

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

New food industry 59 (10): 2017.

10

論 説

- 刻みのりによるノロウイルス食中毒と提起された衛生管理
- 食品害虫管理における画像解析技術の利用
- 食物繊維ペクチンによる腸絨毛伸長作用
- ゆでめんのゆで後の理化学的特性値の経時変化

解 説

- グルテンフリー食品用の各種素材 (2)
- ポテトプロテインを原料とした醤油風味調味料の製品化
- 次世代の健康食品素材PQQ

連 載

- デンマーク通信 デンマークのアイス
- 野山の花 – 身近な山野草の食効・薬効 –
ナツメ *Zizyphus jujuba* Miller var. *inermis* (Bunge) Rehder
(クロウメモドキ科科 Rhamnaceae)
- ニジマスの親魚用飼料 – 2
- ベジタリアンの健康・栄養学 第2章 冠動脈心疾患率のアドベンチストと他人との比較

地域密着でキラリと光る企業

- – 『三百余年の伝統を誇る稲庭饅頭の無限堂』 –

会 告

- 第21回トレハロースシンポジウム開催

News Release

- 和食料理人向け『TREHA® BOOK – 和食編 –』発行



論 説

- ☐ 刻みのりによるノロウイルス食中毒と提起された衛生管理
.....西尾 治 1
- ☐ 食品害虫管理における画像解析技術の利用
.....曲山 幸生 12
- ☐ 食物繊維ペクチンによる腸絨毛伸長作用
.....矢部 富雄 19
- ☐ ゆでめんのゆで後の理化学的特性値の経時変化
.....平田 健 27

解 説

- ☐ グルテンフリー食品用の各種素材 (2)
.....瀬口 正晴 35
- ☐ ポテトプロテインを原料とした醤油風味調味料の製品化
.....輿水 誠 43
- ☐ 次世代の健康食品素材 PQQ
.....池本 一人 47

会 告

- 第21回トレハロースシンポジウム開催
.....株式会社 林原 82

News Release

- 和食料理人向け『TREHA® BOOK-和食編-』発行
.....株式会社 林原 84

Contents

2017 年 10 月号

連 載

- デンマーク通信 デンマークのアイス
..... Naoko Ryde Nishioka 52
- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —
ナツメ *Zizyphus jujuba* Miller var. *inermis* (Bunge) Rehder
(クロウメモドキ科 Rhamnaceae)
..... 白瀧 義明 54
- ニジマスの親魚用飼料ー 2
..... 酒本 秀一 57

ベジタリアンの健康・栄養学

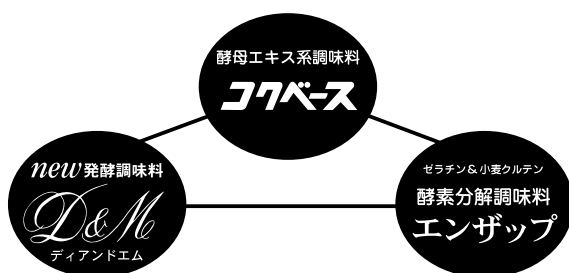
- 第2章 冠動脈心疾患率のアドベンチストと他人との比較
..... ゲーリー E. フレーザー (Gary E. Fraser), 訳: 山路 明俊 71

地域密着でキラリと光る企業

- — 『三百余年の伝統を誇る稲庭饅頭の無限堂』 —
..... 田形 暁作 78

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベス
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。



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

刻みのりによるノロウイルス食中毒と 提起された衛生管理

西尾 治 (NISHIO Osamu)*

* 愛知医科大学医学部 公衆衛生学講座

Key Words：ノロウイルス 食中毒 衛生管理 微酸性電解水 抗ウイルス建材

はじめに

食中毒とは無縁と考えられていた乾物である「のり」の加工品である「刻みのり」によるノロウイルス食中毒が起きた。乾物の加工も衛生管理が必要である。「刻みのり」は業務用で、広域に販売され、主に学校給食で使用していたために、大規模な食中毒が発生した。従業員がノロウイルス感染を疑われて2ヶ月経過後にノロウイルス食中毒が発生した。食品がノロウイルスに一旦汚染されると長期間健康被害を起こすことが示された。この食中毒を契機として、厚生労働省大量調理施設衛生管理マニュアル（大量調理マニュアル）改正では調理従事者の

喫食の原則禁止、和歌山県教育委員会ではサラダ等の生野菜の提供禁止などが決定された。厚生労働省の食中毒発生施設の調査では手洗い、手袋の使用、トイレ等の不備が指摘されたので、それらについて解説を行った。

1. 刻みのりによる事件

1-1. 概要

2017年1月26日に和歌山県御坊市内の幼稚園（4園）、小・中学校11校で、給食の「磯和え」を食べた763人が胃腸炎、嘔吐、発熱等の症状を呈し、食中毒が疑われた。

御坊市給食センターで1月25日に調理され

表1 刻みのり関連事例（2017）

No.	発生日	所在地	原因施設	原因食品	患者数
1	1月26日	和歌山県 御坊市	幼稚園4園 小中学校11校	給食 （磯和え）	763
2	1月26日	福岡県 久留米市	事業所	給食	39
3	2月17日	東京都 立川市	小学校7校	給食 （親子丼）	1,098
4	2月18日	大阪府	飲食店	弁当	101
5	2月22日	東京都 小平市	A小学校	給食 （刻みのり）	26
6	2月25日	東京都 小平市	B小学校	給食 （刻みのり）	39

1, 3, 5, 6の学校給食事例では検食からノロウイルス検出
厚生労働省平成28年食中毒発生状況（概要版）より

た塩ちゃんこや磯和えなどが原因と考えられた。国立医薬品食品衛生研究所で塩ちゃんこの5検体、磯和えの3検体を検査し、磯和えの1つからノロウイルスが検出された。磯和えには、下茹でをしたハウレンソウ、モヤシ、ちくわ、「刻みのり」等が使われていた。原因食材は「磯和え」と断定され、この時点では「刻みのり」が特定されていなかった（表1）。

御坊市の学校給食による食中毒と同日に福岡県久留米市でも事業所の給食で39名が発症した。2月17日東京都立川市の小学校7校の小学校の給食で親子丼による食中毒事件が発生し、1,098名が急性胃腸炎を起こした。東京都はこの食中毒を起こした食材のうち「刻みのり」から新型ノロウイルス（GⅡ.17）を検出した。この食中毒は「刻みのり」が原因であった。この検査結果は原因食材とノロウイルス遺伝子型の特定は事件の解明に大きく貢献し、御坊市の磯和えにもこの「刻みのり」が使われていた。

2月18日に大阪府内の飲食店の弁当で、続いて2月22日、25日に東京都小平市内のA,B小学校の給食で、それぞれ26名、39名が胃腸炎症状を呈し、両学校では「刻みのり」が使用され、原因食品は立川市と同様に「刻みのり」と断定された。

大阪府立公衆衛生研究所で解析したところ、患者便2検体、調理従事者便1検体について東京都および和歌山県の食中毒事件の患者便および調理従事者便の遺伝子配列と一致した。

1-2. 「刻みのり」の製造方法

T屋ののりは業者により1時間半から2時間、90℃の熱風をあてて水分を飛ばす作業を行っており、ノロウイルスはこの温度で死滅し、感染力のあるノロウイルスはのりに存在しない。

「干しのり」をより乾燥させる「火入れ」を行い、焼きのりにする「焼き加工」の2つの作業を行っていた。火入れは温度を最高で約90度まで上げながら4時間程度、熱を加え水分を少なくする。焼き加工は約250度で7秒程度焼く。出来上がったのりは袋に密封され、段ボー

ル箱に詰められた。

T屋は、出来上がった「のり」の裁断をK海苔本舗（大阪市）に委託していた。のりを機械に入れ、2mm幅に裁断し、「刻みのり」に加工した。この際に従業員が素手で作業を行い、帽子やマスクもしていなかった。この「刻みのり」は業務用として、広域に販売された。のりは加熱して乾燥しており細菌およびウイルスも汚染がないものと考えられていたもので、のりの加工業者は保健所の営業許可の対象とされず。のりを素手で扱うことを禁じる規定もなく、加熱後の作業における衛生管理に盲点があった。

重要なことは作業員（高齢者）が2016年12月前半に嘔吐や下痢などの症状を呈し、同年12月下旬にトイレで嘔吐をした。この症状はノロウイルス感染の特徴的なもので、この時にノロウイルスに感染し、その後作業でノロウイルスがのりに付着したと推測された。

実際に、大阪市が、3月27日に加工所のトイレの周辺やのりの裁断機の付近等の8か所からノロウイルスを検出し、東京都が検出したウイルスと遺伝子型が一致した。このことからK海苔本舗が販売した「刻みのり」が食中毒の原因食品と断定された。

2. ノロウイルスの感染力の維持期間について

ノロウイルスの自然界の生存期間は簡易な組織培養法が確立されておらず、明らかにされていない。今回の事件は製造後2か月後でも感染性を維持しており、3か月後でも作業所から遺伝子が検出された。このように感染性が長期間認められたことは希である。一旦ノロウイルスに汚染された食品は長期間健康被害を発生させることが示された。

ノロウイルスと類似の形態を有するネコカリシウイルスの試験では、生存期間が室温で20日間以上、4℃で数ヶ月間感染性を維持すると報告されている。冬季であったことから、2から3か月間は感染性を維持できると判断され、今回の結果も理解できるものであった。

表2 患者数 500 人以上のノロウイルス食中毒事例（2011 ～ 2014 年）

No.	原因施設 都道府県	発生年月日	原因施設	原因食品	患者数	喫食者数
1	浜松市	2014/1/15	製造所	13 日に製造された食パン	1,271	8,027
2	北海道	2013/9/12	その他	調理提供された食事	516	1,100
3	愛知県	2013/4/3	仕出屋	不明（昼食弁当）	526	2,643
4	山梨県	2012/12/11	仕出屋	弁当	1,442	3,775
5	広島市	2012/12/12	仕出屋	弁当	2,035	不明
6	岐阜県	2011/12/26	仕出屋	弁当	756	1,992
7	岡山県	2011/1/21	仕出屋	弁当	1,197	3,092

厚生労働省食中毒データより

なお、ノロウイルスの感染性の持続期間は温度が高いと短くなり、37℃では1週間以内に不活化する¹⁾。

3. 一人の感染者から何故多数の患者が発生したのか？

ノロウイルス食中毒は何故多発し、しばしば大規模な事件を起こすのか？ノロウイルス感染者の糞便からは1g中に1億個以上、多い人では100億個以上のウイルスが排出される²⁾。米国CDCによるとノロウイルスは感染力が強く18個程度で感染・発病するとしている。感染者の糞便から膨大な量のウイルスが排出され、極めて少量のウイルスで感染することから、大規模な食中毒事件となる。ノロウイルス食中毒事件で500名以上の患者発生がしばしば見られている（表2）。感染者からのノロウイルス排出は1～2週間程度続き、長い時には1か月のこともある。長期間ノロウイルスが排出されることから汚染機会が多くなる。このことから「刻みのり」にノロウイルスの付着は、1回のみならず、汚染は数回の可能性が推察される²⁾。

4. 原材料の詳細な記載

大量調理マニュアルでは原材料について品名、仕入元の名称および所在地、生産者（製造または加工者を含む）の名称および所在地、ロットが確認可能な情報（年月日表示またはロット番号）並びに仕入れ年月日を記録し、1年間保管することとなっている。今回は不可能であっ

たが、和歌山県の事件で「刻みのり」が食中毒の原因食材と早い段階で断定され、購入記録（製造会社、製造年月日、ロット）が直ちに公表されれば、2月以降の食中毒は防止が可能であった。このように、納品記録が記載されておれば、食品の不具合が公表された場合には直ちに対応でき、健康被害を防ぐことができる。

5. 調理者の喫食

和歌山県によると、集団食中毒を巡っては、給食センターで調理された「磯あえ」と、それを食べたセンターの調理従事者の両方からノロウイルスが検出されたため、感染経路が特定できなかった。それゆえ、大量調理マニュアルでは、調理従事者が健康調査を実施しておれば給食を食べられるとしていた。県は食中毒が発生した時の原因究明を確実にを行うため、原則として、調理従事者等は当該施設で調理された食品を喫食しないと決めた。和歌山県の事件を契機として、本年6月に改正された大量調理マニュアルでは調理従事者が調理した食品を原則食べないことになった。

大量調理マニュアルの改正を受けて、文部科学省は同年8月25日に衛生管理基準の通知を出した。学校給食従事者が施設内で調理された給食を児童とともに食べることによって、調理者として責任を自覚し、給食内容の改善と食育の推進を資するものであることから、当該施設で喫食することが望ましいが、試食担当者を限定するなど食中毒が発生した場合の原因究明

に支障をきたさない措置を講じることが示された。学校給食は児童とともに食べることの意義を強調しているものの、試食担当者を限定することになっている。調理従事者は毎日の健康調査及び月2回の検便検査の措置を講じており、試食担当者は一部でなく、食中毒発生時の原因究明に支障をきたさない範囲で、より多くの人で行い、広く意見を求め充実した給食を目指すことが望ましい。なお、調理員が少数の場合等、試食担当者を限定することにより、給食の円滑な実施に支障がきたす場合はこの限りでないとしており、現状の通りでよい。

6. 生野菜の提供について

「刻みのり」によるノロウイルス食中毒が発生したことから、教育委員会ではサラダや和え物はノロウイルス食中毒の危険性が高いとして中止し、全ての献立を加熱調理に切り替えたところもある。生野菜の提供を避けて食中毒を予防するのではなく、児童、生徒の食育として給食を捉え、安全に提供できる方法を指導すべきであろう。例えば野菜は3回洗浄後、次亜塩素酸ナトリウム 200ppm で5分間消毒し、その後水洗い、あるいは3回洗浄後、微酸性電解水で5分から15分間かけ流し、その後手袋を使用して盛り付ければ安全に提供できる。

6-1. 次亜塩素酸ナトリウムの使用方法

次亜塩素酸ナトリウムは正しく使用しないと、効果がなくなる。汚れが存在すると、殺菌効果が著しく低下するので、初めに洗浄し、汚れを除いてから次亜塩素酸ナトリウム 200ppm を用いる。

次亜塩素酸ナトリウムは希釈液を作ってから、遮光容器で冷暗所に保存すれば数か月間効力を保つが、透明な容器で、窓際等に遮光せずに置くと、短期間で失活する。シンクに次亜塩素酸ナトリウム液を作るときにはよく攪拌しないと隅にまで次亜塩素酸ナトリウム濃度が均一にならず、消毒できないものが存在することになる。

次亜塩素酸ナトリウムで拭く時には、用いる素材が重要で、色付きのもの、パルプで作られた新聞紙等では著しく効力が低下するので、白い綿布が望ましい。色付きのものを用いる時にはたっぷりの次亜塩素酸ナトリウム液を用いる。また、使用した綿布等を洗わずに、次亜塩素酸ナトリウム液に浸けると、消毒効力を失う。

6-2. 微酸性電解水

次亜塩素酸ナトリウムによる消毒は独特の刺激臭が強く、調理をする人の健康への、調理器具や機械を腐食するという問題がある。微酸性電解水は金属の腐食、刺激臭が少なく、使用す

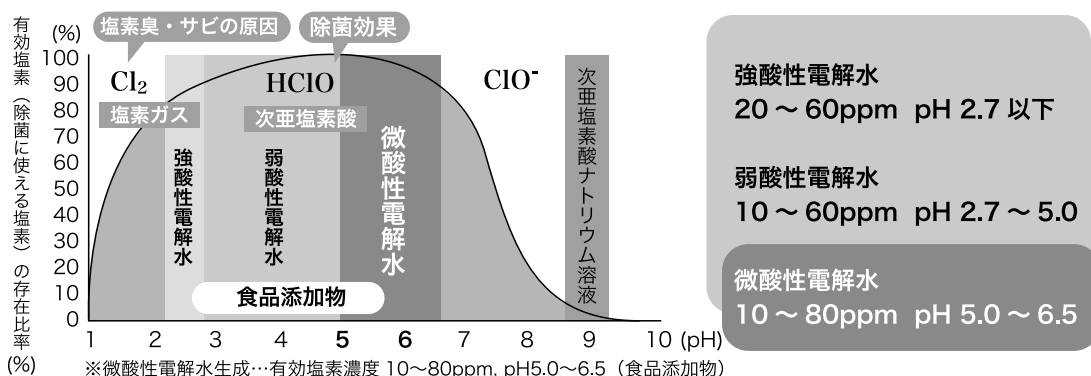


図1 微酸性電解水について
電解水：水に塩酸 (HCl) を添加し、電気分解処理によって生成

提供：森永乳業株式会社

表3 ノロウイルス食中毒に関する取り組み

項目	全国食中毒発生施設	和歌山県学校給食施設
手洗い設備があるが使用していない	20%	0%
手洗い施設に手洗いの掲示がない	60%	20%
手袋使用や交換の手順に規定なし	51%	0%
健康状態の確認記録がない	73%	30%
健康状態確認で下痢を確認している	24%	50%
健康状態確認で吐き気を確認している	15%	10%
体調不良の措置で休暇を指示	80%	100%
便所に入る際に履物を替えていない	56%	20%
便所に入る時に作業着を脱衣しない	56%	20%
トイレ内の手洗い方法の掲示がない	83%	60%
病原体を保有する調理従事者が食品に直接接触する業務を行っていた	58%	—

るヒト、機器にも優しい殺菌料である。

微酸性電解水は、希塩酸（2～6%）または食塩を、無隔膜電解槽で電気分解して次亜塩素酸（HClO）を生成し、この電解水を弱酸性のpH領域（pH5.0～6.5）に調製される（図1）。

微酸性電解水の殺菌因子は、HClOであり、次亜塩素酸ナトリウム溶液と比較して、微酸性電解水は非解離型HClOの存在比率が大きい。微酸性電解水は塩素濃度が10～80ppmと濃度が低いものの、次亜塩素酸は次亜塩素酸ナトリウムと比べ10倍ほど殺菌効果が高く、除菌に用いることができる。特に発がんの危険性が指摘されているクロロホルムの生成量が少ないことが確認されており、ヒトおよび環境に優しい³⁾。微酸性電解水は2002年6月に厚生労働省より「微酸性次亜塩素酸水」は食品添加物に指定されている。水道水に直結できる超小型軽量の微酸性電解水を産生できる機器が発売されている。

野菜、果物では水洗いをして汚れを除いてから、水道水の代わりに5分から15分間洗い流す。

7. 厚生労働省のノロウイルス食中毒に関する取り組み

平成28年厚生労働省食中毒部会では、ノロウイルス食中毒の原因や発生要因の特定が困難な事例が多いため、食中毒調査や予防対策の課

題分析を検討した。ヒヤリング食中毒調査状況は5自治体（回答は55施設）および和歌山県内の学校給食施設で非発生施設（10施設）に対して平成28年11月24日付け監視安全課長通知に基づき、平成28年12月～平成29年1月に行った。主な課題は調理従事者からのウイルス汚染が原因と考えられている。すなわち、平成28年度食中毒資料によるノロウイルス食中毒の発生要因は下痢・嘔吐等の症状を有する従事者由来が25%、下痢等の症状のない非発症者由来が55%で最も多く、調理従事者を介する事件が全体の90%を占めていたことから、本調査を実施した。

調理従事者の手洗い状況、手袋の使用状況、トイレの使用状況、調理作業内容に関すること、汚染経路についての調査を行った。表3には主な項目について記載した。

それによると、食中毒発生施設では手洗い施設に手洗いの掲示がない、手袋使用や交換の手順に規定なし、健康状態確認で下痢・吐き気を確認している、トイレに入る際に履物を替えていない、トイレに入る際に履物を替えていない、トイレ内の手洗い方法の掲示がない等が欠けていた。病原体を保有する調理従事者が食品に直接接触する業務を行っていた。学校給食施設では健康状態確認で下痢を確認が半数であったが、その他ではおおむね良好であった。

この結果を踏まえ、本稿では手洗いの重要性、手袋の正しい使用方法、健康チェック、トイレの汚染防止について、詳しく解説した。

8. 手洗いの重要性

本事件では手洗いが不十分であったと思われる。手洗いは食中毒予防の基本である。手はいろいろな所に触れるので、多くの種類の微生物が多数付着する。手は病原微生物の運び屋であり、手洗いが必要な時は、

- 1) 調理従事者の作業開始前。
- 2) 汚れたもの（食肉、魚介類、お金、ゴミ等）に触れたとき。
- 3) 作業内容が変わったとき（後に加熱工程がない食品に触れる前）。
- 4) トイレ後。
- 5) 食事前。
- 6) 帰宅時である。

ノロウイルスは微小のため手の皺の奥に入り込むので手洗いをしっかり行わないと除去されず、手洗い不足によって、食材に大量のノロウイルスを付着させるので、衛生的な手洗いが不可欠である。洗い残しのない衛生的な手洗いの基本は文部科学省の手洗いマニュアル (http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/syokuiku/8040316.htm) に従って実施する。手洗いの基本は液体せっけんを用い、手の全面にこすり、温水ですすぎ、ペーパータオルで水分をしっかりと取る。アルコール消毒剤を単にかけただけでなく手に刷り込むことにより、手についた微生物のほとんどを除去できる。

ノロウイルスの好発時期は冬季であり、冷水では手洗い時間も短くなり、温水対応にする。温水対応にすると汚れも落ちやすくなる。肘まで洗えるシンクの大きさで、多数のヒトが触れるとノロウイルス汚染に危険性が高くなるので、自動で給水、手を触れずにせっけん液、アルコール消毒薬が出るもので、ペーパータオル、蓋付きのゴミ入れを設置する。調理場に入室する際の手洗いシンク数が少ないと手洗い不足を招くので、従業員 5 人当たり 1 個を設置する。

実際に従業員 30 人程度で手洗い設備が 2 か所で、手洗いが不十分となり、食中毒を起こした施設もある。

9. 手袋の正しい使用方法

9-1. 手袋の使用目的

手袋は食品に細菌、ウイルス等の微生物の付着を防ぐ、最後の防衛手段であり、手に付いているウイルス、細菌等を食品に付着するのを防ぐために用いる。この際に注意すべきことは手袋装着前に手洗いをを行い、手袋装着後は食品以外の物には触れないこと、手袋を装着したのち、エプロンの紐を結んだり、マスクを直したり、食器に触れたりすることが見られるが決して行ってはならない。それらに触れた時には手袋を交換する。また、手袋の二度使用も禁止である。

9-2. 病原体から調理従事者を守るために用いる

肉類および魚介類には多くの病原体に汚染されていることがある。食肉には、サルモネラ、カンピロバクターにはしばしば汚染されており、腸管出血性大腸菌が検出されることもある。生鮮魚介類には腸炎ビブリオが海水温の高い時期に高濃度に汚染されていることが多い。それらが手、エプロン等につき、それらから自身が感染しないために手袋を着用する。エプロンも専用のものとする。

9-3. 手・指に傷があり、黄色ブドウ球菌が食品に付着する危険性があるので手袋を用いる

手荒れがひどい時には、その部分に病原体が付着し、手洗いでなかなか除去できないので、手袋を着用する。食中毒の防止に「手荒れをさせない」ことがキーポイントである。

手袋の着脱も重要であり。手袋を着用する前に手洗いを実施し、手袋の着用は袖口をつまんで行う。手袋を外す際は片方の袖口つかみ、外側が内側になるように引っ張って取る。片方の手袋は手袋を外した手を手袋の袖口に差し込ん



①手袋の袖口をつかみ、手袋の外側が内側になるように、裏返しながら片方の手袋を外す。



②もう片方の手袋の外側に触れないように、手袋を外した手を袖口に差し込む。



③外側が内側になるように、裏返しながら外す。

※手袋を外した後は、手洗いをする

写真1 使い捨て手袋の外し方

文部科学省：調理場における洗浄・消毒マニュアル Part II より

で内側が外側になるように外し、表面に触れないようにする。その後手洗いを行う（写真1）。各施設では手袋の使用マニュアルを作成し、従業員に徹底することが肝要である。

10. 健康チェック

ノロウイルス食中毒を防止するには健康チェックが極めて重要である。ノロウイルスに感染したヒトの症状は1から3日で治癒するものの、ウイルスはその後7日間以上は大量排出が続き、感染拡大を起す。例えば土日が休日とすると、金曜日の夜から日曜日に嘔吐・下痢症状が見られても、月曜日には治癒している人が多い。休日も含め、毎日、個人ごとに下痢、発熱、嘔吐、化膿性疾患および手指等の外傷等の健康観察を行う。

調理従事者が感染性胃腸炎を発症した時は職

場に出勤しない。体調不良を電話、メールで連絡し、直ちに受診し、医師には「調理従事者」であることを告げ、糞便検査を受ける。陽性結果が出た時は業務に就かない。陽性者は糞便検査で陰性となったときに業務に復帰できる。

ノロウイルスに感染しても、何ら下痢、嘔吐の症状を示さない無症状感染者が見られ、症状のある患者となんら変わらない、大量のウイルスを排出する人も存在し、不顕性感染者がしばしば感染症および食中毒の源になっている²⁾。食中毒が起きた時には同一職場内の調理人の間で不顕性感染が見られ、家族内でも同じことが起きる可能性があり、健康観察は家族も含めて行う。家族内でノロウイルス感染者が見られた時には調理従事者もノロウイルス検査を受けさせ、結果が出るまで業務を控え、ノロウイルス陰性の時に業務につく。なお、補充の従業員の

確保が困難な時は症状が完全に治癒して、3日以降に二次感染防止に最大の注意を払い、帳簿記入、汚染区域での洗浄等の業務に就くことは可能である。

また、従事者に健康異常が見られた時には調理場内および調理員の控室、トイレ並びにその調理員の触れた調理台、食器等を次亜塩素酸ナトリウムで消毒する。従業員が調理場内で嘔吐した時には調理場内の食品は廃棄する。調理場内の全てを次亜塩素酸ナトリウムで消毒を完全に行った後に、調理を再開する。

11. トイレの汚染防止

この事件後に A 教育委員会は調理従事者が勤務中に大便することを禁止にした。このことは人権を侵害するとの多くの意見が寄せられ、直ちに撤回された。

ここで問題なのは大便してもノロウイルス汚染を起こさないトイレ、手洗い設備を設置することである。ノロウイルスは糞便とともに排出されるので、トイレが最も汚染される。トイレの衛生管理が予防のキーポイントである。トイレの入室時にはトイレの床が汚染されるので、専用の履物に交換しトイレの汚染を外に拡散する

のを防ぐ。

調理施設でノロウイルス食中毒の防止に重要なことはトイレに前室を作り、外着を掛け、作業着を汚染させないこと。履物もトイレ専用のものに替え、トイレの個室に手洗い設備を設置し、排便後に衣類を整える前に、手洗いを実施し、その後に衣類を整えることで、自らの衣類、トイレの便器の蓋、レバー、ドアノブ等の汚染を防ぐ。

便器が和式では排便時に便器から飛び散ったものが履物、靴下、ズボンの裾に付くこともあるので洋式が望ましい。便器は蓋付きとして、流水時に、空気が逆流して、ウイルスの舞い上がり避けるため、蓋を閉めてからゆっくり流す。

トイレ等のノロウイルス汚染に対して、抗ウイルス効果を有する建材が開発された⁴⁾。この建材は高圧メラミン化粧板で、メラミン樹脂、フェノール樹脂をそれぞれ特殊な紙に含浸し、乾燥した含浸紙を何枚も重ね合わせて、高圧処理したもので、熱および水に強い物である。この建材は実際にトイレの床、壁、手洗い設備等の高率に汚染されるところのみならず、多くの人が触れる場所に広く利用できる（写真2）。

この化粧板に可視光の下でネコカリシウィル

- 抗ウイルス性能を持つメラミン化粧板（抗ウイルス化粧板）が開発され、建材は抗ウイルス性能を有し可視光の下でウイルス不活化効果を有する。
- 建材をトイレの壁、床をはじめ手すり、ドアの取っ手等の多くの人の手が触れる場所に用いると、ノロウイルスのみならずインフルエンザウイルス、大腸菌等も除菌され、感染症・食中毒の発生リスクを減少させることができる



○：抗ウイルス化粧板を用いた場所（提供：イビケン KK）

写真2 抗ウイルス建材の開発

スを塗布して4時間後にウイルスを拭き取り、感染価を測定したところ、4時間で99.9%以上（図2）の不活化効果が認められ、暗可視光でも99%以上であった。4時間以上の間トイレを使用しない時、業務終了後、4時間以降に業務を開始する施設の化粧板は基本的に除菌された状態となる。さらにこの化粧板はノロウイルスのみならずインフルエンザウイルス、大腸菌等も除菌され、施設がムラなく除菌される⁴⁾。

化粧板の清掃は日常の化粧板のメンテナンスは簡便で、ほこりはペーパータオルあるいはモップ等で乾拭きをするのみで良い。月に1回程度の定期清掃では、壁は中性洗剤で濡らした柔らかい布クロス等で、床はモップで軽く拭く。

すなわち、化粧板を用いることにより利用者の感染症・食中毒の発生リスクを大きく減少できるのみならず施設の人件および消毒経費を大幅に削減できる。

注意点は酸性あるいはアルカリ洗剤、高濃度の次亜塩素酸ナトリウムは繰り返し使用すると化粧板が劣化するので避ける。

このように、大便をしてもノロウイルスに汚染されない設備の設置がノロウイルスをはじめとする食中毒の防止に不可欠である⁵⁾。

12. 検出された遺伝子型

日本でのノロウイルスの流行は2004年末からで、高齢者施設での死亡例を含む感染性胃腸炎が大流行し、遺伝子型はGII.4の変異株であった。このGII.4の変異株は、感染力と病原性が強く、冬季のみならず他の時期でも流行を起こすことが特徴であった。この株は2004年、2006年、2007年、2010年および2012年に大きく変異し、毎年のように世界的に大流行を繰り返した⁶⁾。

今回の「刻みのり」から検出されたノロウイルスの遺伝子型はGII.17の変異株であった。

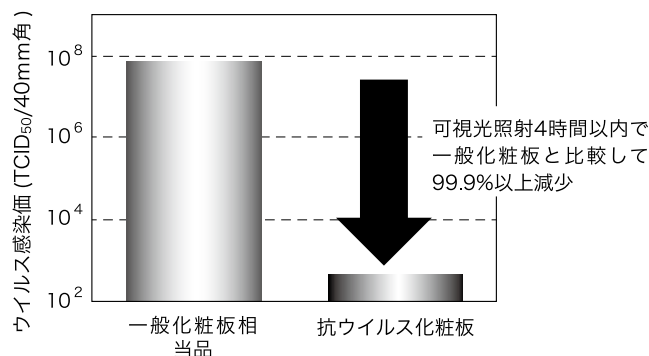


図2 抗ウイルス建材のノロウイルス不活化効果

試験ウイルス:ネコカリシウイルス(ノロウイルス代替),
接種ウイルス感染価:2.0×10⁹ TCID₅₀/mL

イビケン株式会社提供データ

この遺伝子型は中国、台湾では2014年10月に見出され^{7,8)}、2015年の初旬になり日本の各地を含むアジア地域のみならずヨーロッパでも検出された。日本では2015年の冬はこの遺伝子型が主流となり⁸⁾、殆どの人がこの新型に対して抗体を保有しておらず、大流行する危険性が高いため、予防策徹底の注意喚起が厚生労働省から出された。2015年には日本でもGII.17の変異株が主流となった⁹⁾。

2014年から2015年の中国における胃腸炎患者からのノロウイルス遺伝子型の年齢分布は、GII.17は成人が殆どであり、子供は希であった⁷⁾。日本の2015、2016年の遺伝子型別の9歳以下の検出率は、GII.17の変異株は約30% (267例) で、GII.4の変異株は70% (724例)、GII.3の変異株は80% (70例) であった。このことから、GII.17は9歳以下では発病率が非常に低く、2015、2016年のノロウイルス流行は大流行が起きると騒いだ割には目立たなかった。ところが、2017年初めに学校給食で起きた「刻みのり」に付着していたノロウイルスはGII.17であった。このことはGII.17は変異を起こし、学童でも感染・発病率が高くなったとも考えられる。

なお、2016年末から台湾¹⁰⁾、日本⁸⁾のノロウイルス流行遺伝子型はGII.17に代わりGII.2の変異株の患者数が多発している。2017年の

冬季はこの株に対して警戒すべきで、この株は小児に多く感染することが知られている。

13. ノロウイルス検出感度の問題点

2017年6月の大量調理マニュアルの改正では検便について従来の高感度検査法の記載が無くなった。そこで、簡易検査の問題点を記すことにした。厚生労働省は2015年秋にGII.17に際して、「厚生労働省は現在医療機関などで使用の診断キットで感染を見逃す恐れ」の注意喚起が出された。このことは簡易検査法であるイムノクロマト法あるいはELISA法でのGII.17株感度は1/100～1/1,000に低下するとの報告されたことによる¹¹⁾。一般的に簡易検査で用いた抗体と糞便中の遺伝子型が一致したときには糞便100万個以上/g存在する時に陽性と判定される。それらが一致しない時には検出感度が著しく低下することがある。

前述のごとく、ノロウイルスGII.4が長い間流行していたので、検査試薬会社はこの遺伝子型とよく反応する抗体を用いていた。しかし、GII.17に対しては抗体の反応が悪くイムノクロマト法で100億個近く存在していても陰性と判定されるキットも見られた¹¹⁾。さらに、2016年の末から出現し、現在ノロウイルス流行の主流となっているGII.2変異株には、A社のノロウイルス抗原キットの臨床検体に対する反応性を確認したところ、最少検出感度は1億個～10億個/g便であったので、注意する。

簡易検査法の陰性は糞便からウイルスが排出されていないことを表しているのではなく、正確には反応の良い時でも100万個/g未満である。簡易検査に用いている抗体と排出ウイルスとの反応が悪いと10億個以上存在しても陰性となる。陰性結果からウイルスは排出していないと即断し、排便後の手洗いが不十分となり、食中毒を起こした事例も見られている。簡易検査で陰性結果が得られても、安堵することなく、

ウイルスが排出している可能性を認識し、調理等に携わることが肝要である。

今年の大量調理マニュアル改正では、ノロウイルスの検査に当たっては、遺伝子型によらず、概ね便1g当たり10万個オーダーのノロウイルスを検出できる検査法を用いることが望ましい。ただし、検査結果が陰性であっても検査感度によりノロウイルスを保有している可能性を踏まえた衛生管理が必要であるとしている。10万個オーダーのノロウイルスを検出できる検査法であっても、用いている抗体と患者の遺伝子型との反応が悪い時には、表示の検出感度を保っているとは限らないので検査会社に現在の流行株に対する検査感度を確認する。

まとめ

「刻みのり」の製造は高齢者夫婦で業務を行っていたが、「原料を入れる際に手袋を、本当は使えばいいんですが、時間がかかってしょうがないので、手で触ったのが原因じゃないかと思う」と話しており、素手で作業したことが取り返しのつかない事態となった。事件後は製品の返品、回収、注文もなく倒産に至った。

「刻みのり」の賠償金額がどれほどになるかはいまだ不明である。参考までにノロウイルス食中毒による経済的損失は患者数30人に対して、食品衛生協会が総合食品賠償共済で支払われた賠償共済金が1,852,650円（治療費90,030円、慰謝料37,000円、休業補償1,268,106円、特別費用158,514円）となっている。今回の「刻みのり」では被害者が2,000名に近いので、金額は膨大なものになると思われる。

食品を扱う経営者と従業員は会社と家族を守るためにも、食中毒事故を起こすと全てを失う事を銘記していただきたい。ノロウイルスは一瞬のスキでも見せれば直ちに襲ってくるので、常に細心の注意を払い日々の業務に努め、撃退してもらいたい。

参考文献

1. Doultree J. C. , Druce J. D. , Birch C. J. , Bowden D. S. , Marshall J. A.: Inactivation of feline calicivirus, a Norwalk virus surrogate. *Journal of Hospital Infection*, **41**, 51-57.1999.
2. 西尾 治：施設管理者のためのノロウイルス Q&A ブックス，幸書房，東京，2013.
3. 石 鍋健彦：微酸性電解水と最新のアプリケーション，*ジャパンフードサイエンス*，**5**, 31, 2012.
4. イビデン装建株式会社：第2回トイレ産業資料，東京，10月，2015.
5. 西尾 治，秋山美穂，愛木智香子，杉枝正明，福田伸治，西田知子 他：ノロウイルスによる食中毒について．*食品衛生学雑誌* **46**, 6, 235-245, 2005.
6. 長澤耕男 楠 英樹 黒田 誠 木村博一他：ヒトノロウイルス（HuNoV）キャプシド遺伝子の分子進化について，*IASR*, **38**, 12, 2017.
7. Chen H^{1*}, Qian F, Jin X, *et al.*: A novel norovirus GII.17 lineage contributed to adult gastroenteritis in Shanghai, China, during the winter of 2014-2015, *Emerging Microbes & Infections* **4**, 67, 2015.
8. Feng Y, Chen SY, Tsai CN, *et al.*: Emerging norovirus GII.17 in Taiwan. *Clin Infect Dis*. **61**, 1762, 2015.
9. 国立感染症研究所感染症疫学センター 病原微生物検出情報事務局：ノロウイルス等検出状況 2016/17, 2015/16, 2014/15 シーズン（2017年7月19日現在報告数，病原微生物検出情報）：7月20日，2017.
10. Luke Tzu-Chi Liu, Ting-Yu Kuo, Ching-Yieta: Recombinant GII.P16-GII.2 *Norovirus*, Taiwan, 2016, *Emerging Infectious Diseases*, **23**, 1180, 2017.
11. 牛島廣治, Aksara Thongprachum, 沖津祥子：ノロウイルスの迅速簡易検出法（イムノクロマト法），*IASR*. **38**, 11, 2017.

