

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2015 Vol.57 No.3

3

論 説

- リン酸カルシウムの物質吸着能を食品分野で活用する
- スペクトルイメージングの食品検査への応用
- トレハロースによる乳牛の酸化ストレス低減と高品質乳生産技術
- 知っておきたい日本の食文化
その五 和食はどのように発達してきたのか
- 体色が異なる 3 種ニジマスの魚体内カロチノイド分布

隔月掲載コラム

- 管理栄養士 てるこ先生の家庭の食文化 第2回 きれいな身体づくり

特別寄稿

- 人の心理状態を可視化する試み
ー 脈波におけるカオス解析から判別する 精神疾患患者の特徴と実践における新たな展望 ー

連 載

- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)
- “地域密着でキラリと光る企業”
漬物市場にブランドマーケティングを最初に導入した『東海漬物株式会社』

エッセイ

- 伝える心・伝えたいもの ー 雪に晒す 天然角寒天を訪ねて ー



論 説

- ☐ リン酸カルシウムの物質吸着能を食品分野で活用する
..... 近藤 徹弥, 石原 那美 1

- ☐ スペクトルイメージングの食品検査への応用
..... 蔦 瑞樹 7

- ☐ トレハロースによる乳牛の酸化ストレス低減と高品質乳生産技術
..... 佐藤 幹, 青木 直人 14

- ☐ 知っておきたい日本の食文化
その五 和食はどのように発達してきたのか
..... 橋本 直樹 21

- ☐ 体色が異なる3種ニジマスの魚体内カロチノイド分布
..... 酒本 秀一 28

隔月掲載コラム

- ☐ 管理栄養士 てるこ先生の家庭の食文化 第2回 きれいな身体づくり
..... 中村 照子 42

特別寄稿

- ☐ 人の心理状態を可視化する試み
ー 脈波におけるカオス解析から判別する
精神疾患患者の特徴と実践における新たな展望 ー
..... 三好 恵真子, 胡 毓瑜, 林 娟, 雄山 真弓 43

Contents

2015 年 3 月号

連 載

- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)
..... ジョアン・サバテ, 訳: 山路 明俊 53

- “地域密着でキラリと光る企業”
漬物市場にブランドマーケティングを最初に導入した『東海漬物株式会社』
..... 田形 暁作 66

エッセイ

- 伝える心・伝えたいもの ― 雪に晒す 天然角寒天を訪ねて ―
..... 宮尾 茂雄 73

News Release

- 天然抽出物ピクノジェノール®の摂取は記憶力, 集中力, 意思決定力の向上と不安改善に効果
..... DKSH ジャパン株式会社 86
- 株式会社林原 代表取締役の異動(社長交代)に関するお知らせ
..... 株式会社林原 87

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料
コクベース

new発酵調味料
D&M
ディアントエム

ゼラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

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

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

リン酸カルシウムの物質吸着能を 食品分野で活用する

近藤 徹弥 (KONDO Tetsuya) 石原 那美 (ISHIHARA Nami)

あいち産業科学技術総合センター

Key Words：リン酸カルシウム 微生物除去 タンパク質除去

はじめに

リン酸カルシウム (CAP) はリン酸あるいはピロリン酸のカルシウム塩の総称であり、リン酸二水素カルシウム ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、リン酸水素カルシウム ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaHPO_4)、リン酸三カルシウム ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)、ハイドロキシアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) などがよく知られている。CAP はボーンチャイナのような陶磁器材料、人工骨や人工歯の医療材料、歯磨用基材、飼料、微生物固定化担体などとして広範囲な分野で利用されている。食品分野では、カルシウム強化剤、パンやケーキの品質改良剤 (膨張剤、イーストフード助剤)、醸造用の発酵助剤、固結防止剤などに使われている。

CAP の結晶構造中には、正に荷電しているカルシウムイオン (C サイト) と負に荷電しているリン酸イオン (P サイト) が存在している。CAP は、これらのサイト上でのイオン交換反応などにより、電荷を持つ様々な成分を吸着することができる^{1,2)}。1956 年に Tiselius らが CAP のタンパク質吸着特性を明らかにして以来³⁾、CAP はカラムクロマトグラフィー担体としてタンパク質や核酸などの生体関連物質の分離に広く用いられてきた。さらに、重金属イオン、ウイルス、細菌など、様々な成分の吸着剤としての利用も研究されてきた⁴⁻⁷⁾。

前稿では、清酒の潜在的な品質劣化要因であ

るタンパク質 (滓の原因タンパク質やグルコアミラーゼなどの酵素タンパク質) を CAP により効果的に除去できることを報告した⁸⁾。今回は、溶液中のタンパク質の除去・回収や細菌の除去への CAP の活用例を紹介する。

1. みりんのタンパク質の除去

みりんは蒸したもち米と米麴にアルコールを加えて作られる、日本の伝統的なアルコール系調味料の一つである。みりんは調理時に加熱してアルコール分を飛ばして使用する (煮切る) ことが多い。この煮切る際に生じる混濁現象は「煮切り」と呼ばれ (図 1)、みりんの製品不良の一つとなっている。煮切り滓の主要原因物質はタンパク質と考えられている。みりんには、米由来のグルテリンや麴菌由来の α -アミラーゼなどが残存しており、加熱により生じる滓の SDS-PAGE パターンは加熱前のみりと一致していた (図 2)。現状では、

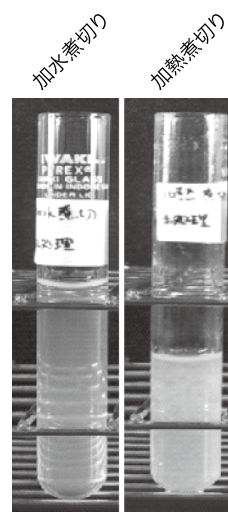


図 1 みりんの煮切り試験における混濁現象

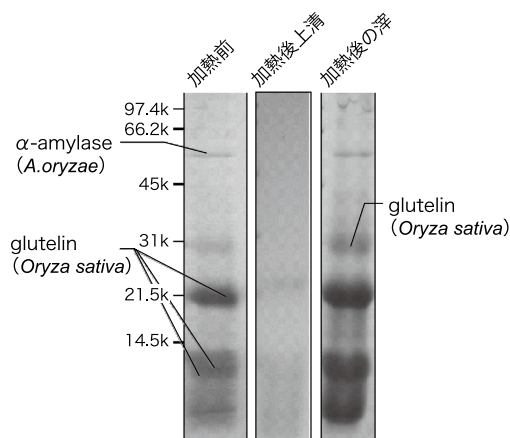


図2 加熱みりんの SDS-PAGE

煮切りを防止するため、火入れ・滓下げ処理（加熱によるタンパク質の変性，滓下げ剤添加による変性タンパク質の凝集沈降，及びろ過により滓原因タンパク質を強制的に除去する方法）をして製品を出荷しているが，過度の加熱によりみりん本来の風味が低下する，エネルギーコストを要するなどの問題がある。

これまでに我々は，様々なセラミックスを使って，液状発酵食品中の品質劣化原因となるタンパク質を除去する方法を検討してきた。塩分を多く含む料理酒や醤油類では CAP よりも他のセラミックスが適していたが^{9, 10)}，清酒やみりんのタンパク質除去には CAP が有効であった^{8, 11, 12)}。みりんの煮切り滓原因タンパク質の除去を目的として，図3のフローに従い，CAP 処理と火入れ・滓下げ処理の比較試験を行った。みりん中のタンパク質は，火入れ・滓下げ処理では約 34% が除去されたにとどまったが，CAP 処理では 90% 以上除去された。CAP 処理前後で，タンパク質以外の成分量的変化は小さく（表1），官能評価はほとんど変わらなかった。加熱及び加水による煮切試験を行ったところ，未処理や火入れ・滓下げ処理みりんでは加熱や加水に伴う混濁が発生したのに対し，CAP 処理みりんでは混濁は発生しなかった。このように，CAP 処理はみりんの煮切り滓原因タンパク質を非加熱で除去することができ，煮切り防止に有効であることがわかった。

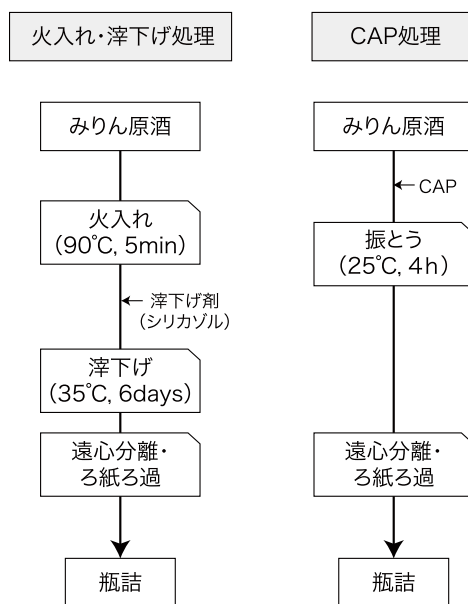


図3 みりんの火入れ・滓下げ処理と CAP 処理

表1 みりんの成分分析

	未処理	火入れ・ 滓下げ処理	CAP 処理
濁度 (NTU)	38.1	36.9	30.4
OD ₄₃₀	0.258	0.281	0.206
pH	5.74	5.64	5.31
アルコール (%)	13.4	13.4	13.2
全 N (%)	0.15	0.14	0.12
酸度	0.81	0.85	0.82
アミノ酸度	2.9	2.8	2.8
直糖 (%)	43.1	43.2	43.2
Brix (%)	46.4	46.2	46.1
タンパク質濃度 *1 (mg/mL)	1.56	1.03 (33.8)	0.06 (96.1)

*1 Bradford 法，() 内はタンパク質除去率 (%)

2. 小豆煮汁中の有用タンパク質の回収

製餡業界では，豆を煮豆や餡に加工する過程で煮汁や洗浄水が大量に排出され，排水として処理されている。排水量は原料豆 1t 当たり平均 45 ～ 50 m³ にも上る¹³⁾。煮汁には豆由来の糖類やタンパク質，ポリフェノールなどの有用成分が含まれている。小豆煮汁に含まれるポリフェノールやフラボノイドなどに抗酸化性やアポトーシス誘導能などの生理機能性が見出さ

表2 各種 CAP のタンパク質吸着特性

CAP	Ca 塩 /P 塩 /C 塩 (配合モル比)	比表面積 (m ² /g)	小豆煮汁タンパク質 の吸着率 (%)	LYZ 吸着量 (mg/g)	BSA 吸着量 (mg/g)
Ca10P6C1	10/6/1	20.7	18.0	22.5	36.1
Ca10P6C2	10/6/2	39.9	48.1	37.5	52.1
Ca10P6C4	10/6/4	61.6	56.3	33.0	50.0
Ca10P6C8	10/6/8	96.8	3.3	61.8	24.3
Ca1P6C4	1/6/4	64.6	8.8	57.3	26.9
Ca5P6C4	5/6/4	63.8	57.9	45.2	62.5
Ca20P6C4	20/6/4	51.3	46.1	39.5	48.7
Ca10P3C4	10/3/4	59.5	7.3	61.2	17.2
Ca10P7C4	10/7/4	55.5	52.7	34.9	60.2
Ca10P10C4	10/10/4	66.8	47.2	33.1	47.5
Ca6P4C2	6/4/2	89.5	74.0	24.6	64.9

れ、食品素材化の試みも行われている¹⁴⁻¹⁶⁾。また小豆中には、大豆ほど多くはないものの、タンパク質が約 20% 含まれている。小豆に含まれるタンパク質として、アルブミン、グロブリン、グルテリン、及びプロラミンがある。これらのタンパク質のプロテアーゼ分解物に抗酸化性、金属キレート活性や血圧上昇抑制作用の指標であるアンギオテンシン変換酵素 (ACE) 阻害活性が見出されている¹⁷⁾。このことから、煮汁中に流出するタンパク質にも生理機能性素材としての可能性が期待できる。しかし、煮汁は大量に排出されるものの、そこに含まれるタンパク質の濃度は低い (数百～数千 mg/L) ので、効率的に回収するためには吸着材が適していると考えられた。

カルシウム塩 (Ca 塩)、リン酸塩 (P 塩)、炭酸塩 (C 塩) を様々な混合比で配合し、メカノケミカル法 (Ca6P4C2) や溶液法 (Ca6P4C2 以外) で CAP を調製した (表 2)。CAP の特性は配合比や調製法によって大きく変わる。例えば、C 塩の比が大きくなると CAP の比表面積が増大し、塩基性タンパク質であるリゾチーム (LYZ, MW 14,000, pI10.8) の吸着量も増大した。Ca 塩の比 10 に対して P 塩の比を 3～10 の範囲で変えても比表面積はほとんど変わらなかった。また、比表面積と酸性タンパク質である牛血清アルブミン (BSA, MW67,000, pI4.7) の吸着量との相関は低かった。これらの 11 種類

の CAP を小豆煮汁と接触させたところ、CAP の種類によってタンパク質吸着率が大きく異なった。Ca6P4C2 が 74% と最も高い吸着率を示し、次いで Ca5P6C4 と Ca10P6C4 が約 60% の吸着率を示した。BSA 吸着量の高い CAP の方が小豆煮汁タンパク質の吸着率が高い傾向が見られた。

CAP に吸着したタンパク質は、通常のハイドロキシアパタイトクロマトグラフィーの要領でリン酸塩や食塩水溶液により溶出、回収することができる。煮汁を接触させた CAP から 0.5 M リン酸カリウム緩衝液 (pH 7.0) や 1 M NaCl を用いて溶離してきたタンパク質の SDS-PAGE を図 4 に示す。一般的に CAP と親和性の高いタンパク質ほど高い塩濃度で遊離する。また、NaCl 溶液では塩基性タンパク質が選択的に遊離し、リン酸塩溶液では酸性、塩基性を問わず遊離する¹⁾。小豆煮汁の場合、NaCl 水溶液では 35 kDa 付近のタンパク質が回収されたにとどまったが、リン酸カリウム緩衝液では、吸着前とほぼ同様のタンパク質パターンでタンパク質を回収することができ、回収率は約 80% であった。

回収したタンパク質を各種市販プロテアーゼ製剤で処理し、それらの生理機能性を検討した。プロテアーゼ処理をしていない回収液 (未処理の回収液) の ACE 阻害活性が約 20% であったのに対し、プロテアーゼ S (天野エンザイム製)

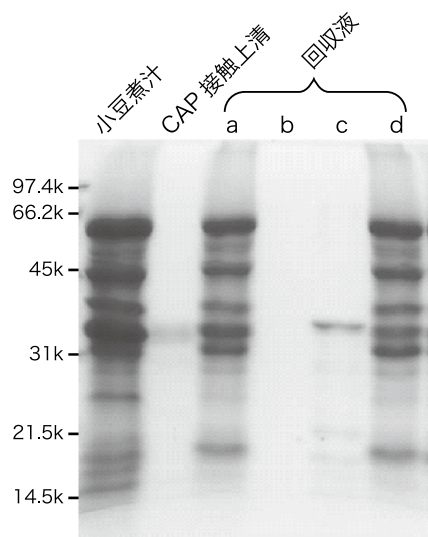


図4 小豆煮汁と接触させたCAPからのタンパク質の回収

- (a) 0.5 M リン酸カリウム (pH 7.0) で溶出した画分
- (b) 0.5 M リン酸カリウム (pH 7.0) で溶出後に 1 M NaCl で溶出した画分
- (c) 1 M NaCl で溶出した画分
- (d) 1 M NaCl で溶出後に 0.5 M リン酸カリウム (pH 7.0) で溶出した画分

及びズブチリシンで処理した回収液ではACE阻害活性が約2倍に増大した。また、未処理の回収液のトリプシン阻害活性は約95%であり、トリプシン、プロテアーゼSやパパインで処理してもトリプシン阻害活性は低下しなかった。トリプシン阻害物が小豆や大豆などの豆類に存在していることは古くから知られていた。トリプシン阻害物は、以前は抗栄養因子として敬遠されていたが、近年、インシュリン依存型糖尿病の治療薬や癌細胞の転移抑制薬としての可能性^{18,19)}が期待されている。また、蒲鉾や魚肉ソーセージなどの水産加工品のゲル強度の低下抑制にもトリプシン阻害物質（乾燥卵白や牛血漿粉末、大豆由来）が用いられている。以上のように、CAPによって小豆煮汁からタンパク質を回収することができ、さらに回収タンパク質の有用性を見出すことができた。

3. 細菌の除去

飲料や食品の製造に使用する水の原水は、食品衛生法（食品、添加物の規格基準）や水道法により、水質基準が定められている。微生物に関しても、大腸菌群が検出されないことや一般細菌が100 /mL以下であることなどが定められている。これは、水中に存在する微生物が異臭や異物の原因となるだけでなく、感染症を引き起こす場合があるためである。このような基準が定められているにも関わらず、クリプトスポリジウムや病原性大腸菌などによる飲用水の汚染や、ミネラルウォーターへのカビの混入などの微生物に起因する水質汚染の事故は後を絶たず、対応が求められている。また、上水道が十分に整備されていない発展途上国や、先進国であっても震災などの一次災害直後においては、飲用水の微生物汚染が甚大な健康被害をもたらす恐れがある。このため、電気やガスなどのライフライン途絶下や未整備な環境下においても、迅速かつ簡便で安価に衛生的な水を確保するための微生物除去法が望まれている。

水中の細菌を除去する方法として、(1) 紫外線、(2) 加熱、(3) ろ過膜、(4) 吸着材を用いる方法などがある。(1) 及び (2) の方法は殺菌法であり、食品工業用水などで実際に稼働している方法であるが、熱エネルギーや電気エネルギーを要する。(3) は浄水器などで汎用的に使われている方法であるが、ろ過膜の孔径が捕集対象物の大きさより小さいことが必要である。このため、一般に圧損によりろ過流速が遅く、目詰まりが起りやすい。(4) では、活性炭やシリカゲルなどの多孔体などが主に用いられている。多孔体の吸着原理は物理吸着であり、細孔内に取り込み可能なサイズの細菌のみが吸着され、吸着力も弱い。一方CAPは、結晶構造中のCサイトやPサイトが細菌表面に局在するカルボキシル基やアミノ基などと相互作用して細菌を吸着することができる^{6,7)}。そこで、水中の細菌を迅速かつ簡便に除去できるCAPの開発を試みた。

図5に示した方法で、生菌数が $10^4 \sim 10^5$ /mL

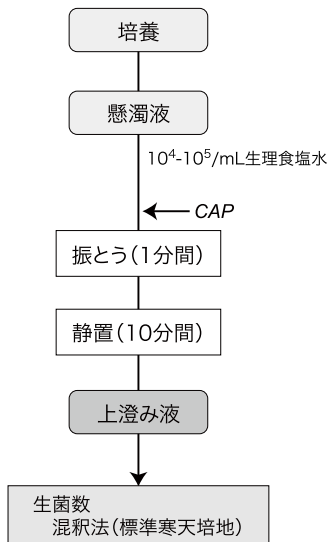


図5 CAPによる細菌除去試験

となるように調製した菌懸濁液をCAP（懸濁液の1/50量）と接触させ、上澄み液中の生菌数をコロニー計数法により測定した。生菌数の結果を基に微生物除去指数を求めた。微生物除去指数は菌懸濁液と上澄み液のそれぞれの生菌数の対数の差として定義した。例えば、除去指数が3であれば99.9%の微生物除去率となる。

まず、最初にタンパク質高吸着性CAPとして開発したCa10P6C4やCa6P4C2（表2）、市販のハイドロキシアパタイト（HAp-N、半井テスク製）を*Escherichia coli*（大腸菌）の懸濁液と接触させたが、期待していたほどの微生物除去能がなく、それぞれの微生物除去指数は0.097、0.041、0.059（いずれも20%以下の除去率）であった。そこで、出発原料や製法を再検討してCAPを新たに調製した。その結果、幾つかのCAPの微生物除去指数が3（除去率99.9%以上）を越えることがわかった。様々な細菌に対する除去試験を行った結果（図6）、細菌の種類によって除去率が大きく異なった。*E. coli*、*Bacillus subtilis*、*Pseudomonas putida*、*B. coagulans*、*Alcaligenes faecalis*はCAPとの接触によって効果的に除去された。また、*Micrococcus luteus*や腸球菌（*Enterococcus faecalis*や*Enterococcus faecium*）に対する除去率

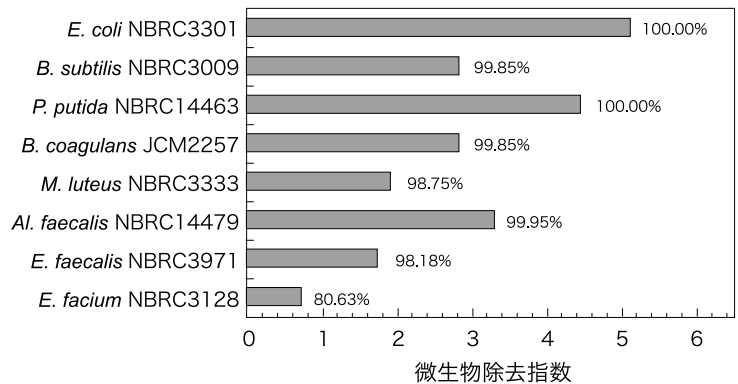


図6 様々な細菌に対するCAPの除去能

はやや悪かったが、それでも80%以上は除去することができた。接触試験後のCAPの培養試験から、CAPの細菌除去原理は吸着であることが示唆された。しかし、微生物除去能とタンパク質吸着能や結晶相との関連は認められず、CAPの物理化学的特性と微生物除去能との関連について明らかになっていない。CAPの構造と微生物除去能との関係が明確になれば、より高い除去性能を持つCAPの開発が期待できると考えられる。

おわりに

本稿では、タンパク質の除去・回収や細菌吸着に関する我々の研究を紹介した。今回は紹介しなかったが、CAPはFe、Mn、Cuなどの異臭や着色の原因となりうる金属イオンも除去することができる。清酒中のMnも良好に除去できることを予備的に確認している。

CAPは、そのユニークな表面特性により大きさや性質の異なる様々な物質を吸着することができるが、出発原料や製法によって吸着特性は大きく異なる。カルシウムとリン酸からなるごくありふれた物質であり、古くからさまざまな物質の吸着剤やクロマトグラフ担体として使われてきたCAPであるが、今後も環境分野、医療分野、食品分野など様々な分野において新規な用途展開が期待できると考えられる。CAPの食品分野での用途拡大や実用化に向けて、研究を発展させていきたい。

本研究の一部は、経済産業省の「中小企業地域新生コンソーシアム研究開発事業」(平成18～19年度)、(公財)科学技術交流財団の「共同研究推進事業」(平成22～23年度)、(独)

科学技術振興機構(JST) A-Step 探索タイプ(平成23、及び25年度)の助成を受けて行われたことを付記し、謝意を表します。

参考文献

1. Gagnon P: An enigma unmasked: How hydroxyapatite works and how to make it work for you, *Validated Biosystems Quarterly Web Newsletter*, 1998.
2. Wang K, Zhou C, Hong Y, Zhang X: A review of protein adsorption on bioceramics, *Interface Focus*, **2**: 259-277, 2012.
3. Tiselius A, Hjertén S, Levin Ö.: Protein chromatography on calcium phosphate columns, *Arch. Biochem. Biophys.*, **65**: 132-155, 1956.
4. Gomez del Rio J A, Morando P J, Cicerone D S: Natural materials for treatment of industrial effluents: comparative study of the retention of Cd, Zn and Co by calcite and hydroxyapatite, *J. Environ. Manag.*, **71**: 169-177, 2004.
5. Kurosawa Y, Saito M, Kobayashi S, Okuyama T: Purification of dengue virus particles by one-step ceramic hydroxyapatite chromatography, *World J. Vaccine*, **2**: 155-160, 2012.
6. Yamagishi H, Hattori T, Furusaka C: Interaction between bacterial cells and calcium phosphate gel particles, *Soil Sci. Plant Nutri.*, **15**: 123-129, 1969.
7. 岡本 健吾: 細菌分離材, 特許 3271498.
8. 近藤 徹弥, 石原 那美, 児島 雅博, 福原 徹, 濱口 裕昭, 加藤 丈雄, 伊藤 智之, 松田 幹: *New Food Industry*, **54**: 7-14, 2012.
9. 近藤 徹弥, 石原 那美, 福原 徹, 伊藤 智之, 寺尾 啓吾, 松田 幹: 白醬油中の濁り原因タンパク質のセラミックスによる除去. 日本生物工学会大会講演要旨集, p167, 2012.
10. 近藤 徹弥, 石原 那美, 福原 徹, 児島 雅博, 伊藤 智之, 寺尾 啓吾: アルコール系発酵調味料の滓原因タンパク質のセラミックスによる除去. 日醸協誌, **108**: 707-715, 2013.
11. 近藤 徹弥, 花井 理沙, 伊藤 智之, 前田 真則, 児島 雅博, 加藤 丈雄, 石原 健吾, 松田 幹: みりん煮切りタンパク質のリン酸カルシウムによる除去. 日本生物工学会大会講演要旨集, p96, 2010.
12. 近藤 徹弥, 加藤 丈雄, 児島 雅博, 伊藤 智之, 岩田 浩明, 徳永 友博: 醸造酒用タンパク質除去剤. 特許第 5506190 号.
13. 鈴木 繁男監修: “餡ハンドブック”, 光琳書院, 1975.
14. 伊藤 智広, 伊藤 裕子, 樋廻 博重, 勝崎 裕隆, 今井 邦雄, 古市 幸生, 小宮 孝志: アズキ熱水抽出物(アズキ煮汁)中に含まれるヒト胃がん細胞に対するアポトーシス誘導物質の同定. 日栄食誌, **58**: 281-287, 2005.
15. 堀 由美子, 村社 知美, 福村 基徳, 鳥居塚 和生, 伊田 喜光: あずき熱水抽出物(あずき煮汁)の成分とその抗酸化能. 日栄食誌, **62**: 3-11, 2009.
16. 相馬 ちひろ, 奥村 理, 加藤 淳: 小豆熱水抽出物が人体の生理調節機能に及ぼす影響. 北海道立農試集報, **91**: 23-29, 2007.
17. Durak A, Baraniak B, Jakubczyk A, Świeca M.: Biologically active peptides obtained by enzymatic hydrolysis of adzuki bean seeds, *Food Chem.*, **141**: 2177-2183, 2013.
18. Ge Y C, Morgan R G H: Changes in numbers of pancreatic acinar cell nuclei and in DNA content during raw soya flour feeding in mice, *Am. J. Anatomy*, **189**: 207-212, 1990.
19. 小林 浩, 鈴木 美香: 大豆たん白質から抽出した大豆トリプシンインヒビターおよびその改変体によるがん転移制御: 大豆由来クニッツ型トリプシンインヒビターのウロキナーゼ発現抑制による卵巣がん細胞の浸潤抑制作用の検討. 大豆たん白質研究, **7**: 137-144, 2004.

スペクトルイメージングの食品検査への応用

薦 瑞樹 (TSUTA Mizuki)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

Key Words：スペクトルイメージング 非破壊検査 食品工場 異物混入 ブルーベリー

はじめに

食品原料や最終製品に混入する異物は特定の部位、ロット、個体等に局在している場合が多く、「何が」のみならず「どこに」存在するかを検査する必要がある。また、出荷する商品を検査する場合は非破壊で検査を行わなければならない、X線検査装置や金属探知機が多用される。近年、消費者の食品品質に対する要求が高まるにつれ、従来は異物や異常とみなされなかった対象、例えば果実由来の微小な萼・果梗等についてもクレームが来るようになってきた。これらの新たな「異物」、特に生体由来の異物についてはX線検査装置や金属探知機では検知が困難である。

食品や青果物の検査に用いられている手法の一つに、近赤外分光法や蛍光測定法等のいわゆる「光センシング」手法がある^{1,2)}。これらの手法は物質固有の光吸収に基づいているため、同じ生体物質でもタンパク質と糖分、水分と油分等を識別することが可能であり、例えば果実の糖度を非破壊かつ高速に推定することが可能である。しかしながら、これらの手法は通常対象の一点のみを計測対象にしており、局在している異物を検出するのは困難である。

そのため、近赤外分光法や蛍光測定法を画像計測に拡張する「スペクトルイメージング」により、食品中の成分分布を可視化する研究が、近年行われるようになってきた³⁻⁶⁾。本稿では、スペクトルイメージングの概要について述べると共に、筆者らが取り組んできた食品検査への応用事例について紹介する。

1. スペクトルイメージングの概要

1-1. カラー画像計測との比較

図1にカラー画像計測の概念図を示す。デジタルカメラを使用する場合も肉眼で観察する

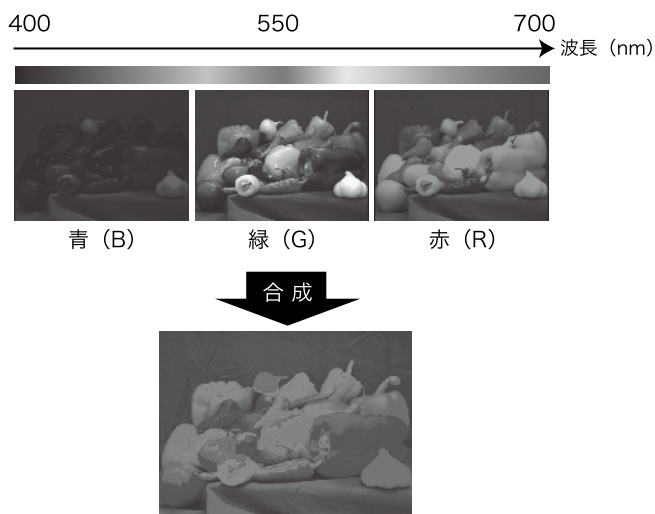


図1 カラー画像計測の概要

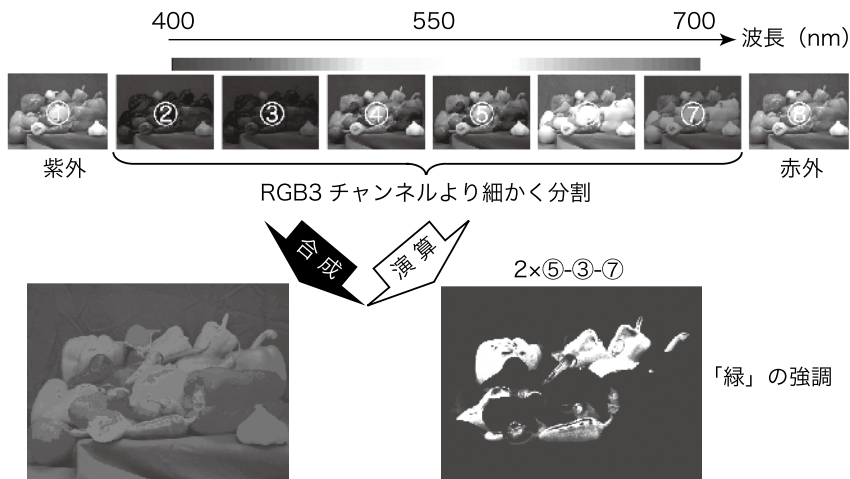


図2 スペクトルイメージングの概要

場合も、赤 (R)・緑 (G)・青 (B) 各波長の光に対応するセンサ又は錐体細胞により RGB 各色に対応した3枚の画像が得られる。これをプロセッサ上あるいは脳内で1枚の画像に合成してカラー画像が得られる。一方、図2に示すスペクトルイメージングは、3つの点においてカラー画像計測と異なる。まず、後述する分光法に応じて、RGBの3チャンネルよりも細かく波長を分割して画像を得ることができる。また、通常のデジタルカメラや肉眼で捉えることができない紫外領域や赤外領域の光を対象とすることも可能である。さらに、複数波長の画像を合成してカラー画像が得られるのはもちろん、異なる波長の画像間に四則演算等を適用し、特定の波長を強調することもできる。したがって、異物に固有の光吸収あるいは発光波長の情報を強調する画像を合成することにより、異物の局在を可視化することが可能となる。

図3に、スペクトルイメージングで得られる情報の概念図を示す。ある波長で取得した画像に着目すると、x方向とy方向の位置情報が得られる。一方、ある画素に着目すると、様々な波長における光の強さ、すなわち輝度値の情報が得られる。この波長-輝度値のグラフは「スペクトル」と呼ばれる。様々な波長で取得した画像データ全体は、「スペクトル」と「位置情報」を併せ持っていることになり、スペクトル

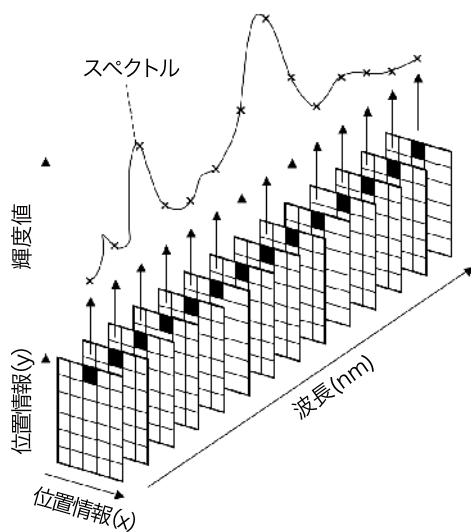


図3 ハイパースペクトル

(spectrum) を超越する (hyper) という意味で、「ハイパースペクトル (hyperspectrum)」と呼ばれる。

なお、一般的には連続した多数の波長における画像を取得する方法を「ハイパースペクトルイメージング」、飛び飛びの波長における画像を少数取得する方法を「マルチスペクトルイメージング」と呼ぶが、本稿では両者を区別せず「スペクトルイメージング」と記載することとする。

1-2. スペクトルイメージングにおける計測法

スペクトルイメージングは位置情報取得と分光計測を組み合わせで行われる。主な位置情報取得法を表1に示す。XY走査法は、試料の1画素に相当する範囲の吸光スペクトルを、単素子の検出器で測定する方法である。従来法と異なる点は、試料をXY方向に走査することにより、位置情報を取得する点である。常に同じ条件で計測するため、照明ムラが全くない反面、得たい画像の画素数分だけ計測を繰り返す必要があり、画像の取得に長時間を要する。一方、イメージ撮影法は、CCD素子などの面状の検出器を用い、1回の測定で位置情報を取得する方法である。画像の取得が迅速に行えるのが特徴であるが、正確な計測を行うためには、試料表面における照明ムラを補正する必要がある。また、ライン走査法（pushbroom法⁷⁾とも呼ばれる）は、撮影対象をスリット及び特殊なプリズムを通した上で面状の検出器上に投影する手法である（図4）。検出器上のスリットと平行な方向には撮影対象の一部が線上に投影され、スリットと直交するもう一方向には連続した異なる波長で撮影した対象部位が投影される。試料をスリットと垂直な方向に走査することにより、x方向、y方向の位置情報と、スペクトル情報を合わせて取得することが可能である。XY走査法とイメージ撮影法の間期的な特徴を持ち、前者とよりも短時間で、後者

よりも照明ムラの少ない画像を撮影することが可能である。また、ベルトコンベア等による食品や原材料の搬送と相性が良く、工場における検査等を想定した研究開発で採用されることが多い。その反面、検出器上に投影される画像の波長校正が必要、検出器上に投影された画像の一部を用いて焦点位置を決めなければならない等、調整には手間がかかる。

一方、主な分光法には、表2に示す手法が挙げられる。バンドパスフィルタは、特定波長の光のみを透過させる特殊なフィルタである。バンドパスフィルタは安価であり、光の透過率が高く短時間の露光で画像が得られる利点がある反面、1波長につき1枚のバンドパスフィルタが必要であり、連続スペクトルの測定は困難である。また、グレーティング（回折格子）は、従来から分光計測で多用されており、連続スペクトルの測定が可能である。しかしながら、グレーティングの前に設置されたスリット

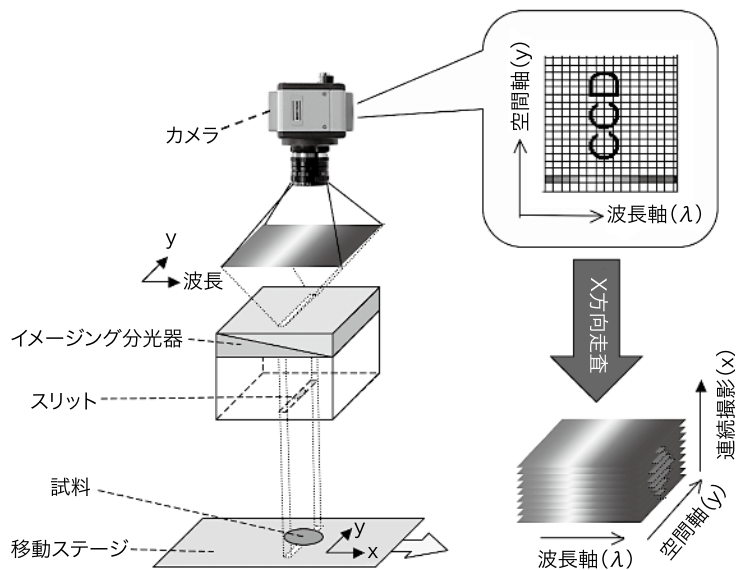


図4 ライン走査法

表1 スペクトルイメージングにおける位置情報取得

位置情報取得法	検出器形状	機械的走査	利点	欠点
XY走査法	1点	要	照明ムラなし	長時間計測
イメージ撮影法	面上に配列	不要	短時間計測	照明ムラ補正が必要
ライン走査法	線上に配列	要	加工・製造ラインとの親和性	調整の手間

表2 スペクトルイメージングにおける分光法

分光法	機械的走査	利 点	欠 点
バンドパスフィルタ	不要	安価・高透過率	計測波長数限定
グレーティング	要	連続スペクトル計測可能	低透過率
LCTF・AOTF	不要	連続スペクトル計測可能・高透過率	高価
イメージング分光器	不要	連続スペクトル計測可能	高価

により光量が大きく減衰するため、長時間の露光が必要となること、また、試料の空間情報がx方向の1次元に制限され、2次元の空間情報を取得するには試料を機械的にy方向に走査する必要があるため、ハイパースペクトルの取得に時間を要するという難点がある。一方、液晶チューナブルフィルタ（Liquid Crystal Tunable Filter：LCTF）は、液晶チューニングエレメントと複屈折フィルタを組み合わせたモジュールに電圧を印加し、その電圧を変化させることにより、透過波長を任意の波長に設定可能な特殊フィルタである。通常のパンドパスフィルタと異なり、1台で連続スペクトルの測定が可能であること、50 ms以下の短時間で透過波長を切り替えることが可能な点が特徴である。また、可動部分がなく、保守性に優れる。しかしながら、1台数百万円と高価であることが難点として挙げられる。AOTF（Acoustic Optical Tunable Filter）は、音響光学素子に超音波を印加すると、光学素子中を伝播する超音波がグレーティングと同様の役割を果たすことを利用した分光フィルタであり、LCTFと同様の特長を有する。イメージング分光器はライン操作法で用いられており、図4に示すようにスリット状の画像をスリットと垂直な方向に分光する機能を持っている。中でも2枚のプリズムでホログラム回折格子を挟み込んだPrism Grating Prismが多用されており、連続スペクトル計測が可能な反面、比較的高価という欠点を持つ。

