

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2012 Vol.54 No.3

3

論 説

- 食品と放射線
東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う食品の放射性核種汚染とその健康影響評価基準についての放射線生物学的考察
- ティラピア由来コラーゲン関連物質の有用性と開発状況
- ポリアミンと健康長寿食 – (日本食と地中海食) –
- 清酒の香味とその評価
- シロザケ飼料の魚油添加効果 – 1
- おからの有効利用を考える

連 載

- イオン飲料市場を創造した驚くべきヒット商品
– 「ポカリスエット」大塚製薬株式会社 –
- 築地市場魚貝辞典 (キンメダイ)
- “薬膳” の知恵 (64)

News Release

- 第16回腸内細菌学会のご案内



論 説

食品と放射線

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う食品の放射性核種
汚染とその健康影響評価基準についての放射線生物学的考察

..... 岡本 菜佑美, 古賀 里美, 藤井 幹子, 古家 早苗,
嶋本 文雄, 松田 尚樹, 達家 雅明 1

ティラピア由来コラーゲン関連物質の有用性と開発状況

..... 飯島 道弘, 中嶋 雪花 18

ポリアミンと健康長寿食 – (日本食と地中海食) –

..... 早田 邦康 27

清酒の香味とその評価

..... 古川 幸子 37

シロザケ飼料の魚油添加効果 – 1

..... 酒本 秀一, 大橋 勝彦 49

おからの有効利用を考える

..... 一森 勇人, 田中 達治, 柴山 和也 59

連載

- イオン飲料市場を創造した驚くべきヒット商品
- 「ポカリスエット」大塚製薬株式会社 -
..... 田形 暎作 64

- 築地市場魚貝辞典 (キンメダイ)
..... 山田 和彦 70

- “薬膳”の知恵 (64)
..... 荒 勝俊 76

News Release

- 第16回腸内細菌学会のご案内
..... 前付 6

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料

コクベス

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

エンザップ

new発酵調味料

D&M

ディアンドエム

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベス

ラクティックイーストエキス

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

DM **大日本明治製糖株式会社**

食品事業部

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

— 食品と放射線

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う食品の放射性核種汚染とその健康影響評価基準についての放射線生物学的考察

Radiation in Food: Current Estimates of the Health Effects of Low-Dose Ionizing Radiation from Contaminated Food and Drink Caused by the Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident

岡本 茉佑美^{*1}, 古賀 里美^{*1}, 藤井 幹子^{*1}, 古家 早苗^{*1}, 嶋本 文雄^{*2}, 松田 尚樹^{*3}, 達家 雅明^{*1}

^{*1} 県立広島大学生命環境学部生命科学科ゲノム制御システム生物学研究室

^{*2} 県立広島大学国際文化学部健康科学科病理病態学研究室

^{*3} 長崎大学先端生命科学研究支援センター放射線生物・防護学分野

Key Words : 放射能汚染・原子力発電所事故・健康影響評価・ヨウ素 -131・セシウム -137

要旨

日本近海の三陸沖で 2011 年 3 月 11 日に発生した地震とその後の津波の結果、東京電力福島第一原子力発電所で事故が発生し、大気中に放射性核種が放出している。福島 1 号機～3 号機を合わせてその量は、ヨウ素 -131 とセシウム -137 それぞれ旧ソビエト連邦のチェルノブイリ 4 号機に次ぐ量であり、原子炉外に広く拡散されたと考えられる。これらの放射性核種は、その後、食品からも検出されている。本稿では、事故後の食品の汚染程度とそこから受ける健康影響評価について放射線生物学的に考察をおこない、低線量放射線内部被曝の実態解明に役立てることを目指した。

Summary

On 11 March 2011, the magnitude 9.0 (Mw) earthquake and triggered powerful tsunami struck off the northeast coast of Japan. The ongoing INES (International Nuclear Event Scale) level 7 meltdowns at three reactors in the Fukushima Daiichi nuclear power plant complex are serious social problems due to radionuclide releases outside the crippled reactors. Provisional regulation values for radioactivities of contaminated radionuclides in food and drink were set on 17 March. Food and drink samples which exceed the provisional regulation value were detected in various parts of Japan. Here we discuss current estimates of the health effects of low-dose ionizing radiation from these contaminated food and drink.

Key words: radioactive contamination, nuclear power plant accident, radiation risk assessment, iodine-131, caesium-137

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分頃に三陸を震源とするマグニチュード 9.0 の大地震が起きた。その後の津波により福島第一原子力発電所の全ての交流電源が失われ、原子炉冷却が出

来ずに事故に至った。地震発生時まで運転中だったのは 1 号機（電気出力 46 万 kW）、2 号機（78.4 万 kW）、3 号機（78.4 万 kW）の合計 202.8 万 kW であり、これは、チェルノブイリで事故を起こした 4 号機の 100 万 kW の約 2 倍

である。

原子炉内ではウラン-235 (^{235}U) が中性子を吸収して分裂する連鎖反応が繰り返されており、この際に生じる核分裂生成物は質量数 140 程度と 95 程度のふたつのピークを持つ質量数の種々の核種に二分される。核分裂生成物などの核種になるかは確率で決まるが、分裂後の種々の核種は放射線^{注1)}を出し続ける。すなわち、放射能を持っており放射性壊変をし続けて最終的に安定な元素になる。なかでも、揮発性が高く水に容易に溶けて甲状腺に集まるヨウ素-131 (^{131}I)^{注2)}、そして、同じく水溶性でカリウムと同様の挙動をして人体に入り特に筋肉などに分布するセシウム-137 (^{137}Cs)^{注3)}が広範な放射能汚染源として注目される。食品の汚染では、これらふたつの放射性核種群（放射性ヨウ素と放射性セシウム）に加えて、ウラン、プルトニウム及び超ウラン核種で規制が設けられている^{注4)}。

チェルノブイリの2倍規模の発電量のある福島原発の原子炉内には、当然、2倍量の核燃

料の「燃えかす」であるヨウ素-131とセシウム-137ならびに他の壊変産物が存在しており、それが事故と共に原子炉内から大気内へと拡散した。しかし、チェルノブイリの場合は、黒鉛型原子炉であったために中性子の減速材として用いられていた黒鉛が燃焼して火災が数日間続き、大量の放射線が放出された。これに対して、福島の原子炉ではこのような火災は発生せず、冷却に用いられている水が高温になり、あるいは、燃料棒表面にあるジルコニウムが溶解して水に接触するなどによって生じた水素が爆発したために炉内の放射性物質が拡散された。そのため、炉内にはチェルノブイリよりも大量の放射性物質があったものの、拡散された放射性物質はチェルノブイリの約1/10程度であると原子力安全委員会ならびに原子力安全・保安院は伝えている。すなわち、ヨウ素-131ではチェルノブイリの推計放出量は約180万テラベクレル (1.8×10^{18} Bq)であったのに対して約15万テラベクレル (1.5×10^{17} Bq)、セシウム-137については8.5万テラベクレル (8.5×10^{16} Bq)

注1) 放射能 (radioactivity) は原子核が自然に崩壊して放射線を出す性質やその現象のことを指し、放射線 (radiation) とは粒子や電磁波、更に、光や紫外線、赤外線、更に電波等を含む全ての電磁波や粒子線の総称であるが、一般に、放射線と言えば、電離作用を有する電磁波や粒子線を指し、電離放射線 (ionizing radiation) と呼ぶ。

注2) 放射性ヨウ素には ^{131}I 以外に ^{129}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I など含まれるが、8.02日と半減期が比較的短く原子炉内での取量が比較的多い (2.83%) ^{131}I が一番問題になる。食品中における放射性ヨウ素の規制値の考え方については、本文に後述される。

注3) 放射性セシウムには ^{137}Cs 以外に ^{134}Cs も含まれ (核分裂生成物のひとつである ^{133}Cs は安定)、 ^{131}I や ^{137}Cs と共に ^{134}Cs は放射能汚染の原因となる主要三核種のひとつであるが、その核分裂による ^{137}Cs の6.09%よりも取量は低く (一部は ^{133}Cs の中性子補足で生成するが)、半減期が2.07年であるので、より超寿命 (半減期は30.17年) の ^{137}Cs が問題視されることになる。食品中における放射性セシウムの規制値の考え方については、本文に後述される。

注4) 放射性ストロンチウム (^{89}Sr , ^{90}Sr : 半減期はそれぞれ、約50日と28.79年) はカルシウムと同じ挙動であり骨に集まることが危険視されているが、食品の規制値を設定した核種には名前が出てこない。この理由は、ウランの放射性壊変によりセシウムがストロンチウムと同程度生成されて (ふたつに崩壊した片方がセシウムで片方がストロンチウムという意味) 同様の挙動を取ると考えられるので、放射性セシウムの中に入れていたためである。詳細は本文に後述される。また、ウランやプルトニウム類が個別に規制値としてわざわざ設けられたのは、今回の事故で3号機から実際に検出されたことや、原子力発電所や再処理施設の防災という観点を意識しての設定であろう。

注5) 福島原発の放出量推計値は原子力安全委員会の値を用い、特に、セシウム-137については2011年6月に更新されて高く見積もられた値であるが、原子力安全・保安院の値はそれよりも低い。

に対して1.5万テラベクレル (1.5×10^{16} Bq) である^{注5)}。しかし、2011年10月時点での海外研究者の推計では、実際にセシウム-137はチェルノブイリの約4割に相当する3.5万テラベクレル (3.5×10^{16} Bq) に及んだらしい¹⁾。

セシウム-137は半減期が約30年と長寿命であり、また、カリウムと同じ挙動をする水溶性の核種のために慢性摂取した場合の生体内(筋肉など)への蓄積が心配される。また、希ガス類の放射性同位元素であるキセノン-133に至っては、福島爆発様式から大量に大気圏内に放出されたと考えられ、その量はチェルノブイリの1400万テラベクレル (1.4×10^{19} Bq) を越えている(1700万テラベクレル)と推計されている¹⁾。それゆえ、一概に「福島原発事故で一般環境中に放出された放射性物質の量はチェルノブイリ原発事故の1/10規模程度」とは言えない。しかし、希ガス元素は生体との反応性が無いために大きな影響を与えず、放射能影響という観点からは大きな問題とならない。これに対して、原子炉からの問題となる核種は、気化しやすく水溶性であり、且つ、生体内(特に甲状腺)に蓄積されるヨウ素-131(半減期は約8日)、同じく水溶性でありカルシウムと同じ挙動をして骨などに蓄積されて比較的長寿命(約29年)の核種のストロンチウム-90、そして、セシウム-137である。

今回、福島原発からのヨウ素-131の放出量は16万テラベクレルであったと推計され、これは、炉内の約2.7%程度であった。これに対して、チェルノブイリ原発事故の場合には、180万テラベクレルで炉内の60%が大気中に放出されており、黒鉛型原子炉の中性子減速材である黒鉛の燃焼による数日間の炉内火災による高揮発性ヨウ素の拡散というチェルノブイリ

の事態と福島の事態は異なる。また、セシウム-137もチェルノブイリの場合は微粉塵となって大量に拡散されたのに対し(8.5万テラベクレルで炉内の約24.3%)、福島の場合は1万テラベクレル(炉内の約1.4%程度)であった。骨に長期間蓄積するストロンチウム-90については、セシウム-137と同程度に炉内には存在するが、高い揮発性が無いため今回の事故では140テラベクレル程度(チェルノブイリの場合、1万テラベクレル)の大気への放出に留まっている。

本稿では、これらの核種の食品への放射能汚染に焦点をあてて、どのような危険性があるのかを放射線生物学的に評価し、また、こういったこととは恰も別個であるかのように進んでいる消費者動向や消費者意識、そして、その対応に迫られている施策についての議論にも言及したい。

1. 放射線被曝量と健康との関係

放射線という言葉は、一般的に「電離放射線 (ionizing radiation)」の代用として扱われる。放射線には粒子線と電磁波がある。粒子線には、荷電も持っているもの (α 線, β 線など) と荷電を持たないもの (中性子線など) がある。一方、電磁波とは光である。光は、その波長域によって呼び名が異なり、作用も異なる。可視光線よりも長いものは、例えば、赤外線や電子レンジに使われるマイクロ波などの波長域のものがあり、そして、テレビや携帯電話などの電波の波長域、更に、送電線などの下での居住などで問題になるようなもっと長い波長の超低周波電磁波などがある。一方、短波長側は、紫外線、そして、更に波長の短いものとして、X線や γ 線

注6) X線と γ 線は本質的には同じような短い波長域の電磁波であるが、その発生の機構が異なり、前者は軌道電子の遷移を起源とするものであり、後者は、原子核内のエネルギー準位の遷移を起源とするものである。

がある^{注6)}。しかし、粒子線であろうと電磁波であろうと電離作用を有していることがいわゆる「放射線」、すなわち、電離放射線の特徴である。我々のような地球上の生命体では、核酸を遺伝情報の担い手として有しているため、この電離作用によって核酸が損傷を受ける。この作用は電離によるものであるが、その熱量は非常に小さい。それ故、放射線は熱エネルギーが非常に低くても生物学的効果が非常に大きいということになる^{注7)}。

放射線照射されて起こる障害の内で急性放射線症候群、不妊、放射線白内障、奇形などは一定の線量以下では身体的影響は観察されない。こういった閾値（しきいち）のある影響を確定的影響としている。これに対して、発がんや染色体異常などの遺伝的影響は線量に応じて起こるとされ、確率的影響と呼ばれる。すなわち、線量依存的に生体影響が発生し、その閾値は無いとされる。ICRP（International Commission on Radiological Protection：国際放射線防護委員会）の勧告によれば、閾値無しモデルが採用されており、放射線は浴びなければ浴びないほど健康にいいとされている。その被曝制限線量の設定は、「確定的影響を防止し、確率的影響を合理的に達成できる限り制限する」という考え方に沿って設定されており、放射線作業従事者が5年間100 mSv（ただし、いかなる1年も50mSvを超えない）、公衆一般人に対しては年間1 mSvの値を勧告している²⁾。放射線作業従事者の数値の根拠は、広島と長崎の原爆被曝者の調査結果に基づいた推計値によるもので、死亡する危険度

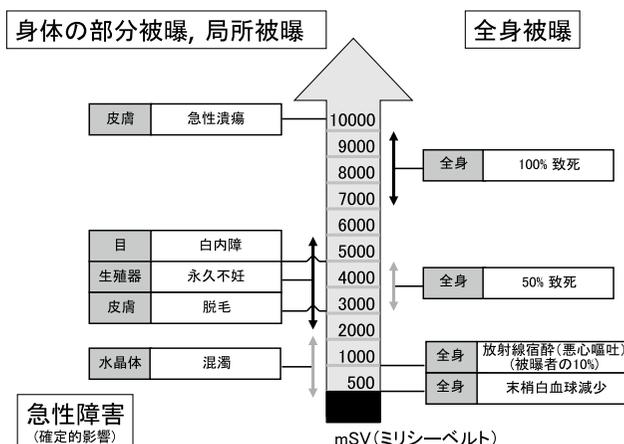


図1 電離放射線被曝時の急性障害と被曝線量との関係
実効線量（シーベルト，Sv）で表したヒトの急性放射線障害と線量との関係を示しているが、一般に500 mSv以下の線量では臨床症状を検出することは出来ない。

（年間死亡確率）が 10^{-3} を越えない（年間100万人死亡している集団で1000人より余計に多く死亡することのないような）値を基軸に被曝線量を「容認できないレベルの下限値」として判断されて設定されている。公衆一般人に対しては、その1/20の値となっている。

一方、放射線被曝が臨床的に確認出来る線量は500 mSv程度が限度である（図1）。逆に言えば、それ以下の線量の外部被曝であれば放射線を浴びたかどうかを浴びた人から検出するのは難しい。それ故、広島や長崎の被曝者の放射線被曝線量は物理化学的計測や推計に基づいたものである。これに対し、チェルノブイリや福島のような原子力発電所事故の場合、放射性物質の降下が問題となるのは内部被曝であり、例えば甲状腺（ヨウ素-131が対象）を体外からサーベイメーターで計測することや、ホールボディカウンターで測定することにより、体内核種の同定やその量が推計出来る。しかしながら、

注7) 7 GyのX線が全身照射された場合、10-20日以内に全てのヒトは死ぬが、この熱エネルギーは1リットルの水を0.00168℃あげるに過ぎない。すなわち、100%致死線量のX線を照射されても、その瞬間は何も感じない。

この場合も、実際に細胞がどの程度の放射線被曝をしてどの程度に影響を受けているかについての実測を生物学的におこなっている訳ではない。あくまでも、体内に存在する放射能から被

曝線量を推定している訳である。逆に、細胞が受けた放射線の線量を生物学的に被曝したかもしれない人からの生検サンプルなどで計測出来れば、物理化学的な計測に加えて緊急被曝時に

表1 バイオドジメトリー・マーカーの感度比較

アッセイ分類	方法の難易度	被曝有無判定	検出限界	特異性	検出期間	処理能力
ESR/EPR	高難易度	高い	0.1	良い	年単位	なし
血液検査	簡便	低い	1	良い	週単位	なし
<u>体細胞突然変異</u>						
gpa FCM 利用	簡便	中くらい	1-2	良い	年単位	あり
hprt T 細胞	簡便	中くらい	1-2	中くらい	月単位	なし
<u>細胞遺伝学</u>						
二動原体、転座	中難易度	中くらい	0.3	良い	年単位	なし
微小核	簡便	中くらい	0.3	良い	月単位	あり
PCC	簡便	中くらい	0.3	良い	数日	あり
γ H2AX	簡便	中くらい	0.3	良い	数日	あり
<u>分子生物学</u>						
PCR	簡便	低い	0.2	低い	数日	あり
Gene Profile	簡便	低い	0.2	良い	数日	あり
<u>代謝</u>						
代謝 Profile	簡便	低い	?	?	数日	あり
<u>生化学</u>						
RhoGDI β ^{**}	簡便	高い	0.05	良い	数日～?	非常に高い?

アッセイ分類:アッセイの方法論別に分類している。

- ESR/EPR は電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance/Electron Paramagnetic Resonance) で歯における検出方法。
- gpa FCM 検出は赤血球の glycoprotein-A (gpa) をフローサイトメーター (flow cytometry) で検出する方法。
- hprt T 細胞は白血球の hprt (hypoxanthine phosphoribosyltransferase 遺伝子座) の突然変異を細胞生物学的に検出する方法。
- 二動原体、転座は染色体異常検査、微小核は染色体不分離で出現する核外の小さい核を見つける方法。
- PCC (Premature Chromosome Condensation) 未成熟染色体凝縮は間期の細胞で染色体異常を検出する方法。
- γ H2AX は電離放射線で照射された細胞の核内で起こるヒストンのリン酸化を検出する方法。
- PCR や Gene Profile は遺伝子増幅技術やマイクロアレイ技術などにより遺伝子産物の変化を解析する方法。
- 代謝 Profile はたんぱく質の代謝産物変化を解析するプロテオミクス技術であるので、今後の開発動向が注目される。

方法の難易度: 検出する方法の技術的な難易度で、簡便とは学部卒研生レベルで訓練により測定可能な方法を指す。被曝有無判定: 被曝しているかいないかのボーダーラインがはっきりしているか否かを表す。

検出限界: 電離放射線の検出限界を Gy で表示した。確実な有意差を持って判断出来る線量としており、例えば、血液検査の場合はその検出は 0.5 Gy 程度でも可能とされるが、浴びているかどうか分からない集団を検査する時の検出限界として、その線量を 1 Gy としており、こういった基準での限界値を示してある。

特異性: 電離放射線に特異的か否かについての評価を記している。

検出期間: 被曝後どれくらいの期間測定可能かを示している。

処理能力: 大量のヒト被曝の場合、それを臨床検査レベルでどの程度処理出来るかを表している。

^{**} RhoGDI β を指標とした方法は筆者らが開発した白血球の放射線応答現象を利用したものであり、既に特許が成立しており (特許所有者: 広島大学)、「アビタン ABITAN[®] (商標所有者: 株式会社 ツーセル)」として登録商標化されている。検出期間については、正確なヒトでのデータは無いが、被曝線量に依存するが、実験レベルでは 1 週間以上検出可能である。処理能力は現時点ではキット開発が終わっていないが、開発が進めば非常に高い処理能力となるであろう。

は放射線被曝者の選別とその被曝線量を知る上で大いに役立つものと思われる。こういった生物学的線量測定をバイオドジメトリーと呼び、こういった試みは今までいくつかの例がある(表1)。なかでも、放射線との相互作用により生成したラジカルが安定に保持されている菌を用いた方法は、電子スピン共鳴(ESR)による測定技術を駆使することによって被曝後長期間にわたり測定可能であるが(時に、死んだ人からも菌が残っていれば可能となるが)、この場合、計測には抜歯を余儀なくされることになる。また、血液採取によって白血球細胞の染色体異常を定量的に観察することにより測定可能ではあるが、生化学的定量では無いために熟練した検査員が必要となる。こういった短所を補うために、新しい放射線生物学的マーカーを用いたバイオドジメトリー方法の開発が進んでいる。

我々の開発例では、電離放射線被曝によって起こる白血球の細胞応答を基礎とし、血液細胞に高発現している RhoGDIbeta に着目し、被曝後に細胞が放射線応答した結果出現する特殊な RhoGDIbeta を生化学的に検出しようとするものである(特開 2007-047147「電離放射線の被曝量測定方法」^{注8)})。

放射線は物理化学的には非常に高感度に検出可能であり、その検出感度の進歩は目を見張るものがある。すなわち、物理化学的には検出限界が μSv 以下のレベルまで飛躍的に低くなった。しかし、一方で、ヒトの被曝の痕跡は放射線被曝直後においても見つけにくく、更に、放射線発がんはその発症まで 10 年から数十年を経過しなければ見られない。こういった状況が「目に見えず痛くも痒くもない」と言うことに加えて「放射線を正確に怖がる」ということを一般的に難しくしている。

2. 放射線被曝による健康被害リスクの増加

ICRP 勧告では一般公衆の被曝線量を年間 1 mSv 以下に制限しているが、この線量には、我々が大地や大気中のラドンなどから自然に受ける放射線量やレントゲン撮影や X 線 CT などから受ける医療被曝の放射線量は含まれていない。我々の体の体重を今 60 kg と仮定すると、体内には放射性核種であるカリウム -40 が 4,000 Bq、炭素 -14 が 2,500 Bq、ルビジウム -87 が 500 Bq、鉛 -210 とポロニウム -210 が 20 Bq 程度含まれている。これらの核種から我々は常に内部被曝を受けていることになる。それ以外に、大地や大気中からも我々は放射線被曝を受けており、居住する地域や区域によって自然放射能レベルの高低がある。世界には、自然放射能レベルの高い地域が存在しており(図2のカラム参照)、これらの地帯での広範な疫学調査がおこなわれているが、居住区の住民にそれ以外の地域での住民と較べた目立った健康影響は観察されていない³⁾。図2に我々が年間に受ける放射線量を示したが、この中で、約半分は医療被曝であることがわかる。これは、あくまでも平均値なので、医療被曝をより多く受けている人も当然存在する。例えば、X 線 CT の全身撮影で 6.9 mSv/回となり、1 回の X 線 CT で ICRP 勧告の約 7 倍の被曝を受けることになる。また、集団検診の X 線検査では、胸部検診が 0.05 mSv/回、胃部検診が 0.6 mSv/回である。一方で、医療被曝は健康検査という利益(ベネフィット)を生んでおり、望まぬ被曝するような原子力災害時の被曝とは性質を異にする。それ故、ICRP はそういった被曝以外の被曝に対する勧告を出しているということを理解しておく必要がある。

注8) 平成 23 年 9 月 20 日に特許成立している。

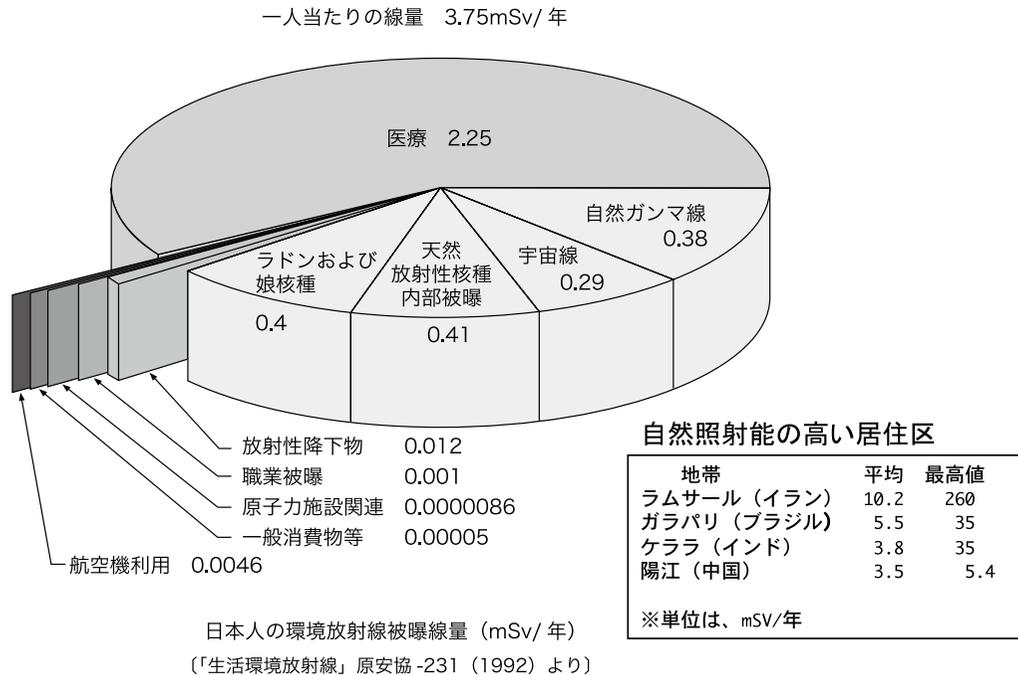


図2 日本人の平均的な年間被曝線量

医療被曝については1992年当時のものであり、近年の医療被曝線量は高齢化に伴う検査の増大やX線CTの普及などで増加傾向にあるものと考えられる。カラム内は自然放射能レベルの高い都市で1年間に浴びる放射線量の平均値と最高値を示してある。

では、急性障害や臨床所見が得られないような低線量放射線被曝がいったいどれくらい危険なのか。この問題に対しては多くの議論があるが、①経年影響であり多段階的に進行する発がん現象を確かめるためには長期間の観察が必要である、②ヒトの広範な被曝例は広島と長崎の原爆被曝者にしか存在せず、しかも、高線量率の低線量外部被曝がその大部分である、③線量が低ければ低いほど影響が出にくく、それとは逆に統計学的には集団母数が多いほど望ましいが、現実には、しっかりと被曝線量が推計可能な母数には限りがある、④実際に本当にどの程度の被曝をしたのかを生物学的に検証出来ないし、また、一般人が個人被曝線量計を装着していることも無いので、物理的な測定法により被曝線量を正確に実証することは難しい、⑤ヒト集団はヘテロな遺伝子集団であるが、電離

放射線感受性を変更させる遺伝子やmicroRNAなどが多数存在することがわかってきている現在、そういった遺伝子の発現量や遺伝子多型(ポリモルフィズム)などの個体間差異が与える放射線感受性の個体間や集団間の変更について、被曝線量が低ければ低いほど無視出来ない、などの複数の要因が介在し、明解な回答を導き得ていない。加えて、内部被曝の問題となると、更に複雑であり、核種をヨウ素-131に絞ったとしても、その発がんリスクについてはチェルノブイリ原発事故の例のみが参考となるに過ぎず、その放射線影響の実態が解明されているとは言いがたい。チェルノブイリ原発事故に限って言えば、ヒトが住まなくなった周辺は欧州随一の野生動物や自然の宝庫になっているということであり、自然淘汰という原理が働くのかも知れないが、それらの動植物へのこれといった

表 2 推計放射線被曝線量に基づいた原爆被爆者の白血病発症頻度を非被爆者集団の頻度と比較した時の総合的な白血病発症リスク推定値

被曝線量 (Sv)	0.01-0.05	0.06-0.09	0.10-0.19	0.20-0.49	0.50-0.99	1.0-1.9	2.0<
相対的な白血病発症頻度	0.99	0.61	1.08	1.79*	4.15*	8.01*	18.57*

*>5% 増加の有意レベル

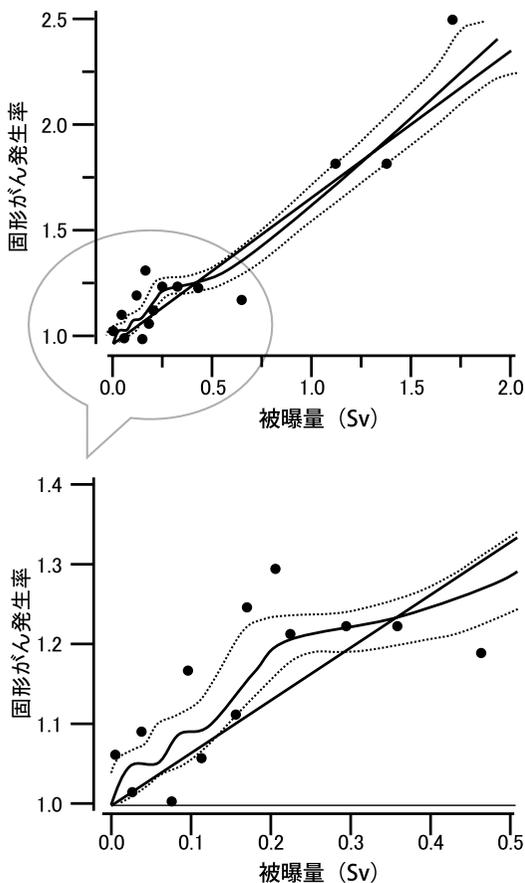


図 3 推計放射線被曝線量に基づいた原爆被爆者の固形がん発症頻度を非被爆者集団の頻度と比較した時の相対的な固形がん発症リスク推定値

被曝年齢が 30 歳から 70 歳までの固形がん発症例についてのデータを整理したものであり、直線は図 4 で示した閾値無しモデルで各データを最小二乗法によりフィットさせたもの。被曝線量は大腸組織での推計を代表として示されている。

重篤な自然破壊としての放射線影響は確認されていないことも事実である^{4,5)}。

まず、外部被曝については、広島と長崎の被爆者を対象とした長期追跡調査結果が詳細に解析されている。これによると、白血病の発症に関して有意にその発症リスクが増加すると判断される線量は 200 mSv であり、それ以下の線量では有意な差が認められない(表 2)⁶⁾。この理由については推測の域を出ないが、やはり、ヒトの白血球にはアポトーシス(自爆的細胞死)による防護作用が存在し、遺伝子損傷した生体にとって思わしく無い白血球は生体内から排除される機構が存在することや、低線量被曝で起こる DNA 損傷は誤りの少ない DNA 修復系によってもとに戻りやすいなどの可能性が想像される。もっとも、小児の場合、こういった結果があてはまるかどうかは疑問であり、一概には、200 mSv を越えなければ白血病発症リスクは無いとは言い切れない。一方、固形がんの発症は白血病よりも被曝後の年限を多く要するが(白血病は 7 年くらいで発症のピークを迎えるが、固形がんでは被曝後 10 年を経て増加傾向にあり、その後も増加傾向を保つ⁷⁾)、被曝線量依存的に発がんリスクは高くなる。図 3 に示した結果は 1958-1994 年の被爆者における腫瘍登録データに基づいて固形がんの発症リスクをプロットしたものである⁸⁾。とりわけ低線量域が問題視されるが、複雑なカーブを示していて、この解釈には多くの議論がある。閾値が

注 9) 電離放射線を微量に被曝することは健康を害する影響を与えるのではなく、むしろ、免疫賦活化やその後の被曝への耐性による放射線防護効果に働くなどの生物学的効果があるとする学説で、「放射線ホルミシス」と呼ばれており、実際に実験的にはそういった効果が観察される例がある。

無いとするか、閾値はあるとするか、あるいは、低線量被曝は健康に大きな害を及ぼさず、むしろ健康にいい方向に働くとするか^{注9)}によって解釈は大きく異なる(図4)。また、被曝者の被曝線量推計の正確性ということも常に根底の

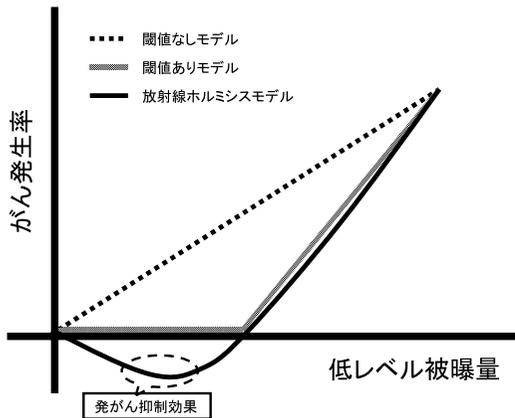


図4 低線量放射線被曝発がんにおける線量効果曲線に関する3つのモデル

図3はこのモデルのどれにも当てはまらない。しかし、動物実験においては閾値無しモデル、あるいは、放射線ホルミシスモデルを支持するデータもあるが、むしろ検出できなくてよくわからないというデータや、あるいは低線量放射線被曝に応答する細胞内分子やシグナル経路ははっきりとはわからず、その効果を科学的には明確には説明できない。ICRPでは閾値無しモデルを採用している。