食品害虫管理における画像解析技術の利用

曲山 幸生 (MAGARIYAMA Yukio)¹

¹ 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門 食品安全研究領域 食品害虫ユニット

Key Words：貯穀害虫 生態 計数 体長 画像解析

はじめに

著者が所属する研究室（食品害虫ユニット：主に貯穀害虫の防除法の研究開発を実施）の歴史は古く、農林省米穀利用研究所の時代（昭和9年から昭和19年）にすでに害虫防除の研究を開始しており¹⁾、その後も現在に至るまで途切れることなく存続している。その間、解決すべき重点課題は、食糧の損失、残留殺虫剤の影響、薬剤抵抗性昆虫の発生、使用禁止薬剤の代替、異物として食品への混入というように時代とともに変化してきており、研究テーマもそれらの課題を解決するために変わってきた。しか

し、現在でも食品害虫に関する問題の重要性は高く、大局的な社会的な要請も害虫を防除したいということでは変わっていない。

かつては害虫を防除する方法として殺虫剤の利用が普通だった。研究開発の主眼は害虫に効果があって人や家畜に対して毒性が低い物質を探し出すことであり、その使い方の点では大きな変化は見られなかった。ところが、殺虫剤の人や環境に対する影響や薬剤耐性昆虫の発生が大きな問題になったことから、総合的病害虫管理（IPM: Integrated Pest Management）という考え方が注目されるようになってきた。IPM はこ

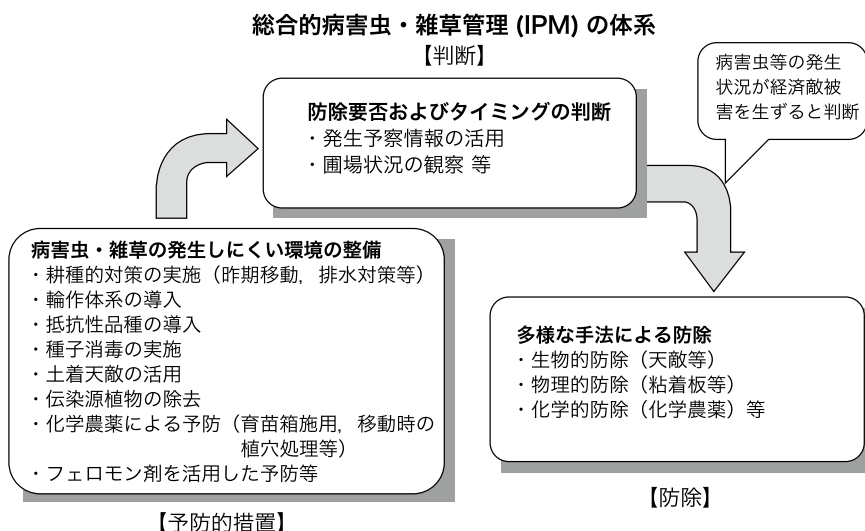


図1 IPMの基本三要素 参考文献2)より転載。

の10年ほどの間に本格的に実践されるようになってきており、農業分野では、農林水産省が平成17年に「総合的病害虫・雑草管理(IPM)実践指針」を公表している²⁾。これによると、IPMの基本三要素は、予防的措置、判断、防除であり、従来あまり重視されてこなかった予防的措置と判断のステップが強調されている(図1)。つまり、この二つのステップにおける具体的な実践項目である、病害虫が発生しにくい環境の整備と病害虫の発生状況の監視(発生予測)の重要性を説いている。食品害虫の分野で言えば、IPMとは、食品に損害を与えるほどに害虫が増えてしまう状況を作り出さないために、生態に関する知見を利用して害虫の発生しにくい環境を維持し、発生状況の情報や予測を基に、最小限の防除対策を決定、実施することだと言える。

著者の研究室では、IPM実践の基本となる害虫の生態に関する知見を着実に蓄積するとともに、各食品害虫の基本的な生態解明や発生状況監視等、IPM実践に役立つ技術開発を実施している。これまでに、臭化メチル燻蒸の代替技術である高圧二酸化炭素による殺虫技術³⁾等、様々な技術を開発してきたが、最近になって画像解析技術を利用した技術開発に取り組み始め、基本技術を確立できたものがある。本稿では、画像解析技術を利用した技術開発として、トラップに捕獲された害虫の計数方法とコクゾウムシ類の体長計測方法について紹介したい。

1. トラップに捕獲された害虫の計数⁴⁾

IPMを実践するとき、対象とする害虫の発生状況の監視は欠かすことができない。発生状況の情報が正確で詳細であれば、判断も的確になり、無駄な防除対策を実施することもなくなる。害虫の発生状況の監視にはトラップを用いることが多い。一般に食品害虫は小さく、捕食者に見つからないように行動するため、目にするのが難しい。トラップは、昆虫が高い移動能力を持っていることを利用した、目につきにくい昆虫の存在を知る強力な方法である。害虫の詳

細な発生状況の情報を得るためには、複数のトラップを適切に配置し、適切な時間間隔で捕獲された害虫を計数する必要がある。例えば、壁際を好んで歩く害虫を調べるときには、トラップは部屋の中央よりも壁際に設置するほうがよい。また、特定の種類の害虫に着目している場合は、フェロモントラップ等、その種類の害虫だけを誘引するトラップを利用すると効率的である。夏に大量に発生する害虫だとわかっている場合は、気温の上昇とともに高頻度で計数する必要があるだろう。空間的、時間的に均等であることが最善だとは言えない。

通常、トラップに捕獲された害虫の計数は手作業で行っている。しかし、前述したように、害虫管理の現場では複数のトラップを計数しなければならない。大量の害虫が捕獲されたトラップを計数する場合には、重なった個体は何頭であるか判断するのが難しい場合もあり、注意深い観察を必要とする作業になる。その結果、疲労による誤差の増大も懸念される。そこで、著者らは、トラップに捕獲された害虫を画像解析技術により自動的に計数する方法を開発することにした。開発した方法の大まかな流れは、計数作業によるトラップの写真(図2)撮影、その写真のPCへの取り込み、開発した画像解析プログラムの実行となっていて、最終的にトラップに捕獲



図2 トラップに捕獲されたコクゾウムシの写真(一部)

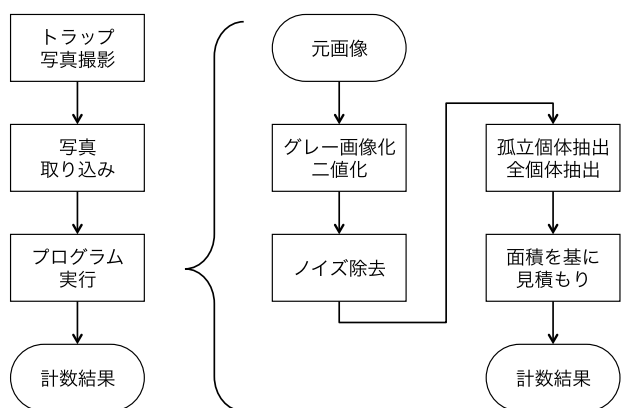


図3 画像解析技術を用いた計数作業のフローチャート
左側は作業の概略、右側は画像解析プログラムの実行内容を示す。

された害虫の計数結果が得られる（図3）。

対象とした害虫は米に大きな被害をもたらす害虫として昔から注目されてきたコクゾウムシで、トラップはコクゾウムシを特異的に誘引するフェロモントラップを使用した。画像解析プログラムは、コクゾウムシが捕獲されたトラップの写真を二値化し、ノイズ除去処理後、粒子解析処理により個体抽出し、各粒子の面積情報を基に個体数を見積もるという、一連の処理を実行する（図3）。個体抽出までの処理をImageJ⁵⁾のマクロで、それ以降の個体数の見積もりをMicrosoft Excelのマクロを用いて開発した。ImageJは、NIH（National Institute of Health: アメリカ国立衛生研究所）がMacintosh用に開発した画像処理アプリケーションNIH ImageをJava上、つまりWindowsやLinux等の様々なOS上で動作するように改良したフリーの画像処理アプリケーションである。強力な粒子解析機能が装備されており、細胞数を数えたり、粒子径を求めたり、電気泳動パターンを解析したりといった、生物学の様々な場面で利用されている。

図2に示したように、トラップに捕獲されたコクゾウムシは1個体ずつ離れて固定されているとは限らず、互いに接している場合もある。接している場合、粒子解析の結果は互いに接している複数のコクゾウムシが1つの大きな粒子

と解釈されてしまう。そこで開発した方法では、予め1個体の平均の面積を求めておき（この過程も自動で行う）、大きな粒子を形成する個体数をその面積から見積もるという方法を採用した。詳細は文献⁴⁾を参照してほしい。

開発した方法でトラップに捕獲されたコクゾウムシを計数すると、手作業のときよりも、短時間で結果を得ることができた。手作業の場合は、作業者による系統誤差（人によって多めに見積もる等）が生じたり、疲労による作業効率の低下や誤差の増大が懸念されたりするが、コンピューターによる画像解析では誰がど

のコンピューターでいつ実行しても同じ結果が得られる。害虫管理の現場では常に同じ者が作業できるとは限らないので、計数作業に熟練していない者でも同じ結果が得られるという利点は大きい。

開発した方法が成功した要因の一つは、使用したトラップの特性である。フェロモントラップを使用したので、コクゾウムシ以外の種類の昆虫がほとんど捕獲されなかった。また、トラップの構造もよい結果をもたらした（図4）。入り口が狭く、低い位置にあるために、ゴミが入りにくい。また、コクゾウムシはトラップの天井を歩いてから粘着紙が貼ってある床に落ちるために、ランダムな場所に固定される。床を歩く構造だと、粘着紙の周辺部分に集中して固定されるはずである。運悪くすでに捕獲されたコ

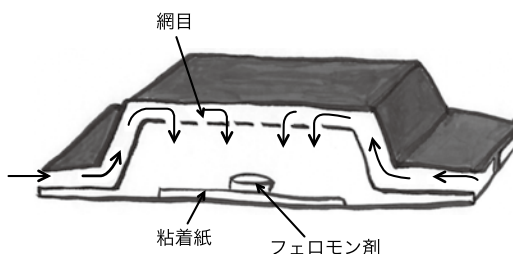


図4 本方法で使用したトラップの構造
食品害虫サイト⁶⁾内のコラム「家の周りのコクゾウムシ」([http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/](http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/gaichu/column/column_075.html)
[gaichu/column/column_075.html](http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/gaichu/column/column_075.html))より転載。

クゾウムシの上に落ちてても、体表を滑り落ちてほとんど重なることなく粘着紙に固定される。このような特性は、見積もる個体数の誤差を減らした重要な要因だと考えている。

この方法はクゾウムシを計数するために開発したが、他の甲虫にも応用できると考えている。実際、トラップのフェロモン剤の種類と、プログラム中のパラメータを変えただけで、実験室環境で捕獲したノコギリヒラタムシの計数にも成功している。コクヌストモドキやコナナガシンクイムシ等も問題なく計数できるだろう。

2. コクゾウムシ類の体長計測⁷⁾

昆虫の体サイズ（通常、体長や体重、翅鞘の長さ等を指標として表現される）は、様々な因子と相関があることが知られている。例えば、飢餓、乾燥、低温、捕食圧、捕食者の構成、食料の粒子サイズ、多産性、交尾や生殖の成功率、活動時間、種内闘争、飛翔能力等である。害虫防除の観点から特に興味深いのは、体サイズと生殖能力の相関である。昨年の同時期に比べて今年の体サイズが大きい場合、個体数が同程度であっても、次世代の害虫の発生数が多くなるかもしれない。Rhainds はこのような動機で研究を進めている⁸⁾。

体サイズ分布が正規分布に従うとは限らないので、詳細な生態解明や精密な害虫防除のためには、平均値だけではなく分布を議論できる十分な数の測定値が必要である。仮に 10 階級のヒストグラムを作成するとして、1 階級あたりの平均頻度が 10 であれば、測定値は 100 必要になる。このように多数の体サイズを計測する場合、測定法には、簡便であること、結果が出るまでの時間が短いこと、測定誤差が小さいことといった特徴が求められる。

前節で対象に選んだクゾウムシの体サイズも、餌となる穀類や、温度湿度等の生育環境によって変化する。体サイズの指標として、過去に翅鞘の長さや体重を測定した例がある。しかし、前者は翅鞘を取り外す手間がかかり、後者

は乾燥の程度で体重が大きく変化してしまうという欠点がある。体長は、体サイズの指標として適したパラメータだと言える。

画像解析技術を利用した測定法を使えば、サンプル数が多くても、作業は簡単で、処理時間が短く、同じ写真からは同じ結果が出力されると期待される。そこで、詳細な生態解明や精密な害虫防除に役立つ技術として、画像解析技術を利用したクゾウムシの体長計測法を開発することにした。

クゾウムシ体長計測法の開発における最大の課題は、同じ個体ならどの向きから撮影した写真を使っても同じ結果（体長の値）を出力させたいという、一見簡単そうなことである。しかし、湾曲した長い口吻のために、クゾウムシのシルエットは向きによって大きく異なる（図 5）ために、この課題は案外難しい。手作業で測定する場合にも顕微鏡下で向きを決めて配置し測定者が決めた体長の定義に厳密に従って測定を行っている。例えば、背面から見て中心線の長さ、あるいは側面から見て口吻の先端から肛門までの長さというような定義である。したがって、この作業を行うためには、最初にクゾウムシを正確に腹這いに置くか、横向きに置く必要があるが、クゾウムシの大きさは数 mm と小さく、脚が邪魔するために、希望した向きに置くのにたいへん苦勞する。実際に手作業で測定を行うと、長さを測ることよりも、クゾウムシを決まった向きに置く作業に最も手間がかかることがわかる。

画像解析技術を利用しても、クゾウムシを決まった向きに置く作業が必要だと、作業時間をそれほど短縮できず、あまり意味がない。そこで、置かれた向きによらず出力される値があ



図5 コクゾウムシのシルエット
左は背面、右は側面から見たときのシルエット。この2つの画像は別の個体である。

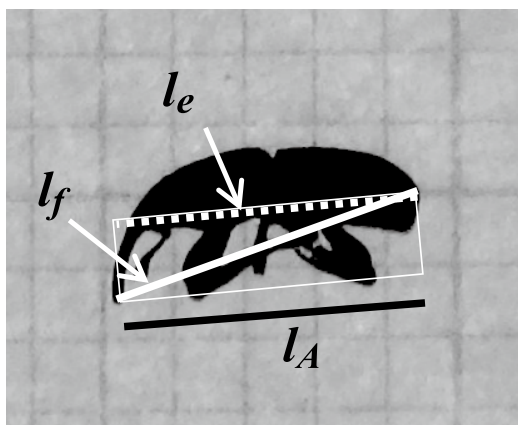


図6 コクゾウムシ体長の定義

l_e は当てはめた楕円の長径, l_f はフェレ径, l_A はフェレ径の楕円長径成分である。

まり変わらないような体長の定義を検討した。その結果, コクゾウムシのシルエットを楕円に当てはめたときの長径とその傾きを l_e, θ_e , フェレ径 (外接長方形の長辺) とその傾きを l_f, θ_f としたとき, l_f の l_e 方向の成分 l_A (図6)

$$\text{数式 1} \quad l_A = l_f \cos[\theta_f - \theta_e]$$

の値が, 置かれた向きの影響が小さいことがわかった。そこで, ここでは体長の定義として l_A を採用することにした。

今回開発した, 画像解析技術を用いたコクゾウムシの体長測定法の作業の概略を図7に示す。作業者は次の作業を行う。

- ①方眼紙の上にコクゾウムシを置く。隣り合うコクゾウムシが接していなければ, 位置や向きを気にしなくてもよい。
- ②トレース台等を使って透過照明で真上からコクゾウムシのシラエッ

ト写真を撮る。

- ③写真を PC に取り込む。

- ④ ImageJ を起動して, 撮影した写真を開き, 背景として写真に写しこんだ方眼を利用して長さの単位を pixel から mm に変更する。

- ⑤開発した画像解析プログラムを実行する。

開発した方法を評価するために, 同じコクゾウムシ 100 頭に対して, 手作業と開発した方法を使って, 体長計測を行った。作業時間は手作業の 1/5 以下だった。サンプル数が増えるほどこの差は大きくなると考えられる。分布の形は, 手作業よりも開発した方法で得られた結果のほうが正規分布に近かった。これは, 手作業よりも分解能が高いということに加えて, 手作業では作業者の系統誤差が関係している可能性がある。

前述したように, 体サイズは様々なパラメータと関係しているので, 多くの研究者が様々な条件 (穀物等の餌の種類, 穀粒のサイズ, 温度, 湿度, 個体密度, 天敵の有無, 等) における体サイズの情報を知りたいと思っている。本節で紹介した方法を使えば, 特殊な装置を準備せず

体長測定作業のフローチャート

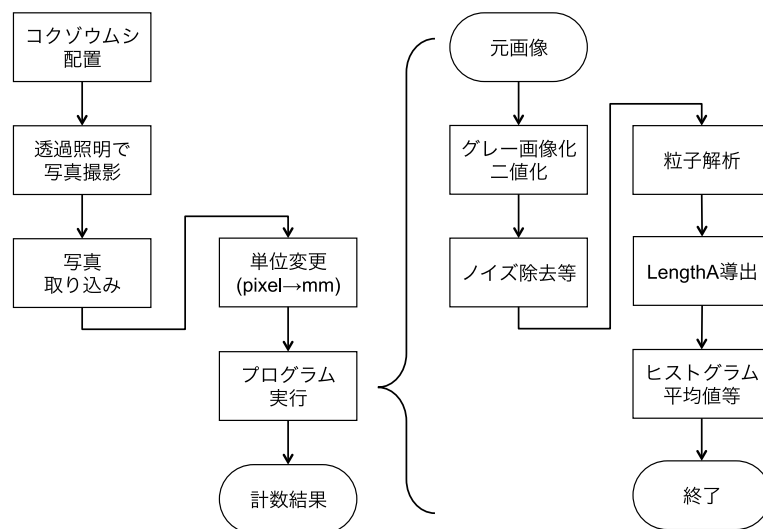


図7 画像解析技術を用いたコクゾウムシ体長測定作業のフローチャート
左側は作業の概略, 右側は画像解析プログラムの実行内容を示す。

に、多数のサンプルについてコクゾウムシ類の体長を簡便に計測することができる。今後は研究者の要望に応えるツールとして使われていくことを期待している。体サイズが次世代の発生に影響することが明らかになれば、将来 IPM 実践の現場でも利用されるようになるかもしれない。

本節に関してさらに詳しく知りたい場合は、文献 7) を参照してほしい。

3. 今後の発展への期待

IPM 実践の肝はその場その時の状況に応じて最善の行動を柔軟に選択することである。何が最善かはそれぞれの IPM 実践者（害虫管理者）の考え方（最重点項目を次のどれにするか：人の健康／環境負荷／コスト／害虫の完全駆除／他）に依存するが、その場その時の状況に応じて行動するためには、IPM 実践者の考え方とは関係なく、管理したい現場の状況をできるだけ正確に詳しく把握しておくことが必要になる。現時点では IPM 実践者の経験と洞察力に頼る部分も大きいですが、これをできる限り客観的な数値データに置き換えていき、他人が利用できる知識として蓄積していくことが IPM の品質向上につながる。

ここで紹介した方法は、写真を撮って画像解析するという作業だけで構成されており、市販のスマホやタブレットに搭載されている機能で実現できる。現場に持ち込むスマホやタブレッ

トに搭載すれば、食品害虫の管理を効率的に実行する助けになると思う。文献 4) と 7) にはプログラムソースコードを公開しているので、アプリ化して使ってもらえればうれしい。

おわりに

画像解析技術を利用した、トラップに捕獲された食品害虫の計数方法とコクゾウムシ類の体長計測方法について紹介した。どちらも手作業で実行するよりも短時間で大量の処理が可能であるという特長を持つので、特に IPM 実践の現場で使えるツールに発展することが期待できる。

本稿では紹介しなかったが、著者らは画像解析技術を使った食品害虫の同定方法の開発に取り組んだことがある。しかし、従来のやり方では限界があり、実用化は難しいと考えていた⁹⁾¹⁰⁾。ところが、近年、深層学習を取り入れた画像認識分野が急激に発展した。著者らも深層学習を導入した画像認識技術に着目し、再び画像による食品害虫の同定に取り組むことにした。今後の進展によっては、紹介できる機会があるかもしれない。また、画像認識に限らず、音声認識、自然言語処理、将棋や囲碁のようなゲーム等でも、深層学習が導入され、飛躍的に発展している。食品害虫に関係する他の技術開発へも深層学習を利用できないか、関心を持っている。

参考文献

1. 独立行政法人食品総合研究所：独立行政法人食品総合研究所創立 70 周年記念誌，独立行政法人食品総合研究所，茨城，2005.
2. 農林水産省：総合的病害虫・雑草管理（IPM）実践指針，2005. (http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_ipm/pdf/byougai_tyu.pdf)
3. 宮ノ下明大，今村太郎：高圧二酸化炭素を用いた貯蔵食品害虫の殺虫技術，食糧，**44**:59-72, 2006. (http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/publications/pdf/sousetsu/kanko_sou44/p059.pdf)
4. 曲山幸生，今村太郎，古井聡，他：フェロモントラップに捕獲されたコクゾウムシの ImageJ を用いた半自動計数法の開発，農研機構研究報告，**1**:9-17, 2017. (http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/files/nfri_report01-3.pdf)
5. ImageJ, <https://imagej.nih.gov/ij/>
6. 食品害虫サイト，<http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/gaichu/index.html>
7. 曲山幸生，古井聡，今村太郎，他：ゾウムシ類成虫の体長半自動計測法の開発，都市有害生物管理，**7**:1-9, 2017.
8. Rhainds, M.: Wing wear and body size measurements of adult spruce budworms captured at light traps: influence on seasonal patterns related to reproduction, *Appl. Entomol. Zool.*, **50**:477-485, 2015.
9. 曲山幸生，七里与子，宮ノ下明大，他：貯蔵害虫の画像による自動判別，食品総合研究所研究報告，**78**:57-64, 2014.
10. 曲山幸生，七里与子，塚田佳苗，他：画像認識技術による食品害虫の自動判別，食品総合研究所研究報告，**80**:105-116, 2016.

食物繊維ペクチンによる腸絨毛伸長作用

矢部 富雄 (YABE Tomio)^{1,2}

¹ 岐阜大学応用生物科学部応用生命科学課程, ² 岐阜大学生命の鎖統合研究センター

Key Words: ペクチン 腸管上皮細胞 ヘパラン硫酸

はじめに

食物繊維といえば、今や健康を維持するために毎日の食生活には欠かせない食品成分の一つとして、広く一般に浸透しているばかりか、健康食品に含まれる成分の定番として定着している。しかし、食物繊維が人々からもてはやされるようになったのは、ここ 50 年にも満たない期間である。それまでは「食物繊維」といえば人類に嫌われ、厄介者とされてきたのである。すなわち、およそ 1 万年前に農耕を始めて以来の人類は、おいしさを妨げる原因となっている食物繊維を、いかに取り除くかということに苦心惨憺してきた。また、近代栄養学の観点からも、不消化成分としての食物繊維を、非栄養素たる「不要物」として、食品からいかにして徹底的に取り除くことができるかを追求することによって、食品の栄養価を上げようとしてきた。そのために、長い年月をかけて食物繊維を取り除くための技術や道具を次々に開発する努力を惜みず、それを文化にまで昇華させて人類は発展してきたといっても過言ではない。そして、ほぼ完全なまでに食品から食物繊維を取り除くことができる技術を手にした現代になって、皮肉なことに人類は、いかにして毎日の食事の中で食物繊維を摂取するかという難問を抱えて頭を悩ませる事態に直面している。

現代のような飽食の時代にあって、人々は食

品によりおいしさを求めるようになったのは、当然のことであろう。それが故に、古代から人類が食物繊維をなんとかして取り除こうと努力してきた歴史そのままに、おいしい食品に食物繊維はどうしてもそぐわないため、必然として摂取する食物繊維の量は少なくなりがちである。厚生労働省が取りまとめている「日本人の食事摂取基準（2015 年版）」において、18 歳から 69 歳までの 1 日あたりの食物繊維の目標量は、男性 20 g 以上、女性 18 g 以上とされているものの、平成 27 年調査の国民健康・栄養調査結果によれば、20 歳以上の男性の食物繊維摂取量の平均値が 15.4 g、女性の平均値が 14.7 g と非常に少なく、最も摂取量が多い 60 代の男女ですら目標量に達していない現状である。しかし、生活習慣病の一因ともされる食物繊維の摂取不足は、高齢化社会にあって、健康で幸福な生活を長く続けるために、是が非でも解消されるべき問題である。

おいしさを向上する目的で使用されている食品添加物にも食物繊維は使用されているが、摂取不足を補うほど口にすることは考えられないため、やはり、おいしさを損なう素材である食物繊維を摂取する動機をいかにして上げるかに鍵がある。健康を維持するために食物繊維が必要であることを十分に承知している人々が、おいしさのある程度犠牲にしてまで摂取する動機

となり得る次の段階は、食物繊維を摂取すると果たしてどのようなしくみで健康が維持されるのかの説明が、理論的に十分なされることではなかろうか。その意味において、食物繊維に関する研究の重要性は大きく、摂取された食物繊維が体内でどのようにふるまっているのかという、いわゆる「生理機能」の解明が重要な課題として突きつけられている。

私たちは、食物繊維の一種であるペクチンに注目して研究を行っている。ペクチンは、そのゲル形成力を利用して、古くからジャムやゼリーなどの食品に利用されているが、原材料として用いる果実中のペクチンを利用するだけでなく、現在では食品添加物としてペクチンを利用する食品も数多い。また、野菜や果物に必ず含まれる食物繊維の一種であることから、健康食品素材としての期待も近年高まっている。ここでは、私たちがこれまで長年にわたり研究を続けている「腸絨毛伸長作用」というペクチンの機能について概説する。

1. ペクチンとは

ペクチン (pectin) という名称は、「濃厚な、固まる」を意味するギリシア語の“pektos”にちなみ、キチンやグリシンを初めて単離したことでも知られるフランス人化学者のブラコノー (Braconnot) によって 1825 年に名付けられた¹⁾。しかし、その物質が最初に発見されたのはさらに 1790 年にまで遡る。フランス人化学者のヴォークラン (Vauquelin) が報告したタマリンドから抽出されたゼリー状物質²⁾が、まさに最初に発見されたペクチンである。以後 200 年以上に亘って、ペクチンに関する研究は現在も世界中で続けられている。

1-1. 植物細胞壁に必須の構造分子

ペクチンは、セルロースやヘミセルロースと同様に、陸上植物の細胞壁を構成する主要な分子の一つであり、分裂組織や柔組織中に多く含まれてはいるものの、すべての陸上植物の各器官に普遍的に存在する多糖類である。細胞レベ

ルでは、伸長成長中のリグニンを含まない「一次細胞壁」と、隣り合う細胞を接着しているどちらの細胞にも属さない薄い層である「中葉」に偏在しているが、その量や質は植物種や部位によって大きく異なっている。植物細胞壁を構成するもう一方の「二次細胞壁」は、細胞伸長が停止し、リグニンなどが一次細胞壁の内側に堆積して形成される構造物であるが、こちらにペクチンは含まれないことが知られている³⁾。一次細胞壁において、ペクチンはキシログルカンとともにセルロース微繊維間を満たすマトリクス多糖類として存在しており、キシログルカンが微繊維間を架橋する役割を担っているのに対し、ペクチンは間隙を充填する役割を担っている⁴⁾。真正双子葉植物には細胞壁の約 30 ~ 35%、単子葉イネ科植物には約 1 ~ 5% 含まれ、シダ植物やコケ植物にも含まれている³⁾。

1-2. ペクチンの構造

ペクチンは、さまざまな単糖から構成される複合多糖類である。エールリヒ (Ehrlich) は、ペクチンが D- ガラクツロン酸 (GalA) の重合体であることを 1917 年に提唱し⁵⁾、その後、1936 年にヘングライン (Henglein) とシュナイダー (Schneider) が、ガラクツロン酸は α -1,4 結合によって直鎖状に結合していることを報告した⁶⁾。現在ではさらに、ペクチンにはガラクツロン酸以外の複数の単糖類が含まれる、いくつかの構造領域があると考えられている。このうち、主要な構造領域として、ホモガラクツロナン (HG)、ラムノガラクツロナン-I (RG-I)、ラムノガラクツロナン-II (RG-II) の三つがよく知られており、これら三つの構造領域は、それぞれの位置関係や結合様式は不明ながらも、共有結合により互いに連結していることが報告されている⁷⁾。

HG は典型的なペクチンの 65% 程度を占める構造領域で、D- ガラクツロン酸が α -1,4 結合した直鎖状多糖である。植物細胞で生合成される HG は、まず細胞内小器官のゴルジ体膜上のガラクツロン酸転移酵素により D- ガラクツロン

酸が重合し、同時にメチル基転移酵素によりガラクトツロン酸残基のカルボキシ基がメチルエステル化され、高頻度にメチルエステル化された状態で細胞壁中に分泌される。そして、細胞壁中に存在するペクチンメチルエステラーゼファミリー酵素により、部分的に脱メチルエステル化されてHGが完成する⁴⁾。部分的に、2位や3位の位置のヒドロキシ基がアセチル化された構造も報告されている⁸⁾。また、メチルエステル化度は植物種や組織によって異なるが、例えばHG上のメチルエステル基が線状にすべて脱メチルエステル化されると、ガラクトツロン酸残基のカルボキシ基が露出し、カルシウムイオンと結合することで、HGの分子内と分子間で架橋してペクチンのゲル化を促進し、細胞壁を硬化する。一方で、HG上のメチルエステル基がランダムに虫食い状に脱メチルエステル化されると、エンドポリガラクトツロナーゼなどによる分解を受けやすくなるため、やがて細胞壁の軟化をまねく。このようにHGは、細胞壁中の間隙を充填するペクチンが一次細胞壁の強度を調節する際の、鍵因子として機能している。

RG-Iは典型的なペクチンの25～35%を占める構造領域である(図1)。RG-Iは、D-ガラクトツロン酸とデオキシ糖のL-ラムノース

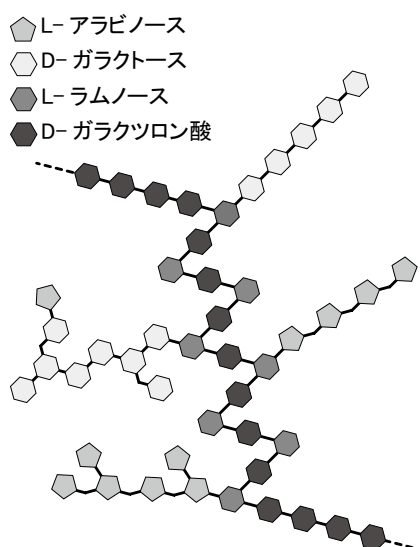


図1 RG-Iの構造モデル

(Rha)とが交互に結合した二糖[$\rightarrow 4$]- α -D-GalA-($1 \rightarrow 2$)- α -L-Rha-($1 \rightarrow$]の繰り返し単位をもち、L-アラビノースの α -1,5結合によって構成されるアラビナンや、D-ガラクトースの β -1,4結合によって構成されるガラクトラン、それらの複合体のアラビノガラクトランといった側鎖が、ラムノース残基の4位(まれに3位)のヒドロキシ基に結合した複合多糖である⁹⁾。

RG-IIは典型的なペクチンの10%程度を占める最も複雑な構造領域である。RG-IIは、進化の過程を通して非常によく保存されており、すべての陸上植物の一次細胞壁に含まれる⁴⁾。基本構造は、D-ガラクトツロン酸が α -1,4結合したガラクトツロン酸ポリマー(重合度9～12)に、構造の異なる4種類の側鎖が結合した、重量平均分子量5000の複合多糖領域である¹⁰⁾。RG-IIは、細胞壁中で単独に存在する場合と、他のペクチン分子のRG-II領域と1分子のホウ酸によりジエステルを形成して架橋された部位として存在する場合がある¹¹⁾。

1-3. 食品としてのペクチン

ペクチンといえば、一般的にはジャムの成分としてよく知られている。店頭に並ぶジャムばかりでなく、家庭でイチゴなどの果物に砂糖を加えて、それを煮詰めることで簡単に作られるジャムも、果物の細胞壁に含まれるペクチンの作用を有効に利用している食品である。

また、市販のジャムやフルーツゼリー、アイスクリームなどを製造する際の「既存添加物名簿収載品目リスト」に含まれる、食品添加物(増粘安定剤)としてペクチンは広く使用されている。食品添加物として利用されるペクチンは、柑橘果皮(主にレモン)、リング搾汁粕、ビートパルプ(サトウダイコンの搾汁粕)などから抽出・分離されたものである。抽出されたペクチンは、含まれるペクチニン酸のメチルエステル基の割合によって、大きく性質が異なる二つに大別される。エステル化度(メチルエステル化されたガラクトツロン酸残基の割合)が50%以上であり、水素結合型ゲルを形成する高メト

キシペクチン（HM ペクチン）と、エステル化度が50%未満であり、イオン結合型ゲルを形成する低メトキシペクチン（LM ペクチン）である。

HM ペクチンは、一般のジャムやゼリーに使用されるペクチンである。負電荷をもつペクチンコロイドに酸を加えると、カルボキシ基の解離が抑えられて電氣的に中性となり、ペクチンの凝集が起こる。ジャムを製造する際にはさらに糖を加えるが、この糖の役割は脱水であり、ゲルを安定化させることに役立っている。メチルエステル基を多く含む HM ペクチンは、そもそも電荷が低いために、低い糖濃度でも、高い pH でもゲル化しやすいことになる¹²⁾。HM ペクチンの用途は、ゲル形成をゼリーとして利用するもの（ゲル化剤）に加えて、飲料や発酵乳の安定化（安定剤）や増粘剤となる。

