

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

New food indust. 59 (8) : 2017.

8

論 説

- 椎茸菌糸体培養培地抽出物の脳保護効果
Cerebroprotective effects of a water-soluble extract from the culture medium of *Lentinus edodes* mycelia
- 家庭内常在菌
—セラチア菌, モラクセラ菌, カンジダ菌— に対するバイオイオナース[®]の除菌効果について
- グルテンフリー食品のマーケットと消費者
- マメ類の知的選別機の開発
- 食品物性研究における質量基準と体積基準に関する一考察

連 載

- ヒメマスの肉色改善

酒たちの来た道

- 酒造りの文明史^⑨

連 載

- 野山の花 – 身近な山野草の食効・薬効 –
キキョウ *Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC.
(= *P. grandiflorum* (Jacq.) A. DC.) (キキョウ科 Campanulaceae)
- デンマーク通信 デンマークは茶色の主食が主流

会 告

- 第44回食品の物性に関するシンポジウム



論 説

- ☐ 椎茸菌糸体培養培地抽出物の脳保護効果
Cerebroprotective effects of a water-soluble extract from the culture
medium of *Lentinus edodes* mycelia
..... 玄 美燕, 岩田 直洋, 岡崎 真理, 神内 伸也, 飯塚 博, 日比野 康英 1
- ☐ 家庭内常在菌 -セラチア菌, モラクセラ菌, カンジダ菌-
に対するバイオイオナース®の除菌効果について
..... 窪田 倭, 高塚 正, 和田 雅年, 松澤 皓三郎, 山地 信行 15
- ☐ グルテンフリー—食品のマーケットと消費者
..... 瀬口 正晴 20
- ☐ マメ類の知的選別機の開発
..... 古木 三裕, 田邊 大, 高橋 史夫, 片平 光彦 25
- ☐ 食品物性研究における質量基準と体積基準に関する一考察
..... 西津 貴久 33

連 載

- ☐ ヒメマスの肉色改善
..... 酒本 秀一, 佐藤 達朗 40

Contents

2017 年 8 月号

酒たちの来た道

□ 酒造りの文明史⑨

..... 古賀 邦正 54

連 載

□ 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —

キキョウ *Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC.

(= *P. grandiflorum* (Jacq.) A. DC.) (キキョウ科 Campanulaceae)

..... 白瀧 義明 76

□ デンマーク通信 デンマークは茶色の主食が主流

..... Naoko Ryde Nishioka 78

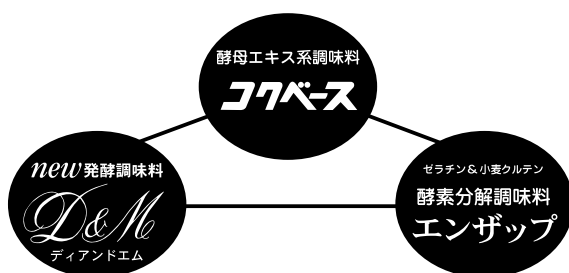
会 告

■ 第 44 回食品の物性に関するシンポジウム

..... 38

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



(新発売!) 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース
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
特長がある乳糖酵母エキスです。



大日本明治製糖株式会社

食品事業部

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

椎茸菌糸体培養培地抽出物の脳保護効果

Cerebroprotective effects of a water-soluble extract from the culture medium of *Lentinus edodes* mycelia

玄 美燕 (XUAN Meiyun)¹ 岩田 直洋 (IWATA Naohiro)¹ 岡崎 真理 (OKAZAKI Mari)¹
神内 伸也 (KAMIUCHI Shinya)¹ 飯塚 博 (IIZUKA Hiroshi)² 日比野 康英 (HIBINO Yasuhide)^{1*}

¹ 城西大学薬学部 医療栄養学科

² 野田食菌工業株式会社

¹ Department of Clinical Dietetics and Human Nutrition, Faculty of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, Josai University

³ Noda Shokukinkogyo Co., Ltd.

Key Words : 虚血性脳障害 低酸素 / 脳虚血 4 血管閉塞 血管性認知症 椎茸菌糸体培養培地抽出物 (LEM)
酸化ストレス 炎症 アポトーシス

Cerebral ischemia, Hypoxia/ischemia, Four-vessel occlusion (4VO), Vascular dementia, Water-soluble extract from culture medium of *Lentinus edodes* mycelia (LEM), Oxidative stress, Inflammation, Apoptosis

Abstract.

Acute brain infarction is usually managed with treatment strategies that correct cerebral blood flow and provide neuroprotection. In contrast to the former therapy, where the first drugs of choice are limited due to a narrow therapeutic window, the latter is gaining attention for treatment of acute cerebral infarction as a strategy that focuses on protection of brain cells and cerebrovascular endothelial cells. Oxidative stress plays an important role in the acute phase of a cerebral infarction and therefore, controlling oxidative stress has been recognized as the most critical component of acute management. Consequently, various drugs have been developed but these pharmacological therapies face the utmost difficulty in achieving a complete cure. With this background, primary prevention is particularly important to avoid acute cerebral infarction.

Cerebral neuroprotection using antioxidants is an attractive field of research as a targeted strategy for reducing of oxidative stress that has a significant influence on nerve cell death in the penumbra around an ischemic area. This paper reviews the protective effects against hypoxic ischemic brain damage mediated by an antioxidative water-soluble extract from culture medium of *Lentinus edodes* mycelia (LEM).

