

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2013 Vol.55 No.12

12

論 説

- 栄養素の消化・吸収機構に関与している体内時計
- 消化系は体内吸収するサプリメント成分を選ぶ
- 芋焼酎の香りの正体を求めて
- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (12)
現代の日本で極度に警戒すべき寄生虫症、
旋尾線虫 (*Spirulina* sp) 幼虫症の感染源 (ノート)

特別寄稿

- Dietary silkworm powder reduces blood glucose and visceral fat in mice

連 載

- シロザケの天然種苗と人工種苗
- 築地市場魚貝辞典 (ホウボウ)
- “薬膳” の知恵 (81)
- “地域密着でキラリと光る企業”
米菓市場をリードする『亀田製菓株式会社』



論 説

- 栄養素の消化・吸収機構に関与している体内時計
..... 榊原 啓之, 青島 良輝, 山崎 隼輔, 下位 香代子 1

- 消化系は体内吸収するサプリメント成分を選ぶ
..... 金沢 和樹 9

- 芋焼酎の香りの正体を求めて
..... 高峯 和則 22

- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (12)
現代の日本で極度に警戒すべき寄生虫症,
旋尾線虫 (Spirurina sp) 幼虫症の感染源 (ノート)
..... 牧 純, 関谷 洋志, 田邊 知孝, 相良 英憲, 舟橋 達也, 玉井 栄治, 坂上 宏 31

特別寄稿

- Dietary silkworm powder reduces blood glucose
and visceral fat in mice
..... 中村 照子, 高濱 (一田) 昌利 35

連 載

- シロザケの天然種苗と人工種苗
..... 酒本 秀一, 大橋 勝彦 40

- 築地市場魚貝辞典 (ホウボウ)
..... 山田 和彦 58

- “薬膳”の知恵 (81)
..... 荒 勝俊 62

- “地域密着でキラリと光る企業”
米菓市場をリードする『亀田製菓株式会社』
..... 荒 勝俊 67

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料

コクベース

セラチン&小麦グルテン

酵素分解調味料

エンザップ

new発酵調味料

D&M

ディアンドエム

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース
ラクティックイーストエキス

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

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

栄養素の消化・吸収機構に關与している体内時計

榊原 啓之 (SAKAKIBARA Hiroyuki) *1 青島 良輝 (AOSHIMA Yoshiki) *2

山崎 隼輔 (YAMAZAKI Shunsuke) *2 下位 香代子 (SHIMOI Kayoko) *2,3

*1 宮崎大学 農学部 *2 静岡県立大学大学院 薬食生命科学総合学府 *3 静岡県立大学 環境科学研究所

Key Words：体内時計・概日リズム・栄養素・消化吸収・機能性成分

はじめに

我々ヒトを含む生物の体内には、広く“体内時計”が存在しており、遺伝子発現のようなミクロな現象から体温や睡眠/覚醒などのマクロな現象まで、多くの生命現象が約24時間周期のリズム、いわゆる“概日リズム”を刻んでいることが知られている。また、摂取した栄養素や機能性成分が体内で効果を発揮する過程で通過する必要がある消化・吸収・代謝機構にも、一日の中で活性が高い時間帯と低い時間帯が存在している。従って、摂取する時間帯によって栄養素や機能性成分の作用や効果が異なる可能性が示唆されている。本稿では、体内時計について概説するとともに、摂取時刻の違いによって食品成分の作用が異なる可能性を示唆する研究例をいくつか紹介する。

1. オジギソウで発見された概日リズム

自然界には、様々な周期で刻まれている規則正しいリズムが存在している。例えば、地球は地軸の周りを23時間56分(約24時間)毎に回転し、365.3日(約1年)毎に太陽の周りを1周している。月は29.5日(約1か月)毎に地球の周りを1周するため、1ヶ月周期での満ち

欠けが繰り返される。ヒトの体内で刻まれているリズムに目を向けると、レム睡眠とノンレム睡眠のセットの時間には周期があり、ヒトでは約90分間隔で一つの周期となっている。睡眠/覚醒のリズムや体温のリズムは約24時間周期であるし、生殖年齢の女性は約1カ月に1度の周期で排卵を繰り返す。また、季節うつ病(季節性情動障害)のように、季節性の周期リズムを有する疾患があることも知られている。このような生物が体内に持っている様々なリズム機能を体内時計というが、中でも約24時間周期のリズムを刻む概日リズム(サーカディアンリズム)に関する研究が進んでいる。

概日リズムについての科学的な報告は、フランスの天文学者であるde Mairan博士が1729年にオジギソウを用いて行った研究に始まる¹⁾。日中のオジギソウ(*Mimosa pudica*, 図1-A)は葉を開いているが、夜になると閉じる(図1-C)。この現象はそれ以前から知られていたが、オジギソウが葉を開いたり閉じたりするのは、太陽からの光刺激に連動した動きであると考えられていた。de Mairan博士は、恒常的暗期条件下にオジギソウを置いた時でも、このような葉の開閉周期が維持されること、さらに恒常的暗期条件下に光の刺激がないに

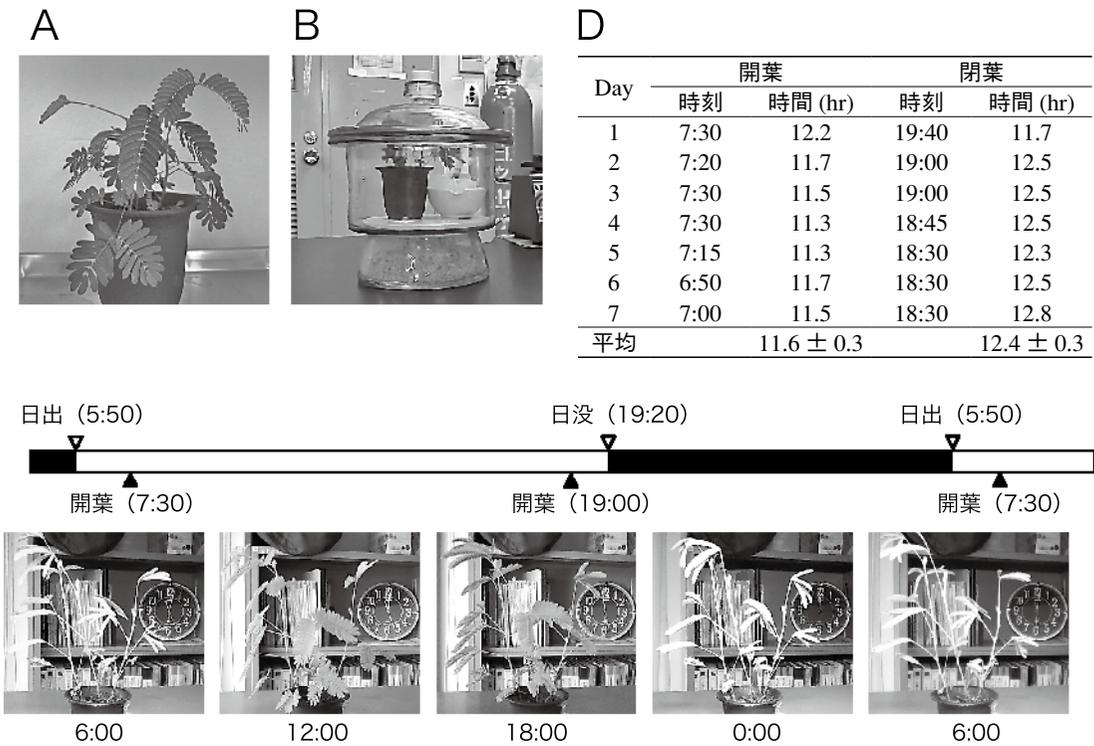


図1 オジギソウが刻む24時間周期のリズム

A) オジギソウ (*Mimosa pudica*) ; B) エーテルで充満させたデシケーター内に入れたオジギソウ ; C) 日内でオジギソウの葉が開閉する様子。□ : 明期, ■ : 暗期 ; D) オジギソウの葉の一週間の開閉時刻。

もかわらず、その開閉周期が外界の昼夜の周期と同じであったことから、オジギソウの葉の開閉周期は太陽からの光刺激に連動して生じる外因性の周期ではなく、オジギソウの体内に組み込まれた内因性の周期である可能性を示唆した。実際に、オジギソウの開閉時刻と日出日没の時刻を調べてみると、日出よりも遅く葉が開き、日没よりも早くに葉が閉じることがわかる(図1-C)。さらに一週間の間、オジギソウの葉の開閉時刻を追跡すると、毎日の開葉時間は 11.6 ± 0.3 時間、閉葉時間は 12.4 ± 0.3 時間であり、明確な24時間の周期を示していた(図1-D)。de Mairan博士が報告したこの発見を機に、生物体内で刻まれている概日リズムの研究が始まったが、このあたりの詳細については、いくつかの一般書や専門書にまとめられ

ているので参考にされたい^{2,3)}。なお概日リズムが刻む周期は正確に24時間周期ではないため、外部環境からの調節がなされない状況下では、徐々に周期がずれていくことになる(フリーラン)⁴⁾。しかしながら、概日リズムは、通常、起床直後の光刺激や食事(朝食)摂取によりリセットされ、正確に24時間周期のリズム(日内リズム)に補正されている。

余談ではあるが、昼間のオジギソウに手を触れると速やかに葉が閉じられる。この反応は、手が触れるという刺激が電気信号となり、その信号が運動器官である主葉枕に伝わり、チロシンのリン酸化を介して生じている⁵⁾。面白いことに、図1-Bのようなデシケーター内に動物試験を行うときに吸入系麻酔薬として利用されるジエチルエーテルを入れた後、その中にオジ

ギソウをしばらく置くと、手を触れてもオジギソウが葉を閉じなくなるという現象を観察できる。そして、オジギソウをデシケーターから出すと元通りの反応を示すようになる。その詳細なメカニズムは未だ不明なそうだが、オジギソウの神経伝達系が動物と類似しているとの知見は興味深い。

2. 体内で刻まれている様々な概日リズム

体内で刻まれているリズムについては、マウスやラットなどのげっ歯類を用いた研究の成果が豊富であるため、最初にげっ歯類の体内で刻まれているいくつかの概日リズムについて概説した後、ヒトのリズムに言及していく。なお、げっ歯類は夜行性であるのに対し、ヒトは昼行性であるため、げっ歯類で得られた知見をそのままヒトに外装することには危険を伴うが、一般的に活動期/休眠期を基準として比較すると、げっ歯類とヒトの体内で刻まれている多くのリズムは、類似したパターンを示すことが知られている⁶⁾。

2-1. 概日リズムを生み出す機構

概日リズムを制御している機構は複雑であるが、中心的役割を果たしているのは circadian locomotor output cycles kaput (CLOCK), brain and muscle ARNT-like protein 1 (BMAL1), period (PER), cryptochrome (CRY) の4つの時計遺伝子と呼ばれる遺伝子群によって形成されているネガティブフィードバックループに基づいた転写・翻訳ネットワークである(図2)^{7,8)}。具体的には、CLOCKとBMAL1が複合体を形成し、E-box領域に結合すると、*Per*と*Cry*の転写が促進される。続いて、RNAから翻訳されたPERとCRYが複合体を形成した後、転写調節因子であるCLOCK/BMAL1複合体の活性を抑制することで、*Per*と*Cry*の転写が抑制され

る(ネガティブフィードバック)。この時計遺伝子が形成しているネガティブフィードバックループにより、体内では概日リズムが刻まれることになる。

実際に、マウス体内で刻まれている時計遺伝子の日内発現パターンを測定した。雄性C57BL/6マウス(4週齢)を4週間の順化期間を経た後、麻酔下でZT6, 9, 12, 15, 18, 21, 24(0), 3, 6に肝臓を摘出した。ZTはZeitgeber timeの略であり、ZT0が照明を点灯した時刻を示す。つまり、本実験を実施した動物飼育施設の照明サイクルは12時間に調節されているため、ZT0~ZT12が明期(休眠期)、ZT12~ZT24(0)が暗期(活動期)となる。既報⁹⁾に従い、肝臓中のそれぞれの遺伝子発現量を7500 Real-Time PCR System (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)により測定した。その結果を図3に示す。肝臓中の*Bmal1*と*Clock*の発現は、暗期の後半に高く、明期の後半に低くなる周期を刻んでいた。一方、*Per*と*Cry*の発現は明期の後半から暗期の中間が高く、暗期の後半から明期の中間が低くなる周期を刻んでおり、これは*Bmal1*や*Clock*とは逆位相であった。このような日内リズムは、肝臓以外の他の臓器でも同様に刻まれている¹⁰⁾。

さらにCLOCK/BMAL1複合体はE-Box領域を介して、RAR-related orphan receptor (ROR)やnuclear receptor subfamily 1, group D (REV-ERB)の転写を促進する(図2)。これらはCLOCKとBMAL1の発現を調節しているRRE領域に対し、それぞれ促進的、抑制的に作用している。したがって、時計遺伝子の中でも中心的役割を果たしているBMAL1やCLOCKの遺伝子を欠損させると、その制御下にある*Rev-erb α*や*Per*などの遺伝子の発現、さらには活動自体の日内リズムが失われることが、細胞レベルおよび動物個体レベルで報告されている^{11,12)}。このような時計遺伝子の制御下

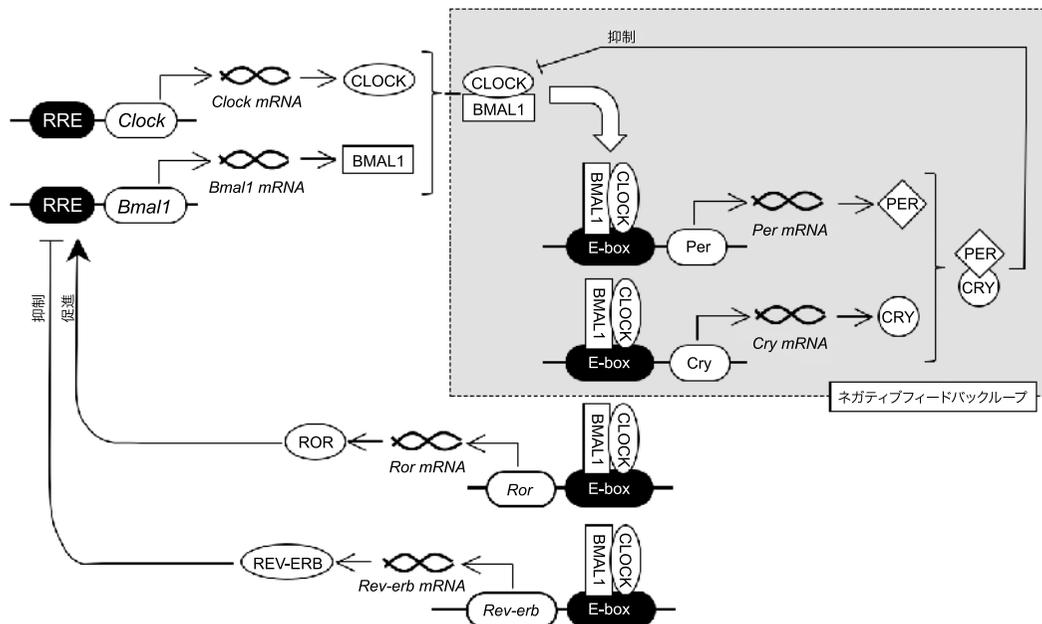


図2 サークディアンリズムを制御しているネガティブフィードバックループ

Clock, circadian locomotor output cycles kaput; Bmal1, brain and muscle ARNT-like protein 1; Per, period; Cry, cryptochrome; Ror, RAR-related orphan receptor; Rev-erb, nuclear receptor subfamily 1, group D.

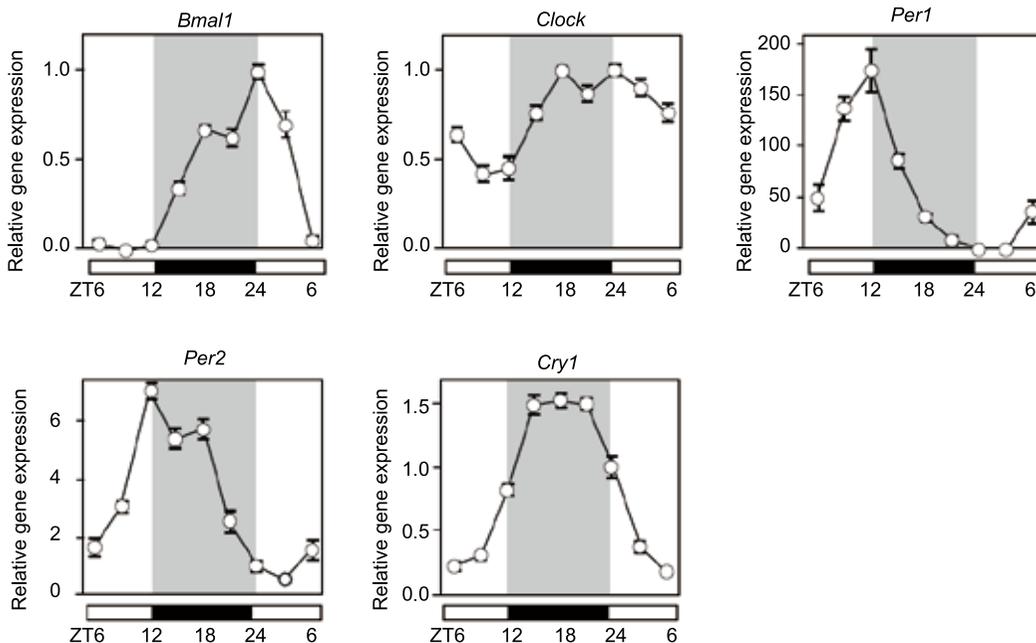


図3 マウスの肝臓中で刻まれている時計関連遺伝子の日内発現リズム

雄性 C57BL/6 マウス (4 週齢) を 4 週間の順化期間を経た後、麻酔下で ZT6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 (0), 3, 6 に肝臓を摘出し、それぞれの遺伝子発現量を定量的 RT-PCR 法により測定した。もっとも低発現量を示した地点を基準 (1.0) として、それぞれの時刻における遺伝子発現量を算出した (平均値±標準誤差, n=5)。本試験は、静岡県立大学動物実験規定に従って実施された。

にあって、概日リズムを刻んでいる遺伝子群を Clock-controlled genes (CCGs) と呼び、2000 種を超える CCGs が存在している¹³⁾。また、グルコースやフルクトースなどの糖質やペプチドの吸収を制御している消化管粘膜細胞中のヘキソーストランスポーター (*Glut2*, *Glut5*, *Sgt1l*) やペプチドトランスポーター (*Pept1*)、頂膜ナトリウム依存性胆汁酸トランスポーター (*Abst*)、肝臓中のミクロソームトリグリセリド輸送タンパク質 (*Mtp*) や硫酸抱合酵素 (*Sult1a1*) などの栄養成分の体内への吸収機構や体内での代謝機構に関与している因子の発現にも明確な概日リズムがあり、これらのリズムは E-Box 領域を介して発現が調節されている *Per* や *Cry* の発現リズムと類似している¹⁰⁾。

2-2. グルココルチコイドが刻むリズム

副腎皮質から分泌される主要なグルココルチコイドであるコルチコステロン(ヒトの場合は、コルチゾール)の主要な役割の一つは、肝臓での糖新生を促進させることによる血糖値の上昇である。このコルチコステロンの血中レベルにも明確なリズムが存在している。3 時間間隔でマウスから採血し、血中コルチコステロン値を測定すると、覚醒期の前 (ZT9) に最大値を示し、覚醒後は徐々に減少をはじめ、休眠期前 (ZT21-24) には最低値を示すことがわかる¹⁴⁾。我々ヒトにおいても同様に、血中コルチゾールは覚醒前に最高値、睡眠前に最低値となる^{15,16)}。これは覚醒へ向けて必要となるエネルギー(グルコース)を得るための生体機構と考えられている。

2-3. 睡眠と体温のリズム

我々ヒトは、朝起きて夜眠るという睡眠/覚醒リズムを持っている。総務省「平成 23 年社会生活基本調査」によると、日本人の一日の平均睡眠時間は 7 時間 42 分(男性:7 時間 49 分、

女性:7 時間 36 分)である¹⁷⁾。我々は、通常、この睡眠を一度にまとめて夜にとる単相型の生物である。一方、夜行性のマウスはヒトとは逆位相の睡眠/覚醒パターンを示し、かつ一度にまとめて睡眠をとるのではなく、こまめに睡眠と覚醒を繰り返す多相型である。実際、マウスの頭部に電極を付け、一日の睡眠/覚醒パターンを記録すると、暗期の前半に比較的まとまった覚醒期を持ち、その後、覚醒/睡眠の繰り返しが始まり、睡眠期である明期に入ると睡眠の割合が長くなるが、やはり約 2 時間毎に十分程度の覚醒が生じていることを観察することができる¹⁴⁾。この時の脳温(深部体温)の変化を追跡すると、睡眠中は体温が低く、逆に覚醒中は体温が高くなっており、睡眠/覚醒のリズムと体温の上昇/下降のリズムが同調していることがわかる。ただし、覚醒時間が長い暗期の方が全体的に体温が高いため、平均すると暗期の方が明期と比較して 3~4℃程度体温が高いリズムを刻んでいる。つまり、恒温動物であっても、一日の中で体温には高い時間帯と低い時間帯が存在している。この体温の日内リズムはヒトでも同様に刻まれているが^{18,19)}、実際に、どれぐらいの体温変化が一日の中で見られるのかをひとりの被験者について測定した結果を図 4 に示す。市販の電子体温計を用い、5 日間、舌下温度を測定したところ、体温は午後遅くに最高値を示し、その後緩やかに低下を始めた。さらに睡眠中も体温は低下し続け、起床前に上昇を開始した。このように、体温計を使って体内で刻まれているリズムを容易に測定することが可能である。睡眠前の体温は下降期にあるが、興味深いことに、体温が下降している期間の前半から始まる睡眠は長期間継続されるが、下降期の後半以降に始まる睡眠は短くなることが報告されている¹⁹⁾。これは、我々が普段の生活の中で経験がある朝(体温が上昇し始めている時期)からの睡眠や昼寝は長

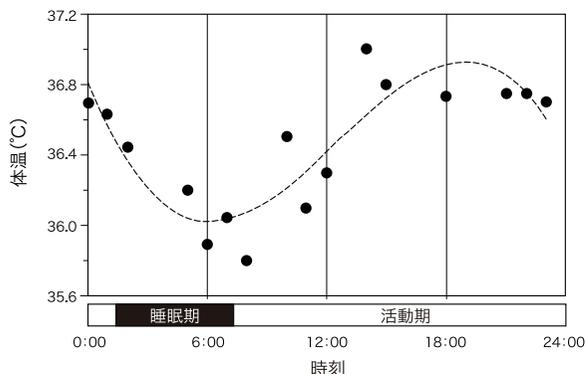


図4 体温の日内変動

市販の電子体温計を用いて、舌下温度を測定した（5日間）。

くは続かないこと、あるいは時差のある国を訪問した時には十分な眠りが続かないこと（時差ボケ）の理由の一つが、体温が刻んでいるリズムにある可能性を示唆している。

睡眠期の体温は覚醒期よりも低くなるリズムを刻んでいるが、眠らずに安静にしている状態下であっても、本来の睡眠期である時間帯には同じ挙動を示す。しかしながら、睡眠をとった方が眠らずに安静にしている状態よりも、体温はより低下する¹⁸⁾。つまり、体温の日内リズムは内因性的リズムであるが、睡眠自体が体温をより低下させている可能性がある¹⁹⁾。我々ヒトの体温は、全身各部で同じ温度ではなく、部位によっては外界の温度環境によって大きく異なる。一般的に、身体の内側部分の温度（深部体温）は外界の温度変化に影響されないが、手足のような外側の部分は、外界の温度変化によって変化する。寝る前の乳児の手足が温かくなったり、入浴後に手足が温かくなると睡眠欲が生じる理由は、手足から熱を放出することで深部体温を下げ、睡眠に備えようとする生理現象である。

2-4. 栄養素や機能性成分の消化・吸収機構に及ぼす体内時計の影響

我々ヒトを含む生物は、外界から必要な栄養

分を摂取し、それを利用して生命活動を営んでいる。三大栄養素である糖質、脂質、タンパク質は重要な栄養素であるが、いずれの成分も、基本的に摂取した形態のまま体内へ吸収されることはない。例えば、代表的な糖質であるでんぷん（アミロースやアミロペクチン）の場合、唾液アミラーゼや膵アミラーゼの働きにより消化管内で加水分解され、さらに小腸粘膜上皮においてマルターゼやソマルターゼ等の酵素の働きにより膜消化された結果生じる単糖（グルコース）が、小腸の刷子縁膜上の SGLT1 (sodium-dependent glucose transporter) を介した能動輸送により細胞内へ吸収、さらに側底膜上の GLUT2 (glucose transporter 2) を介した促進拡散により血中へ移行する。したがって、摂取した糖質を体内へ吸収する機構は、吸収に関与している酵素の働きとトランスポーターの発現量が律速である。アミラーゼのような酵素の活性は温度によって大きな影響を受けるが、上述のように、図2で示した被験者の舌下温度は、一日の中で 35.7 ~ 37.0°C の間で変動していた。マウスなどのげっ歯類では、日内の体温変動は 3 ~ 4°C である。このような体温の日内変動が酵素反応に及ぼす影響を、唾液アミラーゼを利用して評価した。33°C ~ 45°C の各温度に温めたリン酸緩衝液 (pH6.9) で 25 倍に希釈した唾液 0.5 mL に対し、同じ温度の可溶性でんぷん水溶液を 1.5 mL 添加した後、正確に 3 分間インキュベーションした。0.5 mL の 0.02% ヨウ素 / 0.2% ヨウ化カリウム水溶液を添加した後、速やかに 620 nm の吸光度を測定した。アミラーゼ活性は、加藤らの方法²⁰⁾ に従い、反応後の吸光度の値と酵素反応開始前 (0 分) の吸光度の値から、3 分当たりの呈色減少率 $A = (D - D') / D \times 100$ (D = 反応 0 分の吸光度, D' = 反応 3 分後の吸光度) を算出した。3 分当たり 10% 減少させる酵素量を 1 単位とし、唾液 1 mL あた

りの酵素量として求めた結果を図5に示す。33～37℃の範囲の唾液アミラーゼ活性には大きな差は見られないが、37℃以降は温度依存的に急激に低下したことから、唾液アミラーゼの最適温度は約37℃であり、その前後、特に高温側では活性が弱くなるのがわかる。その他の3大栄養素についても同様に、消化管内で脂質はリパーゼの働きにより、タンパク質はペプシンやトリプシン等の酵素の働きによって消化された後、吸収される。また、上述の通り、消化された栄養素を体内へ吸収する機構であるグルコースやペプチドの特異的なトランスポーターの発現にも明確な日内リズムがある。したがって、3大栄養素の体内への吸収は、摂取する時刻によって異なる可能性が高い²¹⁻²³⁾。

これは、糖質やタンパク質のような栄養素に限った現象ではなく、健康の維持や増進のための生体調節機能を有した成分についても同様である。例えば、代表的な機能性成分であるフラボノイドの多くは食品中では配糖体として存在しているが、通常、消化管内で加水分解によりアグリコン体となり、体内への吸収された後、

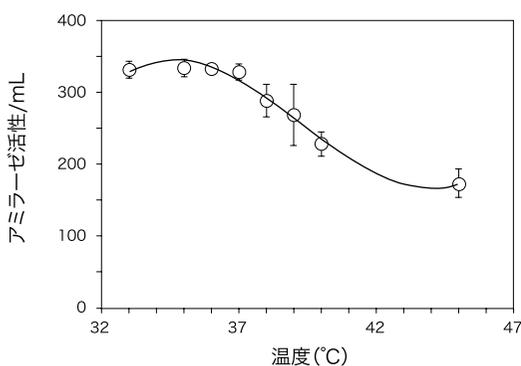


図5 唾液アミラーゼの活性に与える温度の影響

各温度に設定したリン酸緩衝液 (pH6.9) で25倍に希釈した唾液0.5 mLに対し、同じ温度の可溶性でんぷん水溶液を1.5 mL添加した後、正確に3分間インキュベーションした。0.5 mLの0.02% ヨウ素/0.2% ヨウ化カリウム水溶液を添加した後、速やかに620 nmの吸光度を測定した。平均値±標準偏差で表示 (n=4)。

血中を硫酸抱合体やグルクロン酸抱合体として移動する。近年の研究により、硫酸抱合酵素であるSULTの発現に日内リズムがあることが報告されている²⁴⁾。摂取した成分の体内への吸収には、胃内移行速度も大きな影響を及ぼす。フラボノイドの一つであるアントシアニンの胃から回腸への移行速度をマウスを用いた系で測定すると、同じ量を投与したにも関わらず、移行速度は活動期に投与した場合の方が早いことがわかる¹⁰⁾。また機能性成分の主要な働きの一つに抗酸化活性があるが、内因性の抗酸化システムである血中のスーパーオキシドディスムターゼ(SOD)やカタラーゼの活性は、睡眠期の方が活動期と比較して高い²⁵⁾。一方、過酸化指標の一つであるチオバルビツール酸反応性物質(TBARS)の血中量は、内因性抗酸化システムが低い時間帯(活動期)の方が高い²⁵⁾。これらの結果は、外界刺激に対して意識的に対応することができない睡眠期の内因性抗酸化システムを高めることで、生体が活性酸素からの攻撃に備えている可能性を示唆している。したがって、内因性の抗酸化システムが刻んでいるリズムを考慮に入れるならば、抗酸化効果が期待される機能性成分は夜に摂取することが効果的なものかもしれない。

おわりに

本稿では、概日リズムを中心とした体内時計について概説するとともに、栄養素や機能性成分は摂取する時間帯によって体内への吸収量が異なる可能性について述べてきた。生物体内に存在している概日リズムに関する科学的な知見が1729年にde Mairan博士によって指摘されて以来、まだ300年を経していない。しかしながら、特に近年、急速に体内時計に関する新たな知見が見出され続けている。我々の体内で確かに刻まれている体内時計、そして“食べる”という生物にとって必要不可欠な生理現象に多大

な影響を及ぼす体内時計の研究は、今後ますます加速することが予想される。我々も、体内時計の観点から、栄養学や食品機能学に関する新たな知見を見出すことを目的に研究を推進していきたい。

[謝辞]

本稿で紹介した研究の一部は、JSPS 科研費 23680074 (榊原啓之) の助成を受けて実施したものである。

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

- 1) de Mairan JJO: Observation botanique. Histoire de l'Academie Royale des Science, 35-36, 1729.
- 2) 著 /Foster R, Kreitzman L, 訳 / 本間 徳子, 生物時計はなぜリズムを刻むのか, 東京: 日経 BP 社, 2006.
- 3) 海老原 史樹文, 吉村 崇, 時間生物学, 京都: 化学同人, 2012.
- 4) Abe H, Honma S, Honma K: Daily restricted feeding resets the circadian clock in the suprachiasmatic nucleus of CS mice. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, **292**: R607-15, 2007.
- 5) Kameyama K, Kishi Y, Yoshimura M, *et al.*: Tyrosine phosphorylation in plant bending. *Nature*, **407**: 37, 2000.
- 6) Akashi M, Soma H, Yamamoto T, *et al.*: Noninvasive method for assessing the human circadian clock using hair follicle cells. *Proc Natl Acad Sci USA*, **107**: 15643-8, 2010.
- 7) Bellet MM, Sassone-Corsi P: Mammalian circadian clock and metabolism - the epigenetic link. *J Cell Sci*, **123**: 3837-48, 2010.
- 8) Kagawa Y: From clock genes to telomeres in the regulation of the healthspan. *Nutr Rev*, **70**: 459-71, 2012.
- 9) Kido T, Sakakibara H, Ohura T, *et al.*: Evaluation of chlorinated benz[a]anthracene on hepatic toxicity in rats and mutagenic activity in Salmonella typhimurium. *Environ Toxicol*, **28**: 21-30, 2013.
- 10) Tsurusaki T, Sakakibara H, Aoshima Y, *et al.*: Diurnal rhythmicity in biological processes involved in bioavailability of functional food factors. *J Clin Biochem Nutr*, **52**: 208-14, 2013.
- 11) Fuller PM, Lu J, Saper CB: Differential rescue of light- and food-entrainable circadian rhythms. *Science*, **320**: 1074-7, 2008.
- 12) Marcheva B, Ramsey KM, Buhr ED, *et al.*: Disruption of the clock components CLOCK and BMAL1 leads to hypoinsulinaemia and diabetes. *Nature*, **466**: 627-31, 2010.
- 13) Bozek K, Relogio A, Kielbasa SM, *et al.*: Regulation of clock-controlled genes in mammals. *PLoS One*, **4**: e4882, 2009.
- 14) 榊原 啓之, 小柳 顯陽, 青島 良輝, *et al.*: 外部刺激に対する生体応答を評価するために一夜行性のマウスを用いた時間生物学的アプローチ. 谷本学校毒性質問箱, **13**: 116-123, 2011.
- 15) Chua EC, Shui G, Lee IT, *et al.*: Extensive diversity in circadian regulation of plasma lipids and evidence for different circadian metabolic phenotypes in humans. *Proc Natl Acad Sci USA*, **110**: 14468-73, 2013.
- 16) Thorsley D, Leproult R, Spiegel K, *et al.*: A phenomenological model for circadian and sleep allostatic modulation of plasma cortisol concentration. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, **303**: E1190-201, 2012.
- 17) 総務省「平成 23 年社会生活基本調査」, (2013) <http://www.stat.go.jp/index.htm>.
- 18) Aschoff J: Circadian control of body temperature. *J. Therm. Biol.*, **8**: 143-147, 1983.
- 19) 亀井雄一, 内山真: 快眠法. *Modern Physician*, **25**: 55-59, 2005.
- 20) 加藤 陽治, 照井 誉子, 羽賀 敏雄, *et al.*: 生食野菜類のアミラーゼ活性. 弘前大学教育学部教科教育研究紀要, **17**: 49-57, 1993.
- 21) Fatima J, Iqbal CW, Houghton SG, *et al.*: Hexose transporter expression and function in mouse small intestine: role of diurnal rhythm. *J Gastrointest Surg*, **13**: 634-41, 2009.
- 22) Pan X, Terada T, Okuda M, *et al.*: Altered diurnal rhythm of intestinal peptide transporter by fasting and its effects on the pharmacokinetics of cefibuten. *J Pharmacol Exp Ther*, **307**: 626-32, 2003.
- 23) Qandeel HG, Duenes JA, Zheng Y, *et al.*: Diurnal expression and function of peptide transporter 1 (PEPT1). *J Surg Res*, **156**: 123-8, 2009.
- 24) Zhang YK, Yeager RL, Klaassen CD: Circadian expression profiles of drug-processing genes and transcription factors in mouse liver. *Drug Metab Dispos*, **37**: 106-15, 2009.
- 25) Subramanian P, Dakshayani KB, Pandi-Perumal SR, *et al.*: 24-hour rhythms in oxidative stress during hepatocarcinogenesis in rats: effect of melatonin or alpha-ketoglutarate. *Redox Rep*, **13**: 78-86, 2008.

