

# New Food Industry

食品加工および資材の新知识

<http://www.newfoodindustry.com>

2014 Vol.56 No.1

1

## 新春論説

- 肥満に対する非対面式減量支援プログラムの効果  
ーフォーミュラ食・遺伝子検査・サプリメントを組み合わせた  
「DHCダイエットアワード2013」報告ー
- 食品の非加熱殺菌技術の新展開  
New development of non-thermal sterilization processes
- 冷凍・解凍したパンドウの遊離液体量と製パン性について
- 野菜含硫成分の生理機能と腸内動態
- 昆虫食の新たな可能性
- 健康長寿社会の実現をめざして

## 連 載

- ベジタリアン栄養学  
歴史の潮流と科学的評価 (第2節 ベジタリアン食と慢性疾患予防)
- シロザケ飼料の魚油添加効果ー 4
- “地域密着でキラリと光る企業”  
仙台名産、笹かまぼこを育てた『株式会社 阿部蒲鉾店』



### 新春論説

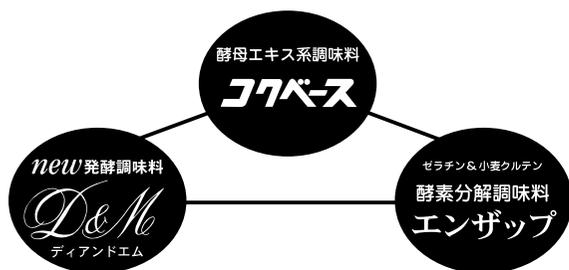
- 肥満に対する非対面式減量支援プログラムの効果  
ーフォーミュラ食・遺伝子検査・サプリメントを組み合わせた  
「DHC ダイエットアワード 2013」報告ー  
..... 蒲原 聖可, 玉川 真由美, 今高 優佳, 須永 春奈 1
  
- 食品の非加熱殺菌技術の新展開  
New development of non-thermal sterilization processes  
..... 古川 壮一, 荻原 博和, 森永 康 6
  
- 冷凍・解凍したパンドウの遊離液体量と製パン性について  
..... 森元 直美 15
  
- 野菜含硫成分の生理機能と腸内動態  
..... 宇田 靖 23
  
- 昆虫食の新たな可能性  
..... 井内 良仁 35
  
- 健康長寿社会の実現をめざして  
..... 田形 暁作 42

### 連 載

- ベジタリアン栄養学  
歴史の潮流と科学的評価 (第2節 ベジタリアン食と慢性疾患予防)  
..... ジョアン・サバテ (Joan Sabate), 訳: 山路 明俊 53
  
- シロザケ飼料の魚油添加効果 - 4  
..... 大橋 勝彦, 酒本 秀一 71
  
- “地域密着でキラリと光る企業”  
仙台名産, 笹かまぼこを育てた『株式会社 阿部蒲鉾店』  
..... 田形 暁作 86

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

# 肥満に対する非対面式減量支援プログラムの効果

## ーフォーミュラ食・遺伝子検査・サプリメントを組み合わせた 「DHC ダイエットアワード 2013」報告ー

蒲原 聖可 (KAMO HAR A Seika) \*1,2 玉川 真由美 (TAMAGAWA Mayumi) \*2  
今高 優佳 (IMATAKA Yuka) \*2 須永 春奈 (SUNAGA Haruna) \*2

\*1 健康科学大学, \*2 株式会社ディーエイチシー

Key Words : 肥満・減量・食事療法・フォーミュラ食・機能性食品・臨床試験・インターネット

### はじめに

肥満に対する食事療法の一つとして、良質のタンパク質を含む低エネルギーのフォーミュラ食（置き換え食，代替食）が用いられており，一定の減量効果が示されてきた<sup>1,3)</sup>。また，肥満関連遺伝子変異の検索により，個人の体質に応じた肥満治療の可能性が報告されている<sup>1,2,4)</sup>。さらに，機能性食品素材・サプリメントを補完的に用いた減量効果も注目されるようになった。近年では，インターネットを活用した非対面式介入法による減量サポートの効果が散見される<sup>5)</sup>。私共は，医療有資格者による非対面式ダイエット支援プログラムを構築し，フォーミュラ食（置き換え食）による食事療法を中心に，肥満関連遺伝子変異検査および機能性食品素材を併用し，インターネットを活用した介入方法の検証を行ってきた<sup>6,7)</sup>。今回，減量を希望する549名を対象に，3ヶ月間の非対面式ダイエット支援プログラムを行ったので報告する。

### 1. ダイエット支援プログラム

#### ・目的

減量希望者に対して，フォーミュラ食（置き換え食，代替食）である「DHC プロテインダイエット」（ディーエイチシー）を中心に，肥満関連遺伝子検査や機能性食品・サプリメントを補完的に用いるダイエット支援プログラムを開発し，3ヶ月間の医療有資格者による非対面式介入が体重や体組成に及ぼす影響を検討した。

#### ・対象

フォーミュラ食を中心とした3ヶ月間のダイエット支援プログラムによる減量を希望する549名（男性76名，女性473名）。

#### ・方法

置き換え食・代替食としてのフォーミュラ食（「DHC プロテインダイエット」製品各種），低GI（グリセミック指数）食品（「米こんにゃく」製品），肥満関連遺伝子変異の検査「DHCの遺伝子検査 ダイエット対策キット」に基づくライフスタイルの提案，コレウス・フォルスコリ

(*Coleus Forskohlii*) 抽出物含有サプリメント「フォースコリー」、管理栄養士等の医療系有資格者による電話や電子メールでの相談とフォローアップ、インターネットの個人専用サイト「マイページ」を用いたフォローアップから構成されるダイエット支援プログラムを、2012年11月から2013年2月までの3か月間、実施した。また、参加者に対するインセンティブとして、「DHC ダイエットアワード2013」を設定した。

今回のダイエット支援プログラムの具体的な内容は、次の通りである。

#### ①食事療法

タンパク質含有低エネルギーのフォーミュラ食として1億6千万食以上の実績(2006年10月12日～2013年7月末日までのシリーズ総販売袋数)を有する「DHC プロテインダイエット」製品を用いて、1日あたり1食あるいは2食を置き換え。また、低エネルギー食品であるDHCダイエットサポート食品を補助的に利用した。

例えば、「DHC プロテインダイエット」ドリンク製品は、1袋50グラムあたりのエネルギー量が175～178 kcalであり、タンパク質20.2～20.9グラム、食物繊維7.5～8.2グラムを含有する。なお、栄養素の含有量の差は、いちごミルク味、ココア味、バナナ味、ミルクティー味等の商品の相違による。これらに加えて、11種類のビタミン類、11種類のミネラル類、コエンザイムQ10(35 mg)、L-オルニチン塩酸塩(120 mg)、ポリフェノールも含む。例えば、ココア味の製品はエネルギー量177 kcal、タンパク質含有量20.9グラムである。

#### ②肥満関連遺伝子変異検査

セルフケア用の市販製品である「DHCの遺伝子検査・ダイエット対策キット～肥満関連遺伝子検査～」を用いた。本遺伝子検

査では、採取された口腔粘膜細胞から、(1)ベータ3アドレナリン受容体( $\beta$ 3AR)遺伝子変異(Trp64Arg)、(2)脱共役タンパク質1(UCP1)遺伝子変異(3826 A/G)、(3)ベータ2アドレナリン受容体( $\beta$ 2AR)遺伝子変異(Arg16Gly)の3種類が検出される。

また、利用者は、検査申し込み時に、体組成、生活習慣病の既往歴・家族歴、生活習慣など46項目のデータを記入することで、対象者の体質に基づいた個別のライフスタイルを提示することが可能となる。

なお、本遺伝子検査における個人遺伝情報は、「経済産業分野のうち個人遺伝情報を用いた事業分野における個人情報保護ガイドライン(2004年12月17日策定)」に基づき取り扱った。本遺伝子検査について、2008年6月から2012年12月の間に検査キットを利用した203,130名分の利用実績を解析した結果、運用システム上、問題は認められていない。

#### ③運動療法およびライフスタイル全般の啓発

減量を目的とした運動療法に関する啓発書を配布。減量のための啓蒙・解説書の提供。エクササイズ法や呼吸法、リラクゼーション法を紹介。

#### ④管理栄養士等の医療系有資格者による非対面型支援

通話料無料電話あるいは電子メールを介した個別のフォローアップを実施。

#### ⑤インターネット専用サイト構築による非対面型支援

専用ホームページを構築し、ダイエットに有用な情報の発信、参加者各自に「マイページ」の提供を実施。専用サイトの「マイページ」では、参加者が体重や体脂肪率を記録し、推移を把握できるように設定した。

#### ⑥「DHC ダイエットアワード2013」による対面型の動機付け

ダイエット支援プログラムでは、開始から

1ヵ月毎、合計3回のレポート提出を依頼し、レポート提出者全員にフォローアップを実施した。さらに、今回のダイエット支援プログラムでは、参加者への動機付けとして、3か月の開始時点で「DHC ダイエットアワード2013」を開催し、対面方法による減量の効果測定を行った。

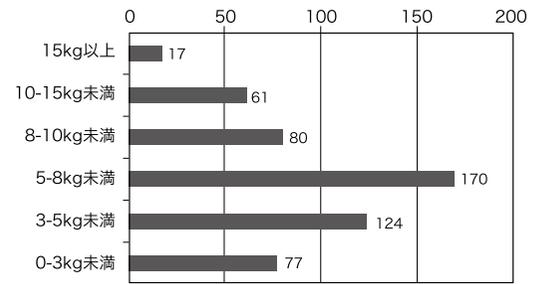
・結果

ダイエット支援プログラム開始1ヵ月後の時点(2012年12月)における第1回レポート提出時の体重経過は、体重減少者486名(88.5%;男性68名,女性418名),体重増加者53名(9.7%),体重変化なし10名(1.8%)であった。次に、2ヵ月後(2013年1月)の第2回レポート提出時の体重変化は、開始時に比べて、体重減少者519名(94.5%;男性72名,女性447名),体重増加者28名(5.1%),体重変化なし2名(0.4%)であった。

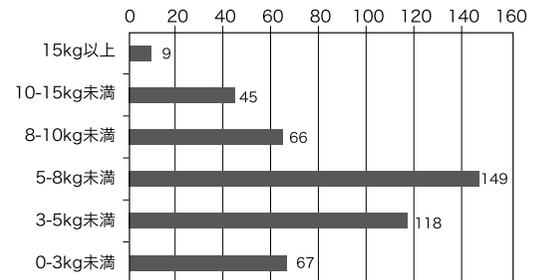
3ヵ月後(2013年2月)の第3回レポート提出時の体重変化は、開始時に比べて、体重減少者529名(96.3%;男性75名,女性454名),体重増加者18名(3.3%),体重変化なし2名(0.4%)であった。体重減少者における減少幅の内訳では、男女とも5kg以上8kg未満が最多であり、15kg以上の者も男性では75名中8名,女性では454名中9名,認められた。

ダイエット支援プログラムによる3か月間の介入終了後の2013年3月に、対面による減量の効果判定として「DHC ダイエットアワード2013」地区審査会を実施した。同アワードの対象者として、242名がエントリーし、第1回レポート提出者は207名(85.5%),第2回レポート提出者は169名(69.8%),第3回レポート提出者は135名(55.8%)であった。エントリーから4ヶ月後に開催された同

総数(529名の体重減少幅の内訳)



女性(454名の体重減少幅の内訳)



男性(75名の体重減少幅の内訳)

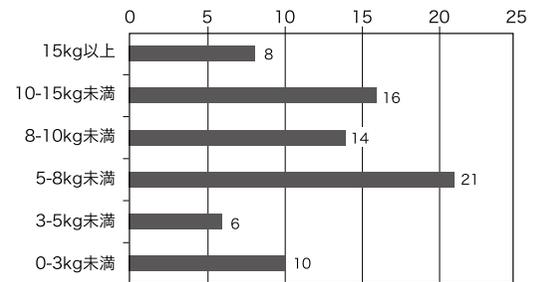


図1 DHC ダイエットアワード2013における体重減少者の内訳

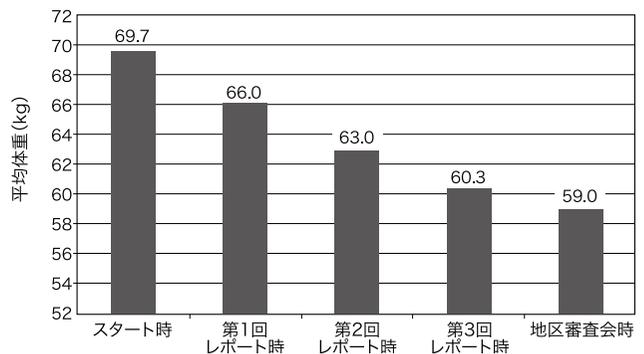


図2 『DHC ダイエットアワード2013』における4ヶ月間の体重の推移(男女総計)

アワードの地区審査会への参加者は179名であり、減少幅の内訳では、男女とも10kg以上15kg未満が最多であり、20kg以上の者も男性では41名中3名、女性では138名中4名、認められた。

フォーミュラ食「DHC プロテインダイエット」の利用状況を調べた結果、毎日、継続的に1食もしくは2食をプロテインダイエットシリーズで置き換えた者の割合は、地区審査会出席者179名中141名(78.8%)であった。

フォーミュラ食の利用頻度の内訳では、1日1回～2回(1食～2食)を置き換えたとする参加者が最多(31.3%)であり、続いて1日1回(1食)を置き換えた参加者が多かった。

また、サプリメント/健康食品を併用した参加者は、179名中152名(84.9%)であった。具体的には、「フォースコリー」(コレウス・フォルスコリ抽出物含有健康食品)の併用者が128名(84.2%)、ダイエットパワー(複合サプリメント)が43名(28.3%)、遺伝子検査ダイエット対策キットによる結果に基づいた対応型サプリメントの利用者が42名(27.6%)であった。

プロテインダイエットシリーズで1日に何食を置き換え、また週に何日利用したかの内訳

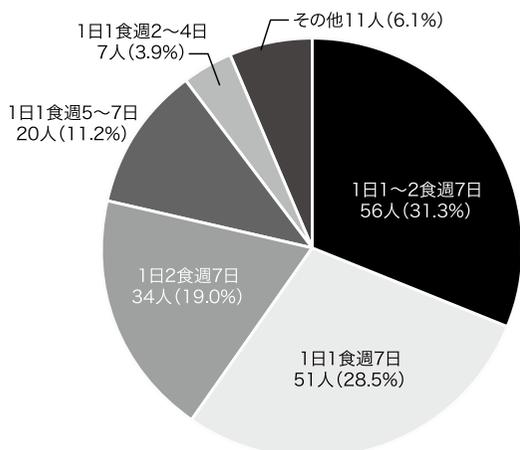


図3 DHC プロテインダイエットの利用状況

179名の運動習慣に関して、1週間の運動日数を調べた結果、週5～7日と回答した参加者が73名(40.8%)と最多であり、続いて、週3～4日の45名(25.1%)、週1～2日の41名(22.9%)であった。20名(11.2%)は運動習慣なしと回答した。男女別では、男性よりも女性のほうが、運動への意識が高く、ウォーキングやジョギングを毎日行った参加者が認められた。

減量達成者の割合に関して、その算出方法を3か月間の介入完了者(3回のレポート提出者)のうちの体重減少者とした場合、減量達成者の割合は96.5%(549名中530名)と算出された。

## 2. 考察

今回実施した3ヶ月間のダイエット支援プログラムにおいて、3回レポート提出者の減量達成者の割合は96.5%(549名中530名)であり、非常に高率であった。この理由として、フォーミュラ食による食事療法に加えて、プログラム専任の管理栄養士等の医療系有資格者によるサポートやインターネットの専用ホームページを介したフォローアップによって、一定の行動変容が得られたことが考えられる。

一方、今回のプログラムでは、3ヶ月間の実施期間中に、対面式審査会を設定したダイエットアワードエントリー者の半数近くが脱落した。これは、実施の主体が、医療機関の肥満外来等によるものではなく、フォーミュラ食の製造販売企業であったこと、また、自由意思による任意の参加であったことなどが影響したと推察される。

近年、非対面式の減量プログラムでは、インターネットを用いた方法が検証されており、例えば、プライマリケアにおける肥満と高血圧の患者を対象にしたランダム化比較試験では、対照群に比べて、ウェブ版プログラムによる介

入群において、有意な体重減少効果が示されている<sup>5)</sup>。また、費用対効果に関する検討では、インターネットを介した非対面式の減量維持プログラムは、従来型/アナログ型のものよりも優れていることも報告されている<sup>8-11)</sup>。

一般に、医療機関における肥満外来では、平日の昼間に定期的な通院が必要となるなど、肥満者にとっての時間的経済的な負担が大きく、脱落率は高率となる。今回のプログラムは、外来通院が現実的に困難な肥満者にとって、非対面型のサポート体制を整備したことから、全般的に費用対効果の高い方法であると考えられた。また、利用したフォーミュラ食製品群も、従来の類似製品と比べて、使用者にとって費用対効果の高い製品であった。

#### まとめ

今回のダイエット支援プログラム「DHC ダイエットアワード2013」の結果、フォーミュラ食による食事療法を主体として、インターネットの専用ホームページや無料電話相談によるフォローアップを併用する場合、管理栄養士等の医療系有資格者による非対面型の介入によって、肥満解消に対する一定の有用性が示唆された。

#### [謝辞]

今回のダイエット支援プログラム実施に際してご尽力いただきました株式会社ディーエイチシーの販売促進部、医薬食品相談部、その他の関係者の皆様に深謝いたします。

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

- 1) 蒲原 聖可 / 砂山 聡, 肥満症診療ハンドブック, 医学出版社, 2001.
- 2) 蒲原 聖可, ダイエットを医学する, 中央公論新社, 2001.
- 3) Delbridge E, *et al.* State of the science: VLED (Very Low Energy Diet) for obesity. *Asia Pac J Clin Nutr.*, **15** Suppl:49-54, 2006.
- 4) Hotta K, *et al.* Variations in the FTO gene are associated with severe obesity in the Japanese. *J Hum Genet.*, **53**:546-53, 2008.
- 5) Bennett GG, *et al.* Web-based Weight Loss in Primary Care: A Randomized Controlled Trial. *Obesity*, **18**:308-13, 2010.
- 6) 蒲原 聖可, フォーミュラ食を用いたダイエット支援プログラムの効果, *New Food Industry*, **52**(1):43-46, 2010.
- 7) 蒲原 聖可, 置き換え食を用いた減量支援プログラムの効果—「DHC ダイエットアワード2011」報告—, *New Food Industry*, **54**(1):50-54, 2012.
- 8) Meenan RT, *et al.* Development and implementation cost analysis of telephone- and Internet-based interventions for the maintenance of weight loss. *Int J Technol Assess Health Care*, **25**:400-410, 2009.
- 9) van Wier MF, *et al.* Effectiveness of Phone and E-Mail Lifestyle Counseling for Long Term Weight Control Among Overweight Employees. *J Occup Environ Med.*, **53**:680-686, 2011.
- 10) Nguyen B, *et al.* A review of electronic interventions for prevention and treatment of overweight and obesity in young people. *Obes Rev.*, **12**:e298-314, 2011.
- 11) Kodama S, *et al.* Effect of web-based lifestyle modification on weight control: a meta-analysis. *Int J Obes.*, **36**:675-85, 2012.

# 食品の非加熱殺菌技術の新展開

## New development of non-thermal sterilization processes

古川 壮一 (FURUKAWA Soichi) \*1 荻原 博和 (OGIHARA Hirokazu) \*2  
森永 康 (MORINAGA Yasushi) \*1

\*1 日本大学生物資源科学部 食品生命学科 食品微生物学研究室, \*2 日本大学生物資源科学部 食品生命学科 食品衛生学研究室

Key Words：非加熱殺菌・高圧・二酸化炭素・塩素・パルス

### はじめに

加熱殺菌の歴史は古く、またその安全性や経済的優位性は広く知られるところである。我が国では、パスツールによるワインの低温殺菌技術の開発に先駆けて、室町時代より清酒の火入れが行われていた。このことは、加熱が品質の維持に貢献することが古くから認識されていたことを示している。しかしながら、実際には加熱に適さない食品も多く、缶詰・レトルトなどの高温加熱を要する場合にはオフフレーバー、呈色、栄養価の変化などがもたらされる場合がある。これらのことから、放射線殺菌が承認されていない我国食品産業においては、実用的な非加熱殺菌技術の開発は重要な課題である。我が国では、これまでに多くの非加熱殺菌処理に関する研究がなされてきた。そのなかでも、加圧処理（高静水圧処理や高圧二酸化炭素処理）は広く研究され、その成果の一部は実用化されている。筆者らも高静水圧処理や高圧二酸化炭素処理など、幾つかの非加熱殺菌研究に携わってきた。ここでは、非加熱殺菌処理を、物理的非加熱殺菌処理と化学的非加熱殺菌処理に分け、特に物理的非加熱殺菌処理について、これまでに我々が関与したものを中心に、非加熱殺菌研究の概要を述べ、今後の展望についても考

察したいと考えている。

### 1. 加熱殺菌と非加熱殺菌

加熱を用いる殺菌を加熱殺菌処理というのに対し、加熱を用いないものを非加熱殺菌と定義している。一般に 100℃以下の加熱処理は低温殺菌と呼ばれ<sup>1)</sup>、加熱調理されている食品の多くは、100℃程度の比較的短時間の加熱処理を経ているが、その程度の加熱処理では、その品質が大きく損なわれることはない。これらのことから、100℃以下の穏和な加熱処理はいわゆる加熱殺菌と明確に区別して考えられるべきものであろう。

よく知られているように、細菌胞子の殺菌には 100℃以上の加熱処理が用いられており、長期保蔵可能な加工食品の製造において、この胞子の殺菌をいかに完璧に実施するかが重要なポイントとなっている。実際には、100～120℃付近の温度帯における処理が一般に用いられており、これはレトルト処理といわれ、いわゆるレトルト食品や缶詰に用いられている<sup>1,2)</sup>。また、それ以上の温度（120～150℃）程度で短時間（1～3秒）の条件で行う方法もある。この方法は主として牛乳の殺菌に用いられてお

り、UHT法と呼ばれ、短時間ゆえに品質劣化が少ない<sup>1)</sup>。ただ、これらの場合でも、タンパクの変性など、多少の品質変化は避けられない。このようなことから明らかなように、殺菌は品質との兼ね合いで、その条件や製造工程での加熱履歴も決定される。

従って、非加熱処理と100℃以下の低温処理を併用することで、結果的に細菌胞子の殺菌における処理温度を低く抑えることができれば、殺菌後の食品の品質劣化が防止できることになる。ただし、ここで最終的に問題になるのはコストである。低温処理と非加熱処理を併用することで効果的に細菌胞子を殺菌することが可能であっても、そのコストが高ければ実用化が困難になる。このようにみえてくると、非加熱処理技術に関する基礎的研究の重要性は議論の余地はないが、同時に低温処理との併用方法の最適化や、求められる「品質」と必要な「コスト」の最適なバランスを見出すことも大変重要な開発課題なのである。

このような開発課題へのアプローチとして、食品加工処理の一環として非加熱処理を行うと同時に、非加熱処理によってもたらされる食品特性の変化を活用して高付加価値化を図るといったようなアプローチが考えられる。ただ、現状では僅かに低アレルゲン米などの超高压対応型食品に見出される程度で、まだ多くはない。それでは、以下に個々の非加熱処理に関する研究について述べてゆきたい。

## 2. 非加熱殺菌

### 2-1. 高静水圧処理（高压処理）

高压処理とは、高い静水圧（概ね30～500 MPa）を用いて殺菌や加工等の処理を行う方法であり、ここ二十年以上にわたり、林らを中心に日本で活発に研究が行われてきた<sup>3-5)</sup>。なお、高压物理学は、20世紀初頭における Bridgman

による理論体系の確立を経て急速に進歩し、その業績には1946年にノーベル物理学賞を授与されている。また、彼は卵白アルブミンが高压処理により変性することを明らかにしている<sup>6)</sup>。これは、食品の高压処理の初期の例の一つであると言えよう。高压処理殺菌に関する初めの報告は、牛乳や食肉中の微生物に及ぼす高压処理の影響を検討した Hite による1899年のものである<sup>7-9)</sup>。また、高压の微生物への影響に関する研究は、海洋微生物学者 ZoBell らにより古くから行われている<sup>10)</sup>。

食品の高压処理研究は、この十数年の間に日本において大きく進歩した<sup>3-5)</sup>。その利点は、新鮮な風味を保持した食品の製造が可能なことであり、わが国で市販若しくは試験的な販売が試みられている<sup>11,12)</sup>。それらの研究と並行して、酵母やカビ、それに細菌の栄養細胞や胞子などについて、多くの研究が蓄積された<sup>8,9,13)</sup>。その結果、細菌胞子を除く大半の微生物は、概ね200 MPa以上における常温下の高压処理で殺菌可能であること、一方、細菌胞子の殺菌は常温下では非常に困難であり、ある程度の加熱処理の併用が有効であるということが明らかになった。その後、微生物の死滅機構解明に関する研究が進展し、リボソームの構造変化<sup>14)</sup>、細胞膜の機能低下<sup>15)</sup>、タンパク質の圧力変性<sup>16)</sup>などが栄養細胞の死滅の主な原因であることや、高压処理による発芽の誘導などが細菌胞子の死滅の原因であることが示された<sup>17)</sup>。以下に、我々が関わった研究を中心に高压処理による微生物殺菌機構について述べる。

まず、細菌栄養細胞に対する処理について述べる。我々は、高压処理後の大腸菌が、食品衛生検査における大腸菌群数測定用培地に含まれるデソキシコール酸に高感受性になることを見出し<sup>3)</sup>、その原因が大腸菌のデソキシコール酸排出トランスポーターである AcrAB-TolC の機能阻害により引き起こされることを明らかに

した<sup>18)</sup>。一方、テトラサイクリン耐性に係わるテトラサイクリン排出ポンプ Tet は高圧処理に対して耐性であった<sup>19)</sup>。このことから、3成分よりなる AcrAB-TolCの方が、1成分からなる Tet よりも高圧処理に対して感受性が高いことが明らかになった。次に、高圧処理後の培養時に、大腸菌対数増殖期細胞が伸長することを発見し、その原因は、細胞分裂時の収縮環である FtsZ タンパクの重合阻害による細胞分裂阻害にあることを明らかにした<sup>20)</sup>。このことは、大腸菌において、細胞骨格系タンパクである FtsZ の重合プロセスが最も高圧に感受性の高いプロセスのひとつであることを意味し、タンパク質間の微妙な相互作用が、高圧処理から大きな影響を受けることが示唆された。

次に、酵母に対する処理について述べる。上記のように、大腸菌の細胞骨格系タンパクの重合プロセスが高圧処理に対して高い感受性を有する。そこで、真核細胞微小管の $\beta$ -チューブリンは、大腸菌 FtsZ タンパクのホモログであることから、我々は、真核細胞への高圧処理により、細胞内の微小管やアクチンなどの細胞骨格が重合阻害を受け、結果的に細胞形態の異常や細胞分裂阻害が誘導されるのではないかと考えた。検討の結果、出芽酵母は、アクチンケーブルの形成阻害により、高圧処理後に大幅にその生育が遅延することが確認できた<sup>21)</sup>。また、分裂酵母も、収縮環(アクチンやミオシン)の形成阻害による、その生育遅延が確認できた<sup>22)</sup>。これらの結果から、微生物の細胞骨格系タンパクの重合プロセスは原核細胞、真核細胞のいずれの場合においても、高圧処理に対して高度に感受性であることが明らかになった。

一方、高圧処理による細菌胞子の殺菌においては、概ね 500 MPa 以上の圧力に 50℃ 以上の加熱処理を併用しなければ、有意な殺菌率は得られないことが明らかになっている<sup>23)</sup>。なお、高圧処理は細菌胞子の発芽を誘導することが報

告されている<sup>23,24)</sup>。さらに、胞子は発芽すると、その物理・化学的耐性が大きく低下するため、一旦 200 MPa 程度以下の低い圧力で発芽を誘導した上で、発芽後胞子殺菌のための穏和な加熱処理を併用して殺菌を行うことが有効であることが明らかにされている<sup>23-25)</sup>。これら報告は、細菌胞子の殺菌に高圧処理を用いることの可能性を示したもので、価値ある知見と考えられる。実際我々は、50 MPa 以下程度の高圧処理と加熱処理の併用が細菌胞子の発芽を効果的に誘導し、その殺菌効率の向上に有効であることを示してきた<sup>25)</sup>。ただし、この方法では処理に半日以上の長時間を要するため、処理速度の向上が課題となっている。

高圧処理の最大の問題点は、その装置の製造コストの高さである。処理圧力を下げることができれば、装置が軽装備になり、製造コストの大幅な低減が可能となる。従って、穏和な加熱処理の併用により、細菌胞子を含む広範な微生物を殺菌することが可能であれば、比較的低い圧力条件による高圧処理が可能になる。こうした高圧処理と低温加熱処理の併用は、食品加工プロセスとして高い潜在能力を秘めているのではないかと考えられる。このようなことから、幅広い食品に利用可能な加工技術として、比較的低い圧力と穏和な加熱の併用処理は、殺菌のみならず、大きな可能性を秘めているのではないかと考えている。

なお、これまでの処理は、静水圧を用いたものであるが、その応用版として高圧ホモジネーション殺菌法に関する報告もある<sup>26)</sup>。本方法は、せん断力を用いるものであり、関連の研究は余り多くないものの、ホモジネーション自体は食品プロセスの一環としてよく用いられるものであり、今後も研究の進展を期待したい。

## 2-2. 高圧二酸化炭素処理

高圧二酸化炭素処理とは、圧縮した二酸化

炭素ガスを溶液に吹き込むことにより概ね 30 MPa 以下程度の圧力を発生させ、食品を処理する方法であり、現在まで日本を始め各国で研究が展開されている<sup>27-31)</sup>。なお、二酸化炭素を中心とした高圧ガスの微生物への影響に関する研究の歴史も古く、1893年に、d'Arsonvalらが数 MPa の加圧二酸化炭素ガスが細菌の殺菌効果を有することを報告している<sup>8)</sup>。その後、1951年に Fraser が、様々な種類のガスを用いて実験を行い、窒素等に比較にして、二酸化炭素の殺菌効果が有意に高いことを示している<sup>27, 32)</sup>。ただ、その後、二酸化炭素ガスによる微生物の殺菌に関する研究は長らく行われず、本格的な検討が多く行われるようになったのは、1990年代以降である<sup>27, 28)</sup>。

これまでの研究から、細菌栄養細胞や酵母は、数 MPa 程度以上の処理で、概ね殺菌可能であることが明らかになっている<sup>27, 28)</sup>。一方、細菌胞子については、数 MPa 程度以上の処理に概ね 50℃以上の加熱を併用することで、概ね殺菌可能であることが示されている<sup>27, 28)</sup>。なお、超臨界状態の二酸化炭素 (31℃, 3.78 MPa 以上の条件) 処理は、香気成分の抽出工程などで実用化されているが、高圧二酸化炭素殺菌に関する実用化事例は知られていない。しかしながら、処理圧力の低さや殺菌率の高さから、高圧二酸化炭素処理は、有効な非加熱殺菌処理と考えられる。以下に、我々が携わった殺菌機構に関する基礎的研究を中心に、高圧二酸化炭素処理とその機構について述べる。

これまでの検討より、高圧二酸化炭素処理によって、代表的なグラム陽性及び陰性の食中毒細菌を殺菌することが可能であることが示された<sup>33)</sup>。その後、高圧二酸化炭素処理後の大腸菌は、加熱処理や高圧処理を加えた大腸菌に比較してフェノール抽出による DNA の回収率が極度に低く、細胞内の酸性化によりゲノム DNA とタンパクが複合体を形成することが

その原因であることが明らかになった<sup>34)</sup>。この結果から、高圧二酸化炭素処理による細胞質の酸性化が死滅の主要原因であることが示唆された。そこで、大腸菌の酸耐性に関与する遺伝子欠損株の高圧二酸化炭素処理耐性を検討した結果、大腸菌の酸耐性に寄与すると報告されている遺伝子群が、高圧二酸化炭素処理耐性にも寄与している可能性が示された<sup>35)</sup>。以上の結果より、高圧二酸化炭素処理による細菌栄養細胞の殺菌には、細胞質の酸性化が大きな要因になっていることが考えられた。

そこで、酵母を用いて、細胞内酸性化が高圧二酸化炭素処理による死滅の主要因であることを明らかにするため、次の検討を行った。酵母の液胞膜に存在する V-H<sup>+</sup>-ATPase は、細胞質内の H<sup>+</sup> を液胞内に取り込むことで細胞質 pH を維持し、細胞膜に存在する P-H<sup>+</sup>-ATPase は細胞外に細胞質の H<sup>+</sup> を排出することで同様に細胞質 pH を維持する。そこで、それぞれの欠損株や阻害剤を用い、V-H<sup>+</sup>-ATPase 及び P-H<sup>+</sup>-ATPase が高圧二酸化炭素処理耐性に及ぼす影響を検討した。その結果、両 ATPase が共に高圧二酸化炭素処理耐性に重要な寄与を果たしていることが明らかになった<sup>36)</sup>。このことから、改めて細胞質の酸性化が高圧二酸化炭素処理による細胞死滅の主要因であることが明らかになった。

次に、細菌胞子について検討を行った。先に述べたように、高圧処理は細菌胞子の発芽を誘導し、その結果耐性低下を引き起こすことにより死滅を誘導する。そこで高圧二酸化炭素処理による細菌胞子発芽誘導効果を検討したところ、高圧二酸化炭素処理の場合にも、高圧処理と同様に、発芽を誘導することが確認できた<sup>37)</sup>。このように高圧二酸化炭素が細菌胞子の発芽を誘導することはそれまで知られておらず、新規な発芽誘導機構であった。また、高圧二酸化炭素処理は常温では細菌胞子を

殺菌できないものの、概ね 50℃以上の加熱との併用で十分殺菌可能であることを明らかにすることができた。特に、高い耐熱性を有する *Geobacillus stearothermophilus* の孢子も、100℃以下の加熱を高圧二酸化炭素処理と併用することで殺菌可能であることを明らかにした<sup>38)</sup>。同時に、加熱処理や高圧処理に比較して、高圧二酸化炭素処理は細菌孢子の殺菌に要する活性化エネルギーが有意に低いことを明らかにすることが出来た<sup>38)</sup>。これら結果から、高圧二酸化炭素処理では、高圧処理の場合と同様、細菌孢子の発芽を誘導し、栄養細胞に変化させることでその耐性を低下させ、効率的に殺菌を行うことが可能になることが明らかになった。

以上のように、高圧二酸化炭素処理の作用機序としては、栄養細胞に対する細胞質の酸性化、また細菌孢子に対する、孢子の発芽を誘導、ならびに、発芽した栄養細胞の細胞質の酸性化、が主要なものであることが明らかになった。これらに作用機序が有効に働くのに必要な圧力は、高圧処理に比較すると大幅に低く、その点で装置コストは大きく低減可能である。これらのことから、高圧二酸化炭素処理は、殺菌処理としては有望な方法と考えられる。

### 2-3. その他の物理的非加熱殺菌処理

本項では、先に述べた高圧処理や高圧二酸化炭素処理以外の非加熱殺菌処理について概説する。ここで述べる物理的処理とは、化学物質の添加を行わず、したがって残留などについて考慮する必要の無いものを指している。

まず、代表的な物理的殺菌処理としては、放射線殺菌が挙げられる<sup>1,2)</sup>。食品への利用では、一般にガンマ線や電子線が用いられるが、その殺菌力は非常に強く、細菌孢子まで殺菌可能である。海外の多くの国々で本方法の使用が認められているのに対し、我が国では殺菌用途での使用は認められていない。我が国でも本方法の

使用に関して定期的に使用を認めるよう提言が行われてきたが、実用には至っていないというのが現状である。しかしながら、世界的にその使用が認可され、その安全性に関しても多くの研究が行われ、知見が集積されてきていることから、今後、その導入に向けて、更なる議論が重ねられることを期待したい。

次に、よく用いられている方法として、紫外線殺菌がある<sup>1,2)</sup>。これは、紫外領域の光を殺菌に用いるもので、DNA中にチミンダイマーを形成させることで、その複製等にエラーを生じさせることにより、殺菌を行うものである。紫外線は、栄養細胞には強い殺菌効果を有し、孢子にも一定の殺菌効果を有している。しかし、紫外線の透過率は高くないため、紫外部吸収能のある溶液の殺菌には利用が困難である。また、当然光の届かない影の部分や固体内部の殺菌に利用することはできない。従って、表面や透過性の高い液体の殺菌に用いられる。

ところで、紫外線殺菌を更に発展させたものに、パルス殺菌がある。これは、キセノンランプなどを用い、紫外部から可視部までを含む高エネルギーの光を瞬時に照射することにより殺菌を行うものである<sup>2)</sup>。本殺菌法においても、主に紫外部の光が殺菌に関与しており、その意味では、紫外線殺菌の一部であるとも言えるが、これに加えて、高エネルギーの可視光が瞬時に照射されるため、可視光を吸収する物質（黒体など）が発熱して、その結果殺菌されるという作用も含まれる。本殺菌法は、細菌栄養細胞に対する殺菌作用は非常に高く、同時に、殺菌力は落ちるとはいえ細菌孢子への殺菌能も有する。しかしながら、本殺菌法も紫外線殺菌同様、紫外部吸収能のある溶液や、影の部分や固体内部の殺菌への利用は困難である。我々も、これまでに食品微生物に関して、様々な検討を行い、様々な食中毒菌に対して、本処理が高い殺菌能を有することを明らかにしている<sup>39)</sup>。これら

の知見により、パルス殺菌は、表面や透過性の高い液体の殺菌には、その殺菌力の高さから、非常に有効な方法と考えられる。

上記以外に、ろ過除菌も非加熱殺菌処理と同等の効果が期待できるものであるが、この詳細は成書をご確認いただきたい<sup>1,2)</sup>。また、これら以外にも、電流殺菌（パルス処理含む）、プラズマ殺菌（パルス処理含む）、超音波殺菌などに関する研究も行われており、有望な方法であると考えられる。なお、電流殺菌については、ジュール加熱処理としても知られており、一種の加熱殺菌である。なお、これらについても成書をご覧いただきたい<sup>1,2)</sup>。

#### 2-4. 化学的非加熱殺菌処理

本項では、これまでに述べた物理的処理以外の化学的処理について簡単に述べる。ここ言う化学的処理とは、殺菌作用を有する化合物を添加（殺菌剤）することにより、殺菌を行う処理を指しており、場合によっては食品への残留を考える必要がある処理を含む。一般に、殺菌剤は、アルコール、フェノール系化合物、ハロゲン系化合物、オゾン、過酸化水素、ホルムアルデヒド、グルタルアルデヒド、含窒素系化合物、金属イオン、バクテリオシン、抗生物質などよりなる<sup>1,2)</sup>。しかし、これら殺菌剤の中には、食品への残留が許されないものも多く含まれる。これら殺菌剤の殺菌効果やその機構については、成書を参照されたい<sup>1,2)</sup>。以下に、我々が行った研究を中心に塩素系殺菌剤に関する研究を述べる。

食品製造環境における殺菌剤として、最も一般的に用いられているのは塩素系化合物による殺菌である。特に、食品添加物である次亜塩素酸ナトリウムは、容器や食材等の洗浄殺菌にも多用されている<sup>1,2)</sup>。次亜塩素酸ナトリウムは、細菌の栄養細胞には高い殺菌効果を有し、かなりの高濃度が必要であるが、細菌胞子に対する

殺菌作用も有する。我々は、次亜塩素酸以外の新しいタイプの塩素系殺菌剤として、酸性化亜塩素酸ナトリウム及び二酸化塩素処理の殺菌効果について検討を行った<sup>40,41)</sup>。その結果、酸性化亜塩素酸ナトリウム処理により、多くの食中毒菌栄養細胞が効果的に殺菌されることが明らかになった<sup>40)</sup>。また、二酸化塩素処理は、気相にて処理を行うため、カット野菜の栄養成分の溶出抑制を含めた品質維持に高い効果を有することが示された<sup>41)</sup>。

#### 2-5. 併用効果

非加熱殺菌処理の多くは、単独では高い殺菌効果を得ることは難しい場合が多い、従って化学的処理を併用することで、高い殺菌効果を得られる場合が多いものと考えられる。この観点からの多くの研究が為されているが、ここでは、高圧処理について我々が行った研究について述べたい。

我々は先に述べた高圧処理と各種添加物の併用効果について検討を行ったところ、特にシヨ糖脂肪酸エステルとの併用により、高圧処理効果が顕著に増加（数logオーダー程度）することが明らかになった<sup>42)</sup>。シヨ糖脂肪酸エステルは、食品添加物として認められている界面活性剤であり、殺菌効果等を有することも知られている。本併用効果は、界面活性剤が膜の機能を一部阻害するために、結果的に高圧処理による殺菌効果を高めたものと推察されるが、その詳細な機構は不明である。ただ、この結果は、物理的非加熱処理と化学的非加熱処理の併用により、高い殺菌効果が得られることを示しており、大変興味深い。

#### 2-6. バイオフィルムに対する効果

バイオフィルムとは、一般に固体液体界面上に形成されるフィルム状の微生物集落のことを指し、各種の物理・化学的処理に対して高い耐

表1 加熱殺菌処理と各種物理的非加熱殺菌処理の比較

殺菌法	微生物		殺菌箇所		食材への影響
	細菌栄養細胞	細菌孢子	表面	固体内部	
加熱殺菌	○	○	○	○	×
高圧処理	○	○*	○	○	○
高圧二酸化炭素処理	○	○*	○	△	△**
紫外線処理	○	△	○	×	○
光パルス殺菌	○	○	○	×	○

\*50℃以上の加熱を併用する必要あり。

\*\* 高圧二酸化炭素処理は香気成分などを多少抽出するので、処理条件と対象により、若干品質劣化を招く場合もある。

性を示すため、種々の産業活動において問題視されてきた。バイオフィーム中では、細菌細胞が高密度に凝集したり、細胞が自身がつくる菌体外多糖に囲まれており、外側からの処理に対して、感受性が落ちているため、耐性を示すと考えられている<sup>43-45)</sup>。バイオフィームフィルムの制御に関しては、これまでに多く研究が為されている。詳細は成書を参照されたい<sup>46,47)</sup>。我々は、食品添加物のバイオフィーム形成阻害効果について検討を行った<sup>48)</sup>。その結果、シヨ糖脂肪酸エステルが特に高い阻害効果を有することを明らかにすることができた。その阻害機序は、シヨ糖脂肪酸エステルが有する界面活性作用により、細胞の固体表面への付着が阻害されるためであると考えられた。さらに、CIP (Cleaning in Place) 洗浄剤によるバイオフィームの洗浄殺菌についても検討を行った<sup>49)</sup>。その結果、強アルカリや強酸 CIP 洗浄剤を用いることで、効果的にバイオフィームを洗浄殺菌できることが示された。しかしながら、強力な殺菌剤を使用すればバイオフィームの殺菌は可能かも知れないが、食品製造の現場でバイオフィームが問題となるのは、カット野菜等の食材の表面であったり、CIP の使用が困難な食品工場の配管ラインであったりする。こうした現場では、食品製品のへの洗浄剤の残留や、作業従事者の安全衛生などの観点から、食品添加物のようなソフトな素材による制御が望ましいと考えられ

る。この方向での検討を、今後も継続したいと考えている。

#### おわりに

これまでに、主に物理的非加熱殺菌処理について、我々の研究を中心にその概要を述べてきた。はじめにも記載したが、非加熱殺菌の定義は単純には熱を用いない殺菌であるが、耐性の高い微生物を殺菌するためには、100℃以下の低温加熱処理の併用が非常に効果的である。このような観点から、低温加熱が可能な食品については、低温加熱処理の併用を今後も積極的に検討すべきと考えられる。しかしながら、非加熱食品については、低温加熱処理も使用できず、常温以下での非加熱殺菌処理が要求される場合がある。これらについては、使用が許される温度範囲において可能な処理を選択せねばならない。ただ、併用処理の項目で述べたように、物理的処理と化学的処理の併用で高い殺菌効果を得られる場合もあるので、非加熱処理と化学的処理の併用も、積極的に検討されるべきと考えられる。なお、各種物理的非加熱殺菌処理の殺菌の特徴を表1にまとめたので、ご参照いただきたい。この表から、各処理には一長一短があり、処理対象により適切に処理法を選択する必要があることが分かる。

物理的非加熱殺菌技術は、新しい工業技術の発展に依存するところが大きい。それらの多く

は、実際に工業分野で用いられていた技術を食品に転用することで、成立してきたと言えよう。それは、高圧処理がセラミック加工分野における簡易な圧力発生装置の転用によって成立したことや、放射線処理も、その方面の技術の進歩によって発展したことは明らかである。従って、今後も他分野、特に工業分野における先端技術や新素材に目を向けながら、可能性にあるものについては食品分野に使用できる形に転用するトライを継続してゆくことが求められる。このことは食品製造関連技術全般に言えることなのではないかと考えている。

個人的には、ナノテク関連の微細加工技術や3Dプリンタ関連技術などは、興味深い先端技術であると考えている。加えて、食品の内部であれば、ほぼ遮蔽なく伝播する物理的因子である磁気の利用も、検討する価値があるのではないかと考えている。いずれも食品開発の立場からみると、現在は極めてハードルの高い技術である。しかしながら、これまで開発されてきた非加熱殺菌技術の多くも、開発初期にはハードルが高いとみられていたのではないかと思う。今後の更なる非加熱殺菌技術の開発に期待したい。

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

- 1) 柴崎 勲, 「新・食品殺菌工学」, 光琳, 東京, 1998.
- 2) Block, SS, Disinfection, Sterilization, and Preservation, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, 2001.
- 3) 林 力丸, 食品への高圧利用, さんえい出版, 京都, 1989.
- 4) 林 力丸, 加圧食品—研究と開発—, さんえい出版, 京都, 1989.
- 5) 林 力丸, 高圧科学と加圧食品, さんえい出版, 京都, 1989.
- 6) Bridgman P.W., The coagulation of albumen by pressure, *J. Biol. Chem.*, **19**, 511, 1914.
- 7) Hite, B.H., The effect of pressure in the preservation of milk, *Bull. West Virginia Univ. Agr. Experiment. St.*, **58**, 15, 1899.
- 8) Demazeau G. *et al.*, High hydrostatic pressure and biology: a brief history, *Appl Microbiol Biotechnol.*, **89**, 1305, 2011.
- 9) Considine K.M. *et al.*, High-pressure processing-effects on microbial food safety and food quality, *FEMS Microbiol Lett.*, **281**, 1, 2008.
- 10) ZoBell C.E. *et al.*, The influence of hydrostatic pressure on the growth and viability of terrestrial and marine bacteria, *J. Bacteriol.* **57**, 179, 1949.
- 11) 鈴木 敦士, 高圧バイオサイエンスと高圧食品加工, 日農化誌, **74**, 603, 2000.
- 12) 山本 和貴, 進化を続ける技術, 高圧食品加工, 日本食品新素材研究会誌, **14**, 46, 2012.
- 13) 園池 耕一郎, 高圧殺菌技術—その実用化における課題—, 日食科誌, **44**, 522, 1997.
- 14) Gross M. *et al.*, Pressure-induced dissociation of tight couple ribosomes, *FEMS Lett.*, **267**, 239, 1990.
- 15) Pagán R. *et al.*, Relationship between membrane damage and cell death in pressure-treated *Escherichia coli* cells: Differences between exponential- and stationary-phase cells and variation among strains, *Appl. Environ. Microbiol.*, **66**, 2829, 2000.
- 16) Sonoike K. *et al.*, Effect of pressure and temperature on the death rates of *Lactobacillus casei* and *Escherichia coli*, *Colloque INSERM*, **224**, 297, 1992.
- 17) Clouston J.G. *et al.*, Initiation of germination and inactivation of *Bacillus subtilis* spores by hydrostatic pressure, *J. Bacteriol.*, **97**, 684, 1969.
- 18) 荻原 博和 他, デソキシコール酸培地における大腸菌の高圧損傷, 食科工, **50**, 145-148, 2004.
- 19) Kawarai, T. *et al.*, High hydrostatic pressure treatment impairs AcrAB-TolC pump resulting in the differential loss of deoxycholate-tolerance in *Escherichia coli*. *J. Biosci. Bioeng.*, **100**, 613-616, 2006.
- 20) Kawarai, T. *et al.*, SulA independent filamentation of *Escherichia coli* during growth after release from high hydrostatic pressure treatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **64**, 255, 2004.
- 21) Kawarai, T. *et al.*, High hydrostatic pressure treatment impairs actin cables and budding in *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biosci. Bioeng.*, **101**, 515, 2006.

