

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2014 Vol.56 No.12

12

論 説

- 難消化性デキストリンの腸内発酵を介した生理機能
- 冷凍ドウの再ミックスによる製パン性復元の研究
- LED光源を用いたラディッシュの湛液型・静止法による養液栽培
- アマニパン摂取による食後血糖上昇抑制効果
- 血圧に関与する酵素の抑制物質の探索
Exploration and identification of anti-hypertensive substances in food materials
- 食品・飲用分野におけるマイクロバブルの有効性
- カボチャの過去・現在・未来
ー 北海道農業研究センターの取り組みと今後の課題 ー

隔月掲載

- 組織の活性化と人材育成～ 働きやすい環境づくりから
Importance of improving the working atmosphere
- クロレラ健康栄養研究会 第6回 誌上シンポジウム
健康長寿社会の正しい発展に寄与する食の科学のあり方と正しい普及推進に関する提言

連 載

- 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
- “地域密着でキラリと光る企業”
日本で初めて動力式精米機を創造した『株式会社サタケ』2



論 説

- ☐ 難消化性デキストリンの腸内発酵を介した生理機能
..... 宮里 祥子, 岸本 由香, 大隈 一裕 1
- ☐ 冷凍ドウの再ミックスによる製パン性復元の研究
..... 森元 直美 6
- ☐ LED 光源を用いたラディッシュの湛液型・静止法による養液栽培
..... 小林 晶子 13
- ☐ アマニパン摂取による食後血糖上昇抑制効果
..... 高見澤 (内田) 菜穂子, 本 三保子, 鬘谷 要, 橋詰 直孝, 矢澤 一良 19
- ☐ 血圧に關与する酵素の抑制物質の探索
Exploration and identification of anti-hypertensive substances
in food materials
..... 八巻 幸二 26
- ☐ 食品・飲用分野におけるマイクロバブルの有効性
..... 大成 博文, 大成 由音, 大成 水晶 34
- ☐ カボチャの過去・現在・未来
－ 北海道農業研究センターの取り組みと今後の課題 －
..... 嘉見 大助 43

Contents

2014 年 12 月号

隔月連載

- 組織の活性化と人材育成～
働きやすい環境づくりから
Importance of improving the working atmosphere
..... 高山 史年 53
- クロレラ健康栄養研究会 第6回 誌上シンポジウム
健康長寿社会の正しい発展に寄与する
食の科学のあり方と正しい普及推進に関する提言
..... 対談者：山野井 昭雄，山田 和彦，コーディネーター：島崎 秀雄 59

連 載

- 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
..... 酒本 秀一 69
- “地域密着でキラリと光る企業”
日本で初めて動力式精米機を創造した『株式会社サタケ』2
..... 田形 暁作 85

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料
コクベス

new発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

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

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

難消化性デキストリンの 腸内発酵を介した生理機能

宮里 祥子 (MIYAZATO Shoko) * 岸本 由香 (KISHIMOTO Yuka) * 大隈 一裕 (OHKUMA Kazuhiro) *

* 松谷化学工業株式会社

Key Words：難消化性デキストリン・腸内細菌・ミネラル吸収・GLP-1・臨床試験・動物実験

はじめに

食品による健康の維持増進に対する消費者の関心は高く、特定保健用食品や栄養機能食品といった保健機能食品や健康志向食品の市場規模は拡大を続けている。特定保健用食品の3割を超える品目に関与成分として利用されている難消化性デキストリンは、これまで、整腸作用や食後の血糖および中性脂肪の上昇抑制作用、継続摂取による内臓脂肪低減作用等の生理機能が注目され、多くの食品や飲料に使用されてきた。これまで明らかにされてきた難消化性デキストリンの生理機能は、主に上部消化管での栄養素の吸収遅延による機能であった。一方、下部消化管においては、難消化性デキストリン摂取が腸内細菌叢およびその代謝産物である短鎖脂肪酸の生成に及ぼす影響をヒトにおいて検討した結果、便中短鎖脂肪酸のうち酪酸が増加すること、および便中のビフィズス菌が増加し腸内菌叢の比率が変化する傾向が確認されている¹⁾。近年の腸内細菌に関する研究は、解析技術の飛躍的向上により菌のメタゲノム解析や代謝産物のオミクス解析等が可能になっている。これにより、腸内細菌およびその代謝産物と、疾病や代謝調節との関連について解明が進み、プロバイオティクスやプレバイオティクスが健康状態

に及ぼす影響に対してこれまで以上に注目が集まっている。

難消化性デキストリンの摂取により菌叢や代謝産物に変化することが明らかとなったことから、我々は腸内細菌の資化を介した生理機能に注目して研究を進めており、本稿でそれらの研究成果を紹介する。

1. 大腸通過時間の短縮効果

難消化性デキストリンを摂取した際に便通改善が観察されることは既に明らかにされているが、我々は大腸通過時間についてもヒトで検討を行った。健康成人を対象に難消化性デキストリンを1日あたり15g、3週間摂取させ、摂取期間前後に大腸通過時間を測定したところ、難消化性デキストリンを継続摂取することにより、大腸通過時間が53.0時間から39.7時間に短縮した。大腸を近位・中位・遠位の3に分けると、遠位ほど通過時間は長くなるが、難消化性デキストリンの継続摂取により、中位および遠位では通過時間が有意に短縮された。難消化性デキストリンはフラクトオリゴ糖等と比較してゆっくりと発酵される基質であるため、遠位大腸まで発酵が持続して短鎖脂肪酸が生成さ

れ、短鎖脂肪酸による腸の蠕動運動促進効果により中位大腸以降において通過時間が短縮されたと考えられている。

日本では大腸ガンの罹患率が全てのガンのなかで2番目に多く、ガンによる死亡率の上位を占めるなど問題となっているが、糞便の大腸通過時間の短縮は腸内容物中の有害物質の滞留時間短縮につながるため、難消化性デキストリンの継続摂取はこのような疾患の予防になると考えられる。

2. ミネラル吸収促進作用

図1に、ラットを難消化性デキストリン含量の異なる飼料で1週間飼育した際の見かけのミネラル吸収率を示した²⁾。カルシウム、マグネシウム、鉄および亜鉛の吸収率はいずれも難消化性デキストリンの摂取により増加した。この時、肝臓の鉄含量および大腿骨の重量が増加していたことから、鉄およびカルシウム吸収率の上昇は鉄の貯蔵量と骨重量に反映されることが示された。ヒトでの腸内発酵器官である大腸に相当するラット盲腸では、難消化性デキストリ

ン摂取により内容物重量が増加し、腸内細菌の代謝産物である短鎖脂肪酸量の増加に伴いpHが低下した。以上の結果から、難消化性デキストリン摂取が腸内細菌の資化を受けた結果、短鎖脂肪酸が産生され腸内pHが低下したことでミネラルが可溶化し、さらに短鎖脂肪酸の影響によりミネラル吸収が促進されたことが示唆された。

ミネラル吸収促進作用はヒトでも確認されており、女子大学生を対象とした試験では、難消化性デキストリンを食事と共に4週間摂取すると、摂取前に比べて貧血の指標である赤血球、ヘモグロビン、ヘマトクリット値が有意に増加することが観察された。また、男子学生を対象に難消化性デキストリンを2週間摂取させ、摂取期間の前後に単回カルシウム負荷試験を行いカルシウム吸収への影響を評価した。その結果、カルシウム吸収の指標とされる尿中カルシウム排泄量は、難消化性デキストリン継続摂取後には摂取開始前に比べて有意に増加し(図2)、難消化性デキストリンの摂取によってカルシウムの吸収が高まることが明らかになった。

カルシウムや鉄などは摂取量の不足が指摘さ

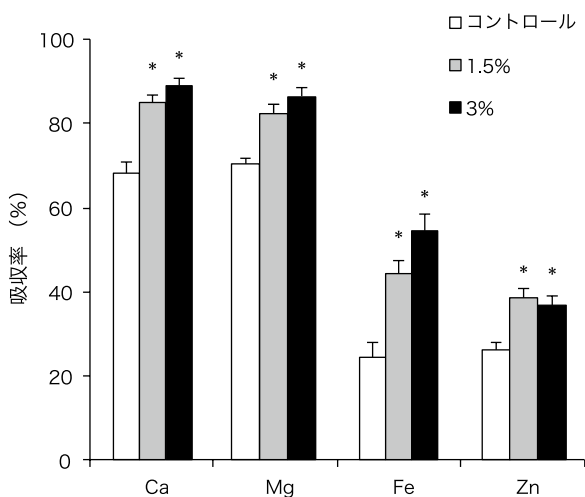


図1 難消化性デキストリンを1週間摂取したラットにおける見かけのミネラル吸収率

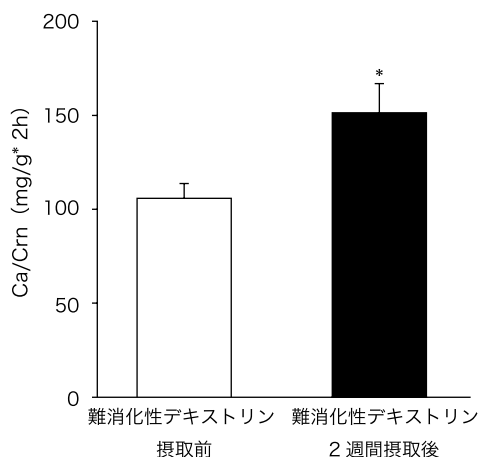


図2 カルシウム負荷後の尿中カルシウム排泄量 AUC

れているミネラルである。日常の食事内容を大きく変えることは難しいが、毎日の食事に難消化性デキストリンを加えることで、不足しがちなミネラルの吸収率の改善が期待される。

3. 腸管免疫応答の亢進作用

近年の研究で、プロバイオティクスやプレバイオティクスが免疫に関して有効であることが報告されおり、特に腸管を介した免疫調節作用は注目されているカテゴリーの一つである。

我々は、腸管免疫応答の指標として腸管内に分泌される IgA に注目して、難消化性デキストリンが腸管免疫応答に及ぼす影響を検討した。難消化性デキストリン含量の異なる飼料でマウスを飼育すると、図 3 に示すように腸内容物中の総 IgA 量が難消化性デキストリンの用量依存的に増加した³⁾。このとき盲腸内容物中の有機酸量も用量依存的に増加するとともに、その構成比は変化し、酪酸、コハク酸、乳酸が有意に増加し、酢酸の割合は減少した⁴⁾。また、腸内菌叢は Clostridiales が有意に減少し Bacteroidales が増加する傾向がみられた。メカニズムに関する詳細な研究は現在進行中であ

るが、腸内細菌の産生する短鎖脂肪酸が免疫系細胞の分化に関与するという報告もあることから、難消化性デキストリンが腸内環境の変化を介して腸管免疫応答を亢進する可能性が示された。

4. GLP-1 分泌促進作用

Glucagon-like peptide-1 (GLP-1) は食事刺激により下部消化管に存在する L 細胞から分泌される消化管ホルモンで、胃排泄の抑制、食欲抑制や耐糖能改善に関与している。また、GLP-1 の分泌は腸内細菌が産生した短鎖脂肪酸により刺激されることが報告されており⁵⁾、GLP-1 分泌 L 細胞には短鎖脂肪酸受容体が多く発現しているとの報告もある⁶⁾。

難消化性デキストリンを長期摂取させたラットでは、血中 GLP-1 濃度が難消化性デキストリン摂取量に依存して増加し、耐糖能の改善も確認された。このとき腸管組織中の GLP-1 濃度を腸管部位ごとに比較すると、盲腸において GLP-1 産生が増加しており、門脈血中でも用量依存的な GLP-1 濃度増加が認められた⁷⁾。

難消化性デキストリンの継続的な摂取による

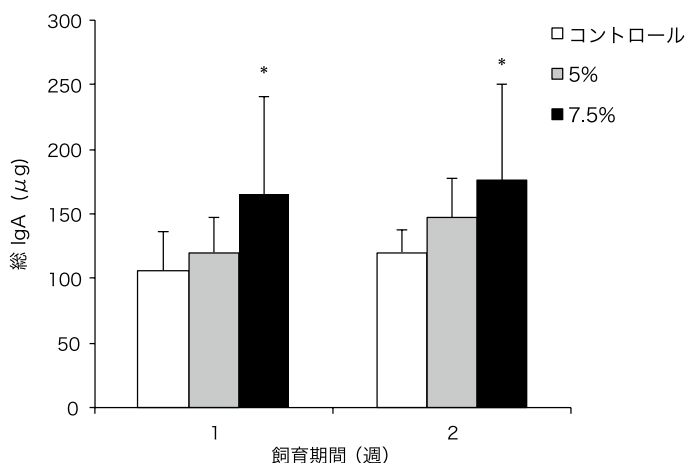


図 3 難消化性デキストリンを摂取したマウスにおける腸管内総 IgA 量

GLP-1 分泌の増加は、腸内発酵による短鎖脂肪酸産生を介した作用であり、盲腸内で増加した GLP-1 が門脈血および末梢血中へ移行し、膵臓などに存在する受容体に作用したことで耐糖能が改善されたと考えられた。GLP-1 には食欲抑制作用もあることから、難消化性デキストリン摂取による過食の抑制やそれに伴う肥満の予防についても、検討を進めている。

5. 糖尿病, 肥満の改善作用

腸内菌叢に関する研究が進展するにつれ, 様々な疾病と菌叢との関連が明らかになり, 肥満や糖尿病に関しても研究が進められている。肥満型糖尿病モデルである db/db マウスを用いて難消化性デキストリン摂取の影響を調べたところ, 1% 難消化性デキストリン水溶液を与えて飼育した群では, 水を与えた通常飼育群に比べて体重の増加が抑えられ, 飼育 2 か月後の空腹時血糖の低下が認められた⁸⁾。さらに, 飼育 1 か月および 2 か月後に糖負荷試験により耐糖能を評価した結果, 難消化性デキストリン摂取群で耐糖能の改善が認められた。また, 飼育終了後に腸内菌叢を比較した結果, 難消化性デキストリン摂取群は通常飼育群と比較して *Bacteroidetes* が有意に多く, *Firmicutes* が有意に少ないという特徴がみられた。肥満個体の菌叢では *Firmicutes* の割合が多く, 痩せ型の個体では *Bacteroidetes* が多いという報告があり⁹⁾, この試験結果も類似の結果が得られたといえる。難消化性デキストリン摂取に起因する菌叢の変化が, 耐糖能および肥満の改善に寄与した可能性が示唆された。そこで, 肥満および耐糖能異常が誘発された db/db マウスに抗生物質を投与して腸内細菌を死滅させた後, 難消化性デキストリン水溶液または水を与えて飼育したマウスの糞便を経口投与して菌叢の移植を行い, 両群とも水を与えて飼育を継続し 1 か月および 2 か月後に耐糖能を評価した。菌叢移植前の耐糖能に両群の差は見られなかったが, 難消化性デキストリン摂取菌叢を移植した群では通常飼育菌叢群に比べ耐糖能の改善が認められた⁸⁾。

難消化性デキストリン摂取により特徴的に変化した菌叢を移植することで耐糖能が改善されたことから, 菌叢の変化は個体の代謝にも影響を及ぼすことが示唆された。

おわりに

難消化性デキストリンの生理機能について, さまざまな論文が報告され現在も研究が進められているが, その詳細なメカニズムの一つには, 腸内細菌に資化されるという難消化性デキストリンの特徴が関連している可能性が考えられる。

食の欧米化が指摘されている昨今, 日本人の穀類摂取量は顕著に減少しており, 食物繊維の摂取量は摂取目標量に達しておらず若年層で特に少ないという特徴がある。かつて成人病と呼ばれていた生活習慣病が中高年だけでなく若年層や小児にまでみられるようになってきていることや, 大腸がんの罹患率増加, 花粉症やアトピー性皮膚炎などのアレルギー疾患の罹患率増加など疾患の変遷と考え合わせると, 食物繊維の摂取不足は身体調節機能にも影響していると考えられる。

ヒトは老化により代謝機能や身体機能が変化していくが, 衰えた機能を補いながらも健康な生活をおくることは万人の願うところである。高齢社会である我が国において, 高齢者が健康であることはもちろん国民皆が健康であることは, 医療費を抑えるのみならず生活の質を高く保ち, 健康寿命の延伸につながると考えられる。特定保健用食品を含む多くの食品に利用され, 消費者にとって身近な食品素材となった難消化性デキストリンが, 腸管の健康を介して健康の維持増進の一助となれば幸いである。

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

- 1) Fasting ND, Karr-Lilienthal LK, Spears JK, *et al.*: A novel resistant maltodextrin alters gastrointestinal tolerance factors, fecal characteristics, and fecal microbiota in healthy adult humans. *J Am Coll Nutr.* **27**(2):356-66, 2008.
- 2) Miyazato S, Nakagawa C, Kishimoto Y, *et al.*: Promotive effects of resistant maltodextrin on apparent absorption of calcium, magnesium, iron and zinc in rats. *Eur J Nutr.* **49**(3):165-71, 2010.
- 3) 宮里 祥子, 岸本 由香, 細野 朗 他: 難消化性デキストリンは腸管免疫系に作用して腸内での IgA 産生を活性化する. 日本食品免疫学会第 8 回学術集会, 2012.
- 4) 宮里 祥子, 岸本 由香, 細野 朗 他: 難消化性デキストリンは腸内環境の変化を介して腸管免疫を亢進する. 日本農芸化学会 2013 年度大会, 2013.
- 5) Freeland KR, Wilson C, Wolever TM.: Adaptation of colonic fermentation and glucagon-like peptide-1 secretion with increased wheat fibre intake for 1 year in hyperinsulinaemic human subjects. *Br J Nutr.*, **103**(1): 82-90, 2010
- 6) Tolhurst G, Heffron H, Lam YS *et.al.*,: Short-chain fatty acids stimulate glucagon-like peptide-1 secretion via the G-protein-coupled receptor FFAR2. *Diabetes.* **61**(2):364-71, 2012.
- 7) Hira T, Ikee A, Hara H, *et.al.*: Effects of resistant maltodextrin and fructooligosaccharides on fasting GLP-1 levels and glucose tolerance in rats. The 10th Vahouny Dietary Fiber Symposium, 2014.
- 8) He B, Yoo SH, Shimomura K, *et al.*: A key role of gut microbiota in mediating the protection against metabolic syndrome by Fibersol®-2. The 10th Vahouny Dietary Fiber Symposium, 2014.
- 9) Turnbaugh PJ, Ley RE, Mahowald MA, *et.al.*, An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature.* **444**(7122):1027-31, 2006.

冷凍ドウの再ミックスによる 製パン性復元の研究

森元 直美 (Morimoto Naomi) *

* 神戸女子大学 家政学研究科

Key Words：パン・製造工程・冷凍ドウ・遊離液体量・伸展性・品質改良・比較・実験

要 旨

3種類のパンドウ A, B, C を作製し製パン試験を行った。パンドウ A は小麦粉, 砂糖, 食塩, 水を混合したドウ, パンドウ B はパンドウ A にイーストを加えて混合したドウ, そしてパンドウ C は, パンドウ B を一次発酵, 成形, 二次発酵したドウのことである。それらのパンドウを -20℃ で 6 日間冷凍し, 4℃ の冷蔵庫内で 16 時間かけて解凍した。解凍後はそれぞれの製パン工程を経て製パンした。その結果, パンドウ A と B のパンの製パン性 (パン高, 比容積) は, コントロール (未冷凍パンドウ) と同様の製パン性が得られた。しかしながら, パンドウ C の製パン性はコントロールに比べ, 大きく低下した。解凍したパンドウ C からの遊離液体量は増加した。解凍したパンドウ C に砂糖を加えたパンドウ C-1, そしてパンドウ C に砂糖とイーストを加えたパンドウ C-2 を作り, それらの製パン工程を経て製パン試験を行った。その結果, パンドウ C-2 の製パン性はコントロール同様の値を示した。さらにパンドウ C-2 において, 一次発酵を省いた時には, 製パン性の低下がみられた。冷凍・解凍したパンドウ C (60 g) をプラスチックの筒 (直径 5.0 cm, 長さ 16 cm, 厚さ 3 mm) に入れ, 減圧下でドウの伸展性をコントロールのパンドウと比較した。パンドウ C の伸びは高さ 50 mm で, それに対するコントロールの伸びは 70 mm であった。しかし一次発酵, 成形, 二次発酵を経たパンドウ C-2 は, コントロール同様の伸展性を示した。これらのことは解凍したパンドウ C のドウマトリックス中に含まれる液体の多くが元あったところから分離し, 好ましい製パン性を得るために必要なドウマトリックス中の水の欠如をおこした結果, 製パン性の低下が引き起こされたものと結論づけた。しかし, 砂糖とイーストを加え, さらに一次発酵, 成形, 二次発酵を行うことによってコントロールのレベルにまで回復できた。

はじめに

冷凍・解凍による製パン性 (パン高, 比容積) の低下の原因は不明である¹⁾。Berglund ら²⁾は, 冷凍解凍サイクルや冷凍貯蔵期間の延長時に引き起こされる水の分配の変化を観察した。そして, デンプン粒とグルテンの高次構造中に観察されたその変化は, 冷凍ドウのパン容積の低下や発酵時間の延長に影響を与えるものと推察された。Lu と Grant³⁾は, 冷凍ドウ中のタンパク質とデンプン構成成分から水が分離しているのを観察した。その水は, 氷結晶化した冷凍ド

ウ中の凍結水として, 冷凍貯蔵期間中に増加するのが観察された。Zounis ら⁴⁾は, 冷凍貯蔵期間中の冷凍ドウに大きな氷結晶の出現や, 氷結晶の構造の変化を明らかにした。Bot⁵⁾は, -15℃でグルテンを貯蔵した時, グルテン層の水分含量は, 最初の 3 週間で約 1% 減少すると報告した。そして同じ貯蔵期間において -25℃においても, -15℃の時と変わりなかったと報告した。Naito ら⁶⁾の報告によると, 穀物の気孔細胞壁の走査電子顕微鏡の画像は, 冷凍障害によって, 気孔細胞壁の骨格を組織しているグ

ルテン繊維が切れ、キメが粗い、無形性な糸になっていることや、多くの結び目がグルテン繊維上に生じたことを明らかにした。Esselink ら⁷⁾は、肉眼で見えるレベルにおいて、氷結晶は成形されたドウに均等に分布していないだけでなく、ドウ全体の気泡にも均質に分布していないと報告した。Nicolas ら⁸⁾は、解凍後のグルテンの微細構造は、新鮮なグルテンに似た構造を示した。それはスポンジのような構造で、細い水のポケットが存在する、よいグルテンであったと報告した。Seguchi ら⁹⁾は、冷凍・解凍したパンドウにおける製パン性の低下と遊離液体量の増加との関係を調べ、パンドウからの遊離液体量は冷凍・解凍によって増加したと報告した。本研究では、冷凍・解凍が引き起こす製パン性の低下の理由をより理解するために、製パン工程すなわち混捏、一次発酵、成形、二次発酵、焼成における冷凍工程の影響を調べた。小麦粉、砂糖、食塩、水を混合後に冷凍したパンドウ A、パンドウ A にイーストを加えたパンドウ B、そしてパンドウ B を一次発酵、成形、二次発酵後に冷凍したパンドウ C、また解凍後のパンドウ C に砂糖とイーストを加え、再ミキシングした場合、適切な製パン性が得られるかどうか検証した。さらにパンドウのレオロジーにおける冷凍の影響を調べるために、減圧下でパンドウの表面を引っ張ることによってドウの伸展性の試験を行った。

1. 材料と方法

◇小麦粉：本研究で用いた小麦粉は、カメリア（日清製粉（株））、アルプス（日東富士製粉（株））、春よ恋、キタノカオリ（前田農産食品、合資会社）である。これらの小麦粉の一般分析値は表 1 に示した。タンパク質含量（%）は $N \times 5.7$ から求め、灰分含量（%）は AACC（2010）08-01.01 を用いた¹⁰⁾。

表 1 小麦粉の一般分析

小麦粉	水分 (%)	タンパク質 (%)	灰分 (%)
カメリア	13.45 (0.00)	15.06 (0.58)	0.37 (0.00)
アルプス	14.15 (0.02)	10.70 (0.48)	0.40 (0.03)
春よ恋	14.48 (0.04)	10.46 (0.82)	0.54 (0.01)
キタノカオリ	12.89 (0.00)	10.30 (1.75)	0.56 (0.04)

実験は 2 回繰り返し行い、その平均値を示した。
() は標準偏差である。

◇コントロール（未冷凍パンドウ）と冷凍・解凍したパンドウの調製と製パン性

製パン方法は Seguchi らによる方法¹¹⁾で行った。小麦粉の吸水率は、小麦粉 300g を用いてファリノグラフによって求めた¹⁰⁾。この実験では、冷凍耐性イースト（（株）カネカ）を用いた。小麦粉 (290 g)、コンプレストイースト (8.7 g)、砂糖 (14.5 g)、食塩 (2.9 g)、そして水（ファリノグラフで 500BU の値から求めた量）を自動製パン機（パナソニック（株）、SD-BT6）に入れて混合し、一次発酵 30℃ で 2 時間 20 分を行った。それは、一次ミキシング 15 分、ねかし 50 分、二次ミキシング 5 分、そして 70 分の発酵時間である。製パン機からパンドウを取り出し、120 g に分割して丸め、成形し、パンケースの中へ入れて、さらに 38℃ で 22 分 15 秒間二次発酵した。その後パンケースをビニール袋に入れ、-20℃ の冷凍庫の中で貯蔵した。解凍は、4℃ の冷凍庫に 16 時間置いてパンドウを完全に解凍した。解凍後、パンドウの一つは製パンに、もう一つはドウからにじみ出る遊離水の調査に用いた。解凍したパンドウを 210℃ のオーブンで 30 分間焼成した。焼成後、パンケースから取り出し、26℃、相対湿度 43% の部屋で 1 時間放冷した。パン高、重量、容積を求め、クラムのキメは目視で評価した。

◇パンドウからにじみ出る遊離液体量の測定

解凍したパンドウを遠心分離、4℃、38,900 g

に2時間かけ、その後、遠沈管を4℃の冷室で1時間、角度45°に傾斜して、遊離液（遠心力で分離された液体）を求め、ドウ100g当りのmLとして記録した。

◇冷凍イーストを用いた製パン

コンプレストイースト（8.7 g）を水20 mLに懸濁し、-20℃で6日間冷凍した。その後4℃の冷蔵庫で16時間解凍した。そのイーストと小麦粉（カメリア）を用いて製パン試験を行った。

◇パンドウ A, B, C, C-1, C-2 の調製と製パン工程

様々なパンドウ（A, B, C, C-1, C-2）を調製し、製パン試験を行った（図1）。パンドウ A の場合、小麦粉（290 g）、砂糖（14.5 g）、食塩（2.9 g）、そして水を2分間室温でミキシングして-20℃で6日間冷凍した。解凍後、ドウにイースト（8.7 g）を混合し、1分間ミキシン

グして、一次発酵を2時間20分行った。成形し、二次発酵を22分15秒間行い、210℃で30分間焼成した。パンドウ B の場合、パンドウ A にイースト（8.7 g）混合し、1分間ミキシングして冷凍した。解凍後、一次発酵、成形、二次発酵を行った後、焼成した。パンドウ C の場合、パンドウ B を一次発酵、成形、二次発酵した後に冷凍した。解凍後は直ちに焼成した。パンドウ C-1 と C-2 は、冷凍パンドウ C を解凍し、砂糖を加えて1分間ミキシングしたもの（C-1）、また砂糖とイーストを加えて各1分間ミキシングしたもの（C-2）である。それらは一次発酵、成形、二次発酵を行ったあと焼成された（図2）。さらにパンドウ C-2 においては、一次発酵を省略した場合もテストした。

◇吸引によるパンドウの伸展性

一次発酵したパンドウを60 gに分割して丸め、プラスチックの筒（直径5.0 cm, 長さ16 cm, 厚さ3 mm）に詰め込み、底をゴム栓で密閉した。プラスチックの筒の中のパンドウは-20℃で6日間冷凍した後、解凍

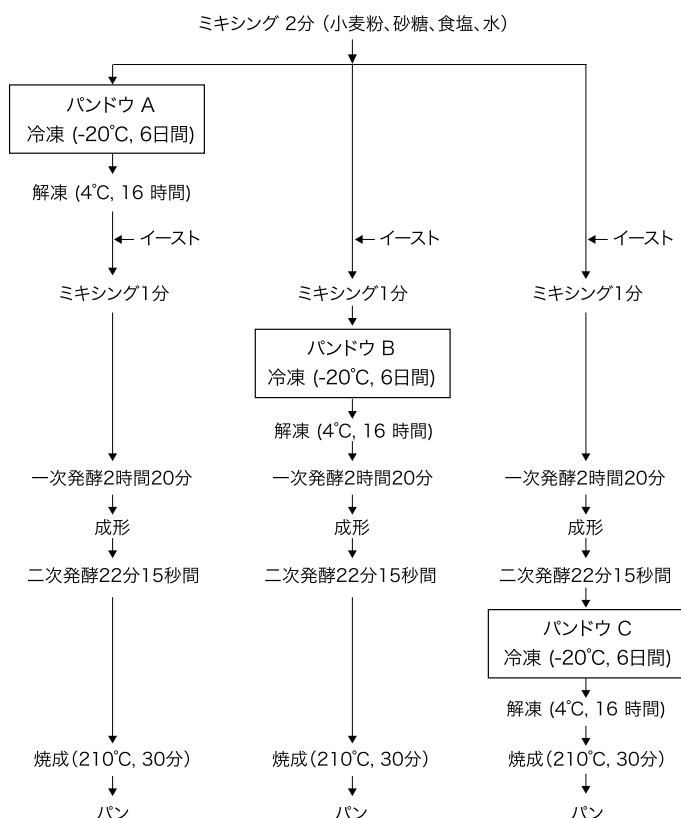


図1 パンドウ A,B,C の製パン工程

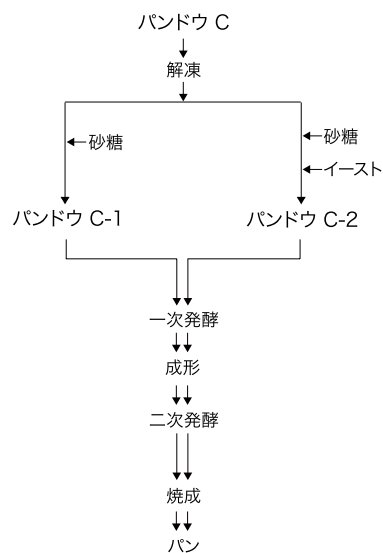


図2 パンドウ C-1 と C-2 の作成方法と製パン工程

した。バンドウ入りのプラスチックの筒を、ガラスケース（直径 21.5 cm, 高さ 30 cm）の中に立ててセットした。ガラスケースの中の圧力は、常温、420 秒間減圧処理し、-76 cmHg に到達するまで下げられた。プラスチックの筒の中のバンドウの高さを、ガラスケースの外側からカセットメーターを用いて測定した。それをバンドウの容量として評価した。

◇統計分析

統計ソフトウェア（SPSS）を統計分析に用いた。実験は各 2 回繰り返し行い、結果はその平均である。分析は各結果の値を比較するため Duncan's multiple range 試験を行った。

2. 結果と考察

◇イーストの冷凍が及ぼす製パン性への影響

イーストを水に懸濁した液を冷凍・解凍し、そのイーストを用いて製パンした（表 2）。製パン性（パン高（mm），比容積（cm³/g））は、コントロール（未冷凍イースト）とほとんど同じであった。材料と方法のセクションで示したように、本研究では全体を通してドライイーストではなく、コンプレストイーストを使用した。

◇製パン工程の中の冷凍ステップの影響

バンドウ A（小麦粉，砂糖，食塩，水の混合）を -20℃ で 6 日間冷凍し，その後 4℃ で 16 時間解凍した。そしてイーストと共に混合し，図 1 の通りに行った。結果は表 3 に示した。製パン性（コントロールに対する % で示した）は，小麦粉，カメラアでパン高 100%，比容積 99%。小麦粉，アルプスで 102% と 100%。小麦粉，春よ恋で 107% と 115%。小麦粉，キタノカオリで 108% と 109% となり，それぞれコントロールとほぼ同様となった。遊離液体量は，カメラアで 116%，アルプスで 105%，春よ恋で 111%，キタノカオリで 64% となり，各コントロールより大きく増加することはなかった。

そのことは，バンドウ中の水溶性区分，グルテン区分，プライムスターチ区分，テーリングス区分といった小麦粉の成分¹²⁾が，冷凍・解凍によって影響を与えないことが考えられた。

次にバンドウ B（バンドウ A にイーストを加えたもの）を冷凍，解凍した。その工程は図 1 に示した。その結果はコントロールと同様の製パン性を示した（表 3）。すなわちカメラアではパン高 101%，比容積 104%。アルプスでは 106% と 102%。春よ恋では 104% と 113%。キタノカオリでは 109% と 106% となった。遊離液体量の増減は，各コントロールに比べてカメラア 146%，アルプス 106%，春よ恋 119%，キタノカオリ 71% となった。そのことはバンドウ中のイーストは，冷凍及び解凍に影響しないことが考えられ，遊離液体量もより大きく増加することはなかった。

冷凍バンドウ C の解凍後，製パンを行った（図 1）。その結果（表 3）は，各コントロールと比較して，カメラアでパン高 75%，比容積 76%。アルプスで 78% と 71%。春よ恋で 81% と 85%。キタノカオリで 88% と 85% となり，製パン性の大きな低下がみられた。遊離液体量は，各コントロールと比較して，カメラアで 167%，アルプスで 128%，春よ恋で 122%，キタノカオリで 372% と著しく増加した。これらの結果から，製パン構成成分を混合しただけのバンドウの冷凍及び解凍（バンドウ A，B）の製パン性への影響は小さいことがわかった。しかしなが

表 2 イーストの冷凍が及ぼす製パン性への影響

	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)
未冷凍イースト	77.80a (0.00)	3.31a (0.07)
冷凍イースト	77.53a (1.59)	3.21a (0.05)
水中で冷凍したイースト	76.60a (0.28)	3.28a (0.01)

実験は 2 回繰り返し行い，その平均値を示した。（標準偏差）を示し，数値右側にそれぞれのダンカン試験結果を示した。p<0.05 で同じ活字データは同一であることを示す。

表3 各種小麦粉によるパンドウ A, B, C の製パン性と遊離水量

	カメリア			アルプス		
	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)	遊離水量 (mL/100g dough)	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)	遊離水量 (mL/100g dough)
コントロール (未冷凍)	77.80a (0.00)	3.31a (0.07)	7.50b (0.59)	82.07a (3.62)	3.37a (0.08)	8.83b (0.11)
パンドウ A	77.95a (1.12)	3.29a (0.07)	8.69b (1.08)	83.68a (2.15)	3.37a (0.10)	9.29b (0.52)
パンドウ B	78.94a (1.24)	3.45a (0.01)	10.92b (0.35)	86.75a (0.90)	3.44a (0.07)	9.32b (0.09)
パンドウ C	58.05b (0.78)	2.50b (0.09)	12.56a (2.80)	64.20b (4.24)	2.40b (0.23)	11.30a (0.21)

	春よ恋			キタノカオリ		
	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)	遊離水量 (mL/100g dough)	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)	遊離水量 (mL/100g dough)
コントロール (未冷凍)	80.45a (0.07)	3.27a (0.00)	13.90b (0.33)	77.35a (4.88)	3.29a (0.07)	0.69b (0.27)
パンドウ A	86.15a (1.05)	3.76a (0.03)	15.36a (0.21)	83.45a (2.49)	3.58a (0.08)	0.44b (0.15)
パンドウ B	83.36a (2.39)	3.69a (0.11)	16.54a (0.06)	84.05a (1.23)	3.48a (0.09)	0.49b (0.01)
パンドウ C	65.25b (3.61)	2.79b (0.23)	16.96a (0.06)	68.15b (0.21)	2.80b (0.08)	2.57a (0.91)

実験は2回繰り返し行い、その平均値を示した。数値右側にそれぞれのダンカン試験結果を示し、 $p<0.05$ で同じ活字データーは同一であることを示す。() の中は標準偏差を示した。

ら、発酵、成形といった加工の工程が冷凍前に行われた場合（パンドウ C）においては、その影響の大きいことが考えられた。つまり、パンドウ中のイーストや小麦粉の冷凍の要因は、製パン性に関与しなかった。しかし、加工の工程後の冷凍は、製パン性に大きく関与した。パンドウ C は冷凍及び解凍によって損傷を受けたと考えられる。すなわちパンドウ C から分離され、冷凍時に氷結晶化した水は、解凍したパンドウ中に再吸収されなかった。パンドウの冷凍及び解凍によってグルテンマトリックスから水分が分離したため、パンドウ C は製パンの伸展性を失い、それにより適切な製パン性が得られなかった。

◇解凍後のパンドウ C に砂糖とイーストを加え、続いて一次発酵、成形、二次発酵を行った時の製パン性

小麦粉カメリアにて作成したパンドウ C を解凍後、砂糖または砂糖とイーストを加えたパンドウ C-1 とパンドウ C-2 を作成した。それらの製パン工程を図 2 に、その結果を表 4 に示した。パンドウ C-1 は、パン高 (62.30 mm (コントロールの 80%)), 比容積 (2.24 cm³/g (68%)) となり、製パン性の低下がみられた。そのこ

表4 パンドウ C-1 と C-2 の製パン性

	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)
コントロール (未冷凍ドウ)	77.80a (0.00)	3.31a (0.07)
パンドウ C-1	62.30b (3.42)	2.24b (0.22)
パンドウ C-2	83.09a (4.03)	3.53a (0.27)

実験は2回繰り返し行い、その平均値を示した。数値右側にそれぞれのダンカン試験結果を示し、 $p<0.05$ で同じ活字データーは同一であることを示す。() の中は標準偏差を示した。

とは、解凍したパンドウ C 中のイーストは、加えられた砂糖を利用できず、そして CO₂ も発生させることができなかったことを示している。しかしながら、解凍したパンドウ C にイーストを加えた工程においても製パン性の改善はみられなかった。(データー記載せず)。一方、砂糖とイーストを加えて、一次発酵、成形、二次発酵を経たパンドウ C-2 はコントロールとよく似た適切な製パン性が得られた。すなわちコントロールのパン高 77.80 mm、比容積 3.31cm³/g に対して、パンドウ C-2 はパン高 83.09 mm (107%), 比容積 3.53 cm³/g (107%) となった。そのことは、パンドウ C 中のイースト (最初に加えられたもの) は、たとえ砂糖が添加された状態 (パンドウ C-1) であっても CO₂ を発生させる能力を失っていることが確認

された。しかしながら、再度、砂糖とイーストをバンドウ中に加えたもの（バンドウ C-2）は、CO²を発生させることができ、結果としてコントロール同様の製パン性を得られた。バンドウ C-2 が望ましい製パン性を示した理由は、イーストの添加による CO² の発生と攪拌を含む、一次発酵、成形、二次発酵の工程の繰り返しであろう。バンドウ C における冷凍及び解凍によって引き起こされる製パン性低下の要因は、イースト活性の喪失とバンドウ中のグルテンマトリックスの伸展性といった性質の変化（低下）からの結果であると考えられる。

◇バンドウ C-2 における一次発酵の必要性

次にバンドウ C-2 の工程において一次発酵の工程が必要かどうかを調べた（図 2）。バンドウ C-2 に成形と二次発酵処理を行い、製パン試験を行った。その結果（表 5）は、コントロールのパン高 77.80 mm, 比容積 3.31 cm³/g に比べ、パン高 58.35 mm (75%), 比容積 2.24 cm³/g (68%) となり、望ましい製パン性は得られなかった。そのことは、解凍したバンドウ C からの水の分離によって、解凍したバンドウ C 中のグルテンマトリックスは、たとえ砂糖とイーストが添加された状態であっても、未冷凍ドウのレベルにまで回復しなかったことを示している。しかしながら、一次発酵、成形、二次発酵工程を経たバンドウ C-2 は、望ましい製パン性を得ることができた。もし、解凍したバンドウ C にイーストと砂糖を添加し、一次発酵、成形、二次発酵がなされたなら、そのバンドウはコントロールと同様の製パン性を示した。