1-3. スペクトルイメージングにおけるデータ解析手順

図5に、スペクトルイメージングに

おけるデータ解析の概略を示す。まず、ハイパースペクトル中の試料部分において、異物と正常品等、検査の対象となる部分に対象領域（Region of Interest：ROI）を設定する（図5a）。次に、ROI内の画素に含まれるスペクトル情報を抽出し（図5b）、主成分分析、判別分析等の多変量解析を行い、正常部位と異物を判別するモデルを構築する（図5c、d）。さらに、作成したモデルを、ハイパースペクトルの各画素に含まれるスペクトル情報に適用することにより、画素毎に正常か異物かの判定を行って異物の混入部位を特定する（図5e）。最後に、異物と特定された部分を彩色することにより、試料における異物の混入部位を可視化した画像が得られる（図5f）。なお、上記のうちROI設定からモデル構築までの過程はサンプリングした試料に対してのみ行い、完成したモデルを他の試料に適用することにより、解析を簡略化することが可能である。ただし、モデル構築には季節変動、

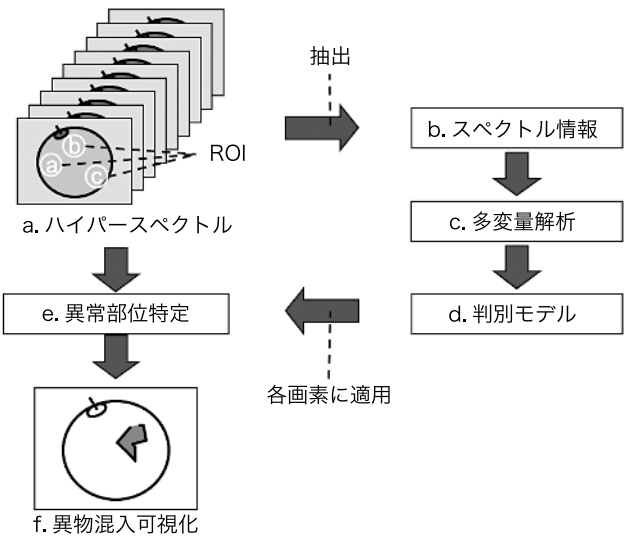


図5 スペクトルイメージングにおけるデータ解析手順

ロット間変動等の想定しうるばらつきを全て含んだ試料を用い、また作成したモデルを未知試料に適用して予測精度を検証するなどして、モデルが十分信頼できることを確認しておく必要がある。

2. スペクトルイメージングの応用事例

以下では、スペクトルイメージングによる食品の検査事例として、筆者らが取り組んだブルーベリー果実中の異物検出と、海外での研究・応用事例3点について紹介する。

2-1. ブルーベリー果実原料中の異物検知

近年、消費者が食品の品質や安全性に大きな関心を持つようになり、ジャムやフルーツヨーグルトのソースなどの果実を加工した製品に混入した異物に対するクレームも増加している。そのため、果実加工工場では人手による目視検査を増強しているが、異物が果汁に染まり、果実とほぼ同じ色になってしまうため、異物を完全に除去することができないのが現状である。そこで筆者らは、スペクトルイメージング手法を応用して、近年機能性食品として関心が高く、輸入量も増加しているブルーベリー果実を対象に、目視検査に代わる高精度な異物検知技術の開発を試みた。

2-1-1. 計測装置

図6に計測装置の概略を示す。本装置は照明装置 (Megalight50, HOYA-SCHOTT)、液晶チューナブルフィルタ (VS-VIS2-10-MC-35, Cambridge Research & Instrumentation Inc.), カメラレンズ及びモノクロ CCD カメラ (ORCA-ER-1394, 浜松ホトニクス) により構成されている。照明装置からの光はライトガイドを通じて試料に照射される。また、試料からの反射光は、液晶チューナブルフィルタにより 400-720 nm の任意の波長で分光されるため、本装置により試料のハイパースペクトルを計測することが可能である。

2-1-2. 試料

冷凍された状態で輸入した米国産ブルーベ

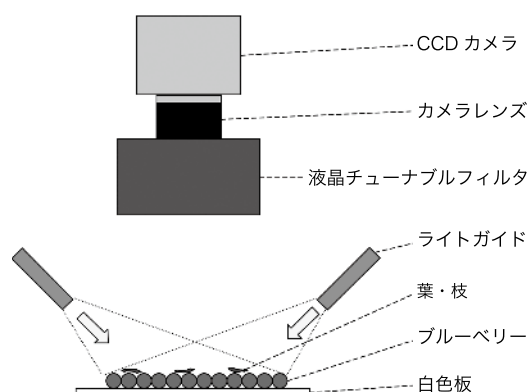


図6 異物検出のためのスペクトルイメージング装置

リー果実を用いた。適量の果実を常温で2時間放置し、解凍した。解凍の際生じる果汁を採取し、これに異物として用意した小石、毛髪、葉、枝、虫を1時間浸漬し、果汁の色を付けた。これを、「異物が果汁の色に染まり、肉眼ではほとんど識別できない」という加工現場の状況を再現するためのモデル試料とした。

2-1-3. 分光画像の取得

図6に示すように、セラミック製標準白色板を計測装置の下に置き、白色板表面をなるべく均一に照明するよう、照明装置の位置を調整した。この状態で白色板の画像を 405 ~ 720 nm の範囲で、5 nm おきに計 64 枚撮影した。次に、白色板の代わりにバランスディッシュ (D-M, イナ・オプティカ) を置き、その上に解凍したブルーベリー果実と染色した異物を乗せて試料とし、白色板と同一条件で撮影した。

2-1-4. 画像処理

得られた画像に含まれる①暗電流ノイズ、②バイアス電圧、③各ピクセルの感度ムラ、④不均一な照明に起因する光量ムラを画像処理によって補正した¹⁰⁾。さらに、吸光度の定義に従い¹¹⁾、以下のように補正画像の各画素における輝度値を吸光度に変換した。

$$A_{\lambda} = -\log(R_{\lambda} / M_{\lambda}) \quad (1)$$

ここで、 A は吸光度である。また、 M は標準白色板を撮影した画像の各画素における輝度値、 R は補正画像の各画素における輝度値であ

り、それぞれ近赤外分光法における入射光強度、反射光強度に相当する。上記(1)を、撮影波長λ毎に適用することにより、各画素における吸光スペクトルを得た。また、吸光度画像より果実部分及び異物部分にROIを設定して内部の平均吸光度を算出し、それぞれの吸光スペクトルを得た。

2-1-5. 異物検知条件の決定

図7に示すように、得られた吸光スペクトルを波長で2次微分し、果実と異物の違いを比較・検討したところ、クロロフィルの吸光帯である680 nm付近で葉・枝の2次微分吸光度が果実より大幅に小さくなることが明らかとなった。したがって、葉・枝及び果実の680 nmにおける2次微分吸光度を算出し、両者の中間値を閾値に設定することにより、葉・枝を検知することが可能であると考えられた。なお、他の異物に関しては、果実と吸光度が大きく異なる

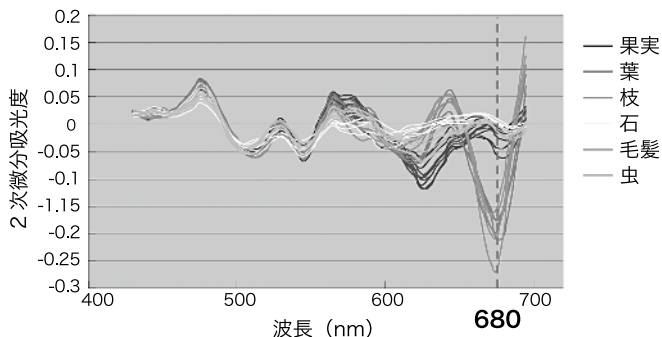


図7 果実・異物の2次微分吸光スペクトル

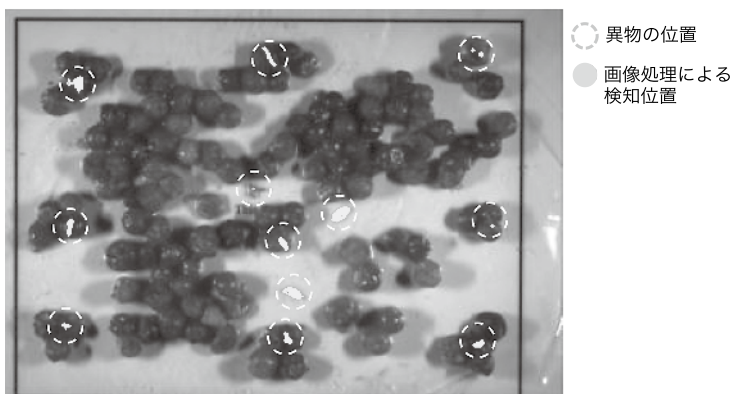


図8 異物の混入位置と検出結果

波長帯を見つけることができなかった。

2-1-6. 異物検知画像の作成

660, 680, 700 nmの3枚の吸光度画像を用い、下記の式に従って各画素の2次微分吸光度値を算出した¹¹⁾。

$$d^2A_{680} = A_{700} - 2 \times A_{680} + A_{660} \quad (2)$$

ここで、 d^2A_{680} は680 nmにおける2次微分吸光度値、 A_{λ} は波長λにおける吸光度である。さらに、前述した値を閾値とし、値が閾値以上の画素を黒、閾値未満の画素を白とする二値化処理を行い、図8に示す葉・枝の検知画像を作成した。検知画像の白色部分と実際に葉及び枝が置かれた位置は良好に一致し、本手法が異物検知に有効であることが明らかとなった。

2-2. その他の研究・応用事例

スペクトルイメージング研究は衛星画像計測の分野で始まり、その後天文学、農業、医薬品等の分野に広まっていった¹³⁾。食品検査への応用研究にはタラの切り身に混入した寄生線虫の検出¹⁴⁾、目視では確認できないリング表面の打撲傷の検出¹⁵⁾、豚肉保存中に表面で増殖するバクテリアの検出¹⁶⁾などの事例がある。また、鶏肉表面に付着した糞便や消化物を1分間あたり180羽という高速で検査する装置¹⁷⁾、あるいはフライ用ジャガイモの揚げ不適部位(皮、高糖質果肉等)の検査を1時間あたり16トンの速度で行う装置¹⁸⁾など、実用化に近い、あるいは既に実用化された技術も報告されている。

おわりに

本稿では、対象の分光特性と空間情報を同時に取得、解析することにより、対象の成分分布を明らかにする「スベ

クトルイメージング」と、その食品検査への応用事例について取り上げた。本稿では詳しく紹介できなかったが、近年「ワンショット・ハイパースペクトルイメージング」という技術が開発されている。文字通り「一回の撮影で」「複数波長の画像を」「同時に」撮影する手法であり、例えば IMEC の開発した製品は同時に 16 又は 32 波長の画像を、秒間 320 回という速さで撮影可能とのことである¹⁹⁾。従来、スペクトルイメージング技術には pushbloom 法に見ら

れるような特殊な光学系が必要で、またラベル不良検査等に用いられるカラーカメラによるマシビジョンに比べて検査速度が大幅に劣るとい難点があり、研究開発された技術が食品検査に実際に応用される事例は少なかった。ワンショット・ハイパースペクトルイメージングはこれらを解消するブレイクスルーになり得る技術であり、今後はスペクトルイメージングが食品の検査に幅広く活用されていくことが期待される。

参考文献

1. 相良 泰行：光センシングによる青果物選別システムの開発動向。日本食品科学工学会誌 **43** (3): 215-224, 1996.
2. 河野 澄夫：糖度選別機（光センサー）がもたらす新しい流通技術の展望—果実の品質も味の時代—。果実日本 **56** (1): 80-82, 2001.
3. P. Martinsen: Measuring soluble solids distribution in kiwifruit using near-infrared imaging spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* **14** (3): 271-281, 1998.
4. J. Sugiyama: Visualization of sugar content in the flesh of a melon by near-infrared imaging. *J. Agric. Food Chem.* **47** (7): 2715-2718, 1999.
4. M. Tsuta, J. Sugiyama, Y. Sagara: Near-Infrared Imaging Spectroscopy Based on Sugar Absorption Band for Melons. *J. Agric. Food Chem.* **50** (1): 48-52, 2002.
6. 薦 瑞樹, 杉山 純一, 相良 泰行：ハイパースペクトルシステムによる近赤外分光イメージング—メロン糖度分布の可視化事例—。映情学誌 **56** (12): 2037-2040, 2002.
7. Q. Li, X. He, Y. Wang *et al.*: Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges. *Journal of biomedical optics* **18**(10): 100901-100901, 2013.
8. 守屋 進：イメージング分光器「ImSpector」-- 基本特性とその応用。光アライアンス **10** (11): 4-9, 1999.
9. M. Tsuta, T. Takao, J. Sugiyama *et al.*: Foreign substance detection in blueberry fruits by spectral imaging. *Food Sci. Technol. Res.* **12** (2): 96-100, 2006.
10. 福島 英雄：画像処理の基本。天文アマチュアのための冷却 CCD 入門。東京、誠文堂新光社、133-188, 1996.
11. 岩本 睦夫, 河野 澄夫, 魚住 純：近赤外分光法入門。東京、幸書房、1994.
12. A. F. Goetz, G. Vane, J. E. Solomon *et al.*: Imaging spectrometry for earth remote sensing. *Science* **228** (4704): 1147-1153, 1985.
13. A. A. Gowen, C. O'Donnell, P. J. Cullen *et al.*: Hyperspectral imaging—an emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends Food Sci. Technol.* **18**(12): 590-598, 2007.
14. A. H. Sivertsen, K. Heia, S. K. Stormo *et al.*: Automatic nematode detection in cod fillets (*Gadus Morhua*) by transillumination hyperspectral imaging. *J. Food Sci.* **76** (1): S77-S83, 2011.
15. P. Baranowski, W. Mazurek, J. Wozniak *et al.*: Detection of early bruises in apples using hyperspectral data and thermal imaging. *J. Food Eng.* **110** (3): 345-355, 2012.
16. K. Nishino, K. Nakamura, M. Tsuta *et al.*: Optimization of excitation-emission band-pass filter for visualization of viable bacteria distribution on the surface of pork meat. *Opt. Express* **21** (10): 12579-12591, 2013.
17. B. Park, S. C. Yoon, W. R. Windham *et al.*: Line-scan hyperspectral imaging for real-time in-line poultry fecal detection. *Sensi. Instrum. Food Qual. Saf.* **5** (1): 25-32, 2011.
18. M. Groinig, M. Burgstaller, M. Pail.: Industrial Application of a New Camera System based on Hyperspectral Imaging for Inline Quality Control of Potatoes. *OAGM/AAPR Workshop, Graz*. 2011.
19. B. Geelen, T. Nicolaas Tack, A. Lambrechts.: A snapshot multispectral imager with integrated tiled filters and optical duplication. *SPIE MOEMS-MEMS*. International Society for Optics and Photonics: 861314-861314, 2013.

トレハロースによる 乳牛の酸化ストレス低減と高品質乳生産技術

佐藤 幹 (SATO Kan) 青木 直人 (AOKI Naoto)

東京農工大学大学院 農学研究院

Key Words：トレハロース 抗酸化作用 牛乳 ルーメン微生物 酪農 乳牛 飼料

要旨

二糖類であるトレハロースは抗酸化活性を持つ物質として知られ、鶏や代用乳などの家畜用飼料添加物としての研究が進められているが、乳牛では摂取した飼料がルーメン内における微生物分解を受けることから、トレハロースの抗酸化活性が生産物である乳に届くことは難しいと考えられていた。本研究では、飼料へのトレハロース添加がルーメン発酵を促進し、乳量を増加させるばかりか、牛乳中の過酸化脂質濃度の低下と抗酸化活性の上昇を示すことを明らかにした。さらに、これらの作用はルーメン内の微生物を介した、これまでにない作用機作によるものと推測された。この結果は、乳牛へのトレハロース給与が付加価値を持つ抗酸化乳の生産に有効であるだけでなく、微生物を介した生体制御などの応用技術としての可能性をも提示するものである。

はじめに

トレハロースは天然に存在する二糖類で、 α グルコース 2 分子が 1-1 グリコシド結合をしている。Maruta ら¹⁾ によって土壌細菌におけるトレハロース生成酵素系が発見され、デンプンの還元末端を α -1, 4 結合から α -1, 1 結合に変換する酵素 (malto-oligosyltrehalose synthase : MTSase) と、デンプン部分とトレハロース部分の α -1, 4 結合を特異的に加水分解する酵素 (malto-oligosyltrehalose trehalohydrolase : MTHase) を用いることによって、デンプンから高純度のトレハロースを生成することが可能となった。トレハロースは、非常に安定な物質で多くの機能性を持っていることから、現在、食品や化粧品など幅広い分野で利用されている。トレハロースの機能特性として乾燥耐性²⁾、タンパク質変性の抑制³⁾、抗酸化能⁴⁾ などが知られている。脂質の中でも特に不飽和脂肪酸は酸

化しやすく、不快臭の原因である揮発性アルデヒドを生じるが、トレハロースは、不飽和脂肪酸に対する酸化を抑制することが知られている⁵⁾。この報告によると、不飽和脂肪酸酸化の抑制メカニズムは、脂肪酸の不飽和結合をしている水素とトレハロースの水酸基との間に水素結合が形成され、酸化連鎖反応開始のヒドロペルオキシド化を阻害することによるものと推定されている。この脂質酸化の抑制効果は、脂質を含む多くの食品において応用することができ、古米臭、魚臭、マヨネーズ劣化などに対する抑制作用が認められている⁶⁾。本稿では、乳牛用飼料にトレハロースを添加することにより、生体内の抗酸化を向上させ、生産する牛乳の品質を改善する効果を発見したので、その効果と今後の応用性を考察する。

1. 乳牛の乳生産と抗酸化およびその消化特性

乳牛は、これまでの育種改良により、泌乳量の高能力化や分娩間隔の短縮、体格や体重の増加など、生産性を向上させる目覚ましい技術革新を遂げてきた。しかし一方で、それに見合った適切な栄養とエネルギーを供給しなければ、その能力を発揮できないばかりか、繁殖成績の低下や代謝性疾患を含む周産期疾病を引き起こし、生産寿命の低下やコストの増大を引き起こすことになる。さらに、乳牛は分娩時に大きな酸化ストレスがかかることが知られており、これが繁殖障害、免疫能の低下、それに伴う乳房炎などの感染症の罹患、あるいは肝機能の低下による代謝障害などの様々な周産期疾病を誘発する要因となっている⁷⁾。これを改善するためには、抗酸化物質の飼料への添加が有効であることが報告されており、様々な研究が進められている。しかしながら、天然物質でもっとも有名な抗酸化物質であるビタミンEやアスタキサンチンを飼料へ添加しても、分娩時の血中の酸化ストレス、そしてミルクの過酸化脂質濃度を変えるには至っていない。これには、反芻動物である乳牛の消化特性が大きくかかわっていると推測される。

反芻動物は草食性で、大きなルーメン（第一胃）を持つことが特徴である。ルーメンの容積は成牛 150 ～ 200 L と非常に大きく、消化管全体の約 50% を占める。ルーメンには、 $10^{10} \sim 10^{11}/\text{ml}$ の嫌気性の細菌、原生動物（プロトゾア）、真菌などが生息し、動物が摂取した飼料を発酵して、飼料成分を自己の増殖のために利用している。高等動物は、繊維質を消化する酵素を生産できないため、マウス、ラット、ヒト、あるいは豚や家禽のような単胃動物では、植物性飼料に多く含まれるセルロース、ヘミセルロースなどを分解して、それをエネルギーに変換することはほとんどできない。しかし、反芻動物は、ルーメン微生物の働きにより、植物性飼料の繊維質を分解し、微生物の代謝産物として発生した酢酸、酪酸、プロピオン酸の短鎖脂肪酸（揮

発性脂肪酸、VFA）をルーメン上皮から吸収し、エネルギーに使用することにより、成長・維持・生産を行っている⁸⁾。すなわち、実験動物やヒトの栄養代謝とはまったく異なり、摂取した栄養素のほとんどがルーメン内の微生物により影響を受けることから、摂取栄養素の機能性などを直接体内に移行させることは難しいとされている。よって、これまで抗酸化能を持つ栄養素を乳牛用の飼料に加えて、乳牛体内の抗酸化を改善しようとする手法は効果が低いと考えられていた。

2. トレハロース添加飼料による乳牛体内の抗酸化能改善と抗酸化ミルクの生産⁹⁾

著者らは、反芻動物の抗酸化能や飼料の安定性改善の観点からトレハロースに着目した。すなわち、二糖類であるセロビオースは、急速な発酵を伴わずルーメン発酵を活性化することが報告されている¹⁰⁾。よって、二糖類であり、セロビオースより安価なトレハロースが、ルーメン発酵を適切に活性化することできれば、乳生産のエネルギー供給のために有効であるばかりでなく、トレハロースの持つ独自の抗酸化活性や保存性が、乳牛の生体内の酸化ストレスを低減すれば、生産現場における有効な技術として使用できると予測した。さらに、トレハロースの持つ抗酸化能が生産する牛乳に移行すれば、生乳としての価値も上昇し、「おいしく」「臭みのない」「消費者の健康に有効な」ミルクの生産が可能となる。以上の仮説から、乳牛用の飼料にトレハロースを添加して、その抗酸化活性と生産性に対する影響を観察することにした。

試験は、対照区とトレハロース 1% 添加区を設定した。この添加量は、同じ二糖類であるセロビオースの添加量から決定した。乳生産、ルーメン発酵、そして乳牛体内とミルクの抗酸化活性を測定した。

まず、トレハロース給与時の乾物摂取量、泌乳量、乳質を表 1 に示した。乾物摂取量は、トレハロース添加飼料給与で、対照区に比べ有

意に増加し、乳量も有意に増加した。一方、乳質には大きな影響は認められなかった。よって、トレハロース添加飼料は、乳牛の摂取量を増加させ、その結果、生産性を向上させる効果があることが明らかとなった。

次に、ルーメンの発酵に対する影響を図1に示した。ルーメン内アンモニア態窒素濃度にトレハロース給与の影響は認められなかったが、ルーメン内VFA量およびプロトゾア数はトレハロース添加飼料の給与により有意に増加した。この結果は、トレハロースがルーメン内恒常性を維持しつつ、微生物を活性化し、乳牛のエネルギー源であるVFAの産生を適切に増加させたことを示している。すなわち、トレハロースは、ルーメン発酵を活性化させる資材として適切であることが明らかとなった。

次に、本研究の当初の目的であるトレハロースの持つ独自の機能性が生産物あるいは生体に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。トレ

ハロースの機能性の一つとして、抗酸化作用がある。そこで、本研究ではDPPHラジカル消去活性およびスーパーオキシドディスムターゼ(SOD)活性より抗酸化能を、チオバルビツール酸反応物質(TBARS)より過酸化脂質濃度を評価した。まず、ルーメン内容物であるが、トレハロース給与によりDPPHラジカル消去活性は上昇する傾向、SOD活性は有意に増加、TBARSは有意に減少した(図2)。この結果は、トレハロースの給与により、ルーメン内の抗酸化活性が上昇し、過酸化脂質濃度が低下したことを意味している。血液では、SOD活性には大きな影響は認められなかったものの、DPPHラジカル消去活性およびTBARS濃度が有意に変化し、ルーメン内同様の結果を示した(図2)。さらには、生産物である乳中のDPPHラジカル消去活性およびTBARS濃度も血液と同様の結果を示した(図2)。これまで、乳中の抗酸化活性を上昇させ、過酸化脂質を低下させるための飼料原料あるいは添加物が、様々な研究者により検討されてきたが、抗酸化作用が良く知られているビタミンEなどの栄養素を用いても、乳中の抗酸化活性の有意な上昇と過酸化脂質濃度の有意な低下を実現したとの報告はない。すなわち、トレハロース添加飼料は、反芻動物である乳牛で体内の酸化ストレスを低減し、抗酸化ミルクを生産できる強力な資材であることが明らかとなった。これらの結果は、トレハロースを給与した乳牛から生産される乳は、酸化臭

表1 トレハロース添加飼料給与時の乳牛の生産成績

	対照区	トレハロース区
乾物摂取量 (kg/day)	20.6	21.2*
乳量 (kg/day)	20.5	21.2*
乳質 (%)		
蛋白	3.6	3.6
脂肪	4.7	4.8
ラクトース	4.6	4.6
無脂固形分	9.2	9.2
固形分	13.9	14.0

*: 対照区に対して有意差あり ($p<0.05$) .

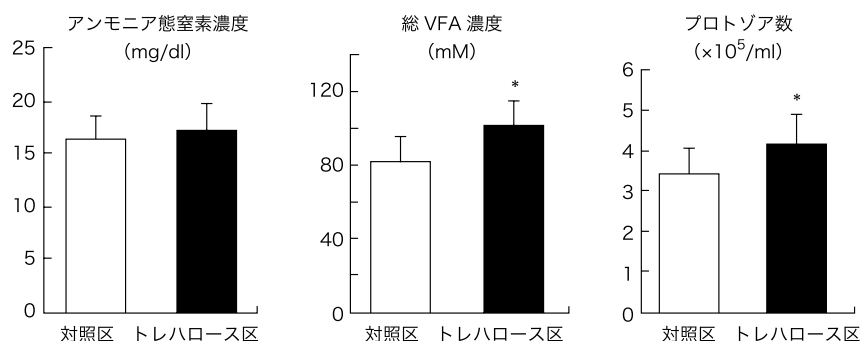


図1 トレハロース添加飼料給与時のルーメン発酵

*: 対照区に対して有意差あり ($p<0.05$) .

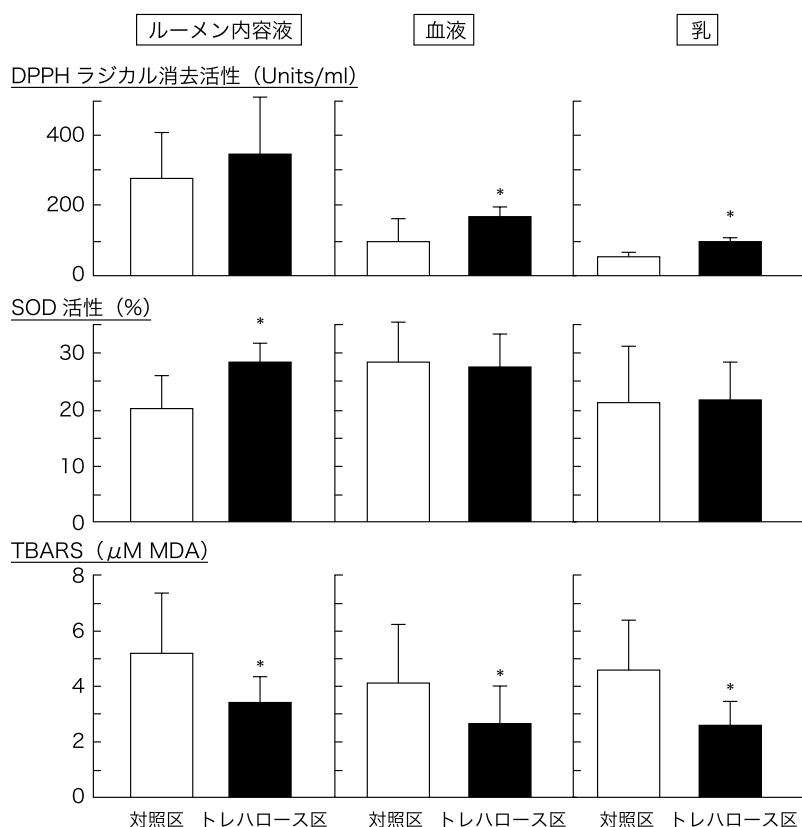


図2 トレハロース添加飼料給与時の抗酸化活性

の少ない、高抗酸化活性を持つミルクであることを証明している。

3. トレハロース給与牛の乳中抗酸化メカニズム^{11,12)}

通常の抗酸化物質は、消化管から吸収された後、血中を輸送され、目的の組織や生産物に輸送・蓄積されて、その効果を発揮する。トレハロース自身も弱い抗酸化活性を持つことが知られているため⁴⁾、通常の抗酸化物質と同様、乳牛に給与されたトレハロースが消化管を介して吸収され、血中に移行して、最終的には乳へ移行することにより抗酸化活性を発揮している可能性を考えた。そこで、トレハロースを血中に投与し、経時的に血中抗酸化活性（DPPH ラジカル消去活性）を測定した。その結果、DPPH ラジカル消去活性は、トレハロース投与後2時間で有意に上昇したものの、6時間以降は投与

前の値に低下した（図3）。さらに、血中トレハロース濃度は急速に消失し、投与後2時間でほとんど消失していた。よって、トレハロースが直接乳中に移行して抗酸化活性を持つというメカニズムは可能性が低いことが示された。

そこで本研究では、トレハロース添加飼料給与時の、乳中 DPPH ラジカル消去活性を継続的に測定した¹¹⁾（図4）。トレハロースを飼料に添加すると、乳中の抗酸化活性は徐々に上昇し、給与10日目まではほぼ直線的に上昇した。驚くべきことに、トレハロースの添加を止めた後も（図中の11, 13, 15, 20日目にあたる）、乳中 DPPH ラジカル消去活性は高い値を維持していた。この時、トレハロース給与牛の血中、および乳中からトレハロースは検出されなかった。しかも、摂取されたトレハロースは、ルーメン内で直ちに分解されていた。よって、トレハロースの持つ抗酸化活性が直接牛乳に移行したもの

ではなく、ルーメンを含めた生体内の抗酸化活性をトレハロースが向上させたことにより、牛乳中の抗酸化活性が上昇したものと推測された。さらに、図4で示した乳中の DPPH ラジカル消去活性の推移はルーメン内の微生物、特にプロトゾアの持つスーパーオキシドディスム

ターゼ (SOD) 様活性と正の相関関係にあった。よって、乳中の抗酸化活性は、ルーメン内容液の抗酸化に關与する酵素であるルーメン内の微生物 (特にルーメンプロトゾア) が持つ SOD 様活性が、乳中の抗酸化活性に影響している可能性が示唆された。

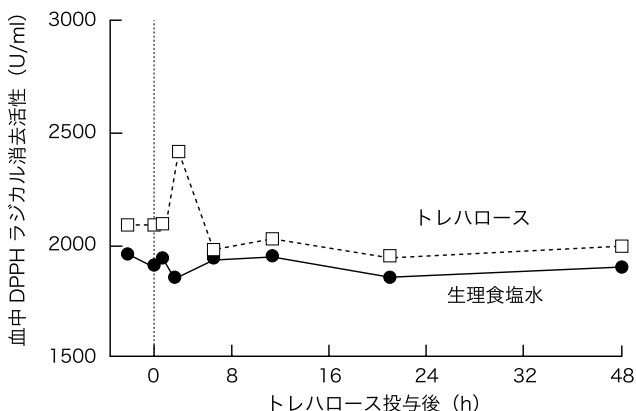


図3 トレハロース投与時の抗酸化活性の経時的変動

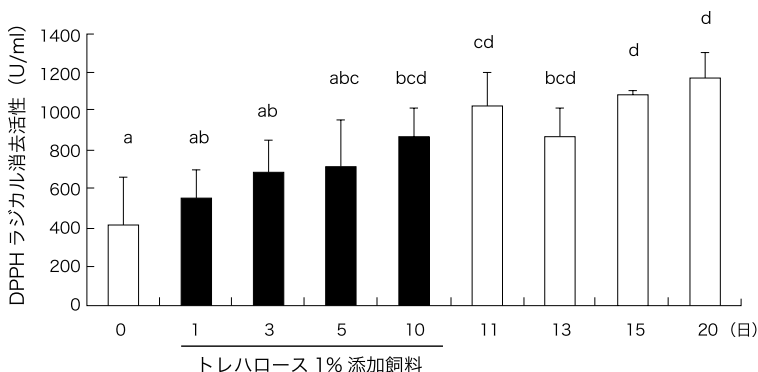


図4 トレハロース添加飼料給与後の乳中抗酸化活性の経日的変動

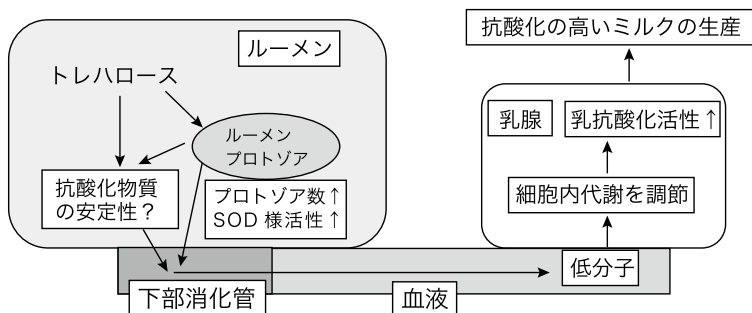


図5 微生物を介したトレハロースの抗酸化ミルク生産メカニズムの推定図

現在、著者らは、トレハロースによるルーメン微生物への影響、そしてその抗酸化作用発言メカニズムに関する様々な試験を引き続き行っている。現時点で、推定しているトレハロース給与時の乳中抗酸化メカニズム (図5) は、乳牛に摂取された後、ルーメン微生物、特にプロトゾア数を変化させ、ルーメン内の SOD 様活性を増加させることで生体内の酸化ストレスを低減させ、乳中の抗酸化活性を向上させているとのメカニズムを推定している。詳しい試験結果は、今後の著者らの

続報をお待ち頂きたい。従来、ルーメン内微生物のうち、ルーメンプロトゾアは生産における重要性は少ないと提唱する研究者もいたが、本試験の結果は、これまでのビタミンなどの抗酸化物質による酸化ストレス低減とは異なった乳牛の酸化ストレス低減メカニズムにルーメンプロトゾアが重要であること提示し、乳牛におけるルーメンプロトゾアの重要性を再認識させるものである。

4. 今後の応用性

トレハロースの添加効果における現場での重要な点は、まず乳量が増加することにある。実際、著者らは酪農の生産現場において、

一日 50-100 g/頭のトレハロースを給与すると、泌乳初期における乳量が著しく増加したことを報告している。さらに、体内の抗酸化がトレハロースによって改善すると、乳中体細胞数、特に酸化ストレスが強い産褥期の体細胞数を改善し、繁殖成績も改善することを明らかにしている¹³⁾。著者らは、トレハロースの酪農現場におけるその他の有効な効果もいくつか見いだしている。すなわち、乳中の酸化臭の減少、飼料の腐敗やカビ防止、トレハロース給与牛の初乳を飲ませた子牛の体内抗酸化活性上昇などに関して、実際の酪農現場で効果があることも明らかにしている。よって、酪農現場においてはトレハロースの飼料への添加が十分価値であることが実証されており、実際に明治飼糧株式会社より飼料が商品化されている。

本研究で明らかにした結果は、乳牛における生産性の向上および体内の酸化ストレス低減にのみ応用されるものではないと著者らは考えている。すなわち、ある種の細菌は SOD 活性を

持つことが知られており¹⁴⁾、また、腸内細菌層が様々な疾病と関連していることが明らかにされていること¹⁵⁾、そしてトレハロースがインスリン抵抗性を改善するとの報告もあることから¹⁶⁾、トレハロースが微生物を介して様々な疾病を予防する可能性は十分考えられる。今後の研究の進展を期待したい。

まとめ

二糖類であるトレハロースは、様々な機能を持つ糖であり、これまで困難であると考えられていた乳牛の酸化ストレス低減を実現することが出来る資材であった。今後、酪農現場における大規模な普及が待たれるとともに、さらなるメカニズムの追求を行い、今後の研究を進展させてきたいと考えている。なお、本研究は畜産技術協会「生産コスト低減畜産生産技術開発推進事業」によって行われたものであり、本稿はその報告書の一部を抜粋し、改編したものである。

参考文献

1. Maruta, K., Nakada, T., Kubota, M., Chaen, H., Sugimoto, T., Kurimoto, M., Tsujisaka, Y.: Formation of trehalose from maltooligosaccharides by a novel enzymatic system. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* **59**: 1829-1834, 1995.
2. Tamura, K., Miyashita, M., Iwahashi, H.: Stress tolerance of pressure-shocked *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology Letters* **20**: 1167-1169, 1998.
3. Colaço, C., Sen, S., Thangavelu, M., Pinder, S., Roser, B.: Extraordinary Stability of Enzymes Dried in Trehalose: Simplified Molecular Biology. *Nature Biotechnology* **10**: 1007-1011, 1992.
4. Oku, K., Watanabe, H., Kubota, M., Fukuda, S., Kurimoto, M., Tsujisaka, Y., Komori, M., Inoue, Y., Sakurai, M.: NMR and quantum chemical study on the OH...pi and CH...O interactions between trehalose and unsaturated fatty acids: Implication for the mechanism of antioxidant function of trehalose. *Journal of American Chemical Society* **125**: 12739-12748, 2003.
5. Oku, K., Kurose, M., Kubota, M., Fukuda, S., Kurimoto, M., Tsujisaka, Y., Okabe, A., Sakurai, M.: Combined NMR and quantum chemical studies on the interaction between trehalose and dienes relevant to the antioxidant function of trehalose. *Journal of Physical Chemistry B* **109**: 3032-3040, 2005.
6. 竹内 叶：トレハロースの食品分野への応用. *Fragrance Journal* 2000-4: 94-96, 2000.
7. Mudron, P., Konvicná, J.: Thiobarbituric acid reactive substance and plasma antioxidative capacity in dairy cows at different lactation stage. *Dtsch Tierarztl Wochenschr* **113**: 189-191, 2006.
8. 小野寺 良次監修, 板橋 久雄編：新ルーメンの世界. 農文協, 2004.
9. Aoki, N., Furukawa, S., Sato, K., Kurokawa, Y., Kanda, S., Takahashi, Y., Mitsuzumi, H., Itabashi, H.: Supplementation of the diet of dairy cows with trehalose results in milk with low lipid peroxide and high antioxidant content. *J. Dairy Science*. **93**: 4189-4195, 2010.
10. Gazi, M. R., Yokota, M., Tanaka, Y., Kanda, S., Itabashi, H.: Effects of protozoa on the antioxidant activity in the ruminal fluid and blood plasma of cattle. *Animal Science Journal* **78**: 34-40, 2007.

