、高食物繊維食は発癌と負に相関することが知られており、特に大腸癌と乳癌で顕著である。しかし幾つかの研究では不一致の結果も出ている。

13の前向きコホート研究^{*}で726千人を6～20年追跡したものを集めると、年齢調整分析で、食物繊維摂取量と結腸・直腸癌リスクの間には、有意な負の相関がみられた。最近のアメリカでなされた2例のコホート研究が、この

結果を支持した。また、ヨーロッパでの「癌と栄養に関する」前向きコホート研究によると、食物繊維多食群1/5は最低群1/5より有意に結腸・直腸癌が減る結果になっている。

同様にスイスの事例制御研究は、食物繊維摂取と結腸・直腸癌リスクとの間に負相関があり、野菜繊維が最も保護的であったとしている。これらの結果は、他の事例制御研究でも追認されている。

3-3-2. 食物繊維とグリセミック指数および二型糖尿病

グリセミック指数（GI）とは、異なった炭水化物を摂取した場合に起こる、食後の血中グルコース応答（血糖値増加）を定量化する物差しである。白食パンのGIを100とした場合、低GI食品のライ麦パン、豆類、ナッツ類のグルコース応答（GI）は65以下である。オートミール、サツマイモ、ヤマモモなどのGIは65～89で、大部分のパンと朝食シリアルは90以上である。GIの制御は二型糖尿病の治療に極めて重要であり、患者には豆類など低GIの食物繊維食の摂取が勧められている。低GI食の二型糖尿病への予防効果も、多くの疫学研究や臨床試験によって支持されている。

3-3-3. 食物繊維と体重管理

肥満は二型糖尿病と心臓血管病のリスク因子である。数多くの研究で、食物繊維の多量摂取が体重管理に役立ち、体重指数（BMI）と食物繊維摂取量の間には負の相関が認められている。食物繊維の多量摂取は、低脂肪食よりも体重減少に有効であるとされた。作用機構の一つは満腹感の増加である。高食物繊維食は満腹感を与え食欲を減らす。全体的に、低GI、高食物繊維食品の摂取は体重管理に重要であり、体重減に効果的である。肥満の解消は二型糖尿病と心臓血管病のリスク低減につながる。

3-3-4. 食物繊維と心臓血管病

二型糖尿病と肥満は重大な心臓血管病のリス

* 疫学研究法の一つで、ある特性を持つ群（例えば、喫煙者など）に関して、予測する結果を将来に向けて調べ、その特性を持たない群と比較する研究法。

ク因子であり、従って高食物繊維食は間接的に心臓血管病の予防になるとみられる。特に二型糖尿病の女性は、心臓血管病の罹患リスクが2～5倍になる。従って肥満と二型糖尿病を減少させることは、間接的に心臓血管病を減少させる。しかしこの種の間接的効果の他に、食物繊維の多量摂取は直接的にも、血中LDLコレステロール濃度の低下によって、心臓血管病の減少に貢献する。加えて、粘性の食物繊維は、LDLコレステロール低下作用を通じて、心臓血管病リスクを低減するとされている。この結果は多くの疫学研究と臨床研究で確認され、アメリカのFDAは、日量3gのオート麦と大麦由来の粘性βグルカンについて、心臓血管病予防効果の主張を認めた。

3-3-5. Jenkins と Kendall らの興味深い研究

Jenkins と Kendall らは大変興味深い研究を行った⁹⁾。彼らは、類人猿に似た食事を2週間与えた被験者の血清脂質の変化を調べた。その結果は劇的で、血清中の全コレステロールが25%、LDLコレステロールが30%減少した。この類人猿食は、葉もの野菜、果物、ナッツを与えたもので、食物繊維で143g/日であった。また、この類人猿食はヒトの体重維持に5.5kg/日の摂食を要し、糞量は1kg/日以上と現代人の5～10倍であった。しかし、LDLコレステロールの低下は極めて顕著であった。

類人猿の食事に含まれる活性成分を用いた、現実的な食事の検討のため、Jenkins らは、粘性繊維、大豆蛋白質、植物ステロール、ナッツの4成分を含む食事を考案した¹⁰⁾。所要熱量1000kcal当たりで、8.2gの粘性繊維、22.7gの大豆蛋白質、植物ステロール1g、およびアーモンド14gとして、臨床実験を繰り返した。結果は、血清LDLコレステロールの28～35%低下を示し統計的に有意であった¹¹⁻¹²⁾。

さらにこの試験食を、コレステロール低下薬(ロバスタチン)の20mg/日投与と比較し

た¹³⁾。4週間の試験後に、ロバスタチン投与は、血清LDLコレステロールを低下させたが有意ではなかった。試験食は32～34%の有意なLDLコレステロール低下を示した。実際に66人の高脂血症患者に試験食を一年間与えた結果、55人にLDLおよび全コレステロールの有意な低下が認められた。1/3以上はLDLコレステロールの20%以上、平均で29.7%の低下があった。この種の食事によって、コレステロール低下薬と同等な効果が得られた。粘性繊維による血清コレステロール低減は臨床的に証明され、従って心臓血管病予防につながるとみられた。また他のコレステロール低下食と併用することで効果が強まった。

3-4. 結論

食物繊維の摂取を増やすことは体重管理に有効である。肥満と二型糖尿病は心臓血管病のリスク因子であり、食物繊維の多量摂取は、血清脂質の改善によって心臓血管病リスクを低下させる。食物繊維の健康効果を支持する強い証拠があるが、どの繊維成分が最も有効であるかについては、一致した結論はない。疫学研究の結果は穀物の繊維を、臨床研究の結果は粘性繊維を、最も有効なLDLコレステロール低下因子とする。そこで、さらに長期間の制御研究が必要である。いずれにせよ、高食物繊維食品は体重管理に有用であり、二型糖尿病と心臓血管病の発達に防御的效果を有する。

