

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2011 Vol.53 No.5

5

論 説

- ヤマブドウ搾りかす抽出物の抗糖尿病作用
- クマイザサ葉のフラボン配糖体とその抗酸化活性
- アルツハイマー病を予防するコーヒーの薬理学
- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (1)
— 広東住血線虫の感染源となりうるもの (ノート)
- 記憶を失くさせた貝の毒 (ドウモイ酸)
— 有毒プランクトンを摂取したムラサキイガイによる —
- 中鎖脂肪酸含有油脂のもつ優れた食品機能特性
— パン生地に対する効果 —
- 沖縄食文化における“きのこ”
- 新潟県がリードする食品への高圧処理技術
- — 地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索 —
納豆の持つ抗酸化作用と生理機能
- エチレンプロピレンゴムへの次亜塩素酸の浸透とその劣化作用

連載 ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

- 第5回 南アジア—インドの牧畜民の事例

フランス チーズ事情 4

- サントモール・ド・トゥーレーヌ

- 会告 第9回 Pangborn Sensory Science Symposium
第15回 腸内細菌学会(設立30周年記念大会)



論 説

- ヤマブドウ搾りかす抽出物の抗糖尿病作用
..... 長澤 孝志, 澤井 秀幸, 小浜 恵子 1

- クマイザサ葉のフラボン配糖体とその抗酸化活性
..... 松田 友彦 7

- アルツハイマー病を予防するコーヒーの薬理学
..... 岡 希太郎 14

- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (1)
一 広東住血線虫の感染源となりうるもの (ノート)
..... 牧 純 23

- 記憶を失くさせた貝の毒 (ドウモイ酸)
一 有毒プランクトンを摂取したムラサキイガイによる一
..... 村上 りつ子, 野口 玉雄 27

- 中鎖脂肪酸含有油脂のもつ優れた食品機能特性
一 パン生地に対する効果一
..... 豊崎 俊幸, 笠井 通雄 33

- 沖縄食文化における “きのこ”
..... 寺嶋 芳江 39

- 新潟県がリードする食品への高圧処理技術
..... 鈴木 敦士 47

Contents

2011 年 5 月号

- ☐ 一地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索—
納豆の持つ抗酸化作用と生理機能

..... 岩井 邦久 57

- ☐ エチレンプロピレングムへの次亜塩素酸の浸透とその劣化作用

..... 福崎 智司 68

連載 ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

- ☐ 第 5 回 南アジア・インドの牧畜民の事例

..... 平田 昌弘 75

フランス チーズ事情 4

- ☐ サントモール・ド・トゥーレーヌ

..... 清田 麻衣 82

会 告

第 9 回 Pangborn Sensory Science Symposium

..... 92

第 15 回 腸内細菌学会 (設立 30 周年記念大会)

..... 94

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料
コクベース

new 発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン & 小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

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

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

ヤマブドウ搾りかす抽出物の抗糖尿病作用

長澤 孝志^{*1} 澤井 秀幸^{*2} 小浜 恵子^{*3}

^{*1} NAGASAWA Takashi, ^{*2} SAWAI Hideyuki (岩手大学 農学部)

^{*3} KOHAMA Keiko (地方独立行政法人 岩手県工業技術センター)

Key Words：糖尿病・グリケーション・ポリフェノール・ヤマブドウ

はじめに

2009年現在、国際糖尿病連合の調査によると全世界の糖尿病患者数は2億8,500万人と報告されており、2006年の発表から3年で約4,000万人も増加しさらに増える可能性が強く指摘されている。わが国においても食や生活の欧米化に伴い糖尿病患者数は増加傾向にある。厚生労働省の国民健康・栄養調査によると糖尿病が強く疑われる人は890万人、可能性が否定できない人を合わせると2,210万人と推定されている。平成9年の調査では1,370万人であったので、10年間で1.5倍以上の患者数の増加があったことになる。

糖尿病は高血圧、脂質異常症とならぶ代表的な生活習慣病である。血糖値を低下させるホルモンであるインスリンの作用不全による疾病であり、その原因はインスリン生産細胞である膵臓β細胞数の減少による1型糖尿病と、過剰なエネルギー摂取や運動不足などが複合的に作用してインスリン標的組織においてインスリンが作用しないインスリン抵抗性を起こす2型糖尿病があり、後者の患者数の増加が大きな問題となっている。

糖尿病においては、血糖値の増加により誘発される合併症も問題となる。糖尿病性網膜症、

糖尿病性腎症（腎不全）および糖尿病性末梢神経障害（ニューロパチー）を三大合併症と呼ぶが、これらは失明や透析など患者の生活の質（QOL）を著しく低下させる。したがって、合併症を誘発しないように血糖値をコントロールすることが糖尿病の治療では重要である。これらの合併症の原因の一つとして、タンパク質の非酵素的糖化反応（グリケーション）がある。食品化学の分野で知られる還元糖とタンパク質やアミノ酸のアミノ基の間でおこる褐変反応であるMaillard反応が、生体内においても起きていることを糖化ヘモグロビンの存在から示され、さらにその結果生成した蛍光物質の蓄積も糖尿病患者で増加することが1980年代に明らかにされた¹⁾。

グリケーションは大きく分けて前期、中期、後期段階があり（図1）、前期段階により生成した Schiff塩基が、中期段階でアマドリ転移生成物となる。さらにこれらから非可逆的に酸化、脱水、縮合、開裂などの反応を経て、褐色、蛍光、架橋形成などの特徴をもつグリケーション後期段階生成物（AGE）が生成し蓄積される。これらの一連の反応では活性酸素の発生とそれによる反応の進行が起こる。グリケーションを抑制する物質としてはアミノグアニジンが知られ

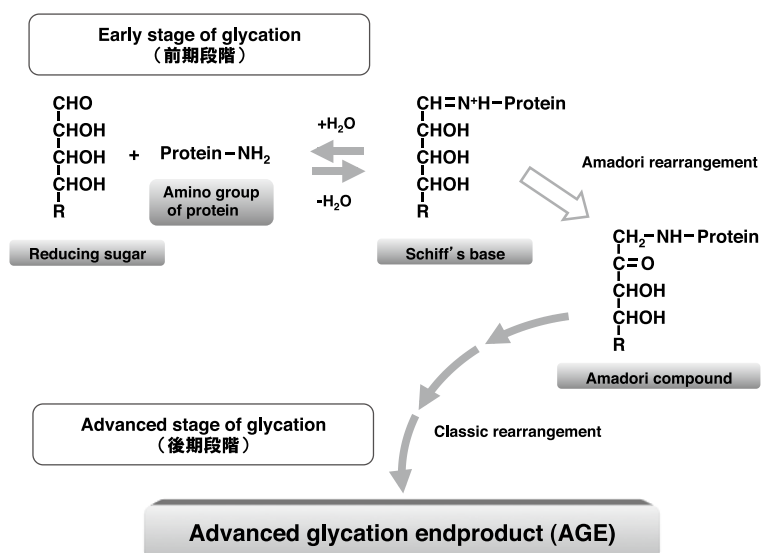


図1 グリケーションの概略

ているが、副作用のため臨床的には使用されていない。グリケーションに活性酸素がかかわることから、抗酸化物質によるグリケーションの抑制などが報告されている^{2,3)}。私たちは、ソバなどに多く含まれるルチンにグリケーション抑制活性があることを見いだした^{4,5)}。ポリフェノールは代表的な食事由来の抗酸化物質であることから、それらにグリケーションを抑制する作用がある可能性が考えられる。

ヤマブドウ (*Vitis coignetiae* Pulliat) は、一般的なブドウと異なり日本に自生する固有の種である。ヤマブドウ果実は種子が大きく、実と皮の分離も難しいことから生食よりも果汁などの加工食品として利用されてきた。全国ヤマブドウの生産量の60%は岩手県で生産されており、現在300t程度が生産されている。ヤマブドウ果汁は酸味が強いが、酒石酸とリンゴ酸が豊富に含まれるためである。また、ポリフェノールが2g/L程度含まれており、これはブドウ果汁に比べ数倍の含有量である。このようなことから、ヤマブドウ果汁は健康飲料として、あるいはワインとして利用されているが、全国的な

認知度は低いのが現状である。

私たちは、ヤマブドウ果汁の搾汁率が50-60%と低く、搾りかすが大量に廃棄されていることから、搾りかすをポリフェノール素材として利用できないか検討を行ってきた。興味深いことに、搾りかすから熱水でかなり高濃度のポリフェノールを抽出することができると明らかになった⁶⁾。これはヤマブドウの搾りかすに含まれる種子や皮に果汁では抽出しきれなかったポリフェノールが多量に存在するためと考えられる。そこで本研究では、ヤマブドウ搾りかすの熱水抽出物の抗糖尿病作用について検討を行った。

1. 実験方法

ヤマブドウの果汁(葛巻高原食品加工株式会社)の製造で残る搾りかすに70~100℃の熱水を加え1時間抽出し、遠心分離上清をろ過したろ液を凍結乾燥することにより得た。このヤマブドウ搾りかす抽出物のポリフェノール含量は、Folin-Denis法によりD-(+)-カテキンを標

準物質として求めた。

In vitro の AGE 生成抑制は、牛血清アルブミン (BSA) とフルクトースをインキュベーションして生成する AGE の生成阻害から評価した⁴⁾。BSA とフルクトースをそれぞれ 20 mg/mL, 500 mM となるように 200 mM リン酸カリウム緩衝液 (pH7.4) に溶解し、それにヤマブドウ搾りかす抽出物を 0.1 から 1 mg/mL になるように加えた。また、アミノグアニジン塩酸塩を 10 から 100 μ M になるように加えた。各試験物質を添加した BSA-フルクトース溶液を 37℃ で 5 日間インキュベーションし、インキュベーション終了後、終濃度が 10% になるようにトリクロロ酢酸を加えてタンパク質を沈殿させて反応を停止した。遠心分離により得られた沈殿をリン酸カリウム緩衝液に溶解し、AGE 測定の試料とした。

AGE はウエスタンブロットにより解析した⁴⁾。試料のタンパク質濃度を測定した後に、10% アクリルアミドゲルを用いた SDS- ポリアクリルアミドゲル電気泳動によりタンパク質を分離した。泳動終了後、ニトロセルロース膜に転写し、次いでスキムミルク懸濁液で一晩ブロッッキング処理した。ブロッッキング後ニトロセルロース膜を洗浄してから抗 AGE 抗体 (株式会社トランスジェニック, 熊本) と反応させた。洗浄後、抗マウス IgG 抗体と反応させ、ECL 試薬 (GE ヘルスケア・ジャパン株式会社, 東京) と反応させて X 線フィルムに感光させた。

In vivo の AGE 生成抑制効果は、ヤマブドウ搾りかす抽出物を摂取したストレプトゾトシン誘発糖尿病ラットを用いて検討した⁵⁾。5 週齢の Wistar 系雄ラット (日本エスエルシー株式会社, 静岡) 22 匹を 3 群に分け、C 群と DC 群には AIN-93G 組成に基づいた 20% カゼイン飼料を給与し、DV 群には 20% カゼイン飼料にヤマブドウ搾りかす抽出物を 2.5% (ポリフェノールとして 0.2%) となるように添加した飼料を

給与した。飼料給与 5 日後に DC 群と DV 群のラットにはストレプトゾトシン (STZ) を体重 100 g 当たり 50 mg 尾静脈より投与した。STZ 投与 30 日後にラットをジエチルエーテルで麻酔してと殺し、血液、肝臓、腎臓を得た。

血糖値はグルコース CII- テストワコー (和光純薬株式会社, 大阪) を用いて測定した。肝臓、腎臓の AGE は、PBS でホモジナイズした組織を抗 AGE 抗体あるいは抗ペントシジン抗体 (株式会社トランスジェニック, 熊本) を用いた上記と同様のウエスタンブロットにより解析した。肝臓の 3- デオキシグルコソンは、肝臓の可溶性画分を 2,3- ジアミノナフタレン (株式会社同仁化学研究所) と反応させて生じた 3- デオキシグルコソンの蛍光誘導体を HPLC で分離、定量した⁷⁾。HPLC のカラムは LiChrosphere 100RP18e (4.6 x 250 mm) (Merck, Germany) を用い、50 mM リン酸ナトリウム緩衝液とアセトニトリル、メタノールのグラディエント溶出 (1 mL/min) を行い、励起波長 271 nm, 蛍光波長 503 nm で検出した。

2. 結果

凍結乾燥したヤマブドウ搾りかす抽出物のポリフェノール含量は 78 mg/g であった。架橋性の AGE では蛍光を発するので^{1,8)}, BSA とフルクトースをインキュベーションして生成した蛍光を測定したところ (励起波長 350 nm, 蛍光波長 425 nm), ヤマブドウ搾りかす抽出物では 1 mg/mL の濃度で 50% 程度の蛍光の減少が認められたが、アミノグアニジンでは 1 mM 以上で蛍光の減少が認められた。しかし、この AGE の蛍光は非特異的なものであるため、特異性の高い抗 AGE 抗体を用いたウエスタンブロットで AGE の生成抑制を検討した。図 2 には 69 kDa の AGE のバンドを示した。アミノグアニジンは 100 μ M においても有意な AGE 生

成抑制効果は示さなかったが、ヤマブドウ搾りかす抽出物は 0.1 から 1 mg/mL の濃度で濃度依存的に AGE の生成を抑制した。また、フルクトースとインキュベーションすると表れる 150kDa 以上の AGE のバンドにおいても同様の結果が得られた。以上から、ヤマブドウ搾りかす抽出物のポリフェノールを AGE の生成を抑制する可能性が強く示唆されたので、次に 1 型糖尿病モデルラットを用いた検討を行った。

ストレプトゾトシンは膵臓 β 細胞を破壊することでインスリンの分泌低下を招き、高血糖を

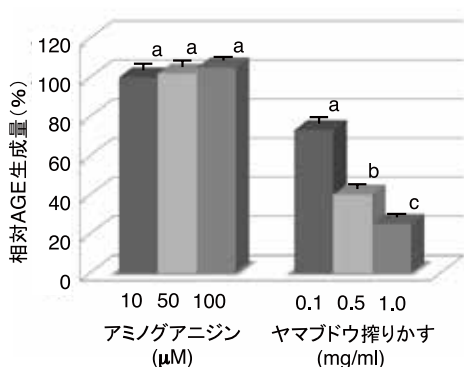


図2 ヤマブドウ搾りかす抽出物の *in vitro* における AGE の生成抑制

値は平均±標準誤差 異なる符号 $p > 0.05$

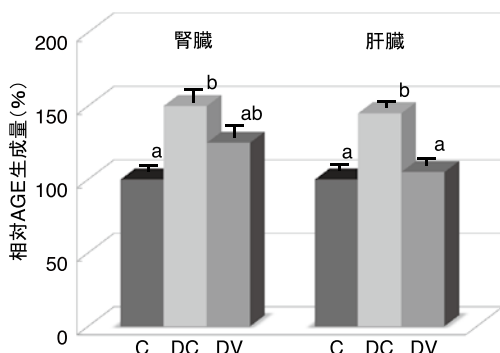


図3 ヤマブドウ搾りかす抽出物の摂取による糖尿病ラットの腎臓と肝臓 AGE の生成抑制

C: 健康ラット, DC: 糖尿病ラット, DV: ヤマブドウ搾りかす抽出物添加食摂取糖尿病ラット
値は平均±標準誤差 異なる符号 $p > 0.05$

誘発させる 1 型糖尿病モデルで使われる試薬である。飼育最終日の血糖値は C 群が 170 mg/dL であったのに対し、糖尿病を誘発させた DC 群では 430 mg/dL に上昇した。ヤマブドウ搾りかす抽出物を摂取させた DV 群の血糖値は 470 mg/dL であり、ヤマブドウ搾りかす抽出物の血糖値低下作用は認められなかった。

腎臓の AGE は 70 kDa のバンドを定量化した (図 3)。DC 群で有意に C 群に対して増加したが、ヤマブドウ搾りかす抽出物を摂取した DV 群では有意な差ではないが低下傾向が示された。その他の AGE のバンドにおいても同様の結果であった (データは示していない)。肝臓の AGE (70 kDa) では、DC 群で 1.5 倍程度の増加が認められたが、DV 群では C 群のレベルまで低下した (図 3)。肝臓においては、低分子の AGE においてより顕著にヤマブドウ搾りかす抽出物の摂取による AGE 生成抑制作用が認められた (データは示していない)。本実験で用いた抗 AGE 抗体は AGE の一つである非架橋性のカルボキシメチルリジンを認識する。架橋性の AGE としてペントシジンの生成もウエスタンブロットで検出したが、抗 AGE 抗体と同様にヤマブドウ搾りかす抽出物の摂取によ

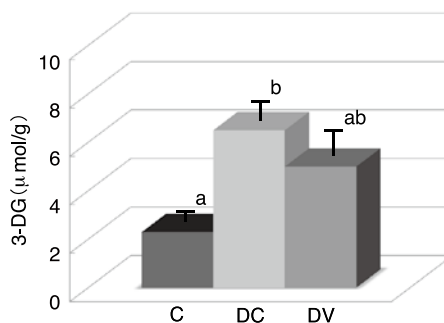


図4 ヤマブドウ搾りかす抽出物の摂取による糖尿病ラット肝臓の 3-デオキシグルコソール (3-DG) 含量

C: 健康ラット, DC: 糖尿病ラット, DV: ヤマブドウ搾りかす抽出物添加食摂取糖尿病ラット
値は平均±標準誤差 異なる符号 $p > 0.05$

り糖尿病で増加した AGE の生成が抑制される傾向が示された。

肝臓の 3- デオキシグルコソン濃度は糖尿病により 3 倍程度に増加したが、ヤマブドウ搾りかす抽出物の摂取で低下する傾向が認められた (図 4)。

3. 考察

ヤマブドウにはリンゴ酸と酒石酸がブドウの 2 ~ 3 倍程度含まれているが、ポリオフェノールも非常に多く含まれているという特徴がある⁶⁾。本実験では搾りかす抽出物を凍結乾燥したものを使用した⁷⁾が、およそ 8% 程度のポリフェノール含量であり、別の実験で測定したヤマブドウ果汁のポリフェノールの 3 倍程度の値であった。最近、ブドウ、柑橘類、ベリー類、リンゴなど多くの果実からポリフェノールが抽出され、その機能性が研究されている。ブドウにおいても果汁より搾りかすである種子から抽出されるポリフェノールの方が量は多く、高い機能性があることが示されている⁹⁾。ヤマブドウ搾りかすのポリフェノールもブドウ種子由来のポリフェノールと同等かそれ以上含まれている。ヤマブドウ搾りかす抽出物は濃い赤紫色をしており、アントシアニンが豊富に含まれるが、Sephadex LH-20 を用いたクロマトグラフィーによる検討から主成分はプロシアニジンであることが示唆されている⁶⁾。

グリケーションは還元糖とアミノ基の反応であるが、反応後期段階においては活性酸素との関係も深い^{2, 3)}。我々は代表的なポリフェノールであるルチンの水溶性誘導体がグリケーションを *in vitro*, *in vivo* で抑制することを認めており^{4, 5)}、ポリフェノールの摂取がグリケーション抑制をできる可能性が考えられた。BSA とフルクトースをインキュベーションする系で、AGE の生成をヤマブドウ搾りかす抽出物が抑

制できた。本実験からはその作用が抗酸化性に基づくかどうかは明確ではないが、少なくとも一部は抗酸化性によるものと考えられる。この阻害効果はアミノグアニジンより強かったが、アミノグアニジンは反応の後期段階に作用する可能性があり¹⁰⁾、単純に効果の比較は難しい。

ストレプトゾトシン誘発糖尿病ラットにおいてもヤマブドウ搾りかす抽出物の摂取は肝臓や腎臓の AGE の生成を抑制したことから、*in vitro* の結果を合わせて考えるとヤマブドウ搾りかすのポリフェノールが AGE の蓄積を抑制した可能性が強く示唆される。一方、ヤマブドウ搾りかす抽出物は血糖値を低下させることはなかったので、アミラーゼやマルターゼなどの消化酵素の阻害や吸収阻害作用はないと考えられる。本実験はインスリンの分泌が著しく低下する 1 型糖尿病モデルで行っている¹¹⁾ので、インスリン抵抗性の改善作用は不明であり、今後 2 型モデルで検討する必要があるだろう。ルチンの AGE 生成抑制作用においては、前期段階 (アマドリ転移生成物) 阻害よりも後期段階に作用するので⁴⁾、ヤマブドウ搾りかすのポリフェノールも、*in vivo* においてはおそらくグリケーション後期段階の反応に作用するものと考えられる。

AGE は還元糖だけではなく、むしろ非常に反応性の高いグリオキザール、メチルグリオキザールおよび 3- デオキシグルコソンのような α - ジカルボニル化合物からの生成が多いと考えられている^{2, 11)}。これらの物質は通常の代謝でも生成するが、糖尿病により亢進するポリオール経路で生成するフルクトースから容易に作られる¹²⁾。本実験において肝臓の 3- デオキシグルコソン含量を測定したところ、糖尿病で顕著に増加し、ヤマブドウ搾りかすの摂取で低下傾向が認められたことから、ヤマブドウ搾りかすポリフェノールが α - ジカルボニル化合物の生成を阻害したことが考えられる。ポリオー

ル経路の律速段階はアルドース還元酵素であり、最近いくつかのフラボノイドにアルドース還元酵素の阻害活性が見いだされている¹³⁾。したがって、ヤマブドウ搾りかすポリフェノールも糖尿病により活性が増加したアルドース還元酵素を阻害することで α -ジカルボニル化合物の生成が減少し、AGEの蓄積が低下した可能性も示唆された。

以上より、ヤマブドウ搾りかす抽出物は抗酸化のおよび α -ジカルボニル化合物生成抑制

を通じて高血糖により増加したAGEの生成を減少させることが示された。さらに長期の摂取で糖尿病合併症の発症を抑制することが考えられ、糖尿病の進展に対して効果的な素材であると考えられる。現在、我々は農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用化技術開発事業」によりヤマブドウ搾りかすからポリフェノール含量の高い素材（エヴィノール：ヤエガキ醗酵技研株式会社）を開発し、その作用を検討している。

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

- 1) Monnier, V. M., Kohn, R. R., and Cerami, A. Accelerated age-related browning of human collagen in diabetes mellitus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **81**: 583-587, 1984.
- 2) Giacco, F, Brownlee, M. Oxidative stress and diabetic complications. *Circ. Res.* **107**: 1058-1070, 2010.
- 3) Singh, R. Barden, A., Mori, T. *et al.* Advanced glycation end-products: a review. *Diabetologia* **44**: 129-146, 2001.
- 4) Nagasawa, T., Tabata, N, Ito, Y. *et al.* Inhibition of glycation reaction in tissue proein incubations by water soluble rutin derivative. *Mol. Cell. Biochem.* **249**: 3-10, 2003.
- 5) Nagasawa, T., Tabata, N, Ito, Y. *et al.* Dietary G-rutin suppresses glycation in tissue proteins of streptozotoin-induced diabetic rats. *Mol. Cell. Biochem.* **252**: 141-147, 2003.
- 6) 長澤孝志, 小浜恵子, 山下和彦: ヤマブドウ機能性成分の新規抽出法による食品素材の開発, 食品工業, **51**(12): 20-25, 2008.
- 7) Yamada, H, Miyata, S., Igaki, N. *et al.* Increase in 3-deoxyglucosone levels in diabetic rat plasma. Specific *in vivo* determination of intermediate in advanced Maillard reaction. *J. Biol. Chem.* **269**: 20275-20280, 1994.
- 8) Birlouez-Aragon, I., Pischetsrieder, M., Leclerc, J. *et al.* Assessment of protein glycation markers in infant formulas. *Food Chem.* **87**: 253-259, 2004.
- 9) Leifert, W. R. and Abeywardena, M. Y. Cardioprotective actions of grape polyphenols. *Nutr. Res.* **28**: 729-737, 2008.
- 10) Thornalley, P. J. Use of aminoguanidine (Pimagedine) to prevent the formation of advanced glycation endproducts *Arch. Biochem. Biophys.* **419**: 31-40, 2003.
- 11) Ramasamy, R., Yan, S. F. and Schmidt, A. M. Methylglyoxal comes of AGE. *Cell* **124**: 258-260, 2006.
- 12) Schalkwijk, C. G., Stehouwer, C. D. and Hinsbergh, V. W. Fructose-mediated non-enzymatic glycation: sweet coupling or bad modification. *Diabetes Metab Res Rev* **20**: 369-82, 2004
- 13) Matsuda, H., Morikawa, T., Toguchida, I. *et al.* Structural requirements of flavonoids and related compounds for aldose reductase inhibitory activity. *Chem. Pharm. Bull.* **50**: 788-795, 2002.

クマイザサ葉のフラボン配糖体と その抗酸化活性

松田 友彦*

*MATSUTA Tomohiko (明海大学歯学部 MPL)

Key Words：クマイザサ・フラボン・C-配糖体・抗酸化活性

はじめに

ササはイネ科のタケ亜科 (*Bambusoideae*) に属し、タケ類のなかでは最も寒冷な地域に適応し、小型化した植物である¹⁾。ササ属は温帯や亜寒帯に分布する植物で、日本を中心とし、サハリン、朝鮮半島および中国に分布する。北海道の林野面積の60～70%には下層植生としてササ植物が自生し、その蓄積量は生重量で1億5千万トンと推定され²⁾、バイオマスとしては他に例を見ないほど大きなものである³⁾。

ササ葉は昔から薬用、抗菌防腐作用があることから食品の包装に利用され⁴⁾、市販ササエキスには、抗菌作用⁵⁾、フリーラジカル消去活性^{6,7)}、アルコール性脂肪肝抑制⁸⁾、糖尿病抑制⁹⁾、食欲増進作用¹⁰⁾、抗腫瘍活性¹¹⁻¹⁴⁾などの機能性¹⁵⁻¹⁷⁾が明らかにされ、そのエキスは機能性食品となっている。

一般に植物には、ポリフェノール類が多く含まれ、ポリフェノール類のなかにフラボノイドがある。フラボノイドは抗酸化性や抗変異原性を示すことが知られている。また、発がんプロモーション抑制作用、がん細胞の増殖抑制やアポトーシス誘導と正常細胞への分化誘導作用、カイトサイン産生の促進と抑制による免疫調整作用、リポキシゲナーゼやシクロオキシゲナー

ゼなどの酵素の阻害作用、コレステロール降下作用、血圧降下作用、紫外線防護作用などの生理機能¹⁸⁻²¹⁾が認められているものもある。これらのなかでフラボノイドの抗酸化性は、生活習慣病予防の関連性から特に重要視されている生理機能である。今回、クマイザサ葉に含まれているフラボノイドの同定と抗酸化活性について評価した。

1. 材料と方法

1-1. クマイザサ葉の抽出およびフラボノイドの精製

クマイザサ葉 (図1) 2 kg にメタノール 18 L 加え、一晚浸漬抽出を行い、得られた抽出液を減圧下で濃縮乾固後、純水 1 L に溶解し、ジエチルエーテル、酢酸エチルを順次加え、分配によりジエチルエーテル可溶部 (54.2 g)、酢酸エチル可溶部 (3.6g) および水可溶部 (61.2 g) を得た。次に Sephadex LH-20 (4 i.d. × 80 cm) を用い、60% メタノールで 25ml ずつ分画し、350 nm による吸収曲線で7つのフラクションに分画した。フラクション No.6 および No.7 については、分取 HPLC による精製を行い、3種のフラボン (1～3) を得た。分取 HPLC は

(A)



(B)



(C)

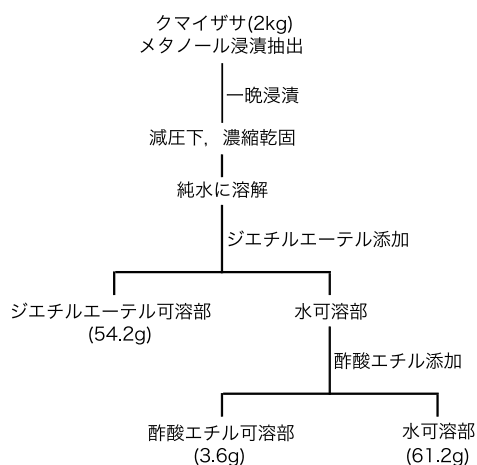


図1 北海道に生育するクマイザサ (*S.senanensis*) と分画方法

Aはカラマツ林床に生育しているクマイザサ。林床内の様な照度の低い場所でも生育し、森林の人口および天然更新の妨げになる。Bはクマイザサの拡大写真。Cはクマイザサの抽出および分画方法。

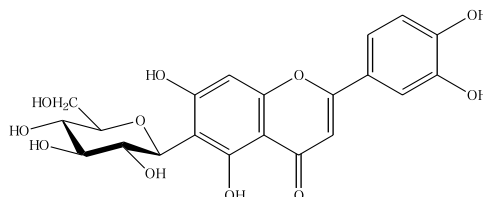
流速 8.0 ml/min, 検出波長 350, 280 nm, カラム (Cadenza 5CD-C18, 21.5 i.d. × 250 mm, intact), 移動相 H₂O : MeOH : HCOOH (70 : 30 : 1) および H₂O : MeOH : HCOOH (75 : 25 : 1) で行った。得られた3種のフラボンは、NMR, MS, 比旋光度および UV-VIS 吸収スペクトルにより同定した。各化合物の構造は図2に示した。

・ Luteolin 6-C-β-D-glucoside (1)

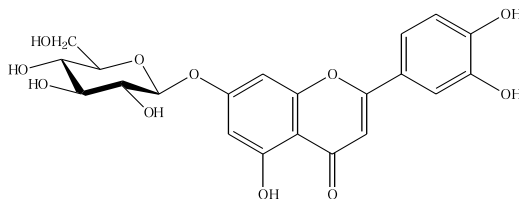
淡黄色の粉末 (14.0mg), $[\alpha]^{25}_D = 30.7^\circ$ ($c = 0.120$, CH₃OH), λ_{max} 348 nm ($\epsilon = 22,200$), 270 nm ($\epsilon = 17,600$) および 258 nm ($\epsilon = 17,400$), m/z 449.109 ($[M+H]^+$, calcd. for C₂₁H₂₁O₁₁, 449.108), 1H-, 13C-NMRの結果を表1に示した。

・ Luteolin 7-O-β-D-glucoside (2)

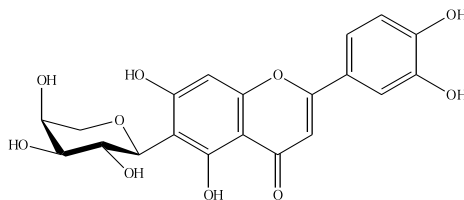
淡黄色の粉末 (0.7mg), $[\alpha]^{25}_D = -81.1^\circ$ ($c = 0.100$, CH₃OH), λ_{max} 346 nm ($\epsilon = 20,500$) および 270 nm ($\epsilon = 18,400$), m/z 449.098 ($[M+H]^+$, calcd. for C₂₁H₂₁O₁₁, 449.108), 1H-, 13C-NMR



Luteolin 6-C-β-D-glucoside (1)



Luteolin 7-O-β-D-glucoside (2)



Luteolin 6-C-α-L-arabinoside (3)

図2 各化合物の構造

の結果を表 1 に示した。

・ Luteolin 6-C- α -L-arabinoside (3)

淡黄色の粉末 (5.8mg), $[\alpha]^{25}_D = 66.0^\circ$ ($c = 0.110$, CH₃OH), λ_{max} 348 nm ($\epsilon = 22,100$), 270 nm ($\epsilon = 17,600$) および 258 nm ($\epsilon = 17,400$), m/z 419.103 ($[M+H]^+$, calcd. for C₂₁H₁₉O₁₀, 419.098), $^1H-$, ^{13}C -NMR の結果を表 1 に示した。

1-2. DPPH ラジカル消去活性

試料 100 μ l に 0.5 mM DPPH ラジカル・メタノール溶液 100 μ l を混合し、すばやく攪拌後、ESR による測定を行った。ESR の測定は、試料混合後、45 秒後に ESR 測定を開始した。消去率は消去率 (%) = (1- サンプル値 / ブランク値) $\times$ 100 として算出し、得られた消去率より検量線を作成し、消去率が 50% になる濃度 (IC₅₀) を求めた。

1-3. SOD 様活性 (スーパーオキシドアニオンラジカル (O₂⁻) 消去活性)

ヒポキサンチンとキサンチンオキシダーゼ (XOD) の反応によるスーパーオキシドアニオンラジカル発生系を用い、SOD 様活性を測定した。

DMPO 15 μ l, 5 mM ヒポキサンチン 50 μ l, 5.5 mM DTPA 35 μ l, 試料 50 μ l, 0.4 U/ml XOD 50 μ l の順に混合し、試料混合後、45 秒後に ESR による測定を行った。消去率は消去率 (%) = (1- サンプル値 / ブランク値) $\times$ 100 として算出し、得られた消去率より検量線を作成し、消去率が 50% になる濃度 (IC₅₀) を求めた。

1- 4. 脂質過酸化抑制能

4% リノール酸メチル・メタノール溶液 10 ml,

表 1 $^1H-$, ^{13}C -NMR のシグナル

Compound 1		Compound 2		Compound 3	
Position	δ H	δ C	δ H	δ C	δ C
2		163.5		164.5	163.7
3	6.61 (s)	102.7	6.72 (s)	103.1	102.7
4		181.6		181.8	181.6
5		160.4		161.1	159.7
6		108.6	6.43 (d, J=1.9Hz)	99.5	108.8
7		162.9		162.9	162.8
8	6.47 (s)	93.4	6.77 (d, J=1.9Hz)	94.7	93.7
9		156.0		156.9	156.1
10		103.3		105.3	103.3
1'		121.4		121.2	121.3
2'	7.40 (d, J=2.4Hz)	113.2	7.40 (d, J=2.4Hz)	113.5	113.2
3'		145.6		145.8	145.6
4'		149.5		150.1	149.5
5'	6.89 (d, J=9.2Hz)	115.9	6.89 (d, J=8.2Hz)	115.9	115.9
6'	7.38 (br.d, J=2.4Hz)	118.7	7.43 (dd, J=2.4, 8.2Hz)	119.1	118.7
1''	4.62 (d, J=9.8Hz)	72.9	5.06 (d, J=7.3Hz)	99.9	73.9
2''	4.01 (dd, J=8.5, 9.8Hz)	70.4	3.25 (dd, J=7.3, 8.7Hz)	73.1	68.5
3''	3.23 (t, J=8.5Hz)	78.7	3.30 (t, J=8.7Hz)	76.4	74.3
4''	3.17 (dd, J=8.5, 9.2Hz)	70.3	3.17 (t, J=8.7Hz)	69.5	68.7
5''	3.18 (dd, J=4.9, 9.2Hz)	81.1	3.44 (br.dd, J=5.8, 8.7Hz)	77.1	70.1
					3.55 (br.d, J=11.6Hz)
6''	3.68 (br.d, J=11.6Hz)	61.3	3.70 (d, J=11.7Hz)	60.6	
	3.45 (dd, J=4.9, 11.6Hz)		3.48 (dd, J=5.8, 11.7Hz)		

測定は DMSO-d₆ を用い、60℃で行った。

0.1M リン酸緩衝液 (pH7.4) 10 ml に試料 1 ml を加え、55℃、48 時間加熱し、過酸化脂質を生成させ、試料油脂を作成した。

作成した試料油脂は、日本油脂学会による酸化油脂中の過氧化物価測定法 (POV 検定) と Bugeg and Aust 法²²⁾ (チオバピツール酸 (TBA) 比色法) にて評価した。

2. クマイザサ葉の抗酸化活性 (DPPH ラジカル消去活性, SOD 様活性)

クマイザサ 1 g 相当の水可溶部、酢酸エチル可溶部およびジエチルエーテル可溶部の抗酸化活性を測定した。DPPH ラジカル消去活性は、水可溶部および酢酸エチル可溶部は、ジエチルエーテル可溶部より高い消去活性を示した。特に水可溶部は 67.3% と高い消去活性を示した (図 3)。SOD 様活性は、水可溶部および酢酸エチル可溶部は、ジエチルエーテル可溶部より高い消去活性を示した。水可溶部は 30.7%, 酢酸エチル可溶部は 31.3% の消去率であった (図 3)。

3. クマイザサ葉の脂質過酸化抑制能

POV 検定および TBA 比色法は、コントロールを 0 とした時の相対値で示した。POV 検定

では、水可溶部 (48.4) に最も高い効果が見られた。先の DPPH ラジカル消去活性および SOD 様活性が低かったジエチルエーテル可溶部に酢酸エチル可溶部より高い効果が見られた (図 4)。TBA 比色法においても水可溶部 (27.8) が最も高い効果が見られた (図 4)。

4. フラボン配糖体の DPPH ラジカル消去活性

クマイザサから単離・同定した 3 種のフラボン配糖体 (1-3) について DPPH ラジカル消去活性を行った (図 5)。化合物 1 (33.3 μM) に強い DPPH ラジカル消去活性が見られ、その活性はポジティブコントロールの quercetin (38.5 μM) およびアグリコンの luteolin (53.1 μM) より強かった。また、結合糖が同じグルコースである化合物 2 (55.0 μM) より C-配糖体である化合物 1 の DPPH ラジカル消去活性が強かった。

5. フラボン配糖体の SOD 様活性

フラボン配糖体 (1-3) について SOD 様活性を行った。DPPH ラジカル消去活性と同様に化合物 1 (17.8 μM) に強い活性が見られた (図 5)。この活性の強さはポジティブコントロールである quercetin (18.9 μM) とほぼ同程度の強さで

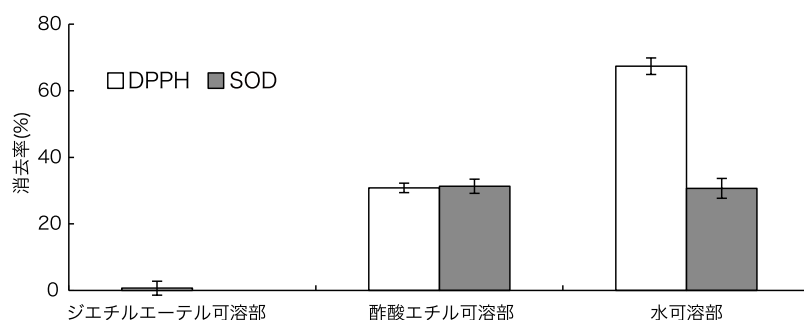


図 3 クマイザサ葉抽出液の抗酸化活性 (DPPH ラジカル消去活性および SOD 様活性)

