第 60 巻 第 9 号（9月号） 平成30年 9 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

食品加工および資材の新知識

New Food Industry

New food indust. 60 (9): 2018.

9

■ 高日持ちトマトの謎が明らかに
　－半世紀にわたる成熟制御因子の誤解を解く

■ カシスの魅力と健康機能性

■ 徳島県特産のスダチ　―果皮成分の機能性について―

■ 産官学連携による地産地消商品の開発

■ 食品資源としてのロシア産コンブの可能性
　―日露共同研究プロジェクトから見えてきたもの―

■ 食用シアノバクテリア　―ノストコプシス―

エヌエフアイ

NFI

自然の恵みを運ぶ
丸善製薬株式会社

食品営業部
【東京】東京食品課 〒150-0021 東京都渋谷区恵比寿西2-6-7 TEL(03)3496-1521 FAX(03)3496-1641
【大阪】大阪食品課 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町2-6-6(塩野日生ビル6F) TEL(06)6203-6918 FAX(06)6233-3606
http://www.maruzenpcy.co.jp

New Food Industry
食品学術誌のご案内

◆この雑誌についてのお問合せ◆
TEL :042-312-0836
エヌエフアイ合同会社 検索

New Food Industry とは

月刊「New Food Industry」誌は、1959（昭和 34）年に創刊以来、食品業界の発展を目指す斯界の研究者ならびに教育機関の先生方などのご助言、ご協力をいただきながら60 年の歴史を歩んで参りました。これまで途絶えることなく 60 年間に亘り発行を続けられたことは、我が国の食品業界における学術誌としては稀有の存在であり、今日の食品業界の発展に少なからず寄与しているものと自負しております。

年間購読料　雑誌コード：89591

前払い：1 冊 2,160 円（税込）×12 ヵ月　10%割引　23,328 円
　　　　送料【100 円】×12 ヵ月　1,200 円　合計：24,528 円
後払い：定価

◆ご注文は FAX またはメールにて　FAX:042-312-0845　info@nfi-llc.co.jp

New Food Industry

目　次

2018 Vol.60 No.9

総　説

□ 高日持ちトマトの謎が明らかに
－半世紀にわたる成熟制御因子の誤解を解く
・・伊藤　康博　1

□ カシスの魅力と健康機能性
・・・・・・・・・・・・前多　隼人，西山　広亮，小舘　めい，福田　覚，七島　直樹，
堀江　香代，冨澤　登志子，藤田　俊文，北島　麻衣，加藤　陽治　11

□ 徳島県特産のスダチ　―果皮成分の機能性について―
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・酒井　徹，中本　晶子，新居　佳孝　19

解　説

□ 産官学連携による地産地消商品の開発
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・曽矢　麻理子，小林　三智子　25

□ 食品資源としてのロシア産コンブの可能性
―日露共同研究プロジェクトから見えてきたもの―
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・鳥居　恭好，宮内　浩二，廣海　十朗，
Elena Dobrynina，Svetlana Minenko，Tatyana Kalenik　29

□ 食用シアノバクテリア　―ノストコプシス―
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・竹中　裕行，山口　裕司，榊　節子　38

世界の学食 (3)　School cafeteria in the world (3)

□ 一上海交通大学
―- Cafeterias in Minhang Campus of Shanghai Jiao Tong University
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・史 海 霞，阎 泽 昆，韦 博 森，坂上　宏　43

New Food Industry

Contents

2018 Vol.60 No.9

連　載

□ **デンマーク通信**　デンマーク夏の Hygge(ヒュッゲ)
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ Naoko Ryde Nishioka　50

□ **野山の花　― 身近な山野草の食効・薬効 ―**
クコ *Lycium chinense* Miller（ナス科　Solanaceae）
・・ 白瀧　義明　52

Life with Nutrition　てるこ先生のこころの栄養学

□　－蚕からの贈り物２－
・・ 中村　照子　55

解　説

□ グルテンフリ−穀物　食品と飲料，セリアック病−3
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 瀬口　正晴，竹内　美貴，中村　智英子　60

□ ニジマス用飼料，アユ用飼料の適切なα澱粉添加量
・・ 酒本　秀一　65

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ

酵母エキス系調味料
コクベース

new 発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン＆小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

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

DM 大日本明治製糖株式会社
食品事業部
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3 日本橋西川ビル7F TEL (03) 3271-0755

レアシュガースウィート

THE RARE SUGAR BRAND

RareSugarSweet

香川発素材
｜
希少糖

希少糖 は、自然界には存在量が少ない単糖で、
香川大学の何森先生の研究により大量生産が可能となりました。
希少糖の D- プシコースや D- アロースは、豊富な機能性を持つこと
から注目が集められています。ブドウ糖・果糖・希少糖をバランス
良く含む 希少糖含有シロップ（商品名：レアシュガースウィート）は、
砂糖の９割の甘味度で自然な甘さです。

甘味料として様々な食品にご使用頂けます。

- 炭酸・スポーツ飲料
- デザート・冷菓
- ベーカリー
- 菓子類
- 惣菜
- 栄養ドリンク
- サプリメント
- 健康食品
- トクホ

レアシュガースウィート

異性化糖

でんぷん ▶ ぶどう糖 ▶ 果 糖 ▶ D- プシコース ▶ D- アロース

機能性のある理想バランス甘味料

発売元

RareSweet
株式会社レアスウィート 高松事務所
香川県高松市番町 1-1-5 ニッセイ高松ビル７階
TEL 087-823-1689 FAX 087-823-1691

販売者
お問合せ

MATSUTANI
松谷化学工業株式会社
兵庫県伊丹市北伊丹５丁目３番地
TEL 072-771-2010 FAX 0120-111-657

高日持ちトマトの謎が明らかに
―半世紀にわたる成熟制御因子の誤解を解く

伊藤　康博 (*ITO Yasuhiro*) *

* 国立研究開発法人　農業・食品産業技術総合研究機構
食品研究部門　食品生物機能開発研究領域　分子生物機能ユニット

Key Words：トマト　成熟　転写因子　変異体　ゲノム編集

はじめに

成熟した果実類は，赤，黄色，オレンジ等，鮮やかな外観を呈し，華やかな芳香を放ち，また食べても甘く適度に酸味があり，日々の食卓に豊かな彩りを与えてくれる食品といえる。ただしこれらの特徴は果実が適度に成熟したときに得られるもので，未熟な緑色の果実は硬くて酸味がきつく，時に渋みやえぐみがきつい等，食品として適さないことが多い。また過熟になると食品としての品質が低下し，時には腐敗に至ったりする。これらのことから，成熟という現象が果実を食品として摂するには重要な要因であるといえる。多肉果のタイプの果実が成熟期に大きな変化を示すのは，広範囲に子孫を拡げる一つの戦略と考えることができる。果実が十分に肥大生長した後，種子が完成してから果実全体の成熟過程が開始する（**図 1**）。成熟することで明るい色合いになり芳香を発することで動物に発見されやすくなり，味がよくなることで採食され，そして果実に含まれていた種子は動物とともに移動し新しい土地で芽吹く，という戦略である。ただし，種子の完成前に動物に食べられては目的が達せられない。種子が完成した後に成熟過程を一気に進めるというのは，理に適っているといえよう。

成熟が始まると果実の生理状態は，それ以前の肥大期の状態とは全く異なった様相を示す。特にバナナやリンゴ，それに本稿で紹介するトマト等，成熟ホルモンとしてよく知られるエチレンの発生を伴う果実類ではこの期間の変化が

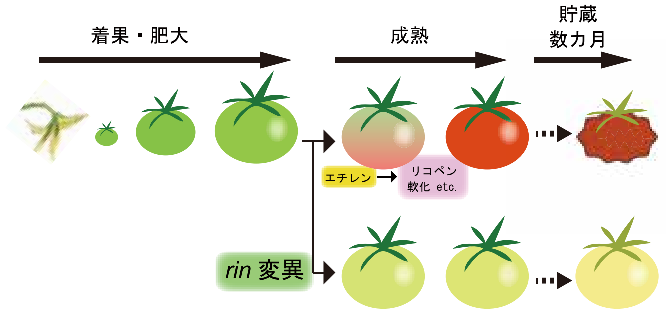


図 1　トマトの成熟過程と *rin* 変異の効果

果実は着果、肥大の過程を終えた後、成熟期に入る。この時期にエチレン生産が急上昇し、リコペンの蓄積が始まる。一方 *rin* 変異を持つトマトは、成熟開始前まで正常に生育するが、成熟は開始せず、薄レモン色を呈するが赤くはならない。普通のトマトと違って軟化が進まず、数カ月経ってもしっかりとした状態の果肉を保つ。

明快である。エチレンの作用により前述の色素，糖，有機酸，あるいは芳香成分の代謝経路，細胞壁の分解等が，一挙に引き起こされる。同時に，しかも多様な変化を一気に進める成熟過程の制御は，生物学的にも古くから注目されてきた興味深い現象であり，その仕組みを明らかにするための研究が数多くなされてきた。本稿では，成熟制御の研究が最も進んでいるトマトについて，そのメカニズムに関するこれまでの考え方を大きく揺るがすような知見を得たので，その概要を紹介したい。

1．研究の背景―トマトの成熟の開始制御と *ripening inhibitor* 変異について

この文章の主題は，成熟制御の主要因子について再評価した研究について解説することであるが，その前提として，この研究の主役である *ripening inhibitor*（*rin*）変異についてまず概説する。この変異はトマトの研究において別格的に重要視され，成熟に関わる実験にはこの変異体が必ずと言って過言ではないほど頻用されている。

トマトは前述したように，成熟の開始にエチレンを必要とする，いわゆる「クライマクテリック型」の果実である。成熟開始期には多くの代謝過程がそれまでの状態からガラリと変化する。この成熟特異的な生理現象を開始するために，たくさんの遺伝子の発現パターンの変化が起こる。あるものは劇的に発現向上し，またあるものは発現が強く抑制される。前述の通りトマトの成熟開始にはエチレンが重要なシグナルとなるが，エチレンの生合性に関わる遺伝子もこの時期に大きく発現誘導される。

トマトではこの成熟に伴う果実の生理変化がほぼ完全に抑制される突然変異体がいくつか知られているが，これらの成熟変異の中でも最も深く研究に利用されてきたのは，約 50 年前に報告があった *ripening inhibitor*（*rin*）変異体である[1]。この変異により，リコペン蓄積や果肉軟化を含め，あらゆる成熟の生理現象がほぼストップしてしまう（**図 1**）。通常の果実が成熟期を迎える時期が来ても，変異体果実は赤くならず軟らかくならず，数か月以上その姿を保つ高日持ち性を示す。何より，成熟開始に必須のエチレン発生量の増大が全くみられないため，エチレンの合成よりも前の段階で成熟を抑制する変異といえる。またエチレンを外から処理してやっても，成熟は回復しない。*rin* 遺伝子座の野生型遺伝子（*RIN* と表記する）は MADS ボックスファミリーに属する転写因子をコードしていることを，2002 年にアメリカのグループが明らかにした[2]。

この *rin* 変異はエチレン生合成の上昇を起こさせず，成熟全体を抑制する変異であることから, 成熟の制御に関わる研究において, ネガティブなコントロールとして広く利用されてきている。変異体の発見以来，世界中のトマト関連の研究室ではどこでもこの変異体を利用して研究しているといって過言ではなく，現在の成熟研究において必須の標準材料として位置付けられているといえる。*rin* 遺伝子座のコード遺伝子を明らかにした論文は *Science* 誌に掲載された[2]ことからも，その注目度が高いことを裏付けている。エチレンと *rin* 変異の関連性のような生理的な研究に加え，変異体における遺伝子発現の解析も多く，近年ではトランスクリプトーム解析による *rin* 変異の広範囲な影響の解析も多くなされている。また，野生型遺伝子がコードする転写因子の機能解析も詳細に行われ[3]，どの遺伝子のプロモーターに結合しているのかもゲノムワイドに解析するような研究もある[4, 5]。さらに *rin* 変異自体の特性やコード遺伝子を明らかにする研究だけでなく，成熟に関わる様々な因子の解析に，栽培系統と *rin* 変異体を対にして比較されることが多く，例えば，カロテノイド合成や軟化に関わる遺伝子，あるいは成熟に関わることが期待される転写因子等の遺伝子の特性を解析する際に，その遺伝子の *rin* 変異体での発現を確認することで当該遺伝子の成熟における位置付けを把握する，といった具合である。*rin* 変異体の明確な成熟抑制の形質から，*rin* 遺伝子座の野生型遺伝子 *RIN* は果実が成熟

開始するための必須の因子であり，その開始を決定するスイッチである，と考えるのは自然であろう。誰もが *RIN* の機能がなくなるのが *rin* 変異であるという考えに特に疑問を持っていなかった。世界中の研究者たちは成熟開始において *RIN* が必須であることは「常識」として信じ，その前提に基づいてさらなる研究を積み上げてきたように思われる。

次の章から，この成熟研究における常識を根本的に見直す研究成果を得た経緯について述べていく。

2. *RIN* の機能及び *rin* 変異に関する疑問

RIN 遺伝子に関連した成熟研究に関して筆者らのグループが最初に取り組んだのは，正常型トマトと *rin* 変異トマトとを交配して育成された F_1 系統果実の高日持ち性に関する研究だった。既によく知られていたことであるが，*rin* 変異は不完全優性を示すため，野生型と *rin* 変異型の対立遺伝子を併せ持つ F_1 系統（*RIN*/*rin*）の果実は両親の中間型の性質，すなわちトマトらしい赤色に着色すると同時に日持ち性に優れた果実となる。そのため現在では，実用的な高日持ち品種の育種に使われている。カゴメ株式会社が開発した F_1 系統について，筆者はカゴメ株式会社と共同でこの系統の解析を行い，主要な成熟関連遺伝子の発現が両親の中間になっていることを確認した[6)]。このとき，この F_s 系統の性質について筆者は一つの疑問を抱いた。メンデル遺伝学の「優性の法則」には従わないのはなぜだろう，という疑問である。遺伝学の基礎である「メンデルの法則」のうち「優性の法則」の例として，エンドウの種子について，表面が丸いタイプの純系（その遺伝子座についてホモであること）と表面にシワが出るタイプの純系を交配して得られた子の世代では，すべて必ず丸いタイプになり，シワ型や中間型は出ない，とされる。つまり種子の表面の形状を決定する遺伝子座において，丸形タイプとシワ型タイプの対立遺伝子がヘテロに保持される

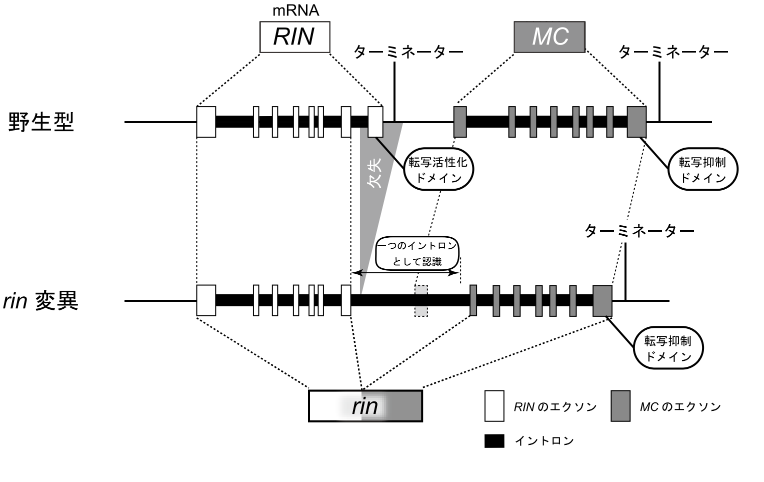


図 2　RIN 遺伝子および *rin* 変異遺伝子の構造

rin 遺伝子座には二つの遺伝子，*RIN* と *MACROCALYX* (*MC*) が存在する。*rin* 変異によって，正常型 RIN の最終エクソン全体とその周辺のゲノム領域が欠失している。この欠失には *RIN* の転写終結配列（ターミネーター配列）も含まれる。*rin* 変異遺伝子の転写が始まると，正常型遺伝子のターミネーターが失われているので，転写がそこでは止まらない。結果として，*MC* のターミネーターまでの一続きの長い転写産物ができる。その後のスプライシングの過程において，*RIN* の最終エクソンの手前のイントロンが終了するシグナルもなくなっていたため，次のイントロンの終了点までを一つのイントロンと認識する。つまり，MC の第一イントロンの終わりの部分までが一つのイントロンとして認識され，*MC* 遺伝子の第一エクソンはスプライス領域に含まれる。この結果，*rin* 変異遺伝子座からは *RIN* の最終エクソンと *MC* の第一エクソンを除いた *RIN* と *MC* の融合 mRNA が産生する。この時，この融合 mRNA の後半部，*MC* の部分においてもコドンの読み枠がずれない。

場合は，「優性」を示す丸形タイプの形質が必ず現れるが，中間型は現れない，という法則である。トマトの話に戻すと，*RIN*/*rin* の F_1 系統の形質は中間型なので，優性の法則には従っていないことになる。もちろん現在では，単純な優性の法則に従う遺伝的形質はそれほど多くないことが知られているが，それでもなお，*rin* 変異遺伝子が優性の法則に従わないのは何か理由があるのではないかと考えた。すなわち，*rin* 変異型遺伝子は，従来考えられているような機能がなくなる変異（ヌル変異）ではなく，野生型遺伝子を阻害するような機能を獲得したのではないか，という仮説を立てた。ここで一つ確認しておくのは，実は *rin* 変異がヌル変異であると述べている論文等は見当たらなく，世界中の誰もがそう思い込んでいただけ，ということである。1960 年代に発見され，以来膨大な数の研究に利用されてきているにも関わらず，である。

では *rin* 変異遺伝子はゲノム上でどのような変化が起こっているのか，というところが重要になってくる。*rin* 変異により，正常型 *RIN* 遺伝子の最終エクソン全体とその周辺のゲノム領域が欠失している[2)]。その結果，この変異遺伝子座からの転写産物は興味深い構造をとることになる。詳細を**図 2** で説明しているが，*rin* 変異遺伝子座にある 2 つの遺伝子，*RIN* と *MACROCALYX*（*MC*）が融合した mRNA が産生されるのである。なお，*MC* も *RIN* と同様，MADS ボックス転写因子をコードしている。この融合 mRNA には *RIN* の最終エクソンと *MC* の第一エクソンは含まれない。そして重要なことだが，この mRNA は融合の後もコドンの読み枠がずれない。つまり *RIN* から *MC* のストップコドンまで一続きの翻訳産物の産生が可能である。実際に *rin* 変異体の果実にはこの長い翻訳産物が存在する[3, 7)]。

これらのことから筆者は，*rin* 変異遺伝子からの翻訳産物は，何らかの分子機能を持っていても不思議ではないと考えた。つまり，RIN と MC の分子機能が共存するタンパク質ができている可能性である。

このように，*RIN*/*rin* 遺伝子型の F_1 果実が両親の中間型の性質を示すこと，*rin* 変異遺伝子からの翻訳産物が存在していることから，*rin* 変異タンパク質は野生型タンパク質と拮抗する機能を獲得したのではないか，と考えた。つまり *rin* 変異はヌル変異ではなく，変異型タンパク質は積極的に成熟を阻害する機能を獲得しているのではないか，という仮説になる。その仮説を立てたもう一つの要因は，*rin* 変異体における成熟関連遺伝子の発現があまりにも強く抑制されすぎているのではないか，と感じていたことである。成熟期に非常に強く発現が誘導される遺伝子として，*PG2A* や *Psy1*，*LeACS2* 等いくつか知られているが，これらの発現は *rin* 変異体において非常に低く，その落差は極めて大きい。根拠はそれほどなく感覚的ものだが，もし *rin* 変異がヌル変異だとしたら，栽培系統果実での極めて高い発現を考慮すると，もう少し発現量があってもよいのではないか，と感じていた。もし *rin* 変異遺伝子由来の翻訳産物が転写抑制機能を持っているとすれば，強い抑制がみられることに説明がつく。この仮説が正しいとすると，*RIN* 遺伝子について完全に機能の持たないようなノックアウト変異（KO 変異）が起こった果実では，成熟関連遺伝子の発現が *rin* 変異体よりも高いレベルとなり，若干ながらも成熟が進行するのではないか, と予想した。漠然と, しかしながら長い間誰もが信じてきた，*RIN* は成熟の開始に必須であるという「常識」とは正反対となる仮説である。

この仮説を証明することは，実は容易ではなかった。従来の植物の研究ならば，遺伝子組換えにより RNAi 法やアンチセンス法によって *RIN* の発現を抑制した（ノックダウン）植物を育成して，植物体への影響を検討するところである。しかし，この方法には問題がある。RNAi 法やアンチセンス法では，確かに目的の遺伝子の発現を低下させることができるが完全に発現が 0 となることは不可能で，程度の差はあれ，発現がある程度残ることになる。今回の

場合，*RIN* のノックダウンにより成熟の進行が抑制されることが期待されるが，ある程度の成熟進行が認められた時に，二通りの解釈ができる。一つは仮説の通り，*RIN* 遺伝子が機能しなくても成熟は進行する可能性である。もう一つは従来の常識のとおり，*rin* 変異がヌル変異の形質であり，*RIN* 遺伝子の発現が完全に抑制できれば *rin* 変異体と同じ形質を示すはずなのだが，ノックダウンによる発現抑制の作用を免れ少量発現した *RIN* 遺伝子が機能するために，成熟が一部進んだ可能性である。二番目の可能性を完全に否定しない限り，*RIN* が成熟開始に必須であるという常識を覆すことはできない。様々な試行錯誤を行ったが，はっきりした結論を得ることができずにしばらく時が過ぎていた。ただこの試行錯誤の中には大きな副産物があり，*rin* 変異遺伝子を構成する *MC* 遺伝子について，新たに果柄離層形成機能があることを見出した[8]のだが，その偶然の発見については詳細にまとめた拙著を参照いただきたい[9]。

3. ゲノム編集による *RIN* 遺伝子のノックアウト

行き詰っていた *RIN* 遺伝子の機能解明の研究だが，近年の目覚ましい技術革新がブレークスルーにつながった。ゲノム編集法の活用である。これまでもゲノム上に突然変異を人為的に起こす技術は，放射線や薬剤等の利用によって確立されていたが，これらの手法では変異が発生する場所はランダムであり，目的の遺伝子を狙って変異を導入することは不可能であった。しかし，近年確立されたゲノム編集法はピンポイントでゲノム上の狙った位置に変異を導入することを可能とする。ゲノム編集法にもいくつかの種類があるが，中でも CRISPR/Cas9 法は最も容易に利用できる実験系であり，すでに多様な植物で適用されている。簡単に説明すると，必要なのは二本鎖 DNA を切断する Cas9 ヌクレアーゼと，この酵素に結合する配列および変異を入れたいゲノムの位置に相補な配列とをつなげたガイド RNA（gRNA）の二つである。この両者を細胞内に存在させると，gRNA に結合した Cas9 ヌクレアーゼが目的のゲノムの位置に到達し，そこで DNA が切断される。その後，切断された DNA を元に戻そうとする修復が行われるが，元通りに修復されないことがある。少し塩基が削られたり挿入があったりしてつなぎ直され，元とは少し違う配列となって修復されることがあり，これが基本的な変異の導入となる。例えばタンパク質をコードする領域を狙って切断した時に，1 塩基挿入が起きて修復されると，コドンの読み枠のずれが生じてその後のアミノ酸配列が全く変わり，時には終止コ

ゲノム編集変異型	cDNA 配列とそのコードアミノ酸配列
	1　10　20　30　40
野生型	ttcttcatacaatATGGGTAGAGGGAAAGTAGAATTGAAGAGAATTGAGAACAAAAT
	M G R G K V E L K R I E N K I
欠失型変異	ttcttca-----------TAGAGGGAAAGTAGAATTGAAGAGAATTGAGAACAAAAT
	（開始コドンの欠失）
挿入変異	ttcttcatacaatATGGGATAGAGGGAAAGTAGAATTGAAGAGAATTGAGAACAAAAT
	M G * R E S R I E E N * E Q N

図 3　ゲノム編集による変異創出の例

CRISPR/Cas9 法を適用し，*rin* 変異遺伝子の翻訳開始点付近を標的配列（野生型配列の下線部）として変異を誘発したうちの 2 例を示す。欠失型の変異では開始コドンが欠失領域に含まれていた。一塩基挿入型の変異（白黒反転文字）では，コドンの読み枠がずれたために，直後に停止コドンが創出された。今回の実験では，欠失は 3~10 塩基程度の範囲で起こることが多く，挿入の場合は 1 塩基挿入のみでそれ以上の挿入は見られなかった。

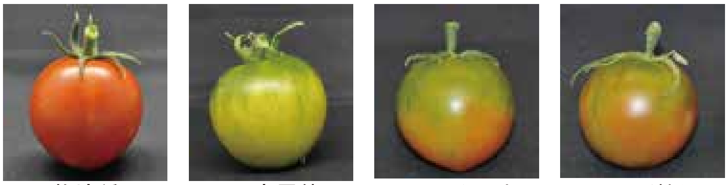


図 4　*RIN* 遺伝子あるいは *rin* 変異遺伝子に対してゲノム編集による変異を加えた果実

ゲノム編集処理を行うことで，栽培種の野生型 *RIN* 遺伝子においてノックアウト変異を創出したトマト，あるいは *rin* 変異体において *rin* 変異タンパク質を不活性化したトマトを作出した。写真は，ゲノム編集当代（T_0 世代）を自家受粉し，得られた次世代（T_1 世代）のうち変異をホモに保持する系統を選抜し，その植物に着果した果実（成熟開始から 7 日目）。いずれのゲノム編集トマトも，*rin* 変異体と異なり，量はかなり少ないもののリコペンの蓄積がみられ，成熟過程の進行が認められた。

ドンが生じ，本来のタンパク質とは全く異なる配列となる。

このCRISPR/Cas9法を用いて，*RIN* 遺伝子に「ノックアウト」変異を導入することにした。前述のようにRNAi法などのノックダウンでは実現できない，正常なRINが全く存在しない状態を作り出すことができるため，RINの真の機能をあぶりだすことができる。

RIN 遺伝子の翻訳開始点直後や遺伝子の中ほどにCRISPR/Cas9法のターゲットを設定し，ゲノム編集処理を行った[10]。得られた植物についてターゲット配列周辺を確認したところ，数塩基～数十塩基の欠失が起こった変異，あるいは1塩基挿入が生じることにより直後に終止コドンが生じた変異が創出されていた（**図 3**）。これらの変異をホモに持つ植物体ではいずれも，果実が成熟期になるとわずかながらも確実に赤色色素の蓄積がみられた（**図 4**）[7]。これは全くリコペンの蓄積がみられない *rin* 変異体とは明らかに異なる性質である。これらの果実ではRINタンパク質が全く蓄積していないことを確認し，「*RIN* ノックアウト」の変異であると同定された。ノックアウト果実の詳細な解析から，*rin* 変異果実では全くみられない成熟期のエチレン合成量の上昇が，わずかながらも見られること，同様にリコペンもわずかであるが蓄積することが明らかになった。つまり仮説通り，*RIN* のノックアウト果実は成熟がわずかながらも進む性質を示したことになる。

RIN ノックアウト変異体と *rin* 変異体とが異なる性質を示したことは，*rin* 変異遺伝子がコードするタンパク質が成熟過程に何らかの作用を持っていることを示唆する。そこで，*rin* 変異トマトに対しゲノム編集を行い，*rin* 変異遺伝子をノックアウトすることを試みた。野生型遺伝子のノックアウトと同じガイドRNAを使って翻訳開始点周辺を標的としたところ，野生型の時と同様に，翻訳開始点を含む領域が欠失している変異，あるいは1塩基挿入が生じることにより翻訳開始点の直後に終止コドンが生じた変異が創出された。新たに導入された変異をホモに持つ植物の果実は，案の定，元の *rin* 変異果実とは異なるが，*RIN* ノックアウト変異果実とそっくりな形質，すなわちわずかに赤みを示し不完全な成熟開始がみられた[7]。ただし今回の場合は，*rin* 変異タンパク質の全長にあたる産物は完全になくなったが，少し短くなった短縮型のタンパク質が蓄積していた。これは本来の開始コドンではなく，二番目に現れるATGを開始コドンとして翻訳された産物らしい。先頭から62アミノ酸は翻訳されないのだが，この領域には転写因子として必須なDNA結合領域全体が含まれるので，この短いタンパク質はDNA結合能力を欠いており転写因子として機能することは考えにくい。したがっ

て，この *rin* 変異体にゲノム編集で新たに変異を加えた変異体はノックアウトといって良いかは微妙で，*rin* 変異タンパク質の不活性化変異，と呼んだ方がいいかもしれない。いずれにしろ，少なくとも *rin* 変異タンパク質が本来の機能を失うと成熟の完全な抑制が解除されることから，*rin* 変異タンパク質は成熟を積極的に阻害する機能を持っているという考えが支持された。

野生型の RIN タンパク質の性質を生化学的に検討したところ，DNA 結合能力があり，かつ転写を活性化する機能を持っており，典型的な転写活性型の転写因子であることが裏付けられた。一方で *rin* 変異タンパク質の機能も同様に検討したところ，DNA 結合能力を持つことは同様だが転写活性化の機能はなく，むしろ抑制の活性を保持していることが明らかになった。この抑制活性は融合した *MC* タンパク質から取り込まれた性質であった。転写活性化に必要な部分は，*rin* 変異により欠失した *RIN* 遺伝子の最終エクソン内にあったため（図 2），*rin* 変異によりコードタンパク質は転写活性化因子から抑制因子に転換したと考えられる。つまり，野生型 RIN タンパク質は成熟に必要な遺伝子が発現するのを促進する「アクセル」の役割で，*rin* 変異型タンパク質は逆にそれらの遺伝子の発現を抑え込んでしまう「ブレーキ」の役割に転換したと考えることができる。そして，ゲノム編集で得た「ノックアウト」変異体ではアクセルもブレーキも作用してない状態と想定できるかもしれない。自動車に例えると，オートマチックトランスミッション（AT）車ではアクセルもブレーキも踏まないとゆっくり動き出す，「クリープ現象」のようなイメージに近いかもしれない（**図 5A**）。実際に，いくつかの主要な成熟関連遺伝子については，野生型で成熟期に発現レベルが大きく上昇し，*rin* 変異体では強く抑制される，というパターンに対し，ノックアウト変異体では発現が一部回復するものが多数見出されている。

4．RIN および *rin* 変異タンパク質による転写制御の新モデル

ではノックアウト変異体で，RIN が存在しない状態でにも関わらず成熟関連遺伝子の転写が進む理由はどういうことだろうか？以下の二つのケースが想定される（**図 5A**）。

① RIN と機能の近い別の MADS ボックス転写因子が一部機能を肩代わりした（機能相補）

②発現誘導を行うシステムは複数あり，RIN による誘導だけでなく，別の転写因子による独立した転写システムがある

まず①の可能性だが，機能の近い遺伝子が機能を相補する例として，*RIN* のシロイヌナズナのホモログである *SEPALATA*（*SEP*）遺伝子のケースがある。シロイヌナズナでは 3 つの *SEP* 遺伝子，*SEP1*，*SEP2*，*SEP3* が同時に変異を持つと明確な変異形質が現れるが（三重変異体の花は，ガク片はそのままだが花弁，雄蕊がガク片に変化，雌蕊に相当するところに新しい花が形成されるがこれもガク片ばかりに変化），それぞれの一つの変異だとわずかな変化しか現れない[11)]。つまり，これらの三つのホモログ遺伝子はお互いに機能を共有しており，一つがなくなっても別のホモログがその機能を補う（相補する）ことができる。*RIN* は *SEP* のホモログ遺伝子であるので，同様に，程度は弱いものの機能を相補する遺伝子があるのかもしれない。成熟中にそれなりに発現しているトマトの *SEP* ホモログとして *TM29* や *TDR5* があり[12)]，これらが *RIN* を相補している可能性を考えても良いだろう。

次に②の可能性であるが，トマトでは *rin* 変異と似たような形質を示し，成熟全体を抑制する変異として，*nor*（*non-ripening*）と *Cnr*（*Colorless non-ripening*）が知られている。これらの遺伝子座の野生型遺伝子はそれぞれ NAC 転写因子，SBP ボックス転写因子をコードしている。すなわち，これらの転写因子がそれぞれ RIN と同様にたくさんの成熟関連遺伝子を制御していると考えられる。またトマトの成熟進行においてエチレンが大きな原動力であることか

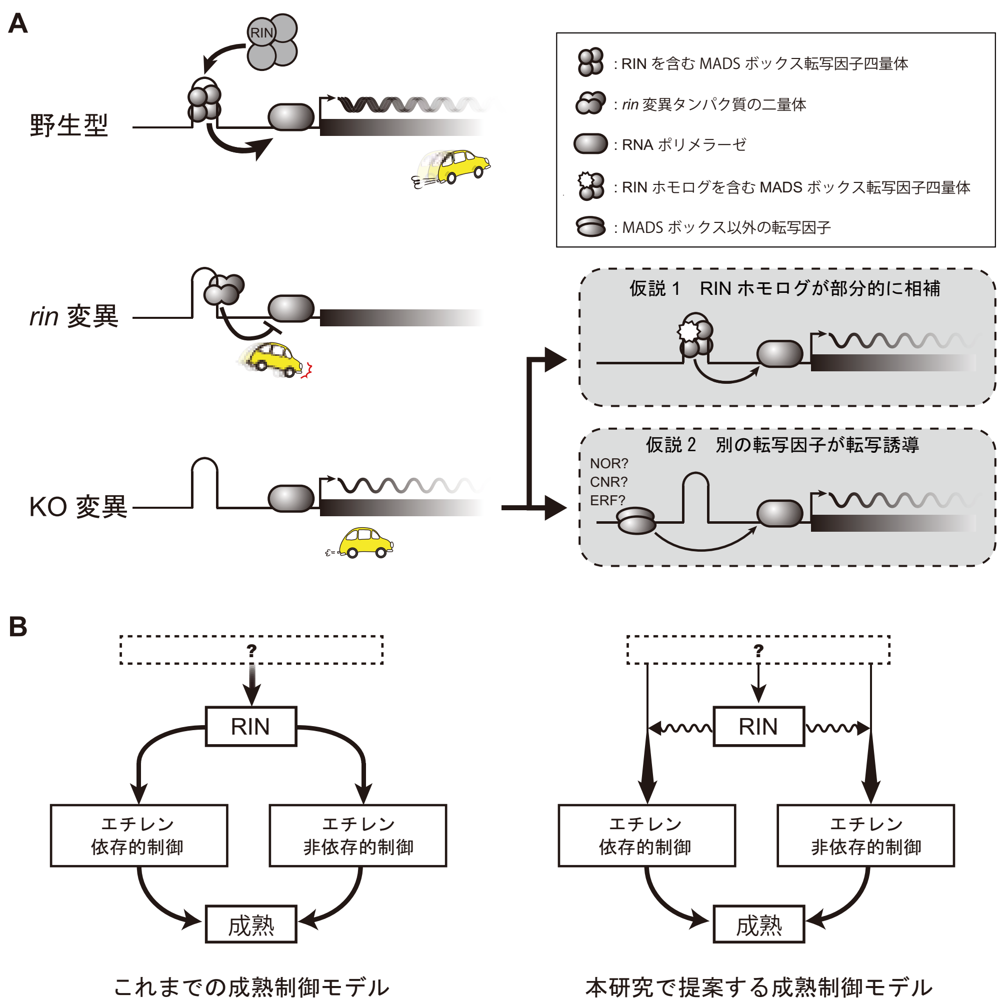


図 5　転写因子 RIN 及び変異型 *rin* タンパク質の機能モデル

A.　野生型の転写因子 RIN は別の MADS ボックス転写因子と四量体を形成し，成熟に必要な遺伝子の転写を活性化する。車に例えるとアクセルを踏んだ状態。*rin* 変異型タンパク質は転写を抑制する働きがあり，ブレーキを踏んだような状態。一方で，RIN がノックアウト（KO）されると，転写が低レベルで進む。RIN が存在しない状況で転写が活性化される理由として，二つの仮説が想定できる。一つは RIN の機能を相補するホモログ（MADS ボックス転写因子）が存在する可能性であり，もう一つは MADS ボックス転写因子以外の転写因子が別の制御機構で成熟関連遺伝子の発現を誘導している可能性である。