問題として横たわる。

内部被曝の問題は更に複雑である。チェノブイリ原発事故では、その後、高汚染地域であるベラルーシで広範な調査がおこなわれた。しかしながら、広島や長崎の場合とは異なり、150 mSv以上の被曝を受けた事後処理作業員以外は、白血病の増加は認められていないとされる⁹⁾。固形がんについては1986年の事故から25年余経過しているが、汚染地区住民での有意な増加は認められていない。これに対して、小児甲状腺がんの増加が観察されている(図5)。しかし、よく報道であるように、「事故後数十倍～何百倍に増加した」という表現が正しいかどうかは疑問である。

ここにも幾つもの問題が見え隠れするが、ひとつは、「甲状腺検査などは通常行なわれないが、事故後のヨウ素-131汚染ミルクの問題が浮上して多くの小児が検診を受けるに至り、問題の無い小児甲状腺結節を検出するに至っているための過大評価」という問題が横たわる。また、この地域が大陸の内部であり、慢性的なヨウ素欠乏状態の地域であることも災いしたかも知れない。あるいは、事故当初の規制が行なわれなかった放射能汚染乳製品の流通問題もあ

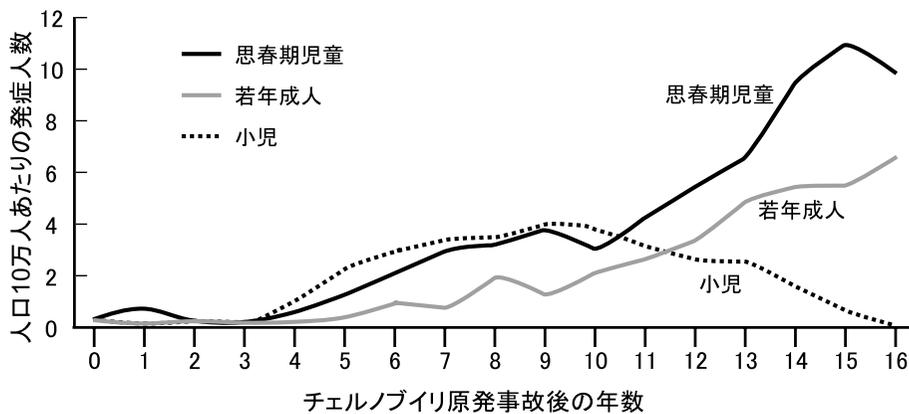


図5 チェルノブイリ原発事故後の周辺高汚染地域内であるベラルーシにおける小児甲状腺がん発症頻度の推移

Cardis, E. ら (Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on. *J. Radiol. Prot.* **26**, 127-140, 2006) より (Yu. E. Demidchik 博士の原図)。

る。更に、小児甲状腺腫瘍は稀な疾患でその発生率は、人口100万人都市規模で年間1人から数人のレベルであり、実際、高汚染地帯であるベラルーシ地方でも事故前はその程度の発症率である。すなわち、発症例が調査地域の人口10万人あたり10例であったとしても100倍の増加という表現になり、放射性ヨウ素の汚染の怖さを誇張する結果ともなりかねない。勿論、小児1人足りとも原子力発電所から放出された放射性物質による汚染の犠牲になってはいけない訳ではあるが、内部被曝の影響については実験的にも不明な点が多い。

その背景には、正確な動物実験データの少なさも横たわる。ヨウ素-131の内部被曝によるラット甲状腺腫瘍発症実験は広島大学原爆放射線医学研究所で神谷研二教授を中心に本格的に進められたが、非密封線源の扱いの問題に制約があり外部被曝実験のようにはいかず、また、ホルモン依存的な発症機序を持つ腫瘍であるため、遺伝的背景や年齢や食餌の影響を非常に受けやすく、実験的ヨウ素-131の内部被曝でラットに甲状腺腫瘍を被曝線量依存的に造らせることが出来るものの、その影響の評価については議論が尽きない。そのため、ベラルーシの調査結果がそのまま福島に当てはまる保証もないが、やはり、チェルノブイリ事故後の小児甲状腺腫瘍は現実の問題であり、幾つかの異論はあるもののやはり、原発からのヨウ素-131が原因であると見た方が良さそうである¹⁰⁾。すなわち、チェルノブイリではヨウ素-131内部摂取により小児甲状腺癌が増加したということは事実であり、検診効果や発症頻度の定量性の問題、また実験科学的なデータの乏しさということが横たわるものの、疫学的には因果関係が認められている。結論的には、この汚染を過剰に反応することなく危険視しておくのが適切であろう。

こういったこととは別に、とりわけ、内部被

曝でもっとも大きな問題は精神的な影響であろう。不安が拡大し、それが原因で健康を損なうケースがチェルノブイリでは後を絶たない。食品からの内部被曝という危険性は人々に放射能汚染の脅迫概念をもたらすものと考えられる。大阪と京都の看護学生への「怖いもの調査」では、福島原発事故後、怖いものの1位の麻薬に肉薄する形で2位に原子力発電所があがっており、次いでピストル、テロリズムと続いている¹¹⁾。

果たして科学的にも医学的にも原子力発電所がそれほど恐ろしく我々の人命を損なうものであるのかどうかは、現実には福島の事故を見ればわかることであるが(今のところ、直接の死者は出ていないのに対して、広島や長崎での原爆投下が如何に残酷なもので酷い放射線障害があったかは、広島原爆資料館で見学すれば瞭然であるが)、内部被曝への恐怖心は精神的ストレスの元凶となるようである。また、更に、「放射能汚染で何を恐れるのか?」の問いには1位のがんや2位の遺伝的影響、3位の致死などと共に放射能による脱毛を恐れている若者が意外と多いということも世相を表すものと思われる。20代の看護学生対象の調査結果でこの状態であれば、一般公衆における食品への放射能汚染の過度の恐怖と医療放射線被曝に対する過度の安心と軽視の矛盾がよく見えて来ると思われる。

3. 食品中の放射性物質に関する暫定規制値の考え方

食品中の放射性物質について食品衛生法上の規制はないが、1980年6月の原子力安全委員会による「原子力発電所等周辺の防災対策について」において飲食物摂取制限の指標がヨウ素-131に対する食品中の濃度として設けられていた。その後、チェルノブイリの事故では半減

期の長いセシウムとストロンチウムの汚染が問題となったことから、この規制値も設けられた。更に、ICRPの勧告に基づいてIAEA (International Atomic Energy Agency: 国際原子力機関) が定めた指標に基づき、ヨウ素、セシウム、ストロンチウムに加えて、再処理施設からの漏洩が懸念されるプロトニウム及び超ウラン元素の α 崩壊核種を含めた摂取規制値が指標として存在していた。これは、あくまでも、原子力発電所等周辺の防災のためのもので、放射能汚染を想定した規制値である(表3)。すなわち、考え方としては、放射能汚染が検出される状況に陥った時の安全値としての「暫定規制」であり、今回の事故に伴ってこの値が福島事故後に各自治体へと通達された。これは、原子力発電所等で大量の放射性物質が漏洩して一般居住区にまで及んで一般公衆が被曝する可能性が生じた結果、流通している食品や水道水などに対して「介入(実効可能な限り、被曝低減のための対策を取ること)」が必要となった時に、その判断の基準となる誘導介入濃度(摂取や流通を制限するための設定濃度)である。そして、それは「暫定」であるので、当然、放射能汚染の程度が下がれば誘導介入濃度も下げられることになる。2011年11月時点ではこの引き下げが政府

で検討されており、いずれ、新しい暫定基準値が示されるであろう。同様の暫定規制は、チェルノブイリ事故後の周辺各国でもそれぞれの実情に応じておこなわれた訳で、それ故、現行の日本の規制値をそのまま他の地域の規制値と比較することは間違いである。また、現行の規制値は他の国の規制やCodex (Codex Alimentarius Committee: コーデックス委員会、あるいは、国際食品規格委員会) に較べて緩やかなものではない(表4)。

表3と表4の値は放射能を示すベクレル表示で、これは食品1kg中に含まれる放射性核種の1秒間当たりの壊変数を示し、壊変のたびに、核種によって異なるエネルギーを持つ放射線が放出される。また、年齢によっても異なる影響を与えると考えられることから、ICRPでは、核種毎に年齢区分(0-1歳、1-6歳、7-12歳、12-17歳、>17歳)した値をBqからSvへの換算係数(預託線量係数)として定めている。また、係数には2種類存在し、特定の臓器に対する係数(預託等価線量係数)と全身に対する係数(預託実効線量係数)がある。ヨウ素-131の場合は甲状腺に集積するので、その計算には預託等価線量係数が用いられることになり、セシウム-137では預託実効線量係数が用いられ

表3 福島原発事故後最初に発行された食品中の放射性物質濃度に関する暫定規制値

放射性ヨウ素 (混合核種の代表核種： ^{131}I)	飲料水	300 Bq/kg
	牛乳・乳製品(注)	
	野菜類(根菜、芋類を除く) 魚介類(4月5日以降)	
放射性セシウム	飲料水、牛乳・乳製品	200 Bq/kg
	野菜類、穀物、肉・卵・魚・その他	500 Bq/kg
ウラン	乳幼児用食品、飲料水、牛乳・乳製品	20 Bq/kg
	野菜類、穀物、肉・卵・魚・その他	100 Bq/kg
プルトニウム及び超ウラン元素の α 核種 (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm の放射能濃度の合計)	乳幼児用食品、飲料水、牛乳・乳製品	1 Bq/kg
	野菜類、穀物、肉・卵・魚・その他	10 Bq/kg

注：100 Bq/kg を超えるものは、乳児用製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないように指導する。

表4 日本の暫定規制値とICRPが定めている基準値、ならびに各国及びコーデックスの規制値

ICRP 国際放射線 防護委員会	ヨウ素の防護基準				セシウムの防護基準				
	実効線量 500mSv/年 (試算) 300Bqの水 2kgを1年間飲む $300 \times 2.2 \times 10^{-5} \times 2 \times 365 = 4.8 \text{mSv}$				実効線量 5mSv/年 (試算) 200Bqの水 2kgを1年間飲む $200 \times 1.3 \times 10^{-5} \times 2 \times 365 = 1.9 \text{mSv}$				
	放射性ヨウ素 ^{131}I				放射性セシウム $^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$				
	飲料水	牛乳・ 乳製品	野菜類 (除根菜・芋類)	その他	飲料水	牛乳・ 乳製品	野菜類	穀類	肉・卵・ 魚・その他
日本	300	300	2000	魚介類 2000	200	200	500	500	500
Codex	100	100	100	100	1000	1000	1000	1000	1000
シンガポール	100	100	100	100	1000	1000	1000	1000	1000
タイ	100	100	100	100	500	500	500	500	500
韓国	300	150	300	300	370	370	370	370	370
中国	-	33	160	食肉・水産 470, 穀物 190, 芋類 89	-	330	210	260	肉・魚・甲殻類 800, 芋類 90
香港	100	100	100	100	1000	1000	1000	1000	1000
台湾	300	55	300	300	370	370	370	370	370
フィリピン	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ベトナム	100	100	100	100	1000	1000	1000	1000	1000
マレーシア	100	100	100	100	1000	1000	1000	1000	1000
米国	170	170	170	170	1200	1200	1200	1200	1200
EU	300	300	2000	2000	200	200	500	500	500

(註) Codex においては、放射性ヨウ素の欄に記載した数値 (100) は、 Sr^{90} , Ru^{106} , I^{129} , I^{131} , U^{235} の合計を示す。放射性セシウムの欄に記載した数値 (1000) は、 S^{35} , Co^{60} , Sr^{89} , Ru^{103} , Cs^{134} , Cs^{137} , Ce^{144} , Ir^{192} の合計を示す。また、各国は自国の食品摂取量等を考慮して食品別に摂取制限に関する指標を定めている。

ることになる。

現行の暫定規制値では、放射性セシウムの介入線量レベルを 5 mSv/年 にしている。この値は、セシウム-134 とセシウム-137、そして、その核分裂に伴ってウランから同程度生成されるストロンチウム-89 とストロンチウム-90 の合計である。食品全体でこれらの 4 種の混合の放射線被曝量が 5 mSv/年 であるとすると、飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他の 5 食品群を均等にした場合、ひとつの食品群につき 1 mSv/年 となる。この値から、各年齢層における誘導介入濃度を求めることが出来る。飲料水で 201 Bq/kg (成人)、牛乳・乳製品で 270 Bq/kg (乳児)、野菜類で 554 Bq/kg (成人)、穀類で 1107 Bq/kg (成人)、肉・卵・魚・その他で 664 Bq/kg (成人) となり、毎日

これらの濃度の食品を摂取した時の被曝線量がひとつの食品群につき 1 mSv/年 である。現行規制値は、この半量摂取を前提として定められているが、常識的に、規制値濃度の全ての食品を毎日食べることは無い。現実に福島事故後の日本人の食品から受ける被曝推計値は汚染中央値濃度の食品を継続的に摂取していた場合には 0.1 mSv/年 以下であろうとされており (90% タイル濃度の食品を継続して摂取していた場合は 0.25 mSv/年 以下)¹²⁾、今後、放射性セシウムの介入線量レベルの暫定規制値が 1 mSv/年 に引き下げられることは確実であろう。しかし、放射性セシウムは半減期が約 30 年と長いので、長期の被曝の危険性が払拭されない。

ヨウ素の場合もヨウ素-131、-132、-133、-134、-135、そしてテクネチウム-132 の合計と

して、暫定規制値以下の食品を毎日1年中摂取しても、食品群あたりの年間甲状腺預託等価線量は11.1 mSv/年を上回らないように設定されている。放射性ヨウ素は比較的半減期が短いため（ヨウ素-131で約8日）、今後、新たな汚染が無い限り心配は無いであろう。

4. 食品の放射能汚染は安全なのか？

原発事故後、福島県およびその南方に位置する県において相次いで放射性セシウム (<82,000 Bq/kg) や放射性ヨウ素 (<54,100 Bq/kg) の食品が検出された（図6）。これを受けて出荷制

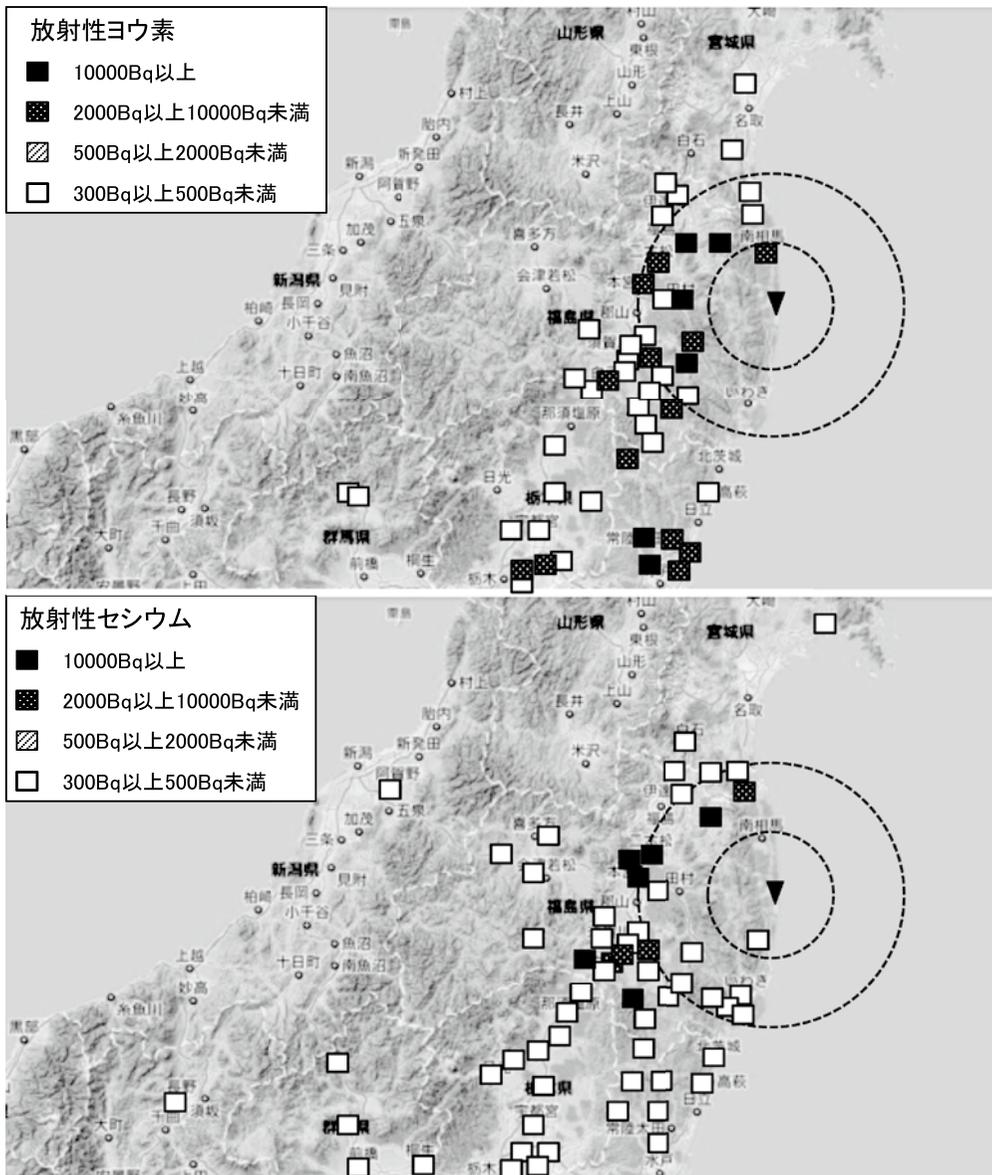


図6 福島原子力発電所事故に伴い事故後7ヶ月間で暫定基準値を越えた食品汚染例の分布
 (上図) ヨウ素-131の汚染分布。(下図) セシウム-137の汚染分布。



図7 福島原子力発電所事故に伴い、事故後7ヶ月間で暫定基準値を越えた食品汚染例の経時的変化

放射性ヨウ素の暫定基準値を越えた食品の検出は事故直後に集中している（灰色で示している）。これに対して放射性セシウムは断続的に暫定基準値を越えた食品が検出されており、半減期が長く、また、雨水などに溶けて濃縮されて食品に付着するということが考えられる。ここには政府の発表しているデータしか含まれていないが、これ以外に、自主的に地方公共団体や大手スーパーなどが食品の放射能物質濃度を測定している。これらの測定の傾向もほぼ同じである。

表5 平成23年11月18日時点での政府発表検査結果に基づく食品中における放射性物質濃度暫定規制値超過を見た例数

項目	検査数	陽性		陽性総件数
		放射性ヨウ素	放射性セシウム	
肉・卵	10194	0	108	108
野菜類	11647	104	168	184
水産物	2317	3	104	106
乳・乳製品	1074	23	0	23
その他	577	0	61	61
合計	25809	130	441	482

限がなされたが、現在では暫定規制値を上回る食品の検出はほとんど無い(図7と表5)。また、今までに放射能汚染食品からの日本人の平均推計被曝線量は0.1 mSv/年を下回るであろうという予想からも、神経質にならなくていいと思われる。しかしながら、一般市民レベルでの食品放射能汚染恐怖症は根強く、スーパーなどの食品小売業者の店先で放射能汚染についての質問をする消費者の姿は少なく無い。それを受けて、東京都は独自に食品の放射能汚染を検査している。また、大手スーパーや生協などにおいても自主的に独自に国の暫定基準値を下回る規制値を設けて測定をしており、場合によってはその数値をネットで公開して安全性をアピールしている場合もあり、この傾向は全国レベルで今後拡大するであろう。

食品の放射能汚染の測定には、一般にはゲルマニウム半導体検出器と呼ばれる放射線測定器が必要である。可搬型の放射線測定器であるサーベイメーターでは、表面の汚染や表面で検出された放射線量しか測定出来ないために、正しい放射能濃度(Bq/kg)を知ることはできない。測定はそれほど難しくはないものの、微量放射能であればあるほど測定時間は長時間に及び、また食品の粉碎と測定後の測定壺の洗浄も必要であるので、専任の作業員を充てても1日10サンプル未満の処理であろう。食品の放射能汚染測定問題は、流通業界への大きな負担となり

つつあると予想される。現実には、中小の小売業者では自主的な測定は不可能であり、顧客からの信用を落とすことにもなりかねない。逆に、自主的な業者による測定や、地方公共団体による測定は、食品の放射能汚染防止の防波堤ともなる。現実には、海外からの輸入品目の中には、国内産よりも高濃度の放射性核種が混入している例も見受けられている¹³⁾。一方において、放射線被曝線量と危険度や健康被害との関係を正当且つ冷静に見ることの出来ない社会風潮も蔓延しているようである。実際、安価な放射線測定器の一部住民への普及により、街角の放射線線量測定のために巡回パトロールをしているサーベイ自警集団が存在し、福島事故とは無縁の線源を発見し、地方公共団体が対応しているケースが多々出ている。線源の多くは放射線障害防止等の法規制が整備されない時代に放置されたもので、特にラジウムは夜光時計の蛍光剤として使われていたので一般環境中にも多数が存在する。このラジウムは時計職人が舐めて刷毛で時計に塗っていた時代に、発がんが危険視されたものでもある。サーベイメーターと言えば、放射線管理区域内で、分子生物学や細胞生物学といった生命科学の黎明期に大いに活用された放射性同位体を用いた核酸ラベル実験やたんぱく質ラベルで汚染の有無を確認したりラベルが目的の核酸などに入っているかを簡易的に確認したりするのに活躍していたが、白衣を

着ずに管理区域外の街角をサーベイメーター片手に歩く一般住民の姿を見ることが、関東圏内の都市部では珍しくない時代となった。

おわりに

今後新たな福島原発からの放射性核種の放出、拡散による大規模汚染は無いものと予想されるが、一方において、東海や南海の沖で今回の地震規模に匹敵する大地震と大津波が起こる可能性が十分にあることを歴史は物語っている。例えば、映画「ゲート」に出演されており、実際に日本から「原爆の火」を持って渡米され、広島と長崎に投下された原爆の核実験場となった「トリニティーサイト」に日本人として初めて入られた宮本恵司氏(僧侶,「時の碑文」「民話」などの著者)によれば、和歌山の御坊あたりの石碑や石像などには、10 mを越える海水侵入

の痕跡が多々散在しているらしい。こういった大津波の発生にどうやって対処するのかといった防災の問題は、原子力発電所の防災の問題とリンクして取り組むべき大きな課題となって行くであろう。

本稿は2011年11月におこなった(株)フレスタの社内研修特別講義および金沢医科大学セミナーによっている。本稿をまとめるにあたり、流通業界からの立場で貴重なご意見を頂いた株式会社フレスタ管理栄養士である越智亜希さんならびに腫瘍生物学の立場から意見を頂いた金沢医科大学の太田隆英先生に感謝する。また、放射性ヨウ素汚染による甲状腺がん発症について専門家の立場からコミュニケーションを頂いた福島県立医科大学の山下俊一先生に感謝する。

連絡先：達家雅明

〒727-0023

広島県庄原市七塚町562番地5号館5303号室

県立広島大学生命環境学部生命科学科ゲノム制御システム生物学研究室

TEL&FAX: 0824-74-1756

e-mail: tatsuka@pu-hiroshima.ac.jp

Mayumi Okamoto^{*1}, Satomi Koga^{*1}, Mikiko Fujii^{*1}, Sanae Koya^{*1}, Fumio Shimamoto^{*2}, Naoki Matsuda^{*3}, and Masaaki Tatsuka^{*1}

^{*1}Laboratory of Radiation Genome Systems Biology, Department of Life Sciences, Faculty of Life and Environmental Sciences, Prefectural University of Hiroshima

^{*2}Laboratory of Molecular and Experimental Pathology, Department of Health and Science, Faculty of Human Culture and Science, Prefectural University of Hiroshima

^{*3}Division of Radiation Biology and Protection, Center for Frontier Life Sciences, Graduate School of Biomedical Sciences, Nagasaki University

Dr. Masaaki Tatsuka, Professor

Laboratory of Radiation Genome Systems Biology

Department of Life Sciences

Faculty of Life and Environmental Sciences

Prefectural University of Hiroshima

562 Nanatsuka, Shoubara, Hiroshima 727-0023, JAPAN

Tel&Fax: +81 824 74 1756

e-mail: tatsuka@pu-hiroshima.ac.jp

..... 文 献

- 1) Geoff Brumfiel: Fallout forensics hike radiation toll - Global data on Fukushima challenge Japanese estimates. *Nature* 478 (7370): 435-436, 2011
- 2) Recommendation of International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Amsterdam, Netherlands, Pergamon Press (Elsevier), 1990
- 3) 公益財団法人体質研究会報告, 2011
- 4) Mary Mycio: Wormwood Forest: A Natural History of Chernobyl. Washington, D.C., USA, National Academies Press, 2005
- 5) Victoria Gill: Chernobyl: A field trip to no man's land. BBC Nature Features, 26 July 2011 (<http://www.bbc.co.uk/nature/14250489>)
- 6) Yukiko Shimizu, Hiroo Kato, and William J. Schull. Studies of the mortality of A-bomb survivors - Cancer mortality based on the recently revised doses (DS86). *Radiation Research* 121 (2): 120-141, 1990
- 7) 岩永正子: Medical Care of Hibakusha and Radiation Life Science e-Learning <http://www-sdc.med.nagasaki-u.ac.jp/coe/jp/activities/elearning/lecture/03-01.html>
- 8) Donald A. Pierce and Dale L. Preston: Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiation Research* 154 (2): 178-186, 2000
- 9) 難波裕幸, 山下俊一. チェルノブイリ原発事故後 20 年; 放射線誘発小児甲状腺がん研究の現状と展望. *放射線生物研究* 42 (3): 264-281, 2007
- 10) 山下俊一. (personal communication)
- 11) 中島裕夫. 今後、放射線情報を正確に発信するためには. *放射線生物研究* 46 (2): 120-126, 2011
- 12) 薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会 放射性物質対策部会作業グループ (線量計算等): 食品摂取による被ばく量の推計結果, http://www.cas.go.jp/jp/genpatsujiko/info/osen/k_dai2/siryou2_s.pdf
- 13) 厚生労働省輸入食品監視業務, <http://www.mhlw.go.jp/topics/yunyu/tp0130-1.html>

ティラピア由来コラーゲン 関連物質の有用性と開発状況

飯島 道弘^{*1} 中嶋 雪花^{*2}

^{*1} IJIMA Michihiro (小山工業高等専門学校 物質工学科), ^{*2} NAKAJIMA Setsuka (株式会社 サンタイプ)

Key Words：ティラピア・コラーゲン・I型コラーゲン・ゼラチン

はじめに

近年、コラーゲンに関する興味や関心が高まっており、化粧品やサプリメントをはじめとする美や健康に関係する商品などに多く使われている。コラーゲンは、日本では古くから膠原質（こうげんしつ）として知られていたが、近年の美容健康ブームおよび医療技術の発展などの影響もあり、重要性が再認識されている。

1. コラーゲン^{1~3)}

1-1. コラーゲンとゼラチン

コラーゲンやゼラチンという単語は聞いたことがある人は多いと思うが、その詳細や関係について知っている人は少ないだろう。

コラーゲンは生体内タンパク質の一種でアミノ酸から作られており、大部分が私たちの体内の皮や骨などに存在し、主に細胞を繋ぎとめる働きをしている。生体内では、細胞の外にあり線維状であるという特徴を持ち、細胞どうしを接着し細胞を正しい位置に配列させる役割も果たしている。また、細胞の足場となり、細胞の増殖と機能の発現に深く影響している。表皮の下にある真皮層の約70%がコラーゲンであり水分を保持することで肌の弾力を保っている。また、コラーゲンは肌に塗ることで外部か

らの刺激を和らげ、保湿効果を促すことが期待されていることから、コラーゲンの利用は化粧品用途が最も多い。

コラーゲンの構造は、分子量10万のポリペプチド鎖（アミノ酸の数約1,000個）が3本集まったらせん状の形（特有のヘリックス構造）を形成しており、分子量は約30万である。編み紐状なので、大きな表面積を持ち、水分を多く取り込むことができる。このようなコラーゲンにはI型、II型、III型、IV型、V型などいくつかの種類がある。本稿では、主に皮や骨に多く含まれるI型コラーゲンについて述べる。

このようなコラーゲンは、化粧品を代表として、細胞培養のためのシート、サプリメントなどに利用されている。ゼラチンとは、熱変性によってコラーゲン分子の3重らせん構造が解けて分子量約10万の一本鎖のポリペプチドに変性したものである（図1）。この時の温度を熱変性温度という。この温度は、動物の種類

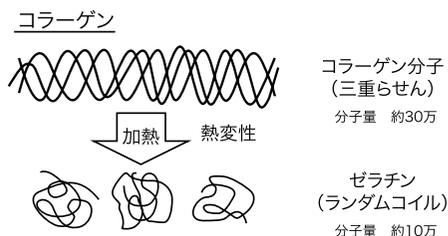


図1 コラーゲンとゼラチン

により異なり、生息する環境の温度と関係がある。例えば、ヒトのコラーゲンの熱変性温度は40℃程度であるが、南極の海に生息している魚のコラーゲンでは5℃くらいである。このように、熱変性温度は住んでいる環境の温度に左右され、陸上動物は約40℃、海に生息する動物は約0～25℃くらいといわれている⁴⁾。現在のゼラチンの原料の多くは、安定した生産を保つために、豚や牛など、家畜の骨や皮から抽出されている。また、動物から抽出するこれまでの製造法を生かしながら、魚の皮などから抽出するマリンゼラチンなど、新しい分野の開発も行われている⁵⁾。コラーゲンは、一般的にpHや塩濃度によっても大きく溶解性が変化する。pHが酸性下では溶解性が増加し、等電点付近の中性領域では溶解性が著しく低下する。

ゼラチンのコロイド溶液は加熱するとゾル化して液化し、冷却すると一部が流動性を失いゲル化して固化する性質を持つ。この性質からゲル化剤、増粘剤、安定剤などの食品関連などに用いられ、体内で消化吸収されやすく強固な皮膜を形成し、酸素や水分を透過しにくいなどの特長から、薬品を服用しやすくするためのカプセルの基材としても広く用いられている。また、止血用のゼラチンスポンジとして手術時にも用いられている。工業製品としては接着剤、写真のフィルムや印画紙など感光物質や接着剤として用いられている。

これらのコラーゲンとゼラチンであるが、以前は「コラーゲン」と熱変性したコラーゲン、つまり「ゼラチン」と明確に分けて記述されていたが、最近では規制緩和により、どちらも「コラーゲン」と呼ばれていることが多い。特許などにおいても、ゼラチン、ペプチド、コラーゲンなどが混同されていることが多い。これは、コラーゲン専門のメーカーにとっては大打撃ではあるが、最近では通販を利用してアテロコラーゲンや無修飾コラーゲンなどと他の材料と差別

化を図り検討している。

1-2. コラーゲン関連物質の工業的応用⁶⁾

前述のようにコラーゲン関連物質の工業的な利用としては、コラーゲン加水分解物のゼラチンがあげられ、その大部分が牛由来である。

ゼラチンの応用としては、最も代表的なものに写真への応用があり、精製したゼラチンをピンホールが出ないようにフィルムへ多層処理して使用するものである。銀塩写真、非銀塩写真、デジタル写真などの種類がある。最近では画像処理のデジタル化により、銀塩フィルムが減少し、印刷製版分野でも将来的に銀塩フィルムが減少し、牛ゼラチンの使用は先細りになることが予想される。

また、感光性樹脂への応用もあり、これも大部分が牛由来である。天然物（セルロース、澱粉などの炭水化物やカゼイン、ゼラチン並び卵白などのタンパク質）に重クロム酸塩を加え、皮膜に光酸化反応を起こさせ、水に不溶化させて画像を作る技術が、紀元前4世紀頃より行われてきた感光性樹脂の利用の始まりであり、現在も利用されているのには驚かされる。それは、二種の材料を混ぜない限りはほとんど普遍であるのに、混ぜた瞬間に数秒の光照射で水に不溶化させられることが特徴である。特に、光硬化物の性質により、例えば、カゼインと重クロム酸塩の様に、光硬化物が耐酸性であり、さらにクロム酸と加熱処理を用いて酸化させ、さらに耐酸性の向上ができ、不要となった硬化膜はアルカリ水溶液や、過マンガン酸とシュウ酸水溶液で簡単に剥離出来る感光性樹脂は現在もそれを変えることが出来ない。