◇冷凍・解凍したバンドウの伸展性の低下について

バンドウのレオロジーにおける冷凍及び解凍の影響を調べるため、コントロール、冷凍・解凍したバンドウ C、そして一次発酵、成形、二次発酵を行ったバンドウ C-2 を減圧下（0 から -76 cmHg）で試験した

（図 3）。ガラスケースの中の圧力の低下とプラスチックの筒の中のバンドウの高さ（mm）の変化を調べた。コントロールと、一次発酵、成形、二次発酵を行ったバンドウ C-2 の高さは、120 秒後 30 mm から 72.8 mm に増大した。しかしながら、冷凍・解凍したバンドウ C は 50 mm 以上に増大しなかった。解凍したドウから分離した水により、ドウの伸びはコントロールより低くなった。しかしながら、一次発酵、成形、二次発酵を行ったバンドウ C-2 は、コントロールのレベルにまで回復した。小麦粉ドウのレオロジーの性質は、水分含量に大きく影響される¹³⁾。そしてこれはバンドウ C-2 の製パン性の回復を反映している。Czuchajowska ら¹⁴⁾は、製パン時の水分量が及ぼすローフボリュームへの影響は、水分量の多すぎるドウより、少なすぎるドウの方が、より大きいと報告した。

表 5 バンドウ C-2 における一次発酵の有無が及ぼす製パン性

	パン高 (mm)	比容積 (cm ³ /g)
コントロール (未冷凍ドウ)	77.80a (0.00)	3.31a (0.07)
バンドウ C-2		
一次発酵あり	83.09a (4.03)	3.53a (0.27)
一次発酵なし	58.35b (2.47)	2.24b (0.13)

実験は 2 回繰り返しを行い、その平均値を示した。数値右側にそれぞれのダンカン試験結果を示し、 $p < 0.05$ で同じ活字データは同一であることを示す。() の中は標準偏差を示した。

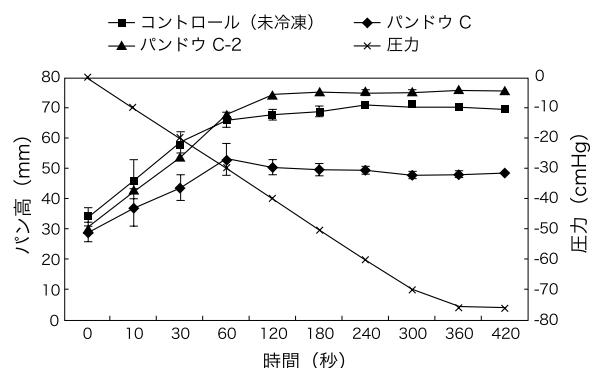


図 3 減圧下でバンドウを吸引したときの各種ドウの高さの変化（伸展性）

3. 結論

冷凍パンドウからの遊離液体は、解凍後のドウから遠心分離によって回収された。その遊離液体量は、コントロールより増加した。解凍したパンドウによるパンは製パン性（パン高、比容積）の低下が観察された。しかしながら、解凍したパンドウに砂糖とイーストを再度添加

し、そして攪拌を含む、一次発酵、成形、二次発酵の工程を繰り返すことによって、望ましい製パン性のレベルにまで回復させることができた。冷凍・解凍したドウは、減圧下において、コントロールより低い伸展性を示した。しかしながら、これもドウに砂糖とイーストを加え、それに続く製パン工程を行ったとき、コントロールと同様の伸展性を示した。

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

- 1) Selomulyo, V.O., and Zhou, W.: Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *J.Cereal Sci.***45**:1-17, 2007.
- 2) Berglund, P.T., Shelton, D.R., and Freeman, T.P.: Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration of frozen storage and freeze-thaw cycles. *Cereal Chem.***68**:105-107, 1991.
- 3) Lu, W., and Grant, L.A.: Effects of prolonged storage at freezing temperatures on starch and baking quality of frozen doughs. *Cereal Chem.***76**:656-662, 1999.
- 4) Zounis, S., Quail, K.J., Wootton, M., and Dickson, M.R.: Studying frozen dough structure using low-temperature scanning electron microscopy. *J.CerealSci.***35**:135-147, 2002.
- 5) Bot, A.: Differential scanning calorimetric study on the effects of frozen storage on gluten and dough. *Cereal Chem.***80**:366-370, 2003.
- 6) Naito, S., Fukami, S., Mizokami, Y., Ishida, N., Takano, H., Koizumi, M., and Kano, H.: Effect of freeze-thaw cycles on the gluten fibrils and crumb grain structures of breads made from frozen doughs. *Cereal Chem.***81**:80-86, 2004.
- 7) Esselink, E.F.J., van Aalst, H., Maliepaard, M., and van Duynhoven, J.P.M.: Long-term storage effect in frozen dough by spectroscopy and microscopy. *Cereal Chem.***80**:396-403, 2003.
- 8) Nicolas, Y., Smit, R. J.M., van Aalst, H., Esselink, F.J., Weegels, P.L., and Agterof, W. G.M.: Effect of storage time and temperature on rheological and microstructural properties of gluten. *Cereal Chem.***80**:371-377, 2003.
- 9) Seguchi, M., Nikaidoo, S., and Morimoto, N.: Centrifuged liquid and breadmaking properties of frozen-and-thawed bread dough. *Cereal Chem.***80**:264-268, 2003.
- 10) AACC International.: Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Methods 08-01.01.46-10.01.10-10.03, and 54-21.01. Available online only. AACC International: St. Paul, MN, 2010.
- 11) Seguchi, M., Hayashi, M., and Matsumoto, H.: Effect of gaseous acetic acid on dough rheological and breadmaking properties. *Cereal Chem.***74**:129-134, 1997.
- 12) Ozawa, M., and Seguchi, M.: Effect of dry-heated prime starch and tailings fractions in wheat flour on pancake springiness. *Cereal Chem.***85**:626-628, 2008.
- 13) Eliasson, A.C., and Larsson, K.: Cereals in Breadmaking. Marcel Dekker: New York. p.265, 1993.
- 14) Czuchajowska, Z., Pomeranz, Y., and Jeffers, H.C.: Water activity and moisture content of dough and bread. *Cereal Chem.***66**:128-132, 1989.

LED 光源を用いたラディッシュの 湛液型・静止法による養液栽培

小林 晶子 (KOBAYASHI Akiko) *

* 常磐大学人間科学部 健康栄養学科

Key Words : LED・光源・養液栽培・根菜・ラディッシュ・実験・植物工場

はじめに

養液栽培とは、土を使用せずに、水に肥料を溶解した培養液によって作物を生育させる栽培法をいう。日本では、1946年に滋賀県・大津と東京・調布に建設された「ハイドロポニックファーム」で実用的な養液栽培が開始された¹⁾。ここでは、アメリカ軍が駐留兵に清潔な野菜を供給することを目的として、礫耕栽培が行われていた。礫耕栽培は直径5～10 mm程度の礫を固形培地として用い、養分を培養液で供給する。1960年代に入ると、日本人によっても研究が始まり、農林省園芸試験場の山崎・堀が礫耕栽培を開始し²⁾、農家に導入されるようになった。その後、日本独自の方式である、DFT方式 (Deep Flow Technique, 湛液型循環式水耕) が開発された。DFTでは、栽培容器内に一定量の培養液を保持しながら、強制循環する方式をとる。DFTは礫などの固形培地を使用する必要がないため、栽培が容易であり、葉菜類を中心に普及した。現在でも多くの栽培面積がある²⁾。1980年代になるとイギリスで開発された NFT方式 (Nutrient Film Technique, Nutrient Flow Technique) が導入された。NFTは、水深の浅い培養液で行う養液栽培で、培養液が自然に流れる仕組みになっている。根系の大部分が

空气中に形成されるため、根への酸素供給が容易となる。また、ほぼ同時期に、ロックウールを固形培地として用いる方法が導入された。これは、オランダで開発、実用化が進められた方式で、最近まで日本で最も大きい栽培面積をもつ養液栽培システムであった¹⁾。現在では、ヤシガラ繊維、樹皮、刳殻などの有機質資材を培地とする養液栽培システムが増加している²⁾。

土耕栽培と比較した養液栽培の利点をいくつか挙げる。土耕栽培で問題となる連作障害がほぼ発生しない、野菜の根にかかるストレスが軽減され通常よりも早く成長する、それぞれの野菜の旬の環境を一年中与えられるため常時安定した生産が可能になる、作業者が重労働から解放される、などである。また、養液栽培は、東日本大震災後に危惧され続けている、土壌や空气中の放射性物質の作物への混入を防ぐことにも適しており、日本では一段と注目される栽培方法となりつつある。このため、葉菜類、果菜類は、数多く養液栽培されており、すでに市販されている。しかし、根菜類の養液栽培についての事例は少なく、固形培地を使用しない根菜の養液栽培に関する研究例^{3,4)}は、さらに減少する。また、根菜の養液栽培を人工光型の野菜工場システムで行った例はほとんどない。しかし、環

境破壊が進む現在の社会環境において、多くの食材を安全に供給できるシステムを構築することは重要である。

本実験では、根菜の例として比較的生育の早いラディッシュを取り上げた。そして、最も簡単な栽培方法であり、固形培地を必要としない、湛液型・静止法（培養液は培養器に深めに入れ、エアレーションをせずに静止培養する方法）で栽培を試みた。また、野菜工場で生産することを視野に入れ、光源としてLEDを用い、閉鎖系にて栽培を行った。さらに、ラディッシュの主根にLED光を照射する群と照射しない群に分けて栽培を行い、LED光のラディッシュに与える影響を検討した。

1. 材料及び方法

1-1. 実験装置の概要

培養はスマートサラダ（ナックブラザ株式会社）の専用ケース（内径：縦47.0 cm × 横32.5 cm × 高さ30 cm）を用い、閉鎖系で行った。また光源として、プラズマイオンコートLEDライト「スマートラインS」（日本アドバンテージ）を用いた。スマートラインSは、光合成に必要な波長のみを照射するように設計されている。光合成に有効な光の波長は、450 nm および650 nm であるが、スマートラインSの照射光は450 nm にピークをもち、550 nm ～ 650 nm でも光強度が高い。

すなわち、スマートラインSを光源として使用すると、植物は効率よく光合成を行うことができる。

培養器は、500 ml ペットボトルを用いて作成した。ペットボ

トル切断し、ふたを外して逆さにして、下部のペットボトルに装着した。ペットボトル上部はマジックで黒色に塗り、ペットボトル下部はアルミホイルで包みこむことで、LED光が下部のペットボトルに貯留している培養液に当たらないようにした。苗は飲み口に定植した（図1）。

1-2. 培養液

培養に使用した水は、原発事故に伴い、近年問題となっている放射性物質を取り除くことを想定し、水道水に竹炭とゼオライトを投入して浄化することとした。竹炭（1 Lにつき1 g）とゼオライト（1 Lにつき2.5 g）を別々に不織布に入れ水道水に投入後、24時間以上放置し、竹炭とゼオライトを除去したものを用いた。竹炭、ゼオライトの量、また浄水時間は、ヨウ素、セシウム、ストロンチウムを除去するためには十分であると考えられる^{5,6)}。

栄養成分を含む養液としては、ハイポニカ（協和株式会社）を用いた。

1-3. 品種および発芽方法

供試品種は、赤丸二十日ダイコン コメット（タキイ種苗株式会社）とした。2013年9月25日に、厚さ2 cm 程度の水を含んだスポンジに、種を2～3個播種し、水を張ったタッパーにスポンジを設置した。7日後に成長した苗をペットボトルで作成した培養器に、1株ずつ定植した。

1-4. 定植後の管理と調査項目

ラディッシュは定植したスポンジの上部で主根が肥大する。そこで成長した主根にLED光を照射する群と遮光する群に分けることとした。遮光は、主根部分をアルミホイルで包みこむことで行った。1条件につき4個体ずつ栽培した。

LEDライトは常時点灯し、培養液の交換は、1～2週間に1度の頻度で行った。培養液の交



図1 培養容器

換時に、ケース内の温度、湿度を測定した。また培養液の pH を簡易型 pH テスター (HANNA) を用いて測定し、EC (電気伝導度: トータルの養分濃度のおおまかな指標) を EC メーター KL-1388 (China Instruments) を用いて測定した。収穫時には、主根径、主根の長さ、根長 (主根ではない細い根の長さ)、葉数、最大葉長、最大皮厚、最小皮厚を測定した。また、主根の皮の色を王立園芸協会カラーチャートにより測定した。そして、皮を剥き、40℃で一晩乾燥して⁷⁾、重量を測定した。さらに、主根をすりおろして菜汁を得て、手持ち屈折計の糖度計 (MASTER REFRACTOMETER: ATAGO) により糖度を測定した。

乾燥した皮は、0.01 g あたり 1 ml の 0.1 % HCl-MeOH⁸⁾ を加え、暗所で一晩室温に放置し、抽出液を得た。抽出液を 1/20 希釈し、分光光度計 (HITACHI U-1800) で 300 nm ~ 700 nm を測定し、アントシアニンの吸収極大と考えられる 508 ~ 509 nm⁸⁾ のスペクトルピークの面積を算出することで、アントシアニン量を見積もった。そして、1 個体あたりの皮に含まれるアントシアニン量を、LED 光を遮光した個体と遮光しなかった個体とで比較した。

2. 結果

2-1. 栽培時の温度、湿度、pH 及び EC

栽培時のケース内の温度は、17.2 ~ 27.1℃ (平均 22.0℃) であり、湿度は 62 ~ 83 % (平均 75%) であった。また、表 1 に培養前後の培養液の pH と EC を示した。培養液を交換し、1 週間ほど培養を続けると、pH は、0.2 ~ 0.3 上昇していた。EC においては、成長期にあたると思われる 22 日目、28 日目の培養後には、低下する傾向が見られた。50 日目の培養後には pH の上昇が見られず、43 日目、50 日目の培養後には EC の大きな変化はみられなかったが、

表 1 培養液の pH と EC

種まきからの日数	pH	EC (μS/cm)
7 日目 (定植時)	8.6	1171
15 日目	8.9 ± 0.2	1273 ± 25
15 日目 (交換後)	8.5	1325
22 日目	8.7 ± 0.1	946 ± 161
22 日目 (交換後)	8.7	1208
28 日目	9.0 ± 0.2	888 ± 161
28 日目 (交換後)	8.5	1183
36 日目	測定せず	測定せず
36 日目 (交換後)	8.5	1125
43 日目	8.7 ± 0.2	1086 ± 186
43 日目 (交換後)	8.3	1108
50 日目	8.0 ± 0.1	1216 ± 218

培養後の培養液の pH と EC は 8 個体の培養液の平均値と標準偏差を示している。

36 日目は、培養液の交換前に pH と EC の測定を行わなかった。

これは、43 日目の時点で、ラディッシュの成長がほぼ完了していたためと考えられる。

2-2. ラディッシュの収穫

本実験で栽培に用いたラディッシュは土耕栽培においては、適期栽培で種まき後約 20 日には、根径 2 cm 程度になる。主根径が約 2 cm になった時点で収穫を行うこととし、LED 光を主根に照射した群 (Not shaded; NS 群) のうち 2 株、遮光した群 (Shaded; S 群) のうち 2 株を播種から 43 日目に収穫した。そして、播種から 50 日目に NS 群、S 群から残りの 2 株ずつ (計 4 株) を収穫した。図 2 に、収穫した



図 2 収穫後のラディッシュの様子

ラディッシュの一部の写真を示した。

2-3. LED 光がラディッシュに及ぼす影響

収穫後、1-4 項で示した調査項目を図 3、表 2 にまとめた。NS 群と S 群を比較したところ、主根径 (NS : 17.3 ± 5.1 mm S : 20.3 ± 6.2 mm) (図 3A)、主根の長さ (NS : 5.0 ± 1.4 cm S : 4.5 ± 1.2 cm) (図 3B)、根長 (NS : 12.9 ± 2.3 cm S : 14.0 ± 1.5 cm) (図 3C)、葉数 (NS : 7.5 ± 1.0 枚 S : 7.5 ± 1.7 枚) (図 3D)、最大葉長 (NS : 10.1 ± 1.0 cm S : 9.5 ± 0.7 cm) (図 3E)、糖度 (NS : $5.3 \pm 0.7\%$ S : $5.5 \pm 1.6\%$) (図 3H) には、差は認められなかった。一方、土耕栽培と比較した場合、糖度において、有機栽培で育てた場合は $2.0 \sim 2.5\%$ ⁹⁾ だとされているので、養液栽培では 2 倍以上の糖度を持つ個体が得られたと考えられる。

最大皮厚 (NS : 1.1 ± 0.4 mm S : 0.8 ± 0.2

mm) (図 3F)、最小皮厚 (NS : 0.9 ± 0.4 mm S : 0.5 ± 0.3 mm) (図 3G) においては、有意差は見られなかったものの、NS 群の方が S 群よりも厚くなる傾向が見られた。皮の乾燥重量 (NS : 0.154 ± 0.060 g S : 0.112 ± 0.026 g) (図 3I) においては、10%水準では有意差が認められており ($P < 0.098$)、NS 群の方が S 群よりも約 1.4 倍重さが増していた。また、吸収スペクトルピーク面積から算出した 1 個体あたりのアントシアニン量は、NS を $100 (\pm 48.0)\%$ として表すと、S では $58.6 \pm 23.1\%$ となり、12%水準での有意差は認められ ($P < 0.117$)、NS 群の方が S 群よりも約 1.7 倍増加していた (図 3J)。5%水準で有意差が認められないのは、試験個体数 ($n=4$) が少ないためであり、 n 数を増やすことで、解決する可能性がある。

また表 2 には王立園芸協会カラーチャートを用いて皮の色を測色した結果を示した。P

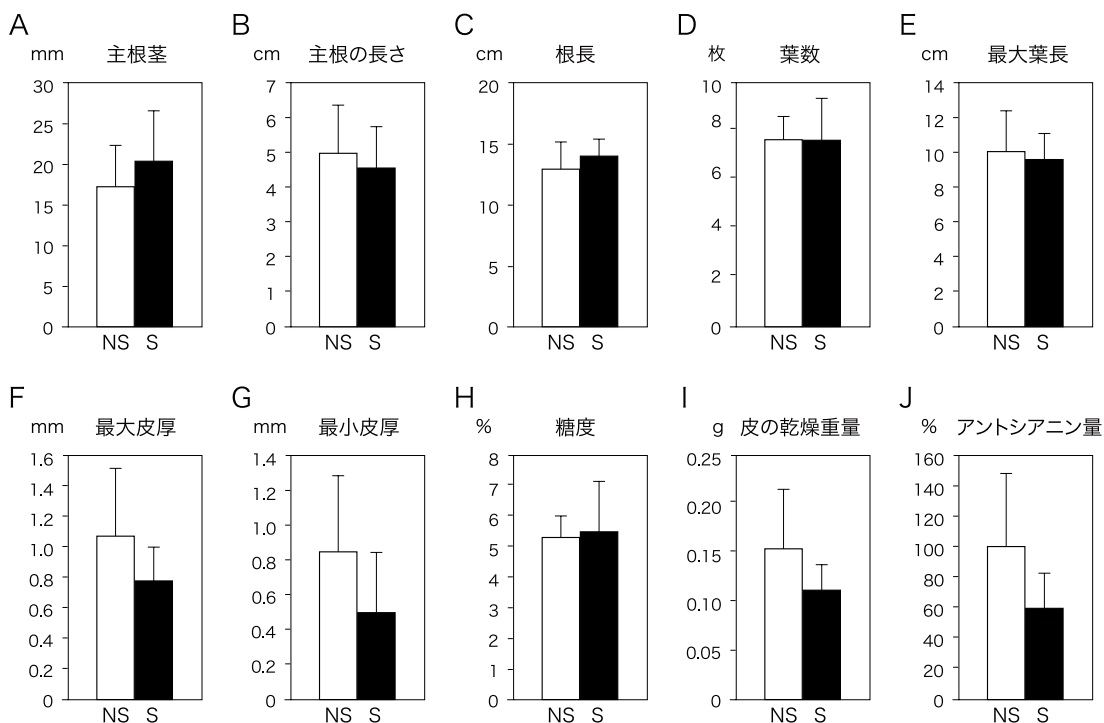


図 3 LED 光がラディッシュに及ぼす影響

NS : 主根を遮光していない群, S : 主根を遮光した群 ($n=4$)

表2 ラディッシュの測色

遮光なし (NS)	遮光 (S)
P N79A	RP N57A
P N79A	RP 61A
RP 59A	RP 61A
B 203A	R 46A

R : Red RP : Red - Purple P : Purple B : Black
王立園芸協会カラーチャートを用いた。

は Purple, R は Red, RP は Red-Purple, B は Black を示す。NS 群の方が S 群よりも濃色を示していた。

3. 考察

今回、光源として LED を用い、閉鎖系にてラディッシュの養液栽培を試みた。栽培方式は、初心者でも簡単に行うことができ、コストや手間のかからない湛液型の静止液法を用いた。根菜栽培は固形培地を用いたほうが成功しやすいと考えられるが、培地の処理の手間を省くため、今回は固形培地を用いない方式を採用した。

本実験で栽培に用いたラディッシュは、発芽適温は 15 ~ 30℃、生育適温は 17 ~ 20℃であり、土耕栽培においては、適期栽培で種まき後約 20 日には、根径 2 cm 程度になる。今回の栽培では、日数はかかったが、ほとんどの個体が、十分な大きさまで生育した。根径が 2 cm に満たない個体も存在したが、定植時に苗をスポンジに深めに固定すると根径の成長が良くなり、根径が 2 cm を優に超える個体が得られることを確認している (data not shown)。また今回の栽培様式は、湛液型の静止法を用いたが、養液を循環させる方式や空気を強制的に養液に送り込む方法を用いれば、根への養分供給や酸素供給が促進され、成長するまでの時間を短縮できる可能性がある。

本試験では、放射能汚染された水を浄化して根菜を育てることができるか、という観点からも実験を行った。竹炭は、ヨウ素を吸着するこ

とが判明しており⁵⁾、比較的安価に手に入る。また、ゼオライトはセシウム、ストロンチウムを吸着し⁶⁾、厚生労働省の食品添加物リストにも掲載が認可されており加工食品にも利用されている。竹炭、ゼオライトは上記の物質以外にも吸着する可能性があるが、培養時には竹炭、ゼオライトを取り除いた水を使用しているため、養液の養分を吸着する可能性は低い。

また、今回は培養容器を完全遮光することで、LED 光が培養液に差し込まないように工夫した。LED 光が培養器中の養液に当たると、すぐさまコケが発生する¹⁰⁾。今回の実験では、コケが発生することがなく、養液中の養分は、栽培植物のみが摂取できる状態となり、養液中の pH 及び EC 変化はラディッシュの生育に依存していると言える。

今回の実験では、主根茎、主根長や葉数などの項目においては、主根の遮光の有無で変化は現れなかった。しかし、注目すべきは、主根に LED 光を照射すると、主根の皮の厚みが増し、アントシアニンの含量が 1.7 倍に増加するという点である。サニーレタスの LED 栽培でも、アントシアニンが増大するという報告が存在する¹¹⁾。アントシアニンは抗酸化作用があり、植物へのストレスによって増加する。本来、土中で成長するラディッシュの主根にとって、1 日中、LED 光が照射されることは、大きなストレスになると考えられる。また、今回の養液栽培では、主根の遮光の有無にかかわらず、糖度の高い個体が得られた。光合成を効率良く行うことのできる LED 光を、葉に一日中照射することで、光合成が盛んになり、グルコースが主根に十分に蓄積されたのではないかと考えている。このように植物工場型のラディッシュ栽培では、付加価値の高い作物を生産することが可能になると考えられる。

おわりに

ラディッシュを葉菜や果菜と同様に商業的に植物工場で栽培するのは、作物の成長速度の点において、まだ難しいと考えられる。しかし、前述したように、養液の循環方法等に改良を加えれば、作物の成長速度が上がると予想される。また、大量生産することで、葉菜や果菜と同様にコストの削減も可能になるであろう。植物工場型のLED光を用いた養液栽培で栽培されたラディッシュは、栄養価や糖度の面で優れているほか、農薬を使用せずとも葉が害虫に襲われ

ることなく育つので、個体全体を安全に味わうことができる。今後は根菜、イモ類、豆類など、様々な種類の作物も植物工場型栽培が可能であるかを、検討していくべきであろう。

[謝辞]

ラディッシュの有色部位の測定法及びアントシアニンの測定法についてご指導頂いた、岩手大学 加藤一幾先生、立澤文見先生に深謝いたします。また、本実験に協力頂いた、藤枝瑞稀さんに謝意を表します。

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

- 1) 社団法人日本施設園芸協会, 日本養液栽培研究会 共編: 養液栽培のすべて. 誠文堂新光社, p3-52, 2012.
- 2) 社団法人農山漁村文化協会: 野菜園芸大百科 第2版 22 養液栽培・養液土耕. 農山漁村文化協会, p11-29, 2004.
- 3) 青木 勝平, 加藤 元保, 岩井 静子 他: 根菜類の養液栽培技術の開発研究 一 培地による植物生育の相違一. 三重大生資農場研報, **12**: 18-23, 2001.
- 4) 寺林 敏, 原田 直美, 伊達 修一 他: 水耕ニンジン (*Daucus carota* L.) の根の肥大に及ぼす通気および培養液水位の影響. 園芸学研究, **7**: 439-444, 2008.
- 5) 厚生労働省健康局水道課長: 福島第一・第二原子力発電所の事故に伴う水道の対応について. 健水発 0319 第1号, 2011.
- 6) 三村 均, 山岸 功, 秋葉 健一: 放射能汚染水からのゼオライトによるセシウムとストロンチウムの除去. 日本化学会誌, **3**: 621-627, 1989.
- 7) F. Tatsuzawa, N. Saito, K. Toki, *et al.*: Acylated Cyanidin 3-sophoroside-5-glucosides from the Purple Roots of Red Radish (*Raphanus sativus* L.) "Benikanmi". *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **79**(1): 103-107, 2010.
- 8) 立澤 文見, 篠田 浩一: フォトダイオードアレイ検出器を用いた高速液体クロマトグラフィーによるアントシアニンの同定と薄層クロマトグラフィーおよび分光光度計での吸収スペクトル特性を併用したアントシアニンの同定の比較. 園芸学研究, **4**(2): 225-228, 2005.
- 9) 機能的有機肥料 MUSKA (アビオス株式会社), 説明書
- 10) 小林 晶子, 酒井 恵里, 清水 絵美: LEDを用いた根菜の養液栽培試験. 常磐大学人間科学部紀要 人間科学, **31**(1): 89-96, 2013.
- 11) 山村 紳一郎, 渡邊 博之: 植物工場の未来を支える LED 照明. 農耕と園芸, **68**(8): 20-27, 2013.

アマニパン摂取による食後血糖上昇抑制効果

高見澤（内田） 菜穂子（TAKAMIZAWA (UCHIDA) Naoko）^{*1} 本 三保子（MOTO Mihoko）^{*2}
鬘谷 要（KATSURAYA Kaname）^{*2} 橋詰 直孝（HASHIZUME Naotaka）^{*3}
矢澤 一良（YAZAWA Kazunaga）^{*1}

^{*1} 早稲田大学ナノ理工学研究機構 規範科学総合研究所 ヘルスフード科学部門

^{*2} 和洋女子大学 総合生活研究科, ^{*3} 人間総合科学大学人間科学部 健康栄養学科

Key Words：アマニ・糖尿病予防・食後血糖値・食物繊維・リグナン・耐糖能異常・臨床試験

はじめに

アマニとは中央アジア原産の亜麻（*Linum usitatissimum*）の種子である。アマニは日本ではなじみの薄い食材であるが、欧州では古くから食されている食材である。アマニは炒った状態で市販されており、サラダや料理にふりかけて食したり、シリアルやパン、マフィンに入れて食したりと、日本食におけるゴマのような用途で食されている。アマニの一般分析では、およそ脂肪が40%、たんぱく質が20%、食物繊維が28%、水分が7.7%、その他に灰分が含まれると報告されている¹⁾。また、アマニの全脂質のうちの53-57%がn-3系脂肪酸である α -リノレン酸であることや²⁾、他の穀類と比較してリグナン含量が多い^{3,4)}という特徴がある。アマニにはリグナンや必須脂肪酸である α -リノレン酸の含有量が多いことから、アマニの抗酸化作用⁵⁾や血清脂質および心血管保護作用^{6,7)}が報告されている。これまでに、ヒトを対象とした検討によりアマニ摂取による抗糖尿病効果が確認された報告⁸⁻¹⁰⁾と、明らかなアマニ摂取の効果が確認できなかった報告¹¹⁻¹³⁾があり、更なる臨床データが必要とされている。

糖尿病の予防、悪化防止には食後の高血糖

の是正が有用であることが臨床的に示されており¹⁴⁾、糖尿病が心血管疾患の大きなリスクファクターであるとされている¹⁵⁾。そのような中、近年、食後の血糖上昇を抑える方法として低グリセミックインデックス（GI）の概念¹⁶⁾が特に注目されている。国際糖尿病連合が発表している食後の血糖コントロールに関するガイドライン¹⁷⁾では、低GI食品が食後の血糖コントロールに有益であるとしている。そのため、食後血糖値の上昇を穏やかにする食材の探索が求められており、血糖コントロールに有益でかつ日常生活に取り入れやすい食品の提供が求められている。

そこで、本稿では食後の高血糖抑制に有用な食品を検討する目的で、アマニをパンに練り込んだアマニパンを作製し、以下に述べる2つの試験を行った。まず、健常日本人女性におけるアマニパンの食後血糖上昇に及ぼす影響を検討した。

次に、耐糖能異常を示す被験者を対象とした摂取試験を行い、アマニパン摂取による食後血糖、インスリン、中性脂肪（TG）および遊離脂肪酸（NEFA）に及ぼす影響について検討し、耐糖能異常者に対するアマニ摂取による有効性

を検討した。

1. 方法

1-1. 試験食品の調整

ローストし、粉末化したアマニの含有成分を表 1 に示す。タンパク質はケルダール法、脂質はソックスレー抽出法、 α -リノレン酸は GC 法、食物繊維は酵素-重量測定法、リグナンは HPLC 法により測定した。炭水化物は、総重量から脂質、タンパク質、灰分と水分を減じて算出した。ロースト粉末アマニのエネルギー、タンパク質、脂質、 α -リノレン酸、炭水化物の測定は、日本食品分析センターに依頼した。リグナンの測定は日本製粉株式会社に依頼した。

アマニを添加したアマニパンと何も添加しないコントロールパンの 2 種のパンを作製した。2 種のパンの組成を表 2 に示す。アマニパンにはパン 1 個あたり 12.3 g のアマニが含まれており、コントロールパン、アマニパンは、いずれも同じエネルギー 240 kcal になるように調整した。なお、パンの作製は日本製粉株式会社に依頼し、アマニは日本アマニ協会から提供されたローストアマニを用いた。

表 1 ローストアマニ粉末 100g あたりの栄養成分

栄養成分	含有量 (100g) あたり
エネルギー	607 (kcal)
総たんぱく質	22.7 (g)
総脂質	44.6 (g)
α -リノレン酸	21.3 (g)
総炭水化物	28.5 (g)
食物繊維	21.3 (g)
リグナン	770 (mg)

表 2 コントロールパンおよびアマニパンの組成

	重量 (g)	アマニ (g)	強力粉 (g)	エネルギー (kcal)	炭水化物 (g)	油脂 (g)	蛋白質 (g)	食物繊維 (g)
コントロールパン	67.0	-	32.4	240	27.4	11.7	4.5	0.9
アマニパン	69.1	12.3	30.7	240	27.4	10.1	7.2	3.4

数値はパン 1 個あたりの値を示す。

1-2. 健常女性を対象とした負荷試験

試験は、健康な女子大学生（年齢 19 ～ 21 歳、BMI19 ～ 24）を対象に行った。被験者を無作為に 2 群に分け、コントロール群 ($n=88$)、アマニ群 ($n=89$) とした。被験者には夕食後以降水以外の飲食を禁止し、翌朝パンを水とともに 15 分間かけて摂取させた。パン摂取前、摂取後 20 分、40 分、60 分、90 分、120 分に被験者自ら指先より採血し、小型自己血糖測定器を用いて血糖値を測定した。測定は、被験者自身が行い、記録した値を著者が点検した上で、統計処理を行った。測定した空腹時血糖値を 100% とし、空腹時から摂取後 120 分までの血糖値変化率を算出した。また、測定した空腹時血糖値をベースラインとし、空腹時から摂取後 120 分までの血糖値変動曲線との間の面積を積算し、血糖値曲線下面積とした。

なお、本試験はヘルシンキ宣言の精神に則り、和洋女子大学ヒトを対象とする生物学的研究・疫学的研究に関する倫理委員会の審議、承認を経て実施した。対象者に試験プロトコルについて書面および口頭にて十分に説明し、書面による同意を得た者を被験者とした。また、プロトコルを厳守できなかった被験者のデータは統計データから除外した。なお、個人情報の取り扱いに十分配慮し、実験により得られたデータはすべて匿名化し ID 管理により秘密を厳守した。

1-3. 耐糖能異常者を対象とした負荷試験

耐糖能異常を示す被験者において、アマニ摂取が食後血糖値やインスリンに及ぼす影響を検

表3 耐糖能異常の被験者6名の体組成データ

被験者 ID	性別	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率 a (%)	筋肉量 a (kg)	除脂肪量 a (kg)
A	男	39	161.0	71.5	27.58	29.7	47.5	50.2
B	男	46	169.0	96.3	33.72	31.8	62.2	65.7
C	男	44	163.0	86.7	32.63	32.9	55.1	58.2
D	男	62	167.0	80.1	28.73	27.7	54.9	58.0
E	女	50	153.0	60.5	25.84	34.7	37.2	39.5
F	女	52	147.0	57.2	26.49	32.7	36.3	38.5

BMI: Body Mass Index, a: インピーダンス法による数値.

表4 耐糖能異常の被験者6名の血圧および生化学データ

被験者 ID	性別	年齢	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	HbA1c (NGSP) (%)	TG (mg/dL)	Total-C (mg/dL)	HDL-C (mg/dL)	LDL-C (mg/dL)	NEFA (mEq/L)
A	男	39	135	78	6.9	271	265	50	182	1.02
B	男	46	139	106	6.7	217	231	54	148	0.64
C	男	44	108	69	6.8	127	131	39	81	0.48
D	男	62	124	77	6.9	124	265	57	176	0.67
E	女	50	126	80	7.1	137	211	40	148	0.64
F	女	52	118	75	6.4	306	215	60	91	0.96

SBP:収縮期血圧, DBP:収縮期血圧, HbA1c:ヘモグロビン A1c (NGSP), TG:中性脂肪, Total-C:総コレステロール, HDL-C: HDL- コレステロール, LDL-C: LDL- コレステロール, NEFA:遊離脂肪酸.