消化系は体内吸収するサプリメント成分を選ぶ

金沢 和樹 (KANAZAWA Kazuki) *

* 吉備国際大学 地域創成農学部

Key Words：消化吸収・サプリメント・機能性食品・抗酸化・食物繊維・味覚受容体

要 旨

ヒトの消化系は栄養素とそれ以外の食物成分を選別する。ATP生産の原料になる栄養素の糖質、脂質、タンパク質は体内吸収され、肝臓で処理されて血流で体細胞に分配される。ATP生産に利用できない栄養素以外の成分を非栄養素というが、非栄養素は体細胞に分配されることなく排泄される。例えば脂質過酸化物は消化管で還元されて便に排泄され、体内吸収されない。アミノ酸の加熱分解物などの発がん前駆体は、門脈で肝臓に運ばれ、肝臓で解毒されて尿に排泄される。そこで、サプリメント成分は体内吸収されるのか否かを議論した。

はじめに

食物を食べることで生命を維持しているヒトなどの従属栄養生物は消化系を持っている。消化系は、生命を維持するために必要なエネルギーを産生することができる食物成分を選別して体内吸収する。消化系とは、口腔から大腸に至る消化管と、小腸から門脈で繋がっている肝臓とから成る系である。門脈は直接肝臓と繋がっており、体内循環する血流とは異なる。したがって体内とは、肝臓で処理された成分を体内に分配する血流と、それを受け取る体組織である。食品成分のうち、栄養素は体内に吸収される。栄養素の栄養化学的定義は、ATP生産の原料となる成分とその生産を補助する成分である。つまり、糖質、脂質、タンパク質、ビタミン・ミネラル類である。それ以外の食品成分は非栄養素である。仮に、栄養素の定義を「生命維持に役に立つもの」とするのならば、水も、酸素も、あらゆる物質が栄養素になってしまう。

サプリメント成分は健康維持に貢献する成分である。しかし、生命にとっては非栄養素である。生命はエネルギー生産の恒常性を維持することで成り立っている。健康維持効果があるということは生命に何らかの作用をしているということである。作用するということは、恒常性を乱すことであり、生命体は恒常性を乱すものを、基本的に体内吸収しない。いったん消化管上皮細胞に取り込み、細胞内で速やかに不活性化して、管腔側に放出し、便に排泄する。あるいは、消化管上皮細胞から門脈を経て肝臓に取り込むが、肝臓で速やかに不活性化して尿に排泄する。ならば、多様に販売されているサプリメント成分は体内吸収されるのか、そして体内で機能性を発揮するのか、という疑問が浮かぶ。

生命体はどのような食品成分を体内吸収するのか。もちろん栄養素は、それをういてエネルギーを生産するために体内吸収する。栄養素以外に体内に吸収する成分は次の3つである。一

つは、体の構成成分の一つで、加齢とか過労などが原因で体内に不足しているもの。二つ目は、体の構成成分ではないが、人類がヒトに進化する以前から、動物の時代から食べ続けている物質で、ヒトの体になじみが深いもの。三つ目は、消化系の処理を潜り抜けて体内に取り込まれるもの。これらをサプリメントに当てはめて考えると、この3種類の成分を用いているサプリメントは体内吸収されて、機能性を発揮する可能性が高いということになる。機能性を明確に示す食品成分の例がもう一つある。食べても体の中に入らず消化管を通過して糞便に捨てられるだけだが、消化管を通過するとき上皮細胞を介して情報伝達することで、体の機能を調節するものである。この4つ目の成分は、機能性食品研究の将来を担う大きな課題である。

本文では、消化管と肝臓からなる消化系が、体内吸収する食品成分を選別している例を示すことで、消化系の生命維持に関わる役割を解説する。そして、サプリメント成分の体内吸収に焦点を絞って、体内吸収時に不活性化されるもの、その不活性化を逃れるもの、あるいは、体内吸収されず機能性を発揮するものを、筆者の前報¹⁾を参考にしながら事例を挙げて解説したい。

1. 消化系による非栄養素の選別

食品の脂質には、多価不飽和脂肪酸の不飽和結合に隣接する炭素に酸素分子が付加した、過酸化脂質が含まれていることがある。半世紀ほど前には、300 meq/kg以上の過酸化脂質を含む食品を食べて下痢をするという事故があった。近年の食品は、加工・保存技術の進歩で、過酸化脂質の混入量は1 meq/kg以下である。

この過酸化脂質を、消化管は酸化していない脂質と選別して排泄する(図1)。過酸化の度合いが10 meq/kg以下の食品を食べた場合は、

胃内で、胃リパーゼがトリグリセリドに結合している過酸化脂肪酸を外し、グルタチオンペルオキシダーゼがそれを脂肪酸アルコールに還元する²⁾。この時、一部は胃の酸性によってアルデヒドに分解する。これらが小腸に移ると、脂肪酸アルコールは大腸を経て便に排泄される。アルデヒド類は腸上皮細胞に取り込まれ、アルデヒドデヒドロゲナーゼによって有機酸に代謝されてから体内吸収される³⁾。

仮に、過酸化が激しい300 meq/kg以上の脂質を食べたとすると、これは胃の処理能力を超えており、ほとんどが分解されずに小腸に移る。そして、小腸上皮細胞の細胞膜脂質に過酸化を誘発することで腸上皮に表膜剥離をおこし、下痢を誘発して、食べた過酸化脂質を排泄する。つまり、消化管は身を挺して、ATP産生系に組込むことができない有害な過酸化脂質を排泄するのである。

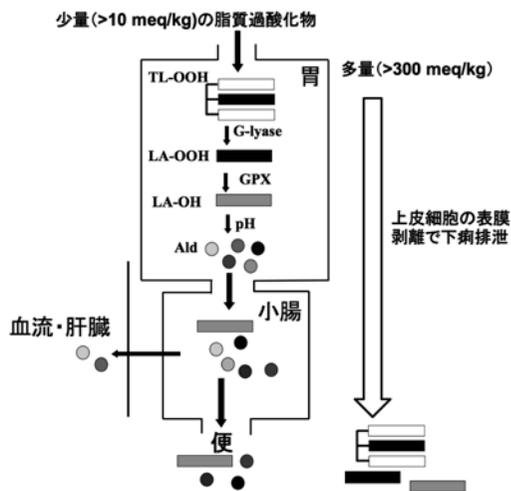


図1 食事過酸化脂質の消化管内での動き

摂取した中性脂質の過酸化物の、胃内と小腸内での変化。略語：meq/kg、過酸化基と反応して生成したヨウ素のミリ等量で、脂質の過酸化の程度を示す単位であり、mMと同義語。；TL-OOH、中性脂質のトリリノレイルグリセリドの過酸化物；LA-OOH、リノール酸の過酸化物；LA-OH、リノール酸アルコール；Ald、アルデヒド類；G-lyase、胃リパーゼ；GPX、グルタチオンペルオキシダーゼ。

一方、食物を90℃以上で加熱調理すると、何らかの発がん物質が生じる。タンパク質からはアミノ酸の加熱分解物であるヘテロサイクリックアミンが生じる。ヘテロサイクリックアミンとは窒素を含むヘテロ環にアミノ側鎖が付いた化合物の総称である。その17種類に発がん性がみとめられている。ヘテロサイクリックアミンは安定で反応性が低いために消化管内で分解することなく、腸上皮細胞を経て門脈から肝臓に取り込まれる。肝臓は腸管に由来する腺で、食品成分を体細胞に分配するための最終処理をする消化器官である⁴⁾。図2に概略を示したように、肝臓はシトクロムP450モノオキシゲナーゼ1A1で、ヘテロサイクリックアミンのアミノ側鎖をヒドロキサム酸に酸化し⁵⁾、その酸化部位をグルクロン酸や酢酸などで抱合して運搬しやすくして尿に排泄する⁶⁾。消化管のバリアーを潜り抜けた非栄養素は、体細胞に分配される前に、肝臓が解毒処理して尿に排泄するのである。

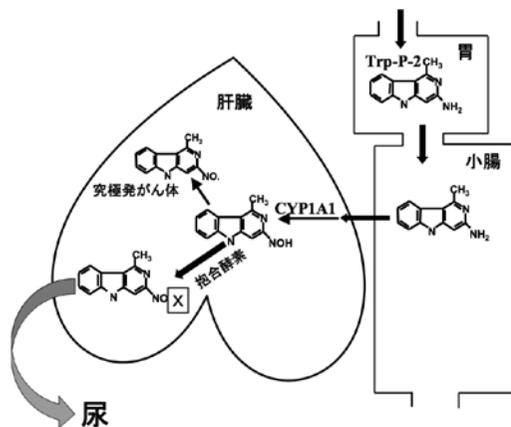


図2 発がん前駆体ヘテロサイクリックアミンの一つのTrp-P-2の肝臓での解毒反応の一例

肝臓に取り込まれたトリプトファン分解物のTrp-P-2は、シトクロムP450モノオキシゲナーゼ1A1(CYP1A1)で酸化され、その酸化部位が抱合酵素によって「X」であるグルクロン酸、硫酸、酢酸、あるいはグルタチオンなどを付加される。この抱合反応によって水溶性物質に変換されると血流を運搬しやすくなり、尿に排泄できる。

2. サプリメント成分の選別排泄

代表的なサプリメント成分のポリフェノールの体内吸収については、ヒトで十分に研究されている。一例としてフラボノイドのケルセチンの体内吸収を図3にまとめた⁷⁾。ヒトはケルセチンを、比較的水溶性が高いケルセチン配糖体として摂っている。配糖体はナトリウム依存グルコース輸送担体1で腸上皮細胞に取り込まれ、速やかにβ-グルコシダーゼによって加水分解で糖が外されてアグリコンになる。つまりケルセチンとなる。あるいは、上皮細胞表面に散在しているラクターゼフロリジン加水分解酵素でアグリコンとされ、単純拡散で上皮細胞内に取り込まれる。食品にはわずかにアグリコン

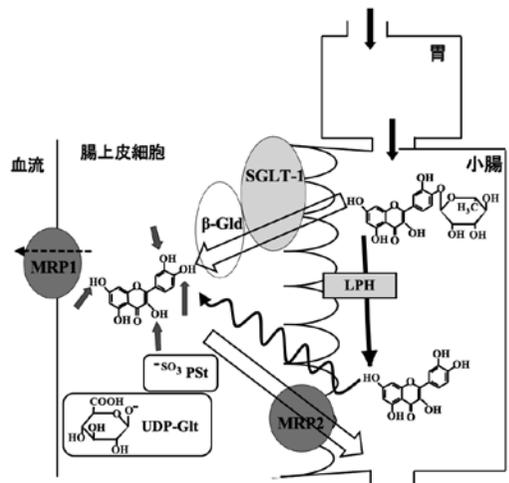


図3 フラボノイドの消化管上皮細胞での抱合排泄

一例としてフラボノールケルセチンの小腸上皮細胞への取り込みと、細胞内での抱合、および管腔側への排泄を、室田と寺尾の図を改変して示した⁷⁾。図中の略語は：LPH, lactase phloridzin hydrolase (ラクターゼフロリジン加水分解酵素)；SGLT-1, sodium-dependent glucose transporter 1 (ナトリウム依存グルコース輸送担体1)；β-Gld, β-glucosidase (β-グルコシダーゼ)；Pst, phenol sulfotransferases (フェノール硫酸転移酵素)；UDP-Glt, UDP-glucuronosyltransferases (UDP-グルクロン酸転移酵素)；MRP, Multidrug resistance-associate protein (多剤耐性タンパク質2)。

形態のケルセチンが含まれているが、それも単純拡散で上皮細胞に取り込まれる。上皮細胞内で、アグリコンは速やかに矢印で示した4つの水酸基のうちのいずれか一つが、硫酸転移酵素あるいはグルクロン酸転移酵素によって、硫酸あるいはグルクロン酸の付加を受ける。この代謝を「抱合」という。抱合は化合物の官能基をマスクする反応なので、抱合された化合物は生理活性をほとんど示さない。不活性化した抱合体は、そのほぼすべてが、多剤耐性タンパク質2によって管腔側、つまり糞便に排泄される。ごく少量が多剤耐性タンパク質1で血流に放出される。

この血流に放出される量は摂取量に比例しない。いくら多量に食べても、血中濃度は μM レベル以下である。仮に、サプリメント成分が上皮細胞に吸収されやすい形態に加工してあっても、血中濃度はやはり μM レベル以下である。ポリフェノールの抱合排泄に関わる酵素と輸送担体の活性はたいへん高い。酵素や輸送担体タンパク質が認識できる濃度の 10^6M 以上は、抱合されて排泄される。したがって、ヒト体内に取り込まれるポリフェノール濃度は酵素や輸送担体が認識できない濃度以下の、 nM オーダー以下である。

他のポリフェノールもケルセチンとほぼ同じ

である。ヒトに様々なポリフェノールを与えて血中濃度を測定した報告が多数ある。それらをManachらが総説にまとめている。その一部を抜粋して表1に示した^{8,9)}。いずれのポリフェノールでも血中最大濃度は数 μM から nM レベルである。しかも、そのほとんどが生理活性を示さない抱合体である。体内半減期とはその化合物が体外に排泄される速さを示唆する指標だが、ポリフェノールは速いものでは数時間、長く体内に留まっているものでも、一日ほどである。アミノ酸などの栄養素の体内半減期が数十日から百日余りであることと比較するときわめて速い。この速い排泄は、生命体がポリフェノールを必要としていないことを意味している。生理活性を示す化合物は、体内のタンパク質などに無作為に作用してその機能を変化させることで、恒常性を混乱させるからである。生命体はその生体に作用する機能を持つ化合物を速やかに不活性化して排泄する。

3. 体内吸収されるサプリメント成分

体内に取り込まれて顕著な機能性を示すサプリメント成分がいくつかある。それらは、「はじめに」でまとめたように大きく1), 2), 3)に分けることができる。これらを、以下で各論

表1 食事ポリフェノールの生体内有効性^{8,9)}

ポリフェノール	血中最大濃度 ($\mu\text{mol/L}$) ¹	体内半減期 (時間) ²
ケルセチン配糖体	0.51 – 3.80	10.9 – 28.0
ルチン	0.09 – 0.52	11.8 – 28.2
ヘスペリジン	0.21 – 0.87	2.2
ナリンギン	0.13 – 1.50	1.3 – 2.7
エピカテキン	0.09 – 1.10	1.1 – 4.1
エピガロカテキン	0.30 – 2.70	1.7 – 2.8
エピガロカテキンガレート	0.03 – 0.38	2.5 – 5.1
ダイゼイン	0.36 – 3.14	3.4 – 8.0
ゲニステイン	0.46 – 4.04	5.7 – 10.1
アントシアニン	0.001 – 0.20	

¹ 抱合体とアグリコンの合計濃度だが、ほとんどが抱合体である。

² 血中最大濃度が半分の濃度になるのに要する時間で、排泄の速さを示す。

として整理する。

1) 体の構成成分を用いたサプリメント

サプリメント成分が体の構成成分である場合は、そのサプリメントは機能性を発揮することがある。ただし、その大きさが、栄養素が消化管で消化を受けた後の大きさに近いことが条件である。この「大きさ」というのは化学的サイズではない。生命科学的な意味の大きさである。消化という生理には、生命科学的に重要な意味がある。従属栄養生物には「食べた物質が情報を発現しない化学単位レベルにまで消化してから体内に吸収する」という公理がある。別の生命体の遺伝子を食べて、体内に吸収した後にそのDNAが情報を発現すると、摂取した側には大きな不利益になるからである。そこで、体内で情報を発現することができない化学単位まで、つまり塩基にまで消化してから体内吸収する。タンパク質は食べた生物の体内で酵素反応などを示さないレベルの、アミノ酸やペプチドの大きさに消化してから吸収する。したがって、タンパク質をサプリメントとして摂って、アミノ酸などとして体内吸収した後に、そのアミノ酸がヒト体内でもとのタンパク質に再構成されることはない。吸収したアミノ酸は体内の大きなアミノ酸代謝系に埋もれてしまい、アミノ基の供給源として利用されるからである。

したがって、体の構成成分を用いたサプリメントのうち、摂取後に体内で機能性を発揮することができるものとは、情報を発現しない単位の成分で、加齢とか過労などが原因で体内に不足しているものである。例えば、分岐鎖アミノ酸やオルニチンなどのアミノ酸類、DHAやEPAなどの脂肪酸類、コエンザイムQ、 α -リポ酸、ビタミン・ミネラル類は、情報を発現しない単位の体の構成成分である。これらを、加齢や過労が原因でその量が不足したときにサプリメントとして摂ると、その効果を体感したと

いう例は多い。

アリシン、イソチオシアネート、スルフォラファンなどの含硫アミノ酸関連化合物群は、アミノ酸のシステインとほぼ同じように体内吸収される。そして、その機能性はよく知られている¹⁰⁾。

2) ヒトの体になじみが深い成分を用いたサプリメント

ヒトが進化の長い過程で食べ続けてきたために、ヒトの体になじみが深い成分がテルペノイドである。テルペノイドの多くは消化や抱合を受けずに体内吸収される。吸収率は摂取量の数%と低いのが、摂取量に比例して体内吸収され、そのいくつかは体内で顕著な機能性を発揮する。そして、今のところ、副作用は報告されていない。

2-1. キサントフィル

代表的なテルペンがカロテノイドである。さらに、含酸素カロテノイドをキサントフィルと細分類する。キサントフィルには体内に吸収されて顕著な機能性を示すものが多い(図4)。一例としてフコキサンチンのヒト体内吸収を

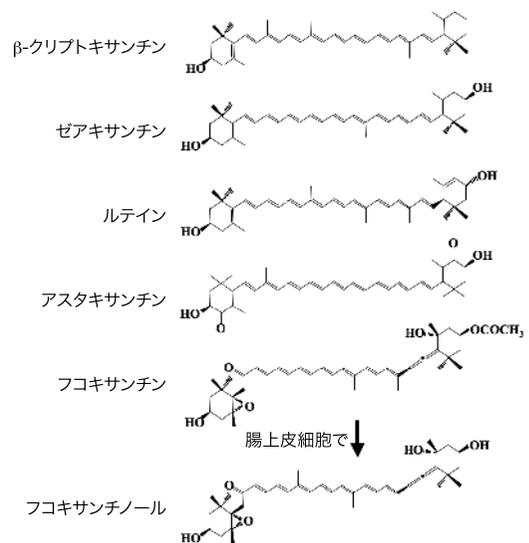


図4 顕著な機能性を示すキサントフィルの一例

図5にあげた。フコキサンチンはアレン結合とエポキシド基を持つ特異な構造のキサントフィルで、腸上皮細胞内で側鎖のアセチル基が外れたフコキサンチノールに加水分解されて血流に取り込まれる(図5A)。フコキサンチノールの骨格構造はフコキサンチンと全く同じなので生理活性は同等、あるいはフコキサンチノールの方が少し強い。血中では摂取後4時間で最大濃度となり、体内半減期は7時間である(図5B)¹¹⁾。この速い吸収と速い排泄はポリフェノールと同じである。異なるのは、ポリフェノールは生理活性を示さない抱合体として血流を循環するのに対して、フコキサンチンは抱合を受けず、骨格構造を維持した活性型の形態で循環する点である。そして、がん予防や肥満予防などの顕著な生理活性を示すと報告されている^{12,13)}。

アスタキサンチン、ルテイン、ネオキササンチンなどのキサントフィルも同様の血中動態を示し、顕著な機能性を発揮する。

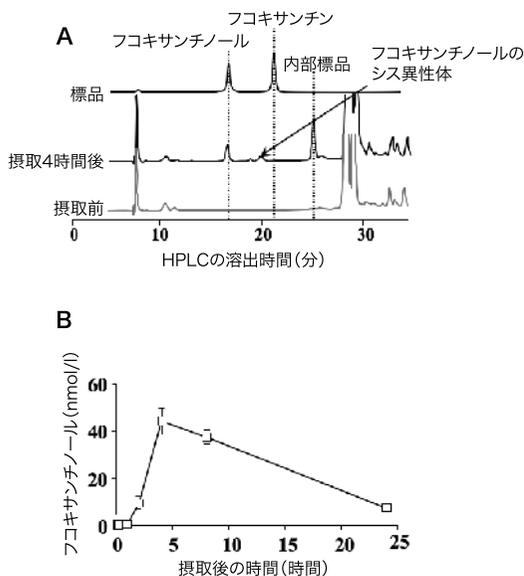


図5 フコキサンチンのヒト体内吸収

A: フコキサンチンを摂取した4時間後の、ヒト血中からの検出例。B: ボランティア18人に0.31 mg/ヒトのフコキサンチンを与えたときの血中プロファイル。

2-2. フェニルプロパノイド

植物は、アミノ酸のフェニルアラニンを脱アミノしてフェニルプロパノイドを合成する。カフェ酸、フェルラ酸、桂皮酸などがフェニルプロパノイドである。リグニン、リグナン、クルクミン、レスベラトロールは2つのフェニルプロパノイドがプロピルなどで繋がったものである。また、アントシアニン類、イソフラボン類、ケルセチンなどのフラボノール類、カテキンなどのフラバノン類などのフラボノイドも、フェニルプロパノイドから生合成される。

これらを経口摂取した場合、単環のカフェ酸類は、吸収率は低いですが、摂取した一部が体内吸収される。しかし、機能性はそれほど顕著ではない。単環がプロピル基で繋がったクルクミンやレスベラトロールも一部が体内吸収される。そして、顕著な機能性が報告されている^{14,15)}。多環構造のフラボノイドは、図3で述べたように、体内吸収時に抱合を受けて排泄される。

3) 抱合反応を逃れるサプリメント成分

3-1. 官能基が隠されている成分

抱合反応の標的となるのは、水酸基、イミノ基、アミノ基などの官能基である。その官能基が疎水基で覆われていると、活性部位が親水性アミノ酸で構成されている抱合酵素は接近できず、抱合基を付加することができない。この疎水基は、多くの場合、イソプレニル1単位のプレニル基か、2単位のゲラニル基である。例えば図6に示すように、アルテピリンCの抱合されるべき官能基は水酸基だが、その水酸基は隣接する2つのプレニル基で囲まれている。グルクロン酸や硫酸などの親水基を転移する抱合酵素は、この疎水部位に接近できないので、アルテピリンCは抱合を受けにくい。これを測定してみると、アルテピリンCの抱合率はたいへん低く、吸収率も低いですが、アルテピリンCとして体内吸収された¹⁶⁾。そして、大腸がん

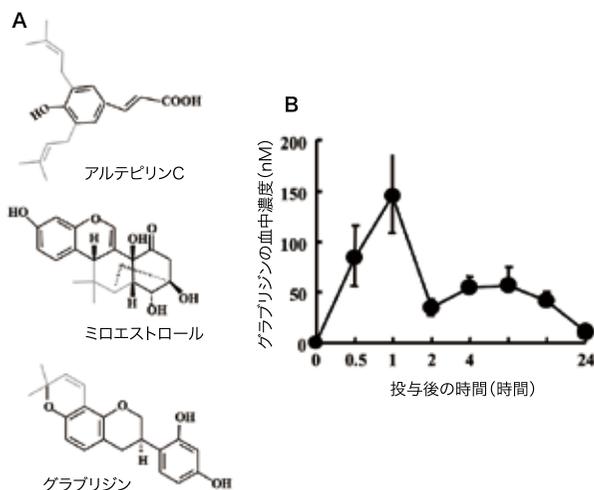


図6 抱合を受けにくいプレニル化合物の例

A: 体内吸収されて顕著な機能性を発現するプレニル化合物の例。薄い色の線で示したのがプレニル基である。アルテピリンCはブラジル中部産のプロポリスに豊富。ブラジル中部に生育する *Baccharis dracunculifolia* という植物がアルテピリンCを多く生産し、ミツバチはこの樹液を集めてプロポリスをつくるからである。プレニルイソフラボンのミロエストロールは、タイ、ミャンマーなどの南アジア産のクズ (*Pueraria mirifica*) が生産する。グラブリジンは甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*) の成分。B: グラブリジン 30 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ 体重をラットに経口投与したときの血中濃度変化。

予防などの生理活性を示した¹⁷⁾。

同様に、抱合を受けにくく、摂取したときの化学形態のまま体内に取り込まれて機能性を発揮するプレニル化合物が伝統民間薬の中にある。ミロエストロールは南アジア産のクズ (*Pueraria mirifica*) に特異的に含まれおり、これを食べていたモン族の女性は胸が大きかった。調べてみると、極めて強いエストロゲン様効果を示した¹⁸⁾。グラブリジンは甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*) の成分である。ローマの兵士は甘草をストレス軽減のために摂っており、唐の時代にはシルクロードを経てローマに、シルクよりも金額的に多く輸出されたと記録されている。その有効成分がグラブリジンであり、動物試験でも有効性が明らかにされている¹⁹⁾。グラブリジンも抱合されずに一部が血中に取り込

まれる。血中最大濃度は 150 nM であり、ポリフェノールとほぼ同濃度である。しかし、ポリフェノールは血中では不活性型であるのに対して、グラブリジンは活性型として血中に取り込まれる。そして、メタボリックシンドローム予防効果を示す。

3-2. 抱合された後も抗酸化活性を示すサプリメント成分

多環ポリフェノールはほぼすべてが腸上皮細胞内で抱合されて排泄されるが、ごく一部の抱合体が MRP1 を介して血流に取り込まれると上で述べた。その中に抗酸化能を維持しているものがある。それを図7にまとめた。いずれも多環構造のフラボノイドで、水酸基の数は5つ以上である。そして、B環に水酸基が隣接して2つ付いているカテコール構造か、あるいは3つ付いているガレート構造である。これらは極めて顕著な抗酸化活性を示す²⁰⁾。というよりも、ヒト体内で抗酸化活性を発揮することができる物質は

カテコールとガレートであると断定できる。また、還元基を供与することで抗酸化能を発揮した後の化学構造は、カテコールの場合はジキノンで、比較的安定な構造である。しかし、ガレートは分解しやすい不安定な構造のトリキノントになる。したがって、図7の4つの化合物の中で、抗酸化効果がより強いのはケルセチンとエピカテキンである。ところで、ケルセチンと類縁のフラボノイドで、3位に水酸基を持たないルテオリンもB環がカテコールである。しかし、3位に水酸基がないと抗酸化能はケルセチンに劣る。水酸基が3位にあれば、3つの環のすべての結合が共役二重結合を形成できる。その結果、たいへん安定で、かつ3位の水酸基も含めて還元因子の供与能が高くなる。測定してみると、ケルセチンの抗酸化能はルテオリンの2倍あまり強かった²⁰⁾。

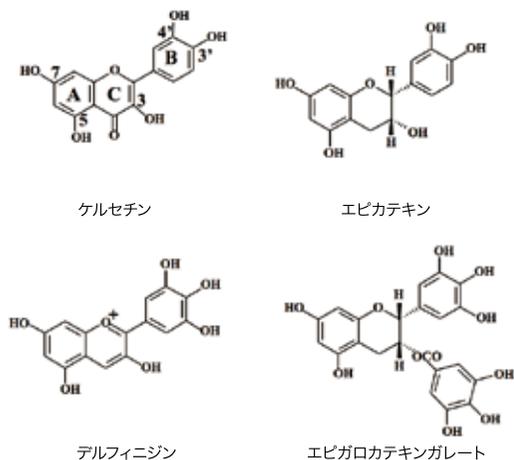


図7 抱合体として体内吸収されて抗酸化能を発揮する成分の例

ケルセチンの環の中に示したアルファベットは、それぞれの環の名称。数字は炭素の番号である。

フェニルプロパノイドのカフェ酸，神経伝達物質のドーパミンやエピネフリンなどもカテコールである。これらも抗酸化能を示すが，不安定であり，還元因子を供与した後は重合する。ドーパミンの重合体とパーキンソン病との関係はよく知られている。

ところで，抱合はすべての水酸基におこるのではない。抱合を受けるのは通常はいずれか一つの水酸基だけである。したがって，体内吸収時に抱合を受けるが，抱合後もカテコール構造が残っており，顕著な抗酸化能を示すものがある。例えばケルセチンである。ケルセチンの5位の水酸基は隣のキノン基と水素結合しているので，抱合反応を受けない。抱合されるのは3, 7, 3', 4'の4つの水酸基の一つである。そして，3'あるいは4'の水酸基が抱合されればカテコール構造は消える。したがって，カテコール構造が抱合後も残る確率は3分の2である。ヒ

トにケルセチンを摂取してもらって血中ケルセチン抱合体の抗酸化能を測定すると，血中総ケルセチン量の3分の2が抗酸化活性を示したと報告されている²¹⁾。

以上を整理すると，ポリフェノールは体内吸収時に抱合を受ける。抱合後も抗酸化能を維持しているポリフェノールはカテコールとガレートである。とくに，低い体内濃度で顕著な抗酸化能を発揮できるのは多環構造の，図7にまとめた4種類のフラボノイドである。そして，上段のケルセチンとエピカテキンが還元因子を放出後も安定であるがゆえに，生体内ではより顕著な抗酸化活性を示す。

3-3. 不活性型が体内で活性型に変わるサプリメント成分

生命体は，機能性を示すことで恒常性を乱す成分が体内に侵入するのを防ごうとする。逆に，化学形態が不活性型であれば，生命体はその成分を抱合排泄せずに体内吸収することがある。そして，その成分が体内吸収後に活性型に変わるのならば，その成分は体内で機能性を発揮する。この典型的な例がゴマ種子やゴマ油に含まれるリグナンのセサミン類である。図8に示すように，セサミン，セサミノール，セサモ

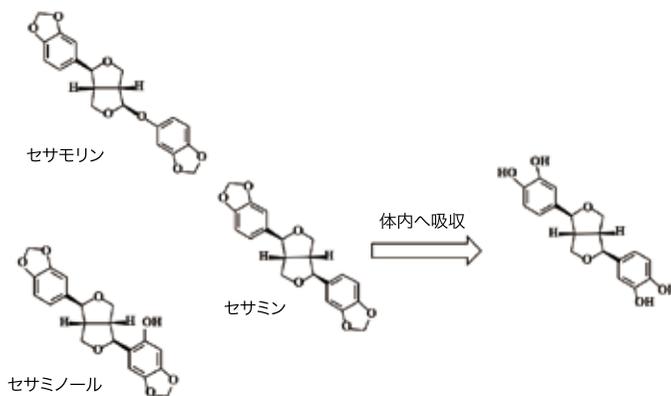


図8 主要ゴマリグナン類の化学構造とそれらが体内に吸収された後の化学構造

これらのゴマリグナンはいずれもベンゾジオキソール基がメチル基でマスクされている。体内吸収後は自然にあるいは酵素などによってメチル基が外され，図の右辺に示した活性型のカテコール構造となる。

リンのいずれも、ベンゼン環の2つの水酸基はメチル基でマスクされている。セサミン類はカテコールだが、それがメチル基でマスクされていて機能性を示さないで、生命体はこれを体内吸収する。体内では、マスク基のメチル基は、自発的加水分解で容易に外れる。そして、カテコール構造のセサミン類となる。このことは動物試験やヒト試験で明らかにされており、経口投与した量の25%が体内吸収され、肝臓や腎臓で顕著な抗酸化効果やコレステロール低減効果を発揮したと報告されている^{22, 23)}。セサミン類をサプリメントとして摂って、その効果を体感した人は多い。

3-4. 官能基にメチル基が付いているサプリメント成分

セサミン類と同様に官能基がメチル基でマスクされている成分である。セサミン類が抗酸化能を示す成分であるのに対して、本項で述べるのは、受容体、酵素、輸送担体などの体タンパク質に作用してその機能を調節することで機能性を発揮する成分である。図9に示したのはその一例の、カフェインとポリメトキシフラボンのノビレチンである。コーヒーや茶に含まれるカフェインは、抱合反応の標的となる窒素にメチル基が付加している。ポリメトキシフラボンは柑橘類に特異的なフラボノイドであるが、抱合反応の標的水酸基がメチル基でマスクされている²⁴⁾。このマスク基が、図3に示したような親水性のグルクロン酸や硫酸ならば、その物質は腸上皮細胞に取り込まれた後に、再度管

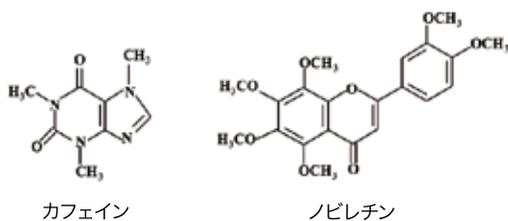


図9 官能基がメチル基でマスクされている化合物の例

腔側に放出され、便に排泄される。しかし、マスク基が疎水基のメチル基の場合は、物質の疎水性が強くなるので、単純拡散で腸上皮細胞に取り込まれ、さらに一部が単純拡散で血流に放出される。カフェインはコーヒーや茶類に豊富で、それを飲んで、気分が落ち着いた、意識が冴えたという体感をした人が多い。このことはカフェインが体内吸収されて体内で機能性を発揮していることを示している。経口摂取したカフェインに皮膚がん予防効果があることも報告されている²⁵⁾。

ノビレチンも体内吸収され、一部は体細胞に取り込まれる。そしてがん予防や骨関節炎軽減効果が明らかにされており²⁶⁾、最近、認知症予防効果が精力的に研究されている²⁷⁾。

4. 体内吸収されずに消化管上皮細胞を介して機能性を示す成分

体内に全く吸収されずに、消化管内を通過して糞便に捨てられるだけだが、摂取すると顕著な機能性を発揮する食品成分がある。消化管を通過するとき、消化管上皮細胞の受容体などに作用して体内に情報を伝達することで体の機能を調節するのである。ある種の食物繊維と、菌の細胞壁を構成している多糖にこの作用がある。乳酸菌やビフィズス菌が体内に取り込まれることなく、腸上皮細胞に情報を伝達して、免疫応答細胞のTh-1とTh-2の活性のバランスを調節することはよく知られている。

食物繊維の中にも類似の作用をするものがある。マコンブ(昆布)のフコイダンが典型例である。フコイダンは、ワカメ、モズク、コンブなどの褐藻に含まれるフコースと硫酸化フコースを主構成糖とする多糖だが、褐藻の種類によって混在糖が異なる。混在糖はフコイダンの立体化学構造を大きく変えるので、消化を受ける率が大きく変化する。マコンブのフコイダン

