

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

New food indust. 59 (7): 2017.

7

解 説

- 乳酸菌 LJ88 (*Lactobacillus johnsonii* No.1088): 胃と腸のための乳酸菌

論 説

- ストレス応答機構の解明による殺菌・制菌技術開発の可能性
- 食品微生物制御におけるバクテリオファージの利用
- 生体指標と機能性生体指標を用いる新しい栄養指導方法
- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (16) -新鮮な生肉から感染する旋毛虫

連 載

- 天然ヒメマスと養殖ヒメマスの違い
- 野山の花 - 身近な山野草の食効・薬効
カラスビシャク *Pinellia ternata* (Thunb.) Breitenb. (サトイモ科 Araceae)
- デンマーク通信 デンマークの魚

解 説

- 美味しく食べるための歯の根管治療 - 根管形態 -
- 日本のエネルギー再考:
再生可能エネルギー 100% 地域とエネルギー効率を中心とした世界協調の視点から

特別寄稿

- 変貌する中国料理 ~ 南国酒家のこだわりと創造の原点

会 告

- 第 44 回食品の物性に関するシンポジウム

News Release

- 微生物検査用シート培地「サニ太くん[®]」ブランド変更のお知らせ



解 説

- 乳酸菌 LJ88 (*Lactobacillus johnsonii* No.1088):
胃と腸のための乳酸菌
Lactic acid bacterium LJ88 (*Lactobacillus johnsonii* No.1088):
Lactic acid bacterium for both stomach and intestine
..... 小松 靖彦 1

論 説

- ストレス応答機構の解明による殺菌・制菌技術開発の可能性
..... 森山 章弘, 岩橋 均 9
- 食品微生物制御におけるバクテリオファージの利用
..... 山木 将悟, 山崎 浩司 15
- 生体指標と機能性生体指標を用いる新しい栄養指導方法
..... 柴田 克己 24
- 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (16) - 新鮮な生肉から感染する旋毛虫
..... 牧 純, 関谷 洋志, 中村 円香, 畑 晶之, 玉井 栄治, 坂上 宏 33

連 載

- 天然ヒメマスと養殖ヒメマスの違い
..... 酒本 秀一, 佐藤 達朗 39
- 野山の花 ― 身近な山野草の食効・薬効 ―
カラスビシャク *Pinellia ternata* (Thunb.) Breitenb. (サトイモ科 Araceae)
..... 白瀧 義明 76
- デンマーク通信 デンマークの魚
..... Naoko Ryde Nishioka 78

Contents

2017 年 7 月号

解 説

- 美味しく食べるための歯の根管治療 — 根管形態 —

..... 増田 宜子, 横瀬 敏志, 坂上 宏 52

- 日本のエネルギー再考: 再生可能エネルギー 100% 地域と
エネルギー効率を中心とした世界協調の視点から

..... 松村悠子, 三好 恵真子 55

特別寄稿

- 変貌する中国料理 ～南国酒家のこだわりと創造の原点

Changing Chinese Cuisines:

Commitment of Nangokusyuka and Its Origin of Creation

..... 宮田 佳明 69

会 告

- 第 44 回食品の物性に関するシンポジウム

..... 前付 6

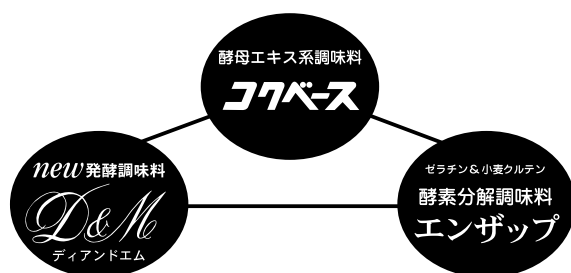
News Release

- 微生物検査用シート培地「サニ太くん®」 ブランドを「MC-Media Pad™」へ変更のお知らせ

..... JNC株式会社 前付 8

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



(新発売!) 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース
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。



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

乳酸菌 LJ88 (*Lactobacillus johnsonii* No.1088): 胃と腸のための乳酸菌

**Lactic acid bacterium LJ88 (*Lactobacillus johnsonii* No.1088):
Lactic acid bacterium for both stomach and intestine**

小松 靖彦 (KOMATSU Yasuhiko)*

* スノーデン株式会社

Key Words : *Lactobacillus johnsonii* No.1088 *Helicobacter pylori* ガストリン 胃食道逆流症
ビフィズス菌

はじめに

健康の増進，維持のための発酵食品の利用の歴史は古く，古代エジプトにおいてもビール，ワイン，パン，チーズの利用について記載がある¹⁾。現在でも，世界中に様々な発酵食品があり，酒，ヨーグルト，チーズ，味噌，醤油，キムチ，糠漬け，納豆，等々，私たちの身近な食品を挙げればきりが無い。発酵食品は，微生物の力により食材に改変を加え，より消化されやすい形に変化させる等の効果に加え，微生物により新たに産生される物質の効果，さらには微生物体そのものの効果が，三位一体となった食材と言える。発酵食品は，様々な微生物の力を利用して作られるが，乳酸菌も発酵食品製造における代表的な有用菌である。

近年では，ロシア出身の科学者であるメチニコフにより生きた微生物による腸内環境改善の有用性が提唱され，体に良い生きた微生物を摂取するという「プロバイオティクス」の概念が広く認識されるようになった²⁾。また，体に元々備わっているいわゆる善玉菌の成長を促す食材を摂取することを意味する「プレバイオティクス」³⁾，さらには日本の光岡知足博士により，体に直接良い働きをする食物成分ということで「バイオジェニックス」という概念が提唱された⁴⁾。微生物においては，殺菌体や微生物が生産した成分自体がバイオジェニックスに当た

り，その有用性も注目されるようになった。

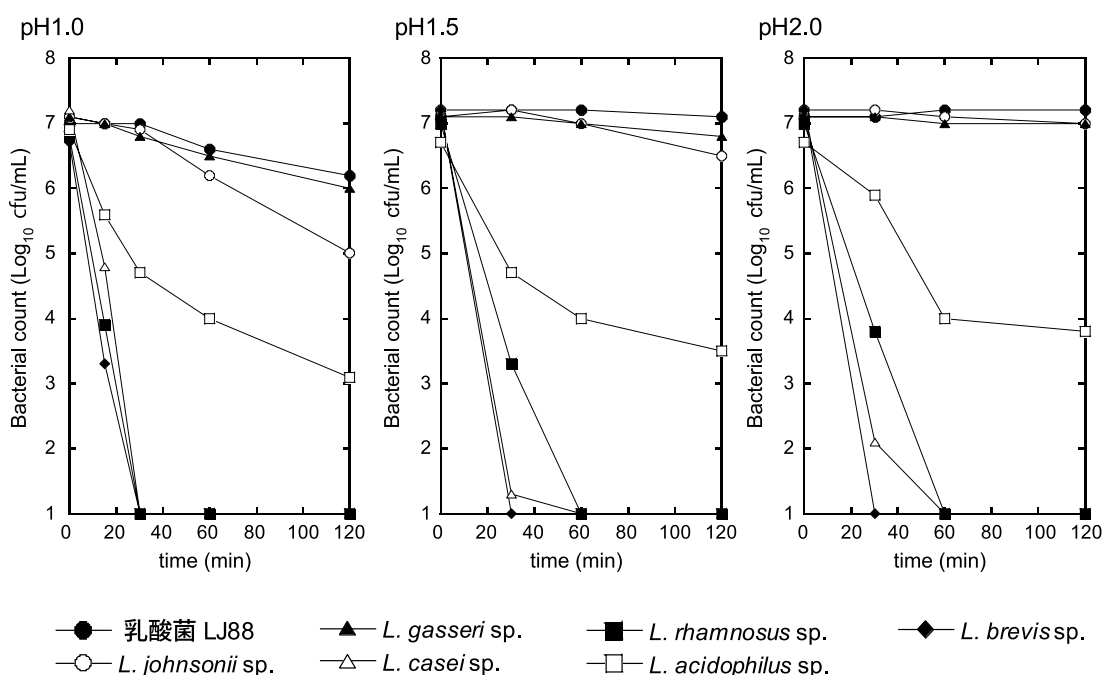
乳酸菌 LJ88 は，正式名称を *Lactobacillus johnsonii* No.1088 と言い，スノーデンが大学との共同研究により健康な人の胃から見出した独自の乳酸菌である⁵⁾。従来の乳酸菌にはない，胃での有用性というユニークな性質を有している。本稿では，乳酸菌 LJ88 の発見の経緯から，最新の研究成果まで，概要を紹介する。

1. 乳酸菌 LJ88 発見の経緯

1-1. どこから見つけたか

乳酸菌 LJ88 探索の発端となるそもそもの発想は，「できるだけ酸に強い乳酸菌を見つけたい」ということだった。生きた乳酸菌を腸まで届けるためには，胃酸に負けない性質を有していることが強く望まれるからである。そのために，思い切った作戦が取られた。当時，生きた乳酸菌はほぼいないだろうと考えられていた胃の中から，敢えて新しい乳酸菌を探すことを計画したのである。健康な人の胃液を探索した結果，複数の乳酸菌を得ることができ，その中で最も酸に対する耐性が強かったのが乳酸菌 LJ88 である⁵⁾。しかし，後述する通り，乳酸菌 LJ88 は単に酸に強い乳酸菌というだけではなかった。

A



B

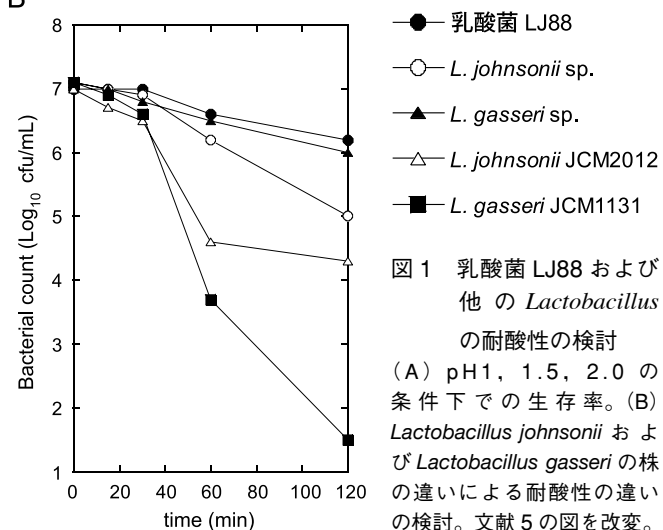


図1 乳酸菌 LJ88 および他の *Lactobacillus* の耐酸性の検討
(A) pH1, 1.5, 2.0 の条件下での生存率。(B) *Lactobacillus johnsonii* および *Lactobacillus gasseri* の株の違いによる耐酸性の違いの検討。文献5の図を改変。

菌である。また、乳酸菌 LJ88 と並び酸に対する耐性が高かったのが、*Lactobacillus gasseri* に属する乳酸菌であった。そこで、同じ種に属する別々の株の間で耐酸性の比較を実施した結果を図 1B に示した。同じ種に属していても、株によって耐酸性には違いがあることが分った。このように、乳酸菌 LJ88 は特に耐酸性が強い乳酸菌の一つであることが確認された⁵⁾。

2. 乳酸菌 LJ88 の病原菌増殖抑制作用

2-1. 種々の病原菌増殖に及ぼす LJ88 生菌の効果 (in vitro)

メチニコフによるプロバイオティクスのもとの考え方は、生きた乳酸菌の摂取により、体に害を及ぼす腐敗菌の増殖を抑え、それにより体に悪い影響を与える腐敗産物の産生・吸収を抑制するというものであった。以来、プロバイオティクス乳酸菌による腐敗菌や病原菌等、

1-2. 乳酸菌 LJ88 の耐酸性

図 1A に示したのは、乳酸菌 LJ88 および他の市販製品から分離した乳酸菌の耐酸性を比較した結果である。図に示される通り、調べられた全ての乳酸菌のなかで、乳酸菌 LJ88 が最も酸に対する耐性が強いことが分った。乳酸菌 LJ88 は *Lactobacillus johnsonii* という種の乳酸

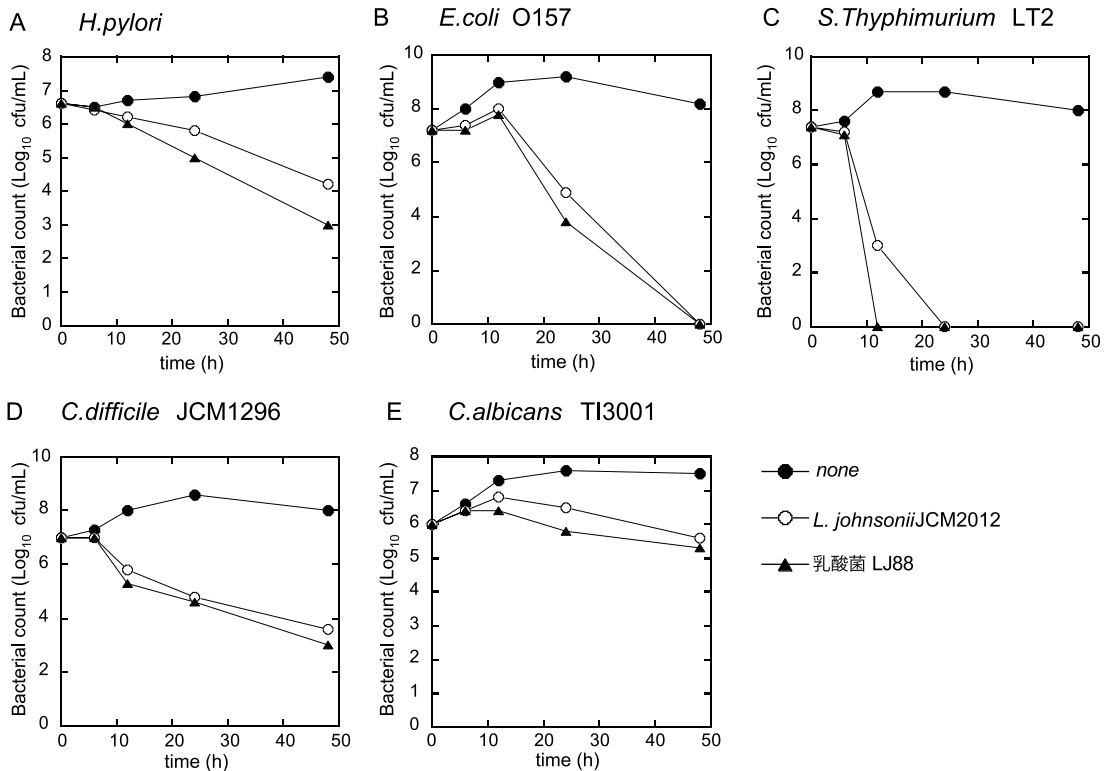


図2 乳酸菌 LJ88 および *Lactobacillus johnsonii* JCM1202 (基準株) による各種病原菌の増殖抑制作用。
文献5の図を改変。

いわゆる悪玉菌の増殖抑制作用が注目されている。最近では、胃炎や胃がんの原因ともなると言われている *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) の増殖を抑制する働きを持つ乳酸菌も報告されている。そこで、乳酸菌 LJ88 に、*H. pylori* を含む種々の病原菌の増殖を抑制する作用があるかどうかについて、混合培養の系で調べられた。結果を図2に示した。*H. pylori* を始め、病原性大腸菌 O157、ネズミチフス菌、デフィシル菌、カンジダ菌、といった種々の病原菌の増殖を、乳酸菌 LJ88 が抑制することが分った⁵⁾。

2-2. *H. pylori* 増殖に及ぼす LJ88 生菌の効果 (in vivo)

H. pylori の増殖を抑制する作用を有する乳酸菌についての研究はいくつか報告されており、明治の LG21 やネスレの LC1 などが知られている。これらが配合された乳製品も市販されて

いる。そこで、乳酸菌 LJ88 にも *in vivo* での抗 *H. pylori* 作用が期待できるかどうか、ヒト腸内菌叢移植マウスを用いて検討された。結果を図3に示した。LJ88 増殖中の培養液の投与でも、凍結乾燥粉末の投与でも、胃内の *H. pylori* の増殖を抑制できることが確認された⁵⁾。

2-3. *H. pylori* 増殖に及ぼす LJ88 殺菌体の効果 (in vitro, in vivo)

これまで報告されている乳酸菌による抗 *H. pylori* 活性は、ほとんどが生きた菌を用いた検討で示されたものであった。しかし、Holz らは *Lactobacillus reuteri* DSM17648 という乳酸菌が殺菌体の状態でも抗 *H. pylori* 活性を発揮することを明らかにした。そして、その作用機序は乳酸菌とピロリ菌の共凝集であることを報告した⁶⁾。そこで、LJ88 の殺菌体についても抗 *H. pylori* 活性が認められるかを検討した。その結

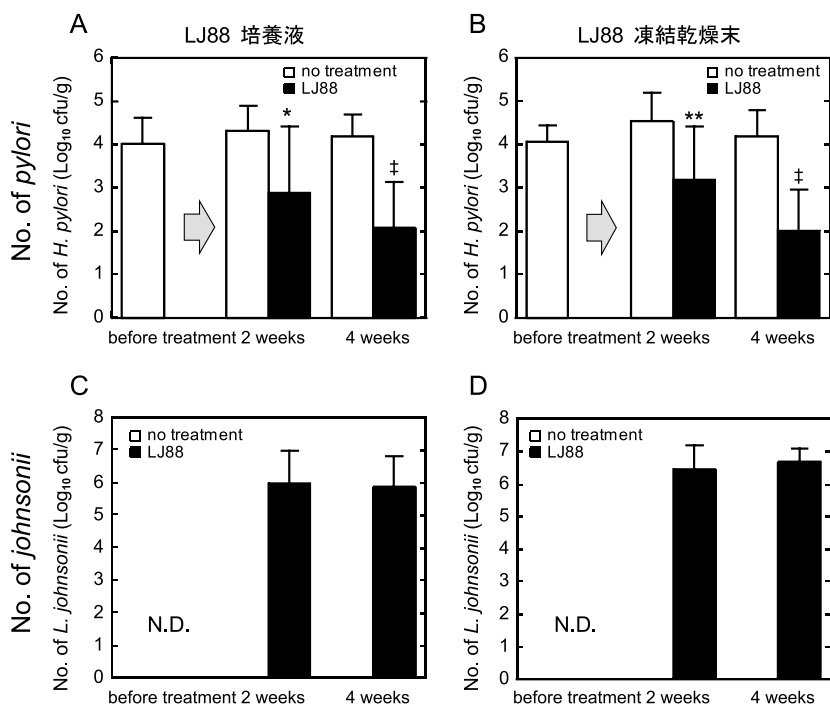


図3 乳酸菌 LJ88 生菌による抗ピロリ作用。文献5の図を改変

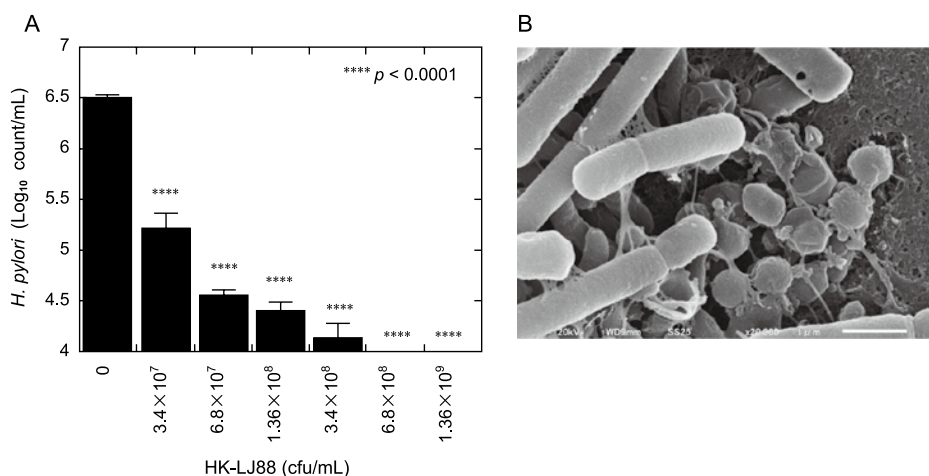


図4 (A) 乳酸菌 LJ88 殺菌体による *in vitro* での抗ピロリ作用

種々の濃度の HK-LJ88 存在下、24 時間 *H. pylori* を培養した後の *H. pylori* の菌数。(B) 乳酸菌 LJ88 殺菌体と *H. pylori* を 24 時間共存させたものの、走査電子顕微鏡像。(相場、徳永未発表データ)

果、図 4A に示すように *in vitro* で *H. pylori* の増殖を抑制する作用が、加熱殺菌された LJ88 にもあることが分った。また、無菌マウスを用いた検討で、*in vivo* でも抗 *H. pylori* 活性を発揮することも明らかになった⁷⁾。そこで、その作用機序が Holz らの報告と同じように共凝

集であるかどうかを検討したが、混合後の状態を肉眼で観察した結果凝集体は認められなかった。さらに詳しく評価するために、ピロリ菌と LJ88 殺菌体を混合後 24 時間培養し、走査電子顕微鏡にて観察した。その結果、図 4B に示すように、*H. pylori* と LJ88 殺菌体の共凝集体

表1 乳酸菌 LJ88 投与による、胃液量、胃液の酸性度、および胃液の pH の変化

処理	胃液量 (mL)	酸性度 (mEq/mL)	pH	n
PBS	0.6 ± 0.2	19.0 ± 4.4	3.0 ± 0.5	5
乳酸菌 LJ88	0.6 ± 0.3	5.2 ± 5.1*	6.1 ± 0.7**	5

significance of difference vs. PBS : * $p=0.051$; ** $p<0.005$
(文献 5 の表を改変)

は認められなかった。それにもかかわらず、*H. pylori* は特徴的ならせん構造を失い、ダメージを受けている状況が観察された。従って、LJ88 殺菌体による抗ピロリ活性は、Holz らが報告したような *H. pylori* との共凝集によるのではなく、LJ88 殺菌体表面の何らかの分子構造が、*H. pylori* に作用することによりダメージをもたらすのではないかと推測している⁷⁾。

3. 乳酸菌 LJ88 の胃酸過多抑制作用、抗ガストリン作用

3-1. 乳酸菌 LJ88 による胃酸分泌抑制作用

表 1 は、乳酸菌 LJ88 を無菌マウスに経口投与した際の、胃液量、胃液の酸性度、および

pH を調べた結果をまとめたものである。無菌マウスは通常の SPF マウスに比べ胃酸過多状態になっていることが知られているが、乳酸菌 LJ88 により、胃液の量は変わらず、酸性度は低下し、pH は上昇することが分る⁵⁾。この様に、乳酸菌 LJ88 には出過ぎる胃酸を抑える働きがあることが動物実験で確認された。

3-2. 乳酸菌 LJ88 によるガストリン陽性細胞数減少作用

それでは、乳酸菌 LJ88 の胃酸分泌抑制作用はどのようなメカニズムにより起こっているのでしょうか。ガストリンというペプチドホルモンは、胃の幽門部に存在する G 細胞より分泌され、血流を介して胃壁の胃酸分泌細胞に作用し、胃酸分泌を促進する。乳酸菌 LJ88 を無菌マウスに投与した際に、このガストリンに対する抗体で染色される細胞 (G 細胞) の数を測定すると、生菌 10^8 cfu の投与 10 日後に、非投与では 84.3 ± 4.5 個/mm であったのに対し、 37.1 ± 7.4 個/mm に減少した ($p<0.01$)。この

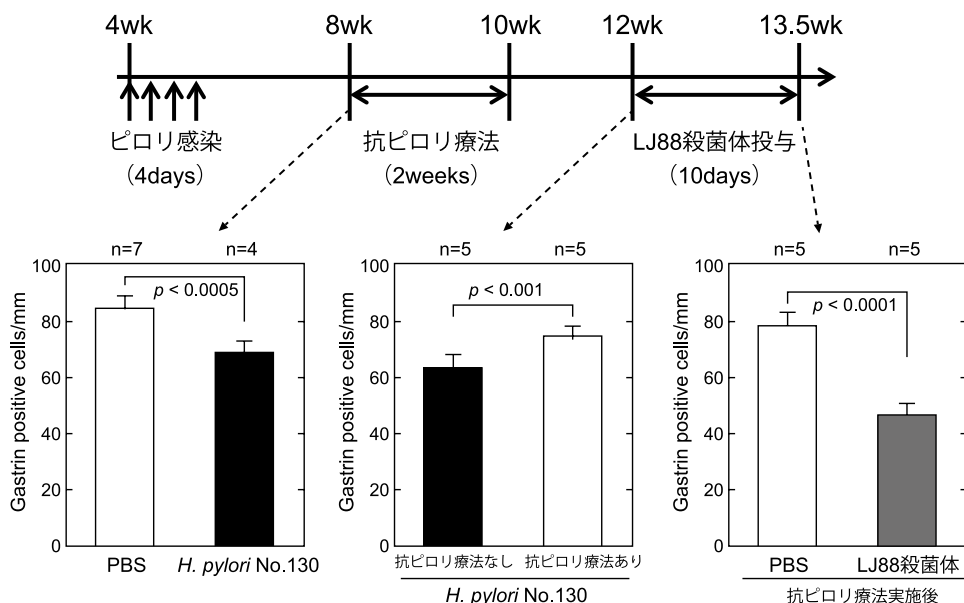


図5 *H. pylori* 感染の三剤療法 (PPI 含) に伴うガストリン陽性細胞数の増加と、LJ88 殺菌体による減少
H. pylori 感染によりガストリン陽性細胞数は減少するが (左図)、三剤療法により増加する (中央図)。しかし、LJ88 殺菌体 (10^9 個) を 10 日間にわたり経口投与するとその増加は解消する (右図)。文献 9 の図を改変。

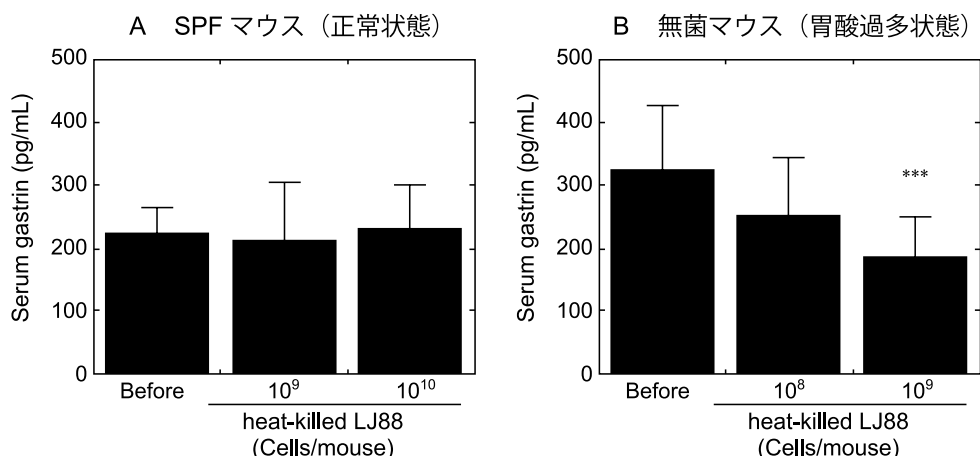


図6 SPF マウス (A) および無菌マウス (B) に、LJ88 殺菌体を 10 日間経口投与した後の血清中ガストリン濃度

無菌マウスでは高ガストリン状態になっており、それが LJ88 殺菌体の摂取により改善することが分かる。一方、SPF マウスではガストリンレベルを過剰に減少させることはない。文献 10 の図を改変。

効果は、乳酸菌 LJ88 殺菌体の投与でも見られ、10¹⁰ 個の殺菌体を 10 日間に互い連日経口投与することにより、対照の PBS 投与群において 80.8 ± 8.2 個/mm だったのに対し、48.0 ± 4.0 個/mm に減少した ($p < 0.01$)。この様に、乳酸菌 LJ88 は、生菌体のみならず殺菌体でも、経口投与で胃のガストリン陽性細胞数を低下させる作用があることが分った⁸⁾。

血中ガストリン濃度の上昇は、胃食道逆流症の治療に使用されるプロトンポンプ阻害剤 (PPI) の副作用としても知られている。無菌マウスに PPI を投与すると、確かに胃のガストリン陽性細胞数の増加が観察された。しかし、乳酸菌 LJ88 生菌を事前に摂取しておく、そのようなガストリン陽性細胞数の増加は抑制された。PPI は *H. pylori* の除菌療法においても、二種類の抗生物質とともに処方される。やはり、抗ガストリン血症、胃酸過多の懸念がある。さらに、*H. pylori* には、胃酸過多を抑制する作用もあると言われており、除菌することにより却って胃酸過多になる懸念も指摘されている。無菌マウスのモデルに、*H. pylori* を感染させると、実際ガストリン陽性細胞の数が減少したことから (図 5 左の図)、そのような可能性は確かに考えられる。しかし、そこに PPI を含む

わゆる三剤療法を施すと、ガストリン陽性細胞は増加してしまった (図 5 中央の図)。その後、乳酸菌 LJ88 殺菌体を経口摂取させると、ガストリン陽性細胞数は再度低下し (図 5 右の図)、PPI の副作用としての高ガストリン状態が改善されることが期待される⁹⁾。

3-3. 乳酸菌 LJ88 による血中ガストリン濃度抑制作用

それでは、乳酸菌 LJ88 の経口投与により実際に血中のガストリン濃度は低下するのだろうか？ 図 6 にその結果を示した。胃酸過多状態にない SPF マウスにおいては、もともと血中ガストリン濃度は高くなく、乳酸菌 LJ88 殺菌体を経口投与しても血中ガストリン濃度の低下は起きない (図 6A)。しかし、無菌マウスにおいては胃酸過多傾向にあり、同時に血中ガストリン濃度も高い。そこに、乳酸菌 LJ88 殺菌体を経口投与すると、用量依存的に血中ガストリン濃度が低下することが分った (図 6B)¹⁰⁾。

4. 乳酸菌 LJ88 の腸内環境改善作用

以上、胃に対する作用を中心に乳酸菌 LJ88 のユニークな性質についての研究成果についてまとめてきたが、通常乳酸菌に期待される

腸内環境改善作用についてはどうなのだろうか？ 図7に、乳酸菌 LJ88 をヒト腸内菌叢移植マウスに経口投与した際の、糞便中のビフィズス菌数の変化を調べた結果をまとめた。生菌のみならず、殺菌体の投与によっても、糞便中のビフィズス菌の菌数が増加することが分った⁹⁾。ビフィズス菌は腸内のいわゆる善玉菌の代表であるので、生菌によってはプロバイオティクスとして、さらに殺菌体によっても恐らくプレバイオティクスとして、腸内環境改善に寄与するものと思われる。

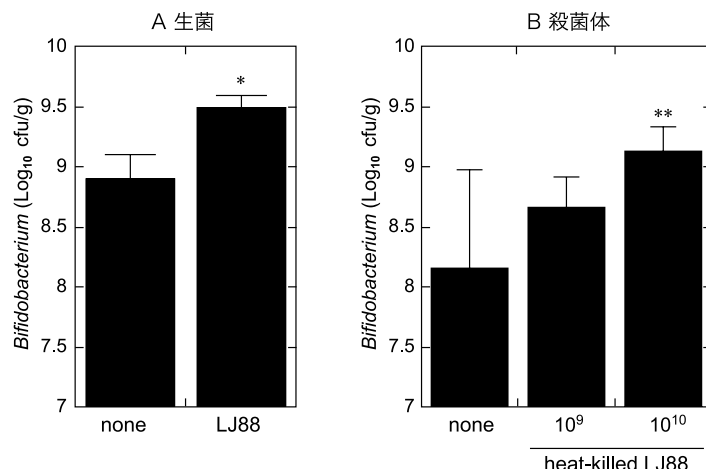


図7 ヒト糞便移植マウスにLJ88 生菌 (10^9 cfu $\times$ 2 週間) または殺菌体 (10^9 個または 10^{10} 個 $\times$ 2 週間) を経口投与した後の、糞便中のビフィズス菌数の変化

いずれも、LJ88 を投与していないものに比べてビフィズス菌数が増加していることが分かる。文献9の図を改変。

5. 乳酸菌 LJ88 の臨床試験による評価

このように、乳酸菌 LJ88 には様々なユニークな性質があり、新たな健康補助食品素材として期待されるが、実際にヒトにおいて有効性があるかどうかは興味が持たれる点である。胃腸薬を服用しておらず、胃の治療も受けていない、健康なボランティア（胃の不調を感じる方を含む）を対象にして、乳酸菌 LJ88 殺菌体を経口摂取させた際の胃症状の改善を調べる臨床試験が実施された^{11, 12)}。30名の被験者を15名ずつ

二群に分け、それぞれ低用量 (10^9 個/日)、および高用量 (10^{10} 個/日) の乳酸菌 LJ88 殺菌体を含むスティックサプリを6週間にわたり摂取させ、摂取前、摂取開始3週間後、および6週間後の胃症状を、FSSG 問診票、胃症状アンケートで評価、さらに摂取前、および6週間後の空腹時血中ガストリン濃度の測定を行った。FSSG 問診票というのは、胃食道逆流症関連症状を調べるための問診票で草野らにより開発された問診票で、この総合計点数が8以上の場合、

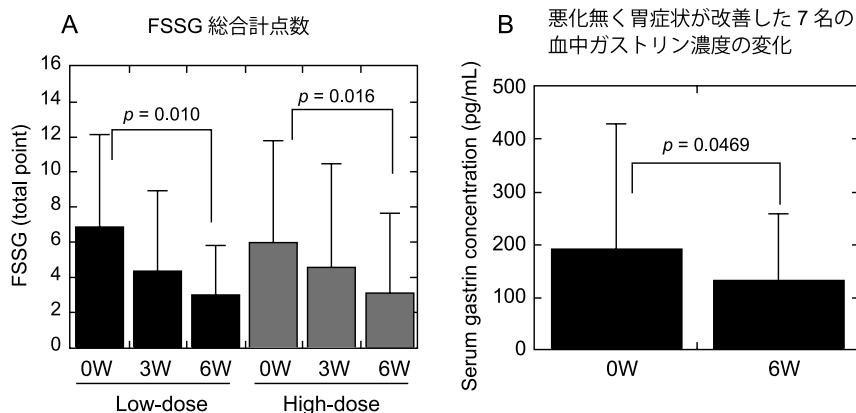


図8 乳酸菌 LJ88 殺菌体による胃食道逆流症関連症状の改善作用の臨床試験による検討 (A) FSSG 総合計点数の経時変化。(B) 胃症状の悪化を経験せずに胃症状が改善した7名についての血中ガストリン濃度の変化。文献11の図を改変。

胃食道逆流症の懸念があるとされている。この試験においては、総合計点数で最大 20 までの方の参加を認め、軽い胃の不調に対する改善効果を検出できるように配慮された。

図 8 に、FSSG 総合計点数および血中ガストリン濃度に及ぼす、乳酸菌 LJ88 殺菌体の効果を示した。FSSG 総合計点数については、高用量群、低用量群ともに乳酸菌 LJ88 摂取後低下傾向を示し、6 週間後には摂取開始前に比べ有意に減少した (図 8A)。一方、血中ガストリン濃度に関しては、全被験者を対象にした解析では有意な変化は認められなかったが、胃症状が悪化の経緯無く改善したとアンケートに回答した 7 名については、6 週間後に摂取開始前に比べて有意な低下が見られた (図 8B)。このように、実際に人においても乳酸菌 LJ88 殺菌体の

摂取により胃症状の改善を期待させる結果が得られた^{11,12)}。

おわりに

以上、現在までに報告されている乳酸菌 LJ88 についての研究成果の概要をまとめた。乳酸菌 LJ88 は、健康な人の胃から発見され、ユニークな性質を有する乳酸菌であることがお分かりいただけるのではないかと思います。尚、乳酸菌 LJ88 については、日本、米国、韓国で特許取得済みである。

これまでの研究は、乳酸菌 LJ88 の胃に対する作用、および一部腸内環境改善に関する作用について実施されてきたが、今後その作用機序の解明とともに、他の機能性についても研究を広げてゆきたい。

謝辞

本稿にまとめた成果の一部は、東海大学医学部の古賀泰裕教授のグループとの共同研究の成果である。また、スノーデン株式会社の相場勇志氏、中野泰博氏、高橋謙二氏、石川裕樹氏、電子顕微鏡撮影でご協力をいただいた東海大学生命科学統合支援センターの徳永正義氏、その他関係者の皆様に感謝します。

参考文献

1. Nunn JF: *Ancient Gyptian Medicine*. Norman, Oklahoma, USA: University of Oklahoma Press. 2002.
2. Metchnikoff E: Lactic acid as inhibiting intestinal putrefaction. In: Mitchell PC, (ed.). *The prolongation of life: Optimistic studies*. London: G. P. Putnam's Sons: p.161-183, 1908.
3. Gibson GR, Roberfroid MB: Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr*. **125**(6): 1401-1412, 1995.
4. Mitsuoka T: Development of functional foods. *Biosci Microbiota Food Health*. **33**(3): 117-128, 2014.
5. Aiba Y, Nakano Y, Koga Y, et al.: A highly acid-resistant novel strain of *Lactobacillus johnsonii* No.1088 has antibacterial activity, including that against *Helicobacter pylori*, and inhibits gastrin-mediated acid production in mice. *Microbiology Open*. **4**: 465-474, 2015.
6. Holz C, Busjahn A, Mehling H, et al.: Significant Reduction in *Helicobacter pylori* Load in Humans with Non-viable *Lactobacillus reuteri* DSM17648: A Pilot Study. *Probiotics Antimicrob Proteins*. **7**(2): 91-100, 2015.
7. Aiba Y, Ishikawa H, Tokunaga M, et al.: Anti-*Helicobacter pylori* activity of non-living, heat-killed form of lactobacilli including *Lactobacillus johnsonii* No.1088. *FEMS Microbiol Lett*. in press, 2017.
8. Takahashi H, Nakano Y, Matsuoka T, et al.: Role of indigenous lactobacilli in gastrin-mediated acid production in the mouse stomach. *Appl Environ Microbiol*. **77**(19): 6964-6971, 2011.
9. Komatsu Y, Aiba Y, Nakano Y, et al.: Probiotics, prebiotics, and biogenics for the stomach. In: Rao V and Rao LG, (eds.). *Prebiotics and Probiotics in Human Nutrition and Health*. Rijeka, Croatia: InTech: p. 363-381, 2016.
10. 小松靖彦：胃のためのプロバイオティクス、プレバイオティクス、バイオジェニクス。食品と開発。 **51**(9): 71-73, 2016.
11. Komatsu Y, Sasaki T, Ohishi M: Effect of heat-killed *Lactobacillus johnsonii* No.1088 on gastroesophageal reflux disease-related symptoms: A pilot clinical study. *Am J Food Sci Health*. **2**(6): 176-185, 2016.
12. 小松靖彦：乳酸菌 LJ88 殺菌体による胃食道逆流症関連症状の緩和：予備的臨床試験。食品と開発。 **52**(4): 65-67, 2017.