一方、LM ペクチンは、糖分を含まなくとも、カルシウムやマグネシウムのような二価の金属イオンがあれば容易にゲル化する性質をもっている。これは、メチルエステル化されたガラクトツロン酸が少ないために、2分子のペクチンがカルシウムによってカルボキシ基を介して架橋され、網目構造を形成して凝集するものである¹²⁾。LM ペクチンの用途は、食品の表面の被膜や艶だし、アイスクリームの硬化防止、冷凍肉汁の安定剤など多岐にわたっている。

1-4. ペクチンの生理機能

ペクチンは、食してもヒトの消化酵素による分解を受けず、小腸において栄養成分として吸収もされないため、食物繊維に分類される食品素材でもある。食物繊維（dietary fiber）という用語は、ヒプスリー（Hipsley）が1953年に初めて使用した言葉¹³⁾であるが、1972年になると、単なる物質としての名称ではなく、「ヒトの消化酵素の作用を受けない植物細胞の構造残渣」と定義された、生理的意味を含む新しい「食物繊維」という概念をトロウエル（Trowell）が提唱した¹⁴⁾。これは、その前年にバーキット（Burkitt）によって発表された「大腸がん

に対する繊維仮説」¹⁵⁾を受けて提唱されたものである。それ以来、世界中で食物繊維の研究が進められ、さまざまな健康維持・調節機能が報告されている。とくに日本では、健康増進法第26条に基づき、政府が「特定保健用食品（トクホ）」として認可する制度において、「お腹の調子を整える食品」の項目中に「食物繊維類を含む食品」が挙げられているなど、これまでの食物繊維に対する研究成果が社会に広く浸透し、健康づくりや疾病予防に貢献しているといえる。

食物繊維の中でも、生理機能に影響を与える成分としてのペクチンの研究報告は多い。例えば、発展途上国に暮らす人の小腸粘膜構造と先進国に暮らす人のそれとは著しく異なっていることが報告されている¹⁶⁾。これは、摂取する食物繊維の多寡に起因する食事の違いと考えられているが、この小腸粘膜構造への影響はペクチンに由来するものであることが、動物実験から示唆されている。すなわち、ペクチン18%を含む飼料を12～15週間与えたラットの空腸および回腸の陰窩が無添加群と比較して深くなったという報告¹⁷⁾や、ラット小腸の粘膜増殖がペクチンによって促進されたという報告^{18,19)}、さらにはペクチンを高含有する飼料を摂取したラットやニワトリの絨毛が不規則になった²⁰⁻²²⁾という報告などである。

それ以外にも、これまでに報告されているペクチンの生理機能としては、血漿コレステロール正常化作用²³⁾、がん肝転移の抑制作用²⁴⁾、食物アレルギーの抑制作用²⁵⁾、抗腫瘍活性^{26,27)}などがあり、今後ますます新たな生理機能が発見されていくと思われる。

2. ペクチンによる腸絨毛伸長作用

これまでに報告されているペクチンのさまざまな生理機能の中で、小腸絨毛の形態を変化させる分子メカニズムについては、いまだに不明な点が多い。腸管の形態が変化するためには、ペクチンを経口摂取した際に、腸管腔内を移動するペクチンに対して小腸上皮細胞がその分子

構造を認識することが必要で、おそらく上皮細胞膜上のタンパク質と構造特異的にペクチンが結合し、細胞内に情報を伝達しているのではないかと予想される。しかし、それを立証するために最も重要となる、ペクチンを認識するタンパク質は、私たちが研究を始めるまで同定されていなかった。そこで私たちは、小腸上皮のモデル細胞である分化 Caco-2 細胞を用いて、このペクチン認識タンパク質の同定を含め、ペクチンを投与した際の細胞応答を観察・解析することにより、この分子メカニズムの解明に取り組んでいる。

2-1. 腸管上皮細胞表面糖鎖の構造変化誘導

細胞応答の解析に際し、私たちは動物細胞表面に普遍的に存在する糖鎖のヘパラン硫酸 (HS) に注目した。HS は、グリコサミノグリカンとよばれる糖鎖の一種で、N-アセチルグルコサミンとグルクロン酸もしくはイズロン酸の二糖単位が繰り返し重合した直鎖状の多糖である。HS がゴルジ体で生合成される際には、複数の硫酸基転移酵素がはたらき、多様な硫酸化パターンをもつ糖鎖を産生する。HS は、細胞にとって必須の細胞外環境の変化を細胞内に伝える役割を担う物質であり、形成された硫酸化パターンに応じて相互作用するタンパク質が入れ替わることで、さまざまな生理機能の調節に関与することが知られている²⁸⁾。もし、分化 Caco-2 細胞がペクチンを認識して応答した場合、その結果として細胞表面の HS の構造に変化が現れるのではないかと私たちは考えた。そこで私たちは、分化 Caco-2 細胞表面 HS の硫酸化構造を決定する硫酸基転移酵素と脱硫酸化酵素の発現が、ペクチンの添加により影響されるかについて検討した。

2-2. HSulf-1/2 発現にペクチンが与える影響

ペクチン添加によって、分化 Caco-2 細胞の HS 構造に影響があるかを調べるため、ペクチンを添加して 24 時間後の細胞表面の HS を回収し、酵素を用いて糖鎖を脱離分解して生成し

た二糖単位を HPLC に供した。アミノプロピルカラムを用いることで、二糖は硫酸基の数と位置に応じて分離される。解析の結果、ペクチンを添加することによって、分子内の 2 箇所あるいは 3 箇所が硫酸化された二糖単位の割合が有意に減少し、分子内に硫酸基がまったく存在しない二糖単位の割合 (Δ Di-OS) が有意に増加することが示された²⁹⁾。とくに N-アセチルグルコサミンの 6 位が硫酸化された構造をもつ二糖単位 (Δ Di-diS1 と Δ Di-triS) の割合が減少していたことから、6 位を脱硫酸化する酵素 (HS 6-O-endosulfatase) の関与が考えられた。そこで、分化 Caco-2 において発現している HS 脱硫酸化酵素の HSulf-1 と HSulf-2 に注目し、ペクチンの添加により mRNA 発現量が変化しているかを RT-PCR により解析した。

細胞表面 HS の構造変化が、ペクチンに対する分化 Caco-2 細胞の応答であることをより厳密に確かめるため、細胞とペクチンが接触する時間を 1 時間とし、その後通常の培養培地に交換した後、一定時間後の細胞から全 RNA を回収して RT-PCR を行った。その結果、ペクチンと接触後に通常の培地で培養してから 3 時間以後には、HSulf-1 の発現が著しく抑制され、一方、HSulf-2 の発現は 3 時間後にコントロールと比較して 3 倍程度に有意に増加し、それは 12 時間後まで持続することを見出した²⁹⁾。これらの結果から、分化 Caco-2 細胞にペクチンを添加すると、HSulf-1 遺伝子の発現が抑制されると同時に HSulf-2 の発現が亢進し、細胞表面 HS の硫酸化構造の変化をもたらすことが示唆された。

2-3. ペクチンが HSulf-2 発現を誘導する機構

分化 Caco-2 細胞はペクチンにตอบสนองし、HSulf-2 遺伝子の発現を誘導していることが示されたことから、細胞表面にはペクチンを認識するタンパク質 (レセプター) が存在する可能性が高まったといえる。そこで、ペクチンのレセプターを同定する手がかりとして、酵素処理したペクチンはフィブロネクチンと相互作用す

という報告³⁰⁾に注目した。フィブロネクチンは、細胞外マトリクスに存在する分泌タンパク質で、細胞の接着や移動、分化といった機能に関与している³¹⁾。しかし、フィブロネクチンは分泌タンパク質であるので、細胞内に情報を伝えるためには、さらに細胞表面のレセプターである $\alpha 5 \beta 1$ インテグリンの介在が必要となる³²⁾。そこで私たちは、分化 Caco-2 細胞は、 $\alpha 5 \beta 1$ インテグリンと結合したフィブロネクチンを介してペクチンを認識し、HSulf-2 遺伝子の発現を亢進しているという仮説を立てた。

この仮説を立証するために、 $\alpha 5 \beta 1$ インテグリン下流のシグナル伝達経路に ERK1/2 が関与している³³⁾ことに注目し、ペクチン添加によって分化 Caco-2 細胞内の ERK1/2 の活性化（リン酸化）が起こるかを分析した。細胞内タンパク質を回収した後、Phos-tag ウェスタンブロッティング法により抗 ERK1/2 抗体を用いてリン酸化 ERK1/2 の検出を行ったところ、ペクチン添加 2 分後にはリン酸化 ERK1/2 が検出され、添加 5 分後をピークとして添加 30 分後までリン酸化が維持されることが示された²⁹⁾。また、この ERK1/2 活性化を阻害剤により抑制したり、フィブロネクチン分子内の RGD 配列と結合する $\alpha 5 \beta 1$ インテグリンの領域をペプチドを用いてマスクすると、ペクチンにより誘導される HSulf-2 の発現上昇が抑制された²⁹⁾。これにより、分化 Caco-2 細胞は、 $\alpha 5 \beta 1$ インテグリンと結合したフィブロネクチンを利用してペクチンを認識し、ERK1/2 を介して HSulf-2 遺伝子の発現を亢進しているという仮説が支持された。

2-4. ペクチンにより上皮細胞表面の HS 構造が変化する理由

分化 Caco-2 細胞表面の HS の構造が変化すること、ペクチンにより細胞が応答した結果、腸絨毛伸長作用が引き起こされることとはどんな関係があるのだろうか。私たちはこの関係を明らかにするために、腸管の陰窩における増殖細胞に相当する IEC-6 細胞と分化 Caco-2 細胞を共培養するモデルを構築した³⁴⁾。すなわち、

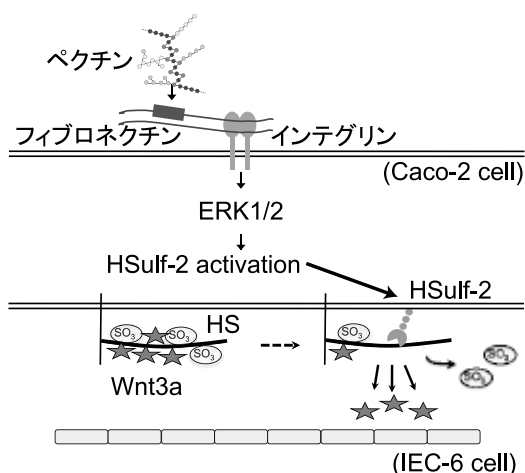


図2 ペクチンによる細胞増殖

分化 Caco-2 細胞のアピカル側（腸管側）にペクチンを添加した際に、バソラテラル側（基底膜側）から分泌される分子によって増殖細胞の分裂が促進され、結果として絨毛が伸長するのではないかと考えた。そこで、分化 Caco-2 細胞において、ペクチンの添加により発現量が亢進する分子を解析した結果、成長因子として知られる Wnt3a タンパク質が同定された³⁴⁾。すでに Wnt3a と細胞表面 HS とは強く結合することが知られているが、非常に興味深いことに、この結合がペクチン添加後には非常に弱なっていた³⁴⁾。すなわち、産生量が増えた Wnt3a を効率よく分泌し、増殖細胞の分裂を促進するために、その妨げとなる細胞表面の HS の構造を変化させていたと考えられる（図2）。

おわりに

ここで紹介した私たちの研究から導き出されるペクチンの生理機能は、これまでに知られていたものをなんら否定するものではない。食物繊維として摂取されたペクチンが、腸管を移動中に構造的な嵩高さと吸着能を存分に発揮するといった役割や、大腸に達した後に腸内細菌によってほぼ完全に発酵に利用されることからの二次代謝産物の役割は、ペクチンが食品成分として果たしている重要な生理機能であることに疑いの余地はない。しかしそれだけでなく、ペ

クチンには知られざる生理機能がまだまだあるのではないか。私たちのペクチンに関する研究はまだ緒に就いたばかりであり、そもそも「ペクチンを認識するタンパク質が腸管上皮細胞上に存在する」という仮説の立証はまだ道半ばである。栄養として吸収されることのないペクチンという食品成分が、腸管を構成する上皮細胞によって特別視されうる化学情報をもった物質

として識別されているのであれば、食物繊維の生理機能を探求する上で、まったく新しいアプローチの嚆矢となるのではなかろうか。今後の研究の進展に期待いただきたい。

本稿は SUNATEC, e-Magazine vol.129 に掲載された論文を加筆したものです。

参考文献

1. H. Braconnot: Investigations into a new acid spread throughout all plants. *Ann. Chim. Phys.* **2**(28): 173-178, 1825.
2. M. Vauquelin: Analyse du tamarin. *Ann. Chim. (Paris)* **5**: 92, 1790.
3. Plant Cell Walls, P. Albersheim, A. Darvill, K. Roberts, *et al.* eds. New York, Garland Science, 2011.
4. 石井忠：マトリックス多糖類。植物細胞壁，西谷和彦，梅澤俊明編著，東京，講談社，23-32, 2013.
5. F. Ehrlich: Pectinstoffe, ihre Konstitution und Bedeutung. *Chem. Ztg.* **41**: 197-208, 1917.
6. F. A. Henglein, G. Schneider: Über die Veresterung von Pektin-stoffen. *Ber. d. chem. Ges. B* **69**: 309-324, 1936.
7. D. Mohnen: Pectin structure and biosynthesis. *Curr. Opin. Plant Biol.* **11**(3): 266-277, 2008.
8. H. A. Schols, A. G. J. Voragen: Pectic Polysaccharides. Handbook of Food Enzymology, J. R. Whitaker, A. G. J. Voragen, D. W. S. Wong eds. New York, Marcel Dekker, Chapter 66, 2003.
9. A. G. J. Voragen, G.-J. Coenen, R. P. Verhoef, *et al.*: Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *J. Struct. Chem.* **20**: 263-275, 2009.
10. M. Bar-Peled, B. R. Urbanowicz, M. A. O' Neill: The synthesis and origin of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II - insights from nucleotide sugar formation and diversity. *Front. Plant Sci.* **3**: 92, 2012.
11. M. A. O' Neill, T. Ishii, P. Albersheim, *et al.*: Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annu. Rev. Plant Biol.* **55**: 109-139, 2004.
12. J. A. L. Silva, M. A. Rao: Pectins: Structure, Functionality, and Uses. Food Polysaccharides and Their Applications, A. M. Stephen, G. O. Phillips, P. A. Williams eds. Boca Raton, CRC Press, 353-411, 2006.
13. E. H. Hipsley: Dietary "fibre" and pregnancy toxemia. *Brit. Med. J.* **2**(4833): 420-422, 1953.
14. H. C. Trowell: Crude fibre, dietary fibre and atherosclerosis. *Atherosclerosis* **16**(1): 138-140, 1972.
15. D. P. Burkitt: Epidemiology of cancer of the colon and rectum. *Cancer* **28**(1): 3-13, 1971.
16. S. J. Baker: Geographical variations in the morphology of the small intestinal mucosa in apparently healthy individuals. *Pathol. Microbiol.* **39**: 222-237, 1973.
17. R. C. Brown, J. Kelleher, M. S. Losowsky: The effect of pectin on the structure and function of the rat small intestine. *Br. J. Nutr.* **42**(3): 357-365, 1979.
18. W. Chun, T. Bamba, S. Hosoda: Effect of pectin, a soluble dietary fiber, on functional and morphological parameters of the small intestine in rats. *Digestion* **42**: 22-29, 1989.
19. J. S. McCullogh, B. Ratcliffe, N. Mandir, *et al.*: Dietary fibre and intestinal microflora: effects on intestinal morphometry and crypt branching. *Gut* **42**(6): 799-806, 1998.
20. M. M. Cassidy, F. G. Lightfoot, G. V. Vahouny: Morphological aspects of dietary fibers in the intestine. *Adv. Lipid Res.* **19**: 203-229, 1982.
21. C. Tasman-Jones, R. L. Owen, A. L. Jones: Semipurified dietary fiber and small-bowel morphology in rats. *Dig. Dis. Sci.* **27**(6): 519-524, 1982.
22. D. J. Langhout, J. B. Schutte, P. van Leeuwen, *et al.*: Effect of dietary high- and low-methylated citrus pectin on the activity of the ileal microflora and morphology of the small intestinal wall of broiler chicks. *Br. Poult. Sci.* **40**(3): 340-347, 1999.

23. A. H. Terpstra, J. A. Lapre, H. T. Vries, *et al.*: Dietary pectin with high viscosity lowers plasma and liver cholesterol concentration and plasma cholesteryl ester transfer protein activity in hamsters. *J. Nutr.*, **128**, 1944-1949, 1998.
24. K. Tazawa, K. Yatuzuka, M. Yatuzuka, *et al.*: Dietary fiber inhibits the incidence of hepatic metastasis with the anti-oxidant activity and portal scavenging functions. *Hum. Cell* **12**(4): 189-196, 1999.
25. J. C. Lee, S. C. Pak, S. H. Lee, *et al.*: Asian pear pectin administration during presensitization inhibits allergic response to ovalbumin in BALB/c mice. *J. Altern. Complement. Med.* **10**: 527-534, 2004.
26. H. Ohkami, K. Tazawa, I. Yamashita, *et al.*: Effects of apple pectin on fecal bacterial enzymes in azoxymethane-induced rat colon carcinogenesis. *Jpn. J. Cancer Res.* **86**(6): 523-529, 1995.
27. E. Olano-Martin, G. R. Gibson, R. A. Rastell: Comparison of the *in vitro* bifidogenic properties of pectins and pectic-oligosaccharides. *J. Appl. Microbiol.* **93**(3): 505-511, 2002.
28. J. R. Bishop, M. Schuksz, J. D. Esko: Heparan sulphate proteoglycans fine-tune mammalian physiology. *Nature* **446**(7139): 1030-1037, 2007.
29. M. Nishida, K. Murata, Y. Kanamaru, *et al.*: Pectin of *Prunus domestica* L. alters sulfated structure of cell-surface heparan sulfate in differentiated Caco-2 cells through stimulation of heparan sulfate 6-O-endosulfatase-2. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **78**(4): 635-643, 2014.
30. M.-D. Nagel, R. Verhoef, H. Schols, *et al.*: Enzymatically-tailored pectins differentially influence the morphology, adhesion, cell cycle progression and survival of fibroblasts. *Biochim. Biophys. Acta* **1780**: 995-1003, 2008.
31. E. Verderio, B. Nicholas, S. Gross, *et al.*: Regulated expression of tissue transglutaminase in swiss 3T3 fibroblasts: effects on the processing of fibronectin, cell attachment, and cell death. *Exp. Cell Res.* **239**(1): 119-138, 1998.
32. E. H. Danen, S. Aota, A. A. van Kraats, *et al.*: Requirement for the synergy site for cell adhesion to fibronectin depends on the activation state of integrin $\alpha 5/\beta 1$. *J. Biol. Chem.* **270**: 21612-21618, 1995.
33. S. K. Kuwada, J. Kuang, X. Li: Integrin $\alpha 5/\beta 1$ expression mediates HER-2 down-regulation in colon cancer cells. *J. Biol. Chem.* **280**: 19027-19035, 2005.
34. M. Nishida, K. Murata, K. Oshima, *et al.*: Pectin from *Prunus domestica* L. promotes the secretion of Wnt3a from differentiated Caco-2 cells via cell-surface heparan sulfate thereby inducing proliferation of IEC-6 cells in co-culture. *Glycoconj. J.* **32**(3-4): 153-159, 2015.

ゆでめんのゆで後の理化学的特性値の経時変化

平田 健 (HIRATA Takeshi)¹

¹ 比治山大学

Key Words：ゆでめん テクスチャー 水分分布 老化度 X線回折 冷凍試験

要約

ゆでめんはゆで後急速にテクスチャーが変化し、食味が低下する。ゆでめんのゆで後のテクスチャー、水分分布、X線回折および澱粉の老化度の経時変化を調べ、食味が低下する原因を解明し、その低下防止の方策を検討した。その一策として、冷凍温度など冷凍条件とゆでめんのテクスチャーとの関係について検討した。

- (1) ゆでめんのテクスチャーは、ゆで後 4 時間まで漸次変化し、それ以後 24 時間までほぼ一定であった。
- (2) ゆでめんは、ゆで直後は水分分布が不均一で、食味が良好であるが、貯蔵時間が長くなるにつれ水分分布が均一になり、食味が低下したと考えられる。
- (3) ゆでめんの老化は、貯蔵 90 時間まであまり進行しなかった。ゆで直後の食味を維持するには、ゆで直後は、水分分布の均一化、長時間貯蔵には澱粉の老化を抑制することが重要であることがわかった。
- (4) ゆでめんを冷凍し、再度ゆでたもののテクスチャーはゆで直後のそれらと類似していた。冷凍温度によりゆでめんのテクスチャーの変化は多少異なるが、いずれもゆでめんを冷蔵貯蔵したものより、格段にゆで直後のテクスチャーを保持することができた。これらのことは、冷凍めんの消費が進展していることを裏付ける理由であると考えられる。

緒言

ゆでめんは、ゆで後急速にテクスチャーが変化し、食味が劣化する¹⁻²⁾。ゆでめんのテクスチャーをゆで直後の状態に可及的に保持することは、ゆでめん製造業者にとって永年の課題である。ゆでめんのテクスチャーの変化は、ゆで後の貯蔵時間、貯蔵温度などの貯蔵条件および水分分布の均一化、澱粉の老化などの性状変化と密接に関係しているが、これらに関する研究は少ない^{1,3-4)}。

一方、我が国の冷凍食品は 1930 年代から始まり、1970 年頃には成長期を迎えた。ゆでめ

んにも 1980 年代頃から冷凍技術の導入が図られた⁵⁾。ゆでめんのように澱粉含量が高い食品は冷凍耐性が強く、ゆで直後に冷凍することにより、水分分布および糊化状態を保持することができる。そのため、冷凍めんはゆでめんのテクスチャーをゆで直後の状態に可及的に保持する方法として注目された。冷凍めんは上市以来、市場は順調に拡大し、2011 年の冷凍めんの生産額は約 1,050 億円で、生めん類全体に占める比率は約 25% までになっている⁶⁾。そのうえ、冷凍機の発展や冷凍めん製造工程および流通工程の改善なども冷凍めん

の発展に貢献してきたと考えられる⁷⁾。

そこで、ゆでめんのゆで後のテクスチャー、水分分布、X線回折および澱粉の老化度の経時変化を調べ、食味が劣化する原因を解明し、その劣化防止の方策を検討した。さらに、冷凍温度など冷凍条件とゆでめんのテクスチャーとの関係についても検討したので報告する。

実験方法

1. 供試材料

製めん用に用いた小麦粉は日清製粉製の白椿（水分13.8%，たんぱく質8.3%），食塩は和光純薬製の特級試薬であった。

2. ゆでめんの調製

ゆでめんの調製は、既報^{1, 8-10)}に準拠して行った。すなわち、小麦粉1kgに2%食塩水を35%加え、2kg容の平山プロダクツ株式会社製のプロミキサーを用いて、40rpmで12分間混合し、めん生地を調製した。めん生地を戸畑糧機有限株式会社製の製めん機を試験機として改造した製麺機に移し、複合1回、圧延3回した後、角の10番の切刃で、幅 3.0 ± 0.1 mm、厚さ 1.5 ± 0.1 mm、長さ10cmのめん線に切断し、生めんとした。次に、生めん50gを2Lの蒸留水を沸騰させてある還流冷却器付の3L容の特製フラスコ内のステンレス製の網かごに入れ、投入後1分間以内に再沸騰する条件で、15分間ゆでた。なお、ゆで湯の温度調整は温度コントローラーで行った。所定時間ゆでた後、ゆで湯を切ってから、水道水中に1分間浸漬冷却し、さらに1分間水切りして試料とした。この試料は水分の蒸発を防ぐため、厚さ0.08mmのポリエチレン製の袋に入れ、テクスチャー、水分分布、X線回折および澱粉の老化度測定用の試料とした。

3. テクスチャー測定

ゆでめんのテクスチャー測定は

既報⁸⁻¹⁰⁾に準拠して行った。すなわち、生めんをその40倍の湯で15分間ゆで、1分間水洗し、1分間水切りした後、ポリエチレン製の袋に入れ測定用の試料とした。試料は20℃の恒温器に入れ、ゆで直後、1, 2, 4, 8, 24時間後の順で経時的に取り出し、タケトモ電機有限会社製のTTP-50BXテンシプレッサーを使用してゆでめんのテクスチャーを測定した。アルミ合金製のプランジャーは、せん断用でせん断面が 2×25 mmのV型および圧縮用で直径が40mmの円盤型の2種類を用いて、いずれも20%の低歪および90%の高歪で2回せん断あるいは圧縮を行った。なお、せん断の場合、ゆでめんはそのままの状態で測定し、圧縮の場合は専用の整形器で1cmの長さに調製して測定した。パラメーターは図1に示したテンシプレッサーカーブから硬さ、こし、しなやかさ、付着性、粘りおよびもろさを算出した。なお、いずれの試料の測定も5回行い、平均値と標準偏差を求めた。

4. 水分分布測定

ゆでめんをポリエチレン製の袋に入れ、5および20℃の恒温器に入れ、ゆで直後、1, 2, 4, 8, 24, 48, 96, 144時間後の順で経時的に取り出し水分を測定した。ゆでめんはゆで後、外層部と内層部の水分含量が均一ではなく、ゆで貯蔵後、水分分布が変動することが考えられる。それで、水分分布を把握するため、外層部と内層部を分断し、それらの水分を測定し

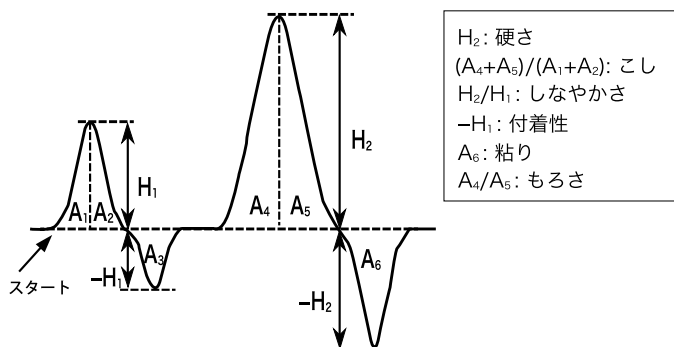


図1 テンシプレッサーカーブとパラメーター

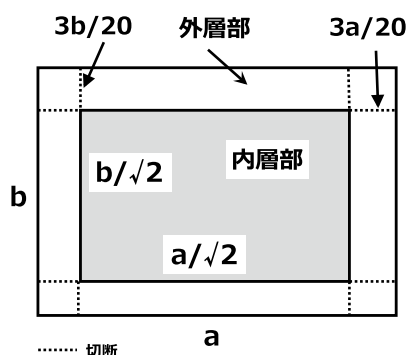


図2 水分測定用試料の断面図

た。その際、ゆでめんの外層部の体積と内層部の体積がほぼ同じになるようにした。すなわち、外層部と内層部の体積を同量にするためには、計算上、図2に示したように、ゆでめんの断面の縦および横の長さの約3/20倍を両端から切断すれば良いこととした。そこで、これらのゆでめんの長さに切断できるアクリル樹脂製の器具を製作した。ゆでめんを高さ、幅を4種類変えた器具の溝に装着し、高さに沿ってピアノ線あるいはカッターで切断し、外層部と内層部の水分測定用試料を調製した。

外層部と内層部の水分含量は堤らの方法¹¹⁾に準拠して測定した。すなわち、ゆでめんの外層部あるいは内層部を硬質ポリエチレン製の袋に入れ、薄く伸ばし、90℃、5時間の減圧加熱乾燥により求めた。水分分布は水分含量測定の結果から求めた。

5. X線回折

ゆでめんをゆで直後、1, 2, 4, 8, 24, 48, 96, 144時間後の順で経時的に取り出し、メタノール、アセトン、エーテルの順で乾燥、脱水した。続いて、デシケーター中でRH75%に調湿し、乾燥試料とした。理化学電機製のガイガーフレックスRAD-IAを使用して乾燥試料のX線回折を測定した。X線回折のX線源はCu-K α 線でニッケルフィルター使用、電圧は3.5kV、電流は20mA、発散スリットは1°、受光スリットは0.15mm、チャート速度は1cm/minであった。

6. 老化度

(1) β -アミラーゼによる相対被消化率に基づく老化度

β -アミラーゼによる相対被消化率の測定に供する乾燥試料は釘宮の方法¹²⁾に準拠して調製した。すなわち、ゆでめんをゆで直後、1, 2, 4, 8, 24時間後の順で経時的に取り出し、無水物換算で10g精秤し、50mLの蒸留水とともにワーリングブレンダーで懸濁した。この懸濁液を25mLずつの二つに分け、そのうちの一つの懸濁液を5倍容量のメタノール中に加えた。室温で一夜貯蔵後、沈殿物をガラスろ過した。沈殿物はメタノール、アセトン、エーテルの順に洗浄、脱水を行った。続いて、デシケーター中で乾燥した。これを直接乾燥試料とした。残りの懸濁液には、3M水酸化ナトリウム溶液を加えた。

室温で30分間貯蔵後、3M塩酸で中和した。続いて、直接乾燥試料の場合と同じ方法で脱水、乾燥を行った。得られた乾燥試料をアルカリ糊化試料とした。直接乾燥試料またはアルカリ糊化試料の100mgをpH4.8の0.1M酢酸緩衝液10mLにガラスホモジナイザーを用いて懸濁した。次に、この懸濁液5mLに4.67Uの β -アミラーゼ溶液1mLを加え、35℃の恒温振とう機中で1時間反応を行った。

酵素反応は0.5M塩酸3mLを加えて止め、10分間静置後、0.5M水酸化ナトリウムを加えて中和した。中和した反応液2mLを蒸留水10mLで希釈し、遠心分離後、上澄液の還元力をソモギーネルソン法で測定し、マルトース当量を求めた。

この結果に基づいて、試料の β -アミラーゼによる被消化率は、乾燥試料の無水物100mg当たりの生成マルトースのmg当量とした。直接乾燥試料の被消化率のアルカリ糊化試料の被消化率に対する比を百分率で表したものを糊化デンプンの相対被消化率とした。相対被消化率を糊化度の指標として表示した、なお、老化度は100%から糊化度を差し引くことにより求めた。

(2) β -アミラーゼ-プルラーゼによる相対被消化率に基づく老化度

β -アミラーゼ-プルラーゼによる相対被消化率は貝沼らの方法¹³⁾に準拠して行った。すなわち、脱水粉末試料 80mg に水 8.0mL を加え、ガラス製ホモジナイザーで分散した。一方をアルカリ糊化試料とし、他方を懸濁試料として各 2mL を 25mL 容のメスフラスコに注入した。アルカリ糊化試料の場合は、10M 水酸化ナトリウム 0.02mL を加えて完全に溶解させ、その後、2M 酢酸を加え pH6.0 に調整した。この後、懸濁液、アルカリ糊化溶液ともに pH6.0 の 0.8M 酢酸緩衝液で 25mL に定容した。これよりそれぞれ 4mL ずつ試験管に取り、 β -アミラーゼ-プルラーゼ溶液 1mL を加え、40℃、30 分間反応を行った。反応終了後、1mL を採取し、沸

騰浴中で 5 分間酵素を失活させ 5 倍に希釈し、遠心分離した。その上澄液 1mL をソモギーネルソン法で還元力および 0.5mL をフェノール硫酸法で全糖を測定した。これらの測定値を基にして、 β -アミラーゼ-プルラーゼによる相対被消化率を糊化度の指標として表示した。なお、老化度は 100% から糊化度を差し引くことにより求めた。

7. 冷凍試験

ゆでめんを調製した後、 -10°C 、 -30°C 、 -80°C および液体窒素で 2 日間冷凍貯蔵した後、再度ゆで、水洗し、水切りした後テクスチャーを測定した。比較のために、ゆで直後、 20°C で 1 日間貯蔵したものおよび 20°C で 1 日間貯蔵し、再度ゆで、水洗し、水切りしたもの

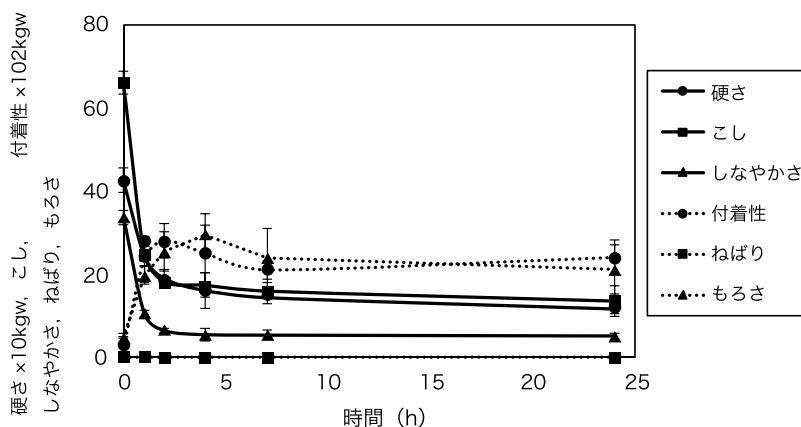


図3 ゆでめんのテクスチャーの経時変化 (V型プランジャー)

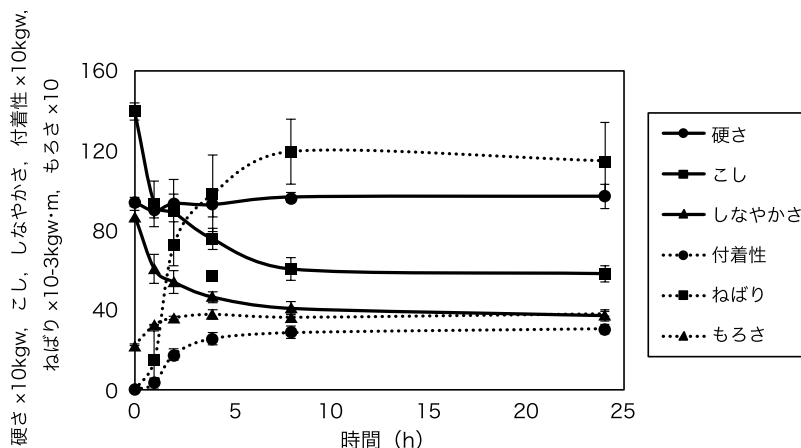


図4 ゆでめんのテクスチャーの経時変化 (円盤型プランジャー)

のテクスチャーを測定した。なお、テクスチャー測定にはV型プランジャーを用いた。

結果および考察

1. ゆでめんのテクスチャーの経時変化

V型および円盤型のプランジャー2種類を使用して、ゆでめんのテクスチャーの経時変化を測定した。その結果を図3および図4に示した。V型プランジャーを使用した場合、図3に示したように、硬さ、こしおよびしなやかさはゆで後4時間まで漸次減少し、それ以後24時間まではほぼ一定であった。一方、付着性およびもろさはゆで後4時間まで漸次増大し、それ以降24時間まではほぼ一定であった。しかし、粘りは数値としては確認できなかった。これはV型プランジャーのせん断面積が小さいため、荷重が小さいことに起因すると考えられる。円盤型プランジャーを使用した場合、図4に示したように、こしおよびしなやかさはゆで後4時間まで漸次減少し、それ以後24時間まではほぼ一定であった。硬さはゆで直後から24時間まではほぼ一定であった。円盤型のプランジャーの面積はゆでめんのそれに比べ大きく、ゆでめんを確実に圧縮できる利点があるが、90%の歪で圧縮するとゆで直後からゆでめんの形が崩れ、全く復元しなかった。したがって、硬さの正確な測定ができなくなり、ゆで直後から貯蔵24時間まで値が一定になったと考えられる。このことから、ゆでめんのテク