は、フコースと硫酸化フコースの比がおおよそ1:1で、混在糖をごくわずかしか含まないので、F-フコイダンと分類される。ワカメはガラクトースを比較的多く含むのでG-フコイダンであり、モズクはウロン酸を比較的多く含むのでU-フコイダンである。G-フコイダンとU-フコイダンは、消化管内で一部が加水分解されて体内吸収されると報告されている。F-フコイダンは経口で与えた場合、実験動物でもヒトでも、全く消化を受けず、体内吸収されず、摂取したすべてが糞便に排泄された。にもかかわらず、F-フコイダンは、図10に概要をまとめたように、ヒトで顕著な血栓症予防効果を示す²⁸⁾。その作用機序はおおよそ明らかにされている。フコイダンは腸上皮細胞の未同定の受容体を介して、スーパーオキシドアニオン産生酵素のNADPHオキシダーゼ1 (NOX1) のmRNAと、過酸化水素産生酵素のデュアルオキシダーゼ2 (DUOX2) のmRNAを発現誘導し、少量の過酸化水素を産生させる。少量の過酸化水素は、生体内では情報伝達に用いられていることはよく知られている。この過酸化水素が血管内皮細胞に作用して、エイコサノイドのプロスタグランディン

I₂ (PGI₂) の産生を促す。PGI₂はプロスタサイクリンともよばれ、凝集した血小板に脱凝集を指示するエイコサノイドである。毛細血管内に生じた炎症やコレステロール蓄積などが原因で血小板が凝集し、それが血管を塞いでいることがある。血栓症である。この凝集した血小板をPGI₂は脱凝集させることで血栓症を予防する。血栓症は、動脈硬化症や心筋梗塞などの循環器疾患の直接の原因である。昆布のF-フコイダンはこの血栓症を予防する可能性がある。そして、体内吸収されないのだから副作用の懸念は少ない。昆布は日本の伝統食品で、昆布を頻繁に食べる人に高血圧症は少ないといわれていたが、以上の研究結果はその伝承を科学的に説明したと思える。

キノコの食物繊維も体内吸収されずに顕著な機能性を示す²⁹⁾。シイタケのレンチナンは腸上皮細胞の受容体に作用してシグナルを発信させる。そのシグナルを受けた上皮細胞は炎症応答能を低下させる。炎症応答能の低下は炎症性サイトカインなどの分泌の低減であり、腸上皮細胞が自らを損傷するのを抑えることになる。その結果、腸の炎症が抑えられる。近年、とく

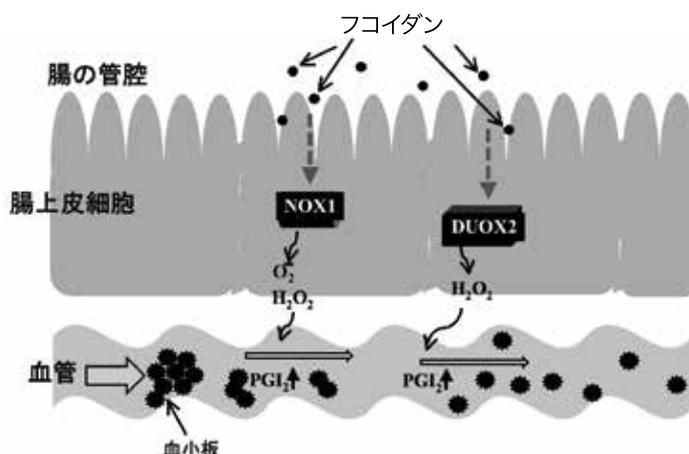


図10 マコブのF-フコイダンが腸上皮細胞に作用して血栓症を予防する機序の概略

NOX1はNADPH酸化酵素1、DUOX2はデュアルオキシダーゼ2、PGI₂はプロスタグランディンI₂ (プロスタサイクリン)。

に若年層で急増しているクローン病や潰瘍性大腸炎などの炎症性腸炎が予防できるかもしれない。腸炎モデルマウスにレンチナンを経口で与えると、その炎症が顕著に抑えられたと報告されている。

5. 機能的な研究の将来

消化管上皮細胞を介してヒトの体の機能を調節するという系の解明は、近年の食品機能研究のトピックである。ヒトの消化管は食べた個々の成分のほぼすべてを認知していると思われる。個々の成分を選別し、消化吸収や抱合排泄するだけでなく、消化管内の食品成分を認識してそれに合わせて体の機能を調節していると思われる。腸上皮細胞に、舌や口腔に存在するのと同じ味覚受容体が存在することが明らかにされたのは数年前のことである（図11）³⁰⁾。腸の受容体は迷走神経と腸管神経叢を介しているので、口腔の受容体が顔面神経と舌咽神経を介して大脳味覚野に「味」を伝えるのと違って、腸の受容体はヒトに「味」を自覚させるこ

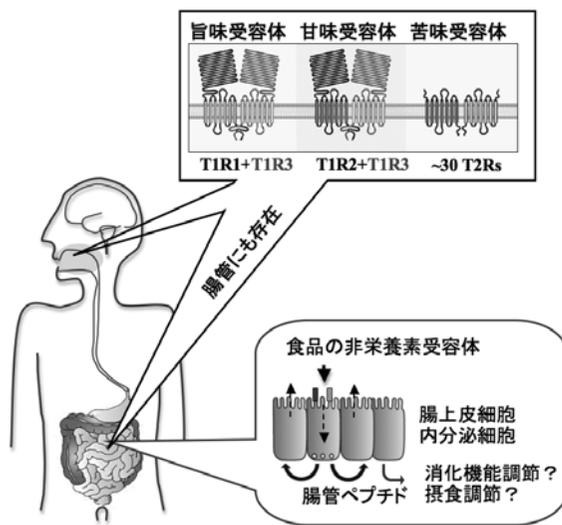


図11 小腸などの上皮細胞に存在する味覚受容体
T1R1などは受容体の略名。

とはない。しかし、腸の受容体は食品成分を認識して体の機能を調節していると考えられる研究結果が多くある。例えば、カテキンが消化管内に入ると、ペプチドYY、コレシストキニン、グルカゴン様ペプチド1の分泌が促される³¹⁾。短絡的に解釈すれば、カテキンは食欲を抑制し、血糖値を調節するのである。食後に緑茶を飲むことは、食事が終わったことを体に知らせるシグナルとなり、肥満防止と糖尿病予防につながることを消化管は認識するのかもしれない。この詳細の解明と科学的証拠の蓄積は今後の課題であるが、消化管は、その人が自覚していないのに、生理応答によって体の機能を調節していること示唆している。これらの研究は、栄養化学、食品化学、機能的な化学分野の研究者の将来の大きな夢であろう。

おわりに

ヒトの日常食品は、栄養素の糖質、脂質、タンパク質、ビタミン・ミネラルと、少量の非栄養素から成る。非栄養素とは、ATP産生のエネルギー代謝系に組込まれない食品成分である。ヒトの日常食品に含まれる非栄養素は、約8000種類のポリフェノール（フェニルプロパノイド類、フラボノイド類、アントラキノン類）、約25,000種類のテルペノイド（テルペン類、カロテン類、キサントフィル類、イリドイド類）、約12,000種類のアルカロイド、数十種類の含硫化合物、そして極めて多様な食物繊維である。一つの食品にこれらの非栄養素すべて含まれているのではなく、それぞれに十数種類ずつ含まれており、その違いによって食品の多様性がつくられている。そして、これらの非栄養素はサプリメントの原材料でもある。そこで本論では、サプリメントに用いられている非栄養素が、腸上皮細胞の選別系を通り抜けて体内吸収されるか否か、体内で機

能性を発揮するか否かを論じた。ポリフェノールは、一部のフェニルプロパノイド類を除いて、腸上皮細胞で抱合され、管腔側に排泄される。テルペノイドは、吸収率は低いが摂取量に比例して体内吸収される。アルカロイドの多くは体内吸収されるが、副作用を伴うものも多い。含硫化合物も体内吸収される。体内吸収された非栄養素はいずれも、体内に存在する時間はきわめて短く、摂取後一日ほどですべてが尿に排泄される。

ところで、体内吸収されない成分は機能性を発揮できないと考えがちであるが、決してそう

ではない。食物繊維の定義は「消化吸収されない多糖」である。食物界に多様に存在する食物繊維の多くは機能性を示さないが、一部の食物繊維には顕著な機能性がある。腸上皮細胞の受容体などを介して、体内にシグナルを発信し、サイトカインやエイコサノイドの産生を調節することで、ヒトの体の機能に顕著な影響を及ぼす食物繊維がある。また、腸上皮細胞の味覚受容体に作用して、食欲調節や血糖値調節を促す非栄養素もある。このような、食品成分と消化管上皮細胞とのクロストークの解明が、今後の機能性食品研究の大きな興味である。

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

- 1) Kanazawa K: Bioavailability of non-nutrients for preventing lifestyle-related diseases. *Trend. Food Sci. Technol.*, **22**, 655-659, 2011.
- 2) Kanazawa K, Ashida H: Catabolic fate of dietary trilinoleoylglycerol hydroperoxides in rat gastrointestinal. *Biochim. Biophys. Acta*, **1393**: 336-348, 1998.
- 3) Kanazawa K, Ashida H: Dietary hydroperoxides of linoleic acid decompose to aldehydes in stomach before being absorbed into the body. *Biochim. Biophys. Acta*, **1393**: 349-361, 1998.
- 4) 栄養機能化学研究会編；「栄養機能化学」(第2版) 朝倉書店, pp.9-19, 2011.
- 5) Kanazawa K, Ashida H, Danno G: Comparison in metabolic activity of cytochrome P450 1A1 on heterocyclic amines between human and rat. *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 4956-4961, 1999.
- 6) 加藤隆一, 鎌滝哲也編；「薬物代謝学」(第2版) 東京化学同人, pp.214-220, 2000.
- 7) Murota K, Terao J: Antioxidative flavonoid quercetin: implication of its intestinal absorption and metabolism. *Arch. Biochem. Biophys.*, **417**, 12-17, 2003.
- 8) Manach C, Williamson G, Morand C, Scalbert A, Rémésy C: Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *Am. J. Clin. Nutr.*, **81** (suppl), 230S-242S, 2005.
- 9) Williamson G, Manach C: Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies. *Am. J. Clin. Nutr.*, **81** (suppl), 243S-255S, 2005.
- 10) Morimitsu Y, Nakagawa Y, Hayashi K. *et al.*: A sulforaphane analogue that potently activates the Nrf2-dependent detoxification pathway. *J. Biol. Chem.*, **277**, 3456-3463, 2002.
- 11) Hashimoto T, Ozaki Y, Mizuno M, *et al.*: Pharmacokinetics of fucoxanthinol in human plasma after the oral administration of kombu extract. *Br. J. Nutr.*, **107**, 1566-1569, 2012.
- 12) Das S.K, Hashimoto T, Shimizu K, *et al.*: Fucoxanthin induces cell cycle arrest at G0/G1 phase in human colon carcinoma cells through up-regulation of p21^{WAF/Cip1}. *Biochim. Biophys. Acta*, **1726**, 328-335, 2005.
- 13) Maeda H, Hosokawa M, Sashima T, *et al.*: Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **332**, 392-397, 2005.
- 14) Murakami A, Furukawa I, Miyamoto S. *et al.*: Curcumin combined with turmerones, essential oil components of turmeric, abolishes inflammation-associated mouse colon carcinogenesis. *BioFactors*, **39**, 221-32, 2013.
- 15) Tachibana H, Koga K, Fujimura Y, Yamada K: A receptor for green tea polyphenol EGCG, *Nature Struct. Mol. Biol.*, **11**, 380-381, 2004.
- 16) Shimuzu K, Aashida H, Matsuura Y, Kanazawa K: Antioxidative Bioavailability of artemillin C in Brazilian propolis. *Arch. Biochem. Biophys.*, **424**, 181-188, 2004.

- 17) Ishikawa H, Goto M, Matsuura N. *et al.*: A Pilot, Randomized, Placebo-Controlled, Double-Blind Phase IIa/ Biomarker Study on Effect of Artepillin C-Rich Extract of Brazillian Propolis in Frequent Colorectal Adenoma Polyp Patients. *J. Am. Coll. Nutr.*, **31**, 327-337, 2012.
- 18) Okamura S, Sawada Y, Satoh T. *et al.*: Pueraria mirifica phytoestrogens improve dyslipidemia in postmenopausal women probably by activating estrogen receptor subtypes. *Tohoku J. Exp. Med.*, **216**, 341-51, 2008.
- 19) Ito C, Oi N, Hashimoto T. *et al.*: Absorption of Dietary Licorice Isoflavan Glabridin to Blood Circulation in Rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **53**, 358-365, 2007.
- 20) Kanazawa K, Uehara A, Yanagitani H, Hashimoto T: Bioavailable flavonoids to suppress the formation of 8-OHdG in HepG2 cells. *Arch. Biochem. Biophys.*, **455**, 197-203, 2006.
- 21) Moon J.-H, Nakata R, Oshima S. *et al.*: Accumulation of quercetin conjugates in blood plasma after the short-term ingestion of onion by women. *Am. J. Physiol.*, **279**, R461-R467, 2000.
- 22) 日本栄養・食糧学会編「栄養・食糧学用語辞典」建帛社, pp. 347, 2007.
- 23) Rogi T, Tomimori N, Ono Y, Kiso Y: The mechanism underlying the synergistic hypocholesterolemic effect of sesamin and α -tocopherol in rats fed a high-cholesterol diet. *J. Pharmacol. Sci.*, **115**, 408-16, 2011.
- 24) 高宮和彦ら編「色から見た食品のサイエンス」サイエンスフォーラム, pp. 104-115, 2004.
- 25) Hashimoto T, He Z, Ma W.-Y. *et al.*: Caffeine inhibits cell proliferation by G0/G1 phase arrest JB6 cells. *Cancer Res.*, **64**, 3344-349, 2004.
- 26) Murakami A, Song M, Katsumata S. *et al.*: Citrus nobiletin suppresses bone loss in ovariectomized ddY mice and collagen-induced arthritis in DBA/1J mice: possible involvement of receptor activator of NF-kappaB ligand (RANKL)-induced osteoclastogenesis regulation. *BioFactors*, **30**, 179-192, 2007.
- 27) Nakajima A, Aoyama Y, Nguyen T.T. *et al.*: Nobiletin, a citrus flavonoid, ameliorates cognitive impairment, oxidative burden, and hyperphosphorylation of tau in senescence-accelerated mouse. *Behav. Brain Res.*, **250**, 351-60, 2013.
- 28) Ren R, Azuma Y, Hashimoto T. *et al.*: Modulation of platelet aggregation-related eicosanoid production by dietary F-fucoidan from brown alga *Laminaria japonica* in humans. *Br J Nutr.*, **110**, 880-890, 2013.
- 29) Nishitani Y, Zhang L, Yoshida M. *et al.*: Intestinal anti-inflammatory activity of lentinan: Influence on IL-8 and TNFR1 expression in intestinal epithelial cells. *PLoS One*, **8**, e62441, 2013.
- 30) Jang H.-J, Kokrashvili Z, Theodorakis M.J. *et al.*: Gut expressed gustducin and taste receptors regulate secretion of glucagon-like peptide-1. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **104**, 15069-15074, 2007.
- 31) 栄苑吟, 藍原祥子, 「食事ポリフェノールによる消化管ホルモン分泌調節」第67回栄養食糧学会大会講演要旨集, p.176, 2013.

白石カルシウムの炭酸カルシウム	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 50%; padding: 10px; margin-right: 10px; text-align: center;"> 炭酸 カルシウム とは？ </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 10px;"> <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> </div> </div>
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">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。</div> <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">一般の栄養強化には、「ホワイトン」</div> <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">機能を求めるならば、「コロカルソ」</div> <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 10px; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」</div> <div style="border: 1px solid gray; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;">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。</div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> 白石カルシウム株式会社 </div> <div style="font-size: small;"> 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 </div> </div>

芋焼酎の香りの正体を求めて

高峯 和則 (TAKAMINE Kazunori) *

* 鹿児島大学農学部附属焼酎・発酵学教育研究センター

Key Words：芋焼酎・モノテルペンアルコール・モノテルペン配糖体・ローズオキサイド・香り

要 旨

サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体のなかで、ネリル配糖体はサツマイモの中心部に、ゲラニル配糖体、リナリル配糖体および α -テルピニル配糖体は表皮部に多く分布することがわかった。また、リナリル配糖体と α -テルピニル配糖体は中心部にほとんど存在しなかった。

ローズオキサイドの閾値は25%アルコールでは0.35 $\mu\text{g/L}$ 、芋焼酎では14 $\mu\text{g/L}$ であった。閾値での評価は「甘い」、「華やか」、「バラ様」であった。ローズオキサイドは一次もろみとサツマイモからは検出されなかった。ローズオキサイドはグラニオールから酵母の微生物的変換作用により生成したシトロネロールが発酵過程で酸触媒による化学的変換作用によりローズオキサイドに変換し、蒸留工程で変換が促進されることが明らかになった。

はじめに

本格焼酎の消費動向は、日本酒造組合中央会の調査によると図1に示すとおり確実な伸びを示している。この伸びを牽引しているのは2001年頃までは麦焼酎を代表とするソフトな風味で口当たりの良い穀類焼酎が主流だったが、近年は芋焼酎である。芋焼酎は独特な風味を持つが故に好き嫌いが明確であり、製造数量は横ばいの状況が続いた。そのため、芋焼酎業界では産官共同で消費者嗜好に合った軽快で華やかな芋焼酎の開発に取り組む¹⁻³⁾。一方で、従来の芋焼酎の品質の安定・向上にも様々な努力を重ねてきた。近年、本格焼酎は、「二日酔いしにくい」、「血液さらさら効果」などの情報が発信されるようになり、芋焼酎が持つ独特な「臭い」が個性的で魅力的な「香り」として評

価されるようになった。2002年頃から芋焼酎が本格焼酎市場を牽引し始め、空前の市場拡大を遂げるようになった。

芋焼酎の香りは原料や原料処理、発酵条件、蒸留条件、麹菌、酵母など様々な要因から形成され、その成分は図2のとおり数百種類にもおよび、成分の有無や割合の違いから焼酎は個性

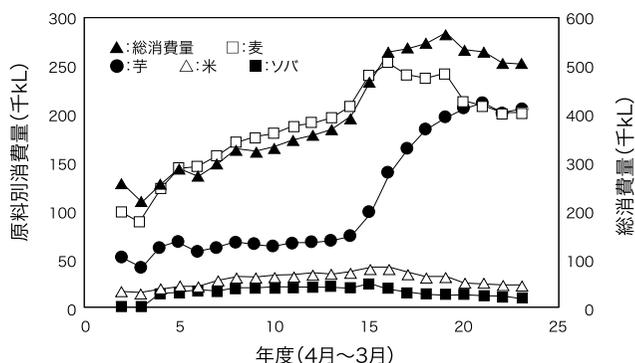


図1 本格焼酎の消費動向

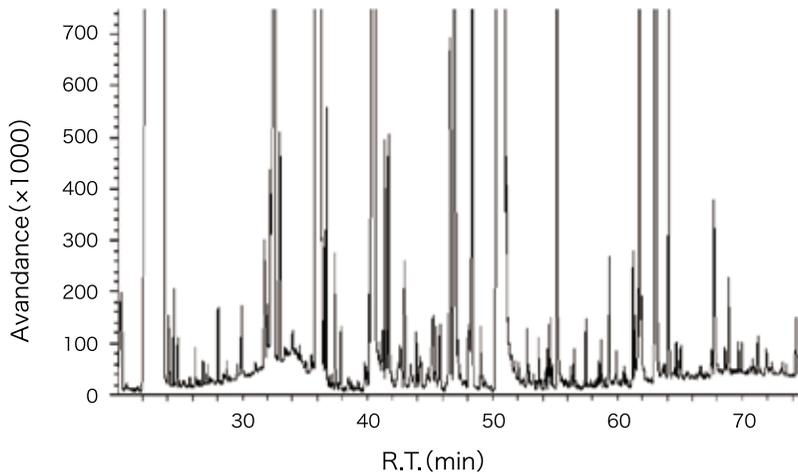


図2 ガスクロマトグラフ質量分析装置による芋焼酎の揮発成分

を持つことになる。銘柄に黒が付いた焼酎（例えば、黒〇〇）は黒麹を使ったものであり濃醇なタイプ、白麹製は端麗ですっきりしたタイプといわれている。また、常圧蒸留法と減圧蒸留法ではもろみの加熱温度が異なるため風味が大きく異なる。前者は芋焼酎や黒糖焼酎、泡盛製造で主に行われる蒸留法であり、後者は米焼酎や麦焼酎に代表される。また、芋焼酎の独特な風味は原料由来の成分が芋焼酎特有の香りを形成するためである。その例として、モノテルペンアルコール⁴⁾ やローズオキサイド⁵⁾ などがある。しかし、これらの成分についてサツマイモ中での前駆体の分布や生成機構については明らかにされていない。

1. 材料と方法

1-1. サツマイモの処理

サツマイモは芋焼酎の原料として最も多く利用されているコガネセンガンを用いた。大きさは200g～250g程度の中サイズのものを選抜した。サツマイモを水洗後蒸し器で60分間蒸煮した後、図3に示す11の部位に分け凍結乾燥後、乳鉢で250 μ m以下に粉碎したものを

試料とした。なお、11の部位の分け方はまず両端を全長の10%ずつ切り取り茎側を最上部、反対側を最下部とした。次に、残りの部分を上部、中部、下部に三等分し、そしてそれぞれの部位を形成層より表皮側を表皮部、形成層部および形成層より内側を中心部とした。

1-2. モノテルペン配糖体画分の抽出

サツマイモからのモノテルペン配糖体画分の抽出は、マンゴーの配糖体抽出法⁶⁾を一部改変して行った。すなわち、試料2.0gにペンタン・ジクロロメタン(2:1)混合液30mlを加

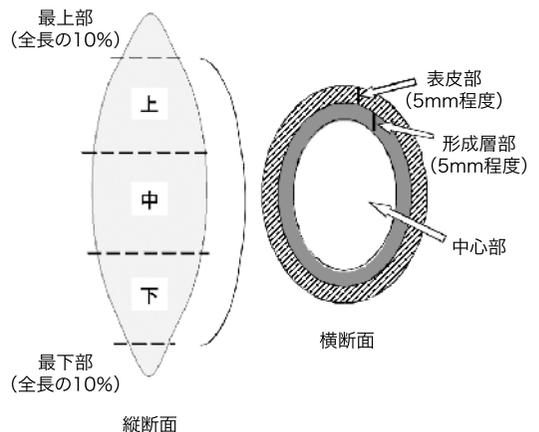


図3 サツマイモの分画(11部位)

えてホモジナイズ (15,000 rpm で 1 分間) し遊離テルペンアルコールを抽出した。脱脂綿で濾過して、残渣にペンタン・ジクロロメタン (2:1) 混合液 30ml を加え、同様に抽出・濾過工程を 2 回繰り返した。この操作で得られた濾液を遊離テルペンアルコール画分とした。脱脂綿上の残渣とメタノール 100 ml を 200 ml 容丸底フラスコに加え冷却管を施して水道水で冷却しつつ、マントルヒーターで沸騰させモノテルペン配糖体画分を 1 時間抽出した。脱脂綿で濾過し、残渣にメタノール 100 ml を加え、同様に抽出・濾過工程を 2 回繰り返した。この操作で得られた濾液をモノテルペン配糖体画分とした。遊離テルペンアルコール画分は常温で乾燥させた後、2.5% エタノール 5 ml を加え GC-MS で分析を行ない、サツマイモから遊離するモノテルペンアルコールを定量した。

1-3. 酵素反応

モノテルペン配糖体画分に無水硫酸ナトリウム 1g を加えて脱水後、エバポレータにてメタノールを除去した。0.1M クエン酸緩衝液 (pH 5) 5 ml に溶解し、 β -グルコシダーゼ (東洋紡績(株)) 15 mg または β -プリメベロシダーゼ (商品名: アロマーゼ, 天野エンザイム (株)) 100 mg を加えて 40°C で 16 時間反応させた。この溶液に 5% エタノール 5 ml を加えて、生成したモノテルペンアルコールを GC-MS で分析した。

1-4. モデルもろみ

モノテルペンアルコールが 1 mg/L およびエタノールが 15% になるように 25 mM クエン酸緩衝液で調製した。なお、モノテルペンアルコールはリナロール、 α -テルピネオール、シトロネロール、ネロールおよびゲラニオールを用いた。また、エタノールおよびクエン酸緩衝液の濃度は、芋焼酎の蒸留前の二次もろみの一般的なアルコール濃度と酸度を参考にした。

1-5. 麴抽出液の調製および麴の影響

米麴 300 g に蒸留水 300 ml を加え冷蔵庫内

で 18 時間麴成分の抽出を行った。45,000 \times g で 20 分間遠心分離し、得られた上澄み液に 10N の水酸化ナトリウム溶液を加え pH4.2 に調整し、その一部は沸騰浴中に 5 分間加熱処理した。全ての溶液は 0.2 μ m の滅菌フィルターでろ過した後、乾熱滅菌した供栓付き試験管に 5 ml ずつ分注した。この操作で得られた溶液を麴抽出液とした。麴の影響は麴抽出液にモノテルペンアルコールが 1 mg/L およびエタノールが 15% になるように添加し、30°C で 5 日間保温し GC-MS で分析した。なお、モノテルペンアルコールはゲラニオール、ネロールおよびシトロネロールを用いた。

1-6. 酵母の影響

25 mM クエン酸緩衝液 (pH4.2) で調製した YM 液体培地 30 ml を 50 ml 容試験瓶に加えシリコ栓を施しオートクレーブ滅菌し、冷却後、エタノールが 2% になるように添加した。この溶液にゲラニオール、ネロールまたはシトロネロールが 1 mg/L になるように添加しよく攪拌した後、前培養液 300 μ l を添加した。30°C で 3 日間培養後、3,000 \times g で 10 分間遠心分離した上澄み液を GC-MS 分析した。なお、モノテルペンアルコールは水への溶解度が非常に低いため、YM 液体培地にエタノールを 2% になるように添加した。この濃度は酵母が増殖阻害を受けにくい濃度である⁷⁾。また、1 mg/L のモノテルペンアルコールは 2% アルコール溶液では白濁しないことを確認した。

1-7. 蒸留

蒸留は (有) 塚本鑛吉商店製の試験蒸留機を用いて、モデルもろみ 150 ml を直接加熱して蒸留し、流液が 120 ml まで蒸留した。流液に 250 mM クエン酸緩衝液 (pH 4.2) 15 ml を加え蒸留水で 150 ml に定容後、GC-MS 分析した。

1-8. GC-MS 分析

GC-MS 分析は以下のとおり行った。すなわち、試料 10 ml を専用バイアルに入れてポリジ

メチルシロキサン樹脂をコーティングした攪拌子 (GERSTEL (株) 社製 Twister) を室温で 1 時間攪拌 (1,500 rpm) することで、攪拌子の樹脂に揮発成分を吸着させた。攪拌子を取り出し、蒸留水にて洗浄後、余分な水分をキムワイプで取り除いた。この攪拌子を TDS 加熱脱着装置 (GERSTEL TDS3; GERSTEL (株)) に設置し GC-MS で分析した。成分の同定は、Agilent ChemStation ソフトウェアと NIST05a マススペクトルライブラリーおよび AromaOffice (西川計測 (株)) で算出したリテンションインデックス (R.I.) から行った。定量に使用したイオンはシトロネロール、ネロールおよびゲラニオールは $m/z=69$ 、リナロールは $m/z=93$ 、 α -テルピネオールは $m/z=59$ およびローズオキサイドは $m/z=139$ を用いて行い、それぞれの定量用イオンの面積から絶対検量線法を用いて定量した。なお、標準物質は分析する試料と同じアルコール濃度溶液および緩衝液に溶解させて検量線を作製した。

1-9. 閾値

ローズオキサイドの閾値を求めるために、25% エタノール溶液および市販の芋焼酎にローズオキサイドを添加した試料を用いて、ビール酒造組合国際技術委員会が纏めた BCOJ 官能評価法の三点識別法⁸⁾で行なった。

2. 結果と考察

2-1. モノテルペン配糖体について⁹⁾

ゲラニル配糖体やネリル配糖体などの芋焼酎の特徴香に寄与する成分は、サツマイモの両端部に多く含まれていることが経験的に知られている。しかし、モノテルペン配糖体がサツマイモにどのように分布しているかについては全く明らかにされていない。一方、果物や植物の香氣に関与する配糖体化合物の定量的研究は対象となる配糖体が市販されていないため、加水分

解により生じたアグリコンの分析により配糖体の定量が行われている。サツマイモに含まれる配糖体においてもこれまで構造解析を行った報告はない。そこで、サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布を明らかにすることを目的とし、サツマイモから抽出したモノテルペン配糖体に β -グルコシダーゼおよび β -プリメベロシダーゼを作用させ、遊離したモノテルペンアルコールを GC-MS で定量しこの値を基にモノテルペン配糖体の分布を求めた。

2-1-1. サツマイモに含まれる遊離テルペンアルコール

サツマイモに存在する遊離テルペンアルコールは、ゲラニオールが 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 検出された。しかし、ネロール、シトロネロール、リナロールおよび α -テルピネオールは検出されなかった。

2-1-2. サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布

モノテルペン配糖体の分布を調べるために、図 3 に示す 11 の部位に分けた試料からメタノール抽出したモノテルペン配糖体画分を 0.1M クエン酸緩衝液 (pH 5) 10 ml に溶解して 5 ml ずつに分けて、それぞれに β -グルコシダーゼまたは β -プリメベロシダーゼを加えて酵素反応をさせた。そして反応液中のモノテルペンアルコールを定量し、得られた値からモノテルペン配糖体の分布を求めた。なお、分析結果はサツマイモ三個の平均値を示している。

図 4 に示すように、ネロール、ゲラニオール、リナロールおよび α -テルピネオールのいずれも最上部、最下部および表皮部において高濃度に分布し、また、表皮部では上部と下部に多く分布する傾向が認められた。ネロールはサツマイモ全体に分布しており、最上部が 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ と最も高濃度で、次に表皮部が平均濃度 24 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。形成層部から中心部では 11 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 前後とほぼ均等に分布しており、表皮部平均濃度

と比べて約45%程度であった。ゲラニオールもネロール同様に最上部で68 µg/kgと最も高濃度であった。形成層部では約10 µg/kg、中心部では約7 µg/kgであり、それぞれ表皮部平均値の22%および16%と、ネロールと比べて表皮部の濃度割合が大きいことが分かった。一方、リナロールとα-テルピネオールでは表皮部に最も高濃度に分布し、それぞれの平均値は約11 µg/kgと約147 µg/kgであり、形成層部平均値はそれぞれ1.3 µg/kgおよび19 µg/kgであったが、中心部ではほとんど検出されなかった。

次に、11部位の乾燥重量を測定し、その割合を算出した結果、最上部および最下部はそれぞれ4.0%および5.8%、表皮部、形成層部および中心部の上部、中部および下部の合計はそれぞれ13.0%、26.0%および51.3%であり、中心

部重量が全体の半分以上を占めた。これらの値と図4に示すネロール、ゲラニオール、リナロールおよびα-テルピネオールの濃度からサツマイモに含まれる部位毎の重量割合を算出し、その結果を図5に示す。ネロールは最上部濃度が30 µg/kgと部位別では最も高濃度であったが、最上部の重量割合は4.0%であったため、サツマイモ全体に占める最上部含有量は8.4%と算出された。一方、中心部濃度は11 µg/kg程度であったが、中心部重量割合が51.3%であったため、中心部含有量は38.6%と最も高い割合で分布することがわかった。ゲラニオール、リナロールおよびα-テルピネオールは表皮部含有量が最も高く、その含有量はそれぞれ37.4%、65.9%および60.3%であった。また、リナロールは中心部には検出されず、α-テルピ

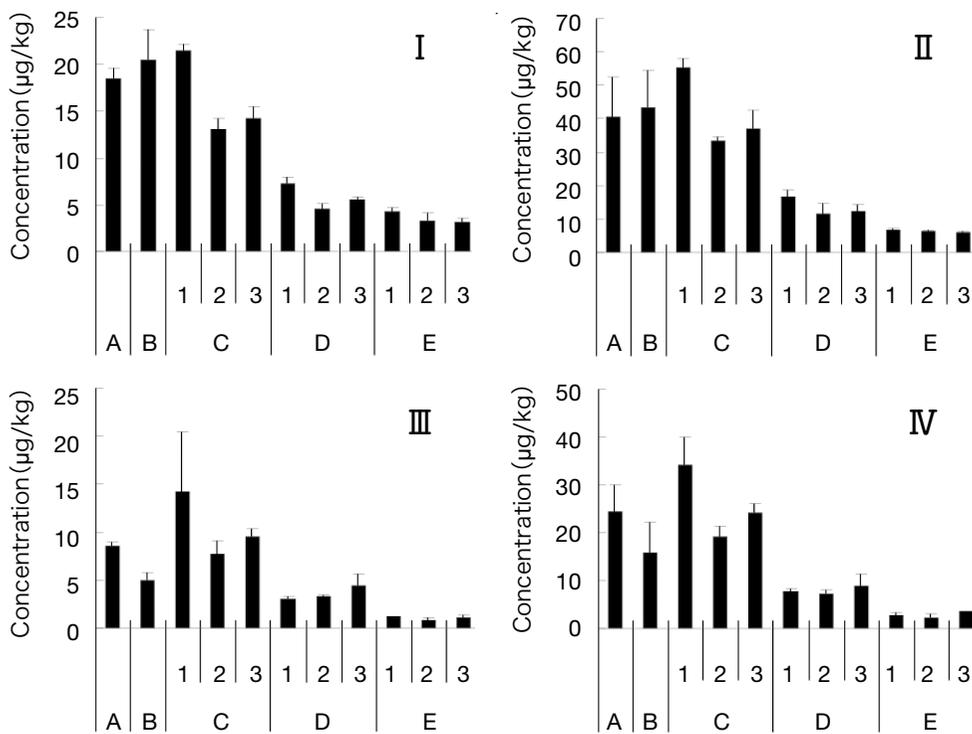


図4 ネロール(Ⅰ)、ゲラニオール(Ⅱ)、リナロール(Ⅲ)およびα-テルピネオール(Ⅳ)のサツマイモ中での分布

A:最上部, B:最下部, C:表皮部, D:形成層部, E:中心部, 1:上部, 2:中部, 3:下部

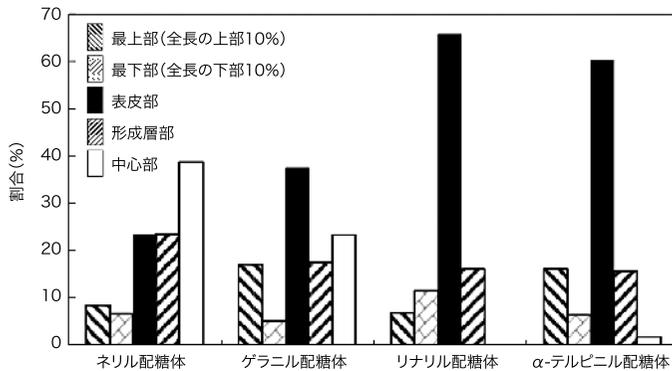


図5 サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布

ネオールは1.7%と非常に低い割合で分布することがわかった。

2-2. ローズオキシドについて¹⁰⁾

ローズオキシドは天然植物からシス体およびトランス体が見出され、いずれも旋光度は(−)である。バラやゼラニウム精油の微量成分であり、香り立ちのよいグリーン様香気を有しフレグランス香料のトップノートとして使用される。また、ワインの重要な香氣成分としても見出されている。ローズオキシドはシトロネロールを前駆体として酸触媒による化学的変換作用¹¹⁾および微生物的変換作用や加熱処理により生成する¹²⁾と報告されている。このことから、芋焼酎に検出されたローズオキシドはシトロネロールがもろみ中のクエン酸による化学的変換作用や、麹菌や酵母による微生物的変換作用によって生成し、また、蒸留過程で加熱による化学的変換作用が促進されることが推察される。そこで、芋焼酎製造におけるローズオキシドの生成機構を明らかにすることを目的とした。