各可溶部はクマイザサ 1 g/100 ml 濃度に調製した。消去率はコントロールに対する百分率 (%) で表わした。各値は、平均値 $\pm$ S.D. (n=3) を表す。

あった。また、化合物 3 ($23.3 \mu\text{M}$) にも強い SOD 様活性が見られたが、O- 配糖体である化合物 2 ($38.0 \mu\text{M}$) はアグリコンである luteolin ($33.2 \mu\text{M}$) とほぼ同程度の強さであり、C- 配糖体である化合物 1 および 2 に強い SOD 様活性が見られた。

おわりに

クマイザサ葉抽出液の抗酸化活性について評価した。DPPH ラジカル消去活性および SOD

様活性は水可溶部および酢酸エチル可溶部に強い活性が見られ、これら活性を示すクマイザサ葉の成分は、水溶性および酢酸エチルに可溶な中間極性成分が関与していることが示唆された。また、脂質過酸化抑制能においても水可溶部が最も強い効果が見られ、クマイザサ葉の水溶性成分は、水溶性および脂溶性の抗酸化活性に関与していることが示唆された。

クマイザサ葉より 3 種のフラボン配糖体を精製し、全て luteolin 配糖体であった。得られた

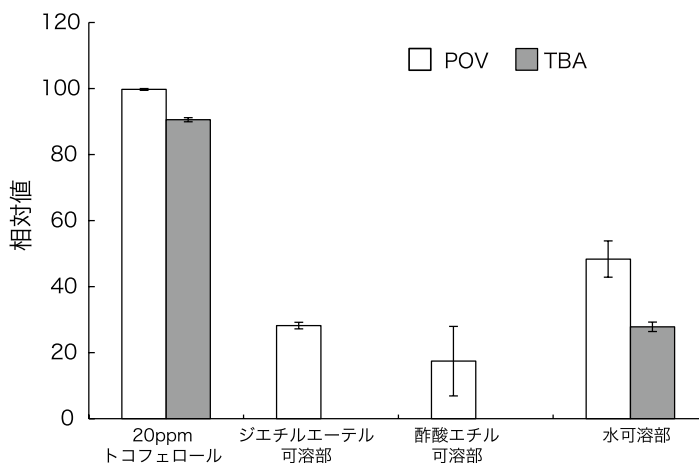


図 4 クマイザサ葉抽出液の脂質過酸化抑制能 (POV 検定および TBA 比色法)

各可溶部はクマイザサ 1 g/100 ml 濃度に調製した。コントロールを 0 としたときの相対値で表わした。ポジティブコントロールに 20 ppm トコフェロールを使用した。各値は、平均値 $\pm$ S.D. (n=3) を表す。

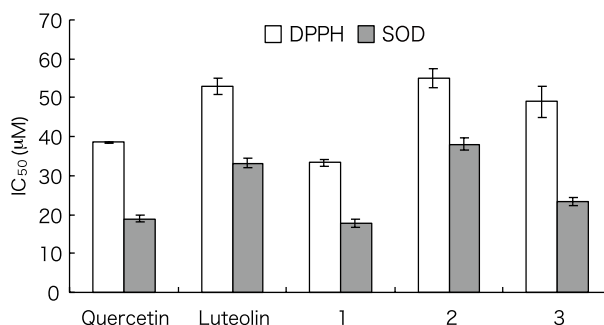


図 5 フラボン配糖体の抗酸化活性 (DPPH ラジカル消去活性および SOD 様活性)

消去率 (%) より IC_{50} (μM) を算出し、値が小さいほど抗酸化活性が強くなる。各値は、平均値 $\pm$ S.D. (n=3) を表す。

luteolin 配糖体の構造は、6 位にアラビノースまたはグルコースが結合した C- 配糖体であった。

フラボン配糖体の抗酸化活性は、C- 配糖体に強い活性が見られ、この活性はアグリコンの luteolin より強かった。フラボノイドの抗酸化活性には、B 環の隣接する水酸基の存在、3 位の水酸基および 2 位と 3 位の共役二重結合が関与することが報告^{23, 24)} され、配糖化による影

響はないと考えられるが、C- 配糖体はアグリコンより強い活性を示した。このことより、結合糖がアグリコンに C- 結合したことにより抗酸化活性が強まることが考えられるが、今後詳細に検討する必要がある。

クマイザサ抽出液の抗酸化剤としての利用やクマイザサを活かした新たな食品利用法などの開発が期待される。

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

- 1) 伊藤浩司編, 北海道の植生, 北海道大学図書刊行会, pp264-266, 1989.
- 2) 速水昭彦, バイオマス ; 生物資源の高度利用, 日本農芸化学編, 日本農芸化学会 ABC シリーズ, **3**, 朝倉書店, 13-14, 1985.
- 3) 津田真由美, 斉藤直人, 関一人, 青山政和, ササの化学組成, 林産試験場報, **9** (3): 1995.
- 4) 堀田満編, 世界有用植物事典, 平凡社, pp1276-1277, 1989
- 5) 太田拓哉, 武藤実, 荳馬裕, 鶴純明, 植物活性蛋白多糖体含浸シルクパッド (シルクパッド®) の創傷治癒効果ならびに抗炎症, 抗菌作用, 新薬と臨床, **49**(8): 31-35, 2000.
- 6) 小松真紀子, 平松緑, クマ笹エキス (ササヘルス) のフリーラジカル消去作用について, 基礎と臨床, **31**(11): 3321-3324, 1997.
- 7) Yu Zhang, Xiaowei Tie, Bili Bao, Xiaoqin Wu and Ying Zhang, Metabolism of flavone C-glucosides and p-coumaric acid from antioxidant of bamboo leaves (AOB) in rats, *British Journal of Nutrition*, **97**: 484-494, 2007.
- 8) 駒井一雄, 田中正則, 佐々木大輔, 吉田豊, ラットアルコール性脂肪肝に対する笹エキスの効果, 医学と薬学, **29**(2): 387-389, 1993.
- 9) 菅野裕子, 津田誠, 三澤美和, 柳浦才三, 糖尿病患者におけるクマ笹エキスの効果, *Proc. Hoshi. Univ.*, **36**: 25-38, 1994.
- 10) 久保山昇, 藤井彰, 大熊一雄, 田村豊幸, 熊笹葉エキス (BLE) の食欲増進作用に関する研究, 薬理と治療, **11**(6): 43-53, 1983.
- 11) 柴田丸, 山竹美和, 坂本満夫, 金森政人, 高木敬次郎, 岡部進, クマ笹の薬理学的研究 (第 1 報) クマ笹水可溶分画 (Folin) の急性毒性ならびに抗炎症, 抗潰瘍作用, 日薬理誌, **71**: 481-490, 1975.
- 12) 久保山昇, 藤井彰, 田村豊幸, 熊笹葉エキス (Bamboo Leaf Extracts) の抗腫瘍に関する研究, 日薬理誌, **77**: 579-596, 1981.
- 13) 遠藤宣子, 小野川傑, 金森政人, 笹抽出物の宿主の非特異的生体防御能賦活作用の検討, 杏林医学会誌, **25**(2): 207-213, 1994.
- 14) 岡崎雅子, 辻まゆみ, 山崎由香子, 上田結子, 岩井信市, 坂本博美, 徳永晋, 小口勝司, クマ笹抽出液 (鉄クロロフィリン Na 置換抽出液および銅クロロフィリン Na 置換抽出液) のラット腹腔滲出細胞のヒスタミン遊離に対する影響, 昭和医学会誌, **59**(4): 459-467, 1999.
- 15) 柴田丸, 久保恭子, 小野田真, クマ笹の薬理学的研究 (第 2 報) クマ笹水可溶分画 (Folin) の中枢抑制作用および毒物解毒作用, 日薬理誌, **72**: 531-541, 1976.
- 16) 柴田丸, 久保恭子, 小野田真, クマザサの薬理学的研究 (第 3 報) クマザサ水可溶分画の循環器ならびに摘出臓器に対する作用, 薬学雑誌, **98**(10): 1436-1440, 1978.
- 17) 柴田丸, 藤井三映子, 山口良二, クマザサの薬学的研究 (第 4 報) クマザサ抽出液 (FIII) の急性毒性および薬理作用, 薬学雑誌, **99**(6): 663-668, 1979.
- 18) 國実秀和, 上田浩史, 山崎正利, 食細胞を活性化させる植物性成分の検索 ; フラボノイドによる TNF 産生誘導, 薬学雑誌, **115**: 749-755, 1995.
- 19) Akira Murakami, Hajime Ohigashi and Koichi Koshimizu, Anti-tumor promotion with food phytochemicals: a

strategy for cancer chemoprevention, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **60**: 1-8, 1996.

- 20) 越智宏倫, 食品がん予防, 食品工業, **39**(2): 16-31, 1996.
- 21) 津志田藤二郎, 動物培養細胞による青果実の機能性評価, 日本食品科学工学会誌, **44**: 607-614, 1997.
- 22) 福沢健治, 寺尾純二, 脂質過酸化実験法, 廣川書店, 1990.
- 23) Rice-Evans C. A., Miller N. J. and Paganga G., Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids, *Free Radical Biology & Medicine*, **20**: 933-956, 1996.
- 24) Rayyan S., Fossen T., Solheim Nateland H. and Andersen Ø. M., Isolation and Identification of Flavonoids, including flavone rotamers, from the herbal drug 'crataegi folium cum flore' (hawthorn), *Phytochem. Anal.*, **16**: 334-341, 2005.

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

アルツハイマー病を予防するコーヒーの薬理学

岡 希太郎 *¹ 都筑 幹夫 *²

*¹ *Oka Kitaro*, *² *Tsuzuki Mikio* (東京薬科大学生命科学部)

Key Words：コーヒー・アルツハイマー病・カフェイン・クロロゲン酸

はじめに

アルツハイマー病 (AD) は治療満足度が最も低い病気で、薬剤の貢献度は最下位という現状である (医薬産業政策研究所 2010)。近年の疫学調査によれば、遺伝的素因を除くリスク因子は喫煙、肥満、高血圧、高脂血症、糖尿病などの血管病変である¹⁾。これを受けて、AD を生活習慣病とする傾向が生じたが、生活改善についての前向きな議論は少ない。

コーヒー飲用と AD リスクの疫学調査はまだ少数で、信頼できるメタ解析には至っていない。しかし、どの論文もコーヒーによるリスク軽減 (平均 $RR = 0.65$) を認めているという点で、他の痴呆症とは違っている²⁾。この数値は、AD の薬物治療成績より遥かに優れているから、これがコーヒーの AD 予防効果に通じるならば、医療におけるコーヒーの意義は計り知れない。

1. 創薬の現状と食品への期待

AD の原因は 3 つ考えられている。遺伝的要因、老化現象、及び環境因子である。AD 治療薬は日本で開発されたアリセプト (エーザイ) である。この薬は、脳のアセチルコリンの分解

を抑えて、M1 型コリン作動性を活性化する対症療法薬であり、原因のどれかを消去するというものではない。

AD の病理学的特徴は何と言っても脳に生じる老人斑 (プラーク) である。脳細胞の膜にあるアミロイド前駆体タンパク質 (APP) が、酵素セクレターゼで断片化するとアミロイド β タンパク質 ($A\beta$) に変化する (図 1)。正常な $A\beta$ は可溶化して細胞膜を離れるが、何らかの理由で変性し、多重化して沈着すると老人斑を形成する。いわゆる $A\beta$ 仮説とは、脳組織に沈着した $A\beta$ が脳組織を破壊するとの創薬志向の仮説である。仮説を立証するかのように、 $A\beta$ を中和する抗体薬や、セクレターゼ阻害薬の試験が世界的規模で行われたが、ことごとく失敗に終わっている。そのため $A\beta$ 仮説そのものに疑念を抱く研究者も現われたほどである。では、本来可溶性の $A\beta$ を多重化して不溶化させる原因は何なのか。その探求なくして AD 予防も治療も不可能なはずである。

$A\beta$ の変性と多重化を刺激する物質について、俗に活性酸素と言われる以外、研究例はほとんどない。疫学調査から推測すれば、脳血流量の減少が AD 発症と関連しているように思える³⁾。詳細は兎も角として、生活習慣病が AD リスク

いたり、 Ca^{2+} チャンネルが機能を失って、細胞外の大量の Ca^{2+} が細胞内に侵入してくる。こうして Ca^{2+} バランスが崩れると、小胞体やミトコンドリアの機能が失われ、やがて細胞は死に至る。ここで AD に特徴的な現象は、細胞内で増えた Ca^{2+} が $\text{A}\beta$ の多重化を促進するという悪循環の発生である。こうして AD 病態は修復されることなく増悪して行く。

実は AD 患者のカルシウム濃度異常は以前から知られていた。AD 患者の臨床症状は日暮れから夜間にかけて悪化する傾向にあるが、これは組織内 Ca^{2+} 濃度の上昇と一致している。健康者では 1:1 万の細胞内外の濃度差が、AD ではずっと小さくなっている。通常、細胞内の Ca^{2+} は小胞体 (ER) に備蓄され、細胞外 Ca^{2+} の僅かな流入が刺激となって、リアノジン受容体 (RyR) を通ってプラズマ中に放出される (図 1)。カフェインは Ca^{2+} に代わって RyR アゴニストとして作用するので、AD モデルマウスを使ってカフェインの影響が調べられた⁷⁾。25 ~ 25mM のカフェイン単回投与は ER からの Ca^{2+} 放出を促し、細胞内外の濃度差は小さくなった。少なくとも動物の AD モデルでは、RyR は機能を保持していると言える。カフェインはヒトの AD 病態にどのような影響を及ぼすだろうか？

よく考えてみると、この実験のカフェイン投与は 1 回だけである。他にも幾つかの実験があるが、すべて単回投与実験である。ER に貯まっている Ca^{2+} を細胞外に排出して、細胞内外の Ca^{2+} バランスを維持するには、カフェインを連続して投与する必要があるかも知れない。もし何日も続けて投与したらどういう結果になるのか、予測は難しいが、確かめてみる価値がある。カフェインは AD 予防に寄与しているか否か、まだ知見は出揃っていない。

2-1-2. アデノシン A2a 受容体遮断作用

AD と違って運動神経障害が中心のパーキン

ソン病で、カフェインの脳神経保護作用が盛んに研究された。カフェインが脳神経の A2a 受容体を遮断すると、cAMP の濃度が下がって、刺激伝達が緩やかになり、最終的にドーパミン作動性神経が死なずにすむという内容は、ほぼ確立された薬理学である。A2a 受容体は脳の GABA 神経に多いので、AD においてもパーキンソン病と同じように、神経保護作用が働くと考えられる。カフェインとパーキンソン病を扱った総説論文は数多いので、一々掲載は省略する。

2-1-3. ホスホジエステラーゼ阻害作用

カフェインは PDE を非選択的に阻害して、細胞内の cAMP 濃度を上昇させるので、上記の A2a 受容体を介する効果とは逆である。作用は非選択で弱いものなので、コーヒーの AD 予防効果として特記するような情報はない。

2-1-4. 細胞周期への介入

カフェインが細胞周期に介入して、細胞の生死に影響することを利用して、骨肉腫の抗癌剤治療で臨床応用が試みられている (金沢大医整形外科 2010)。ただし、カフェイン投与量としては、コーヒー 30 ~ 50 杯分に相当する圧倒的大量を用いるので、他への応用は困難である。

2-1-5. $\text{TNF}\alpha$ 産生抑制作用と血液脳関門保護作用

少なくとも高コレステロール食で飼育したウサギの AD モデルでは、血液脳関門 (BBB) が傷害を受けている。そのため末梢血管から投与した $\text{TNF}\alpha$ が脳に移行して神経を傷害することが明らかになった⁸⁾。同じウサギの AD モデルで、カフェインの連日投与が BBB 崩壊を予防することも示された⁹⁾。連用したカフェインの量は 1 日 3 mg で、ヒトの場合に体重換算すると、多くとも 100 mg/50 kg で、レギュラーコーヒー 1 杯相当量であった。

小規模ではあるが、市販されている抗 $\text{TNF}\alpha$ 受容体抗体エタネルセプトTM の AD 臨床試験

がある¹⁰⁾。エタネルセプトTM25～50mg/1回/週を脊髄液経由で12名のAD患者に投与した。6ヶ月後の判定で、神経シナプスの損傷が抑制され、言語障害や失語症の進行が抑えられ、場合によっては改善していた。

さらに別の実験では、ヒトに投与したカフェインが血中TNF α 濃度を下げていた¹¹⁾。また、マウスに細胞毒を投与するとき、予めカフェインで前処理しておく、TNF α の上昇が起らなかった¹²⁾。これらの実験事実に加えて、前記したコーヒーとADリスクの負の相関関係²⁾は、カフェインが脂肪組織でのTNF α 産生を抑え、生活習慣病に起因する血管病変からBBBを保護し、TNF α の脳内移行を阻止して、AD発症を未然に予防すると考えられる。

2-2. クロロゲン酸

コーヒー生豆にはカフェインを上回る量のクロロゲン酸が含まれている。クロロゲン酸はそのまま吸収されず、ほとんどはカフェ酸とフェルラ酸に分解されてから吸収される。どちらもヒドロキシ桂皮酸の仲間で、いわゆるポリフェノールでもある。

2-2-1. 抗酸化作用

カフェ酸もフェルラ酸も活性酸素を消去する抗酸化作用を示し、かつNADPH酸化還元酵素を阻害する。NADPHはミトコンドリアに大量に分布しているので、身体中どここの細胞も活性酸素を作っている。この酵素が関係した身近な身体の障害は痛風・高尿酸血症で、治療薬アロプリノールと同様に、カフェ酸もフェルラ酸もNADPHキサンチンオキシダーゼ阻害物質である¹³⁾。つまりクロロゲン酸は活性酸素の生成を抑えるとともに、できてしまった活性酸素を消去するという2つの経路で抗酸化物質なのである。ADの病態形成には活性酸素が関与しているので、抗酸化物質を用いる臨床試験が数多く試されている。しかし、残念ながら認知力の

回復を認めるような成果は出てこないのが現状である¹⁴⁾。一旦発症したADに対して、コーヒーのポリフェノールはほとんど無力で、あくまでも予防効果に限って期待すべきなのであろう。

2-2-2. エピゲノム化の抑制

カフェ酸はカテコールと呼ばれる化学構造をもっている、カテコール-O-メチル基転移酵素(COMT)でメチル化される。この性質を利用して医薬品コムタンTMが開発され、日本では2007年からパーキンソン病治療薬として売られている。コムタンTMを飲んだ患者では、ドパミンという神経伝達物質と酵素競合が起るので、神経伝達物質の無駄が省けて、その分だけ効き目が長続きするのである。

エピゲノムの視点でADの関連遺伝子を見てみると、カフェ酸がDNAメチル基転移酵素(DNMT)の活性を抑制するとの報告がある¹⁵⁾。図2に示すように、COMTとDNMTが同じメチル基供与体SAMを競り合うからである。一方、AD患者のメチル化遺伝子解析で、AD発症リスクと正の相関を示したのは、DNMT自身とAPOEであった¹⁶⁾。つまり、これらの遺伝子にメチル化が進行すると、ADリスクが高まるのである。これはまだ仮説の段階であるが、もし正しければ、遺伝子のメチル化を抑制するような生活習慣がADを予防するということになる。ADを生活習慣病と見るならば、図2の説明に書いた機序によって、関連遺伝子のエピゲノム化の抑制が予防につながるはずである。

では、カフェ酸がこの図のような現象を起こすには、どの位のコーヒーを飲めばよいと考えてみる。予測のための直接の根拠はないが、Leeらの*in vitro*実験¹⁶⁾で使われたカフェ酸のIC₅₀値=3.0 μ Mと、他の資料に書かれている平均的な吸収率33%から計算してみると、体重60kgの人に必要クロロゲン酸投与量は182mgとなった。この量は、浅く煎ったコーヒー数杯に相当している。

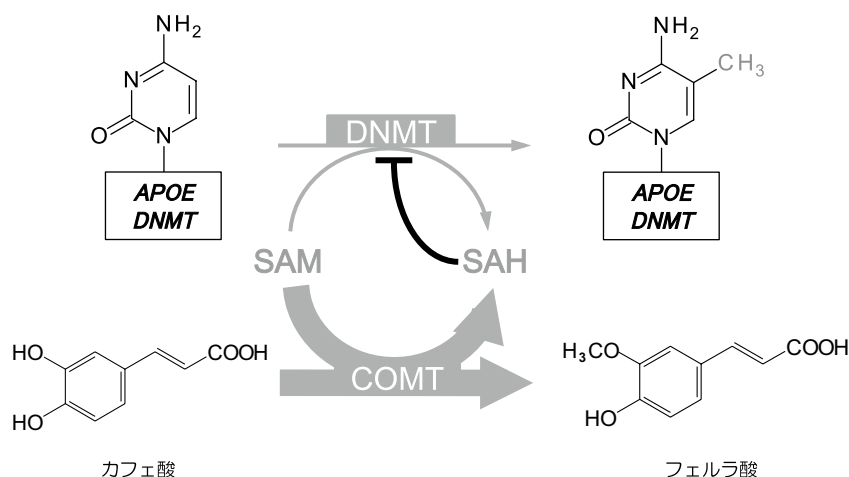


図2 COMTとDNMTの競合によるエピゲノム化の抑制/カフェ酸の役割

図の上段はAPOEやDNMTのシトシン残基がDNMT酵素でメチル化される反応。メチル基はSAM(S-アデノシルメチオニン)が提供し、反応が進むとSAMはSAH(S-アデノシルホモシステイン)に変化する。SAHはDNMT活性を阻害して、さらなるメチル化を抑制する。図の下段はコーヒーのカフェ酸が、COMTの触媒作用でフェルラ酸にメチル化される反応。上段と同じくSAMがメチル基を提供する。従って、カフェ酸の量が増えるとSAMは急速に減少し、結果として遺伝子のエピゲノム化は減速される。

2-2-3. 抗炎症薬 NSAIDs との共通点

カフェ酸はB細胞受容体のシグナル伝達を阻害する¹⁷⁾。詳細は省略するが、結果としてカフェ酸はCOX-2(2型シクロオキシゲナーゼ)の酵素活性を抑制して炎症を抑える。ところで以前から、COX-2活性を阻害する非ステロイド系抗炎症薬(NSAIDs)がADリスクを軽減するとの指摘がある¹⁸⁾。カフェ酸の作用点はNSAIDsの作用点よりも上流なので、NSAIDsの効き目より選択性に幅があると考えられるが、詳細は今後の課題である。

2-2-4. 血管への作用

平均収縮期血圧が145mmHgの高血圧被験者にクロロゲン酸140mg/日を投与すると、2週間後に平均135mmHgに降圧した¹⁹⁾。その機序について調べたところ、カフェ酸とフェルラ酸がムスカリンM3受容体アゴニストであることが明らかになった²⁰⁾。また、血管内皮の一酸化窒素(NO)を酸化障害から保護する抗酸化作用を示すなど、クロロゲン酸は血管を保護す

る作用を有している。このことが、コーヒーが糖尿病の血管病変を予防する根拠となり、間接的にADリスクを軽減すると考えられる。一方、これらポリフェノールと脳内M3に関する研究例はない。

2-3. トリゴネリン

糖尿病モデルマウスの糖負荷実験で、トリゴネリンには糖尿病予防効果があると認められている²¹⁾。一方、ADの小規模ヒト試験では、トリゴネリンの実用性は認められていない。トリゴネリンについて特記すべきは、焙煎中にトリゴネリンから産生するN-メチルピリジニウム塩のムスカリン様コリン作動性であり、これについては次節で述べる。

3. 焙煎豆成分の薬理学

コーヒーを焙煎すると、生豆の薬理作用成分はカフェインを除いてすべて分解する。代わりに産生する成分のうち、量的に薬理作用を発現

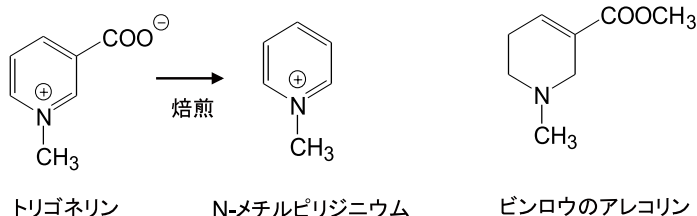


図3 コーヒーのトリゴネリンとピンロウのアレコリン

する可能性があるのは、トリゴネリンからできるN-メチルピリジニウム塩（図3）とニコチン酸である。次は糖とアミノ酸のメイラード反応でできるメイラード化合物で、複雑な香りの混合物と、不揮発性の糖化最終産物（AGEs）とに分けられる。カフェインについては2節を参照されたい。

3-1. N-メチルピリジニウム塩

実験動物の心拍数と動脈圧を観察したとき、N-メチルピリジニウム塩を含むコーヒー抽出液に、アトロピンと拮抗する副交感神経刺激作用が観察された²²⁾。心拍数の減少と血圧低下は、ムスカリンM3受容体刺激に基づくと考えられる。しかし、作用物質が単離されていないので、確たる証拠があるとは言えない。次に、胃培養細胞を使った実験で胃酸分泌を観察したとき、N-メチルピリジニウム塩を多く含むコーヒー画分に胃酸分泌作用が確認された²³⁾。この論文でも作用物質は単離されていないが、やはりM3受容体が関与した作用と考えられる。脳に存在するムスカリン受容体は主にM1型であるが、大脳皮質と視床下部を中心にM3型受容体の存在も確認されているので、N-メチルピリジニウム塩がADの症状緩和に関係している可能性は残っている。

トリゴネリンとよく似た化合物が、台湾に自生するヤシ科のピンロウに含まれている（図3）。アレコリンは古くから知られているムスカリンM1作動薬であるが、臨床試験でのAD治

療効果は弱く、かつ副作用があるため実用化されていない。これとは別のやや古い論文に、ヒト神経繊維芽細胞を30 μ M濃度のトリゴネリン培地で6日間培養すると増殖能が亢進したとか、A β で損傷されたラット大脳皮質のニューロンが再生されて記憶力が改善したとか報告されているが、トリゴネリンのヒトでの効果は未知である。

3-2. ニコチン酸と香り成分

今世紀に入ってニコチン酸受容体が発見され、GPR109と呼ばれるようになった。ニコチン酸には高脂血症治療薬として60年の歴史があるが、薬理作用は多様であり、特に血液凝固系と血管内皮の機能維持は重要である。深煎りコーヒーのニコチン酸含量は1杯当たりせいぜい5mgなので、これだけでは薬理作用量とは言いがたい。ところで、焙煎コーヒーの香り成分のうち、メチル基をもつ複素環化合物は体内でニコチン酸様代謝物に変換され、GPR109に結合することが明らかになった（特願2005-285649）²⁴⁾。

図4に示す化合物はどれもGPR109に結合して血中脂質濃度を低下させる²⁵⁾。コーヒーごとに含有量は異なるが、コーヒー抽出液のNMRスペクトルから推測すると、1杯当たり10～20mg程度と考えられる。では、コーヒーを飲んだとき実際に血中脂質低下作用が観察できるかというと、話はそう単純ではない。原因はコーヒーに含まれているジテルペン類が逆に

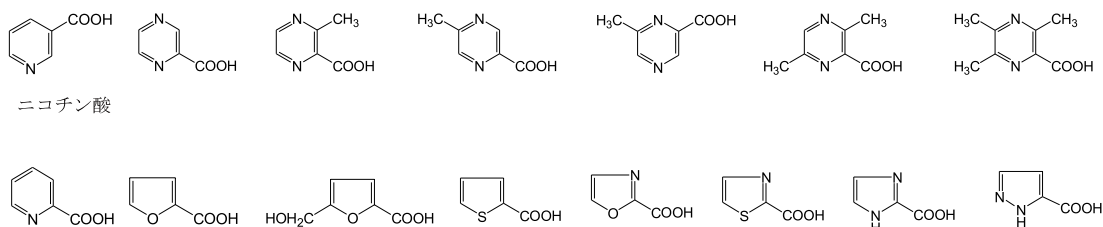


図4 ニコチン酸とニコチン酸様コーヒーの香り代謝物

血中脂質を上昇させるからである²⁶⁾。コーヒー成分に干渉されないニコチン酸様薬理作用して血栓形成の抑制(薬学雑誌 127:1825-36, 2007)があるが、未だ実験動物段階の研究に止まっている。

3-3. 糖化最終産物 AGEs

糖尿病患者の尿中には、健常者には見られない不揮発性の複素環化合物が排泄されている。高濃度の血糖がヘモグロビンと反応し、複雑な転位反応を繰り返しながら、赤血球の寿命が尽きると、遊離状態となって血中に現れるのである。これらの化合物は総称して糖化最終産物(AGEs: advanced glycation end products)と呼ばれている。

一方、コーヒーを焙煎すると、ショ糖とタンパク質またはアミノ酸がメイラード反応を起こし、香り成分の他に AGEs とよく似た複素環化合物ができてくる。古くから食品を加熱すると生じる着色物質のことをメラノイジンと総称していた。メラノイジンとは、メイラード反応産物(MRPs)としてのアルカロイド性陽イオンで、ギ酸または酢酸と塩を形成している。糖尿病の AGEs とコーヒーのメラノイジンはそれぞれ複雑な混合物で、名称も曖昧である(図5)。

驚くべきことに、糖尿病の AGEs には受容体(RAGE)が見つかった。さらに AGEs/RAGE 複合体はセクレターゼを刺激して $\alpha\beta$ を産生し、結果として AD を誘発する。この仮説は、糖尿病が AD リスク因子であることと見事に符合するので、現在盛んに研究されてい

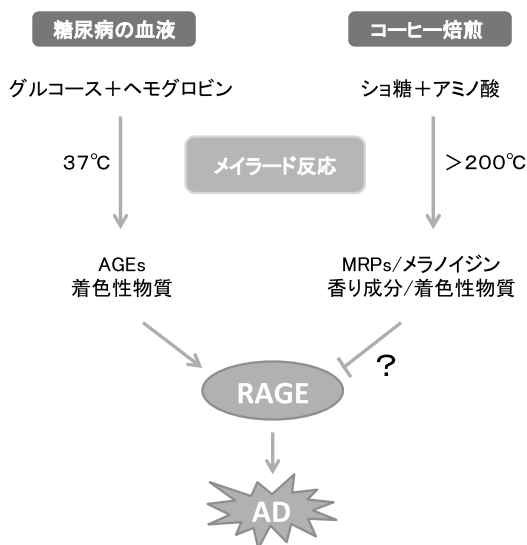


図5 糖尿病とコーヒー焙煎のメイラード反応/共通点と相違点

る。気が早いところでは、RAGE 阻害物質を開発して臨床試験を開始している²⁷⁾。治験薬 PF-04494700 は RAGE 受容体遮断薬で、成り行きが期待される。

コーヒーのメラノイジンの薬理作用には、主に好ましい作用と若干の好ましくないものが報告されている。抗酸化物質である、脂肪酸の酸化を抑制する、アンジオテンシン変換酵素(ACE)阻害物質である、細胞を酸化ストレスから保護する、大腸菌に抗菌活性を示す、腸内ビフィズス菌を優位にする、などである。逆に、過酸化水素を発生して炎症を悪化させるという報告がある。いずれにしても、コーヒーのメラノイジンまたは MRPs が RAGE に結合するという直接の証拠は上がっていない。化学構造式

の類似性から想像すると、RAGE 親和性をもつメラノイジンがあっても不思議ではない。

まとめと展望

コーヒーの AD 予防効果のうちほぼ確実なのは、第 1 にカフェインが A2a 受容体を介してドパミン神経を保護すること、第 2 に同じくカフェインの TNF α 産生抑制と BBB 保護作用、第 3 にクロロゲン酸が抗酸化作用と降圧作用に基づいて血管病変を予防することである。そして、今後の研究成果に期待されるのは、第 1 にカフェインによる RyR 刺激が AD 予防にとって良いのか悪いのか、第 2 に焙煎コーヒーの着色物

質のなかに RAGE アンタゴニストが有るのか無いのか、第 3 にクロロゲン酸による AD 関連遺伝子の保護は本当か、第 4 にコーヒー成分は脳内 M3 を介して AD 予防に寄与するか、そして最後に香り成分が示す抗血栓形成作用である。コーヒーにはまだまだ未知の部分が沢山ある。特記すべきは、ボストン医科大学の Chen らが書いた最新の総説に、「神経疾患の治療に見られるカフェインの有用性は明らかなのに、医師が高齢患者にコーヒーを飲まないよう指導するのは間違いではないか」との記述である²⁸⁾。

最後に、本稿が来るべき高齢化社会の予防医療に役立つことを期待したい。

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

- 1) Daviglus ML, Bell CC, Berrettini W, *et al.* Preventing Alzheimer disease and cognitive decline. *Ann Int Med* **153**(3):176-81, 2010.
- 2) Santos C, Costa J, Santos J, *et al.* Caffeine intake and dementia: systematic review and meta-analysis. *J Alzheimer Dis* **20**(S1):S187-204, 2010.
- 3) Altman R and Rutledge JC. The vascular contribution to Alzheimer's disease. *Clin Sci (London)* **119**(10):407-21, 2010.
- 4) Cheng K-H, Shineman D, Müller M, *et al.* Mechanism of Ca²⁺ disruption in Alzheimer's disease by presenilin regulation of InsP3 receptor channel gating. *Neuron* **58**:871-83, 2008.
- 5) Dreses-Werringloer U, Lambert J-C, Vingtdoux V, *et al.* A polymorphism in CALHM1 influences Ca²⁺ homeostasis, A β levels, and Alzheimer's disease risk. *Cell* **133**:1149-61, 2008.
- 6) Demuro A, Parker I, and Stutzmann GE. Calcium signaling and amyloid toxicity in Alzheimer disease. *J Biol Chem* **285**:12463-8, 2010.
- 7) Stutzmann GE, Smith I, Caccamo A, *et al.* Enhanced ryanodine receptor recruitment contributes to Ca²⁺ disruptions in young, adult, and aged Alzheimer's disease mice. *J Neurosci* **26**:5180-9, 2006.
- 8) Sparks DL, Kuo YM, Roher A, *et al.* Alterations of Alzheimer's disease in the cholesterol-fed rabbit, including vascular inflammation. Preliminary observations. *Ann NY Acad Sci* **903**:335-44, 2000.
- 9) Chen X, Gawryluk JW, Wagener JF, *et al.* Caffeine blocks disruption of blood brain barrier in a rabbit model of Alzheimer's disease. *J Neuroinflam* **5**:12, 2008.
- 10) Tobinick EL and Gross H. Rapid improvement in verbal fluency and sphasia following perispinal etanercept in Alzheimer's disease. *BMC Neurol* **8**:27, 2008.
- 11) Horrigan LA, Kelly JP, Connor TJ. Caffeine suppress TNF- α production via activation of the cyclic AMP/protein kinase A pathway. *Int Immunopharmacol* **4**:1409-17, 2004.
- 12) Akashi I, Kagami K, Hirano T, *et al.* Protective effects of coffee-derived compounds on lipopolysaccharide/D-galactosamine induced acute liver injury in rats. *J Pharm Pharmacol* **61**:473-8, 2009.
- 13) Sarawek S, Feistel B, Pischel I, *et al.* Flavonoids of *Cynara scolymus* possess potent xanthinoxidase inhibitory activity in vitro but are devoid of hypouricemic effects in rats after oral application. *Planta Med* **74**:221-7, 2008.
- 14) Dumont M and Beal MF. Neuroprotective strategies involving ROS in Alzheimer disease. *Free Radic Biol Med* 2010 Dec 1.[Epub ahead of print].

- 15) Lee WJ and Zhu BT. Inhibition of DNA methylation by caffeic acid and chlorogenic acid, two common catechol-containing coffee polyphenol. *Carcinogenesis* **27**:269-77, 2006.
- 16) Wang S-C, Oelze B, and Schumacher A. Age-specific epigenetic drift in late-onset Alzheimer's disease. *PLoS One* **3**:e2698, 2008.
- 17) Kang NJ, Lee KW, Shin BJ, *et al.* Caffeic acid, a phenolic phytochemical in coffee, directly inhibits Fyn kinase activity and UVB-induced COX-2 expression. *Carcinogenesis* **30**:321-30, 2009.
- 18) Szekely CA and Zandi PP. Non-steroidal anti-inflammatory drugs and Alzheimer's disease: the epidemiological evidence. *CNS Neurol Disord Drug Targets* **9**:132-9, 2010.
- 19) Watanabe T, Arai Y, Mitsui Y, *et al.* The blood pressure-lowering effect and safety of chlorogenic acid from green bean extract in essential hypertension. *Clin Exp Hypertens* **28**:439-49, 2006.
- 20) Suzuki A, Kagawa D, Ochiai R, *et al.* Green coffee bean extract and its metabolites have a hypotensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Hypertens Res* **25**:99-107, 2002.
- 21) Yoshinari O and Igarashi K. Anti-diabetic effect of trigonelline and nicotinic acid on KK-A(y) mice. *Curr Med Chem* **17**:2196-202, 2010.
- 22) Tse SYH. Cholinomimetic compound distinct from caffeine contained in coffee. II: muscarinic actions. *J Pharm Sci* **81**:449-52, 1992.
- 23) Rubach M, Lang R, Skupin C, *et al.* Activity-guided fractionation to characterize a coffee beverage that effectively down-regulates mechanisms of gastric acid secretion compared to regular coffee. *J Agric Food Chem* **58**:4153-61, 2010.
- 24) 鏡圭介, 岡希太郎. コーヒーの香りの薬理学: GPR109 プロアゴニストとしての意義. *アロマリサーチ* **9**:332-8, 2008.
- 25) Kagami K, Onda K, Oka K, *et al.* Suppression of blood lipid concentrations by volatile Maillard reaction products. *Nutrition* **24**:1159-66, 2008.
- 26) Urgert R, Meybooms S, Kuilman M, *et al.* Comparison of effect of cafetière and filtered coffee on serum concentrations of liver aminotransferases and lipids: six month randomised controlled trial. *BMJ* **313**:1362-6, 1996.
- 27) Sabbagh MN, Agro A, Bell J, *et al.* PF-04494700, an oral inhibitor of receptor for advanced glycation end products (RAGE), in Alzheimer disease. *Alzheimer Dis Assoc Disord* 2010 Dec 28.[Epub ahead of print].
- 28) Chen JF and Chern Y. Impacts of methylxanthines and adenosine receptors on neurodegeneration: human and experimental studies. *Handob Exp Pharmacol* **200**:267-310, 2011.