スチャー測定をする場合、プランジャーの選択は重要であることが分かった。すなわち、V型プランジャーでは粘りが測定できなかった。一方、円盤型プランジャーでは硬さが測定できなかった。そこで、ゆでめんのテクスチャーの測定にはV型および円盤型プランジャーを研究目的に応じて選択する必要があると考えられる。

以上、ゆで直後のゆでめんのテクスチャーは、硬さ、こしおよびしなやかさが大きく、付着性、もろさおよび粘りが小さかった。一方、貯蔵時間が長くなるにつれ4時間までは、硬さ、こしおよびしなやかさが漸次、小さくなり、反対に付着性、もろさおよび粘りは大きくなった。

ゆでめんはゆで後急速にテクスチャーが変化し、食味が劣化するといわれている¹⁻²⁾。今回の試験結果から、ゆで直後およびゆで後4時間までのテクスチャー変化とゆでめんの食味劣化との間に関連性が認められた。すなわち、食味の良いゆで直後のゆでめんは硬さ、こしおよびしなやかさが大きく付着性、もろさおよび粘りが小さかった。一方、食味が劣化した4時間貯蔵のゆでめんは、テクスチャーは逆になった。硬さ、こしおよびしなやかさが小さくなり、付着性、もろさおよび粘りが大きくなった。

これらのことを考慮すると、テンシプレッサーを使用したテクスチャー測定は、ゆで直後からゆで後4時間までのゆでめんの食味指

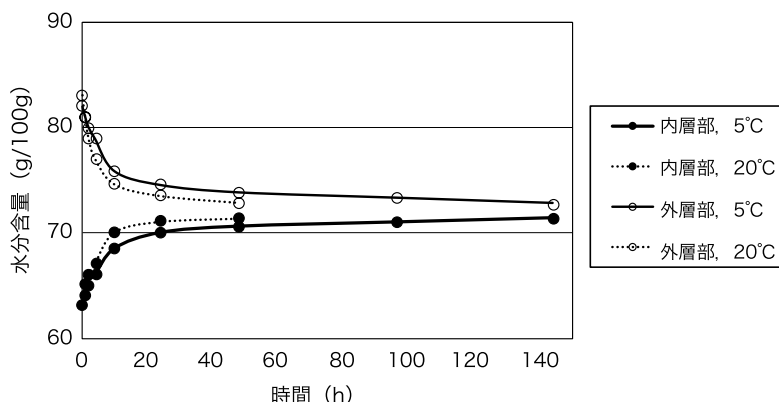


図5 ゆでめんの水分分布に及ぼす貯蔵時間の影響

標として実用的に役立つものと考えられる。なお、貯蔵時間が8時間と24時間のゆでめんの間には食味の差があったが、テクスチャーには顕著な差が認められなかった。このことについては、今後検討したいと考えている。

2. ゆでめんの水分分布

ゆでめんの水分分布の測定結果を図5に示した。なお、20℃貯蔵のゆでめんはいずれも96時間貯蔵すると腐敗し始めたので、水分含量の測定は中止した。

ゆで直後の内層部の水分含量は63.0%、外層部のそれは82.0%であった。内層部の水分含量は貯蔵48時間まで漸次増大し、それ以後はほぼ一定であった。一方、外層部の水分含量は貯蔵48時間まで漸次減少し、それ以後はほぼ一定であった。ゆで直後の水分含量は内層部と外層部で約20%の差があり、ゆでめん全体の水分分布は不均一であった。貯蔵時間が144時間になると、内層部および外層部の水分含量はいずれも72%付近に収束し、水分分布はほぼ均一化した。ゆでめんはゆで後急速にテクスチャーが変化し、食味が劣化するといわれている¹⁻²⁾。特に、ゆで後4時間までゆでめんの食味が劣化するにつれ、ゆでめんの水分分布は不均一から均一化へと急速に変化した。その際のゆでめんの水分分布の変化とテクスチャーの変化は密接な関係が認められた。また、貯蔵温度が5℃より20℃の方が水分含量の増減が大きかった。すなわち、貯蔵温度が高いほど、水分分布の均一化速度は早かった。

以上、ゆでめんはゆで直後、水分分布が不均一であり食味が良好であるが、4時間以上、貯蔵時間が長くなるにつれ水分分布が均一になり、食味が劣化したと考えられる。

3. ゆでめんのX線回折

ゆでめんのX線回折曲線に及ぼす貯蔵時間の影響の結果を図6に示した。ゆで直後では、生めんに見られる結晶構造に基づくピークが完全に消失した。貯蔵時間が24時間まではピー

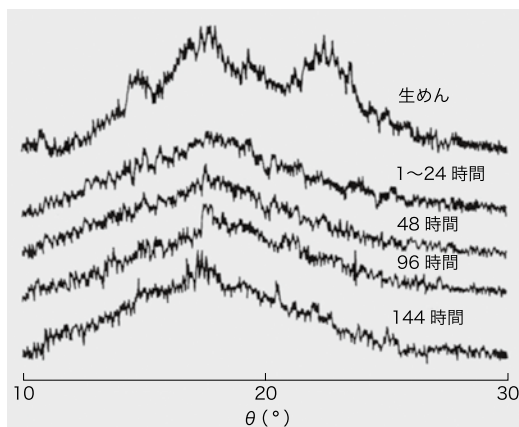


図6 ゆでめんのX線回折に及ぼす貯蔵時間の影響

クの回復は見られなかった。貯蔵時間が90時間以上になると僅かであるがピークの回復が見られた。

以上、X線回折曲線から貯蔵時間が90時間まではゆでめんの老化の進行は遅いと考えられる。したがって、ゆで直後から数時間までの食味劣化にはゆでめんの老化が関与している可能性は低いと考えられる。

4. ゆでめんの老化度

ゆでめんのβ-アミラーゼおよびβ-アミラーゼ-プルランナーゼによる相対被消化率に基づく老化度を図7に示した。β-アミラーゼによる老化度の方が大きい値を示した。いずれの酵素を用いても、貯蔵90時間まではあまり老化は進まず、貯蔵90時間を越えると急に老化が進んだ。また、老化の進行状況はいずれの酵素を用いてもほぼ同じであった。すなわち、ゆでめんの食味の低下に及ぼす老化の影響は貯蔵90時間から大きくなることがわかった。ゆでめんは炊飯米やパンに比べ⁹⁻¹⁰⁾、老化が遅延することがわかった¹³⁻¹⁴⁾。この原因としては、炊飯米やパンと比べ、ゆでめんの水分は高含量であることが考えられる。

以上、ゆでめんの老化度およびX線回折の結果からゆでめんはゆで後90時間までは老化はあまり進まず、それ以後、急速に老化が進むと考えられる。ゆでめんの食味はゆで直後から

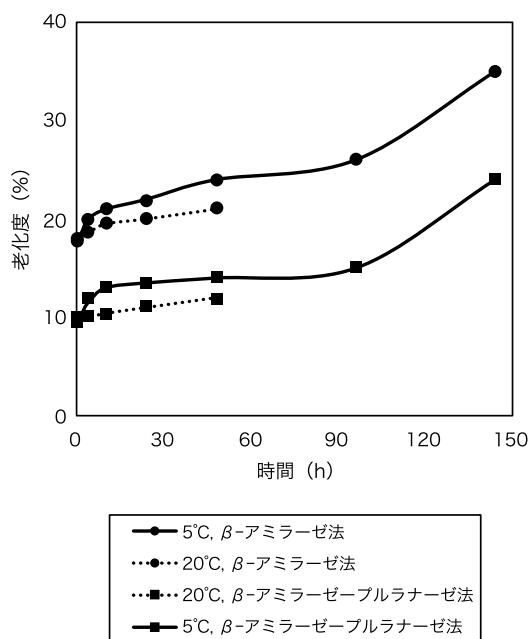


図7 ゆでめんの老化度に及ぼす貯蔵条件の影響

4時間までに食味が急速に低下する。これらのことから、ゆで後4時間までのゆでめんの食味劣化にはゆでめんの老化はほとんど関与せず、水分分布の均一化が主に関与していると考えられる。反対に、ゆで後90時間以上、水分分布が均一になった後のゆでめんの食味劣化にはゆでめんの老化が関与している可能性がある。換言すれば、ゆでめんの外層部から内層部に向

かい、水分の移動があり、水分分布がほぼ均一になり、そのため食味が低下することが考えられる。これはテクスチャーの変化とほぼ同じであり、ゆでめんのゆで直後の食味劣化の主たる原因であると考えられる。一方、貯蔵90時間まではゆでめんの老化はあまり進行しなかった。ゆで直後の食味を維持するには、ゆで直後から初期の貯蔵中は水分分布の均一化、長時間貯蔵には澱粉の老化を抑制することが重要であることがわかった。

5. 冷凍試験

ゆでめんの冷凍試験結果を図8に示した。ゆで直後に比べ、20℃で1日間貯蔵したものは硬さ、こしおよびしなやかさは1/3～1/7に低下した。一方、付着性およびもろさは7～8倍に増大した。20℃で1日間貯蔵し、再度ゆでたものは20℃で1日間貯蔵したものに比べ、こしは増大するが、付着性およびもろさは減少した。-10℃、-30℃、-80℃および液体窒素で2日間冷凍貯蔵した後、再度ゆでたものはいずれも20℃で1日間貯蔵し、再度ゆでたものと比べ、テクスチャーは大きく異なっていた。すなわち、冷凍したものは、いずれもゆで直後のテクスチャーに類似していた。一般に、ゆでめんのよう澱粉含量が高い食品は冷凍耐性が強く、急速冷凍するとテクスチャーはほとんど

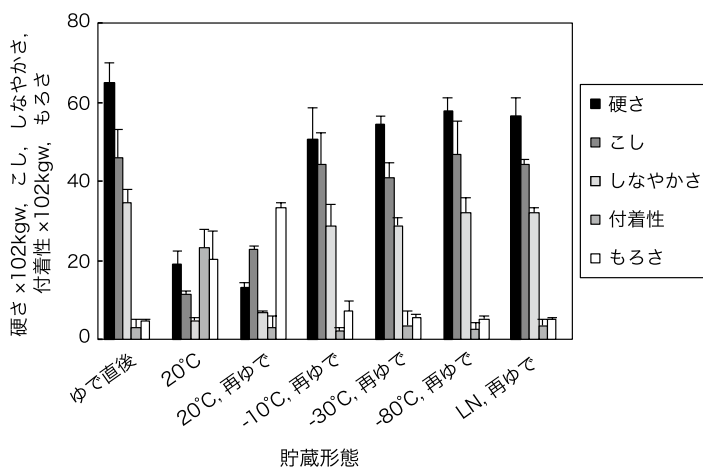


図8 ゆでめんの冷凍試験

変化しないと考えられている¹⁵⁾。今回の冷凍試験の結果、いずれの冷凍温度のゆでめんもゆで直後のテクスチャーに完全には復元しなかった。冷凍温度が低いほど、すなわち、冷凍速度が速いほどゆで直後のテクスチャーに類似している傾向であった。また、 -80°C と液体窒素の場合でもテクスチャーは多少変化することがわかった。ゆで直後に冷凍することにより、冷蔵貯蔵したゆでめんより、水分分布および糊化状態を維持することができ、ゆで直後の食味を維持することができると考えられる。

以上、ゆでめんの食味劣化はゆで直後から数時間までは水分分布の均一化が関与し、ゆで後90時間以上はゆでめんの老化が関与すること

が分かった。これらのことはゆでめんのテクスチャー測定で得た知見から検証できた。

ゆでめんの食味劣化を抑制するには、ゆでめんの水分分布の均一化を抑制し、ゆでめんの老化を抑制することが肝要である。ゆでめんを冷凍すると、冷凍温度によりゆでめんのテクスチャーは多少異なるが、いずれもゆでめんを冷蔵貯蔵したものより、格段食味を保持することができた。冷凍することにより、ゆでめんの水分分布および老化が可及的に抑制できたと考えられる。

また、これらのことは、冷凍めんの消費が進展していることを裏付ける理由であると考えられる。

参考文献

1. 平田 健, 山下民治, 前梶健治, 物性を指標とする食品製造工程の自動化に関する研究, 昭和63年度技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト, IV, 1-20, 1989.
2. 三木英三, うどんの科学, 食品工業, **38**(22): 16-22, 1995.
3. 鈴木勝義, めんの老化現象について, 食品と科学, **3**: 36-37, 1995.
4. 小島登美子, 堀金明美, 前田竜郎, 仲島日出男, 吉田充, 永澤 明, 新たなテクスチャー評価法を用いた麺類の食感改善, **2**: 00-104, 2003.
5. 2007年全国麺類特集, 生麺. 冷凍麺概況, 日本食糧新聞社, p.113, 2007.
6. 全国製麺組合連合会ホームページ, 2012.
7. 島田浩基, 冷凍うどんの品質劣化について, 日本食品工学誌, **15**(2): 115-118, 2014.
8. 平田 健, 生めんの保存性に及ぼすエタノールおよびエタノール蒸散剤の影響, 広島食工技研報, **25**: 5-8, 2009.
9. 平田 健, ゆでめんのゆで後の理化学的特性値の経時変化, 広島食工技研報, **25**: 15-18, 2009.
10. 平田 健, *New Food Industry*, **58**(2), pp.1-6, 2016.
11. 堤 忠一, 「食品分析法」, 日本食品工業学会, 食品分析法 編集委員会編 (光琳書院, 東京) p.42, 1982.
12. 釘宮正往, 広島女子大学家政学部紀要, **17**: 31-38, 1982.
13. 貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一, β -アミラーゼブルラナーゼ (BAP) 系を用いた澱粉の糊化度, 老化度の新測定法, **28**: 235-240, 1981.
14. 松永暁子, 貝沼圭二, 澱粉質食品の老化に関する研究 (第2報) 加工食品の糊化度について, **34**: 73-78, 1983.
15. 高橋禮治, 「でんぷん製品の知識」, (幸書房, 東京) 190-193, 2000.

グルテンフリー食品用の各種素材 (2)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2} 木村 万里子 (KIMURA Mariko)¹

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長

Key Words: グルテンフリー ベーカリー 小麦 セリアック病

要約

本論文「グルテンフリー食品用の各種素材 (2)」は、海外のグルテンフリー食品のための素材の現状について解説したものである。具体的には、米国の穀物科学者、Jeff Casper と Bill Atwell によって書かれた本 (“Gluten-Free Baked Products” 2014 by AACC International, Inc. 3340 Pilot Knob Road St. Paul, Minnesota 55121, U.S.A.) の一部 (“The Gluten-Free Ingredients”) を翻訳し紹介するものである。ここでは、前報「グルテンフリー食品用の各種素材 (1)」につづいて述べる。

非穀物成分

イヌリン

イヌリンは、フラクトースのポリマーで可溶性プレバイオテックスファイバーとして機能する。チコリ根から取られるが、イヌリンはグルテンフリーパンの容積、テクスチュア、シェルフライフを改良し²⁶⁾、グルテンフリーケーキの品質と栄養面を改良し²⁷⁾、さらにグルテンフリーパスタには低レベルで用いると制限付きで成功する²⁸⁾。

イヌリンは、マルトデキストリンのようにすべて栄養的価値がある。例えばそれは消化器にとって必要な栄養素 (macronutrient) である繊維が、プレバイオテックスとして消化器底部内で価値あるバクテリアの成長を促進する。プレバイオテックスの規則的利用は、体の金属吸収の増加を示し、それはセリアック病を持つ人の栄養として、もう 1 つ別の重要な意味をもつ²⁹⁾。

イモ類

イモはエネルギーと栄養の貯蔵構造体であり、植物自体の生存に必要なものである。タピオカ、ジャガイモは一般的な例である。これらのイモのデンプンは普通、グルテンフリー食品によく用いられる。デンプンは、生のジャガイモ、あるいはタピオカのイモをつぶし、フィルターにかけるか遠心分離して、繊維、タンパク質を除き、次に乾燥して得られる。とれたデンプンは光輝く白い粉である。ジャガイモとタピオカデンプン粒は他のデンプンより低温で膨潤し、結晶性を失う (即ち糊化する)。この性質はイモデンプンがグルテンフリー粉の構成成分として都合のよいものである。これらのデンプンはベーキング前は低粘度であるが、オープン中において小麦を基本とする食品よりも早く粘度が生じ、これは有用な性質である。一般のジャガイモデンプンは、タピオカデンプンより粘度が高く、粘弾性の高いゲルをつくる。

ジャガイモ粉は、砕いた全ジャガイモをドラム乾燥し、その後粉状サイズまでくだいて調理したものである。ジャガイモ粉のデンプンはまだ未糊化であり、ベーキングしたものの中のジャガイモデンプンの様な機能はまだない。粉はただちに粘度を示し、高レベルではグルテンフリー食品に悪い影響を与えるが、ベーカリー食品にフレーバーとしっとり感を与えるので用いられる。ジャガイモ粉は標準的なこまかな粒子で得られる。

マメ

マメとは植物の大きな部門を指すが、植物の再生構造（実と種子）を指している。マメ、レンズマメ、ルピナス、エンドーマメ、ピーナッツは全てグルテンフリーであるが、幾つかはアレゲンである。ピーナッツ、大豆、ルピナスの仕込み利用時には、注意深く考える必要がある。栄養的にはレンズマメ粉は、高タンパク質、繊維、金属含量である。大豆、ピーナッツは、ほとんどの豆と異なりより高含量の油（Oil）含量を示す：各々 18-48%¹⁾。これらの物の多くはベーカリー食品にマメの悪臭を与える。このため他のグルテンフリー粉とブレンドするとき、利用レベルも制限される。

大豆粉はグルテンフリーベーカリー食品のテクスチャ改良にいい効果を与え、特にグルテンフリーパンの場合、大豆粉は低脂肪（Fat）、低糖含量のため消費者に大きな期待を持たせるチャレンジである。全脂質と酵素活性大豆粉が、テクスチャ改良に効果を示し、グルテンフリーパンのクラムを柔らかくしてシェルフライフを伸張し、ずっと通して水分含量の増加に寄与した^{30, 31)}。これに比べ、これらの長所は酵素不活性化した脱脂大豆粉では示されない。これらの研究は元々の大豆粉中の酵素、大豆タンパク質が製品品質を高めるのに効果がある事を示している。

非穀物タンパク質

タンパク質はグルテンフリーベーカリー食品

やスナック中で多くの機能をもつ。しばしばグルテンフリー穀物以外のタンパク質も仕込み中に添加される。これらのタンパク質は、グルテンの示す粘弾性ガス保持品質を与えるものではないが、栄養的強化、乳化力、クラムの柔らかさ、フレーバー、シェルフライフ伸長を与える目的で添加されるものである³²⁾。マメタンパク質に加え、さらに以前のセクションで述べたように、いろいろな非穀物タンパク質、その中には牛乳、卵も含まれるがグルテンフリー仕込み中に見られる。一般的なタンパク質ではないが、グルテンフリー食品に用いられ、あるいはテストされるようなものにカノーラ（canola、西洋アブラナ）やカロブ（carob、イナゴマメ）、いも等のタンパク質がある。最近市販のタンパク質でジャガイモから分離されたユニークなアワ形成、ゲル形成能を持つタンパク質が菜食主義者のグルテンフリー仕込みに用いられている。

非穀物タンパク質の栄養品質は、アミノ酸組成、消化性によってテストされる。The Food and Agriculture Organization and World Health Organization (FAO/WHO) と FDA が採用され、これをタンパク質スコア（PDCAAS）の品質決定の望ましい方法とした³³⁾。この方法はカナダでは用いられていない。カナダでは”Determination of Protein Pating” メソッド F0-1 を用いて、良好で上等なタンパク質要求性試験としている。PDCAAS は、リフェレンスとなるアミノ酸プロフィールに対し、小麦グルテンのようなタンパク質のアミノ酸組成を比較するものであり、学校に入る前の子供が示すような消化後のアミノ酸要求性を実現するものである。最も高い PDCAAS 値 1.0 は、完全なアミノ酸組成を持つタンパク質で得られ、高い消化性を示す³³⁾。ホエー、カゼイン、卵の様なタンパク質は 1.0 の値を与える。グルテンには幾つかの制限アミノ酸があり、他のタンパク質の様に消化性が良くなく、その結果 PDCAAS は 0.25 であり、全小麦タンパク質の 0.42 より低い³⁴⁾。PDCAAS 値の小麦グルテンと全小麦の間の値の違いは、全小麦中の胚芽、ふすまのタンパク

質の品質のせいである。もっと最近利用されている植物性タンパク質材料、分離されたものの多く、例えばジャガイモなどからのものは、消化性がよくアミノ酸組成もいいが、グルテンのユニークな機能性を欠いている。

セリアック的に安全で、粘弾性と糸状の塊を持つタンパク質の同定は、研究者、グルテンフリー食品仕込み作成者にとり、つかみ所のないものとされて来た。最近の進歩はグルテンフリー食品の仕込みに粘弾性のある特徴を与えることができたと報告があったが、それとて一般利用されるようになるまでのニュースだが。その進歩とは、コロイドタンパク質粒子がデンプンと混合された時、タンパク質に連続ネットワークが形成された点である³⁵⁾。

酵素

酵素はベーカリー食品改良に有用な触媒反応をするタンパク質である。これらの目的に、容積の増加、テクスチュアの改良、シェルフライフの増加がある。酵素は材料中そのまま(endogenous enzymes)、または特別な比活性を持つ様に調整されたもの(exogenous enzymes)として添加されるものがある。小麦粉ベースのベーキング食品には多くの酵素の利用記録があるが、グルテンフリーベーカリー食品にはその利用の歴史は比較的新しい。これまでのベーカリーでは、デンプン、タンパク質への焦点に酵素の第一の関心があった。グルテンフリー食品の進歩の中では、他の活性、たとえばハイドロコロイドの機能に関心がある。酵素の効果は、グルテンフリー粉の組成、加工期間、加工条件に影響する。

グルテンフリーベーカリー食品において酵素利用が向けられる焦点のほとんどは、グルテンフリーパンのテクスチュア改良とシェルフライフ改良であり、目標の小麦パンがあるだけに最も難しい点がある。グルテンフリー食品の仕込みに酵素を用いる時、仕込み作成者はその酵素を取り出した源がグルテンフリーであるかどうか酵素供給者に確かめることが極めて大切だ。

ある酵素供給者は、小麦あるいはグルテンを含む穀物、例えば大麦のようなものから取り出している。

α -アミラーゼ

α -アミラーゼは普通、ベーカリー食品の保存性を良くするために用いられ、そこではベーキングされたデンプンはデキストリンに変化する。それはデンプンの分解物である。これらのデンプンのフラグメントは、デンプン-タンパク質と相互作用と関係し、パンの堅さを変化させる³⁶⁾。 α -アミラーゼはカビ源からもバクテリア源からも得られ、それらは最終食品に変化を与える。カビアミラーゼはベーキング中の不活性化し、一方バクテリアのアミラーゼは熱に耐性があり、残った活性は保存性をあげる。バクテリアのマルトース化アミラーゼ(Maltogenic amylase)は特に関心がもたれ、それは本酵素がデンプンの老化、あるいは β 化の時に関係する糖を生産している間もデンプン構造の多くを維持し、その結果、グルテンフリーベーカリー食品に乾いた柔らかいクラム構造を与えることができるからである。

Cyclodextrin Glycosyltransferase (サイクロデキストリン グルコシルトランスフェラーゼ)

この酵素をグルテンフリーパンに使う目的は、この酵素のもつ幾つかの特徴に基づくためである。この酵素の最も興味深い点は、デンプンを加水分解しデキストリンをつくること、そしてできた直線状デキストリンをサイクロデキストリンと呼ばれるリング状構造にすることである。この酵素でできるサイクロデキストリンはドーナツ構造をとり、疎水性がその構造の内側を、親水性が外側をむく。この構造は、脂質やタンパク質と複合体を作り乳化性を示す。この酵素によりグルテンフリーパンの容積、形、テクスチュアの改良がすすむと報告された³⁷⁾。サイクロデキストリンは脂質と結合し、疎水性タンパク質と相互作用してより安定な膜形成能をもつ。改良された膜形成能はバターやドウのガス保持能をよくす

ると言われている。

Sugar oxidases (シュガーオキシダーゼ)

シュガーオキシダーゼは、伝統的なベーカリー食品中のグルテンネットワークを強化するのに用いられるが、グルテンフリー食品ではガス保持能の改良に用いられる。シュガーオキシダーゼ、例えばグルコースオキシダーゼあるいはヘキソースオキシダーゼ等は、酸素の存在下、糖を酸化してハイドロゲンパーオキサイドをつくりラクトン型に変える。できたハイドロゲンパーオキサイドはベーキング過程で安定なSS結合をつくり、架橋タンパク質を作る。ある研究では、米粉ベースのパンがハイドロゲンパーオキサイド形成によるポテンシャルな効果を示し、グルコースオキシダーゼ添加でパンの比容積、テクスチュアが改良し、ハイドロコロイドを低下するとシェルフライフの増加、ガス保持性の改良がみられた³⁸⁾。もう一つのわかりやすい研究では、グルコースオキシダーゼによりとうもろこし、ソールガムベースのパンの比容積を増加し、一方ソバ、テフベースのパンでは容積の増加を示さなかった³⁹⁾。この研究ではパンにハイドロコロイドが添加されなかったの、酵素の純粋な効果が観察された。

Laccase (ラッカーゼ)

シュガーオキシダーゼ同様、ラッカーゼも架橋タンパク質による大きなネットワークでグルテンフリードウやバター中にガス保持構造を作る力があつた⁴⁰⁾。

Transglutaminase (トランスグルタミナーゼ)

トランスグルタミナーゼは、タンパク質中に見出されるアミノ酸、L-lysine と L-glutamine 間の架橋を作る酵素である。これらの架橋を作ることでレオロジーや機能が修正されより大きなタンパク質のネットワークを作る。グルテンフリー食品への応用では、この酵素はガスホールデング性を改良するような構造を作る力があり、改良されたグルテンフリー食品の最終的テ

クスチュアには興味深いものがある⁴¹⁾。

ある研究では、トランスグルタミナーゼの影響を6種の異なったグルテンフリー穀物(玄米、ソバ、コーン、オート、ソールガム、テフ)を使った製パン試験で評価した。そこでは米粉、そば粉パンで改良されたパンベーキング特性、例えば全体の見てくれの効果が示された⁴²⁾。これらの改良は、オート、ソールガム、テフ粉パンでは認められなかった。トランスグルタミナーゼで米タンパク質の機能の改良されたことが、ハイドロコロイドを用いたグルテンフリーパンで報告された。この研究はトランスグルタミナーゼを含んだ米パン中の米タンパク質が重合化し、そのときハイドロキシプロピルメチルセルロースとも関係してパンの比容積の増加とクラムのソフト化に貢献した⁴³⁾。

トランスグルタミナーゼはセリアック反応の一部関連物質であり、多少アイロニー的であるがトランスグルタミナーゼは非グルテンタンパク質の重合化、あるいは架橋化を通じてグルテンフリーパンのテクスチュア改良の1方法と評価されている。ある胃腸学者はトランスグルタミナーゼの利用に関心をもち、ペプチドのフラグメントをより反応性の高い物に変え、小腸のバリアーを通過させようとしている^{44,45)}。我々がセリアック病患者用に次ジェネレーションのグルテンフリー食品を考えると、食品科学と消化器病学とは上塗りせねばならない。

Gums/Hydrocolloids (ガム/ハイドロコロイド)

グルテンフリーブレンドの構成は、グルテンフリー粉、デンプン、タンパク質成分からなり、効果的なガス保持能をもつ粘弾性を欠いた構成である。このためハイドロコロイドと呼ばれる水溶性ポリマーが、水系バターあるいはドウのガス保持能を改良するために使われる。最近使われるハイドロコロイドは、小麦粉に比べて非小麦粉パンを作るのに必要なこの機能はずっと小さいのであるが、仕込み製作者は他にいいものがないために、ハイドロコロイドシステムを最も良いものとして使っている。ハイドロコ

ロイドは、またグルテンフリーベーキングの品質に必要な2つの大切な機能を与える；水分保持能とデンプン老化の抑制である。

ハイドロコロイドは本質的には長鎖の糖からなり、多糖類と呼ばれる構造に入る。この定義から、デンプンを含む多くの材料はハイドロコロイドである。殆どの多糖ベースのハイドロコロイドには消化抵抗性があり、胃腸中では糸のような性質で、デンプンとは違い、グルコース糖にメーキャップされてから消化される。ハイドロコロイドはまたアミノ酸の鎖からなり、消化されるときはゼラチンの場合の様にである。ガムとハイドロコロイドはいろいろな源からくるが、その中には植物抽出物（ペクチン）、植物残渣あるいは抽出物（アラビアガム、アカシアガム）、海藻（寒天カラギーナン、アルギン酸）、微生物発酵物（キサンタン、ゲラン）、動物起源（ゼラチン）がある⁴⁶⁾。ハイドロコロイドは濃厚な水懸濁液だが、しかし全てのハイドロコロイドがゲルというわけではない。ゲル構造はグルテンのもつ特徴と分ける；それらは粘弾性である。一般に言われるようにゲルはハイドロコロイド粒子のネットワークであり、液体媒体中で非常に薄いスポンジ状に伸張する。本質的にはゲルはゼリー状個体だが、それは高濃度液体を含む個体よりも液体に近い。ゲルは典型的には熱可逆的であり、高温では可溶で、ベーカリー食品中では不安定さを導く。この理由のため、例えばメチルセルロース、ハイドロオキシプロピルメチルセルロースのようなハイドロコロイドが盛んに研究されるのは、加熱時に異常なゲル形成の性質を示すためである。

ハイドロコロイド同士を組み合わせると、同様のレベルで別々に使われる時以上に強い粘度増加、あるいはより強いゲル化が示される事がある。この効果のことを“シネルギー”、とか“シナジスト効果”と言っている。

グルテンフリーベーカリー製品で使われる一般的なハイドロコロイドの評価を以下のべる。例は決して多くない。性質曖昧で高価なハイド

ロコロイドはあるが、その多くは加工が必要で、簡単に一般的なベーカリー製品と纏めることはできない。これまでグルテンフリーベーカリー食品の合成粉で使われた材料例を以下述べる。

高金属含量の成分：

- ・アマランス
- ・ソバ
- ・マメ
- ・ヒエ
- ・キノア
- ・テフ

高繊維を与える成分：

- ・全グルテンフリー穀物粉
- ・ハイドロコロイド
- ・イヌリン
- ・マメ

Xanthan（キサンタン）

恐らくグルテンフリーベーキングで最も広く用いられているハイドロコロイドとは、キサンタンガムであろう。バクテリア、*Xanthomonas campestris* の発酵で生産されるもので、キャベツの葉で初めて同定された。その価格の安さ、匂いのないこと、低温での溶解性、広範囲の温度下、pH 域での安定性、長期間保存しても安定である等、多くの長所がある。キサンタンは、ローストビンガム、グアガムとシナージェスチックの關係にあり、そのことは食品中のハイドロコロイド量の低下を可能とする。もう一つ加えられる長所は、冷凍・解凍サイクルの間、キサンタンは水のコントロールを可能としてくれることであり、それは多くのグルテンフリー食品が冷凍販売システムで市販されているため食品中の水のことを考慮せねばならぬからである。キサンタンは、粒子のいろいろちがう形態で利用されているが、それが水和のスピードに影響を与えるためだ。さらにレオロジーの性質を変えたキサンタンガムが利用されている。

種子からの（Gum）ガム

グアガムとローストビンガムも一般にグルテンフリー食品仕込みに使われる。タラガムはグ

ルガムの値段があがる事から関心がひかれたものであり、タラの水和の性質がグアとローストビンガムの水和の中間的な性質であることに関心がひかれてきた。グア、タラ、ローストビンガムはガラクトマンナンとして知られるハイドロコロイドである。名前が示すようにガラクトマンナンは2つの糖：ガラクトースとマンノースのポリマーである。ガム間の糖の比率の違いがガムの性質のはっきりした違いになっている。グアはマンノース-ガラクトース比が約2:1で、タラ、あるいはローストビンガムより高度の分枝構造を持っている。そこでグアガムは冷水に溶け、ぬるっとした粘性を示す。ローストビンガムのマンノース-ガラクトース比は約4:1で、分枝構造は小さい。このガムは完全に水和するのに加熱が必要で、加工食品はサクサクする食感を示す。タラガムの比率は3:1で、多少グアとローカストビンガムの間の性質を示

す。これらガラクトマンとキサンタンとの利用が一般的なのはシナーギスト効果が生じるためだ。

Cellulose-Derived Hydrocolloids（セルロース誘導ハイドロコロイド）

セルロース誘導ハイドロコロイドには、カルボキシメチルセルロース、ハイドロキシプロピルセルロース（HPC）、ハイドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC）、メチルセルロース（MC）、微結晶セルロースがある。これらのハイドロコロイドは、元々天然の材料セルロースにもとづいてはいるが、修飾され元の物とはちがう。HPC, HPMC, MCはグルテンフリーベーキングに有用な変わった性質がある：加熱でゲル化するが、冷却すると可溶化する。グルテンフリーベーカリー食品の研究から、この性質の有用である事がはっきりした^{32, 42, 47)}。

参考文献

1. McGee, H. 2004. On Food and Cooking; The Science and Lore of the Kitchen. Scribner, New York.
2. HEALTHGRAIN Consortium 2010. Definition. http://www.healthgrain.org/webfm_send/44
3. Hager, A., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., and Arendt, E. K. 2012. Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared with wheat flours. *J.Cereal Sci.* **56**:239-247. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.005>
4. Hoover, R., Sinnott, A. W., and Perera, C. 1998. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grains. *Starch/Staerke* **50**:11-12.
5. Qian, J., Rayas-Duarte, P., and Grant, L. 1998. Partial characterization of buckwheat(*Fagopyrum esculentum*) starch. *Cereal Chem.* **75**:365-373.
6. Acquistucci, R., and Fornal, J. 1997. Italian buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch: Physico-chemical and functional characterization and *in vitro* digestibility. *Nahrung* **41**:281-284.
7. Beleia, A., Varriano-Marston, E., and Hosney, R. C. 1980. Characterization of starch from pearl millets. *Cereal Chem.* **57**:300-303.
8. Atwell, W. A., Patrick, B. M., Johnson, L. A., and Glass, R. W. 1983. Characterization of quinoa starch. *Cereal Chem.* **60**:9-11.
9. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26. 2013. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
10. Cargill, Inc. Maizewise MW 102-010 corn meal nutritional data sheet. Updated May 20, 2011.
11. Atwell, W. A., and Thomas, D. J. 1999. Starch modifications. Pages 31-48 in: Starches. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
12. Wiczak, M., Korus, J., Ziobro, R., and Juszczak, L. 2010. The effects of maltodextrins on gluten-free dough and quality of bread. *J. Food Eng.* **96**:258-265.