2-2-1. ローズオキシドの閾値

ローズオキシドの閾値は25%エタノール溶液を用いた場合、0.35 μg/Lであった。一方、芋焼酎の場合、芋焼酎にローズオキシドを9.35 μg/L添加することで識別が可能であった。芋焼酎に含まれるローズオキシドは4.4 μg/L

であったことから、閾値は約14 μg/Lと算出した。芋焼酎は様々な揮発成分の相互作用によって香りが形成されているため、25%エタノール溶液では0.35 μg/Lで識別できたが、芋焼酎ではローズオキシドの特徴香がマスクされてしまい、閾値が25%エタノール溶液と比べ40倍高い値となったといえる。閾値における官能評価は、25%エタノール溶液では「甘い」や「華やか」、「バラ様」、「柑橘」と評価された。芋焼酎では「甘い」、「華やか」、「バラ様」と評価された。しかし濃度が高くなると「強い香水様」、「芋傷み」、「バラの香りが強すぎる」と指摘された。

2-2-2. モノテルペンアルコールからローズオキシドの生成および蒸留の影響

2-2-2. モノテルペンアルコールからローズオキシドの生成および蒸留の影響

芋焼酎に検出されるネオール、ゲラニオール、α-テルピネオール、リナロールまたはシトロネロールを用いて25 mMクエン酸緩衝液(pH 4.2)で調製したモデルもろみ200 mlを30℃で5日間保温した。このモデルもろみ150 mlを用いて蒸留した。蒸留前後の溶液10 mlを用いてGC-MSで分析した。その結果、蒸留前のネオール、ゲラニオール、α-テルピネオールまたはリナロールを添加したモデルもろみからはローズオキシドは検出されなかったが、シトロネロールを添加したモデルもろみではシス体およびトランス体ローズオキシドがそれぞれ2.0および1.0 μg/L検出された。このことから、今回使用したモノテルペンアルコールのなかではシトロネロールのみがローズオキシドの前駆体となることが確認できた。蒸留後の分析の結果、シトロネロールを添加したモデルもろみでは、蒸留前と比べてローズオキシド濃度が約2.5倍に増加した。しかし、ネオール、リナロール、α-テルピネオールを添加したモデルもろ

みでは蒸留してもローズオキサイドの生成は認められなかった。

2-2-3. シトロネロールからローズオキサイドへの変換に及ぼす pH の影響

pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0 および 7.0 に調整した 25 mM クエン酸緩衝液に、シトロネロールを 1 mg/L になるように添加してモデルもろみを調製し、30℃で 5 日間保温後、GC-MS 分析した。図 6 に示すように、モデルもろみの pH の値が低下するとシス体ローズオキサイドの生成量は増加し、特に pH 3.5 以下で顕著に増加した。トランス体ローズオキサイドは pH 3.5 で最大の生成量となり、pH 4 以上ではシス体同様に生成量が急激に減少した。ことから、もろみの pH を制御することでローズオキサイドの生成量を変化させることができることが示唆された。

2-2-4. シトロネロールおよびローズオキサイドへの変換に及ぼす麹の影響

Demyttenaere, etc¹⁰⁾ は *Aspergillus* 属 と *Penicillium* 属 によるシトロネロールからのローズオキサイドへの微生物的変換作用について報告している。そこで、ゲラニオール、ネロールまたはシトロネロールを 1 mg/L になるように麹 (*Aspergillus kawachii*) 抽出液に添加し 30℃で 5 日間保温し、GC-MS 分析した。その結果、

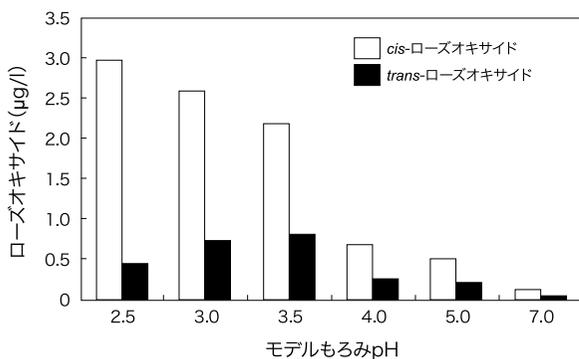


図 6 シトロネロールからローズオキサイドへの変換に及ぼす pH の影響

ゲラニオールおよびネロールはシトロネロールへの変換は認められなかった。また、シトロネロールからローズオキサイドへの変換は麹抽出液の加熱処理の有無にかかわらずシス体およびトランス体のローズオキサイドがいずれもそれぞれ 2.5 μg/L および 1.0 μg/L 検出された。このことから、焼酎製造において麹はネロールとゲラニオールからシトロネロールへの還元作用とシトロネロールからローズオキサイドへの変換には関与しないことが明らかになった。

2-2-5. シトロネロールおよびローズオキサイドへの変換に及ぼす酵母の影響

ネロール、ゲラニオールまたはシトロネロールが 1 mg/L になるように YM 液体培地に添加して、酵母前培養液 300 μl 加え 30℃で 3 日間培養した。なお、対照として酵母前培養液を添加しない培地を同条件で培養し GC-MS 分析した。その結果、シトロネロールを含む YM 液体培地では、前培養液の添加の有無にかかわらずシス体およびトランス体ローズオキサイドがそれぞれ 1.3 および 0.5 μg/L 検出された。このことから、YM 液体培地に検出されたローズオキサイドは酵母による微生物的変換作用ではなく酸触媒による化学的変換であるといえる。一方、ゲラニオールを含む YM 液体培地ではシトロネロールが 83 μg/L およびローズオキサイドが痕跡程度ではあるが検出された。しかし、前培養液を添加しないとシトロネロールおよびローズオキサイドは検出されなかった。ネロールを含む YM 液体培地ではシトロネロールが 9 μg/L 検出されたが、ローズオキサイドは検出されなかった。次に、焼酎酵母の K2, C4 および H5 と清酒酵母の協会 7 号を用いてゲラニオールからシトロネロールへの変換効率の違いを確認した。その結果、シトロネロール濃度は K2 を培養した YM 液体培地が 83 μg/L と最も低く、協会 7 号が 248 μg/L と K2 と比

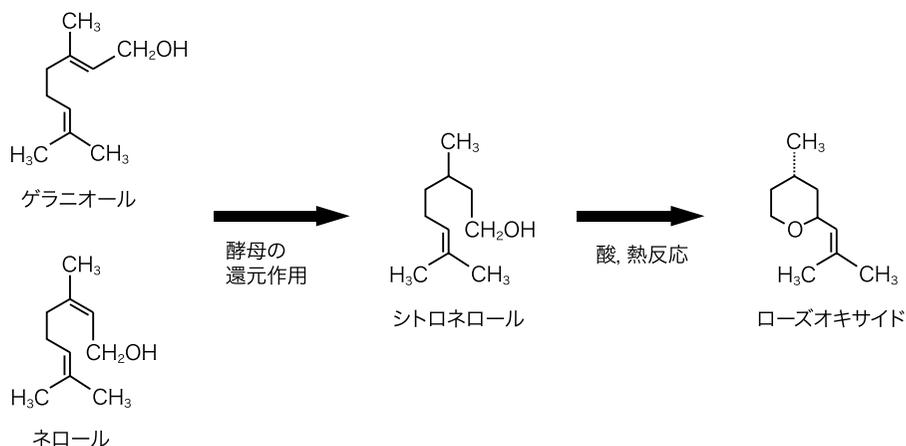


図7 ローズオキシライドの生成機構

べて約3倍多く生成した。このことから、本研究において培養液に検出されたシトロネロールは酵母の還元酵素が関与しているものと推察される。シス体ローズオキサイドが協会7号では0.2 $\mu\text{g/L}$ 、それ以外は0.1 $\mu\text{g/L}$ 検出されたが、これは酵母による微生物的変換作用というよりもゲラニオールから変換して生成したシトロネロールが酸触媒反応による化学的変換で生成したものと見える。図7に芋焼酎に含まれるローズオキシライドの生成機構を示す。

おわりに

鹿児島では晩酌のことを「ダレヤメ（疲れを癒す）」と呼ぶ。芋焼酎をお湯割りで飲むと柔らかい香りが立ち「ホッとする」ためか、鹿児島人は真夏でもお湯割りを好む。アロマテラピー効果によるものも大きいと考えている。この香りの正体は、太田らにより研究が始まり、ローズオキサイドやモノテルペンアルコール、 β -ダマセノンなどの微量成分が関与していることが報告されている。しかしながら、これらの成分を25%アルコールに添加しても芋焼酎の香りは再現できない。本格焼酎はエタノールと水以外の成分として、高級アルコール類、脂肪酸エステル類、有機酸、ミネラルなどが含ま

れており、その含有量は0.2%程度である。しかしこの微量成分が、本格焼酎にとっては大きな意味を持っている。芋焼酎や黒糖焼酎などの原料別やメーカー毎の風味の違いは全てこの微量成分に由来し、焼酎の品質や消費動向にも影響を与える。

今回、サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布を明らかにすると共に、配糖体の種類によって分布が異なることを初めて明らかにすることができた。また、サツマイモのサイズが大きくなるほどその表皮部割合は小さくなるため、今回の結果からサツマイモのサイズとモノテルペン配糖体濃度には負の相関があるといえる。このことは、小ぶりのサツマイモのみで製造した芋焼酎はモノテルペンアルコールを高濃度を含み柑橘香のある華やかな酒質となり、大きなサツマイモでは柑橘香が抑えられふくよかな酒質になる可能性を示唆するものであり、サツマイモのサイズ毎に芋焼酎を製造することで酒質の多様化が図られることが期待できる。また、ローズオキサイドはゲラニオールから酵母の還元作用により生成したシトロネロールが発酵過程で酸触媒による化学的変換作用によりローズオキサイドに変換し、蒸留工程で変換が促進されることが明らかになった。ことから、

還元能の高い酵母の選定やもろみ pH の低酸性域による発酵、蒸留時間の延長などの工夫により、ローズオキシサイドの生成を促進させることができ、酒質の多様化に繋がる成果となった。

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

- 1) 高峯 和則, 瀬戸口 眞治, 亀澤 浩幸, 水元 弘二: 新規焼酎用酵母及び当該酵母を用いる焼酎の製造法, 特許第 3051715 号, 2000.
- 2) 高峯 和則, 亀澤 浩幸, 下野 かおり, 間世田 春作: 甘藷のエクストルーダ加工特性および加工甘藷を用いた本格いも焼酎の製造に関する研究, 鹿児島県工業技術センター研究報告, **15**, 5-10, 2001.
- 3) 高峯 和則, 安藤 義則, 亀澤 浩幸, 下野 かおり, 間世田 春作: 繊維分解酵素を用いた本格いも焼酎の製造に関する研究, 鹿児島県工業技術センター研究報告, **15**, 11-16, 2001.
- 4) T. OHTA, T. R. IKUTA, M. NAKASHIMA, Y. MORIMITSU, T. SAMUTA and H. SAIKI: Characteristic flavor of *Kansho-shochu* (Sweet Potato Spirit), *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 1353-1357, 1990.
- 5) 栗山 謙一, 長友 正弘, 山中 寿城, 吉浜 吉雄, 渡辺 西造: 焼酎の官能評価と揮発成分について, 日本醸造学会誌, **100**, 817-823, 2005.
- 6) H. J. D. Larel, Z. Singh and S. C. Tan: Glycosidically-bound aroma volatile compounds in the skin and pulp of 'Kensington Pride' mango fruit at different stages of maturity. *Postharvest Biology and Technology*, **29**, 205-218, 2003.
- 7) 高峯 和則, 大山 修一, 吉崎 由美子, 玉置 尚徳, 鮫島 吉廣: 土壌からの焼酎酵母の分離と分離酵母の実用化. 日本醸造学会誌, **105**, 546-555, 2010.
- 8) ビール酒造組合 国際技術委員会 (分析委員会) 編: BCOJ 官能評価法, 9. 添加物質の閾値, (財) 日本醸造協会, 2002.
- 9) 高峯 和則, 吉崎 由美子, 山本 優, 吉竹 一哉, 橋本文雄, 玉置 尚徳, 鮫島 吉廣: サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布, 日本醸造学会誌, **107**, 782-787, 2012.
- 10) 高峯 和則, 吉崎 由美子, 島田 翔吾, 高屋 総一郎, 玉置 尚徳, 伊藤 清, 鮫島 吉廣: 芋焼酎に検出されたローズオキシサイドの生成機構, 日本醸造学会誌, **106**, 50-57, 2011.
- 11) H. Knapp, M. Straubinger, S. Fornari, N. Oka, N. Watanabe and P. Winterhalter: (*S*)-3,7-Dimethyl-5-octene-1,7-diol and Related Oxygenated Monoterpenoids from Petals of *Rosa damascena* Mill. *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 1966-1970, 1998.
- 12) J. C.R. Demyttenaere, J. Vanoverschelde and N. D. Kimpel: Biotransformation of (*R*)-(+)- and (*S*)-(-)-citronellol by *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp., and the use of solid-phase microextraction for screening. *J. Chromatography A*, **1027**, 137-146, 2004.

人体への寄生虫感染を警戒すべき食材（12）

現代の日本で極度に警戒すべき寄生虫症、 旋尾線虫（*Spirurina* sp）幼虫症の感染源（ノート）

牧 純 (MAKI Jun) *1, 関谷 洋志 (SEKIYA Hiroshi) *1, 田邊 知孝 (TANABE Tomotaka) *2, 相良 英憲 (SAGARA Hidenori) *3, 舟橋 達也 (FUNABASHI Tatsuya) *2, 玉井 栄治 (TAMAI Eiji) *1, 坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi) *4

*1 松山大学薬学部生体環境系薬学講座感染症学研究室, *2 松山大学薬学部生体環境系薬学講座衛生化学研究室,

*3 松山大学薬学部医療薬学教育研究センター・医薬情報解析学研究室, *4 明海大学歯学部病態診断治療学講座薬理学分野

Key Words：線虫類・旋尾線虫・予防

ABSTRACT

Jun Maki¹⁾, Hiroshi Sekiya¹⁾, Tomotaka Tanabe²⁾, Hidenori Sagara³⁾, Tatsuya Funahashi²⁾, Eiji Tamai¹⁾, and Hiroshi Sakagami⁴⁾

¹⁾Department of Infectious Diseases, College of Pharmaceutical Sciences, Matsuyama University;

²⁾ Department of Hygienic Chemistry, College of Pharmaceutical Sciences, Matsuyama University; ³⁾ Division of Pharmaceutical Information Service, Department of Center for Medical Pharmacy Education, College of Pharmaceutical Sciences, Matsuyama University, Ehime Prefecture, JAPAN; ⁴⁾ Division of Pharmacology, Department of Diagnostic and Therapeutic Sciences, Meikai University School of Dentistry; Food that needs precautionary awareness for infection in human body (12) -

In recent years, some Japanese people have been suffering from a parasitosis caused by a kind of nematodes. The nematode in question is not the well-known anisakis but *Spirurina* sp so-called "senbi-senchyu" (旋尾線虫) in Japanese. The entire life cycle remains to be clarified still nowadays. However, it is clear that man is infected with it following the ingestion of the raw firefly squid (螢烏賊), *Watasenia scintillans* or other fresh seafoods presently being studied as a result of suffering from larval migration in the patient. Though the possible removal of the migrating larvae near the body surface is recommendable, it is hard to practice it completely. No chemotherapy has yet been established. Its development is urgently needed. [key words: *Spirurina* sp(senbi-senchyu), nematodes, prevention]

要約

日本国内での寄生虫感染は、ともすると過ぎ去った時代のイメージが強いが、現実決してそうではない。本論文は、寄生虫の幼虫感染により激しい腹痛や皮膚爬行症をとまなう旋尾線虫症に着目する。この寄生線虫の幼虫は1970年代、日本寄生虫学会で発表されたが、同学会員を除いては世間であまり知られていなかった。ヒトはホタルイカ等の生食でその中に寄生している幼虫を取り込んで感染しその幼虫が皮下を這うという事実が広く認識されるようになって、この成虫が何であるかは全く不明であった。その成虫が寄生する本来の宿主（終宿主）も長い間わからなかった。最近になって、ツチグジラの腎臓内に寄生しているある線虫の成虫がこの親虫であることが判明した。しかし、現在でも中間宿主と終宿主の範囲や感染様式など、その実態は十分には解明されていない。その感染予防のためには、ホタルイカなどの食材に十分に熱を通すか、-30℃、4日間凍結することで防げる。酢に少々浸した程度では感染性は残存している。不幸にして、もしも感染したなら、言うまでもなく早期発見・早期治療が肝要で、そのような魚介類の生食を思い出して直ちに適切な診察を受けることである。皮膚表面より虫体を見つけて摘出することになるが、すべてを取り出すことは難しい。未だに駆虫薬は開発されていない。適切な治療薬の開発は喫緊の課題である。

1. 緒論

日本で「寄生虫」と聞けば、過ぎ去った時代を想起するのがふつうであろうが、病気としての現実は決してそうではない。海外の衛生状態の芳しくないところに出かけ、日本にいる時と同じような気持ちで食生活を送ると感染するのは当然であるが、実は国内においても寄生虫感染は決してないがしろにできない大きな問題である。現代の日本人は意外と広く寄生虫感染の危険にさらされている。有名なアニサキス症もその典型例である。

本論文ではそういう中で、また別の例として「旋尾線虫症」に着目する。これは近年とみに医療の世界で注目されるようになった。しかしそれがどのようなものかはまだ十分には知られていない。我々は必要にして十分な警戒心を持ち続けることが肝要である。これを機にこれらを整理してみた。関係の方々にも少しでも役立つ情報となれば幸甚である。

2. 材料・方法

今回の調査研究は専門書、学会雑誌、教科書、成書を中心とした検討を行った^{1)~22)}。情報と知見のレビューをもとにして、症状と予防を明確なものとするをめぐらした。本論文は定説をもとにした。テキストにより専門用語の表記が異なることもあるが、定評ある教科書『図説人体寄生虫学』（吉田幸雄・有蘭直樹著、第7版、南山堂、東京、2008）⁹⁾に準拠した。

3. 結果・考察

[分布・疫学・史的ノート]

海辺の観光地において、暗闇のなかで青い光を放つホタルイカは美しい。しかし、それを踊り食いや醤油漬けで生食することで旋尾線虫症

(旋尾線虫幼虫移行症)を患うことがある。この青い光は春から夏にかけての光景で、この怖い感染症の発生もこの時期に集中する。

日本海側のある海辺の観光地において、ホタルイカ(蛍烏賊) firefly squid, *Watasenia scintillans* を踊り食いしたり醤油漬け(いわゆる沖漬)で生食すると、旋尾線虫に感染し、幼虫移行症を起こすことは1970年代から寄生虫学会を中心に知られていた(これ以前の教科書では取り上げられていない)が、世間一般での知名度は低いままであった。ホタルイカは確かにヒトへの主要な感染経路として最も注目されているが、それ以外に他の種々魚介類からの可能性も大いに考えられ、現在もおお詳細は不明である。いずれにせよ、酒の肴として魚介類を生で摂食する機会が多いせい、感染者は女性よりは中年の男性に目立つ傾向にある。

本虫の人体症例を最初に見出したのは大鶴正満ら(1974)で、秋田県でアニサキス症に似て非なる症状を呈する患者から小腸寄生の2例を見出した。大鶴らが初めて報告した人体症例で小腸寄生のその2例においては、患者は激しい腹痛と嘔吐を訴え、腸閉塞の疑いで腸の摘出を受けている⁹⁾。

筆者らの調べた限り、その後、原因がよくわからないまま約15年間発症報告はなかったが、1990年前後から再び報告され、5年間に皮膚爬行症や腸閉塞患者の発生報告は年間10例を超えている⁹⁾。

この基礎となる研究が1990年代になされている。二人の寄生虫学者の功績は大である。いずれの研究においても、ホタルイカが関係している。ホタルイカより本幼虫を初めて見出したのはAndo(安藤)ら(1992)であり、Okazawa(岡沢)ら(1993)は多数の日本海産ホタルイカを剖検し感染率3.3%を報告している⁹⁾。ならばホタルイカの加熱または冷凍による出荷を普及させると感染防止に役立つはずで、実際1995

年以降は症例の報告数は減っている

ホタルイカは確かにヒトへの主な感染経路として注目されているが、それ以外の種々魚介類の可能性も高く、現在もまだ研究が進行中である。例えば、スルメイカ、タラにも同様な幼虫が見つまっている。今後はわからないが、海外では今のところまだ報告がない。しかし、日本食ブームの国と地域もあるので警戒すべきである。

【生物学・生活史】

旋尾線虫の生活史は未だ不明なところが多い。旋尾線虫幼虫は10種類以上見つかっており、ヒトへと感染するのは旋尾線虫のType X (タイプテン)といわれるもので、その大きさは長さ5.43～9.80 mm, 径0.074～0.11 mmほどである⁹⁾。これは、ホタルイカ、スルメイカ、ハタハタ、タラ、ホッケなどの内臓に寄生することから、これらが中間宿主となりうる。ツチクジラの腎臓にこの幼虫の成虫が寄生しているとの報告がある(杉山 広ら: 寄生虫分類形態談話会会報, 25, 4-7, (2007))。そのことから、少なくともツチクジラは旋尾線虫の終宿主のひとつではないかと考えられる。今後、この種のクジラのこの部位に限定されているのか、それとも他の海産哺乳類も該当するのか否かが検討課題である。

【症状・診断】

診断は、ホタルイカ等の生食歴の有無の問診、幼虫が這っているかの皮膚所見、および免疫診断法がポイントをなす。ホタルイカの摂取は海産物の中では珍しくはないが、その形状ゆえか、食べたことは意外と記憶に残っているようである。食後数時間から1日ぐらいで症状が現れたことが報告されている^{21～22)}。

免疫診断は、多くの組織内に寄生し移動する線虫類と同様 IgE と好酸球の値の上昇、特異的には旋尾線虫抗体価の測定などによって行われる。アニサキスと本虫の感染源となる魚介類に

は少なくとも一部は共通しているので、アニサキス症などとの鑑別診断も大切である。

確定診断は皮下組織の虫体の断面を形態学的に検討することで行われるが、専門家をお願いすることが多い。

【病理】

上記の様に、旋尾線虫幼虫のヒトへの寄生によって起こる症状を旋尾線虫幼虫症 larval spiruriniasis と呼ぶ。旋尾線虫症は感染部位により次の腸閉塞型、皮膚跛行疹型、前眼房寄生型⁹⁾に分類されるが、これら3者のひとつとは限らない。

腸閉塞型: 激しい腹痛と嘔吐、急性腹症が典型。重篤な症状を呈することが多い²²⁾。

大鶴ら(1974)が報告した小腸寄生の2例においては、患者は激しい腹痛と嘔吐を訴え、腸閉塞の疑いで腸の摘出を受けている。

摂食後、数時間～2日後から腹部膨満感や腹痛が起り始め、2～10日間の腹痛と嘔吐を伴う。腹部症状の機序は未だ明らかではない。

皮膚跛行疹型: 摂食後、約2週間で発症する。皮疹の大多数は腹部より始まり、数mm幅の赤い線状の皮疹が蛇行しながら、1日2～7cm程伸びていく。虫体が真皮の浅いところを移行するため、水疱をつくることも多い。

前眼房寄生型: 未だ詳細は不明である。日本では過去に1例のみで、大友弘士(2005)による報告がある。

【治療】

未だ、虫体の摘出以外には有効な治療法が発見されていない。腸閉塞型の場合は、ふつう対処療法を行うことで1～2週間で治癒するが、前述のように、大鶴ら(1974)が発見したような劇症の場合は、やむを得ず腸管の摘出が行われた例もある。皮膚跛行疹型では虫体の摘出が最も有効とされている。

本症を引き起こす寄生虫は幼線虫の一種であることから、幼線虫に有効な治療薬に期待がも

てそうであるが、治療法としては確立していない。ベンズイミダゾール系のメベンダゾール、フルベンダゾール、またはアルベンダゾールを試す価値がある。

まずは出来る限り、無理のない摘出を試み、その後投薬しておくのが現時点では妥当と考えられる。

[予防]

ホタルイカの踊り食いや未冷凍の刺身の摂食を避けることが肝要である。その内蔵部分に感染性のある旋尾線虫の幼虫の多いことに留意すべきである。生食の場合は、少なくとも

も - 30℃、4日間冷凍したものなら一応安心である。流行地の漁業組合においては、これらのポイントが浸透していると期待される。

4. 結 語

人に感染する旋尾線虫幼虫はホタルイカ、タラ等に寄生していることがわかっているが、そのような感染源の範囲はまだ研究途上にある。これらの魚介類の冷凍を経ていない類の生食は危険である。勿論しっかりと熱処理した食材であれば問題がない。

引用文献・参考文献

- 1) 土屋友房編：『微生物・感染症学』化学同人，東京，(2008)
- 2) 上村 清，井関基弘，平井和光，木村英作：『寄生虫学テキスト』（第2版3印刷），文光堂（東京）(2005)
- 3) 末広恭雄：『魚の博物事典』講談社学術文庫，講談社，東京，(1989)
- 4) 牧 純，玉井栄治，関谷洋志，藤井健輔，秋山伸二，難波弘行，坂上宏，：薬学教育において大切なアニサキスに関する基本情報，愛媛県病薬会誌，**111**，25-29 (2012)
- 5) 磯垣 弘，影井 昇：アニサキス幼虫の多数寄生を見た1症例，臨床寄生虫学雑誌 **2**，117-118 (1991)
- 6) 鈴木 潤，村田理恵，柳川義勢：マグロに寄生したアニサキスによる食中毒事例とマグロを中心とした魚類のアニサキスの規制状況，臨床寄生虫学雑誌 **18**，18-20 (2007)
- 7) 山本 馨，樽崎雅信：アニサキス症の新しい治療法，臨床寄生虫学雑誌 **5**，79-80(1994)
- 8) 小路悦郎等：ルゴール液による胃アニサキス症の治療，臨床寄生虫学雑誌 **5**，81-83(1994)
- 9) 吉田幸雄・有蘭直樹：『図説人体寄生虫学』改訂第8版，南山堂，東京（2011）
- 10) 松林久吉編集，横川宗雄：『人体寄生虫学ハンドブック』横川吸虫，朝倉書店，東京，(1972)
- 11) 佐々 学：『人体病害動物学—その基礎・予防・臨床・治療』医学書院，東京，(1975)
- 12) 稲臣成一：横川吸虫『臨床寄生虫学』（大鶴 正満編集）南江堂，東京（1978）
- 13) 柳沢 十四男，井上義郷，中野健司：『寄生虫・衛生動物・実験動物』講談社サイエンティフィック，講談社，東京（1983）
- 14) 勝部泰次著：『本邦における人獣共通寄生虫症』（林 滋生編集代表）“食品衛生と人獣共通寄生虫症”文永堂，東京（1983）
- 15) 保阪幸男著：“横川吸虫”『新医寄生虫学』（鈴木了司，安羅岡一男，柳沢十四男編）第一出版，東京（1988）
- 16) 小島莊明編集：『NEW 寄生虫病学』，南江堂，東京，（1993）
- 17) 伊藤洋一：『医療技術者のための医動物学』講談社サイエンティフィック，講談社，東京，（1995）
- 18) 寄生虫症薬物療法の手引き 改訂第6.0版：「熱帯病・寄生虫症に対する稀少疾病治療薬の輸入・保管・治療体制の開発研究」班，（2007）
- 19) 小泉 丹：『人体寄生虫』（第2刷発行）岩波全書164，岩波書店（東京）(1953)
- 20) 関水 and 久編著：『やさしい微生物学』廣川書店，東京，（2011）
- 21) 辻口比登美，北江秀博，金光宣旭，西森秀士，吉田隆，田橋賢久，安藤三男，天津 孝，北川浩子，勝 健一：ホタルイカ生食による旋尾線虫 typeX 幼虫症の2例，臨床寄生虫学雑誌，**10** (1) 93-96 (1999)
- 22) 矢持淑子，太田秀一，安倍正史，中村文規，九島巳樹，右田雷太，影井 昇，荒木 潤：腸閉塞及び腸穿孔を起こした旋尾線虫幼虫の症例について，臨床寄生虫学雑誌，**10** (1) 97-99 (1999)

Dietary silkworm powder reduces blood glucose and visceral fat in mice

TERUKO NAKAMURA ^{*1}, MASATOSHI ICHIDA TAKAHAMA ^{*2}

^{*1} Tezukayama University, 3-1-3 Gakuen-minami, Nara 631-8585, Japan

^{*2} Kyoto Institute of Technology, 1 Ipongi-cyo, Ukyo-ku, Kyoto 616-8354, Japan

Abstract

Silkworm powder¹⁾ prepared by us based on rheological studies of silkworm blood contains α -glycosidase-inhibitory deoxynojirimycin (DNJ) at a 3-fold higher level than that in mulberry leaves, and it is expected to be a superior health food material. In this study, we investigated the influence of a silkworm powder diet on the blood glucose level and visceral fat in mice. The blood glucose level showed a reduction in both 2 and 5% silkworm powder diet groups on day 20 of ingestion, and the reduction was significant in both groups on day 28. The blood glucose level elevation after glucose loading was also inhibited. At 4 weeks, the visceral fat rate was significantly reduced in the silkworm powder diet groups compared to the control group, suggesting a lipid metabolism-improving effect.

1. Introduction (Background and Objective)

Silkworms are insects which grow through metamorphosis, with an approximately 50-day life cycle. We have investigated the rheological characteristics of silkworm blood^{2,3)}, and clarified that the fluidity of silkworm blood changes with the development, and blood components and rheological characteristics are closely related⁴⁾. Blood fluidity was the highest and the nutritional condition was favorable at day 3 of the 5th instar.

Since silkworms were eaten in China and Japan in olden times⁵⁾ and are rich in useful components^{1,4,6)}, we developed silkworm powder in consideration of the physiological condition of silkworms. The identification of a suitable timing is critical for its development as a food material.

A physiologically active substance contained in mulberry leaves, deoxynojirimycin (DNJ), has recently been reported. This substance inhibits α -glucosidase, preventing elevation of the blood glucose level⁷⁻⁹⁾. We previously reported that DNJ is concentrated in the blood of silkworms which eat only mulberry leaves to a level 3 times higher than that in mulberry leaves^{4,10)}, showing the superiority of silkworms to mulberry leaves. Practical uses of mulberry leaves have been progressing, but studies on dietary silkworm powder in mice have been performed only in Korea, and so no study has been performed in Japan.

To practically employ silkworm powder as a food material, we administered it to mice (2 and 5%) and investigated changes in the blood glucose level and visceral fat.

2. Methods

- Preparation of silkworm powder :
Silkworms (Kinshu × Showa) at day 3 of the 5th instar grown by feeding mulberry leaves were powdered by lyophilizing and grinding.

The characteristics of the silkworm powder are as follows :

It contains amino acids, unsaturated fatty acids, sialic acids, trehalose, and deoxynojirimycin (DNJ) . It has a mixed flavor resembling seaweed and dried sardine broth, and the powder is storable and moist. It is safe, being prepared from edible silkworms bred in a clean environment (Farm of Kyoto Institute of Technology) .

- Animals : Healthy Std/ddy mice aged 9 weeks were used.

- Preparation of diets

Control group (commercial feed +2.5% casein) : Since the protein concentration of the silkworm powder was 50%, casein was added to commercial feed.

Experimental groups : Two groups fed 2 and 5% silk powder diets were established (7 animals each) . Animals were fed the diets from 76 through to 105 days of age. Animals were given free access to the feed and drinking water and maintained at $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ under a 12-hour light-ing cycle. All groups consisted of 7 animals ($n=7$) .

- Measurement items : Body weight, food intake, blood glucose level, and body fat rate

- Blood glucose measurement :

The blood glucose level was measured on days 9, 19, and 29 of feeding in the 2 and 5% silk powder diet groups. Blood was collected from the tail vein after fasting for 4 hours, and blood glucose was measured using a GLUCOCARD G meter (Arkray Inc.) .

- Visceral fat measurement :

Visceral fat was measured using a CT imaging analysis system for animals.

3. Results

Fig.1 shows changes in the food intake and body weight. All 2 and 5% silkworm powder diet and control groups ingested 4-6 g per day. The body weight smoothly increased after mixed diet initiation in all groups. The sharp decreases represent the body weights after 20-hour fasting.

Fig.2 presents changes in the blood glucose level in mice fed silkworm powder. On day 20 of ingestion, the blood glucose level was significantly lower compared to that before diet ingestion in the 2% silkworm powder diet group ($p<0.05$) and slightly lower in the 5% silkworm powder diet group. On day 30, the blood glucose level was significantly lower in both 2 and 5% silkworm powder diet groups ($p<0.05$) .