- 22) Arai, S. *et al.*, Cessation of cytokinesis in *Schizosaccharomyces pombe* during growth after release from high hydrostatic pressure treatment, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **72**, 88, 2008.
- 23) Sarker M.R. *et al.*, Paredes-Sabja D., High hydrostatic pressure-induced inactivation of bacterial spores, *Crit Rev Microbiol.*, Early online, 2013.
- 24) Reineke K. *et al.*, Mechanisms of endospore inactivation under high pressure, *Trends Microbiol.*, **21**, 296, 2013.
- 25) Furukawa, S. *et al.*, Effect of temperature on the inactivation of *Bacillus stearothermophilus* IFO 12550 spores by low hydrostatic pressure treatment. *Biocontrol Sci.*, **6**, 33-36, 2001.
- 26) Diels A.M. *et al.*, High-pressure homogenization as a non-thermal technique for the inactivation of microorganisms, *Crit Rev Microbiol.*, **32**, 201, 2006.
- 27) Garcia-Gonzalez L. *et al.*, High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: the past, the present and the future, *Int J Food Microbiol.*, **117**, 1, 2007.
- 28) Spilimbergo S. *et al.*, Non-thermal bacterial inactivation with dense CO<sub>2</sub>, *Biotechnol Bioeng.*, **84**, 627, 2003.
- 29) Ishikawa, H. *et al.*, Inactivation of *Bacillus* spores by the supercritical carbon dioxide micro-bubble method. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **61**, 1022-1023, 1997.
- 30) Dillow, A.K. *et al.*, Bacterial inactivation by using near- and supercritical carbon dioxide. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, **96**, 10344-10348, 1999.
- 31) Nakamura, K. *et al.*, Disruption of microbial cells by the flash discharge of high-pressure carbon dioxide. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **58**, 1297-1301, 1994.
- 32) Fraser, D., Bursting bacteria by release of gas pressure, *Nature*, **167**, 33, 1951.
- 33) Furukawa, S. *et al.*, Inactivation of food poisoning bacteria and *Geobacillus stearothermophilus* spores by high pressure carbon dioxide treatment, *Food Control*, **20**, 53-58, 2009.
- 34) Watanabe, T. *et al.*, Cytoplasmic acidification may occur in high-pressure carbon dioxide-treated *Escherichia coli* K12, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **71**, 2522, 2007.
- 35) 川原田 和道 他, 日本食品科学工学会第 53 回大会講演要旨集, p. 128, 藤沢, 2006.
- 36) Watanabe, T. *et al.*, Vacuolar H<sup>+</sup>-ATPase and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase contribute to the tolerance against high-pressure carbon dioxide treatment in *Saccharomyces cerevisiae*, *Int. J. Food Microbiol.*, **105**, 131, 2005.
- 37) Furukawa, S. *et al.*, Effect of high pressure gaseous carbon dioxide on the germination of bacterial spores. *Int. J. Food Microbiol.*, **91**, 209, 2004.
- 38) Watanabe, T. *et al.*, Inactivation of *Geobacillus stearothermophilus* spores by high pressure carbon dioxide treatment. *Appl. Env. Microbiol.*, **69**, 7124, 2003.
- 39) Ogihara, H. *et al.*, Inactivation of food-related microorganisms in liquid environment by pulsed xenon flash light treatment system, *Food Control*, **33**, 15-19, 2013.
- 40) 荻原 博和 他, 食品関連細菌に対する酸性化亜塩素溶液ナトリウム処理における殺菌効果とカット野菜への応用, 防菌防黴, **37**, 81, 2009.
- 41) Matsufuji, H. *et al.*, Effects of nonthermal processes on the inactivation of microorganisms and antioxidant components in the minimally processed vegetables, *Food Science and Technology Research*, **15**, 153, 2009.
- 42) Ogihara, H. *et al.*, Synergistic Effect of High Hydrostatic Pressure Treatment and Food Additives on the Inactivation of *Salmonella* Enteritidis, *Food Control*, **20**, 963, 2009.
- 43) Costerton, J. W. *et al.*, Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections, *Science*, **284**, 1318, 1999.
- 44) Furukawa, S. *et al.*, Keeping their options open: acute versus persistent infections, *J. Bacteriol.*, **188**, 1211-1217, 2006.
- 45) Ghannoum, M. *et al.*, Bacterial communication: tiny teamwork, *Nature*, **424**, 134, 2003.
- 46) 森崎 久雄 他, バイオフィルムーその生成メカニズムと防止のサイエンスー, サイエンスフォーラム, 東京, 1998.
- 47) Blaschek, HP. *et al.*, Biofilms in Food Environment, Blackwell Publishing Professional, Ames, IA, 2001.
- 48) Furukawa, S. *et al.*, Sugar fatty acid esters inhibit biofilm formation by food-borne pathogenic bacteria, *International Journal of Food Microbiology*, **138**, 176, 2010.
- 49) Furukawa, S. *et al.*, Removing *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* biofilms on stainless steel by cleaning-in-place (CIP) cleaning agents, *Food Control*, **21**, 669, 2010.

# 冷凍・解凍したパンドウの遊離液体量と製パン性について

森元 直美 (MORIMOTO Naomi) \*

\* 神戸女子大学

Key Words : パン・冷凍・解凍・冷凍ドウ・遊離液体量

## 要 旨

-20℃で1日間、冷凍貯蔵したパンドウを解凍後、製パンした時の製パン性(パン高(mm)・比容積( $\text{cm}^3/\text{g}$ ))は、コントロール(未冷凍)に比べ大きな低下が観察された。冷凍貯蔵期間を3日、または6日間にしても、さらに大きな製パン性の低下は認められなかった。冷凍・解凍したドウから液体がしみだした。遠心分離(38,900g, 4℃, 120分間)によって、パンドウからしみだした液体は、遠沈管を60分間、角度45度に傾斜して集めた。集められた液体量と製パン性との間には高い相関性が認められた。冷凍・解凍したドウ中の液体がしみだす原因を調べた。パンドウ中のイーストと食塩の存在が、この遊離液体量と深くかかわりのあることが示唆された。パンドウの発酵は遊離液体量に大きく影響した。

## はじめに

冷凍ドウは製パン業界で広く用いられており、さらにその利用は増加するであろう。冷凍ドウの利用は、製パン工程の中断を可能にする利点がある。しかしながら、冷凍ドウの利用には2つの問題がある。その一つは、パン酵母の冷凍障害に関するもので、それについては多くの研究者によって報告されてきた(Kulp 1995)。その結果、冷凍耐性イーストの開発に至った。Kline and Sugihara (1968)はイーストの死細胞からドウ中にしみだす還元物質が、ガス発生力の低下やドウの伸展性を失わせると主張した。もう一つは、冷凍によって引き起こされるドウ自体の変化に関するもので、これもまた多くの研究者によって研究されてきた。Variano-Marstonら(1980)によると、冷凍ドウ中のグルテン構造は水結晶の形成によって損傷を受けるといふ。Wolt and D'Appolonia (1984)

は、冷凍によるタンパク質の伸展性への影響が冷凍ドウの製パン性において重要であると主張した。Inoue and Bushuk (1991, 1992), Inoueら(1994)の冷凍ドウのエキステンソグラフパターン、さらにはVariano-Marstonら(1980)の関連報告から、イーストを含むドウの冷凍貯蔵期間、冷凍・解凍サイクル時のドウの弱体化が報告された。しかしながら、この製パン性低下のメカニズムはまだ明らかではない。そこで冷凍ドウ中からしみだす遊離液体量と製パン性との関係を研究した。さらにドウからの遊離液体量と食塩や発酵生成物との関係も調べた。

## 1. 材料と方法

小麦粉：この実験では7種類の小麦粉、(カメリア(日清製粉株)、レッドナイト、アルプス(日東製粉株)、緑渦巻(増田製粉株)、ホロ

シリ (江別製粉株), キタカミ, 南部地粉 (府金製粉株)) を使用した。粗タンパク量は窒素  $\times 5.7$  から求め, 灰分は AACC (2000) 08-01 の方法を用いた。ドウの調製と冷凍・解凍, そしてベーキング方法は, Seguchi ら (1997) の報告によった。各小麦粉の吸水率は, 小麦粉 300g を用いてファリノグラフによって求めた。小麦粉 (290 g), コンプレストイースト (8.7 g), 砂糖 (14.5 g), 食塩 (2.9 g), 水 (各小麦粉ファリノグラフ 500 BU の値から求めた量) を自動製パン機中で混合し, 2 時間 20 分, 30°C で攪拌と 1 次発酵した。その内容は, 最初のミキシング 15 分, ねかし 50 分, 2 次ミキシング 5 分, そして 70 分の発酵時間である。製パン機から取り出したパンドウは 120 g に分割して成形し, パンケースに入れて, さらに 22 分 15 秒間, 38°C で 2 次発酵した。その後, パンケースをビニール袋に入れ, -20°C で 1, 3, 6 日間冷凍貯蔵した。解凍はパンケースを 4°C の冷蔵庫に 16 時間放置して行った。解凍後, パンドウの 1 つは製パンに, 他はドウからしみだす遊離液体量の測定に使用した。製パンは解凍したドウを 210°C のオーブンで 30 分間焼成した。焼成後, パンをケースから取り出し, 26°C, 相対湿度 43% で 60 分間放冷した。パン高, 比容積を求め, クラムのキメは目視で評価した。パン生地からしみだす遊離液体量は, 解凍したドウを 38,900 g で 4°C, 120 分間, 遠心分離にかけ, その後, 遠沈管を 4°C の冷室中で 60 分間, 45 度に傾斜して集めた。回収された遊離液体量はドウ 100 g 当たりとして記録した。遊離液体中のタンパク質量と炭水化物量は, ローリー法とフェノール硫酸法でそれぞれ求めた。コントロールとして未冷凍パンドウで同様の試験を行った。

パンドウ構成成分の異なるパンドウは以下のように調製した。各組み合わせは, 食塩 (2.9 g) と小麦粉 (290 g); 砂糖 (14.5 g) と小麦粉; イースト (8.7 g) と小麦粉; イーストと砂糖と小麦

粉; イーストと食塩と小麦粉; 砂糖と食塩と小麦粉; そして完全形 (イーストと砂糖と食塩と小麦粉) である。それぞれを水 210 mL と一緒に自動製パン機中に混合した。それらは上述の方法と同様の試験にかけられた。すべてのドウのサンプルは, 1 日冷凍貯蔵後解凍し, 各ドウからの遊離液体量を調べた。その遊離液体中のタンパク質量と炭水化物量を調べた。

培養液ドウは以下のように調製し, 同様に遊離液体量を調べた。イースト (4.35 g), 砂糖 (7.25 g), 食塩 (1.45 g) を 300 mL 三角フラスコ中に水 105 mL と混合した。そして, 35°C で 140 分間, 攪拌しながら培養した。その後 5 分間煮騰した。小麦粉 (145 g) とこの培養液をファリノグラフボウルに入れ, 30°C で 10 分間ミキシングしてできたドウを培養液ドウとした。培養液ドウは, ドウ中にイーストの発酵生成物を含むドウである。培養液ドウを遠心分離 38,900 g で 4°C, 120 分間かけ, その後, 4°C の冷室中で遠沈管を 45 度に 60 分間傾斜して遊離液体を回収した。

さらに構成成分の異なる培養液ドウを同様に調製した。食塩 (1.45 g) のみ; 砂糖 (7.25 g) のみ; イースト (4.35 g) のみ; イーストと砂糖; イーストと食塩; そしてイースト, 砂糖と食塩をそれぞれ水 105 mL と混合し培養して培養液を作った。そして各培養液は上述と同様の方法で培養液ドウに調整した。すべての培養液ドウは, 1 日冷凍貯蔵後, 解凍して遊離液体量を求めた。遊離液体中のタンパク質量と炭水化物量は同様に調べた。培養時間の違いによるドウからの遊離液体量の測定は, 35°C で 0, 70, 140, 210, 270 分間培養した各培養液を用いて同様に調べた。統計ソフトウェア (SPSS) を統計分析に使用した。実験は 2 回繰り返し行い, 結果はその平均値である。分析は分析値によるファクターを割り出し, 続いてそれらを比較するために, Duncan's multiple range 試験を行った。

## 2. 結果と考察

### 2-1. 冷凍パンドウによる製パン性について

この実験に用いられた小麦粉のタンパク質量と灰分含量を表1に示した。表2には、 $-20^{\circ}\text{C}$ での冷凍期間と製パン性（パン高（mm）・比容積（ $\text{cm}^3/\text{g}$ ））、遊離液体量（ $\text{mL}/100\text{g}$ ドウ）の関係を示した。これらの製パン性は、未冷凍ドウ（コントロール）に比べ、冷凍貯蔵1日目大きく低下した。しかしながら、冷凍貯蔵期間を3日または6日間に延長しても、それ以上の低下は見られなかった。図1は、カメラリア小麦粉とレッドナイト小麦粉で、冷凍貯蔵0, 1, 3, 6日後のドウを用いて製パンしたパン断面の外観を示した。

### 2-2. 冷凍・解凍したドウからの遊離液体量

冷凍・解凍によってドウからしみでる遊離液体量の増加を調べた。そして遊離液体量の増加は、冷凍・解凍したパンドウの製パン性の低下と関係しているかもしれない。そこで遠心分離によってパンドウからしみだす遊離液体量を調べた。関連研究は Mauritzen and Stewart 1965,

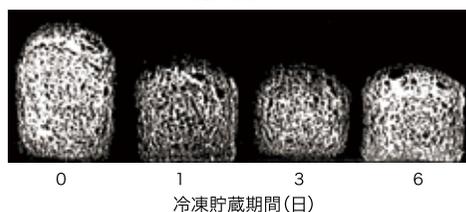
1966; MacRitchie 1976; Larsson and Eliasson 1996; Rasanen ら 1997; によっても進められた。本研究では遊離液体量を得るために、 $4^{\circ}\text{C}$ , 38,900 g, 120 分間の遠心分離を行った。これらの未冷凍貯蔵のパンドウからの遊離液体には粘性があり、タンパク質と炭水化物が多く含まれていた（表3）。遊離液体中のタンパク質量と炭水化物量は、遠心分離の条件の違いによってほとんど影響を受けなかった。1日冷凍貯蔵後、解凍したドウから得られた遊離液体量は著しく増加した。しかし、3日または6日間冷凍貯蔵したドウからの遊離液体量は1日冷凍貯蔵したものに比べ、わずかな増減を示しただけであった（表2）。すべての小麦粉において同様の傾向がみられた。冷凍・解凍したドウからの遊離液体量の増加と、それらの製パン性の低下

表1 各種小麦粉のタンパク質量と灰分含量

小麦粉	タンパク質 (%)	灰分 (%)
カメラリア	13.6 ± 0.3	0.40 ± 0.02
レッドナイト	14.8 ± 0.3	0.37 ± 0.00
アルプス	10.1 ± 0.2	0.34 ± 0.05
緑渦巻	14.5 ± 0.1	0.47 ± 0.01
ホロシリ	10.4 ± 0.1	0.36 ± 0.00
キタカミ	10.7 ± 1.1	0.53 ± 0.00
南部地粉	11.2 ± 0.0	0.49 ± 0.00

\* 平均値 ± SD (標準偏差)

<カメラリア>



<レッドナイト>

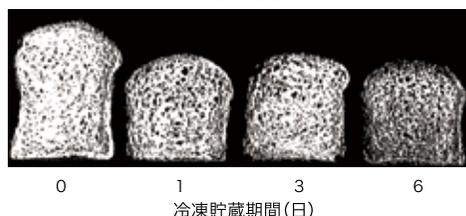


図1 カメラリアとレッドナイト小麦粉による冷凍貯蔵0, 1, 3, 6日後のドウを用いた製パンのパンの断面図

表3 遠心分離時間による遊離液体量とその遊離液体中、タンパク質量と炭水化物量

遠心分離, 38900 × g (min)	遊離液体量 ( $\text{mL}/100\text{g}$ ドウ)	タンパク質量 ( $\text{mg}/\text{mL}$ )	炭水化物量 ( $\text{mg}/\text{mL}$ )
60	0.71 ± 0.31	14.3 ± 1.0	55.3 ± 2.4
90	3.24 ± 0.80	13.4 ± 0.7	50.6 ± 2.9
120	7.39 ± 0.91	12.2 ± 0.2	48.6 ± 2.8

表2 各種小麦粉による製パン試験と遊離液体量

冷凍 (日)	カメリア			レッドナイト			アルプス		
	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)
0	86.50 (2.35) <sup>a</sup>	4.99 (0.17) <sup>a</sup>	2.20	83.83 (1.76) <sup>a</sup>	4.18 (0.09) <sup>a</sup>	1.05	83.40 (0.10) <sup>a</sup>	3.50 (0.01) <sup>a</sup>	7.46 (0.46) <sup>a</sup>
1	67.13 (5.78) <sup>bf</sup>	2.89 (0.40) <sup>be</sup>	4.30	66.37 (2.71) <sup>b</sup>	3.15 (0.03) <sup>b</sup>	3.91	64.20 (2.70) <sup>b</sup>	2.38 (0.02) <sup>b</sup>	9.67 (0.09) <sup>b</sup>
3	64.23 (4.91) <sup>cef</sup>	3.40 (0.22) <sup>cf</sup>	4.45	65.73 (1.53) <sup>b</sup>	3.51 (0.21) <sup>c</sup>	3.75	70.80 (1.80) <sup>c</sup>	2.22 (0.04) <sup>c</sup>	8.63 (0.38) <sup>c</sup>
6	57.67 (2.89) <sup>de</sup>	2.92 (0.16) <sup>def</sup>	4.70	59.57 (1.77) <sup>c</sup>	2.70 (0.15) <sup>d</sup>	4.39	59.40 (1.00) <sup>d</sup>	2.65 (0.13) <sup>d</sup>	10.20 (0.20) <sup>b</sup>
	緑洞巻			ホロシリ			キタカミ		
冷凍 (日)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)
0	88.00 (1.50) <sup>a</sup>	3.74 (0.02) <sup>a</sup>	6.58 (0.47) <sup>a</sup>	80.30 (4.20) <sup>a</sup>	3.26 (0.17) <sup>a</sup>	0.00 (0.00) <sup>a</sup>	79.50 (1.90) <sup>a</sup>	3.38 (0.01) <sup>a</sup>	0.90 (0.10) <sup>a</sup>
1	64.90 (1.30) <sup>befg</sup>	2.13 (0.07) <sup>b</sup>	8.42 (0.12) <sup>bde</sup>	66.50 (2.10) <sup>bf</sup>	2.46 (0.16) <sup>b</sup>	0.28 (0.18) <sup>b</sup>	59.80 (0.80) <sup>b</sup>	2.52 (0.09) <sup>b</sup>	9.67 (0.09) <sup>b</sup>
3	74.00 (6.40) <sup>cf</sup>	3.35 (0.08) <sup>c</sup>	8.15 (0.35) <sup>adf</sup>	57.20 (6.20) <sup>cef</sup>	2.12 (0.06) <sup>c</sup>	0.38 (0.04) <sup>b</sup>	57.70 (3.80) <sup>b</sup>	2.17 (0.13) <sup>c</sup>	9.19 (0.94) <sup>c</sup>
6	59.30 (2.10) <sup>deg</sup>	2.44 (0.05) <sup>d</sup>	8.95 (1.06) <sup>cef</sup>	51.30 (0.20) <sup>de</sup>	1.87 (0.01) <sup>c</sup>	0.40 (0.00) <sup>b</sup>	60.30 (0.90) <sup>b</sup>	2.48 (0.02) <sup>b</sup>	8.12 (1.30) <sup>c</sup>
	南部地粉			南部地粉			南部地粉		
冷凍 (日)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)	パン高 (mm)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	遊離液体量 (mL/100g ドウ)
0	88.00 (0.28) <sup>a</sup>	4.43 (0.54) <sup>a</sup>	0.39 (0.97) <sup>a</sup>						
1	66.05 (1.48) <sup>b</sup>	3.37 (0.00) <sup>b</sup>	12.58 (1.66) <sup>b</sup>						
3	62.40 (0.42) <sup>c</sup>	2.13 (0.01) <sup>c</sup>	13.15 (1.06) <sup>b</sup>						
6	58.10 (0.85) <sup>d</sup>	2.19 (0.08) <sup>c</sup>	13.70 (1.69) <sup>b</sup>						

実験は2回繰り返し行い、その平均値を示した。( ) には2回の実験による誤差を示した。  
また、数値右横にそれぞれのダンカン試験結果を示した。 $p=0.005$ で同じ活字のデータは同一であることを示す。

表4 各種小麦粉における製パン性（パン高，比容積）と遊離液体量の相関性

	パン高	比容積
カメラア	-0.828	-0.855
レッドナイト	-0.963	-0.947
アルプス	-0.938	-0.662
緑渦巻	-0.912	-0.752
ホロシリ	-0.880	-0.939
キタカミ	-0.926	-0.950
南部地粉	-0.885	-0.854

との間には高い相関があった（表4）。未冷凍貯蔵のドウに比べて、冷凍解凍したドウの製パン性の低下は、冷凍・解凍によって引き起こされるパン生地への保水能力の低下が原因であると推察された。

### 2-3. 遊離液体量に与えるパンドウの構成成分の影響

パンドウ構成成分が与える遊離液体量への影響を調べた。図2に小麦粉以外のパンドウ構成成分とそれらの組み合わせを述べた。それぞれの構成成分とその組み合わせが遊離液体量に及ぼす影響を調べた。未冷凍貯蔵のパンドウにおいて、完全形（イースト+砂糖+食塩）からの遊離液体量を100%とした時、最も近い値はイースト+食塩の組み合わせ（83%）であった。続いて食塩+砂糖の組み合わせ（42%）、食塩だけのドウ（27%）となった。これらの結果から、食塩がパンドウの遊離液体量において重要な構成成分であると結論した。イーストもまた、食塩と一緒に混合された時、遊離液体量の増加に貢献した。冷凍・解凍したパンドウにおいても同様に各構成成分とその組み合わせによる遊離液体量の変化を観察した（図2）。1日冷凍貯蔵後の各ドウの遊離液体量は、未冷凍貯蔵のものと同様の傾向を示した。

しかしながら、イーストのみとイースト+砂糖において、冷凍解凍したものからの遊離液体量は、それらの未冷凍時に比べて大きく増加した。各組み合わせドウの未冷凍、冷凍ドウからの遊離液体中、タンパク質量と炭水化物量を調べ、各遊離液体量との相関を比較した（表5）。これらの結果、各ドウ中のタンパク質量と炭水化物量は、遊離液体量と高い相関を示した。そのことは各構成成分によって遊離液体中に抽出されるタンパク質量と炭水化物量に増減がないことを示唆していた。パンドウにおいて、遊離液体量に影響を与えると考えられる点が2点ある。その1つは38℃、2時間20分の発酵時間中に、アミラーゼやプロテアーゼのような小麦粉の酵素が働くことである。アミラーゼの活性化は、遊離液体中の炭水化物量の増加を、またプロテアーゼの活性化はタンパク質量を増加させることが考えられる。つまり小麦粉中のそれらの酵素は遊離液体中の炭水化物量やタンパク質量に影響を与える可能性がある。もう1つはイーストの発酵である。砂糖の入っていないパンドウについても、イーストは小麦粉を炭素源として利用でき、生成した発酵生成物は遊離液体量に影響を与える可能性がある。これらの関係を明らかにするために、新たな実験を培養液ドウで行った。培養液ドウは、発酵した培養液を小麦粉と混合して作成したドウである。未冷

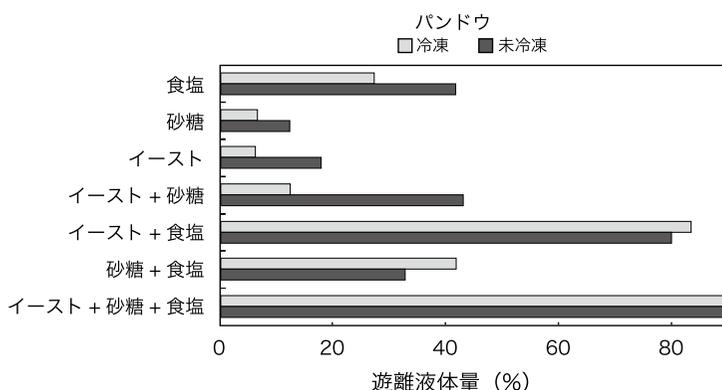


図2 遊離液体量におけるパンドウ構成成分とその組み合わせの影響

表5 構成成分の異なるバンドウと培養液ドウからの各遊離液体量とその液体中、タンパク質量と炭水化物量との相関性

	未冷凍バンドウからの		冷凍バンドウからの		未冷凍培養液ドウからの		冷凍培養液ドウからの	
	タンパク質 (mg)	炭水化物 (mg)	タンパク質 (mg)	炭水化物 (mg)	タンパク質 (mg)	炭水化物 (mg)	タンパク質 (mg)	炭水化物 (mg)
未冷凍バンドウからの遊離液体量 (mL)	0.9769	0.9977						
冷凍バンドウからの遊離液体量 (mL)			0.9407	0.9739				
未冷凍培養液ドウからの遊離液体量 (mL)					0.9673	0.9103		
冷凍培養液ドウからの遊離液体量 (mL)							0.9869	0.9177

凍の完全形の培養液ドウ（（イースト+砂糖+食塩）/小麦粉）と未冷凍の完全形のバンドウ（イースト+砂糖+食塩+小麦粉）からの遊離液体中、炭水化物量とタンパク質量は、共に遊離液体量と高い相関を示し、両者においてそれらの量に増減がないことを示唆している。そのことは、小麦粉中の酵素（アミラーゼ、プロテアーゼ）の関与の低いことを示している。

2-4. 培養液/小麦粉ドウからの遊離液体量

様々なバンドウを図2に示した。培養液/小麦粉ドウも同様に図3に示した。未冷凍貯蔵の培養液ドウとバンドウの同じ構成成分の組み合わせで、遊離液体量に大きな違いが観察されたのは、イースト+食塩の組み合わせであった(図2, 3)。未冷凍貯蔵の培養液ドウで、イースト+食塩からなるドウの遊離液体量は、完全形の培養液/小麦粉ドウを100%としたとき36%であった(図3)。一方、未冷凍貯蔵のバンドウでは、完全形の遊離液体量を100%としたとき83%であった(図2)。両ケースとも砂糖が省かれている。それゆえ、バンドウにお

いてはイーストは発酵に小麦粉を利用した可能性がある。しかし、培養時に小麦粉が省かれている培養液/小麦粉ドウにおいては、それを利用することが出来ない。これらのことは、発酵生成物が遊離液体量を増加させる重要な物質であることを示している。それらを1日冷凍・貯蔵した時の各ドウのサンプルは同様の傾向を示した。イースト+砂糖の培養液/小麦粉ドウは、冷凍・解凍によって著しい増加を示した。食塩が存在する培養液/小麦粉ドウは、未冷凍ドウと冷凍・解凍したドウの両方の試験において、他の組み合わせのものより多くの遊離液体量が回収された。各組み合わせの培養液/小麦粉ドウの未冷凍と冷凍・解凍したものからの遊離液

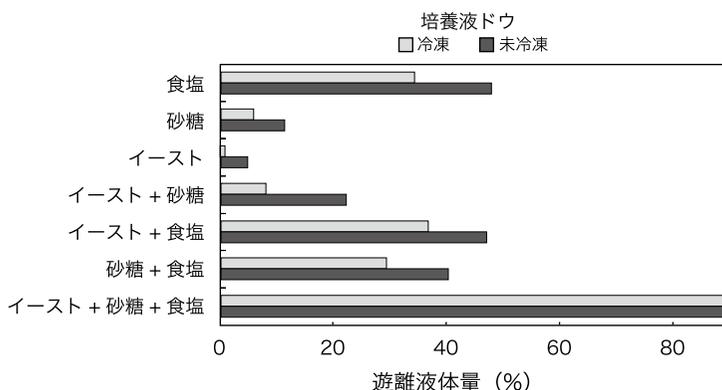


図3 遊離液体量における培養液ドウの構成成分とその組み合わせの影響

体中のタンパク質量と炭水化物量を調べ、それらの各遊離液体量との相関性を調べた(表5)。各培養液/小麦粉ドウ中のタンパク質量、炭水化物量は遊離液体量と高い相関があった。各構成成分による遊離液体中へ抽出されるタンパク質量と炭水化物量には、高い、低いといった傾向のないことが示唆された。

#### 2-5. 遊離液体量における培養液中の発酵生成物と食塩の影響

培養液/小麦粉ドウからの遊離液体量が、発酵によるイースト代謝産物によって増加するかどうかはまだ不明である。そこで0, 70, 140, 210, 270分間の培養時間と遊離液体量との関係を調べた。図4Bの中で培養液/小麦粉ドウからの遊離液体量は、培養時間に直線的に増加した。そのことはイーストによって作られる発酵生成物の量の増加によって、遊離液体量も増加することがわかる。さらに、遊離液体量における食塩の添加のレベルの影響についても

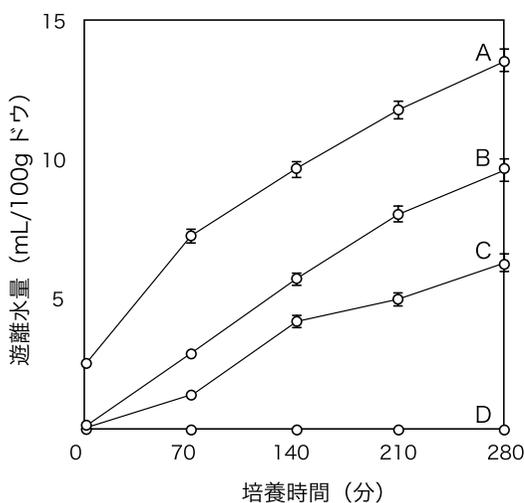


図4 遊離液体量における培養液/小麦粉ドウ中の食塩と培養時間の影響

- A: 発酵前に2.9gの食塩を添加した培養液/小麦粉ドウ  
 B: 発酵前に1.45gの食塩を添加した培養液/小麦粉ドウ  
 C: 発酵後の培養液に1.45gの食塩を添加した培養液/小麦粉ドウ  
 D: 食塩無添加の培養液/小麦粉ドウ

調べた(図4A, C, D)。培養液中の食塩の量を2倍にした場合、遊離液体量は通常の培養液/小麦粉ドウからのそれよりも大きく増加した。さらに培養時間0分の時ですえ増加した(図4A)。そのことは食塩のみの増加分とされた。培養液から食塩を除いたとき(図4D)、遊離液体量の増加は培養液の培養時間のいかなるレベルにおいても観察されなかった。発酵終了後、小麦粉を混合する時に同時に食塩を添加したドウ(図4C)は、ドウからの遊離液体量が通常の培養液(食塩1.45g)/小麦粉ドウ(図4B)に近いものであった。遊離液体を増加させる発酵生成物は、発酵時に食塩がなくとも生成することを示した。しかしながらドウ中に食塩が存在しないときは、遊離液体がドウからしみでることはなかった。発酵生成物と食塩の両方が遊離液体には必要ということがわかった。

#### 2-6. 遊離液体量への培養液/小麦粉ドウ中の食塩の影響

食塩量と遊離液体量との関係を調べた。培養液を小麦粉に混合するときに同時に食塩を添加する方法でドウを作り遊離液体量を調べた。その結果、図5に示したように、小麦粉145gに対して食塩3.63gまで遊離液体量は増加した。しかし、それ以上の食塩の添加は遊離液体量を減少させた。これらのことから、食塩がドウに

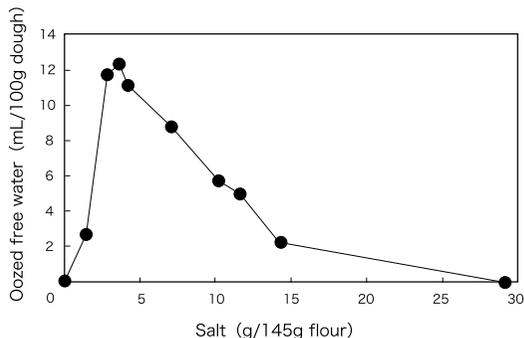


図5 遊離液体量における培養液/小麦粉ドウ中の食塩の影響(食塩は発酵後、小麦粉と共に加えた。)

表5 食塩を添加した培養液ドウからの遊離液体量とその液体中に含まれるタンパク質量と炭水化物量との相関性

	タンパク質 (mg)	炭水化物 (mg)
遊離液体量 (mL)	0.9720	0.9597

添加された時、水は小麦粉から食塩に移動することが示唆された。一方で多量の食塩の添加は小麦粉を変化させ、食塩と結合した水が小麦粉に再吸収されることを示唆した。食塩 29 g の添加は、遊離液体の放出を完全に失った結果である。各食塩添加レベルの異なる培養液 / 小麦粉ドウからの遊離液体中のタンパク質量と炭水化物量を調べ、遊離液体量と比較した。その相

関係数  $r$  (表5) は高い相関を示した。そのことから食塩の添加量による抽出された各タンパク質と炭水化物の濃度との間に変化はなかったことがわかる。

### 3. 結論

冷凍・解凍したパンドウを用いた時の製パン性 (パン高, 比容積) は大きく低下した。そして冷凍・解凍したパンドウからの遊離液体量を調べた結果、製パン性との間に高い負の相関が存在した。さらに遊離液体量は、パンドウ中の食塩と発酵生成物の両方に大いに関係のあることがわかった。

#### 白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸カルシウムとは?

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

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

一般の栄養強化には、「ホワイトン」

機能を求めるならば、「コロカルソ」

飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。

 白石カルシウム株式会社

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

# 野菜含硫成分の生理機能と腸内動態

宇田 靖 (UDA Yasushi) \*

\* 宇都宮大学名誉教授 食品化学

Key Words : アブラナ科・ネギ属・グルコシノレート・S-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシド・機能性食品・腸内分解性

## はじめに

野菜, 果実, 豆類など植物性食材の摂取が心臓病, がん, 糖尿病, 認知症など生活習慣病の発症リスクを低減させることが様々なコホート研究や動物実験などによって明らかになってきた。しかし, わが国における野菜の摂取量は特に20~40歳代の若年世代を中心に大幅な摂取不足<sup>1)</sup>が明らかになっており, 生活習慣病の予防上, 野菜摂取量の増大が重要課題とされている<sup>2,3)</sup>。

野菜の健康保持に寄与すると期待される有用成分には, 多くの野菜類に共通の食物繊維やアントシアニン, カロテノイドなど色素成分などに加えて, アブラナ科野菜類ではグルコシノレートのミロシナーゼ ( $\beta$ -Thioglucosidase) による分解生成物, すなわち, イソチオシアネートとシアノエピチオアルカンなどアグリコン分解生成物とともにネギ属野菜類に含まれるS-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドのアリイナーゼ (Alliin lyase) による分解生成物, すなわちS-アルキ (ケニ) ルスルフェン酸から誘導される各種のスルフィド化合物など, 含硫化合物の機能性が注目されている<sup>4)</sup>。しかし, グルコシノレートやS-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドのような含硫成

分前駆体の腸内細菌による分解性や分解生成物の反応性など腸内動態についてはまだ不明な点が多い。以下では, アブラナ科及びネギ属野菜に含まれる含硫化合物の機能性と筆者らの最近の知見を中心に腸内動態について取り上げる。

## 1. 野菜の主な含硫成分

高等植物は, 土壤中の無機硫酸イオンを効率的にシステインに変換する硫黄同化系<sup>5)</sup>を有し, 生まれたシステインを起点としてさまざまな硫黄化合物を作り出すしくみを持っている。アブラナ科とネギ属野菜類はこのしくみを通じて各種硫黄化合物を蓄積する点で際立っており, アブラナ科植物は根, 茎, 葉などの各部位にグルコシノレートを, ネギ属野菜は同様に $\gamma$ -グルタミル-S-アルキ (ケニ) ル-L-システインのほか, その代謝産物であるS-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドを蓄積する<sup>6,7)</sup>。

### 1-1. アブラナ科野菜のグルコシノレートの分解

アブラナ科野菜として日常的に利用されるものはキャベツ, ハクサイ, カブなどアブラナ属 (*Brassica*) とダイコン属 (*Raphanus*) がほ

とんどで、ほかにワサビ (*Wasabia*), クレソン (*Nasturtium*), ルッコラ (*Eruca*) などである。天然に見出されたグルコシノレートは、現在 132 種類ほどを数える<sup>8)</sup>が、そのうち、上記の日常的に摂取される野菜では含有量は異なるものの 10 種前後が検出される。種類としては、脂肪族、芳香族のほか、脂肪族炭素鎖の末端 ω 位にメチルチオ基 (MeS-) やメチルスルフィニル基 (MeSO-) を持つもの、インドール環を持つものの 4 つのタイプが主なものである。野菜中のグルコシノレートは、細胞内の液胞に含まれ、これを分解する酵素ミロシナーゼは細胞質内で細胞膜にゆるやかに結合して存在する<sup>9)</sup>ため、切断やすりおろしなどの細胞破壊が生じたときに両者は反応し、グルコシノレートからグルコースが離脱してチオヒドロキサム酸-O-スルフォン酸と呼ばれる不安定な中間体を経てイソチオシアネートや各種のニトリルなどに分解する (図 1)。この分解生成物はミロシナーゼの作用時の pH や温度、鉄イオンの共存の有無などの条件によって大きく変動することが知