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Clinical Dietetics and Human Nutrition,
Faculty of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, Josai University,
1-1 Keyakidai Sakado, Saitama 350-0295, Japan
TEL : +81-49-271-7285 FAX : +81-49-271-7284 E-mail : seitaib@josai.ac.jp

連絡先 : 〒 350-0295 埼玉県坂戸市けやき台 1-1

城西大学薬学部 医療栄養学科 生体防御学研究室

Tel : 049-271-7285 Fax : 049-271-7284 E-mail : seitaib@josai.ac.jp

要旨

脳梗塞急性期治療の戦略には、血流改善療法と脳保護療法の二つがある。前者は、適用時期の制限などから選択薬が限られている一方で、後者は、脳細胞の保護と脳血管内皮細胞保護の両面に焦点を当てた治療法として注目されている。急性期の病態において酸化ストレスは重要な役割を演じ、この制御は急性期治療において最も重要なものとして、これまでに様々な薬剤が開発されてきたが、上記のいずれの治療法とも薬物による根治は困難を極めている。このため、一次予防の重要性がクローズアップしている。

虚血周辺部のペナンプラ領域における神経細胞死は、酸化ストレスによる影響が大きいことから、その軽減をターゲットとした抗酸化物質による脳保護療法が注目されており、本総説では、抗酸化作用を有する椎茸菌糸体培養培地抽出物（LEM）の低酸素脳虚血障害に対する保護効果について概説する。

はじめに

脳血管疾患（脳卒中）は、日本では死亡原因の第4位を占め、「寝たきり」となる率が最も高い疾患である。超高齢社会では、生活習慣病の患者数の増加も影響して、完治が困難なことや再発率が高い疾患であることなどから、治療による対策以上に予防の重要性が増している。また、世界的には脳血管疾患の死亡率は減少傾向にあるものの有病率は逆に増加しており、後遺症による寝たきりの主要な原因として、患者の生活の質（QOL）を著しく低下させることがグローバルな社会問題となっている。脳血管疾患には、図1に示すように血管が損傷して生じる出血性脳血管障害と、血管の閉塞や狭窄により血流が遮断されて生じる虚血性脳血管障害があり、後者の罹患率は非常に高い。

一過性脳虚血は、24時間以内に解消する可逆的な脳血流の閉塞を特徴とするが、虚血や再灌流時に発生する酸化ストレスが引き金となり、神経細胞死を誘導する³⁾。通常、脳梗塞が発生した場合、急性期の主要な治療法として組

織プラスミノゲンアクチベータ（t-PA）による血栓溶解療法が用いられるが、血流の再開に伴うフリーラジカルの発生によって二次障害を生じる。このように、虚血性脳障害の発生・進展メカニズムには、酸化ストレスの関与が大きいことが知られている⁴⁾。

再生能や防御機能が極めて低い脆弱な脳において、虚血中心部では血流の著しい減少による酸素やATPの欠乏によって、神経細胞が数分以内に不可逆的壊死に陥る。虚血周辺部位のペナンプラ領域では、虚血に加えて血流の再開によって過剰に生成した活性酸素種（ROS）や活性酸化窒素種（RNOS）などのフリーラジカルが、生体内の標的分子に作用して脂質の過酸化反応、タンパク質の変性、酸化的DNA損傷などを誘起してアポトーシスを誘導する⁵⁾。特に、抗酸化酵素の含有量が少ない海馬CA1領域の錐体細胞や小脳のプルキンエ細胞などが選択的に障害されやすく、酸化ストレスに対して脆弱であることも知られている⁶⁾。

一方、ペナンプラ領域の神経細胞死は、早期薬物治療が可能であることから、酸化ストレスの軽減を目的とした抗酸化物質による神経保護療法が注目され、中でも虚血性脳障害に対する抗酸化成分を含有する天然物の保護効果について、これまでに多くの報告がなされている⁷⁻¹¹⁾。ところが、近年の生活習慣病の増加を背景に、抗酸化作用を謳った

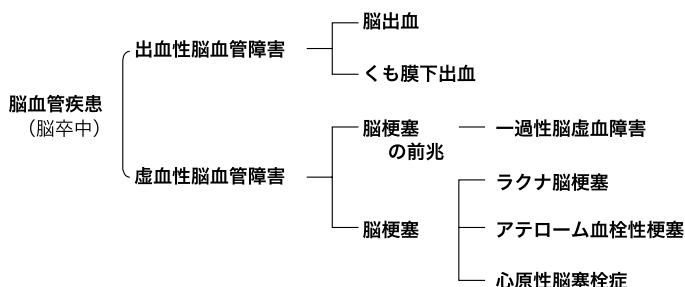


図1 脳血管疾患の分類¹⁻²⁾

健康食品が多いにもかかわらず、虚血性脳障害に対する個々の科学的検証は必ずしも充分でなく高い安全性と臨床的有用性を明らかにした健康食品は少ない。これまでに我々は、糖尿病と一過性脳虚血の両疾患において、酸化ストレスを軽減し医薬品の代替として疾病の予防が期待できる食品を探索し、それらの有効性や安全性について検証してきた。本総説では、数十種類の天然物の中から血糖上昇抑制作用とともに抗酸化作用を示す食品を探索する中で得られた知見のうち、椎茸菌糸体培養培地抽出物 (LEM) の虚血性脳障害モデルを用いて得られた結果について報告する。