B.　従来の成熟制御モデルでは，成熟開始の早い時期に RIN が誘導され，RIN がエチレン依存性及び非依存性の成熟関連遺伝子発現誘導に，必須の因子として機能していると考えられてきた。しかしながら今回の研究結果から，RIN がなくても成熟は誘導されるが，RIN はその進行を強く増強する活性を持っていると解釈できる。

ら，エチレン応答性の転写因子として知られる ERF（Ethylene Responsive Factor）ファミリーの関与も予想される。これらは RIN とは異なるタイプの転写因子であるので，成熟関連遺伝子のプロモーター上で RIN とは異なる仕組みで転写を制御していることが期待される。これらの転写因子が RIN とは独立して機能するならば，RIN は成熟開始の制御には必ずしも必要がないと言える（完熟するためには RIN は必須であるのは間違いないが）。つまり，以前から信じられてきたように RIN は成熟開始を誘

導するのではなく，開始した成熟過程をより増強して推し進める役割，「エンハンサー」のようなものとして理解した方が良いかもしれない（**図 5B**）。

いずれにせよ①や②の可能性は，野生型 RIN，あるいは *rin* 変異型タンパク質が発現していては気付くことが難しいと思われる。*RIN* または *rin* の強力な効果を差し引くことで見えてきたこの状況は，真に成熟開始の引き金となる要因を特定するのに役立つと思われる。最近の研究では，適切な成熟開始期よりも前に成熟が開始してしまうのを抑制している要因として，果実細胞中のゲノム DNA に対するメチル化修飾の関与が明らかになった[5)]。成熟前の高いメチル化の程度が成熟期に徐々に低下していくのだが，薬剤でメチル化を抑制してやると成熟期前の果実でも赤くなり始めてしまう。このようなエピジェネティックな制御も含めて，成熟誘導機構の研究が大きく進展する要因が揃ってきたように感じる。

おわりに

これまで *rin* は機能のなくなるヌル変異であると常識的に考えられてきた。しかし *rin* 変異の強い成熟抑制効果に対して *RIN* のノックアウト変異が一定の成熟過程を示すことから，*rin* がヌル変異であることは否定され，従来の認識とのギャップは，*RIN* の機能を過剰に評価してきたことを意味する。もちろん *RIN* が成熟制御に大きな影響を与える遺伝子であることに変わりはないが，*rin* 変異や *RIN* の機能についてある程度の誤解があった，との前提に立つと，これまでの多くの成熟研究の解釈を改めて見直す必要があるかもしれない。例えば，他の植物の *RIN* ホモログ遺伝子の機能を検証する一環として，*rin* 変異体にその遺伝子を強制発現させてトマトの成熟が回復するかを検討するという実験があるが，*rin* 変異タンパク質が成熟を強く抑制している以上，正確な評価はできないだろう。また RIN とは独立に成熟を促進する機能がある転写因子について，*rin* 変異体でその機能を探ろうとしても *rin* 変異タンパク質の強い発現抑制効果によって調べたい転写因子の機能がマスクされ，正確な情報が得られなかったかもしれない。あるいは，*rin* 変異体，*Cnr* 変異体，*nor* 変異体のオミックス比較解析からこれらのどの遺伝子座が成熟制御の上位に位置するのか，という議論もされてきているが，今回の研究の結果を考慮すると，単純にこれらの変異体の比較で結論を出して良いものなのか，疑問が生じる。

rin 変異体が初めて報告されてから約半世紀，常に成熟研究において最も注目されてきたこの転写因子遺伝子だが，その機能の評価は正当なものではなかったと結論付けられる。したがって，これまで信じられてきた成熟制御モデルを根本的に見直す必要があるのではないだろうか。今回の再評価を基にこれまで蓄積された膨大な成熟研究のデータを改めて眺めると，新たな発見がある可能性は大いにある。*RIN* の機能を正しく評価できたことで，今後の成熟制御の解明がより一層促進されることを期待したい。

【謝辞】

本研究の一部は農芸化学研究企画賞（2017-2018 年）の助成を受けて行われた。

参考文献

1. Robinson, R.,Tomes, M. Ripening-inhibitor: a gene with multiple effects on ripening. *Rep Tomato Genet Coop* **18**, 36-37, 1968.
2. Vrebalov, J., Ruezinsky, D., Padmanabhan, V. *et al*. A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (rin) locus. *Science* **296**, 343-6, 2002.
3. Ito, Y., Kitagawa, M., Ihashi, N. *et al*. DNA-binding specificity, transcriptional activation potential, and the rin mutation effect for the tomato fruit-ripening regulator RIN. *Plant J* **55**, 212-23, 2008.
4. Fujisawa, M., Nakano, T., Shima, Y. *et al*. A large-scale identification of direct targets of the tomato MADS box transcription factor RIPENING INHIBITOR reveals the regulation of fruit ripening. *Plant Cell* **25**, 371-86, 2013.
5. Zhong, S., Fei, Z., Chen, Y.R. *et al*. Single-base resolution methylomes of tomato fruit development reveal epigenome modifications associated with ripening. *Nat Biotechnol* **31**, 154-9, 2013.
6. Kitagawa, M., Ito, H., Shiina, T. *et al*. Characterization of tomato fruit ripening and analysis of gene expression in F_1 hybrids of the ripening inhibitor (rin) mutant. *Physiol Plant* **123**, 331-8, 2005.
7. Ito, Y., Nishizawa-Yokoi, A., Endo, M. *et al*. Re-evaluation of the rin mutation and the role of RIN in the induction of tomato ripening. *Nat Plants* **3**, 866-874, 2017.
8. Nakano, T., Kimbara, J., Fujisawa, M. *et al*. MACROCALYX and JOINTLESS interact in the transcriptional regulation of tomato fruit abscission zone development. *Plant Physiol* **158**, 439-50, 2012.
9. 伊藤 . 加工用トマトの収穫作業を効率化するジョイントレス遺伝子 . 野菜情報 **6**, 41-49, 2018.
10. Ito, Y., Nishizawa-Yokoi, A., Endo, M. *et al*. CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the RIN locus that regulates tomato fruit ripening. *Biochem Biophys Res Commun* **467**, 76-82, 2015.
11. Pelaz, S., Ditta, G.S., Baumann, E. *et al*. B and C floral organ identity functions require SEPALLATA MADS-box genes. *Nature* **405**, 200-3, 2000.
12. Fujisawa, M., Shima, Y., Nakagawa, H. *et al*. Transcriptional Regulation of Fruit Ripening by Tomato FRUITFULL Homologs and Associated MADS Box Proteins. *Plant Cell* **26**, 89-101, 2014

カシスの魅力と健康機能性

前多　隼人 (*MAEDA Hayato*) [1*]　西山　広亮 (*NISHIYAMA Kosuke*) [1]　小舘　めい (*KODATE Mei*) [1]
福田　覚 (*FUKUDA Satoru*) [2]　七島　直樹 (*NANASHIMA Naoki*) [3]　堀江　香代 (*HORIE Kayo*) [3]
冨澤 登志子 (*TOMISAWA Toshiko*) [3]　藤田　俊文 (*FUJITA Toshifumi*) [3]
北島 麻衣子 (*KITAJIMA Maiko*) [3]　加藤　陽治 (*KATO Yoji*) [4]

[1] 弘前大学農学生命科学部，[2] 弘前大学地域戦略研究所食料科学研究部門，
[3] 弘前大学大学院保健学研究科，[4] 弘前大学教育学部

Key Words：カシス　アントシアニン　抗酸化　慢性炎症

はじめに

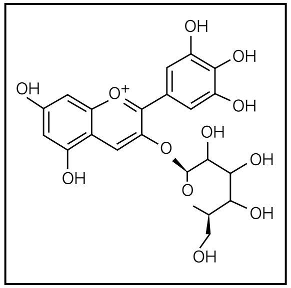
カシス（*Ribes nigrum* L.）は，ニュージーランドやヨーロッパ，カナダなど比較的涼しい地域で栽培されている果実である（**図 1**）。日本でのカシス栽培は，1960 年代に当時の弘前大学農学部の望月武雄教授がドイツより取り寄せて開始されたとされる。現在，青森県での生産量が日本一である。平成 27 年には農林水産省が定める地理的表示保護制度（GI）の記念すべき第 1 号として「あおもりカシス」が認定された。GI とは地域で長年育まれた特別な生産方法によって，高い品質や評価を獲得している農林水産物・食品の名称を，品質の基準とともに国に登録し，知的財産として保護する制度である。平成 30 年 4 月の時点で「あおもりカシス」の他に，「夕張メロン」，「松坂牛」，「下関ふぐ」など 62 品目が認定されている。

図 1　青森県が生産量日本一であるカシス（*Ribes nigrum* L.）の果実写真

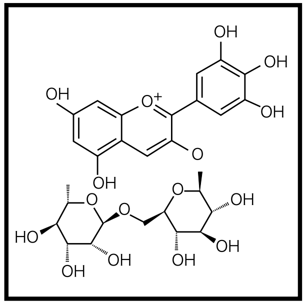
カシスの黒紫色の成熟果実中には約 0.2% のアントシアニンが含まれており [1)]，他の果実には余り含有していないアントシアニンである，デルフィニジン -3- ルチノシド（D3R）とシアニジン -3- ルチノシド（C3R）を多く含有していることが特徴である。これらの特徴的なアントシアニンによる健康機能性の研究が進められている。また，地域農産物のカシスを使った高付加価値化の取り組みが広がっている。本稿ではカシスに含まれるアントシアニンの特徴，機能性研究，高付加価値化に関する取り組みについて紹介する。

1. カシスに含まれる機能性成分

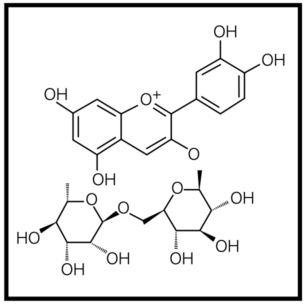
アントシアニンとはフラボノイド系の植物色素の 1 つで，野菜や果物に含まれる赤色〜紫色を呈する色素成分である。アントシアニジンに糖が結合した配糖体の構造のことを指す。カシスに含まれるアントシアニンの中で主要なものはデルフェニジン配糖体の D3R とデルフィジン -3- グルコシド（D3G），シアニジン配糖体の C3R とシアジニン -3- グルコシド（C3G）である（**図 2 上**）。ブドウやベリー類に含まれるアントシアニンはグルコースの配糖体が多いが，カシスは C3R，D3R のルチノースの配



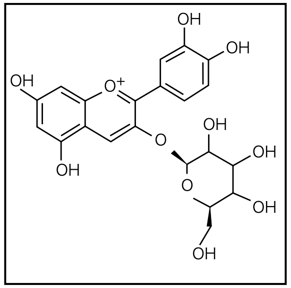
デルフェニジン -3- グルコシド
(D3G)



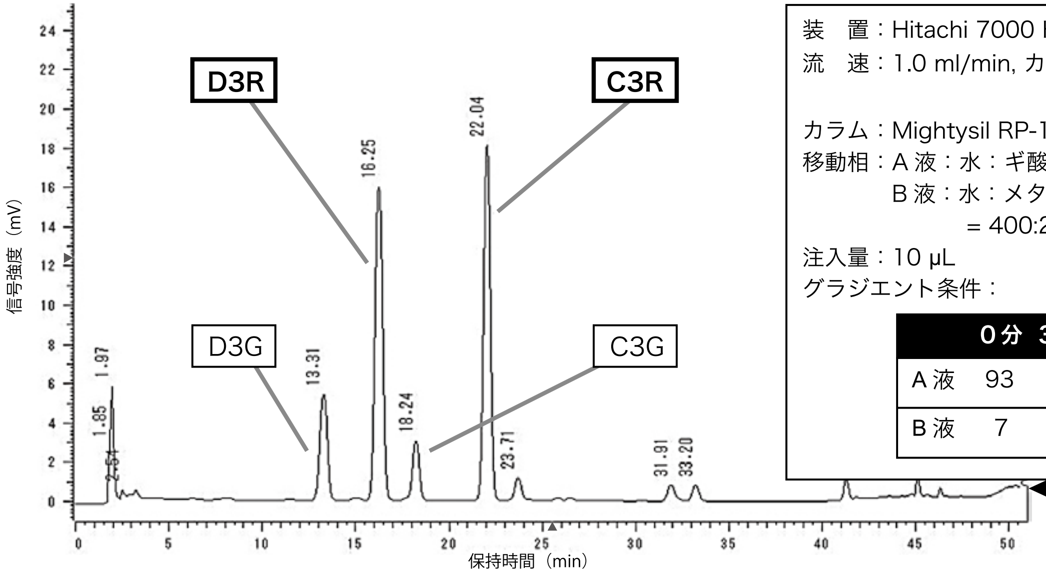
デルフェニジン -3- ルチノシド
(D3R)



シアニジン -3- ルチノシド
(C3R)



シアニジン -3- グルコシド
(C3G)



装　置：Hitachi 7000 HPLC System(Hitachi)
流　速：1.0 ml/min, カラム温度：30℃, 検出波長：535 nm

カラム：Mightysil RP-18GP (関東化学株式会社)
移動相：A 液：水：ギ酸 = 9:1
　　　　B 液：水：メタノール：アセトニトリル：ギ酸
　　　　　= 400:225:225:100
注入量：10 μL
グラジエント条件：

	0 分	35 分	45 分	46 分	60 分	65 分
A 液	93	75	35	0	0	93
B 液	7	25	65	100	100	7

図 2　カシスに含まれる主要なアントシアニン 4 種類の構造式と「あおもりカシス」に含まれるアントシアニンの HPLC 分析のクロマトグラム

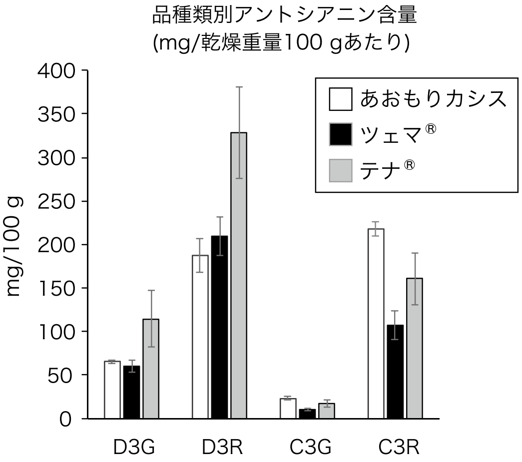


図 3　カシスの品種別アントシアニン含量の分析結果
D3G：デルフィニジン -3- グルコシド,
D3G：デルフィニジン -3- ルチノシド
C3G：シアニジン -3- グルコシド,
C3R：シアニジン -3- ルチノシド

糖体が約 80% を占めることが特徴である。**図 2** 下に「あおもりカシス」のアントシアニンの高速液体クロマトグラフィー（HPLC）分析結果を示した。一般的なカシスと同様に C3R, C3G, D3R, D3R が検出された。また「あおもりカシス」とニュージーランド産品種（ツェマ®, テナ®）のアントシアニンの種類別の含量の比較をおこなった結果，品種により構成比に違いがあることが示唆された（**図 3**）。アントシアニンはその種類によっても健康機能性が異なることが考えられ，機能性の高いアントシアニンを含むカシス品種同定やアントシアニンの分解を低減する加工方法を検討が進められている。

またカシスの脂質成分には γ- リノレン酸, ステアリドン酸が特徴的に含まれる。一般的な植物油の脂肪酸組成はリノール酸，α- リノレン酸，オレイン酸が主体である。カシスには n-6 系の多価不飽和脂肪酸の γ- リノレン酸，および n-3 系の多価不飽和脂肪酸のステアリドン酸が含まれる。γ- リノレン酸は月見油などに含まれ，抗炎症作用が報告されている。ステアリドン酸は海藻などに含まれ，α- リノレン酸から鎖長延長にて生成される。α- リノレン酸と同様に体内で EPA や DHA に生合成され，必須脂肪酸として機能することから，似た作用が期待できると考えられている。**表 1** にカシス果実および果汁とピューレを製造した際に排出される皮や種子を含む残渣中の脂肪酸組成の分析結果を示した。γ- リノレン酸は 2.5 ～ 10.3%，ステアリドン酸はピューレ残渣で最も多く 2.1% 含まれていた。果実だけではなく，果汁やピューレ残渣にも含まれることから，脂質の機能性に着目した機能性食品素材などの活用法が考えられる。実際，海外ではブラックカラントオイルとしてカシス種子油がサプリメントとしても販売されている。

2. カシスの健康機能性

カシスに含まれるアントシアニンの健康機能性としては抗酸化作用の他，緑内障の進行抑制作用 [2]，血流の改善作用 [3]，フィトエストロゲンとしての機能に伴う抗がん作用や皮膚改善作用 [4－7], 喫煙による酸化ストレスの消去作用 [8]，DNA の保護作用 [9]，抗糖尿病作用 [10] などの機能性に関する報告がある。

緑内障とは眼球の圧力である眼圧の高さが原因で起こると考えられている視力低下の疾患

表 1　カシスに含まれる脂質の脂肪酸組成（%）

脂肪酸種類	慣用名	完熟果実	未熟果実	果汁残渣	ピューレ残渣
C16:0	パルミチン酸	21.8 ± 0.2	15.0 ± 0.1	19.8 ± 1.1	13.5 ± 0.2
C18:0	ステアリン酸	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1	1.5 ± 0.0
C18:1n-9	オレイン酸	8.3 ± 0.1	7.9 ± 0.2	5.5 ± 0.3	9.1 ± 0.2
C18:2n-6	リノール酸	30.0 ± 0.3	39.1 ± 0.8	32.8 ± 1.3	38.7 ± 0.7
C18:3n-6	γ- リノレン酸	3.0 ± 0.0	7.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1	10.3 ± 0.2
C18:3n-3	α- リノレン酸	22.8 ± 0.2	17.7 ± 0.4	20.1 ± 0.8	15.5 ± 0.3
C18:4n-3	ステアリドン酸	0.7 ± 0.0	1.3 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2.1 ± 0.0

で，網膜神経節細胞の死滅に伴い最終的には失明に至る。原発開放隅角緑内障患者に対して 2 年間の試験期間で 1 日あたり 50 mg のカシスのアントシアニンを投与した。その結果プラセボ群と比較して，視野障害の程度の低下が抑制され，目の血流の改善効果が確認されている [2)]。また同じ量のカシスアントシアニンを投与した結果，健常者および緑内障患者のいずれにおいてもプラセボ群と比較し眼圧の上昇の抑制が報告されている [3)]。緑内障は日本人における失明の原因の第一位とされており（H17 年厚生労働省科難治性疾患克服研究事業研究データ），カシスはその予防に有効な食材であると考えられる。

フィトエストロゲンとは体内で女性ホルモンのエストロゲンと似た作用を示す，植物由来の物質のことを指す。女性は加齢によるエストロゲンの体内濃度低下に伴い，動脈硬化症や骨粗鬆症の発症リスクが高まる。また，エストロゲンは皮膚の細胞外マトリックスに作用し弾力性に関係するコラーゲン，エラスチンの調節することから，皺やたるみの形成にも関与する。よって食品由来のフィトエストロゲンの摂取が更年期障害の緩和に役立つと考えられている。フィトエストロゲンの代表例としては大豆イソフラボンが挙げられ，血管内皮細胞での NO 産生を増加させることで抗動脈硬化作用を示すことが報告されている [11)]。

カシスに含まれるアントシアニンによるフィトエストロゲン作用も報告されている。カシスアントシアニンはエストロゲンレセプターの ERα を介してフィトエストロゲン効果を示した [4)]。また，後に ERβ との結合能が高いことも明らかになった [5)]。フィトエストロゲン作用に関連し，乳がんの予防作用についても報告されている [6)]。さらに，マイクロアレイを使った解析により，カシスに含まれるアントシアニンはヒト皮膚線維芽細胞においてエストロゲンによって調整される遺伝子の発現を調節することが確認された。更年期のモデル動物である卵巣摘出ラットを使った試験では，カシスアントシアニン 3% 含有飼料を 3 カ月間投与した結果，皮膚のコラーゲン層の厚みやエラスチン，ヒアルロン酸の蓄積が改善することが示されている。従って，カシスに含まれるアントシアニンには，エストロゲン不足による肌の老化に対する改善効果が期待される [7)]。

また喫煙による血管に対するストレスの軽減作用が報告されている [8)]。若年健常男性のカシスを 210 mg 含むサプリメントを投与し，喫煙者に対してカシスを喫煙者のカシスによる血管内皮機能への影響について評価した。喫煙者 14 名に対し喫煙後にアントシアニン 210 mg を含むカシスサプリメントを摂取させた。その後，血管内皮の機能の指標である（血流依存性血管拡張反応 : FMD 値）を測定した。その結果，カシスサプリメントを摂取しない喫煙者では FMD 値が有意に低下したのに対し，摂取者では喫煙したにも関わらず非喫煙者と同程度の FMD 値を維持した。血管内皮障害は動脈硬化を促進するとされている。よってカシスアントシアニンの摂取は喫煙によるストレスから血管を保護する作用があると考えられる。

酸化ストレスなどによる遺伝子の損傷はがんや生活習慣病の原因となる。ヒトリンパ芽球細胞に対して活性酸素種による酸化ストレスを与えた試験では，カシス抽出物による DNA の損傷の抑制される効果が報告されている [9)]。よって酸化ストレスにより誘発される疾病の予防に関与する可能性が示唆されている。その他に抗糖尿病作用に関連として，カシスに含まれる D3R がインスリン分泌を促進するホルモンであるインクレチンの一種の GLP-1（glucagon likepeptide-1）の分泌を促進する効果が報告されている [10)]。

3. カシスに含まれるアントシアニンによる慢性炎症抑制作用

肥満は，糖尿病や動脈硬化，高血圧，脂質異常症などの数多くの疾患要因として知られており，日本人の主な死因である脳血管疾患や心疾患の発症リスクを高める。よって肥満の改善は

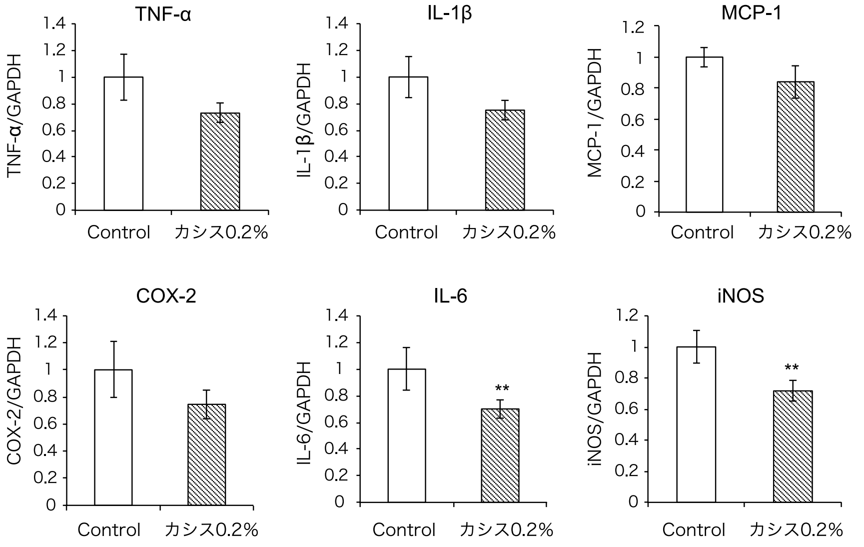


図４　精巣周囲 WAT における炎症性サイトカインの mRNA 発現量（**$p < 0.01$ vs Control）

これらの疾患の予防・改善に重要である。肥満の予防・改善には食事療法，運動療法に加え，機能性成分を含む食品を上手く活用することも有効とされる。慢性炎症とは身体の様々な組織でおこる弱い炎症のことで，糖尿病や動脈硬化，自己免疫疾患，がんなどの疾患の原因と考えられている。これらの疾患の予防する食材の一つとしてアントシアニンを含むカシスの機能が期待される。

そこで糖尿病肥満モデルマウスの（KK-A^y マウス）へ投与し，肥満による各種臓器での炎症の改善作用を評価した。3 週齢の雄の KK-A^y マウスに対し総アントシアニンが 36% 含まれるカシス抽出物粉末（カンザック -35,（株）光洋商会）を投与し，血漿成分の変化，抗炎症作用および脂質代謝改善作用について評価を行った。 実験群は Control 群（AIN-93G ベース高脂肪食）とカシス 0.2% 群（AIN-93G ベース高脂肪食＋カシス粉末 0.2%）とし，4 週間の実験飼育を行った。実験飼育終了後に解剖を行い，各臓器および脂肪組織重量，血漿成分を測定した。また，白色脂肪組織（white adipose tissue:WAT）および肝臓中の炎症関連遺伝子 TNF-α（tumor necrosis factor-α），IL-1β（interleukin-1β），MCP-1（monocyte chemoattractant protein-1），COX-2（cyclooxygenase-2），IL-6，iNOS（inducible nitric oxide synthase）の mRNA 発現の変化を real-time RT-PCR 法により評価した。

体重や摂餌量，臓器重量には両群間で違いは認められなかった。一方，Control 群は血糖値が 291±25.2 mg/dL であったのに対し，カシス 0.2% 群では 232±22.9 mg/dL と低下傾向を示した。また，精巣周囲 WAT 中の炎症関連遺伝子の mRNA 発現量を測定した結果，Control 群と比較してカシス 0.2% 群で IL-6，iNOS の mRNA 発現量が有意に低下した（**図 4**）。また，肝臓では IL-6，TNF-α，IL-1β，COX-2，iNOS の mRNA 発現量が有意に低下した（**図 5**）。よってアントシアニンを含むカシス抽出物の投与は，肥満マウスの脂肪組織や肝臓での炎症を抑え，肥満によるインスリン抵抗性の惹起を改善することが示唆された。

前述のようにカシスには主なアントシアニンとして C3G，C3R，D3G，D3R が含まれる。特にカシスに特徴的なアントシアニンであるルチノースが結合した C3R，D3R の機能性報告例は少ない。そこで，これらのアントシアニンの抗炎症作用の強弱について，マクロファージ様細胞を用いて評価した。マウス由来 RAW264.7 細胞を 24 時間前培養した後，LPS

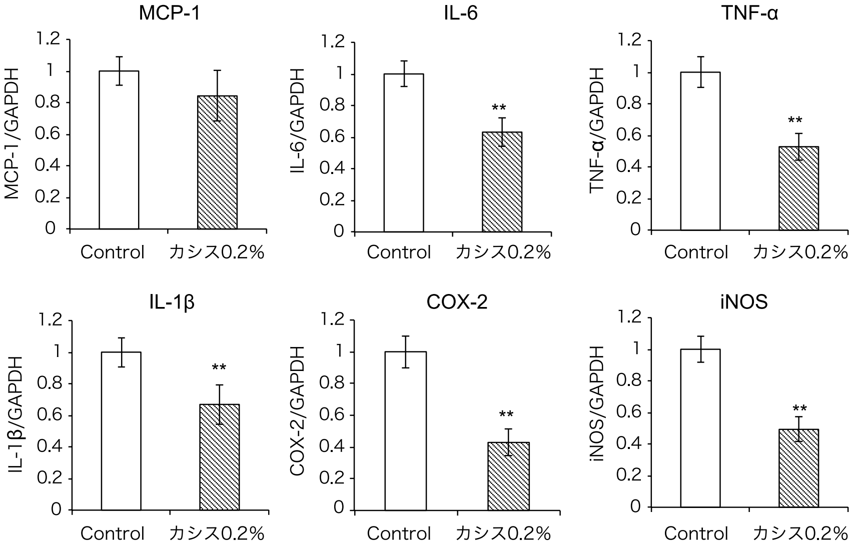


図 5　肝臓における炎症性サイトカインの mRNA 発現量（$**p < 0.01$ vs Control）

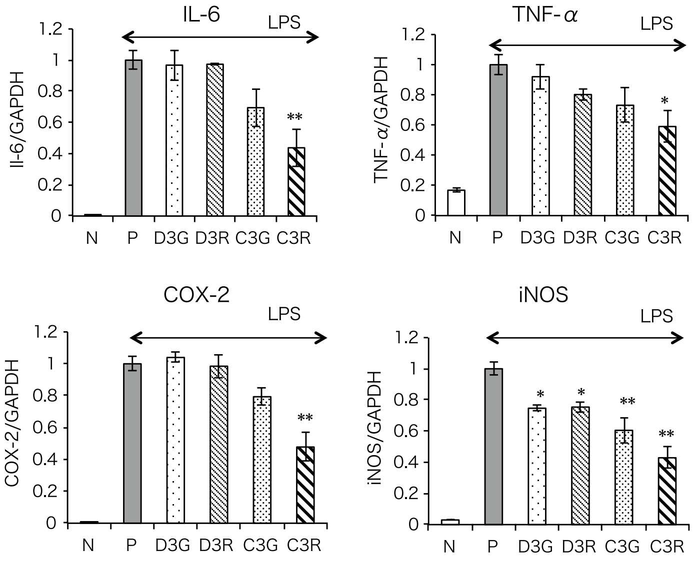


図 6　カシスアントシアニンによるマクロファージ細胞での炎症抑制作用
N：Negative control（LPS による炎症刺激なし），P：Positive control（LPS 刺激ありのコントロール）
D3G：デルフェニジン -3- グルコシド添加細胞，D3R：デルフェニジン -3- ルチノシド添加細胞
C3G：シアニジン -3- グルコシド添加細胞，C3R：シアニジン -3- ルチノシド添加細胞
($*p < 0.05$ vs Control $**p < 0.01$ vs Control)

（Lipopolysaccharides）にて炎症刺激をおこなった。その後，C3G，C3R，D3G，D3R を 10 μM の濃度で培地に添加し，24 時間培養した。その後，IL-6，TNF-α，COX-2，iNOS の mRNA 発現量の変化を real-time RT-PCR 法により評価した。また，培地中の IL-6，TNF-α の濃度を ELISA 法にて評価した。その結果 LPS のみを添加した Positive control 群と比較し，C3R 添加細胞で IL-6，TNF-α，COX-2，iNOS の mRNA 発現量が有意に低下した（**図 6**）。また，培地中の IL-6 の濃度も有意に低下した。よって 4 種のアントシアニンの比較のうち，カシスに特

有のC3Rの効果が最も強いことが示唆された。アントシアニンの配糖体の構造の違いが，細胞への移行性や安定性に関与することが考えられ，他のアントシアニン含有果実との機能性面での差別化につながると考えている。

4. カシスを使った加工食品と今後の活用への取り組み

カシスは日本語では「黒房すぐり」とも呼ばれている。カシスを使った加工品としてはカシスオレンジに代表されるカクテルやジュース，ジャムなどが挙げられる。カシスは酸味が他のベリー類よりも高めであり，クッキーやケーキなどの甘い菓子との相性が抜群である。また，GIに認定されたことを機に，大手食品業者から「あおもりカシス」を使用したチューハイ，パンやジャムなどの加工品の開発が盛んになっている。またアントシアニンの機能に着目したサプリメントも販売されている。一方，日常の料理の中での使用法については，ヨーグルトやアイスクリームなどのデザートでの使用に限られているのが現状である。カシスの生産量の多いヨーロッパでは古くから一般市民の食卓で親しみがあり，肉料理のソースなどの用途で色合いを生かし，料理に酸味のエッセンスを加える食材として活用されている。

青森県はカシスの生産量が日本一ではあるが，一般への認知はまだ高くはなく，飲食店で提供できるメニューもまだ少ない。そこで，弘前大学では「あおもりカシス」のブランド化の向上に向けた取り組みの一環として「あおもりカシスフルコース」のレシピ開発事業を進めている（**図7**）。カシスの美味しさ，健康機能性，料理と美しさを兼ね備えた文理芸術融合の取り組みである。レシピ研究開発には函館短期大学付設調理製菓専門学校の教諭の方々に協力を依頼し，洋食やデザートだけではなく，これまでに例のないカシスを使った和食のレシピも完成した。今後県内の飲食店でもカシスを使った新しい料理が提供され，カシスの楽しみ方の多様化が進むことを期待している。

カシスは抗酸化作用や目の機能改善などに加え，新しい健康機能性が報告され始めている。日本でのカシス生産量はヨーロッパやニュージーランドと比較すると少ないが，その機能性，個性的な味，GI認定によって注目が高まっている。ヨーロッパでは古くから民間療法として健康維持にカシスが食されてきたことから，十分な食経験の歴史もある。今後，機能性食品素材はもちろんのこと，日々の健康の向上に役立つ食材としても活用が期待される。

図7　(A)：あおもりカシスレシピハンドブックと掲載メニューの一部
(B)：「あおもりカシスフルコース」評価会で振舞われた料理写真

謝辞

本研究は，平成 28 〜 30 年度弘前大学若手機関研究「カシスの新規保健機能の探索 -「食の総合プロデュース」に向けて -」の事業，および平成 27 年度日本カシス協会「カシス研究」助成「カシスアントシアニンの体内への吸収性と肥満による慢性炎症疾患の改善作用」の助成にておこなわれた。

参考文献

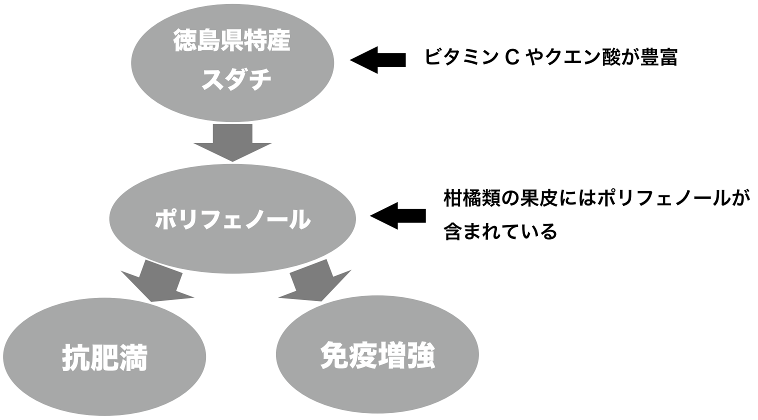
1. 津久井亜紀夫編：アントシアニンと食品－アントシアニン含有食品の加工利用特性と機能性－．株式会社建帛社，2015.
2. Ohguro H, Ohguro I, Katai M *et al*.: Two-year randomized, placebo-controlled study of black currant anthocyanins on visual field in glaucoma. *Ophthalmologica*, **228**: 26-35, 2012.
3. Ohguro H, Ohguro I, Yagi S: Effects of black currant anthocyanins on intraocular pressure in healthy volunteers and patients with glaucoma. *J Ocul Pharmacol Ther*., **29**: 61-67, 2013.
4. Nanashima N, Horie K, Tomisawa T *et al*.: Phytoestrogenic activity of blackcurrant (*Ribes nigrum*) anthocyanins is mediated through estrogen receptor alpha. *Mol Nutr Res*., **59**: 2419-2431, 2015.
5. Nanashima N, Horie K and Maeda H: Phytoestrogenic activity of blackcurrant anthocyanins is partially mediated through estrogen receptor beta. *Molecules*, **23**: E74, 2017.
6. Nanashima N, Horie K, Chiba M *et al*.: Anthocyanin-rich blackcurrant extract inhibits proliferation of normal human breast epithelial cell line MCF10A through induction of G0/G1 arrest and apoptosis. *Molecular Medicine Reports*, **16**: 6134-6141, 2017.
7. Nanashima N, Horie K, Maeda H *et al*.: Blackcurrant anthocyanins increase the levels of collagen, elastin, and hyaluronic acid in human skin fibroblasts and ovariectomized rats. *Nutrients*, **10**: E495, 2018.
8. Yoshizaki A, Tomisawa T, Osanai T *et al*.: Single oral administration of anthocyanin rescues smoking-induced endothelial dysfunction in young smokers but facilitates oxidative stress in non-smokers. *Food and Nutrition Sciences*, **9**: 179-190, 2018.
9. Yamamoto A, Nakashima K, Kawamorita S *et al*.:, Protective effects of raw and cooked blackcurrant extract on DNA damage induced by hydrogen peroxide in human lymphoblastoid cells. *Pharmaceutical biology*, **52**: 782-788, 2014.
10. Kato M, Tani T, Terahara *et al*.:, The Anthocyanin Delphinidin 3-Rutinoside Stimulates Glucagon-Like Peptide-1 Secretion in Murine GLUTag Cell Line via the Ca^{2+}/Calmodulin-Dependent Kinase II Pathway. *PLos One*, **10**: e0126157, 2015.
11. Hongwei Si, Dongmin Liu: Soy phytoestrogen genistein up-regulates the expression of human endothelial nitric oxide synthase and lowers blood pressure in spontaneously hypertensive rats. *J Nutr*., **138**: 297-304, 2008.