13. USDA. 2013. Policy memo SP 02-2013. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
14. Schober, T. J., Moreau, R. A., Bean, S. R., and Boyle, D. 2012. Removal of surface lipids improves the functionality of commercial zein in viscoelastic zein-starch dough for gluten free breadmaking. *J. Cereal Sci.* **52**:417-425.
15. Lorenz, K., and Hwang, Y. S. 1986. Lipids in proso millet (*Panicum miliaceum*) flours and brans. *Cereal Chem.* **63**:387-390.
16. Chandrasekara, A., and Shahidi, F. 2010. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* **58**:6706-6714.
17. Thompson, T. 2003. Oats and the gluten-free diet. *J. Am. Diet. Assoc.* **103**:376-379.
18. Hoffenberg, E. J., Haas, J., Drescher, A., Barnhurst, R., Osberg, I., Bao, F., and Eisenbarth, G. 2000. A trial of oats in children with newly diagnosed celiac disease. *J. Pediatr.* **137**:361-366.
19. Kempainen, T. A., Heikkinen, M. T., Ristikankare, M. K., Kosma, V.-M., and Julkunen, R. J. 2010. Nutrient intakes during diets including unkilned and large amounts of oats in celiac disease. *Eur. J. Clin. Nutr.* **64**:62-67.
20. Asif, M., Rooney, L. W., Acosta-Sanchez, D., Mack, C. A., and Riaz, M.N. 2010. Uses of sorghum in gluten-free products. *Cereal Foods World* **55**:285-286.
21. Rooney, L. W., and Serna-Saldivar, S. O. 2000. Sorghum. Pages 152-153 in: Handbook of Cereal Science and Technology, 2nd ed. K. Kulp, ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
22. Wrigley, C., Corke, H., Walker, C. E. 2004. Encyclopedia of Grain Science. Elsevier Academic Press, Waltham, MA.
23. Awika, J. M., McDonough, C. M., and Rooney, L. W. 2005. Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. *J. Agric. Food Chem.* **53**:6230-6234.
24. Frolich, W., and Aman, P. 2010. Whole grain for whom and why? *Food Nutr. Res.* **54**:5056.
25. Goldman, I. 2012. Five things everyone should know about quinoa. *Grow Magazine* **5**(3):10.
26. Juszczak, L., Witeczak, T., Ziobro, R., Korus, J., Cieřlik, E., and Witeczak, M. 2012. Effect of the inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydr. Polym.* **90**:353-360.
27. Gulate, M. A., de la Hera, E., Gómez, M., and Rosell, C. M. 2012. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Sci. Technol.* **48**:209-204.
28. Mastromatteo, M., Iannetti, M., Civica, V., Sepielli, G., and Del Nobile, M. A. 2012. Effect of the inulin addition on the properties of gluten-free pasta. *Food Nutr. Sci.* **3**:22-27.
29. Abrams, S. A., Griffin, I. A., Hawthorne, K. M., Liang, L., Gunn, S. K., Darlington, G., and Ellis, K. J. 2005. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *Am. J. Clin. Nutr.* **82**:471-476.
30. Clement, J. 2011. Composition for preparing improved gluten-free or gluten-reduced bakery products. U.S. patent application 20110117246.
31. Ribotta, P. D., Ausar, S. F., Morcillo, M. H., Pérez, G. T., Beltramo, D. M., and León, A.E. 2004. Production of gluten-free bread using soybean flour. *J. Sci. Food Agric.* **84**:1969-1974.
32. McCarthy, D. F., Gallagher, E., Gormley, T. R., Schober, T. J., and Arendt, E. K. 2005. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chem.* **82**:609-615.
33. Schaafsma, G. 2000. The protein digestibility-corrected amino acid score. *J. Nutr.* **130**:1865S-1867S.
34. Hoffman, J. R., and Flavo, M. J. 2004. Protein -Which Is Best ? *J. Sports Sci. Med.* **3**:118-130.
35. Van Riemsdijk, L. E., and Van Der Goot, A. J. 2011. Colloidal protein particles can be used to develop a gluten-free bread. *Cereal Foods World* **56**:201-204.
36. Martin, M. L., and Hoseney R. C. 1991. A mechanism of bread firming. II. Role of starch-hydrolyzing enzymes. *Cereal Chem.* **68**:503-507.
37. Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., and Rosell, C. M. 2003. Effect of cyclodextrin glycosyl transferase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J. Agric. Food Chem.* **51**:3814-3818.
38. Gujral, H. S., and Rosell, C. M. 2004. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Res. Int.* **37**:77-81.
39. Renzetti, S., and Arendt, E. K. 2009. Effects of oxidase and protease treatments on the breadmaking functionality of a range of gluten-free flours. *Eur. Food Res. Technol.* **229**:307-317.

40. Selinheimo, E., Autio, K., Kruus, K., and Buchert, J. 2007. Elucidating the mechanism of laccase and tyrosinase in wheat bread making. *J. Agric. Food Chem.* **55**:6357-6365.
41. Renzetti, S., Dal Bello, F., and Arendt, E. K. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.* **48**:33-45.
42. Gujral, H. S., and Rosell, C. M. 2004. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *J. Cereal Sci.* **39**:225-230.
43. Cabrera-Chávez, F., Rouzaud-Sáñez, O., Sotelo-Cruz, N., and Calderón de la Barca, A. N. 2008. Transglutaminase treatment of wheat and maize prolamins of bread increases the serum IGA reactivity of celiac disease patients. *J. Agric. Food Chem.* **56**:1387-1391.
44. McKeown, N. M., Jacques, P. F., Seal, C. J., de Vries, J., Jonnalagadda, S. S., Clemens, R., Webb, D., Murphy, L. A., van Klinken, J. W., Topping, D., Murray, R., Degeneffe, D., and Marquart, L. F. 2013. Whole grains and health: From theory to practice - Highlights of the Grains for Health Foundation's Whole Grains Summit. *J. Nutr.* **143**:744S-758S.
45. Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., and Arendt, E. K. 2006. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem.* **83**:28-36.
46. Pyler, E. J., and Gorton, L. A. 2009. Micro ingredients. Chapter 2, part C in: Baking Science and Technology. Sosland Publishing, Kansas City, MO.
47. Anton, A. A., and Artfield, S. D. 2008. Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **59**:11-23.
48. Allen, L., de Benoist, B., Dary, O., and Hurrell, R., Eds. 2006. Guidelines on Food Fortification with Micronutrients. World Health Organization Press, Geneva, Switzerland.

白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸
カルシウム
とは？

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

分散性・混合性に優れたものや、飲料用として
沈殿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
お気軽にお尋ねください。

 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 TEL03-3863-8913
本 社：大阪府北区中之島2-2-7 TEL06-6231-8265

ポテトプロテインを原料とした 醤油風味調味料の製品化

奥水 誠 (KOSHIMIZU Makoto)

コスモ食品株式会社

連絡先

〒103-0001

東京都中央区日本橋小伝馬町 12-2 東屋ビル 8 階

TEL:03-3249-0390 FAX:03-3666-2165

Mail:headoffice@cosmo-foods.co.jp

URL:www.cosmo-foods.co.jp

はじめに

馬鈴薯は主に北海道で生産され、食品としての用途として「生食用」「でん粉用」「加工食品用」の3つに分けられる。その中で、「でん粉用」の馬鈴薯がでん粉に加工される際に、副産物として搾汁液（ポテトジュース）を得られるが、通常、使用されることはなく廃棄されている。しかし、この搾汁液の中にはタンパク質が少なからず含まれており、資源としての利用が考えられる。

当社では、「未利用資源の有効活用」という経営理念のもと、この搾汁液を乾燥させたポテトプロテインを原料に、植物蛋白加水分解物（HVP）系調味料を各種製造しているが、その中でも新しく開発を行った、醤油風味調味料について述べたい。

1. 馬鈴薯について

馬鈴薯は北海道の主要な作物の1つである。農林水産省の「平成28年産春植えばれいしょの作付面積、収穫量及び出荷量」によると、平成28年産馬鈴薯は、全国で約216万トンの収穫があったが、そのうち約80%の171万トンが北海道で収穫されている。そして、北海道で収穫されたうち約75万トンが「でん粉用」の馬鈴薯として使用されている。そのため、澱粉に加工する工程で得られる搾汁液（ポテトジュース）は膨大な量となり、ほとんどが使用されることなく廃棄されている。生の馬鈴薯中には、約2%のタンパク質が含まれている。「でん粉用」の馬鈴薯の使用量から単純に計算しても、約1.5万トンの馬鈴薯由来のタンパク質が廃棄されていることになる。

当社では、搾汁液中のタンパク質を有効に利用するために、この搾汁液を精製・乾燥したものをポテトプロテインとして、主にHVP系の調味料の原料に使用している。

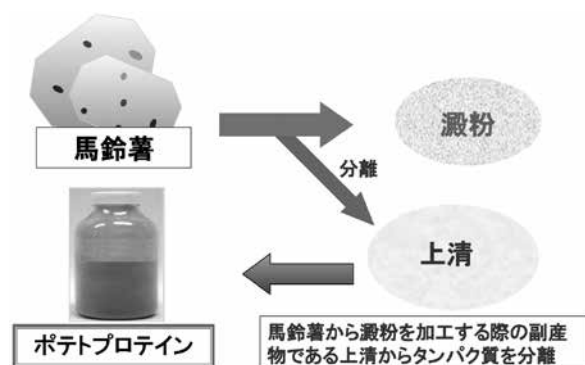


図1 馬鈴薯からポテトプロテインの製造概略

2. 調味料原料としてのポテトプロテインの特長

醤油を含めた多くの調味料の原料としては、主に大豆や小麦、とうもろこしなどが挙げられるが、当社で製造する調味料の原料が馬鈴薯であることの特長を述べたい。

1 つめに、馬鈴薯は現在のところ「アレルゲンフリー」である。現在、市場に流通している調味料や醤油には大豆や小麦を原料としているものが多く、これらの調味料を使用した場合、特定原材料の表示をしなければならない（小麦：表示必須，大豆：表示推奨）が、馬鈴薯が原料の場合、こうした表示の必要はない。

食物アレルギーについては、近年、小児において発症が増加しており、醤油にも使用されていることがある小麦は、症例数の多い特定原材料7品目の1つであり、醤油を使用したいと思っても、小麦アレルギーを持っている消費者にとっては使用することは難しいが、馬鈴薯が原料であると心配なく使用することができる。

2 つめに、馬鈴薯は遺伝子組み換え表示の対象作物であるが、当社で使用している原料の馬鈴薯は、「北海道産」に限定しており、遺伝子組み換えを行っていない原料を使用しており「nonGMO」表示ができる。

3 つめの特長は、馬鈴薯のタンパク質は、味の重要な要素であるアミノ酸の組成が大豆に近く、大豆を使用している醤油などの調味液と、味、中でも旨味が類似している。

特に今回製品化した醤油風味調味料の場合、上記1つめの特長である「アレルゲンフリー」の市場では様々なアレルゲンフリーの醤油風味調味料が商品化されているが、醤油様のものは少ない。一方、アミノ酸の組成が大豆に近い馬鈴薯を原料として使用した当社の醤油風味調味料の風味は、より醤油に近く、醤油の代替として十分使用が可能である。

これらの特長で、食品原料として制約がなく、おいしいものを求める消費者や食品メーカーのニーズに応えている。

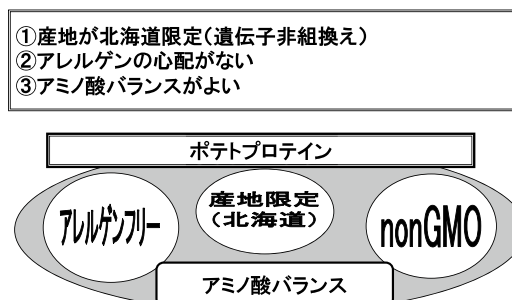


図2 馬鈴薯原料の特長

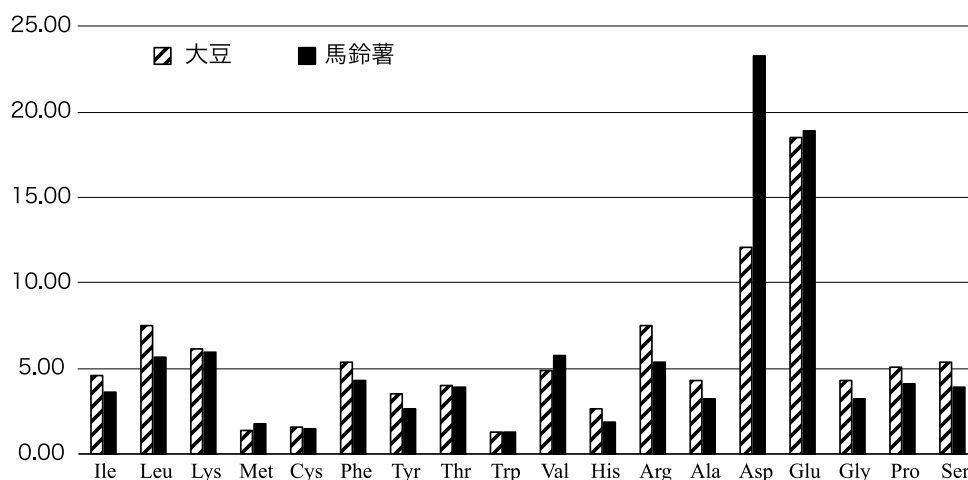


図3 大豆と馬鈴薯のアミノ酸バランス

3. 当社の醤油風味調味料「ポテト醤油」

3-1. 製造方法

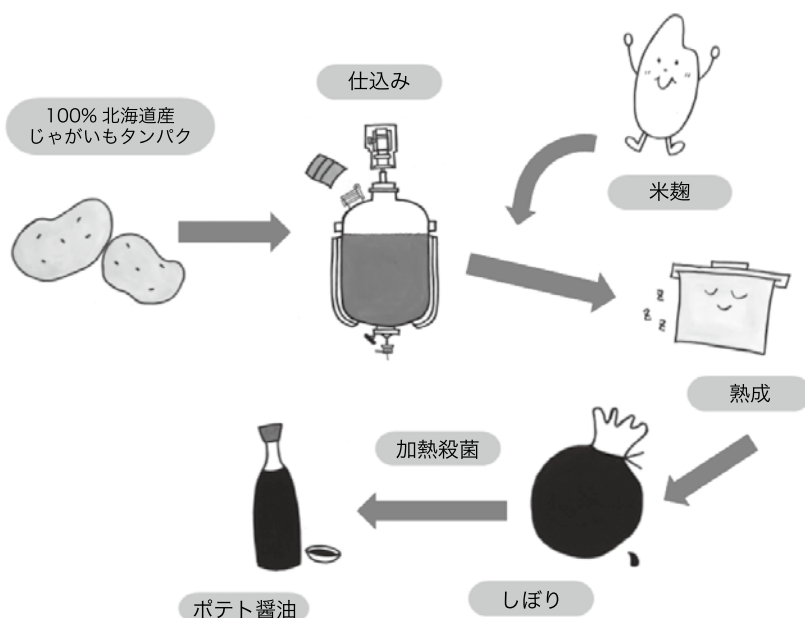


図4 ポテト醤油の製造工程

当社では、馬鈴薯タンパク質を原料として酸加水分解型の調味料（たんぱく加水分解物やHVPなどと呼ばれている）を製造しているが、通常、酸を用いて加水分解を行うと、タンパク質がアミノ酸まで分解されてしまい、アミノ酸特有の風味を出すことはできるが、醤油のような濃厚な風味を出すことが難しい。また醤油のように、麴等を用いて発酵させると、醤油様の風味を出すことはできるが、発酵熟成までに多大な時間を要することになる。

今回の醤油風味調味料「ポテト醤油」は、当社の酸を用いた分解技術と、麴や酵素を用いた発酵技術をコラボレーションさせて製造しており、より短期間の発酵熟成期間で、醤油に近い風味を出すことに成功した。発酵熟成後は、醤油と同様にろみから固液分離して、醤油と近い全窒素分、食塩分に成分調整をして製品にする。

3-2. 風味

市販の醤油とポテト醤油を味覚センサー（株）インテリジェントセンサーテクノロジー社製 味認識装置 TS-5000Z）で分析し比較を行った結果を図5に示す。

この結果から、ポテト醤油は市販の醤油と違いが感じられるほど旨味が高く、またコク味として感じられる苦味雑味、渋味刺激

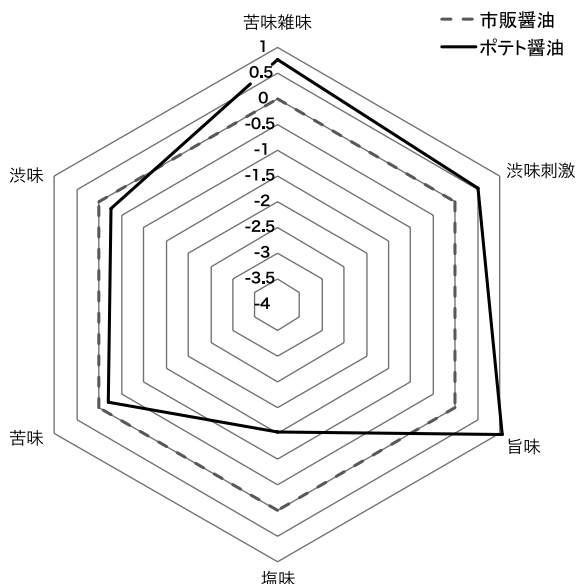


図5 ポテト醤油の市販醤油との比較

激も市販の醤油と比べると高い結果となった。また、塩味に関しては、市販の醤油と比べると低くなっており、口にいった際の塩カドも軽減されている結果となった。

当社の味覚センサーでは比較分析が行えなかったが、ポテト醤油は麴由来の甘味も強く持っており、九州地方で使用されているような甘口醤油の風味を、砂糖を添加せずに呈している。用途としては、醤油の代替として十分使用できるが、甘口の呈味を利用して煮物や刺身醤油の代替としての使用が適合していると思われる。今後、いろいろな食品への用途を模索していきたい。

おわりに

当社では、馬鈴薯由来のタンパク質を原料に様々な調味料を製造しているが、日本で馬鈴薯由来のタンパク質から調味料を製造している会社は他になく、また馬鈴薯を原料とした3つの特長「アレルギーフリー」「nonGMO」「大豆に近いアミノ酸組成」を持った調味料を製造・販売することにより、消費者のニーズに込えている。今後も経営理念である「未利用資源の有効活用」を軸に、より安心で安全な製品を市場に提供することで社会に貢献していきたいと考えている。

次世代の健康食品素材 PQQ

池本 一人 (IKEMOTO Kazuto)*

* 三菱ガス化学株式会社 新潟研究所

Key Words：ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩 PQQ BioPQQ エネルギー産生 抗酸化機能

はじめに

ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩 (PQQ) は微生物の酵素に含まれる補酵素ピロロキノリンキノンを精製し、水溶性塩として単離したものである。酵素の活性部位として働き、酸化還元を行う分子として重要な役割を果たしている。ピロロキノリンキノンは自然界では微生物が一次生産していると考えられており、ピーマン、パセリ、キウイ、納豆、お茶、母乳に含まれている。日常的にヒトはPQQ およびその誘導体を 0.1-1.0mg/day 摂取していると考えられている。三菱ガス化学株式会社は発酵法によって世界に先駆けてピロロキノリンキノン二ナトリウム塩 (PQQ) を製品化 (BioPQQ) した。

現在、BioPQQ は米国 FDA より New Dietary Supplements に認められ、日本では厚生労働省の個別照会によりサプリメント原料として使用可能である。この製品に関して基礎研究、臨床試験が行われ、多くの機能が報告されている。今回、最近のトピックを含め、基礎、臨床研究の主だったものを紹介する。

1. 機能に関する概況

PQQ は脳機能改善、抗酸化作用、ミトコンドリア新生を代表的機能とする物質である。学術的には抗酸化、エネルギー産生、細胞増殖因

子 (様) を代表としている。特にエネルギー産生、抗酸化機能は脳機能とのかかわりが大きい。PQQ の機能について表 1 にまとめを文献とともに示す¹⁻¹⁴⁾。研究の概況はレビューにもまとめられている¹⁵⁾。

特に脳機能向上は米国で注目され、使用されている。記憶力、認知、気分や睡眠は高齢者の大きな問題であり、改善機能を有している。肌の乾燥、白内障を防ぐ効果がある。血糖値、脂質、尿酸の内分泌のマーカ改善も有している。PQQ 摂取が寿命を延ばす機能が見いだされ、全身の健康に有益であることが判った。また、ラット

表 1 PQQ の機能

部位	機能	文献
全体	寿命延長	1
細胞	エネルギー代謝向上	2
	ミトコンドリア増加	3
	ミトコンドリア活性化	4
	抗酸化	5
脳	増殖因子	6
	記憶力改善	7
	認知機能	8
	気分、睡眠向上 (ストレス解消)	9
皮膚	乾燥防止	10
目	白内障防止	11
内分泌	血糖値改善	12
	脂質改善	13
	尿酸値改善	14

で PQQ の欠乏症、新規ビタミンの可能性が指摘された。ヒト細胞において PQQ 結合タンパクが見つかり、栄養成分として基本的な成分である可能性が示されている。

2. 寿命延長

(老化抑制)

寿命研究の標準モデルである線虫 *C. elegans* を使って寿命試験が行われた。PQQ を与えることで平均寿命が 30% 以上延びた。図 1 に線虫と生存曲線をしめす。PQQ の濃度依存的に生存率が上がり、5mM で最大になった。寿命延長が生じている。老化を抑制する働きがある。この寿命延長効果のメカニズムはこれまで知られていた寿命延長のメカニズムと異なり、NADPH オキシダーゼを活性化していることが判明した。また、ヒト型酵素の発現系においても PQQ が活性化していることが明らかになった。寿命延長という究極のアンチエイジングに有効であったことは非常に興味深い。この結果は老化に伴う機能低下に対して PQQ が効果を発揮する可能性を示している。

3. エネルギー代謝

(乳酸脱水素酵素活性化)

ヒト細胞中に含まれる PQQ 結合性のタン

パクの解析より、乳酸脱水素酵素と結合することが明らかになった。乳酸脱水素の活性は PQQ が存在することで上昇する。乳酸脱水素酵素は乳酸から NAD へ水素を受け渡している。PQQ 添加により ATP 産生は上昇し、PQQ が代謝を向上させる効果があることを示している。結合タンパクが見つかったことは PQQ が重要な栄養成分として働いていることを示している。

(ミトコンドリア)

ミトコンドリアはエネルギーを作り出す重要な細胞内小器官である。ミトコンドリアの活性低下は多くの疾患原因になると考えられている。PQQ の欠乏と補給したラットを比較すると、PQQ 補給ラットでは肝臓のミトコンドリア量が上昇する。ミトコンドリア新生の制御を担っている PGC-1 α など一連の遺伝子の発現が上昇することが示されている。また、ヒト尿中の TCA サイクル代謝物を測定した結果、ピルビン酸や乳酸量が減少した。PQQ 摂取によりミトコンドリアでの TCA サイクルが活性化され、これらの代謝物に変動が生じたと推定されている。ミトコンドリアの活性化は細胞の代謝を上げる作用で、エネルギー消費を高める。PQQ の特徴はミトコンドリアの活性を上げる

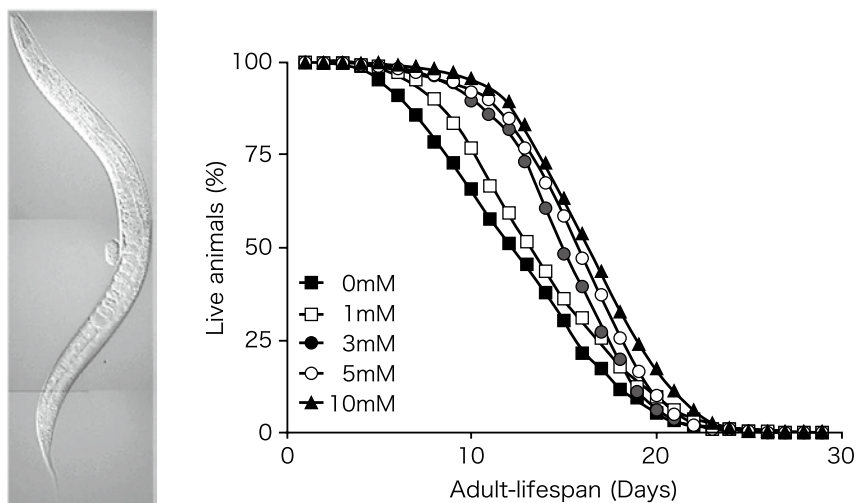


図 1 寿命延長効果：線虫の顕微鏡写真 (左) と寿命曲線 (右)

だけでなく、細胞内のミトコンドリア量を増やす効果である。ミトコンドリアの活性化は疲労、運動、代謝に関連しており、トレーニング時の栄養補給食品へ応用されている。

4. 神経への効果

神経成長因子（NGF）は神経細胞の分化・成長・増殖や脳の神経細胞の活性化作用を持ち、記憶や学習に関与する物質である。脳内に取り込まれた PQQ は、NGF およびその受容体の発現を増強し、脳機能の維持に作用するものと考えられる。NGF を産生する L-M 細胞に PQQ を作用させた場合、NGF 産生量が作用前の最大 40 倍に増加したことが報告されている。また、NGF の作用は NGF が NGF 受容体に作用して初めてその効果を発揮するが、チロシンリン酸化タンパク（PTP1B）はこの NGF 受容体の発現を抑制することが知られている。PQQ はこの PTP1B 活性を抑制する。PTP1B 活性を抑え NGF 受容体の発現をすすめ、発現を増強した NGF の作用をより高める。実際、PQQ による脳機能の回復例として、マウスの脊髄損傷モデルにおける PQQ の効果が報告されている。PQQ の摂取により損傷サイズが小さくなり、軸索密度も改善され、機能的な回復も早まる。この機能が脳に対する作用の一つと考えられる。

5. 抗酸化

PQQ は通常、酸化型で存在し、それ自身では抗酸化能はほとんどない。しかし、PQQ の酸化型と還元型の構造変化は小さく還元しやすい。実際、還元は生体内分子で容易に生じる。この還元型 PQQ は非常に強い抗酸化能であることが分かっている。活性酸素である一重項酸素の消去速度は非常に高く、ビタミン C の 6.3 倍と水溶性物質では最強クラスである。一重項酸素の消去では還元型 PQQ は触媒的に消去している。活性酸素によって消費される通常の抗酸化物質と異なっている。PQQ は生体内に取り込まれると還元型に変換され、高い

抗酸化性を発揮する。神経毒である 6-ヒドロキシドーパミン（6-OHDA）は、神経細胞死を引き起こしパーキンソン病等の発症に関与する。PQQ を神経細胞に与えると、6-OHDA による神経細胞死が抑制される。また、脳梗塞のモデルにおいて PQQ 投与が梗塞サイズを減少させる。高酸素下におかれることで酸化ストレスにより記憶障害が生じる。しかし、PQQ はそれを防止する効果がある。高濃度の酸素に晒され健忘が引き起こされたラットに対し、PQQ を予め摂取させることにより記憶力、学習能力が維持される。ヒトにおいても、PQQ によって脂質の酸化を示すチオバルビツール酸反応物（TBARS）の血漿及び尿中の値が低下する。

有機溶媒による白内障の防止においても抗酸化性と考えられている。この酸化還元性は内分泌の改善にも有効に働いている。血糖値改善はそのメカニズムが詳細に調べられており、還元型 PQQ が働くことでインスリン受容体の数が増え、糖の取り込みを促進している。このメカニズムは細胞増殖を促進する働きとも関連している。

6. ヒト臨床試験 （皮膚に関する臨床研究）

PQQ に関して化粧品としての応用が食品に先んじて行われてきた。食品としてもその機能を発揮するか、皮膚への影響を試験した。ドライスキンを自覚する 29 から 49 歳の女性を対象とし、二重盲目試験を行った。BioPQQ 20mg/day 経口摂取 2 ヶ月でプラセボに対して有意に皮膚の水分量の改善が見られた。肌のバリア機能を改善している。ドライスキンのモデルマウスでは皮膚のマスト細胞（炎症と関連する細胞）の数を減少させた。皮膚のバリア機能改善に効果がある。経口摂取、体の内部から健康な肌へ効果があることは美容分野への応用が期待される。

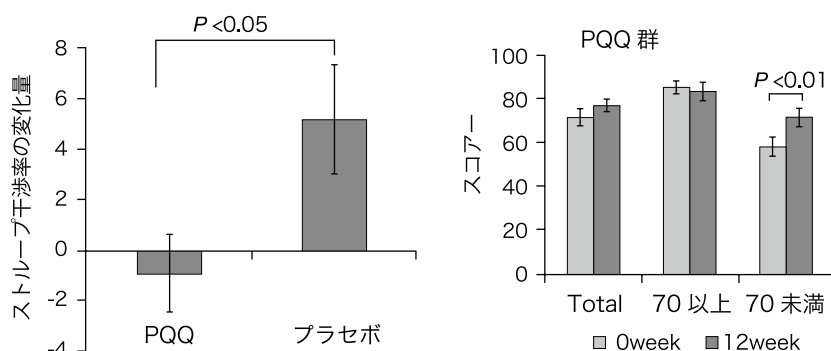


図2 ストロープ干渉率の変化（左）とタッチエムのスコア（右）

（臨床試験睡眠・ストレスへの効果）

ストレスへの対処は健康を維持するためには重要である。睡眠に問題があると自覚し、疲労感のある成人勤労男女を対象とした。BioPQQ 20mg/day 経口摂取 8 週間の試験が実施された。睡眠調査票（OSA）への記入と気分や感情を評価する質問紙（POMS）への記入により調査された。QOL 調査票の定法に従い、被験者の回答から各項目（食欲、睡眠、排便、排尿、運動、体の状態へのとらわれ、疼痛、性生活の満足感、社会的役割の遂行感、家庭生活の幸福感、生活全体の充実感）も調べられた。試験開始時には睡眠障害が疑われるレベルであった値が正常値に近づいた。また、高いストレスレベルであった被験者が正常値になっていた。このうち、活気が上昇し、それに伴って不安やイライラ感、抑うつ感などのネガティブな感情が低減しており、ストレス状態が緩和された。PQQ はストレス緩和効果があり、元気にしてよく眠れるようにしていた。ストレス社会とよばれる現代社会に適した機能性食品である。

ねずみを使用した鬱の改善実験も報告されている。強制的にストレス下においたねずみは活動性が低下し、不安感に起因する行動を行う。PQQ が活動性、不安感の改善をした。

（脳機能改善に関する臨床試験）

PQQ と同じレドックスに関連する生体分子としてコエンザイム Q10（CoQ10）が知られて

いる。水溶性の PQQ に対して脂溶性の CoQ10 を組合すことで短期記憶テストが優位に改善した。

色と文字の混同を試験するストロープ干渉率の変化において、PQQ を 20mg 摂取した群では改善が見られた。注意力やワーキングメモリー（短時間に情報を保持し、同時に処理する能力）を維持する効果が認められている。図 2 にその結果を示す。また、脳血流量が増大することも報告されている。また、タッチパネルを使用して記憶を測定するタッチ M 試験は摂取群とプラセボ群では有意差は現れなかった。しかし、得点群を上位と下位に分けた場合、下位群では得点の改善が見られた（図 2）。脳機能が低下に対して効果があると考えられる。

7. 物理化学的性質

ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩は赤色の結晶で化学式は図 3 で示さる。この結晶の構造は 3 水和物結晶であることが分かっている¹⁶⁾。赤色の PQQ は水分量が減少すると黒く変化する。この時、純度は変化していない。吸湿させると赤色に回復する。PQQ は単独では安定でオートクレーブ滅菌も可能である。熱、光安定性の高い物質である。しかし、PQQ は単独では安定な化合物であるが、アスコルビン酸、システイン、グルタチオン、アミノ酸、金属イオンとも反応する。カプセル中の分析は HPLC で定量可能である¹⁷⁾。

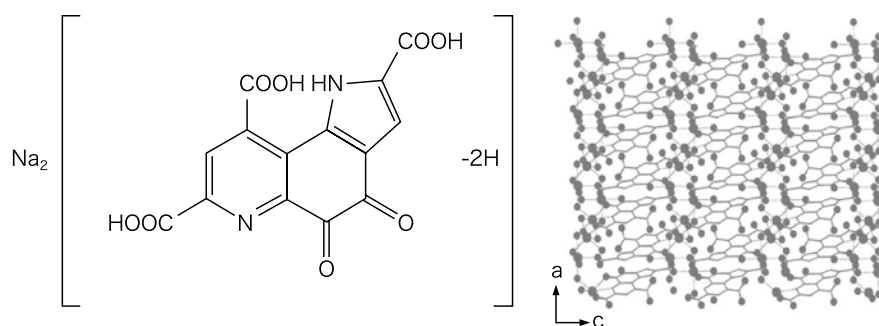


図3 PQQの化学構造(左)と結晶構造(右)

おわりに

PQQの機能は多岐にわたっている。しかし、日本では代表的な脳機能改善に関しても、十分に知られていない。今後、PQQを知ってもら

うことで広く使用されるようになり、さらなる機能研究が進展することが期待される。基礎研究では成果が次々と発表されていることから、機能性食品としての発展も確実に進展する。

参考文献

1. Sasakura H, Moribe H, Nakano M, Ikemoto K, Takeuchi K, Mori I: *J Cell Sci*. Jul 4. pii: jcs.202119. 2017. doi: 10.1242/jcs.202119.
2. Akagawa M, Minematsu K, Shibata T, Kondo T, Ishii T, Uchida K: *Sci Rep*. May 27; **6**: 26723. 2016. doi: 10.1038/srep26723.
3. Chowanadisai W, Bauerly KA, Tchapanian E, Wong A, Cortopassi GA, Rucker RB.: *J Biol Chem* **285**(1): 142-52. 2010.
4. Shenoy SF, Chowanadisai W, Sharman E, Keen C, Liu J, Rucker RB.: *California Agriculture* **65**, 141-147. 2011.
5. A. Ouchi, M. Nakano, K. Mukai: *J. Agri Food Chem.*, *J Agri Food Chem* **59**, 1705. 2011.
6. Yamaguchi K, Sasano A, Urakami T, Tsuji T, Kondo K: *Biosci Biotechnol Biochem*. Jul; **57**(7): 1231-3. 1993.
7. M. Nakano, A. Kamimura, F. Watanabe, *et.al.*: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **61**, 241. 2015.
8. Itoh Y, Hine K, Miura H, Uetake T, Nakano M, Takemura N, Sakatani K: *Adv Exp Med Biol*. **876**:319-25. 2016. doi: 10.1007/978-1-4939-3023-4_40.
9. Nakano M, Yamamoto T, Okumura H, Tsuda A, Kowatari Y: *Functional foods in health and disease* **2**(8): 307-324. 2012.
10. Nakano M, Yamamoto T, Okumura H, Tsuda A, Kowatari Y: *Functional foods in health and disease* **2**(8): 307-324. 2012.
11. Urakami T, Yoshida C, Akaike T, Maeda H, Nishigori H, Niki E: *J Nutr Sci Vitaminol* (Tokyo). Feb; **43**(1):19-33. 1997.
12. Takada M, Sumi M, Maeda A, Watanabe F, Kamiya T, Ishii T, Nakano M, Akagawa M: *Biochem Biophys Res Commun*. Nov 16; **428**(2): 315-20. 2012. doi: 10.1016/j.jnsv.61.233.
13. Nakano M, Kawasaki Y, Suzuki N, Takara T: *J Nutr Sci Vitaminol*. **61**(3): 233-40. 2015. doi: 10.3177/jnsv.61.233.
14. Harris CB, Chowanadisai W, Mishchuk DO, Satre MA, Slupsky CM, Rucker RB.: *J Nutr Biochem*. **24**(12):2076-84. 2013.
15. Akagawa M, Nakano M, Ikemoto K: *Biosci Biotechnol Biochem*. **80**(1):13-22. 2015. doi: 10.1080/09168451.2015.1062715.
16. Ikemoto K, Sakamoto H, Nakano M: *Chem Cent J*. Jun 19; **6**(1): 57. 2012. doi: 10.1186/1752-153X-6-57.
17. 池本 一人, 伊丸岡 智子, 平野 龍一: *分析化学* **65**: 339-342. 2016.