11. Aoki, N., Sato, K., Kanda, S., Mukai, Y., Obara, Y., Itabashi, H.: Time course of changes in antioxidant activity of milk from dairy cows fed a trehalose-supplemented diet. *Animal Science Journal* **84**:42-47, 2013.
12. 青木 直人, 佐藤 幹, 神田 修平, 小原 嘉昭, 板橋 久雄: トレハロース給与による乳牛の体内抗酸化能の改善. 家畜栄養生理研究会報, **57**:21-32, 2013.
13. 佐藤 幹, 青木 直人, 小原 嘉昭, 飯島 淳: 二糖類を利用した消化機能向上と酸化ストレス低減による乳生産向上技術. 畜産技術, **701**:3-7, 2013.
14. Fulghum, R. S., Worthington, J. M.: Superoxide dismutase in ruminal bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* **48**: 675-677, 1984.
15. Konrad, D., Wueest, S.: The Gut-Adipose-Liver Axis in the Metabolic Syndrome. *Physiology* **29**:304-313, 2014.
16. Arai, C., Miyake, M., Matsumoto, Y., Mizote, A., Yoshizane, C., Hanaya, Y., Koide, K., Yamada, M., Hanaya, T., Arai, S., Fukuda, S.: Trehalose prevents adipocyte hypertrophy and mitigates insulin resistance in mice with established obesity. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. **59**:393-401, 2013.

知っておきたい日本の食文化

その五 和食はどのように発達してきたのか

橋本 直樹 (HASHIMOTO Naoki)

食の社会学研究会

Key Words：和食 食文化 食習慣 歴史 伝統食品 世界無形文化遺産

1. 古代に和食の源流を探る

世界に誇ることができる日本の伝統的な食文化、「和食」が世界無形文化遺産としてユネスコに登録された。和食とは明治時代まで日本人が日常に食べていた民族伝統の食事であり、今日、料亭で食べる会席料理はその代表的なものである。町の食堂の刺身定食や焼魚定食、あるいは家庭で作る和風惣菜など、ご飯に、お刺身か焼き魚、人参、牛蒡、里芋などの煮物、ほうれん草や小松菜のお浸し、それに味噌汁とお新香が付く一汁三菜の料理は一般的な和食である。握り鮓、てんぷら、鰻の蒲焼、おでん、そばなどはすべて日本独自の料理であるから和食である。

和食は日本料理と呼ばれることもある。多くの場合、和食と日本料理は同義語として使われているが、料理人が作る会席料理などは日本料理と呼ばれることが多い。そもそも、和食とか、日本料理という名称を使うようになったのは第二次大戦後のことである。それまで日本人が日常的に食べていた料理を戦後、急速に普及した欧米料理や中華料理と区別するために使われ始めたのである。

ところが、このような和食、あるいは日本料理が現在の姿に近くなったのは江戸時代のことであり、そう古いことではない。味噌、醤油、酢、味醂などの発酵調味料、昆布、鰹節、干し椎茸

などの出汁を使う和食独自の調理法が普及したのも江戸時代である。

とすると、それ以前の日本人はどのような食事をしていたのであろうか。縄文、弥生の時代から日本人は隣国の中国、朝鮮と絶えず交流して先進の文化、文物を移入し、世界に誇ることのできる独自の日本文化を築いてきたのであり、和食という日本独自の食文化についても例外ではない。和食という日本の伝統食文化が発達するには二千年の歴史があったのである。

古代史にその名を留める邪馬台国の卑弥呼女王はどんな食事をしていたのであろうか。古代食の研究家、廣野 卓氏は邪馬台国の遺跡と考えられている奈良県、纏向遺跡から出土した魚や動物の骨、植物種子などを参考にして、卑弥呼が食べていたであろう食事を復元している。それによると、主食は米、粟を蒸した強飯、あるいは鳥肉や魚肉、菜などを混ぜた汁粥であり、副食は魚介の鱈や塩焼、干物、わかめやあらめなど海藻の熱汁、大根、蕪、ふき、のびるなどの塩茹でと塩漬け、茹でた里芋、桃、柿、梅、李などの果物、栗、枳、榎などの木の実、それと口嚙み酒、あるいは果実酒である。

当時、紀元3世紀ごろの日本の習俗を伝える中国の歴史書、魏志倭人伝には「倭の地は温暖にして冬夏生菜を食う」「食飲には高杯を用いて手食す」とあるから、民衆は生魚の鱈や生野

葉を盆に盛り、手づかみで食べていたらしい。なるべく調理に余計な手間をかけないで食材の新鮮な持ち味を生かす和食の起源がここにあると考えられなくもない。

やがて、邪馬台国など畿内の国々を統合して大和朝廷が成立すると、隋、唐の政治体制に倣って本格的な律令政治が始まった。平城京や平安京には貢物として献上される地方の物品や食品が集まり、天皇や貴族の食事は格段と贅沢なものに変わるが、調理法は邪馬台国の時代とさして変わらぬシンプルなものであった。班田収受の制度によって米の生産量が増えてからは米飯が主食になり、仏教が伝来してからは殺生禁断の戒律を守るために肉食禁止の詔が布告されたので、それ以来、米飯と魚介類、野菜を食べる食文化が定着したのである。

平安時代、天皇家に代わって政治権力を握った藤原氏一族はしばしば大饗宴を催している。

永久4年(1116)に藤原忠通が内大臣に任じられた祝賀の大饗の記録が残されているので紹介してみる。まず、台盤の手前に椀に高く盛り付けた飯と箸、匙を置き、塩、酢、酒、醬を入れた小皿を並べる。その向こうに、窪坏という深鉢に入れたくらげ、ほや、鳥内臓の塩漬け、鯛の塩辛を並べる。それを取り囲んで、雉肉、鯉、鯛、鱒の切身立盛りと鱸、鮑、さざえ、白貝、蟹、うにの生ものと、鮑、蛸、小鳥、魚肉の干物を置く。台盤の向こう側には木菓子(干した果物)と唐菓子(小麦粉や米粉で作った中国風のクッキー)を数種類並べる。

海に遠い平安京であるから魚介類はご馳走なのであるが、その多くは生もの、干しもの、塩漬け、酢漬けであり、どれも調味料を加えて煮る、焼くなどはしてない。各自が好きなように小皿に盛られた塩や醬、酢などを付けて食べるのである。味噌、醤油や昆布、鰹節の出汁で味付け調理をするようになるのは鎌倉、室町時代からのことである。

2. 精進料理が日本料理の基礎になる

奈良、平安時代の素朴な調理を劇的に進化させたのは宋から帰朝した道元などの禅僧が紹介した中国禅宗寺院の精進料理であった。精進料理は寺院の料理であるから仏教の殺生戒を守って魚貝や肉を使用しないが、野菜、豆腐や湯葉、麩などを油や調味料を使って煮たり、和えたりする料理である。この精進料理の調理法を取り入れて本膳料理、懷石料理、会席料理という日本独自の料理が生まれるのである。

精進料理では豆腐や湯葉などを油で揚げて魚鳥の肉に近い味を楽しむことが多い。豆腐を崩して細かく刻んだごぼう、にんじん、しいたけ、銀杏などを包み、ごま油で揚げて煮しめた「雁もどき」はその一例である。また、魚鳥の肉に比べてうま味の少ない芋や野菜を昆布と鰹節の出汁でおいしく煮る、あるいは磨りごま、胡桃、味噌、酢味噌などで和えるなどの工夫をする。二杯酢、山葵酢、辛子酢など和え酢を使った酢の物もそうである。

寺院の精進料理が一般社会にも広まるにつれて、豆腐、納豆、味噌などの大豆加工品とごま油が日本料理に欠かせない食材になった。ごま、菜種、大豆、樫、椿などから絞った油はそれまで主に燈明用に使われ、食用にはほとんど使われていなかった。生麩や豆腐をごま油で揚げた揚げ物は代表的な精進料理である。

豆腐は室町時代から盛んに作られるようになった。水に浸して膨らせた大豆を石臼で磨砕した汁を温めたのが豆乳であり、苦汁を入れて凝固させれば豆腐になる。苦汁を入れずに熱して鍋の表面に浮かぶタンパクの皮膜を引き上げて乾かしたものが湯葉、小麦粉を水と塩で練って分離させたタンパクが生麩、小麦粉と混ぜて焼いたものが焼麩である。豆腐や湯葉あるいは味噌の原料になる大豆は動物タンパクに劣らない良質のタンパクを多く含んでいるから、肉や魚を使わない精進料理には大豆を加工したこれらの食材が欠かせない。

味噌の原型は中国から伝来した米、麦を塩漬けにして発酵させた唐醬と、朝鮮半島からの渡

来人たちが伝えた豆を原料にする高麗醬である。最初は嘗ものであった未醬（味噌）を味噌煮など料理に使うのは鎌倉時代からであり、味噌汁にして飲むことは室町時代に始まった。納豆は奈良時代に中国や朝鮮から伝来したものだが、それは大豆麴を塩漬けにして醗酵させた塩納豆である。現在のような糸引き納豆が日本で生まれたのは室町時代らしいが、はっきりとしない。大豆を煮て稲藁で包み1-2日醗酵させると、藁についていた納豆菌が繁殖して糸を引く粘りのある納豆ができる。

南北朝の頃に書かれた「庭訓往来」には、精進料理として汁物は豆腐汁、雪林菜（おから）、自然薯汁、筍、わさびの冷汁、煮物は牛蒡の煮染、蒟の煮染、昆布、あらめ煮、蕪の煮物、筍蒸し、酢の物は蕪酢漬、酢漬みょうが、なすの酢和え、きゅうり甘漬、酢わかめ、煎りものとして煎り豆、松茸酒煎、平茸の雁煎り、菓子として生栗、蜜柑、串柿、干棗、瓜、菱、くわい、点心には饅頭、うどん、そうめん、蕎麦など紹介されている。

伝統的な日本料理は、獣肉を使用しないことと、野菜の料理がおいしいことが特長であると言ってもよいが、どちらもその源流を精進料理に発しているのである。

3. 本膳料理は日本料理の基本形

現在の日本料理の始まりになったのは室町時代に考案された本膳料理である。膳をいくつも並べて品数多くの料理を載せる豪華な本膳料理は室町時代、武家社会の宴会料理として考案され、江戸時代になると町人や農民社会でも冠婚葬祭の会食に用いられた。本膳料理は平安朝の大饗料理に精進料理の調理法を取り入れて、献立内容や給仕方法を日本風に整えた純日本料理であると言ってよい。

膳に並べる料理には「飯と汁、菜、香の物（漬物）」を組合せるという約束事がある。具体例で説明すると、客の正面に据える本膳（一の膳ともいう）には飯と香の物を中心に置き、塩鮭の焼き物、雉肉の焼き物、青菜で和えた鱈、鮓

と汁、合せて一汁三菜を並べる。本膳の右に据える二の膳には鯉の汁と醤油味の雉汁、それに鯛の塩焼き、さざえ、蛸の煮物を加えた二汁三菜である。本膳の左に据える三の膳には魚の冷汁、小鳥と貝の煎り煮、烏賊の一汁三菜と飯である。焼き物や鱈は皿や鉢に木の葉や紙を敷いて盛り付け、かまぼこや貝には紙細工の飾りを付けて豪華に見せる。

永禄4年（1561）、将軍足利義輝は家臣の三好義長の屋敷に招かれて七の膳まで並べる八汁二十三菜の豪華な本膳料理で饗応された。本膳には湯漬け、香の物、塩引き、焼き物、和え混ぜ、このわた、かまぼこ、鯛でんぶ、二の膳には蛸、くらげ、鯛の汁、にし貝、からすみ、海老、あつめ汁、三の膳には小串、くぐい汁、かざめ、鯉汁、鳥、四の膳は酒浸し、貝鮑、鯨汁、おちん、五の膳には鮓、鶏、鯛汁、烏賊、六の膳には鱈、赤貝、鰯汁、七の膳には熊引き、鮎汁、鳴である。それから30年後の文禄3年（1594）、豊臣秀吉が前田利家の邸を訪ねた時の饗宴では五つの膳を並べた本膳料理で三汁二十七菜の料理と、引き物、菓子十八品が供されている。

この後、登場してくる茶の湯の席の懷石料理、江戸の料亭で楽しまれた会席料理はどちらもこの本膳料理を簡素化したものである。そして、飯、汁、菜、香の物の四点を組み合わせる本膳料理の献立形式が、この時代以降、第二次大戦前まで伝統的な日本料理の基本形となって続くことになる。

しかし、江戸幕府による幕藩体制が確立し、将軍、大名、家臣の身分が固定してしまうと、料理の内容よりも料理の品数が多いこと、料理が見栄えすることを競う本膳料理は不要になる。七の膳まで並べるという常軌を逸した「見せる本膳料理」はこの後、次第に姿を消し、二汁五菜か三汁七菜に簡略された二の膳付の「食べて楽しむ本膳料理」が、江戸末期の武士、町人及び農民の冠婚葬祭の供応食として定着するのである。

三汁七菜の献立例は、魚肉のつまれ、野菜、茸を入れた本汁と生魚の酢の物、煮物、澄まし

仕立ての二の汁には魚、肉、野菜の取り合わせ、浸し物か和え物を組み合わせ、潮汁あるいは濁り汁仕立ての三の汁には肉や魚の焼き物あるいは揚げ物、刺身、魚の姿焼き、香の物盛り合わせを付け、お土産として引物菓子和鰹節を添えるのである。

農民でも庄屋や名主の家の婚礼には二の膳付の本膳料理が出た。本膳には一汁六菜、二の膳には一汁三菜程度であるが、山間部であっても鯛や海老、卵、かまぼこなどが使われた。伊勢参りの旅人を泊める御師宿では二の膳付の本膳料理が出た。例えば、本膳は飯、汁、刺身、鰻、麩、ひじきの煮物、漬物、二の膳には汁、鱈、鯛の焼き物、はんぺん、椎茸、うどの煮物である。

4. 茶の湯と懷石料理の誕生

鎌倉時代の初めに中国から喫茶の習慣が伝えられた。後に臨済宗の開祖になった禅僧、栄西が宋から茶樹の種を持ち帰って栽培し、喫茶養生記を著して抹茶の製法や喫茶の効用を紹介した。寺院で仏前に茶を献じる儀式、茶礼から始まった喫茶の習慣は、南北朝時代になると武家社会、町人社会に広がり、寄り集まって茶を飲み、茶の産地などを飲み当てる闘茶で遊び、連歌をして酒盛りを楽しむ茶会（茶寄せという）が流行した。やがて、このような茶会は、「侘び」「さび」を重んじる「茶の湯」に変わっていく。喫茶の作法が村田珠光、武野紹鷗、千利休などによって極められて、狭い茶室に坐って一つの茶碗で茶を飲み、和敬清寂、一期一会の境地を楽しむ「侘び茶の湯」が誕生した。

侘び茶の茶会では茶の湯に先立ち亭主が簡素な料理で客人をもてなした。これが懷石料理の起こりである。そもそも、懷石とは禅の修行僧が温石を懐に入れて空腹を紛らしたことから出た語であり、温石代わりの軽い食事を意味する。基本的な献立は飯、汁、向付、煮物、焼き物の一汁三菜であり、贅沢な本膳料理を簡素化したものと考えてよい。ただ、本膳料理では全ての料理をいくつもの膳に同時に並べるのに対して、懷石料理では膳は一つあるいは二つに限

り、料理は一皿ずつ運ばれ、一皿を食べ終われば次の料理が運ばれる。懷石料理が考案されたことにより日本料理は料理内容、給仕作法ともにほぼ完成の域に達したのである。

懷石料理でもっとも大切なことは、茶の湯の精神に則り料理は簡素であってもできる限りのもてなしの気配りをすることである。必然的に、四季の季節感のある旬の材料を使い、料理と器が調和するように美しく盛り付け、タイミングよく給仕することになる。この後、江戸時代に流行した会席料理では懷石料理より料理の品数が増えるが懷石料理のもてなしの精神が変わることなく受け継いでいる。

天文13年（1544）、利休が催した茶会で出された料理は一汁三菜である。膳には向こう側に麩の煮物とうど和え物を置き、手前には飯、豆腐とつくしを入れた汁を並べる。このほかには、器に入れた料理を客から客へと手渡しで回して一人ずつ取り分ける引物料理として酢くらげがあり、菓子は蛸の煮しめ、栗と榎の実の三種である。永禄2年（1559）の茶会では、鰹と鯛の和え物を大皿に盛り、調味料として手塩を添える。それから、引物として加雑鱈、白鳥と筍の煮物、それに飯と野菜の汁が出された一汁三菜の献立であった。

天正十五年（1587）、豊臣秀吉は朝鮮出兵に際して博多の豪商、神屋宗湛の邸で懷石料理をもてなされた。この時の料理は、麩と白鳥の汁、山椒を添えた香の物、飯、白鳥と大根、生姜の鱈、鮎の塩焼き、刻み生姜を添えた生鰻、ささげ豆と茄子の胡桃和えであり、最後に菓子として胡桃、松の実、桃、たたきごぼう、麩の煮しめが出されたと記録されている。

時代は江戸時代になるが、享保18年（1732）、表千家家元、宗左が開いた茶会の懷石料理は二汁三菜である。最初に鯛の刺身に大根おろしと生姜を添えたもの、豆腐とうどを入れた汁と飯の膳が出る。そのあとから、串に刺したなまこと梅干しの煮物椀、重箱に入れて取りまわす鮎の焼き物、瓜の香の物、最後に揉み瓜、塩松茸と柚子の吸い物が給仕された。菓子は葛饅頭であった。

5. 江戸で栄えた和食の文化

江戸後期の宝暦天明から文化文政の頃（1751-1830）になると、富裕な商人や文人、役人が遊興する高級な料亭が現れた。料亭の始まりは京都の清水寺や祇園社などの門前の料理茶屋であると言われているが、江戸では深川洲崎に開業した升屋が最初である。宝暦天明年間には八百善や平清など高級な料理茶屋が数多く開業し、そこでは贅沢な会席料理を食べて酒を飲み、踊りや唄、会話を楽しむことができた。

会席料理は料亭に客を招待して会食するための料理であり、懐石料理より品数が多い。今日の和食会席がそれである。季節感のある食材を味よく調理して、美しい食器に盛り付けた料理を、庭園が眺められる美しい座敷で芸妓なども交えて酒を飲みながら楽しむのである。活発な商業活動で豊かな財力を得た商人たちが築き上げた日本料理の華であると言ってよい。

名料亭として評判が高かった浅草山谷の八百善の会席料理の献立の一例を紹介しておこう。本膳には、前菜として平皿に甘鯛と鴨肉、松茸、くわい、芹を取り合わせて盛り、向付（鱧）は鰯と烏賊の刺身にうど、岩茸、青海苔、生姜を添えたもの、吸い物は鱧の摘み入れ汁、香の物は押し瓜、茄子奈良漬としん大根を並べる。二の膳の猪口にはつくしと嫁菜の浸し物、坪（煮物）には赤貝柔らか煮、焼き栗と銀杏、清汁の具はあいなめと葉防風、三の膳の鉢肴料理は小鯛のけんちんと煮唐辛子である。現在の会席料理は前菜（酒肴）を先に出して酒宴を行い、終わりに飯と味噌椀、香の物、果物を出す七品献立、九品献立が多く、膳を使わずに食卓で給仕するのが普通になっている。次いでながら、昆布と鰹節で出汁を取り、醤油、味噌、味醂で味付けする日本料理独自の調理法は江戸時代になって一般的に行われるようになったのである。

また、この頃には料理本が多数刊行された。天明2年（1782）に出版された「豆腐百珍」は豆腐料理のレシピを百種類紹介している。「豆腐百珍」の評判が良かったので、「玉子百珍」、「甘諸百珍」、「海鰻百珍」、「^{はも}蒟蒻百珍^{こんにやく}」、また「鯛

百珍料理秘密箱」、「万宝料理秘密箱」などが次々に出版された。飯百珍に相当する「名飯部類」、漬物作りを教える「漬物早指南」も出版された。中世までは包丁流の門外不出の秘事であった料理法が民衆に解放されたと言ってよい。

江戸中期、享保（1716-1736）の頃になると、町中にそば屋、一膳飯屋、居酒屋ができ、蕎麦、天ぷら、鮎、鰻などを食べさせる担ぎ屋台店も多数現れた。文化8年（1811）には江戸に7604軒の食べ物屋があり、そのうち、煮魚や野菜の煮染めなどを売る店が2500余軒、うどん屋、そば切り屋が718軒、蒲焼屋が237軒、鮎屋が217軒であると記録されているから、住民150人に対して食べ物屋が1軒あった計算になる。現在でも外食店は全国に57万軒、住民220人に1店舗であるから、江戸では外食店がいかに繁盛していたかを想像できる。

最も数が多かったのはそば屋である。それまではそば粉を湯で練った蕎麦掻を食べていたのであるが、寛文年間（1661-73）に小麦粉をつなぎにしたそば生地を切りそろえた蕎麦切りを、醤油に鰹節、味醂を合わせた「つゆ」で食べるようになってから急速に人気が出た。

鮎も江戸で人気のあった食べ物である。「すし」の歴史は長く、奈良時代の熟鮎^{なれずし}に始まる。熟鮎は魚を塩と米飯で長期間漬けて醗酵させた保存食であったが、室町時代に酸味を帯びた飯を魚とともに食べる生熟れ鮎に代わった。その鮎が大きな変化を見せたのは江戸時代である。元禄の頃、上方で魚や飯に酢を加え重石をして1夜で漬ける「押し鮎」に替り、さらに醗酵させる代わりに飯に酢を混ぜてつくる「早鮎」ができた。酢飯に生魚の切り身と山葵を合わせて握る「握り鮎」は文政年間（1818-30）に江戸で考案された。目の前で握ってくれて、素早く食べられる握り鮎を売る屋台が気短な江戸っ子に大受けした。よく使われた鮎種はこはだ、白魚、車海老、鮑、卵焼きなどで、現在の2倍ほどある大きな鮎が一貫、4文か8文で売られていた。

土用の丑の日に鰻を食べる習慣は江戸時代に

始まったものであり、隅田川などで取れた鰻は「江戸前」といって人気があった。蒲焼が人気になったのは身を割いて平らに串を打って焼き、垂れに醤油と味醂を使うようになってからである。蒲焼は屋台では一串 16 文で売られていたが、料理茶屋で食べれば一皿 200 文だった。天ぷらを売る屋台は天明年間（1781-9）に現れた。天ぷら鍋に引火して火事になることを恐れて屋内で天ぷらを揚げることは固く禁じられていたのである。南蛮人が伝えたテンポラは魚の素揚げであつたらしいが、江戸時代に小麦粉の衣を付けて揚げる現在の天ぷらに変わった。揚げ油には、当時大量に生産できるようになった菜種油やゴマ油が使われた。屋台で食べやすいように芝海老、貝柱、穴子や牛蒡、蓮根、長芋などを串に刺して揚げ、1 串 4 文ぐらいで売っていた。

庶民がよく食べていた惣菜はどのようなものであつたのか。幕末の天保年間（1830-42）に作成された「日用俚約料理仕方角力番付」には 200 種類ばかりの惣菜が大相撲の番付表に見立てて並べてある。右側の精進方には、大関に八杯豆腐（豆腐を長方形に刻み、辛子、おろし大根、醤油汁で食べる）、関脇は昆布と油揚げの煮物、小結はきんぴらごぼう、前頭には煮豆、焼き豆腐のすまし汁、ひじき白和え、切干し大根の煮つけ、芋がらと油揚げ煮つけ、油揚げのつけ焼き、小松菜の浸し物など、左側の魚類方には、目刺いわし、浅利や蛸の剥き身と切干し大根の煮つけ、芝海老からいり、鮪から汁、こはだと大根煮つけ、たたみ鰯、塩焼き鰯、鮪刺身、塩鰻、塩引き鮭などが並んでいる。これら江戸の庶民のおかずは現在の私たちにもなじみがある。

6. 揺らぐ和食の伝統文化

このように和食の姿は時代と共に激しく変わったけれども、どの時代の和食にも変わることなく「日本らしさ」、「日本人独自の感性と価値観」というべきものが受け継がれてきた。それは何かと言えば、ご飯と魚介類、豆、野菜を使った一汁三菜であること、新鮮な「旬」の

魚貝、野菜、海藻などを使うこと、味噌、醤油、酢、味醂、そして鰹節と昆布の出し汁で素材の持ち味を生かすように淡泊、繊細に味付けをすることなどである。明治になるまでは牛、馬、豚などの肉や乳製品は一切使わなかった。また、料理は絵付けをした皿、椀、鉢に美しく盛り合わせて楽しむから、外国人は日本料理を食べる芸術品だと賞賛する。このほか、各地に特産の魚介や野菜を生かした郷土料理が生まれ、季節ごとに多彩な行事食があることもそうである。

ところが第二次大戦後は、このように伝統的な和食を家庭で食べることは少なくなった。まず、ご飯を食べることが減り、三度に一度はパン食に代わっている。魚介や野菜、豆腐や湯葉、茸や海藻などを昆布や鰹節の出汁と醤油、味噌で味付けした伝統的な和食料理は少なくなった。かつては地域で採れる旬の魚介や野菜を食べていたが、今は季節に関係のないハウス栽培野菜や養殖魚、冷凍魚を、遠隔地から運び、あるいは海外から輸入している。牛肉や豚肉、牛乳、乳製品などを使う料理が増え、日本料理を作るのに欠かせない味噌、醤油の需要が減り、鰹節や昆布出汁の代りに化学調味料を使うのが普通になった。

現在、家庭で食べている「おかず」を調査してみると、焼魚、刺身、野菜の煮物、きんぴらごぼう、和え物、冷奴、味噌汁、漬物など和風の料理が少なくなり、ハンバーグ、トンカツ、魚フライ、ビーフステーキ、カレーライス、シチュー、グラタン、コロッケ、野菜サラダなどの洋風料理、餃子、鶏肉から揚げ、酢豚、焼き肉。八宝菜、麻婆豆腐など中華風料理が増えている。そもそも、食の文化と言うものは保守的なもので、いつまでも生まれた土地の特色を失わないものである。世界のどこの国にもイタリア料理や中華料理のレストランはあるが、家庭ではその土地の民族料理を食べているのが普通であり、日本のように欧米風、そして中華風の料理が家庭の食卓にまでどっぴりと入り込んでいる国は珍しい。

そして、伝統的な和食でもなく、欧米料理あ

るいは中華料理でもない新しいハイブリッド料理が生まれている。それは、明治、大正時代にご飯に合うように考案されたすき焼きやカレーライス、とんかつ、コロケ、海老フライなどの洋食、第二次大戦後に普及したラーメン、焼きそば、焼き鳥、串カツ、唐揚げ、生姜焼、肉じゃが、ポテトサラダ、たこ焼き、お好み焼きなどがそれである。これらの料理は伝統的な日本料理ではない。さりとて、欧米料理でもなければ中華料理でもない和食系の料理である。日本料理では使わない牛肉や豚肉を使っている、醤油や味噌、削り節、擂りごま、紅生姜や青海苔などを使えば味は和食風である。焼き肉やハンバーグでも大根おろしを添えて醤油で食べれば新しい和食であると言ってもよいだろう。これらの新しい料理は伝統的な和食ではないけれど、どれも日本独自の料理であることに違いはない。とすれば、新世代の和食と言ってもよいだろう。

和食が日本の伝統的食文化として世界無形文化遺産に登録されてから、和食の文化を今後、どのように継承して行くかについて論議が起きている。そもそも、日本料理を世界無形文化遺産に登録しようという運動を起こしたのは日本

料理の将来を危惧する京都の老舗料亭の料理人たちであった。

料亭の会席料理などは伝統を守る料理人がいる限り将来もその姿を大きく変えることなく継承されてゆくであろうが、町の食堂や家庭で食べる日常の和食は難しい。そもそも、料理は日々の生活に密着しているものだから、経済情勢、食料事情、生活環境などが変われば大きく変化することを避けられない。第二次大戦後の70年はかつてないほどに日本の食文化が激変した時期であったから、伝統的な和食が少なくなり、入れ替わって新世代の和食ともいべき料理が生まれてきるのである。

今後、伝統的な和食を昔の姿のままで傳承していくことは難しいが、その代りに和食の伝統を引き継いだ新世代の和食と言うべきものを育てることはできる。和食を後世に残すということは、その姿をそのままに残すことではなく、世界に類のない和食という食文化を創造した日本人独自の感性と価値観を引き継ぐということではなかろうか。伝統的な和食の優れたところを活かしながら、新しい素材や調理法を取り入れてゆけばよいのである。

体色が異なる 3 種ニジマスの魚体内カロチノイド分布

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi)

Key Words：ニジマス アルビノニジマス コバルトニジマス カロチノイド 魚体内分布 性成熟 活性酸素

ニジマスには普通のニジマスとは全く体色の異なるアルビノやコバルトと云われる突然変異体が存在する。

アルビノは所謂白子で、メラニン色素が欠如した魚である。1956年に長野県で見出され、優性遺伝することが確認されている。養殖場ではそれ程珍しくない頻度で出現する。メラニンを欠くため目は赤く、体表は全体が薄いオレンジ色で、ニジマスの特徴である体側の虹の部分は濃いオレンジ色を呈し、目立つ色をしている。綺麗なのでアルビノを集めて飼育して観光の目玉にしたり、釣り場では特別のニジマスとして取り扱っていたりする。

コバルトは脳下垂体の異常によってパーマーク（サケ科魚類の体側に見られる楕円状の斑点模様で、幼魚の時のみに存在するもの、成魚になっても存在するものと魚種によって色々である。ニジマスは幼魚の時のみに認められる。）や黒点が出現せず、体色がコバルトブルーを呈する変異体である。出現頻度はアルビノ程高くない。この魚も綺麗であるが、成長が遅くて病気にかかり易いとされているためか、数 100g の大きさにまで育つのは稀である。また、生殖腺が発達しないので性成熟はしないと云われている。

この様に体色が全く違うニジマスのカロチノイド分布は如何になっているのかに興味を持っていたところ、今回アルビノとコバルトの大型個

体を調べる機会を得た。両者が普通のニジマスと如何違うかについて魚体内のカロチノイド分布を中心に報告する。

方法

1. 供試魚

普通ニジマス

採卵、採精した後の親魚を集めて栄養強化した飼料（合成カンタキサンチンも 7mg/100g 添加してある）を与えて性成熟による衰弱から回復を計っていた魚から 3 月 8 日に雌雄 2 尾ずつサンプリングした。飼育水温は 14℃、給餌は日に 2 回規定量を与えていたが、1 尾当りのカロチノイド投与量は不明であった。ニジマスの成熟期は環境条件によって多少異なるが、本試験を実施した場所では 11 月下旬から翌年の 1 月上旬で、雄の方が早く成熟し、成熟期間も長い。従って摂餌しない期間も雄の方が長く、栄養不足による衰弱は雄の方が大きいものと思われる。また、雌は排卵時に 1 回採卵作業を行うだけで取り扱いは終了するが、雄は複数回採精されることが多く、取扱いによるストレスや魚体、特に体表の傷みは雄の方が大きい。採卵後の雌は直ぐに餌を食べるようになるが、雄は摂餌を再開するまでに時間が掛かる。これらの条件が重なって性成熟後の斃死は雄の方が多い。サンプリング時の 3 月 8 日は雌雄共未だ十分に

回復しておらず、成熟による衰弱の影響がかなり残っている時期である。

アルビノニジマス

上述の普通ニジマス同様採卵、採精後回復を図るために同じ池で飼育されていたアルビノニジマスの親魚を4月14日に5尾(雄3尾,雌2尾)サンプリングした。アルビノニジマスの成熟期は普通ニジマスと同じなので、サンプリング時期が1ヶ月間遅かったが普通ニジマスより回復は進んでいたものと思われる。但し、未だ完全に回復している時期ではない。

コバルトニジマス

成長が遅く、生残率も著しく低かったものの、孵化して数年掛かってやっと数100gに育ったコバルトニジマスを5月16日に雌雄2尾ずつサンプリングした。コバルトニジマスのみは別の小型池で飼育していたが、餌は同じ栄養強化した飼料を可也長期間与えていた。飼育水温や給餌条件は同じであった。このコバルトニジマスは一度も性成熟していない魚であった。

2. 処理手順

池からタモ網で掬い上げた魚はFA100で麻醉し、体重と尾叉長を測定した後ヘパリン処理した10mLプラスチック注射筒を用いてキュービエ氏管から採血した。採血後の魚は体色も含めた状態の観察を行ってから延髄穿刺して即殺した。血液は3000rpmで15分間遠心分離し、血球と血漿を分離した。血球は生理食塩水に懸濁して洗浄し、再び遠心分離する操作を2回繰り返した。血球、血漿、魚体はドライアイスで凍結して実験室に持ち帰った。

血球と血漿は解凍後そのまま色素量(総カロチノイド含量)の測定に用いた。魚体は冷蔵庫で半解凍状態にし、調理用ハサミを用いて背鰭、胸鰭、腹鰭、尻鰭および尾鰭を付け根から切り離し、全部の鰭を纏めて鰭の分析サンプルとした。脂鰭(サケ科魚類に見られる背鰭と尾鰭の間にある小さな鰭で、鰭条は存在しない。)は表皮と一緒にした。次に頭部を切り離し、露出した鰓を分離した。鰓には多量の血液や粘液が付着していたので、生理食塩水で綺麗に洗浄

し、放置して水を切った。頭部は構造上表皮、肉、骨等に分けるのは難しかったので、そのまま頭部として分析した。次いで腹部を切開して腎臓以外の臓器を取り出し、生殖腺、肝臓、胆嚢(胆汁を含む)、鰔、心臓、脾臓、蓄積脂質、消化管等を分離した。なお、腎臓は頸部から腹部に掛けて脊椎骨の下に細長く固着しているので完全に分離するのは難しかったが、葉匙やピンセットを用いて可能な限り採取した。残りの胴部から出刃包丁を用いて表皮を剥ぎ取り、裏側に付着している脂質を取り除いた。脂質は蓄積脂質と一緒にした。最後に骨と肉を可能な限り分離した。分離した各部位は重さを測定して臓器体重比を求めた後色素量の測定用試料に調製した。

鰭、頭部、鰓は出刃包丁を用いてまな板上で叩き、ある程度小さくした後ホモジナイザーで均一にした。消化管は切開して内容物を取り除いて洗浄し、水切り、細切してからホモジナイズした。表皮は調理用ハサミや大型のカッターナイフを用いて約5mm角の小片とし、全体を十分に混合した。卵巣、精巣、肝臓、蓄積脂質および肉はそのままホモジナイズした。胆嚢、腎臓、鰔、心臓、脾臓等の小さな臓器はそのまま色素量の測定に用いた。なお、魚の骨には骨髄が無いので、色素量は測定しなかった。

3. 色素量の測定

前報¹⁾の手順に従った。

結果

1. 外観他

普通ニジマスとアルビノニジマスは性成熟時に表れた第二次性徴の影響がまだ残っており、雄の頭部が大きくて口が尖り、全体にゴツゴツした感じであった。肥満度(体重×100/尾叉長³⁾)も雄が小さく、体高に対して体幅が小さい傾向が有る様に思えた。普通ニジマスは成熟前の魚より体色が全体的に黒っぽく、体側の虹の部分は赤黒い感じであった。アルビノニジマスはメラニンが無いので体色はオレンジ色であった

が、雄の方が色は濃かった。普通ニジマス、アルビノニジマス共に未成熟魚の様な体表の輝きは無く、沈んだ感じの色であった。

コバルトニジマスの体色は背側が薄い青色～青紫色で、腹側は金属的な光沢を有する銀色であった。その他コバルトニジマスに特徴的な点として、体表は粘液が多くヌルヌルで、体全体が柔らかく、特に腹部はグニャグニャであった。

脳下垂体は色々なホルモンを分泌する重要な組織である。中葉においてプロオピオメラノコルチンを前駆体として黒色素胞刺激ホルモン（MSH）が産生される。魚類ではMSHは皮膚の黒色素胞に作用して細胞中の黒いメラニン顆粒を拡散させ、体色を黒化させることが知られている²⁾。コバルトニジマスでは脳下垂体の異常あるいは欠損によってMSHが不足し、体表に黒点が形成されないことが青っぽい体色を呈する原因の一つなのであろう。但し、コバルトニジマスも死亡すると体色は黒っぽくなるので、メラニンの合成は行われている様である。体表における粘液の分布は

脳下垂体前葉で産生されるプロラクチン（PRL）によって促進される。コバルトニジマスの体表は粘液が多く、ヌルヌルであったので、前葉の機能は維持されており、PRLの産生は阻害されていないものと思える。

2. 肥満度と臓器体重比

魚体測定と解剖の結果を表1-3に示す。表1が普通ニジマス、表2がアルビノニジマス、表3がコバルトニジマスの結果である。

コバルトニジマスの飼育期間は普通ニジマスやアルビノニジマスより遥かに長期間であったのに体重は著しく小さかった。これは脳下垂体の不全によって成長ホルモン（GH）の分泌量が少なく、

成長が遅かったことによるのであろう。GHは脳下垂体前葉主部背側において産生され、軟骨の発達、細胞の増殖や肥大、アミノ酸輸送やタンパク質合成、脂質の分解等を促進することに

表1 魚体測定と解剖の結果（普通ニジマス）

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
体重 (g)	861	1347	1077	967
尾又長 (cm)	41.1	51.0	41.2	42.3
肥満度	1.24	1.02	1.54	1.28
体重比 (%)				
精巢	2.97	5.55		
卵巣			2.57	12.17
肝臓	1.18	1.03	1.76	1.08
脾臓	0.16	0.12	0.24	0.09
胆嚢	0.02	0.04	0.03	0.16
鰓	0.14	0.13	0.37	0.28
腎臓	0.93	1.06	0.97	0.63
心臓	0.09	0.10	0.09	0.07
蓄積脂質	0.48	Tr	0.28	0.57
消化管	1.87	0.93	1.96	1.56
鰓	1.67	1.63	1.91	2.41
頭部	10.81	12.38	9.58	8.76
鰭	1.12	2.30	1.56	1.37
表皮	6.10	8.58	6.98	4.85
肉	54.96	49.27	50.97	49.19
骨	9.16	10.48	10.54	9.85

表2 魚体測定と解剖の結果（アルビノニジマス）

性別	♂			♀	
魚 No.	1	2	3	4	5
体重 (g)	1007	1254	1314	1517	813
尾又長 (cm)	44.0	44.4	49.6	45.2	40.9
肥満度	1.18	1.43	1.08	1.64	1.19
体重比 (%)					
精巢	4.17	2.53	0.30		
卵巣				15.03	4.63
肝臓	0.85	1.13	1.25	1.60	1.61
脾臓	0.13	0.05	0.11	0.06	0.13
胆嚢	0.07	0.25	0.08	0.06	0.11
鰓	0.16	0.12	0.16	0.36	0.26
腎臓	0.93	0.81	0.93	0.54	0.95
心臓	0.09	0.08	0.06	0.07	0.08
蓄積脂質	Tr	0.17	0.92	0.18	0.30
消化管	0.75	1.20	1.55	1.40	2.11
鰓	2.01	1.86	2.57	1.63	2.95
頭部	15.00	10.80	11.12	6.96	8.22
鰭	2.75	1.80	1.66	1.90	1.74
表皮	8.06	8.26	7.46	5.29	6.61
肉	49.41	56.09	55.52	49.90	52.27
骨	8.12	8.15	10.00	7.08	8.44