討するため、以下の実験を行った。被験者は、ヘモグロビン A1c (HbA1c) が 6.4% 以上かつ BMI が 25 以上の者とした。被験者の基礎データを表 3 に、臨床検査データを表 4 に示した。1 例高血圧が認められたが、他に特別な疾患は認められなかった。表 5 に被験者の空腹時血糖値、空腹時インスリン値およびその積である HOMA-R を示す。

HOMA-R が 2.5 以上の場合にインスリン抵抗性があると考えられる¹⁸⁾。そのため、6 名の被験者はいずれも肥満に加えインスリン抵抗性が疑われる状態にあると判断でき、軽度糖尿病または糖尿病の疑いがある者であると考えられる。従って、本稿ではこれらの被験者を耐糖能異常者と称することとした。

試験食はコントロールパンとアマニパンの 2 種類とした。被験者 6 名を無作為に 2 群に分け、1 群にはコントロールパンを、もう一方の群にはアマニパンを摂取させ、1 週間以上のウォッ

表5 耐糖能異常の被験者6名のインスリン抵抗性

被験者 ID	空腹時 血糖値 (mg/dL)	空腹時 インスリン (μU/mL)	HOMA-R
A	127	16.6	5.2
B	128	13.3	4.2
C	108	22.6	6.0
D	125	11.5	3.6
E	134	9.4	3.1
F	136	15.7	5.3

HOMA-R: インスリン抵抗性指数.

$$\text{HOMA-R} = \frac{\text{空腹時血糖値 (mg/dL)} \times \text{空腹時インスリン (μU/mL)}}{405}$$

シュアウト期間を経た後、同一被験者に 1 回目とは異なるパンを摂取させるクロスオーバー法により試験を行った。被験者は朝食を抜いた状態で採血を行い、その後試験食を摂取し、摂取後 30 分, 60 分, 90 分, 120 分の計 5 回採血を行った。採取した血液から血糖、インスリン、中性脂肪 (TG)、遊離脂肪酸 (NEFA) を測定した。測定した空腹時の値を 100% とし、空腹時から

摂取後 120 分までの変化率を算出した。

なお、本試験は臨床試験機関（株式会社 RD サポート、東京）に依頼して行った。ヘルシンキ宣言の精神に則り、被験者に十分な説明を行い、同意を得た上で実施した。和洋女子大学ヒトを対象とする生物学的研究・疫学的研究に関する倫理委員会の審議、承認を経て実施した。対象者に試験プロトコルについて書面および口頭にて十分に説明し、書面による同意を得た者を被験者とした。また、プロトコルを厳守できなかった被験者のデータは統計データから除外した。なお、個人情報の取り扱いに十分配慮し、実験により得られたデータはすべて匿名化し ID 管理により秘密を厳守した。

2. 結果と考察

2-1. 健常女性を対象とした負荷試験における血糖値の変化

健常女性を対象に行った負荷試験において、空腹時血糖値を 100 とした血糖変化率を図 1 に示した。アマニ群は摂取 60 分から 120 分後においてコントロール群と比較し有意に低い値を示した ($p<0.05$)。

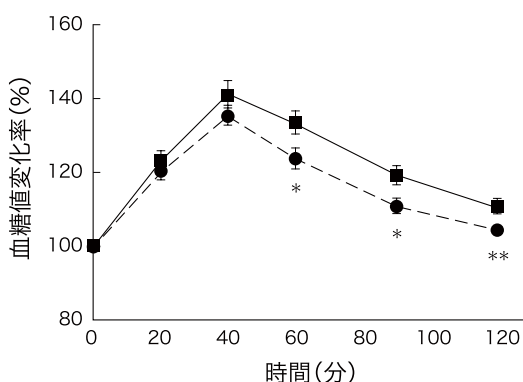


図 1 健常女性におけるコントロールパンおよびアマニパン摂取後の血糖値の変化

平均値±標準誤差。コントロール群 (■: $n=88$)、アマニ群 (●: $n=89$)。*: $p<0.05$, **: $p<0.01$ (コントロール群との差を示す)。

血糖値曲線下面積を図 2 に示した。アマニ群はコントロール群と比較し、有意に低い値を示した ($p<0.05$)。

コントロールパンとアマニパンのエネルギー量および炭水化物量は等しく設計されているため、本試験の結果より、食後血糖値の上昇を緩やかにする食材として、アマニが有用である可能性が強く示唆された。

2-2. 耐糖能異常者を対象とした負荷試験における血糖、インスリン、TG および NEFA の変化

図 3 に示す血糖値の変化率では、摂取 30 分、60 分、90 分後においてアマニパン摂取時が、コントロールパン摂取時に比べ有意に低い値を示した (摂取 30 分後: $p<0.05$, 摂取 60 分および 90 分後: $p<0.01$)。TG の変化率では、摂取 90 分、120 分後においてアマニパン摂取時が $109 \pm 7\%$, $112 \pm 6\%$ であり、コントロールパン摂取時の $132 \pm 7\%$, $129 \pm 6\%$ に比べ有意に低い値を示した ($p<0.05$)。インスリン、NEFA の変化率においてはコントロールパン摂取時とアマニパン摂取時で有意な差は認められなかったが、アマニパン摂取時ではコントロールパン

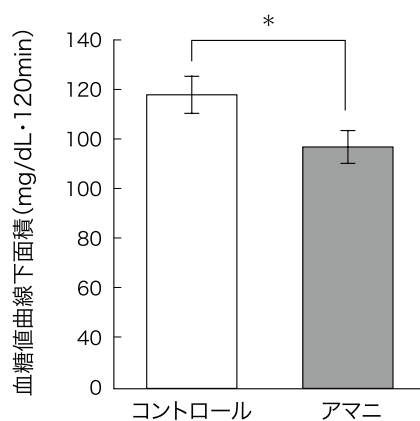


図 2 健常女性におけるコントロールパンおよびアマニパン摂取後の血糖値曲線下面積

平均値±標準誤差。コントロール群 ($n=88$)、アマニ群 ($n=89$)。*: $p<0.05$ 。

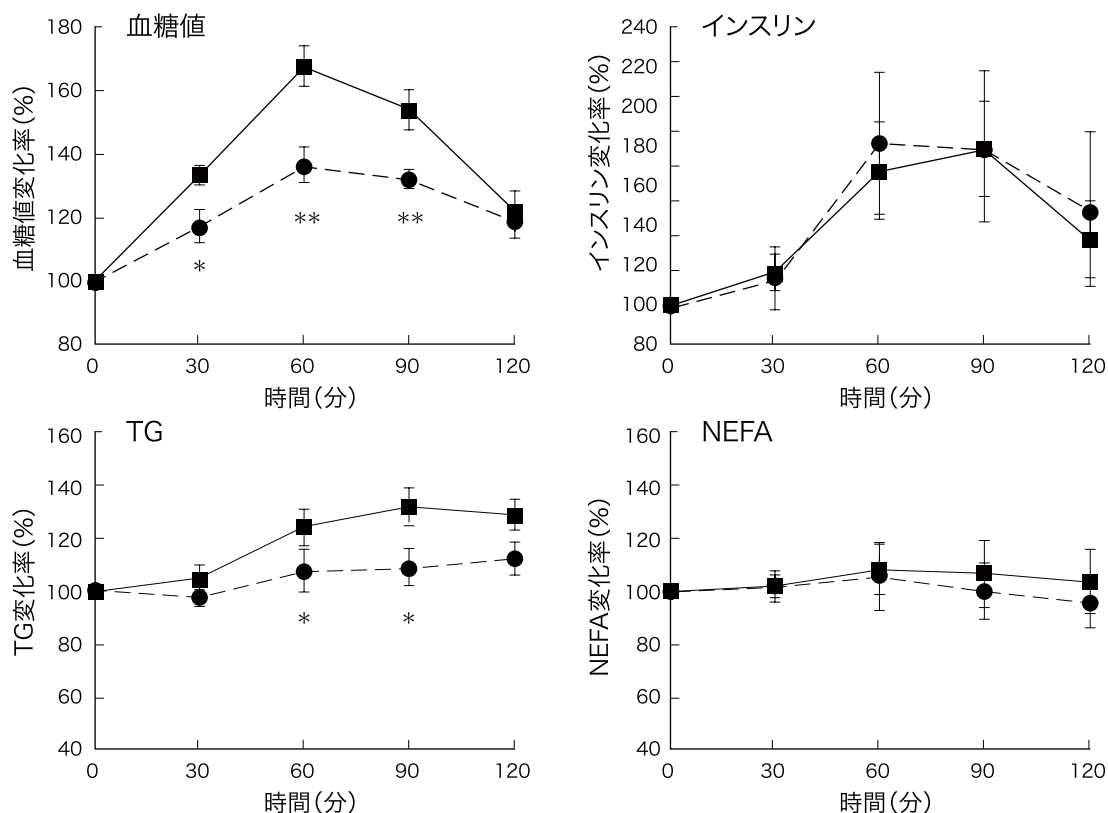


図3 耐糖能異常者におけるコントロールパンおよびアマニパン摂取後の血糖値、インスリン、中性脂肪および遊離脂肪酸の変化

TG：中性脂肪，NEFA：遊離脂肪酸． 平均値±標準誤差． コントロール群 (■：n=6)，アマニ群 (●：n=6)．
*： $p<0.05$ ，**： $p<0.01$ （コントロール群との差を示す）．

摂取時に比べてインスリン，NEFAともに低値を示す傾向が認められた。

本研究において，アマニパン摂取時がコントロールパン摂取時に比べ有意に血糖値が低く，アマニパン摂取による食後血糖上昇抑制効果が確認された一方で，食後の血中インスリン値ではアマニパンとコントロールパン摂取時に有意差は認められなかった。通常，グルコース吸収が抑制されると，それに伴ってインスリン分泌も抑制される。本研究においてインスリン分泌の抑制が認められなかったことから，アマニ摂取によりグルコース吸収抑制以外の作用で血糖上昇が抑制されたと推察される。このメカニズムに関しては，更に詳細な検討が必要である。

本研究において，アマニパン摂取による食後TG上昇抑制効果が確認された。アマニにはその重量の約28%の食物繊維が含まれており，本研究で作製したアマニパンにはパン1個当たり食物繊維が3.4gと，コントロールパン1個当たりの食物繊維0.9gに比べ，約4倍含まれている。食物繊維には脂質の吸収を抑制し，食後のTG上昇を抑制する効果があることが報告されている¹⁹⁾。これらの報告から，耐糖能異常者を対象とした本研究においてアマニパン摂取時に食後TGの上昇が抑えられたのは，アマニに含まれる食物繊維の吸収抑制によるものと考えられる。

3. 総括

本報告において、健常女性および耐糖能異常者を対象とした試験のいずれにおいても、アマニパン摂取による食後血糖上昇抑制効果が認められた。また、耐糖能異常者を対象とした試験の方が、健常女性を対象とした試験よりもアマニパン摂取による食後血糖上昇抑制効果が顕著に認められた。このことから、アマニパン摂取による食後血糖上昇抑制作用は、糖尿病傾向者により効果的に作用することが示唆され、アマニパンが日常的に血糖コントロールに有用な食品となることが期待される。さらに、耐糖能異常

者を対象とした試験において食後血糖上昇を有意に抑制し、食後血中 TG の上昇も有意に抑制されたため、アマニパンが食後血糖値のコントロールだけでなく、脂質代謝のコントロールにも有用であることが示唆された。

[謝辞]

本研究は、エリザベス・アーノルド富士財団の学術研究助成によって遂行されたものであり、同財団に心より感謝の意を表します。また、本研究に用いたローストアマニを提供して頂いた日本アマニ協会および試験食の作製をして頂いた日本製粉株式会社に心より御礼申し上げます。

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

- 1) Anonymous: Nutritional profile of No. 1 Canada Western flaxseed and of yellow flaxseed samples. *Canadian Grain Commission*, Winnipeg, MB., 2001.
- 2) Morris DH: Flax-A health and nutrition primer. *Flax council of Canada*, Manitoba, 2007.
- 3) Muir AD, Westcott ND: History of the cultivation and use of flaxseed. In: *Flax: The genus Linum (Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles)*. Taylor and Francis Inc., New York, 1-21, 2003.
- 4) Thompson LU, Boucher BA, Liu Z *et al.*: Phytoestrogen content of foods consumed in Canada, including isoflavones, lignans, and coumestan. *Nutr. Cancer*, **54**(2): 184-201, 2006.
- 5) Prasad K: Antioxidant Activity of Secoisolariciresinol Diglucoside-derived Metabolites, Secoisolariciresinol, Enterodiol, and Enterolactone. *Int. J. Angiol.*, **9**(4): 220-225, 2000.
- 6) Lucas EA, Wild RD, Hammond LJ *et al.*: Flaxseed improves lipid profile without altering biomarkers of bone metabolism in postmenopausal women. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **87**(4): 1527-1532, 2002.
- 7) Jenkins DJ, Kendall CW, Vidgen E *et al.*: Health aspects of partially defatted flaxseed, including effects on serum lipids, oxidative measures, and ex vivo androgen and progestin activity: a controlled crossover trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, **69**(3): 395-402, 1999.
- 8) Rhee Y, Brunt A: Flaxseed supplementation improved insulin resistance in obese glucose intolerant people: a randomized crossover design. *Nutr. J.*, **10**(44), 2011.
- 9) Abuelgassim AO: Effect of flax seeds and date palm leaves extracts on serum concentrations of glucose and lipids in alloxan diabetic rats. *Pak. J. Biol. Sci.*, **13**(23): 1141-1145, 2010.
- 10) Mohamed DA, Al-Okbi SY, El-Hariri DM, Mousa II: Potential Health Benefits of Bread Supplemented with Defatted Flaxseeds under Dietary Regimen in Normal and Type 2 Diabetic Subjects. *Pol. J. Food. Nutr. Sci.*, **62**(2): 103-108, 2012.
- 11) Cunnane SC, Hamadeh MJ, Liede AC *et al.*: Nutritional attributes of traditional flaxseed in healthy young adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, **61**(1): 62-68, 1995.
- 12) Barre DE, Mizier-Barre KA, Griscti O, Hafez K: High Dose Flaxseed Oil Supplementation May Affect Fasting Blood Serum Glucose Management in Human Type 2 Diabetics. *J. Oleo. Sci.*, **7**(5): 269-273, 2008.
- 13) Taylor CG, Noto AD, Stringer DM *et al.*: Dietary milled flaxseed and flaxseed oil improve N-3 fatty acid status, and do not affect glycemic control in individuals with well-controlled type 2 diabetes. *J. Am. Coll. Nutr.*, **29**(1): 72-80, 2010.

- 14) Bischoff H: Pharmacology of alpha-glucosidase inhibition. *Eur. J. Clin. Invest.*, **24**(3): 3-10, 1994.
- 15) The DECODE study group, on behalf of the European diabetes epidemiology group: Glucose tolerance and cardiovascular mortality: Comparison of fasting and 2-hour diagnostic criteria. *Arch. Intern. Med.*, **161**(3): 397-405, 2001.
- 16) Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH *et al.*: Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**(3): 362-366, 1981.
- 17) International Diabetes Federation: Guideline for Management of Postprandial Glucose in Diabetes 2011. Home Page <http://www.idf.org/2011-guideline-management-postmeal-glucose-diabetes> (accessed 24 July 2014)
- 18) Keskin M, Kurtoglu S, Kendirci M *et al.*: Homeostasis model assessment is more reliable than the fasting glucose/insulin ratio and quantitative insulin sensitivity check index for assessing insulin resistance among obese children and adolescents. *J. Am. Pediatrics.*, **115**(4): 500-503, 2005.
- 19) Lecumberri E, Goya L, Mateos R *et al.*: A diet rich in dietary fiber from cocoa improves lipid profile and reduces malondialdehyde in hypercholesterolemic rats. *Nutrition*, **23**(4): 332-41, 2007.

血圧に關与する酵素の抑制物質の探索

Exploration and identification of anti-hypertensive substances in food materials

八巻 幸二 (YAMAKI Kohji) *

* 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：血圧・レニンアンジオテンシン系・食品成分

Key Words：hypertension・renin-angiotensin system・food stuff・active compounds

Abstract.

Anti-hypertensive substances originated from some food materials were explored and identified using renin-angiotensin system related enzymes. Firstly angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activities of aqueous extracts of Chinese commercial soypaste were investigated. ACE inhibitors in the sample with the strongest activity were purified by ultrafiltration, solid-phase extraction and gradient HPLC. According to spectroscopic and mass spectrometry methods, a compound was estimated as $C_{15}H_{21}NO_7$. It was supposed to be a conjugate of phenylalanine and glucose generated by Maillard reaction during soypaste production, providing support on the contribution of Maillard reaction products to the ACE inhibitory activity of the sample. Results further indicated that the total ACE inhibition by the sample occurred from the combined function of various bioactive substances. Furthermore renin inhibitory activities of three tea products were investigated. Water extracts from fermented oolong and black tea showed strong renin inhibitory activities. By the means of ultrafiltration, gradient high performance liquid chromatography and spectroscopic analysis, four active compounds were separated from aqueous black tea extract and identified as theasinensin B, theasinensin C, strictinin, and a hexose sulfate with a galloyl moiety, which had IC_{50} values of 19.3, 40.2, 311.1, and 50.2 μM against renin activity, respectively. Further detection indicated that the potent inhibitor theasinensin B was present only in black tea. These results revealed novel and potent tea-derived renin inhibitors and suggested another potential pathway for tea consumption to control hypertension. It seems that these identified materials as anti-hypertensive food components are very attractive to development of health functional foods.

はじめに

◇血圧について

血圧は生体の恒常性維持のための最も基礎的な要因のひとつであり、全身に栄養と酸素を分配するために、その媒体である血液に対し、十分な圧力と流れ保つために非常に重要である。ヒトでは正常血圧は 130-85 mmHg (高血圧治療ガイドライン, 日本高血圧学会) とされており、この基準以上になると治療の判断基準とされる。

◇生活習慣病における高血圧 (本態性高血圧)

通常原因が曖昧であり比較的年齢の進んだ人が発症する高血圧疾患を本態性高血圧と呼んでいる。この高血圧疾患は食生活やストレス、喫煙等の生活習慣を原因とする病と考えられている。この生活習慣病高血圧疾患において、血圧が高いことそれ自身の問題よりも、長くこの高血圧状態が続くことによる血管壁の損傷や、また全身に血液を送り込む心臓に大きな負担がか

かることが問題となる。また加齢に伴い血管壁へのコレステロールの沈着の結果、血管壁の柔軟性が低下する。その結果、動脈硬化による動脈瘤の破裂や、血液凝固や血栓による心筋梗塞や脳梗塞、心肥大による心不全などの病気を起こしやすくなる。そのため他の喫煙や肥満、高脂血症の様な症状をできる限り少なくすることが推奨されている。

◇レニンアンジオテンシン系

血圧調節に関与する酵素系には、レニンアンジオテンシン系の酵素が重要な働きをしている。それは肝臓で合成され血液中に分泌されるアンジオテンシノーゲンに対し、腎臓から分泌されるレニンと呼ばれる酵素が作用し10個のアミノ酸からなるペプチドであるアンジオテンシンⅠが遊離される。このアンジオテンシンⅠには血圧上昇作用はなく、アンジオテンシン変換酵素(angiotensin-converting enzyme, ACE)によってC末端側の2残基を切断し8個のアミノ酸からなるアンジオテンシンⅡを遊離する。このアンジオテンシンⅡは強い血管収縮作用を有し、血圧を上昇させる。高血圧の薬物治療におけるターゲットとして、このACEの阻害効果はとても有効であり、これまでに多くのACE阻害薬が合成され、高血圧治療薬として開発され、臨床にも用いられてきた。さらに、近年この上位酵素であるレニンの抑制をターゲットにした治療薬の開発が行われ新しいタイプの高血圧治療薬として注目されている。

◇食品中の血圧降下成分

血圧に関与する食品成分として、乳酸発酵で産生されるトリペプチド¹⁾やサーデンペプチド²⁾はACE阻害作用を介して、血圧を低下させることが報告されており、この機能性によって、トクホ指定のサプリメントと酸乳が販売されている。また多くの食品由来のペプチド性

のACE抑制物質が発見されている。このような食品に含まれるペプチドが血圧を調節できる可能性があることが示され、幾つかの高血圧の緩和を目的とした特定保健用食品の開発がなされた。このACE阻害活性とは別の酵素であり、アンジオテンシンを産生する血圧に関する重要な酵素であるレニンを標的にした医薬品は近年開発され、臨床において用いられ始めている。しかし食品でこのレニンに作用する機能性食品は未だに開発されていない。

1. 味噌等大豆発酵食品からのアンジオテンシン変換酵素抑制物質の探索

1-1. 序論

大豆は特にタンパク質の含量が高くその約30%を占めており、食品として栄養価の優れた食材のひとつである。そのため、様々な調理加工が行われて、多くの食品の原料となっている穀類である。またその加工食品は、古来保存の目的として発酵して保存することが盛んに行われ、味噌や醤油、納豆等の様々な発酵食品が作られてきた。納豆のような比較的短い発酵では、ほとんど観察されないが、長時間の発酵によって産生され、これら発酵食品の特徴であるアミノ酸と還元糖の反応、すなわちメイラード反応による様々な物質も、食品の機能性に関与している可能性が示唆されている。そこで、大豆発酵食品であり発酵時間の長い製品である味噌に含まれる機能性成分を探索する目的で、血圧上昇効果を有し生体の血圧制御に関与する酵素であるアンジオテンシン変換酵素の抑制活性を指標にして、その抑制活性成分を探索した。

1-2. 方法

日本と同様に、中国においても多種多様の味噌が造られており、特に広大な土地を有するため、その種類も様々である。そこで中国各地の

味噌を集め、水抽出の画分を用いて、活性成分を探索した。試料は乾燥粉末の 1g に対し 10 倍量の蒸留水を加え、十分に攪拌し、遠心分離後の上清を採取した。活性の測定のため、0.22 μm のフィルター（マイレクス、ミリポア社）でろ過し、測定を試料とした。

ACE の阻害活性は、ACE Kit – WST（同仁科学研究所、熊本）を用いて行った。このキットでは ACE の阻害活性をマイクロプレートにおける吸光度測定で行えるもので、従来の蛍光基質を用いた試験管で行う測定に比較し、微量で高感度に行えるのが特徴である。煩雑な抽出操作もない。またプレートの測定には、吸光度計測のため測定用の機器も蛍光測定機能が必要ないことより、導入も容易である。この系を用いて ACE の用量反応曲線を作成し、50% 抑制する濃度 (IC_{50}) を求め、その試料の測定値とした。

また、活性の最も高い試料を用い、限外濾過膜付き遠心チューブ（Vivaspin 20, ザルトリウス）により、分子量で 3000 以下とそれ以上の分画に分けて行った。また、さらに固相抽出用のミニカラム SEP-PAK Plus C_{18} （ウオーターズ、USA）を用いて、それぞれ 25% メタノール、50% メタノール、75% メタノール、100% メタノールの分画に分けて分取して、活性成分を濃縮した。

高速液体クロマトグラフィーでは通常の逆相系カラム Capcell Pak C_{18} (4.6 $\times$ 250 mm, 資生堂) を用い、5-40% CH_3CN で 5-40 min の直線グラジエントを行い、検出 (photodiode array detection) をした。グラジエント部分を 1 分ごとに分取し、活性の測定を行った。

活性の高い分画については、フーリエ変換サイクロトロン共鳴質量分析にかけて、精密質量分析を行った。

1-3. 結果

表 1 には用いた 22 種の味噌の試料の水溶性抽出分画の IC_{50} 値を示した。

地域による活性の差異はほとんど確認されなかったが、原料による違いを調べると図 1 となる。この結果から高い抑制活性を示す原料として大豆は必須であり、小麦は重要ではない。また脱脂や、その他の原料を加えるよりはその含量を高める等の試料は活性が高い傾向にある。

この結果より、活性物質同定の試料に脱脂大豆を用いた味噌とした。初めに分画分子量 3000 の限外濾過膜での分離を試みた。その結果、分子量 3000 より低分子のろ過液の活性が高値であった。そこでさらに固相抽出用のミニカラムでメタノールの濃度の違い (25%, 50%, 75%, 100%) による溶出を行った。その結果 25% メタノールの溶出画分が最も高い結果であった。そこでこの 25% メタノール分画を高速液体クロマトグラフィーにて、分離測定を行った。その結果が図 2 である。

5 分から 40 分までリニアグラジエントを行っ

表 1 味噌試料の ACE50% 抑制濃度

試料番号	産地（中国内の位置）	原料	IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
1	Heilongjiang (north-east)	SW	36.5
2	Liaoning (north-east)	SW	83.2
3	Beijing (north)	SW	153.1
4	Beijing (north)	SW	34.5
5	Beijing (north)	SW	32.1
6	Beijing (north)	SW	36.3
7	Shandong (north)	SW	235.1
8	Shandong (north)	SW	109.3
9	Shandong (north)	SW	32.2
10	Guangdong (south)	SW	64.5
11	Guangdong (south)	SW	62.1
12	Guangdong (south)	SW	109.3
13	Guangdong (south)	SW	308.2
14	Sichuan (middle-west)	S	56.6
15	Chongqing (middle-west)	S	42.1
16	Liaoning (north-east)	S(D)W	31.4
17	Guangdong (south)	SCW	94.8
18	Fujian (east)	SBW	143.5
19	Sichuan (middle-west)	BW	388.9
20	Sichuan (middle-west)	BW	282.5
21	Sichuan (middle-west)	BW	330.5
22	Sichuan (middle-west)	BW	242.7

S: 大豆, S(D): 脱脂大豆, B: 空豆, W: 小麦, C: コーン

た結果、溶出 13 分から抑制活性が上昇していき、主に 4 つの活性のピークが観察された。その矢印で示した 2 つの主なピーク (F20 と F27) が得られた。この F20 のピークは質量分析の結果、328.1394 の精密分子量を得ることができた。この精密な数値から推測された分子式の内、最も可能性の高い分子式が $C_{15}H_{21}NO_7$ であった。また、この活性のあったピークである、F20 と F27 のスペクトルを求めた結果が図 3 である。

1-4. 考察

中国広大な土地に伝統発酵食品を有する国である。そこには様々な微生物を使用した保存食品が存在する。味噌も日本と同様に伝統的な発酵食品であり、多様な食品が存在する。ここで用いた 22 種の味噌試料は ACE の抑制活性で IC_{50} 値は 31 ~ 311 $\mu g/mL$ まで広範囲であった。このようなことから、この中に多種多様の産物が含有している可能性が秘められている。原料による違いは十分にあるものと想定されるが、この試料ではどのような工程で作成されている情報がないことより、これ以上の考察は困難である。低分子分画の 25% メタノール溶出画分に活性が集中した結果より、HPLC での分画を試み、その活性のピークを分析したところ、分子量 328.13 で、吸収スペクトルで 217 と 279 の極大波長を有する結果を得た。Kamath らは既に数々のアミノ酸と還元糖のエステルが ACE の抑制活性を示すことを報告している³⁾。またコーヒーのメラノイジン (メイラード反応生成物) が ACE の

活性を抑制することは報告されている⁴⁾。このことよりこの活性ピークはこの糖とアミノ酸がエステル結合したメイラード反応の生成物である。

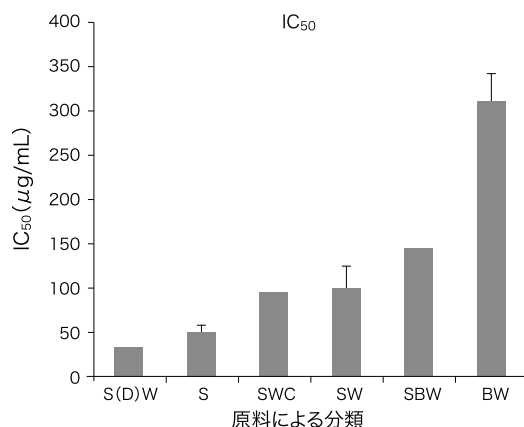


図 1 原料の差異による IC_{50} 値の変動

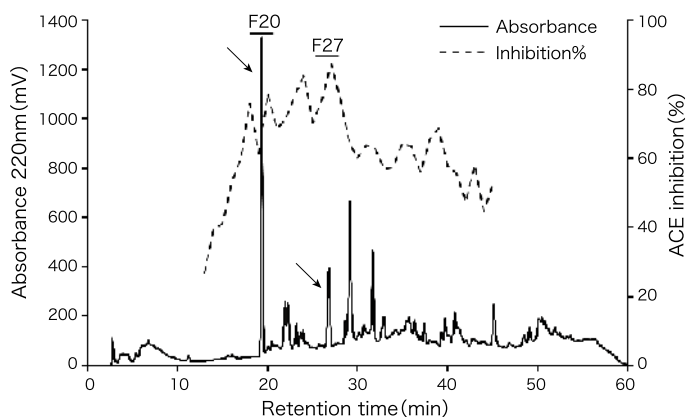


図 2 25% メタノール分画の HPLC クロマトグラム

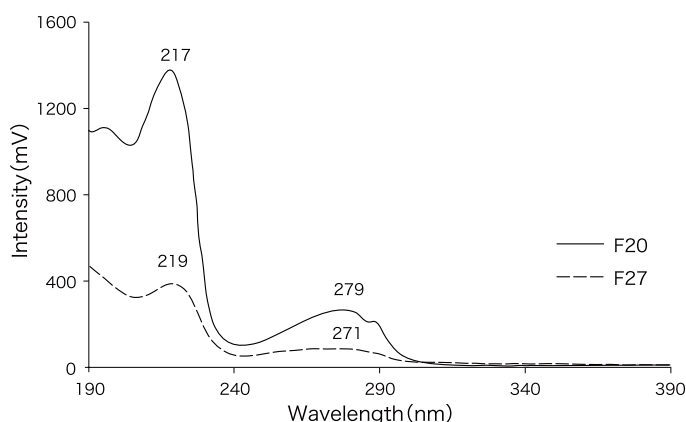


図 3 F20 と F27 の吸収スペクトル

ることが示唆された。このようにメイラード反応生成物が血圧低下効果を有することが明らかになることによって、発酵食品での抗高血圧食品の開発の可能性が示唆された。特にエステル生成反応でアミノ酸と糖が結合した物質は、発酵食品でも容易に産生されると思われる今後この反応を応用して、高血圧に有効な食品開発が行われることが期待される。

2. お茶に含まれる成分によるレニン抑制物質の探索

2-1. 序論

生体の血圧の制御に関して、様々な食品成分が、候補となっている。その中でお茶に含まれるポリフェノールは多種多様なものが存在することが明らかになり、また発酵過程を伴う紅茶については、微生物によってさらに、複雑なものが産生されることが知られている。血液中に遊離されアンジオテンシンを遊離する酵素であるレニンは血圧上昇に根本的に関与する。臨床的には本態性高血圧症に効果を発揮できるターゲットとして魅力的なものと考えられている。代表的なお茶のポリフェノールとしてカテキン類が想定されるが、これらのカテキン類の血中レニンに対する作用を検討した報告は少ない。そこで、標準品のカテキン類と関連物質を用い、レニンに対する抑制効果を検討し、その抑制機構の解析を行った。また活性成分の探索とその同定に関しても検討を加えた。

2-2. 方法

試料は、市販のお茶（緑茶、ウーロン茶、紅茶）を市場より購入して用いた。また、5種のお茶に含まれるカテキンとして、(+)-catechin (C), (-)-epicatechin (EC), (-)-epicatechin gallate (ECg), (-)-epigallocatechin (EGC), (-)-epigallocatechin gallate (EGCg)（三井農林（株））を購入した。

レニンの測定は Cayman 社製 Renin inhibitor screening assay kit を用いた。このキットでは、その特徴として基質が、EDANS (5-[(2-aminoethyl)amino]naphthalene-1-sulfonic acid) をエネルギー供与体として、Dabcyl, SE, 4-((4-(dimethylamino)phenyl)azo)benzoic Acid, Succinimidyl Ester をクエンチャーとして両端に結合させたレニン酵素基質を用いている。反応終了後、蛍光強度をプレートリーダーで測定し抑制活性を計算した。またレニンの用量反応曲線を作成し、50%抑制する濃度 (IC_{50}) を求め、その試料の活性値とした。

3種の茶から、蒸留水とエタノールの抽出試料を作成し、レニンに対する IC_{50} 値を算出した。活性の高い分画を求めるため、限外濾過膜付き遠心チューブ (Vivaspin 20, ザルトリウス) により、分子量で 10000 以上、10000 ~ 3000, 3000 以下の分画に分けて行った。さらに活性の高い分画は高速液体クロマトグラフィーでピーク分取した。高速液体クロマトグラフィーは、ACE 活性の測定で行った条件とほぼ同じで、通常の逆相系カラム Capcell Pak C₁₈ (4.6 × 250 mm, 資生堂) を用い、5-40% CH₃CN で 5-40 min の直線グラジエントを行い、検出 (photodiode array detection) をした。グラジエント部分を 1 分ごとに分取し、活性の測定を行った。またピークとして検出されたものでは、そのピークを回収して、その後、成分同定のために同様の質量分析を行った。

2-3. 結果

3種の茶の蒸留水とエタノール2種類の抽出法で試料を作成し、その IC_{50} 値を求めた結果が表2である。

この結果、発酵度が高くなる試料ほど、レニン抑制活性が高い傾向があり、水溶性画分にこの活性存在することが明らかになった。そこで、この試料の中で、緑茶を除いた試料の水溶性画

分を、限外濾過膜で分子量による分画を行い、その活性を濃縮することを試みた。

その結果を図4に示した。限外濾過膜では分子量3000と10000のものを用いて、3000以下の分画、3000～10000の分画、10000以上の分画に分けた。

この結果、分子量分画では、10000以上と10000-3000の分画に活性が集まり、この分画を高速液体クロマトグラフィーで分画することを試みた。その内でも最も活性の高いフラクションの紅茶水抽出画分のHPLCの結果を図5に示した。この結果からレニンの抑制活性はクロマトのリテンション2-10分までの部分と15-35分までの部分に分かれていた。そこでクロマトグラム上に検出された4つのピークを分取しその同定を試みた。その結果をまとめたものが表3である。

HPLCクロマトグラフィーのピーク採取し、5つの大きなピークを得ることができた。そのピークの内、P3については、抑制活性が確認されなかったため、この表にはない。活性の確認されたものについて、以前の報告⁵⁾と比較し、これらの活性化合物をほぼ同定した。P1については、theasinensin Cと同定された。

Theasinensin Cは、これまで renin 抑制活性は報告されていない。P2については、精密質量分析で類推した結果、硫酸基とガロイル基を有するヘキソースの結合物である可能性が示唆された。P4

表2 お茶抽出物のレニン抑制活性

Samples (water extract)	IC ₅₀ (μg/mL)	Samples (ethanol extract)	IC ₅₀ (μg/mL)
GTW	477.0 ± 6.7	GTE	ND
OTW	20.3 ± 0.2	OTE	357.8 ± 9.3
BTW	17.3 ± 1.0	BTE	90.5 ± 1.9

GT:緑茶, OT:ウーロン茶, BT:紅茶, W:水抽出, E:エタノール抽出, ND:測定不可

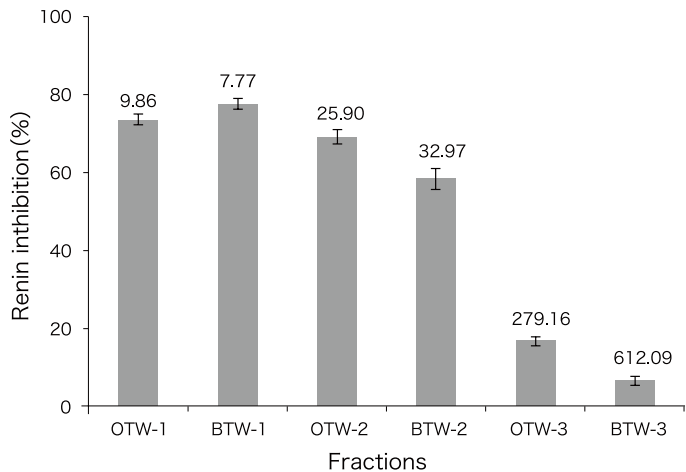


図4 各フラクションの抑制活性

データは3回の実験の平均値 ± 標準誤差を示す。バーの数値は IC₅₀ 値を示している。また、分子量は -1: >10000, -2: 10000-3000, -3: <3000 を示す。

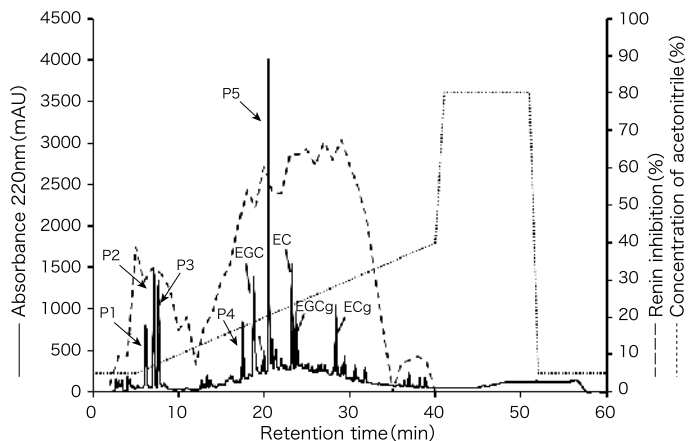


図5 紅茶水抽出画分のHPLCクロマトグラム

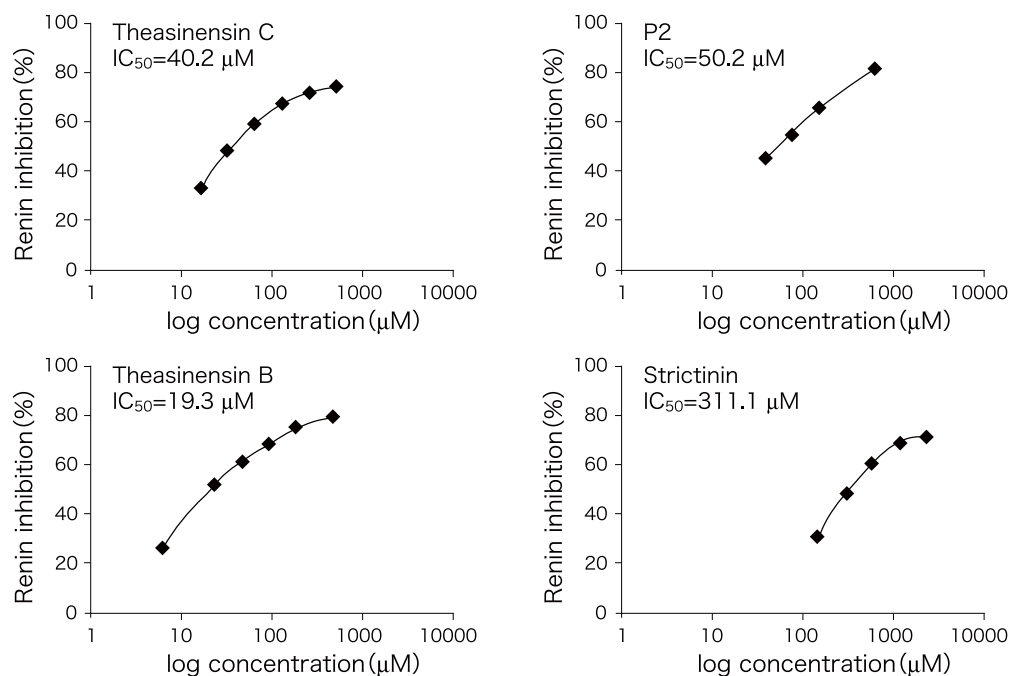
点線(···)はCH₃CNの濃度、点線(---)はレニン抑制活性を示す。C, EC, m, EGC, ECg, EGCg は標準品で確認したピークである。P1-P5 は次の活性確認のため分取したピークを表している。

については theasinensin B と同定された。P5 については, strictinin と同定された。これらのピー

表3 HPLC 各ピークの同定

peak	t _R	PDA	[M-H] (m/z)	MS ₂ (m/z)	純度	化合物名
P1	6.18	269	609	565,471	96.72	Theasinensin C
P2	7.09	270	411	331,241,169	-	unknown
P4	17.48	273	761	609,591	97.63	Theasinensin B
P5	20.54	273	633	463,301	98.79	Strictinin

t_R: 保持時間, PDA: photodiodearray 検出器のスペクトルピーク波長

図6 茶成分中活性物質のレニン抑制曲線とそのIC₅₀値

クを回収することにより、高純度の標品が得られたため、それらのIC₅₀値を測定した結果(図6) theasinensin C; 40.2 μM, P2; 50.2 μM, theasinensin B; 19.3 μM, strictinin; 311.1 μMのように求められた。

これらの活性物質のお茶の含有量をHPLCで測定した結果をまとめたものが表4

である。この表は活性の弱い順に活性物質を並べ、その含有量を+で大まかに表した。その結果、茶の種類によるレニンの抑制活性と含有する強い活性物質との関連性が認められている。

2-4. 考察

標準品のカテキン類5種ともつ食子酸を使用

表4 茶類の活性物質含量まとめ

物質	IC ₅₀	緑茶	ウーロン茶	紅茶
ECg	619.4	+	+	++
strictinn	311.1	++	++	++
P2	50.2	+	++	+
FGCg	44.5	+++	++	++
theasinensinC	40.2	-	+	+
theasinensinB	19.3	-	-	+

して、レニンの抑制活性を調べた結果、カテキンとエピカテキンにはほとんど活性はなく、EGCは非常に弱く、ECgともつ食子酸はそれぞれ、619.4と890.7 μMで唯一EGCgのみが44.5と高値であった。次に茶のレニン抑制活性では、発酵度が高い茶すなわち紅茶の活性が高く、次にウーロン茶、緑茶は弱い活性であった。

このことは発酵が進行することにより、様々な活性物質ができる可能性が示唆され、このことは高発酵茶で様々な機能性の豊富な飲料が期待される。紅茶の試料には、新たに抗レニン活性物質が含まれていることが明らかになった。これまで、レニンの抑制活性は、食品ではサポニン⁶⁻⁸⁾、バイカリン⁹⁾ (フラボノイドの一種でシソ科の多年草ハーブの一種に含まれる)、などが報告されているが、茶成分ではこの報告が初めてである。また活性そのものは、最も高い *teasinensin B* で $19.3 \mu\text{M}$ であり、著しく高値ではないが、食品での機能性を期待するには十分と考えられる。今後の動物試験等の検討も必要である。

おわりに

これまで、農産物や発酵食品、伝統食品などから、生活習慣病を予防、軽減する作用を有する食品を探索して、その中で最も活性の高い食品を選択し、そこから、分子量、固相抽出法などにより、活性を濃縮し、HPLC で活性ピークを同定して、最終的に質量分析による同定を試

みて、幾つかの成分を明らかにし、その成分を応用して新規機能性食品を開発するきっかけとなる研究を行っている。食品での活性で、単純な抽出試料において、際だって高い活性が検出された場合は、かなりその同定率は高くなる。しかし、これまで幾つかの活性を見つけ、その内で同定できたものはそれほど多くない。また同定しても、活性が弱い今後の応用については困難であることが明らかなものも多数である。しかし、今回この茶の成分では、その中に複数の成分に血圧の抑制効果が確認され、その効果が期待できる可能性もある。味噌中の ACE 阻害活性による血圧降下は、比較的短期的な効果が期待されるが、レニンの抑制活性は臨床で用いられる治験薬でも明らかになっており、作用が鋭く長期に効果が期待される。そこで、この成分を活用した血圧降下に有効な飲料としてのお茶は、茶葉の選択と発酵条件の設定で可能となることが期待でき、さらにマイルドで長期的に摂取する機能性食品としての可能性も期待できるかも知れない。

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

- 1) Nakamura Y., Yamamoto N., Sakai K., Okubo S., Yamasaki S., and Takano T.: Purification and characterization of angiotensin I-converting enzyme inhibitors from sour milk. *J. Dairy Sci.* **78**, 777-783, 1995.
- 2) Matsufuji H., Matsui T., Seki E., Osajima K., Nakashima M., and Osajima Y.: Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in an alkaline protease hydrolyzate derived from sardine muscle. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **58**, 2244-2245, 1994.
- 3) Kamath, V., Rajini, P. S., Lohith, K., Somashekar, B. R., & Divakar, S.: Angiotensin converting enzyme inhibitory activity of amino acid esters of carbohydrates. *Int. J. Biol. Macromol.*, **38**, 89-93, 2006.
- 4) Rufia'n-Henares, J. A., and Morales, F. J.: Angiotensin-I converting enzyme inhibitory activity of coffee melanoidins. *J. Agric. Food Chem.*, **55**, 1480-1485, 2007.
- 5) Okello, E. J., Leylali, R., and McDougall, G. J.: Inhibition of acetylcholinesterase by green and white tea and their simulated intestinal metabolites. *Food Funct.* **3**, 651-661, 2012.
- 6) Takahashi, S., Hori K., Shinbo, M., Hiwatashi, K., Gotoh, T., and Yamada, S.: Isolation of human renin inhibitor from soybean: Soyasaponin I is the novel human renin inhibitor in soybean. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **72**, 3232-3236, 2008.
- 7) Hiwatashi, K., Shirakawa, H., Hori, K., Yoshiki, Y., Suzuki, N., Hokari, M., Komai, M., and Takahashi, S.: Reduction of blood pressure by soybean saponins, renin inhibitors from soybean, in spontaneously hypertensive rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **74**, 2310-2312, 2010.
- 8) Takahashi, S., Hori, K., Hokari, M., Gotoh, T., and Sugiyama, T.: Inhibition of human renin activity by saponins. *Biomed. Res.* **31**, 155-159, 2010.
- 9) Deng, Y. F., Aluko, R. E., Jin, Q., Zhang, Y., and Yuan, L. J.: Inhibitory activities of baicalin against renin and angiotensin-converting enzyme. *Pharm. Biol.*, **50**, 401-406, 2012.

