第 52 巻　第 11 号（11月号）　平成22年 11月1 日発行（毎月 1 回 1 日発行）
昭和34年5 月27日　第三種郵便物認可　昭和38年12月24日　国鉄東局特別扱承認雑誌第1721号
ISSN 0547-0277

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

http://www.newfoodindustry.com
2010　Vol.52　No.11

11

論　説

■ 米加工食品に役立つタンパク質の分析技術

■ 可食天然素材を利用した遺伝子組換え技術に頼らない食品微生物の改変

■ ガゴメ含有多糖の特性を維持した食品加工技術の開発

■ DNAマイクロアレイ法を使った高麗人参（紅蔘）
摂取におけるマウス組織の遺伝子発現解析

■ －地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索－
ガマズミ果実の抗酸化成分およびヒトにおける抗酸化作用

■ 魚介類の摂取の食習慣が食物摂取状況，血清脂質，血清脂肪酸へ与える影響
－魚介類摂取の介入実験，健康教育から見えてくること－

■ 地域資源を活用した食品開発

連　載

■ 薬膳の知恵（52）

■ 築地市場魚貝辞典（サケ）

新製品のご案内　減塩食品用調味料「ソルテイスト」新発売
キリン「一杯の贅沢」シリーズに新アイテム4品が新登場

TOPICS　トレハロースに脂肪細胞の肥大化抑制効果を確認

NFI

New Food Industry
食品加工および資材の新知識

目　次

2010　Vol.52　No.11

論　説

□ 米加工食品に役立つタンパク質の分析技術
…… 斉藤　雄飛，増村　威宏　1

□ 可食天然素材を利用した遺伝子組換え技術に
頼らない食品微生物の改変
…… 井沢　真吾　9

□ ガゴメ含有多糖の特性を維持した食品加工技術の開発
…… 佐々木　茂文，鈴木　まつみ，田中　彰　17

□ DNA マイクロアレイ法を使った高麗人参（紅蔘）
摂取におけるマウス組織の遺伝子発現解析
…… サン・ファン，和田　政裕，岸　恭正，池田　恵二，渡辺　宏　25

□ –地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索–
ガマズミ果実の抗酸化成分およびヒトにおける抗酸化作用
…… 岩井　邦久　33

□ 魚介類の摂取の食習慣が食物摂取状況，血清脂質，血清脂肪酸へ与える影響
–魚介類摂取の介入実験，健康教育から見えてくること–
…… 梅村　詩子　45

□ 地域資源を活用した食品開発
…… 永島　俊夫　55

Contents

2010 年　11 月号

連　載

□ 薬膳の知恵（52）
…… 荒　勝俊　61

□ 築地市場魚貝辞典（マサバ）
…… 山田　和彦　67

新製品のご案内

■ 減塩食品用調味料「ソルテイスト」新発売
…… キリン協和フーズ株式会社　42

■ キリン「一杯の贅沢」シリーズに新アイテム 4 品が新登場
…… キリン協和フーズ株式会社　43

TOPICS

■ トレハロースに脂肪細胞の肥大化抑制効果を確認
–高脂肪・高カロリー化の進む世界のメタボ予防に新たな可能性–
…… 株式会社林原生物化学研究所　44

米加工食品に役立つタンパク質の分析技術

斉藤　雄飛 [*1]　　増村　威宏 [*2]

[*1] *SAITO Yuhi*（京都府立大学大学院生命環境科学研究科），[*2] *MASUMURA Takehiro*（京都府立大学大学院生命環境科学研究科，京都府農林水産技術センター　生物資源研究センター）

Key Words：米加工食品・米タンパク質・電気泳動・顕微鏡観察

はじめに

米は粒食に適しており，ご飯（炊飯米）として，長年日本の食卓における主食の地位を保ってきた。また，米を原料とする加工食品としては，調理米飯，玄米加工品，蒸米加工品，餅，米菓，米粉利用菓子，日本酒，米麹利用発酵食品，米糠油などが製品化されてきた。最近，日本における食糧自給率の向上を目指して，米粉をパン，麺類，洋菓子などの小麦粉代替品として加工食品へ利用することが推奨されている。しかし，米は主食としては，粒食が基本と考えられてきたため，主食相当の粉食利用に関する加工技術の開発は進んでいなかった。

一方，小麦は粒食に適さないため，異なる品種における成分組成の違いや，デンプン粒度の違いなどにより，様々な用途に合わせた小麦粉（例；強力粉，薄力粉など）が販売されている。それら小麦粉は，パン類，麺類，菓子類，スナック類などの多様な加工食品へ姿を変え，消費されている。近年の加工技術の進歩に伴い，小麦粉加工食品は高品質化すると共に，その製品内容は益々多様化している。

米をこれまで以上に高度に利用するためには，小麦における研究に学び，米におけるデンプンやタンパク質などの成分特性を詳細に研究し，米の品種の違いによりどのような加工品に適しているかということを明らかにすることが重要である。一口に米加工品といっても，製品によって要求される品質特性が異なり，加工方法が異なる。加工適性の優れた米を用途に合わせて的確に選択するためには，米の成分に関する多くの知見が必要である。

米に含まれる栄養成分のうち，デンプンに次いで多く含まれる成分がタンパク質であり，一般的な品種では米粒中の 6 ～ 8% 程度である。米タンパク質は，タンパク質の栄養価の指標であるアミノ酸スコアでみると，穀類タンパク質としてアミノ酸組成バランスが良いことが判っている。また，米タンパク質の種類と含有量は，米飯の食味と関係が深く，食味計の重要なパラメーターになっている [1)]。米飯の食味は，タンパク質含量が低いほど良いと指摘されており，栽培現場では施肥管理により米のタンパク質含量が高くならないような指導がされ，各地で良食味米の生産が行われている。

一方，タンパク質の機能に関する研究は，ダイズなどの豆類タンパク質について進んでいるが，米タンパク質の機能性に関する研究は進んでいなかった。最近，米および酒粕などの米由来成分に関するタンパク質の機能性に関する研

究が開始されている[2)]。

筆者らは，これまでに国内の農業研究機関などで育成された，様々な品種に対する米粒中のタンパク質の分析を行い，米タンパク質の特性に関する研究を進めてきた。本稿では，その中で取り組んできた米タンパク質の分析技術について，特に電気泳動分析，免疫蛍光顕微鏡観察，免疫電子顕微鏡観察から得られた知見を示すとともに，これら分析技術を用いて実施した米加工品の分析例を紹介する。

1. 電気泳動法による米タンパク質の分析

籾から籾殻を除去して得られる玄米は，イネの果実に相当する部分であり，果皮，種皮，胚（胚芽），胚乳から構成される。籾殻のすぐ内側，玄米の最外層は，表皮細胞などの数層の細胞からなる果皮で覆われ，果皮の内側には1層の種皮がある。その内側は胚乳組織であり，胚乳は糊粉層とデンプン性胚乳から構成されている。胚乳部分にはデンプン以外に，複数種類の貯蔵タンパク質が存在する。イネ種子の貯蔵タンパク質は，コムギ，トウモロコシなどの他の穀類貯蔵タンパク質（グルテニン，グリアジン，ゼインなど）と異なり，イネ固有のタンパク質名が定まっていない。その名称は，古典的な溶媒分画法の定義に従って命名されており，水溶性タンパク質はアルブミン，塩溶液可溶性タンパク質はグロブリン，アルコール可溶性タンパク質はプロラミン，希酸または希アルカリ可溶性タンパク質はグルテリンと呼ばれている。

ドデシル硫酸ナトリウムーポリアクリルアミドゲル電気泳動（SDS-PAGE）法は，簡便かつ比較的安価にタンパク質成分を分析する手法として，非常に有用であり，広く用いられている。その原理は，界面活性剤であるSDSを用いてタンパク質を処理すると，SDSがタンパク質の分子量に応じた量比（1：1.4）で結合することを利用している。タンパク質はSDS分子を構成する親水性イオンであるSO_4^{2-}基によって，タンパク質固有の電荷によらず負の電荷をもつようになる。荷電状態が一定になれば，泳動されるタンパク質は分子量の差に従って分画され，低分子量のタンパク質ほど早く移動する。SDS-PAGEの移動度を，分子量既知のタンパク質（分子サイズマーカー）と比較することで，おおよその分子量を推定することが可能である。

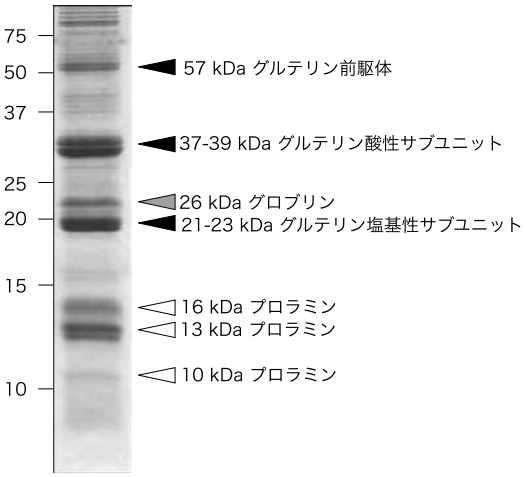


図1　米タンパク質の電気泳動像

米タンパク質のSDS-PAGE解析を行った。左側の数字は分子サイズ（kDa）を示す。右側の矢頭は，それぞれの貯蔵タンパク質を示す。

米粒からタンパク質を抽出し，SDS-PAGE法により分析すると，貯蔵タンパク質に由来する複数のバンドが観察される（図1）。米タンパク質の主成分は，貯蔵タンパク質であるグルテリンとプロラミンである。グルテリン分子種は，約57 kDaの前駆体，前駆体がプロセシングされて生じる37 ～ 39 kDaの酸性サブユニット，21 ～ 23 kDaの塩基性サブユニットから構成される。一方，プロラミンは，16, 13, 10 kDaのプロラミン分子種から構成される。その他に，26 kDaのグロブリンが存在する。米貯蔵タンパク質中のグルテリン，プロラミン，グロブリ

ンの存在割合は，品種によって異なるが，グルテリンが 60 ～ 65%，プロラミンが 20 ～ 25%，アルブミンやグロブリンが 10 ～ 15% であると推定されている [3]。

SDS-PAGE 法は，イネの変異体プールから貯蔵タンパク質組成が変化したものをスクリーニングする際にも用いられる。貯蔵タンパク質の中で，プロラミンは，人体内では消化吸収されにくく，大部分は体外へ排泄されることが明らかとなっている [4]。一方，グルテリンは，排泄物中にはみられず，易消化性であると考えられる [4]。Iida らは，ニホンマサリに化学的突然変異剤を処理して得られた変異系統の種子について SDS-PAGE 分析を行い，易消化性グルテリンの含量が低下した系統を選抜した [5]。この変異系統と，原品種であるニホンマサリを交配して得られた低グルテリン米「LGC1」およびその交配系統は，タンパク質の摂取を制限されている腎不全患者の病態食用としての利用が期待されている [6]。

2. 免疫染色法による貯蔵タンパク質の米粒内分布の視覚化

免疫染色法とは，特異抗体による抗原－抗体反応を利用して，組織標本中の特定のタンパク質を検出する手法である。免疫染色法は間接的にエピトープを検出する手法であり，現在使用されている検出法は主に 2 種類ある。

1）抗体を蛍光物質で標識し，蛍光を検出する蛍光抗体法，

2）抗体を酵素で標識し，酵素反応により産生される物質を検出する酵素抗体法がある。

本稿では，筆者らが最近実施した，蛍光物質で標識した抗体を用い，米粒中の貯蔵タンパク質の分布を蛍光顕微鏡下で観察した手法について紹介する。

一般的に，タンパク質含量の高い米は，炊飯時の吸水性が低く，硬く，粘りが低下するため，食味が低下する傾向がある [1]。しかし，米タンパク質が米の食味に影響を与えるメカニズムについては，よく判っていなかった。そこで，著者らはタンパク質の存在割合と分布に着目し，形態的な面からのアプローチとして，貯蔵タンパク質の米粒内分布を視覚化することを試みた。手法を確立する上で重要な課題は，米粒の薄切法と免疫染色法にあった。

薄切法については，完熟米は非常に脆く，通常の顕微鏡切片作製法では，破損のない切片の作製は極めて困難であった。そこで，骨などの硬組織の観察のために開発された粘着フィルム法 [7] をベースに，完熟米向けに技術的な改良を加え，凍結切片法を開発した [8]。米粒を包埋剤であるカルボキシメチルセルロースゲルに凍結包埋する前に，包埋剤を組織中に吸引により浸透させることで，厚さが一定に保たれた薄切片（厚さ 3 μm）の作製を可能にした（図 2）。この手法により作製した切片では，組織の大きな脱離はみられず，デンプン粒やタンパク質顆粒などの細胞内構造が保たれた状態で観察され

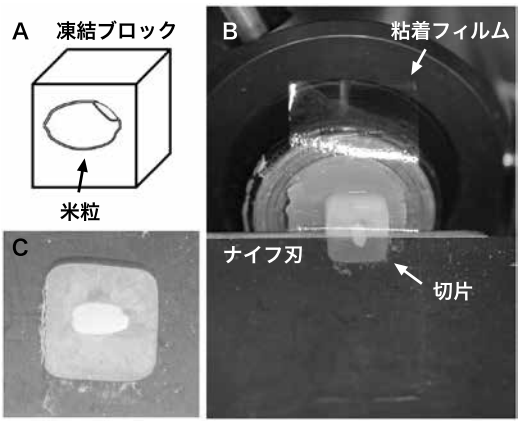


図 2　粘着フィルム法を用いた米粒の凍結切片作製の様子 [8]

米粒を包埋剤中で一晩減圧処理を行った後，凍結ブロックを作製した（A）。クリオスタットと粘着フィルムを用いて，凍結切片を作製した（B）。作製した米粒の凍結切片を示した（C）。

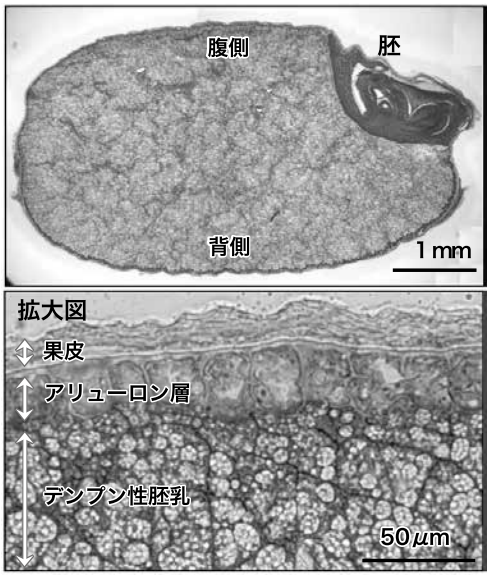


図 3　米粒切片の CBB 染色像 [8)]

タンパク質を染色する CBB 染色を行った米粒の凍結切片の光学顕微鏡観察を行った。拡大図のデンプン性胚乳において，黒色に染色されている場所がタンパク質の局在部位を示しており，白色の構造体がデンプン粒である。

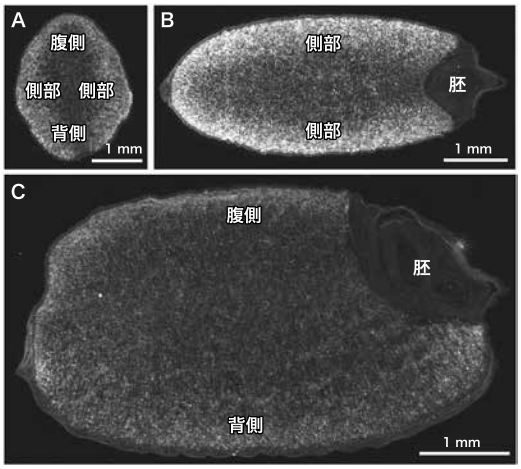


図 4　免疫染色法によるプロラミンの米粒内分布の観察像 [8)]

米粒の横断面（A），縦断面 1（B），縦断面 2（C：C は B に対して垂直な面）の凍結切片を作製し，蛍光色素で標識した 13 kDa プロラミン抗体を用いて免疫抗体反応を行い，蛍光顕微鏡で観察した。白色の蛍光シグナルは 13 kDa プロラミンの局在部位を示す。

た（図 3）。次に免疫染色法であるが，薄切した米組織上に，蛍光物質で直接標識したプロラミン抗体を反応させ，蛍光顕微鏡下で観察を行うことで，プロラミンの米粒内分布を視覚化することに成功した（図 4）。本法を用いて，プロラミンがデンプン性胚乳組織の外周部，特にサブアリューロン層付近に多く存在していることが明らかになった。さらに，三方向からの切片を作製して観察を行い，日本晴においてプロラミンが腹・背側よりも側部に多く存在することを明らかにした。また，グルテリンについても同様の観察を行ったところ，グルテリンも種子の外周部に多く分布していた。但し，プロラミンと比較すると，グルテリンは種子の中心部にも存在する傾向がみられた。これらの知見から，タンパク質含量の高い米で食味が低下する要因は，疎水性タンパク質であるプロラミンが米粒の外周部を取り囲み，米の吸水を低下させるためであると推察した。

筆者らは，栽培条件の異なる環境下で生育させたイネについて，米粒中の貯蔵タンパク質の組成分析および米粒内分布の解析を進めており，今後タンパク質の米粒内分布と食味との関係が，より明確になることを期待している。

3. 電子顕微鏡による細胞内タンパク質顆粒の観察

これまでに，透過型電子顕微鏡を用いたイネ登熟種子の形態観察が多くの研究者によって行われ，胚乳細胞内での貯蔵タンパク質の蓄積形態に関する数多くの知見が得られている。穀類種子の貯蔵タンパク質は，細胞内の小胞体（ER）や液胞に蓄積し，プロテインボディ（PB）と呼ばれる膜に囲まれたタンパク質顆粒を形成する。貯蔵タンパク質が不溶性の会合体を形成して PB に蓄積することの生理的意義は，乾燥種子中での貯蔵タンパク質の安定化とプロテアー

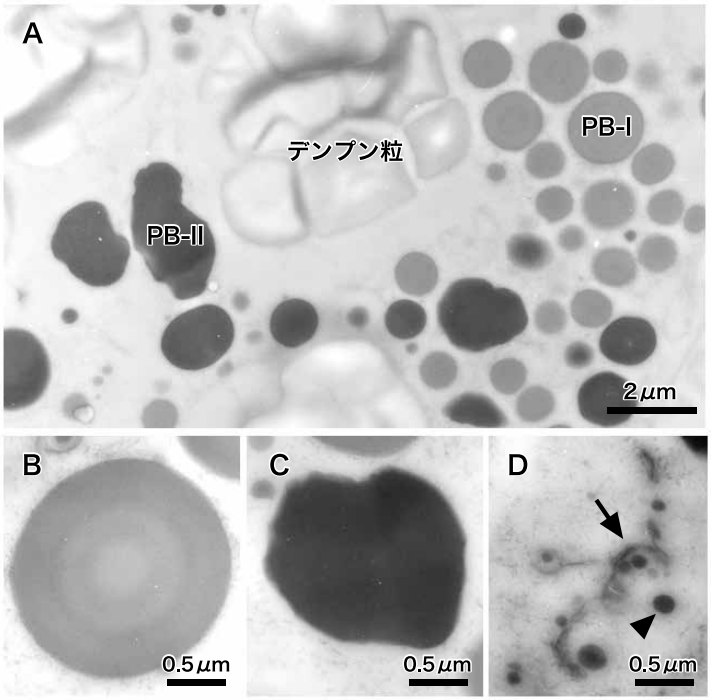


図 5　開花後 11 日目のイネ登熟種子の電子顕微鏡観察像

デンプン性胚乳（A），PB-I（B），PB-II（C），ゴルジ体（D，矢印）と輸送小胞（D，矢頭）の電子顕微鏡観察像を示した。

ゼによる分解を防ぐためであると考えられる。透過型電子顕微鏡で登熟期のイネ種子のデンプン性胚乳を観察すると，図 5 に示すように形態が異なる 2 種類の PB が観察される。I 型 PB（PB-I）は直径 1 ～ 2 μm の球状の構造で内部が同心円状に染色される（図 5B）。一方，II 型 PB（PB-II）は PB-I よりも大型の楕円形ないし不定形構造の顆粒である（図 5C）。PB-I はトウモロコシ種子の PB に，PB-II は豆科植物種子の PB にそれぞれ類似している。発達過程の PB-I の膜にはポリゾームが多数付着している場合があり，この膜は ER と連続している。また，ER の一端が膨らみ，くびれて PB-I が分離・形成される電子顕微鏡像が得られている [9]。このことから PB-I は ER 起源であると考えられている。一方，PB-II の膜には，ポリゾームの付着や ER との連絡が認められず [10]，近くに電子密度の高い顆粒（デンスベシクル）を分泌するゴルジ体が観察される（図 5D）。また，液胞膜に特徴的な水チャネルタンパク質の局在が観察されることから [11]，PB-II は液胞起源であると考えられている。

PB-I と PB-II には，それぞれ異なる貯蔵タンパク質が特異的に集積する [3, 12, 13]。プロラミンとグルテリン前駆体は ER で合成され，その後プロラミンは ER 内腔に蓄積し，PB-I を形成するのに対し，グルテリンは小胞輸送により液胞へ輸送され，PB-II を形成する。

透過型電子顕微鏡観察を行うためには，超薄切片を調製する必要がある。登熟期のイネ種子については，これまでに詳細に研究されてきたが，一方で米加工食品の原料となる完熟米は硬く，樹脂切片の作製が極めて困難であった。最近，筆者らは，従来の樹脂包埋法に技術的な改

良を加え，完熟した米粒の超薄切片を簡便に作製する技術を確立し，完熟種子の細胞内タンパク質顆粒の構造を透過型電子顕微鏡で詳細に観察することに成功した[14]。完熟米の胚乳細胞は，デンプン粒と2種類のPBで満たされており，開花後15日目以降の登熟後期にもPBが発達し続けることが明らかとなった。また，米粉などのように試料が粉末である場合にも，化学固定後の試料を寒天ブロックとすることで，樹脂包埋や超薄切片の作製を可能にした[15]。この技術は，抽出した米由来成分，米菓，酒粕などの米加工食品にも用いることが可能である。

4. 米加工食品におけるタンパク質の分析

米タンパク質は，デンプンと共に米の食味や栄養価に影響を及ぼす因子である。このことから，原料米や加工食品に含まれるタンパク質は，米加工食品の味，栄養価，加工特性に影響を及ぼす可能性がある。

筆者らは，これまでに貯蔵タンパク質の種類や量，特に存在割合（プロラミンとグルテリンの比率）が酒質などに影響を与えることを明らかにしてきた[16]。そこで，筆者らは，米タンパク質の分析技術を応用し，米由来の加工食品におけるタンパク質の分析を試みた。本稿では，米加工食品の一例として，日本酒由来の酒粕，米菓（おかき，せんべいなど）に関する分析例を紹介する。各試料を粉砕し，アセトンによる脱脂を行った後，一定量の粉末を測り取り，SDS-PAGE用サンプルバッファーを用いてタンパク質の抽出を行った。抽出タンパク質について，SDS-PAGE分析を行った結果が図6である。

日本酒の原料米に用いた玄米と50%精米，酒粕について分析を行ったところ，玄米と50%精米ではタンパク質組成には大きな違いがみられないのに対して，酒粕ではグルテリンが大幅に減少し，プロラミンの残存量が高いことがわかった。米菓についても同様の分析を行った結果，プロラミンの残存性が高いことがわかった。以上の結果より，米の加工過程において，米粒中のプロラミンの大部分は分解されずに残存していることが示唆された。

イネ種子胚乳細胞で合成されたプロラミンは，PB-Iを形成する。筆者らは，プロラミンの難消化性は，タンパク質の一次構造に由来するだけではなく，PB-I構造の特性であることを見出した[17]。そのことから，米加工食品の加工過程におけるプロラミンの残存性についても，PB-I構造に起因するのではないかと推定した。そこで，酒粕の電子顕微鏡観察を行ったところ，種子細胞内で観察されたPB-Iと極めて類似した構造体が多数観察された（図7A）。この構造体におけるプロラミンの蓄積を確認するため，免疫電子顕微鏡観察を行ったところ，13 kDaプロラミン抗体との反応性が認められた（図7B）。以上の結果から，米加工食品の加工過程

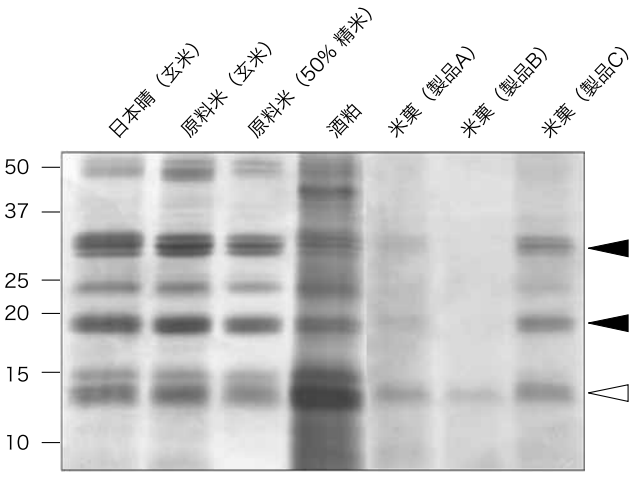


図6　米加工品に含まれるタンパク質のSDS-PAGE分析

米および米加工品からタンパク質を抽出し，SDS-PAGE分析を行った。左側の数字は分子サイズ（kDa）を示す。黒矢頭はグルテリンサブユニットを示す。白矢頭は13 kDaプロラミンを示す。

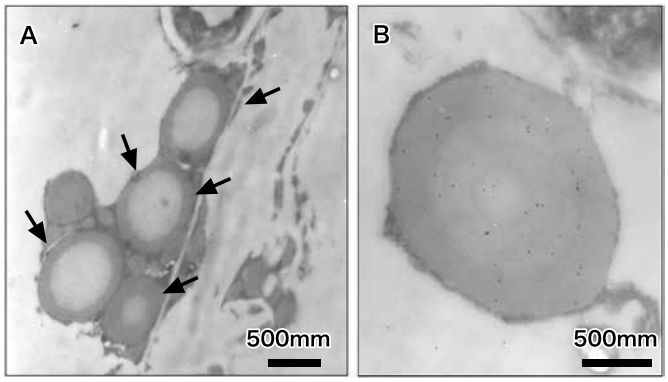


図 7　電子顕微鏡による酒粕に残存するタンパク質顆粒の観察

酒粕の電子顕微鏡観察像（A）を示した。矢印は PB-I を示す。13 kDa プロラミン抗体を用いた免疫電子顕微鏡観察像（B）を示した。PB-I 上の抗体が反応した部分は黒い点（金粒子）で示される。

を通して，PB-I の形態は保持されていることが明らかとなった。この極めて強固な PB-I の構造は，米加工食品の栄養価や加工特性に影響を与える可能性がある。一般的に，タンパク質含量が高い米では，日本酒の香りや味が低下すると言われている。しかし，上記のように，米タンパク質の主要な成分であるプロラミンとグルテリンでは加工過程における残存性が明らかに異なっていた。このことから米加工品の開発には，総タンパク質含量だけでなく，プロラミンとグルテリンの存在割合，量，分布などの成分分析を行うことが重要であると考えられる。

おわりに

本稿では，米タンパク質の分析技術と米タンパク質に関する最近の知見を紹介した。しかし，米や米加工食品の品質特性に対してタンパク質成分が与える影響については不明な点が多く，今後の研究課題となるであろう。タンパク質組成が変化した変異米は，LGC1 以外にも多数作出されており，本稿で紹介したタンパク質の分析技術を用いて，品質，特性，利用，加工に関する研究を行うことで，優れた米加工食品を製造することが可能であると考えられる。また，米タンパク質の機能性についても研究が進められており，米や米加工食品の消費拡大につながることが期待される。

謝辞

本研究の一部は，（独）科学技術振興機構　平成 20-22 年度　研究成果最適展開支援事業（育成研究）「米・米糠タンパク質の新規機能性の解明と食品開発」，および（独）農業・食品産業技術総合研究機構　平成 18-22 年度委託プロジェクト研究「加工・業務用プロ 4 系」の助成を受けて行われた。

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

1）増村威宏，田中國介：コメの品質，食味向上のための窒素管理技術〔３〕－イネ種子タンパク質の合成・集積と米粒内分布に関する分子機構－．農業および園芸，**82**: 43-48, 2007

2）門脇基二, 久保田真敏, 増村威宏, 他：新規食品素材としてのコメタンパク質とその生理機能．ニューフードインダストリー，**50**: 37-42, 2008

3）Ogawa M, Kumamaru T, Satoh H *et al*.: Purification of protein body-I of rice seed and its polypeptide composition. *Plant Cell Physiol*, **28**: 1517-1527, 1987

4）Tanaka Y, Hayashida S, Hongo M: The relationship of the feces protein particles to rice protein bodies. *Agric Biol Chem*, **39**: 515-518, 1975

5）Iida S, Amano E, Nishio T: A rice (*Oryza sativa* L.) mutant having a low content of glutelin and a high content of prolamine. *Theor Appl Genet*, **87**: 374-378, 1993

6）望月隆弘，原茂子：保存期慢性腎不全の食事療法における低蛋白米の有用性．日腎会誌，**42**: 24-29, 2000

7）Kawamoto T, Shimizu M: A method for preparing 2- to 50-μm-thick fresh-frozen sections of large samples and undecalcified hard tissues. *Histochem Cell Biol*, **113**: 331-339, 2000

8）Saito Y, Nakatsuka N, Shigemitsu T *et al*.: Thin frozen film method for visualization of storage proteins in mature rice grains. *Biosci Biotechnol Biochem*, **72**: 2779-2781, 2008

9）Yamagata H, Tanaka K: The site of synthesis and accumulation of rice storage proteins. *Plant Cell Physiol*, **27**: 135-145, 1986

10）Takahashi H, Saito Y, Kitagawa T *et al*.: A novel vesicle derived directly from endoplasmic reticulum is involved in the transport of vacuolar storage proteins in rice endosperm. *Plant Cell Physiol*, **46**: 245-249, 2005