表3 魚体測定と解剖の結果（コバルトニジマス）

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
体重 (g)	562	614	757	470
尾叉長 (cm)	34.0	36.0	37.2	31.0
肥満度	1.43	1.32	1.47	1.58
体重比 (%)				
精巢	0.03	0.03		
卵巢			0.08	0.14
肝臓	1.19	0.81	1.54	1.22
脾臓	0.03	0.05	0.06	0.11
胆嚢	0.21	0.14	0.38	0.03
鰾	0.09	0.10	0.33	0.12
腎臓	0.58	0.50	0.66	0.59
心臓	0.04	0.05	0.07	0.03
蓄積脂質	14.26	7.55	7.97	15.98
消化管	1.19	0.83	1.78	1.00
鰓	1.20	1.36	1.43	1.12
頭部	6.80	7.85	6.08	6.56
鰭	1.43	1.57	0.98	1.49
表皮	4.77	5.10	5.67	4.50
肉	52.44	57.37	58.76	51.27
骨	5.93	7.10	7.70	5.24

よって成長を維持している²⁾。GHの不足によって、これらの機能が抑制されるために成長が著しく遅れるのであろう。

コバルトニジマスは体全体が柔らかく、特に腹部はグニャグニャであった。解剖と成分分析の結果から、この原因は全身に脂質が異常な量蓄積していることによることが分かった。給餌時に見ているとコバルトニジマスもそこそこ餌を食べている。ところが成長は著しく遅い。飼料から取り込んだエネルギーを成長に利用することが出来ないの、脂質として蓄積しているのであろう。また、GHの不足によって体内の脂質の分解が抑制されていることも脂質が異常に蓄積する原因の一つであらう。

飼育期間からして普通であれば当然性成熟している筈（本試験を行った養殖場では普通で2年、遅くて3年で成熟する。）であるが、コバルトニジマスは雌雄共生殖腺は全く未発達であった。コバルトは成熟しないと云われていることに一致していた。魚の生殖腺刺激ホルモン（GTH）には濾胞刺激ホルモン（FSH）と黄体形成ホルモン（LH）の2種が有り、2種類の

GTHは協調して生殖腺の発達を促進することが知られている。これらのGTHは脳下垂体前葉で産生される²⁾。コバルトニジマスは脳下垂体の異常によってGTHの産生量が少ないために性成熟しないのではないかとと思われる。

外見、解剖および成分分析の結果から、コバルトニジマスの特徴は主として脳下垂体前葉主部と中葉の異状によって生じているのではないかと推測出来る。

肥満度は雌雄共にコバルト>アルビノ $\geq$ 普通の順に大きい傾向が認められ、雄においてより顕著であった。コバルトは未成熟魚なので肥満度が大きいのは当然であるが、アルビノと普通ニジマスの違いはサンプリング時期の違いによってアルビノの回復が進み、摂餌量が多かったためであろう。また、成熟経験魚（普通+アルビノ）は明らかに雌の肥満度が高かった。これは雄の方が餌を食べない期間が長いこと、取扱いによるストレスや外傷も雄の方が大きいこと等から回復が雌より遅れるためであろう。

図1に示す様に頭部は雄の方が大きく、成熟経験魚でより顕著であった。コバルトは未成熟魚であるにも拘らず雄の方がやや大きかったが、雌との差は小さかった。

鰓、表皮および鰾の体重比も成熟経験魚の方が未成熟魚より大きかった。成熟時には雌雄共

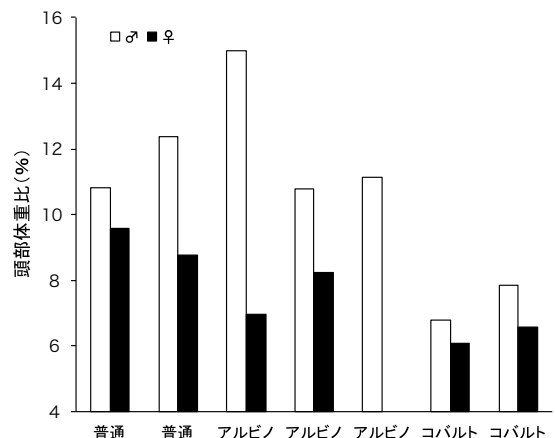


図1 頭部体重比の性差

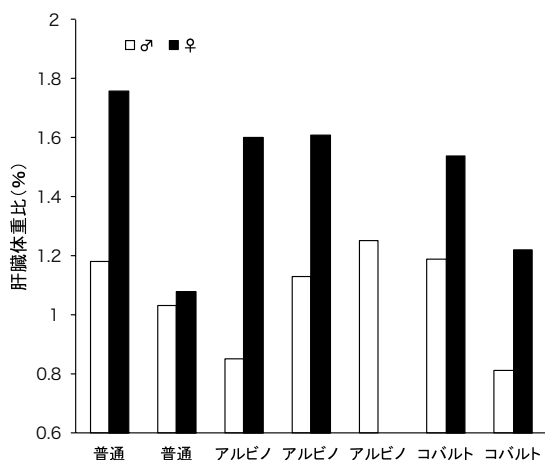


図2 肝臓体重比の性差

頭部の占める割合が高くなり、体厚も厚くなる。鰓も頭部の変形に伴って大きくなっているのかも知れない。

成熟時に肉部は分解されるので肉部の占める割合が減少し、他部位の割合が大きくなるのではないかと推測していたが、肉部の占める割合は各ニジマスで大きくは違っていなかった。肉部以外の部位も同様に消費していたのであろう。成熟経験魚の鰓、表皮、鰾等が大きかったのは肉部の減少に起因する相対的な増加ではないと云える。

肝臓は何れも雌の方が大きかった(図2)。生殖腺が大きくなる時期に卵へ栄養成分を送るのに肝臓でビテロゲンを生産するので、雌の肝臓が大きくなることはよく知られている。性成熟後の魚である普通ニジマスとアルビノニジマスにはまだこの影響が残っていたのであろうが、雌雄共全く生殖腺が大きくなっていなかったコバルトニジマスでも同様に雌の肝臓が大き

かった。雌の肝臓が大きくなるのは単にビテロゲンを合成するためだけではないのかも知れない。

鰾体重比も雌の方が大きく、成熟経験魚でより明確であった。雄では成熟の有無に拘らず大きな違いは認められなかった。雌の成熟時には卵巣が著しく大きくなって他臓器を圧迫すると共に魚体の比重が変化している可能性が有る。浮き袋は浮力を調整するのに重要な臓器である。この浮き袋の機能を維持するために膜を厚く丈夫にして一定の容積が確保出来るようにしているのかも知れない。

性成熟と臓器の大きさとの間に相関が有るの

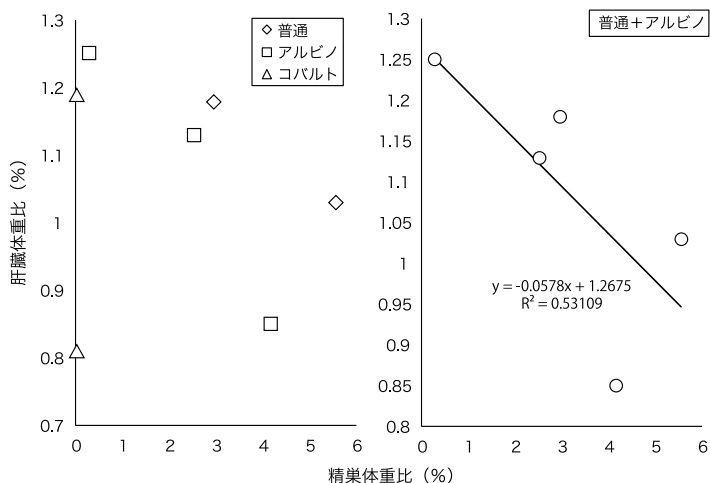


図3 精巣体重比と肝臓体重比

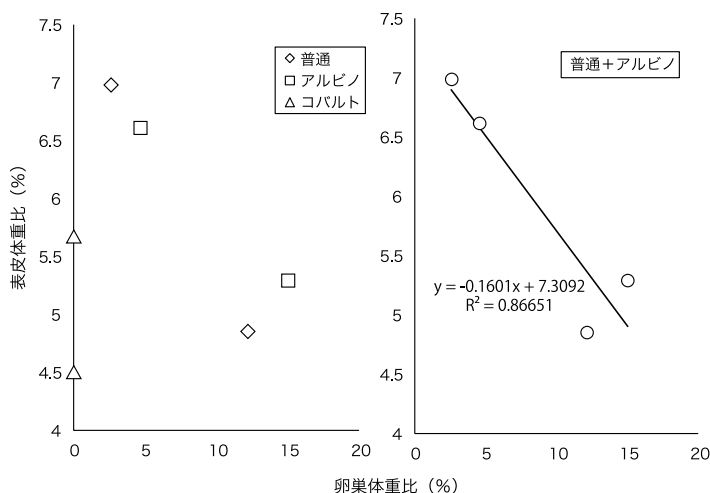


図4 卵巣体重比と表皮体重比

ではないかと思えたので、成熟経験魚である普通ニジマスとアルビノニジマスで生殖腺体重比と各臓器体重比との関係を調べてみた。

普通ニジマスでは雌雄共生殖腺体重比が大きい方が肥満度、肝臓、腎臓、消化管および肉体重比は小さかった。また、雄では生殖腺体重比が大きい個体で表皮の占める割合が高かったが、雌では逆であった。アルビノニジマスでは雌雄共生殖腺体重比と肥満度の間に明確な相関は認められなかった。また、雌雄共に生殖腺体重比が大きい程蓄積脂質と消化管体重比が小さかった。肝臓体重比も同様であったが、雌ではハッキリしなかった(図3)。雄で生殖腺体重比が大きい個体で表皮の占める割合が高く、雌では逆であることは普通ニジマスと一致していた(図4)。普通ニジマス、アルビノニジマス共に雄で表皮の占める割合が高かったのは、成熟時に雄の表皮が肥厚するためと、両者共サンプリング時には未だ完全に成熟の影響から回復していなかったためであろう。

性成熟期が過ぎると雌雄共に生殖腺は急速に小さくなり、その後再び発達し始める。両ニジマスをサンプリングした3月、4月はまだ生殖腺が再び大きくなり始める時期ではなく、成熟からの回復期である。生殖腺体重比が大きいと

云うことは、その個体の回復が遅く、未だ衰弱の程度が大きいことを示すものと判断出来る。よって生殖腺体重比が大きい個体の肥満度や各臓器の体重比が小さかったのであろう。また、普通ニジマスとアルビノニジマスのサンプリング時期には1カ月程度の違いしかなかったが、この1カ月の間にアルビノニジマスは急速に回復したため、普通ニジマス程生殖腺体重比と各臓器体重比の間に明確な相関が認められなかったのであろう。

表4 各部位のカロチノイド濃度(普通ニジマス)

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
精巢 (mg/100g)	0.020	0.029		
卵巣			1.124	1.168
肝臓	0.118	0.254	0.155	0.120
脾臓	0.417	1.499	0.346	0.359
胆嚢	Tr	0.036	0.068	0.012
鰾	0.045	0.055	0.042	0.056
腎臓	3.530	6.156	2.147	1.848
心臓	0.080	0.028	0.043	0.055
蓄積脂質	0.091	Tr	0.176	0.110
消化管	0.043	0.032	0.055	0.020
鰓	0.025	0.016	0.025	0.019
頭部	0.175	0.096	0.257	0.185
鰭	1.207	0.646	1.035	1.080
表皮	1.314	0.697	0.396	0.839
肉	0.020	0.016	0.231	0.156
魚全体	0.161	0.166	0.241	0.305

表5 各部位のカロチノイド濃度(アルビノニジマス)

性別	♂			♀	
魚 No.	1	2	3	4	5
精巢 (mg/100g)	0.017	0.019	0.078		
卵巣				0.824	1.577
肝臓	0.138	0.283	0.200	0.106	0.155
脾臓	0.488	0.569	0.508	0.315	0.218
胆嚢	0.049	0.035	0.029	0.104	0.040
鰾	0.050	0.086	0.084	0.088	0.122
腎臓	3.402	3.052	2.884	1.089	0.994
心臓	0.040	0.057	0.061	0.063	0.086
蓄積脂質	Tr	0.190	0.087	0.244	0.222
消化管	0.085	0.048	0.064	0.054	0.070
鰓	0.017	0.054	0.031	0.046	0.047
頭部	0.099	0.135	0.142	0.063	0.193
鰭	1.410	1.324	1.090	0.476	0.536
表皮	0.920	1.145	1.148	0.648	0.826
肉	0.018	0.032	0.081	0.180	0.068
魚全体	0.172	0.182	0.199	0.272	0.205

表6 各部位のカロチノイド濃度(コバルトニジマス)

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
精巢 (mg/100g)	Tr	Tr		
卵巣			0.950	1.362
肝臓	0.050	0.298	0.052	0.122
脾臓	Tr	0.091	0.123	0.011
胆嚢	0.097	Tr	0.008	0.774
鰾	0.102	0.055	0.046	0.104
腎臓	0.659	0.153	0.471	0.412
心臓	Tr	0.114	0.019	0.305
蓄積脂質	0.011	0.012	0.026	0.029
消化管	Tr	0.035	0.023	0.017
鰓	0.023	0.026	0.027	0.036
頭部	0.035	0.012	0.057	0.064
鰭	0.038	0.016	0.075	0.054
表皮	0.272	0.025	0.175	0.442
肉	0.026	0.073	0.419	0.036
魚全体	0.036	0.049	0.268	0.055

3. 色素濃度

各部位の色素濃度を個体別に示したのが表4-6である。

全魚体、体表（表皮+鱗）、腎臓、脾臓および蓄積脂質の色素濃度は雌雄共成熟経験魚である普通ニジマスとアルビノニジマスが未成熟魚であるコバルトニジマスより高かった。普通ニジマスとアルビノニジマスでは全魚体、生殖腺、蓄積脂質および肉部の色素濃度は雌が高く（図5）、体表、腎臓および脾臓は雄の方が高い傾向が認められた（図6-8）。コバルトニジマスは全体的に色素濃度が低く、個体によるバラツキが大きかった。コバルトは成長スピードにバラツキが大きく、摂餌量も個体によって可也違っていたものと思われる。これらの点がコバルトニジマスでは雌雄を問わず各部位の色素濃

度に大きなバラツキがあった原因ではないかと思われる。結果の判断が難しい。

卵巣は色素の蓄積部位であるのに対して精巣には殆ど色素は含まれない。よって生殖腺の色素濃度は雌の方が高いのは当然である。全魚体、蓄積脂質、肉部の色素濃度は雌の方が高かったが、これは成熟による衰弱は雌の方が少ないことによるものと思われる。

体表の色素濃度は雄の方が高いが、これは性成熟時に雌では主として肉部から卵へ色素が移行するのに対し、雄では体表に移行して第二次性徴である婚姻色を呈することに起因する。普通ニジマス、アルビノニジマス共にまだ性成熟の影響が残っているのであろう。性成熟時には雄の体表は肥厚し、同じ面積でも未成熟魚より重さが増す。今回の分析値は単位重量当

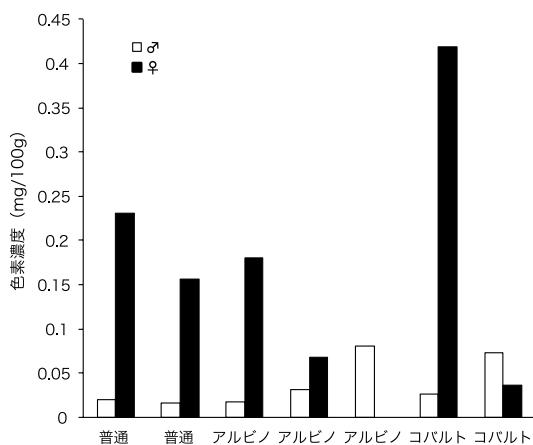


図5 肉色素濃度の性差

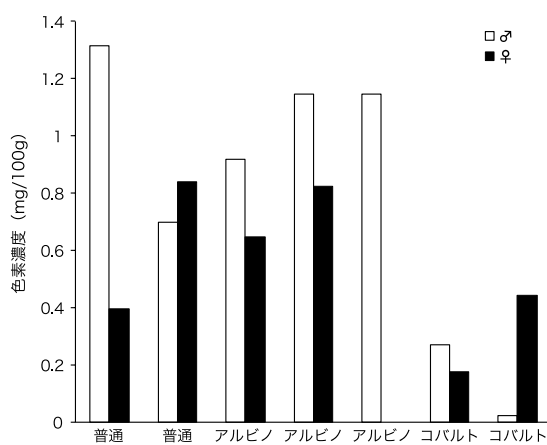


図6 表皮色素濃度の性差

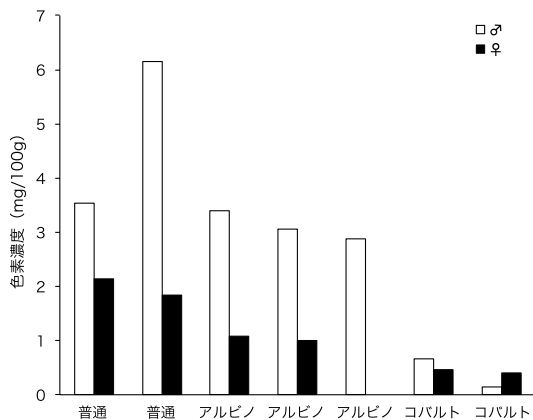


図7 腎臓色素濃度の性差

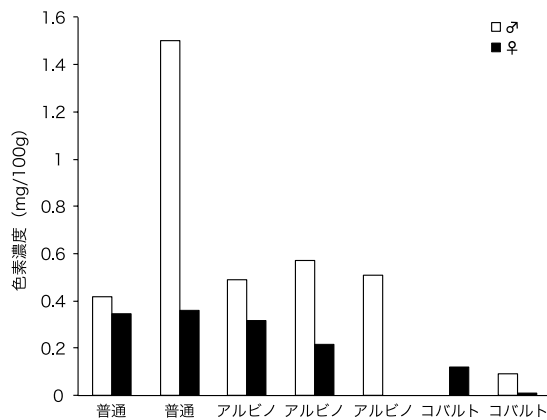


図8 脾臓色素濃度の性差

りの色素量で示してあるが、単位面積当りで示すことが出来れば、より明確な違いになるのであろう。生殖腺体重比と表皮色素濃度との間に普通ニジマスとアルビノニジマスでは違いが有り、特に雌で大きな違いが認められた。性成熟からの回復程度によって表皮の厚さが変わるのであれば、やはり単位面積当たりの色素量で表示しないと違いは明らかに出来ないのかも知れない。また、表皮や鰭等の体表皮色素量はアルビノニジマスが特に高い値を示すことは無かった。紫外線の遮断効果はメラニンが有る分普通ニジマスの方が大きいのではないと思われる。厳密な比較を行った訳ではないが、普通ニジマスとアルビノニジマスで生残率や成長等に有意な違いが有るとは思えないので、メラニンの存在意義は何であるのかと考えてしまう結果である。

性成熟経験魚で特徴的な点は腎臓と脾臓の色素濃度が雌雄共に生殖腺体重比の大きい個体が高く、更に雄の方が雌より高いことである。特に腎臓では体表より遥かに高い値を示していた。腎臓、脾臓共にリンパ組織で、活性酸素の発生量が多い部位である。また、取扱いによる魚体の傷みは雄の方が大きく、細菌感染の危険性も雄の方が大きい。体内に侵入した異物をリンパ組織で処理するので、雄の方が活性酸素の発生量が多いのではないと思われる。この活性酸素を処理するのがカロチノ

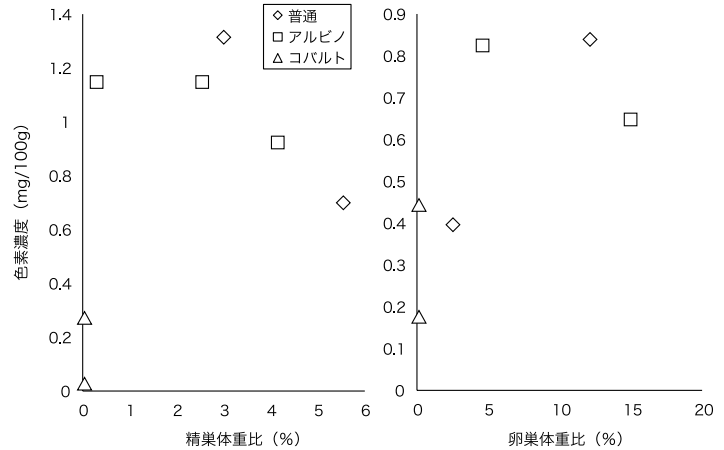


図9 生殖腺体重比と表皮色素濃度

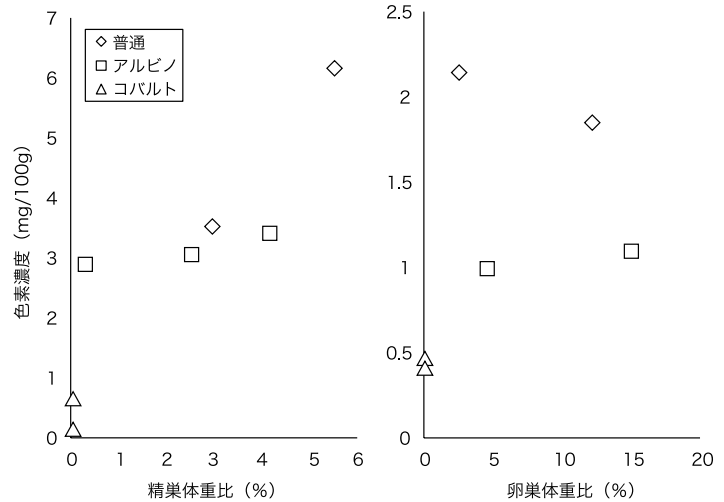


図10 生殖腺体重比と腎臓色素濃度

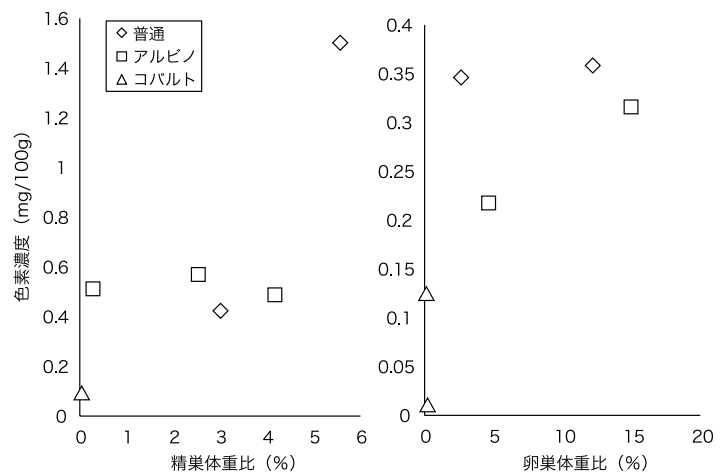


図11 生殖腺体重比と脾臓色素濃度

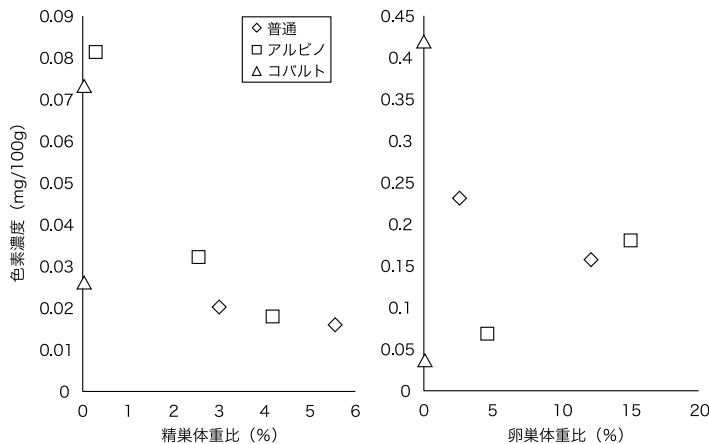


図 12 生殖腺体重比と肉色素濃度

イド色素の主たる役割であるとされている³⁻⁶⁾。未成熟魚より成熟経験魚、雌より雄の方が腎臓や脾臓において色素濃度が高いのは合理的なのかも知れない。また、腎臓や肝臓では色素の排泄、再吸収が行われている可能性も有る。

生殖腺体重比と表皮、腎臓および脾臓の色素濃度との関係を示したのが図9-11である。雄では精巣体重比が大きい個体程表皮の色素濃度は低く、腎臓と脾臓は高い傾向が認められた。一方、肉の色素濃度は図12左図の様に精巣体重比が大きい個体ほど低い値を示していた。雄の場合には肉部から放出された色素は主として

体表や腎臓、脾臓に移行する。精巣体重比が大きいと云うことは、性成熟からの回復が遅れていることを示す。回復が遅れている個体ほど表皮が厚いこと、活性酸素の発生量が多いこと等が上記の結果になる原因ではないかと推察する。雌では表皮、腎臓、脾臓および肉の色素濃度にバラツキが大きく、何れも卵巣体重比との間に一定の傾向は認められなかった。

性成熟時の肉成分分解程度の指標と見做し得る肉の色素量は明らかに雄が低く、色素の移送先である体表、腎臓、脾臓等の色素濃度は雄の方が高いと云うことは、性成熟時の衰弱は雄の方が大きく、しかも回復も雄の方が遅いことを示している。

4. 各部位の色素含量比

表7-9に各部位に含まれる色素量が全魚体の色素量の何%に相当するかを示した。成熟を経験した普通ニジマスとアルビノニジマスの雄では色素の大部分が体表に存在し、雌では体表と肉部に存在していた(図13, 14)。未成熟魚であるコバルトニジマスでは大部分が肉部に

表7 各部位のカロチノイド含量比(普通ニジマス)

性別 魚 No.	♂		♀	
	1	2	3	4
精巣 (%)	0.36	0.98		
卵巣			11.96	46.56
肝臓	0.87	1.56	1.12	0.41
脾臓	0.36	1.07	0.35	0.10
胆嚢	Tr	Tr	Tr	Tr
鰾	0.07	0.04	0.08	0.07
腎臓	20.35	39.25	8.58	3.83
心臓	0.07	Tr	Tr	Tr
蓄積脂質	0.29	Tr	0.19	0.20
消化管	0.51	0.18	0.46	0.10
鰓	0.29	0.18	0.19	0.14
頭部	11.76	7.14	10.19	5.32
鰭	8.37	8.92	6.69	4.84
表皮	49.86	35.95	11.42	13.31
肉	6.85	4.73	48.77	25.13
体表	69.99	52.01	28.30	23.47

表8 各部位のカロチノイド含量比(アルビノニジマス)

性別 魚 No.	♂			♀	
	1	2	3	4	5
精巣 (%)	0.40	0.26	0.12		
卵巣				45.60	35.74
肝臓	0.69	1.75	1.27	0.63	1.20
脾臓	0.35	0.18	0.27	0.07	0.12
胆嚢	Tr	0.04	Tr	0.02	Tr
鰾	0.06	0.04	0.69	0.12	0.18
腎臓	18.48	13.63	13.50	2.16	4.63
心臓	Tr	0.04	Tr	0.02	0.06
蓄積脂質	Tr	0.18	0.42	0.17	0.36
消化管	0.35	0.31	0.50	0.29	0.72
鰓	0.17	0.57	0.38	0.27	0.66
頭部	8.60	8.02	7.94	1.63	7.75
鰭	22.58	13.11	9.13	3.32	4.57
表皮	43.13	51.99	43.14	12.63	26.67
肉	5.20	9.86	22.66	33.07	17.36
体表	74.31	73.12	60.21	17.58	38.99

表9 各部位のカロチノイド含量比(コバルトニジマス)

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
精巢 (%)	Tr	Tr		
卵巣			0.30	3.49
肝臓	1.47	4.95	0.30	2.71
脾臓	Tr	Tr	0.05	Tr
胆嚢	0.49	Tr	Tr	0.39
鰾	0.49	Tr	0.05	0.39
腎臓	10.78	1.65	1.18	4.26
心臓	Tr	Tr	Tr	Tr
蓄積脂質	4.41	1.98	0.79	8.53
消化管	Tr	0.66	0.15	0.39
鰓	0.98	0.66	0.15	0.78
頭部	6.37	1.98	1.28	7.75
鰭	1.47	0.66	0.30	1.55
表皮	35.78	2.64	3.69	36.05
肉	37.75	84.82	91.78	33.72
体表	43.62	5.28	5.27	45.35

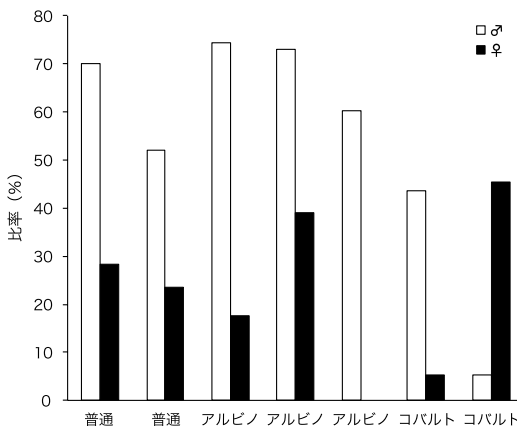


図13 体表色素が全体に占める割合

存在していたが、雌雄共に個体差が大きかった。腎臓と脾臓も成熟経験魚の方が比率が高く、しかも回復が遅れている個体ほど比率が高い傾向が認められ、特に雄で顕著であった(図15)。

性成熟時に肉部から放出される色素が各部位に移行するのであれば、肉部の色素が占める割合と他部位の色素が占める割合の間に負の相関が有るのではないかと推測し、肉部と体表、腎臓および脾臓の色素の占める割

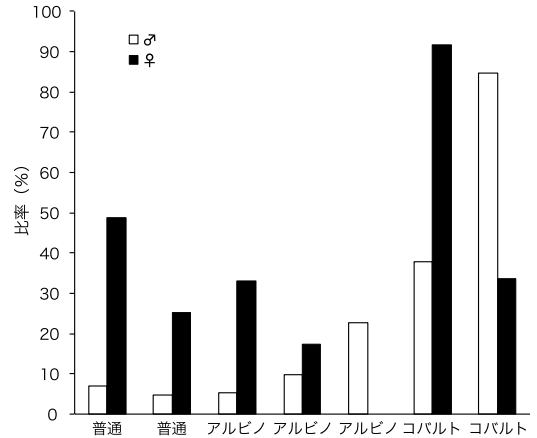


図14 肉色素が全体に占める割合

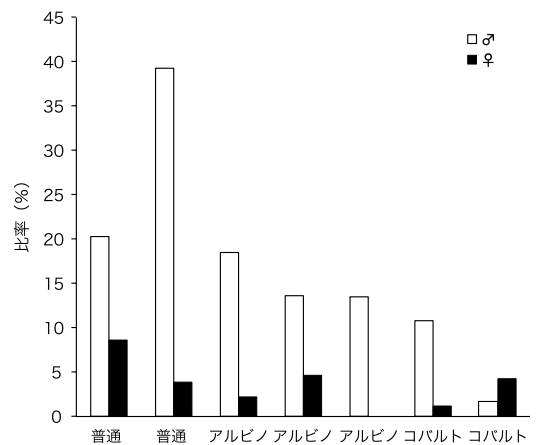


図15 腎臓色素が全体に占める割合

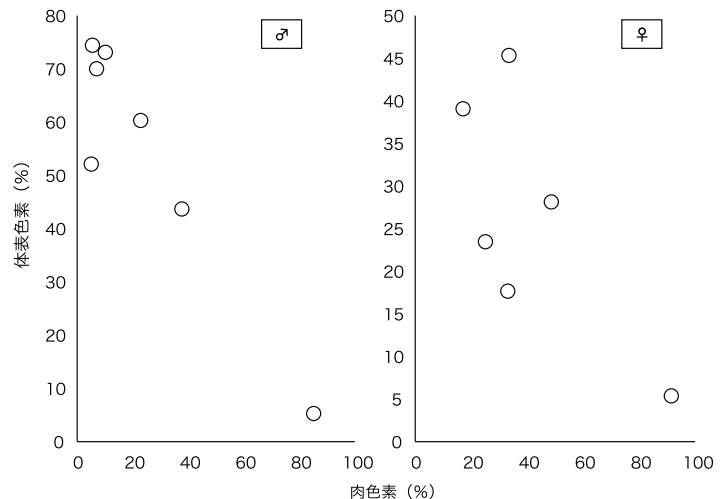


図16 肉と体表の色素比率

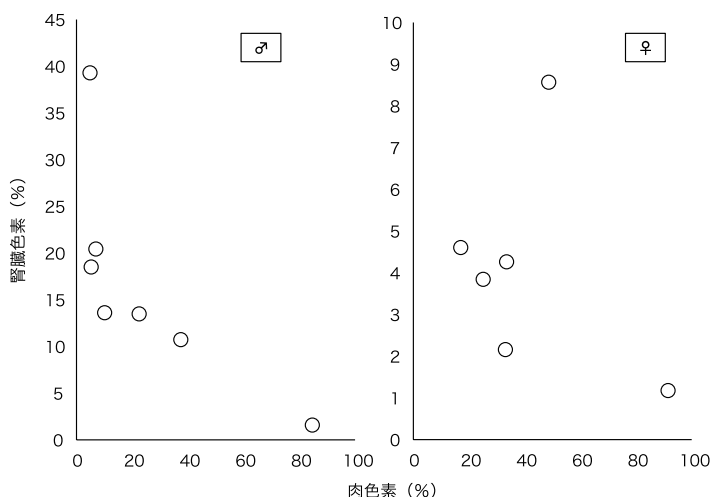


図 17 肉と腎臓の色素比率

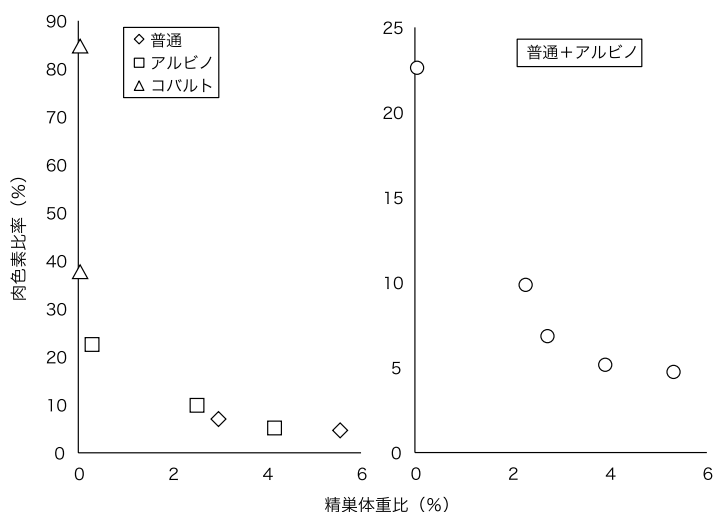


図 18 精巣体重比と肉色素比率

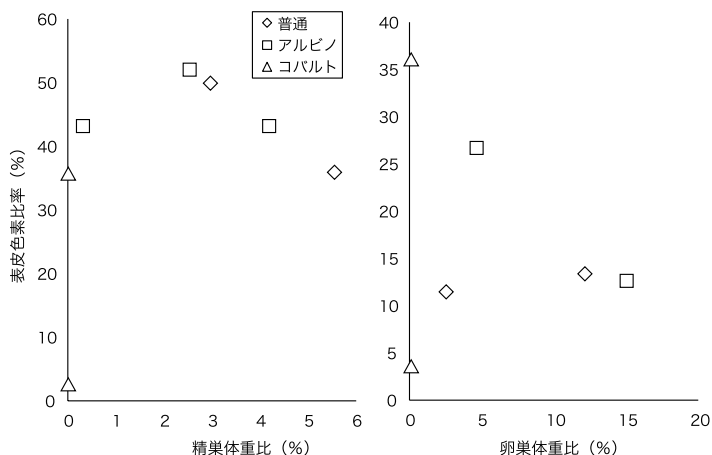


図 19 生殖腺体重比と表皮色素比率

合を比べてみたところ、雌の脾臓以外では明らかに負の相関が認められた (図 16, 17)。

また、成熟からの回復程度、言い換えると生殖腺体重比と各部位の色素量が占める割合の間にも相関が有るのではないかと推測し、調べてみた。

精巣体重比と肉部の色素量が占める割合には図 18 の様に明らかな負の相関が認められたが、雌ではバラツキが大きかった。表皮でも同様で、雄の精巣体重比が 2% 以上で負の相関が認められたが、雌では不明確であった (図 19)。腎臓では精巣体重比が大きい個体ほど腎臓の色素が占める割合が高かった (図 20) が、雌では逆であった (図 21)。また、雌雄共に生殖腺体重比は同じでもアルビノニジマスより普通ニジマスの方が腎臓の色素が占める割合が高かった。

雄では性成熟時に肉部より放出された色素が主として体表や腎臓に移行し、その後回復が遅い (= 精巣体重比が大きい) 個体ほど肉部の色素が占める割合が小さく、体表や腎臓の色素が占める割合が高くなっていた。また、腎臓の色素が占める割合は精巣体重比に拘らず、3 月にサンプリングした普通ニジマスの方が 4 月にサンプリングしたアルビノニジマスより高かった。これは採精時の取り扱いによるストレスや体表の傷等からの回復具合も腎臓の色素量に影響を及ぼしている可能性が高いことを示している。

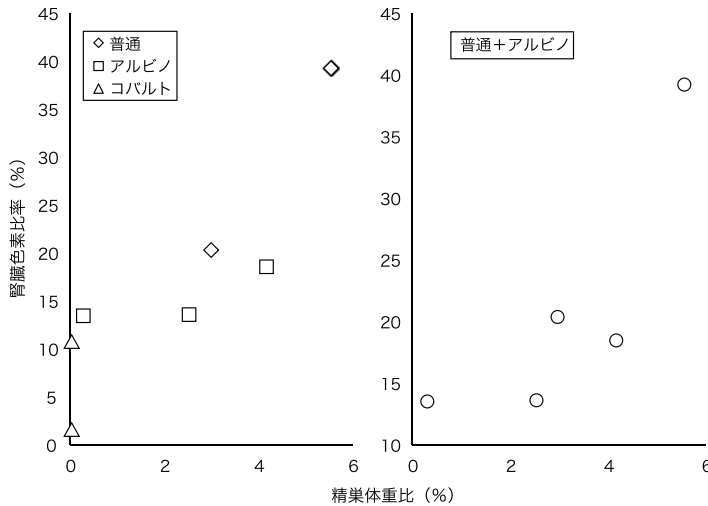


図 20 精巣体重比と腎臓色素比率

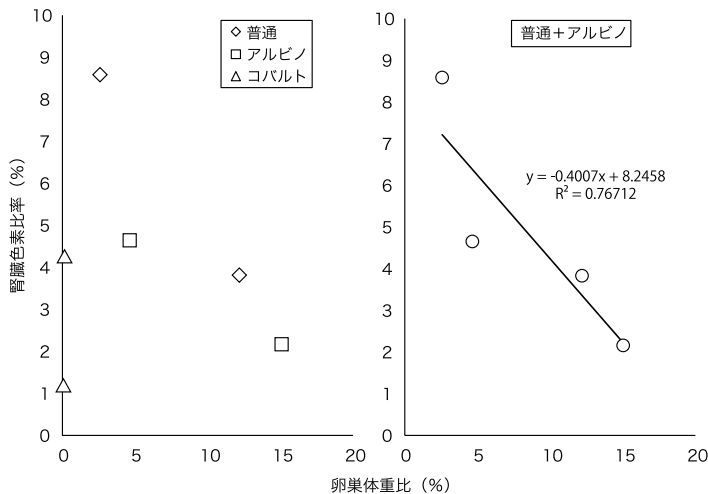


図 21 卵巣体重比と腎臓色素比率

表 10 血漿の分析値 (普通ニジマス)