おわりに

生活習慣病の罹患は不幸なことである。それらのリスクを最小化するために、推奨される食習慣の改善は、減塩と食物繊維の摂取増である。これらの改善のためには、行政当局と、関連する民間団体による強力な推進運動、そして何よりも食品企業の協力が必要である。加工食品の消費が増加し、特に若い層での加工食品と外食の利用が大きく増加した。日本では、これら食

品の栄養内容表示は貧弱で、しかも任意であり、後れている。このような食の本質に根ざした改
 消費者の健康管理は困難である¹⁴⁾。この点で、革が、早期に実現することを願って止まない。
 日本の健康行政は世界各国に比べ、大きく立ち

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

- 1) 食塩を少し減らすだけで効果がある。IFT News 2009.3.18.
- 2) L. de Jong, Stepping Back on Sodium, *Food Ingredients*, April/May, 64-65 (2010)
- 3) Tarver T., Desalting the Food Grid, *Food Technology*, **64** (8), 45-50 (2010)
- 4) Y. de Groote, A Call for Balance, *Food Ingredients*, Oct/Nov, 40-43(2009)
- 5) Katz B., Williams L.A., Salt Reduction Gains Momentum, *Food Technology*, **64** (5),25-32 (2010)
- 6) Burkitt, D. P. and Trowell, H. C., Dietary fiber and western disease. *Irish Medical J.*, **70** (9), 272-277 (1977).
- 7) Luallen T., Adding Fiber Function, *Food Ingredients*, Feb., 53-55 (2009)
- 8) Kendall C. W., Esfahani A., Jenkins D. J., The link between dietary fibre and human health., *Food Hydrocolloids*, **24**, 42-48 (2010)
- 9) Jenkins D. J., Kendall C. W. et al, Effect of very high fiber vegetable, fruit, and nut diet on serum lipids and colonic function. *Metabolism*, **50**(4), 494-503, (2001)
- 10) Jenkins D. J., Kendall C. W. et al, A dietary portfolio approach to cholesterol reduction: combined effects of plant sterols vegetable proteins and viscous fibers in hypercholesterolemia. *Metabolism*, **51**(12), 1596-1604, (2002)
- 11) Jenkins D. J., Kendall C. W. et al, The effect of combining plant sterol, soy protein, viscous fibers, and almonds in treating hypercholesterolemia, *Metabolism*, **52**(11), 1478-1483, (2003)
- 12) Jenkins D. J., Kendall C. W. et al, Effects of a dietary portfolio of cholesterol-lowering foods vs lovastatin on serum lipids and C-reactive protein. *J. of the American Medical Association*, **290**(4),502-510 (2003)
- 13) Jenkins D. J., Kendall C. W. et al, Assesment of the longer-term effects of a dietary portfolio of cholesterol-lowering foods in hypercholesterolemia. *American J. of Clinical Nutrition*, **83**(3),582-591 (2006)
- 14) 藤田哲：世界で最も遅れた日本の食品表示，フードリサーチ，2009,(5)，70-73.

日本の食料事情

その十 膨張しすぎたフードシステム

橋本 直樹*

*HASHIMOTO Naoki (ゴロベ技術士事務所)

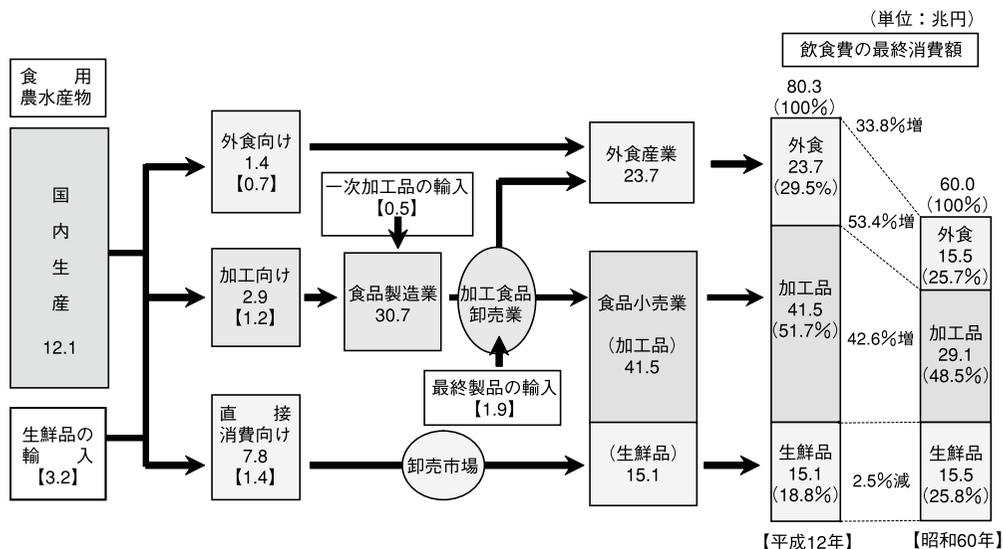
Key Words: 流通・外食産業・食品工業・自給率・小売店・コンビニエンスストア

1. 食料の経済バランスがおかしい

スーパーマーケットには全国各地からの、そして海外からのありとあらゆる食料が並んでいる。私たちの食生活が豊かになり、便利なものになったので、それを支える農水産業、加工製造業、流通小売業、外食サービス業などの食品関連産業に従事する人は1130万人、経済規模は80兆円になっている。昭和30年には4億円であったから約20倍に成長、拡大したわけである。

原始時代は自給自足であったから、食料を作る人と食べる人は同じであった。しかし、社会ができると農産物や肉、魚の物々交換が始まり、簡単な加工も始まる。貨幣経済になると食料品の販売が始まり、市場に商人が登場する。やがて、町や都市ができると、食物を小売りする商店、飯屋、居酒屋、料理屋などが現れる。こうして、食料の生産者と消費者をつなぐ流通と消費の形態は複雑多岐になるのである。