11）Takahashi H, Rai M, Kitagawa T *et al*.: Differential localization of tonoplast intrinsic proteins on the membrane of protein body type II and aleurone grain in rice seeds. *Biosci Biotechnol Biochem*, **68**: 1728-1736, 2004

12）Tanaka K, Sugimoto T, Ogawa M *et al*.: Isolation and characterization of two types of protein bodies in the rice endosperm. *Agric Biol Chem*, **44**: 1633-1639, 1980

13）Yamagata H, Sugimoto T, Tanaka K *et al*.: Biosynthesis of storage proteins in developing rice seeds. *Plant Physiol*, **70**: 1094-1100, 1982

14）Saito Y, Shigemitsu T, Tanaka K *et al*.: Ultrastructure of mature protein body in the starchy endosperm of dry cereal grain. *Biosci Biotechnol Biochem*, **74**: 1485-1487, 2010

15）Kumagai T, Kawamura H, Fuse T *et al*.: Production of rice protein by alkaline extraction improves its digestibility. *J Nutr Sci Vitaminol*, **52**: 467-472, 2006

16）Furukawa S, Tanaka K, Masumura T *et al*.: Influence of rice proteins on eating quality of cooked rice and on aroma and flavor of sake. *Cereal Chem*, **83**: 439-446, 2006

17）Kubota M, Saito Y, Masumura T *et al*.: Improvement in the *in vivo* digestibility of rice protein by alkali extraction is due to structural changes in prolamin/protein body-I particle. *Biosci Biotechnol Biochem*, **74**: 614-619, 2010

可食天然素材を利用した遺伝子組換え技術に頼らない食品微生物の改変

井沢　真吾 *

IZAWA Shingo（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科　応用生物学部門）

Key Words：大豆ペプチド・食品微生物・機能改変・遺伝子組換え・酵母

はじめに

食品製造に利用される食品微生物（パン酵母・醸造用酵母・酢酸菌・麹菌・乳酸菌・納豆菌など）は，発酵食品の製造において発酵反応をつかさどる重要なプレイヤーである。我々が発酵食品を食べる際には，（場合によっては生きたまま）これらの食品微生物を一緒に体内へ取り込むことになり，多くの日本人は普段の食事を通じてかなりの量の食品微生物を摂取している。

食品微生物がもつ発酵能力やその培養効率を改良することは，新しい製品の開発やコスト削減などにつながる大きな可能性を秘めている。いずれの菌に関しても，その発酵や代謝メカニズムが研究機関や企業等において詳細に研究され，遺伝子の同定やゲノム全塩基配列の解読が進められている。研究の進展による情報の蓄積や技術の進歩を通じて，遺伝子操作でこれらの菌の発酵能や増殖効率を改変することはそれほど難しいことではなくなりつつある。例えば，酵母 *Saccharomyces cerevisiae* ではゲノム全塩基配列の解読が 1996 年に完了していて，約 6000 個の全遺伝子を対象に，コードするタンパク質の機能の解析だけでなく，状況に応じた遺伝子発現レベルの変化を網羅的に解析したデータや，遺伝子発現の制御メカニズムに関する膨大な量の情報がデータベース化され，簡単に利用できるように整備されている（http://www.yeastgenome.org/）。また，遺伝子操作に関する手法も確立されており，マーカーやプラスミドなどのツールも安価で入手することができる。そのため，関連する遺伝子を絞り込み，遺伝子操作による酵母の性質の改変をシュミレーションしたり，実際に改変したりすることが非常に容易になっている。また，異種生物由来の DNA を除去したセルフクローニング酵母は，食品衛生法の組換え体の定義に該当せず，組換え体として表示する義務も負わない実用性を持っている [1)]。ほかの菌についても，遺伝子操作による機能改変が植物や動物に比べて容易であり，必要とされる時間や費用も格段に少なくて済むという大きな利点がある。このように，食品微生物の機能改変については，遺伝子組換え技術の利用がもたらすメリットは技術的にもコスト面からも少なくない。

しかし，実際に遺伝子組換え技術を食品製造に導入する上で，現実的にもっとも大きな障壁となるのは消費者の意識である。米国の消費者が遺伝子組み換えをはじめとするバイオテクノロジー技術を食品製造に導入することについて比較的寛容なのに対し，日本国内や欧州の消費

者は反発や抵抗感を根強く持っており，受け入れる状況にはほど遠いのが現状である[2-4]。科学的に正しい知識もないままに，やや感情的な反対キャンペーンが行われることも皆無ではない。その是非は別として，食品メーカーはこのような消費者意識に配慮したビジネスを展開せざるを得ない。体内に直接取り込まれることになる酵母や乳酸菌の遺伝子を操作することは，消費者からの賛同が得られるとは考えにくく，ビジネス上は遺伝子組換え技術を食品微生物の改変に導入することは非現実的である。先に述べたセルフクローニング酵母についても，表示義務がないとはいえ消費者を欺くような姿勢として非難されるリスクが残っている。

このような状況から，遺伝子組換え技術に代わる新しい実用的な機能改変技術が求められてきた。筆者らは，安全性の高い食用可能な天然生理活性物質の機能に着目して，遺伝子操作に依存しない機能改良法について研究している。本稿では，大豆ペプチドによるパン酵母の機能改変例を中心に，その可能性を紹介する。

1. 可食天然素材が持つ機能性の活用

「医食同源」「食薬同源」の考えに表されるように，食品は生体調節機能（三次機能）を持つ。その三次機能を強化した食品である機能性食品には，疾病予防や体調維持への効果などが期待されている。機能性食品は健康長寿社会の構築や医療費の削減をはかる上で重要な役割を担うと考えられているため，大学や食品メーカーによる研究開発も盛んである。これまでに様々な食材から数多くの生体調節機能をもつ成分が報告されており[5]，血圧や血糖値の低減効果，メタボリックシンドロームや脂質代謝に対する改善効果などが期待される商品が数多く市販されている。当然のことながら，これらの研究開発はヒトに対する健康維持効果を念頭に進められてきており，実験ホ乳動物やヒトに対する効果については数多くの報告があるが，一方で，下等な生物種に対する効果についてはほとんど情報がないのが現状である。我々は，酵母や乳酸菌をはじめとする食品微生物に対しても類似の効果があると予想し，食品中の機能性成分を利用することで，遺伝子組換え技術を使わずに食品微生物の機能改変ができるのではないかと考えた。発想としては，ケミカルバイオロジーの考え方を食品製造の分野に導入したものである。遺伝子操作と違って，口にすることができる食品由来の成分の利用であれば，消費者の反発もほとんど生じないというメリットも期待をして，以下の検討をおこなった。

2. 酵母を用いた簡便な評価システム

食品に含まれるさまざまな機能性を検討する際に，1次スクリーニングの実験系として酵母細胞を用いた。出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* はパン酵母や清酒酵母，ワイン酵母としてだけでなく，基礎研究にも使用されている単細胞真核生物である。遺伝学的な解析や遺伝子操作が容易なだけでなく，高等真核生物と同様の代謝系や情報伝達系を保持していることが多く，真核生物の優れたモデル系生物として広く利用されている。また，乳酸菌等の原核生物とは異なり，核や小胞体，液胞，ゴルジ体等のオルガネラを細胞内に持つ。これらのオルガネラは，代謝活性や周囲の環境に応答してダイナッミクに形態が変化する（**図1**）。そこで，培地成分として様々な食品素材や成分を加えて酵母を培養し，オルガネラ形態の変化が生じるかを網羅的に検討した。検討の結果，スパイスやハーブの抽出液の多くに，ミトコンドリア形態や細胞サイズを変化させる効果が確認された。その他の食品成分についても，様々なオルガネラに対する効果を持つものが数多く見つかっ

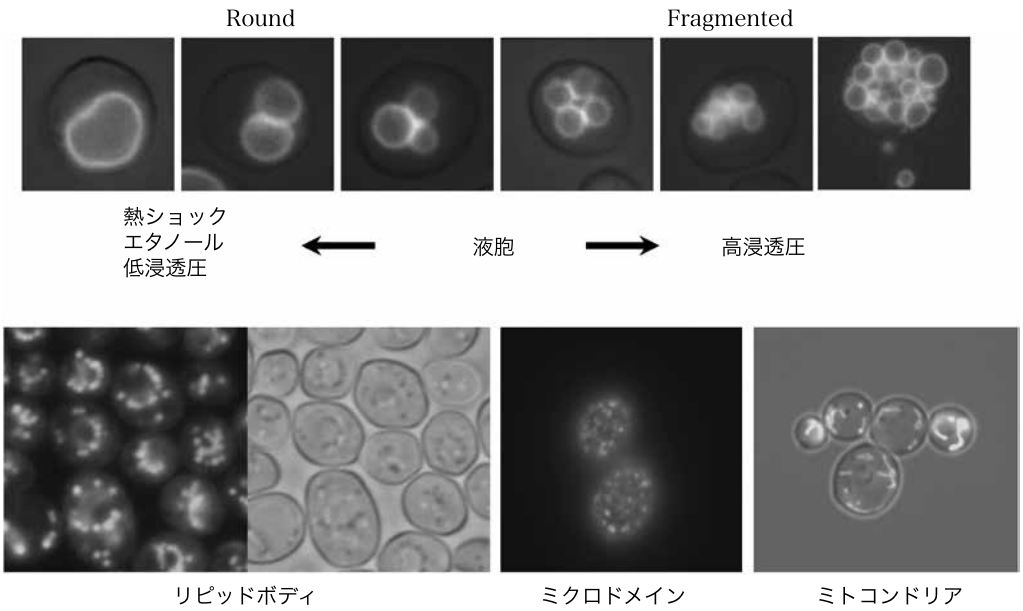


図 1　真核生物である酵母は核をはじめとするオルガネラや構造体を細胞内に持つ。各オルガネラに局在するタンパク質を GFP で標識してオルガネラ形態を蛍光顕微鏡下で観察した。これらの形態は周囲の環境や代謝の変化に応じて大きく変化する。

た。これらの結果は，ヒトに対する効果と同様，あるいはそれ以上の効果が酵母細胞に対してもあることを示しており，食品中に含まれる機能性成分を用いて食品微生物の機能や生育を改変できる可能性が十分にあると考えられた。

3. 機能性食品素材としての大豆ペプチド

酵母細胞に対する顕著な作用がみられた食品素材の一つとして大豆ペプチドが挙げられる。大豆ペプチドは，脱脂後の大豆粕に含まれる大豆タンパク質をプロテアーゼ処理によって分解したペプチド混合物である。大豆タンパク質やアミノ酸よりも消化・吸収に優れていて，加工食品やスポーツ飲料，第 3 のビールの原材料として利用されている[6]。

大豆ペプチドにより，酵母をはじめとする食品微生物の培養効率が改善されることを見出した。カゼインや畜肉由来のペプトン，あるいは実験室において汎用される Yeast Nitrogen Base（YNB）を窒素源とする培地に比べ，大豆ペプチドを窒素源として酵母細胞の培養を行うと培養効率が格段に改善された（図 2）。28℃で 36 時間培養した後に回収できる酵母菌体量も，

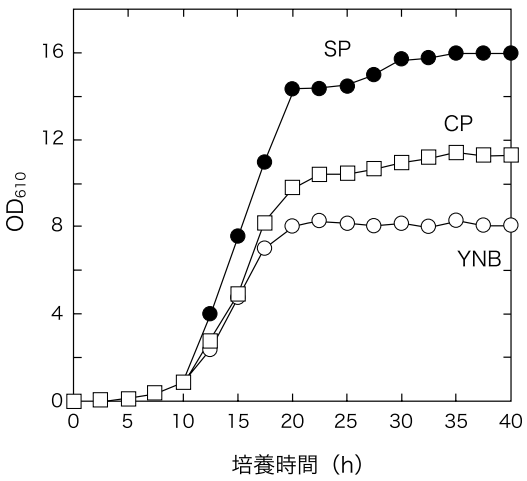


図 2　大豆ペプチド培地 (SP)，カゼインペプトン培地 (CP)，YNB 培地のそれぞれで酵母を培養した際の増殖曲線。大豆ペプチド培地中では効率よく増殖し大量の菌体が回収できる。

YNB を用いた培地に比べて約 2-3 倍の菌体量を得ることができた。さらに，同様の培養効率の改善効果は，乳酸菌などの他の菌に対しても確認された。これらの結果から，大豆ペプチドの活用によって食品微生物の培養効率を改善し，培養にかかる時間やエネルギーコストの削減が可能だと考えられた。

4. 大豆ペプチドによるパン酵母の冷凍耐性改善

近年，製パン業界では冷凍パン生地製法の導入が進んでいる。小麦粉などの原材料とパン酵母を捏ねて作ったパン生地を冷凍保存しておき，ニーズに応じて解凍，発酵させるこの方法は，パン職人の負担を軽減するとともに少量多品種の商品をオンデマンドで供給できるといったメリットをもつが，冷凍保存中のパン酵母の死滅による発酵力の低下や品質の劣化が問題となっている。そのため，パン酵母の冷凍ストレス耐性の改良が求められていた。細胞内のトレハロースやグリセロール，プロリン等のアミノ酸が保護的に働くことによってパン酵母の冷凍耐性が向上することがあきらかになっている [7-9]。そのため，遺伝子操作によってこれらの合成系を強化したり，分解系を抑制したりすることにより，細胞内のトレハロースやグリセロールレベルなどを上昇させて冷凍ストレスに対する耐性を向上させることが可能である [10]。我々は，遺伝子操作せずにパン酵母の冷凍耐性を改善するために，様々な食品素材や機能性成分の効果を検討したところ，パン酵母の冷凍耐性改善についても大豆ペプチドが効果を持つことを見出した [11]。

大豆ペプチドを窒素源として定常期まで培養したパン酵母は，カゼインペプトンなどの他の培地で培養したパン酵母にくらべ，-30℃で冷凍した際の死滅率が著しく減少する（図 3）。また，それぞれの培地で培養したパン酵母を用いてパン生地を調製し，一週間冷凍保存した後の生地のふくらみ具合を比較すると，カゼインペプトンで培養したパン酵母を用いた生地がほとんどふくらまないのに対し，大豆ペプチドで培養したパン酵母を使った生地は冷凍しなかった場合とほぼ遜色がない程度にまで十分に膨張した（図 4）。

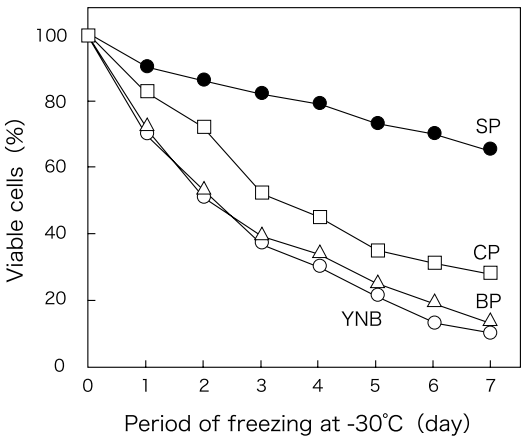


図 3　大豆ペプチド培地 (SP)，カゼインペプトン培地 (CP)、バクトペプトン培地 (BP)，YNB 培地のそれぞれで培養した酵母を冷凍保存した際の死亡曲線。大豆ペプチド培地で培養した細胞は高い冷凍耐性・生存率を示した。

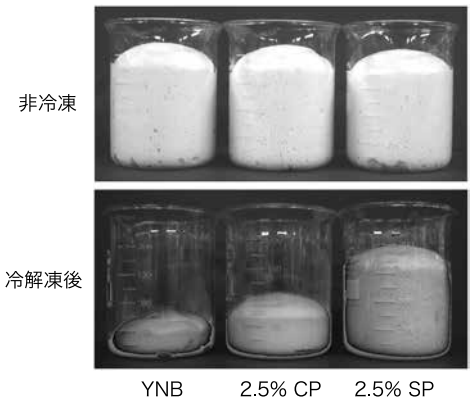


図 4　大豆ペプチド培地 (SP)，カゼインペプトン培地 (CP)，YNB 培地のそれぞれで培養した酵母を使って調製したパン生地の冷解凍前後の膨らみ具合。大豆ペプチド培地で培養した酵母は高い冷凍耐性をもつため，1 週間冷凍した後でも良好な発酵力を維持することができた。

これは，カゼインペプトン培地で培養したパン酵母が冷凍中に死滅してしまうのに対し，大豆ペプチドで培養したパン酵母は冷凍生地の中でも多くが生き残ったため，解凍後もスムーズに発酵がはじまり，生地がふくらんだと考えられる。実際に，これらのパン生地を焼成すると，大豆ペプチドで培養した酵母を含むパン生地は，発酵時の炭酸ガスにより多くの大きな気泡が形成されて柔らかい食感を持つパンが出来上がるのに対し，カゼインペプトンによって培養した酵母を含む生地は気泡の形成が不十分で，ビスケットのように固いパンに仕上がった[11]。これらの結果は，冷凍パン生地製法に適した，高い冷凍耐性を持つパン酵母を準備する上で，大豆ペプチド培地は非常に優れた培地であることを示している。この場合，大豆ペプチドはパン酵母の培養時にのみ使用し，パン生地に直接ねりこまないという点がポイントである。パン生地に大豆ペプチドを添加した場合には，醤油や味噌を連想させる大豆成分に由来した独特の風味が焼成後のパンに強く残ってしまい，パンの品質に影響を与えてしまう。また，パン生地に大豆ペプチドを添加しても，パン酵母の冷凍耐性を改善する効果は確認されなかった。つまり，大豆ペプチドを酵母細胞が取り込み，代謝することによってはじめて冷凍ストレスに対する耐性や増殖効率が改善されるが，パン生地の中には大豆ペプチドはほとんど持ち込まれず，パンの風味や食感にはほとんど影響しない点が大きな特徴となっている。

パン酵母の冷凍耐性が向上するメカニズムについて検討したところ，トレハロースやグリセロールの細胞内レベルについては大きな変化は確認されなかったが，細胞内のプロリンレベルについては大豆ペプチドでの培養によって上昇した。これは，アミノ酸トランスポーターを介してはなかなか細胞内に取り込まれないプロリンのようなアミノ酸も，ペプチドの形であれば効率的に取り込まれ，細胞内のレベルが上昇して冷凍耐性が向上したと考えられる[12, 13]。

5. 大豆ペプチドによる低脂肪酵母の製造

細胞内プロリンレベルの上昇以外にも，冷凍耐性の向上を引き起こす原因があるのではないかと考え，大豆ペプチドでの培養によって生じる細胞内の変化を検討した。大豆ペプチド培地とカゼインペプトン培地での培養時の遺伝子転写パターンをDNAマイクロアレイ解析で比較したところ，大豆ペプチドによる培養時は，脂質合成に関連する酵素をコードする遺伝子の転写レベルが顕著に低いことが明らかとなった[14, 15]。そこで，中性脂質が蓄積するオルガネラであるリピッドボディに着目して，大豆ペプチド培養の影響を検討した。

リピッドボディはリピッドパーティクルや脂肪滴とも呼ばれ，動物では肥大した脂肪細胞や脂肪肝細胞で発達する球形のオルガネラである。中性脂質のトリアシルグリセロールをコアとして，その周りをステロールエステルやトリアシルグリセロールが層状に重なって球を形成する[16]。一番外側はリン脂質のモノレイヤー膜によって覆われており，この膜にはリパーゼをはじめとする様々なタンパク質が局在している。過剰な脂質を中性化して貯蔵し，栄養条件が悪化した場合に備える役割を担っていると考えられているが，最近では，糖尿病やアテローム性動脈硬化といった成人病との関連や，ミトコンドリアやペルオキシソームといった他のオルガネラとの相互作用についても注目が集まっている[17, 18]。

酵母の場合，実験室で普段用いられているSD培地やYPD培地で培養した場合，定常期に入ると形成が活発になり，一つの細胞当たり数～十数個前後のリピッドボディが観察さ

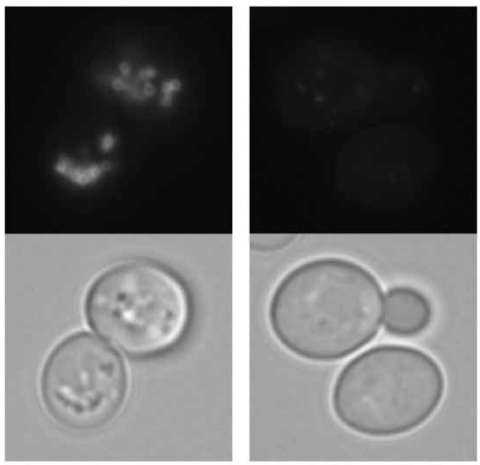


図5　大豆ペプチド培地 (SP) およびカゼインペプトン培地 (CP) で定常期まで培養した酵母細胞におけるリピッドボディの形成。大豆ペプチド培地で培養した細胞にはほとんどリピッドボディが形成されず，中性脂質が蓄積していない。

れるようになる。逆に，対数増殖期ではほとんどリピッドボディは観察されない。ところが，大豆ペプチド培地で培養した酵母細胞では，定常期においてもほとんどリピッドボディが形成されないことがあきらかとなった（図5）[14, 15]。一方，カゼインペプトンで培養した場合は，対数増殖期においてもリピッドボディの形成が比較的活発で，定常期では非常に多くのリピッドボディが形成された。細胞内のトリアシルグリセロールレベルも，SD 培地で培養した場合は約 1200 μg/g cells に対し，カゼインペプトン培地では約 2870 μg/g cells，大豆ペプチド培地では約 200 μg/g cells と大きな違いが観察された。つまり，大豆ペプチドで培養すると細胞内の中性脂質の蓄積が抑制されるのに対し，カゼインペプトンで培養した場合には中性脂質の蓄積が促進される傾向にあるわけである。これを裏付けるように，トリアシルグリセロールを合成する主要な酵素 Dga1p をコードしている *DGA1* 遺伝子の転写レベルは，カゼインペプトンでの培養時は高く，大豆ペプチドでの培養時は低いことがノーザンブロット解析によって確認された[15]。また，大豆ペプチドと同じアミノ酸組成に配合したアミノ酸混合培地では，リピッドボディの形成や中性脂質の蓄積が抑制されないことから，中性脂質の蓄積を抑制する機能性ペプチドが大豆ペプチド中に存在するのではないかと考えている。現在，この機能性ペプチドの同定に取り組んでいる。

大豆ペプチドで培養した酵母は中性脂質をほとんど蓄積しないことから，Low-fat yeast（低脂肪酵母）と呼んでいる。最近，ダイエットフードの素材として酵母が利用されているが，比較的安価な大豆ペプチドを用いることによって低脂肪酵母を容易に供給することが可能である。冷凍耐性の向上と併せて，遺伝子組換え技術を使わずに食品微生物の高付加価値化を実現した一例と考えている。

6. 多糖合成系の活性化

中性脂質を蓄積せず，リピッドボディを形成しないことによって，何らかのデメリットが酵母細胞に生じるのではないか？あるいはそのデメリットを帳消しにするようなシステムが活性化するのではないか？と予想した。そこで，糖や脂質の代謝経路を検討したところ，大豆ペプチドで培養した細胞では，比較的分子量の大きな高分子多糖の合成系が活性化され，細胞内や表層に含まれる多糖類のレベルが上昇していた。一部の多糖には冷凍や乾燥ストレスに対する耐性付与効果が知られていることから，大豆ペプチドの培養によって冷凍耐性が改善される理由の一つとして，多糖レベルを上昇させることが寄与していると推測している。また，大豆ペプチドで培養した酵母細胞は，栄養条件の悪化に備えたエネルギーを脂質としてではなく多

糖類のかたちで備蓄している可能性も考えられた。これらの可能性についても，詳細に解析をおこなっている。

7. その他の機能性食品素材

大豆ペプチド以外にも，酵母のオルガネラ形態を変化させ，ストレスに対する感受性を改変する食品由来の成分が多数見つかっている。スパイスやハーブ類から抽出したエキスからは，熱に安定でミトコンドリアの形態を変化させたり細胞の肥大を抑制する効果が多数確認されている。また，ホップやアニスシーズからは，大豆ペプチドと同様にリピッドボディの形成を抑制する効果が確認されている[19]。大豆ペプチドとは異なる作用機構でリピッドボディの形成を抑制している可能性が高く，脂質代謝改善の点からも興味深い。スパイス･ハーブ以外にも，カビや麹菌の培養エキス，可食酸や食用油脂を用いて培養することによっても，酵母細胞は実に様々な形態学的，生理的な変化を示すことがわかってきた[20]。機能性をもつ成分としても，ペプチドだけではなく，様々な物質に効果が確認されており，それらを単独ではなく複合的に作用させることによって無限の可能性が広がると期待している。

まとめ

今回，大豆ペプチドをはじめとする食用可能な機能性素材を用いて，酵母などの食品微生物を改変することが可能であることを紹介した。遺伝子組換え技術を用いた改変技術とは異なり，消費者が抱く安全性に対するイメージは悪くないものと期待している。また，用いる機能性成分によって毒性が発揮される場合があっても，食品微生物の生育が阻害されてしまうため，適切な使用量も比較的判断しやすいであろう。効果や作用機序に関する科学的裏付けも，動物細胞に比べれば，細胞レベル・分子レベルでの解析が容易である。食品微生物を対象に様々な機能性成分の効果を検証することで，食品製造以外の分野にも波及効果をもたらす可能性があると考えている。既に多くの機能性食品素材が報告されているが，世の中にはまだまだ未知の機能性成分が存在している。遺伝子組換え技術に代わる無限の可能性を秘めた新しいアプローチとして，関連する研究・開発が進展することを期待したい。

参考文献

1）赤田倫治：食品微生物の組換え審査事情 . バイオサイエンスとインダストリー . **61**, 52 (2003)

2）SG. Uzogara: The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: a review. *Biotechnology Advances*. **18**, 179-206 (2000)

3）International Food Information Council Foundation. http://www.foodinsight.org/

4）グリーンピース・ジャパン http://www.greenpeace.or.jp/campaign/gm/

5）志村二三夫，篠塚和正：改訂増補版 機能性食品素材便覧 特定保健用食品からサプリメント・健康食品まで（清水俊雄 編）. 薬時日報社 (2006)

6）M. Maebuchi, M. Samoto, M. Kohno *et al*.: Improvement in the intestinal absorption of soy protein by enzymatic digestion to oligopeptide in healthy adult men. *Food Science and Technology Research*. **13**, 45-53 (2007)

7）S. Izawa, M. Sato, K. Yokoigawa *et al*.: Intracellular glycerol influences resistance to freeze stress in *Saccharomyces cerevisiae*: analysis of a quadruple mutant in glycerol dehydrogenase genes and glycerol-enriched cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*. **66**, 108–114 (2004)

8）H. Takagi, F. Iwamoto, S. Nakamori: Isolation of freeze-tolerant laboratory strains of *Saccharomyces cerevisiae*

from prolineanalogue-resistant mutants. *Applied Microbiology and Biotechnology*. **47**, 405–411 (1997)

9）A. Hino, K. Mihara, K. Nakashima *et al*.: Trehalose levels and survival ratio of freeze-tolerant versus freeze-sensitive yeasts. *Applied Environmental Microbiology*. **56**, 1386–1391 (1990)

10）S. Izawa, K. Ikeda, K. Maeta *et al*.: Deficiency in the glycerol channel Fps1p confers increased freeze tolerance to yeast cells: application of the *fps1*Δ mutant to frozen dough technology. *Applied Microbiology and Biotechnology*. **66**, 303–305 (2004)

11）S. Izawa, K. Ikeda, N. Takahashi *et al*.: Improvement of tolerance to freeze–thaw stress of baker's yeast by cultivation with soy peptides. *Applied Microbiology and Biotechnology*. **75**, 533-537 (2007)

12）S. Kitagawa, N. Mukai, Y. Furukawa *et al*.: Effect of soy peptide on the beer brewing. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. **105**, 360-366 (2008)

13）北川さゆり：酵母への特定アミノ酸の効率的取り込ませ方～大豆ペプチドの利用～ . バイオサイエンスとインダストリー . **67**, 270-272 (2009)

14）井澤真吾，池田佳代，北川さゆり *et al*.: 大豆ペプチドによる酵母リピッドボディ形成抑制効果の解析 . 日本農芸化学会大会講演要旨集 . 3P0627A (2009)

15）K. Ikeda, S. Kitagawa, K. Tada *et al*.: Modification of yeast characteristics by soy peptides: cultivation with soy peptides represses the formation of lipid bodies. submitted (2010)

16）T. Czabany, A. Wagner, D. Zweytick *et al*.: Structural and biochemical properties of lipid particles from the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biological Chemistry*. **283**,17065-17074 (2008)

17）M. Digel, R. Ehehalt, J. Füllekurg: Lipid droplets lighting up: insights from live microscopy. *FEBS Letter*. **584**, 2168-2175 (2010)

18）DJ. Murphy: The biogenesis and functions of lipid bodies in animals, plants and microorganisms. *Progress in Lipid Research.* **40**, 325-438 (2001)

19）神野美和，鈴木秀之，井澤真吾 : 酵母を用いた中性脂質の蓄積を抑制する可食天然成分の探索 . 日本農芸化学会大会講演要旨集 . 3PLa11 (2010)

20）門倉 利守，畠井 悟，本多 宏明 *et al*.: *Rhizopus* の培養環境が *Rhizopus* 培養液中の酵母アルコール耐性に及ぼす影響 . 生物工学会誌 **85**, 115–119 (2007)

ガゴメ含有多糖の特性を維持した食品加工技術の開発

佐々木　茂文 *1　鈴木　まつみ *2　田中　彰 *3

*1 *SASAKI Shigefumi,* *2 *SUZUKI Matsumi,* *3 *TANAKA Akira*
（北海道立総合研究機構　食品加工研究センター　食品開発部）