食品・飲用分野におけるマイクロバブルの有効性

大成 博文 (OHNARI Hirofumi) *1, *2, *3 大成 由音 (OHNARI Yoshito) *1, *2
大成 水晶 (OHNARI Miaki) *1

*1 株式会社ナノプラネット研究所, *2 大分高専環境科学技術センター 客員研究員, *3 徳山高専 名誉教授

Key Words：マイクロバブル・マイクロバブル水・食品・飲料・饅頭・日本酒・ブレイクスルー

はじめに

かつて、日本経済の高度成長を支えてきた、わが国の産業が、電気・電子分野を中心に衰退し始めている。この衰退は、地方においてより顕著に出現し、その深刻な事態をさらに加速させている。

この衰退を背景にして、それを打開する「地域に根ざした産業づくり」による「経済の自立」が、ますます重要な今日的課題となっている。なかでも、その産業づくりにおいては、食品・飲用産業が果たしてきた役割は小さくなく、地域の経済を支える重要な柱のひとつになってきた。また、その柱の構築においては、地域に豊かに存在する産業資源を「いかに最高度な水準で活用するか」が問われ、そこに優れた「知恵と工夫」の発揮が求められてきた。

周知のように、マイクロバブル技術は、筆者の一人である大成博文によって 1995 年に創成された¹⁾。その特徴は、適用可能な分野が非常に広大であり、しかも最も典型的な「生物適応物質」である「水と空気」を用いて、優れた物理化学的特性と機能性を発揮できることにある²⁾。

すでに、水産業、水質浄化、製造業など多くの分野において重要な成果がいくつも生み出されてきており¹⁻⁴⁾、それらの実績を背景にして、

2008 年には「マイクロバブル発生装置」が経済産業省の「地域産業資源（山口県周南市）」として認定されている。

以上を踏まえ、本論では、食品・飲用分野において、マイクロバブル技術を適用した具体的な事例を紹介し、その有効性と今後における発展の可能性について考察する。

1. マイクロバブルの特徴

1-1. 定義

マイクロバブルは、広義において「マイクロサイズの気泡」と定義可能であるが、筆者らが開発した「超高速巡回式マイクロバブル装置」においては、その発生がより限定された範囲で起こることから、狭義においては「その発生時において、その直径が 10 ~ 40 μm 前後の気泡」とより厳密に定義されることもある¹⁾。

また、その直径が数百 nm 以下のサイズの気泡を「ナノバブル」と定義し、その中間的なサイズの直径が数百 nm ~ 10 μm の気泡を便宜的に「マイクロナノバブル」と呼んでいる。さらに、これらの気泡の総称として「マイクロ・ナノバブル」の用語が用いられ、最近では、これを「ファインバブル」と呼ばれることもある。

1-2. マイクロバブル（水）の物理化学的特性

すでに述べてきたように、マイクロバブル技術は、液体と気体の両方を高度な水準で活用することに特色があり、液体中でのマイクロバブルの大量発生は、その作用対象物において、従来よりもはるかに広い境界領域において多数の結末点に基づく新たな法則を生み出させた。そして、この境界領域の拡大は、マイクロバブル化によって「液体中でありながらも気体としての性質をより引き出させ」、「気体であっても液体のような性質をより帯びる」という「新たな意味づけ」を見出す契機を創り出した。

図1に、その境界領域の拡大と、そこでの多数の結末点の出現に関する概念スケッチを示す。当然のことながら、この拡大と出現によってマイクロバブルと、それを含む液体（「マイクロバブル水」と呼ぶ）は、従来、広く用いられてきた「ミリバブル（直径がミリメートルサイズの気泡のことをいう）」とは本質的に異なる、次の固有の物理化学的特性を有していた²⁾。

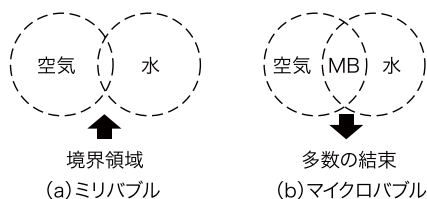


図1 マイクロバブルの境界領域と結末点



図2 海水マイクロバブルが発生している様子

- ①マイクロバブルの収縮
- ②マイクロバブルの負電位帯電と増加
- ③マイクロバブルの発光
- ④マイクロバブル水の弱アルカリ化¹⁾

図2に、海水中で大量発生しているマイクロバブルの様子を示す。このマイクロバブルのほとんどが、その発生直後から収縮を開始し、その後、短時間において液体中に消滅・溶解する。この収縮過程において、マイクロバブルは負電位を増加させ、さらに発光を繰り返す。これらは一連の現象であり、上記①が引き金となり、②と③の現象が付随的に形成されるという関係を有している。

また、その収縮運動に伴って、マイクロバブル内では「高温高压化」が実現され、④の重要な化学反応が生起する。それらの特性と過程が、後述するように食品や飲食物づくりに小さくない影響を与えることになることから、次に、それらの特性をより詳しく考察することにしよう。

1-2-1. マイクロバブルの収縮

マイクロバブルの収縮運動が最も重要な物理的現象の一つとされる理由は、それが開始されるとともに、マイクロバブル内のエネルギーが徐々に高まり、その結果として化学反応を引き起こすという一連の過程の「契機」を創り出すことにある。それゆえに、収縮しないマイクロバブルや、その収縮速度が小さいマイクロバブルにおいては化学反応が起こらないので、マイクロバブルの基本的性質が大きく異なってしまうことに注意を払うことが重要である¹⁾。

一方、マイクロバブルの発生頻度分布における最頻値は20～40 μmであり、この範囲の気泡径を有するマイクロバブルが全体の約6割を占め、それらが、発生直後から一斉に収縮運動に向かうのである²⁾。水道水において発生したマイクロバブルを約800倍に可視化し、それを時間的に追跡した連続画像を図3に示す。これより、マイクロバブルが比較的短時間に収縮し、

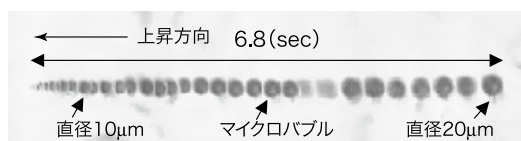


図3 マイクロバブルの収縮の時間経過

消滅していく様子が明らかである。

マイクロバブルの収縮運動が開始される原因は、超高速旋回式マイクロバブル発生装置内においてマイクロバブルを生成させる際に、その中心軸付近に形成された気体空洞部において -0.06 MPa程度の負圧が形成され、これが秒速約500回転という超高速回転速度で切断・粉碎されることによってマイクロバブルが発生することにある¹⁾。したがって、発生した直後のマイクロバブル内では、この影響を受けて負圧になっていると考えるのが自然である。また、その発生後は、周囲の液体による正圧の影響を受けることから、その内外の圧力差で自動的に収縮が開始される。その後、この収縮と、その反動で起こる膨張を繰り返しながら、その収縮とともに、マイクロバブル内の高温高压化が進み、より溶解しやすくなり、さらに、その溶解と収縮が促進されていくことが観察されている。この過程の概念モデルを図4に示す。これらの過程の詳察は、紙数がないので別稿に譲る。

1-2-2. マイクロバブルの負電位特性と発光現象

マイクロバブルの負電位特性は、その直径が

小さいほど高く、その直径が約 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲で約 -40 mV のピークを形成することにある²⁾。この増加は、収縮の進行とともにマイクロバブル内のエネルギーが徐々に高まることを示唆しており、その結果として、主として熱励起が、上記③の発光現象に結びついているように思われる。

技術的に重要なことのひとつは、マイクロバブルの負電位特性が洗浄力を高めることにあり、マイクロバブルが正電位を有する有機物の汚れに付着し、剥離させることによって高洗浄力の機能性を生み出すことである。また、③の発光も、その高温高压化の作用によって微細な有機物を、あたかも「瞬間的に燃やしてしまう」ことで除去してしまう作用や、この瞬間的な温度勾配の出現によって高浸透性が生まれる効果などの機能性が注目される。図5に、マイクロバブルが発光した瞬間の画像の一例を示す（この発光特性については文献5）において、やや詳しく考察されている）。

1-2-3. マイクロバブル水の弱アルカリ化

図6に示されるように、水槽に水道水を入れて、その水を循環させながら、空気マイクロバブルを連続的発生させた場合に、その溶液は弱アルカリ化傾向を示すことが知られている。しかし、このアルカリ化の原因は長い間不明のままであり、いわば「マイクロバブルの謎」の一つであった¹⁾。

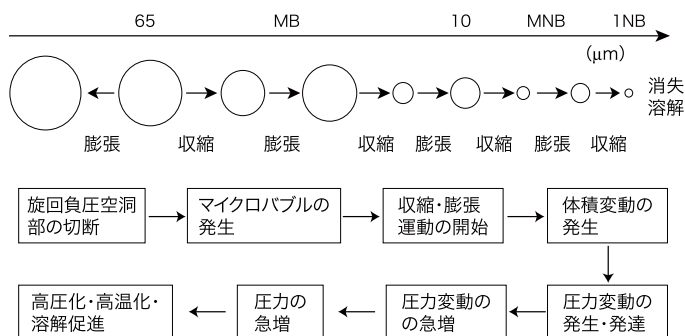


図4 マイクロバブルの高温高压化の概念モデル

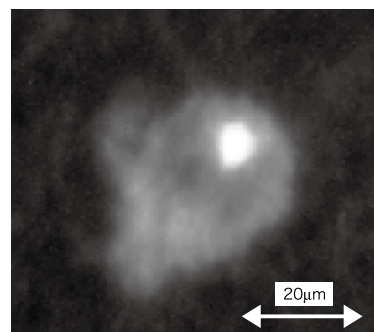


図5 マイクロバブルの発光

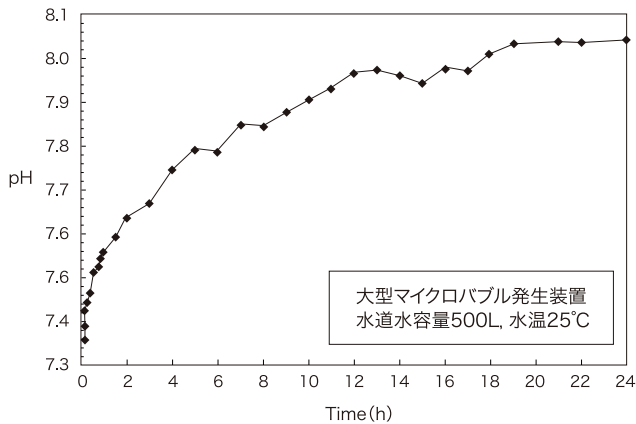


図6 マイクロバブル水（水道水）の弱アルカリ化

その謎解きが困難であった理由は、瞬間的とはいえ、マイクロバブル内が高温高压化し、化学反応が起こり、その合成物質が生まれるという現象を容易に想起できず、その分析法を確立できなかったことにあった。しかし、筆者らは、このマイクロバブル水中で産生されたアルカリ化物質を突止め、2010年に、その特許の出願を済ませた⁶⁾。

周知のように、食品や飲用物において「酸化」は大敵であり、それをいかに防ぐかの試みがいくつもなされてきた。このマイクロバブル水のアルカリ化傾向は、その酸化防止に有効である可能性があることから、今後、その効果的な適用法を開発していくことが非常に重要である。

2. 宮島もみじ饅頭

日本三景のひとつとして古くから親しまれてきた「安芸の宮島」には、年間350万人の観光客が訪れている。その多くがフェリーに乗って宮島に渡り、目当ての厳島神社に向かう。その参道の両側には、お土産品店とともに名物の「もみじ饅頭」屋が並んでいる。この厳島神社の奥に参拝者の出口があり、そこから徒歩2分のところに「Iもみじ屋」という饅頭屋がある（図7,8）。この饅頭屋のご主人から相談を受け、その現状を



図7 Iもみじ屋



図8 焼き立てのIもみじ屋のもみじ饅頭

問題解決する方法はないかと熱心に尋ねられた。

「私どもの饅頭づくりは、もうすぐ百年を迎えます。この伝統を守り発展したいと思って必死で頑張ってきましたが、材料の北海道産小豆が高くなり、赤字覚悟の経営が続いています。これよりはるかに安い中国産小豆を用いると楽になるのですが、これまで伝統を守ってきたことを考えると、そう簡単に変えることができません。そこで、なんとか、国産小豆を使っても経営が成り立つ方法はないかと思って相談にやって来ました」

「そうですか、それは大変ですね。お気持ちと覚悟のほどは解りましたが、私は、肝心のもみじ饅頭の作り方を知りません。まず、その作り方を説明していただけますか？」

こうして、やり取りが始まり、徐々に、その饅頭づくりの方法が、私にも理解できるようになった。それらを大別すると、①小豆の洗浄、煮込み、餡づくり、②カステラ生地づくり、③焼

きの3つの工程があった。何度も質問を繰り返しながら、饅頭づくりの理解を深め、最終的に行った提案は、次のようなものであった。

「大規模な設備を導入するのではなく、最小限の規模のマイクロバブル装置を導入することに留めましょう。その代り、その装置を工場の真ん中において、可能な限り、すべての工程でマイクロバブルを使ってください」

この工程の主要部分は、次の6つであった。

- ①小豆の洗浄
- ②小豆の灰汁取り
- ③小豆の煮込み
- ④餡づくり
- ⑤カステラ生地用のマイクロバブル水づくり
- ⑥カステラ生地用粉との混合・攪拌による生地づくり

①においては、小豆の洗浄にマイクロバブルが有効であった。小豆を微視的に観ると、その表面にはたくさんの汚れが付着していて、とくに、小さい有機物系の汚れは一旦付着すると、なかなかそれを剥ぎ落すことができないものであった。しかも、小豆は米のように小さく大量にあることから、それをきれいに洗浄することは容易ではなかった。そして、この汚れが餡の味に微妙に影響を与えることから、丁寧な洗浄を行うとなると大変な手間がかかってしまっていた。

ところが、液体中に小豆を入れてマイクロバブルを発生させると、マイクロバブルが小豆表面に付着した正帯電の有機物系の小さな汚れに付着し、それをすぐに落としてしまったので、その表面は、見た目も鮮やかなきれいな小豆表面になった。

②においては、洗浄済みの小豆をしばらくマイクロバブル水に浸しておくと、そこから灰汁が出てきた。この灰汁の出方は、小豆の状態や農薬使用の度合いなどによって微妙に異なるが、後に行ったマイクロバブル水と水道水にお

ける灰汁抽出比較実験では、前者において真っ白い灰汁が大量に出てきたのに対し、後者においては前者と比較してそれが非常に少ないという大差の結果を得た。当然のことながら、この灰汁抽出の度合いは、餡の味に重要な変化を与えたことから、餡の味の改善にかなり役立ったようである。

③については、周知のように小豆の表面の皮は硬く、水分をなかなか通さない。また、その中身の部分は、比較的柔らかく、これを煮すぎると、いわゆる「どろどろ」状態になって小豆の味が変質してしまう。それゆえ、短時間では、小豆の皮と中身の両方をうまく煮ることがなかなか難しい。ところが、マイクロバブル水が小豆の中までよく浸透することで、結果的に小豆内の水分量が増えて、なぜか、この煮込みが比較的うまくいったようであり、このメカニズムについては、今後より詳しい究明が必要である。

こうして④の餡づくりに至るが、Iもみじ屋の場合は、「粒餡」と「漉し餡」の二種類が作られている。これらについては、焼き立ての熱々状態では前者の方が美味しく、逆に、冷えると後者の方が美味しいという評判が定着している。この原因究明を行うことは真に興味深い課題であるが、この「謎解き」は、いまだ実現されていない。

次は、⑤の水づくりに関する改善問題である。もともと、この宮島地区の水はよくなく、その水質の確保のために、近隣のダム貯水池からの配水がなされるようになったが、それでも饅頭づくりに適した水づくりにおいてはかなりの改善の余地が存在していた。そこで、その水を使用してのマイクロバブル水づくりがなされ、薄力粉の組成の中に浸透しやすい、そして混ざりやすく、均等性をより高めた⑥の生地づくりが可能になった。その結果、この生地づくりによって、最後の工程である「焼き」に段階においても、カステラ生地表面が極端に乾燥したことで

起こる「ぱさぱさ感」がない、しっとりした生地の饅頭ができるようになった。これらの改善によって、本饅頭の評判は日増しに高まり、とうとう日曜祭日には、一日1万個も売れ、常に行列ができる饅頭屋になった。

このマイクロバブルによる饅頭改善の特徴は以下のとおりである。

- ①一度食べたら、その「美味しさ」に感激することから、すぐに「もう一度食べたい」という気持ちになる。そのため、繰り返し購入を希望するリピーター客が増える。
- ②カステラ生地とその中の餡との一体感が絶妙であり、噛めば噛むほど、美味しさを感じる。これは、カステラ生地と餡の水分調整がうまくなされ、両者における含水量がほぼ近い状態に保たれていることが関係している。
- ③餡において、「いやみ」や「渋み」が除去され、小豆本来の味がうまく引き出されている。これについては、インターネット上に寄せられた次の感想を紹介しておこう。「初めてここのもみじ饅頭を口にした時は衝撃が走った。中の餡に雑味がなく、後味もすっきりしていてえぐみがない!・・・和菓子の職人の魂のこもった最高のもみじ饅頭だ!」

3. 大吟醸酒「錦」

山口県岩国市に老舗のM酒造がある。かつては県内第一位の売上を誇っていたが、近年の飲酒人口の減少、時代に対応した経営革新の立ち遅れ、販路の衰退などが重なり、不振の状態が続いていた。そんな折、同県のアドバイザーの勧めもあって、この酒造会社を訪問・視察する機会を得た。視察を行いながら、「現在の不振からどう抜け出すか」を考え続けたが、妙案は浮かんでこなかった。一連の設備の視察を終え、最後に、酒づくりに使用していた水の試飲

を行った。その結果は、たしかに美味しい水ではあったが、何か物足りなく感じ、この水の送付をお願いした。

「この水を送っていただけませんか。そして、私が、マイクロバブルで、より美味しくして返送しますので確かめてください」

依頼された彼らも、半信半疑の様子であったが、その水はすぐに到着した。私も、その日のうちにマイクロバブルで水質改善した水を送り返した。さすがに、この酒造会社の若くて優秀なH杜氏は、その改善効果をすぐに理解したようで、今度は、「酒を送るから、それも同じように処理していただけないでしょうか?」と依頼してきた。送られてきた酒は大吟醸であったが、正直、感激するような味ではなかった。そこで、マイクロバブルを発生させる液体が、前回の水とは違って酒であったことから、そのことを考慮してマイクロバブルを発生させ、適切な処理を行って、これも直ちに返送した。しばらくして、今度は、その杜氏と担当者が直接訪ねてきて、「なんとか、マイクロバブル装置を導入したい。それは可能か?」と尋ねられた。このとき、彼らは、先に返送した水と酒の「マイクロバブルによる改善効果」を自分の舌で、よく確かめていた。

そこで、彼らの意向に添って、次の装置に関する3つの提案を行った。

A案：必要最小限の小型装置（10～20リットル対応）

B案：一つの酒樽対応の中型装置（数十リットル対応）

C案：さまざまな機能性を有した大型装置（500リットル対応（図9））

すでに、A案の装置は、過去において日本酒の改善のためにマイクロバブル実験を行ったものであった。またB案の装置も、東北地方のある老舗の酒屋に導入済みの装置であった。しかしC案の装置は、その当時、わが国には2



図9 酒用マイクロバブル大型装置



図10 大吟醸「錦」(M酒造)

台しかなく、そのうちの1台は、私の実験室で使用していたものであった。

当然のことながら、彼らの質問は、このC案の装置において「何ができるか」に集中した。そのせいか、質疑応答が終わると、「社運を賭けて、C案にしたいと思います。よろしく願いいたします」という重要な返事をいただいた。この装置を駆使して「何ができ、不振の窮地を、いかに脱出できるか」、それらが真に問われることになった。

装置導入後の最初の成果は、それから約半年後に出現した。そのマイクロバブル処理を行った大吟醸酒「錦」(図10)が、国内の「全国酒類コンクール」で第1位となり、それに続いて、「モンドセレクション最高金賞」に輝いたからであった。いずれも、マイクロバブル導入前には実現されなかった栄冠であった。その前者における審査員講評において、次の真に興味深いコメントが明らかにされた。「大吟醸酒『錦』は、『酸味』と『コク』、『キレ』、『まろやか』という4つの指標のすべてにおいて優れていた。このように4拍子揃った酒の誕生は初めてのことである」

まず、最初の指標の「酸味」とは、フコク酸、リンゴ酸、乳酸などの酸の総合的な味のことを

いう。次の「コク」は、日本酒が持つ各種味の総和を意味している。三番目の「キレ」は、飲んだ後の酒の味が、口の中で、どれだけ早く消えてなくなるかの指標であり、酒の専門家によれば、この「キレ味」を出すことが一番難しく、杜氏の腕が試される指標だといわれている。さらに、四番目の「まろやか」は、酒の「甘さ」、「辛さ」のうち、前者に関係付けて用いられる指標のようである。

また、これらは「濃醇辛口」、「濃醇甘口」、「淡麗辛口」、「淡麗甘口」という用語で表現されることもあり、順に、「酸味・コク・キレ」、「酸味・コク・まろやか」、「キレ」、「まろやか」に、それぞれ優れることを特徴としている。このように、この4つの指標のすべてにおいて優れた酒はなく、それぞれが相反することで、これらの指標が成り立っているようである。

周知のように、「錦」のような大吟醸酒においては、最後の工程において醸造アルコールが添加される。この作用は、一般に、日本酒の「香り」を引き立たせ、さらに「キレ」をよくするために用いられているようである。しかし、このアルコールの添加をどう行うかが非常に微妙な問題であり、この最適添加ができないと、アルコール特有の「ツッパリ感」や「いやみ」が出てしまうこともある。また、キレの作用は、その添加で糖や酸を抑えることによって生み出されるものであるが、この制御が相当難しく、この調合においても、杜氏の力量が試されていた。

実際、いくつかの失敗と試行錯誤を経ながら、M酒造の杜氏が、マイクロバブル技術を駆使してブレイクスルー(突破)しようとしたのは、次の3つの課題であった。

- ①日本酒の「香り」を、そのまま残して、酸味とコクを出す。
- ②酸味とコクを引き出しながら、キレを最高度に実現する。
- ③酸味とコク、キレを保ちながら、まろやかさを生み出す。

これらをまとめた概念スケッチを図 11 に示す。図中のⅠ群では、たとえば八海山、久保田、土佐鶴が、Ⅱ群では越乃寒梅などが該当する。これらの課題解決は、これまでの酒造りにおいては、真に奇跡に近い「離れ業」であったが、それがマイクロバブルを用いることによってほとんど可能になったことが、上記の審査員講評おいてで示されたのであった。

なお、これらのより深い解説は、重要な「ノウハウ」に触れることになるので、ここでは、その差支えがないと思われる、次の基本的な事項のみを示すことに留める。

上記①の課題においては、日本酒づくりの最後の工程、すなわちアルコール添加と混合においてマイクロバブルを大量発生させるという工夫がなされた。また、日本酒の香りをそのまま残し、酸味やコクを失わないように、いわゆる「利き酒」をしながら、マイクロバブル処理を行い、最適状態を見出すことができた。

次の②においては、最高水準のマイクロバブル制御がなされた。もともと、酸味やコクを醸

し出す成分物質は、その分子量や粘性が大きいことから、それらは、すぐに口の中の舌表面や周囲の細胞には浸透しにくいものである。それらと比較すると、アルコールの分子量や粘性は、より小さいことから、それが加わることで、より浸透性が高まり、「キレ」がよくなる傾向を示す。加えて、添加アルコールを含む水中でマイクロバブルを大量発生させると、それらの成分の微細・粉碎化が可能になるとともに、浸透性を増加させる各種の勾配（熱的、化学的勾配など）がより形成され、その作用効果が「キレ」を促進させたのではないかと推察される。

③の「まろやかさ」を引き出すことにおいても、マイクロバブルが重要な役割を果たしたことが想定可能である。その第1は、アルコールを含む液体中でマイクロバブルが大量発生（表面張力が水よりも小さいために、マイクロバブル発生量が数倍になる）することによって、アルコールの「硬質性」や「いやみ」を適度に減じたことである。第2は、酒に含まれる水の成分そのものにも、その作用が及び、水の硬質性を和らげ、甘みを増加させたことである。それゆえに、従来の「酒の甘さ」による「まろやかさ」ではなく、そのアルコールと水の「まろやかさ」が新たに加えられたように思われる。その結果、「香り」とともに、「酸味」や「コク」を引き出させ、さらには「まろやか」という四拍子が揃った酒が出現し、その評価が新たになされたのであった。その後も、これらの受賞が続き、モンドセレクションにおいては最高金賞の六連覇を達成し（図 12 参照）、全国酒類コンクールにおいても「歴代一位」という特別の称号を得るまでに至った。

このようにして大吟醸酒「錦」は、文字通りの「世界一」と「日本一」を達成した。この陰には、「社運を賭けたマイクロバブル装置」の導入があり、それを知恵と工夫によって最高度に駆使したことが、この輝かしい成功を得るこ

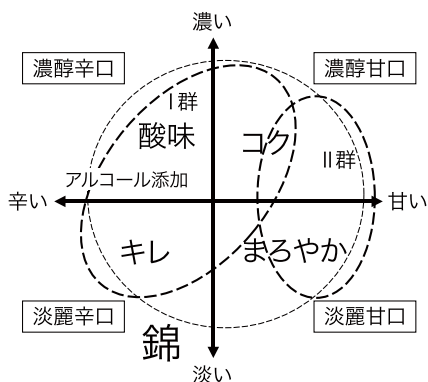


図 11 日本酒の美味しさの4指標



図 12 モンドセクション最高金賞 3 連覇の際に受賞したハイクオリティートロフィー

とに結びついたのであった。これらにおいては、わが国の酒造メーカーにとって真摯に学ぶべき点が少なくないと思われる。

まとめ

マイクロバブルとマイクロバブル水の物理化学的特性を究明し、それらと食品および飲用物としての饅頭および日本酒の具体的な改善例を示しながら、そのマイクロバブル技術の有効性を考察した。これらの成果において共通することは、マイクロバブルとマイクロバブル水の優れた特徴を巧妙に利用し、その現場における洗練された実践力を発揮させたことにあった。そ

の結果として、多大な商品力を有する「もみじ饅頭」や「大吟醸酒」を新たに誕生させた。とくに前者においては、マイクロバブルの洗浄力、きめ細かい分散力と均一性、さらにはマイクロバブル水の高浸透力と保水性などが効果的に誘起された。また、後者においては、マイクロバブル水とアルコール成分の優れた改質と日本酒エキスとのブレンド力などが巧妙に発揮された。

これらの特徴は、他の食品や飲料においても十分に適用可能であり、そこに固有の知恵と工夫がなされていけば、同水準の新商品が創製される可能性は小さくないと思われる。

なお、上記の特徴と機能性については、今後、より深くかつ系統的に究明される必要がある。本稿が、その契機と一助になれば幸いである。

[謝辞]

マイクロバブル技術を導入し、熱心に使っていただくことで小さくない成果を出された I もみじ屋と M 酒造のみなさまに深く感謝いたします。

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

- 1) 大成 博文：マイクロバブルのすべて，日本実業出版社，1-285，2006.
- 2) 大成 博文：未来材料としてのマイクロバブル，未来材料，36-42，2009.
- 3) 大成 博文他：マイクロバブルによる閉鎖海域の水質浄化と水産養殖の復興，混相流，Vol.26，No.2，150-157，2012.
- 4) 文部科学省：科学技術白書，2012 年度版，79-80，2012.
- 5) 大成 博文：光マイクロバブルとは何か，マイクロ・ナノバブル技術シンポジウム講演論文集，48-53，2007.
- 6) 大成 博文他：日本国特許，特開 2011-68555，2011.

カボチャの過去・現在・未来

— 北海道農業研究センターの取り組みと今後の課題 —

嘉見 大助 (KAMI Daisuke) *

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

Key Words：カボチャ・品種・省力化・作付面積・輸入・統計・品種改良・課題

はじめに

当方の研究内容はカボチャの品種開発であるため、「New Food Industry」の投稿内容とは異なることは理解しつつ、上記のタイトルについて報告することにした。まずはカボチャの「過去」について述べ、「現在」としてカボチャの取り巻く現状と筆者が所属する（独）農研機構

北海道農業研究センターの取り組みについて説明する。「未来」については予測や提案というよりは、「お願い」に近い内容を列記させていただいたことや一部筆者の主観が強く出ているところもあるが、それについてはご容赦願いたい。

1. カボチャとはどのような植物だろうか？

カボチャはウリ科の蔓性植物を指し、キュウリ、スイカおよびメロンの仲間属する。しかし、その利用法は他のウリ科植物とは異なる。例えば、スイカやメロンと同じくらいの糖度であるが、デンプンが多くて果肉も硬いため、生

食はできず加熱調理をしないと食用にできない。しかし、その用途は他のウリ科植物よりも多く、調理法も昔ながらの煮物だけではなく、ポタージュ、スイーツと多岐に及ぶ。この辺は、むしろバレイショ（ジャガイモ）やカンショ（サツマイモ）に近いと言える。また、カボチャはその呼び名が多いことも珍しい。現在は「カボチャ」で統一されているものの、古い資料を見ると「なんきん」、「ほうぶら」、「とうなす」と同じ植物にこれだけ呼び名があるのも珍しい。

現在、日本で食用に使われるカボチャは大きく3種存在し、草姿や果実の形、果肉の味も大きく異なる。しかし、これらを混同して紹介されることが多く、同一種と勘違いされることが多い。そこで、それら3種の食用カボチャの紹介とともにカボチャの「過去」に触れたいと思う。3種の食用カボチャのうち、世界で古くから食べられてきたものは何か？これについてはペポカボチャ（*Cucurbita pepo*）が古くから食べられてきたとされる。ペポカボチャの起源はフロリダなどの北アメリカとされ、現在でも

連絡先：嘉見 大助 (KAMI Daisuke)

〒062-8555 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘一番地

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

Tel：011-851-9141 E-mail：dkami@affrc.go.jp

ズッキーニ、果肉の繊維を三杯酢で食べる「錦糸瓜（ソウメンカボチャ）」やハロウィンにおける飾り用のおもちゃカボチャでお目にかかることができる。最も古い標本は、メキシコのタマウリバスのオカムボ洞窟で発見された数粒の種子と外果皮の断片で、発見された地層が紀元前 7000 ～ 5500 年であることから、これがカボチャの利用された起源とされる¹⁾。

では、日本で古くから食べられてきたのは何か？これはニホンカボチャ (*C. moschata*) である。現在でも、「三毛門」、「小菊」、「鹿ヶ谷」や「バターナッツ」などの品種が購入可能である。原産地はメキシコ南部からコロンビア・ベネズエラ付近とされている。日本に入ってきたのは、天文 18 年 (1549) に豊後 (大分県) の領主 大友宗麟にポルトガルから貿易の許可を求める際に献上されたものが最初とされている²⁾。大分に流れ着いたカボチャは次第に東方に伝わり、全国で栽培されるようになった。とはいえ、急速に広まったわけではない。京都に広まったのは延宝・天和年間 (17 世紀後半)、江戸 (東京) には明和年間 (18 世紀後半) と 200 年近くまで時間がかかっている³⁾。ちなみに北海道への伝来は寛政 11 年 (1799 年) と考えられることから⁴⁾、江戸から北上するのは案外スムーズに進んだようだ。そんなニホンカボチャは江戸時代には好まれた作物だったようで、井原西鶴が残した浮世草子の一節に、「とかく女の好むもの 芝居 浄瑠璃 芋蛸南瓜 (いも たこ なん きん)」とカボチャ (南瓜) の名前を挙げている。この理由としては、江戸時代は砂糖が高価だったため、甘みのある作物が好まれたことが考えられる。どのような食べ方をしていたかという、これは甘辛く煮たカボチャにきな粉をまぶした料理の「唐茄子の安倍川」というのが人気だったとされる。この辺の話は古典落語「唐茄子屋政談」にも残されているので、お聞きいただければ幸いである。また、12 月末の冬至に

カボチャを食べる習慣もおそらくこのカボチャを使っていた。なぜ、カボチャなのかというと特に大きな理由があるわけではないようだ。この時期に「ん」の付く食べ物を食べると中風にならない、または長生きできるという伝承の中で、カボチャは「南瓜 (なんきん)」と「ん」が入っているため選ばただけで、実際は蓮根 (れんこん)、人参 (にんじん)、銀杏 (ぎんなん)、金柑 (きんかん)、寒天 (かんてん)、饅頭 (う んどん＝うどん) でも良かったらしい。ただ、ニホンカボチャは夏に果実を収穫しても冬至まで保存が可能なことから、流通しやすかった側面もあるだろう。新谷尚紀の日本の「行事」と「食」のしきたりによると、この風習は江戸時代の記録になく明治時代以降の風習と推測している⁵⁾。

ニホンカボチャは耐暑性が強く、果実の日持ちもよいが、果実は糖度にして全般的に 10% 以下が多く、食感もネットリして、食味が現代の嗜好にそぐわなくなり、日本の食卓でさほど見られなくなった。そして、新しいカボチャが日本に上陸して、その地位を奪ってしまった。

それは、セイヨウカボチャ (*C. maxima*) と呼ばれ、現在も日本で最も栽培されているカボチャ種で、どこのスーパーでも入手可能な「おなじみさん」である。このカボチャの最初の伝来は文久 3 年 (1863 年) とあるが、本格的な栽培は明治以降に北海道を中心に行われた。様々な品種の栽培特性が比較検討され、「ハッパード」と「デリシャス」が収量や品質の面で優れると評価された⁶⁾。現在、この二品種から派生した固定品種 (何世代にもわたって選別・淘汰されて、その地域の風土に合った種として遺伝的に固定化したもの) が地方の特産品種として栽培されたり、この二品種を品種づくりにおける親として利用され、「えびす」や「みやこ」等の多くの品種を生み出した。

北海道に入ったカボチャはその後どのように普及したのか？カボチャ、特にセイヨウカ

ボチャはデンプンやミネラルが多いことから、ジャガイモと同様に主食代わりになると評価され、明治以降、北海道では生産面積を増やしていった。それでも7,000 haを超えることはあまり無かったが、第2次世界大戦中の昭和17年には10,000 haに達し、終戦および戦後食糧難が生じた昭和20～21年には20,000 haを超えている。それ以降は変動はあるものの生産面積を減らす傾向にある⁷⁾。

この間、品種づくりの面でも大きな変化があった。昭和20～30年代まではニホンカボチャ、セイヨウカボチャにおいて固定品種が栽培されていた。固定品種は適した風土以外では発育が悪い、生育や品質にばらつきが出ることも多いこともあり、全国的な安定生産には向かないことも見受けられた。そのような経緯の中、昭和28年(1953)に宮崎農業試験場(現宮崎県農業総合試験場)においてニホンカボチャF1品種「育成6号」⁸⁾が、昭和38年(1963)に財団法人 日本園芸生産研究所(現 公益財団法人)がセイヨウカボチャF1品種「近成芳

香」が発表された⁹⁾。F1品種とは雑種第一代(First filial generation)とも呼ばれ、異なる特性を持つ系統や品種の親を交配して得られる品種を指し、1代目の雑種の場合は、その特性が両親のそれを上回ることがあり(雑種強勢ともいう)、同一品種間の特性も均一になる利点がある。以降、市場に出回る品種のほとんどはF1品種となり、各種苗者から数多くの品種が販売されている。

カボチャは現在どの程度作られているのか?