LEM の機能性食品としての有用性を評価することで、今後、副作用を懸念することなく日常的に長期間摂取することで、梗塞時の脳障害の軽減が期待できるとすれば、医薬品に匹敵する効果を示す機能性食品として疾病の予防に利用することが十分に考えられる。その上で、活性本体が明らかになれば、治療を目的とした新薬開発にも寄与できる。これらを目標として、第1節ではマウスを用いた低酸素/脳虚血 (H/I) モデルに対する虚血脳障害に対して、第2節ではラットを用いた4血管閉塞 (4VO) 一過性脳虚血による血管性認知症モデルを用いて、LEM の脳障害軽減効果について概説する。

1. マウスの低酸素脳虚血障害に対する LEM の脳保護効果

虚血性脳障害は、虚血または再灌流時に増大する酸化ストレスによって脳細胞のアポトーシスを誘導する。虚血周辺領域の細胞死は、早期薬物治療によってその進行を防ぐことが可能であることから、酸化ストレスの軽減をターゲットとした抗酸化物質による神経保護療法が注目され、これまでに抗酸化活性を有する天然物の脳保護効果に関する報告がある⁷⁻⁹⁾。

近年、様々な食用キノコ (椎茸、霊芝など) の生理活性が注目され、これらを原料とした生活習慣病対策用の健康食品が数多く開発されている。現在、健康食品として用いられてい

る LEM は、バガスと脱脂した米糠の混合固形培地に椎茸の菌糸体を接種させ約4ヶ月間培養後、子実体発生直前に菌が繁茂した状態で培地ごと粉碎し、熱水抽出、噴霧乾燥させたものである。これまでの椎茸や霊芝などキノコに関する報告には、子実体を用いた研究が大部分であるが、子実体は採取した地域や時期などによって品質が一定でないことから、効果にばらつきが多いことが報告されている。一方、LEM は一定の培地と由来が明確な菌糸を用いて、コントロールされた条件下で培養されたもので、品質が安定していることが特徴である。さらに、この抽出物には菌糸体成分に加え、菌糸体による培地の分解物や菌糸体の自己消化物など多種類の成分が含まれ、これらの多様な成分が様々な生物学的活性を示すと考えられる。

LEM に関する基礎研究は数多く、これまでに抗ウイルス作用^{12, 13)}、抗腫瘍作用^{14, 15)}、免疫調節作用^{16, 17)} など様々な生理活性が明らかにされている。また、肝障害に対する効果についてはすでに臨床研究が行われており、LEM の摂取が薬剤性肝障害患者¹⁸⁾ や、慢性肝炎患者¹⁹⁾ に対して有効であることも報告されている。さらに、LEM は培養細胞実験からC型肝炎ウイルスの増殖抑制²⁰⁾ や動物実験モデルのラジカル性肝障害モデルである四塩化炭素処置ラットの肝障害に対する防御効果を示し、その作用機序にはフリーラジカル消去による肝ミトコンドリアの脂質過酸化抑制作用が関与することが報告されている^{21, 22)}。加えて、LEM にはスーパーオキシドジスムターゼ様活性やラジカル消去能、過酸化脂質産生抑制能などの抗酸化作用^{23, 24)} を有することが報告されており、LEM の多様な生理活性の発現メカニズムに少なからず抗酸化作用の寄与が推察され、糖尿病や高血圧、動脈硬化による虚血性疾患などの生活習慣病に対する予防・改善効果が期待される²⁵⁾。

そこで本節では、正常マウスの虚血性脳障害モデルにおける酸化ストレス障害に対する LEM の脳保護効果について解説する²⁶⁾。



図2 LEMの製造工程

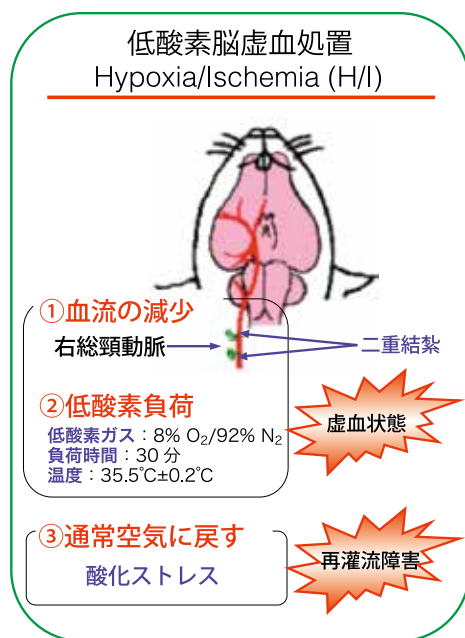
1.1. LEMの製造方法とH/Iモデルの作製

本研究で用いたLEMは、野田食菌工業(株)において製造された「LEM」を使用した。LEMの製造工程を図2に示した。椎茸(*Lentinus edodes*)菌糸体ペレットをバガス(砂糖キビ搾汁残渣)と脱脂した米糠の混合固形培地に接種し、4ヶ月間培養後、子実体発生直前に培地ごと破碎し、蒸留水で懸濁、熱水抽出した。抽出物を珪藻土上で濾過した後、メンブランフィルター(0.45 μm)にて濾過滅菌し、濾液の噴霧乾燥品をLEMとしたものであり、健康食品と

してすでに40年近い販売実績がある。

H/Iモデルの作製方法は、C57BL/6 Kwl系雄性マウスを用いて脳虚血処置として低酸素脳虚血(H/I)障害モデルを採用した^{10, 27, 28)}。H/I処置は、右総頸動脈の結紮により脳の血流を低下させ、さらに、低酸素負荷(8% O₂/92% N₂ 低酸素, 35.5℃で30分間負荷)により脳虚血時の酸素欠乏状態を再現した後、通常の大気中に戻すことによって酸化ストレスによる再灌流障害を誘発させた(図3)。