徳島県特産のスダチ
―果皮成分の機能性について―

酒井　徹（*SAKAI Tohru*）[1]　中本　晶子（*NAKAMOTO Akiko*）[1]　新居　佳孝（*NII Yoshitaka*）[2]

[1] 徳島大学大学院医歯薬学研究部実践栄養学分野，
[2] 徳島県立工業技術センター食品・応用生物　担当

Key Words：スダチ　スダチチン　ポリフェノール　抗肥満　免疫増強



はじめに

スダチ（*Citrus sudachi* Hort. Ex Sirai）はミカン科柑橘属の常緑樹で，ユズやカボス等と同じ香酸柑橘類である。スダチの名前の由来は，果実に多く含まれている果汁を食酢として使用されたことより，酢橘（すだちばな）に由来するという説がある。スダチは直径3～5センチほどの球形であり，ビタミンCやクエン酸が豊富に含まれる。スダチは香味があり，刺身，焼き魚，豆腐料理などに搾りかけると，すっきりとした味わいとなる[1, 2)]。

スダチは全国で5,500トンほどの収穫があるが，そのうち約98%は徳島県産が占める[2)]。スダチは生果用と加工用がそれぞれ約半分程度となっている。スダチの果汁は搾汁により得られるが，主に果皮である搾汁残渣は大半が堆肥化される。柑橘類の果皮にはポリフェノールが含まれていることが知られており，その有効利用方法が期待されている。

1．スダチチンについて

スダチ果皮に含まれる栄養機能性成分の探索は約10年ほど前にさかのぼる。徳島大学薬学部高石教授らのグループは，糖尿病モデルラットに乾燥スダチ果皮を含む餌を与えたところ対

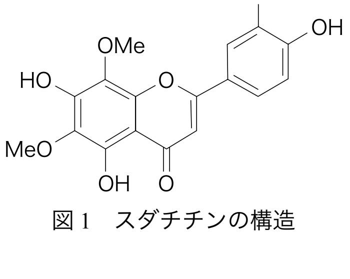


図1　スダチチンの構造

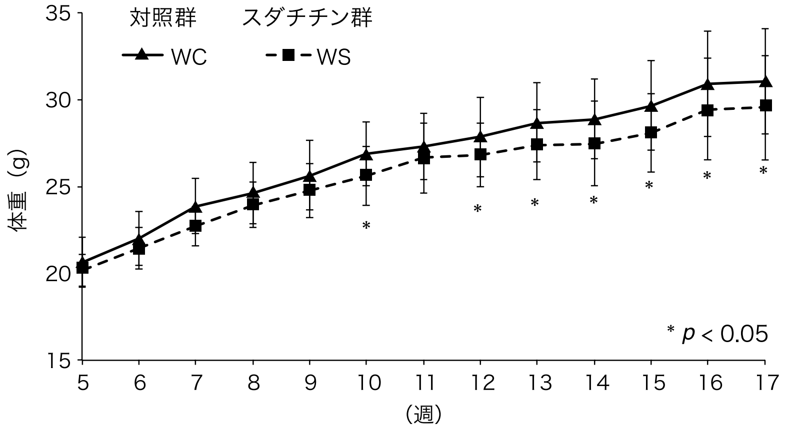


図 2　スダチチンは食餌誘導性肥満マウスの体重増加を抑制する

照群に比べ血糖値が低下し，また死亡率が低下したことを見出した[3]。この知見よりスダチの果皮には何らかの機能性成分が含まれていることが推察されたが，機能性成分の同定には至らなかった。スダチ果皮に含まれる特徴的な成分として 1960 年代に多数のメトキシ基を有するポリフェノールであるスダチチンが堀江らによって同定されている（**図 1**）[4]。スダチチンの構造は，シークワーサーなどの柑橘類に含まれるノビレチンと類似している。ノビレチンの生体機能性研究は広く行われてきており，これまで抗肥満・糖尿病作用[5, 6]，抗ガン作用[7, 8]，近年では認知機能を改善させる機能を有していることが報告されている[9, 10]。

2．スダチチンの抗肥満作用

C57BL/6 マウスに，脂肪エネルギー比率 40% のウエスタン食またはコントロール食を与えた。スダチチン投与群には 5 mg/kg/ 日のスダチチン（0.2% DMSO 溶液に溶解），対照群には 0.2% DMSO 溶液をそれぞれ 12 週間経口投与を行った。スダチチン投与 8 週目より，ウエスタン食飼育マウスは対照群と比較して体重増加が統計学的に有意に抑制された（**図 2**）。スダチチン投与マウスでは，脂肪組織重量がコントロールマウスに比べ有意に低値を示し，また脂肪細胞自体の大きさも減少していた。一方，コントロール食を摂取させたマウスにおいてはスダチチン投与による影響は認められなかった[11]。

スダチチンは食餌誘導性肥満マウスの血中脂質レベルを改善した（**図 3**）。肝臓および脂肪組織より mRNA を抽出し遺伝子発現レベルの解析を行った結果，スダチチン投与マウスにおいて脂肪分解関連遺伝子の発現上昇および脂肪合成関連遺伝子の発現低下が認められた。

糖代謝に関してはスダチチン投与により糖負荷試験およびインスリン負荷試験の値がコントロール群に比べ改善していた。酸素消費量およびエネルギー消費量を測定したところスダチチン投与マウスはコントロールマウスに比べ高値を示した（**図 4**）。すなわち，スダチチンはエネルギー代謝を亢進させ抗肥満作用を発揮して

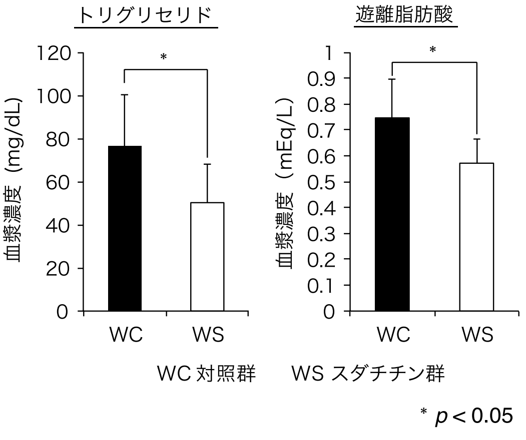


図 3　スダチチンは食餌誘導性肥満マウスの血中脂質レベルを改善する

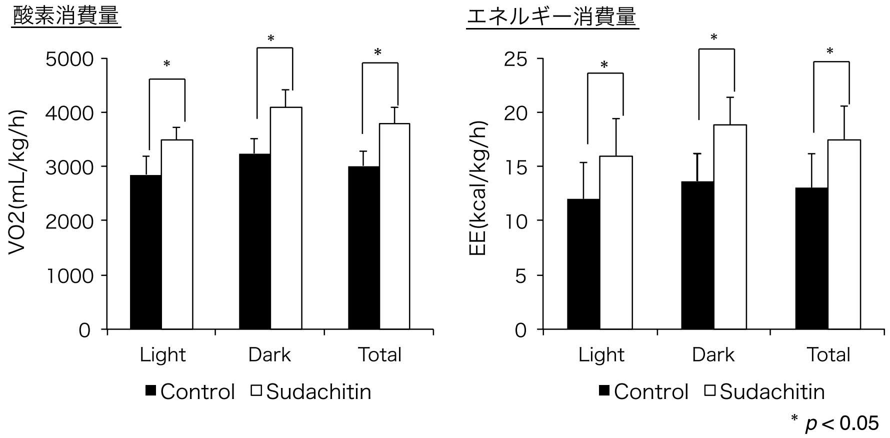


図 4　スダチチンは酸素およびエネルギー消費量を増加させる

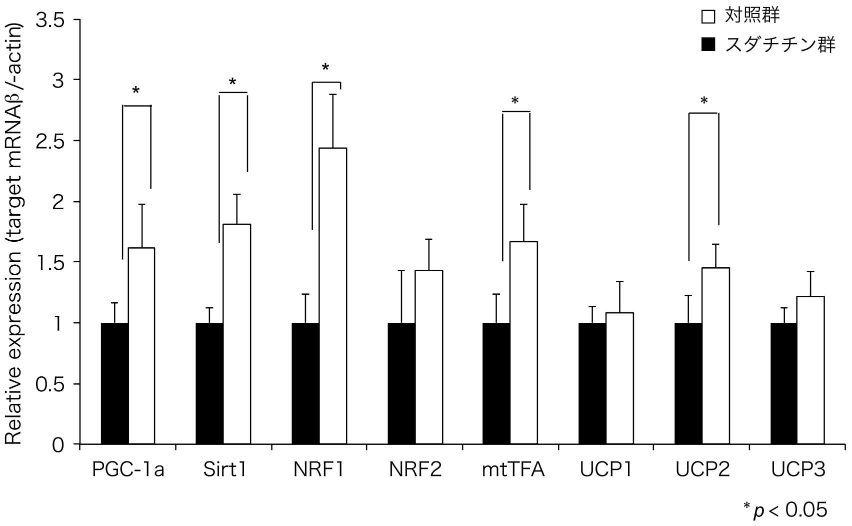


図 5　スダチチンは筋肉におけるエネルギー代謝に関わる遺伝子発現を上昇させる

いる事が推察された。詳細なメカニズムを解明するために，細胞を用いた *in vitro* での実験を行った。*in vitro* で筋幹細胞にスダチチンを添加すると，ミトコンドリアの生合成に関わる遺伝子発現が上昇していた（**図 5**）。これらのことからスダチチンは，筋肉におけるミトコンドリアの生合成を活性化させエネルギー消費量を増加させることで抗肥満効果を示すことが示唆された [11]。

3. スダチチンの免疫増強作用

現在，肺炎は日本人の死因別死亡率で第 4 番目となっている [12]。感染症に対する予防的な手法の一つとしてワクチン接種が挙げられる。ワクチン接種は不活化した病原体成分を予め宿主に接種することにより病原体に対する免疫を獲得させるものである。ワクチン接種による免疫獲得には身体の状態が大きく影響することが知られている。老人福祉施設に入所している高齢者にインフルエンザ予防接種を施し，血清アルブミンを指標とした栄養状態との関連を観察した研究では，血清アルブミン値が 3.9 g/dL 以上の栄養状態がよい者に比べ，血清アルブミン値が 3.5 g/dL 以下の栄養状態が悪い者は，予防接種によりインフルエンザに対する抗体ができた者の割合が半減し，予防率に関しては抗体陽

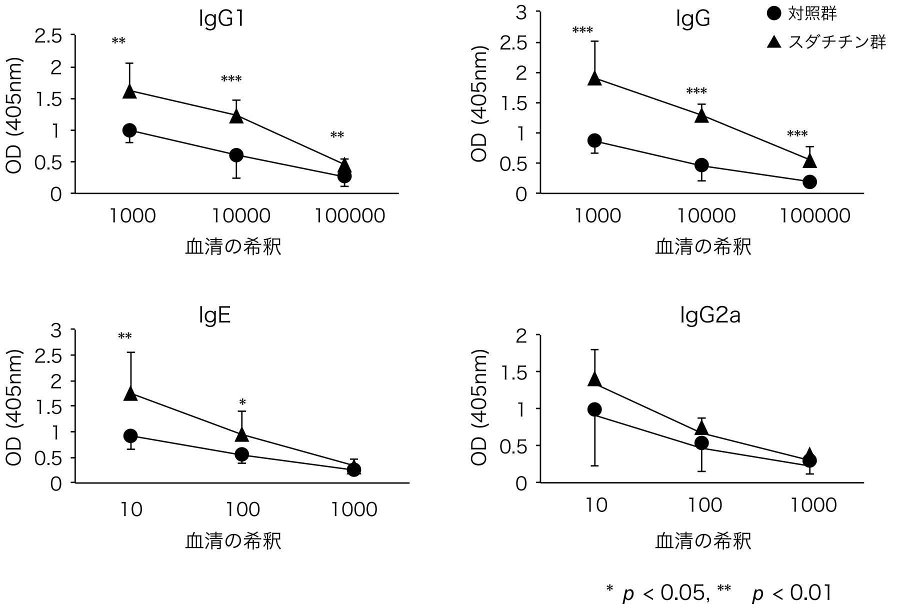


図 6　スダチチンは免疫抗原に対する特異的抗体産生を増加させる
卵白アルブミン免疫マウス血清中に含まれる卵白アルブミン特異的 IgG1, IgG, IgE および IgG2a 抗体のレベルを示す

性率以上に著しく効果がなくなることが報告されている[13]。小児や高齢者では免疫系が低下しており，ワクチン効果を高めるためには免疫機能を増強する機能性栄養成分の探索が重要になる。

BALB/c マウスに，20 mg/kg/ 日のスダチチン（0.2% DMSO 溶液に溶解），対照群には 0.2% DMSO 溶液をそれぞれ 5 週間経口投与を行った。その間に，マウスに卵白アルブミンを 2 回免疫を施し，卵白アルブミンに対する抗体産生および抗体産生に関わるサイトカイン産生を観察した。スダチチン投与群のマウスは対照群のマウスに比べ卵白アルブミンに対する抗体が高値を示した（**図 6**）。また，液性免疫に関連す

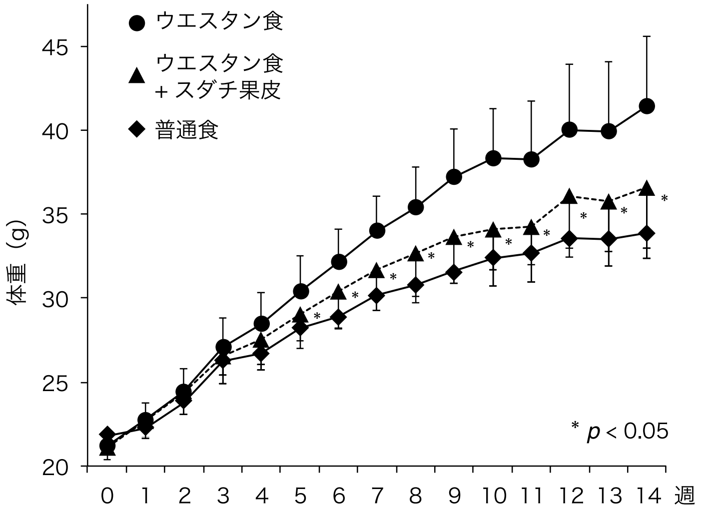


図 7　スダチ果皮抽出物は食餌誘導性肥満マウスの体重増加を抑制する

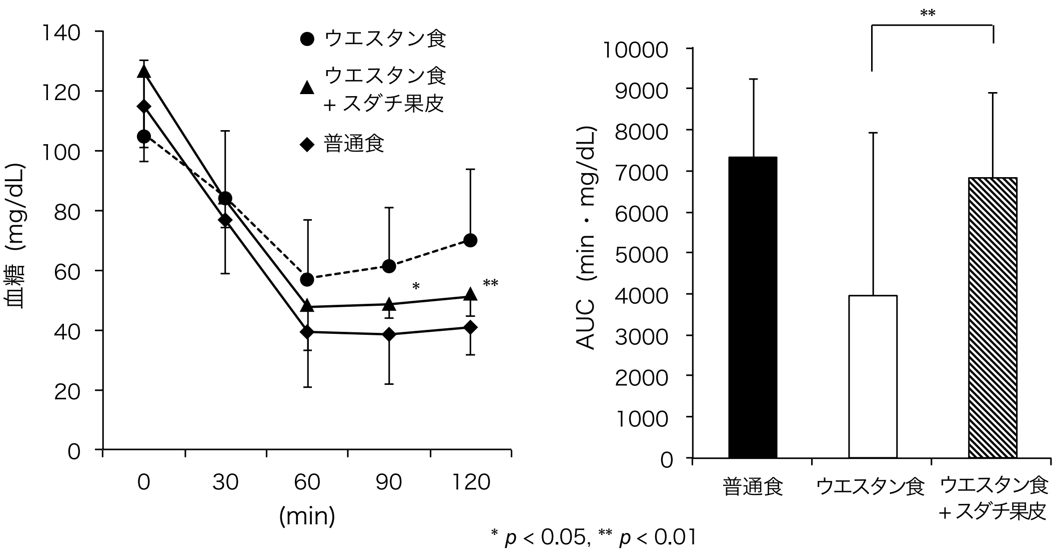


図 8　スダチ果皮抽出物は食餌誘導性肥満マウスのインスリン負荷試験の値を改善する
マウスにインスリンを投与し経時的に血中のグルコース濃度を測定した（左図）。右図はインスリンの応答性を曲線下面積で評価した図である。

るサイトカインである IL-4 および IL-10 産生もスダチチンは増強した[14]。これらのことよりスダチチンはワクチン接種による抗体産生を高める機能性があることが示された。

4. スダチ果皮成分の抗肥満作用

我々はスダチチンが動物レベルで抗肥満作用を有することを見出したが，スダチ成分の人を対象とした臨床試験へと展開する場合，薬理学的，収量的およびコスト的な観点から単一の精製品ではなくスダチ果皮成分全体の効果を検証する必要がある。そのためスダチ果皮の 30% エタノール抽出成分（スダチチン 1% 含有）を用いて，抗肥満作用について効果を検証した。C57BL/6 マウスに脂肪エネルギー比率 40% のウエスタン食にスダチ果皮抽出物を重量比 1% となるように添加した餌を与えた。飼育期間は 14 週間であったが，飼育後 5 週目より対照群のマウスに比べ体重の増加が抑制された（**図 7**）。食餌誘導性肥満を誘導することにより代謝障害が惹起されインスリン応答性が減弱するが，スダチ果皮抽出物を投与したマウスでは，通常食飼育マウスと同程度までインスリンの応答性が回復した（**図 8**）。さらに，内臓脂肪における炎症性サイトカインである TNF-αの遺伝子発現量も抑制されていた[15]。

おわりに

本稿では，徳島県特産柑橘類であるスダチに関する生体調節作用について解説をした。徳島県は平成 21 年度に文部科学省の知的クラスター創生事業（後に，地域イノベーション戦略支援プラグラムに変更）に採択され，本事業の一環として，地域食材から血糖上昇抑制もしくは抗肥満に関する機能性食材の探索する目的からスダチチンに関する本格的な研究が始まった。当初は抗肥満作用について中心的に解析を行ったが，後にスダチチンには免疫調節作用を有していることが明らかになり多種の機能性があることを見出した。スダチチンと構造が類似しているノビレチンでは認知機能に関する研究が盛んに行われており，スダチチンに関しても神経系に対して特徴のある作用機能を有している可能性があり，今後の研究が期待される。

参考文献

1. 新居佳孝，酒井徹，敷島康普：スダチ果皮ポリフェノール（スダチチン）の機能性と食品素材開発 *FOOD Style 21* **20**:21-24, 2016.
2. 農林水産省生産局園芸作物課：平成 27 年特産果樹生産出荷実績調査　https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500503&tstat=000001020907&cycle=7&year=20150&month=0&tclass1=000001032892&tclass2=000001112555
3. 田中直伸，中川博之，橋田 和佳，他：スダチ（Citrus sudachi) の含有成分並びに血糖値上昇抑制作用について . 第一回食品薬学シンポジウム，大阪 2006.
4. 堀江徳愛，増村光雄，奥村重雄：スダチ果皮中の新フラボン（スダチチン）　日化誌 **83**: 465-468, 1962.
5. Lee Y-S, Cha B-Y, Choi S-S, *et al*.: Nobiletin improves obesity and insulin resistance in high-fat diet-induced obese mice. *J Nutr Biochem*. **24**: 156-162, 2013.
6. Kim Y-J, Choi M-S, Woo JT, *et al*.: Long-term dietary supplementation with low-dose nobiletin ameliorates hepatic steatosis, insulin resistance, and inflammation without altering fat mass in diet-induced obesity. *Mol Nutr Food Res*. **61**:8, 2017.
7. Miyamoto S, Yasui Y, Tanaka T, *et al*.: Suppressive effects of nobiletin on hyperleptinemia and colitis-related colon carcinogenesis in male ICR mice. *Carcinogenesis*. **29**: 1057-1063, 2008.
8. Chen C, Ono M, Takashima M, *et al*.: Antiproliferative and apotosis-inducing activity of nobiletin against three subtypes of human breast cancer cell lines. *Anticancer Res*. **34**: 1785-1792, 2014.
9. Cui Y, Wu J, Jung S-C, *et al*.: Anti-neuroinflammatory activity of nobiletin on suppression of microglial activation. *Biol Pharm Bull*. **33**: 1814-1821, 2010.
10. Yabuki Y, Ohizumi Y, Yokosuka A, *et al*.: Nobiletin treatment improves motor and cognitive deficits seen in MPTP-induced Parkinson model mice. *Neuroscience*. **259**: 126-141.
11. Tsutsumi R, Yoshida T, Nii Y, *et al*.: Sudachitin, a polymethoxylated flavone, improves glucose and lipid metabolism by increasing mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. *Nutr. Metabolism* **11**:32-46, 2014.
12. 国民衛生の動向・厚生の指標 増刊・第 64 巻 9 号　一般財団法人　厚生労働統計協会．2017.
13. Lesourd BM : Nutrition and immunity in the elderly; Modification of responses with nutritional treatment. *Am J Clin Nutr*. **66**: 478S-484S, 1997.
14. 三谷麻実，中本真理子，首藤恵泉他：スダチチンの免疫調節作用―卵白アルブミン免疫マウスモデルでの検討―第 70 回日本栄養食糧学会，兵庫，2016.
15. Kobayashi H, Mitani M, Minatogawa Y, *et al*.: Extracts of citrus Sudachi peel attenuate body weight gain in C57BL/6 mice fed a high-fat diet. *J. Med. Invest*. **64**:20-23, 2017.

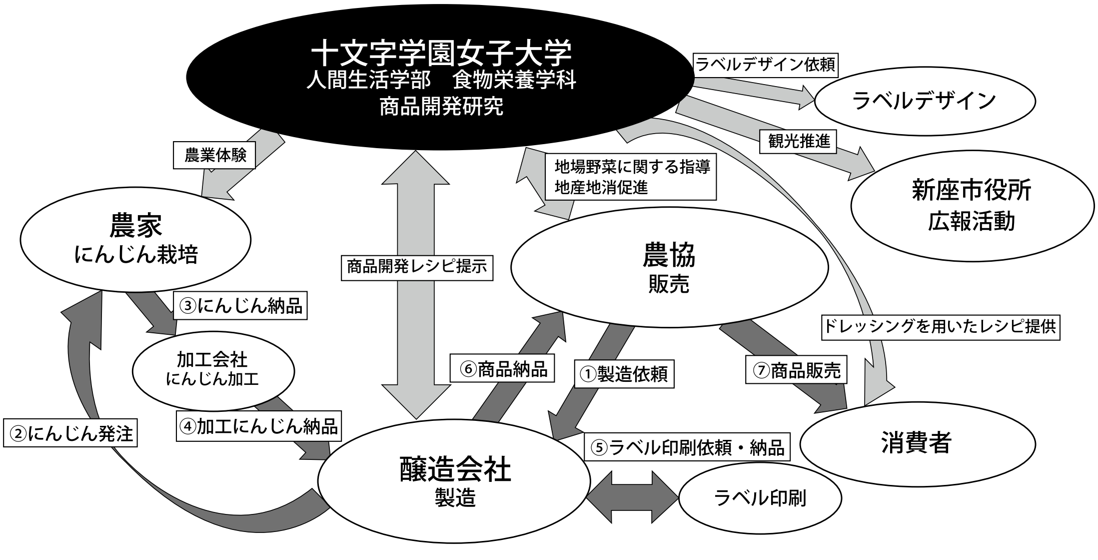
産官学連携による地産地消商品の開発

曽矢　麻理子（*SOYA Mariko*）[1]　小林三智子（*KOBAYASHI Michiko*）[1]

[1] 十文字学園女子大学　食物栄養学科

Key Words：産官学連携プロジェクト　にんじん畑ドレッシング　新座市

「にんじん畑ドレッシング」に関わる企業との関連図



数字表記の項目に沿って順に工程を進めることで地域企業のみで継続して実施できる流れとなっている。

はじめに

近年，農産物に付加価値を付けた地産地消商品が，道の駅やアンテナショップ等で多く販売されるなど，地域活性化を目的とした加工食品の開発が盛んになっている。農林水産省でも2010年に「六次産業化・地産地消法」を制定し，食料自給率の向上を目的に地域の農林水産物の利用促進を推進している。また，地域を拠点とした大学の取り組みも多くみられ，地域社会での産官学連携プロジェクトの動きも盛んになっている。

そのような動きの中，十文字学園女子大学は平成26年に文部科学省の「地（知）の拠点整備事業」に採択された。この事業を通して本大学では，自治体とともに地域社会と連携し，全学的に地域を志向とした教育・研究・地域貢献に取り組んでいる。「地域のための大学」として，地域の課題（ニーズ）と大学の資源（シーズ）

をマッチングさせ，産官学が協力して地域の課題解決に臨みながら，地域に必要な人材の育成も目指している。この機会を利用し，本研究では本学の位置する新座市において，地場野菜を有効活用した加工食品の開発に取り組み，地産地消商品として販売することで地域の活性化に繋げることを目的に活動した。その結果，平成29年度に地場野菜のにんじんと新座市の天然水から製造した酢を材料とした「にんじん畑ドレッシング」を商品化し，製造販売に至ったので，その取り組みをここに報告する。この取り組みにより得た，学生の人材育成の側面からの成果と，地産地消商品を企画，製造する上での留意点についても述べる。

1．地域資源

1-1．新座市の地場野菜について

新座市は東京都に隣接した都市農業地帯である。新座市近隣は関東ローム層で覆われた水はけのよい土壌で，根菜類を栽培するのに適しており，にんじん，ほうれんそう，さといも等が主な収穫物である。中でも秋冬にんじんは国の指定産地に認定され，市を代表する野菜となっている。農産物直売所等を見る限り，これらの野菜の多くは生鮮食品として消費されることが多く，加工品の数は少ないと言える。

1-2．新座市の天然水から製造した酢

地場産という付加価値をつけるため，野菜以外にも地域の食材を利用できないか調査したところ，新座市内の天然水から製造した酢があることが分かった。この酢は大正5年創業の地域の醸造蔵元で製造されている。静置醗酵された酢は味，香りがまろやかで酸味の角がとれた味わいが特徴である。ドレッシングの開発にはこの酢を使用することとした。また，本企業はドレッシングの製造が可能であったため，試作品の作成や，ドレッシングの製造を依頼した。

2．学生の取り組み

2-1．農業体験とにんじんの品種選定

開発は本学の食物栄養学科に所属する学生達と始めた。学生たちは月に1回ほど市内の農家にて農業体験を行い，農業を通して食物の大切さを学ぶ機会とした。農業体験をした農家は18代続く野菜専業農家で，新座市内にある平林寺から落ち葉を掻き，腐葉土にして栽培に用いている。この有機肥料を用いることで地力が高まり，品質の良い野菜を栽培することができる。学生が携わったにんじんは減化学肥料（窒素成分が50% 以下の肥料）で栽培されており，「菜色美人」（全農さいたま独自の栽培基準を満たしたもの）というブランド名がついている。

学生たちは自ら収穫したにんじんを使ってドレッシングの開発を行った。ドレッシングの材料となるにんじんの品種の選定では，色，糖度，β- カロテン量，味を比較し，β- リッチ，β-312，愛紅，向陽，金美の5品種で調査した。調査の結果から，よりドレッシングに適していると思われたβ-312に決定した。この品種はすでに新座市内で商品化されている「にんじんうどん」にも使用されており，他の品種に比べて，色の鮮やかさが特徴的で，β- カロテン量や糖度にも優れていた。また，にんじん特有のにんじん臭さもなく，ドレッシングとして加工するのに適していると判断した。

2-2．ドレッシングの試作

食物栄養学科の学生は，将来管理栄養士を目指しており，ドレッシングの開発は学生たちの専門的知識を実学的に発揮する契機となった。にんじんの成分調査，ドレッシングの調味料の検討，微生物検査，味の官能評価（十文字学園女子大学研究倫理審査　承認番号2015-018）等，比較調査を重ね研究開発を行った。また，にんじんに含まれる成分の中でもβ- カロテンに焦点をあて，より効率的にβ- カロテンを摂取できるような開発を心掛けた。

「にんじんを食べているようなドレッシング」というイメージを基に，にんじん量の多いドレッシングを試作した。ドレッシングはビンに充填する際の粘度が製造過程での重要な要素になるため，製造業者と相談しながら充填できる

最大限のにんじんの割合を調整した。また，調味料に関しては，酢，油，砂糖，塩，醤油，本みりん等の配合割合を変えて試作を繰り返し，その都度開発している学生達と嗜好調査を行った。酸味の強さが改善事項となったため，糖類の種類によるドレッシングの酸味抑制効果を調査した。糖類を上白糖，黒砂糖，きび砂糖，水あめの 4 種類に変えて官能評価を行い，最も酸味抑制効果があると思われたものを使用した。また，賞味期限や衛生面，製造方法など，試作の段階では判断できない問題点が多々挙がったため，製造業者に商品化するという観点から指導を受けた。

写真 1　完成した「にんじん畑ドレッシング」とリーフレット

2-3．ラベルデザイン

女子大生が携わる商品として品の良さをアピールし，百貨店等でも取り扱えるようなデザインの考案を行った。ラベルデザインは開発に携わった学生 5 人で原案を起こし，それを基にデザイン業者に依頼した。新座市の土産物になることを意識して「新座」の文字をロゴマークにいれ，そこに大学名を入れることで産官学連携の商品であるということを強調した。また，裏面には新座市産のにんじんや酢を使用したことを文言としていれ，地産地消商品であることがわかるようにした。裏面の QR コードからは大学のホームページにアクセスできるようになっており，本大学の宣伝効果も付随させた。商品名は「にんじん畑ドレッシング」とした。こちらも学生たちが考案したもので農業体験を踏まえた，にんじん畑を想像できるような商品名となった。

3．コンセプトとターゲット層

商品開発に必要なコンセプトと，ターゲット層を絞り，以下のように定めた。これらの要件を根底に商品開発を行った。

コンセプト

①新座市の特産品になり，土産物として販売できるもの
②農産物直売所等で取り扱える常温保存ができるもの
③新座市の地域食材を用いて加工をすること（地場産という付加価値をつける）
④女子大生が考案したオシャレな商品になること
⑤産官学が連携し協働して持続できる商品を開発すること（地域活性化に繋げる）

ターゲット層

①子どものいる保護者の方
②地域志向の高い方
③健康志向に興味のある方
④新座産の土産物を希望している方

4．商品の製造と販売

秋冬にんじんの収穫期に合わせて，平成 29 年 2 月下旬ににんじん（β-312）を収穫し，ドレッシングへの加工を依頼した。3 月上旬には約 1300 本の製造が完了した。製造した商品は主に地域の農産物直売所においてもらい，販売した。開発した学生も販売に参加し，コンセプトや商品開発に至った経緯などを説明しながら，直接消費者の声を聞く機会とした。また，

リピーターを増やすことを目的に，ドレッシングを使用したオリジナルレシピを学生たちが考案し，リーフレットを作成した。これによりサラダに使用するだけでなく他の料理にも利用できることを提案した。

まとめ

学生の人材育成の側面からこのプロジェクトを総括すると，実学の面において大変有意義な社会勉強になったと思われる。将来管理栄養士を目指す食物栄養学科の学生にとって，自らが栽培に携わった野菜を，商品として加工していくという取り組みは，貴重な体験となった。また，商品のコンセプトを説明する際のプレゼンテーションや試食会においてのアンケート調査等を経験したことで，プロジェクトを遂行するためのプレゼンテーション能力やコミュニケーション能力，また調査の分析能力が培われたものと思われる。学生たちは，これらの経験を通して積極的に研究に取り組むことができた。「地（知）の拠点整備事業」の目的でもある，必要な人材の育成を目指すという点において成果が期待できると感じている。

「にんじん畑ドレッシング」は平成 29 年に商品として製造販売が実現し，平成 30 年も継続することができた。産官学連携の地産地消商品は, 地域の消費者に需要があったと感じている。近年の食品における健康・安全志向の高まりもあって，大学が開発したという経緯から信頼できる商品として認知されたものと思われる。この商品にはそれ以外にも，地産地消商品という親近感や, 商品の企画から製造までのシナリオ，また，産直による鮮度の良さなど，商品価値が多く付随している。このような消費者側からのメリットに対して，企業側から見解すると，地域規模での取り組みでは経済効果があまり見込めないことがデメリットとなる。事業を長期的にとらえると，経済効果が見込めないことは企業の意欲減退を招くと思われ，今後の課題となる一方で, 地産地消商品のコンセプトを共有し，各々が「地域活性化志向」を意識して臨むことも重要である。将来的には経済効果が見込め，取り組む事業者が増えることが望ましく，産・官・学，各々が役割を認識しながら協働することで，このような取り組みが地域の活性化に繋がることを期待する。

参考文献

1. 池田幸代，小早川睦貴，中尾宏：「大学の地域連携による学生教育の取り組み－地域資源を活用した商品開発プロジェクト－」，東京情報大学研究論集．**20** (1): pp.1-13, 2016.