人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (1)

— 広東住血線虫の感染源となりうるもの (ノート) —

牧 純^{*1} 関谷 洋志^{*1} 玉井 栄治^{*1} 坂上 宏^{*2}

^{*1} MAKI Jun, SEKIYA Hiroshi, TAMAI Eiji (松山大学薬学部感染症学)

^{*2} SAKAGAMI Hiroshi (明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野)

Key Words : 寄生虫感染・寄生蠕虫・広東住血線虫・経口感染・難治性

SUMMARY

Maki J, Sekiya H, Tamai E and Sakagami H : Food that needs precautionary awareness for infection in human body (1) - Possible candidate as source of infection *Angiostrongylus cantonensis* (Note)

Safety of food is an important problem today. Parasitoses are sometimes neglected or ignored in Japan, regarded as diseases in former days. This note describes the dreadful infection with *Angiostrongylus cantonensis* with the important references accessible for foreigners. It has been endemic in the Area of Pacific Ocean, Southeast Asia and Japan, hazardous to inhabitants. This parasitic nematode invades orally human brain when man eats raw snails and slugs harboring the larvae or vegetables contaminated with the larval nematodes shed by the mollusks. We have to be prepared for the worst. We cannot avoid suffering from eosinophilic meningoencephalitis, severe nervous and eye problems. Occasionally or rarely the accidental infection will lead to the coma and unfortunate death. No excellent therapeutic methods for the treatment of the infection have been established. We have to avoid the infection, paying attention to the mollusks infected and the contaminated vegetables. We should not eat them raw. The vegetables should be in the boiling water for a minute for the sterilization.

はじめに

「食の安全」が極めて厳格な基準で要求される昨今である。遺伝子組み換えの問題も、商品の品質表示上の関心事となり、ごく普通の日常的話題に上る。国産か海外産であるかについても、重大な関心が払われる。家庭の主婦にとっても頭の痛い問題に違いない。そういう陰にあって、大切な「食品感染症」のひとつでありながら、すっかり忘れ去られる傾向にあるのが「寄生虫症」である。

我々はともすると、寄生虫病はいつしか過去の病気となったような錯覚に陥っている。しか

し海外からの寄生虫が後を絶たない。それどころか、国内土着の寄生虫に関しても、いまだにしぶとく残っているものがある。医療系における寄生虫学教育も今日手薄となっており、医療の盲点が突かれるのが怖い。特に、診断に置いて寄生虫感染症の疑いは、他の疾患の後となり、重症化するケースもある。また、確定診断や治療においても専門的な知識と経験を必要とするのが、その分野に長けた医師や薬剤師の減少も問題点である。

本筆者らは松山大学薬学部感染症学研究室において、国際的に重要な種々寄生虫感染症に関

する英文・邦文セミナーと卒業研究の实地指導、これら2つを視野に入れた事前の基礎調査を行ってきた。専門外の方々にも出来る限りわかりやすくまとめ、予防、診断、治療の方法を提示する作業を進めている。

多種多様な寄生虫には、皮膚を介して感染する類のものも随分あるが、ここでは「食材」から感染しうる危険な寄生虫、なかんずく「広東住血線虫」(カントンジュウケツセンチュウ)に注目する。本寄生虫は経口感染の寄生虫の中でも、最も気をつけるべき biohazardous なものに属すると考えられるからである。これは、典型的な人畜共通感染症原因虫の1つであるため、医学・医療系のみならず獣医系の種々の教科書、関連の学会発表にも注目し、関係の大切と思われる文献を引用した¹⁻⁸⁾。

著者らが日頃耳にしている知見や未発表の見解も含めた。本題に入る前に、まず寄生虫の範囲と線虫の分類上の位置について要点を述べてから、本寄生虫の概説を行い、次に警戒すべき食材をまとめた。本邦滞在、在留の外国人にも気をつけていただきたいと考え、英文の要約と参考文献を付けた。これを機に、諸分野の先生方のご教示を仰ぐことが出来れば幸甚である。

1. 寄生虫・線虫とは何か

寄生虫は、その形態や特性により分類されている(図1)。寄生虫を大きく分けると単細胞のものと多細胞のものに分類される。前者は寄生原虫と呼ばれ、顕微鏡でなければ識別のつかないものである。例えば、マラリア原虫、膾トリコモナス、トキソプラズマがある。後者は寄生蠕虫と呼ばれ、成虫なら肉眼でも判る。それはさらに次のように、条虫、吸虫および線虫の3つのグループに大別されるが、いずれも食品から感染する、医学・公衆衛生学上重要なものを含んでいる。

1つめの条虫は日常的にはサナダムシ(真田虫)と呼ばれ、成虫は扁平でひよろ長い。中には、サケマスの生食で感染し、ヒトの腸管で成虫になると、10メートルにも及ぶ日本海裂頭条虫がある。

2つめの吸虫は同様に扁平だが、長さは数ミリから数センチで、木の葉の形をしている。その代表的なものに鮎(アユ)の生食で感染する横川吸虫などがある。

そして3つめの線虫は円筒形をしており、成虫の長さは数ミリから1メートルの幅がある。この3つめの線虫はヒト体内で成虫になりうるものと、ならないものがある。前者の代表は蛔

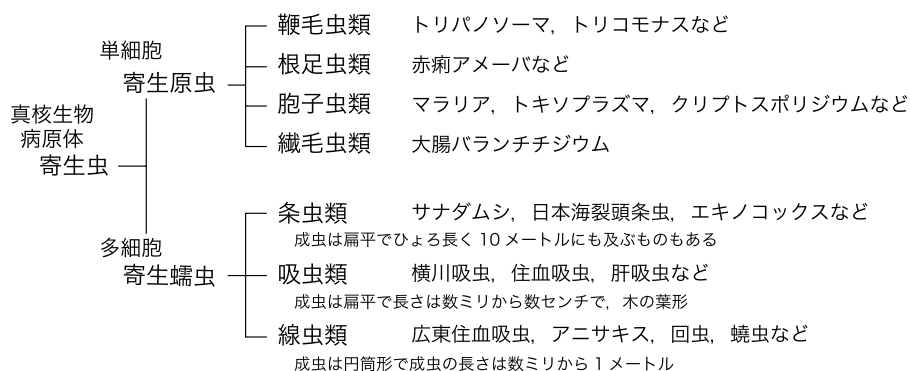


図1 寄生虫の分類と代表的な寄生虫

虫（回虫）で、大変多くの日本人が感染していた第2次世界大戦後、国民病とまで称されていた。今回取り上げるのは、後者で、ヒト体内では成虫とならず、組織内で大きな病害作用を示す線虫である。これにも、よく知られているアニサキスをはじめとして、多種多様のものがあるが、以下「広東住血線虫」に焦点を当てる。

2. 広東住血線虫の概略 (学名 *Angiostrongylus cantonensis*)

本来ラットの肺動脈・心臓に寄生している線虫である。最初、中国広東省のネズミから発見された。宿主の血液の中に“住む”ことから“住血”線虫の名がつけられた。但し最初に学名が命名され、その逐語訳のような漢字名は後でつけられた。

上記学名の部分“*Angio-*”は血液を意味する接頭語である。円筒形を意味する“*strongylus*”は線虫の形である。種名の *cantonensis* は勿論中国の広東である。

ラットの糞便中に本虫の幼虫が排出され、それがカタツムリやナメクジに摂食され、その幼虫が脱皮・発育する。ラットやヒトに感染する所謂感染幼虫となる。これがラットに食べられると、体内を巡って、前記のようにラットの肺動脈や心臓で成虫となり、その感染ラットの糞便中に活発に動く幼虫が排出されることでこの寄生虫の生活史が全うされる。しかし、好適な宿主でないヒトに経口感染した場合は、ある程度はさらに脱皮・発育するが、成虫にはなれず、ヒト脳内にとどまる。この状態が実に怖い。幼虫に感染したカタツムリやナメクジが分布するのは、台湾、大陸中国、東南アジアおよび日本も含め、環太平洋地域の港湾地区のみと考えられていたが、感染のラット、カタツムリ、ナメクジが船に紛れ込んで、世界的に拡大している模様で、アメリカ大陸も警戒を怠るわけには

ゆかない。本虫は既に本邦各地に侵入しており、港湾地区で生活史が展開しているのみならず、最近では日本の内陸部の公園などへも汚染の広がりをみせている。

知らないで、各地で散発的に恐ろしい兆候をもたらす。ヒトが感染すると好酸球性髄膜炎、失明、精神障害等の重篤な後遺症などの問題のみならず、悪化すると死の転帰をとる。例えば子供たちが感染カタツムリをつかんで、指先に幼虫を付着させ、経口感染することがありうる。しかし、これまでのところ治療法が確立されていない。経口投与で脳内の虫体を殺すことが可能な医薬品の実験的研究はなされてきたが、心配なのは死んだ虫体が患者の脳内で副作用をもたらす危険性も無視できないことである。

以上のように、感染した虫体に対する対処の方法が確立されていない。従って、当然ながら、医療人は勿論のこと、一般住民も感染予防のために最大限の注意を喚起することが肝要である。これらのことを念頭に置きながら、寄生虫を見たこともない若い世代もこのような難治性寄生虫への注意を喚起すべきである。

3. 「食材」で留意すべきこと

国内、海外、非衛生的な地域などで食材の対応にかなり大きな違いがある。国内の普通の食生活は一応安全であるが、時に事故がおこる。海外では事情が異なる。一般に欧米では本邦とほぼ同じと考えてよい。しかし、途上国では細心の注意を払わなくてはならない。

国内ではまず、カタツムリとナメクジの生食を絶対に慎むべきである。

そういう生食を試みる人は少数派であろうが、生であるほうが新鮮で健康によいと思込んでいる人もいるようである。なかには動物性の民間生薬のような感覚で口にしている人がいる。ナメクジを毎日生食すると声がよくなると信じ

ている人がいると聞くから驚く。地域によっては、「創作料理」と称して、常識では考えられないものが材料となることもあることに警戒せねばならない。

たとえ、ナマモノを食べなくても、調理の過程で食器、まな板、包丁などが汚染を受けることがあるので注意を要する。また、そのような軟体動物が這った生野菜が危ないことも忘れてはならない。野菜の上に感染幼虫が付着していることがある。

海外では、国と地域によるが、十二分の警戒が必要である。いわゆる途上国では生野菜のサラダは口にしないほうがよい。海外の汚染地域では野菜は茹でるなどして、決して生では食べ

ないことである。上記の軟体動物を決して生食すべきでないのは当然である。こういう軟体動物が這った可能性のある野菜類に感染幼虫が付着していることが日本国内よりも、遥かに確率の高い国々がある。それらが、サラダに混ざって経口感染したら大変である。

煮沸した野菜であれば、寄生虫感染は防げる。一般に、殻に覆われた虫卵も沸騰している熱湯のなかでは数秒で、“茹卵”となり、感染性は損なわれる。とはいえ、これをいつも実行するのは困難である。国内では常に新聞などの情報に注意を払う必要がある。野菜が汚染されることのある港湾地区付近の畑は限られている。未然の対応策はかなりとれるはずだ。

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

- 1) Mackerras MJ and Sandars DF: The life history of the rat lungworm, *Angiostrongylus cantonensis* (Chen) (Nematoda:Metastrongylidae). *Australian J. Zoology* 3: 1-25, 1955.
- 2) Yoshida Y: *Angiostrongylus cantonensis*, “Medical Zoology”, 71, Nanzando, 4th ed. 2006.
- 3) Yoshida Y and Arizono N: Illustrated Parasitology, Nanzando, 7th edition, 2006.
- 4) Ohta N: The present status and problems of imported parasitic helminthiases, especially those problematic in Japan as neglected tropical diseases. The Proceedings for the 19th Japanese Congress for Clinical Parasitology, Kyoto, June 7, p13, 2008.
- 5) Shiraishi S, Taga K, Mizuta H, Katayama T and Uchida Y: The prevalence of rats infected with *Angiostrongylus cantonensis* in Kobe Port Area, Proceedings of the 64th Congress for West-Japan Parasitologists, p.17, 2008.
- 6) Ishii A: “Mankind and Parasites” Yuhisha Best Doctor Series, Yuhisha, Tokyo, 2007.
- 7) Ehime Newspaper (Morning Paper) “Mori-wo-yuku (#121)” (a kind of direct translation: “Walking in Forests”), May 30, 2009.
- 8) Sugiura S: Impacts of the invasive flatworm, *Platydemus manokwari* on island-endemic snails. *Chikyu-kankyo*, 14; 1, in press, 2011.

記憶を失くさせた貝の毒（ドウモイ酸）

ー 有毒プランクトンを摂取したムラサキイガイによる ー

村上 りつ子^{*1} 野口 玉雄^{*2}

^{*1}MURAKAMI Ritsuko（茨城キリスト教大学），^{*2}NOGUCHI Tamao（東京医療保健大学）

Key Words：中毒・貝類・ドウモイ酸・記憶喪失

はじめに

貝類には美味なものが多く、私たち日本人には好んで食される食材の一つであるが、新鮮なものでも時として毒を保有することがある。毒化した貝の多くは外観からは区別できないため、ヒトがこれを食べて食中毒し、深刻な症状を呈したり、死に至ることもある。

このような貝の毒には、有毒プランクトンがつくる、フグ毒と同様な麻痺を起させる麻痺性貝毒、下痢を起こす下痢性貝毒など、多様なものが知られているが、その中に、記憶を失わせるといった特異な中毒症状を引き起こす「記憶喪失性貝毒 Amnesic shellfish poison；ASP」とよばれる貝の毒がある。

「記憶」の仕組みに関しては最近次第に明らかにされつつあり、脳内の分子レベルでの研究が進んできている。一方、類を見ない速さで高齢化する社会になりつつある現代では認知機能に関心が高まっていることから、あらためて、貝を食べることによって記憶喪失を招く可能性がある「記憶喪失性貝毒」について考えてみたい。

1. 記憶喪失性貝毒による中毒事例

1987年11月から12月にかけて、カナダの作家L. M. モンゴメリによる「赤毛のアン」の舞台として知られるカナダ東海岸のプリンス・エドワード島周辺で養殖ムラサキイガイ（地中海原産の二枚貝でムール貝とも呼ばれる）による食中毒が発生した。中毒症状としては、吐気、嘔吐、腹部けいれん、下痢などの胃腸炎症状、腎不全、頭痛、血圧不安定、不整脈などの症状に加えて、特徴的な症状として記憶喪失などの神経障害がみられた。

患者は107名（男性47名、女性60名）で、重症だった19名は、4日から101日間の入院を余儀なくされ、そのうち3人が入院後12～18日で死亡、さらに入院3カ月後に1人が亡くなり、計4人が死亡した。また、集中治療を受けた重症患者12名は、一命を取り留めたものの記憶障害の後遺症が残った。記憶喪失は、患者の年齢が高いほど、また男性により多く現れた。

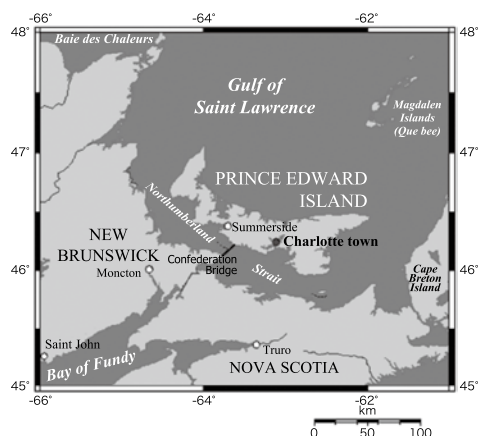


図1 プリンセドワード島とその周辺

プリンス・エドワード島はカナダの州のひとつで、セント・ローレンス湾に位置し、南東はニュー・ブランズウィック州、南西はノバ・スコシア州に接している。またコンフェデレーション・ブリッジによってニュー・ブランズウィック州とつながっている。



図2 ムラサキガイ

2. 中毒の原因

中毒の原因究明の結果、患者の体内から、軽症者では 60 ~ 110 mg、重症者では 115 ~ 290 mg の大量のアミノ酸であるドウモイ酸 (domoic acid; DA) が検出され、また、中毒の原因となったムラサキガイからも、貝 100 g 当たり 31 ~ 128 mg のドウモイ酸が検出された。死亡した患者の検死解剖では、脳の海馬に損傷がみられた。

これらのことから、この特異的な中毒事件の原因物質はドウモイ酸であり、脳内に大量のドウモイ酸が取り込まれたために、脳の海馬が侵されたことが原因であると結論付けられた。すなわち、体外から取り込まれた大量のドウモイ酸が中枢神経のグルタミン酸受容体と結合したために、部分的に脳細胞が興奮・死滅したと考えられている。

ドウモイ酸は奄美大島や徳之島で回虫駆除に

服用されてきた、紅藻類フジマツモ科のハナヤナギ *Chondria armata* から 1958 年醍醐らによって分離された興奮性アミノ酸で、「ドウモイ酸」の名称はハナヤナギの地方名「ドウモイ」から名付けられた。

ドウモイ酸は、虫下しとして問題がなかったのは、使用量が中毒量より少ない量 (30 mg 程度) だったためと考えられている。

3. ドウモイ酸の化学

3-1. 化学構造

ドウモイ酸は、中枢神経系における主要な興奮性神経伝達物質のグルタミン酸や、カイニン酸などと類似の化学構造をもつ。カイニン酸は、やはり駆虫剤として使われてきた紅藻のマクリ (海人草=カイニンソウ、学名: *Digenea simplex*) から得られたイミノ酸であるが、その構造はグルタミン酸骨格をもっている (図 3)。

3-2. 加熱による安定性

ドウモイ酸は、一般的な調理加熱では、ほとんど分解されず、90℃、15 分間の加熱では 3%、121℃、15 分間のオートクレーブ加熱でも 7% 程度分解するのみである。

4. ドウモイ酸の毒性

4-1. 毒性発現機構

グルタミン酸は中枢神経細胞などにおいて神経伝達物質として機能するが、他の神経伝達物質と性質が大きく異なり、神経伝達物質としての「神経細胞を興奮させる作用」とともに、病的状態においては、「神経細胞死を起こす作用」を持つことが知られている。中枢神経細胞に対してグルタミン酸様の興奮性および毒性効果を発現するグルタミン酸類似物を「興奮性アミノ酸」と総称するが、ドウモイ酸は、L-カイニン酸やL-グルタミン酸と同様に興奮性アミノ酸である。これらは中枢神経伝達物質L-グルタミン酸のアゴニスト（受容体と結合して生理作用を発現する作動薬）として作用して、神経細胞のイオンチャネル型グルタミン酸受容体

に結合する。

体外から全身的に投与されたドウモイ酸は、脳に侵入した場合、グルタミン酸受容体に結合して、脳の海馬、視床、扁桃体細胞を壊死させ、特に海馬を選択的に破壊し、特徴的な症状である記憶喪失をもたらすとされている。

海馬は、記憶や学習に基本的な役割を演じていることが認知されており、図4のような構造をしている。情報伝達においては歯状回、CA3領域、CA1領域と呼ばれる部位が重要となる。情報は、脳の側頭葉から入り、側頭葉→歯状回→CA3領域→CA1領域→海馬支脚→側頭葉という一方通行の流れをたどって、側頭葉にフィードバックされる。この海馬を通過する過程で、何を記憶し何を忘れるかという判別が行われ、海馬の機能は情報の仕分けが中心であると考えられている。

一方、最近、高齢者人口の増加とともに、患

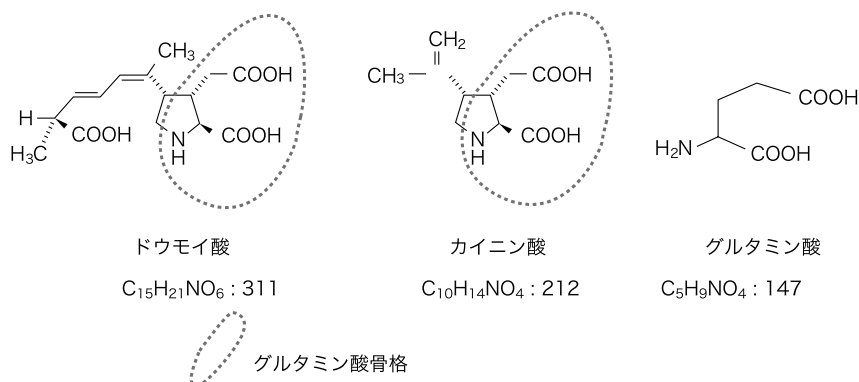
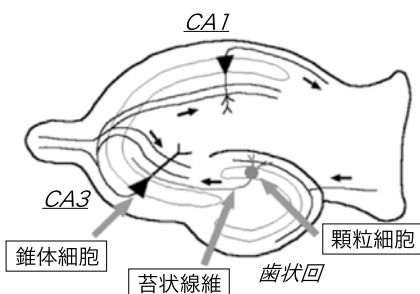


図3 ドウモイ酸、カイニン酸、グルタミン酸の構造



海馬に入る情報は歯状回→CA3→CA1の順にシナプスを介して伝達される。歯状回の主要神経細胞である顆粒細胞の軸索は苔状線維と呼ばれ、隣接するCA3領域の錐体細胞とシナプスを形成する。

提供：平成22年4月20日科学技術振興機構（JST）

図4 海馬の構造

者数が増加し、注目されている疾患としてアルツハイマー病があるが、アルツハイマー病の最も顕著な症状として、記憶力の低下が挙げられる。その記憶の機能の重要な担い手であるのは、海馬である。

1987年に発生した食中毒事件で死亡した患者の解剖の結果は、神経細胞の壊死とアストロサイトーシスがみられ、特に海馬の障害が特徴的であった。また、同じ食中毒にかかり、約3年後に肺炎で亡くなった84歳の患者について、生前、MRI検査が行われた結果、事件の1年後には海馬の著しい委縮がみられていた。亡くなった後解剖されたが、海馬の委縮が確認され、海馬のCA1領域とCA3領域は完全に損傷し、CA2領域は半分ぐらい損傷していた。

一方、動物実験の結果からも、海馬は脳組織の中でもドウモイ酸の毒性に特に高い感受性をもつ特異的な標的箇所であることがわかり、特にCA3領域が特異的に損傷されると報告されている。

海馬のCA1とCA3領域の機能については、ノーベル賞受賞者の利根川博士は、脳の海馬で神経伝達物質の受容体たんぱく質を作る遺伝子が損傷したマウス、すなわち、海馬のCA1領域及びCA3領域のグルタミン酸受容体であるNMDA受容体をそれぞれノックアウトしたマウスを作製して調べている。その結果、CA1と呼ばれる海馬領域内のNMDA受容体の遺伝子が長期記憶を形成するのに重大な役割を果たし、海馬CA3領域のNMDA受容体は、記憶想起（再生）に重要な役割を果たすことを明らかにした。

NMDA受容体の密度は、加齢により減少し、海馬のCA3領域は、アルツハイマー病患者の脳におけるアルツハイマー病の特徴である脳のアミロイドベータの蓄積（プラーク）形成に対して最も脆弱であることが知られている。

このように、ドウモイ酸は記憶喪失という特

徴ある症状を発現させることから、記憶喪失性貝毒（Amnesic Shellfish Poison；ASP）といわれるようになった。

4-2. ドウモイ酸の毒性値

急性毒性：ドウモイ酸のマウスに対するLD₅₀値は、腹腔内投与で3.6～4 mg/kgである。マウス（体重20 g）にドウモイ酸50 µgを腹腔内投与すると、後肢で腹部を激しくかきむしりながらぐるぐると回るスクラッチシンドロームとよばれる特徴的な動きを示す。80 µgを投与した場合では、ぐるぐる回って死亡する。この特徴的な症状は、ドウモイ酸の検出に有用であるが、食品の規制値20 ppm（後述）を調べるには、試験溶液を濃縮する必要がある。

亜急性毒性：ラットに64日間経口投与した時の最大無毒性量（NOAEL：No Observed Adverse Effect Level）は0.1 mg/kg/dである。

1987年にカナダで発生したドウモイ酸中毒患者の最小毒性量（LOAEL；Lowest Observed Adverse Effect Level）は、0.9 mg/kg bwと計算され、ヒトに対するドウモイ酸の致死量は、体重60kgに対して300 mgと推定されている。また、ヒトの耐容一日摂取量（TDI；Tolerable Daily Intake）は、0.075 mg/kg/dと報告されている。

5. ドウモイ酸を産生するプランクトン

ドウモイ酸を産生するハナヤナギは、カナダの海には生息していないことから、ドウモイ酸の発生源がハナヤナギだけではないと考えられ、中毒の原因となったムラサキイガイが調べられた。その結果、珪藻という植物プランクトンがドウモイ酸を産生することがわかった。

現在、珪藻のシュードニッチャ *Pseudo-nitzschia* 属、ニッチャ *Nitzschia* 属、アンフォラ *Amphora* 属などによって産生され、特に *Pseudo-nitzschia multiseries*, *Pseudo-nitzschia australis*, *Pseudo-nitzschia seriata* のドウモイ酸産生能が

高く、シュードニッチャ *Pseudo-nitzschia* 属の5種を含む数種が有毒種であることが知られている。日本沿岸でも数種が観察されている。

6. 毒化するプランクトンフィダーおよび食物連鎖による毒化

珪藻からドウモイ酸は産生され、ドウモイ酸を産生したプランクトンを食べ、これを主食とする二枚貝（ムラサキイガイ、マテガイなど）などの体内にドウモイ酸が蓄積され、その貝を人間が食べることで中毒になる。珪藻などのプランクトンを主食としているのは二枚貝だけでなく、様々な海洋哺乳類の主要な餌となっているカタクチイワシも、有毒プランクトンを食べ、ドウモイ酸を蓄積する。このカタクチイワシを食べたクジラやアシカ、鳥が被害に遭っている。

1961年アメリカ・カリフォルニア州の海岸沿の町で突然大量の鳥が狂ったように、爪を立て、くちばしをむき出し人間を襲った事件があった。鳥達は、民家の屋根やビルの外壁に体当たりし暴れ回り、数十分後に次々と屋根の上に落ちてきて、道は鳥の死骸で埋め尽くされたという。人々を襲った鳥はコウノトリの1種であるハイロミズナギドリで、この鳥は繁殖期に巣を荒らされた時以外は人を襲わないとされ、調べた結果、鳥達の脳の一部が欠損していたといわれている。

1963年に公開されたヒッチコック監督の映画“The Birds（鳥）”（原作は女流作家ダフネ・デュ・モーリアの短編小説とされる）には数々の鳥が人間を襲うシーンが描かれているが、この事件をヒントに製作されたといわれている。

さらに30年後の1991年にも、米国カリフォルニア州モンレーベイで、突如大量の鳥が人間を襲い大量死した。この奇怪な現象は各地で見られ、ペリカンや鵜などの海鳥の死亡が数多く報告され、さらには北大西洋でザトウクジ

ラが次々と岸に打ち上げられ、カリフォルニアではイルカやアシカが集団死した。これらの死亡した動物の解剖の結果、共通して、脳の海馬が欠損している事がわかり、ペリカンや鵜が、ドウモイ酸を産生した珪藻を食べたカタクチイワシを食べ、食物連鎖によって大量斃死したと推定された。

1991年12月には、北米太平洋岸に赤潮が発生し、マテガイなどの二枚貝が毒化したため、この貝を食べるダンジネスクラブのドウモイ酸汚染が疑われたことがある。

2006年6月には、米カリフォルニア州オレンジカウンティの太平洋湾岸道路で、酔っ払った風のペリカンが自動車のフロントガラスに突っ込むという事件が発生したという報道があった。ドライバーにケガはなかったが、ペリカンは脚を骨折し、治療を受けたという。ペリカンは視力がよく、飛行中に自動車と衝突するようなことはしない鳥なので、同地域の海域で検出されるドウモイ酸の中毒症状ではないかと考えられている。同地域では、挙動不審の鳥の報告例が他にも報告されており、酔いの原因は、いずれも珪藻から産生されたドウモイ酸中毒であると推定されている。このように、ドウモイ酸は藻類から発生し、貝類、魚などを経て生物濃縮されていき、それを食べた海鳥獣や人間が中毒症状をきたすと考えられている。

日本でも、原因は特定されておらず、関連は不明であるが、各地で、海岸にイルカやクジラが漂着したり、鳥の大量死などの報告がある。

これまで日本ではASPによる二枚貝の毒化は知られていないが、南西諸島や鹿児島薩摩半島における紅藻フジマツモ科ハナヤナギは季節に関係なく、約1,000 ppmのドウモイ酸を蓄積しており、中毒事例もある。ハナヤナギがなぜこれほど強い毒性を持つかはわかっていない。また、サンゴモ科カニノテ、ケヒメモサヅキ、マサゴバシリ科ニセイバラノリなどからも高濃

度のドウモイ酸が検出されている。

7. ドウモイ酸に対する規制

ドウモイ酸は、ほ乳類や鳥類の脳を破壊する強い毒性を持ち、食物連鎖を通して毒は広がり、多くの魚介類を食料とする人間にも被害が及ぶ可能性がある。欧米では、ドウモイ酸に対する関心は非常に高い。米国ではすべての魚介類に対し 20 mg/kg (20 ppm) およびダンジネスクラブ (アメリカイチョウガニ) の内臓に対しては 30 mg/kg (30 ppm)、カナダでは、シーフードを対象とし 20 mg/kg (20 ppm)、EU、豪州、ニュージーランドでは、二枚貝に対し、20 mg/kg (20 ppm)、とする基準値の規制があり、基準を超えると出荷停止処分となる。また、コーデックス規格も、ドウモイ酸として 20 mg/kg 以下としている。

日本では、監視体制や規制値は定められていないが、輸出する場合にはこの外国の規制値を準用する必要がある。わが国は海に囲まれた国であり、ドウモイ酸の産生種として同定されている *Pseudo-nitzschia multiseries* など数種の珧藻は日本沿岸にも生息が確認されており、二枚貝にも低濃度ではあるがドウモイ酸が検出されて

いることから、プランクトンを食べる魚介類を厳しく監視する体制を早急に構築することが望まれる。

おわりに

1987 年のカナダでの食中毒事件後、効果的なモニタリングプログラムが実施され、以後、ASP 食中毒事件発生の報告はない。しかし、野生生物のドウモイ酸中毒が数多く報告され、また、世界中の多くの地域でドウモイ酸を産生する珧藻の開花の頻度の増加の報告があり、野生生物とヒトへの脅威が増していると考えられる。

一方、この事件を契機にドウモイ酸の急性毒性に関する研究は数多くなされてきているが、慢性毒性に関する研究は非常に少ない。特に、基準値以下の低レベルのドウモイ酸の継続的な経口摂取によるヒトへの影響はほとんど検討されていない。重大なことは、ドウモイ酸は胎盤や血液脳関門を通ることで、未発達の脳を持つ胎児や乳児への影響が懸念される。また、妊婦や高齢者、持病がある者など、リスクのあるヒトが低レベルのドウモイ酸を繰り返し長期間曝露することの健康影響についても早急な検討が必要であると思われる。

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

- 1) 野口玉雄, 村上りつ子: 貝毒の謎 一食の安全と安心一, 成山堂書店, 2004.
- 2) 利根川進: 私の脳科学講義, 岩波書店, 2001.
- 3) 篠崎温彦: グルタミン酸受容体の薬理学—アゴニストを中心として—, 日薬理誌, **116**, 125-131, 2000.
- 4) Pulido OM: Domoic acid toxicologic pathology: A review. *Mar Drugs*, **6**, 180-219, 2008.
- 5) Jeffery B, Barlow T., Moizer K, Paul S, Boyle C: Amnesic shellfish poison., *Food Chem Toxicol*, **42**, 545-557, 2004.
- 6) Kumar KP, Kumar SP, Nair GA.: Risk assessment of the amnesic shellfish poison, domoic acid, on animals and humans., *J Environ Biol.*, **30**, 319-25, 2009.
- 7) Strain SM, Tasker RA.: Hippocampal damage produced by systemic injections of domoic acid in mice., *Neuroscience*, **44**, 343-52, 1991.

中鎖脂肪酸含有油脂のもつ優れた食品機能特性

— パン生地に対する効果 —

豊崎 俊幸 *1 笠井 通雄 *2

*1 TOYOSAKI Toshiyuki (香蘭女子短期大学 食物栄養学科)

*2 KASAI Michio (日清オイリオグループ株式会社)

Key Words：中鎖脂肪酸含有油脂・パン・発酵・特定保健用食品

はじめに

油脂の主成分は、三つの脂肪酸がグリセロールに結合したトリアシルグリセロールであり、一般に中性脂肪として知られている。三つの脂肪酸は炭素数の違いから分類すると、炭素数が8～10結合した中鎖脂肪酸と炭素数が12以上結合した長鎖脂肪酸とに分類される。中鎖脂肪酸は牛乳脂肪中に約4～5%含まれる。また、母乳中にも約1～3%含まれる。植物性固形脂では、パーム核油に約7%、ヤシ油には約14%含まれている。

ところで、中鎖脂肪酸のみで構成されている中鎖脂肪酸含有油脂（以下MCTと略す）に関しては、1950年に迅速な吸収で引き起こされた吸収不良症候群の食事療法で使用されたのがきっかけで、それ以来多くの優れた報告がなされた¹⁻²²⁾。

MCTの特徴の一つとして、通常の食事に含まれている油脂（長鎖脂肪酸含有油脂）に比較して、消化・吸収されやすく体内で酸化分解しやすい性質がある。この現象は長鎖脂肪酸含有油脂に比較して非常に特異的であり、この効果は抗肥満作用として考えられることから、現在では特定保健用食品として様々な用途に使用されている。

MCTに関する報告のほとんどは臨床栄養学分野あるいは生化学分野から主に追跡されてきたが、食品科学分野からの報告は著者らが知る限りに於いてはほとんど見あたらないのが現状であることから、今後は食品科学分野からの追跡が必要不可欠である。その理由は、MCTにかかわらず食物はすべて最終的には人間が摂食するからである。MCTの生体に対する効果が優れていても、摂食しなくては全く意味をもたないものになってしまうからである。また、基本的に摂食するためにはその食物が美味しくなくてはならない。この壁をクリアしなければMCTの優れた特性を利用できないことになる。このような単純な理由から著者らは、MCTのもつ優れた特性に関して、食品科学分野から明らかにすることを主目的として、ここ数年に種々の角度から検討してきた結果、若干ではあるが面白い特性を明らかとし、それらの結果について報告²³⁻²⁴⁾してきた。

ここでは、MCTのもつ優れた特性について、著者らが最近明らかにした研究成果のうち、特にパン生地の発酵段階での特性に的を絞って記述する。

1.

パン生地発酵過程における液体油と
固体脂との違い

パン製造の主な材料として油脂が利用されるが、基本的には固体脂（バターあるいはショートニング）が利用される。ここではMCT（液体油）とバター（固体脂）の違いが、パン生地の発酵段階でどのような効果の違いがあるのかを検討した。

食パン製造に必要な材料を利用して生地を作成するが、MCTの特性を確認するためにバターを比較対照として検討した。油脂の添加割合は実験条件として3-10%とした。油脂を一般的なレシピ通りに添加・混合・ミキシングを行った。ミキシング後、一次発酵を行い、経時的に生地からグルテンをRibottaらの方法²⁵⁾に準じて抽出した。得られたグルテンについて物性試験を行った。その結果を図1、2に示した。

グルテンの硬さの変化は、発酵時間が経過するとともに硬さは軽減され徐々に柔軟性が現れた。約10分以後から急激に硬さは急に低下する傾向を示した。MCT添加生地の場合、グ

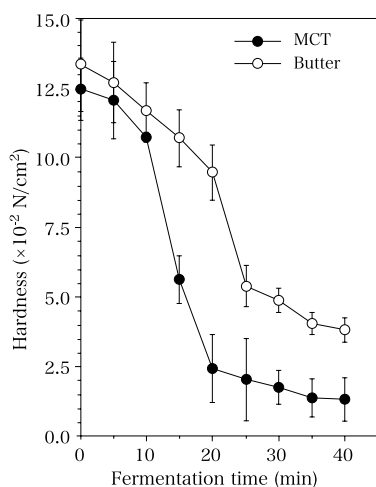


図1 MCTおよびバター添加生地の発酵過程における硬さの変化

ルテンの硬さはバターに比較してかなりの硬さが軽減され柔軟性の特徴が確認された（図1）。粘着性に関しては発酵時間が進行するとともにMCTおよびバターともに低下する傾向を示した。MCTの場合、粘着性はバターほど顕著には現れなかった（図2）。

これらの結果から、MCTのパン生地の発酵過程における特性として、物性の立場から考察すると、生地は非常に柔らかく、粘着性のもたない生地が作成できるものと推察できる。この現象はバターのもつ特性とは異なるものであり、この特性を利用して新たなパンの開発ができるものと推察できる。

次に、発酵過程における特性として、生地の膨張にどのような効果があるのかを追跡した。

2.