られている。特に二価鉄イオンが共存する場合、イソチオシアネートより各種ニトリルの生成が優勢になる<sup>10, 11)</sup>ことが知られている。近年、Epithiospecifier Protein (ESP) と呼ばれるエピチオニトリル生成に特異的タンパク質<sup>12, 13)</sup>の発現量が比較的高い野菜では、ESP とミロシナーゼが協同して ω-アルケニル (アリル, 3-ブテニル, 4-ペンテニル) グルコシノレートを分解する場合は、シアノエピチオアルカンと呼ばれるエピチオニトリルの生成が明らかになった。

### 1-2. ネギ属野菜の S-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドの分解

ネギ科植物 (*Alliaceae*) の約 750 種が 15 亜属からなるネギ属 (*Allium*)<sup>14)</sup>であり、この中に世界各地で野菜としての利用頻度も高いタマネギ (*Allium cepa*), ネギ (*Allium fistulosum*), ニラ (*Allium tuberosum*), ラッキョウ (*Allium chinensis*), ニンニク (*Allium sativum*) などが含まれる。ネギ属野菜が含有する主な S-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシド

としては、メチン (*S-methyl-*),

アリイン (*S-allyl-*), イソアリイン

(*S-propenyl-*), プロピイン (*S-propyl-*)

の 4 種である。これらはネギ属野菜の鱗茎細胞あるいは葉肉細胞の細胞質に

局在するが、これを分解するアリイ

ナーゼは細胞内液胞中に局在する<sup>15)</sup>

ため、グルコシノレートと同様に、野

菜をスライスにしたり刻んだりするな

どの細胞破壊時に両者は反応する。こ

の反応ではピリドキサル-5'-リン酸

がコファクターとして働いて、S-アル

キルまたは S-アルケニルスルフェン

酸が切り離されると同時に残りの構造

部分がアンモニアとピルビン酸に分解

する。生じた S-アルキ (ケニ) ルス

ルフェン酸は 2 分子が脱水縮合し、ア

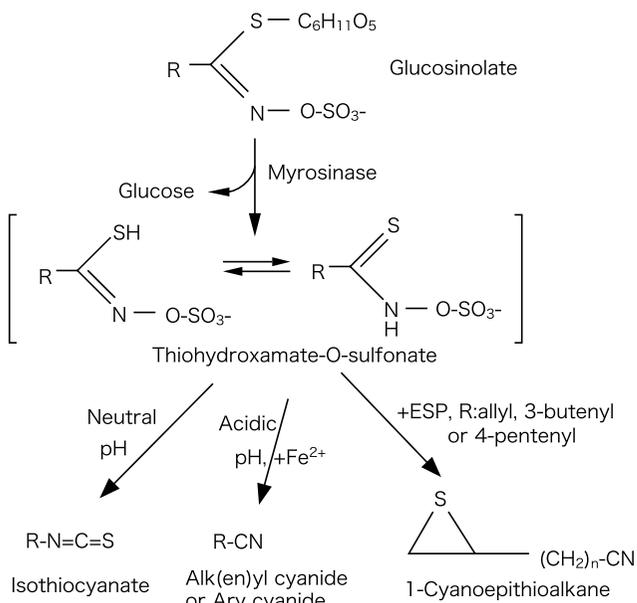


図 1 グルコシノレートの分解反応と生成物

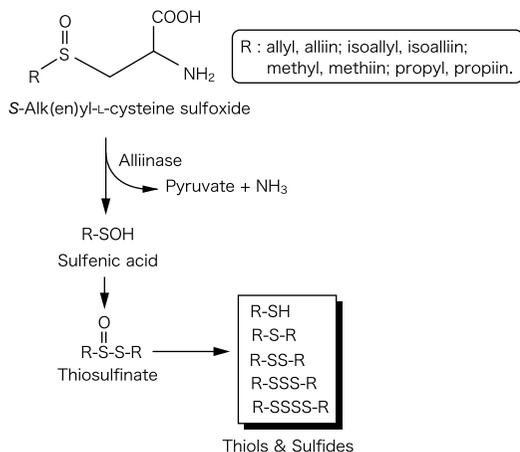


図2 S-アルキ(ケニ)ル-L-システインスルフォキシドの分解反応と生成物

ルキル基あるいはアルケニル基を有するチオスルフィネートに変化する。チオスルフィネートは続いて不均化反応を経てネギ属野菜特有のフレーバーに寄与するさまざまなスルフィドの形成に至る<sup>16)</sup>(図2)。

## 2. 含硫化合物の機能性

両野菜に含まれる硫黄化合物は各種臓器のがんや心臓病など生活習慣病の抑制につながる生理的機能性を持つことが動物実験や疫学的研究から明らかになっている。

### 2-1. 発がんの抑制

アブラナ科やネギ属野菜の摂取頻度と発がんリスクの関係について大規模コホート研究などの疫学的な評価が行われており、アブラナ科野菜の摂取頻度の高い人たちは低い人たちに比べて肺、胃、食道、大腸、直腸などの発がんリスクの低下との関係<sup>17,18)</sup>が、また、ネギ属野菜のニンニク、タマネギ、エシャロットの摂取頻度は胃がん、大腸がん、乳がん、前立腺がんのリスクの減少と関係<sup>19-21)</sup>が認められることがそれぞれ報告されている。

これらの発がんリスクの低減には上述のイソ

チオシアネート、シアノエピチオアルカン、スルフィドなどの含硫化合物が有する解毒システムの活性化機能<sup>22-24)</sup>が寄与すると考えられている。解毒システムの活性化では、グルタチオンS-トランスフェラーゼ(GST)などの第二相(Phase II)解毒代謝酵素の発現誘導を増強して解毒機能を強めることが知られている。

がん細胞のアポトーシスの誘導は解毒機構の活性化と並ぶもう一つの重要な発がん抑制のしくみである。アポトーシスはシステインを活性部位に持つカパーゼと称される一群のプロテアーゼにより進むプログラムされた細胞死のことでDNAの断片化を特徴とする。前述したイソチオシアネート、シアノエピチオアルカン、スルフィド、チオスルフィネートは、ヒト大腸がん細胞(HAT-29, SW-480)、胃がん細胞(SGC-7901)、前骨髄白血球細胞(HL-60)、前立腺細胞(PC-3)、肺がん細胞(H1299)、乳がん細胞(MDA-MB-231)などにおいてアポトーシスを誘導する<sup>25,26)</sup>ことが報告されている。

### 2-2. 循環器系疾患の予防機能

心筋梗塞に対してもアブラナ科野菜(ブロッコリー、カリフラワー、キャベツ、ケール)の摂取頻度の高い人たちのリスクが有意に低下し、その原因の一つはイソチオシアネートによる第二相解毒酵素の活性増大にあるとされる。同様な効果はネギ属野菜、特にニンニクの硫黄化合物でよく研究され、S-アリルシステインとそのγ-グルタミルペプチドなど水溶性硫黄化合物が肝臓におけるコレステロール合成の抑制作用を示し、それによる心臓病予防効果<sup>27,28)</sup>が強く示唆されている。

一方、高齢化とともに線溶系と呼ばれるフィブリン塊の溶解による血流回復機能の低下と相まって、動脈硬化も進むと血管内皮に損傷が生まれやすく、血小板の凝集やフィブリンの固着で血栓を生じ易くなる。血栓は心筋梗塞や脳梗塞を誘発することになり、その予防上、血小板

凝集を抑制する食品成分の摂取が推奨される。ワサビの  $\omega$ -メチルスルフィニールアルキルイソチオシアネート、ニンニクのアリルメチルジスルフィドやアホエン、タマネギに生成するアルキ(ケニ)ルスルフィニールプロピルアルキ(ケニ)ルジスルフィドなどがその働きを示す<sup>7,29)</sup>ことが知られており、これらの含硫成分は血液凝固因子であるトロンボキサンA2の前駆体であるプロスタグランジンH2の生成に関わるシクロオキシゲナーゼの阻害を通じて血小板凝集抑制活性を示すとされている。

### 2-3. 抗菌性

イソチオシアネートやスルフィドの抗菌作用はよく知られている。イソチオシアネートの抗菌性は細菌より糸状菌に対して強く、また、芳香族のベンジルイソチオシアネートあるいは2-フェニルエチルイソチオシアネートの方が、アリルイソチオシアネートなどの脂肪族系のものより数倍以上強い<sup>30)</sup>。その効果はTCAサイクルの各種脱水素酵素群のような呼吸系酵素と結合することにより発揮する。一方、ネギ属野菜に生成するスルフィド類、特にアリシン、ジアリルスルフィド、ジアリルジスルフィド、アホエンなどは大腸菌や黄色ブドウ球菌など幅広い抗細菌作用を示す<sup>31)</sup>。これは増殖に必要なタンパク質の合成阻害や脂質の合成阻害が顕著に起こることに関係があると考えられる。また、ニラやラッキョウに多く生成するメチルメタンチオスルフィネートやアリルメチルチオスルフィネートが腸管出血性大腸菌O157:H7に対する抗菌作用<sup>32)</sup>を示すこと、ワサビやブロッコリーの  $\omega$ -メチルスルフィニールアルキル(ブチル,ヘキシルなど)イソチオシアネート、ニンニクのアリシンなどは *Helicobacter pylori* に対する抗菌作用<sup>33)</sup>を示すことが知られている。最近、筆者らはダイコン特有の辛味成分である4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネート

(MTBI)とパパイヤあるいはガーデンクレス(コショウソウ)の辛味成分であるベンジルイソチオシアネート(BzITC)が、従来知られていなかった腸内細菌の増殖や短鎖脂肪酸産生への影響を明らかにした<sup>34)</sup>ので紹介する。

まず、19株のヒト腸管由来菌(理研バイオリソースセンター)を用いて両イソチオシアネートを20, 40, 100 ppmで嫌気条件下(N<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=8:1:1), GAMプロス中における増殖(OD. 660 nm)への影響を調べた(表1)。ここに見られるように、*Clostridium* sp., *Anaerococcus* sp., *Fusobacterium* sp.などが両イソチオシアネートにより強く増殖を抑制されたのに対し、*Lactobacillus* sp., *Bifidobacterium* sp., *Bacteroides* sp.のような乳酸菌や短鎖脂肪酸産生菌の増殖に及ぼす影響は弱いか、非常に弱いことが分かった。この点は *Clostridium perfringens* と *Lactobacillus fermentum* をそれぞれ、60 ppmの両イソチオシアネートと60分GAMプロス中で接触後、新たなGAMプロス中で8~12時間培養した場合でも確認された。すなわち、*C. perfringens* はコントロール区と同等レベルまでの増殖に至る時間がBzITCでは8時間、MTBIでは10時間の遅れが見られたが、*L. fermentum* は量ITCともに全く差が見られずほとんど影響を受けないことが示された。

次に、5頭ずつの3グループのラットにコーン油に溶解した0.4 mg/day(約40 ppm相当量)または0.8 mg/day(約80 ppm相当量)のBzITCを3日間、胃内に直接投与(対照区はコーン油を同量投与)後、各ラットから腸内短鎖脂肪酸を抽出してGC分析した結果を図3に示す。どの処理区も対照区との有意差は見られなかったものの、酢酸、酪酸、カブロン酸が何れかまたは両投与区で増大することが観察された。この結果は、イソチオシアネートにより腸内マイクロバイオータに変化が生じる可能性を強く示唆している。

表1 ベンジルイソチオシアネート (BzITC) 及び 4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネート (MTBI) のヒト腸管由来細菌株の嫌氣的増殖に及ぼす影響<sup>34)</sup>

使用菌株	BzITC (ppm)		MTBI (ppm)	
	20	40	20	40
<i>Eggerthella lenta</i> JCM 9979	VW	VW	-	-
<i>Lactobacillus reuteri</i> JCM 1112	VW	VW	-	-
<i>Lactobacillus fermentum</i> JCM 1137	VW	VW	VW	VW
<i>Bacteroides vulgatus</i> JCM 5826	VW	W	VW	VW
<i>Bacteroides distasonis</i> JCM 5825	VW	W	-	-
<i>Collinsella aerofaciens</i> JCM 7790	VW	W	-	-
<i>Bifidobacterium pseudocatenulatum</i> JCM 7040	VW	W	-	-
<i>Bifidobacterium longum</i> JCM 7050	VW	S	VW	S
<i>Blautia products</i> JCM 1471	VW	S	-	-
<i>Lactobacillus acidophilus</i> JCM 1028	VW	S	VW	W
<i>Lactobacillus brevis</i> JCM 1059	VW	S	VW	W
<i>Lactobacillus gasseri</i> JCM 1025	W	S	-	-
<i>Lactobacillus salivarius</i> JCM 1045	W	S	-	-
<i>Bifidobacterium adolescentis</i> JCM 7045	S	VS	S	S
<i>Anaerococcus hydrogenalis</i> JCM 7635	VS	VS	-	-
<i>Bacteroides fragilis</i> JCM 11019	VS	VS	W	W
<i>Clostridium innocuum</i> JCM 1292	VS	VS	VS	VS
<i>Clostridium perfringens</i> JCM 3816	VS	VS	VS	VS
<i>Fusobacterium varium</i> JCM 3722	VS	VS	S	VS

阻害率: VW, 0 ~ 30%; W, 31 ~ 59%; S, 60 ~ 79%; VS, 80 ~ 100%; -, 試験せず.

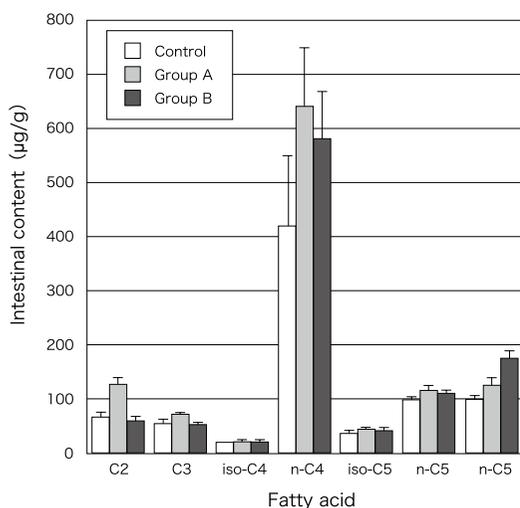


図3 ラット腸内容物中の脂肪酸組成に及ぼすベンジルイソチオシアネート (BzITC) 投与の影響<sup>34)</sup>

BzITC は 40 mg/日 (40 ppm 相当: A グループ) または 80 mg/日 (80 ppm 相当: B グループ) づつを各 1mL のコーン油に溶解して 3 日間胃内に直接投与後、腸管内容物中の脂肪酸を GC 分析した。対照: BzITC の代わりにコーン油を 1mL ずつ投与した。

### 3. 腸内細菌によるグルコシノレートおよび S-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドの分解性

アブラナ科やネギ属の野菜類はサラダのような生食あるいは漬物加工以外では、しばしば、茹でる、煮る、炒めるなどの加熱調理を経て摂取される。その場合、グルコシノレートあるいは S-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドは分解酵素であるミロシナーゼやアリイナーゼの加熱による失活のため、大半が分解されないまま腸管内に至ると考えられる。上述の機能性含硫化合物の腸管内での生成や反応性、吸収動態はそれらの機能性発揮における第一関門でもあることからそれらの解析は重要である。したがって、腸内細菌によるグルコシノレートや S-アルキ (ケニ) ル-L-システインスルフォキシドの分解性に関する知見の集積が求められている。しかし、これらの分解性に関する研究

は、腸内細菌叢を構成する細菌の解析自体もまだ途上にあることも相まって不明な点が多いのが現状である。

以下では、グルコシノレート及び S-アルキ(ケニ)ル-L-システインスルフォキシドの分解性に関する筆者らの最近の知見を紹介する。

### 3-1. グルコシノレートの腸内細菌による分解性

グルコシノレートの腸内細菌による分解性と分解生成物に関する研究報告は 2000 年前後から見られる。これまで、腸内優勢細菌である *Bacteroides* sp. *Bifidobacterium* sp. などの腸内細菌が嫌気条件下においてグルコシノレートの分解能を持つことが報告されている<sup>35-38)</sup>。また、ラットに投与したグルコシノレート量と腸管組織での分解量、腸管透過量、糞中への排出量を解析した実験では、投与量の 90 ~ 95% が腸内細菌により分解されることが示唆されている<sup>39)</sup>。しかし、分解生成物はイソチオシアネートに加

えて、ニトリル類あるいはアミン類のような植物中ではむしろ副生成物あるいは生成しないはずの化合物さえ顕著に検出されることから、腸内細菌によるグルコシノレートの分解反応はアブラナ科野菜中とは相当異なる様相を持つことが示唆される。

筆者らはグルコシノレート混合物の抽出物や市販アリアルグルコシノレート(シニグリン)に対するヒトあるいはラット腸管由来の細菌の分解性及び分解生成物の検討を重ねてきた。その一例として野沢菜種子(*Brassica rapa* L.)から調製した4種のグルコシノレート混合物(3-Butenyl, 4-Methylthiobutyl-, 2-Phenylethyl-, 5-Methylthiopentyl-)に対する15株のヒト腸管由来細菌の分解性を表2に示す<sup>40)</sup>。これらのデータは、各菌株をグルコシノレート混合物(総量 8.4  $\mu\text{mol}$ )を含む 1.0 mL の GAM プロセス中、37°C の嫌気条件 ( $\text{N}_2 : \text{CO}_2 : \text{H}_2 = 8 : 1 : 1$ ) 下、3 時間または 6 時間インキュベーションし、残

表2 ヒト腸管由来細菌 15 株によるグルコシノレートの分解率及びニトリル生成率<sup>40)</sup>

細菌株	JCM No.	インキュベーション 3 h			インキュベーション 6 h		
		分解率 (%)	ニトリル生成割合 (%)	培養液の最終 pH	分解率 (%)	ニトリル生成割合 (%)	培養液の最終 pH
<i>Anaerococcus hydrogenalis</i>	7635	3.5	27.0	6.15	6.9	27.0	6.15
<i>Collinsella aerofaciens</i>	7790	5.6	12.5	6.85	12.0	12.5	6.85
<i>Clostridium innocuum</i>	1292	10.4	4.5	5.76	17.2	4.5	5.76
<i>Bacteroides fragilis</i>	11019	14.6	25.4	5.34	20.7	25.4	5.34
<i>Parabacteroides distasonis</i>	5825	15.3	34.7	6.52	19.3	34.7	6.52
<i>Bifidobacterium pseudocatenulatum</i>	7040	16.4	44.9	5.98	20.1	44.9	5.98
<i>Fusobacterium varium</i>	3722	19.2	7.1	5.16	22.0	7.1	5.16
<i>Bacteroides vulgatus</i>	5826	19.7	26.9	5.38	25.4	26.9	5.38
<i>Bifidobacterium adolescentis</i>	7045	22.1	20.1	5.34	23.9	20.1	5.34
<i>Eggerthella lenta</i>	9979	23.7	14.3	5.92	34.1	14.3	5.92
<i>Bacteroides thetaiotaomicron</i>	5827	24.8	34.6	5.67	27.7	34.6	5.67
<i>Bifidobacterium longum</i>	7050	35.4	29.8	5.98	38.6	29.8	5.98
<i>Lactobacillus fermentum</i>	1137	38.8	22.9	6.13	42.4	22.9	6.13
<i>Clostridium perfringens</i>	3816	39.9	31.9	6.45	49.1	31.9	6.45
<i>Brautia producta</i>	1471	41.8	25.9	6.56	52.1	25.9	6.56

GAM 培地 1.0 mL 中のグルコシノレート添加濃度 (Total 8.4  $\mu\text{mol}$ ) : 3-Butenyl (3.4  $\mu\text{mol}$ ) ; 4-Methylthiobutyl (1.0  $\mu\text{mol}$ ) ; 2-Phenylethyl (2.8  $\mu\text{mol}$ ) ; 5-Methylthiopentyl (1.2  $\mu\text{mol}$ ) .

分解率はグルコシノレートの残存率から、またニトリル生成率は分解されたグルコシノレート総量に対する生成ニトリル総量の比率として示す。

存グルコシノレートのイオンペア ODS-HPLC により分解率を、また生成物を酢酸エチル抽出後、GC-MS 分析により測定し、上記4種類のグルコシノレートに対応して検出された全ニトリルの生成率(対分解量割合)を求めたものである。腸内細菌株により分解能にかなりの差異が見られるが、顕著な特徴は、培地 pH が 6.5 前後の中性域であってもニトリルの生成率が 23 ~ 35% と比較的高い菌株が見られる点である。前述したようにグルコシノレートのミロシナーゼによる分解の際のニトリル生成は pH 4 以下の酸性条件下あるいは二価鉄イオンの共存下で優勢となる。表 2 に示すような高い割合でのニトリル生成は中性域の植物におけるグルコシノレート分解では見られない。ここには示さないが、緩衝液により pH 7.05 に調整した培地においても、腸内細菌株によるグルコシノレートの分解では高い割合のニトリル生成を確認している。

著書らはこの理由を知るために、生成したイソチオシアネートが培地あるいは腸内成分との反応により失われる可能性を数種の標準イソチオシアネートを用いて検討した結果、50 ~ 70% のイソチオシアネートは培地成分と反応して不揮発性物質に変化するため、GC-MS 分析では検出されず回収率が低下することがわかった。ラット腸内容物を用いた検討でも同様な結果を確認している。したがって、生成した一部のイソチオシアネートは腸内あるいは培地のタ

ンパク質と反応して GC-MS 分析では検出されなくなる可能性が強く示唆された。しかし、それ以外にも腸内細菌ではニトリルの生成が起りやすい野菜中とは異なるグルコシノレート分解系の存在も考えられた。

従来、グルコシノレートはきわめてゆっくりではあるが、スルファターゼにより脱硫酸反応を経てデスルフォグルコシノレートに変換されることが知られている。一方、腸内マイクロバイータを構成する細菌にはスルファターゼ活性を有するものが含まれることはよく知られている。そこで、腸内細菌がスルファターゼによりグルコシノレートをデスルフォグルコシノレート変換することを前提に、シニグリンから調製したデスルフォシニグリンをラットの腸内容物(腸内マイクロバイオータ)と3または6時間インキュベーションし、分解率と生成物を GC-MS 分析により調べた(表 3)。その結果、デスルフォシニグリンは3時間で46%、6時間で69%が分解され、生成物は、3時間で、アリルイソチオシアネートが14%、ニトリルが86%、6時間ではアリルイソチオシアネートが10%、ニトリルが90%の割合で検出された。興味深い点は、ニトリルの内、エピチオニトリルであるシアノエピチオプロパンが12 ~ 22%を占めることであった<sup>41)</sup>。上述したようにエピチオトリルの生成には、ESP と呼ばれるタンパク質がミロシナーゼと協同的に作用して生成することが明らかにされており、これまで腸内細菌など微生物

表 3 ラット腸内マイクロバイオータによるデスルフォシニグリンの分解及び生成物<sup>41)</sup>

インキュベーション時間	分解率 (%)	分解量 (μmol/mL)	検出量 (μmol/mL)	生成物 (μmol/mL) (検出量に対する百分率)		
				AITC	ACN	CETP
3h	46	2.85 ± 0.19	0.58	0.08 ± 0.00 (13.8)	0.37 ± 0.04 (63.8)	0.13 ± 0.02 (22.4)
6h	68.9	4.27 ± 0.26	1.38	0.14 ± 0.01 (10.1)	1.08 ± 0.04 (78.3)	0.16 ± 0.02 (11.6)

分解率: 初期濃度 (6.2 μmol/mL) に対する残存濃度から算出した (ODS-HPLC による測定)。

AITC, Allyl isothiocyanate; ACN, Allyl cyanide; CETP, 1-Cyano-2,3-epithiopropane.

が ESP 活性を持つことは全く知られていない。この結果が示すように、ラットの腸内容物、すなわち、マイクロバイオータはデスルフォグルコシノレートを分解してイソチオシアネートのほかに高い割合でニトリルを生成することが初めて明らかになった。ラット腸内マイクロバイオータにはヒト腸内のそれと共通の細菌が含まれるものと推察されることから、ヒト腸管内でも同様なデスルフォグルコシノレート分解がすすむものと考えられる。

次に、デスルフォグルコシノレートの分解にミロシナーゼ、すなわち市販 (Sigma) の白からし由来  $\beta$ -Thioglucosidase が関わる可能性を検討した。その結果、ここにはデータを示さないが、デスルフォシニグリンは時間 (3 ~ 12 時間) と共に  $\beta$ -Thioglucosidase により分解され、イソチオシアネートと共にエピチオニトリルを含むニトリルの生成を進めることがデスルフォシニグリンの HPLC 分析及び生成物の GC-MS 分析により確認された。別の実験で筆者らはラットの腸内容物が  $\beta$ -Thioglucosidase 活性を有することを確認している。なお、この実験でエピチオニトリルの生成を認めたことか

ら、ここに用いた  $\beta$ -Thioglucosidase は ESP 活性も含むものと考えられた。これらの事実は、ラット腸内容物中のスルファターゼ及び  $\beta$ -Thioglucosidase 活性を有するマイクロバイオータはグルコシノレートからスルファターゼにより変換されたデスルフォグルコシノレートを引き続き  $\beta$ -Thioglucosidase によって分解して主にニトリルを生成するルートを持つことを強く示唆する結果となっている<sup>40, 41)</sup>。以上のことから新たに推察されたニトリル生成経路を図4に示す。上述したように解毒機能やアポトーシス誘導機能を持つイソチオシアネートは、摂取後、腸管から吸収されることは尿中にその代謝産物としてメルカプトツール酸が排出されることから明らかであるが、腸内細菌によって腸管内で生じるイソチオシアネートの詳細な量的な解析や吸収動態はなお研究されるべき課題と思われる。加えて、アリルシアニド及びシアノエピチオプロパンの両ニトリルも解毒系システムの増強機能成分として見直されている<sup>42, 43)</sup> ことから、加熱調理を経て摂取された未分解グルコシノレートの腸内細菌によるイソチオシアネート及び各種ニトリルの生成

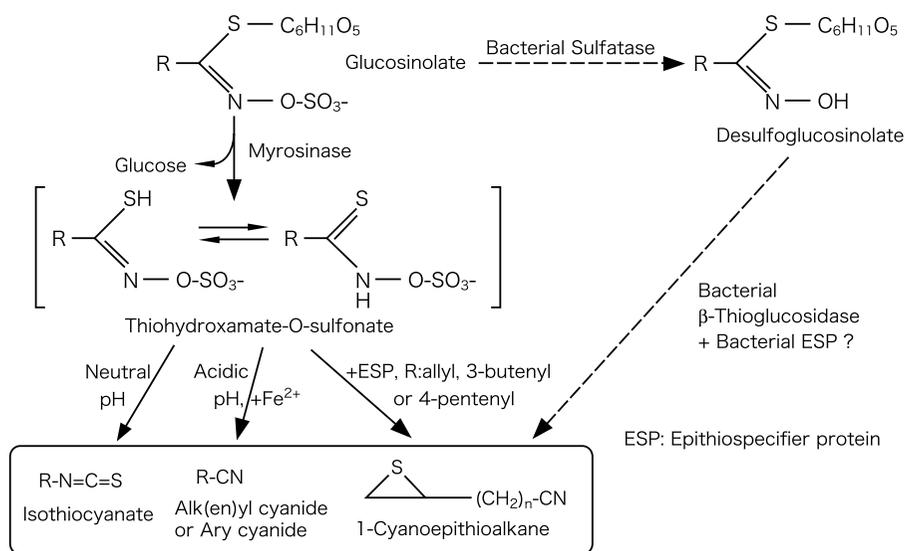


図4 グルコシノレートの腸内細菌による新たな分解経路 (点線矢印の経路)

系と腸管内機能性についても詳細な研究が強く望まれる。

### 3-2. S-アルキ(ケニ)ル-L-システインスルフォキシドの腸内細菌による分解性

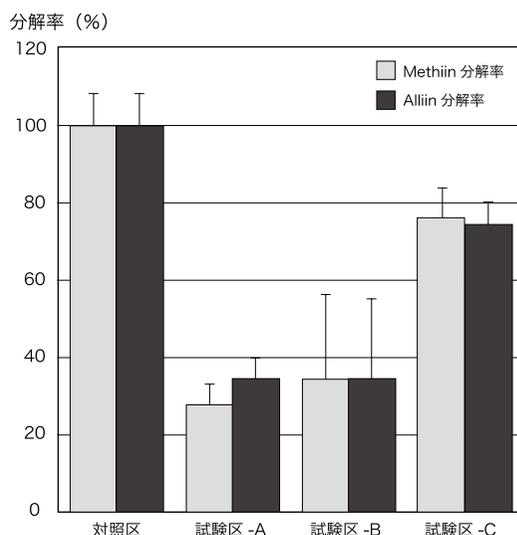
ネギ属野菜はアブラナ科野菜と同様にしばしば加熱調理を経て摂取されることから、機能性スルフィド類の前駆体であるS-アルキ(ケニ)ル-L-システインスルフォキシドの多くはアリイナーゼの作用を免れて腸管内に至ると考えられる。そこで、これらの前駆体の腸内分解性についてラット及びヒ腸管由来細菌株を用いて検討した。

まず、ラット(8週齢, Wistar系雄)から嫌気雰囲気下(N<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=8:1:1)で取り出した腸内容物をリン酸バッファー(pH 7.0)にて2倍希釈後、15分間の静置上清にメチン及びアリインを各3.0 mg/mLになるよう加えて上記嫌気条件下、37℃で4時間インキュベーションした。その後、反応液をエーテル抽出し、エーテル部はGC-MSにより生成物を分析するとともに、水相部はAmberlite IR120カラムにて未分解のメチンとアリインを回収後、HPLC分析による分解率を測定した。この実験では、腸内容物の代わりに腸管組織破砕物を用いた試験及びネオマイシン(200 mg/mL)、バシトラシン(200 mg/mL)、テトラサイクリン(100 mg/mL)の3種混合抗生物質<sup>44)</sup>を添加した試験も行った。

図5のようにメチン、アリインの分解は、腸内容物試験区-Aと腸管組織破砕物試験区-Bで見られたが、試験区-Bに抗生物質を加えた試験区-Cでは強く抑制された。一方、細菌の増殖が見られた腸内容物試験区ではメチンとアリインの分解率は70~75%であった。腸管組織破砕物には付着細菌の増殖によるためと思われる分解が見られたが、抗生物質の添加により、その分愛率は大きく減少した。これらの結果は、ラット腸内容物中のマイクロバ

イオータがメチン及びアリインを分解できることを示している。他方、両者の分解が見られた試験区のエーテル抽出物のGC-MS分析の結果では、特有の分解生成物であるDimethyl disulfide, Allyl methyl disulfide, Diallyl disulfideが明確に検出されたことから、ラットマイクロバイオータはネギ属野菜に含まれるアリイナーゼと同様に作用する酵素活性を有する<sup>45)</sup>ことも示唆されている。

また、筆者らは上述の嫌気条件下、2.0 mLのGAMプロス中14時間培養して十分に増殖させた10種のヒト腸管由来細菌株(理研バイオリソースセンター)の各培養液に1.6 mgずつの合成により調製したアリイン、メチン及びプロピンを加え、さらに嫌氣的に37℃、3時間インキュベーションを続けた後、生成物をエーテル抽出してGC-MS分析(Agilent J&W, DB-XLBカラム<30m × 0.25 mm i.d.>, 60-220℃, 5℃/min昇温)を行った。表4<sup>46)</sup>に示すように、試験した腸管由来細菌株はいずれもアリイン、メチン及びプロピンを分解し



対照区はラット腸内容物も、腸管組織片も非添加

図5 ラット腸内マイクロバイオータによるメチンおよびアリインの分解<sup>43)</sup>

表 4 生成スルフィド類から見たヒト腸管由来細菌株 (10 種) によるアリイン, メチイン及びプロピインの分解性<sup>44)</sup>

菌 株	JCM No.	Alliin		Methiin	Propiin	
		DAS	DADS	DMDS	DPDS	DPTS
<i>Parabacteroides distasonis</i>	5825	+	+	+	+	
<i>Bacteroides vulgatus</i>	5826	+	+		+	+
<i>Bifidobacterium adolescentis</i>	7045	+	+	+	+	+
<i>Bifidobacterium bifidum</i>	7002	+	+	+	+	
<i>Bifidobacterium pseudocatenulatum</i>	7040	+	+	+	+	+
<i>Blautia hydrogenotrophica</i>	14656	+	+	+	+	
<i>Blautia producta</i>	1471		+		+	+
<i>Clostridium intestinale</i>	7506	+	+	+	+	+
<i>Clostridium perfringens</i>	3816	+	+		+	
<i>Collinsella aerofaciens</i>	7790	+	+		+	

+: 検出.

DAS: ジアリルスルフィド; DADS: ジアリルジスルフィド; DMDS: ジメチルジスルフィド; DPDS: ジプロピルジスルフィド; DPTS: ジプロピルトリスルフィド.

て、それぞれに特有のスルフィド化合物を生成することが明らかになった。これらの菌株はヒト腸内マイクロバイオータの構成菌でもあると考えられることから、加熱調理を経て摂取されたネギ属特有の S-アルキ(ケニ)ル-L-システインスルフォキシドも腸内マイクロバイオータによって分解され、機能性成分であるスルフィド化合物を腸管内で生成する可能性を示唆するものである。

おわりに

ここに取り上げたアブラナ科野菜とネギ属野

菜の生産量はわが国の野菜生産の 40% 強を占める主要食材となっており、上述してきたように、それらに含まれる特有の辛みあるいは香りを有する含硫成分は健康機能性物質として世界的にも注目されている。これらの含硫成分の機能性発揮において腸管内動態の解明はなお重要な課題となっており、腸内マイクロバイオータとの関わりの詳細な研究が求められている。今後、上述した機能性含硫性分前駆体の分解に関わる主要な腸内細菌の特定や分解率あるいは生成スルフィド化合物の腸管内反応性など、食品機能性の観点からの詳細な検討が望まれる。

..... 参考文献 .....

- 1) 厚労省 H23 年度国民健康・栄養調査結果概要。  
(<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyou/h23-houkoku.html>)
- 2) 丸山 千寿子: 日本人の食生活における野菜の重要性。(独) 農畜産行振興機構: 野菜情報 2012 年 8 月号.
- 3) T. Yamaji, M. Inoue, S. Sasazuki, *et al.*: Fruit and vegetable consumption and squamous cell carcinoma of the esophagus in Japan. The JPHC study. *International Journal of Cancer*, **123**, 1935-1940, 2008.
- 4) D. Herber: Vegetables, fruits and phytoestrogens in the prevention of diseases. *Journal of Postgraduate Medicine*, **50**, 145-149, 2004.
- 5) M. J. Hawkesford & L. J. De Kok: Managing sulphur metabolism in plants, *Plant, Cell & Environment*, **29**, 382-395, 2006.
- 6) 川岸 舜朗: グルコシノレート その酵素分解および分解物の反応性と毒性. 日本食品工業学会誌, **32**, 836-846, 1985.
- 7) 関 泰一郎, 有賀 豊彦: ネギ属植物の生理機能とそのメカニズム. バイオサイエンスとインダストリー,

- 64, 609-613, 2006.
- 8) N. Agerbirk & C. E. Olsen : Glucosinolate structures in evolution. *Phytochemistry*, **77**, 16-45, 2012.
  - 9) 原 正和, 久保井 徹, 衛藤 英男 : アブラナ科作物における二次代謝の制御. *FFI Journal*, **208**, 594-600, 2003.
  - 10) G. R. Fenwick, R. K. Heaney & W. J. Mullin : Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **18**, 123-201, 1983.
  - 11) Y. Uda, T. Kurata & N. Arakawa : Effects of pH and ferrous ion on the degradation of glucosinolates by myrosinase. *Agricultural and Biological Chemistry*, **50**, 2735-2740, 1986.
  - 12) R. Bermardi, A. Negri, S. Ronchi *et al.* : Isolation of the epithiospecifier protein from oil-rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) seed and its characterization. *FEBS Letters*, **467**, 296-298, 2000.
  - 13) N. V. Matusheski, J. A. Juvik & E. H. Jeffery : Heating decreases epithiospecifier protein activity and increases sulforaphane formation in broccoli. *Phytochemistry*, **65**, 1273-1281, 2004.
  - 14) P. Hirscheegger, J. Jakse, P. Trontelj *et al.* : Origins of *Allium ampeloprasum* horticultural groups and a molecular phylogeny of the section *Allium* (*Allium: Alliaceae*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **54**, 488-497, 2010.
  - 15) J. E. Lancaster & H. A. Collin : Presence of alliinase in isolated vacuoles and of alkyl cysteine sulphoxides in the cytoplasm of bulbs of onion (*Allium cepa*). *Plant Science Letters*, **22**, 169-176, 1981.
  - 16) P. Rose, M. Whiteman, P. K. Moore *et al.* : Bioactive S-alk(en)yl cysteine sulfoxide metabolites in the genus *Allium*: the chemistry of potential therapeutic agents. *Natural Product Reports*, **22**, 351-368, 2005.
  - 17) G. van Poppel, D. T. Verhoeven, H. Verhagen *et al.* : Brassica vegetables and cancer prevention. Epidemiology and mechanisms. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, **472**, 159-168, 1999.
  - 18) F. Bianchini & H. Vainio : Isothiocyanates in cancer prevention. *Drug Metabolism Reviews*, **36**, 655-667, 2004.
  - 19) B. Challier, J. M. Perarnau & J. F. Viel : Garlic, onion and cereal fiber as protective factors for breast cancer: a French case-control study. *European Journal of Epidemiology*, **14**, 737-747, 1998.
  - 20) A. W. Hsing, A. P. Chokkalingam, Y. T. Gao, *et al.* : Allium vegetables and risk of prostate cancer: a population-based study. *Journal of National Cancer Institute*, **94**, 1648-1651, 2002.
  - 21) V. W. Setiawan, G. P. Yu, Q. Y. Lu, *et al.* : Allium vegetables and stomach cancer risk in China. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, **6**, 387-395, 2005.
  - 22) C. R. Zhao, Z. H. Gao & X. J. Qu : Nrf2-ARE signaling pathway and natural products for cancer chemoprevention. *Cancer Epidemiology*, **34**, 523-533, 2010.
  - 23) M. O. Kelleher, M. McMahon, I. M. Eggleston, *et al.* : 1-Cyano-2,3-epithiopropene is a novel plant-derived chemopreventive agent which includes cytoprotective genes that afford resistance against the genotoxic  $\alpha,\beta$ -unsaturated aldehyde acrolein. *Carcinogenesis*, **30**, 1754-1762, 2009.
  - 24) T. Fukao, T. Hosono, S. Misawa, *et al.* : The effects of allyl sulfides on the induction of phase II detoxification enzymes and liver injury by carbon tetrachloride. *Food and Chemical Toxicology*, **42**, 743-749, 2004.
  - 25) P. J. Thornalley : Isothiocyanates: mechanism of cancer chemopreventive action. *Anticancer Drugs*, **13**, 331-338, 2002.
  - 26) X. Wu, F. Kassie & V. M. Sundermann : Induction of apoptosis in tumor cells by naturally occurring sulfur-containing compounds. *Mutation Research*, **589**, 81-102, 2005.
  - 27) M. A. Vazquez-Prieto & R. M. Miatello : Organosulfur compounds and cardiovascular disease. *Molecular Aspects of Medicine*, **31**, 540-545, 2010.
  - 28) Y.Y. Yeh & L. Liu : Recent advances on the nutritional effects associated with the use of garlic as a supplement. *Journal of Nutrition*, **131**, 989S-993S, 2001.
  - 29) Y. Morimitsu, K. Hayashi, Y. Nakagawa, *et al.* : Antiproliferative and anticancer isothiocyanates in Japanese domestic horseradish, Wasabi. *Mechanisms of Ageing and Development*, **116**, 125-134, 2000.
  - 30) L. Drobnica, M. Zemanova, P. Nemecek, *et al.* : Antifungal activity of isothiocyanates and related compounds. *Applied Microbiology*, **15**, 701-709, 1967.
  - 31) K. H. Kyung : Antimicrobial properties of allium species. *Current Opinion in Biotechnology*, **23**, 142-147, 2012.
  - 32) K. I. Seo, Y. H. Moon, S. U. Choi *et al.* : Antibacterial activity of S-methyl methanethiosulfinate and S-methyl 2-propenyl-1-thiosulfinate from Chinese chive toward *Escherichia coli* O157:H7. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, **65**, 966-968, 2001.