Fig.3 shows changes in the blood glucose level after oral glucose loading in mice fed silkworm powder. Glucose solution was orally administered to the mice at 2 g/kg body weight after fasting for

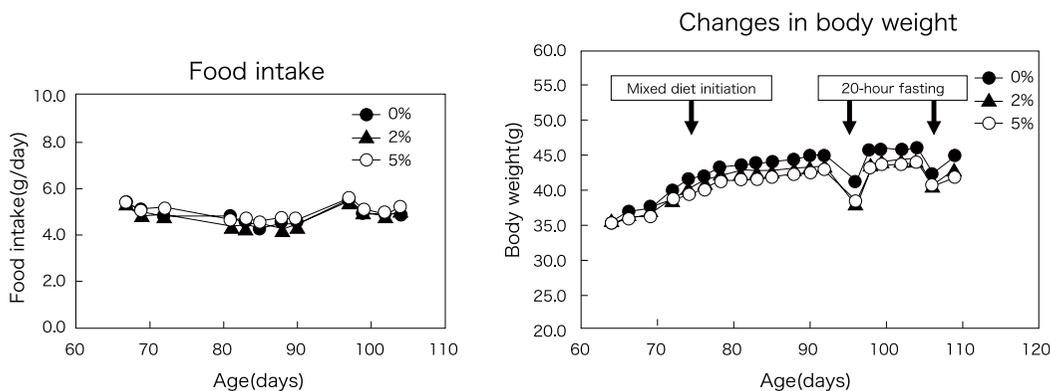


Figure 1. Changes in the food intake and body weight

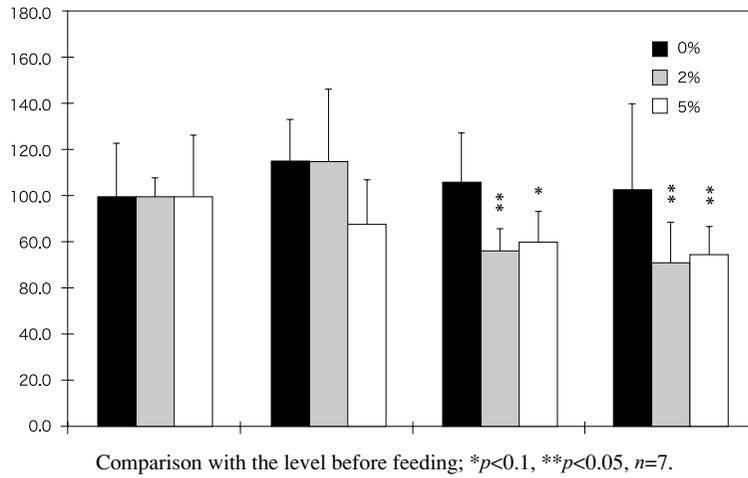


Figure 2. Dietary silkworm powder-induced changes in the blood glucose level

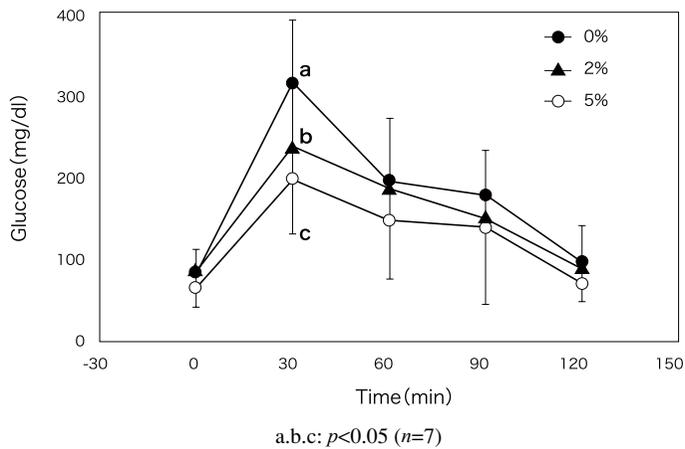


Figure 3. Time-of the blood glucose level after oral glucose Loading (2 g/kg) in mice fed silkworm powder

12 hours. Fig. shows the blood glucose level 30, 60, and 120 minutes after administration. The blood glucose level sharply rose at 30 minutes after glucose loading in the control group, but the rise was moderate in the 2 and 5% silkworm powder diet groups compared to the control group, showing an inhibitory effect on the elevation of the blood glucose level.

Fig.4 presents CT images of the mice fed silkworm powder. The images were acquired using an X-ray CT system for experimental animals. The 39th of 80 slices acquired in each mouse is presented. The pink- and yellow-colored regions represent visceral and subcutaneous fat, respectively.

Fig.5 shows the body fat rate in the mice fed silkworm powder. On analyses of the images shown in Fig.4, the visceral fat rate was significantly reduced after 4 weeks of ingestion in the 2% silkworm powder diet group, suggesting that dietary silkworm powder improves lipid metabolism. No significant difference was noted in the 5% silkworm powder diet group.

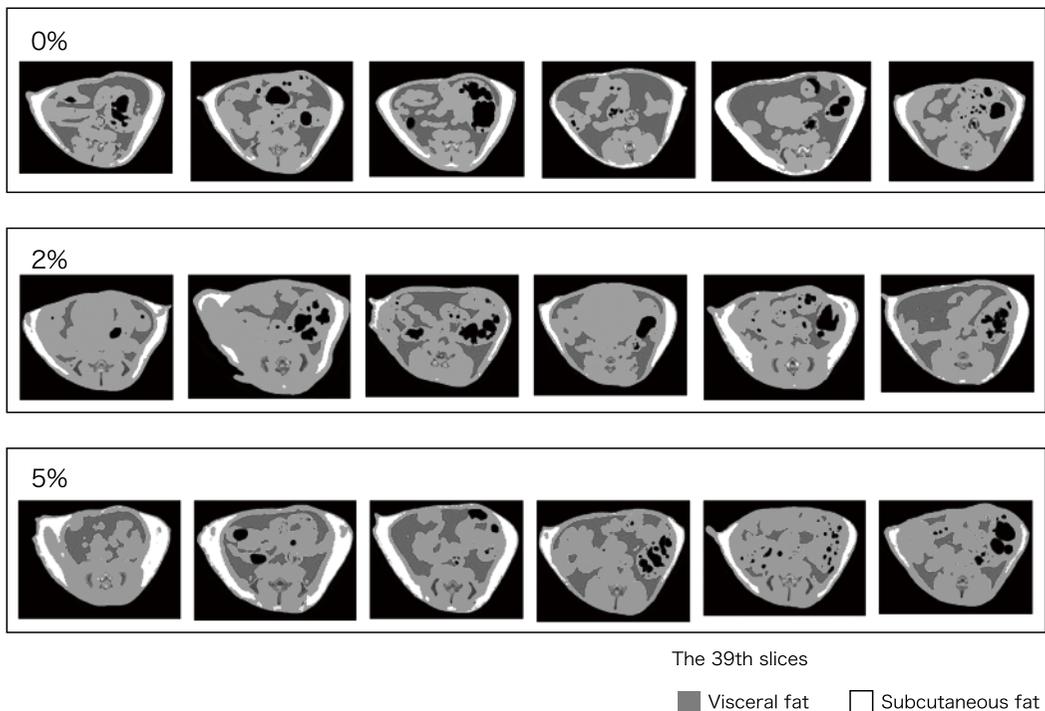


Figure 4. CT images of the mice fed silkworm powder

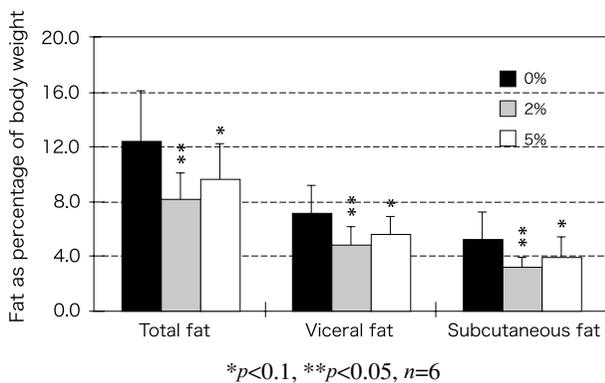


Figure 5. Dietary silkworm powder-induced reduction of the body fat rate in mice

4. Summary and Discussion

The blood glucose level was significantly lower on day 20 of ingestion in the 2% silkworm powder diet group ($p<0.05$) and on day 28 in both 2 and 5% silkworm powder diet groups ($p<0.05$). The blood glucose level elevation after glucose loading was most markedly inhibited at 30 minutes after glucose loading in the 5% silkworm powder diet group, and the effect persisted for 120 minutes. The visceral fat rate was significantly reduced after 4 weeks of ingestion in the 2% silkworm powder diet group, compared to that in the control group, suggesting a lipid metabolism-improving effect.

This short-term silkworm powder dietary experiment in mice suggested blood glucose level- and body fat-reducing effects of silkworm powder, i.e., the suppression of the blood glucose level associated with inhibition of small intestinal -glucosidase by DNJ can be expected to improve diabetes and obesity. We are planning to perform long-term studies using diabetic and obese mice to investigate the inhibition of blood glucose level elevation and prevention of obesity by silkworm powder, and then progress to safety confirmation studies.

Acknowledgement

This work was supported by biochemical experiment carried with the group of Agriculture in Kinki University.

Author wish to express my appreciation to Professor Y.Kawamura of Kinki University for supporting precious sample of mice, and helpful discussion.

References

- 1) Nakamura, T.: Development of new health food (silkworm powder) based on rheological characteristics of silkworm blood. *J. Jpn. Soc. Biorheol.* **17**: 29-35, 2003. (Abstract and Figure Legends in English, Text in Japanese)
- 2) Nakamura, T., Mineshita, T.: Rheologic characteristics of blood from silkworm (*Bombyx mori*) bred with artificial breeding and their biological significance. *J. Jpn. Soc. Biorheol.* **13**:135-143, 1999. (Abstract and Figure Legends in English, Text in Japanese)
- 3) Nakamura, T., Ichida, M., Mineshita, T., Takagi, S.: Rheologic characteristics of blood from non-cocooning silkworm (*Bombyx mori*) bred with artificial breeding. *J. Jpn. Soc. Biorheol.* **14**: 99-105, 2000. (Abstract and Figure Legends in English, Text in Japanese)
- 4) Nakamura, T., Makio, S., Ichida, M.,: Further development of a new health food (silkworm powder) based on the rheological characteristics of silkworm blood. *J. Jpn. Soc. Biorhol.* **20**: 17-25, 2006.
- 5) Watanabe, T.: 'Silkworms as a food' in Cultural history of medicinal insects. Toshosensho, p.11-20, 1984.
- 6) Nakamura, t,: Free fatty acid composition in a silkworm blood. *Nat.Prod.Lett.*, **13**, 317-320, 1999.
- 7) Asano, N., Yamashita, T., Yasuda, K., Ikeda, K., Kizu, H., Kameda, Y., Kato, A., Nash, R. J., Lee, H. S. and Ryu, K. S.: Polyhydroxylated alkaloid isolated from mulberry trees (*Morus alba* L.) and silkworms (*Bombyx mori* L.). *J. Agric. Food Chem.* **49**: 4208-4213, 2001.
- 8) Asano, N., Nash, R. J., Molyneux, R. J. and Fleet, G. W. J.: Sugar-mimic glycosidase inhibitors: natural occurrence, biological activity and prospects for therapeutic application. *Tetrahedron Asymmetry* **11**: 1645-1680, 2000.
- 9) Nojima, H., Kimura, I., Chen, F.-J., Sugihara, Y., Haruno, M., Kato, A and Asano, N.: Antihyperglycemic effects of N-containing sugars from *Xanthocercis zambesiaca*, *Morus bombycis*, *Aglaonema treubii*, and *Castanospermum australe* in streptozotocin-diabetic mice. *J. Nat. Prod.* **61**: 397-400, 1998.
- 10) Shibano, M., Tsukamoto, D., Tanaka, Y., Masuda, A., Orihara, S., Yasuda, M. and Kusano, G.: Determination of 1-deoxynojirimycin and 2, 5-dihydroxymethyl 3, 4-dihydroxypyrrolidine contents of *Commelina communis* var. *hortensis* and the antihyperglycemic activity. *Natural Medicines* **55**: 251-254, 2001.

シロザケの天然種苗と人工種苗

酒本 秀一^{*1} 大橋 勝彦^{*2}

^{*1}SAKAMOTO Shuichi,

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

Key Words: シロザケ・天然種苗・人工種苗・外観・成長・体成分・絶食耐性

現在、日本の河川に回帰して来るシロザケ親魚の大部分は人工種苗由来である。これは回帰して来た親魚を漁獲し、人為的に採卵・採精を行って人工授精し、種苗生産施設内で卵管理を行って孵化させ、配合飼料を与えて一定の大きさになるまで育てた後河川に放流した魚である。一方、率は低いものの人の手が全く加わっていない天然種苗も存在している。

シロザケに拘らず種苗生産と放流が行われている魚では、天然種苗の方が人工種苗より種苗としての質が高いと云われるのが一般的で、人工種苗の質を天然種苗に近づける努力が続けられている。今後シロザケ人工種苗の質を改善する為にも天然種苗と人工種苗は如何違うのかを明らかにしておく必要が有る。

本試験では外観、成長、体成分および絶食耐性を中心に天然種苗と人工種苗の違いを調べた。

天然種苗

シロザケの完全な天然種苗を定期的に多数入手するのは難しいので、種苗生産施設で生産した発眼卵をシロザケ親魚の遡上が無い小河川に移し、自然環境下で孵化、育成させた魚を便宜的に天然種苗と見做すことにした。

1. 方法

1-1. 発眼卵の河川収容

写真1に示す小河川に近くの種苗生産施設で生産したシロザケの発眼卵4000粒を移した。この川はシロザケ遡上河川の支流であるが、ここまで親魚は上がって来ない。従って此処にいるシロザケ稚魚は全て種苗生産施設から移した発眼卵から孵化、育成した魚であると考えることが出来る。

卵を移した場所の上流部には堰が設けられている。この上は比較的大きな二つの河川の合流部で、ここにはアメマスやカワマス等の魚食性の強い魚が棲息しているが、堰の為にこれらの魚は小河川に入って来られない。また、下流部



写真1 受精卵を収容した場所

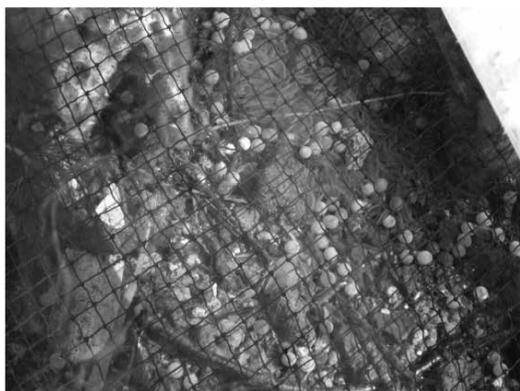


写真2 受精卵、一部孵化している

には写真の手前側に見える様に石と目の大きな漁網で仕切りを設けたので、下流からも大型魚は入って来られない。

写真2の様小石の間に発眼卵を收容し、鳥害等を防ぐ為に上部に目の小さい漁網を掛けて置いた。それ以外には一切手を加えず、自然環境下で孵化し、その水域に存在する餌を食べて成長するに任せた。

1-2. 外観と成長

発眼卵が何月何日に孵化したかは不明であるが、図1に示す様に3月11日、4月9日、4月27日に100尾ずつ稚魚を捕獲し、自然環境下で育ったシロザケ稚魚の外観と成長を調べた。捕獲時には網目の小さい文字網で川を仕切り、上流側から稚魚を追い込んで必要尾数を採取した。魚は生かしたまま実験室に持ち帰り、

↑ 自然 成育	3月11日	100尾採捕→魚体測定、成分分析
	4月09日	100尾採捕→魚体測定、成分分析
	4月27日	100尾採捕→魚体測定、成分分析
↓ 絶食 試験	5月29日	200尾採捕→絶食試験に供試、魚体測定と成分分析は未実施
	5月31日	50尾サンプリング→魚体測定、成分分析
	6月29日	50尾サンプリング→魚体測定、成分分析
	7月05日	絶食試験終了→魚体測定、成分分析は未実施

魚体測定：個体別に尾叉長、体重を測定し、肥満度を求める。

成分分析：水分、タンパク質、脂質、灰分、(脂肪酸組成)

図1 天然種苗の試験経過

FA100で麻酔した後体表の水をペーパータオルで拭い取り、体色と体型を肉眼で観察した。その後ノギスで尾叉長、電子天秤で体重を個体別に測定し、肥満度(体重×1000/尾叉長³)を求めた。

5月29日には200尾を捕獲して絶食試験に供したが、当日に魚体測定と体成分分析を行うことが出来なかったため、2日後の5月31日に50尾サンプリングして魚体測定と成分分析を行った。絶食2日目と極短期間絶食しただけなので、5月31日の結果は自然環境下で育成した魚の値と見做し得るものと考えられる。

5月29日以降も河川での捕獲を継続して自然環境下でのシロザケ稚魚の成長等を調べる心算であったが、時期が来て降河した為か殆ど居なくなったので、河川での捕獲は5月29日で終了した。

1-3. 魚体成分

魚体測定後の魚はプールして-20℃で凍結し、全魚体の一般成分分析に供した。解凍後ドリップも含めてホモジナイズし、水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法(N-タンパク質換算係数:6.25)、脂質はソックスレー法、灰分は直接灰化法で分析した。また、4月9日、4月27日、6月29日のサンプルは脂肪酸組成も調べた。クロロホルム・メタノール混液による脂質の抽出後、メチルエステル化してガスクロによって分析した。

1-4. 絶食試験

5月29日に採取した200尾は生かしたまま実験室に持ち帰り、240L容の塩ビ製角型水槽に直接收容した。9℃の飼育水で通水、通気下で無給餌のまま7月5日まで放置した。その間毎日魚の状態を観察すると共に死魚数を数え、生残率の変化を調べた。

5月31日と6月29日には50尾ずつサンプリングし、魚体測定と成分分析を行った。5月29日の絶食開始時にはこれらの作業を実施出来なかったため、5月31日の測定値を便宜的に絶食開始時の値と見做すことにした。また絶食2日目なので殆ど悪影響は出ていないものと推測する。

2. 結果

2-1. 外観他

体型は人工種苗に比べてやや細長く、肥満度が小さいのではないかと考えられた。

河川で育成した魚は全体が黄褐色で、川底の石や砂に似た色をしており、環境に適応した色をしていた。特に鱗の黄色～オレンジ色が強く、明らかに人工種苗とは異なっていた。この色は元々卵に含まれていたカロテノイドに由来する部分も有るのであろうが、それは人工種苗も同じなので、河川で食べた餌に含まれるカロテノイドの影響が大きいものと考えられる。

また、上から川を覗いただけでは魚など全く居ないように見えるのであるが、ゴミや石の陰等を丁寧に探ると多数のシロザケ稚魚が潜んでおり、天然種苗は人工種苗より外敵に対する警戒心が強いように思えた。

2-2. 成長

表1に絶食試験の値も含めた魚体測定の結果を示す。尾叉長、体重共に5月31日まで次第に大きくなっており(図2)、河川中でも稚魚が成長していたことが分かるが、比較的低い成長倍率であった。人為的な給餌は行っていないので、河川中にもこの程度の成長を維持出来るだけの量の餌が存在したものの、魚が十分に成長するには量が不足していたのであろう。

5月31日までの肥満度では4月27日の値が特異的に高かったが、その他の日の値は約7の低い値を示しており、魚がスラリとしていたことが分かる。

魚の成長を左右する要因として水温や餌の量と質等が有る。屋外なので積雪の影響を受けて室内より水温が低かったことは確かであるが、この水域には4000粒の卵から孵化した魚を十分に成長させるだけの量の餌が無かったことや、餌のエネルギー含量が低かったことの方が

表1 天然種苗の魚体測定結果

	尾叉長 (cm)	体重 (g)	肥満度
3月11日	3.841	0.398	7.000
4月09日	4.364	0.600	7.000
4月27日	5.254	1.225	8.247
5月31日	5.778	1.336	6.711
6月29日	5.980	1.221	5.617

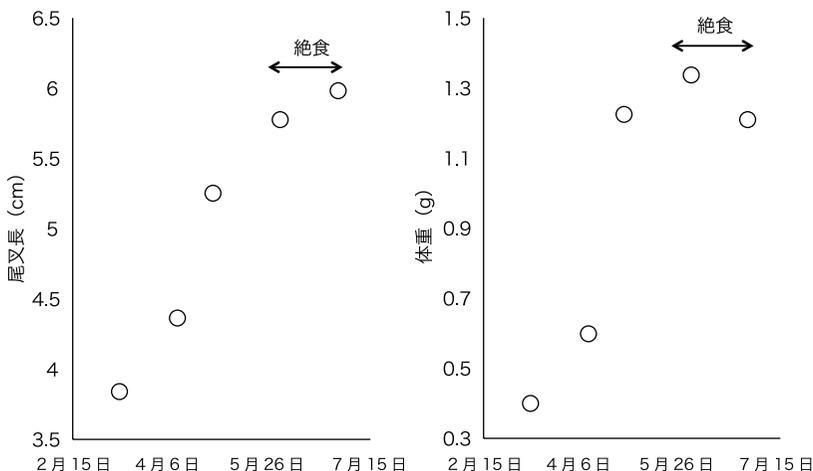


図2 天然種苗の成長

より大きな原因ではないかと考える。また、4月27日の肥満度が高かったのは、4月9日から4月27日の間にエネルギー含量が高い餌が水中あるいは空中に発生し、それを魚が大量に食べたので体重が急激に増えた為ではないかと推測している。

2-3. 尾叉長と体重

表2に尾叉長と体重の関係を示す。両者の間には $Y=Ae^{BX}$ 、Y: 体重 (g)、X: 尾叉長 (cm) の指数関係が有ることが分かっている。一部にバラツキが有るものの、Aは魚の成長に伴って大きくなり、Bは逆に小さくなる傾向が有る。また、両者の相関は魚が大きくなる程強くなり、バラツキが小さくなることを示している(図3)。A、B、 R^2 との相関は尾叉長より体重の方が強く、相関の強さは $R^2 > B >> A$ の順であった。

尾叉長と肥満度の間には正の相関が有るように見え、グループ内で尾叉長が大きい大型個体が餌取り競争に勝って沢山餌を食べ、肥っているのではないかと推測された。ところが相関を調べてみると4月9日では $Y=0.6423X+4.1912$ 、Y: 肥満度、X: 尾叉長 (cm) で、 R^2 は0.0858であった。5月31日では $Y=0.3307X+4.8001$ 、 R^2 は0.1928であった。この様に尾叉長と肥満度の間には明確な相関が存在しないことが分かった(図4)。

表2 尾叉長と体重の関係

	A	B	R^2
3月11日	0.0222	0.7491	0.7502
4月09日	0.0228	0.7386	0.7581
4月27日	0.0601	0.5668	0.9402
5月31日	0.0466	0.5728	0.9550
6月29日	0.0398	0.5684	0.8937

$$Y=Ae^{BX}$$

Y: 体重 (g), X: 尾叉長 (cm), R^2 : 相関係数

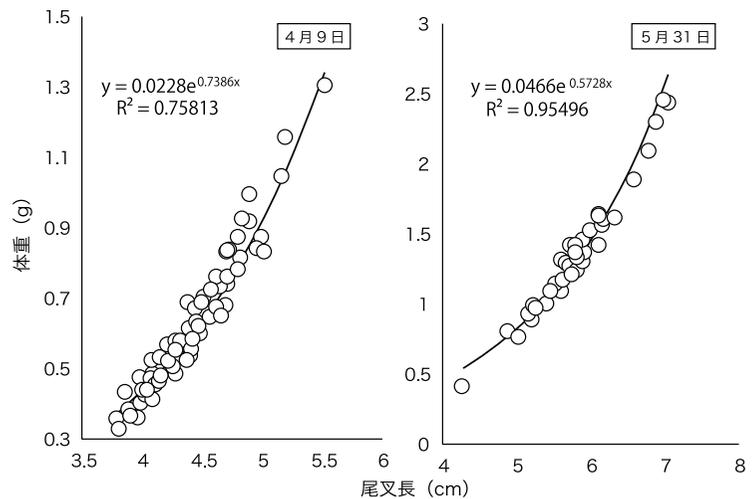


図3 天然種苗の尾叉長と体重の関係

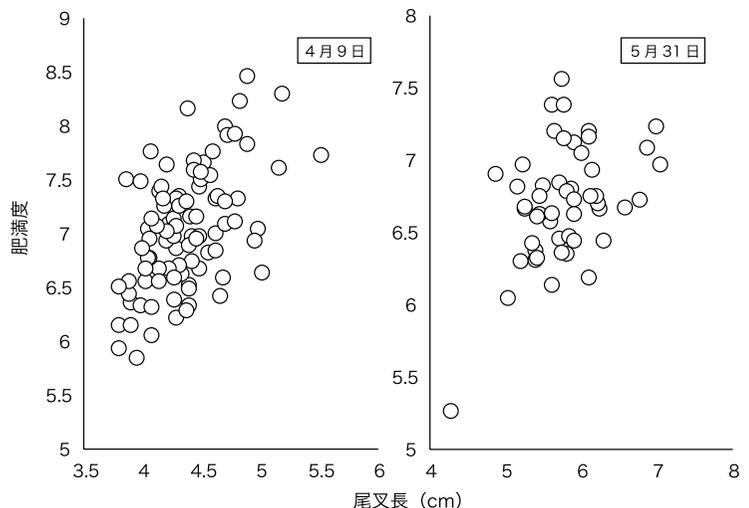


図4 天然種苗の尾叉長と肥満度の関係

2-4. 体成分

表3に魚体成分の分析結果を示す。これまでの試験によってシロザケに限らず魚類では体成分変化の主因をなすのは脂質で、脂質の変動

によって水分、タンパク質、灰分が相対的に変化することと、脂質は餌の脂質とエネルギー含量によって大きく変化することが分かっている。3月11日の魚は4月9日の魚と肥満度は同じであったのに脂質が多く、水分が少なかった。これは3月11日の魚にはまだ体内に油球や卵黄に由来する脂質が残っていた為ではないかと推測する。

4月27日の魚は前述した様に4月9日から4月27日の間にエネルギー含量が高い餌を多量に食べた為に脂質が著しく増え、それに伴って水分、タンパク質、灰分が変化したものと思われる。この結果は体重と肥満度の変化と良く一致していた。

自然環境下ではその時々々の餌の状況によって魚の成長、肥満度および体成分が大きく変化するものと思われるが、分析結果を見てみると魚の成長に従って脂質が減少し、その分タンパク質と灰分の占める割合が増える傾向があるので、この水域ではやはり魚の十分な成長を維持するには餌が不足していたものと考えられる。

2-5. 脂肪酸組成

表4に魚体の脂肪酸組成を示す。人工種苗に比べてリノール酸(18:2n6)の占める割合が低いことに大きな特徴

表3 天然種苗の魚体成分

	3月11日	4月9日	4月27日	5月31日	6月29日
湿物 (%)					
水分	80.3	82.7	80.5	82.0	84.3
タンパク質	14.5	14.6	15.2	14.9	13.6
脂質	3.7	2.0	3.8	1.8	1.1
灰分	1.8	2.0	2.0	2.4	2.7
乾物 (% 乾物)					
タンパク質	73.6	84.4	77.9	82.8	86.6
脂質	18.8	11.6	19.5	10.0	7.0
灰分	9.1	11.6	10.3	13.3	17.2

表4 全魚体の脂肪酸組成

	4月9日	4月27日	4月27日 / 4月9日	6月29日	6月29日 / 4月9日
12:0 (%)	0.3	0.5	1.67		
14:0	1.9	2.0	1.05	0.7	0.37
15:0	0.3	0.2	0.67	0.2	0.67
16:0	16.4	16.7	1.02	17.4	1.06
16:1	7.0	12.3	1.76	4.6	0.66
16:2	1.1	1.9	1.73	0.4	0.36
16:3	0.7	1.0	1.43	0.2	0.29
16:4	0.4	0.7	1.75		
17:0	0.5	0.5	1.00	0.4	0.80
17:1	0.3	0.3	1.00		
18:0	5.5	4.7	0.85	7.0	1.27
18:1	15.5	17.2	1.11	16.3	1.05
18:2n6	2.5	2.4	0.96	1.8	0.72
18:3n3	1.8	2.8	1.56	1.4	0.78
18:4n3	0.6	0.8	1.33	0.2	0.33
20:0	0.1	0.2	2.00	0.2	2.00
20:1	0.6	0.2	0.33	0.2	0.33
20:2n6	0.2	0.2	1.00	0.2	1.00
20:3n6	0.2	0.2	1.00	0.3	1.50
20:3n3		0.2		0.2	
20:4n6	2.2	2.0	0.91	4.1	1.86
20:4n3	0.8	0.5	0.63	0.4	0.50
20:5n3	9.6	11.0	1.15	8.6	0.90
21:5n3	0.2	0.2	1.00		
22:4n6	0.1	0.1	1.00	0.4	4.00
22:5n6	0.2	0.2	1.00	0.3	1.50
22:5n3	4.1	2.9	0.71	4.8	1.17
22:6n3	22.5	12.5	0.56	25.4	1.13
24:1	0.3			0.5	1.67
未同定	4.1	5.6	1.37	3.8	0.93
脂質 (%dm)	11.6	19.5	1.68	7.0	0.60
Σ n3 (%)	39.4	30.9	0.78	41.0	1.04
Σ n6 (%)	5.4	5.1	0.94	7.1	1.31
Σ n3/ Σ n6	7.3	6.1	0.84	5.8	0.79
EPA (%)	9.6	11.0	1.15	8.6	0.90
DHA (%)	22.5	12.5	0.56	25.4	1.13

表5 不飽和度別脂肪酸の占める割合

	4月9日	4月27日	4月27日 / 4月9日	6月29日	6月29日 / 4月9日
飽和酸 (%)	25.0	24.8	0.99	18.9	0.76
モノエン酸	22.9	30.0	1.31	21.6	0.94
ディエン酸	3.8	4.5	1.18	2.4	0.71
トリエン酸	2.7	4.2	1.56	2.1	0.78
テトラエン酸	4.1	4.1	1.00	5.1	1.24
ペンタエン酸	14.1	14.3	1.01	13.7	0.97
ヘキサエン酸	22.5	12.5	0.56	25.4	1.13

が有った。魚体の脂肪酸組成は餌の脂肪酸組成を強く反映することがシロザケ¹⁾でも知られている。よってこの結果は、配合飼料には18:2n6が多く、天然餌料には少ないことを示している。また、人工種苗に比べてn3系脂肪酸の占める割合が高く、n6系脂肪酸が少ないので、 $\Sigma n3 / \Sigma n6$ 比も大きい値を示した。

表5に不飽和度別脂肪酸の占める割合を示した。肥満度が高く脂質含量が多かった4月27日の魚の方が4月9日の魚よりモノエン酸とトリエン酸の占める割合が著しく高く、ディエン酸がやや高かった。逆にヘキサエン酸は著しく低かった。

モノエン酸ではバルミトレイン酸 (16:1) とオレイン酸 (18:1)、トリエン酸ではリノレン酸 (18:3n3)、ディエン酸ではヘキサデカジエン酸 (16:2) の増え方が多かった。ペンタエン酸は合計値では差が無かったが、夫々の脂肪酸で見るとエイコサペンタエン酸 (EPA, 20:5n3) は増え、ドコサペンタエン酸 (DPA, 22:5n3) は減少していた。また、ドコサヘキサエン酸 (DHA, 22:6n3) も大きく減少していた。

飽和酸やモノエン酸はエネルギー源として有効に利用されることが知られているので、餌を沢山食べることによって魚体にエネルギー源となる脂肪酸を多く蓄えた為、含量が略一定であるDPAやDHAが占める割合が減少したのであろう。

これまで説明してきたのは脂肪酸の組成比なので、脂肪酸の絶対量ではどうなるかを見る為

に便宜的に脂質含量に各脂肪酸組成の組成比を乗じた値で比較してみた。そうするとn3系脂肪酸、n6系脂肪酸共に4月27日の魚の方が多かった。n3系脂肪酸のEPAは4月27日の方が多いいのに、DHAはやや少なかった。

以上の結果から、4月27日の魚は16:1、18:1および18:3n3の多い餌を食べていたのではないかと推測出来る。4月7日から4月27日の間に河川で脂質含量が多く、しかも16:1、18:1、18:3n3含量が多い餌が多量に発生していたのであろう。

生体にとって最も大事な脂肪酸であるDHAの絶対量が4月9日と4月27日で大きな違いが無かったので、DHAは魚体に約2.5%程度有れば問題無いのではないと思われる。

2-6. 絶食の影響

図5に絶食期間中の生残率の変化を示す。絶食11日目まで死亡する魚は居なかったの

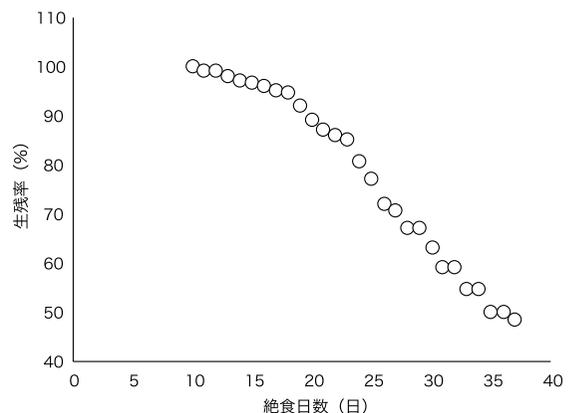


図5 天然種苗の絶食による生残率変化

河川での採捕と輸送による大きな障害は無かったもの
と考える。11日目から少数
が死に始め、20日以降死
魚数が増えた。死魚が生じ
始める時期と増える時期は
これまで人工種苗で調べた
結果より可也早かった。

表1と図2の様に絶食期
間中に体重は減少している
のに尾叉長は大きくなって
いた。これは尾叉長が小さ
い小型魚が集中的に死亡し
た為である(図6)。体重は
減少したにも拘らず尾叉長は大きくなったの
で、肥満度は絶食によって著しく小さくなって
いたことが分かる。

絶食開始時には水槽に人が近付くと敏感に反
応し、水槽底部に逃げて隅に集まっていたが、
絶食期間が長くなるに従って反応が鈍くなり、
水槽中にボンヤリしている個体が多くなったよ
うに思えた。

魚体成分は表3に示す様に湿物では絶食によ
って水分と灰分が増加し、タンパク質と脂質
が減少していた。乾物では脂質が占める割合が
減少し、タンパク質と灰分が増加していた。こ
れは絶食初期には脂質がエネルギー源として利
用されて減少し、それが限界に達するとタンパ
ク質がエネルギー源として消費されるようにな
り、死魚が生じると云うこれまでの人工種苗の
試験結果と同じであった。6月29日の段階で
可也死魚数も多くなっていたので、魚体成分と
しては生存の限界値に近い値を示していたので
はないかと思われる。人工種苗で求めたシロザ
ケ稚魚の生存限界値は水分が約85%、タンパ
ク質が約90%乾物、脂質が約5%乾物であっ
た²⁾。6月29日の値はこれに近い値を示して
いたので、これ以上絶食を継続すれば大量死が

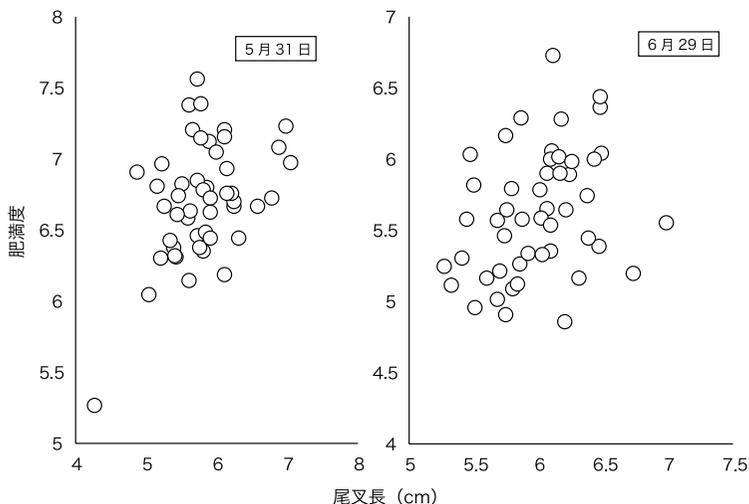


図6 天然種苗の絶食による肥満度変化

生じたものと思われる。

絶食開始時には脂肪酸分析を行っていないの
で本当のことは分からないが、5月31日と魚
体成分が略等しい4月9日には分析してある。
この4月9日の値を絶食開始時の値と見做して
考察してみる。