食品資源としてのロシア産コンブの可能性
―日露共同研究プロジェクトから見えてきたもの―

鳥居　恭好（*TORII Yasuyoshi*）[1*]　宮内　浩二（*MIYAUCHI Koji*）[1]　廣海　十朗（*HIROMI Juro*）[1]
Elena Dobrynina[2],　Svetlana Minenko[2],　Tatyana Kalenik[2]

[1] 日本大学　生物資源科学部，[2] 極東連邦大学（ロシア連邦）

Key Words：食品資源　ロシア　コンブ　海藻

Perspective of Russian seaweeds as a new bioresource;
An outline of the Russia-Japan collaborative research project.

Yasuyoshi Torii, Koji Miyauchi, Juro Hiromi
(College of Bioresource Sciences, Nihon University, Japan)
Elena Dobrynina, Svetlana Minenko, Tatyana Kalenik
(School of BioMedicine, Far Eastern Federal University, Russia)
Key Words: Food resources, Russian Federation, Kelp, Seeweed

Abstract

Kelp (*Laminaria japonica*), "*Konbu*" in Japanese, grows in coastal area in the northern part of Japan (Hokkaido and Tohoku area). 90 % of Japanese aquaculture production of kelp is from Hokkaido. Dried kelp is used to prepare “Dashi” (basic soup stock in Japanese cuisine), for it is rich in Glutamate, a major *umami* component in foods. Thus, this is the most important aspect of utilizing Kelp in the Japanese cuisine. Extraction residue is also used as an important food material. Kelp is also known to be rich in alginate, fucoidan and other polysaccharides. These contents are suggested to have many roles in health promotion in many reports. Alginate is also used as multi-purpose food additives in wide variety of processed foods nowadays.

Natural kelp also grows in the coastal area of the far-east Russia, including Primorskiy Krai and Sakhalin Island. Kelp harvesting and processing has been industrialized in these areas. There are some enterprises here which manufacture certain kinds of kelp products. The largest of them is situated in Preobrazhenie town in Primorye. It is well known for its kelp products. However, consumption of kelp and other seaweeds is not going well these days. Meanwhile Russian people are paying more attention to healthy life style and longevity of Japanese people. With a kind and generous support from the Far Eastern Federal University (FEFU), Russia, Nihon University RRIAP Kelp project has been carried out since 2014 to 2016. Within the framework of this collaborative project, Japanese members visited FEFU in Vladivostok city for three times to hold meetings, tasting events and lectures to the University students and Russian citizens to prevail information about seaweeds and promote kelp consumption in Vladivostok, Russia. In addition, FEFU and Nihon University College of Bioresource Sciences signed the collaboration Agreement in 2015.

Here in this article, the outline of this Russia-Japan collaborative project is reported and the perspectives of the Russian Kelp utilization as a new bioresource are discussed.

はじめに

日本大学国際地域研究所（Regional Research Institute of Agricultural Production, 略称 :RRIAP）は昭和 60 年度に日本大学生物資源科学部（神奈川県藤沢市）内に創設された研究所である。当学部（旧・農獣医学部）は昭和初期設置の「日本大学専門部拓殖科」が母体のひとつであり，学部の発足当初から農学を通じた国際連携に力を入れてきた [1)]。

同研究所は生物資源科学分野，すなわち農学関連分野の地域研究や研究教育交流を促進することを目的とし，「海外からの研究者招聘」，「海外への研究者派遣」および 3 年間の「海外の研究機関との共同研究プロジェクト」事業を実施している。共同研究プロジェクトは年度あたり一件が採択され，プロジェクトの終了に当たっては，派遣・招聘研究員による公開研究会やプロジェクトメンバーを中心とした国際シンポジウムを開催しており，プロジェクトの成果を総括し紹介するための叢書の刊行も行っている。

筆者らは RRIAP の事業として平成 26 年度より三年間，日 - 露間交流プロジェクト研究として北方圏 海藻バイオマスの評価および昆布食文化のロシア国における普及に向けた総合研究プロジェクトを実施した。本稿ではこの概要と今後の展望について述べる。

1．共同プロジェクトの経緯

日本人が世界有数の「海藻食」国民であることは言を待たない。四方を海に囲まれ北東から南西に長くのびた日本列島では，北方から琉球諸島に至るまで，日本近海には約 1200 種の海藻類が生育しており，数十種が食用として利用されている [2)]。採集に頼るものもあるが，主要な食用海藻は養殖栽培が行われ，大量に安定供給される仕組みが出来上がっている。その代表がコンブである。

コンブ（昆布）は，褐藻類コンブ目コンブ科コンブ属のうち食用にするものの総称で，マコンブ（学名：*Saccharina japonica* var. *japonica*, シノニムとして *Laminaria japonica*），リシリコンブ（*S. japonica* var. *ochotensis*），ナガコンブ（*S. longissima*）などがある。日本では三陸海岸や北海道沿岸に分布しており，国内生産 12 万 t の大半が北海道産で，その 9 割以上が養殖である [2)]。特に乾燥品を用いて出汁（だし）をとるために使う, 和食の根幹を成す食材である [3)]。出汁をとった残りや，乾燥品の成型に際に生じる切れ端もムダなく利用される。栄養的には食物繊維や鉄分，カルシウムなどが豊富である。また，多糖類や色素の有する食品機能性や加工特性も注目されている [4, 5)]。和食・日本食が世界的に注目される中で，低カロリーで栄養豊富な食用海藻にも世界から目が向けられつつある [6)]。

平成 25 年，ロシア連邦・沿海州ウラジオストク市にある極東連邦大学（Far Eastern Federal University, 略称 :FEFU）副学長（国際交流担当）Vladimir I. Kurilov 教授，学校法人函館国際学園・専修学校 FEFU 函館校の Ilin Sergey 校長らが日本大学本部を訪れ学長らと面談した。この席で，ロシア連邦在札幌総領事館函館事務所の Igor D. Ustinov 領事（当時）の提案を元に，FEFU と日本大学の連携の提案について話し合われた。これが契機となり，日露両国間の学術と産業の両面での交流を進めるため，FEFU と日本大学生物資源科学部（神奈川県藤沢市）の連携が検討された。両大学内での調整を経て，同年，RRIAP 共同研究プロジェクトに「ロシア産海藻の資源学的評価および同国における昆布食文化の普及に向けた総合研究」の題目で応募し，平成 26 ～ 28 年度の課題として採択された。FEFU 側の責任者は同大学生物・医学部の Tatyana K. Kalenik 教授，日大側の責任者（申請代表者）は廣海十朗が務めることになった。海洋生物学・食品科学など自然科学分野の共同研究は将来の課題とし，プロジェクトにおいては文化交流と人的交流を主眼とした。

2．ウラジオストク市での活動

平成 26 年 6 月，日大側プロジェクトメンバーがウラジオストクを初訪問し，FEFU 副学長 Vladimir I. Kurilov 教授（国際交流担当），

図 1　FEFU 副学長（国際交流担当）Vladimir I. Kurilov 教授（中央）を訪問し, 今回のプロジェクトの目的を説明した。
（写真は FEFU 公式サイトより）

同副学長 Aleksey V. Tskhe 教授（研究担当），Kalenik 教授および彼女の研究室メンバーらと打ち合わせを行った（**図 1**）。

Kurilov 教授はこのプロジェクトについて，ロシア沿海州でのコンブ産業の復興，コンブやその他の海藻類の加工技術の確立，ロシアと日本の両国をマーケットにしたロシア産コンブ加工産業の振興，などを期待していると語った。もともと沿海州ではウラジオストクより東側にある，日本海に面した都市プレオプラジェーニエ（Preobrazheniye, Преображéние）を中心としたコンブ産業が栄えていたが，寒冷な気候のため自生のコンブを採集できる期間が夏の約二ヶ月と短いこと，ロシア国内での需要が伸びないことなどから斜陽産業化している。Kalenik 教授の研究室では，コンブ成分を利用した惣菜・菓子・飲料などの試作を行っており, チョコレートやゼリー菓子などはウラジオストク市内の企業や菓子店で製品化されている。コンブを始めとする海藻類の利用は日本が世界で抜きん出ており，また日本人の長寿や美容・化粧品産業にもロシア人の多くが注目しているため，両国の技術協力が強く望まれるとのことであった。Tskhe 教授も本プロジェクトがロシア国内のコンブ産業振興と両大学間の技術交流の一助となることを強く望んだ。

また，同大学の自然科学部海洋生物学研究所を訪問し，Sergei Maslennikov 教授，Anna Skriptsova 教授らと面会，海藻類の生育状況について情報提供を受けた。彼らの調査によると，極東ロシアにはコンブ科 19 種を含む 34 種の大型海藻類が生育し，そのうち 23 種は商品価値を有する。コンブ科の他にはスジメ，ワカメ，アイヌワカメ属（チガイソ属）などが生育している。マコンブは沿海州からサハリン島など島嶼に生育し，推計で 50 ～ 92 万トンが収穫可能だとしている。さらにマコンブの他，ミツイシコンブ，チヂミコンブなどがマコンブに次ぐ量で存在していると推計される（以上は Private Communication）。これらのコンブ類は食品素材やサプリメント，美容などの目的で利用されているが，実際にロシア国内で消費されるコンブ類のほとんどは中国, 韓国, ヨーロッパ諸国（特にフランス）からの輸入品であり [7]，そのため高価な製品となっている。ロシア沿海州のコンブ資源が自国で充分に活用されているとは言い難いのが実情である。

ウラジオストク訪問の期間中，学術交流やウラジオストク市民向けの情報発信のため，ウラジオストク市内で数回の講義・講演会，国際学会における研究発表を実施した（**図 2**）。

・鳥居：“Traditional Foods and Health/Longevity in Asia.”, 市民向け講演，於・ウラジオストク日本センター（2014 年 9 月 17 日）

図 2　FEFU 生物学・医学部の大講堂での学生向け特別講義の様子。

図 3　ウラジオストク市内で販売されているコンブ惣菜類。
a：スーパーマーケットの冷凍食品売り場にある，冷凍された細切りコンブ。
b：海産物店でのコンブ惣菜，イカやナマコなどと調理されている。
c：市内の広場で毎週開催されるフリーマーケットで販売されている惣菜類。

・鳥居：“Traditional Foods and Health/Longevity in Asia.”, FEFU 学生向け特別講義，於・FEFU 生物・医学部大講堂（2014 年 9 月 18 日）
・鳥居：“Seaweeds are the base of Japanese foods and supporting health of Japanese people.”, 市民向け講演, 於・ウラジオストク日本センター（2016 年 6 月 6 日）
・廣海：“Farming technology of the Kelp Saccharina japonica in Hakodate District, South-western Hokkaido, Japan.”, 国際学会 "Innovations in biotechnology and aquaculture of water bioresources of Sea of Japan”, 於・FEFU 生物・医学部大講堂（2016 年 6 月 9 日）
・鳥居，成澤，竹永：“Seaweeds are the base of Japanese foods and supporting health of Japanese people.（Морские водоросли -основа продуктов питания в Японии, способствующих поддержанию здоровья японских людеи.）”, 同学会（2016 年 6 月 10 日）

これらの活動を通じて，ロシア市民や研究者らの，日本文化，特に日本食への強い興味を間近に感じた。聴講者からは「コンブが日本の食生活や食品産業においてどのような位置づけにあるか」，「日本人の最も好きなコンブ料理は」など, どの機会にも熱心な質問を受けた。また，大学や産業界など様々な立場の関係者から「ロシアのコンブは日本の市場に受け入れられるだろうか」との質問があった。

ロシア語で海藻を「водоросли（vodorosli）」というが，一般的には食用海藻類全体を一括りにして「Морская капуста（Morskaya kapusta, 海のキャベツ）」という通称で呼ばれている。これがいみじくも，食用海藻類の馴染みのなさを表していると言えよう。ウラジオストク市内の食料品店で市販されているコンブ製品は，細長く切った茹でコンブが中心で，ブロック状に冷凍されているものや，サラダ，マリネなどの惣菜類，缶詰などが見られる（**図 3**）。市内のレストランにもワカメサラダなどの海藻メニューが見られた（**図 4**）。海藻類が低カロリー，高繊維，高ミネラルの健康的な食材であるという

図4　ウラジオストク市内のレストランメニューにあったワカメサラダ。ロシア語で「サラダ・ワカメ」と表記されている。

ことは理解されているが，コンブがうま味成分を豊富に含んだ出汁の素材であることについての理解はほとんどされていない。また，コンブなどの海藻類を好む人とほとんど食べない人がハッキリと分かれている。ウラジオストクですらそうであり，モスクワなど西部，内陸部ではさらに馴染みのない食材だという（ただし，寒天やアルギン酸の食品加工への利用は行われている）。こうした点から，ロシア産コンブの有望なマーケットは，既に高品質のコンブと各種加工品が流通している日本ではなく，むしろロシア国内だろうと考えられた。

コンブの日本式活用をウラジオストク市民に知ってもらうため，本プロジェクトでは数回の試食会を開催した。最も大規模な試食会は2014年9月にFEFU生物・医学部のカフェテリアを会場として主に同大学の学生向けに行ったもので，当初は100人規模の試食会を想定していたところ，学外からの来場者も多く300人近くが集まり大盛況となった（**図5**）。会場にはロシア連邦太平洋漁業技術研究開発センター（TINRO）の研究員らも訪れた。この試食会には日本大学食品加工実習センターで製造したコンブ入りソーセージなど，国内から持参したコンブ加工品の他，ウラジオストク（現在は閉店）とユジノサハリンスク（サハリン島）の両市で営業する日本食レストラン「とよ原」（一関権路社長）の協力を得て，昆布出汁，昆布巻き，クーブイリチー（沖縄料理）などを提供した。また，Kalenik教授の研究室スタッフが調理したロシア式のコンブ料理も供された。事前の予想に反して昆布出汁の評判がよく，旨味への嗜好性はロシアでも高いことから，出汁素材としての干し昆布のロシア市場への展開も可能ではないかと考えられた。また，昆布入りソーセージはスモークタイプとノンスモークタイプ，それぞれ太いタイプ（ウインナーソーセージ）と細いタイプ（フランクフルトソーセージ）の計4種を提供したがいずれも好評であった。これはロシアの一般的なソーセージはよく挽いた肉を用いたものが中心で，今回用意した粗挽きタイプが少ないことも影響があったのかもしれない。試食後のアンケートはロシア側スタッフが実施したが，大盛況ゆえの混乱のため，充分な整理が出来なかったのは残念である。試食会の様子は

図5　FEFU生物・医学部のカフェテリアを会場として行った，コンブ料理の試食会の模様。

ロシアの複数のテレビ局やNHK-BSを含め様々なメディアで報じられた（試食用料理が早い時間に食べ尽くされたため，料理の撮影が出来ないテレビ局もあった）。

2016年6月夕刻にはウラジオストク市内のレストラン Port Café で小規模な試食会を行った。Port Café 料理長による各種コンブ料理の他，ガゴメコンブ出汁を使用したカクテル（函館市在住の山田貴久氏の創作したモスコミュールのバリエーション），フジッコ株式会社（神戸市）提供の佃煮など各種昆布加工品，および株式会社鮎家（滋賀県）提供の昆布巻きなどが振る舞われた。参加者の反応は良好で，コンブの佃煮やおぼろコンブを使ったおにぎりなどもロシア人参加者が好んで食べた。この会にはプロジェクトメンバーの他，前述の国際会議に参加していたポーランド最古の大学 Jagiellonian University（Krakow市, 1364年創設）の Wojciech Piekoszewski 教授（分析化学），在ウラジオストク日本国総領事館の領事・副領事，ウラジオストク日本センターで同日午後行われたセミナーの参加者や同センターのスタッフも参加して行われた。セミナー参加者には食品の輸出入に携わる人や，市内で健康志向型飲食店を経営している人もおり，健康食品素材としてのコンブに強い興味を持っていることが窺われた。

3. 日本国内での活動

プロジェクトの期間中，Kalenik 教授を筆頭に FEFU の研究者を二度招聘し，学内でのセミナー，代表的な養殖コンブ産地である北海道函館市への訪問，国際シンポジウムなどを開催した。

2016年2月，日本大学生物資源科学部で「平成27年度　国際地域研究所　第5回公開研究会」として行われた Kalenik 教授のセミナー『Development of Functional Food Products Utilizing Marine Organisms, Especially Seaweeds in Russia（ロシアの海産生物，特に海藻を利用した機能性食品の開発）』には，学外からの一般聴講者も多数来場し，FEFU で試作されたコンブ成分を含んだチョコレートの試食とも合わせて盛況であった。FEFU からの4名は日大側プロジェクトメンバーとともに函館市へ移動し，コンブ養殖に携わる南かやべ漁業協同組合（玄関に『昆布の里　戦略本部』の看板が掛かっている）や，出汁昆布などの加工を行う道南伝統食品協同組合 / 有限会社カネリ成田商店（代表 : 成田省一氏）（**図6**），また海藻類を始めとする各種海産物成分の機能性を研究する北海道大学水産学部の宮下和夫教授を訪問し，施設見学と情報交換を行った。成田氏は沿海州とサハリンの海藻資源の可能性に早くから注目しており，ロシア産昆布の輸入を目指して活動を続け[8]，現地との人脈も豊富である。昆布加工に関する技術移転を目指し，ウラジオストクの水産加工関係者や FEFU 学生のインターンシップ形式での受け入れなどが討議された。

図6　道南伝統食品協同組合／有限会社カネリ成田商店（函館市）の工場を見学する FEFU 代表団。

この函館訪問では，ロシア連邦在札幌総領事館函館事務所の Igor D. Ustinov 領事（当時），FEFU 函館校の Ilin Sergey 校長，同 Derkach Fedor 副校長，株式会社函館国際貿易センターのスーパーバイザー前野泰孝氏，共同通船株式会社の小林敏夫社長らも同席して，コンブ料理のディナー形式での試食会も行われた（**図7**）。料理は一行が宿泊したイマジンホテル＆リゾート函館のシェフによるもので，おぼろ昆布を巻いた刺身や，昆布巻き，茶碗蒸しなどの和食の

図 7　函館市内のホテルで行われた懇親会を兼ねた試食会の冒頭で挨拶する，ロシア連邦在札幌総領事館函館事務所の Igor D. Ustinov 領事（当時）。

他，昆布を敷いたポークステーキや昆布入りのクラム（二枚貝）スープなど，和洋のバラエティに富んだものだった。試食アンケートの結果は日大側プロジェクトメンバーによって集計され，ロシア人参加者，日本人参加者の嗜好性の違いを検討したが，日本人で刺身などについて厳しい評価だったものの，洋風料理・和風料理ともに日露両サイドで高い評価を得ていた。

2016 年 12 月，本プロジェクトのまとめとして，在日本ロシア連邦大使館の後援を得て，RRIAP 国際シンポジウム『昆布食文化のロシアにおける普及ならびに昆布産業の振興に向けて』が開催された。プログラムは別掲の通り（**表 1**）で，プロジェクトの概要と成果報告の他，

表 1　RRIAP 国際シンポジウム『昆布食文化のロシアにおける普及ならびに昆布産業の振興に向けて』プログラム

日本大学生物資源科学部国際地域研究所海外研究プロジェクト事業
「ロシア産海藻の資源学的評価および同国における昆布食文化の普及に向けた総合研究」
日本大学生物資源科学部(NUBS) - 極東連邦大学(FEFU)“昆布プロジェクト”
平成 28 年度（第 32 回）国際地域研究所　国際シンポジウム

“昆布食文化のロシアにおける普及ならびに昆布産業の振興に向けて”

日　時：2016 年 12 月 16 日（金）10:00-17:50
会　場：日本大学生物資源科学部大講堂
主　催：日本大学生物資源科学部国際地域研究所
共　催：極東連邦大学
後　援：在日ロシア連邦大使館

開会挨拶　国際地域研究所運営委員会副委員長　ロイ・キンシュク（日本大学生物資源科学部　教授）
趣旨説明　研究代表者　廣海十朗（日本大学生物資源科学部　教授）

第一部　ロシア極東域における昆布の生産ならびに食品加工の現状　座長　宮内浩二

ウラジオストク、ユジノサハリンスクにおける見聞録	廣海十朗（日本大学生物資源科学部　教授）
ロシアにおける海藻多糖類の消費にかかわるモニタリング	E. Dobrynina（極東連邦大学　助教授）
極東産海藻を利用した機能性食品の開発とその実効性	T. Kalenik（極東連邦大学　教授）
ロシアにおける褐藻類の食品加工への利用	S. Minenko（極東連邦大学　首席専門官）

第二部　昆布食文化の普及に向けたアクションと昆布産業振興のための今後の展開　座長　廣海十朗

昆布プロジェクトにおける昆布普及に向けたアクション	鳥居恭好（日本大学生物資源科学部　准教授）
褐藻類－栄養学的なインパクトとその応用性	宮下和夫（北海道大水産学部　教授）
フランス、オランダおよびベルギーにおける海藻食文化の普及活動	オオニシ恭子（やまと薬膳クッキングスタジオ）
微生物発酵を用いたアミノ酸の効率的な製造方法	土井秀高（味の素バイオファイン研究所）
サハリンにおける昆布産業化に向けた展望	成田省一（道南伝統食品 協同組合）
日露アグリビジネスの展望～海藻類を中心に～	菅沼桂子（日本大学生物資源科学部 准教授）

第三部　総合討論　座長　廣海十朗

昆布食文化の更なる普及ならびに昆布産業の振興に向けたアクションプラン

閉会挨拶　研究代表者　廣海十朗（日本大学生物資源科学部　教授）

図 8　RRIAP 国際シンポジウム『昆布食文化のロシアにおける普及ならびに昆布産業の振興に向けて』に併せて実施された，FEFU 作成のコンブ食品の試食会。

大学，企業から関連の発表に続いて熱心な討議が行われた。会場では，FEFU からの参加者が持参したコンブを活用した食品の試食会も行われた（**図 8**）。後日，このシンポジウムの内容は成書として刊行されている[9]。

4．ロシア産コンブの系統解析

日本国内のコンブはマコンブ（真昆布），ミツイシコンブ(日高昆布など)，ネコアシコンブ，ガゴメコンブ他数種が養殖栽培され広く流通している。またマコンブにもオニコンブ（いわゆる羅臼昆布）や利尻昆布などの地域変種があり，北海道大学の四ツ倉典滋教授らのグループによって遺伝的解析が行われている[10, 11]。マコンブの中でも，函館市南茅部地区でとれるものは「白口浜（しろくちはま）真昆布」と呼ばれ，コンブの仲間の中でも最上級品だとされる。白口浜真昆布は肉厚で旨味成分が多く，切り口が白いのが特徴である。

2016 年 2 月の函館訪問の折，FEFU からの参加者がロシア産のコンブも肉厚で切り口が白く，形態的に類似している旨を指摘した。四ツ倉教授らの報告によると，ウラジオストク近海のコンブはガッガラコンブの近縁であるとしている。日本海に面したロシア沿海州と太平洋に面した渡島半島の南茅部で生育するコンブの類縁性は不確実だが，長く続く沿海州では複数種のコンブが生育していてもおかしくはなく，採集地点とサンプル数を増やした詳細な解析が必要だと考えている。筆者（鳥居）の研究室では，PCR の応用である RAPD（Random Amplified Polymorphic DNA）解析[12]によって，ロシア産コンブの遺伝系統解析を試みている。日本産コンブとの詳細な類縁関係が明らかになることで，ロシアと日本の両国のマーケットにロシア産コンブの参入できる可能性が高まるのではないかと考えられる。

5．今後の展望

共同研究プロジェクトとしてロシア訪問とロシア人研究者の招聘を行う中で，ロシア側からの日本および日本製品への興味の強さに感嘆することが何度もあった。一般的ロシア人の持つ日本食・日本製品へのイメージは好印象であるが，物価の問題（ルーブルの為替レート変動は依然として大きい），商慣習の違いや言葉の壁(英語を解する一般のロシア人はそれほど多くない)，継続性・連絡性などの問題で，ビジネスは容易でない。その一方で，日本の技術や食品の安全性に対するロシアでの評価は高い。ことにロシアでは女性の社会進出は昔から進んでおり，女性の健康・美容への意識が極めて高く，健康・美容を中心とした日本製品の訴求性は強い。今後，コンブの採集あるいは養殖栽培が盛んになり，加工技術も向上すれば，ロシア産コンブは日露両国あるいは他国の市場に参入する可能性がある。日本の食品の基準やコンブ加工技術は極めて高度化しているため，即時ロシア製品が流入しロシア製品に圧倒されることはないだろうが，豊富な食資源としてのロシア産コンブは魅力的である。民間協力やインターンシップなどの形で日本の昆布加工技術をロシアに移転することで，ロシアのコンブ資源の付加価値を高めることは可能であるだろう。ただし，日本ではニシン，スケトウダラ，ホタテガイなどと同様，コンブを含む食用海藻とその調整品

は経済産業省の「水産物輸入割当制度（Import Quota, IQ）」の対象となっていることから，現時点ではロシア産のコンブを輸入することが出来ないのが現状である。ロシア側関係者は，当面はロシア国内の市場開拓を目指すとしている。

本稿で紹介した三年間のプロジェクトを進める中で，FEFU と日本大学生物資源科学部は教育・研究に関する連携協定を 2015 年に締結することが出来た。今後，人的交流を含めた様々な分野での協力が進み，日本と極東ロシアの新しい時代が拓かれてゆくことが期待される。

謝　辞

前述の通り，本プロジェクトは日本大学国際地域研究所「海外共同研究プロジェクト」として実施された。

本プロジェクトを進めるにあたりご協力下さった，在日本ロシア連邦大使館および同領事館函館事務所，極東連邦大学函館校，ウラジオストク日本センターの河原和尊所長，日本料理店「とよ原」の一関権路社長，北海道銀行ウラジオストク支所など，関係諸氏に深く感謝します。

参考文献

1. 日本大学国際地域研究所（RRIAP）公式サイト：http://hp.brs.nihon-u.ac.jp/~rriap/index.html
2. 藤原昌高：『地域食材大百科・第五巻／魚介類・海藻』農文協，2011.
3. 熊倉功夫，伏木 亨：『だしとは何か The Science of Dashi』アイ・ケイコーポレーション，2012.
4. Ren R., *et al.*: “Modulation of platelet aggregation-related eicosanoid production by dietary F-fucoidan from brown alga *Laminaria japonica* in human subjects”. *British Journal of Nutrition* **110**, 880-890, 2013.
5. Miyashita K., *et al.*: "Chemical and nutritional characteristics of brown seaweed lipids: A review". *Journal of Functional Foods*, **5** (4): 1507-1517, 2013.
6. FAO report “PRODUCTION, TRADE AND UTILIZATION OF SEAWEEDS”: http://www.fao.org/docrep/005/ac860e/AC860E10.htm
7. 江南，李博，婁小波：「昆布の国際貿易と日中製品の競争力分析」．国際漁業研究第 9 巻，p.37-55, 2011.
8. Narita S. and Hiromi J.: “Production results of dried plate-shaped kelp in Sakhalin and outlook toward the promotion of kelp industry in Sakhalin”. RRIAP monograph vol. 32（日本大学生物資源科学部国際地域研究所叢書第 32 号）『昆布食文化のロシアにおける普及ならびに昆布産業の振興に向けて』，龍溪書舎，p.191-222, 2018.
9. RRIAP monograph vol. 32（日本大学生物資源科学部国際地域研究所叢書第 32 号）『昆布食文化のロシアにおける普及ならびに昆布産業の振興に向けて』，龍溪書舎，2018.
10. Kawai T., Yotsukura N., *et al.*: "Potential resource of *Saccharina bongardiana* for kelp fisheries in South Kamchatka, Far East Russia.” *Algal Resources*, **8**, 59-64, 2015.
11. Yotsukura N., *et al.*: "Genetic differences among varieties of *Saccharina japonica* in northern Japan as determined by AFLP and SSR analyses.” *Journal of Applied Phycology*, **28**, 3043-3055, 2016.
12. Pieter Vos., *et al.*: " AFLP: a new technique for DNA fingerprinting". *Nucleic Acids Research*, **23**(21): 4407-4414, 1995.