油脂の違いによるパン生地の膨張率にお
よぼす影響

MCTおよびバターを3%添加した生地について、発酵時間における膨張率の変化について測定した結果を図3に示した。MCT添加生地の場合、約35分までは直線的に膨張が進行し

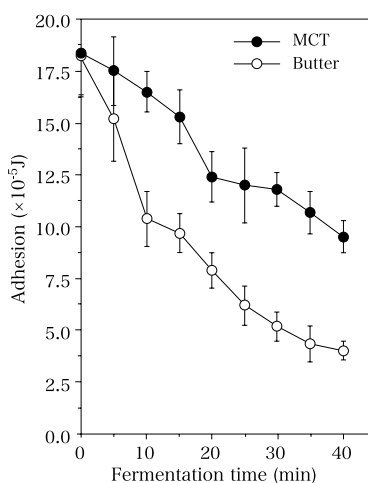


図2 MCTおよびバター添加生地の発酵過程における粘着性の変化

たが、その後、生地膨張は急激に低下する傾向を示した。いっぽう、バター添加生地の場合、約25分までは膨張が進行したが、その後、緩やかに低下する傾向を示した。

添加する油脂の割合を変化させた場合、生地の膨張率はどのような変化を示すものかを検討した。その結果を図4に示した。MCT添加生地の場合、生地の膨張率は2-6%の範囲で油脂

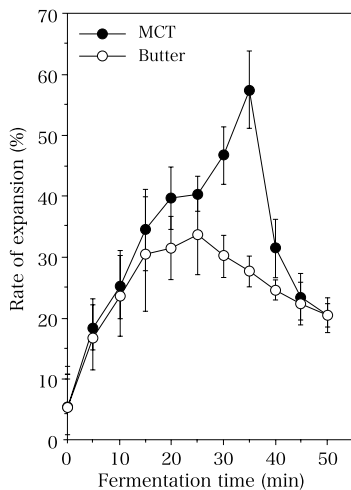


図3 MCT およびバター添加生地の発酵過程における膨張率の変化

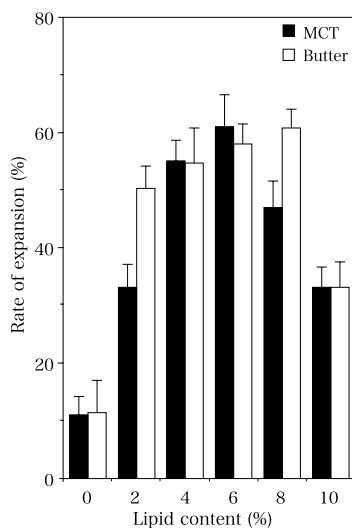


図4 MCT およびバターの添加濃度の変化にともなう膨張率の変化

濃度依存的に増加傾向を示した。油脂添加濃度6%で膨張率は最大となり、添加濃度が増加するとともに膨張率は低下傾向を示した。バター添加生地の場合、油脂添加濃度2-8%まで、濃度依存的に増加傾向を示し、8%で膨張率は最大となった。油脂添加濃度10%ではMCTおよびバターともに同レベルの膨張率を示した。これらの結果から、生地の発酵過程における膨張率に与える影響として、バターとは異なる膨張率の変化が確認された。また、油脂添加濃度もバターとは異なることも確認された。

3. グルテン濃度の影響

生地の発酵過程にMCT(液体油)とバター(固体脂)の違いが物性および生地の膨張率に大きな違いがあることを明らかにした。次に、ミキシング時に形成されるグルテンと油脂との相互作用について検討した。ここでは、生地中のグルテン濃度を変化させた場合、油脂が生地の膨張にどのような効果を示すものかを検討した。MCT およびバター添加生地のグルテン濃度におよぼす膨張率の変化度合いの結果を図5に示

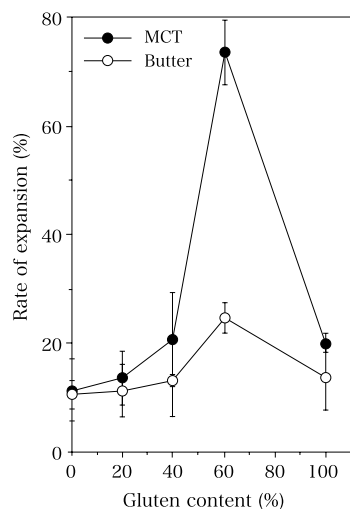


図5 MCT およびバター添加生地におけるグルテン濃度におよぼす生地の膨張率の変化

した。MCT 添加生地の場合、膨張率はグルテン濃度 60% で最大となった。いっぽう、バター添加生地の場合、グルテン濃度 60% で膨張率は最大となったが、膨張率の割合は MCT に比較して低下する結果が得られた。本実験で得られた結果から、MCT およびバターともにグルテン濃度 60% で膨張率は最大となるが、生地の膨張度合いには大きな差が認められた。このことは、発酵過程における MCT の特性として、生地の発酵を促進させる効果があるものと推察される。

4. 油脂とグルテンとの相互作用

油脂とグルテンとの相互作用について分子レベルから確認するために、油脂添加濃度を MCT は 6%、バター添加濃度は 8% とし、生地中のグルテン濃度を変化させた後、50 分間発酵させた添加生地からグルテンを分離・精製した試料について、SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動を利用して確認した。その結果を図 6 に示した。MCT 添加生地の場合、グルテン濃度 60% までは分子量の変化が確認されたが、グルテン濃度 100% では分子量の変化は確認されなかった。いっぽう、バター添加生地の場合、グルテン濃度の変化にともなう分子量の変化は確認されなかった。

5. MCT の発酵過程における作用機構

MCT (液体油) とバター (固体脂) との違いがグルテンの形成の良し悪しに大きな影響をおよぼしていることが本研究結果により明らかになった。また、MCT はパン生地の性質を良好にする優れた特性を有していることも明らかとなった。そこで著者らは MCT のもつ優れた特性の作用機構について若干考察した (図 7)。小麦粉中のグリアジンとグルテリンとの架橋重合がグルテンであることから、ミキシング過程に油脂との相互作用することでグルテンの性質が大きく異なうことが推察される。MCT の場合、グルテン形成にグリアジンおよびグルテリンとの両タンパク質のネットワーク形成において、MCT が両タンパク質の架橋に関与する進行することで、結果としてグルテンの性質が良い方向に向いたことが推察される。バターの場合、両タンパク質のネットワーク形成時にバターそのものが架橋形成を邪魔することで、結果としてネットワーク形成がうまく進行しない可能性が考えられる。

この機構は、今回の実験で得られた結果をもとに推察したことから、他の機構によることも十分に考えられることから、結論を出すまでには至っていないので今後の研究に期待するしかない。

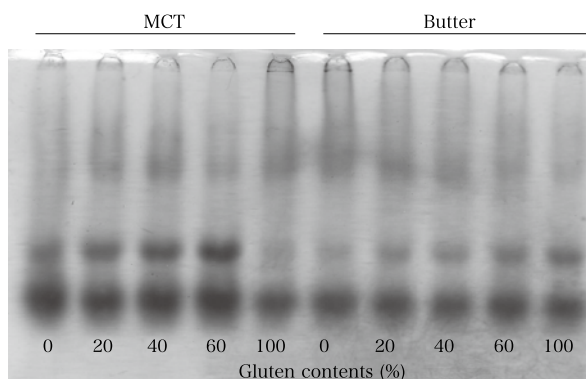
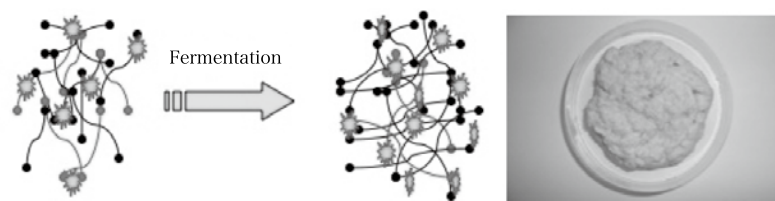


図 6 MCT およびバター添加生地におけるグルテン分子量の変化

With Butter



With MCT

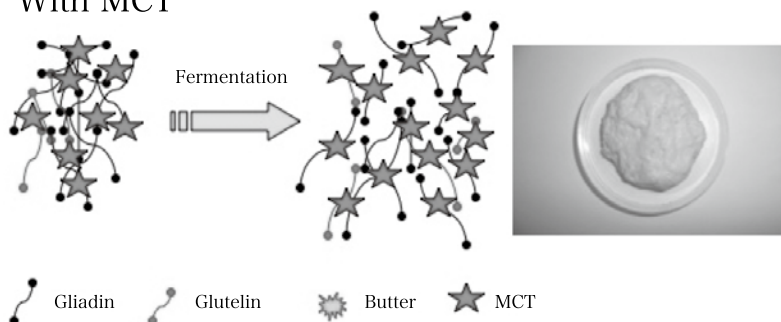


図7 MCTにおける発酵促進作用機構

おわりに

MCTの食品機能特性の解明を、食品科学分野からアプローチするために、ここではパン生地の発酵段階での特性に的を絞って記述した。MCT（液体油）とバター（固体脂）との比較を、物性面と併せ発酵過程で重要なグルテンとの相互作用について若干ではあるが本著に記述した。MCTは生地の硬さを柔軟にし、粘着性を低下させる作用があることが明らかとなった。

また、グルテンとの相互作用について詳細に検討した結果、バターのもつ特性とは全くことなる結果が得られた。少なくとも、製パン業界へのあらたなるアプローチを提起できたものと自負できる。MCTの優れた食品機能特性の解明はスタートしたばかりであり、今後、MCTに関する優れた食品機能特性の解明を遂行することは食品科学分野においては極めて重要な課題として考えてよい。

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

- 1) Seaton, T.B., Welle, S.L., Warenk, M.K., & Campbell, R.G.: Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *American Journal of Clinical Nutrition*, **44**, 630-634, 1986.
- 2) Lavau, M.M., & Hashim, S.A.: Effect of medium chain triglyceride on lipogenesis and body fat in the rat. *Journal of Nutrition*, **108**, 613-620, 1978.
- 3) Geliebter, A., Torbay, N., Bracco, E.F., Hashim, S.A., & Van Italie, T.B.: Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *American Journal of Clinical Nutrition*, **37**, 1-4, 1983.
- 4) Chanez, M., B. Bois-Joyeux, M. J. Arnaud, and J. Peret.: Metabolic effects in rats of a diet with a moderate level of medium-chain triglycerides. *Journal of Nutrition*, **121**, 585-594, 1991.
- 5) Kris-Etherton, P. M., & Yu, S.: Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, **65**, 162-164, 1997.
- 6) Kritchevsky, D., & Tepper, S.A.: Influence of medium-chain triglyceride (MCT) on cholesterol metabolism in

- rats. *Journal of Nutrition*, **86**, 67-72, 1965.
- 7) Leveille, G.A., Pardini, R.S., & Tillotson, J.A.: Influence of medium-chain triglycerides on lipid metabolism in the rats. *Lipids*, **2**, 287-294, 1967.
 - 8) Ecelbarger, G.L., Lasekan, J.B., & Ney, D.M.: In vivo triglyceride secretion and hepatic and plasma lipids in rats fed medium-chain triglycerides, tripelargonin, or corn oil. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **2**, 260-266, 1991.
 - 9) Papamandjaris, A.A., Macdougall, D.E., & Jones, P.J.H.: Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: obesity treatment implications. *Life Science*, **62**, 1203-1215, 1998.
 - 10) 近藤和雄、谷真理子、臼田美香.: 中鎖脂肪酸の栄養特性・作用と応用, *FOOD Style*, **21**, 69-73, 2004.
 - 11) 竹内弘幸.: 食餌脂肪の分子種と体脂肪蓄積に関する研究. 日本栄養・食糧学会誌, **57**, 51-58, 2004.
 - 12) 笠井通雄.: 特定保健用食品としての中鎖脂肪酸, 脂質栄養学, **15**, 55-61, 2006.
 - 13) 青山敏明、笠井通雄.: 体に脂肪がつきにくい食用油脂—ヘルシーリセッター, *FOODS & INGREDIENTS JOURNAL OF JAPAN*, **210**, 2123-2129, 2005.
 - 14) Noguchi, O., Takeuchi, O., Kubota, F., Tsuji, H., & Aoyama, T.: Larger diet-induced thermogenesis and less body fat accumulation in rats fed medium-chain triacylglycerols than in those fed long-chain triacylglycerols, *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **48**, 524-529, 2002.
 - 15) Kasai, M., Nosaka, N., Suzuki, Y., Takeuchi, H., Aoyama, T., Ohara, A., Harada, Y., Okazaki, M., & Kondo, K.: Comparison of diets-induced thermogenesis of foods containing medium-versus long-chain triacylglycerols, *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, **48**, 536-540, 2002.
 - 16) Shinohara, H., Shimada, H., Noguchi, O., Kubota, F., & Aoyama, T.: Effect of medium-chain fatty acids-containing dietary oil on hepatic fatty acid oxidation enzyme activity in rats, *Journal of Oleo Science*, **51**, 621-626, 2002.
 - 17) Kasai, M., Maki, H., Nosaka, N., Aoyama, T., Ooyama, K., Uto, H., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effect of medium-chain triglycerides on the postprandial triglyceride concentration in healthy men, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **67**, 46-53, 2003.
 - 18) Kasai, M., Maki, H., Suzuki, Y., Nosaka, N., Aoyama, T., Inuzuka, H., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effect of medium-chain triglycerides on postprandial concentrations of remnant-like particles in healthy men, *Journal of Oleo Science*, **52**, 197-204, 2003.
 - 19) Nosaka, N., Suzuki, Y., Maki, H., Haruna, H., Ohara, A., Kasai, M., Tsuji, H., Aoyama, T., Okazaki, M., & Kondo, K.: Effects of ingestion of margarine containing medium-chain triglycerides for 4 weeks on blood parameters and postprandial thermogenesis, *Journal of Oleo Science*, **52**, 571-581, 2003.
 - 20) Nosaka, N., Maki, H., Suzuki, Y., Haruna, H., Ohara, A., Kasai, M., Tsuji, H., Aoyama, T., Okazaki, M., Igarashi, O., Kondo, K.: Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans, *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **10**, 290-298, 2003.
 - 21) Suzuki, Y., Nosaka, N., Maki, H., Kasai, M., Aoyama, T., Haruna, H., Toda, T., Okazaki, M., Igarashi, O., & Kondo, K.: Effects of margarine containing medium-chain triglycerides on diet-induced thermogenesis, *Journal of Oleo Science*, **54**, 299-304, 2005.
 - 22) Shinohara, H., Ogawa, A., Kasai, M., & Aoyama, T.: Effect of randomly interesterified triacylglycerols containing medium- and long-chain fatty acids on energy expenditure and hepatic fatty acid metabolism in rats, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **69**, 1811-1818, 2005.
 - 23) Toyosaki, T., Sakane, Y., & Kasai, M.: Oxidative stability, trans,trans-2,4-decadienals, and tocopherol contents during storage of dough fried in soybean oil with added medium-chain triacylglycerols (MCT), *Food Research International*, **41**, 318-324, 2008.
 - 24) Toyosaki, T., Sakane, Y., & Kasai, M.: Comparison of expansion during fermentation on medium-chain triglycerides oil-based and butter fat-based doughs, *Advance Journal of Food Science and Technology*, **2**, 242-245, 2010.
 - 25) Ribotta, P.D., Leòn A.E., Pérewé, G.T., & Anón, M.C.: Electrophoresis studies for determining wheat-soy protein interactions in dough and bread. *European Food Research and Technology*, **221**, 48-53, 2005.

沖縄食文化における“きのこ”

寺嶋 芳江 *

* TERASHIMA Yoshie (琉球大学 熱帯生物圏研究センター)

Key Words：きのこ類・長寿・食文化・食習慣・消費量・生産量・沖縄

はじめに

沖縄と聞いて“健康と長寿”を連想する人は多い。では、沖縄料理といわれて、何を思い浮かべるであろうか。豚、豆腐、昆布、芋、黒砂糖などが代表的な食材、チャンプルー（豆腐入り野菜炒め）、豚料理、ジューシー（炊き込みご飯、雑炊）、沖縄そばなどが代表的な料理である。

一方、“きのこ”は、5'-ヌクレオチド、遊離アミノ酸、糖などの旨味物質を多く含み、味とともにその香りや触感を楽しむことのできる優れた食材である。近年、きのこは低カロリーで食物繊維を多く含むこと、抗変異原物質、抗腫瘍物質などの生理活性物質を含み、機能性をも併せ持つことが解明されたこと¹⁾から人気が高まっている。しかし、“長寿”が形容詞とされてきた沖縄では、きのこはあまり食べられていない。これはなぜであろうか。きのこは、沖縄の伝統料理に食材として使われてこなかったのであろうか。ここでは、沖縄の食文化の中でのきのこという食材の位置づけ、現在のきのこの消費と生産の状況について解説する。

1. 沖縄の食文化ときのこ

1-1. 食文化の特徴

沖縄の食文化は、九州以北の日本列島とは異なる歴史と気候の産物である。歴史的には、15世紀前半の琉球王朝時代の直前から19世紀後半の終焉まで、中国（明、続いて清）との交易が行われた。また、室町時代から江戸時代初期にかけて、日本と中国や朝鮮の国々との旺盛な交易の中継地として、沖縄は欠かせない存在であった。17世紀初頭、薩摩藩は琉球王朝を武力により制圧し、江戸幕府の幕藩体制下に組み入れた。その後、琉球支配は1879年、明治初頭の沖縄県の誕生まで続いた²⁾。このような歴史的背景から、王朝では中国と薩摩の料理を基本に沖縄の食材を用いて、中国からの使者一行や薩摩からの役人一行をもてなす独特の料理が考案された。料理習得のため、琉球王朝の料理人たちは中国や薩摩に派遣され、異国の料理の腕を磨いた。この祝宴料理はやがて宮廷料理となり、首里土族の上流階級に浸透し、ついに那覇の金持ち階級の家庭料理として定着した³⁾。気候としては、沖縄本島を含む琉球列島は亜熱帯に属し、石垣島、西表島を含む先島諸島は最寒月平均気温が18℃以上の熱帯に属する。

このような高温下では、食材の保存には乾燥が必要であり、料理には油を多量に用いて、揚げる、炒めるなどの必ず火を通すという文化が生まれた。

1-2. 宮廷料理にみるきのこ

最後の琉球王が中国からの使者をもてなした際の料理献立が、“五段二十碗料理”として記録に残っている⁴⁾。初段から五段までの料理において、二十碗中の八碗で食材としてきのこが使われていた。例を挙げると、初段大碗四の一つの碗には、早松茸、赤卵、ウーシントウ（緑色豆）が盛られ、また他の一碗には、フカヒレ、小エビ、木之子、ウーシントウ、下腿、チリムジ（卵黄で小麦粉を伸ばした麺）が盛られていた。木之子はシイタケ、松茸はハツタケと推測される。この他、ミミグイ（キクラゲ）、シメジの名称が挙げられていた。これらのうち、シイタケ、キクラゲは現在人工栽培されているが、未だに人工栽培できないハツタケは現在でも高級食材である。しかし、この時代の松茸というきのこの呼称が現在のハツタケと同一であるかは、今後研究の余地がある。

琉球王朝の侍医頭だった渡嘉敷親雲上通寛（とかしきパーちんつうかん、1794～1849）は、琉球王の命を受けて中国北京に留学し、帰国後に琉球食療法の指南書として「御膳本草」を著し、1832年に王に献上した。この本は、琉球国の食用の植物、動物の調理と食べ合わせを記した写本の解説書である。穀物、果物、野菜、茸、海藻、家禽、獣、家畜および野生動物、魚、貝、その他の海洋生物などが取り上げられており、食材としての性質や特性、食するときの注意事項が記述されている。茸としては、きくらげ（木耳）、きのこ（香蕈）、まつたけ（松茸）、いわたけ（石茸）、かわたけ（革茸）、ゑのきたけ（榎茸）、まいたけ（舞茸）、しめぢ（湿地茸）、せうろ（松露）が挙げられている⁵⁾。

野生シイタケの原産地はシイ、カシ類の起源

の中心地であるボルネオ島の熱帯高地であるといわれている⁶⁾。シイ、カシ類の北上とともに、シイタケ産地は日本列島に至った⁷⁾。日本本土における野生シイタケは17世紀には盛んに流通し、料理物語（1643）という料理本にも登場する。また、1796年にはシイタケ栽培の専門書、「温故斎五端編」と「香蕈播製録」が著されたが、栽培方法としては伐倒した木の幹に鉋で刻みをいれてシイタケの発生を待つものであった。19世紀、江戸時代末期になると薩摩を中心として、九州一円で栽培が広まったが、この時期の栽培も現在の人工栽培のように種菌を用いる方法ではなく、特定の樹種の原木に鉋目を入れて粗朶をかぶせて自然に飛来する胞子を待つ方法で行われ⁸⁾、著しく生産性は低かったものと考えられる。しかし、干しシイタケは国内での流通のみならず、昆布などの海産乾物とともに大陸向けの有力な輸出商品となった。

現在沖縄の食材として揺るぎない地位に君臨している昆布も同様に江戸時代に北海道から琉球を経て干しシイタケと同様に中国へ輸出された。ここで、疑問が生じる。昆布はもともと北海道産で、沖縄では産しない。これが琉球を経て中国へ輸出される過程で沖縄の食材として深く根付いた。沖縄ではもともと海藻を多く食する食習慣があったからだろうか。日本のハレの料理として正月のおせち料理の三の重の煮物として登場する昆布と干しシイタケであるが、沖縄におけるこれら二者の食材としての定着と食文化への影響には大きな差が生じた。

1-3. 近年のきのこの係わり

王朝時代の宮廷料理から時代を経て、近年における沖縄庶民の家庭料理ときのこの係わりはどのようなものであったであろうか。明治後期から大正初期にかけての沖縄における行事料理には、シイタケ、キクラゲが汁物や酢の物に用いられていた⁹⁾。また、野生きのことして、キクラゲ（ミミグイ）、シイタケ（チヌク）、ナ-

バ（サルノコシカケ）、シミジ（ハツタケ？）などが食されていた¹⁰⁾。

1960年代から家庭料理の作り方を記述した料理本、所謂“沖縄版おふくろの味”が盛んに発行された。これらを見ると、煮物、汁物、炊き込みごはんに干しシイタケや干したキクラゲがふんだんに使われている。これら料理には、水戻しした乾しシイタケ、干したキクラゲが千切り、あるいはみじん切りの形で混ぜ込まれている。きのこをこのような形に切ると、料理にきのこが入っていてもほとんど気づかない。丸い傘の形を残したシイタケ料理には、“ウラチキヌク”（ウラチキ＝裏付け、キヌク＝シイタケ）というものだけが唯一あり、これはシイタケの傘の裏側に魚のすり身を厚く載せて蒸した一品である。

沖縄本島から西に100 kmの久米島では、アンズタケの一種（図1）を食す習慣が今でも続いている。アンズタケは、マツ科やブナ科の樹木と共生するきのこで、漏斗状の形態とアンズに似たほのかな香りを持つ。日本本土ではあまり食べられないが、フランスではジロールと呼ばれ、庶民的なきのこである。その香りを生かして、簡単なソテーのような料理から、リゾットやオムレツ、また、ソースとともに煮て鴨肉料理の付け合せなどの手の込んだものまでさまざまな料理に利用されている。また、沖縄にはタイワンシロアリが栽培する食用きのこ、オオ

シロアリタケ（図2）が発生する。夏に土壌中のシロアリの巣から地上に株上にきのこが発生するため、一回に多くの収量が得られる。シャキシャキとした触感と旨味があり、ソテー、汁物に適している。一般的なきのこではないが、一部のきのこマニアの間では、ジーナバと呼ばれて食されている。気温の高い沖縄では生のきのこの日持ちが悪いので、一日ナバとも呼ばれている¹¹⁾。

2. 消費と生産の現状

2-1. きのこの消費

関東地方において2000年と2005年に10歳代以上の一般人約300名を対象にきのこの摂取について行ったアンケート調査では、両年共に干しシイタケを「好き」が67%であり、「嫌い」15%と「どちらでもない」18%を上回った。年代別に比較した場合には、両年ともに、年代が上がるとともに「好き」という回答が多くなり、10歳代よりも20歳代の方が「好き」は増加した¹²⁾。

しかし、20歳代の若者の食生活にきのこは定着していない。女子学生へのアンケート調査では、いも、海草、きのこの摂取回数は特に少なく、次いで果物、豆腐・大豆製品、魚の摂取回数が少なかった。これら和食の食材は好まれていなかった¹³⁾。また、同じく女子学生への調査でも、第六次日本人の栄養所要量（年齢区



図1 アンズタケの一種



図2 オオシロアリタケ

分別 18～29 歳) に比べて、いも、豆、魚、緑黄色野菜とともにきのこの摂取量は 78% と低かった¹⁴⁾。

沖縄県では、成人の年間きのこ摂取量は全国に比べて少なく、一日のきのこ摂取量について 20 歳代から 80 歳以上までの平均で、全国では男性 15.3 g、女性 14.8 g に対して沖縄県では男女共に 6.4 g であった¹⁵⁾。表 1 に示したように沖縄県中央卸売市場年報¹⁶⁾ の統計によると、

2009 年には県内産きのこ(エノキタケ、ブナシメジ、クロアワビタケ)の 23 t のみならず、県外産 287 t、外国産 48 t が流通していた。生シイタケの多くは中国、および鹿児島県や徳島県などの県外産、ナメコは長野県産であった。エノキタケは長野県と長崎県、次いで県内産、ブナシメジは福岡県と香川県、次いで県内産が扱われていた。クロアワビタケは県内産であった。沖縄県は島嶼県であることから、県外から

表 1 2009 年沖縄県中央卸売市場でのきのこ類取り扱い数量 (kg)

	生シイタケ	ナメコ	エノキタケ	ブナシメジ	クロアワビタケ	その他
沖縄県			14,448	8,382	492	
北海道	32					
青森県		60				
岩手県	62					
宮城県	8			2,628		
秋田県	84					
山形県	87	4				26
福島県	48					
群馬県			30			
千葉県						12
新潟県			8,484	102		71
富山県				286		
石川県	374					
長野県			55,872	5,424		4,008
岐阜県	117					
静岡県						2,894
鳥取県						26
岡山県						1,201
広島県				1,941		
香川県				16,471		639
徳島県	3,810					
福岡県	120	5	5,765	94,060		38,139
佐賀県	6					
長崎県	1,148	5,554	23,719			522
熊本県	168		180			
大分県	587	214	4,470			
宮崎県	2,460	15	510	120		102
鹿児島県	3,820		445			
県外計	12,931	5,852	99,475	121,032		47,640
アメリカ	45					
中国	47,711					1
タイ	195					
韓国						396
その他						3
外国計	47,951					400

の食材はすべて空輸あるいは船便で送られてくる。きのこのような生鮮度が重視される食品には輸送の温度、時間に極めて慎重さが要求されたため、コストにも影響する。

2-2. きのこの生産

沖縄県森林資源研究センターでは、原木シイタケや特徴あるヒラタケ類（ニオウシメジ、クロアワビタケ）などの栽培試験に取り組み、栽培マニュアルを完成した¹⁷⁾。現在では、生シイタケ、ニオウシメジ、クロアワビタケをはじめ、ウスヒラタケなどが県内で栽培されている。

沖縄県における1989年からのきのこ生産量を図3に示す。従来からの生シイタケ、ヒラタケ類は減少傾向にあるが、2003年からのエノキタケ、2007年からのブナシメジの生産量上昇は著しい。これは、今帰仁村（なきじんそん）に設立されたきのこ生産工場の貢献による。生産物の出荷形態では、生シイタケにのみ78%の個人出荷がみられるが、エノキタケ、ブナシメジなど他のきのこには100%集荷業者が関与している¹⁸⁾。

しかし、生シイタケに注目すると、栽培上の問題点を抱えている。現在まで原木を利用して

栽培されてきたが、1989年に37tあった生産量は2008年には5tにまで落ち込んでいる（図3）。この理由としては、シイタケ栽培に欠かせない原木の調達が原木林の奥地化により困難となり、木も大径木化していること、栽培者の高齢化により重い原木を運搬する作業が重労働であることなど、日本全体に共通する問題があること、および、自然保護運動の気運の高揚とともに伐採が制限されることが挙げられる。

日本全体では、おが粉材料となる樹種の多様化と重労働の軽減化を背景として、シイタケの菌床栽培（菌床＝おが粉、米ぬか、水などを混合し、1～3kgずつ箱型に成型した培地に菌を接種したもの）の割合が原木栽培に比べて序々に増加し、2009年には82%に達した。しかし、沖縄県では、51%であった¹⁸⁾。県内でも菌床栽培を行いたいという生産者が多いが、亜熱帯性気候の沖縄に適する品種は研究されておらず、簡易施設を利用して小規模生産者が少ない設備投資で始められる栽培技術は確立されていない。亜熱帯性気候の沖縄において、菌床シイタケ栽培に適する種菌の開発と沖縄の気候に適応した栽培技術を確立することが急務である。

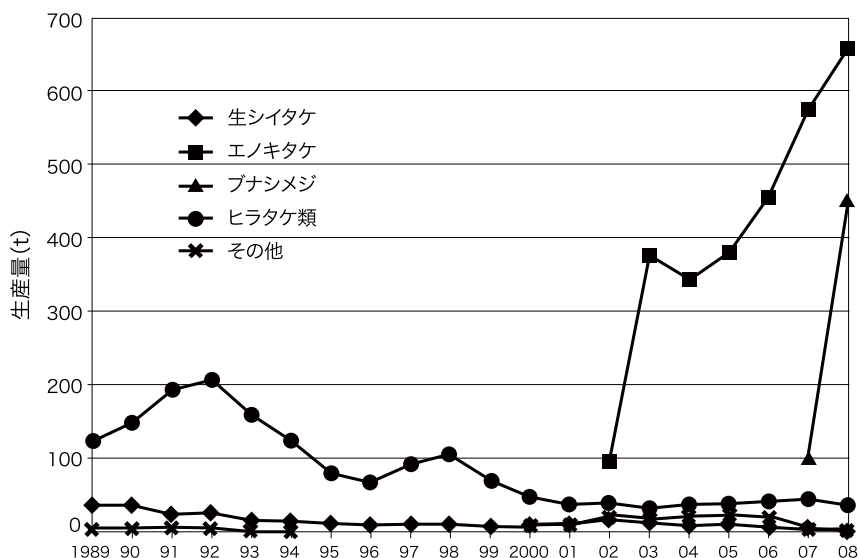


図3 沖縄県におけるきのこ生産量の推移

日本列島のほぼ中央に位置するシイタケ生産の上位県である群馬県の平均気温は、3～5月13℃、6～8月24℃、9～11月16℃、12～2月4℃であるのに対し、沖縄県では、それぞれ21℃、28℃、25℃、17℃である。沖縄県でのシイタケ栽培におけるマイナス面として、1) 春の気温が高く、接種後の害菌汚染の懸念、2) 秋の気温の低下が少なく、子実体発生の誘起の懸念が挙げられる。一方、群馬県では冬期に暖房を使用しなければならないが、沖縄県では冬でも17℃であり、暖房は不要であるというプラス面がある。

2-3. 健康ときのこ

沖縄県は、かつてその健康的食習慣から長寿県であった。厚生労働省の都道府県別生命表から、都道府県別平均寿命ランキングが5年ごとに作成されており、最新データは2005年に発表された。男性の平均寿命は1980年、1985年に第1位であったが、1990年には5位、1995年には4位、2000年には26位に急落し、特に働き盛りの35から49歳の死亡率が全国に比べて高かった。この間、女性の平均寿命は1位を保っているが、全国平均に近づいている¹⁹⁾。

これは、第2次世界大戦の影響により、男性の前期高齢者(60-84歳)が少なく、戦中、戦後を生き抜いた後期高齢者(85歳以上)が長寿であったという理由による。

沖縄県は戦後から1972年までの間アメリカの統治下におかれ、食文化においてもこの影響を受けた。戦争直後の食糧不足の状況下で米軍の軍用食料から供出された豚肉の缶詰(ポークランチョンミート)が一般家庭に普及し、当時の育ち盛りの人々の嗜好に影響した。現在でもポーク玉子(ポークランチョンミートと卵焼き)は人気が高い。ステーキ、ハンバーガーも一般的になり、タコライスは若者の人気料理である。

このような脂肪分の多い食品嗜好が一因で、現在では男女とも各年代で肥満割合が高く(図4)²⁰⁾、特に働き盛りの30～50歳代の生活習慣病の予防が喫緊の課題である。長寿沖縄を取り戻そうと、県の施策として、健康おきなわ²¹⁾を作成し、健康的な生活習慣の目標を定めた。この中で、食生活の指針である沖縄版食事バランスガイドにも野菜、海藻とともにきのこの摂取が勧められている(図5)。

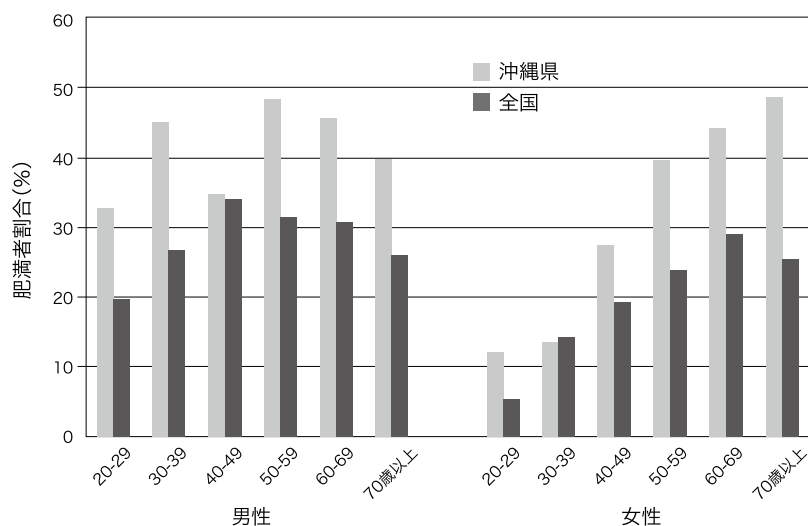


図4 全国と比較した沖縄県における肥満者の割合(2005年)

健康おきなわ²¹⁾より

おわりに

沖縄では、きのこは宮廷料理として用いられた高級食材であった。近年になり、きのこは優れた味と触感を持った食材であるという認識とともに、家庭料理本にもこれを材料として生かした料理が数多く紹介されている。しかし、「きのこ料理を食べるか」との問いに対し、沖縄の20歳代の若者は「食べない」と答える場合が多い。家庭料理には、細かく刻んだきのこがふんだんに使われているが、若者はきのこが入っていることに気づいていない。これは、日本全体の問題と同様に、食生活から“おふく

ろの味”が消えつつあることに起因する。県が推進する健康おきなわ21の目標にあるように、様々な食材を食べる食習慣を意識してつくるべきである。

日本全体では1960年以来きのこの生産量は右肩上がりに増加し、1989年のきのこ生産量33万tから2009年には46万tに達した。きのこの健康に良いイメージから消費はさらに増加するものと思われる。沖縄においてもきのこの良さが改めて見直され、食生活に取り入れられようとしている。

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

- 1) 横川洋子・河岸洋和：キノコの科学，菅原龍幸編，東京，朝倉，pp. 143-160, 1997.
- 2) 外間守善：沖縄の歴史と文化，東京，中央公論新社，pp. 19-89, 2007.
- 3) 翁長君代：琉球料理（沖縄の味），調理科学 **5**：158-162, 1972.
- 4) 高木 凜：大琉球料理貼，東京，新潮社 pp. 6-8, 36-41, 2009.
- 5) 横山 學：琉球国食療書「御膳本草」ノートルダム清心女子大学生活文化研究所年報 **1**：40-142, 1987.
- 6) 横山和正：野生シイタケの分布，菌草 **25**(3)：22-27, 1979.
- 7) 原田幸雄：キノコとカビの生物学，東京，中央公論社，pp.4-8, 1993.
- 8) 中村克也：キノコの事典，東京，朝倉，pp.205-212, 1982.
- 9) 宮城節子・外間ゆき・尚 弘子他：明治後期から大正初期にかけての沖縄における行事食の食品使用上の諸特徴，琉球大学教育学部紀要 **30**：299-308, 1986.
- 10) 金城勇徳：ありんくりんぬちぐすい，那覇市，週刊レキオ社，pp. 79-81, 2002.
- 11) 西表島エコツーリズム協会：西表島エコツーリズム通信「西表島だより」 **1**：4, 2010.
- 12) 平出政和：消費者に好まれる乾しいたけの栽培技術の開発，森林総合研究所平成18年度研究成果選集：48-49, 2006.
- 13) 横山 一郎・土肥 美代子：短期大学女子学生の食生活調査から，http://sugar.alic.go.jp/japan/view/jv_0306a.htm
- 14) 山本美紀子・菅 淑江：中国学園大学女子新入生における栄養素等摂取状況，中国学園大学紀要 **3**：7-12, 2004.
- 15) 平安山明子・村田 晃：沖縄県における栄養素等と食品群別の摂取状況，永原学園西九州大学・佐賀短期大学紀要 **36**, 111-118, 2006.
- 16) 沖縄県中央卸売市場年報平成21年，<http://www.pref.okinawa.jp/oroshiuri/newpage1.htm>
- 17) 沖縄県森林資源研究センター，<http://www.pref.okinawa.jp/rinshi/>
- 18) 農林水産省特用林産物受給動態調査，<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kensaku/bunya5.html>
- 19) 桑江なおみ・下地実夫・金城絹子他：沖縄県における平均寿命，年齢調整死亡率，年齢階級別死亡率の推移(1973-2002)，沖縄県衛生環境研究所報 **40**：121-128, 2006.
- 20) 健康おきなわ21，<http://www.kenko-okinawa21.jp/>

新潟県がリードする食品への高圧処理技術

鈴木 敦士 *

* *SUZUKI Atsushi* (新潟大学 名誉教授, 帝京平成大学 教授)

Key Words : 高圧処理・食品加工技術・特許・規格・安全性・新潟

はじめに

新潟県は、農林水産業や食品産業などを主要産業とした全国有数の食料生産基地である。2008 年度産業分類別統計の県内製造品出荷額等をみると、製造業計 51,954 億円のうち、食料品製造業は 7,428 億円で、全体の 14.3 % を占めている。特に、米菓、無菌包装米飯、水産練製品等は、高い品質と加工技術を有し全国のトップシェアを占めている。また、社団法人新潟県食品産業協会や新潟県酒造組合など食品産業界の連携体制も取れており、食料品製造業は本県の主要産業となっている。しかしながら食品製造業界には中小企業が多く、一社当たりの出荷額は必ずしも高いものではない。また、高齢者社会の到来、国民の健康意識の高まりによる機能性食品市場の拡大、食品の安全性、食育など、食を巡る問題が声高に叫ばれるようになった作今、食品の付加価値を高め、食を巡る諸問題の解決に資する基盤技術の開発が強く望まれるに至った。

「食の高付加価値化に資する技術」とは何か、を考えたときに、1980 年代後半から約 20 年にわたる基礎的研究と実用化研究の成果を蓄積した新潟県の誇る高圧処理技術こそ、その目的に適う技術であると考えた。「食品への高圧加工