デンマークのアイス

今回は夏の食べ物、アイスにまつわる話を紹介したいと思います。

日本でも夏の暑い日には、アイスクリームやジェラート、かき氷などがよく売れますが、ここデンマークでも、気温は決して日本レベルには達しないものの（暑くても気温が30度を超えることはあまりなく、湿度も低いのでとても清々しい夏）、夏の晴れた日には、街のアイスクリーム屋さん、子供達や家族連れ、若者たちが列をなしている光景をよく見かけます。デンマークは、酪農が主要な産業の一つなので、アイスクリームもさぞかし美味しいのでは、と思われる方も多いのではないのでしょうか。

デンマークのアイスクリーム屋さん（店舗を持つアイスクリーム屋さん）は、戸外の店舗の場合、冬になると店を閉めることも珍しくありません。デンマークの秋は9月から始まり、12月のクリスマス前後に真冬を迎え、朝の9時頃から午後3時頃までしか外は明るくないため、アイスクリームを食べたくなるお客さんはあまりいないのも当然です。一方、夏は夜10時になっても明るく、アイスクリーム屋さんは、繁忙期を迎えます。デンマークのアイスクリーム屋さんには、ソフトアイス（日本のソフトクリーム）もあれば、コーンかカップに何スクープかのアイスを入れるものもあり、多くのお店ではその両方を提供しています。

まず、ソフトアイスについてですが、日本人の観光客の方々がデンマークでソフトクリームを食べると、まず思うのが「とってもクリーミー」であるということです。確かに日本のソフトクリームに比べると、クリーミーで、乳脂肪分が高く、さすが、酪農産業が主要産業であるデンマークならではのようです。コーンかカップに入れるタイプのアイスは、日本と同じように、様々なフレーバーがありますが、北欧ならではの「ラクリス」(Lakris) 味のアイスも見かけます（ラクリスは、北欧の国々では人々に愛される甘草のいっしゅで、なんともいえない、漢方薬のような独特の臭さとまずさを備えた食材で、主に飴やグミなどの形で北欧の人々に愛されています）。

そして、ソフトクリームであれ、アイスクリームであれ、お店に行って注文する時に必ず店員さんに聞かれるのが、トッピングです。ソフトクリームのトッピングは、例えば、ソフトクリームを溶けたチョコレートにどっぷりつけてチョココーティングにするものや、ココアパウダーと砂糖の粉をまぶすものなど様々です。また、スクープをコーンやカップに入れるタイプの場合は、ホイップクリームをのせたり、ジャムをかけたり、さらには、Guf（デンマーク語でグフと発音）という卵白と砂糖、そしてイチゴなどの果汁でややピンク色にした、



アイスクリーム屋さん



アイスにホイップクリームとジャムのトッピング

メレンゲのクリーム状のような物をたっぷりのせたりします。さらに、Flødebolle(フルボラと聞こえる発音)という、マシュマロをチョコレートでコーティングしたようなお菓子を最後にドカッとのせることもあり、こうなると、アイスクリームというよりは、巨大パフェのようなボリュームたっぷりの食べ物になります。気になる価格ですが、ただでさえも物価の高いデンマーク、アイスひとつで 500 円ほど、さらにトッピングをたくさんつけたりしていると、たちまち 1000 円近くになることもめずらしくありません。



グフというメレンゲのクリーム状のものをトッピング

さらに、もう一つデンマークの夏のアイス関連の風物詩といえば、Hjem-Is(このデンマーク語自体は、「家アイス」という意味)という、アイス売りのトラックでしょう。このトラックは、アイスクリームを売りに住宅街を走るトラックで、チリンチリンとベルを鳴らしながら走って、家の中にいる人々にトラックが来たことを知らせます。ベルを聞いた人たちは、お財布を持って、外に出て、トラックを探します。暑い夏の日には、近所の人がこぞって買いに来ます。冷たいアイスクリームを買ってすぐに食べるもよし、大きな箱に何十個も入ったアイスの詰め合わせを買って帰るもよし、アイスを家から数歩のところまで購入できるのでとても便利です。ベルを鳴らしながら走るトラック、日本の石焼き芋屋さんのような存在かもしれません。

デンマークの夏は、清々しく気温もさほど高くありませんが、観光名所のニューハウン(運河沿いに可愛いカラフルな建物が並び、レストランやカフェで賑わう通り)で晴れた日にアイスクリームを食べる、というのもちょっとしたデンマーク食文化に触れられる機会になるのではないのでしょうか。

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

ナツメ *Zizyphus jujuba* Miller var. *inermis* (Bunge) Rehder (クロウメモドキ科 Rhamnaceae)

10月、秋の気配が深まった山里を歩いていると、民家の庭などに茶色を帯びた小さな赤色の実をつけた木を見かけます。ナツメは中国中・北部原産とされる高さ10mになる落葉高木で、長枝には托葉が変形した長さ3cmほどのとげがあり、葉は小枝に互生し葉柄が短く、平面的に並ぶので羽状複葉のように見え、長さ2～4cmの卵形または長卵形で先端は鈍形または鋭形。基部は鈍形でやや左右不対称で、辺には鈍きよ歯があり、質はやや硬く上面には光沢があります。葉脈は3主脈が明りようです。初夏には淡黄色の小花が葉腋に集まってつき、果実は核果でだ円形、緑色から暗赤色に熟し、熟すると甘く美味です。果実を軽く湯通しして乾かしたものをタイソウ（大棗, *Zizyphi Fructus*）といい、漢方で緩和、強壮、利尿薬とし、緊張による疼痛、急迫症状、知覚過敏をゆるめ、薬品の急激な作用をおだやかにするとされ、かんぱくたいそうとう 甘麦大棗湯、けいしとう 桂枝湯、かつてんとう 葛根湯、しょうけんちゅうとう 小建中湯、ほちゅうえつきとう 補中益気湯などの多くの漢方処方に配合される重要な生薬ですが、生薬は虫害をうけやすいので乾燥しきってはならず、保存にはやや注意が必要です。補気の方剤には大棗と生姜を一緒に用いることが多く、これは生姜の刺激性を大棗で緩和し、大棗によって生じる腹



写真1 ナツメ（花）



写真2 ナツメ（果実）



写真3 生薬：タイソウ（大棗）

部膨満感を生姜で減少させ、互いの副作用を抑えるためと考えられています。成分はトリテルペノイドの betulinic acid, oleanolic acid など、ダマラン系トリテルペン配糖体（サポニン）の zizyphus saponin I, jujuboside B などの他、高濃度の cyclic AMP や多量の糖類（D-fructose, D-glucose）と粘液質などが報告されています。

ナツメの名は、芽立ちが遅く、夏に入ってから芽が出ること（夏芽）によります。また、ナツメの葉をかじると甘みを感じにくくなることが知られており、この甘味修飾物質としてトリテルペン配糖体の ziziphin が単離同定されました。ナツメは五果八木の一つで、五果とは五行論（木火土金水）に基づき、李（スモモ）、杏（アンズ）、棗（ナツメ）、桃（モモ）、栗（クリ）を言います。ナツメには現在、中国で 300 種ほどの品種があり、生薬としては、もちろんですが、果実の形によっ

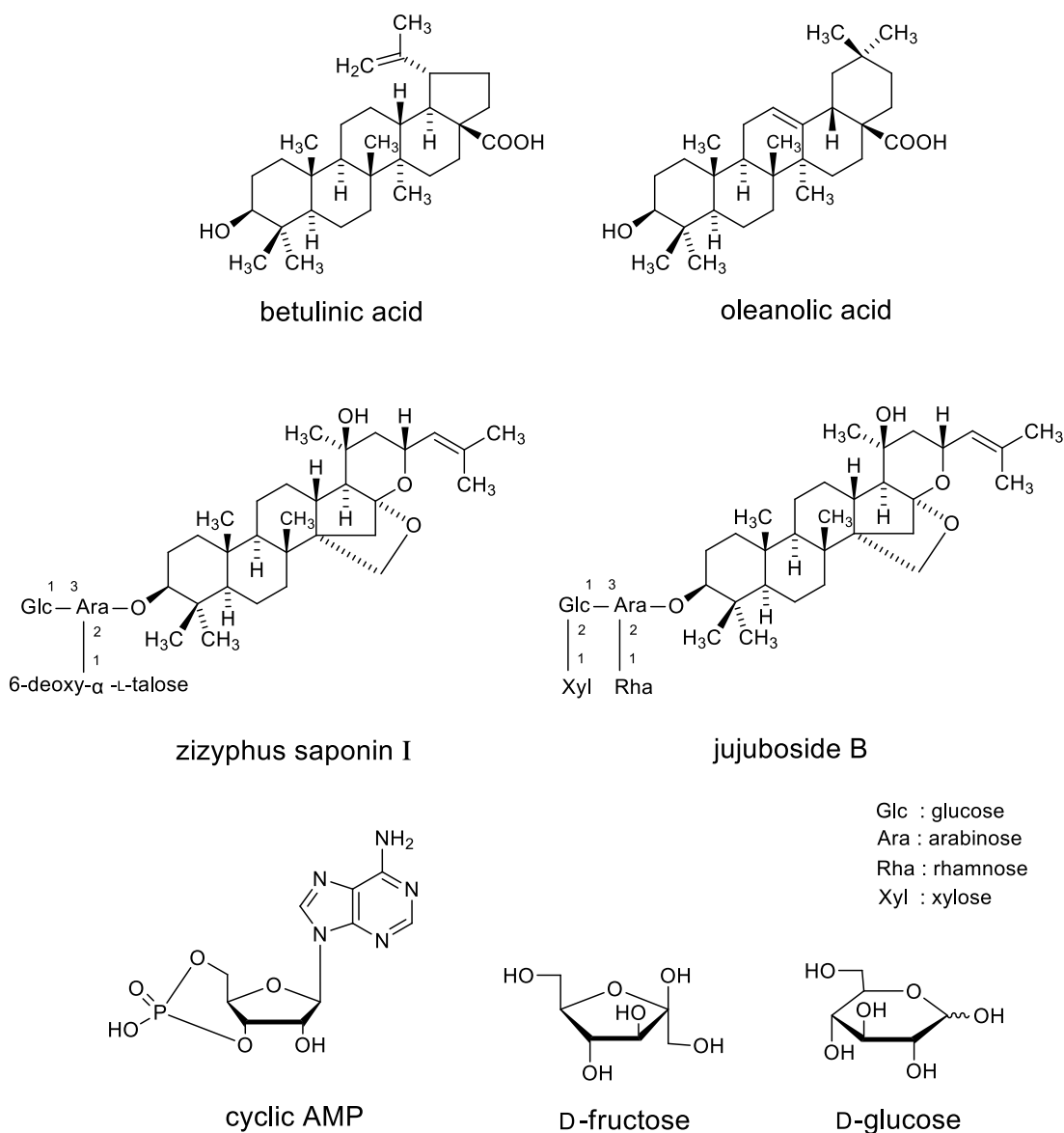


図1 成分の構造式

て長棗類, 円棗類, 小棗類に分けて生食される他, 干して料理 (薬膳料理) や菓子にも用いられます。材は堅く, 緻密で家具や彫刻材, 印材や版木などに利用され, インドの伝統医学 (アーユル・ヴェーダ) でも用いられ, 野生状態の個体もあることからインドを原産地とする説もあり, 地中海地域にはローマ時代にもたらされ, 食用として栽培されました。我が国へは, 6 世紀後半の上之宮遺跡 (奈良県) から果実の核が出土していることより, 我が国へも古くから伝わり, 利用されていたことが伺えます。同属のサネブトナツメ *Z. jujuba* Miller var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chow はナツメの原種とも考えられ, 枝にとげが多く, 果実は球形で種子を酸棗仁 (サンソウニン) と呼び, 漢方で強壮, 健胃, 鎮静, 催眠薬にされます。

注) ナツメ *Zizyphus jujuba* の属名ですが, *Ziziphus* と記されている場合もあります。本書では *Zizyphus* を使用しました。

ニジマスの親魚用飼料ー 2

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi)

Key Words : ニジマス 親魚用飼料 ハードペレット エクストルーダーペレット 魚油添加 飼育成績 肥満度 臓器体重比 体成分 生殖腺の発達

水産試験場の方の情報に基づき前報¹⁾でハードペレット (以下 HP と略記) とエクストルーダーペレット (EX) のニジマス親魚用飼料としての適性を比較したところ、以下の結果を得た。

- ・増重量、飼料効率 (増重量×100/給餌量)、タンパク質効率 (増重量×100/給与タンパク質量) 等の飼育成績は EX の方が優れていた。
- ・体成分、卵と精液の性状や成分は HP と EX で大きな違いは無かった。
- ・成熟親魚より採卵・採精を行って人工授精した結果、受精卵の孵化率や孵化仔魚の奇形率などで HP の方が EX より優れていた。
- ・採卵・採精後の親魚の生残率は HP の方が高かった。但し、これには飼料の違いのみでなく魚体の大きさも関与していた可能性があった。

以上の様に再生産を主目的とする親魚用飼料には EX より HP の方が適しているのではないかと思える結果であった。

EX が親魚用飼料として劣る原因を推測してみると、EX 飼育魚においても一般にいわれている様な脂質の異常蓄積は認められなかったもので、魚体への過剰な脂質の蓄積が原因ではないと思われる。また、飼育成績は EX の方が優れていたため、飼料のタンパク質、脂質、炭水化物、灰分等の主要成分に問題があるためでもな

い。EX は製造工程において HP より高温・高湿・高圧が加わる²⁾ので、これらの条件に弱いビタミン C 等の微量栄養成分が大きく破壊されていることは十分考えられる。よって、EX が親魚用飼料として HP より劣る原因は微量栄養成分の量が影響しているのではないかと推測出来る。

従来より優れた親魚用飼料を開発する方法として二つ考えられる。ひとつは HP の飼育成績を改善して EX と同等の成績が得られる様にあることである。HP は製造特性から微量栄養成分が破壊される率が小さく、製造コストも安い。HP による飼育成績が EX と同等に出来れば親魚用飼料として大変好ましいことである。

もう一つの方法は EX の再生産結果を改善することである。このためには微量栄養成分に耐熱性の原料を用いて製造工程における破壊を少なくする、ある程度破壊されることを見越して微量栄養成分の添加量を最初から多くしておく、抗酸化剤の添加を行う等のことが考えられる。

今回の試験は HP の飼育成績を改善して EX と同等の成績が得られるようにすることを主目的として行った。試験は性成熟前で大きさが異なる成魚を用いて3回行った。

試験 -1

HP は EX よりタンパク質、脂質およびカロリーが少なく、カロリー/タンパク質比(C/P 比)が低すぎるために飼育成績が劣ることが分かっている³⁻⁵⁾。よって本試験では飼育成績改善のために HP へ魚油の添加を行うことにした。一方、EX にはビタミン・ミネラル混合の添加量を多くすると共にビタミン C とエトキシキンの添加を行うことにした。

EX には飼料の製造効率を上げるために大豆油が添加されている。大豆油単独より魚油を併用した方が結果が良い³⁻⁵⁾ことが分かっているので、EX にも魚油添加区を設けることにした。

1. 材料と方法

1-1. 試験飼料

A-D の 4 試験区を設定した。表 1 に試験区と飼料の形態、組成および分析値を示す。A, B は HP で、魚粉:47, 小麦粉+白糠:32.8, 脱脂大豆粕:13, ミートミール:6, ビタミン・ミネラル混合:1.2%を基本配合とし、B には魚油を外割で5%添加・吸着させた。C, D は EX で、魚粉:49, 小麦粉+白糠:28, 脱脂大豆粕:15,

ミートミール:4, ビタミン・ミネラル混合:2, 大豆油:2, ビタミン C: 0.05, エトキシキン:0.01%を基本配合とし、C には魚油を外割で4%添加・吸着させた。HP と EX の製造法は文献2を参照して欲しい。HP, EX 共飼料の粒径は約 4mm とした。

HP, EX に係わらず魚油の添加によって飼料の脂質とカロリーが増え、C/P 比も高くなった。タンパク質、炭水化物、灰分はそれに伴って減少した。基本配合の違いからしてタンパク質、脂質、灰分は EX の方が多かったが、炭水化物は殆ど同じであった。なお、カロリー含量はタンパク質:4, 脂質:9, 炭水化物:2Cal/g の数値を用いて計算で求め、C/P 比はカロリー含量をタンパク質含量で除して求めた。

1-2. 飼育試験

屋内に設置した 10KL 容(魚の飛び出しを防ぐために水量は約 5KL に調整)八角型コンクリート水槽4面に平均体重約 90g のニジマス成魚を 50Kg ずつ収容した。尾数の確認は行わなかったが、各区共 560 尾程度であると思われる。水温 14℃で、2 月 12 日から 4 月 14 日まで約 2 カ月間飼育した。給餌は日に 2 回(午前 1 回, 午後 1 回)行い、給餌率は改変ライトリッツ給餌率に従った。

1-3. 測定項目

既に報告した方法⁴⁾に従って増重量、飼料効率、タンパク質効率を調べた。飼育試験開始時と終了時に各区から 20 尾ずつサンプリングし、10 尾はそのまま全魚体の分析に供し、残りの 10 尾は FA100 麻酔下で体重と尾叉長を測定して肥満度を求めた。次にヘパリン処理した 1mL プラスチック注射筒を用いてキュビエ氏管から各尾等量ずつ採血した。血液は区毎にプールして 3000rpm で 15 分間遠心分離して血漿を分離し、成分分析に供した。残りの魚体は外観の観察と解剖を行い、異常の有無を確認すると共に各臓器の体重比を求めた。さらに背鰭の末端から脂鰭の先端の間で側線より上の部分の背肉を

表 1 試験飼料の組成と分析値

試験区	A	B	C	D
飼料形態	HP		EX	
基本配合-I (%)*	100	100		
基本配合-II (%)**			100	100
魚油(外割%)		5	4	
水分 (%)	9.53	9.06	8.48	7.33
タンパク質	47.3	44.9	47.6	48.1
脂質	7.46	11.7	12.2	9.87
炭水化物	21.2	20.4	20.4	21.2
灰分	10.1	9.74	10.5	10.7
Cal/100g	298.7	325.7	341.0	323.6
C/P 比	6.32	7.25	7.16	6.73

* 魚粉:47, 小麦粉+白糠:32.8, 脱脂大豆粕:13, ミートミール:6, ビタミン・ミネラル混合:1.2%。

** 魚粉:49, 小麦粉+白糠:28, 脱脂大豆粕:15, ミートミール:4, ビタミン・ミネラル混合:2, 大豆油:2, ビタミン C: 0.05, エトキシキン:0.01%。

血合肉が混入しない様に注意して各尾から等量ずつ採取し、分析試料とした。肝臓も各尾から等量ずつ採取した。背肉、肝臓共区毎にプールし、ホモジナイザーで均一化して分析に供した。

2. 結果

2-1. 飼育成績

飼育試験の結果を表2に示す。飼育期間中に死魚は殆ど無く、生残率に区間差は無かった。HP, EX 共に魚油添加区の方が増重量, 飼料効率, タンパク質効率が大きく、魚油による飼育成績の改善効果が認められたが、その効果はHPの方が明確であった。EXに4%程度魚油を添加しても大きな改善効果は認められなかった。

図1に飼料のC/P比と飼料効率の関係を示す。同じC/P比であればEXの方がHPより飼料効率が高かった。同じ製造法の飼料であれば、この程度のC/P比の範囲なら両者の間には強い正の相関が成り立つのが普通である。この結果は同じC/P比であっても飼料の製造法によって各成分の消化吸収率が異なることを反映しているものと思われる。HPに魚油を5%添加した程度では未だEXの栄養成分の消化吸収量に及ばないのであろう。

表2 飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D
増重量 (kg)	36.0	37.7	40.6	40.2
給餌量 (kg)	40.1	40.1	40.1	40.1
飼料効率 (%)	89.8	94.0	101.3	100.3
タンパク質効率 (%)	189.9	209.3	213.0	208.6

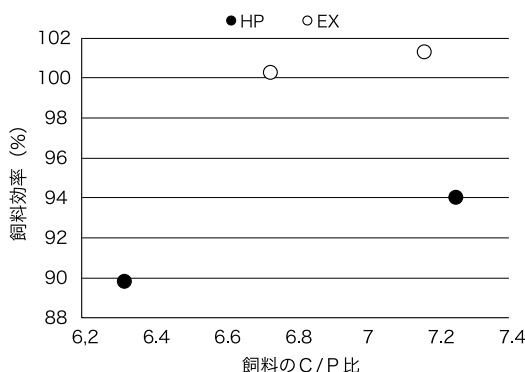


図1 飼料のC/P比と飼料効率

HPとEXを比較すると分析値は同じでも炭水化物とタンパク質の消化吸収率はEXが高いことが分かっている。また、EXは胃での崩壊に時間が掛かり、飼料の表面から少量ずつ崩れて腸へ排出されることが知られている。従って飼料はゆっくりと消化管を通過するので、HPより消化吸収率が高くなる。さらに飼料への油添加によって飼料の胃からの排出時間が遅くなることも明らかにされている。C/P比は飼料成分の分析値ではなく、実際に消化吸収された成分量を基準にして求めるべき指標なのであろう。

タンパク質効率は魚油添加HPと魚油添加EXで略同じ値を示していた。タンパク質効率は飼料のタンパク質含量と負の相関を示すことが分かっている。図2に飼料のタンパク質含量とタンパク質効率の関係を示す。同じタンパク質含量であれば明らかにEXの方がタンパク質効率が高い。タンパク質効率 = 増重量 × 100 / 給与タンパク質量で、増重量は魚体に蓄積されたタンパク質量に比例する。EXのタンパク質の方が効率良く消化吸収され、魚体に蓄積されたことを表している。また、炭水化物の消化吸収率もEXの方が高いので、炭水化物によるタンパク質の節約効果も関与したものと思われる。

EXへの魚油添加効果はHPに比べて低い。消化吸収率のことも含めて考えると、魚油無添加EXの成分含量で魚の要求量のある程度満たしているのかも知れない。

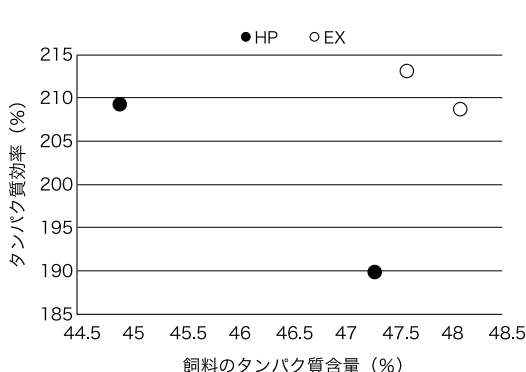


図2 飼料のタンパク質含量とタンパク質効率

表 3 魚体測定と解剖の結果

時期 試験区	開始時	終了時			
		A	B	C	D
体重 (g)	89.4	164.6	159.6	171.0	161.9
尾叉長 (cm)	19.5	24.2	23.7	24.0	23.9
肥満度	1.21	1.16	1.20	1.24	1.19
内臓体重比 (%)	11.5	7.75	8.62	8.39	7.60
DL 体重比	3.15	0.93	2.19	1.95	1.67
肝臓体重比	1.04	1.01	0.93	1.02	0.89
生殖腺体重比	0.08	0.09	0.08	0.06	0.06

2-2. 魚体測定と解剖の結果

表 3 に結果を示す。各区共外観と各臓器に異常は認められなかった。生殖腺体重比は全区 0.1% に満たず、未だ生殖腺は大きくなり始めていないので、肥満度や各臓器の体重比に影響を及ぼしていないと判断出来る。

HP, EX 共に魚油添加の影響は肥満度、内臓体重比, DL (腹腔内脂肪蓄積組織) 体重比に表れ、何れも魚油添加区の方が大きかった。また、魚油添加の影響は飼育成績同様 HP でより大きかった。肝臓の大きさは魚油添加の影響を受けていなかった。内臓体重比から DL, 肝臓および生殖腺体重比を除いて求めた消化管体重比は HP の方が大きい傾向が認められ、HP の方が EX より消化管への刺激が大きい可能性が有る。

飼料の C/P 比と肥満度、内臓体重比, DL 体重比の関係を調べてみると、同じ C/P 比であれば肥満度は EX, 内臓体重比は HP の方が大きかった。図 3 に示す様に DL 体重比は HP, EX に関係なく飼料の C/P 比が高くなるに従って大きくなった。脂質の消化吸収率は HP と EX で大きな違いは無いと思われるので、飼料の脂質含量が多くなるに従って腹腔内蓄積脂質の量も多くなったのであろう。DL 体重比が大きくなるに従って内臓体重比も大きくなる傾向が認められたが、魚油無添加 EX のみは直線から大きく外れていた。内臓体重比と肥満度の関係を調べると、同じ内臓体重比であれば肥満度は EX の方が大きかった。

HP と EX で飼料の C/P 比と肥満度、内臓体重比, DL 体重比の関係が大きく違うのは、両者の飼料成分の消化吸収率が違うことが大きな原因になっているのであろう。実際に魚に吸収された飼料成分量から C/P 比を求めなければ綺麗な相関は得られないのであろう。言い換えれば、飼料の製造法が同じであれば分析値から C/P 比を求めても良いのであろうが、製造法の違う飼料間で分析値を用いて C/P 比を求めるのは無意味な事であらう。これは消化吸収率が著しく違う原料を使用する場合にもいえる。

2-3. 全魚体、背肉、肝臓の分析値

表 4 に結果を示す。湿物では、魚油添加 HP の全魚体、背肉、肝臓において脂質が増えているが、EX では肝臓以外殆ど違いが

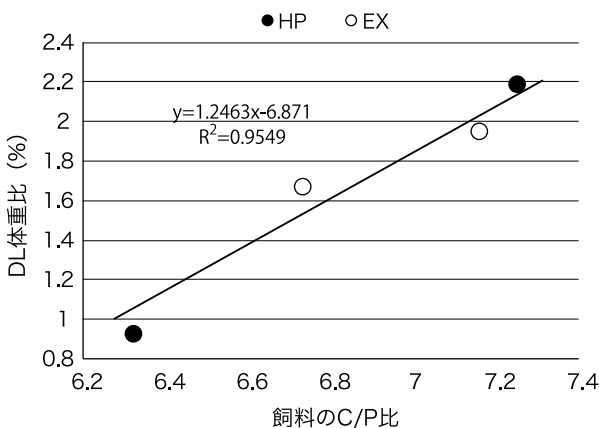


図 3 飼料の C/P 比と DL 体重比

表 4 全魚体、背肉、肝臓の水分と脂質含量

時期 試験区	開始時	終了時			
		A	B	C	D
全魚体					
水分 (%)	72.0	73.4	71.5	72.6	72.4
脂質	12.1	6.19	8.80	7.66	7.59
背肉					
水分 (%)	77.7	78.4	77.8	77.7	78.1
脂質	0.75	0.45	0.53	0.69	0.74
肝臓					
水分 (%)	77.2	78.5	77.6	77.9	77.3
脂質	2.96	3.35	3.55	3.88	3.53
脂質 (% 乾物)					
全魚体	43.2	23.3	30.9	28.0	27.5
背肉	3.36	2.08	2.39	3.09	3.38
肝臓	13.0	15.6	15.8	17.6	15.6

無かった。全魚体の水分 (x: %) と脂質 (y: %) の間には HP, EX に関係なく $y = -1.3494x + 105.36$, $R^2 = 0.9714$ の強い負の相関が認められた。飼料の C/P 比 (x) と全魚体の脂質含量 (y: 乾物 %) の間には $y = 6.8038x - 19.283$, $R^2 = 0.866$ の正の相関が認められたが、直線の傾きは EX の方が小さかった。

最下段に示した脂質の乾物換算値では、HP への魚油添加によって全魚体と背肉の脂質は増え、肝臓では変化しなかった。EX では魚油添加 EX で全魚体と肝臓の脂質がやや多い程度で、背肉では逆に魚油無添加の方が多かった。既報¹⁾で説明した魚油と大豆油のバランスが 1: 1 に近づくほど背肉の脂質が多くなることを反映しているのであろう。

飼料の C/P 比と背肉の脂質含量の関係を調べると、同じ C/P 比であれば EX の方が遥かに脂質が多かった。前述の消化吸収率の問題と EX には大豆油が含まれていることが関与したものと思われる。

以上の結果から、HP への 5% 魚油添加は魚の成長を改善して魚体に脂質の蓄積を促進するが、EX に比べてまだ劣っており、この添加量では不足であると判断した。

2-4. 血漿成分の分析値

表 5 に分析結果を示す。HP では魚油の添加によって総コレステロール (T-Cho), トリグリセライド (TG) 含量が増え、アルカリ性フォスファターゼ (ALP) 活性も上昇していたが、グルコース (Glu) 含量は減少していた。魚油添加による ALP 活性の上昇と Glu 含量の減少

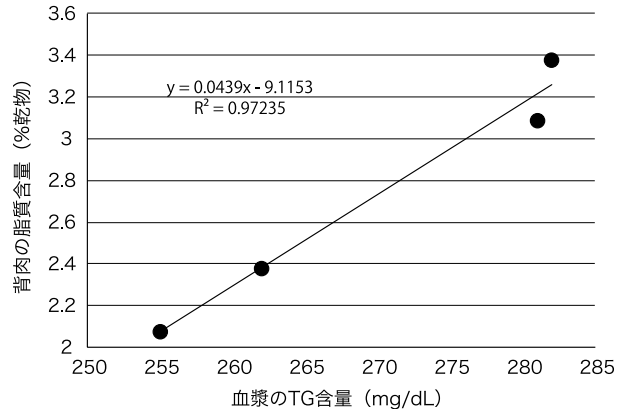


図4 血漿のTG含量と背肉の脂質含量

は EX でも共通していた。EX への魚油添加は T-Cho, 総タンパク質 (T-Pro), TG 含量に殆ど影響していなかった。HP と EX を比較すると、TG は明らかに EX の方が多かった。HP への魚油添加によって T-Cho と TG が増えるのは当然として、EX で TG が多いのは飼料の脂質含量がやや多いこと、大豆油を含むこと、炭水化物の消化吸収率が HP より高く、吸収された炭水化物が魚体内で脂質へ転換されること等が関係しているのであろう。

図 4 に血漿の TG 含量と背肉の脂質含量の関係を示す。HP, EX に関係なく両者の間には強い正の相関が認められた。血液から細胞に脂質が取り込まれて蓄積されるので、EX の高い TG 含量が背肉の脂質含量の多さに繋がっていることが分かる。

ALP 活性は魚の成長量と比例する。ALP 活性と増重量の関係をみると、完全に一致している訳ではないものの、増重量が大きい区ほど ALP 活性も高い傾向を示した。

Glu 含量が HP, EX 共に魚油添加区で低い理由は何であろう。魚油添加によって炭水化物の消化吸収が抑制されるのであろうか。再現性を確認する必要がある。

3. 要約

・魚油無添加の HP と EX で比較すると、生残率に違いは無いが、増重量、飼料効率、タン

表 5 血漿成分の分析値

時期 試験区	開始時	終了時			
		A	B	C	D
Glu (mg/dL)	112	132	115	117	132
T-Cho (mg/dL)	302	365	400	375	400
T-Pro (g/dL)	3.3	3.8	3.6	3.7	3.7
TG (mg/dL)	300	255	262	281	282
ALP (IU/L)	301	223	240	258	234

パク質効率などの飼育成績は EX の方が優れていた。

- ・ HP への魚油の添加効果は明確であったが、EX では効果が弱かった。
- ・ 増重量，飼料効率，タンパク質効率は同じ飼料の C/P 比であれば HP より EX の方が大きかった。
- ・ HP，EX 共に魚油添加の影響は肥満度，内臓体重比，DL 体重比等にも表れ，何れの指標も魚油添加によって大きくなった。
- ・ 消化管体重比は EX より HP の方が大きく，消化管に対する刺激は HP の方が強いのではないかと思われた。
- ・ HP への魚油添加は全魚体，背肉，肝臓の脂質を増やしたが，EX では肝臓の脂質が増えたのみであった。
- ・ HP への魚油添加は血漿の T-Cho と TG 含量の増加をもたらしたが，EX では殆ど変化しなかった。Glu は HP，EX 共に魚油添加区の方が低く，ALP 活性は魚油添加区の方が高かった。
- ・ 飼料の製造法が違くと分析値を基にした C/P 比を指標とするのは適切な方法ではない。それぞれの成分の吸収量を調べて C/P 比を求めるべきである。これは使用する原料の消化吸収率が著しく違う場合にもいえる。
- ・ HP への魚油添加量 5% ではまだ不足である。

試験 -2

試験 -1 で HP への魚油添加量 5% では不足であるとの結果を得た。よって本試験では HP への魚油添加量を 7.5% とする。

1. 材料と方法

1-1. 試験飼料

表 6 に試験飼料の組成と分析値を示す。HP への魚油添加量を外割 7.5% にしたことと，それぞれの飼料の粒径を約 5mm にしたこと以外は全て試験 -1 と同じであった。魚油無添加では EX の方が HP よりタンパク質，脂質，カロ

表 6 試験飼料の組成と分析値

試験区 飼料形態	A	B	C	D
	HP		EX	
基本配合－I (%)*	100	100		
基本配合－II (%)**			100	100
魚油（外割 %）		7.5	4	
水分 (%)	10.4	9.64	11.5	8.84
タンパク質	45.8	43.1	43.7	46.9
脂質	6.58	13.0	12.7	10.0
炭水化物	22.1	18.9	17.5	18.6
灰分	11.5	10.7	10.4	10.9
Cal/100g	286.6	327.2	324.1	314.8
C/P 比	6.26	7.59	7.42	6.71

*. **: 試験 -1 と同じ

リー，C/P 比が高く，炭水化物と灰分が少なかった。HP，EX 共に魚油添加によって脂質，カロリー，C/P 比が高くなり，タンパク質，炭水化物，灰分が低くなるのは試験 -1 と同じであった。また，含量変化の割合は HP の方が大きかった。

1-2. 飼育試験

試験 -1 の終了日（4 月 14 日）に各区共 50Kg の魚を水槽に残し，新しい飼料で飼育を再開した。計算（試験 -1 終了時総重量 Kg/ 推定尾数）で求めた試験 -2 開始時平均体重は A 区：154g，B 区：157g，C 区：162g，D 区：161g であった。飼育期間は 4 月 14 日から 6 月 16 日の約 2 カ月間で，その他の飼育条件は試験 -1 と同じであった。

1-3. 測定項目

試験 -1 と同じ。但し，背肉と肝臓の分析は行わなかった。

2. 結果

2-1. 飼育成績

表 7 に飼育試験の結果を示す。各区共飼育期間中に死魚は無く，生残率は何れも 100% で

表 7 飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D
増重量 (kg)	34.6	40.3	41.5	42.7
給餌量 (kg)	54.0	54.0	54.0	54.0
飼料効率 (%)	64.1	74.6	76.9	79.1
タンパク質効率 (%)	139.9	173.2	175.9	168.5

あった。HP への 7.5% 魚油添加によって飼育成績は著しく改善され、EX および魚油添加 EX に近い値を示した。この結果は HP の脂質不足、炭水化物とタンパク質の消化吸収率の低さ等に起因する飼育成績の不良は 7.5% 魚油添加によって解消し得ることを示している。魚油添加量の増加によって吸収される脂質の量が増え、タンパク質の節約効果が大きくなり、魚体に蓄積されるタンパク質の量が増えたのであろう。

図 5 に飼料の C/P 比と飼料効率の関係を示す。同じ C/P 比であれば飼料効率は EX の方が高いが、7.5% 魚油添加 HP では EX に近い値を示した。

図 6 に飼料のタンパク質含量とタンパク質効率の関係を示す。同じタンパク質含量であれば EX の方がタンパク質効率が高いが、7.5% 魚油添加 HP では EX に近い値を示した。