これら天然物の多くは、1950年頃よりポリビニルアルコール等の高分子により置き換わった。1964年の公害防止法の規制により、上記の重クロム酸塩はジアゾ樹脂や、ジアジド化合物並びにエチレン性不飽和化合物に置き換わり、高分子もその使用に合わせて、部分ケン化

ポリビニルアルコール，ポリビニルアルコール誘導体，ポリビニルピロリドン，ポリアクアミド誘導体，アクリルポリマー，ポリスチレン誘導体，フェノール樹脂など，数えきれない高分子の利用が提案された。

感光性樹脂の応用としては，平版，樹脂凸版，フレキソおよび，スクリーン等の印刷版や各種レジストとして，例えば，ケミカルミリング等のエッチングレジスト，カラーフィルタ等の着色レジスト，ソルダーレジストなどが挙げられる。また，ゼラチンは医療用のカプセルや食品添加剤，増粘剤，止血剤，接着剤などにも幅広く利用されている。

一方，コラーゲンの応用例はゼラチンほど多くなく，化粧品やサプリメント，医療基材などに使用されており，アテロ化したコラーゲンは細胞培養用の足場素材として医療用途に用いられたり，コラーゲンを低分子化したゲル化しないコラーゲンペプチドなどは吸収性や保湿性が良いためサプリメントや化粧品素材に使われたりしている。

1-3. コラーゲン関連物質の化学修飾と精製⁷⁾

コラーゲン誘導体は，溶解性や機能性の向上の目的で化学修飾されて用いられることが多い。一般的に無修飾コラーゲンは，中性付近の水に対する溶解性が低く応用が制限されることもある。代表的な修飾コラーゲンの概略について無修飾コラーゲンも含めて下記にまとめた(図2)。抽出温度による影響を防ぐために全ての精製は10℃以下の条件下で行い，pHによる溶解度の差や塩析を利用して精製するのが一般的である。

①無修飾コラーゲン

天然のコラーゲンであり，水に対する溶解性は低く，酢酸抽出などにより得られる。

②アテロコラーゲン

コラーゲン分子の両端には，らせん構造を作らないテロペプチドと呼ばれる部分が存在す

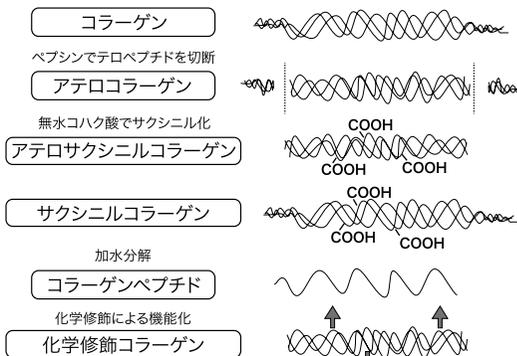


図2 コラーゲンの種類

る。コラーゲンの持つ抗原性の大部分はこのテロペプチドに存在し，アレルギー反応を起こす可能性がある。コラーゲンをタンパク質分解酵素であるペプシンで処理すると，ペプシンはヘリックス構造に何も作用を及ぼさずにテロペプチドのみを切断することができ，こうして得られたコラーゲンをアテロコラーゲンという。

③アテロサクシニル化コラーゲン

②のアテロコラーゲンを無水コハク酸と反応させることで，側鎖のリジンにCOOH基がついてサクシニル化される。サクシニル化することで水溶性が向上し，扱いやすくなる。

④サクシニル化コラーゲン

③と同様にコラーゲンを無水コハク酸でサクシニル化したものであり，溶解性が向上する。

⑤コラーゲンペプチド

コラーゲンを酵素により低分子化し体内でアミノ酸に分解しやすく吸収性が高くゲル化しな

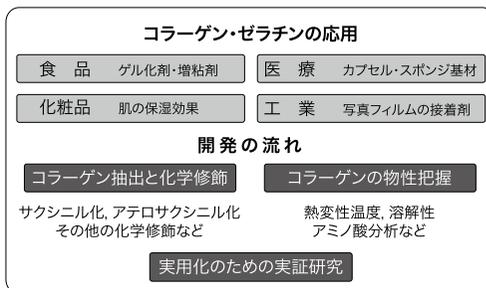


図3 コラーゲンの応用と開発の流れ

い特徴を持ち保湿性も向上する。

⑥その他の化学修飾コラーゲン

疎水性や親水性の制御や官能基の導入などの目的で化学修飾され、使用目的により修飾率などの制御も必要である。

2. ティラピア由来コラーゲン

2-1. 魚類由来コラーゲン

2000年にBSE（牛海綿状脳症）問題が発生してから、牛由来のコラーゲンが敬遠されるようになった。さらに、最近では鳥インフルエンザや豚インフルエンザなど、牛以外の陸上動物からの人畜共通感染症の危険性も問題になっている²⁾。そこで、牛皮に代わるコラーゲンの材料として、魚類が注目され始めている。特に、海洋性コラーゲンが注目され、皮や鱗から抽出する方法が確立されている。主に、サケ、マグロ、サメなどが中心になっているが、魚類由来コラーゲンの熱変性温度は25℃以下と低く精製、保存条件などに影響されやすく物性が不安定で、さらに安定供給が出来ない。また、魚特有の臭いをいかに軽減できるかなどの課題点があるため、実用化はある程度制限されている。最近では魚類だけでなくイカやクラゲ、プラナリア並びにナマコ類、ヒトデ類由来のコラーゲンも提案されている。マグロやサメなどの海洋魚も注目されているが、化粧品用途への利用を考えると海洋汚染による影響が懸念されるケースもあり、養殖可能な淡水魚が注目されている。

また、熱変性温度が低い鮭のコラーゲンを架橋させ、変性温度を上昇させるという報告がある⁸⁾。しかし、安定供給、品質及びコストの面からみても、後述するティラピアを超える材料はない。

2-2. ティラピア由来コラーゲン

ティラピア（写真1）は、雑食性で淡水、汽水の様々な環境に適応できる適応性に優れ



写真1 ティラピア（タイ産、黒色）

た魚である。日本でティラピアと称される魚は、ナイルティラピア、モザンビークティラピア、ジルティラピアで第二次大戦後から注目され始めた。このうち食用として流通しているものは、ナイルティラピアで養殖されている。台湾や中国では食用魚として盛んに養殖が行われるようになり、一般的な食材として流通している。タイ王国では、食糧事情から日本の皇太子からタイ国王にティラピアを送り、養殖を提案したのが始まりで、「仁魚」（プラー・ニン）と呼ばれ広く流通している⁹⁾。

ティラピア由来コラーゲンの実用例としては、主にサプリメント、化粧品などに使用されているが、どの商品に利用しているかは断定できず、ほとんどのものが「フィッシュコラーゲン」として曖昧な表記をしている。ティラピアからのコラーゲンの抽出方法や実用化については一部の特許などで詳細が報告されている¹⁰⁾。

このようなティラピア由来コラーゲンの性質は産地や生育環境により大きく異なることが知られている。実際に、このようなティラピアには、黒色ティラピアと赤色ティラピアがあるが、一般的に市場で見られるものの多くは黒色ティラピアである。赤色ティラピアは、東南アジアの一部の地域で生息しており、そのコラーゲンやゼラチンの性質も黒色と若干異なると報告されている。赤色ティラピアは突然変異のアルビノ種などと人工的に交配して作られた種で、タイではプラー・タブティム（タブティム：ルビーやザクロの意味）と呼

ばれ、通常のティラピアより高価であるが消費量は増えている。この赤色ティラピアの場合、コラーゲン抽出時の色素を取り除く手間がかからないことが予想される。

ティラピアの熱変性温度は、30℃程度と他の魚よりも高いと予想され、物性が変化しにくいと考えられている。この熱変性温度に関しては、アミノ酸中のヒドロキシプロリンが熱安定性に重要な役割をしているといわれており、ティラピアは他の魚に比べて、プロリンやヒドロキシプロリンの含量が多いと報告されている⁹⁾。ティラピア由来コラーゲンの熱変性温度については次節に述べる。

2-3. ティラピア由来コラーゲンの熱変性温度とそれらの測定法

1) 熱変性温度の測定法とその現状

コラーゲンの熱変性温度を測定する方法としては、下記のような方法が挙げられる。

①動的粘弾性測定装置

コラーゲンの熱変性温度を少量のサンプルで簡便に測定する方法のひとつである。

動的粘弾性とは、材料に正常な正弦波のひずみ(変位)を与えた時の粘性と弾性の組み合わせ挙動の事であり、ひずみ(変位)に対する応力(ストレス)を測定する事で求められる。粘度値が弾性的な性質 G' (ジープライム) と粘性的な性質 G'' (ジーダブルプライム) に分けられる。 G' は貯蔵弾性率と呼ばれるもので、内部に蓄えられた応力を保持する能力=いわば弾性成分である。 G'' は損失弾性率と呼ばれるもので、与えたエネルギーが熱となって逃げてしまうこと(粘性成分)を意味する。

損失正接 $\tan \delta$ は、振動の1サイクルの間に熱として散逸されるエネルギーと貯蔵される最大エネルギーとの比の尺度を示しており、ひずみと応力との間の位相角の正接である。 $\tan \delta = G'' / G'$ で示され、 $\tan \delta$ が増加すると粘性的な性質が増加すると考えられる。

このような原理により、試料の分子内構造に起因する転移やその温度について情報が得られるため、コラーゲン分子は、加熱による変性に伴い粘弾性に変化が見られると考えられる。

②示差熱分析

多くの特許で使用されており、試料と基準物質の温度差を検知する手法で、温度変化に伴い、試料が融解した場合や反応した場合、基準物質との温度差が変化するため、これを検出するものである。この方法を用いると、コラーゲンの熱変性温度付近に吸熱ピークが確認されることが知られている。吸熱が確認されるということは、溶解物への水和が進行した結果であり、これが構造の変化、つまり変性が確認された結論づけている場合が多い。しかし、これはあくまで吸熱=水和が確認されただけであり、変性を証明できるものではない。この測定法は、極めて正確な吸熱や放熱が評価できるが、その結果だけでは具体的に何を意味するのか証明できないことが問題点でもある。そのため、変性温度を確認するには、別の方法と組み合わせる必要があると考えられる。

③円偏光二色性分光測定 (CD)

その内部構造がキラルな物質が円偏光を吸収する際に左円偏光と右円偏光に対して吸光度に差が生じる現象を利用したもので、溶液内における分子の立体構造に関する情報が得られる。構造変化や分子周辺の溶媒和構造変化などの情報が得られるため、コラーゲンの熱変性の観察手法としては優れているが測定装置が高価で珍しく、手軽には測定できないという問題点がある。

2) ティラピア由来コラーゲンの熱変性温度評価の現状

ティラピア由来コラーゲンの熱変性温度について、埼玉県産業技術総合センターにて行った実験では、生産地によって変性温度が異なる結果(表1)が得られている¹¹⁾。また、タイにて

表1 コラーゲンの変性温度

	変性温度 (°C)	ヒドロキシ プロリン量 (%)
北海道産ティラピア	27	9.19
タイ産ティラピア	28	10.30
原種 (モザンビカ)	25	6.63
サメ	24	6.81
サメ (サクシニル化) (北海道産)	29	-

養殖されたティラピアは、他地域のティラピアより熱変性温度が高く 35°C 程度であるという結果が確認されている。また、ティラピアの鱗から抽出されたコラーゲンの測定結果では熱変性温度が 36°C 以上であるという結果も報告されている。重要なこととして、タイ産のもののみヒドロキシプロリン量も多い結果となっている。これらのことからタイ産のティラピア由来コラーゲンは、陸上動物に匹敵する高い熱変性温度を有するのではないかと期待されている。

一方で著者らが動的粘弾性測定装置 (Piezo 素子方式 :NDS-1000 (株式会社 GM タイセー) (写真 2) で行った熱変性温度の測定結果では、タイ産ティラピアの熱変性温度は 30°C 程度 (図 4) であり、前述の結果とは異なるものであった⁷⁾。この理由として、コラーゲン溶液の持つ構造が極めて弱く、コラーゲンからゼラチンに変性していく過程がなだらかに

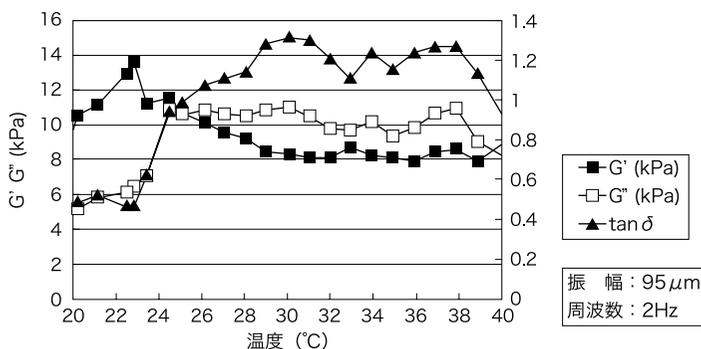


図4 10% コラーゲン溶液の動的粘弾性測定結果
(溶媒 : 0.1mol/L クエン酸水溶液)⁷⁾



写真2 動的粘弾性測定装置 (NDS-1000)

進行していき、その過程も極めて繊細な構造の変化なのではないか、ということが挙げられる。つまり、このような仮定であれば NDS-1000 では、振幅幅が 100 ~ 1000 μm と大きく、せん断力が強すぎて構造を破壊してしまうのではないかと考えられる。ここで、装置に使われる Piezo 素子とは、圧電素子のことである。

はじめの実験で 35°C の熱変性温度と測定された装置は、超磁歪素子式であり振幅幅が 10 ~ 50 μm と極めて小さいためコラーゲンの構造を破壊せずに正確な測定ができたのではないかと考えている。したがって、感度が向上した新型の超磁歪素子式であれば、少量のサンプルで簡便かつ正確にコラーゲンの熱変性温度が測定できると考えられる。

現在、最適な測定法の検討と測定装置の開発も同時に行っている。磁性を持つ物質に磁場をかけるとわずかに形状が変化する (この変形を磁歪と呼ぶ) 。超磁歪素子とは、この磁歪の大きさが千 ppm 以上と通常より大きい物質 (超磁歪材料) を使った素子で、磁界変化により変形する。この変形による駆動力を利用すると小型ながら強力な振動を作り出すことができる。また、試料物質そのものが変形するため、大駆動力かつ機械的に動く部分がないことも特徴である。

また、もう一つの方法として上記の NDS-1000 用の測定セルは試料幅が 2mm であるが 10mm 程度に広げることで、せん断力が弱まり正確な測定が可能になるかもしれない。

いずれにしても、現状では正確な熱変性温度測定や他のコラーゲンなどとの比較検証は、十分に行われておらず今後の継続的な検討が必要である。

2-4. ティラピア由来コラーゲンの将来性

ティラピア由来コラーゲンは、熱変性温度が高いだけでなく、他のコラーゲンと同様の性質も有しているうえに保水性も高いため、化粧品やサプリメント、医療基材などに有用だと考えられる¹²⁾。しかし、それらの点だけで売れるか否かも不明であるのに、天然物であること、高価であること、熱変性温度の関係から保管・管理・精製条件に注意が必要なことなどの問題点もあるので、工業的な展開は広範囲とは限らない。その一方で、これらから得られるゼラチンは、他の魚のゼラチンよりゲル化温度が高く食品、医薬品、化粧品などを中心とした分野で積極的な開発が検討されている。

ティラピア由来コラーゲンのサプリメントへの応用については、中心となるのは加水分解したコラーゲンペプチドが主流になり、美容・健康目的での摂取となるだろう。しかし、いかに体内に吸収されやすいかや他の成分との相乗効果があるかなどが鍵となるが、他のコラーゲンに対するこれらの優位性は、まだわかっていない¹³⁾。

ティラピアに限らず他の魚類由来コラーゲンも天然物で高価であることや温度変化で変性しやすく扱いにくいこともあり、応用範囲が制限されているのは事実である。このような理由から最近では、化学物質による機能化や高分子化合物などを利用した生体模倣技術（バイオミメティクス）に注目が集まっている。

3. コラーゲンの機能化と生体模倣技術

3-1. コラーゲン関連物質の架橋による機能化

コラーゲン関連物質としてのゼラチンは、工業製品としては接着剤、写真のフィルムや印画紙など感光物質の接着剤として用いられている。しかし、ゼラチンのコロイド溶液は加熱することでゾル化して液化する性質を持つため、熱に弱く、また、水に溶けやすいという欠点を持つ。

そのため、古くから架橋による機能化が検討されている。代表的なものとして、グルタルアルデヒドによる架橋例があるが、グルタルアルデヒドの毒性の強さなどの問題もあり応用範囲だけでなく作業環境からも使用するには多くの課題を抱えている。他の例として、感光性開始剤やモノマーなどを用いた架橋例もあるが、複雑になればなるほどコラーゲン誘導体の本来の性質は活かされずレジスト材料のような工業的に限定された範囲のみの応用展開となることが予想される。

著者らは、もっと簡便に架橋させるために新しい架橋剤の開発を検討している。もともとグルタルアルデヒドを用いた架橋反応は、アルデヒド基を分子内に二つ以上有する物質をコラーゲン関連物質と混合することにより、温和な条件で一級アミノ基と結合して架橋するものである。著者らは、毒性が高いグルタルアルデヒドに代わる新たな素材として、生体親和性に優れた FDA（アメリカ食品医薬品局）にも認可されているポリエチレングリコール（PEG）の応用を検討している。特に、末端に反応性基を有する PEG は、工業的にも医薬品、機能化学品の分野で注目され開発が進んでいる。このような末端反応性 PEG の開発、特に両末端に異なる官能基を有するヘテロテレケリック PEG（ヘテロ PEG）の合成法の確立は、主著者らの研究

ポリエチレングリコール(PEG)

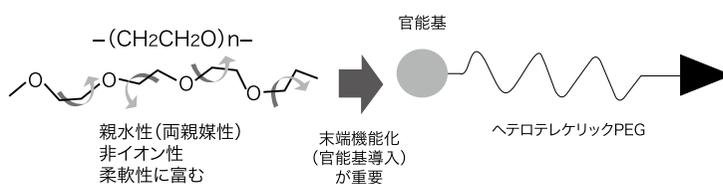


図5 ポリエチレングリコール (PEG)

グループにより行われており、医療材料、薬学用材料などに利用されている。

これらの合成法により PEG の末端にアルデヒド基を導入できれば、分子量の変更も可能であるので、多種多様な物性の制御ができる可能性がある。現在、分子内に二つ以上のアルデヒド基を有する PEG の合成法の確立に成功し、架橋剤としての有効性評価を行っている^{14~16)}。グルタルアルデヒド以外には、トランスグルタミナーゼによる架橋も一般的に知られているが、サクシニル化していない未処理のコラーゲンでは架橋が効果的に進行しないという報告もある¹¹⁾。

2-5. 高分子化合物による生体模倣技術

これまでに述べてきたように、コラーゲンやゼラチンは、天然物であることから独特の特徴があり長所も多いが、安定した入手が困難であること、売れるかどうかは不明であるのに高価であること、保管状態による変性、物性の個体差、腐敗の可能性なども懸念されることから実際の使用には制限があるだろう。つまり、どんなに優れた材料であっても、天然物で変性しやすい物質を扱う以上、いろいろな制限があると考えられる。

このような状況で、生物のもつ優れた機能を人工的に再現する科学技術として生体模倣技術(バイオミメティクス)が注目されている。このバイオミメティクスの主役となるものが、高分子化合物であり、このような高分子化合物でコラーゲンを模倣した材料ができれば、化粧品以外にも塗料や医薬品、工業製品などの幅広い

用途展開が可能であり、変性温度なども分子設計にて設定しやすく、性能の安定化も可能になると考えられる。これらのバイオミメティクス材料では、温度応答性つまり 32℃ 付近に相転移温度を有するポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)(PNIPAM)や生体親和性や溶解性に優れる PEG、ポリメタクリル酸などを用いたコラーゲンに似た材料の利用が報告されている^{17~18)}。今後、ますますの発展を期待している。

まとめ

ティラピアから抽出されるコラーゲン関連物質は、コラーゲンの熱変性温度も高く、ティラピアが養殖可能であり、大量に廃棄されている魚皮から抽出できることなどを考えると、化粧品、食品、美容関連商品などだけでなく様々な工業的有用性が見込まれる。しかし、まだこれらのコラーゲンに関しては、不明な点も多く、今後の国内外の継続的な研究成果にも期待したい。

謝辞

本研究の一部は、女神インキ工業株式会社の御協力のもとで実施されたものであり、深く感謝いたします。また、測定においてご協力いただきました埼玉県産業技術総合センターの関根正裕先生に感謝いたします。最後に、本研究に対して実施・検討していただきました小山高専飯島研究室の学生に深く感謝いたします。

本研究の一部は、平成 19 年度 JST シーズ発掘試験の支援により実施されたものである。

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

- 1) 藤本大三郎, 「コラーゲン」, 大島泰郎, 小野寺一清, 軽部征夫, 他, 編集, 共立出版, 1994.
- 2) 大崎茂芳, 「コラーゲンの話」, 中央公論新社, 2007.
- 3) 藤本大三郎, 「コラーゲン物語」, 東京化学同人, 2006.
- 4) 高分子学会高分子実験学編集委員会, 「天然高分子」, 高分子実験学 第8巻, 共立出版, 105, 2006.
- 5) A.A.Karim, Rajeev Bhat, "Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins", *Food Hydrocolloids*, **23**, 563-576, 2009.
- 6) 新田ゼラチン株式会社 ホームページ
- 7) 飯島道弘, 梶塚綾乃, *New Food Industry*, **53**(6), 24-37, 2010.
- 8) 生物工学会誌, **85**(3), 126-131, 2007.
- 9) Shao-kui Zeng, Chao-Hua Zang, Hong Lin, *et.al.*, "Isolation and characterization of acid-solubilised collagen from the skin of Nile tilapia(*Oreochromis niloticus*)", *Food Chemistry*, **116**, 879-883, 2009.
- 10) 池上陽子 他, 特許第 4789284 号 「コラーゲン入り化粧品」
- 11) 常見崇史, 太田高敏, 北村英三, 「魚由来コラーゲンの化学修飾及び架橋による改質」, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 第2巻, 2004.
- 12) Toshiyuki Ikoma, Hisatoshi Kobayashi, Junzo Tanaka, *et al.*, "Physical properties of type I collagen extracted from fish scales of *Pagrus major* and *Oreochromis niloticus*", *International Journal of Biological Macromolecules*, **32**, 199-204, 2003.
- 13) 林利彦, 「生体高分子の不思議」, 高分子, **53**(6), 438-439, 2004.
- 14) Yukio Nagasaki, Takahiko Kutsuna, Michihiro Iijima, Masao Kato, Kazunori Kataoka, *Bioconjugate Chemistry*, **6**(2), 231-233, 1995.
- 15) Michihiro Iijima, Yukio Nagasaki, *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, **44**(4), 1457-1469, 2006.
- 16) 河田麻衣子 他, 高分子学会第 60 回高分子討論会予稿集, **60**(2), 4886, 2011.
- 17) 松田武久 他, 特開平 11-349643, 「感温性高分子化合物およびその製造方法, 感温性高分子組成物, 細胞培養基材」
- 18) 中嶋雪花, 飯島道弘, 高分子学会第 59 回高分子討論会予稿集, **59**(2), 4775, 2010.

ポリアミンと健康長寿食

— (日本食と地中海食) —

早田 邦康*

*SODA Kuniyasu (自治医科大学附属さいたま医療センター総合医学2 (一般・消化器外科)循環器病臨床医学研究所)

Key Words：ポリアミン・抗炎症作用・抗動脈硬化・生活習慣病・予防・長寿・食習慣・地中海食

要 旨

ポリアミンは、ほとんど全ての生物に存在し、遺伝子発現を含めたさまざまな細胞機能に重要な役割を果たす物質である。しかし、加齢とともにその合成能は低下する。我々は、ポリアミンが lymphocyte function-associated antigen 1 (LFA-1) という細胞膜分化抗原の発現を選択的に抑制することを見いだした。LFA-1 は接着分子とも呼ばれ、LFA-1 を介した細胞の接着により免疫細胞の活性化が生じ炎症が誘発される。老化や生活習慣病の進行が炎症によって誘発され、高齢になるほど炎症が誘発されやすくなる免疫環境になることが知られているが (inflamm-aging)、加齢とともに増加する LFA-1 発現も重要な因子である。そこで、ポリアミンをマウスに投与し続けたところ、血中ポリアミン濃度が徐々に増加し、老化の進行が抑制されて寿命が延長することがわかった。また、ヒトが高ポリアミン食を継続して摂取すると、体内ポリアミン濃度が上昇することも確認した。これまで、数種類の食品や食事形態が健康長寿に寄与していることが指摘されているが、食品中のポリアミン濃度は食品間で大きく異なる。そこで、これらの食品や食事形態とポリアミンの関係を検討したところ、長寿食と考えられている日本食も地中海食も高ポリアミン食であることがわかった。

はじめに

加齢とともに、心筋梗塞や脳梗塞の原因である動脈硬化、糖尿病などの代謝異常や癌などが増加する。これらの病気は、生活習慣病と呼ばれているが、衛生状態の改善と医療技術の進歩により、先進国では大半の人がこれらの生活習慣病で亡くなっている。近年になり、多くの生活習慣病には炎症が関与していることが明らかにされ、炎症と生活習慣病の密接な関連を表す inflamm-aging という造語も作られた。炎症とは、生体に発生した何らかの有害な刺激に対して白血球などの活性化による免疫機能が作用し、そのために生じた生体の症候をさす。よって、炎症の誘発には宿主免疫細胞が関与するが、加齢とともに免疫細胞の機能が変化することが

知られており、この変化が生活習慣病の進行にも関与していると考えられている。加齢に伴う免疫機能の変化は immuno-senescence と呼ばれ、様々な機能の変化が指摘されてきたが、基本的には高齢者の免疫細胞は炎症を誘発しやすい状態になっていることが指摘されている。

一方、食品や食事形態が生活習慣病の抑制に寄与していると考えられる疫学調査結果をもとに検討した結果、これらの食品や食事形態を実践することによって、体内での炎症が抑制され生活習慣病が抑制されることも確認されている。しかし、これまで生活習慣病を抑制すると信じられてきたポリフェノール類は、研究が進むにつれその効果に様々な矛盾が指摘されるようになり、いまだにヒトでの生活習慣病抑制作

用が確認されておらず、動物実験においても長寿をもたらさないことも報告されてきた¹⁾。

1. ポリアミンの生物活性

ポリアミン(スペルミンおよびスペルミジン)の活性、特に生活習慣病予防に寄与すると考えられる炎症の抑制作用の詳細は文献を参考にさせていただきたい^{2,3)}。ポリアミンはほとんどすべての生物の細胞に存在する物質であり、代表的なポリアミンはスペルミジンとスペルミンである。アミンが複数(3個以上)存在するのでポリアミンと呼ばれている。ポリアミンは細胞の増殖や分化に必須の物質であり、ポリアミンを合成できないと細胞は死滅する。また、遺伝子発現、細胞内シグナル、細胞膜の安定などの様々な細胞機能にも関わっている(図1)。

ポリアミンは細胞分裂が活発な細胞では多量に合成される。すなわち成長している個体(胎児~若年者)の細胞は多量のポリアミンを合成する。しかし、ポリアミン合成酵素の活性は加齢とともに低下するために、高齢者では合成されにくくなる。しかし、私たちヒトを含めた哺乳類では、腸管からのポリアミン、すなわち食物中に含まれるものや腸内細菌が合成するポリアミンが体内ポリアミンの重要な供給源になっていることがわかっている。例えば、ポリアミン濃度の高い食品を食べ続けると、ヒトやマウスの血中ポリアミン濃度が徐々に上昇する。また、最近ではプロバイオティクスが腸内ポリアミン濃度を上昇させることも報告されている⁶⁾。

血中のポリアミンは大半が血液細胞、すなわち白血球および赤血球に含まれている。我々が

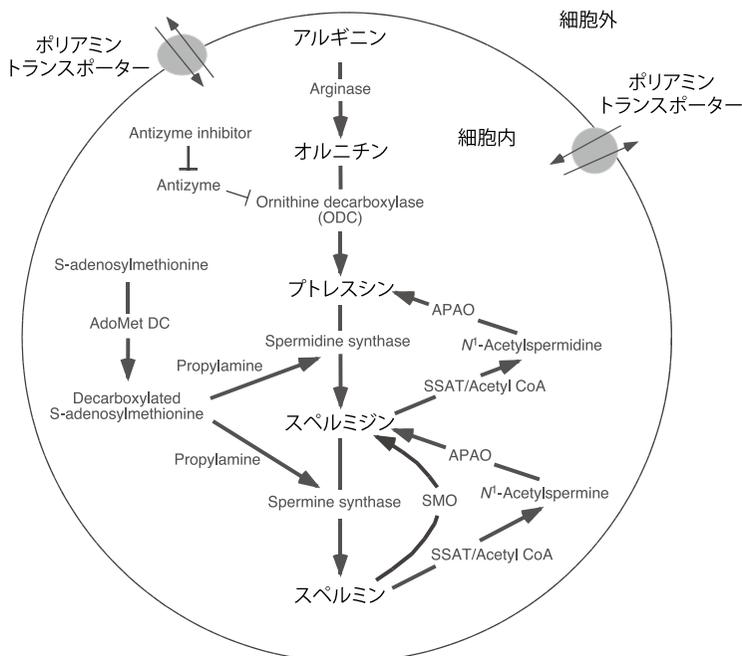


図1 ポリアミン代謝

ポリアミンはアルギニンから合成される。ポリアミン合成に必要な酵素活性は加齢とともに低下する。とくに、Spermidine/Spermine synthase の活性は刺激によっても増強されにくい。

AdoMetDC ; S-adenosylmethionine decarboxylase、APAO ; N1-acetylpolyamine oxidase、SMO ; spermine oxidase、SSAT ; spermine/spermidine N1-acetyltransferase。

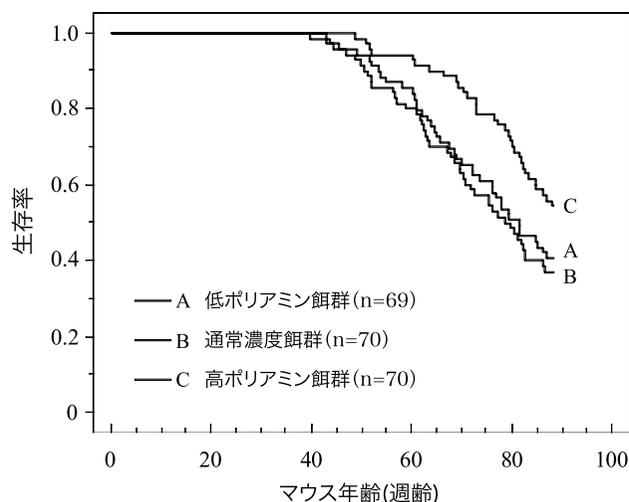


図2 高ポリアミン食によるマウスの寿命延長

大豆の2-3倍程度のポリアミンを含んだ餌を食べ続けたマウス（高ポリアミン餌群）の寿命が延長した。

ポリアミンによるアンチエイジングの研究を始めるきっかけになったのはポリアミンの抗炎症作用を発見したことであった⁷⁾。主に慢性炎症に関与する単球やリンパ球などの末梢血単核球とよばれる白血球細胞にポリアミンを取り込ませると、細胞膜に存在する lymphocyte function-associated antigen 1 (LFA-1) という細胞膜分化抗原の発現が抑制される。加齢に伴う免疫機能が変化することが知られおり、immunosenescence と呼ばれているが、加齢に伴う LFA-1 の発現亢進はその代表的な変化であり、高齢者ほど末梢血単核球の LFA-1 の発現は亢進していることが知られている^{7,8)}。ところが、血中ポリアミン濃度と LFA-1 の関係をみると、年齢に関係なく血中ポリアミン濃度は LFA-1 の発現と負の相関を有する、すなわちポリアミン濃度が高いと LFA-1 の発現が抑制されているということがわかった⁷⁾。

すなわち、高ポリアミン食を食べ続けると体内のポリアミン濃度を反映していると考えられる血液細胞のポリアミン濃度が上昇し、末梢血単核球の LFA-1 の発現が徐々に低下して炎症が誘発されにくい免疫の状態になるということ

である。そして、このことが慢性炎症によって誘発される老化に伴う組織の変化を抑制していると考えられる。実際に、マウスにポリアミン濃度が大豆の2~3倍程度の餌を長期間与え続けると、徐々に血中ポリアミン濃度が上昇し、加齢に伴う LFA-1 の発現が徐々に抑制され、老化に伴う組織学的な変化が抑制されてマウスの寿命が延長した⁵⁾（論文投稿中）（図2）。