【実験モデル】



【実験概要】

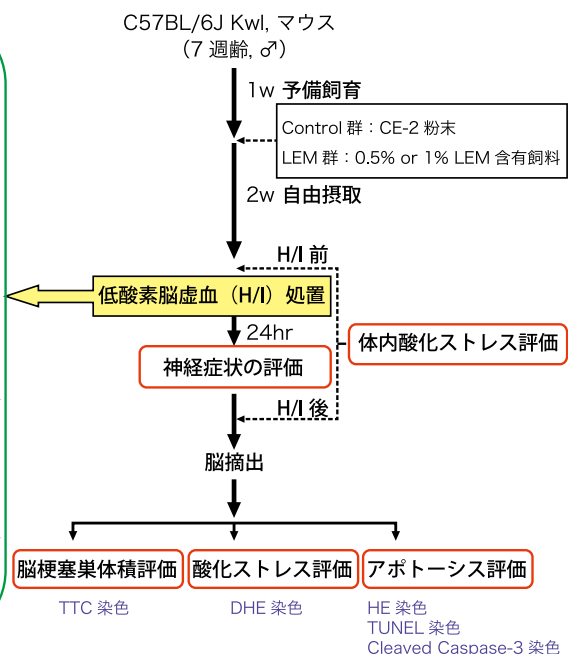


図3 H/Iモデルマウスの作製と実験の概要²⁶⁾

1.2. マウスの H/I 障害に対する脳保護効果の検討

LEM を 0.5% または 1% (w/w) で混合した粉末飼料を 14 日間、自由に摂取させた結果、通常の粉末飼料のみを与えた Control 群のマウスの体重および摂食量と比べて、両パラメーターともに有意差は認められなかった。因みに、0.5%, 1% LEM 投与群の平均体重あたりの LEM 摂取量は、それぞれ約 0.75 および 1.5 g/kg body weight/day であった。この摂取量は、動物実験に用いられている LEM の標準的投与量の範囲内 (0.3 ~ 2.7 g/kg body weight/day) であった。これはヒトを対象とした研究における投与量 (約 25 ~ 60 mg/kg body weight/day) の数十倍にあたるが、通常、実験動物に薬物投与を行う場合は、ヒトの 10 倍量を目安とすることから、妥当な量であると考えられる。また、実験期間中に毒性の発現は認められないことも明らかになっている。続いて、低酸素脳虚血マウスの体内酸化ストレス度を、血中ヒドロペルオキシド濃度を指標とした d-ROMs テストにより評価した。Control 群では、H/I 処置前 (56.75 ± 8.34 U.CARR) に比べ、H/I 処置 24 時間後 (109.00 ± 16.79 U.CARR) [1U.CARR は、過酸化水素 0.08 mg/100 mL に相当] の体内酸化ストレス度が有意に増大した。一方、0.5%, 1% LEM 両群の H/I 処置前の酸化ストレス度は、Control 群と差は認められなかったが、1% LEM 群 (77.00 ± 7.00 U.CARR) の H/I 処置 24 時間後の酸化ストレス度は、Control 群よりも有意に減少した。因みに、擬似手術群の Sham 群に

おいて、手術 24 時間後の体内酸化ストレス度に変化は認められなかった。

続いて、低酸素脳虚血による脳障害に対する LEM の保護効果について、H/I 処置 24 時間後に表 1 に示した 6 つの項目に沿って神経症状を評価した。H/I 処置 24 時間後の Control 群 (7.60 ± 1.95) の神経症状スコアは、Sham 群 (18.00 ± 0) と比べて有意に低下した。これに対して、0.5% LEM (11.20 ± 2.77) および 1% LEM (15.00 ± 2.45) 群では、Control 群と比較して H/I 処置による神経症状の悪化が有意に抑制された。

H/I 処置 24 時間後の脳の TTC 染色から梗塞巣体積を評価したところ、Sham 群の脳には梗塞は確認されなかったが、Control 群 ($31.94 \pm 9.10\%$) では、H/I 処置により右半球の皮質、線条体および海馬の広範囲に梗塞巣が形成された。一方、0.5% LEM ($15.88 \pm 8.37\%$) および 1% LEM ($9.98 \pm 6.45\%$) 群の梗塞巣の形成は、皮質および線条体の一部分にのみ認められ、Control 群と比較して有意に減少した。

H/I 処置によって誘発される脳実質でのスーパーオキシドアニオン (O_2^-) 産生に対する LEM の影響を、DHE 染色による組織化学的に評価した。その結果、Control 群では海馬 CA1, CA2 野および大脳皮質体性感覚野に多数の DHE 陽性細胞が認められたが、LEM 摂取群では陽性細胞数が有意に減少した。また、HE 染色による結果から、Control 群では H/I 処置によって海馬 CA1, CA2 野および大脳皮質体性感覚野に濃縮染色された核を有する死細胞が多

表 1 神経症状評価項目^{29, 30)}

	点数			
	0	1	2	3
自発運動 (3 分間)	全く動かない	少しだけ動く	ケージの壁に 1, 2 回触る	ケージの壁に 3, 4 回触る
前後肢の麻痺	非調和	ほぼ非調和	マイルドな非調和	正常
歩行状態	歩行不能	回転運動のみ	まがって歩く	正常歩行
橋渡り	橋から落下	橋にしがみつく	橋の上に止まる	橋の上を歩く
髭に触れた時の反応		反応なし	弱い反応	正常反応
横腹をつついた時の反応		反応なし	弱い反応	正常反応