現在、食料の生産から消費に至る食品関連産



最終消費からみた飲食費の流れ (資料：農林水産省)

業の複雑なネットワーク（フードシステム）の経済規模は、農水産業が輸入を含めて15兆円、食品の加工製造業が31兆円、流通販売業が27兆円、外食業が中食を含めて24兆円である。製品と流通経路が一部分、オーバーラップしているため、最終的に消費者が消費するのは生鮮食料品に15兆円、加工食料品に42兆円、外食に24兆円、合計して約80兆円になる。

しかし、よくみると、フードシステムの入口に比べて出口が大きすぎる。食料を生産する農水産業に比べて、その食料を流通させる流通小売業、加工する製造業、料理を提供する外食サービス業が膨張し過ぎて、バランスが悪くなっているためである。食料は生きるために欠かせないものだから、農家や漁業者はより多くの経済配分を受け取ってもよいのである。そして、膨張しすぎたフードシステムの経済を維持するために、行きすぎた食の豊かさが求められ、必要のない食の消費が強いられるように思う。

2. 国内の農業では食料が自給できない

日本の農業の問題点は食料が自給できなくなったことである。40%という食料自給率は先進国では最も低い。原因は農地が狭く、人口が多く、収入が増えて肉料理、油料理を食べることが増えたからである。日本の農地面積は約500万ヘクタール、人口は1億2700万人であるから、一人当たりの農地は僅かに4アール（121坪）に過ぎない。アメリカは一人当たりの農地が142アールもあるから食料自給率が128%もある食料輸出国であり、イギリスやドイツでも農地は一人当たり25アールぐらいあるから自給率は80%前後を確保している。

日本で食料を完全自給するためには、現在耕作している国内農地480万ヘクタールのほかに、さらに1200万ヘクタールが必要になる。だから、年間5800万トンもの食料を海外から

輸入しなければならない。

その上、農家は耕地が平均2ヘクタール弱と狭くて、十分に機械化できず、労力も高いので農産物はどれも生産コストが海外諸国に比べて著しく高い。米や小麦は10倍、牛肉や野菜でも2-3倍は高い。だから、安価な海外農産物が大量に輸入されると国内農家は競争することができない。苦労して栽培した農作物を生産コストに見合った価格で販売することが難しいのだから、農家は生産意欲を失う。国内の農業総産出額は1985年の11兆6千億円をピークに減少を続け、2007年には8兆2千億円になった。

平均的な販売農家の年間総所得は828万円であるが、そのうち農業所得は108万円に過ぎない。農業では生活できないので、販売農家でも8割が兼業農家であり、給与や年金で家計を維持しながら、農業を続けている。農業だけでなく漁業も厳しい状況に直面している。50年前に80万人であった漁業人口は今や22万人に減少し、漁業総産出額は1兆6千億円になっている。僅かに260万人の農民と22万人の漁民が1億2700万人の台所の半分を懸命に支えている。

農業生産額は50年前には年間、4700万トン、金額にして1.5兆円で、国内総生産の9%を占めていた。2007年度には5000万トン、8.2兆円に増加はしているが、国内総生産に対する比率は僅かに2%弱に低下している。高度経済成長が始まる直前、昭和31年の食品関連産業の経済規模は約4兆円で小さかったが、その35%は食料の生産者である農家や漁業者に還元されていた。今では80兆円の13%、10兆円が食料生産者に還元されるだけである。

人口が多く、食生活の内容が豊かであるために巨大化した食料の国内需要を賄ってはいないが、日本の農業の総生産金額、8兆円はアメリカに次いで大きく、先進国では第2位の實力がある。日本の農業は生産量が国内需要に追いつ

かず、食料自給率が低いという理由で過小に評価されているのである。農地の集約化による大規模経営、農業法人化による効率化などで農業の経営効率を高めて、国民が必要とする食料の50%ないし60%は自給しなければならない。

3. 生産者を苦しめる複雑な流通経路

日本の農水産業を苦境に立たせている原因の一つは生鮮食料品の複雑な流通経路である。その1例を紹介してみると、全国各地で生産された野菜や果物は消費地の卸売市場に集められ、卸売業者のせり売り、入札によって価格が決められる。そして、仲卸業者、買参人を介してスーパーマーケット、青果店などの小売店に買い取られ、消費者に小売販売される。水産物は水揚げ地の産地市場に集め、出荷業者、冷蔵業者、加工業者に仕分けて消費地の卸売市場に集められるが、そのあとは同じである。

卸売市場は各地で少量、多品種に分けて生産される青果物、水産物を、消費地の大量需要に応じられるように一括集荷し、公正な市場価格を決めて、消費地の外食店や小売業者に小分け販売してくれるから、全国に散在する生産者と消費地の小売店や外食店をつなぐために必要にして便利な存在である。

しかし、流通経路が多段階に分かれているために、それぞれの段階ごとに取扱手数料と輸送費などの経費が必要になり、それがすべて生産者の負担になることが問題である。まず、農家から出荷する際の包装、荷造りなどの経費、農協など出荷業者に支払う運送費や取扱手数料、卸売市場での卸売業者、仲卸業者の取扱手数料などである。卸売市場で決まった市場価格からこれらの流通経費を差し引いた金額が生産農家に支払われる。

青果物、水産物は流通が全国規模に広がり、市場価格は生産地とは関係なく消費地側の都合

で決まる。その結果、生産農家の手取りは消費地での小売価格の30%前後にまで少なくなることがあり、生産農家は生産費に見合う利潤を得ることが難しい。水産物についても、サンマが産地で1尾10円、消費地で100円ということになりかねない。国民全体が小売店、外食店を通じて飲食に使うお金は約80兆円と大きくなっているが、そのうち農家や漁業者の収入になるのは10兆円に過ぎない。生産に比べて加工、流通、消費の規模が大きくなりすぎているのである。