2. カボチャの現在 ～統計でみるカボチャ～

ここでは主に食用カボチャのうち、この章以降はセイヨウカボチャを中心に述べる(以降、セイヨウカボチャはカボチャと略記)。農林水産省統計データを基に調べると、先でも少しふれたが、平成に入っても作付面積は低下していき、平成14年度には約16,000 haまで減少したが、その後徐々に増加し、平成24年度で約17,800 haまで回復した。同様の傾向は収穫量や出荷量にもいえ、今のところは一定の値で推

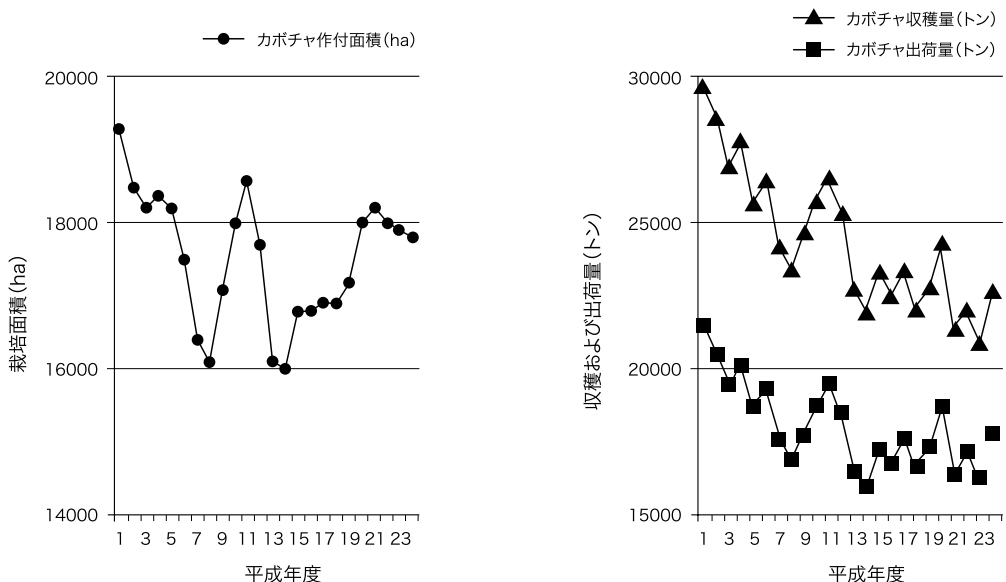


図1 平成以降のカボチャの栽培面積(左)およびカボチャ収穫量と出荷量(右)の経時変化
データは農林水産省統計データを参考にした。

移している（図1）。このカボチャの生産を最も支えているのは北海道で、全体の50～60%を占める。これに続くのは鹿児島県、長崎県、宮崎県の九州勢、茨城県、千葉県（シェア2.2%）、神奈川県（シェア1.8%）に代表される関東勢がこれに続く（図2）。

東京都中央卸売市場統計データを基に入荷量を調べると、国産のカボチャ果実が市場に多く出回始めるのは6月で、秋口に最も多く出回り、

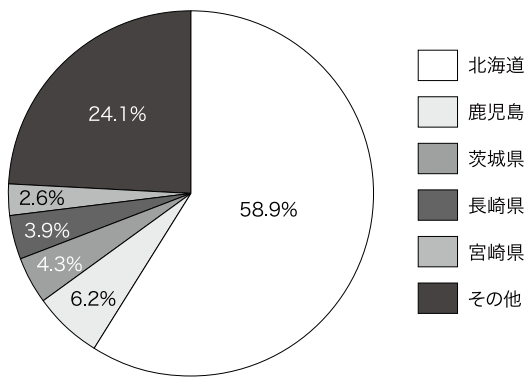


図2 平成24年度の国産カボチャ出荷量における上位五位の都道府県の割合

データは農林水産省統計データを参考にした。

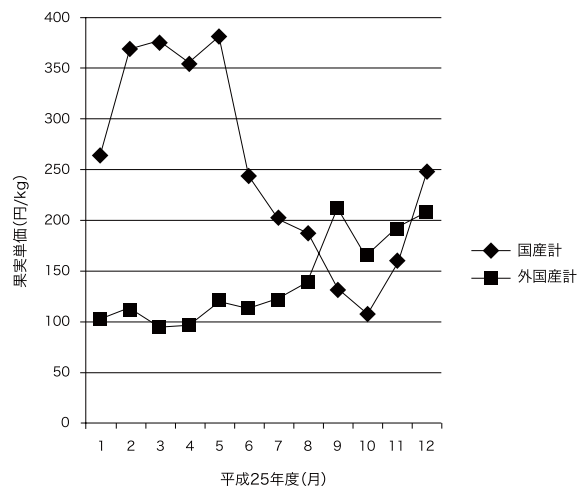
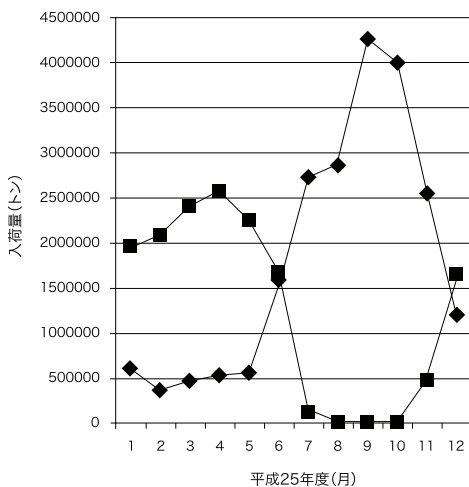


図3 平成25年度における、東京中央卸売市場への国産カボチャおよび海外産カボチャの入荷量（左）および果実単価（右）の月別変化

データは独立行政法人農畜産業振興機構の野菜情報総合把握システム「ベジ探」から東京都中央卸売市場計の統計データを抽出した。

冬から春にかけては国産が減少して外国産が多く出回る。果実の単価はその逆の推移を示し、最も国産が出回る夏から秋にかけては価格が低く、冬から春にかけて高くなる。外国産の果実単価は国産に比べるとその推移は低いが、やはりあまり出回らない夏から秋にかけては価格が上昇する（図3）。そのため、「外国産が安い」という考えは必ずしも当てはまらないということになる。

ちなみに、カボチャは外国産の輸入量がタマネギについて多く、主にニュージーランドとメキシコで占められている（図4）。そこで、国産の主要産地の北海道産とニュージーランド産とメキシコ産のカボチャ果実の入荷量と単価を比較する。北海道産は8月から12月までの入荷に対して、ニュージーランドは2月から5月までの入荷で、メキシコ産はそれらの間に入荷のピークを二つ持つことがわかる。果実単価については北海道産とメキシコ産は先の国内産計と海外産計と大きく違わないが、ニュージーランド産は果実が取れなくなる7月においては急激に高額となり、国産果実以上の高値になって

しまう(図5)。

次は国内の消費について述べる。カボチャはどこ地域が主に消費しているのだろうか?これについては、家計調査(二人以上の世帯)を基に県庁所在地および政令指定都市におけるカボチャへの支出金額と消費量を平成23～25年の3か年の平均から比較・検討した。その結果、支出金額については、横浜市、川崎市、東京都区部、さいたま市や千葉市に代表される関東地域が多く支払っていることがわかる。一方、中

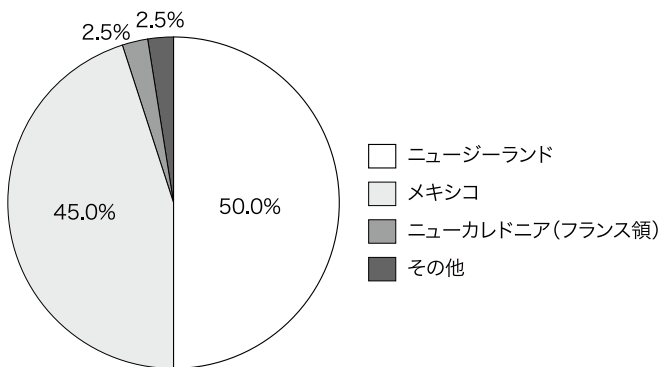


図4 平成25年度における、海外産カボチャ輸入量の国別の割合
データは農林水産省統計データを参考にした。

国地方や生産地であるはずの九州地方の購入金額は低い傾向にあるようだ。購入量についてはもっと不思議な傾向にある。支出金額では最上位だった関東勢を押しのかけて、広島市が一番多いことがわかった(図6)。この理由について、広島市に直接問い合わせたが、返って驚かれる始末であった。もしも、この原因についてご存知の方がおられたらお教え願いたい。

この章の最後に、カボチャは日本人どの層に人気があるかを調べた例があるので、紹介する。野菜の家庭内消費量については石橋の研究例

(2009)が面白い。1980年代、1990年代、2000年代前半および2000年代後半の家計調査などのデータを解析したところ、以下のことがわかった。カボチャは各年代に関係なく、高齢になるほど購買層が増えるため、高齢者受けする野菜である。さらに、カボチャは単身女性および家族と生活している女性で多く、単身男性は最も少ないことから女性受けする野菜であることがわかっている

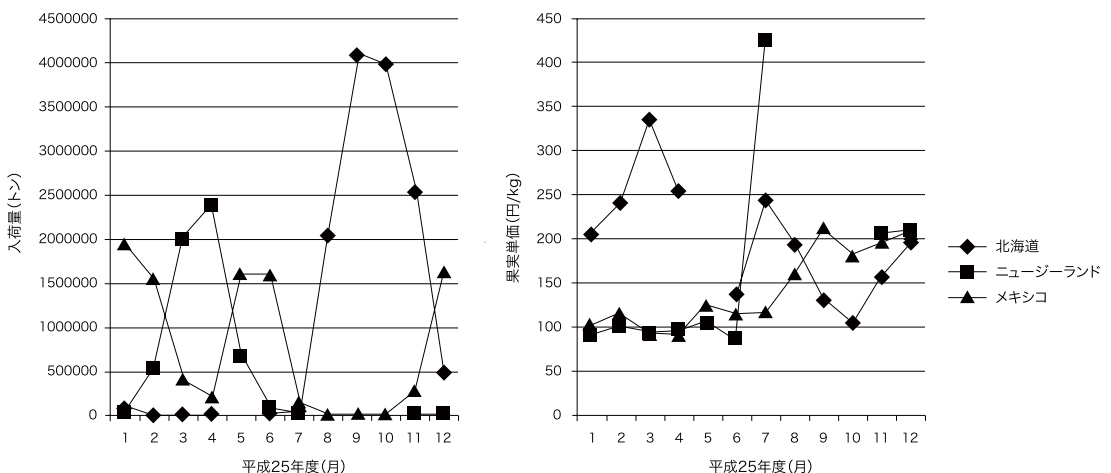


図5 平成25年度における、東京中央卸売市場への北海道産(国産)、ニュージーランド産およびメキシコ産カボチャの入荷量(左)および果実単価(右)の月別変化

データは独立行政法人農畜産業振興機構の野菜情報総合把握システム「ベジ探」から東京都中央卸売市場計の統計データを抽出した。

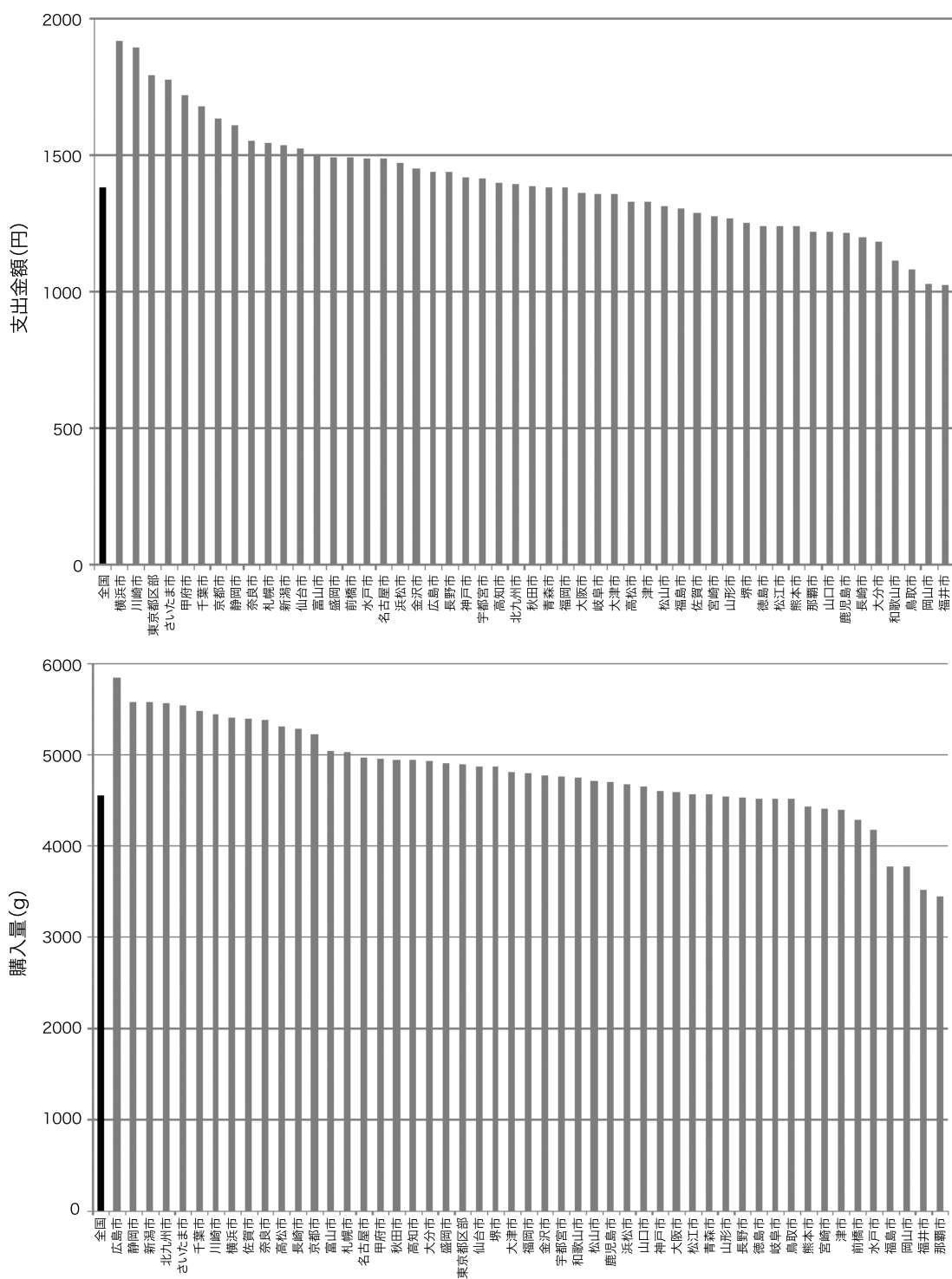


図6 最近3年間(平成23～25年度)の、各都道府県県庁所在地および政令指定都市におけるカボチャへの支出金額(左)および購入量(右)

値は3年間の平均値で示し、データは総務省統計局の家計調査(二人以上の世帯)の統計データから抽出した。

10)。

上記のことも踏まえての筆者のここ数年の雑感ではあるが、最近ではカボチャと言えば冬至よりも10月末のハロウィンの方が有名な感がある。実際、百貨店の方に聞くと冬至の時期よりもハロウィンの時期にはカボチャの青果だけではなく、飾りカボチャ（食べられない）や加工品（スイーツだけではなく惣菜も）もよく売れるようだ。実際、当方も広報活動の一環で、10月くらいに百貨店等の催しに参加するが、カボチャのことで老若問わず女性の方からの質問が多いように思う。その場合の質問の多くが、カボチャは大好きだがダイエットにとっては天敵ではないかという意見が多かった。それで、実際に一般成分のデータをまとめると表1のようになる。せっかくなので、カボチャ3種の比較対象として、主要穀類とデンプンが多いクリなどと比較したものである。エネルギー（カロリー）で見ると、カボチャは全般的に低い部類に入ることがお分かりだろうか？それに加えて、セイヨウカボチャはカロテンやビタミンCやEも多いため、是非毎日の食事の一品に入れていただきたい（ただし、たくさん食べれば太るので、ご注意を！）。

さて、北海道農業研究センター（旧北

3. カボチャの現在 ～北海道農業研究センターのカボチャへの取り組み～

海道農業試験場）では、カボチャについてどのような取り組みを行っているのか？1950～1960年代には、カボチャにおける遺伝学・花粉学については精力的に研究されていた時期もあるが¹²⁻¹⁵⁾、現

表1 カボチャと他作物との一般成分比較（注）

	エネルギー kcal /100g	水分	タンパク質	脂質	炭水化物	g/100g			灰分	カロテン μg/100g	ビタミンC mg/100g	ビタミンE mg/100g
						水溶性 食物繊維	不溶性 食物繊維					
セイヨウカボチャ	91	76.2	1.9	0.3	20.6	0.9	2.6	1.0	4000	43	5.1	
ニホンカボチャ	49	86.7	1.6	0.1	10.9	0.7	2.1	0.7	730	16	2.1	
ソウメンカボチャ（ペボカボチャ）	24	92.4	0.7	0.1	6.1	0.3	1.2	0.6	49	11	0.2	
バレিশヨ（ジャガイモ）	76	79.8	1.6	0.1	17.6	0.6	0.7	0.9	微量	35	微量	
カンシヨ（サツマイモ）	132	66.1	1.2	0.2	31.5	0.5	1.8	1.0	23	29	1.6	
サトイモ類（サトイモ）	58	84.1	1.5	0.1	13.1	0.8	1.5	1.2	5	6	0.6	
ヤマノイモ類（ナガイモ）	65	82.6	2.2	0.3	13.9	0.2	0.8	1.0	微量	7	0.3	
クリ類（日本ぐり）	164	58.8	2.8	0.5	36.9	0.3	3.9	1.0	37	33	0.3	
ダイズ（国産、全粒、乾物）	417	12.5	35.3	19.0	28.2	1.8	15.3	5.0	6	微量	3.6	
アズキ（国産、全粒、乾物）	339	15.5	20.3	2.2	58.7	1.2	16.6	3.3	0	微量	0.6	
炊飯米（精白米；コメ）	168	60.0	2.5	0.3	37.1	0	0.3	0.1	0	0	微量	
コムギ（食パン）	264	38.0	9.3	4.4	46.7	0.4	1.9	1.6	微量	0	0.6	

（注）それぞれの値は五訂 日本食品標準成分表¹¹⁾より抽出した。

在はカボチャの品種づくりが研究テーマの一つになっている。では、どのような経緯で品種づくりが始まり、どのような品種が作られたのか？ 1990年代に当時の野菜研究室の室長だった伊藤喜三男博士（以降、敬称略）が育種年限のかかるアスパラガス育種を廃止して、新しい野菜の育種に取り掛かることを検討し、その候補として北海道が主要産地で、あまり公的機関が育種を検討していないカボチャとニンジンが候補に挙げられた。ニンジンは北海道において播種から次年度の種子を採るのに二年かかるのに対して、カボチャは一年で終了する。これが決定打で、カボチャの品種づくりにテーマが切り替わった。では、どのような育種目標にするか？ カボチャは蔓性で果実の着果位置が安定し



図7 「TC2A（商品名：ほっとけ栗たん）」の外観



図8 「ストライプペポ」の外観

ないことや蔓の製枝作業が大変であるなどの問題を考え、伊藤は北海道赴任前の農林水産省園芸試験場盛岡支場（現【独】農研機構 東北農業研究センター）で矮化した草姿を持つ加工用トマトの品種づくりに携わった経緯から、矮性の強いカボチャ品種作りを検討した。まず、ズッキーニと同じく、矮化した草姿を持つ「Bush Buttercup」と「ハッパード」から派生した固定品種「まさかり」（良食味だが、果皮が硬くて蔓性）を交配して、蔓が伸びずに果実の食味が良い品種づくりを目標にした。残念ながら、いくつかの研究成果¹⁶⁻¹⁷⁾や品種候補（ただし、完全に矮化するものは見出せなかった）を見つけながらも彼の在職中には品種作りは終了せず、後任の森下昌三博士の時代に固定品種「北海一号」の作製が完了した。しかし、「北海一号」は果実の肥大性、収量が年次によって不安定であったことから、森下の後任の杉山慶太博士が中心になって民間の種苗会社（株）渡辺採種場と共同でF1化を進めることにした。渡辺採種場が持つ固定品種の「BHA」と「北海一号」を交配してF1を作製したところ、株元に着果し、高収量で食味にも優れる「TC2A」（図7）の育成に成功した。¹⁸⁾

これを渡辺採種場から「ほっとけ栗たん」という商品名で販売しており、現段階で北海道、



図9 種子の外観

左は「えびす」の種子から殻を剥いだもの。右は「ストライプペポ」の種子。「ストライプペポ」は遺伝的に厚い殻を作らないので、殻を剥ぐ必要がない。

東北や九州を中心に約 170 ha 分の種子が販売されている。筆者も元来カボチャの生産地ではなかった埼玉県久喜市や滋賀県甲賀市の JA および管轄農業改良普及所の方と、このカボチャの普及に努めている。これ以外にも、煮物加工に適した「くりひかり」¹⁹⁾、種子を食べる目的の食用種子ペポカボチャ品種「ストライプペポ(図 8, 9)」²⁰⁾なども品種開発している。

カボチャは今後も利用用途は増える可能性がある

4. カボチャの未来 (お願い)

るが依然解決できない問題もあり、購読者の皆様のお知恵をお貸し願えればと思う。そこで、筆者が考える問題として 3 つ挙げさせて頂く。まずは、カボチャの食品利用の点で一つある。皆さんは種苗会社のカタログを見たことがあるだろうか？一口にカボチャと言っても、各民間企業で様々な品種が出されており、生産者からも加工業者からもどれがどのように優れているかが判然としないというクレームを聞く。栽培特性については、各都道府県での品種比較試験で分かる場合もあるが、食品加工の観点からだと言料はほとんど無いと言ってよい²¹⁾。例えば、デンプンが多い品種だと揚げ物に向く、カロテンの多いものはポタージュに向くなど一



図 10 カボチャの日焼け果

度精査する必要があるのではないだろうか？残念ながら、筆者の所ではそこまで検討できる設備がないため、もしもこの雑誌を購読されている方でご興味のある方がおられたら、一度ご相談させていただきたい。

次は、株元着果性品種における栽培面の問題を挙げる。先に述べたように、株元着果性カボチャは現在全国的にも普及しつつあるが、収穫直前に果実に直射日光が当たるに伴う「日焼け果」の発生抑制による出荷量低下が問題にあげられる。北海道においても 1 ～ 3 割の果実が日焼け(およびそれに伴う腐敗)により、規格外に割り振られるため、生産者の収益にとっては問題である(図 11)。杉戸ら(2014)は窒素施肥法によって、果実付近の本葉の枯れ上がりを防ぐことで直射日光からの回避を検討しているが²²⁾、生産者によっては新聞紙や寒冷紗で果実を覆うなどの作業を行っているようである。今後は、直射日光に強い果皮を持つ品種づくりが検討課題であろう。

最後も栽培面の問題を挙げる。従来カボチャを生産する上で大変だと言われていたのは、特に育苗、栽培中の蔓の管理および収穫であった。育苗に関しては、従来のポリポット育苗からセルトレイ育苗に変更することで、育苗期間の短縮化および育苗面積の省面積化に成功している²³⁻²⁴⁾。さらに、セルトレイ育苗の苗を機械定植に切り替えることで、定植時間の大幅な短縮も可能になっている²⁵⁾。また、蔓の管理は株元着果性の品種の導入で時間の短縮にも成功しているので^{18, 23)}、今後の問題は収穫となっている。カボチャの果実は約 2kg と比較的大きく、依然として人手による収穫に頼っており、かなりの重労働である。株元着果性の品種でも他の株からの蔓で果実を隠すことがあり、果実の発見が遅れることがわかったため²⁶⁾、ズッキーニに代表されるような矮化した草姿の品種作りが必要である。加えて、今後の省力化のた

めに収穫する際に機械を導入することが好ましいが、現在これに対する研究機関または民間企業からのアプローチが無いのが現状である。これについて、もしも何かご存知の方がいらっしゃればご教示いただければ幸いです。

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

- 1) H.C. Culter & T.W. Whitaker. History and distribution of the cultivated *Cucurbits* in the Americas. *Amer. Antiq.*, **26**:469-485, 1961.
- 2) 菅野 昭雄. 植物遺伝資源集成 (2), 講談社, 東京, 1989.
- 3) 藤枝 国光. 野菜の起源と分化, 九州大学出版会, 福岡, 1993.
- 4) 山本 正. 近世蝦夷地農作物誌, 北海道大学出版会, 北海道, 2006.
- 5) 新谷 尚紀. 日本の「行事」と「食」のしきたり (プレイブックス・インテリジェンス), 青春出版社, 東京, 2004.
- 6) 早瀬 広司. カボチャ, 農業技術体系野菜編 5, 農山漁村文化協会, 東京, 1974.
- 7) 伊藤 喜三男. 北海道野菜史話 1. カボチャ, 北農, **78**(2):62-68, 2011.
- 8) 藤井 健雄. 野菜の新品種, 2:48, 誠文堂新光社, 東京, 1960.
- 9) 藤井 健雄. 野菜の新品種, 3:63, 誠文堂新光社, 東京, 1964.
- 10) 石橋 喜美子. 生鮮野菜の家庭内消費量変化, 野菜情報, **60**: 13-21, 2009.
- 11) 科学技術庁資源調査会. 五訂 日本食品標準成分表, 大蔵省印刷局, 東京, 2000.
- 12) 早瀬 広司. 南瓜属の交配に関する研究Ⅲ－花齡の異なる雌雄間の交配組合せの生理学的研究－, 育種学雑誌, **3**(3,4):41-46, 1954.
- 13) 早瀬 広司. カボチャ属の交雑に関する研究Ⅶ－柱頭において花粉が発芽開始する時刻と葯の裂開－, 育種学雑誌, **5**(4):49-55, 1956a.
- 14) 早瀬 広司. カボチャ属の交雑に関する研究Ⅷ－*Cucurbita maxima* と *C. moschata* との相反交雑について－, 北海道農業試験場彙報, **70**:26-30, 1956b.
- 15) H. Hayase. *Cucurbita-crosses*: XVI. Flower ages and reciprocal cross-compatibility in *C. pepo*, *C. moschata* and *C. maxima*, *Japanese Society of Breeding*, **13**(3):159-167, 1963.
- 16) 伊藤 喜三男, 室 崇人. カボチャの短節間系統と硬外皮系統間の F1 解析, 園芸学会雑誌, **67**(別 2): 282, 1998.
- 17) 伊藤 喜三男, 室 崇人, 野口 裕司. カボチャにおける短節間および果実形質の遺伝, 園芸学会雑誌, **69**(別 2):154, 2000.
- 18) 杉山 慶太, 森下 昌三, 野口 裕司 他. 省力性と良食味のかぼちゃ新品種「TC2A」の育成とその特性, 北海道農業研究センター研究報告, **190**:1-19, 2009.
- 19) 杉山 慶太, 嘉見 大助, 室 崇人 他. 加工用カボチャ新品種「くりひかり」, 園芸学研究, **13**(別 1):133, 2014.
- 20) 嘉見 大助. 種子食用カボチャ F1 品種「ストライプペポ」とその育成経緯, グリーンテクノ情報, **8**(3):7-10, 2012.
- 21) 高橋 敦子, 伊藤 喜誠, 奥島 佐知子 他. カボチャの品種による果肉成分の違いが食味に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **30**:232-238, 1994.
- 22) 杉戸 智子, 辻 博之, 村上 則幸 他. 短節間カボチャ「TC2A」の水田転換畑での栽培における窒素施肥量および施肥回数の検討, 農作業研究, **49**(1):21-29, 2014.
- 23) 平井 剛, 杉山 裕, 中野 雅章. 短節間カボチャ「つるなしやっこ」の収量性および省力性, 園芸学研究, **3**(3):287-290, 2004.
- 24) 杉山 裕, 長尾 明宣, 中野 雅章. セル成型苗定植栽培がセイヨウカボチャ(えびす)の収量性, 着果性および作業省力性に与える影響, 北海道立農業試験場集報, **90**: 61-69, 2006.
- 25) 辻 博之, 村上 則幸, 杉山 慶太 他. 短節間カボチャ「TC2A」のセル成型苗機械定植栽培による作業の省力化, 農作業研究, **46**(2):59-67, 2011.
- 26) 嘉見 大助, 村上 則幸, 杉戸 智子 他. 草姿特性の異なるカボチャ品種における収穫作業性の評価, 農作業研究, **46**(2):69-74, 2011.

組織の活性化と人材の育成～

Improving the working environment and nurturing human resources :

働きやすい環境づくりから

Importance of improving the working atmosphere

高山 史年 (TAKAYAMA Fumitoshi)

医療法人社団明法会 理事長

Key Words : 組織の活性化・人材の育成・コンプライアンス・目標設定

Abstract

In relatively smaller organization, it is difficult for staff members to keep their working motivation high. The first thing that the leaders should do to activate the organization and nurture human resources is to improve their working atmosphere. Once this was achieved, staff members could engage in the work more peacefully. Small organizations are not good at performing this, but such efforts will be rewarded.

要約

小規模な組織において、組織の活性化及び人材の育成のために、職員に「何のために仕事をするか」という意識を抱かせることは難しい。そのためにまず取り組むべきことは、労働環境の整備である。これが達成されてはじめて職員は安心して仕事が出来ようになる。これは小規模な組織にとり苦手とする分野であり、だからこそ大事なのである。

はじめに

私が医療法人社団明法会を立ち上げたのはちょうど明海大学大学院を卒業した夏で早いもので足掛け 20 年前になる。現在、職員総勢 30 名近く、歯科診療所は 4 つとなり、忙しい日々を過ごしているが、いつも気を使うのが人材の育成である。組織の活性化をめざすための人材の育成にはいろいろな方法があるが、私の 20 年の経験の中で学んだことから考えると、組織の活性化に健全な労働環境が整えることが必要不可欠であると思われる。特に小規模の組織では大手と比べて労働環境が劣ることが多く、小規模組織であるからこそ常に労働環境の確認が必要になってくる。昨今、コンプライアンスの遵守が叫ばれてきており、時代の変化を考えると、採用、退職、解雇、退職勧奨等についての就業規則、職員の安全衛生、少子高齢化に対応する育児介護休暇規定等の法律にあわせた規程類の整備と実際の運用状況の確認作

業が必要である。労働環境を整えることは労使の信頼関係の基本である。また、これらを整えて初めて小規模組織であっても良い人材の確保と良い人材の辞めない仕組みが出来、組織の活性化、人材の育成が行える。

人材の育成では、働く人たちが、「なぜこの仕事をするのか」という基本的な意思統一が重要である。そして適材適所の人事配置、さらに人事異動、評価制度の充実を行えば、「組織の活性化をめざす～人材の育成」の達成に近づくと思う。また、「組織の活性化をめざす」ためには現状では何を改善したらより組織の活性化になるか職場の長の構想を明らかにする必要がある。組織を活性化するために目標を掲げることにより大胆な方法やクリアすべき項目が見えてくると思われる。

1. コンプライアンス重視

近年コンプライアンスが重要視されるようになったのは、アジア経済危機を経験し、「行政のスリム化」と「規制緩和による経済活性化」が重要な政治問題とされた「失われた10年」以降である。この「規制緩和」は、企業にとっては新しい市場が手に入ることを意味するが、この自由と身勝手が区別できなくなると社会の秩序が壊れる可能性が生じ、企業自身に自己責任管理体制の強化や情報公開を求める動きが強まった。特に小泉内閣時の「規制緩和」は、それまで特殊法人などを通じて「官」が行ってきた事業を民営化するとともに、規制を撤廃して民間企業の参入を促しながら競争による市場活性化や経済成長を図る戦略をつぎつぎ打ち出すことになった。このような過程から「個人情報保護法案」など多く打ち出され、人材育成だけでなく医療機関の診療に対しても組織のコンプライアンスを避けられなくなった。

2. 従業員の安全衛生

まずは健康が第一である。「組織の活性化をめざす～人材の育成」のために働く人の健康管理は、重要である。労働安全衛生法（昭和四十七年六月八日法律第五十七号）「第六十六条第一項」でも下記のように定められている。

（健康診断）

第六十六条 事業者は、労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、医師による健康診断を行わなければならない。

2 事業者は、有害な業務で、政令で定めるものに従事する労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、医師による特別の項目についての健康診断を行わなければならない。有害な業務で、政令で定めるものに従事させたことのある労働者で、現に使用しているものについても、同様とする。

3 事業者は、有害な業務で、政令で定めるものに従事する労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、歯科医師による健康診断を行わなければならない。

4 都道府県労働局長は、労働者の健康を保持するため必要があると認めるときは、労働衛生指導医の意見に基づき、厚生労働省令で定めるところにより、事業者に対し、臨時の健康診断の実施その他必要な事項を指示することができる。

5 労働者は、前各項の規定により事業者が行なう健康診断を受けなければならない。ただし、事業者の指定した医師又は歯科医師が行なう健康診断を受けることを希望しない場合において、他の医師又は歯科医師の行なうこれらの規定による健康診断に相当する健康診断を受け、その結果を証明する書面を事業者に提出したときは、この限りでない。

組織の活性化をめざす～人材の育成ためには、心身とも健康である必要があり、特に常時勤務する従業員に対しては年に1回の健康診断を行うべきである。

3. 育児介護休業法に基づいた就業規則の導入

小規模な組織ほど、良い人材を確保するために職場の環境整備には今後、少子高齢化対策として重要になると思われる。少子化対策の観点から、喫緊の課題となっている仕事と子育ての両立支援等を一層進めるため、男女ともに子育て等をしながら働き続けることができる雇用環境を整備することで優秀な人材を確保できる。まずは、仕事と家庭の両立支援対策を充実するために育児介護休業法に沿った就業規則を導入することをお勧めする。これにより職場の従業員が安心して働くことができ、企業のイメージアップにつながり良い人材を確保できるメリットがある。またこのためには組織内で働き方の多様化も必要になるだろう。人材の育成と共に良い人材の確保の手段としては有効と考えられる。

4. 組織の活性化をめざすための人材確保

小規模な組織では、大規模な組織のように一度に多くの人材を採用し、その中から優秀な人材が残ればよいなどとする余裕はなく、はじめから採用人数には限りがあり、その人が優秀で長く残ってくれる人でなければ困る。そこでまず第一に組織では現在どのような人材が欲しいのか、「良い人材」の条件を明確にする必要がある。では「良い人材」とはどのような人たちなのか？組織により多少の差異はあると思われるが、業種ごとに採用したい人材の具体的な基準を考えるとよいであろう。基本は一般常識、その職業で必要とされる知識の試験等でいろいろな方法で篩にかけて行き、すべてクリアしたときにその中から最終的に、素直で真面目、勉強家で明るい人格がいれば採用する。これらの人は後述する指導教育でどんどん成長するである。

4. 最終的に組織の活性化に必要な退職、解雇、退職勧奨

自己都合退職や契約期間の満了による自然退職などは法律的にみて問題はないと思われる。しかし、組織、本人双方で努力してもどうしても馴染めない人を現実

経験している。

単純に「仕事が出来ない」などの理由では解雇できないが、勤務不良、人間関係が良好ではないなども同様に解雇理由にはならないが、最終的に組織の活性化のためには、解雇も選択肢の一つとなる。その場合には、特に懲戒解雇と退職勧奨について理解する必要があるのではないか。

懲戒解雇の「懲戒」とは労働契約法の第十五条では「使用者が労働者を懲戒することができる場合において、当該懲戒が、当該懲戒に係る労働者の行為の性質及び態様その他の事情に照らして、客観的に合理的な理由を欠き、社会通念上相当であると認められない場合は、その権利を濫用したものとして、当該懲戒は、無効とする。」と定めている。その上で「解雇」とは同法の第十六条で「解雇は、客観的に合理的な理由を欠き、社会通念上相当であると認められない場合は、その権利を濫用したものとして、無効とする。」と記載されている。両方とも「客観的に合理的な理由があり尚且つ、社会通念上相当であると認められる」場合のみ認められるのでありそれ以外の解雇権の乱用は許されていない。それ以外には整理解雇、普通解雇などあるが、それは専門書に譲ることとする。

トラブルを避けるためには、本人から労働契約の終了してもらえるようにお願いする「退職勧奨」がある。簡単に言えば「肩たたき」である。これは解雇のような制限はない。社員がこれに応じると、合意による「退職」となり、「解雇」には当たらないので、解雇に関するトラブルを防止することが出来る。

退職勧奨を行うときに、「賃金補償や年次有給休暇の買取り」、と言っても年次有給休暇の買取りは原則的には禁止されているが、円満な引継ぎ業務ができるよう、社員とよく話し合う中で、消化できない有給休暇を買い上げることは、違法とまでは考えられてはいないようである。また、再就職のあっせんや賞与の支給対象期間の勤務期間に応じて、賞与を支給する等の実質「特別賞与」の支払などを行う。

また、失業給付対策として自己都合で退職する場合の失業給付は、ハローワークに離職票を提出して7日間の待期期間とその後3ヶ月の給付制限期間がありその後、失業給付が支給されるが、退職勧奨に応じて退職する場合は、7日間の待期期間のみで、3ヶ月の給付制限期間がないので自己都合退職の場合より3ヶ月早く受給することができ有利になる。さらに離職票に退職勧奨であることを明記してあげする方法もあるが、入社して6ヶ月未満の場合は失業給付を受給が出来ないことと退職勧奨の実績があると、雇入れ関係の助成金がもらえなくなる場合があるので注意が必要であるが、出来るだけ退職勧奨を受け入れられるように便宜を図ると良い。

6. 目標設定の導入

前向きな組織の活性化をめざすためには、組織の経営目的の共通認識は必要である。実際、その組織が何のために存在しており何を経営目的としているか即座に答えることが出来るようあらかじめ、その組織での経営理念を考え制作し掲げると良いだろう。また、「何時何時までまでにこうでありたい」と言う目標も掲げる事も

有効であると思われる。

また、大きな目標を立てその目標をいつまで達成すると期限を設けることも有効である。さらにその目標を達成するためにやるべき事を10個前後立てる。そのやるべき事を細分化し10前後いつまでやるか目標を立てる。そのようにすると大きな目標が小さなやるべき事項をこなす事により達成するわけである。同様に各個人に対しても大きな目標をたてそれを確実に達成するために小さなやるべき事項を毎回チェックしていけば組織の活性化を得ることが出来るであろう。

7. 人材の育成方法

人材の育成方法として、適材適所の人事配置，人事異動，評価制度の充実があるが，その前に「仕事に対する心構え」について十分に説明することが肝要である。仕事にどう向き合うのか？自分は何のために仕事をしているのか？という考えである。もし今いる人材が年齢に関係なく「お金のため」だけにいるならば特に小規模な組織では良い人材は育たない。お金は重要であるが，まずは自己のスキルの向上のために仕事をするという認識がないと良い人材は育たないであろう。お金だけのためだけと考えている人はお金をもらう最低の仕事しかしようとしなくて多く向上心が育たないからである。その上，お金のためだけで働いている人は，一日の大半の仕事時間を苦痛で過ごすだけでなく周囲からは最低限の評価しかもらえず，結果的に最低限のお金しか手に入れることが出来ないこと事を理解してもらうことにより組織の活性化につなげることが出来るのである。

人格も含め自己の向上することにより仕事が前向きになり仕事が楽しくなりその結果，顧客の利益を向上させ，同僚，会社の利益向上に貢献する喜びを得ることが出来，組織は活性化するものである。

そのためには一番手っ取り早いのは，各個人が多くの先人の良いとされている教えなどの書籍などを通じていろいろ勉強する必要がある。努力なくして成長は無いことを教えるべきである。成長はちょっと背伸びをし努力した場合に得ることが多いのである。楽して成長はありえない。仕事に対する考えを変えることにより本を読んだり自宅でも勉強をしている姿を時々子供がみれば，子供も親の姿を見て勉強するものです。親が自宅で全く勉強もしないで「勉強しなさい！」といわれても子供からすると全く説得力が無いのである。なんで勉強するのか親が自覚すれば子供にも説明できるメリットがある。前向きにいろいろ勉強することは仕事だけでなく，家庭でも大きなメリットがあることを指導するべきである。

その上で適材適所は，限られた人材を有効に活用し，効果的な組織運営を行うため，各個人の知識経験及び意向などを踏まえるとともに，各個人の職務に対する適正を十分把握しながら組織全体としての効率性や意識の向上を図り，各個人の人材育成を重視した適材適所の人事配置を行うと良いであろう。

また，人事異動は組織を活性化させるとともに，各個人の能力開発という面でも重要な役割を担っています。新規雇用後は，異なる分野の業務を経験させることに

よって、幅広い視野と広範な業務遂行能力をもった人材の育成を推進することも有効であると思われる。

さらに、評価制度の充実が重要である。人材育成型の人事管理を推進していくためには、各個人の能力、実績を公正かつ客観的に評価して人事配置や処遇に反映させるとともに、所属長が各個人の適性を把握し、的確なアドバイスを与えるために自己評価票の作製、数ヶ月の個人面談から各個人の意欲の増進を図っていく必要がある。そのため、公平公正かつ透明性と妥当性のある評価制度にしておく必要がある。

まとめ

小規模な組織では、職員が常に「何のために仕事をするか」という意識を持って仕事を続けていくように仕向けることは、難しいことである。

そのためにまずはじめに取り組むべきこととは、労働環境の整備であり、これが満たされたはじめて職員は安心して仕事ができるようになる。これは小規模な組織が苦手とする分野であり、だからこそ大事なのである。これが満たされたあとは、職員が常に「何のために仕事をするか」という意識を持って仕事を続けていくように仕向けることが可能となるので、多くの方々が指摘するように目標の設定をし、適材適所の人事を配置し、人事異動をし、評価制度の充実することとなる。

小規模な組織だからこそ、大規模な組織が重視するコンプライアンスを充実していった方がいいものである。

引用文献

- 1) 労働安全衛生法（昭和四十七年六月八日法律第五十七号）「第六十六条第一項」
- 2) 育児休業、介護休業等育児又は家族介護を行う労働者の福祉に関する法律（平成3年5月15日法律第76号）
- 3) 労働契約法（平成十九年十二月五日法律第百二十八号）「第十五条、第十六条」

連絡先：医療法人社団明法会 理事長 高山 史年
〒171-0043 東京都豊島区要町 3-26-3 メゾン MT
TEL03-5995-0456
FAX03-5995-0460
E-mail:takayama@qa2.so-net.ne.jp

健康長寿社会の正しい発展に寄与する 食の科学のあり方と正しい普及推進に関する提言

【出席者】

対談者 山野井 昭雄氏
(元) 味の素株式会社 副社長

山田 和彦氏
女子栄養大学大学院 教授

コーディネーター 島崎秀雄氏
(一社)クロレラ健康栄養研究会 理事長

島崎 それでは第6回目の誌上シンポジウムを始めたいと思います。「健康長寿社会の正しい発展に寄与する食の科学のあり方とその正しい普及推進」について、山野井昭雄先生と山田和彦先生にお話しをしていただきます。まず山田先生からお話していただけますでしょうか。

山田 いわゆる健康食品の普及を目指した規制緩和政策の実施に向けて、食品の新たな機能性表示制度が消費者庁の検討会で有識者により議論されています。先週の会議の冒頭の様子がテレビでも出ておりましたね。議論の内容はあまり耳に入っていないものですから、具体的にどのような規制緩和を行うのか、今の段階ではよくわかりません。産業界は成り行きを見守っているでしょうが、アカデミアは殆ど関心がないといっていると思います。いろんな健康食品が市場に出回っていて、その中には新しく科学的に解明された研究成果も活かされているのですが、一般の庶民に分かりやすい言葉で伝えられているとはいえません。産も学も消費者とそういう研究成果を共有しようと考えているのだろうかというのがわたしの感想なのです。