- 33) L. Cellini, E. D. Campi, M. Masulli, *et al.* : Inhibition of *Helicobacter pylori* by garlic extract. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, **13**, 273-277, 1996.
- 34) Y. Uda & T. Shitara : Effects of benzyl isothiocyanate and (*E,Z*)-4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate on *in vitro* growth of human intestinal bacteria and on *in vivo* formation of short-chain fatty acids in the rat intestine. In "Worldwide research efforts in the fighting against microbial pathogens", edited by A. Mendez-Vilas, Brown Walker Press (Boca Raton, Florida, USA), pp. 150-154, 2013.
- 35) S. M. Getahun & F.-L. Chung : Conversion of glucosinolates to isothiocyanates in humans after ingestion of cooked watercress. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, **8**, 447-451, 1999.
- 36) L. Elfoul, S. Rabot, N. Khelifa, *et al.* : Formation of allyl isothiocyanate from sinigrin in the digestive tract of rats monoassociated with a human colonic strain of *Bacteroides thetaiotaomicron*. *FEMS Microbiology Letters*, **197**, 99-103, 2001.
- 37) C. Krul, C. Humblot, C. Philippe, *et al.* : Metabolism of sinigrin (2-propenyl glucosinolate) by the human colonic microflora in a dynamic *in vitro* large-intestinal model. *Carcinogenesis*, **23**, 1009-1016, 2002.
- 38) D.-L. Cheng, K. Hashimoto & Y. Uda : *In vitro* digestion of sinigrin and glucotropaeolin by single strains of *Bifidobacterium* and identification of the digestive products. *Food and Chemical Toxicology*, **42**, 351-357, 2004.
- 39) 程 徳林：腸内細菌によるグルコシノレートの分解性に関する研究。東京農工大学大学院 博士論文，2004年3月。
- 40) 呂 萌：腸内細菌によるグルコシノレートの分解性と分解生成物の特徴に関する研究。東京農工大学大学院 博士論文，2011年9月。
- 41) M. Lu, K. Hashimoto & Y. Uda : Rat intestinal microbiota digest desulfosinigrin to form allyl cyanide and 1-cyano-2,3-epithiopropene. *Food Research International*, **44**, 1023-1028, 2011.
- 42) H. Tanii, T. Higashi, F. Nishimura, *et al.* : Effects of cruciferous allyl nitrile on phase 2 antioxidant and detoxification enzymes, *Medical Science Monitor*, **14**, 189-192, 2008.
- 43) M. O. Kelleher, M. McMahon, I. M. Eggleston, *et al.* : 1-Cyano-2,3-epithiopropene is a novel plant-derived chemopreventive agent which includes cytoprotective genes that afford resistance against the genotoxic  $\alpha,\beta$ -unsaturated aldehyde acrolein. *Carcinogenesis*, **30**, 1754-1762, 2009.
- 44) 木内 武美, 片岡 佳子, 宮西 幸一, 他:腸肝循環による変異原物質の活性化・不活性化. 環境変異原研究, **12**, 291-303, 1990.
- 45) 矢吹 友二: ニラ (*Allium tuberosum* Rottler) の含硫性分の特徴と腸内細菌による分解性. 東京農工大学大学院 博士論文, 2010年3月。
- 46) 糸賀 達也, 矢吹 友二, 宇田 靖: 未発表データ。

# 昆虫食の新たな可能性

井内 良仁 (IUCHI Yoshihito) \*

\* 山口大学農学部 生物機能科学科

Key Words : 昆虫食・国連食糧農業機関・機能性食品・昆虫推進体・ミールワーム・食糧不足問題

## はじめに

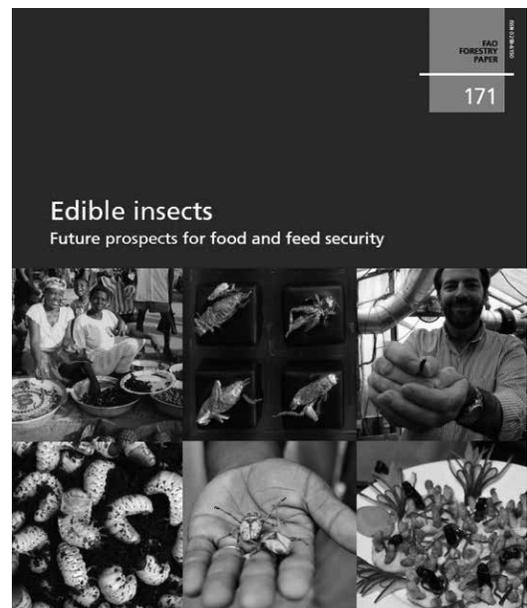
今、「昆虫食」が密かなブームになっているという。インターネットで「昆虫食」で検索をかけてみるとかなりの数のサイトやニュースが目飛び込んでくる。新聞や雑誌、テレビ番組などでも目にする機会が増えてきた。しかし日本人の大半は、昆虫を食べると聞くと眉をひそめる人が多いのではないだろうか。やはり昆虫食はゲテモノ料理の一つに過ぎないのか？はたまた人類の救世主となる食料なのか？

## 1. 昆虫を食べましょう

昆虫料理と聞くと拒絶反応を示す人でも、昆虫を食べる国があることはご存じだろう。ただ、一般に先進国と呼ばれる国々では、昆虫は食料として重要であった訳ではない。しかし最近、欧米を中心に「昆虫食」の重要性が新たに論じられるようになってきた。さらに追い風となったのが、国連機関による昆虫食に関する報告であった。2013年5月、FAO（国連食糧農業機関）が、「食料安全保障・栄養のための森林に関する国際会議」において「Edible insects -Future prospects for food and feed security（昆虫食～食料・飼料安全保障の展望）」という報告

書を発表した（図1）。報告書は、FAOとオランダ・ワーヘニンゲン大学との共同研究に基づいたもので、世界の飢餓問題の解決・食料供給改善のための、昆虫の食料・飼料資源としての積極的な利用を建言している<sup>1)</sup>。

本書中では世界各地で食されている昆虫の種類・季節的変動から、食料・飼料など昆虫資源



WAGENINGEN UR  
For quality of life



図1 FAOによる報告書

としての分析と利点などについて資料と共に詳細に記述されている。例えば、昆虫食の栄養的・経済的・環境的側面からの利点として、次のような指摘がある。昆虫は、単位重量あたりのタンパク質の割合でも牛肉や魚介類に優るとも劣らず、アミノ酸、脂肪酸、ミネラル、そしてエネルギーについても、牛肉の代替品となっても全く恥ずかしくない組成と含量を誇る（図2）。また、1 kg のタンパク質を得るためにニワトリでは 2.5 kg、ブタでは 5 kg、ウシでは 10 kg の餌を与える必要であるが、コオロギだと 1.7 kg の餌で済むという効率の良さに至っては、経済面でのメリットの大きさが伺える。これは昆虫が恒温動物ではないために、体温維持のための餌をとる必要がないという理由が大きい。そのことは家畜と比較して、代謝や糞尿による二酸化炭素、メタンやアンモニアなどの排出も極端に少なく、結果として温室効果ガスの排出量が大きく抑制できるという、まさに「地球にやさしい」こととも結びついている（図3）。さらに等量のタンパク質を得るための飼育に要する面積が家畜の 1/5 ~ 1/20 程度に抑えられるという利点についても言及している。このように、昆虫食は家畜と同等以上の栄養を有しながら、

家畜より経済的にお得で環境にも良い、と良いことづくめである。現在、飢餓の心配がある国や地域ではもちろん、人口が増え続ける地球の近未来を考えても、食料または飼料としての昆

アミノ酸	ミールワーム	牛肉
<b>必須アミノ酸</b>		
Isoleucine	24.7	16
Leucine	52.2	42
Lysine	26.8	45
Methionine	6.3	16
Phenylalanine	17.3	24
Threonine	20.2	25
Tryptophan	3.9	-
Valine	28.9	20
<b>準必須アミノ酸</b>		
Arginine	25.5	33
Histidine	15.5	20
Methionine + Cysteine	10.5	22
Tyrosine	36.0	22
<b>非必須アミノ酸</b>		
Alanine	40.4	30
Aspartic acid	40.0	52
Cysteine	4.2	5.9
Glycine	27.3	24
Glutamic acid	55.4	90
Proline	34.1	28
Serine	25.2	27
Taurine (mg/kg)	210	-

図2 1kg 乾燥重量あたりのミールワームと牛肉のアミノ酸含量 (FAO 報告書より改変)

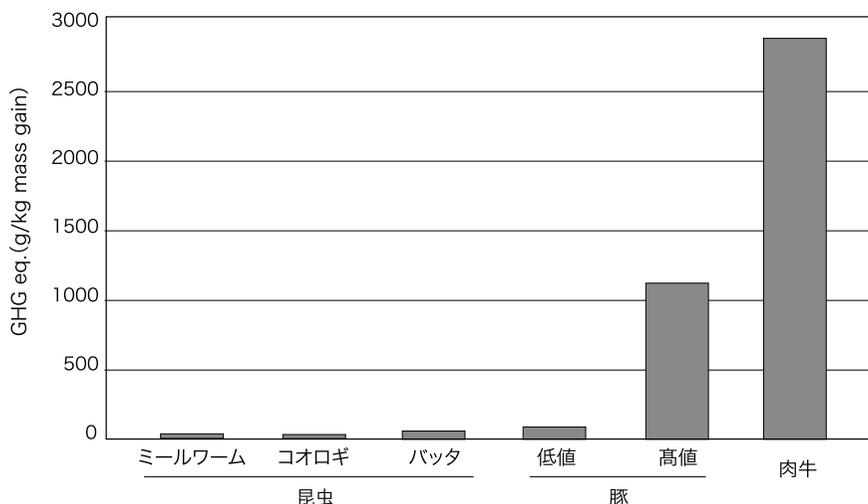


図3 1kg 体重増加分あたりの温室効果ガス (GHG) 排出量 (FAO 報告書より改変)



図4 世界の国々で食べられている(いた)昆虫の種類 (FAO 報告書より改変)

虫の有用性は非常に高い。

図4は世界の昆虫食地図である。これを見ると、熱帯を中心とする世界中のかなり多くの国々で昆虫が食されている(いた)ことが良くわかる。東南アジア、中国、熱帯アフリカ、中南米が“昆虫食先進地域”と言えようか。日本もかなり健闘している、というよりむしろ”昆虫食先進国”と言っても良からう<sup>1-3)</sup>。

## 2. 日本の昆虫食

日本では古来より、日常食、そして御馳走として様々な昆虫が食されてきた。そして日本で昆虫食は文化と密接に結びついており、民俗学的側面からの昆虫食研究も多い<sup>2)</sup>。日本で食べられてきた代表的な昆虫について見てみよう。

イナゴは全国で広く食べられてきた昆虫である。生息地のみならず東京の町中でも江戸時代

から売られていたことがわかっている。昆虫食というと長野県が有名だが、「内陸は魚に乏しかったために昆虫を食べた」との話は俗説であり、漁村では水田が無くイナゴがないため、わざわざ水田のあるところまで採りに出かけたという。イナゴは魚と並ぶ御馳走であり、秋の味覚であった。現在でもスーパーの総菜コーナーに佃煮が並ぶ地域は多く、通販でも購入できる。余談であるが、筆者の研究室の冷蔵庫にも常にイナゴの佃煮が常備されている。その他にイナゴに近いバッタ類やカマキリも多く食べられてきた。もう一つ代表的な昆虫食がハチの子である。クロスズメバチはほぼ全国に分布し、幼虫、サナギ、成虫とも美味とされる。愛知、岐阜、長野県などでは秋の風物詩としてクロスズメバチを採る「ハチ追い」が今も行われており、その様子が紹介されることも多い。その巢を得るためには危険と隣り合わせの中、多大な労力を要する。そういった困難さにもかかわらず

ず、ハチの子を使った多岐にわたる料理法は各地に存在し、そのことから古くから御馳走であったことがわかる。クロスズメバチのみならずさまざまな種類のハチが全国各地で食用にされてきた。これら代表的な昆虫に加えて、トビケラの幼虫を主体とするザザムシ、カミキリムシの幼虫を含めたイモムシ類、カイコのサナギ、セミなども日本各地で食べられてきた<sup>2-5)</sup>。

近代になって、農薬の使用や環境の破壊で昆虫そのものが減ったことや食習慣の変化によって、昆虫食は一気に廃れていった。今でも一部の地域でかろうじて残ってはいるが、伝統的な昆虫食文化はどんどん衰退する一方であると考えられる。しかし、ごく最近になって愛好家らで構成する昆虫料理研究会を中心に、伝統的な昆虫食品とは一線を画す、全く新しい昆虫料理が考え出されている。バッタ、セミ、ガ、ハチ、カマキリからムカデやクモまで、様々な種類の虫たちが和洋中そしてエスニック風に料理され、それぞれのレシピや味、”食材”の入手方法まで詳細に記述されている<sup>6,7)</sup>。前述のFAOの報告書中でも、日本の昆虫料理研究会 (Insect Cuisine Research Association) の活動「the Tokyo Mushikui (bug-eating) Festival (東京虫食いフェスティバル)」や、日本の伝統的昆虫食が紹介されている。他にも料理の鉄人、道場六三郎が作る「至高の昆虫料理」に至っては、昆虫食愛好家ならずとも思わず食べてみたいと言わしめる程の魅力を放っている<sup>8)</sup>。

### 3. なぜ今、昆虫を食べるのか

～各地で続いてきた昆虫食は、昆虫を食べる人々が生活する場所の自然と、そこで築かれた文化との相互関係の中に成り立っている。いっぽう昆虫は、古くから、食用、薬用、遊び、道具、信仰、芸術など人間の物心両面においてさまざまに関わり合いを持ってきた身近な生物で

ある。(中略)日本において昆虫食は、身の周りの豊富な自然環境に目を向け、そこから食用に適した種類を選択し、そして、採集、調理し、食べ物として摂取するという一連の流れからできている。(中略)昆虫は、人間にとって必要不可欠な食物ではない。だが、食べている、という事実から「いったいどうして食べるのだろうか?」「人間は、昆虫を食べるという行為を通じて、昆虫の姿、音、動きをどうとらえるのだろうか」という疑問を解き明かしていくことは、人間の自然への働きかけの幅の広さ、自然理解の深さを知る上で大切なことだと考える～「昆虫食先進国ニッポン」より抜粋<sup>2)</sup>。

このように日本人は、昆虫をただ単に栄養として食べていた訳ではない。自然との関わり合いの中で、身近な存在であった昆虫をごく自然な流れで食していた。今の時代、昆虫がどれだけ身近なものか、いや身近なものではないのかについて、ある例を紹介したい。筆者は毎年、大学生に生き物の名前を答えてもらう「生き物クイズ」というものを行っている。以下は、文系・理系を交えた大学一年生200名に日本の生き物の写真を見せ、その名前を答えてもらった最新の結果である。昆虫関係に絞ってみると、カブトムシの正答率は100%であったが、小学校の教材でもあるはずのモンシロチョウの正答率は88%であった。童謡「手のひらを太陽に」で一番の歌詞に歌われるオケラ(正しくはケラ)を答えられた学生は58%と、42%はオケラがどんなものかを知らずに歌っていた。法隆寺の国宝「玉虫厨子」に使用されているタマムシの正答率は52%で、ほぼ半数の学生はその正体を知らなかった。「アリとキリギリス」は誰もが知る童話であるが、そのキリギリスの正答率は21%という低さであった。オオムラサキに至っては国蝶というヒントを出しても答えられた学生は15%で、正答率1%のギフチョウと共にこれはもう昆虫オタクのみが知る分野となっ

ている。

決して都会とは言えないここ山口でこれである。大都市ではどのような状態であろうか。田舎嫌いな人達はその理由として上位に挙げるのが「虫が多い」だそうである。国土の七割が森林という環境でありながら、少ない平地のそのまたごく一部に人間がひしめき合い、外に、山に、森に、野原に、そして虫たちに目を向けようとしないうちに焦燥感と危機感を抱かざるを得ない。人間は自然が無ければ生きていけないのは自明であるが、街で暮らしているとついそのことを忘れてしまう。昆虫食に興味を抱くことは昆虫自身に興味を抱くことであり、それは同時に身のまわりの自然環境にも目を向けることである。これが今の日本にあって、敢えて昆虫食を勧めたい理由のひとつでもある。

#### 4. 山口大学における昆虫食研究

山口大学では、農学部・小林淳教授を代表として「新規昆虫能力の探索とその利用技術開発」を課題とした研究推進体、通称「昆虫推進体」を構成している。本研究推進体は、昆虫の有するさまざまな優れた機能の分子メカニズムを解明し、その成果を利用して医薬・獣医薬および農薬の開発に役立てることを目的としている。昆虫機能を基盤としたライフサイエンス・医療分野のイノベーション創出を効率よく達成するため「機能解析グループ」と「プロテオーム解析グループ」の2部門が共同して研究・開発に取り組み、それらの研究成果を論文発表、特許取得、商品化、起業などを介して国内外に積極的に発信するという活動を行ってきた。2013年、さらに「メタボローム解析グループ」を新たに創設し、「昆虫食開発」がその目的の一つとして加わるようになった。

昆虫食は、将来的に食糧危機の救世主ともなり得る多大な可能性を秘めている。一方、いく

ら昆虫の高い栄養価を謳おうとも、食糧不足とはほど遠くダイエット食品が持てはやされる現代の日本では「栄養たっぷり」は逆効果に成りかねない。それを覆すには栄養価の他に、健康増進や疾患予防に寄与するような大きな付加価値が必要になってくる。実は昆虫の中には漢方薬として利用されていたものも存在する<sup>9)</sup>。しかしながら昆虫が持つ有用成分についてはそれほど研究されてこなかった。我々は昆虫が有するかもしれないその未知の機能性成分について検討していくことを計画している。当研究室では、昆虫の健康補助食品としての可能性に注目し、機能性成分の探索を行っている。まず手始めに、メタボリックシンドロームの予防もしくは改善に効果があるかどうかを検証するため、農業生物資源研究所との共同研究でトノサマバッタを用いて実験を試みた。マウスに高脂肪食を与えつつ、同時にフリーズドライしたトノサマバッタを与えたグループと、その対照群として摂取カロリーが等しくなるように高脂肪食+通常食を与えたグループとを比較したところ、トノサマバッタを与えたグループの体重増加と脂肪蓄積が抑制されていた(論文投稿準備中)。これはトノサマバッタに、メタボリックシンドローム予防に効果的な何らかの機能性成分が含まれている可能性を示唆する。現在、その有効成分について検討を進めているところである。

ここまで来て、最後に残っている大きな課題を無視するわけにはいかない。そもそも昆虫食に拒否反応を示す際の第一の理由は、間違いなくその「見た目」である。「とにかくその見た目を何とかして」との声は多く、「エビヤカニと同じだと思えば」などの言葉では絶対に納得してくれない。そこで昆虫の形を無くすべく、乾燥粉末化に取り組んでいる。ただしその処理によって含有成分の劣化・異化などが起こることは避けたい。まず蚕のサナギを手始めに、地



食材のアブラゼミ



“セミ”チリソース



試食

図5 昆虫試食会の様子

元企業の協力を得て乾燥粉末化とその条件の検討、そしてその際の含有成分の変化について分析を行っている。

#### おわりに

先日、山口大学農学部において「昆虫推進体」主催の昆虫試食会を開催した(図5)。季節柄、当研究室の学生達が頑張ってくれたアブラゼミの成虫・幼虫あわせて300匹あまりがメインディッシュとなったが、その他にもイナゴ、ハチの子、ザザムシなども用意した。開催前に口コミで噂が広がり、当日には学生・教員おりませ大勢、そして女性も多く参加していただき、予想以上の大盛況であった。ほとんどの

参加者が昆虫を食べるのは初めてだったようであるが、素揚げ、唐揚げ、チリソースなど、“素材の味と形をいかした”料理に「思ったよりおいしかった」という意見が多かった。脚は食べる時に口にひっかかって少し痛い、後味が少し残る、羽がパリパリして案外イケる、など新鮮な経験をしたようである。この昆虫食をきっかけに、通勤通学の途中にも周りの小さな自然に目を向け、小さな発見があることを期待したい。それがいくら小さくとも、自然に対する働きかけは自然への理解を深めるに違いない。そして、昆虫食に対する興味にそれが持つ機能性が加わった時、新たな昆虫食の可能性が拓けると考えている。

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

- 1) Edible insects -Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Forestry paper 171, 2013.
- 2) 昆虫食先進国ニッポン. 野中 健一, 亜紀書房, 2008.
- 3) 虫はごちそう, 野中 健一, 小峰書店, 2009.
- 4) 昆虫食古今東西, 三橋 淳, オーム社, 2012.
- 5) 虫を食べる人びと, 三橋 淳 編著, 平凡社, 1997.
- 6) 昆虫食入門, 内山 昭一, 平凡社新書, 2012.
- 7) 楽しい昆虫料理, 内山 昭一, ビジネス社, 2008.
- 8) 道場六三郎が作る至高の昆虫料理, 週刊朝日 4/12 増大号, 朝日新聞出版, 2013.
- 9) 虫を食べる文化誌, 梅谷 献二, 創森社, 2004.

# 健康長寿社会の実現をめざして

田形 暁作\*

\*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

---

Key Words : 健康長寿・長野県・低塩・減塩・高カリウム・野菜・高血圧・高血圧関連疾患・健康保険料・食生活改善推進員制度

---

## はじめに

WHO の世界各国の平均寿命調査 (2009 年) によると、男女では日本は世界で 1 位であり 83 歳である。女性は 1 位で 86 歳であるが、男性は 7 位で 80 歳である。ちなみに男性の 1 位はサンマリノで 82 歳である。日本国内での長寿県は男女とも長野県である。長野県と言えば漬物や味噌など塩分が多い食品の摂取量が多く、昭和 40 年 (1965 年) には脳卒中ワーストワンの県であった。如何にして、長寿県になったのであろうか。

## 1. 長野県が長寿日本一になった理由の推測

長野県は農家戸数が全国で最も多く、体を動かして働く高齢者が多い。(65 歳以上の就業率 26.7%= 全国 1 位) また食事では野菜を多くとり、薄味を重んじる食習慣がある。さらに、食生活改善推進員制度など、地域レベルでの健康チェックが盛んである。体を動かすことの効果は生活習慣病の予防・改善策として定評がある。薄味を重んじる食習慣は「時間をかけて塩分を控えた食事を普及させた」という。塩分を取りすぎると、それを薄めようとして血管内の水分が増えるため、血管が膨らみパンパンになる。

この状態が慢性化したのが高血圧である。脳出血や心疾患を招き、腎臓にも負担がかかる。かつては食卓に名産の漬物・野沢菜が並び、消費量全国 1 位のみそ汁を何杯もおかわりし、ご飯を食べるとというのが長野県の食事スタイルであった。従って、1 日あたりの塩分摂取量は、現在厚生労働省が目標値としている 10g に対し 20g 以上であった。この食習慣を変えたのが 1967 年に発足した食生活改善推進員制度である。医療機関や栄養士の指導を仰ぎながらボランティアが各世帯を回り、塩分を抑えた食事のあり方を指導する県民ぐるみの活動である。例えば、「みそ汁は 1 日 1 杯」、漬物も「1 日小皿 1 皿」、ラーメンやそばの汁は「最低、半分は残す」など、推進員が知恵を絞って減塩レシピを考案し各世帯に伝授した。また、漬物製造業者にも働きかけ、低塩製品の開発を促した。推進員の一人は、「本漬けではなく、塩分の低い浅漬けや酢漬けにする。みそ汁もニンジン、ゴボウ、根菜、葉ものなど手近にある野菜をなんでも入れ、具を増やして汁を減らすのがコツという。また、食卓には塩やしょうゆさしを置かないこととアドバイスしている。」2010 年の塩分摂取量は男性で 12.5g (全国平均 11.8g)。全国 6 位と決して少なくはないが、脳血管疾患の

死亡率は男性 13 位、女性 7 位と改善し、胃がんの死亡率も 1970 年の 41% から 15% へと減少した。長野県は 1 日の野菜摂取量が全国 1 位という特徴がある。男性は 379g を食べ、全国平均より 78g 多い。野菜は食物繊維が多く、腸の掃除をして大腸がん予防につながるほか、ビタミン類も多い。長野県はがん死亡率は男女とも全国一低い。長野と逆なのが青森県である。平均寿命は全国ワースト続きで、2010 年は男女とも全国一低い。男性 77.28 歳、女性 85.34 歳であった。男性でみると塩分の摂取量は 2 番目に多い 13g、野菜摂取量は 31 位の 292g。喫煙率・飲酒率は最も高い。健康長寿のためには毎日適度に体を動かすこと、塩分摂取量を減らすこと、野菜をたくさん食べる事、喫煙・飲酒はほどほどにすること。この 4 点が重要であるようだ。

※参考資料

◇都道府県別の平均寿命 (ベスト 10)

	男		女	
	1 位	長野	80.88	長野
2 位	滋賀	80.58	島根	87.02
3 位	福井	80.47	沖縄	87.02
4 位	熊本	80.29	熊本	86.98
5 位	神奈川	80.25	新潟	86.96
6 位	京都	80.21	広島	86.94
7 位	奈良	80.14	福井	86.94
8 位	大分	80.06	岡山	86.93
9 位	山形	79.97	大分	86.91
10 位	静岡	79.95	富山	86.75

◇都道府県別の平均寿命 (ワースト 10)

	男		女	
	1 位	青森	77.28	青森
2 位	秋田	78.22	栃木	85.66
3 位	岩手	78.53	和歌山	85.69
4 位	福島	78.84	茨城	85.83
5 位	長崎	78.88	岩手	85.86
6 位	高知	78.91	埼玉	85.88
7 位	大阪	78.99	群馬	85.91
8 位	鳥取	79.01	大阪	85.93
9 位	山口	79.03	秋田	85.93
10 位	栃木	79.06	福島	86.05

2. 日本人の死因順位

日本人の死因順位は表 1 に示したように最近では悪性新生物 (がん) が 1 位である。続いて、心疾患、脳血管疾患、肺炎、不慮の事故である。図 1 には死因別死亡数の割合を示した。悪性新生物が 30% と最も多く、続いて心疾患が 15.9%、脳血管疾患が 11.1% である。さらに、図 2 には年度別推移を示した。悪性新生物は年々増加している。心疾患も再び増加傾向にあるが、脳血管疾患はやや減少傾向にある。この原因は国民に早い初期対応の重要性を知らしめていることにあると推察する。図 3 には悪性新生物を性別、年度推移を示した。男性では肺がん、大腸がんが増加傾向にあり、女性では大腸がんが増加傾向にある。大腸がんは野菜不足、食物繊維不足が大きな要因の一つである。

表 1 日本人の死因順位

年	第 1 位	第 2 位	第 3 位	第 4 位	第 5 位
1947	結核	呼吸器感染症	胃腸炎	脳血管疾患	老衰
1998	悪性新生物	心疾患	脳血管疾患	肺炎	不慮の事故
2008	悪性新生物	心疾患	脳血管疾患	肺炎	不慮の事故

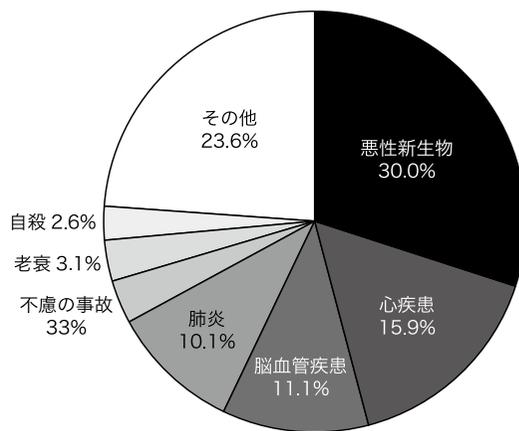


図 1 主な死因別死亡数の割合 (平成 20 年)

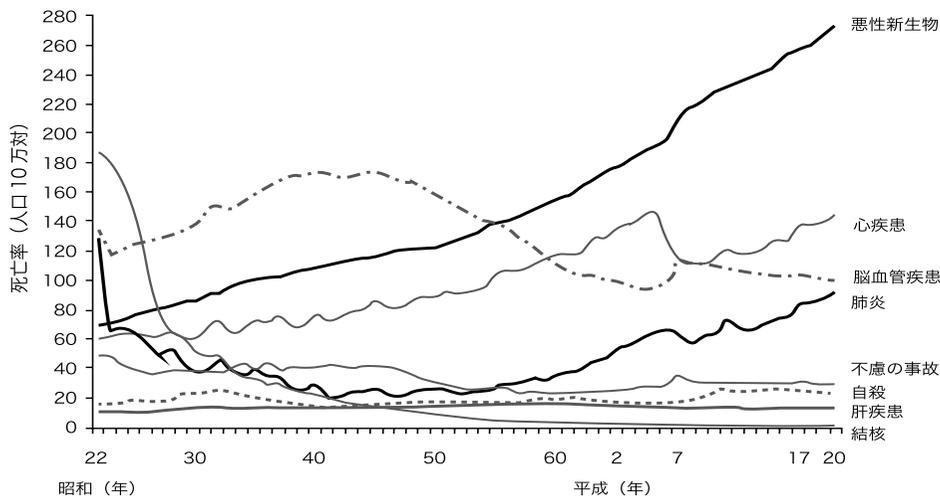


図2 主な死因別にみた死亡率の年次推移

注：

- 平成6・7年の心疾患の低下は、死亡診断書（死体検案書）（平成7年1月施行）において「死亡の原因欄には、疾患の終末期の状態としての心不全、呼吸不全等は書かないでください」という注意書きの施行前からの周知の影響によるものと考えられる。
- 平成7年の脳血管疾患の上昇の主な要因は、ICD-10（平成7年1月適用）による原死因選択ルールの明確化によるものと考えられる。

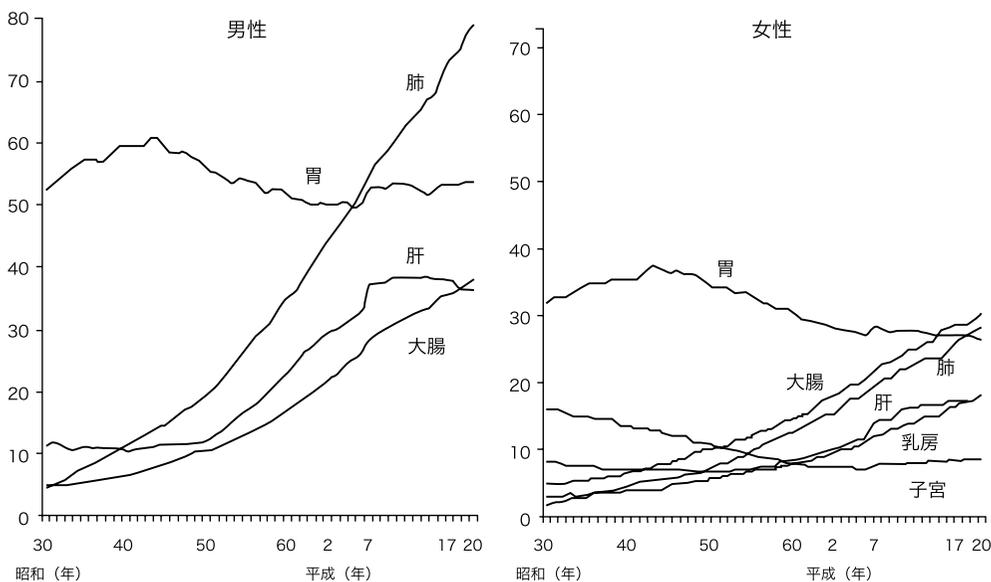


図3 悪性新生物の主な部位別死亡率（人口10万対）の年次推移

### 3. 医療費について

厚生労働省の発表によると2010年の医療費総額は36兆6000億円で前年より1兆4000億

円増加した。また、70歳以上の高齢者の医療費は16兆2000億円で、実に医療費総額の44.3%を占めている。人口の急速な高齢化に伴い、老人医療費の増加に対する対策は急務である。参考までに、2011年度の医療費総額は37

兆 8000 億円であり、対前年で 1 兆 2000 億円の増加である。なお、65 歳以上の医療費総額は 2005 年（平成 17 年）は 16.8 兆円であり、総額の 51.0%，ちなみに 2004 年（平成 16 年）は 16.4 兆円で 51.1% であった。医療費総額の増加は大手企業が加入する健康保険組合に保険料率の引き上げをさせている。健康保険組合の平均保険料率は 2012 年度の約 8.3% から 13 年度は約 8.5% に上がり、4 年連続で過去最高を更新する見通しである。高齢者医療制度を支えるための仕送り金の増加で健康保険組合の財政が悪化している。13 年度は約 8 割強が赤字と予想されている。社会保険料の負担増は企業活動や個人消費の足かせになる可能性がある。

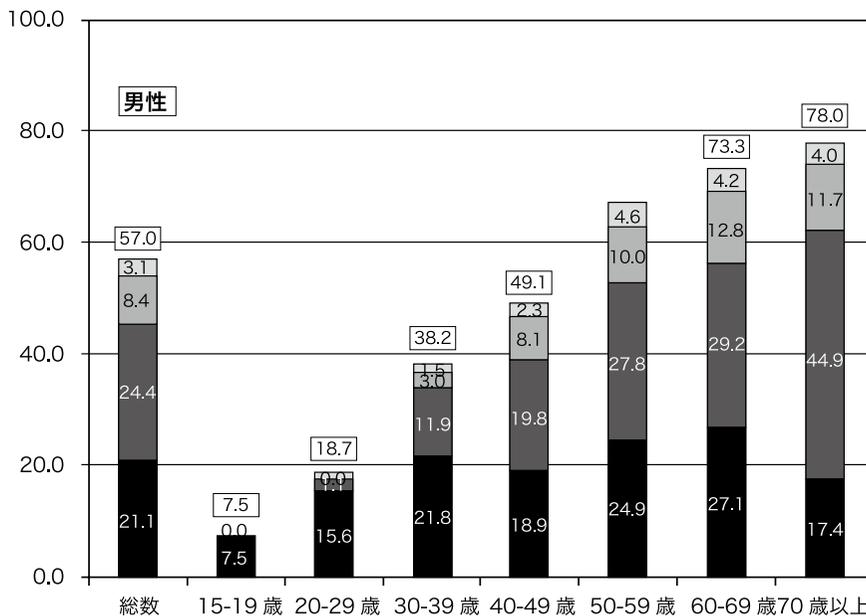
#### 4. 生活習慣病について

生活習慣病は誰にでも起こる病気である。特に中年から高齢者になればなるほど気を付けなければならない。生活習慣病はその名の通り、食生活や、日々の運動、喫煙、飲酒などの生活習慣が病気の発生に大きく関わっている。●食べ過ぎ、●運動不足、●タバコの吸いすぎ、●お酒の飲みすぎ、●ストレスをためる、などの乱れた生活を続けていると様々な生活習慣病が発生する危険が高くなってしまふ。生活習慣病には表 2 のように様々な病気がある。

生活習慣病の中でも「高血圧」、脂質異常症

表 2 生活習慣病

- ◆高血圧
- ◆脂質異常症（高脂血症）
- ◆糖尿病
- ◆動脈硬化
- ◆肥満
- ◆脳卒中  
（脳梗塞・脳出血・くも膜下出血）
- ◆心筋梗塞
- ◆悪性新生物（がん）



平成 21 年度 国民健康・栄養調査

図 4 高血圧者の性別、年齢階級別比率

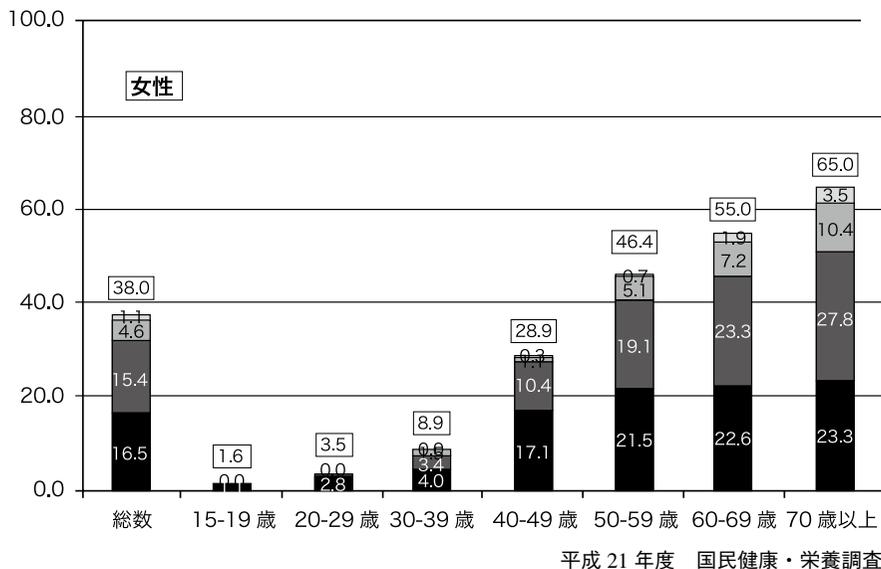


図5 高血圧者の性別、年齢階級別比率

(高脂血症)、「糖尿病」、「肥満」の4つは『死の4重奏』と呼ばれている。なぜなら、これらの4つの生活習慣病は、お互いがお互いを発症させやすくしてしまうからである。さらに、心筋梗塞や脳卒中など命に関わる病気を引き起こす可能性も高くなるからである。

成人の日本人の2人に1人は高血圧者であり、日本人の国民病ともいわれている。図4に男性、図5に女性の性別、年齢階層級の高血圧者の状況を示した。

### 5. 高血圧と塩分摂取量

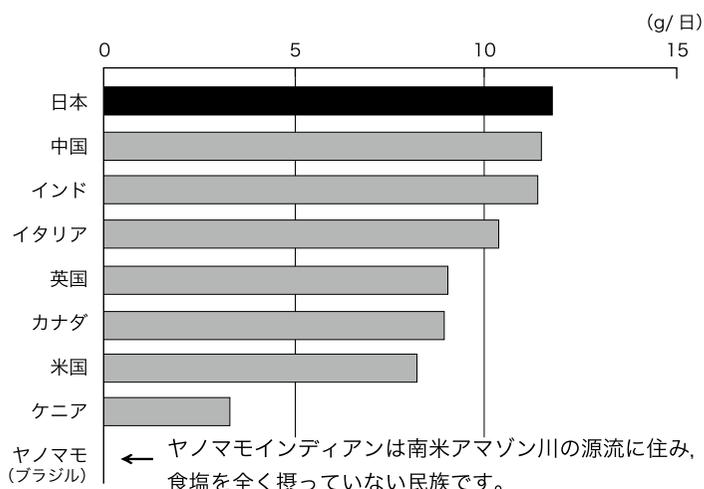


図6 世界各国の塩分摂取量の状況

対象：20～59歳の男女10,079名  
 方法：各国ごとの24時間尿中ナトリウム排泄量の平均値から食塩摂取量を推計した。

Intersalt Cooperative Research Group : BMJ 1988 ; 297:319-328 より作図

15歳以上の男性の平均は57%、女性は38%である。年齢が高くなると共に高血圧者の比率は高くなり、50歳を過ぎると男性、女性共に急激に高くなる。高血圧になる原因ははっきりとわかっていないが、その原因の多くは「環境因子」とよると言われている。「環境因子」とは、食事、肥満、運動不足、お酒、喫煙、ストレスなどである。その中でも最も影響していると考えられているのが食事の中の『塩分摂取量』である。塩分を多く摂取する習慣のある人は、年齢と共に高血圧を発症す

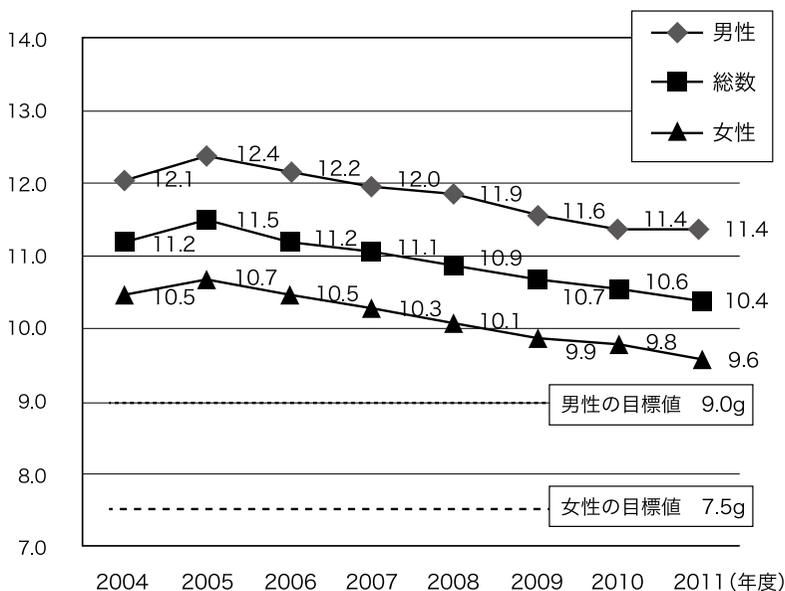


図7 日本人の塩分摂取量推移

る確率が高く、塩分をほとんど取らない習慣の人は、高齢になっても高血圧になる確率が低いというデータがある。日本人は塩分を取りすぎる傾向にあるので、高血圧が発症する確率が高い。では日本人の塩分摂取量を海外と比較してみる。図6に世界各国の塩分摂取量を示した。日本人の塩分摂取量が最も多いことが分かる。また、日本人の塩分摂取量の推移を図7に示した。摂取量は減少してきているが、厚生労働省が目標にしている男性9.0g、女性7.5g、平均は8.25gとなるが、この数値には程遠い。では、なぜ塩分を取りすぎると血圧が高くなってしまいか推察してみる。人間は、細胞の中にたくさんのカリウムがあり、細胞の外にはたくさんのナトリウムがある。ナトリウムとはミネラルの1種で、食塩（塩化ナトリウム）として体内に取り込まれる。加工食品や調味料などにも多く含まれている。カリウムはナトリウムと同じミネラルの1種で生命活動を維持する上で重要な成分である。ナトリウムと協力して、細胞の内側と外側の体液のバランスをとる働きをしている。細胞の中に圧倒的に多く存在するカリウ

ムと、細胞の外に圧倒的に多く存在するナトリウムは、通常ではバランスを保っている。ところが、食事などで必要以上の食塩を取ると、細胞の中にナトリウムが入っていくため、細胞内のナトリウムが多くなり、ナトリウムとカリウムのバランスが崩れてしまう。細胞の中にナトリウムが多い状態は良くないので、細胞の中のナトリウムを細胞の外のカリウムと入れ替える機能が働く。細胞の中のナトリウムが多い状態が長く続くとこの機能も働きにくくなり、ナトリウムの濃度を薄めるために細胞の中に体液が入り込み細胞が膨らむ。その結果、血管を圧迫し、血圧が上がってしまう。従って、必要以上の食塩は食事から取らないように日々の食生活に気を付ける必要がある。

## 6. 高血圧を改善する食生活

高血圧を改善する食生活として低塩・減塩の次に勧めたいのが、カリウムを取ることである。カリウムは先に述べたように高血圧の原因となるナトリウムを体外に排出してくれ

表3 高血圧予防を目的としたカリウムの食事摂取基準

	男性			女性		
	現在 摂取量	生活習慣病 予防の観点 からみた望 ましい摂取量	目標量	現在 摂取量	生活習慣病 予防の観点 からみた望 ましい摂取量	目標量
30～49歳	2,260	3,500	2,900	2,100	3,500	2,800
50～69歳	2,700	3,500	3,100	2,630	3,500	3,100
70歳以上	2,450	3,500	3,000	2,300	3,500	2,900

カリウム含有量：●りんご 1個 (M) 220mg ●バナナ 1本 400mg

出典：日本人の食事摂取基準「2005年版」

る。カリウムが不足すると、高血圧だけでなく、糖尿病、心筋梗塞など様々な異常が起こるので、カリウムを多く含む食品を取る事は大切である。カリウムを取るにはカリウムが多く含む野菜や果物をとることがベストである。カリウムは野菜、果物、豆類、穀類、イモ類、海藻類などに多く含まれている。具体的にはカボチャ、パセリ、バナナ、りんご、大豆、あずき、ほうれん草などに多く含まれている。参考までに表3に高血圧予防を目的としたカリウムの食事摂取基準を示した。現在の摂取量は目標量に対し年齢・性別にもよるが、おおむね400～600mg不足している。生活習慣病予防の観点か