最近になり、ヨーロッパの研究グループは、ポリアミンであるスペルミジンが酵母、ショウジョウバエや線虫の寿命を延長することを報告している⁹⁾。また、同じ論文で、スペルミジンを添加してヒトの免疫細胞を培養すると細胞の寿命が延びる事も示している。スペルミジンによる寿命延長の機序としては、スペルミジンによる細胞のオートファジー機構の活性化を指摘している。詳細は論文を参照して頂きたいが、私が2003年頃から提唱してきたポリアミンのアンチエイジング効果が他の研究者にも認識されるようになってきたのは極めて喜ばしいことだと感じている¹⁰⁻¹³⁾。

オートファジー機構とは、細胞内のタンパクを分解するための仕組みであり、自食（じしょ

く)とも呼ばれる。酵母からヒトにいたるまでの真核生物に見られる機構であり、細胞内での異常なタンパク質の蓄積を防いだり、細胞質内に侵入した病原微生物を排除することで生体の恒常性維持に関与している。

近年、オートファジー機構が細胞や生物の寿命延長に寄与することを示した論文が数多く報告されている。オートファジーを誘導するのは、スベルミジン以外にも、カロリー制限やラパマイシン、ポリフェノールであるレスベラトロールなどがある。しかし、スベルミジンと類似の機序でオートファジーを誘導するレスベラトロールによる哺乳類の寿命延長は達成できていない。さらにはスベルミジンの寿命延長効果が確認されているが、スベルミンに関する言及はない。たしかに、線虫やショウジョウバエなどの下等な生物ではスベルミジンが重要な活性を有しており、これらの生物の生存や細胞機能にはスベルミンは必須ではないと思われる検討結果が報告されている。しかし、ヒトを含めた哺乳類の生体内ではスベルミンが重要な作用を有しており、スベルミン合成の欠損は重大な障害を誘発することも報告されている^{14,15)}。また、我々の検討では、免疫細胞に対する作用はスベルミンのほうがより強力で、生体内では血中スベルミンとLFA-1の発現に負の相関は認められたものの、血中スベルミジンとLFA-1の間の負の相関は明らかではなかった⁷⁾。さらに、ヒトやマウスにおける検討で、高ポリアミン食によって血中で顕著な上昇が認められるのはスベルミンである^{4,5)}。

以上より、哺乳類ではスベルミンの活性を考慮に入れて検討する必要がある。また、哺乳類では高度に発達した免疫機構、内分泌機構、神経伝達機構があり、それらが密接な連携をとり生体機能を維持している。よって、細胞内におけるメカニズムももちろん重要であるが、下等な生物には存在しない高度な免疫機能などの細

胞間、組織間、臓器間の相互反応を考慮に入れて検討することが重要であると考えられる。

2. 健康食品とポリアミン濃度

健康長寿と関係のある食品には、大豆などの豆類やナッツ類、精米されていない穀物、魚介類、食物繊維、フルーツや野菜、適度な量のヨーグルトやチーズなどがしばしば挙げられる。図3は、これまでに報告されている食物中のポリアミン濃度を測定した文献中の数値を示す。興味深いのは、大豆は天然の食品の中で最もポリアミン濃度が高い食物の一つであり、その他の豆類やナッツ類もポリアミン濃度の高いことがわかる。また、精米して除去される胚芽やふすまには、ポリアミンが多量に含まれる。さらに、魚介類のなかでも内臓や魚卵には大量のポリアミンが含まれている。同様に熟成したチーズのポリアミン濃度は極めて高いことがわかる。ところが、フルーツや野菜のポリアミン濃度は決して高いわけではなく、ヨーグルトのポリアミン濃度は低い。そこで、これらのデータをもとに、健康長寿食と呼ばれている日本食と地中海沿岸の地域や諸国における食習慣である地中海食とポリアミンの関係を検討した。

3. 日本食と大豆とポリアミン

世界で最も長く生きる事が出来る国民である日本人が食べている日本食の特徴は動物の肉やミルクやバターが少なく、魚介類が多いことである。もちろん、これまでの多くの研究結果により動物の脂に多い飽和脂肪酸が炎症を誘発させやすくし、魚介類に多く含まれる不飽和脂肪酸(n3系不飽和脂肪酸=n3PUFA)が炎症を抑制するように作用することがわかっている。そして血栓の形成抑制や一部の癌に対する発癌抑制効果があることがヒトや動物を用いた検討で

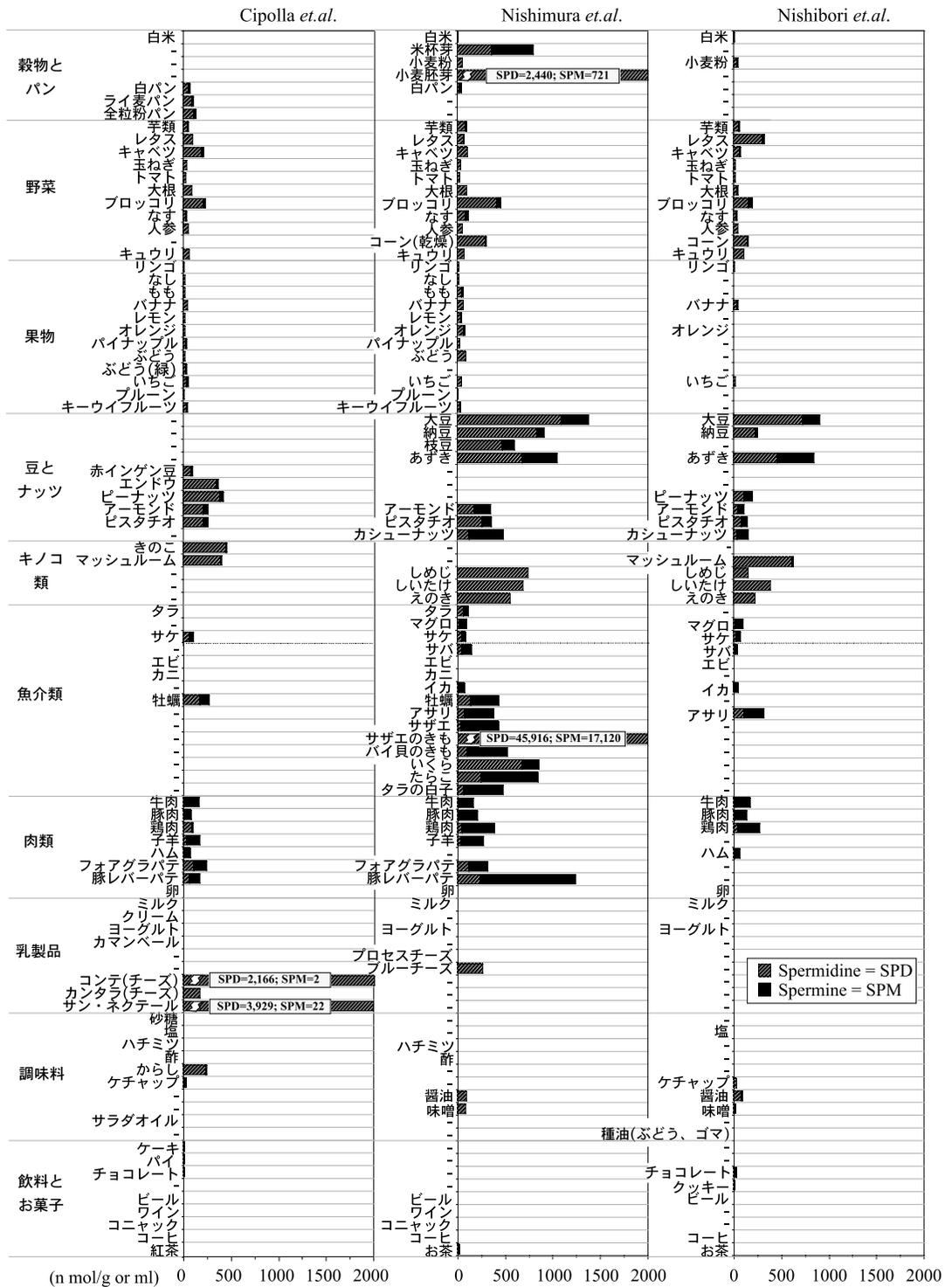


図3 食品中のポリアミン（スペルミンおよびスペルミジン）濃度

濃度は以下の文献を参考にした。Cippolla *et al.*; Cipolla, B.G., Havouis, R., Moulinoux, J.P. *Amino Acids* **33**: 203-212, 2007., Nishimura *et al.*; Nishimura, K., Shiina R., Kashiwagi, K., Igarashi, K. *J. Biochem.* **139** : 81-90, 2006., Nishibori *et al.*; Nishibori, N., Fujihara, S., Akatuki, T. *Food Chem.* **100** : 491-497, 2007.

明らかにされている。しかし、哺乳類の長寿に対する効果を検討した場合には、n3PUFAの摂取によって寿命が短縮するという報告もある¹⁶⁾。魚油による寿命短縮の基礎的な背景として指摘されているのは、n3PUFAが酸化ストレスに弱い事が指摘されている。すなわち、魚油を継続して摂取すると徐々に細胞膜に取り込まれてn3PUFAの比率が増えるが、細胞膜に取り込まれた脂肪酸が酸化ストレスに弱いために、細胞そのものが酸化ストレスを受けやすくなり、そのために寿命が短縮すると考えられている。

また、ポリフェノールで日本人の長寿を説明しようとしても、不可能であることは明らかである。なぜならば、現在長寿をまっとうしている80～90歳代の日本人の青年期は、戦争とその後の貧困によりポリフェノールリッチな食品は手に入らなかったはずである。緑黄色野菜、ワイン、ブルーベリーやブラックベリー、柑橘類などのポリフェノールに富む食品は見た事もないというのが実情であろう。また、茶葉そのものにはポリフェノールが多量に含まれていても、日本人は決して茶葉を食べてきたわけではなく、日本人が飲んできた緑茶そのものにはポリフェノールはほとんど含まれていない。現在の日本の高齢者が食べてきた典型的な日本食は、大豆製品（豆腐、枝豆、味噌、納豆）と近海や川に住む小さな魚や貝が主体である。特に、乏しい食材を有効に利用するために、魚介類は佃煮や甘露煮といった方法で、内臓や魚卵も一緒に食べるような工夫がなされている。

図3に示す様に、大豆は天然の食品では最もポリアミン濃度の高い食品である。ここで述べるまでもないが、大豆に含まれるイソフラボンの効果は否定的であり、アカデミックな機関からはイソフラボンを生活習慣病予防に推奨しない様にアドバイスされている¹⁷⁾。しかし、同時に大豆には生活習慣病予防効果があることが指摘されており、大豆にふくまれ

るイソフラボン以外の物質による効果も指摘されている。その理由の一つとして、イソフラボンに期待される生物活性が、イソフラボンを除去した大豆タンパクでも発揮されるという事実である^{18,19)}。日本食の特徴としては、大豆の発酵食品が中心となっていることであるが、発酵の過程によって微生物の作るポリアミンによって発酵食品のポリアミン濃度は高くなる傾向がある。四国大学の西堀らは、煮大豆と納豆では、ポリアミンは納豆により多く含まれていると報告している。また、魚の身の部分のポリアミン濃度は必ずしも高いわけではないが、内臓や魚卵には高濃度のポリアミンが含まれている。魚介類の佃煮や甘露煮のポリアミン濃度のデータはないが、これらの製造過程では煮汁は製品内に濃縮されており、水溶性のポリアミンが素材から溶け出しても、これらの製品のなかから逃げ出すことはないと推測でき、多量のポリアミンが含まれる事が推測される。さらには、日本食にはポリアミンを多量に含む魚卵で作られた食品（たらこ、明太子、いくら、数の子、白子など）が豊富にある。

また、ポリアミンをほとんど含まない精白した小麦やバターからできている西洋のデザートは健康には良くないことが指摘されているが、伝統的な日本のデザートは“あん”と“きなこ”で出来ている。“あん”は豆類から、“きなこ”は大豆から作られるが、小豆も大豆もポリアミン濃度のきわめて高い食物である。このように、伝統的な日本食は高ポリアミン食と言える。

4. 地中海食とポリアミン

地中海に面した国や地域の食習慣は“地中海食”と呼ばれており、その食習慣が生活習慣病を予防し、寿命延長に寄与していると考えられてきた。そして、実際に、地中海食の実践を行

う事によって、心筋梗塞などの生活習慣病の発症が抑制されることも示されてきた。地中海食は、食品の種類や量が厳格に確立されたものではないが、多くの文献に共通して存在する特徴を表1に示す。

大豆を摂取すると、体内で抗炎症作用を発揮する事が報告されている²⁰⁾。同様に地中海食を継続すると炎症が生じにくくなることが報告されている^{21,22)}。大豆はポリアミン濃度が最も高い食品の一つである。前述した様に、高ポ

表1 地中海食

- オイルはオリーブオイルを用いる
- 豆類やナッツ類を多く摂取する
- フルーツや緑黄色野菜を多く摂取する
- 赤肉（牛肉、豚肉など）より魚介類を多く摂取する
- ワインを少量から中等量摂取する
- チーズやヨーグルトなどの乳製品を中等量摂取する（生乳ではなく）
- 精製していない穀物
- お菓子は控えめに

表2 ポリアミンと地中海食の関係

	Spearman's correlation coefficient	p value
地中海食の成分		
オリーブオイル量 / 総カロリー	0.602	<0.001
オリーブオイル量 / 総脂肪量	0.612	<0.001
豆・ナッツ量 / 総カロリー	0.379	0.009
豆・ナッツ量 / 穀物カロリー	0.395	0.006
フルーツ量 / 総カロリー	0.804	<0.001
フルーツ・野菜量 / 総カロリー	0.611	<0.001
魚介カロリー / 総カロリー	0.461	0.001
魚介と家禽肉量 / 赤肉量	0.313	0.030
チーズ量 / 総カロリー	0.411	0.005
ワイン量 / 総カロリー	0.285	0.049
非地中海食の成分		
芋類量 / 総カロリー	-0.078	0.586
動物脂肪量 / 総脂肪量	-0.004	0.980
全乳量 / 総カロリー	-0.323	0.025
全乳量 / 乳製品総量	-0.351	0.015
ビール量 / 総カロリー	-0.013	0.927
その他のアルコール量 / 総カロリー	-0.136	0.345

United Nations の Food and Agriculture Organization (FAO) の statistical data base (FAOSTAT) から国別の各食物の供給量、脂肪の供給量、および総エネルギー量を用いた。食品中のポリアミン量はこれまでに報告されている論文内の各種食品のポリアミン濃度を単純平均して食品の供給量から算出した。データは国民一人あたりの供給量であるために、国民の食習慣の好みを反映させるために、食品の絶対量ではなく相対的量で比較検討した。

対象とした国はアルバニア、アルメニア、オーストラリア、オーストリア、アゼルバイジャン、ベラルーシュ、ベルギー、ボスニアヘルツェゴビナ、ブルガリア、カナダ、クロアチア、キプロス、チェコ共和国、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、グルジア、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イスラエル、イタリア、カザフスタン、ラトビア、リトアニア、マルタ共和国、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、ロシア、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、スイス、タジキスタン、マケドニア共和国、トルコ、トルクメニスタン、ウクライナ、イギリス、米国、ウズベキスタン

リアミン食によって LFA-1 が抑制され、炎症は誘発されにくくなる。そこで、地中海食とポリアミンの関係を、公開されているデータベースをもとに検討した (表 2)。

地中海食の要素であるオリーブオイル、豆類とナッツ類、果物、野菜、およびワイン、さらに魚介類は総エネルギーあたりのポリアミン量と正の相関を示す²³⁾。一方、地中海食の成分ではない食物の総エネルギーあたりの量はエネルギーあたりのポリアミン量とは関係がないか負の相関の傾向をしめす²³⁾ (表 2)。これまで生活習慣病の抑制に寄与していると考えられてきたオリーブオイルやワインにはポリアミンはほとんど含まれていない (表 1)。しかし、この検討からわかることは、これらを好む国民はポリアミンが多く含まれる食品を好む傾向にあるということである。同様に、もともとポリアミン濃度が高い食品である豆類、野菜、果物、そして赤肉より魚を好む国民は全体的にポリアミンを多く含む食品を好む傾向にある。また、チーズを好む国民はポリアミンを多く含む食品を好む傾向があり、生乳を好む国民はポリアミン濃度の低い食品が好みであるということである。興味深いのは、生乳の摂取量は心臓血管疾患とは正の相関を示し^{24,27)}、チーズの摂取量と動脈硬化による心臓血管疾患の発症は負の相関を示す事である^{24,26)}。

これらの検討で、ポリフェノールリッチと考えられてきた地中海食と呼ばれる食事形態はポリアミンリッチであることがわかった。一方、生活習慣病の促進と関係がある牛乳、脂肪、クリーム、バターなどにはポリアミンはほとんど含まれておらず、これらの原料と同じくポリアミン濃度の低い精米した小麦で作られた西洋のデザートにもポリアミンはほとんど含まれていない。そして、健康長寿食である地中海食は、デザートを控える事が特徴の一つである (表 1)。

5. ポリアミンと発癌

ポリアミンはこれまで発癌と関わっているのではないかと考えられてきた。癌患者ではポリアミン濃度が高く、細胞レベルでは腫瘍細胞にポリアミン合成酵素 (ornithine decarboxylase (ODC)) の遺伝子を導入すると腫瘍の増殖が促進されるからである。しかし、正常細胞に ODC 遺伝子を導入しても腫瘍化しないことは複数の論文で報告されており、我々のこれまでの動物実験でもポリアミンを投与することによる腫瘍の発生の増加は認めないばかりか、寿命が延長することを確認している。がん原遺伝子である Ras や c-Myc は ODC の上流にあり、その発現亢進はポリアミン合成の亢進につながる。おそらく、これらのことがポリアミンの上昇と発癌を関連づけたと思われる。しかし、ポリアミン代謝を考えた場合には、正常のポリアミン代謝機能を有した細胞であるならば、細胞外からポリアミンを取り入れた細胞のポリアミン合成酵素、すなわち ODC の活性化は抑制される。ODC の活性抑制は腫瘍増殖抑制のターゲットとして検討されていることを考えると興味深い。さらにはスベルミジンによって誘導されるオートファジーは正常細胞が癌化するのを抑制する作用がある。ポリアミンによる抗炎症作用を考慮に入れると、高ポリアミン食の摂取は発癌抑制に作用すると考える事もできる。

もちろん、発癌リスクをすでに有する患者、たとえば家族性大腸腺腫症などのように遺伝子異常が存在し、腫瘍の発生がさけられない患者や、ヘリコバクターピロリ感染者などでは、ポリアミンは腫瘍の発生を促進する可能性が高い。なぜならば、遺伝子異常の存在によって ODC はすでに活性化され正常の酵素活性のコントロールは失われており、成長発育

因子でもあるポリアミンの食品からの供給は腫瘍の発育を促進することは容易に推測できる。また、ヘリコバクターピロリ菌はスペルミンを分解して細胞障害活性を有する過酸化水素などが産生され、感染が持続する事によって胃炎や胃癌の発症を促進する。前述の様に、日本食は高ポリアミン食であることを考慮に入れると、日本人の保有するピロリ菌の毒性が高いということ以外にも、日本人が多量のポリアミン（とくにスペルミン）を摂取することが、胃癌の発症率上昇に関与している可能性がある。

このような特殊な場合を除いて、健常人においては、ポリアミンはLFA-1の発現を選択的に抑制する一方で、ストレス下の免疫細胞のNK活性を維持し、concanavalin A (conA) や phytohemagglutinin (PHA) などに対するリンパ球の反応を増強する作用がある⁷⁾。これらは、免疫防御機構の増強を介して発癌に対して抑制的な作用を有すると考えられている免疫機構である。我々の動物実験およびポリアミンの活性を考慮に入れると、ポリアミンによる発癌抑制作用の可能性を検討する必要がある。

おわりに

近年、ポリフェノールや脂肪酸などの健康長寿に寄与していると考えられてきた食品成分の効果に関して否定的な研究結果が多く出てきた事をふまえ、一部の研究者からヒトの健康に寄与し寿命を延長させることを一部の食成分に望むことは出来ないという意見がある。しかし、人種構成や文化的背景が類似した地域や国家の間で生活習慣病の発症率が数十倍も異なり、その結果平均寿命に20歳もの開きがあることをどのように説明したらいいのであろう。もちろん、子供達に教育を行う教員は、子供達の食が偏らないようにするために“健康になるためには、好き嫌いをせず、なんでもバランス良く食べましょう”というの正しいと思う。しかし、我々科学者は、現在存在する様々な研究結果や食成分の生物活性を研究し、地域による生活習慣病の発症の差や寿命の差をなくするための科学を、食の観点から追求する姿勢をなくしてはならない。ヒトは知の動物である。知は時間とともに蓄積される。よって、長寿を追求することは、単純にヒトの健康を守り、医療費を抑制するだけではなく、個々の知を保持・蓄積し、よって知の蓄積が寄与する文化や科学の発展にも貢献することにつながる。

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

- 1) Pearson KJ, Baur JA, Lewis KN *et al.* Resveratrol delays age-related deterioration and mimics transcriptional aspects of dietary restriction without extending life span. *Cell Metab* **8**:157-68, 2008.
- 2) 早田邦康 . ポリアミンによるアンチエイジング (その1) . *New Food Industry* **51**:55-64, 2009.
- 3) 早田邦康 . ポリアミンによるアンチエイジング (その2) . *New Food Industry* **52**:66-73, 2010.
- 4) Soda K, Kano Y, Sakuragi M, Takao K, Lefor A, Konishi F. Long-term oral polyamine intake increases blood polyamine concentrations. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* **55**:361-6, 2009.
- 5) Soda K, Dobashi Y, Kano Y, Tsujinaka S, Konishi F. Polyamine-rich food decreases age-associated pathology and mortality in aged mice. *Exp Gerontol* **44**:727-32, 2009.
- 6) Matsumoto M, Kurihara S, Kibe R, Ashida H, Benno Y. Longevity in mice is promoted by probiotic-induced suppression of colonic senescence dependent on upregulation of gut bacterial polyamine production. *PLoS One* **6**:e23652, 2011.
- 7) Soda K, Kano Y, Nakamura T, Kasono K, Kawakami M, Konishi F. Spermine, a natural polyamine, suppresses

- LFA-1 expression on human lymphocyte. *J Immunol* **175**:237-45, 2005.
- 8) Pallis M, Robins A, Powell R. Quantitative analysis of lymphocyte CD11a using standardized flow cytometry. *Scand J Immunol* **38**:559-64, 1993.
 - 9) Eisenberg T, Knauer H, Schauer A *et al.* Induction of autophagy by spermidine promotes longevity. *Nat Cell Biol* **11**:1305-14, 2009.
 - 10) 早田邦康 . ポリアミン-長寿へのキーワード . 食の科学 **11**:40-49, 2003
 - 11) Soda K, Kano Y. Natural polyamine as a possible inhibitor of age-related diseases. *Journal of Clinical Lipidology* **1**:519, 2007.
 - 12) 早田邦康 . ポリアミンによるアンチエイジング . 食の科学 **340**:20, 2006.
 - 13) 早田邦康 . ポリアミンによるアンチエイジング . *Food style* **21** 10:43-54, 2006.
 - 14) Lorenz B, Francis F, Gempel K *et al.* Spermine deficiency in Gy mice caused by deletion of the spermine synthase gene. *Hum Mol Genet* **7**:541-7, 1998.
 - 15) Wang X, Pegg AE. Use of (Gyro) Gy and spermine synthase transgenic mice to study functions of spermine. *Methods Mol Biol* **720**:159-70, 2011.
 - 16) Tsuduki T, Honma T, Nakagawa K, Ikeda I, Miyazawa T. Long-term intake of fish oil increases oxidative stress and decreases lifespan in senescence-accelerated mice. *Nutrition* **27**:334-7, 2011.
 - 17) Sacks FM, Lichtenstein A, Van Horn L, Harris W, Kris-Etherton P, Winston M. Soy protein, isoflavones, and cardiovascular health: an American Heart Association Science Advisory for professionals from the Nutrition Committee. *Circulation* **113**:1034-44, 2006.
 - 18) Ogborn MR, Nitschmann E, Bankovic-Calic N, Weiler HA, Aukema HM. Dietary soy protein benefit in experimental kidney disease is preserved after isoflavone depletion of diet. *Exp Biol Med (Maywood)* **235**:1315-20, 2010.
 - 19) Balmir F, Staack R, Jeffrey E, Jimenez MD, Wang L, Potter SM. An extract of soy flour influences serum cholesterol and thyroid hormones in rats and hamsters. *J Nutr* **126**:3046-53, 1996.
 - 20) Nagarajan S. Mechanisms of anti-atherosclerotic functions of soy-based diets. *J Nutr Biochem* **21**:255-60, .
 - 21) Estruch R, Martinez-Gonzalez MA, Corella D *et al.* Effects of a Mediterranean-style diet on cardiovascular risk factors: a randomized trial. *Ann Intern Med* **145**:1-11, 2006.
 - 22) Dedoussis GV, Kanoni S, Mariani E *et al.* Mediterranean diet and plasma concentration of inflammatory markers in old and very old subjects in the ZINCAGE population study. *Clin Chem Lab Med* **46**:990-6, 2008.
 - 23) Binh PNT, Soda K, Kawakami M. Mediterranean diet and polyamine intake: possible contribution of increased polyamine intake to inhibition of age-associated disease. *Nutrition and Dietary Supplements* **3**:1-7, 2011.
 - 24) Artaud-Wild SM, Connor SL, Sexton G, Connor WE. Differences in coronary mortality can be explained by differences in cholesterol and saturated fat intakes in 40 countries but not in France and Finland. *A paradox. Circulation* **88**:2771-9, 1993.
 - 25) Seely S. Diet and coronary arterial disease: a statistical study. *Int J Cardiol* **20**:183-92, 1988.
 - 26) Moss M, Freed D. The cow and the coronary: epidemiology, biochemistry and immunology. *Int J Cardiol* **87**:203-16, 2003.
 - 27) Grant WB. Milk and other dietary influences on coronary heart disease. *Altern Med Rev* **3**:281-94, 1998.

清酒の香味とその評価

古川 幸子*

*FURUKAWA Sachiko (黄桜株式会社 研究所)

Key Words: 清酒・香味・官能検査

はじめに

ご存知の方は少ないのかもしれないが、清酒は「国酒」である。

わが国の伝統的な醸造酒である清酒を国酒という動きが始まったのは、大平内閣のときである。契機は、田中内閣における1972年の日中国交正常化に遡る。この晩餐の席において、中国側が白酒（中国の国酒）での乾杯で日本側を遇したことに影響を受け、政府が清酒を、国を代表する酒「国酒」とすることで、その地位を向上させようと考えたのではないかとされている。以来、歴代の総理大臣により「国酒」と揮毫された色紙が作成され、日本酒造組合中央会に展示されている¹⁾。

「国酒」たる所以として、清酒は、現在に至るまでおよそ2000年に亘り、日本人の生活や文化の中心的な役割を果たしてきた。その間、清酒醸造に必要な知識やスキルは、日本全国各地に広まっていった²⁾。平成21酒造年度（2009年7月1日～2010年6月30日）においては、1302の酒造場が酒造りに従事し

ている³⁾。有名な清酒の産地は、良い水や良い米のできるところにあり、中でも兵庫県の灘、京都府の伏見、広島県の西条などが酒どころとして知られている。

清酒は、ビールやワインと同様に醸造酒であるが、その醸造工程はより複雑である。図1に、清酒とワインの醸造工程の違いを示した。清酒は、精白米を水に浸漬した後、蒸きょうして蒸米とし、これに麴と水と酵母を加えて発酵させる。この発酵の過程で、米デンプンは麴酵素の働きでグルコースに分解され、遊離したグル

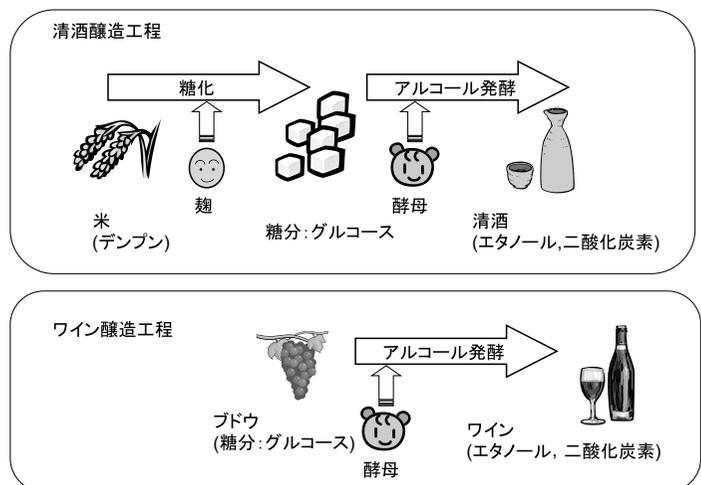


図1 清酒とワインの醸造工程の比較

コースは、酵母によりアルコール発酵される。一方、ワインの場合、原料となるブドウには、糖分（グルコース）が含まれているので、糖化の工程がない。このように清酒の醸造では、麴によるデンプンの糖化と酵母によるアルコール発酵が並行して行われる。この発酵系は、並行複発酵と呼ばれるが、他のアルコール飲料には類を見ない、清酒に特徴的な極めて高度な技術を駆使した醸造法である。また、他のアルコール飲料と比較して飲用温度帯が広く、5℃から55℃くらいまで楽しめるのが特徴である。

本稿では、清酒の品質、成分、香味特性や官能評価方法について紹介する。

1. 清酒の品質

清酒の品質は、他のすべての生産物と同様に、消費者にとって商品選択の重要なポイントであり、結果的には、それが市場価値を決定する最も大きな因子となる。本項では、清酒の品質に大きく影響する主原料と製成酒の成分について述べる。

1) 原料

先に述べたように、清酒の主原料は米・米麴および水であるが、これらすべての原料の品質は、いうまでもなく製成酒の品質（酒質）に大

きく影響する。その他に酵母や乳酸菌、醸造アルコールなど、多くのものが醸造工程中で、それぞれに求められる役割を果たす。この緻密で繊細なコラボレーションが相乗効果となって、清酒の香味をより深いものにする。

原料米

米は酒造りに必要不可欠な成分であり、米の品種の選び方や組み合わせにより、酒の個性が左右される。酒造原料米は、一般米と酒造好適米（酒米）の2種類に大別される（図2）⁴⁾。一般米は通常、飯用として利用されるが、その育成地域と栽培方法により、数多くの亜種が存在し、酒造用原料米としても利用される。酒造好適米は、清酒醸造用に特化して用いられる。

酒造好適米は、大粒で、心白を有し、タンパク質含有量が低いことが特徴であるが、これらの特徴は、いずれも酒造用原料米として最適の条件である。しかし、酒造好適米は長稈で倒伏しやすく、その品質を維持しながらの栽培には高度な技術が必要となる。酒造好適米の代表的品種には、山田錦、五百万石、雄町、美山錦、兵庫北錦などがある。日本において、酒造好適米で最高位にランクされるのは山田錦であるが、中でも兵庫県産は特に評価が高い。

また、米は用途によっても2種類に分類され、それぞれ麴米（麴菌を増殖させるための培地としての米）と掛米（発酵基質としての米）

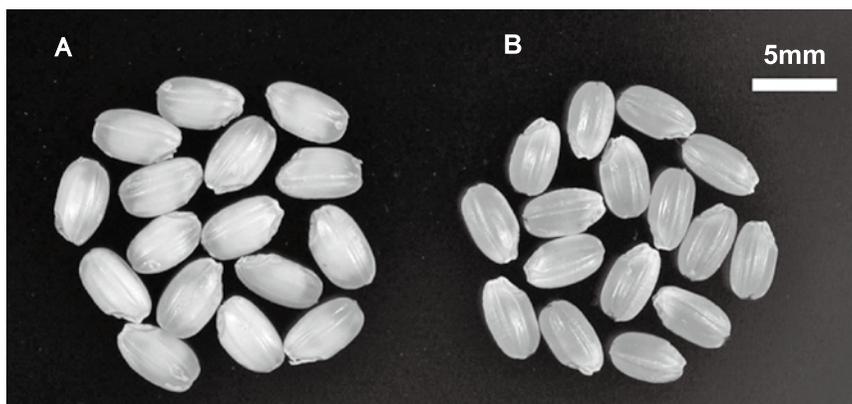


図2 原料米の比較⁴⁾ A, 酒造好適米（兵庫北錦） B, 一般米（コシヒカリ）

と呼ばれる。米の第1構成成分はデンプンであり、白米重量のおよそ80%（14%水分）または90%（乾物）を占める⁵⁾。が、これらは精米歩合によって変動する。また、品種はもちろんのこと、施肥量や温度などの栽培条件によっても異なる。その量はデンプンに比べると圧倒的に少ないものの、清酒醸造において、米のタンパク質は、麴の酵素によりアミノ酸やペプチドに分解されて酵母の増殖の栄養源になる一方、製成酒の香味を形成する重要な成分である。しかし、過多のタンパク質は酒の雑味となるため、もろみ中で米タンパク質の溶解を適切に制御する技術が求められる⁶⁾。