Key Words：ガゴメ・多糖・粘性・抗腫瘍活性

はじめに

北海道の沿岸域では多くの種類の海藻が繁茂し，その中でも褐藻類のコンブは生産量が約19千トン，264億円（2008年）[1]の北海道にとって重要な水産物であり，主に噴火湾から函館市周辺に分布するマコンブ，礼文島から羅臼以北のオホーツク沿岸に分布するリシリコンブ，新ひだか町からえりも町までの日高沿岸で主に生産されるミツイシカコンブ，羅臼から釧路までの太平洋に分布するオニコンブ，釧路，根室地方に分布するナガコンブなどそれぞれの地域で特徴のあるコンブ[2]が生産されている。北海道各沿岸域にはコンブ以外にもスジメ，アイヌワカメ，ヒバマタやホンダワラ，チガイソなどの海藻が多く存在しているがほとんど利用されず，その有効活用が強く求められている。

近年の健康志向の高まりに伴って，低カロリーで健康イメージの強い海藻類に対する関心が高まってきており，特に海藻に含まれるフコキサンチンの抗肥満効果[3]やガゴメ由来の粘性多糖類の免疫賦活機能[4]など海藻に含まれる成分の新たな機能が近年明らかにされ，それらの機能を活かした機能性食品の開発が期待されている。

北海道函館地域では産学官が連携して文部科学省の都市エリア産学官連携推進事業[5, 6]を実施し，ガゴメの海中養殖・陸上栽培技術の開発や海藻粘性多糖類の食・医分野への高度利用技術開発，そしてガゴメ主体とした海藻類を活用した新たな食品開発を行った。

本稿では函館地域の都市エリア産学官連携推進事業で我々が行った「ガゴメ等海藻含有多糖の機能性を高度に維持した精製技術の開発」で，ガゴメ多糖の機能性を損なわない抽出・精製方法と加熱や撹拌など食品加工処理がガゴメの多糖成分の特性に与える影響を検討した結果について紹介する。

1. ガゴメ

ガゴメ（*Kjellmaniella crassifolia* Miyabe）は，コンブ目コンブ科トロロコンブ属の多年生の褐藻類で，北海道では函館市から噴火湾を経て室蘭市までの水深7～25mの岩礁上で生育し，特に函館，戸井，恵山，椴法華，南茅部の沿岸域に多く，この地域で毎年250～300トン前後が生産されている。　ガゴメの藻体は長さ2m，幅30cm以上にもなり，葉体の表面外側にカゴの目に似た雲形の凹凸が斜めに並ぶ紋様（図1）がある[7]。ガゴメの栄養成分はマコンブとよく

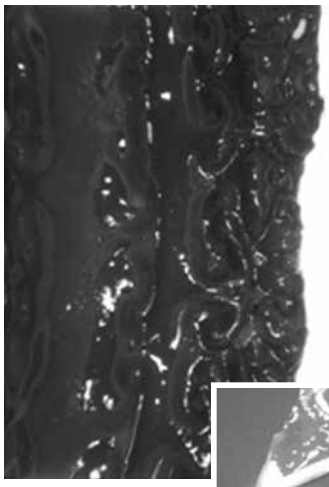


図 1　ガゴメ葉体の表面

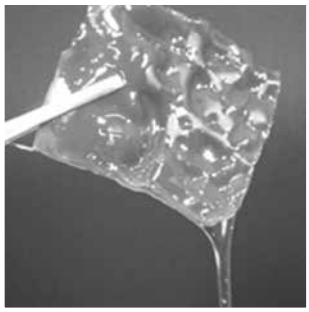


図 2　ガゴメの粘性多糖成分

表 1　ガゴメの食品成分

	ガゴメ	マコンブ
一般成分（g/100g）		
水分	7.3	7.6
タンパク質	9.5	4.5
脂質	0.9	1.4
灰分	57.7	69.8
炭水化物	24.6	16.7
無機質（mg/100g）		
Na	2,686	5,076
K	6,424	4,546
Ca	243	353
Mg	806	699
Cl	7,815	4,717
遊離アミノ酸（mg/100g）		
アスパラギン酸	20335	429
グルタミン酸	2,045	1,618
アラニン	151	56
プロリン	62	64
その他	179	117
マンニトール（g/100g）	26.4	38.2

似た組成（**表 1**）であるが，葉体から強い粘りのある多糖類がマコンブなどと比較して多量に分泌する特徴を持っている（**図 2**）。この分泌される多糖類はフコイダン，ラミナラン，アルギン酸等から構成され，特に主要成分であるフコイダンは様々な健康機能性を持つことが明らかにされたことから健康食品素材として注目されている。

2. フコイダン

フコイダンは L- フコースが主成分である硫酸化多糖の総称で，主にコンブ，ワカメ，モズクなどの褐藻に含まれる成分で，抗血液凝固活性，抗腫瘍効果，抗炎症作用，抗ウイルス作用，免疫賦活作用など様々な健康機能性を持つことが明らかにされ[8-10]，その機能を活用した様々なサプリメントや飲料などの食品が開発されている。フコイダンは構成糖や硫酸化度，構造の異なる多くの種類があり，ガゴメに含まれているものはフコースだけからなるもの，グルクロン酸とマンノースとフコースからなるもの，ガラクトースとフコースからなるものの少なくとも 3 種類以上あることが報告されている[11-13]。また，褐藻の種によっても含まれるフコイダンの種類が異なり，機能性も異なることが知られている[14]。

3. ガゴメの粘性多糖類の抽出・精製方法の検討

今回，我々はガゴメに含まれる多糖が持つ機能を活かした食品を開発するために，乾燥ガゴメからの最適な多糖類の抽出精製方法を明らかにする目的で，胃ガン細胞に対する抗腫瘍活性を指標にガゴメの機能性を維持した抽出・精製方法を検討した。

細切（5mm 幅）した乾燥ガゴメ（函館市恵山産）25g に pH あるいは温度を調整した蒸留

水 500mL を加え，それぞれの温度・時間で抽出を行い，得られた抽出液を限外ろ過で低分子成分を除去し，ガゴメ多糖の凍結乾燥粉末を得た。凍結乾燥粉末を蒸溜水で溶解し，冷蔵庫（5℃）内で 1 晩静置した後に，ヒト胃ガン細胞 MKN-45 に添加して細胞の増殖抑制効果を測定した。すなわち，ヒト胃ガン細胞 MKN-45（Health Science Research Bank）を懸濁（最終濃度 1 × 10^5cells/mL）した 10%FBS 含有 RPMI1640 培地 100μL を 96-well マイクロプレートに蒔き，37℃，5%CO_2 条件下で 24 時間前培養を行った。前培養したマイクロプレートにガゴメ抽出多糖溶液 10μL/well を添加し 48 時間さらに培養した後，WST-8（同仁化学研究所）10μL/well を加え，37℃で 2 時間反応して，生細胞数をマイクロプレートリーダーで測定し，コントロール（多糖無添加）の生細胞数に対する割合（生残率）を算出して，ガゴメ抽出多糖の胃ガン細胞に対する増殖抑制効果（抗腫瘍活性）を求めた。

乾燥ガゴメから各種条件で抽出した多糖の抗腫瘍活性を測定した結果を図 3 に示す。酸性（pH1,3）あるいは塩基性（pH11）溶媒で抽出した多糖の胃ガン細胞の生残率は 50-80% で高かったが，pH5-10 の溶媒で抽出したものは胃ガン細胞の生残率が 20-30% で，胃ガン細胞に対して抗腫瘍活性が認められ，特に pH7 の溶媒で抽出した多糖が最も強く，抗ガン剤 5-FU（50μg/mL）と同等な活性が維持されていることが明らかになった。また，抽出温度 80℃以下で抽出した多糖の抗腫瘍活性に大きな違いが認められなかったが，100℃で抽出した多糖では活性が低下した。このことから，ガゴメから抽出される多糖は pH および温度に強い影響を受け，ガゴメ多糖の抽出では中性溶媒で 80℃以下の温度で乾燥ガゴメから多糖を抽出することにより，強い抗腫瘍活性を維持した多糖を得られることが明らかになった。

次に乾燥ガゴメから抽出した多糖の精製法を検討した。細切した乾燥ガゴメ 25g に蒸留水 500mL を加え，室温（20-25℃）で 1 時間静置した後，50℃で 3 時間抽出（pH6.1）した。ガーゼでろ過して，得られたろ液をそれぞれ透析用チューブ（MWCO 1,000, Spectrum Laboratories Inc.）による蒸留水に対する透析，エチルアルコールによる沈殿，限外ろ過膜（MWCO 50,000, Adventec）による限外ろ過を

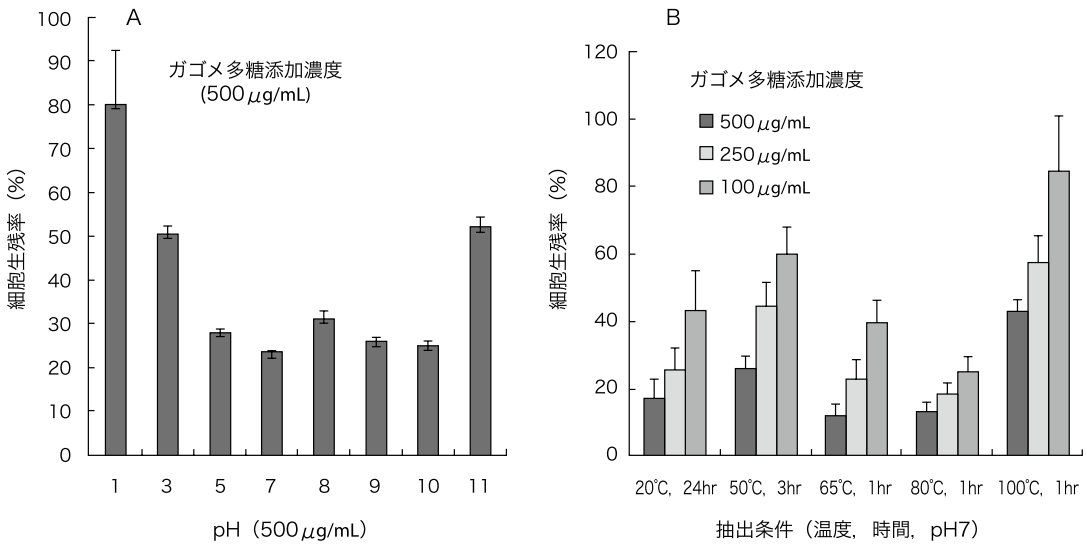


図 3　ガゴメ抽出多糖の抗腫瘍活性に対する抽出溶液の pH(A) および抽出温度 (B) の影響

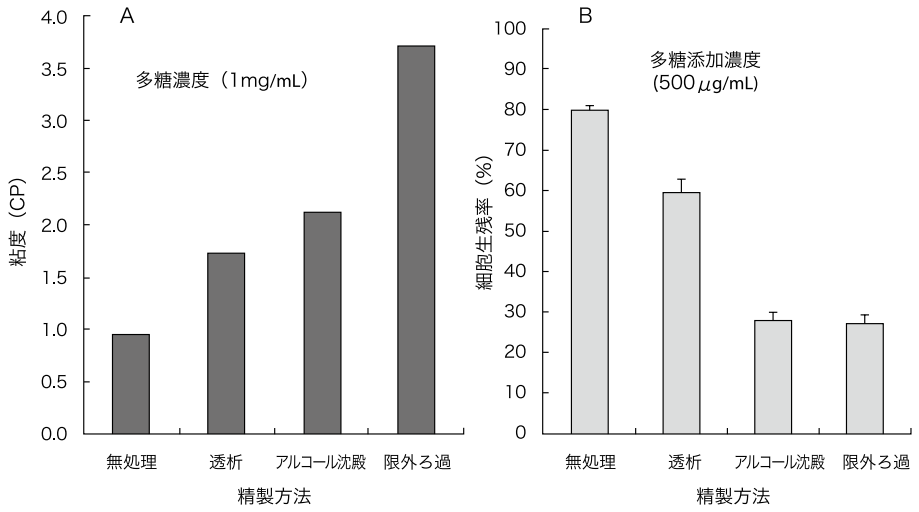


図 4　ガゴメ抽出多糖溶液の粘度 (A) および抗腫瘍活性 (B)

表 2　ガゴメ抽出精製多糖の成分組成

精製方法	水分（%）	灰分（%）	全糖（%）（フコース）	K	Na	Ca	Mg	Galactose	Mannose	Glucose	Fucose
				mg/g				（mg/g 乾燥粉末）			
無処理	3.0	35.6	16.0	125.1	45.6	2.9	6.1	1.6	0.9	0.0	20.4
透析	5.2	16.6	12.1	15.0	12.2	5.6	11.5	8.8	2.5	0.0	98.5
アルコール沈殿	4.7	35.5	19.1	65.3	7.8	18.3	11.9	1.3	0.4	0.5	138.0
限外ろ過	4.7	26.3	32.8	68.5	17.8	5.3	8.4	5.1	5.6	0.0	382.9

行って精製を行った。それぞれの処理を行ったガゴメ抽出多糖の粘度と抗腫瘍活性を測定した結果を図 4 に示す。粘度の測定はガゴメ多糖の凍結乾燥粉末を蒸留水で溶解（濃度 1mg/mL）し，冷蔵庫（5℃）で 1 晩静置した後に，溶液を室温（22-24℃）で SV 型粘度計（SV-10,（株）エー・アンド・デイ）を用いて測定した。

ガゴメ抽出液を透析，アルコール沈殿，限外ろ過（分画分子 50,000）処理することにより，溶液の粘性および抗腫瘍活性が高まり，特に限外ろ過による精製が最も効果が高かった。また，それぞれの処理を行った抽出物の灰分，全糖量，糖組成を分析したところ（表 2），限外ろ過処理を行った抽出物は糖が全体の約 33% を占め，そのほとんどをフコースからなっていたことからフコイダンが濃縮されていると考えられた。

このように乾燥ガゴメから中性溶媒で 80℃ 以下の温度で多糖を抽出し，限外ろ過処理を行って低分子成分を除去することにより，高い粘度と強い抗腫瘍活性を有したガゴメ多糖を乾燥ガゴメ重量の 2-3％得ることが可能であることが明らかになった。

4. カゴメの抽出精製多糖類の粘性および抗腫瘍活性に及ぼす食品加工処理の影響

抽出精製したガゴメ多糖を食品に利用するには加熱や撹拌，有機酸や塩の添加などの様々な食品加工処理を行わなければならない。そこでこれらの食品加工処理がガゴメ抽出多糖の溶液粘度と抗腫瘍活性にどのような影響を与えるかを調べた。

（1）加熱処理，有機酸および食塩添加の影響

乾燥ガゴメから抽出（pH6.2，温度 50℃，3 時間）し，得られた抽出液を限外ろ過膜（MWCO 50,000, Adventec）の限外ろ過に供して低分子

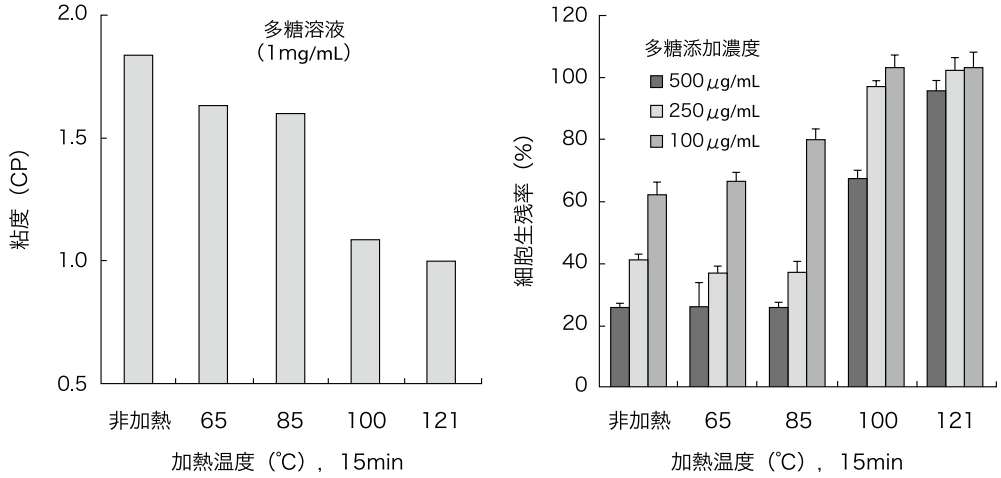


図5　ガゴメ抽出多糖溶液の粘度および抗腫瘍活性性に対する加熱処理の影響

成分を除去した後，凍結乾燥を行ってガゴメ抽出多糖粉末を得た。ガゴメ抽出粉末を最終濃度1mg/mLになるように蒸留水で溶解し，5℃の冷蔵庫で1晩静置した後，加熱，有機酸や食塩の添加などを行い，ガゴメ抽出多糖溶液の粘度および抗腫瘍活性の測定とゲルろ過カラムによるHPLC分析を行った。粘度および抗腫瘍活性の測定は上述と同様な方法で行い，HPLC分析はカラム：TSK gel G3000PWXL（7μm, 7.8mm I.D. × 300mm，東ソー）+TSK gel G6000PWXL（13μm, 7.8mmI.D. × 300mm，東ソー），カラム槽温度：40 ℃，移動相：0.1M NaCl-0.1M Phosphate buffer（pH7.0），流速：0.5mL/min，検出器：示差屈折計（RID-10A，島津製作所）で，ガゴメ溶液（1mg/mL）を100μL注入して行った。

ガゴメ多糖溶液を各温度（65，85，100，121℃）で15分間加熱処理した後に，粘度と抗腫瘍活性を測定した結果を図5に示す。加熱処理によって溶液の粘度の低下が見られ，特に100℃および121℃の加熱により著しく低下した。また，抗腫瘍活性も同様に加熱温度に依存して活性の低下が認められ，特に85℃以上で加熱したものは活性のほとんどを消失した。それぞれの温度で処理した多糖溶液をゲルろ過HPLC分析に供すると（図6），加熱温度が高いものほど，多糖成分の溶出時間が長くなった。

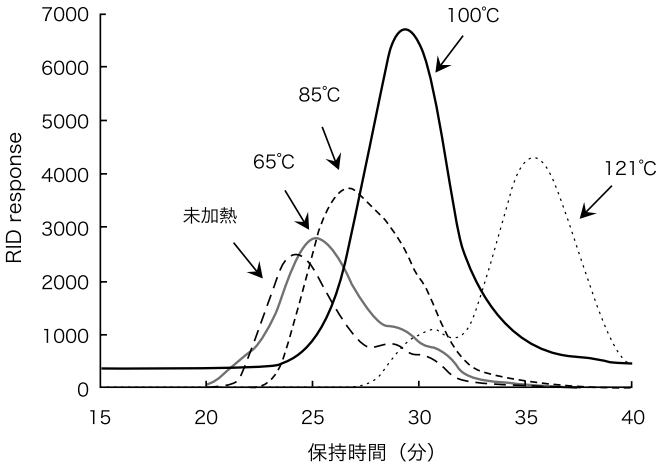


図6　ガゴメ抽出多糖溶液のゲルろ過クロマトグラム

HPLC condition
Column: TSK gel G3000PWXL(7μm, 7.8mm I.D. × 300mm)+TSK gel G6000PWXL(13μm, 7.8mm I.D. × 300mm)Mobile phase: 0.1M NaCl-0.1M Phosphate buffer(pH7.0), Flow rate: 0.5mL/min, Column oven temp.: 40℃ Detector: RID-10A, Injection volume: 100μL(Sample 1mg/mL)

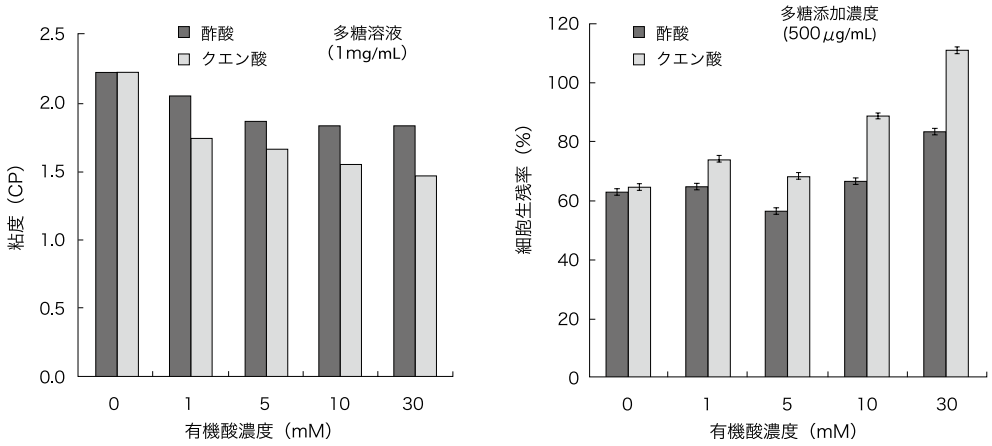


図7　ガゴメ抽出多糖溶液の粘度および抗腫瘍活性性に対する有機酸添加の影響

ゲルろ過カラムによるHPLC分析では分子の大きさが小さいものほど溶出時間が長くなる。このことから，加熱処理によってガゴメ多糖は分子の大きさが凝固あるいは縮合により小さくなったと考えている。

加熱処理と同様に多糖溶液に酢酸，クエン酸を添加し，多糖溶液の粘度と抗腫瘍活性を測定した結果を**図7**に示す。ガゴメ多糖溶液を加熱した時と同様に有機酸濃度に依存して溶液の粘度が低下した。抗腫瘍活性は有機酸濃度5mMでは大きな変化が見られなかったが，10mM以上では有機酸濃度に依存して低下した。また，ゲルろ過カラムによるHPLC分析でも酢酸，クエン酸の添加によって溶出時間が長くなった。一方，食塩の添加では溶液の粘性および抗腫瘍活性にほとんど変化がみられず，食塩はガゴメ多糖溶液の粘性および抗腫瘍活性に対してほとんど影響を及ぼさないことが明らかになった。

佐伯ら[15]はガゴメから20℃，24時間で抽出した多糖抽出液（GE）とそれを60℃，1時間の加熱処理をしたもの（GH）の粘性とラットを用いた免疫賦活機能を調べ，加熱処理による明らかな粘性低下を認め，免疫機能に関与するサイトカインや抗体の産生においてGEでは有意な促進を認めたが，GHではコントロールに対して有意な差は認められなかったと報告している。ガゴメ多糖は加熱処理や有機酸の添加により多糖の分子形状が変化し，溶液の粘性や抗腫瘍活性，免疫賦活機能が低下すると考えている。

（2）高速攪拌，マイクロ波加熱，超音波処理の影響

ガゴメ多糖溶液を高速撹拌，マイクロ波加熱，超音波の加工処理を行った時の粘度と抗腫瘍活性の影響を検討した。ガゴメ多糖粉末50mgを蒸留水50mLに溶解し，約20時間冷蔵（5℃）で静置した後に，溶液の温度が上昇しないように氷水で冷却しながらポリトロン（KIMEMATICA AG）で10,000rpm，3分間ホモジナイズし，処理前後の溶液の粘性と抗腫瘍性を測定した。また，凍結乾燥粉末50mgを蒸留水50mLに溶解し，約20時間冷蔵（5℃）で静置した後に，半量はそのまま，残りの半量を100℃で15分間加熱して加熱多糖溶液を調製して，未加熱および加熱多糖溶液をそれぞれさらにマイクロ波加熱処理（30秒），超音波処理（5分間）を行い，各処理を行った溶液の粘度と抗腫瘍活性を測定した。

ガゴメ多糖溶液をホモジナイズすることに

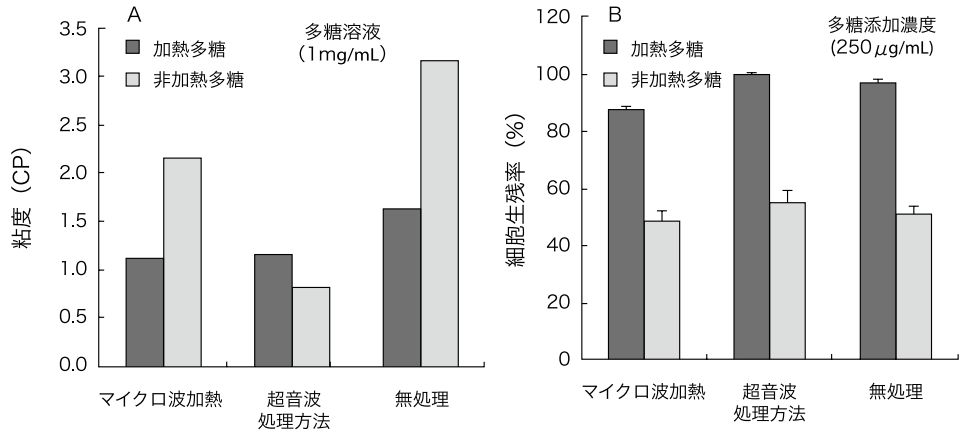


図 8　ガゴメ抽出多糖の粘性 (A) と抗腫瘍活性 (B) に及ぼすマイクロ波，超音波処理の影響

よって，溶液の粘度が明らかに低下し，同様に抗腫瘍活性も低下した。また，ガゴメ多糖溶液および加熱処理した溶液をそれぞれマイクロ波加熱，超音波処理を行った溶液の粘性と抗腫瘍活性を測定した結果（**図 8**），非加熱および加熱多糖溶液ともにマイクロ波加熱，超音波処理を行うことにより，溶液の粘性が低下し，特に非加熱の多糖溶液ではマイクロ波処理に比較して超音波処理での粘度の低下が著しかった。抗腫瘍活性では非加熱，加熱の多糖溶液ともにどの処理を行っても大きな変化は認められなかった。

ガゴメ多糖溶液は加熱，有機酸添加，高速攪拌，マイクロ波加熱，超音波処理を行うことによって粘性および抗腫瘍活性の低下し，加熱処理を行い粘性および抗腫瘍活性が低下した多糖溶液はどの加工処理を行っても非加熱のレベルに賦活することはできず，ガゴメ多糖溶液の加熱などによる変化は不可逆的であると考えられた。

おわりに

ガゴメの粘性多糖の抗腫瘍性などの様々な機能性は主に粘性多糖を構成するフコイダンに起因すると考えられている。ガゴメから抽出精製したフコイダンを主体とする多糖はその大きな特徴である強い粘性が抗腫瘍性などの機能性と強い関連性を有し，多糖の分子形状が粘性や機能性の発揮のメカニズムに重要であると考えられる。今後，これらのメカニズムを詳細に明らかにして，ガゴメ多糖が本来保持している特性（粘性，機能性）を維持あるいは強化した食品の開発を目指したい。

謝辞

本研究の一部は文部科学省「都市エリア産学官連携推進事業【発展型】函館エリア（平成 18 年～ 20 年度）」および（独）科学技術振興機構「平成 21 年度シーズ発掘試験 A（発掘型）」の助成を受けて行われた。

参考文献

1）マリンネット北海道水産現勢漁業生産高検索，http://www.fishexp.hro.or.jp/marineinfo/internetdb/index.htm
2）真木長彰, 寺島裕晃, 中村啓美:コンブ．現代おさかな辞典　漁場から食卓まで．編集　伊勢直人．東京，(株) エヌ・ティー・エス，979-983，1997
3）宮下和夫：海藻カロテノイド、フコキサンチンの抗肥満活性．抗肥満食品・素材開発と応用展開．監修　大澤俊彦．東京、（株）シーエムシー出版、118-129，2007
4）丸山弘子：海藻と免疫機能－特にフコイダンの生理活性－．海藻 54：115-122，2006
5）文部科学省都市エリア産学官連携推進事業【一般型　H15-17 年度】「ガゴメ及びイカの高付加価値化等に関する開発研究」
6）文部科学省都市エリア産学官連携推進事業【発展型　H18-20 年度】「マリン・イノベーションによる地域産業網の形成」
7）函館がごめポータルサイト，http://www.hakodategagome.jp/
8）山田信夫：海藻利用の科学．東京，成山堂書店，130-134，2001
9）谷　久典，大石一二三：フコイダンの新規生理機能．*New Food Industry* **43**(5)：6-10，2001
10）飯塚真理子：メガブフコイダンの機能性．*New Food Industry* **47**(9)：1-7，2005
11）酒井　武，加藤郁之進：ガゴメ昆布由来「コンブフコイダン」の新規健康食品素材としての開発．*New Food Industry* **40**(12)：1-5，1998
12）加藤郁之進，酒井　武，佐川浩章：フコイダンの機能性とその効果．ジャパンフードサイエンス **9**：43-47，2000
13）酒井　武，加藤郁之進：コンブフコイダンの機能性と健康食品への利用．*New Food Industry* **43**(2)：8-12，2001
14）水谷滋利，廣田友花，山口寿々 , 他：ガゴメ昆布フコイダンの機能性．*New Food Industry* **50**(11)：22-34，2008
15）特許公開 2009-227618　ガゴメ由来免疫賦活剤およびガゴメ由来粘性多糖類の抽出方法

DNA マイクロアレイ法を使った高麗人参（紅蔘）摂取におけるマウス組織の遺伝子発現解析

サン・ファン [*1]　和田　政裕 [*2]　岸　恭正 [*3]　池田　恵二 [*4]　渡辺　宏 [*5]

[*1] *SUN Fang*（日本サプリメント臨床研究会），
[*2] *WADA Masahiro*（城西大学），[*3] *KISHI Yasumasa*，[*4] *IKEDA Keiji*，[*5] *WATANABE Hiroshi*（日本製粉株式会社）

Key Words：高麗人参（紅蔘）・DNA マイクロアレイ・美容・血糖値・免疫機能

要　旨

高麗人参（紅蔘）は，古代から韓国の人々によって使われている伝統的な健康に良い植物である。紅蔘には血糖値のコントロール，ストレス緩和，体力の維持や強化など，多くの作用が報告されている。本研究では高麗人参摂取の作用を分子レベルで評価するために，DNA マイクロアレイ技術を用いた。本実験では，実験群として雌雄別２群（各群８匹ずつ）のマウスに紅蔘を投与し，対照群として紅蔘非投与の雌雄別２群（各群８匹ずつ）のマウスを使用した。４週間後，皮膚と肝臓の総 RNA を抽出し，DNA マイクロアレイ解析を用いて網羅的に解析し，遺伝子発現レベルを検討した。