2-2. 魚体測定と解剖の結果

表 8 に結果を示す。各区共外観と各臓器に異常は認められなかった。表中の増減は終了時の値－開始時の値（試験-1 終了時の値）を示す。供試魚の平均体重を見ると推定平均体重と可也違っているの、各区共グループを代表する大きさの魚がサンプリング出来ていないことは明らかであるが、肥満度や各臓器の体重比を比較することは出来る範囲のズレであると考ええる。

HP への魚油添加によって肥満度、内臓体重比、DL 体重比は著しく大きくなり、肝臓体重比もやや大きくなっていた。EX も同様であったが、大きくなる割合は HP より小さかった。

HP は魚油添加の有無に係わらず EX より肥満度、内臓体重比、DL 体重比、肝臓体重比が小さかった。

図 7 に DL 体重比と内臓体重比の関係を示す。HP、EX に関係なく両者の間には強い正の相関が認められ、腹腔内に蓄積された脂質の量が内臓の大きさを決めていることが分かる。恐らく

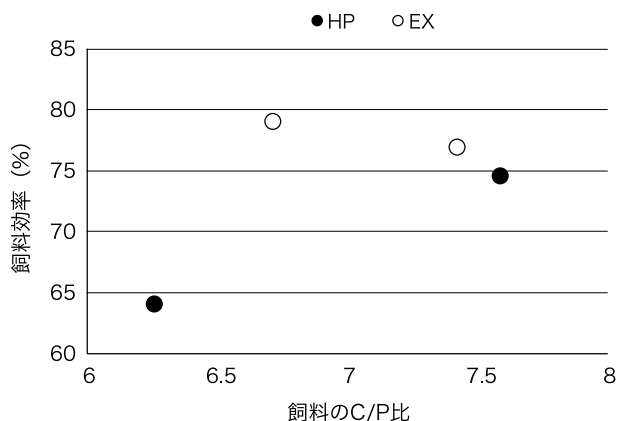


図 5 飼料の C/P 比と飼料効率

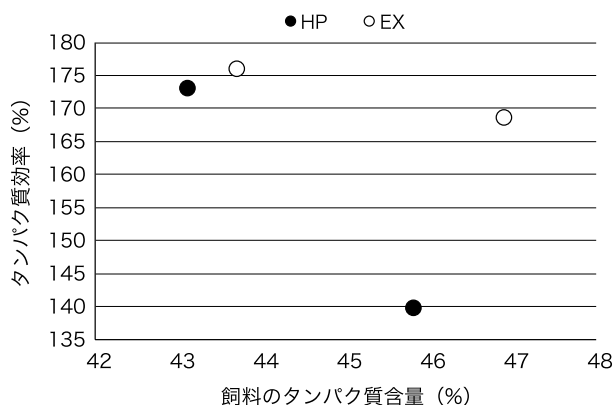


図 6 飼料のタンパク質含量とタンパク質効率

表 8 魚体測定と解剖の結果

試験区	A	B	C	D
体重 (g)	294.9	273.8	326.9	304.8
増減*	130.3	114.2	155.9	142.9
尾叉長 (cm)	28.9	28.0	29.1	28.5
増減	4.7	4.3	5.1	4.6
肥満度	1.22	1.25	1.33	1.32
増減	0.06	0.05	0.09	0.13
内臓体重比 (%)	7.60	9.05	10.3	9.38
増減	-0.15	0.43	1.91	1.78
DL 体重比	2.03	2.94	3.54	3.12
増減	1.10	0.75	1.59	1.45
肝臓体重比	0.97	1.06	1.41	1.36
増減	-0.04	0.13	0.39	0.47
生殖腺体重比	0.12	0.21	0.17	0.08
増減	0.03	0.13	0.11	0.02

*: 終了時－開始時。開始時の値は表 3 の終了時の値を参照。

消化吸収された脂質の量によって腹腔内の蓄積脂質の量が決められ、それによって内臓の大きさが決められているのであろう。

内臓体重比と肥満度の関係を見ると、HP、EX 共に内臓体重比が大きくなるに従って肥満度も大きくなる傾向が認められるものの、同じ内臓体重比であれば EX の方が遥かに肥満度は大きかった。これは腹腔内蓄積脂質の量や内臓の大きさ以外に肥満度に影響している要因が有ることを示す。肉部の脂質含量等が関与しているのではないかとと思われる。

2-3. 全魚体の分析値

表 9 に分析結果を示す。魚油添加の有無に係らず HP の方が EX よりやや水分が多く、脂質が少ない傾向を示したが、試験 -1 の様な顕著な魚油添加の影響は認められなかった。HP への魚油添加量を 5% から 7.5% に増やしたのに何故この様な結果になったのか、分析試料の調製法も含めて再検討が必要である。

2-4. 血漿成分の分析値

表 10 に結果を示す。魚油添加によって HP では全ての成分の値が大きくなり、EX では T-Pro、TG、ALP の値が大きくなった。また、Glu、T-Cho、T-Pro、ALP は EX より HP の方が高い傾向が認められた。

魚油の添加が脂質の吸収量を増やして TG を増加させ、脂質がタンパク質の節約効果を示すことによって魚体へのタンパク質の蓄積量を増やして成長を改善し、それが ALP 活性の上昇を引き起こしたものと考えられる。

HP、EX 共に魚油添加の有無に係らず T-Pro、TG、ALP は生殖腺体重比が大きい程高い値を示す傾向が認められた。0.1-0.2% 程度の生殖腺体重比でも既に血漿成分は影響を受けているのかも知れない。

Glu は魚油添加の有無に係らず HP の方が高かった。HP、EX 共に魚油添加区で Glu が低い試験 -1 の結果の再現性は認められなかった。

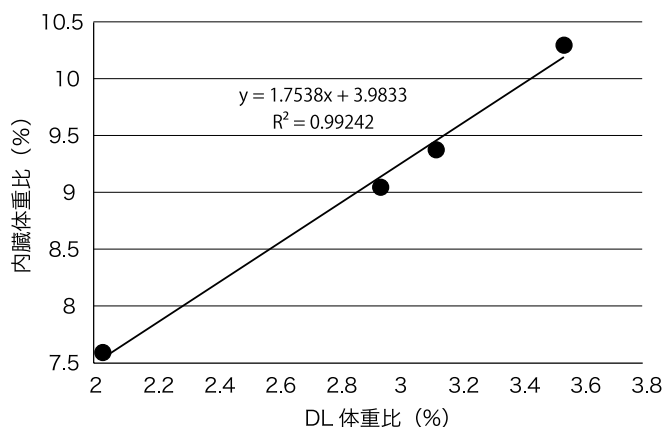


図 7 DL 体重比と内臓体重比

表 9 全魚体の水分と脂質含量

試験区	A	B	C	D
水分 (%)	70.0	70.8	69.4	69.8
増減 *	-3.4	-0.7	-3.2	-2.6
脂質	10.2	10.1	11.7	10.4
増減	4.0	1.3	4.0	2.8
脂質 (% 乾物)	34.0	34.6	38.2	34.4
増減	10.7	3.7	10.2	6.9

*：終了時 - 開始時。開始時の値は表 4 の終了時の値を参照。

表 10 血漿成分の分析値

試験区	A	B	C	D
Glu (mg/dL)	135	145	105	101
増減 *	3	30	-12	-31
T-Cho (mg/dL)	534	612	478	478
増減	169	212	103	78
T-Pro (g/dL)	4.8	5.1	4.8	4.5
増減	1.0	1.5	1.1	0.8
TG (mg/dL)	321	341	457	312
増減	66	79	176	30
ALP (IU/L)	259	353	281	191
増減	36	113	23	-43

*：終了時 - 開始時。開始時の値は表 5 の終了時の値を参照。

以上の様に、HP への魚油添加量を 7.5% に増やした影響は血漿成分にも表れていた。

3. 要約

・ HP への魚油添加量の増量 (5% → 7.5%) によって飼育成績は著しく改善され、EX に近

い飼育成績を示した。

- ・HP への魚油添加によって肥満度、内臓体重比、DL 体重比は著しく大きくなり、肝臓体重比もやや大きくなった。EX も同様の傾向を示したが、大きくなり方は HP より小さかった。
- ・魚油添加の有無に係らず HP の肥満度、内臓体重比、DL 体重比、肝臓体重比は EX より小さかった。
- ・腹腔内蓄積脂質の量によって内臓の大きさが決まるが、内臓の大きさのみが肥満度を決めている訳ではない。DL 体重比、内臓体重比以外にも肥満度に影響を及ぼす要因が有る。
- ・HP への魚油添加量の増量は血漿成分にも影響しており、魚油添加 HP 区の値は EX と略等しい値、あるいは EX より高い値を示した。
- ・0.1-0.2% 程度の生殖腺体重比でも血漿の T-Pro, TG, ALP 等は影響を受けている様である。

試験 -3

試験 -2 で HP への魚油添加量の増量効果が認められたので、その再現性を確認することと、生殖腺の発達程度が飼育成績や各臓器の大きさ、魚体成分等に及ぼす影響を調べることを本試験の目的とした。

1. 材料と方法

1-1. 試験飼料

試験 -2 と同じ飼料組成である。但し、飼料の大きさは魚の大きさに合わせて粒径約 6mm とした。表 11 に飼料の分析値を示す。HP, EX 共に魚油添加によって脂質、カロリー、C/P 比が高くなり、タンパク質、炭水化物、灰分が少なくなること、魚油添加による成分量変化は HP の方が EX より大きいこと、タンパク質は HP より EX の方が多く、炭水化物は逆に HP の方が多いこと等は試験 -2 の飼料と同じであった。但し、EX の魚油添加飼料のタンパク質が魚油無添加 EX と同じ値を示したのは問題

表 11 試験飼料の分析値

試験区	A	B	C	D
水分 (%)	11.0	10.1	8.49	9.68
タンパク質	44.5	42.1	46.3	46.3
脂質	6.74	12.6	12.7	9.60
炭水化物	24.0	22.9	18.7	21.9
灰分	11.1	10.3	10.3	10.4
Cal/100g	286.7	327.6	326.4	315.5
C/P 比	6.44	7.78	7.05	6.81

(注) 飼料の組成は試験 -2 と同じ。

である。魚油添加 EX の方が低い値を示す筈なので、タンパク質の分析にミスがあった可能性が高い。本来なら 43% 程度の値を示す筈である。

1-2. 飼育試験

試験 -2 の終了時 (6 月 16 日) に各区共 50Kg の魚を水槽に残し、新しい飼料で飼育を再開した。計算で求めた各区の開始時平均体重は A 区: 264g, B 区: 282g, C 区: 295g, D 区: 299g であった。飼育期間は 6 月 16 日から 8 月 19 日の約 2 カ月間で、その他の飼育条件は試験 -1 と同じであった。

1-3. 測定項目

試験 -1 と同じ。

2. 結果

2-1. 飼育成績

表 12 に飼育試験の結果を示す。各区共飼育期間中に死魚は殆ど無く、生残率に区間差は無かった。HP, EX 共に魚油の添加効果は明らかであったが、その効果は HP の方がより明確であった。魚油 7.5% 添加 HP の増重量と飼料効率率は魚油添加 EX と略同じ値を示し、タンパク質効率は魚油添加 EX より高い値を示した。但

表 12 飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D
増重量 (kg)	29.4	34.1	34.5	32.7
給餌量 (kg)	44.35	44.35	44.35	44.35
飼料効率 (%)	66.3	76.9	77.8	73.7
タンパク質効率 (%)	148.8	182.6	167.9	159.3

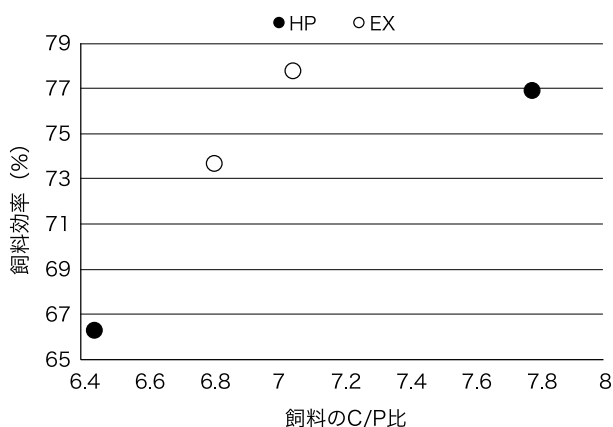


図8 飼料のC/P比と飼料効率

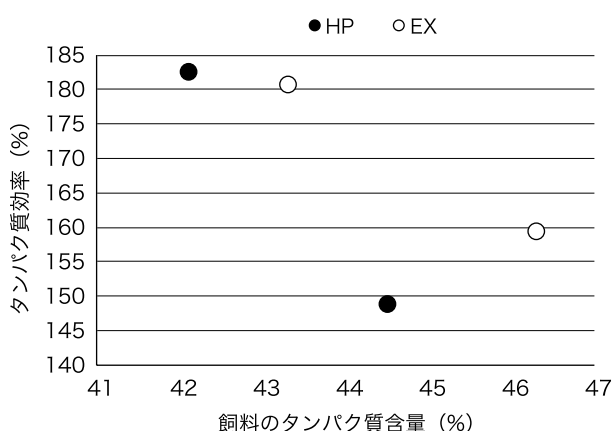


図9 飼料のタンパク質含量とタンパク質効率

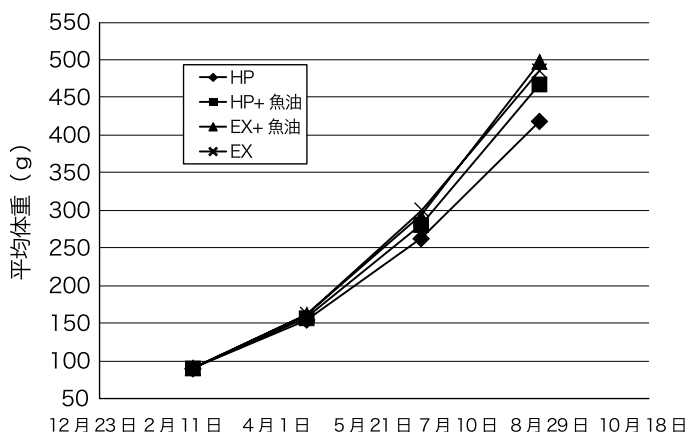


図10 各区の成長曲線

し、魚油添加 EX のタンパク質含量を 43% に補正するとタンパク質効率は 180.6% となり、魚油添加 HP と略同じ値になる。

図8に飼料のC/P比と飼料効率の関係を示す。同じC/P比であれば飼料効率はEXの方が高いが、7.5%魚油添加HPは4%魚油添加EXと略同じ値を示していた。図1、図5、図8と魚の成長段階別に飼料のC/P比と飼料効率の関係を並べてみると、魚が大きくなるに従って魚油添加EXと同じ飼料効率を示すHPのC/P比が小さくなっていることが分かる。C/P比はカロリー含量/タンパク質含量なので、カロリー含量が小さくなるか、タンパク質含量が大きくなればC/P比は小さくなる。このことは魚が大きくなるに従ってカロリーの要求量が減少する可能性や、飼料の炭水化物やタンパク質の消化吸収率が高くなる可能性が考えられる。もし魚の大きさによってカロリーの要求量や飼料成分の消化吸収率が変化するのであれば、飼料の製造法別に魚の成長段階毎の至適C/P比を調べておく必要が有る。

図9に飼料のタンパク質含量とタンパク質効率の関係を示す。但し、魚油添加EXのタンパク質含量は43%に補正してある。同じタンパク質含量であればEXの方がタンパク質効率が高いが、7.5%魚油添加HPは魚油添加EXと略同じタンパク質効率を示した。

図10に試験-1開始時からの魚の成長曲線を示す。HPへの魚油添加によって成長が改善されること、EXへの魚油添加効果は小さいこと、HPへの魚油添加量を5%から7.5%に増やすと、より成長が改善され、魚油添加EXと略同じ傾きの成長を示すこと等が分かる。

以上の結果から、EXより飼育成績が劣るというHPの問題点は魚油の7.5%添加によって解決出来ることが分かった。魚油添加HPで飼育した親魚で再生産効率が低下しなければ、魚油添加HPは親魚用飼料としてより良い物になる可能性が

表 13 魚体測定と解剖の結果

試験区	A	B	C	D
体重 (g)	386.8	473.5	509.5	468.9
増減*	91.9	199.7	182.6	164.1
尾叉長 (cm)	31.9	32.9	33.4	32.6
増減	3.0	4.9	4.3	4.1
肥満度	1.19	1.33	1.37	1.35
増減	-0.03	0.08	0.04	0.03
内臓体重比 (%)	7.76	8.02	9.45	8.58
増減	0.16	-1.03	-0.85	-0.80
DL 体重比	2.60	3.24	3.95	2.95
増減	0.57	0.30	0.41	-0.17
肝臓体重比	0.83	0.74	0.85	0.94
増減	-0.14	-0.32	-0.56	-0.42
生殖腺体重比	1.23	0.76	0.80	1.32
増減	1.11	0.55	0.63	1.24

*: 終了時 - 開始時。開始時の値は表 8 の値を参照。

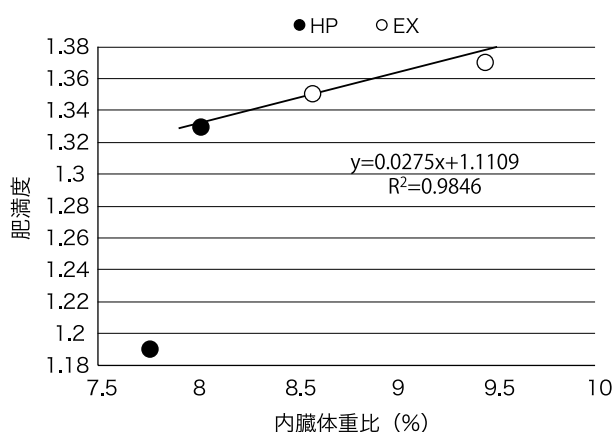


図 11 内臓体重比と肥満度

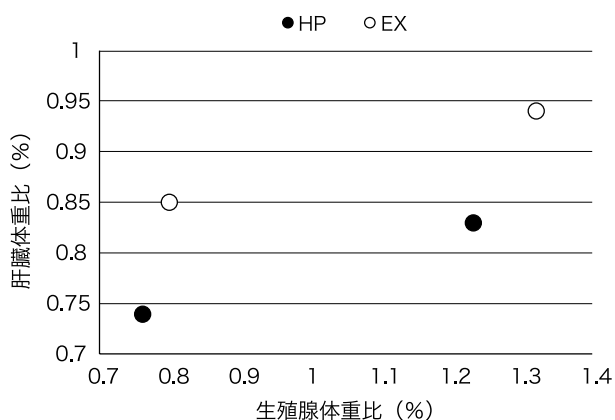


図 12 生殖腺体重比と肝臓体重比

ある。今後は添加すべき油の種類、脂肪酸組成等を検討する必要がある。

2-2. 魚体測定と解剖の結果

表 13 に結果を示す。各区共外観や各臓器に異常は認められなかった。計算で求めた各区の平均体重は A 区: 418g, B 区: 467g, C 区: 497g, D 区: 486g なので、供試魚の平均体重と多少の違いは有るが、ほぼグループを代表する魚と見做し得る。

HP, EX 共に魚油添加によって肥満度、内臓体重比, DL 体重比, 肝臓体重比が大きくなること、何れの指標も同じ飼料の C/P 比であれば HP より EX で大きいこと, DL 体重比と内臓体重比の間に正の相関が有ることなど、試験-1,

2 と同じ傾向を示した。また、図 11 に示す様に内臓体重比と肥満度の間には、魚油無添加 HP 以外で、正の相関が認められた。

生殖腺体重比は飼育試験開始時（試験-2 終了時）より各区共可也大きくなっており、生殖腺の発達が始まっていると思われるので、生殖腺体重比と肝臓体重比の関係を調べたところ、図 12 に示す様に HP, EX 共に生殖腺体重比が大きくなるに従って肝臓体重比も大きくなっており、同じ生殖腺体重比であれば肝臓体重比は EX の方が大きかった。これは EX のほうがグリコーゲン含量が多いことによるのではないかと推測している。肝臓は飼料や魚体の成分を卵巣や精巣に取り込める形に変えて血液を介して供給する役割を有する臓器なので、生殖腺の発達が始めれば大きさが変わるのとは当然である。

2-3. 全魚体、背肉、肝臓の分析値

表 14 に分析結果を示す。全魚体では HP, EX 共に魚油添加によって水分が減少し、脂質が増加していた。また、7.5% 魚油添加 HP は魚油添加 EX と略同じ水分と脂質含量を示した。背肉では HP, EX 共に魚油添加によって脂質が増加したが、含量は HP より EX の方が多かった。これ

表 14 全魚体、背肉、肝臓の水分と脂質含量

試験区	A	B	C	D
全魚体				
水分 (%)	70.1	67.1	67.7	69.4
増減 *	0.1	-3.7	-1.7	-0.4
脂質	9.39	13.4	13.1	10.7
増減	-0.81	3.3	1.4	0.3
背肉				
水分 (%)	76.0	76.0	75.9	75.6
脂質	0.76	1.11	1.56	1.26
肝臓				
水分 (%)	74.6	74.4	75.0	75.5
脂質	5.83	5.93	4.89	4.99
脂質 (% 乾物)				
全魚体	31.4	40.7	40.6	35.0
背肉	3.17	4.63	6.47	5.16
肝臓	23.0	23.2	19.6	20.4

*: 終了時 - 開始時。開始時の値は表 9 の値を参照。

表 15 血漿成分の分析値

試験区	A	B	C	D
Glu (mg/dL)	154	153	149	106
増減 *	19	8	44	5
T-Cho (mg/dL)	476	502	466	388
増減	-58	-110	-12	-90
T-Pro (g/dL)	4.8	5.1	4.9	4.3
増減	0	0	0.1	-0.2
TG (mg/dL)	382	345	452	495
増減	61	4	-5	183
ALP (IU/L)	243	290	283	197
増減	-16	-63	2	6

*: 終了時 - 開始時。開始時の値は表 10 の値を参照。

は EX には大豆油が添加されていることの影響であると思われる。肝臓では HP, EX 共に魚油添加の影響は認められなかった。HP の方が

EX よりやや水分が少なく、脂質が多かったが、これは EX の方がグリコーゲンが多いためではないかと考えている。

この様に飼料への魚油添加が魚体成分に及ぼす影響も試験 -1, 2 と略同じ結果を示した。

2-5. 血漿成分の分析値

表 15 に結果を示す。T-Cho, T-Pro 含量と ALP 活性は HP, EX に係わらず魚油添加によって高い値を示し、TG は低い値を示した。TG が魚油添加区の方が低い値を示すのは試験 -1, 2 とは全く逆の結果である。試験 -1, 2 との違いは生殖腺が発達を始めていることなので、生殖腺体重比と血漿の TG 含量との関係を調べたのが図 13 である。生殖腺体重比が大きくなるに従って血漿の TG 含量も高くなっており、生殖腺、主として卵巣への脂質の輸送が始まっているのではないかと考えられた。同じ生殖腺体重比では EX の方が TG 含量が高かった。

T-Cho と T-Pro は生殖腺体重比が大きい程少なく、しかも HP の方が EX より多く、TG とは全く逆の結果を示

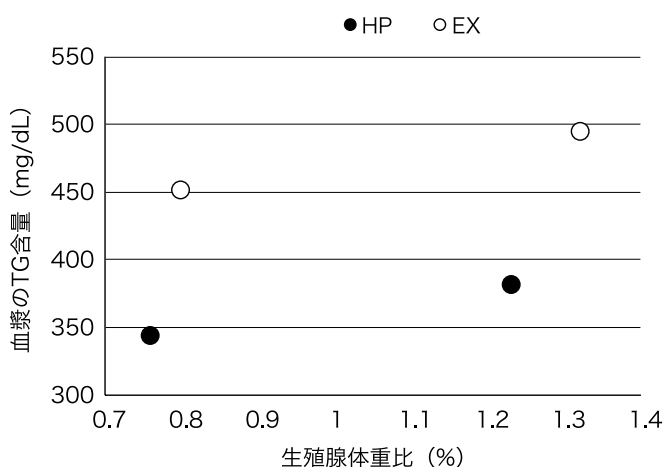


図 13 生殖腺体重比と血漿の TG 含量

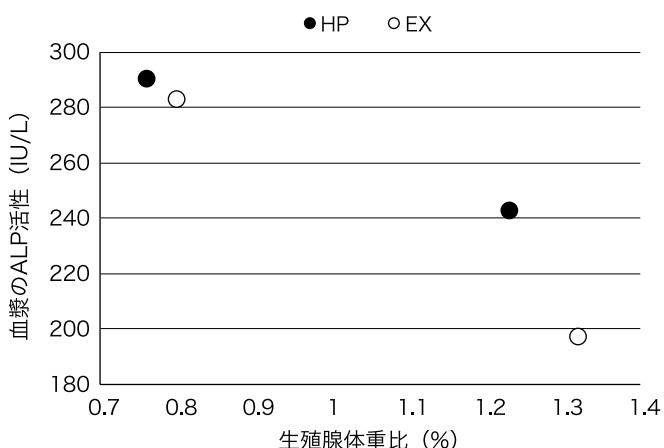


図 14 生殖腺体重比と血漿の ALP 活性

した。これは生殖腺の発達程度によって移送される栄養成分に違いがあり、発達初期には主として脂質が生殖腺に送られることを示すものと思われる。

生殖腺体重比と ALP 活性の関係を示したのが図 14 である。HP、EX に係わらず生殖腺体重比が大きくなるに従って ALP 活性が低くなっている。生殖腺の発達に伴って栄養成分を生殖腺に取られるために魚の成長が従来より悪くなっていることを反映しているのであろう。

Glu は魚油添加 EX で低い値を示した他は、各区共略同じ値を示した。Glu は全試験を通じて一貫した傾向が認められなかった。炭水化物の消化吸収率は EX の方が高いのに、血漿の Glu は EX の方が高い傾向が認められない理由を今後明らかにする必要がある。

3. 要約

- ・ HP への魚油 7.5% 添加によって魚油 4% 添加 EX と同等の飼育成績を示す様になり、魚油の増量効果が明確であった。
- ・ HP、EX 共に魚油添加は飼育成績を改善するが、改善効果は HP の方が EX より大きかった。
- ・ HP、EX に係わらず魚油添加によって肥満度、内臓体重比、DL 体重比、肝臓体重比が大きくなるが、同じ飼料の C/P 比であれば何れも EX の方が大きかった。
- ・ 生殖腺が発達を始めており、臓器の大きさや魚体成分に影響を及ぼし始めていた。
- ・ 生殖腺体重比が大きくなるに従って肝臓体重比も大きくなっていたが、これは生殖腺への栄養成分の輸送に対する肝臓の役割と関係していると思われる。
- ・ 生殖腺体重比が同じであれば肝臓体重比は HP より EX の方が大きかった。肝臓のグリコーゲン含量が関係していると推測した。
- ・ 魚油 7.5% 添加 HP と魚油 4% 添加 EX は略同じ全魚体の水分と脂質含量を示した。HP、EX 共に魚油の添加によって背肉の脂質は多くなるが、EX の方が HP より多かった。EX

に添加されている大豆油の影響であると推測した。

- ・ 肝臓の脂質含量は HP、EX 共に魚油添加の影響を受けなかったが、HP の方が脂質は多かった。EX の方がグリコーゲンが多いために相対的に脂質が少なくなったためと思われる。
- ・ 生殖腺体重比と血漿 TG 含量の間には正の、生殖腺体重比と T-Pro 含量、ALP 活性の間には負の相関が認められた。これは生殖腺の発達初期には主として脂質が生殖腺に送られることと、生殖腺の発達によって魚の成長が抑制されることを反映している。
- ・ 生殖腺の発達による影響以外は試験 -2 の結果とほぼ同じで、HP への魚油添加量の増量効果が再確認出来た。

考察

HP に魚油を 7.5% 添加することによって EX と同等の飼育成績が得られるようになった。この 7.5% 魚油添加 HP で飼育した親魚を用いて再生産を行い、その結果が魚油無添加の HP に劣らなければ従来より優れた親魚用飼料になると思われる。再生産試験の結果は別報で報告する予定である。

今回の 3 試験を通じて下記の 4 点が明らかになった。

- ①飼料の分析値から求めた C/P 比を基準にすると、飼育成績、肥満度、各臓器の体重比、魚体成分含量、血漿成分含量等の殆どにおいて HP と EX で著しい違いがある。
- ②飼料への魚油の添加効果は HP の方が EX より大きい。
- ③背肉の脂質含量は EX の方が HP より大きい。
- ④生殖腺の発達は飼育成績、臓器体重比、魚体や血漿の成分含量等に大きな影響を及ぼす。以下何故こうなるのかを推測してみた。

添加された脂質の消化吸収率は HP と EX で同じであると考えられるが、炭水化物とタンパク質の消化吸収率は EX の方が大きいことが分

かっている。よって、飼料の分析値が同じでも魚に吸収される栄養成分の量は EX の方が多い。これが①の結果になって表れる。この様に飼料の製造法が違って栄養成分の消化吸収率が異なる場合や、使用する原料の消化吸収率が著しく違う場合の比較には、飼料の分析値から求めた C/P 比を基準にするのは無理である。面倒でも飼料成分の消化吸収率を測定した値から C/P 比を計算すべきである。

もともと HP は EX より脂質が少ないうえに炭水化物とタンパク質の消化吸収率が EX より低い。生体内で炭水化物から脂質に転換される量も少なく、脂質がエネルギー源として利用される割合も少ない。よって、脂質によるタンパク質の節約効果も低く、魚体にタンパク質が蓄積される量も少ない。これが飼育成績が劣る原因になっている。ここに魚油を添加すると脂質がエネルギー源として十分に利用され、タンパク質がエネルギー源として消費される割合が減少するので魚体に蓄積するタンパク質が増え、飼育成績が改善される。一方、EX ではタンパク質が HP より多いうえに炭水化物とタンパク質の消化吸収率が高い。さらに大豆油が 2% 添加されているので脂質も HP より多い。このような状態なので、魚油を添加しなくても魚が必要とする栄養素の量のある程度満たしているであろう。ここに魚油を添加しても魚体に蓄積さ

れる脂質の量が増えるだけで、飼育成績の著しい改善には繋がらない。これが②の結果となって表れる。

魚油と大豆油はそれぞれを単独で使用するより併用した方が背肉に脂質を蓄積し易いことは既に報告した³⁾。HP に大豆油は添加されていないが、EX には 2% 大豆油が添加されている。魚油の添加は脂肪蓄積組織に蓄積される脂質の量を多くするが、背肉の脂質含量には大きな影響を及ぼさない。これが③の結果となって表れる。

ニジマスの卵巢や精巣は一定の年齢と時季になると急激に発達する。生殖腺の発達に伴って摂餌量が減少し、最終的には食べなくなる。ところが生殖腺は発達し続ける。この発達を維持・促進するために必要な成分を消化吸収された飼料成分や魚体を分解して作られた成分を生殖腺に取り込める形に肝臓で作りかえ、血液を介して生殖腺に送る。生殖腺の発達に伴ってこのような変化が魚体内で起こっているため、生殖腺の発達は飼育成績、臓器体重比、魚体や血漿の成分含量に大きな影響を及ぼすことになる。これが④の結果となって表れる。

魚の成長に伴う生殖腺の発達状態と臓器体重比や体成分組成の変化等については改めて報告する予定である。

参考文献

1. 酒本秀一：ニジマスの親魚用飼料－1. *New Food Industry*, **55**(4): 50-60, 2013.
2. 北村佐三郎：飼料. 魚類の栄養と飼料 (荻野珍吉編, 新水産学全集 No.14), 恒星社厚生閣, 東京, 247-306, 1980.
3. 酒本秀一：ニジマス用飼料の油脂源－1. *New Food Industry*, 投稿中
4. 酒本秀一：ニジマス用飼料の油脂源－2. *New Food Industry*, 投稿中
5. 酒本秀一：ニジマス用飼料の油脂源－3. *New Food Industry*, 投稿中

第2章 冠動脈心疾患率のアドベンチストと他人との比較

ゲリー E. フレーザー (Gary E. Fraser) *1 訳: 山路 明俊 (Akitoshi Yamaji) *2

冠動脈心疾患で死亡する人は、米国では過去30年間で半分以下に減少した。(Gillum,1993)しかし、米国や殆どの西欧諸国では、まだ、主要な死亡原因であり、罹患率の先頭でもある。この病気には、心筋梗塞、突然死、うっ血性心不全、重篤な不整脈や狭心症がある。

冠動脈心疾患(CHD)は、アテローム性動脈硬化の進んだ結果であり、冠動脈に影響し、心臓筋肉への血液と酸素の供給を消失させてしまう。アテローム性動脈硬化症は、動脈内壁で起こる、コレステロール、コレステロールエステル、コラーゲンや炎症細胞の蓄積である。(Ross,1993)このプロセスは、高いLDLコレステロール値と酸化ストレス下の環境で起こることが知られている。(Witztum,1994)酸化LDLコレステロールは、動脈壁から浸透し、そこに留まる傾向があり、動脈の空隙(内腔)にはみ出て、プラークを形成する。

コレステロールの堆積物は、脂肪塊の維持を弱めるような炎症応答を刺激し、破壊して血流を止めてしまう。そこで血栓を生じ、動脈を完全に閉塞し、心筋の死(心筋梗塞)を生じさせる。心疾患の傷跡や心筋の再生をする酸素の供給不足から生じる心臓の電氣的働きの崩壊は、重篤な不整脈や突然死の引き金になるかも知れない。

ライフスタイルの変化、特に食習慣や喫煙は、血中のコレステロール値の変化(Criqui et al.,1980;Jacobs et al.,1995)や、血液の酸化状態(Gilligan et al.,1994;Morrow et al.,1995)や血栓形成

の可能性(Marckmann et al.,1994;Miller,1992;Meade et al.,1987;Nilsson et al.,1990)を変化させることで、いくつかのポイントにおいて、傷害の連鎖を止めることができる。さらに、アテローム性動脈硬化を起こした動脈は、内腔をさらに狭くし、正常の動脈に比べ、しばしばけいれん状態となる。このけいれんは、影響を受けている壁にある筋肉細胞が、弛緩性の内因性硝酸に対し反応が弱い為に、通常よりは収縮状態になっていることによる。幸運なことに、LDLコレステロールの低下は、この状態を顕著に改善出来、(Schmieder and Schobel,1995)喫煙をやめると同様で(Heitzer et al.,1996)、身体能力も恐らく向上するであろう。(Clarkson et al.,1999)

多くのアドベンチストは、冠動脈心疾患予防のために、米国心臓協会(栄養委員会, AHA,2000)推奨の脂肪や繊維量を摂取する食習慣がある。彼らは喫煙せず、運動も平均以上を実施している。それゆえに、致死性あるいは非致死性の心疾患率は、非アドベンチスト集団より、幾分、低いことが期待されるかも知れない。事実、これは男性、女性共に見られることで、以下に示される。



米国人以外の非アドベンチストと
アドベンチストにおける心血管系疾患の死亡率

他国で実施された数多くの研究は、同じ国内のアドベンチストと非アドベンチストの死亡率

*1 ロマリンダ大学メディカルセンター教授, *2 ニュートリション・アイ

表 2-1 アドベンチストと非アドベンチストにおける心血管系死亡率の比較（非米国人対象）

国	対象の疾患	標準化死亡率（95% 信頼区間）		
		男女	男性	女性
オランダ	虚血性心疾患	0.43 (0.35 ~ 0.52)		
	脳血管疾患	0.54 (0.43 ~ 0.67)		
	心血管系疾患		0.8a	0.93a
ノルウェー	75 歳以下		0.65 (0.55 ~ 0.77)	0.90 (0.78 ~ 1.03)
	75 歳超		0.89 (0.80 ~ 1.00)	0.93 (0.87 ~ 1.01)
	冠動脈心疾患		0.73a	NA
	75 歳以下		0.55 (0.43 ~ 0.69)	NA
	75 歳超		0.91 (0.76 ~ 1.09)	NA
	脳血管疾患		0.88a	NA
	75 歳以下		0.89 (0.60 ~ 1.27)	NA
日本	75 歳超		0.88 (0.71 ~ 1.08)	NA
	虚血性心疾患		1.00a,b	0.67*a
	脳血管疾患 a		0.38**a	0.43**a

* $p < 0.05$ (29 例), ** $p < 0.01$; NA (not available/ 該当なし), a: 信頼区間は示されておらず計算不可, b: 18 の症例より
出典: Kuratsune et al., 1986; Berkeland de Waard, 1983; Fonnebo, 1992.