の概要」については他の成書^{1,2)}を参照されたい。

1. 新潟県における高圧加工食品開発の歴史

生物への高圧処理技術が世に出たのは、高圧物理学者の P.W. ブリッジマン博士が、高圧下における卵白の凝固についての論文を発表した 1914 年のことであった³⁾。70 年あまりが過ぎた 1987 年、当時の京都大学林 力丸教授によって従来の加熱加工に代わる「食品の風味や栄養価を損なわず殺菌可能な食品加工法としての圧力利用」の可能性が提案され¹⁾、また、1989 年に農林水産省支援のもとに、食品産業超高圧利用技術研究組合が組織され、「食品産業の未来を拓く—高圧技術と高密度培養」という課題でのプロジェクトが開始されると、研究課題毎に 1 つの食品企業と 1 つの機械装置製造業者がグループをつくって研究が進められた⁴⁾。その成果の一つとして、1990 年に超高圧加工ジャムが世界最初の圧力加工食品としてわが国の市場に登場したのである。その後いくつかの圧力加工食品がテスト販売や市場にも登場したが、必ずしも定着するまでには至らなかった。

農林水産省支援のプロジェクト終了後(1995 年)、食品への高圧利用は新潟県における産学

表 1 新潟県における高圧加工食品開発の歴史

1914	P.W. Bridgman が「高圧による卵白の凝固」を発表
1987	京都大学 林教授が「食品加工への高圧利用」を提案
1989	新潟大学 小笠原教授を中心に「新潟県高圧応用食品研究会」が発足→新潟県における高圧食品研究の開始
1991	「高圧利用に関する研究成果報告書」刊行
1999	長岡商工会議所に「H・P (High Pressure) 未来産業創造研究会」が発足→企業を中心とした実用化研究の展開
2000	高圧米飯プラントの完成（越後製菓沼田工場）→全国で初めて高圧処理の大量生産プラントの完成
2000	シジシー（CGC）パスカリゼーションプロジェクトが発足→全国に高圧処理食品の販売網が整う
2003	地域新生コンソーシアム開発事業（経済産業省）に採択→実用化に向けた技術シーズの蓄積
2007	高圧基盤技術標準化機構の設立→高圧技術の標準化に向けた産学官連携体制の構築
2008	新潟県地域結集型研究開発プログラムのスタート

一体となった活動以外は低調であった。

新潟では、（故）小笠原長宏新潟大学教授の提案で 1989 年 1 月に「超高圧技術の食品等への応用に関する研究会（略称：新潟県高圧応用食品研究会）」が発足し、大学、企業、県食品研究所などが一体となって、研究に取り組んだ。とにかく、「あらゆる食品に圧力をかけてみる」、と言ったところからのスタートで、装置も高額なことから蓬餅（1994 年）や低アレルゲン調理米（1995 年）の販売が主な成果であった。1991 年 3 月に「高圧利用に関する研究成果報告書」を刊行した後⁵⁾、この研究会は 1999 年 4 月に長岡商工会議所を事務局として設立された、H・P（High Pressure）未来産業創造研究会に引き継がれた。

H・P 未来産業創造研究会では民間企業が主役となり高圧処理技術を活用した新商品開発と実用的な装置開発に力を入れ、2000 年に高圧処理による無菌包装米飯が発売された。この大量生産可能なプラントの稼働により、ハードルを一つ越えた形になり、研究会に参加する企業が新潟県の枠から全国に広がるきっかけになった。また同じ年にシジシー（CGC）パスカリゼーションプロジェクトが発足し、全国に高圧処理食品の販売網が整った。

2003 年度には経済産業省の公募型委託研究事業「地域新生コンソーシアム—高圧処理を利用

した新機能性食材の開発と産業化」が採択され、成果を挙げた。

また、2007 年 5 月には高圧技術に関する戦略的な標準化を推進するため「高圧基盤技術標準化機構」を立ち上げ、大学や独立行政法人等との幅広い連携を進めている。

このような背景のもとに 2008 年 1 月、日本科学技術振興機構（JST）2007 年度「新潟県地域結集型研究開発プログラム—食の高付加価値化に資する基盤技術の開発」が開始されたのである。表 1 に開発史の概要を示す。

2. フェーズ I（2008 年 1 月～2010 年 3 月）における事業概要と成果

2-1. 本プログラムで対象とした圧力の強さ

我が国における高圧技術研究の第一期には圧力単独による殺菌効果に期待が寄せられたが、600 MPa の圧力を加えても完全な殺菌効果を得られない事が判明した。第二期には熱と圧力を併用して殺菌効果や物性の改良を目指し、米加工品の分野で実用化がなされたが、高圧装置の価格問題もあり、高圧処理技術の普及には限界があった。高圧技術研究の第三期にあたる本プログラムは、400 MPa 以下の比較的穏やかな圧力を加えることにより食品素材に生じる物理的・生化学的影響の組み合わせによる新規の効

果（圧力誘導形質転換：High-Pressure Induced Transformation いわゆる Hi-Pit）を解明し、イノベーション創出の源とすることになった。

フェーズⅠにおけるプログラムの目的を表2に示す。

表2に示すようにフェーズⅠのプログラムは3つのテーマで構成されている。プログラム開始後、約2年を経過した昨年度（2009年度）に中間評価（2009年12月の現地調査と2010年2月に面接評価）が実施された。

フェーズⅠの研究成果の主なものを振り返り、現在進行中のフェーズⅡのテーマが絞り込まれていく過程について記してみたい。

2-2. テーマ1 次世代型高压プロセスによる高機能・高付加価値食品の開発

2-2-1. サブテーマ1-1：高压処理による生物素材中の代謝反応制御と機能性成分の富化

食品素材の構造変化や内在する酵素反応に及ぼす高压効果メカニズムを明らかにし、代謝反応を高压処理で制御する事で機能性成分を富化する技術を開発する事を目指し、合計44種類の食品素材のORAC値（Oxygen Radical Absorbance Capacity：活性酸素吸収能力）の変動に及ぼす高压効果を解析し、データベース化することができた。

ORAC値とは人体に有害な活性酸素を吸収する能力を示す値なので、この値が高いほど老化

防止効果が高いと言える。高压処理により食品素材のORAC値を高めることは機能性富化の一つとなる。

高压処理による穀物類の機能性成分に関する研究成果および構築した抗酸化活性のデータベースを基にして、日本人の食生活に不足しがちな栄養成分や機能性成分を幅広く含み、美味しく食べやすい穀物ごはんをコンセプトとした「十穀ごはん」を商品化した。

2-2-2. サブテーマ1-2：高压プロセスに適した微生物の開発

圧力で制御可能な圧力感受性の酵母や乳酸菌の探索・創出を行い、酵母と乳酸菌が共存する複合系における発酵性を解析し、新規の微生物制御技術を確立することを目指した。

その結果、圧力感受性株の高速検索を可能とする基本システムを構築し、通常の乳酸菌が500 MPaまでの耐圧性を示すのに対し、300 MPaで感受性を示す高压感受性株として *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Leuconostoc mesenteroides* を選抜することができた。圧力感受性菌を用い、発酵漬物の試作を行った結果、300 MPaで乳酸菌の増殖を抑えることができた。

また、酵母標準株 *Saccharomyces cerevisiae* に紫外線による変異誘発を行い、野生株と同等のアルコール発酵能を有し、200 MPa、5分間の圧力処理で親株の約10%まで死滅する高压感

表2 プログラムの目的

テーマ1 次世代型高压プロセスによる高機能・高付加価値食品の開発

サブテーマ1：高压処理による生物素材中の代謝反応制御と機能性成分の富化

サブテーマ2：高压プロセスに適した微生物の開発

テーマ2 高压を利用した物性変換技術の開発

サブテーマ1：高压を利用した物性変換技術の開発（タンパク質素材）

サブテーマ2：高压を利用した物性変換技術の開発（澱粉・農産物素材）

サブテーマ3：高压を利用した物性変換技術の開発（物性評価）

テーマ3 高压に係わる安全性確保技術の確立

サブテーマ1：軽量・低コスト化高压装置の安全性確保技術の開発

サブテーマ2：食品安全性確保技術の開発

受性変異株を2株取得した。

2-3. テーマ2 高圧を利用した物性変換技術の開発

2-3-1. サブテーマ2-1：高圧を利用した物性変換技術の開発（タンパク質素材）

高圧による食肉タンパク質組織構造の脆弱化（軟化）、タンパク質溶液の固化（ゲル化）および高圧下での可逆的立体構造変化と中間体構造解析などのタンパク質物性変換メカニズムの解明を行うとともに、これらのメカニズムを応用したソフト食の製造を目指した。

その結果、各種タンパク質溶液における加圧ゲルおよび加圧—加熱ゲルのデータベース化を重ねる中で、加圧ゲルは加熱ゲルに比べて、微細で緻密なゲル構造を有し、加水量を上げることが可能であることから、高齢者や嚥下困難者に向けた特性を有していることを明らかにした。

また、筋原線維の高圧軟化および食肉タンパク質の加圧ゲル化のメカニズムはすでに解明されており⁶⁾、新たに結合組織の高圧軟化のメカニズムが解明され、タンパク質素材の高圧軟化に係わる基本的なメカニズム解析はほぼ完了した。

さらに、鶏卵白中の安定した立体構造を持ち強いアレルギー性を示すオボムコイドを取り上げ、圧力下での可逆的立体構造変化と中間体構造解析を行う中で、300 MPa程度の圧力下において酵素（ α -キモトリプシン）で分解され、同時に患者血清IgE抗体への結合性やアレルギー物質の放出が有意に抑制されることを明らかにした⁷⁾。

2-3-2. サブテーマ2-2：高圧を利用した物性変換技術の開発（澱粉・農産物素材）

米澱粉に対して100～400 MPaの高圧処理効果および各種加工処理に対する高圧処理効果を検証し、澱粉含有農産物を原料とした高圧加工食品の開発、さらに、高圧処理のみが可能とする特徴（均一かつ澱粉高含有ゲル、細胞の微

細破壊）を最大限活かせる食品製造技術を開発することを目指した。

新潟県の食品企業においてニーズの高い米・米加工品への実用化を目指し、米澱粉の物性変換に及ぼす圧力条件を解明するため、粳米および糯米澱粉における糊化データベースの構築を行い、完全糊化、部分糊化、老化を誘導するのに必要な澱粉含量、処理圧力条件を明確に示せるようになり、高圧処理でのみ製造可能な均一かつ澱粉高含有ゲルの利用にあたっての基盤技術を確立した⁸⁾。このことにより、高圧処理による米加工技術の応用を図るうえでの基本特性を把握することができた。

米粉製造においては、高圧と酵素処理を併用することにより、処理時間の短縮化と微細で均一な粒度の米粉が得られた。

また、高圧の微細破壊による抽出技術の実用化として、小麦での細胞破壊による高効率なアレルギータンパク質の分解・溶出技術による低アレルギー小麦製品の実用化が図られ、2009年11月から販売開始された⁹⁾。

2-3-3. サブテーマ2-3：高圧を利用した物性変換技術の開発（物性評価）

高圧技術の特徴（加圧ゲル、高圧軟化）を活用した高齢者や嚥下困難者用食品の開発を進めるため、若年、高齢を含む健康者や嚥下困難者の咀嚼・嚥下機能の評価手法を確立すること、一方、介護食の開発が厚労省の物性基準に偏重し呈味が軽視されてきた状況を考慮し、味覚データベースを構築し、呈味の改善を行うことにより、嚥下困難者や要介護者のQOLの向上を図ることを目指した。

食品の条件づけが機能に与える効果を検討した結果、食品の嗜好や味の違いによって摂食機能時の筋活動パターン（随意筋の活動の変化）は異なることが明らかになり、物性値のみの評価ではなく、嗜好性や味覚の重要性が確認された。

2-3. テーマ 3 高压に係わるシステム安全性確保技術の確立

2-3-1. サブテーマ 3-1：軽量・低コスト化高压装置の安全性確保技術の開発

食品用高压装置に対し機械安全の国際規格 ISO12100 や機能安全の国際規格 IEC61508 などの世界標準の安全確保手法を取り入れた試みはなく、それらに基づくシステム安全性を組み入れた世界に通用・流通する安全が確保された高压装置を開発すること、また試作した高压装置の安全認証を行い、安全性を国際標準に基づき宣言するとともに、食品用高压装置の国際規格化を目指した。

強度信頼性を評価するため切欠き疲労強度、破壊靱性などの設計データベースを構築するとともに、压力容器の応力解析を行い高応力部の応力低減法を開発した。また、空気混入対策、圧力ヒューズなど、本質安全設計、安全確認型システムの導入を行った。さらに、機能安全性の確保された制御システムの開発を行い、安全認証スキームの構築と安全認証技術の開発を行った。

システム安全技術の着実な修得を図りながら、リスクアセスメントを行うための高压装置（圧力：200 MPa、容量：5L）と、その実施結果による安全設計にそった高压装置を試作した。

2-3-2. サブテーマ 3-2：食品安全性確保技術の開発

食品中を想定した様々な条件での微生物の耐圧性を測定することにより圧力感受性データベースを構築すること、また、胞子殺滅の指標菌となっているボツリヌス菌について、モデル食品を選定して、実際の製造工程に即したボツリヌス菌の挙動を解明することを目指した。

その結果、*Clostridium* 属での加圧による発芽誘導を見出し、その条件を明らかにすることができた。加圧による発芽誘発は *Bacillus* 属では知られていたが、*Clostridium* 属では明らかでなかった。しかし、200 MPa 加圧時にアミノ酸を加え、かつ 45℃ に加温することで、多くの胞子が発芽し、その後の 80℃ の加熱で、最大 5 log の殺菌を達成できることが判明した。*Clostridium* 属は加熱殺菌の指標菌であるボツリヌス菌など多くの病原菌を含むため、この知見の食品加工分野への貢献は大きい。

また、蜂蜜中での顕著な発芽誘発効果は確認できなかったが、蜂蜜に対して加熱処理はしたくないという企業ニーズに対応し、高压処理による酵母による自然発酵を抑制した「高峰ルビーはちみつ」が商品化された。

フェーズ I で得られた成果に基づき出願した特許の一覧表を表 3 に示す。

表 3 特許出願

年度	特許の名称	特許番号
2008	試料成分の分離方法および分析方法	特願 2008-40595
2008	微小化学分析システムおよびこれを用いた試料成分の分離、分析法	特願 2008-40597
2009	食肉の加工方法並びにソーセージの製造方法	特願 2009-148068
2009	高压処理歴の判別法	特願 2009-172529
2009	食用内臓肉のレトルト処理方法並びに食用内臓肉入りレトルト食品の製造法	特願 2009-183695
2009	食感改善用家禽用飼料、食感の改善された食肉の製造方法および家禽の飼育方法、並びに家禽用食肉軟化剤	特願 2009-210936
2009	高压装置に備える空気混入検知装置および高压処理装置	特願 2009-238471
2009	食肉の加工方法並びに加工食品	特願 2009-238472
2009	高压処理装置	PCT/JP2009/057508

3. フェーズⅡ（2010年4月以降～）に向けての取り組みと進行状況

フェーズⅡをむかえた2010年度からは、フェーズⅠで創出された研究成果の検証を行い、また2009年度に実施された中間評価実施結果を踏まえて、高圧処理の優位性を発揮できる利用分野への絞り込みを行った。高圧に関する更なる新規イノベーションの創出とその実用化を推進し、『食の高付加価値化』を目指した研究テーマ構成を表4に示し、進行状況を紹介する。

3-1. テーマ1 高圧処理の優位性を活かした高付加価値食品の開発

高圧処理の優位性を発揮できる分野として「米および米粉加工」、「食肉軟化」、「低アレルギー化」を定め、更に高圧食品の実用化推進に必要な技術として「安全性確保」についての研究開発を行い、食の高付加価値化を進めるとともに、国策でもある米粉利用促進や食料自給率の向上といった社会情勢の要請に資する取り組みを行う。

フェーズⅠでは「食品安全性確保技術の開発」はテーマ3の「高圧に係わるシステム安全性確保技術の確立」のサブテーマの一つになっていたが、フェーズⅡではこの部分はテーマ1の中のサブテーマとすることにした。

3-1-1. サブテーマ1-1：米および米粉加工技術の開発

微細米粉製造の従来技術のひとつとして酵素処理法（新潟県保有特許）があるが、この

方法では平均粒径40 μm程度が限界であった。フェーズⅠにおいて、高圧処理と酵素処理を併用することにより、小麦粉並み（平均粒径20 μm程度）に近づける米粉製造技術の可能性が示唆された。一方、企業ニーズとしては、既存商品よりも更なる、滑らかさ、流動性、分散性、ソフト性を求め、他地域と差別化を図るために超微細米粉の開発が求められている。そこで、フェーズⅡでは、平均粒径20 μm程度、澱粉損傷度5%程度の超微細米粉を目標に定め、その製造技術の確立とその特徴を活かした新規用途拡大を目指した取り組みを行っている。

そのためには小テーマとして、圧力条件、酵素処理条件、粉碎条件をパラメータとした「超微細米粉製造条件の確立」を行うとともに、その用途開発としての「利用適性評価」を行う。また、「物性」条件と「生化学的」条件の2つの観点から、超微細米粉製造のメカニズムの解明と最適化のアプローチを行う。

いままでのところ圧力下（200 MPa）で酵素処理を行うことにより平均粒径20 μm程度の超微細米粉の製造に成功している。この米粉を使ってケーキを試作したところ、舌触りの滑らかな、弾力性に富んだ製品が出来た。現在澱粉損傷度を低くするための最適条件を検討している。

従来米粉の問題点（粒径の問題、食感の問題、品質の問題）が解決できれば、ソフトせんべい、洋菓子、畜肉製品の結着剤、高齢者食品用のとろみ剤などの用途が考えられる。また化粧品基剤にも使用可能ではないだろうか。

表4 フェーズⅡのプログラム構成

テーマ1 高圧処理の優位性を活かした高付加価値食品の開発

サブテーマ1：米および米粉加工技術の開発

サブテーマ2：食肉軟化技術の開発

サブテーマ3：低アレルギー化技術の開発

サブテーマ4：高圧食品の安全性確保

テーマ2 高圧装置に係るシステム安全確保技術の確立

3-1-2. サブテーマ 1-2：食肉軟化技術の開発

フェーズⅠにおいて、高压処理と重曹処理、調味液浸漬の併用による食肉軟化法の開発とそのメカニズムの解明を行った。一方、企業ニーズとしては、硬い部位の肉を軟らかくした食材としての提供や、ソーセージ用ケーシングの軟化、部位による硬さのバラツキ解消への高压利用が期待されている。フェーズⅡでは、豚肉や牛肉の未利用部位、廃鶏肉（親鶏肉）に対する軟化技術の確立を行い、利用性の低い食肉の高品質化と歩留りの向上を目指した取り組みを行う。

そのためには小テーマとして、「軟化条件の確立と利用適性の評価」を行うとともに、その肉を食した場合の「栄養・消化性」の評価を行う。いままでに、硬くて利用性の低い豚肉（そもそも）の実用化に向けた食肉製造工場に即したスケールでの重曹・高压併用処理を行いトンカツを揚げた結果、保水性の高い、ロース肉に匹敵する柔らかさを持ったトンカツを得ることが出来た。また、マウスを使い、重曹・高压併用処理肉の栄養・消化性評価を行ったところ、未処理肉に比べて差異は認められなかった。

3-1-3. サブテーマ 1-3：低アレルギー化技術の開発

フェーズⅠにおいて、アレルギー患者が多く低アレルギー化が最も困難である卵白オボムコイドについて、高压下で分解が促進できる可能性を見出した。フェーズⅡでは、卵の低アレルギー食品素材または経口免疫寛容剤としての利用を想定し、鶏卵白アレルギー分解 90% 以上、ヒト鶏卵アレルギー患者血清 IgE への結合度 1/1000 以下を目標に定め、食品素材や臨床段階のニーズにマッチした低アレルギー化素材の開発を目指す。

そのためには小テーマとして、「アレルギーの分解性」について鶏卵白アレルギー分解条件を網羅的に探索することと、更に次段階ではそれを選択的に分解する条件を探索する。アレルギー

分解達成度とヒト鶏卵アレルギー患者血清 IgE への結合度の関係など「アレルギー性の評価」を一体として進める。また、新潟アレルギー研究会の医師と連携を図りながら、臨床面におけるアレルギー性の評価を進める。

いままでに、フェーズⅠで使用されたキモトリプシンは食品添加物として認められていないため、パパインを用い、加圧下でのオボムコイド分解と IgE 結合度への影響を検討した結果、300 MPa、30 分でオボムコイド分解度は 90% 以上に達し、IgE との結合度が 1/1000 以下となることが確認された。一方、卵白アレルギーの一つであるオボアルブミンをオボムコイドと同条件下でパパイン処理した場合は分解されにくいことが明らかになった。

鶏卵アレルギー患者の数は 488 ～ 976 千人と推計され、医療現場においては、「移行食」としてアレルギー性を低減した食材が強く求められていることから、鶏卵の低アレルギー化は一定の市場性が認められるものと思われる。

3-1-4. サブテーマ 1-4：高压食品の安全性確保

高压食品の実用化を図りその普及を推進するためには、高压食品の安全性を確保することは非常に重要である。フェーズⅠでは加圧による耐熱芽胞の発芽誘導、その後の低温加熱殺菌する方法を確立した。フェーズⅡでは、この成果を活用してサブテーマで取り組んでいる高压食品の微生物安全性の確保に応用する。それとともに製造工程を HACCP 管理する一般モデルを構築し、製品の微生物的安全性を確保することを目指す。

そのためには小テーマとして、具体的なターゲットによる「微生物安全性確保」を行うとともに、実用化の普及を図るためには、高压殺菌の指標菌の標準化を目指した「微生物の不活化に関する標準手法の確立」が必要となる。また、高压処理による微生物以外の安全性も懸念されるので、その確認のために高压食品の「動物お

よび細胞毒性評価による安全性確保」も同時に進めて行く。

高圧処理食品の安全性評価に関しては、加熱や放射線に比べてエネルギーレベルが低いため新たな物質の生成は考えられない。調査した限りでは毒性の発言を問題視する国際的規制や基準は見受けられない。従って、新に危害因子が生じないことから、世界各国においては、牡蠣、ハム、アボカドなど数多くの高圧処理食品が、殺菌という安全性向上の目的で開発・市販されており、問題なく食されている。微生物安全性確保が唯一考えなければならない問題である。

これまでの結果を見ると、重曹・高圧併用処理した豚肉の大腸菌、サルモネラなどの菌数は約3桁減少し、微生物安全性が向上した。また、重曹・高圧併用処理豚肉を使ったトンカツについての HACCP 計画の一般化モデルの構築は終了している。

先に記したように高圧処理による新たな毒性の発生は考えられないが「安全」とは別次元の「安心」の問題として、国内の public acceptance を得ることは必要である。そこで食品安全基本法に基づくリスク評価の考えを取り入れている、「いわゆる健康食品」に関する指針に準じて評価を行うこととした。現時点で重曹・高圧併用処理豚肉による動物食餌試験および細胞毒性評価を行った結果、体重変化、飼料摂取量、目視観察による異常は認められず、また処理の有無にかかわらず豚肉の遺伝毒性はバックグラウンドレベルであった。

3-2. テーマ2 高圧装置に係るシステム安全確保技術の確立

高圧食品が普及していない要因の一つとして、既存の高圧装置の圧力、容量、装置重量、価格等の面から、食品関連企業が行う高圧食品の研究開発に適した小型高圧装置が市場に存在しないことがあげられる。高圧食品の企業化を進め、更には高圧食品産業群の形成を図るため

には、食品産業界に適した小型高圧装置が必要とされている。その際、高圧に関して十分な知識がない人でも取り扱うことができるように、国際安全規格にそって安全性を確保する必要がある、このことにより、ユーザーと装置メーカーの双方のリスクを軽減しながら、高圧装置の普及を図ることが可能となる。

フェーズⅠでは、システム安全技術の着実な修得を図りながら、リスクアセスメントを行うための高圧装置（圧力：200 MPa、容量：5L）と、その実施結果による安全設計にそった高圧装置を試作した。

フェーズⅡでは、食品関連企業が求める小型高圧装置（圧力：200～400 MPa、容量：5～10L）について国際安全規格にそって安全性を確保し、本プログラムの開発現場において、高圧装置を利用しながら安全設計手法確立のための検証を進める。また、テーマ1の研究成果と企業化のビジネスモデルを見極めながら、企業化に資する高圧装置の仕様に基づいた安全設計手法の検討を行い、これらを統合して食品用高圧装置の安全設計、安全認証プロセスに資するシステム安全規格を提案する。

そのためには小テーマとして、高圧装置部材や構造の強度信頼性確保、機械安全規格 ISO12100 および機能安全規格 ISO13849 に準じて安全性を確保し、また、実際の高圧食品の開発現場で使用することにより高圧装置の「安全設計手法の確立と検証」を行う。更にこれらを統合して高圧装置のシステム安全規格としてまとめて「安全技術の確立および安全認証スキームの構築」を進めている。

4. 今後の課題と展望

2010年11月24日～26日にかけて幕張メッセで開催されたアグリビジネス創出フェア2010において本プログラムの紹介と高圧加工

食品の展示と試食（十穀ごはん、玄米ごはん、低アレルギー小麦製品、生ジャム、ウインナーソーセージ）、および高圧処理装置の展示を行った。同時にブースを訪れた見学者に対してアンケート調査を行った結果（回答者数 285 名）を図 1 に示す。

自由記入の欄では「高圧処理食品を実際に作ってみたい。どこに相談すればよいのか?」、「高圧処理のメリットは?どのような商品に適應できるのか?」、「農産物で生ジャムを作りたい」、「豆などの雑穀でエキス化を行いたい」、「高圧装置は実際に売っているのか?どこで購入できるのか?」、「プログラムで試作した小型高圧装置を貸してもらえないか?」、「装置を導入するにあたりどのくらいのコストがかかるのか?」等々が記されていた。

わが国で高圧加工食品の研究が始まり、世界最初の高圧加工食品として「ジャム」が市場に登場して約 20 年を経過したが、市場に出回っている高圧加工食品の数は相変わらず少数に留まっている。実際に高圧処理食品を口にした人々の評価は高いにもかかわらず、高圧処理食品が普及しない最大のネックは高圧処理装置の価格が高いことにつく。これまで食品に特化した静水圧利用の高圧装置の安全規格について検討された例はなく、安全性を確保するために安全率を大きく設定した重厚長大・高価格の産業用高圧装置となっているのが現状である。本

プログラムの目指す、人間の誤操作、機械の誤作動・故障があっても事故・災害に至ることのないシステム安全手法に基づき、小型・軽量・安価な小回りのきく食品業界用装置の普及が早急に求められている。

目を国外に転じると高圧加工食品の数は必ずしも増えていない。米国におけるアボカドペースト、オイスター、ジュース、スペインにおけるハムやソーセージといったものが主なものである。欧米においてはフレッシュャー・アンダー・プレッシャー（Fresher under Pressure：圧力下で鮮度維持）と言った考え方が主流であり、わが国のような機能性の富化、物性変換、低アレルギー化といった考え方は含まれていないと言って良い。アジアに目を向けると韓国や中国が高圧処理食品に取り組んでいるが韓国の個包装米飯以外はわが国における高圧加工食品の黎明期と同じレベルではないだろうか。

おわりに

本稿は現在進行中の、「新潟県地域結集型研究開発プログラムー食の高付加価値化に資する基盤技術の開発」の研究内容と成果について記してきた。高圧加工食品は「安全」、「安心」かつ「省エネ」と言われている。高圧加工食品実用化の先頭を走る新潟がどのような製品を創り出すのか、世界が注目していると言っても過言ではない。現在進行中のプログラムの終了時には本ブ

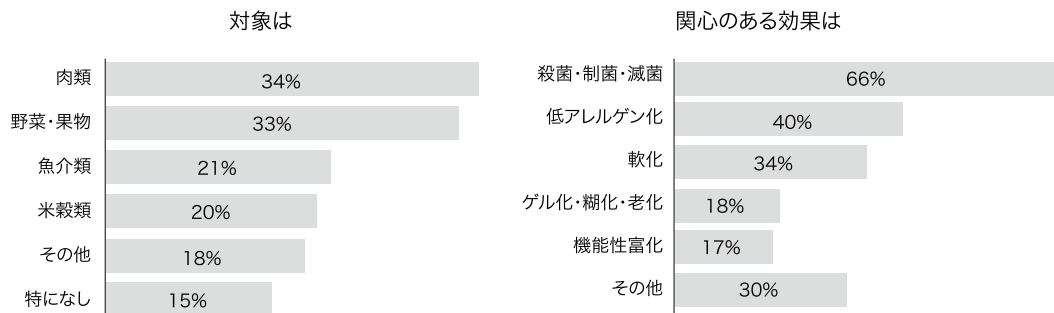


図 1 高圧処理食品に対するアンケート（複数回答）

ログラムが目標としている食品関連企業で140億円、装置関連企業で20億円の売り上げが得られることを期待している。

謝辞

本稿は「新潟県地域結集型研究開発プログラム中間評価報告書：食の高付加価値化に資する基盤技術の開発」を基に執筆されたものである。

丸山 智企業化統括、小林 篤副企業化統括、西海理之副代表研究者、山崎 彬 H・P 未来産業創造研究会会長をはじめとしてプログラム遂行にご尽力いただいている大学・公設試験所、企業の皆様に御礼申し上げます。また、このプログラムの中核機関であるにいがた産業創造機構の皆様に感謝申し上げます。

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

- 1) 林力丸：高压下現象の食品分野への利用，「食品への高压利用」林 力丸編，京都，さんえい出版，p1-30, 1989.
- 2) 鈴木敦士：食品と圧力，「新しい高压力の科学」毛利信男編，東京，講談社サイエンティフィク，p264-312, 2003.
- 3) P.W. Bridgman, Coagulation of egg albumen by pressure, *J.Bio.Chem.*, **19**, 511-512, 1914.
- 4) 木村進：食品の未来を拓く高压技術と高密度培養，食品産業超高压利用技術研究組合編，東京，健康産業新聞社，1993.
- 5) 「高压利用に関する研究成果報告書」超高压技術の食品等への応用に関する研究会編，新潟，双葉印刷，1991.
- 6) Suzuki A., Ikeuchi Y., Nishiumi T. *et al.*; Application of high pressure to meat and meat processing 「Advanced Technologies for Meat Processing」eds. by L. M. Nollet and F. Toldra, NY, Taylors & Francis, p193-217, 2006 .
- 7) 小谷スミ子：高压力を利用した食品の低アレルギー化 - 卵アレルギーの抑制技術の開発 -, 食品工業 **53**(4), 41-50, 2010.
- 8) 川井清司，深見健，山本和貴：高压処理による澱粉の改質，食品工業 **53**(4), 65-72, 2010.
- 9) 小林 篤：高压処理技術を応用した新製品の開発事例，食品工業 **53**(4), 51-63, 2010.

—地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索—

納豆の持つ抗酸化作用と生理機能

岩井 邦久*

*Iwai Kunihisa (青森県立保健大学・健康科学部・栄養学科)

Key Words：納豆，抗酸化作用，LDL，動脈硬化，過酸化脂質濃度

はじめに

大豆を主原料とした発酵食品のひとつである納豆には、粘り、独特の匂い、糸など様々な特徴がある。納豆以外にも豆腐や味噌などの大豆加工食品は、日本人にとって非常に身近な食品である。それとともに、このような大豆加工食品は、世界から注目を集めている日本型食事にとって代表的な食品の一つでもある。

我々は、地域の食資源の中から抗酸化作用に優れた素材を探索し、健康の維持・増進、特に生活習慣病の予防に役立てることを目的に抗酸化活性のスクリーニングを行ってきた。これは、多くの生活習慣病が、その原因を辿ると生体内で過剰に発生した活性酸素種やフリーラジカルによる酸化傷害に起因していることが明らかになってきたからである^{1,2)}。抗酸化活性の評価には種々の原理と方法が存在するが、我々はフォトンを測定する方法を用いた。これは、大久保ら³⁾のXYZ原理に基づき、多種多様な食品や素材を迅速かつ簡便に測定できる方法として確立したものである^{4,5)}。この方法を用いて、青森県産の農水産物、食品および飲料など数百に及ぶ試料を評価した。その中で、納豆に抗酸化活性のあることが見出された。納豆は血圧降下作用⁶⁾、血栓予防効果⁷⁾、ホルモン様作用⁸⁾、

抗腫瘍効果⁹⁾など多くの生理作用を有することが明らかになりつつあり、健康的な食品として認識されてきている¹⁰⁾。そこで、我々は納豆の抗酸化性、特に粘性物質に着目し、その抗酸化作用と生理機能を解明する研究を進めた。

1. 納豆の抗酸化活性

我々は、フォトン検出によるXYZ-dish法^{4,5)}を用いて納豆の種類や納豆分画物の抗酸化活性を検討し、納豆の水溶性成分である粘性物質と豆水抽出物に強い抗酸化活性のあることを明らかにした。そこで、電子スピン共鳴 (ESR) 装置を使用したスピントラップ法および光増感化

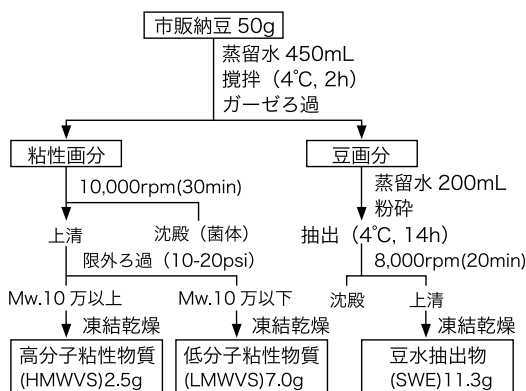


図1 納豆水溶性成分の調製法

合物を用いた溶血の程度を測定する方法によって、納豆の抗酸化活性を *in vitro* でさらに検討した。

納豆の水溶性成分は図1に示す方法で調製した(図1)。即ち、納豆に蒸留水を加えて攪拌し、ろ過によって粘性画分と豆に分離し、粘性画分から遠心分離によって菌体を除去した。この水溶性の粘性画分を限外ろ過によって分子量10万以上の高分子粘性物質(High molecular weight viscid substance: HMWVS)と分子量10万以下の低分子粘性物質(Low molecular weight viscid substance: LMWVS)に分離した。粘性物

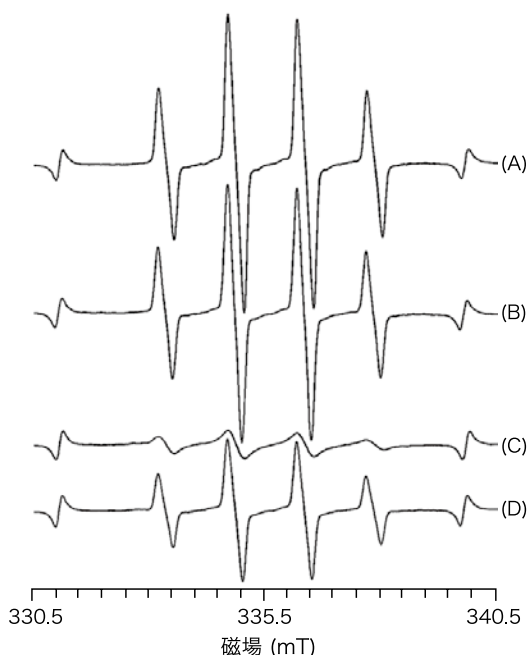


図2 納豆水溶性成分を添加した時のスピントラップ法による $\cdot\text{OH}$ のESRスペクトル

(A) 蒸留水; (B) HMWVS; (C) LMWVS; (D) SWE. 試料濃度は10 mg/mLとした。 $\cdot\text{OH}$ 生成はFenton反応に基づき、0.9 M DMPO, 4 mM FeSO_4 , 1 mM DTPA, 10 mg/mL 納豆水溶性成分溶液, 1 mM 過酸化水素をこの順に添加し、一定時間後にフリーラジカルモニター JES-FR30 (JEOL) で測定した。測定条件: 強度: 4 mW, 中心磁場: 335.500 mT, 掃引幅: ± 5 mT, 変調幅: 0.32 mT, 掃引時間: 1分, 時定数: 0.1秒, 増幅: 50倍。

質を除いた豆には蒸留水を添加してホモジナイズし、遠心分離によって得た上清を豆水抽出物(Soybean water extract: SWE)とした。これらはすべて凍結乾燥して最終調製した。

1) 納豆成分のラジカル消去活性¹¹⁾

スピントラップ剤として5,5-dimethyl-1-pyrroline-N-oxide (DMPO)を使用するスピントラップ法¹²⁾により、ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)およびスーパーオキシドアニオンラジカル($\text{O}_2^{\cdot-}$)のESRスペクトルを測定した。 $\cdot\text{OH}$ のESRスペクトルでは、蒸留水添加時(A)の $\cdot\text{OH}$ スペクトルに対して納豆水溶性成分添加時の $\cdot\text{OH}$ スペクトルのシグナル強度がHMWVS > SWE > LMWVSの順に弱まった(図2)。

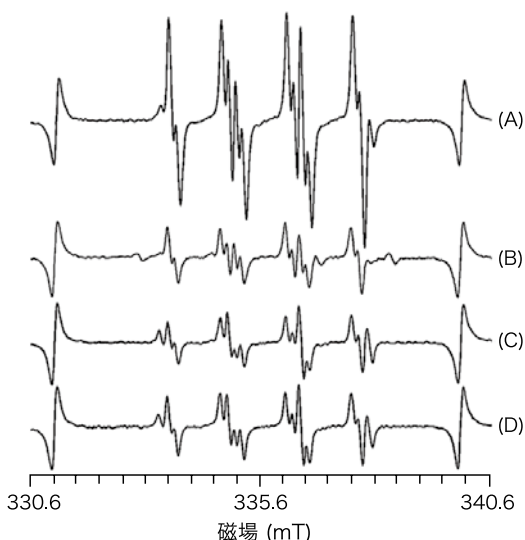


図3 納豆水溶性成分を添加した時のスピントラップ法による $\text{O}_2^{\cdot-}$ のESRスペクトル

(A) 蒸留水; (B) HMWVS; (C) LMWVS; (D) SWE. 試料濃度は10 mg/mLとした。 $\text{O}_2^{\cdot-}$ の生成はヒポキサンチン-キサンチンオキシダーゼ反応に基づき、4.5 M DMPO, 5 mM HPX, 9.625 mM DTPA, 10 mg/mL 納豆水溶性成分溶液, 0.4 U/mL XOD溶液をこの順に添加し、一定時間後にフリーラジカルモニター JES-FR30 で測定した。測定条件: 強度: 4 mW, 中心磁場: 335.600 mT, 掃引幅: ± 5 mT, 変調幅: 79 μT , 掃引時間: 1分, 時定数: 0.1秒, 増幅: 200倍。