ストレス応答機構の解明による 殺菌・制菌技術開発の可能性

森山 章弘 (MORIYAMA Akihiro)* 岩橋 均 (IWAHASHI Hitoshi)*

* 岐阜大学 応用生物科学部

Key Words：ストレス応答 環境ストレス 酵母 殺菌 制菌

はじめに

ストレス応答とは、生物が外部からの刺激により、平常状態から逸脱し、その結果おこる合目的な応答と著者らは考えています¹⁾。ただし、平常状態をどう定義するかは、TPOに依存します。北海道の人が、真冬にオーストラリアに出かけると、暑くてストレスを感じるかもしれません。逆にオーストラリアの人が冬に北海道に来れば寒冷ストレスとなり得ます。従って、平常状態から、逸脱効果を生物に与えたときにストレスが加わったと、著者らは定義しています。この定義だと、良い影響もストレスとしてしまうこととなりますが、ストレスの善し悪しは見方によっては異なることもあります。このため、良いかもしれない影響もストレスとして考えています。また、ストレスを定義するよりも、平常状態を定義する方が難しいこともあります。このため、ストレスの状態を評価するときは必ず平常状態を定義しておき、その再現性を確認しておく必要があります²⁻⁴⁾。陰性対照の重要性です。また、より正確に評価する場合は陽性対照も必要です。

毒性ストレスを評価するとしたら、類似の毒性物質と比較する必要があります。健康食品などでは、今評価している食品よりも効果のある食品や医薬品を陽性対照として評価する必要があります。

当研究室ではこれまで、多くの環境ストレスについて、そのストレスが生物に与える影響を評価してきました⁵⁾(図1)。環境ストレスには、

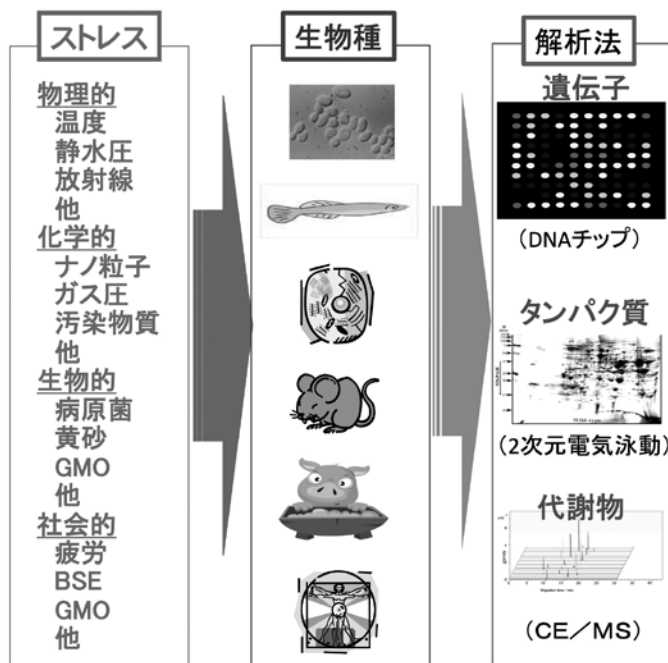


図1 ストレス応答の網羅的解析

物理的ストレスとして、温度変化や高圧、放射線等、化学的なストレスでは、環境汚染物質やカビ毒等を挙げることができます。また、病原菌は生物学的なストレス、疲労は社会的なストレスとして分類することができます。これらストレスについて、出芽酵母⁶⁾を中心にメダカ⁵⁾、マウス⁷⁾、ブタ⁸⁾、ヒト⁹⁾、ヒト培養細胞¹⁰⁾に対する影響評価を行っています。評価手法は、ストレスの負荷による、遺伝子発現量の変化、タンパク質発現量の変化、代謝物質量の変化について、網羅的に解析するところにポイントがあります。「網羅的に」とは、可能な限り多く解析するという意味です。遺伝子発現量については、代表的な生物種である、出芽酵母、マウス、ヒトを研究対象とする場合はDNAチップや次世代シーケンサーを使うことで、ほぼすべての遺伝子（数千から数万種類）について同時に評価することが可能です。タンパク質では数百種類、代謝物質でも数百種類の量的な変化を観察することが可能です。ストレスを付加された生物は、そのストレスの影響を避けようとし、または、そのストレスによる傷害を修復しようとし、このような応答がストレス応答の中心になります。ストレス応答の結果、遺伝子の発現量、タンパク質の発現量、代謝物質量を変化させます。遺伝子、タンパク質、代謝物には機能があります。生物が合目的的にこれらストレスに応答していると仮定すると、変化した機能を評価することで、各ストレスがどのような影響を生物に与えているかを評価することができます。例えば、遺伝子の修復に関する機能を持つ遺伝子の発現やタンパク質が誘導されているとしたら、そのストレスにより、遺伝子に影響があった事が推定されます。逆に言うと、発ガン性物

質や変異原性物質では遺伝子の修復に関する機能が誘導される事が推定されます。

1. 実用化を目指したストレス応答の網羅的解析

ストレス応答の評価は、ストレス付加前（標準状態・陰性対照）と付加後に、遺伝子発現量等を網羅的に測定し評価を行います。このとき、与えるストレスとその生物種により、与えられたストレスの意義が異なってきます（図2）。例えば、ガン細胞に、ある薬剤を与えます。この薬剤により、ガン細胞がストレスの結果死滅した場合、その死滅に至る原因を網羅的遺伝子発現解析で詳細に解析すると、抗ガン剤としての活用が期待される場合もあります。我々のグループでも、ある抗ガン効果を高める治療法の開発をしており⁷⁾、医師主導治験に入ろうとしています。ガン細胞に影響を与える物質や条件は、山のようにあります。ガン細胞に影響があれば何でも抗ガン剤というわけではありません。そのメカニズムが明らかになり、初めて抗ガン剤として利用できる可能性が出てきます。同じように、ナノ粒子は抗ガン剤として利用で



図2 網羅的ストレス応答解析の出口

きという報告が多く出されていますが、残念ながら実験のミスによる結果がほとんどです。ナノ粒子によるストレス応答の詳しい生物学的な意義付けを網羅的に解析することで、実験ミスの原因が分かります。ストレス応答を解析して、実験の際に気をつけなければいけないことが、これまでに多数報告されています¹¹⁾。ナノ粒子の影響評価をする場合の正しい評価法については、現在では、網羅的な解析結果等を基にストレス応答の評価法が、国際標準機構で定められています¹¹⁾。残念ながらこの標準を満足させる、ナノ粒子に関する毒性や抗ガン性の報告はほとんど無いのが現状です。ストレス応答を詳しく解析することで、実験の不備が見つかることは良くあることです。このように、ストレス応答を網羅的に解析することで、その実験の正当性や再現性についても議論することが可能であると考えています。

2. 酵母に対するストレスは抗菌剤や殺菌効果として利用できる

微生物でもストレスを受けそれを克服しながら生育しています。微生物にとってのストレスは、人間からすると抗菌剤であり、食品などの保存法として利用できる可能性があります。我々は、これまでに、出芽酵母を用いて数百種類のストレスを微生物に付与し、その応答についても網羅的に観察してきました。このうち再現性が確認された50種類程度のストレス応答に関しては、網羅的な解析結果をGEO (Gene Expression Omnibus) に登録しています¹²⁾。

繰り返しになりますが、酵母細胞に対する化学的なストレスは殺菌剤としての可能性があります。酵母に対する物理的なストレスは殺菌処理としての利用が期待できます。化学的なストレスとしては、これまで、カビ毒、テルペン類、ガス圧、ナノ粒子、環境汚染試料などを酵母細胞に与え、その影響を評価してきました。一部のカビ毒は遺伝子に関する修復系が誘導されるため、変異原性が疑われ、抗菌剤というよりは有害物質として扱われます¹³⁾。ただしカビ毒

の一部は、抗生物質でもあり、既に医学分野で利用されている物質もあります¹⁴⁾。テルペン類や、ガス圧、一部のナノ粒子は殺菌効果が認められますが、特に顕著な有害性は認められていません。物理的なストレスとしては、高温、高圧、低温、放射線等を上げることができます¹⁾。放射線を受けた酵母は遺伝子修復応答を示しますが¹⁵⁾、放射線が細胞内に残るわけではないので、殺菌技術としては当然使えます。

3. 殺菌剤・殺菌技術としてのストレス応答各論

3.1. 伝統的な殺菌技術

殺菌技術として最も普及しているのは熱殺菌技術です。120度の滅菌技術は今でもこれに勝てる簡易な技術は開発されていません。

この他、伝統的に使われているヨードは殺菌剤として有効です。ストレス応答として観察すると、応答の初期の頃はタンパク質の代謝に関与する遺伝子の誘導が顕著であり、遅れてエネルギーの生産に関与する遺伝子が誘導されてきます。ストレスの初期の段階ではヨウ素が酸化的にタンパク質を変性させ、変性したタンパク質の代謝機能が誘導される結果と考えられます¹⁶⁾。この応答は、農薬類やカビ毒の応答に似ていますが、遺伝子の修復に関与する機能の誘導がありません。農薬類やカビ毒に比べると変異原性が低く殺菌剤としての利用が可能であることを示しています。

銀の抗菌性はよく知られています。人類の歴史と共に食器として使われてきた金属です。安全性という点では信頼性があり、抗菌性があるため、殺菌剤としての利用が可能です。実際に、ガラスの抗菌剤や、医療分野ではカテーテルに抗菌性を持たせるために利用されています¹⁷⁾。また、銀ナノ粒子には抗菌性があることは既に確認されています¹⁸⁾。ただし、この抗菌性は、銀ナノ粒子から溶解してくる銀イオンによるものと考えられます。多くの論文では、銀イオンが検出できないため、殺菌剤の本体を銀ナノ粒子と考えています。しかし、銀ナノ粒子から遊

離する銀イオンは反応性が高く、さらに、ナノ粒子を取り除くためのメンブレンフィルターに結合するため、銀イオンは検出できません（未発表）。上記の理由から、銀イオンの溶解性を評価するには、純水中で、遠心器を用いてナノ粒子を系から除かないと、イオンとして補足するのは難しいからです。この結果、銀ナノ粒子は抗菌性があるということになっています。銀ナノ粒子が抗菌性を示す原因が銀イオンである限り、銀ナノ粒子を利用する必要はありません。銀粒子や銀イオンで充分殺菌性を発揮します。

この他、乾燥ストレス、塩ストレス、低温ストレスは食品の保存には欠かせないストレスです。

3.2. 静水圧を用いた殺菌技術

静水圧も熱と同様に殺菌技術として利用することは可能です。180MPa、0度では、昇圧後すぐに降圧しても、60%程度まで生菌数が低下します。この状態からの細胞の修復を1時間程度の回復培養条件下、遺伝子の発現を解析すると、ユビキチン-プロテアソーム系、Hsp104等のタンパク質代謝に関わる遺伝子が誘導されました¹⁹⁾。代謝物質の変化による評価では、グリシン、バリン、イソロイシン、ロイシン、チロシン等の膜貫通型タンパク質の膜貫通ドメインを構成する主要なアミノ酸が有意に蓄積されていました²⁰⁾。これらの結果は、酵母の死につながる高圧損傷は細胞膜構造をターゲットとする損傷であること、およびその損傷からの膜タンパク質代謝を中心とする修復過程の重要性を示しています。当研究室はこの分野の研究を30年程基礎研究として続けており、ようやく、なぜ高圧で微生物が死ぬのかという課題の解決の糸口が見えてきたところです。

基礎研究として続けてきたのには理由があります。静水圧を用いた殺菌技術が食品保存に対して決定的に有効な可能性が低いからです。前述したように120度の滅菌技術は有効であると述べました。このときの圧力は数気圧です。このまま圧力を上げていくと、一部の重要な食品腐敗微生物の胞子の生存率が上昇するという結

果が確認されています²¹⁾。静水圧は温度の殺菌効果を打ち消すことが示されているのです。既に高圧殺菌を行うための半自動の装置が市販され、高圧殺菌装置そのものの値段がそれほど高価なものではなくなっているのに、普及しないのにはこの点があります。実際に室温で流通している高圧処理食品は高圧を利用した加工技術であり殺菌技術ではありません。高圧殺菌を利用した食品は低温流通をしており、賞味期限を長くする効果は期待できますが、高圧殺菌だけではレトルト食品のように、常温流通を達成することはできません。

3.3. 炭酸ガス圧を用いた殺菌技術

ビールやコーラの炭酸ガス圧に相当する数気圧程度でも殺菌効果が期待できます。本技術を我々は、微高圧炭酸ガス圧殺菌技術と呼んでいます²²⁾。微高圧炭酸ガス殺菌技術はpHの低下に従って、殺菌効果が飛躍的に高まっていく特徴があります。低いpHでは、炭酸イオンが炭酸分子になり、炭酸分子としての細胞阻害が高まるためと推定されています。よく炭酸イオンによるpHの低下効果が原因では、という意見をいただきますが、化学的には正しくありません。果汁のpHは3.5以下が多い事が知られていますので、果汁の殺菌に適した技術であるということが出来ます。微高圧炭酸ガス圧殺菌の最も特徴的な点はその高温依存性にあります。微高圧殺菌技術は高温殺菌の効果を高めることができるからです。酵母を指標微生物として、少し強めの炭酸ガス圧力、5MPa程度で、25度程度に温度を上げると、40度程度の熱効果に相当する殺菌効果が観察されます。50度にまで上げると、ほぼ生菌数はなくなってしまいます。通常酵母にとって25度はちょうど良い生育温度です。

微高圧炭酸ガス圧ストレスのDNAチップを用いた遺伝子発現解析では、0.5MPa炭酸ガス、30度、2時間処理された酵母を対象に解析しました。この程度のストレスでは50%程度の生育阻害を示します。50%の生育阻害は、網羅

的な遺伝子発現解析の標準的な条件として、他の多くのストレス付加にも利用しています。微高压炭酸ガス処理により誘導された遺伝子は、2倍以上誘導で507遺伝子、4倍以上誘導で67遺伝子でした。これらを機能解析したところ、2倍以上誘導では、アルギニン代謝、尿素サイクル等の代謝系、鉄イオンの輸送、イオンの輸送など細胞膜トランスポーター系、熱ショック応答によるストレス応答系、熱感作反応、グルタチオン関連、過酸化反応などの解毒系、等の機能群が顕著に誘導されていました。4倍以上誘導では、上記の内、尿素サイクル、イオンの輸送系が残り、これら機能が顕著に誘導されている可能性を示していました。2倍以上誘導遺伝子産物の細胞内局在を解析したところ、液胞、細胞膜に局在する遺伝子産物をコードする遺伝子の誘導が顕著でした。特に液胞に局在する因子をコードする遺伝子の誘導が顕著でした。誘導された遺伝子のリストを解析すると、上位に位置する遺伝子のほとんどが、細胞膜に局在する鉄イオン輸送に関与する遺伝子でした。また、界面活性剤など細胞膜に影響を与える化合物により誘導される遺伝子マーカーとして知られる、*INO1* と *OPI3* (細胞膜成分の生合成に重要な遺伝子) の誘導が顕著でした。以上を総合すると、液胞を中心として細胞膜に、大きな影響を与えていることが推定されました²²⁻²⁴⁾。

3.4. 炭酸ガス圧を用いた制菌酵素反応技術 (耐熱性酵素はもう要らない)

微高压炭酸ガス圧殺菌技術は、殺菌目的よりも静菌目的の方が有効に利用できるのではない

かとも考えています。ビール、パン、果糖ブドウ糖液糖等の酵素反応を利用する食品は、微生物汚染を防ぐために、高温条件に限定して酵素反応を利用しています。化学物質を利用しないため、安全ですが、高いエネルギー消費と耐熱性酵素が必須であるという点で限界があります。静水圧を用いても、50MPaで静菌が可能になりますが、大きな装置が必要になります。微高压炭酸ガス圧技術を用いる場合は、反応容器に多少の耐圧性を付与するだけで静菌条件を設定できます。1MPa以下で制菌が可能ですので、高压ガス保安法の適用以下の圧力になり、実用的です。容器の耐圧化が難しい場合は、ガスパイプの様な配管を長くして、容積の確保や連続反応も可能になります。何よりも、食品工業に利用される多くの酵素の至適pHは酸性側にあります。現在我々は、湯種パンに似た高压パンの可能性、食品ロスの炭酸ガス圧下酵素分解によるリサイクル資源化に関する研究を行っています。

おわりに

本稿では、ストレス応答機構を解明することで、新しい殺菌・静菌技術開発が可能になることを紹介させていただきました。ストレスと言うと悪い印象を持たれる方も多いかとは思いますが、しかしながら、見方を変えるだけで、抗ガン剤の開発、殺菌剤の開発、健康影響評価等様々な出口があります。まだまだ出口はあるはずです。アイデアがありましたらお知らせ下さい。

文 献

1. 岩橋 均：環境ストレス応答の主役達 低温生物工学会誌 **52**: 55-59, 2006.
2. Mizukami, S., Suzuki, Y., Kitagawa, E., *et al.*: Standardization of cDNA microarray technology for toxicogenomics; essential data for initiating cDNA microarray studies. *Chem-Bio Info. J.* **4**: 38-55, 2004.
3. Iwahashi, H., Kishi, K., Kitagawa, E., *et al.*: Evaluation of the physiology of medaka as a model animal for standardized toxicity tests of chemicals by using mRNA expression profiling. *Environ. Sci. Tech.* **43**: 3913-3918, 2009.
4. Takahashi, J., Misawa, M., Iwahashi, H.: Oligonucleotide microarray analysis of age-related gene expression profiles in miniature pigs. *PLoS One*. **6** (5): e19761, 2011.
5. 岩橋 均：微生物起源 DNA マイクロアレイを用いた環境ストレスの網羅的解析（総説）. 環境バイオテクノロジー学会誌 **5**: 9-16, 2005.
6. Momose, Y. and Iwahashi, H.: Bioassay of cadmium using a DNA microarray: Genome-wide expression patterns of *Saccharomyces cerevisiae* response to cadmium. *Environ. Toxi. Chem.* **20**: 2353-2360, 2001.
7. Takahashi, J., Misawa, M., Murakami, M., *et al.*: 5-Aminolevulinic acid enhances cancer radiotherapy in a mouse tumor model. *Springer Plus* **2**: 602, 2013.
8. Takahashi, J., Waki, S., Matsumoto, R., *et al.*: Oligonucleotide microarray analysis of dietary-induced hyperlipidemia gene expression profiles in miniature pigs. *PLoS One*. **7**: e37581, 2012
9. 原田 暢善, 岩木 直, 岩橋 均：連続的疲労負荷過程における血液中で発現する生理的疲労関連遺伝子の検討. 第6回日本疲労学会, 2010 (大阪)
10. Takahashi J., Misawa, M., Iwahashi, H.: Gene expression profiling can predict the fate of HeLa cells exposed to X-ray irradiation with or without protoporphyrin accumulation. *Genomics Data*, **5**, 192-194, 2015.
11. ISO/TC229/TS19337; Nanotechnologies — Characteristics of working suspensions of nano-objects for *in vitro* assays to evaluate inherent nano-object toxicity, 2016.
12. Iwahashi, H.: Pressure-Dependent Gene Activation in Yeast Cells. *High Pressure Bioscience and Biotechnology*, **72**: 407-422, 2015.
13. Iwahashi, H., Kitagawa, E., Suzuki, *et al.* : Evaluation of toxicity of the mycotoxin citrinin using yeast ORF DNA microarray and oligo DNA microarray. *BMC Genomics* **8**: 95, 2007.
14. 岩橋 均, 重松 亨：「暮らしに役立つバイオサイエンス」放送大学教育振興会刊, 2015
15. 岩橋 均：マイクロアレイを用いた環境ストレスの影響評価. 地球環境と放射線：生態系への影響を考える 村松康行編. 研成社（東京）, pp. 151-161, 2003.
16. Kitagawa, E., Akama, K., and Iwahashi, H.: Effect of Iodine on global gene expression in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biosc. Biotech. Biochem.* **69**: 2285-293, 2005.
17. 竹内 秀雄, 飛田 収一, 吉田 修, 他：朋宏尿路感染予防における塗銀抗菌カテーテルの有用性の検討. 泌尿器科紀要 **39**: 293-298, 1993.
18. 大橋 静江, 山本 宏治, 銀を含有するシリカガラスの抗菌性, 歯科材料・器械 **16**: 241-248, 1997.
19. Iwahashi, H., Shimizu, H., Odani, M., *et al.*: Barophysiology of *Saccharomyces cerevisiae* from the aspect of 6,000 gene expression levels. *Trend High Press. Biosci. Biotech.* **19**: 239-246, 2002.
20. Tanaka, Y., Higashi, T., Rakwal, R., *et al.*: The role of proteasome in yeast *Saccharomyces cerevisiae* response to sublethal high-pressure treatment. *High Press. Res.* **30**: 519-523, 2010.
21. Margosch, D., Ehrmann, M. A., Buckow, Heinz, R., *et al.*: High-Pressure-Mediated Survival of *Clostridium botulinum* and *Bacillus amyloliquefaciens* Endospores at High Temperature. *A ppl. Env. Microbiol.* **72**: 3476–3481, 2006.
22. 原田 暢善, 岩橋 均, 大淵 薫, 他：中国産ココ果汁に対する二酸化炭素ガス微高圧長期処理. *High Pressure Bioscience and Biotechnology*. **2**: 96-100, 2008.
23. 松岡 寛之, 栗林 努, 鈴木 福英, 他：酵母 DNA マイクロアレイを用いた二酸化炭素の影響評価 「高圧力下の生物科学」 金品昌志, 田村勝弘, 林 力丸, 編集, さんえい出版 pp 193-200, 2006.
24. Niu, L., Nomura, K., Iwahashi, H., *et al.*: Urea cycle is enhanced by petit-high pressure carbon dioxide stress in yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *High Pressure Research* **37**: 70-77, 2017.
25. Niu L, Nomura K, Iwahashi H, *et al.*: Petit-High Pressure Carbon Dioxide stress increases synthesis of S-adenosylmethionine and phosphatidylcholine in yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Biophysical Chemistry* on line.

食品微生物制御における バクテリオファージの利用

山木 将悟 (YAMAKI Shogo)* 山崎 浩司 (YAMAZAKI Koji)*

* 北海道大学 大学院水産科学研究院

Key Words：バクテリオファージ ビルレントファージ テンプレートファージ 殺菌 制菌

要約

食品の風味や食感を低下させない食品微生物制御法としてバクテリオファージの感染機構を利用した新しい手法が注目され、欧米においては一部の食中毒菌に対して現場での使用が許可されている。そこで本稿では、この新しい微生物制御法について紹介する。

はじめに

近年、消費者の天然物志向を受け、素材の持つ食感や風味を可能な限り維持した食品が好まれるようになった。そのため、温和な加工処理の複数組み合わせによって微生物の発育を制御するハードルテクノロジー理論¹⁾に基づいた微生物制御手法が採用されている。しかし、食感や風味の低下を防止するための添加物量や加熱殺菌強度の低減は食品保蔵中の微生物増殖リスク増加を招くことに繋がる可能性がある。特に近年では Ready-to-eat 食品 (RTE 食品；非加熱喫食食品) によるリステリア症を代表とする重篤な食中毒の発生が問題視されている。そこで、食品微生物制御の分野において新しい制御法としてバクテリオファージの利用が注目されている。本稿では、食品微生物制御におけるバクテリオファージの利用について簡単に紹介する。

1. バクテリオファージとは

バクテリオファージ (ファージ) とは、細菌を標的として感染するウイルスの総称である。バクテリオファージという名称は “bacteria” とギリシャ語で食べるという意味の “phagein”

からなり、ファージ感染後に細菌が溶菌される様子にちなんで発見者の一人である Félix d'Herelle により命名された²⁾。ファージは主に核酸 (DNA または RNA) とタンパク質の外殻から構成され、エンベロープを持つものも存在する。現在、形状および保有する核酸の種類から様々に分類されるが、これまでに発見されたファージの多くは *Caudovirales* 目に属するファージである。筆者らが分離した大腸菌に感染する *Caudovirales* 目ファージの透過型電子顕微鏡写真を図1に示した。*Caudovirales* 目ファージ

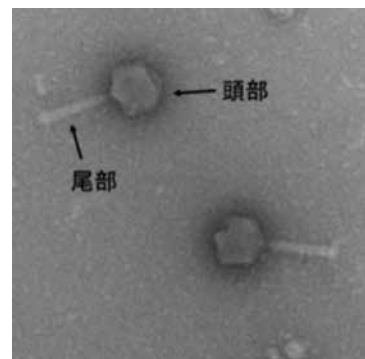


図1 *Caudovirales* 目に属する大腸菌ファージの透過型電子顕微鏡写真。*Caudovirales* 目ファージは頭部と尾部より構成される。

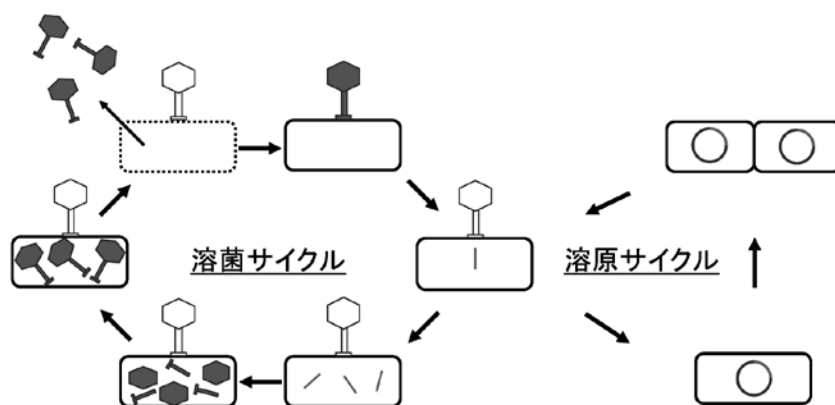


図2 ファージの生活環。ビルレントファージは溶菌サイクルで、テンプレートファージは溶菌サイクルと溶原サイクルの両方で増殖する。

ジは頭部と尾部から構成され、遺伝物質として直鎖状の二本鎖 DNA を持つ。T4 ファージやλファージはこの目に分類され、今日の生命科学の発展にはなくてはならない存在である。また、地球上には 10^{30} を超えるファージが存在するという試算もあり³⁾、ファージの存在は生態系に非常に大きな影響を与えている。

ファージはビルレントファージとテンプレートファージの2種類に大別され、それぞれ異なった生活環を示す⁴⁾。ファージの生活環（溶菌サイクルおよび溶原サイクル）について図2に示した。ビルレントファージは特定の細菌に吸着し核酸を注入後、自らを複製し溶菌により娘ファージを菌体外に放出する。一方、テンプレートファージは細菌に核酸を注入後、宿主のゲノム中に自らのゲノムを組み込む。プロファージと呼ばれるこの状態は、宿主と共に増殖を行うことを可能とし条件を満たすとビルレントファージと同様に菌体外へと放出される。すなわち、テンプレートファージは細菌間の遺伝子水平伝播に大きく寄与しており、腸管出血性大腸菌のペロ毒素は赤痢菌のシガトキシン遺伝子がテンプレートファージにより伝達されたと考えられている⁵⁾。毒素遺伝子や薬剤耐性遺伝子の拡散防止のため、微生物制御を目的としたファージにはビルレントファージを用いる。

2. 抗菌物質としてのバクテリオファージ

ファージは1915年のFrederick W. Twortおよび1917年のFélix d' Herelleによりそれぞれ発見された。発見者の一人であるd' Herelleはファージの名付け親であり、ファージを利用した感染症療法である「ファージセラピー」を提唱し研究を推し進めた者でもある。d' Herelleらの働きによりファージセラピーの研究は大きく発展し感染症患者を助けた。ファージ製剤は製品化されるまでとなったが、多くの問題があったことも事実である。当時、ファージの宿主域や感染機構に関する知識は十分とはいえず、ファージセラピーに対する科学的根拠は不足していた。純度や宿主域の観点から有効でないファージ製剤も存在したようである。そのため、ファージセラピーに懐疑的なものも存在し、その後のペニシリンの発見がファージセラピーを西欧諸国から忘れ去せる決定打となった。しかし近年、多剤耐性菌の出現により抗生物質の限界が示され、新たな感染症治療法としてファージセラピーに再び注目が集まっている⁶⁾。感染症の治療薬としてファージを用いる利点は、

- ①薬剤耐性菌を殺菌可能、
- ②ファージ耐性菌への対処が抗生物質よりも容易（耐性菌に対しても感染可能なようにファージが変異する、耐性菌に感染する新たなファージの分離が可能）、

③感染巣でファージ自ら増殖可能、
④病原細菌のみを選択的に殺菌可能、
等である⁷⁾。このような利点を受け、ファージの利用は食品業界にも拡大されつつある。

3. 食品微生物制御におけるファージ利用の利点

食品微生物制御におけるファージ利用の利点について表1にまとめた。はじめに述べたように、現在の食品保蔵技術においては食品の官能特性および栄養素を可能な限り損なわない微生物制御法が求められる。ファージは食品の味や香り、外観、成分に影響を及ぼさないため、非加熱喫食食品の微生物制御に適していると考えられ、またヒトに対する安全性の面でも問題が少ないとされている。これは、ファージが環境中のいたるところに存在し、ヒトが古来より飲食を通じてファージを摂取し続けてきたことにも由来する。ファージの殺菌作用は優れた選択性を示し、食品の菌叢に悪影響を及ぼさない。これはファージの宿主特異性に起因し、ファージは感染を始める際に宿主細胞表面の特異的なレセプター（タンパク質、リポ多糖等）を認識して吸着するため、狙った細菌のみの選択的な殺菌が可能となるからである。また、リポ多糖等の菌体成分の除去は必要であるが、ファージは宿主の培養液から容易に調製が可能なことも利点の一つと言える。また、ファージの分離も比較的容易に行うことができ、米国の食品を利

用した研究では全45サンプルのうち22サンプルから38株のファージを分離することに成功した報告がある⁸⁾。

4. ファージを使用する際の注意点

実際にファージを利用しようとする際には、注意すべきことがいくつか考えられる。まず、使用目的に応じた適切なファージを選択することである。ファージの分離は比較的容易に行えることは既に述べたが、分離したファージの全てが使用に適しているわけではない。適切なファージの選別はファージ利用の成否に大きく関与する。必要と考えられる最低限の基準は表2にまとめた。第一に、使用するファージの感染様式と保有する遺伝子がある一定の基準を満たす必要がある。先に述べた通り、ファージセラピーに適するファージはビルレントファージであり、遺伝子の水平伝播を引き起こすテンペレートファージの使用は不適である。同様の理由で、病原性および薬剤耐性に関与する遺伝子を持つファージも使用すべきではない。すなわち、使用するファージのゲノムシーケンスを行い、保有する遺伝子の特徴を明らかにする必要がある。

その他に求められる要素は、

- 1) 適切な宿主域を示すこと。
- 2) 優れた溶菌性を示すこと。
- 3) 食品中での安定性が優れていること。

等である。ファージは宿主細胞表面上に存在する物質（レセプター）のいずれかを自身の持つレセプター結合タンパク質で特異的に認識して感染を開始する。そのため、レセプターとその結合タンパク質の組み合わせにより宿主とファージの関係は多様である。したがって、宿主域の評価を行うと、実際に分離したファージがわずかな供試菌株にしか感染しないことがある。例えば、Carvalho らの報告⁹⁾では、鶏肉より分離した43株の *Campylobacter* ファージは15株の *C. coli* と *C. jejuni* のうち27～93%に感染したが、いずれのファージも感染しな