*Correspondence to: Yasuyoshi Torii
College of Bioresource Sciences, Nihon University, Japan

連絡先：鳥居　恭好
〒 252-0880　神奈川県藤沢市亀井野 1866
日本大学 生物資源科学部 食品生命学科 食品資源利用学研究室
Phone/ Fax: 0466-84-3982
E-mail: torii@brs.nihon-u.ac.jp

食用シアノバクテリア　―ノストコプシス―

竹中　裕行（*TAKENAKA Hiroyuki*）[1]　山口　裕司（*YAMAGUCHI Yuji*）[1]　榊　節子（*SAKAKI Setsuko*）[1]

[1] マイクロアルジェコーポレーション㈱　MAC 総合研究所

Key Words：食用シアノバクテリア　スーパーフード　ノストコプシス

はじめに

世界で最も有名な食用シアノバクテリアはスピルリナ（*Spirulina*）である。アメリカや日本ではスーパーフードと称されて，健康食材や美容食材として人気がある[1)]。一方，アフリカでは栄養補給の目的でスピルリナが利用されている。余談ではあるが，近年の分類学的研究から，これら食用にされているスピルリナのほとんどはスピルリナ属ではなく，近縁のアルスロスピラ属（*Arthrospira*）であることが明らかになった。しかし，すでに一般名として定着しているためスピルリナの呼称が用いられている[2)]。

中国やペルーでは，その地特有の食用シアノバクテリア（*Nostoc sphaericum*：中国では葛仙米，ペルーではクシュロと呼ばれている）が採取され，市場で売られている。近年，中国科学院（Chinese Academy of Sciences）が葛仙米の人工栽培に成功し，高級食材として北京等の都市部ホテルのレストランに出荷されている。

わが国で有名な食用シアノバクテリアは，万葉集で大伴家持に詠まれたアシツキ（*Nostoc verrucosum*）や全国に分布していて沖縄県や滋賀県では古くから食されていたイシクラゲ（*Nostoc commune*），そして九州でのみ栽培されている高級食材のスイゼンジノリ（*Aphanothece sacrum*）がある[3)]。

ところで，これらの食用シアノバクテリアの他にノストコプシス（*Nostochopsis*）という食用シアノバクテリアがある。最近，ノストコプシスの人工栽培法が確立されたので，今後わが国において，食材として市場で認知される期待が高まってきた。そこで，本稿では，この食用シアノバクテリア・ノストコプシスについて概説する。

1．ノストコプシス（*Nostochopsis*）

ノストコプシスは，タイ王国のナン県をはじめとした北部および北東部のナン川やメコン川で，0.1 ～ 8 cm のコロニーとなって，石などに付着して生育している（**図 1，2**）。現地では，「ロン（Lon）」と呼ばれ，解熱や胃潰瘍の鎮痛，

図 1　ノストコプシスが生育するナン川

図 2　ナン川に生育するノストコプシス

図 3　ノストコプシスの顕微鏡画像

表 1　ノストコプシスの栄養成分 [6-8]

栄養素	含有量
脂質（%）	0.64
タンパク質（%）	19.1
炭水化物（%）	31.94
食物繊維（%）	2.05
ビタミン C（mg/100g dw）	1.07
ビタミン B_1（mg/100g dw）	0.12
ビタミン B_2（mg/100g dw）	0.07
ナイアシン（mg/100g dw）	2.48
カルシウム（mg/100g dw）	6405
ナトリウム（mg/100g dw）	136.9
カリウム（mg/100g dw）	0.5
マグネシウム（mg/100g dw）	265.4
鉄（mg/100g dw）	114.9
亜鉛（mg/100g dw）	0.65
セレン（μg/100g dw）	37
フィコシアニン（mg/100g dw）	11.95
アロフィコシアニン（mg/100g dw）	73.62
カロテノイド（mg/100g dw）	12.7

さらに美容に良いとされて主にサラダとして食されてきた [4]。また，インドの一部の地域でも栄養補給のためにノストコプシスが食されている [5]。しかし，近年，タイ王国では，生育域の河川の水質悪化により，ノストコプシスが姿を消して見つけることが難しくなっている。タイ国内でもロンを知らないという人が多い。

顕微鏡観察すると，枝分かれした糸状体が認められる。また，ヘテロシストも観察される（**図 3**）。ノストコプシスの栄養成分は，**表 1** に示した通りタンパク質，ミネラル，食物繊維やフィコビリン色素を豊富に含む [6-8]。炭水化物の構成糖は，主にグルコースやフルクトース，マンノース，ラムノースである [9]。

2. ノストコプシスの人工栽培

著者らは，チェンマイ大学と共同で 2008 年にナン県のナン川でノストコプシスを採取し，窒素フリーの BG11 培地にてフラスコ培養を行った。さらに，スケールアップにも成功し，200L 容培養リアクターでの人工栽培も可能となった（**図 4，5**）。

3. ノストコプシスの生理作用

ナン川から採取したノストコプシスについて，胃潰瘍抑制作用や浮腫抑制作用（抗炎症作用），鎮痛作用，ラジカル消去作用（抗酸化作用）が報告されている。一方，人工栽培したノストコプシスについては，ヒアルロニダー

図 4　ノストコプシスの人工栽培
（200L 容培養リアクター）

図 5　人工栽培にて得られたノストコプシス

ゼ阻害作用（抗炎症作用）や美白作用（チロシナーゼ阻害作用，メラニン生成阻害作用），耐糖能向上作用（血糖値上昇遅延作用）が報告されている。

3-1. 胃潰瘍抑制作用

Peerapornpisal ら [4] は，48 時間絶食させた雄 SD ラットにノストコプシスのエタノール抽出物を経口投与し，60 分後に 22±2℃で水浸拘束ストレスを負荷した。負荷 5 時間後に解剖して胃の潰瘍長を測定した。ノストコプシス・エタノール抽出物は，水浸拘束ストレスによる胃潰瘍を有意に抑制した（**表 2**）。

3-2. 浮腫抑制作用

Peerapornpisal ら [4] は，雄 SD ラットの両耳の内，外両面にノストコプシス・エタノール抽出物アセトン溶液を 3 mg/ear となるように塗布し，一定時間後にフェニルプロパルギル酸エチルアセトン溶液を 1 mg/ear となるよう同様に両耳の両面に塗布し，耳の厚さ（浮腫）を測定した。ノストコプシス･エタノール抽出物は，フェニルプロパニギル酸エチルによる耳浮腫を有意に抑制した（**表 3**）。

3-3. 鎮痛作用

Peerapornpisal ら [4] は，雄アルビノマウスにノストコプシス・エタノール抽出物を経口投与し，60 分後に 0.75％酢酸溶液を 0.1 mL/10g となるよう腹腔内投与した。酢酸投与 5 分後から 15 分間のライジング（writhing，腹腔を床に押し付けて伸びをするような身もだえ）回数を測定した。ノストコプシス･エタノール抽出物は，酢酸腹腔内投与によるライジングを有意に抑制し，鎮痛作用を示した（**表 4**）。

3-4. ラジカル消去作用（抗酸化作用）

潰瘍や炎症の発生にはラジカルが関わっていることから，ノストコプシスの胃潰瘍抑制作用や浮腫抑制作用が，ラジカル消去能に関わっているのではないかと考え，Peerapornpisal ら [4] は DPPH（1,1- ジフェニル -1- ピクリルヒドラジル）ラジカル消去能について，Thiamdao ら [6] は ABTS（2,2- アジノビス（3- エチルベンゾチアゾリン -6- スルホン酸アンモニウム））ラジカル消去能について検討した。

ノストコプシス・エタノール抽出物の DPPH50％消去濃度（IC_{50}）は 13.435 mg/mL，ABTS50％消去濃度（IC_{50}）は 5.36 mg/mL と，いずれのラジカルに対しても消去作用（抗酸化作用）を示した。

3-5. ヒアルロニダーゼ阻害作用

Sakaki ら [10] は，ノストコプシスの熱水抽出物のエタノール不溶画分に，アレルギーや炎症に関わる酵素・ヒアルロニダーゼを阻害する作用があり，その阻害活性は抗アレルギー薬の DSCG（クロモグリク酸ナトリウム）の 4 倍も高いことを報告した（**表 5**）。

その後，Yamaguchi & Koketsu [11] によって，その活性物質がグルコース，グルクロン酸，フコース，2-*O*- メチルフコース，ガラクトース，キシロースを構成糖とする多糖であることが明らかにされた。シアノバクテリアからの 2-*O*- メチルフコースの検出は初めて

表 2　ノストコプシスエタノール抽出物の胃潰瘍抑制作用 [4]

投与群	投与量 (mg/kg)	潰瘍長 (mm)*	阻害率 (%)
水（対照）		16.4 ± 3.3	-
シメチジン（潰瘍治療薬）	100	3.7 ± 1.0**	72.4
抽出物	100	6.8 ± 2.0	58.5
抽出物	500	1.0 ± 0.4**	93.9

* 平均 ±SEM，** *P*<0.001

表 3　ノストコプシスエタノール抽出物の浮腫抑制作用 [4]

投与群	阻害率（%）			
	15 分	30 分	1 時間	2 時間
フェニルブタゾン（抗炎症薬）	83	72	63	60
抽出物	62	47	27	21

フェニルブタゾン：1 mg/ear 投与

表 4　ノストコプシスエタノール抽出物の鎮痛作用 [4]

投与群	投与量 (mg/kg)	ライジング回数 *	阻害率（%）
対照		27.7 ± 2.0	
アスピリン（鎮痛薬）	150	7.6 ± 2.1**	72.6
抽出物	100	15.2 ± 1.9**	45.1
抽出物	500	3.3 ± 1.4**	88.1

* 平均 ±SEM，** *P*<0.001

表 5　ノストコプシス・熱水抽出物のヒアルロニダーゼ阻害活性（IC_{50}：50%阻害濃度）[10)]

	IC_{50} (mg/mL)*
DSCG（抗アレルギー薬）	0.1132 ± 0.0088
熱水抽出物	0.0310 ± 0.0089
熱水抽出物のエタノール不溶画分	0.0259 ± 0.0058
熱水抽出物のエタノール可溶画分	＞0.2

* 平均 ± SD

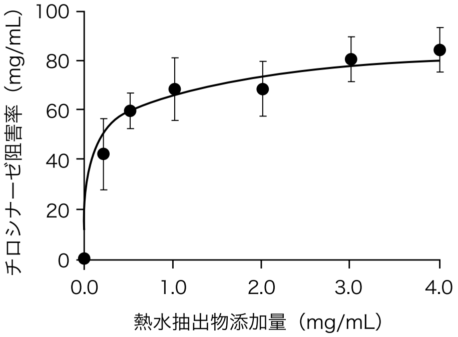


図 6　ノストコプシス熱水抽出物のチロシナーゼ阻害作用 [12)]

の報告であった。

3-6. 美白作用（チロシナーゼ阻害作用，メラニン生成阻害作用）

Yabuta ら [12)] は，ノストコプシスの熱水抽出物がチロシナーゼの作用を阻害することを見出し（**図 6**），さらにマウス B16 メラノーマ細胞を用いて，ノストコプシス・熱水抽出物がメラニン生成を有意に阻害することを明らかにした（**図 7**）。

3-7. 耐糖能作用

谷岡ら [13)] は，ノストコプシスの熱水抽出物の主要成分が水溶性食物繊維で，その構成糖は中性糖と酸性糖であることを報告した。そして，この熱水抽出物は 0.1%（w/v）の濃度で高い粘性（1.90mPaPa·s）を示すことが報告された。耐糖能試験は，18 ～ 20 時間絶食させた雄ウイスターラットにノストコプシス・熱水抽出物を経口投与し，続けてマルトースを経口投与し，一定時間ごとに尾静脈より採血して血漿中のグルコース量を測定し，マルトース投与前のグルコース量からの増加量を比較した（**図 8**）。ノストコプシス・熱水抽出物投与群において，マ

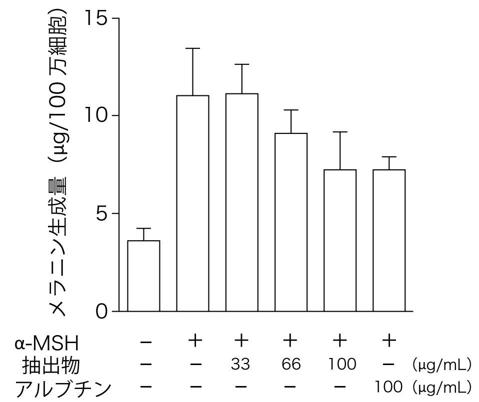


図 7　ノストコプシス熱水抽出物のメラニン生成阻害作用 [12)]

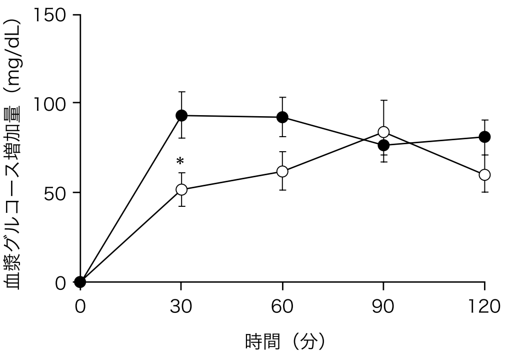


図 8　ノストコプシス熱水抽出物の耐糖能向上作用 [13)]
*P<0.05

ルトース負荷 30 分でグルコース増加量が有意に低い値を示した。その後，60 分から 90 分にかけて穏やかに上昇しており，ノストコプシス・熱水抽出物が，食後の血糖値の上昇を遅延させる作用を有していることが示唆された。

まとめ

タイ王国の一部地域で伝承薬的に用いられてきた食用シアノバクテリアのノストコプシスについて，その生理作用を中心に概説した。生育域の河川の水質悪化に伴い，野生のノストコプシスが姿を消しつつある状況の中，著者らは，チェンマイ大学との共同研究によってノストコプシスの人工栽培法を確立した。清浄な環境下で栽培したノストコプシスが，美容や健康のための食材として市場に広く受け入れられるよう，さらなる研究・開発を進めてゆきたい。

参考文献

1. Morgan HC, Moorhead KJ: SPIRULINA, Nutrex (Hawaii), 7-9, 1993.
2. 竹中 , ミドリムシの仲間がつくる地球環境と健康，成山堂書店（東京），28-29, 2017.
3. 竹中，山口：食用藍藻スイゼンジノリ，イシクラゲ，および髪菜の生理機能，*New Food Industry*, **52**, 28-34, 2010.
4. Peerapornpisal Y, Amomledpison D, Rujjanawate C, *et al*.: Two Endemic Species of Macroalgae in Nan River, Northern Thailand, as Therapeutic Agents, *ScienceAsia*, **32**, 71-76, 2006.
5. Pandey U, Pandey J: Enhanced production of high-quality biomass delta-aminolevulinic acid bilipigments, and antioxidant capacity of a food alga *Notochopsis lobatus*, *Appl. Biochem. Biotechnol*., **150**, 221-231, 2008.
6. Thiamdao S, Motham M, Pekkoh J, *et al*.: *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler (*Nostocales*), Edible Algae in Northern Thailand, Chiang Mai J.: *Sci*., **39**, 119-127, 2012.
7. Hahimoto E, Yabuta Y, Morimoto M *et al*.: Purification and Characterization of Phycobiliproteins from Edible Cyanobacterium *Nostochopsis* sp., *Food Sci. Technol. Res*., **18**, 485490, 2012.
8. Motham M, Pekkoh J, Peerapornpisal Y, *et al*.: Edible cyanobacteria (*Nostochopsis* spp.) from Glass House, Queen Sirikit Botanical Garde, Thailand, Ad. *J. Food Sci. Tech*., **6**, 303-307, 2014.
9. Motham M, Khanongnuch C, Pathom-aree W, *et al*.: POLYSACCHARIDE FROM *NOSTOCHOPSIS* SPP. IN NORTHERN THAILAND AND ITS CULTIVATION, *Proc. Int. Conf. Food Appl. Biosci*., 9-14, 2012.
10. Sakaki S, Yamaguchi Y, Tsuya H, *et al*.: Inhibitory effect ofn the activation of hyaluronidase contained in an blue-green alga, *Nostochopsis* sp. (Cyanophyta), *Algal Resources*, **5**, 17-19, 2012.
11. Yamaguchi Y, Koketsu M: Isolation and analysis of polysaccharide showing high hyaluronidase inhibitory activity in *Nostochopsis lobatus* MAC0804NAN, *J. Biosci. Bioeng*., **121**, 345-348, 2016.
12. Yabuta Y, Hashimoto E, Takeuchi T, *et al*.: Characterization of a Hot Water Extract of an Edible Cyanobacterium *Nostochopsis* sp. for Use as an Ingredient in Cosmetics, *Food Sci. Technol. Res*., **20**, 505-507, 2014.
13. 谷岡，美藤，竹内，他：食用藍藻ノストコプシスの熱水抽出物の成分とラットにおける血糖値上昇遅延効果，日本食品科学工学会誌 , **64**, 38-42, 2017.

世界の学食 (3)
―上海交通大学

School cafeteria in the world (3)
- Cafeterias in Minhang Campus of Shanghai Jiao Tong University

史 海 霞 (*SHI Haixia*)[1]　阎 泽 昆 (*YAN Zekun*)[2]　韦 博 森 (*WEI Bosen*)[3]　坂上　宏 (*SAKAGAMI Hiroshi*)[4]

[1] 上海交通大学医学院附属第九人民医院，[2] 上海交通大学电子信息与电气工程学院
[3] 上海公安学院，[4] 明海大学歯科医学総合研究所

はじめに

上海交通大学は中華人民共和国教育省直轄の国家重要大学であり，上海市と共同で設立されました。旧南洋公学として知られており，1896 年に有名な現代中国の実業家・教育者である盛宣怀によって設立され，中国の高等教育の複数の源の一つです。大学には，経済学，法学，文学，理学，工学，農学，医学，管理学，美術などの 9 つのキャリアをカバーする 64 の専攻があります。現在，徐汇，闵行，黄浦，长宁，七宝，浦东のキャンパスがあり，総面積は 300 万 m^2 以上です。そのうち，闵行キャンパスは最大のキャンパスであり，学生寮は 94 棟，総建築面積は 30 万 9000m^2 です。東地区と西地区の 2 つの地域に分かれ，合計 2 万人以上の学部生と大学院生がいます。このエリアには，病院, 郵便局, 銀行, 映画館, 学生活動センター，様々なタイプのスタジアム施設があり，比較的独立したコミュニティを形成しています。

1. 上海交通大学のカフェテリア

闵行キャンパス（図 1）には異なる場所に 7 つのカフェテリアがあり，近くの寮に住む学生にアクセスしやすいようになっています（図 2)。それは，西地区にある第 1 ～ 6 号ケータリングビルとハローハウスです。3 番目のレス

Introduction

Shanghai Jiao Tong University (SJTU) is a national key university directly under the control of Ministry of Education of the People's Republic of China and jointly established with Shanghai. Formerly known as Nan Yang Public School, founded in 1896 by the famous modern Chinese industrialist and educator Sheng Xuanhuai, it is one of the multiple sources of Chinese higher education. The University has 64 undergraduate majors, covering nine careers such as economics, law, literature, science, engineering, agronomy, medicine, management and art. The University currently has campuses of Xuhui, Minhang, Huangpu, Changning, Qibao and Pudong, covering a total area of more than 3 million square meters. Among them, Minhang Campus is the biggest Campus which has 94 student dormitories and total construction area is 309,000 square meters. It is divided into two regions: the East district and the West district, with a total of more than 20,000 undergraduates and graduate students. There are hospitals, post offices, banks, cinemas, student activity centers, and various types of stadium facilities in this area, forming a relatively independent community.

1. Cafeterias in Shanghai Jiao Tong University

In Min hang campus (**Figure 1**), there are total of seven cafeterias, located in different places, making students living in near-by dormitories more accessible (**Figure 2**). They are No.1 to No.6 Catering Buildings and Hallo House which

Figure 1　Panoramic view of SJTU Minhang campus

Figure 2. Cafeterias in SJTU Minhang campus

トランは涵泽湖に近く，夕食後は夏にハスを楽しむことができます。大学院生は独立した居住区域を持っているので，４番目のカフェテリアは大学院の学生寮の区域にあり，李政道図書館の隣にあります。５番目と６番目のカフェテリアは学習区域に，５番目のカフェ

is located in the West district. The third restaurant building is close to Lake Hanze and you can enjoy the lotus in the summer after dinner. Since the graduate students have an independent living area, the fourth cafeteria is located at the graduate student dormitory area and next to Li Zhengdao Library. The fifth and sixth cafeterias are located

テリアは電子情報・電気工学科の近くに，6番目のカフェテリアはキャンパスの東部の実験用建物の間にあります。

一般的なレストランの建物は，伝統的なフロアと自ら選択したフロアで構成されています。伝統的なフロアはほとんどが1階にあり，1日3食を提供しています。2階以上は主にセルフサービスのレストランで，お好みの食事を自由に選ぶことができます。

支払い方式：伝統的なカフェテリアは，主に大学生にサービスを提供し，学生カードにより支払いを済ませています。ギムリッドのような西洋風レストラン，カフェ，5番目のケータリングビルにある幾つかの小さな独立したカフェテリアでは，オンライン決済をサポートしています。また，西地区にあるハローハウスでは，クレジットカードと現金で支払いができ，さらに，駐車スペース，オンラインメニュー，朝食，ルームサービスが提供されます。

営業時間：住居区域近くのカフェテリアの営業は，午前6:00には始まり，午後8時に終わります。一部の窓は朝から正午まで開いており，通常はラビオリなどの朝食やランチに適した料理を提供しています。午後には4:30までに食べ物はありません。さらに，第1カフェテリアは，夕方7時から8時まではシンプルな会合場所になります（表1）。

3回の食事の組み立て：朝食は，ケーキ，パンや他の小麦粉，豆乳とお粥をベースにしています。昼食と夕食は非常に多様で，主食は主に米ですが，ゲスト用のお食事，料理，そして，鉄板焼，鍋，鉄炒飯など特別メニューなど，多数のおかずがあります。幾つかのカフェテリアでは，ステーキを食べることができます。様々な種類のパスタがあります（図3）。

at learning area, the fifth cafeteria is close to the School of Electronic Information and Electrical Engineering and sixth cafeteria is located between the experimental buildings in the eastern part of the campus.

The general restaurant building consists of traditional floors and self-selected floors. The traditional floors are mostly on the first floor, providing people with three meals a day. The second floor and above are mostly self-service restaurants where you are free to choose your favorite diet.

How to pay: The traditional cafeterias mainly serve the students in the school and completes payment through student cards. Western restaurants such as gimlid, Cafes and a few small independent cafeterias in the fifth catering building support online payment.In addition, the Hallo House which is located in the west district also allows the payment by credit card and cash. Furthermore, they have parking space, provide an online menu, breakfast and room service.

Business hours: The cafeterias near the living area start as early as 6:00 am and ends at 8:00 pm. Some of the windows are open from morning until noon, and usually provide foods suitable for both breakfast and lunch, such as ravioli. In the afternoon, there is no food supply before 4:30. In addition, the 1st. cafeteria can be a simple meeting place at 7:00 to 8:00 pm in the evening (**Table 1**).

The structure of the three meals: Breakfast is based on cakes, buns and other flours as well as soy milk and porridge. Lunch and dinner are very varied, the staple food is mainly rice, but there are many side dishes, including ordinary guest meals, cooking, something special, such as Griddle, Hotpot, Iron Fried Rice, etc. Also, simple Western food such as steaks are available in some cafeterias. There are also various kinds of pasta (**Figure 3**)

2. カフェテリアで最も人気のある食べ物

中国は広大な土地と豊かな食文化を持っている。住んでいる場所によって食べ物が異なるので，どのような食べ物が最も人気があるのかを言えません。基本的に，人々は家庭料理を食べ

2. Most popular foods in cafeterias

The food usually differs depending on where you are living, because China has a vast land and a rich food culture. Therefore, it’s hardly to say what kind of food is the most popular. Basically, people prefer

Table 1　Shanghai Jiao Tong University Cafeteria's Business Hours

Cafeteria's name		Breakfast	Lunch	Dinner	Payment		
					Campus Card	Credit Card or Casah	On Line
1 st.	Main restaurant	○	○	○	○		
	Temporary canteen		○	○	○		
2 nd.	Main restaurant	○	○	○	○		
	Western cafeteria		○	○	○		
	Temporary canteen		○	○	○		
	Lu Yuan		○	○	○		
3 rd.	Main restaurant	○	○	○	○		
	Temporary canteen		○	○	○		
4 th.	Main restaurant	○	○	○	○		
	Temporary canteen		○	○	○		
5 th.	Main restaurant	○	○	○	○		
	Temporary canteen		○	○	○		○
	Gimlid piza		○	○	○	○	○
6 th.	Main restaurant	○	○	○	○		
	Temporary canteen		○	○	○	○	○
Gimlid	Western cafeteria		○	○		○	○
Hallo House			○	○		○	○
Uni.Cafe			○	○	○	○	○

Figure 3　Cafeteria's business in SJTU Minhang campus

る方が好きです。たとえば，第一番目のカフェテリアでは，１階の朝食は赤っぽいお粥，インドのフライケーキ，保存された卵のお粥，揚げた餃子などの朝食が大変人気があります。夕食には，材料の多様性と手頃な価格のマラ・タンが学校全体で有名です。 新疆レストランの２階で

to eat home cooking rather than others. For example, in 1st Cafeteria, breakfasts, such as bloody rice porridge, Indian fly cake, preserved egg porridge, fried dumplings, and so on are very popular in the first floor. For dinner, Malatang due to its diversity of ingredients and the affordable price is famous

Figure 4　Most popular foods in cafeterias

は，小さなチキンライス，ローストビーフライス，ラムケバブが人気があります。２番目のカフェテリアのキッシュとフライドパッケージもとても美味しくて人気があります(図４)。しかし，一般的には，最高の品質の食事ができるのは４番目のカフェテリアであると思われています。１階の朝食は他のすべての食堂よりも優れていま

in the whole school. The second floor of Xinjiang Restaurant is also popular with small chicken rice, roast beef rice and lamb kebab. The 2 nd. cafeteria's Quiche and Fried package are also very delicious and popular (**Figure 4**). However, it is generally believed that the highest quality of diet can be tasted in 4th. Cafeteria. The breakfast on the ground floor

す。毎朝，いつも満員で，空席を見つけるのは難しいのは不思議ではありません。人気食品には，焼きソバ，ダンダン麺，豆腐脳，ラビオリ，チキンヌードル，米とゴールデンケーキ，ホタテ貝などの様々な小さなスナックなどが添えられたスパイシーチキンなどがあります。

is better than all other canteens. It's no wonder that every morning is always full, and it's difficult to find a seat. The popular food such as Burning noodles, Dandan noodles, Tofu brain, Ravioli, Chicken noodles, Spicy chicken with rice and various small snacks, such as Golden cake, Scallops, etc.

3. 最も特徴的なカフェテリア

最も特徴的なカフェテリアは第 5 食堂です。それは建物の建築様式で有名であるだけでなく，外婆桥，学生餐庁，东湖面馆，ユニバーシティカフェのような多くの別個のレストランで構成されています。

また，主要な図書館の中には「创咖」という名前の大学生起業家団体によって開かれたドリンクショップがあります。非常に人気があり，ミルクキャップやミルクティーのような飲み物を扱っています（図 2）。

3. The most distinctive cafeteria

The most distinctive cafeteria is the 5th.cafeteria. It is not only famous of the building’s architectural style, but also consists of many separate restaurant, like Grandma Bridge, Student Cafeteria, Donghu Noodle House and University Cafe.

In addition, there is a drink shop opened by a college student entrepreneurial organization named “Chuang Café” inside the main library. It is very popular and provides drinks like milk caps and milk tea (Figure 2).

4. キャンパス内のそれ他のカフェテリア

毎日のメインミールを提供するカフェテリアに加えて，デートをしたければコーヒーやアフタヌーンティーを提供するスウィートカフェ，タイムコーヒー，タイムタワーもあります。タイムカフェの隣には良い雰囲気の涵洋湖があります。焼かれたワッフルは，クリスピーで，内側が柔らかく，濃いミルクの香りが漂い，ゆっくり溶けるアイスクリームが付いています。アフタヌーンティーと絶妙のコンビです。果物やジュースが好きな女の子は，ヘイジュース，果物＆野菜デイリー, バオトゥフルーツショップ, 学生自主営業のオンラインフルーツショップでお気に入りを購入することができます。

さらに，キャンパス内にはファミリーマートや無人のペストリーショップなどのコンビニエンスストアやカフェがいくつかあります。 24 時間営業しています。時間の観点からは，特に最終試験週では，24 時間のショップが学生にとって最も便利です。さらに，テイクアウトは多くの大都市で普及しており，アプリを使用することで，いつでもほとんどすべてを購入できます。

4. Additional cafeterias in campus

In addition to these cafeterias that provide daily main meals, if you want to date, there is also Sweet Cafe, Time Coffee, and Time Tower that serve coffee and afternoon tea. Next to Time Café is Lake Hanze, with a good atmosphere. The baked waffles are crispy and soft inside, with thick milk aroma, with a topping of slowly melting ice cream. It is the best companion for afternoon tea. Girls who love fruits and juices can also buy their favorites at Hey Juice, Fruit and Vegetable Daily, Baotu Fruit Shop and students' own online fruit shop.

Furthermore, there are several convenience stores and cafes in the campus, such as Family Mart and unattended pastry shop. It stays open 24 hours a day. From the point of the operation time, especially in the final exams week, twenty-four hours’ shop is most convenient for the students. In addition, takeout is popular in many big cities. You can buy almost everything at any time by using APP.

原稿を書き終えて

史海霞先生は，上海交通大学医学院附属第九人民医院で漢方医としてがん患者の治療にあたっている。この度，日本歯科大学生命学部薬理学講座の肖黎先生（史海霞先生の旧友であり，国際的コミュニケーション能力の重要性シリーズの共同執筆者）の紹介により，今年の２月末より，私の研究室で史先生と共同研究を開始することができた。上海交通大学の口腔医学院は中国では最も権威ある大学と聞く。史海霞先生とのコラボにより，日中友好に役立つ研究成果を残したい。

以下は上海交通大学の青少年ボランティアサービス団体の微博の公式ウェブサイトです。
上海交通大学青年志愿者服务总队官方微博
https://www.weibo.com/sjtufina2011

After writing up the manuscript

Dr. Shi Haixia is in charge of treating cancer patients in Department of Traditional Chinese Medicine, Shanghai Ninth People's Hospital, affiliated to Shanghai Jia tong University School of Medicine. This time, from the end of this February, I could start the collaboration study with Dr. Shi, *via* the introduction of Dr. Xiao Li (Nippon Dental University) who is an old friend of Dr. Shi and a coauthor of a series of importance of international communication skills in New Food Industry. I hear that School of Stomatology in Shanghai Jiao Tong University is the most prestigious in China. I would like to perform collaboration with her that surely constructs strong Shino-Japan friendship.

The following is the official Weibo website of Shanghai Jiao Tong University Youth Volunteer Service Corps.
上海交通大学青年志愿者服务总队官方微博
https://www.weibo.com/sjtufina2011

連絡先
史海霞
上海市宝山区漠河路 280 号 , 201900
上海交通大学医学院附属第九人民医院
+86 21 56691101ex6627
e-mail: haixia.0101@163.com

坂上　宏
明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO)　http://www.meikai.ac.jp/dent/m-rio.html
リサーチマップ　http://researchmap.jp/read0025533/
e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp

Naoko Ryde Nishioka

デンマークは，数年にわたり世界で一番幸せな国に選ばれたこともあり，世界一幸せな国民として，日本でも世界でも広く認識されています。デンマーク自身もその事実を誇らしく思っており，自慢はしないものの (デンマーク人は謙虚さを美徳とするところがある)，誇りに思っているこ とは確かなようです。さて，世界一幸せな国民として注目のあつまったデンマークですが，その生 活面では，デンマーク流ヒュッゲ (Hygge) が世界で注目されています。Hygge は，デンマーク人 に深く根差すコンセプトで，心地のいい素敵な時間を過ごす，ことをさします。ヒュッゲは，数々 の本にも登場し，世界各地に紹介されており，デンマーク人が世界一幸せであることに一役買っ ている概念のようです。

夏のパーティをマンションの公園でする人々

今回は，デンマークの夏のヒュッゲについて少し紹介したいと思います。 デンマーク人はヒュッゲすることがとても上手で，いろんな場面でデンマーク人のヒュッゲを目 撃することができます。特に夏は，天気がよければ，街角や公園，ビーチなど，さまざまな場面で，心地のいいひと時をすごすデンマーク人をみかけることができます。先月号でもふれましたが，デンマークの今年の夏は，干ばつと言われるほど，雨のない夏が続いていますので，外でエンジョイする人も例年より多いようです。夏休みは 7 月にピークを迎え，多くの人が 3 週間から 4 週間の 夏休みをエンジョイしますが，夏休みといえば，サマーハウス (別荘のことをこう呼ぶ) に家族や 友人と行く人が多くいます。サマーハウスは，通常は自然豊かな場所に位置し，毎日ゆったりと，せかせかせずに過ごすことを目的として，泊まりに行きます。毎日いろんなところにでかける，と いうよりは，家族や友人と，ゆっくり何もせずにサマーハウスで過ごすこともヒュッゲの一つな のでしょう。自宅から離れて，サマーハウスという特別な環境に身を置くことで，心からヒュッゲ することが可能なのだと思います。サマーハウスは，自分で所有している人も多くいますが，友人 や知

夏の晴れた日にビーチでヒュッゲする人々

芝生の上で誕生日会ピクニック

人のサマーハウスを数日間借りたり，レンタル専門のサマーハウスを１週間単位で借りたりする場合も多くあります。

サマーハウス以外に夏によく見かけるヒュッゲとしては，ピクニックもあります。ピクニックといっ ても，大げさなものではなく，晴れの日に，公園や，林，ビーチなどで，敷物をしいて，家族や友 人たちとヒュッゲするという感じです。敷物は日本のようなビニールシートを使う人はほとんどな く，タオルやラグ (小さな, 薄めのカーペットとのようなもの)，キルティングなどが主です。な によりもヒュッゲできることが大切なので，ビニールだと，実用的ではあっても，ヒュッゲに適 さないということなのかもしれません。

では，ピクニックではどんなものを食べるのでしょうか？まず，飲み物には，保温効果のある容器 にいれてもってくるコーヒーや紅茶などが欠かせません。食事時であれば，ブレッドロール (手の ひらサイズのパンで，それを半分にして，バターやチーズ，ジャムを付けて食べることが多い) を 持ってくる人も多いでしょう。日本のような，おかずが豊富につまったお弁当を持ってくる人はま ずいません。そして, フルーツも歓迎される食材です。デンマークはEUの一国であるせいもあ り, さまざまなフルーツが割とリーズナブルな価格で手に入ります。ラズベリーやイチゴなど, デ ンマークの現地でとれるものから, メロンやキューイフルーツ, マンゴーなど, 輸入フルーツまで，スーパーには色とりどりのフルーツが並んでいますので，それを切って容器にいれて持ってくる人 も多くいます。フルーツの他には，もちろんケーキもピクニックにもってくる人気アイテムです。 スーパーで，出来合いのケーキを買ってもってくるもよし，家で作るホームメードケーキをもって

くるもよし，一緒にいる人と，素敵な時間を過ごす目的が果たせればそれでよいのです。これらが ピクニックの定番ですが，もちろん若者の集いとしてのピクニックの場合は，昼間でもビールやお 酒を芝生の上で飲んでいたりと，さまざまです。子供の誕生日会をピクニックで行うことも珍しく なく，その際には，敷物の周りに，デンマークの旗が並び，子供たちがワイワイがやがやと，ケーキを食べたり周辺を走り回ったりする光景が見られます。

暗い冬になる前に，思う存分夏を満喫しヒュッゲするデンマーク人の姿をみるたびに，ストレスの多い現代社会に，必要なヒュッゲを取り入れることが，人生の質の向上につながっているのだ なと感じることができます。

野山の花

― 身近な山野草の食効・薬効 ―

城西大学薬学部　白瀧 義明（*SHIRATAKI Yoshiaki*）

クコ　*Lycium chinense* Miller（ナス科 Solanaceae）

夏が過ぎ，朝夕，涼しくなる頃，道端を歩いていると，紫色をした小さな花をつけた灌木を見かけることがあります。これがクコです。クコは，東アジアの熱帯から温帯にかけて分布するナス科の落葉小低木で，海岸，河原，田畑の畦，空き地の周囲など，人の手が加わりやすく，高木が茂っていない環境によく合い，北アメリカなどにも分布を広げています。枝は長さ 1m 以上，太さは数 mm ～ 1cm ほどで，地上部は束状をなし，細くしなやかで上向きに多くの枝を伸ばします。枝には 2 ～ 5cm 程度の葉と 1 ～ 2cm 程度の棘が互生しますが，あまり枝分かれはせず，垂直方向以外にも匍匐茎を伸ばし繁茂します。開花期は夏～初秋，直径 1cm ほどの小さな薄紫色の花が咲き，

写真 1　クコ（花）

写真 2　クコ（果実）

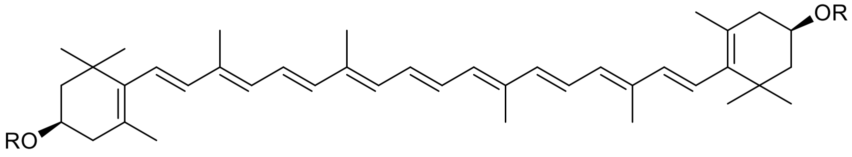
写真 3　クコシの入った薬膳スープ

写真 4　生薬：クコシ（枸杞子）

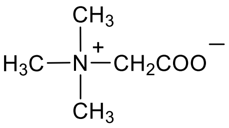
写真５　生薬：ジコッピ（地骨皮）

秋には，長径１～1.5cm ほどの楕円形をした赤い果実をつけます。クコは非常に強い植物で，葉を虫に食べられ裸同然になった状態でも生き続け，数年後にはまとまった群落となったところをしばしば見かけます。

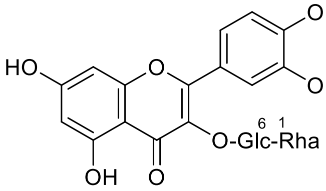
クコの果実，根皮，葉は，食用や薬用に利用され，それぞれクコシ（枸杞子，Lycii Fructus），ジコッピ（地骨皮，Lycii Cortex），クコヨウ（枸杞葉，Lycii Folium）という名の生薬となり，中国華北寧夏地区で多く栽培されているナガバクコ *Lycium barbarum* も同様に生薬として利用