らみた望ましい摂取量からは800～1200mg不足している。表3の下に参考までにりんご1個とバナナ1本のカリウム量を示した。

## 7. 世界の減塩事情

世界の減塩事情を表4に示した。イギリス、豪州(オーストラリア)、カナダ、アメリカ、韓国、フィンランドの減塩活動をまとめた。何年までに平均食塩摂取量を1日あたり何グラム減らすとか、食塩量何%減を目標としており、具体的な行動指針が明らかである。日本より食塩摂取量が少ない国が日本以上に減塩に取り組んで

表4 世界各国の減塩事情

Where	When	What・How
EU	2016年～	『食塩』表示が義務化される
イギリス	2025年までに	国民の平均食塩摂取量を3g/日に減らすことを目標に減塩キャンペーンを実施中
豪州	2012年までに	国民の平均食塩摂取量を6g/日に減らすことを目標に減塩キャンペーンを実施中
カナダ	2016年までに	国民の平均食塩摂取量を5.8g/日に減らすことを目標に減塩キャンペーンを実施中
アメリカ	2014年までに	店頭や外食の食塩量25%減を目標化
韓国	2020年までに	現在の塩分摂取量の20%減を目標化
フィンランド	過去30年で	全国的な減塩キャンペーンにより国民の平均食塩摂取量が40%下がる

いる。その理由は高血圧関連疾患の低減の他に医療費の低減があるようである。医療費問題は日本の方が重要であると考えているが、政府からはその政策が国民に知らされていないように感じるのは筆者だけであろうか。

## 8. ニューヨーク、ロンドン、フィンランドの減塩先進国の取り組み

減塩先進国であるニューヨーク、ロンドン、フィンランドの減塩の取り組みを表5に示した。政府機関が高血圧を原因とする脳卒中や心疾患などによる死亡率の高さを懸念、また、

表5 ニューヨーク、ロンドン、フィンランドの減塩先進国の取り組み  
～減塩キャンペーンを成功させる3つの法則～

政府機関が高血圧を原因とする脳卒中や心疾患などの死亡率の高さを懸念、そして医療費を削減するためにも減塩キャンペーンをスタートさせた。

3つの法則＝①政府主導、②食品業界の参加、③消費者教育

	①政府主導	活動内容	結果
ニューヨーク	・NY市保健精神衛生局“全国減塩運動” 2010年1月スタート	・店頭やレストランの食品に含まれる塩分を今後5年間で平均25%削減する目標 ・5年間で市民の塩分摂取量を20%削減する目標	・1日の各種健康団体や、30の他州市組織からも支持 ・食品関連16社が賛同
ロンドン	・食品基準庁(FSA) ・2004年にスタート	・2005年に発表された「FSA戦略プラン2005-2010」にて、2010年までに平均塩分摂取量を1日5gにすると設定	・英国民の平均塩分摂取量が9.5g/日(2000年)から8.6g/日(2008年)に減少
フィンランド	・地方・国家機関、専門家、WHOなど	・「北カレリアプロジェクト」として、減塩だけでなく、禁煙、食事、運動など包括的に開始された運動 ・その後、全国に広げるだけでなく、他国の減塩キャンペーンのモデルケースとなる	・過去30年で、加工食品に含まれる塩分量を20～25%削減 ・1日の平均的な塩分摂取量が40%下がり、高血圧や心疾患にかかる割合も減少

表6 ②食品業界の参加

以下の3つの減塩キャンペーンに共通していたことは、食品業界が商品の減塩化に協力したこと。消費者が摂取する塩分のほとんどが加工食品からであるため、食品業界が全体的に商品を減塩しない限り、消費者が塩分摂取量を減らすことは難しいと考えられる。

協賛企業の施策	
ニューヨーク	・クラフト⇒2010年4月、2年以内に北米における自社製品の塩分を10%カットすると表明 ・ハインツ⇒2010年5月、米国で販売するケチャップの塩分量を15%削減
ロンドン	・ケンタッキーフライドチキン⇒2005年より、フライドポテトに塩の添加をやめる ・ピザハット⇒2004年より減塩プログラムを実施し、2009年までに30%の減塩に成功
フィンランド	・マクドナルド⇒フライドポテトなど全メニューに“パンソルト”と呼ばれる塩化ナトリウムが少ない塩を使用 ・現在、減塩は健康的な食事法の一部として、フィンランドにおいて広くとりいられており、多くの食品メーカーは、国の基準に準じて商品を提供している

表7 ③消費者教育

また最後に、分かりやすいラベル表示の導入や、徹底的に健康的な食事や生活習慣について啓発することで、継続的に消費者を教育したことが、減塩キャンペーンの成功に寄与していると思われる。

■米・ニューヨークのスーパーマーケットの様子



缶スープはキャンベルをはじめ、各社とも減塩商品が選べるようにラインナップしている。



薄塩ポテトチップス

減塩ハム

減塩醤油が置いてある中華料理店

医療費を削減するためにも減塩キャンペーンをスタートさせた。減塩キャンペーンを成功させるには3つの法則が必要だと言っている。すなわち、①政府が主導すること、②食品業界が参加すること、③消費者を教育することである。キャンペーンには具体的な目標を掲げている。これが重要である。表5には①政府主導について説明している。表6には②食品業界が参加し、各メーカーが具体的な目標を示している。表7には③消費者教育が具体的に示されている。

下記にはアメリカで販売されているキャンベルスープのラベルを示した。上の Chicken & Stars の商品ラベルの Sodium (ナトリウム) をみると 480mg, 20% とある。これはこの商品1缶に含まれているナトリウム量が 480mg であり、1日に摂取するナトリウムの目標量 2,400mg の 20% が含まれていることを示している。また、Potassium (カリウム) は同様に

Amount/serving	%DV*
Sodium 480mg	20%
Potassium 560mg	16%
Total Carb. 11g	4%
Fiber 1g	4%
Sugars 1g	
Protein 3g	
% * Calcium 0% * Iron 2%	

\*Na: 2400mg = 食塩 6g  
\*K: 2500mg

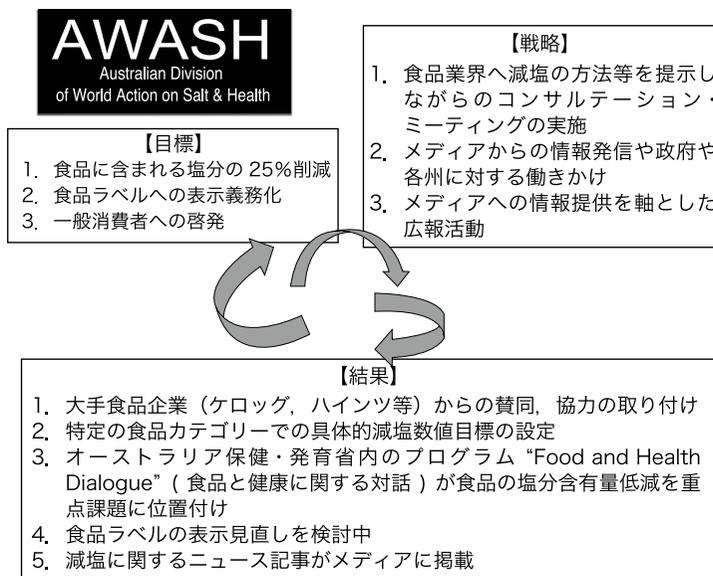
Amount/serving	%DV*
Sodium 470mg	20%
Potassium 420mg	12%
Total Carb. 10g	3%
Fiber 1g	4%
Sugars 2g	
Protein 2g	
% * Calcium 10% * Iron 0%	



560mg 含まれており、1日の目標量 3,500mg の 16% 含まれていることを示している。

9. オーストラリアの減塩の取り組み

オーストラリアで行われた研究によると、高血圧に起因する疾患を予防するためには、臨床プログラムよりは減塩プログラムの方がコスト



優位性が高いという結果が出た。臨床プログラムは基本的に高血圧患者の一部しか対象とできず、そのコストは年間10億豪ドル（約832億円）にまで達し、それだけ巨額の費用を投じても結果として10%程度の高血圧関連疾患しか予防できなかったという結果であった。一方、オーストラリアの国民全体に対する減塩プログラムを実施した場合、コストは年間で1,000万豪ドル（約8億3,000万円）と、臨床プログラムに比べて1/100のコストで、かつ、10～20%の高血圧関連疾患を予防できる可能性があるとのことである。このことから、一部の人々だけを対象とするのではなく、多くの人々が徐々にリスクを減らしていくことで、結果的に集団全体が良い方向に向かうという「ポピュレーション・アプローチ」が有効であることがわかる。

#### ◆ Australian Division of World Action on Salt and Health (AWASH) の活動

現在、実際にオーストラリアでこの「ポピュレーション・アプローチ」による減塩に取り組んでいる団体がある。AWASHという団体がそれで、2007年～2012年の5年間でオーストラリア人の塩分摂取量を1日6gまで減らす

ために活動し、現在も引き続き減塩の努力を続けている。AWASHは、実現可能性の高い3つの目標と戦略で、様々な取り組みが行われ、着実に結果を生み出している。AWASHの活動は具体的に【目標】、【戦略】、【結果】の3つを実現性の高い活動内容にしている。【目標】、【戦略】、【結果】が相互に絡み合いながら、減塩目標に進んでいく仕組みになっている。

#### 10. 日本での減塩の取り組み ～にいがた減塩ルネサンス～

日本国内でも減塩の取り組みを県、市レベルで実施している。その中から◆にいがた減塩ルネサンスを紹介する。新潟県では、脳卒中、胃がんの死亡率が高く、これらに対しては、減塩対策が重要である。外食の増加など近年の食環境の変化に応じて、企業をはじめとした、多様な担い手による「にいがた減塩ルネサンス」県民運動を推進している。「にいがた減塩ルネサンスの特長」は①おいしく、気軽に、健康に、②にいがたの食材と調味料の利用、③飲食店・スーパー等との連携・協動である。

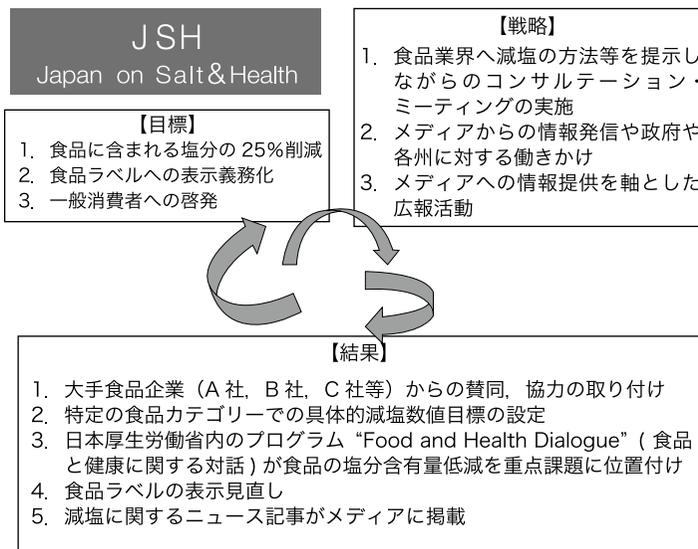
次表に具体的な目標を示した。平成 24 年度でステップ1が終わり、今年からステップ2に入っている。

『にいがた減塩ルネサンスの目標  
(県民 1 日 1 人あたり)』

ステップ 1 (平成 21 ~ 24 年度)	ステップ 2 (平成 25 ~ 30 年度)
1. 食塩摂取量 1g の減少 2. 野菜 1 皿の増加 カリウム 300mg の増加 3. 果物 1 日 1 個程度の摂取 高血圧予防 + 胃がん予防	さらに 1. 食塩摂取量 1g の減少 2. 野菜 1 皿の増加 カリウム 600mg の増加 ※県民の収縮期血圧平均値 2mmHg 低下

おわりに

日本人の高血圧関連疾患を予防するために、世界一塩分摂取の多い日本人の塩分摂取量を減らすことを真剣に考える必要がある。その方法としてオーストラリア AWASH は大変参考になると考える。筆者はオーストラリア AWASH を参考にし日本版とし下記に示したように考えた。JSH を実現するには減塩先進国で取り組んでいるように①政府主導②食品業界の参加③消費者教育の 3 つの法則が重要である。是非とも日本も減塩を実現し、高血圧関連疾患の低減と医療費の低減を実現したいものである。結果として、日本全体が長野県のように健康長寿の国になれば患うことなく、天命を全うできる。ピンコロでありたい。



[ 参考資料 ]

- 1) 塩を減らそうプロジェクト 減塩ニュースレター
- 2) 厚生労働省ホームページ
- 3) 田形皖作, おいしい低塩・高カリウム食品と高血圧予防, *New Food Industry*, 52 (4) (2010)
- 4) 田形皖作, 新潟県と食品メーカーの低塩・減塩活動について, *New Food Industry*, 52 (10) (2010)

## 歴史の潮流と科学的評価

### (第2節 ベジタリアン食と慢性疾患予防)

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

\*1 ロマリンダ大学栄養学部, \*2 食のフロンティア塾

Key Words：食習慣，骨粗鬆症，糖尿病，神経疾患，予防，疫学調査

#### 6章 骨粗鬆症，糖尿病，神経疾患の 予防としてのベジタリアン食

##### 1. はじめに

臨床上の実践に加えて，疫学データは，比較的未精製のベジタリアン食が，慢性疾患の予防に対して顕著に予防効果を示すことを，明確に示唆しています<sup>1)</sup>。典型的なベジタリアン食は，

多くの全粒穀物，豆類，野菜，果物，ナッツや種子を含んでいて，同時に，精製食品や動物性食品が少ないか，除かれています。(表 6-1) つまり，雑食とは対照的に，ベジタリアン食の栄養学的組成は，食物繊維が多く，飽和脂肪酸が少ないのです<sup>5)</sup>。先進国では，過剰なエネルギーと飽和脂肪酸摂取の問題に直面し，慢性の退行性疾患の罹患増加を引き起こしています。骨粗鬆症，糖尿病や神経疾患予防としてのベジタリアン食の予防効果についての明白なデータ

表 6-1 ベジタリアンの種類別，セブンスデー・アドベンチストの摂取パターン

食品	(サービン/週)		
	ベジタリアン	セミ・ベジタリアン	非ベジタリアン
牛肉	0	0.3	3
鶏肉	0	0.1	0.7
魚	0	0.1	0.6
ベジタリアン用肉代替品	3.5	3.2	1.4
ソフトマーガリン	6.2	6.1	5.7
卵	1.3	1.7	2.2
ドーナッツ	0.4	0.6	0.9
コーヒー	0.3	1.2	4.8
トマト	3.6	3.5	3.4
豆	2.4	2	1.3
ナッツ	3.7	3	2.1
野菜サラダ	4.4	4.4	4.4

はそれ程多くはありません。しかし、ここでは、これらの3種の異なる疾病の罹患率に対して、ベジタリアン食を実践した際に想定される役割についての文献を簡潔に要約します。

## 2. 骨粗鬆症

骨粗鬆症は、長い期間にまたがる骨の消失が特色の複合的な疾患です。骨密度の低下の結果、さまざまな部位の骨折のリスクが高まり、骨粗鬆症は人類にとって、最も衰弱性のある疾患の一つとなっています。長年の間、医学と科学の分野で成し遂げられた栄養状態の改善と進歩は、高齢人口を顕著に増加させ、骨粗鬆症に起因する骨折を蔓延させました<sup>6)</sup>。現在、骨粗鬆症は、毎年、米国の2,000万人に影響を与える主要な公衆衛生問題の一つとして考えられています。骨粗鬆症の骨折で入院する割合は着実に増加し、1年間で100億ドルを超える医療費を上昇させています<sup>7-9)</sup>。

病気の程度を考慮に入れながら、治療や予防方針を進展させるための、疾病の原因とリスク因子を理解することは大切なことです。骨粗鬆症の原因は複雑なので、1960年代後半の研究は、「骨粗鬆症の治療は予防にあり」という言葉を引用しました<sup>10)</sup>。

骨粗鬆症のリスク因子には、身体活動不足、喫煙、飲酒、低エストロゲン濃度と欠陥のある栄養状態が含まれます<sup>11-18)</sup>。食事と疾病の罹患率との関係は、世界中の異なる集団での疫学研究によって明らかにされています。これは、食事の内容を変えたり（ベジタリアン対雑食）、特別な食品群（肉、乳製品、果物や野菜）や特別な栄養素を加えたり、除いたりして、集団の中の疾病罹患率を比較することで達成することが可能です。カフェインや塩、リン酸のような食事因子は、加齢に伴い骨損失を低下させることが知られていて、カルシウム、ビタミンD、

マグネシウムやカリウム等は骨石灰化を増加させます。

骨粗鬆症に関し、骨代謝と疾病罹患率に対する特別な栄養素の効果は、すでに報告があります。従って、この章では、特色のある食事パターンや食品群、骨粗鬆症の罹患率への影響、骨折のリスクや骨密度（BMD）に関する研究のみが要約され、論議されます。

### A. ベジタリアンの疫学研究

骨粗鬆症の罹患率と、関連した食事パターンの異なる集団を研究することを主目的に計画された大規模な疫学研究はありません。対照的に、食事パターンと冠動脈心疾患の罹患率と数種のガンタイプとの関係を検討した、大規模前向きコホート研究は数件あります。

日常の食品の中にある特殊な動物や植物性食品が、男女の異なる部位で起こる骨粗鬆症による骨折の罹患率を予測することができるかどうか、ここ5年で始めて、これらのコホート<sup>19, 20)</sup>の2次分析が検討されました。これらの結果は次の項で論議されます。

今まで、ベジタリアンの骨の健康について、約12件の研究が報告されました。（表6-2）これらは、大規模研究で典型的に見られることと、小規模研究を比較した横断研究です。1970年代の初期に報告された最初の研究は<sup>21)</sup>、英国の同じ地域にいる非ベジタリアンとラクト・オボ・ベジタリアン（LOV）を比較したものでした。LOVは肉食の人に比べ、第3掌骨のBMDは高めで、年齢による減少は緩慢でした。同様の結果が、年齢、身長、体重を調整した後の、閉経前<sup>22, 23)</sup>で、初老の女性<sup>24)</sup>に見られました。50歳以降では、非ベジタリアンはLOVの2倍の骨損失を示しました<sup>25)</sup>。このことは、ベジタリアン食、特にLOV食は、年齢による骨損失を予防するかも知れないことを示唆しています。骨折のリスクに対する食事パターンの

表 6-2 ベジタリアンの骨密度に関する研究の要約

文献	対象	食事	測定変数	結果
#46	53 歳～ 79 歳の男女	LOV/ 雑食 (n=25)	第 3 中手骨の骨密度	JOV> 雑食
#47	20 歳～ 79 歳の閉経前女性	JOV/ 雑食 (n=51)	皮質の骨塩量 (BMC)	LOV> 雑食
#49	53 歳～ 87 歳の閉経後女性	LOV/ 雑食 (n=10)	80 歳までの骨損失	18%LOV 対 36% 雑食
#51	閉経後の女性	ビーガン /LOV/ 雑食 (n=258)	腰椎の骨密度	大腿頸部と腰椎骨折のリスクはビーガンが最も高い
#52	閉経前の女性	ビーガン /LOV/ 雑食	腰椎の骨密度	ビーガン <LOV, 雑食
#53	20 歳～ 40 歳の閉経前女性	ベジタリアン*/ 雑食 (n=15/20)	骨密度	ベジタリアン < 雑食
#54	70 歳～ 89 歳の閉経後女性	ベジタリアン*/ 雑食 (n=109)	腰の骨密度	ベジタリアン < 雑食
#57	28 歳～ 45 歳の閉経前女性	ベジタリアン*/ 雑食 (n=27/37)	背骨の骨密度	相違なし
#58	55 歳～ 75 歳の閉経後女性	ベジタリアン*/ 雑食 (n=28)	骨梁と皮質骨の骨密度	相違なし
#59	60 歳～ 98 歳の閉経後女性	LOV/ 雑食 (n=88/287)	橈骨中位部と遠位部の骨塩量と骨密度	相違なし
#60	76 歳～ 81 歳の閉経後女性	LOV/ 雑食 (n=49/140)	橈骨の骨密度	相違なし
#61	58 歳～ 76 歳の閉経後女性	LOV/ 雑食 (n=144/106)	骨塩量	相違なし

\* ベジタリアンはビーガンと LOV を含む

影響は、これらの研究では評価されませんでした。

ラクト・オボ・ベジタリアンは、植物性食品を基礎にして乳製品と卵を摂りますが、ビーガンは、植物性食品しか摂りません。植物性食品だけの食事は、骨の健康にとって、実際には、有害かもしれないと 2～3 の研究は示しています。258 人の台湾ベジタリアン女性の、腰椎突起と大腿頸部の骨密度が 2 重吸光度計で測定されました<sup>26)</sup>。ビーガンは、過剰な腰椎突起骨折閾の高いリスクと、大腿頸部の粗鬆を有すると分類されることが知られています。彼らは、ラクト・オボ・ベジタリアンに比べ、たんぱく質摂取が少ないので、総たんぱく質摂取は骨密度の重要な予測因子であることを示唆していま

す。同様の事実が閉経前のビーガンにも報告されています<sup>27)</sup>。この研究の中でのビーガンは、LOV と非ベジタリアンに比べ、たんぱく質摂取が少ないばかりでなく、3 群の中でカルシウム/たんぱく質比が最も低い値でした。

全ての研究が、ビーガンと LOV を区別して比較しているわけではありません。閉経前と初老<sup>29)</sup>のベジタリアン(ビーガンと LOV)と非ベジタリアン女性の脊柱 BMD の比較横断研究で、ベジタリアンは、非ベジタリアンに比べ、低い BMI、体脂肪、BMD を示しました。さらに、非ベジタリアン女性の平均 BMD は、1 年で 1.1% 増加しましたが、ベジタリアンでは見られませんでした。おそらく、ベジタリアンの低 BMI と体脂肪が、食事そのものよりも、低 BMD 罹

患への重要な役割を持っているのでしょう。

ロンドン在住のアジア人のベジタリアンは、同市の白人の非ベジタリアンに比べ、有意に低い血清カルシウムと副甲状腺ホルモンなのです<sup>30)</sup>。アジアのベジタリアン食は、折衷のカルシウム状態の結果と考えられています。しかし、アジアのベジタリアンの間では、骨軟化症（血清カルシウム濃度を低下させると知られている状態）の罹患率はむしろ高めです。カナリア諸島の古代スペイン人の人類学的調査は、骨粗鬆症の高い罹患率を示しました<sup>31)</sup>。古代スペイン人の多くはベジタリアンでしたので、骨粗鬆症の拡大は直接、食生活によるものと考えられました。しかし、これらの人々の間では、栄養不良は途方もなく多く、栄養不良は骨を危険な状態にするということは良く知られています。これらの2つの研究は、間接的に、ベジタリアン食は、骨粗鬆症を伴う骨損失の原因であるということの意味していますが、同時に、ベジタリアン食とは別の因子の影響もあることは明らかなのです。

また、ベジタリアンと非ベジタリアンのBMDの差はないという研究報告も2～3件あります。年齢、身長、体重、初潮、義務教育の年数、病歴を調整した、閉経前<sup>32)</sup>、閉経後<sup>33,34)</sup>のベジタリアンと非ベジタリアン、さらに、自由な生活をしている初老の女性<sup>35,36)</sup>が、細心の注意で選ばれました。2つの群では、食事の違いが多数あるにもかかわらず、BMDあるいは他の骨の生理学の点で、差は見られませんでした。

このように、ベジタリアン食と骨粗鬆症の罹患率との関係には困惑する結果が見られます。一定しない主な理由の一つに、研究の多くはLOVからビーガンを分離していないことがあります。LOVの乳製品は、骨粗鬆症由来の骨折のリスクを変化させるかも知れません。ビーガンを対象としていない、LOVと雑食の人と

を比較した2つの研究は、ビーガン食が、LOVと雑食よりも骨の状態を危険にさらすリスクを制止するかも知れないことを示唆しています。このことは、低いカルシウム/たんぱく質比か、食事ではない他の因子から由来するなのかどうかは、これらの研究からでは明らかではありません。結論を出す前に、同一地域での、ビーガン、LOV、雑食の人の大規模で、組織的に計画された疫学研究が必要です。

## B. 特定の食品の摂取と骨粗鬆症

ベジタリアン食と非ベジタリアン食の影響を検討するために、特殊な動物性、植物性食品の役割を考える必要があります。動物性食品の中では、肉と乳製品が骨粗鬆症の罹患率に関して研究され、植物性食品では、大豆製品、果物、野菜が研究されました。これらの研究からの知見がこの項で述べられ、論じられます。

### 1. 肉

1968年、WachmanとBernstein<sup>10)</sup>は、「骨の溶解は、人の酸性灰分の消化によって負荷された、不揮発酸を緩衝するために想定される機構と考えられる」ということを提案しました。特に肉からの動物性たんぱく質は、代謝された後<sup>23)</sup>、酸性負荷を増加するので、骨粗鬆症の原因としては、負の要因として理解されてきました。16カ国の34の研究報告の比較により、動物性脂肪の消費と股関節骨折の罹患率の異文化間のバラツキ（図6-1）が分析されました<sup>37)</sup>。カルシウムとカロリー摂取の差からでは説明ができない、強い正の相関が、動物性たんぱく質摂取と股関節骨折間に見られました。これらの研究は、動物性たんぱく質と骨粗鬆症の罹患率間の因果関係を示していませんが、この関係のさらなる研究への興味が、研究者に火をつけました。

1970年代の初頭、エスキモー<sup>38,39)</sup>の食事分析により、彼らの食事は、総たんぱく質(>200g/日)と肉を多く消費することが明らかになり

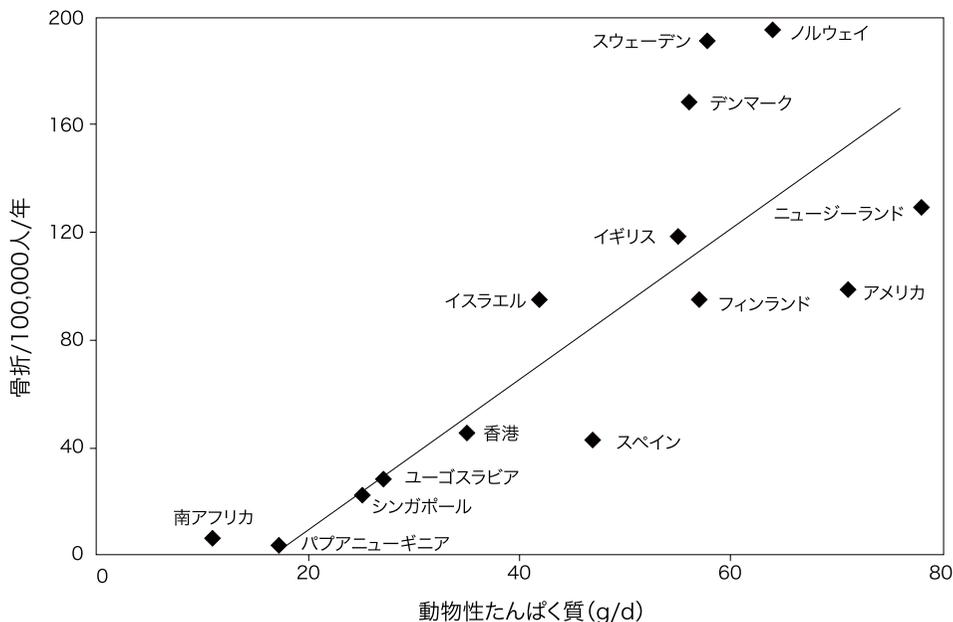


図 6-1 国別、50 歳以上の女性の、年齢調整後、動物性たんぱく質と股関節骨折の関係

(Abelow et al., Calcif. Tissue Int.,1992 より引用)

ました。このことは、米国に住む白人と比べ、骨損失の初期の始まりと、より高頻度の原因であると推論されました。1990 年の後半まで、他の集団を対象にした、肉たんぱく質と骨の健康の関係を調査した研究はありませんでした。近年、アイオワ女性健康調査とナース健康調査という 2 つの大規模コホート研究での 2 次分析が、動物性たんぱく質摂取と骨折罹患率の関係を検討する為に用いられました。

アイオワ女性健康調査の対象者は、55～69 歳の閉経後の女性でした。コホートの中で、約 41,000 人の女性が、食物摂取頻度調査を完全に実施し、この特別な研究に適格でした。股関節骨折のリスクは、カルシウムとビタミン D 摂取とは相関していませんでしたが、総たんぱく質摂取とは負の相関がありました。股関節骨折の相対リスクは、動物性たんぱく質摂取量の増加に伴い低下しました。対照的に、ナース健康調査の参加者は、閉経前、後の 35～59 歳の女性でした。たんぱく質摂取は、65g/日以下の人

に比べ、95 g/日以上摂取する女性の方が、前腕骨折のリスクが上昇しました。(表 6-3) 同様な増加が、植物性たんぱく質ではなく、動物性たんぱく質で見られました。相対リスクは、赤身肉を 1 回/週間以下の女性より、1 週間に 5 回かそれ以上の方が、高い値でした。このコホートでは、総動物性たんぱく質摂取と単一の動物性たんぱく質摂取と股関節骨折とは、相関が見られませんでした。骨折リスクに対する動物性たんぱく質の影響は、ホルモンの状態と骨折部位によって変化するかも知れないことを、これらの 2 つのコホートの相反する結果は示唆しています。

動物性たんぱく質は、高濃度の含硫アミノ酸の力で酸の内部生産を刺激することで、骨損失を誘導するかもしれません。もし、肉のたんぱく質が酸負荷をさらに作り出すとすれば、動物性食品をより多く摂取する人は、高率のカルシウム排泄<sup>40-43)</sup>を予想することになります。食事パターンと生活習慣がかなり異なる、中年と

表 6-3 米国女性ナース，ナース健康調査におけるたんぱく質摂取と前腕骨折の相対リスク (RR)

たんぱく質摂取		前腕骨折				
		ケース数	年齢調整モデル		多変量 * モデル	
			RR	95% CI	RR	95% CI
総たんぱく質 (g/日)	<68	280	1.00**		1.00**	
	68-77	317	1.1	0.94-1.29	1.11	0.94-1.30
	78-85	329	1.13	0.96-1.32	1.14	0.97-1.33
	86-95	340	1.14	0.97-1.34	1.16	0.99-1.36
	>95	362	1.18	1.01-1.38	1.22	1.04-1.43
	傾向分析の p 値 ***		0.04		0.01	
動物性たんぱく質 (g/日)	<51	280	1.00**		1.00**	
	52-61	323	1.15	0.98-1.35	1.15	0.98-1.35
	62-69	313	1.1	0.93-1.29	1.11	0.94-1.30
	70-80	352	1.22	1.05-1.43	1.25	1.07-1.46
	>80	360	1.21	1.03-1.41	1.25	1.07-1.46
	傾向分析の p 値 ***		0.01		0.004	
植物性たんぱく質 (g/日)	<12	307	1.00**		1.00**	
	12-14	323	1.02		1.01	0.87-1.18
	15-16	351	1.09		1.08	0.93-1.26
	17-19	336	1.03		1.01	0.86-1.18
	>19	311	0.92		0.9	0.77-1.06
	傾向分析の p 値 ***		0.28		0.17	

\* 多変量モデルは、質問期間、年齢、BMI、激しい運動時間/週、更年期の症状、閉経後のホルモン使用状況、喫煙、甲状腺ホルモン療法、サイアザイド系利尿剤、アルコールとカフェイン摂取を補正

\*\* 対照群

\*\*\* ロジスティック回帰モデルで五分位数の中央値を使用した、総動物性、植物性たんぱく質の五分位数をまたがる傾向分析

Am.J.Epidemiol., 1996 (Feskanich ら) より引用

初老の女性の横断研究が、中国の5つの地方で実施されました<sup>44)</sup>。カルシウムと酸の尿中排泄は、動物性で乳以外の動物性たんぱく質摂取と正の相関がありますが、植物性たんぱく質とは負の相関があります。これらの結果は、年齢とカルシウム摂取を補正した後でさえも、有意でした。自由に生活している女性にとっては、内生の酸は少なくともカルシウム損失増加を部分的に説明するかも知れない事を示唆しています。動物性たんぱく質摂取に伴う酸負荷論は、尿中のカルシウム損失増加を説明しますが、骨粗鬆症骨折の罹患率に対する酸負荷の影響は明確ではありません。

自由に生活する人の高たんぱく質摂取は、一般的に、骨に対する高たんぱく質食の負の影響を鈍らせるかもしれないカルシウム増加を同時に伴います<sup>45)</sup>。7カ国<sup>46)</sup>の女性による比較では、脊柱の骨粗鬆症の罹患率は日本のような国で最も高く、そこでは、たんぱく質摂取は多く、カルシウム摂取は低い値を示しました。たんぱく質もカルシウムも高い摂取のフィンランドや英国では、低い脊柱骨折率でした。従って、カルシウム/たんぱく質比は、これらの2種の栄養素の絶対量よりも骨粗鬆症骨折の良好な指標と考えられます。若年成人女性の縦断研究は、骨形成とカルシウム/たんぱく質比間に、正の相

関を示しました<sup>47)</sup>。ナース健康調査コホートでは、高カルシウム摂取を含む高たんぱく質摂取は、女性の前腕骨折のリスク低下を示しましたが、この低下は、小さく有意ではありませんでした。対照的に、アイオワ女性では、総たんぱく質、動物性たんぱく質摂取の両者と股関節骨折のリスクとの間に、負の相関を示しました。しかし、この研究は、骨折のリスクとカルシウム/たんぱく質比間の相関を決定はしませんでした。このことは、2つのコホートからの相反する結果を説明するためのさらなる情報の提供だったのかもしれませんが。

要約しますと、肉由来のたんぱく質と骨折との関係は結論付けするわけには行きません。骨折リスクは、骨折部位と骨折に罹患する年齢によって変化するのかもしれないことを、2つのコホート研究からの相反する結果は示唆しています。

## 2. 乳製品

ビーガンと LOV 食の主な違いの一つは、後

者に乳製品が含まれることです。乳製品は、動物性たんぱく質とカルシウムの供給源です。FOA の食品使用データを用いた横断研究では、股関節骨折は、通常、乳製品を消費し、カルシウム摂取は一般的に高い集団に頻繁であることを示しています。(図 6-2) このことは、乳製品が原因となる因子であることを言っているわけではありませんが、乳製品の消費は、動物性(肉)の消費増加の指標であるかも知れません。ここ 30 年の間に、カルシウム源として 6 つの乳製品を用いて、約 52 件のカルシウム介入研究が実施されました<sup>49)</sup>。乳製品の消費は、骨形成をより大きくし、骨損失を減らし、骨折リスクを低下させることをこれらの研究は示しました。

581 人の閉経後の白人女性を対象に、生涯のミルク摂取と BMD 間の関係が検討されました<sup>50)</sup>。ミルク摂取と脊椎骨の BMD と総腰骨間には、正の関係と等級付けの関係がみられました。これらの結果は、若年骨粗鬆症の患者と年齢を適合させた対照群との研究でも、再現されました<sup>51)</sup>。

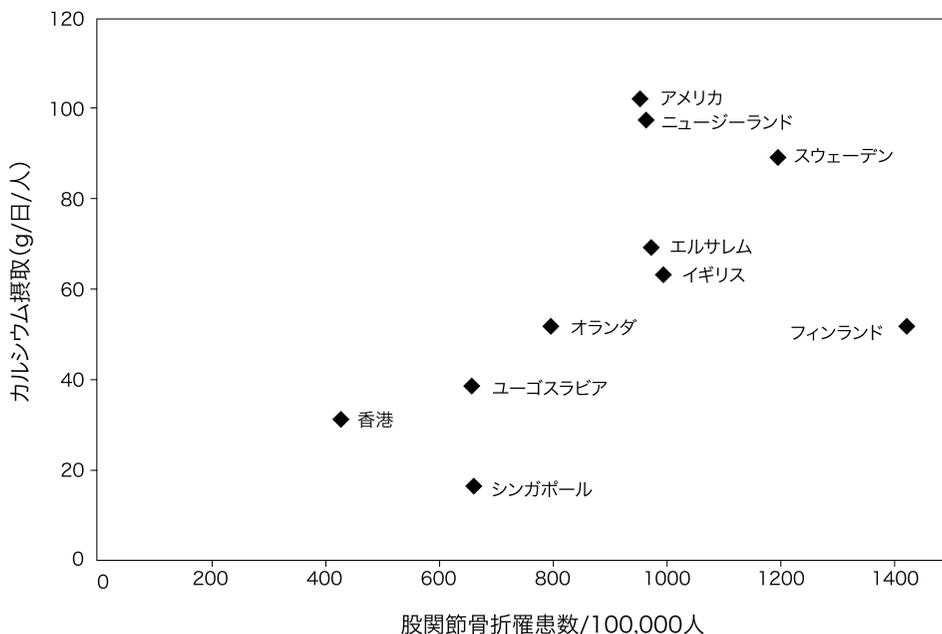


図 6-2 数カ国の女性における股関節骨折罹患数とカルシウム利用状況

(Hegsted, *J.Nutr.*, 1986 より引用)

児童期と青年期の乳製品摂取による適正なカルシウム摂取は最大骨量に到達することと、骨粗鬆症の予防にとって重要な指標でした。骨粗鬆症の患者は、同年齢の対照群と比べ、有意に低いカルシウムと乳製品摂取でした。

代わりに、ミルク摂取は、男性では、股関節骨折と相関していないように見えます。40～75歳の43,063人の男性を対象にした保健指導士追跡調査で、外傷による骨折罹患率が、8年間、監視されました。交絡因子を調整後、最もカルシウム摂取が高い男性の前腕と股関節骨折の相対リスクは、最も低い男性と比較した場合、それぞれ、0.98と1.19でした。乳製品の摂取それ自体は、股関節骨折罹患率に対し、有意な低下を示しませんでした。ミルクを使用すること、つまり殆どの乳製品は予防効果を示しませんでした。

骨粗鬆症予防の点から乳製品の重要性を理解するために、高い乳糖不耐症を有する集団のさらなる研究が検討されるべきです。というのは、彼らは生まれつき乳製品を避ける傾向にあるのです。乳糖不耐症女性のBMDを比較した研究は、健康な対照の人よりも、日常のカルシウム摂取と大腿部のBMDが低いことを示しました<sup>53)</sup>。脛骨と中足骨骨折のリスクは乳糖不耐症の女性では上昇し<sup>54)</sup>、BMDと乳製品由来のカルシウム含量との間には、高い相関が見られました<sup>55)</sup>。

これらの研究の圧倒的多数は、乳製品が、男性でなく女性にとって、BMDを保持し、骨粗鬆症を低下させることを支持しています。カルシウム、エネルギーとたんぱく質摂取を補正した後の、ビーガンとLOV間のBMDと骨折罹患率の比較は、もし、あるとすれば、乳製品の、骨損失と関連した骨折リスクの低下の重要性を確実なものにする前の段階の研究なのです。

### 3. 大豆

骨粗鬆症による骨折の罹患率は、西欧の女性

よりアジアの女性の方が低いのですが、骨密度はアジアの女性の方が低いのです。これは、より高い身体活動、赤肉の少量摂取、紫外線により多くあたること、骨の多い魚の摂取増加、大豆製品の摂取という、アジアでは共通して見られる生活習慣によるのかも知れません<sup>9)</sup>。健全な閉経前の日本女性の前向き研究は<sup>56)</sup>は、年齢とカルシウムを調整した後でさえも、大豆摂取とBMD間には正の相関を示しました。大豆と他の豆類の摂取と、骨損失と関係する骨折罹患率との関係に注目した、ほかの前向き研究は見当たりません。

弱いエストロゲンである、大豆イソフラボンを使用した臨床研究は、自由生活をしている閉経前の女性の骨の健康に関して、正の結果を示しました<sup>57)</sup>。これらの女性は、カゼインか、大豆たんぱく質の量を変化させたステップIの食事を与えられました。大豆の成分は、骨の状態に良い影響があることを示唆していることで、イソフラボンを多く摂った(2.25 mg イソフラボン/g たんぱく質)グループの中の、骨ミネラル量と腰椎のBMDの増加が注目されました。また、短期間の大豆粉<sup>58)</sup>と、分離大豆たんぱく質<sup>59)</sup>摂取後の、骨ミネラル量と骨代謝の生化学的マーカーに良好な影響が見られました。

骨に対する大豆とイソフラボンの予防効果が、また、動物の研究でも示されました。卵巣摘出手術を同じように受けたラットが、閉経後の女性の骨損失と良く似ているということにはなりません。結果的には、大豆の骨に対する予防効果を支持しています。分離大豆たんぱく質食の、卵巣切除の大人のラットは、カゼイン食のラットに比べ、高値の骨密度でした<sup>60)</sup>。大豆イソフラボンは、骨の節約効果に影響し<sup>61)</sup>、骨の再吸収を遅延させるよりも、骨形成を刺激することに関与します<sup>62)</sup>。このことは、骨量を有意に増加させるためには、大豆製品を一定

の長期間にわたり摂取すべきであることを示しています。骨形成の刺激に加え、大豆たんぱく質は、含硫アミノ酸が少ないので、カルシウム排出が減少するために、間接的に骨強化を促進します<sup>59)</sup>。

これらの、予備的な人の介入研究と動物の研究は、食事に大豆を取り入れることが骨の健康を促進することを暗示していますが、短期間であることと標本数が少数でした。また、これらの研究の殆どは、BMDに対する大豆の影響を見ていて、骨折それ自体は見えていませんでした。従って、結論を導き出す前に、結果変数としての骨折罹患率を見る、多くの検体数を含んだ長期的研究が必要となります。

#### 4. 果物と野菜

ベジタリアンも雑食家も、食事で果物と野菜を摂りますが、ベジタリアンは、これらの食品を多く摂るのが特徴です。BMDの横断的、縦断的变化がフラミンガム・心臓研究<sup>63)</sup>の初期のコホートの生存者間で調べられました。これらの初老を対象に、食事とサプリメントの使用が定量化され、腰と上腕部のBMDが測定されました。果物と野菜の摂取は、男女共にBMDと正の相関がありました。さらに、果物と野菜を多く摂る男性のBMDの減少は、調査期間後も低めでした。これらの関係は、マグネシウムとカリウム摂取に対しても同様でした。不必要な因子を補正した後、閉経前の女性では、過去の果物摂取と腰椎と大腿骨の突起部のBMDとの関係に正の相関があることが、以前、報告されました。果物や野菜のような特別な植物性食品は、若年と高齢成人の両BMDに対し予防効果があることを、これらの研究は示唆しています。