表1 食品微生物制御におけるファージ利用の主な利点

利点

1. 食品の味や香り、見た目、成分に影響を及ぼさない
2. 有害な細菌のみを選択的に殺菌できる
3. ファージは天然物である
4. 容易に調製できる

表2 使用するファージに求められる要素

ビルレントファージであるか
病原性および薬剤耐性に関与する遺伝子を持っていないか
適切な宿主域を示すか
優れた溶菌性を示すか
食品中で安定であるか

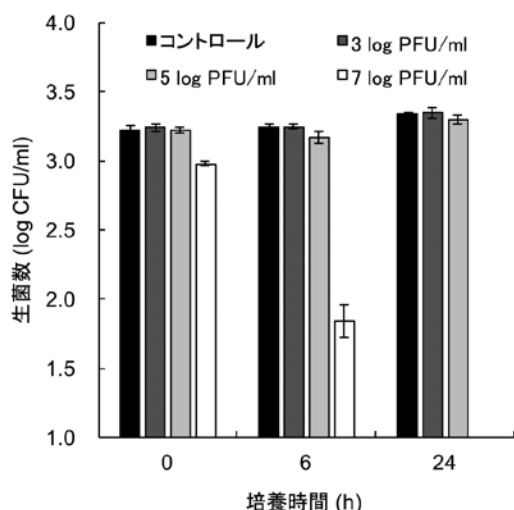


図3 殺菌力に及ぼすファージ接種濃度の影響。液体培地に供試菌を 10^3 CFU/mL となるように接種し、ファージを 10^3 , 10^5 , 10^7 PFU/mL となるように接種して 4°C で培養した。

い *Campylobacter* 菌株が存在したことを報告している。そのため、一株のファージのみによるファージセラピーは溶菌効果を発揮する宿主域の観点から望ましくなく、感染部位の異なるファージを混合したファージカクテルによって、各ファージの宿主域を補うことが必要となる。また、ファージカクテルはファージ耐性菌の出現に対しても抑止力があると考えられている。現在販売されているファージ製剤もファージを混合したカクテルとして製剤化されているものが多い。したがって、ファージの利用を考える場合、安全かつ優れた感染特性を示すファージを複数株分離することが必須である。また、宿主域の評価を確実に行うためのホスト菌株も多数必要となる。

実際の食品におけるファージの利用を想定すると、使用するファージ溶液は高濃度でなければならない。通常、食品を汚染する病原細菌の付着数は少ないため、これを制御するために使用するファージ溶液も低濃度で良いと思われるがちである。しかし、ファージ溶液の濃度が低い場合、細菌とファージの接触効率が低くなるため殺菌効率も低下してしまうことが既存

の研究成果で指摘されている。筆者らの実験によってもこれと同様の結果が確認されている(図3)。図3は、液体培地にヒスタミン生成菌の一つである *Morganella morganii* を 10^3 CFU/mL となるように接種後、この *M. morganii* に感染するファージを 10^3 , 10^5 , 10^7 PFU (Plaque forming unit; プラーク形成数)/mL となるように接種し、 4°C で培養中の *M. morganii* 生菌数を測定した結果である。 10^7 PFU/mL 接種区では *M. morganii* の生菌数は迅速に低下し、24 時間目には検出限界未満 (< 1 log CFU/mL) となった。一方、 10^3 , 10^5 PFU/mL 接種区では *M. morganii* の生菌数は減少しなかった。よって、細菌に対してファージが十分に存在していても、すなわち *M. morganii* に対して等量 (10^3 PFU/mL)、または 100 倍量 (10^5 PFU/mL) のファージ接種でも、殺菌効果は望めないことが明らかになった。実際の食品における接種実験でも同様の傾向を確認している。よって、実務的には高濃度 (10^8 PFU/mL 程度) のファージ溶液を調製または使用することが求められる¹⁰⁾。最後に、ファージはウイルスである。ファージの利用によって流通する食品の微生物学的な安全性が確保され、使用するファージが安全であると科学的に証明されたとしても、ウイルスを食品に使用すること自体が消費者に受け入れられるかという問題は大きい。

5. 食品へのファージの利用

食品微生物制御におけるファージの利用は既に世界に広まりつつある。主要なファージ製剤としては、オランダ Micros Food Safety 社のリステリアファージ製剤 LISTEXTM、サルモネラファージ製剤 SALMONELEXTM (現在は PhageGuard Listex, PhageGuard S という名称に変更されている)、米国 Intralytix 社の腸管出血性大腸菌 O157:H7 ファージ製剤 EcoShieldTM、サルモネラファージ製剤 SalmoFreshTM、リステリアファージ製剤 ListShieldTM が挙げられる。ファージ製剤は通常加工助剤として使用される。例えば、LISTEXTM は米国 FDA より

表3 ファージ製剤を用いた食品微生物制御の主要な研究例

標的細菌	ファージ または ファージ製剤	食品	結果	備考	参考文献
<i>Listeria monocytogenes</i>	Phage P100 (LISTEX™)	生チーズ	4℃での発育を28日間にわたり抑制	乳酸カリウムおよび二酢酸ナトリウム併用	Soni <i>et al.</i> , 2012. ²⁷⁾
<i>Listeria monocytogenes</i>	LISTEX™	メロン, ナシ, リンゴ 各果実ジュース	果実では1-2 log CFU/plugの減少. メロンジュースでは8 log CFU/mL, ナシジュースでは2 log CFU/mLの減少	リンゴ, リンゴジュースでは有意差なし	Oliveira <i>et al.</i> , 2014. ¹⁶⁾
<i>Listeria monocytogenes</i>	LISTEX™	七面鳥 ローストビーフ	七面鳥は14日間, ローストビーフは28日間にわたり4℃での発育を抑制	乳酸カリウムおよび二酢酸ナトリウム併用	Chibeu <i>et al.</i> , 2013. ¹³⁾
<i>Listeria monocytogenes</i>	Phage P100 (LISTEX™)	ホットドッグ シーフードミックス キャベツ スモークサーモン	コントロールより2 log CFU/g 減少	スモークサーモンのみ効果なし	Guenther <i>et al.</i> , 2009. ¹¹⁾
<i>Listeria monocytogenes</i>	LISTEX™	サーモンフィレ	0.3 log CFU/g まで減少し, 10日間維持		Soni and Nannapaneni, 2010. ¹²⁾
<i>Listeria monocytogenes</i>	LMP-102 (ListShield™)	メロン リンゴ	10℃保存においてコントロールより5.7, 2.3 log CFU/sample 減少	ナイシン併用. ファージ単独ではリンゴへの効果はほぼなし	Leverentz <i>et al.</i> , 2003. ¹⁷⁾
<i>Escherichia coli</i>	ECP-100 (EcoShield™)	ブロッコリー トマト ハウレンソウ 牛肉	10℃保存においてコントロールより2 log CFU/g 程度減少		Abuladze <i>et al.</i> , 2008. ²³⁾
<i>Escherichia coli</i>	ECP-100 (EcoShield™)	レタス メロン	4℃保存においてコントロールより1.6 log CFU/cm ² , 3.1 log CFU/g 程度減少		Sharma <i>et al.</i> , 2009. ²⁶⁾
<i>Escherichia coli</i>	EcoShield™	牛肉 レタス	コントロールより約1 log CFU/g 減少		Carter <i>et al.</i> , 2012. ²⁴⁾
<i>Salmonella enterica</i>	SalmoFresh™	メロン ブロッコリー	メロンで約1.5 log CFU/g, ブロッコリーで1-2.5 log CFU/g 減少		Magnone <i>et al.</i> , 2013. ²⁵⁾

全食品において GRAS (Generally Recognized As Safe) 物質として認められており, Micros Food Safety 社のホームページによると米国, カナダ, スイス, オランダ, イスラエル, ノルウェー, オーストラリアおよびニュージーランドで認可されている。

ファージ製剤の多くはファージ溶液という形

で提供され, 製品に噴霧またはファージ製剤への製品の浸漬という使用方法が想定される。主要なファージ製剤を用いた研究例を表3に示した。例えば, LISTEX™に含まれるリステリアファージ P100 を用いた研究では, リステリア (*Listeria monocytogenes*) を 1×10^3 CFU/g で植菌したホットドッグ, シーフードミックスお

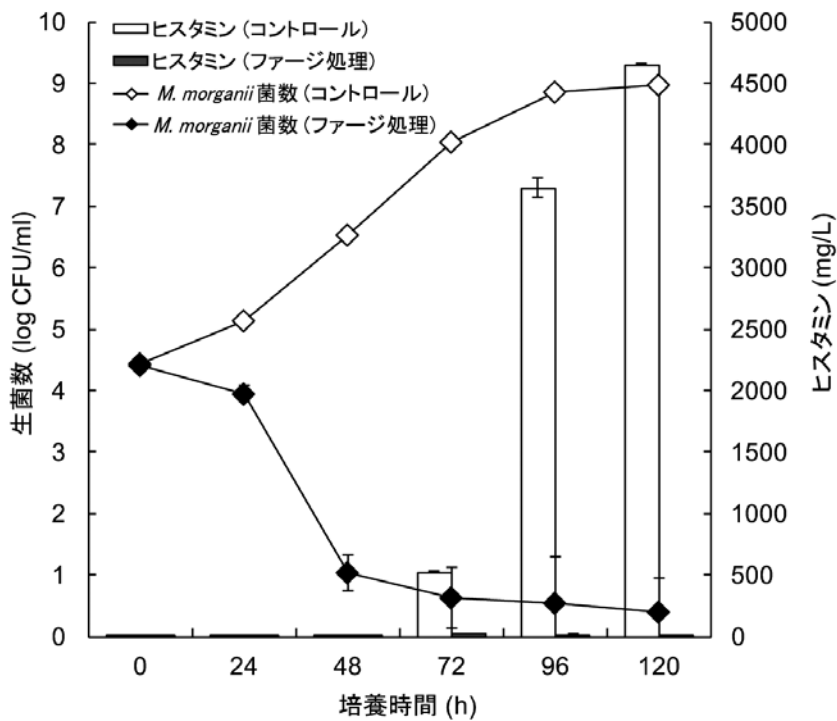


図 4 12℃における *M. morganii* ファージのヒスタミン蓄積抑制。ファージ処理区では実験期間を通じてヒスタミンは検出されなかった。

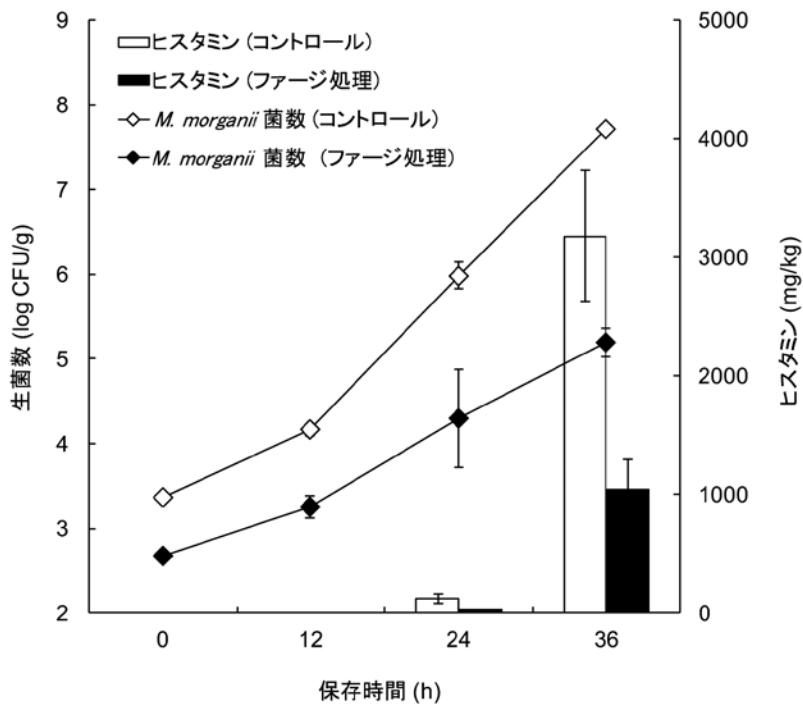


図 5 マグロ魚肉のヒスタミン蓄積に及ぼすファージ処理の影響。マグロの魚肉に 10^3 CFU/g となるように *M. morganii* を接種後、*M. morganii* ファージを接種し、20℃で保存した。

よびキャベツにおいてリステリアの生菌数が、ファージ処理によって対照区(ファージ未処理)よりも $2\text{--}3 \log \text{CFU/g}$ 減少することが実証されている¹¹⁾。また、サーモンフィレ、ローストビーフおよび七面鳥においても LISTEXTM 処理の有効性が確認されている^{12,13)}。

著者らの研究室でも、赤身魚を起因するヒスタミン食中毒を防止するため、ヒスタミン生成菌を溶菌するファージの探索と分離を行い、その性状と水産食品におけるヒスタミン蓄積抑制能を調べている。これまで、強力なヒスタミン生成能を示す中温性細菌 *M. morganii* subsp. *morganii* および *Photobacterium damsela* subsp. *damsela* に感染するファージの分離に成功し^{14,15)}、その利用特性について研究を行ってきた。その内容の一部を紹介すると、函館市内の河川水より分離した *M. morganii* ファージ FSPI は様々な温度と pH 環境下で安定であり、強力な抗菌活性を示すこと¹⁴⁾、また、液体培地の実験において 10^4CFU/mL で *M. morganii* を接種し 12°C で培養した試料において未処理区では最大 $4,500 \text{mg/L}$ のヒスタミンが蓄積したのに対し、ファージ処理区では実験期間を通じて *M. morganii* の生菌数は大きく減少し、それに伴いヒスタミン蓄積も全く確認されないことを示した(図4)。また、マグロの魚肉におけるヒスタミン蓄積に及ぼすファージ処理の影響を図5に示した。ファージ処理区では、未処理区に比べて *M. morganii* の発育と魚肉中のヒスタミン蓄積が抑えられていた。ヒスタミン食中毒にファージを応用するためには、*M. morganii* 以外のヒスタミン生成菌に対しても感染するファージを複数確保する必要があるが、水産食品におけるヒスタミン蓄積抑制に対しても新しい微生物制御法のひとつとしてファージの利用は有効な手法となり得ると考えている。

これまではファージの有効性について述べてきたが、ファージを利用しても殺菌効果が得られない場合がある。Oliveira ら¹⁶⁾ はリンゴジュースの *L. monocytogenes* 制御に ListexTM の利用を試みたが、ファージ処理による *L.*

monocytogenes の減少は認められなかった。この時のリンゴジュースの pH は 3.70 であり、リンゴジュース内のファージが酸性環境下で急速に死滅したために殺菌効果を得られなかったと結論づけている。同様の結果は Leverentz ら¹⁷⁾ によっても報告されており、低 pH の食品ではファージの殺菌効果が損なわれる可能性がある。

6. ファージ耐性菌

ファージは選択性を示す優れた殺菌剤と考えられている。しかし、抗生物質と同様に、細菌は容易にファージ耐性を獲得することがわかっている。細菌の獲得するファージ耐性機構は複数存在し、レセプターの変異やブロッキングによるファージ吸着の阻害、ファージ DNA の注入阻害、ファージ DNA の切断(制限修飾系、CRISPR-Cas system)、不稔感染などが知られている¹⁸⁾。近年では、細菌がクオラムセンシングにより細胞表面のタンパク質発現量を変化させ、ファージ感受性を変化させる場合があると報告されており¹⁹⁾、ファージと細菌の関係についてはまだまだ不明な部分も多い。

これまで、チョコレートミルクや卵黄、牛肉でファージ処理後の耐性菌の出現が報告されている^{20,21)}。一方、Guenther ら¹¹⁾の報告では、ホットドッグ、七面鳥、スモークサーモン、シーフードミックス、キャベツ、レタスからはファージ耐性菌が分離されなかったとある。筆者らも魚肉からのファージ耐性菌分離を試みたが、これまでファージ処理後の耐性菌の出現は確認されていない。

ファージ耐性菌の出現を防止するためには、ファージカクテルの利用が有効と考えられている。これは、あるファージに耐性を獲得した細菌に対してカクテル内の異なるファージが出現した耐性菌を殺菌することができるためである。Tanji ら²²⁾ は大腸菌ファージ SP21 と SP22 の組み合わせによって耐性菌の出現が遅延することを報告している。しかし、ファージ SP22 と PP17 の組み合わせでは耐性菌の出

現を完全に防ぐことはできていない。したがって、耐性菌が出現しない適切なファージの組み合わせが必要と考えられる。前述したファージの宿主域と耐性菌出現の防止対策という点から、食品へのファージ利用には複数株ファージを混合したカクテルを使用しなければならないと考えられる。

おわりに

食品の加工流通過程が複雑化している現在、食品の安全性確保はますます重要となっている。ファージの利用は、殺菌作用に選択性があること、食品の味や香り、成分に影響を及ぼさないことなど食品加工上優れた性質を持つ新たな非加熱殺菌技術として諸外国では注目を集めている。日本における食品微生物制御へのファージの利用は、なかなか道筋が見えない状

況ではあるが、新しい微生物制御法の模索、開拓は必要であり、大学という教育・研究機関だからこそできることもあると考える。ファージの利用には、多くの利点はあるが、実用にあたっては様々な課題も存在する。筆者らも、食品へのファージ利用が実現される時を見据え、現在、基礎的知見を獲得し、これら技術の発展に少しでも貢献できればと考えている。

謝辞

本稿では、一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC 様より許可を頂き、「食品微生物制御におけるバクテリオファージの利用 (SUNATEC e-Magazine, vol. 124, 2016)」を基に、加筆修正いたしました。一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC 様に深謝申し上げます。

参考文献

1. Leistner, L. and Gorris, L.: Food preservation by hurdle technology. *Trends Food Sci. Tech.* **6**, 41–46. 1995.
2. Sulakvelidze, A., Alavidze, Z., Morris, J.G.: Bacteriophage therapy. *Antimicrob. Agents Chemother.* **45**, 649–659. 2001.
3. Brüssow, H. and Hendrix, R. W.: Phage genomics: small is beautiful. *Cell* **108**, 13–16. 2002.
4. Nakonieczna, A., Cooper, C.J. and Gryko, R.: Bacteriophages and bacteriophage-driven endolysins as potential therapeutics to combat Gram-positive spore forming bacteria. *J. Appl. Microbiol.* **119**, 620–631. 2015.
5. Wagner, P.L. and Waldor, M.K.: Bacteriophage control of bacterial virulence. *Infect. Immun.* **70**, 3985–3993. 2002.
6. Kutateladze, M. and Adamia, R.: Bacteriophages as potential new therapeutics to replace or supplement antibiotics. *Trends Biotechnol.* **28**, 591–595. 2010.
7. Loc-Carrillo, C. and Abedon, S.T.: Pros and cons of phage therapy. *Bacteriophage* **1**, 111–114. 2011.
8. Whitman, P.A. and Marshall, R.T.: Isolation of psychrophilic bacteriophage-host systems from refrigerated food products. *Appl. Microbiol.* **22**, 220–223. 1971.
9. Carvalho, C., Susano, M., Fernandes, E., Santos, S., Gannon, B., Nicolau, A., Gibbs, P., Teixeira, P. and Azeredo, J.: Method for bacteriophage isolation against target *Campylobacter* strains. *Lett. Appl. Microbiol.* **50**, 192–197. 2010.
10. Hagens, S. and Loessner, M. J.: Bacteriophage for biocontrol of food borne pathogens: calculations and considerations. *Curr. Pharma. Biotech.* **11**, 58–68. 2010.
11. Guenther, S., Huwyler, D., Richard, S. and Loessner, M. J.: Virulent bacteriophage for efficient biocontrol of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat-foods. *Appl. Environ. Microbiol.* **75**, 93–100. 2009.
12. Soni, A.K. and Nannapaneni, R.: Bacteriophage significantly reduces *Listeria monocytogenes* on raw salmon fillet tissue. *J. Food Prot.* **73**, 32–38. 2010.
13. Chibeu, A., Agius, L., Gao, A., Sabour, P. M., Kropinski, A. M. and Balamurugan, S.: Efficacy of bacteriophage LISTEXTMP100 combined with chemical antimicrobials in reducing *Listeria monocytogenes* in cooked turkey and roast beef. *Int. J. Food Microbiol.* **167**, 208–214. 2013.
14. Yamaki, S., Omachi, T., Kawai, Y. and Yamazaki, K.: Characterization of a novel *Morganella morganii* bacteriophage.

- ophage FSP1 isolated from river water. *FEMS Microbiol. Lett.* **359**, 166–172. 2014.
15. Yamaki, S., Kawai, Y. and Yamazaki, K.: Characterization of a novel bacteriophage, Phd1, infecting histamine-producing *Photobacterium damsela* subsp. *damsela*. *J. Appl. Microbiol.* **118**, 1541–1550. 2015.
 16. Oliveira, M., Viñas, I., Colás, P., Anguera, M., Usall, J. and Abadias, M.: Effectiveness of a bacteriophage in reducing *Listeria monocytogenes* on fresh-cut fruits juices. *Food Microbiol.* **38**, 137–142. 2014.
 17. Leverentz, B., Conway, W.S., Camp, M.J., Janisiewicz, W.J., Abuladze, T., Yang, M., Saftner, R. and Sulakvelidze, A.: Biocontrol of *Listeria monocytogenes* on fresh-cut produce by treatment with lytic bacteriophages and a bacteriocin. *Appl. Environ. Microbiol.* **69**, 4519–4526. 2003.
 18. Labrie, S.J., Samson, J.E. and Moineau, S.: Bacteriophage resistance mechanisms. *Nat. Rev. Microbiol.* **8**, 317–327. 2010.
 19. Høyland-Kroghsbo, N.M., Mørkedahl, R.B. and Svenningsen, S.L.: A quorum-sensing-induced bacteriophage defense mechanism. *mBio* **4**, e00362-12. 2013.
 20. Guenther, S., Herzig, O., Fieseler, L., Klumpp, J. and Loessner, M.J.: Biocontrol of *Salmonella* Typhimurium in RTE foods with the virulent bacteriophage FO1-E2. *Int. J. Food Microbiol.* **154**, 66–72. 2012.
 21. Tomat, D., Migliore, L., Aquili, V., Quiberoni, A. and Balagué, C.: Phage biocontrol of enteropathogenic and shiga toxin-producing *Escherichia coli* in meat products. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* **3**, 20. 2013.
 22. Tanji, Y., Shimada, T., Yoichi, M., Miyanaga, K., Hori, K. and Unno, H.: Toward rational control of *Escherichia coli* O157:H7 by a phage cocktail. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **64**, 270–274. 2004.
 23. Abuladze, T., Li, M., Menetrez, M.Y., Dean, T., Senecal, A. and Sulakvelidze, A.: Bacteriophages reduce experimental contamination of hard surfaces, tomato, spinach, broccoli, and ground beef by *Escherichia coli* O157:H7. *Appl. Environ. Microbiol.* **74**, 6230–6238. 2008.
 24. Carter, C.D., Parks, A., Abuladze, T., Li, M., Woolston, J., Magnone, J., Senecal, A., Kropinski, A.M. and Sulakvelidze, A.: Bacteriophage cocktail significantly reduces *Escherichia coli* O157:H7 contamination of lettuce and beef, but does not protect against recontamination. *Bacteriophage* **2**, 178–185. 2012.
 25. Magnone, J.P., Marek, P.J., Sulakvelidze, A. and Senecal, A.G.: Additive approach for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Shigella* spp. on contaminated fresh fruits and vegetables using bacteriophage cocktail and produce wash. *J. Food Prot.* **76**, 1336–1341. 2013.
 26. Sharma, M., Patel, J.R., Conway, W.S., Ferguson, S. and Sulakvelidze, A.: Effectiveness of bacteriophages in reducing *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut cantaloupes and lettuce. *J. Food Prot.* **72**, 1481–1485. 2009.
 27. Soni, A.K., Desai, M., Oladunjoye, A., Skrobot, F. and Nannapaneni, R.: Reduction of *Listeria monocytogenes* in queso fresco cheese by a combination of listericidal and listeristatic GRAS antimicrobials. *Int. J. Food Microbiol.* **155**, 82–88. 2012.

生体指標と機能性生体指標を用いる 新しい栄養指導方法

柴田 克己 (SHIBATA Katsumi)*

* 甲南女子大学 看護リハビリテーション学部 理学療法学科

Key Words：生体指標 機能性生体指標 ビタミン 栄養指導方法 尿

要旨

食べた物の栄養価に基づいて、食べた人の栄養評価を行う間接的な栄養指導方法の限界を打破するために、食べた人側の情報に基づくより直接的な栄養指導方法の一つを紹介する。尿は非侵襲性の生体試料である。尿中には余剰の栄養素やいわゆる老廃物ばかりでなく、完全に代謝しきれなかった中間代謝産物も排泄される。我々は、尿中に排泄された水溶性ビタミン（ビタミンの過不足を意味する。生体指標と呼ぶ。）ならびにビタミンが関与する中間代謝産物である 2- オキソ酸（グルコース、アミノ酸、脂肪酸がエネルギー産生系で処理される時に生成する中間代謝産物で、エネルギー産生がスムーズでない時に蓄積し、尿中への排泄量が増大する）を測定することにより、食べた人の栄養素の体内動態を推測した（機能性生体指標と呼ぶ）。

はじめに

食べ物と健康との関係が経験的なレベルから科学的なレベルになってきたのは、すなわち EBN（Evidence Based Nutrition）になってきたのは、すべての栄養素が発見され、すべての栄養素の必要量がほぼわかってきたこと、さらに、すべて栄養素の体内運命（消化・吸収、配分、代謝、排泄）の解明が進んできたことによる。栄養指導方法の進歩をごく簡単にまとめる。1999 年度（第五次改定日本人の栄養所要量）までの「栄養評価」は、食べた物の種類と量からエネルギー・栄養素を、食品成分表を用いて計算し、それらの値が所要量を上回っていれば充足、下回っていれば欠乏と評価し、足りない量のエネルギー・栄養素を食べ物からうまく摂取させるように指導するという方法であった。食べた人の栄養状態を評価するのではなく、食

べ物の栄養価に重点を置いた間接的な栄養評価方法に基づいて栄養指導を行っていた。食べ物が十分に食べられない時代にはこのような栄養指導方法が適切であった。事実、食べ物側にたった栄養指導方法で、日本人の平均寿命は 80 歳を有に超えてきた。21 世紀に入った現在（2017 年）では、60 歳を超えて元気ならば、90 歳ぐらいまでは元気に生きられると思うようになってきた。

21 世紀になると高齢者が多くなってきた、このような時期であった 2000 年度に、「第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取規準－」が策定された。この食事摂取規準は 2004 年度まで使用された。この期間（2000 年度～2004 年度）は、栄養評価方法の混乱期であった。2 種類の栄養所要量が存在した。一つは平均必要量が推定できた場合の栄養所要量、もう一つは平

均必要量の推定が困難な場合の栄養所要量であった。さらに、許容上限摂取量という数値も策定された。第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－の混乱ぶりがよくわかる。2005年度から2009年度に使用された「日本人の食事摂取基準（2005年版）」で食事摂取基準の概念の確立がはかられ、2010年度から2014年度で使用された「日本人の食事摂取基準（2010年版）」で食事摂取基準の概念の活用の時代となった。現在使用されている「日本人の食事摂取基準（2015年版）」は¹⁾、生活習慣病の発症予防に加えて重症化予防にも踏み込んだ策定となった。食事摂取基準は、策定された数値を守る時代から管理栄養士・栄養学者をはじめ「食」を通じて健康の保持・増進にかかわる人がうまく活用する時代に入った。

日本は、平均寿命が延びて、人類がかつて経験したことのない未経験ゾーンに入ってきた。食物の栄養評価に加えて、その食事を食べた人の健康影響評価も必要となってきた。栄養評価を「ものからひとへ」、である。より精度・正確度の高い栄養評価方法に基づく栄養指導方法の開発が必要となってきた。

1. 栄養指導の基本的な指導方法：

A・PDCA サイクル

PDCA サイクル（PDCA cycle, plan-do-check-act cycle）は、事業活動における生産管理や品質管理などの管理業務を円滑に進める手法の一つである。この考え方が栄養指導法に取り入れられている。この既存の栄養評価に加えて生体指標と機能性生体指標を加えた新しいA・PDCA サイクルを提案したい（図1）。

この指導方法においては、まず、「A（食事摂取状況のアセスメント）」つまり、個人の食べた物の栄養価計算を行うために、摂取したエネルギー・栄養素をしっかりと把握すること、つまり精度・正確度の高い食事調査を行うことが強調されている。この方法の限界は、①摂取した栄養素量のもととなる食事調査は、対象者となる「いわゆる素人」がおこなうことが多いため精度が低い、②栄養素摂取量の計算は「日本食品標準成分表」²⁾に頼らざるをえない。そのため、微量栄養素は概数となる。特に、破壊されやすい微量栄養素であるビタミンは、食品の質、保存状態、加工方法、調理方法、調理後いつ食べたのか、などにより、無視できないほ

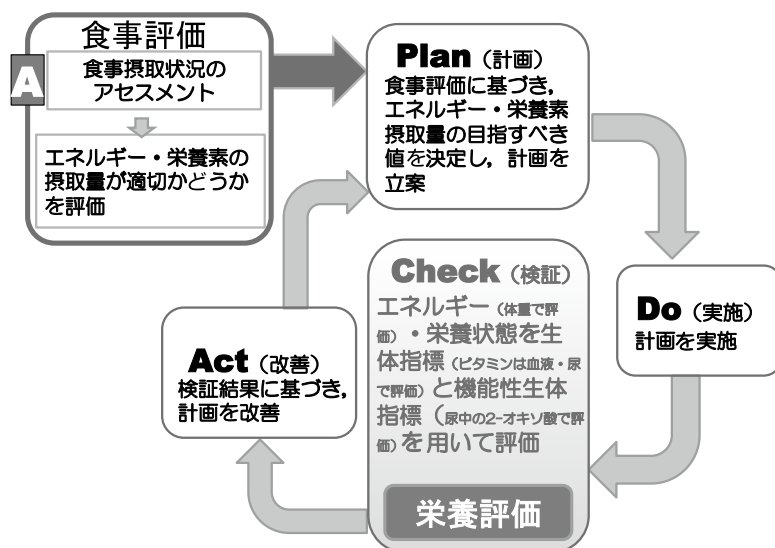


図1 既存の栄養評価に加えて生体指標と機能性生体指標を加えた新しいA・PDCA サイクル

既存のA・PDCAサイクルの「Check（検証）」の栄養評価において、エネルギー・栄養素摂取量を食事の栄養評価に加えて、「生体指標と機能性生体指標を用いて評価」を追加したもの。

ど含量が大きく異なってくる、③自分自身の調査結果の「いいかげんさ」がわかるため、たとえ、悪い評価を受けても、真摯に受け止めない、という点である。これらの限界を打ち破るために、尿中の栄養素ならびにそれら代謝産物を測定することで、大変多くの生体内栄養素代謝情報が得られることを明らかにしてきた。

人を対象とした研究は倫理上制約が多いが、尿は非侵襲性生体試料であること、採尿は対象者自身でも可能である。栄養学領域のほとんどの対象者は健康な個人および健康な人々の集団である。栄養学の知識・技術で貢献できることは健康の保持・増進、すなわち必要な栄養素がコンスタントに摂取されているかをモニターする手段を提供することにある。栄養素の中で最も管理が難しいのが有機微量必須栄養素であるビタミンである。したがって、「ビタミンの貯蔵量の減少をモニターする」ことが健康の保持・増進となる。さらに、ビタミンの体内貯蔵量の減少が継続すると、ビタミンの機能性分子である補酵素レベルが低下し、栄養素の代謝変動がみられる。代謝変動はエピゲノム変化よりも速やかに現れるため、代謝変動を利用して、いち早く体内栄養環境の悪化状態を評価することができる。

2. ビタミン貯蔵量の減少をモニターする方法の開発（生体指標の開発）

水溶性ビタミン摂取量が増えていくと、肝臓濃度が飽和する。同時に血中濃度が飽和してくる。この条件が整うと、はじめて、尿中に水溶性ビタミンの排泄が認められ、それ以降は、水溶性ビタミン摂取量の増大に伴い、ほぼ直線的に増大する²⁾。つまり、尿中へのビタミン排泄量は余剰量を意味する値である。

図2は、水溶性ビタミン欠乏食投与後の血液

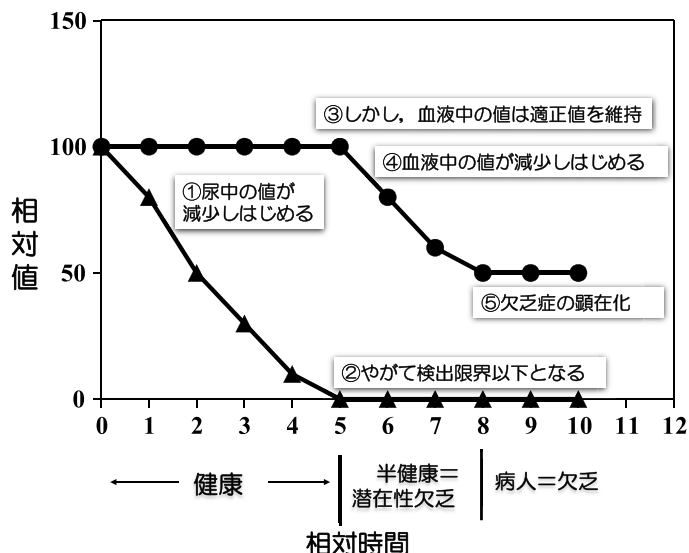


図2 ビタミン欠乏食投与後の血中濃度と尿中排泄量との関係の概念図

●, 血液; ▲, 尿。

中と尿中の水溶性ビタミンの変化を模式的に書いた図である。縦軸は欠乏食投与前の値を100とした時の相対値を、横軸は相対時間を示す。図2の横軸に示した「健康」「半健康＝潜在性欠乏」「病人＝欠乏」というのは評価を示す。健康を維持するという視点では、①尿中の値が減少し始めたところで、対象者に対して、栄養指導を行い、適正な栄養素摂取量を提言し、より良い食生活行動に変容させることが大切である。

表1にまとめた数値は健康を維持するための目標尿中排泄量である（欠乏症の回避と過剰摂取による健康障害の回避）。多くの健康なヒトの実験データを基に、試算した数値である^{3,4)}。

表2はある被験者（高齢者）の評価シートである。人類は長い間、生き物を食べ物として摂取してきた。最近では、非常に便利な食べ物が出現し、一つの栄養素のみを含む食べ物も容易に入手できるようになった。便利ではあるが、食品栄養学的な知識がないと、過剰摂取による健康被害を受けるかもしれない。さらに、ある栄養素を添加した食品も存在する。したがって、知らず知らずのうちにある栄養素、特に、ビタミンを必要量以上、摂取している可能性もある。

表1 健康を維持するための尿中ビタミン目標排泄量

ビタミン (単位)	(10～12歳)	(18～69歳)	(70歳以上)
ビタミン B ₁ (μg/日)	70～300	100～400	100～400
ビタミン B ₂ (μg/日)	60～250	70～350	70～350
ビタミン B ₆ (μg/日)	300～1000	500～1400	500～1400
ナイアシン (mg/日)	4.5～20	6.0～25	6.0～25
パントテン酸 (mg/日)	1.5～5.5	2.2～7.0	2.2～7.0
葉酸 (μg/日)	4.5～15	7～20	7～20
ビオチン (μg/日)	8.5～30	10～40	10～40
ビタミン C (mg/日)	20～90	25～90	25～90