	R
zeaxanthin	H
physalien	$CH_3-(CH_2)_{14}-CO-$

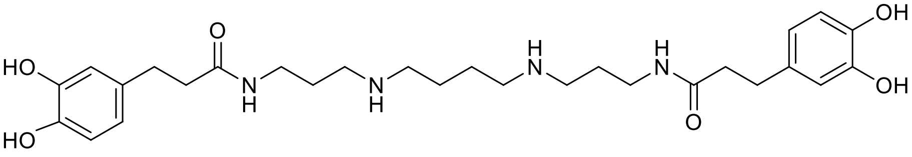


betaine

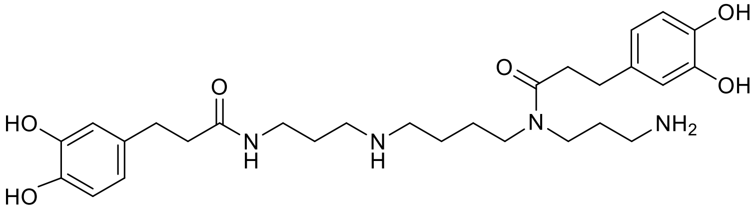


rutin

Glc = glucose
Rha = rhamnose



kukoamine A



kukoamine B

図１　成分の構造式

されます。クコシは精神が萎えているのを強くする作用があるとして，肝腎を滋補し，虚労，腰膝の疼痛，無力感，めまい，頭暈（ずうん），頭痛，消渇などに応用し，杞菊地黄丸（こぎくじおうがん）などに配剤されます。ジコッピは血熱を冷ます薬能があるとして，血糖降下，血圧降下，解熱作用を期待し，清心蓮子飲（せいしんれんしいん），滋陰至宝湯（じいんしほうとう）などに配剤されます。ジコッピの名は，生薬の形が骨に似ていることによります。また，クコヨウは血圧降下などを期待し，クコ茶にして民間的に飲まれています。成分としては，果実からアミノ酸のグリシン誘導体の betaine, カロテノイドの zeaxanthin, physalien など，根皮から betaine, アルカロイドの kukoamine A, B など，葉からフラボノイドの rutin などが報告されています。その他，果実は酒に漬けこんでクコ酒にする他，生食やドライフルーツにも利用され，薬膳として粥の具や杏仁豆腐のトッピングにも利用されます。また，柔らかい若葉も食用にされるなど，クコはなかなか重宝な植物です。

―蚕からの贈り物２―

中村　照子（*NAKAMURA Teruko*）

はじめに

我が家には大きな桑の木があります。蚕の研究をしていた 20 年ほど前，桑の小枝を京都工芸繊維大学付属農場から分けていただき，自宅の庭に植えました。特に手入れもせず放っておいてもたくましく成長し 20 年近い歳月を経て見事な大木となり，私の長年に亘る蚕研究に大きな役割を担ってくれました。研究から少し遠のいた現在でも，たわわに繁る桑の葉を眺めると，私は当時研究していた蚕に思いを馳せ，まるで乳飲み子に乳を含ませるがごとく蚕に美しい桑の葉を与えたくなります。

§．桑の木について

桑は古来より日本国内に自生しており，現在世界では 2000 〜 3000 品種もあり熱帯から亜寒帯にまで広く分布しています。日本にも 200 種類ほどの桑があります。

今でこそ桑は蚕の飼料樹という概念が定着していますが以前はそうではありませんでした。桑は薬草中，不老長寿の妙薬として伝えられ，古く西暦 500 年頃に纏められた中国最古の本草学の書物「神農本草経」では，桑をお茶代わりに飲めば口喝をとめる，即ち糖尿病に効果があると書かれています。日本では臨済宗の祖，栄西（ようさい）禅師が鎌倉時代に著した医書「喫茶養生記」の下巻はほとんどが桑の効用について書かれています。【飲水の病，中風･手足心に従わざる病，不食の病，脚気の病は皆末世鬼魅の致すところなり。皆桑を以って治することは口伝を東医に受くるあり。又桑の樹は是，諸仏菩薩の樹なり，この樹を携えれば，天魔を猶お以て競わず，呪んや諸余の鬼魅，附近せんや。】先人は経験的に桑の薬効の高さに注目し，糖尿病や動脈硬化，脳梗塞などに効果があることを説いていたのです。さらに桑の樹を植えれば厄払いとなり災いから守られるとも書かれています。昔から御神木と崇められ尊ばれてきた所以が納得できます。私も我が家の守り神の樹として大切にしています。

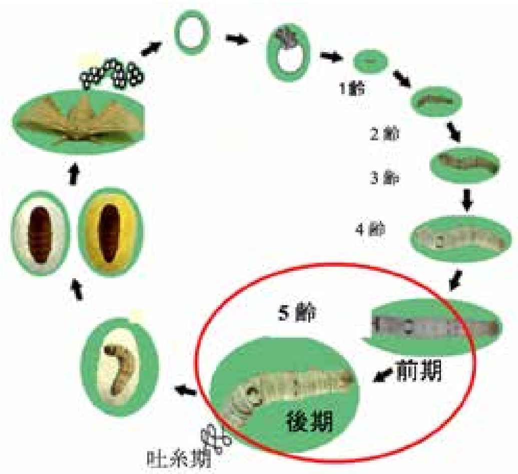
このように古くから親しまれてきた桑ですが，今から三十数年ほど前，ある製薬会社によって桑の成分である 1- デオキシノジリマイシン（DNJ）という血糖降下作用をもつ物質が発見され，そのメカニズムを明らかにしました。当時はモラノリンと名付けられましたが，残念ながら様々な理由で実用化には至りませんでした。DNJ は桑に特に多量に含有し，桑以外ではわずかな植物（つゆ草の栽培種）に見つかっているだけです。さらに桑には DNJ 以外にも N 置換糖が数種類発見されており単なる糖吸収阻害だけでなくインシュリン分泌への影響なども解明され，糖尿病患者およびその予備軍の人々への健康維持食品として期待が高まりました。その他カルシウム，カリウムなどのミネラルも多く含みビタミン C をはじめカロチノイド類やフラボノイド類も豊富です。整腸作用，血圧抑制，美肌効果，ダイエット効果，動脈硬化の改善などという優れた健康素材として注目を浴びてきました。しかしながら DNJ の含有量は桑の葉の種類や収穫の季節によっても微妙な差異があります。夏の時期の桑の葉の DNJ 量が最も高いという研究報告もあります。一言で健康食品といってもどの時期のどんな桑の葉を選ぶのか，さらには乾燥や滅菌など加工の技術にも細心の注意が必要です。食品と同様に注意深く吟味をしなければなりません。健康食品

としてネットなどで販売しているのを見ると栽培条件や製造方法のデーターの明記が乏しく少々心配になってしまうのも事実です。

§．蚕という生物

桑の話が長くなりましたが，本稿の主人公である蚕に話を戻しましょう。

蚕は桑の葉だけを食べ 50 日間のライフサイクルをもつ昆虫です。その体重は 50 日間で約 1 万倍に増加，体長は 25 ～ 30 倍にも成長します。約 7 ～ 8㎝の身体から 1000m にも及ぶ美しい生糸を短期間に績みだすというまさにパワフルで神秘の生物です。飼育温度は 25 度前後を保ち，清潔な環境でしか育たないデリケートな昆虫です。たばこの煙や水分，騒音，にも敏感に反応し病気になってしまいます。蚕の歴史をひも解くと，およそ 6000 年前くらいから，現在の中国揚子江流域で飼育が始まったと考えられています。この地域のカバト遺跡から蚕の模様の入った杖飾りや絹が見つかっています。



Life cycle of silkworm（*Bombyx mori*）
約 50 日のライフサイクル

日本では今から 2500 年位前，弥生時代の前期末の遺跡である福岡市早良区（サワラ）区の有田遺跡から最古の絹が出土しています。因みに，弥生時代の絹が出土した遺跡はほとんどすべて北部九州に分布しており，諸説はありますが，日本の蚕は北部九州から始まったと考えられています。（これは華中ルート，米が入ってきたルートと同じと考えられています）種類については世界中に約 3000 品種もの蚕がいます。日本では 1600 年から 1700 年頃に蚕に品種らしきものが出現しました（土繭，きんこまゆ，小まる丸他）が，それらの品種は現存していません。1790 年頃以降の品種のいくつかは現存しており中でも小石丸，世界一，青白，などという品種が知られています。

養蚕業が盛んとなり生糸産業の華やかなりし時代には振興のため丈夫で美しい生糸を何よりも大量生産するため，品種改良が必要となり交配が繰り返されてきました。そんな中で現在国内では純粋の日本種は数少なくなり日中交雑種や日欧交雑種が大部分を占めて 300 品種以上といわれています。

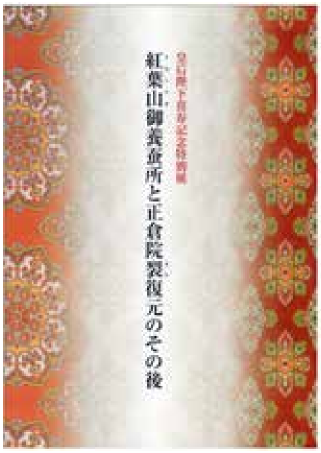
数少ない日本古来の在来種の蚕の代表と言われているのが小石丸という蚕です。繭型は古来在来種の特徴である俵型（ピーナツ型）に窪んだ純白の小粒な繭。小石丸の作る生糸は大変細く，にもかかわらず大変強く毛羽立ちが少ないのが特徴です。しかしながら，あまりにも小粒で繭糸量が少ないうえ，生糸量歩合などの理由で経済性に欠けるということから，徐々に実用品種からその姿が遠のいたといわれています。

絹糸精錬後の線維断面

品種名	断面積 μ㎡	断面完全度
錦秋×鐘和	136.10	62.56
小石丸	**66.00**	**71.13**
カンボージュ	71.40	23.86

§．小石丸と正倉院御物の絹織物模造復元

最近になってこの小石丸の絹糸にスポットライトが当たりました。この絹糸こそが，古代に使



皇后様の喜寿記念出版

皇后様の古希記念出版

日中交雑種　**小石丸**　日欧交雑種

われていた宝物の糸に最も近いということが科学的に証明されたのです。

正倉院が御物の絹織物の模造復元を進める中でのことです。古代の糸に近い絹を模索して調査研究を行いました。その結果，まさにこの小石丸の絹糸が古代の細い絹糸に最も類似しており，ふさわしいと科学的に証明されました。そこで 1994 年から 10 年がかりで小石丸の増産を図りました。しかし思うようには増産が出来なかったようです。なぜかというと前述のように小石丸の繭は通常の繭とは違い，小粒でさらにピーナツ型をしています。糸の量はくびれの分だけ少なく，経済性を求めると効率が悪いため徐々に廃れていく方向にありました。

そこで注目を集めたのが美智子皇后さまの行われている皇室の御養蚕でした。正倉院は小石丸の絹糸を分けていただけないかと宮内庁に依頼をしたのです。

§．皇后御親蚕

皇室では 1500 年前より“皇后御親蚕”という形で伝統文化として養蚕が引き継がれています。一時中断した時期もありますが明治 4 年，照憲皇太后の時代から復活し，その後大正，昭和，平成へと歴代皇后に受け継がれました。養蚕場は，江戸時代徳川家康以下歴代将軍の霊廟があったとされる場所に紅葉山御養蚕所が大正 3 年に建てられています。紅葉山養蚕所では一般的な日中交雑種，日欧交雑種をはじめ，日本の純粋種の小石丸を桑で飼育され，さらには天蚕（てんさん）というクヌギを飼料とする蚕をも育てておられます。

養蚕の行事や作業は「御養蚕初めの儀」「御養蚕納めの儀」を始めとし，桑摘み，給桑，上蔟，初繭掻き，藁蔟（わらまぶし），収繭，など多種にわたります。美智子皇后さまはお忙しいご公務の合間を縫ってお出ましになり，年によっては二か月余りの間に 20 回近くにも及ぶことがあるそうです。

小石丸については，実はその頃，皇居内でも養蚕の中止が検討されたことがありました。が，美智子皇后さまの強い願いで継続されたそうです。当初，小石丸の生産は 7kg でした。しかし宝

物の修復には毎年 40kg の小石丸の絹糸が必要であったと記されています。美智子皇后さまは正倉院に協力を御決意され，10 年で約 400kg の絹糸を生産されたそうです。正倉院は美智子皇后さまの育てられた小石丸の美しい絹糸を拝用することにより宝物鎌倉時代の絵巻物「春日権現験記絵」を修復することができました。美智子皇后さまの育てられた小石丸の絹糸は「春日権現験記絵」を瑞々しく甦らせたのです。

今年の 5 月，皇室恒例行事「御養蚕初めの儀」のお出ましの際，平成の世の終結とともに，今年が美智子皇后さまにとって最後の御養蚕であるとの報道をうけ，とても寂しい気持ちがしたのは私だけではなかったでしょう。新しい年号となり新皇后の御代になっても皇室の御養蚕は引き継がれ日本の伝統文化として息づいていくことを切に願っています。

美智子皇后さまは平成 2 年に御養蚕を引き継がれてから, 毎年 5 月初旬から春蚕の飼育をなさっておられます。1992 年の宮中歌会始の俳句（お題　風）に次のような句を詠まれています。

葉かげなる　天蚕は深く　眠りいて くぬぎのこずえ　風渡りゆく（美智子皇后）

葛城市當麻寺の国宝綴織當麻曼荼羅は，「糸のみほとけ」を中将姫という女性が蓮の糸で一夜のうちに織り上げたという伝説があります。なんとも幽玄で美しい万葉伝説です。

秋の正倉院展でいつの日か「春日権現験記絵」にお目にかかれたなら，美しき皇后さまの伝説を秘めた想いとともにそして心静かに拝謁したいと願っています。

§. 奈良国立博物館、特別展「糸のみほとけ」を観て

今夏，奈良国立博物館では 7 月 14 日から 8 月 26 日まで「糸のみほとけ」と題し「国宝綴織當麻曼荼羅（當麻寺）」の修理完成を記念して刺繍による仏の像，綴織當麻曼荼羅，天寿国繍帳，刺繍釈迦如来説法図の国宝 3 点が一堂に集まる特別展が行われ，千年の時を超え，なお燦然と輝く至宝の数々が公開されました。

古代から近世に至る織成像と繍物の名品が一堂に会した特別展は，幽玄かつ荘厳であり驚愕しました。それは仏画とも違う，糸が生み出す仏の世界の美麗さを丁寧な刺繍によって，奥行きや幅感も表現され多彩かつ緻密な技法で編み出した世界です。色彩にも刺繍の様式にも各時代の特徴があり時代とともに変遷していく様子がよくうかがえました。

飛鳥時代，日本最初の造像は飛鳥寺の繍仏（丈六仏）であったということを知り，さらにこの時代の刺繍は撚りのある糸を用いて緻密であり素朴な力強さを感じさせるものでした。織物や刺繍は女性の信仰とも結びついており，その代表例が奈良中宮寺の天寿国繍帳。この作品は聖徳太子を偲び妃の一人である橘大郎女が発願し，推古天皇が宮中の采女たちに刺繍をさせた帳であり，現存する我が国最古の刺繍作品として有名です。

奈良時代後期，天平宝字 7 年（763 年）に奈良盆地の西南の霊峰，二上山の麓にある當麻寺で出家した高貴な姫（中将姫）の祈りに応え, 阿弥陀の化身が尼姿で現れて蓮を集め, 観音の化身（化女，織女）が一晩で織り上げたという伝説の曼荼羅が出現します。絶大な信仰を集めているこの曼荼羅は縦，横ともに 4 メートルにも及ぶ巨大な古代綴織の大作，綴織當麻曼荼羅です。綴織は

刺繍に比べるとはるかに制作に時間を要します。古代寺院に祀られた繍仏の大幅の多くは失われ，綴織當麻曼荼羅は古代における「糸のみほとけ」の偉容を伝える貴重な作品で世界でもこれが唯一であり，奇跡の繍仏とも言われています。作品は阿弥陀如来を中心に仏菩薩が囲む阿弥陀浄土を表していますが，大幅でありさらに退色しているために阿弥陀さまの御尊顔や全体像は近くでは確認しにくく，やや遠望で一層美しい浄土の姿を鑑賞できました。

刺繍釈迦如来説法図は我が国に伝わる古代の繍仏で最も大きくかつ完成度の高い作品で，中央に鮮やかな赤い袈裟をまとい座に腰掛ける釈迦如来を表しています。正面には一人の女性が釈迦と向き合いこの女性が摩耶夫人（まやぶにん）という説も有名です。

平安時代になると仏画の隆盛とともに繍仏の造立は急激に減少しますが，その繍技法は奈良時代の力強さとは違う絹糸の美麗さを感じます。さらに鎌倉時代に入ると繍仏は飛躍的に増え古代とは違うかたちで再び黄金期を迎えます。さらには髪を繍いこむ髪繍という技法なども始まり時代は近世へと繋がっていきます。

百を超える繍仏を鑑賞し，荘厳な「糸のみほとけ」に接し身も心をも洗われました。
さらにはこれらの刺繍や綴織を支え続けたのは「糸」だということをあらためて思いました。蚕という生物の絹糸腺から吐き出すあの極微の生糸から，繭を作り，そこからは人の手を借りて真綿にし，引き伸ばしながら手で撚りをかけた紬糸，それこそがみほとけを繍する絹糸であるということをあらためて感じずにはいられませんでした。

糸束を操る人の心が繍仏という美しい作品となり奇跡を生み出し，浄土に続く糸となったのだと思います。古代の人々の養蚕技術のすごさ，ひいては蚕の力の偉大さを感じ，仏さまの姿や文字が糸の厚みや撚りによって，迫ってきたり遠くへ行ったり・・まさに圧倒されました。

おわりに

今年の夏は大変な猛暑と自然災害が多く，特に西日本に襲いかかりました。被災された地域の方々には心よりお見舞い申し上げます。一日も早い復興を願うばかりです。私自身も，今夏の暑さを乗り切るのは大変でした。目覚めると朝一番に庭木に水をあげ花や木と対話をし，自然のエネルギーを身体に浴びて清々しい気持を蘇らせ，自然からのパワーを体内に注ぐのです。そして庭の桑の木から葉を少し摘み，それを果物や野菜と一緒にジュースにして飲み干します。これが私の猛暑を乗り切るリフレッシュジュースでした。

この原稿が掲載される頃は，9 月となり初秋の香が少しずつ感じられるようになっていくことでしょう。そして，爽やかな風とともに大和路にもようやく秋が訪れ，心潤う季節になっていきます。国立奈良博物館では 10 月 27 日から 11 月 12 日には天平の息吹を今に伝える正倉院展が開かれ，多くの寺社では秘宝が公開されます。

美しい古都大和の文化の彩りが豊かに熟す至福の季節の訪れとなります。

文　献

1）皇后さまの御親蚕，　紅葉山養蚕所と正倉院裂復元のその後，宮中養蚕日記
2）糸のみほとけ，国宝綴織當麻曼荼羅と繍仏　奈良国立博物館 2018

グルテンフリー穀物
食品と飲料，セリアック病ー 3

瀬口　正晴（*SEGUCHI Masaharu*）[1,2]　竹内　美貴（*TAKEUCHI Miki*）[3]
中村　智英子（*NAKAMURA Chieko*）[3]

[1] 神戸女子大学，[2] 日本穀物科学研究会会長，[3] 神戸女子短期大学

Key Words：グルテンフリー　セリアック病

本論文「グルテンフリー穀物 食品と飲料, セリアック病ー 3」は,“Gluten-Free Cereal Foods and Beverages”（Editted by E. K.Arendt and F.D.Bello）2008 by Academic Press（ELSEVIER）, の第 1 章 Celica disesse by Carlo Catassi and Alessio Fasano の一部を翻訳し紹介するものである。

病気の広がりと治療に対する新しい戦略

「セリアック病」の蔓延と病因解明の素早い展開は，代替療法による新しい戦略を進めることが出来る。特に家族の中で，誰か一人がすでに罹患している場合，遺伝的にセリアック病になる可能性が高くなる。各人がグルテンを避けて発症を抑えることができるが，もっと少ないアプローチで大きなインパクトを与える。ゆっくりグルテンの減量を子供の食事に導入すると，強い免疫原性である食事タンパク質と免疫システムが強力に対処するのを助けてくれるだろう（Stepniak and Koning, 2006a）。またグルテンの抗体には母乳で育てるといい効果がある。それは母乳中の IgA 抗体が病原性微生物に対する防御効果を強めるからである（Ivarsson *et al* 2002）。このアプローチはセリアック病を押さえるのに効果的で，その効能は研究されるべきである。いくつか GFD に代わるものが研究されているがバクテリアのプロリンオリゴペプチダーゼの利用はグルテンペプチドの分解に用いられ，特に 33-mer を分解し害を除く区分が提案された（Shan *et al*, 2002）。

あるプロリンオリゴペプチダーゼがイーストから取られ , それはグルテンを胃中で分解し，グルテン特異的 T cell の活性化を十二指腸内で阻害することが述べられている（Stepniak and Koning, 2006b）。グルテンペプチドの固有層の出入りを押さえることを傍細胞透過性を低下させゾヌリンインヒビターを使って可能となり，それは最近の医学研究の施行によって明らかにされている（Branski *et al* 2006）。

腸の tTG の阻害は，グルテンの免疫刺激特性を低下させた。この阻害剤の利用が制限されるのは，tTG は組織損傷の修復に関わることが知られたためで，安全性の問題は論じられるべきだろう。グルテンペプチドの HLA-DQ 分子に結合する事に関する妨害は，もう一つのオプション（いわゆるセリアック“ ワクチン ”）である。特異的 HLA-DQ ブロッカーは，選択的に HLA-DQ2 –DQ8 分子をターゲットにし，他の HLA 分子を損なわずに引き離す。この種のアプローチはそれゆえに安全であるが，効果的なブロッカーの構築に挑戦するものであろう。さらにいろいろなアプローチ，たとえば前炎症性サイトカイン IL-15 のブロックや IL-p の治療が提案されている。しかし完全に安全な GFD

の代替効果がある時に，患者がこのような多くの二次効果がある治療に入るどうかは疑がわしい（Stepniak and Koning, 2006b）。

小麦アレルギー

小麦アレルギーは，小麦を含む食品を食べて免疫反応メカニズムで起こされる有害反応である（Hischen huber *et al* 2006）。セリアック病よりは一般的ではないが，小麦アレルギーはこれまで考えられていたよりも多く起きている。特に北ヨーローッパで食物アレルギーに関わっている人は人口のうちの 10 〜 20% という高比率である。病原性メカニズムには IgE- 仲介，および細胞仲介のアレルギーを含む。アレルギー反応を引き起こすグルテン抗体の範囲は広く，そこには α，β，γ，ω- グリアジンと低分子のグルテニンがはいる。試験管中で小麦, ライ麦, 大麦タンパク質との間のクロス反応で実験が行われた。食品摂取と症状が現れるまでの時間が直ぐ反応がでる場合と直ぐ反応がでない場合がある。

直ちに起こる反応は，食事摂取後 2 〜 3 時間以内で起こり，主に次のような徴候がある。それは蕁麻疹，あるいはまた欠陥浮腫，アナフィラキシー，むかつき，嘔吐，下痢，鼻炎，気管支閉塞のいずれのうちひとつか，または，それ以上で特徴づけられる。それらは IgE- 仲介であり，ブリックテスト（穴あけテスト ,IgE アッセイ，口腔内投与試験）に陽反応のベースに基づく診断である。非迅速反応は数時間から 1 〜 2 日間後，食事摂取後におこり , 湿診兆候，および緩い便，あるいは下痢の特徴がある。これらの患者では，T-cell 仲介病原菌メカニズムは関連する食品を摂取してパッチテストや，口腔摂取試験に陽性であることを基本にして示された。

小麦による運動誘発アナフィラキシーは，子供よりも大人で一般的である。この特徴は予測することが難しく，摂取する小麦量から兆候を示すのに必要な施行量と同様量を診断することが難しく，その量は非常にいろいろである。小麦アレルギーの診断は他の食品のアレルギー同様に症状の観察によって行なわれ，その食品に反応する時間によって行なわれる。最小のアレルギーを引き出す量は，明確に設定することが難しく , 患者によって数 mg から数 g とバラバラである。小麦アレルギー患者は，セリアック病患者と同じ処方で治療する。即ち GFD である。これらの患者のほとんどはグルテンフリー穀物（例えばとうもろこし，米，またオート麦）に対して耐性があり，たとえ小麦とこれらの穀物間のクロスアレルギーであったとしてもそうである。各種セリアック病の点とは不一致である。小麦アレルギーは通常, 特に子供で起こり，終世のモノではない。

結論

セリアック病は大人同様子供にもある一般的な病気である。病気の範囲は広く，近年には腸外症状（たとえば貧血，短身長）がこれまでの吸収不良の症状以上に一般的である。医療関係者の高度の関心と血清学的セリアック病テストの自由な選択で，古い病気ではなく多くのものも診断出来る。そこで診療医は病気発見のプロセスの中心の役割をもつ。このユニークな自己免疫疾患に関する多くの鍵となる疑問は未回答のまま残されている。これらの疑問の幾つかに対する回答はセリアック病の病原因そして他の自己免疫病を巻き込んで，病態生理学的メカニズムのよりよい理解を与えてくれ，そこに革新的処理戦略の道を開いてくれるだろう。

参考文献

1. Akobeng. A. K., Ramanan, A. V.,Buchan, I., and Heller, R. F.: Effect of breast feeding on risk of coeliac disease: a sytematic review and meta-analyais of observational studies. *Arch. Dis. Child*. **91**: 39-43, 2006.
2. American Gastroenterological Association. Medical Position Statement: celiac sprue. *Gastroenterology* **120**: 1522-1525, 2001.
3. Amundsen. S. S., Monsuur, A.J., Wapenaar, M. C. *et al*.: Association analysis of MY09B gene polymorphisms with celiac disease in a Swedish/Norwegian cohort. *Hum. Immunol*. **67**: 341-345, 2006.
4. Ascher H., Holm. K., Kristiansson, B., and Maki, M.: Different features of coeliac diseae in two neighbouring countries. *Arch. Dis. Child* **69**: 375-380, 1993.
5. Barera, G., Mora, S., and Brambilla. P. *et al*., Body composition in children with celiac disease and the effects of a gluten-free diet: a prospective case-control study. *Am. J. Clin. Nutr*. **72**: 71-75, 2000.
6. Bdioui. F., Sakly. N., Hassine. M, and Saffar. H.: Prevalence of celiac disease in Tunisian blood donors. *Gastroenterol. Clin. Biol*. **30**: 33-36, 2006.
7. Bonamico, M, Mariani. P., and Danesi H. M. el al.: Prevalence and clinical picture of celiac disease in italian Down syndrome patients: a multicenter study. *J. Pediatr Gastroenterol Nutr.* **33**: 139-143, 2001.
8. Book, L., Hart, A., Black, J., Feolo. M., Zone, J. J., and Neuhansen, S. L.: Prevalence and clinica1 characteristics of celiac disease in Down's syndrome in a U.S. study. *Am. J. Med. Genet*. **98**: 70-74, 2001.
9. Branski. D., Fasano. A., and Troncone.R.: Latest developments in the pathogenesis and treatment of celiac disease. *J. Pediatr*. **149**: 295-300, 2006.
10. Cataldo, F., Marino, V., and Ventura. A. *et al*.: Prevalence and clinical features of selective immnoglobolin A deficiency in coeliac disease: an Italian multicentre study. Italian Society of Paediatric Gastroenterology and Hepatology（SIGEP）and "Club del Tenue" Working Groups on Coeliac Disease. *Gut* **42**: 362-365, 1998.
11. Catassi. C.: The world map of celiac disease. *Acta Gastroenteeol. Latinoam*. **35**: 37-55, 2005.
12. Catassi. C., Rossini, M., Ratsch, I. M. et. al.: Dose dependent effects of protracted ingestion of small amounts of gliadin in coeliac disease children: a clinical and jejunal morphometric study. *Gut* **34**:1515-1519, 1993.
13. Catassi. C., Ratsch, I. M., Fabiani. E. er al.: Coeliac disease in the year 2000, exploring the iceberg. *Lancet* **343**: 200-203, 1994.
14. Catassi. C., Fabiani, E., Ratsch, I. M., *et al*.: The coeliac iceberg in Italy. A multicentre antigliadin antibodies screening for coeliac disease in school-age subjects. *Acta Paediatr. Suppl*. **412**: 29-35, 1996.
15. Catassi. C., Ratsch. I. M., Gandolfi, L. *et al*.: Why is coeliac disease endemic in the people of Sahara? *Lancet* **354**: 647-648, 1999.
16. Catassi. C., Doloretta, Macis, M., Ratsch. I. M., De Virgilis, S., and Cucca, F: The distribution of DQ genes in the Saharawi population provides only a partial explanation for the high celiac disease prevalence. *Tissue Antigens* **58**: 402-406, 2001.
17. Catassi. C., Bearzi, 1., and Holmes, G. K.: Association of celiac disease and intestinal lymphomas and other cancers.*Gastroenterol*. **102**（4 Suppl 1）:S79-86, 2005.
18. Catassi. C., Kryszak, D., Jacques, O. L. *et al*.: Detection of celiac disease in primary care: a multicemer case-finding study in North America. *Am. J. Gastroenterol*. **102**:1454-1460, 2007a.
19. Catassi. C., Fabiani. E., Iacono, G. *et al*.: A prospective, double-blind, placebo-controlled trial to establish a safe gluten threshold for patients with celiac disease. *Am. J. Clin. Nutr.* **85**:160-166, 2007b.
20. Ciclitira, P. J., Evans, D. J., Fagg, N. L. K., Lennox, E.S., and Dowling, R. H.: Clinical testing of gliadin fractions in coeliac patiems. *Clin. Sci*. **66**: 357-364, 1984.
21. Ciclitira, P. J., Cerio, R., Ellis, H. J., Maxton, D., Nelufer, J. M., and Macartney, J. M.: Evaluation of a gliadin-containing gluten-free products in coeliac patients. *Hum. Nutr. Clin. Nutr*. **39C**: 303-308, 1985.
22. Clemente, M. G., Musu, M. P., Troncone, R. *et al*.: Enterocyte actin autoantibody detection: a new diagnostic tool in celiac disease diagnosis: results of a multicenter study. *Am. J. Gastroenterol*. **99**: 1551-1556, 2004.
23. Collin, P., Thorell, L., Kaukinen, K., and Maki, M.: The safe threshold for gluten contamination in gluten-free products. Can trace amounts be accepted in the treatment of celiac disease? *Aliment. Pharmacol. Ther*. **19**: 1277-1283, 2004.
24. Cook, H. B., Burt, M, J., Collett. J. A., Whitehead. M. R., Frampton, C.M., and Chapman, B. A.: Adult celiac disease: prevalence and clinical signficance. *J. Gaatroenterol. Hepatol.* **15**: 1032-1036, 2000.