表1 納豆水溶性成分のESRによる・OH消去活性および $O_2^{\cdot-}$ 消去活性

	・OH (mmol DMSO eq/mg)	$O_2^{\cdot-}$ (U SOD eq/mg)
HMWVS	0.058 ± 0.004	5.995 ± 0.063
LMWVS	0.708 ± 0.492	6.301 ± 1.145
SWE	0.142 ± 0.032	2.508 ± 0.401

数値は3回測定の平均値±標準偏差を示す。

$O_2^{\cdot-}$ のESRスペクトルでは、納豆水溶性成分を添加した場合に $O_2^{\cdot-}$ シグナルの強度がSWE > HMWVS > LMWVSの順に弱くなった(図3)。

これらのシグナル強度から・OHおよび $O_2^{\cdot-}$ の消去活性を算出したところ、ジメチルスルホキシド(DMSO)相当濃度で算出した納豆水溶性成分の・OH消去活性はHMWVS < SWE < LMWVSの順に増大し、スーパーオキシドディスムターゼ(SOD)相当活性として求めた $O_2^{\cdot-}$ 消去活性はLMWVSとHMWVSの活性が同等で、SWEよりも強い傾向を示した(表1)。この結果より、納豆水溶性成分の中では、分子量10万以下の粘性物質(LMWVS)が強いラジカル消去活性を持っていることが示唆された。

2) 納豆成分の酸化抑制活性

次に、Chlorin e₆ trisodium salts (Chl) および Pheophorbide a (Pheo) の光増感化合物を用いた溶血試験¹³⁾を検討した。200 µg/mLの納豆水溶性成分の添加によって溶血は減少し、その溶血率はHMWVS > LMWVS > SWEの順に低下した。溶血を半減させるのに必要な納豆水溶性成分の濃度(IC₅₀)を算出すると、SWEがLMWVSと同等以上の溶血抑制作用を有し、HMWVSはSWEの1/3～1/6の強さであることが明らかとなった(表2)。

ChlやPheoなどのクロロフィル系色素には光増感作用のあることが知られており¹⁴⁾、光照射によって色素が励起され、 O_2 存在下で 1O_2 を生成する¹⁵⁾。溶血は 1O_2 により赤血球膜が

表2 光増感酸化による溶血に対する納豆水溶性成分の抑制濃度(IC₅₀)

	Chl	Pheo
HMWVS	314.1 µg/mL	494.6 µg/mL
LMWVS	90.6 µg/mL	163.5 µg/mL
SWE	53.0 µg/mL	159.4 µg/mL
EGCg*	113.1 µM	98.5 µM
His*	18.5 µM	39.3 µM

ラット赤血球懸濁液に納豆水溶性成分を添加し、2 µM ChlあるいはPheoを加えて混合した後、10,000 luxの光を経時的に照射した時の懸濁液上清の吸光度を測定し、蒸留水で溶血させた上清の吸光度を100%として溶血率を算出した。納豆水溶性成分の添加濃度を変化させ、溶血率を50%に抑制する成分濃度をIC₅₀として算出した。*EGCgはエビガロカテキンガラート、Hisはヒスチジンを表し、陽性対照として用いた。

脂質酸化やタンパク質変性の損傷を受け、脆弱化することによって生じる現象である¹⁶⁾。従って、これらの納豆成分には 1O_2 による酸化の抑制作用もあることが明らかとなった。

2. 納豆成分のLDLの酸化抑制効果(in vitro)¹¹⁾

納豆のLMWVSおよびSWEにラジカル消去活性があることが明らかになったので、納豆水溶性成分がどのような生理機能を有しているのかを検討した。ラジカルや活性酸素種は体内でも産生され、生命の維持に重要な役割を果たしている。人間が呼吸で取り入れる酸素の約2%は体内に残留し、1年間で2～3 kgの活性酸素が生じていると言われている。しかし、様々な要因によって過剰なラジカルや活性酸素が発生すると、正常な細胞や臓器に酸化傷害を引き起こす。殆どの生活習慣病の発症は、活性酸素による酸化傷害が引き金となっていることが明らかになりつつある。特に、悪性新生物(癌)、心疾患および脳血管疾患には、いずれも活性酸素種による酸化傷害が関与しており、その中でも

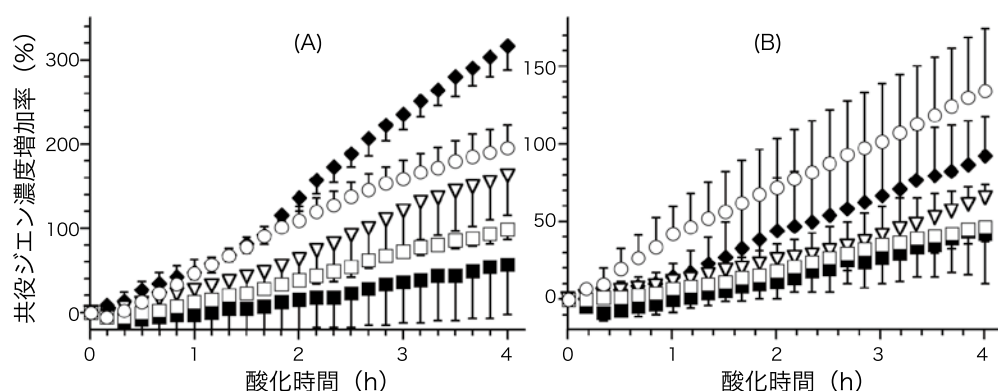


図4 納豆水溶性成分を添加したラット LDL を Cu^{2+} (A) あるいは AAPH (B) で酸化した時の共役ジエン濃度増加率の変化

■ LDL 単独；◆ Cu^{2+} (A) あるいは AAPH (B) による LDL 酸化；○ HMWVS 添加後の LDL 酸化；□ LMWVS 添加後の LDL 酸化；▽ SWE 添加後の LDL 酸化．タンパク質濃度 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の LDL に 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の納豆水溶性成分を添加し，2 μM CuSO_4 あるいは 0.3 mM AAPH を添加して 37℃ で酸化し，共役ジエン濃度として 234 nm の吸光度を測定し，その増加率を算出した．データは 3 回測定の平均値±標準偏差を示す．

心疾患や脳血管疾患の原因となる動脈硬化の発症には血漿低密度リポタンパク質 (LDL) の酸化変性が深く関わっている¹⁷⁾。

そこで，ラジカル消去活性を認めた納豆水溶性成分が，ラット LDL の酸化を抑制する効果を *in vitro* において検討した．密度勾配超遠心法により調製したラット LDL に銅イオン (Cu^{2+}) を添加して酸化すると，酸化時間とともに共役ジエン濃度が LDL 単独より大きく増加し，LDL の酸化が示された．これに対し，HMWVS を添加すると LDL の酸化に伴う共役ジエン濃度の増加は次第に抑制され，LMWVS および SWE 添加時の共役ジエンは LDL+ Cu^{2+} より終始低い濃度で推移した (図 4-A)。

この LDL 酸化抑制作用は納豆水溶性成分が銅イオンをキレートしたためではなく，ラジカル消去活性に基づくことを明らかにするために，ラジカル発生剤である 2,2'-Azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) による LDL 酸化も検討した．LDL に AAPH を添加すると LDL 単独よりも共役ジエンがこの条件では約 1.9 倍に増加し，HMWVS の添加

は AAPH による LDL の酸化を抑制し得なかったが，LMWVS および SWE 添加時の共役ジエンの生成は LDL+AAPH より低い濃度で推移した (図 4-B)。

即ち，どちらの酸化においても LMWVS および SWE の添加濃度の増加に従って共役ジエン濃度の低下が認められ，両成分とも 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 添加では LDL 単独よりも共役ジエン濃度が低下した．これらの実験から，LDL の酸化に対して，分子量 10 万以下の納豆の粘性物質と豆水抽出物にラジカル消去作用による LDL 酸化抑制効果のあることが明らかとなった．また，LDL 酸化の 50% 抑制濃度 (IC_{50}) を算出すると，両酸化系において LMWVS > SWE > HMWVS の順に抑制作用が認められた (表 3)。

納豆の粘性物質は γ -ポリグルタミン酸よりも粗タンパク質を多く含み，発酵時間とともにそれらが増加することが報告され，その粗タンパク質は殆どが分子量 6～7 万以上の高分子ペプチドの状態が存在することが明らかにされている¹⁸⁾．LDL の酸化抑制作用が見出された LMWVS は分子量 10 万以下の粗画分であり，

表3 納豆水溶性成分の LDL 酸化に対する抑制濃度 (IC₅₀)

	酸化抑制濃度 (μg/mL)	
	Cu ²⁺ 酸化	AAPH 酸化
HMWVS	86.45	1720.3
LMWVS	58.36	65.93
SWE	76.14	71.16
EGCg*	0.80 (1.70)	3.14 (6.86)

*EGCg は陽性対象としたエピガロカテキンガラートを表す。カッコ内数値は μM 単位。

フォトン検出による抗酸化活性の検討 (XYZ-dish 法) では LMWVS の抗酸化活性が納豆の発酵時間とともに増大することも明らかになっている。このことより, LMWVS の LDL 酸化抑制作用には粗タンパク質由来のペプチドや比較的低分子のアミノカルボニル反応生成物などの関与が予想される。

また, 大豆の抗酸化性にはトコフェロールやイソフラボン類が関与していることが知られている¹⁰⁾。納豆では, 発酵によって Daizein や Genistein などのイソフラボンアグリコンが増加するのではなく, 水溶性画分が抗酸化性に関与していることが報告されている¹⁹⁾。LDL の酸化抑制作用が認められた SWE は納豆から粘性物質を除いた豆部分の水抽出物であるため, 脂溶性ビタミンであるトコフェロールや疎水性のイソフラボン類の存在は少ないと考えられる。従って, 作用成分としてはタンパク質, ペプチド, さらには水溶性のフラボノイドなどが予想されるが, これらは今後の検討課題である。多くの報告²⁰⁾と同じように, 陽性対照として使用したエピガロカテキンガラート (EGCg) は LDL の酸化に対して強い抑制作用を示したのに対し, 納豆水溶性成分の LDL 酸化抑制濃度 (IC₅₀) は EGCg より弱かったが, その効果は AAPH 酸化や ESR の結果から連鎖抑制作用やラジカル消去作用に基づくものであることが明らかになり, ある程度の有用性が考えられる。

また, これらの納豆水溶性成分は精製された単一物質ではなく, タンパク質やペプチドあるいは他の水溶性化合物の混合物であるため, 精製した成分の LDL 酸化抑制作用はこれよりも強まる可能性が考えられる。

3. 納豆成分を摂取した時の酸化抑制作用²¹⁾

in vitro では納豆水溶性成分の添加が LDL の酸化を抑制したので, 次に納豆水溶性成分をラットに与え, その血漿を酸化させた時の LDL 酸化抑制効果を検討した。

1% コレステロールを添加した高コレステロール食を基本食とし, LMWVS あるいは SWE を 9% 添加した飼料を調製した (表4)。納豆水溶性成分の添加量はヒトの 1 回の納豆摂取量を目安に算定し, 各成分に含まれるアミノ酸量および炭水化物量からカゼイン量およびスターチ量を調整した。基本食を与えたラットをコントロール群, LMWVS 添加食を与えたラッ

表4 納豆水溶性成分食の組成 (%)

成 分	基本食	LMWVS 食	SWE 食
カゼイン	20.0	14.6	15.0
α- コーンスターチ	13.0	12.1	12.0
β- コーンスターチ	39.0	36.3	36.0
シュークロース	10.0	10.0	10.0
セルロース	5.0	5.0	5.0
コーン油	7.0	7.0	7.0
ビタミン混合 *	1.0	1.0	1.0
ミネラル混合 *	3.5	3.5	3.5
重酒石酸コリン	0.25	0.25	0.25
塩化コリン	0.25	0.25	0.25
コレステロール	1.0	1.0	1.0
LMWVS	0	9.0	0
SWE	0	0	9.0

納豆成分食のカゼインとスターチ量は, 納豆水溶性成分中のタンパク質および炭水化物量から, 基本食と同量になるように調節した。* ビタミンには AIN-93-VX を, ミネラルには AIN-93G-MX を使用した。

表5 1% コレステロール含有納豆水溶性成分食を3週間摂取したラットの体重総増加量, 絶食下最終体重, 肝臓重量および体重100g当たりの肝臓重量比

	コントロール群	LMWVS 群	SWE 群
体重総増加量 (g)	132.6 ± 13.4	133.7 ± 21.7	130.6 ± 18.9
絶食下最終体重 (g)	220.0 ± 6.8	215.6 ± 17.4	213.9 ± 15.6
肝臓重量 (g)	12.61 ± 0.51	12.68 ± 1.14	12.30 ± 1.10
肝臓/体重比 (g/100 g)	5.73 ± 0.16	5.88 ± 0.25	5.75 ± 0.30

ラットは3週間飼育後, 20時間絶食した。数値は各群6匹の平均値±標準偏差を示す。

トを LMWVS 群, SWE 添加食を与えたラットを SWE 群とし, 自由摂食で3週間飼育した。

1) 納豆成分のラット成長に及ぼす影響

3週間の飼育期間中に, コントロール群, LMWVS 群, SWE 群いずれも良好な体重推移を示し, 3群間に有意差は見られなかった。体重の増加がほぼ一定であることから, 成長に対する異常は生じていないことも推察された。試験による体重総増加量, 飼育終了時の絶食下体重, 肝臓重量および体重100g当たりの肝

臓重量比のいずれも3群間に差は認められなかった(表5)。この結果も納豆水溶性成分はラットの成長に悪影響を及ぼさないことを示している。

2) 銅イオン酸化による血漿および LDL 中の過酸化脂質濃度の変化²¹⁾

納豆水溶性成分を摂取したラットの血漿を銅イオンの添加によって酸化し, 経時的に採取した酸化血漿および酸化血漿から分離した LDL 中のチオバルビツール酸反応生成物 (TBARS) を過酸化脂質濃度として測定した。

コントロール群の血漿中過酸化脂質濃度は酸化時間とともに増加し, 4時間後には約1.4倍に達したが, 両納豆水溶性成分食群の血漿中過酸化脂質濃度の増加は緩やかであり, 酸化2~4時間では非摂取ラットより有意に低濃度を示した(図5-A)。LDLの酸化においては, 同様に LMWVS 摂取ラットの LDL 中過酸化脂質濃度はコントロール群よりも低濃度だったが, 増加の程度はコントロール群と大差なかった。一方, SWE 摂取ラットは酸化2~4時間において緩徐な増加曲線を示し, コントロール群よりも有意に低い過酸化脂質濃度を示した(図5-B)。

この結果より, 納豆水溶性成分は経口摂取された時も血漿および LDL の銅イオン添加による酸化に対して抑制効果を示すことが明らかとなった。この酸化抑制作用は, LMWVS よりも SWE が強い傾向を示し, *in vitro* において認

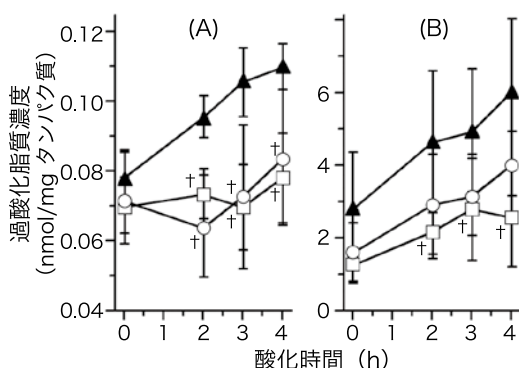


図5 1% コレステロール含有納豆水溶性成分食を3週間摂取したラット血漿を銅イオンで酸化した時の血漿 (A) および LDL (B) 中過酸化脂質濃度の経時変化

▲ コントロール群; ○ LMWVS 群; □ SWE 群。ラット血漿を CuSO_4 の添加によって酸化し, 血漿および分離した LDL 中の過酸化脂質濃度をタンパク質1mg当たりのチオバルビツール酸反応生成物 (TBARS) 濃度として蛍光法で測定した。データは各群6匹の平均値±標準偏差を示す。†はコントロール群に対する有意差を表す ($p < 0.05$)。

表 6 1% コレステロール含有納豆水溶性成分食を 3 週間摂取したラットの血漿、赤血球、肝臓および動脈中過酸化脂質濃度

組 織	過酸化脂質濃度 (nmol/mg タンパク質)		
	コントロール群	LMWVS 群	SWE 群
血 漿	0.069 ± 0.005	0.056 ± 0.013	0.049 ± 0.005 [†]
赤血球	19.00 ± 12.80	12.62 ± 3.88	12.71 ± 3.93
肝 臓	0.207 ± 0.076	0.158 ± 0.019	0.138 ± 0.024
動 脈	0.230 ± 0.078	0.204 ± 0.062	0.151 ± 0.058

数値は各群 6 匹の平均値±標準偏差を示す。†はコントロール群に対する有意差を表す ($p < 0.05$)。

められた LDL の酸化抑制作用¹¹⁾とは一致しなかったが、納豆水溶性成分の酸化抑制作用が体内でも発揮され得ることを明らかにした。

3) 臓器中過酸化脂質濃度

納豆水溶性成分食を摂取したラットから採取した血漿、赤血球、肝臓および動脈中の過酸化脂質濃度を測定すると、これらの臓器において両納豆水溶性成分食群の過酸化脂質濃度はコントロール群より低い傾向が認められた(表 6)。特に、SWE 摂取ラットの血漿中過酸化脂質濃度はコントロール群より有意に低下した。

この結果は、納豆水溶性成分の酸化抑制作用は、血漿や LDL だけでなく、臓器中でも認められ、図 5 に示した結果と同様に LMWVS よりも SWE の作用が強いことが明らかとなった。この試験では、ラットに酸化ストレス等は負荷していないため、臓器中過酸化脂質濃度は自然条件下での脂質の酸化状態を示していると考えられる。従って、納豆水溶性成分には自然に進行する生体の酸化を抑制する作用、あるいは脂質酸化物の体内への吸収や蓄積を防ぐ作用を有することが推察された。また、*in vitro* で納豆水溶性成分の添加により得られた LDL の酸化抑制作用と、*in vivo* で納豆水溶性成分摂取時に得られた LDL の酸化抑制作用や臓器の過酸化抑制作用の強さの順位が異なったことは、両成分画物に含まれている作用成分の違いや、各成分の体内への吸収および代謝の違いによるものと

推察される。

4) 抗酸化酵素活性への影響

この酸化抑制作用のメカニズムを探る一環として、体内で活性酸素を消去する役割を果たしている抗酸化酵素の活性を測定した。その結果、LMWVS 摂取ラットの血漿および肝臓中マンガニン - スーパーオキシドディスムターゼ (Mn-SOD) 活性は、コントロール群より有意に高値であり、SWE 摂取ラットの血漿は、コントロール群より有意に高いグルタチオンペルオキシダーゼ (GSH-Px) 活性を示した。一方、GSH-Px の基質となるグルタチオン (GSH) 濃度、ならびに銅 / 亜鉛 - スーパーオキシドディスムターゼ (Cu/Zn-SOD) およびカタラーゼの酵素活性には、納豆水溶性成分摂取の有無による差は認められなかった(表 7)。

抗酸化酵素は、生体を酸化傷害から防御する重要な働きを持っているが、これらの酵素活性と臓器中過酸化脂質濃度との間に統計的に有意な相関性は認められなかったことから、臓器中過酸化脂質濃度が抑制されたのは、納豆水溶性成分の摂取によって抗酸化酵素が誘導されるのではなく、体内の酸化に対して抗酸化性を有する納豆水溶性成分が直接的に作用していることが推察された。抗酸化酵素の働きは、人間では 40 歳代以降に衰え始めると言われているので、これらの納豆水溶性成分はこの酵素の働きを補う意味でも有用であると考えられる。

表7 1% コレステロール含有納豆水溶性成分食を3週間摂取したラットの血漿、赤血球および肝臓中抗酸化酵素活性

組 織	酵 素	酵素活性 (U/mg タンパク質)		
		コントロール群	LMWVS 群	SWE 群
血 漿	Mn-SOD	1.295 ± 0.421	1.797 ± 0.219 [†]	1.563 ± 0.146
	Cu/Zn-SOD	1.931 ± 0.290	2.266 ± 0.457	2.609 ± 0.742
	カタラーゼ	0.534 ± 0.209	0.576 ± 0.195	0.647 ± 0.224
	GSH-Px	0.036 ± 0.006	0.043 ± 0.005	0.045 ± 0.004 [†]
	GSH*	28.16 ± 4.09	31.14 ± 6.66	27.55 ± 2.74
赤血球	Mn-SOD	4.948 ± 0.777	5.547 ± 0.814	5.033 ± 0.814
	Cu/Zn-SOD	9.491 ± 2.657	10.65 ± 2.94	12.58 ± 3.45
	カタラーゼ	12.38 ± 2.12	11.34 ± 2.92	8.738 ± 4.163
	GSH-Px	0.156 ± 0.027	0.193 ± 0.040	0.188 ± 0.044
	GSH*	166.0 ± 20.1	169.8 ± 23.6	167.3 ± 20.2
肝 臓	Mn-SOD	12.83 ± 2.47	17.05 ± 1.67 [†]	15.52 ± 0.71
	Cu/Zn-SOD	110.5 ± 20.8	122.7 ± 31.6	112.9 ± 36.1
	カタラーゼ	54.46 ± 11.35	62.96 ± 12.94	59.43 ± 10.98
	GSH-Px	0.465 ± 0.086	0.516 ± 0.138	0.498 ± 0.040
	GSH*	206.6 ± 49.9	249.5 ± 64.3	290.1 ± 71.9

*GSHの単位は nmol/mg タンパク質。数値は各群6匹の平均値±標準偏差を示す。†はコントロール群に対する有意差を表す ($p < 0.05$)。

4. 納豆成分の血漿脂質代謝に及ぼす影響²¹⁾

納豆水溶性成分食で飼育したラットの血漿脂質を分析すると、両納豆水溶性成分食摂取ラットの血漿中総コレステロール (T-CHO)、遊離コレステロール (F-CHO) および LDL- コレステロール (LDL-CHO) は、非摂取ラットよりも低下傾向を示した。血漿高密度リポタンパク質コレステロール (HDL-CHO)、リン脂質 (PL) および遊離脂肪酸 (NEFA) は、納豆水溶性成分の摂取による差は殆ど見られなかったが、納豆水溶性成分食を摂取したラットの中性脂肪 (TG) はコントロール群より有意に低下した。また、遊離コレステロールの占める割合 (F-CHO/T-CHO) はコントロール群より高い傾向が見られ、納豆水溶性成分の摂取で減少したコレステロールの多くはエステル型であること

が推察された (表 8)。

この実験では、コレステロール負荷により血漿中コレステロールや中性脂肪濃度の増加傾向が見られたが、納豆水溶性成分の摂取はこれらの上昇を抑制することが示された。特に、コレステロール濃度の増加抑制は LDL- コレステロールの低下傾向に反映された。これらの血中脂質濃度の増大は動脈硬化の危険因子になるだけでなく肥満にも関与しているため^{22, 23)}、脂質代謝に及ぼす納豆水溶性成分の作用は非常に有用と思われる。また、SOD や GSH-Px 活性は Clofibrate などの脂質降下剤により低下する報告があるが²⁴⁾、納豆水溶性成分食では血漿中総コレステロールや中性脂肪の増加抑制が認められたものの、抗酸化酵素活性の低下は見られなかったことから (表 7)、体内の抗酸化活性を減少することなく脂質を低下できると考えられる。

表 8 1% コレステロール含有納豆水溶性成分食を 3 週間摂取したラットの血漿中脂質濃度

脂 質	脂質濃度 (mg/mL 血漿)		
	コントロール群	LMWVS 群	SWE 群
T-CHO	1.563 ± 0.322	1.153 ± 0.270	1.167 ± 0.434
F-CHO	0.183 ± 0.058	0.159 ± 0.042	0.151 ± 0.032
HDL-CHO	0.105 ± 0.016	0.111 ± 0.036	0.100 ± 0.010
LDL-CHO	1.360 ± 0.312	0.977 ± 0.287	0.996 ± 0.416
TG	0.493 ± 0.080	0.327 ± 0.074 †	0.353 ± 0.105 †
PL	0.616 ± 0.125	0.630 ± 0.158	0.556 ± 0.093
NEFA*	0.671 ± 0.051	0.689 ± 0.099	0.683 ± 0.082
F-CHO/T-CHO (%)	11.86 ± 3.55	13.77 ± 1.23	15.15 ± 9.41

T-CHO: 総コレステロール; F-CHO: 遊離コレステロール; HDL-CHO: HDL- コレステロール; LDL-CHO: LDL- コレステロール; TG: 中性脂肪; PL: リン脂質; NEFA: 遊離脂肪酸.
 *NEFA の単位は mEq/L (パルミチン酸相当換算). 数値は各群 6 匹の平均値±標準偏差を示す. †はコントロール群に対する有意差を表す ($p < 0.05$).

5. まとめ

これまでの研究は, *in vitro* の実験だけでなく, 経口摂取した時にも納豆水溶性成分が血漿および LDL の酸化, ならびに臓器中過酸化脂質の増加を抑制することを示し, その作用は体内に吸収された納豆成分が直接的に抗酸化作用を発揮していることを示唆した。さらに, 納豆水溶性成分はコレステロールや中性脂肪の増加抑制など脂質代謝の改善効果も備えていることも明らかになった。大豆に含まれるイソフラボン類は, LDL の酸化抑制作用を有することが知られており²⁵⁾, また, 納豆のエタノール抽出物やメタノール抽出物の酸化抑制作用に関する報告もあるが^{19, 26)}, いずれもその抗酸化成分は同定されていない。我々が検討した納豆水溶性成分も粗抽出物であるが, 抽出溶媒は水のみであるため, エタノール等でも抽出されるイソフラボン類は少ないと考えられる。実際, 各納豆水溶性成分を高速液体クロマトグラフィーで分析したところ, ダイゼインやゲニステインなら

びにそれらの配糖体は検出されたものの微量であり, これらに含まれるイソフラボン類は納豆全体に含まれるイソフラボン類の濃度に比較すると非常に低い濃度であった。従って, 納豆水溶性成分に含まれる作用成分はイソフラボン類ではなく, タンパク質やペプチド, あるいはアミノカルボニル反応生成物などではないかと推察し, 同定を進めている。

LDL はコレステロールを運搬する血漿中の主要なリポタンパク質であるが, 動脈硬化の発症に重要なのは総コレステロールの増加やそれに伴う LDL の増加だけではなく酸化 LDL の増加だと言われている²⁷⁾。従って, これらの結果は, 納豆水溶性成分が動脈硬化の原因となる LDL の酸化を抑制する直接的な効果とともに, 高脂血症の予防という間接的な効果も合わせ持った機能性成分であることを示している。

おわりに

納豆は昔から食べられてきた日本特有の大豆食品である。国外では, インドネシアのテンベやネパールのキネマなどが納豆に類似した食品

として知られているが、納豆菌による発酵食品は日本固有のものである。しかし、日本人でも納豆の好き嫌いはあり、消費は東日本が多く、近畿以西では少ない傾向がある。また、都道府県別に骨粗鬆症や大腿骨骨折の分布を調べた厚生労働省の資料に基づくと、納豆の消費が多い県ほど骨折や骨粗鬆症が少ないとも言われている。納豆には血圧降下作用⁶⁾、血栓溶解作用⁷⁾、抗腫瘍作用⁹⁾ などがあることが分かり、納豆の応用食品も開発されているなど、最近では消費者の嗜好にあわせて粘りや匂いの少ない納豆

も開発されている。

我々は、スクリーニングによって納豆の抗酸化活性を見出し、その多様な生理機能の一つとして動脈硬化の予防に有用な作用を見出し、それが大豆本来の作用だけでなく納豆菌による発酵によって生じている可能性を明らかにしてきたが、今後は健康志向にあわせて機能性を高めた「スーパー納豆」の研究開発や、味や匂いを考慮した納豆の製品開発が発展し、消費も拡大することが期待される。

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

- 1) K. Yagi: Lipid peroxides, free radicals, and diseases. *Active Oxygens, Lipid Peroxides, and Antioxidants*, K. Yagi, ed.; Japan Scientific Societies Press, and CEC Press, pp.39-56, 1993.
- 2) T. Osawa: Protective role of dietary antioxidants in oxidative stress. *Free Radicals in Chemistry, Biology and Medicine*, T. Yoshikawa, S. Toyokuni, Y. Yamamoto, Y. Naito, eds.; OICA International, pp.476-482, 2000.
- 3) 吉城由美子, 大久保一良: 大豆サボニンの新しい機能 -X (活性酸素種) Y (触媒種) Z (受容種) 系における活性酸素消去能-. *化学と生物*, **35**, 839-845, 1997.
- 4) 岩井邦久, 阿部馨, 松江一: フォトン検出による新規抗酸化活性評価法としての XYZ-dish 法の確立. *日本食品科学工学会誌*, **47**, 181-190, 2000.
- 5) K. Iwai, K. Abe, S. K. Chung, *et al.*: XYZ-dish method as a new antioxidant activity assay using photon detection. *Food Sci. Biotechnol.*, **10**, 513-520, 2001.
- 6) A. Okamoto, H. Hanagata, Y. Kawamura, *et al.*: Anti-hypertensive substances in fermented soybean, natto. *Plant Foods Human Nutr.*, **47**, 39-47, 1995.
- 7) H. Sumi, H. Hamada, H. Tsushima, *et al.*: A novel fibrinolytic enzyme (nattokinase) in the vegetable cheese Natto: a typical and popular soybean food in the Japanese diet. *Experientia*, **43**, 1110-1111, 1987.
- 8) 石見佳子: 大豆イソフラボンの機能性. *食品と開発*, **34**, 5-7, 1999.
- 9) C. Takahashi, N. Kikuchi, N. Katou, *et al.*: Possible anti-tumor-promoting activity of components in Japanese soybean fermented food, natto: effect on gap junctional intracellular communication. *Carcinogenesis*, **16**, 471-476, 1995.
- 10) 渡辺昌: 大豆非栄養素成分の健康影響. *Food Style 21*, **2**, 29-32, 1998.
- 11) K. Iwai, N. Nakaya, Y. Kawasaki, *et al.*: Inhibitory effect of natto, a kind of fermented soybeans, on LDL oxidation *in vitro*. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 3592-3596, 2002.
- 12) Y. Noda, K. Anzai, A. Mori, *et al.*: Hydroxyl and superoxide anion radical scavenging activities of natural source antioxidants using the computerized JES-FR30 ESR spectrometer system. *Biochem. Mol. Biol. Int.*, **42**, 35-44, 1997.
- 13) K. Iwai, M. Horigome, S. Kimura: Studies on photodynamic effects of porphyrins and phycobilins. *Photomed. Photobiol.*, **8**, 25-26, 1986.
- 14) 木村修一, 岩井邦久, 井戸達雄, 他: フェオフォルバイド関連物質による癌の診断と治療. *フリーラジカルの臨床*, **4**, 59-67, 1990.
- 15) R. F. Haseloff, B. Ebert: Generation of free radicals by photoexcitation of pheophorbide a, haematoporphyrin and protoporphyrin. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, **3**, 593-602, 1989.

- 16) K. Iwai, S. Kimura: Photodynamic effect of pheophorbide a on erythrocyte membrane proteins. *Photomed. Photobiol.*, **7**, 23-24, 1985.
- 17) J. A. Berliner, J. W. W. Heinecke: The role of oxidized lipoproteins in atherogenesis. *Free Radic. Biol. Med.*, **20**, 707-727, 1996.
- 18) R. Onishi, K. Abe, S. Honma, *et al.*: Studies on a viscous substance of the natto. 日本家政学会誌, **38**, 871-876, 1987.
- 19) H. Esaki, H. Onozaki, T. Osawa: Antioxidative activity of fermented soybean products. ACS Symposium Series, No.546, 353-360, 1994.
- 20) S. Miura, J. Watanabe, T. Tomita, *et al.*: The inhibitory effects of tea polyphenols (flavan-3-ol derivatives) on Cu²⁺ mediated oxidative modification of low density lipoprotein. *Biol. Pharm. Bull.*, **17**, 1567-1572, 1994.
- 21) K. Iwai, N. Nakaya, Y. Kawasaki, *et al.*: Antioxidative functions of natto, a kind of fermented soybeans: Effect on LDL oxidation and lipid metabolism in cholesterol-fed rats. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 3597-3601, 2002.
- 22) D. Steinberg: Lipoproteins and atherosclerosis: A look back and a look ahead. *Arteriosclerosis*, **3**, 283-301, 1983.
- 23) A. Aro, M. Uusitupa, E. Voutilainen, *et al.*: Effects of guar gum in male subjects with hypercholesterolemia. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 911-916, 1984.
- 24) M. R. Ciriolo, J. Mavelli, G. Rotilio, *et al.*: Decrease of superoxide dismutase and glutathione peroxidase in liver of rats treated with hypolipidemic drugs. *FEBS Lett.*, **144**, 264-268, 1982.
- 25) M. J. Tikkanen, K. Wähälä, S. Ojala, *et al.*: Effect of soybean phytoestrogen intake on low density lipoprotein oxidation resistance. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, **95**, 3106-3110, 1998.
- 26) T. Yokota, T. Hattori, H. Ohishi, *et al.*: Effect of antioxidant-containing fraction from fermented soybean food on atherosclerosis development in cholesterol-fed rabbit. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, **29**, 751-755, 1996.
- 27) T. Kanazawa, M. Tanaka, T. Uemura, *et al.*: Anti-atherogenicity of soybean protein. *Ann. New York Acad. Sci.*, **676**, 202-214, 1993.