果物や野菜に多く含まれるマグネシウムやカリウムのようなミネラルは、骨の予防効果に寄与するかも知れません。事実、骨粗鬆症の女性に2年間マグネシウムを補給したとこ

ろ、対照群より、骨損失が遅延し、骨折が減少しました<sup>68)</sup>。また、カリウムの多い食事は、カルシウム排出率を低下させる傾向があります<sup>69)</sup>。この効果は、カリウムのアルカリ性に起因するようです。事実、果物と野菜は、アルカリ性を作る最も高い能力を持ち、肉、チーズや魚は酸性を作る最も高い能力を持つことが示されてきました<sup>70)</sup>。このことは、アルカリ性の付与が、骨の再吸収を減少させ、その結果、骨密度の保持を助けるという仮説を支持しています。しかし、実験動物や人の介入試験を用いた、この仮説を分析する系統的研究はありませんでした。

骨の健康に予防効果を有すると見なされてきたミネラルにホウ素があります。果物、野菜、ナッツや豆類が豊富な食事には、ホウ素がかなり含まれます。ホウ素の、骨の健康に寄与する正確なメカニズムは明確ではありませんが、ステロイドホルモン生成やカルシウム代謝を介して、活性化すると考えられています<sup>71)</sup>。現時点では、エビデンスは限られていますが、果物と野菜の摂取を増加することが推奨され、おそらく、アルカリ性の環境を形成することで骨を維持し、他の既知の健康効果も活性化させることは確かであるようです。

#### C. 公衆衛生との関係

1970年代の初期になって初めて、骨粗鬆症の罹患率と関連した骨折に対する食事の役割が研究されました。同時に、これは興味深く、困惑させるものでもあります。このことは、当分野での私達の現在の知識は遅れを取っていることを示しているのでしょうか。あるいは、ホルモンの状態や遺伝のような他の因子と比べ、食事の役割自体は、骨折のリスクを変えるのには取るに足らないからなのでしょう。これらの質問に答えたり、結論を導き出すために必要とされる、2, 3件の報告があります。

ベジタリアンという言葉は、それぞれの研究を通して、一貫した定義はありませんでした。わずかには、ビーガンとLOV食の区別があります。このことは、比較研究への課題を作り出します。ベジタリアン食を考える時、ベジタリアンの間では、かなり浸透している、身体活動の増加、喫煙や飲酒をしないという生活習慣の因子は、食事の影響それ自体と共に詳細に記述されなくてはなりません。このことは必ずしも常にではありません。さらに、骨の健康に対する特別な植物性と動物性食品の影響について、十分な報告はありません。その上、骨の健康に対する特別な栄養素（カルシウム）の役割を証明するには、栄養素の原料（乳製品か否か）が、骨の代謝を改善する役割を持つかどうかを決定することが必要となります。それらが、どのような有意な影響を持つのか、骨損失のリスクを改善するためお互いにどのように働くのか、まだ、未確認の状態です。

骨粗鬆症は、長年の骨密度と構造の損傷の積み重ねによって起こります。このことは、身近な過去でなく、長期間におよぶ栄養が骨損失に影響することを意味しています。過去の情報でなく、最新の食事摂取についての多くの研究が報告されてきました。異なる研究の中で測定された、初期の結果変数は、大部分は異なっています。殆どの研究は、骨代謝の生化学的マーカーか、異なる部位で測定された骨密度を採用しています。しかし、骨折罹患率と食事の関係を見たものは少なく、これが、当面の臨床的で、公衆衛生の結果なのです。

ベジタリアン食と雑食とそれらの食品成分が、どのように骨粗鬆症のリスクを変えていくのかの理解を進めるためには、系統的に設計された研究を用いて、もっと特別な研究が確実に必要なのです。今ある知見で、ビーガンに対し注意を喚起し、カルシウム/たんぱく質比を上昇させるように奨めることは可能です。果物や

野菜が骨性状に対しそれ以上の予防効果を有するとしても、毎日、これらの食品の摂取を増やすことは慎重さが必要です。大豆の摂取は支持されるかもしれませんが、結論に近い推奨が可能になるまでに、さらなる研究が要請されます。

### 3. II型糖尿病

暴飲暴食は、米国で見られる2型糖尿病罹患率増加に偏りのある影響を及ぼす因子で、遺伝的に疑いのある人に、病気を発症させる可能性があります。肥満は、II型糖尿病を進行させる主要な因子で、有病率として約70%の分散を示します<sup>72)</sup>。それゆえ、体重管理を補助し、植物性だけか、植物性を基本に置く食事様式は、II型糖尿病進行の高いリスクに対し予防的効果を持つでしょう。基礎的研究と疫学の知見は、糖尿病発症を予防するか、または影響を及ぼすと思われる、植物性を基本に置く食事と肉を基にする食事の主成分を考えるために重要です。II型糖尿病の1次予防と2次予防に対するベジタリアン食の役割の研究は、この項で報告されます。

#### A. II型糖尿病予防へのベジタリアン食

非ベジタリアンは、ベジタリアンに比べ、食物繊維と複合炭水化物の摂取が少ないことに、Phillipsら<sup>3)</sup>は、注目しました。元来飽和脂肪を多く含む脂肪の過剰摂取を伴っている、一般的な非ベジタリアン食（例：低食物繊維、低複合炭水化物）は、長期の耐糖能に対し、好ましくない結果をもたらします。まだ、通常、認められてはいませんが、食事性脂肪とシンドロームXとインスリン抵抗性の間には、関係がありそうです<sup>73)</sup>。しかし、すべての食事性脂肪が糖尿病罹患に関与しているわけではなく、近年の研究では、総カロリー摂取が要求量を超さない範囲で、単価不飽和脂肪酸や他の脂肪が有益

かも知れないというエビデンスを報告しています<sup>74,75)</sup>。この様に、非ベジタリアンは、リスクを予防する食事因子の欠乏に加え、Ⅱ型糖尿病のリスク進行に影響する食品成分を摂取するようです。

ベジタリアン食が糖尿病の進行を低下させるという仮説は、1960年とその後の21年間で証明された25,698人の白人セブンスデー・アドベンチストのコホートによる知見によって支持されています<sup>76)</sup>。表6-4は年齢と標準体重を補正後の、肉消費と自己申告糖尿病のデータを示しています。データは、男女共、肉の摂取と糖尿病罹患率間に、やや強い正の相関を示しています。ベジタリアンと比べ、非ベジタリアンの糖尿病有病率は、男性で1.8 (95%CL, 1.3, 2.5)、女性で1.4 (95%CL, 1.2, 1.8)でした。また、アドベンチストの潜在死亡原因としての糖尿病率は、全米白人の約1/2のリスクであることを、この前向き研究は明らかにしました。男性のベジタリアン・アドベンチストは、糖尿病の非ベジタリアンよりも、死亡に対する潜在的要因は、明らかに低いリスクを有していました。糖尿病は牛肉食の集団<sup>77)</sup>に広まり、また、動物性脂肪摂取と糖尿病罹患と正の相関があることが見られました<sup>78)</sup>。さらに、Gearら<sup>79)</sup>は、肉摂取と血糖値には正の相関があることを示しました。これらの知見は、ベジタリアンが糖尿病進行のリスクを低下させることを示唆しています。

Salmeronら<sup>80)</sup>は、高グリセミック値の食事をする女性は、低GI値食の人よりも、約40%糖尿病を進行し易いことを見つけました。全粒穀類、乾燥豆や大豆を特徴とするベジタリアン食は、Ⅱ型糖尿病を予防する役割を持ち、補助的効果のあるグリセミック値をもたらします。全粒穀類の摂取は、炭水化物の消化と吸収を遅延させ、食後の血糖値とインスリン応答を消失させることで、グリセミック値を調節します<sup>82)</sup>。

いくつかの研究者グループは、総食物繊維摂取とⅡ型糖尿病進行のリスクには、負の相関があることを見つけました<sup>83,84)</sup>。図6-3は、ナース健康調査コホートの中の、穀物繊維とグリセミック負荷を変化させた時のインスリン非依存性の糖尿病の相対リスクを示しています。結果は、高グリセミック食で、低穀物繊維食の女性は、糖尿病進行のリスクを増加させるという仮説を支持しています<sup>80)</sup>。グリセミック値効果に加え、食物繊維は、また、インスリン感受性を高めます<sup>85-87)</sup>。豆や大豆の摂取を特徴とするベジタリアンの生活習慣は、Ⅱ型糖尿病の罹患率のリスクを低下させる傾向があります。豆はゆっくりと消化され、低グリセミックとインスリン応答を産生します<sup>88)</sup>。豆類は、高繊維、低脂肪、低グリセミック値を有します。大豆は、フィチン酸、水溶性食物繊維、タンニンが豊富で、炭水化物消化率と反比例に相関し、低グリセミック値を産生します<sup>89,90)</sup>。

Gittelsohnら<sup>91)</sup>らは、カナダの原住民社会

表6-4 肉摂取と自己申告糖尿病患者の罹患率比

肉摂取	年齢と希望体重%を補正した罹患率比(95%CL)*	
	男性	女性
<1日/週(ベジタリアン)	1	1
1+日/週(非ベジタリアン)	1.8(1.3, 2.5)	1.4(1.2, 1.8)
<1日/週	1	1
1-2日/週	1.3(1.0, 1.8)	1.1(0.9, 1.2)
3-5日/週	1.5(1.0, 2.3)	1.1(0.9, 1.2)
6+日/週	2.4(1.7, 3.4)	2.1(1.6, 2.7)
	傾向分析 p値<0.001	傾向分析 p値<0.001

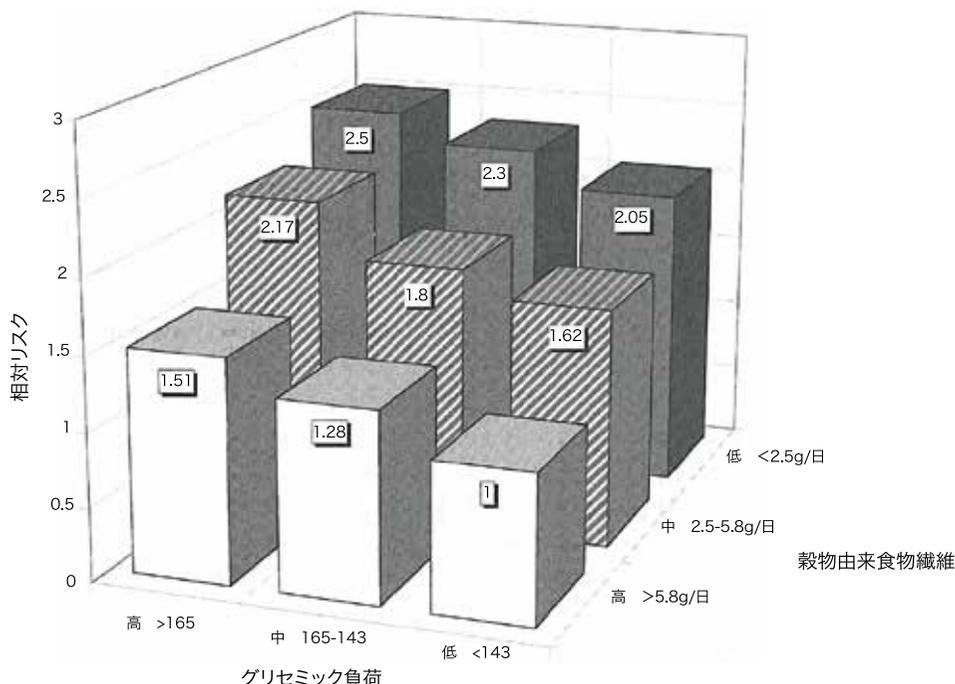


図 6-3 穀物由来の食物繊維摂取量とグリセミック負荷による II 型糖尿病の相対リスク

の食品消費と料理パターンを研究し、ジャンクフード (OR=2.40, 95%CI=1.13-5.10), パンとバター (OR=2.22, CI=1.22-4.41) の高摂取は、糖尿病の増加リスクと相関し、耐糖能を減少させることを見出しました。これらの食品に加え、脂肪を含む料理法は、糖尿病の増加リスクと相関していました。(OR=2.58, 95%CI=1.11-6.02) この様に、日常全体の食事パターンは、II型糖尿病の進行リスクを低下させる面から、植物性を基本とする食品が持つ予防の重要性が考慮されるべきです。

### 1. 作用機序の提案

アミノ酸は、インスリンとグルカゴンの分泌を調節するので、摂取たんぱく質の組成はグルカゴンとインスリン活性のバランスに影響するかも知れません。大豆たんぱく質と他の植物性たんぱく質源は、殆どの動物由来のたんぱく質よりも、非必須アミノ酸を多く含み、グルカゴン生成には好都合です<sup>92)</sup>。グルカゴンは、肝

細胞に働いて、脂肪生成酵素とコレステロール合成を下方制御する cAMP 依存機構を促進し、一方で、肝細胞の低比重リポたんぱく受容体とインスリン成長因子 I (IGF- I) の拮抗剤 (アンタゴニスト) である IGF 結合たんぱく - I の生成を上方制御します<sup>92)</sup>。

非ベジタリアンの代名詞である肉と飽和脂肪の頻繁な摂取と、糖尿病罹患率の増加間の関係は、いくつかのありそうな機序によって支持されています。Collier と O'Dea<sup>93)</sup> は、炭水化物、たんぱくと飽和脂肪 (バター) との共消化は、インスリン分泌を増強することを見出しました。飽和脂肪摂取は、糞便中の微生物酵素活性とステロイド産生を変化させ、このことは、エストロゲン合成を増加させ、インスリン感受性を低下させることを、Addanki<sup>94)</sup> は示唆しました。さらに、Helgason らは<sup>95)</sup>、肉に含まれるニトロソ化合物は、CD1 マウスに糖尿病を起こさせる、ステプトゾシン (steptozocin) やニ

トロソアミドのような糖尿病誘発剤のように作用することを示しました。

インスリン抵抗性について、想定される多くの機序や場が考えられますが、一つのテーマが持ち上がっています。それは、食事という同化作用の間に起こる、体内の分解作用の異常な活動です。Provinshaら<sup>73)</sup>は、食事に起因し、組織的で好ましくないインスリン/グルカゴン比を基にするⅡ型糖尿病発症に対して、異化学上の不適切な活性成分の問題提起をしました。糖尿病の臨床は、慢性の異化状態であるので、食事の際、炭水化物と肉と脂肪を同時に摂取すると、インスリンがグルカゴンに拮抗し、逆説が成り立ちます。

グルカゴン、コルチゾル、脂肪酸、たんぱく質と糖の血中濃度の上昇は、糖代謝に対する多段階、多臓器干渉を可能にすることができます。それゆえに、Ⅱ型糖尿病は、同化作用（食事たんぱく質）と同時に起こる、食事による異化作用（筋肉と脂肪組織の消費）の結果なのかも知れません。インスリンが低下した時、筋肉たんぱく質と飽和脂肪は、通常、いつでも起こる異化作用の血液中のメッセンジャーなので、筋肉と脂肪の摂取は、食事由来の炭水化物を妨げ、組織全般にわたる擬似異化作用を作り出すようです。理想的なたんぱく源は、炭水化物誘導たんぱく質を食事の吸収を向上するものとして、節約することができるものですが、肉のたんぱく質では起こらないようです<sup>73)</sup>。

#### B. 要約

科学的データは、ベジタリアン食がⅡ型糖尿病進行のリスクを予防する効果があることを示唆していますが、栄養学からの適切な食事計画と暴飲暴食をまず避けることが、効果的な結果をもたらす為には肝要です。Ⅱ型糖尿病の2次予防にとって、低脂肪のベジタリアン食の採用<sup>96)</sup>が序々に注目を集めています。これらの知見を

確実なものとするためには、Ⅱ型糖尿病に対するこの食習慣を推奨する前に、さらなる研究が必要です。

## 4. 神経症

### A. 認知症

世界的な高齢化は、認知症の増加に関心を集めています。認知症の最も共通の型に影響する生涯の食事パターンには、仮説があります。Harmanは、フリーラジカルが、認知症の発症にかかわる説を発表しました<sup>97)</sup>。抗酸化物質を豊富に含むベジタリアン食は、フリーラジカルに対し予防効果を提供し、その結果、高齢の認知症のリスクを低下させます<sup>98)</sup>。また、多発脳梗塞型の認知症は、コレステロールと脂肪酸種の摂取と関係しているかも知れません。

Giemら<sup>99)</sup>は、アドベンチスト健康調査コホートの2つのサブグループ間での、動物性食品と認知症歴との関係を検討しました。食事の実態を広い範囲で確認するために、年齢、性別、郵便番号を補正し、272人のカリフォルニア住人を対象とし、各68人である4分割の1つは「純粋なベジタリアン」、もう1つは「ラクト・オボ・ベジタリアン」、2つは「肉を多く食べる人」でした。2番目のサブグループは、Loma Linda地域内に住む、補正なしの2,984人が対象でした。肉を食べる（鶏肉と魚を含む）未補正の人は、対局にいるベジタリアンよりも2倍以上認知症になり易く（RR=2.18）、また、ベジタリアンの認知症発症は遅れる傾向があることが、2つのサブグループで共に見られることを、表6-5は示しています。しかし、ベジタリアンと未補正の雑食者間の認知症罹患率には、有意な差は見つかりませんでした。これらの初期の知見を確実なものとするためには、更なる研究が求められます。

表 6-5 セブンスデー・アドベンチストでの、認知症の発症と動物性食品摂取（アドベンチスト健康調査）

	認知症になった人	認知症にならなかった人	計
真正ベジタリアンとラクト・オボ・ベジタリアン	8	128 (740) *	136
肉の大食者 (>4 回/週)	16	120 (678) *	136
計	24	248	272

\* マンテルーヘンゼル相対リスク 2.18;  $\chi^2$  3.42;  $p=0.065$  (各層 68 人)

Giem, Beeson, Fraser, Neuroepidemiology, 1993 年より引用

## B. 多発性硬化症

1950 年, Swank は, 多発性硬化症 (MS) と動物由来の飽和脂肪酸との間に相関があることを最初に示唆しました<sup>100)</sup>。一般的に, MS は主にベジタリアンの社会でかなり少なく, そして, 飽和脂肪摂取との相関が世界的に見られるという疫学研究によって, この仮説は, 支持されています<sup>100-102)</sup>。動物脂肪の豊富な食事は, 赤血球の凝集を起し, 循環を遅延させ, 脳への酸素の供給を低下させることが知られています<sup>103-106)</sup>。血液のミクロ循環を停滞させるこの傾向は, 周囲の酸性化を起し, 酵素分解を活性化させ, 脳-血液関門の浸透性を増加させます<sup>107)</sup>。Swank はさらに仮説を立てました。それは, 健常人と MS<sup>108, 109)</sup> の血清中の毒性物質は周囲の神経に浸透し, それらの破壊傾向を上昇させるというものです<sup>107)</sup>。

Ghadirian<sup>110)</sup> らは, モントリオールで MS の症例・対照研究を実施し, 食物繊維, 植物性た

んぱく質, ビタミン C, ビタミン E, チアミン, リボフラビン, カルシウムとカリウムを含む食事パターンは, 予防効果があることを示しました。これらの植物性食品成分は, 高カロリーで動物性食品摂取のリスク増加とは対照的に, 神経組織の調節機構を介してか, あるいは, 抗酸化物質として働くことによって, 予防効果をもたらします。代わりに, Sinclair は, MS の原因因子は, 飽和脂肪酸の過剰摂取よりも必須脂肪酸の相対的欠乏であることを示唆しました<sup>111)</sup>。

また, Thompson と共同研究者らは, Sinclair の仮説を支持しました<sup>112-114)</sup>。さらに, McCarty は, 食事と脂肪組織中の高度不飽和脂肪酸/飽和脂肪酸比は MS 予防のカギであり, この比率は, 多価不飽和脂肪酸含量が認知症発症を多少予防する傾向を持つミエリン構造に影響するという仮説を考えました。しかし, これらの仮説を証明するためには, さらなる前向き研究が必要です。

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

- 1) Dwyer, J. Convergence of plant-rich and plant-only diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70s**, 620s, 1999.
- 2) Fraser, G.E. Association between diet and cancer, ischemic heart diseases, and all-cause mortality in non-Hispanic white California Seventh-Day Adventists. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70s**, 532s, 1999.
- 3) Phillips, R.I., Snowdon, D.A., Brin, B.N. Cancer in Vegetarians. In: Wynder, E.L., Leveille, G.A., Weisburger J.H., Livingston, G.E., Eds. *Environmental Aspects of Cancer-the Role Macro and Micro Components of Foods*. Westport, CY: Food and Nutrition Press, 1983.
- 4) Haddad, E.H., Sabate, J., Whitten C.G. Vegetarian food guide pyramid: A conceptual framework. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70s**, 615s, 1999.
- 5) West, R.O., Hayes, O.B. Diet and serum cholesterol levels: a comparison between vegetarians and non-vegetarians in a Seventh-Day Adventist group. *Am. J. Clin. Nutr.*, **21**, 853, 1968.
- 6) Roggs, B.L., Melton, L.J., III. Involutional osteoporosis. *N. Engl. J. Med.*, **314**, 1676, 1986.

- 7) Melton, L.J. III . Hip fractures: a worldwide problem today and tomorrow. *Bone*, **14**(Suppl.),S1, 1993.
- 8) Riggs, B.L., Melton L.J., III . The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone*, **17**(Suppl.),505s, 1995.
- 9) Anderson, J.J.B. Plant-based diets and bonehealth: nutritional implications. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70**(suppl.), 539s, 1999.
- 10) Wachman, A., Bernstein, D.S. Diet and osteoporosis. *Lancet*, **1**, 958, 1968.
- 11) Nelson, M.E., Fiatarone, M.A., Morganti, C.M., *et al.* Effects of high-intensity strength training on multiple factors for osteoporotic fractures: a randomized controlled trial. *JAMA*, **272**, 1909, 1994.
- 12) Seeman, E., Melton, L.J., III , O'Fallon, W.M., *et al.* Risk factors for spinal osteoporosis in men. *Am.J.Clin. Nutr.*, **75**, 977, 1983.
- 13) Kiel, D.P., Zhang, Y., Hannan, M.T., *et al.* The effect of smoking at different life stages on bone mineral density in elderly men and women. *Osteopos. Int*, **6**, 240, 1996.
- 14) Scharpira, D. Alcohol abuse and osteoporosis Semin. *Arthritis Rheum.*, **19**, 371, 1990.
- 15) Felson, D.T., Zhang, Y., Hannan, M.T., *et al.* The effect of postmenopausal estrogen therapy on bone density in elderly women. *N.Engl.J.Med.*, **329**, 1141, 1993.
- 16) Dawson-Hughes, B., Dallal, G.E., Krall, E.A., *et al.* A controlled trial of the effect of calcium supplementation on bone density in postmenopausal women. *N.Engl.J.Med.*, **323**, 878, 1990.
- 17) Dawson-Hughes, B., Dallal, G.E., Krall, E., *et al.* Effect of vitamin D supplementation on wintertime and overall bone loss in healthy postmenopausal women. *Ann.Intern.Med.*, **115**, 505, 1991.
- 18) Heaney, R.P. Nutritional factors in osteoporosis. *Annu.Rev.Nutr.*, **13**, 287, 1993.
- 19) Munger, R.G., Cerhan, J.R., Chiu, B.C.H. Prospective study of dietary protein intake and risk of hip fracture in postmenopausal women. *Am. J. Clin.Nutr.*, **69**, 147, 1999.
- 20) Feskanich, D., Willet, W.C., Stampfer, M.J., *et al.* Protein consumption and bone fractures in women. *Am.J. Epidemiol.*, **143**, 472, 1996.
- 21) Ellis, F.R., Holesh, S., Ellis, J.W. Incidence of osteoporosis in vegetarian and omnivores. *Am.J.Clin.Nutr.*, **25**, 555, 1972.
- 22) Marsh, A.G., Sanchez, T.V., Mickelsen, O., *et al.* Cortical bone density of adult lacto-ovo-vegetarian and omnivorous women. *JADA*, **76**, 148, 1980.
- 23) Marsh, A.G., Sanchez, TV., Chaffee, F.L., *et al.* Bone mineral mass in adult lacto-ovo-vegetarian and omnivorous males. *Am.J.Clin.Nutr.*, **37**, 453, 1983.
- 24) Sanchez, T.V., Micklsen, O., Marsh, A.G., *et al.* Bone Mineral Measurement, Toronto, June 1987.
- 25) Marsh, A.G., Sanchez, T.V., Mickelsen, O., *et al.* Vegetarian life-style and bone mineral density. *Am.J.Clin.Nutr.*, **48**, 837, 1988.
- 26) Chiu, J.F., Lan, S.J., Yang, C.Y., *et al.* Long-term vegetarian diet and bone mineral density in postmenopausal Taiwanese women. *Calcif. Tissue Int.*, **60**, 245, 1997.
- 27) Johnston, P.K., Makola, D., Knutsen, S., *et al.* Spinal bone mineral density in vegan, lacto-ovo vegetarian, and omnivorous premenopausal women. Presented at 3rd Intl. Congress on Vegetarian Nutrition, Loma Linda, California, March 1997.
- 28) Barr, S.I., Prior, J.C., Janelle, K.C., *et al.* Spinal bone mineral density in premenopausal vegetarian and non-vegetarian women: cross-sectional and prospective comparisons. *J.Am.Diet.Assoc.*, **98**, 760, 1998.
- 29) Lau, E.M., Kwork, T., Woo, J., *et al.* Bone mineral density in Chinese elderly female vegetarians, vegans, lacto-vegetarians and omnivores. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **52**, 60, 1998.
- 30) Finch, P.J., Ang, L., Colston, K.W., *et al.* Blunted seasonal variation in serum 25-hydroxy vitamin D and increased risk of osteomalacia in vegetarian London Asians. *Eur.J.Clin.Nutr.*, **46**, 509, 1992.
- 31) Conzalex-Reimers, E., Arnay de la Rosa, M. Ancient skeletal remains of the Canary Islands: bone histology and chemical analysis. *Anthropol. Anz.*, **50**, 201, 1992.
- 32) Lloyd, T., Schaeffer, J.M., Walker, M.A., *et al.* Urinary hormonal concentrations and spinal bone densities of premenopausal vegetarian and non-vegetarian women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 1005, 1991.
- 33) Tesar, R., Notelovitz, M., Shim, E., *et al.* Axial and peripheral bone density and nutrient intakes of postmenopausal vegetarian and omnivorous women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **56**, 699, 1992.

- 34) Tylavsky,F.A., Anderson,J.J.B. Dietary factors in bone health of elderly lacto-ovo-vegetarian and omnivorous women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 842, 1988.
- 35) Reed,J.A., Anderson,J.J.B., Tylavsky,F.A.,*et al.* Comparative changes in radialbone density of elderly female lacto-ovo-vegetarians and omnivores. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**(Suppl), 1197s, 1994.
- 36) Hunt,I.F., Murphy,N.J., Henderson,C.,*et al.* Bone mineral content in postmenopausal women: comparison of omnivores and vegetarians. *Am. J. Clin. Nutr.*, **50**, 517, 1989.
- 37) Hegsted,D.M. Calcium and osteoporosis. *J. Nutr.*, **116**, 231, 1986.
- 38) Mazess,R.B., Mather,W. Bone content of North Alaskan Eskimos. *Am. J. Clin. Nutr.*, **27**, 916, 1974.
- 39) Mazess,R.B., Mather,W.E. Bone mineral content in Canadian Eskimos. *Hum. Biol.*, **47**, 45, 1975.
- 40) Leman,J., Litzow,J.R., Lennon,E.J. The effects of chronic acid loads in normal man: further evidence for participation of bone mineral in the defense against chronic metabolic acidosis. *J. Clin. Invest.*, **45**, 1608, 1966.
- 41) Lutz,J. Calcium balance and acid-base status of women as affected by increased protein intake and by sodium bicarbonate ingestion. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 281, 1984.
- 42) Sebasian,A., Harris,S.T., Ottaway,J.H.,*et al.* Improved mineral balance and skeletal metabolism in postmenopausal women treated with potassium bicarbonate. *N. Engl. J. Med.*, **330**, 1776, 1994.
- 43) Breslau,N.A., Brinkley,L., Hill,K.D.,*et al.* Relationship of animal protein-rich diet of kidney stone formation and calcium metabolism. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **66**, 140, 1988.
- 44) Hu, J., Xhao,X., Parpia,B.,*et al.* Dietary intakes and urinary excretion of calcium and acids: a cross-sectional study of women in China. *Am. J. Clin. Nutr.*, **58**, 398, 1993.
- 45) Heaney,R.P. Excess dietary protein may not adversely affect bone. *J. Nutr.*, **128**, 1054, 1998.
- 46) Nordon,B.E.C. International patterns of osteoporosis. *Clin. Orthop*, **45**, 17, 1996.
- 47) Recker,R.R., Davies,M., Hinders,S.M.,*et al.* Bone gain in young adult women. *JAMA*, **268**, 2403, 1992.
- 48) Nations,F. The fourth FAO World Food Survey, Food and Agriculture Organization of the United States. Rome, 1997.
- 49) Heaney,R.P., Calcium,dairy products, and osteoporosis. *J. Am. Coll. Nutr.*, **19**(Suppl), 83s, 2000.
- 50) Soroko,S., Holbrook,T.L., Edelstein,S.,*et al.* Lifetime milk consumption and bone mineral density in older women. *Am. J. Public Hlth.*, **84**, 1319, 1994.
- 51) Renner,E. Dietary calcium, bone metabolism and prevention of osteoporosis. *J. Dairy Sci.*, **77**, 3498, 1994.
- 52) Owusu,W., Willet,W.C., Freskanich,D.,*et al.* Calcium intake and the incidence of forearm and hip fractures among men. *J.Nutr.*, **127**, 1782, 1997.
- 53) Honkanen,R., Pulkkinen,P., Jarvinen,R.,*et al.* Does lactose intolerance predispose to low bone density? A population-based study of premenopausal Finnish women. *Bone*, **19**, 23, 1996.
- 54) Honkanen,R., Kroger,H., Alhava,E.*et al.* Lactose intolerance associated with fractures of weight-bearing bones in Finnish women aged 38-57 years. *Bone*, **21**, 473, 1997.
- 55) Infante,D., Tormo,R. Risk of inadequate bone mineralization in diseases involving long-term suppression of dairy products. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, **30**, 310, 2000.
- 56) Tsuchida, K., Mizushima,S.,Toba,M.,*et al.* Dietary soybean intake and bone mineral density among 995 middle-aged women in Yokohama. *J. Epidemiol.*, **9**.14, 1999.
- 57) Potter,S.M., Baum,J., Teng,H.,*et al.* Soy protein and isoflavones: their effects on blood lipids and bone density in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **68**(Suppl), 1375s, 1998.
- 58) Dalais,F.S., Rice,G.E., Bell,R.J. Dietary soy supplementation increases vaginal cytology maturation index and mineral content in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **68**:1518s., 1998.
- 59) Messina,M. and Messina,V. Soyfoods, soybean isoflavones, and bone health: a brief overview. *J. Ren. Nutr.*, **10**, 63, 2000.
- 60) Arjmandi,B.H., Alekel,L., Hollis,B.W.,*et al.* Dietary soybean protein prevents bone loss in an ovariectomized rats model of osteoporosis. *J. Nutr.*, **126**, 161, 1996.
- 61) Arjmandi,B.H., Birnbaum,R., Goyal,N.V.,*et al.* Bone-sparing effect of soy protein in ovarian hormone-deficient rats is related to its isoflavone content. *Am. J. Clin. Nutr.*, **68**(Suppl), 1364s, 1998.
- 62) Arjmandi,B.H., Getlinger,M.J.,Goyal,N.V.,*et al.* Role of soy protein with normal or reduced isoflavone content in reversing bone loss induced by ovarian hormone deficiency in rats. *Am. J. Clin. Nutr.*, **68**(Suppl), 1358s, 1998.

- 63) Tucker,K.L., Hannan,M.T., Chen,H.,*et al.* Potassium, magnesium, and fruit and vegetable intakes are associated with greater bone mineral density in elderly men and women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **69**, 727, 1999.
- 64) New,S.A., Bolton-Smith,C., Grubb,D.A.,*et al.* Nutritional influences on bone mineral density: a cross-sectional study in premenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **65**, 1831, 1997.
- 65) Tranquilli,A.L., Lucino,E., Garzetti,G.G.,*et al.* Calcium, phosphorus, and magnesium intakes correlate with bone mineral content in postmenopausal women. *Gynecol. Endocrinol.*, **8**, 55,1994.
- 66) Michaelsson,K., Holmberg,L., Maumin,H.,*et al.* Diet, bone mass, and osteocalcin: a cross-sectional study. *Calcif. Tissue Int.*, **57**, 86, 1995.
- 67) Angus,R.M., Sambrook,P.N., Pocock,N.A.,*et al.* Dietary intake and bone mineral density. *Bone Miner.*, **4**, 265, 1988.
- 68) Stendig-Lindberg,G., Tepper,R., Leichter,I. Trabecular bone density in a 2-year controlled trial of oral magnesium in osteoporosis. *Magnes. Res.*, **6**, 155, 1993.
- 69) Lemann, J., Jr., Pleuss,J.A., Gray,R.W. Potassium causes calcium retention in healthy adults. *J. Nutr.*, **123**, 1623, 1993.
- 70) Remer,T., Manz,F. Potential renal load of foods and its influence on urine pH. *JADA*, **95**, 791, 1995.
- 71) Naghii,M.R., samman,S. The role of boron in nutrition and metabolism. *Prog. Food. Nutr. Sci.*, **17**(4),331,1993.
- 72) Everhart,J.E., Pettitt,D.J., Bennet,P.H., Knowler,W.C. Duration of obesity increases the incidence of NIDDM. *Diabetes*, **41**,235, 1992.
- 73) Provonsha, S., Wade,C., Sherma,A. A syndrome-AC: non -insulin-dependent diabetes mellitus and the anabolic/catabolic paradox. *Med. Hypothesis*, **515**, 429,1998.
- 74) Low,C.C., Grossman,E.B., Gumbiner,B. Potentiation of effects of weight loss by monounsaturated fatty acids in obese NIDDM patients. *Diabetes*, **45**, 569, 1996.
- 75) Feld,C.J., Ryan,E.A., Thomson,A., Clandinin,T. Dietary fat composition alters membrane phospholipid composition, insulin binding, and glucose metabolism in adipocytes from control and diabetic animals. *J.Bio. Chem.*, **256**, 11143s, 1990.
- 76) Snowdon,D.A., Phillips,R.L. Does a vegetarian diet reduce the occurrence of diabetes? *Am. J. Pub. Hlth.*, **75**, 507, 1985.
- 77) West,K.M. Epidemiology of Diabetes and Vascular Lesions. New York, Elsevier North Holland, 1978.
- 78) West, K.M., Kalbfleisch. Influence of nutritional factors on prevalence of diabetes. *Diabetes*, **20**, 99, 1971.
- 79) Gear,J.S., Mann,J.I., Thorogood M., Carter,R., Jelfs,R. Biochemical and haematological variables in vegetarians. *Br. Med. J.*, **1**, 1415, 1980.
- 80) Salmeron,J., Manson,J.E., Stampfer,M.J., Colditz,G.A., Wing,A.I., Willet,W.C. Dietary fiber, Glycemic load and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA*, **277**, 472, 1997.
- 81) Anderson,J., Smith,B.M.,Washnock,C.S. Cardiovascular and renal benefits of dry bean and soybean intake. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70s**, 464s, 1999.
- 82) Slavin,J.L.,Martini,M.C.,Jacobs,D.R., Marquart,L. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *Am. J. Clin. Nutr.*, **70s**, 459s, 1999.
- 83) Salmeron J., Ascherio,A., Rimm,E.B., Colditz,G.A., Spiegelman,D., Jenkins,D.J. Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men. *Diabetes Care*, **20**, 45, 1997.
- 84) Marshall,J.A., Bessesen,D.H., hamman,R.F. High saturated fat and low starch and fiber are associated with hyperinsulinemia in a non-diabetic population: the San Luis Valley Diabetes Study. *Diabetologia*, **40**, 430, 1997.
- 85) Anderson,J.W., Akanji,A.O. Dietary fiber -an overview. *Diabetes Care*, **14**:1126-1131, 1991.
- 86) Anderson, J.W., Ziegler,J.A., DeakinsD.A., Floore,T.L., Dillon,D.W.,Wood,C.L. Metabolic effects of high-carbohydrate, high-fiber diets for insulin-depenndent diabetic individuals. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**, 936, 1991.
- 87) Fukagawa,N.K., Anderson,J.W., Hageman,G., Toung,V.R., Minaker,K.L. High-carbohydrate, high-fiber diets increase peripheral insulin sensitivity in healthy young and adults. *Am. J.Clin. Nutr.*, **52**, 524, 1990.
- 88) Geil,P.B., Anderson,J.W. Nutrition and health implications of fry beans: a review. *J. Am. Coll. Nutr.*, **13**, 549, 1994.
- 89) Jenkins,D.J., Wolever,T.M., Taylor,R.H., Barker,H., Fielden,H., Baldwin,J.M. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 362, 1981.

- 90) Liener, I.E. Implications of anti-nutritional components in soybean foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **34**, 362, 1994.
- 91) Gittelsohn, J., Wolever, T.M.S., Harris, S.B., Harris-Graldo, R., Hanley, A.J.G., Zinman, B. Specific patterns of food consumption and preparation are associated with diabetes and obesity in a Native Canadian community. *J. Nutr.*, **128**, 541, 1998.
- 92) McCarty, M.F. Vegetarian proteins may reduce risk of cancer, obesity, and cardiovascular disease by promoting increased glucagon activity. *Med. Hypothesis*, **536**, 459, 1999.
- 93) Collier, G., O'Dea, K. The effect of co-ingestion of fat on the glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein. *Am. J. Clin. Nutr.*, **37**, 941, 1983.
- 94) Addanki, S. Roles of nutrition, obesity, and estrogen in diabetes mellitus: Human leads to an experimental approach to prevention. *Prev. Med.*, **10**, 1981.
- 95) Helgason, T., Ewen, S.W., Ross, I.S., Stowers, J.M. Diabetes produced in mice by smoked/cured mutton. *Lancet*, **2**, 1017, 1982.
- 96) Nicholson, A.S., Sklar, M., Barnard, N.D., Gore, S., Sullivan, R., Browning, S. Toward improved management of NIDDM: a randomized, controlled, pilot intervention using a low fat, vegetarian diet. *Prev. Med.*, **292**, 87, 1999.
- 97) Harman, D. A hypothesis on pathogenesis of senile dementia of the Alzheimer's type. *Age*, **16**, 20, 1993.
- 98) Messina, M. Health consequences of vegetarian diets. The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets: Issues and Applications. Port Townsend, Washington: Aspen Publishers, 17-78, 1996.
- 99) Gen, P., Beeson, W.L., Fraser, G.E., The incidence of dementia and intake of animal products: preliminary findings from the Adventist Health Study. *Neuroepidemiology*, **12**, 28, 1993.
- 100) Swank, R.L. Multiple sclerosis: a correlation of its incidence with dietary fat. *Am. J. Med. Sci.*, **220**, 421, 1950.
- 101) Swank, R.L., Lerstad, O., Strom, A. Multiple sclerosis in rural Norway: its Geographic and occupational incidence in relation to nutrition. *New Eng. J. Med.*, **46**, 1952.
- 102) Alter, M., Yamoor, M., Harshe, M. Multiple sclerosis and nutrition. *Arch. Neurol.*, **1**, 67, 1974.
- 103) Swank, R.L. Changes in the blood produced by a fat meal and by intravenous heparin. *Am. J. Physiol.*, **164**, 798, 1951.
- 104) Cullen, C.F., Swank, R.L. Intravascular aggregation and adhesiveness of the blood elements associated with alimentary lipemia and injections of large molecular substances: effect on blood-brain barrier. *Circulation*, **9**, 335, 1954.
- 105) Swank, R.L., Nakamura, H. Oxygen availability in brain tissues after lipid meals. *Am. J. Physiol.*, **198**, 217, 1960.
- 106) Meyer, J.S., Waltz, A.G. Effects of changes in composition of plasma on blood flow. **9**, 728, 1959.
- 107) Swank, R.L., Grimsgaard, A. Multiple sclerosis: the lipid relationship. *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 1387, 1988.
- 108) Bornstein, M.B., Grain, S.M. Functional studies of cultural brain tissues as related to "demyelinative disorders." *Science*, **148**, 1242, 1965.
- 109) Wolfgram, F., Rose, A.S. The in vitro action of some organic acids on myelin. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.*, **17**, 399, 1958.
- 110) Ghadrian, P., Jain, M., Shatenstein, B., Morisset, R. Nutritional factors in the etiology of multiple sclerosis: a case control study in Montreal, Canada. *Int. J. Epidemiol.*, **27**, 845, 1997.
- 111) Sibclair, H.M. Deficiency of essential fatty acids and atherosclerosis, et cetera. *Lancet*, **1**, 381, 1956.
- 112) Thompson, R.H.S. A biochemical approach to the problem of multiple sclerosis. *Proc. Roy. Soc. Med.*, **59**, 269, 1966.
- 113) Gul, S., Smith, A.D., Thompson, R.H.S., Zilkha, K.J. Fatty acid composition of phospholipid from platelets and erythrocytes in multiple sclerosis. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, **33**, 506, 1970.
- 114) Belin, J., Petet, N., Smith, A.D., Thompson, R.H.S., Zilkha, K.J. Linoleate metabolism in multiple sclerosis. *J. Neurosurg. Psychiatry*, **34**, 25, 1971.