本研究の結果により，コラーゲン合成，糖代謝，組織代謝などに関わる遺伝子が発現増加することがわかった。マウスの体重は，紅蔘摂取の影響を受けなかった。また，リポタンパク質，アクチンなど基本的な身体機能の遺伝子は影響を受けなかった。このように，解析の結果，高麗人参が肌の健康や血糖値のコントロール並びに，癌の抑制などに効果のある機能性食品になり得ることがわかった。

はじめに

高麗人参（紅蔘）は，韓国で，主に優れた栄養源として，また長命を目的として古代から使われて来た根菜類である。栽培には特に長い期間（平均４年～６年）を要し，野生の人参は通常山でごくわずかしか見つけることができないため，王室とその家族，または学者など，ごく一部の人しか賞味できない，高価で貴重なものだった。

現代では，人工栽培とメディアによる普及のおかげで，紅蔘の生産量は増加し，一般人も賞味できるようになった。紅蔘の多くの機能，例えば血糖値のコントロール，免疫力の強化，癌の抑制などがよく知られるようになった[1)]。しかし，これらの機能のメカニズムは，まだ解明されていないことが多い。

分子レベルで物質を評価する従来の方法には，knock-out マウスを用いた試験または生化学分析評価がある。これらの実験は，当該製品を通常限られた数と既知の遺伝子でテストする。一方，高いスループット分析ツールの１つとなっている DNA マイクロアレイ技術は，比較的短い時間に，一度に全部のゲノムを検討し，莫大な量の情報を分析できる[2, 3)]。

この研究の目的は，紅蔘の女性の美容への影響，血糖値やコレステロール制御，免疫機能などへの影響を評価することである。我々は，マウスを動物モデルとし，DNA マイクロアレイをツールとし，C57BL/6j マウスの皮膚と肝臓でこの研究を行った。

1. 実験方法

1-1. 実験動物

実験動物には，8 週齢 C57BL/6 マウス（日本クレア社）雌雄各 16 匹を用いた。1 週間環境順化を行った後，実験群として雌雄各 8 匹マウス 2 群に紅蔘を含めた餌を投与し，4 週間餌育を行った。コントロール群の雌雄各 8 匹マウス 2 群には，餌だけを投与した。高麗紅蔘エキスの飼料は，AIN93-G を基本とし，その餌に含まれる内容量の 0.2% にあたるコーンスターチを，高麗紅蔘エキスに置き換えた。従って，マウスの平均摂餌量を 1 日 3g，平均体重を 25g とすると，実験群マウスの高麗紅蔘エキス摂取量は，240mg/kg 体重 /day となる。飼育が終わったら，マウスを屠殺し，皮膚と肝臓を取った。マウスは，室温，自然湿度で，自然昼夜サイクルの環境下飼育を行った。

1-2. RNA 抽出

肝臓の total RNA は FastPure RNA Kit（タカラバイオ株式会社））を用い抽出した。皮膚の Total RNA は Takara Iso Plus と Fast Pure RNA Kit の併用法で抽出を行った。抽出した RNA は NanoDrop1000（Terumo），BioAnalyzer2100（Agilent Technology，Tokyo，Japan）を用いて，それぞれ定量と品質評価を行った。

1-3. DNA マイクロアレイ

組織から抽出した RNA は RIN（RNA integrity Number）値が 6 以上のものを用いて，各群等量ずつ混合し，500ng /μL に調製した。Total RNA 500 ng から cRNA を合成し，Whole Mouse Genome（4 × 44K・Agilent technology, Tokyo, Japan）（10,000 以上の遺伝子数）搭載のプローブとハイブリダイゼーションを行った。その後，DNA マイクロアレイスキャナ（Agilent technology, Tokyo, Japan）で肝臓と皮膚の遺伝子の発現強度を検出した。実験操作は，Agilent 4 × 44K オリゴマイクロアレイ用；Protocol Version5.7 に従いて行った。検出した各アレイの発現強度は，解析ソフトウェア GeneSpring GX10（Tomy digital biology）を用いて正規化を行った。正規化の方法は，Median Shift normalization to the 75 percentile 法を用いた。本実験に用いた 4 群に一つ以上発現が確認された遺伝子を解析対象遺伝子とした。

1-4. データ解析

各アレイ間のデータは，総強度正規化した。スポットの形状が不良と判定されたもの，スポットの周囲のバックグラウンド領域によごれがみられたもの，スポット内でシグナル強度が飽和したピクセル数の割合が大きいもの，シグナル強度値がバックグラウンドと有意に差が検出されなかったものをフィルタリングし，適正と判定されたスポットのみを解析対象とした。さらに，1 つの遺伝子に対し，複数の転写産物が設定されているデータに関しては，データ傾向が同一であるもののみを信頼できるデータとして扱った。 データ解析ツールとしては，Key Molnet Lite（医薬分子設計研究所）を用いた。

2. 結　果

2-1. マウスの体重

マウスの体重は，紅蔘摂取の影響を受けなかった。4 週間の実験後，実験群とコントロール群のマウスの体重には変化がなかった（**表 1**）。

2-2. 検出遺伝子数

皮膚では 41,252 個の遺伝子転写産物が検出され，肝臓でも 41,252 個の転写産物が検出された。上記検出数は，スポットの形状不良や汚れがないことを確認後，すべての群で発現しなかった遺伝子を除いた変動数である。その結果，皮膚では 28,036，肝臓では 25,609 の転写産物を解析対象とした。 各アレイ間のデータは総強度正規化を行った。正規化した実験群マウ

表 1　実験 4 週間後マウスの体重

番号	紅蔘を摂取された		コントロール	
	♀（雌）	♂（雄）	♀（雌）	♂（雄）
①	20.8	23.9	21.1	26.0
②	19.8	25.9	19.1	24.9
③	20.3	24.4	21.3	26.8
④	20.2	25.3	20.4	23.1
⑤	20.1	24.7	22.4	23.7
⑥	18.9	25.0	21.8	25.0
⑦	18.9	25.1	19.4	24.0
⑧	19.7	24.6	20.9	23.0
平均 g	19.8	24.8	20.8	24.6

ス組織の値（experimental）を，コントロールの値（control）と比較した。原則として，発現強度が 2 倍以上になった転写産物を発現増加群，発現強度が 1/2 倍以下になった転写産物を発現減少群とした。比較した相対値（experimental/control（E/C））が 0.9 ～ 1.2 の値の場合は変動なしとし，遺伝子によって，一つ一つを検討した。

発現強度の変動した数を以下にまとめた。発現が増加した転写産物は，雌マウス皮膚で 1,042 個，雄マウス皮膚で約 2,500 個検出された。肝臓では，雌で 1,300 個，雄で 1,397 個検出された。

2-3.　マウス皮膚組織での肌の生理に関わる遺伝子群（表 2）

1）紅蔘がコラーゲン生産遺伝子に与える影響

紅蔘がコラーゲン生産遺伝子に与える影響を検討した。その結果，コラーゲンの合成に関連する遺伝子 procollagen XXIII　alpha 1 の E/C 値は，雌マウスでは 2.0，雄マウスでは 1.4 だった。雌において発現増加を認めた。

2）皮膚細胞（すなわち上皮細胞と線維芽細胞）の生長に関連する遺伝子に与える影響

上皮細胞や真皮線維芽細胞の成長に関係する遺伝子，すなわち，fibroblast growth factor receptor substrate 2（Frs2）　と epidermal growth factor receptor（Egfr），transcript variant 1[4] の E/C 値は，それぞれ雌 2.3，雄 0.3 と雌 1.4，雄 1.6 だった。Frs2 の転写産物は雌では発現増加し，雄では減少した。Egfr の値は変動しなかった。

3）レチノイン酸に関連する遺伝子

レチノイン酸はビタミン A に類似した化合物で，多くの生物経路に関係している[5, 6]。関連遺伝子 cellular retinoic acid binding protein II の E/C 値は，雌では 1.6，雄では 1.5 だった。明確な発現増加は認められなかったが，微増した

表 2　皮膚での肌の生理に関連する遺伝子

遺伝子名 *	相対値 **（KFS/CFS）	相対値（KMS/CMS）
Procollagen XXIII　alpha 1 (Col23a1)	**2.0**	1.4
Fibroblast growth factor receptor substrate 2 (Frs2)	**2.3**	0.3
Epidermal growth factor receptor (Egfr), transcript variant 1	1.4	1.6
Cellular retinoic acid binding protein II (Crabp2)	1.6	1.5
A disintegrin and metallopeptidase domain 10 (Adam10)	**2.1**	0.9
Matrix metallopeptidase 11 (Mmp11)	**2.0**	1.1
Tissue inhibitor of metalloproteinase 4 (Timp4)	1.4	1.4

*　マウス遺伝子の転写産物（mRNA)。
** 相対値は関係する酵素の転写産物発見レベルを比較した数値。
KFS は高麗人参を摂取させた雌マウスの皮膚，CFS はコントロール雌マウスの皮膚。
KMS は高麗人参を摂取させた雄マウスの皮膚，CMS はコントロール雄マウスの皮膚。
太数字は増加したとした値，　内数字は減少した値。

表 3.1　肝臓での糖代謝などに相関する遺伝子

遺伝子名	相対値 (KFL/CFL)*	相対値 (KML/CML)**
Glucokinase (Gck)	1.4	1.2
Hexokinase 1 (Hk1)	1.3	0.7
Solute carrier family 2 (facilitated glucose transporter), member 1 (Slc2a1)	1.3	1.4
Insulin I (Ins1)	**5.9**	1.2
3-hydroxy-3-methylglutaryl-Coenzyme A reductase (Hmgcr)	1.7	1.1
Lipase, hepatic (Lipc)	1.4	0.9
Endothelin 1 (Edn1)	0.9	1.2

* KFL は高麗人参を摂取させた雌マウスの肝臓，CFL はコントロール雌マウスの肝臓。
**KML は高麗人参を摂取させた雄マウスの肝臓，CML はコントロール雄マウスの肝臓。
太数字は増加したとした値

可能性がある。

4）組織新陳代謝に関連する遺伝子

多数の生物新陳代謝に関係している遺伝子を検討した。ADAM-MMP-TIMP 経路[7]は種々の組織のリモデリング（再編，改造）過程で機能を果たしている。この経路の鍵遺伝子である a disintegrin and metallopeptidase domain 10 遺伝子の E/C 値は雌では 2.1，雄では 0.9，matrix metallopeptidase 11 の E/C 値は雌では 2.0，雄では 1.1，tissue inhibitor of metalloproteinase 4 遺伝子の E/C 値は，雌雄ともで 1.4 だった。遺伝子発現増加は雌でのみ認められた。

2-4.　マウス肝臓組織で検討した相関遺伝子群

1）紅蔘が糖代謝などに与える影響（**表** 3.1）

紅蔘が糖代謝に与える影響を検討した。ヒトの血糖値は厳密にコントロールされ，多数の遺伝子が関わっている。解糖系において，グルコース異化の律速酵素である glucokinase[8]遺伝子転写産物の E/C 値は，雌では 1.4，雄では 1.2 だった。類似した糖異化酵素である hexokinase 1 の E/C 値は，雌では 1.3，雄では 0.7 だった。また，血中グルコースの輸送を容易にする，そして，血中グルコースの利用と代謝を助けるとされている solute carrier family2（facilitated glucose transporter）member 1 の E/C 値は，雌では 1.3，雄では 1.4 だった。

さらに，グリコーゲン合成関連遺伝子の insulin 1 の E/C 値は，雌では 5.9，雄では 1.2 だった。Insulin 1 のみ雌で発現増加を見た。

脂質代謝に関しては著明に発現増加する遺伝子は認められなかった。即ちコレステロール合成の律速酵素である 3-hydroxy-3-methylglutaryl-Coenzyme A reductase[9～11]の E/C 値は雌では 1.7，雄では 1.1 だった。また，脂肪分解に重要である hepatic lipase の E/C 値は雌では 1.4，雄では 0.9 だった。

血管を収縮させて，血圧を上げるタンパク質である endothelin1 の E/C 値は，雌では 0.9，雄では 1.2 だった。

2）免疫，抗がん性などに関連する遺伝子（**表** 3.2）

自然免疫（innate immunity）反応に参加するタンパク質である C-type lectin domain family 2, member d[12]の E/C 値は，雌では 1.3，雄では 11.5 だった。また主として Th-2 型 T リンパ球によって分泌され，抗体産生などの液性免疫応答を促進するサイトカインである interleukin4 の E/C 値は，雌では 1.5，雄では 1.6 だった。同様に主に Th-2 型 T リンパ球が産生し，免疫応答を抑制する interleukin10 の E/C 値は雌雄共に 1.3 だった。また，炎症反応のメヂエータであるロイエトリエン合成に関わる遺伝子

表 3.2　肝臓での免疫，抗癌などに相関する遺伝子

遺伝子名	相対値（KFL/CFL）	相対値（KML/CML）
C-type lectin domain family 2, member d (Clec2d)	1.3	**11.5**
Interleukin 4 (Il4)	1.5	1.6
Interleukin 10 (Il10)	1.3	1.3
Arachidonate 5-lipoxygenase (Alox5)	**6.9**	1.1
Bcl2-like 14 (apoptosis facilitator) (Bcl2l14)	1.5	0.5
Fas ligand (TNF superfamily, member 6) (Fasl)	0.7	**2.3**
FAT tumor suppressor homolog 3 (Drosophila) (Fat3)	0.9	**13.5**
Mitogen-activated protein kinase kinase kinase 6 (Map3k6)	**2.4**	1.1

太数字は増加したとした値，内数字は減少した値。

表 3.3　肝臓での肌，ホルモンなどに関連する遺伝子

遺伝子名	相対値（KFL/CFL）	相対値（KML/CML）
Procollagen, type IV, alpha 5 (Col4a5)	**2.9**	0.2
Procollagen, type XXIII, alpha 1 (Col23a1)	1.6	**5.3**
Fibronectin 1 (Fn1)	1.5	0.6
Fibroblast growth factor 1 (Fgf1)	1.6	1.1
Fibroblast growth factor receptor substrate 2 (Frs2)	1.4	1.4
Retinoic acid receptor, alpha (Rara)	1.4	0.3
Sperm motility kinase 3B (Smok3b)	0.9	**14.8**
Estrogen receptor 1 (alpha) (Esr1)	**3.0**	1.5
Progestin and adipoQ receptor family member III (Paqr3)	1.8	0.8

太数字は増加したとした値，内数字は減少した値。

Arachidonate 5-lipoxygenase[13] の E/C 値は雌では 6.9，雄では 1.1 だった。

抗がん性について，アポトーシスを促進する遺伝子である Bcl2-like 14（apoptosis facilitator）[14] の E/C 値は，雌では 1.5，雄では 0.5 だった。また，アポトーシスを誘導するサイトカインである Fas ligand（TNF superfamily，member 6）の E/C 値は雌では 0.7，雄では 2.3 だった。腫瘍抑制相関遺伝子である FAT tumor suppressor homolog 3（Drosophila）の E/C 値は雌では 0.9，雄では 13.5 だった。

また，一般的に新陳代謝を促進すると言われている遺伝子 Mitogen-activated protein kinase kinase kinase 6 の値は雌では 2.4，雄では 1.1 だった。

3）皮膚の健康やホルモンなどに関する遺伝子（表 3.3）

マウス皮膚で発現が増加した，皮膚の健康に関連する遺伝子のほとんどは，肝臓でも発現レベルが上昇していることがわかった。Protocollagen type IV alpha5 遺伝子の値は雌では 2.9，雄では 0.2 だった。この遺伝子は雌の肝臓でのみ，発現増加した。Protocollagen type XXIII alpha 1 遺伝子の値は，雌では 1.6，雄では 5.3 だった。この遺伝子は雌の皮膚でも増加したことが認められた。Fibronectin，fibroblast growth factor1，fibroblast growth factor receptor substrate2　と retinoic acid receptor，alpha 遺伝子の E/C 値は，全部 2 以下で，発現増加が認められなかった。

精子運動性相関遺伝子 Sperm motility kinase 3B の E/C 値は，雌では 0.9，雄では 14.8 だった。女性ホルモンに関しては，Estrogen receptor 1（alpha）遺伝子の値は雌では 3.0，雄では 1.5 だった。Progestin and adipoQ receptor family member III の E/C 値は，雌で 1.8，雄で 0.8 倍だった。

3. 考　察

現在高麗人参（紅蔘）は健康食品として広く利用されている。本実験では，DNA マイクロアレイを用いて，雌マウスおよび雄マウスに紅蔘を摂取させた時の遺伝子発現レベルを，コントロールと比較した。その結果，紅蔘の摂取は各々の転写産物の発現を顕著に変動させた。紅蔘が生物調節分子として機能することを示していた。

本研究結果より，皮膚については，コラーゲン生産に関する遺伝子（Col4a5，Col23a1）は，マウス皮膚と肝臓組織両方で発現増加が認められた。異なるコラーゲン生産遺伝子は，作用がそれぞれに違うのだが，これらの遺伝子の発現増加は皮膚の弾力を上げることを示唆する。その 2 個の遺伝子については，雌では皮膚の Col23a1 と肝臓の Col4a5 が発現増加し，雄では肝臓の Col23a1 のみが発現増加した。真皮繊維芽細胞の成長に関する遺伝子（Frs2）は雌の皮膚組織でのみ発現増加ことが分かった。一方，この遺伝子は雄の皮膚で発現減少した。

また，皮膚細胞の成長，修復に与する遺伝子（Egfr（皮膚），Fn1（肝臓），Fgf1（肝臓））と Frs2（肝臓），レチノイン酸に関する遺伝子（Crabp2（皮膚），Rara（肝臓））については，雄では顕著な発現減少を示す遺伝子が認められたが（Rara（肝臓）），雌では，そのような発現減少はなく，やや増加する傾向が認められた（皮膚：Egfr，Crabp2；肝臓：Fn1，Fgf1，Frs2，Rara）。

これらの結果，紅蔘が特に女性において，皮膚の健康を保つために役に立つことが示唆された。糖代謝に関しては，解糖系とグリコーゲン合成系の 4 個の遺伝子の中で，Insulin 1 のみ雌の肝臓での発現増加が認められた。しかも，E/C 値は 5.9 と大きな発現増加が認められる。Insulin は糖代謝に重要な作用を持つので，女性に於いては，正常人及び糖尿病患者の血糖値の維持などに効果があることを示唆する。

コレステロールに関しては，コレステロール合成の律速酵素 Hmgcr 遺伝子の E/C 値は 1.7（雌）と 1.1（雄）で，明確な発現増加は認められなかったが，雌では僅かな発現上昇があるかもしれない。また，コレステロール合成に間接的に関わっている肝臓リパーゼ （hepatic lipase）の E/C 値も変動しなかった。結論として，紅蔘は血中コレステロールレベルには明確な影響を与えなかった。

血圧に対する影響については，endothelin1 遺伝子の発現変動はみとめられなかった。しかし，この遺伝子の上下流の遺伝子への影響，あるいは，他の血圧に関連する遺伝子の検討が必要と思われた。

免疫について，自然免疫，サイトカイン，炎症反応などを検討した。通常マクロファージ，樹状細胞，NK 細胞などに発現され，微生物病原体の PAMPs（pathogen-associated molecular pattern）を認識し，自然免疫（innate immunity）反応に参加するタンパク質である C-type lectin domain family 2, member d の E/C 値は，雄 11.5 となっている。また主として Th-2 型 T リンパ球によって分泌され，抗体産生などの液性免疫応答を促進するサイトカインである interleukin4 の E/C 値は，雌 1.5，雄 1.6，同様に主に Th-2 型 T リンパ球が産生し，免疫応答を抑制する interleukin10 の E/C 値は雌雄 1.3 となった。免疫機能については，紅蔘が雄マウスで自然免疫の反応を活性化する可能性がある。

炎症反応を調整する遺伝子 Arachidonate 5-lipoxygenase の値は雌 6.9 となっている。Arachidonate 5-lipoxygenase はアラキドン酸からロイコトリエンを作る酵素で，ロイコトリエンの産生が促進されることになる。ロイコトリエンは気管支収縮，血管透過性の増加，好中球の走化性促進など，アレルギー反応や炎症反応の維持に重要な役割を果たしているので，微生物病原体の感染防御，外傷の修復の促進に働くが，慢性炎症やアレルギーの増悪などの副作用的な面も考えられる。

抗癌性の指標となる遺伝子としては，細胞のアポトーシスに関連する 3 個の遺伝子 Bcl2-l14，Fasl，Fat3 から，2 個の遺伝子 Fasl，Fat3 は雄でのみ発現増加が認められている。また新陳代謝に相関する遺伝子，Map3k6 は，雌でのみ発現増加がみられた。

ホルモンなどについては，精子運動性キナーゼ Smok3b が 14.8 と上がっていることで，紅蔘が男性不妊の改善の可能性が示唆されている。女性ホルモンの estrogen receptor1 遺伝子は雌で 3.0 となり，発現増加が認められた。また，progestin and adipoQ receptor family member III 遺伝子は共に，脂質代謝と黄体ホルモンの活性化に参加する。この遺伝子の値は雌で 1.8 となっているので，高麗人参が女性に脂肪代謝と黄体ホルモンの作用を活性化する可能性を示唆している。

結論として，DNA マイクロアレイの方法で，高麗人参の摂取による生体への影響を見ることは大変有力な方法であることが分かった。また，高麗人参の摂取は，皮膚の代謝，血糖値の調節，免疫系，アポトーシス関連遺伝子に影響を与える可能性が示唆された。さらに，雌雄マウスに共通な作用と性特異的作用があることが遺伝子レベルで解明された。動物モデルとして本実験に用いたマウスは正常マウスであるため，今後，疾患があるマウスで，例えば，糖尿病モデルマウスで，血糖のコントロールなどをタンパク質および mRNA レベルで検討することが望まれる。

参考文献

1）長谷川秀夫，著者と編集者：高麗人参最前線―サポニン代謝物はガンに負けない！ 東京，健仁舎発行，197 頁，2002.

2）Schena M, Shalon D, Davis RW *et al*: Quantitative monitoring of gene expression patterns with a complementary DNA microarray. *Science* **270** (5235): 467-470, 1995.

3）中谷祥恵，真野 博，古旗賢二，他：DNA マイクロアレイ法を用いたグルコサミン塩酸塩および N- アセチルグルコサミン摂取におけるマウス肝臓の遺伝子発現解析 . グルコサミン研究 **4**: 1-8, 2008.

4）Huang L, Watanabe M, Chikamori M *et al*: Unique role of SNT-2/FRS2 /FRS3 docking/adaptor protein for negative regulation in EGF receptor tyrosine kinase signaling pathways. *Oncogene* **25**:6457-6466, 2006.

5）Fisher GJ, Talwar HS, Xiao JH *et al*: Immunological identification and functional quantitation of retinoic acid and retinoid X receptor proteins in human skin. *J. Biol. Chem*. **269** (32): 20629-35, 1994.

6）Zoe DD, Lauren A. Thaman, authors and editors: Cosmetic formulation of skin care products (*Cosmetic Science and Technology Series* Vol. 30), Taylor and Francis Group, New York, 2006.

7）Huh MI, Lee YM, Seo SK *et al*: Roles of MMP/TIMP in regulating matrix swelling and cell migration during chick corneal development. *Journal of cellular biochemistry* **101** (5): 1222-1237, 2007.

8）Froguel P, Vaxillaire M, Sun F *et al*: Close linkage of glucokinase locus on chromosome 7p to early-onset non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Nature* **356**:162-4, 1992.

9）Hodge VJ, Gould SJ, Subramani S, *et al*. Normal cholesterol synthesis in human cells requires functional peroxisomes. *Biochem. Biophys. Res. Commun*. **181** (2): 537-41, 1992.

10）Ramharack R, Tam SP, Deeley RG: Characterization of three distinct size classes of human 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase mRNA: expression of the transcripts in hepatic and nonhepatic cells. *DNA Cell Biol*. **9** (9): 677-90, 1991.

11）Brown MS, Goldstein JL. The SREBP pathway: regulation of cholesterol metabolism by proteolysis of a membrane-bound transcription factor. *Cell* **89** (3): 331, 1997.

12）Iizuka K, Naidenko OV, Plougastel BF *et al*: Genetically linked C-type lectin-related ligands for the NKRP1 family of natural killer cell receptors. *Nat. Immunol* **4** (8): 801-7, 2003.

13）Radmark OP: The molecular biology and regulation of 5-lipoxygenase. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. **161** (2 Pt 2): S11-5, 2000.

14）Guo B, Godzik A, Reed JC: Bcl-G, a novel pro-apoptotic member of the Bcl-2 family. *J Biol Chem* **276** (4): 2780-5, 2001.

―地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索―
ガマズミ果実の抗酸化成分およびヒトにおける抗酸化作用

岩井　邦久 *

IWAI Kunihisa（青森県立保健大学・健康科学部・栄養学科）

Key Words：ガマズミ果実・抗酸化作用・アントシアニン類・ポリフェノール類・過酸化脂質濃度・ヒト

はじめに

食品には栄養素をつかさどる一次機能，味に関わる二次機能，生体調節に関与する三次機能がある。食べても安全であるという大前提の元に，生命を営む上でこれらの機能はいずれも重要であるが，現代社会では特に三次機能への注目が高まっている。その背景には，日本人の高齢化とともに生活習慣病の増大が社会的問題となっていることがある。生活習慣病を減らすために，適切な生活習慣を身につけ，食による一次予防の重要性が人々に広く認識されるようになり，その一環として食品の三次機能を有効に利用することが期待されるようになったからである。

生活習慣病には様々な疾患があり，高血圧など普段の生活では気にならないような病気から脳血管疾患や癌など重篤なものまでその程度も様々である。近年では，高血圧，高脂血症，糖尿病などは内臓脂肪型肥満が遠因になっていることが分ってきた。さらに，これらの生活習慣病が重複すると，動脈硬化症や重篤な循環器系疾患に罹るリスクが高まることも明らかになっている[1)]。一方，これらの生活習慣病のほとんどは活性酸素やフリーラジカルによって引き起こされていると言われている[2)]。即ち，活性酸素やフリーラジカルによる分子レベルの酸化傷害が細胞レベル，臓器レベルへと損傷・障害を広げることで発症に至っていると考えられている。活性酸素やフリーラジカルは，生体の防御反応などに必要な物質であり，日常的に生体内で生成しているが，過剰に発生したり消去しきれなくなると正常細胞に酸化傷害をもたらす。また，喫煙，強い紫外線，ストレスなど，身近な環境要因が過剰な活性酸素の発生を引き起こすことも知られている。従って，生活習慣病を予防するためには，活性酸素やフリーラジカルを消去したり，酸化傷害に抵抗する力，即ち抗酸化活性を高めることが有効と考えられている。

食品にも抗酸化作用に優れた食品が多々ある。特に，植物性食品には抗酸化ビタミンやポリフェノール類などの抗酸化作用に優れた物質が豊富に含まれているものが多い。我々もこのような点に着目し，これまで地域の食資源から抗酸化作用に優れた食品やその成分を探索してきた[3)]。ガマズミ（*Viburnum dilatatum* Thunb）はそのスクリーニングから見出された果実であり，生体内での酸化傷害抑制作用について研究を重ねてきた。ここでは，ガマズミ果実の抗酸化作用に関する研究ついて，活性成分の解明とヒトにおける検討を紹介する。

1. ガマズミの抗酸化成分

ガマズミはスイカズラ科の落葉低木であり，国内ではいくつかの種類が丘陵地帯を中心に分布している[4]。ガマズミの研究については，同属種の葉や樹皮等に含まれるトリテルペン類に関する研究や，果実の成分に関する研究が国内外で行われているが[5-7]，ガマズミ果実（図 1）の生理作用に関する報告は皆無に近かった。

図 1　ガマズミ果実（11 月）

我々は，1998 年よりガマズミ果実の生理作用に関する研究を開始し，ラジカル消去活性および動物試験によるストレス性潰瘍の抑制効果や酸化傷害抑制作用などを見出した。その作用発現において，生体内の抗酸化酵素の誘導は見られず，肝臓の抗酸化能は増大したことから，ガマズミ果実の成分が抗酸化作用を発揮して，ストレスが誘発する酸化傷害を抑制していることが推察された[8-10]。この酸化傷害抑制作用は，糖尿病モデル動物でも発揮されることを明らかにした[11]。そこで，これら生理作用に関与する抗酸化成分を探索した。ガマズミ果汁にはビタミン C が含まれている他，Folin-Denis 法による総ポリフェノール濃度は 4.45 mg/mL であり，赤ワインに匹敵することから，我々はガマズミ果実の抗酸化作用にはポリフェノール類が関与しているのではないかと考え，その同定を行った。

ガマズミ果実粗抽出物（GCE）を Sephadex LH-20 カラムクロマトグラフィーに負荷し，1% ギ酸とメタノールの混合溶液を流した。メタノール濃度を段階的に増加させることで，GCE を 4 つに分画した。ヒドロキシルラジカル（·OH）およびスーパーオキシドアニオンラジカル（O_2^{-}·）に対する各分画物の消去活性を電子スピン共鳴装置（ESR）にて測定したところ，20% メタノール溶出画分および 60% メタノール溶出画分に強いラジカル消去活性を認めた。そこで，フォトダイオードアレイ検出による高速液体クロマトグラフィー（HPLC-PDA）でこれらの画分を分析すると，計 4 本の大きなピークが検出された（図 2）。そのうち A および B は両画分に検出され，510～520 nm に吸収極大を有していたことから，アントシアニン類であることが予測された。残りの C および D は 320 nm

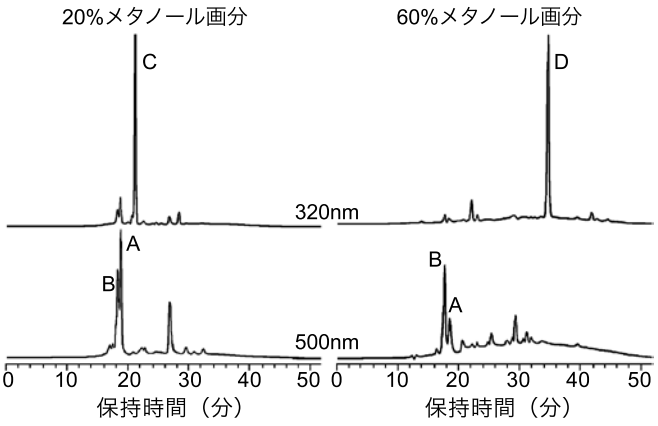


図 2　ガマズミ果実粗抽出物から分画した 20%メタノール画分および 60%メタノール画分の HPLC クロマトグラム

HPLC 分析条件 : D-7100S ポンプ (日立); L-7450PDA 検出器 (日立); Capcell Pak C_{18} AG120 カラム (4.6 mm i.d. × 250 mm L., 資生堂); 移動相，5%ギ酸 / アセトニトリル (60 分間でアセトニトリルを 2%から 45%に増加するリニアグラジエント); 流速，1.0 mL/min; 検出波長，320 および 500 nm.