米のタンパク質は白米表層部に多く、胚乳中心部に行くほど少ない分布をしている⁵⁾。また、米粒外層部には、タンパク質の他に脂肪やミネラル・ビタミンなども含まれる。脂肪もタンパク質と同様に、酒の雑味の原因となるが、清酒の醸造には、高度に精白された白米を用いるため、これらの部分は精米工程で削除される。飯用での精米は、通常、精米歩合90%程度であるが、清酒醸造の場合は、普通酒で精米歩合70%、大吟醸酒では50%～最高35%まで米を磨く。まるでピーズのような大きさのいわば剥き出しのデンプン質のような状態まで米を磨くのは、非常に繊細で神経を使う作業であるが、これにより、酒は洗練された味になる。その一方で、高度精白になるほど、もともとの原料米の持つ品種特性が損なわれ、発酵促進効果を持つミネラルやビタミン類も失われるので、後の発酵工程でこれを補う高度な技量が要求される。

麴

麴（米麴）は、蒸した米を培地として麴菌 *Aspergillus Orizae* を増殖させたものである。穀物である米は、多糖類のデンプンが主成分であるが、酵母はこれを、そのままの状態ではエネルギー源として利用することができない。そこ

で、麴に含まれるグルコアミラーゼや α -アミラーゼがデンプンをグルコースに分解し、酵母が利用できる状態にするが、これを糖化という。また、米のところで触れたように、麴にはタンパク質分解酵素も含まれる。麴が持つ酸性プロテアーゼや酸性カルボキシペプチダーゼなどが米タンパク質を分解することによって生じたアミノ酸やペプチドは、酵母の生育や酒の香味に大きな影響を与える。

ワインの場合は、先に述べたように、原料であるブドウ果汁の中に既にグルコースが含まれているので、糖化の工程が要らず、単発酵といわれる。東アジア地域においては、麴は清酒に限らず他の酒類や味噌、味噌、醤油など多くの発酵食品に用いられるが、中高温湿潤なこの地域の気候に適した醸造法であることが、その理由であると考えられている。また、麴菌にはいくつかの種類が存在するが、清酒には味噌や醤油と同様に黄麴菌が用いられる。

酵母

酵母は、主原料ではないが、清酒の醸造にはなくてはならないものである。自然界には数多くの種類の酵母が存在するが、清酒の醸造に用いられる酵母は「清酒酵母」といい、種はそのほとんどが *Saccharomyces cerevisiae* である。多種多様な酵母の持つ異なった資質が、酒の香味や酒質を決定する大きな要因となるが、中でも、特に醸造特性の高い株が選抜して用いられることが多い。また、必ずしも単一の株だけが用いられるわけではなく、他の酵母と混合して用いる手法や、製成酒を調合する手法など、それぞれの株の長所をうまく取り入れた形で用いられることも多い。1980年代以降の吟醸酒ブームを受けて、大学や地方自治体あるいは民間企業等各種研究機関において、香りの高いタイプや少酸性など、多様な清酒を醸造できる酵母の開発が盛んとなっている。中でも、財団法人日本醸造協会が領布する協会酵母のうち、協会7号、

協会9号などは、華やかな吟醸香を生産するため吟醸酒の醸造に適しており、「吟醸酵母」ともいわれる。

ワインの場合、原料であるブドウの香りは、ワインの香味に大きな影響を与えるが、清酒の原料である米は、何ら特徴的な香りも持たないし、米の持つ香り自体が酒の香味に大きく影響するわけでもない。その代わりに、日本酒の複雑な醸造工程が酒の香味に大きく寄与する⁷⁾。たとえば、吟醸酵母を用いて造る吟醸酒は、リンゴやバナナを思わせるフルーティな芳香を有するが、何のフレーバーも添加していない。こ

のように、穀物から造った酒で、自然にフルーティな香りを持たせることができるのは、清酒の優れた特徴のひとつである。

また、近年は、桜、バラ、撫子など様々な花から酵母を分離し（花酵母という）、これを清酒の醸造に用いる試みが多くなされている。花酵母から造った酒は、それぞれ分離元の花によって異なった酒質を呈し、注目を集めている。

2) 酒の成分

国税庁による「平成21年度全国市販酒類調査」による、調査対象清酒1956点（すべて国

表1 平成21年度の清酒の成分⁸⁾

区分		一般酒	吟醸酒	純米酒	本醸造酒
調査点数		543	489	462	462
アルコール分 (%, v/v)	平均値 ±標準偏差	15.41 ± 0.76	15.94 ± 0.89	15.52 ± 0.80	15.54 ± 0.74
日本酒度	平均値 ±標準偏差	3.8 ± 3.0	4.6 ± 2.7	4.1 ± 4.3	5.0 ± 3.0
酸度 (ml/10 ml 清酒)	平均値 ±標準偏差	1.18 ± 0.20	1.30 ± 0.25	1.47 ± 0.24	1.25 ± 0.19
アミノ酸度 (ml/10 ml 清酒)	平均値 ±標準偏差	1.31 ± 0.43	1.28 ± 0.35	1.59 ± 0.41	1.41 ± 0.37

一般酒と特定名称酒（表2参照）に分けて調査

表2 特定名称酒の分類⁹⁾

特定名称	使用原料	精米歩合	麴米使用割合	香味等の要件
吟醸酒	米, 米麴, 醸造アルコール	60% 以下	15% 以上	吟醸造り, 固有の香味, 色沢が良好
大吟醸酒	米, 米麴, 醸造アルコール	50% 以下	15% 以上	吟醸造り, 固有の香味, 色沢が特に良好
純米酒	米, 米麴	—	15% 以上	香味, 色沢が良好
純米吟醸酒	米, 米麴	60% 以下	15% 以上	吟醸造り, 固有の香味, 色沢が良好
純米大吟醸酒	米, 米麴	50% 以下	15% 以上	吟醸造り, 固有の香味, 色沢が特に良好
特別純米酒	米, 米麴	60% 以下または特別な製造方法 (要説明表示)	15% 以上	香味, 色沢が特に良好
本醸造酒	米, 米麴, 醸造アルコール	70% 以下	15% 以上	香味, 色沢が良好
特別本醸造酒	米, 米麴, 醸造アルコール	60% 以下または特別な製造方法 (要説明表示)	15% 以上	香味, 色沢が特に良好

産酒)の成分平均値を表1に示した⁸⁾。

清酒は、一般酒(普通酒ともいう)と特定名称酒の2つに分類される。特定名称酒は、吟醸酒、純米酒、本醸造酒をいい、それぞれ所定の要件に該当するものにその名称を表示することができる。特定名称酒は、原料や製造方法等の違いによって、さらに8種類に分類される(表2)⁹⁾。一般酒は、特定名称酒以外の日本酒のことである。表1は、このうちの一般酒と吟醸酒・純米酒・本醸造酒の結果を示しているが、酒のグレードによって成分に違いが見られる。

日本酒度は、清酒の成分ではなく、評価単位の一つである。清酒の甘口辛口の目安として製品ラベルに表示されることが多いが、実際には、4℃の水を±0としたときの酒の比重を示す単位である。この比重は、エキス分(酒税法では、温度15のときにおいて、原容量百立方センチメートル中に含有する不揮発性成分のグラム数をいうと定義している。ほとんどは糖分からなる)が多い酒ほど重くなりマイナス(-)の値、少ない酒ほど軽くなりプラス(+の値をとる。一般的に、日本酒度が高い(プラスの数字が大きい)ほど淡麗で辛く、日本酒度が低い(マイナスの数字が大きい)ほど濃醇で甘い傾向がある。しかし、実際には、甘口辛口の場合は、酸度にも影響を受ける。

酸度は、清酒10mlを中和するのに必要な0.1M NaOHの滴定ml数で、リンゴ酸、乳酸、コハク酸などの酒中に遊離している有機酸の量を表す。有機酸は、酒の味に酸味や旨味をもたらす¹⁰⁾。酸度が高ければ、さっぱりしたキレのある辛口に、少なればこくがあるように感じられる。

日本酒度と酸度のバランスは、甘辛の感じ方を左右する。同じ日本酒度の酒で比較すると、酸度が高いほど甘味が打ち消されて辛く、逆に酸度が低いほど甘く感じるが、これらは飲用温

度や体調あるいは嗜好などによっても微妙に異なる。

アミノ酸度は、アミノ酸のアミノ基を中性ホルマリンでブロックした後、pH7.2まで中和するのに必要な0.1M NaOHの滴定ml数で、主にゴク味や旨味を構成する成分の量を表す。アミノ酸度が大きければ濃醇(こくのある深い味)、小さければ淡麗(すっきりした軽い味)となる。清酒には、アルギニン、アラニン、ロイシンなど約20種類のアミノ酸が含まれている。これらのアミノ酸のほとんどは、もともと原料米に含まれるタンパク質が麴酵素により分解されて生成したものであるが、もろみ末期における酵母の死滅とその自己消化によっても生じる。これらのアミノ酸の組成割合によって、製成酒には、実に様々な旨味が作り出される。言い換えれば、清酒の味わいの複雑さや奥行きのは深さは、このアミノ酸組成の多様性によるところが大である。また清酒の醸造期間は、ワインに比べて3~4倍程度長い。この長期に渡る発酵期間が様々な種類のアミノ酸を生み出し、まろやかな味とフレッシュな香りの絶妙なバランスを与える。

アルコール分(アルコール度数)は、酒100ml中に含まれるエタノール量を表す。先に述べたように、清酒は、糖化と発酵が並行して進む「並行複発酵」という独自の醸造法をとるが、これが他の醸造酒に比べて、清酒が高いアルコールを得ることができる要因になっている。清酒中にはエタノールだけでなく、酒の香味に大きく貢献する高級アルコール類も含まれるが、それらについては、次の「2. 清酒の香味」で詳しく述べる。

2. 清酒の香味

清酒の香味は、甘味、辛味、苦味、渋味といった成分が複雑に絡み合い、旨味や香りも一体と

なって構成されている¹⁰⁾。本項では、清酒の香味を形成する主要成分と、香味の要素からの清酒のタイプ別分類について述べる。

1) 香味成分

清酒に含まれるアルコールやエステルは、清酒の主要な香氣成分である。また、有機酸、アミノ酸、ペプチドは、清酒の味を形成する。

アルコール

清酒中のアルコールは、その大部分がもろみ中で酵母の代謝により生成される。清酒の香り成分に大きく寄与する高級アルコールは、酒のもろみ中でエタノールの生成に伴い生成され、発酵が緩やかになると生成されなくなる。酵母による生成経路として、Ehrlichの経路、アミノ酸生合成からの経路、酢酸からの経路の3経路が知られているが、酢酸の縮合による経路の寄与は小さい¹¹⁾。

アルコールは、酒の香りの主成分であるが、酒の味にも影響するとされている¹²⁾。表3に、アルコールの香味と弁別閾値を示した^{11,13)}。低沸点のエタノール、イソアミルアルコールは上立ち香、高沸点のβ-フェネチルアルコールは基調香とされる。また、チロソールは苦味成分として、グリセロールは甘味成分として味の濃さにも影響している。高濃度のエタノールは他の香りをマスキングする効果があり、高級ア

ルコールの一部は、上立ち香や含み香を増強させる¹²⁾。

エステル

清酒に含まれるエステルは、酢酸イソアミルに代表されるカルボン酸エステルが主体である。脂肪酸のエチルエステルや、高級アルコールと酢酸のエステルは、酒のもろみ中で発酵が進むにつれて生成量が増加し、発酵後期にはやや減少する¹⁴⁾。このようなエステルの生成は、主に酵母によるものと考えられる。

酢酸イソアミルは、酒の吟醸香の主要な成分の一つであり、バナナのような甘い芳香を呈する。これは、酵母のアルコールアセチルトランスフェラーゼ (AATase) によって、アセチル CoA とイソアミルアルコールを基質として生成される¹⁵⁾。AATase は温度に対して不安定であり¹⁶⁾、低温のもろみ経過で酢酸イソアミル生成量が多くなる¹¹⁾。それゆえ、大吟醸酒、吟醸酒のように、低温でゆっくり丁寧に発酵を進める仕込み方法で造られた清酒は、酢酸イソアミルに起因する吟醸香が高くなる。

カプロン酸エチルも、酒の吟醸香の主要な成分の一つであり、リンゴのような甘い芳香を呈する。カプロン酸エチルに代表される低級脂肪酸のエチルエステルは、アシルコールアシルトランスフェラーゼ (AACTase) とエステラーゼによって生成されると考えられている¹¹⁾。

表3 主要なアルコールの香味と弁別閾値¹¹⁾

成分名	香味	弁別閾値 ¹³⁾
エチルアルコール	アルコール香	1.4 (%)
n-プロパノール	アルコール香	600-800 (mg/l)
n-ブタノール	アルコール香	50 (mg/l)
イソブタノール	アルコール香	100-600 (mg/l)
イソアミルアルコール	アルコール香, 甘い芳香	50-70 (mg/l)
n-ヘキサノール	青葉様	5 (mg/l)
β-フェネチルアルコール	バラ様香	40-75 (mg/l)
2,3-ブタンジオール	甘み	4,500 (mg/l)
チロソール	苦み	200-300 (mg/l)
グリセロール	甘み	3,800 (mg/l)

表4 主要なエステルの香味と弁別閾値¹⁷⁻¹⁹⁾

成分名	香味	弁別閾値 (mg/l)
酢酸エチル	エーテル様新鮮香, 果実様香	25
酢酸イソブチル	果実様香, ナシ様の香	0.5
酪酸エチル	パイナップル様の香	0.4
酢酸イソアミル	バナナ様の香, 果実様香	1.6
カプロン酸エチル	甘味を伴う果実様香	0.2
酢酸フェネチル	芳香, バラ様の香	3.8
カプリル酸エチル	果実様香	0.2

AACTase はエタノールとアシル CoA を基質とし、エステラーゼはエタノールと低級脂肪酸を基質とする¹¹⁾。

清酒に含まれる主要なエステルの香りと閾値を表4に示した¹⁷⁻¹⁹⁾。低沸点の酢酸エチル、酢酸イソブチル、酢酸イソアミル、カプロン酸エチルなどは上立ち香として、高沸点の酢酸フェネチル、カプリル酸エチルなどは基調香とされる²⁰⁾。エステルもまた、酒の味にも影響を与え、酢酸イソアミルは甘味を、酢酸フェネチルは酸味を強める¹²⁾。

有機酸

清酒に含まれる有機酸の約70%が、もろみ中で酵母により生成され、それ以外は、もろみ中で酒母（醗ともいう。蒸米と麴に酵母を加えて発酵させたもので、清酒もろみのもととなる。）や蒸米・麴に由来する。有機酸は清酒の味に、旨味と酸味を与えるが、リンゴ酸、乳酸、コハク酸、クエン酸などがその大部分を占める。リンゴ酸はさわやかな酸味、乳酸は渋みのある温和な酸味、コハク酸は芳醇で重厚な酸味、クエン酸はやわらかく爽快な酸味を呈する。

アミノ酸

清酒中のアミノ酸は、その大部分が原料米タンパク質に由来する。酒のアミノ酸は、米タンパク質を基質として、麴菌の酸性プロテアーゼと酸性カルボキシペプチダーゼの働きで生成される。通常、酒のもろみ中での組成は、アルギニン、アラニン、スレオニン、グリシン、プロ

リン、グルタミン酸、ロイシンが多い²¹⁾。アルギニン、スレオニンは弱い甘味、アラニンは強い甘味、グリシンは爽快な甘味、プロリンは甘酸味、グルタミン酸は強い旨味と酸味、ロイシンはかすかな甘味を呈する¹¹⁾。

また、清酒醸造工程において、アミノ酸は酵母や麴の栄養源となり、酵母菌体内に取り込まれたアミノ酸は、酵母の代謝経路を経て、清酒の主要な香気成分である高級アルコールやエステルに変換される。

ペプチド

清酒中のペプチドは、アミノ酸と同様に、その大部分は原料米タンパク質が麴酵素により分解されて生成するが、グルタチオンのように酵母が生成するものもある¹¹⁾。ペプチドは、清酒の味にふくらみや丸みを与えるといわれているが、個々のペプチドが持つ味については、今のところ詳細が明らかでない。

2) 香味特性による清酒の分類

消費者が商品を購入する際には、手にとって、表示を見て、内容を確認して・・・という流れが一般的なところであろう。清酒の場合、その商品の顔となるラベルには、商品名、特定名称、製造者、製造場所などが記載されている他、原材料名、製造時期などは、国税庁の「清酒の品質評価基準」で必要記載事項として定められている（図3）。また、「甘辛」、「濃淡」が目安として記載されていることもあるが、なかなかカラ

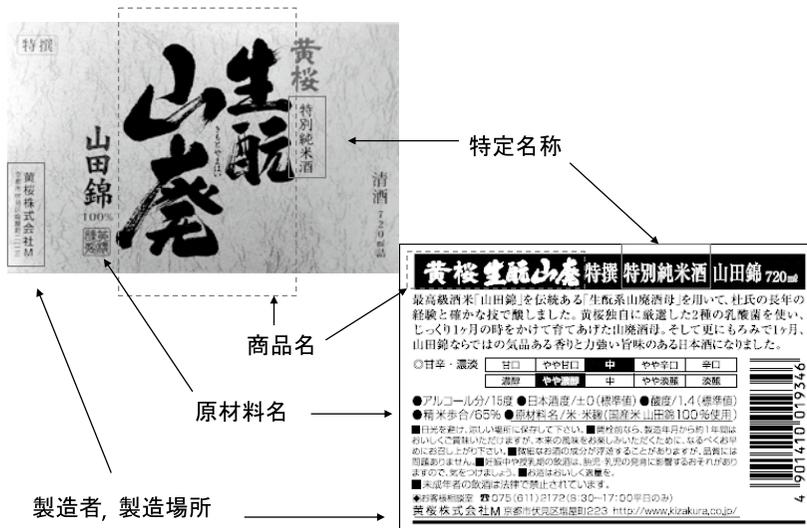


図3 清酒の表ラベルと裏ラベル

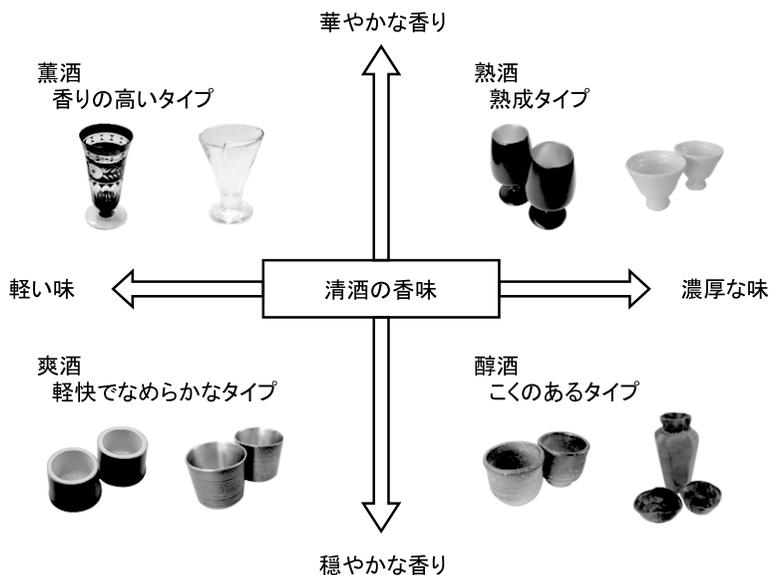


図4 香りと味の要素による清酒のタイプ別分類²²⁾

ベルを見ても中味がわかりにくいという声も多く聞かれる。そこで、様々なタイプの清酒を一般消費者の方にもわかりやすくするために、香りと味の要素から以下の4タイプに分類する方法(図4)が提示されている²²⁾。

・薫酒: 香りの高いタイプ

果物や花のような華やかな香りが高く、軽快でさわやかな味わいが特徴。酸度は低い。甘い

風味を感じさせるものから辛口のものまで様々なタイプが存在する。フルーティーフレーバーなので、海外でも人気が高い。

・爽酒: 軽快でなめらかなタイプ

香りは全体的に控えめであるが、新鮮で清涼感のある含み香を持ち、なめらかでみずみずしい味わいが特徴。適度な酸度でドライな後味。淡麗辛口で飲み手を選ばない酒である。

・醇酒：こくのあるタイプ

原料の米由来の香りと充実した旨味を感じさせるこくのある味わいが特徴。軽く穏やかな香味、滑らかな味で、伝統的かつ王道を行く酒である。

・熟酒：熟成タイプ

ドライフルーツやスパイスのような複雑性のある練れた熟成香を持ち、とろりとした甘味や深い酸味、ボリューム感のある旨味が合わさった力強い味わいが特徴。薄い金色を呈し、シェリーを思わせる香り、ナッツのようなスパイスリーな味で、愛酒家が好む酒である。

この分類方法に付随して、「適した飲用温度」「適した酒器」「相性の良い料理」などの情報も提供できるようになった²²⁾。

3. 官能検査

清酒の官能検査（きき酒＝テイスティング）は、酒の持つ品質を官能的に評価する技術である。清酒も嗜好品であるので、その品質評価は個人の感性によるところが大きい。ある酒を買った消費者に飲んでおいしいと評価されれば、その酒は本質的な品質が高い（品質が良い）ということで、再購買につながる。また、消費

者の購買意欲を引き出す酒であれば、それは付加的な品質が高い（魅力ある商品）ということである。本質的な品質が高いこと、付加的な品質が高いことは、どちらも嗜好品には重要な要素となる。それゆえ、官能検査により酒の品質を評価することは、きわめて重要な意味を持つ。しかし、官能検査は一般に主観的な評価であり、その精度や再現性は機器分析に比べて劣るため、科学的かつ的確な評価の出来るパネルになるための訓練が必要である。

清酒の官能評価では、まず目的（どんな情報を得たいのか：品質評価、工程管理など）を明確にした上で、条件を整える。容器は、蛇の目猪口²³⁾や褐色のアンバーグラス²⁴⁾（図5）を用い、試料温度は一定にする。

官能評価の順序は、以下のとおりである²⁵⁾。

1) きき猪口の白い部分で色調、青い部分で透明度をみる。

2) 香りの評価。上立ち香、引込香（容器を鼻に近づけ、深く息を吸い込んだときに感じる香り）、口中香（口中で暖められて揮発してくる香り）、吐き出した後に鼻から息を抜いたとき感じる香り。

3) 味の評価。基本味（甘味、酸味、苦味など）、総合的な味（濃淡、きれいさ、なめらかさなど）、

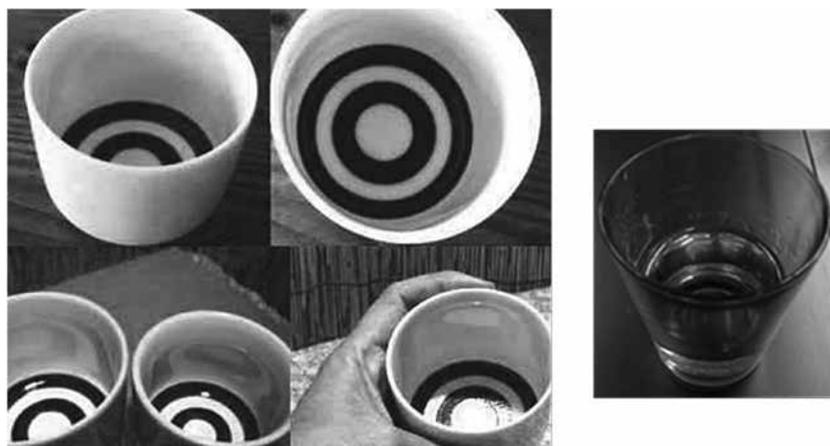


図5 蛇の目猪口²³⁾とアンバーグラス²⁴⁾

後味（酒を吐き出した後に残る味）。また、清酒の官能評価方法には、格付け法（試料を階級に分ける）、採点法（品評会などで使われる）、識別法（試料間で差があるか）、順位法などがある。

一方で、官能評価は、人による主観の評価法であるため、個人差や体調などが結果に影響しやすく、再現性および信頼性の高いデータを得るためには、レベルの高いパネルを維持することが重要となる。そのため、独立行政法人 酒類総合研究所は、正確な官能評価のための基準として、清酒の香味に関する品質評価用語及び標準見本を提示している²⁶⁾。

近年は、メタボリックプロファイリングによる食品の評価技術開発が進められており、客観的評価法としての普及が期待されている²⁷⁾。

おわりに

清酒は現在、発祥国の日本では、消費者の嗜好の変化や酒類の多様性に伴い、非常に厳しい局面にある。その一方で、アメリカやフランスの市場では、清酒、特に吟醸酒の消費が拡大している。イギリスにおいても2007年に、伝統ある国際ワインコンテストに清酒部門が設置されるなど、SAKEとして親しまれるようになってきている。韓国では、数年前から清酒がブームになっていたが、関税が高いので、高級酒の扱いとなっている。

現在は、消費者の価値観は、美味しさや安価というだけではなく、安全性や健康にシフトしている。アメリカでは近年、アジアの料理とりわけ日本食の普及に伴い、健康的なライフスタイルがトレンドとなっており、清酒はまさにその主流にのって需要を拡大している²⁸⁾。

海外では、そのようにヘルシーなイメージの清酒であるが、日本においては必ずしもそういうわけではない。過剰に摂取した場合のアル

コールの弊害が、清酒からヘルシーなイメージを遠ざけているように思われる。清酒は、適量を摂取すれば、2000年以上に渡り人々に飲まれてきた、文字通り安全性が保障されたアルコール飲料である。近年は、清酒業界において、酒の中に含まれる機能性成分やその効果についての研究が進んでおり、将来的には、飲んでおいしく、かつ飲むほどに健康になれる清酒が誕生することも大いに期待できる。

また、現状の消費低迷を打破すべく、酒造メーカー各社は地道な努力を懸命に続けている。たとえば、原料米の選択であるが、従来の伝統的な酒の醸造では使われていなかったコシヒカリなどの良食味米品種が積極的に採用され始めている²⁹⁾。このコシヒカリを原料米に用いる清酒醸造の動きは、業界全体に広がっている。消費者にとってみれば、良食味米品種は普通に市場に出回っており、いずれも酒造好適米品種よりもなじみの深い米である。中でも、コシヒカリはおいしいお米の代表的品種で、日本でもっとも認知度の高い米品種である。消費者にとって「おいしさ」が最もイメージしやすい米であることから、酒造原料米として使用することの意味合いは大きく、需要拡大に期待がもたれる。また、近年は、清酒をもっと楽しんでいただくための飲み方の提案として、酒と料理の相性（マリアージュ）が注目されている。清酒は、幅広くどんな料理にも合わせやすい酒であり、酒造メーカーの中には、自社製品とそれに合う料理を紹介しているところもある。

冒頭述べたように、「国酒」たる清酒は、本来持っている伝統的な魅力も活かしつつも、固定観念にとらわれない新しい風も入れながら、ますます進化している。世界に誇れる素晴らしいアルコール飲料である清酒が、世界中の人たちに愛されることを、清酒醸造に携わるもの一人として、心から願っている。

謝辞

本稿を執筆する機会をいただいた The New Food Industry 株式会社食品資材研究会の今西和政氏に厚くお礼申し上げます。また、本稿を執筆するに当たり、HomeBrewSake³⁰⁾ のオーナー兼オペレーターである Mr. William Auld には、海外、特にアメリカでの清酒の市場や動向につ

いて、親身なアドバイスをいただきました。彼の友情に対し、心から感謝の意を表します。

本稿は、「Alcoholic beverages: Sensory evaluation and consumer research (Woodhead Publishing Limited)」³¹⁾ の PART 2 FERMENTED PRODUCTS Sake の章を和訳改訂したものである。

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

- 1) 酒文化研究所, ミニアンケート 国酒を知っているのは 22%, <http://sakebunka.sub.jp/miniEnq/archives/000308>
- 2) 日本酒造組合中央会, Welcome to the World of Japanese Sake, <http://www.japansake.or.jp/sake/english/index.html>
- 3) 国税庁鑑定企画官, 平成 21 酒造年度における清酒の製造状況等について, <http://www.nta.go.jp/shiraberu/senmonjoho/sake/shiori-gaikyo/seizojokyo/2009/pdf/01.pdf>
- 4) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センター, P プレスリリース, すっきりした日本酒ができる低グルテリン酒米新品種「みずほのか」を育成, http://wenarc.naro.affrc.go.jp/pre/20071003/20071003_document_cgk.pdf
- 5) Champagne E T, Wood D F, Juliano B O *et al.*: Chapter 4 The Rice Grain and Its Gross Composition. *Rice: Chemistry and Technology third edition*. Champagne E T. Minnesota, USA, AACC. 93-94, 2004
- 6) 古川幸子: 米タンパク質がもたらす食味と酒造掛米適性の美味しい関係. 醸協 103: 145-149, 2008
- 7) Yoshizawa K and Ogawa Y: Chapter 18 Rice in Brewing. *Rice: Chemistry and Technology third edition*. Champagne E T. Minnesota, USA, AACC. 546, 2004
- 8) 国税庁鑑定企画官, 全国市販酒類調査の結果について, <http://www.nta.go.jp/shiraberu/senmonjoho/sake/shiori-gaikyo/seibun/2010/pdf/01.pdf>
- 9) 国税庁告示第 8 号, 清酒の製法品質表示基準を定める件, <http://www.nta.go.jp/shiraberu/senmonjoho/sake/hyoji/seishu/kokuji891122/03.htm>
- 10) 月桂冠株式会社, 日本酒度、酸度、アミノ酸度 (酒の成分と味わいの関係), <http://www.gekkeikan.co.jp/enjoy/encyclopedia/00145.html>
- 11) 秋田修, 荒巻功, 木崎康造他: 醸造物の成分 清酒編. 石川雄章. 東京, 財団法人日本醸造協会. p21-33, p63-76, 1999
- 12) 吉沢淑, 鈴木大介, 進藤斉他: 清酒香気成分添加の香味への影響. 醸協 92: 217-223, 1997
- 13) Williams AA: Flavour research and the cider industry. *J. Inst. Brew.* 80, 455-470, 1974
- 14) 池見元宏, 斎藤久一, 小泉武夫他: タイプ別清酒の成分比較について (1) 成分及香気組成の比較. 醸協 79: 119-123, 1984
- 15) Yoshioka, K and Hashimoto N: Ester formation by alcohol acetyltransferase from brewer's yeast. *Agric. Biol. Chem.* 45, 2183-2190, 1987
- 16) Yoshioka K and Hashimoto N: Cellular fatty acid and ester formation by brewer's yeast. *Agric. Biol. Chem.* 47, 2287-2294, 1983
- 17) 原昌道: 新版, 醸造成分一覽. 東京, 財団法人日本醸造協会. p17, 1977
- 18) 秋田修, 蓮尾徹夫, 高橋康次郎他: 後発酵における酵母による香気成分の生成. 醸協 82: 703-708, 1987
- 19) 秋田修, 井田哲朗, 小幡孝之他: β -フェネチルアルコール, 酢酸 β -フェネチル高生産性酵母の遺伝的背景と清酒醸造への利用. 醸協 85: 501-505, 1990
- 20) 高橋康次郎: 求められる清酒の機能性. 醸協 85: 286-292, 1990
- 21) 近藤恭一, 中沢英五郎, 草間透他: 生貯蔵酒の有機酸, アミノ酸組成. 醸協 78: 760-762, 1983

- 22) 日本酒サービス研究会・酒匠研究会連合会, 日本酒のタイプ分類, www.sakejapan.com/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=43
- 23) 有限会社酒の阿波屋, きき猪口, <http://www.sempuku.co.jp/kenkyu/kiso.html#kikisake>
- 24) 株式会社三宅本店, お酒の基礎知識～きき酒について, <http://www.sempuku.co.jp/kenkyu/kiso.html#kikisake>
- 25) 佐藤俊一: 実践きき酒セミナーテキスト, 東京, 財団法人日本醸造協会, 2007
- 26) 宇都宮仁: 清酒の官能評価分析における香味に関する品質評価用語及び標準見本. 醸協 **101**: 730-739, 2006
- 27) 津川裕司, 小林志寿, 馬場健史他: メタボリックプロファイリングによる食品/生薬の品質評価. 化学と生物 **49**: 683-688, 2011
- 28) Griffith F and Gauntner J: *Sake pure + simple Electric Edition 2002*, California, USA, Stone Bridge Press. ISBN 1-880656-37. X. 2002
- 29) 古川幸子: 米の特性を活かした新しい清酒の開発～産学官連携の成果を商品化へ～. *New Food Industry* **52**: 25-33, 2010
- 30) Auld W. HomeBrewSake, <http://homebrewsake.com/home/>
- 31) Furukawa S: Sake: quality characteristics, flavour chemistry and sensory analysis. *Alcoholic beverages: Sensory evaluation and consumer research*, Piggott J. R. Cambridge, UK, Woodhead Publishing Limited, ISBN 0 85709 051 8. 2011