# シロザケ飼料の魚油添加効果－4

大橋 勝彦\*1 酒本 秀一\*2

\*1 OHASHI Katsuhiko (日本ドナルドソントラウト研究所)

\*2 SAKAMOTO Shuichi,

Key Words: シロザケ・飼料・魚油添加・成長・飼料効率・タンパク質効率・魚体成分・海中飼育・海水馴致能

著者らはシロザケ飼料の魚油添加効果を調べる一連の試験<sup>1-4)</sup>を行い、以下のことを明らかにした。

・餌付けは油無添加飼料で行うべきである。油添加飼料で餌付けを行うと摂餌性が悪く、その悪影響が可也長期間残る。4, 5日間油無添加飼料で餌付けを行った後油添加飼料に切り替えれば良い。

・飼料に添加すべき油は魚油で、至適添加量は約7% (飼料の脂質含量は約12%) である。

・油添加区の方が無添加区より魚の成長が速く、飼料効率とタンパク質効率も高い。

・魚体の脂質含量と脂肪酸組成は飼料の脂質含量と脂肪酸組成を反映する。

・魚の絶食耐性や絶食からの回復能力を規定しているのは魚体の脂質含量である。魚体の脂質含量が高い程絶食耐性が強く、絶食からの回復も早い。

・魚体の脂質含量が少ない区ほど絶食期間中に死魚数が多く、しかも肥満度が大きい魚も死亡する傾向が認められる。

・絶食による大量死が起こる時

の魚体成分の目安は脂質が約5% 乾物で、タンパク質は約90% 乾物である。この時の水分含量は約85% である。

・同一グループで餓死魚が出始めるくらいに衰弱してから給餌を再開しても容易に回復しない。既に摂餌できないくらいに衰弱しているか、摂餌しても消化・吸収する能力を失っている魚が相当数いるものと推測する。

・30日間絶食させた魚を直接海水に移して8日間飼育したところ、油無添加飼料で飼育した後絶食させた区の死魚数が最も多く、7% 魚油添加飼料で飼育後絶食させた区の死魚数が最も少

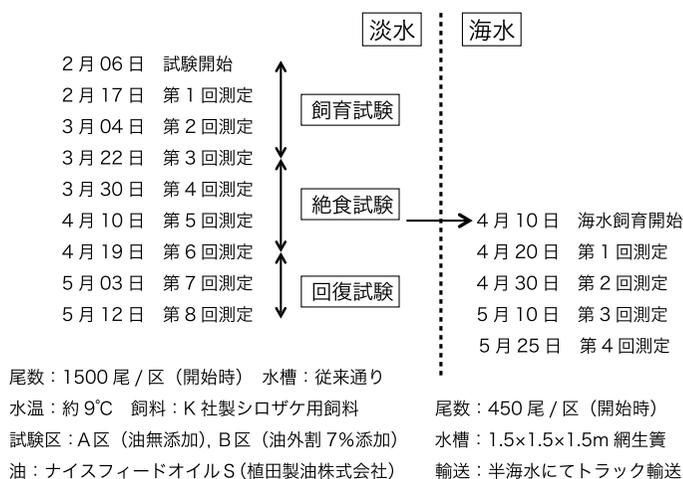


図1 試験の概要

なかった。飼料の脂質含量と絶食期間が魚の海水馴致能力に影響を与えている可能性が有る。

以上の結果を受け、今回の試験では飼料への魚油添加の有無と絶食がシロザケ幼魚の海水馴致能力に及ぼす影響を中心に調べた。

図1に試験全体の流れを示す。2013年2月6日から3月22日まで魚油無添加飼料と添加飼料による飼育試験を行った。引き続き3月22日から4月19日まで無給餌の絶食試験。絶食試験途中の4月9日に両区450尾を別水槽に移し、翌10日に海面生簀に收容した。その後5月25日まで無給餌で海中飼育を継続した。4月19日に絶食試験が終了した魚には再び飼育試験と同じ飼料を与え、5月12日まで回復試験を行った。

それぞれの試験の詳細は各項で説明する。

## 飼育試験

### 1. 方法

#### 1-1. 試験区と飼料

A, Bの2試験区を設定した。AはK社製シロザケ用飼料をそのまま与えた区。Bは最初の2日間はA区と同じ飼料を与え、3日目に同飼料に外割で7%魚油（植田製油株式会社ナイスフィードオイルS）を添加した飼料に切り替え

た区である。以後A区を油無添加区、B区を油添加区とする。飼料への油添加は以下の手順で行った。必要量の飼料をボールに計り入れ、精秤した魚油を加えて手で十分に混合し、油を飼料に均一に吸着させて油添加飼料とした。

表1に飼料の分析値を示す。但し、油添加飼料の分析は行わなかったため、この値は油が正確に7%添加されていたとして計算で求めた値である。これまでの試験でも同じ方法で調製した飼料の分析値と理論値に問題になる程の違いは無かったので、多分この値に大きな誤差は無いものとする。なお、炭水化物含量は100 - (水分 + タンパク質 + 脂質 + 灰分) で、カロリー数はタンパク質4、脂質9、炭水化物2Cal/gの値を用いて計算で求めた。

油無添加飼料の脂質含量5.1%とカロリー含量286.5Cal/100gはこれまで試験したシロザケ用飼料で最も低い値であった。

魚油の添加によって当然のことながら脂質とエネルギー含量が増加し、その他成分は減少していた。

#### 1-2. 飼育条件

2月6日にアトキンス式孵化水槽（写真1）に平均体重0.33gのシロザケ稚魚を1500尾ずつ收容して飼育試験を開始した。水槽上の木枠は魚の飛び出しを防ぎ、水面上の仕切りは浮上

表1 試験飼料の分析値

区	A	B*
水分 (%)	9.1	8.5
タンパク質	47.6	44.5
脂質	5.1	11.3
灰分	13.1	12.2
炭水化物	25.1	23.5
Cal/100g	286.5	326.7
タンパク質 (% 乾物)	52.4	48.6
脂質	5.6	12.3
灰分	14.4	13.3
炭水化物	27.6	25.7
Cal/100g	315.2	357.0

\* 計算値



写真1 淡水での試験に用いた水槽

している飼料の流出を防ぐ為に設けてある。飼育水は9℃の湧水で、給餌率はライトリッツの給餌率、給餌は午前中1回、飼育期間は2月6日から3月22日の46日間であった。B区は最初の2日間は油無添加飼料を与えたが、その量は15gで、飼育試験中の全給餌量897.7gからすると少量で、魚の成長や飼料効率(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)等の飼育成績には殆ど影響を及ぼしていない。

飼育試験中の死魚は尾数と体重を記録し、増重量の補正に用いた。

### 1-3. 魚体測定と成分分析

飼育試験開始時から終了時まで定期的(2月6日, 17日, 3月4日, 22日)に両区から100尾ずつサンプリングして魚体測定を行った。手順は以下の通りである。FA100で麻酔した魚の体表の水をペーパータオルで拭い取り、ノギスで尾叉長を、電子天秤で体重を測定した。それぞれの値から肥満度(体重×1000/尾叉長<sup>3</sup>)を求めた。2月6日と3月22日の魚は区毎に纏めて全魚体の一般成分分析に供した。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法(N-タンパク質換算係数:6.25)、脂質はソックスレー法、灰分は直接灰化法で分析した。

## 2. 結果

### 2-1. 飼育成績

飼育試験の結果を表2に示す。生残率は両区共99%以上で高く、区間差は認められなかった。増重量, 飼料効率, タンパク質効率は油添加区の方が著しく高く、明らかに魚油の添加効果が認められた。

表2 淡水飼育試験の結果

	A区	B区
生残率(%)	99.8	99.6
総重量(g)*	1599.2	1761.4
開始時重量(g)	490.1	490.1
増重量(g)	1109.1	1271.3
給餌量(g)	897.7	897.7
飼料効率(%)	123.5	141.6
タンパク質効率(%)	259.5	318.2

\*途中サンプリング分を含む

表3 淡水飼育試験中の魚体測定結果

月日	2月6日	2月17日	3月4日	3月22日
A区				
体重(g)	0.33	0.46	0.67	1.14
尾叉長(cm)	3.68	4.01	4.53	5.21
肥満度	6.50	7.08	7.19	7.90
B区				
体重(g)	0.33	0.45	0.70	1.27
尾叉長(cm)	3.68	3.98	4.55	5.37
肥満度	6.50	7.06	7.28	8.06

### 2-2. 魚体測定

体重, 尾叉長, 肥満度の変化を表3に示す。開始初期の2月17日まで両区殆ど同じ値を示していたが, 3月4日になると油添加区の方が大きくなり始め, 3月22日には明らかに油添加区の方が大きくなっていた(図2, 3)。この結果は飼料への油添加効果は初期には目立たな

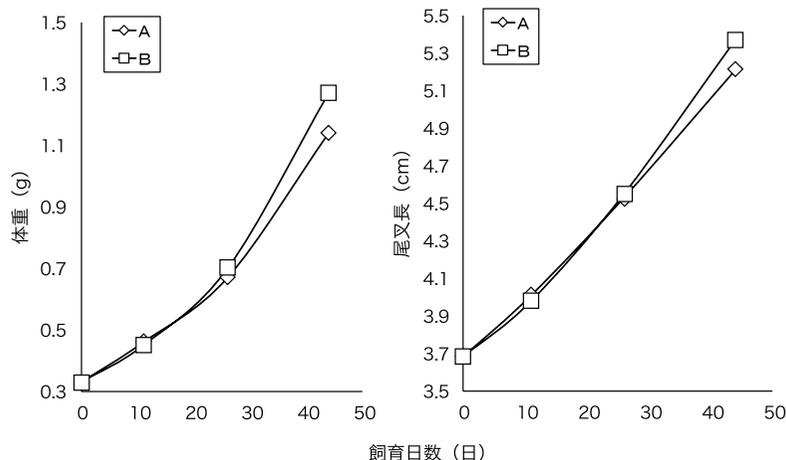


図2 淡水飼育中の体重と尾叉長の変化

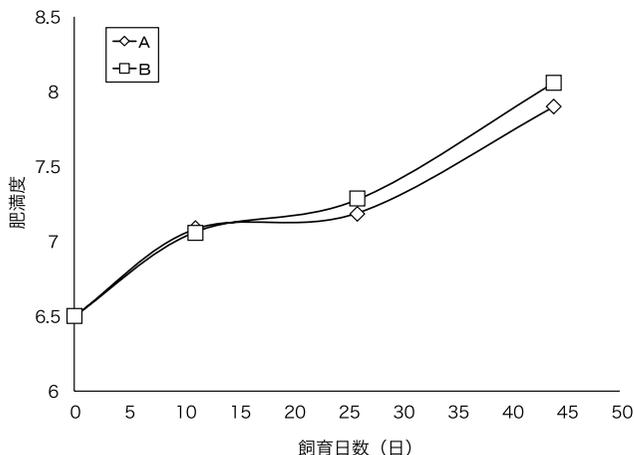


図3 淡水飼育中の肥満度変化

いが、飼育期間が長くなるに従って明らかになって来ると云う従来の試験結果と良く一致していた。

飼育初期に飼料への油添加効果が認められないのは、餌付け時にはまだ魚の体内に卵黄や油球が残っていて十分量の脂質が有ることによって飼料への油の添加効果が表れなかったのであろう。卵黄と油球が消費されてしまうと、飼料への油の添加効果が表に出て来るものと思われる。

### 2-3. 魚体成分

飼育試験開始時と終了時の魚体成分分析結

表4 淡水飼育試験中の魚体成分変化

月日 試験区	2月6日		3月22日	
			A区	B区
<b>湿物</b>				
水分 (%)	80.4	80.4	79.2	
タンパク質	14.3	14.8	14.5	
脂質	3.6	2.8	4.5	
灰分	1.4	1.8	1.8	
炭水化物	0.3	0.2	0.0	
Cal/100g	91	85	99	
<b>乾物</b>				
タンパク質(%乾物)	73.0	75.5	69.7	
脂質	18.4	14.3	21.6	
灰分	7.14	9.18	8.65	
炭水化物	1.53	1.02	0.00	
Cal/100g	464	434	476	

果を表4に示す。開始時の魚の大きさと分析結果を過去の値と比較すると、本年度の供試魚は体重と尾叉長が小さいのに脂質含量が高かった。これは未だ卵黄や油球が十分に消費されておらず、従来の魚より多く残っていたことを示唆している。この原因として、水温が低くて魚の発育が遅れたこと、餌付け時期が早かったこと、採卵親魚の状態が従来とは違ったので卵質も異なっていたこと等が考えられる。飼育水には湧水を用いているので年によって水温が大きく違うことは考え難い。

本年度試験に供した魚の親魚は小型で肥満度が低く (= 痩せていた), 得られた卵も小さかった。よって、これまでとは卵の成分組成が違っていたことは十分に考えられる。但し、そうであれば脂質は少ない方に動くのではないかとと思われる。従って、この原因は従来よりも餌付け時期が早かった可能性が高いのではないかと推測出来る。受精から餌付けまでの積算温度 (受精日から卵が育っている水の一日の平均水温を加えていった数字で、平均水温に日数を掛けた値である。水産分野では積算水温とも云う。) が不明確であることと、受精から餌付けまでの発育段階別の成分分析を行っていないことから断言は出来ないが、餌付け開始日までの積算水温が低かったのではないかとと思われる。人工授精からの積算水温と卵および孵化仔魚の体成分組成の関係を明らかにしておけば、餌付けに最も適した日が特定できるのではないかと推測する。

飼育試験終了時の値を湿物で見ると、油無添加区は脂質とエネルギー含量が開始時より減少し、タンパク質と灰分含量が増加していた。添加区は脂質、エネルギーおよび灰分含量が増加し、水分は減少していた。乾物で見ると、油無添加区はタンパク質と灰分が増加し、脂質とエネルギー含量が減少していた。

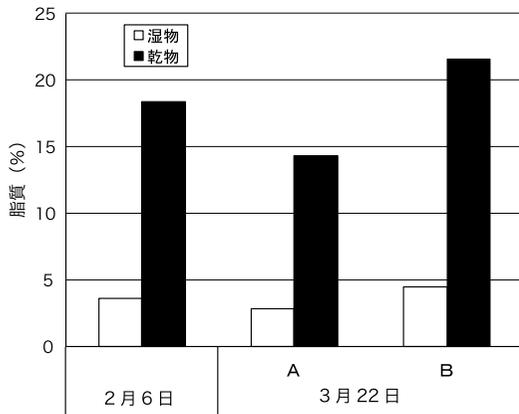


図4 淡水飼育試験開始時, 終了時の魚体脂質含量

添加区は脂質, エネルギーおよび灰分含量が増加し, タンパク質は減少していた。これは飼料への油添加によって魚体の脂質含量が増え (図4), その結果としてエネルギー含量が増えたこと, 魚体の成分変化の主体をなすのは脂質で, その含量変化によって相対的に水分, タンパク質, 灰分等が変化する (図5) こと, 魚の成長に伴って骨や鱗が発達し, 灰分が増えたこと等を表している。

油無添加区で終了時に魚体の脂質とエネルギー含量が減少していたのは, 餌付けの時期が早くて開始時に未だ卵黄や油球に由来する脂質が十分に消費されておらず, 魚体の脂質含量が高かったことと, 与えた飼料の脂質含量が従来の飼料より可也少なかったことによると思われる。

購入した飼料をそのまま無批判に使用するのではなく, キチンと成分分析を行ってシロザケに適した成分組成を有する飼料に調整してから与えるべきである。

### 3. 要約

・油添加区の魚の成長が速く, 肥満度, 飼料効率, タンパク質効率も有意に高かった。

・油無添加区の魚体の脂質含量は減少し, 添加区は増加していた。

・魚体成分の変動の主体をなすのは脂質で, その含量変化によって相対的に水分, タンパク質および灰分含量が変化する。

・飼料への油添加効果は魚体内の卵黄や油球が消費されてから明らかになるものと思われる。

・これらの結果は従来の試験結果と良く一致していた。

### 絶食試験

#### 1. 方法

3月22日に飼育試験が終了したので, 残りの魚をそのまま絶食試験に用いた。飼育条件は無給餌である以外飼育試験と同じであった。絶食を1カ月以上続けると大量死が起こる可能性が高いことがこれまでの試験で分かっているので, 試験期間は3月22日から4月19日とし, 絶食による大量死が発生する前に試験を終了し

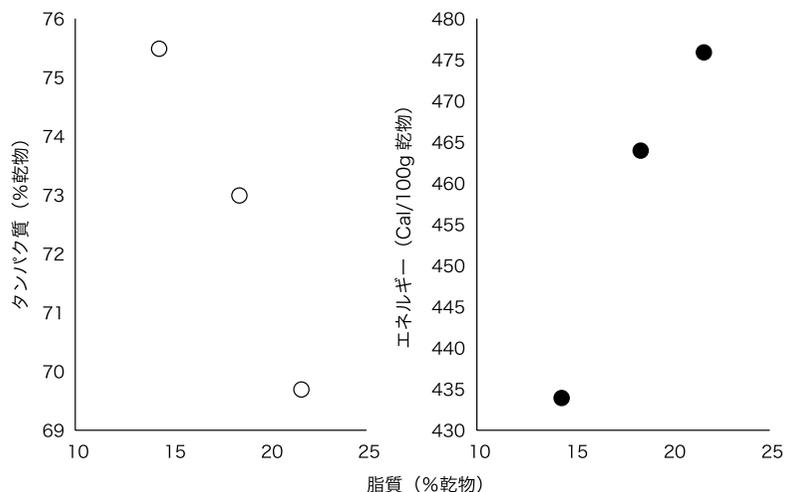


図5 魚体の脂質含量とタンパク質, エネルギー含量との関係

表5 絶食試験中の生残率変化

	A区	B区
3月22日	100	100
3月30日	99.9	99.9
4月10日	98.3	99.4
4月19日	93.7	99.2

た。試験期間中約10日毎に両区から100尾ずつサンプリングし、体重、尾叉長、肥満度の変化を調べた。また、絶食開始時(3月22日)、4月10日、終了時(4月19日)には魚体成分の分析も行った。

## 2. 結果

### 2-1. 生残率

生残率の変化を表5に示す。今回は絶食による大量死を起こす前に試験を終了したので生残率は両区共90%以上と比較的高かったが、それでも両区間で有意な違いが見られた。油無添加区の死魚数95尾に対し添加区は12尾と、油添加区では極少数の魚が死亡したのみであった。また、油添加区では試験期間中略一定の割合で生残率が減少していたのに対し、無添加区では3月30日以降死魚数が増え始め、特に4月10日以降著しく増えていた(図6)。絶食期間が長くなるに従って油無添加区の死魚数が増え、添加区より生残率が低くなると云う結果は従来の試験結果と同じであった。なお、今回の絶食試験で油無添加区の死魚数が増え始める時期がこれまでの試験より10日程度早かったように思えるが、これは今回用いた油無添加飼料の脂質含量が5.1%と可也少なかったことが原因しているのではないかと推測している。

### 2-2. 肥満度

魚体測定の結果を表6に示す。絶食中魚は成長せずに痩せるので、尾叉長は変化しないが体

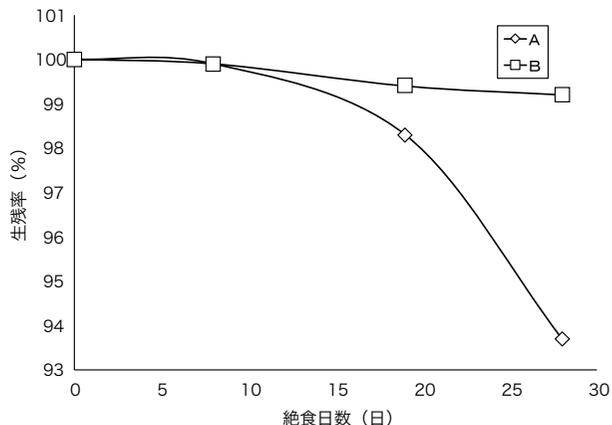


図6 絶食試験中の生残率変化

表6 絶食試験中の魚体測定結果

月日	3月22日	3月30日	4月10日	4月19日
A区				
体重 (g)	1.14	1.03	0.88	0.83
尾叉長 (cm)	5.21	5.25	5.14	5.17
肥満度	7.90	7.02	6.31	5.90
B区				
体重 (g)	1.27	1.06	0.95	0.93
尾叉長 (cm)	5.37	5.31	5.22	5.26
肥満度	8.06	7.10	6.55	6.29

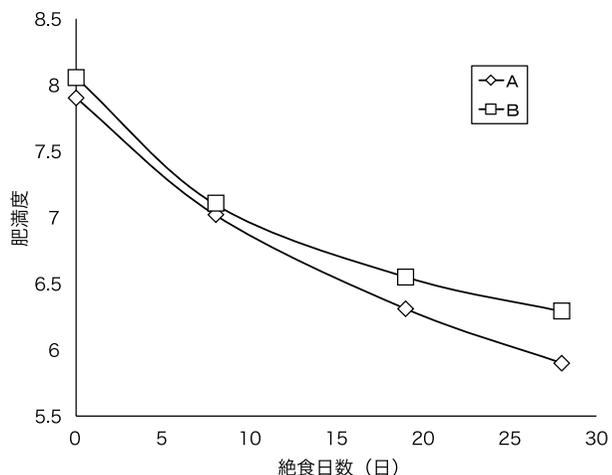


図7 絶食試験中の肥満度変化

重は減少するのが普通である。体重はその通りになっていたが、両区共に4月10日以降の尾叉長がそれまでと比べて小さくなっていった。測定前日の4月9日に海中飼育向けの魚を両区共450尾ずつ別水槽に取り分けているので、海中飼育

に供した魚が平均より大きかったものと思われる。

図7に絶食日数と多少の魚の大きさの違いには殆ど影響を受けない肥満度との関係を示す。絶食初期は両区共殆ど同じ傾きで肥満度は小さくなっていったが、3月30日以降油添加区の減少の方が小さくなっていった。尾叉長に対する体重の減少が油添加区の方が少なく、痩せ方の程度が無添加区より低いことを示している。

油添加区の方が絶食期間中に肥満度の減少割合が少ないのは従来の試験結果と同じであった。

### 2-3. 魚体成分

魚体成分の変化を表7と図8, 9に示す。水分は両区共絶食日数と共に略同じ傾きで直線的に増加し、タンパク質は油添加区では4月10日以降に、無添加区では絶食初期から減少していた。減少の程度は両区共絶食19日目を降が大きく、特に油無添加区で大きかった。脂質とエネルギー含量の減少割合は油添加区の方がやや大きかった。油無添加区の脂質とエネルギー含量は4月10日には略最低値を示し、それ以降殆ど同じ値を示していた。

表7 絶食試験中の魚体成分変化

月日 試験区	3月22日		4月10日		4月19日	
	A区	B区	A区	B区	A区	B区
<b>湿物</b>						
水分 (%)	80.4	79.2	82.8	81.7	84.1	82.9
タンパク質	14.8	14.5	14.4	14.6	13.6	14.1
脂質	2.8	4.5	1.2	2.3	1.2	1.7
灰分	1.8	1.8	2.2	2.2	2.3	2.2
炭水化物	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cal/100g	85	99	68	79	65	72
<b>乾物</b>						
タンパク質 (% 乾物)	75.5	69.7	83.7	79.8	85.5	82.5
脂質	14.3	21.6	6.98	12.6	7.55	9.94
灰分	9.18	8.65	12.8	12.0	14.5	12.9
炭水化物	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cal/100g	434	476	395	432	409	421

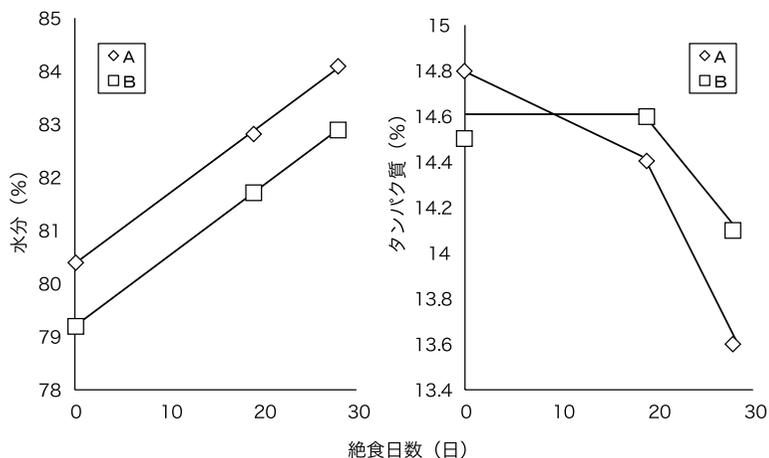


図8 絶食中の魚体水分とタンパク質含量の変化

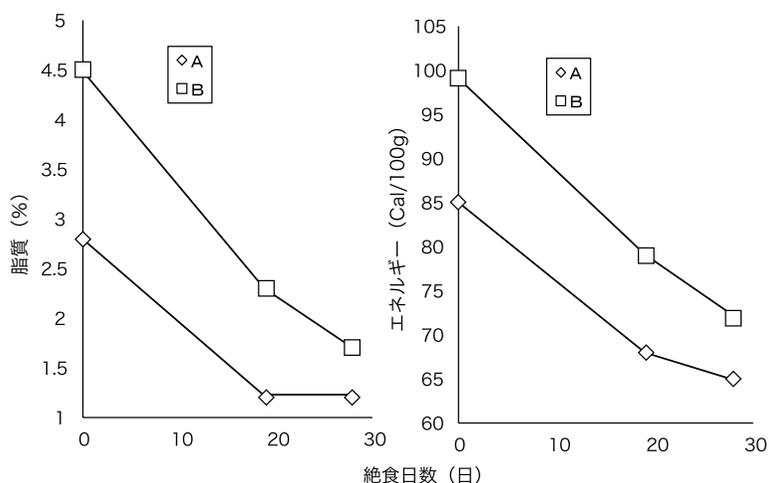


図9 絶食中の魚体脂質とエネルギー含量の変化

それに対し油添加区は絶食終了時まで略同じ割合で減少していた。

この結果は、「①絶食初期には脂質が主たるエネルギー源として消費され、脂質が限界まで消費されてしまうとタンパク質が主たるエネルギー源として利用されること。②タンパク質が主たるエネルギー源として利用されるようになると斃死が生じる可能性が高いこと。③油添加区は絶食開始時に魚体に蓄積されていた脂質が多かった為、絶食期間終了時まで脂質が主たるエネルギー源になっていたため死魚数も少なかったこと。④油添加区も4月10日以降タンパク質含量が減少し始めていたので、これ以上長期間の絶食が続くと大量死を起こす可能性が有ること。」等を示している。

これまでの試験でシロザケ幼魚が絶食による大量死を起こす時の魚体成分は水分が約85%、脂質が5% 乾物、タンパク質が約90% 乾物であることが分かっている。油無添加区の絶食終了時の値は可也この値に近づいており、もう少し絶食期間を長くしていれば大量死を起こした可能性が高い。一方、油添加区は何れの値にもまだ可也余裕が有り、もう暫くは大丈夫だったものと思われる。また、これまでの試験で絶食中の魚100尾当たりの体成分の減少量が最も多いのは水分、次いでタンパク質、脂質の順で、灰分は殆ど減少しないこと、減少率が最も大きいのは脂質で、次いでタンパク質、水分の順であること等が分かっており、今回の試験結果もこれに合致していた。

### 3. 要約

・絶食期間中の生残率は油添加区の方が高く、特に絶食19日以降で無添加区との違いが顕著になった。

・絶食によって体重と肥満度は減少したが、肥満度の減少は油添加区の方が小さかった。

・絶食期間中魚体の水分含量は両区共略同じ

傾きで直線的に増加し、タンパク質は油添加区では絶食19日以降に、無添加区では初期から減少していた。減少の割合は油添加区の方が小さかった。

・魚体の脂質とエネルギー含量は油添加区では絶食終了時まで略同じ割合で減少していたが、無添加区では絶食19日で略最低値まで減少し、それ以降殆ど同じ値を示した。

・絶食終了時の油無添加区の魚体成分は絶食による大量死が起こる時の成分組成に近づいていた。一方、添加区の値にはまだ余裕が有った。

・これらの結果は従来の試験結果と良く一致していた。

## 回復試験

### 1. 方法

絶食試験終了時の生残魚をそのまま回復試験に用いた。飼料は飼育試験と同じ物を用いた。急に大量の飼料を与えて消化管に大きな負担を与えないように、給餌再開当日は給餌量を少なくして様子を見たが、特に異常は認められなかったため2日目からは普通の量を与えた。試験期間は4月19日から5月12日で、その間5月3日と5月12日に両区から100尾ずつサンプリングして魚体測定を行った。5月12日の魚は魚体成分の分析も行った。

### 2. 結果

#### 2-1. 生残率、飼料効率、タンパク質効率

結果を表8に示す。4月22日から5月12日の回復試験全期間の結果では生残率と飼料効率が油無添加区の方がやや高く、従来の試験結果とは異なる理屈に合わない結果であった。これは回復試験後半に油添加区にトリコディナの寄生が酷くなり、死魚が多く出た為である。回復試験前半の4月22日から5月3日の結果で見ると、表の下段に示す様に生残率、増重量、

表8 回復試験の結果

	A区	B区
4月22日－5月12日		
生残率 (%)	92.6	90.1
総重量 (g) *	457.0	580.0
開始時重量 (g)	331.2	402.7
増重量 (g)	125.8	177.3
給餌量 (g)	145	213
飼料効率 (%)	86.8	83.2
タンパク質効率 (%)	182.4	187.0
4月22日－5月3日		
生残率 (%)	96.0	98.6
総重量 (g) *	418.1	536.8
開始時重量 (g)	331.2	402.7
増重量 (g)	86.9	134.1
給餌量 (g)	99	136
飼料効率 (%)	87.8	98.6
タンパク質効率 (%)	184.5	221.6

\* 途中サンプリング分を含む

添加区の5月12日の体重、尾叉長および肥満度の値がどれも綺麗に直線上に乗っていたことは、トリコディナの寄生によって魚の成長は大きな影響を受けておらず、死亡率のみが高かつ

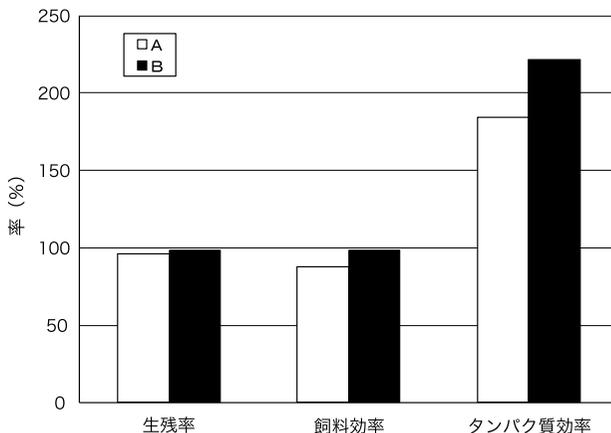


図10 回復試験の結果 (前半)

飼料効率、タンパク質効率のどれもが油添加区の方が高い値を示していた (図10)。絶食による衰弱からの回復も油添加区の方が早い様である。これは回復試験で与えた飼料の違いと、絶食試験終了時の魚の衰弱状態が油添加区の方がより軽微であったことが関係していたものと思われる。

トリコディナの寄生によって結果が乱れた回復試験後半以外は従来の試験結果と一致していた。

### 2-2. 魚体測定

体重、尾叉長、肥満度の変化を表9と図11、12に示す。体重、尾叉長、肥満度共に油添加区の方が増加の傾きが大きく、油無添加区より早く回復していることが分かる。これは与える飼料の違い、つまり油添加飼料は脂質とエネルギー含量が高いことによる部分が大いのであろう。なお、油

表9 回復試験中の魚体測定結果

月日	4月19日	5月3日	5月12日
A区			
体重 (g)	0.83	1.09	1.28
尾叉長 (cm)	5.17	5.44	5.54
肥満度	5.90	6.66	7.24
B区			
体重 (g)	0.93	1.26	1.53
尾叉長 (cm)	5.26	5.54	5.75
肥満度	6.29	7.27	7.85

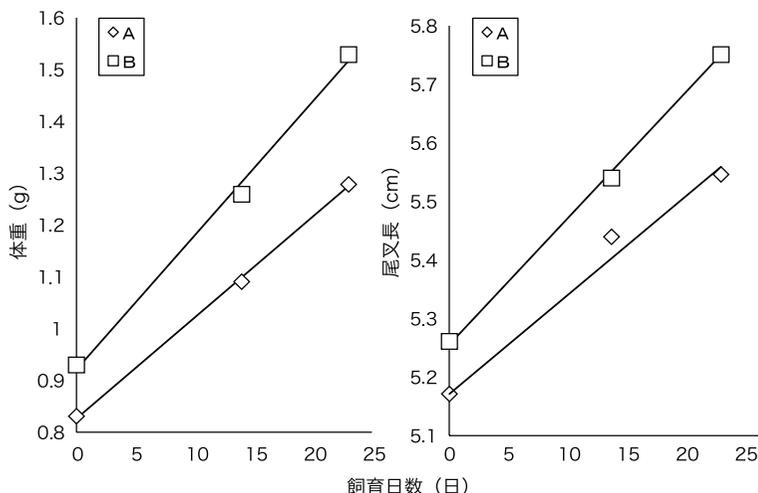


図11 回復試験中の体重と尾叉長の変化

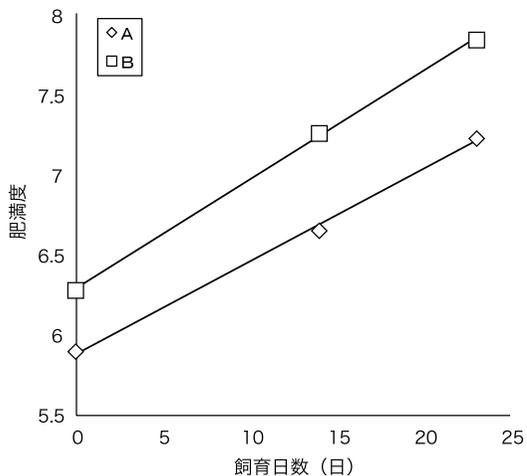


図 12 回復試験中の肥満度変化

表 10 回復試験中の魚体成分変化

月日 試験区	4月19日		5月12日	
	A区	B区	A区	B区
<b>湿物</b>				
水分 (%)	84.1	82.9	81.9	80.1
タンパク質	13.6	14.1	13.6	14.3
脂質	1.2	1.7	2.2	3.6
灰分	2.3	2.2	2.1	2.0
炭水化物	0.0	0.0	0.2	0.0
Cal/100g	65	72	75	90
<b>乾物</b>				
タンパク質(%乾物)	85.5	82.5	75.1	71.9
脂質	7.55	9.94	12.2	18.1
灰分	14.5	12.9	11.6	10.1
炭水化物	0.00	0.00	1.10	0.00
Cal/100g	409	421	414	452

たこと、つまりトリコディナの寄生による死亡が急激に起こったことを示唆している。

### 2-3. 魚体成分

回復試験前後の魚体成分の変化を表 10 と図 13, 14 に示す。油添加区の方が無添加区より水分の減少とタンパク質、脂質およびエネルギー含量の増加が大きく、特に脂質とエネルギー含量の増加が著しく大きかった。これは魚体成分もトリコディナの影響をそれ程強く受けていないことや、回復試験で与えた飼料の違いの影響が明らかに表れていることを示している。なお、両区共回復試験終了時の値は湿物でも乾物でも表 4 の飼育試験終了時 (3月22日) の値に近い値を示しており、22日間の再給餌では未だ完全に回復してはいないものの、可也急速に回復していたことが分かる。

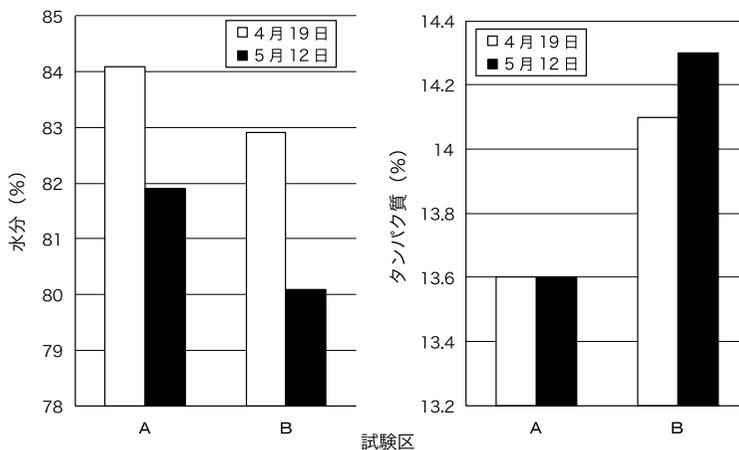


図 13 回復試験中の魚体水分とタンパク質含量の変化

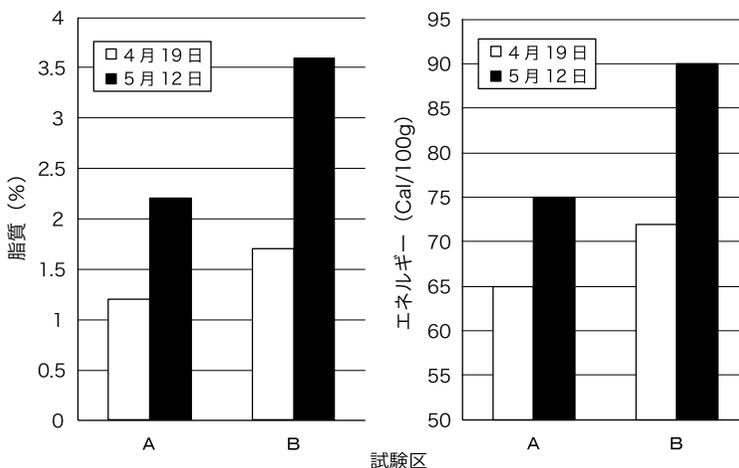


図 14 回復試験中の魚体脂質とエネルギー含量の変化

これらの魚体測定や成分分析の結果は、これまでの回復試験の結果と一致していた。

### 3. 要約

- ・再給餌による体重、尾叉長および肥満度の増加は油添加区の方が大きかった。

- ・再給餌による魚体の水分含量の減少、タンパク質、脂質およびエネルギー含量の増加は油添加区の方が著しく大きかった。

- ・再給餌による絶食からの回復は油添加区の方が早かった。

これは絶食終了時の魚の衰弱状態が油添加区の方が軽微であったことと、油添加飼料の方が脂質とエネルギー含量が高かったことによると思われる。

- ・これらの結果は従来の試験結果と一致していた。

- ・トリコディナによる急激な死魚数の増加は生残率や飼料効率、タンパク質効率に大きな影響を及ぼすものの、魚の成長や魚体成分に対する影響は少ない様である。

## 海中飼育

### 1. 方法

絶食試験途中の4月9日に両区共450尾ずつ海中飼育用に別水槽に取り分け、翌10日に魚を半海水(天然海水を淡水で1/2に希釈した水)と酸素を入れたビニール袋に密封し、トラックで約1時間かけて海まで運んだ。輸送中に油無添加区は2尾が死亡したが、添加区は1尾も死亡しなかった。海面には1.5×1.5×深さ1.5mの網生簀2面を予め設置して置いた。これまで魚を飼育していた淡水は水温が約9℃、海水は約4℃と可也水温が違ったので、魚を入れたビ

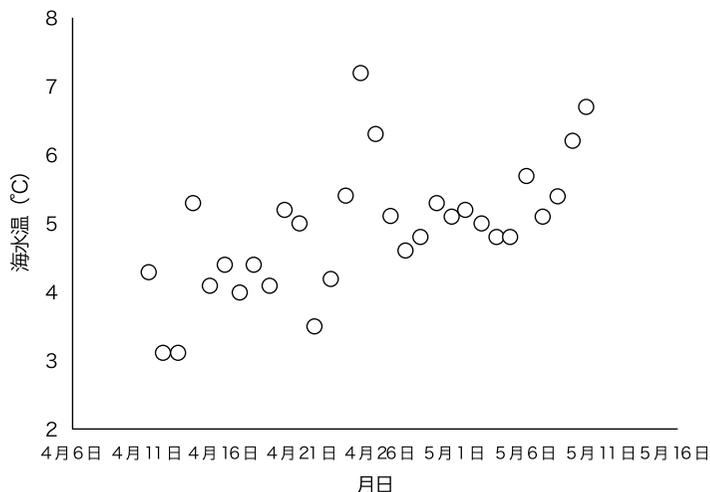


図15 海水温の変化

ニール袋を暫く海面上に浮かべて水温をゆっくりと下げた後、両区共直接魚を生簀内に放した。その後5月25日まで無給餌のまま飼育した。その間10日毎に両区から100尾ずつサンプリングし、魚体測定と成分分析を行った。図15に毎日の水温変化を示す。生簀を設置した場所が河川水の影響を受ける場所であったこと、浅い生簀なのでその日その日の天候の影響を受けること、風によって上下水の攪拌が可也有ること、潮の干満によって沖合水が入ること等によって水温の日変動が結構大きかった。また、水温は午前と午後1回ずつ測定した値を平均して示してあるが、日内変動も可也大きかった。図から分かる様に日変動の幅は大きかったが、季節が進むにつれて次第に水温が上昇していたことが分かる。

## 2. 結果

### 2-1. 生残率

生残率の変化を表11と図16に示す。油添加区と無添加区で明らかに生残率が違い、油添加区の死魚数が少なく、生残率が高かった。また、両区共海中飼育20日目まで死魚が生じており、魚が完全に海水に馴致するまでに20日

表 11 海中飼育時の生残率変化

	A 区	B 区
4 月 10 日	99.6*	100
4 月 20 日	94.0	99.3
4 月 30 日	87.0	97.4
5 月 10 日	86.5	97.4
5 月 25 日	86.5	97.4

\*: 輸送中に 2 尾死亡

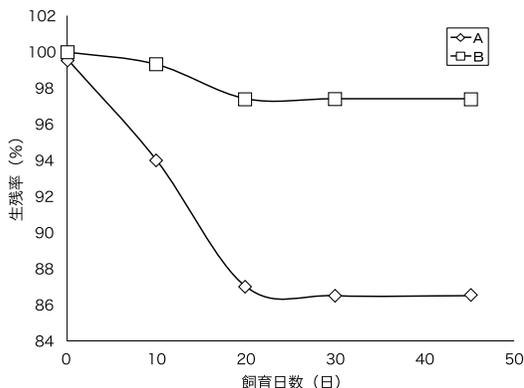


図 16 海中飼育時の生残率変化

程度要したのではないかとと思われる。産業規模で行われている海中飼育では数日餌止めを行った後 10 × 10 × 深さ 10m の生簀に魚を移して給餌下で飼育を行っているが、20 日間も継続して死魚が生じることは無い。これは海中飼育に移す前の絶食日数の違いに原因が有るものと推測している。絶食期間が長く、魚が衰弱していると海水に馴致するのに時間が掛かるのではないかとと思われる。今後絶食期間 (= 魚の衰弱程度) と海水馴致に要する期間との関係を明らかにしておく必要が有る。

種苗生産施設で生産されたシロザケ幼魚は川の上流で放流される割合が高い。上流で放された魚は河川に餌が不十分なこともあって海に入る時には可也痩せている。特に早期放流群にその

傾向が強いと云われている。痩せていると云うことは絶食状態に近いのであろうから、海水に馴致するのにある程度の時間を要する可能性が有る。放流魚が海に入る時には川から直ちに海に入るのではなく、川と海を行き来して次第に海に入ると云われている。降海時の魚の痩せ方あるいは魚体成分と海水馴致能力の間には何らかの関係が有るのではないかとと思われる。

10 日毎のサンプリング時には両区共全数を取上げて計数したが、油無添加区の魚は不活発で簡単に捕まえることが出来たのに対し、添加区の魚は活発に逃げ回るので捕まえ難く、明らかに活力が違っていた。但し、この現象が明確に認められたのは飼育 20 日目位までで、その後両区の違いは少なくなり、終了時には殆ど同じ様な状態になっていた。