数認められた。しかし、Control 群と比べて 0.5% LEM 群および 1% LEM 群においては、死細胞数が有意に抑制された。さらに、神経細胞の細胞死について TUNEL 染色により評価したところ、Control 群では H/I 処置により海馬 CA1, CA2 野および大脳皮質体性感覚野において多数の TUNEL 陽性細胞が認められたが、LEM 群では陽性細胞数が有意に減少した。続いて、アポトーシスを促進するカスパーゼ系の活性化の指標として、Cleaved caspase-3 の免疫染色では、Cleaved caspase-3 陽性細胞は TUNEL 陽性細胞の分布とほぼ一致し、TUNEL 染色の結果と同様に LEM 群では Control 群と比較して陽性細胞数が有意に減少した。

これらの結果は、LEM の長期摂取が、H/I 処置による体内酸化ストレス度の増大、神経症状の悪化や脳梗塞巣の増大を改善すること、さらに、脳組織での活性酸素種の産生を抑制し、脳細胞のアポトーシスを抑制することを示している。従って、LEM の長期摂取によって、低酸素脳虚血障害が軽減できると考えられた。

2. ラットの 4VO 脳虚血障害に対する LEM の脳保護効果

高齢化を要因とする認知症の増加は、医療費の増大に加えて患者やその家族の QOL を低下させるなど、高齢化が加速する日本のみならずグローバルな社会問題となっている。認知症には、主にアルツハイマー型認知症 (AD) と血管性認知症 (VaD) があるが、AD は大脳のびまん性萎縮であるのに対して、VaD は動脈硬化や血管壊死などの脳血管障害による脳実質の病変が誘因となる³¹⁾。そのため、VaD は脳血管障害の一つとされ、その危険因子には加齢の他に高血圧や糖尿病、高脂血症など生活習慣病がある³²⁾。疫学調査の結果から、欧米では VaD に比べて AD が多く、日本では逆に VaD が多いとされてきたが、最近では脳血管性疾患の減少から VaD は減少傾向を示している³³⁾。しかし、近年の高齢化率の上昇や危険因子となる生活習慣病の増加、また若年性認知症の約

4 割が VaD によるものであることを考えれば、軽視できない疾患である。

VaD の診断は、National Institute of Neurological Disorders and Stroke-Association Internationale pour la Recherche et l'Enseignement en Neurosciences (NINDS-AIREN) によるものが最も汎用されており、①多発梗塞性認知症、②小血管病変にもとづく認知症、③戦略的単一領域梗塞による認知症、④低灌流に起因する認知症、⑤脳出血に伴う認知症、⑥その他 に区分されているが³⁴⁾、高齢者の場合、認知障害をきたす要因がいくつも重なることから診断の難しさも問題となっている³⁵⁾。しかし、いずれの場合においても VaD の予防には、脳血管障害の危険因子である高血圧、糖尿病、肥満、脂質異常症などに対する管理を十分に行う必要があり、さらに、これら危険因子の発症後における対策にも限界があることから、発症以前からの食生活による予防対策が重要であると考えられている。

脳虚血のモデル動物は、大きく分けて局所脳虚血の病態を解明するための局所脳虚血モデル (focal ischemia model)、もう一つは、手術中の心停止などの全脳虚血の病態を解明するための全脳虚血モデル (global ischemia model) に分類される。本節で取り上げる 4VO モデルは、後者の全脳虚血モデルに分類され、海馬や大脳皮質、線条体などへの選択的脆弱性を示すことから、スナネズミの両側総頸動脈閉塞モデルと並び遅発性神経細胞死や虚血耐性現象のメカニズムなど神経細胞死の研究に欠かせない実験モデルである³⁶⁾。また、このモデルは、記憶に関わる海馬に選択的脆弱性を示し、虚血により記憶や学習能力に影響を及ぼすことがモリス水迷路を用いた行動試験により示されたことから、VaD モデルとしても用いられている³⁷⁾。一方、このほかにもラットの総頸動脈を永久閉塞させ、慢性脳低灌流を生じる 2VO モデルも VaD モデルとされており^{38, 39)}、両側の総頸動脈の永久結紮により脳血流は急性期で正常の約 25 ~ 50%、慢性期で約 50 ~ 80% まで低下し、遷延性の脳低灌流状態を導入できる^{38, 40-42)}。この血流

低下の範囲内では、灰白質の急性期梗塞はほとんど生じないものの、脳梁や線条体白質などの神経線維の脱落^{43,44)}とオリゴデンドロサイトの減少⁴⁵⁾が観察され、ヒトの皮質下血管性認知症に類似した症状を呈することが知られている。近年では、この慢性脳低灌流がVaDの白質病変の成因であるとともに、アルツハイマー病をはじめとする変性性認知症の増悪因子となることが報告されていることから^{38,39,46)}、混合型認知症の解明におけるモデルとしても応用されている。

これら一過性脳虚血は、脳血流の極端な低下や途絶により酸素やグルコースなどの供給障害が生じ、その結果過剰なグルタミン酸放出に伴いNMDA受容体を介して細胞内カルシウム濃度が上昇する。このため、カルシウム依存性酵素群が活性化して細胞死が誘導されるとともに^{47,48)}、虚血後の再灌流によってROSが生成する。ROSは、 O_2^- 、過酸化水素(H_2O_2)、ヒドロキシラジカル($\cdot OH$)、一重項酸素(1O_2)など酸素分子より反応性の高い酸素種の総称であり、脳虚血再灌流時に発生するROSやRNOSは、おもに O_2^- 、 $\cdot OH$ 、NOであると考えられている⁴⁹⁾。生体内には、NAD(P)Hオキシダーゼやキサンチンオキシダーゼ、シクロオキシゲナーゼなどのROSの産生系が存在する一方で、グルタチオンペルオキシダーゼ(GPx)やカタラーゼ、スーパーオキシドジスムターゼ(SOD)などROS消去系としての抗酸化機構が存在する。このように過剰に産生されたROSは、生体の構成成分であるタンパク質や核酸、脂質などの機能を傷害して、細胞障害を誘発する。特に、アルツハイマー病、パーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症(ALS)などの神経変性疾患の発症には、ROSが深く関与していると考えられている⁵⁰⁾。