シロザケ飼料の魚油添加効果— 1

酒本 秀一^{*1} 大橋 勝彦^{*2}

^{*1} SAKAMOTO Shuichi, ^{*2} OHASHI Katsuhiko ^{*2} (日本ドナルドソントラウト研究所)

Key Words: シロザケ用飼料・魚油添加・摂餌性・肥満度・魚体脂質含量・絶食耐性・回復能力・海水馴致能

前報¹⁾で放流されたシロザケ稚魚,特に早期放流魚は「①かなり長期間河川に滞留していること。②河川で餌の量が不足しているのか,降海時にはかなり痩せており,飢餓状態にあると考えられること。③絶食期間中は主として蓄積脂質がエネルギー源として利用されているためか,魚体の脂質含量の減少が著しいこと。④魚体の脂質含量によって絶食耐性,絶食後の再摂餌による回復能力,海水馴致能などに大きな違いが出ること。⑤魚体成分の脂質は,含量も脂肪酸組成も飼料の影響を強く受けること。」等を説明した。

本試験では,シロザケ用飼料に数段階の量で魚油を添加した場合,どの様な効果が認められるかを調べた。試験手順は前報¹⁾と同じで,飼育試験,絶食試験,回復試験,海水馴致試験の順に行った。

飼育試験

1. 方法

1-1. 飼育条件

水槽 :150 L 容角形塩ビ水槽,魚の収容密度 :1000尾/水槽,水温 :9℃,給餌率 :ライトリッツ給餌率,給餌回数 :2回/日。

1-2. 試験飼料

市販のシロザケ用飼料を対照とし,これに日本科学飼料(株)製のスケトウダラ肝油を外割で3%,8%および13%添加した4試験区を設定した。それぞれの飼料の一般成分,油脂性状(試験終了時に測定),脂肪酸組成を表1に示す。炭水化物量は計算(炭水化物=100-その他成分)で求めた。カロリー量もタンパク質 :4 Cal,脂質 :9 Cal,炭水化物 :2 Cal/gとして計算で求めた。炭水化物のカロリー量が陸上動物で求められている値より小さいのは,魚,特に肉食性が強い魚では炭水化物の利用能が著しく低く,シロザケもこのグループに入ることが知られているからである。

当然のことながら魚油の添加量が増えるに従って飼料の脂質含量とカロリー含量が増え,相対的にその他の成分が減っている。脂肪酸組成では $\Sigma n3$ は魚油の添加によって大きな影響を受けていないが, $\Sigma n6$ は著しく減少している。従って, $\Sigma n3/\Sigma n6$ は増加している。なお,各飼料の酸価(AV)と過酸化価(POV)から,添加魚油の品質劣化が無かったことが分かる。

1-3. 魚体測定

飼育試験開始時(2月12日),中間時(3月4日),終了時(4月5日)に各区から100尾ず

表1 試験区と飼料の分析値

試験区	A	B	C	D
魚油添加量 (% 外割)	0	3	8	13
一般成分				
水分 (%)	7.7	7.8	7.3	7.2
タンパク質	50.5	47.6	45.5	43.8
脂質	6.9	10.5	15.4	18.0
灰分	11.1	11.0	10.3	10.1
炭水化物	23.8	23.1	21.5	20.9
Cal (Cal/100g)	311.7	331.1	363.6	379.0
油脂性状				
酸価 (mg/g)	21.9	14.6	8.5	6.7
過酸化物価 (meq/Kg)	5.7	5.9	5.0	5.2
脂肪酸組成				
14:0 (%)	3.3	3.6	3.7	3.7
16:0	17.9	15.9	13.6	12.8
16:1	3.0	4.2	5.0	5.3
18:0	4.5	3.8	3.0	2.8
18:1	16.6	16.0	15.2	15.1
18:2n6	13.5	8.8	6.0	5.1
18:3n3	1.7	1.2	1.0	-
18:4n3	1.4	1.6	1.8	1.9
20:1	4.3	6.2	8.4	9.0
20:4n6	1.3	1.1	-	-
20:5n3	5.8	7.6	8.9	9.2
22:1	4.2	7.2	10.7	11.9
22:5n3	1.2	1.4	1.4	1.4
22:6n3	13.9	13.0	11.1	10.4
Σn3	24.0	24.8	24.2	22.9
Σn6	14.8	9.9	6.0	5.1
Σn3/ Σn6	1.62	2.51	4.03	4.49

表2 飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D
生残率 (%)	100	100	100	100
増重量 (g)	1366	1131	1194	1140
給餌量 (g)	1187	1187	1187	1187
飼料効率 (%)	115	95	101	96

表3 魚体測定の結果

時期 試験区	開始時	終了時			
		A	B	C	D
体重 (g)	0.36	1.81	1.56	1.63	1.57
尾叉長 (cm)	3.80	5.97	5.71	5.80	5.71
肥満度	6.57	8.35	8.19	8.19	8.29

つサンプリングした。魚を FA100 で麻酔し、ペーパータオルで水を拭き取り、ノギスで尾叉長、電子天秤で体重を測定した。それぞれの値から肥満度 (体重×1000/尾叉長³) を計算で求めた。

1-4. 魚体成分

魚体測定用にサンプリングした魚をそのまま一般成分と脂肪酸組成の分析に用いた。分析は定法によった。

2. 結果

2-1. 飼育試験

飼育試験の結果を表2に示す。いずれの区も飼育期間中に死魚は無かった。給餌時に飼料に集まる活性や食べるスピードなどから判断した飼料の摂餌性は、魚油添加飼料は飼育初期から中期にかけていずれも無添加飼料より劣っていたが、後期には回復し、各飼料とも違いが無くなった。成長と飼料効率 (増重量×100/給餌量) は魚油無添加区が最も良く、添加区間では魚油の添加量と成長並びに飼料効率との間に相関は認められなかった。

2-2. 魚体測定

魚体測定の結果を表3に示す。飼育試験終了時の肥満度は成長同様魚油無添加区が最も高かった。添加区では添加量が多くなるにつれて肥満度が高くなる傾向が有るように思えるが、明確ではない。

2-3. 魚体成分

表4に飼育試験開始時と終了時の魚体の一

表4 魚体成分の変化 (一般成分)

時期 試験区	開始時	終了時			
		A	B	C	D
水分 (%)	80.5	79.5	79.6	78.3	78.5
タンパク質	15.4	15.1	15.0	14.9	14.9
脂質	3.0	3.5	4.3	5.4	5.7
灰分	4.6	1.9	1.8	1.8	1.8

般成分, 表5に脂肪酸組成を示す。また, 飼料のカロリー量と魚体の脂質含量の関係を図1に示す。魚油の添加量, 飼料のカロリー量の増加に従って魚体の脂質含量が増え, 相対的に他の成分が減っている。その傾向は飼育期間が長くなるにつれ, より顕著になる。魚体

の脂肪酸組成は飼料の脂肪酸組成を反映している。

3. 要約

魚油添加区の成長, 飼料効率, 肥満度が無添加区より低かったのは, 飼育初期に魚油添加飼料の摂餌性が悪かったことによる。飼育期間が長くなるにつれて摂餌性は回復してきたが, 完全に回復したのは魚体重が約1g位になってからであった。その結果, 飼育終了時まで成長, 飼料効率, 肥満度が完全に回復するには至らなかったものと思われる。

魚体の脂質含量は飼料への魚油添加量が多くなるに従って高くなっており, 脂肪酸組成も飼料の脂肪酸組成を明確に反映していた。

前報¹⁾の結果から, 魚体の脂質含量が高い魚は絶食耐性が高いと推定出来る。脂質含量が高い魚を生産するには, 飼料に魚油を添加して飼育すれば良い。但し, 魚油添加飼料は餌付け時に摂餌性が悪く, その影響が約1gの大きさになるまで残り, その結果として成長や飼料効率が劣ることが問題である。餌付け用飼料への魚油添加の可否, 摂餌促進物質の添加, 飼料の給与法などを検討する必要がある。

絶食試験

1. 方法

4月5日に飼育試験が終了したので, 残りの魚をそのまま絶食試験に用いた。開始時尾数は800尾/区で, 無給餌である以外は飼育試験と同じ条件である。試験期間は4月5日から5月16日, その間5月1日と5月16日に各区から100尾ずつサンプリングし, 魚体測定と成分分析を行った。

表5 魚体成分の変化 (脂肪酸組成)

時期 試験区	開始時	終了時			
		A	B	C	D
14:0 (%)	2.8	2.5	2.9	3.1	3.1
16:0	13.8	17.0	15.2	13.6	12.9
16:1	4.5	3.0	4.0	4.9	5.2
18:0	4.9	4.9	3.9	3.3	3.0
18:1	20.3	19.8	18.5	18.1	17.7
18:2n6	1.4	11.2	8.0	6.1	5.3
18:3n3	-	1.3	1.1	1.0	-
18:4n3	-	-	1.1	1.3	1.3
20:1	1.3	3.5	5.4	7.3	7.8
20:4n6	1.4	1.4	1.2	1.0	-
20:4n3	1.7	-	-	-	-
20:5n3	10.7	3.6	4.9	5.7	6.0
22:1	-	2.0	4.1	6.3	7.0
22:5n3	5.8	1.5	1.6	1.7	1.7
22:6n3	22.5	18.6	19.5	17.2	17.7
Σn3	39.0	25.0	28.2	26.9	26.7
Σn6	2.8	12.6	9.2	7.1	5.3
Σn3/Σn6	13.9	2.0	3.1	3.8	5.0

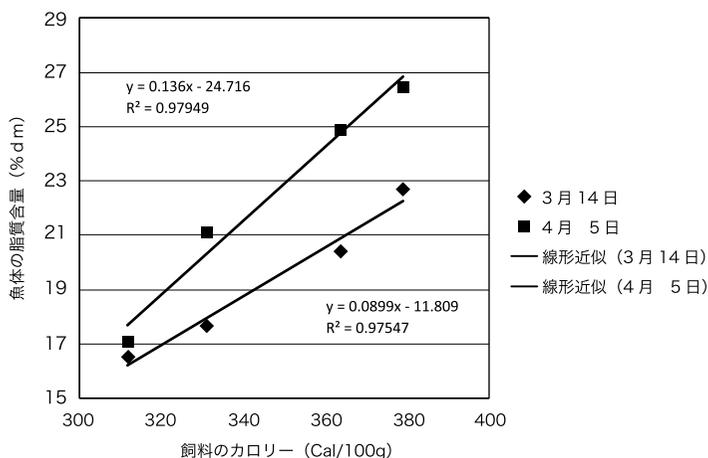


図1 飼育試験中の魚体脂質含量の変化

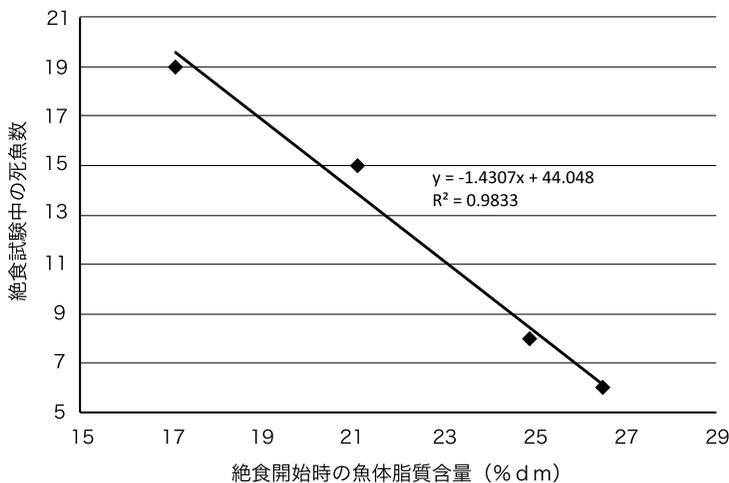


図2 絶食開始時の魚体脂質含量と絶食期間中の死魚数

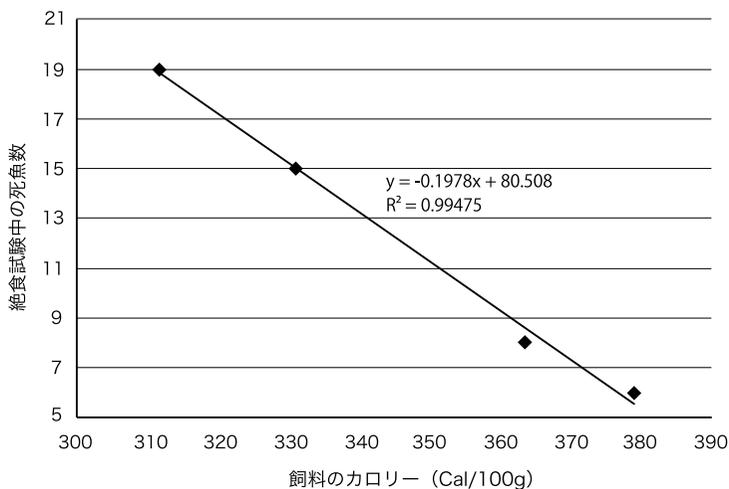


図3 飼料のカロリーと絶食期間中の死魚数

2. 結果

2-1. 死魚数

試験期間中の死魚数はA区19尾(死魚の平均肥満度:5.88), B区15尾(肥満度:5.96), C区8尾(肥満度:5.28), D区6尾(肥満度:5.27)であり, 絶食開始時に魚体の脂質含量が高いほど死魚数が少なく, 死魚の肥満度が小さい。これは魚体の脂質含量が高いほど, 肥満度が小さい衰弱の進んだ魚しか死亡しないと云うことである。

絶食開始時の魚体の脂質含量と死魚数の関

係を図2, 飼料のカロリー量と死魚数の関係を図3に示す。いずれにも強い負の相関が認められる。つまり, 飼料の脂質含量が高く, カロリー量が高い飼料で飼育した魚は魚体の脂質含量が高くなり, 魚体の脂質含量が高い魚は絶食耐性が強い。

2-2. 肥満度

絶食試験中の肥満度の変化を表6に, 絶食試験開始時の魚体脂質含量と絶食試験終了時の肥満度との関係を図4に示す。絶食開始時に魚体の脂質含量が高い区ほど絶食期間中の肥満度の

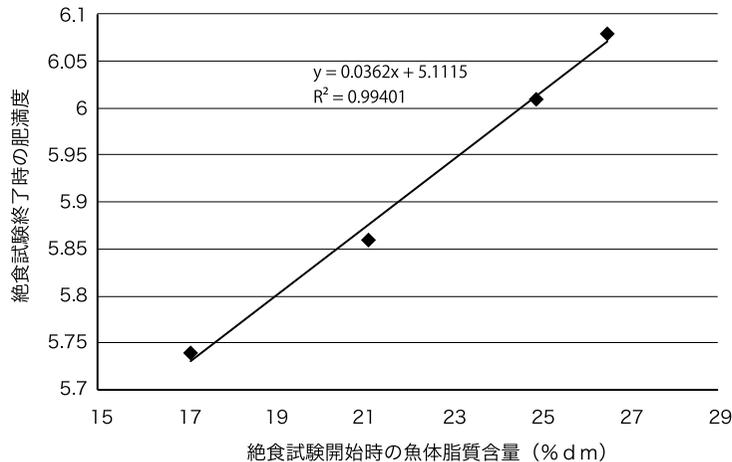


図4 絶食試験開始時の魚体脂質含量と絶食試験終了時の肥満度

表6 絶食試験中の肥満度変化

試験区	A	B	C	D
4月5日	8.35	8.19	8.19	8.29
5月1日	6.50	6.49	6.60	6.58
5月16日	5.74	5.86	6.01	6.08
減少-1	-1.85	-1.70	-1.59	-1.71
減少-2	-0.76	-0.63	-0.59	-0.50

(注) 減少-1:4月5日から5月1日の肥満度変化
減少-2:5月1日から5月16日の肥満度変化

表7 絶食試験中の魚体脂質含量の変化

試験区	A	B	C	D
4月5日	17.1	21.1	24.9	26.5
5月1日	9.7	11.9	16.9	18.9
5月15日	6.9	8.3	12.4	16.8

(注) 数字は%乾物

減少が少ない傾向が認められ、特に絶食後期に明確であった。また、絶食試験終了時の肥満度も絶食開始時の魚体の脂質含量と強い相関が認められた。

2-3. 魚体成分

絶食試験中の魚体脂質含量の変化を表7に示す。絶食開始時に魚体の脂質含量が高い区ほど絶食後も魚体の脂質含量が高い。これが絶食期間中の死魚数に反映されているのであろう。

3. 要約

絶食後の肥満度は、絶食前に魚油の添加量が多く、カロリー量が高い飼料で飼育された区の方が大きく、この傾向は絶食期間が長くなるにつれてより顕著になる。これが絶食期間中の死魚数に反映されているものと思われる。

絶食試験中魚体の脂質含量は著しく減少した。蓄積脂質が絶食時の主たるエネルギー源になっているのであろう。減少の程度を区間で比較してみると、それ程大きな違いは認められないので、絶食時に各区の魚の代謝量に大きな違いは無いものと思われる。これらの結果から、絶食開始時に魚体に脂質が十分量蓄積していることが重要であるといえる。

回復試験

絶食試験終了時には各区とも餓死魚がはじめていた。このような状態にある魚に再び飼料を与えると回復出来るか否かを調べる。

シロザケ稚魚の放流魚、特に早期放流魚は河川を下って海に入る時にはかなり痩せていることが知られている。この試験は、このような魚が海に入って摂餌を再開すると十分に回復出来るか否かを推測するのが目的である。

1. 方法

絶食試験で生き残った魚を全て用い、再び飼育試験と同じ飼料を与えて飼育を継続した。最初の数日間は魚に急に大きな負担を与えないように少量の給餌に止め、その後は毎日十分量の飼料を与えた。飼育期間は5月16日から6月11日である。その間5月28日に各区から100尾、6月11日に50尾をサンプリングし、魚体測定と魚体成分の分析を行った。

2. 結果

2-1. 死魚数

回復試験中の死魚数はA区83尾（肥満

度:6.45), B区26尾(肥満度:6.21), C区21尾(肥満度:5.67), D区9尾(肥満度:5.89)であった。回復試験開始時に魚体の脂質含量が少なかった区ほど死魚数が多く、しかも肥満度が比較的大きな魚まで死亡している。また、絶食試験中よりも回復試験に入ってからの方が死魚数が多かった点に注意する必要がある。一定以上に魚が衰弱すると、餌を食べる活力が無くなったり、食べても消化・吸収する能力が無くなっている可能性が有る。

回復試験開始時の魚体の脂質含量と死魚数の関係を図5に示す。この結果は、グループ内の一部の魚が餓死する様な状態で、魚体の脂質含

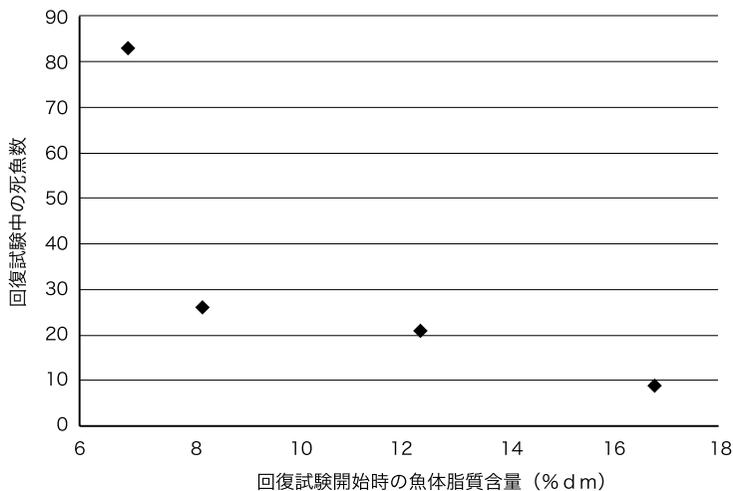


図5 回復試験開始時の魚体脂質含量と回復試験中の死魚数

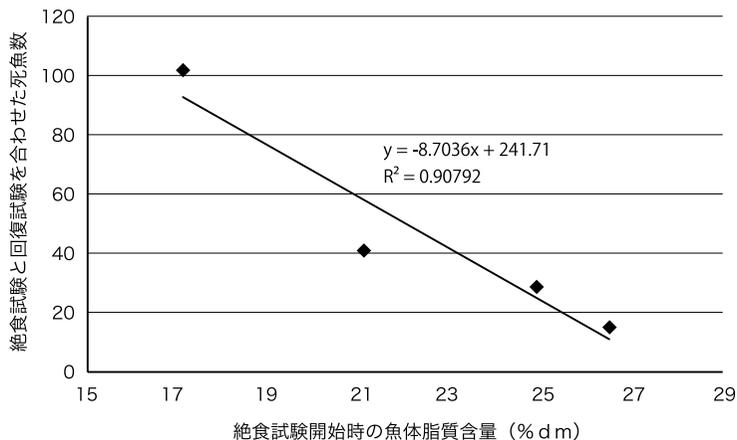


図6 絶食試験開始時の魚体脂質含量と絶食試験と回復試験を合わせた死魚数

量が非常に少なくなってしまうと、摂餌を再開しても簡単には回復しないことを示している。また、この結果では魚体の脂質含量と死魚数の間に綺麗な相関が認められなかったため、絶食試験開始時の魚体脂質含量と絶食試験と回復試験を合わせた死魚数との関係を調べたのが図6である。両者の間には強い負の相関が認められる。これは回復試験に入ってもある程度以上に衰弱が進んだ魚は摂餌していないか、摂餌していても殆ど消化・吸収されていないことを示している。

シロザケ稚魚が海に入る時にどの程度の魚体脂質含量があれば良いかと、そのような魚にするために放流時にどのような魚にしておけば良いかを十分に検討する必要がある。

2-2. 肥満度

回復試験中の肥満度の変化を表8に示す。各区とも試験開始時の肥満度の傾向をそのまま終了時まで継続している様である。A区の肥満度の増加が他区より大きい様に見えるが、これはグループ内で肥満度の小さい魚が多数死亡したため、生き残った魚の肥満度を大きくしたのではないと思われる。

2-3. 魚体成分

回復試験中の魚体脂質含量の変化を表9に示す。魚油無添加のA区に比べ、添加区(B-D区)の脂質含量の増え方が明らかに多い。飼料への魚油の添加量と魚体の脂質含量の関係をみると、魚油の添加量とは関係なく一定量の脂質が魚体に蓄積され、しかも期間中殆ど一定の率で蓄積が進んでいる様である。飼料への魚油の添加量が多い区ほど多くの脂質が蓄積され、しかも回復試験の初期に多くの脂質が蓄積されるのではないかと推定していたので、この結果は意外であった。極限まで魚体の蓄積脂質が減少してしまっただけで、餌から取り込まれる脂質量が少なくても優先的に魚体へ蓄積するのもかも知れない。

表8 回復試験中の肥満度変化

試験区	A	B	C	D
5月16日	5.74	5.86	6.01	6.08
5月28日	6.99	6.91	7.25	7.39
6月11日	7.50	7.37	7.49	7.80
増加-1	+1.25	+1.05	+1.24	+1.31
増加-2	+0.51	+0.46	+0.24	+0.41

(注) 増加-1:5月16日から5月28日の肥満度変化
増加-2:5月28日から6月11日の肥満度変化

表9 回復試験中の魚体脂質含量の変化

試験区	A	B	C	D
5月16日	6.9	8.3	12.4	16.8
5月28日	9.2	12.4	16.6	20.5
6月11日	11.6	16.6	19.9	24.8

(注) 数字は%乾物

3. 要約

回復試験中も飼料の魚油添加量が少ない区ほど死魚数が多かった。これは絶食試験終了時に回復不可能な状態になっていた魚が引き続き死亡したものと思われる。死亡魚が少なくなるのは、回復試験開始後10日目以降であった。

回復試験が長くなるにつれ、各区とも魚体の脂質含量が高くなり、魚が絶食による衰弱から次第に回復していることを窺わせる。但し、魚油添加区では添加量と関係なく、略一定の割合で回復が進んでいるようである。

回復試験中も絶食試験中同様、飼料への魚油添加量が少ない区ほど肥満度が比較的大きな魚も死ぬ傾向が有る。魚体の脂質含量の問題ではないと思われる。

回復試験の後期には各区の肥満度の分布様式が乱れて来るが、これは飼料への魚油の添加量が少ない区死魚数が非常に多いことと、比較的肥満度が大きな魚も死亡したことによると思われる。蓄積脂質量が多くて肥満度が高い魚のみが生き残り、生残尾数も少なくなったので肥満度の分布が高い方に移行したのであろう。

魚が死亡する主たる要因は肥満度ではなく、魚体成分の要因、主として脂質含量によってい

る可能性が高い。多分、絶食期間中は魚体の蓄積脂質が生存のエネルギー源として利用され、脂質が一定量以下に減少し、体タンパク質がエネルギー源として分解されるようになると死亡が始まるのではないかと推定している。

現在、現場で利用されている肥満度7の生存限界曲線（尾叉長と体重の関係で、肥満度7の点を結んだ線）は、使用する飼料の脂質含量によって将来見直す必要が出てくるのではないかと思われる。但し、肥満度が7以上であれば絶食によって簡単に死亡することは無いので、現場で肥満度7の指標の有効性が問題になることは無いと思われる。

海水馴致試験

シロザケ稚魚が海に下っても海水に馴染めずに死んでしまっただけでは放流の意味が無い。よって、回復試験後の魚を用いて海水馴致試験を行った。この試験は絶食試験終了時の魚を用いて行うべきものであったが、諸般の事情で回復試験と同時に実施することが出来なかった。よって、この試験は今後の参考資料を得るために行ったもので、絶食試験後の魚の海水馴致試験は後日実施する予定である。

1. 方法

回復試験終了時に残っていた魚を各区60尾ずつ用いた。回復試験後の魚であるので、栄養状態は比較的良くなっていた。3.3%濃度の人工海水を各区35L調製し、これに直接魚を収容して水温9℃、止水・通気状態で48時間放置した。48時間後に各区の死魚数と死魚の状態を調べた。

2. 結果

A区の死魚数は0尾（死亡率:0%）、B区は2尾（死亡率:3.3%）、C区は1尾（死亡率:1.7%）、

D区は0尾（死亡率:0%）であった。B区とC区の死魚は魚体と海水の浸透圧の差によって脱水されたのかも知れないが、グループ内ではかなり痩せた魚であった。各区殆ど死魚が出なかった（死魚数:0-2尾/60尾）ので、魚の海水馴致能に区間差は無いと判断した。

3. 要約

飼料への魚油添加量の多少に関わらず、回復試験において栄養状態が回復した魚は海水馴致能に違いが認められなかった。シロザケ稚魚の早期放流魚は長期間河川に滞留し、海へ下る時にはかなり痩せていると云われている。降海時の魚の肥満度並びに脂質含量と海水馴致能の関係を明らかにしておく必要がある。

考察

シロザケ稚魚の餌付け用飼料に魚油を添加すると摂餌性が悪く、成長他にかなり長い間悪影響を及ぼす。魚油添加飼料の摂餌性が回復したのは魚が約1gになってからであった。シロザケ稚魚の餌付け用飼料には魚油を添加しない方が良いと思われる。

シロザケ稚魚では未だ十分に卵黄が吸収・消費されないうちに給餌を開始するのが一般的である。卵黄には高濃度に脂質が含まれている。卵黄の脂質の利用を優先させるため、魚油を添加した飼料の摂取を抑制している可能性も有る。

この結果は能勢ら²⁾の報告にある「1g以下の稚魚、特に0.5gの稚魚は絶食の初期から全消費エネルギー中に占める脂質の割合は少なく、体タンパク質の消費割合が多い。」と通じるものがある。今回の試験で魚油添加飼料を与え始めたのは平均体重が0.36g、魚油添加飼料の摂餌性が明らかに回復したと思われたのが約1gの時であった。

魚の成長はタンパク質の摂取量に比例することが知られているので、シロザケ用餌付け飼料は高タンパク質・低脂質にすべきなのかも知れない。これから十分に検討すべきである。

高タンパク質・低脂質飼料から高脂質・高カロリー飼料に切り替えるべきタイミングを今後明らかにする必要がある。経時的に卵、孵化仔魚、稚魚の脂質含量を調べ、脂質含量が最も少なくなる時に合わせて魚油添加飼料に切り替えれば良いのかも知れない。

魚の状態を判断するための指標として用いられている肥満度は、従来の魚油無添加飼料で飼育された魚には有効であるが、魚油添加飼料で飼育された魚には不十分であると思える。魚体成分、特に脂質含量と肥満度の組み合わせで判断すべきであると考ええる。

能勢ら²⁾もシロザケ稚魚の絶食時生残可能日数は、絶食開始時に魚体に蓄積した脂質量によって影響され、脂質量が多い魚は絶食耐性が高いことと、飼料への油の添加量は10%で十分であることを報告している。本試験で得られた結果でも、飼料への魚油の添加量が0-13%の範囲であれば、添加量が多い区ほど絶食試験と回復試験中に死亡する魚の数が少なかった。しかしながら、魚油添加飼料は餌付け時の摂餌性の悪さが最後まで影響し、成長は魚油無添加飼料区より劣っていた。よって、本試験の結果からシロザケ用飼料の至適魚油添加量を決めるのには無理がある。餌付け時の投餌法の改善や飼料への摂餌促進物質の添加、魚油無添加飼料から添加飼料への最適な切り替え時期の確認などを行い、シロザケ用飼料の至適脂質含量を明らかにする必要がある。

脂肪酸組成については竹内ら³⁾が、「シロザケ稚魚は必須脂肪酸欠乏に著しく敏感な魚で、必須脂肪酸としてリノール酸(18:2n6)、リノレン酸(18:3n3)、n3系高度不飽和脂肪酸

(n3HUFA)のいずれにも効果が有り、成長促進効果は $n3HUFA > 18:3n3 > 18:2n6$ である。また、最大成長に必要なそれぞれの要求量は18:2n6と18:3n3は約1%、n3HUFAであれば0.5-1.0%と推定される。」と報告している。

それぞれの脂肪酸含量の目安として、表1の飼料分析値から脂質含量×各脂肪酸組成比を計算してみると、いずれの魚油添加飼料もシロザケ稚魚の必須脂肪酸の要求量は満たしている様である。必須脂肪酸の要求量は満たしているのに魚油添加量が多い区の魚ほど絶食耐性が高く、絶食からの回復能も強いと云うことは、やはり魚体への蓄積脂質量と質が問題になるのであろう。

能勢ら²⁾はシロザケ稚魚の体内蓄積脂質の主体は中性脂質であり、特にオレイン酸(18:1n9)は良く蓄積され、消費される点でエネルギー源として重要な役割を果たしていることと、絶食中に最も良く消費されるオレイン酸を体内に蓄積させる点で牛脂は効果的であり、8.5℃の低水温でも牛脂の添加量が5%までならば、魚油と同様に利用されることを報告している。シロザケ用飼料に適した添加油の組成も検討すべきである。

当然シロザケ稚魚が放流される河川によって違いは有ろうが、真山ら^{4,5)}は千歳川他に放流された稚魚の追跡調査を行い、魚体の脂質含量はいずれの系群でも放流後低下し、タンパク質が上昇する傾向が有ることから、放流後の魚の餌料環境が決して良好なものとはいえないと報告している。

本試験と今後の検討によって、それぞれのシロザケ稚魚生産場で放流時に魚をどの様な状態にしておくのが理想的であるかが分かれば、放流魚の生残率がより高くなり、親魚の回帰率も高くなることが期待できる。

..... 文 献

- 1) 酒本秀一, 大橋勝彦: 飼料の違いがシロザケ稚魚に与える影響. *New Food Industry*, **54**(2),41-48 (2012)
- 2) 能勢健嗣, 村井武四, 秋山敏男: シロザケ放流種苗の栄養特性-5ヶ年の研究のとりまとめ-. さけ別枠 1981 河川型研究グループレポート, 189-204 (1982)
- 3) 竹内俊郎, 渡辺武, 能勢健嗣: 淡水期間中におけるシロザケの必須脂肪酸. 日本水産学会誌, **45**(10), 127-131 (1979)
- 4) 真山紘, 関二郎, 清水幾太郎: 千歳川に放流された稚魚の降海移動 (1980年). さけ別枠 1980 河川型研究グループレポート, 175-184 (1981)
- 5) 真山紘, 関二郎, 清水幾太郎, 野村哲一, 大熊一正: 石狩沿岸におけるサケ稚魚の分布・移動(1979, 1980年). さけ別枠 1980 河川型研究グループレポート, 185-198 (1981)