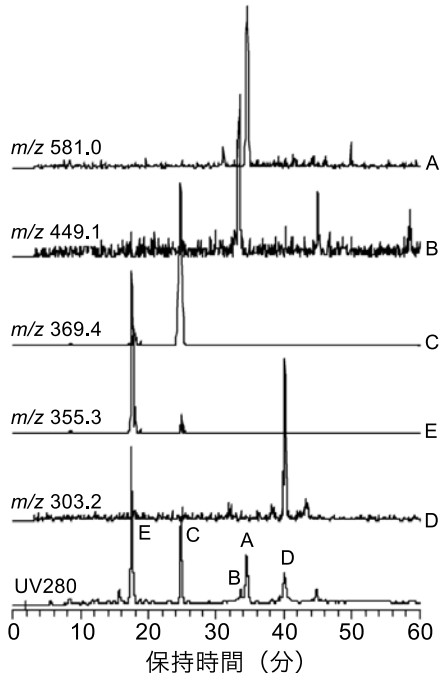


図3　ガマズミ果実粗抽出物のLC/MSクロマトグラム

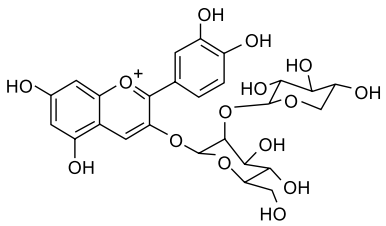
A, C3S; B, C3G; C, MeO-CQA; D, Qrt; E, 5-CQA. 分析条件：カラム，Capcell Pak C_{18} UG120（2 mm i.d. X 150 mm L., 資生堂）; 移動相，1%ギ酸 / メタノール（60 分間でメタノールを 5%から 70%に増加するリニアグラジエント）; 流速，0.2 mL/min; 検出，280 nm; ESI 陽イオンモード; N_2, 2.5 L/min; イオン化電圧, 5 kV; キャピラリー温度，290℃; キャピラリー電圧，10 V.

および 370 nm に吸収極大を有し，別のポリフェノール類と推察された。

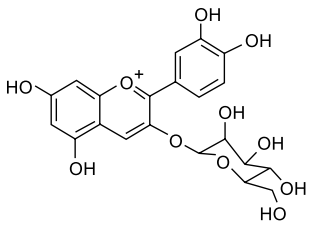
また，分画前の GCE の HPLC 分析では，これら両画分には検出されなかった大きなピーク E が認められた。そこで A~E を HPLC にて分取，精製し，核磁気共鳴分析（NMR），液体クロマトグラフィー質量分析（LC/MS/MS）および糖分析を行った。

アントシアニン類と推定された A は，LC/MS 分析で分子量 581 を示し，MS/MS 分析ではシアニジンを示すフラグメントが得られたことから，シアニジンの配糖体と予想された。そこで，A を塩酸で加水分解し，ピリジルアミノ化して糖質を蛍光検出の HPLC で分析するとグルコースおよびキシロースが検出された。さらに ^{1}H-NMR および ^{13}C-NMR 分析から，各コンポーネントの存在と結合位置関係が明らかとなり，A は 3 位にグルコースとキシロースが結合したシアニジン 3-サンブビオシド（C3S）であると同定した。

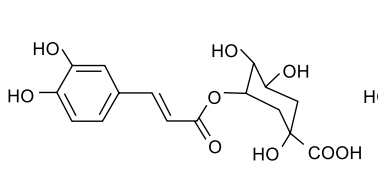
同様の分析手法により，アントシアニンの B は，シアニジンのグルコース配糖体であるシアニジン 3-グルコシド（C3G）であると同定した。他のポリフェノール化合物と推定された C, D および E も，NMR および LC/MS/MS 分析



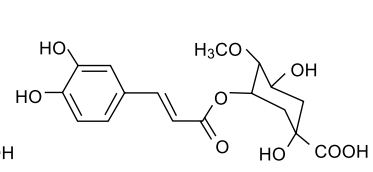
シアニジン3-サンブビオシド（C3S）



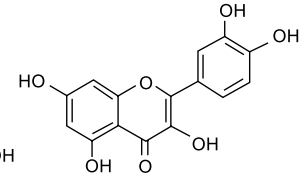
シアニジン3-グルコシド（C3G）



クロロゲン酸（5-CQA）



メトキシクロロゲン酸（MeO-CQA）



ケルセチン（Qrt）

図4　ガマズミ果実から同定した 5 種類のポリフェノール類

の結果，C は 4-メトキシクロロゲン酸（MeO-CQA），D はケルセチン（Qrt），E はクロロゲン酸（5-CQA）であることを明らかにした[12-14]。これらの LC/MS クロマトグラムを図 3 に示し，各成分の構造式を図 4 に示した。C3G，Qrt および 5-CQA は，標品の NMR および LC/MS/MS 分析を行い，その同定を確実なものとした。

これらの成分はいずれも既知化合物であった。しかし，C3G はブドウやブルーベリーなどに良く含まれているアントシアニンであるが，C3S はそれらの果実類にはあまり見られない成分であり，ガマズミ特有のアントシアニンと考えてもよい。また，コーヒーなどに多く含まれている 5-CQA は様々な植物に存在するポリフェノールであるが，このメトキシ型はある種の笹[15]から見つかっており，果実類には珍しいクロロゲン酸誘導体であると考えられる。

これらのポリフェノール類の果実中濃度を HPLC によって定量した結果，最も含量が多いのは 5-CQA であり，次いで MeO-CQA，C3S の順であった（表 1）。C3S は C3G の 30 倍以上含まれており，これがガマズミ果実の主要な色素であることが明らかとなった。さらに ESR で測定したラジカル消去活性は，$O_2^{-}\cdot$ および ·OH ともに C3S の消去活性が強く，これはアスコルビン酸と同等以上の消去能であった。以上の結果から，ガマズミ果実の抗酸化作用に寄与しているポリフェノール類として 5 種類の成分を明らかにし，その中でも C3S と 5-CQA が主要な活性成分であることが示唆された[14, 16]。

2. ヒト摂取試験

ガマズミ・ポリフェノールのラジカル消去活性は，ストレス負荷時の酸化傷害や糖尿状態における生体内酸化亢進の抑制に効果のあることを動物実験で明らかにしてきた[11, 16]。また，糖尿病モデルラットでは血漿中グルコース濃度の増加抑制も認められ，これにはガマズミ・ポリフェノール類の α-グルコシダーゼ阻害作用が関与していることが示唆された[16-18]。

ガマズミ果実は一部の地域で食習慣があり，青森県三戸地域では野生樹の栽培化も進められている。そこで，我々はガマズミ果実の有用性をヒトにおいて確認する目的で，果汁飲料の摂取試験を行った。

摂取試験はヘルシンキ宣言に則って計画・実施され，ボランティア 28 人がインフォームドコンセントを経て自由意志で参加した。ボランティアは青森県 A 町に在住しており，24～56 才の男性 20 人および女性 8 人であった。B 病院の協力の下に事前に採血を行って空腹時血糖値を測定し，正常者（110 mg/dL 未満）18 人と高血糖者（110～140 mg/dL）10 人に分けた。正常者を各 9 人のガマズミ非摂取群（正常 - 非摂取群）およびガマズミ摂取群（正常 - ガマズミ摂取群）に分け，高

表 1　ガマズミ・ポリフェノール類の果実中濃度およびラジカル消去活性

	濃度		ラジカル消去活性（IC_{50}）	
	GCE（μg/mg）	果実（μg/g）	$O_2^{-}\cdot$（μM）	·OH（mM）
C3S	2.80 ± 0.67	141.3 ± 33.8	17.3	4.4
C3G	0.09 ± 0.01	4.5 ± 0.7	69.6	53.2
MeO-CQA	6.89 ± 0.54	347.2 ± 27.4	66.8	40.5
Qrt	0.58 ± 0.08	29.2 ± 4.0	150.8	23.6
5-CQA	12.13 ± 1.19	611.3 ± 60.2	84.9	17.4

濃度データは HPLC で 3 回測定した平均値±標準偏差を示した．ラジカル消去活性は ESR で測定した．

血糖者を各 5 人のガマズミ非摂取群（高血糖 - 非摂取群）およびガマズミ摂取群（高血糖 - ガマズミ摂取群）に分けた。

ガマズミ果汁飲料は，10 月下旬～11 月上旬に収穫したガマズミ果実を圧搾機にて搾汁し，大型ろ布にてろ過したものを瓶詰めし，加熱殺菌して調製した。この手法は実験用 GCE の調製法[9]に基づいており，市販の 100% ガマズミ果汁飲料を製造している方法である。ボランティアにはこれを毎月 600 mL 供給した。

正常 - 非摂取群および高血糖 - 非摂取群は，ガマズミ果汁飲料を摂取しない以外は全て自由な生活条件とした。正常 - ガマズミ摂取群および高血糖 - ガマズミ摂取群は，1 日 1 回 20 mL のガマズミ果汁飲料を摂取し，他の生活条件は自由とした。毎月，B 病院において問診を受け体調をチェックするとともに，絶食下で約 5 mL を採血した。血液は，一部をヘモグロビン A_{1c}（HbA_{1c}）の測定に供し，残りを直ちに 3,000 rpm で 15 分間の遠心分離によって血漿と赤血球に分離し，各測定まで -80℃にて保存した。

試験期間中に体調不良を生じたボランティアはおらず，飲料摂取との因果関係を想起させる事象も発生しなかった。ボランティアの回答によると，毎月の飲料摂取率（実際の摂取回数 / 予定回数）は 81% であった。

野生果樹であるガマズミ果実を食べる習慣は一部地域の住民にはあるものの，この果汁飲料は市販の加工食品として初めて開発されていた製品である。また，長期間にわたる継続摂取も初の試みであったが，ガマズミ果汁飲料を毎日 20 mL，12 ヶ月間飲用しても体調には何ら悪影響を及ぼすことはないことが問診結果から示された。一方，ボランティアからは食欲が増進した等のコメントもあった。ガマズミ飲料の栄養成分組成は，水分 91.5%，粗タンパク質 0.1%，粗脂肪 0.2%，灰分 0.4% および炭水化物 7.8% であり，100 mL 中にはリンゴ酸 211 mg，クエン酸 4 mg およびコハク酸 1 mg が含まれている。本試験では，飲料摂取時間などは規定しなかったが，食物中の有機酸は食欲を増進する報告があることから[19]，食前に摂取した場合などでは飲料中のこれら有機酸が食欲増進に関与したものと思われる。

3. 血糖値への影響

血漿中グルコース濃度は富士ドライケム 3000（富士メディカルシステム社）によって測定した。データは Stat View System（SAS Institute Inc.）を使用し，one way analysis of variance（ANOVA）後に Scheffe test の多重比較を行い，$p<0.05$ を有意な差として検定した。

各群の血漿中グルコース濃度の変化を図 5 に示す。血漿中グルコース濃度は，摂取試験開始時には高血糖 - ガマズミ摂取群と高血糖 - 非摂取群が同等で，正常 - ガマズミ摂取群と正常 - 非摂取群が同等であった。摂取後は，期間による変動はあるものの，高血糖の両群は正常血糖の両群より高い濃度で推移した。高血糖者の中ではガマズミ摂取群の血漿中グルコース濃度が

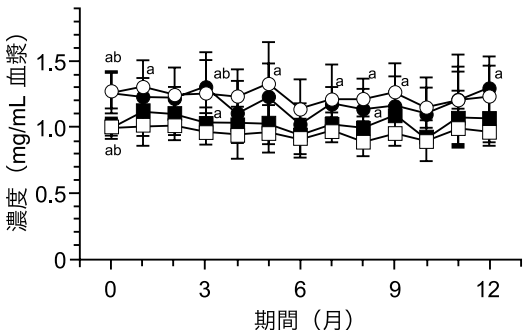


図 5　ガマズミ果汁飲料を 12 ヶ月摂取したボランティアの血漿中グルコース濃度推移

■ 正常 - 非摂取群; □ 正常 - ガマズミ摂取群; ● 高血糖 - 非摂取群; ○ 高血糖 - ガマズミ摂取群．データは平均値±標準偏差で表した．

a は正常 - 非摂取群および b は正常 - ガマズミ摂取群に対する有意差を示す（$p<0.05$）．

やや高く，正常血糖者の中ではガマズミ摂取群の血漿中グルコース濃度が低い傾向を示した。個人毎の血漿中グルコース濃度の推移を見ても多少の変動はあったが，大きく減少したあるいは増加したボランティアはいなかった。

血漿中グルコース濃度は，絶食や食事の影響を大きく受ける。このため，変動の大きかった月では，その変化がガマズミ飲料の摂取によるものか，摂取前の食事の影響によるものなのかは必ずしも明確にはならなかった。従って，正常血糖値のボランティアではガマズミ飲料摂取により血漿中グルコース濃度が低値傾向となったが，高血糖者では高めの定常血糖値に及ぼすガマズミの影響は小さいことが示唆されたことについては，さらにクロスオーバー法等による検討が必要である。

本試験でガマズミ果汁飲料 20 mL から 1 日当たりに摂取するガマズミ果実粗抽出物（GCE）量は 1.66 g であり，体重当りでは 25.6 mg/kg の摂取量と換算される。この量は，血糖値の上昇抑制が認められたストレプトゾトシン糖尿病ラットでの試験[17]における摂取量 2231 mg/kg の 1/87 であった。従って，今回の摂取量は効果を得るには充分ではない可能性があり，1 日の摂取量を増やすこと，また摂取時間を食前に設定するなどの条件設定により，高血糖者においても血糖値は低下する可能性が考えられる。何故ならば，その後の研究では，ストレプトゾトシン糖尿病ラットに GCE を 100～500 mg/kg を 4 週間摂取させた後，経口糖負荷を行った場合に血糖値の上昇が抑制されることを見出しているからである。さらに，GCE の主要なポリフェノール成分である C3S および 5-CQA に酵母由来の α-グルコシダーゼ，ラット小腸由来のスクラーゼおよびマルターゼ，ならびにブタ膵臓由来 α-アミラーゼに対する阻害作用のあることが明らかになったからである[11,18]。

4. HbA_{1c} への影響

各群の HbA_{1c} 濃度の変化を図 6 に示す。摂取試験開始時から高血糖者は正常者よりも HbA_{1c} が高く，この傾向は試験期間中維持された。高血糖者の中では，ガマズミ摂取群が非摂取群より有意ではないが高い値を示して推移した。一方，正常者の中では，有意ではないがガマズミ摂取群が非摂取群より低い HbA_{1c} で推移した。高血糖 - ガマズミ摂取群の値が高く，標準偏差も大きいのは，群中に 1 名のみ高値のボランティアがいたためである。この 1 名のデータを棄却すると高血糖 - 非摂取群と同等の値となった。また，個人の HbA_{1c} 濃度の推移も月毎の変動はあるが，ほぼ同じレベルで推移した。

HbA_{1c} は，血糖コントロールの不良によりヘモグロビンが糖化して生じ，現在では血糖値の重要な指標の一つとして用いられている[20]。これは，血漿中グルコース濃度が絶食や食事の影響を大きく受けるのに対して，HbA_{1c} は 2 ヶ月程度前の血糖状態を反映していると言われることから[21]，検査時の食事状況の影響が少な

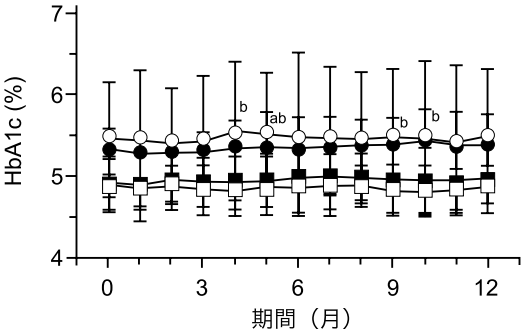


図 6　ガマズミ果汁飲料を 12 ヶ月摂取したボランティアの HbA_{1c} の推移

■ 正常 - 非摂取群; □ 正常 - ガマズミ摂取群; ● 高血糖 - 非摂取群; ○ 高血糖 - ガマズミ摂取群．データは平均値土標準偏差で表した．
a は正常 - 非摂取群および b は正常 - ガマズミ摂取群に対する有意差を示す (p<0.05)．

いためである。本試験においても血漿中グルコース濃度の変動が大きかったことから，採血時の食事状況の影響があったことが考えられる。従って，定常の血糖レベルは HbA_{1c} の方がより正確に反映していると考えられることから，今回の試験において正常血糖者では低下する傾向は見られたものの，高めの定常血糖値を低下させる可能性は少ないと考えられた。

以上のことから，ヒトにおける摂取量の増加と摂取時間の設定，およびその条件下での糖負荷試験の実施は，ガマズミの血糖値に対する作用を解明するために重要な今後の課題となった。

5. 過酸化脂質濃度への影響

血漿および赤血球中過酸化脂質濃度は，チオバルビツール酸反応生成物（TBARS）として，血漿中 TBARS 濃度は Yagi の方法[22]で，赤血球中 TBARS 濃度は Ihm らの方法[23]で測定した（図 7）。

血漿および赤血球中 TBARS は，摂取試験開始時には 4 群間で有意差はなかった。しかし，多少の変動はあるものの，数ヶ月後から高血糖 - ガマズミ摂取群は高血糖 - 非摂取群より，正常 - ガマズミ摂取群は正常 - 非摂取群より TBARS が低下する傾向を示した。特に，5 ヶ月および 12 ヶ月後では，高血糖 - ガマズミ摂取群の血漿中 TBARS は高血糖 - 非摂取群より有意に低値を示し，他の時期でも低値の傾向を示した（図 7-A）。赤血球中 TBARS も高血糖 - ガマズミ摂取群が高血糖 - 非摂取群より有意に低下したのは 2 ヶ月後だけであったが，他の時期では低値の傾向を示した（図 7-B）。また，高血糖 - 非摂取群は正常 - 非摂取群および正常 - ガマズミ摂取群より有意に高値を示す月が多数認められた。

糖尿病では，HbA_{1c} の増加とともに脂質過酸化の増加が知られている[24]。これは，血糖のコントロール不良が生体内での活性酸素種の生成を促しているためと言われており，糖尿性腎症や網膜症等の糖尿病性合併症の原因は，この脂質過酸化の増大が発端になっていると考えられている[25]。本試験では，正常者群より高血糖者群の TBARS が高い傾向を示しており，この結果はこれらの示唆と一致した。しかしながら，高血糖 - 非摂取群および高血糖 - ガマズミ摂取群は糖尿病患者ではなく血糖値が高めの境界域にあるボランティアであるため，この TBARS の高さが高血糖の持続によるものだけとは断定できない。むしろ，TBARS の変動が血漿中グルコース濃度の変動と比べて大きいこ

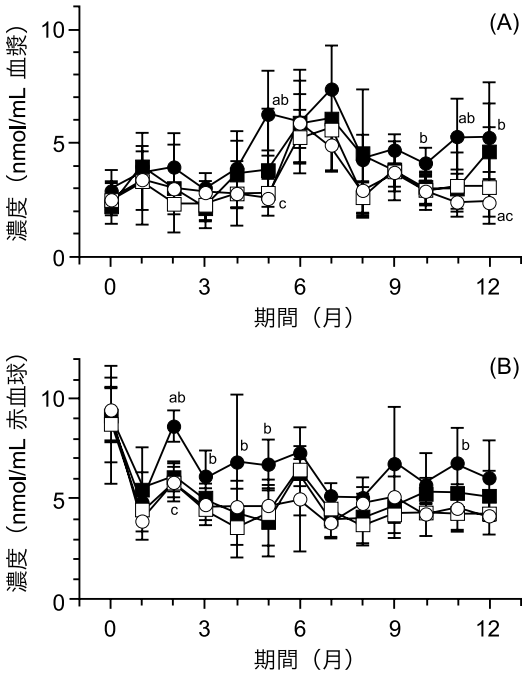


図 7　ガマズミ果汁飲料を 12 ヶ月摂取したボランティアの血漿 (A) および赤血球 (B) 中過酸化脂質濃度推移

■ 正常 - 非摂取群; □ 正常 - ガマズミ摂取群; ● 高血糖 - 非摂取群; ○ 高血糖 - ガマズミ摂取群．データは平均値±標準偏差で表した．
a は正常 - 非摂取群，b は正常 - ガマズミ摂取群および c は高血糖 - 非摂取群に対する有意差を示す (p<0.05)．

とから，普段の生活習慣に由来する生体内での活性酸素種の生成あるいは酸化亢進によるものと考えられるであろう。

このことより，ガマズミ果汁飲料の摂取によって血漿中グルコース濃度は低下しなかったものの TBARS が低下したことは，ガマズミ果実の成分がヒト生体内において抗酸化作用を発揮したものと考えられる。また，TBARS はマロンジアルデヒドを TBA 反応生成物として測定したが，リン脂質，特にホスファチジルコリン（PC）やホスファチジルエタノールアミン（PE）等が活性酸素の影響を受けやすい。糖尿病患者では PC や PE のハイドロパーオキサイドと HbA_{1c} が正の相関を有していることも報告されている[26]。従って，本試験において低下した脂質過酸化物の分子種の構成も興味ある課題である。

我々は，ストレス負荷時の動物試験においても，GCE の摂取が酸化傷害や脂質の過酸化を抑制することを示しており[9]，この防御作用は抗酸化酵素の誘導ではなく，抗酸化成分の直接作用であることを明らかにしている[10]。本試験における過酸化脂質の低下も恐らく同様の機序によるものと推察されるが，抗酸化作用の活性成分として同定した C3S や 5-CQA[12-14] の生体内動態は今後の課題である。

おわりに

本試験は，強い抗酸化作用，ラジカル消去活性および α-グルコシダーゼ阻害活性を有するガマズミ果実の活性成分の解明とヒトにおける有用性を検討した。その結果，ガマズミ果実に特徴的なアントシアニンとクロロゲン酸誘導体を含む 5 種類のポリフェノールを同定した。また，ヒトにおいて血糖値は低下しなかったが，12 ヶ月の摂取においても体調不良や血糖上昇を引き起こすことはなく，長期間の飲用においてもその安全性が推察された。さらに，生体内過酸化脂質濃度が低下したことから，ガマズミ果実あるいはその加工食品を摂取することは，活性酸素種が引き起こす生活習慣病を予防し得ることが示唆された。

参考文献

1）島本和明，斉藤重幸，三浦哲嗣 : メタボリックシンドロームと関連して．日本老年医学会雑誌，**43**, 710-713, 2006.

2）吉川敏一，市川寛 : フリーラジカルと抗加齢医学．日本老年医学会雑誌，**45**, 149-151, 2008.

3）岩井邦久 : 共同研究による地域食資源の高付加価値化 —食産業界との産学連携—．青森県立保健大学雑誌，**7**, 303-308, 2006.

4）B. Izawa: Illustrated Cyclopedia of Medicinal Plants of Japan; B. Izawa, eds., Seibundo-Shinkosha Publishing, p.136, 1980.

5）K. Machida, M. Kikuchi: Viburnols: Six novel triterpenoids from *Viburnum dilatatum*. *Tetrahedron Lett*., **38**, 571-574, 1997.

6）K. Machida, M. Kikuchi: Studies on the constituents of Viburnum species. XIX. Six new triterpenoids from *Viburnum dilatatum* THUNB. *Chem. Pharm. Bull*., **47**, 692-694, 1999.

7）栗原藤三郎，菊地正雄 : ガマズミ *Viburnum dilatatum* THUNB. の果実の成分について．東北薬科大学年報，**24**, 123-127, 1977.

8）岩井邦久 : 地域食資源を利用したヘルシー食品の開発 : ガマズミ果実の機能性．*New Food Industry*, **44** (11), 33-39, 2002.

9）K. Iwai, A. Onodera, H. Matsue: Antioxidant activity and inhibitory effect of Gamazumi (*Viburnum dilatatum* THUNB.) on oxidative damage induced by water immersion restraint stress in rats. *Int. J. Food Sci. Nutr*., **52**,

443-451, 2001.

10）K. Iwai, A. Onodera, H. Matsue: Mechanism of preventive action of *Viburnum dilatatum* Thunb (gamazumi) crude extract on oxidative damage in rats subjected to stress. *J. Sci. Food Agric*., **83**, 1593-1599, 2003.

11）岩井邦久：地域の食資源から抗酸化作用と生理機能の探索．ガマズミ果実の抗酸化作用と糖尿病予防効果．*New Food Industry*, **52** (7), 8-14, 2010.

12）M.Y. Kim, K. Iwai, H. Matsue: Identification and antiradical properties of anthocyanins in fruits of *Viburnum dilatatum* Thunb. *J. Agric. Food Chem*., **51**, 6173-6177, 2003.

13）M.Y. Kim, K. Iwai, H. Matsue: Phenolic compositions of *Viburnum dilatatum* Thunb. fruits and their antiradical properties. *J. Food Comp. Anal*., **18**, 789-802, 2005.

14）K. Iwai, M.Y. Kim, A. Onodera, *et al*.: Physiological effects and active ingredients of *Viburnum dilatatum* Thunb fruits on oxidative stress. *BioFactors*, **21**, 273-275, 2004.

15）M.H. Kweon, H.J. Hwang, H.C. Sung: Identification and antioxidant activity of novel chlorogenic acid derivatives from bamboo (*Phyllostachys edulis*). *J. Agric. Food Chem*., **49**, 4646-4655, 2001.

16）K. Iwai: Healthy benefits and bioactive phenolic compounds in the fruit of *Viburnum dilatatum* Thunb. Recent Progress in Medicinal Plants, Vol.23, Phytopharmacology & Therapeutic Values V, V.K.Singh, J.N.Govil eds., Studium Press LLC, p.121-140, 2008.

17）K. Iwai, A. Onodera, H. Matsue: Inhibitory effects of *Viburnum dilatatum* Thunb. (gamazumi) on oxidation and hyperglycemia in rats with streptozotocin-induced diabetes. *J. Agric. Food Chem*., **52**, 1002-1007, 2004.

18）K. Iwai, M.Y. Kim, A. Onodera, *et al*.: α-Glucosidase inhibitory and antihyperglycemic effects of polyphenols in the fruit of *Viburnum dilatatum* Thunb. *J. Agric. Food Chem*., **54**, 4588-4592, 2006.

19）S. Padmanabhan, S. Vishwanatha, K. Narasimhamurthy, *et al*.: Effect of feeding ber (*Zizyphus mauritiana* Lam.) juice on growth, blood composition and histology of albino rats. *Int. J. Food Sci. Nutr*., **44**, 91-94, 1993.

20）Y. Nishio, A. Kashiwagi: Oxidative stress and diabetic vascular complications. *J. Clin. Exp. Med*., **188**, 568-571, 1999.

21）K. Dobashi: Lipid peroxide in plasma and tissues, and antioxidant enzyme status in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Jpn. Diab. Soc*., **33**, 13-18, 1990.

22）K. Yagi: A simple fluorometric assay for lipoperoxide in blood plasma. *Biochem. Med*., **15**, 212-216, 1976.

23）S.H. Ihm, H.J. Yoo, S.W. Park, *et al*.: Effect of aminoguanidine on lipid peroxidation in streptozotocin-induced diabetic rats. *Metabolism*, **48**, 1141-1145, 1999.

24）K. Asayama: Free radicals and diabetes mellitus. *Modern Med*., **45**, 1736-1742, 1990.

25）R. Kakkar, J. Kalra, S.V. Mantha, *et al*.: Lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes in diabetic rats. *Mol. Cell. Biochem*., **151**, 113-119, 1995.

26）T. Nagashima, S. Oikawa, Y. Hirayama, *et al*.: Increase of serum phosphatidylcholine hydroperoxide dependent on glycemic control in type 2 diabetic patients. *Diabetes Res. Clin. Pract*., **56**, 19-25, 2002.