表2 1日尿中の水溶性ビタミン排泄量

ビタミン (単位)	測定結果	目標量 (高齢者)	コメント
ビタミン B ₁ (μg/日)	1938	100～400	サプリメントからビタミン B ₁ を大量に摂取している可能性があります。用量に気をつけてビタミン B ₁ を摂取してください。必要量は 1.2 mg/日です。
ビタミン B ₂ (μg/日)	2526	70～350	サプリメントからビタミン B ₂ を大量に摂取している可能性があります。用量に気をつけてビタミン B ₂ を摂取してください。必要量は 1.2 mg/日です。
ビタミン B ₆ (μg/日)	3978	500～1400	サプリメントからビタミン B ₆ を大量に摂取している可能性があります。用量に気をつけてビタミン B ₆ を摂取してください。必要量は 1.1 mg/日です。
ナイアシン (mg/日)	10.3	6.0～25	ナイアシンの摂取に問題はありません。必要量は 12 mg/日です。
パントテン酸 (mg/日)	1.3	2.2～7.0	パントテン酸を十分に摂取できていない可能性があります。必要量は 5 mg/日です。
葉酸 (μg/日)	6.2	7～20	葉酸を十分に摂取できていない可能性があります。必要量は 240 μg/日です。
ビオチン (μg/日)	35	10～40	ビオチンの摂取に問題はありません。必要量は 50 μg/日です。
ビタミン C (mg/日)	12	25～90	ビタミン C を十分に摂取できていない可能性があります。必要量は 100 mg/日です。

総合コメント：

一部のビタミンを十分に摂取できていない可能性、一部のビタミンを大量に摂取している可能性があるため、一度、管理栄養士に栄養指導を受けてください。

ビタミンは摂取量が必要量よりも少なければ、尿中に排泄されないし、余剰分があればその余剰分だけが排泄される。したがって、尿中のビタミン排泄量を知った上で栄養評価を行い、栄養指導を行うことでよりレベルの高い指導ができる。精度と正確度が高くなる。このような生体指標に基づいた栄養評価を示しつつ行う栄養

指導は説得力があり、食生活行動の変容につながりやすい、という評価を得ている。

3. ビタミンの機能をモニターする方法の開発 (機能性生体指標の開発)

食べ物が寿命に影響をおよぼすこと、つまり、個々人に合った適正なエネルギー・栄養素の摂

2-オキソ酸：エネルギー産生栄養素の異化代謝の中間代謝産物

⇒異化代謝には B群ビタミンが補酵素として働く

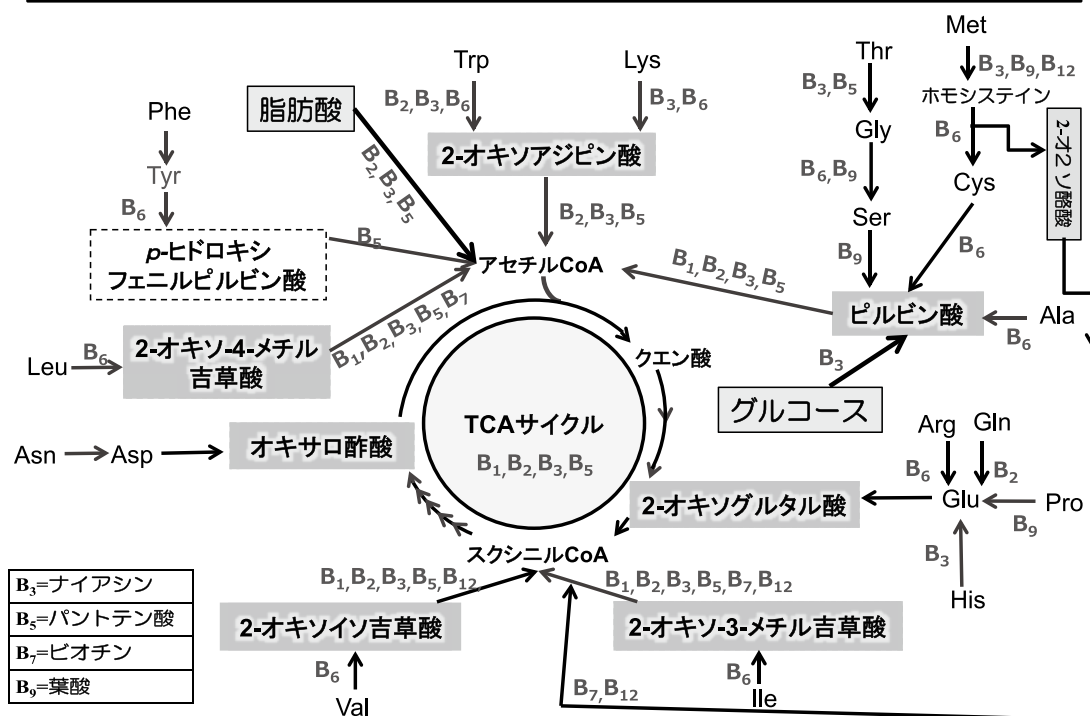


図3 アミノ酸・グルコース・脂肪酸代謝とビタミン

2-OBA = 2-オキソ酪酸, 2-OAA = 2-オキソアジピン酸, 2-O-4-MVA = 2-オキソ-4-メチル吉草酸, PyA = ピルビン酸, OXAA = オキサロ酢酸, 2-OGA = 2-オキソグルタル酸, 2-O-3-MVA = 2-オキソ-3-メチル吉草酸, 2-OIVA = 2-オキシイソ吉草酸。

取が健康寿命を延伸させることは衆知され、常識となっている。しかしながら、上述のように、最近の超高齢化時代における健康寿命の延伸には、従来の食事調査によって得られた食べ物の栄養価計算に基づく栄養指導には限界がきている。この限界を打ち破る方法の一つとして、食べたヒトの栄養状態の情報を加味した新しい栄養指導が必要であると考え、尿という非侵襲性の生体指標を用いる水溶性ビタミン排泄量を指標とした栄養評価方法を創生した⁴⁾ (「2」を参照)。しかしながら、限界点として、尿中のビタミン量を測定するだけで、ビタミンの生理機能が反映されていないことがあった。そこで、食事評価+生体指標評価に、機能性生体指標評価を加えた栄養指導方法の開発に取り掛かっ

た。機能性生体指標評価とは、ビタミンを必要とするアミノ酸、グルコース、脂肪酸の代謝産物変動を利用して、ビタミンが関与する代謝能力（生理機能）を推定する方法である（図3）。

この打開策（解決策）で体内のビタミン栄養環境の変動をいち早く知ることが可能となる。すなわち、尿を用いて、食べた物が人の体を作り、修復し続け、維持する一連の代謝を評価することで、望ましくない体内環境をいち早く察知し、栄養指導を行う一つの方法である。以下、具体的に紹介する。ビタミンの機能性生体指標を検索する手始めとして、アミノ酸の一つであるトリプトファン代謝を利用した機能性生体指標に関する報告を行った⁵⁾。トリプトファンの異化代謝経路で生成する2-オキソ酸の

4-(2-aminophenyl)-2,4-dioxobutanoate から非酵素的反応により生成するキヌレン酸と 4-(2-amino-3-hydroxyphenyl)-2,4-dioxobutanoate から非酵素的反応により生成するキサントレン酸の尿中排泄量が、ビタミンを補給すると低下するか否かで評価する方法である。さらに、一般化するために、ビタミンを必要とするアミノ酸やグルコース、脂肪酸の代謝産物である他の 2-オキソ酸排泄量の変動を利用して、ビタミン補酵素が関与する酵素の代謝能力を推定する方法を開発した。

ビタミン欠乏動物では、特徴的な尿中 2-オキソ酸レーダーチャートが得られた (図 4)⁶⁾。完全栄養食を投与したラットの尿中の各 2-オキソ酸排泄量を 100 とした時の相対値で比較した結果、パントテン酸欠乏 1 か月程度の投与で

はロイシンの代謝産物である 2-オキソ-4-メチル吉草酸 (2-OIVA) の排泄量が著しく高くなった。ビタミン B₁ 欠乏 1 か月程度の投与ではすべての 2-オキソ酸の排泄量が高くなった。ビタミン B₆ 欠乏 1 か月程度の投与では対照群と比べて大きな差異は認められなかった。これは、1 か月程度では十分なビタミン B₆ 欠乏状態になっていなかったものと考えられた。ヒトにおける尿中 B 群ビタミン排泄量と分岐鎖 2-オキソ酸排泄量との関係を調べた (表 3)⁷⁾。表 3 に示したように、2-オキソ酸脱水素酵素の補酵素として機能しているビタミン B₁、ビタミン B₂、ナイアシン、およびパントテン酸の尿中排泄量は、三分位間 (高位, 中位, 低位。ビタミン剤を補給していない時の尿中への分岐鎖 2-オキソ酸の合計排泄量によって分別) で有

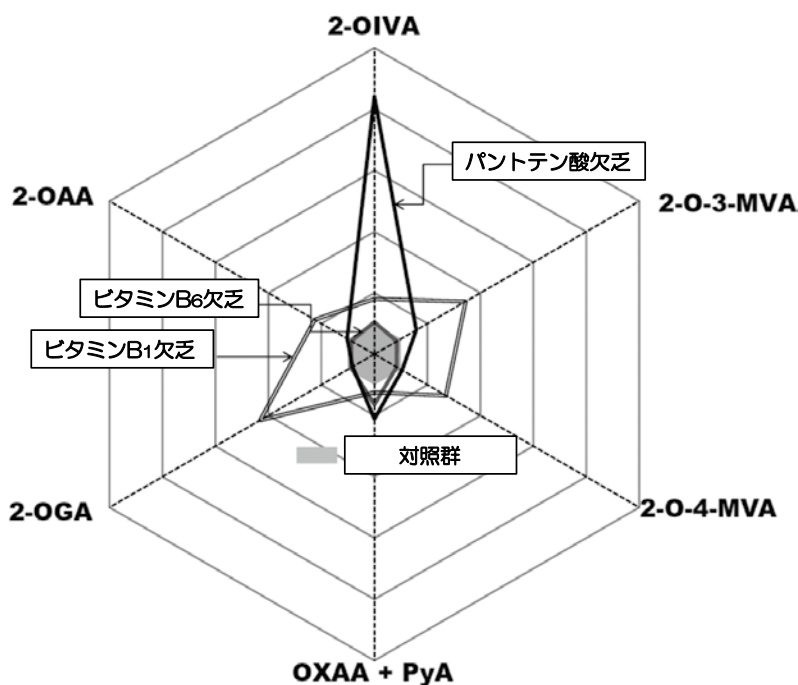


図 4 ビタミンの機能性生体指標としての 2-オキソ酸レーダーチャート (ラット実験)

ラットに栄養学的完全食を投与した時に排泄される各々の 2-オキソ酸量に対する相対的な 2-オキソ酸量を示す。対照群は灰色で示した。2-OIVA, 2-オキソイソ吉草酸 (バリン由来); 2-O-3-MVA, 2-オキソ-3-メチル吉草酸 (イソロイシン由来); 2-O-4-MVA, 2-オキソ-4-メチル吉草酸 (ロイシン由来); OXAA, オキサロ酢酸 (アスパラギン, アスパラギン酸由来); Pyr, ピルビン酸 (アラニン, グリシン, セリン, スレオニン, システイン, メチオニン由来); 2-OGA, 2-オキソグルタル酸 (グルタミン, グルタミン酸, アルギニン, プロリン, ヒスチジン由来); 2-OAA, 2-オキソアジピン酸 (リシン, トリプトファン由来)。

表3 三分位（高位、中位、低位）に分類された対象者（ビタミン剤非補給時）のB群ビタミンの尿中排泄量⁵⁾

パラメータ	高位 (n=10)	中位 (n=9)	低位 (n=10)
分岐鎖 2- オキソ酸 (μmol/ 日)	17.13 ± 7.16 ^a	9.33 ± 1.11 ^b	6.15 ± 0.74 ^c
範囲 (μmol/ 日)	(11.25-29.47)	(7.91-11.00)	(5.19-7.18)
B ₁ : Thiamin (nmol/ 日)	962 ± 571	1050 ± 842	927 ± 488
B ₂ : Riboflavin (nmol/ 日)	400 ± 271	677 ± 502	486 ± 257
ナイアシン : MNA+2-Py+4-Py (μmol/ 日)	96.8 ± 27.9	74.2 ± 33.2	71.1 ± 31.1
B ₆ : 4-PIC (μmol/ 日)	14.5 ± 21.6	11.5 ± 5.9	10.9 ± 5.3
パントテン酸 : パントテン酸 (μmol/ 日)	12.5 ± 3.6	13.8 ± 4.1	13.9 ± 3.4

値は平均値±SD。有意差検定は一元配置の分散分析を行った後、Tukeyの多重比較を行った。P<0.05を有意差とした。異なる添え字は有意差が認められたことを示す。

MNA, N¹-メチルニコチンアミド；2-Py, N¹-メチル-2-ピリドン-5-カルボキサミド；4-Py, N¹-メチル-4-ピリドン-3-カルボキサミド；4-PIC, 4-ピリドキシン酸。

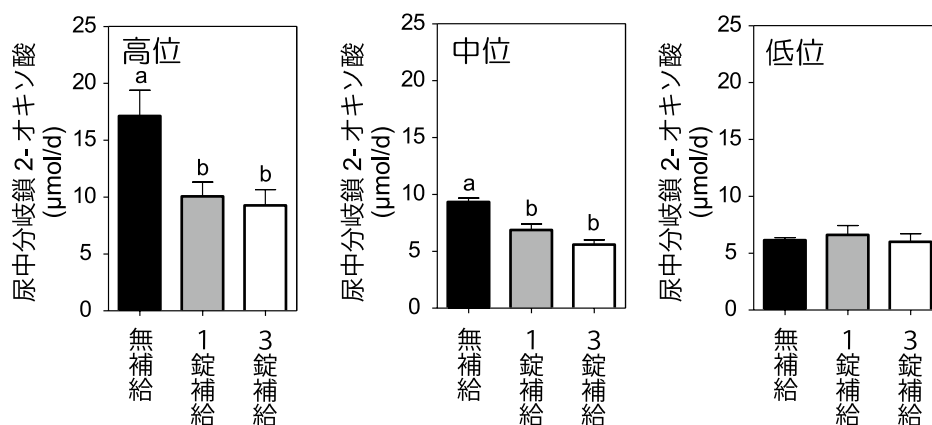
図5 尿中分岐鎖 2- オキソ酸合計排泄量におよぼすビタミン剤補給の影響⁵⁾

表3に示した2-オキソ酸排泄量に応じて三分位に分けた。無補給は食事のみの時の2-オキソ酸排泄量を、1錠補給は食事摂取基準で示されたビタミン量を含むビタミン混合を1錠補給した時の2-オキソ酸排泄量を、3錠補給は食事摂取基準で示されたビタミン量を含むビタミン混合を3錠補給した時の2-オキソ酸排泄量を示す。値は平均値±SD。有意差検定は一元配置の分散分析を行った後、Tukeyの多重比較を行った。P<0.05を有意差とした。異なる添え字は有意差が認められたことを示す。

意な差異は認められなかった。なお、ビタミン摂取量ばかりでなく、エネルギー摂取量や体位などにも有意な差異を見出すことはできなかった⁷⁾。したがって、従来の栄養評価方法（摂取した食事による栄養評価「食事評価」ならびに尿中に排泄されたビタミン量による栄養評価「生体指標による評価」）では、対象者全員がビタミンの栄養状態は良好であると判断されることになる。ところが、2-オキソ酸排泄量が高位と中位の対象者にB群ビタミン剤を補給すると、2-オキソ酸が有意に低下した（図5）。

一方、低位の対象者はビタミン剤を補給しても、低下しなかった（図5）。2-オキソ酸の蓄積は、エネルギー産生物質であるグルコースなどの糖質、タンパク質・アミノ酸、脂肪・脂肪酸からATPを産生する代謝系で生成する重要な中間代謝産物である。2-オキソ酸の蓄積はエネルギー産生経路がスムーズに流れていないことを意味する。したがって、尿中への2-オキソ酸が増加するのは好ましいことではなく、逆に2-オキソ酸の尿中排泄量の低下は栄養学上好ましいことである。したがって、本実験で得られた事

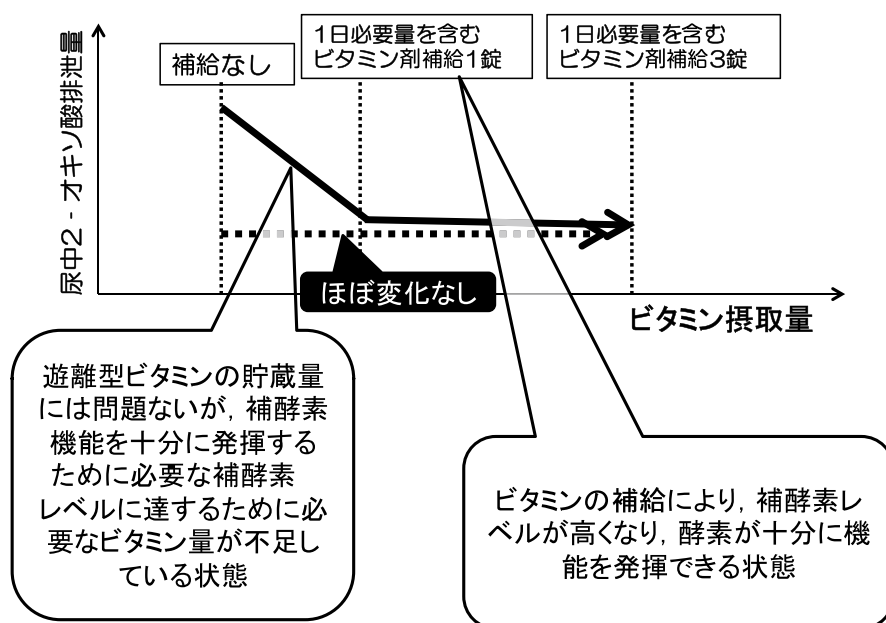


図6 ビタミン潜在性欠乏者のスクリーニング方法

尿中のビタミン排泄量は、遊離型のビタミンの体内貯蔵量の余剰を意味する。活性型である補酵素レベル、すなわち、ビタミンの生理作用を直接反映する数値ではない。尿中へのビタミン排泄量が表1に示した「健康を維持するための尿中ビタミン目標排泄量」の範囲内にあっても、この図に示したように、遊離型のビタミン剤の付加により、2-オキシ酸排泄量が減少する人らが観察された。

実、つまり、ビタミンの補給により尿中2-オキシ酸が低下した人々がいるという事実は、日本にも無視できない潜在性ビタミン欠乏者の存在を意味する。また、2-オキシ酸がB群ビタミンの機能性生体指標としての活用が可能であることを示唆する結果である。図6に示したような方法で、潜在性ビタミン不足をスクリーニングできるものと考ええる。

将来の展望

ここで紹介した方法の限界は、24時間畜尿と分析料金の問題である。24時間畜尿は自分自身で行う。畜尿は、数回すれば慣れるので、限界とはならない。現状における一番のネッ

クは、分析する施設の数と分析に要するお金である。次が、生体指標と機能性生体指標を活用できる管理栄養士の育成である。2-オキシ酸を測定する分析技術は食品中のビタミン定量よりも簡単である。尿は液体なので、抽出操作は不要である。2-オキシ酸は蛍光物質に誘導体化後、HPLCで測定できる。近い将来、この新しい栄養評価と栄養指導を広めるためには、分析で得られた情報を活用できる人材の育成が一番の限界となるように思える。これは、我々のような管理栄養士要請課程の教員の問題とも重なる。栄養素の化学、栄養素の代謝、栄養素の情報機能にも興味をもつ人材の育成である。

参考文献

1. 日本人の食事摂取基準（2015年版）,「日本人の食事摂取基準」策定委員会報告書,平成26年3月,厚生労働省健康局がん対策・健康増進課栄養指導室, <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/0000041824.html>.
2. Shibata K, Matsuo H : Effect of gradually increasing levels of nicotinamide in a niacin-free and tryptophan-limited diet on the blood NAD levels and the urinary excretion of nicotinamide metabolites in rats. *Agric. Biol. Chem.* **53**, 1333-1336, 1989.
3. Shibata K, Fukuwatari T : Values for evaluating the nutritional status of water-soluble vitamins in humans. *J. Integrated OMICS*. **3**, 60-69, 2013.
4. 柴田 克己 : ヒト尿を用いる新しいビタミン栄養状態の創成（日本栄養・食糧学会学会賞受賞総説）. 日本栄養・食糧学会誌, **66**, 3-8, 2013.
5. Shibata K, Hirose J, Fukuwatari T : Method for evaluation of the requirements of B-group vitamins using tryptophan metabolites in human urine. *Int. J. Tryptophan Res.* **8**, 31-39, 2015.
6. Shibata K, Nakata C, Fukuwatari T : High performance liquid chromatographic method for profiling 2-oxo acids in urine and its application in evaluating vitamin status in rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **80**, 304-312, 2016.
7. Shibata K, Sakamoto M : Urine branched-chain 2-oxo acids as a biomarker for function of B-group vitamins in human. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* **62**, 220-228, 2016.

人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (16)

- 新鮮な獣肉から感染する旋毛虫

牧 純 (MAKI Jun)¹ 関谷 洋志 (SEKIYA Hiroshi)¹ 中村 円香 (NAKAMURA Madoka)¹
畑 晶之 (HATA Masayuki)² 玉井 栄治 (TAMAI Eiji)¹ 坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi)³

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 松山大学薬学部物理系薬学講座薬品物理化学研究室,
³ 明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO) 所長

Key Words: 旋毛虫 線虫 獣肉 人体感染

Summary

Jun Maki¹), Hiroshi Sekiya¹), Madoka Nakamura¹), Masayuki Hata²), Eiji Tamai¹),
and Hiroshi Sakagami³)

1) Department of Infectious Diseases, College of Pharmaceutical Sciences, Matsuyama University;
2) Department of Physical Chemistry, College of Pharmaceutical Sciences, Matsuyama University;
3) Meikai University Research Institute of Odontology, M-RIO

Notes on the biohazardous food from the viewpoint of parasite infection (16)-The possible infection of people with *Trichinella spiralis*, a kind of nematode, through the ingestion of raw meats

[Key words: *Trichinella spiralis*, Nematode, Raw meat, Human infection]

The authors have studied (1) the infection of people with *Trichinella spiralis* that will cause social and economic disadvantages and (2) the preventive action that will protect our body from infection via ingested foods.

The adult worms of this parasite, a kind of species of the nematode, inhabit the intestinal wall of mammals. Not eggs but larvae are put out from the adult worms inhabiting the wall of the intestine. The larvae in blood are distributed and encysted in the striated muscles. When these muscles are eaten by mammals, these animals are infected to harbor larval *Trichinella spiralis* in the striated muscles. The life cycle is thus observed in the nature. Syndromes due to the infection of this parasite are as follows: abdominal pain, edema, fever, pain in muscles, high values in eosinophilia, respiratory disorders and myocarditis, sometimes causing lethality.

No fecal examination is of value because larvae (not eggs) are produced into muscles. Immunological methods are important in diagnoses.

Benzimidazoles such as mebendazole are effective for eliminating the parasite nowadays.

要約

人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (16) として、新鮮な獣肉から感染する旋毛虫に関して最新の検討結果も含めて記述する。この寄生線虫は北欧・北米に多いとされてきたが、アフリカケニア、タイなどの東南アジアにもかなり存在する。日本では、これまで青森県、北海道、三重県、鳥取県、山形県、東京都等から検出されたとの報告がある。クマ、イノシシ、ブタの肉の生食で感染した約 100 例が見出されている。例外的にはスッポンからの感染例も報告されている。

哺乳類の横紋筋に幼虫が寄生しており、他の哺乳類にその肉が摂取されると中に含まれる幼虫が腸管で成虫となる。それが産出した幼虫が血行的に横紋筋に撒布される。この筋肉を他の哺乳類が食べることにより感染する。この感染は肉食獣にしばしばみられ、虫体が外気にさらされることはほとんど無い。症状は始めに腹痛、下痢を伴う。続いて発熱、浮腫、筋肉痛に悩まされる。さらに心不全、肺炎により死の転帰をとることもある。診断には、獣肉の生食歴の有無を中心とした問診の後に免疫診断、時に生検が行われる。治療薬としては、メベンダゾール等のベンズイミダゾール系の医薬品が効果を示す。

緒言

寄生虫感染に悩まされてきたのは、現在発展途上といわれる国々と地域に限られたことではない。欧米先進国も日本も長い間苦しんできたし、現在でも油断できない。ヨーロッパ圏内においても国と地域による差は勿論あるが、食材にしっかりと熱を通して食べる習慣があるとは言いきれない。これは食中毒の原因のひとつとなってきた。

寒い地域のヨーロッパで、豚の腸詰めソーセージの危険性が昔から指摘されてきた。北部ドイツには伝統的に食されてきた生肉がある。きちんとあらかじめ十分な加熱処理が施されていれば問題はより小さい。脂肪分の少ない刻まれた豚肉で、*das Mett*⁴⁰⁾ と呼ばれる。刻んだタマネギとともにパンに塗って食べるようである。現在のヨーロッパといえども、例えば、これらのように食中毒の懸念材料は少なくない。刺身感覚で生肉を口にする日本人の間では感染症の発生が問題となるが、そればかりでない。本来熱処理すべき食材でありながら、未処理のままのものもありうる。例えば、名古屋で「恵方巻」の豚肉がナマのままであったという報道があった (日テレ NEWS, 2015 年 2 月 4 日, 読売新聞, 愛媛新聞等 2 月 5 日記事)。報道の時点で食中毒はないとするが、潜伏期が長いゆえ後日症状が現れる病原体感染の可能性は排除できない。少なくともこの時点では否定できない。もしもそれらが寄生虫感染であるとすれば、教科書的には有鉤条虫、旋毛虫などであろう。

事後しばらくの期間、すなわち落ち着くまでは注視せねばならない一件である。

本論文では、世界的に豚肉の生食などが原因となる感染症のひとつである旋毛虫症に注目する。獣肉のナマから感染するといわれる旋毛虫の本来の分布・生活史・症状・診断・治療・予防についての学術発表も含め情報を整理した。本寄生虫の予防・診療の対応策のみならず、大局的には社会・経済損失の軽減に役立つ方向の基盤となる研究を目指した。

材料・方法

寄生線虫類のひとつである旋毛虫について教科書・成書・文献・学会発表およびネット情報等を参照し、重要と思われるものを引用した^{1~37)}。本寄生虫の分布・生活誌 (= 生活史)・症状・診断・病理・治療についてまとめておくことで、社会・経済損失の軽減に役立つ方向の基盤となる研究を目指した。

旋毛虫とは何か? この感染症の理解の一助になるようにと考え、まずは一般的な項目につき調査し記載を行った。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』⁵⁾ に準拠した。

結果・考察

1. 寄生蠕虫類の中の一般的な線虫類に関する概要—線虫類に属する旋毛虫との比較も含めて
[線虫の形態的特徴とその分類]

線虫は実に多種多様な種がある。寄生性の種

類と非寄生性の種類とがある。後者は自由生活の種類とも言われ、例えば分子生物学の研究でよく用いられる *Caenorhabditis elegans* がそれである。これを指して単に「線虫（センチュウ）」と書いてある分子生物学の成書が見うけられる。これは決して間違いではないが、適切とは思われない。それは、例えば桜における記述を「植物」では～というようなものである。

いずれにせよ、線虫には口も肛門もある。即ち消化管が存在する。雌雄も別々である。老廃物は排泄器官を通して出す。

寄生線虫類は人体に寄生して成虫へと发育するものと发育しないものがある。人体がその線虫にとって好適な宿主であれば成虫になれる。本来は他の哺乳動物が終宿主でヒトが非好適な宿主の場合は、幼虫のままであるか、さして发育できない。未成熟な線虫にとどまることもありうる。

今回、対象とする**旋毛虫**は前者である。これは臨床上、実に大切なことである。後者なら当然ながら、虫卵を産下しないので検便が全く意味をなさない。しかし前者であっても腸管壁寄生で産みだされた幼虫が血液の流れに乗って横紋筋に撒布される**旋毛虫**の場合も検便が全く意味をなさない。そのかわり横紋筋の生検なら幼虫がみつかる理屈となるが、昔はともかく現在では人道上の観点より普通それは行われない。

[寄生線虫類の一般的な发育史・ヒトへの感染ルート]

寄生線虫類のヒトへの感染と发育に関しては、一般に次のようないくつかの特徴がある。これらの寄生蠕虫に関する知見は引用文献^{1-11, 14-17)}から得られるが、既に本誌において報告のあるものは、寄生虫名に逐一引用番号を記した。

- 1) 寄生線虫には、その生活史を全うするのに中間宿主を必要とするものとしらないものがある。
- 中間宿主を必要とする種：フィラリア、旋尾線虫²⁹⁾、剛棘顎口虫²³⁾、広東住血線虫¹⁸⁾、アニサキス³⁰⁾、**旋毛虫**など

- 中間宿主を必要としない種：回虫²⁶⁾、鉤虫、糞線虫など
- 2) 寄生線虫のヒトへの感染ルートは次のいずれかである。
- 経口感染：主として飲食を介して感染する。**旋毛虫**もこれである。
- 経皮感染：鉤虫、糞線虫など比較的少ない
- 刺咬感染：フィラリア、これはカ（蚊）やブユなどに刺されて感染する。東洋眼虫は感染幼虫をもっているハエからヒトの眼表面を舐めることで感染する（決して刺すわけではない）。
- 3) 人体内で組織にもぐって寄生する種類と腸管などの消化管腔管に寄生する種類とがある。
- 組織内寄生：旋尾線虫²⁹⁾、剛棘顎口虫²³⁾、広東住血線虫、**旋毛虫幼虫（横紋筋内）**
- 消化管寄生：回虫（幼虫移行期は肺に寄生する時期もある）、アニサキス（胃）、**旋毛虫成虫（小腸）**
- 4) 人体内で成虫になる種とならない種とがある。
- 成虫になる種：回虫、アメリカ鉤虫、ズビニ鉤虫、**旋毛虫**
- 成虫にならない種：犬鉤虫、旋尾線虫²⁹⁾、剛棘顎口虫²³⁾、広東住血線虫¹⁸⁾、アニサキス

2. 旋毛虫の概要

2.1. 史的記載・分布・疫学

人体への寄生虫感染を警戒すべき食材として、新鮮な生肉から感染する旋毛虫に関して最新の検討結果も含めて記述する。なお、現在では遺伝子解析などにより旋毛虫は *Trichinella* 属の多種類の種に分類されている。しかし、ここでは従来知られており *Trichinella spiralis* の学名のもとに述べられた知見を中心に論述する。この寄生線虫は欧州・北米に多いとされてきたが、タイなどの東南アジア、中国、アフリカケニア、日本にも存在する。日本で初めて人体感染例が見出されたのは1974年である（翌75年寄生虫学会で報告された）。青森県でハンターたちが射止めたツキノワグマの肉を刺身で食べた人たちに集団発生が見られた。その後、国内

ではツキノワグマ以外にヒグマ、ブタ、イノシシの肉の生食が感染源となってきた。ハンターたちの宴会、郷土料理店等での比較的珍しいメニューが感染の背景にある。

自然界ではクマ、ブタ、イノシシ、イヌ、ネコ、ネズミ、ライオンなど陸上の哺乳類のみならず、種々の海棲哺乳類・海獣の肉からのヒトへの感染が報告されている¹⁷⁾。グリーンランドでセイウチ (walrus) を食べて感染したケースも紹介されている¹⁰⁾。したがって、新鮮な鯨肉の生食 (刺身) もこの線虫の感染に関して決して安全とは言い切れない。もっとも鯨肉を凍結融解したものが利用されることが多いので、感染の危険性が少しは低下していると考えられる。珍しいケースであるが、スッポンからの感染例も報告されている³²⁾。患者は、餌にナマの豚肉を与えて養殖されているスッポンを生食したという。おそらくそのブタに本虫幼虫が寄生していたのであろう。爬虫類における自然感染は、ジンバブエのワニの筋肉に検出された例がある³²⁾。

日本では青森県、北海道、三重県、鳥取県、山形県、東京都等からこれまで約 100 例の報告がある。クマ、イノシシ、ブタの肉の生食で感染したケースが主であるが、例外的にはスッポンからの感染例 (台湾で感染し東京で見出された) も報告されている。

哺乳類の肉食で感染するため、虫体が外気にさらされることはほとんど無い。したがって、寒冷な地域に多い寄生虫と考えられていたが、実は暑い地域にも存在する。哺乳類の横紋筋肉に幼虫が寄生しており、他の哺乳類にその肉が食べられるとその幼虫が腸管で成虫となる。それが産出した幼虫が血行的に横紋筋に撒布される。この筋肉を他の哺乳類が食べることで感染する。

2.2. この寄生虫の発育史・ヒトへの感染ルート

哺乳類の横紋筋に幼虫が寄生しており、他の哺乳類にその肉が食べられるとその幼虫が腸管で脱皮を繰り返し腸管壁 (粘膜) 内で成虫にな

る。この成虫が交尾の結果生み出すのは卵でなくて幼虫である。それが産出した幼虫が血行的に横紋筋に撒布され被囊する。この筋肉を他の哺乳類が食べることで感染する。これらが血液の流れに乗って身体各所にばら撒かれるが、横紋筋にたどり着いた幼虫のみが袋状のものをかぶって (すなわち被囊して) 生存する。このように、基本的には中間宿主が不要である。解釈によっては幼虫が寄生している哺乳類の横紋筋が中間宿主の役割を果たしているといえる。寒冷地帯において外気に触れることなく生活史のサイクルが回るのはそのような適応現象あつてのことであろう。

2.3. 症状・診断

獣肉の生食で本虫に感染すると、次のような症状・病態が認められる³⁾。

- ① 幼虫～成虫の消化管侵襲期は 感染後 1 週間以内で、腹痛、下痢を伴う。
- ② 幼虫の筋肉への移行期は 感染してから 1 ヶ月前後で、このころには皮疹、発熱、浮腫、筋肉痛に苦しみ、好酸球値が 50% を超える。
- ③ 幼虫が筋肉で被囊する時期は 感染後 1～2 ヶ月で、貧血、全身浮腫が顕著となり、心不全、肺炎の併発で死の転帰をとることもある。

このように、②の時期にかなり特異的な症状を呈するが、①の消化管侵襲期においての問診で、獣肉の生食歴の有無を明確にしておくことも極めて重要なポイントで、免疫学的手法による早期診断と適切な早期治療の実施に有益である。

2.4. 予防

一次予防—感染の回避—

九州を除いて全国的に生息しているツキノワグマは、冬眠前に人里にも現れ射殺されることもあるとはよくニュースで報道されるところである。クマ以外でも、イノシシが街中にさえ突如として出現し射殺される。このような動物の肉はいわゆるジビエ料理として地産地消されて

いるのかもしれない。地元の郷土料理店にもメニューとなっており他所からの旅人も賞味の機会もあろうが、決して生食すべきでない。

ナマモノよりはましであるが冷凍したからといってなかなか感染力を失わないがこの旋毛虫である。独独辞典⁴⁰⁾を引いてみると、Das Mett=gehacktesSchwinefleisch ohne Fett(本著者註：脂肪分の少ない切り刻まれた豚肉のひき肉)とある。北ドイツを中心に賞味されてきたようであるが、今回の調査ではこのメットから旋毛虫に感染した症例はまだ見出してない。今後更に調べるつもりであるが、一次予防の観点から口にしないほうがよいと思われる。