おからの有効利用を考える

一森 勇人^{*1} 田中 達治^{*2} 柴山 和也^{*3}

^{*1} ICHIMORI Hayato, ^{*2} TANAKA Tatsuji (阿南工業高等専門学校), ^{*3} SHIBAYAMA Kazuya (藤崎電機株式会社)

Key Words : おから・食物繊維・イソフラボン・サポニン・レシチン・バイオ燃料

はじめに

わが国の食料自給率は、約 40% である。農水省 2008 年発表のデータによると、自給率は、野菜類 79%, 果実 39%, ミカン 94%, リンゴ 56%, キノコ 81%, 魚介類 52%, 海藻類 67% であり、コメは 100% である。一方肉類、乳製品、油脂類飼料を輸入依存しているために数字が低くなっており、豚肉 5%, 牛肉 10%, 鶏肉 7%, 卵 9% となっている。問題は日本の伝統的な食品を形成する大豆が 3%, ウドンなどの小麦が 13% であり、油脂類が 13% ということである。これらの中で、日本の農業の特異性を考えた場合、大豆、小麦以外は輸入依存でいいのかもしれない。私は日本の農業の課題は「食料自給率引き上げ」ではなくて「大豆と小麦の増産計画」ではないかと考えている。ここでは、食糧自給率の問題には、これ以上触れないが代表的な日本食が海外からの輸入で成り立っていることは、エネルギー自給率 4% であることとともに、日本の将来に重荷となっていると考えている。

ところで、輸入された大豆から豆腐を作る過程でできるおからは、年間 65 万 t もの産業廃棄物になっている。このおからの有効活用は、大豆の増産とおなじ効果をもち、おからから飼料（鶏、豚、牛）を作れば、食糧自給率の改善に役立つことができる。さらに、肥料、食品を

作ることも可能であり、バイオ燃料、健康成分の抽出を提案したい。

1. おからとは

「おから」は絞るかすの意で茶殻の「がら」などと同源の「から」に丁寧語の「御」をつけたもので、女房言葉のひとつ。「から」が空に通じるとして、縁起を担いで、白いことから卯の花（うのはな、主に関東）、包丁を使わず切らずに食べられるところから雪花菜（きらず、主に関西）などと言いかえることもある。「おから」自体も「雪花菜」の字をあてる。

本来が廃物であるところから、値段はごく安価で庶民的な食品である。場合によっては豆腐屋が無料で分け与えたり、捨てたりすることが、古く江戸時代からあった。現在では食品としての需要が供給を大きく下回り、また品質の劣化が早く日持ちがしないため、家畜の飼料として一部を活用して脱水して保存性を高めて供給されるほかは、ほとんどが廃棄されている。

2. おからの栄養価

豆腐を作った後の残渣物だが、栄養的には優れている。一般分析値を見れば、乾物中 1kg

あたりの粗蛋白質は約 26%，粗脂肪は約 13%，可溶無窒素物が約 33%，粗繊維が約 15% と非常に栄養価が高い。通常は水分を約 75% から 80% 含む状態で流通している。含まれている粗脂肪（油分）の約 50% は不飽和脂肪酸のリノール酸である。また、おからには脳の記憶力を高めるホスファチジルコリン（レシチンとも）が豊富に含まれている。記憶に関連した脳内物質としてアセチルコリンがある。アセチルコリンを作るにはコリンという物質が欠かせない。その前駆物質がホスファチジルコリンであり、ネズミにコリンを与えたところ、記憶力が良くなったという報告もある。たんぱく質，食物繊維，ミネラル等が豊富なため，大腸ガンの予防や整腸作用，脳の記憶力アップ，老化防止の効果があるといわれている。

おからの栄養価

高タンパクで低脂肪・低カロリーな食品であるだけでなく，注目すべき栄養素が非常に多く含まれている（表 1）。

表 1 おからの栄養価
(五訂日本食品標準成分表より)

エネルギー	111kcal
たんぱく質	6.1g
脂質	3.6g
炭水化物	13.8g
ナトリウム	5mg
カリウム	350mg
カルシウム	81mg
マグネシウム	40mg
リン	99mg
鉄	1.3mg
亜鉛	0.6mg
銅	0.14mg
ビタミン E	0.7mg
ビタミン K	8μg
ビタミン B ₁	0.11mg
ビタミン B ₂	0.03mg
葉酸	14μg
コレステロール	0
食物繊維	11.5g

(100g 当たり)

何といっても食物繊維の量が 100g 中 11.5g というのは，ごぼうの約 2 倍に当たる。おからの食物繊維は「セルロース」という水に溶けないタイプのものである。このセルロースは，腸のぜん動運動を促してくれるため便秘の解消にもなり腸内の残留物を掃除してくれるので，大腸ガンの予防にもつながる。

■イソフラボン更年期障害の改善

骨粗鬆症・乳がん・前立腺がんの予防効果，高血圧・コレステロールの抑制，循環器疾患のリスク軽減

■サポニン

脂肪の吸収を妨げる

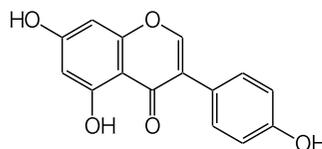
活性酸素の働きを抑制

腸を刺激し便通をよくする

生活習慣病や老化防止，発ガン抑制，エイズ，発症抑制

■レシチン

血管に付着したコレステロールを溶解し，動脈硬化を予防する，物忘れなど脳の老化の予防



ゲニステイン（フラボノイドの一種）

3. おから研究のきっかけ

本校では問題解決学習として海水からにがりを作り，豆乳とあわせて豆腐を授業で作っている。この授業の目的は，海から誕生したと言われる生命を海水から創ろうというものである。とくに，2 価の陽イオンである Mg^{2+} , Ca^{2+} が関係して蛋白が重合することを学習することを狙いとしている。この実験で，得られる豆腐に比べて，大量に出てくるおからの量に学生は驚か

されるようである。このおからの有効活用を学生に提案されさせたところ、非常に熱心に取り組む学生が現れた。この学生は、卒業研究としておからの有効活用に取り組み、この研究成果が特許を取得した。

3-1. 学生からの提案 1

おからからバイオ燃料開発

おからのバイオ燃料への再利用技術は、原油価格が高騰している昨今の社会背景の中、重要である。静岡油化工業株式会社は、原料にしたバイオエタノールの製造技術を開発したが、これはおから成分中の炭水化物をエタノール発酵させたものである。しかし、大豆には脂質が含まれており大豆油を精製できる。おからにも脂質が4%含まれているので、炭水化物のエタノール発酵を合わせて、バイオ燃料にすることが可能である。我々の研究室では、まず、おからからバイオ燃料を取り出そうと試みた。しかし、脂質成分の取り出しには成功したが、タンパク質が混ざっており、これをさらに精製しなければバイオ燃料として使用することはできなかった。ここで、我々は、研究目的をバイオ燃料から健康成分の抽出に変更した。すでに、おからから脂質、タンパク質の分離には成功しており、燃料をして利用するより健康食品として利用した方が高付加価値が得られると判断した。

3-2. 学生からの提案 2

おからから有効成分の抽出

大豆から大豆油を戦前は、圧力により搾り出していたが、近年ではヘキサンを用いて抽出している。当初、ヘキサンで抽出を試みていたが、ヘキサン抽出では、親油性成分しか抽出されないことがわかり、両親媒性物質であり、親水性物質も疎水性物質も抽出できるエタノールを用いることにした。

食品として用いるとき、エタノールを用いることにより、食品としてのイメージが高まる。
整理番号 MAKP0903 平成 21 年 3 月 31 日

出願番号 2009-085066

特許の概要

産業廃棄物である「おから」は、年間 80 万トンが廃棄されている。この「おから」には、脂質成分が4%含まれており、この油を抽出することにより、バイオ燃料として活用する。本発明の請求は、以下のようになると考えられる。

- 「おから」から有機溶媒を用いて脂質成分を抽出できる
- 「おから」から抽出した脂質成分は、大豆油とほぼ同等であり、バイオ燃料として使用できる。
- 抽出時にマイクロ波をかけると、脂質抽出量を増加させることができる
- 脂質抽出時にポリフェノールの1種であるイソフラボンも抽出される。脂質とイソフラボンを分離することにより、イソフラボンの有効活用ができる。

オカラからの抽出物

抽出方法

1. おから 100g をビーカーに入れる
2. エタノール 500ml を加える。
3. 50 ~ 60℃の水浴中で保持する。(時々かき混ぜる)
4. 湯煎でエタノールを飛ばして、資料とした。たんぱく質の含有量 (0.064g) は脂質の含有量 (0.58g) と比べると 1/8 程度となっている。



試料名	脂質含有量 (g)	試料名	たんぱく質含有量 (g)
試料 A	0.79	試料 D	0.089
試料 B	0.63	試料 E	0.079
試料 C	0.33	試料 F	0.024
平均	0.58	平均	0.064

ここで、脂肪分析はクロロホルム-メタノール混液抽出法、たんぱく質分析についてはマクロ改良ケルダール法で行った。

分析方法

クロロホルム-メタノール混液抽出法

試料の中の脂質を、クロロホルム-メタノール混液で抽出し、それを石油エーテルに転溶したのち、石油エーテルを蒸発させ、油のみを取り出すことにより、油の量を測定する。

マクロ改良ケルダール法

たんぱく質中に含まれる窒素に対し、硫酸で処理することにより、硫酸アンモニアが発生する。次いで、アルカリ性にし、アンモニアを発生させる。アンモニアの量を測定することにより、たんぱく質の含有量を推定する。

3-3. おからから有効成分の活用

おからエタノール抽出を用いたおから酒の製造
エタノール抽出をしたおから酒は健康によいお酒として売り出すことが出来ると考えられる。

作り方

今回はウォッカを用いておからに抽出をかけた。詳しい作り方は別紙を参照のこと。

おからは健康、美容に良いというイメージが定着していることから、商品のターゲットとしては20～30歳の若い女性が考えられる。そのため、甘めの味付けにもかかわらず低カロリーにすることやかわいらしさを意識した商品を目指している。

3-4. 今後の課題

おからから健康成分の抽出

超臨界二酸化炭素による抽出

超臨界二酸化炭素による抽出が製油の分離、食品や医薬品の低温処理および精製などで利用されている。二酸化炭素は無毒・無害かつ低価格で、しかも臨界温度、臨界圧力($T_c=31.1^\circ\text{C}$, $P_c=73.8\text{atm}$)が低いため、天然製品の処理に理想的な溶剤である。

4. おからのリサイクルの現状

大豆は多種多様な食品に加工されている。かつては、おからは食品として利用されていたが、現在では、産業廃棄物として年間65万トン処理されている。このおからの有効活用を考える。

4-1. 飼料

INAXは、おから乾燥機「オカラット」を使用した再生技術を開発した。おからを瞬時に乾燥させることで、日持ちのする飼料として販売することができるようにした。

名称飼料用乾燥おから

成分 DM: 乾物量 90%

DCP: 可消化粗タンパク 20%

TDN: 可消化養分総量 81,30%

乳酸醗酵による飼料化

食品リサイクル法に基づき、豆腐製造工場から発生するオカラを、家畜の飼料用原料に再生し、食品循環資源として有効利用すること。これにより、食糧の自給率向上に貢献する。オカラに複合乳酸菌生菌〔原菌=(株)林原生物化学研究所保有菌〕を直接添加し、直ちに密封包装、または簡易密閉する方法によりオカラを乳酸醗酵させ、家畜用単味飼料として再生利用することによって資源循環する

4-2. 肥料

醗酵バーク堆肥への加工

4-3. お茶

マスタニフード株式会社は、乾燥することで水分量が減少すれば、腐敗しにくくなり、また粉末にすることでいろいろな用途に再利用できるのではないかと発想からおからを乾燥粉末にした。しかし、熱風による乾燥法では、熱により、栄養豊富なおからの成分が破壊されることがあるため、成分を壊さず、小規模な豆腐業者でも、利用できる小型で安価なものを開発した。真空装置で減圧して沸点を下げることで、

熱を加えることなく常温で乾燥することが可能で、おからの成分を破壊することなく、乾燥粉末にすることが可能になり、健康食品 大豆おから茶を開発した。

4-4. 徳島県の高校生の商品開発

TOKUSHIMA 雪花菜工房とは小松島西高校商業科では起業家教育の一環として、2004年度から課題研究「ニュービジネス」がスタートした。「TOKUSHIMA 雪花菜工房」は、ニュービジネスで生まれた模擬会社で、主に商品の開発・販売などを行っている。

雪花菜アイス

TOKUSHIMA 雪花菜工房の看板商品。おからを使ったアイスクリーム。

雪花菜クッキー

「御菓子司たけもり」で手作り販売している。手作りなので数量限定。

最後に、わが家のおからを使った手軽な食品のレシピ

おからの有効活用は、なかなか進んでいない。おからは、水分が多く腐りやすいため取り扱いが難しい。豆腐の流通経路を利用して家庭に安く供給する事がもっとも理想であると考え。家庭でできるおからの有効利用（安くて、栄養豊富）を活用していただきたい。

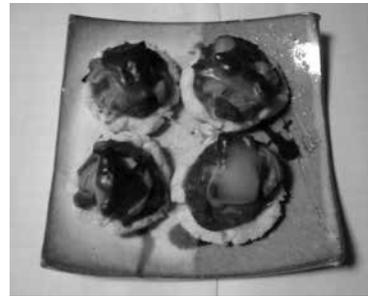
おからピザ

生おから 100g, 片栗粉大匙 1, 水 50cc を混合する, 小さく丸めて押しつぶす, トッピングして, トースターで焼く。

おからクッキー

生おから 150g, ホットケーキミックス 150g, マーガリン 30g を混合する。

レーズンやチョコチップなど好きなものを混ぜる。



おからピザ



おからクッキー

2cm くらいに伸ばして型抜き, 180℃オーブンで 20 分

おから食パン ホームベーカリーを使用
強力粉 250g, おから 50g, 牛乳 175g, 砂糖 12g, 塩 4g, バター 20g, ドライイースト 3g をパンケースに入れて, 食パンコースで焼く。

おから団子

生おから 200g, 白玉粉 100g, かたくり粉 10g, 水 50ml

- ①ボールにおから, 白玉粉, かたくり粉をいれ, 分量の 8 割くらいの水を加え, よく混ぜ合わせる。残りの水は, 粉のかたさを見ながら少しずつ加える。(耳たぶのかたさ)
- ②おだんごを作る (1 個が 10g くらい)
- ③食べる時 蒸し器で約 5 分蒸す。もしくは, 皿にラップしてレンジで約 1 分 30 秒。

イオン飲料市場を創造した驚くべきヒット商品 — 「ポカリスエット」 大塚製薬株式会社 —

田形 暁作*

*TAGATAYoshinari (TAGATA食品企画・開発)

Key Words：イオン飲料・水分電解質補給飲料・健康飲料

はじめに

大塚グループの発祥企業、大塚製薬工業部は、1921年徳島県鳴門の地に生まれた。徳島は江戸時代末期から明治初期にかけ、藍産業の中心とした各種産業が繁栄により、日本十大大都市の一つになった。その藍産業衰退後も銀行や鉄道などの社会的インフラが整備され、紡績・製塩、また塩田の残渣を利用した化学原料産業などで、盛んに投資と起業が行われた。大塚製薬工業部もこの波に乗り、化学原料メーカーとしての立場を固めた。その後、1946年点滴注射液により医薬品産業に参入し、事業エリアも日本全国に拡大した。この輸液事業は、1968年に導入したプラスチックボトル製品など、容器の革新や画期的な処方の開発により事業の拡大に成功し、1970年代には海外展開も行った。またこの時期、大塚化学（1950年設立）を皮切りに、大鵬薬品（1963年設立）、大塚製薬（1964年設立）、大塚食品やアース製薬など、大塚グループの主要会社を相次いで設立した。同時にオロナイン軟膏、オロナミンCドリンク、ボンカレー、チオビタドリンクそしてごきぶりホイホイなどの一般になじみの深いロングセラー商品が誕生した。

1980年代より90年代、大塚グループの医

薬品事業は新たな展開を見せた。大塚製薬は1970年から自社創薬を開始、1980年以降各種自社医薬品の開発に成功し、順調に成長してきた。そういった中、1980年に発売したポカリスエットは、後年のニュートラルシューティカルズ関連事業の基盤となった。この時期、大きな特徴は世界展開である。ポカリスエットは韓国やインドネシアなどでブランド力を高めるなど、事業上の成果が上がってきた。

大塚グループの会社概況

大塚グループ全体の社員数は約4万人、日本人以外の社員数は半分を超え約2万2000人となった。（2011年3月現在、非連結会社グループ会社含む）

連結業績

	売上高 (億円)	営業利益 (億円)
2011年3月期	10,902	1,175
2010年3月期	10,843	985
2009年3月期	9,559	915

グループ全体の連結売上、営業利益とも3期連続で増収、増益であった。

大塚製薬（株）の会社概況

大塚製薬（株）の設立は1964年8月10日、

従業員数は5723名(2011年3月31日現在)である。事業内容は医薬品、臨床検査、医療機器、食料品・化粧品の製造、製造販売、販売、輸出ならびに輸入である。

単体業績

	売上高 (億円)	営業利益 (億円)
2011年3月期	4,948	664
2010年3月期	4,658	653
2009年3月期	4,404	537

単体の売上、営業利益とも3期連続で増収、増益であった。また、売り上げ構成は2011年3月期で、医療関連事業が71.4%(3533億円)、ニュートラシューティカルズ関連事業が28.6%(1415億円)であった。ニュートラシューティカルズ関連製品の主なものはポカリスエット、カロリーメイト、SOYJOY、ソイッシュ、オロナミンC、ファイブミニ、ネイチャーメイドなどがある。

1. ポカリスエットの開発背景と経緯

ポカリスエットの開発のきっかけは、「これまでになかった画期的な飲料をつくりたい」という思いを研究員たちは日々、持ち続け新商品の開発に燃えていた。そんなある日、ひとりの研究員が「これを飲み物にできないか」と言って、みんなに点滴液を差し出した。「点滴液の飲み物!」研究員たちはびっくりしたけれども興味深々であった。この提案をしたのは飲料の技術部長で、大ヒット商品オロナミンCの味を決めた人である。ポカリスエット開発のきっかけとなったエピソードを紹介しよう。

技術部長は新しい飲料開発のため、メキシコに熱帯果実の視察に行った。水事情が悪くお腹をこわして現地でも入院した。その時、医者は激しい下痢で弱っているので、炭酸水を手渡ししながら『体内の水分と栄養分が失われているから、

とにかく水分を飲んで、後で栄養を摂るように』と指示した。その時、ひらめいたことは『こんな時、ゴクゴク飲みながら栄養も一緒に補給できる飲み物があればいいのに』というアイデアと、手術を終えた医者が、栄養補給に点滴液を飲むのを見たことがある。点滴液の味を改良した飲料をつくってみないか?というこであった。

『飲む点滴液』そのアイデアに研究員の胸が高鳴りした。というのは、点滴液の製造は自社の得意分野である。そして、商品のコンセプトと時代のニーズが合うタイミングをじっと待った。

『飲む点滴液』のアイデアから3年後。世の中は健康志向になり、ジョギングがブーム。「開発するなら今だ!」と考え研究員たちは開発をスタートした。でも、点滴液の改良ではなく『汗の飲料』としてである。なぜ『汗の飲料』なのか?じつは、汗をかいて失われるのは水分と電解質。つまり、失われた汗の成分を手軽に補給できる飲み物があればヒットすると思った。また、たくさんの人に飲んでもらえるようにと考え、スポーツ飲料ではなく。日常生活の中で飲む健康飲料を目指した。

汗の研究を始めてわかったことは、汗には種類があることである。日常における汗の塩分濃度はスポーツの後よりも低いこと。そこで日常の汗の成分を再現して試作したが、苦くておいしくない。

この結果、研究の課題は「汗の成分を変えずに苦みを消し、しかも甘みを抑え、のどごしの良い味の追求……」に注力した。

試行錯誤が2年間続いた。試作品が1000種類以上できた。研究室では『汗の飲料』と『柑橘系粉末ジュース』の試飲をしていたが、どちらもまずい……。まずいもの同士を混ぜてみてはという案が出た。混ぜて飲んでみると意外にもおいしい。次々と混ぜてみると、「苦みが消えている!」、「柑橘系のおいしい苦みが汗の

飲料の嫌な苦みを消したのか!」理屈ではなく、偶然の発見から、『汗の飲料』の開発は大きく前進した。

『汗の飲料』の開発は糖質濃度を決める最終段階に向かっていった。糖質濃度の濃いタイプと薄いタイプである。研究室で飲み比べると濃いタイプのほうがおいしく感じ、薄いタイプは物足りなかった。薄いタイプは健康飲料としても満足いただけないのではないかという意見が強かった。ある日、研究員たちは技術部長と一緒に山に登った。山頂に到着すると技術部長がリュックから2本の水筒を取り出し、「これは先日、研究室で飲んだ試作品だけど、どっちがおいしいと思う?」といって研究員たちに試飲をさせた。研究員たちからは「薄いほうが飲みやすい」、「濃いのは甘すぎる」、「薄いほうがゴクゴク飲んで、滑らかにのどを通る」といった意見が出た。全員が薄いタイプをおいしいと感じた。汗をかいた時は糖質量が少ないほうをおいしく感じることを発見した。開発している商品は『汗の飲料』だから、汗をかいた時においしく感じる事が重要であることを研究員全員が納得した。ところが、その試作品を日常、初めて飲んだ社員たちは「はっきりいってまずい」、「これでは売れない」といった意見が多く大反対であった。それでも、会社は「汗をかいた後に飲めば、きっと理解してもらえるはず」とこの味を信じて発売を決断した。

2. ポカリスエットの発売とマーケティング

1980年4月、汗の飲料として『ポカリスエット』として発売。営業マンや社員を総動員して販売店を回った。しかし、「こんな味で本当に売れるのか?」と言われ、なかなか商品を置いてもらえなかった。イベント会場でお客様に直接販売してみても「味が薄い」という不満が多く売れなかった。そこで、「サンプル無

制限」という大きな賭けに出た。飲んでもらって、説明すれば、きっと理解してもらえる。いま大事なのは商品を売ることよりも、商品コンセプトを伝えることだ。そして、おいしいと感じてもらえる、あらゆる場所でサンプリングを開始した。

ある営業マンは野球場に出向き野球少年に。また、ある営業マンはサウナの脱衣所で待ち、汗をかいた人に。体育館でバスケットをし終わった人に。町中で買いも袋を持ち汗をかいている主婦に。もちろん商品の説明は忘れないで、サンプリングを徹底した。配布本数は初年度だけで、なんと、3000万本。その頃には多くの人においしいと認められるまでになった。それでも、その後も、サンプリングは続けた。

発売から2年目の夏、『ポカリスエット』はついに爆発的な大ヒットをした。そして、発売から31年。今では世界16か国・地域で愛されるロングセラー商品に育った。

3. ネーミング

ネーミングには、『汗の飲料』という商品コンセプトが伝わりやすいように「スエット」を使用することはイメージしていた。「ポカリ」はさわやかな青空をイメージした。こうして、『ポカリスエット』というネーミングが誕生した。

4. パッケージデザイン

ポカリスエットを飲んだ時の水分吸収は真水を飲んだ時より早い。ポカリスエットの青色と白い波形は、この吸収スピードの差を象徴化したものである。このデザインは Helmut Schmid 氏ががてがけた。鮮やかなブルーと白い波形のパッケージは31年経った今もほとんど変更さ

れることなく、店頭に並び、人々に親しまれている。しかし、今では普通に使われるブルーも、発売当時は飲料業界ではタブー色であった。

5. 容器

ポカリスエットの容器の材質、容量の変遷を下に示した。発売当初は245mlの缶（スチール）であった。1985年には570mlの瓶が発売。1988年には340mlアルミ缶が発売された。1990年に1.5Lのペットボトルが発売され、その後は、ペットボトルが主流になってきた。ペットボトルの販売本数が年々増えてきたため、地球の環境にも貢献できたら良いと考え、環境負荷の低い容器開発について考えた。ペットボトルの原料であるPET樹脂の使用量を少しでも削減しようと新しいペットボトルの研究開発に

取り組んだ。飲料容器の強度をキープしながら原料をギリギリまで削減することは簡単ではなかったが、約1年の研究の結果、日本初の技術「陽圧無菌充填方式」により、当時の国内製造の500mlペットボトルでは最軽量のエコボトルが完成した。重さはわずか18g。従来の容器27gから約30%もの軽量化（-9g）に成功した。例えば1本9gの軽量化でも年間3億本の生産を考えると、PET樹脂が年間2700トン削減できたことになる。また、薄くなったことでつぶしやすくなり、リサイクルしやすいというメリットが生まれた。

省資源でリサイクルがしやすいエコボトルは、2007年、「平成19年度 容器包装3R推進環境大臣賞 製品部門最優秀賞」を受賞した。これで、『ポカリスエット』は人だけでなく、地球のことも考えた、健康飲料になった。2009



年秋からは900mlサイズのエコボトルを全チャネルで発売開始した。900mlサイズにした理由は、「1日に皮膚や呼吸から意識せず失われている水分量が900ml」そして「単身住まいの方や少人数世帯の方々にとって飲み切りやすい水分量であること」だからである。賞味期限も9か月から12か月に延長した。2010年度の売り上げは3234万ケース。(対前年23.3%増)であり、消費者の皆様の受け入れが順調に拡大している。

6. 「ポカリスエット」をターゲット、TPOと5Pにのっとり紹介

新商品を開発し、その商品がお客様の手元に届くために、筆者は新商品開発5Pをチェック用に使用している。先ず第一に「Product」ありきである。「Product」には商品コンセプト、商品仕様、ネーミングなどを決定しなければならない。第二は「Package」である。包装仕様、デザインなどを決定しなければならない。第三は「Price」である。第四は「Place」である。『Target』の属性を定め、お客様に届けるにはどのチャネルが良いのか。量販店なのか、CVSなのか、専門店なのか、ドラッグなのか、それ

とも通販なのか。色々なチャネルがあるので選択と集中が必要になる。第五は「Promotion」である。店頭プロモーション、媒体プロモーションなど費用がかかるので効果的なメディアミックスが重要である。最後に5Pではないが、『Target』がある。全ての5Pは『Target』を明確にした後のことである。「Product」は『Target』が明確にならないと決まらないはずである。更に、包装仕様を決定するうえで重要なのがT (Time) ,P (Place) ,O (Occasion) である。

この考えに基づき、「ポカリスエット」の開発から現在までを整理してみる。『Product』は『汗の飲料』という新しいコンセプトで商品開発に着手した。完成した商品は甘みが薄く、スポーツで汗をかいた後飲むと、のど越しが良く、ゴクゴクとおいしく飲める飲料に仕上がった。今までにない新しい飲料であった。それだけに最初の販売では大変苦労された。『Promotion』はスポーツなどで汗をかいた後に飲んでいただくとおいしさを実感できるという自信があったので、スポーツをする場所など汗をかくシーンに出かけ、商品説明をすると同時に無償で飲んでいただいた。実に初年度の本数は約3000万本であった。自信ある差別化『Product』を消費者に認知いただく『Promotion』としては大胆な手法であったが、結果的には大成功であった。

『Package』はデザインと色使いも当時の飲料としては斬新で、目立ちのあるブルーと白を採用した。『Price』は発売した1980年の飲料価格は250mlが80～100円が主流であったが、汗の飲料という価値のある商品であるので、120円とした。『Place』(販売チャネル)は、オロナミンC発売時に培った一般小売店を中心として、飲用シーンに適した場所で販売された。以上のように、5PとTarget,TPO全てにおいて熟慮されており、日本の消費者のみならず、世界の人々に愛される商品として貢献

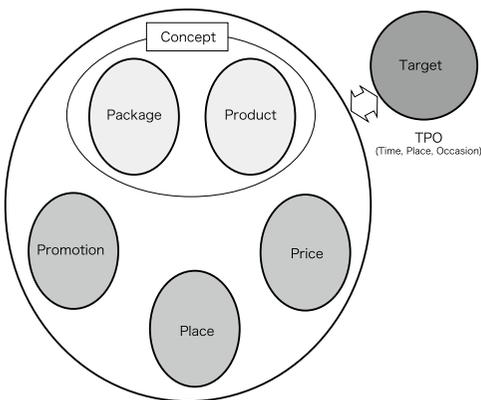


図1 商品開発5P；開発品はユーザーの手元に届く仕組みになっているか

している。『ポカリスエット』はまさしく、イオン飲料市場を創造した驚くべき商品である。

おわりに

1980年4月、『汗の飲料』として日本市場に上市したが、従来の飲料感覚で飲むと、薄味でなじめない味であった。ところが、スポーツをしている時、汗をかいた時に飲むと、のど越しがよく、ごくごく飲めた。その結果、身体が潤った。まさしく、「まぼろしの飲料」

である。商品の配合、パッケージデザインは発売当初から変更していない。31年間発売当初のままであることは驚くべきことである。変更したのは容器形状、材質などであり、時代に合わせて改良をしてきた。『ポカリスエット』は現在、世界の16か国・地域で販売している。今後も『ポカリスエット』を必要としている国に販売を拡大し、世界中の人々に愛される商品になることを期待する。

白石カルシウムの炭酸カルシウム	
 <p>炭酸 カルシウム とは？</p>	<p>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。</p>
<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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」 <p>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。</p>	
<p> 白石カルシウム株式会社</p>	
<p>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</p>	

築地市場魚貝辞典 (キンメダイ)

冬の築地。大都市の胃袋を満たすために、各地から魚介類が集まり、そして小売のために運ばれていく。魚を運ぶのは、ふつうの貨物より手間がかかる。液体やら、冷たいものなど特別な手段が必要になってくる。大きなものは、地方から魚を満載してくる大型の活魚トラックや保冷トラックがある。活魚トラックは、大量の水を積んで、そこへ活魚を入れる水槽設備を備えなければならない。25トントラックともなると、その大きさだけで圧倒されてしまう。反対に、いちばん小さなものは手に持つ籠であろう。たくさんの魚を入れた籠は重い。早朝の築地界隈は、昔ながらの竹で編まれた籠で買出しに来る人を多く見かける。頑丈そうな自転車も、市場らしい。たくさんの荷物が積めるように荷台が大きく、全体に骨太に作られているように見える。とくにスタンドなどは、重い荷物を載せてもひっくり返らないよう、大きく作られている。自転車を横目に、せわしなく行きかう人のはく息も白い。今回は冬の魚、キンメダイを紹介する。



頑丈そうな自転車

一分類一

キンメダイは“タイ”と名前が付いているが、タイの仲間ではない。マダイを含むタイ科の魚はスズキ目タイ科であるが、キンメダイはキンメダイ目キンメダイ科キンメダイ属である。キンメダイとマダイは、たとえて言えば犬と牛ほど違うと言えるだろう。特徴から見ると、魚らしい形をしている魚のうち、



キンメダイ

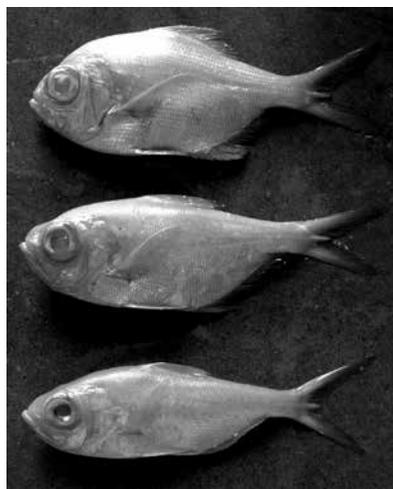
下あごにヒゲがなく、背鰭（せびれ）と臀鰭（しりびれ）にトゲがあり、

背鰭が背中中央付近にのみあり、腹部の正中線上に稜鱗（りょうりん；トゲのようになった鱗）がない魚、ということになる。キンメダイの仲間は、白亜紀後期（およそ7千万年前）の化石が見つかっており、現在生きている魚の中では、比較的起源の古い魚の一つである。

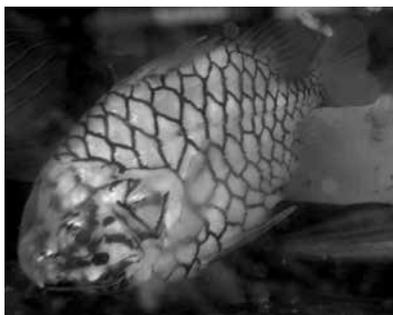
キンメダイ目には7科が含まれているが、キンメダイ以外の魚は食卓にあがるのが少ないので、なじみが少ない。キンメダイにやや似ているヒウチダイ科のヒウチダイや全身真っ黒で口に大きなキバをはやしたオニキンメ科のオニキンメなどは深海魚で見る機会もあまりない。イトウダイ科の魚はサンゴ礁にすむものが多く、水族館でも見かける。水族館で見るといえばマツカサウオ科のマツカサウオもその一つであろう。あごの下に発光器があつてうすぼんやりと光る。これらの