表4と表5から分かる様に絶食によって飽和
酸、ディエン酸およびトリエン酸の占める割合
は減少し、モノエン酸とペンタエン酸はあまり
変化していなかった。一方、テトラエン酸とヘ
キサエン酸は増加していた。飽和酸ではミリス
チン酸 (14:0)、モノエン酸は 16:1、ディエン
酸はヘキサデカジエン酸 (16:2)、トリエン酸
はヘキサデカトリエン酸 (16:3) と 18:3n3、テ
トラエン酸はオクタデカテトラエン酸 (18:4n3)
とエイコサテトラエン酸 (20:4n3)、ペンタエ
ン酸は 20:5n3 の減少が大きかった。増加が大
きかったのはステアリン酸 (18:0)、アラキド
ン酸 (20:4n6)、ドコサテトラエン酸 (22:4n6)
および 22:6n3 であった。

脂質含量に各脂肪酸の組成比を乗じた値で比
較してみると、絶食によって飽和酸、モノエン
酸、ディエン酸、トリエン酸、テトラエン酸、
ペンタエン酸、ヘキサエン酸は全て減少してい

た。個体の生残にとって必要不可欠の部分以外は全てエネルギー源として消費されてしまった結果であろう。

3月04日	飼育試験開始	第1回サンプル採取
3月22日		第2回サンプル採取
4月10日		第3回サンプル採取
5月10日	飼育試験終了	第4回サンプル採取
	絶食試験開始	
5月31日		第5回サンプル採取
6月19日	絶食試験終了	第6回サンプル採取

→ 魚体測定、成分分析

人工種苗

前項の天然種苗と同じ年に同じ種苗生産施設で生産された発眼卵より孵化したシロザケ稚魚を用いて図7に示す流れで飼育試験と絶食試験を行った。

飼育試験：3月4日－5月10日、初期収容尾数：2000尾/水槽、
供試魚：0.3g/尾、サンプル数：100尾/回、水温：9℃、給餌率：ライトリッツ給餌率

絶食試験：5月10日－6月19日、初期収容尾数：500尾/水槽
供試魚：2.2g/尾、サンプル数：100尾/回、水温：9℃

図7 人工種苗の試験経過

1. 方法

1-1. 飼育試験

3月4日に飼育試験を開始し、5月10日まで続けた。平均体重約0.3gのシロザケ稚魚2000尾をアトキンス式孵化水槽（一間水槽）に収容した。水温は9℃で、給餌は日に2回（午前1回、午後1回）行い、給餌率はライトリッツの給餌率に従った。

与えた飼料はK社のシロザケ用飼料で、分析値を表6, 7, 8に示す。一般成分は飼料分析法、脂肪酸組成はガスクロマトグラフ法、アミノ酸組成は全自動アミノ酸分析計によって測定した。なお、カロリー含量はタンパク質4, 脂質9, 炭水化物2Cal/gの値を用いて計算で求めた。

表6 飼料の一般成分

水分 (%)	10.2
蛋白質	48.8
脂質	6.3
灰分	12.4
炭水化物	22.3
カロリー (Cal/100g)	296.5
蛋白質 (%dm)	54.3
脂質	7.0
灰分	13.8
炭水化物	24.8
カロリー (Cal/100g 乾物)	330.2

表8 飼料の脂肪酸組成

14:0 (%)	4.0
15:0	0.4
16:0	18.8
16:1	4.2
16:2	0.5
16:3	0.6
16:4	1.0
17:0	0.7
17:1	0.2
18:0	4.0
18:1	14.5
18:2n6	13.9
18:3n3	1.3
18:4n3	1.0
20:0	0.2
20:1	1.5
20:2n6	0.2
20:4n6	1.3
20:4n3	0.4
20:5n3	10.9
21:5n3	0.4
22:0	0.2
22:1	1.4
22:5n6	0.5
22:5n3	2.1
22:6n3	13.0
24:0	0.2
24:1	0.5
未同定	2.1
Σ n3	29.1
Σ n6	15.9
Σ n3/ Σ n6	1.83
EPA	10.9
DHA	13.0

表7 飼料のアミノ酸含量と組成比

	含量 (g/100g 飼料)	組成比 (%)
アルギニン	2.72	6.20
リジン	3.36	7.66
ヒスチジン	1.57	3.58
フェニルアラニン	1.92	4.37
チロシン	1.39	3.17
ロイシン	3.38	7.70
イソロイシン	1.89	4.31
メチオニン	1.19	2.71
バリン	2.26	5.15
アラニン	2.96	6.74
グリシン	3.09	7.04
プロリン	2.35	5.35
グルタミン酸	6.79	15.47
セリン	1.91	4.35
スレオニン	1.97	4.49
アスパラギン酸	4.07	9.27
トリプトファン	0.56	1.28
シスチン	0.51	1.16
必須アミノ酸	20.82	47.44
非必須アミノ酸	23.07	52.56

K 社飼料は他社飼料と成分的にそれ程大きな違いは認められなかったが、タンパク質がやや高く、脂質が少ない傾向が認められた。また、アミノ酸では必須アミノ酸であるリジンとヒスチジンが、脂肪酸では n3 系高度不飽和脂肪酸である 20:5n3 と 22:6n3 がやや多かった。物性は他社飼料と殆ど同じであった。

飼育期間中 3 月 4 日、3 月 22 日、4 月 10 日および 5 月 10 日に 100 尾ずつサンプリングを行い、天然種苗と同じ方法で魚体測定（尾叉長、体重、肥満度）と成分分析（水分、タンパク質、脂質、灰分）を行った。また、5 月 10 日と 6 月 19 日の魚は脂肪酸組成も分析した。

1-2. 絶食試験

飼育試験終了時の魚からトビ（グループ内で著しく大きい個体）とピンヘッド（痩せて頭のみが大きく見える個体）を取り除き、平均的な大きさの魚を 500 尾絶食試験に用いた。試験条件は収容尾数を減らしたことで、給餌を行わなかった以外は全て飼育試験と同じであった。試験期間は 5 月 10 日から 6 月 19 日で、その間 5 月 31 日と 6 月 19 日に 100 尾ずつサンプリングし、従来と同じ方法で魚体測定と成分分析を行った。

試験期間中は毎日死魚数を数え、生残率の変化を調べた。

2. 結果

2-1. 飼育試験

天然種苗と人工種苗は明らかに外観が違っていた。人工種苗は飼育開始時には鱗が黄色～オレンジ色がかった魚も居たが、日数が経つに従って透明になっていった。体表は背部が青みの有

る黒、体側から腹部は銀白色であった。シロザケ用配合飼料にはカロテノイドが添加されていない為であろう。また、K 社飼料で育てた魚は配合飼料で育てた魚の中ではスラリとした魚になるのであるが、それでも天然種苗よりは肥って見えた。

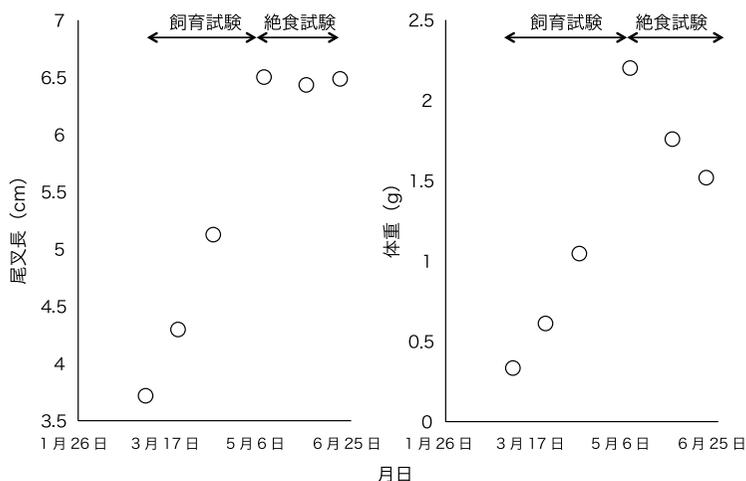


図 8 人工種苗の成長

表 9 魚体測定の結果

	尾叉長 (cm)	体重 (g)	肥満度
3 月 04 日	3.724	0.333	6.448
3 月 22 日	4.303	0.610	7.575
4 月 10 日	5.126	1.048	7.665
5 月 10 日	6.497	2.199	7.862
5 月 31 日	6.434	1.762	6.457
6 月 19 日	6.485	1.524	5.513

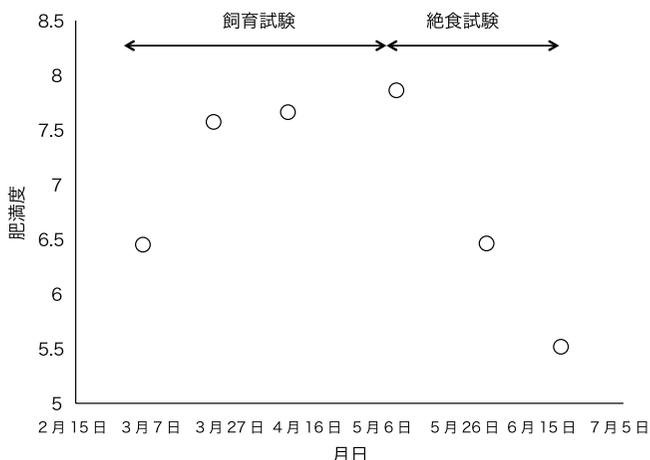


図 9 人工種苗の肥満度変化

表 10 尾叉長と体重の関係

	A	B	R ²
3月22日	0.0232	0.7550	0.8872
4月10日	0.0468	0.6016	0.9089
5月10日	0.0972	0.4754	0.9578
5月31日	0.0721	0.4910	0.9511
6月19日	0.0664	0.4798	0.9023

$$Y=Ae^{BX}$$

Y: 体重 (g), X: 尾叉長 (cm),

R²: 相関係数

絶食試験も含めた魚体測定の結果を表9に示す。人工種苗は天然種苗と違って毎日人によって十分量の配合飼料を与えられるので、尾叉長、体重共に次第に大きくなっていった(図8)。また、肥満度も初期に急激に大きくなった後は略一定の割合で大きくなっていった(図9)。この様に人工種苗は天然種苗と違って日数の経過と共に尾叉長、体重共に大きくなり、次第に肥っていくことが分かる。

表10に尾叉長と体重の関係を示す。Y=Ae^{BX}, Y: 体重(g), X: 尾叉長(cm)の関係で、人工種苗は魚が大きくなるに従って天然種苗より明確にAの値が大きくなり、Bは小さくなっていった。また、R²も次第に大きくなっていったので、魚が大きくなるに従って尾叉長と体重にバラツキが小さくなったことが分かる。

A, B, R²との相関は尾叉長より体重の方が強く、相関の強さはR²>B>>Aの順であること

は天然種苗と同じであった。また、尾叉長と肥満度の間には魚の大きさに拘らず明確な相関が認められない(図10)のも天然種苗と同じであった。

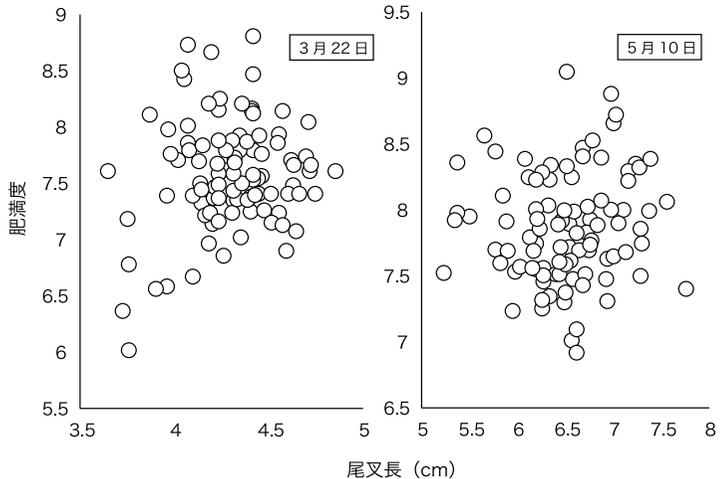


図 10 人工種苗の尾叉長と肥満度の関係

表 11 飼育試験中の魚体成分変化

	3月4日	3月22日	4月10日	5月10日
水分 (%)	81.9	83.7	82.5	79.4
タンパク質	13.9	13.9	14.4	15.9
脂質	2.9	2.4	2.7	3.4
灰分	1.4	1.8	1.8	2.0
タンパク質 (% 乾物)	76.8	85.3	82.3	77.2
脂質	16.0	14.7	15.4	16.5
灰分	7.7	11.0	10.3	9.7

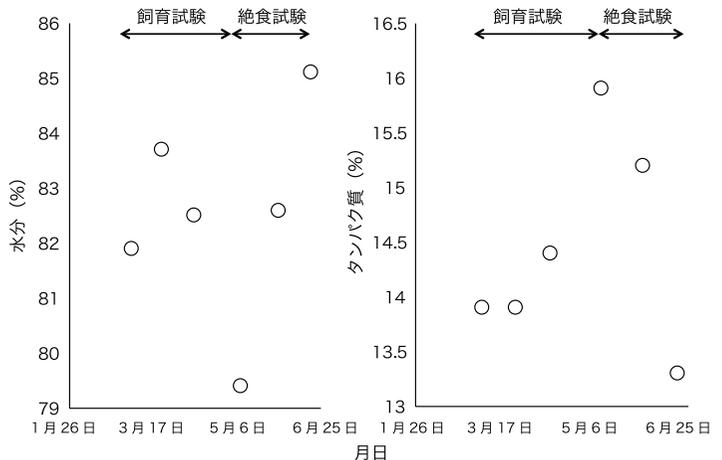


図 11 人工種苗の魚体成分変化-1

表11に魚体成分の分析結果を示す。初期(3月4日から3月22日)に脂質が減少し、水分が増えていたが、この結果は従来の試験結果²⁾と一致していた。原因として飼育試験開始時に

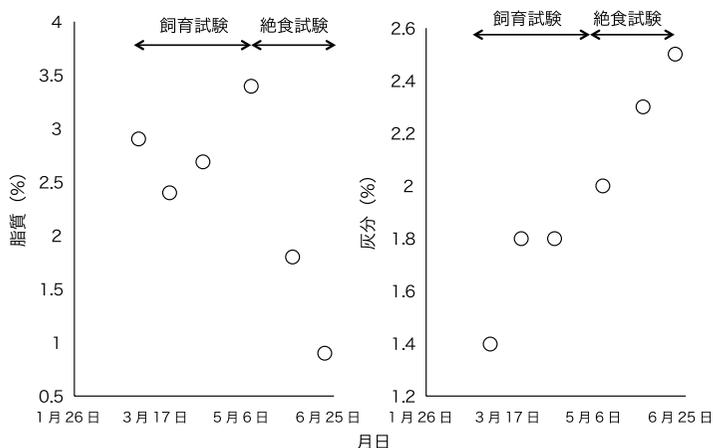


図 12 人工種苗の魚体成分変化ー 2

は魚が小さく、①まだ魚体内に油球や卵黄由来の脂質が残っていたこと、②まだ配合飼料の消化吸収力が弱く、内部栄養から外部栄養に切り替えるのにやや時間を要したこと、③給餌量がやや少なかったこと、等が考えられるが、多分①が主な原因であろう。3月22日以降水分は減少し、タンパク質、脂質、灰分共に略一定の割合で増加していた(図 11, 12)。

水分とタンパク質、脂質および灰分の間には負の相関、脂質とタンパク質、灰分の間にも負の相関が有ることや、魚体成分変化の主因をなすのは脂質で、脂質含量の変動によってその他成分が相対的に変化していることは、これまでの試験結果³⁾と良く一致していた。

表 12 に飼料と飼育試験終了時の魚体の脂肪酸組成を示す。主要な脂肪酸では 20:5n3 が占める割合は魚体の方が少なかったが、22:6n3 は魚体の方が遥かに多かった。その他の脂肪酸では多少のバラツキは有るものの飼料と魚体で似通った値であった。魚体の脂肪酸組成は餌の脂肪酸組成を強く反映すると云われているが、それを明確に示す結果であった。22:6n3 の組成比が魚体の方が遥かに高いのは、シロザケにとって 22:6n3 が特に重要である⁴⁾ことを示すものであろう。

2-2. 絶食試験

絶食期間が長くなると全体的に体色が黒ずんで見えるようになったが、これはシロザケに限らず魚では極一般的な反応なので、特に異常ではない。

数日間絶食させると人に対する反応が鋭くなり、水槽に近付いただけで水槽の隅に逃げて塊っていたが、絶食期間が長く

表 12 飼料と魚体の脂肪酸組成

	飼料	魚体	魚体 / 飼料
14:0 (%)	4.0	3.0	0.75
15:0	0.4	0.4	1.00
16:0	18.8	18.0	0.96
16:1	4.2	3.9	0.93
16:2	0.5	0.4	0.80
16:3	0.6	0.3	0.50
16:4	1.0	0.4	0.40
17:0	0.7	0.5	0.71
17:1	0.2	0.3	1.50
18:0	4.0	5.1	1.28
18:1	14.5	18.5	1.28
18:2n6	13.9	11.6	0.83
18:3n3	1.3	1.1	0.85
18:4n3	1.0	0.6	0.60
20:0	0.2	0.1	0.50
20:1	1.5	1.5	1.00
20:2n6	0.2	0.7	3.50
20:3n6		0.4	
20:4n6	1.3	1.3	1.00
20:4n3	0.4	0.5	1.25
20:5n3	10.9	5.6	0.51
21:5n3	0.4	0.3	0.75
22:0	0.2		
22:1	1.4	0.8	0.57
22:5n6	0.5	0.5	1.00
22:5n3	2.1	2.0	0.95
22:6n3	13.0	18.6	1.43
24:0	0.2		
24:1	0.5	0.5	1.00
未同定	2.1	3.1	1.48
Σ n3	29.1	28.7	0.99
Σ n6	15.9	14.5	0.91
Σ n3/ Σ n6	1.83	1.98	1.08
Σ n3HUFA	26.8	27.0	1.01

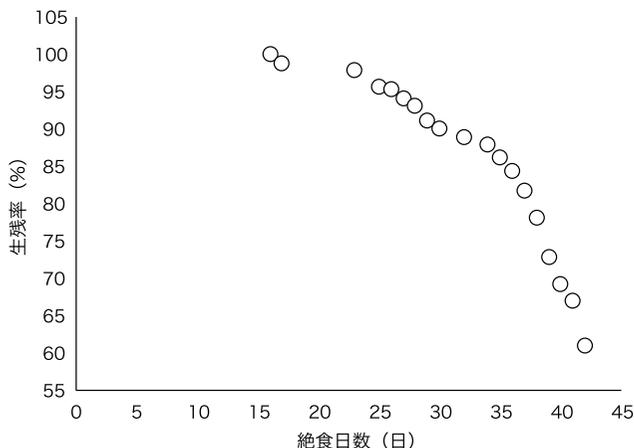


図 13 人工種苗の絶食による生残率変化

表 13 絶食試験中の魚体成分変化

	5月10日	5月31日	6月19日
水分 (%)	79.4	82.6	85.1
タンパク質	15.9	15.2	13.3
脂質	3.4	1.8	0.9
灰分	2.0	2.3	2.5
タンパク質 (% 乾物)	77.2	87.4	89.3
脂質	16.5	10.2	6.0
灰分	9.7	13.2	15.8

なると次第に反応が鈍くなり、水槽中でボンヤリしている魚が増えてきた。但し、反応が鈍くなる時期は天然種苗よりも遅かったように思える。

図 13 に生残率の変化を示す。絶食 15 日位から死魚が出始め、35 日を過ぎると死魚数が一段と多くなった。死魚が出始める時期、死魚数が増える時期共に天然種苗より可也遅かった。

表 9 と図 8, 9 に示す様に絶食によって尾叉長の伸びは止まり、体重と肥満度は大きく減少していた。これは絶食によって成長のエネルギー源となる餌が断たれるので魚は成長せず (=尾叉長は伸びない)、一方で体を維

持するエネルギーは必要なので体成分を分解してエネルギーを得る為、魚は痩せて体重が減少することを示している。尾叉長は殆ど変化が無く、体重は減少するので、肥満度はより大きく減少することになる。

表 13 に絶食期間中の魚体成分の変化を示す。絶食期間が長くなるに従ってタンパク質と脂質が減少し、水分と灰分が増加していた。乾物では脂質の占める割合が減少し、タンパク質と灰分が増加していた。

図 14, 15 に水分とタンパク質、脂質および灰分含量との関係の経時的な変化を飼育試験も含めて示す。飼育試験は点線で、絶食試験は実線で記入してある。

水分は飼育初期に増加した後次第に減少する。それに伴ってタンパク質、脂質、灰分共に直線的に増加する。まだ体内に油球や卵黄由来の脂質が残っている状態の魚は、魚体成分で水分とタンパク質、脂質、灰分との間に負の相関が成り立つと云う一般則には含めない方が良い様である。油球や卵黄由来の脂質が無くなった後はこの法則に合致していた。

給餌を中止して絶食させると水分は増加し、それに伴ってタンパク質と脂質は減少するが灰

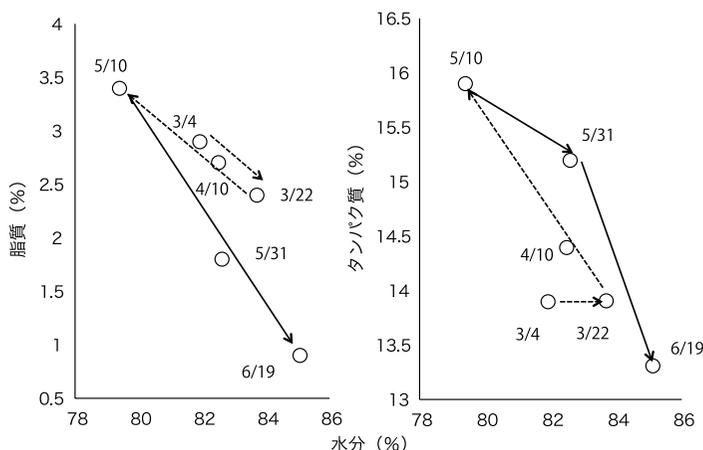


図 14 魚体の水分と脂質、タンパク質の関係

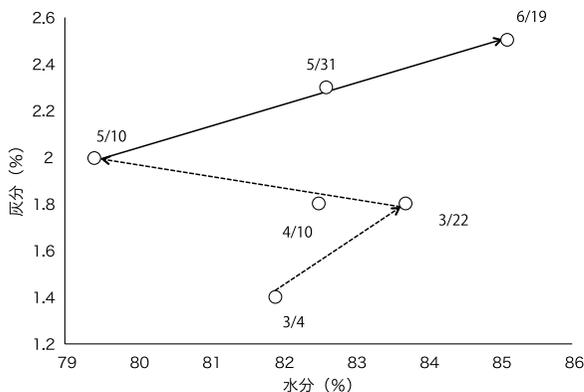


図 15 魚体の水分と灰分の関係

表 14 絶食前後の魚体の脂肪酸組成

	開始時	終了時	終了時 / 開始時
14:0 (%)	3.0	0.8	0.27
15:0	0.4	0.2	0.50
16:0	18.0	18.4	1.02
16:1	3.9	1.6	0.41
16:2	0.4		
16:3	0.3		
16:4	0.4	0.2	0.50
17:0	0.5	0.4	0.80
17:1	0.3	0.2	0.67
18:0	5.1	6.6	1.29
18:1	18.5	15.6	0.84
18:2n6	11.6	5.3	0.46
18:3n3	1.1	0.3	0.27
18:4n3	0.6		
20:0	0.1		
20:1	1.5	0.9	0.60
20:2n6	0.7	0.5	0.71
20:3n6	0.4	0.3	0.75
20:4n6	1.3	0.3	0.23
20:4n3	0.5	0.3	0.60
20:5n3	5.6	5.7	1.02
21:5n3	0.3		
22:1	0.8	0.1	0.13
22:4n6		0.2	
22:5n6	0.5	0.7	1.40
22:5n3	2.0	2.2	1.10
22:6n3	18.6	31.0	1.67
24:1	0.5	1.1	2.20
未同定	3.1	4.0	1.29
脂質 (%dm)	16.5	6.0	0.36
Σ n3 (%)	28.7	39.5	1.38
Σ n6 (%)	14.5	7.3	0.50
Σ n3/ Σ n6	1.98	5.41	2.73
EPA (%)	5.6	5.7	1.02
DHA (%)	18.6	31.0	1.67

分は増加する。脂質の減少と灰分の増加は直線的であるが、タンパク質の減少には変曲点があり、絶食期間が長くなると傾きが大きくなる。5月31日から6月19日の間の脂質減少の傾きがそれまでよりやや小さくなっており、タンパク質減少の傾きが大きくなっていることは重要である。脂質とタンパク質がエネルギー源として利用される割合が変化することによって、夫々の傾きが変わるのであろう。この結果は5月31日以降、それまでよりタンパク質がエネルギー源として消費される量が増えていることを示すものと推測する。

魚体の水分とタンパク質、脂質および灰分との関係は、絶食期間中の魚と飼育期間中の魚では明らかに異なっていた。魚体成分相互間の関係は魚が置かれている状況を十分考慮に入れて求めなければならないことが分かる。

表 14, 15 に絶食前後の魚体の脂肪酸組成を示す。絶食による脂肪酸組成の変化は大きく減少、やや減少、変化無し、大きく増加の4パターンに分けられた。大きく減少したのはディエン酸、トリエン酸、テトラエン酸で、それぞれ代表的な脂肪酸は 18:2n6, 18:3n3, 20:4n6であった。やや減少したのはモノエン酸で 16:1と 22:1であった。飽和酸とペンタエン酸は殆ど変化が無かった。ヘキサエン酸は大きく増加し、22:6n3であった。

脂肪酸の組成比に脂質含量を乗じて夫々の

表 15 不飽和度別脂肪酸の占める割合

	開始時	終了時	終了時 / 開始時
飽和酸 (%)	27.1	26.4	0.97
モノエン酸	25.5	19.5	0.77
ディエン酸	12.7	5.8	0.46
トリエン酸	1.8	0.6	0.33
テトラエン酸	2.8	1.0	0.36
ペンタエン酸	8.4	8.6	1.03
ヘキサエン酸	18.6	31.0	1.67

脂肪酸の含量に直してみると、全ての脂肪酸が大きく減少していたが、最も減少が少なかったのがヘキサエン酸、次いでペンタエン酸と飽和酸、更にモノエン酸と続き、ディエン酸、トリエン酸、テトラエン酸は最も減少が大きかった。生体にとってどうしても必要な脂肪酸を残したのと考え

ると、シロザケ稚魚にとって炭素数 20 以上の n3 系脂肪酸、特に 22:6n3 や 20:5n3 の重要性が分かる。その他の脂肪酸はエネルギー源として消費されたり、不飽和度が大きい脂肪酸へと転換されたりしたのであろう。

天然種苗と人工種苗の比較

1. 体色

天然種苗と人工種苗は体色が明らかに異なっていた。天然種苗は全体に黄褐色がかっており、特に鱭は黄色～オレンジ色が強かった。一方、人工種苗の背側は青黒色で、体側から腹部にかけて銀白色であった。鱭は飼育初期には黄色～オレンジ色であったが、飼育期間が長くなるに従って透明になった。この違いは食べた餌の違いに原因が有る。天然種苗の色は餌に含まれるカロテノイドに由来するもので、植物を直接食べたか、或いは植物を食べた動物を捕食したことによる。一方、人工種苗は配合飼料のみを食べているので、この配合飼料に殆どカロテノイドが含まれていなかったことを示している。

天然種苗の色は河川中のゴミや石、砂等とよく似ており、大変見つけ難い。人工種苗は河川環境の色とは明らかに違っていたので、外敵に

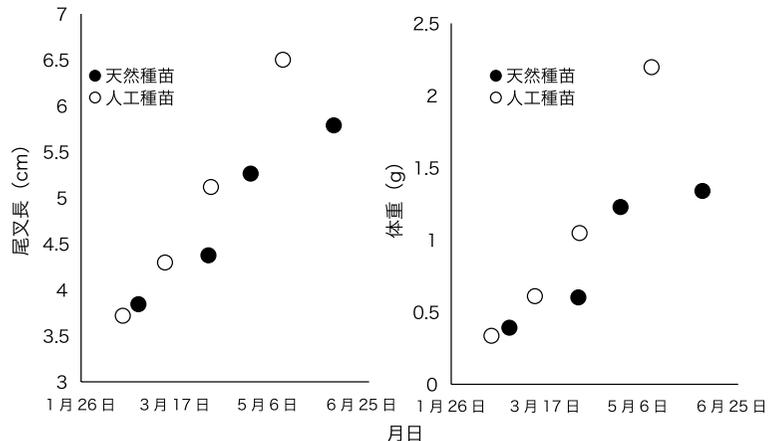


図 16 天然種苗と人工種苗の成長

見つけ易いのではないかとと思われる。人工種苗は河川に放流されることを考えると、放流前に体色の改善を図っておく方が良いのではないかと考える。

2. 成長

天然種苗と人工種苗の成長の違いを図 16 に示す。人工種苗は毎日十分量の餌を与えられているので成長も良く、綺麗な成長曲線を示していた。天然種苗も日数の経過と共に成長していたが、人工種苗より成長が遅く、バラツキが有って成長曲線に凹凸が大きかった。これは河川中の餌の状態を反映しているものと思われる。脂質含量が多い餌が多量に発生している時期には急速に成長するが、餌の量が少なく、しかも脂質が少ない餌が多い時期には成長が劣るのであろう。

河川中の餌の種類と量を人為的に左右するのは難しいことであろうが、もしこれが有る程度出来るようになれば人工種苗に負けない成長を天然種苗でも得られる可能性が有る。また、河川の餌の不足分を配合飼料で補えば自然の生産力も活かせ、より天然魚に近い魚にすることが出来るのではないだろうか。河川である程度魚の生産が出来るのであれば、種苗生産施設での生産量が減らせる可能性も考えられる。今後検

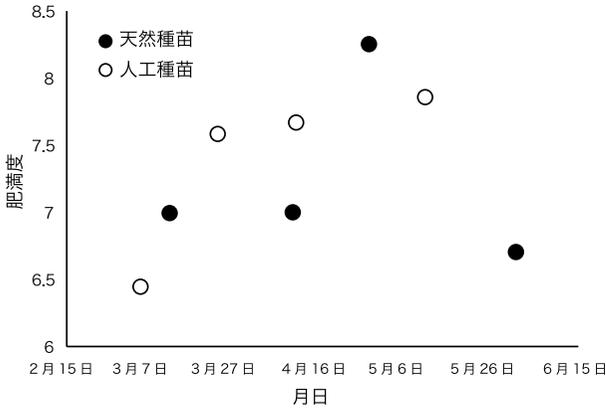


図 17 天然種苗と人工種苗の肥満度変化

討してみる価値は有るように思える。

3. 肥満度

経時的な肥満度の変化を図 17 に示す。人工種苗は飼育初期に急に肥満度が大きくなった後は略一定の割合で大きくなっていった。それに対し天然種苗では 4 月 27 日の値だけが高く、その他の日は略 7 に近い低い値であった。肥満度は魚体の脂質含量と相関することが分かっている。多分、4 月 9 日から 4 月 27 日の間に脂質が多い餌が大量に発生し、これを多量に食べた為に急激に体重が増え、魚体に脂質が蓄積した為であろう。この結果からも通常河川では餌の量が不足している可能性が高いことが分かる。

4. 体成分

体成分のうち水分と脂質の経時変化を図 18 に示す。調査開始時 (3 月 11 日) の天然種苗の水分は飼育試験開始時 (3 月 4 日) の人工種苗より少なく、脂質が多かった。これは屋外である河川の水温が低く、発育が遅かった為に魚体内に油球や卵黄由来の脂質が多く

残っていたことによると思われる。天然種苗、人工種苗共に魚体内に残っていた蓄積脂質が消費されるに従って水分が増え、脂質が減少していた。その後人工種苗は毎日十分量の配合飼料が与えられるので日経つにつれて水分は減少し、脂質が増加した。一方、天然種苗では脂質が多い餌を食べたと思われる 4 月 27 日の魚では水分が減少し、脂質が増加していたが、その後餌の量が減った為であろう 5 月 31 日の魚では再び水分が増え、脂質が減っていた。

以上の様に、魚体成分は成長と同様に食べることが出来る餌の量と質によって影響される点では天然種苗と人工種苗で違いは無かった。その時々魚で魚体測定と成分分析を行うことにより、魚の状態を可也正確に知ることが出来るものと考えられる。

表 12 に示す人工種苗の結果から、魚体の脂肪酸組成は餌の脂肪酸組成を強く反映することが分かる。天然種苗と人工種苗の脂肪酸組成の大きな違いは 18:2n6 の占める割合である。人工種苗の 18:2n6 は高いが、これは配合飼料の植物性原料に由来する 18:2n6 が多い為である。河川に存在する餌には 18:2n6 はあまり含まれていないのであろう。

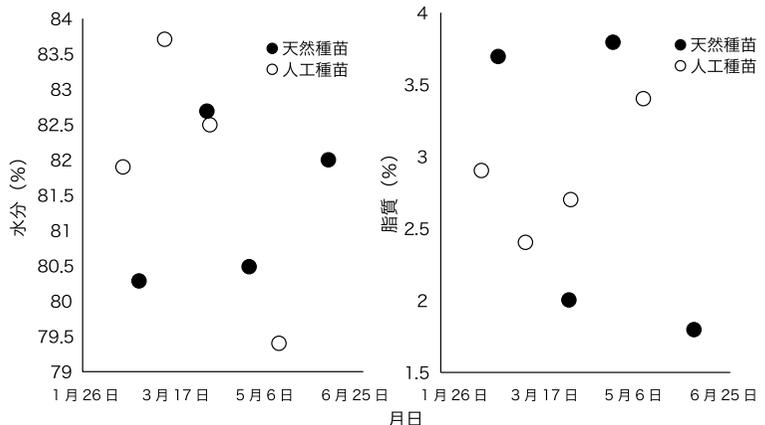


図 18 天然種苗と人工種苗の魚体成分変化

餌を多量に食べて魚体に脂質が蓄積してくるとエネルギー源として有効に利用されるモノエン酸等が増え、n3系高度不飽和脂肪酸、特にDHAの占める割合が低くなることは天然種苗、人工種苗共に共通である。脂質含量に各脂肪酸の組成比を乗じた値で比較すると、DHA等の必須脂肪酸は減少しておらず、略一定の量を保っている。必須脂肪酸は一定量を保っているのに他の蓄積性の脂肪酸が増えた為に組成比が小さくなっただけである。