二次予防—早期発見・早期治療—

早期発見

次の①～⑤などを考慮の上、総合的な試みがなされている。

①獣肉や豚肉の生食歴の有無

②検便は無意味である。

③患者筋肉の生検は現在では稀である。

④残された保存食材(レストランでは保存が義務づけられている)の人工消化法検査は重要である。すなわちそれらの保存肉に幼虫が存在しないか否かを調べる。具体的には、検体となる肉を1%ペプシン/1%塩酸液で消化した上で、存在するなら幼虫(もはや被囊状態でなくフリーとなっているはず)が分離されるので顕微鏡下で確認出来る。

⑤免疫学的診断法⁵⁾としてはオクタロニー方法、ラテックス凝集反応、蛍光抗体法、ELISA法、免疫電気泳動法などを適宜併用する。

早期治療

ベンズイミダゾール系化合物、例えばメベンダゾールが高い効果を示す。

引用文献

1. 西村謙一著：『人体神経系寄生虫症』新興医学出版社(東京)，1991.
2. 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ク，講談社(東京)，1983.
3. 林 滋生(編集代表)，他 編集：『本邦における人獣共通寄生虫症』，文永堂(東京)，1983.
4. 鈴木了司，安羅岡一男，柳沢十四男編：『新医寄生虫学』第一出版(東京)，1988.
5. 吉田幸雄・有蘭直樹：『図説人体寄生虫学』南山堂，東京，2008.
6. 小島莊明編集：『NEW 寄生虫病学』，南江堂(東京)1993.
7. 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ク，講談社(東京)，1995.
8. 大鶴正満編集：『臨床寄生虫学』，南江堂(東京)，1978.
9. 宮崎一郎・藤 幸治著：宮崎肺吸虫症『図説人畜共通寄生虫症』九州大学出版会(福岡)，1988.
10. Faust, E.C. et al.: Craig & Faust's "Clinical Parasitology(8th ed.)" Lea & Febiger (Philadelphia), 1970.
11. Cheng, T.C.: "General Parasitology", Academic Press (New York, San Francisco, London), 1973.
12. M.Suzuki (organizer): Economic loss caused by parasitic diseases, a Mombusho Grant Meeting, December 10th 1997 at Toranomon Pastral, 1997.
13. Wattan S.Janjaroen: Economic loss caused by parasitic diseases in Thailand, 世界規模でみた寄生虫病による経済損失に関する文部省科学研究発表・会議(オーガナイザー；鈴木 守)，虎ノ門パストラル(東京)，12月10日，1997.
14. 村上一，他編集：『人畜共通伝染病』旋毛虫症 338-341, 近代出版(東京)，1982.
15. 佐々 学：『人体病害動物学』第3版，医学書院，1975.
16. 板垣四郎・久米清治：『家畜寄生虫病学』朝倉書店(東京)，1978.
17. 山口富雄：『日本における旋毛虫ならびに旋毛虫症』南江堂(東京)，1989.
18. 牧 純，関谷洋志，玉井栄治，坂上宏：人体への寄生虫感染を警戒すべき食材(1) —特に広東住血線虫の感染源となりうるもの(ノート)，*New Food Industry* 53(5): 23-26, 2011.
19. 牧 純，関谷洋志，玉井栄治，坂上宏：人体への寄生虫感染を警戒すべき食材(2) —特に肝吸虫(旧名

- 肝ジストマ)の感染源となりうるもの(ノート), *New Food Industry* **53**(9): 37-42, 2011.
20. 牧 純, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (3) —日本海裂頭条虫の感染源となりうるもの(ノート), *New Food Industry* **53**(11): 37-40, 2011.
 21. 牧 純, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (4) —ウエステルマン肺吸虫の感染源となりうるもの(ノート), *New Food Industry* **54**(2): 36-40, 2012.
 22. 牧 純, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (5) —横川吸虫類(*Metagonimus* spp.)の感染源となりうるもの(ノート), *New Food Industry* **54**(4): 39-45, 2012.
 23. 牧 純, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (6) —剛棘顎口虫の感染源となりうるもの(ノート), *New Food Industry* **54**(5): 25-28, 2012.
 24. 牧 純, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (7) —無鉤条虫の感染源となりうるもの, *New Food Industry* **54**(7): 45-48, 2012.
 25. 牧 純, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (8) —棘口吸虫類の感染源となりうるもの(ノート), *New Food Industry* **54**(9): 39-42, 2012.
 26. 牧 純, 関谷洋志, 田邊知孝, 舟橋達也, 玉井栄治, 河瀬雅美, 坂上 宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (9) —現代の日本人でも安心できない回虫の感染, *New Food Industry* **55**(4): 43-49, 2013.
 27. 牧 純, 関谷洋志, 田邊知孝, 舟橋達也, 玉井栄治, 河瀬雅美, 坂上 宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (10) —豚肉の生食のみが感染源でない有鉤条虫に関する総括的認識, *New Food Industry* **55**(10): 75-83, 2013.
 28. 牧 純, 関谷洋志, 田邊知孝, 舟橋達也, 玉井栄治, 河瀬雅美, 坂上 宏: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (11) —“勇気”では防げないマンソン孤虫の感染と驚愕の結末, *New Food Industry* **56**(5): 59-65, 2014.
 29. 牧 純, 関谷洋志, 田邊知孝, 舟橋達也, 玉井栄治, 相良英憲, 坂上 宏: 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, 旋尾線虫 *Spirurina* sp の感染源, *New Food Industry* **55**(12): 31-34, 2013.
 30. 牧 純, 田邊知孝, 畑 晶之, 坂上 宏, 中村円香, 大西俊輔, 関谷洋志, 玉井栄治, 舟橋達也: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (13) —刺身・寿司からの感染が怖いアニサキスの予防策の背景となる基本的知見, *New Food Industry* **57**(5): 61-69, 2015.
 31. 牧 純, 田邊知孝, 畑 晶之, 関谷洋志, 玉井栄治, 坂上 宏, 舟橋達也: 人体への寄生虫感染を警戒すべき食材 (14) —水生の食用植物, 生の牛レバーから感染する肝蛭, *New Food Industry* **56**(7): 45-49, 2014.
 32. 前田卓哉, 他: スッポンを感染源とする旋毛虫症の集団発生, *臨床寄生虫学雑誌*, **20**, 37-39, 2009.
 33. 牧 純, 村田安紀奈, 西岡茉莉, 菅野裕子, 有田孝太郎, 廣瀬恭子, 日野和彦, 中野友寛, 藤井佑輔, 渡部真衣, 坂上宏, 関谷洋志, 秋山伸二, 難波弘行, 荒木 潤, 玉井栄治: 環太平洋地帯及び近隣諸国の寄生虫感染と治療薬に関する文献調査研究の試み—渡航医学と渡航薬学の視点より—松山大学論文集, **23**(4): 191-214, 2011.
 34. 牧 純, 玉井栄治, 関谷洋志, 坂上 宏: 環太平洋地帯と近隣諸国において社会・経済損失をもたらす代表的な寄生原虫類に関する小考, *松山大学論文集*, **24**(2): 155-165, 2012.
 35. 牧 純, 関谷洋志, 舟橋 達也, 田邊知孝, 玉井栄治, 坂上 宏: 社会・経済損失をもたらす有鉤条虫の感染とその一次・二次予防の対策に関する基礎研究, *松山大学論文集*, **24**(3): 257-269, 2012.
 36. 小島莊明: 『寄生虫病の話 - 身近な虫たちの脅威』中公新書, 中央公論新社 (東京), 2010.
 37. Wahrig Deutsches Wörterbuch: Bertelsmann Lexikon-Verlag (Berlin, München, Wien) 1972.

天然ヒメマスと養殖ヒメマスの違い

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi) 佐藤 達朗 (SATO Tatsuro)¹

¹ (元) 中禅寺湖漁業協同組合

Key Words : ヒメマス 天然 養殖 体型 体色 臓器体重比 体成分 肉色 味

ベニザケの陸封型であるヒメマスは冷水性の魚で、日本でも数か所の湖に棲息している。中禅寺湖もその一つである。天然のヒメマスは姿形が美しく体表も金属光沢が有り、光り輝く様な銀白色で大変見栄えが良い。しかも美味しいので中禅寺湖で釣りをする人の第1目的の魚であると共に、湖周辺地域ではヒメマス料理の材料として欠かせない魚である。

中禅寺湖ではヒメマス資源の安定化を目的とする禁漁期が設けてあり、解禁時にも好不漁の波が有る。従って、何時でもヒメマスの需要を満たすだけの量が有る訳ではない。この不足分を補うために中禅寺湖漁業協同組合（以下漁協と略記）ではヒメマスを陸上水槽で養殖し、必要に応じて供給している。ところが養殖ヒメマスは天然魚との品質の違いから価格が安い（調査開始時は天然魚の半値）のが大きな問題であった。

この問題を解決するには天然魚と養殖魚の品質の違いを明らかにし、解決策を確立しなければならない。よって、本試験では天然ヒメマスと養殖ヒメマスでどのような違いが有るのかを調べた。

1. 方法

1-1. 供試魚

天然魚は漁協組合員が中禅寺湖で釣りによっ

て漁獲した魚や資源調査時に漁獲した魚を調査後貰い受けて供試魚とした。4年間に亘って調べたので調査尾数は518尾に達した。養殖魚は漁協の陸上角型コンクリート水槽で配合飼料によって飼育されていた魚を3年間に亘って203尾調べた。

成熟が進行して生殖腺が肥大すると、雌雄共に外観や体成分が大きく変化する¹⁾ので、本試験には雌雄共生殖腺体重比が1%以下の魚を用いた。

中禅寺湖では全く人手を加えない完全な自然状態下でのヒメマスの再生産量は少ない。ヒメマス資源の大部分は秋の成熟時季に河川に遡上するため河口に集まった親魚を地曳網で漁獲し、漁協の陸上池で成熟するまで短期間無給時で蓄養した魚から採卵、採精して人工授精を行った魚である。孵化稚魚を翌年の6～7月まで飼育し、4～5gになった魚を中禅寺湖に放流する。この放流魚が中禅寺湖の天然餌料を食べて大きくなったのが本試験の天然ヒメマスである。養殖魚は放流後に残った魚を漁協で配合飼料を与えて育てた魚である。人工授精から放流まで両者全く同じ条件で育てられていたのので、放流後の棲息環境と餌料環境の違いが天然魚と養殖魚の違いを生じる原因と考えられる。

1-2. 飼料と飼育条件

漁協でヒメマスの飼育に用いた飼料は魚粉、脱脂大豆粕、小麦粉、米糠、ビタミン・ミネラル混合より成っていたが、原料の配合比率は魚の成長に従って変化させた。飼料の形態は飼育初期で魚が小さい時期にはハードペレットのクランブル²⁾とし、ある程度魚が大きくなってからはハードペレットをそのまま用いた。また、飼料サイズは魚の大きさに従って変更した。飼料体系と飼料の分析値、飼育水温、給餌量他の飼育管理法は前報¹⁾と同じであった。

1-3. 魚の処理手順と分析

天然魚は入手可能な時に可能な尾数を入手し、養殖魚は毎月1回10尾ずつ入手して魚体測定と分析に供した。処理手順と測定項目及び測定法は以下の通りであった。

供試魚はFA100（オイゲノール）で麻酔し、ヘパリン処理したプラスチック注射筒を用いてキュビエ氏管から採血した。血液は個体別に3000rpmで15分間遠心分離し、血漿を分離した。養殖魚は調査日毎の体重が略一定の範囲内に収まっていたので、各尾から等量の血漿を採取して一緒にし、分析試料とした。天然魚は色々な大きさの魚が混在していたので、一定範囲の体重毎に纏めて一緒にし、分析に供した。測定項目は総タンパク質（TP）、グルコース（Glu）、トリグリセライド（TG）、総コレステロール（T.Cho）含量とアルカリ性フォスファターゼ（ALP）活性とした。これらの成分は魚の状態を良く反映する事が知られている。分析はヒト血液用半自動分析計で行った。

魚体は延髄を穿刺して即殺し、体重（採血量補正）と尾又長を測定して肥満度（体重×100/尾又長³⁾）を求めた。肉眼で外観を観察して天然魚と養殖魚の違いを調べると共に、背鰭下の背部、体側部、腹部の3カ所をミノルタ彩色色差計CR-100でLab表色系によって色調を調べた。さらに測色部のグアニン含量を前報で説明した方法³⁾で測定した。

次に魚体を開腹し、各臓器の状態を観察する

と共に心臓と腎臓を除く内臓全体、肝臓、腹腔内脂肪蓄積組織（DL）、脾臓および生殖腺（精巢、卵巣）の重さを測定し、体重比を求めた。

背鰭の後端から脂鰭の前端の下で、側線より上の部分の背肉を切り出して色彩色差計のLab表色系で肉の色調を調べ、さらに色素量（総カロチノイド含量）を測定した。サケ・マス類の肉部の色調や色素量は部位による違いが大きいのが分かっている。この位置は何ら道具を必要とせず、肉眼で簡単、正確に特定出来るので、測色と色素量の測定を行うと決めた部位である⁴⁾。測色は個体別に行ったが、1個体では魚が小さすぎて色素量が測定出来ない場合には各個体から等量の肉を採取して混合し、分析試料とした。色素量の測定は前報⁴⁾の手順に従って行った。なお、Lab表色系でLは明度を表し、値が高くなる程白色が強い明るい色である。aは赤と緑の程度を表す指標で、値が高い程赤味が強く、低い程緑色が強くなる。bは黄色と青の関係を示す指標である。Labの数値を座標軸上に取れば、その物が持つ色調の位置が決まり、二つの物を比較する場合に両者がどの方向にどれ位の距離離れた色調であるのかを特定出来る。

測色と色素量の測定を行った部位の背骨を挟んだ反対側の位置の背肉を各尾から等量ずつ採取し、養殖魚は10尾分を一緒にし、天然魚は一定範囲の体重毎に纏め、一般成分（水分、タンパク質、脂質、灰分）、脂質クラス、脂肪酸およびアミノ酸の分析試料とした。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法、脂質はソックスレー法、灰分は直接灰化法で測定した。脂質クラスと脂肪酸の分析にはクロロホルム：メタノール=2:1混液で抽出した脂質を用いた。脂質クラスは脂質を珪酸カラムで展開した後イヤトロスキヤンで測定し、脂肪酸は脂質をメチルエステル化後、キャピラリーカラムを付したガスクロマトグラフによって測定した。アミノ酸は定法で加水分解した後全自動アミノ酸分析計で測定した。

肝臓も同様に処理したが、分析項目は一般成

分のみとした。

調査日毎に全グループで上記全ての測定と分析を行った訳ではない。供試魚が非常に多く、全てのグループで全項目を調べるのは物理的にも経費的にも大変であるし、資源調査後の魚は食性調査のために内臓が取り除かれた魚も多かった。魚体測定と一般成分の分析は多くの供試魚で行ったが、グアニン、脂質クラス、脂肪酸、アミノ酸および色素量の分析は天然魚と養殖魚を比較するうえで必要と思われる魚の大きさと時季を決めて行った。

2. 結果

2-1. 体型

天然魚は口の先端（吻部）が尖り、各鰭に欠損が無くて大きく、魚体全体の形がシャープであったのに対し、養殖魚は狭いコンクリート池で高密度で飼育するためか、吻部や鰭、特に尾鰭の先端部が擦れて丸まっている場合が多く、全体にボツボツした感じを受ける（図1）。また、約150g以上の天然魚は体高（背面から腹面までの高さ）が高くなり、所謂サケ型の体型を呈していたが、養殖魚は体高が低く、サケ型の体型とは明らかに異なっていた。但し、漁協の飼育魚はこの様な体型であったが、前報¹⁾で説明した通り、水温14℃、水量5KLの八角形コンクリート池で飼育した魚は天然魚と略同じ体型を呈したので、体高の違いは餌の違いによるのではなく、飼育環境の違いによる影響が大きいと考える。また、吻部や鰭の擦れの問題は、これまで数多く行ったニジマス試験の結果から、養殖池の性状、特に底面がコンクリート

であるか砂や泥であるかによる影響が非常に大きいと推測する。素掘り池の様な環境であれば水深が浅くても擦れは殆ど生じず、魚本来の綺麗な体型を維持出来る。

天然魚と養殖魚の体型の違いは餌の問題ではなく、飼育環境の問題を検討しなければ解決出来ないのではないかと考える。

2-2. 体表の色調とグアニン量

天然魚と養殖魚で体表の色調とグアニン量が如何違うかは既に前報³⁾で報告したので、ここでは結果のみを要約しておく。

- ・天然魚の体表は金属光沢が有り、光り輝く様な銀白色をしていたのに対し、養殖魚はくすんだ白色～うすい黄褐色を呈し、明らかに色が違った。
- ・背部から腹部に向かうに従ってL値とグアニン量が高くなるのは天然魚も養殖魚も同じであったが、値は天然魚の方が遥かに高く、肉眼観察の結果と良く一致していた。
- ・天然魚と養殖魚の体表色の違いはグアニン含量の違いが主な原因であると考えられた。

体表の色は飼育水槽が直射日光を受けるか否かや、水槽に色によって変化するものが経験的に知られている。よって、水槽を寒冷紗で覆って直射日光を遮ると共に水槽の色を青くして数カ月間飼育してみたところ、寒冷紗無しのコンクリート露地池で飼育した魚とは明らかに違う白っぽくてうす青色の魚になったが、天然魚の色とは異なっていた。また、魚が生きている間は白っぽいす青色であったが、死ぬと次第に元の色に戻ったので、グアニン量の増加による体色の変化ではなかったと判断出来る。

魚によるグアニンの代謝が良く分かっていない現状では、天然魚と養殖魚の体表色の違いが何に起因しているかは不明であるが、棲息環境の違いよりも食べている餌の違いがより大きな影響を及ぼしているのではないかと推測している。

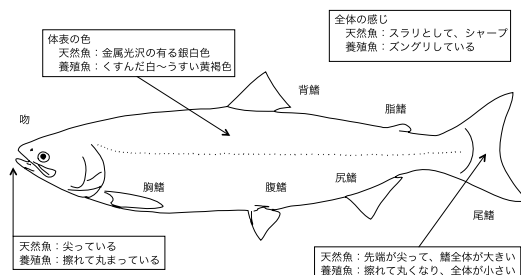


図1 天然魚と養殖魚の外観の違い

2-3. 魚体測定

図2に尾叉長と体重の関係を示す。尾叉長が25cm以下の魚では天然魚の体重がやや小さい傾向が認められるが、違いは小さく、それ以上の大きさになると殆ど違いは無くなっていた。従って25cm以下の魚では養殖魚の肥満度が多少大きかった可能性は有るが、それ以上の大きさであれば両者で肥満度に違いは無かったといえる。

図3に体重と内臓体重比の関係を示す。天然魚、養殖魚共に内臓体重比は調べた年や時季によってバラツキが大きかったが、全ての大きさに養殖魚の値が高かった。ニジマスを中心とするこれまでの試験で養殖魚の内臓体重比はDL量に大きな影響を受けるのが分かっている。DL量を調べてみると約150g以下の魚では両者で違いは認められなかったが、それ以上の大きさになると天然魚の方が大きかった。養殖魚の内臓体重比が大きかったのはDL量によるのではなく、消化管が肥大していたためではないかと推測出来る。配合飼料で飼育した魚の消化管が生餌で飼育した魚より大きいのは他魚種でも知られている。配合飼料による飼育は消化管を肥大させる原因が有るのであろう。ひとつには餌の消化し易さの問題が有るのではないかと

思われる。配合飼料が生餌より消化し難いのは容易に推測出来る。消化し難いうえに定期的に十分量与えられる配合飼料を消化するため、消化管が過大な働きを強いられ、その結果として肥大しているのではないだろうか。

内臓体重比が大きいのは可食部が少ない事を表しており、養殖魚が嫌われる理由のひとつと思われる。今後与える飼料の質や量を検討する事によって解決すべき問題であらう。

肝臓体重比も約150g以下の魚では天然魚と養殖魚で違いは無かったが、それ以上の大きさでは養殖魚の方が大きかった。配合飼料には炭水化物が可也の量含まれているので、養殖魚の肝臓にはグリコーゲンが多いのではないかと推測出来る。一方、生物餌料には炭水化物は殆ど含まれていない。グリコーゲン含量の違いが肝臓体重比の違いとして表れているのかも知れない。

脾臓体重比に一定の傾向は認められなかった。

天然魚や養殖魚の内臓体重比が何故これ程大きくバラツクのであろう。天然魚は中禅寺湖の動物プランクトン、昆虫、小魚等を食べている。年度や時季によって湖の状況が異なり、餌生物の種類や存在量が変化していると考えられる。

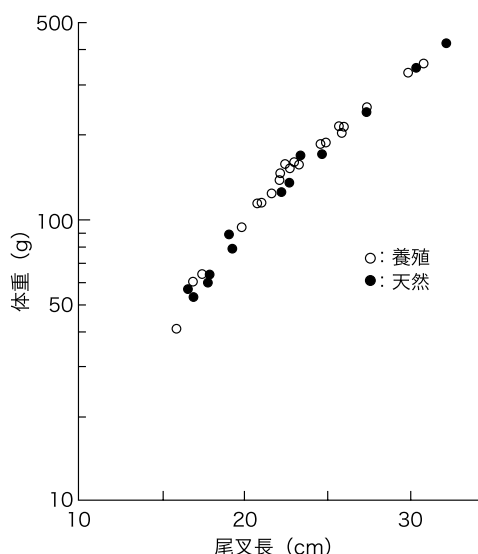


図2 尾叉長と体重の関係

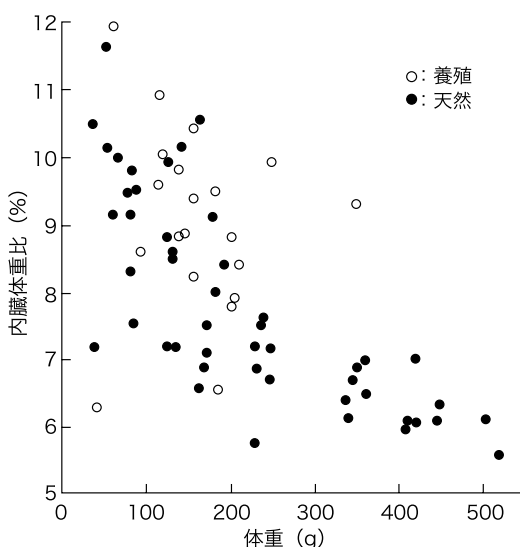


図3 体重と内臓体重比の関係

異なる年度と時季に調べた体重と内臓体重比、肝臓体重比との関係を図4に示す。白丸は12月、白三角は3月、黒丸は11月、黒三角は4月、白四角は11月の調査で、白三角と黒丸、黒三角と白四角はそれぞれ同じ年に調べている。

予想通り内臓体重比、肝臓体重比共に年度と

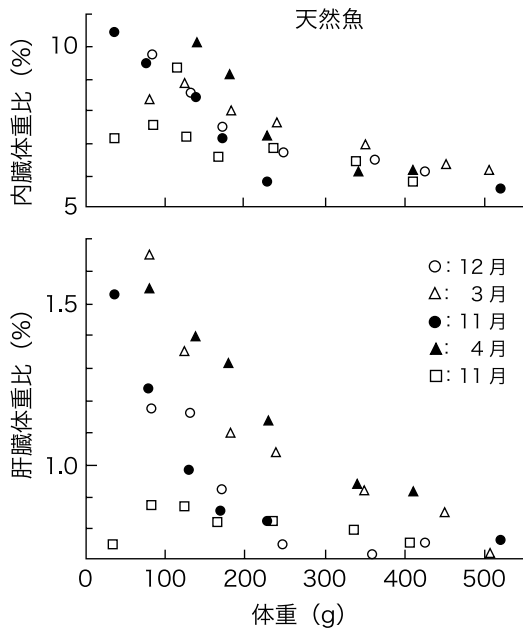


図4 年度別、時季別の体重と内臓体重比、肝臓体重との関係

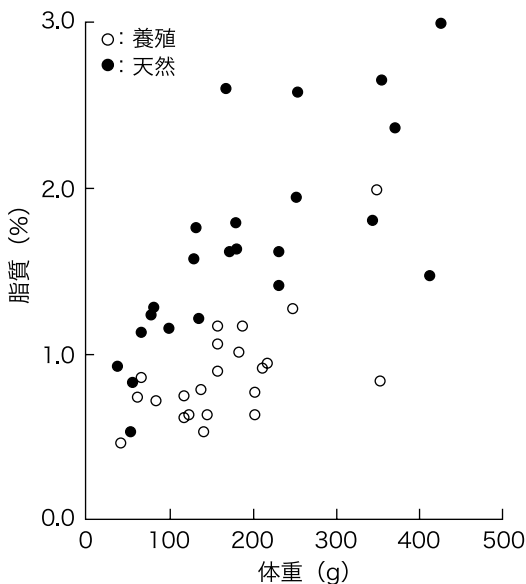


図5 体重と背肉脂質含量との関係

時季によって値が大きく異なっていた。特に小型魚の受ける影響が大きく、餌となる動物プランクトンの発生量(存在量)が年度や時季によって大きく変化し、その影響を受けているのであろう。湖の状態が良い程内臓体重比と肝臓体重比が大きい傾向が見え、両者の間には正の相関が存在するのではないかと思える。また、何れの調査時でも魚が大きくなるに従って内臓体重比と肝臓体重比が小さくなるのは同じであったが、その傾きは年度、時季によって大きく異なり、餌の種類と量が大きく影響を及ぼしていたのではないかと推測する。

養殖魚には水温の違いによる摂餌量の変化が有るので、魚の大きさと時季による違いは有るものの、条件が同じであれば年度による違いは小さいと考えられる。但し、給餌してから供試魚を採取するまでの時間の違いは内臓体重比に影響するであろう。

2-4. 背肉と肝臓の一般成分

図5に成長に伴う背肉の脂質含量の変化、図6に水分とタンパク質の変化を示す。魚の大きさに関係無く天然魚の脂質含量は養殖魚より多く、水分とタンパク質は少なかった。脂質

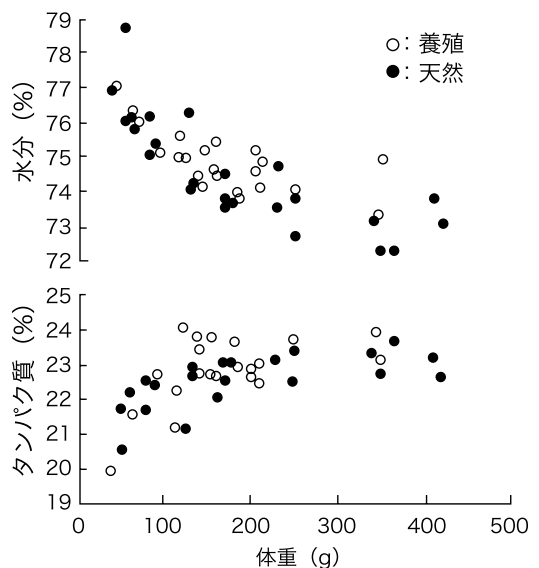


図6 体重と背肉の水分、タンパク質含量との関係

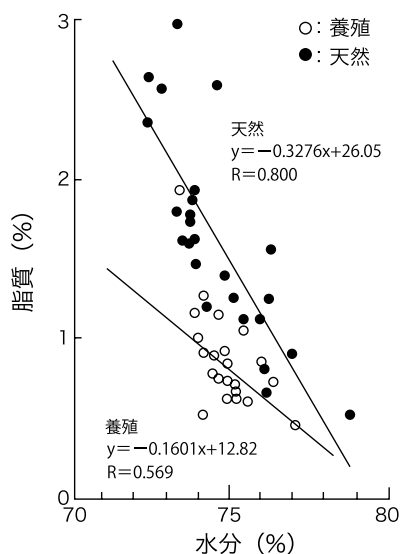


図7 背肉の水分と脂質の関係

の違いが最も大きく、天然魚と養殖魚で重なる点が殆ど無かった。また、成長に伴う脂質量の増加は天然魚で大きく、魚が大きくなるに従って両者の違いは大きくなっていった。

背肉の成分含量変化の主な原因は脂質で、脂質の変化によって水分とタンパク質が相対的に変動する。よって、脂質と他の2成分の間には負の相関が存在するのがニジマスの試験で確認されている。

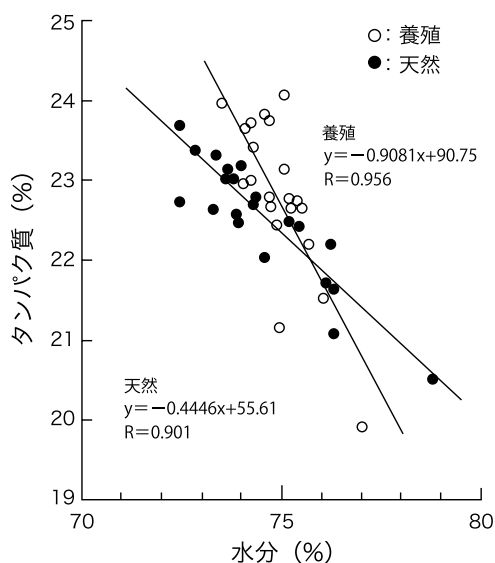


図8 背肉の水分とタンパク質の関係

水分と脂質の関係を図7に示す。ヒメマスにおいても水分と脂質の間には負の相関が認められた。天然魚と養殖魚を比較すると天然魚の傾きが大きく、魚が大きくなって背肉の水分含量が少なくなるに従って両者の脂質含量の違いが大きくなっていった。また、両者の近似式から水分含量が約79%で天然魚と養殖魚の脂質含量が等しくなり、その時の脂質含量は約0.24%であると計算出来る。この値を図5に当てはめてみると、略放流時の魚の大きさである。放流直後から天然魚と養殖魚の脂質含量の違いはスタートし、天然魚が急速に高くなっていったといえる。配合飼料と天然餌料の脂質含量の違いが反映されているのであろう。

水分とタンパク質の間にも負の相関が認められたが、傾きは天然魚が小さかった(図8)。魚が大きくなって水分が少なくなると養殖魚のタンパク質が占める割合が高くなる。両者の近似式から水分含量75.8%で天然魚と養殖魚でタンパク質含量は略等しくなり、その時のタンパク質含量は21.9%であった。この値を図6に当てはめてみると、略50gの魚に相当する。天然魚では放流直後から脂質が増え始め、50g位になると養殖魚との脂質含量の違いがタンパク質含量にも影響を及ぼす程の違いになってい

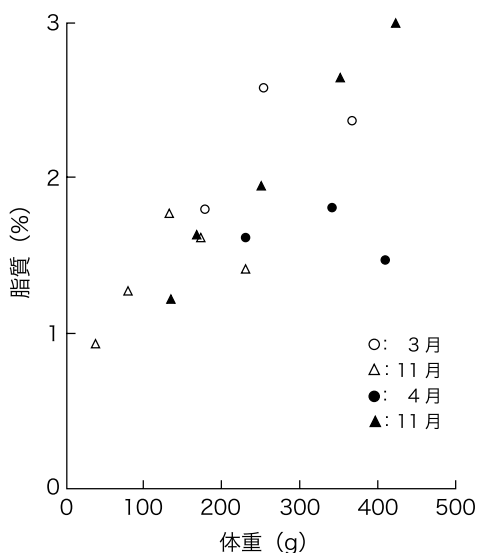


図9 体重と背肉脂質含量の関係

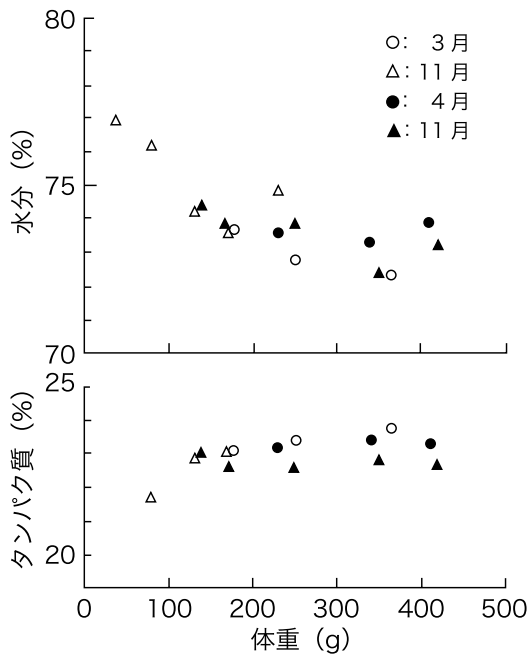


図10 体重と背肉の水分、タンパク質含量との関係

るのであろう。

天然魚において背肉成分が年度と時季によって如何変化していたのかを魚体重別に示したのが図9と図10である。マークが図4とは異なっているので注意して欲しい。白丸は3月、白三角は11月、黒丸は4月、黒三角は11月である。黒丸と黒三角は同じ年の調査で、白丸と白三角はそれぞれ別の年度である。また、白三角は図4の黒丸、黒丸は図4の黒三角、黒三角は図4の白四角と同じ個体である。白丸の魚体測定は実施していない。

背肉成分は内臓体重比や肝臓体重比と違い、大型魚程年度や時季の違いの影響を強く受けていた。魚が大きくなるに従って食性が変化し、口に合った大きさの色々な種類の餌を食べるようになったためであろう。

体重と肝臓の脂質含量の関係を図11、水分およびタンパク質との関係を図12に示す。何れの成分も背肉と同じ変化傾向を示し、天然魚と養殖魚の違いは肝臓がより明瞭であった。水分と脂質の間には両者共負の相関が認められたが、タンパク質との間に相関は認められなかつ

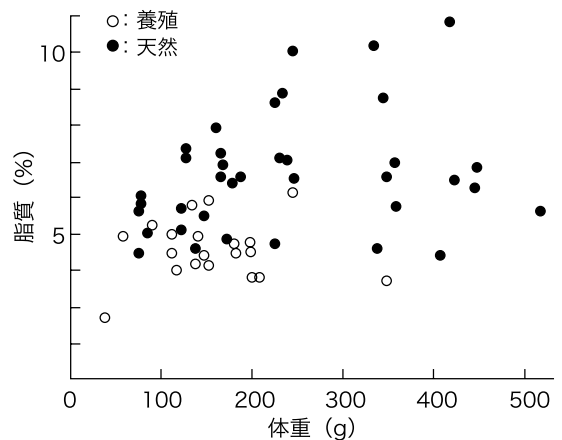


図11 体重と肝臓脂質含量の関係

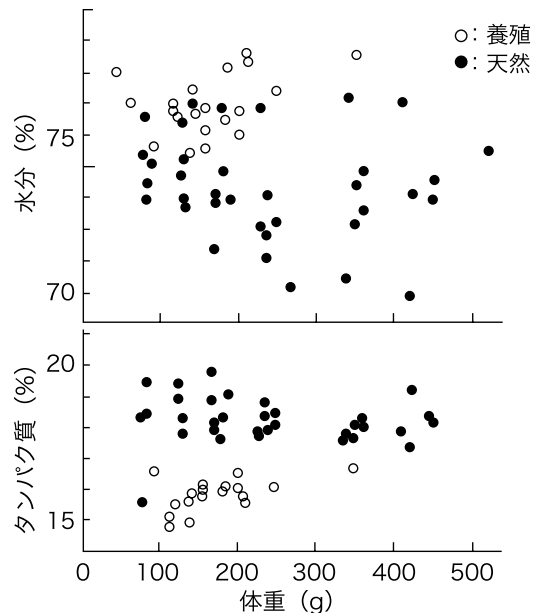


図12 体重と肝臓の水分、タンパク質含量との関係

た(図13)。また、脂質とタンパク質の間にも認められなかった(図14)。魚の大きさに拘らず水分に対するタンパク質、脂質に対するタンパク質は常に天然魚が高かった。

2-5. 背肉の脂質クラス

脂質クラスの分析結果を表1に示す。天然魚の347gに対する養殖魚の適切な分析例が無かったので、大型魚は天然魚のみを記しておいた。小型魚の値を比較すると、天然魚と養殖魚