25. Corazza, G., Valentini, R. A., Frisoni, M. *et al.*: Gliadin immune reactivity is associated with overt and latent enteropathy in relatives of celiac patients. *Gastroenterology* **103**: 1517-1522, 1992.
26. Csizmadia, C. G. D. S., Mearin, M. L., von Blomberg, B. M. E., Brand, R., and Verloove-Vanhorick, S. P.: An iceberg of childhood coeliac disease in the Netherlands. *Lancet* **353**: 813-814, 1999.
27. Daum, S., Cellier, C. and Mulder, C. J.: Refractory coeliac disease. *Best Pract. Res. Clin. Gastroenterol.* **19**: 413-424, 2005.
28. Drago, S., El Asmar, R., Di Pierro, M. R. *et al.*: Gliadin, zonulin and gut permeability: Effects on celiac and non-celiac intestinal mucosa and intestinal cell lines. *Scand. J. Gastroenterol.* **41**: 408-419, 2006.
29. Ejderhamn, J., Veress, B., and Strandvik, B.: The long term effect of continual ingestion of wheat starch-containing gluten-free products in celiac pationts. In:Kumar, P. J. ed. Coeliac Disease: One Hundred Years. Leeds: Leeds Univsmity Press, pp. 294-297, 1988.
30. Fasano, A. and Catassi, C.: Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. *Gastroenterology* **120**: 636-651, 2001.
31. Fasano, A. Berti, I., and Gerarduzzi, T. *et al.*: A multicenter study on the seroprevalence of celiac disease in the United States among both at risk and not at risk groups. *Arch. Intern. Med.* **163**: 286-292, 2003.
32. Gee, S.: On the coeliac affection. *St Bart. Hosp. Rep.* **24**: 17-20, 1890.
33. Gibert, A,. Espadaler, M., Angel Canela, M., Sanchez, A., Vaque, C., and Rafecas, M.: Consumption of gluten-free products: should the threshold value for trace amounts of gluten be at 20. 100 or 200 p.p.m.? *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* **18**: 1187-1195, 2006.
34. Gobbi, G., Bouquet, F., Greco, L et a1.: Coeliac disease, epilepsy, and cerebralcalcifications. The Italian Woking Group on Coeliac Disease and Epilepsy. *Lancet* **340**: 439-443, 1992.
35. Gomez, J. C., Selvaggio, G. S., Viola, M., Pizarro, B., la Motta, G., and de Barrio, S.: Prevalence of celiac disease in Argentina: screening of an adult population in the La Plata area. *Am. J. Gastrroenterol.* **96**: 2700-2704, 2001.
36. Greco, L., Romino. R., Coto, I. *et al.*: The first large population based twin study of coeliac disease. *Gut* **50**: 624-628, 2002.
37. Greenn, P. H. R,. Stavropoulos, S. N., Panagi, S. *et al.*: Characteristics of adult celiac disease in the USA: results of a national survey. *Am. J. Gastroenterol.* **96**: 126-131, 2001.
38. Haboubi, N. Y., Taylor, S., and Jones, S.: Coeliac disease and oats: a systematic review. *Postgrad. Med. J.* **82**: 672-678, 2006.
39. Hadjivassiliou, M., Grunewald, R., Sharrack, B. *et al.*: Gluten ataxia in perspective: epidemiology, genetic susceptibility and clinical characteristics. *Brain* **126**: 685-691, 2003.
40. Hakanen. M., Luotola, K., Salmi, J, *et al.*: Clinical and subclinical autoimmune thyroid disease in adult celiac disease. *Dig. Dis. Sci.* **46**: 2631-2635, 2001.
41. Hernandez, L. and Green, P. H.: Extraintestinal manifestations of celiac disease. *Curr. Gastroenterol. Rep.* **8**: 383-389, 2006.
42. Hervonen, Hakanen, M., Kaukinen, K., Collin, P., and Reunala, T.: First-degree relatives are frequently affected in coeliac disease and dermatitis herpetiformis. *Scand. J. Gastroenterol.* **37**: 51-55, 2002.
43. Hill, I., Dirks, M. H., Liptak, G. S. *et al.*: Guideline for the diagnosis and treatment of celiac disease in children: recommendations of the North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **40**: 1-19, 2005.
44. Hischenhuber, C., Crevel, R., Jarry, B. *et al.*: Review article: Safe amounts of gluten for patients with wheat allergy or celiac disease. *Aliment. Pharmacol. Ther.* **23**: 559-575, 2006.
45. Holmes. G. K. T.: Screening for coeliac disease in typc I diabetes. *Arch. Dis. Child.* **87**: 495-499, 2002.
46. Holmes. G. K. T. and Catassi. C.: Coeliac Disease. Oxford: Health Press.
47. Hovell, C. J., Collett, J. A., Vautier, G. *et al.*: High prevalence of coeliac disease in a population-based study from Western Australia: a case for screening? *Med. J. Aust.* **175**:247-250, 2001.
48. Hunt. K. A., Monsuur, A. J., McArdle, W. L. *et al.*: Lack of association of MY09B genetic variants with coeliac disease in a British cohort. Gut 55: 969-972, 2006.
49. lvarsson, A., Hornell, O., Stenlund, H., and Persson, A.: Breast-feeding protects against celiac disease. *Am. J. Clin. Nutr.* **75**: 914-921, 2002.
50. Jansson, U. H. G., Gudjonsdottir, A. H., Ryd, W., and Kristiansson, B.: Two different doses of gluten show a dose-dependent response of enteropathy, but not of serological markers during gluten challenge in children wlth

celiac disease. *Acta. Paediatr.* **90**: 255-259, 2001.
51. Johnston, S. D., Watson, R. G. P., McMillan, S. A., Sloan, J.. and Love, A. H. G.: Coeliac desease detected by screening is not silent—simply unrecognized. *Q. J. Med.* **91**: 853-860, 1998.
52. Kaukinen, K., Collin, P., Holm, K. *et al.*: Wheat starch-containing gluten-free flour products in the treatment of celiac disease and dermatitis herpetiformis. A long-term follow-up stady. *Scand. J. Gastroenterol.* **34**: 909-914, 1999.
53. Lewin, R.: A revolution of ideas in agriculture origins. *Science* **240**: 984-986, 1988.
54. Londei. M., Ciacci, C., Ricciardelli, I., Vacca, L., Quaratino, S., and Maiuri, L.: Gliadin as a stimulator of innate responses in celiac disease. *Mol. Immunol.* **42**: 913-918, 2005.
55. Louka. A. S. and Sollid. L. M.: HLA in coeliac disease: unravelling the complex genetics of a complex disorder. *Tissue Antigens* **61**: 105-117, 2003.
56. Maki. M., Holm. K., and Lipsanen. V. *et al.*: Serological markers and HLA genes among healthy first-degree relatives of patients with celiac disease. *Lancet* **338**: 1350-1353, 1991.
57. Maki. M., Mustalahti, K., Kokkonen, J. *et al.*: Prevalence of celiac disease among children in Finland. *N. Engl. J. Med.* **348**: 2517-2524, 2003.
58. Meloni, G., Dore, A., Fanciulli, G., Tanda, F., and Bottazzo, G. F.: Subclinical coeliac disease in schoolchildren from northern Sardinia. *Lancet* **353**: 37, 1999.
59. Monsuur, A. J., Bakker, P. I., Alizadeh, B. Z. *et al.*: Myosin IXB variant increases the risk of celiac disease and points toward a primary intestinal barrier defect. *Nat. Genet* **37**: 1341-1344, 2005.
60. Norris, J. M., Barriga, K., Klingensmith, G. *et al.*: Timing of initial cereal exposure in infancy and risk of islet autoimmunity. *JAMA* **290**: 1713-1720, 2003.
61. Norris, J. M., Barriga, K,. Hoffenberg, E. J. *et al.*: Risk of celiac disease autoimmunity and timing of gluten introduction in the diet of infants at increased risk of disease. *JAMA* **293**: 2343-2351, 2005.
62. Oberhuber, G., Granditsch, G., and Vogelsang, H.: The histopathology of coeliac disease: time for a standardized report scheme for pathologists. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* **11**: 1185-1194, 1999.
63. Peraaho, M., Kaukinen, K., Paasikivi, K. *et al.*: Wheat-starch based gluten-free products in the treatment of newly detected coeliac disease. Prospective and randomised study. *Aliment. Pharmacol. Ther.* **17**: 587-594, 2003.
64. Ratsch, I. M. and Catassi, C.: Coeliac disease: a potentially treatable health problem of Saharawi refugee children. *Bull. World Health Organ.* **79**: 541-545, 2001.
65. Sategna-Guidetti, C., Volta, U., Ciacci, C. *et al.*: Prevalence of thyroid disorders in untreated adult celiac disease patients and effect of gluten withdrawal: an ltalian multicenter study. *Am. J. Gastroenterol.* **96**: 751-757, 2001.
66. Shahbazkhani, B., Malekzadeh, R., and Sotoudeh, M., *et al.*: High prevalence of celiac disease in apparently healthy Iranian blood donors. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* **15**: 475-478, 2003.
67. Shan. L., Molberg. O., Parrot, I., Hausch, F., Filiz, F., and Gray. G. M.: Structural basis for gluten intolerance in celiac sprue. *Science* **247**: 2275-2279, 2002.
68. Simoons, F. J.: Celiac disease as a geographic problem. In: Walcher, D. N. and Kretchmer, N. eds. Food. Nutrition and Evolution. Masson: New York. pp. 179-199, 1981.
69. Sollid. L. M. and Lie. B. A.: Celiac disease genetics current concepts and practical applications. *Clin. Gastroenterol. Hepatol.* **3**: 843-851, 2005.
70. Sood, A., Midha, V., Sood, N., Avasthi. G., and Sehgal, A.: Prevalence of celiac disease among school children in Punjab, Noah India. *J. Gastroenterol. Hepatol.* **21**: 1622-1625, 2006.
71. Stepniak, D. and Koning, F.: Celiac disease — sandwiched between innate and adaptive immunity. *Hum. Immunol.* **67**: 460-468, 2006a.
72. Stepniak, D. and Koning, F.: Enzymatic gluten detoxification: the proof of the pudding is in the eating! *Trends Biotechnol.* **24**: 433-434, 2006b.
73. Valentino, R., Savastano, S., Tommaselli, A. P. *et al.*: Prevalence of coeliac disease in patients with thyroid antnimmunity. *Horm. Res.* **51**: 124-127, 1999.
74. Vitoria, J. C., Arreita, A., Astigarraga, I., Garcia-Masdevall, D., and Rodriguez-Soriano, J.: Use of serological markers as a screening test in family members of patients with celiac disease. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **19**: 304-309, 1994.
75. Zanone, G., Navone, R., Lunardi, C. *et al.*: In celiac disease, a subset of autoantibodies against transglutaminase binds toll-like receptor 4 and induces activation of monocytes. *PLoS Med.* **3**: e358, 2006.

ニジマス用飼料，アユ用飼料の適切なα澱粉添加量

酒本　秀一 (*SAKAMOTO Shuichi*)

Key Words：炭水化物源　養魚飼料　α澱粉　β澱粉　エクストルーダー処理　ニジマス　アユ

炭水化物の栄養素としての主要な役割は解糖経路とクエン酸回路を経てエネルギーを産生することである。ところが魚の糖利用能は一般に低く，魚の食性によって著しく利用能が異なることが知られている[1)]。植物食性や雑食性の魚ではアミラーゼ活性が高く，肉食性の魚では低い[2, 3)]。

多くの魚では肉食性が強く，タンパク質やアミノ酸の要求量は哺乳類に比べて遥かに多い。魚では全エネルギー生産量の40%以上をタンパク質の分解によって得ている。さらにタンパク質の分解によって生じたアミノ酸が糖新生や脂肪酸合成の基質として利用されている[4)]。

一方脂質はエネルギー源として消費されるが，残りは貯蔵脂質あるいは組織脂質として魚体内に蓄積される[5)]。

炭水化物を食べることによって合成されるグリコーゲンはエネルギー源として重要であるが，その蓄積量は少なく，成魚では脂質の1/10以下である。絶食時には貯蔵炭水化物であるグリコーゲンは直ぐに消費されてしまうため，その後は脂質が主たるエネルギー源になる。さらに長期の絶食になると体タンパク質，特に筋肉のタンパク質を分解して生じたアミノ酸を使ってエネルギーを得ることになる。

私が養魚用初期飼料の開発を行った時には，特に炭水化物源を添加しなくてもマダイ，トラフグ，シマアジ，アユなどは何ら異常無く飼育することが出来た。

この様な過去の報告や自分の経験から，「養魚飼料に炭水化物は本当に必要なのか？必要ならば，その役割は何なのか？また，どれ位の量が必要なのか？」という疑問を感じるようになった。

そこで本試験では肉食性魚の代表としてニジマス，植物食性魚の代表としてアユを選び，それぞれの飼料に消化吸収が可能な炭水化物であるα澱粉をどの程度の量添加するのが適切であるかを飼育試験や色々な分析を行って明らかにすることにした。

ニジマス

ニジマス用飼料には一般に20−30%の炭水化物源，主として小麦粉が配合されている。そこで本試験では消化吸収可能な炭水化物源として馬鈴薯α澱粉を用い，数段階の濃度でα澱粉を含む飼料を作成し，飼育試験他を通じて適切な添加量を調べることにした。なお，各飼料の澱粉量の調節には殆ど消化吸収されないといわれている馬鈴薯β澱粉を用いた。試験は稚魚と成魚で行った。

表 1　試験飼料の組成と分析値

試験区	A	B	C	D	E	F
魚粉（%）	59	59	59	59	59	59
β 澱粉 : 馬鈴薯	25	20	15	10	5	0
α 澱粉 : 馬鈴薯	5	10	15	20	25	30
脱脂大豆粕	7	7	7	7	7	7
ビール酵母	1	1	1	1	1	1
ビタミン・ミネラル混合	3	3	3	3	3	3
水分（%）	8.0	7.6	10.3	8.6	8.2	12.1
タンパク質	44.4	44.4	43.5	44.3	44.2	42.4
脂質	5.6	5.5	5.5	5.8	5.2	5.3
炭水化物	32.2	33.1	31.7	32.5	32.5	31.6
灰分	10.3	10.3	10.0	10.2	10.3	9.9
α 澱粉量基準						
Cal/100g	238	247	253	269	274	275
CP 比	5.36	5.56	5.82	6.07	6.20	6.49

稚魚

1．材料と方法

1-1．試験飼料

表 1 に試験飼料の組成と分析値を示す。各飼料とも澱粉量はα型+β型で 30% とし，α澱粉の添加量を 5% 刻みで増やした 6 試験区を設定した。各飼料間で極僅かの成分含量の違いが認められるが，これはそれぞれの飼料の水分含量にバラツキが有るためで，乾物換算すると殆ど違いは無くなる。なお，炭水化物含量は SOMOGYI 氏変法で測定したので，全ての澱粉が含まれた値になっている。下段に示してあるカロリー量はタンパク質 :4, 脂質 :9, 炭水化物（α澱粉のみ）:2Cal/g の係数を用いて計算で求めた。

飼料の形状はハードペレットクランブルで，以下の手順に従って調製した。原料を混合，粉砕し，小型のペレットマシンでハードペレットにする。棚式乾燥機で低温送風乾燥した後破砕してクランブルにする。篩を用いて必要な大きさの飼料のみを集めて試験飼料とする。

1-2．飼育条件

水容量 38.4L の水路型水槽で飼育試験を行った。平均体重が 0.9g の稚魚を各区 100 尾収容し，11 月 11 日から 12 月 14 日まで，約 1 ヶ月間飼育した。水温は 14℃，給餌は日に 3 回（午前 1 回，正午 1 回，午後 1 回），給餌率は改変ライトリッツ給餌率である。飼育試験終了時に尾数を調べて生残率，総重量に死魚の補正を加えた値から開始時の総重量を差し引いて増重量，増重量と給餌量から飼料効率（増重量 ×100/ 給餌量），増重量と給与タンパク質量からタンパク質効率（増重量 ×100/ 給与タンパク質量）を求めた。さらに給餌量と飼料の分析値，飼育試験開始時と終了時の総重量，魚体成分分析値などから飼料成分の魚体蓄積率を求めた。

2．結果

2-1．飼育成績

飼育試験の結果を**表 2** に示す。α澱粉が 20% 以上になるとやや生残率が低くなっている様にも見えるが，明確ではない。α澱粉の添加量が増えるに従って成長，飼料効率，タンパク質効率が良くなり，25%（E 区）で最高値を示し，30% になるとやや低くなった。α澱粉量と飼料効率，タンパク質効率の関係を**図 1** に，CP 比と飼料効率，タンパク質効率の関係を**図 2** に示す。α澱粉量 25%, CP 比 6.20 にピークを持つ非常に綺麗な結果を示した。ニジマス稚魚では飼料中のα澱粉は有効に利用されていることと，飼育成績から判断した適切な

表 2　飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D	E	F
生残率（%）	95	98	95	88	89	82
増重量（g）	76.7	78.9	91.8	98.3	103.5	97.9
給餌量（g）	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0
飼料効率（%）	79.7	82.2	95.6	102.4	107.8	102.0
タンパク質効率（%）	179.9	185.1	219.7	231.0	244.1	240.3

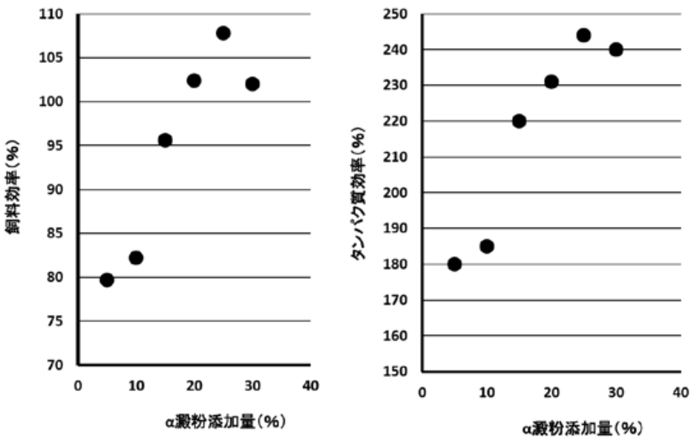


図1　α澱粉の添加量が飼料効率，タンパク質効率に与える影響

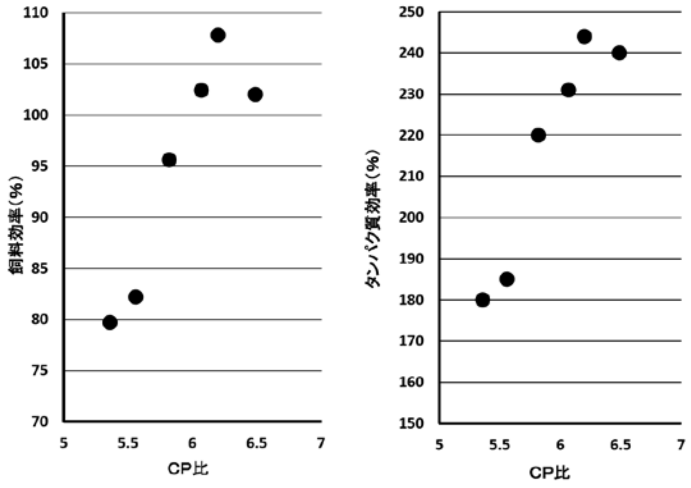


図2　飼料のCP比が飼料効率，タンパク質効率に与える影響

α澱粉添加量は25%であることが分かった。

2-2. 全魚体の分析値

飼育試験開始時と終了時に行った全魚体の分析結果を**表3**に示す。開始時と終了時で大きな変化は認められなかったが，終了時には水分がやや減少し，タンパク質が増加していた。脂質と灰分には殆ど違いが無かった。終了時の各区間比較では，α澱粉量が増えるに従ってタンパク質が減少し，脂質が増える傾向が認められた。脂質量はα澱粉が20%まで増加し，それ以上になるとやや減少した。

α澱粉は消化吸収され，エネルギー源として利用されたりグリコーゲンとして蓄積された分以外は脂質として魚体に蓄積されるのであろう。また，炭水化物がエネルギー源として利用されるために脂質が利用される割合が減り，余分な脂質が魚体に蓄積されたことも考えられる。

2-3. 飼料成分の魚体蓄積率

飼料成分の魚体蓄積率を**表4**に示す。α澱粉の添加量が増えるに従ってタンパク質，脂質，灰分の魚体蓄積率が増える傾向が認められた（B区のタンパク質の値は疑問で，分析ミスの可能性有り）。タンパク質はα澱粉量が20%で略一定になり，同様に脂質も20%で最高の蓄積率になり，それ以上の量になると反って減少した。灰分は25%で一定になった。

この様な結果が得られた理由を以下の様に推定している。ニジマスの食性は肉食性なので，消化管のアミラーゼ活性はそれ程強くないが，ある程度の

表3　全魚体の分析値

時期	開始時	終了時					
試験区		A	B	C	D	E	F
水分（%）	81.1	80.1	80.2	79.7	79.4	80.2	79.5
タンパク質	13.0	14.0	13.8	13.9	14.1	13.6	13.8
	68.8	70.4	69.7	68.5	68.4	68.7	67.3
脂質	4.0	3.2	3.6	4.1	4.6	4.1	4.2
	21.2	16.0	18.2	20.2	22.3	20.7	20.5
灰分	2.1	2.2	2.3	2.2	2.1	2.2	2.2
	11.1	11.1	11.6	10.8	10.2	11.1	10.7

（注）下段は乾物換算値

表4　飼料成分の魚体蓄積率

試験区	A	B	C	D	E	F
タンパク質（%）	27.3	37.4	32.2	34.6	34.4	34.9
脂質	32.7	49.1	74.1	89.5	86.8	85.6
灰分	17.6	20.7	20.9	21.7	23.6	23.6

α澱粉は消化吸収され，エネルギー源として利用される。よって，タンパク質がエネルギー源として用いられる割合が減り，魚体への蓄積率が増える。脂質で認められるタンパク質の節約効果と同じことが炭水化物でも起こっている。また脂質蓄積率の増加が著しいが，これはエネルギー源として炭水化物が脂質の代替として利用されたことと，炭水化物から脂質が合成されて蓄積されたことが考えられる。灰分の蓄積率増加は説明が難しいが，α澱粉の添加によって飼料の消化管通過速度が遅くなり，無機質の吸収率が高くなったり，無機質の吸収にα澱粉の分解によって生じたグルコースの共存が必要であったりするのかも知れない。

表5　試験飼料の組成と分析値

試験区	A	B	C	D	E
魚粉（%）	50	50	50	50	50
ミートミール	8	8	8	8	8
β澱粉 : 馬鈴薯	20	15	10	5	0
α澱粉 : 馬鈴薯	5	10	15	20	25
脱脂大豆粕	15	15	15	15	15
ビタミン・ミネラル混合	2	2	2	2	2
魚油（外割 %）	5	5	5	5	5
水分（%）	9.5	9.2	9.5	9.1	9.2
タンパク質	41.5	42.1	42.0	41.5	41.6
脂質	12.5	12.5	12.6	12.4	12.1
炭水化物	27.1	27.2	27.1	27.7	27.9
灰分	9.7	9.8	9.3	9.7	9.7
α澱粉量基準					
Cal/100g	289	301	311	318	325
CP 比	6.96	7.15	7.40	7.66	7.81

3. 要約

・魚の成長，飼料効率，タンパク質効率，飼料成分の魚体蓄積率などから，ニジマスの餌付け，稚魚用飼料への適切なα澱粉添加量は25%であると判断する。それ以上は必要ないし，反って飼育成績を悪くする可能性が有る。

・α澱粉は消化吸収されてグルコースとして体内に入り，エネルギー源として利用される。そのため，飼料にα澱粉を添加することによって飼料中のタンパク質や脂質の魚体蓄積率が高くなる。

・飼料中の無機質の吸収をα澱粉が何らかの機構で促進している可能性が有る。

・α澱粉によって飼料成分の魚体蓄積率が改善された結果が飼育成績に反映されている。

成魚

1. 材料と方法

1-1. 試験飼料

試験飼料の組成と分析値を**表5**に示す。基本は稚魚での試験と一緒であるが，水槽数の関係で試験区数は5区とし，α澱粉の添加量は5-25%とした。なお，本試験では飼料のカロリー量が高い場合にもα澱粉の添加効果が認められるか否かを明らかにするため，全ての飼料に外割で5%魚油を添加した。各飼料の一般成分に違いは無かった。カロリー量とCP比は稚魚試験と同じ方法で求めた。飼料はハードペレットで，製造法は前述の通りである。

1-2. 飼育条件

屋内に設置した400L容青色角型FRP水槽を用いて飼育試験を行った。平均体重約77gの成魚を各区4Kg収容し，5月26日から8月24日までの約3カ月間飼育した。その間1カ月毎に魚の総数と総重量を測定した。水温は14℃，給餌は日に2回（午前1回，午後1回），給餌率は改変ライトリッツ給餌率である。飼育試験終了時に前述の方法で生残率，飼料効率，タンパク質効率を求めた。

飼育試験開始時に20尾，終了時に各区から20尾ずつサンプリングした。それぞれ10尾は全魚体の一般成分の分析に用い，残りの10尾はFA100麻酔下でヘパリン処理した1mLプラスチック注射筒を用いてキュビエ氏管から各尾等量ずつ採血した。血液は区毎にプールして遠心分離（3000rpm，15分間）し，血漿を分離して成分分析に用いた。魚体は尾叉長と体重を測

表 6　飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D	E
生残率（%）	100	100	96.2	100	92.3
増重量（kg）	2.60	2.60	2.62	3.20	2.76
給餌量（kg）	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73
飼料効率（%）	55.0	55.0	55.4	67.7	58.3
タンパク質効率（%）	132.5	130.7	131.9	163.0	140.1
6 月 26 日－ 8 月 24 日					
飼料効率（%）	56.6	62.6	68.6	77.5	71.5
タンパク質効率（%）	136.5	148.8	163.4	186.7	173.0

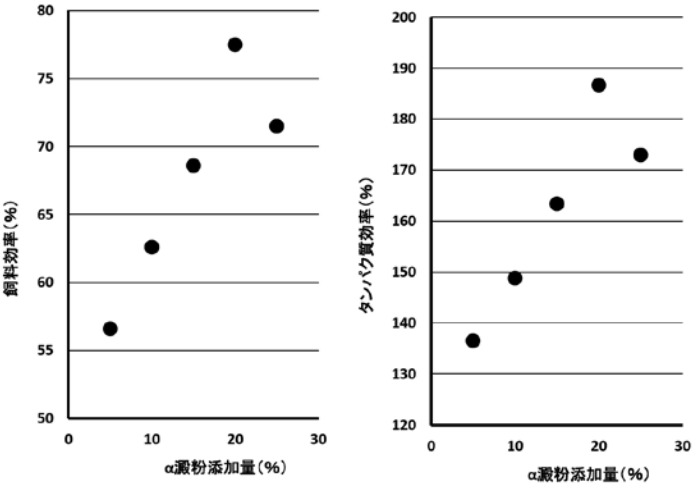


図 3　α 澱粉の添加量が飼料効率，タンパク質効率に与える影響

定して肥満度（体重 ×100/ 尾叉長 ^{3}）を求めた後解剖し，各臓器の状態を肉眼で観察すると共に内臓（心臓と腎臓を除く全ての臓器を含む），肝臓，腹腔内脂肪蓄積組織（DL）の重量を測定し，体重比を求めた。さらに前述した方法で飼料成分の魚体蓄積率を求めた。

2．結果

2-1．飼育成績

今回の供試魚は原因は不明であるが，なかなか飼育環境に馴染まず，最初の 2 週間ほどは餌を与えに近づいても水槽内で暴れたり，隅に集まったりして十分に摂餌せず，3 週目以降やっと少しずつ摂餌するようになってきた。**表 6** の上段に通期の飼育成績が示してあるが，この様な状態であったので最初の中間取り上げ（6 月 26 日）以降の結果で比較した方が良いと判断し，下段に 6 月 26 日から 8 月 24 日までの飼育で得られた飼料効率とタンパク質効率を示した。

α 澱粉添加量と下段の飼料効率，タンパク質効率との関係を示したのが**図 3** である。飼料効率，タンパク質効率共に α 澱粉の添加量が増えるに従って高くなり，20% で最高値を示し，それ以上になるとやや結果が悪くなった。この様に魚油を添加して高カロリーにした飼料でも明確な α 澱粉の添加効果が認められた。

2-2．魚体測定と解剖の結果

表 7 に魚体測定と解剖の結果を示す。肉眼観察では魚の外観，各臓器の状態に異常は認められなかった。内臓体重比と肝臓体重比は α 澱粉の添加量が多くなるに従って高くなる傾向が認められた。肥満度と DL 体重比は α 澱粉添加量が 10−15% まで次第に高くなるが，それ以上になるとやや減少し，略一定値を示した。肝臓体重比が α 澱粉の添加量に従って大きくなるのは，脂質とグリコーゲンの増加が原因であろう。内臓体重比の増加は蓄積脂質が増えることも関係しているのであろうが，さらに α 澱粉の添加によって消化管自体が大きくなっている（組織が厚くなっている）ことも関係しているのではないかと思われる。肥満度の変化はこれらの変化が総合された形で表れているの

表 7　魚体測定と解剖の結果

時期	開始時	終了時				
試験区		A	B	C	D	E
尾叉長（cm）	18.4	22.2	21.4	21.0	22.4	22.1
体重（g）	77.9	140.7	135.0	125.2	142.6	137.9
肥満度	1.25	1.29	1.38	1.33	1.26	1.27
内臓体重比（%）	7.16	9.74	10.1	11.1	10.8	11.5
肝臓体重比（%）	1.02	1.02	1.24	1.42	1.32	1.74
DL 体重比（%）	1.37	2.57	2.96	3.40	2.52	2.63

表 8　全魚体の分析値

時期	開始時	終了時				
試験区		A	B	C	D	E
水分（%）	72.7	72.6	72.2	72.1	72.0	71.6
タンパク質	17.8	16.5	16.8	16.2	16.4	16.5
	65.2	60.2	60.4	58.1	58.6	58.1
脂質	7.67	8.89	9.35	9.48	9.69	9.46
	28.1	32.4	33.6	34.0	34.6	33.3
灰分	2.48	2.42	2.46	2.17	2.15	2.29
	9.08	8.83	8.85	7.78	7.68	8.06

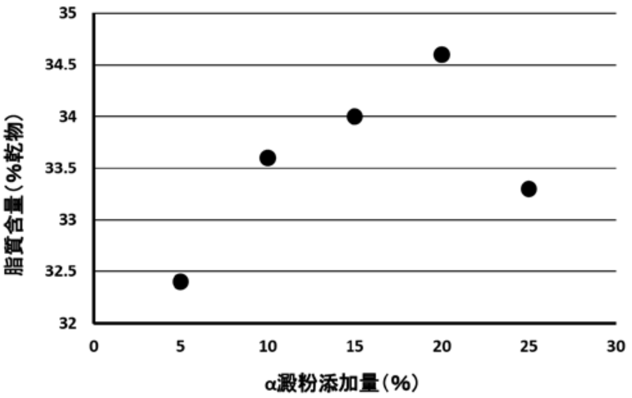


図 4　α澱粉添加量と魚体脂質含量の関係

表 9　血漿の分析値

試験区	A	B	C	D	E
Glu（mg/dL）	82	101	111	128	115
T-Cho（mg/dL）	357	303	394	390	434
T-Pro（g/dL）	3.5	3.5	3.8	3.6	3.9
TG（mg/dL）	161	146	193	182	226
ALP（IU/L）	238	193	313	260	330

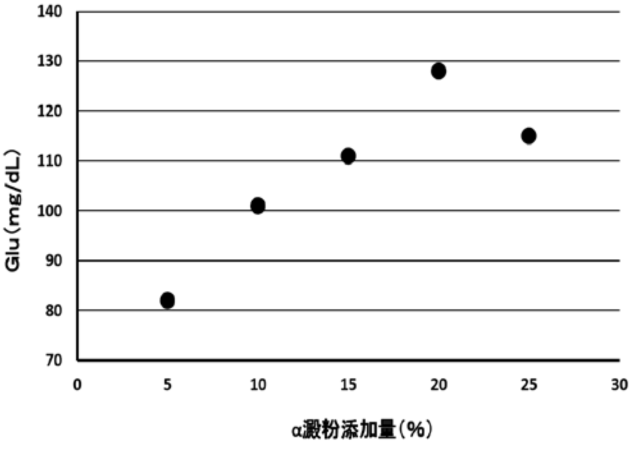


図 5　α澱粉添加量と血漿グルコース含量の関係

であろう。

2-3. 全魚体の分析値

飼育試験開始時と終了時の全魚体の分析値を**表 8** に示す。下段の数字は乾物換算値である。開始時に比べ終了時には各区共タンパク質の占める割合が著しく減少し，脂質が増えていた。終了時の各区間の比較では，α澱粉の添加量が多くなるに従って水分が極僅かずつ減少していた。脂質はα澱粉の20% 区で最大値を示し，それ以上になると減少していた。タンパク質と灰分は 10% に境界が有るようである。

飼料のα澱粉量と全魚体の脂質含量との関係を**図 4** に示すが，図 3 に示すα澱粉量と飼料効率，タンパク質効率との関係に良く似ている。一定量までのα澱粉添加は高エネルギー（高脂質）飼料でも魚体への脂質蓄積を促進し，それが飼育成績の改善となって表れている様である。

2-4. 血漿成分の分析値

血漿成分の分析値を**表 9** に示す。グルコース（Glu）のみがα澱粉量と明確な相関を示していた。**図 5** に示すようにα澱粉の添加量が 20% までは次第に血漿グルコース濃度も高くなるが，それ以上になると逆にやや減少した。総コレステロール（T-Cho），総タンパク質（T-Pro），トリグリセライド（TG）含量とアルカリ性フォスファターゼ（ALP）活性は各区間のバラツキが大きくて不明確であるが，総じてα澱粉量が 15% 以上の区で値が高かった。

2-5. 飼料成分の魚体蓄積率

飼料成分の魚体蓄積率を**表 10** に示す。**図 6** に示すようにα澱粉の添加量が 20% までは飼料脂質の魚体蓄積率が次第に高くなり，それ以上になると低くなっていた。

ニジマスは成魚で，しかも高カロ

表 10　飼料成分の魚体蓄積率

試験区	A	B	C	D	E
タンパク質（%）	19.2	20.1	18.1	24.1	20.7
脂質	47.2	52.5	53.6	66.5	57.7
灰分	13.2	13.7	10.1	12.2	12.2

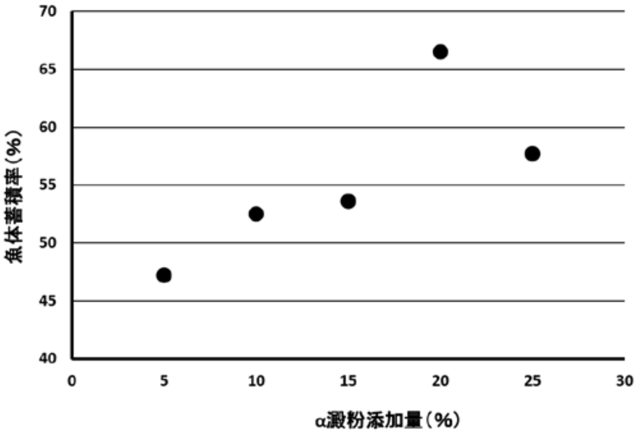


図 6　α澱粉添加量と飼料脂質魚体蓄積率の関係

リー飼料を用いた場合にも稚魚と同様の機構が働いているのであろう。タンパク質と灰分はバラツキが大きく，一定の傾向は認められなかった。

3. 要約

・飼料効率，タンパク質効率，魚体成分，飼料成分の魚体蓄積率などから，ニジマス育成用飼料の適切なα澱粉添加量は 20% であると判断する。

・魚油を添加して高カロリーにした飼料でもα澱粉の明確な添加効果が認められた。

・魚の成長に伴って飼料の適切なα澱粉量はやや減少する様であるが，ニジマス用飼料の適切なα澱粉添加量は略 20% であるといって間違いないであろう。

アユ

アユは海で生活している稚魚の間は動物プランクトン食で肉食性であるが，春から初夏にかけて河を溯上するようになると次第に食性が変化し，主として付着珪藻を食べる植物食性に移行する。よって完全に食性が植物食性に変化した後のアユを用い，飼料の適切なα澱粉量を調べ，ニジマスと違いが有るか否かを比較してみた。

1. 材料と方法

1-1. 試験飼料

試験区は A-E の 5 区を設定した。**表 11** に試験飼料の製造法，組成および分析値を示す。HPC はハードペッレットクランブル，EXC はエクストルーダーペレットクランブルであることを示す。HPC の調製法は前述の通りで，EXC の調製法は以下の通りである。原料を混合，粉砕した後バレル内に蒸気を吹き込みながら混合する。次にエクストルーダーで高湿高温高圧下で混練して原料中に微小な空気粒を含ませると共に澱粉をα化させる。最後に小さな穴から吐出させた飼料を高速カッターで切断してペレット状に成形する。この時に急に圧力が下がるので飼料内に混入している空気粒が膨大し，内部に空気を含む嵩比重が小さくて浮上性の強い飼料に

表 11　試験飼料の組成と分析値

試験区	A	B	C	D	E
飼料形状	HPC	HPC	HPC	HPC	EXC
魚粉（%）	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5
α澱粉 : 馬鈴薯	0	15	0	30	0
β澱粉 : 馬鈴薯	15	0	30	0	30
αセルロース	15	15	0	0	0
ビタミン混合	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
ミネラル混合	3	3	3	3	3
水分（%）	6.5	7.4	7.2	6.9	7.9
タンパク質	44.5	42.9	45.7	43.5	44.3
脂質	3.2	3.5	4.3	4.1	6.5
炭水化物	15.4	17.7	28.4	28.0	30.6
灰分	13.9	13.3	14.0	13.7	13.8
繊維	6.4	5.4	ND	ND	ND
Ca	3.6	3.5	3.7	3.7	3.7
P	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4
可溶性無窒素物	25.5	27.5	28.8	31.8	27.5