新製品のご案内　キリン協和フーズ株式会社

減塩食品用調味料「ソルテイスト」新発売

キリン協和フーズ株式会社（代表取締役社長　桂総一郎）は，減塩食品用調味料「ソルテイスト ＲＳ」および「ソルテイスト ＫＬ」を 9 月 1 日より全国で発売した。

昨今，健康意識の高まりから減塩ニーズが強まっている。同社では食塩には，塩味だけでなく①鋭い先味，②力強い中味，③持続性のある後味，の 3 つの「風味をエンハンスする効果」があり，単純に食品の塩分を減らすと食品全体の風味も弱く感じられてしまうと考えている。

「ソルテイスト ＲＳ」は，今までの減塩用調味料とは異なり，アミノ酸配合技術により①鋭い先味を，メイラードペプタイドを利用することで②力強い中味と，③持続性のある後味も再現できる。

「ソルテイスト ＫＬ」は，「ソルテイスト ＲＳ」に塩化カリウムを配合し，塩味付与効果も加え，使いやすい製剤タイプとなっている。「ソルテイスト」を使用することにより，食品の美味しさを損ねることなく減塩を実現できることは，血圧を気にする人など体調管理において減塩食を長続きさせたい消費者のための大きな助けとなりそうである。また，加工食品はもとより，高齢者向けの食事や介護食サービスなど様々なケースにおける減塩食のクオリティ向上へも期待できる商品でもある。

◆商品概要◆

商 品 名	「ソルテイスト ＲＳ」「ソルテイスト ＫＬ」
発 売 日	2010 年 9 月 1 日（水）
発売地域	全国
包　　装	ダンボール箱
容　　量	1kg 袋× 10

◆商品特徴◆

(1)「ソルテイスト ＲＳ」

減塩によって失われる「風味のエンハンス効果」（鋭い先味，力強い中味，持続性のある後味）を再現できる。

(2)「ソルテイスト ＫＬ」

「ソルテイスト ＲＳ」に塩味付与効果を加えた，使いやすい製剤タイプ。

◆使用方法◆

減らしたい食塩相当量（g ／ 100g）分のソルテイストを直接添加する。

（例）0.2g ／ 100g の食塩相当量を減らしたい場合，0.2g ／ 100g のソルテイストを（同量の食塩の代わりに）添加する。

[問い合わせ先]　キリン協和フーズ株式会社 営業企画部　TEL：03-6719-1307　Fax：03-6719-1387
東京都品川区東品川二丁目 2 番 8 号スフィアタワー天王洲 16 階
http://www.kirinkyowa-foods.co.jp

新製品のご案内　キリン協和フーズ株式会社

キリン「一杯の贅沢」シリーズに新アイテム４品が新登場

キリン協和フーズ株式会社（代表取締役社長 桂総一郎）は，お湯を注ぐだけで簡単にできあがるフリーズドライのスープと味噌汁，キリン「一杯の贅沢」シリーズの新ラインナップ4品を，9月7日より全国で発売した。

この「一杯の贅沢」シリーズは，今回の新商品を加えて，計10品の製品ラインナップとなり，これまで以上に様々なニーズに応えることが可能になった。

調理した食品を急速に凍結してから，高真空状態で乾燥させるフリーズドライ製法なので，乾燥前の原形を保ちやすく，お湯を注ぐだけで簡単に食べられる。

「**めかぶスープ**」
めかぶやゆずが入ったほのかな香りが嬉しいスープです。

「**海鮮チゲスープ**」
魚介の旨みとコクに，大根，ネギ，たまご等を加えたピリリと刺激的な韓国風スープです。

「**めかぶ味噌汁（白みそ）**」
めかぶ独特の食感を活かした白みそ仕立てのお味噌汁です。

「**ほうれん草味噌汁（白みそ）**」
色鮮やかなほうれん草がたっぷり入った白みそ仕立ての味噌汁。シャキシャキの食感が楽しめます。

商品名	JAN コード	内容量	入数	希望小売価格（税抜き）
一杯の贅沢　めかぶ スープ	4548175291800	4.5g	10 × 10	100 円
一杯の贅沢　海鮮チゲ スープ	4548175291794	7.5g	10 × 10	100 円
一杯の贅沢　めかぶ 味噌汁	4548175291817	10.0g	10 × 10	100 円
一杯の贅沢　ほうれん草 味噌汁	4548175291824	10.0g	10 × 10	100 円

[問い合わせ先]　　キリン協和フーズ株式会社 家庭用営業部　TEL：03-6719-1320　Fax：03-6719-1386
東京都品川区東品川二丁目 2 番 8 号スフィアタワー天王洲 12 階
http://www.kirinkyowa-foods.co.jp

TOPICS

トレハロースに脂肪細胞の肥大化抑制効果を確認

ー高脂肪・高カロリー化の進む世界のメタボ予防に新たな可能性ー

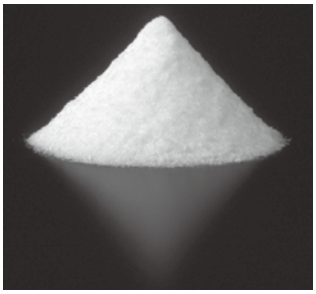
株式会社林原生物化学研究所（本社：岡山県岡山市下石井 代表取締役：林原 健）は，天然由来の機能性糖質トレハロースに「脂肪細胞の肥大化を抑制する効果」があることを確認し，第 31 回日本肥満学会（10 月 1 日～ 2 日：群馬県 前橋テルサ）にて学会発表した。

メタボリックシンドロームの発症は，内臓の脂肪細胞が肥大化してインスリン抵抗性が誘発されることに起因しているが，今回の研究ではトレハロースが，メタボリックシンドローム予防に与える効果を明らかにするために高脂肪食負荷マウスを用い，他の糖質との比較試験の形式で実験を行った。その結果，トレハロースは，高脂肪食による脂肪細胞の肥大化を抑制することが分かり，さらに，高脂肪食により引き起こされるインスリン抵抗性の進行を抑制することも確認された。

現在，日本の食生活は欧米スタイルの高脂肪・高カロリー化が進み，その結果，脂質や糖質の過剰摂取による肥満の割合が中高年を中心に 10 年前に比較して増加している。こうした現状により食習慣や運動習慣の改善などメタボ対策の意識の高まりから，近年食品市場では，カロリーや糖質，脂質を抑えた“ゼロオフ商品”の発売が相次ぎ，支持を受けている。しかし糖質は本来，生命維持に必須の栄養源である。例えば，脳のエネルギー源は糖質（ブドウ糖）であり，不足すれば能力低下を招いたり精神的にも不安定となる場合や，脳が食事の満足感を得られず飢餓状態と認識し，さらにエネルギーを補おうと過食になり，摂食障害に陥る場合もある。

トレハロースは，体内でブドウ糖となって重要な栄養源としての役割を果たす。その上，既に判明していたインスリン分泌が緩やかな点に着目し，研究を進めたところ，この度，脂肪細胞の肥大化を抑制する作用が発見された。本来太るイメージのある「糖」が，“ゼロオフ商品”とは異なる選択肢として，美味しくて体に優しく，メタボを予防できる食品という極めて斬新な可能性を示しており，今回の研究成果は，必要な糖を取りながらもメタボを予防するという“新たなメタボ対策”の可能性を示唆している。

今後は，研究の知見を生かして，「脂肪細胞の肥大化抑制効果」のメカニズムを明らかにすると共に，ヒトでの検証を進めていき，より有効なメタボ予防におけるトレハロースの利用方法を提案していく。



トレハロースの粉末

[問い合わせ先]　株式会社林原 広報企画グループ　横山 拓二（E-mail：h-koho-2@hayashibara.co.jp）
電話：086-224-4315

魚介類の摂取の食習慣が食物摂取状況，血清脂質，血清脂肪酸へ与える影響
―魚介類摂取の介入実験，健康教育から見えてくること―

梅村　詩子 *

UMEMURA Utako（つくば国際大学医療保健学部　保健栄養学科）

Key Words：魚介類・血清脂質・血清脂肪酸・n3 系多価不飽和脂肪酸・生活習慣病

はじめに

我が国では時代と共に食生活の傾向が著しく変化し，若年者では欧米化の食生活が進み，魚介類や緑黄色野菜，豆製品等の摂取が減少し，肉類や油脂類の摂取が多い傾向にある。特に若者は外食やファーストフードを多く利用したり，朝食の欠食等の乱れも指摘されている[1)]。生活習慣病予防のためには，魚介類，野菜類，豆類，芋類等いろいろな食品を取り混ぜてバランス良く摂取する適切な食習慣が望まれている。現在では若年者の“魚ばなれ”や成人に比べ摂取量の減少が進んでいる現状にある。魚と循環器疾患の関係においては，グリーンランド地方では魚を多食することにより心疾患の発症が少ないこと[2, 3)]から研究が始まり，魚に含まれる n3 系多価不飽和脂肪酸の EPA（IPA）や DHA が重要であるということは報告されていた。しかし最近の研究では日本人のコホート研究で魚介類の摂取量が高いものほど，冠動脈心疾患のリスクは低い報告[4)]や，n3-P 系脂肪酸を 1g/100g 以上含む魚の摂取量が高値の場合は，以下の場合より急性冠動脈発症のリスクを低下させる報告[5)]等が示され n3 系脂肪酸の量も重要ということである。現在は 2010 年からの新しい食事摂取基準[6)]においても n3，n6 系脂肪酸は，各年代とも“量”で示されている。成人では女性 1.8g ／日，男性 2.4g ／日が生活習慣病の予防の為に摂取することが推奨されている。n3 系多価不飽和脂肪酸を多く含むいわし，さば，サンマ，ぶりのような背の青い魚（青魚）の摂取を日常取り入れる食習慣が勧められる。

そこで本論文では，国民健康・栄養調査の結果の分析や，共同研究の場で今まで循環器疾患の予防を目的として分析，介入研究した実験結果を紹介，報告し，我が国の魚食文化の伝統の継承はもちろん，メタボリックシンドームや循環器疾患などの生活習慣病の予防に繋がることを目的とした。

1. 日本人の魚介類の摂取状況―国民健康・栄養調査結果から（図 1，図 2）

平成 19 年の国民健康・栄養調査結果[1)]からみると，栄養素エネルギー比率は，日本人として適切であると言われている。脂肪エネルギー比率も 2010 年の食事摂取基準（2010）では 20 歳代 20 ～ 30%，30 歳以上が 20 ～ 25% となっている。19 年国民健康・栄養調査成績では脂肪エネルギー比率が 30% 以上の 20 歳以上の男性は 20.6%，女性 28.1% であり，日本人

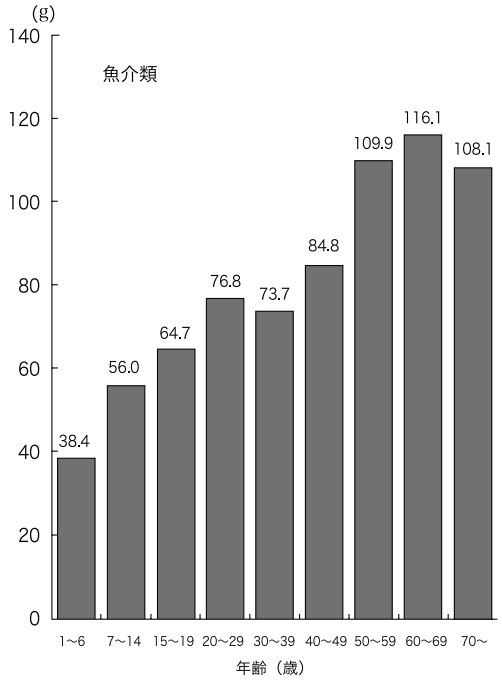


図 1　魚介類の摂取量（男性 20 歳以上）
（19 年国民健康・栄養調査結果から）

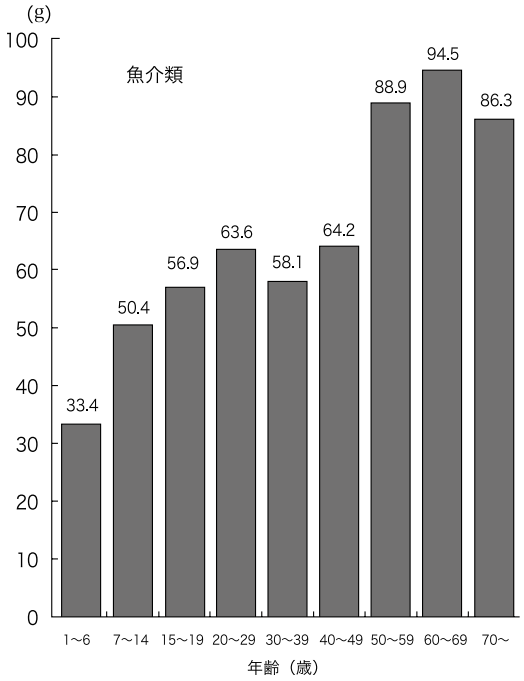


図 2　魚介類の摂取量（女性 20 歳以上）
（19 年国民健康・栄養調査結果から）

として脂質の取りすぎは約 20 ～ 30% と多いことがわかる。食物摂取も肉類，油脂類は若年時から成人になるにつれ摂取量が減少し，魚介類，大豆類，緑黄色野菜類，海草類は加齢の影響が強く中高年者は若年者より摂取が増加している。若年者は肉類，油類からの脂質のみならず，魚介類からの脂質の摂取増を望みたいところである。魚介類の摂取を図に表してみると（図 1，図 2），男性では 1 歳～ 6 歳で 38g 摂取，15 歳 ～ 19 歳約 65g，20，30 歳代で約 74 ～ 77，40 歳代 85g，50 歳以上で 100g 以上となり，年齢の増加に従って魚の摂取量も増加してくる。女性（図 2）では 1 歳 ～ 6 歳で約 33g 摂取，15 歳 ～ 40 歳代で 57 ～ 64g，50 歳以上で 86 ～ 95g と男性より少ない傾向であるが，若年者より成人の方が摂取量においては多い結果となっている（図 1 男性），（図 2 女性）。

2. 魚介類の食習慣調査ー学生，成人との食物摂取状況調査比較研究（2001 年）から（図 3）

例年都内の短期大学生に魚介類，肉類，油脂類，野菜等の食物摂取状況調査を実施してきたが，特に魚介類の摂取を，先に分析した食習慣の異なる我が国成人女性や米国成人の既報の論文[7]と，大学生の食習慣との比較を試みた[8]。図 3 に 2001 年ウイーンでの国際学会発表（International Congress of Nutrition,2001）から引用図を示す。

食物の摂取頻度を 1）食べない，2）1 週間に 1.2 回，3）2 日に 1 回，4）1 日に 1 回，5）1 日に 2 回以上の 5 段階でアンケート調査を実施した。魚介類においては，「一週間に一度以上（毎日）」摂取している比率を各集団間で比較すると，大学生（243 名）は 10%，都市女性（大阪市（163 名）は 37%，内陸農村（茨城県

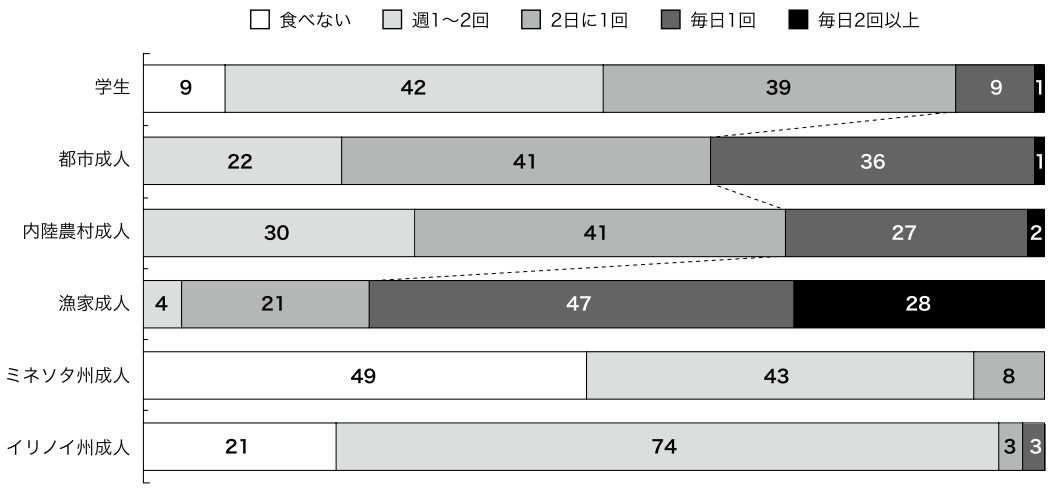


図 3　食習慣調査―魚介類の摂取頻度

ミネソタ州（都市成人 72 名），イリノイ州成人（都市成人 63 名），学生（都内短大生 246 名），都市成人（大阪府 Y 市 163 名），漁家成人（富山県 U 市 107 名）（17th International Congress of Nutrition 2001, Vienna, Austria）

K 町 158 名）は 29%，漁家女性〔魚津市，107 名〕は 75%，米国（ミネソタ州，72 名）女性は 0%，イリノイ州の成人（63 名）3% であった。「1 日に 1 回（毎日）」以上摂取で比較すると，漁村の女性は毎日 75% と多くに人が魚介類を摂取し，他の日本女性は約 30%，大学生は約 10% という結果であった。

また，「2 日に 1 回位」以上摂取するということで比較すると各々の集団で 49，78，70，96，8，6% という結果であった。我が国の成人女性は約 30% 以上の女性が毎日魚介類を摂取し，約 70 ～ 90% の女性が 2 日に一度以上魚介類を摂取している結果であり大学生は約 50% の学生は 2 日に 1 回以上摂取している結果となった。 米国成人ではミネソタ州は半数が「食べない」，イリノイ州では 20% はまったく「食べない」結果であったが，当時のアンケートでは中華料理，日本料理などから魚介類を摂取することがあり「週に 1，2 回以上摂取」するが各々の米国集団で約 50%，80% という結果となり，日本人と米国成人の魚介類の摂取の違いは大きくアンケート結果からも示された。日本においては，若年者は魚介類の摂取が成人に比べて少ないことから，循環器疾患の予防の点からは若年時からの魚介類摂取が勧められる。

3. 魚介類の摂取状況と血清脂肪酸の地域比較―地域比較研究から[7]（図 4）

既報の論文[7]で食習慣の異なる地域では 2. の項で食物摂取状況にも違いがみられたこと示したが，食物摂取の習慣は血液状況にも反映するので，集団の血液脂質や血清脂肪酸構成割合に大きな違いが見られた[7]。血清脂肪酸分析は集団間の飽和脂肪酸，一価不飽和脂肪，多価不飽和脂肪酸構成割合，各脂肪酸などを分析した。その中で既報の論文と都内短大生と血清脂肪酸構成を比較検討した。魚介類の摂取は特に血清中 n3 系脂肪酸構成割合に大きな影響を示した。ここでは血清中 n3 系脂肪酸構成割合（%）の短大生と地域比較の結果を図 4 に示した。n3 系多価不飽和脂肪酸は学生 5.8%，都市女性は 9.5%，内陸農村は 9.1%，漁家女性（漁村女性）は 12.1%，米国女性 3.0% であった。都内短大生は我が国成人女性より低く，米国女性よりやや高い中間の値であった。図には示していない

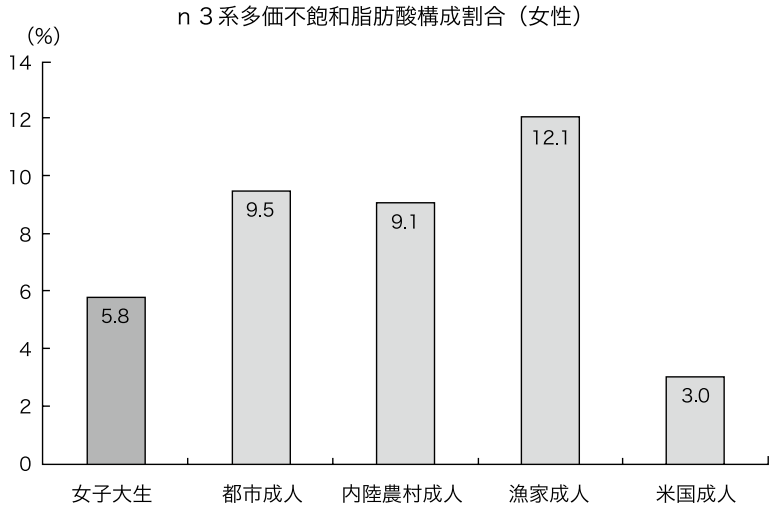


図 4　血清中 n3 系多価不飽和脂肪酸構成の地域比較
学生（都内短大生 246 名，都市成人（大阪府 Y 市 163 名），漁家（漁村成人（富山県 U 市 107 名），ミネソタ州（都市成人 72 名）

が n6 系多価不飽和脂肪酸構成割合は都内短大生 43.0%，都市女性は 36.6%，内陸農村 38.1%，漁家女性，米国女性は，43.7% と女子学生は我が国成人女性より高く，米国女性と同じような結果であった[7]。若年者と成人では若年者の欧米型食生活が進み，魚介類のなどの日本型食生活，和食の食事が少なくなってきたことに起因しているように思われる。日米の比較においては魚介類，野菜類の和食，日本型食生活の習慣の日本と，魚介類の習慣の少ない米国の集団との違いが血清脂肪酸構成に反映していると思われる。魚介類の摂取と生活習慣病，特に循環疾患の発症とも関連を示す報告もあるので，予防のためには若年時から背の青い魚の含めた魚介類の摂取の食習慣が望まれる。

4. 魚介類の摂取の介入実験ー平成 8 年度（1996），9 年度（1997）の魚介類摂取の介入実験から[9, 10]（図 5）

平成 8 年，平成 9 年に，研究室ゼミ生を対象にそれぞれの魚介類の調理をゼミ生達が試作し，できた昼食を皆で試食し，その後摂取介入の前後と摂取終了 2 週間後の各時期で血清脂質や，血清脂肪酸を分析する介入実験を実施した。

①《対象者》
○平成 8 年
A: 背の青い群（14 名），B：白身魚群（15 名），C：普通食群（10 名）
○平成 9 年
A: 背の青い群（25 名），C：普通食群（25 名）
本研究の集計は 8，9 年まとめて○背の青い魚群（介入群）39 名，○普通食（対照群）35 名とした。

②《魚介類の摂食》
○背の青い魚群：いわし，サンマ，鯖などを 1 日に 1 匹 80 ～ 100 g 摂食した。
○白身魚群：たい，たら，かれいなどを 1 日に 1 匹 80 ～ 100 g 摂食した。
○対照群は食事に魚を含まない群とした。

③介入後の分析
○介入群：摂取開始時，魚 2 週間後，摂取終了後 2 週間後に分析した。

表 1　魚介類の献立（平成 8 年度）

	背の青い魚群	白身魚群
1	さばのみそ煮	たらのフライサラダ
2	さんま（焼）大根おろし添え	さけのかす煮
3	いわしアーモンド揚げ、素揚げ	金目鯛塩焼き
4	ぶりの照り焼き	カレイの煮付け
5	ぶり鍋風	たらちり
6	いわしのマリネ	たらのホイル焼き
7	さば塩焼き	さけのムニエル
8	しめさば、はまち刺身	カレイの野菜あんかけ
9	さんま塩焼き	タコのサラダ
10	小あじのマリネ	エビフライ
11	缶詰：さんま	缶詰：さけの水煮

表 2　魚介類の献立（平成 9 年度）

	背の青い魚群
1	さんま（焼）大根おろし添え
2	ぶりの照り焼き
3	さばのみそ煮
4	いわしの生姜煮，いわしとネギのかき油煮
5	まぐろ・はまち刺身，あじのたたき
6	さば塩焼き
7	あじ塩焼き
8	さんまのソテートマトソース
9	ぶり鍋風
10	缶詰：さばの水煮
11	缶詰：さんま蒲焼き
12	缶詰：いわし蒲焼き

○対照群：介入群と同時に摂取開始時，摂取終了時に分析した。

④献立

表 1（平成 8 年度献立），**表 2**（平成 9 年度献立）の様な献立で，ゼミ生が各々の群の魚を主菜として調理し，副菜は学内食堂より購入して昼食とした。結果は 8，9 年まとめて集計した。

《結果》（**図 5**）

背の青い魚を 2 週間摂取したところを，介入群では，n3 系多価不飽和脂肪酸 6.8 から 9.7% と優位に増加した。摂取終了後 2 週間で 6.6% と元の値まで減少した（35 名）。魚介類を摂取しない群の n3 系脂肪酸は 6.3% から摂取終了後 6.8% と変化が見られなかった（35 名）。介入群では魚介類の摂取のより n3 系多価不飽和脂肪酸の改善をもたらしたが，魚介類の摂取を中止すると n3 系脂肪酸は介入前の値の戻ったことから，魚介類の継続的な摂取が望まれた。ここには示さないが，平成 8 年目のみ

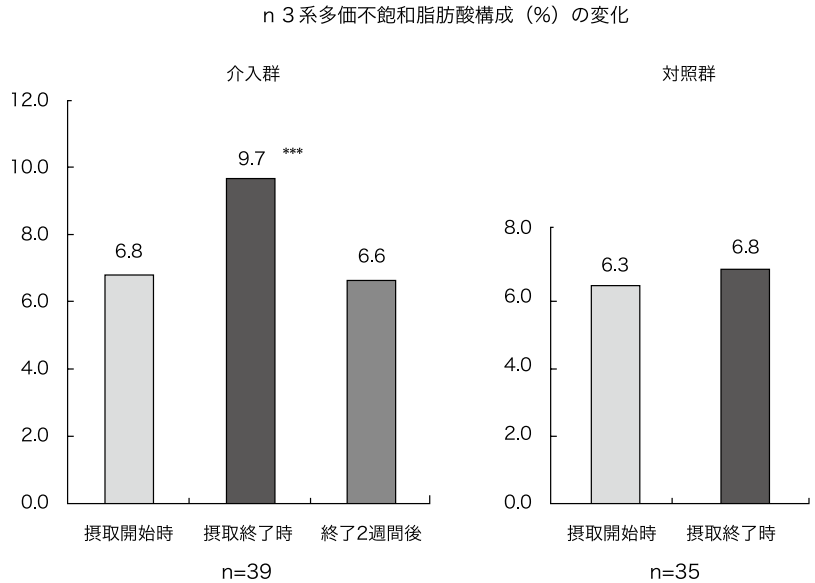


図 5　魚介類の摂取による血清脂肪酸構成（%）の変化

摂取開始時，摂取終了時，摂取終了 2 週間後に測定　　*** $p < 0.001$

実施した白身魚群では摂取により 6.8 ら 7.4% とやや増加傾向を示したが，大きな変動ではなかった。他に背の青い魚 2 週間摂食群では HDL- コレステロール値は 66 から 69m/dL に増加，トリグリセリド値は 66 から 58mg/dL に減少したが，摂取終了 2 週間後には開始時の値まで戻った。n6 系脂肪酸は 43.2% から 41.5% に有意に減少したが 2 週間後には摂取開始時の値に戻った。t-PA は摂取により 6.8 から 7.2ng/mL と増加傾向を示したが，終了 2 週間後には開始前の値に戻った[9, 10]。n3 系多価不飽和脂肪酸の多い魚介類摂取により，n3 系多価不飽和脂肪酸が増加し，摂取をやめるともとの値に戻ることから継続的な摂取に心がけることの重要性が実験からも示唆された。

5. 魚介類の摂取の健康教育への関連（図 6）[11.12]

都内短大で例年食習慣調査，血液検査，骨密度検査などを実施してきた。本論文では平成 13（1997）年から 15（2003）年において健康調査，健康教育を実施した都内短大の 3 年間の結果[11, 12]を示す。

《方法》

対象集団：都内栄養士養成施設短期大学生 197 名

調査時期：平成 13 年～ 15 年（2001-2003 年）。

調査内容：栄養調査，食習慣調査，

食物摂取頻度調査：食物摂取状況は 1 週間における頻度，即ち①食べない，② 1 週間に 1 ～ 2 回，③ 2 日に 1 回，④ 1 日に 1 回，⑤ 1 日に 2 回以上までの 5 段階で聞き取った。

分析：血清脂質，血清脂肪酸，血清中ホモシステイン，葉酸値等

平成 13 年～ 15 年の 4 月の血液検査で n3 系脂肪酸構成割合低値群（n3-P 値 5% 未満）（67 名），コレステロール高値群（220mg/dL 以上）（47 名），ホモシステイン高値群（10μM 以上（20 名）の学生に 6 ヶ月間健康教育を実施した。その後 12 月に再検査を実施し，健康教育の改善効果を分析[11, 12]した。ここでは n3 系多価不飽和脂肪酸構成割合 5% 未満の学生の健康教育の結果を示す。特に n3 系多価不飽和脂肪酸低値群の学生にはサンマ，アジなどの背の青い魚を，学生の実習時の給食や，カフェテリアにおいて週 1 回の割合で 3 ヶ月摂食した。学内給食を摂食し，なおさらに家庭でも魚の摂食を勧める健康教育を実施し改善の効果を検討した。

《結果》図 6 に示す。

○ n3 系多価不飽和脂肪酸構成割合

n3 系多価不飽和脂肪酸構成割合が 5% 未満の学生（介入群，n=67）に背の青い魚を含む魚介類の摂取も勧め，さらに週 1 回の割合で背の青い魚を含む魚介類を摂食した。n3 系多価不飽和脂肪酸は，4.2% から 5.7% と有意（$p < 0.001$）に増加した。ここには示さないがイコサペンタエン酸（IPA），ドコサヘキサエン酸（DHA）

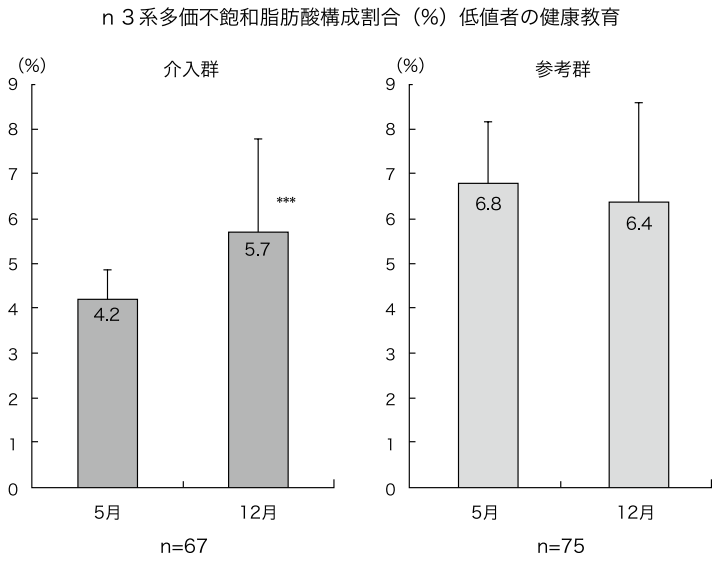


図 6　健康教育の結果　　***$p < 0.001$

も同様に有意に増加した。参考群（75 名）の n3 系多価不飽和脂肪酸は 6.8% から 6.4% と大きな変動ではなかった。多価不飽和脂肪酸，n6 系多価不飽和脂肪酸も有意に減少した。魚介類の学内給食の摂食や摂取の勧めで n3 系多価不飽和脂肪酸構成割合は改善されたことを示している。

6. 食物摂取頻度と栄養素摂取量，血液性状との関連ー平成 13 ～ 15 年の健康教育の介入実験から（図 7，図 8）[12)]

摂取頻度との関連では，魚介類の摂取頻度は血清中多価不飽脂肪酸（P），n3 系多価不飽和脂肪酸（n3-P），葉酸値や葉酸摂取量と有意な正の相関が，血清中トリグリセリドやホモシステイン値と負の相関が認められた。緑黄色野菜の摂取は血清中 n3-P，VB_{12}，葉酸値と正の相関が，ﾎﾓｼｽﾃｲﾝ値と負の相関があり，魚介類の摂取が多いと緑黄色野菜の摂取が増加することも示唆している。