5. 絶食の影響

図19に絶食期間中の生残率の変化を示す。絶食が長くなると死魚が出始め、更に絶食期間が長くなるとある時から死魚数が急に大きくなるのは天然種苗も人工種苗も同じである。ところが天然種苗の方が早く死に始め、死魚数が増える時期も早かった。これは何に起因するのだろうか。絶食によって死魚が出始める時期と死魚数は絶食開始時に魚体にどれくらい脂質が含まれていたかによって決まることがこれまでの試験^{2, 5, 6)}で分かっている。絶食開始時の脂質含量は天然種苗で1.8% (10.0% 乾物)、人工種苗で3.4% (16.5% 乾物)と大きく違っており、これが原因であったと思われる。蓄積エネルギーが少なかった天然種苗の方が早く脂質を使い切り、主たるエネルギー源としてタンパク質を消費するようになって死亡していったのであろう。一方、人工種苗は絶食開始時に魚体の蓄積エネルギーが多かった為、脂質を使い切るまでに時間が掛かり、死魚が生じるのも遅くなったのであろう。

絶食開始時の脂質の量 = 蓄積エネルギーの量によって死魚が出始める時期や死魚数が増える時期、生残率等が決められていることは天然

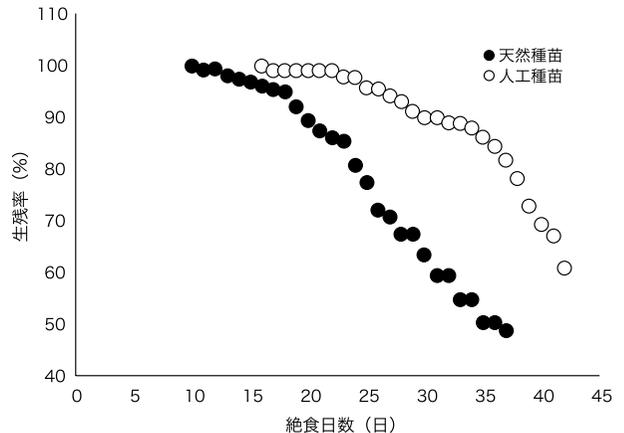


図19 天然種苗と人工種苗の絶食耐性

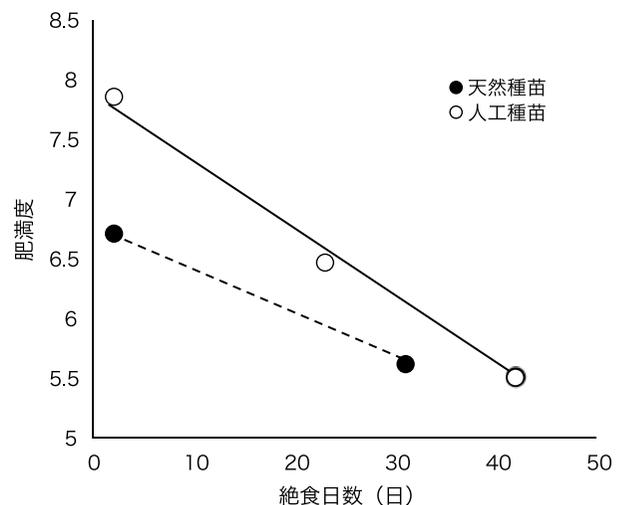


図20 天然種苗と人工種苗の絶食による肥満度変化

種苗でも人工種苗でも同じである。絶食時の環境条件が同じであれば、絶食開始時に魚体の成分分析を行なっておくことによって死魚が出始める時期、増える時期、生残率等は有る程度計算出来るのではないかと推測する。

絶食日数と肥満度の変化を図20に示す。天然種苗の方が肥満度減少の傾きが少ない。この原因として天然種苗の方が絶食期間中に痩せて脂質含量が少ない魚が多く死亡したことや動きが不活発であったこと等が考えられるが、痩せた魚が多く死亡したことの方が主たる原因ではないかと推測している。

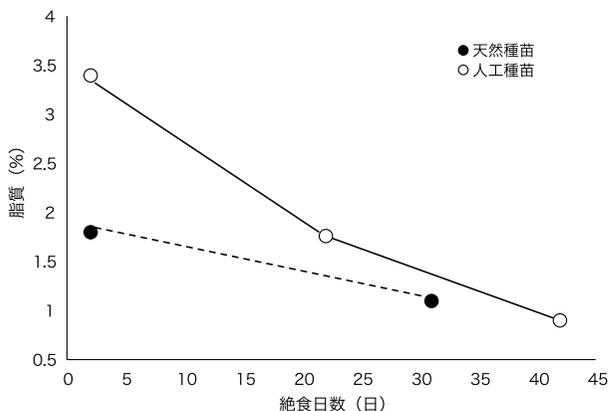


図 21 天然種苗と人工種苗の絶食による脂質含量変化

絶食日数と魚体の脂質含量の変化を図 21 に示す。肥満度同様天然種苗の方が脂質含量の減少が少なかった。この原因も絶食期間中に天然種苗の方が痩せて脂質含量が少ない魚が多く死亡したことによるのであろう。

表 16 から天然種苗と人工種苗の絶食による脂肪酸組成の変化を比較してみる。ヘキサエン酸は絶食後増加, ペンタエン酸は殆ど変化無し, ディエン酸, トリエン酸, テトラエン酸および

表 16 絶食による不飽和度別脂肪酸組成の変化

	天然種苗	人工種苗
脂質含量 (%)	36	36
飽和酸	104	97
モノエン酸	72	76
ディエン酸	53	46
トリエン酸	50	33
テトラエン酸	124	36
ペンタエン酸	96	102
ヘキサエン酸	203	167
Σ n3	133	138
Σ n6	139	50
Σ n3/ Σ n6	95	273
EPA	78	102
DHA	203	167

(注) 数字は終了時×100/開始時の値

モノエン酸が減少していたのは両種苗で共通していたが、その変化はモノエン酸以外人工種苗の方が大きかった。これは人工種苗の蓄積脂質が絶食開始時に多かったことが関係している。絶食中にエネルギー源として利用される脂肪酸が消費されて減少し、必須脂肪酸として重要なヘキサエン酸はあまり減少しなかったので開始時には組成比が低かったヘキサエン酸の占める割合が高くなったものと思われる。また、ペン

表 17 絶食による脂肪酸組成の変化

飽和酸		モノエン酸		ディエン酸				
天然種苗	人工種苗	天然種苗	人工種苗	天然種苗	人工種苗			
14:0	35	27	16:1	37	41	16:2	21	
15:0	100	50	17:1	95	84	18:2n6	75	46
16:0	104	102	18:1	100	60	20:2n6	100	71
17:0	80	80	20:1		13			
18:0	149	129	22:1		220			
20:0	100		24:1					
トリエン酸		テトラエン酸		ペンタエン酸				
天然種苗	人工種苗	天然種苗	人工種苗	天然種苗	人工種苗			
16:3	20	16:4	50	20:5n3	78	102		
18:3n3	50	18:4n3	25	22:5n6	150	140		
20:3n6	150	20:4n6	205	22:5n3	166	110		
20:3n3	100	20:4n3	80					
		22:4n6	400					
ドコサエン酸								
天然種苗	人工種苗							
22:6n3	203	167						

(注) 数字は終了時×100/開始時の値

タエン酸も重要である為、殆ど組成比は変化しなかったのであろう。

それぞれの脂肪酸の変化を示したのが表 17 である。天然種苗でも人工種苗でも最も変化が大きかったのは 14:0, 18:0, 16:1, 18:2n6, 18:3n3, 18:4n3, 22:5n6, 22:5n3, 22:6n3 であった。14:0, 16:1, 18:2n6, 18:3n3 は減少, 18:0, 22:5n6, 22:5n3, 22:6n3 は増加であった。飽和酸とモノエン酸はエネルギー源として消費され, 18:2n6 や 18:3n3 はそれ以上に不飽和度が高い 20:3n6, 20:4n6, 22:4n6, 22:5n6 や 20:3n3, 20:4n3, 20:5n3, 22:5n3, 22:6n3 へと転換された部分が多かったのであろう。

脂質含量に各脂肪酸の組成比を乗じた値では全ての脂肪酸が減少していた。その中では 22:6n3 の減少が少なく, 20:5n3 の減少も比較的少なかった。生体にとってどうしても必要な必須脂肪酸は絶食が長期に及んでも可能な限り残している様である。

以上の結果から、絶食の影響は脂肪酸の面か

ら見ても天然種苗と人工種苗で違いは無いと云える。絶食開始時の魚体の脂質含量が多いか少ないかの違いによって結果が異なって見えるだけである。

まとめ

天然種苗と人工種苗では体色, 体型, 警戒心, 成長, 体成分, 絶食耐性等多くの点で違いが見られた。但し, これらの違いは全て餌も含めた環境条件の違いによって生じるものであり, 基本的な差異は無いと考えられる。これらの違いは種苗生産施設での魚の飼育法を工夫したり河川環境を調整したりすれば, ある程度解決出来る問題である。天然種苗を人工種苗に近づけることも, 人工種苗を天然種苗に近づけることも出来るはずである。その為には何をどの様に変えたいかを明確にすることである。そうすれば天然種苗と人工種苗の質の改善は考える程難しくないのではないかと思える。

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

- 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) 酒本秀一, 大橋勝彦: シロザケ飼料の魚油添加効果- 2. *New Food Industry*, **54** (4), 28-38 (2012)
- 3) 大橋勝彦, 酒本秀一: シロザケ用飼料の油脂源. *New Food Industry*, **55** (1), 53-68 (2013)
- 4) 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)
- 5) 酒本秀一, 大橋勝彦: シロザケ飼料の魚油添加効果- 1. *New Food Industry*, **54** (3), 49-58 (2012)
- 6) 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 年間の研究のとりまとめ - さけ別枠 1981 河川研究グループレポート, 189-204 (1982)

築地市場魚貝辞典（ホウボウ）

今日、魚を見に出かけたら、しばらくぶりに知人と出会った。その彼も魚好きで、しばし魚の話をしたのであるが、「やっぱり野菜より、魚の方がいいよね。野菜は季節感がないもの。いくら冷凍や養殖があるといても、魚はまだ季節感がある」と言うのである。築地市場を見ていると、南北に細長い日本列島中の魚が集められてくるせいか、地方に比べて一つの魚が出回る期間が長くなる傾向はある。それでも、やはり季節や天候など、自然環境を反映した入荷になっている。自然を忘れがちな都会の中で、自然の大切さを思い起こさせてくれる、という意味でも築地市場は大切な役目を担っているのかもしれない。今回は冬の魚、ホウボウを紹介する。



ホウボウ

一分類一

ホウボウは、スズキ目ホウボウ科ホウボウ属である。少し前までカサゴ目に含まれていたが、スズキ目について大所帯だったカサゴ目が消滅してしまった（カサゴ目に含まれる魚のすべてに共通すると考えられた特徴が、1つのまとまりのあるグループの特徴にはならないとされたため）ので、カサゴやオコゼ、コチ達とスズキの仲間に入ることになったのである。というわけで、カサゴやコチに近い魚と考えられている。ふつうの魚のなかで、頭部が硬く骨の甲で覆われ、臀鰭を支えるスジに骨質のトゲがない仲間（ホウボウ科）のうち、上顎から頬に向かって筋状の盛り上がりがある魚（ホウボウ属）である。ホウボウ科の魚は世界におよそ124種、日本近海に19種知られている。ホウボウの含まれるホウボウ属のほかに、カナガシラ属やソコホ

ウボウ属などがあるが、カナガシラを除き食用としては馴染みがない。ホウボウ属の魚はヨーロッパに3種、南アフリカと日本近海に2種、西アフリカとオーストラリア周辺に1種ずつの、合計9種がある。どれも赤い体に大きな胸鰭を持つところは同じで、同じ属の魚どうしでは区別が難しいこともある。日本のホウボウはオーストラリアの種類（ミナミホウボウ）と同種と考えられたこともあった。日本近海で見られるホウボウ属の魚はホウボウとツマリホウボウ（以前はセツパリホウボウと呼ばれていた）の2種である。ツマリホウボウは相模湾で採集されているだけの珍しい種類である。

一形態一

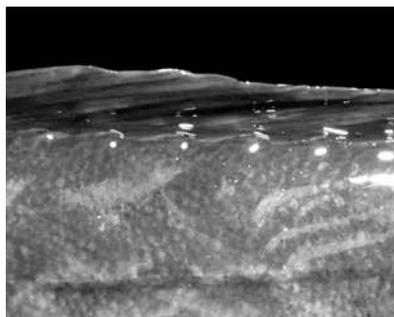
体はやや細長く、体の断面は丸い。頭部は全体が骨質の甲で覆われ、叩くとコツコツと音がするほど硬い。口は下側にあつてやや大きい。歯は非常に細かく、一見すると無いように見える。鱗は小さく取れにくいので、体の表面はなめらかに見える。背鰭の付け根に沿って、小さいが鋭いトゲが1列に並ぶ。胸鰭は大きくうちわ状で、鰭を支えるスジ（鰭条）のうち前方の3本には鰭の膜はなく、手の指のようになる。体は赤く、暗緑色の不規則な模様がある。腹側は白い。胸鰭の外側は体と同じような色をしているが、内側は緑色で、鮮やかな青い縁取りと青の小斑点がある。体長40cmを越える。



頭部



胸鰭



背中のトゲ

一生態一

北海道から九州、朝鮮半島から台湾、南シナ海までに分布する。水深5mから615mの泥底にすむ。海底において、指状に変化した胸鰭を使っ

て海底を歩くような仕草をする。この“指”先には感覚器官があって、これを使って餌を探しながら海底を“歩いて”いる。若魚を海底で観察すると、背中が砂れきによく似た色になり見つけにくい。それでも近寄っていくと、大きな胸鰭をパッと開いて体を大きく見せよ



海底の若魚

うとする。餌は海底にすむ小魚、カニやエビ類である。大きくて丈夫な鰾（ひょう；うきぶくろ）を持っていて、驚かせたり捕まえると鰾を使い「ゲーゲー」とこもった様な音を出す。産卵期は12月から翌年の4月で、直径約1mmの浮遊性の卵を産む。孵化後2cmぐらいになると海底に下りて親と同じような生活を始める。稚魚は沿岸の浅い場所を過ごし、成長とともに深い場所へ移動する。体長は1年でおよそ12cm, 2年で20cm, 3年で25cm, 4年で29cm, 7年で35cmに成長する。寿命は7年以上。

一漁業一

ホウボウは海底付近にすむので、海底に下ろした網を船で曳く底曳網や、海底に這わせた網に魚を絡める刺網、釣りなどで漁獲されている。輸入については、東シナ海から南シナ海にも分布しているので輸入される可能性はあるが、確認したことはない。養殖はされていない。

築地市場には、鮮魚または活魚で入荷する。仲卸店舗では、白いトロ箱に赤い魚体が映える。店先に置かれた水槽の底に並んでいるのを見かけることも多い。通年入荷するが、秋から冬にかけて入荷料が増加する。おもな産地は三重県や和歌山県、愛知県などである。10年ほど前には、ニュージーランドから空輸されたミナミホウボウをよく見かけた。ミナミホウボウは、姿かたちは日本のホウボウにそっくりであるが、体色がホウボウのような赤ではなくオレンジ色がかっていることと、大きな胸鰭の内側にホウボウにはない大きな黒点があることで区別できた。そこそこ評価があったようで、ゴウシュウマダイやミナミオオスズキといった魚とともに、コンスタントに入荷していた。最近はずっと見かけない。

一利用一

上品で甘みのある白身は身質も良く、高級魚として扱われることも多い。刺身や昆布メなどの生食をはじめ、蒸し物、吸物、煮付け、塩

焼、揚げ物など、どんな料理にも向く。地中海沿岸でもホウボウの仲間は人気があり、ブイヤベースやムニエルなど様々な料理に利用されている。朝日の差し始めたマルセイユの港を歩いていると、漁から帰ったばかりの漁師さんが道端に台を出して、その上に採れたての魚貝類を並べて売っている。その中にも、日本で見慣れたホウボウにそっくりな魚がいて、親近感を覚えたことがある。ホウボウの産卵期は12月から4月で、産卵直前の冬が旬とされている。

－エピソード－

ホウボウも子供の頃からよく聞いた魚の名の1つであった。子供の図鑑に出ていたし、魚屋の店先や水族館にもいた。考えてみると変わった名前なのだが、そういう



カナガシラ

ものだと刷り込まれ、親も「あちこちにいるから、方々と言うんだ」と教えてくれた。その後調べてみると、確かに生態の項でもふれたとおり、ホウボウは日本各地で見られるふつうの魚である。日本の魚類学の父とも呼ばれる故田中茂穂博士も、日本各地でホウボウと呼ぶと書かれている。古くから名前のある魚ほど、その語源を探るのが難しい。書物に由来が書き残される以前に、名前が存在した可能性が高いからだ。江戸時代の本などに「近縁のカナガシラを彷彿させるので」とか「鳴き声から」と書かれているが、その時点ですでにホウボウの名ができてから何百年も経っている可能性がある。現時点では名前の由来ははっきりしない、というのが真相であろう。築地の現状も、将来のために記録しておく必要があるのかもしれない。

文 献

- 1) 河野 博 (監)：東京湾の魚類，平凡社 (2011)
- 2) 坂本一男：主婦の友ベスト BOOKS 旬の魚図鑑，主婦の友社 (2007)
- 3) 中坊徹次 (編・著)：日本産魚類検索 全種の同定 第3版，東海大学出版会 (2013)
- 4) 山田梅芳ほか：東シナ海・黄海の魚類誌，東海大学出版会 (2007)



“薬膳”の知恵 (81)

Key Words : 薬膳 ■ 中医学 ■ 痴呆症 ■ 養生食

荒 勝俊*

“痴呆症”は知力の減退を主な特徴とする病証で、高齢化が進んでいる日本において非常に深刻な社会問題となっている。主な症状は記憶・判断・認識などの能力が減退すると共に、性格の変化などもあげられる。

中医学の見地から、“痴呆症”の発症は肝・心・脾・腎の機能と密接な関係がある。即ち、心脾両虚による痴呆症、腎精不足による痴呆症、痰濁阻礙による痴呆症、於血阻絡による痴呆症、の四つに分類できる。痰濁や淤とは、水分代謝の悪化によって生じた水分の代謝や微小循環の悪化による水の停滞が原因となって体内に生じた病理産物が脳を塞ぐ事によって正常な精神活動が阻害され、“痴呆症”が発症する。従って、養心、補脾、益腎、活血が“痴呆症”改善のポイントとなる。

中医学では人体を一つの有機的統一体と考え、人体の構成要素である気・血・津液のバランスを改善させる事でその人が本来もっている臓器の機能を回復させ、身体の内を整え、新陳代謝を改善し、食生活を正常化する事で改善できると考えており、“痴呆症”予防にもつな

がる考え方である。

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て作った“薬膳”により、人が本来もっている臓器の機能を回復させ、身体の内を整える事で“痴呆症”に対する予防ができると考えている。



1. 痴呆症と茶



西洋医学の見地から、“痴呆症”は脳の神経細胞が広範囲に死滅する事で記憶・判断・認識などの知力が減退する事を主な特徴とする病証である。

中医学において、“痴呆症”は肝・心・脾・腎の機能と密接な関係を有していると考えられており、その改善には養心、補脾、益腎、活血の作用を有する茶を用いる事で症状を軽減する事が報告されている。

1-1. 緑茶

“セロトニン”は脳の機能に重要な役割を果

* 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)

たす神経伝達物質の一つであり、その機能としてコルチゾール（脳内ホルモンの一つで、過剰なストレスによって多量に分泌され、脳の記憶形態に深く関与する海馬を萎縮させる）の分泌を抑制し、脳の萎縮や老化を防止する作用を有する。即ち、脳内のセロトニンの量を増加させる事で精神が安定し、コルチゾールの分泌が抑制され、脳の障害が防げると予想される。緑茶などに多く含まれるカフェインや玉露（日光にあまり晒さないで作られた茶）などに多く含まれる旨味成分のテアニンはセロトニンを増加させ、ストレスを回避させる作用が報告されている。

飲料メーカーの株式会社伊藤園中央研究所は、テアニンに記憶などを司る脳神経細胞の保護作用を有する事を報告している。更にあらかじめテアニンを入れたラットの神経細胞にテアニンを加えておく事で、神経細胞を破壊する過剰量のグルタミン酸を加えても神経細胞の細胞死を抑制する事を動物実験にて明らかにした。また、同研究所は、大阪市立大学大学院医学研究科、医療法人順風会、介護老人保健施設れんげ荘との共同研究において、テアニンを多く含む緑茶抹茶カプセル（1日当たりのテアニン摂取量は約47.5mg: 茶道用抹茶4g相当）を長期的に摂取させる事で高齢者の認知機能の低下が抑制されることを報告している。

また、脳血管性痴呆症の大きな原因の一つが動脈硬化である。緑茶に含まれるカテキンは抗酸化作用、血中コレステロール上昇抑制作用、血圧の上昇抑制作用、などが報告されており、動脈硬化を防止する事で脳血管性痴呆の予防効果を有すると期待されている。東北大学大学院医学系研究科公衆衛生学分野が仙台市内の70歳以上を対象に行った寝たきり予防の聞き取り調査において、1日2杯以上の緑茶を飲む事で認知症を予防する可能性が有る事を報告している。“認知症”は、神経細胞が死んで脳が萎縮することで発症するが、動物実験において緑茶

に含まれるカテキンが神経細胞を保護する事が確認されており、この効果によるものと予想されると報告している。

1-2. 杜仲茶

杜仲は中国原産の落葉高木（約20年で樹高が20m程に成長）で、トチュウ目トチュウ科を構成する唯一の種である。現在、中国国内にしか繁殖していないが、杜仲の化石が中央ヨーロッパや北米で見つかっており、6千万年以前には多くの地域で繁殖していたと考えられている。樹皮は漢方薬の原料として使われている。

杜仲茶の血圧降下作用は様々な試験によって実証されている。更に、《神農本草経》において杜仲茶には“強志（物覚えを良くする）”の効果が記述されており、学習機能向上効果、脳機能改善効果、脳血流改善および痴呆予防効果を有する可能性が示唆されていた。日本大学薬学部は、杜仲茶のゲニポシド酸が細胞マトリックス構成成分のコラーゲンの生成を助ける事を報告している。脳内には1000億個の神経細胞が存在し、神経細胞をとりまくコラーゲンが健全であれば記憶力の低下も予防できると考えられている。また、ゲニポシド酸が副交感神経を刺激し、動脈の平滑筋に作用して血管が拡張する事で血流が改善し、血圧低下効果を有する。

1-3. イチョウ葉茶

イチョウは裸子植物の1種で、裸子植物門イチョウ綱の中で唯一の現存している種である。イチョウの青葉の分析からは20種以上のフラボノイドが含まれ、その中にはイチョウ葉にしか含まれない特殊なフラボノイドが6種類も含まれている。フランスやドイツでは1970年代から脳血流改善剤として薬用に用いられている。また、ギンナンに含まれるギンコライドには、ギンコール酸をはじめ主に4種類の成分が含まれている。ギンコライドには強い抗酸化作用が有り、血栓を溶解し動脈硬化を予防する作用が有る。また、イチョウ葉エキスにはこの成

分の他に、ギンコライド A, B, C, J とピロパライドの2つの成分が含まれる。この成分には、血小板凝集の阻害、PAFによる気管支収縮作用の阻害、等に効果が有ると報告されている。イチョウ葉のこうした機能から、イチョウ葉茶は“認知症”の改善に有効だと予想される。

1-4. 明日葉（アシタバ）茶

明日葉はセリ科シシウド属の植物で、小笠原諸島や伊豆七島などに自生する多年草である。名前の由来は、“今日摘み取っても明日生えてくると言われるほど生命力のある植物”として知られている。明日葉は、中国の明の時代に編纂された《本草辞典》にその名が見られ、古くから薬用に用いられている。また、枯れる前に掘り起した根は朝鮮人参の代用品に利用される程、薬効成分を多く含む。こうした明日葉の主な成分は、クマリン、ミネラル、有機ゲルマニウム、クロロフィル、ビタミン B12, などである。

明日葉に含まれるクマリンにアルツハイマー型痴呆症を予防する効果が有る事が宝酒造により報告されている。明日葉に含まれるクマリンは、神経成長因子の生体内での産生を顕著に増強する働きを有し、アルツハイマー型痴呆症や糖尿病が原因で引き起こされた末梢神経障害などの治療に効果が期待できると報告している。有機ゲルマニウムには、血液をサラサラする成分や癌を予防する成分が多く含まれている。

1-5. 韃靼蕎麦（ダツタンソバ）茶

“韃靼蕎麦”はタデ科ソバ属の一年草で、強い独特な苦みを有する事から“苦蕎麦”とも呼ばれている。

韃靼蕎麦は、ロシアのバイカル湖付近のダツタン人（モンゴル系遊牧民族）が海拔 1500m ~ 2000m の高地における貴重な栄養源として古くから栽培し、常食されてきた食材である。韃靼蕎麦を常食するダツタン人は、昔から病気が非常に少なく、不老長寿の有名な地域である。

現在、世界中で栽培されている蕎麦は、普通種と韃靼種の2種類だが、韃靼蕎麦の主産地は中国雲南省・チベット・モンゴル・ネパールなど 2000m 以上の山岳地帯で多く栽培されている。韃靼蕎麦粉には黄色をしたケルセチンという苦味成分を含み、血液をサラサラにする作用や免疫力強化作用を有する。また、日本蕎麦の約 100 倍以上含まれているルチンは毛細血管強化や修復作用が有り、痴呆症を予防する効果を有すると報告されている。

1-6. 高麗人参茶

高麗人参はウコギ科の多年草で、原産地は中国の遼東省から朝鮮半島にかけての地域に分布する。高麗人参は、古来から“不老不死の妙薬”と呼ばれ、高麗人参に含まれるジンゲサイドと呼ばれるサポニンには学習能力と記憶力を向上させる働きが報告されている。

愛媛大学医学部の研究グループの報告において、動物実験であらかじめ高麗人参を服用させておくと、血流遮断による知能の低下や脳細胞の破壊が抑えられたという報告がされている。

【中国・上海事情②】

紅毛丹

上海を散歩すると、街中に果物屋さんが沢山ある。日本では見た事の無い様な果物を安く買う事ができるのも上海の魅力である。ランブータン（紅毛丹）もそのひとつである。名前の通



図1 ランブータン（紅毛丹）

り、大きさは直径2cmぐらいで、赤い果皮に緑の柔らかい髭が生えた、どうみても奇怪な果物である。薄皮を剥くとライチに似て白く半透明で中央に種があり、味は爽やかな酸味の有る甘さで、とても美味しい。

ランブータンはブドウ糖を始め、果糖やショ糖などを多く含む。またビタミンCやカルシウムが豊富で、血管や骨の強化にも役立つ。中医学においてランブータンは、ライチや龍眼と同種に属し、身体の精気を補い、精神を安定させると言われている。また、ランブータンの皮を煎じて飲むと下痢止めや口内炎の症状緩和に効果が有ると伝承されている。ただし、食べ過ぎると低血糖になる可能性も有るので、食べすぎには注意を要する

今回は“宿替え”を紹介する。

『宿替え』（やどがえ）は上方落語の演目の一つで、原話は1816年の初代都喜蝶の「嘶栗毛」の中の『田舎の粋』。江戸落語においては『粗忽の釘』（そこつのくぎ）の名で演じられている。上方では初代桂春團治、2代目三遊亭百生、2代目桂枝雀、5代目桂文枝、東京では6代目春風亭柳橋、5代目柳家小さんが得意とした演目。

【宿替え】

とある夫婦の引越しの日。粗忽者の亭主は大きな風呂敷を広げて

亭主：「オレは風呂敷さえあったらどんなものでも持って行く」

と大言壮語。檜炬燵や漬物石から死んだお婆さんのオマルまで家財道具一切合切風呂敷に包んで、いざ転居先へ出発と思ったが風呂敷はびくともしない。

おかしいなと思ってよく見れば、引越し途中で中身がバラけないようにするために胴括りのつもりで掛けた帯が、慌てて荷物と一緒に家の柱

まで縛ってしまう始末。

しっかり者の嫁はそのあと家を片付け、近所への挨拶も済ませて新しい家にやってきたが、先に行ったはずの亭主がいつまで経っても帰らない。

新居の掃除を済ませた頃ようやく滝のような汗をかいた亭主がやってきた。亭主は道中、大家の赤犬とどこかの黒犬の喧嘩に立ち会ったり、チンドン屋や法華信者たちの提灯行列に付いて行ったり、対面から来た自転車に衝突した弾みからお婆さんが横手の溝にはまって病院へ連れて行ったり、ドタバタした挙句にやっと新居にたどり着いたのであった。

あきれ返った嫁だったが、気を取り直して亭主に

嫁：「箒を掛けるための釘を1本打ってくれ」と頼む。

亭主：「偉そうに言っても女じゃ釘の1本も打てやしない。お前らがバカにするのもオレが今達者だからこそだ。もしも俺が死んでしまったら、秋の夜長に目を覚まして位牌を取り出して悲しんでも気持ちいいことはない……」などと無駄口をたたく。

亭主は大工なので、これくらいは大丈夫だろうと安心していたら、場所を間違え、八寸の瓦釘という長いやつを柱ではなく長屋の壁に打ち込んでしまった。

長屋は棟続きなので、隣に釘が突き抜けて物を壊したかもしれないと嫁は心配し、亭主にあまりに行く様に良く言い含めて聞かせる。

嫁に怒られつつ慌てて家を飛び出した亭主。

亭主：「釘が出てませんか？」

と尋ねて入ったのは隣でなくお向かいの家。また慌てて飛び出し今度こそ隣の家へ。しかし隣に行けば行つたで、隣のかみさんをつかまえて無駄話。挙句の果てに自分達の結婚話でノロケかたがたなれそめ話。

隣家のかみさん：「いったい、貴方は我家に何

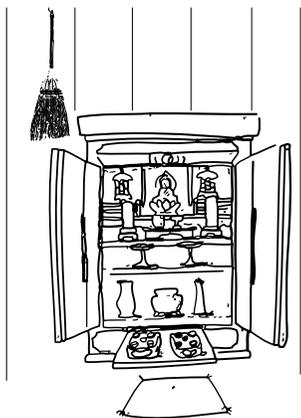


図2 宿替え

の用で来たのか]

と聞かれて、ようやく釘の場所を探しに来た用件を思い出す。

ところが、どの辺に釘を打ったのかが判らない。

隣家のかみさん：「場所が判らなければ、家に戻ってもう一度釘の場所を叩いて、どこならどこ、ここならここと言いなはれ。」と言われる。もう一度自宅に戻った男はもういちど「お隣の～。どこならどこ～。ここならここ～」と叫びながら金槌で叩いてみる。

調べてもらったところ、仏壇の阿弥陀様の頭の上に釘が出ていた。

大慌てで亭主を呼び戻した隣人のおかみさん。

亭主：「おたくはこ仏壇の阿弥陀様の頭の上に箒をかけてはりますか？」

隣家のかみさん：「あれはあんたが向こうから打ちこんだ釘ではないか。」

亭主：「困ったなあ。」

隣家のかみさん：「何が困った？」

亭主：「毎日ここまで、箒を掛けに来んといかん。」

隣家のかみさん：「あなたはそんなにそそっかしくて、よく暮らしていけますね。ご家内は何人ですか？」

亭主：「へえ、女房と78歳になるおやじと……いけねえ、中気で寝てるんで、もとの二階へ忘れてきた。」

隣家のかみさん：「ほんまにあんたあわて者やなあ。どこぞの世界に親を忘れてくる人がありますか。」

亭主：「親ぐらいどうって事おまへん。酒飲んだら我忘れませう。」

*****◀

..... 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 後藤修司監修 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 宛曉春主編 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) 一天一道養生茶 上海科学普及出版社
- 12) 中医治療学マニュアル 高明、木下和之、林曉萍 共著 メディカルユーコン
- 13) 脳を守る漢方薬 大山博行著 カッパ・ブックス

“地域密着でキラリと光る企業”

米菓市場をリードする『亀田製菓株式会社』

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

Key Words : 柿の種・新潟米・伝統食品・研究開発型

はじめに

亀田製菓株式会社は1946年(昭和21年)『亀田郷農民組合委託加工所』として水飴の委託加工を開始した。その4年後の1950年(昭和25年)には次なるステップというべき『亀田町農産加工農業協同組合』に改組させ、従業員も30余名になった。事業内容も水飴加工一辺倒から、米菓、焼き菓子などにまで及んでいた。製造面、販売面においても4年前とは比較にならないほど企業の力を付けてきた。

次に、『亀田町農産加工農業協同組合』を母体として、1957年(昭和32年)に『亀田製菓株式会社』を設立した。従業員は100余名になった。設立当初は米菓のほかに焼き菓子が生産されていた。その状態から米菓専業に踏み切ったのは次の理由による。

- ①米菓製造は、その工程の複雑さから、今すぐ量産を開始できる企業はない。
- ②製造工程がまだ科学的に解明されていない。これは逆に量産の可能性を意味する。
- ③ビスケットやチョコレートのようにプラントを外国から輸入することがない。したがって設備機械は自ら開発しなければならない。
- ④米が統制品である以上、大量入手は急激には認めない。

以上の理由から、しばらくは米菓業界は中小企業産業で推移するであろう。しかも、全国的にみても競争して勝てないと思われるメーカーはない。この産業に集中的に企業の全力を注ぐならば、米菓業界で日本一になり得ることは至難ではない—これが亀田製菓が米菓専業に踏み切った理由である。この企業方針が功を奏して亀田製菓は順調に成長していく。

1. 会社概要

創業は1946年(昭和21年)9月、設立は1957年(昭和32年)8月である。資本金は19億4,613万円、売上高は813億23百万円(2013年3月期)である。業種は菓子の製造販売事業である。

本社は新潟県新潟市江南区亀田工業団地3丁目1番1号であり、東京オフィスは東京都中央区明石町6番22号である。工場は新潟県内に4工場あり、ちなみに亀田工場(新潟市)、元町工場(新潟市)、水原工場(阿賀野市)、白根工場(新潟市)である。従業員数(連結)は3,010名(2013年3月31日現在)である。販売拠点は全国7支店(仙台、新潟、東京、名古屋、大阪、福岡)と他26拠点である。連結子会社は11社あり、国内が7社、海外が4社である。

2. 売上高と営業利益の推移

1957年設立から現在までの売り上げと営業利益の推移を図1と図2に示した。設立後、

1991年までは順調に売り上げを伸ばしてきたが、1992年の成長は厳しい状況であった。また、営業利益も対前年度より毎年増益とはいっていないが、大卒1991年までは伸びてきた。それ以後の成長は売上高同様に厳しくなってきた。