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
色素量 (mg/dL)	0.025	0.014	0.020	0.015
TP (g/dL)	3.85	2.75	2.78	4.52
Glu (mg/dL)	96	112	110	115
TG (mg/dL)	221	125	112	329
T. Cho (mg/dL)	234	168	157	160
ALP (K-A. U)	3.8	2.0	2.5	3.7

雌では卵巣の大きさによって肉部からどの程度の色素が放出され、卵巣にどれ位の色素が移行するのかが大きく違うのではないかと推測する。完熟時の卵巣体重比は個体によって可也大きなバラツキが有ることが分かっている。これ

が肉部や体表、腎臓、脾臓等の色素量が大きくバラツク原因の一つであろう。これに加えて絶食期間、取扱いによるストレス、体表の傷み具合等の雄との違いが更にバラツキを大きくし、複雑な結果をもたらしているのではないだろうか。

5. 血漿成分

血漿の分析結果を表 10-12 に示す。アルビノニジマスの雄 1 個体は血漿が凝固していたため分析出来ず、コバルトニジマスの雌 1 個体は量が不足していたために色素量の測定が出来なかった。

成熟経験魚の普通ニジマスとアルビノニジマスは雌雄共に生殖腺体重比が大きい方が血漿の色素濃度が少ない傾向が認められた (図 22)。血漿の色素濃度は摂餌から採血までの時間が一定であれば飼料の色素含量と摂餌量に比例する。同じサンプリング日であれば、生殖腺体重比が大きいと云うことは成熟からの回復が遅れていると云うことで、摂餌量が少ないと推測出来る。これが生殖腺体重比が大きい個体ほど血漿の色素濃度が少ない原因であろう。また、色素濃度は雌雄共普通ニジマスよりアルビノニジマスの方が高く、特に雌で違いが大きかった。これはサンプリング時期が 1 カ月遅い分アルビノニジマスの方が回復が進み、摂餌量が多くなっていたことを示している。

なお、何れのニジマスでも血球にはカロチノイドは含まれていなかったもので、カロチノイドの輸送は血液の液状部分によっていることが分かる。その他の成分でも可也個体差が有るものの総タンパク質 (TP)、グルコース (Glu)、

表 11 血漿の分析値（アルビノニジマス）

性別	♂			♀	
魚 No.	1	2	3	4	5
色素量 (mg/dL)	0.036	0.173		0.137	0.259
TP (g/dL)	2.98	3.70		6.84	3.88
Glu (mg/dL)	88	85		58	87
TG (mg/dL)	101	260		496	189
T. Cho (mg/dL)	167	269		194	224
ALP (K-A. U)	2.2	3.5		5.1	8.0

表 12 血漿の分析値（コバルトニジマス）

性別	♂		♀	
魚 No.	1	2	3	4
色素量 (mg/dL)	0.053	0.035	0.083	
TP (g/dL)	5.70	5.44	5.61	5.25
Glu (mg/dL)	108	156	153	152
TG (mg/dL)	338	400	316	291
T. Cho (mg/dL)	400	400	369	260
ALP (K-A. U)	8.7	7.0	8.7	7.5

まとめ

体色が全く異なる普通ニジマス、アルビノニジマスおよびコバルトニジマスの 3 種ニジマスで魚体内のカロチノイド分布を比較し、以下の結果を得た。

・普通ニジマスとアルビノニジマスは性成熟経験魚で、両者でカロチノイドの分布に大きな違いは認められなかった。

・肉部の色素濃度と体表、腎臓、脾臓等の色素濃度の間には負の相関が認められた。これは性成熟時に肉部が分解されて色素が血中に放出されるが、雄の場合には色素は主として体表、腎臓、脾臓等に、雌の場合には卵、体表、腎臓、脾臓等に移行することによる。

・体表のカロチノイドはディエステル型であることが知られている^{7, 8)}。カロチノイドの役割の一つである活性酸素の除去にはフリー型であることが必要とされており³⁾、体表のカロチノイドは紫外線等の遮光が主たる役割なのかも知れない。

・腎臓と脾臓はリンパ組織で、活性酸素の発生量が多い。生じた活性酸素を除去するためにカロチノイドが多量に必要であるのかも知れない。

・卵中のカロチノイドはフリー型である。サケ・マス類の卵は水深の浅い砂場～砂利場に生み出される。卵は浅く砂中に埋まっているとは

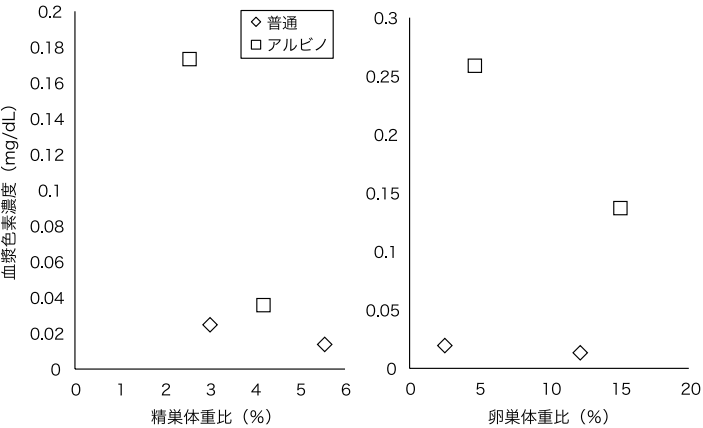


図 22 生殖腺体重比と血漿色素濃度

トリグリセライド (TG) 含量やアルカリ性フォスファターゼ (ALP) 活性等がアルビノニジマスの方が高い傾向が認められ、色素濃度と同様にアルビノニジマスの方が回復が進んでいることを表している。

コバルトニジマスは色素量以外全ての成分含量や活性が普通ニジマスとアルビノニジマスより高かった。これは未成熟魚であることと、前述したコバルトニジマスの代謝の特異性によるのであろう。色素量が高くないのは摂餌量が少ないためであらう。

云え、多少光が当たることは十分に考えられる。光や代謝によって卵内に生じた活性酸素を処理するためや、魚が発育する過程で血液を介して体表にカロチノイドを移行させるにはフリー型が適しているであろう。

・性成熟の進行程度と成熟後の回復程度によって魚体内のカロチノイド分布は大きく変化している可能性が高い。

・性成熟時の絶食期間は雄の方が長く、魚の取り扱いによるストレスや体表の傷みも雄の方が大きい。従って活性酸素の発存量も雄の方が大きいものと思われる。これらの点を反映してか、腎臓や脾臓のカロチノイド濃度は雄の方が

高い。

・コバルトニジマスでも肉部、体表、腎臓等のカロチノイド濃度が高いのは他のニジマスと同じであったが、脳下垂体の異常による成長不良、生殖腺未発達、代謝異常のためか、雌雄共に全体に色素濃度が低く、バラツキが大きかった。

・血液中のカロチノイド濃度は飼料のカロチノイド含量と摂餌量を反映する。よって性成熟や成熟からの回復程度の影響を強く受ける。血液中のカロチノイド濃度を測定することによって魚の状態をある程度知ることが出来る。

参考文献

- 1) 酒本秀一: マダイ、ニジマス、ヒラメにおけるカロチノイドの魚体内分布 .*New Food Industry*, **56** (12), 69-84 (2014)
- 2) 小林牧人, 金子豊二, 会田勝美: 内分泌 . 魚類生理学の基礎 (会田勝美編), 恒星社厚生閣, 東京, 128 - 154 (2011)
- 3) 幹渉: 生物活性研究の現状 . 水産学シリーズ 94 海洋生物のカロテノイド - 代謝と生物活性 (幹渉編), 恒星社厚生閣, 東京, 80 - 86 (1993)
- 4) 清水延寿, 幹渉: 活性酸素消去活性 . 水産学シリーズ 94 海洋生物のカロテノイド - 代謝と生物活性 (幹渉編), 恒星社厚生閣, 東京, 97 - 104 (1993)
- 5) 山下英次: 抗酸化作用 . アスタキサンチンの化学 (矢沢一良編著), 成山堂書店, 東京, 28-35 (2009)
- 6) 矢沢一良: アスタキサンチンの生理機能のトピックス . アスタキサンチンの化学 (矢沢一良編著), 成山堂書店, 東京, 130-138 (2009)
- 7) 秦正弘: 淡水魚 . 水産学シリーズ 25 水産動物のカロテノイド (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 60 - 77 (1978)
- 8) 北原直: サケ・マス類 . 水産学シリーズ 25 水産動物のカロテノイド (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 78 - 89 (1978)

第 2 回

きれいな身体づくり

そろそろ春を感じる季節になってきました。私は毎年この時期になると、桜色のスカーフやブラウスで少し早めに季節を先取りして楽しめます。気持ちが華やかで女性に生まれてよかったなと感じる瞬間です。ビジネス街では男性の颯爽としたスーツ姿が目にする季節です。男性のさりげないシャツ姿も私は大好きです。でも重い上着を脱ぐと・・・そう、やっぱり体型が気になってしまいますよね。

最近は男性、女性にかかわらず多数の人から痩せたいけれど長続きしないと相談されます。話を聞いてみると、無理して極端なダイエット法を試みている人が意外と多いのです。また、リバウンドをしてしまう悩みも良く聞きます。みなさんダイエットに関する知識はたくさんあるはずなのですが、情報が多すぎて混乱しているのかもしれないですね。

そこで、今回はきれいな身体づくりのために、無理のない私の簡単な実践ダイエット方法をいくつかご紹介しましょう。

まず食事の量ですが、いつもの量より少しだけ減らして3食はきっちり食べてください。食事をまるまる一食抜いてしまうと体が飢餓状態になりカロリーの吸収率が高くなってしまうため逆に太ってしまいます。激しい空腹感に襲われることなく、一日のカロリー摂取量を減らし、徐々に少量でも満足できる胃に変化させていきましょう。食べる順番も大切。食事の際、まず最初に野菜や海藻、きのこ類をたっぷり食べましょう。生野菜や煮物、サラダのほかに糖代謝を高める酢の物などがおすすめです。次にお肉やお魚などのたんぱく質を摂ります。血糖値を急上昇させる米やパン、麺類などは最後に食べるようにします。野菜やおかずを先に食べることで炭水化物の量も減らせるはずです。

早食いは食べ過ぎのもと。一口ずつよく噛んでゆっくりと食べてください。脳に“意識をさせて”「今、私はおいしい食事を食べてるんだよ～」と言い聞かせながら食べるのです。満腹や空腹を感じる中枢は間脳視床下部にあります。「満腹になってきたよ～」と、脳が早めに信号を出し、食べ過ぎを防いでくれます。

さらに、腸内環境を整えることも大切です。乳酸菌やビフィズス菌を多く含む発酵食品はおすすめです。納豆やヨーグルト、チーズは根気よく食べ続けていきましょう。ヨーグルトはデザートや間食にも最適です。カロリーコントロールは一日単位ではなく2～3日単位で行い、神経質になり過ぎず今日は食べ過ぎたから明日はちょっと控え目にしようぐらいが丁度いいのです。「いい加減が良い加減」というのがダイエットを長続きさせるポイントです。

いうまでもなく運動は必須ですが、肝心なのはカロリーのインプットとアウトプットの収支バランスです。摂取したカロリーはしっかり消費しなければいけません。美しく引き締まった body を作るためには有酸素運動。ウォーキングや軽いジョギング、水泳、ダンスなどは最高です。時間がない方はストレッチや、ウエスト回転運動だけでも毎日行いたいものです。

最後にお勧めは生野菜ジュース、ビタミン類を豊富に摂取できるので皮膚粘膜が強くなり張りのある美肌が保てます。ただ痩せるだけのダイエットではなく、健康で美しく引き締まった body 作りを目指しましょう。

さあ、一緒に Make beautiful body !!

中村照子（管理栄養士 理学博士）

これまでは大学で栄養学関係の教職に携わり、
蚕や桑葉の栄養機能成分の研究を行う。
現在は、テルコ・ニュートリション株式会社を設立、
管理栄養士国家試験サポートや各種栄養に関する
コンサルタント業を中心とした活動を行っている。
この上なく愛犬ももたらうを溺愛し、
毎朝一緒に野菜ジュースを飲み、散歩している。

人の心理状態を可視化する試み

ー 脈波におけるカオス解析から判別する 精神疾患患者の特徴と実践における新たな展望 ー

三好 恵真子 (MIYOSHI Emako)¹ 胡 毓瑜 (HU Yuyu)² 林 娟 (LIN Juan)³
雄山 真弓 (OYAMA-HIGA Mayumi)⁴

¹ 大阪大学大学院 人間科学研究科グローバル人間学専攻

² 大阪大学大学院 人間科学研究科博士後期課程

³ 中国福建师范大学 福清分校数学与计算机科学系

⁴ 株式会社カオテック研究所

Key Words：心理学 脈波 カオス 非線形理論 数理医学 うつ病診断

はじめに

心理学は、人の心的過程や行動の予測と制御を目的とする学問であるが、中でも、「生理心理学」は、生体信号に表出される生理的变化から、人の生理・心理状態の推定を行うものである。従来の生理心理学において、種々の生体信号（脳波、心電図、心拍間隔、血圧、呼吸、指尖容積脈波など）に関し、様々な手法を用いて解析され、多くの知見が得られてきたが、その大半は、線形理論に基づく解析手法が主流であった。しかしながら、生体信号には非線形的性質が含まれており、これらはカオス (chaos) と呼ばれる非線形的性質により変動することが知られている。

カオスとは、システムの状態遷移規則が決定論的であるにも関わらず、システム自体の非線形性によって確率系と等価な複雑さを生み出す現象のことを指す。また方程式等によって対象の状態を決定論的に記述できるが、その様相は法則性が見いだせず、ランダムネスのような非常に複雑な挙動を表すのである（図1）。しかし、カオス現象は、一見無秩序に見えるものの、実際にその背景に確固たる規則が存在する現象である。言い換えると、次に起こる現象が確率で決まるのではなく、ある一定のルールに従って

決定論的に決まる現象なのである。規則に従っているのに対象が無秩序に見えるのは、その対象を構成する要素の一つ一つの動きが単純であっても、集合体として振る舞うと複雑になるからであり、こうした対象のことを「複雑系」と呼ぶ。人間も複雑系であり、その複雑系から産出される生体信号にカオス情報が存在する可能性が高いと判断された。近年、カオス理論の発展とともに、生体信号におけるカオス情報の存在が明らかにな

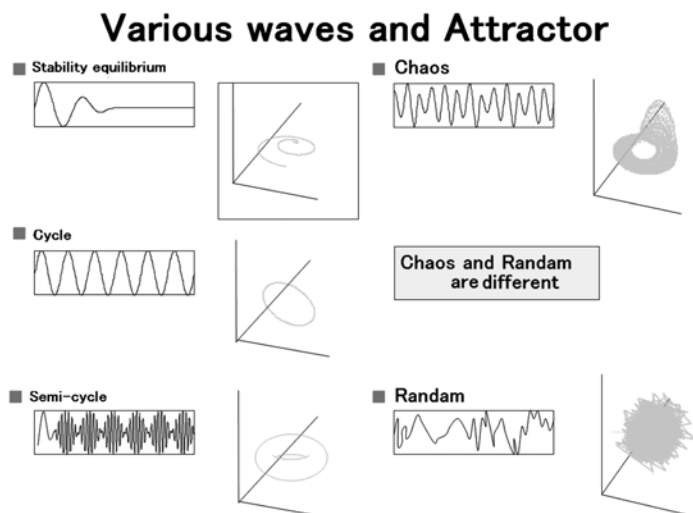


図1 様々な波とアトラクター

り¹⁾、それらの分析によって、人の生理・心理状態を推定する「カオス解析 (chaos analysis)」の有効性が様々な実験により証明されつつある²⁾。

そこで、本稿では、指尖容積脈波（以下「脈波」と記述する）から得られるカオスなどの種々の情報を客観的に分析することにより、「人の心の状態を可視化する方法」を確立した研究成果を紹介していく。その特徴として、簡易な方法で測定でき、無襲撃で、経済的であるという利点も兼ね備えている。さらには、得られた実験結果を比較分析することにより、精神疾患の診断への有効性も導くことができています。他方で、本手法を中国における心理問題への対処法として、応用展開する可能性を模索している。なぜなら、1-1で述べてゆくように、中国の場合、精神衛生に対する知識が不足し、また環境整備が遅れている現状からも、個々で対処できる早期発見と予防のために本技術の導入は、一つの有効な手段となり得ると考えられるからである³⁾。

本稿では、まず第1章で、現代中国の心理問題における種々の課題を整理し、本技術の中国に導入する意義を確認しておく。つづく第2章では、脈波の測定方法とそこから得られる様々な情報、またカオス解析の理論を解説し、第3章では、実際に実験を試み、脈波の情報から判定する精神疾患患者の特徴を具体化してゆく。最後に、測定・解析上の課題並びに中国における実践への課題について言及しておく。

1. 研究の背景

うつとは、急激な憂うつや不安、虚無感による精神的混乱を指し、自殺と深い関係があると考えられている。また本人の自覚がないまま病気が進行する 경우가多く、早期発見および早期治療が欠かせないとされ、自殺を抑制するためにも極めて有効であると考えられている。日本では、100人に3～7人の割合で、うつ病を経験したという調査結果があり、それに関連する自殺も年々増加している問題が指摘されている。さらに中国では、以下に述べてゆくように、人口規模のみならず、環境整備等も含めてさらなる複雑な問題を抱えている。

1-1. 現代中国の心理問題

中国では改革開放以後の急速な発展・社会変化とともに、種々の問題が露呈してきたが、「心理問題」も、その一つである。2013年の「中国青年報」の報道によれば、中国における精神障害者は1億人以上にのぼり、このうち重度な精神病患者は1600万人を超え、心臓疾患やがんなどを上回るようになったといわれる。具体的には、うつ病患者は3000万人に達し、また17歳以下の青年・児童の中で、情緒障害及び行動に障害がある人は3000万人に達している。さらには「心理問題」から様々な「社会問題」へと派生しており、自殺は無論のこと、暴力事件等の引き金になる可能性も示唆される。北京大学の精神衛生研究所の副所長唐宏宇は、重度精神病患者1600万人のうち、10%が暴力行動の危険性があると推察している。

しかしながら、中国では、心理問題に対する社会の認知度は低く、医療体制の不備もあげられ、環境整備は急務とされる⁴⁾。さらに中国では、自殺や殺人等の事件が、個人の心理の側面から考察されることは少なく、自殺の場合は、例えば大学生ならば、高等教育産業化や教育行政化、また試験重視の教育制度に目が向けられる場合がほとんどである。つまり、個々人の心理状態よりも社会的制度の方がはるかに重要な案件であると考えられているのである。現状では中国の制度問題は深刻なため、それが重視されるのは当然であるが、人々の問題が、制度の課題の裏に完全に隠蔽されている現状は明らかに問題であると指摘したい。

このような状況を生み出した根源的な原因は、二つあると考えられる。一つは、中国における心

理学の発達が複雑な経緯により遅れをとってきたことである。科学的心理学が誕生したのは、中国が西洋と接してからであり、1920年頃に、西洋の教育システムの導入に伴って、発達しつつあったが、1949年に中華人民共和国が成立して以来、心理学は、立ち入りを許されない紫禁城と呼ぶべき分野になってしまった³⁾。特に、心理学における最大の混乱は、1966年から76年の間に生じた文化大革命の時期であり、このとき心理学は、ブルジョワのエセ科学のレッテルを貼られていた。心理学が、近代化に貢献しうる科学領域であると認められたのは、文化大革命が終わってからのことであり、それでも、外国の心理学の諸学派を中国に紹介するにとどまっていた。したがって、中国では心理学の蓄積・実践面でも人材育成の面でも、十分な環境にはなかった。かたや開放政策の結果、西洋の進んだ科学技術や経営法が学ばれてきたが、同時に好ましくない社会への影響が出てくることも不可避であったと予測がつくものの、基礎研究の遅れも足かせとなり、実践での対応には大きな溝ができてしまったと考えられる。

二つ目は、上述の学問の変遷の背景も受けて、中国国内での精神衛生に関する知識が不足していることから、精神疾患に対する国民の認知率、精神疾患患者の識別率、要治療者の受診率はかなり低く、精神疾患患者に対する正しい理解・同情が欠如することにもつながる。2013年5月に「精神衛生法」がようやく施行されたばかりの中国では、全国で登録されている精神科の医師は2万人弱で、国民10万人あたり1.46人と非常に少ない（さらに西洋学的な治療ができる精神科医師は、2000人程度といわれる。）⁴⁾。よって、必然的に精神疾患医療サービスも著しく不足している現状にある。

以上述べてきたように、中国における心理に関わる複雑な社会問題、並びに精神衛生環境を巡る様々な問題点に鑑み、個々で対応できる早期発見と予防のために、脈波測定技術の導入は、有効な手段となり得ると考えられる。他方で、中国での実践的展開を目論むために、脈波に着目することに対するもう一つの重要な理由も見逃せない。すなわち、中医学には、望診、聞診、問診、切診という診察方法が存在し、そのうち切診には脈診と按診ある。ここでの脈診は、主に手首の橈骨動脈（寸口部）を按压して病状を知る方法であるため、中医の医者は、脈波によって、患者の生理状態を判断している歴史を約三千年持つ経緯からも、中国社会での汎用の可能性は高いと想定されるのである。

2. 脈波の測定方法とカオス解析

うつ病の早期発見には、日常の行動や状態をモニタリングする必要がある。よって本研究では、脈波を非線形解析することにより、カオスゆらぎを計算し、また同時に心拍から自律神経バランスを計算して、疾病の早期発見を可能にする簡易な方法を見出した。本章では、その原理について、詳しく説明してゆく。

2-1. 脈波の原理と測定方法

本研究で取り上げる脈波とは、「指先の毛細血管を流れるヘモグロビンの増減」である⁶⁾（図2）。心臓からの血流と同期であることから、指

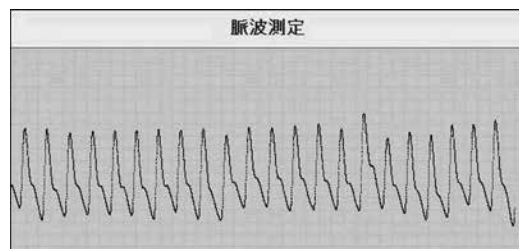


図2 脈波の波形

注1) 1992年6月16日中国共産党中央・国务院の「第三次産業を急速に発展させることに関する決定」の中で、中国政府は明確に教育を「第三次産業」と決めつけ、ほかの第三次産業と同様に「産業化を方向とし、活力あふれる自活体制を築かなければならない」、また「価値規律に従い、価格体制を改革し…料金の国家統制を開放し、状況に応じて自由に料金を定め、合理的な料金体制を築く必要がある」と通達した。

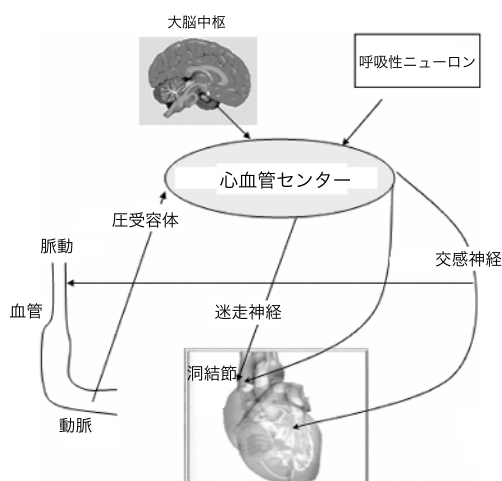


図3 脈波に存在する様々な情報

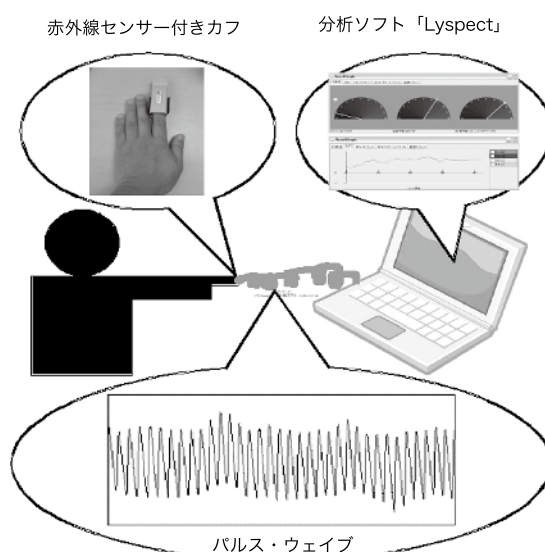


図4 脈波測定システム

尖脈波の測定部位が指先となり、これは、複雑な脳波測定と比較すると、極めて簡便であると言える。

さらに脈波は、血圧や心臓の波動、呼吸など複数の各部位から発信される様々な信号の合成であり（図3）、身体のみならず心的状態を鋭敏に反映する生体信号であることも明らかになってきた。

脈波の測定システムは、脈波を読み取る赤外線センサーが付いたサック状のカフ（測定装置）とパソコン、また解析ソフトから構成されている（図4）。赤外線センサー付カフを指先に装着し、指先の毛細血管を流れるヘモグロビンの増減をとらえ、この値がデジタル変換されてコンピュータに蓄積される。コンピュータ内には解析用の専用ソフトが入っており、上述の手順により、プログラムを作って、指尖脈波をデジタルデータとして保存し、非線形分析をすることができる。専用ソフトセンサーは、指の先端のほか、耳たぶ、足先などでも測定が可能である。しかし心臓からの血流と同期が必要であることから、左手の指先の感度が高く、測定には適している。

指先にカフを取り付けてソフトウェアのスタートボタンを押すと、リアルタイムで毛細血管を流れるヘモグロビンの増減が波形としてパソコンのモニターに表示される。こうした脈波から得られる心的状態を示す情報は、概して①交感神経と副交感神経より算出される自律神経バランス（ANB）、並びにカオス解析による②アトラクターと③最大リアプノフ指数である。一般的には、測定を3分間行い、終了したら、測定したヘモグロビンの増減からアトラクターを作成する。上述したように時系列の波形からアトラクターを描くには、ターケンス埋め込み法を利用する。実際に、採取する位置は50ミリ秒ずらした4点とし、4次元空間にアトラクターを描く。さらにリアプノフ指数、交感神経と副交感神経の値、血管年齢など様々な指標の値は、自動的に計算される。このような測定システムと利用すると、人の心理状態が客観的に分析でき、また、心理における問題が発生した際、脈波により発見できる可能性が示唆される。以下、各種情報を具体的に説明してゆく。

2-1-1. 自律神経バランス（ANB）

脈波からは、まず直接的に心拍の情報を得ることができる。これをスペクトル分析という特殊な方法で解析することにより、交感神経（計算式でLFと表記する）と副交感神経（計算式でHFと表記する）の活動を読み取ることができる。交感神経は心身の活動が高まっているときに活発に働

き、副交感神経は疲労した心身を回復させるときに活発に働く。また両者の情報を用いることで、自律神経バランス（計算式でANBを表示する）を算出できる。これは交感神経と副交感神経のどちらが優位なのかを示す指標である。

自律神経バランスは次のように定義される。

$$ANB = 10 \times \frac{LF}{HF+LF} \quad (1)$$

ANB が5 より大きい時、交感神経が優位であり、反対に5 より小さい時、副交感神経が優位である。

2-1-2. カオス現象とアトラクター、最大リアプノフ指数

脈波から埋め込み法によって、アトラクターを描くことができる。指先に流れるヘモグロビンの増減を時系列の波形で見ると、そこに規則を見出すのは困難であるものの、アトラクターに変換すると一定のパターンが存在している。アトラクターには、概して4つの種類があり（図5）、我々が注目するのは、「カオス・アトラクター」であり、以下に詳しく説明してゆく。

カオス解析方法にはいくつか存在するものの、その代表的な手法が、アトラクターを描く方法なのである。アトラクターは、ある力学系がそこに向かって時間発展をする集合のことであり、その力学系においてアトラクターに十分近い点から運動するとき、そのアトラクターに十分近いままであり続ける。

カオスな力学系に対してアトラクターを描写することは、現在においてもカオス理論における一つの重要な研究課題である。アトラクターに含まれる軌道は、そのアトラクターの内部にとどまり続けること以外に制限はなく、周期的であったり、カオスのであったりする（図6）。

また、脈波の場合、記録したデータは1変数の時系列である。1次元の時系列変化をd次元の状態空間に埋め込む方法をターケンス埋め込み法と呼ばれる。この方法によってシステムのアトラクターが1つのデータから再現でき、視覚的に表示されることになる（図7）⁷⁾。観測された一次元の時系列データを $x(i), (i=1, 2, \dots, n)$ とする。このデータを用いて、d次元空間の中に軌跡を描くには、適当な時間遅れをとり、ベクトル

$$X(i) = [x(i), x(i+r), \dots, x(i+(d-1)r)] \quad (2)$$

の軌跡を作ればよい。このベクトル $X(i)$ を、座標軸 $x(i), x(i+r), x(i+2r), \dots, x(i+(d-1)r)$ に順次プロットしていくと $(i=1, 2, \dots, n)$ 、軌道（カオス・アトラクター）が得られる。

ここでは計算過程は省略するが、結果は $d=4, r=0.05s$ である。また、アトラクターの形状をみることにより、脈波の中にカオス情報が存在することが実証されている。

以上の手順を経ても、アトラクターの構造はまだ不足し

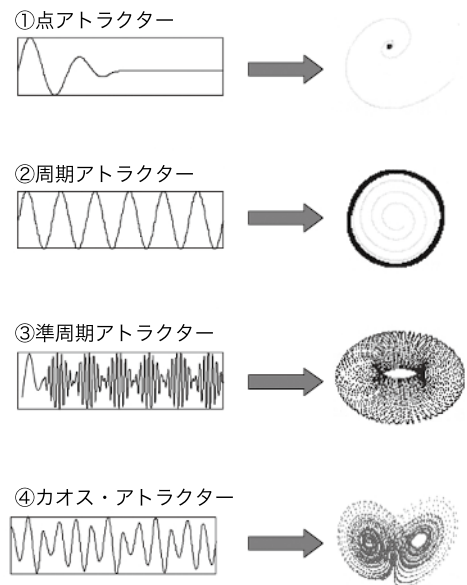


図5 アトラクターの種類

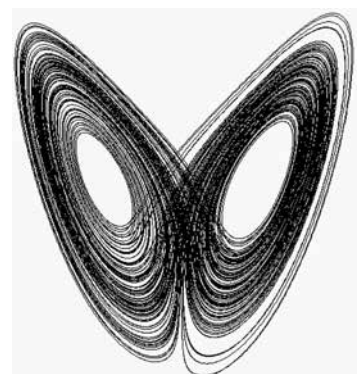


図6 カオスな力学系のアトラクター

ており、分析の際、さらに重要な情報を得るために、最大リアプノフ指数（The largest Lyapunov exponent, LLE）の計算が必要になる。リアプノフ指数とは、近接した2点から出発した二つの軌道が、どのくらい離れていくかを測る尺度である。この軌道幅の時間的な変動を数値にしたものがリアプノフ指数であり、その最大値を最大リアプノフ指数と呼ぶ⁸⁾。

最大リアプノフ指数は次のように定義される。

$$LLE = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log \frac{|\delta X_\varepsilon(t)|}{|\varepsilon|} \quad (3)$$

$$\delta X_\varepsilon(t) = X(t) - X_\varepsilon(t) \quad (4)$$

$$\varepsilon = X(0) - X_\varepsilon(0) \quad (5)$$

ここで、最大リアプノフ指数が大きいほど、アトラクターの変動幅は大きくなる。つまりゆらぎの幅が大きいと言える。逆に最大リアプノフ指数が小さいほどアトラクターの変動幅は小さくなり、ゆらぎの幅も小さいと考えられる。この最大リアプノフ指数から、活動的な心理状態か、あるいは頑なな心理状態かという「心の状態」を読み取ることができるのである。つまり、リアプノフ指数が大きい状態は、肯定的に捉えたと、

行動的で積極的な状態であり、反対に否定的に捉えたと不安定で心許ない状態である。一方リアプノフ指数が小さい状態とは、変化を好まない頑なな状態で、外部適応が困難な状態ともいえる。

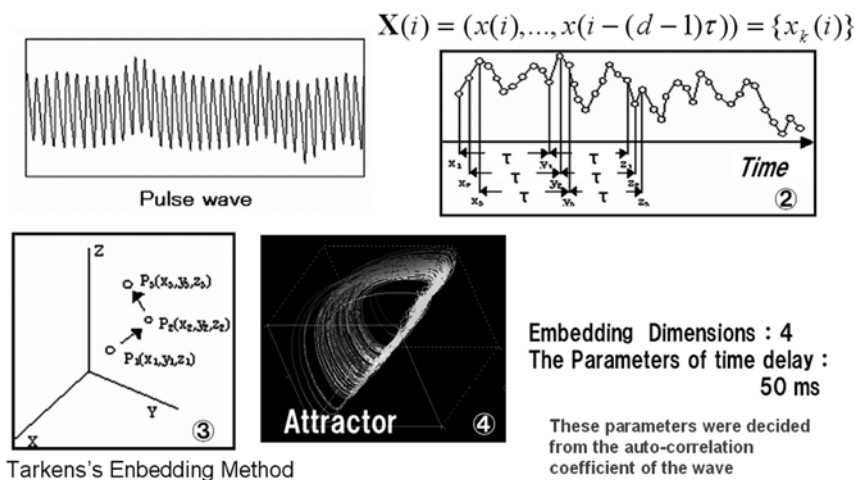


図7 脈波のアトラクター

3. 脈波の情報から判別する精神病患者の特徴

前章で述べてきた方法や原理を用い、精神疾患に関連する本研究の実験成果を紹介したい。

3-1. 被験者の属性

本研究では、2009年8月から9月に、専門のカウンセラーおよび精神科医の支援を受けて、精神疾患患者の脈波を測定し、全部で195回行った。患者の病名は、大うつ病性障害、適応障害、社会恐怖、摂食障害、心的外傷性ストレス、広場恐怖、強迫性障害、気分変調性障害、全般性不安障害、分裂病質障害、燃え尽き症候群、アスペルガー症候群など、様々である。また患者と比較するために関西学院大学に所属する健康な学生113名（男性42名、女性71名）を対象に同じく脈波を測定した⁹⁾。

3-2. 最大リアプノフ指数と自律神経バランスとの関係性による判別

測定した各被験者のデータの中から、縦軸に最大リアプノフ指数、横軸に自律神経バランスをとって2次元空間上にプロットしてみると(図8),患者と健常者の傾向を把握することが可能になる(グラフの「※印」が精神疾患患者で、「・印」が健常者の各データである)。楕円は精神疾患患者と健常者のそれぞれのグループが95%収容されるように描くことができ、精神疾患患者が最大リアプノフ指数は低く、かつ自律神経バランスは高い傾向を示すことがわかる。

さらに分散分析を行った結果、最大リアプノフ指数と自律神経バランスは、いずれも精神疾患患者と健常者の間には有意な差($p<0.0005$)があることが明らかとなった。他方、判別分析を利用すると、対象者が精神疾患患者かそうでないかが判断できる。つまり測定された脈波から得た最大リアプノフ指数と自律神経バランスは、判別関数に代入すると、計算した関数値が臨界分割点と比し関数値のほうが大きい場合は健常者であると判断でき、逆の場合は精神疾患患者であると判断できる。この判別分析の正確率を、1つとして置き方で検証した結果、健常者の正確率は97.4%であり、精神疾患患者の正確率は91.2%であることが示された。

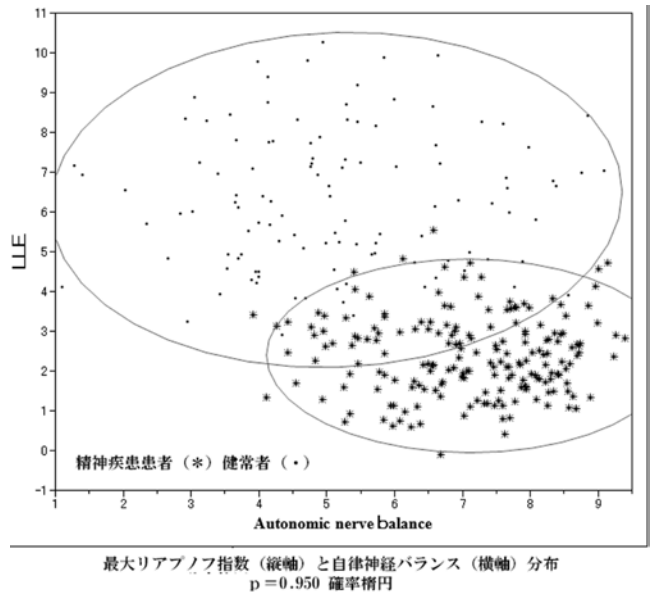


図8 精神疾患患者と健常者の分布

3-3. アトラクターの形状, 最大リアプノフ指数, 自律神経バランスの結果

脈波のアトラクター、最大リアプノフ指数、自律神経バランスについて、精神疾患患者と健常者の比較をそれぞれ図9、図10、図11に示した。健常者の場合、精神疾患患者と比較して、アトラクターの変動の幅

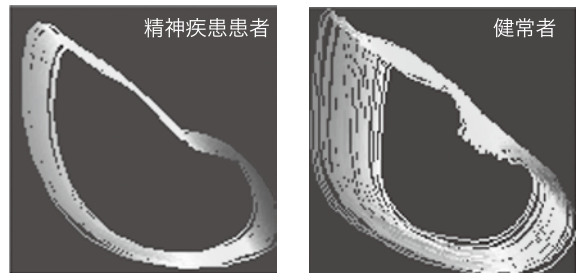


図9 精神疾患患者と健常者の脈波のアトラクターの比較

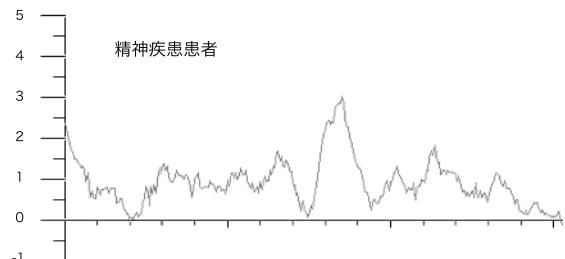
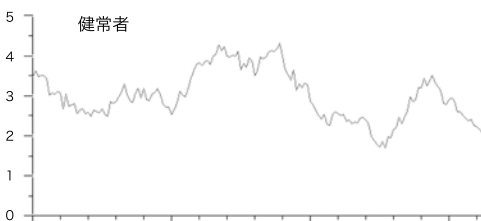