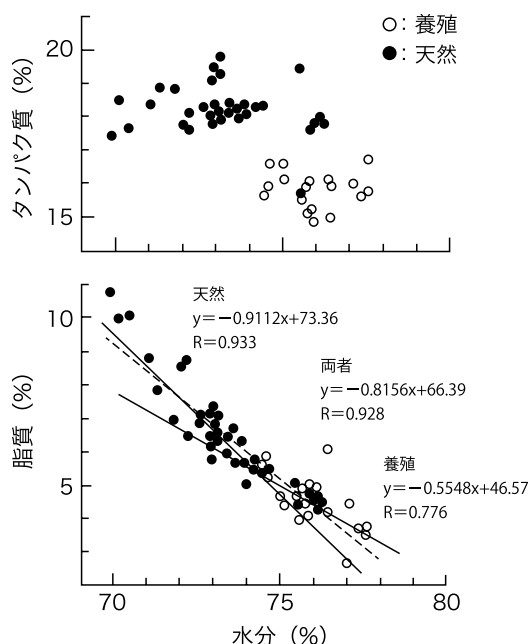


図 13 肝臓の水分とタンパク質、脂質との関係

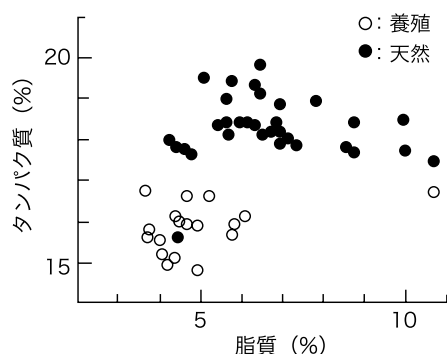


図 14 肝臓の脂質とタンパク質との関係

の大きな違いは中性脂質 (NL) の組成比が天然魚で高く、その主体はトリグリセライド (TG) で、天然魚は養殖魚より蓄積脂質が多かったのが分かる。これは図 5 の結果を良く反映している。TG の他にディグリセライド+遊離ステロール (DG+FS) や遊離脂肪酸 (FFA) も存在したが、比率は少なかった。極性脂質 (PL) の主体はフォスファチジルコリン (PC) で、フォスファチジルエタノールアミン (PEA) がそれに次ぎ、フォスファチジルイノシトール (PI) も微量存在していた。組成比の順番は天然魚と養殖魚で同じであった。

表 1 背肉の脂質クラス

供試魚	天然魚	養殖魚	天然魚
平均体重 (g)	64	63	347
NL (%)	55.4	40.9	77.0
PL (%)	44.6	59.1	23.0
SE			4.8
TG	49.1	30.5	64.6
FFA	1.1	2.1	3.7
DG+FS	5.2	5.4	4.0
PEA	8.8	8.9	3.0
PI	1.0		0.8
PC	34.8	50.2	15.6
SM+LPC			1.7

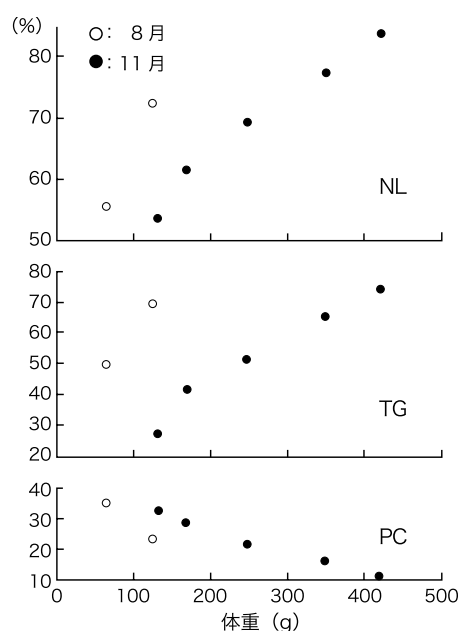


図 15 年度別、時季別の体重と背肉脂質クラスの関係

天然魚では魚が大きくなると中性脂質の占める割合が高くなっていったが、大きな魚は脂質含量が高いので当然の結果である。

例数は 2 例と少ないが、天然魚で体重別に脂質クラスを測定した結果を図 15 に示す。白丸は 8 月、黒丸は 11 月に測定した例で、調べた年度は違っていた。魚が大きくなるに従って中性脂質の占める割合が高くなり、その主な原因

はTGの増加であった。前項で天然魚は魚が大きくなるに従って脂質含量が増えるのを説明したが、脂質クラスにもその結果が良く反映されていた。また、年度と時季の違いによって背肉の脂質含量が大きく変化していたのが脂質クラスからも分かる。

ここで注意すべきは中性脂質の増加に従って極性脂質が減少しているのではない点である。中性脂質の占める割合が増えるので、相対的に極性脂質の占める割合が減少していただけである。魚1尾中に存在する極性脂質の量は魚体重×脂質含量×極性脂質の占める割合で求められる。蓄積脂質が増えて中性脂質の占める割合が高くなっても極性脂質の単位体重当りの量は減少していなかった筈である。

2-6. 背肉の脂肪酸組成

脂肪酸組成を表2に示す。n3系脂肪酸の占める割合($\Sigma n3$)は天然魚では魚が成長しても大きく変化しなかったが、養殖魚では明らかに

減少していた。炭素数20以上のn3系高度不飽和脂肪酸の占める割合($\Sigma n3HUFA$)も同様であった。n6系脂肪酸の割合($\Sigma n6$)は天然魚では大きな変化は認められなかったが、養殖魚では増える傾向にあった。従って $\Sigma n3/\Sigma n6$ 比は天然魚が大きく、魚の大きさに拘らず略一定の値を示した。天然魚の $\Sigma n3$ が高いのは22:6n3(DHA)以外のn3系脂肪酸、18:3(リノレン酸)、18:4、20:4、20:5(EPA)等の占める割合が養殖魚より著しく高いためで、DHAは小型魚では養殖魚が高く、中型魚では両者略同じであった。養殖魚の $\Sigma n6$ が高いのは18:2(リノール酸)によっており、20:4(アラキドン酸)は天然魚が高かった。 Σ 飽和酸は天然魚と養殖魚で違わなかったが、天然魚では14:0、養殖魚では18:0が多く、16:0は両者殆ど差が無かった。また、天然魚は成長に伴って Σ 飽和酸は減少する傾向が認められたが、養殖魚では殆ど変化が無かった。モノエン酸は天然魚で16:1n7が多く、養殖魚で18:1n9が著しく多い点に特徴があった。これらの脂肪酸組成の違いは食べた餌の脂肪酸組成の違いが反映されていたといえる。

サケ・マス類の必須脂肪酸はアラキドン酸やEPA、DHA等で、特にDHAが重要であるとされている。養殖魚は餌から供給される脂質の量が不足していたと同時に、必須脂肪酸の充足度も天然魚より劣っていた可能性が高い。

表2の結果から天然魚の脂肪酸組成は成長と共に変化していると思われるので、同じ日に漁獲された天然魚の脂肪酸組成を魚体重別に比較したのが図16、17である。必須脂肪酸とされているアラキドン酸、EPA、DHAの占める割合は何れも魚が大きい方が小さく、特にDHAの変化が顕著であった。EPAとアラキドン酸は約250gまで減少したが、それ以上になると略一定の値を示していた。

一方、18:1n9、16:1n7、18:3n3の占め

表2 背肉の脂肪酸組成

供試魚	天然魚	養殖魚	天然魚	養殖魚	天然魚
平均体重 (g)	64	63	168	190	347
14:0 (%)	4.8	1.3	2.5	1.3	3.7
16:0	21.6	21.4	20.4	20.4	18.5
1n7	12.8	2.5	4.8	2.2	7.0
18:0	3.9	5.2	4.7	5.6	3.7
1n9	8.7	18.5	10.9	23.5	12.0
2n6	3.4	7.3	3.9	8.6	4.2
3n3	4.9	0.6	5.1	0.6	6.8
4n3	2.3	0.4	2.1	0.3	2.9
20:1n9		1.2		1.0	
4n6	3.6	1.4	3.6	1.4	2.4
4n3	1.1	0.4	1.1	0.4	1.5
5n3	8.5	5.7	7.0	3.3	6.3
22:5n3	1.6	1.6	2.4	1.1	1.9
6n3	20.0	30.1	21.3	22.2	16.7
$\Sigma n3$ (%)	38.4	38.8	39.0	27.9	36.1
$\Sigma n6$	7.0	8.7	7.5	10.0	6.6
$\Sigma n3/\Sigma n6$	5.49	4.46	5.20	2.79	5.47
$\Sigma n3HUFA$	31.2	37.8	31.8	27.0	26.4
Σ 飽和酸	30.3	27.9	27.6	27.3	25.9
Σ モノエン酸	21.5	22.2	15.7	26.7	19.0

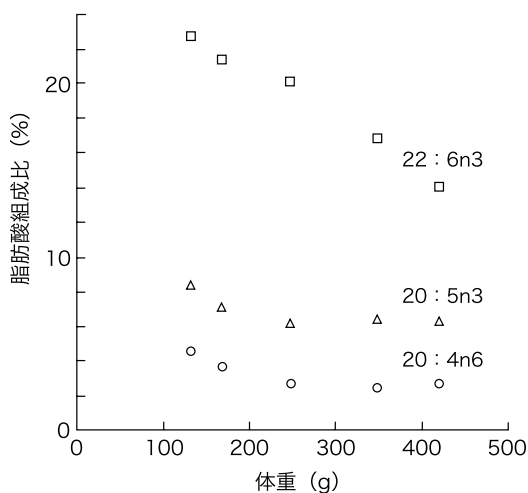


図 16 体重と必須脂肪酸組成比との関係

表 3 背肉のアミノ酸組成

供試魚	天然魚	養殖魚	天然魚	養殖魚
平均体重 (g)	326	336	326	336
単位	g/100g		%	
Arg	1.29	1.24	6.03	6.02
Lys	2.04	1.96	9.53	9.51
His	1.04	1.04	4.86	5.05
Phe	0.90	0.88	4.20	4.27
Leu	1.73	1.68	8.08	8.16
Ileu	0.99	0.95	4.62	4.61
Met	0.72	0.66	3.36	3.20
Val	1.20	1.14	5.60	5.53
Thr	1.05	0.99	4.90	4.81
Try	0.30	0.28	1.40	1.36
Tyr	0.80	0.76	3.74	3.69
Ala	1.36	1.27	6.35	6.17
Gly	1.01	1.00	4.72	4.85
Pro	0.73	0.73	3.41	3.54
Glu	2.92	2.81	13.64	13.64
Ser	0.89	0.86	4.16	4.17
Asp	2.17	2.10	10.14	10.19
Cys	0.27	0.25	1.26	1.21
EAA	11.26	10.82		
NEAA	10.15	9.78		
EAA/NEAA	1.11	1.11		

(注) EAA：必須アミノ酸，NEAA：非必須アミノ酸

る割合は成長と共に増加しており、特に 18:1n9 の増加が著しかった。18:2n6 も増加傾向にあるが、変化は小さかった。

以上の結果から、魚の成長に伴って必須脂肪

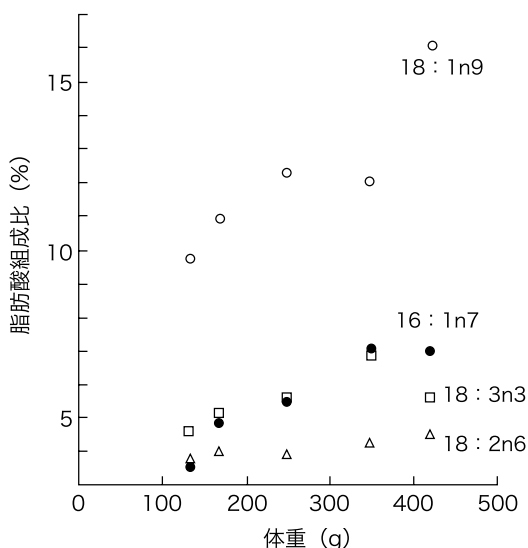


図 17 体重と非必須脂肪酸組成比との関係

酸の占める割合が減少しているのは蓄積脂質、特にモノエン酸の蓄積量が増えることによって相対的に減少しているにすぎず、必須脂肪酸の量自体が減少しているのではない事が分かる。

2-7. 背肉のアミノ酸組成

略同じ大きさの天然魚と養殖魚でアミノ酸を分析した例は一例しかないが、この結果を表 3 に示す。何れのアミノ酸も天然魚と養殖魚で組成比に違いは認められなかった。当然の事ながら、同じ部位のタンパク質であれば天然魚と養殖魚でアミノ酸組成は同じであった。

2-8. 背肉の色調と色素量

色彩色差計による測色と色素量（総カロチノイド含量）の測定結果を表 4 に示す。L 値は養殖魚が高く、a 値と b 値は天然魚が高かった。また、色素量も天然魚が多かった。この結果は天然魚の肉は赤く着色していたのに対し、養殖魚は殆ど着色していなかった事と、天然魚の肉が赤く着色しているのはカロチノイド色素の蓄積による事を表している。

カロチノイドを体内で生合成出来るのは微生物や植物のみで、動物は餌から取り込んだ色素をそのまま蓄積するか、あるいは転換して蓄積

表4 背肉の色調と色素量

供試魚 平均体重 (g)	天然魚		養殖魚	
	36	41	124	113
色調				
L	38.6	46.1	35.3	42.3
a	8.5	0.7	10.8	1.2
b	10.5	3.0	11.8	1.5
a+b	19.0	3.7	22.6	2.7
a/b	0.81	0.23	0.92	0.80
色素量				
総カロチノイド (mg/100g)	0.47	0.07	0.68	0.10

表4の値から、天然魚は大きくなるに従って肉の赤味が強くなり、蓄積された色素の量も多くなっていると推測出来る。そこで漁獲年度と時季が違う天然魚で魚体重別に色素量を調べた結果が図18である。白丸は3月、白三角は11月、黒丸は4月、黒三角は11月で、黒丸と黒三角は同じ年、他はそれぞれ別の年に調べた結果である。

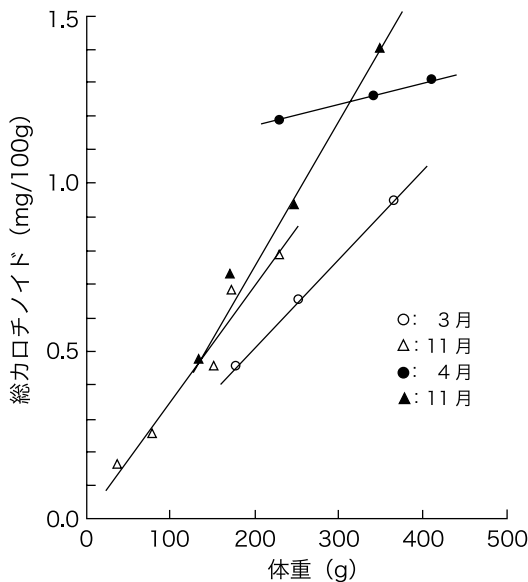


図18 年度別、時季別の体重と背肉色素量との関係

出来るのみである⁵⁾。本試験で養殖魚に与えた飼料にはカロチノイドが添加されておらず、小麦粉等の植物性原料に極微量の色素が含まれるのみであった。よって、養殖魚の肉に色素が少なく、殆ど着色していなかったのは当然の結果である。

一方、天然魚は中禅寺湖に棲息している動物プランクトンや昆虫、さらにそれらを食べている小魚等を餌としている。これらの餌生物には植物プランクトン由来のカロチノイドが豊富に含まれており、この色素が食物連鎖によってヒメマスに蓄積され、肉が赤く着色していたと判断出来る。

魚が大きくなるに従って色素量が多くなっているのは全ての例に共通であったが、年度と時季によって傾きが大きく違っていた。魚が大きくなるに従って色素量が多くなるのは、色素を含む餌を食べた量が次第に多くなるからである。また、年度と時季の違いによって傾きが大きく違ったのは、その時々によって餌に含まれる色素量が異なっていた事を示す。つまり、植物プランクトンの発生量やそれを食べる動物プランクトンの種類と量、さらに動物プランクトンを食べる小魚の量が異なり、それぞれに含まれていた色素の量も異なっていたのであろう。

ニジマスとアマゴで調べた結果から、食べる餌の色素量によって背肉の色調や色素量は2~3カ月で大きく変化するのが分かっている^{6,9)}。同じ年でも餌の種類と発生量の違いによってヒメマスが取り込む色素の量は大きく異なった筈なので、餌の状況によって比較的短期間で肉の色調や色素量は変化しているのではないかとと思われる。

サケ・マス類の肉は赤いとの先入観が有るのに加え、赤く着色している方が綺麗で、美味しそうに見える。養殖魚の肉が白っぽいのは、天然魚より品質が劣ると判断される大きな要因のひとつであると思われる。今後養殖魚の肉色の改善が必須である。

2-8. 血漿成分

血漿も可也の数の分析を行ったが、血漿成分、特に Glu 等は採血前の魚の取扱い他色々

の要因で大きく変化する事が知られている。天然魚は釣りによって漁獲され、興奮して暴れた後に採血されている。養殖魚の採血前の状況とは大きく異なっていた。よって、単純に天然魚と養殖魚の血漿成分を比較するには無理が有ると考えるので、参考として結果のみを簡単に記しておく。

Glu と TP は全ての大きさの魚で天然魚が高かった。Glu の違いは採血前のサンプリング法の違いが大きく影響したものと推測する。TP の違いは栄養状態の違いを表している可能性が高い。TG は全ての大きさで養殖魚が高く、魚の大きさよりも採血前の摂餌状況が反映されていたのではないかと思える。魚体の脂質含量と全く逆の結果であったことが興味深い。T.Cho は天然魚と養殖魚の違いが最もハッキリしており、天然魚が明らかに高く、養殖魚の値と重なる点が全くなかった。また、天然魚、養殖魚共に魚の大きさによる違いは認められなかった。生物餌料である甲殻類にはコレステロールが多く含まれているが、配合飼料にコレステロールは添加されていない。食べた餌のコレステロール含量の違いが表れていたのかも知れない。ALP 活性は天然魚がやや高い傾向が認められたが、違いは小さかった。

天然魚の TP は魚が約 250g になるまで直線的に高くなったが、それ以上の大きさになると略一定の値を示した点と、ALP 活性は成長に伴って次第に低くなっていた点に特徴があった。

2-9. 味

DL 体重比、背肉と肝臓の脂質含量等から、養殖魚は天然魚より脂質が少ない事が分かる。脂質は食べ物の味や食感に大きな影響を及ぼす成分である。よって、天然魚と養殖魚で味が如何違うかを調べた。

供試魚の一部を塩焼きにして食べ比べてみたところ、天然魚は肉の色も良く、コクが有って美味しく、しかも大型魚程美味しいと感じられ

た。一方、養殖魚は肉に着色していないので見た目が劣り、味にコクが無く、パサパサした感じであった。また、天然魚は甲殻類や甲殻類を餌として食べる小魚を餌にして育てているためか、加熱処理時に甲殻類特有の風味が有ったが、養殖魚には全く感じられなかった。特にアルミホイルで包み焼きにし、開いた時等に違いが良く感じられた。

この様に食材として比較すると、養殖魚は天然魚より遥かに劣ると判断せざるを得ない結果であった。養殖魚の価格が安いのは無理も無いと思われた。

養殖魚のこれらの欠点は飼料に油や色素を添加する事によって魚体に脂質と色素を蓄積させ、さらにオキアミミール等の甲殻類を原料として用いる等の方法によってある程度改善出来ると推測する。

3. 要約

生殖腺体重比が 1% 以下の未成熟ヒメマスで天然魚と養殖魚の違いを調べ、養殖ヒメマスには食材として以下の問題点があるのを明らかにした。

- ・ 吻部や鰭、特に尾鰭の先端が擦れて丸く小さくなり、見掛けが悪い。体表の色もくすんだ白～うすい黄褐色で見栄えがしない。
- ・ 内臓の占める割合が高く、可食部が少ない。
- ・ 肉が白くて見栄えがしない。肉に脂質が少なく、これが味に反映し、コクが無く、パサパサしている。さらに、天然魚の様な風味が無い。
- ・ 必須脂肪酸の充足度が天然魚より低い可能性が高い。
- ・ 食材としての評価は天然魚より劣ると判断せざるを得ない。

これらの問題点を改善するには、飼料に油や色素を添加し、飼料原料としてオキアミミール等の甲殻類を用いるのが良いと判断する。体型の問題は飼料による解決は難しく、養殖環境の改善が必須であると考ええる。

参考文献

1. 酒本秀一, 佐藤達朗: 異なる水温で飼育したヒメマスの成長と体成分. *New Food Industry*, **59** (4): 30-44, 2017.
2. 北村佐三郎: 飼料. 魚類の栄養と飼料 (新水産学全集 No.14, 荻野珍吉編), 恒星社厚生閣, 東京, 247-306, 1980.
3. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマスのグアニン量. *New Food Industry*, **54** (9): 48-58, 2012.
4. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -2. *New Food Industry*, **57** (12): 52-61, 2015.
5. 片山輝久: 海産動物. 水産動物のカロテノイド (水産学シリーズ 25, 日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 41-59, 1978.
6. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -3. *New Food Industry*, **58** (11): 39-48, 2016.
7. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -4. *New Food Industry*, **59** (2): 79-90, 2017.
8. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -5. *New Food Industry*, **59** (3): 47-60, 2017.
9. 酒本秀一: アマゴ用飼料 -2. カンタキサンチンとアスタキサンチンの比較. *New Food Industry*, **54** (12): 51-61, 2012.

美味しく食べるための歯の根管治療

— 根管形態 —

増田 宜子 (MASUDA Yoshiko)¹ 横瀬 敏志 (YOKOSE Satoshi)² 坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi)³

¹ 明海大学歯学部 MPL ² 歯内療法学分野 ³ 明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO)

Key Words：根管治療 歯根形態

Abstract

Root and root canal have irregular and unique morphologies. Root canal treatment was complicated by its amorphous morphology. This time, I'd like to introduce the several variations of root canals. I hope that helps to understand the importance of root canal treatment.

歯の根管はどこか？図1の白い部分が歯冠で口を開けると見える歯肉より上の白い歯である。その下の部分が歯肉より下の見えない歯根である。その中の管のような部分が根管で歯髄によって満たされている。図1の矢印は歯髄を示している。根管の先端に根尖孔がある。根尖孔から血管や神経が根管に入り歯髄に栄養と酸素を供給している。



図1 歯の模式図
(文献1より改変)

1. 根管治療は歯の土台工事

歯の根の治療は歯の土台工事である。最近建造物の土台工事が世間を騒がせているが、土台工事は建造物のその後の耐久性に大きく影響を及ぼす。建造物は様々な風雪、地震等に耐えなければならない。目には見えないが土台工事は、とても重要である。歯では、根管治療がこの土

台工事にあたる。歯も建造物に劣らず、様々な外からの刺激に耐えている。毎日いろいろな硬さの食べ物を噛み砕き、温かいスープや冷たいアイスクリームなどの温度変化にも対応し様々な食べ物の性状を感じ美味しく食べることが出来るように機能している。この土台となる根の中に歯髄という組織がある。歯髄は根の中の根管という管の中に広がっており、結合組織繊維、血管、神経、象牙芽細胞、線維芽細胞、免疫担当細胞などからなっている。少々の刺激には独自に対処して自分を守る構造になっている。今回は、この根管のバラエティに富んだ構造と根管治療についてお話したいと思う。自分の歯肉の下にこのような組織がありこのような構造になっていて日々活躍していると知ると歯や歯根にもっと愛着が沸き大切にしないといけないと再認識するのではないだろうか。

歯の治療といえばう蝕の治療や拔牙や矯正、義歯を思い浮かべる人は多いだろう。最も見えない部分の治療を行うのが根管治療である。そして、歯内治療の主なものは根管治療である。

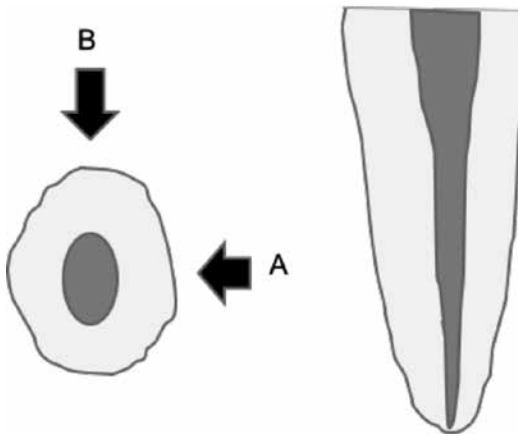


図2 根管を上から見た図(左)と横から見た図(右)

歯科医院でレントゲン撮影を行ったことがある人も多いと思う。レントゲン写真に映る根は外から見えない。このレントゲン写真でさえ真実の根の形や状態を現してはいない。2次的に映った形を見ているだけである。

図2に根管を上から見た図(左)と横から

見た図(右)を示す。例えばレントゲン撮影で歯根をAから見ると右のように一本の根管のように見えるが、Bから見ると8通りの根管のパターンになることがある(図3)²⁾。頻度はパターンによって違うがこの複雑な根管の中に歯髄が広がっている。この濃い色の部分がメインの根管だがここからさらに側枝と呼ばれる木の枝のような細い根管がありその74%は根の先端にある³⁾。

下顎第2大臼歯にユニークな形態が見られる。図4に幾つかの代表的な根管の形態を示す。上段に根管を上から見た図、下段に横から見た図を示す。通常はAやBが多いのだが、Cのように歯冠側から見るとアルファベットのCの形のものがある。槌状根と呼ばれるもので人種により頻度が異なりアジア人に多い⁴⁾。根管の形は一人一人異なっており、槌状根の形はCTなどで3次的に精査しないと正確にはわからない。

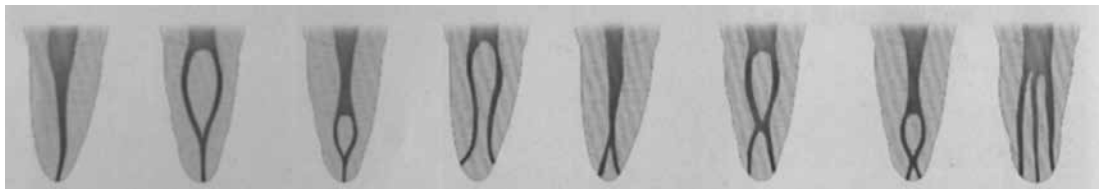


図3 根の模式図 濃い灰色の部分が歯髄である。(Vertucci の分類, 文献より改変)

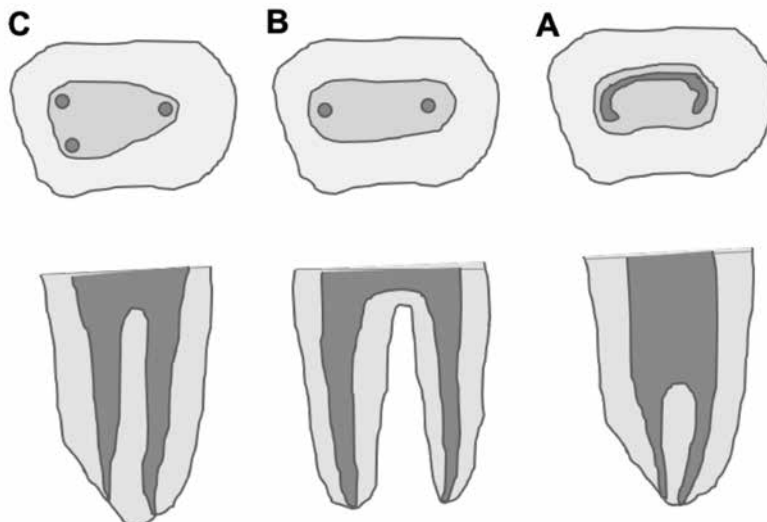


図4 代表的な根管の形態

これはほんの一例に過ぎず、根管はもっと複雑な構造をしており一根一根異なっている。歯の根の治療は歯の土台工事である。複雑な根管の治療は大変繊細で誤ると根に亀裂が入ったり穴が空いてしまう。亀裂や穴があると根は脆弱化したり感染、炎症を誘発してしまい抜歯になってしまうことが多い。根管の形を壊すことなく歯髄を取り除き清掃・洗浄し細菌を無くす根管治療は美味しく食べるために大変重要で高度な技術を必要とすることを御理解いただけると幸いである。

2. 根管治療に対する考えが日本と欧米とは違う

根管治療の重要性に関して欧米では大変関心が高く、医療費もインプラントと並んで高い高額医療の治療である。

日本では、目に見えない治療からか？根管治療の重要性があまり知られていない。治療費は低く欧米並みに顕微鏡などの機器や器具、洗浄

剤を用いることは容易でない。しかし、根管治療が的確に行われないと大きすぎる根管形成や穿孔、亀裂、破折につながり抜歯を招き残存歯数が減ることとなる。

厚生労働省のe-ヘルスネットによると「神経を抜く」と言われる根管治療は、歯科治療の中では大きな割合を占め平成17年度患者調査によれば、全体の約25%の方が根管治療を受けている。4人に一人が根管治療を受けており、根管治療の成功率によって残存歯数が減りブリッジや義歯となりそれを支える歯に負担がかかり保存できなくなり抜歯となるリスクが高まることはあまり知られていない。

10年経た平成29年の今日もまだ現状はほとんど変わっていない。土台となる歯根について知ることによって根管治療への理解を深め現状が少しずつ変わり健康な歯根で美味しく何でも食べることが出来るようになることを切に願っている。

参考文献

1. Bergenholtz G, Hørsted-Bindslev P and Reit C: Textbook of endodontology, In: Bergenholtz G, Hørsted-Bindslev P and Reit C, editors: ed 2, Wiley-Blackwell, 表紙, 2010.
2. 木ノ本喜史：臨床根管解剖。ヒョウロンパブリッシャーズ。2013.
3. Hargreaves KM, Cohen S and Berman LH: Pathway of the pulp. In Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH, editors: ed 10, Elsevier, Chapter 7, Mosby Co. St. Louis, Missouri, USA, 138, 2015.
4. Jafarzadeh H, Wu YN : The C-shaped root canal configuration: a review. *J Endod* 33:38-42. 1994.