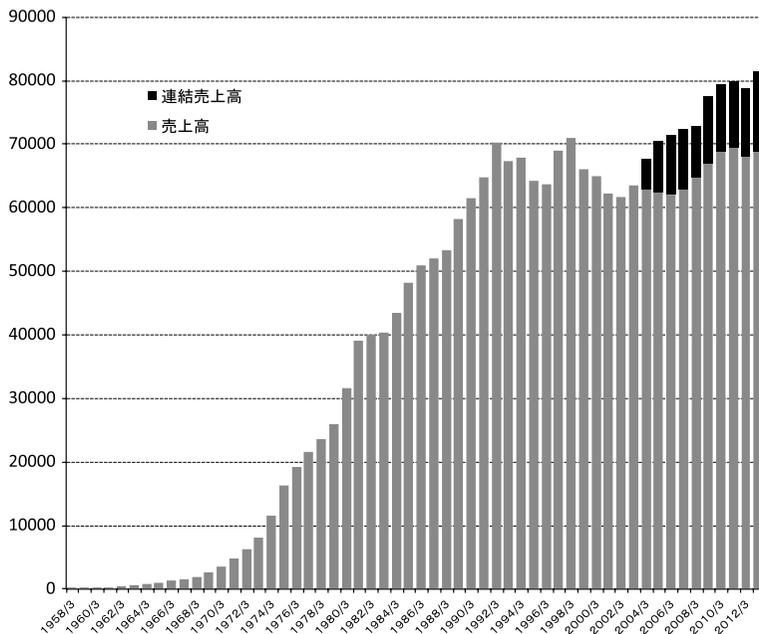


図1 売上高推移

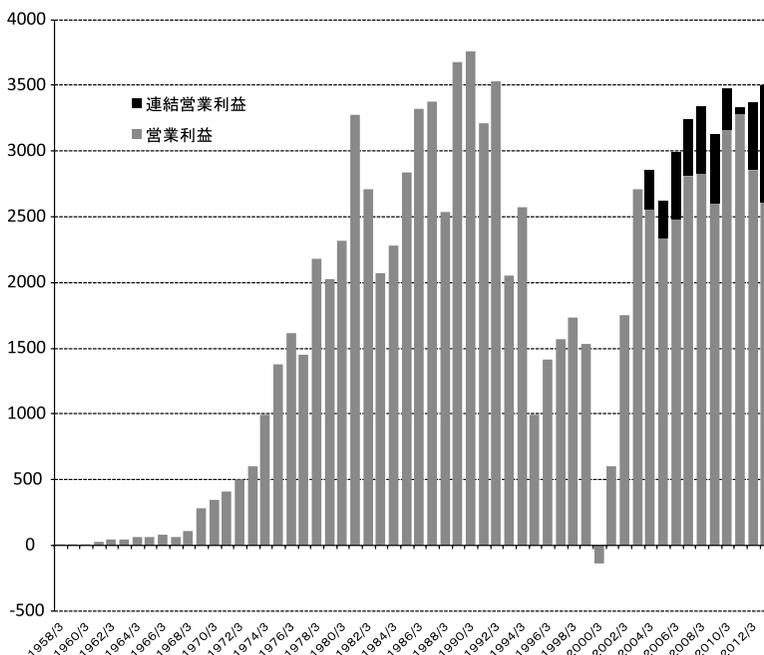


図2 営業利益推移

注目すべきは1999年には会社設立以後で初めてマイナスになった。但し、現在までマイナスになったのはこの年のみである。また、2004年からは連結決算である。次に、設立後から現在に至る会社の沿革を紹介する。

3. 会社の沿革

会社の沿革を1957年～1965年の芽生え期、1966年～1979年の成長期、1980年～1991年の急成長期、1992年～1996年の停滞期、1997年～1999年の改革前夜、2000年～現在の改革期に分けて説明する。

その前に1946年の創業期について紹介する

● 1946年（昭和21年）

○現亀田工場（元町）において亀田郷農民組合委託加工所を創業し、水飴の委託加工を開始



亀田町農産加工農業

経営とは、経営者と従業員が、その職場を通してお互いに信頼協力、全能力を発揮して社会に貢献する一方、お互いに経済生活を確保する共同の場でなければならない。この理解と融合を深めてこそ企業は発展する。以来、この信条を今日まで貫いてきたつもりである。（たった6名の従業員と苦楽を共にした委託加工所時代をふりかえって—古泉榮治のこぼれ）

◇ 1957年～1965年 芽生え期◇

● 1957年（昭和32年）

○亀田町農産加工農業協同組合を母体として亀田製菓株式会社を設立。

取締役社長 古泉榮治 従業員 111名

企業経営本来の目的とは、安い原価で最良の製品を作り、社会福祉に貢献すると共に、これにつらなる。人々が安心して生活を楽しむためのものでなくてならない。従って株主、従業員の意志が充分経営活動に盛り込まれるよう、民主経営方式をとる必要がある。（昭和31年、農産加工農業協同組合の組合長に就任して—古泉榮治のこぼれ）

● 1961年（昭和36年）

○「サラダホープ」発売



サラダホープ

製造風景

● 1965年（昭和40年）

○売上高10億円台を突破

○亀甲マーク制定



亀甲マーク

◇ 1966年～1979年 成長期◇

● 1966年（昭和41年）

○「ピーナッツ入り柿の種」発売

● 1967年（昭和42年）

○会社設立10周年

○「サラダうす焼」発売

● 1969年（昭和44年）

○広告・宣伝スタート

♪亀田のあられ・おせんべい



テレビCM

米菓はビスケットやチョコレートと違って外国からプラントを輸入することはできない。したがって、資金力な豊富な大手メーカーでも簡単に参入できない。そして二度もアルファ化する工程の複雑さからみて、直ちに大型化、量産化できる企業は少ない。そして全国的に見ても競争して勝てないと思われるメーカーも少ない。この中であって当社は既に、原料米をはじめとする各種素材、その物性の変化を各工程ごとに科学的解明できるソフト面を持っている。それに加えて量産機械のハード面からの自社開発ノウハウの蓄積もおおくなった。この力を結集して取り組むならば、米菓業界で確実に日本一になりうる。(昭和38年、日本一の米菓作りを目指すという基本方針に付言して 古泉榮治のことば)

● 1971年(昭和46年)

○ 水原工場操業開始

● 1972年(昭和47年)

○ 本社ビル(旧・本社ビル)

完成

● 1974年(昭和49年)

○ 売上高100億円突破

○ コンピュータによる

情報オンラインシステム完成

● 1975年(昭和50年)

○ 米菓業界で売上日本一に(163億70百万円)

● 1976年(昭和51年)

○ 白根工場操業開始

○ 「ハッピーターン」発売



白根工場



ハッピーターナー

● 1977年(昭和52年)

○ 会社設立20周年

○ 「梅の香巻」「フレッシュパック柿の種」発売



梅の香巻



フレッシュパック柿の種

◇ 1980年～1991年 急成長期◇

● 1983年(昭和58年)

○ 古泉榮治社長が会長に、古泉肇が社長に就任



会長・社長就任披露宴

● 1984年(昭和59年)

○ 米菓業界としてはじめて新潟証券取引所に株式上市



上場承認書を受け取る古泉社長(現名誉会長)

● 1986年(昭和61年)

○ 売上高500億円台を達成

○ 「まがりせんべい」「ぼたぼた焼」発売



まがりせんべい



ぼたぼた焼

● 1987年(昭和62年)

○ 会社設立30周年

○ 現亀田工場(工業団地)操業開始



亀田工場

- 1989年(平成元年)
- 「海苔ピーパック」発売
- アメリカ進出, セスマークフーズ社(現・TH FOODS,INC.)と業務提携
- 1990年(平成2年)
- 新情報発信基地 本社ビル完成



海苔
ピーパック

◇ 1992年～1996年 停滞期◇

- 1992年(平成4年)
- 新潟輸送(株), アジカル(株)を100%子会社化 1993年(平成5年)
- 「つまみ種」発売
- 1994年(平成6年)
- ヘルスケア事業参入



本社ビル



つまみ種



新規事業記者会見



ゆめごはん

- 低タンパク質, 低リン米飯「ゆめごはん」発売
- 1996年(平成8年)
- 「アルビレオ新潟FC」(翌年「アルビレックス新潟」に改名)とスポンサー契約
- 「えびっぶり」シリーズ発売
- ホームページ「お米の国の物語」開設
- 主食米の販売開始



えびっぶり

◇ 1997年～1999年 改革前夜◇

- 1997年(平成9年)
- 情報システム事業部を分社化, ケイ・システム(株)設立
- ケイ・システム(株)設立

- 1998年(平成10年)
- エンジニアリング事業部を分社化, (株)アデマック設立
- 塩素系プラスチック包材の使用を完全中止
- 1999年(平成11年)
- 品質の国際規格ISO9002取得
- 「海老のりあられ」発売



海老のりあられ

◇ 2000年～ 改革◇

- 2000年(平成12年)
- 新潟証券取引所と東京証券取引所の合併に伴い, 東証市場第二部に上場



東京証券取引所市場
第二部に上場

- 「ふっくらおかゆ」「植物性乳酸菌ヨーグルト」発売



ふっくら
おかゆ



植物性乳酸菌
ヨーグルト



東証アローズで記者会見
「ふっくらおかゆ」
& 「植物性乳酸菌ヨーグルト」

- 古泉肇社長が会長に, 金津猛が社長に就任

東証上場という節目に新社長の任を引き継いだ私の役目は, 種々の課題を「スピード」と「革新」で解決し, 業績の回復を果たして, 株主をはじめ会社にまつわるすべての人の信頼に応えることと考える。 当社の歴史の中で最も厳しい経営状況にあるが, 21世紀の社会に貢献できる素晴らしい亀田製菓をめざしていきたい。(平成12年, 取締役社長就任にあたって 一金津猛のことば)

- 2001年(平成13年)
- ISO9002から9001へ変更
- 2002年(平成14年)

- 「青汁パウダー若稲」「発芽玄米」
「からだサポートごはん」発売
- グループビジョン設定「人とお米を真ん中に」
- ISO14001 審査登録
- メールマガジン「亀田通信局」創刊
- 2003年（平成15年）
- 中国進出・青島亀田食品有限公司を設立
- コミットメントライン 35億円の設定契約の調印
- 執行役員制度導入
- 通信販売事業の実施
- 水原サイト・白根サイトがISO14001 拡大審査登録
- 2004年（平成16年）
- とよす株式会社子会社化
- ヘルプライン「もしもしほっと」運用開始
- 株式会社日新製菓子会社化
- 2005年（平成17年）
- 中国・天津亀田食品有限公司を設立
※ 2012年（平成24年）合併事業を解消
- 「手塩屋」「ポップコーン」発売
- 2006年（平成18年）
- 田中通泰が社長に就任
- 「ちぎれもち」発売



青島亀田食品有限公司



手塩屋

ポップコーン

ちぎれもち

99年度決算で創業以来初めて営業赤字に転落して以降、思い切った社内改革により短期間でV字回復を果たすことができました。人口問題、食の安全安心への高まり、流通再編、メーカーの価格支配権の低落など、当社を取り巻く変化は、何

が起こってもおかしくない状況にある。このような環境下にあっても、全員でベクトルを一つにし、主体的かつ機動的にお客さま起点の経営に徹することで、厳しい時代を乗り越えることが出来ると思う。（平成18年、取締役社長就任にあたって-田中通泰のことば）

- 2007年（平成19年）
- 会社設立50周年
- R&Dセンター完成
- 2008年（平成20年）
- アメリカ・KAMEDA USA,INC.を設立
- 2009年（平成21年）
- タイ国・SMTCCo.,Ltd.（現・KAMEDA-STC CO.,LTD.）を子会社化
- グループビジョン改正
「グローバル・フード・カンパニー」
- とよす（株）、「十火」を開業



R&Dセンター



十火

亀田製菓のブランド「安心・健康・信頼」を更に進化させ、日本を代表するお菓子メーカーとして大きく成長することが使命と考えている。亀田製菓グループ社員一人ひとりの力を集結し「グローバル・フード・カンパニー」を目指していく。（平成21年、中期経営計画発表にあたって-田中通泰のことば）

- 2010年（平成22年）
- ケイ・システム（株）、（株）アデマックを吸収合併
- 新潟輸送（株）、物流拠点「関東広域センター」を埼玉県所沢市に開設
- 2011年（平成23年）
- とよす（株）、



かきたねキッチン

- 2012年（平成24年）
- 東京証券取引所市場第一部銘柄に指定
- 「HAPPY Turn's」開業
- アメリカ・Mary's Gone Crackers, Inc を子会社化



東京証券取引所市場
第一部に上場



HAPPY Turn's

- 2013年（平成25年）
- 尾西食品（株）を子会社化

4. 経営理念・基本方針

亀田製菓株式会社の社是、経営理念、経営基本方針は、亀田製菓株式会社設立時に、古泉榮治名誉会長（当時代表取締役社長）が、亀田町農産加工農業協同組合から株式会社として新しいスタートを切るにあたり、全社員に向けて社長としての考えを発表した。

社是

製菓展道立已

〔経営理念〕

1. 会社まつわるすべての者の要望に応える
2. 会社の永劫の存続をはかる

〔経営基本方針〕

1. 民主経営で行く
2. 会社を私物化しない
3. 計画経営に徹する

〔経営理念〕

1. 会社まつわるすべての者の要望に応える
企業には三つの責任があるといわれている。社会と従業員と株主に対する責任である。社会に対する責任とは、仕入れ先および流通業者を含めた消費者、そして、各種金融機関との相互

信頼関係を維持・発展させ、その結果として地域社会に利益を還元すること、すなわち、利益をあげ租税を納めることによって、社会の発展に貢献することである。また、地域社会に働きがいのある職場を提供することも企業に課せられた重要な使命といえるだろう。

2. 会社の永劫の存続をはかる

会社まつわるすべての要望に応えるために、企業は利益を確保しその利益を再投資し、さらに高い次元の使命、目的を実現するために、ヒト・モノ・カネに代表される経営資源に対する能力開発を持続させ、永遠に存続発展しなければならない。亀田製菓の将来は、一時の繁栄だけでなく、幾世代もの存続発展を期し、努力するところに道が開かれる。

〔経営基本方針〕

1. 民主経営で行く

いっさいの封建制を廃し、企業を経営者と従業員がヒューマニズムによって結ばれた新しい運命共同体ととらえ、従業員参加の経営をすすめることである。

2. 会社を私物化しない

企業は、出資者や経営者や従業員の私物ではない。会社に関与するすべてのもののために存在する。生業的経営思想を排除し、民主経営を行うことが企業の社会的責任を果たすことための大前提である。これによってまさに、企業は公のものとしてのみ存在し得る。

3. 計画経営に徹する

経営は、長い年月をかけて、そのビジョンを達成するものである。設立以来、長期・短期経営計画、年次計画を立案し、その計画に基づいて実施し、統制し、その結果の評価により次の計画立案を行い、5年後、10年後の可能性に向けて挑戦し続けてきた。的確な情報分析に基づく、堅実かつ大胆な経営が現在の亀田製菓を創造し、永遠の存続発展をを約束する唯一の方法

に他ならない。10年努力するならば、どれだけのことが出来るか、ということを見ると、1年や2年では出来ない。やはり年月をかけてこそ自分のビジョン（理想）も生まれ、その実現の可能性が出てくる。それが長期計画の大きな意義である。

5. 事業部紹介

5-1. 米菓事業部

伝統の技を理論化し、大きく飛躍した米菓事業

1946年、創業者である古泉栄治が始めた水飴製造。しかし水飴の新製法を試みた際、頓挫し、原材料のお米が大量に余ってしまった。そこで、急きょ始めたのが、米菓作り。米菓は水飴の失敗から生まれた産物であった。今では誰もが知っている「亀田の柿の種」もこの頃から製造を開始。その後、米菓の職人を招き、米菓作りを本格化させたが、当時、米菓は職人の世界。勘とコツが全て。職人の腕は確かでも、理論化されていないため、後進への伝承が難しかった。そこで、亀田製菓ではお米の物性を研究し、数値化。米菓の技術開発や新製品の開発、設備の改良に全勢力を注いだ。米菓作りが理論化されたことで、大量生産と技術とノウハウの伝承が可能となった。さらに伝統菓子である米菓に、時代に合った新発想を取り入れ、新たな価値を生み出した。1960年代には「サラダうす焼」が大ヒットし、続く1970年代は「ハッピーターン」、1980年には「ぼたぼた焼」「まがりせんべい」など数多くのロングセラー商品が誕生。驚くべきは、これらのロングセラー商品が2000年代に入っても売上の伸びを記録していること。世代を超えてお客様に愛されるのは、時代に合わせた商品の改良と、品質に裏打ちされた商品への自信があるからである。

5-2. ヘルスケア部門

お米の新機能性研究開発と厳選されたお米の

販売を行うお米事業



亀田製菓は米菓の製造販売を中心に事業を続けてきたが、一方で、それ以外の商品開発・販売も進めている。ヘルスケア商品は、高齢化社会・健康志向の高まりを背景に、現代人の健康づくりに役立つ新たなお米加工ビジネスを展開している。過去50年以上、お米の研究で蓄えた、お米にかかわる技術やノウハウを活かし、健康を軸としたお米の「新機能性食品の研究開発」を推進している。腎臓病患者向けの治療食「ゆめごはん」や、どなたにも食べやすいユニバーサルデザインフード「ふっくらおかゆ」、さらに健康食として、お米由来の乳酸菌「カゼイカメダ」を使った「植物性乳酸菌ヨーグルト」など、様々な商品開発と研究活動を行っている。主食米販売は、亀田製菓が厳選した、おいしいお米を全国のお客様にお届けすることを目的にスタート。「お米の研究」「ヘルスケア商品・主食米の販売」亀田製菓はお米のスペシャリストも目指す。

【ゆめごはんの商品紹介】



<ゆめごはんとは>

お米を酵素処理して、タンパク質を分解、除去した無菌化包装パックごはん、通常のごは

んよりもタンパク質を1/5～1/35まで低減してある。慢性腎臓病患者さんは摂取したタンパク質が腎臓に負担をかけるため、1日30～40g以下に制限されている。特に日本人は、普通のごはんを1日3食摂取するだけでもタンパク質を約15g摂取する。今まで、患者さんはでんぷんからつくられた造粒米や米の表面を極度に削った精白米などを利用していた。しかし美味しさに問題があり、なかなか低タンパク質食事療法が継続できず人工透析導入を余儀なくされていた。

「ゆめごはん」は、ごはんからのタンパク質を控え、その分他の食品のタンパク質をバランス良く摂取できる。しかも、リンやカリウムも低減しているので、副食を含めて食卓を豊かにできる。患者さんのクオリティ・オブ・ライフ(QOL)を大きく改善するとともに、人工透析への移行を遅延できる、まさに「ゆめのようなごはん」の意味から「ゆめごはん」と名づけられた。

<研究のきっかけ>

1992年に新潟県食品研究所(現在の新潟県農業総合研究所食品研究センター)とお米の発酵食品の研究開発に取り組んだ。お米由来の植物性乳酸菌が、お米のタンパク質を分解することの可能性を感じていたときに、製薬会社から「低タンパク質米」の開発要請があった。亀田の植物性乳酸菌発酵という技術シーズと低タンパク質米のニーズが偶然ピッタリ一致したことが「ゆめごはん」の研究開発のきっかけになった。



<研究紹介>

効率的、安定的に低タンパク質ごはんを製

造するためには、乳酸菌による発酵法では限界があるため、酵素処理による低タンパク質化の研究を行った。数十種類の酵素を用いて反応時間、反応温度及び反応pH等の最適な条件の開発を行った。その結果、現在ではどんな品種、産地の米を使用しても一定時間で一定のタンパク質含量の米を製造できる。低タンパク質米を開発する上で大きな課題はタンパク質がほとんどないため、粒構造が極端に弱く、反応米を後工程に排出移送するだけで米が粉々に壊れてしまう。

そこで、試行錯誤の末、新規の無菌化包装パックごはん製造ラインを開発した。また、実際の患者さんに「ゆめごはん」の臨床モニター試験を実施した。1食180gを1日2回または3回、3カ月間摂取して頂き、血液学的・血液生化学的・尿生化学的検査を行いその効果を確認した。

<論文紹介>

- 1) 中尾俊之, 金澤良枝, 小倉誠, 高橋創, 岡田知也, 韓明基 : 基礎と臨床, 28(10), 2979～2985, 1994 「新しく実用化された「低タンパク米飯」の慢性腎不全食事療法における有用性」
- 2) 佐中孜, 二瓶宏, 臼井昭子 : 基礎と臨床, 28(13), 4297～4304, 1994 「慢性腎不全保存期患者に対する脱蛋白米の腎不全進行抑制効果」

5-3. 海外事業部門

グローバル・フード・カンパニーを目指して。世界に米菓文化を広める海外事業。

日本を代表するお菓子として、多くの人々に親しまれ続けている米菓を世界に向けて展開。亀田製菓は、今、米菓を通して世界中の人々に健康や幸せを届ける「グローバル・フード・カンパニー」を目指している。亀田製菓が初めて海外に進出したのは1989年のこと。アメリカ・イリノイ州の「SESMARK FOODS, INC. (現 TH FOODS, INC.) ※」に出資し、北米での米菓の

製造・販売を開始。海外の健康志向や日本食ブームが追い風となり、低カロリー・低脂肪、アレルギー性のライスクラッカーとして高い成長を続けている。

2008年にはアメリカ・カリフォルニア州に子会社 KAMEDA USA, INC. を設立。「Kameda Crisps (カメダ・クリスプス)」の名前で親しまれている、亀田製菓の看板商品『亀田の柿の種』をアメリカで販売している。経済成長著しく、消費市場としても伸長を続けるアジア各国への展開を拡大している。2003年には中国山東省「青島亀田食品有限公司」を設立し、製造拠点とした。

現在は中国市場の開拓を目指して、販売にも取り組んでいる。2009年には、タイの「SMTC Co., Ltd. (現 KAMEDA-STC CO., LTD.)」を子会社化し、クロスボーダー取引の中心として、世界各地に供給している。2013年にはベトナムに現地大手米菓企業との合弁企業「THIEN HA KAMEDA, JSC ※」を設立し製造販売を開始する。これからの海外ネットワークを活用し、アメリカ・中国市場のみならず、世界に亀田製の米菓を拡げていく。



TH FOODS, INC.



青島亀田食品有限公司



KAMEDA-STC CO., LTD.



KAMEDA USA, INC.

6. 商品紹介

6-1. 商品名 210g 亀田の柿の種の6袋詰



■商品紹介

おやつにおつまみにいろいろな場面で活躍の6パック入りの柿の種。

■栄養成分【1個包装当たり】

エネルギー	: 165kcal
タンパク質	: 4.7g
脂質	: 6.1g
炭水化物	: 22.7g
ナトリウム	: 168mg
食塩相当量	: 0.43g

■原材料

ピーナッツ (ピーナッツ, 植物油脂 (大豆を含む), 食塩), 米, でん粉, しょうゆ (小麦・大豆を含む), 砂糖, カツオ節エキス, たんぱく加水分解物 (卵・小麦・大豆・鶏・豚を含む), 食塩, こんぶエキス, 加工でん粉, 調味料 (アミノ酸等), ソルビトール, パプリカ色素, カラメル色素, 香辛料抽出物, 乳化剤

6-2. 商品名: 22枚 ぼたぼた焼



■商品紹介

砂糖じょうゆをぼたぼた、ぼたぼた…。しょうゆ味と甘みのバランスが絶妙で後味すっきり! 口どけもよくサクサクと軽い食感。

■栄養成分【1個包装 (2枚) 当たり】

エネルギー	: 61kcal
タンパク質	: 0.5g
脂質	: 1.4g
炭水化物	: 11.5g
ナトリウム	: 97mg
食塩相当量	: 0.25g

■原材料

うるち米, 砂糖, でん粉, 植物油脂, しょうゆ (小麦・大豆を含む), 食塩, 粉末しょうゆ, いわし魚醤パウダー (魚介類を含む), 酵母エキス, 加工でん粉, トレハロース, 調味料 (アミノ酸), 酸化防止剤 (ビタミンE)

6-3. 商品名 :89g 海苔ピーパック



■商品紹介
海苔をたっぷり贅沢に巻いたあられと香ばしいピーナッツ!いろいろな場面で大活躍の5袋詰。

■栄養成分【1個包装当たり】

エネルギー	: 84kcal
タンパク質	: 3g
脂質	: 3.4g
炭水化物	: 10.4g
ナトリウム	: 111mg
食塩相当量	: 0.28g

■原材料

もち米,ピーナッツ(ピーナッツ,植物油脂(大豆を含む),しょうゆ(小麦・大豆を含む),海苔,砂糖,みりん,デキストリン,魚介エキスパウダー(さば・鶏を含む),食塩,たんぱく加水分解物(大豆を含む),水あめ,シイタケエキス,加工でん粉,調味料(アミノ酸等),パプリカ色素,カラメル色素,酸味料,乳化剤,香辛料抽出物

6-4. 商品名 :120g ハッピーターン



■商品紹介
あまじょっぱいハッピーパウダーがおいしさの秘密☆「ハッピー王国のターン王子」が、そのハッピーなおいしさを伝える。

■栄養成分【1袋(120g)当たり】

エネルギー	: 629kcal
タンパク質	: 5.2g
脂質	: 32.2g
炭水化物	: 79.8g
ナトリウム	: 608mg
食塩相当量	: 1.55g

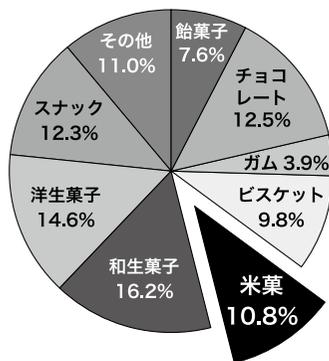
■原材料

米(うるち米,もち米),植物油脂,でん粉,砂糖,たんぱく加水分解物(大豆を含む),食塩,デキストリン,加工でん粉,調味料(アミノ酸),植物レシチン(大豆由来)

7. 米菓市場と亀田製菓の販売状況

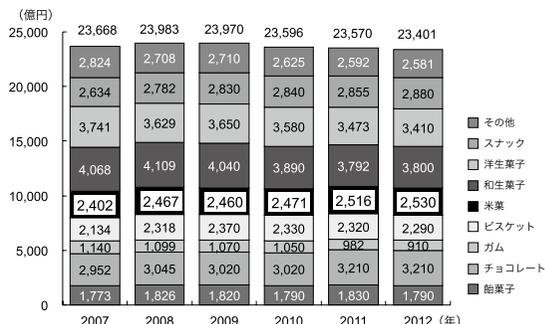
国内の菓子市場規模は2012年で23,401億円である。その中で米菓のシェアは10.8%であり、金額では2,530億円である。菓子市場全体は2009年から若干ではあるが減少傾向にあるが、米菓市場は増加傾向である。

2012年 菓子生産金額シェア



全日本菓子協会 調べ

2012年 菓子生産金額



全日本菓子協会 調べ

米菓メーカー上位10社の売上金額の推移をみると、1位の亀田製菓は28%強、2位の三幸製菓が約20%であり、この2社で約50%のシェアを持っている。ちなみに3位は岩塚製菓の8%である。また、ベスト11以下のその他の売上金額の比率を見ると減少している。この事より、米菓市場は上位メーカーで寡占化していることが推察される。

日本国内米菓メーカー上位の売上金額の推移

(金額単位 億円)

		2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
1) 亀田製菓	金額	629	647	670	689	695	681
	シェア	27	26.6	27.4	28.3	29.3	28.2
2) 三幸製菓	金額	314	372	438	447	477	491
	シェア	13.5	15.4	17.9	18.3	20.1	20.3
3) 岩塚製菓	金額	189	190	184	190	199	201
	シェア	8.1	7.8	7.5	7.8	8.4	8.3
4) もち吉	金額	155	165	169	178	182	188
	シェア	6.7	6.8	6.9	7.3	7.7	7.8
5) 栗山製菓	金額	97	108	122	127	127	142
	シェア	4.2	4.4	5	5.2	5.3	5.9
6) 小倉山荘	金額	55	75	78	84	86	90
	シェア	2.4	3.1	3.2	3.4	3.6	3.7
7) ぼんち	金額	75	87	88	84	84	87
	シェア	3.2	3.6	3.6	3.4	3.5	3.6
8) 天乃屋	金額	52	58	58	58	58	63
	シェア	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6
9) ブルボン	金額	83	76	65	60	60	60
	シェア	3.6	3.1	2.7	2.5	2.5	2.5
10) 越後製菓	金額	68	67	60	45	45	48
	シェア	2.9	2.8	2.5	1.8	1.9	2.0
その他	金額	612	591	515	474	363	363
	シェア	26.3	24.3	21.0	19.5	15.3	15.0
米菓合計		2,329	2,436	2,447	2,436	2,376	2,414

出所；食品新聞米菓メーカー上位売上金額推移より

8.

売上1,000億をめざした今後の展開 (IR説明資料より)

当面やるべき課題は以下の4点である。

1. 国内米菓市場は、主力ブランド強化と拡大する流通チャネルへの対応により、シェアを高めることで成長を実現する。
2. 原材料価格は高値推移が見込まれるが、原価低減努力で対応する。将来の国際的な取引自由化に備え、調達力を強化する。
3. 米菓およびコメ加工食品は、世界的な健康志向の高まり、高齢化社会の進行およびコメを主食とする新興国経済の発展により、長期的に需要の拡大が見込まれる。
4. 創造性豊かな高級米菓から、加工食品や化粧

品・ペット関連まで、コメの素材としての利用を拡大、需要を創造していく。

更に具体的に2013年度の取り組みを以下示す。

- (1) 国内米菓・スナックの収益基盤強化
 - ① 圧倒的シェアの獲得・TOP8が牽引し（前期比105.8%）、売上拡大を達成（国内米菓+1.4%）
 - ・SMでのシェアは3月末33.2%（前年比+1.0%）
 - ・「ハッピーターン」のCM開始、新ライン導入
 - ② コスト競争力の強化
 - ・原料価格高への対応策を実施原料米比率の見直し、減量)

③高収益体質の確立

・工場生産性の改善（1人当り生産性を着実に改善）

(2) 国内新規マーケットの創出

①ヘルスケア関連商品の成長を目指す

・低たんぱく質米/おかゆなどの販売が拡大（介護用おかゆの賞味期間延長で非常食の用途にも対応）②新規事業の新たな柱を開発する

・尾西食品を子会社化（1月）、長期保存食事業に参入（4Qから連結）

(3) 海外展開の加速

①北米市場での成長を加速する

・KAMEDA USA 商品が大手チェーンに導入（9月）

・オーガニック・クラッカーの Mary' s Gone Crackers を子会社化（12月）

・TH FOODS が第2工場（ネバダ州）を稼働（7月）、生産能力を拡大

②アジアを生産拠点として、世界市場での販売基盤を整備する

・タイでの販売を目的に DKSH と販売代理店契約締結（2月）

・ベトナムでの合弁事業の契約締結（8月）

また、1,000億円企業に向けての中期経営計画のビジョンを示す。

【将来目指す姿】

2015年3月期	①世界米菓市場で事業基盤を構築する ②ブランドの進化を果たす ③連結売上高 920 億円 / 経常利益 6.5%
----------	--

2018年3月期	①世界米菓市場で事業を拡大 ②連結売上高 1000 億円 / 経常利益 8.0% 以上
----------	--

2021年3月期	①世界米菓市場で名実ともにリーディングカンパニーとなる（海外売上 30%） ②信頼のブランド、和を代表するブランド ③連結売上高 1,500 億円 / 経常利益率 10% 以上
----------	--

おわりに

亀田製菓株式会社は亀田町農産加工農業協同組合から株式会社として新しいスタートを切る時に、古泉榮治氏（当時代表取締役社長）が全社員に向けて社長としての考え、すなわち社是、経営理念、経営基本方針を発表している。（詳細は前文）この精神があったからこそ亀田製菓は順調に成長してきたと考える。とくに、経営基本方針の1.民主経営で行く、2.会社を私物化しない、3.計画経営に徹するの3本は経営のベースになっており、着実に実行されている。図1の売上高推移、図2の営業利益推移は順調に伸びているが、その中には大変な苦労があった。

その1つに価格破壊がある。1994年（平成6年）2月、すでにバブルは崩壊し、世の中全体に徐々に不景気風が蔓延し始めていた。前年のコメ騒動も外国産米の緊急輸入で一段落し、低調ながらも落ち着きは取り戻したかのように見えた。もちろん、亀田製菓にとっては、原料米の不足、原料米価格、物流費の高騰といった根本的な課題が解決していたわけではなかった。そんな折に、会社設立以来、未曾有の危機ともいえる大問題が襲った。PB 低価格商品の攻勢である。エース商品である『亀田の柿の種』が狙い撃ちにあった。

『亀田の柿の種』の売り上げは一気に20～30%も落ち込んだ。月次決算でも赤字に転落する月が続いた。古泉社長においても、1983年（昭和58年）社長就任以来10年あまりの中で最も衝撃的できごとがこの価格破壊であった。半年は我慢したが、このままPB 低価格商品を放置しておけば亀田ブランドは消失しまうと判断し、対抗手段を決意した。その決断は「亀田の柿の種の特売価格をPB商品と同じにする。しかし、品質は絶対落とさない、亀田ブランドを死守する」ということであった。その価格差は100円であった。コスト削減に向け、生産部門

の死にもの狂いの努力が続いた。この努力がいろいろな新しい知恵を沸かせた。この価格破壊を一つの大きな契機として、亀田製菓の販売部門は、お客様研究、商品研究、売り場研究の大切さをあらためて学習した。ともあれ、製・販一体の必死の努力が続けられた。あれほどブームを巻き起こしたPB商品ブームは1995年(平

成7年)から一気に勢いを失っていった。このPB商品の価格破壊を克服した亀田製菓にはおおきな財産が残った。今後は売上高1,000億円に向かって、やるべきことは決められているので全社員一丸となって達成していただきたい。その時には新生『亀田製菓』が誕生しているであろう。

[参考文献]

- 1) 亀田製菓二十年史, 発行; 亀田製菓株式会社, 昭和52年8月26日発行, 編集; 亀田製菓二十年史編纂委員会
- 2) 製菓展道三十年, 亀田製菓三十年史, 発行; 亀田製菓株式会社, 1987年11月1日発行, 編集; 亀田製菓株式会社経営企画室
- 3) ひと・こめ・みらい 亀田製菓40年史, 1999年2月20日発行, 1991年6月30日第2刷発行 企画・発行; 亀田製菓株式会社 企画室
- 4) 亀田製菓50年史, 1957→2007, 2007年(平成19年)8月発行, 発行; 亀田製菓株式会社, 編集; 亀田製菓50年史編集事務局
- 5) 亀田製菓 ホームページ

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

ニューフードインダストリー 第55巻 第12号

印刷 平成25年 11月25日

発行 平成25年 12月1日

発行人 平井 朋美

編集人 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

印刷所 モリモト印刷株式会社

定価 2,100円(本体2,000円+税)(送料100円)

email:newfood@newfoodindustry.com