4. 食生活の利便性を向上させた食品工業

豊かで、多様で、そして便利になった日本の食の世界をけん引してきたのは、食品工業が次々と開発した便利な加工食品である。食品工業は昭和40年ごろまでは5兆円規模であったのに、その後、急成長して製造工場が約4万、従業員が126万人、出荷額は31兆円に増加し、自動車産業に次ぐ大きな製造業に発展した。

加工食品を分類してみると、小麦粉、調理油、砂糖など従来からの素材型加工品が10%、缶詰、塩干物など保存加工品が30%あるが、どちらも消費はそれほど増えていない。種類が多くなり、用途が多様になったのが飲料、調味料、パン、菓子、冷凍食品、即席食品、総菜などの直接消費型の食品である。

家庭での調理にかかる時間と手間を省くため、生鮮食材よりも加工食品、調理済み食品を使うことが多くなり、昼食はパン、ハンバーガーなどのファーストフード、コンビニ弁当、持ち帰り総菜などで済ますようになっている。

平成8年度の統計ではあるが、家庭で食品を購入した支出内訳をみると、米や大豆などの穀物が6%、精肉、魚、野菜など生鮮食材が33%、そして加工食品が61%になっている。加工食品への支出が3分の2を占めるのである。

生鮮食材を毎日買いに行き、主婦が台所に長時間立って調理するというかつての食事作りは電気冷蔵、冷凍庫、電子レンジの普及と加工食品、とくに冷凍食品と調理済み食品を利用することにより著しく簡略化された。

5. スーパーとコンビニがなければ暮らせない

現在の豊かで便利な食生活を支えているのは、食品スーパーマーケットとコンビニエンスストアである。食料品の小売店の総売り上げは41兆円であるが、そのうち、食品スーパーが2万店で売り上げが17兆円、コンビニが4万4千店で売り上げが5兆円を超えている。スーパーとコンビニだけで生鮮食料品、加工食料品の半分以上を小売り販売しているのである。

これに対して、従来からの小規模な鮮魚店、精肉店、青果店、菓子屋、パン屋、米穀店、酒販店は急減して25万店になり、売り上げも13兆円に縮小している。

生鮮食料、加工食品の総合小売業であるスーパーマーケットは、「低価格」「セルフサービス」「なんでも揃う」を売り物にする量販店として急速に店舗数を増やした。1950年代に日本に移入されたスーパーマーケットは大量仕入れ、大量販売により食料品の小売業態を一変させてしまった。

コンビニエンスストアが日本で産声を上げたのは1974年である。「何時でも買いものができる」ように、人通りの多い街中で24時間、年中無休で営業している。売り上げの70%がおにぎり、弁当、総菜、菓子、飲料などのすぐに食べられる食品であり、食事づくりをしない学生や単身生活者、昼食を買うサラリーマン、夜食を探す深夜族、食事作りが面倒になった高齢者にとって、コンビニは「便利な台所代り」である。

都市郊外の新興住宅地などでは戦前からの

小売商店が少ないから、スーパーやコンビニがなければ「食料難民」になってしまう。コンビニでよく売れるおにぎりや、ペットボトルのお茶飲料は「もったいない」よりも簡便性、利便性をよとする現代の食生活の申し子であるといつてよい。

それにしても、スーパーの店頭に並ぶ食料品の多様さ、豊富さは驚くばかりで、飽食ニッポンの象徴である。同じ野菜でも産地ごとに数種類取り揃え、牛乳、飲料などはメーカーごとに数十の商品があるので選択に迷う。食品市場の成長が止まり、業者間の競争が激しいためであろうが、過剰な品ぞろえ、行きすぎた安値競争は止めたほうがよい。

6. 外食店が100世帯に1店舗

大阪万博が開かれた1970年に、外資系のファーストフード・ショップやファミリーレストランが相ついで日本に進出してきた。それまで生業、家業として家族規模で営業していた飲食店業界にフランチャイズ・チェーン経営の「外食産業」が加わったのである。

それまで売上高2兆円もなかった飲食店は、40年後の現在、中食を含めて30兆円の規模の外食産業に発展した。今や、外食店は人口一人あたりで比較するとアメリカの2倍にもなるという活況ぶりである。

外食の売り上げをみると、47%が食堂、レストランなどであるが、学校、企業、病院などの給食が15%ある。これらの集団給食は戦前にはなかった新しい外食形態である。そのほかには旅館、ホテル、居酒屋、料亭、バー、喫茶店などがある。

飲食店は全国に39万店あるから、平均して100世帯に1店舗があることになる。最も多いのは一般食堂で7万店、日本料理店が4万店、中華料理店が6万店、西洋料理店が3万店、そ

して寿司屋、そば、うどん店が合わせて7万店もあり、現代人の食の多様性を反映している。

私たちがファミリーレストランを利用し始めたのは、高度経済成長の恩恵を受けて生活に余裕ができてきた1970年ごろからである。日曜日にはマイカーでドライブを楽しみ、ファミリーレストランで食事をする「ニューファミリー族」が増えた。食事のレジャー化の始まりであったが、それから40年たった今、外食をすることはレジャーではなく、日常のこととなり、外食の市場規模は25兆円にまで拡大している。

平成12年度の家計調査によると、家庭の食料費の10%が中食など調理済み食品に、17%が外食に支出されている。食事の3割が家庭外で

摂られていると言ってもよい。この食の外部化比率は若年単身世帯になると7割にもなるという。学生や若手の社員は半分が夕食を外食で済ませている。家族そろって外食店を利用するのが月に1,2回、あるいは週に1,2回もある家庭が4割ぐらいになった。

生鮮食材を買ってきて主婦が家庭で調理し、家族そろって食べるという従来の食事形態から、調理済み食品を買ってきて一人で済ませ、あるいは外食店に食べに行くというように変化した。忙しい現代の生活であり、夫婦そろって職業を持つことが普通になっているのだから当然の結果かもしれないが、食事作りの手抜きと引き換えにおふくろの味や食事時の家族の団欒など失ったものも多いのである。