魚は、築地市場でも他の魚に混ざって入ってくる程度である。キンメダイ科には、キンメダイ属、キンメダマシ属の2つの属がある。キンメダイ属にはキンメダイとナンヨウキンメ、フウセンキンメの3種のみが含まれる。キンメダマシ属には7種あるが、日本近海にはキンメダマシ1種だけが分布していて、これまたなじみのない魚である。

キンメダマシは、その名のとおりキンメダイによく似ている。だまされるほど似ているといえ、似ているかもしれない。背鰭にあるトゲが5本から7本（キンメダイは4本）、眼の下にトゲがない（キンメダイはある）ことなどで区別できる。似ているといえ、もうひとつ、キンメモドキという魚がいる。その名のとおり眼が大きく、背鰭が背中真ん中あたりにしかなく、赤みがかかった体色などキンメダイにそっくりである。が、大きさが成魚でもたった6cmにしかならない。しかもすんでいる所は千葉県より南のごく浅い岩場やサンゴ礁で、深海にすみ体長50cmを超えるキンメダイとは大違いである。定置網の水揚



上からナンヨウキンメ、フウセンキンメ、キンメダイ

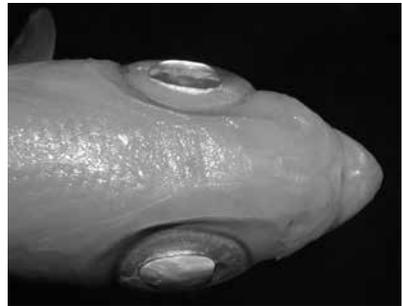


仲卸の店先に置かれた水槽のマツカサウオ

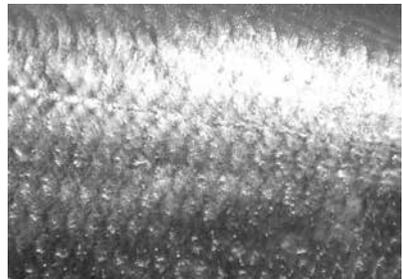
げを見ているとよく混ざっていて、漁師さんなどから「これはキンメの子か?」と聞かれたりする。なおキンメドキはハタンボ科というスズキ目の魚なので、他人の空似である。キンメダマシにキンメドキ。姿形が似ているだけでなく、名前も似ている。ときどき、どっちがどっちだったか考えてしまう。

—形態—

さて今日の夕食は何にするかと、スーパーへ出かけてみる。魚にするつもりはなくても、ついつい鮮魚売り場をのぞいてしまうのは、悲しいサガといえるだろうか。そこで見かけるキンメダイは切身で売られていることが多い。たまに1匹まるごと売られていることもあるので、姿を見たことのある方もいらっしゃるかもしれない。キンメダイを見ると、まずその大きな眼と赤い体色が印象的であろう。その直径は、頭の長さの3分の1ぐらいにまでなる。暗い深海でも見えるように大きく発達した眼は、青緑色、見る角度によっては金色に輝いている。眼の後ろ側には、大きく細長く伸びた胸鰭が目につく。背鰭と腹鰭は体の中央付近にある。尾鰭は二又になっている。このような尾鰭は、ブリやマグロ類など、泳ぎの速い魚に多く見られるのであるが、キンメダイの泳ぐ姿を見ると（キンメダイのような深海魚を飼っている水族館もある。飼育係の方たちの努力には頭の下がる思いがする）胸鰭を蝶のように優雅に上下させて、ゆっくりと泳いでいる。人が見ていないとき、瞬間的にでも速く泳ぐことがあるのだろうか。鱗（うろこ）はやや小さく、硬く取れにくい。



金色に輝く大きな眼



鱗（うろこ）

店で売られているキンメダイを見ると、全身、鱭までもが一様にオレンジ色がかった赤い色をしている。ところが、釣りたてのものや、水族館で泳いでいるところを見ると、背面は赤く、腹側は白い。周囲の環境や、状況などから多少体色を変えることができるようである。深い海に住む魚には、赤い色をしているものが多い（アコウダイ、キチジなど）。海面から差し込む日の光のうち、赤い色はすぐに吸収され

て深くまで届かない。このため、赤い色を海の中で見ると黒く見える。暗い海中に溶け込むための色と考えられる。体長 50cm を超える。

—生態—

キンメダイの生態は、いまだに謎に包まれているといっても過言ではない。本州の太平洋に面する地域では、キンメダイが水産業の上で重要な位置を占めるところが多い。これらの県では漁獲量の増減が大きく影響するので、資源を把握するために、さかんに生体調査を行っている。最近になって、分かってきたこともあるが、まだ分からない部分が多い魚である。深海は、宇宙より謎に満ちている、とはよく言ったものである。キンメダイは、ほぼ全世界の中深層に分布している。日本近海では北海道釧路付近から沖縄までの太平洋側に分布する。若い個体は大陸棚の水深 100m から 250m、成魚は沖合の 200m から 600m 付近を泳いでいる。主にハダカイワシ類などの小ぶりの深海魚や浮遊性のエビ、オキアミ類などを食べる。

産卵期は、卵の採集時期から 6 月から 9 月と考えられる。直径 1.1mm ほどの浮遊性の卵を、一度に 30 万から 50 万粒産卵する。産卵場所は、日本近海では伊豆諸島周辺と、さらに南の海域と考えられている。稚魚は水深 100m から海面近くまでの浅い海域に分布している。稚魚の採集例は少なく、どこでどのように生活しているのか、よくわかっていない。日本近海だけでも、かなりの漁獲量があるので、どこかに大きな群れがあると考えられるが、偶然調査の網に入る程度なのである。また、50cm に達する大きな個体は沖合でしか漁獲されないので、回遊していることも考えられるが、そのあたりの生態もわかっていない。1 年で体長 15cm、2 年で 20cm に成長する。寿命は 5～6 年と考えられている。

—漁業—

キンメダイは岸近くから沖合の深海にすむので、釣りや底曳網で漁獲されている。釣りには一つの竿、あるいは手に持った釣り糸に少ない針を付けて釣る一本釣りのほか、一本の糸にたくさんの針を付けた底たて縄などがある。底たて縄はやや大きな中型の漁船で行われていて、沿岸よりも沖合に出て一度にたくさんの漁獲をする。深海魚なので長期の飼育が困難なため、養殖は行われていない。外国からは冷凍で輸入されている。

築地市場には、主に鮮魚で入荷するほか冷凍品も入荷する。産地は、静岡県、千葉県、高知県など太平洋側からの入荷が多く、ほぼ周年入荷している。仲卸店舗を歩くと、伊豆の下田から稲取、神奈川の三崎、

千葉の館山などの名前が入った発泡スチロール製トロ箱に入った新鮮なキンメダイを見かける。一年を通して、安定して入荷している。冷凍品を扱う仲卸の店先でもキンメダイも見ることができる。ほとんどが輸入のキンメダイである。



伊豆諸島から入荷したキンメダイ

冷凍で輸入されるキンメダイは、ドレスと呼ばれる、頭を落とした姿で入荷している（ヘッドレスの略が変化したものと思われる）。

—利用—

身は白身で、血合は少ない。白身といっても、ややピンク色がかっている。やや柔らかく脂が多いので、以前は刺身にするには少なかったようである。今でも好みの分かれるところであろう。大きな胸鰭の付根には、胸鰭を使って泳ぐために発達した筋肉があって、煮つけや干物を食べる時の楽しみでもある。ふっくらと厚みのある胸鰭の根元の筋肉は、体の筋肉とは違って赤身である。これは、ほかの魚の赤身もそうであるように、絶えず動かしている筋肉なので、酸素の消費が多く、血色素が豊富にあるためである。

甘辛く煮付けたり、あっさりとした塩味と魚の風味を生かした潮汁、カブト煮、塩焼き、酒蒸、干物。もちろん生食もできて、刺身や刺身をタレに漬けたツケ、寿司にも向く。近所にキンメダイ漁に従事する知人がいるので、時折、おすそ分けに預かる。新鮮な大きなキンメダイを見ると、どうやって食べようか、あれや、これや食べ方が浮かんで、楽しくもある。ところが、我が家では刺身が一番人気なので、まずは刺身ということになる。煮つけが二番、三番目に骨しが残っていないありさまで、なかなか他の調理方法を試す機会が来ない。味付けした刺身をご飯に載せて、ゴマとアサツキと山葵を少々。上からアラで取った出汁をかけると、ご飯がいくらでも進む。

キンメダイの産卵期は、6月から9月である。産卵を終えた後、餌をたくさん食べ、栄養を蓄えてきた冬が旬といえるだろうか。しかし、深海にすむ魚の常として、この時期以外でも脂の乗ったものを見かける。となると、鍋にも向く季節、あたたかい鍋物が恋しい冬が旬というのはこじつけになるだろうか。

—エピソード—

キンメダイとは、先にもふれたように、大きな目が輝いて見えることから付けられた名称であるが、キンメダイのほかにも「きんめだい」と

呼ばれる魚がある。キントキダイの仲間である。西日本ではキントキダイを「きんめだい」と呼ぶところが少なくない。キントキダイは、関東地方より南に分布し、暖かい浅い海に住む。瀬戸内海は浅く、キンメダイは生息しないので、大きく光る眼をもつキントキダイが「きんめだい」と呼ばれるようになったのもうなずける。キントキダイは、キンメダイほど大きくならないが、くせのない白身で美味しい。築地市場で「きんときだい」と呼ぶのはキントキダイに近縁のチカメキントキである。チカメキントキは、小さいうちは沿岸の浅い海に住むが、成長と共に深海での生活に移る。大きな赤いチカメキントキは、キンメダイの漁に混ざって漁獲される。

現在、キンメダイの兄弟分ともいえるキンメダイ属の魚はキンメダイのほか、ナンヨウキンメとフウセンキンメの2種類あることは先にもふれた。ナンヨウキンメは、その丸みの強い体型から、だれの目にも別種として映り、早い時期から学術的にも区別されていた。



鮮魚で入荷したチカメキントキ

ところが、フウセンキンメはキンメダイによく似ており、新種として報告された後も、しばらくは学者の間でも同種とする意見もあったほどである。フウセンキンメを新種として学会に発表したのは、魚類分類学の大家であり、築地市場にも足しげく通われた故阿部宗明（あべときはる）博士であった。神奈川県の小田原沖で釣られたキンメダイを調べ、新種とされたのである。ところが小田原の漁師は、以前から違うキンメダイが釣れることを知っていた。ふつうのキンメダイは深海から釣り上げても腹が膨れないが、このキンメダイは釣り上げると腹が膨らんで海面に浮いてしまう。そのため漁師は風船のようなキンメダイ、ということでフウセンキンメと呼んでいた。漁師や市場の方など、ふだんから魚に接しているプロの目は、ときには学者よりも観察する目が肥えていると驚かされる話であった。築地市場にも多くの魚を見るプロがいる。これからも、食文化と食の安全を守るプロの目を養っていかねばならないと思う。

文 献

- 1) 上野輝禰・坂本一男：魚の分類の図鑑，東海大学出版会（1999）
- 2) 上野輝禰・坂本一男：日本の魚，中公新書（2004）
- 3) 中坊徹次（編・著）：日本産魚類検索 全種の同定 第2版，東海大学出版会（2000）
- 4) 山田梅芳・時村宗春・堀川博史・中坊徹次：東シナ海・黄海の魚類誌，東海大学出版会（2007）



“薬膳”の知恵 (64)

Key Words : 薬膳 ■ 食養生 ■ アトピー性皮膚炎 ■ 養生茶

荒 勝俊*

最近、中国においても生活環境が加速度的に近代化して自然が少なくなっており、また、湿度が一定に制御された部屋で過ごす事で“アトピー性皮膚炎”が増加している。中医学において、“アトピー性皮膚炎”は“異位性皮膚炎”あるいは“遺伝性過敏性皮膚炎”と呼ばれ、治療研究も進んできている。こうした“アトピー性皮膚炎”は体の免疫能のアンバランスな状態が起因すると言われている。

中医学では『皮膚は内臓の鏡』と表現され、ステロイド薬などの外用薬だけでなく中成薬によって内臓のバランスも整える。最終的には、刺激を受け易い乾燥肌を改善し、繰り返し皮膚の炎症を発症する体質を改善する事である。

また、中医学的に“アトピー性皮膚炎”を“本(病気の本質)”と“標(表面に現れた症状)”に分けて考えてみると、“本”は《湿熱 血熱 熱毒 血虚》、“標”は《皮膚症状:風(痒み)、湿(糜爛)、燥(乾燥)、熱(紅斑)》、となる。“アトピー性皮膚炎”の特徴は痒みであり、痒いので皮膚を掻く事により傷がつき、それに引き続

いてさまざまな症状が引き起こされる。こうした“本”に対する治療を“本治(治本)”、“標”に対する治療を“標治(治標)”と分けて行う。そして、治療の原則は「黄帝内経、素問」に『急則治標、緩則治本;急なれば則ちその標を治し、緩なれば則ちその本を治す』と書かれている。症状がひどい場合は“標”を治療し、症状が軽い場合は“本”を先に治療する、という事である。この様に、中国では皮膚炎を引き起こす原因を無くしながら症状も緩和させていくといった方法を取っている。特に、皮膚疾患は脾胃の働きが崩れる事で症状が生じると考えている事から、飲食のバランス改善も重要な治療と考えられている。

そこで、中医学の基礎概念である陰陽五行学説に基づき、健康管理や病気治療のために食材の持つ様々な機能を組み合わせで作った“薬膳料理”を食す事で、人が本来もっている臓器の機能を回復させ、身体の内部を整える事で“アトピー性皮膚炎”をはじめとする皮膚炎に対して改善できると考えている。

* ARA Katsutoshi (技術士, 国際薬膳師, 漢方アドバイザー (JACDS), 薬草ガーデンマスター (JGS), 中国茶アドバイザー, 日本茶インストラクター (NIA), 中級評茶員, アロマセラピスト)

1. 中医学におけるアトピー性皮膚炎

中医学では、皮膚の障害に関する病気は皮膚病と考える。即ち、肺に属する「皮毛」と脾に属する「肌肉」の病変であり、その原因は主に飲食やストレス、過労、天候と環境の異常などにあると考える。この様に脾の機能異常に関連する事から、中医学における皮膚炎の治療は飲食・食事の不摂生に特に重点が置かれている場合が多い。脾の機能（消化・吸収の機能）が低下すると“湿”が形成され易くなるが、更に“湿”によって脾の機能が低下するといった悪循環が生まれる。身体に“湿”が形成されると、皮膚はジクジクした状態になり、体が重だるかったり、便の状態が悪くなる。更に、“湿”以外に“風”，“熱”，“燥”，などの病因を認める場合がある。アトピー性皮膚炎は、中医学において湿熱 血熱 熱毒 血虚が原因と考える。

1) 湿熱タイプ

湿熱タイプのアトピー性皮膚炎は、顔面や頭皮の湿った病変、肘や膝関節部の苔癬化病変、胃もたれしやすい 悪心嘔吐 軟便下痢を伴う場合があるなどの特徴があり、陰股部の湿疹などを併発している場合も有る。本タイプの改善には、清熱，利湿，解毒の生薬が用いられる。

2) 血熱タイプ（肝鬱血熱）

血熱タイプのアトピー性皮膚炎は、紅斑や皮膚の発赤が著しく、口渇、便秘や不眠を合併する事も有る。特に、血虚タイプや血熱タイプでは便秘があり、この症状が有れば治療するのが原則。アトピー皮膚炎の治療が上手くいくと便秘が解消する場

合もある。治療法は清熱疎肝，涼血止痒の生薬が用いられる。

3) 熱毒タイプ（脾虚湿盛）

熱毒タイプのアトピー性皮膚炎は、紅斑が急に発症する膿疱や水疱などの皮膚症状に、全身のほてり、口渇などの症状が有る。舌は暗紅色で脈は頻脈を示す。

治療は健脾利湿止痒の生薬が用いられる。

4) 血虚タイプ（血虚生風）

血虚タイプのアトピー性皮膚炎は、慢性湿疹のような皮疹で、鱗屑（カサカサ、ふけ、皮剥げ）、皮膚の萎縮、苔癬化や皮膚から細かい鱗屑が落ちるといった特徴が有る。

2. アトピー性皮膚炎の食養生

アトピー性皮膚炎の方に良く使われている食材として、セロリ、青梗菜、白菜、金針菜、蓮根、

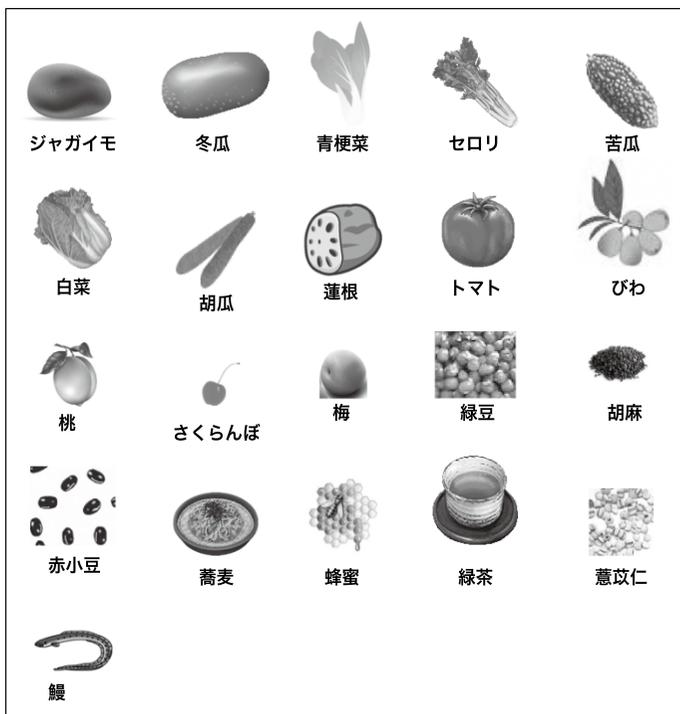


図1 アトピー性皮膚炎の食養生

マコモダケ、ジャガイモ、トマト、胡瓜、冬瓜、
苦瓜、スベリヒユ、茶、蜂蜜、梅、桃、枇杷、
サクランボ、杏、胡麻、小豆、緑豆、蕎麦、薏
苡仁、ドロ鰻、鰻などが使われている。



3. アトピー性皮膚炎の養生茶



1) 甜茶

甜茶には、バラ科キイチゴ属の甜葉懸鉤子(てんようけんこうし)、ユキノシタ科の臘蓮繡球(ろうれんしゅうきゅう)、アカネ科の牛白藤(ぎゅうはくとう)、ブナ科の多穂石柯葉(たすいせきかよう)の4種が知られているが、その中で抗アレルギー作用を持つものはバラ科の甜茶懸鉤子のみである。甜茶の抗アレルギー作用は甜茶ポリフェノール(GODポリフェノール)である事も判ってきている。話はそれだが、甜茶の甘みはルブソシドで、砂糖の70倍以上の甘みを持つ。

GODポリフェノールは、①肥満細胞から放出されるヒスタミンの抑制作用(抗アレルギー作用)、②シクロオキシゲナーゼ阻害(アスピリンの十分の一)による抗炎症作用、を持つ。GODポリフェノールはタンニン的一种であり、タンニンとシクロオキシゲナーゼの結合による阻害作用と予想されている。こうした抗アレルギー作用によって花粉症やアトピー性皮膚炎などの炎症が抑制されたとの報告がされている。

2) シジュウム茶

シジュウムは、フトモモ科サイジュウム属に分類される植物で、グァバと同じ仲間だと言われている。原産地は南アメリカの熱帯で、葉に含まれる成分から数々の薬理作用が報告されている。中国では、番石榴葉(バンセキリョウヨウ)と呼ばれ、下痢や湿疹、掻痒、傷の治療に使われてきた。日本大学薬学部の北中進教授は、

シジュウムの多種多様な成分がアレルギー疾患に効果を示す可能性を見出した。北中教授らは、マウスを用いた実験においてシジュウムに含まれるセスキテルペン類がTh1/Th2バランスを正常に保つ効果を持つことを実証した。Th1/Th2バランスはアトピー性皮膚炎に直接的に結びつく要因であり、この作用はかなり有用な効果である。ただし、実験によると0.1g/mlまでのシジュウムはTh1細胞を活性化し、Th2細胞の働きを抑えてアレルギー体質を改善させるが、この濃度以上ではTh1細胞の活性を弱める事でTh2細胞が活性化してしまうので、摂取量をコントロールする必要がある。更に、北中教授らはシジュウムに含まれるタンニン類が肥満細胞の放出するヒスタミンやロイコトリエン類といったケミカルメディエータを約97%抑制する事をマウスの実験で明らかにしている。本研究結果から、ヒスタミンなどによる痒みの抑制、ロイコトリエン類による気管支収縮や血管透過性亢進作用の抑制など、総合的に炎症抑制作用を示す事から、アトピー性皮膚炎の炎症緩和に効果が有ると予想されている。

3) シモン茶

シモン芋は、サツマイモと同じヒルガオ科の根茎植物で、ブラジルのカイアポ山地が原産地である。シモン芋は、ブラジル国立農科大学のシモン教授にちなんだ呼び名で、白甘藷とも呼ばれている。1972年に日本に持ち込まれ、鹿児島などで生産されているようだ。シモン芋にはセラミド(スフィンゴ糖脂質)が多く含まれている事が報告されており、乾燥肌やアトピー性皮膚炎の症状緩和に効果があると考えられている。また、ポリフェノールやキノコ類で注目されたβ-グルカンなど抗酸化機能を有する成分(SOD様物質)も豊富に含んでいる。シモンイモの皮に近い部分の酸可溶性糖蛋白(CAF)は、血糖値、中性脂肪値を下げ、インスリンの分泌を促す作用があり、血糖値を抑える働きが

他の芋類に比較して5～20倍高いといわれている。

4) 緑茶（べにふうき茶）

花粉症などのアレルギー疾患に対する改善効果が期待されている“べにふうき茶”に含まれる“メチル化カテキン”は吸収率が高く、脂に溶けやすいため体内に貯蔵できる。九州大学や農研機構野菜茶業研究所の研究から、メチル化カテキンは、①マスト細胞の高親和性IgE受容体の発現レベルを下げる、②IgEの血中濃度低減作用、③IgEと肥満細胞の結合抑制作用によるヒスタミン放出率の低減、などが確認されており、アトピー性皮膚炎の症状緩和にも期待がされているお茶である。

5) 青茶

青茶（烏龍茶）は、茶葉を白い布に包み何度も揉む作業（揉捻：じゅうねん）をくり返しながら仕上げる製造工程から半発酵茶に分類される。茶葉に含まれるポリフェノールは、この半発酵という工程を経る事によって烏龍茶ポリフェノールに変化する。この烏龍茶ポリフェノールが総合的に作用して、活性酸素の害を抑制するなど様々な健康効果をもたらしている。台湾産の青茶（凍頂烏龍茶）にアレルギー抑制効果が高い事が報告されており、野菜茶業試験場、静岡県立大、九州大との共同研究で、凍頂烏龍茶の抗アレルギー成分が2種類のカテキンである事を明らかにしている。3-O-methylgalloly-epigallocatechin (C-1) と 4-O-methylgalloly-epigallocatechin (C-2) という成分で、抗アレルギー作用が報告されている茶カテキンのエピガロカテキンガレート (EGCG) に比較してより高い抑制作用があるとされている。

アトピー性皮膚炎の外来治療患者に、市販の2.5倍濃度の青茶（烏龍茶）を一日400ml・4週間服用させる事で約2割の患者の症状が著しく改善したとの報告もある。

6) タヒボ茶

タヒボ（タペブイア・アペラネダエ）は、ノウゼンカズラ科タペブイア属の植物で、南アメリカに自生する樹木で、パウダルコ、紫イペとも呼ばれている。タヒボの樹皮にはフラノナフトキノン (FNQ:Furanonaphthoquinone) 誘導体が含まれており、抗がん作用が報告されている。このFNQ誘導体の一つであるNFDには、肺腺ガン細胞、結腸ガン細胞、乳がん細胞に対する抗腫瘍性以外にヒスタミン遊離抑制作用が報告されており、タヒボ茶がアトピー性皮膚炎に対して効果があると考えられている。

南アメリカの原住民は、タヒボ茶を感冒、咳、貧血、胃炎、便秘、下痢、糖尿病、肝臓病、腎臓病、癌、膀胱炎、前立腺炎、関節炎、乾癬、マラリア、蛇の噛み傷、などの治療に使用している。

7) ドクダミ茶

ドクダミ茶にアトピー性皮膚炎や花粉症の症状を緩和する効果が有るといった報告がされている。ドクダミ茶には、解毒作用と血液浄化作用による体質改善効果が期待でき、またフラボノイド類の一種であるクエルシトリンの利尿解毒作用や緩下作用による効果が総合的に効果を示す原因と言われている。ただし、ドクダミ茶には緩下作用を有する事から、過剰に飲み続ける事で下痢などの副作用も考慮する必要がある。

8) 紫蘇茶

紫蘇は中国、ヒマラヤ、ビルマを原産とする野菜で、アレルギー症状を抑止する抗ヒスタミン成分が多く含まれている。紫蘇葉エキスは、アトピー性皮膚炎に効果を有し、ステロイド剤と同等の効果があるという研究結果が報告されている。また、紫蘇茶に含まれるロズマリン酸は花粉症に高い効果がある事が報告されている。青紫蘇に豊富に含まれるβ-カロチンは、粘膜や皮膚の保護により抵抗力を強くする。

【中国・上海事情⑤】

美味しい上海蟹の季節になった。中国の人たちは蟹が大好きだ。市内のホテルのレストランで皿に山盛りの蟹を乗せた中国人客を多く見かける。10月になると、多くの上海料理店の軒先に上海蟹が並ぶ。

上海人は円卓を囲んで、蟹をバリバリ食べながらお喋りするのが大好きの様だ。日本の場合、蟹を食べる時は皆黙ってせせと蟹の足から身をほじくり取り出すのに専念する為、急に口数が減るが、上海は違う。

上海蟹は、オスとメスで味が違う。オスは蟹味噌の甘みを堪能できるが、メスは卵を堪能できる。蟹味噌のほかにオスの蟹は「膏」と呼ばれる精子が11月にかけて徐々に成熟し、とても美味しくなる。蟹は体を冷やすので、上海人は紹興酒や生姜と一緒に食べるという。

ここで簡単に上海蟹の食べ方を伝授する。上海蟹は淡水に住む蟹なので、選ぶときは生きている蟹を探すことが肝要である。食中毒の危険性があるので、間違っても死んだ蟹を食べてはいけない。上海蟹には肺吸虫などの寄生虫が寄生している場合があるので、熱をしっかりと通して食べることをお勧めする。また、上海蟹は雑食性なので胃の内容物が雑菌などに汚染されている場合もあり、胃は食べてはいけない。甲羅をはずした裏側の、ちょうど蟹の目の位置にある菱形の塊が胃である。また蟹の両脇部分にある白くて紐状の鰓(エラ)も食べてはいけない。



図2 上海蟹

繰り返しになるが、蟹は体を冷やすので、美味しいからといって沢山食べ過ぎないようにしたいものだ。

今回は“ほうじ茶”を題材にした落語を紹介する。

『元犬(もといぬ)』は文化年間に出版された笑話本「写本落嘶桂の花」の一篇である「白犬の祈誓」が原話となった落語の演目の一つ。

【元犬(もといぬ)】

蔵前八幡の境内に1匹の純白の野良犬“シロ”が住み着いており、参詣客に大変可愛がられていた。

近くに住むご隠居:「お前は綺麗な白犬だ。差し毛が一本も無い。おまえのような純白の犬は人間に近いと昔から言われている。次の世では人間に生まれてくるのだぞ」

シロも考えた。人間が蔵前八幡の天神様を参拝してお願い事をすれば御利益があるのだから、この犬の俺の願いも叶えてくれるはずだと、お百度を踏む事にする。

シロ:「できれば、今生のうちに人間になりたいと思います」と毎日熱心にお願ひする。

天神様:「あの犬、今日も来ているな。熱心な犬だね、うちの氏子の中にもあんな信心深い者はいないな。お賽銭持って来られないから、代わりに鰻の頭やイワシの尻尾とか持ってきてくれる。気持ちは嬉しいけど、お社が生臭くなるな。よし、願を叶えてやろう」

* ほうじ茶:葉が赤茶色に変わるまで強火で焙じて作る。日本茶業中央会の定める緑茶の表示基準では「ほうじ茶とは、煎茶や番茶などを強い火で焙じて製造したもの」と定義されており、緑茶の1分類である。今日の製法は1920年代に京都において確立された。

満願の日、どこからともなく風が吹いてくると、
体中の毛が抜けて人間になった。

素っ裸で境内に立っていると、三間町の桂庵・
武蔵屋の吉兵衛さんに出会う。

話をして羽織を着せて貰い店まで連れて行って
貰う。

部屋に上がれと言われて、汚い足でそのまま上
がろうとするし、雑巾で足を拭いてから上がれ
と言えば、雑巾を口にくわえて振り回す。

吉兵衛さんの女房を紹介すると、

シロ：「知っております。先日台所に来たら、
水をぶっかけられました」とわけの判らない
事を話す。

吉兵衛さんは女房と相談して、千住のご隠居に
紹介する事になる。着物も着込んで出掛けよう
とすれば、履き物を四つ足に履く始末。

千住に着くと、部屋内に通される。

千住のご隠居：「この人はきれい好きだね。だっ
てグルグル家の中を回って、畳の匂いをかいで
いる」

吉兵衛さんが帰ると、

千住のご隠居：「生まれはどこかね？」

シロ：「蔵前の掃き溜めの裏で生まれた」

千住のご隠居：「え！・・・そうか、卑下をして
言うとは偉いものだ」

千住のご隠居：「両親はご健在かな？」

シロ：「両親とは何でしょうか？」

千住のご隠居：「女親は？」

シロ：「あー、メスですか。メスは毛並みが良
いからと言われて、横浜から連れられて、外国
に行っちゃいました」

千住のご隠居：「それは大変でしたね。ご兄弟
は？」

シロ：「三匹です。一匹は踏みつぶされてしま
いました。もう一匹は咬む癖があるので、警察
に検挙されました」

千住のご隠居：「お前さんの歳は？」

シロ：「三つです」



図3 元犬

千住のご隠居：「そうか、二十三歳ですか」

千住のご隠居：「名前は？」

シロ：「シロ、です」

千住のご隠居：「白の後に何か有るでしょう」

シロ：「いえ、ただのシロです」

千住のご隠居：「只四郎（ただしろ）か、良
い名前だ。お前がいると、夜も気強い」

シロ：「夜は寝ません。泥棒が来たら、向こう
ずねを食らいついてやります」

千住のご隠居：「気に入った。この家に居て貰
おう。ところで、のどが渴いたから、お茶にし
よう。チンチン沸いている鉄瓶の蓋を取ってく
れ、・・・早く」

シロ：「ここでチンチンするとは思わなかった」
と犬の時のチンチンをする。

千住のご隠居：「用が足りないな。ほうじ茶が
好きだから、そこの茶ほうじを取ってくれ。茶
ほうじダ」

シロ：「？」

千住のご隠居：「茶ほうじが分からなければ、
焙炉（ほいろ）。ホイロ」

吠えろと聞きちがえて

シロ：「うー〜ワン」と吠えてしまう。

話にならないので、女中のお元さんに

千住のご隠居：「お元〜、お元は居ないか、お
元はいぬ（いる）か？」

シロはまたまた勘違いして

シロ：「元は犬でございましたが、今朝がた人間になりました」。

そう言えば、日本語を話す犬が携帯電話の宣伝に出ていたが、白い犬だった・・・

*****◀

..... 引用文献

- 1) 中医学の基礎 平馬直樹・兵頭明・路京華・劉公望監訳 東洋学術出版社
- 2) やさしい中医学入門 関口善太著 東洋学術出版社
- 3) 中医診断学ノート 内山恵子著 東洋学術出版社
- 4) 東洋医学の基本 後藤修司監訳 日本実業出版社
- 5) 薬膳と中医学 徳井教孝・三成由美・張再良・郭忻共著 建帛社
- 6) 全訳中医診断学 王憶勤主編 たにぐち書店
- 7) 漢方アドバイザー養成講座テキスト 漢方に関する基礎知識編 第二巻 JACDS
- 8) 中国茶譜 宛暁春主編 中国林業出版社
- 9) 中国茶図鑑 工藤佳治、兪向紅著 文藝春秋
- 10) 皇帝内経 養生図典 海豚出版社
- 11) アトピーは中医学と薬膳で治す 植松光子著 二見書房

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

ニューフードインダストリー 第54巻 第3号

印刷 平成 24 年 2 月 25 日
発行 平成 24 年 3 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