ROSを消去するラジカルスカベンジャーは、酸化ストレスによる傷害に対して保護作用を示すが、生体内における酸化ストレスの防御機構には、抗酸化能を示す非酵素タンパク質や様々な還元性物質が担うとともに、ビタミンCや

ビタミンEなどの抗酸化ビタミンが寄与している。一方、生体外物質としてフリーラジカル消去能を有する治療薬エダラボンが、脳梗塞急性期に伴う神経症状や機能障害の改善に利用されている⁵¹⁾。加えて、食品にも酸化ストレスに対して神経保護作用を示す物質が数多く含まれていることが報告されている⁵²⁻⁵⁴⁾。中でも、LEMはSOD様活性やフリーラジカル消去能、過酸化脂質生成抑制作用などの抗酸化活性を示すことが明らかになっている^{24,55)}。そこで本節では、まず培養細胞を用いたLEMの神経保護効果について示した後、一過性脳虚血を特徴とするVaDの4VOモデルラットを用いて、VaDの予防あるいは治療効果に関する知見を紹介する⁵⁶⁾。

2.1. *In vitro* 試験による神経保護効果の検討

一過性脳虚血は、虚血あるいは再灌流時に過剰に産生されたROSが細胞の傷害を誘導する。そこで、神経成長因子(NGF)によって神経様細胞へ分化させたラット副腎髄質褐色細胞腫由来細胞(PC12細胞)を用いて、 H_2O_2 によって擬似的に酸化ストレスを施した条件下でのLEMの細胞保護作用を評価した。まず、細胞生存率をMTT assayにより評価したの結果、LEMはビタミンEの誘導体であるTroloxと同様に強い神経細胞保護を示した。因みに、ビタミンCにもTroloxと比べて弱いながら保護効果が認められた。また、細胞のTUNEL染色では、LEMとTroloxの両者はともに低濃度においてアポトーシス陽性細胞数を有意に減少させたが、LEMの高濃度下では抑制作用を示さなかった。つまり、LEMは酸化ストレス下の細胞生存率を高めアポトーシスを抑制すると考えられるが、LEM中の活性成分による両作用は、LEM中の複数の成分の影響により最適な条件があると考えられる。これまでにPC12細胞を H_2O_2 処理すると、細胞内のROSとカルシウム濃度が上昇して過酸化脂質の産生が亢進し、ミトコンドリア膜電位の消失によってアポトーシスが誘導され、抗酸化物質がこれら現象を抑制

することで神経保護作用を示すと報告されている⁵⁷⁾。また、種々の抗酸化物質がグルタチオン (GSH) 量とカタラーゼ活性を上昇させ、 H_2O_2 処理による細胞のアポトーシスを抑制してその生存率を上昇させるとの報告もあり⁵⁸⁾、LEM の神経細胞保護作用は、これらと類似した抗酸化成分が関与した機構によるものと考えられる。

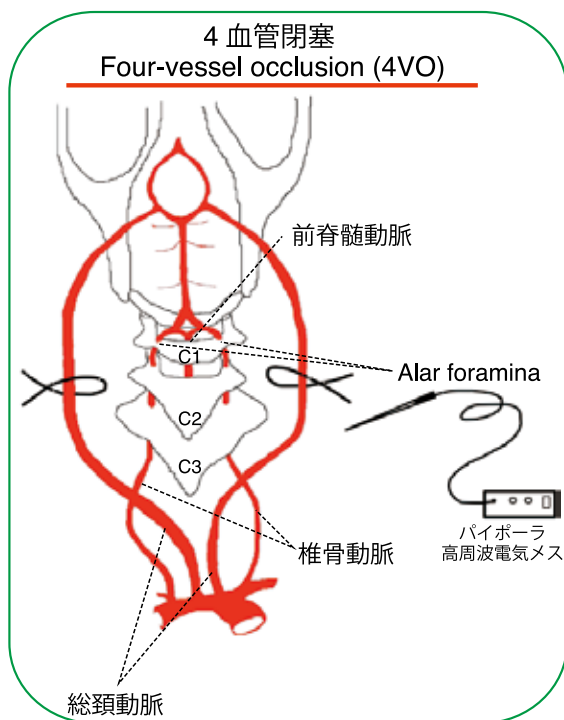
さらに、LEM のアポトーシス抑制作用機構を検討するために、アポトーシスのシグナルカスケードの一つである caspase-3 の活性化能を Western blot 法を用いて解析した。その結果、細胞内 caspase-3 の活性化を、LEM は濃度依存的に抑制した。従って、LEM の神経細胞保護作用には、酸化ストレス軽減によるアポトーシスの抑制が寄与していると考えられる。虚血性脳障害時の caspase-3 の活性化は、カスケード上流の MAP キナーゼや phosphoinositide-3-kinase (PI3K) /Akt 経路によって制御されてい