連絡先：〒350-0283
埼玉県坂戸市けやき台 1-1
明海大学歯学部 M-RIO
増田 宜子
e-mail: yoshik@dent.meikai.ac.jp

日本のエネルギー再考： 再生可能エネルギー 100% 地域とエネルギー 効率を中心とした世界協調の視点から

松村悠子 (MATSUMURA Yuko)¹ 三好 恵真子 (MIYOSHI Emako)²

¹ 大阪大学大学院人間科学研究科・博士後期課程,² 大阪大学大学院人間科学研究科

Key Words: エネルギー政策 再生可能エネルギー エネルギー効率 島嶼性 地域社会

はじめに

近年、国際的に議論されている環境問題のひとつに地球温暖化が挙げられる。この地球温暖化の人為的責任に関しては、賛否が分かれているが、一つの結論を示唆したものとして、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の報告書がある。つまり IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) の第 5 次報告書において、第一次作業部会「自然科学的根拠」は、気候システムの温暖化については疑う余地がないと報告している。さらに、その原因については、20 世紀半ば以降に観測された人間活動が主要であった可能性が極めて高いと結論付けている。つまり、地球の温暖化は確実に進んでおり、その人為的な責任について言及しているのである。そのうちエネルギー生産・消費活動は、地球温暖化の原因である温室効果ガスの主要な排出源のひとつであるため、全世界的なエネルギーシステムの改善が要求されている。一方で、エネルギーシステムは、経済発展と深い関係があり、地域によって発展状況が異なってくるために、その改革における世界協調は当然ながら容易ではない。しかしながら、中長期的視野において、国際協調を基盤にした解決策は必要不可欠になることは言うまでもない。

これまで国際的な協調がなかなか実現されてこなかったものの、2015 年 12 月にフランスパ

リにおいて、温室効果ガス削減の国際合意である「パリ協定」が世界 195 カ国の合意のもとに締結された。続く 2016 年 9 月には、これまで国際合意に難色を示していた中国と米国が、国内の承認を経て本協定に同時署名した。2016 年 11 月にパリ協定は発効するに至った。一方で、日本の批准は遅れ、発効に間に合わなかった。日本の気候変動対策への姿勢は世界各国に比べて、積極的であるとは言いがたい状況にある。筆者は、パリ協定の合意前後の 2015 年に約 8 ヶ月間ドイツの国際 NGO での研究活動の機会に恵まれ、国際的な共同研究にも従事することができた。その経験を踏まえ、国際的に望ましい解決策と連動させながら、望ましい日本のエネルギー政策を検討する必要があると考えるに至った。

海外と日本の再生可能エネルギー政策を比較した先行研究は多数存在し、例えばドイツのエネルギー運営形態の多様性およびそれを可能にするシステムや、デンマークの風力やバイオマスによるエネルギー自給率の向上実績の検討をおこなったものなどがある。しかし一方で、日本独自の政策を同時に評価するために、これらを支える他国の制度的、地理的差異に言及しながら島嶼地域である日本の特性を深く議論したものは少ない。そこで本論文では、先進事例として取り上げられることの多いドイツとデン

マークの先行研究を参照しつつ、日本との多層的な環境の差異や政策適用の限界を認識しつつ、日本が世界で評価されるようなエネルギー政策の進展の可能性についても言及していく。これらの議論を通して、世界レベルでのエネルギー政策における日本の立ち位置を確認しつつ、エネルギーシステムが閉鎖系となっている日本の全体像も俯瞰しながら、現在日本に求められる再生可能エネルギー政策の視点を示していきたい。

本稿では、まず、日本のエネルギー政策の経緯を概観し、日本国内における現在のエネルギー政策の動向と経済発展との関係性に関する議論を整理する。次に、国際社会のエネルギー政策を国際エネルギー機関（以下、IEA）の報告書から分析していくが、ここで国際社会では経済だけでなく平和、公平性、長期的な課題への貢献など多様な視点が提供されていることに着眼する。次に、地球温暖化に関して、重要な解決策と考えられている再生可能エネルギーとエネルギーの効率化について、海外の事例を参照しながら国際社会にとって望ましいエネルギーシステムの視座について議論していく。特に再生可能エネルギー・エネルギー効率の改善をエネルギー政策の中心に設定し、再生可能エネルギーにおけるエネルギー自活を目指す欧州におけるドイツとデンマークの事例を分析し、なぜこのような政策が可能なのか、また再生可能エネルギーを取り巻く環境の違いと日本への適用とその限界についての考察を行う。次に、日本独自の再生可能エネルギー開発事例やエネルギー効率に関する政策について検討を行う。

最後に島嶼国家としての日本の特性を分析し、国際社会が日本に求めているエネルギー政策に向けての課題を抽出しつつ今後のあるべき日本のエネルギー政策を展望してゆく。

1. 日本のエネルギー政策の概況

東日本大震災後、我が国は大きなエネルギー政策の見直しを迫られた。すなわち「国民的議論」と政策への市民参加の必要性が叫ばれ、革新的エネルギー・環境会議^{*1}が開催され、エネルギーの政策の方策を選択する議論がなされた。その結果として採択された革新的エネルギー・環境戦略^{*2}では、「原子力発電に依存しない社会のいち早い実現、グリーンエネルギー革命の実現にむけて、2030年代に原発稼働ゼロを可能にするよう、グリーンを中心にあらゆる政策資源を投入する」という国民の意見に配慮した方針が決定された。一方で、東日本大震災以前においては温室効果ガス排出削減案であり、基幹電源と定め、強力に推進してきた原子力発電の代替案は具体化されてこなかった。

しかし翌年、エネルギー政策は一変する。2012年12月の衆議院議員選挙により自由民主党に政権が移行し、このエネルギー政策が一貫して実行されていくかどうかは不明確になっていった。そして2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、国民的議論によって採択された結果とは異なり、原子力発電をベースロード電源として認識する規定が再記載された。また、2015年に公表された長期エネルギー需給見通しでは、2030年のエネルギーバランスで、原子力発電が10～15%を占める計画と

^{*1} 2012年に民党政権の下で行われたエネルギー政策における国民と専門家との議論の場。2030年のエネルギーミックスをめぐり、原子力発電の依存度別に選択肢を設け、意見聴取会という名の公開討論会が主要都市各地で開催された。その様子は動画配信サイトで公開されるなど、エネルギー政策に関して、市民に開かれた議論が行われる必要性和市民が自らエネルギー政策に参画することの重要性が印象づけられた。

^{*2} グリーンエネルギー革命の項目には、節電：2030年までに1,100億kWh以上の削減、省エネ：2030年までに7,200万kl以上の削減、再生可能エネルギー：2030年までに3,000億kWh(3倍)以上開発等の目標設定がなされた。

なっており、新設を含む原子力発電開発の計画が暗示されている。このように日本のエネルギー政策は、政権交代によって少なからず移り変わってきている。これは、自国のエネルギー資源が少ないために、主軸となる基盤電力に関して、国としての意思決定が不確実性を持つという特徴による。

以上のように政権交代により原子力発電の位置づけが再検討される可能性があるものの、エネルギー源の開発に関しては新たなエネルギー基本計画案においても一貫して加速度的に開発を進めていく必要性が述べられている。2012年7月に再生可能エネルギー固定価格買い取り制度が開始され、また2016年4月には電力小売自由化が行われ、一般向け電力販売も選択できるようになった。さらに数年以内には、電力会社の発送電業務の分離も検討されるなど、新規エネルギー技術の導入に向けた具体的な法整備が着実に整いつつある。法整備に対応し、実質的な再生可能エネルギーの導入も増加してきた。そこで、今後のエネルギー研究においても持続可能な社会システム構築に向けての実践展開を重視した学際的検討が求められているといえよう。

またエネルギーの政策決定が二転三転した実情は、世間の批判を提起した。すなわち国民の意思と反する政策が閣議決定されたという行政と国民間の信頼問題に加え、政策そのものの妥当性が検証されことなく政策決定されている点が憂慮されたのである。さらに国内外の研究所や国際機関等から、この長期エネルギー需給見通しに代表される日本のエネルギー政策への批判もあり、その指摘される理由は、再生可能エネルギー導入目標、エネルギー消費量および温室効果ガスの削減目標の低さについてであった（Greenpeace 2011, ISEP 2015）。

そこで、本稿では、なぜ日本がこのような批判にさらされているのか、国際的な報告書や開発状況を分析し、日本に求められるエネルギー開発方針を検討してゆく。他方、ヨーロッパ等大陸のエネルギーシステムと日本のエネルギーシステムの間には根本的な差異も多く、端的に比較・批判することはできない。そこで、国際的なエネルギーにおける政策提案や海外の地域事例を検討しながら、エネルギーシステム変革における世界的な協調を整理し、その上で日本の特徴に見合ったエネルギーシステム構築のために、適用可能な部分を抽出しながら日本のエネルギー政策を分析し、今後の展望を模索してゆきたい。

2. 国際社会におけるエネルギー政策の概況

国際社会、特に国際連合関連機関等が、各国のエネルギー政策策定に与える影響は大きい。本節では、社会情勢等に鑑みたマクロな論点を提示し、国際社会におけるエネルギー政策の動向を提示していく^{*3}。

2.1. 気候変動への対策への注力

OECDの下部組織である International Energy Agency（以下、IEA）は、報告書『Energy perspective 2014』において、全世界のエネルギー消費の動向と今後の展望をまとめている。ここではエネルギーの安定供給、気候変動対策を重要な課題として位置づけ、それらの解決に向けた国際協調を強く促した。エネルギー安定供給上の課題とは、つまり、化石燃料という枯渇性資源の依存度の高さや、最も重要な一次エネルギー資源産出地域のひとつ、中東地域が不安定な情勢にあることである。よって、エネルギー安定供給のレジリエンスを高めるために、1. 化

^{*3} 筆者は、2013年3月にドイツの再生可能エネルギー自治体をめぐる3週間調査視察を行い、2015年からは再生可能エネルギーを扱う国内外の研究機関と共同研究を行ってきた。これらの経験も踏まえて、本節では、日本のエネルギー政策を世界的な動向と比較しながら日本のエネルギー政策がエネルギー政策について国際に同調しているかという点を検討したい。

石燃料等からの段階的な脱却、2. 利用するエネルギー資源の多様化と 3. 既存の産出国および新たな産出国への投資の必要性を指摘している。

また最も深刻な地球規模の環境問題である気候変動対策が十分ではないことにも焦点を当てている。二酸化炭素排出削減^{*4}の実績値がまったくもって基準値に到達していないことを指摘しながら、具体的対策として再生可能エネルギーとエネルギー効率の更なる取り組みの強化、原子力発電の慎重な導入、カーボンストレージ (CCS) の開発を紹介している。さらに、エネルギー消費が中国、米国に集中していることから、エネルギーセキュリティの向上に寄与する技術開発を国の強い政策イニシアチブによって推進するよう各国政府に強く要求している。また、原子力発電に関しては、ドイツやベルギー等脱原発を決定した政府の事例にも触れつつ、高度な管理技術および放射生廃棄物の議論を含め、これらの課題は各国の判断にまかせると締めくくっている。結論として、IEA が肯定し、積極的に推進するエネルギーシステムの構造変革は、「再生可能エネルギー」によるエネルギー源の多様化と「エネルギーの効率化」によるエネルギー利用の最適化であることが分かる。

2.2. 公正なエネルギーシステムの必要性

IEA は 2014 年、サブサハラ・アフリカを中心としたエネルギーシステムの動向を取りまとめた『Energy Perspective Africa』を出版し、エネルギーアクセスがない等、先進国と発展途上国ではエネルギーを使用する技術や使用環境に大きなギャップがあることを示した。また、現在のエネルギー開発は大手石油メジャーによる

外部的で搾取的な開発だとして、地域に富の再分配を行う必要性を指摘した。

このように再生可能エネルギーはどの地域においても開発の余地のあるエネルギー源で、地域への利益還元が可能であり、今後さらなる開発が期待されている。さらに、国際的なエネルギー政策のもう一つの重要な視点として、エネルギー開発における「公正」^{*5}が言及されていることも注視すべきである。現在の枯渇性資源は、偏在性、有限性という特徴からエネルギー資源を持つ地域への投資が集中的に行われ、また世界市場においてエネルギー使用で得た利益は不公平に分配されている。よって再生可能エネルギーは、資源量に差はあれすべての地域において小規模分散型の活用が期待され、従来使用されてきたエネルギー源の資源量が少ないと評価されていた地域においても、一定の資源量が見込まれるのと同時に、地域の資源を地域で活用し利益を行き渡らせるので、地域発展に重要な役割を果たすと考えられている。一方で、もう一つの脱化石燃料化の解決策として紹介されてきた原子力発電に関しては、ウランもしくはプルトニウムという燃料が必要であり、これらの資源の偏在性、有限性という枯渇性資源の特性を持っているため、公正で平等なエネルギー社会の構築の視点からは評価されていない。

日本のエネルギー政策ビジョン策定に関する議論では、市場原理の全体最適、全体の経済性が最も優先されてきた。しかしながら全世界の経済規模や技術の普及状況における差異に目を向けてみると、市場原理が波及しない地域が存在している。また、持続可能で望ましい世界のエネルギーシステムの実現には、市場から排除

^{*4} 2014 年に発表された気候変動に関する世界的な学術見解である IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第五次報告書によると、気候変動は人為的な影響による可能性が極めて高いと結論づけ、産業革命以前と比較し地球の気温上昇を 2 度以内に抑えるためには、大幅な二酸化炭素排出量の削減を行う必要があると指摘している。

^{*5} この公正という視点は、環境社会学の分野における環境正義論の文脈で議論されてきた。多くの研究蓄積がある。例えば、西城戸船戸編「環境と社会」第 5 章公正と正義など。

される「持続的な環境保全」といった市場の外部性を丁寧に制度に組み込んでゆく必要がある。そうした中で再生可能エネルギーは、これまでの開発、市場によるエネルギー管理から見逃されてきた倫理性、公正なエネルギーという視点を提起し、地域や主体間の不平等を是正しうる。つまり、経済的な富の分配という点以上の、より多くのメリットが存在すると考えられているのである。

2.3. 期待される再生可能エネルギー開発

以上のように、国際的な視点で望ましいと考えられるエネルギーシステムが、空間的、時間的、技術的複合性を持って検討されてきた結果、今後、最も投資が進むのは再生可能エネルギーおよびエネルギー効率であることは明白である。他方で、これまでになされた再生可能エネルギーの負の側面についての議論についても再検討しておく必要である。丸山（2014）は、経済性や安定性というこれまで指摘されてきた課題について、化石燃料に比較して劣勢とはいえないという見解を示している。たとえば、再生可能エネルギーは燃料が要らない風力や太陽光などは設置してしまえば、その後の経済負担は維持管理費用に限定され、また当初は高額な設備投資費用もその普及によって軽減していく。また、安定性に関しても、気象条件に左右されるエネルギー源はあるものの、一定の変動可能なベースロード電源と組み合わせ、高精度の気象予測等を開発・適用することで、解決は可能だと言及している。また、寺西ら（2014）は、2011年にドイツが脱原発に向けた政治的判断を行った理由として、リスクの低さ、安定性、経済性、倫理性、環境保全の5点を紹介し、その中でこれらの点における再生可能エネルギーの優位性を示している。つまり、再生可能エネルギー推進施策は、世界協調における気候変動低減と公正なエネルギー社会の構築という社会の目標とすべき像と一致し、複合的に優位であると評価されている。すでに、複数の国や地域において、再生可能エネルギーおよびエ

ネルギー効率改善への投資が国家主導のもと強力に推進されている。

3. 海外における再生可能エネルギー政策

前章において、国際社会の観点から望ましいエネルギーは再生可能エネルギーとエネルギー効率化であることが明らかとなった。そこで本章では、日本とは異なり再生可能エネルギーとエネルギー効率化を政策の中心として推進してきたデンマークとドイツの具体的な事例を取り扱うことで、その成果と課題を見つめてみたい。

3.1. 海外のバックカスティング的なエネルギー政策

まず、デンマークとドイツのバックカスティング的なエネルギー政策を概観する。両国とも大規模な再生可能エネルギー導入目標値およびエネルギー効率の政策をエネルギー政策の中心に据えている。

2011年、デンマークは、2050年までに自国の全エネルギー消費（*電力、冷熱、輸送含む）を再生可能エネルギー100%で賄う計画「エネルギー戦略2050」を発表している。この計画が策定された視座は、デンマークとその他の世界各国において、持続可能で環境に優しい社会を構築することであり、化石燃料の依存度を減らし、再生可能エネルギー比率を段階的に増加させ、エネルギー効率を向上することで達成することを目指している。具体的には、これまで積極的に導入が行われてきた陸上・洋上風力発電、バイオガス、バイオ燃料等の再生可能エネルギー源を活用し、2050年までに国内のエネルギー消費を50%以上削減する。再生可能エネルギーによるエネルギー供給量を増加させ、エネルギー消費を大幅に削減することによって、需要と供給のバランスをとり、安定供給を実現する。これらの化石燃料利用からの脱却に向かう取り組みによって、①エネルギーセキュリティを高く保ちながらエネルギーを供給し、②気候変動を鈍化させ、③環境に優しい技術に

における雇用と経済成長を実現する展望を描きだしている（Danish Government, 2011）^{*6}。

また、ドイツは、2011年の東日本大震災後、脱原発を加速化させ、代替エネルギーとして再生可能エネルギーを大幅に導入する目標を設定している。2012年、ドイツ経済エネルギー省はドイツ新エネルギー政策を公表し、2050年のエネルギーミックスとエネルギーシステムを展望している。特に、2050年において、再生可能エネルギーによる80%エネルギーの供給を目指しており、政策の5本柱として①再生可能エネルギーの大幅導入と送電線の整備を前提に、②化石燃料由来の発電方式の維持、③費用効果の高い再生可能エネルギー開発、④エネルギー効率の改善、⑤エネルギー研究と技術開発の促進（ドイツ経済エネルギー省, 2012）を示している。

他方、日本におけるエネルギー政策をエネルギー基本計画（経済産業省, 2014）および長期エネルギー供給予測（エネルギーミックス）から概観してみる。エネルギー基本計画では、エネルギー開発における優先事項を3E+S（安全性、安定供給性、経済性、環境保全）と定めている。また、エネルギー基本計画、長期エネルギー供給予測も既存の安定供給状況や、現状の化石燃料の経済的・社会的不安定さ、現状の再生可能エネルギーの技術的な課題を考慮しながら現在から過去までの課題を前提にエネルギー政策を策定している。その結果、東日本震災前のエネルギー基本計画同様にバックカスティング的に政策を策定し、原子力等をベースロード電源として規定した。しかしながら、日本の望ましい姿や将来発生しうるリスクに関しては前提条件として検討されておらず、政府の分析

が十分とはいえない。

以上を踏まえ、デンマーク、ドイツ両国（以下、独丁）の特徴は、日本の政策の場合とどう異なるか簡潔に述べると以下ようになる。まず気候変動対策への貢献意識と目標設定に大きな違いが見られる。独丁は、2050年という長期スパンにおいて、全世界的な規模でエネルギー消費、温室効果ガスの排出が増加すると予測される中で、自国の果たす役割はエネルギー消費、温室効果ガスの削減だと規定している。また、両者ともエネルギー削減目標を設定しながら、環境配慮技術、再生可能エネルギー技術における経済発展を展望している。つまり、独丁にとって再生可能エネルギーとエネルギー効率の向上は、温室効果ガスの削減、全世界の気候変動への適応への強調、経済振興政策という3つの目的を実現するための手段と位置づけられている。よって、分散型という特徴をもつ再生可能エネルギー普及に重要な役割を果たしているのかについて、ドイツとデンマークの地域の取り組みを以下に分析してゆく。特にバックカスティング的なエネルギー政策の代表例である100%再生可能エネルギー地域プロジェクトについて、具体的な地域の事例をもとに議論を深めてゆく。

3.2. バックカスティングな政策としての100%再生可能エネルギー地域

再生可能エネルギー自給目標を立てている地域・コミュニティは、全世界で100地域以上が存在し（Global 100% RE campaign, 2015）、特にドイツにおいては、約83の自治体やコミュニティが再生可能エネルギー自給目標を策定している（dENet 2013）^{*7}。これらのバックキャ

^{*6} ③に関して、デンマークは現在ではEUを代表する環境配慮技術の輸出国家に成長している。2009年時点で、デンマークの輸出品目における環境配慮技術の割合は12%。

^{*7} ドイツの研究機関dENetによって行われている100%再生可能エネルギー政策に関する研究プロジェクト。ドイツ国内を対象としており、100%再生可能エネルギー地域とは、国内の83地域が再生可能エネルギー100%地域を目指しているか、もしくは達成している地域である。都市・農村の別、達成度、そのほか20を超える指標に寄って評価を試みている。

ステイニング的な海外の再生可能エネルギー政策、特に地域主体やコミュニティに注目した取り組みについて注目した研究は多くある。例えば、滝川らは「欧州エネルギー自立地域」において、これらのエネルギー自立地域、つまり再生可能エネルギー 100% 目標を設定しているもしくは達成している地域を成功事例と紹介し、再生可能エネルギーの農業との相乗効果、雇用創出、新たな魅力の創出等のメリットを挙げている。

このように国や地域に必要なエネルギー全て再生可能エネルギーで供給することを目指す政策は、日本においてはドイツやデンマークほど広がっていない。例えば、福島県、北海道、高知県梶原町などの事例が見られるものの、全土的風潮とはいえず、限定的である。他方で、「環境モデル都市」や「新エネルギービジョン」といった補助金の枠組みが存在しており、再生可能エネルギーを活用し、循環型社会の実現に寄与する政策策定の支援も行われてきた。しかしながら、それらの取り組みの報告書の部分には「100% 再生可能エネルギーによる自給」という文言が引用されていても、政策達成目標として「100% 再生可能エネルギー」を掲げたものは少ない。それに対し、ドイツの政策の場合は、目標値の設定だけではなく、地域の人々の手による開発アプローチも重視されている（dEnet2013）。日本において、再生可能エネルギー自給率の高い地域は多いという報告があるが（倉坂 2014）^{*8}、地域における開発主体の有無は検討項目に含まれていない。つまり、地域外部の企業による再生可能エネルギー開発も、コミュニティパワーも区別せず含まれている。例えば、倉坂らの報告書にて再生可能エネルギー 4000% と記録されている大分県の

九重町は日本国内で最もエネルギー自給率の高い地域であるが、大手電力会社の地熱発電所によって殆どの再生可能エネルギーが発電されている。つまり、地域のエネルギー政策との関連性は小さい^{*9}。

3.3. 再生可能エネルギー 100% 地域政策の事例

次に再生可能エネルギー 100% という政策の実効性を評価するために、ここでは再生可能エネルギー 100% という政策が地域に与えるインパクト、政策による地域社会の変化を具体的に検討していく。一つ目の事例として 100% を達成した地域デンマークであるサムソ島、そして二つ目の事例として達成を目指しているドイツのオスナブリュック市を取り上げたい。

Case 1: デンマークサムソ島

デンマークサムソ島は、デンマークの国のほぼ中央に位置し、20 年を超えるプロジェクトマネジメントにより、100% 再生可能エネルギーによる電力供給を達成している。

1998 年、デンマーク政府のエネルギーアイランドプロジェクトに選ばれたサムソ島は、エネルギーアカデミーを設立した。エネルギーアカデミーでは、研究調査だけでなく、島民に対して新エネルギーの普及啓発活動が行なわれている。サムソ島は人口約 3700 人の小さな島であるが、島民がプロシューマーとして、エネルギー自給に貢献しているのである。例えば、筆者が訪問した 5 軒では、農家や芸術家が風力発電設備に出資もしくは設置していた。それぞれのライフスタイルに合わせて、エネルギー生産者として収入を得ており、生活の一部となっているのである。

^{*8} 倉坂らは、「永續地帯」としてエネルギー自給率（エネルギー源には再生可能エネルギーを使用していること）と食料自給率が 100% を超えている地帯を永續地帯として、研究を行っている。この研究においては開発者の別、政策や市民活動の有無等の情報は網羅されていない。

^{*9} これらの外部型の開発では、地域主体で行われたものに比べて情報が公開されにくいという他に、地域の意思決定の機会や利益、雇用に関する影響は、限られるというデメリットもある。



図1 サムソ島の公共電気自動車(2015年筆者撮影)

現在、サムソ島では、電力だけではなく、島のエネルギーを100%自給するために様々な事業が実施、計画されている。例えば、電気自動車の普及が挙げられる。サムソ島の町庁舎では、電気自動車が公用車として利用されているほか、島民の電気自動車の普及施策にも力を入れている。サムソエネルギーアカデミーの研究員は以下のように語った。

「サムソ島では発電された電力のほとんどは、島外に輸出されている。そこで、島内の人は「もったいない」と考えるようになり、島内の電気需要を増やしていく必要があると考えようになった」

さらに、島と本島を結ぶフェリーをハイブリッドガスのものにし、将来的にバイオガスで再生可能エネルギー由来のものに転換できるよう、検討している。

Case2: ドイツ オスナブリュック市

オスナブリュック市は、人口約100,000人の中規模都市である。2030年に電力、2050年に熱において100%再生可能エネルギーの達成を目指している。比較的エネルギー消費の密度が高いオスナブリュック市においては、市内のエネルギー資源のみで、再生可能エネルギー100%を実現することは難しいということはおわかってきた。よって、周辺の地域に投資し、共同で再生可能エネルギー開発を行うことで、総体として再生可能エネルギーの時給を達成する計画を策定している。つまり、比較的密度の高い都市圏においてもエネルギー自立が実行可能であり、地域への波及効果があることを実証しようとしているのである。また、オスナブリュック市は、エネルギー開発においても種々の試みを実践しており、担当者の話によれば、55のプロジェクトが策定されている。例えば太陽光発電の屋根パネルに関する調査では、全ての家



図2 太陽光発電の発電ポテンシャルを示した“Solardachpotenzial”のウェブ画面
(オスナブリュック市ウェブページより筆者作成)



図3 熱利用状況を示した“Thermografiebefliegung”のウェブ画面
(オスナブリュック市ウェブページより筆者作成)

屋において、太陽光発電パネルのポテンシャルを可視化している（図2,3）。

また、熱ロスに関する調査では、屋根や、窓からどれだけエネルギーを無駄に利用しているかを可視化している（図3）。これらを含めた50を超える取り組みによって、市民の心理状況を促し、再生可能エネルギーへの関心を高めている。これらの結果としてオスナブリュック地域は電力消費82%と熱需要の22%を再生可能エネルギーでまかなっている。

上記2つの事例のように、再生可能エネルギーとエネルギー効率を利用した取り組みは、地域資源に依存するためには多様性が生まれる。また、地域住民にとって結果的に利益をもたらすため、地域開発とも相性が良いと評価されている。

4. 日本のエネルギー政策の再検討

前章までにおいて、日本のエネルギー政策の現状、国際社会の情勢、バックカスティング的エネルギー政策の事例を検討してきた。日本のエネルギー政策は、不可視のリスクが顕在化し、地域社会におけるエネルギーレジリエンスが求められているにもかかわらず、他国に比

較すると原子力発電のベースロード電源化を容認する従来の中央集中型のエネルギー供給に偏っていると一言ざるを得ない。本稿前半で述べたように国際情勢は、気候変動からのドラスティックな解決策と既存のエネルギー経済の公平性の向上と社会における正義を要求している。その状況下で、デンマークおよびドイツは日本とは異なり、国際情勢を踏まえ、バックカスティング的に自国のエネルギー政策を検討し、野心的なマイルストーンを設定してきた。すなわち経済成長と分散型エネルギー源の開発は両立可能であり、多くのステークホルダーに利益が分配されることを提示してきたのである。一方で、このような制度設計には、地政学的状況や政治制度の状況の影響が大きいために、一概に日本と比較することはできない。そこで、以上の論点を踏まえて、デンマークやドイツのようなエネルギー転換を日本で適用する可能性について、独丁との差異を加味しながら考察してゆく。

4.1. デンマーク、ドイツのエネルギー政策の日本への適用の可能性と限界

日本、ドイツ、デンマークの地政学的、政治

状況を主に3つの点から比較してみる。

(1) 行政区分

まず、行政区分とそれに付随する予算分配の違いがある。独丁はともにヨーロッパ連合（以下、EU）に所属しており、EU 国、連邦制（州）、都市、地区という複層の行政体制をもつという違いがある。州制度における地方分権体制、かつ広域地域連合（EU）という上位のエネルギー政策があることで、エネルギーの技術サポート、助成金・補助金システム、評価システムと多様なサービスが展開されている。連邦制はより地方の権限が大きくなっている。また EU という協団体組織による規制が上位にあり、その下に国、連邦制、市、地域社会という枠組みがある。一方で、ルールを連邦制度等に依存することで、地方自治体の裁量は最低限にとどまり、地域社会の独創的なアイデアが実現できる場合もある。

また人口や都市化の度合いは日本とは異なっている。一般に、成功事例として引用されることの多いドイツでさえ、可住地面積に対する人口密度が日本の3分の1程度である。さらに、地政学的にはヨーロッパは「大陸」であり、国の電力自給目標を立てつつもヨーロッパ大陸内で電力の融通をしあっている^{*10}。つまり、政治的国境はあるけれども、送電網やパイプラインなどのライフラインは国境を超えているのである。

(2) 送電網のインフラストラクチャーに関する差異

次に、技術的課題として送電系統の整備・統一の必要性がある。日本では、東日本と西日本において、電力の周波数が異なっている点も地域間の連携を難しくしている。地域独占電力会社間における電力融通に上限がある等、インフラストラクチャーの整備が必要な部分もある。送

電系統において、日本以外のほとんど先進国では周波数の統一が行われており、先進国で統一されていないのは日本のみとなっている（山本 2013）。また、再生可能エネルギーを導入するためには、より送電系統を強化する必要がある、太陽光や風力発電を送電線からつなぐ場合、ある一定程度の高圧の電力網に接続しなければならない^{*11}。つまり、電線がパンクしてしまうので、大規模風力や太陽光を一般の家庭のそばに流れている電線に接続することは難しい。特に MW 規模の大規模な発電所を接続するには、一定程度の太い電線を整備する必要がある。そのため、分散型電源を導入する際には、電力事業者の協力のほか、送電線の設備も必要とされる。送電網の整備はドイツのエネルギー政策が掲げているように、現在再生可能エネルギーの投資を積極的に行っている地域において、重要で喫緊の課題である。

(3) 地理的環境の差異：島嶼と大陸

最後に、地理的環境要因の差異がある。日本は、島嶼であり、自国のエネルギー資源量も少ない一方で、どの大陸ともパイプラインと接続していない。それはインフラを新たに敷設するコストが大陸地域に比べて大きいことが原因である。一方で、エネルギーの安全保障上は一国に依存することを避ける狙いもあり、最終的にロシアまでつながるパイプラインを有するドイツ、デンマークとは異なる状況にある。また、欧州にも、もちろん島嶼地域は存在しているが、欧州の島嶼地域の多くで、送電線が大陸とつながっている中で、日本の島々は繋がっていない地域が多い。これは日本が火山性の列島で、縦に細長いという地理的特徴も関係している。

さらに、地理的な制約（急峻な山脈と縦に細長い地形）と梅雨、大雨、台風といった四季と自然災害災害の影響も日本においては軽視でき

^{*10} しかしながら、配電システムは必ずしも全ヨーロッパで統一されていない。エネルギー需給管理システムは、15 分毎もしくは 10 分毎と各国で異なっている。

^{*11} 系統接続と呼ばれている。

ない。火山帯に位置するため、火山、地震等のリスクも検討してゆく必要がある。東日本大震災では、事前に行われていた科学者の忠告、報告書を十分に反映できていなかったという反省がある。日本の島嶼国特有の厳しい自然環境を考えれば、世界標準に配慮するだけではなく日本の標準を検討していく必要性もある。つまり、他国で適用される基準に甘んじることなく、日本で起きうる種々のリスクに対して、最大限の研究と配慮を行いつつ、リスクが最小に抑えられるシステムの構築が必要になる。また、そのリスクを検討する際に、気候変動における自然災害リスクの増大の可能性の幅についても、予測と検証を行っていく必要がある。気候変動に関する研究者の総意として、気候変動は、すでに起こっている疑いのない現実であり、これまでの社会活動と今後の社会活動において、「異常気象」と呼ばれる自然災害は、増えると予測されている（環境省, 2014）。よって日本を取り巻く自然環境と地理的環境条件は、エネルギーシステムの運用を検討する上で、非常に重要だと考えられる。

以上のように、日本は、国家制度の違いに加え、地政学的な特徴がインフラストラクチャー等の整備に影響を及ぼしている。そこで次節では、日本の島嶼性という地域特性に焦点を当て島嶼性とエネルギー政策との関係性について検討してゆく。

4.2. 日本における島嶼性とエネルギー政策

前節で説明してきたように、ヨーロッパ大陸と日本とでは、インフラストラクチャーの構造や政策において大きな差異がある^{*12}。これまでの議論を踏まえ、日本の地理的特性、特に島

嶼性を基盤とした視点から、日本のエネルギー政策の再検討に必要な条件を検討してみたい。島嶼地域^{*13}に注目することで、多くの事象が客観視されやすくなる。海という物質的な隔たり（境界）によってそれぞれの課題が独立で、明確に因果関係を示しやすい。つまり島嶼性から日本を見直すことで、日本の環境にあった開発を行うことができると考えられる。

筆者は、2011年から日本の離島におけるエネルギー政策を検討しており、種々の島嶼地域において現地調査を重ねてきた。ここでは、エネルギーの自立をめざす沖縄県宮古島の事例を検証したい。沖縄は、日本最南端にあたり、亜熱帯気候で夏季には台風と、そして大潮の時期には、農地への塩害等、自然災害と向かい合ってきた。しかし、この厳しい自然環境におかれた沖縄県宮古島の台風被害が、後の風力発電における基準の見直しにつながったのである。2003年9月11日に沖縄県宮古島を通過した台風14号（マエミー）は、最低海面気圧912hPaおよび最大瞬間風速74.1m/sを記録し、それにより宮古島に設置されていた風力発電機1基が倒壊し、2基がブレード損壊する事態に至った（高原ら2004）。日本に風力発電が導入された初期段階であった当時、この被害状況は所有者であった沖縄電力や共同研究者らによって原因の分析が行われたのだが、この被害を受け風力発電の基盤や対災害基準はより厳格に改善された。そして島の経験を活かした新たな厳格基準になったことが、ひいては日本に適したシステムへと開発されることに繋がったのである。このように島嶼性という特徴へ回帰し、エネルギー開発を行うことで、原子力発電に替わる新エネルギー技術を確立し、普及していける可能

^{*12} 環境省によるIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）第5次報告書の概略では、主要な8リスクに加え、地域ごとにおけるリスクを説明している。アジア地域のリスクには、河川の氾濫、暑熱による死亡リスクの増大、水・食料不足の増大をあげており、その影響要因には、極端な降水、破壊的な低気圧温暖化傾向、温暖化傾向、極端な気温、乾燥傾向等が考えられる。

^{*13} 離島センターによると、2014年現在、日本には6400あまりの島嶼がある。その大部分は、無人島で、有人島は420ほどである。

性がある。

前述したように、日本において爆弾低気圧といった異常気象は今後増加していく可能性は否めない。こうした気候変動への適応策としての視点からも再生可能エネルギーを押し進めていく必要がある。

他方で、日本の島嶼地域におけるエネルギー成功事例は少ない。先進技術の実証実験は行われているものの、パイロットプロジェクトで学習効果が起こりにくいこと、自然災害が多いこと、物資の輸送に費用がかかるという問題がある。これらの複合要因によって、持続的な運営は高コストになりがちであり、一度故障するとメンテナンスが行われず、放置される事例もある^{*14}。しかし、他のエネルギーシステムは、より大きな危険を含むと考えられる。たとえば、燃料が必要なエネルギーシステムは、その輸送によるリスクを抱えなければならないが、現地に技術の拠点があれば、それでエネルギー管理を行うことができる。

上記のような島嶼地域としての日本エネルギー基準は、他地域にも貢献できる。加えて研究、開発を慎重に検討していき、研究成果を積み重ねてゆく必要性もある。日本のエネルギー政策のプロトタイプだけでなく、そこにおける管理者、財政、社会システムを巻き込んだ包括的なエネルギーシステムを構築することが現実的である。そこで、総括として、今後の日本において再生可能エネルギー政策を検討するにあたり、重視すべき点とその限界と可能性について以下議論したい。

5. まとめとして：国際協調を基盤とした島嶼国日本のエネルギー転換の展望

上述してきたように、日本のガラパゴス的なエネルギー政策は、様々な課題を抱えてお

り、さらに国民の相違とは異なっているだけでなく、国際的な傾向にも乗じていないことが分かってきた。また、気候変動の観点からも、目標設定が不十分である。特に、エネルギー消費の削減とエネルギー効率への言及の少なさ、再生可能エネルギーの割合の過小設定は、気候変動の世界協調の視点に欠けている。一方で、日本のエネルギー政策はさらに改善してゆける余地があると考えられる。つまり、ヨーロッパ大陸の先進事例を参考に、バックキャスト的なエネルギー政策目標を策定し、その上で島嶼国である日本の独自のエネルギー基準を策定してゆくことで、より堅固で日本の風土にあったエネルギーシステムを構築してゆけると示唆されるからである。ここでは、本文では深く扱わなかった日本のエネルギー政策における課題を3つに整理しつつ、今後の展望としてまとめてみたい。

(1) エネルギー効率における規制

IEAは「エネルギー効率は、効用を損なうことなくエネルギー消費を削減でき、エネルギー消費者において多くの利益を生むものであり、再生可能エネルギー同様再優先でできる限りの検討を行うべき」だと指摘している。ハイブリッド車の開発や、家電におけるトップランナー制度に見られるように、省エネルギー技術と法規制は日本のお家芸であった（橘川 2013）。そしてこのトップランナー方式における国主導のエネルギー効率により、白物家電のエネルギー効率は20年間で50%以上も向上したと評価されている。ここまでで十分に省エネルギーが進んでいると評価する研究者らもいるが、近年注目されている新たな概念として、ネガワットという考え方が登場し、また需要と供給のバランスを行うことでさらなる効率化を行ってゆくことは可能であると考えられる。エネルギー効

^{*14} 筆者は、2011年からの継続的な調査により、長崎県対馬市や新潟県佐渡市のエネルギー開発事例を調査してきた。対馬市と佐渡市は、日本国内の他地域と比較して早期に風力発電が導入したが、故障や社会的要因によって、風力発電所が運用停止という結果に至った経験がある。

率化をめざして、生活形態の見直しをすすめることでピーク電力の最大値を減らすことができれば、安定的なエネルギー供給がしやすくなる。これらの取り組みは、エネルギーの自給率が低い日本においては、特に効果的であるといえる。すなわち省エネルギーは、従来エネルギーの輸送コスト等も節約できるので、効率の目標値を具体的に設定することは、日本の経済発展にも寄与するのである。

(2) エネルギー統計資料の充実

日本のエネルギー政策で今後期待される点はもう一点あり、それは、エネルギー統計資料の充実である。日本政府の目標値と他の国内外研究所とのシミュレーションに差があり、正確なデータの提供がなされていないこともエネルギー政策の策定の遅れに影響している。これらの資料が充実して行けば、行動学的な実証研究や日本の風土に合った検討が可能となる。特にこれまで産業・業務分野と比較して省エネルギー化が進んでいなかった民生分野において、省エネルギーを加速化するためには、国民の行動を把握する必要がある。そのため、エネルギーに関する統計情報の収集は国が主導して行う必要がある。

(3) エネルギーシステムと都市計画の視点

最後に、日本のエネルギー政策の課題として、住宅、都市とまちづくりとの関連の低さを挙げておく。都市における環境計画、そして都市と農村それぞれの都市計画とエネルギー政策が縦割り式で独立していることも課題である。よって、エネルギー政策単独ではなく、社会の構造変化も踏まえて計画を策定していく必要がある(下田 2014)。

筆者の調査経験に基づく、日本の地域社会

は、社会システムは比較的都市化しているが、土地利用計画とエネルギー計画が具体的に結びついていなかった。エネルギーという重要なインフラストラクチャーの管理運用は、少子高齢化が進めば、効率化せざるを得ない。しかしながら現状のエネルギーシステムは、コンパクトとは言えず、社会システム全体、都市計画と重ねたエネルギー政策の策定が必要である。一方で、これまで本稿で述べてきたように望ましい社会の姿との齟齬を是正し、国内の議論に留まらず、選択、投資する姿勢も必要である。バックカスティング的なエネルギー政策の元で、未来の確実性をふまえつつ、現在の延長線にあり実現可能な政策を策定していく必要がある。日本は、先進国として国際強調の中で期待されるべき役割を果たし、貢献していく責任がある。これまでの実績と世界各国との連携、そして日本の島嶼国としての特性を理解して、政策の立案と実行を行うことによって、経済、市場、地域社会といった社会システム全体に最適で実効的なシステム構築が可能になるのである。

2016年11月3～4日において、環境エネルギー政策研究所、全国ご当地エネルギー協会、世界風力エネルギー協会の主催による、第1回世界ご当地エネルギー会議(World Community Power Conference, WCPC)が福島県福島市にて開催された。この会議には、地域が中心となって進める自然エネルギーのリーダーたちが世界各地から集い、世界的な自然エネルギーへの転換の中でのコミュニティパワーの果たす役割が議論された。こうした国際的同調のムーブメントを追いつめとして、国際協調を基盤とした島嶼国日本のエネルギー転換が進み、世界をリードしていけるようになることを期待していきたい。

参考文献

1. 環境エネルギー政策研究所：「歴史的な流れに従ったエネルギー大転換を」2015年6月28日，available at <http://www.iseip.or.jp/library/7859>, accessed on 20th, Oct, 2016.
2. 環境省：「IPCC 第5次評価報告書の概要 - 第2作業部会（影響・適応・脆弱性）」，available at http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg2_overview_presentation.pdf, 経済産業省，2014.
3. 経済産業省：「エネルギー基本計画」平成26年4月，available at <http://www.meti.go.jp/press/2014/04/20140411001/20140411001.html>, accessed on 20th, Oct, 2016.
4. 経済産業省：「2015 長期エネルギー需給見通し」平成27年7月，available at http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_01.pdf, accessed on 20th, Oct, 2016.
5. 環境省：「気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書第1作業部会報告書（自然科学的根拠）の政策決定者向け要約 (SPM)」，<http://www.env.go.jp/press/files/jp/23096.pdf>, accessed on 20th, Oct, 2016.
6. 倉坂研究室：永続地帯，sustainable zone，available at <http://sustainable-zone.org>, accessed on 20th, Oct, 2016.
7. 橋川武郎：『日本のエネルギー問題』，東京，NTT出版，2013.
8. 下田吉之：『都市エネルギーシステム入門 - 住宅・建築・まちの省エネ・低炭素化 -』．京都，学芸出版社
9. 高原風滋，銘苅壮宏，新城文博，ほか：「台風14号（マエミー）による宮古島の風力発電設備倒壊等事故について」，風力エネルギー，28. 4. pp40-47. 2004.
10. 寺西俊一，石田信隆，山下英俊：『ドイツに学ぶ 地域からのエネルギー転換 再生可能エネルギーと地域の自立』，家の光協会，2013.
11. 西城戸誠，船戸修一編：『環境と社会』．京都，人文書院，2012.
12. 山本東平：『日本の省エネ活動から見た電力供給・需要システム改革』，大阪，風詠社，2013.
13. Danish Government, 2011, "Energy Strategy 2050" , available at <http://www.efkm.dk/sites/kebmin.dk/files/news/from-coal-oil-and-gas-to-green-energy/Energy%20Strategy%202050%20web.pdf>, accessed on 20th, Oct, 2016
14. German Federal Ministry of economics and Tchnology, "Germany' s new energy policy", available at <http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/germanys-new-energy-policy>, accessed on 20th, Oct, 2016.
15. Global 100% RE campaign, 2015, 「Global 100% RE campaign Map」 available at <http://www.go100re.net/map/>, accessed on 20th, Oct, 2016.
16. Greenpeace 2011, the advanced energy [r]evolution a sustainable energy outlook for Japan. available at http://www.greenpeace.org/japan/Global/japan/pdf/er_report.pdf, accessed on 20th, Oct, 2016.
17. International Energy Agency. World Energy Outlook. IEA. 2014

変貌する中国料理 ～南国酒家のこだわりと創造の原点

Changing Chinese Cuisines: Commitment of Nangokusyuka and Its Origin of Creation

宮田 佳明 (MIYATA Yoshiaki)

株式会社 南国酒家 会長

(Translated into English by Hiroshi Sakagami)



連絡先

〒150-0001 東京都渋谷区 神宮前 6-35-3
コーポオリンピア内 南国酒家
Tel: 03-5485-5605 FAX: 03-5485-6130
e-mail: m-yoshiaki@nangokusyuka.co.jp

Abstract

Nangokusyuka takes over my grandfather's minds and creates Chinese cuisines that make maximum use of natural resources and are friendly to our body.