また，摂取頻度の増加に従って血清中 n3-P 値は「食べない」が 5.1%,「週に 1．2 回」が 5.4%,「2 日に 1 回」が 6.4%,「1 日に 1 回」が 7.5%,「2 日に 1 回」が 9.8% と有意（$p < 0.001$）に増加していった（図 7）。血清トリグリセリド値は魚介類の摂取頻度の増加により，「食べない」が 93 mg/dL,「週に 1．2 回」が 69 mg/dL,「2 日に 1 回」が 71 mg/dL,「1 日に 1 回」が 57 mg/dL「2 日に 1 回」が 36 mg/dL と有意（$p < 0.001$）に減少していった（図 8）。

葉酸値，葉酸摂取量も有意に増加した。前項 6 の健康教育で n3-P 低値群（5% 未満）の青魚（週 1 回 3 ヶ月）の摂食により，血清中 n3-P が 4.2% から 5.7% に有意（$p < 0.001$）に増加したことからも，摂取頻度を出来るだけ増やす食習慣の構築を勧めることの重要性が示唆された。

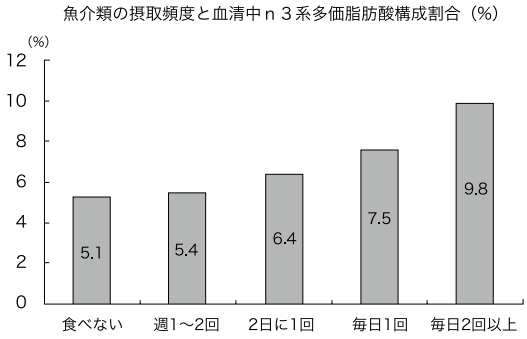


図 7　魚介類の摂取頻度と血清中 n3 系多価不飽和脂肪酸

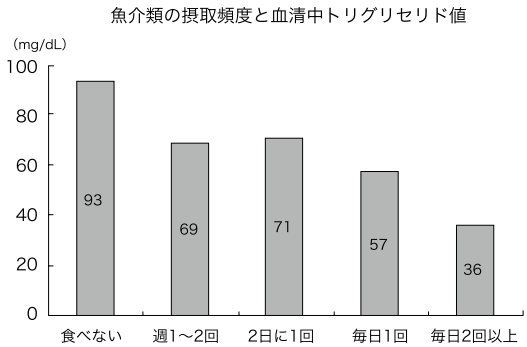


図 8　魚介類の摂取と血清中トリグリセリド値との関連

【考察】《介入研究から見えてくること》

まず，日本人の魚介類の摂取状況と著者らの調査結果からも魚介類の摂取量も摂取頻度も大学生より成人の方が多い。生活習慣病は成人期以降にみられ，加齢や生活習慣（ライフスタイル）の継続により進むものであり，初期は自覚症状がないが慢性的に進行し，次第に日常生活に支障をきたすようになる。生活習慣病は，日常生活に関連する食習慣，運動習慣，喫煙，飲酒などの習慣的な要因（危険因子）が発症，進行に関与するといわれている。特に虚血性心疾患や循環器疾患などは魚介類との影響が非常に大きい。毎日の生活に最も関わりが大きい日常の食生活である。ライフスタイルや食生活の積み重ねは，将来の生活習慣病に影響を及ぼすので，若年時から適切な食習慣を構築することが大切である。どのような食生活が予防に繋がる

かを理解し，適切な食習慣の実践が最も大切なこととなろう。脂質源食品の摂取過剰により引き起こされやすい脂質異常症は，血清中に脂質（コレステロール，トリグリセリド）が異常に増加した状態である。疫学的には血中コレステロールと冠動脈疾患の発生率に強い正の相関，HDL-コレステロールとは負の相関が見られる。正常範囲は，血清総コレステロール値は150 ～ 220mg/dL，HDL-コレステロール 40mg/dL 以上，血清トリグリセリド値 150mg/dL 未満であるが，血液値を正常範囲に保つことは，メタボリックシンドロームや生活習慣病の予防の為に大切である。HDL-コレステロールは，善玉コレステロールと呼ばれ，LDL-コレステロールは悪玉コレステロールと呼ばれ，現在はその比率が重要であると言われている。

動脈硬化は，血管の内膜に脂質コレステロールや中性脂肪等が沈着し血管の内腔が狭くなり，動脈壁は次第に厚く，硬くなる病気である。動脈硬化を引き起こす因子には，高血圧，脂質異常症，肥満，糖尿病，高尿酸血症，運動不足，ストレス，喫煙，遺伝的要因などがある。予防の食生活には，脂肪やエネルギーを取りすぎないことが重要である。特に，飽和脂肪酸やコレステロールを多く含む肉類，油脂類，卵類の過剰摂取を防ぎ，魚介類の摂取を増やし，穀類や野菜，海藻，果物など食物繊維を充分摂取することが大切である。さらに適度な運動と休養，適度な飲酒，禁煙に心がけることも発症予防に繋がる。

また，Bang ら[2, 3]によるエスキモーの研究から端を発し n3 系不飽和脂肪酸が，発症を減少させる報告がある[4, 5]。磯らの日本人のコホート研究では魚介類の摂取量が高いものほど，冠動脈心疾患のリスクは低い報告[4]や，n3-P 系脂肪酸を 1g/100g 以上含む魚の摂取量が多いほど急性冠動脈発症のリスクを低下させる報告[5]等であるが，それらの結果からも魚介類の摂取，即ち n3 系多価不飽和脂肪酸を多く含む魚の摂取も含めて，魚介類の摂取頻度，摂取量も考慮に入れ，多く摂取できるように心がけることも大切である。

魚介類に多く含まれる n3 系多価不飽和脂肪酸（IPA（EPA）や DHA 等）は，血栓を作りにくい生理活性物質プロスタグランジンの TAX_3 を作り，発症予防に効果があるといわれている。n3 系多価不飽和脂肪酸はいわし，サバ，さんま，ニシンのように青魚に多く含まれている。n6 系多価不飽和脂肪酸（リノール酸，アラキドン酸を含む）の過剰摂取は，血栓形成に促進的に働くために，n3 系と n6 系のバランスが大切である。n3 ／ n6 のバランスは 1：4 が望ましいとされているが，近年若年者は魚ばなれが進み，魚介類の摂取が減少し油脂の摂取が多くなっている。地域比較[7]（図 4）に示したように，都市や，内陸農村の n3 系多価不飽和脂肪酸は約 9% であるのに比べて，魚介類を日常毎日摂取している漁家（漁村）女性で 12% と多く，魚介類の摂取の習慣がほとんどない米国では 3% と最も低くなっている。大学生などの若年者では欧米化の食生活や朝食の欠食[13]が進み，肉類，油脂類などは多く，魚介類，緑黄色野菜などの摂取が少ない結果と思われる。n3：n6 の比率も 1：4 が望ましいといわれているが，大学生は 3. 地域比較（図 4）より約 1：8 であり，都市成人の 1：4．漁家（漁村）1：3 の成人達の比率には及ばず，n6 系多価不飽和脂肪酸の多い結果となっている。

そこで n3 系多価不飽和脂肪酸の介入実験からはいろいろな生活習慣病の予防や血清脂質の改善に役立っていることを実験的に調べてきた。まず，図 5 の結果で示すように。n3 系多価不飽和脂肪酸を多く含む食品の摂取では魚介類を摂取開始で n3-P は 6.8% であり，摂取 2 週間の摂取終了時には 9.7% に有意（$p < 0001$ に増加したが，また摂取をやめて 2 週間後の分

析では 6.6% と元の値に戻ってしまっている[9,10]。このように魚介類の摂取により血清脂肪酸の改善効果を認めたが，摂取終了時には各値が開始前にもどることから，魚介類の摂取の食習慣を継続することの重要性が示唆された。このように継続的な摂取の習慣により改善が認められたので，適切な摂取の食習慣の構築が大切と言うことを示している。

また，魚介類は骨ごと摂取することにより日本人の不足しているカルシウムの摂取にもつながる。いわしやサンマ等を圧力調理することにより，カルシウム量を多く含むこともできる[14]，n3 を含む多く含むいわしや，サバ，サンマ等も含めて魚介類の摂取に心がけることが大切である。さらに魚介類の調理の工夫し，骨毎摂取することにより，n3 多価不飽和脂肪酸はもちろん，たんぱく質，カルシウム，ビタミン D の給源としても有効である。若年者も魚食文化を継承し，生活習慣病予防の為にももっと魚介類の摂取を増加するような食習慣の構築が望まれる。

また，研究教育においても地域で糖尿病の健康教育においても，魚介類の摂取の勧めで n3 系多価不飽和脂肪酸の改善効果は認められているが[15]，本論文での都内短大生の健康教育においても図 6 に示すように魚介類を学内給食で摂取したり，家庭内での魚介類の摂取の勧めでは血清中の n3 系多価不飽和脂肪酸の有意な増加を示したことから，図 5 と同じように，魚介類を実際に摂食できる環境を作ることの大切さが示された。若年者には朝食を欠食しないことや，三度の食事を規則的にすることと同時に，魚介類の継続的な摂食の習慣を導くことが重要であることなど，子供達，学生，若年者の食育，健康教育につなげていくこととする。

謝辞

本論文は今まで発表した論文を引用しながら，テーマについてまとめたものである。特に共同研究や科学研究費に助成を得た研究においては（文献 7 ～ 13），著者らと共同研究に取り組んだ諸先生やさらに指導を頂いた諸先生方のご協力とご指導によるものであり，心より感謝申し上げます。またこの間，『5 魚介類の介入実験』（報告書 10）は平成 8.9 年文科省科学研究費基盤研究（C）体表梅村詩子，また『6，7 の魚介類摂取の健康教育』（報告書 12）は，平成 13 ～ 15 年文科学科学研究費基盤研究（C）の助成を得て研究を進めることができましたことに感謝いたします。

文　献

1）平成 19 年国民健康・栄養調査報告，厚生省保健局総務課生活習慣病対策室

2）Bang HO, Dyerberg J and Nielsen AB. Plasma lipid and lipoprotein pattern in Greenlandic west-coast eskimos. *Lancet,* i: 1143-1145. (1971)

3）Dyerberg J, Bang HO and Stoffersen E. Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis. *Lancet*, ii: 117-119. (1972)

4）Hiroyasu Iso, M Kobayashi, S sasaki *et al*, Intake of Fish and n3 Fatty Acids and Risk of Coronary Heart Disease Among Japanese: The Japanese Public Health Center- Based (JPHC)Study Cohort, *Circulation*, **18**, 195-202. (2010)

5）Bierregaard LJ, Joensen AM, Dethlefsen C, Jesen MK, *et al*, *Eur J*, **31**:29-34. (2010)

6）日本人の食事摂取基準 (2010 年版)，第一出版，厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書

7）梅村詩子，他，食習慣と血清中脂肪酸構成に関する地域比較研究．日本衛生学雑誌 **48**, 939-954. (1993)

8）梅村詩子，他，短大生，成人女性の地域別，米国成人の食習慣調査：（2001 年ウイーンにての栄養学国際学会発表から引用）

9）梅村詩子，石森眞子，渡邉佐由百他，n3 系多価不飽和脂肪酸の多い魚の摂取が血清脂質，血清脂肪酸，凝固線溶系因子に及ぼす影響　日本栄養・食糧学会誌 **53**，1-9. (2001)

10）梅村詩子，“魚介類が血中脂肪酸，脂質，及び凝固線溶系因子に及ぼす影響に関する無作為化比較実験―魚介類の種類による影響の相違”，平成 8，9 年度文科省科学研究費補助金，基盤研究（C）(2) 研究成果報告書，(1998)

11）梅村詩子，石森眞子，大島恵子，他，短大生の動脈硬化性疾患危険因子改善のための健康教育，東京文化短期大学紀要，**26**，1-12. (2009)

12）梅村詩子，“若年成人女子における動脈硬化性疾患の危険因子改善のための健康教育プログラム開発”，平成 13 年度～ 15 年度文科省科学研究費補助金，基盤研究（C）(2) 研究成果報告書，(2004)

13）Utako UMEMURA, Mako ISHIMORI, Toshio KOBAYASH *et al*, Possible Effects of Serum Lipids, Fatty Acids and Blood Pressure Levels in Male and Female Japanese University Students, *Environmental Helth and Prevennce Medicine* **10**, 42-47. (2005)

14）不破眞佐子，石森眞子，梅村詩子他，乳製品，魚介類，鮭中骨骨粉などによるカルシウムの有効な利用－骨粗鬆症，循環器疾患の予防のために－ :, 東京文化短期大学紀要 **21**，39-49. (2004)

15）梅村詩子，横田紀美子，稲川三枝子，他，健康教育における魚介類摂取指導が 血清脂肪酸構成に及ぼす影響，日本公衆衛生雑誌 **12**，901-909. (1995)

地域資源を活用した食品開発

永島　俊夫 *

*NAGASHIMA Toshio（東京農業大学生物産業学部　食品香粧学科）

Key Words：未利用資源・ビール・魚醤油・エミュー

はじめに

食品加工の目的は，保存性，衛生性（安全性），輸送性，嗜好性（官能性），経済性（付加価値），栄養性などの賦与，向上ということが挙げられるが，特に食糧自給率の向上が問われている今，限られた資源を有効利用することが求められる。

私の所属する東京農業大学生物産業学部（オホークキャンパス）の位置する北海道網走市周辺は，我が国でも有数の大規模畑作農業地域で，主要三作といわれる麦，甜菜，馬鈴薯をはじめとして，大根，ニンジン，ゴボウ，ナガイモなど，多くの作物が生産されており，その品質は高く評価され，全国の消費地へ供給されている。また，オホーツク海やサロマ湖，網走湖などで水揚げされる水産資源も豊富で，網走市ではキンキ，カラフトマス，スケトウダラ，クジラ，ワカサギ，シラウオ，シジミを「活き粋 7 珍」として特に普及に力を入れている。さらに周辺地域では酪農業も盛んであり，食の安心安全ということが強く求められている今日，北海道産食材はこれまで以上に注目されている。これらはそのまま全国に送られ，高い評価を得ているが，流通ルートから外れた規格外品や未利用部分などもかなりの量に及んでおり，農作物では，大きさの不揃いや傷，表面の病害など，成分組成も変わらず，十分に食用となるのに規格外品となってしまうものもきわめて多い。水産物では魚介類の内臓や骨，産卵期を迎えた鮭鱒などは肉質が劣るため採卵するだけで，それ以外は飼料とされるか廃棄処理されている。

そこで，これらの豊富な地域の資源をさらに活用してさらに付加価値を賦与するとともに，未利用資源を有効利用するための研究を行うことは地域活性化につながるものと思われる。そのような取り組みとして，農，水，畜産物の例を紹介させていただくことにした。

1. 農産資源の活用 ～ビール，発泡酒の醸造～

（1）ビール，発泡酒の醸造研究と地ビール会社の設立

平成 6 年の規制緩和により酒税法が改正され，年間最低製造数量が 2,000 キロリットルから 60 キロリットルに引き下げられたことを受けて，各地で地ビールの会社が設立された。私の所属する東京農業大学生物産業学部ではその年，文科省の助成により 100 リットル規模のビール試験醸造装置を設置し（**写真 1**），税務署より試験醸造免許を取得して，本格的に地域

写真 1　ビール試験醸造装置

の各種原料を用いたビール醸造試験を開始した。わが国ではこのような設備をもち，醸造研究を行っている大学は他に例がなく，いろいろな面で注目されている。当初は大規模な農業が展開されている地域の小麦を原料として，大学独自に地ビールの醸造研究をはじめた。その後トウモロコシやカボチャ，ジャガイモなど各種農産物を副原料とした発泡酒の試験醸造を行っていたところ，それを知った市民の有志は何とか地元に地ビール会社を作りたいという機運が高まり，大学の研究がきっかけとなり網走ビール株式会社が設立された。大学ではその後，地域の各種原料を用いたビール，発泡酒の醸造研究を行っており，その成果は網走ビール㈱が製品化してきた。このように，網走ビールは大学が技術支援をする全国でも例のない地ビール会社となっている。

現在，網走ビール㈱では四季をイメージした発泡酒，知床ドラフト（春），ハマナスドラフト（夏），じゃがドラフト（秋），流氷ドラフト（冬）を開発して発売しており，大変評判がよい。これは網走ビール㈱醸造担当者の発案で，流氷をイメージした発泡酒ができないかということから天然色素による着色をした発泡酒について，大学とともに開発したもので，現在同社の主力製品となっている。

（2）　発泡酒の委託醸造

網走市に隣接する東藻琴村（現在の大空町東藻琴）の農業青年部より，自分たちで作った大麦や小麦を原料としたビールができないか，という相談があった。この地域はこれらのほかに，ナガイモの産地としても知られている。そこで，ナガイモも副原料として使ったビール（発泡酒）を作ろう，ということになり，何回かの試験を重ねた後，100 リットル規模の醸造を行った。製品はナガイモを用いることで軽くてすっきりしたタイプになり，粘性成分（糖タンパク質）の効果で泡もちもよく，かなりの出来ばえとなり，これを村の特産品とし売り出したいということになった。大学では試験免許のため，実際に販売するための醸造はできないことから，網走ビール㈱に委託して製品化し，製品は東藻琴村で販売するという，委託醸造のシステムが構築された。地域の特産物を用いたビール（発泡酒）醸造研究を大学が行い，その技術は網走ビール㈱に提供し，製品は地域で販売するという三者関係は，士幌町のスィートコーン，陸別町のニンジンなど，ほかの地域にまで広がっている。地域では一切の設備投資を必要とせず，地元の地ビールとして販売するというこのような経営方式は今後の地ビール産業における一つのモデルとなるものと考えている（図 1）。

（3）　有色馬鈴薯を原料とした発泡酒

生研センターの「生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業」における採択課題で，

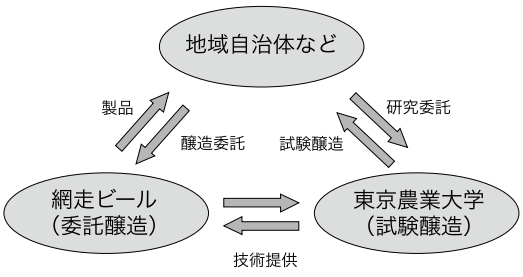


図 1　ビール・発泡酒の委託醸造

平成 15 年度から 5 年間「高度リン酸化澱粉及びアントシアニン色素を含有する馬鈴薯を用いた機能性食品の開発」というテーマを分担した。これは新たに開発された有色馬鈴薯「シャドークイーン」を用いた飲料開発を行ったもので，アントシアニンの色調を活かす醸造方法について検討した。麦汁を調製する加熱工程により大きく退色するため，色素を別に抽出しておき加熱後に加える方法や発酵途中で加えるなどすると色調を保持することができた[1, 2]。また，ルチンを加えることによりアントシアニンの安定化が認められ，通常の醸造方法でも色調はかなり保持されることが明らかとなり，醸造方法を確立することができた[3]。

2. 水産資源の活用 ～魚醤油の開発～

秋になると産卵のため多くの鮭，鱒が川に戻ってくる。そのほとんどは人為的に採卵し孵化させるとともに，筋子としての用途も多い。しかし産卵のため戻ってきた魚体は脂肪分が少なく肉質も劣化しており，ほとんど食用には向かない。そのような鮭，鱒のことを地元では「ホッチャレ」といい，その名の通り廃棄されるか，飼料とする程度の使い道しかない。しかし，それらの成分はタンパク質が豊富であり，これを分解すれば多くのアミノ酸が得られ，良質な調味液となるはずである。そのような製品は東南アジアでよく見られる魚醤油というもので，日本でも石川県の「いしる」や秋田県の「しょっつる」などは有名である。そこで，これらの「ホッチャレ」や廃棄される内臓などとともに酵素分解して鮭や鱒を原料とした魚醤油を製造する条件を検討した。

内臓や鮭の身の部分を原料として用い，これに食塩を加え，タンパク分解酵素と風味改善のために米麹を加えて保温し，2 か月ほどたつと固形物はほとんど分解され，これをろ過すると

写真 2　魚醤油製品「鮭太郎」「鱒次郎」

醤油様の調味液が得られる。その製造条件を検討し，現在網走第一水産加工協同組合で製品化し，鮭を原料とした「鮭太郎」鱒を原料とした「鱒次郎」の商品名で販売されている（写真 2）。北海道では「鮭とば」といって鮭に味付けをして乾燥した珍味がある。鮭魚醤油を製造している会社ではこの魚醤油をその調味づけに用いた製品を販売しており，これも評判がよい。

3. 畜産資源の活用 ～エミューの利用～

（1）エミューと地域産業

エミューはオーストラリア原産のヒクイドリ目エミュー科に属する走鳥類で，形はダチョウによく似ているが大きさは少し小さく，体高は 160 から 170 センチほどである（写真 3）。現在，

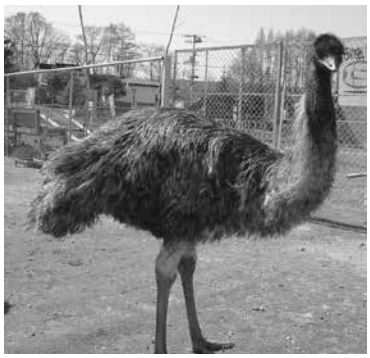


写真 3　オーストラリア原産の鳥「エミュー」

表 1　エミュー肉の一般成分（g/100g）

	エミュー肉	鶏もも肉	豚もも肉
水分	71.8	72.3	60.1
タンパク質	23.1	22.0	20.5
脂質	1.3	4.8	10.2
炭水化物	2.6	0.0	0.2
灰分	1.2	0.9	1.0

網走市と民間，大学が連携しエミューを新たな地域資源として活用して，生産，加工，流通に至る一連のシステムを構築し，地域産業として定着させることを目指している[4)]。この取り組みは，「あばしり元気再生エミュープロジェクト推進協議会」を組織し，平成 20 年度内閣府の「地方の元気再生事業」に採択された。

（2）肉，脂肪の利用

エミュー肉の一般成分は，表 1 に示したように，豚肉や鶏肉などと比べて，タンパク質が多く，脂質は少ない。また，灰分が多いのは鉄分が多いことに由来している。このようにエミュー肉は低カロリーで健康志向な食材として注目される。

肉の加工としてはハム，ソーセージなどがあるが，加工に重要な結着力に関係するタンパク質のゲル化について調べたところ，図 2 に示したように，タンパク質濃度とともにゲル強度は上昇し，塩濃度との関係は豚肉よりも低塩濃度でゲル化力が高まることが認められた（図 3）。従って食塩を減らした製品の加工が可能であることが考えられ，実際にソーセージに加工した場合，十分な結着力があり通常のポークソーセージなどと比べても高い評価が得られる製品ができた。

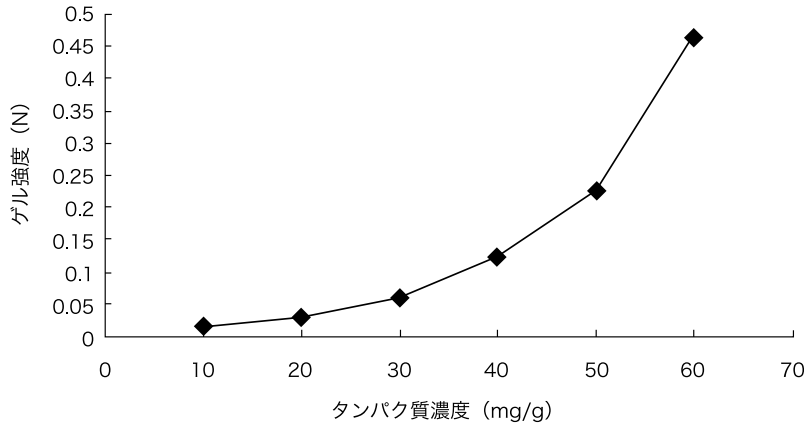


図 2　ゲル強度に及ぼすタンパク質濃度の影響

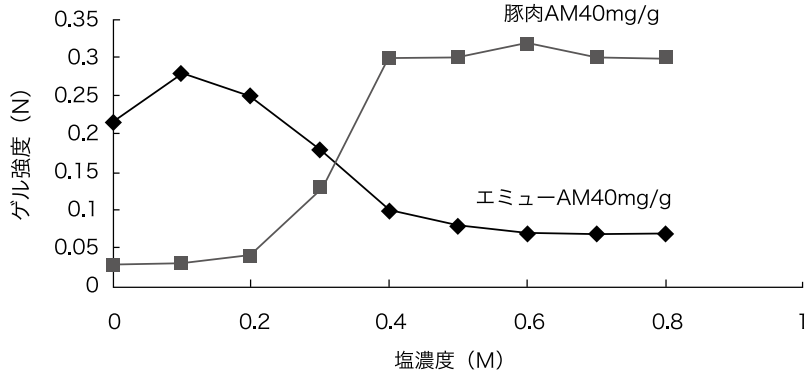


図 3　ゲル強度に及ぼす塩濃度の影響（アクトミオシン 40mg/g）

また，脂肪もオーストラリアの原住民，アボリジニが切り傷や打ち身などの治療によく使っていたといわれている。脂肪酸組成は人の皮脂にきわめて近く，オレイン酸やリノール酸を多く含んでおり，保湿性や浸透性に優れている。また，不飽和脂肪酸を多く含むため，食用としても価値が高く，サプリメントなどとしても利用されている。

（3）卵の利用

エミューの卵は深緑色をしており，大きさは鶏卵の約 10 倍で，600 グラムほどである。一般成分は鶏卵と大きな違いはないが，卵黄の割合が多い。物性は大きく異なり，卵白は粘性が強く，起泡性も強くなめらかな泡が形成される。また，熱変性にも差が見られ，加熱した場合，鶏卵よりも柔らかい食感の卵焼きができる。これらの物性の違いは特に卵白のタンパク質組成が異なることが考えられ，電気泳動による結果でもそのことが明らかとなった[4]。これらの性質を利用して，菓子類にエミュー卵を使ったところ，ソフトな食感が得られ，好評を得ている。このほかパンやプリンなどでも鶏卵を使った場合とは異なる性状の製品が得られている。

（4）「株式会社東京農大バイオインダストリー」の設立

エミューの生産から加工まで，学部の横断的取組を行ってきたことをさらに発展させ，これらを製品化して販売することになり，大学発ベンチャー企業として「株式会社東京農大バイオインダストリー」という会社を立ち上げた。前述のエミューの卵を使って焼いた「どら焼き」は大変評判がよく，ヒット商品となっている（**写真 4**）。エミューの脂肪も大変価値があり，海外ではいろいろな製品が造られているが，この会社でもマッサージオイル，モイスチャークリーム，石鹸，洗顔フォームなどを販売している。販売はインターネットにより対応していたが，網走市内にアンテナショップ「ショップ笑友（えみゅー）」を開設した（**写真 5**）。この店ではエミュー製品をはじめとし，大学で開発された種々の製品を販売している。

写真 4　エミューの卵を使った「どら焼き」

写真 5　ショップ笑友

4. その他の製品開発

（1）マタタビの利用

網走ではかつて「マタタビ」の導入が行われ，20 年以上を経てその木も大きくなり，果実の利用について要望されている。マタタビの成分的な特徴を調べるとともにその加工利用について検討した。シロップ漬け，ジャム，フルーツソース，ジュースなど幅広い利用が可能であり，いずれ網走の名物となる可能性がある。

（2）オホーツク鱒寿司の開発

オホーツク海の新鮮で豊富なカラフトマスを

利用した製品として，産業クラスターのグループで鱒寿司の開発を行った。これは鱒だけでなく，米や笹の葉，容器として用いる経木など，オホーツク産の原材料を使った製品となった。

（3）コロッケ

斜里町の豊富な水産資源や畑作物を使った名物を開発したい，ということで委員会を組織し，検討を重ねた結果，いろいろな食材が使えて一般的な製品ということでコロッケを開発することになった。地域の特徴を出すため，鮭の中骨入りや鮭ロール，牛乳や生クリームを使ったクリームコロッケ，ニンジンをベースにしたニンジンコロッケなどを試作し，市場調査を行い，製品化することになった。株式会社シャリーズキッチンという会社を設立し，製造販売を行っている。

（4）ピザ

身障者自立支援のNPO法人より依頼があり，地域の原料を用いた高齢者にも食べてもらえるような低カロリーピザの開発を行った。北海道産の小麦粉を用いて生地を焼き，地域の食材を利用したピザとして，牡蠣グラタン風のピザや，カボチャをのせたピザ，きんぴらごぼうのような具をのせたきんぴらピザなどを製品化し，販売を行っている。

（5）ペットスナック

あるパン屋さんからの依頼で，これからはペットにも飼い主は安心安全なものを食べさせたいはずだという考えから，北海道の食材を用いたペット用のおやつを開発した。小麦粉はもちろん，ほとんどの原料は北海道産で，おからや鮭の中骨などを入れたカンパンのような製品に仕上げた。地域のペットショップや動物病院で販売されている。

おわりに

以上のように，加工することにより地域の高品質な食材はさらに付加価値を高め，未利用資源は有効的に活用することなどは，地域の活性化にもつながるものと考えている。よい材料があり，技術的支援をしても実際にそれを加工し，販売する民間の力が不可欠である。とかく一次産品の豊富な地域は，それをそのまま販売するだけで高い収益があり，わざわざ規格外品や未利用資源を加工する手間をかける必要もなく，材料は豊富にあってもこのような取り組みはなかなか進まないのが現状である。しかし，限られた資源を有効的に利用し，無駄を省く取り組みはきわめて重要であり，それを実現するには単にものを作るということだけでなく，流通や販売方法なども考慮して開発する必要がある。それにはいろいろな分野のみなさんと連携して，広い視野に立った上での製品開発が求められる。

参考文献

1）妙田貴生，塚本篤，野田高弘，永井毅，永島俊夫：有色馬鈴薯を用いた発泡酒の醸造，日本食品保蔵科学会誌，**33**, 261-265(2007)