エチレンプロピレンゴムへの 次亜塩素酸の浸透とその劣化作用

福崎 智司^{*1} 岩薮 仁^{*2}

^{*1}FUKUZAKI Satoshi, ^{*2}IWABUKI Hitoshi (岡山県工業技術センター)

Key Words：次亜塩素酸ナトリウム・エチレンプロピレンゴム・カーボンブラック・浸透

はじめに

エチレンプロピレンゴム (EPDM) は、主鎖に不飽和二重結合を持たず、極性の官能基も有していないため、耐水性、耐薬品性、耐酸化性に優れた特性を有している。さらに、EPDM は安定した止水性能を持つことから、食品製造機器や建築用設備の各種シール、ガスケット、O-リング類に広く用いられている。しかし、次亜塩素酸ナトリウムを配合 (50 ~ 1,000 ppm) した洗浄・殺菌剤や残留塩素 (0.1 ~ 0.5 ppm) を含有する水道水による EPDM の劣化事例が数多く報告されており、塩素による劣化メカニズムの解明とその対策が課題となっている¹⁾。現状では、劣化による事故として問題視されているのは、漏水や黒粉とよばれるゴム粉の脱落であるが、水や食品に接する部材には衛生的な観点から低い表面粗さが求められており、劣化によって生じる EPDM 表面の荒れや亀裂は、たとえ事故が顕在化しない場合でも、決して看過できない問題と考えられる。

EPDM の塩素劣化においては、EPDM 内部への水および塩素 (Cl) の浸透が劣化の進行に寄与していることが明らかになっている²⁻⁴⁾。しかし、従来の研究は、中性からアルカリ性の次亜塩素酸ナトリウム水溶液を用いて EPDM の

劣化における配合剤、充填剤、老化防止剤の影響を調査したものであった。昨今、pH を制御した弱酸性の次亜塩素酸水溶液や電解水の利用が普及する中、EPDM 内部への拡散に關与する有効塩素成分を特定することができれば、耐塩素性のゴム材料の開発や具体的な劣化事故の防止策、さらに殺菌・洗浄の効率化につながると考えられる。

本稿では、弱酸性～アルカリ性の pH 領域における次亜塩素酸 (HOCl) の解離平衡成分、すなわち非解離型次亜塩素酸 (HOCl) と次亜塩素酸イオン (OCl⁻) の存在比率に注目して EPDM 内部への Cl の浸透と拡散を検討した研究事例を紹介する。さらに、有効塩素の浸透と劣化の因果関係についても触れてみたい。

1. 次亜塩素酸の解離平衡

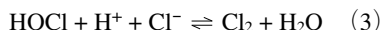
次亜塩素酸ナトリウム (NaOCl) は、強力な酸化作用とその持続性を有することから、水道水の消毒をはじめ、食品産業、医療・保健介護施設、排水処理施設、家庭等において殺菌、洗浄、漂白、脱臭操作に汎用されている。市販の次亜塩素酸ナトリウムの濃厚溶液は、強アルカリ性の液体であるため、一般的には水で適度な

濃度に希釈され、弱アルカリ性の液性で使われている。

次亜塩素酸は弱酸であり（解離定数： $pK_a = 7.5$, 25°C ）⁵⁾、溶液の pH に依存して次亜塩素酸イオン (OCl^-) と水素イオン (H^+) に解離する。



図 1 に、非解離型次亜塩素酸 (HOCl) の存在比率と溶液の pH の関係を示す。たとえば、通常の使用濃度に希釈された次亜塩素酸ナトリウム水溶液は弱アルカリ性 ($\text{pH} 8 \sim 10$) であるため、次亜塩素酸は主として OCl^- として存在する。pH がアルカリ性から酸性側に傾くと、 OCl^- は徐々にプロトン化して非解離型となる。次亜塩素酸の pK_a は 7.5 であることから、pH 7.5 において HOCl と OCl^- の比率は 1:1 となる。弱酸性領域 ($\text{pH} 4 \sim 6$) では、非解離型の HOCl が高比率で存在する。さらに pH が酸性側に傾くと、 HOCl の一部は溶存塩素 (Cl_2) に変化する。



HOCl の解離平衡成分である HOCl , OCl^- , Cl_2 はいずれも殺菌効力を有しており、これらを総称して遊離有効塩素 (Free available chlorine : FAC) という。

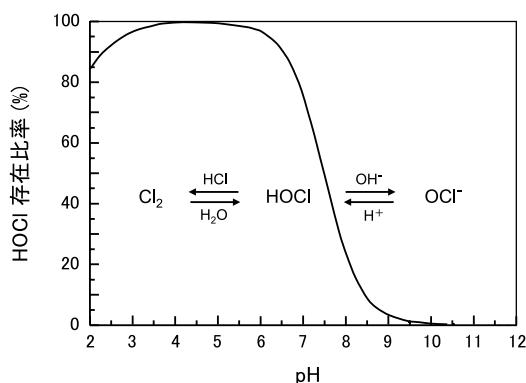


図 1 遊離有効塩素の化学平衡と pH の関係

2. 非解離型次亜塩素酸の浸透と拡散

ここでは、 HOCl と OCl^- の平衡関係が成り立つ pH 4 ~ 10 に調整した次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (FAC 濃度: 90 ppm) に EPDM 試験片を 4°C で 180 日間浸漬したときの、有効塩素の浸透・拡散に及ぼす pH の影響について紹介する⁶⁾。EPDM (エチレン含量 62%, ジエン含量 4.5%) の試験片は、EPDM 100 重量部、カーボンブラック (CB) 60 重量部、パーオキサイド架橋剤 2 重量部を 6 インチオープンロールを用いて混練した後、 175°C で 20 分間プレス架橋 (厚さ: 1.2 mm) して作製したものを用いている (CB 充填 EPDM)。また、EPDM 内部の Cl の分布は、電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) で分析することができる。

図 2 に、180 日間浸漬した後の EPDM 試験片の断面における典型的な塩素原子 (Cl) の分布 (面分析) を示す。図中の波線は、試験片の最表面の位置を示しており、右側に向かうほど試験片の深さ方向 (内部) になる。図中では、Cl の特性 X 線強度 (I_{Cl}) が大きいほど明るく示されている。次亜塩素酸ナトリウム水溶液の pH が低

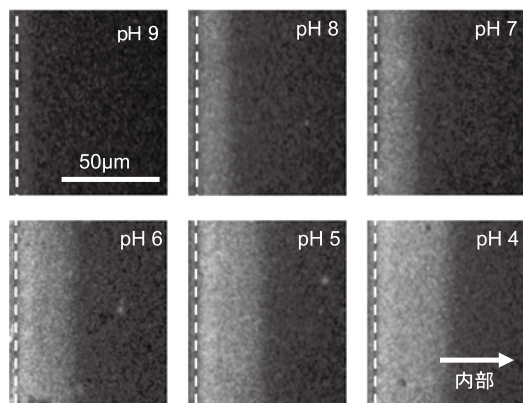


図 2 EPDM 試験片の断面における典型的な Cl の拡散分布⁶⁾
(浸漬条件: FAC 90 ppm, 4°C , 180 日間)

くなるにしたがって、 I_{Cl} が大きくなる傾向が明確に観察される。一方、FACを含まないNaOH溶液とHCl溶液（pH 4～10）に180日間浸漬した比較対照試験片については、当然のことながら試験片内部にClは認められず、試験液のpHによる差も見られない。この結果は、EPDM内部へのFACの浸透および拡散は、弱酸性のpH領域ほど促進されることを示している。

図3に、図2で得られたCl分布について、EPMAの線分析により I_{Cl} を定量化した結果を示す。図中の点線は、NaOH/HCl試験液の試験片に対して得られたClのバックグラウンドの吸収値である。次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸漬した試験片の I_{Cl} は、いずれも深さ5 μm 付近で最大となっている。 I_{Cl} の最大値は、水溶液のpHが低くなるとともに大きくなり、より深い位置まで高濃度のClが拡散する傾向を示している。また、深さ80 μm の位置においても、バックグラウンドより高い I_{Cl} が検出されている。この深さ領域では、 I_{Cl} が減少する勾配が緩やかになっており、外挿すると I_{Cl} がバックグラウンドのレベルまで減少するのは深さ数百 μm を超える領域と推測される。

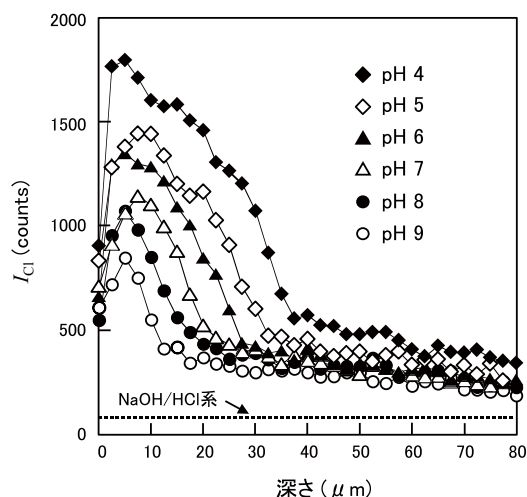


図3 EPDM試験片における I_{Cl} の深さ方向の分布⁶⁾
(浸漬条件：FAC 90 ppm, 4℃, 180日間)

図4に、深さ80 μm までの I_{Cl} の総和(ΣI_{Cl})と試験液pHの関係を示す。 ΣI_{Cl} は試験片に吸収されたCl総量の目安になる。NaOH/HCl試験液を用いた比較対照系では、 ΣI_{Cl} は試験液のpHに依存せず低レベルかつ一定の値が得られており、 ΣI_{Cl} のバックグラウンドとみなせる。次亜塩素酸ナトリウム水溶液系では、 ΣI_{Cl} は試験液のpHに対して明確な依存性を示しており、pHが低下するとともに ΣI_{Cl} は著しく増加することがわかる。

以上のように、 ΣI_{Cl} のpH依存性は、明らかにHOClの解離状態に起因していると考えられる。HOClは、pH 7.5を基準としてアルカリ性側では OCl^- の比率が増加し、酸性側ではHOClの比率が増加する（図1）。HOCl濃度が高まる酸性pH領域においてEPDM内部へのFACの浸透および拡散が顕著に起こるという結果は、非解離型であるHOClがEPDM内部へ浸透する主たるFAC成分であることを意味している。これは、非解離型HOClの電気的中性の性質と密接に関係していると推測される。たとえば、次亜塩素酸ナトリウム水溶液の殺菌力は、HOCl分子の生体膜透過性と関係し

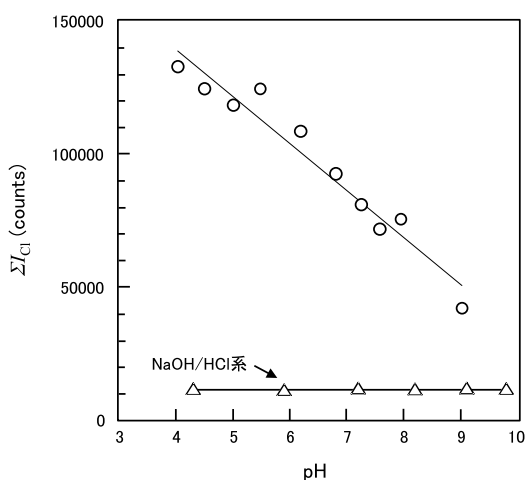


図4 EPDM試験片における ΣI_{Cl} とpHの関係⁶⁾
(浸漬条件：FAC 90 ppm, 4℃, 180日間)

ている⁷⁾。微生物の形質膜を構成する脂質二重層は疎水性膜であるため、解離型（イオン）である OCl^- の透過を妨げる。一方、電気的に中性な HOCl は、受動拡散により形質膜を透過できる。そのため、 HOCl は細胞内において酸化作用を及ぼすことから、 HOCl の殺菌力は OCl^- に比べて著しく増大するのである。おそらく、代表的な非極性ゴムである EPDM への HOCl の浸透は受動拡散で進行し、水溶液側との濃度勾配が駆動力となると推測される。pH 9 では、 HOCl の比率は 3% となる。したがって、 HOCl の濃度勾配は緩やかであり、浸透速度は小さい。反対に、pH 5.7 以下では 98% 以上が HOCl となるため濃度勾配は大きく、浸透速度は大きい。このように、全 C_{FAC} は 90 ppm で統一されているが、pH に依存した HOCl 濃度の違いが浸透速度を支配し、 ΣCl の pH 依存性に反映されることになる。

ここで留意すべき点は、 HOCl の浸透は EPDM の表面外観に影響を与えないことである。弱酸性の次亜塩素酸ナトリウム水溶液中において穏和な浸漬処理（pH 4.5, 4℃, 540 ppm, 7 日間）した EPDM には HOCl が浸透するにもかかわらず（後述の図 8）、表面外観は電子顕微鏡（SEM）観察でも顕著な変化は起きておらず、黒粉の現象も見られない（図 5A）。

しかし、引張り強さは 28 MPa（未浸漬）から 12 MPa に大きく低下する。すなわち、 HOCl が浸透・拡散した EPDM では、外観からは判断できない劣化が進行しているといえる。一方、アルカリ性の次亜塩素酸ナトリウム水溶液を用いた加速試験（pH 10, 540 ppm, 50℃, 7 日間）では、黒粉現象が起こり、EPDM 表面も著しく荒れるが（図 5B）、引張り強さの低下は比較的小さい（23 MPa）。このように、 OCl^- は EPDM 内部に浸透できないため、表面だけの反応に止まり、EPDM 全体の力学物性への影響は小さいことがわかる。

3. 充填剤カーボンブラックの影響

上述の結果から、EPDM に浸透・拡散する FAC は非解離型の HOCl であり、EPDM に吸収された HOCl が EPDM の劣化を進行させると考えられる。しかし、EPDM への浸透や劣化を考える場合、マトリックスの EPDM と FAC の挙動のみを考えれば良いわけではない。EPDM は純ゴム配合では強度が乏しく、また、使用時の負荷に応じた適切なバネ定数（硬さや弾性率）に設定する必要があるので、実用にあたってはカーボンブラック（CB）や合成シリカの超微粒子であるホワイトカーボンなどの補強性充てん

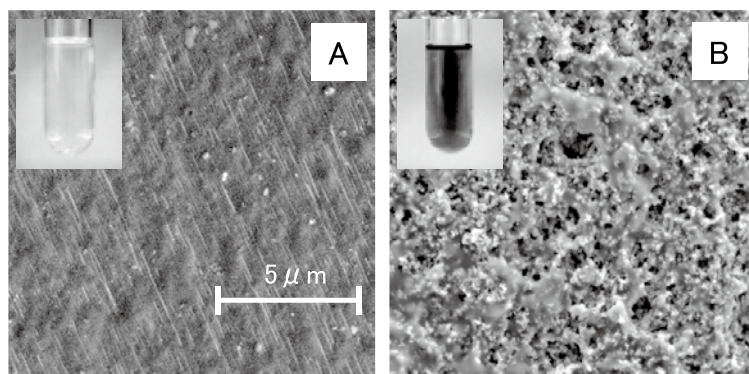


図5 弱酸性水溶液中（pH 4.5, 4℃）中での穏和な浸漬処理（A）とアルカリ性水溶液中（pH 10, 50℃）中での加速実験（B）における EPDM 表面の SEM 写真（浸漬条件：FAC 540 ppm, 7 日間）

剤の配合が不可欠である。市販の EPDM 製パッキンでは、マトリックスの EPDM と重量で同程度の CB が配合されている²⁾。また、黒粉とよばれる黒色のゴム粉の脱落は、CB 充填 EPDM 特有の劣化事故として問題視されていることから¹⁾、塩素劣化メカニズムの解明は CB 充填 EPDM において特に重要と考えられ、CB が劣化に及ぼす影響を把握する必要がある。

ここでは、EPDM 内部への FAC の浸透および拡散に及ぼす CB の影響を明らかにすることを目的として、FAC の浸透・拡散を EPDM 純ゴムと CB 充填 EPDM で比較した研究事例について紹介する⁸⁾。CB を含まない EPDM 純ゴム試料（エチレン含量 62%, ジエン含量 4.5%）は、EPDM 100 重量部、架橋剤 1 重量部とし、CB 充填試料では EPDM 100 重量部、CB 60 重量部、架橋剤 1 重量部として、6 インチオープンロールで混練した試料を 175℃ で 20 分間プレス架橋（厚さ：1.2 mm）して作製したものをを用いている。

図 6 に、pH 9.0, 6.8, 4.5 の次亜塩素酸ナトリウム水溶液（FAC 濃度：90 ppm）に EPDM 純ゴムと CB 充填 EPDM 試験片を 4℃ で 180 日間浸漬した後の、 I_{Cl} の表面から内部への深さ方向に対する分布を示す。図中の点線は、バックグラウンドの I_{Cl} である。純ゴム系および CB

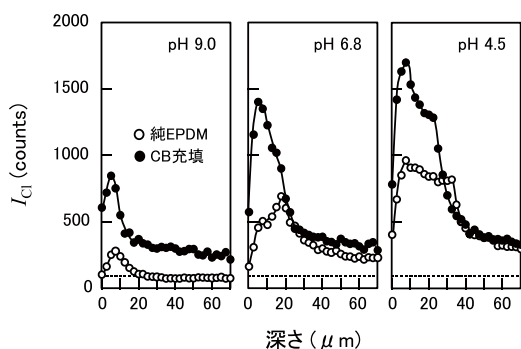


図 6 純 EPDM および CB 充填 EPDM 試験片における I_{Cl} の深さ方向の分布⁸⁾
 (浸漬条件：FAC 90 ppm, 4℃, 180 日間)

充填系ともに、 I_{Cl} は表面付近で大きく、pH 9.0 では深さ 5 ~ 10 μm （図 6 左）、pH 6.8 では深さ 5 ~ 20 μm （図 6 中）、pH 4.5 では深さ 5 ~ 30 μm （図 6 右）に、Cl が濃化した領域が存在することがわかる。Cl の濃化領域を超える深さになると I_{Cl} は急激に減少し、さらに深い領域ではゆるやかな減少傾向を示している。このように、次亜塩素酸ナトリウム水溶液の pH が低いほど I_{Cl} は大きくなり、浸透する Cl の量が増大する結果となる。また、この結果から、CB の充填によって、 I_{Cl} は Cl 濃化領域で顕著に大きくなり、CB の存在により Cl 浸透量が増加することがわかる。これは、塩素による EPDM の劣化メカニズムの第 1 段階が CB による塩素の誘引であるとする従来²⁾の推測を裏付ける結果である。ただし、純ゴム系においても FAC の浸透は明らかに認められるので、CB が存在しなくても HOCl の浸透が進行する可能性は十分に考えられる。

CB 充填系における I_{Cl} は、純ゴム系と比較して、特に表面から Cl 濃化領域において顕著に増大し、EPDM のより深い領域での I_{Cl} も増大する。しかし、CB 充填系では表面近傍での I_{Cl} が純ゴム系よりも顕著に高く、表面から内部への Cl の濃度勾配が大きいにもかかわらず、内部での Cl 濃度はそれに対応しておらず、また、同じ pH における Cl 濃化領域の深さは、純ゴム系と CB 充填系でほとんど変わっていない。このように、CB 充填系における内部への Cl の拡散は、純ゴム系よりも相対的に低くなる傾向を示した。これは、FAC と CB の高い親和性のためと考えられる。CB は FAC を吸着し、FAC の浸透については促進する。しかし、浸透した FAC は、CB との相互作用によって CB 近傍に拘束され、EPDM 内部への拡散を抑制されるのであろう。さらに、CB 内部に FAC は拡散しないと考えられるので、CB の充填によってマトリックス EPDM の体積分率が減少し、FAC が

拡散できる経路が減少することも、FAC の拡散抑制に働くと考えられる。

以上より、CB 充填 EPDM への FAC の浸透・拡散は、以下のようなプロセスで進行すると推測される⁸⁾。まず、EPDM 表面付近の CB は水溶液から FAC、特に非解離型の HOCl を吸着する。CB は高い比表面積を有し、単位体積当たりの HOCl 吸着能がマトリックスの EPDM より高いと考えられるので、純ゴム系に比べて CB 充填系では FAC の浸透が促進され、EPDM 表面近傍に Cl 濃度の高い Cl 濃化領域を形成する。しかし、CB 充填系に浸透した FAC は、CB による吸着や CB 充填による拡散経路の減少のため、純ゴム系に比べて EPDM 内部への拡散速度が低下し、濃度勾配から予測されるよりも内部への Cl の拡散は小さくなる。

4. 有効塩素濃度の影響

ここでは、FAC 濃度を 130 ～ 1,080 ppm に調整した pH 4.5 の次亜塩素酸ナトリウム水溶液に、上述の CB 充填 EPDM 試験片を 4℃ で 7 日間浸漬したときの FAC の透過挙動を検討した

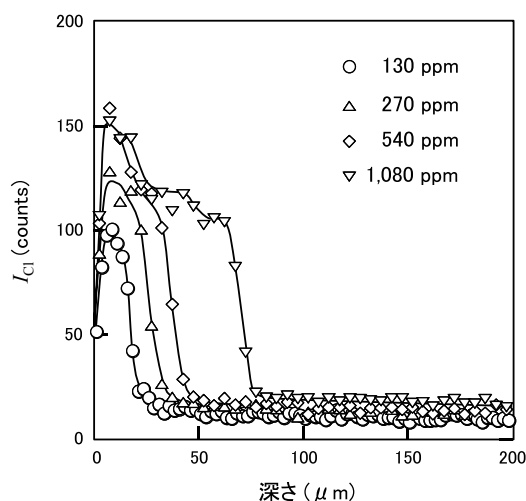


図 7 EPDM 試験片における I_{Cl} の深さ方向の分布に及ぼす FAC 濃度の影響⁹⁾
(浸漬条件：pH 4.5, 4℃, 7 日間)

研究事例を紹介する⁹⁾。

図 7 に、 I_{Cl} の表面から内部への深さ方向に対する分布を示す。 I_{Cl} は EPDM 表面近傍で大きく、Cl が濃化した領域は FAC 濃度の増加にともなってより深くなっていることがわかる。これは、EPDM 内部への HOCl の浸透が濃度勾配を駆動力とする受動拡散で進行しているとす

5. 浸漬温度の影響

ここでは、FAC 濃度を 540 ppm に調整した pH 4.5 の次亜塩素酸ナトリウム水溶液に、上述の CB 充填 EPDM 試験片を 4 ～ 50℃ で 7 日間浸漬したときの FAC の透過挙動を検討した研究事例を紹介する⁹⁾。

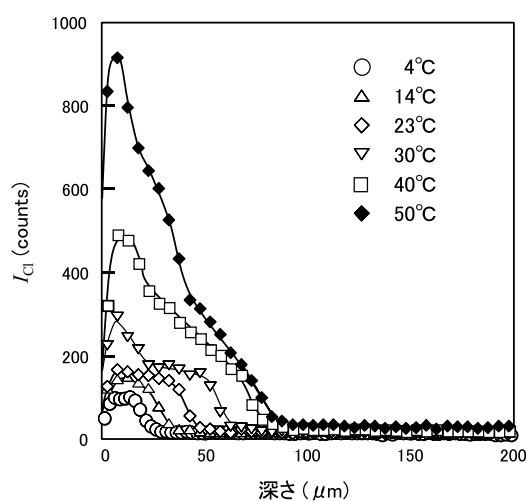


図 8 EPDM 試験片における I_{Cl} の深さ方向の分布に及ぼす浸漬温度の影響⁹⁾
(浸漬条件：FAC 540 ppm, pH 4.5, 7 日間)

図 8 に、 I_{Cl} の表面から内部への深さ方向に対する分布を示す。温度が高くなるにつれて、表面近傍の I_{Cl} が顕著に大きくなるとともに、 Cl 濃化領域も深くなっている。すなわち、 Cl の浸透・拡散の速度においては温度依存性が大きいことを示している。50℃で浸漬した EPDM 試験片においてのみ、浸漬後に収縮、硬化、およびゴム粉の脱落等の劣化現象が認められたが、40℃以下では肉眼による外観観察では変化は認められていない。

おわりに

一連の研究を通して、 $HOCl$ が EPDM に浸透および拡散する主たる FAC 成分であることが明らかとなってきた。EPDM への浸透速度

は $HOCl$ 濃度および温度に依存し、進入した $HOCl$ は内部深くまで拡散することが確認された。また、EPDM の場合、充填剤である CB による $HOCl$ の誘引が浸透を促進させることも再確認されている。一方、EPDM の表面に劣化が起こりカルボニル基のような親水基がポリマー鎖に生じると、表面とその近傍に水やイオンの吸着が起こると思われる。したがって、電荷を持った解離型 OCI^- も EPDM の表面近傍へ浸透すると考えられるが、内部への継続的な拡散は起こりにくいと考えられる。このような知見を基に、今後、次亜塩素酸ナトリウム水溶液による EPDM の劣化メカニズムが詳細に解明されることを期待している。

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

- 1) 大武義人：腐食と劣化 (6)—合成樹脂 (ゴム・プラスチック) の劣化評価・分析手法—, 空気調和・衛生工学, **80**, 69-75, 2006.
- 2) 吉川治彦, 中村 勉, 百武健一郎 他：水道水残留塩素に侵される EPDM パッキンの劣化メカニズム, 日ゴム協誌, **75**, 313-317, 2002.
- 3) 吉川治彦, 中村 勉, 百武健一郎 他：水道水残留塩素に侵される EPDM パッキンの劣化メカニズム (そのⅡ), 日ゴム協誌, **76**, 9-12, 2003.
- 4) 山田美緒, 杉岡佳彦, 進 博人 他：水道水における EPDM の老化防止剤の溶出挙動とゴム劣化評価, 日ゴム協誌, **81**, 44-50, 2008.
- 5) Morris, J. C.: The acid ionization constant of $HOCl$ from 5 to 35°. *J. Phys. Chem.*, **70**, 3798-3805, 1966.
- 6) 岩路 仁, 福崎智司：エチレンプロピレンゴムへの非解離型次亜塩素酸の浸透と拡散, 防菌防黴, **38**, 143-148, 2010.
- 7) Fukuzaki, S.: Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol Sci.*, **11**, 147-157, 2006.
- 8) 岩路 仁, 福崎智司：エチレンプロピレンゴムへの次亜塩素酸の浸透と拡散に及ぼすカーボンブラックの影響, 防菌防黴, **38**, 429-433, 2010.
- 9) 岩路 仁, 福崎智司：エチレンプロピレンゴムへの次亜塩素酸の浸透, 岡山県工業技術センター報告, 第 36 号, 39-44, 2010.

ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

第5回 南アジア—インドの牧畜民の事例

平田 昌弘*

*HIRATA Masahiro (帯広畜産大学)

Key Words：乳加工・乳製品・牧畜民・インド

これから3回にわたってインドの乳加工技術と乳製品とを紹介する。

インドはウシとスイギュウを合わせた生乳の生産量が2008年では10,500万トンと、世界第一の生産量を誇る(FAOSTAT, 2010)。インドは、ウシ(4,410万トン)よりもスイギュウ(6,090万トン)の生乳生産の方が多い珍しい国である。インドで生乳の生産・集荷量が飛躍的に増加したのは、イギリスのインド支配の影響とホワイト・リボルーション(白い革命)とも呼ばれる酪農協同組合の組織化・発達によっている。紙面上の都合で説明は省略するが、詳しくはKatar and Virendra (1998), 平田(2005)の論文を参照されたい。世界の中で最も生乳の生産量が多いことを鑑みると、ユーラシア大陸の乳加工技術や乳製品利用を考察するにあたって、インド乳文化の研究は不可欠であることが理解される。

今回は、インドの牧畜民に焦点を当て、牧畜民の乳加工技術と乳製品とを紹介する。調査地は、インド西部のグジャラート州とラジャスタン

州である(図1)。2003年に29地点(■1～■29)で調査をおこなった際の観察とインタビューとに基づいている。グジャラート州で聞き取った語彙には(R)を、ラジャスタン州で聞き取った語彙には(G)を、乳製品の語彙の後に付した。都市民・農耕民の事例は、次々号Vol.53 No.7で紹介したい。

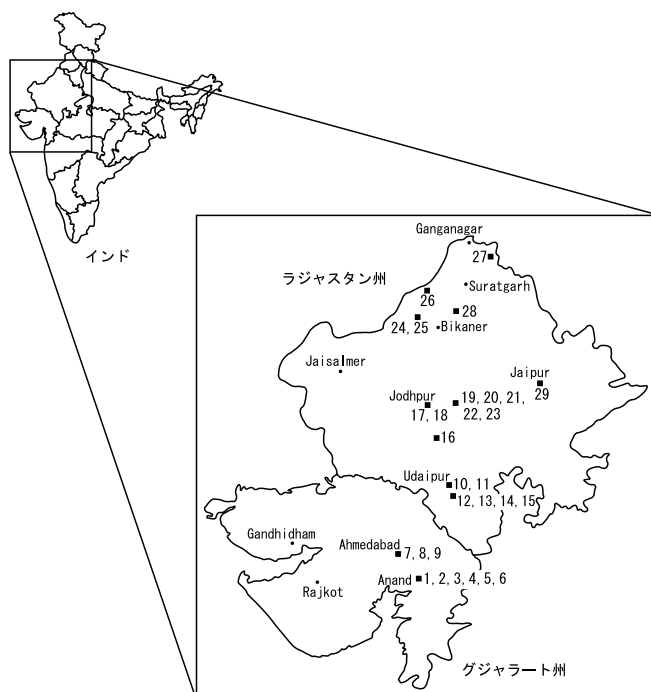


図1 インド西部における牧畜民世帯(■)の調査地点

1. インドの牧畜民の特徴

インドの牧畜民の特徴は、牧畜民と農耕民とが同一地域で共存していることにある。西アジアや北アジアなど多くの場合、より降水量の多い地域で農耕民が作物栽培を、より降水量の少ない地域で牧畜民が家畜飼育をおこなっている。つまり、より乾燥して作物栽培の不利な地域で牧畜民が生業をおこない、農耕民と牧畜民の生業地域が地理的に分離している場合が多い。インドの場合は違う。インドでは、同一地域に農耕民と牧畜民が共に生業を営んでいる。農耕民の畑の脇で、牧畜民がヒツジ・ヤギの群れを放牧していたりする風景をよく目にする。これは一つに、カーストが関係している。Raika という名を開けば、ラジャスタン州に主に居住するラクダ牧畜カースト集団、もしくは、ヒツジ牧畜カースト集団とインドの人びとは連想させられる（写真 1）。牧畜カースト集団は、生乳・乳製品を得ることを家畜飼養の主な目的とし、必要物資との交換のために生乳・乳製品と家畜を売却する（Chandra, 1998）。カーストという社会的役割分担が決められているために、同一地域に農耕民と牧畜民が共存できているのである。Raika, Gairi などの牧畜カースト集団は、農耕カースト集団から農作物を入手して食を成り立たせ、肉を食さない菜食主義者であったりする。逆に、都市民・農耕民の食生活には乳製品が深く浸透しており、農作物と乳製品とが密接に関係し合っただけでなく食文化が成り立っている。

インドはこうしたカースト制が機能している社会ではあるが、現在では牧畜カースト集団による飼養家畜種の区別が不明瞭となり、多くの牧畜カースト集団は中型家畜のヒツジ・ヤギから生乳生産により優れたウシ・スイギュウの飼養へと移行する傾向にある。そして、多くの牧畜カースト集団は、農耕をもおこなうようにな

り、半農半牧して定住するように変化してきている。農耕は、トウモロコシ、ヒエなどの穀物と野菜などを自家消費用に栽培している。定住化は、1) 現金収入のために常勤の職に就く、2) 生乳・乳製品の売却が容易である、3) 子供の教育に条件が良いなどが主な理由で、市町村内・周辺で定住化する場合が多い。社会の近現代化がインドの牧畜カースト集団を揺さぶっている。

また、インドの牧畜カースト集団の多くはヒンドゥー教徒である。宗教上の理由により、家畜、特にウシとスイギュウは殺さない。「ウシ・スイギュウは我が子の様なものである。その我が子をどうして売れようか、どうして殺せようか」と誇り高く明言する。ヒンドゥー教ではウシは神の使いとされているように、雌畜が泌乳を停止したとしても、寿命がおとずれるまで飼いつづけ、自然死を待つという。だが、実際の家畜の群構成を調べると、性比の偏りが確かに存在している。調査地点 1 の牧畜民世帯の場合、成スイギュウ 25 頭中、雌が 24 頭であるのに対し、雄が 1 頭のみである。つまり、現実には、何らかの方法で雄が淘汰・選別されていることになる。その方法とは、例えば、雄畜が出生したならば、病弱であるとして、餌を与えず餓死させたりする。もしくは、肉需要が増加す

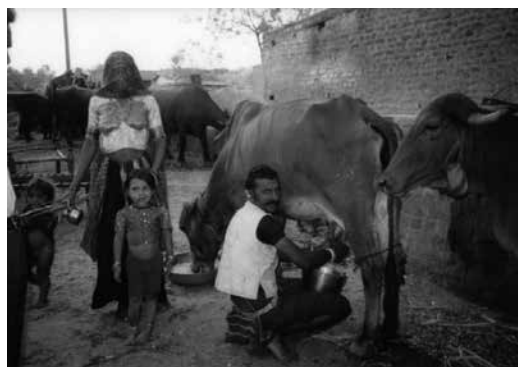


写真 1 牧畜カースト集団 Barwad の搾乳。搾乳している在来牛（ゼブー牛）には配合飼料が給与されている。

る都市部に雄畜や乾乳家畜を連れてゆき、非合法の私営屠場に売却したりする（篠田，1992）。ウシならば，雄畜を役畜として農耕民に譲ることもある。いずれにしろ，自ら屠る作業を避けるものの，ウシ・スイギュウの雄を淘汰・選別し，ヒンドゥー社会であろうとも性を巧にコントロールしている。

2. 牧畜民の乳加工体系とその特徴

2-1. 乳加工体系

生乳は腐敗しやすいため，より涼しい場所に置いておく必要がある。多くの世帯では，マッタル *matalu* と呼ばれる素焼きの壺が冷所づくりに利用されている（写真2）。マッタルは，素焼きであるため，内部から水分が少しずつ抜け出ていく。水分の蒸発に伴い気化熱も放出されるため，マッタルは常に冷たくなっている。インドでは，生乳をこのマッタルに入れ，日陰のひんやりとした場所に静置し，生乳を保管している世帯が今でもある。

生乳はドゥード *dudh* (R)(G) と呼ばれる。搾乳した生乳は，まず布で濾して，ゴミを取り除

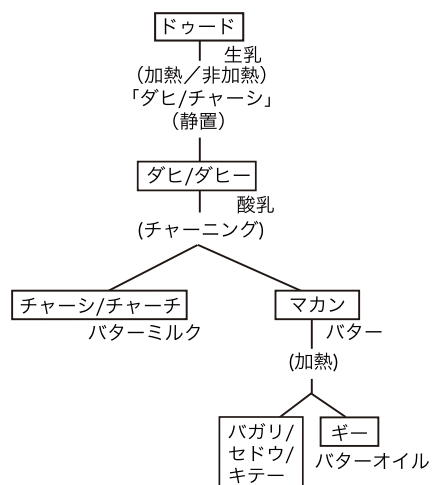
く。ゴミを除去した生乳は，乳茶として多用するが，大部分の生乳は酸乳やバターオイルづくりなどのために乳加工に回される。ただし，初乳のみ特別な利用がなされる。出産後，搾乳2～3回までの初乳はキール *kheer* (R)(G) と呼ばれる。キールをそのまま飲用することではなく，加熱してゲル化させ，砂糖を付けて食べる。砂糖を加えながら加熱する場合もある。このゲル化した初乳をバレ *balee* (R)(G) と呼ぶ。バレは，滋養に良く，特に目に良いとされている。牧畜民はキールを決して売ることはない。

初乳以外の生乳，つまり，ドゥードの加工は，ウシ・スイギュウの生乳とヒツジ・ヤギの生乳とで全く同じである。生乳は，乳酸発酵スターターを加えて一晩から一日静置し，ダヒ *dahi* (R)/ ダヒー *dahee* (G) と呼ばれる酸乳に先ず加工する（図2）。乳酸発酵スターターには，前回取り残しておいた酸乳（ダヒ/ダヒー）が用いられることが多い。酸乳へ加工する際，多くは加熱してからスターターを生乳に加えるが，加熱しないままスターターを加える事例も存在



写真2 牛乳を入れておく素焼きの壺。壺からは水分がしみ出し，壺は気化熱により冷たく保たれている。

1) 発酵乳系列群



□：生産物 「」：添加物 （）：処理

図2 インド西部の牧畜民における伝統的な乳加工体系

した（調査地点 4, 6）。加熱する理由は、加熱しないと酸乳が水っぽくなる、また、悪臭がするからと答える。酸乳が水っぽく仕上がってしまうのは低温のために乳酸菌による乳酸発酵が十分に進まないためであり、悪臭がするのは雑菌混入のためである。このスターターのことを、アーラン aaran（調査地点 15）、ジャーバン jaavan（調査地点 21, 22, 24, 29）、パキスタン国境近くのドーダ村 Dhoda ではチャーバッド chhaabad（調査地点 26）と呼んでいる。酸乳は日常の食事に多用されている。酸乳は、米、カレー料理と密接に結びついて、摂取されている（写真 3）。酸乳と米とは合わないものではなく、うまく調和する食材同士なのである。日本での乳製品の消費向上が求められている中、



写真 3 米料理に酸乳をかけて食べる。米と酸乳との相性はいい。

インドでの酸乳の摂取の仕方は学ぶべきことが大いにある乳製品利用法である。

酸乳のダヒを回転式の攪拌棒と壺とでチャーニングして、バターであるマカン makhan (R) /makhan (G) を加工する（写真 4）。チャーニングする時間は、ダヒの量にもより、おおよそ 15 分から 1 時間半と幅がある。チャーニングする際、よりよくバターができるように、冬の場合はお湯を加え、夏の場合は冷水を加える。これは、バター加工のためのチャーニングの適温が 7℃ から 13℃ であるためである（鷹尾, 1993）。つまり、バター加工の適温を牧畜民は経験的に習得していることになる。また、チャーニングのための回転式の攪拌棒は、鉄製の簡易型攪拌棒がバロニ baloni (G)、木製の簡易型攪拌棒がラリ rari (G)、ジェルナー jernaa (R) と呼ばれる。バロニの長さは約 30cm、ラリは長さ 80cm ～ 170cm くらいである。バロニは、両手のひらの間で回転させてチャーニングする。ラリは上下 2 ヶ所を紐で木や壁などに固定し、別の紐をラリにからませて、紐を両手で左右に互い違いに引くことにより回転させる（写真 4）。チャーニングのための壺は、土製のゴディ ghodi (G)、ゴーレー goolee (R)、チャーダ chaada (R)、アライー araaee (R)、鉄製のデガドゥ degadu (G) と呼ばれる。土製の壺の大きさが、直径約 40cm、高さ約 30cm、鉄製の壺は、

(A)



(B)



写真 4 回転式攪拌棒ラリ (A) と土製壺ゴディ (B) を用いて酸乳をチャーニングしてバターを加工する。

直径約 25cm, 高さ約 40cm である。

チャーニングしてバターを収集した後に残ったバターミルクは、チャーシ chhash (G)/チャーチ chaach (R) と呼ばれる。バターミルクは、塩を混ぜて飲んだり、カレー料理に加えたり、ラーブディー raabudee (R) という料理に利用する。ラーブディーのつくり方は、バターミルクに挽き割りトウモロコシと塩とを加え、5 時間ほど煮込む。暖かい内に食し、適度な酸味とわずかな塩味とがとても旨いミルク粥である。興味深いことに、バターミルクは、料理に用いるだけで、更に加工して、チーズに加工することは決してない。インド西部の牧畜民ではチーズをいっさいつくらず、乳タンパク質を抽出・保存する技術が乳加工体系から欠落している。ラクダを飼養する牧畜民以外で、生乳から乳タンパク質を抽出・保存しないのはインド牧畜民だけである。

バターのマカン（バター）を牧畜民がそのまま食べることはない。バターの全ては、鍋で加熱し、ギー ghee (R)(G) と呼ばれるバターオイルへと加工する。インドにおける乳脂肪抽出の最終形態はバターオイルである。バターオイルは、脂肪含量が 99%, 水分含量が 1% 以下である (Richard and Judith, 1999)。水分含量を低下させることで、暑熱環境下での雑菌の増殖を抑制し、腐敗を起こりにくくしている。バターオイルは、パンに付けたり、様々な料理に利用したりと、インドの食文化において大変重要な食材となっている。

バターを加熱して、バターオイルを収集した後にわずかに残る凝固物はバガリ bagari (G)(R) / セドウ sedu (R) / キテー kitee (R) と呼ばれる。この凝固物は食べることはなく、飼料と混ぜて家畜に与える。

以上をまとめると、インド西部の牧畜民の乳加工体系は、地理的地域、民族集団、カースト集団、家畜種を越えて共通しているといえる。

生乳を先ず酸乳に加工し、その酸乳からバター、バターオイルへと乳加工が展開し、一方、バターミルクからはチーズの加工がおこなわれない。つまり、インド西部の伝統的な乳加工体系の特徴は、発酵乳系列群に属する乳加工技術を利用し、乳脂肪の抽出・保存に偏重し、乳タンパク質を抽出・保存する乳加工技術が少なくとも現在においては欠落した乳加工体系となっている、とまとめることができる。

現在は、市場経済の浸透に伴って、クリームセパレーターを用いて、先ず生乳からクリームを分離するように牧畜民の乳加工体系も変遷している。その近年の変化については、平田 (2005) を参照されたい。

2-2. 乳タンパク質の保存技術の欠落

Vol.53 No.2 (平田, 2011a) と Vol.52 No.4 (平田, 2011b) で西アジアの乳加工体系を紹介した通り、インドの発酵乳系列群の乳加工技術は、ペルシャ系・アラブ系牧畜民の乳加工技術と極めて類似している。つまり、生乳の酸乳化、酸乳のチャーニングによるバター加工、バターの加熱によるバターオイル加工、バターミルクの加熱・脱水によるチーズ加工が、西アジアで広くおこなわれている乳加工技術であり、インドでみられる発酵乳系列群の乳加工技術と非常によく類似している。紀元前 7000 年紀には乳利用の開始が西アジアでおこなわれ (Evershed et al., 2008)、牧畜および乳利用開始の起源地が西アジアであり、その乳利用の技術が周辺に伝播していったと仮定するならば (平田, 2008)、インドの乳加工体系は西アジアの影響をまさしく受けて発達してきたということになる。あくまでも推論の域は脱しえないが、インドの乳加工体系の根幹は、西アジアの乳加工技術の影響を強く受けて成立したものと考えられる。インドの乳加工技術が西アジアから伝播してきたとするならば、チーズを加工する技術がなぜ伝播しなかったのか、もしくは、伝播した後になぜ