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

ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

第1回 人類が出会った乳利用

平田 昌弘*

*HIRATA Masahiro (帯広畜産大学)

Key Words：牧畜・生業・乳製品・ユーラシア大陸

ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品を、これから約1年にわたって毎月のシリーズで紹介していきたい。

ユーラシア大陸といっても広大である。それぞれの地域で様々な乳加工技術が発達し、珍しい乳製品がつくり出されてきた。バターは発酵乳からつくられることが多く、発酵乳は清涼飲料、チーズなどにも加工され、牧畜民の乳加工において発酵乳の出番は多い。チーズ加工の凝固剤にはレンネットだけでなく、酸乳や有機酸を用い、牧畜民の加工するチーズは熟成させることはない。乳から酒をつくっていたりもする。多くはお世辞にも旨いといえるシロモノではないが、幾つかはキラリとひかる美味しさと利用の仕方とがある。このような牧畜民の乳製品と乳利用とはいったい、どのようなものであろうか。想像するだけでもワクワクしてきて、現地を訪ねてみたくなる。このシリーズでは、西アジア、北アジア、中央アジア、南アジア、チベット高原、ヨーロッパを事例として、乳加工技術と乳製品とを具体的に紹介していきたい。なるべく現地の写真を多く掲載しながら解説していく。シリーズ最初の今回は、乳利用が人類にもたらした生業革命—牧畜の誕生、そして、現在のユーラシア大陸における乳加工の特徴について外観しておきたい。

1. 牧畜と乳利用

搾乳することを発明し、乳を利用することによって、人びとは家畜に生活の多くを依存するようになり、牧畜という新しい生業が始まった。これは、内モンゴルにおける遊牧民の現地調査の成果の一つとして、梅棹忠夫氏が約半世紀前に提唱した学説である（梅棹，1967）。牧畜とは、「動物の群を管理し、その増殖を手伝い、その乳や肉を直接・間接に利用する生業」のことである（福井，1987）。遊牧，移牧，半農半牧という語彙があるが、これらは季節的に水平移動するか垂直移動するか、家畜飼養に農業が伴った生業であるかどうかによって区別しており、いずれも牧畜の低位分類である。北アジアのモンゴル遊牧民、チベットやヨーロッパなどの移牧民、西アジアのベドウィンと呼ばれる集団など、全て牧畜民として分類することができる（写真1）。

では、なぜ「乳利用」がこれほどまでに牧畜を成立させるために重要であったのであろうか。ここが問題である。そこで、牧畜の特徴や乳利用という生存戦略について考えてみたい。牧畜民が飼養する家畜は、ヒツジ、ヤギ、ウマ、



写真1 牧畜民はヒツジやヤギを巧みに操りながら生きている。その生活は、ヒツジやヤギを食べるよりも、むしろその乳を食して生き抜いている。

ロバ、ラバ、ラクダ、ウシ、ヤク、トナカイなどである。新大陸でのみリヤマとアルバカが飼養されている。いずれの家畜も繁殖効率が低く、基本的に一年に一度、仔を1頭～2頭しか生まない。西アジアでヒツジ・ヤギの家畜化が生じた約1万年前の新石器時代、単なる食肉の獲得であったならば、野生動物を狩猟すれば必要は十分に満たされたとも指摘されている。現在の事例ではあるが、カラハリ沙漠で狩猟採取生活を営むサン族では、生きていくために必要な食料を調達するための平均労働時間は、成年男子で1日わずかに約2時間であると報告されている(山内, 1994)。また、家畜を飼養するということは、飼料を通年確保しなければならないことを意味する。春から夏にかけては家畜を牧野で放牧して草資源を採食させればよいが、飼料が乏しくなる秋から冬にかけては飼料を確保・保存しておいて、飼料を給与しなければならない。つまり、肉利用を目的としているならば、わざわざ飼料を確保し、労力を費やしてまで家畜を飼う必要はなく、野生動物を狩猟していればよかったのである。このようなヒツジ・ヤギ・ウシといった多産とはいえない草食反芻動物を対象とする限り、肉利用を主目的としたままでは、家畜を

敢えて飼う必要性はなく、また、食料生産の飛躍的な向上や画期的な新たな展開は期待できない(三宅, 1999)。それでも何故、効率的ではない草食動物を飼おうとしたのであろうか。それは、乳利用にある。乳を利用するという生業は、家畜を殺さず、生かしたまま食料を利用するという活動、つまり、家畜という元本は残しておき、乳という利子によって生き抜いていくという生存戦略である。乳利用は、動物を飼養して初めて可能であり、狩猟段階では不可能な生産活動である。また、肉利用から乳利用に転換すれば、飼料エネルギーの生産効率 $は3.7$ 倍も向上する(亀高ら, 1979)。つまり、肉利用から乳利用への転換は、家畜生産効率が飛躍的に向上することになる。乳利用という視点は、肉利用とは家畜の利用法が全く異なった戦略なのであり、乳を利用することによって初めて家畜から生産物を定期的に得ることが可能となったのである。実際、牧畜民と生活を共にしていると、肉を食うというよりも乳を食って生き抜いていることが理解される(写真2)。

また、乳利用は単なる食料獲得だけを意味するのではなく、牧畜民にとって家畜の群を管理するための本質にも関わってくる技術なのである。家畜から乳を搾るためには、母仔を分離し、別々の群にして放牧し、仔畜への哺乳を制



写真2 牧畜民の食事風景。平焼きのアラブ風パンと酸乳、バター、バターオイル、砂糖とで食事を摂る。

御する必要がある。仔畜に口かせを付けたり、母畜に胸当てを付けたりすることもある。本来は自らの仔のみに許容するはずの哺乳を他種動物（ヒト）が搾乳できるようになるためには、催乳など乳を横取りするだけの技術が必要となる。更に、雌畜をより多く飼養し乳をより多く得るためには、雌畜の妊娠・出産・泌乳には選ばれし少数の雄畜のみで要を成すことから、多くの雄畜は生後間もなく間引かれることとなる。このように、搾乳という生産活動には、群の構造や管理、哺乳の抑制、搾乳するための諸技術、育種・選抜までもが必要となる牧畜の本質に関わってくる項目なのである。