### 2-2. 体重, 尾叉長, 肥満度

魚体測定の結果を表 12 と図 17, 18 に示す。

表 12 海中飼育時の魚体測定結果

月日	4 月 10 日	4 月 20 日	4 月 30 日	5 月 10 日	5 月 25 日
A 区					
体重 (g)	0.88	0.90	1.06	1.21	1.30
尾叉長 (cm)	5.14	5.21	5.32	5.49	5.67
肥満度	6.31	6.29	6.89	7.19	7.01
B 区					
体重 (g)	0.95	1.03	1.21	1.35	1.48
尾叉長 (cm)	5.22	5.35	5.41	5.66	5.90
肥満度	6.55	6.64	7.49	7.36	7.11

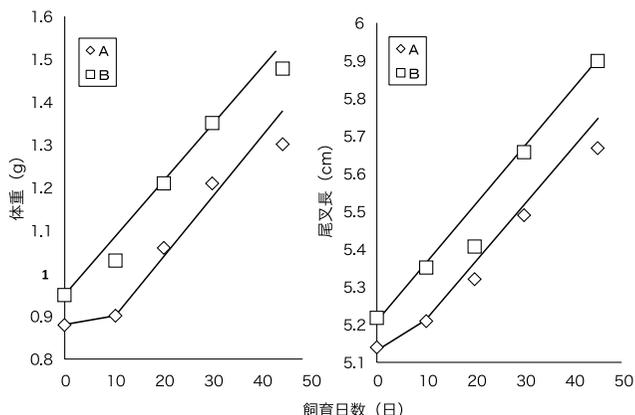


図 17 海中飼育時の体重と尾叉長の変化

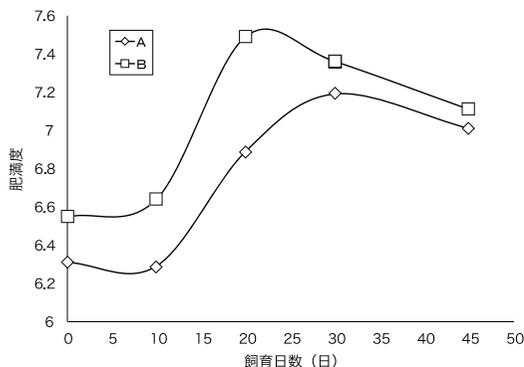


図 18 海中飼育時の肥満度変化

但し、油無添加区は生残率が低く、終了時に100尾残っていなかったため、終了時の値は65尾で測定した結果である。

給餌を行わなかったにも拘らず両区共魚は成長していた。無給餌でもある程度魚の成長を維持出来るだけの量の餌が海水中に存在していたことが分かる。但し、存在する生物餌料の種類と量は場所と時季によって大きく変化すると思われるので、何時でもこの様な結果が得られるとは限らない。やはり事業としての海中飼育では毎日飼料を与えるべきであると考え。

油無添加区と添加区の違いは無添加区で最初の10日間の体重と尾叉長の伸びが小さかったことで、それ以降両区共略同じ傾きで成長していた。油無添加区が絶食による衰弱から回復するのに添加区よりやや時間を要したことが分かる。肥満度は最初の10日間は大きな変化が無かったが、油添加区では10日から20日の間に急激に大きくなり、その後減少していた。無添加区では10日から30日の間に大きくなり、その後減少傾向であった。両区の肥満度の違いは飼育20日目までは拡大

していたが、その後小さくなっていった。肥満度増加時と減少時の線の傾きは油添加区の方が大きく、このまま飼育を継続していれば60日目には両区略同じ値を示す様になったのではないかと推測出来る。両区共生簀が設置された場所に存在した同じ餌を同じ量食べていたものと思われるので、その餌を食べることによって得られる肥満度に次第に収束していくのであろう。

肥満度が減少に転じるのに油添加区と無添加区では10日間の違いがあったが、これは飼育20日目の油添加区の体重と同じ体重に無添加区がなるのに10日遅れている(図17左)ことと関係しているものと思われる。体重は1.2gであったが、この時の肥満度を維持する為には餌の脂質、云いかえるとエネルギー含量が不足していた為に肥満度が次第に小さくなり、減少の傾きは魚が大きい油添加区の方がより大きかったのであろう。

### 2-3. 魚体成分

魚体成分の分析結果を表13、14に示す。油添加区の水分は飼育期間を通じて変化無く、タンパク質は飼育20日目から30日にかけて増加し(図19)、逆に脂質は開始時から終了時まで次第に減少していた(図20)。エネルギー含量は脂質とタンパク質の変化を反映し、開始時から20日目にかけて直線的に減少し、それ以降

表 13 海中飼育時の魚体成分変化 (A区)

月日	4月10日	4月20日	4月30日	5月10日	5月25日
<b>湿物</b>					
水分 (%)	82.8	82.8	82.8	81.1	81.9
タンパク質	14.4	14.3	14.1	15.0	15.0
脂質	1.2	1.3	1.4	1.7	1.3
灰分	2.2	2.4	2.3	2.3	2.4
炭水化物	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cal/100g	68	69	69	75	72
<b>乾物</b>					
タンパク質(%乾物)	83.7	83.1	82.0	79.4	82.9
脂質	6.98	7.56	8.14	8.99	7.18
灰分	12.8	14.0	13.4	12.2	13.3
炭水化物	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cal/100g	395	401	401	397	398

略同じ値を示していた。油無添加区で開始時に高かった水分は20日から30日にかけて減少し、それ以降略同じ値を示した。逆にタンパク質は20日から30日にかけて増加した。脂質は飼育

期間を通じてそれ程大きな変化は無く、エネルギー含量は飼育期間を通じて少しずつ高い値を示す様になっていた。水分と脂質含量は30日、タンパク質とエネルギー含量は45日で両区の

表 14 海中飼育時の魚体成分変化 (B区)

月日	4月10日	4月20日	4月30日	5月10日	5月25日
<b>湿物</b>					
水分 (%)	81.7	81.6	82.0	80.6	81.7
タンパク質	14.6	14.9	14.6	15.6	15.3
脂質	2.3	1.8	1.6	1.7	1.2
灰分	2.2	2.4	2.1	2.3	2.4
炭水化物	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cal/100g	79	76	73	78	72
<b>乾物</b>					
タンパク質(%乾物)	79.8	81.0	81.1	80.4	83.6
脂質	12.6	9.78	8.89	8.76	6.56
灰分	12.0	13.0	11.7	11.9	13.1
炭水化物	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cal/100g	432	413	406	402	393

違いは小さくなっていた。肥満度の変化と同じで、生簀が設置された場所で食べることが出来る餌で得られる体成分組成に収束していく結果であろう。肥満度、体成分組成共に安定するまでには45-60日程要する様である。

今回の海中飼育中に魚がどのような餌を食べていたかは未だ解析出来てい

ないが、比較的脂質含量が少ない餌を食べていたのではないかと推測出来る。海中飼育する時に存在する餌の量と成分によって魚体成分は今回の結果と大きく異なる可能性が有る。事業として海中飼育を行う場合にも、その海域に存在する餌の種類と量および成分組成を調べておけば効率良く配合飼料を利用出来るし、魚が生簀から放流された後天然餌料に適応するのも有利であろう。

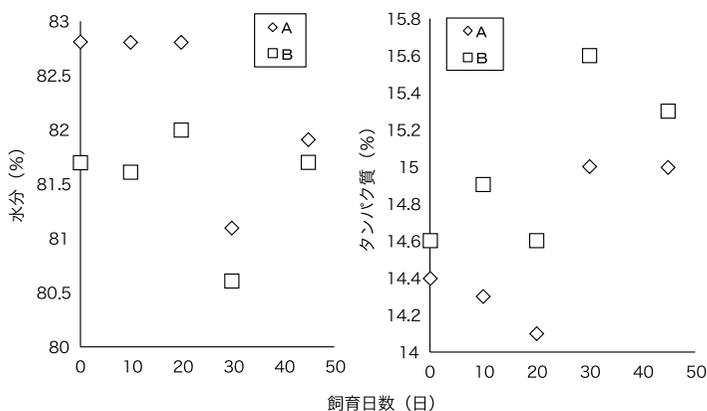


図 19 海中飼育時の魚体水分とタンパク質含量の変化

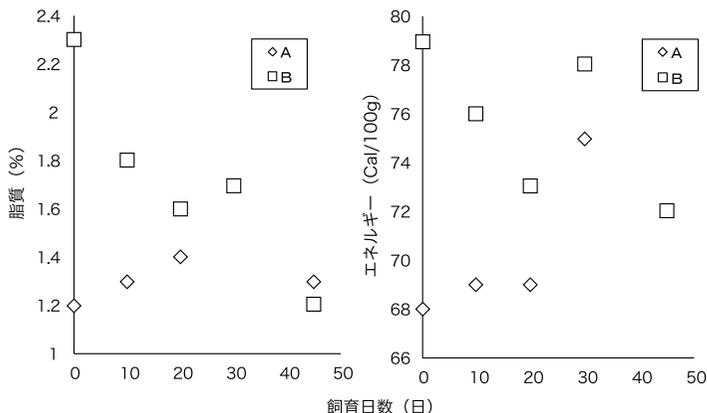


図 20 海中飼育時の魚体脂質とエネルギー含量の変化

### 3. 要約

・油添加飼料で飼育された魚の方が海中飼育での生残率が高かった。

・数日間しか餌止めされていない魚は直ちに海水に馴致出来るのに対し、12日間絶食させた魚は馴致に20日間程度必要で

あった。魚の栄養状態によって海水に馴致するのに要する期間が変化する可能性がある。

・無給餌で海中飼育を行うと、その海域に存在する餌の種類と量および成分組成によって決められる肥満度と魚体成分へと次第に収束していく。

・海中飼育を行う海域の餌の種類と量および成分組成を明らかにしておけば効率の良い海中飼育を行える可能性が有る。また、海中飼育に用いるべき飼料の組成も有る程度推測出来る。

### 考察

今回の飼育試験、絶食試験および回復試験で以下の結果が得られた。

・シロザケ飼料に魚油を添加した区の方が成長、飼料効率、タンパク質効率共に良い。

・油添加飼料で飼育した魚は脂質含量が多く、エネルギーの蓄積量も多い。エネルギーの蓄積量が多い魚の方が絶食に強く、生残率も高い。

・絶食時のエネルギー源として初期には主として魚体の脂質が用いられ、脂質が限界近くまで減少した後タンパク質が用いられるようになる。有る程度以上タンパク質がエネルギー源として消費される割合が高くなると魚は死亡する。

・絶食後の再給餌による回復は油添加区の方が早い。

これらの結果は従来の試験結果と良く一致しており、既に色々と考察を加えているので、ここでは改めて説明しない。

以下、海中飼育の結果について多少考察を行う。

これまでシロザケ幼魚は1週間も有れば十分に海水に馴致出来ると云われてきたが、今回の試験で魚の栄養状態によって馴致出来るまでに可也の期間を要する可能性が有ることが明らかになった。夫々の河川で餌の状態が異なることから、各河川に放流する魚をどの様な栄養状態にしておけば良いかと云うことや、海中飼育用の飼料をどの様な栄養成分にすれば良いとか、海中飼育の期間をどの程度にすれば良いか等の多くの問題に影響を及ぼす重要なことではないかと思われる。今後魚の体成分組成と海水馴致能力の関係を明らかにしておく必要が有る。これが明らかになれば河川への放流や海中飼育がより効率良く行えるようになり、より一層魚の生残率を高め、成長を促進することが出来るようになるのではないかと考える。

海中飼育の作業は淡水で一定の大きさになるまで飼育された魚を河川中での減耗を減らす為に海に運び、自然環境や生物餌料に慣らすのを目的として一定期間海水中で飼育すると言う作業である。この作業を合理的に行うことによって放流時の魚の体力も高まり、自然環境への適応力が強くなって生残率も高くなる可能性が有る。この様に海中飼育の作業はシロザケの回帰率を高める為には極めて重要な作業であろうと推測する。

### 謝辞

本試験で海水温の測定で宮川一男氏と大橋寿教氏に、魚体測定結果の取りまとめで阿部信行氏に協力頂いた。記して感謝の意を表します。

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

- 1) 酒本秀一, 大橋勝彦:シロザケ飼料の魚油添加効果-1. *New Food Industry*, **54** (3) 49-58 (2012)
- 2) 酒本秀一, 大橋勝彦:シロザケ飼料の魚油添加効果-2. *New Food Industry*, **54** (4) 28-38 (2012)
- 3) 酒本秀一, 大橋勝彦:シロザケ飼料の魚油添加効果-3. *New Food Industry*, **54** (5) 41-49 (2012)
- 4) 大橋勝彦, 酒本秀一:シロザケ用飼料の油脂源. *New Food Industry*, **55** (1) 53-68 (2013)

# “地域密着でキラリと光る企業”

## 仙台名産、笹かまぼこを育てた 『株式会社 阿部蒲鉾店』

田形 暁作\*

\*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

Key Words : 笹かまぼこ・宮城県の特産品・伝統食品・自然食品・製造機械の開発・伊達政宗公

### はじめに

『阿部蒲鉾店』は昭和10年(1935年)、仙台の新伝馬町で産声をあげた。創業からまもなく80年になる。『阿部蒲鉾店』は伊達の国、仙台・宮城とともに歩んできた。藩政時代からの歴史を礎に、宮城の豊饒を素材に、仙台の発展に歩調をあわせながら歩んできた。創業以来、原料を厳選し、心を込めてつくり、誠意をもって販売するという信条のもと、ただひたすらお客様に美味しいと喜んでいただけるかまぼこ造りに励んできた。そして今日「木の葉かまぼこ」「ベロかまぼこ」といったいろいろな名称のなかから、創業者阿部秀雄氏が名付けた「仙台名産・笹かまぼこ」は仙台の代表的な名産として広く全国に知られるようになった。

### 1. 阿部蒲鉾店創業者が『阿部蒲鉾店』開店から50年のあゆみ～「笹の譜」より～

#### 1) 阿部蒲鉾店創業者が『阿部蒲鉾店』開店まで

阿部蒲鉾の創業者である阿部秀雄氏は明治37年12月25日、宮城県牡鹿郡渡波町に生まれた。以来、その町で育った。この町の人たちは夏は塩田、冬はカキやノリの養殖で生計を立てていた。ここには県内最大の潟があり、昔か

らカキやノリの浅海養殖漁業が盛んであった。また、アサリなどの潮干狩り、アイナメ、ハモ、ハゼなどもたくさん取れた。地元の小学校、尋常高等科を卒業後、家業の塩田とカキやノリの養殖を手伝っていたが、将来の道は自分で切り開く強い想いから大正10年に仙台へ出た。上仙した秀雄が門をたたいたのが「矢の目蒲鉾」であった。ここで作っていたかまぼこは、祝儀用のかまぼこの他には、板かまぼこ、カステラかまぼこ、なると巻などが主で、その多くは料理屋、すし屋、そば屋などへ業務用として卸していた。現在、仙台名産として全国に名を知られた笹かまぼこは、当時はその形状から「手のひらかまぼこ」「木の葉かまぼこ」などと呼ばれて、ほんの手なぐさみにつくったもので、生産量も少なく、魚が余ったら造るという程度のものであった。当時、店で使っていた原料魚の多くは、塩釜や閑上からの物が主で、肴町にあった魚市場から仕入れていたが、生きも良く、種類も豊富だった。2年間の矢の目蒲鉾店での修行の後、いったん石巻に帰り、同地の毛塚蒲鉾店を新たな修行の場を選んだ。当時の石巻は北上川流域の米作を背景にして、仙台よりも、すべての面で派手で活気のある町であった。それだけに浮き沈みも激しく、隆盛を誇った財閥が、うたかたのように消えていくのをまのあたりに

見たりもした。元来、石巻は蒲鉾の本場であり、とくに竹輪蒲鉾の生産量は全国でも有数であった。それだけに同地でのかまぼこ修業は得るものが大きく、将来独立し、自分の店を持つという夢が大きくふくらんできた。しかし、石巻でのいくつかの店の盛衰を見た秀雄は、将来の夢の実現を仙台で果たそうと、再度上仙し、古巣の矢の目蒲鉾店へ今度は職人として戻った。当時、仙台には、渡波を引き払った両親と弟が河原町に住んでいて、何かと好都合であった。一人前の職人として自信がついた秀雄が所帯を持ったのが、昭和5年5月5日であった。秀雄夫婦は両親と同居し、そこから店に通った。

### 2) 『阿部蒲鉾店』新伝馬町に開店

仙台の矢の目丈助氏、石巻の毛塚吉之助氏と当時かまぼこ造りの名人と言われた両師匠のもとで修行すること十数年、秀雄の生来の堅実さと人一倍強い探究心、そして誠心誠意、骨身を惜しまぬ仕事ぶりに、同僚はもちろんのこと、師匠でさえ一目置くほどであった。当然のように技術も上達して、それがまた自身にもつながった。このようにしてかまぼこ造りの秘伝を体得した秀雄は、生涯の内でも忘れ得ぬ年を迎えた。昭和10年10月10日、仙台市新伝馬町43番地・東2番町角に自分の店を構え、のれんをあげた。蒲鉾専門店『阿部蒲鉾店』の誕生である。矢の目蒲鉾店の主人にも相談し、快諾を得て、円満に退職しての独立である。新店舗は、お菓子屋の日進堂、洋服の高清と並び、角から3軒目の地の利の良いところである。ともかく新店舗の地の利は悪くない。しかしここ新伝馬町を選ぶについては、もっと別の配慮があった。自分の店は主家の矢の目蒲鉾店から距離を置いた所に開店した。それは、矢の目蒲鉾店のお得意様を減らさない配慮からである。

### 3) 仙台名産「笹かまぼこ」誕生

この当時の蒲鉾生産の全国的な趨勢はどうであったか。農林統計によると、昭和5年から阿

部かまぼこ誕生をはさんで、昭和12年までの8年間の年平均の水産練製品の生産は約2,000万貫(70,800トン)で、当時の金で約3,000万円。総食用製品の15.7%を占めていた。そのうち、蒲鉾生産高では、宮城県が断然首位で339万貫(12,710トン)で全国の15.4%を占め、269万円の売り上げであった。2位は山口県の206万貫(7,725トン)、3位は北海道の158万貫(5,925トン)、以下、福岡、愛媛、愛知、京都、東京、青森と続いていた。

各種蒲鉾のうち竹輪では北海道がトップで、全国生産の約56%を占め、青森が18%、宮城が13%と続いていた。13%の内訳は塩釜が6.9%、石巻3.6%、渡波が1.6%、竹輪の発祥の地と言われた気仙沼が0.9%であった。阿部蒲鉾店開店当時、市内の同業者の主な製品は、婚礼の御引き出物などの祝儀用のかまぼこや料理店などへ卸す種のものであって、笹かまぼこはあくまで二次的なものであった。それだけにまだ一般の消費者とのつながりも薄かった。

阿部蒲鉾店では開店当時から笹かまぼこに主力をおいた。祝儀用のかまぼこもつくったが、それは修行先だった矢の目蒲鉾店でもつくっているし、竹輪などの種ものでもまた商売がぶつかる。多少の競合はやむを得ないとしても、できるだけ先輩、師匠の恩義に報いるためにも阿部蒲鉾店は独自のオリジナル商品の開発をはかり競合を避けようとした。こうして生まれたのが、仙台名産・阿部の笹かまぼこであった。今でこそ、仙台名産・笹かまぼことして販売されている商品は数多くあるが、この名称の統一と、全国にその名を知らしめた功績は、創業社長の阿部秀雄氏の力に負うところが大きかった。ご



承知のように「笹」は伊達藩ゆかりの「竹に雀」となじみが深い。

#### 4) 市内同業者の中でも 1.2 を争う商店へと 発展

当初製造していたかまぼこは、主力の笹かまぼこの他に、板付けかまぼこ、花竹輪、なると巻、伊達巻、カステラかまぼこ、はんぺんなど、蒸しもの、揚げもの、焼きものなど、一通り造っていたが、笹かまぼこの評判はもちろんのこと、カステラかまぼこの評判も良かった。ちなみに、新聞紙上で広告宣伝したのも阿部かまぼこが最初であったというが、仙台名産・笹かまぼこの名が一般化し、全国的に名を馳せたことに一役買ったことはいうまでもない。

原料魚の仕入れには、創業者自ら籠を背負い、仙石線の始発に乗って塩釜まで出向いた。そのころ、塩釜あたりは魚が一番とれたというが、直接塩釜に出向いての仕入れは地元で買うより10円くらい安く買えたという。当座の売り上げ目標が1日45円とすれば、馬鹿にならない金額である。店が繁昌するようになり、人手も足りなくなってきたが、作業のほとんどは依然として手作業のままで、使っていた機械らしきものといえば、ミンチ1台とチョッパーという肉挽き器が1台だけで、開店して2～3年後に中古の魚肉採取器を購入した程度であった。好不況にかかわらず、上質のかまぼこ造りをと心掛けているうちに、気がついたら、市内同業者の中でも、1、2番の売り上げを上げるまでに成長していた。開店してわずか5、6年のことである。

#### 5) 仙台空襲にて店舗家屋焼失後、いち早い 復興・営業再開

昭和20年7月10日、仙台の中心街はB29の襲来で焦土と化し、阿部蒲鉾店も、店舗家屋とも全焼、前途には暗いものがただよっていたかに見えた。ところが、阿部蒲鉾店の再建は早かった。終戦の年の暮れには仮設の工場・店舗

を建て、営業を再開していた。丁度その頃、親しい人の紹介で古材を手に入れることが出来た。その古材は合掌造りの倉庫を解体したもので、工場を建てるのにはもってこいの堅固な角材ばかりであった。早速、建築に取りかかり、間口6間、広さ24坪の店舗兼工場をつくることが出来た。

かくして、昭和21年4月、阿部蒲鉾店は正式に営業を再開した。原料魚がなかなか手に入らない状況のなかで、昭和21年4月、仙台蒲鉾同業組合が設立され、阿部蒲鉾店の創業者が、その理事長に選ばれた。そして翌年には宮城県蒲鉾工業組合連合会の専務理事に推された。当時の難問題である原料魚や副資材の公平な配給割当業務に腐心した。原料魚や副資材が不足し、かまぼこが十分できない状況であったため、開店するとかまぼこはすぐ売れた。また、かまぼこを焼く炭火も不足していた。

創業者は炭火にかわって、電熱を利用することを思いついた。これが「自動笹焼機」の開発・完成につながるものである。当時、電機は余剰気味で、電力会社でも電力の利用を呼びかけていた矢先でもあり、熱源を炭火から、電熱利用に切り替えることはその要望に沿うことにもなる。阿部蒲鉾店では、鉄工所などの協力を得て、創業者の苦心作、自動笹焼機を昭和23年6月に世に出した。

現在広く使われている焼炉の原型が、この時に開発されたのである。その他、自動串ざし装置や自動串掃除機など多くの機械の発明をした。しかし、機械は日進月歩するし、多くの会社が真似て使えば良いという考えから特許は出さなかった。

#### 6) 株式会社に改組、近代企業の仲間入り

昭和24年、阿部蒲鉾店は株式会社に变身した。組織を改め、資本金50万円の株式会社阿部蒲鉾店として、近代企業の仲間入りを果たした。

## 7) 仙台に「阿部かま」あり、全国に名声を轟かす

昭和29年2月10日、東海区水産研究所の橋本総吾博士が、天皇、皇后両陛下に「蒲鉾が日本の食生活に占める地位、栄養等について」の御進講をされた。その折、阿部蒲鉾店の笹かまぼこが献上された。昭和22年の両陛下東北御巡幸の折の献上に次いで二度目、全国から選ばれた3店のうちの1店という光栄に浴した。また、昭和34年の皇太子殿下のご成婚の折も、それを慶祝して、店格、技術ともに優秀な蒲鉾店から献上されたが、阿部蒲鉾店はその榮譽に浴し、笹かまぼこを献上した。

昭和29年、福岡で開かれた「第7回全国蒲鉾品評会」において、阿部蒲鉾店の製品が初の農林大臣賞受賞という榮譽に輝いた。この品評会は、昭和22年、東京において第1回大会が開かれ、日本独自の蒲鉾技術の粋を披露したのがはじまりである。この品評会の優秀出品物に与えられるのが農林大臣賞である。

## 8) 阿部かまぼこセンター建設と拡張

昭和30年代に入り、わが国は高度成長期を迎えた。神武景気、岩戸景気、オリンピック景気、いざなぎ景気などと呼ばれた好況期が、昭和46年のドル・ショックまで続くが、この間、わが国は有数の経済大国に成長した。このような好況を反映してか、阿部蒲鉾店も順調な発展をみせていた。そして、昭和39年、この高度成長期の真只中、新工場の建設に着手することになる。

理想的な工場、衛生的な食品工場とは何か。食品衛生の立場からみれば、食品工場は食品衛生の道場である。食品をつくる側にとってはまさに神聖な道場である。不衛生はご法度である。このような観点に立って、これまでに例を見ない理想的な新工場の青写真がつけられた。

建設場所は、杜の都の中心地「芭蕉の辻」の一角である。昭和39年12月、第一期工事とし

て180坪の本社および工場を含む「阿部かまぼこセンター」の完成を見た。工業用水としての地下水に恵まれ、新型機械の導入によって近代的な工場に変身した。建設後は同業者はもちろんのこと、一般の見学者のために門戸を開き、衛生相談に応じ、また、市内観光ルートにも組み込まれ、笹かまぼこの宣伝はもとより、食品衛生思想の普及と向上に果たした役割は大きいものがあった。

阿部かまぼこセンターは、二期工事、三期工事を経て拡張され、その後、500坪(1650平方メートル)3階建ての東北一のモデル工場になった。昭和55年には地下1階、地上6階の東館の新築と並行して、工場内の改装工事が行われ、原料処理部と整形部とがガラス・スクリーンで仕切られた。これにより、工場見学がこれまでより容易になった。このように、工場の新築、増築に並行して新型の機械の導入をはかり、生産の合理化とともに生産体制を充実していった。

## 9) 販売網の拡大多店舗化時代の幕開け

生産体制の充実ともなう、販売網の拡張が行われ、阿部かまぼこセンター建設後の昭和40年代に入ってから、年を追うごとに多店舗化の傾向が顕著になった。昭和39年のセンター完成以前の店舗は新伝馬町の中央店以外には、一番町ののれん街店(34年)、藤崎店(38年)と東京・高島屋店(39年)の3店のみであった。

センター完成にともなう工場売店の開設以後、昭和40年代に12店舗、昭和50年代に23店舗の開設をみる。多店舗化の分布は、市の中心部からやや周辺部、そして更に遠隔地へと3段階に大きく分けられる。阿部蒲鉾店は地場産業としての特殊性を堅持し、あくまで仙台市を中心に、市民の店として発展していくことを社是としている。そのため店舗開設も、仙台市内が中心であり、東京や盛岡など県外の店舗は、アンテナ的役割を果たす出城のようなものである。また、デパート内の出店も10店を越して

いるが、普通、デパート内の蒲鉾売り場は、総菜売り場や鮮魚売り場に併設もしくは隣接しているのが普通であるが、仙台の場合は、名産品売り場や名店街に配置されている。これは阿部蒲鉾店の努力の賜であろう。いわば、名産品、贈答品としての「市民権」を獲得しているわけで、こんなところにもかまぼこにかける意気込みが感じられる。

## 2. 会社概要

商号は『株式会社阿部蒲鉾店』である。本社は宮城県仙台市青葉区中央2丁目3番18号、工場は宮城県仙台市泉区明通4丁目10番地である。営業品目は蒲鉾の製造販売。資本金は7450万円。従業員数は313名(内パート153名)である。※2012年8月1日現在。

## 3. 経理理念

- 一、仙台名産笹かまぼこの老舗 NO.1 として永年培われた信用と技術に恥じないよう努力と研鑽に励む。
- 一、常にお客様の要望を先取りし、健康食品として美味しい蒲鉾造りを行なう。
- 一、お客様の目線で行動し、ご満足いただける最高のサービスをご提供する。  
よって、日本の食文化の発展に寄与し活力ある社風で社員の幸福と企業の繁栄を願う。

## 4. 食品安全指針

- 1. 当社は、常にお客様の要望を先取りし健康食品として美味しい蒲鉾造りとお客様に満足いただけるサービスを提供します。そして社会と日本の食文化の発展に貢献するため、食品の安全確保を第一として、従業員はもとより関係者にこの方針を周知しま

- す。
- 2. 当社は、食品の安全をベースに”あべかまぼこ”のブランドを構築し、100年企業をめざします。
- 3. 当社は、第一に総合衛生管理製造過程、法令の遵守、に取り組みます。第二にISO22000:2005を発展させ、食品の安全を確保するマネジメントを実施します。第三にブランドの構築やお客様満足を高めることを目的に、よりよいマネジメントづくりを行います。
- 4. 当社は食品安全マネジメントシステムに係る外部・内部コミュニケーションを構築し、食品安全マネジメントシステムの目的に合った経営改善活動を行います。
- 5. 以上にもとづき必要な組織を作り、また、資源を使用して食品の安全を達成します。

## 5. 会社の沿革

1935年10月	仙台市新伝馬町43番地にて阿部蒲鉾開業 蒲鉾製造及び販売業を営む 初代社長 阿部 秀雄
1954年7月	皇室献上
1964年12月	仙台市大町3丁目160番地に工場「阿部蒲鉾センター」を建設、製造部を移転し生産の拡充を図る
1973年9月	中央通りに阿部蒲鉾店「中央店」落成
1986年10月	仙台市泉区(旧泉市)に新工場落成
1997年12月	新工場隣接地に「受注センター」完成
2001年11月	健康志向を更にすすめ全商品の脱合成保存料化に成功
2005年10月	第58回全国蒲鉾品評会において、最高の「農林水産大臣賞」を「笹かまぼこ」で受賞
 <p>平成19年度 第29回食品産業優良企業等表彰 農林水産大臣賞受賞</p>	

2005年11月	厚生労働大臣による「HACCP（ハサップ）」の認証を受ける  
2006年8月	仙台市独自の認証制度「仙台HACCP」の認証を受ける
2006年10月	第59回全国蒲鉾品評会において、「栄誉大賞」を「笹かまぼこ」で受賞
2007年9月	第60回全国蒲鉾品評会において、「栄誉大賞」を「笹かまぼこ」で受賞
2007年12月	第29回食品産業優良企業等表彰において、「農林水産大臣賞」を受賞
2008年6月	本社 中央二丁目に移転
2013年3月	食品マネジメントシステム「ISO 22000:2005」の認証をうける 【ISO 22000:2005】 を取得

## 6. 笹かまの由来

### 1) かまぼこの始まり

周囲を海に囲まれた日本は、いわば魚の国。北から南まで、四季折々豊富な魚がとれ、食卓を賑わせてきた。でも、冷凍保存などの技術がなかった昔は、大漁の時、どのように保存するかが大きな問題であった。さまざまな知恵のひとつとして登場したのが、かまぼこであった。魚肉に調味料を加えて練り、焼いたり蒸したりしたものがいつの頃から始められたかは不明であるが、平安時代末には「蒲鉾」という文字が登場している。初めは、白身の魚をすり身にし、細かい竹に塗り付けて焼いたのがガマ（蒲）の穂や鉾に似ているので、蒲鉾だったといわれている。



### 2) その土地ならではのかまぼこ

かまぼこは、日本人が発明した独特の食品として世界に誇れるものである。初期の竹輪風かまぼこに次いで、板かまぼこ、細工かまぼこなども作られ、現在では全国各地で、港々の魚を使った独自のかまぼこが多種多彩につくられている。有名などころでは小田原の板かまぼこ、仙台の笹かまぼこ、富山の昆布巻、山口の仙崎かまぼこ、鳥根の野焼きかまぼこ、愛知のすまき、徳島の阿波ちくわ、鹿児島島の薩摩揚げなどがあげられる。その土地ならではの格別のおいしさが魅力である。

### 3) 笹かまの由来と阿部かま

三陸沖に一大漁場を持つ仙台は、古くから鯛やひらめや鮭が豊富にとれた。明治の初め、ひらめの大漁が続き、その利用と保存のため、すり身にして手の平でたたき、笹の葉の形に焼いたのが、笹かまぼこのルーツといわれている。以来、仙台周辺には、自家製かまぼこを売る魚屋があちこちで見られた。朝早く仕入れた白身の魚を三枚におろし、包丁でたたいて塩や酒、卵白などで味付けし、炭火でこんがり焼いた笹かまぼこ。夕方ともなれば、その焼きたてのいい匂いが街に漂っていたものであった。

さて、その名称の由来は、その形状が笹の葉に似ているところからきたもの。竹や笹は古来より生々発展のイメージを持ち、瑞々しくゆかしいものとして、昔から愛されてきた。その他、「ペロかまぼこ」「木の葉かまぼこ」「手の平かまぼこ」などと呼ばれたこともある。昭和の初め、新伝馬町角に、焼きたての笹かまぼこで人気を得ている店があった。

これが、「阿部蒲鉾店」のルーツである。「阿部かま」の変わらぬモットーは、「お客様に信頼される」という姿勢。最良の味を安心して召し上がっていただくため、手造りの伝統と近代的設備を組み合わせ、万全の品質管理をしている。

## 7. 笹かまぼこができるまで

### 1) 魚の身おろし・水さらし

ベテランの職人が、魚の身をていねいにとる。きれいな水にさらして脂分や不純物を取り除いた後、絞って水気を抜き取る。



### 2. 練り合わせ

塩や調味料などをに入れて練合わせ、ねばりとうまみを引き出す。



### 3. 笹形成

笹かまぼこ独特の笹の葉の形に整える。



### 4. 焼き上げ

香ばしい焼き色がつくまで、じっくり焼き上げる。



## 5. 包装

クリーンルームで1枚1枚パッケージに包む。



## 6. 箱詰め

きれいに箱詰めされ、全国のお客様の手元に配送される。



## 7. 配送

阿部かまの配送トラックで各店舗は運ばれていく。



## 8. 商品紹介

### ■笹かまぼこ「千代（せんだい）」

阿部かま定番笹かまぼこ。「千代」と書いて、読み方は「せんだい」。仙台にある老舗の笹かまぼこらしく、「千代」の商品題字は伊達政宗公の直筆。伊達政宗公が仙台に青葉城を築く際、仙台の永遠の繁栄を願って詠んだ和歌、そこにしたためられたものをうつしています。『入そめて国ゆたかなる



みぎりとかぎら  
じせんだいのまつ』仙台  
市博物館蔵伊達政宗和歌  
詠草「入そめて」より食  
べればわかる『魚の風味  
がきている』。丁寧につ  
くっているから、『先  
味しっかり、後味すつき



り』。その伝統の味は、香ばしく、ふんわりソ  
フトな食感。スケトウ、いとより、吉次などの  
原料を、伝統の風味を生かした味付けで、じっ  
くりと焼き上げた阿部かま定番笹かまぼこ。  
2012年、2013年と2年連続で、農林水産省後  
援の全国蒲鉾品評会にて「栄誉大賞」を受賞。(1  
枚 150円)

■笹かまぼこ「厚焼笹(あつやきささ)」

2009年全国蒲鉾品  
評会にて、「栄誉大賞」  
受賞。魚本来の「旨み」  
を職人の技で引き出し  
て、「弾力」「香り」を  
堪能できる上質な笹か



まぼこ。代々受け継がれる秘伝の製法で造り上  
げた逸品。ぐち、吉次、真鯛などの高級魚を吟  
味し、三温糖、清酒などで味付け。(1枚 220円)

■笹かまぼこ「笹だより」

カラフルなパッケージが人気の、かわいいミ  
ニ笹かまぼこ。柔らかい食感と優しい味わい。  
具材は、【えび】、【しそ】、【チーズ】の3種類。  
(1枚 110円)



9. かまぼこの地域別支出金額(家計調査年  
報平成24年2012年)

蒲鉾の地方別、都道府県庁所在市別1世帯当  
たり年間支出金額(二人以上世帯)を表に示す。  
ここでいうかまぼこは・魚肉のすり身を蒸す  
などしたもの、・チーズなどが混入したもの、  
板かまぼこ、焼きかまぼこ、簀巻き、笹かまぼ  
こ、かにかまぼこである。

表1 かまぼこの地方別年間支出金額  
(二人以上世帯)

地 方	年間支出金額(円)
全 国	3,101
北海道	2,996
東 北	5,370
関 東	2,680
北 陸	5,007
東 海	2,758
近 畿	2,923
中 国	3,292
四 国	3,589
九 州	2,837
沖 縄	2,283

表1の年間支出金額は東北地方の支出金額が  
多く、全国平均のほぼ2倍である。次に、都道  
府県庁所在市で支出金額の多いベスト10を  
表2に示した。

表2 かまぼこの都道府県庁所在市で支出金額  
(二人以上世帯)の多いベスト10

地 方	年間支出金額(円)
1位 仙 台 市	13,605
2位 長 崎 市	6,876
3位 富 山 市	6,080
4位 松 江 市	5,295
5位 山 口 市	5,054
6位 高 知 市	4,499
7位 和 歌 山 市	4,258
8位 山 形 市	4,182
9位 札 幌 市	3,884
10位 秋 田 市	3,362

表2から明らかなように、仙台市が1位であ  
り年間支出金額は13,605円支出している。そ  
の支出金額は2位の長崎市のほぼ2倍である。

### おわりに

株式会社阿部蒲鉾店の創業者阿部秀雄氏が仙台市内の一等地に販売店と工場を完成させたのが昭和55年（1980年）である。これを契機に仙台市内を中心に販売店を拡大していった。あくまで、仙台名産・笹かまぼこであるので仙台のお客様中心に展開した。多くの蒲鉾屋さんが笹かまぼこを製造・販売しておられるが、ルーツは阿部蒲鉾店である。商品は笹かまぼこ千代

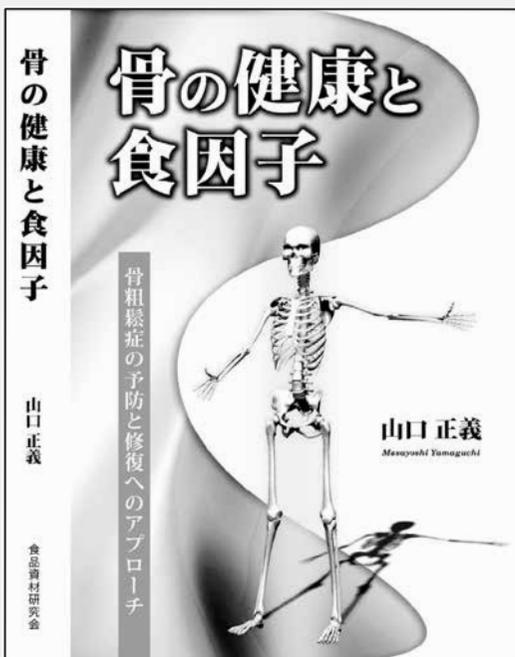
（せんだい）を主力商品とし、新商品を開発しておられる。仙台市は1世帯当たりのかまぼこ支出金額は全国1位である。これも、阿部蒲鉾店が開発した設備技術の特許化することなく、オープンにし、他の笹かまぼこ店も使えるようにした結果、おいしい笹かまぼこを多くのメーカーが製造・販売することが出来たことに起因すると考える。今後も仙台名産・笹かまぼこのブランドを全国に広めて載きたい。

### [ 参考資料 ]

- 1) 笹の譜 ●阿部かま 50年のあゆみ 昭和60年10月10日発行 発行；株式会社阿部蒲鉾店 制作；株式会社創童舎
- 2) 阿部蒲鉾店ホームページ 平成8年12月20日発行
- 3) かまぼこ大国みやぎ
- 4) Wikipedia 笹かまぼこ
- 5) 家計調査年報 平成24年度 2012年（品目分類） 都市階級・地方・都道府県庁所在市別1世帯当たり年間の品目別支出金額，購入数量（二入以上の世帯）

骨代謝研究の第一人者の渾身の一冊

好評発売中



国内はもちろん海外からも高い評価を受け、数多く賞を受け、国際人名録に登録されてきた著者が、長年研究を続けてきた骨粗鬆症の予防と修復における食因子の役割についてまとめあげた、食品研究における貴重な一冊

骨粗鬆症の予防と修復へのアプローチ

骨の健康と食因子

■A5版／000ページ ■定価：(本体3,000円＋税)  
 ■発行：食品資材研究会

- 生体機能はホルモン（内分泌因子）によってダイナミックに調節されている
- カルシウム代謝および骨代謝のホルモン調節のしくみ
- 骨代謝調節機能を発揮して、骨粗鬆症の予防と修復に役立つ食因子の知見とその周辺

亜鉛、大豆成分イソフラボンのゲニステイン、納豆に高濃度に存在しているビタミン K2（メナキノーン-7）、温州ミカンに高濃度に含有されているβ-クリプトキサンチン、植物成分の各種フラボノイドおよびカロテンの中で p-ヒドロキシケイ皮酸、アカモクの成分、ワサビの葉柄成分、ミツバチ花粉など。

■著者／山口 正義（やまぐち まさよし）

◆薬学博士。米国エモリー大学医学部内分泌代謝学部門客員教授（任用）。静岡県立静岡薬科大学助手、講師、静岡県立大学薬学部講師を経て、1991年より静岡県立大学大学院生活健康科学研究科助教授、1993年から同教授。この間に、米国ペンシルベニア大学、テキサス大学およびテキサス大学の各医学部で在外研究に従事。2007年から現職。  
 ・現在、New York Academy of Sciences, American Society for Bone and Mineral Research, American Society of Biochemistry and Molecular Biology の会員、日本生化学会評議員、International Journal of Molecular Medicine, Journal of Osteoporosis など国際誌 10 誌の編集委員。

お申し込み・お問い合わせは、  
 FAX・お電話・WEBにて

電話：03-3254-9191 FAX：03-3256-9559  
<http://www.newfoodindustry.com/cheese.html>

株式会社 食品資材研究会  
 〒101-0038  
 東京都千代田区神田美倉町 10 (共同ビル新神田)

月刊 ニューフードインダストリー

# NEW FOOD INDUSTRY

定期購読の  
ご案内

月刊「ニューフードインダストリー」は創刊53年の食品業界誌です。

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

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

年間購読料：**23,760**円（送料・税込）

お申し込み・お問い合わせは下記 FAX かお電話で

電話：**03-3254-9191** 担当：村松

**FAX：03-3256-9559**

ニューフードインダストリー年間購読申込用紙

住所 〒

氏名

会社名・所属

電話

FAX

E-mail

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

## ニューフードインダストリー 第56巻 第1号

印刷 平成 25 年 12 月 25 日

発行 平成 26 年 1 月 1 日

発行人 平井 朋美

編集人

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

印刷所 モリモト印刷株式会社

定価 2,100円(本体2,000円+税)(送料100円)

email:newfood@newfoodindustry.com