消失したのであろうか。言い換えると、インド西部を含めたインド亜大陸では、乳タンパク質の加工・保存をなぜ必要としなかったのであろうか。まず考えられるのは、インド亜大陸で飼養されている家畜種が、主にゼブーウシとスイギュウであることである。ゼブーウシとスイギュウは共に季節繁殖性がなく、どの時期にでも出産が可能である。つまり、年間を通して生乳の供給が可能なのである。常に生乳が供給されれば、加工の必要性には迫られない。実際、生乳のみを飲用して、乳を一切加工しないラクダ牧畜民の事例もみられる (Cole, 1975)。ヒツジやヤギには、搾乳の端境期がある。年間を通じて乳が得られないからこそ、搾乳できる期間に乳を加工・保存するのである。ここに、乳加工の収斂性がある。インド亜大陸では、生乳が常に供給されるため、生乳から乳タンパク質を加工・保存しなくとも、バターミルクのまま飲んでしまってもタンパク質が常に摂取できる。つまり、インド亜大陸で乳タンパク質の加工・保存が発達しなかった理由は、飼養家畜がゼブーウシとスイギュウであり、年間を通して生乳が供給される状況にあったからである可能性が高い。

次に考えられるのは、インド亜大陸では多種類の豆類や穀物類が栽培されているということである。その多種類の豆類や穀物類を利用した料理体系も発達している。インド海岸部や中央部から東部にかけての降水量の多い地域は米、中央部のデカン高原ではモロコシ、中央部から北部にかけてはコムギ・オオムギ、西部の乾燥の厳しい地域ではトウジンビエが主な農作物となり、それらの後作として多種類の雑穀や豆類が栽培されている (中尾, 1981)。その中でも特に豆類は、インドの食事において重要な位置を占めている。農作物栽培に不利なインド北西部のタール砂漠地域でも、ダールなどの豆料理は食事に不可欠となっている。ダールとは、粗

挽き状態のマメの中間加工品を指す。ダールの製法は一樣ではないが、典型的な製法は、マメを吸水させて一夜以上おき、それを乾燥してから挽き割りにする (中尾, 1983)。ダールにされるマメは、レンズマメ、ヒヨコマメ、キマメ、ササゲ属のリョクトウやツルアズキなど、その種類はきわめて多い。このダールを煮込んでウコンなどの香辛料や香草で味付けしたカレー料理のこともまたダールと呼ぶ。このカレー料理をベースにして、肉や様々な野菜などを加える。つまり、インド亜大陸では、豆類などの農作物からタンパク質を十分に摂取できる環境にある。インド亜大陸は、北部のヒマラヤ山系の冷涼乾燥地帯からインド亜大陸の大部分を占める熱帯地帯、西部はタール砂漠、中央部は比較的乾燥したデカン高原、東部はアッサムの森林地帯と、インド亜大陸は多様な自然環境にある。その多様なインド亜大陸を通して、農耕と牧畜とが重なり合い、この農牧複合社会がヒンドゥー教や生業を成り立たせてきた (応地, 1994; 高谷, 1996)。インドで乳タンパク質の加工・保存が発達しなかった2つ目の理由としては、牧畜をおこないつつも、豆類を初めとする多種類の農作物をインド亜大陸の大部分の地域で栽培することが可能であり、農作物からタンパク質を一年を通じて十分に摂取できたからであると考えられる。

おわりに

牧畜民の乳加工は、酸乳、バター、バターオイル、スキムミルクへの製造と限られたものであり、乳菓にすることはなかった。牧畜民に関しては、乳タンパク質を抽出・保存する技術が欠落した発酵乳系列群の乳加工技術のみを利用し、乳菓としての乳製品の多様性をみることなく、極めて素朴な乳加工体系であるといえる。

一方、都市・農村部では、極めて多様な乳加工技術と乳製品とが発達している。都市民・農

耕民は、発酵乳系列群、凝固剤使用系列群、加熱濃縮系列群、クリーム分離系列群の乳加工技術を利用している。この4系列群全ての乳加工技術を利用しているのは、ユーラシア大陸においてインドの都市民・農耕民だけである。実は、

定住の民である都市民・農耕民こそ、インドの乳加工を多様化させているのである。それでは次号 Vol.53 No.6・次々号 Vol.53 No.7 とで、都市民・農耕民の乳加工技術と乳製品とを概観してみることにしよう。面白い乳製品で満載なのだ。

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

- 1) 応地利明, 1994. 「インド」 矢野暢編『世界単位論』弘文堂, 187-209 頁.
- 2) 篠田隆, 1992. 「西部インドのウシ, スイギュウと乳・乳製品」雪印乳業健康生活研究所編『乳利用の民族誌』中央法規出版株式会社, 155-172 頁.
- 3) 高谷好一, 1996. 『「世界単位」から世界を見る』京都大学学術出版会, 342-363 頁.
- 4) 中尾佐助, 1981. 「自然風土と食べ物の系譜」中尾佐助編集『朝日百科 48 世界の食べ物 インド亜大陸 1』朝日新聞社, 197-201 頁.
- 5) 中尾佐助, 1983. 「インドのダール」 応地利明編集『朝日百科 123 世界の食べ物テーマ編 3 雑穀とマメの文化』朝日新聞社, 74 頁.
- 6) 平田昌弘, 2005. 「インド西部の乳加工体系」『沙漠研究』15(2): 65-77.
- 7) 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.
- 8) 平田昌弘, 2011a. 「ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品 第2回 西アジア—シリアの牧畜民の事例」『New Food Industry』53(2): 59-67.
- 9) 平田昌弘, 2011b. 「ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品 第4回 西アジア—イランの事例, および, 西アジアの乳加工体系の整理」『New Food Industry』53(4): 45-52.
- 10) Chandra, R., 1998. Raika. In: K.S. Singh (ed), *People of India 38: Rajasthan*. Popular Prakashan PVT. LTD., Mumbai, pp.763-768.
- 11) Cole, D. P., 1975. Binads if tge Binads: *The Al-Murrah Bedouin of the Empty Quarter*. Aldine Publishing Company, Chicago, pp.27-42.
- 12) Evershed, R.P., Payne, S., Sherrat, A.G., Copley, M.S., Coolidge, J., Urem-Kotsu, D., Kotsakis, K., Özdo an, M., Özdo an, A.E., Nieuwenhuyse, O., Akkermans, P.M.M.G., Bailey, D., Andeescu, R., Campbell, S., Farid, S., Hodder, I., Yalman, N., Özba aran, M., Biçakci, 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.
- 13) FAOSTAT, 2010. <http://faostat.fao.org/site/569/default.aspx#ancor>
- 14) Katar, S. and Virendra, S., 1998. *Dairy development in India: Retrospect and Prospect*. Institute of Rural Management Anand, Anand. (岡通太郎訳, 2002. 『伸びゆく農業 927 インド酪農の発展: 回顧と展望』農政調査委員会)
- 15) Richard B. and Judith S. A., 1999. Composition of Milk Products. In: Wong N.P. et al. (eds), *FUNDAMENTALS OF DAIRY CHEMISTRY* (3rd EDITION), Aspen Publishers, Gaithersburg, pp.39-79.

注) 本稿は、2005 年に『沙漠研究』誌に発表した「インド西部の乳加工体系と乳製品流通」をもとに大幅に書き改めたものである。



フランス チーズ事情 4 サントモール・ド・トゥーレーヌ



清田 麻衣

KIYOTA Mai (チーズ生産地探訪家)

フランスでは牛乳だけでなく、山羊乳や羊乳からも様々なチーズを造っている。例えば前回記したロックフォールは羊乳製チーズの一つである。この「フランス チーズ事情」の締めくくりに、山羊乳製チーズの一つ、サントモール・ド・トゥーレーヌについて記そう。このチーズは、私が約10ヶ月滞在し、当時働いたチーズ屋のあるトゥーレーヌ地方を代表するチーズでもある。

1. サントモール・ド・トゥーレーヌとは

この山羊乳製チーズはトゥーレーヌ地方と呼ばれる地域で製造される AOP チーズの一つである。トゥーレーヌ地方は、長さ 1000km 以上におよぶフランス最長の川、ロワール川が大西洋に向かって西に流れ込む流域のうち、パリから南西およそ 200km の場所に位置するトゥール市周辺地域をさす。この地域一帯はフランス国内でも山羊乳製チーズの一大産地である。歴史は 8 世紀、アラブ人たちがフランスを侵略した時代に遡る。アラブ人たちがトゥール・ボワチエの戦いで敗れ撤退した後、アラブの女性たちはフランスの人々に溶け込み、山羊乳製チーズの製造方法を伝えた¹⁾ という。

この地方ではサントモール・ド・トゥーレーヌの他にも「セル・シュール・シュール」, 「ヴァランセ」, 「プーリニー・サンピエール」という AOP で規定されたチーズが製造されている。

これらはいずれも一個数百グラムと小型で、それぞれ非常に個性的な外観をしている(写真 1, 2)。セル・シュール・シュールは平たいプリンのようなグレーの円錐台、ヴァランセとプーリニー・サンピ



写真1
セル・シュール・
シュール



写真2 トゥーレーヌ地方のレストランで提供された地元チーズの盛り合わせ。手前左側のチーズがヴァランセ。



写真3 トゥーレーヌ地方のチーズ盛り合わせ。手前がサントモール・ド・トゥーレーヌ。熟成状態違いで3本扇形に並んでいる。奥のものほど熟成が長い。さらに奥に見える背の高いピラミッド型チーズがプーリニー・サン・ピエールである。



写真4 サントモール・ド・トゥーレーヌ祭でまちの役所前に設置された巨大なヤギ。祭ではチーズだけでなく様々な食品、工芸品を販売するテントが広場や道沿いに設置されていた。音楽隊によるパレードもある。

エールはともにピラミッドの先端を切ったような四角錐台だ。また、ヴァランセはグレーで、プーリニー・サンピエールは白く、ヴァランセよりも背が高い。同じ山羊乳製チーズなのに色がグレー、白とあるのは、木炭の粉を表面にまぶすか、否かの違いである。黒い木炭の粉を表面にまぶしたチーズは熟成を経てグレーの色合いとなる。もちろんグレーなのは表面だけで、内部は白い。

さて、サントモール・ド・トゥーレーヌはというと、これは細長い円筒形をしている（写真3）。円筒といっても片方がややすぼまった形で、筒の大きいほうの直径が5.5cmに対し、小さいほうの直径4.5cmとなる。また、長さ16～18cm、重さ約250gである²⁾。ひとつのサントモール・ド・トゥーレーヌを製造するのに、約2.2Lの山羊乳が必要である。この円筒型のチーズの中心にはワラが一本通っている。ワラはライ麦のワラで、表面には「サントモール・ド・トゥーレーヌ」とい

うチーズ名と、生産者名が焼き入れてある¹⁾。チーズの表皮はグレーで、これは先述したように木炭の粉を表面にまぶしたためである。

製造指定地域はサントル地域圏のアンドル・エ・ロワール県全域と、ロワール・エ・シェール県、アンドル県、ヴィエンヌ県の一部である²⁾（図1）。サントモール・ド・トゥーレーヌというチーズ名と同名のまちがあり、ここでは6月上旬にサントモール・ド・トゥーレーヌ祭（写真4）が開催される。

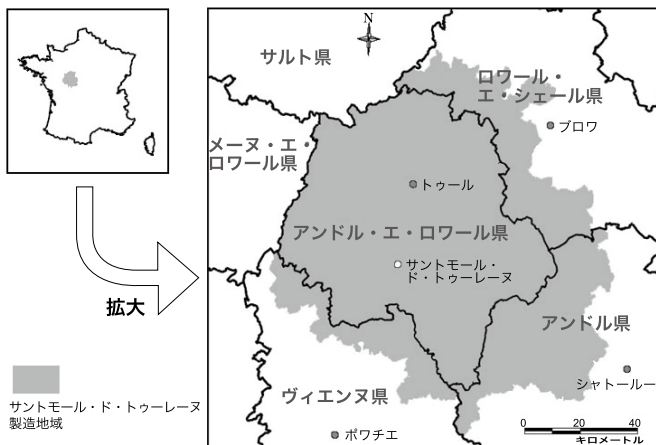


図1 フランス国土中におけるサントモール・ド・トゥーレーヌ製造指定地域とその拡大図。

2. 製造

サントモール・ド・トゥーレーヌの製造者であるクロッシュ・ドール社（写真5）を訪問した記録とともに、このチーズの製造工程を記す。この会社は年間20 t以上のサントモール・ド・トゥーレーヌを製造している。60件ほどの山羊農家から乳を仕入れ、製造するほか、農家で製造したサント・モール・ド・トゥーレーヌの熟成も請負い、それらを出荷している。AOP規定に山羊種の指定はないが、この地方で多く飼育されているのは白色の体毛を持つザーネン（サーネン）と褐色の体毛を持つアルピーヌ（アルパイン）である¹⁾（写真6）。これらはこの地方だけに限らずフランス国内でも同様に主要な乳用山羊種である³⁾。

山羊乳を入荷すると脱脂せずに凝乳酵素を添加し、50Lほどの容量の大型プラスチックバットへ乳を入れて一昼夜置き凝固を待つ（写真7）。このように乳凝固に長時間かけるのは、凝乳酵素を加えるといってもその量は少なく、むしろ乳酸菌の働きによる酸凝固を主体としている²⁾からと思われる。このような凝固方法はフランスの山羊乳製チーズの製造において多く見られるものだ、と実際にチーズ店の店頭に立ち多くのフランス産山羊乳製チーズを扱ったり、複数のチーズ店を覗いた経験から感じている。それほど多くの場所で山羊乳製チーズの製造を確認したわけでもないがそのような感覚があるのは、チーズの生地の外観を見ればその製造方法が推測されるからである。乳酸菌の働きを主体とした凝固方法を採用するチーズの生地は、熟成がまだ若いと降り積もった雪のようなきめ細かさがあり、非常に繊細な口当たりがある。同様の凝固方法を採用する例として、



写真5 クロッシュ・ドール社。



写真6 トゥーレーヌ地方で飼育されるヤギ。白色のザーネン、褐色のアルピーヌのほか2種の混血種もいるようだ。



写真7 前日の乳を凝固させたバットが多数並べられていた。

山羊乳製チーズ以外では牛乳製の白カビチーズであるシャウルスなどがあげられる⁴⁾。

このような凝固方法のため、凝乳酵素のほか乳酸菌も添加しているのではないかとクロッシュー・ドール社訪問時に問うたのだが、ここでは乳に潜在するなり自然に存在する乳酸菌を利用するため、乳酸菌の添加は行っていないという返答を得た。

サントモール・ド・トゥーレーヌではないが、酸凝固主体の山羊乳製チーズの製造をフランス国内の3軒の酪農家兼チーズ製造所（所在地はオルレアネ地方、プロヴァンス地方、ブルゴーニュ地方）で詳しく見たことがある。その3軒とも共通して、凝乳酵素添加とはほぼ同じタイミングで前日のチーズ製造で得られた乳清を加えていた。乳清には乳酸菌が繁殖しているので、この乳酸菌がまた新たに山羊乳の凝固を助けることになるのだ。

さて、凝乳酵素を添加した翌朝型入れを行う。凝乳を予めカットして乳清を抜くことはしない。円筒型の型を20本ほど立てた上に穴のあいたステンレス製バットを乗せ、大きな凝乳をルーシュと呼ばれる大きく平たいおたま、あるいはチリトリ状の道具を使ってすくい出しながら入れる（写真8）。凝乳は、ルーシュですくう際や型の内部に入る際、切れたり自然に割れる（写真9）。しばらくしたらもう1回、同様に凝乳を入れる。その後型の高さをかさ増しする筒をのせ（写真10）、

さらに2回凝乳を入れる。圧搾は行わない。型には小さい穴がいくつも開いており、自然の重みでそこからゆっくりと水分、つまり乳清が抜け、凝乳の「かさ」が減っていく。写真7でわかるように、合算すると多量の乳を凝固させるのにもかかわらず小さいバットを複数用いて凝固させるのは、この水分が抜ける量やタイミングをどの型に対しても出来るだけ均一にしたいためだと思われる。

どういうことかという、つまりこうだ。例えば大きいバットで乳を凝固させるとする。その場合、その大バットから凝乳をすくい出し始



写真8 乳を凝固させたバットからルーシュで型入れを行う。



写真9 さらにヘラを用いて凝乳を型にきれいに流し入れる。



写真10 型を一時的にかさ上げるための、継ぎ足し用の筒。



写真 11 型から出したばかりのサントモール・ド・トゥーレーヌ。既にワラを通して。このまま販売することもあるが、その際正式にサントモールと名乗ることはできない。「ビュッシュ(薪の意味)」などとチーズ店によって適当な名がつけられる。



写真 12 塩や木炭をまぶす機械。チーズを載せた網ごと機械のレールにのせ移動させると、上から定量の塩や木炭がふりかかる仕組み。

めて、全てを型に入れ終わるまで時間が長引くことになる。凝乳は切れたり割れたりした面からどんどん水分が抜ける性質だ。だから最初にすくい出した凝乳は水分を多く含み、後のほうですくい出した凝乳は既にバット中で幾らか水分が抜けた状態になるだろう。そうすれば最初に凝乳をすくい入れた型では、型の中で水分が抜けるため「かさ」が減る一方、後のほうで凝乳を入れた型では逆にそれほど水分が抜けないうまま多く残り、大きめのチーズに仕上がる。これでは沢山のチーズを楽に作れたとしても、不均一なできになってしまうのである。なお、型の底のほうが円筒形のすぼまった部分にあたる。サントモール・ド・トゥーレーヌが全体の太さの均一なチーズでないのは、後の型出しがしやすくなるためだと思われる。型に入れた日の午後、ワラを中心に入れる。ワラは、この細長いチーズが折れないように入れるのだと言われている⁵⁾。型入れの翌朝、型から出し、網の上にならべる(写真 11)。翌々日、塩と木炭を表面にまぶす。ここでは表面に塩や木炭をまぶす機械(写真 12)を用いており、ひとつひとつの塩分・木炭量を均一に、まばらにつかないようにしている。

3. 熟成

熟成開始時は、サントモール・ド・トゥーレーヌの表面を乾燥させるため、乾燥庫に入れる。しかしここに置くのは短期間で、熟成庫に移す。熟成庫は 11.7℃、湿度 98.5%を示していた。木炭がついて黒色だったサントモール・ド・トゥーレーヌは、熟成が進むにつれてグレーがかった色合いになる(写真 13)。表面に白っぽいカビや酵母が生えるためだ。出荷前に冷蔵庫へ移す。ここで再度、表面を乾燥させる



写真 13 適度に熟成したサントモール・ド・トゥーレーヌ。



写真 14 出荷前の冷蔵庫に設置してあった巨大な扇風機。

ため、冷蔵庫内では巨大な扇風機が回っていた(写真14)。どの段階においても一貫してチーズは網の上にのせたまま熟成して表皮全面の通気を確保する。コンテのように木の棚に置いたりはない。

クロッシュ・ドール社では農家製の熟成も請け負っていた。ここで請け負った農家製サントモール・ド・トゥーレーヌの中には木炭の粉のまぶし具合がまだらであったり、カビが生えすぎたりするものがあるそうだ。そのため熟成庫は離れた場所に別に設置してある。木炭の粉がまだらであると、カビは木炭の粉のない部分に好んで生えるため、表面のカビ

も不均一になる(写真15、16)との説明を受けた。

私の働いていたチーズ店でも、クロッシュ・ドール社と同様な熟成方法をとっていた。チーズ店は決して大規模ではなかったが、それでも乾燥室、熟成庫を複数揃えていたのは先述したようにチーズ店が山羊乳製チーズ生産地であるトゥーレーヌ地方に位置しており、熟成日数の浅い山羊製チーズを入荷しやすかったことも理由であろう。熟成の浅い山羊乳製チーズは入荷すると、全体の水分量を調整するため乾燥室に入れる。乾燥室は2種類あり、場合により使い分ける。一つ目の乾燥室は、室温は17℃くらいと比較的高く、そのためチーズ内部から水分が出やすくなる。二つ目の乾燥室では、室温を下げ表面を乾かす。室内は風をまわしており表面の水分がとびやすい。これらの乾燥室はチーズの状態や、仕上げ目標とする水分量によって、1昼夜以上利用する場合もあれば、2時間ほどしか利用しないこともあった。乾燥室で水分量を調整し、表面をある程度乾かしたら、熟成庫へ移す。熟成庫は8～9℃、湿度90%であり、ここで数日間熟成する(写真17、18)。

全ての山羊乳製チーズがこのように熟成されるのではない。トゥーレーヌ地方よりパリ寄りのオ



写真 15 ヤギ農家自身が製造した農家製サントモール・ド・トゥーレーヌ。



写真 16 木炭がまだらについているため、外観がまだらになったサントモール・ド・トゥーレーヌ。



写真 17 一つ目の乾燥室から出したばかりの山羊乳製チーズ。表皮はまだ形成されておらず、まぶした木炭がはっきりと確認できる。



写真 18 熟成室に移して約1週間経過した、写真17と同種のチーズ。均一にシワのよった表皮が形成され、カビ・酵母が生えて白みを帯びた非常に美しい外観。押すと熟成前より弾力が増しているのがわかる。



写真 19 チーズ店のショーケース。この一角に見えているのは山羊乳製チーズのみ。これは閑散期の余裕がある陳列。



写真 20 クリスマス時のショーケース（店舗内部より）。話がずれるが、フランスにおいて一番チーズの売れるのはクリスマス。これだけ山と盛っても、飛ぶように売れていってしまう。

ルレアネ地方、ロワレ県で山羊を飼いその乳でチーズをつくる農家では、メインで利用していた熟成庫は 15℃、湿度 68% であった。熟成中の温度が高く湿度が低いためであろうか、その他製造方法の少しの違いもあってか、チーズは熟成日数がすすむにつれて比較的早く乾燥して固くなり、製造から 2 週間ほど経ったものは弾力が失われていたように記憶している。もちろん働いていたチーズ店の山羊乳製チーズも長期間置けばやはり固くなる。しかし、ひと月は水分を保ったまま柔らかく熟成されていた。

このように、山羊乳製チーズは熟成段階で保持水分が変化しやすい。チーズにどのくらい水分を残すか、製造中だけでなく熟成中でも気を遣うことになるし、そこが熟成管理者の腕の見せ所にもなる。そして熟成の段階による風味の違いが生まれることになる。店頭においても管理に手がかかる。チーズはショーケース内に展示（写真 19、20）し、閉店後もそこに温度管理しながら



写真 21 「アフィネ」や「セック」と呼ばれる非常に熟成したサントモール・ド・トゥーレーヌの外観。



写真 22 熟成違いのサントモール・ド・トゥーレーヌの断面。右側のほうが熟成が進んでいる。熟成が進むにつれ、中の生地は表皮の側から黄みを帯び、クリーム状となるが、右側のものはクリーム状になったのち、堅く引き締まったようだ。

保管したが、ケース内は風の流れがあるので、乾燥しやすいチーズは別の冷蔵庫に片付けていた。その乾燥しやすいチーズの半数は山羊乳製のチーズで、一度ショーケース内に残したまま一晩明かしたところ、表皮だけが乾燥して固くちぢんでしまった。あれでは食した際に、乾いた皮の食感が口中にぼそぼそと残ってしまっていただろう。

サントモール・ド・トゥーレーヌは AOP 規定で、凝乳酵素を添加した日から換算して 10 日間以上熟成しなければならないとしている²⁾。10 日以上経ち、規定上正式にサントモール・ド・トゥーレーヌと名乗れるまでになってからも熟成そのものは継続され、店頭には様々な熟成状態のサントモール・ド・トゥーレーヌ(写真 21, 22)が並ぶことになる。Roy は自著にて、熟成によって表れるこのチーズの特徴を三段階で説明しており¹⁾、参考として拙訳をここに記しておく。

①モワルー

熟成 10 日から 3 週間：表皮はあまり形成されておらず、わずかに表面にツヤがある。香りは繊細で、舌には適度な酸を感じる。食感は柔らかく、組織はとろけるようである。

②ドウミ・アフィネ、もしくはドウミ・セック

熟成 3 週間から 5 週間：表皮ができ、表皮にカビが発達したことにより生じた自然のグレーの色の合いを見せる。ヤギ特有の風味がたち、食感はいしり、組織のきめは細かい。

③アフィネ、もしくはセック

熟成 5 週間以上：チーズは水分を失い、体積が小さくなる。この段階まで熟成すると、チーズはヤギ特有の風味、ヘーゼルナッツの香りを有し、堅くもろい組織となる。乾燥した表皮はダークブルーのカビで覆われる。

4. 山羊乳製チーズの風味

熟成によって、ヤギ特有の風味がたつと記したが、果たしてそれは強烈な臭気なのであろうか。私が各種の山羊乳製チーズを食した経験からは、ひとくちに山羊乳製チーズといってもヤギ特有の風味が「ヤギらしさ」という特長として穏かに感じられるものと、「ヤギ臭さ」とでも言うような刺激的な臭気を発するものまで、かなり幅広く存在しているように感じている。それは熟成による

香気と異なり、熟成期間の長短にかかわらず存在すると感じている。概して、パッケージに入れられチーズ自身の水分で表面がべたついているようなものは共通して臭気があった。私自身が熟成の浅い水分量の多いものを包装したまま室温に数時間放置して、そのような臭気を出させてしまったこともある。

一方で、実際チーズ店の店舗に立っていると、山羊乳製のチーズをやさしい味のものとして客が買っていく現場をたびたび見かけた。小さい子供に食べさせるのに適した風味のチーズとして店員が山羊乳製チーズの比較的若いものを勧めることもあった。熟成度合いによっては、むしろ穏かな風味のチーズだという認識もあるのだ。

特に日本ではあまり流通量のない山羊乳製チーズである。チーズ専門店が店舗で販売する際フィルムで包むのは、水分量に変化しやすい山羊乳製チーズをショーケース内で乾燥から防ぐために大変有効である一方、チーズ表面のべたつきの原因にもなり得る。それほど早いスピードで購入されることがない山羊乳製チーズを、上手く保管するためにはらわれる店側の苦労が想像される。もし消費者が、残念ながら何らかの管理がうまくいかず発生した香りをヤギ特有の臭いにおい、と捉えてしまっていたとすれば、非常に悲しいことである。例えば、初めて魚を食べるという人間がよりによって新鮮でない魚を食べ「魚は生臭いので苦手だ」と言っているのを聞いたら、結果的に魚を好きにならないにしても、一度新鮮なものを食べて判断してくれ、と言いたくなる気持ちと同じだ。非常に個人的な想いではあるが、私は山羊乳製チーズについてこう言いたい。「もし山羊乳製チーズは臭いので苦手だ、と思われる場合は、まだ本当の山羊乳製チーズのおいしさに出会えていないだけかもしれない。」と。

おわりに

この連載の冒頭にも述べたとおり、6年間に亘りフランスチーズの造り手を、特に伝統的なチーズ・農家製のチーズに注目しながら訪問し、観察をつづけてきた。農家の中には、伝統的な農家製チーズ造りを復活させたら収益があがった、おかげで家を買えた、などというコメントを下さるところもある。そのために、フランスでは伝統的なチーズや農家製のチーズが非常によく受け入れられている、という印象を抱いていた。実際にそのようなチーズが高価格で売買される市場があることは確かだ。しかし、フランスも他の先進国と同様、スーパーマーケットでより安価な、大量生産のチーズが販売されている。10ヶ月という短期間ながらフランスで生活し、チーズ専門店の店頭に立っていると、専門店でチーズを購入する客の中にも、普段はスーパーマーケットでチーズを買う人々がいると言葉の端から分かってくる。また健康志向の人々からは、伝統的なチーズよりも塩分ゼロのチーズ、低脂肪のチーズ、バイオ（有機農法による）チーズを求める声を受けた。リステリア菌による中毒を恐れて、殺菌乳から造ったチーズあるいは加熱圧搾タイプのチーズを求める妊娠女性もいた^{注1)}。先に健康志向の人々と書いたが、その志向ゆえにワインをはじめ全くアルコール

注1)：リステリア菌に関して

ロックフォール製造者を訪問したときに聞いた話を記しておく。乳中にリステリア菌が検出された場合、その製造ロットは別管理となるが、熟成後、例えば6ヶ月熟成ののち再検査するとリステリアは検出されなくなる。アメリカは菌検出の有無を問わず、原則未殺菌乳から製造したチーズを輸入しないが、この検証結果を提示し、アメリカへのロックフォール輸入を認めさせたという経緯があるそうだ。

を摂取せず、そのためチーズをあまり食べなくなったフランス人もいる。

それでは、フランスのチーズは将来どんな展開を迎えるのか。農家製、工場製問わず AOP 規定のないチーズは、消費者の要望に応えるチーズへ変わっていくかもしれない。しかし伝統的なチーズ、中でも AOP 規定のあるチーズは高価で販売できる利点がある一方、製法を簡単に変更できないリスクを抱える。今後も発展するためには、海外に販路をますます広げるだろうか。同じくフランスの農産物である、ワインのように。この先の行方を、私の趣味・ライフワークとして細く長く見守り続けていくことができれば幸いである。

謝辞

私を快く迎え入れてくれたチーズ製造者の方々、チーズ店 Les Fromages du Moulin のみなさん、私の活動を日本で応援して下さったみなさんに感謝します。

参考資料

- 1) Nathalie Roy : Le Sainte Maure de Touraine -Une histoire, une passion-. Editions MIMOSA. Montpellier. 2010
- 2) Institut national de l'origine et de la qualité.: Fiche "Sainte Maure de Touraine": http://www.iao.gouv.fr/public/produits/detailProduit.php?ID_PRODUT=3293
- 3) Daniel Babo : Race ovines et caprines françaises. Editions France Agricole. Paris. 2000
- 4) Institut national de l'origine et de la qualité.: Fiche "Chaource": http://www.iao.gouv.fr/public/produits/detailProduit.php?ID_PRODUT=3274
- 5) Fromages-aop.com: <http://www.fromages-aop.com/index.php/fr/les-aop-laitieres-francaises/centre---val-de-loire/7/lait-de-chevre/2/sainte-maure-de-touraine/10>

qqqqq 会 告 qqqqq

第 9 回 Pangborn Sensory Science Symposium

日 時：9 月 4 日～8 日

会 場：京都国際会議場 <http://www.icckyo.or.jp/>

〒 606-0001 京都市左京区岩倉大鷲町 422 番地

電話：075-705-1234 FAX:075-705-1100

交 通：市営地下鉄烏丸線「国際会館駅」から徒歩 5 分

改札から地下通路を通り出入口 4-2 をご利用ください。

出入口からは、歩廊に沿って雨に濡れずに正面玄関までお越し頂けます。

お車をご利用のお客様

市内中心部からタクシーで平常時約 25 分

京都駅からタクシーで平常時約 30 分、関西国際空港からは約 1 時間 30 分です。

名神高速道路京都南 I.C.、京都東 I.C. から平常時約 40 分です。

シンポジウム主な研究発表

- ・官能評価の基礎
- ・官能評価の有効利用
- ・複数感覚の官能評価と得られる情報の統合
- ・感覚計量学
- ・新しい消費者調査手法
- ・食品の選択と消費者行動
- ・クロスカルチャルな官能評価と消費者調査
- ・パーソナルケアとホームケア商品の官能評価と消費者調査
- ・健康維持・増進と官能特性
- ・子供と高齢者の官能的な認識と行動
- ・官能評価手法の先端手法
- ・官能評価と画期的新製品

本シンポジウムは、カリフォルニア大学 Davis 校 (UC Davis) で長年にわたり官能評価の研究と教育に専心し、1990 年、57 歳の若さで病魔に倒れ亡くなった Rose Marie Pangborn 教授の遺徳を偲びその業績を称えるため 1992 年、欧米の官能評価の研究者達が集まり第 1 回のシンポジウムをヘルシンキで開催しました。以来、初期には 3 年毎、近年は参加者の急速な増加に対応するため隔年で

qqqqq 会 告 qqqqq

開催されてきました。本シンポジウムは最新の基礎ばかりでなく多様な応用面をも学べる官能評価分野では唯一の国際会議として高く評価されています。

初回の成功により本シンポジウムの継続的な開催が決定され以後、ヨーロッパとアメリカの都市で交互に開催されてきました。

今回、初めてアジアで Pangborn Sensory Science Symposium を開くに際し多くの候補地の中から美しい歴史の街、京都が選定されました。一昨年、フィレンツェで開かれた第 8 回では約 50 カ国から 900 人近い参加者が集まりましたが、今回、京都で開かれるシンポジウムは日本はもとよりアジアの官能評価分野で働く人々に南北アメリカ、ヨーロッパ、オーストラリアなどの研究者達と活発な議論を通して懇談できる貴重な機会であると思われます。

本シンポジウムの創立者の一人、ワシントン大学の Drewnowski 教授の講演から既に 20 年が過ぎようとしています、Pangborn 教授の業績と官能評価分野へ及ぼした影響について、彼は以下のように述べています。



Rose Marie Pangborn
(1932-1990)

食品や飲料の官能評価分野における Pangborn 教授の業績は食品科学や食品工学分野に学び働くすべての人々によく知られている。しかしながら彼女の研究と教育は栄養学や人間行動学など他の基礎的な科学分野にも大きな影響を及ぼし食品摂取量の調節に対する研究分野にも重要な貢献をしたばかりでなく、さらに先駆者として今日も広く利用されている多くの研究手法を生み出した。

彼女は亡くなる 2 年前、自身の財産を基金として Sensory Sciences 奨学資金を創設、没後は夫の Jack が、Jack 亡き後は UC Davis の Food Science 学科が官能評価を学ぶ全米の大学院生から対象学生を選定、支給している。生涯どころか没後も官能評価の発展に尽くし続ける見事な人生である。

本シンポジウムの組織委員会と主催者である Elsevier はこのような国際会議を日本で催す機会を持てることを大変嬉しく思うと共に参加者、出展者の皆様を心より歓迎します。より詳細な情報は www.pangborn2011.com をご参照下さい。なお本会議の公式言語は英語です。

(相島鐵郎訳)

より詳細な情報は www.pangborn2011.com をご参照下さい。

qqqqq 会 告 qqqqq

第 15 回 腸内細菌学会 (設立 30 周年記念大会)

日 時：平成 23 年 6 月 16 日 (木)・17 日 (金) 記念式典：6 月 16 日 (木)
会 場：東京医科歯科大学 M&D タワー大講堂
会 長：上野川 修一 (日本ビフィズス菌センター理事長 日本大学生物資源学部)

事前参加費：会員 6,000 円 一般 7,000 円 学生 2,000 円 (事前登録)

当日参加費：会員 8,000 円 一般 9,000 円 学生 2,000 円 (当日登録)

(会員は予稿集無料配布、当日販売有 1,000 円) (懇親会費 5,000 円)

お問い合わせ：財団法人 日本ビフィズス菌センター事務局

〒 170-0002 東京都豊島区巣鴨 1-24-12

TEL：03-5319-2669 FAX：03-5978-4068 e-mail：jbf@ipec-pub.co.jp

大会テーマ：『腸における共生と破たん－わかってきた腸内細菌と健康とのかかわり』

第 1 日 6 月 16 日 (木)

9：00 ～ 9：10 開会の挨拶 大会長 上野川修一 (日本大学)

9：10 ～ 15：00 一般演題発表 (12：00 ～ 13：00 昼食休憩)

15：15 ～ 17：30 日本ビフィズス菌センター設立 30 周年記念式典

日本ビフィズス菌センター設立 30 周年記念講演 (15:45 ～ 16:35)

「自然免疫：認識・シグナル・応答」

審良静男 先生 (大阪大学免疫学フロンティア研究センター拠点長、大阪大学微生物病研究所教授)

17：50 ～ 19：30 懇親会

会場：東京ガーデンパレス (東京都文京区湯島 1-7-5 電話 03-3813-6211)

第 2 日 6 月 17 日 (金)

9：00 ～ 9：20 日本ビフィズス菌センター研究奨励賞授賞式

9：20 ～ 10：40 受賞講演

10：50 ～ 11：40

『シンポジウム基調講演 Keynote Lecture/Symposium』

『Mechanistic Insight into Intestinal Microbiota Function and Manipulation』

Dr. Justin L. Sonnenburg (Stanford University School of Medicine)

qqqqq 会 告 qqqqq

11:40 ~ 12:45 【 昼 食 休 憩 】

12:45 ~ 14:45

シンポジウム 1 『腸内菌と宿主の共生—その機構と腸管免疫システムにおける役割』

1. 『マルチオミックス解析による宿主—腸内細菌相互作用の解明』
大野博司（理化学研究所免疫・アレルギー科学総合研究センター）
2. 『セグメント細菌（SFB）の腸内共生における役割と宿主特異性』
今岡明美（株式会社ヤクルト本社中央研究所）
3. 『共生菌と腸管上皮細胞・マスト細胞との相互作用による炎症反応の制御』
高橋恭子（日本大学生物資源科学部食品生命学科）
4. 『腸粘膜表層と腸管組織内における免疫共生システム』
國澤 純（東京大学医科学研究所炎症免疫学分野）

14:55 ~ 16:55

シンポジウム 2 『腸内細菌と健康とのかかわり』

1. 『花粉症患者の腸内細菌叢動態およびビフィズス菌摂取による影響』
小田巻俊孝（森永乳業株式会社食品基盤研究所）
2. 『腸内共生菌による食物抗原に対する免疫応答の制御』
細野 朗（日本大学生物資源科学部食品生命学科）
3. 『腸管における T 細胞応答における腸内共生菌の役割』
本田賢也（東京大学大学院医学系研究科免疫学講座）
4. 『腸内細菌が皮膚生理に及ぼす影響』
飯塚量子（株式会社ヤクルト本社中央研究所）

16:55 ~ 17:00 閉会の辞 大澤 朗（神戸大学大学院農学研究科）

月刊 ニューフードインダストリー

NEW FOOD INDUSTRY

定期購読の
ご案内

月刊「ニューフードインダストリー」は今年創刊 50 周年を迎える食品業界誌です。多くの食品メーカー、技術開発部門、研究機関、全国の大学・大学院などの教育機関、図書館などでご愛読いただいております。食の安全・健康・美に関する情報発信、新しい食品のご案内など広く情報を発信しております。

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

年間購読料：**23,760 円**（送料・税込）

お申し込み・お問い合わせは下記 FAX かお電話で

電話：**03-3254-9191** 担当：村松

FAX：03-3256-9559

ニューフードインダストリー年間購読申込用紙

住所 〒

氏名

会社名・所属

電話

FAX

E-mail

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

ニューフードインダストリー 第53巻 第5号

印刷 平成 23 年 4 月 25 日

発行 平成 23 年 5 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