牧畜民は、より多くの乳を獲得するがために家畜を飼養していると言っても過言ではない。ケニアのトゥルカナ牧畜民の事例では、食料の61%を乳に依存している (Coughenour *et al.*, 1985)。乳を利用することで、ヒトは新しい食料獲得戦略と家畜管理戦略を生み出し、家畜に生活の多くを全面的に依存できるようになり、生業の一形態としての牧畜が成熟していったのである。牧畜の特質は、福井 (1987) の学説にチベット移牧民についての研究成果 (平田, 2010) を考え合わせると、「牧畜社会が牧畜を生業として成立させたもっとも大きな要因は搾乳であったといえる。乳が全哺乳動物の子どもを育てる完全栄養であることを牧畜民が見逃すはずはなかった。家畜化の過程で、乳量の多い家畜を人為淘汰し、その結果牧畜民は、畜産物を利用し、自然環境・立地条件に応じて農産物を巧みに利用しつつ、より居住環境に不利な土地にも適応していったものと思われる。」と総括することができる。

普段なにげなく我々は乳を飲み、乳製品を日常食べているが、搾乳・乳利用の発明ということは、このように人類に新しいライフスタイルを与え、より乾燥した地域にも進出して生活することができるという生活圏の拡大を人類にも

たらしたのである。搾乳の発見と乳利用が人類に生業革命をもたらしたということ进行を思うと、一杯のミルクにも、その偉大な恩恵をひしひしと感じるのである。

2. 乳文化の一元二極化

牧畜の中心には搾乳がある。ただ、乳に依存した生業を成り立たせるにおいて、一つの大きな問題がある。牧畜民の主要な家畜であるヒツジ・ヤギは季節繁殖動物であり、搾乳には端境期があるのだ。つまり、交尾と出産に時期があり、出産に伴う搾乳にも季節的な偏りが存在する。ヒツジ・ヤギの泌乳期間は5ヶ月間のみで、個体により出産時期・泌乳時期が前後するため、群としては春から秋にかけての9ヶ月間ほどしか搾乳できない。乳に一年を通して依存するならば、乳が不足しがちとなる冬をのりきらなければならない。だからこそ、乳が豊富にとれる夏に乳を加工・保存するのである。乳加工の本質は保存にある。中尾 (1992) は、「乳加工の体系は全て貯蔵のためという目的に収斂し、貯蔵を抜きにしては食品の加工体系の中心にある原動力がなくなる」と鋭く指摘する。本来、保存食である乳製品とは、嗜好風味をこらした食料ではあるが、季節的に大量生産される食糧を腐らせることなく、非生産時期にまでいかに備えておくことができるか、その試行錯誤の繰り返しの過程で生まれてきたものである。生乳を加工・保存できたからこそ、乳に一年を通じて依存することができる牧畜が成立し得たのである。このように、乳にまつわる一連の事項群は、牧畜という生業成立の主要因であり、群管理・搾乳などの技術を発達させ、地域による多様な乳加工技術・乳製品を生みだしてきた。乳文化は、人類の有形・無形の文化遺産といっても過言ではない。

乳利用は、遺跡出土の土器に付着した脂肪酸

の安定同位体分析により、少なくとも BC7000 年紀には西アジアで始まったと報告されている (Evershed *et al.*, 2008)。搾乳は西アジアで発明され、保存のための乳加工技術が同じく西アジアで考案され、西アジアから周辺域へと搾乳と乳加工技術が伝播していったと考えられている (平田, 2008)。実は搾乳や乳利用は、世界中の人びとが採用していた技術ではなかった。現在のグローバリゼーションが始まる前、搾乳・乳利用していた地域はアフリカとアジアの主に乾燥地帯、および、ヨーロッパのみであり、新大陸では乳利用が欠落していた (図 1)。東南アジアと東アジアには、貴族などの一部の集団を除き、大衆には乳利用がなかった。搾乳・乳利用は、もともとは世界の人びとに共有されていた技術ではなかったのである。

以上をまとめると、西アジアを起源とする乳加工技術は主に旧大陸の乾燥地帯に広がり、

約 9000 年の時をかけ、地域に適応した乳加工技術と乳製品がそれぞれに発達し、複雑な乳加工技術と多様な乳製品が蓄積してきたことになる。乳加工技術を大観すれば、ユーラシアには、北方乳文化圏と南方乳文化圏が存在し、両者の技術が相互に影響しあった北方・南方乳文化重層圏が存在している (図 2)。北方乳文化圏では、クリーム分離 (クリーム分離とクリーム加熱によるバターオイル加工) を積極的におこない、乳酒をもつくり出している。南方乳文化圏では、酸乳の攪拌 / 振盪による乳脂肪の分画 (バター加工とバターの加熱によるバターオイル加工) を積極的におこない、反芻家畜の第四胃で生成される凝乳酵素レンネットを利用してチーズを加工している (平田, 2008)。