図10 精神疾患患者と健常者の最大リアプノフ指数の比較



図 11 精神疾患患者と健康者の自律神経バランスの比較

が広く (図 9), 最大リアプノフ指数が相対的に高い位置でゆらいでいる (図 10)。また自律神経バランスも左右に偏ることなく, ゆらいでおり, 特に時系列グラフでは, 交感神経と副交感神経が交互に高くなったり低くなったりしているのが確認でき (図 11), 自律神経バランスは, ほぼ 5 近辺であると言える。よって健康者の場合, こうしたゆらぎが無意識のうちに実行されていると推察される。

一方, 精神疾患患者の場合は, いずれの患者も最大リアプノフ指数が継続して左に傾いており (図 10), 最大リアプノフ指数の低い状態が長時間続いているということを意味している。こうした状態が長期に続くことは, 人とのコミュニケーションを避け, 内に閉じこもりやすい状態にあると推察される。しかし, 自律神経バランスについては (図 11), 時系列でみると交感神経が常に優位であり, 自律神経バランスは, 5 よりも高いと考えられる。上述の最大リアプノフ指数が低いという結果は, 予測される通りであるが, この交感神経が継続して優位であるという傾向は, 一般的な認識と異なり, やる気がない, 消極な心理状態ではなく, 逆に緊張していたりストレスを感じていたり, あるいはイライラしたりしている状態であるといえる。つまり精神疾患患者は, 内に閉じこもりながらも, 内面では非常に緊張している状態にあることが推察される。

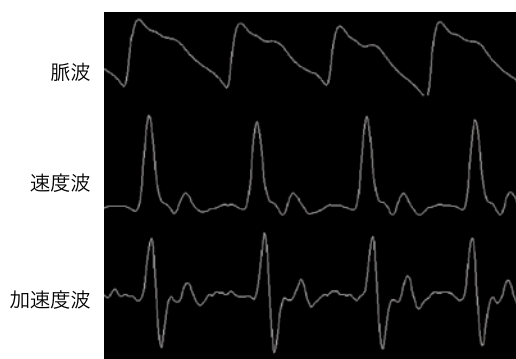


図 12 脈波, 速度波, 加速度波

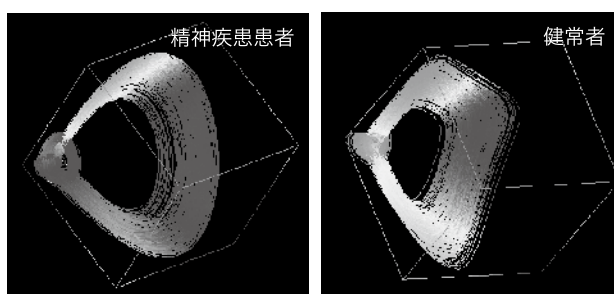


図 13 精神疾患患者と健康者の速度波のアトラクターの比較

3-4. 速度, 加速度データのアトラクターの形状と極値数

次に, 上述の被験者の中から, うつ病患者 23 名, 健康者 20 名をランダム抽出し, 脈波を一回微分, さらに二回微分して, 速度および加速度のデータを算出した (図 12)。

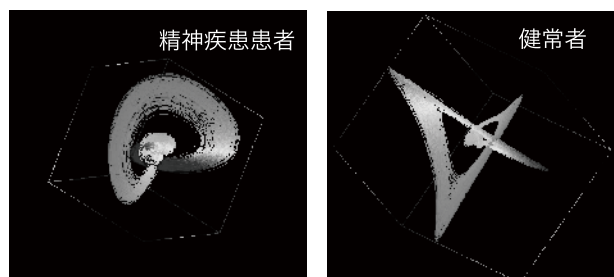


図 14 精神疾患患者と健康者の加速度波のアトラクターの比較

これら速度および加速度のデータからアトラクターを描き出すと、脈波のアトラクターの比較よりも速度のアトラクターの方が、健常者と精神疾患患者の形状の違いとしても現れ（図13）、さらに加速度のアトラクターの場合は、形状の差異がかなり明確に示された（図14）。すなわち、脈波のアトラクターの場合（図9）、健常者のアトラクターの変動の幅の方が広いものの、両者を同時に比較しなければ、その差が明確にならないが、特に加速度のアトラクターの場合は（図14）、形状が全く異なっており、健常者の方は、三角形のような形になり、精神疾患患者の方は、丸みを帯びた形を示していた。したがって、加速度のアトラクターを描き出すだけで、精神疾患を患っているか否かを判別できる可能性が示唆された。

おわりに

本研究では、生理心理学において、従来から主流とされてきた線形解析とは別に、生体信号に潜在している非線形的性質であるカオスを定量化することにより、人の生理・心理状態を推定するカオス解析に着目し、脈波から得られる本実験一連の研究成果を元に、その有効性を確認してきた。そして主として脈波のカオス解析により確立された「人の精神状態を可視化する方法」をうつ病等の精神疾患の判断に応用することを検討している。本研究における脈波とカオス解析の応用は、音楽を聴く際の嗜好性、仕事とストレスの関係性^{10, 11)}など、様々な実験を行っており、その有効性を実証してきた。しかしながら、現在でも、解析上の課題や生体信号におけるカオスと生理学的意味づけができない等、複数の課題が残されている。今後、諸科学の連携および実践的研究の蓄積が求められるであろう。

本研究では、さらに精神疾患の「病気の種類」の分別の手がかり等の可能性も検討している渦中にある。当面、本技術の応用は、主として早期発見と予防に主眼を置いて検討を進めているが、さらに前進させて治療と連動させた仕組みを構築することも、重要な検討事項であることはいうまでもない。

他方で、中国における心理に関わる複雑な社会問題、並びに精神衛生環境を巡る様々な問題点に鑑み、個々で対応できる早期発見と予防のための脈波測定技術の導入は、有効な手段となり得ることを述べてきた。しかし、当然ながら乗り越えなければならない課題が数多く存在している。1-1で述べたように、中国における心理学の基礎研究の遅れにより、脈波に関する研究の実績は大学・研究所すべてに渡って皆無に等しい。さらに、中国では、これまで述べてきたような実験的・生理的方法やそれに関連する先端技術の導入はスムーズであったとしても、中国の固有性が抱える問題により、よりソフトな部分、すなわち社会に関する部分に関しては、海外研究の単なる模倣では、常に困難が伴うことは必然である。よって、中国独自の条件から発生する要求に応えられるように、文化に根ざした中国の心理学を作り上げてゆく必要があると考えられる。さらに、国際的な学術交流の進展、並びに海外で専門性を研鑽した中国人研究者の母国での活躍や今後の人材育成への貢献が期待される。

一方、実践面において、日本においては、一般でも脈波測定装置や分析ソフトが手軽に手に入れられ、心理状態が自らチェックできる環境にあるが、中国では一般に流通するまでには、それ相應の時間を要するであろう。現時点での可能性としては、脈波の装置とソフトの自国生産を目指すこと、あるいは、研究機関、病院等の組織での利用が現実的であると考えられる。しかし、個人情報保護や知的所有権の問題、海賊版の予防と対策など複数の課題が連動してくることはいうまでもない。

以上のように、脈波測定技術を、中国のより多様な場面において、応用展開を目指すことは有効

であると考えられるものの、現地での実験測定データの集積とその分析・検討が求められることは必須である。よって本研究では、中国の社会的条件を考慮した包括的な研究にも着手しており、今後さらなる研究成果の蓄積と現状改善への展望に貢献できることを期待してゆきたい。

参考文献

1. Abarbanel, H.D.I., Brown, R., Sidorowich, J.J., Tsimring, L.S.: The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems. *Rev. Mod. Phys.*, **65**, 1331-1992, 1993.
2. 雄山 真弓：心の免疫力を高める「ゆらぎ」の心理学。祥伝社，2012.
3. 胡 毓瑜，三好 恵真子：脈波におけるカオス解析の技術開発と展望－中国における心理问题への対処法としての応用展開の可能性－. 人間科学紀要，Vol.40, 27-46, 2014.
4. 海部 隆太郎：うつ病が増大する中国の現状 自殺者数 35 万人で政府も対策強化に乗り出す上海馨励健康信息咨询有言公司 CEO 張正波氏に聞く. WEDGE Infinity，2014 年 2 月 12 日
5. 荊 其誠：中国における心理学の最近の発展. 心理学研究，Vol.60, 117-121, 1989.
6. Sumida, T., Arimitu, Y., Tahara, T. and Iwanaga, H.: Mental Conditions Reflected by the Chaos of Pulsation in Capillary Vessels. *Int. J. Bifurcation and Chaos*, **10**, 2245–2255, 2000.
7. Oyama-Higa, M. and Miao, T.: Discovery and Application of New Index for Cognitive Psychology. *2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2040–2044, 2006.
8. Sano, M. and Sawada, Y.: Measurement of the Lyapunov Spectrum From a Chaotic Time Series. *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 1082-1085, 1985.
9. Yuyu Hu, Wenbiao Wang, Takashi Suzuki, Mayumi Oyama-Higa.: Characteristic Extraction of Mental Disease Patients by Nonlinear Analysis of Plethysmograms, 2011CMLS, 92–101, 2011.
10. Imanishi, A. and Oyama-Higa, M.: Measuring Judgment and Operation Errors and Biological Information during Task Performance-Verification by chaos analysis of fingertip volume pulse waves-. *The Second World Congress on Lateral Computing*, Bangalore, India, 117, 1989.
11. Imanishi, A. and Oyama-Higa, M.: The Relation Between Observers' Psychophysiological Conditions and Human Errors During Monitoring Task. *2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2035–2039, 2006.

歴史の潮流と科学的評価

(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)

ジョアン・サバテ (Joan Sabate) *1 訳：山路 明俊 (Akitoshi Yamaji) *2

*1 ロマリンダ大学栄養学部, *2 食のフロンティア塾

Key Words：植物性化学物質，筋肉グリコーゲン，鉄，クレアチン，エストロゲン

12章 アスリートに対するベジタリアン食の有用性

1. はじめに

古代ギリシャ以来、アスリートやコーチは良い結果を出すためと、競争相手より優勢に成るために特別処方の実践してきました^{1,4)}。伝説的なギリシャのレスラー、Milo of Crotonは途方もない肉を食べ、5回のオリンピックで屈服することはありませんでした。(532～516 B.C.) ローマのグラデュエイターは、肉は彼らをさらに良い戦士にすると信じていて、現在でも、多くのフットボール、バスケットボール、野球の選手には根強い信念があります。1800年代の中期から後期にかけて、ベジタリアンのアスリートは、練習に耐えることを美德とし、筋肉運動へのエネルギーはたんぱく質の酸化によって生まれるとという当時の普及した考え方とは反対に、植物性食品の優位性を証明しようとしていました³⁾。ベジタリアン社会はアスリートやサイクリングクラブを作り、メンバー

はしばしば長い耐久レースで、肉食の対戦相手より優れていました³⁾。今日では、トライアスロンの Dave Scott, ボディビルダーの Bill Pearl, 長距離ランナーの Paavo Numi, テニスプレーヤーの Martina Navratilova, Billy Jean King, オリンピックレスラーの Chris Cammpanbell, オリンピックフィギュアスケーターの Surya Bonaly らのエリートのアスリートは、ベジタリアン食はアスリートが練習を継続するのに適していることを表明し続けています。

1960年代以降の研究は、炭水化物が、重量上げ、チームによるスポーツ、耐久競技(例：走る競技、水泳、競輪)のアスリートの運動には筋肉運動の最初の燃料であることを力説していました¹⁾。植物性食品は炭水化物が豊富なので、数多くのアスリートがベジタリアン(あるいはベジタリアンに近い)になりました^{1,4)}。このことは、ベジタリアン食が潜在的に健康と栄養問題に関係しているということを信じている栄養士やスポーツの管理栄養士の関心事でした。この章では、これらの関心事について述べられ、以下の問題点と結論が力説されています。

1. 成果：ベジタリアン食は、アスリートの練

習に役に立つかそれとも減退させるか。研究の殆どは、ベジタリアン食そのものは、有酸素の耐久運動の改善には関係していないことを示してきましたが、問題のあるアスリートへの対処には有用な食養法となっています。

2. 炭水化物摂取：植物性食品は豊富な炭水化物摂取を容易にし、長時間の運動には欠かせません。
3. 鉄，亜鉛，その他のミネラルの最適以下の摂取問題：良く考えられたベジタリアン食は、アスリートに最適な量の全ての栄養素を提供できますが、食事がかなり制限された場合は、鉄，亜鉛や微量元素の摂取が最適に満たないという問題が出てきます。しかし、この問題は、粗末な食事習慣をしている全てのアスリート、ベジタリアン、ビーガンに共通します。
4. たんぱく質摂取：ベジタリアンアスリートにはある種のたんぱく質摂取の問題がありましたが、多種類の食品を摂取するか、エネルギー摂取が要求量を満たしている場合は、植物性食品のみで、必須と可欠アミノ酸全てが供給されることをデータは示しています。
5. 抗酸化性栄養素：果物，野菜，全穀類を豊富に摂っているアスリートは、豊富な抗酸化性栄養素を摂ることになり、きつい運動による酸化的ストレスを低下させるのに有効です。
6. 生理不順：ベジタリアンの女性アスリートは、過少月経のリスクが増加するという問題がありましたが、食事の質でなく、低エネルギー摂取が主要な原因であることをエビデンスが示唆しています。
7. 健康効果：殆どのアスリートは成果に関心がありましたが、長期間の健康効果と慢性疾患リスクの低下はベジタリアン食と相関

がありました。定期的な運動とベジタリアン食の実践との組み合わせは、ベジタリアン食あるいは運動のみよりも死亡率が低くなることを研究は示唆しています。

2. ベジタリアン食の効用

ベジタリアン食の実践は、虚血性心疾患、糖尿病、ある種のがんによる死亡率を減少させ^{2,5-8)}、肥満、脂質代謝異常、高血圧のリスクを低下させる^{2,9-11)}ような多くの健康効果に相関してきました。非ベジタリアンと比べ、ベジタリアンは、果物、野菜、食物繊維、抗酸化物質、植物性化学物質、葉酸を豊富に摂取し、飽和脂肪酸とコレステロールは少なく¹²⁻¹⁵⁾、それぞれが慢性疾患のリスク低下と相関してきました¹⁶⁻²¹⁾。

ベジタリアン食実践の多面的効果が身体機能や生活活動を増進することに及ぶかどうかの問題が、20世紀初期から研究されてきました²⁻⁴⁾。1910年以前に、数件の簡単な研究がなされ、ベジタリアンは非ベジタリアンに比べ、筋肉の持久力を増やす（例：腕を水平に保つ、ひざを深く折り曲げる、足を上げる）ことを報告しましたが、これらの結果は追試では確認されませんでした²⁻⁴⁾。

1970年代に、ベジタリアンと非ベジタリアンを対象に、身体機能の成果を比較する研究が開始されました。Cotesら²²⁾は、14人のベジタリアンと86人の非ベジタリアンを対象に、モモの筋肉幅、肺機能の測定、エルゴメーター式最大自転車運動量に対する心肺能力の反応を比較しました。運動中あるいは休息中の呼吸反応には差がなく、ももの筋肉幅も同様でした。動物性たんぱく質の欠乏は、最大運動量を損なうことはないという研究者らは結論付けました。

Meyerら²³⁾は、ベジタリアン食のランニング（5～8 kmのテストラン）に対する影響を研究しました。被験者は2週間の食事の前後に

ランニングを実施し、その後、2週間非ベジタリアン食に戻しました。テストでは有意差は見られず、ベジタリアン食は、有酸素運動には益にも害にもならないことを示唆しています。

Hanne ら²⁴⁾は、身体機能、身体計測や代謝のパラメーターを、イスラエルの49人のベジタリアンと49人の非ベジタリアンアスリート男女を対象に、年齢、性別、体型や運動種別を補正して比較しました。肺機能、有酸素、無酸素能力、腕と足回り、握力、背筋力、ヘモグロビン、総血清たんぱく質には有意差がありませんでした。身体能力に対するベジタリアン食の特異的な影響は、ベジタリアン食のタイプ、トレーニングの内容や他の生活習慣等のいくつかの因子の影響を受けると研究者らは結論付けました。

21人の体重過多の女性が、研究施設で調整されたラクト・オボ・ベジタリアン食を5週間実施しました²⁵⁾。被験者の半数が、歩き/ジョギングのプログラムを割付られ(60%VO_{2max}の負荷で、各週45分間を5回)、また、他の半数は、座ったままの状態でした。運動した群では最大心肺能力が有意に改善されましたが、運動なしのベジタリアン食女性では改善は見られませんでした。言い方を変えますと、一定のトレーニングを伴わない場合は、ベジタリアン食単独では身体機能を改善する為の刺激は不十分であるということです。

Snyder ら²⁶⁾は、年齢、体重、1週間の走行距離を補正した2つのグループの女性ランナーを研究しました。1つのグループはセミ・ベジタリアン食(100gの赤肉/週以下)、もう一方は、赤肉を含む食事の群でした。2群間には、最大有酸素能力の有意差はありませんでした。

西ドイツにおいて、20日間を越す1,000 km レースを競争した110人のランナーについての報告が出版されました²⁷⁻²⁹⁾。レースの前と間中、60人は一般の西欧食を、50人はラクト・オボ・

ベジタリアン食を摂りました。レース中、双方のグループ共、同様の炭水化物(～60%の総エネルギー)を摂ることを決められました。ランナーへの食事の影響はありませんでした。それぞれのグループの半数が20日のレースを終え、順位に食事の影響はなく、ベジタリアン・ランナーの平均走行時間は非ベジタリアンと有意差はありませんでした(図12-1参照)。

19人の長期ベジタリアン(平均46歳)と、健常で身体的に活発な12人の非ベジタリアン女性高齢者(平均71歳)の、血液学的、身体計測学的、代謝的因子の変化が比較されました³⁰⁾。ベジタリアン被験者の血中ぶどう糖とコレステロール量は有意に低いにもかかわらず、段階的トレッドミルテスト中に測定された、最大心肺と心電計の指標値には有意差は見出されませんでした。長期のベジタリアンは、いくつかの利点と関連していますが、心肺機能がより大きいことではないと研究者らは結論付けました。

6週間、ラクト・オボ・ベジタリアンあるいは非ベジタリアン食を摂った、8人の良く訓練

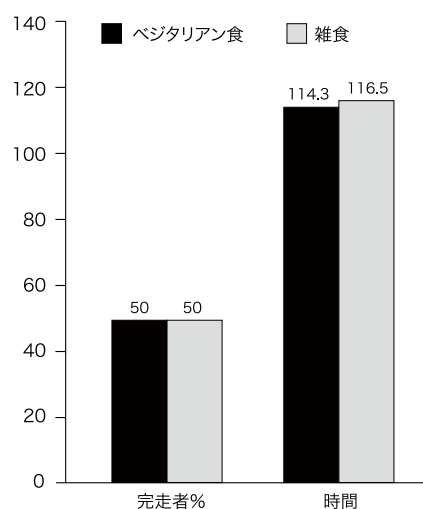


図12-1 炭水化物の摂取量はほぼ同様(～60%/総エネルギー)で、1000 kmを20日間のレースでは完走者の割合と時間にはベジタリアンと非ベジタリアンには有意な差はなかった²⁷⁻²⁹⁾。

されたデンマークの女性アスリートについての研究が2件報告されました。(クロス・オーバー試験)^{31, 32)} 双方共、総エネルギーに対し、炭水化物 57%, たんぱく質 14%, 脂質 29% でした。最大有酸素能力、困憊までの有酸素持久力、筋肉グリコーゲン量等尺性強度は食事の変化には影響されませんでした。主栄養素が一定であれば、ベジタリアンと非ベジタリアン食の入れ替えは運動能力に影響を与えることはない、この研究は示しています。

年齢、体密度、最大有酸素能力、肉摂取(1日当たり、1.1 から 31.6 への肉の交換)が幅広い年齢層の 80 人の女性群において、動物性食品の摂取と VO_{2max} への関与が調査されました³³⁾。最大有酸素力は肉の摂取、動物性食品指数や食事のコレステロールとは相関していませんでした。年齢と体組成を調整したモデルを利用した重回帰分析は、これらの知見を変えることはできませんでした。

加えて、何十年にも渡り実践されて来たベジタリアン食は、特に炭水化物摂取、年齢、トレーニングの状態、体重や他の交絡因子が調整されている場合には、心肺持久力に対しては益にも害にもならないことをこれらの研究は示しています。持久力は遺伝的因子、トレーニングの内容や炭水化物の摂取に強く相関しています¹⁾。特にこれらの3つの因子が主要な因子であることと比較した場合には、食事に肉があるか否かはアスリートの持久力にとって、重要な問題ではありません。

3. アスリートのベジタリアン食に対する特別な関心事

1960 年代、高い強度の運動能力は、運動前の筋肉グリコーゲンに相関していると、スカンジナビア半島の研究者達は最初に示しました¹⁾。体内のグリコーゲン貯蔵量は、長時間で連続的

競技(競走、水泳、競輪)あるいは、断続的で有酸素、無酸素状態が組み合わさった(サッカー、野球、アイスホッケー、又は反復運動が入る競技)きつい運動(70 ~ 80% の最大有酸素力)に重要な役割を演じます。アスリートの持久力には、筋肉と肝臓グリコーゲンを最大限に利用するために植物由来の炭水化物を摂ることが推奨されてきました^{1, 34, 35)}。アスリートのトレーニングと競技に要求される高い負荷がある時、体内の炭水化物代謝は、筋肉の収縮に主要な燃料を供給し、これらが低い場合は疲労が起きます^{34, 35)}。500 ~ 800 g/日の炭水化物(又は 8 ~ 10 g/kg 体重か 60 ~ 70% のエネルギー摂取)が、60 ~ 90 分/日のトレーニングをするアスリートには推奨されてきました^{1, 34-36)}。

ベジタリアンに近い食事として、穀類、パスタ、乾燥果実や豆類のような高炭水化物の植物性食品を利用する必要があります。347 人のマラソン選手の研究で、75% 以上の人が、マラソンを始める前の食事に比べ、果物、野菜、全粒穀類の豊富な摂取と赤肉の摂取減少を報告しました(図 12-2)³⁷⁾。それにもかかわらず、殆どの研究では、アスリートによる炭水化物の摂取は推奨値に達しませんが、2, 3 の顕著な例外も見られます(例: タルウマラ・インディアンのマラソン選手、トライアスロン選手)^{1, 37-41)}。メキシコ・チワワ州の起伏のあるシエラマドレ・オクシデンタル山に住む、ウテ・アズテック族のタルウマラ・インディアンは、ベジタリアンに近い、主にとりもろこしと豆から成る簡素な食事をし、驚くべき持久力のあるランナーです(総エネルギーの 75 ~ 80% が炭水化物からの摂取)³⁸⁾。

A. 鉄、亜鉛、微量ミネラル

あるアスリート、特に持久力のあるエリートのアスリート男女は、中程度の鉄欠乏を示します。血清フェリチンを指標(12 $\mu\text{g/l}$)として用

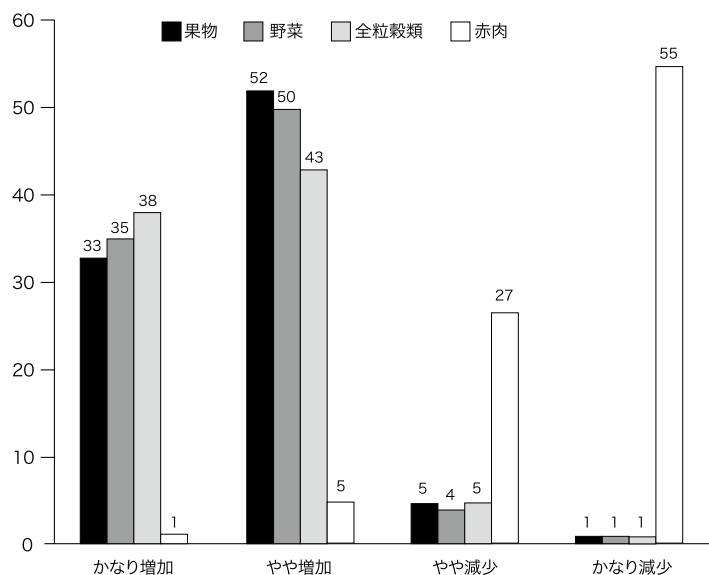


図 12-2 347 人のマラソンランナーの研究では、ランナーを始める前と比べ、75% 以上の人が果物、野菜、全粒穀類の摂取が増え、赤肉と卵が減った³⁷⁾。

いと、女性アスリートの 10%～80% で、中程度の鉄欠乏を示しました。(対照的に、アスリートでない女性は 5～11%) アスリートの炭水化物摂取を強化するために植物性食品を強調することは、鉄、亜鉛や微量ミネラル等の栄養素の生体利用性を低下させるレベルに、ポリフェノール (ある種の野菜)、フィチン酸 (ふすまに含まれる)、食物繊維やタンニン (茶) の摂取を増やすことになります^{1,39-43)}。さらに、肉に含まれるヘム鉄は、植物性食品と鉄強化食品からの非ヘム鉄より 2～3 倍の吸収率があり、運動で鉄損失が起こり、鉄欠乏の高いリスクがすでにあるベジタリアンアスリートは、スポーツ貧血のリスクが上昇します(溶血反応の上昇、消化器官の出血、高い発汗率を通して)^{1,40)}。これらの問題は、特に、成人女性のアスリートのある種のグループで明らかです⁴¹⁾。

極端な食事を避けている長期のベジタリアン(非アスリート)の研究の殆どは、鉄、亜鉛や微量ミネラル(血清、毛髪、尿中の測定)状態は適正に見えることを示しています^{42,43)}。ベ

ジタリアンの鉄摂取は推奨値を超え、貧血はまれですが、血清フェリチンや他の鉄状態の指標はしばしば非ベジタリアンより低いのです^{11,44-49)}。成長にとっては亜鉛は高い所要量があるので、成人ベジタリアン食の亜鉛は適正值以下という問題が起きていますが、ベジタリアンの消化器官は鉄や微量ミネラルの吸収を増加させることで、適合できるようです^{42,48)}。

鉄の吸収を阻害する物質が植物性食品にありますが、植物性食品は、果物や野菜に含まれるビタミン C やクエン酸等の鉄吸収促進剤を含んでいます^{14,43)}。

議論のあるところではありますが、体内の貯蔵鉄の低下は冠動脈心疾患とがんのリスク低下と相関しているいくつかの証拠があります^{50,52)}。このように、実際のところ、ベジタリアンの低いフェリチン量は有利なのですが、この仮説が受け入れられるには、さらなる研究が必要です。

ある種のアスリートは、鉄欠乏のリスクがあるとの報告がありますが、鉄欠乏貧血症はまれです(約 2～5% で、一般の人と同じ)^{1,53,54)}。しかし、中程度の鉄欠乏は、アスリートの健康や運動能力に殆ど影響しないか、有意な影響を与えないという考えが浸透しています^{1,53,54)}。鉄の少ない食事、溶血反応の増加、鉄吸収の低下、汗、糞便、尿からの鉄損失は全て、特に女性アスリートにおける体内貯蔵鉄の低下を示す因子です^{1,53)}。1743 人の東フィンランドの男性を対象にした大規模研究では、運動の持続力と回数は血清フェリチンと逆の相関がありました(図 12-3)⁵¹⁾。貯蔵鉄の低下は、トレーニングによって冠動脈心疾患のリスクが低下する作用機序の一つと研究者らは考えました^{50,51)}。

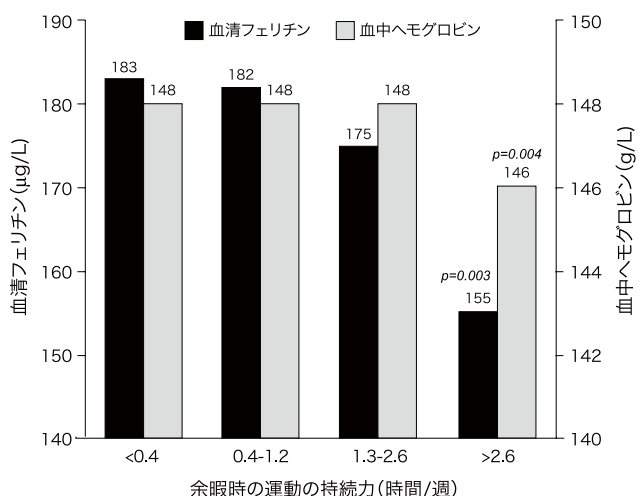


図 12-3 1743 人の東フィンランド人の研究では、運動の持続力と回数は、血清フェリチンと逆相関していた。体内貯蔵鉄と冠動脈疾患リスクと逆相関しているいくつかのエビデンスがある⁵¹⁾。

持久力が必要なベジタリアンの女性アスリートは、鉄欠乏の特別なリスクがあるとの問題があります^{39, 40)}。持久力が必要なアスリート、特に女性のかかりの人 (30 ~ 50%) が肉をあまり摂取しない、セミ・ベジタリアンという報告があります^{26, 39)}。Synder ら^{26, 39)} は、9 人の非ベジタリアンと 9 人のセミ・ベジタリアンの女性ランナーにおける鉄の状態を比較し、セミ・ベジタリアンでは血清フェリチンが低く、鉄結合能力が高いことを報告しました。しかし、両者間には、血清鉄、トランスフェリン飽和率、ヘモグロビン濃度には差はありませんでした。

Seiler ら²⁸⁾ は、非ベジタリアンに対し、ベジタリアンは低いフェリチン量であることを報告しました。(男女共) しかし、20 日間の 100 km レースでは、競争能力を損なうということは観察されませんでした。100 km レースの間、ベジタリアンの鉄摂取は高く保持されていましたが、豆類、乾燥果実、野菜や穀類製品の非ヘム型でした。お茶を同時に飲むことを避けて、ビタミン C を多く摂ることは、鉄の吸収を促進するようです。鉄状態の血中の標識はベジ

タリアンと非ベジタリアンランナーとは同じです²⁹⁾。タルウマラ・インディアンは、食事の 90% がとうもろこしとビント豆にもかかわらず、正常なヘモグロビン濃度であることがわかっていました^{38, 55)}。ベジタリアン食と非ベジタリアン食を 6 週間摂った 8 人のアスリートの研究 (クロスオーバー試験) では、ベジタリアン食のかかりの高繊維食 (48 に対し 98 g/日) にもかかわらず、血中ヘモグロビン、血清鉄や血清トランスフェリン濃度の食事による有意差はありませんでした^{31, 32)}。

急激な運動は、血中の微量元素濃度を変化させるという数件の研究があり、

運動は体内組織間への再分布をうながすことを示唆しています^{56, 57)}。一時的で急激な運動は、亜鉛の尿中排泄を増加させるという、いくつかのエビデンスがあります⁵⁶⁾。しかし、微量元素状態の標識はアスリートと非アスリートでは異なるということを、殆どの研究は見出しています⁵⁷⁾。肉を食べないアスリート、特に青年は体内の亜鉛量を適正に保持できないという問題が注目されています⁴⁰⁾。これらの問題が正当であるかどうかを決定する十分なデータはありません。米国では、牛肉、豚肉、鶏肉は亜鉛の主要な供給源です⁵⁸⁾。乳製品、穀物加工品、豆類、ナッツは亜鉛の良い供給源ですが、これらの亜鉛は肉に比べて生体利用性は低いのです^{40, 56, 58)}。

ベジタリアンのアスリートは、毎食、ビタミン C を含んだ食事と、お茶の多量摂取を避け、鉄や亜鉛の良い供給源を増やす食事が推奨されます⁴⁰⁾。(例：強化朝食シリアル、豆類、ナッツや種子) 鉄、亜鉛や微量元素のサプリメントは、栄養不足の食事をしているある種のベジタリアンアスリートには必要ですが、サプリメント

トは、他の栄養素の吸収や機能を妨害することにはならないように、推奨栄養所要量の100%を超えないようにすべきです^{56,59)}。

B. 抗酸化物質の作用

ベジタリアンアスリートの微量ミネラルの状態については、いくつかの問題がある一方で、彼らの食事は、他の分野のスポーツ栄養学において利点があると、最新の関心事になっています。研究の方向は、運動、活性酸素種あるいはフリーラジカルや抗酸化物質（主として、ビタミンE, C, Aやミネラルのセレン）の関連性に向かってきました⁶⁰⁻⁶³⁾。

運動している間、エネルギー要求量を満たすために、酸素消費量は休息時の10～20倍に増加します。現在、研究中（例えば、カテコールアミン、乳酸、発揚性変調気分や一時的な吸気内酸素欠乏の上昇等）の様々な実験によると、酸素消費の増加は、スーパーオキシドラジカル、過酸化水素、ヒドロキシラジカル等の活性酸素種を発生させる、酸化ストレスを起こすことが示されています⁶⁰⁻⁶³⁾。これらの活性酸素種は、細胞や組織を損傷させる不対電子を持つ分子やイオンと定義されます。活性酸素種は、ある種の疾病や老化に関与してきています。

生体は活性酸素種を分解する優れた防御システムを備えています^{1, 60-63)}。抗酸化酵素（グルタチオンパーオキシダーゼ、SOD、カタラーゼ等）は、第1次の防御隊で、抗酸化栄養素が加わると、第2次となります。激しくて長時間の運動は、活性酸素種の生成を促進するので、酸化ストレスの増加と戦う生体能力に関し、専門家の間ではかなりの関心が高まって来ています。

長期のトレーニングは、体のいくつかの組織の生理学的防御能力を高めることが、多くの研究で示されてきました⁶⁰⁻⁶³⁾。様々な抗酸化酵素の活性は、トレーニングにより促進され、運動によって増加する活性酸素種に対抗する手助け

となります。一般的には、抗酸化サプリメントは不必要に見え、身体能力を高めたり、運動によって起こる筋肉細胞の損傷を減少させたり、回復能力を最大化するようには必ずしも示されてきませんでした。しかし、より多くのことが知られるようになり、定期的にきちんと運動する人は、抗酸化物質（果物、野菜、ナッツ、種子や全粒穀物）の豊富な食品を摂り、活性酸素種に対抗する防御システムを高めているのです。

C. たんぱく質とクレアチン

要求に適合する為に、様々な食品を摂り、エネルギーが適切であるとするならば、植物性食品のみが、全ての必須アミノ酸と可欠アミノ酸を供給することができます^{14, 64)}。

1つの食事の中に、様々な植物性食品をあえて組み合わせることは必要ないと、米国栄養協会は推奨しています¹⁴⁾。

古代ギリシャやローマ時代から、アスリートの身体能力に対するたんぱく質の影響についての関心は目立っていました¹⁾。動物を食べるとその力を得られるという信仰から、アスリートは肉の豊富な食事を摂りました。1842年、偉大なドイツの化学者リービッヒは、筋肉収縮にとっての最初の燃料は、筋肉たんぱく質からもたらされることを報告し、供給を満たすためには、大量の肉を食べることになることを示唆しました。しかし、尿中の尿素を測定した、1800年代後半の研究の多くは、このことを確認することができず、運動中のたんぱく質代謝の変化は存在せず、あってもせいぜい最小限であるという考えが定着しました¹⁴⁾。しかし、1970年以来、運動中のたんぱく質は、以前考えていた事よりもっと重要な燃料源であると、最新の技術を使用した研究は結論付けました⁶⁵⁾。

窒素バランスとたんぱく質の運動論に基いた研究は、現在のRDAである0.8g/kg/体重/日より多いたんぱく質を含む食事は、アスリー

トには有効であることを明白に示しました。筋力を使うアスリートは、おそらく、約 1.6 ~ 1.7 g/kg で、持久力が必要なアスリートは 1.2 ~ 1.4 g/kg を必要としています⁶⁵⁾。

ベジタリアン食の殆どは、たんぱく質の所要量を充足しているか、超えています。非ベジタリアン食よりたんぱく質が満たない場合がしばしばあり^{12, 26, 44, 49)}、ベジタリアンアスリートは、重度の運動によって起こる要求量の増加に満たない摂取になるかも知れないという問題が発生しています^{39, 65)}。アスリートの殆どは、総エネルギーの 15% に近いたんぱく質摂取を維持しているので、サプリメントなしでこれらの特別な要求量を満たすことができます⁶⁵⁾。ビーガンアスリートは、豆類、ナッツ、種子や全粒穀類製品等のたんぱく質豊富な植物性食品を重視した食事計画を立てることで、適正なたんぱく質摂取の実現が可能です。

クレアチンのサプリメントは、短時間、高負荷の反復運動を行っているアスリートに対し、運動能力補助剤として推奨されています^{66, 67)}。クレアチンは骨格筋肉に多量に存在し、また、相当量のリン酸と結合し、筋肉細胞に即時的なエネルギーを供給します。(アデノシン 3 リン酸あるいは ATP) クレアチンのサプリメントを摂取する意義は、骨格筋肉のクレアチン量を増やすことにあり、いくつかの特殊なクレアチンはリン酸を結合し、筋肉のリン酸クレアチン含量を増加することが期待されます。高負荷の運動（例えば、30 秒毎 5 回の短距離走、1 ~ 4 分の休息を入れたサイクリング）の間、リン酸クレアチンの利用効率の増加は再合成と分解率を改善し、有酸素 ATP の代謝率とハイパワーの運動能力を高めることになります⁶⁶⁾。

クレアチンの推定一日摂取量は、約 2 g です。非ベジタリアンは、一般的に、様々な肉から約 1 g を摂っていて、体内では前駆体としてアミノ酸のアルギニンとグリシンが利用され、肝臓、

腎臓や膵臓でクレアチンが合成されます。ベジタリアンの体内クレアチン貯蔵量は低く、肉を避けることによるクレアチンの不足は、体内のクレアチン生成の増加では、適正には補われないことを示唆しています⁶⁷⁾。

ベジタリアンのように、特に低レベルから始まった場合、5, 6 日間での 20 ~ 25 g/日の摂取は、筋肉クレアチンを有意に増加させることを、多くの研究が示してきました^{66, 68)}。5 g の 4, 5 倍である日々の摂取量は、250 ml の飲料にクレアチンを溶解することで摂取できます。クレアチンの 5 g は、生のステーキの 1.1 kg に相当します。クレアチンを 8 週間サプリメントとして摂った場合、主要な健康リスクとの相関はありませんでしたが、それ以上の期間、クレアチンを取った場合の安全性は明確ではありません⁶⁶⁻⁷¹⁾。

クレアチンのサプリメントは、短時間の短距離走、サイクリングや水泳の反復運動の間に身体能力のパワーを改善することを、全てではありませんが、いくつかの研究は示してきました⁶⁶⁻⁷¹⁾。ベジタリアンを被験者にした、最近の無作為 2 重盲検法は、身体能力のパワーに対する効果を示すことはできませんでした⁶⁹⁾。研究の約 1/2 のみが有意な効果を示し、正の効果を取り上げた場合でも、プラシボ効果を上回ったのは、5 ~ 8% のみでした^{1, 67, 71)}。クレアチンサプリメントの運動能力補助効果に関する相反する知見を解決するには、さらなる実験と疫学調査が必要です⁷¹⁾。クレアチンのサプリメントは、有酸素運動の代謝と身体能力には効果がありません^{66, 67)}。この点で、パワースポーツを行っているベジタリアンアスリートによるクレアチンサプリメントの証明はありません。