南国酒家は、祖父の築いた遺産を引き継ぎ、天然の素材を最大限生かした、身体にやさしい、中国料理を創造して行く。

1. 祖父からの遺産

祖父の宮田慶三郎は、経営能力に恵まれた、大変エネルギッシュな方であった。もともとは、大阪歯科大学を卒業した歯科医であったが、不動産会社、南国酒家、原宿の高級マンションコーポオリンピア、中野ブロードウェイ、現在では総合大学化している明海大学（旧城西歯科大学）、朝日大学（旧岐阜歯科大学）を次々と創設して行った。そんな祖父が、Nature誌を愛読していたことを知り大変驚いた。この学究心が独創性、重要性、社会性を生み出したのだ。慶三郎の思想の深さと起業にかける情熱に対して畏敬の念を抱いている。祖父の築いた遺産は、父の代から我々孫の代に受け継がれるだろう。食道楽であった祖父は、中国料理レストラン「南国酒家」を創業した。祖父は料理についてはワンさんに任せ、自らは経営にあたっていた¹⁾。私は現在、南国酒家の第3代会長として、第5代社長の弟の順次

1. Life work inherited from grandfather

My grandfather Keisaburo Miyata was an enormously energetic person with superior management ability. Originally he was a dentist, who has graduated from Osaka Dental College. He has established the real estate company named Nangokusyuka, Harajuku luxury condominium named "Corp Olympia", Nakano Broadway, Mekai University (formerly Josai Dental University) and Asahi University (formerly Gifu Dental University). I was very much impressed that my grandfather was used to read the Nature magazine. I believe that this academic mind has created his originality, importance and sociality. I am awed by the depths of Keisaburo's thought and enthusiasm for entrepreneurship. My grandfather's legacy will be handed down passing through my father's generation to our grandchildren's generation. Grandpa, who was an esophagus, founded a Chinese restaurant "Nangokusyuka". Grandfather was in charge of management while he left the cooking to Mr. Wang¹⁾. Today, as the third president of the Nangokusyuka, I would like to firmly take over the grandfather's will and develop it further, with an

とともに、祖父の遺産をしっかりと引き継ぎ、さらに発展させたいと思っている。

2. 南国酒家のこだわり

南国酒家は、現在、26店舗（直営店20、フランチャイズ加盟店6）まで拡張している²⁾。蟹やフカヒレを使った定番料理は、時代にあわせ少しずつ味つけを変えてきている。肉の素材では、肉質に対してこだわりを持っている。くどくならないようするため、化学調味料を使わずに、自然からとれるアミノ酸を使用している。スープの出しが決めてであるので、良質の水を使用している。悪い油は使用しない。アルコール消毒に対する教育を徹底しており、食の安全性にも配慮している。そんな甲斐もあってか、57年間の営業で、リピーターも増え、収益も微増している。

南国酒家は、各都道府県の食材、地のものをクローズアップする企画を展開している。これまでに15県ほどと事業提携をして、各地の食材のメニュー化に取り組んできた。特に、最近、人気のあるのは、青森県尻屋の漁業組合より仕入れた、輸出に向かない小さい標準サイズ

powerful help from my younger brother Junji, who is the 5th president.

2. Commitment of Nangokusyuka

Currently, Nangokusyuka has a total of 26 chain restaurants (20 regulars and 6 franchises)²⁾. We have continued to change the taste of the classic recipes using crabs and shark's fin little by little adjusting to the times' trends. When we deal with meat material, we emphasize the meat quality. To prevent it from getting heavy, we prefer amino acids derived from natural resources rather than chemical seasonings. Considering the soup is decisive factor in complementing the deliciousness, we use high quality water. We do not use bad oil. We pay special attention to the thorough alcohol disinfection and food safety. With such a sense of value, both the number of repeaters and yearly earnings have increased gradually during 57 years of operation.

Nangokusyuka is developing various plan of closing up foodstuffs of each prefecture and local areas. We have tied up 15 prefectures so far, and provided customers various menus cooked with foodstuffs of all over Japan. Especially, dishes of small or ordinary size abalone "Fuku (happy) abalone (named by Nangokusyuka)" from the



尻屋で収穫されたアワビ



吊して天日干し



アワビトッポ



初夏の福あわび

のアワビ「ふく（福）あわび（南国酒家により命名）」を使った料理である。現地では、深海にタンクをしょって潜って収獲する。大きさが100-150gの天然蝦夷あわびを選別して、「あわび越し」という包丁のようなもので、傷を付けないように丁寧に身を殻から放し、ワタを取り除く。塩漬けにして垢を洗い去り、洗浄する。口径三尺ほどの大釜の中で七分程、沸騰湯中であわびを煮上げる。浮上してきたあわびを冷やし、丁寧に糸を通して、約3カ月間、天日干しをすれば「ふくあわび」の出来上がりである。

乾燥した「干しあわび（ふくあわび）」は、約1/3の体積までカチンカチンの状態で南国酒家に届けられて来る。先ず、それを柔らかくして、封じ込められたアミノ酸を絞り出す。お湯につけ、何度か、アミノ酸の抽出を繰り返し、不純物を捨てる。戻し方は、店により多少違う。

中国では干しあわびは、「乾鮑（カンパオ）」と呼び、「ツバメの巣」、「フカヒレ」と並ぶ三大食材のひとつである。お祝い事などでの縁起物として珍重されている。干しあわびを乾燥させると、旨味と風味が凝縮される。そのため、上質なスープの味を含んだ滋味豊かな独特の味わいは、噛めば噛むほどに「太陽の味が口の中に広がる」ようだ。中国ではその貴重さからお金にも例えられ「乾貨」とも呼ばれている。

3. あわびの栄養価とアミノ酸含量

アワビの100gの栄養価は、73 kcalである。最も多く含まれているのは、タンパク質（12.7 g/100g）であり、以下、炭水化物（4.0 g）、脂質（0.3 g）、ナトリウム（0.33 g）、カリウム（0.2 g）、リン（0.10 g）、コレステロール（0.097 g）、マグネシウム（0.054 g）、カルシウム（0.020 g）、パントテン酸（B₅）（0.0019 g）、鉄分（0.0015 g）、ビタミンC、ナイアシン（B₃）（0.001 g）、ビタミンE（0.0005 g）、ビタミンB₁（0.0001 g）、ビタミンB₂（0.00009 g）、ビタミンK（0.000023 g）、葉酸（0.000022 g）、β-カロテン（0.000017 g）の順である³⁾。

遊離アミノ酸は、100gあたり3.09 g含まれている。タウリンは、カルボキシル基を持たな

fishery association of Shiriya (Aomori prefecture), that are unsuitable for export, are very popular. Fishermen dive into the deep ocean with oxygen tanks on their back and capture the abalones. They sort out the natural Ezo abalones weighing 100 to 150 g, and carefully take out their bodies from the shells so as not to scratch them and detach the cottons. They immerse them in salt, wash away the dirt. They boil the abalones for approximately 7 minutes in boiling water in a cauldron. The floating abalones are cooled down, passed through the thread, and are dried for approximately 3 months, to yield the dried "Happy abalone".

Dried abalones (Fuku Awabi) that have one third of original volume are delivered to nangokusyuka. First, we soften them and squeezes out amino acids present in them. We place them on hot water to extract amino acids. We repeat this process several times and throw away impurities. How to recover the amino acid is different from one branch of restaurant to another.

In China, dried abalone is called "Bàoyú gǎn" and it is one of the three major foodstuffs together with "swallow's nest" and "shark's fin." It is very prized as a lucky item in celebrations. By drying the abalone, the umami taste and flavor are condensed inside. Chewing and biting the abalone, we experience a distinctive, deeper taste of soup rich in flavor, as if "bitter taste of the sun spreads in the mouth". In China it is also said to be "dry coin", that means the money from preciousness.

3. Nutritional value and amino acid content of abalone

One hundred g of abalone provides the nutritional value of 73 kcal. Protein is the most abundant ingredient in abalone (12.7 g/100g), followed by carbohydrate (4.0 g), lipid (0.3 g), sodium (0.33 g), potassium (0.2 g), phosphorus (0.10 g), cholesterol (0.097 g), magnesium (0.054 g), calcium (0.020 g), pantothenic acid (B₅) (0.0005 g), iron (0.0015g), vitamin C, niacin (B₃) (0.001 g), vitamin E (0.001 g), vitamin B₁ (0.0001 g), vitamin B₂ (0.00009 g), vitamin K (0.000023 g), folic acid (0.000022 g) and β-carotene (0.000017 g)³⁾.

One hundred g of abalone contains 3.09 g of free amino acids. Although taurine is not classified as amino acid due to the absence of carboxyl group, it

いためアミノ酸には属していないが、あわびの中では、他のいずれのアミノ酸よりも多量に存在する (1.408 g/100g)。アミノ酸の中では、グリシン (0.532 g) が最も多量に含まれ、以下、アルギニン (0.457 g)、プロリン (0.150 g)、グルタミン酸 (0.138 g)、チロシン (0.064 g)、ロイシン (0.044 g)、バリン (0.043 g)、スレオニン (0.033 g)、リジン (0.032 g)、フェニルアラニン (0.028 g)、ヒスチジン (0.026 g)、イソロイシン、アラニン (0.025 g)、アスパラギン酸 (0.022 g)、アスパラギン (0.015 g)、オルニチン (0.01 g)、メチオニン、サルコシン (0.006 g)、シトルリン (0.004 g) の順である。ヒドロキシプロリンとシスチンは検出されなかった⁴⁾。タウリンやビタミン A は、網膜を構成成分であり、網膜の視神経細胞の正常な働きや形状、そして視力を正常に維持する。タウリンは、胆汁酸の分泌を促成し、肝臓の機能、肝細胞の再生、細胞膜の安定化をいずれも促進する。最近、タウリンの、抗炎症作用、神経保護作用、抗老化作用、抗酸化作用が注目されている^{5,6)}。グリシンは、抑制性アミノ酸として知られ、睡眠の質を高める。グルタミン酸ナトリウムは、うま味調味料である一方、神経毒性作用により、アルツハイマー病の特徴である β アミロイドのラット海馬への蓄積を促進する⁷⁾。バリンは、新しい白血球や赤血球を作る血液幹細胞の形成に重要である⁸⁾。

あわびは中国では漢方薬や薬膳料理として広く使われている。実際の調理場での煮だしにより、どのようなアミノ酸や他の代謝産物が、どれ位抽出されるのか、また、生体に対してどのような影響を与えるのかは、依然として不明のままである。

4. 紹興酒の特性を生かす

紹興酒は、中国の浙江省紹興市付近で製造される醸造酒であり、「世界三大美酒」のひとつとされる。中国では、年数が経っていない安価な紹興酒は、家庭料理に用いられる。また、食欲増進、疲労回復、消化を助ける作用もあることから、漢方薬を服用する時に補助薬として用いられている。しかし、紹興酒はビールよ

is present in abalone at larger amount (1.408 g / 100 g) than any other single amino acids. Among the amino acids, glycine (0.532 g / 100 g) is the most abundant, followed by arginine (0.457 g), proline (0.150 g), glutamic acid (0.138 g), tyrosine (0.064 g), leucine (0.044 g), valine (0.043 g), threonine (0.033 g), lysine (0.032 g), phenylalanine (0.028 g), histidine (0.026 g), isoleucine, alanine (0.025 g), aspartic acid (0.022 g), asparagine (0.015 g), ornithine (0.01 g), methionine, sarcosine (0.006 g) and citrulline (0.004 g). Hydroxyproline and cystine are not detected⁴⁾. Taurine and vitamin A are constituents of the retina, maintaining the normal function and shape of retinal nerve cell and the normal eyesight. Taurine promotes the secretion of bile acid, the function of liver and the regeneration of hepatocytes, and the stabilization of cell membrane. Recently, anti-inflammatory, neuroprotective, anti-aging and antioxidant activities of taurine has been drawing our attention^{5,6)}. Glycine is known to act as an inhibitory amino acid and enhance sleep quality. Sodium glutamate (known as umami seasoning) shows neurotoxicity, and stimulates the accumulation of β -amyloid (characteristic of Alzheimer's disease) in the rat hippocampus⁷⁾. Valine is important for the formation of blood stem cells that make new leukocytes and erythrocytes⁸⁾.

Abalone is widely used as Chinese herbal medicine and medicinal dish in China. It is unclear what kinds of amino acids and metabolites are extracted into the soup during boiling process, and how the extracts affect our living body.

4. Making use of the characteristics of Shaoxing wine

Shaoxing wine, a brewed alcohol that are manufactured near Shaoxing city in Zhejiang Province of China, is regarded as one of "the world's three greatest sake". In China, cheap Shaoxing wine, prepared after short aging period, is used for the home cooking. Since Shaoxing wine promotes the appetite, and restores the fatigue and

りも若干高い濃度のプリン体を含むため (10 mg/100 mL 以上), 飲み過ぎると, 痛風になりやすいので注意が必要である。

紹興酒は, 糯米 (もちごめ), 麦麴, 酵母や乳酸菌, そして, 色と香味のもととなるカラメルから造られている。紹興酒には 18 種のアミノ酸が豊富に含まれており, その量は, ビール, ワイン, 日本酒の 2-36 倍とされている。最も多量含まれているアミノ酸は, グルタミン酸であり, 100 g あたり 320 mg 含まれている。以下, プロリン (130 mg), アスパラギン酸 (90 mg), アラニン (75 mg), ロイシン (73 mg), グリシン (65 mg), アルギニン (62 mg), セリン, バリン (58 mg) の順に続く。紹興酒の熟成期間を長くすると (最低 3 年以上), 沈殿物が少なくなり, また, 酸味が減り, まろやかになる。特に長期間熟成されたものは, 味わいが深く「陳年」の名称が付けられている。熟成に伴い, アミノ酸含量が増加し, L 型アミノ酸から D 型アミノ酸への変換が促進する。

しかし, 開けて 3 日もすると, 酸化により酸味が強く出てしまい, 旨味が逃げてしまう。幸い, 南国酒家原宿本店は総計約 1000 席を有し, 1 日に 5-6 本というペースで紹興酒が出ている。この開けたての甕出し紹興酒を味わうことで, 紹興酒のイメージが変わったというお客様は多い。甕のものはストレートかオンザロック。ホットにするならビンの紹興酒をおすすめする。南国酒家は, 紹興酒の二大ブランド「塔牌」(トウハイ) (全て「陳年」の長いもの) と「古越龍山」(コエツリユウザン) を揃えている。

【塔牌】無濾過, 紅琥珀, 陳 5 年: 製造工程で濾過せず上澄みを詰めた紹興酒。紹興酒本来のピュアな味わい, 香りが楽しめる。

【塔牌】純 10 年陳 花彫 (はなぼり) (陳年の長いもの)。エステル香がフローラル。旨味, コクがバランスの良いエレガントな熟成紹興酒。繊細な味付けの料理に合う。

【古越龍山】銀龍 (3 年)。力強いアルコール感, フレッシュな酸が特徴のドライ紹興酒。スパイ

digestion, it is also used as an adjuvant when taking Chinese herbal medicine. However, we should be careful that too much drinking Shaoxing wine tends to cause gout, since it contains purine at a slightly higher concentration than beer (10 mg/100 mL or more).

Shaoxing wine is composed of glutinous rice, wheat malt, yeast, lactic acid bacteria, and caramel as the source of color and flavor. Shaoxing wine contains 18 amino acids, the amount of which is 2 to 36 times higher than that of beer, wine and sake. The most abundant amino acid is glutamic acid (320 mg per 100 g), followed by proline (130 mg), aspartic acid (90 mg), alanine (75 mg), leucine (73 mg), glycine (65 mg), arginine (62 mg), serine and valine (58 mg). Prolongation of the aging process of Shaoxing wine (minimum 3 years or more) reduces the amounts of sediments and acidity, thus adding mellower taste. Especially, Shaoxing wine aged for longer time has deeper taste, and therefore labeled "Chen Year XX". There are possibilities that both the released amino acid contents and the conversion from L-type amino acids to D-type amino acids may be enhanced by aging process.

However, after three days of opening the bottle of Shaoxing wine, strong acid taste emerges due to the oxidation, and the umami escapes. Fortunately, the Nangokusyuka Harajuku branch has about 1000 seats for customers, making us to frequently open the bottles of Shaoxing wine (usually 5 to 6 bottles per day). Many customers say that the image of Shaoxing wine has changed by tasting this freshly opened wine. We recommend the customers the "straight" or "on the rock" wine, when they drink Jar's one. Alternatively, we recommend Shaoxing wine in a bottle when they drink hot one. We serves two major brands of Shaoxing wine "Touhai" (labeled long "Chen Year") and "Koetsuryuzan".

Touhai: • The supernatant collected without filtration during the manufacturing process • Red violet • Chen 5 years • Pure taste and flavor

Touhai: • Pure Chen 10 years, named "Hanabori" (long Chen years) • Floral flavor
• Well-balanced with umami and elegant taste
• It fits delicious seasoned dish

Koetsuryuzan: • Silver Dragon (3 years)
• Powerful alcoholic feeling • Dry Shaoxing wine

シーな料理に合う。

【古越龍山】陳年 10 年。マイルド且つバランス良く熟成している。舌に残るさわやかな酸が、塩味料理、揚げ物にレモン効果を及ぼす。



characterized by fresh acid • It fits spicy food.

Koetsuryuzan: • Chen 10 years • Mild and well-aged • Refreshing acid feeling on the tongue exerts lemon effect on salty dish and fried food.



5. 変貌する中国料理

中国料理は、中国系移民によりもたらされ、移り住む場所により、その土地にアレンジされた中華料理が生まれてきた。そのため、日本では「中国デザート」として定番になっている杏仁豆腐を知らない中国人留学生も多い⁹⁾。

アメリカでは、約 5 万件の中華料理店があり、その数は、マクドナルドの 3 倍以上である。そこでは、中国や台湾ではお目にかかれない、テイクアウト用の白い箱や、おみくじが挟まったフォーチュンクッキー、チャプスイ（八宝菜に似たトロミのある炒め物）や、芙蓉蛋（ふようたん）（中国風オムレス）のような定番がある¹⁰⁾。

中国料理は世界各国どこに行っても食べられるが、日本でしかできないものを確立したい。日本人の繊細な感覚、食材、味付け、四季を感じる心などの感性を活かして、日本人にとっておいしい中国料理を作っていきたい。また、どのようにしたら、食材により健康が増進できるかについても検討して行きたい。

5. Changing Chinese Cuisine

Chinese cuisine has been brought by Chinese immigrants, and Chinese cuisines have been arranged differently, depending on where they migrated. Therefore, there are many Chinese students who do not know apricot tofu which is becoming a standard as "China dessert" in Japan⁹⁾.

In the United States there are about 50,000 Chinese restaurants, the number of which is more than three times that of McDonald's. There, you can enjoy white boxes for take-out, Fortune Cookie with fortune slip inside, Chupsui (thick stir-fry similar to chop suey) and Fuyutan (Chinese style Omelet) that are not available in China and Taiwan¹⁰⁾.

We can eat Chinese food anywhere in the world, but we would like to establish what we can do only in Japan. We are planning to provide Japanese customers more delicious Chinese cuisines by making use of the delicate sense of Japanese people, ingredients, seasoning and sensible mind that feels the four seasons. Also, I would like to make such cuisines that promote our health.

引用文献

1. 宮田了：中国料理に魅せられて－南国酒家の創業に至るまでの道程，*New Food Industry*, **59** (3): 71-74, 2017.
2. 宮田順次：「かにの玉子入りふかのひれ」から「ふくあわび」へー 次のヒット作を目指して，*New Food Industry*, **59** (4): 53-59, 2017.
3. 原田恭行, 熊谷敬之, 小善圭一, 横井健一：異なる餌料で養殖したアワビ F1 交雑種の肉質の比較，*日本水産學會誌* **78** (5): 945-950, 2012.
4. Ananchaipatana-Auitragoon P, Ananchaipatana-Auitragoon Y, Siripornpanich V and Kotchabhakdi N: Protective role of taurine in developing offspring affected by maternal alcohol consumption. *EXCLI J* **14**:660-671, 2015.
5. Ward RJ, Dexter DT and Crichton RR: Ageing, neuroinflammation and neurodegeneration. *Review, Front Biosci* (Schol Ed) **7**:189-204, 2015.
6. Aydın AF, Çoban J, Doğan-Ekici I, Betül-Kalaz E, Doğru-Abbasoğlu S and Uysal M. Carnosine and taurine treatments diminished brain oxidative stress and apoptosis in D-galactose aging model. *Metab Brain Dis* **31**(2):337-345, 2016. .
7. Dief AE, Kamha ES, Baraka AM and Elshorbagy AK: Monosodium glutamate neurotoxicity increases beta amyloid in the rat hippocampus: a potential role for cyclic AMP protein kinase. *Neurotoxicology* **42**:76-82, 2014.
8. Weintraub K: Could a special diet replace chemotherapy? *Scientific American* **316** (1): 13, 2017.
9. 山下清海：新・中華街，世界各地で，華人社会は変貌する，講談社選書メチエ，2016.9.10
10. ピエン・ホア：チャイニーズ・フードの歴史拝見，*Newsweek*, 2017-02-07, p64-65

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

カラスビシャク *Pinellia ternata* (Thunb.) Breitenb. (サトイモ科 Araceae)

梅雨の晴れ間、山裾のあぜ道を歩いていると、地面から緑色をした槍のようなものを突き出している奇妙な植物を見かけます。この植物は、突起物をカラスの柄杓にたとえ「カラスビシャク」と言います。

カラスビシャクは日本、朝鮮、中国で普通に見かける多年草で、田畑の雑草になりやすく、塊茎は、少数のひげ根をつけ、葉は数枚、塊茎から直接出ています。葉柄は長く直立し、長さ 10 ～ 20cm で、下部の途中に 1 個の球芽（むかご）をつけています。葉身は 3 全裂した掌状複葉で、小葉はだ円形ないし線状皮針形。先は鋭尖形、基部は鈍形。全縁で小柄はほとんどありません。葉の分岐点にむかごができることもあり、5 ～ 7 月ごろ、約 30cm の緑色の花茎を出し、その先に仏炎包に包まれた肉穂花序をつけます。仏炎包は緑色または帯紫色で、下半分は巻いて筒状になり、肉穂花序は下部の仏炎包と合着したところに雌花をつけ、その上に雄花を密生しています。花序の先は長くのび、鞭状となり、仏炎包の先から上につき出ています。地面から突き出た槍のように見えたものは、花を内蔵した仏炎包だったのです。本植物は、昔、中国から帰化した史前帰化植物と考えられ、生存力が非常に強く、塊茎、種子、むかごのいずれからも繁殖が可能であることから、厄介な畑の雑草として知られ、「百姓泣かせ」の名や、スズメノヒシャク、キツネノヒシャクなどの名もあります。塊茎の外皮を除いて乾燥したものをハンゲ（半夏、*Pinelliae Tuber*）とよび、漢方で鎮嘔鎮吐薬、鎮咳去痰薬とし、つわり、胃部停水、悪心嘔吐、心痛、咳嗽、腹中雷鳴、咽痛



写真1 カラスビシャク（地上部）



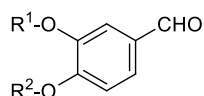
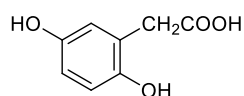
写真2 カラスビシャク（全形）

などに^{はんげしやしんとう}半夏瀉心湯、^{りっくんしとう}六君子湯、^{しょうさいことう}小柴胡湯、^{しょうせいりゅうとう}小青竜湯、^{さいぼくとう}柴朴湯、^{さいれいとう}柴苓湯、^{ぼくもんどうとう}麦門冬湯などの多くの漢方処方に使用されています。成分としては、フェノール化合物の homogentisic acid とその配糖体、3,4-dihydroxybenzaldehyde とその配糖体である 3,4-diglycosylic benzaldehyde のほか、セレブロシド類の 2'-O-acetyl soya-cerebroside I および、デンプン、脂肪酸、糖、アミノ酸、ステロール類、シュウ酸カルシウムなどが知られています。生のカラス

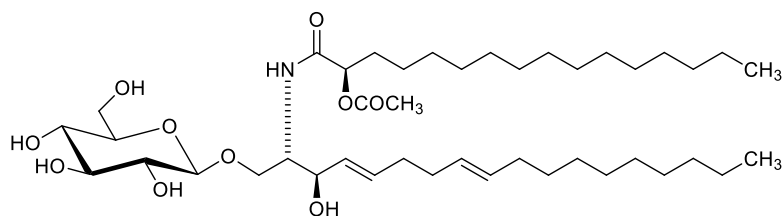


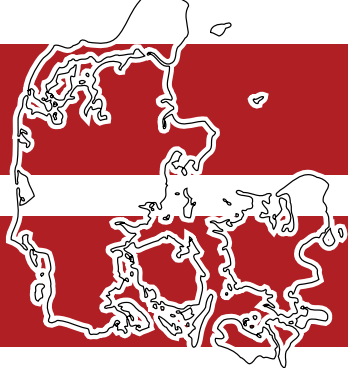
ビシャクの塊茎や未加工のハングを口にすると強烈な舌やのどの痛みに苦しむことになります。この強烈なえぐ味の原因物質は 3,4-diglycosylic benzaldehyde とされていますが、シウ酸カルシウムの針晶も原因の一つと考えられます。生薬名は、夏の半ばに花が咲くとした漢名の半夏からで、属名の *Pinellia* は人名に由来し、種小名の *ternata* は三数の、という意味です。

季節を表す七十二候のひとつの半夏生（はんげしょう）は、半夏（カラスビシャク）が生える（＝花が咲く）時期としてつけられたとされ、毎年7月2日頃にあたりますが、ドクダミ科のハンゲショウ *Saururus chinensis* の葉が半分白くなって半化粧する頃という説もあります。また、カラスビシャクの別名には「ヘソクリ」の名があり、これは、農家のお年寄りや主婦が塊茎を少しずつ取り貯めて、生薬業者に売り、小遣いを得たことからとか生薬にある凹みが、へそに似ているからとする説もあります。



homogentisic acid





デンマークの魚

今回はデンマークのお魚食品にまつわる話を紹介したいと思います。

デンマークはドイツの北にある小さな国です。その国土は、シェラン島やフン島などの大きな島や、ユトランド半島というドイツにつながる半島、そして、その周りに数多く存在する小さな島々で構成されています。道路を車で走れば、多くの島が橋でつながっているのを実感することができます。デンマークは周りを海にかこまれた国であり、その点では日本の島国と類似しています。デンマーク人は遠くても海辺から 50 キロ内のところに住んでいると言われるほど、海はデンマーク人にとって身近な存在です。

そんなデンマークなので、漁業も大変盛んです。デンマークは世界でも有数の漁業国で、漁獲量は EU 内ではトップにランクしており、タラやニシン、サバ、エビなどを世界へ輸出しています。このように漁業はデンマークにとって大変重要な産業であるのですが、デンマークに住んで、すぐに気づくことの一つに、「デンマーク人はあまり魚を食べない」ということがあります。ある統計によると、年間にデンマーク人の消費する魚の量は、水産加工食品も加えると、一人当たり平均 23 キロほどで、日本人の消費量の 3 分の 1 ほどだと言われています。確かに肉料理が主体のデンマーク料理や、西洋料理がデンマーク人の食文化に根付いているため、日本のように夕飯に魚を週に何回も食べる、ということはありません。

ではデンマーク人はどのような魚食品を食しているのでしょうか。缶詰や瓶詰めめのニシンや、サバ、タラの卵などは、お昼ご飯として、黒いライ麦パンにのせて食べることが多くあります。ニシンは酢漬けになっているものをゆで卵と一緒にライ麦パンにのせて食べたり、サバであればトマトソース漬けになっているものを、ライ麦パンにのせ、マヨネーズをかけて食べるなどが主流です。缶詰や瓶詰めはよく見かけますが、生の魚や干物は、あまり身近なものではありません。スーパー



ニシンの瓶詰め各種



スーパーの魚の缶詰コーナー



サバのトマトソース漬けの缶詰



やや高級なスーパーにある魚のコーナー

に行っても、生魚のコーナーはとても小さく、スーパーによっては、生の魚は置いていないこともあります。

陳列してある魚の種類としては、サーモンはよく見かけますが、それ以外の魚は、やや高級なスーパーや、いわゆる魚専門店に行かないと手に入りません。デンマークは海に囲まれているため、海産物が豊富でたくさん食べられるかと思いきや、実際には魚はやや高級で、あまり身近な存在ではないのが現実です。漁獲量が多く漁業がデンマークの重要な産業であるものの、その大半は輸出されているのです。価格面でも魚はお手頃ではなく、グラムあたりの価格は、豚肉や牛肉の数倍になるため、家庭の夕食に頻繁に出す食材ではないようです。というわけで、デンマークの家庭

では、生の魚を焼いて食べることは多くはありません。デンマークの家庭のキッチンには、日本の魚を焼くグリルが付いていないため、生の魚を仕入れたとしても、フライパンで焼くか、オーブン料理にするかが主な食べ方です。



スーパーのお惣菜コーナーにある白身魚のフライ

それでは、デンマークで一番身近な魚料理といえば何でしょうか。それは、白身魚のフライです。イギリスでも、フィッシュ & チップスといえば、一番代表的な料理であるように、ここデンマークでも、油で揚げた白身魚のフライは、いたるところで手に入ります。

肉料理と比べると、やや割高ですが、冷凍で、既にくるもの付いた魚を家で揚げたり、スーパーのお惣菜コーナーに売っている、既に揚げてあるものを買ってきて食べたりと、幅広く普及しています。白身魚のフライは、イギリスではチップス、つまりポテトフライと一緒に食べますが、デンマークでは、よくライ麦パンと一緒に、remoulade（レモラーデ）というマヨネーズ様の野菜の混ざったソースと一緒に食べるのが主流です。Fiskefilet med remoulade(白身魚のフライとレモラーデ)といえば誰もが知っている、子供から大人まで幅広く好まれている魚料理です。

というわけで、デンマークの家庭での魚の消費は限られていますが、前号に紹介したように、近年、寿司が人気の高級食品としてデンマーク人に愛されています。寿司をきっかけに、デンマーク人が今後もっと魚を消費するようになる日が来るかもしれません。

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

ニューフードインダストリー 第59巻 第7号

印刷 平成 29 年 6 月 20 日
発行 平成 29 年 7 月 1 日
発行人 平井 朋美
編集人 今西 和政
発行所 株式会社食品資材研究会
〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(喜助新神田ビル)
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

印刷所 株式会社メイク
定価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

e-mail: newfood@newfoodindustry.com