乳加工技術は地域による多様性を示しているが、実は乳加工技術の本質は、乳からいかに乳脂肪を取り出すか、乳タンパク質を分離するか、

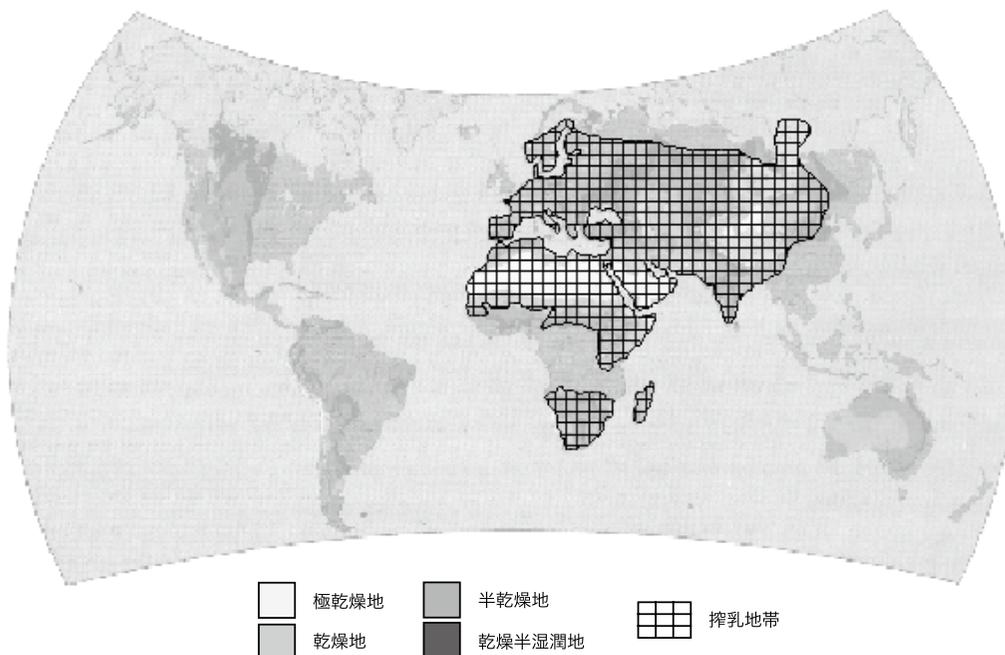


図 1 世界の乾燥地帯と伝統的搾乳地帯

搾乳・乳利用していた地域はアフリカとアジアの主に乾燥地帯、および、ヨーロッパのみであり、搾乳は全ての地域でおこなわれていたのではない (出典：石毛 (1973) より改変)

乳糖は排除するか乳酸発酵・アルコール発酵させて利用するかに集約している。その乳加工の仕方、表現の仕方が地域により多様型を示しているということである。そして、乳製品も地域多様性を示しているが、乳から乳脂肪を主に分画した乳製品（バター、バターオイル、クリーム）、乳・脱脂乳から乳タンパク質を主に分画した乳製品（非熟成型チーズ）、乳糖は乳酸発酵・アルコール発酵により分解させた乳製品（発酵乳：酸乳や乳酒）に結局は集約している。その形態が地域により多様型を示しているに過ぎない。このような本質は変わらないものの、地域によって形態が異なる乳加工技術と乳製品を、次回から具体的に紹介していきたい。

3. 乳加工技術の分類法 — 中尾佐助の系列群モデル

ユーラシア大陸の乳加工技術を紹介するにあたって、乳加工技術を整理するための基準として中尾佐助氏（1972）が提唱した4つの系列群モデルを本シリーズでは採用する。中尾は、生乳に対する最初の加工に着目し、1) 発酵乳系列群、2) クリーム分離系列群、3) 凝固剤使用系列群、4) 加熱濃縮系列群の4つの系列群モデルを考案した。図2に示した系列群も、この4つのモデルに従っている。1) 発酵乳系列群とは、生乳に対する最初の加工処理が発酵工程であり、発酵乳から加工が展開していく系列群