るものであるが、一方でアルツハイマー病発症においては glycogen synthase kinase-3 の活性化や caspase-3 の活性化に依存して断片化されるポリ (ADP- リボース) ポリメラーゼなどとの関与について詳細な解析がなされている。これまでに種々の物質が、これらアルツハイマー病発症に関するシグナルカスケードに対して抑制作用を示すことが報告されており^{59, 60, 61-64)}、今後 LEM のシグナルカスケードに与える影響について明らかにしていくことが必要である。

2.2. 4VO 一過性脳虚血モデルラットの作製

4VO モデルラットの作製と実験の概略を図 4 に示した。実験の流れは、次の通りである。LEM (1 g/kg body weight/day) またはビタミン E (100 mg/kg body weight/day) を 1 週間胃ゾンデを用いて強制経口投与したラットを、ペントバルビタールナトリウムを腹腔内投与して麻酔し、脳定位固定装置に固定して第 1 頸椎を露出

【実験モデル】



【実験の流れ】

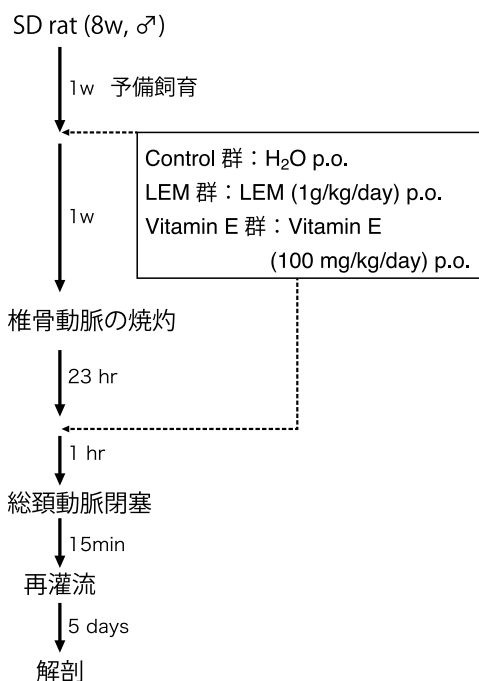


図 4 4VO モデルラットの作製と実験の概要⁶⁵⁾

させた後、実験動物用バイポーラ高周波電気メスを用いて、第1頸椎の両側の椎骨動脈を電気焼灼して永久閉塞させた。23時間後、LEMまたはビタミンEを再び同様に経口投与し、1時間後に4%ハロタンで導入麻酔後、ラットを仰臥位に固定し、頸部正中部分を切り開いて両側の総頸動脈を露出させた。続いて、一過的に総頸動脈を縫合糸で閉塞し、15分後に血流を再開させ、切開した部分を縫合糸で縫合した。再灌流から5日後にハロタン麻酔下で脳を摘出した。なお、擬似手術群には、総頸動脈を閉塞しないこと以外は、同様の処置を行った(図4)。

2.3. 4VO 一過性脳虚血モデルによる脳保護効果の検討

上記に従って作製したラット4VOモデルを用いて、一過性脳虚血におけるLEMの脳保護作用を評価した。その結果、Sham群においては神経細胞に何ら変化は認められなかったのに対して、4VOモデルの水投与群では、海

馬CA1垂領域の神経細胞に脱落が認められた。しかし、LEMおよびビタミンE投与群では、その脱落が有意に抑制された。この結果は、LEMの1週間投与によって、ビタミンEと同様に一過性脳虚血による傷害に対して保護作用を示し、神経細胞の変性や脱落を抑制できることを示唆していた(図5)。

これまでに、4VO処置によって海馬CA1垂領域にアポトーシスが誘導されることが報告されており、その際 nuclear factor- κ B (NF- κ B)の活性化⁶³⁾、シクロオキシゲナーゼ-2産生とそれに伴うプロスタグランジンE₂が上昇することが報告されている⁶⁶⁾。さらに、大脳ではSODやGSH量の低下に伴って過酸化脂質が増大するが、L-carnitineやビタミンE投与によって過酸化脂質の増大が抑制されることが報告されている⁶⁴⁾。また、スナネズミを用いた研究から、海馬CA1垂領域においてSOD活性が低下する一方で、HMG-CoA還元酵素阻害薬のピタバスタチン投与によって神経細胞死が抑制さ