D. ホルモンの変化

高繊維で低脂肪のベジタリアン食は、血中エストロゲン濃度の低下と月経不順の増加と相関

していました^{72, 75)}。また、過度の運動は、月経不順と相関していました^{1, 76-78)}。

定期的に激しく運動している女性の約5～20%と、競走種目のアスリートの最大50～65%の人は、過少無月経症を悪化させるかも知れません^{76, 77)}。原因について熱い論議がありますが、女性アスリートの視床下部-下垂体-卵巢軸、低エネルギーの摂取と貯蔵脂肪の枯渇に対する、運動それ自身の影響かも知れません^{1, 76, 78)}。無月経のアスリートは、エストラジオールとプロゲステロン濃度が低いのが特徴で、閉経女性のホルモンの状態に似ています。運動による無月経に関係している、内因性エストロゲン濃度の低下は、適切な骨密度の形成を妨げます^{1, 76, 77)}。無月経症候群、不規則な食事（多くは、過度の運動）や骨粗鬆症は「女性アスリートの3人組」と称されます⁷⁶⁾。

体を動かすのに活発な少女や女性は全て、アスリートの3人組の一つかそれ以上を悪化させるリスクがありますが、以下のスポーツを行うことは主要なリスク因子となります^{1, 76)}。

- 身体の動きが主観的に評価されるスポーツ（ダンス、フィギアスケート、飛び込み、体操、エアロビクス）
- 低体重が要求される持久力のスポーツ（長距離走、自転車競技、クロスカントリースキー）
- 体型にあった競技服が要求されるスポーツ（バレーボール、水泳、飛び込み、クロスカントリー走、クロスカントリースキー、トラック競技、チアリーディング）
- 体重を利用したスポーツ（乗馬、ある種のマーシャルアーツ、レスリング、ボート）
- 競技を成功させる為に、思春期前の体作りを重視したスポーツ（フィギアスケート、体操、飛び込み）

無月経の女性アスリートに有意に影響があるのはベジタリアンであることを、2つの報告書

（書簡として）が示唆していました^{79, 80)}。しかし、これらは科学的な研究ではないので、原因がベジタリアン食、過度のトレーニング、低エネルギー摂取かあるいは他の要因なのかを決定することはできませんでした。食事の質でなく、低エネルギー摂取が女性アスリートの過少無月経の主要な原因であり、エネルギーバランスが正しい場合には、ホルモンの働きが正常になり、月経も回復するという科学的証拠が増えています⁸¹⁾。神経性無食欲症とストレスにかかるトレーニングによって起こる無月経には類似のことが多くあり、いずれも抗再生ホルモンの分泌増加を促し、ゴナドトロピンの一定の分泌パターンを阻害します。栄養が適切な場合には、非ベジタリアンの対照と比べ、ベジタリアン女性アスリートの月経周期は正常であること

4. まとめ

を、Hanne ら²⁴⁾ は見い出しました。

特に、炭水化物摂取がうまく調整されている場合には、身体能力に対するベジタリアン食の利益、不利益を支持する科学的な立証は現在ありません。体内の貯蔵グリコーゲンを最適にするために、炭水化物摂取を促進する植物性食品を重視することは、亜鉛、鉄や他に微量ミネラル等のいくつかの栄養素の生体利用率を低下させる食物繊維やフィチン酸を増加させるかも知れません。しかし、少なくとも、身体活動や健康を阻害する程度の過度の運動と植物性食品中心の食事との相互作用から起因する栄養状態の低下に、ベジタリアンアスリートが患っているという確かなデータはありません。ベジタリアンアスリートのたんぱく質摂取には問題がありますが、様々な食品を摂取していることとエネルギー摂取が要求を満たしていれば、全ての必須アミノ酸、可欠アミノ酸は植物性食品のみで供給が可能であることをデータは示してい

ます。短時間で高負荷の反復運動をするアスリートに、生肉中のクレアチンが、運動能力補助として推奨されています。しかし、クレアチンの運動能力補助効果についての異なる知見を解決するためには、さらに、実験と研究が必要です。この点で、パワースポーツのベジタリアンアスリートでは、クレアチンサプリメントは証明されていません。ベジタリアン女性アスリートの過少無月経のリスクが増加していると

いう問題がありますが、食事の質でなく、低エネルギー摂取が主要な要因であることが科学的検証で示唆されています。

ベジタリアンアスリートの栄養状態についての関心が高まっていますが、変化に富んで十分に配慮されたベジタリアン食は、アスリートの努力を成功に導くことでしょう。この食養法には様々な利点があるので、問題をかかえたアスリートが検討する価値があります。植物性食品中心の食事は炭水化物を多く摂取することになるので、長時間の運動には必須となります。十分に配慮されたベジタリアン食は、アスリートに、全ての既知の栄養素を適正に供給しますが、食事を規制しすぎると、鉄、亜鉛や微量元素の潜在的欠乏が生じます。しかし、この問題は、いいかげんな食習慣をしている、ベジタリアン、非ベジタリアンを含めた、全てのアスリートが対象になります。果物、野菜や全粒穀類の豊富な食事をしているアスリートは、抗酸化物質を豊富に摂取することになり、過度の運動と相関する酸化ストレスを低下させる助けとなり

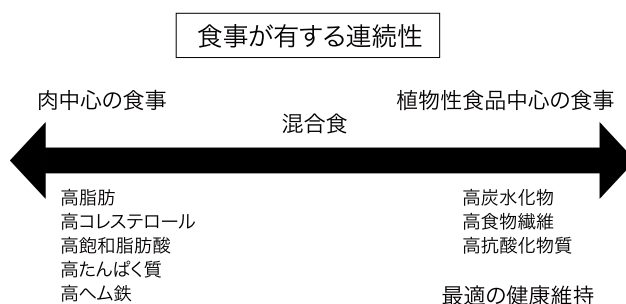


図 12-4 植物性食品中心の食事は、健康と持久力を要する運動に影響する微量栄養素と主栄養素の分布状態に関与している。

ます。

アスリートの殆どは身体能力に関心があり、ベジタリアン食は長期間の健康効果や慢性疾患のリスク低下と相関してきました。2 件の研究で、定期的な運動とベジタリアン食の組み合わせは、ベジタリアン食又は運動のみよりも低い死亡率が示されました^{6, 82)}。ベジタリアンと持久力を要するアスリート集団には興味ある相似点があります。両者共、以下の健康効果と相関しています。

- 高血圧、脂質異常症や他のリスク因子の低下
- 体脂肪の低下
- 冠動脈心疾患やある種のがんの死亡率の低下
- 貯蔵鉄の低下（まれに貧血症）（心疾患の潜在的低下）
- エストロゲン濃度の低下（乳がんの潜在的リスク低下）

図 12-4 に要約されているように、植物性食品中心の食事は、健康と持久力を要する運動に影響する微量栄養素と主栄養素の分布状態に関与しています。

参考文献

- 1) Nieman, D.C. *Exercise Testing and Prescription, A Health-Related Approach*. Mayfield Publishing Company, Mountain View, CA, 1999.
- 2) Messina, M and Messina, V. *The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets: Issues and Applications*. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, MD, 1996.

- 3) Nieman,D.C. Vegetarian dietary practices and endurance performance. *Am.J.Clin.Nutr.*,**48**:754,1988.
- 4) Nieman,D.C. Physical fitness and vegetarian diets: is there a relationship. *Am.J.Clin.Nutr.*,**48**:754,1999.
- 5) Thorogood,M.,Mann,J.,Appleby,P.,and PcPherson,K. Risk of death form cancer and ischemic heart disease in meat and non-meat eaters.*BMJ*,**308**:1667,1994.
- 6) Fraser,G.E.,LindstedK.D.,and Beeson,W.L. Effect of risk factor values on lifetime risk of and age at first coronary event. The Adventist Health Study. *Am.J.Epidemiol.*,**142**:746,1995.
- 7) Burr,M.L.,and Sweetnam,P.M. Vegetarianism, dietary fiber, and mortality. *Am.J.Clin.Nutr.*,**36**:873,1982.
- 8) Snowdon,D.A.,Phillips,R.L.,and Fraser,G.E. Meat comsumption and fatal ischemic heart disease. *Prev. Med.*,**13**:490,1984.
- 9) Toohey,M.L.,Harris,M.A.,Dewitt,W.,Foster,G.,Schmidt,W.D.,and Melby,C.L. Cardiovascular disease risk factors are lower in Afican-America vegans compared to lacto-ovo-vegetarians. *J.Am.Coll.Nutr.*,**17**:425,1998.
- 10) Thorogood,M.,Carter,R.,Benfield,L.,MacPerson,K.,and Mann,J.I. Plasma lipids and lipoprotein cholesterol concentrations in people with different diets in Britain. *BMJ*,**295**:351,1987.
- 11) Appleby,P.N.,Thorogood,M.,Mann,J.I.,and Key,T.J. Low body mass index in non-meat eaters: the possible roles of animal fat, dietary fiber and alcohol. *Int.J.Obes.Relat.Metab.Disord.*,**22**:454,1998.
- 12) Nieman,D.C.,Underwood,B.C.,Sherman,K.M.,Barbosa,J.C.,Johnson,M.,and Shultz,T.D. Dietary status of Seventh-Day Adventist vegetarian and non-vegetarian elderly women.*J.Am.Diet.Assoc.*,**89**:1763,1989.
- 13) Neumark-Sztainer,D.,Story,M.,Resnik,M.D.,and Blum,R.W. A behavioral profile of a school-based population in Minnesota. *Arch.Pediar.Adolesc.Med.*,**151**:833,1997.
- 14) Krajcovicova-Kudlackva,M.,Simonci,R.,Babinska,K.,Bederova,A.,Brikova,A.,Magalova,T.,and Grancicova,E. Selected vitamins and trace elements in blood of vegetarians. *Ann.Nutr.Metab.*,**39**:334,1995.
- 15) American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association:Vegetarian diets. *J.Am.Diet.Assoc.*,**97**:1317,1997.
- 16) Key,T.J.A.,Thorogood,M.,Appleby,P.N.,and Burr,M.L. Dietary habits and mortality in 11000 vegetarians and health conscious people:results of a 17 year follow up. *BMJ*,**313**:775,1996.
- 17) Pietinen,P.,Rimm,E.B.,Korhonen,P.,Hartman,A.M.,Willet,W.C.,Albanes,D., and Virtamo,J. Intake of dietary fiber and risk of coronary heart disease in a cohort of Finnish men. The Alpha-tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *Circulation*,**94**:2720,1996.
- 18) Rimm,E.B.,Ascherio,A.,Giovannucci,E.,Spiegelman,D.,Stampfer,M.J.,and Willet,W.C. Vegetable,fruit,and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men.*JAMA*,**275**:447,1996.
- 19) American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association:Phytochemicals and functional foods.*J.Am.Diet.Assoc.*,**95**:493,1995.
- 20) Steinmetz,K.A.,and Potter,J.D. Vegetables,fruit,and cancer prevention: a review. *J.Am.Diet.Assoc.*,**96**:1027,1996.
- 21) Jacobs,D.R.,Meyer,K.A.,Kushi,L.H.,and Folsom,A.R. whole-grain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in postmenopausal women:the Iowa Women'S Halth Study. *Am.J.Clin.Nutr.*,**68**:248-257,1998.
- 22) Cotes,J.E.,Dabbs,J.M.,Hall,A.M.,McDonald,A.,Miller,D.S.,Mumford,P.,and Saunders,M.J. Possible effect of a vegan diet upon lung function and the cardiorespiratory response to submaximal exercise in healthy women. *J.physiol(Lond)*,**209**(Suppl):30p,1970.
- 23) Williams,M.H. *Nutritional Aspects of Human Physical and Athletic Performance*. Charles C. Thomas Publisher, Springfield, II ,1985,pp,415.
- 24) Hanne,N.,Dlin,R.,and Rostein,A. Physical fitness, anthropometric and metabolic parameters in vegetarian athletes. *J.Sports Med.*,**26**:180,1986.
- 25) Nieman,D.C.,Haig,J.L.,De Guia,E.D.,Dizon,G.P.,and Register,U.D. reducing diet and exercise training effects on resting metabolic rates in mildly obese women. *J.Sports Med.*,**28**:79,1988.
- 26) Snyder,A.C.,Dvorak,L.L.,and Roepke,J.B. Influence of dietary iron source on measures of iron status among female ridders. *Med.Sci.Sports Exerc.*,**21**:7,1989.
- 27) Nagel,D.,Seller,D.,Frantz,H.,Leitzmann,C.,and Jung,K. Effects of an ultralong(1000km)race on lipid metabolism. *Eur.J.Appl.Physiol.*,**59**:16,1989.
- 28) Seiler,D.,Nagel,D.,Frantz,H.,Hellstern,P.,Leitamann,C.,and Jung,K. Effects of long-distance running on iron metabolism and hematological parameters. *Int.J.Sports Med.*,**10**:357,1989.
- 29) Eisinger,M. Nutrient intake of endurance runners with lacto-ovo vegetarian diet and regular Western diet. *Z.Erna brungswiss*,**33**:217,1994.
- 30) Nieman,D.C.,Sherman,K.M.,Arabatzis,K.,underwood,B.C.,Barbosa,J.C.,Johnson,M.,Shultz,T.D.,and Lee,J.W. hematological, anthropometric, and metabolic comparison between vegetarian and non-vegetarian elderly women. *Int J.Sports Med.*,**10**:243,1989.

- 31) Richter,E.A.,Kiens,B.,Raben,A.,Tvede,N.,and Pederson,B.K. Immune parameters in male athletes after a lacto-ovo-vegetarian diet and a mixed Western diet. *Med.Sci.Sports Exerc.*,**23**:517,1991.
- 32) Raben,A.,Kiens,B.,Richter,E.A.,Rasmussen,L.B.,Svenstrup,B.,Micis,S.,and Bennett,P. Serum sex hormones and endurance performance after a lacto-ovo-vegetarian and a mixed diet. *Med.Sci.Sports Exerc.*,**24**:1290,1992.
- 33) Nieman,D.C.,Butterworth,D.E.,Nehlsen-Cannarella,S.L.,Henson,D.A.,and Fagoaga,O.R. Animal product intake and immune function. *Veg.Nutr.Int.J.*,**1**:5,1997.
- 34) Hargreaves,M. Interaction between muscle glycogen and blood glucose during exercise. *Exerc.Sports Sci. Rev.*,**25**:21,1997.
- 35) Coyle,E.F. Substrate utilization during exercise in active people. *Am.J.Clin.Nutr.*,**61**(suppl):968s,1995.
- 36) Coggan,A.R. Plasma glucose metabolism during exercise: effects of endurance training in humans. *Med.Sci.Sports Exerc.*,**29**:620,1997.
- 37) Nieman,D.C.,Butler,J.V.,Pollet,L.M.,Dietrich,S.J.,and Lutz,R.D. Nutrient intake of marathon runners. *J.Am.Diet. Assoc.*,**89**:1273,1989.
- 38) Cerqueria,M.T.,Fry,M.M.,and Conner,W.E. The food and nutrient intakes of the Tarahumara Indians of Mexoco. *Am.J.Clin.Nutr.*,**32**:905,1979.
- 39) Kleiner,S.M. The role of meat in an athlete's diet: its effect on key macro- and micronutrients. *Sports Sci. Exch.*,**8**(5):1,1995.
- 40) Centers for Disease Control and Prevention. Recommendations to prevent and control iron deficiency in the United States. *MMWR*,**47**(No.RR-3):1,30.
- 41) American Dietetic Association. Timely statement of the American Dietetic Association:Nutrition guidance for adolescent athletes in organized sports. *J.Am.Diet.Assoc.*,**96**:611,1996.
- 42) Gibson,R.S. Content and bioavailability of trace elements in vegetarian diets. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(suppl):1223s,1994.
- 43) Craig,W.L. Iron status of vegetarians. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(suppl):1233s,1994.
- 44) Alexander,D.,Ball,M.J.,and Mann,J. Nutrient intake and hematological status of vegetarians and age-sex matched omnivores. *Eur.J.Clin.Nutr.*,**48**:538,1994.
- 45) Nathan,I.,Hackett,A.F.,and Kirby,S. The dietary intake of a group of vegetarian children aged 7-11 years compared with matched omnivores. *Br.J.Nutr.*,**75**:533,1996.
- 46) Lowik,M.R.,Schrijver,J.,Odink,J.,van Den Berg,H.,and Wedel,M. Longterm effects of a vegetarian diet on the nutritional status of elderly people (Dutch Nutrition Surveillance system). *J.Am.Coll.Nutr.*,**9**:600,1990.
- 47) Brants,H.A.,Lowik,M.R.,Westenbrink,S.,Hulshof,K.F.,and Kistenmaker,C. Adequacy of a vegetarian diet at old age(Dutch Nutrition Surveillance System). *J.Am.Coll.Nutr.*,**9**:292,1990.
- 48) Donovan,U.M.,and Gibson,R.S. Iron and zinc status of young women aged 14 to 19 years consuming vegetarian and omnivorous diets. *J.Am.Coll.Nutr.*,**14**:463,1995.
- 49) Janelle,K.C.,and Barr,S.I. Nutrient intakes and eating behavior scores of vegetarian and non-vegetarian women. *J.Am.Diet.Assoc.*,**95**:180,1995.
- 50) Salonen,J.T.,Nyyssönen,K.,Korpella,H.,Tuomilehto,J.,Seppanen,R.,and Salonen,R. High stored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in eastern Finnish men. *Circulation*,**86**:803,1992.
- 51) Lakka,T.A.,Nyyssönen,K.,and Salonen,J.T. Higher levels of conditioning leisure time physical activity are associated with reduced levels of stored iron in Finnish men. *Am.J.Epidemiol.*,**140**:148,1994.
- 52) Stevens,R.G.,Jones,Y.,Micozzi,M.S.,and Taylor,P.R. Body iron stores and the risk of cancer. *N.Engl. J.Med.*,**319**:1047,1988.
- 53) Selby,G.B.,and Eichner,E.R. Hematocrit and performance: the effect of endurance training on blood volume. *Sem. Hematol.*,**31**:122,1994.
- 54) Nielsen,P.,and Nachtigall,D. Iron supplementation in athletes: current recommendations. *Sports Med.*,**26**:207,1998.
- 55) Balke,B.,and Snow,C. Anthropological and Physiological observations on Tarahumara endurance runners. *Am.J.Phys.Anthropol.*,**23**:293,1965.
- 56) Clarkson,P.M.,and Haymes,E.M. Trace mineral requirements for athletes. *Int.J.Sports Nutr.*,**4**:104,1994.
- 57) Fogelholm,M. Indications of vitamin and mineral status in athlete' blood: a review. *Int.J.Sports Nutr.*,**5**:267,1995.
- 58) Mares-Perlman,J.A.,Subar,A.F.,Block,G.,Greger,J.L.,and Luby,M.H. Zinc intake and sources in the U.S. adult population:1976-1980. *J.Am.Coll.Nutr.*,**14**:349,1995.
- 59) American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: Vitamin and mineral supplementation. *J.Am.Diet.Assoc.*,**96**:73,1996.
- 60) Vasankari,T.J.,Kujala,U.M.,Vasankari,T.M.,Vuorimaa,T.,and Ahotupa,M. Increased serum and low-density-lipoprotein antioxidant potential after antioxidant supplementation in endurance athletes. *Am.J.Clin.*

- Nutr.*,**65**:1052,1997.
- 61) Sen,C.K. Oxidants and antioxidants in exercise. *J.Appl.Physiol.*,**79**:675,1995.
 - 62) Ji,L.L. Exercise and oxidative stress: role of the cellular antioxidant systems. *Ex.Sport Sci.Rev.*,**23**:135,1995.
 - 63) Kanter,M. Free radicals and exercise:effects of nutritional antioxidant supplementation. *Ex.Sport Sci.Rev.*,**23**:375,1995.
 - 64) Young,V.R.,and Pellent,P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *Am.J.Clin.Nutr.*,**59**(suppl):1203s,1994.
 - 65) Lemon,P.W.R. Effects of exercise on dietary protein requirements. *Int.J.Sport Nutr.*,**8**:426,1998.
 - 66) Greenhaff,P.L. Creatine and its application as an ergogenic aid. *Int.J.Sport Nutr.*,**5**:s100,1995.
 - 67) Mujika,I., and Padilla,S. Creatine supplementation as an ergogenic aid for sports performance in highly trained athletes: a critical review. *Int.J.Sports Med.*,**18**:491,1997.
 - 68) Hulyman,E.,Soderlund,K.,Timmons,J.A.,CederbladG.,and Greenhaff,P.L. Muscle creatine loading in men. *J.Appl.Physio.*,**81**:232,1996.
 - 69) Clarys,P.M.,Zinzen,E.M.,Hebbelink,M.,and Verlinden,M. The effect of oral creatine supplementation on torque production in a vegetarian and a non-vegetarian population: a double blind study. *Veg.Nutr.Int.J.*,**1**:100,1997.
 - 70) Burke,L.M.,Pyne,D.B.,and Telford,R.D. Effect of oral creatine supplementation on single-effect sprint performance in elite awimmers. *Int.J.Sport Nutr.*,**6**:222,1996.
 - 71) Williams,M.H.,and Branch,J.D. creatine supplementation and exercise performance: an update. *J.Am.Coll.Nutr.*,**17**:216,1998.
 - 72) Bagga,D. Effects of a very low-fat, high-fiber diet on serum hormones and menstrual function-implications for breast cancer prevention. *Cancer*,**76**:2491,1995.
 - 73) Pedersen,A.B.,Bartholomew,M.J.,Dolence,L.A.,Aljadir,L.P.,Netteburg,K.L.,and Lloyd,T. Menstral differences due to vegetarian and non-vegetarian diets. *Am.J.Clin.Nutr.*,**53**:879,1991.
 - 74) Barbosa,J.C.,Shultz,T.D.,Filley,S.J.,and Nieman,D.C. The relationship among adiposity, diet, and hormone concentrations in vegetarian and non-vegetarian postmenopausal women. *Am.J.Clin.Nutr.*,**51**:798,1990.
 - 75) Goldin,B.R.,Adlercreutz,H.,Gorbach,S.L.,Warram,J.H.,Dwyer,J.T.,Swenson,L.,and Woods,M.N. Estrogen excretion patterns and plasma levels in vegetarian and omnivours women. *N.Engl.J.Med.*,**307**:1542,1982.
 - 76) American College of Sports Medicine. ACSM position Stand on the Female Athlete Triad. *Med.Sci.sports Exerc.*,**29**:i-ix,1997.
 - 77) Loucks,A.B.,Vaitukaitis,J.,Cameron,J.L.,Rogol,A.D.,Skrinar,G.,Warren,M.P.,Kendrick,J.,and Limacher,M.C. The reproductive system and exercise in women. *Med.Sci.Sports Exerc.*,**24**(suppl): S288,1992.
 - 78) West,RV. The female athlete:The trial of disordered eating, amenorrhea and osteoporosis. *Sports Med.*,**26**:63-71.
 - 79) Brooks,S.M.,Sanborn,C.F.,Albecht,B.H.,and Wagber,W.W. Diet in athletic amenorrhea. *Lancet.*,**1**:559,1984(letter).
 - 80) Slavin,J.,Lutter,J.,and Cushman,S. Amenorrhea in vegetarian athletes.*Lancet*,**1**:1474,1984(letter).
 - 81) Dueck,C.A.,Matt,K.S.,Manore,M.M.,and Skinner,J.S. Treatment of athletic amenorrhea with a diet and training intervention program. *Int.J.Sport Nutr.*,**6**:24,1996.
 - 82) Chang-Claude,J.,and Frentzel-Beyme,R. Dietary and lifestyle determinants of mortality among German vegetarians *Int.J.Epidemiol.*,**22**:228,1993.

“地域密着でキラリと光る企業”

漬物市場にブランドマーケティングを 最初に導入した『東海漬物株式会社』

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

Key Words : 新マーケティング・ブランド戦略・包装容器・商品開発・リーディングカンパニー

はじめに

東海漬物株式会社は昭和 16 年（1941 年）9 月に設立、愛知県豊橋市に本社を置き、包装漬物を主体とした製造・販売を営んでいる食品メーカーである。代表的なブランドは最初に経営の柱になった『きゅりのキューちゃん』である。昭和 37 年（1962 年）に発売を開始したが、そのマーケティング手法は当時の漬物業界としては驚くべき手法であった。その方法とは漬物市場に初めてブランドを導入し、かつ、個別の包装をした画期的な商品であった。さらに、広告手法としてはテレビ宣伝を積極的に放映した。

テレビ宣伝の内容も熟慮され、人気上昇中の坂本九を CM キャラクターに起用し、爆発的に売れた。今年で発売開始から 52 年になる。まさしくロングヒット商品である。第二の経営の柱になった商品は平成 16 年に発売された『こくうま』キムチである。『こくうま』の包装は透明プラスチックの箱に入れ、店頭では良く目立ち、商品の内容も分かりやすい。漬物業界でプラスチック箱型容器に入れた草分けの商品である。東海漬物株式会社は常に漬物業界に新風を吹き込み業界をリードする会社としての責任を果たしていると感じる。

1. 会社概要

創 立	昭和 16 年 9 月
資本金	2 億 200 万円
営業品目	包装つけものを主体とした製造・販売
従業員数	651 名（平成 25 年 8 月末現在）
売上高	168 億円（平成 25 年 8 月期）
本 社	〒440-8530 愛知県豊橋市駅前大通 2 丁目 28 番地 TEL: (0532) 51-6101（代）
漬物機能研究所	〒441-8142 愛知県豊橋市向草間町 向郷 78 番地 1 TEL: (0532) 45-8668（代）
品質保証室	〒441-8142 愛知県豊橋市向草間町 北新切 38 番地 TEL: (0532) 45-8644（代）
支 店	3 支店（東京・大阪・名古屋）
営業所	9 営業所（北海道・東北・北関東・千葉・横浜・甲信越・北陸・中四国・九州）
工 場	8 工場（田原・榛名・所沢・尾西・彦根・茨城・関西・豊橋マザー）
関連会社	関東農産（株）美浦・関東農産（株）群馬・中部農産（株） ・（株）太陽漬物・九州農産（株）・（株）霧島農産

2. 東海漬物の企業ビジョンと経営理念

2-1. 企業ビジョン

東海漬物は「漬物を極める、日本の代表企業になりたい」という企業ビジョンをスローガンに掲げている。

昭和 49 年	沢庵製品を総称ブランド〈たくあん太郎〉として発売開始
昭和 52 年	〈きゅうりのキューちゃん〉10 億袋突破
昭和 53 年	電算機導入
昭和 54 年	豊橋工場優良施設として厚生大臣賞受賞
昭和 55 年	田原工場高速自動包装機導入
昭和 57 年	田原工場食品衛生優良施設として厚生大臣賞受賞
昭和 60 年	『きゅうりのキューちゃん』用コンピュータスケール導入
昭和 61 年	刻み漬け用最新型高速自動計量包装機導入
平成 4 年	『きゅうりのキューちゃん』食品ヒット大賞においてロングセラー賞受賞 榛名工場完成
平成 6 年	『きゅうりのキューちゃん』リニューアル実施
平成 8 年	田原工場拡張『きゅうりのキューちゃん』専用工場リニューアル完成
平成 10 年	『きゅうりのキューちゃん』品質を改良し新たに発売（保存料・合成着色料の添加物除く）
平成 11 年	〈特級福神漬・カレーライス福神漬・味キムチ〉品質を改良し新たに発売（合成保存料の添加物除く）
平成 12 年	『塾うま辛キムチ』新発売 東日本物流センター完成
平成 13 年	キューちゃんシリーズ、さらに低塩化をはかり、21 世紀パッケージにて発売。
平成 14 年	尾西工場新設
平成 15 年	社名を東海漬物株式会社に変更 本社を豊橋市駅前大通二丁目に移転
平成 16 年	『塾うま辛キムチ』から『こくうま』キムチへリニューアル
平成 17 年	〈プチこくうまキムチ〉新発売 彦根工場を新設 茨城工場竣工
平成 18 年	漬物機能研究所を設立
平成 19 年	関西工場竣工
平成 20 年	『ぶちキューちゃん』新発売
平成 21 年	受注センター新設 豊橋マザー工場竣工
平成 22 年	企業ビジョン・ブランドスローガン・ロゴマークを一新 食品安全委員会設立
平成 23 年	〈こくうまキムチ〉をリニューアル発売 CSR 部門で、農林水産大臣賞を受賞 ISO9001 認証取得 TQMS センター竣工
平成 24 年	『きゅうりのキューちゃん』発売 50 周年。 コクと旨味をアップさせ、新デザイン・省資源化パッケージで リニューアル発売。
平成 24 年	『きゅうりのキューちゃん』にかつおだし風味を追加発売。

5. 東海漬物の大ヒット商品『キューちゃん』

～「あたって砕ける」より～

東海漬物株式会社が漬物業界をリードする会社
に成長したきっかけを作った商品がきゅうりの『キューちゃん』であり、後に代表取締役社長に就任した大羽至氏が開発した商品である。

◆きゅうりの『キューちゃん』の開発 ～ブランドマーケティングの導入～

昭和 30 年代は高度成長の始まりであり、流通の近代化が急速に進行していた。小売業ではスーパーマーケットが増え始めていた。従って、食品メーカーとしては従来の量り売りから、パッケージ商品が次々と開発され店頭に出てきた。漬物業界においては、ブランド名もなく、樽による漬け込み方法で樽ごと出荷。食料品店の店頭に並べ、計り売りによる製品が大半であった。大羽至氏は今後は“消費者ニーズ”にもっと適した容器包装に入れた商品が単独に名前を持ち、市場サイズの調査データを基本に、科学的、物理的の要因を分析しながら開発される個性豊かな製品を、販売していかなければならない時代に突入したことを感じとった。

おぼろげ、手探り状態であったが、自分なりに予想と予見に身の引き締まる思いを持ったのである。そんな時、中京地区は、全国で最も被害甚大な伊勢湾台風の自然の猛威を受ける事になってしまった。その悪夢は、昭和 34 年 9 月 26 日の夜半から訪れてきた。野菜原料への打撃と、工場生産での漬物の被害は、激大なものとなった。国会では伊勢湾台風復旧対策の緊急救済援護措置法案が通り、当時の試算では 5 年間の復旧施工作業が必要であると新聞で報道された。昭和 35 年（1960 年）。こうしたアクシデントを足跡にとどめながら、やがてベストセラー商品となる、きゅうりの「キューちゃん」の試作を開始した。そして、昭和 37 年（1962 年）には小売袋（ポリセロ袋）は 30 円の価格体系

表1 漬物の1世帯当たりの年間年齢別支出金額（2人以上世帯）

	白菜漬け		大根漬け		梅干し		他の野菜の漬物	
	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）
世帯平均	588	100	1,059	100	1,323	100	5,495	100
～29歳	113	19	154	15	397	30	2,157	39
30歳～39歳	203	35	366	35	678	51	2,965	54
40歳～49歳	388	66	625	59	1,024	77	4,411	80
50歳～59歳	608	103	1,123	106	1,357	103	6,235	113
60歳～69歳	782	133	1,440	136	1,592	120	6,657	121
70歳～	829	141	1,494	141	1,761	133	6,400	116

出所：家計調査年報 平成22年度

白菜漬け：白菜の漬物、白菜の朝鮮漬け、山東菜の漬物など

大根漬け：大根の漬物、大根の浅漬け、しそ巻たくあん、こんぶたくあん、つぼ漬、べったら漬

梅干し：梅の実を塩漬け、梅漬、小梅漬、梅かつお

他の野菜の漬物：奈良漬、わさび漬、福神漬、味ナス、らっきょう漬、紅ショウガ、ピクルスなど

表2 漬物の2世帯当たりの年間収入別支出金額（2人以上世帯）

	白菜漬け		大根漬け		梅干し		他の野菜の漬物	
	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）	年間支出 金額（円）	世帯平均に 対する年齢 別比率（%）
世帯平均	588	100	1,059	100	1,323	100	5,495	100
～345万円	568	97	1,133	107	1,189	90	4,807	87
345～463万円	660	116	1,117	99	1,321	111	5,207	108
463～617万円	539	82	988	88	1,264	96	5,105	98
617～858万円	540	100	939	95	1,255	99	5,569	109
858万円～	633	117	1,116	119	1,586	126	6,786	122

出所：家計調査年報 平成22年度

白菜漬け：白菜の漬物、白菜の朝鮮漬け、山東菜の漬物など

大根漬け：大根の漬物、大根の浅漬け、しそ巻たくあん、こんぶたくあん、つぼ漬、べったら漬

梅干し：梅の実を塩漬け、梅漬、小梅漬、梅かつお

他の野菜の漬物：奈良漬、わさび漬、福神漬、味ナス、らっきょう漬、紅ショウガ、ピクルスなど

で発売開始した。当時は、独立した個別のネーミングを付けた商品は少なく、「味の素」「雪印」「明治」「森永」等他、一部の食品で、伝統を守った“のれん”名が使われていた。即席麺をはじめ、小袋パッケージ、セロファン包装した商品も急速に氾濫期を迎えていた。といっても、企業名を冠付にした製造名が包装紙に多色印刷される程度の技術で、商品固有のネーミングについては、ファーストネームもミドルネームも、マスコットやキャラクターネームといった発想による商品はまだまだ少数で、その当時の小売り店頭では見つけにくい状況であった。

また、製品開発後に誕生した新製品の寿命も、漬物業界を例に取れば、まるで申し合わせたように、1年半から2年半までの期間に最大ピークを記録するが、すぐに下降し始め、やがて市場から姿を消すか、あるいは命脈を保つといった運命をたどるのが常であった。洋の東西を云々しても、すべからく、“大衆”や“分衆”に選ばれる製品で、利便であり、かつ食料品は衛生・保健面での安全性と安心感が必須条件であり、その上、伝統も信頼の必須条件ではあるが、見た目や、色彩感覚をも満たし、食欲の増進・促進の加工物となり、日本の“一汁三菜”の食

表3 平成21年品目別出荷額（推定）

キムチ	770	国内産 韓国産 中国産	600 140 30
※浅漬	1080		1080
梅干・梅漬	470	国内原料産 海外原料産 中国産	340 90 40
沢庵本漬	480	塩押し 糖しぼり 干し べったら 紀ノ川・他	260 70 75 40 35
刻み漬	260	福神漬 胡瓜・なす しば漬 その他	120 70 40 30
姿物（胡瓜・茄子など）	50		50
菜漬	120	高菜 その他	80 40
酢漬	280	ガリ生姜 刻み紅生姜 新生姜 楽京	80 80 30 90
その他	90		90
合計	3600		3600

（食品新聞社調べ）

生活にもすこぶるマッチしていなければ、商品の中の王座もその運命も永らえないと思う。

わが国の漬物は“香のもの”から期限を發し、食膳に添えるものとする“1菜”文明を、仏教伝来の期を最も顕著な萌芽期として、我々の文化に繁榮させ、最も命の根源としてかけがえないものである塩は、その文明の道程を語り伝えてくれた。口腔での、酸味と塩加減と菌ごたえが醸す“三味一体”感の旨味は欠かせられない。菌ごたえ、すなわち、菌ざわりや菌あたり、舌ざわりもここちよく、やわかにして弾力があり、それでいて噛み切った後のシズル感があること、「ポリッパリッ」とした食を愉しむための音も、軽やかでなければならない。口腔内にも適切な刻みの大きさで、原形の印象を残す程度に刻まれることも大切である。匂いも醤油漬けにして仕上げるが、野菜の青臭さをなくし、それでいて新鮮さを損なわずということが、美味しい漬物の条件であると信じた。そのために、生姜をみじん切りにして混入し、醤油内の旨みを引き出すグルタミン酸やリジンなどの

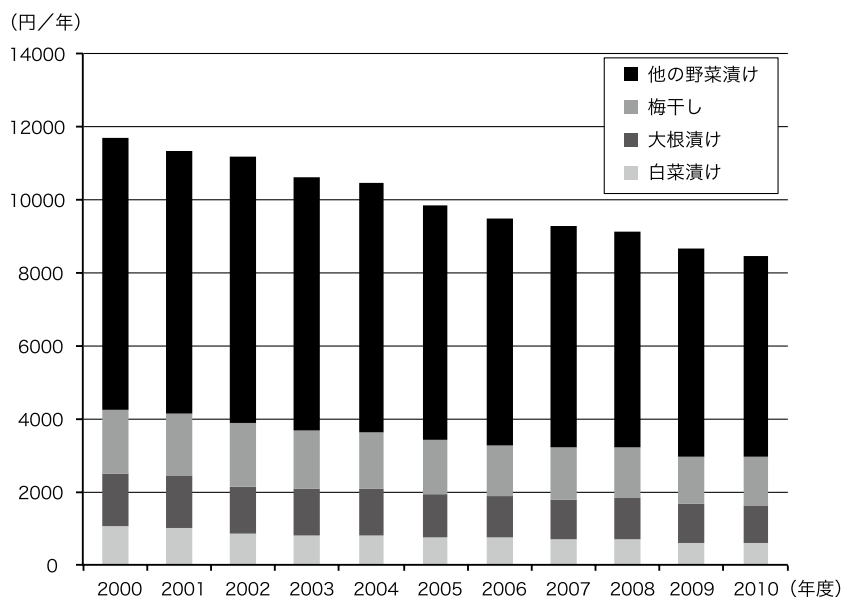


図1 漬物の1世帯当たりの年間支出金額（2人以上世帯）

出所；家計調査年報 平成22年

成分と、胡麻で風味のミックス感を出した。その味が、口腔内で調味、調合されて歯で碎かれ、臼のようにつかれることで、適度の塩分がばらまかれる仕組み、とでも表現したらわかりいただけなのではないか。

商品名は、一般の主婦も参加したブレインストーミングで検討され、「キューちゃん」に決まった。生産体制も順調に出来上がり、昭和37年（1962年）『きゅうりのキューちゃん』の発売を開始した。発売するに当たり、テレビ宣伝が必要と考え、「キューちゃん」をイメージさせるには購入対象者である主婦の意見を重視し、商品名同様にブレインストーミングで検討した。結果は当時主婦に圧倒的な人気があった“坂本九”がノミネートされ、プロダクションに依頼し、了解いただいた。坂本九ちゃんの人気が後押しし、『きゅうりのキューちゃん』のブランドの認知は急速に高まり画期的な商品に成長した。

『きゅうりのキューちゃん』 120g



原 材 料 名	きゅうり（中国、ラオス）、しょうが、ゴーヤ、しその実、ごま、漬け原材料〔しょうゆ、魚介エキス、還元水あめ、水溶性食物繊維、魚醤、醸造酢、濃縮りんご果汁、たんばく加水分解物、食塩、香辛料〕、調味料（アミノ酸等）、酸味料、酸化防止剤（ビタミンC）、着色料（クチナシ、紅麹）、（原材料の一部に小麦を含む）
栄養成分表示（100g 当り）	エネルギー：39kcal、たんばく質：4.1g、脂質：0.5g、糖質：2.9g、食物繊維：3.3g、ナトリウム：1.6g、食塩相当量：4.1g
アレルゲン	小麦 大豆 りんご
内 容 量	120g
保 存 方 法	直射日光、高温多湿を避け保存して下さい
賞 味 期 限	製造日より90日（未開封） ※保存料は使用しておりません。