（注）：ビタミン混合は Halver 処方，ミネラル混合は USP X II + 微量元素，E 区 EXC の脂質は酸分解法で定量

なる。この様にして成形したEX飼料を乾燥させた後クランブルにしたのがEXCである。EX飼料は澱粉がα化されているので炭水化物の利用性が向上していることと，α化した澱粉でその他の原料がコーティングされた状態（糊で包まれた状態）になっているので，HP飼料に比べて投餌後の飼育水の濁りが少ないという特徴が有る。

養殖現場では飼育水の濁り対策のためにEXCの使用が主になっているので，EXC飼料区を1区（E区）設定した。澱粉とαセルロースの合計量を30%とし，α澱粉とβ澱粉の添加量は15%と30%とし，両澱粉の併用は行わなかった。またEXCの使用澱粉はβ澱粉とし，一般にいわれているようにエクストルーダー処理によってβ澱粉がα化して利用率が向上するか否かを確認することにした。なお使用した澱粉はニジマスの試験同様α，β共に馬鈴薯澱粉であったが，使用したロットはニジマスとは異なっていた。

アユではビタミンとミネラルの要求量が未だ解明されていない部分も有るので，ビタミン混合とミネラル混合は魚類の栄養要求試験用精製飼料に一般的に用いられるHalver処方[6]とUSP　No.XⅡミネラル混合＋微量元素[6]とした。

表11下段の分析値を見るとEXCの脂質含量が他飼料より高い値を示しているが，これは飼料分析法においてエクストルーダー飼料の場合には酸分解法で脂質を定量することになっているためで，他飼料のエチルエーテル抽出法と違って分子量の小さい炭水化物も抽出されている可能性が高い。また，それぞれの飼料の脂質含量を比較すると両澱粉にはエチルエーテルに抽出される物質が多少含まれ，その量はβ澱粉の方がやや多かったように思える数値を示していた。炭水化物量はエクストルーダー処理の影響か，EXC（E区）がHPC（D区）より高い値を示していた。CaとPには各区間で違いは無かった。

1-2. 飼育条件

屋外に設置された10m^{2}の浅いコンクリート水槽5面を用いて飼育試験を行った。平均体重約19gのアユを各区200±3尾収容した。水温調節は行わなかった。給餌は日に3回で，水槽底に沈んだ飼料が短時間で食べ尽くされる量を与えた。飼育期間は6月19日から8月21日の約2カ月間であった。

1-3. 各種測定

ニジマスと同じ方法で生残率，飼料効率，タンパク質効率を求めた。飼育試験開始時に10尾，終了時に各区から20尾（♂10尾，♀10尾）をサンプリングし，魚体測定，解剖，背肉と肝臓の一般成分分析に供した。また，これとは別に開始時に10尾，終了時に各区から10尾（♂5尾，♀5尾）をサンプリングして全魚体の一般成分分析を行い，飼料成分の魚体蓄積率を求めるための試料とした。さらに終了時には各区から雄10尾，雌10尾をサンプリングして採血を行いヘモグロビン含量（Hb）とヘマトクリット値（Ht）を測定した後，血漿を分離して成分分析を行った。Hbはシアンメトヘモグロビン法[7]，Htは毛細管遠心法[7]で測定した。血漿の総タンパク質（T-Pro），グルコース（Glu），総コレステロール（T-Cho），トリグリセライド（TG），極性脂質（PL），遊離脂肪酸（FFA）は市販のキットを用いて分析した。

1-4. 飼料成分の消化吸収率

飼育試験終了後に残りの魚を用いて各試験飼料の消化吸収率（全体，タンパク質，炭水化物）を酸化クロム内部標準法[8]で測定した。手順は以下の通りである。試験飼料を粉砕し，酸化クロムを1%濃度になるように添加し，均一になるように十分混合する。適等量加水し，ミートチョッパーで押し出し成形する。乾燥した後クランブル化して消化吸収率測定用試験飼料とした。これらの飼料を3日間アユに与えた後，4日目以降腹部圧迫法で採糞した。飼料中のクロム量に対する各栄養成分の量，糞中のクロム量に対する各栄養成分の量の比較から，各栄養成分の消化吸収率を求めた。

表 12　飼育試験の結果

試験区	A	B	C	D	E
生残率（%）	99.5	99.0	100	100	100
増重量（kg）	4.35	4.72	3.71	4.86	4.85
給餌量（kg）	5.80	5.84	5.77	5.93	5.82
飼料効率（%）	75.0	80.8	64.3	81.9	83.3
タンパク質効率（%）	169	188	141	189	188

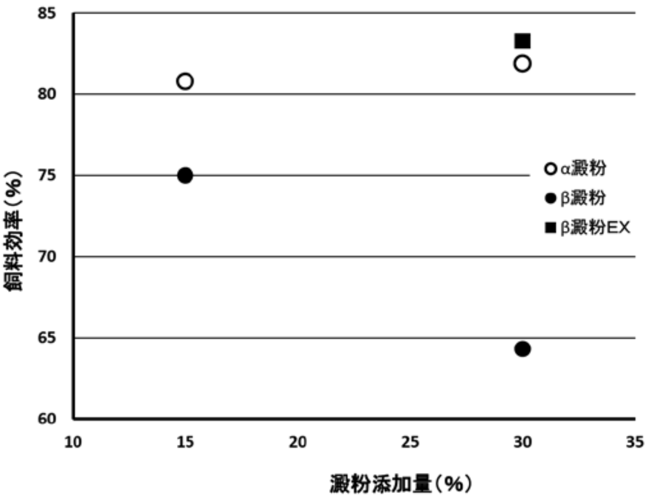


図 7　澱粉添加量とエクストルーダー処理が飼料効率に与える影響

1-5. 背肉の鮮度低下

魚体，特に腹腔内に脂質が過剰に蓄積したアユは鮮度低下が早く，短時間で腹部が切れて見栄えが悪くなって売り物にならなくなるといわれている。よって飼育試験終了後の魚を各区から 5 尾ずつサンプリングして直ちに凍結した。後日解凍し，背肉を分離して一定温度下に保存した時の鮮度低下を K 値［K 値（%）=（HxR+Hx）×100/ATP+ADP+AMP+IMP+HxR+Hx］を指標として酵素法[9)]で測定した。手順は以下の通りである。凍結保存されていたアユを流水下で解凍し，背肉を単離する。7℃で保存し，経時的に鮮度計を用いて酵素法で K 値の変化を測定する。

2. 結果

2-1. 飼育成績

表 12 と**図 7** に飼育試験の結果を示す。澱粉添加量が 15% においても 30% においても成長，飼料効率，タンパク質効率は α 澱粉の方が優れていた。一方 β 澱粉は添加量が増えると飼育成績が劣り，単なる不消化物としての作用以外に何らかの影響を及ぼしている様である。β 澱粉が 30% 含まれていてもエクストルーダー処理することによって α 澱粉 30% 添加区と同じ飼育成績を示すようになっており，エクストルーダー処理によって β 澱粉は完全に α 化されて消化吸収可能になっていると思われた。α 澱粉 30% 区（D 区）の飼育成績は 15% 添加区（B 区）と略同じ結果を示しており，ニジマスの様に α 澱粉が 20-25% を超えると飼育成績が悪くなる傾向は認められなかった。飼育成績のみで判断するとアユはニジマスより炭水化物の利用能が高いといえる。

2-2. 魚体測定と解剖の結果

魚体測定と解剖の結果を**表 13** と**図 8**，**図 9**

表 13　魚体測定と解剖の結果

時期	開始時	終了時				
試験区		A	B	C	D	E
雄						
尾叉長（cm）	11.3	14.8	15.0	14.5	14.6	14.7
体重（g）	17.6	41.6	44.8	39.4	41.6	42.6
肥満度	1.20	1.27	1.33	1.28	1.33	1.34
内臓体重比（%）	14.3	13.5	12.0	13.8	12.6	12.3
肝臓体重比（%）	1.68	1.09	1.25	0.96	1.45	1.31
DL 体重比（%）	4.64	2.05	2.32	3.18	3.41	3.22
生殖腺体重比（%）		1.75	1.64	1.70	2.50	2.83
雌						
尾叉長（cm）		14.1	14.6	14.2	14.6	14.6
体重（g）		35.5	40.3	37.2	41.1	40.2
肥満度		1.27	1.29	1.29	1.32	1.29
内臓体重比（%）		12.7	13.5	14.6	13.3	12.0
肝臓体重比（%）		1.32	1.38	1.35	1.51	1.40
DL 体重比（%）		2.84	2.46	3.65	4.65	4.25
生殖腺体重比（%）		0.64	0.79	1.17	0.89	0.86

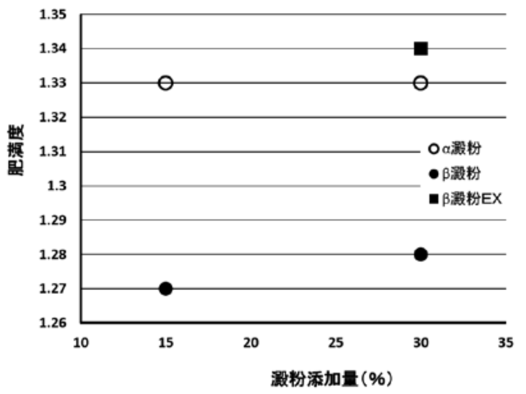


図 8　澱粉添加量とエクストルーダー処理が肥満度に与える影響（♂）

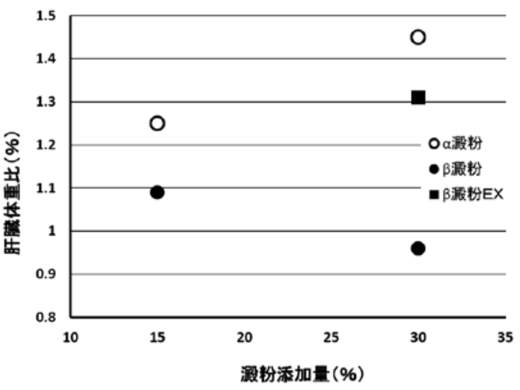


図 9　澱粉添加量とエクストルーダー処理が肝臓体重比に与える影響（♂）

に示す。

雄 : 澱粉 15% 添加区においても 30% 添加区においても肥満度，肝臓体重比，DL 体重比は α 澱粉区の方が大きかった。β 澱粉添加区間の比較では内臓体重比と DL 体重比は 30% 区のほうが大きく，肥満度と肝臓体重比に違いは認められなかった。α 澱粉添加区間の比較では内臓体重比，肝臓体重比，DL 体重比は 30% 区の方が大きく，肥満度には違いが無かった。β 澱粉 30% 添加エクストルーダー処理区（E 区）は α 澱粉 30% 添加区（D 区）と何れの指標も略同じ値を示した。

雌 : 何れの指標も雄より違いが不明瞭であった。肥満度は澱粉添加量が 15% でも 30% でも α 澱粉区の方が僅かに大きな値を示し，15% 添加では内臓体重比，肝臓体重比，DL 体重比は α と β の違いは小さかったが，30% 添加では内臓体重比は β が，肝臓体重比と DL 体重比は α の方が著しく高い値を示した。

以上の結果から，アユにおいては α 澱粉は効率よく消化吸収されてエネルギー源として利用されると共に，グリコーゲンと脂質として魚体に蓄積されるものと考えられた。従って肝臓体重比と DL 体重比が α 澱粉添加区の方が β 澱粉添加区より大きくなっており，しかも 15% 添加区より 30% 添加区の方が大きかった。一方，内臓体重比は β 澱粉を添加すると消化管が肥大するのではないかと思える結果を示した。この点は再現性の確認と β 澱粉の添加によって消化管が肥大する機構の解

表 14　魚体成分の分析値

時期	開始時	終了時				
試験区		A	B	C	D	E
全魚体						
水分（%）	67.1	67.5	68.0	67.5	68.4	68.0
タンパク質	14.9	17.2	15.4	15.5	15.8	16.9
	45.4	53.0	48.3	47.8	50.0	52.8
脂質	15.4	13.5	12.6	13.5	12.4	11.7
	46.7	40.5	39.5	41.4	39.2	36.6
灰分	2.11	3.18	3.70	3.14	2.78	2.70
	6.41	9.80	11.6	9.64	8.81	8.45
背肉						
水分（%）	77.3	77.2	77.5	77.7	77.6	77.2
タンパク質	20.3	20.0	20.9	20.2	20.1	21.0
	89.7	87.7	92.8	90.5	89.8	92.1
脂質	2.19	1.41	1.02	0.95	0.66	0.84
	9.66	6.19	4.52	4.25	2.94	3.68
灰分	1.07	1.25	1.29	1.29	1.34	1.25
	4.72	5.48	5.72	5.77	5.97	5.47
肝臓						
水分（%）	69.1	69.2	68.3	69.7	66.6	67.6
タンパク質		19.0	18.3	18.6	16.7	16.3
		61.7	57.9	61.4	49.9	50.3
脂質	10.8	9.59	11.2	8.83	9.97	13.6
	34.8	31.1	35.4	29.2	29.9	41.9
灰分		1.31	1.33	1.34	1.28	1.35
		4.25	4.20	4.43	3.84	4.17

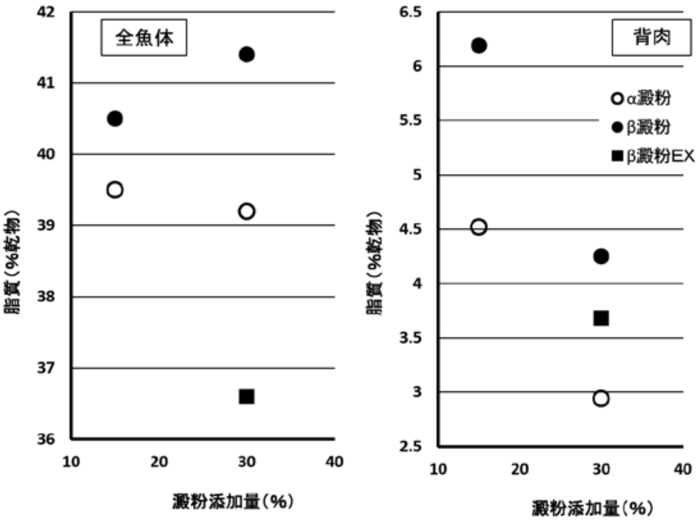


図 10　澱粉添加量とエクストルーダー処理が魚体の脂質含量に与える影響

表 15　血液の分析値

試験区			A	B	C	D	E
雄							
	全血						
		Hb（g/dL）	9.5	9.5	8.5	9.6	9.7
		Ht（%）	38.1	35.8	30.8	37.4	36.2
	血漿						
		Glu（mg/dL）	67	77	68	74	80
		T-Cho（mg/dL）	681	862	672	664	710
		T-Pro（g/dL）	4.56	4.76	4.41	4.39	4.46
		TG（mg/dL）	626	463	581	420	502
		PL（mg/dL）	1870	1703	1907	2006	1703
		TG/PL	0.33	0.27	0.29	0.25	0.25
		FFA（meq/L）	1.74	1.47	1.57	1.60	1.67
雌							
	全血						
		Hb（g/dL）	9.3	9.7	9.1	8.7	9.5
		Ht（%）	35.0	36.0	34.2	33.0	34.3
	血漿						
		Glu（mg/dL）	76	78	70	78	77
		T-Cho（mg/dL）	699	738	692	711	698
		T-Pro（g/dL）	5.05	5.05	4.71	4.72	4.57
		TG（mg/dL）	510	550	502	391	470
		PL（mg/dL）	1886	1907	1849	2024	2024
		TG/PL	0.27	0.29	0.27	0.19	0.23
		FFA（meq/L）	1.45	1.94	1.73	1.66	1.72

明が必要である。E区とD区の比較によってβ澱粉はエクストルーダー処理によって略完全にα化され，利用可能になっていることが魚体測定と解剖の結果からも明らかである。

2-3. 魚体成分の分析値

飼育試験開始時と終了時の全魚体，背肉，肝臓の分析結果を**表 14** と**図 10** に示す。

全魚体 : 開始時に比べて終了時には各区共タンパク質と灰分が増加し，脂質が減少していた。終了時の各区間の比較では，何れの成分も区間のバラツキが大きくて明確な傾向は認められなかったが，脂質はβ澱粉添加区の方が多かった。β澱粉 30% 添加エクストルーダー処理区（E区）はα澱粉 30% 区（D区）よりタンパク質が多く，脂質が少ない傾向を示しているが，これは魚体測定と解剖の結果と良く一致していた。

背肉 : 澱粉添加量が 15%, 30% の何れにおいても脂質量は意外なことにβ澱粉添加区の方が多かった。また，β澱粉でもα澱粉でも添加量が多くなると脂質含量は少なくなっていた。E区はD区よりタンパク質と脂質が多かった。

肝臓 : 水分とタンパク質は何れの添加量においてもβ澱粉添加区の方が多く，脂質は少ない傾向が認められた。E区はD区より著しく脂質が多かった。

以上の様にα澱粉添加区において魚体の脂質含量が多い傾向は認められず，背肉では反ってβ澱粉添加区の方が高い値を示した。これはニジマスにおいてα澱粉の添加量が 20% になるまで次第に脂質含量が増えたのとは大きく異なっていた。澱粉が消化吸収されて体内に入ったグルコースのエネル

ギー源としての利用能がニジマスとアユでは大きく違うのであろう。

2-4. 血液の分析結果

表15に全血と血漿の分析結果を雌雄別に示す。

雄：Hb含量とHt値はバラツキが大きく，一定の傾向は認められなかった。血漿では何れの澱粉添加量においてもGlu含量はα澱粉添加区の方が僅かに高かったが，15%区と30%区の間に違いは認められなかった。ニジマス成魚ではα澱粉の添加量が多くなるに従って血漿Glu含量が高くなっていた。これはアユはニジマスより遥かに炭水化物の利用能が高いことを示している。また，15%添加区と30%添加区でGlu含量に違いが無いことから，アユでは30%のα澱粉添加においても未だ過剰であるとは判断出来ない。β澱粉30%添加エクストルーダー処理区（E区）はα澱粉添加区よりやや高い値を示していた。TGは何れの澱粉添加量でもβ澱粉添加区の方が高く，しかも15%区の方が高い値を示した。E区はβ澱粉30%区とα澱粉30%区の中間の値を示した。この傾向は背肉の脂質含量と良く一致していた。また，TG/PLも何れの添加量においてもβ澱粉区の方が高く，β澱粉添加区の方が蓄積脂質が多いことを示している。T-Cho，T-Pro，PL，FFAには明確な傾向は認められなかった。

雌：何れの指標においても雄ほどハッキリした違いは認められなかったが，T-Cho含量はα澱粉区の方が僅かながらも高い傾向が認められた。E区の値は何れもD区と略等しいか，C区とD区の中間値を示した。

この様に飼料にα澱粉を添加すると血漿中のGlu含量は僅かに増えるが，TGは逆に少なくなる。このTGの動きはニジマスの場合とは全く異なっていた。

アユの場合にはα澱粉の消化吸収によって血中に増えたGluを直ちに細胞に取り込んでグリコーゲンを合成したりエネルギー源として利用しているのであろう。

2-5. 飼料成分の魚体蓄積率

飼料タンパク質と脂質の魚体蓄積率を**表16**に示す。一見何の傾向もないように思えるが，タンパク質において飼料含量と魚体蓄積率の関係を示したのが**図11**である。飼料タンパク質含量が少ないほど魚体への蓄積率も低くなり，β澱粉の30%添加で著しく魚体への蓄積率が低くなっている。飼料タンパク質を効率良く魚体に蓄積させて魚の成長を良くするには高タンパク質飼料にすべきであることが分かる。これは体内で常に一定量のタンパク質がエネルギー源として分解・利用されているため，飼料タンパク質含量が少ない程その影響が強く出るのであろう。β澱粉の多量投与は飼料タンパク質の魚体蓄積率を著しく悪くしているが，この原因は不明である。但し，**表17**に示すようにβ澱

表16　飼料成分の魚体蓄積率

試験区	A	B	C	D	E
タンパク質（%）	35.3	29.9	22.7	30.9	34.7
脂質	264.0	242.2	172.9	202.1	113.8

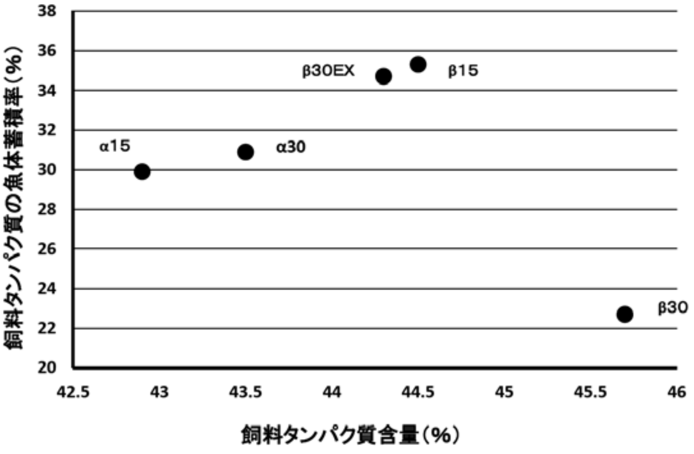


図11　飼料タンパク質含量とタンパク質の魚体蓄積率

表１７　飼料成分の消化吸収率

試験区	A	B	C	D	E
全体（%）	46.3	56.1	54.9	70.9	57.0
タンパク質	87.2	85.7	87.2	86.2	84.9
炭水化物	72.6	87.7	61.9	85.6	90.6

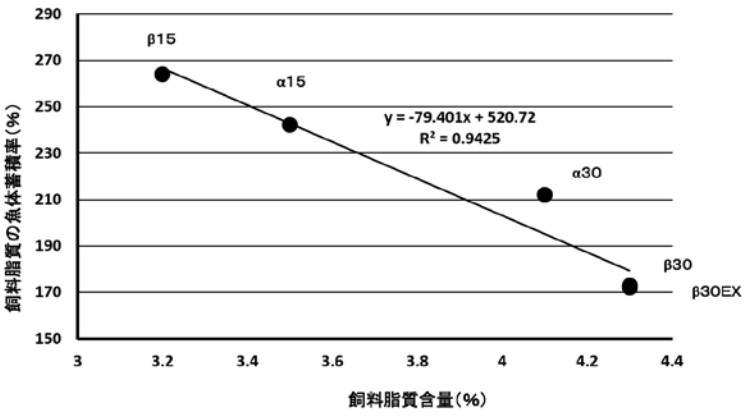


図12　飼料脂質含量と脂質の魚体蓄積率

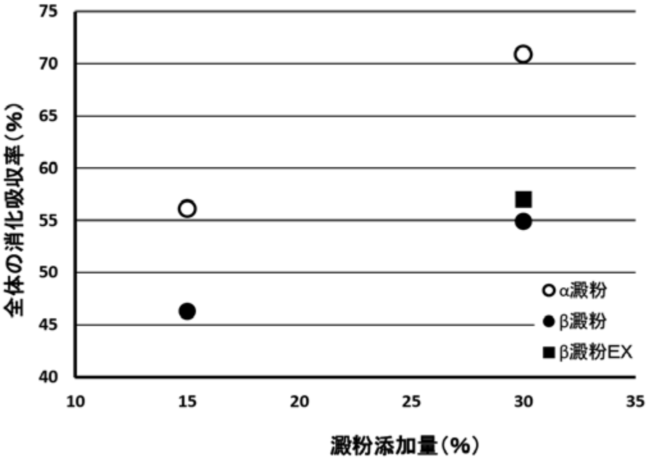


図13　澱粉添加量とエクストルーダー処理が全体の消化吸収率に与える影響

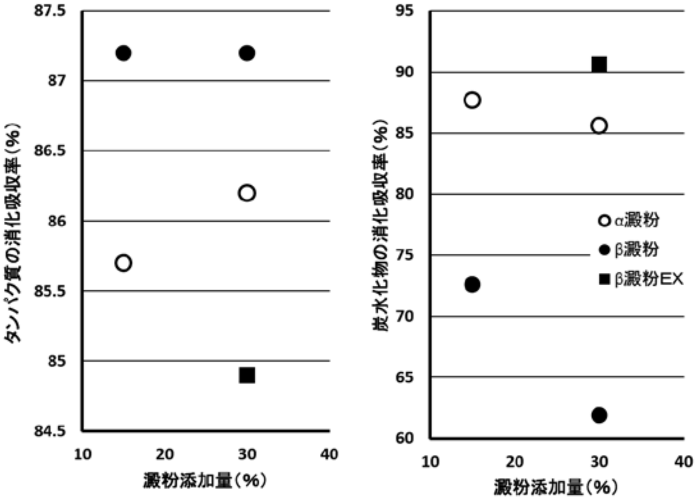


図14　澱粉添加量とエクストルーダー処理がタンパク質，炭水化物の消化吸収率に与える影響

粉30%添加区の飼料タンパク質の消化吸収率は他区より低くはないので，タンパク質の消化吸収率の問題ではないようである。

飼料脂質含量と魚体への脂質の蓄積率の関係を示したのが**図12**で，澱粉量，α型とβ型の違い，エクストルーダー処理なども記入してある。飼料脂質含量が少ない区ほど魚体への蓄積率が高くなっている。これは飼料脂質の蓄積量と炭水化物から脂質への転換量が関与していると思われるが，澱粉の性状や添加量に関係なく略一定の魚体脂質含量を示すため，この様な結果になっているのであろう。β澱粉30%添加エクストルーダー処理区（E区）のみ全く違う数値を示しているが，これは飼料の脂質含量を酸分解法で求めているためで，飼料脂質含量はβ澱粉30%添加区（C区）と同じである筈なので水分補正を加え（4.3×92.8/92.1=4.3），この脂質含量で脂質の魚体蓄積率に補正を加えると113.8×6.5/4.3=172.0%となり，β澱粉30%添加区（C区）の値と略一致する。図12のE区はこの補正を行った数値で示してある。

この様に飼料脂質の魚体蓄積率は飼料への澱粉の添加量，澱粉の性状，エクストルーダー処理の有無などには関係なく，飼料脂質含量によって規定されている。この結果から言えることは，アユは非常に脂質を蓄積し易い魚で，脂質や炭水化物が少ない飼料を与えても優先的に脂質として蓄積するということである。

2-6. 飼料成分の消化吸収率

飼育試験終了後に酸化クロムを指標物質とする内部標準法で測定した飼料成分の消化吸収率を表 17，**図 13**，**図 14** に示す。両澱粉共に添加量が多い方が全体の消化吸収率が高くなり，β 澱粉よりα 澱粉の方が高い値を示した。タンパク質は澱粉量が 15% と 30% 程度の違いでは消化吸収率に殆ど影響しないようである。また，極僅かではあるがα 澱粉区よりβ 澱粉区の方が消化吸収率が高い傾向が認められた。炭水化物は当然のことながらα 澱粉の方が消化吸収率が高く，添加量を 15% から 30% に増やしても極僅か消化吸収率が低下する程度であった。一方，意外なことにアユではβ 澱粉も可也の割合が消化吸収されていた。この理由は使用した澱粉の問題なのか，試験飼料の調製法の問題なのか，あるいは魚の持つ消化酵素や腸内細菌が産生する酵素の問題であるのかは不明であるが，今後ハッキリさせなければならない問題である。β 澱粉が可也消化吸収されることが全体の吸収率の数字に影響しており，澱粉添加量を 30% にした時に全体の消化吸収率が高くなっているのは，α セルロースが添加されていないことによるのであろう。

β 澱粉をエクストルーダー処理すると全体の消化吸収率はβ 澱粉とα 澱粉の中間値を示し，タンパク質はα 澱粉区より低く，炭水化物は高い値を示していた。エクストルーダー処理によってタンパク質の消化吸収率が多少低くなるのは，タンパク質が過熱変性した可能性やα化した澱粉によってタンパク質源の原料がコーティングされ，タンパク質分解酵素の作用を受け難くした可能性などが考えられる。また，エクストルーダー処理によって炭水化物の消化吸収率が著しく高くなったのは，α 化が完全に行われたことと，エクストルーダー内での練込によってα 澱粉が膜状に広がって表面積が大きくなり，消化酵素の作用を受け易くなっていたことが考えられる。

2-7. 背肉の鮮度低下

背肉の K 値の変化を酵素法で経時的に測定した結果を**表 18** に示す。試験区間で K 値の変化に違いは認められなかった。腹切れの問題は鮮度低下の問題ではなく，組織の堅固さと自己消化酵素の活性の強さの問題ではないかと思われる。アユは特に腹部に脂質を蓄積するので組織が軟弱になる。そこへ魚や腸内細菌が持つ自己消化酵素，特にタンパク質分解酵素が作用すれば組織の形状を維持しているタンパク質が分解され，組織は非常に弱くなる。この様な魚を取り扱えば腹部の軟弱な部分が切れて，内臓が飛び出すことになる。これを防ぐには腹部へ出来るだけ脂質を蓄積させないことと，タンパク質分解酵素を作用させないように流通時に低温を保つことであろう。

表 18　背肉の鮮度低下（K 値の変化）

試験区	A	B	C	D	E
開始日	3.8	6.1	11.2	7.7	12.6
2 日後	35.2	36.8	39.2	33.5	37.8
4 日後	56.8	55.7	57.1	52.1	51.6
6 日後	75.3	75.0	73.2	72.6	69.5

3. 要約

・成長，飼料効率，タンパク質効率などの飼育成績はα 澱粉添加区の方が良く，α 澱粉はβ 澱粉より効率良く利用されていた。また，α 澱粉添加量 15% と 30% では飼育成績に違いが見られなかったので，アユはニジマスより炭水化物利用能が高いと判断出来る。

・α 澱粉は効率よく消化吸収されてエネルギー源として利用されると共にグリコーゲンや脂質として魚体に蓄積される。従って肝臓体重比と DL 体重比がα 澱粉添加区の方が大きくなる。但し，脂質の蓄積は DL に限定されているようである。

・α 澱粉添加区で全魚体の脂質含量が多くなる傾向は認められず，逆に背肉ではβ 澱粉添加区の方が脂質が多かった。

・α 澱粉添加区の血漿 Glu 含量はβ 澱粉添加区より僅かに高い程度で，添加量を増やしても血漿 Glu 含量はあまり変化しなかった。これはアユの炭水化物利用能が高く，α 澱粉 30% の

添加でも問題無いことを示しており，ニジマスとは大きく違っている。

・飼料成分の魚体蓄積率から，アユは非常に脂質を蓄積し易い魚であるといえる。特に飼料の脂質が少ない場合にはタンパク質や炭水化物を脂質に転換して優先的に蓄積している様である。

・飼料タンパク質の消化吸収率は澱粉の量，α型とβ型の違いなどによって大きな影響を受けない。炭水化物の消化吸収率は当然のことながらα澱粉の方が高く，添加量を30%まで増やしても消化吸収率は極僅かに低下しただけであった。β澱粉も理由は不明であるが可也消化吸収されていた。

・エクストルーダー処理によってβ澱粉は略完全にα化されて消化吸収率は著しく高くなるが，飼料のタンパク質の消化吸収率は低くなった。

・脂質を過剰に蓄積したアユの腹切れは，鮮度が低下し易いためではなく，組織の堅固さとタンパク質分解酵素の活性との関係である。

考察

ニジマスとアユで得られた結果を纏めると，以下の様に考えられる。

ニジマス

肉食性魚なので消化管のアミラーゼ活性は弱く，飼料中のα澱粉が分解されて生じるグルコース量は少ない。グルコースが体内に取り込まれても細胞で利用される量が少ないので血漿のグルコース濃度が高くなる。細胞に取り込まれてもエネルギー源として利用されるグルコースが少ないので,脂質に転換されて蓄積される。よって，α澱粉の添加量が増えるに従って内臓体重比と肝臓体重比が高くなり，α澱粉の添加量が一定値を超えるまで肥満度，DL体重比，魚体の脂質含量も高くなる。ニジマスの利用可能α澱粉量は稚魚で25%，成魚で20%が限界で，これを越えなければα澱粉の添加量に従って飼育成績も良くなる。

アユ

成長したアユは植物食性なので消化管のアミラーゼ活性は強く，飼料中のα澱粉が分解されて生じるグルコース量は多い。大量のグルコースが体内に取り込まれてもエネルギー源として利用される量が多いので，血漿のグルコース濃度はあまり高くならない。細胞内でグルコースから脂質に転換されるのは主として脂肪細胞なので，DL体重比は増える。ところが筋肉部では逆に脂質は減少傾向にある。従って全魚体の脂質含量はそれ程増えない。この様にアユの炭水化物利用能は非常に高く，α澱粉の30%添加でもまだ余裕が有るようである。

文　献

1. 会田勝美：代謝 . 魚類生理学の基礎（会田勝美編），恒星社厚生閣，東京，204-214. 2011.
2. 示野貞夫：糖質代謝 . 魚類の物質代謝（永山文夫編），恒星社厚生閣，東京，9-22. 1983.
3. 示野貞夫：魚介類の糖質とその代謝 . 水産生物化学（山口勝巳編），東京大学出版会，東京，56-71. 1991.
4. 乾靖夫：回遊と代謝 . 回遊魚の生物学（森沢正昭，会田勝美，平野哲也編），学会出版センター，東京，53-69. 1987.
5. 手島新一：魚介類の脂質とその代謝 . 水産生物化学（山口勝巳編），東京大学出版会，東京，34-55. 1991.
6. J. E. Halver: Nutrition of salmonoid fishes – III.Water-soluble vitamin requirements of Chinook salmon.*J. Nutr*., **62**: 225-243. 1957.
7. 金井泉，金井正光：臨床検査法提要（改定増補第 26 版），金原出版，東京，Hb VI.17-22，Ht VI .22-25. 1972.
8. 古川厚，塚原宏子：養魚飼料消化試験の指標物質としての酸化クロムの湿式定量法について . 日本水産学会誌，**32**: 502-506. 1966.
9. 大橋実，荒川信彦，浅原朋子，酒本秀一：魚介類の鮮度判定恒数 K 値の簡易測定法 . 特開　S60-47695. 1985. 登録番号　1773646

http://www.newfoodindustry.com/

ニューフードインダストリー　第60巻　第 9 号

印　刷　平成 30 年　8 月 25 日
発　行　平成 30 年　9 月　1 日
発行人　渡邊　力
編集人　今西　和政
発行所　エヌエフアイ合同会社
〒185-0012　東京都国分寺市本町3-7-23-302
ＴＥＬ：042-312-0836（代表）
ＦＡＸ：042-312-0845
振込先：三井住友銀行　国分寺支店　普通2312814
多摩信用金庫　国分寺支店　普通3073817
ゆうちょ銀行　〇一九店　当座0324817

印刷所　株式会社メイク
定　価　本体2,000円 ＋税　（送料100円）

e-mail：newfood@newfoodindustry.com