共有は大切なことではないかと思うのです。

山野井 企業としてはどう考えますかと先生は問いかけておられるのだと思いますが、これはいくなれば食と健康の問題、なにかんずく健康寿命の延伸という問題ですね。健康寿命の延伸というのは、食だけではなくて環境の問題も関わってくるし、運動の問題もあるし、あるいは心の問題も関わってくるでしょう。いろいろあるんだけど、そのなかで食というものの役割は非常に重い。ご存知のように食には三つの機能があり、一次機能は栄養、生きていくために当然、人は栄養を必要とします。二つ目の機能は美味しさ、嗜好性ですね。食べ物には美味しさが求められます、クスリではありませんので。三つ目が十何年か前に新しく我が国の科学者によって提唱された三次機能、いわゆる生理機能です。健康食品とか特保は、この三次機能を主体にしているわけですが、しかし私は、健康寿命の延伸というのは、一次機能、二次機能、三次機能すべてが関係していると考えます。健康食品だけしっかり摂っていれば健康寿命が延びるという考え方はとっておりません。

今回は、健康食品をどうするかということが一つのテーマですから、そちらに焦点を絞らせていただきますが、私が今、気になっているのは、特保は1,000品目以上ありますけれど一つも国際的に認められた商品になっていないことです。日本の特保を、人種や民族を超えて、普遍的な価値がある商品にしようという動きもみられません。これはなぜなのか。ここに日本における健康食品（以後、健食と記載する。）なり特保が広がらない問題点があると思います。食品における健食および特保の位置づけ、つまり商品価値、コンセプトの問題です。バランスの取れた食生活が一番大切ですが、健康上気になることが出てきたときの健食の意義付けですね。それが明確になっていないから浸透していかないし、国際的にも評価されないのではないかな。わたしはそこが一番のキーポイントではないかという気がします。農学系、理学系などいろいろな学会で、企業は、食と健康に関わるさまざまな研究の成果を発表しております。しかしながら、世の中にそれがどの程度知られているかというと、コンセプトがオーソライズされていないために、ホントかいな、という目で見られているのではないかな、と。勿体ないと思うんですよ。

山田 わたしが理解するところでは1980年をすぎてから「食」という言葉がよく使われるようになりました。一般の人の生活では、食べ物とか食べ方といういい方をするのが普通ですが、1980年すぎ、食べ物には栄養素や美味しさ以外に生理機能という第三の機能があるといわれるようになり、「食」という言葉が新しい研究にマッチしたんだと思います。それから産業界が食品の三次機能を活かして商品を開発し、それをどう表示するかというところでいろいろな議論があり、薬事法という大きなカベの前で立ち止まってしまいました。薬事法には医薬部外品というものがあります。これがわたし

としては、多くは飲料形態において何をもって医薬部外品とするのか、いまだによく理解し難いのですが、機能性食品は特定保健用食品という名前に変わりました。特保が許可に至るまでの審査手順は、ヨーロッパやアメリカが見習うところがあったと思います。機能性成分を見出して、ヒトでの有効性と安全性を検証し、確認しているにもかかわらず、特保が国際的に認められにくいのは、製品の個別評価のためであるかもしれません。

食品を摂取してその中のある成分の効果を見ようとするとき、その食品に含まれる他の成分の働き、あるいは相互作用をどう捉えるか、医薬品と食品という違いはあるにしても、やはり1成分1有効性っていうそういう世界があるので簡単ではありません。ところで、ダイエタリーサプリメントという言葉はアメリカの言葉であって、ヨーロッパではフードサプリメントと書いてます。食品に含まれる何かの物質という意味と考えればよいでしょうか。各種のシンポジウムに出てみると、ヨーロッパでも、フードサプリメントをめぐって、それが本来的な食べ物のかたに叶っているのか、また本来的に食生活はどうあるべきか、議論が行われています。例えば日本でいうところのハーブですが、ヨーロッパでハーブといいますとこれはドラッグの世界です。フードサプリメントの成分の対象外です。さしずめ日本でいったら生薬ですね。ボタニカル（植物由来の成分）は、栄養素ではありませんから、本来的な食品由来のものとは違うと考えられています。そういうこともあって、日本は、国際基準からいくと、扱っているものが違っているようだと見られている節があります。

山野井 日本は世界のトップクラスの長寿国ですが、外国の栄養学者がそれをどう見ているか、10年以上も前になりますが、タフツ大学の教授でILSI本部の理事も勤めておられるゴール



山野井 昭雄 氏

山野井 ですからこういうことは企業単独ではできないと思っています。私どもの会社も医薬をやっておりますから、いろんなお医者様方がお見えになります。今の若い優秀な医師が何に関心があるかという、未病の状態の人間を、食品を使って元の健康な体に戻すことにあまり関心があるようにみえません。

山田 医療機械を使つての診断、薬と手術でどうやって直していくかということですね。

山野井 また、難しい病気の原因を明らかにすれば大きな学会賞をもらえるかもしれないし、開発中のクスリを臨床にもっていったの酵素反応をどうしたらいいとか、多くの医師の関心はそういうところにあります。しかしわたしは、一人か二人権威のある医学系の先生が食品で未病の状態を元に戻すことを考え、実践しはじめたら、ずいぶん状況は変わってくると思います。

山田 ファミリードクターといった地域に根差した医師が増えて、その人たちに食べ物や地域の人たちの生活習慣について関心を持ってもらい、患者によっては栄養を少し特化したような食品を使うことを考えてみるということになるといいと思いますね。

山野井 お医者さんは、例えば血圧が少し高い

と、食塩をちょっと減らしたらどうですかとか、タンパク質の摂取量を加減してみてもいいですかとかいいます。特保のあの商品を摂取すると血圧がだんだん下がりますよということはあまりいいません。

山田 データが少ないから、お医者さんたちは、なかなか信用してくれないですよ。

山野井 ですから食塩を減らせとか、タンパク質の摂取量を加減しろとかしかいわない。そこが残念なのですが、やはり先生がおっしゃるように治験が不足しているからですね。特保はその商品に含まれている関与成分の量が許可の際の一つの判断材料になっています。これはよくいわれる要素還元思考ですね。わたしは、食品は複雑系であるけれども、要素還元思考の発想は大事であると思っています。その発想があればこそ、例えばビタミンの発見とか、必須アミノ酸の発見とか、うま味物質の発見がありました。有害微生物の毒素なども要素還元思考で研究してきました。それらが食品科学のベースとなっています。機能性食品とか特保とか食品の三次機能の研究は間違いなく要素還元思考がベースと考えます。

しかし、食べた時の満足感とか幸福感をもたらす美味しさの研究は、要素還元思考での解明は難しい。食べた時の満足感とか幸福感は心の健康と身体に健康に寄与します。あんな不味いものを食わなければいけないのかとか、いやだなと思って食べていたら、心にも身体にもよくありません。要素還元思考で三次機能を追求する際にも、一次、二次機能のことをベースに持っていることが必要です。

わたしは研究所長のとき二次機能を追求してシェフの技術を解析したことがあります。超一流のフランス料理のシェフに顧問としてではなく社員として入社していただき、上位管理職の役職に就いてもらいました。研究所にいる人間は、要素還元思考になじみの深い人が多いので

すが、食品をやっているうちに料理をつくる機会が多いので、当然他の分野の研究者と比べれば調理技術が上達してくるし、そういう気持ちにもなってきます。複数の研究所員に各自ホワイトソースをつくってもらいました。同時に当該シェフにも作ってもらいました。材料はサラダ油と牛乳とバターと小麦粉、ある意味単純ですが、単純な組み合わせで程腕の差が出るのも事実なのです。研究所員が作ったものとシェフが作ったものと食べ比べてみると、なんでこんなに、というほど味と食感が違います。シェフが作ったホワイトソースはなめらかで、ツルツとお腹に入ります。研究所員らが作ったものは、あるものは糊のようにべたべたしていたり、あるものは粉っぽかったりとまちまちです。シェフの作品は分析的にも官能評価的にも何回行っても全く同じ結果を与えます。また数箇所の一流ホテルのレストランで提供されたホワイトソースの分析的、官能的評価も同じ結果を与え、プロのせかいでの価値観はシェフが異なっても同じであることも知りました。

この場面は調理技術に自信がありといっても、やはり素人とプロとの明確な違いを見せつけられたことになったわけです。しかし、研究所員は要素還元主義には馴染んでいますのでこんなことでは怯みません。超一流シェフの作ったホワイトソースを隈なく分析しました。すると、シェフの作ったソースは小麦粉の澱粉粒が壊れたり隣同士くっついたりせず、きれいに分散していることが分かりました。ガンガンかき回して糊のようになったものは、すっかり澱粉粒が壊れていて、糊状の食感になり、また粉っぽいものは澱粉粒がクラスター状になっていました。

分析結果を見てエンジニアに対し、このように小麦粉の澱粉粒がきれいに分散するような装置を開発してほしいと要望しました。つまり匠の技の工業化です。試行錯誤のちエンジニア



山田 和彦氏

陣の努力で出来上がった装置を用いて作った製品を評価の厳しい外食産業へ持っていったところ、即座に、納入 OK の嬉しい言葉をいただきました。つまり多成分複雑系の材料をどういう状態にもっていけば、プロからも美味しく評価される製品になるかということを明示する例ですが、この考え方を健食にも応用すると、健食は不味いのではという評判を払しょくして、美味しい健食が出来ると思います。勿論カプセル状のものの場合は別ですが。わたしは食品の一次機能、二次機能については、当然、企業がやらなければならないと思いますが、三次機能はやっぱりアカデミアと組んで産学連携でやらないと難しいと思っています。現役を離れましたが、今もって気になっているのはそのことで、そうしないと健食と特保はなかなか陽が当たりにくい。皆さん努力されています。だから、いまのままでは勿体ない。健食のコンセプトとして、人が病気の方向に向かい始めているときにそれをいかに防ぐか、いかに未病の状態を元に戻すかというコンセプトを徹底的に追及したらどうかと思うのですね。

山田 病気ではないけれども、なんだか身体の調子がおかしいなと感じ始めた人たちが買う世界の食品ではあるんですね。

山野井 それはその通りです。

山田 高齢化社会ですから身体の調子が今一つだという人たちは増えてくるでしょう。普通の食事では補うのが難しいものを健食で補うことができるのなら、それは一つの選択肢ですね。

山野井 そのときに、身体の調子が今一つといっても個人差がありますし40代、50代、60代、70代の人とは違いますから、そこまで踏み込んだ研究をやっていただくと、日本の健食は世界に冠たるものになるんじゃないでしょうか。

山田 一般の人に健食の定義ってなんですかと聞いても、すんなり答えは返ってこないと思いますが、行政のほうも明確な定義づけはしていません。今、内閣府が規制緩和といっているのは、もちろん産業界を活性化したいという思いからで、貿易の自由化をもっと促進したいということでしょう。ヨーロッパでいうフードサプリメント、アメリカでいうダイエタリーサプリメントを、自由に日本でも販売してもいいんじゃないかという動きがこれを後押ししているわけです。規制緩和政策のもとで日本にサプリメントを仕切る仕組みが出来上がれば、わたしはそのほうがいいと思っています。さもないと、海外の仕組みが日本に入ってきて、気が付いてみたら相手方の仕組みに全部替わっていた、ということだってありえないわけではありません。

山野井 日本は長寿国なんですから、ゴールドバーグ先生がおっしゃったように食については誇っていいんですよ。しかし人間、生きていれば身体をこわすこともあります。できれば未病の段階でそれに気づいて、それ以上悪い方向に進まないようにしたい。未病の状態を元に戻すもの、健康へカムバックさせるもの、それが健食だと思うのですが、なぜ、そういうコンセプトがいまだに確立しないんでしょうかね。難しいんでしょうか。この誌上シンポジウムで児玉先

生がエピジェネティクスのお話をされてました。さっきわたしはバイオマーカーは一つのメタボライトだといいましたが、その基は遺伝子の動きにあるわけですから、つまるところはエピジェネティクスにいくのかなと。ただそれは個人個人違うし、年代によっても違うでしょう。しかし、まず年代ごとに分けて研究していつてみたらどうでしょうか。

山田 男性と女性の違いもあると思います。男性は男性、女性は女性特有のホルモンに関係した体調の変化というのがありますから……。大豆イソフラボンやエクオールは、そういう理屈から効果がありうると思います。

山野井 クスリは切れ味がいいけれども、使いすぎると副作用が出てきます。病気になったらクスリが必要でしょうが、病気の予防にクスリは使えません。もっともそういう発想はないですよ、ワクチンは別ですけど。そうすると、あとは病気予防を食品でということが考えられます。そこを明確に示したら、みんな乗ってくるのではないのでしょうか。だって高齢化社会ですから体調を維持しようと心がける人は増えていきます。

島崎 ところで山田先生がおられる女子栄養大学は、日本の栄養学の拠点ですが、その教育理念は、普段の食生活における栄養バランスを重視されているところにあるとうかがっています。一方、山野井先生は、要素還元思考で匠の技術を解析し、シェフの技を装置に置き換えるという技術革新を果たされました。わたし流にいうと「美味しく食べて、健康作り」ですが、こういう考え方はお二人に共通していると思います。当クロレラ健康栄養研究会の理事、板倉弘重先生も医師としてのお立場から、今お話のあった未病を防ぐ、つまり予防ということを射程に入れた医学の必要性を語っておられます。今後、わたしたちが考えていかなければいけないのは、やはり毎日のメニューというか普段の

食生活を基盤に置いた健康作りだと思うんですが、そういう視点からさらにお話を展開していただきますか。

山野井 先ほどの話に付け加えさせていただきますと、現在、味の素（株）では、加工食品に関しては匠の技の解析とその工業化の考え方とプロセスは定着しています。それから今、島崎さんがいった食生活と健康云々の問題については、一つの答えをタニタさんが出していると思います。タニタさんは、ウエートコントロールというバイオマーカーに着目しました。無理なく減量できるように 500 キロカロリーを上限とする昼食メニューを作り、それを食べている人たちは、減量に成功しているわけです。多成分複雑系の食品を、バランスよく組み合わせた 500 キロカロリーのメニューと、ウエートコントロールというバイオマーカー、この二つがポイントです。これが一つの答えだと思います。

山田 女子栄養大学の理念ですが、それは美味しい食事ということと、さっき申し上げたセット主義です。わたしは上手に説明できないんですけど、4 群点数法といって、栄養状態を良く保つに必要な食べ物を 4 つの食品群として設定し、その中からどんな食品をどのくらい食べればよいかを、エネルギー量（熱量）を基準にして考えます。この方法を用いれば、1 日に必要な栄養素量を満たす食品が、4 つの食品群から量的にもバランスよく摂取することができます。

今からずっと以前、加工食品は今日のように沢山販売されておらず、外食する機会もはるかに少なかった時代、基本的には料理は家で作っていました。作るのは主婦の役目でしたから、女性は、結婚したら美味しい料理が作れるように習っておくことが大切だったのです。今はどこの家庭でもそうだと思うんですけど、母親から料理を教わるのが少なくなると調理法も家庭料理そのものも伝わりに

くなくなっています。4 群点数法がわかれば、健康な食生活が送れます。

山野井 わたしはだいぶ前から女子栄養大学の理事を仰せつかっているものですから、大学の歴史についても勉強させていただきました。あの当時、東大医学部におられた香川御夫妻が、医学の立場から栄養バランスの取れた食生活の大切さに目を向け、家庭食養研究会を設立された。あれから何年たっているんですか。

山田 去年、80 周年を迎えました。

山野井 今の時代、ますますそういう理念が大事になっています。80 年余り前での香川先生ご夫妻の卓見と先見性に敬服しています。話は変わりますが、よく医農連携っていいんですが、わたしは医農工連携が必要だと思っているんですよ。「工」というのは工学系、工学系のエンジニアも連携に必要だということです。この 3 者が連携して健食をテーマに 3 つか 4 つ目標を掲げ、共同研究をしたらいいと思うんです。その目標設定をどこがするかですが、島崎さん、あなたのところでやりになってはどうですか。

島崎 いや、わたしはちょっと考え方がちがうんですね。まず加工食品ありきではなくして、まず食生活ありき、メニューありきで、そこに用いられる食素材そのもの、原材料の農産物にまでさかのぼって考えたいのです。つまり、今までの思考システムを反転させるのです。今、特保といったところで、せいぜい 5000 億円くらいの市場です。しかも保健の用途は限られているし、それで健康長寿に貢献するといっても力量不足の感は否めません。アベノミクスの規制緩和政策では農水産物の機能性表示も検討課題に取り上げられていることはご存知のとおりです。そういうことも視野に入れて、メニュー作りを考えていかなければならないと思います。食と健康のあり方、また、その啓発の方法も変わっていくべきときだという気がします。

山野井先生に一つ確認させていただきたいことがあります。今、味の素（株）さんが盛んにグリシン（商品名「グリナ」）を宣伝しています。アミノ酸の一種であるグリシンはいろんな食品に含まれています。だからまずグリシンありきではなく、グリシンリッチの食品を作って食卓のメニューに取り入れ、それで不足する分を「グリナ」で補ってもらったらいいいのではないかと。それでこそ食の原点に立脚して味の素（株）さんがリーダーシップを取って行けるのではないですか。匠の世界を食生活に取り入れた手法を、健食のコンセプトに活かすことが食の本当のいき方としてあるんじゃないかと思いますが、どうでしょうか。

山野井 味の素（株）は、グルタミン酸から始まってアミノ酸が得意技ですから、そういうアミノ酸研究の一つとして、グリシンに習慣性のない形で睡眠のプラスになる作用があり、すっきりした目覚めをもたらすことが分かったのです。ただ、いま島崎さんがいったことは実現の難しさはあるのですが、正解だと思います。食品産業の主原料は一次産業からきます。それを加工し、付加価値を上げたものをスーパーですとかコンビニなどの三次産業で売っています。問題の主原材料は、われわれが売れる商品を作るためにはこういう主原材料を作って欲しい、と農家の方に直接いっても、ムリなんです。その一方で農水省傘下の独法、農研機構とコンタクトして、是非こういう野菜の開発をしてくれませんかとか、こういう作物を作ってくれませんかというようなことは、これまであまりやっていません。これは食品メーカーとして反省すべきことのひとつとして私自身は考えます。

例えば農家は、もっとグルタミン酸をいっぱい含んでいる野菜、グリシン含量の多いハウレン草を作って欲しいといわれたって作れませんが、農研機構の研究機関とタイアップしてやる、この部分が、これからの食品メーカーとし

ての大きなミッションだと思っています。いま農水省が六次産業化を推進していますね。その土地で収穫したものを産地直送の形で直売するのは結構なことですし、地域に存在する食品メーカーと協力して地域の特性を活かした加工食品をやってみるのもいいことです。ただ今の段階で、流通は六次産業化にほとんど関心を持っていませんね。食品メーカーは、今まで農業への関わり方は薄かったけれど、これからは、要素還元思考の研究成果を農産物の改良や生産に反映させるという動きが絶対必要になってくると思います。それは農村の興隆にもつながります。

山田 この分野については詳しくないのでそう申し上げられることはないんですけども、日本は農業のガードが高いですね。それがTPPで自由化されて、外国からどんどん、何か確からしい情報と共に物が安く入ってくると、反対に異常気象による干ばつとか何かあったとき、あつという間に物が入ってこなくなるということも起こりうる、という不安もあります。TPPは賛否両論ありますけど、内容的にちょっと勇み足の部分もあるのではないですか。

山野井 私が思いますのに TPP は一言でいえば国際分業なんですよ。世界は一つだと、グローバルだと。ある国はトウモロコシの生産国だと、ある国は自動車得意だと、それを世界中に売りたいけれど、その時、輸出相手国から関税をかけられます。あらゆる関税を取り払って風通しを良くしたい、これがTPPの大きな流れだと思います。交渉の背後にはいろいろな業界団体が控えていて簡単にはいかないんですけども、あと30年先、50年先にはそうなっていると思います。味の素（株）はグルタミン酸の原料からの一貫生産する工場は日本に一つもありません、グルタミン酸を原材料の入手の点や多く使う国を探して、工場をそこへ持っていったちやいます。グローバリゼーションとはそういうものなんです。

山田 今から5年間くらいはあまり変わらないかもしれないけれど、20年後、今10歳の子供たちが30歳になった頃には、全く違った世界になっているかもしれませんね。

山野井 おそらくね、そうしないと生き残れないと思いますよ。強い産業が外貨を獲得する。弱い産業は、強い産業が稼いだ外貨を使って外国から輸入すればいいと。こういう国際分業の発想はそれだけ取り上げれば正解なんだけど、但し仮りに食べ物とか医薬とか命に関わるものを、輸出国側に変化が起こって輸出を止められたらどうするのかという問題は残ります。しかし、先生がおっしゃるように、最終的には20年、30年経ったら、グローバルゼーションというか、ハーモナイゼーションというか、それはもっと進んでいると思います。そういう面からみても現状の健食も日本でしか通用しないというのはマズいなあという気がします。

島崎 さっきの話にちょっと戻りますが、体にいいものを、加工食品とかダイエタリーサプリメントとか、そういうものを超えてやっていくことを考えたときに、医農工連携といわれましたが、私はそういう切り口ではなくて、もっと農業なら農業の中で、グリシンに富んだ野菜とかなんかを作って、メニュー展開していく。そういうことがこれから出てくると思うんです。そうすると、本当の意味で、美味しく食べて健康作りです。そこでどういう野菜を作ったらいいのかということについて、研究開発の方向性が示されてもいいんじゃないかなという気がするのですけれども。

山野井 グリシンリッチのホウレン草を作ってくれよと農家の人にいっても、まず出来ないのは明らかです。そうするとGMOを許容しますかという話になってきます。簡単ではないけど、農研機構あたりならそういう研究開発をして申請をすることは可能でしょう。また、先程申し上げたように必要と考える原材料の開発を独法

や大学との共同で実施する方向が、今後大きくなることは間違いないと考えます。私は、グルタミン酸だって究極は太陽光を利用して作ることだと思っているんですよ。空気中には、炭酸ガスも窒素も一杯あるんだから、発酵タンクにブドウ糖を入れて作らなくてもよくなります。ただし、これは多分、遺伝子組み換えでもやらないと出来ません。

島崎 話はちょっと変わりますが、山田先生は消費者委員会の委員をなさっておられます。そのお立場をとおして食と健康の科学の現状をご覧になって、今後食と健康の科学をどういうふうにもっていったらいいのか、ご意見をお聞かせください。

山田 特保は、薬ではないけれど、対症療法的なものです。特保の効用をどう考えたらいいか、いろいろ思い巡らすと悩ましいところがありまして、そういうことを考えていたときに池田義雄先生がこういわれました。ある人にとって特保のどれか一つ、多くて二つ、それは自分の食生活はこれでいいのだろうかと振り返るきっかけを与えてくれる、それが一つの効用だろうと。なるほどそうだなと思いました。ザックバランにいいですよ、いわゆる健食の効能、機能を暗示させるような言葉の元となるデータを探そうとしても、どこにも見つからないのです。どこかにあるのでしょうかけれども、誰でもアクセスできるようになっていない。医薬品だったら、検索していけば出どころに辿り着くことができます。でも食品については、特保でも、なかなか出所を見つけるのがむずかしいですよ。健食のデータにたどり着けないというのは大変弱いところだと思います。それから、これは先ほどお話が出たんですけど、栄養学とか食事学を学校教育では実質的にほとんど教えていない、教科書はあるけれども受験ということ考えると勉強しなくてもいいという風潮になっている。医師も食事学を学ぶ機会が殆んど

無いですから、クスリを投与するか外科治療を施すことしか考えない。それから安全・安心は大切なことですが、昨今は行き過ぎの感があります。それに、付け加えれば、安心はデータとして示しうる科学ではないと私は思っています。

島崎 安全・安心は、わかりやすくいうと、どういうふうに分けられると思いますか。

山田 安全というのは、再現性試験を何回も繰り返して、ここまでは安全と考えられる数値を具体的に示すことが出来ます。しかし、安心は、ここまでは安心であろうとかいえる性質のものではないし、だいたい測定できるものではありません。

それについてはこういう話があります。コーデックスの会合に参加したとき、EUの代表団の一人、マチウダキスさんという方にお会いしました。コーデックスに行く人なら知らない人はいないというくらい有名な方です。ギリシャ出身の人で、ロンドン大学の栄養学科を出て、EUの行政官を勤めています。彼によると、アメリカとか、カナダとかいわゆる先進国は、クオリティを取り違えているといっています。食べ物のクオリティとは、少なくとも南ヨーロッパの人間にとっては、香りや匂いや味だということです。アメリカ人がクオリティというと、まず、衛生、サニタリーで、殺菌してあって微生物の危険がない、添加物が入っていないとか、そういうものをかれらはクオリティといっていると。食品のクオリティを味や香りや匂いに見出すか、それとも安全をクオリティと取るかの違いで、健食に対する考え方もずいぶん違ってきます。

国際会議に行っても感じることは、ヨーロッパ系、それからアフリカ、南北アメリカの参加者はみなその分野の専門官で、長くこの仕事に携わっているので10年前の話が今も通じます。

それが日本、韓国、中国などのアジア系は3年くらいで人が変わるので10年前の話など通じません。そのため議論をしている場で、彼らにいったってどうせ分からないんだからと、軽く見られているのが現実です。3年くらいですぐ変わるのではない専門職として、長期にわたって仕事に携わる専門官を育てていかないと、世界に伍していけないと思います。

もう一つは、わたしは、医薬部外品が存在することが健食の適切な発展にとって一番のネックになっていると思います。化粧品はともかくとして、医薬部外品で口から入れるものは全部、医薬品にしたらいいと思うのです。皆がグレードの高い健食を作ろうとしている時、部外品は何にも変わらず、40、50年旧態依然としているのですよ。

島崎 だいたいお時間もすぎましたので、山野井先生、業界のリーダーとして締め括りの言葉をお願い致します。

山野井 私は、特保や健食の本当の意味を知らしめるためには、企業にとってはキツイですけど、許可に至るまでのやり取りを公開したらどうかと思っているんです。そうすると、なるほどこれだけやって当局の鋭い質問に答え、提示された課題を克服してこの商品が出来ているのだということが分かります。十分に根拠がある話なんだと。許可申請してノーだったら潰れてしまうところがあるかもしれませんから、企業にとってはキツイですが、どこかの学会で論文を発表しているだけじゃちっとも変わらないのではないかと思います。

島崎 本日は、両先生に大変示唆に富んだ有益なお話をしていただきまして、誠にありがとうございました。内容を良く吟味して、これからのクロレラ健康栄養研究会の活動に活かして行きたいと思います。

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

酒本 秀一*

* SAKAMOTO Shuichi,

Key Words: マダイ・ニジマス・ヒラメ・色素・カロチノイド・魚体内分布・色素転換・エステル型・役割

これまでにを行ったマダイの体色改善試験^{1,4)}で魚体の部位によっては餌として与えたカロチノイド（本報告で扱う色素はカロチノイドのみなので、以下単に色素と略記する。）とは違う色素が蓄積していたり、色素の種類は同じでもエステル型が違ったりしていることが分かった。よって本試験は、餌に含まれる色素が消化管から吸収された後どのような様にして魚体の各組織に運ばれ、組織内で如何転換・蓄積され、何処からどのような形で排泄されているのかを知る為の基礎資料を得ることを目的とした。

供試魚には主として体表に色素を蓄積するマダイ、主として肉部に蓄積するニジマス、更に外見で色素等含まれているとは思えないヒラメの3魚種を用いた。夫々の魚を色素添加の餌で飼育した後、どの組織にどれ位の色素がどのような形で蓄積しているかを調べ、色素の魚体内移動、転換、蓄積、役割、排泄等について考察した。

以下、夫々の魚種について説明する。

マダイ

1. 方法

1-1. 供試魚

奄美大島の養殖場でオキアミミールを添加し

た飼料で飼育されていた香港産マダイ1尾と奄美大島産マダイ2尾を2月29日に採取して用いた。何れも2才魚で、魚1尾当りの投与色素量は不明であった。

1-2. 処理手順

図1に魚の処理手順を示す。海面生簀からタモ網で掬い上げた魚は船上でFA100によって麻酔し、体重を測定した後へパリン処理した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。採血後の魚は延髄穿刺して即殺した。血液と魚体は氷冷して約1時間かけて陸上に運んだ。血液は3000rpmで15分間遠心

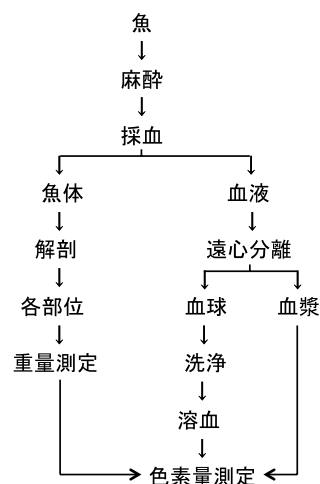


図1 処理手順

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、再び遠心分離する作業を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後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、水を切った。頭部は構造上表皮、肉、骨等を分けるのは難しかったので、そのまま頭部として分析に供した。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）、鰾、心臓、脾臓、蓄積脂質、消化管等を分離した。なお、マダイの腎臓は頸部から腹部にか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ことは出来なかったが、薬匙やピンセットを用いて可能な限り取り出した。残りの胴部から出刃包丁を用いて表皮を剥ぎ取り、裏側に付着していた脂質を取り除いた。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。分離した各部分は重さを測定し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。消化管は切り開い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。この様に可能な限り均質にした試料を色素量の測定に用いた。なお、胆嚢、腎臓、鰾、心臓、脾臓等の小さな臓器はそのまま用いた。魚の骨には骨髓が無いので、色素量は測定しなかった。

1-3. 色素量の測定

各部位の総カロチノイド含量は以下の手順に従って測定した。必要量の試料（2g程度）を精秤し、乳鉢に入れる。海砂を加えて摩砕し、更にアセトンを加えて摩砕して色素を抽出する。抽出液はろ紙で濾過して分液ロートに入れる。アセトンに着色が認められなくなるまでこの操作を繰り返す。乳鉢、海砂、ろ紙はアセトンで洗浄し、洗浄液は同じ分液ロートに入れる。石油エーテル 20 – 25mL を加え、手で十分に分液ロートを振り混ぜる。精製水 15 – 20mL を加えた後振盪機で十分振盪し、静置して石油エーテル層を分離する。回収した石油エーテル層に精製水を加えて振盪し、分離する操作を更に2回繰り返す。精製水で洗浄されて不純物を取り除かれた石油エーテル層に脱水の為に無水硫酸ナトリウムを添加する。脱水後の石油エーテル層を回収し、適切な大きさのナス型フラスコに移す。分液ロートと無水硫酸ナトリウムは石油エーテルで数回洗浄し、洗浄液は同じナス型フラスコに入れる。窒素流下 40 – 50℃でエバポレーターを用いて減圧乾固する。クロロホルム 20mL を加えて色素を完全に溶解し、1cm セルを用いて分光光度計で 475μm の吸光度を測定する。以下の式で総カロチノイド含量を計算する。

$$C=E \times Y \times 1000 \times 100/X \times 100$$

C: 総カロチノイド含量 (mg/100g), E: 試料カロチノイド溶液の吸光度, Y: 試料カロチノイド溶液の溶液量, X: カロチノイドの分子吸光係数で E (1%, 1cm) =2100 とする。

血漿は共栓付三角フラスコに入れ、クロロホルム:メタノール混液 (2:1) 40mL を加えて十分に振盪し、ろ紙で濾過して濾液をナス型フラスコに移す。血球はポッターエルベハイム型ホモジナイザーに入れ、クロロホルム:メタノール混液を加えてホモジナイズした後血漿と同様に処理した。三角フラスコ、ホモジナイザー、

ろ紙および残渣等はクロロホルム：メタノール混液で十分に洗浄し、洗浄液は濾液と合わせる。窒素流下 40 – 50℃でエバポレーターを用いて減圧乾固する。アセトンを加えて色素を溶解した後石油エーテル層に色素を移す作業以降は上記の手順と同じである。

1-4. 色素の分画

表皮、鰭、頭部、卵巣および腎臓の色素液を薄層プレート（メルク社製シリカゲル 60）にスポットして石油エーテル：アセトン=80:20の展開液で展開し、Rf 値によって色素の組成を調べた。なお、アスタキサンチン（Ast）のフリー、モノエステル、ディエステル型の Rf 値はオキアミより抽出した色素を用いて求めた。

2. 結果

2-1. 色素濃度と含量比

香港産マダイの分析結果を表 1 と図 2 に示す。単位重量当りの色素濃度が最も高かったのは鰭で、表皮、腎臓、脾臓、卵巣等が続いた。また、部位として色素量が最も多かったのは表皮で、鰭、頭部、卵巣がそれに次いでいた。頭部の色素は大部分が表皮に含まれていたものと考えられるので、マダイの場合には魚体に存在する色素の大部分が体表に存在することが分かった。

マダイの卵巣は色素が多量に含まれることが知られているが、この供試魚は生殖腺が未発達であったので、卵巣に含まれる色素の量は少なかった。性成熟が進んで卵巣が大きくなるに従って含まれる色素の量も増えるものと思われる。

奄美大島産マダイの分析結果を表 2、3 と図 3 に示す。2 尾共雄で、1 尾の精巣は可也大き

表 1 香港産マダイの分析結果

	重量 g	色素量 mg/100g	色素量 mg	含量比 %
体重	703.8			
卵巣	24.7	0.175	0.043	3.96
肝臓	8.9	0.023	0.002	0.18
胆嚢	0.7	0.040		
腎臓	0.8	0.619	0.005	0.46
鰭	2.3	0.144	0.003	0.28
心臓	0.4	0.027		
脾臓	0.3	0.261	0.001	0.09
蓄積脂質	7.4	0.024	0.002	0.18
消化管	7.6	0.037	0.003	0.28
頭部	102.5	0.101	0.104	9.58
鰓	14.0	0.011	0.002	0.18
鰭	11.8	3.508	0.414	38.12
表皮	50.0	0.956	0.478	44.01
肉	322.6	0.009	0.029	2.67
骨	105.6			
ロス	44.3			
計			1.086	
μg/g			1.543	
血球 (mg/100g)		ND		
血漿 (mg/dL)		0.009		

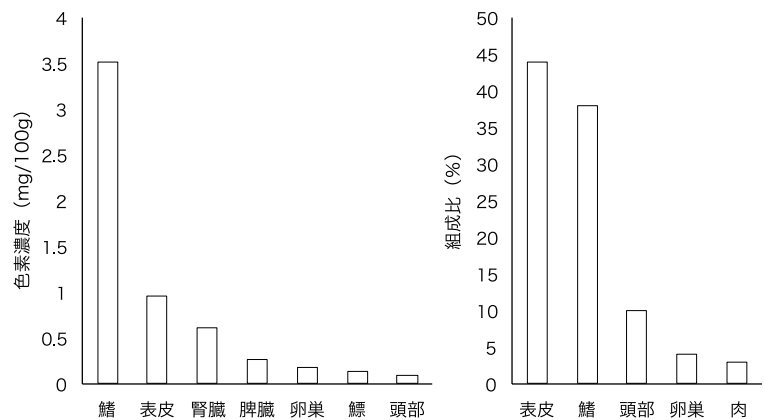


図 2 香港産マダイの部位別色素濃度と組成比

くなっていたが、精巣に色素は殆ど含まれていなかった。色素濃度が高い部位の順番は香港産マダイと略同じであった。

色素は生体内で発生する活性酸素の消去等の抗酸化作用に重要な役割を担っていることが知られている。体表部分には太陽光に含まれる紫外線によって大量に活性酸素が生じる事が推測

表2 奄美大島産マダイの分析結果 -1

	重量 g	色素量 mg/100g	色素量 mg	含量比 %
体重	841.3			
精巢	66.9	0.015	0.010	0.79
肝臓	11.9	0.025	0.003	0.24
胆嚢	tr			
腎臓	1.5	0.758	0.011	0.87
鰾	0.3	0.050		
心臓	0.3	0.074		
脾臓	0.4	0.338	0.001	0.08
蓄積脂質	33.3	0.016	0.005	0.39
消化管	7.0	0.016	0.001	0.08
頭部	115.7	0.153	0.177	13.98
鰓	14.6	0.016	0.002	0.16
鰭	11.7	2.590	0.303	23.84
表皮	53.0	1.374	0.728	57.28
肉	368.9	0.008	0.030	2.36
骨	112.2			
ロス	43.6			
計			1.271	
μg/g			1.511	
血球 (mg/100g)		ND		
血漿 (mg/dL)		ND		

表3 奄美大島産マダイの分析結果 -2

	重量 g	色素量 mg/100g	色素量 mg	含量比 %
体重	838.3			
精巢	2.5	0.014		
肝臓	8.4	0.027	0.002	0.11
胆嚢	tr			
腎臓	1.0	0.751	0.008	0.44
鰾		0.014	0.001	0.05
心臓	0.5	0.042		
脾臓	0.5	0.237	0.001	
蓄積脂質	10.8	0.029	0.003	0.16
消化管	9.6	0.032	0.003	0.16
頭部	129.6	0.040	0.052	2.83
鰓	15.0	0.021	0.003	0.16
鰭	13.1	3.667	0.480	26.12
表皮	54.8	2.265	1.241	67.52
肉	436.1	0.010	0.044	2.39
骨	105.0			
ロス	47.4			
計			1.838	
μg/g			2.193	
血球 (mg/100g)		ND		
血漿 (mg/dL)		0.004		

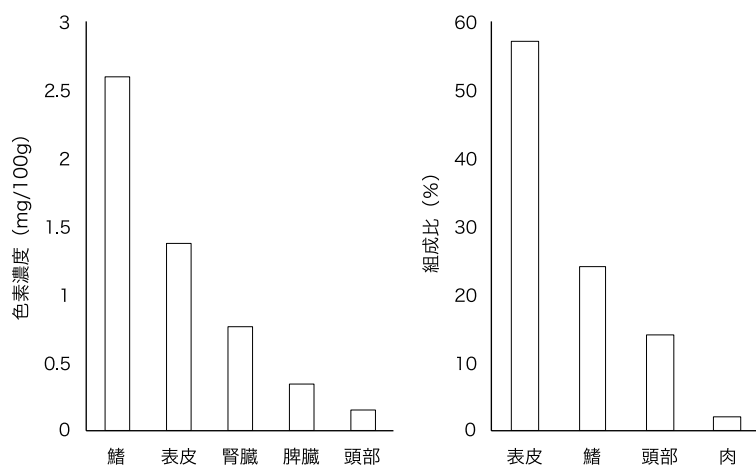


図3 奄美大島産マダイ-1の部位別色素濃度と組成比

出来る。これを取り除く為に体表に多量の色素が存在しているのかも知れない。また、マダイの受精卵は分離浮遊卵で、孵化するまで海面に近い所を漂っている。海面に近ければ紫外線の影響も強い。これに対応する為に予め多量の色素を蓄積しているのかも知れない。

脾臓は魚体内に侵入した細菌等の異物の処理場所で、活性酸素の発生が多い部位である事が分かっている。

3尾の分析結果で意外だったのは腎臓の色素濃度が鰭、表皮に次いで高かったことである。魚の場合、腎臓の主たる役割は頭部に近い所で造血、後部で再吸収と排泄であるとされている。色素はこれらの役割と

何らかの関係が有るのであろうか。また、腎臓はリンパ様組織で、白血球や白血球様の遊離細胞が存在していることも知られている。よって侵入した細菌等の異物を脾臓と同様の作用で処理する時に生じる活性酸素を消去するのに色素が多量に必要なことも考えられる。大変興

表4 各部位の色素組成

	アスタキサンチン (Ast)			黄色色素
	F	ME	DE	
表皮			○	○
鰭			○	○
頭部			○	○
卵巣	○			
腎臓	○			

味が有るところである。

オキアミミールを多量添加した飼料でマダイを飼育すると血漿は綺麗なピンク色に着色することをこれまでの試験で確認している。ところが本試験の血液には血漿，血球共に殆ど色素は含まれていなかった。これは本試験に供した魚に与えられていた飼料の色素量が少なかった為ではないかと推測する。

2-2. 色素の組成

表4に各部位の色素の組成を示す。表皮，鰭，頭部等の体表部分の色素はアスタキサンチンのディエステル型が主体で，それとは別に黄色の色素（未同定）も可也の量含まれていた。卵巣と腎臓の色素はアスタキサンチンのフリー型が主であった。