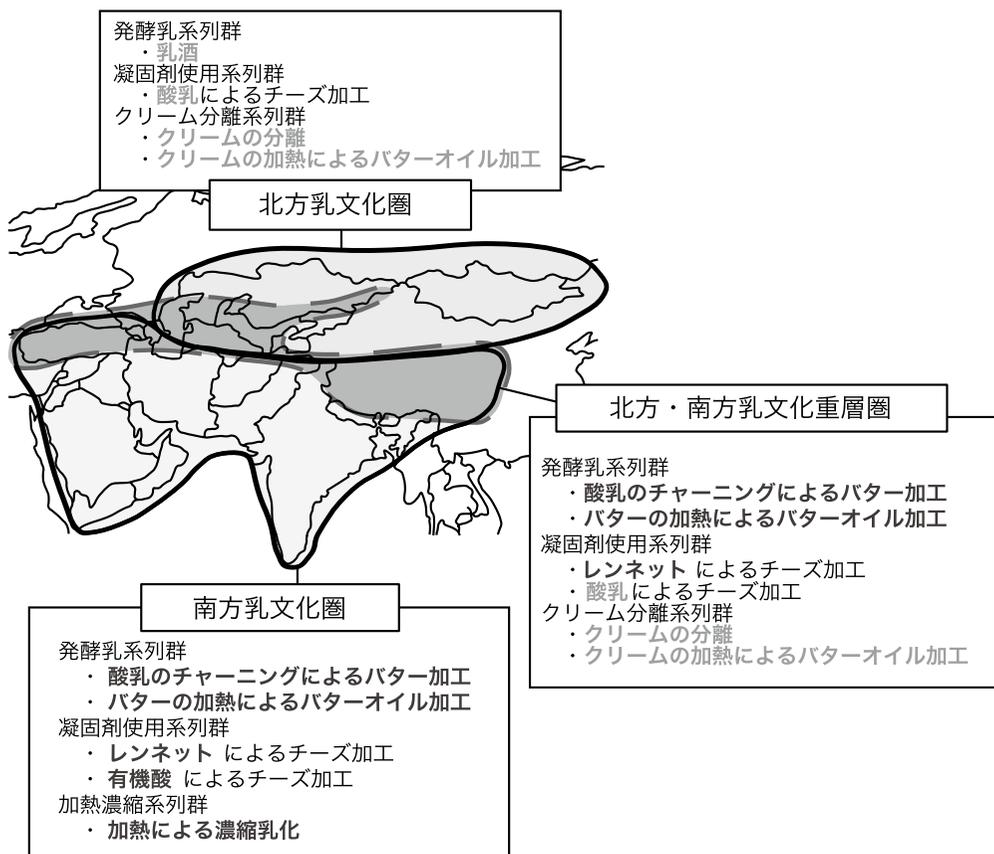


図2 ユーラシア大陸における乳文化圏の一元二極化

人類は約9000年の年月をかけて、北方乳文化圏、南方乳文化圏、北方・南方乳文化重層圏を形成させた（出典：平田（2008）より改変）

のことである。牧畜民は生乳を先ず酸乳にしてから、バター加工やチーズ加工を展開させている。また、ウマの生乳などをアルコール発酵させて乳酒をつくり、乳酒からバター、蒸留酒、チーズを加工している。このように、生乳を最初に発酵乳として、その後の乳加工が展開する系列を発酵乳系列群の乳加工技術として分類するのである。なお、中尾はこの系列を酸乳系列群としている。しかし、畜産学では、乳酸発酵を主体とした酸乳とアルコール発酵を主体としたアルコール発酵乳を合わせて発酵乳と総称している。中尾が提示した酸乳系列群の概念にはアルコール発酵の乳加工を含んでいるため、中尾の酸乳系列群を発酵乳系列群と呼び改めて筆者は使用することにしている。2) クリーム分離系列群は、最初にクリームを分離し、クリームやスキムミルクからバターオイルやチーズへの加工が展開してゆく系列群である。中尾の定義では、全乳を非加熱のまま静置し、脂肪分を上層に浮上させてクリームを分離する方法としている。しかし、牧畜民の乳加工を広く観察すると、全乳を加熱処理してからクリームを得る

加工も積極的におこなっている。つまり、クリーム分離系列群には、非加熱のまま生乳からクリームを収集する加工系列（非加熱クリーム分離亜系列）と、加熱してから生乳からクリームを収集する加工系列（加熱クリーム分離亜系列）とがあることになる。3) 凝固剤使用系列群とは、生乳に最初に凝固剤を加える系列群である。凝固剤には、反芻動物胃由来のレンネット、酸乳、植物由来の凝乳酵素や有機酸がある。レンネットを添加する場合、生乳の酸乳化を伴っていることが多い。北方の牧畜民は、レンネットを用いず、酸乳を添加して生乳を凝固させていることが多い。このように、生乳に何らかの凝固剤を加えて乳加工を展開させているのが、凝固剤使用系列群である。4) 加熱濃縮系列群とは、全乳を加熱して濃縮する加工系列群である。インドでみられる全乳を煮つめてつくるキールやコア、砂糖を付加しているが、日本のコンデンスミルクはこの系列群に入ることになる。以後、この中尾の系列群モデルを利用して、説明を加えていくことにしたい。

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

- 1) 石毛直道編, 1973.『世界の食事文化』ドメス出版.
- 2) 梅棹忠夫, 1967.『狩猟と遊牧の世界』講談社.
- 3) 亀高正夫・堀口雅昭・石橋晃・古谷修, 1979.「エネルギー利用効率」『基礎家畜飼養学』養賢堂, 133-139 頁.
- 4) 福井勝義, 1987.「牧畜社会へのアプローチと課題」福井勝義・谷泰編『牧畜文化の原像—生態・社会・歴史』日本放送出版協会, 3-60 頁.
- 5) 中尾佐助, 1992.「乳食文化の系譜」雪印乳業株式会社健康生活研究所編『乳利用の民族誌』中央法規出版株式会社, 267-293 頁.
- 6) 中尾佐助, 1972.『料理の起源』日本放送出版協会.
- 7) 平田昌弘.「インド北部ラダック高地山岳地帯の移牧民の生業構造—ドムカル村における食料摂取の視座から—」『ヒマラヤ学誌』11: 61-77 頁.
- 8) 平田昌弘, 2009.「生業としての牧畜論」日本沙漠学会編『沙漠の事典』丸善, 75 頁.
- 9) 平田昌弘, 2009.「乳利用と牧畜」日本沙漠学会編『沙漠の事典』丸善, 77 頁.
- 10) 平田昌弘, 2009.「牧畜の起原」日本沙漠学会編『沙漠の事典』丸善, 78 頁.
- 11) 平田昌弘, 2008.「アジア大陸における乳文化圏と発酵乳加工発達史」石毛直道編著『世界の発酵乳』はる書房社, 174-197 頁.
- 12) 三宅裕, 1999.「The Walking Account: 歩く預金口座—西アジアにおける家畜と乳製品の開発」常木晃編

『食糧生産社会の考古学』朝倉書店，50-71 頁．

- 13) 山内昶，1994.『経済人類学への招待』ちくま親書．
- 14) Coughenour, M. B., Ellis, J. E., Swift, D. M., Coppock, D. L., Galvin, K., McCabe, J. T. and Hart, T. C., 1985. Energy extraction and use in a nomadic pastoral ecosystem. *Science*, **230** : 619-625.
- 15) Evershed, R.P., Payne, S., Sherratt, A.G., Copley, M.S., Coolidge, J., Urem-Kotsu, D., Kotsakis, K., Özdo an, M., Özdo an, A. E., Nieuwenhuysse, O., Akkermans, P.M.M.G., Bailey, D., Andeescu, R., Campbell, S., Farid, S., Hodder, I., Yalman, N., Özba aran, M., Bıçakcı, E., Garfinkel, Y., Levy, T. and Burton, M.M., 2008. Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding. *Nature*, **455** : 528-1481.

注) 本稿は，2009 年に刊行された日本沙漠学会編『沙漠の事典』に掲載された「生業としての牧畜論」「乳利用と牧畜」「牧畜の起原」，および，2008 年に刊行された石毛直道編著『世界の発酵乳』に掲載された「アジア大陸における乳文化圏と発酵乳加工発達史」をもとに，大きく加筆・修正したものである。



シリアの牧童たち

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

ニューフードインダストリー 第53巻 第1号

印刷 平成 22 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 村松 右一

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

印刷所 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