6. 東海漬物の柱商品に育った『こくうま』キムチ

平成16年（2004年）5月に発売した『こくうま』キムチは発売以来急成長し、今ではシェアNo1のヒット商品であり経営の柱商品となった。この商品は全社をあげたプロジェクトチームで徹底した市場分析を行い商品コンセプトが練り上げられた。当時のキムチは韓国の伝統食品イメージが強かった。2002年のキムチブームの中で、実は消費者の多くのごはんに合うキムチを求めている。この点に着目。こくと旨みを訴求した日本人の口に合うキムチを開発した。

『こくうま』 320g, 200g



原 材 料 名	はくさい（国産）、だいこん、にんじん、にら、漬け原材料（果糖ぶどう糖液糖、とうがらし、食塩、りんご果汁、にんにく、たんばく加水分解物、魚介エキス、醸造酢、魚醤、しょうゆ、発酵調味液、しょうが）、調味料（アミノ酸等）、酸味料、増粘剤（増粘多糖類、加工デンプン）、カロチノイド色素、（原材料の一部に小麦・えび・いかを含む）
栄養成分表示（100g 当り）	エネルギー：49kcal、たんばく質：2.5g、脂質：0g、糖質：8.2g、食物繊維：2.9g、ナトリウム：1.2g、食塩相当量：3.0g
アレルゲン（27 品目）	小麦・えび・いか・大豆・りんご
内 容 量	320g（画像左）/200g（画像右）
保 存 方 法	冷蔵庫（10℃以下）で保存してください。
賞 味 期 限	製造日より25日（未開封）

7. 漬物機能研究所

東海漬物（株）には漬物メーカーには珍しく「漬物機能研究所」がある。研究員もそうそう

たる経歴の持ち主であり、漬物に関する基礎研究から商品開発研究まで取り組んでいる。商品の企画開発を担当する研究陣もこの研究所にいる。従って、漬物機能研究所は東海漬物（株）の商品開発全てを担っている。研究所の理念・原則は以下のとおりである。

この中で◆新技術 & 新製品開発5原則は漬物業界のみならず、食品業界全体に参考になると考える。

おわりに

東海漬物株式会社は昭和16年（1941年）に設立後、昭和37年（1962年）に大羽至社長の努力下『きゅうりのキュ-ちゃん』を大ヒットさせ、漬物業界を一変させた。（2004年）に

は漬物機能研究所から漬物業界のキムチ市場を拡大させる『こくうま』を発売した。この商品によりキムチ市場は拡大し、多くの漬物メーカーがキムチを開発・上市した。このように東海漬物（株）は漬物市場のリーディングカンパニーとして業界をリードしてきた。ところが、ここ何年かは業界に新たなヒット商品がなく価格競争に陥っている感じがする。漬物業界を活性化するために是非とも業界をリードするような新たなコンセプトの商品を発売していただきたい。

最後に、漬物市場の状況を表1、表2、表3、図1に示した。漬物市場を考える時には参考にしていいただきたい。

理念・原則

漬物機能研究所の理念

わが社の経営理念に基づき、
研究開発を通じて消費者の食生活を豊かにし
笑顔、感動、安心のある商品を
独創的な技術で開発する。

漬物機能研究所の研究開発原則

◆QCDSの向上原則

Quality	・品質の面で、市場での競争力UP
Cost	・価格の面で、市場での競争力UP
Delivery	・開発時間の面で、市場での競争力UP
Safety	・安全の面で、市場での競争力UP

◆新技術 & 新製品開発5原則

1. 漬物機能研究所は、消費者にとって真に有用かつ安全な商品を開発する。
2. 漬物機能研究所は、消費者にとって創造的魅力的商品を開発する。
3. 漬物機能研究所は、創造的技術が盛り込まれている商品を開発する。
4. 漬物機能研究所は、パフォーマンス・バイ・コストで他社のそれに勝る商品を開発する。
5. 漬物機能研究所は、開発する技術者、製造する工場並びに販売従事者・販売店に喜びをもたらす商品を開発する。

参考文献

- 1) 田形 院作 ニューフーズインダストリー 2011 Vol. 53 No.8 (67)
- 2) 田形 院作 ニューフーズインダストリー 2012 Vol. 54 No.9 (68)

参考資料

- 東海漬物株式会社 HP
- あたって砕けろ 東海漬物・半世紀のステップ 発行 株式会社ミック出版社

伝える心・伝えられたもの

— 雪に晒す 天然角寒天を訪ねて —

宮尾 茂雄

(東京家政大学)

2013年の春から夏にかけて田子節の故郷、西伊豆の田子や安良里を訪ねた。港の駐車場や浜辺の空き地一面に広げられた天草の天日干しは海の豊かさを感じる光景だった。江戸時代から伊豆は紀伊と並ぶ良質な天草の産地として知られていた。幕末には遠く信州諏訪地方に運ばれ¹⁾、農家の冬の副業として始められた寒天作りに使われた。盛夏の太陽に晒される天草を目にして、冬の厳しい寒さを利用した伝統的な凍乾式角寒天製造法を継承している茅野を一度訪れたいと思った。

天然角寒天との出会い

2014年1月半ば、天然角寒天の里、茅野市宮川地区を訪れた。中央高速道を走り、まもなく諏訪インターチェンジに入ろうとする時、左手にソーラーパネルのように戸板を斜めに並べて寒天の天日干しが行われていた。諏訪インターを降りたのは午後3時を過ぎ、日がやや傾きかけた頃だった。宮川にかかる橋を渡り、道なりに進むと、まもなく寒天の干し場（凍乾場、庭）が見えた。道路の端や住宅の庭先、干し場には数日前に降った雪が残っていた。10人程でカサカサに乾いた寒天を木製の台（改良台^{2,3)}）から竹の簀かごに移し（写真1, 2）、近くのビニールハウスに運び込んでいた。別のハウスでは年配の女性が二人、仕上がった寒天を梱包する準備をしていた。

寒天工場（通称、天屋さん）の周辺にはいくつもの干し場があった。ハウスの中で簀かごを何段にも並べる作業をされていた男の方が、一段落ついたところで周囲を案内して下さった。今朝干し場に並べた寒天（生天）は乳白色に光り（写真3）、一日前のものは夜の冷気で凍りついていて（写真4）。寒天の凍結・融解、乾燥の進み具合が異なるので、干し場は製造日ごとに分かれていた。

宮川地区から車で10分足らずの諏訪大社上社前宮の周辺にも干し場があり、青い防風ネット（以



写真1 乾燥した寒天を改良台からはずす



写真2 簀かご（養蚕で使っていた竹かご）の上に並べる

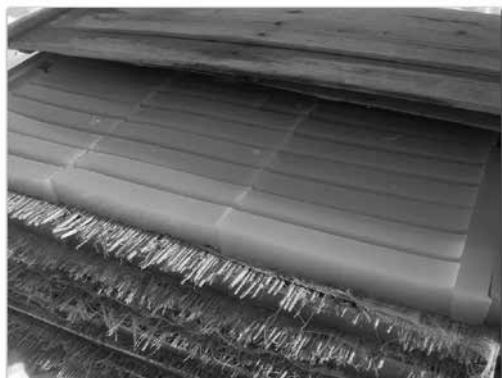


写真3 当日朝並べた生天（夕方、乳白色に輝く）



写真4 前日朝並べた生天（夕方、凍結し、油氷のような滑らかな表面）

前は茅で囲んでいた）が周囲に張り巡らされていた（写真5）。がっしり作られた改良台を積み重ねていた女性に「重くて大変でしょう」と尋ねると、「夏はゴルフ場のキャディーをしているので、この位は大丈夫。ここで働いている女の人はみんなそうです。」と笑顔が返ってきた。日の落ちるのは早く、まわりはじきに薄暗くなった。雪の積る干し場にいると足元から冷え込んできた。



写真5 上社前宮近くの干し場

信州寒天発祥の地を訪ねて

寒天の製法は、萬治年間（1658年頃）厳寒の頃、京都伏見の旅籠屋主人美濃屋太郎左衛門が、外に出しておいた残りものの心太（ところてん）が凍っているのを見て思いついたといわれている^{3~5)}。初めは小規模に作られ、伏見特産「心太の乾物」として売られていた³⁾。明和年間（1770年頃）、摂津国島上郡（現在の大阪府高槻市）の宮田半平により製造法が改良され、以来京都、摂津、丹波などで盛んに作られるようになった。

その後生産地が広がり、大正2年の統計によると寒天の生産高は全国で346.4貫（1299kg）、その40%が大阪府、次いで長野県（26%）、京都府（18%）、兵庫県（17%）とある。主に山村で作られていたが、現在の京都市左京区下鴨神社近く（旧愛宕郡下鴨村）にも職工数17名の寒天工場が1軒あった³⁾。明治10年2月3日明治天皇がこの寒天工場を訪れた記録が石碑に残されている（写真6）。



写真6 京都市下鴨神社泉川御影小橋近くの寒天製造場跡の石碑



写真7 寒天業祖小林糸左衛門をたたえる石碑

寒天を利用して、寛政年間には煉羊羹が作られ⁶⁾、精進料理にも用いられた。長崎から中国へ輸出され、中華料理の素材としても珍重された。寒天の語源については、宇治にある黄檗山萬福寺を創建(1661年)した隠元禪師が「仏家の食用として清浄之に勝るものなし」と賞賛し、「寒晒心太(かんばんしところてん)」と命名したという説もある^{1,4,5)}。

江戸時代末期(1830～40年代)、丹波で寒天作りの技術を習得した小林糸左衛門(こばやしくめざえもん)は故郷茅野地方の気候が寒天作りに向いていると考え、玉川村穴山で寒天作りを始めた。寒天生産者、(株)マルゴ商店社長の五味徳雄さんのお話では、「玉川村は標高が高くて寒い。茅野市内を見下ろすような高台で風も強く日照時間が長い。この地区を流れる上川水系の水は鉄分が多く、宮川水系と違い寒天作りには適していなかった。明治半ば宮川の周辺に寒天工場が多く集まるようになった。」そうだ。糸左衛門

が寒天を作ったとされる場所の近くには「寒心太業元祖之碑」が建てられていた(写真7)。

寒天作りは炭焼き、わら細工や機織などと同様、諏訪地方の農家の副業⁷⁾の一つで、稲田を干し場として家族総出で行っていた。(有)イリイチ社長の小池隆夫さんのお話では、寒天の需要が増え生産規模の拡大が図られると、家内工業的な方法では対応できなくなった。初めは地元や県内の方の手を借りていたが、精密工業などが発達すると人手が集まらなくなり、30年位前からは東北や北海道など豪雪地域からの出稼ぎ労働者に頼るようになったそうだ^{1,8)}。天屋さんで働くので「天屋衆」(寒天職人、寒天杜氏)と呼ばれている。毎年決まった人が仲間を誘って来てくれるのでチームワークが良く、技術も継承され、品質も確保できる。冬の寒さにも強く真面目によく働いてくれると信頼も厚い。女性も活躍しているが、この近辺の方で10年、20年と手伝いに来ているベテランぞろいだ。

茅野地方は原料の天草を運ぶには交通の便が悪い。伊豆からは富士川を舟で遡り鯉沢まで運び、そこから山を越えた¹⁾。明治10年頃はわずか12軒ほどであったが、中央本線が開通(明治38年)すると生産者は100軒を超え、生産量も急増した⁴⁾。茅野駅には出荷までの寒天を保管する大きな倉庫が建てられ、駅も町も寒天業で賑わった¹⁾。寒天の生産者は30年前には80軒ほどあったが、現在は13軒で年間80トンの寒天を生産している(写真8)。

寒天工場を訪ねる

1月と2月半ば(株)マルゴ商店と(有)イリイチの寒天工場を見学させていただいた。寒天



写真8 寒天工場跡に残る直径2m余りの大小二つの鉄製寒天釜(羽釜)

の製造は、「クサ」（原藻）を水で曝し、洗浄する「スイシャ」、釜でクサを煮熟し、「ノリ」（海藻の煮出し汁）を抽出濾過し、凝固するまでの「カマ」、凍結（凍凝）・融解を繰り返し、乾燥させて寒天に仕上げる凍乾場の作業「ニワ」に分かれ、担当者も基本的には分業である⁸⁾。

マルゴ商店では北海道旭川出身者が3人、10年以上にわたり毎年12月から2月まで工場に寝泊まりしてカマの作業を中心に続けている。イリイチでは旭川に近い深川出身の6名の方が働いている。ニワに3人、カマに2人、スイシャに1人、庭長の滝本さんが全体のとりまとめをしている。

種々のクサ（原藻）を一釜で煮熟するには熟練の技が必要であり、昔から技術の秀でたものが釜長（釜場の主任）を務めるという³⁾。今年から初めて釜長を務めている佐藤さんのお話では、12月初めは機械の操作などに慣れず苦労したが、やっと自由に動かせるようになったという。10年位前から毎年来て、ここ5年ほどは息子さんも一緒だ。カマの作業は釜長とオテコサン（釜長の助手）の大沼さんの二人で行う。スイシャは小山さんお一人だ（写真9）。ニワでは地元の方も一緒に作業をしている。



写真9 小池社長（中央）、小山さん（左）、スイシャ（イリイチ）にて

寒天の製造工程

五味徳雄さん、小池隆夫さんと釜長さんに伺ったお話や資料をもとに寒天の製造工程をまとめた^{1～5,8)}。

（1）スイシャの作業

明治末期頃までは原藻（クサ）を水に浸した後、塩分や貝殻、砂、小石、石灰分などを取り除くため木製の臼と杵で「天草搗（つ）き」が行われていた。3～6人の天屋衆が草搗き唄を歌いながら調子を合わせてクサを搗いた。やがて水車が利用されるようになり、現在はドラム式（ミキサー式）洗浄機を使っている^{5,8)}。そのなごりでクサの管理を「スイシャ」と呼ぶ。小池さんの「スイシャ」は宮川の河原近くにあり、地下水をくみ上げた大きな水槽と浄化池があった。原料の天草（マクサ、オニクサ等紅藻類）は国内外から集められ大きな倉庫に保管されていた。寒天業界全体で1年間にモロッコ、チリ、インドネシア、韓国（濟州島）などからの輸入品およそ2000トン、愛媛県の八幡浜や日振島、静岡、東京など国内産およそ500トンを使用している。

良いノリがとれるようにクサの特徴をつかんで数種類を配合し（クサ割り）、プラスチックコンテナ（以前は竹籠）に入れる。コンテナを水槽に漬けてクサを膨潤させ、ドラム式洗浄機に入れて回転させながら、貝殻の破片などを



写真10 原藻のドラム式洗浄機



写真 11 原藻用の水槽（晒し）



写真 12 原藻は戸板（左）の上を滑らせて、寒天釜（上部は木製の胴）に投入



写真 13 煮沸棒立て作業①、佐藤さんは全身を使い攪拌棒でクサを混ぜる



写真 14 煮沸棒立て作業②

取り除く（写真 10）。再び水槽に漬けて1～2日あく抜きする（晒す）（写真 11）。夕方水槽の水を抜き、一晩水切りし、翌朝クサを釜場に運ぶ。

（2）カマの作業

昼前、1 番釜（鉄製の釜）の湯が沸騰するとクサを投入する（写真 12）。長さ 3m 以上ある攪拌棒でクサを良くかき混ぜる（棒立て作業）（写真 13, 14）。クサを投入して下がった湯の温度が上がると、再びクサを加える。こわい（煮えにくい）クサから入れ始め、最後には全体が均一になるように煮熟する。この時ノリの抽出を容易にし、煮熟を早めるために少量の酢酸などを加える³⁾。クサから「ノリ」が出始めると、突然沸騰して釜の上部に取り付けた木製の胴から噴きこぼれる（溢れ出す）ことがある。これを「あばれる」という。熱せられたノリが身体にかかれば大やけどを負う危ない作業だ。釜長さんのお話では「あばれる」直前はゴーという音と共に振動が棒の先から伝わってくるので、直ぐに釜から離れるそうだ。グラグラと煮立った状態で約2時間加熱し、重油バーナーの火を止める。昭和30年代までは薪を焚いていたので工場と同じくらい大きな薪小屋があったそうだ。鉄釜の周りには石を敷き詰めてあり、火を止めても釜は余熱で熱せられている。クサが焦げ付かないように1度混ぜるが、その後10時間余りは厚い釜蓋をして蒸らし、ノリの抽出を待つ（写真 15）。1 番釜よりは小型の2 番釜には1 時過ぎにクサを入れ始め、3 時過



写真 15 厚い木製の釜蓋をした寒天釜



写真 16 焚場の重油バーナー



写真 17 上フネと 濾布を取り付け、汲み上げ準備ができた濾過槽



写真 18 1 番釜からはポンプを使用し、2 番釜からは手動で煮出し汁を濾過槽に移す

ぎまで煮熟し、一段低くなった焚口に降りてバーナーの火（写真 16）を止める。火が消えると急に工場内が静かになった。2 番釜の中を覗かせていただくと、ノリが沸々と力強く噴き上がっていた。

午前零時頃からは、寒天釜から煮熟したノリとクサを竹で編んだスノコの上に濾布（煮出し汁を濾す布製の網、以前は麻を使っていた）を敷いた濾過槽（フネ）（写真 17）に汲みあげる作業が始まっていた（胴あげ作業）。工場の外はマイナス 8℃で、夜空一面に星がきらめいていた。

窓から明かりが洩れ、煙出し窓から白い湯気が流れ出ていた。後でうかがった話だが、この辺りにいくつもの寒天工場があった頃、この時間になっても煙出し窓から湯気が上らないと、「あそこは寝坊しているんじゃないか」と囁かれたそうだ。

2 つの釜の釜蓋が開けられ、湯気がもうもうとして視界が遮られた。1 番釜からは上澄み液がポンプで汲み上げられフネに移されていた（写真 18）。2 番釜では釜長さんがホイスとバケットを



写真 19 手前のホースは 1 番釜からポンプアップにより煮出し汁を汲み上げている

巧みに操作して、クサとノリを一緒に掴みフネに移していた（写真 19）。フネの脇に立つと、濾過されて流れ落ちるノリの音が、滝のように響いていた。

ノリは粘調性が高く、濾過には時間がかかる。釜長さんの手早い作業で、フネ（上フネ）にはたちまちクサが山盛りになった。一旦汲み上げを中断し、様子を見ながら、再び汲み始める。貯留槽（下フネ）のノリは循環ポンプで搅拌されている。2時半頃、大沼さんが来られると濾液をポンプアップして諸蓋棚に水平に置かれた諸蓋（モロブタ）とよばれる合成樹脂性凝固箱（30×90×高さ 10cm、以前は木製）に注ぐ操作が始まった（ノリつぎ作業）（写真 20）。今日の予定数は諸蓋 870 枚すべてに流し終えるには3時間近くかかるそうだ。ノリは約4～5時間で固まり、これを「生天」と呼ぶ。

午前3時を過ぎると、一段と寒さが厳しく感じられた。「明け方は寒いから、しっかり防寒対策して来て下さい。」と前日注意していただいたとおりの厳しい冷え込みだ。1 番釜から大半が汲みだされた午前3時半頃、いったん宿に戻ることにした。

6時半頃、再び工場に戻ると、諸蓋のノリはすでに固まっていた。バーナーの音が響き寒天釜では湯が沸き始め、工場からは白煙が勢いよく立ち昇っていた（写真 21）。

8時過ぎには、釜長さんとオテコサンは「天切り庖丁（寒天切り庖丁）」を使って生天の切り出しを始めていた（写真 22）。刃が20枚の天切り包丁を使うので、21丁の細長い生天になる。切り目を入れた後、諸蓋と生天の間に軽く掌を差しこむ。干し場で取り出すときに崩れにくくなるそうだ。釜長さんとオテコサンは朝食をいれて1時間程休憩しただけで、夜中からずっと働き通しだ。軟弱ものの自分では1日も動まらないと思った。

（3）ニワの作業

生天の入った諸蓋をクローラ運搬車（以前は肩に担いだ、昭和40年代までは一輪車や積雪時は



写真 20 諸蓋に濾液を注ぐノリつぎ作業



写真 21 白煙が昇る寒天工場（イリイチ、午前7時頃）



写真 22 天切り包丁を使った生天の切り出し作業



写真 23 クローラ運搬車で諸蓋を干し場まで運ぶ



写真 24 寒天形枠に沿って改良台に生天を並べる



写真 25 釘を差し並べた「注射器」



写真 26 生天の表面に注射器を押し当てる

橇)に積んで干し場(庭)に運び出す(天出し作業)(写真 23)。今日の干し場は工場から歩いて 5～6 分ほど離れたところにあった。改良台の上には水を吸わせ、乾燥を速めるためにわら、新聞紙、園芸用の白い防虫ネット(昔は縦糸を木綿、横糸をわらで編んだ糸立てむしろを使用^{2,3)})が敷いてあった。切り出した生天はおおよそ $30 \times 4 \times 3\text{cm}$ と細長くちぎれてしまいそうだ。6 丁を両手で上手に掴み、手際良く丁寧に木枠(角寒天形枠)を使って諸蓋 2 枚分 42 丁を 1 枚の改良台に真っ直ぐに並べていく(写真 24)。以前はゴム手袋がなく、生天を掴む手袋がぬれて手が凍え、3 丁掴むのがやっとだったという。むかしは夕方から夜間にかけて、寒風にさらされながら薄く凍り始めた生天を諸蓋から取り出して並べ、さらに風向きや気温、降雪などの気象条件により改良台の積み替えや向きを変えるなどの作業が 24 時間繰り返されていたそう^{3,5)}。その後の研究の結果、また正確な気象情報が得られるおかげで現在は夜間ニワでの作業はほとんど行われなくなった⁵⁾。

移し終わると、釘の先が 2cm 程とび出た $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 位の木の板で、地元では「注射器」と呼ぶ道具を使って(写真 25)、弾力のある生天の表面に針を押し当てる(釘差し作業)(写真 26)。これにより冷気が内部にも均一に伝わり表面が反り返らず、まっすぐな形に仕上がる²⁾。前日、干し場に並べた生天は凍りつき、針の跡がほんの少し口を開けたように見え、滑らかな氷面になっていた(写真 27)。ちょうど午前 7 時半頃、東側の低い山並みから太陽が姿をみせた。急に眩しいくらい雪面が輝き、干し場全体が明るくなった。風が冷たく気温はマイナス 1°C だったがコートの背



写真 27 前日並べた生天（釘の跡が少し口を開けたように凍っている）



写真 28 改良台を積み重ねておく（総積み）



写真 29 簀棚（櫛棚、よせ棚）での乾燥（天日）



写真 30 ビニールハウスでの乾燥

に当る日差しは暖かく心地良かった。作業されている方もホッとされた表情だった。

しかし生天は朝日に当てず、夕方まで改良台に載せたまま積み重ねて置く（総積み）（写真 28）。この辺りは西側に山（守屋山、杖付峠など伊那地方に続く山並み）があるため、半日村とも呼ばれ日没が早い。午後 3 時過ぎ、日が陰ると改良台を丸太で組んだ棚（とかし）に立て掛けて夜の冷気に晒し生天を凍らせる。

その後、日中は太陽に当て氷を溶かし、水分とともに不純物を流出除去する。あまり短時間で凍結・融解すると、あくが抜けきらないという。ある程度表面が乾いても底の部分はまだ湿っているので天地返しをする。乾燥が進み、カサカサして敷いてあるネットからはがせるようになると、簀（す）かご（蚕籠、蚕を飼うときに使った竹で編んだ平たい籠）に移し、さらに 2～3 日簀棚（写真 29）あるいはハウスに移し（写真 30）仕上げの乾燥を続ける。この段階のものは長く日光に曝すと着色する恐れがある。これを「日に焼ける」、「焦げる」という³⁾。1 本およそ 600g の生天は 10 日から 2 週間かけておよそ 7.5g の角寒天に仕上がる。600 本を 1 単位（束）として梱包して出荷する（写真 31）。角寒天の重さは江戸時代から一定で、およそ 7.5g、水 1 升（1.8 リットル）に角寒天 5 本溶かせば濃度 2% の良好な硬さが得られる。寒天を量る必要がないので料理人や菓子屋には使い勝手がよかった^{5,6)}。



写真 31 完成品の出荷（マルゴ商店）



写真 32 イリイチ寒天蔵（宮川）

寒天は製造期間が冬場に限定されているため、必要な時期まで倉庫で保管される。宮川では昭和初期に岡谷にあった築百年以上の3階、あるいは4階建ての繭倉を移築して寒天倉庫（寒天蔵）として使っている（写真32）。「板倉」といい、釘を使わず木を組んだ木造建築で、外側を土壁漆喰で仕上げてあり、容易に解体し、組み直すことができるそうだ。森林資源に恵まれた諏訪地方ならではの木材を大切に使う工夫が素晴らしい。

天の力・人の力

雪に晒す

生天は、諸蓋から出した直後は灰色がかった深緑色で、乾燥が進むと白くなる。干し場の寒天が朝日と雪の照り返しを受けてまぶしい位輝く光景は印象的であった。積雪のある方が仕上がりも良いそうだ。江戸時代から続く伝統織物、越後上布は織り上げた後、反物を雪の上に広げて太陽光で漂白（雪晒し）すると、のりや汚れ、原料の苧麻（からむし：イラクサ科の多年植物、茎より繊維をとる）の色が抜けるという。日の光と雪面の反射で生成するオゾン、雪解けに伴う水素イオンなどが漂白効果を生むと説明されている⁹⁾。寒天の白さは凍結・融解により水溶性の不純物（アク）が溶出し、さらに雪や天日による漂白作用も重なって生まれるのだろうか。

太陽光の当て方にも工夫がある

昔は生天が凍結するまでは改良台を北向きに置き、その後南向きに並べ替えたそうだ。また五味さんのお話では正午の太陽光が改良台に正面から当たるように「とかし」を組み、改良台の角度が45度になるように立て掛ける。「とかし」は太陽エネルギーを効率的に利用するソーラーパネルの先輩だ（写真33）。

干し場は冬の稲田の有効活用

五味さんは稲田を1.5ヘクタール（1.5町歩）借りて順番に干し場として使っている。12月初めに寒天職人が来ると、1週間ほどかけて干し



写真 33 干し場の改良台と屋根に置かれたソーラーパネル（2月）



写真 34 田植え準備が整った干し場だった所（5月，写真 33 と同一場所）



写真 35 水を張った水田（5月，写真 21 と同一場所）

場の準備（埃が立たず歩き易いように田に藁を敷く，丸太を組んで「とかし」を作る，周囲に防風ネットを張るなど）や釜場の手入れを行う。寒天製造が終わると3週間かけて，最初の状態に戻し農家に返す。

5月に再び訪れた時は，水が張られ，田植えを待つばかりだった（写真 34，35）。以前，宮川周辺は一面水田だったが高速道路やバイパスが通ようになってからは宅地化もすすみ，干し場の確保が大変だというお話だった⁸⁾。



写真 36 自家製細寒天で寄せ物を作る

天屋陽気

寒天は，戦前11月下旬から3月の彼岸までおよそ100日程度生産できたが，今は暖冬傾向が続き12月半ばから2月初めまでの50日程に短縮している^{8,10)}。

角型のものと天突き器でついた細長い生天を東京に持って帰り，その夜からベランダに置いた。1月下旬は東京でも早朝は0℃以下になり乾燥した日が続いた。およそ1週間で細長い生天は細寒天に仕上がった（写真 36）。しかし角型の生天は，一旦シャーベット状に軟らかく凍りはしたものの完全には凍結せず，2週間後には全体が黄ばみ縮んでしまった。角寒天作りには細寒天より厳しい冷え込み，時間と手間が必要であると実感した。もちろん寒さだけではない。五味さんが「天屋陽気」と呼ぶ夜間から早朝は凍みて，日中気温が上がる穏やかな陽気（夜は－5～－15℃，昼は4～10℃程度で，湿度が低い⁴⁾）が望まれるのだ。

人の力

寒天作りは人の手作業に負う部分が多い。機械化されていても，基本的には以前と変わらない工程^{3,4,5)}を受け継いでいる。現在の角寒天と食品辞典（昭和3年）に記載された成分を比較したところ，昔のものは灰分がやや多い程度で他はほとんど変わらなかった（表1）。昔はクサの抽出を2度行い，濾過の際には天秤棒を使い重石をかけて搾っていたので²⁾，クサの成分がより多く含まれていた可能性も推測された。

表 1 寒天の組成 (%)

種類	水分	たんぱく質	脂質	炭水化物	灰分	引用
天草（素干し）	15.2	16.1	1.0	53.8	13.9	1
角寒天（細寒天を含む）	20.5	2.4	0.2	74.1	2.8	1
寒天	19.56	2.53	記載なし	73.6	4.3	2

1 5訂日本食品標準成分表（2005年）

2 食品辞典, 澤村眞著, 隆文館発行（昭和3（1928）年）

自然条件をたくみに利用した寒天は「自然の賜物（Natural Gift）⁴⁾」と言われている。日照時間が短く半日村と呼ばれた宮川の地形、茅野地方の乾燥した空気や厳しい気象条件などの制約を巧みに生かす先人の知恵が、寒天作りの中には継承されていると思った。

諏訪地方では昔から寒さを利用して凍餅（屑米を利用）、凍り豆腐（凍み豆腐）、凍み大根など、凍結乾燥保存食が作られていた。「天寄せ（寒天を使った寄せもの。豆腐、果物、漬物などを寒天でかためたもの）」などの食習慣も、今に伝えられている^{2,7)}。私の母は富山育ちだが、溶き卵に醤油で味付けした天寄せが得意で、私の大好物だった。お正月にはお口とりにミカンやリンゴのゼリーも作ってくれた。私の幼い頃、寒天は今よりもずっと身近な食材だったように思う。

夏の太陽をたっぷり浴びた天草は、冬の信州の冷氣と日差しを受け、雪に晒されて寒天になる。それは厳しい寒さの中で働く天屋衆の方々の手作業から生み出される伝統食品であり、低エネルギーで食物繊維の含有率が高く、生活習慣病の予防効果も期待されている¹¹⁾。茅野の小中学校では給食に寒天を使用したメニューが登場するそうだ。天然寒天はもっと身近に利用したい食材だと思う。

謝辞

（株）マルゴ商店五味徳雄様と従業員の皆様、（有）イリイチ小池隆夫様と従業員の皆様には角寒天の製造現場の見学と製造方法等ご説明いただき感謝申し上げます。今回の工場見学にご尽力いただいた茅野市の伊東様、阿部ちひろ様に感謝申し上げます。

参考資料

- 1) 矢崎孟伯：信州寒天業発達史，銀河書房（1993）
- 2) 茅野市八ヶ岳総合博物館常設展示解説，山麓のなりわい 寒さを生かす，編集・発行茅野市教育委員会（平成元年3月発行）
- 3) 木村金太郎編著：寒天に関する調査研究，水産研究誌第12巻1～12号，大正6（1917）年，（後附録として出版）
- 4) 穴戸壽雄：寒天の輸出と生産 特にその加工業の性格について，農業総合研究3巻4号 p.138-196（1949）
- 5) 松橋鉄次郎：寒天，伝統食品の知恵，柴田書店（1993）
- 6) 中村孝也：和菓子の系譜，淡交社（昭和42年）
- 7) 茅野市八ヶ岳総合博物館 民俗資料収蔵品展，いろりをかこむ食べものと暮らし，編集・発行茅野市教育委員会（平成8年10月発行）
- 8) 淡野寧彦：長野県諏訪地方における天然角寒天産業の存続の形態，地域研究年報27 p.99-112（2005）
- 9) 石坂雅昭，山口悟：雪面上のオゾン濃度と「雪さらし」，雪氷北信越28号（2008）
- 10) 木村浩巳：伝統産業と気候変動―茅野の天然寒天業への影響に関する事例研究―，地域イノベーション第5巻 p.115-124（2012）
- 11) 長野県寒天水産加工業協同組合（寒天の里）ホームページ

- ・茅野市八ヶ岳総合博物館：郵便番号 391-0213 長野県茅野市豊平 6983 番地 電話 0266-73-0300
- ・長野県寒天水産加工業協同組合：郵便番号 391-0013 長野県茅野市宮川 4013 番地 電話 0266-72-2039
- ・（株）マルゴ商店 五味徳雄様：郵便番号 391-0013 長野県茅野市宮川 6453 番地 電話 0266-72-2542
- ・（有）イリイチ 小池隆夫様（アルプス印）：郵便番号 391-0013 長野県茅野市宮川 3772 番地 電話 0266-72-3038

白石カルシウムの炭酸カルシウム



炭酸カルシウムとは？

古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。

分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈澱を抑制したタイプ等、品揃えしております。

- 一般の栄養強化には、「ホワイトン」
- 機能を求めるならば、「コロカルソ」
- 飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。

**白石カルシウム株式会社**

食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL 03-3863-8913
本社：大阪市北区同心 2-10-5 TEL 06-6358-1181

天然抽出物ピクノジェノール®の摂取は 記憶力、集中力、意思決定力の向上と不安改善に効果

DKSH ジャパン株式会社（本社：東京都港区，代表取締役社長：ペーター・ケメラー）は，強力な抗酸化作用を持つ天然の健康食品素材として知られている「ピクノジェノール®」（Pycnogenol®；ホーファーマーリサーチ社：スイス）の日常的摂取が，健康者における記憶力の向上等総合的認知能力の改善に効果があることを報告した。

本試験は，イタリアのベスカラ大学で行われ，2104年12月の学術誌『*Journal of Neurosurgical Sciences*』に掲載された。内科医であり栄養医学の専門家であるフレッド・ベスカトーレ氏によると，天然抽出物であるピクノジェノール®の摂取で，被験者達の不安が軽減，強い満足感を得ることに有効な影響を与えたことが観察された。これは精神機能強化や酸化ストレスを驚異的に減少させる効果がある可能性を示唆している。試験には，健常で健康的なライフスタイルを過ごしている35歳から55歳までの59名の被験者が参加し，そのうち30名の被験者は管理健康プランに加え，1日150mgのピクノジェノール®（50mg×3回）を摂取した。コントロール群の29名の被験者には管理健康プランのみ行われ，管理健康プランには規則正しい睡眠，バランスのとれた食事やエクササイズが毎日含まれていた。認知機能を改善する解決策が見つからない一方で，ライフスタイルパターンと日常のエクササイズが集中力の持続時間と気分を向上させることが示唆されている。この研究においてピクノジェノール®を12週間毎日摂取したことによる結果標準治療とピクノジェノール®の12週間の併用による主な結果は

- ・不安な気持ちが大幅に改善（16%増加 ピクノジェノール®摂取／－2.1% コントロール）
- ・知的能力の上昇（8.9%増加 ピクノジェノール®摂取／3.1% コントロール）
- ・注意力持続性（13.4%増加）
- ・記憶力（3.6%増加）
- ・酸化ストレスが劇的に減少（30%減少 ピクノジェノール®摂取）

この最新研究結果は，ピクノジェノール®に酸化ストレスレベルを自然に調節し，総合的認知機能に良い影響を与える効果があることを示しており，研究成果は，これまでの数十年に亘る研究により支えられている。この研究調査結果は自己申告方式の視覚的アナログ尺度（VASL），知的機能簡易評価（NART），空間認知記憶テスト（SRM）そしてケンブリッジ神経精神テストで簡単な認知機能や酸化ストレスレベルを評価している。

今回の研究プロジェクトの主任者である医学博士ジャンニ・ベルカロ氏は「ピクノジェノール®が生涯を通じて認知機能向上を自然に改善できることが，膨大な研究から実証されており，ピクノジェノール®に関する多くの研究は，子どものADHDの改善やテストに対する不安軽減，60歳以上の成人の数字に関する記憶力改善効果を示している。」と述べている。

本試験結果や他の臨床報告・追加情報についての詳細は以下ホームページにて。www.pycnogenol.com

問い合わせ先

DKSH ジャパン株式会社

〒108-8360 東京都港区三田 3-4-19

<ピクノジェノール®に関するお問い合わせ先>

生産資材事業部門 食品・飲料ビジネスライン 健康・栄養食品

東京／TEL：03-5441-4535 FAX：03-5441-4536

大阪／TEL：06-6282-0562 FAX：06-6282-1718

株式会社林原 代表取締役の異動（社長交代）に関するお知らせ

株式会社林原（本社：岡山市北区下石井 社長：長瀬玲二）は、平成 27 年 1 月 28 日に開催された臨時取締役会において、4 月 1 日付で代表取締役社長の交代を決定しましたのでお知らせ致します。

異動の内容

新任 代表取締役社長 森下 治（もりした おさむ）

（現：当社 代表取締役／長瀬産業株式会社 取締役兼執行役員）

尚、現代表取締役社長 長瀬玲二は、3 月 31 日付で株式会社林原の取締役を退任し、4 月 1 日付で長瀬産業株式会社において取締役副会長に就任致します。長瀬産業においてグループ全体の事業運営に携わることとなります。

新任代表取締役社長の略歴

森下 治（もりした おさむ）

生年月日 昭和 32（1957）年 1 月 2 日（58 歳） 出身地 大阪府

最終学歴 大阪府立大学経済学部経済学科（1979 卒業）



職歴 昭和 54 年 04 月（1979）長瀬産業株式会社 入社

平成 16 年 04 月（2004）機能化学品事業部コーティング材料部統括

平成 21 年 04 月（2009）執行役員就任（在中国上海）

平成 24 年 04 月（2012）執行役員

生活関連セグメント・研究開発センター・大阪地区担当（現任）

平成 24 年 06 月（2012）取締役 兼 執行役員（現任）

平成 25 年 04 月（2013）株式会社林原担当（現任）

兼 株式会社林原 取締役（非常勤）

平成 26 年 04 月（2014）株式会社 林原 代表取締役（社長補佐）

以上

月刊 ニューフードインダストリー

NEW FOOD INDUSTRY

定期購読の
ご案内

月刊「ニューフードインダストリー」は創刊56年の食品業界誌です。

多くの食品メーカー、技術開発部門、研究機関、全国の大学・大学院などの教育機関、図書館などでご愛読いただいております。食の安全・健康・美に関する情報発信、新しい食品のご案内など広く情報を発信しております。

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

本体2000円+税(送料100円)×12ヶ月

お申し込み・お問い合わせは下記 FAX かお電話で

電話：03-3254-9191 担当：村松

FAX：03-3256-9559

ニューフードインダストリー年間購読申込用紙

住所 〒

氏名

会社名・所属

電話

FAX

E-mail

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

ニューフードインダストリー 第57巻 第3号

印刷 平成 27 年 1 月 25 日

発行 平成 27 年 1 月 1 日

発行人 平井 朋美

編集人 結城 ななみ

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

印刷所 モリモト印刷株式会社

定価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

email:newfood@newfoodindustry.com