オキアミミールの色素は消化管内でディエステル→モノエステル→フリーへと分解されてから吸収され，血液中にはフリー型で存在して各組織へ運ばれることが分かっている⁵⁾。体表部分の細胞ではアスタキサンチンはフリー型で取りこまれ，細胞内でモノエステル，ディエステルへと転換されて蓄積されるのであろう。更に赤色のアスタキサンチンから黄色の色素への転換も起こっているのではないかと推測する。なお，マダイ体表の赤色色素はアスタキサンチン，黄色色素はツナキサンチンであることが報告されている⁶⁾ので，本試験で認めた黄色の色素はツナキサンチンである可能性が高い。

体表以外の卵巣や腎臓ではアスタキサンチンはフリーの形で取り込まれ，そのまま蓄積され

ている様である。何故体表部分と体内臓器で色素のエステル型が違わなければならないのだろうか。光，特に紫外線に対する安定性の問題であらうか。この点も大変興味深い。

3. 要約

これまでの試験結果¹⁻⁴⁾と本試験の結果を纏めた。

- ・餌中のアスタキサンチンは消化管，特に幽門垂部と腸前半部で胆汁と膵液によってディエステル→モノエステル→フリーへと分解され，フリー型で吸収される。

- ・吸収されたアスタキサンチンは血漿中にフリー型で存在して全身に運ばれる。

- ・血液を介して体表に運ばれた色素は細胞内でフリー→モノエステル→ディエステルへと転換され，ディエステルとして蓄積される。

- ・体表ではアスタキサンチンの一部が黄色の色素に転換されている可能性が高い。

- ・卵巣と腎臓ではアスタキサンチンはフリー型のままで蓄積される。

- ・魚体内で活性酸素の発生が多いと思われる体表，腎臓，脾臓等で色素濃度が高く，色素が活性酸素の消去剤として作用している可能性が高い。

ニジマス

1. 方法

1-1. 供試魚

ニジマス成魚を1KL容円形コンクリート水槽に移して1週間色素無添加飼料で予備飼育した。次いで合成カンタキサンチン（フリー型）を10mg/100g添加した飼料を0，5および10日間与えた後4尾ずつサンプリングして分析に供した。平均体重は夫々427，551および718gであった。なお，給餌は日に2回手撒きで飽食量与えた。水温は16℃であった。

1-2. 処理手順と分析法

マダイの試験と略同じであったが、実験室での試験だったのでサンプルの凍結は行わず生のまま処理した。

2. 結果

分析結果を表5に4尾の平均値で示す。カンタキサンチンの投与日数とは関係無く、鰭、卵巣、表皮、腎臓、頭部、肉等の色素濃度が高かった。ニジマスもマダイ同様体表部分、卵巣および腎臓の色素濃度が高かったが、違ったのは肉部の色素濃度が高いことであった。ニジマスは肉部へ色素を蓄積する性質を有することが分かる。

カンタキサンチンの投与量が多くなるに従って胆嚢の色素濃度が高くなっていった。胆嚢は内部に胆汁を蓄積する為の袋状の組織で、膜自体には着色していなかった。よって、胆汁中に色素が含まれていたのではないかと推測する。

カンタキサンチン投与前の血漿の色は多少黄色味があった程度であったが、カンタキサンチンを与えた後は濃いオレンジ色に着色しており、可也高濃度に色素が含まれていた。一方、血球に色素は含まれていなかった。消化管から吸収された色素は血液の液状部分を介して全身に運ばれていることが分かる。

主要各組織の色素濃度の経時変化を図4、各組織に含まれる色素量が全体の色素量に占める割合の変化を図5に示す。夫々の部位の色素濃度

表5 ニジマスの魚体内色素分布

	色素含量 (mg/100g)			組成比 (%)		
	開始時	5日後	10日後	開始時	5日後	10日後
卵巣	0.269	0.589	0.788	0.77	1.29	1.11
精巣	0.001	0.050	0.051	0.29	0.33	
肝臓	0.063	0.212	0.181	2.58	3.40	1.66
胆嚢	0.023	0.032	0.062	0.07	0.10	
腎臓	0.110	0.253	0.289	3.13	2.40	2.32
鰭	0.011	0.189	0.077	0.09	0.24	0.09
心臓	0.034	0.114	0.144	0.09		0.12
脾臓	0.055	0.112	0.097	0.29	0.05	0.03
蓄積脂質	0.008	0.056	0.039	0.27	1.21	0.78
消化管	0.022	0.073	0.098	1.24	1.54	1.48
頭部	0.042	0.117	0.157	9.15	11.57	12.77
鰓	0.009	0.058	0.038	0.44	0.84	0.51
鰭	0.280	0.585	0.607	9.44	8.34	6.18
表皮	0.206	0.528	0.536	34.99	33.42	22.55
肉	0.063	0.044	0.084	37.23	35.84	46.94
血球	ND	ND	ND			
血漿 (mg/dL)	0.021	0.321	0.270			

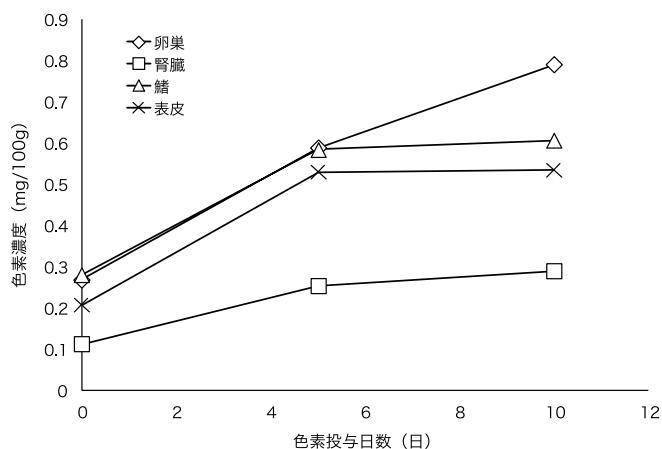


図4 色素投与による各部位色素濃度の経時変化

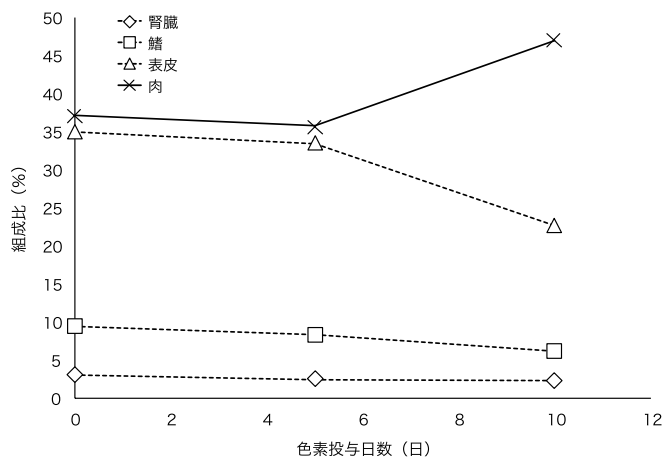


図5 色素投与による各部位色素量比の経時変化

はカンタキサンチンの投与量が多くなるに従って増えていたが、各部位に含まれる色素量の比率は肉部のみが増え、他の部位は減少していた。これは魚体内で肉部の占める割合が高い為、単位重量当たりの色素量の増え方がそれ程大きくなくても肉部に蓄積された色素の量は多かったことを表している。

何故サケ・マス類では肉部に大量に色素を蓄積する必要があるのであろう。サケ・マス類の卵は大きく、体重に占める割合も高く、色素量も多いことが知られている。サケ・マス類の肉中に蓄積される色素はフリー型で、血液を介して運ばれる色素もフリー型である。性成熟時には摂餌量が減少するので餌中に含まれる色素のみでは卵に必要な色素量が不足することも考えられる。よって予め肉部へ利用可能な形で色素を大量に蓄積しているのかも知れない。

3. 要約

前報⁵⁾の結果と本試験の結果を纏めた。

・餌中に含まれる色素の消化管における分解と吸収の機構はマダイと同じである。

・吸収された色素は血液を介してフリー型で全身に運ばれる。血液中の色素は液状部分に含まれており、血球中には存在しない。

・色素濃度が高い部位はマダイと略同じであったが、ニジマスの場合は肉部への蓄積量が多いことに特徴が有る。

・体表に蓄積される色素はディエステル型である。また、体表では色素の転換も起っている。

ヒラメ

1. 方法

1-1. 供試魚

長期間ビタミンEを強化した鮮魚（マアジとチカ）で飼育した5才魚主体のヒラメ成魚を

2群に分け、一方には従来通りビタミンE強化鮮魚（対照区）、片方にはビタミンEと合成アスタキサンチンを強化した鮮魚（色素区）を与え、7月27日から8月9日まで飼育した。鮮魚へのビタミンEとアスタキサンチンの強化法は以下の通りである。対照区には鮮魚100g当りビタミンEを200mg封入したゼラチンカプセル No.2を、色素区には同量のビタミンEとアスタキサンチンを10mg封入したカプセルを肛門から体内に押し込んだ。給餌は一日おきとした。8月9日に両区から雌雄を1尾ずつサンプリングし、分析に供した。

1-2. 処理手順と分析法

マダイの試験と同じであった。

2. 結果

2-1. 魚体測定と解剖

表6に結果を示す。両区共雌に対して雄が著しく小さかったが、これはサンプリングの不備によるのではない。ヒラメは年齢が同じでも雌の方が大きくなる魚種である。

肝臓の占める割合は雌の方が大きかったが、

表6 魚体測定と解剖の結果

	対照区		色素区	
	♂	♀	♂	♀
体重 (g)	934	1285	954	1575
全長 (cm)	45.0	49.6	44.7	50.5
肥満度	1.02	1.05	1.07	1.22
卵巣 (%)		1.46		1.78
精巣	1.59		1.06	
肝臓	0.87	0.93	1.10	2.17
胆嚢	0.15	0.17	0.14	0.12
腎臓	0.46	0.60	0.50	0.47
心臓	0.06	0.04	0.08	0.06
脾臓	0.08	0.12	0.10	0.11
蓄積脂質	ND	ND	ND	ND
消化管	1.15	1.48	1.16	1.23
頭部	8.48	8.86	8.60	7.54
鰓	1.07	1.35	1.16	0.96
鰭	3.43	3.52	3.43	2.93
表皮	6.75	7.54	5.72	5.32
肉	50.68	50.22	54.25	58.76
骨	13.38	12.82	12.56	10.99

表7 各部位の色素濃度

	対照区		色素区	
	♂	♀	♂	♀
卵巣 (mg/100g)		1.021		1.321
精巣	0.010		0.022	
肝臓	0.112	0.097	0.216	0.071
胆嚢	0.023	0.006	0.025	0.129
腎臓	1.754	1.222	1.377	0.721
心臓	0.031	0.046	0.047	0.042
脾臓	0.395	0.330	0.300	0.163
蓄積脂質	ND	ND	ND	ND
消化管	0.014	0.024	0.053	0.033
頭部	0.272	0.129	0.297	0.132
鰓	0.132	0.066	0.094	0.055
鰭	2.136	0.607	1.997	1.498
表皮	1.375	0.736	2.461	0.713
肉	0.006	0.003	0.007	0.014
骨				
全魚体 (μg/g)	2.030	1.146	2.502	1.297

成魚、特に性成熟を経験した魚では雌の肝臓が雄より大きいのは極一般的であり、特別なことではない。特徴的なのは蓄積脂質が雌雄共殆ど無かったことで、ヒラメは体内に脂質を蓄積する魚種ではないことが分かる。また、肉部の占める割合が高く、ヒラメは可食部が多い魚である。

生殖腺は未だ発達しておらず、精巣、卵巣共に小さかった。性成熟が魚体内の色素分布に及ぼす影響は考えなくても良い。

2-2. 色素濃度

分析結果を表7と図6, 7に示す。対照区、色素区共に殆どの部位において雄の色素濃度が高かった。何故雄の色素濃度が高いのか? 色素の吸収率が雄の方が高いとは考え難い。婚姻色は雄に出ることが多いので、その為とも考えられるが、精巣は未発達であるし、婚姻色には関係が無い部位の色素濃度も雄の方が高かったので、婚姻色が原因とは考え難い。雌は年齢からして既に産卵を経験している魚である。卵の発達過程で魚体から卵へ多量の色素が移行し、産卵後には魚体全体の色素量が減少していたもの

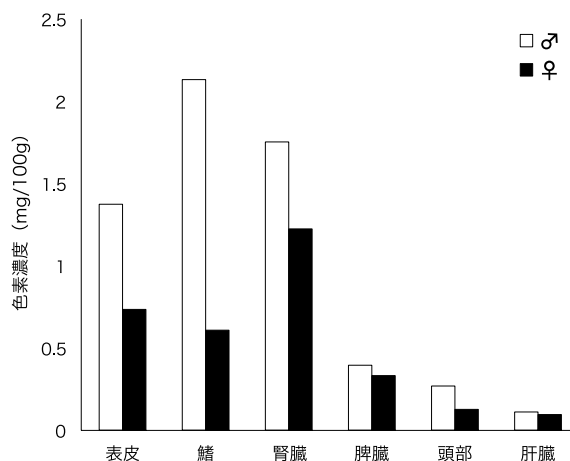


図6 対照区ヒラメの部位別色素濃度

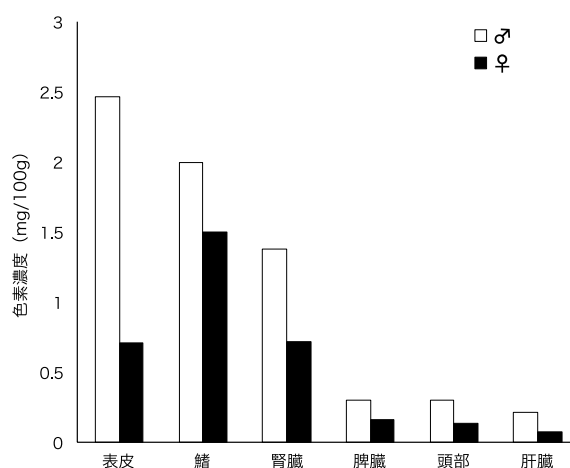


図7 色素区ヒラメの部位別色素濃度

と推測出来る。雌では産卵の影響から回復しきれていないので、雄より色素量が少なかったのではないかと考える。

対照区、色素区共に色素濃度が高い部位は鰭、表皮、頭部、腎臓、脾臓等で、マダイやニジマスと共通していた。また、臓器としての色素量が多い順番も略同じであった。ヒラメでも活性酸素の発生が多いと推測出来る部位に色素が多かったことが分かる。アスタキサンチンの添加によって色素濃度が増えたのは色素区/対照区の値から体表と消化管であると思われるが、体表については鰭と表皮の雌雄差が大きく、明確でなかった。

表 8 各部位色素の分布比

	対照区		色素区	
	♂	♀	♂	♀
卵巣 (%)		12.98		18.12
精巣	0.05		0.08	
肝臓	0.47	0.82	0.96	1.18
胆嚢	tr	tr	tr	tr
腎臓	4.01	6.45	2.76	2.60
心臓	tr	tr	tr	tr
脾臓	0.16	0.34	0.13	0.15
蓄積脂質	ND	ND	ND	ND
消化管	0.11	0.34	0.25	0.29
頭部	11.34	9.99	10.22	7.69
鰓	0.69	0.75	0.42	0.39
鰭	36.02	18.61	27.4	33.84
表皮	45.68	48.44	56.26	23.69
肉	1.48	1.29	1.51	6.37
骨				

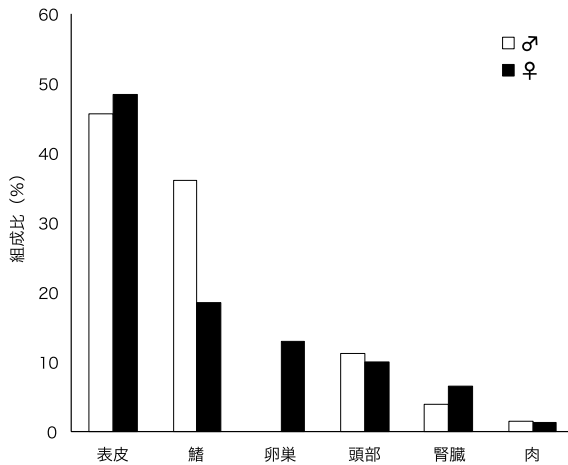


図 8 対照区ヒラメの部位別色素量比

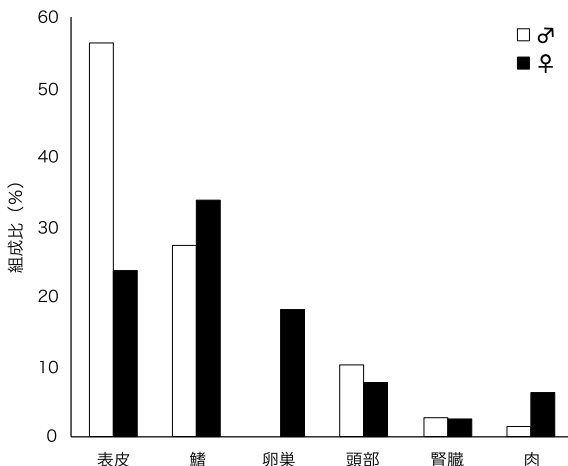


図 9 色素区ヒラメの部位別色素量比

表 9 色素の組成 (対照区)

	♂			♀		
	DE	ME	F	DE	ME	F
Ast 色調	R	R	R	R	R	R
Rf 値	0.62	0.39	0.20	0.62	0.39	0.20
表皮 色調	Y			Y		
Rf 値	0.70			0.74		
鰭 色調	Y			Y		
Rf 値	0.70			0.77		
腎臓 色調	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Rf 値	0.73	0.43	0.15	0.77	0.44	0.17
卵巣 色調				Y	R	Y
Rf 値				0.42	0.21	0.17

DE：ディエステル，ME：モノエステル，F：フリー（遊離型）
R：赤色，Y：黄色

2-3. 含量比

各部位に含まれる色素量が全体の何%を占めているかを計算して求めた結果が表8と図8，図9である。アスタキサンチン添加の有無に拘らず雄では色素の90%以上が体表に有り，次いで腎臓が多かった。雌では70－80%が体表に有り，卵巣にも可也の量が存在していた。卵巣の体重比は2%にも達していなかったのに色素量は13－18%存在していたので，性成熟が進んで卵巣が大きくなると卵巣に含まれる色素が相当の比率を占めるようになるものと推測出来る。

2-4. 色素の組成

対照区の表皮，鰭，腎臓および卵巣に含まれる色素の組成を調べた結果が表9である。雌雄共に表皮と鰭では恐らく同じ色素であると思われる黄色の色素が主体であったが，腎臓には3種類の黄色色素，卵巣には2種類の黄色色素とアスタキサンチンのフリー型が含まれていた。表皮と鰭の色素はディエステル型であろう。

腎臓の3種類の黄色色素，卵巣の2種類

表 10 血漿中色素の組成

Ast	DE	ME	F
色調	R	R	R
Rf 値	0.63	0.39	0.21
対照区			
色調	Y		
Rf 値	0.16		
色素区			
色調	R		
Rf 値	0.22		

R：赤色，Y：黄色

の黄色色素が夫々同じ色素であるか否かは同定を行っていないので不明であるが、もし同じ色素であるならばフリー、モノエステル、ディエステルであろうが、エステル化は色素胞で特異的に行われる反応であるとの報告⁷⁾が有るので、夫々別のフリー型の色素であるのかも知れない。

血漿に含まれる色素の組成(表 10) から黄色色素は恐らく 1 種類の色素が主体で、消化管内でフリー型に分解されてから吸収されたものと推測する。卵巣中のフリー型のアスタキサンチンは餌の鮮魚に含まれていたアスタキサンチン(恐らく漁獲時に鮮魚が食べて消化管に含まれていた甲殻類に由来するアスタキサンチン)がそのまま吸収されて卵に移行したものであろう。

色素区の結果を表 11 に示す。雄の腎臓にアスタキサンチンのフリー型が含まれていた以外は対照区と同じ結果であった。この腎臓のアスタキサンチンは餌の鮮魚に添加した色素がそのまま蓄積されたものと思われる。雌の腎臓には確認出来る程の量のアスタキサンチンは含まれていなかったが、これは餌から吸収されたアスタキサンチンが集中的に卵巣に蓄積された為ではないかと推測する。

表 11 色素の組成(色素区)

Ast	♂			♀		
	DE	ME	F	DE	ME	F
色調	R	R	R	R	R	R
Rf 値	0.62	0.39	0.20	0.62	0.39	0.20
表皮						
色調	Y			Y		
Rf 値	0.73			0.67		
鰭						
色調	Y			Y		
Rf 値	0.74			0.79		
腎臓						
色調	Y	Y	R	Y	Y	Y
Rf 値	0.73	0.43	0.19	0.78	0.45	0.18
卵巣						
色調				Y	R	Y
Rf 値				0.43	0.22	0.18

DE:ディエステル, ME:モノエステル, F:フリー(遊離型)
R:赤色, Y:黄色

表 12 腎臓色素の組成比

対照区	♂			♀		
	Y	Y	Y	Y	Y	Y
色調	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Rf 値	0.73	0.43	0.15	0.77	0.44	0.17
組成比 (%)	22.2	53.0	21.2	14.5	52.7	18.8
色素区						
色調	Y	Y	R	Y	Y	Y
Rf 値	0.73	0.43	0.19	0.78	0.45	0.18
組成比 (%)	4.9	53.7	38.6	7.4	19.4	58.3

R：赤色，Y：黄色

表 13 卵巣色素の組成比

対照区	色素区		
	Y	R	Y
色調	Y	R	Y
Rf 値	0.42	0.21	0.17
組成比 (%)	4.4	90.8*	3.6

R：赤色，Y：黄色

*：主体は黄色の色素，特に対照区は大部分が黄色の色素である。

2-5. 腎臓と卵巣の色素の組成比

薄層クロマトスキャナーで求めた腎臓と卵巣の色素の組成比を表 12 と表 13 に示す。

対照区の腎臓では雌雄共に Rf 0.43 - 0.44 の黄色色素が約 50% を占め、それ以外に Rf 0.73 - 0.77 と 0.15 - 0.17 の色素が略等量存在していた。色素区でも雄の腎臓では Rf 0.43 の色

素が約 50% を占めていたのは対照区と同じであったが、アスタキサンチンのフリー型と Rf 0.15 の黄色色素が一緒になった部分が約 40% 有り、Rf 0.73 の黄色色素は少なかった。また、アスタキサンチンのフリー型は存在していたけれども少なく、主体は Rf 0.15 の黄色色素であった。一方、色素区の雌の腎臓では黄色色素は Rf 値が $0.18 > 0.45 > 0.78$ の順に多く、雄とはパターンが異なっていた。

卵巣の色素は両区共 Rf 0.17 - 0.18 の黄色色素 + アスタキサンチンのフリー型が大部分で、Rf 0.42 - 0.43 の黄色色素は少なかった。また、Rf 0.17 - 0.18 の黄色色素とアスタキサンチンのフリー型では黄色色素の方が多く、特に対照区では大部分が黄色色素であった。

3. 要約

本試験の結果を纏めた。

- ・外観的に赤や黄色の色素が含まれているとは思えないヒラメにも可也の量の色素が含まれていた。

- ・血漿中に含まれる色素の組成は現在食べている餌に含まれる色素の種類と量を反映し、その他の部位の色素は長期間食べてきた餌に含まれていた色素の種類と量を反映している。

- ・ヒラメの場合も餌中の色素は消化管内でディエステル→モノエステル→フリーへと分解され、フリー型で吸収される。

- ・血液中では色素はフリー型で存在し、全身に運ばれる。

- ・魚体中で色素濃度の高い部位はマダイと略同じで、活性酸素の発生量が多いと思われる部位であった。色素が活性酸素の消去剤として作用している可能性が高い。

- ・アスタキサンチンを餌中に添加しても体表にアスタキサンチンは含まれず、黄色色素のディエステルが主体であった。体表の色素胞にアスタキサンチンは取り込まれないのか、ある

いは取り込まれたアスタキサンチンの略全量が黄色色素のディエステル型に転換、蓄積されたのであろう。

- ・腎臓には雌雄共に Rf 値の異なる 3 種類の黄色色素が含まれ、主体は Rf 0.43 - 0.45 の色素であった。

- ・卵巣では Rf 0.17 - 0.18 の黄色色素が主体であった。

- ・餌中にフリー型のアスタキサンチンを添加しても腎臓と卵巣に含まれるアスタキサンチン量は少なかった。

ニジマス腎臓の色素分布

マダイ、ニジマス、ヒラメ共に腎臓の色素濃度が高いのは共通していた。魚の腎臓は部位によって果たしている役割が違う。頭部に近い頭腎では造血、後半部では再吸収と排泄が主な役割である。この役割の違いと色素の分布状態が関係しているか否かを調べる為、ニジマス腎臓の部位別色素量を調べた。3 魚種からニジマスを選んだのは最も腎臓が採取し易いことによる。

1. 方法

1-1. 供試魚

ニジマス成魚に 3 月 1 日から 4 日間合成カンタキサンチンを 5mg/100g 添加した飼料を、更に 5 日から 3 日間は色素無添加飼料を日に 2 回飽食量与えた。水温は 14℃であった。3 月 8 日に雌雄 1 尾ずつサンプリングし、腎臓に存在する色素の分析に供した。

1-2. 魚体測定と分析

魚体測定と解剖手順は従来のニジマス試験と同じであった。内臓を取り除いた後左右の腹壁を魚体から切り離し、背骨の下側に沿って細長く固着している腎臓を露出した。腎臓の長さを測定し、4 等分する位置にメスで切り込みを入れ、頭に近い方から A, B, C および D 部位と

した。薬匙とピンセットで各部位の腎臓を可能な限り取り出し、重さを測定した。夫々の部位の腎臓は全量を用いて総カロチノイド含量を測定し、各部位の色素の分布割合を求めた。さらに薄層で展開して Rf 値から色素の組成、クロマトスキャナーによって組成比を求めた。測定法はマダイと同じであった。

2. 結果

2-1. 魚体測定と解剖

雌雄共同じ年齢であったが表 14 の通り雄の方がやや大きかった。性成熟は未だ進んでおらず、雌雄共生殖腺は小さかった。腎臓の長さは両者略同じであった。ところが採取出来た腎臓の重さは雄が 14.02g、雌が 10.82g と雄の方が 1.3 倍多かった (表 15)。この数字は雄 / 雌の体重比 1501/1389=1.08 より大きかった。特に雌雄で腎臓の採取し易さに違いが有ると思えなかったもので、ニジマスの場合には雄

表 14 供試魚の詳細

性	♂	♀
体重 (g)	1501	1389
尾叉長 (cm)	48.6	46.7
肥満度	1.31	1.36
精巣体重比 (%)	1.48	
卵巣体重比		4.81
肝臓体重比	1.20	1.41
腎臓長 (cm)	22.6	22.2

表 15 腎臓の部位別色素濃度と組成比

	重量 g	色素濃度 mg/100g	色素量 mg	組成比 %
♂				
A 部位	3.98	1.30	0.052	17.51
B	2.54	1.68	0.043	14.48
C	4.43	2.91	0.129	43.43
D	3.07	2.37	0.073	24.58
♀				
A 部位	3.52	1.99	0.070	18.97
B	2.02	2.98	0.060	16.26
C	2.98	4.23	0.126	34.15
D	2.30	4.93	0.113	30.62

の方が腎臓が大きいのかも知れない。各部位でも A が 1.13 倍、B が 1.26 倍、C が 1.49 倍、D が 1.33 倍と何れの部位も雄の方が大きく、特に後半部が大きかった。但し、この数字は雌雄 1 尾ずつでの比較であること、ヒラメではこのような傾向は認められなかったこと、マダイの雄ではバラツキが大きかったこと等から、更にサンプル数を増やして確認しておく必要が有る。

2-2. 部位別色素濃度と分布比率

表 15 と図 10, 11 に各部位の色素濃度と各部位に存在する色素量の全体に対する比率を示す。単位重量当たりの色素濃度は全ての部位で雌の方が大きく、腎臓全体に含まれる色素の量も雄が 0.297mg、雌が 0.369mg と雌の方が多かつ

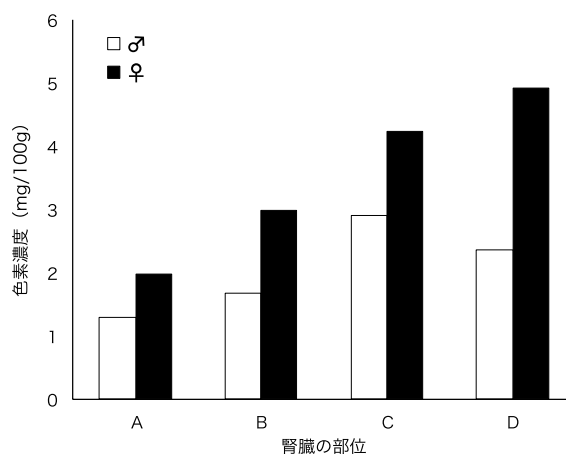


図 10 ニジマス腎臓の部位別色素濃度

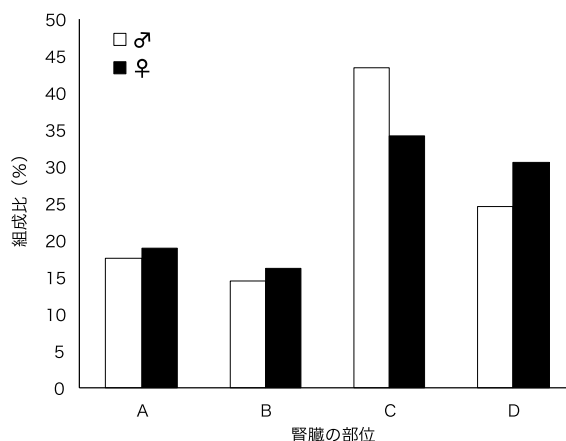


図 11 ニジマス腎臓の部位別色素量比

表 16 腎臓各部位色素の Rf 値

色調	赤	赤	黄
カンタキサンチン	0.43		
♂			
A 部位	0.43	0.59	0.73
B	0.42	0.59	0.74
C	0.42	0.60	0.76
D	0.42	0.59	0.74
♀			
A 部位	0.43	0.60	0.74
B	0.43	0.60	0.74
C	0.42	0.60	0.76
D	0.43	0.60	0.76

た。また、含量比ではC部位で雄の方が大きかったが、A、B、D部位ではやや雌の方が大きかった。この様に腎臓に含まれる色素の量は雌の方が多いと思える結果であったが、これも1個体ずつでの比較であり、更に個体数を増やして確認しておく必要が有る。

2-3. 色素の組成

薄層上にスポットが認められた3種類の色素のRf値を表16に、夫々の色素が占める割合を表17に示す。雌雄共何れの部位においてもフリー型のカンタキサンチンが全色素量の半分以上を占めていたが、それ以外に未同定の赤色素と黄色色素が存在していた。なお、黄色色素の占める割合は雄が多い傾向に有り、その分フリー型のカンタキサンチンが占める割合が少なかった。

カンタキサンチンのフリー型は餌中に含まれていたカンタキサンチンが吸収され、血液を介して腎臓に運ばれたものがそのまま蓄積したのであろう。

3. 要約

・腎臓体重比は雌より雄の方が大きかった。但し、この値は雌雄1個体ずつで求めた結果であるので、更にサンプル数を増やして再現性を確認しておく必要が有る。

・単位重量当たりの色素量は全ての部位で雌

表 17 腎臓色素の組成比

	カンタキサンチン	赤色素	黄色色素
エステル型	F	?	?
♂			
A 部位	63.2	9.9	21.3
B	72.7	9.7	7.6
C	56.5	7.1	30.8
D	61.1	10.2	22.1
♀			
A 部位	74.5	10.6	8.9
B	78.4	8.9	8.8
C	76.9	7.9	8.9
D	77.8	8.4	8.0

単位：%

の方が大きく、腎臓全体に含まれる色素量も雌の方が多かった。

・雌雄共に腎臓の後半部の方が単位重量当たりの色素含量も全色素量中に占める割合も高かった。腎臓の後半部は再吸収と排泄が主な役割であり、この役割とカロチノイド色素量の間にどのような関係が有るのか興味がある。

・腎臓の部位別活性酸素の発生量と色素含量の関係を調べておく必要が有る。

・雌雄共腎臓に存在した色素の50%以上はカンタキサンチンのフリー型で、これは餌中のカンタキサンチンが吸収され、血液を介して腎臓に運ばれ、そのまま蓄積したものと考えられる。

・カンタキサンチン以外に未同定の赤色素と黄色色素が含まれていた。黄色色素の占める割合は雄の方が多く、その分カンタキサンチンが占める割合が少なかった。

考察

これまでの試験結果とカロチノイドに関する成書⁸⁻¹¹⁾に記載されている内容から、魚における色素の消化・吸収、体内移動、変換、蓄積、排泄および役割等を推測した。なお、動物の種類や色素の種類によって腸管からの吸収や体内での動態が異なるとされている事を付記しておく。

消化・吸収

魚によって摂取された餌中の脂質は胆汁中に含まれる胆汁酸とリン脂質によって腸管内での分散性が高められる。更に膵液のリパーゼや各種の脂質加水分解酵素の作用によってミセル化する。カロチノイドも脂質の一種で、ディエステル→モノエステル→フリーへと分解される。ミセルに溶解した色素は腸管（主として幽門垂部と腸前半部）からフリー型で吸収されるが、吸収においては腸管上皮細胞のレセプターが重要な役割を果たしているものと推測されている。

腸壁から他組織への移動は遅く、腸壁に滞留する時間が長いとされている。これが色素添加飼料を与えても初期の体表色や肉色の改善効果が低いと云われる理由かもしれない。

放出

腸管の細胞に取り込まれた色素は細胞内で合成されるトリアシルグリセロールやアルブミンと一緒に becoming カイロミクロン中に組み込まれ、リポタンパク質として血液中に放出される。リポタンパク質中で色素はフリー型で存在している。

輸送

血液中に放出された色素はリポタンパク質の形で血液の液状部分（血漿、血清）にフリー型で存在し、血球には殆ど含まれていない。色素は血液を介してフリー型で全身に輸送される。

取り込み、蓄積、転換、役割

色素が生体内で有効な生理活性を発揮するには各組織に運ばれ、取り込まれることが必須である。本報告の分析結果からも分かる様に色素は各組織に均等には分布しておらず、含有量、組成、存在型等に組織の特異性が認められる。色素は細胞のリポタンパク質レセプターを介して血液から各組織に取り込まれると推測されている。

〔体表〕

血液を介して体表に運ばれた色素は色素胞に取り込まれる。体表に存在している色素はディエステル型であるが、エステル化は色素胞内で特異的に行われる反応とされている。マダイ体表の主要なカロチノイドは赤色のアスタキサンチンと黄色のツナキサンチン、ニジマスはツナキサンチンが存在せず、ルテインとゼアキサンチンが主体である報告されている。ツナキサンチン、ルテイン、ゼアキサンチンは共にアスタキサンチンが還元的に代謝されて形成される。この様に魚種によって転換、蓄積される色素の種類が異なっている。

色素の代謝は光による影響を受け易く、光によって蓄積が促進されることが知られている。太陽光中に含まれる紫外線によって体表では活性酸素が大量に発生する。この活性酸素を消去するのが色素の第一の役割とされているが、この作用を発揮する為には色素がフリー型であることが必須で、ディエステル型にはこの作用は無いとする報告が有る。では何故体表の色素はディエステル型なのであろう。ディエステル型はフリー型よりも安定性が高いことが分かっている。体表の色素はメラニンと共に紫外線を遮って内部組織に紫外線が届かないようにするのが主たる役割なのかも知れない。

〔卵〕

サケ・マス類の未成熟期には餌から吸収されたカロチノイドは血液を介して卵に運ばれ、フリー型のまま蓄積される。性成熟期に魚は餌を食べなくなるので、肉部を分解すると共に蓄積していたカロチノイドを放出し、雌の場合には肝臓で色素を含むビテロゲニンを合成して血中に放出し、卵へと運ぶ。卵中で色素は主要な卵黄タンパク質であるリポビテリンに局在している。雄の場合にはリポプロテインとして肝臓から放出され、体表に運ばれて蓄積する。これが雄の婚姻色として表れる。

受精卵中にフリー型で存在する色素は発生の進行と共にふ化前から胚体に移行し、最終的に100%移行してエステル化され、体表に蓄積される。この間色素量の著しい減耗は認められないので、色素は発生、孵化等に必須の物ではないとの報告も有る。著者も長年ニジマスの再生産試験を行ってきたが、特に色素を強化した飼料を親魚に与えないと受精率、孵化率、生残率等が劣ると云う結果を得たことは無い。ニジマス受精卵の管理は直射日光の当たらない室内で行うのが一般的なので、直射日光を遮った環境下であれば卵中の色素量と再生産の成績は直接関係することは無いように思える。

直射日光を遮る為には体表同様ディエステル型の方が良いように思えるが、卵中に色素はフリー型で蓄積されている理由は何であろう。前述の様にエステル化は色素胞内で特異的に起こる反応なので、エステル化出来ないのが直接の理由であろうが、卵中で血液を介して色素胞に色素を送るのにフリー型の方が都合が良いのも一つの理由ではないかと推測する。

〔脾臓、腎臓〕

脾臓や腎臓はリンパ様組織である。好中球やマクロファージ等の各種食細胞が異物を取り込んで殺菌するが、その際に活性酸素生成反応が起こる。活性酸素は反応性に富み、核酸、タンパク質、脂質等を酸化し、様々な障害を及ぼす。この時細胞膜の保護と活性酸素の消去に色素が

役立っている。カロチノイドはフリーラジカルの強い補足剤（アスタキサンチンはビタミンEの100 - 1000倍の効果とも云われている）で、特に一重項酸素の消去活性が強く、脂質の過酸化に対する抗酸化作用を通じて細胞や組織を保護している。

脾臓や腎臓に色素が多いのは、これらの臓器に活性酸素の発生量が多いことと関係しているのであろう。また、腎臓の糸球体細胞は炎症性サイトカインを分泌する事が知られており、これによっても活性酸素が発生する。ニジマスの腎臓で後半部に色素含量が高かったことと関係しているのかも知れない。

〔肝臓、胆嚢〕

肝臓もリンパ様組織の一つである。更に人では胆汁中に色素が分泌され、色素の腸肝循環が存在する可能性が指摘されている。胆汁は肝臓で合成され、胆嚢中に溜められる。肝臓や胆嚢に色素が存在することと関連しているのかも知れない。

〔排泄〕

餌中の色素は消化管から吸収されなかった分はそのまま糞便中に排泄される。一方、吸収された分は体内の各組織に蓄積されてから代謝・変換され、代謝産物として尿や糞便中に排泄されているものと考えられているが、その全体像はまだ良く分かっていない様である。

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

- 1) 酒本秀一：マダいの体色改善－1. *New Food Industry*, **56** (6), 67-78 (2014)
- 2) 酒本秀一：マダいの体色改善－2. *New Food Industry*, **56** (7), 65-78 (2014)
- 3) 酒本秀一：マダいの体色改善－3. *New Food Industry*, **56** (8), 53-65 (2014)
- 4) 酒本秀一：マダいの体色改善－4. *New Food Industry*, **56** (10), 69-80 (2014)
- 5) 酒本秀一：ニジマスによるオキアミール色素の吸収. *New Food Industry*, **56** (5), 46-58 (2014)
- 6) 田中淑人：水産動物のカロテノイドの分布 1. 海産動物. 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, 7－22 (1978)
- 7) 秦正弘：水産動物のカロテノイド代謝 4. 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) 日本水産学会編：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, (1978)
- 9) 幹渉編：水産学シリーズ 94. 海産生物のカロテノイド代謝と生物活性, 恒星社厚生閣, 東京, (1993)
- 10) 平田孝, 菅原達也編：水産学シリーズ 158. 水産物の色素－嗜好性と機能性, 恒星社厚生閣, 東京, (2008)
- 11) 矢沢一良編著：アスタキサンチンの科学, 成山堂書店, 東京, (2009)