を比較するために、国家登録簿を利用している。これらの比較は、しばしば、標準化死亡率 (SMR) と称される統計により示される。標準化死亡率を見出すためには、CHD による死亡の予測数は、国の割合が、アドベンチストグループに適用されたかのように計算されている。SMR は、実際にアドベンチストで観察される死亡予測数に対する死亡数の割合である。

アドベンチストの男性は、特に 75 歳以下は、心血管系の死亡率に対し、かなり抑制されている様であり、SMR は、一般的に有意に 1.0 未満である。(表 2-1 参照) これは、冠動脈疾患と脳血管疾患（脳卒中）の両者の場合である。女性の場合はあまり明確でなく、日本人のデータは抑制を示しているが、少人数であり、ノルウェー人のデータもまた、弱い抑制傾向を示していて、比較的広い信頼区間である。SMR の真の値は、95% 信頼区間内にあると 95% の確信があるが、このことは、観察結果に影響を及ぼす変動の機会を与えることになる。ノルウェーとオランダ女性においては、脳血管死についてのそれぞれのデータはない。

ノルウェーでは、心血管疾患率に明らかな傾向があり、対象者がアドベンチスト協会に所属して、それが 19 歳未満であるか、19 歳～34 歳か、35 歳以上かによる。男性のこれらの

3 つのパターンの SMRs はそれぞれ 44, 76, 87 ($p < 0.05$) で、女性では、52, 79, 102 ($p < 0.001$) で、100 は似たような年齢構造を持つ非アドベンチストグループのリスクを示している。これらの興味深い傾向は、ライフサイクルの異なるステージでのある種の特異的なライフスタイルがあることを示唆している。この影響は、より若い年齢で大きいように見える。しかし、結果は暴露期間の影響に等しく一致しているということを確認することは重要で、より若い年齢での参加が、平均すると、アドベンチストのライフスタイルをより長い期間経験するということになるからである。

要約すると、同じ生活圏では、アドベンチストの心血管系の死亡率は、非アドベンチストより低いという国際的なエビデンスが示している。これらの違いは、冠動脈疾患が特に若年の男性で目立つようである。



カリフォルニアのアドベンチストと 非アドベンチストにおける冠動脈心疾患

若年のアドベンチストの冠動脈心疾患の死亡率は、同じ非アドベンチストよりも、1/3 未満である。(図 2-1 参照) この低いリスクは、高

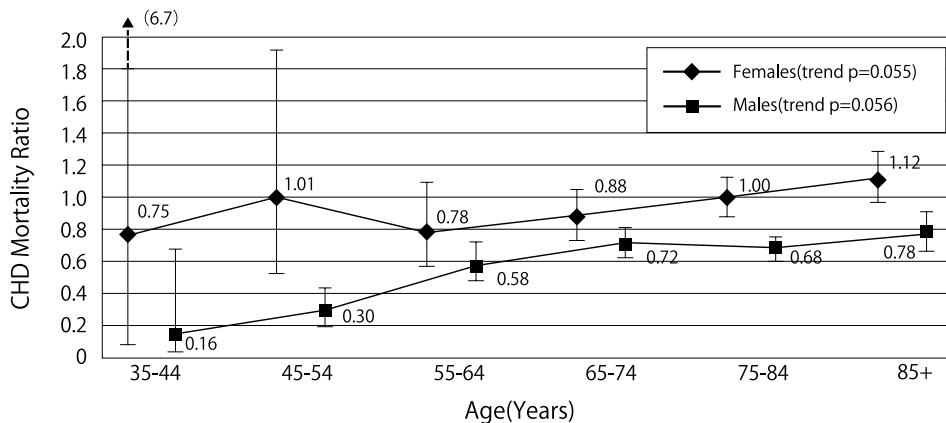


図 2-1 アドベンチストと非アドベンチスト死亡率比の比較

年齢, 性別。1960～1976 (アドベンチスト), 1960～1971 (非アドベンチスト) 出典: アドベンチスト死亡率, 米国がん協会研究

年齢のアドベンチストでははっきりしないが、成人の期間では、一定の低い割合が見られる。CHD 死亡率の違いとして見ると、若年のアドベンチストでは、約 170 例/100,000 人/年と低く、この違いは、高齢のアドベンチストでは、1000 例/100,000 人/年と広がりを見せる。このように、高齢のアドベンチスト男性の CHD 死亡率の小規模の低下は、高齢期に見られる全体として高い CHD 死亡率の結果としてのリスクの違いの大きさを意味している。

これとは対照的にアドベンチスト女性の CHD 死亡率は、非アドベンチストで ACS 研究参加者とは、それ程明確な相違はないが、若年のアドベンチスト女性は低い傾向にある。アドベンチストと非アドベンチストを比較すると、マンテル・ヘンツル検定で年齢を調整した後では、CHD 死亡率比 (95% 信頼区間) は、男性で 0.66 (0.62～0.71)、女性では、0.98 (0.90～1.06) である。

女性ではそれ程明確ではないが、男性では、年齢によって、アドベンチストと非アドベンチストの比較の修正があるように見える。75 歳未満の女性では、アドベンチストの方が 10～20% 優位であるが、75 歳以上のアドベンチスト女性では、大多数で冠動脈疾患が発生するので、これらの年齢で発生している影響の欠損が、前述のマンテル・ヘンツル率比統計では優勢で

ある。これらの結果は、ノルウェーで見られることと一致している。(表 2-1)

致死性の CHD 疾患と重篤な心筋梗塞について、カリフォルニアのアドベンチスト健康調査 (AHS) コホートと、ラテンアメリカ系でない白人で非アドベンチストのスタンフォード 5 市コホートで、さらなる比較研究が実施された。この比較研究は、1978～1982 年のアドベンチスト研究と 1979～1985 年の非アドベンチストスタンフォード研究を網羅している。後者はスタンフォードデータが入手可能な年度である。スタンフォード研究は高齢者以降のデータがないので、比較は 45～75 歳が対象とされた。暦年の結果を再度比較した。そこで、前述の ACS vs AMS と比較したところ、同じ詳細な診断基準が両者で使用されていること、データは非致死性と致死性の両方が含まれているという利点が存在していた。

心臓疾患率比は、比較年の 7 年間、それぞれ計算されて、これらの比率は、1970 年の米国の人口の年齢構造に従い標準化された。これらの比率においては明らかな時間傾向は見られなかった。このことは、アドベンチストのボランティア状態はほとんど影響しないことを示唆していて、それが重要としても、ボランティア活動の影響は消えてなくなるので、アドベンチストの率は調査機関中上昇することが期待される

のである。しかし、このような影響から回避するために調査最初の年、1977 年は除外した。ボランティアに参加する際、参加者は差し迫った疾患の知識を持っておらず、研究への参加の決定に影響がないとしても、健常者のボランティアの影響はあまりないように見える。これらの分析でも事実であるように、このことは、偶発的な事や新規の症例に対処する際の態度であるべきである。

CHD と心筋梗塞全体に対して、年齢によっては、比率の急激な上昇があり、アドベンチストの心疾患の低下は若年層で大きいことを示している。(図 2-2, 2-3 参照) これは、ACS vs AMS の結果と類似している。(図 2-1 参照) ここにあるような偶発的な事や症例は最初は、明らかな比較を提供することが一般的に考えられている。なぜなら、研究開始時にすでに疾患を持つ人は、疾患が原因でライフスタイルを変化させ、原因となる関連性をゆがめてしまうからである。

若年のアドベンチストの方が、高齢のアドベンチストよりライフスタイルへの関心があるかどうかは、年齢に対する強い相関で説明が可能

である。しかし、反対のことが真実のようにも見える。というのは、ベジタリアニズム（アドベンチストの数多くの健康習慣の合理的な代理人）が、高齢のアドベンチストの間では、もっと一般的であるからである。(1 章参照) このように、ライフスタイルの心理的な影響は、高齢者ではそれ程ドラマチックなことでないように思われ、その状況は、他の研究結果からも示唆されている。(Benfante et al.,1989;Psaty et al.,1990;Stevens et al.,1998)

最終的に、年齢群（45～74 歳）と全ての致死性 CHD 症例の歴年を要約すると、標準化率（アドベンチスト / 5 市研究）と異なる CHD エンドポイントに対する 95% 信頼区間として表 2-2 に示されている。非アドベンチストと比較して、ベジタリアンアドベンチストの CHD 発症率は類似している。この年齢領域での要約比率は、アドベンチストではかなり低く、ベジタリアンのアドベンチストでも同様に低い。

これらの後者の比較（ACS/AMS の比較を参照）では、アドベンチスト女性からアドベンチスト男性の相対的な優位性を分けられる部分は少ないということは、注目に値する。アドベン

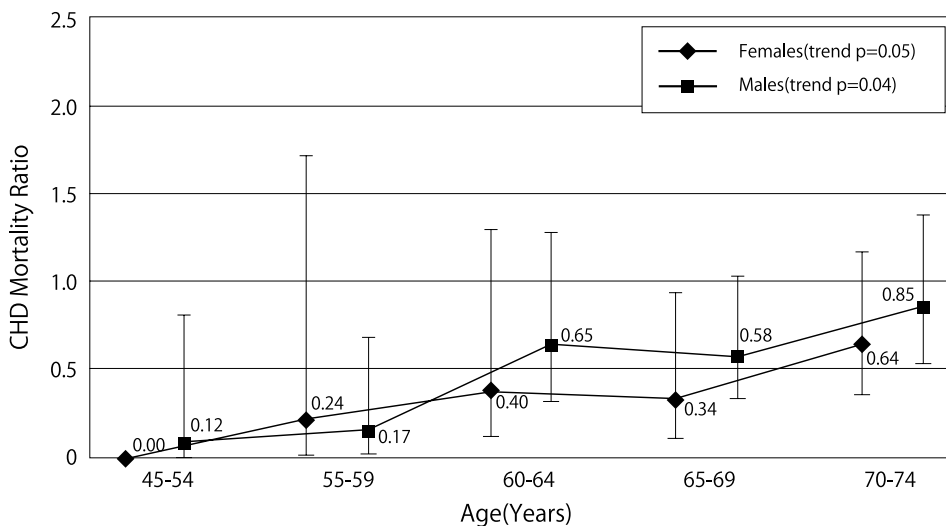


図 2-2 アドベンチストと非アドベンチストの初期の明解な致死性 CHD 率を比較した、年齢、性別の死亡率比
アドベンチストとスタンフォード研究の非ラテン系白人を対象。(逆標準得点の重みを年 - 依存性標準症例率比に対し適用した、暦年間の平均) 出典：スタンフォードデータ

チスト女性は、スタンフォード研究では明らかな優位性を有していて、それは、10～15年前のデータでは、明確ではなかった。一つの説明としては、最新の対照では、ACS/AMS対照で記述されている若年層のみを網羅していて、アドベンチスト率の低さが特に目立っているのがこれらの若年層であるように見える。

食事因子は別にして、アドベンチストと非アドベンチスト間のリスクの違いに明らかに貢献しているものは、タバコの使用とアドベンチストグループでは、禁煙が实际的であることによっている。このことは、特に、男性に対する比較対照に影響を与えることが期待され、非アドベンチスト女性よりも非アドベンチスト男性の喫煙率が高くなっている。

アドベンチストと非アドベンチスト喫煙者間の比較対照は、初期のAMS/ACS研究で見出せる。全年齢にわたるCHD死亡率比は、男性では、0.76 ($p<0.01$)と少し高めで、女性では1.01と予想通り、ほとんど変化なしである。この比較対照の全ての被験者は、非喫煙者なので、アドベンチスト男性に対するリスク低下の多くは、喫煙無し以外の要因に違いないとされている。

このことは、AMS研究の若年者と中年アドベンチスト女性で示されたように緩和な低リスクということが事実であるかも知れない。

また、学歴の違いは、この比較対照を混乱させるかも知れない。AMSとACS研究グループの両者共、平均的なカリフォルニア人よりも学歴が高く、ACS比較対照群は平均して、アドベンチストより、やや、高い。このことは、非アドベンチスト間のリスクを高めるよりも、低下を促進することになる。(Kaplan et al.,1993)従って、学歴の経歴はささやかな違いなので、比較対照は、恐らく、ゼロ(あるいは、相違無し)に向かってわずかなバイアスとなる。



カリフォルニア アドベンチスト間の 死亡率の低下

1960年代中頃より、現在、50%を超える米国のCHD死亡率の傾向は連続した低下を見せている。(Gillum,1993;HalikとFeineib,1979)また、多くの他の西欧諸国でも同様の変化が見られる。死亡率の統計は、これらの傾向分析報告

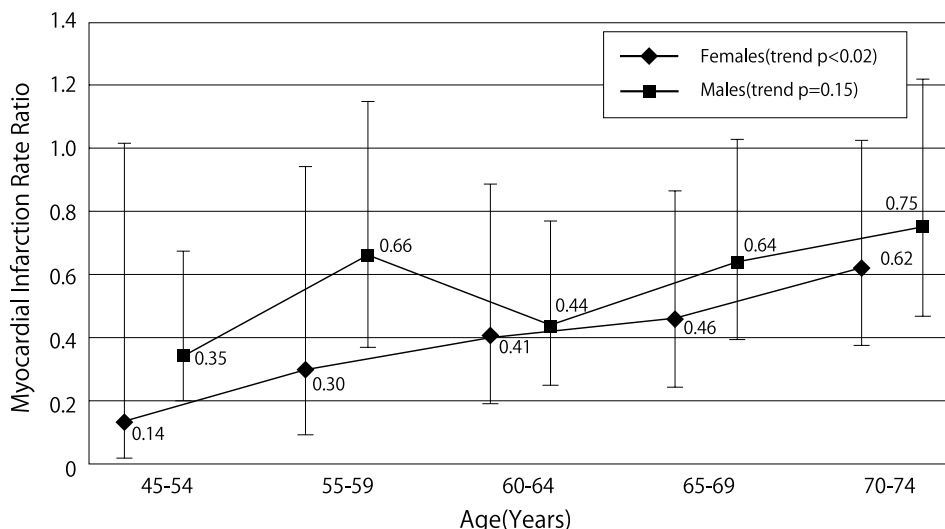


図 2-3 アドベンチストと非アドベンチストの初期の明確な心筋梗塞率を比較した、年齢、性別の比率

アドベンチストとスタンフォード研究の非ラテン系白人を対象。(逆標準得点の重みを年 - 依存性標準症例率比に対し適用した、暦年間の平均) 出典：スタンフォードデータ

表 2-2 スタンフォード5市非ラテン系白人とアドベンチスト健康研究を対象にして、ベジタリアンと全アドベンチストを比較した、冠動脈心疾患のエンドポイントの要約比率（暦年と45～74歳間）

エンドポイント	アドベンチスト群	標準化比率（95%信頼区間）	
		男性	女性
全致死性 CHD	全アドベンチスト	0.73 (0.58 ～ 0.90)	0.57 (0.41 ～ 0.79)
	ベジタリアン	0.53 (0.34 ～ 0.84)	0.22 (0.09 ～ 0.53)
致死性 CHD の最初の発症	全アドベンチスト	0.51 (0.37 ～ 0.69)	0.48 (0.31 ～ 0.74)
	ベジタリアン	0.38 (0.20 ～ 0.71)	0.18 (0.06 ～ 0.55)
全心筋梗塞	全アドベンチスト	0.53 (0.43 ～ 0.64)	0.38 (0.29 ～ 0.51)
	ベジタリアン	0.27 (0.16 ～ 0.43)	0.37 (0.21 ～ 0.65)
心筋梗塞の最初の発症	全アドベンチスト	0.53 (0.42 ～ 0.68)	0.42 (0.30 ～ 0.59)
	ベジタリアン	0.26 (0.14 ～ 0.47)	0.53 (0.30 ～ 0.93)

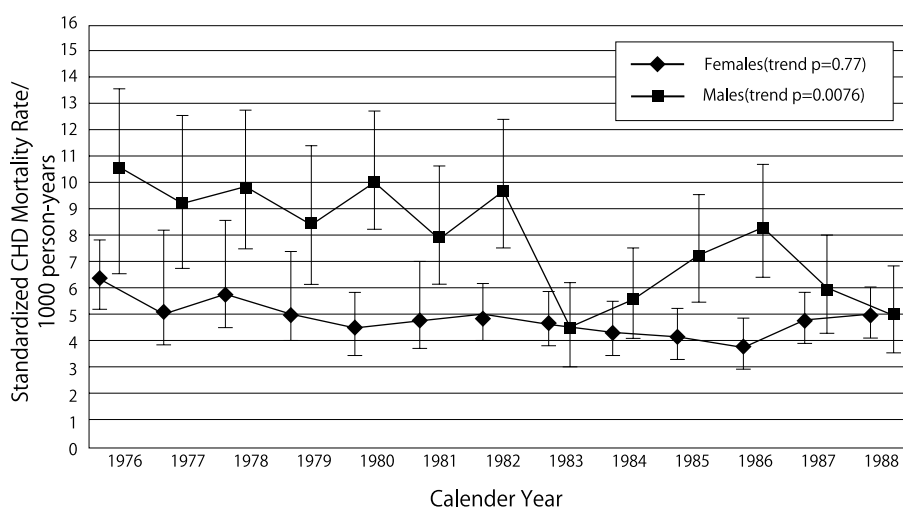


図 2-4 アドベンチスト男性、女性の年齢標準化 CHD 比率の時間的なトレンド（1976～1988 年）

全 CHD 死亡率（1976 年の AHS 人口の年齢構造に対し標準化した死亡率比。死亡証明の ICD9 のコード）

書では、年齢と性別は標準化されているので、集団の人口統計学的な仕組みを変化させるような人為的なものは除外してある。

全ての年齢、性別、人種に影響を及ぼす CHD 死亡率の低下傾向の原因に関して、多くの議論がなされてきた。（Hunink et al., 1997; Macgovern et al., 1996）原因として考えられるのは、効果的な一次予防の努力をミックスしたもので、喫煙の減少、高血圧の効果的な調整、良好な食生活の実施だけでなく、近年の効果的な医療による 2 次予防がある。

アドベンチストは、平均して、1960 年代（実

際には、それよりずっと以前）から、多くの主要な予防対策を実施してきているので低リスク群であるが、CHD 死亡率の継続的な低下に関与しているのだろうか。一つの仮定として、長年にわたりアドベンチスト間では新規の心疾患率の小さい低下のみがあり、それは、すでに普及している新しい医療の結果である血圧の穏やかな改善によるというデータを我々は保持している。

それとは対照的に、CHD を抱えるアドベンチストは、他の人と同様に心疾患の医療の進歩の恩恵を被っていて、心血管の医療ユニットや

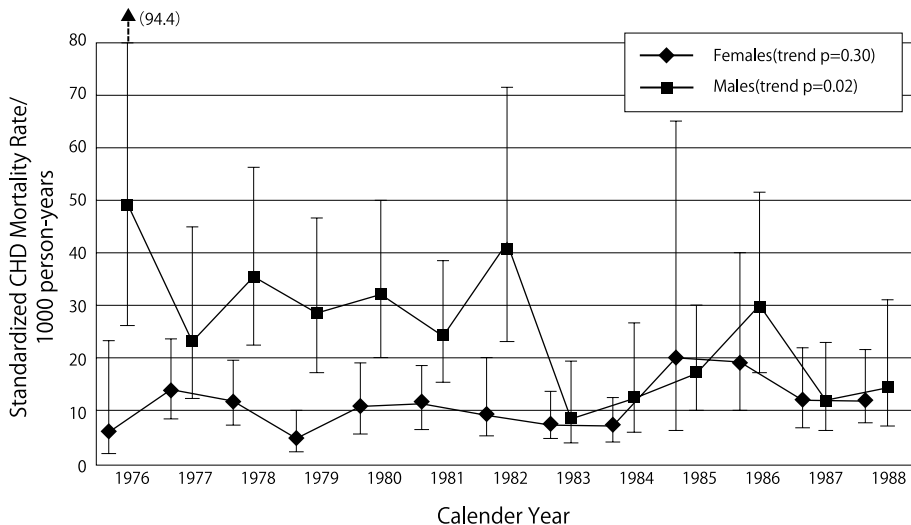


図 2-5 アドベンチスト男性、女性の年齢標準化 CHD 比率の時間的なトレンド (1976 ~ 1988 年)
非偶発的な CHD 死亡率 (1976 年の AHS 人口の年齢構造に対し標準化した死亡率比。死亡証明の ICD9 のコード)

バイパス手術等の介入手段、さらに近年では、バルーン血管形成術もある。従って、アドベンチスト間の CHD 死亡率の緩和な低下は、殆どが 2 次予防と心血管疾患をすでに罹患している人への進歩した医療によって説明ができるリスク低下であると予測できるかも知れない。

アドベンチスト間の全致死性 CHD 症例の傾向 (図 2-4 参照) を見ると、1978 ~ 1988 年の間の死亡率は有意な低下 (約 40%) を示しているが、男性のみである。事実、このことは、研究開始時の CHD 罹患男性で広く見られる。(図 2-5 参照) 研究開始時に既知の CHD に罹患していない被験者に見られる (記載はない) 同様な解析 (偶発的か、新規の発症) は、男 ($p=0.4$) 女 ($p=0.95$) 共、時間傾向についてのエビデンスは少ない。

この様に、これらの結果は上記の仮説と一致している。偶発的な CHD 死、それは心疾患罹患歴のない人の死であるが、それだけを考慮すると、男女共、明白な低下傾向は見られてこ

なかった。これらの症例は、医療の進歩からの影響は少ない。というのは、殆どは病院の外の社会で起きていて、(Fraser,1978;Kannel and Thomas,1982) また、ここで見られる低下傾向は 1 次予防を現わしていて、アドベンチスト間では恐らく小さな変化でしかない。

罹患歴のある男性の死亡率の低下は、恐らく、医療の改善を意味していて、あるいは、一度 CHD と診断されたというリスク因子への関心かも知れない。

研究開始時に疾患のあるアドベンチスト女性間の全 CHD 死亡率と CHD 率の傾向についてのエビデンスは少ない。このことは、医療の進歩は女性にとっては重要性が低いことを示唆している。このことは他のエビデンスとも一致している。(Bell et al.,1993;Cowley et al.,1987;Davis,1987;Greenberg and Mueller,1993;O' Connor et al.,1993)

地域密着でキラリと光る企業

— 『三百余年の伝統を誇る稲庭饅頭の無限堂』 —

田形 暁作 (TAGATA Yoshinari)

TAGATA 食品企画・開発代表

Key Words: 稲庭うどん 秋田県稲庭町 日本三大うどん 伝統食品

はじめに

秋田を訪れたときに、ある店で秋田の名物だという饅頭をいただいた。喉をツルッと通るそのなめらかな喉ごしと特有のコシの強さに魅了された。その驚きはいまでも忘れられない。店の人に「この饅頭はどこのも？」と尋ねたところ、稲庭饅頭であると教えていただいた。

その後、食品展示会に参加した際に、稲庭饅頭の無限堂さんがブースを出しておられた。そのときに試食させてもらいあの味わいを再び楽しませていただき感激した。このご縁があって、無限堂さんを訪問することとなり、社長さんから稲庭饅頭と無限堂の話をお聞きし、工場長さんから生産現場を案内していただいた。こうして稲庭饅頭のなめらかな喉ごしとコシの強さの秘密を少しだけ理解した気になった。

本稿では稲庭饅頭と三百余年の伝統を誇る無限堂を紹介したい。

山々に抱かれ、澄んだ空気と清冽な水に恵まれた、良質な小麦の産地であった。

これに着目した藩主が、稲庭の村人たちに命じて、うどんを作らせたのが始まりで、藩主への上納品として納められていた。

宝暦二年（1752）には、藩を代表する名産品として藩御用達となり、藩主の江戸出府に際しての贈答品として使われ、その美味しさは將軍家や各地大名にも絶賛されたと言われている。明治になってからは、もっぱら宮内省（当時）に上納された。厳選された材料と熟練の技で作られる稲庭うどんは、超高級品としてもてはやされ、一般庶民が日常の中で食すことはたいへん難しかったと言われている。

現在では秋田県、山形県、新潟県などでも稲庭饅頭と同じ製法で作られたうどんはあるが、「稲庭うどん」という名称は秋田県内で製造されたうどんにのみ与えられた名称である。

1. 稲庭饅頭（うどん）の歴史

現代では『日本三大銘うどん』として知られる稲庭うどん。その製造方法が確立されたのは350余年前。稲庭うどんの歴史は古く、寛文五年（1665）までさかのぼる。秋田県南部に位置する現在の稲庭町は、雄大な栗駒山をのぞむ

2. 無限堂の由来

『無限堂』の名の由来は、設立者である大島家に守護神として龍神社があり、この龍神さんを「無限白龍神」と称していることからきている。無限堂の製品に描かれている白龍もこれに由来する。この龍神さんに「無限白龍神」の名

をつけたのが秋田出身の日本画家「舟山三朗」画伯で、21歳で帝展に入選してから「無限」「田沢湖伝説」「春の月」など優れた作品を多数生み出し、日本画の偉才と称された方である。

3. 日本三大銘うどんとは

「日本三大うどん」として・稲庭うどん（秋田県）・讃岐うどん（高松市など）、・水沢うどん〔群馬県伊香保）・きしめん（名古屋）・五島うどん（長崎県）などがあるが、日本三大銘うどんは、どうやらその地域によって異なるようである。

4. 無限堂の会社概要

会社名	株式会社無限堂
所在地	本社工場 秋田県湯沢市稲庭町字下川原 237 秋田配送センター（インターネット店） 秋田県秋田市泉東町 8 番 55 号 TEL:018-868-3371 FAX:018-868-5741
創業	1983 年 9 月 1 日
代表者	代表取締役社長 大島千明
業務内容	稲庭うどん、稲庭そうめんの製造販売、和食飲料店の経営
店舗	●伝承の味処 無限堂大町本店 秋田市大町 1 丁目 3 番 2 号 TEL:018-863-0008 ●無限堂 駅前店 秋田市中通 2 丁目 4-12 TEL:018-825-0800 ●海鮮問屋 北前船 秋田市卸町 2 丁目 2 番 7 号 (秋田まるごと市場内) TEL:018-862-2133

5. 会社の歩み

1979 年

旧稲川町にて饅頭製造開始

1983 年 9 月 1 日

旧稲川町に工場新設 (株)無限堂設立

資本金 700 万円

1984 年 10 月 1 日

本社工場増設、量産体制に入る

1986 年 6 月 1 日

秋田市に配送センター新設

1988 年 5 月 1 日

秋田県知事より優良県産品に認定される

1989 年 2 月 1 日

旧稲川町の本社工場を同町下川原地区移転
新築

1990 年 3 月 1 日

増資により資本金 3,200 万円

1990 年 5 月 1 日

秋田市大町に伝承の味処無限堂を開店

1992 年 3 月 1 日

秋田市に第一倉庫新設

1994 年 2 月 1 日

本社工場増築生産量倍量になる

1999 年 11 月 1 日

秋田市に第二倉庫新設

2000 年 12 月 1 日

秋田市に市場の海鮮居酒屋無限厨房開店

2004 年 4 月 1 日

伝承の味処無限堂を新築

2006 年 5 月 1 日

無限堂秋田駅前店開店

2008 年 3 月 1 日

海鮮問屋北前船開店

6. 無限堂の稲庭饅頭の製造工程と稲庭饅頭

特有のコシ、なめらかな喉ごし、繊細で上品な風味を持った無限堂稲庭饅頭は厳選された原料と独特の手廻（てない）製法により生まれる。この伝承の技は縄を廻う（なう）が如く、ひねりながら細く延ばしていくことが特長で、「練り」「手廻い」「つぶし」「干し」の四つの工程を経て饅頭を完成させた。職人の技が比類なき喉ごしを生んだのである。

●製造工程「手廻製法」



写真1 練り



写真2 手廻い（てない）



写真3 つぶし



写真4 干し



写真5 稲庭饅饨「寒の蔵」



写真6 冷やし稲庭うどん



写真7 きりたんぼ鍋

7. 店舗の紹介

伝承の味処 無限堂 大町本店

秋田市の台所といわれた上肴町（現大町）にその趣を構えている。落ち着いた商家のたたずまい

の中，秋田の郷土料理と厳選された旬の味覚を地酒とともにゆっくり味わえる。美味しさへのこだわりを持って，秋田の味を届ける。

おわりに

日本には「うどん」や「そば」を食べさせる店は全国どこに行ってもある。特に地方に行くほど麺作りにこだわった店が多い。

株式会社無限堂は開発型の会社として稲庭饅頭メーカーとしては存在感がある。製造方法もいろいろ工夫され、ノウハウは持っておられる。ここで紹介できないのは残念であるが、興味を持たれた方は秋田まで行かれるか、通販 <http://mugendo.shop29.makeshop.jp/> で購入され、是非ともご賞味いただきたい。

第 21 回トレハロースシンポジウム開催 11 月 16 日 (木)

株式会社林原（本社：岡山市 社長：森下 治）では、「第 21 回トレハロースシンポジウム」を 11 月 16 日（木）に東京で開催いたします。このシンポジウムには、毎回、トレハロースの研究・開発に携わる方々にご参加いただき、分野の枠を越えた学術的交流がなされています。今回は 6 題の講演に加え、特別企画「トレハロース採用品のご紹介」の時間を設け、3 社のご担当者様をお迎えして、商品を紹介していただく予定です。当日は、ご紹介いただく 3 社の商品の展示コーナーも用意して、多くの皆さまのご来場をお待ちしております。

日 時：2017 年 11 月 16 日（木）13:00～17:05

場 所：東京・御茶ノ水ソラシティ カンファレンスセンター 2 階ソラシティホール

一般の参加参加申し込み・問合せ先：株式会社林原

TEL.086-224-4312 FAX.086-221-6405

E-mail：HB98302@hb.nagase.co.jp

一般の申込締め切り 11 月 2 日

< 発表演題の紹介 >

■講演 第 1 部 座長 櫻井 実 <東京工業大学バイオ研究基盤支援総合センター>

13:00 I. 豚精子 豚精子の凍結保存におけるトレハロースの有効性

○舟橋弘晃 <岡山大学大学院環境生命科学研究科>

13:30 II. 毛髪内タンパク質の変性・凝集を抑制するトレハロースの化粧品への応用

○伊藤 廉, 古田桃子 <株式会社ミルボン 開発本部>

14:00 III. トレハロースで調理食品の品質をコントロール

○池上庄治 <株式会社林原 糖質事業本部>

□特別企画 トレハロース採用商品のご紹介（発表 5 分）

展示コーナーは 12:30 からご覧いただけます

14:30 ①ケイ・エイム・ナチュラル株式会社（青森）…フリーズドライフルーツ

② EN VEDETTE <アン ヴデット>（東京）…洋菓子

③タナカ製麺所（岡山）…乾麺

第 21 回トレハロースシンポジウム開催 11 月 16 日 (木)

15:00 休憩

■講演 第 2 部座長 春見隆文〈一般財団法人日本醤油技術センター/日本応用糖質科学会前会長〉

15:15 IV. トレハロースの細胞防御機構

○樋上賀一〈東京理科大学薬学部〉

15:45 V. 抗がん剤投与ラットにおけるレハロースの口腔粘膜炎予防効果

○宮井久敬, 森田 学〈岡山大学大学院医歯薬学総合研究科〉,
丸山貴之〈岡山大学病院新医療研究開発センター〉, 友藤孝明〈朝日大学歯学部〉

16:15 VI. トレハロースで赤い布を赤いままにー文化財保存の展開と可能性ー

○伊藤幸司〈公益財団法人大阪市博物館協会大阪文化財研究所〉

16:45 主催者あいさつ 株式会社林原 代表取締役社長 森下 治

なお、マスコミ関係者の方で、シンポジウムをご取材頂ける場合は、お手数ですが、11 月 2 日 (木) までに 株式会社林原 広報企画室 (担当: 小林) まで、FAX 又は E-メールにてご連絡くださいますようお願い申し上げます。

参加申込み・問合せ先

株式会社 林 原

担当: 森山, 細川

〒 700-0907 岡山市北区下石井 1-1-3

TEL 086-224-4312

FAX 086-221-6405

E-mail (参加申込みメール可)

HB98302@hb.nagase.co.jp

株式会社林原 広報企画室

岡山市北区下石井 1-1-3

TEL:086-224-4315 担当 小林

和食料理人向け『TREHA® BOOK —和食編—』発行 達人達はどう使う？ トレハ® 活用術

このたび、株式会社林原（本社：岡山市北区 代表取締役社長：森下 治）は、糖質調味料『トレハ®』の和食での使い方をまとめたミニブック『TREHA® BOOK —和食編—』を8月28日に発行いたしました。

トレハが日本の料理界に登場して、20年が経とうとしています。しかし、長い伝統を誇る日本の調味料の中では、まだ新しい素材と言えます。そこで、トレハとは何か、安全性や効果などといった「トレハのいろは」を紹介するとともに、料理にどのように使用するのかというポイントについて、日頃からトレハを使いこなしている日本を代表する料理人と、トレハを初めて使う若手料理人、双方の視点から解説していただき、和食料理人向けミニブック『TREHA® BOOK —和食編—』を制作いたしました。

日本を代表する老舗料亭でも、すでにトレハは様々な方法で活用されています。今回、長年、トレハを使いこなす達人として登場いただいたのは、「菊乃井」店主・村田吉弘氏、「たん熊北店」店主・栗栖正博氏、「一子相伝 なかむら」店主・中村元計氏という、日本料理を代表する3名の料理人です。トレハについての感想とともに、その特性を活かした料理をご紹介します。また、トレハ初挑戦の料理人として登場していただいた「蕎麦割烹 武蔵小山くらた」店主・倉田政起氏には、店での調理や下ごしらえに初めてトレハを利用してもらい、その効果を実感していただき、特に効果の高かった使用法を中心に、使用タイミングとともにご紹介いただいています。

当社では、この本を和食向けミニブックと位置付け、トレハの効能に興味を持ちつつ、どう取り入れていいのかわからないという多くの和食料理人の方々へ積極的に紹介していく予定です。

『TREHA® BOOK —和食編—』の概要

タイトル	TREHA®BOOK - 和食編 -
発行日	2017年8月28日
初版部数	3,500部
頁数・仕様	14頁 オールカラー（非売品）
発行所	株式会社 林原 岡山市北区下石井 1-1-3 0120-05-8848



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

ニューフードインダストリー 第59巻 第10号

印刷 平成 29 年 9 月 25 日

発行 平成 29 年 10 月 1 日

発行人 平井 朋美

編集人 今西 和政

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(喜助新神田ビル3F)

T E L : 03-3254-9191 (代表)

F A X : 03-3256-9559

振込先: 三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

印刷所 株式会社メイク

定 価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

e-mail: newfood@newfoodindustry.com