2）永島俊夫，野田高弘，塚本篤：有色醸造酒の製造方法，特開 2007-135544（2005）

3）永島俊夫，塚本篤：アントシアニン色素を活かした有色醸造酒の製造方法，特願 2007-136527（2007）

4）東京農大バイオインダストリー・オホーツク実学センター編：エミュー飼いたい新書，東京農大出版会（2009）非売品

5）Junko Takeuch and Toshio Nagashima: Chemical and Physical Characterization of Dromaius novaehollandiae(Emu) Eggs, *Food Sci. Technol. Res.*,**16**,149-156(2010)

連載

“薬膳”の知恵（52）

Key Words： 薬膳 ■ 食養生 ■ 春

荒 勝俊*

中医学は，《すべての物質は陰陽二つの気が相互作用し，表裏一体で構成されている》と考える（陰陽学説）と，《宇宙に存在する全ての事象は“木・火・土・金・水”と呼ばれる五つの基本物質から成り，その相互関係により新しい現象が起こる》と考える（五行学説）に基づいた独自の整体観から構成されている。中医学における治療は，古代帝王の神農が草木の薬効などを記した「神農本草」を基に，医療技術と調理技術を双方修得した食医がおかれ，医療と食事を兼ね揃えた“薬食同源”という観点から食療法としての“薬膳”が形成された。即ち，“薬膳”とは《中医学の基礎概念である陰陽五行学説に基づき，健康管理や病気治療のために食材の持つ様々な機能を組み合わせて作った食養生》のことである。薬膳には①食養生としての薬膳と，②治療補助的な意味の薬膳があり，健康維持を目指す薬膳は“養生薬膳”に属している。

“薬食同源”の歴史は周の時代に遡ることができ，食療法が論述された著書が多く執筆された。唐の時代の孫思邈が書いた『千金方』と『千金翼方』には食療法に関する専門的な論述があり，古代の食療法の発展に大きな影響を与えた。今月は陽気の発生，万物の発生のはじまりという特徴を持つ春季に焦点を絞り，その養生法を紹介する。

1．春の養生

中医学では，24 節気の立春から立夏までの 6 つの節気（立春，雨水，啓蟄，春分，清明，穀雨）が春に分類される。春は冬の寒さ（陰）が少しずつ減少し，暖かい陽気が次第に強まる季節（陰消陽長）である。草木は芽吹き，生き物たちは冬眠から目覚め，虫たちは土の中から地上へと出てくる季節であり，私達も体内のエネルギーや血行の巡りがよくなり，活動的になる季節である。

●立春（りっしゅん，2 月 4 日頃）

節分の翌日が立春となり，春の気配が感じられる様になる。立春は万物が蘇える春季の始ま

* *ARA Katsutoshi*（技術士，国際薬膳師，漢方アドバイザー (JACDS)，薬草ガーデンマスター (JGS)，中国茶アドバイザー，日本茶インストラクター（NIA））

りを示している。

●雨水（うすい，2 月 18 日頃）

雨の多い時期になり，草木の芽生えが始まる。

●啓蟄（けいちつ，3 月 5 日頃）

土の中で冬ごもりしていた多くの虫の幼虫が，穴を啓いて地上に這い出してくる時期。

●春分（しゅんぶん，3 月 21 日頃）

春の彼岸の中日で，昼と夜の長さがほぼ等しくなる。

●清明（せいめい，4 月 4 日頃）

爽やかな時期となり，草木の花が咲き初め，万物に清朗の気が溢れてくる。

●穀雨（こくう，4 月 20 日頃）

植物の成長を助ける春雨の時期。

春の陽気が盛んになると，私たちの体内における陽気も自然の気に応じて活発に外に向かって発散する傾向にあり，エネルギー消費量も増加する。また，春の時期は病気の活動も活発になり，冷え，のぼせ，身体がだるい，腰痛，肩こり，目の病気，眩暈，いらいら，不眠，便秘，生理不順，などが起きやすい。そこで，春の養生の原則は体内の陽気の保持，即ち「養陽防風」にあるとされている。

①“風邪”を防ぐ

“風邪”が体内に入り込んで重大な病気を引き起こさないように予防することが春の養生の最重要課題となる。

②寒暖の変化に注意

冬の寒気と夏の暖気が入り混じった不安定な時期であり，生活のリズムを調えるよう注意が必要である。

③肝気を落ち着かせる

春は五行学説において木に属し，自然界のすべてのものがのびやかに成長し，新陳代謝が活発になる季節である。また，春に当たる臓器は肝で，春の草木のように「のびのびとしている状態」を好むことが特徴である。陽気が盛んな春季においては，肝気も旺盛になりやすく，高血圧，眩暈，肝炎などを引き起こす事になる。また，肝気は精神状態にも大きな影響を与えるで，春季における精神面の養生は，激怒を厳しく戒め，憂鬱な気持ちになることを避け，度量を大きくし，楽観的に向上することを目指し，肝の気を落ち着かせて精神の安定を図る事が重要である。

2. 春の食養生

春の食養生としては，春季は陽気が高まりだす時期であることを考え，辛，甘といった発散するものを食べ，酸，収斂の味のものはあまり食べるべきではない。養生法に『春は補陽』という原則があるが，陽気を補う食物を多く摂るようにして，抵抗力を高め風邪の侵入を防ぐようにする。中国・唐代の名医，孫思邈*（そんしばく）は「春は五味のうち“酸”の食品は少なく，“甘”の食品を多く摂るようにして脾胃の消化吸収の働きを助ける必要がある」と述べている。脾胃は「後天の本」と呼ばれ，体内活動のエネルギーを作り出す場所で，脾胃の活動が活発であれば元気で長生きできると言われている。また，肝の気が旺盛になりすぎると脾胃の消化吸収活動を損ねるので，肝の働きを活発にする酸の食品を多く食べると，春季に盛んになる肝気をさらに旺盛にさせ，脾胃の機能を損

* 孫思邈（581 年～ 682 年）：中国唐代の有名な医学者であり養生家である。出身は華原で，主な著作には《千金要方》《千金翼方》等があげられる。
「体の不調にはまず食療で改善すべきである。食療だけでは不十分なら，また毒性を持つ薬の治療を考えよう」と食養生の重要性を強調し，実践した。

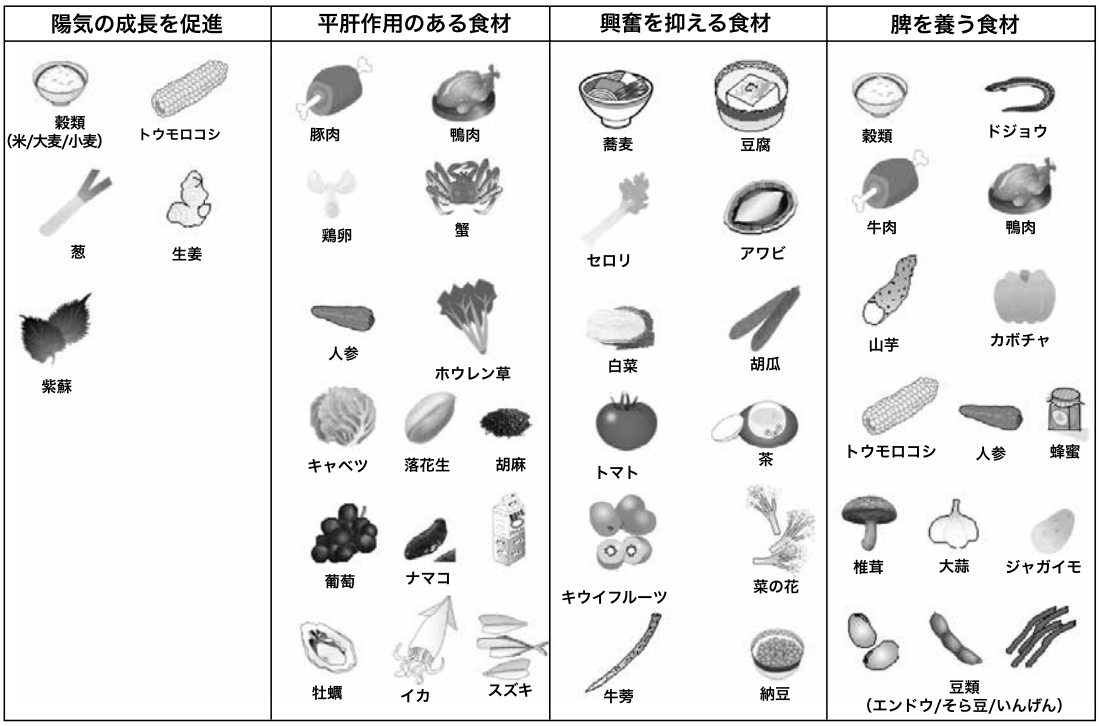


図 1　春の食養生

ねることになる。

2-1　春の食材

春の養生に用いる食材としては，ナツメ，山芋，米，蜂蜜などの甘の食物で脾胃の働きを助けると良い。また，春は肝が影響を受けると，イライラ，情緒不安定，怒りっぽい，興奮しやすい，やる気が出ない，鬱，など精神症状が出やすくなる。そこで，頭に気が上った状態を鎮めるには菜の花，蕎麦，粟，麦，豆腐，アワビ，セロリ，白菜，タンポポ，マコモ，胡瓜，トマト，牛蒡，キウイフルーツ，菊花，茶，薄荷，葛きり，納豆などを食べると良い。更に，平肝作用（補血，補陰）がある食材として，豚肉，レバー，鴨肉，鶏卵，豆乳，牛乳，イカ，スズキ，牡蠣，ムール貝，蟹，ナマコ，人参，ホウレン草，キャベツ，落花生，木耳，百合，クラゲ，胡麻，葡萄，ライチ，枸杞子，麦門冬，桑椹，竜眼肉，黄精，阿膠，などがある。中医薬としては「逍遙丸」や「寫火利湿顆粒」などが用いられる。また，春は陽気を育て成長させる時期なので，陽気の成長を促す作用がある小麦，大麦，米，粟，トウモロコシ，葱，生姜，香菜，紫蘇，防風といった食材を食べると良い。

花粉症などのアレルギー症状の改善には，葱，紫蘇，生姜，菊花，薄荷，胡麻，山薬，椎茸，インゲン，牛肉，蜂蜜などの食材が良く使われる。

調理法としては，春はさっぱりした味つけを基本とし，肉や高脂肪の食物は控え目にし，生ものや冷たいものは避け，温かいものを食べるようにする。腹部が冷える人は生姜を食べるようにすると良い。

2-2　春の養生茶

春の養生茶として，肝と関係の深い『菊花茶』が良い。白菊花は肝に籠った余分な熱をさまして目のつかれを癒してくれる。また，ジャスミンティーなど爽やかな香りのするお茶は気の巡りをよくする効果がある。また，蓮の実の緑色

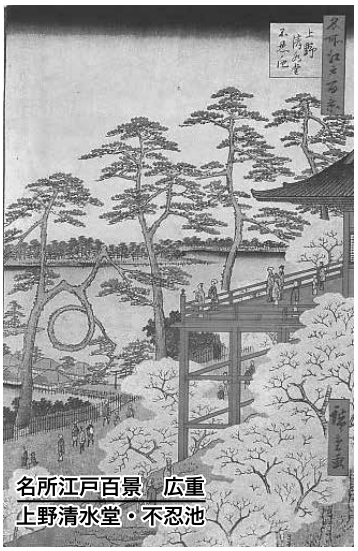


図 2　長屋の花見（江戸）

の胚芽の部分（蓮子心）を使ったお茶は，「清心瀉火・除煩安神」の効果が有り，イライラして眠れない様な時に効果が有る。

.**********

今回は《春》が題材の古典落語を紹介する。『長屋の花見』は古典落語の演目の一つで，元々は上方落語の演目『貧乏花見』を江戸に移植したものである。貧乏長屋の連中が大家さんにお花見に誘われ，酒のかわりにうすめた番茶，重箱には蒲鉾の代わりに大根，玉子焼きの代わりにたくわんをつめて風呂敷に包み，毛せんに見立てたむしろにくるんで飛鳥山（東京都北区）にお花見に出かけるというお話である。3 代目蝶花楼馬楽・4 代目柳家小さん，5 代目柳家小さん，初代林家彦六，10 代目柳家小三治の得意な演目である。

ここで知っておきたいのは，長屋の連中が食べたかった江戸時代の玉子焼き。江戸っ子はその日暮らしで，飯に困ったら働きに出るというのが一般的だったそうだ。四つ（朝 10 時）に家を出て八つ（午後 2 時）には仕事を終えて家に帰るといった内容で，月に七日も働けば一家四人がつましくは暮らせたそうだ。朝食はご飯とおみおつけ，香のもの，昼は冷や飯に焼き魚，夜は茶漬けかお粥といった献立が一般的だったとか。従って，江戸の長屋連中にとっては玉子焼きはご馳走だったという事になる。料理の集大成で『玉子百珍』の異名をもつ『万宝料理秘密箱』には「厚焼き玉子」に該当する項目が無い事から，「薄焼き玉子」が主流だったと予想される。従って，江戸前の甘い厚焼き玉子が作られたのは，江戸末期から明治になってからと予想される。

【長屋の花見】

朝からの雨がやみ「良い天気になったなあ」と長屋の連中がこぼしている。雨だから仕事にあぶれてしまって暇なのだ。そこで，大家さんが気をきかして長屋の住人を家に呼んだものだから，長屋の住人たちは大慌てで大家さんの家へやってきた。店賃の催促でもされたら大変と言い訳を考えながら・・・

大家：「今日，皆さんを呼んだのは，今，雨が上がったといっても，これから仕事には出られ

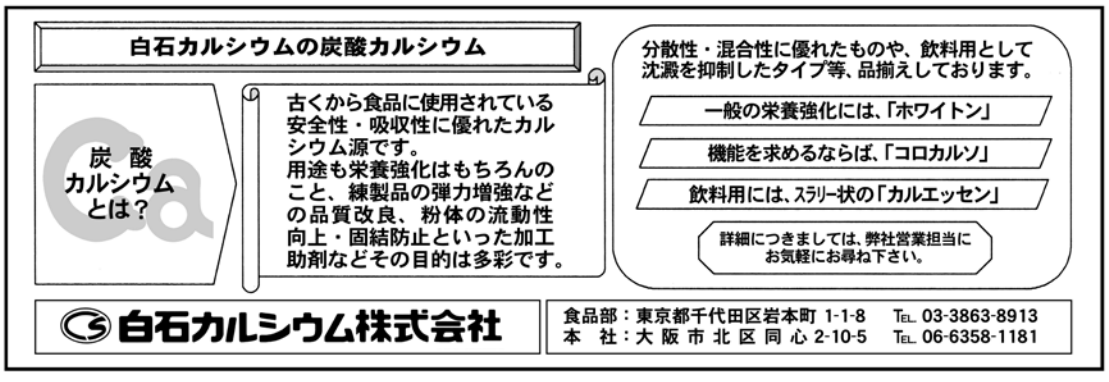
ないだろう」
長屋の住人：「ええ，中途半端ですから」
大家：「そこでな，長屋中で花見にいくのはどうだい？」
長屋の住人：「どこにです？」
大家：「飛鳥山は今が見ごろだ，と聞いている」
長屋の住人：「みんな貧乏で，出し合う銭もありませんよ。大勢で手ぶらで，飛鳥山の花を一回り見て，帰ってくるだけですか」
大家：「それじゃ，つまらないだろう。酒，肴を持ってさ」
長屋の住人：「それがあるんでしたら，どこへでも行きますが，ほんとにあるんですか」
大家：「ここにある。一升ビンが三本。この重箱の中には卵焼きと蒲鉾が入っている」
長屋の住人：「ありがとうございます」
大家：「そう丁寧に礼を言われると，あたしもきまりが悪いから，先に種あかしをしておこう」
長屋の住人：「なんです，種あかしって？」
大家：「実は一升ビンの中身は番茶を煮出して水で割って薄めたものだ。どうだい，酒に見えるだろう？」
長屋の住人：「酒盛りじゃなくて，茶か盛りですか」
大家：「そういうことだ」
長屋の住人：「でも，卵焼きと蒲鉾のほうは本物でしょうね」
大家：「おいおい，馬鹿を云っちゃぁいけねぇ。卵焼きと蒲鉾の本物を買うくらいなら，五合でも酒を買うじゃぁねぇか。ご覧の通り，”たくあん”は黄色いところで卵焼き，”大根のこうこ”は月形に切ってあるところから誰がみたって蒲鉾，だな」
長屋の住人：「見た目にはね・・・。がぶがぶのぼりぼりだとさ。みんな，これでも出かけるかい？」
長屋の住人：「できれば参加したくない・・・」
大家：「ほう，そういう了見かい？分かったよ。それなら，明日にでも溜まった店賃，耳を揃えて・・・」
長屋の住人：「大家さんがせっかく用意してくれたんだから，その気持ちに感謝して行こうじゃないか・・・忍びがたきも忍んでさ」

大家：「見ろ。満開だ。山の上は見晴らしがいいぞ」
長屋の住人：「いや，なるべく下のほうがいいんじゃありませんか」
大家：「下は埃っぽいぞ」
長屋の住人：「埃なんざどうでもいいんですよ。それよりも，上のほうで本物の酒と肴で宴をやってんでしょうから，何かの拍子に坂道を肴が転がって落ちてくるかも知れねえ」
大家：「そんな情けないことを言いなさんな。それより，ここへ毛氈を敷きな」
（この毛氈も，毛氈のつもりの莚である。そして宴もたけなわ）
大家：「どうだい酒の口当たりは？甘口か，辛口か？」
長屋の住人：「渋口です」
大家：「渋口の酒ってあるか。吟味した灘の生一本だぞ」
長屋の住人：「宇治かと思った。ドンドン注いでくれ，こぼしたってもったいない酒じゃないんだ。（茶碗の中を見て）あら？大家さん。近々，長屋にいいことがありそうですよ」
大家：「嬉しいねぇ。そんなことがわかるかい？」
長屋の住人：「茶碗の中を覗いてご覧なさい。酒柱が立ってます」

**********◀◀

引用文献

1）中医学の基礎　平馬直樹・兵頭明・路京華・劉公望監訳　東洋学術出版社
2）やさしい中医学入門　　関口善太著　東洋学術出版社
3）中医臨床のための中薬学　　神戸中医学研究会編著　医歯薬出版
4）［詳解］中医基礎理論　劉燕池・宋天彬・張瑞馥・董連栄著／浅川要監訳　東洋学術出版社
5）東洋医学のしくみ　兵頭明監修　新星出版社
6）中医食療方　瀬尾港二，宗形明子，稲田恵子著　東洋学術出版社
7）全訳中医基礎理論　淺野周訳　たにぐち書店
8）漢方アドバイザー養成講座テキスト　漢方に関する基礎知識編　第二巻　JACDS
9）薬膳と中医学　徳井教孝・三成由美・張再良・郭忻共著　建帛社
10）医学生のための漢方・中医学講座　入江祥史編著　医歯薬出版
11）全訳中医診断学　王憶勤主編　たにぐち書店
12）中医診断学ノート　内山恵子著　東洋学術出版社



山田　和彦

築地市場魚貝辞典（サケ）

築地市場の正門前には，国立がん研究所，朝日新聞，海上保安庁海洋情報部などの重要な施設が集まっている。私は，仕事柄，海上保安庁海洋情報部に足を運んだ。ここには「海の相談室」というのがあって，世界各地の海図や水温や海流といった海洋に関する情報を得られる。また，海図の販売もしているので，何度もお世話になった。風がそろそろ冷たく感じられるようになってくる頃，朝日新聞前に植えられたカラマツは，すっかり葉を落とし冬の訪れもまもなくである。
今回も秋の魚。サケを紹介する。

ー分類ー

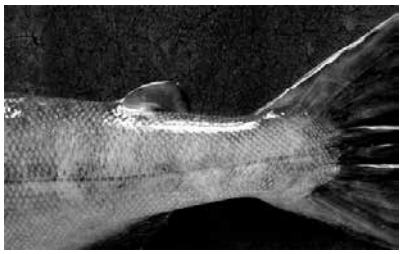
サケ

サケを分類学的に表すと，サケ目サケ科サケ属サケとなる。言い換えると，からだがやや細長く，油鰭があり，体に鱗があり，胸鰭が腹に近い位置にあり，鰓蓋（さいがい，えらぶた）の下部にあるスジが 10 から 20 ある魚のうち，体の断面が上下に長い楕円形かつ上顎にある歯の列が“小”字型に並ぶ仲間で，体に黒点のない魚ということになる。サケ目はキュウリウオ目（シシャモやアユ，シラウオが含まれる）に近縁なグループである。サケ目にはサケ科だけが含まれる。サケ科にはサケ属のほか，イワナ属，イトウ属，タイセイヨウサケ属，コレゴヌス属（シナノユキマスの仲間）など 11 属の魚が含まれる。サケ属には，サケのほかニジマス，カラフトマス，サクラマス，ベニザケ，ギンザケ，マスノスケが含まれる。サケ属は北太平洋の寒冷海域とそこに注ぐ河川や湖沼にのみ分布する。

ー形態ー

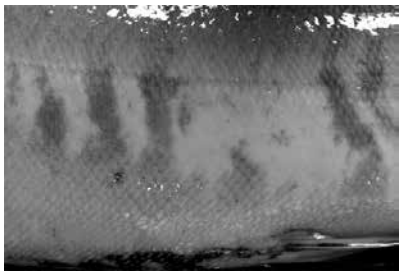
丸ごとのサケを見る機会は少なくなったように思う。以前は，年の暮れともなると新巻鮭が家にあったし，熊の彫り物もサケをかついでいた。しかし，最近はどちらも家庭で見かけることが少なくなった。

サケというと切身しか思い浮かばないことになる。体はやや長く，体の断面は上下に長い楕円形。背鰭は背中の中央付近に 1 つある。尾鰭の付け根付近の背中側に，小さく丸みを帯びた油鰭がある。胸鰭は腹側に近い所にある。腹鰭は腹部中央付近にある。各鰭には硬い骨でできた鰭すじはない。全身は，細かな円鱗で覆われる。歯は円錐形でやや大きい。産卵期が近づくと二次性徴によって体色と共に，体型も変化する。上下の顎が湾曲する。特にオスは著しく曲がり，俗に「鼻曲がり」と呼ばれる。



油鰭

鼻曲がりのオスのサケ



婚姻色

体色は，成長に伴って変化する。海に下る前の稚魚には，パーマークと呼ばれる楕円形の斑紋が，側面にある。海に下ると，全身がメラニン色素の多い銀色の鱗に覆われる。成魚は，体や鰭に斑紋がなく，背側が鮮やかな青で，腹側は白い。尾鰭に銀色の放射条の模様がある。成熟すると緑褐色の地色に赤や黒のまだら模様になる。

婚姻色の現れる前のサケ類はよく似ているので，区別が困難な場合がある。ニジマスとギンザケ，カラフトマス，サクラマス，マスノスケには，体に黒点がある。ベニザケは黒点がなくサケに似るが，尾鰭の放射状模様がない。体長は，70 cm を超える。

ー生態ー

日本のサケの場合，産卵後 2 ヶ月ほどでふ化した稚魚は海へ下り，1 ～ 3 ヶ月を沿岸で過ごす。その後，オホーツク海で 1 年を過ごした後，ベーリング海での索餌とアラスカ湾での越冬を繰り返す。主にイカや小魚などを食べる。4 年ほどで成熟し，生まれた川へ戻ってくる。北海道オホーツク海沿岸では 10 月ごろ，東北沿岸では 11 から 12 月ごろ産卵のため川に上がる。産卵に適した場所を求めて川を揚がるが，現在は採卵のためほとんどのサケが河口で捕獲され，またダムなどによっ

オス（上）とメス（下）

て川の上流へ登ることはほとんどない。かつて信濃川では，長野県の松本付近まで上って産卵していた。川に上がると雌雄でペアを作る。ペアは，尾鰭を使って川底に浅いくぼみを作り，メスが産卵したところにオスが放精して受精する。産卵後，親のサケは卵に砂利をかけ，死亡する。

ー漁業ー

以前は，公海上で何十 km にもなる流し網で漁獲されるものが多かったが，資源保護などの観点から流し網が禁止となり，現在では沿岸の定置網で漁獲されるものが多い。資源の減少が著しく，北海道や東北各県でふ化事業がさかんに行われてきた。1970 年代以降，資源が回復してきたが，これはふ化事業の成果だけでなく，サケの育つ海域の条件がサケの成育に適した海況になっているとの研究もある。

築地市場には，春から初夏になると東北各県から，餌を求めて回遊する若いサケが入荷し始める。そして 9 月ごろになると，産卵のために日本近海に戻ってきたサケが入荷するようになる。しかし，婚姻色が出たサケは，卵巣や精巣に栄養を取られ味が落ち始めるので，築地市場にはほとんど入荷しない。塩蔵のサケは通年入荷する。

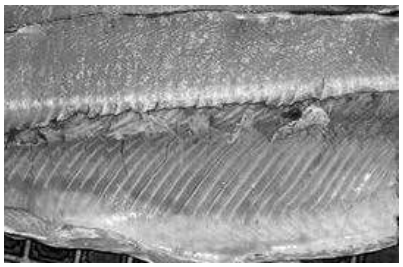
ー利用ー

卵巣

イクラの醤油漬け

サケは何にでも向く魚である。以前は保存食として新巻や塩鮭など，乾燥品や塩蔵品が多かった。発酵食品である鮭鮨もある。燻製も本来は保存食であった。塩焼き，粕漬け，ムニエル，フライ，グラタン，ちゃんちゃん焼き，石狩鍋，のっぺい汁，カレー，茶漬けなどなど。水煮の缶詰も定番である。中骨の缶詰は，一時期話題になった。卵は卵巣そのままの筋子，ばらばらにしたイクラ。近年は，塩漬けより醤油漬けの方が，人気があるかもしれない。最近の傾向で，サケも刺身で食べる所があるが，

寄生虫の危険性があるので，一度凍らせる必要がある。北海道では，昔からの知恵で，凍らせたものを「るいべ」として食べていた。


サーモンピンクの身

サケの身は赤みが強いが，これを赤身とは言わない。ふつう赤身の魚といえば，マグロやカツオなど，身が濃赤色をしているものを言う。筋肉中に血色素であるミオグロビンが多く含まれているからである。ところが，サケの身にはミオグロビンはそれほど多くなく，白身魚と同じぐらいの量である。しかし，白身魚と比べても，サケの身の色は独特である。俗にサーモンピンクなどと呼ばれるが，オレンジ色に近い色合いである。これは，筋肉中に餌由来のアスタキサンチンと呼ばれる色素を多量に含むためである。

ーエピソードー

サケは，じつに呼び名の多い魚である。聞かれたことのある名前もあるのではないだろうか。これらは各地方における呼び名と，取れる時期による呼び名に大別される。全国的にはサケであるが，東京では「しゃけ」と呼ばれることが多い。夏に漁獲される若いサケは目が大きく見えるので「おおめ」「おおめます」「めぢか」など。また，本来サケが捕れるのは秋なので時期はずれという意味で「ときしらず」「ときさけ」。この頃のサケは，海の表層を泳ぐため，銀色の鱗に覆われている。そこで「ぎんけ」。秋になると大群で沿岸に押し寄せるので「あきざけ」や「あきあじ」。その群れの中に混ざる未成熟の「けいじ」。産卵期が近づくと体色が黒褐色に変わり「ぶな」。顎も変形して「はなまがり」。そして産卵後は食べられないので「ほっちゃれ」となる。

秋鮭と書いて「あきあじ」と読む。アイヌ語でサケのことを「アキアチップ」と言い，それが訛って「あきあじ」となり，秋鮭の字を当てるようになったという。

サケ科の魚を，俗にと鮭鱒（けいそん）類と呼ぶ。つまり，サケとマスの仲間という意味である。そう言われると，サケとマスの仲間に分けられるように思われるが，実は，名称と分類とは一致しないのである。日本産のサケ科魚類（移入種を除く）は，イワナ類とイトウを除くとすべてサケ属なのである。江戸時代以前の日本人が見ることのできたサケ科魚類は，サケとサクラマス（サツキマスとビワマスを含む），イワナだけであったと考えられる。イワナは小型で本州では河川にしか分布

ブランド物のサケ

しないので，サケ類と区別される。そしてサケに良く似た仲間は，サケとサクラマスだけとなる。そのため，片方をサケ，もう片方をマスと読んで区別していた可能性が考えられる。サケと呼ばれる魚は，生まれるとすぐ海に下り，産卵期の秋になるまで姿を現さない。マスと呼ばれる魚は生まれた後しばらく川で過ごし，また海に下ったものも夏には川に上がって来るのでサケとは違う魚と思われていたに違いない。その後，北海道が開拓され，サケやマスに似た魚が知られるようになったとき，どちらかに振り分ける形で名前が決められたのであろう。そのため，ベニザケなどは，ベニマスと呼ばれたこともあった。

これと同じことが英語でも言えることは，おもしろい。英語でサーモン Salmon は，本来，英語を母国語とした人たちが見た魚，つまりイギリス近海の魚なので，タイセイヨウサケを指す語であった。その後，太平洋海域へ進出した人々がサケ類を見たとき，タイセイヨウサケに似ていたため，～サーモンと呼んだものと考えられる。ちなみにマスに対する英名はトラウト Trout となっているが，これも本来はヨーロッパの淡水魚であるブラウントラウトに対する名称であった。名称の多さは，サケが人々に親しまれてきた表れであろう。

文　献

1）阿部周一（編）：サケ学入門，北海道大学出版会（2009）
2）坂本一男：旬の魚図鑑，主婦の友社（2007）
3）仲坊徹次（編）：日本産魚類検索　全種の同定　第 2 版，東海大学出版会（2001）
4）水島敏博・鳥澤　雅（監）：漁業生物図鑑　新 北のさかなたち，北海道新聞社（2003）

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」は今年創刊 50 周年を迎える食品業界誌です。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52巻 第 11 号

印 刷 平成 22 年 10月 25 日
発 行 平成 22 年 11月 1 日
発行人 宇田 守孝
編集人 村松 右一
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 株式会社アイエムアート
定 価 2,100円（本体2,000円＋税）（送料100円）
email：info@newfoodindustry.com