白石カルシウムの炭酸カルシウム	
	古くから食品に使用されている 安全性・吸収性に優れたカル シウム源です。 用途も栄養強化はもちろんの こと、練製品の弾力増強など の品質改良、粉体の流動性 向上・固結防止といった加工 助剤などその目的は多彩です。
分散性・混合性に優れたものや、飲料用として 沈澱を抑制したタイプ等、品揃えております。 一般の栄養強化には、「ホワイトン」 機能を求めるならば、「コロカルソ」 飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」 詳細につきましては、弊社営業担当に お気軽にお尋ね下さい。	
 白石カルシウム株式会社 食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL. 03-3863-8913 本 社：大阪 市 北 区 同 心 2-10-5 TEL. 06-6358-1181	

“地域密着でキラリと光る企業”

日本で初めて動力式精米機を創造した『株式会社サタケ』2

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

Key Words : 精米機・食品加工機総合メーカー・研究開発型・技術開発・新製品開発・特許取得・世界展開・佐竹利市・佐竹利彦・佐竹寛

4. 佐竹製作所 100 年史 人間三代から

「初代・佐竹利市の精米麦機の開発」について『神童と言われた初代・佐竹利市氏。33 歳で天運を悟り、米作農民の労作業の機械化に生涯を賭けた。如何にして一粒の米を磨き上げるか、飽くなき夢は時代を越えて、大輪の花を咲かせた。』

(1) 利市、11 歳で佐竹家の当主に

利市氏は文久3年(1863年)3月3日、安芸国(広島県)賀茂郡寺家村(じけむら)にて、父・利助、母・スワの長男として生まれた。父・利助は明治5年(1872年)、利市氏が10歳の夏、突然没した。46歳であった。6歳の時、叔父について足し算、掛け算を学び、論語、孟子の片言を暗唱して父母を驚かせた。

明治6年(1873年)春から、全国に義務教育制度が發布された。小学校の始まりである。利市氏は11歳であったが、「小学校1年生」となった。授業は算術、読み書き、唱歌とあったが、利市氏の頭脳はすでに小学6年生を越えていた。11歳で、すでに佐竹家の立派な当主であった。下男を1名雇い入れて、山林、田畑の管理を申し付け、自分は姉弟と共に村の子供たちの先頭となって小学校へ通った。帰校す

ると、家の前の鍛冶屋に入りびたって、鉄の焼き方、打ち方などを見聞し、自分の背丈に寸法を合わせた鍬などを作って、鍛冶屋の主人に「わしのあとを継いで鍛冶屋になるか?」とまで言わせた。利市氏は算術が好きであった。数字の中で好きなのは、ゼロであった。暇さえあれば、指先でゼロをいくつも画いて遊びながら「ゼロとは何か?」と考えていた。

叔父は利市氏が小学校2年生のとき、「お前の頭はできがいい、6年生より上かもしれない、わしが教えることは何もない。広島へ行って、中学生の本、大学生の本を買ってきて自分一人で勉強しろ」と言った。翌朝、徒歩で広島までの道10里を歩いて出かけた。本を買った。その日は母に教えられた海田市町まで帰り、その旅人宿に一泊したが、一睡もせず、本をめくりつづけ、学問の楽しみにのめりこんだ。それから、半年。利市氏は独学で「開平法、開立法」を会得した。今日でいう「平方根、立方根」である。しかし、当時、この学問を知る者は、町にも村にも皆無であった。幸か、不幸か、利市氏の青春は、翌年の春、突然、幕を閉じる。それ以後、70年間、働きずめに働き、発明、発見の道を歩くことになる。

(2) 小学生で地租改正の測量役人

利市氏は戸長(村長)と酒造業(現在の賀

茂鶴酒造)を営む木村和平氏から「明治政府が決めた地租改正」の仕事を依頼された。実に13歳、小学校2年生であった。本来は村長役場でやらなければならない仕事だが、出来る者がいない。そこで、叔父に相談したら利市氏を紹介された次第である。利市氏は「地租改正って何ですか」ときいたところ、「明治が始まる前、徳川時代、百姓はみんな、自分たちが作った米を藩主に対して、年貢として納めた。税金である。昔はコメと金は同じであった。

ところが、米ではなく金で税金を納めなければならなくなった。そこで、何処の誰がどれだけの田圃を持っているか、それを計算して、税金を割り当てる。一言でいえば、土地測量である。」この仕事は絶対に引き受けてもらわなければならない。

戸長から「寺家村役場は、地租改正の計算人として、佐竹利市氏を任命する」と言われた。休学願を出すように言われ、提出した。その晩、大工や石工が使用する墨壺(すみつぼ)を真似て、大きな滑車を作り、今でいう巻尺のような道具を発案した。50間ほどの風紐(たこひも)に1間、1尺ずつ墨を付け、紐の先端を3尺ほどの竹槍に結んだ。村民立会いの上で、利市氏は田圃の一面に竹槍を打ち込み、紐を引っ張って縦横の検尺に走る。記録係は40歳を超えた役場の吏員だったが、利市氏の読む計数を素直に記録し、村民の信頼を得た。

この仕事は2年かかった。もう小学校に復帰することはなかった。

(3) 自立自存への道

17歳。山林の一部を売って、年老いた祖母、母のために家を新築した。一念発起というか、利市氏の自立自存への道は、この時から、芽を吹いた。

米を作ることは嬉しい仕事ではあるが、稲の成長は早く、一刻の油断も許さない。苗代

づくりから始めて、田植え、田の草取り。210日を過ぎれば稲刈り、天日干し。早くも裏作の麦蒔き。すべてが手づくりだから、愛着も深い。心身の疲労も大きい。脱穀に続く粳すりの重労働が待っている。米とは何か。まず、生育した稲を刈り取り、天日にあて乾燥させる。そのあと脱穀機にかけて粳を取る。米は堅い粳殻におおわれている。この粳殻を取る作業を「粳すり」と言い、古くは臼と杵を用いた。粳殻を除いた後に顔を出すのが玄米である。玄米の表面は「糠層」におおわれている。さらに、それを取り除くと、後に「胚乳」と「胚芽」が残る。それが精米された米である。多くは胚芽が剥離している。

古代、その米から酒がつくられ、神前に供せられた。平安朝の初期といわれる。精米の作業は女官たちが杵を手にして終日、精白に励んだと伝えられている。精白という仕事は、酒造業の進歩発展とともに、その歴史を刻む。

300年ほど前、唐臼(とううす)と呼ばれる粳すり器が渡来した。籠に土と木片をつめて固めた臼を上下に重ね合わせ、その上方を回転させ、間隙(かんげき)に落とした粳の殻をはぐ。能率が高く、ほとんどの農家に普及した。コメの流通は、玄米までが農家の仕事で、精白は消費地の精米業者の仕事であった。日本人と言えば、すぐ、白いメシを食う民族と思われがちだが、白いメシを食うようになったのは江戸時代以後で、それ以前は、玄米はおろか、農民も含めて、ほとんどの国民が、ヒエ、アワ、ムギ、芋、雑穀を食べていた。コメは金である。年貢という税金で、その大部分をお上にさし出さなければならなかった。コメを食うのは、政治を司る公家たちと武士階級のみであった。日本人の全てが白いコメを食うのは、第二次世界大戦の始まった昭和17年、「食糧管理法」なる法改正が行われ、すべてのコメは政府の管轄するところとなった。米の自由販売が禁止された時からで

ある。

(4) コメに対する愛着と執念

明治11年(1878年)。碓(からうす)と呼ばれる足踏み式精米具で、びっしょり汗を流していた利市氏は、突然、その足を止め、臼(うす)の中を覗き、一握りのコメをすくって家を出た。足踏み式とは、石を削って一斗(いっと)入り程の穴をつくり、それを土中にいける。臼から一間(いっけん)ほどはなれた雑木の先に杵を直角に結び付け、重量を増すために手頃な石を添える。雑木の後方に横木を渡し、それに掴まりながら足で杵を上下させる。手がかりの横木に身をあずけ雑木の一端を踏めば杵は上がり、足を離せば杵が臼の中に落ち、中に入れた粳、あるいは玄米を精穀、精米する。足踏みの代わりにやがて水車が登場する。

利市氏は一握りのコメを木村酒造(現、賀茂鶴酒造)の主人・和平氏に見せ、「百姓ほど割の合わない仕事は無い。百姓ほどつらい仕事は無い。だから、百姓を止めて、水車ではなく粳殻をむく機械、さらにそれを精米する機械を発明する。これはもう頭の中にできている。」和平氏の前に一枚の用紙を広げた。そこには、2台の臼が並べてあり、臼と臼の中央に立つ柱に横木が一本渡されている。その両端に杵が固定されている。「この右の臼がトンと右の臼に落ちて粳を搗(つ)いたあと、こんどは左の杵が、こっちの臼に落ちてくる。トン、トン、トン、これを機械にやらせます。」和平氏はその設計図に眼を奪われた。「できるか?」。利市氏は「できたら、買ってくれますか」というと、和平氏は「もちろん、第一号は私が買う」。

(5) 前途に立ちはだかるもの

強力な見方が出来た。利市氏は早速、我が家の土間に研究室をつくった。理は通っている。あとは、動力をどこに、どう接続するかである。ひそかに鉄材を購入して見本機の製作に入ろうとした時、また、礼装の戸長が現

れた。「お前さんのその頭を借りなければならぬ。村の大池、並滝寺池の管理長をやってくれ。去年の大雨で、池の水があふれた。百町歩の田圃が水びたしになって、稲は立ち腐れたところもあった。なんとか、この池を治めてほしい」。祖母、母の前に、戸長は深々と頭を下げた。「村のためだ、やってやれ」。反論の余地もなく、引きうけた。精穀精米機の研究は二の次どころか、中断された。明治15年(1882年)が瞬く間に過ぎた。その間、妻を迎え、一女をもうけたが、不幸にも妻子は短命で病死。明治29年(1896年)、安佐郡古市町に住む横田貞五郎氏の三女21歳と再婚した。並滝寺池の管理長を辞すると同時に、鉄道建設のための、主任技術者の仕事が舞い込んできた。後の山陽線である。

建設現場は三原―広島間の鉄道敷設工事であった。その2区間を受け持ち、工期を守って、見事に作業を終了させた。その力量を買われ、さらに、京都―奈良間の4敷設工事にも引張り出された。工事にたずさわりながら、世の中は変わる。人の力に代わる機械の時代がやってくる。便利なもの、能率的なものが、新しい時代を引っ張ると信じた。1日も早く、精穀精米機の発明に戻りたかった。明治28年(1895年)、33歳の時に動力による精穀精米機を作ることを決意した。そのためには、旋盤という機械が必要だ。工場も必要だ。しかし、西条にはそんな工場はない。そこで、木村酒造に向かい相談した。木村酒造の主人・和平氏は広島で手回しの旋盤を一台買って、でっかい工場を建てたが、何を始めるか決めていない者がおる。紹介状を書くから行くように言われた。

(6) 寝食を忘れて第一号機を完成

<明治27年、8年(1894―95年)日清戦争>
<新橋―神戸間に初めて急行列車が登場>
木村和平氏の紹介状を塩田鉄工所の塩田善之

助氏に手渡し読んでもらった。場所は広島市東本川町、工場はおおよそ百坪ほどだが、あるのは、わずかな鉄板と鉄骨、そして手回しの旋盤1台。職工の姿はない。利市氏は、机上に設計図をひろげ、その抱負と利を説いた。「わかった。簡単なものだ。それくらいのものなら、うちの工場の隅でもできる。ところで、キミは、今年、京都に路面電車が走るということをニュースを知っているかね。わしは、電車を作りたい。精米機などには興味がない。工場の入り口の左側に4畳半の休憩所がある。そこに住みなさい。木村和平さんの紹介だ。家賃はいらない。ただし、使った鉄材の代金はいただく。」利市氏は翌日、製造を開始した。木製の臼を2台発注。あとは、塩田鉄工所の鉄骨、鉄板を使わせてもらった。旋盤にはすぐ慣れた。昼夜の別なく、旋盤にはりついて、発明に終始した。寝食を忘れて腰を抜かすこともあった。

第一号の「連打式臼型搗精機（うすがたとうせいき）」は完成した。足踏みでは、1分間にせいぜい20回の搗精（とうせい）だが、利市氏の計算では、その10倍、200回は搗ける（つける）。連打式だから、合計400回。翌朝、体を清め、東方に拍手を打って、神仏の加護を願った。

午前8時。塩田氏は完成機の前に椅子をおいて、利市氏を待っていた。利市氏は運び込まれた玄米を、2基の臼に等しく満たし、エンジンを始動させた。動力の爆発音に、玄米を持ってきた百姓が仰天して走り出ようとしたが、利市氏がその肩をがっしりつかんで引き戻した。一方の杵が、ぐいっと宙に上がると同時に、他方の杵が、見事に臼の中央部に突っ込んでいった。利市氏の両目は、左右の杵、臼の中で、搗かれて、跳ね上がる玄米に食いついて離れない。「これで米が搗ければ、精米業者も百姓も大助かりだ。塩田さんありがとうございました。」利市氏は深々と頭を下げ、

再び視線を、杵、臼に転じた。日本における動力精米の始まりであった。「旋盤、機械を増設して、30台ほど造って、売り出してみるか」塩田氏が、利市の手を取って、眼を輝かせた。

(7) 夢とひらめきが次の発明へ

30台の精米機を造り、3台を試売し、それを広島市内の精米業者に設置した時、利市は「これは、ダメだ」と、その欠点を、直感した。機械の背が高すぎる。おまけに重量が98貫もあって、一度設置したら移動させることが容易ではない。木村和平氏は1号機を買ってくれと約束したが、これでは運搬も設置も容易ではない。杵の先端を陶磁器に換え、米の回転をよくするために臼の底に臼輪をつけよう。臼は金剛砥石製にすれば、より精米能力があがる。思いつけばすぐ実行する。利市氏は、その場で搗精機を不良品として発売を停止。試売した機を全額返金して、工場へ引き取った。30台全部を破棄した。その理由は、この機械がいつまでも米屋の土間に置かれて、のべつまくなし悪口を言われたら、次の発明が出来ないということであった。

利市氏は新しい4連打方式の設計図を引いた。4連打唐臼搗精機（とうせいき）の高さは、1号機の半分。臼はまだ木製であったが、杵先に臼輪をはめ、並列した臼に、これも並列された杵が打ちこまれた。臼の底に凸部をつくり搗精される米の流れを円滑にする。これでできたが、1号機を破棄してから、改良2号機の発明までに、また1年かかった。

(8) 人との出会いが幸運へ

利市氏は塩田氏と意見が合わず、塩田鉄工所を出て行った。設計図を懷に、広島駅へ向かった。広島では駄目だ。東京へ行こう。東京は広い。重工業を始め、あらゆる仕事がある。利市氏は希望に燃えて列車に乗り込んだ。列車の中で、前回の不良搗精機の2台目を買ってくれた精米業者の橋本六郎氏に偶然会った。利市氏は

橋本氏と並んで腰を下ろし、4連唐臼機の設計図を示した。「これを当てはないが東京でこしらえる」。橋本氏は「わしは神戸に行く。そこに宮永さんといって、船舶用の鉄工所を経営する方がいる。その人を紹介しよう。あてもなく、東京に行くよりは良い」。宮永鉄工所は広島塩田鉄工所の比ではなかった。従業員600名の堂々たる船舶修理工場であった。

社長の宮永氏は、利市氏の設計図を一目見て、深くうなずいた。「一見、単純にみえるが、精緻を極めた設計図です。これは凄い。応援します。すぐに見本機をこしらえてください」と言ってくれた。1か月かかって見本機をこしらえた。組み立ての最中に、またひとつ改良した。前回の欠陥はすべて消滅し、ほぼ完璧ともいえる搗精機が出現した。しかしながら、宮永鉄工所は負債があり破産した。同時に、利市氏の見本機も債権者に差し押さえられた。

(9) 妻の手腕と信用

無一文になり、木村和平氏を訪ねた。宮永鉄工所の話をし、4連唐臼搗精機が完成し、1台は広島にあり、持ち帰るには金がかかる。また、無一文であることも話した。木村和平氏は運賃、諸経費は持つので持ち帰るように利市氏に話した。利市氏は試験機を持ち帰り、木村浩造の1棟で試験が行われた。

木村和平氏はじめ、役員、足踏み人夫、杜氏(とうじ)らが見守る中でエンジンを始動させた。搗精が終了するまでの数時間、誰も、一言も発しなかった。ただ、ひたすら、杵の動きと搗精されてくるコメの表情を見つめていた。完了と同時に、和平氏の手が、利市氏の肩をがっしりと掴んでゆすった。「お前は、やっぱり天才だ。何千、何万という百姓、搗精業者がどれほど喜ぶことか。あとは、この機械を安く売ってやることだ」。木村和平氏の絶賛を浴びて、この機は「佐竹金剛砂臼式精米麦機」と名づけられた。ところが、機械を生産する工場がない。材料を

買う金がない。職工を雇う流動資金がない。明日の米を買う金すらない。

妻が付き合いをよくしていた隣家の主婦が5円貸してくれた。見かねた木村和平氏が500円を貸与すると申し入れてくれた。利市氏はその500円を握って大阪に行った。旋盤2台の他、他の用具一式、鉄骨、鉄板を買い入れた。400円が消えた。残額は100円である。小規模でも工場を持ち、金剛砂臼やその他の部品を製造するとすれば、どうしても、あと50円が必要である。しかし、利市氏には金の算段も思案も浮かばない。妻が50円を準備してくれた。隣から借りてくれた。ただし、半年間で返さなければならぬお金である。利市氏は隣家に行き、この件の真偽をただした。「利市さんの奥さんに50円はお貸ししました。ただし、あなたには貸しませんけど」と言われた。

この件があつてから、利市氏は、家計はもちろん、工場の経営、精米麦機の販売、職工への給与、すべてを妻に委ねた。幸いにして、精米麦機は爆発的に売れた。製造が間に合わないほどの注文がきた。精米業者はもちろん、百姓たちの口から口へと宣伝され、職工員は、またたく間に100人となった。

妻の経理手腕は、まこに見事であった。精米麦機の売れ行きが町や村の人々の噂になる頃、銀行が金を貸してくれるようになった。妻の信用である。佐竹家の奥さんに貸した金は、約束の日には必ず返ってくるという信用が生まれた。

(10) 手作りの発動機を自力で完成

精米機は売れに売れた。利市氏は、新工場を寺西大字西条東に建設した。敷地600坪に、200坪の工場と事務所、研究室を設けた。研究室での、利市氏の関心は精米麦機から石油発動機へと向かった。精米機をより多く販売するには安価な発動機が必要である。精米麦機と発動機をセットとして販売しなければならぬと思っ

たからである。ドイツから石油発動機の見本1台を購入した。それを余すことなく解体し、組み立て、再び解体して、模倣。全ての部品を、利市氏ひとりの手でこしらえあげた。まさに、手作りの発動機である。

当時の日本国には、発動機を知る者は少なく、専門技術者は皆無であった。はじめは、ドイツと同じ三馬力の発動機をこしらえてみた。寸分狂わぬ、全くの模倣だから、動かぬはずはない。ところが発動機は、発火させても始動しない。燃料の石油が？同じ石油で2台並べて、左右同時に発火させる。ドイツ機はリズムカルに始動したが、利市氏の模倣機は、うんともすんとも言わない。再び、ドイツ機を解体、模倣機を解体、そのすべての部品を点検比較してみるが、狂いはない。

「もう一台作ろう」。ドイツ機の部品1個1個を性格に真似て、組み立てた。しかし、2台目も発動しなかった。3台目、4台目、全ての部品がドイツ機に比べて、1ミリの狂いもないというのに何故か、発動しない。残る疑問は、鋼材の質の違いだけだ。もしそうだとすれば、鋼材をドイツから輸入しなければならない。利市氏は久しぶりに研究室から出た。

田圃を歩きながら、大きく息を吸った。そして、吐いた。「もしかしたら……」思いつくことがあり、研究室に急いだ。キャブレターを点検した。判然としないが、これだという直感が、突き上げてくる。発動しない原因は、ねんでもないと無視したここにある。その晩、一睡もせずに、ドイツ機を撫でまわし、かすり傷まで真似て5台目を制作した。これがダメなら、万事休すだ。半分ヤケクソ、半分析る思いで始動させた。軽快な爆発音が、足元から、聞こえてきた。利市氏は、その時、会得した。「この世に諦めはない。機械は正直だ」と。即座に、五馬力、十五馬力の発動機の製造に挑戦する。改良、製造した発動機は三馬

力で、五馬力の力を発揮した。

この嬉しい報せを前に、恩人、木村和平氏が心不全で没した。利市氏にとって、和平氏は、父にも勝る存在であった。

(11) 会社発展の原動力は闘魂

利市氏は、螺旋（らせん）の弾性を利用して、杵先が、玄米にぶつかる速度を大にしたものをつくり、酒造米としては、最高の脱芽作業を成立させた。方法は上方から転がり落ちてくる米の一粒一粒の糠部分を、金剛砥石が削り落とす。美酒を得るには、原料となるコメをいじめて、いじめぬく。表皮の油脂や蛋白、灰分などを完全に除去する。コメは深部へ向かうほど堅い。それ以上削れば破碎する。利市氏の制作した機は、その欠点を見事に乗り越えていた。その機で精米されたコメを見た和平氏の養子婿・静彦氏は驚嘆の声を上げた。

この年、醸造試験場による「全国清酒品評会」が、発足した。第一回の41年には出品できなかったが、翌42年（1909年）、木村静彦氏は「菱百政宗」を出品して、一等賞の金杯を得た。利市氏のこしらえた精米機による、最初のコメで醸造した清酒であった。この日から、酒造界に革命をもたらす、吟醸酒の歴史が始まる。利市氏の発明による「佐竹堅型金剛砂精米麦機」に、木村酒造は満点をつけたが、利市氏は不足であった。その機を購入した農家からも苦情がでた。日本最初の精米機ではあるが、低速である。作業の効率が悪い。しかも、耐久性に欠けた。利市氏は前回につぐ、思い切った処置に出た。1年間に販売したすべての機を、全額保証して、改修、破棄した。発明家の良心が許さない、と利市氏は言った。

「不足、不備な点が判明した以上、これは商品とは言えない。即刻、引き取る」莫大な損失である。職員、工員は、身の安全を思って蒼くなったが、利市氏は平然としていた。騒ぎは妻が収拾した。妻は一言の不平、愚痴も言わず、

八方に走って、金を工面し、全額の支払いを終えた。利市氏は研究室にこもったまま、差し入れの食事です暇の休みもなく、不備、不足と思われる精白転子、金剛砥石の強化、あらゆる部品の改良に励んだ。妻の甲斐性に、自分も報いなければならないと、決意していた。この事故とも呼べる強情が、後に、佐竹製作所の飛躍的な発展をうながす原動力となった。工場の経営は、石油発動機、ガス発動機の好調な売れ行きで平安を取り戻した。利市氏の心をときめかせたのは、長男・俊彦氏の誕生である。明治43年(1910年)5月。利市氏48歳であった。

(12) 政情変動期に株式会社を設立

大正6年(1917年)。日本陸軍砲兵工廠(こうしょう)が檄を飛ばして砲弾の請負業者を募った。ロシアから発注を受けた国家的なプロジェクトである。利市氏は即座に応募した。応募業者は、全国130工場。試作試験に合格した工場は28工場。利市氏が製造した砲弾は第一位に選抜された。利市氏は指名を受けるや、即座に工場を3倍に拡張、旋盤50台、工員200名を雇って砲弾の製造に入った。翌年、シベリア出兵である。工場は昼夜兼行で操業を強いられた。軍の命令である。旋盤はさらに50台捕捉され、工員は倍増した。生産に次ぐ生産が、一つの流れになって、以後は順調に進むかに見えた。ところが、いきなり、軍から命令が来た。生産中止であった。ロシア革命による政治の変動である。

新しく樹立されたソビエト人民政府は、連合軍に対し、ドイツとの停戦を呼びかけた。1年後、ドイツが全面降伏、戦争は終結した。利市氏の製造したロシア政府への砲弾は、引き取り手がなく、契約は一方的に破棄された。陸軍砲兵工廠は、生産中止命令を出しただけで、これも責任を放棄。一文の補償もなく、損失は泣き寝入りとなった。利市氏は、自らの不明を恥じ、反省を込めて事業のあり方を見つめ直した。工

場は拡張しすぎた。工員も増えすぎた。自分自身浮かれてもいた。

重大なのは莫大な出費と、その補填と経理。これは利市氏の手に負えない。妻も音をあげた。銀行員から「株式会社になさったら、どうです。木村酒造さんも賀茂鶴株式会社となって発展しました」という。「利市さんはすでに55歳。息子の利彦君は、まだ7歳。後を継がせることはできないよ」という、町の名だたる人々の忠告もあった。

佐竹製作所は資本金100万円で成立した。社長は山脇雄一郎氏、利市氏は専務取締役となった。精穀機、吸入ガス発動機の製造、販売を主として発足した。大正9年(1920年)であった。株式会社とは、株主と称する人々が出資し、実用、新製品を製造、発売し、利益があれば、それを出資者に戻すという単純明解な説明が、利市氏と奥さんを納得させた。これで、銀行に頭を下げて回ることはないと、妻は安堵し、利市氏は経営の心配なくして研究開発に打ち込めると信じた。ところが、会社には、人格がない。やがて二人は、それに鞭打たれるのである。

利市氏は「わしは精米麦機一本でゆく」と、全ての雑事を離れて研究室にこもった。一度は完成したが、不満のまま、捨て置かれていた佐竹堅型金剛砂精米麦機を取り出し、思いを新たに、改良へと走った。利市氏は、小学校1年生の息子、利彦氏の日常をみながら、ふと思った。子供は、純真というより、頭の中は真っ白な一枚のキャンバスだ。そこに教育や人情という色がつけられる。その密度を高めながらやがて大人に成長する。しかし、大人になればなるほど、子供のころの純白さを失う。

発明者には、子供の心が必要だ。白も黒もない。縦も横もない。裏も表もない。自由な発想、物にとらわれない子供のような心を持たなければ、新しい発想を得るのは難しい。利市氏が、自分でも信じられない発明にぶつ

かるのは、翌年の元旦であった。新年の酒を祝い、我が家にくつろいだ時、妻と息子の利彦が双六を楽しんでいた。東海道五十三次をサイコロの数字で進める遊戯である。絵図の上を転がるサイコロを見た瞬間、もう、利市氏は立ち上がっていた。「どこへいくんですか」という妻の声に振り向かないで、敷地内の研究室へ飛び込んだ。昨日まで、コメは杵で搗いてこしらえる。それしかないと思っていた。それをヤスリでけずる方式を発案した。その砥石は現在一面だが、サイコロのような6面体であっても良いはずだ。八面体でも良い。多角形の金剛砥石ローラーなら、精米技術は、より精緻となる。しかも合理的である。松がとれても、家に帰らず研究室で多角型ローラーに取り組んでいた。

これが、わが国最初の「無混砂用横型精米機」の出現であった。画期的な発明である。これ以後、決してよそ見はせず、精米機、精米機へと、のめりこむ。改良につぐ改良、開発に次ぐ開発である。

(13) 工場を手放した利市の涙

発動機も、新発売の金剛砂横型精米機も良く売れた。ところが、1年もたたないうちに、利市氏は、さらに新機種を製造。すでに売却済みの機と、無償交換を始めたのである。さらに、1年たつと、またまた新機軸の部品を取り付け、以前の機種を廃棄し、回収し、代金を返済した。これでは、会社経営が成り立つわけがない。社長との間に、大きな亀裂が入った。「新しいものを発明するのは悪いことではない。しかし、それができたからといって、その都度、すでに売却した機種と無料で交換するようなことをしては会社が潰れます」「わしは、自分の良心にかけて、不備、不完全な機械を売りたいくないのです」「立派に稼働しているではないか。機械の不備で文句のきた例はない。

一つの機械を3年ほど販売してから、次の新機種を出す。それならよい。毎年、毎年、機種

をかえては……」「会社は、常に一番良い機械を売るべきです。そして、皆さんに喜んでもらう」「さよう。同時に株主の方々にも喜んでもらうなければならない。この5年間、1円の配当もしていない。何故か。あなたが、次々に改良機を出すからです。もう限界です。やめてもらいます。申し訳ないが、先日、利市さん抜きで重役会を開きました。結論だけいいます。何を発明しても良い。ただし、その発表、製造、販売は重役会の決議による。精米機に関しては、これ以上の改良は望まない。もしも、それを固持するとおっしゃるならば、専務取締役をやめていただきます」「わしから発明の二字をとったら、何が残る?」「働き過ぎです。しばらくの間、休んでください」利市氏は、抗議の言葉を失った。世のため、人のためと思って、毎日を生きてきた。その信念に、不足はない。相手は会社だ。顔がない。のれんに腕押し、突っ込めば自分がひっくりかえるだけだ。

その後1年間、利市氏は、恋々として、わずかな研究に日を送ったが、重役の一人が研究室に新しい鍵をつけて、利市氏を追った。利市氏は、工場を投げる決意を固めた。大正15年(1926年)。営々として築き上げた工場を、自分の足で蹴って出た。辞職願を投げ込んだ。ただ一つ、嬉しいことがあった。利市氏が辞職したというその日に、十数人の職工が行動を共にしたのである。「わしらは、利市さんと一緒に働きたい」利市氏は泣いた。初めて、人前で涙をこぼした。妻が言った。「酒屋の倉庫が一つ空いている。そこを借りてきた。金は私がこしらえる。初めからやりなおしだよ」と。利市氏は、勇んだ。死ぬも生きるも一緒だという十数名の職工がいる。黄金虫の妻がいる。鬼に金棒ではないか。

(14) 親子二人だけの祝宴

利市氏は酒造倉庫で、精米機の製造を始めた。小さな町工場だ。しかし、利市氏を慕って

きたきた職工たちの意気込みは激しかった。利市氏を追いだした会社に追いつき、追いこせ。ざまあみろと、言ってやりたい。全員が一丸となって働き、妻が親類縁者、ところかまわず走りまわって金を集めた。妻の信頼は固く、資金は容易に集まった。恋々の日々に設計図を引いた新機種、横型金剛砂圧力精白機が、発明、販売された。しかし、夢はでっかい。より早く、より大量に精米可能な機をこしらえたかった。それには、堅型が向いている。明治41年(1908年)に試みて失敗したが、再び、その設計図を引っ張り出して検討を始めた。初志、貫徹せざるべからず。機の名称だけはすでにつけられていた。「高速度精穀機」である。会社からは追い出されたが、農民、精米業者たちの信頼は絶大なものがあつた。不良品を回収し、無代で改良機を納入した根性に惚れた男たちが多かった。

それに反して、元の株式会社佐竹は、重役陣の内紛もふくめて、売れ行きがガタ落ちとなり、昭和8年(1933年)、倒産した。昭和3年(1928年)3月。一人息子の利彦氏が広島山陽中学をトップの成績で卒業し、広島高等工業学校へ推薦入学となった。入学式に利市氏は参列した。その夜、利市氏と利彦氏は、料亭の一室で、父子二人だけの祝宴を張った。利彦氏は父の才能をストレートに継いでいた。利彦氏は「高等工業に通いながら、利市氏の研究室で利市氏から精米機を学び、父親の精米機より、もっと良い機をつくる」ことを話した。さらに、「日本人はコメを食う民族である。江戸時代、人口3,000万人、コメの生産高は3,000万石。今、人口は6,000万人、コメの生産高は6,000万石。日本人だけではない。朝鮮半島、中国、仏領インドネシア、ビルマ、アメリカでも米を作っている。

コメは、世界の人々が食べる雑穀の中で一番栄養価が高い。今の精米機の方は間違ってい

る。どこまでも白い米を要求されている。それは間違っている。酒造米としては最高だけど、せっかくコメが持っている胚芽、ビタミンB₁をこすりとってしまっている。その結果、脚気の病気が増えている。脚気は昔「江戸患い」といって、ピカピカの白米ばかりを食べる贅沢というか、無知というか、そういう流行から生まれた病気です。日清戦争、日露戦争。脚気で死んだ兵士は万を越えたと言われている。

兵隊には、白いメシを食わせろという日本陸軍の考え方が間違っていると立証したのは、海軍軍医の高木兼寛(かねひろ)軍医でした。かつて、ニュージーランドまで272日の航海で160余名の脚気患者が出た。高木軍医は、同じ航路を往復し、その時、脚気の原因は白米による食事だと断定し、副食に力点を置くことで脚気患者を激減させている。

今になって、日本陸軍糧秣廠(りょうまつしょう)は、東京帝国大学の医学部長、島園順次郎博士に、その対策を依頼しています」利市氏は、心底でうなった。いつ、どこで、これほどの知識を得たのか。「自分の仕事は子供にはわからぬ」と思っていた。「高等工業学校に行かず、何をする気だ」「胚芽を残す精米機をつくります」利市氏は、がっくりと折れた。一発殴られた感じであった。「こいつは、もう、わしの息子ではない。発明者としての競争相手だ。こいつに負けてなるものか」4月、入学したばかりの高等工業を退学して、利彦氏は利市氏の工場へ入った。利市氏は、自分とは別の研究室を与えた。利市氏はひそかに胚芽米の研究を始めていた。

(15) 親子共同研究で搗精機を完成

利市氏は、試作機でできた「胚芽白米」の見本を手し、意気揚々、東京へ向かった。まっすぐ陸軍糧秣廠、丸本主計少将を訪ねたのである。自信は、あつた。ところが、丸本少将は、しぶい顔で利市氏に向かい合った。「率先、

胚芽残存精米機を考案してくださったことには感謝する。私は広島県己斐町出身だ。しかし同郷だからといって、甘やかすことはできない。この程度の精米では、陸軍は承知できない。理由を言おう。米の胚芽は、麦と違って、胚芽そのものが一段高く盛り上がっている。ご持参くださった胚芽白米は、肝腎の胚芽が半分なくなっておる。さらに、研究、考案を願いたい。」利市氏は、無念の歯がみを隠して退散した。即座に、西条の研究室へ戻った。椅子に腰をおろして、疲れをやすめた。ひょいと、隣の研究室から、利彦氏が顔を出した。「胚芽玄米はどうでしたか」「大成功だと思ったが、まったく認められなかった」「お父さん、これ見てください」利彦氏が手にしてきた一升瓶を利市氏の前に突き出した。半分ほど、玄米が入っている。

利彦氏は、それを回転させながら振って見せた。そして、利市氏の前の机の上に置いた。「コメには手足はないけど、頭と胴があります。胚芽がある方を頭とすれば、これを見てください。ある時間、振っていると、全部の米粒が同じ方向を向いてくる。ということは、米には整流をつくる性格がある。もちろん、長さや、厚さ、体積による違いはあるけれど、これを見ると、ただ一粒の米をどう動かすか、それを発見すれば、胚芽を完全に残す精米機をこしらえることができる。と、ボクは思うんですけど、研究室を一つにして一緒にやりましょう。」利市氏は、また、一発、殴られたが、嬉しかった。

二人の共同研究によって、昭和5年(1930年)「横型高速度研削式胚芽米搗精機」が完成した。利彦氏、弱冠20歳であった。利市氏は、この機による「胚芽白米」を持って、再び、陸軍糧秣廠を訪ねる。丸本少将の感嘆と、感謝の言葉は、即刻、実用への言葉となった。「陸軍糧秣廠(りょうまつしょう)へ納入される胚

芽米は、この機に限る」と。胚芽米搗精機の、第一回納品と試運転は、昭和6年(1931年)、宇品陸軍糧秣廠で行われた。あふれ出たのは、100%完全な胚芽米である。利市氏、利彦氏の得意は言うまでもない。

以後、昭和20年の敗戦まで、陸海軍がこの胚芽米を常用することになる。ただし、この時は、時世が悪かった。注文の10機を陸軍へ納入した。「お国のためだ」と、妻が言い、利市氏、利彦氏は、その10機を陸軍へ献納した。妻の一言が、その後の佐竹製作所の運命を導く。利市氏が蒔いた種が、それ以後、いたるところで大輪の花を咲かせるのである。親類縁者のすすめもあって、利市氏は、再び会社をおこす。自分が所長となり、20歳の利彦氏が副所長となった。利彦氏は、あまりの若さに、自分でも辟易した。長髪を整え、髭をおいた。睡眠時以外は、ネクタイを外さなかった。

翌年、利市氏が宿題としていた縦型研削式精白機も、利彦氏の協力を得て完成した。この機は胚芽米だけではなく、無水精米、酒造米にも威力を発揮した。精麦工程は従来の欠点をことごとく補い、酒造米精白は、その極限にいたる性能を備えていた。利市氏は、80歳まで、発明発見につとめ、社長を利彦氏へゆずり、昭和33年(1958年)、96歳で没した。小学校さえ卒業しなかった利市氏は、数々の発明、特許で昭和19年(1944年)、業界初の藍綬褒章を得た。見事な生涯であった。没後、正六位、勲四等に叙せられた。



佐竹利市氏

5. 技術開発 (R&D)

サタケは技術開発こそ会社発展の原動力だと考えている技術開発型企業である。広島 R&D

部門だけで 300 名以上のエンジニアが研究開発に従事しており、現在までに 3,000 件以上の特許を取得している。1994 年の



リサーチミル

秋には、社団法人発明協会の総裁であられる常陸宮殿下と華子妃殿下のご行啓を賜り、技術の粋を凝らした最新鋭の製品をご覧頂いた。開発の基本的な考え方は、お米全体を一群として捉えるマクロテクノロジーから、お米一粒一粒に着目するミクロテクノロジーに展開し、いかに品質を向上させお客様に満足していただくかを最重視している。現在は、農薬・菌・穀物の組成等、ナノテクノロジーへの挑戦を行っている。そして、穀物加工の研究開発施設である「クリスタルラボラトリー」と、製粉プラントの開発と研究のために、他に例を見ない「リサーチミル」、お客様から依頼された原料を最新鋭の選別機・加工機でテストできる「選別加工総合センター」を所有している。

◆職務発明取扱規程

サタケは、1979 年（昭和 54 年）に「発明考案取扱規程」を制定し、その後、平成 10 年に改正し、技術・開発担当者等に対するインセンティブ付与を図ってきたが、平成 17 年 4 月 1 日施行の改正特許法に対応すべく規程全般にわたって見直し、「職務発明取扱規程」として改訂を行った。これにより、技術者等の納得感が高まり、より一層研究開発意欲が喚起されるものと期待される。

主な改正点として、(1) 出願時及び登録時における補償金の増額、(2) 実績による対価額算定基準の明確化、(3) 発明者による意見具申制

度の導入、があげられる。

おわりに

株式会社サタケを創業した初代社長の佐竹利市氏は明治・大正・昭和を動力式精米機の開発・発明に命を懸け、働き続けた。その頭脳と努力が、現在のサタケの基盤創りを成し遂げた。それにしても、すさまじい一生であり、何とも表現をする良い言葉が見当たらない。小学校には行けなかったもので、すべて独学である。幸いにして長男の利彦氏も父親の利市氏を尊敬し、同じ精米機の開発・発明に共に注力したので、現在にも通じる堅型研削式精白機を開発した。親子が同じ目的を持ち、同じ研究室で開発研究する姿は今後はみることはないを考える。羨ましい次第である。

筆者はサタケの広島本社がある東広島市西条（旧・賀茂郡西条町）の隣町で生まれ育ったため、強い関心を持っていた。また、業務でクリスタルラボラトリーを訪問したこともある。その時、主婦の社員が多くおられるのに驚いた。

社員の方に幼い子供さんはどうされておられるのか尋ねたら、代表が 2 代目社長の利彦氏の一人娘で主婦なので、主婦の力が必要ということで、敷地内に託児所がある。昼休みには、託児所に行き子供の面倒をみておられると聞いた。当時としては、大変珍しい福祉施設と感じた。その時、サタケは社員を大事にしておられるので、今後、ますます成長すると感じた。現在の状況をみると、そのとうりになっている。今後、世界の精米・製粉機器分野はもとより食品・環境機器・産業機械メーカーとして発展していただきたい。

参考資料

- 1) 佐竹製作所百年史：人間三代，発行日：平成 9 年 2 月 26 日，発行者：松山善三，発行所：株式会社佐竹製作所
- 2) 佐竹製作所 HP
- 3) ウイキペディア：佐竹製作所

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56巻 第12号

印刷 平成26年 11月25日

発行 平成26年 12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