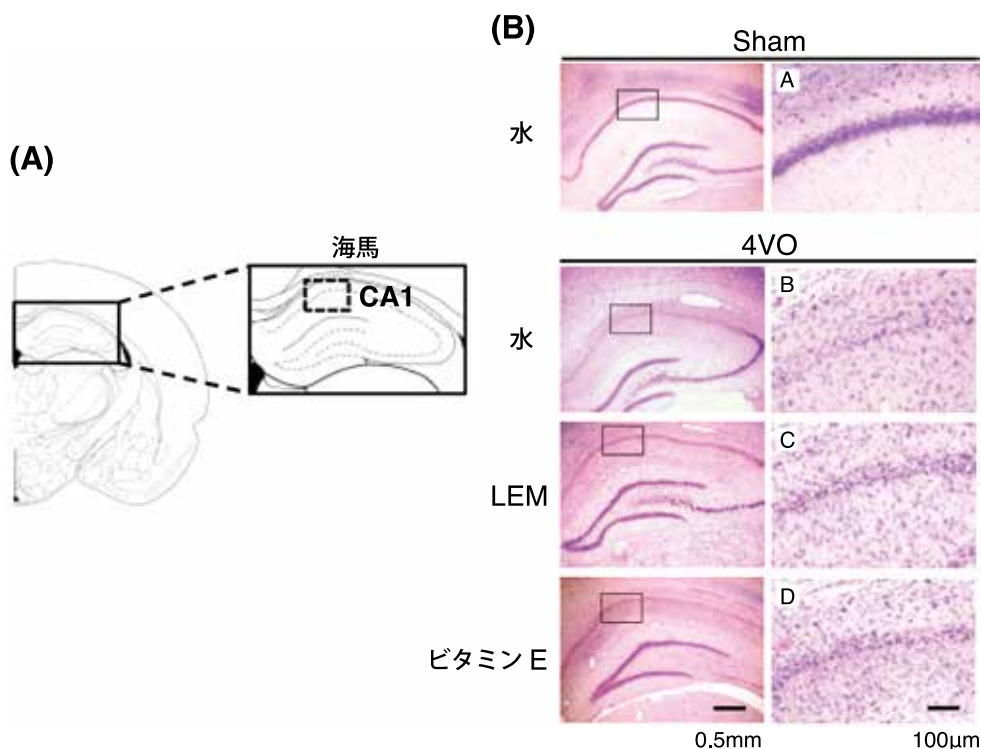


図5 4VOモデルラットの神経細胞死に対するLEMの効果⁵⁶⁾

れるが、これはピタバスタチンの抗酸化作用によるものであると考えられている⁶⁷⁾。

LEM は、担子菌である椎茸の菌糸体を固形培地に接種し、子実体発生直前まで一定期間培養した後、培地と共に熱水抽出・噴霧乾燥したもので、人工的に管理された椎茸菌糸体のみの無菌的な培養により、安定した品質と成分を供給することができる健康食品である。また、LEM には椎茸の菌糸体成分に加え、菌糸体による固形培地の分解物や菌糸体の自己消化成分等も含まれ、その主なものに多糖類、タンパク質、核酸、微量元素、リグニン、リグニンの分解産物であるポリフェノール化合物などがある。これまでに、LEM から抽出されたリグニン様物質が、強いラジカル消去能およびマクロファージ様細胞株の NO 産生抑制作用を示すことが報告されている¹³⁾。また、Ito らは LEM に多く含まれるリグニン分解物であるシリング酸およびバニリン酸が、ラジカル性肝障害モデルであるラット四塩化炭素肝障害に対して肝保護作用を示すことを報告している⁶⁸⁾。従って、LEM の抗酸化作用の活性成分としては、低分子のリグニン様物質やリグニン分解物、テルペノイド等のポリフェノールが考えられ、それらが虚血障害によって破綻した血液脳関門を通過し脳内で抗酸化作用を発現している可能性や、高分子のリグニンや多糖類が生体内抗酸化物質の消費を抑制していること等が推測できる。

一方、LEM の脳保護作用には、酸化ストレスの軽減に加えて抗炎症作用等が関与している可能性もある。梗塞領域では炎症反応が亢進し、フリーラジカル産生を伴う炎症細胞の集積とともに炎症性サイトカインによる神経細胞損傷および血管内皮障害が梗塞周辺領域に誘導されることが報告されている⁶⁹⁾。すでに、椎茸子実体には抗炎症作用⁷⁰⁾が確認されていることから、LEM の抗炎症作用による脳保護作用についてもさらなる検討が必要である。

PC12 細胞を用いた *in vitro* 実験による検討から、LEM が H₂O₂ による酸化ストレスに対して細胞を保護し、アポトーシスを抑制した結果、

神経保護作用を示すものと考えられる。また、4VO モデルにおける検討では、LEM が一過性脳虚血による障害や遅発性神経細胞死に対して保護作用を示すことが明らかとなった。

これまでに我々は、マウスの脳低酸素/虚血 (H/I) 処置によって増大するスーパーオキシド産生を持続的な LEM 摂取が有意に抑制することを明らかにしている²⁶⁾。しかし、その保護作用の詳細なメカニズムについては未だ明らかではないことから、今後、LEM の脳細胞保護作用の詳細なメカニズムを解析するとともに、4VO モデルを用いた記憶・学習の行動学的試験を行うことで血管性認知症の一次予防に対する有効性を明らかにしたいと考えている。

結論

本総説では、虚血性脳障害に対する LEM の機能性食品としての有用性を概説した。継続して摂取する食品を長期間摂取することで医薬品に匹敵する効果を示し、脳障害の軽減が期待できる機能性食品を活用することができれば、疾病の予防に十分に貢献できる。また、病態の改善や予防効果を図るうえで、今後 LEM の有効成分の探索が不可欠となり、活性本体を同定することで治療を目的とした医薬品の開発にも貢献できる点で展開の余地がある。すでに、LEM には、椎茸の菌糸体成分に加え水溶性リグニンをはじめとした菌糸細胞による固形培地の分解物や菌糸体の自己消化成分等が多数含まれ、これらの多様な成分が LEM の生物学的活性を示すものと考えている^{71, 72)}。これまでに、椎茸子実体中の多数の多糖類およびトリテルペノイドに抗酸化作用があること、この作用にはフリーラジカル消去能、SOD や GPx の活性上昇などが関与していることが報告されている⁷³⁻⁷⁸⁾。LEM の強い抗酸化作用が、正常マウスはもとより危険因子となる肥満・2 型糖尿病態時の虚血性脳障害に対する脳保護効果も併せて明らかとなれば、LEM の摂取が一次および二次予防に極めて効果的なものとなり、おのずと有効成分の探索とその活性成分の作用メカニズ

ム解析には学術的な意味が生じる。

LEMには、強い抗酸化作用を持つ多糖類およびトリテルペノイドなどの抗酸化活性成分の存在を予測している。このような活性成分が体内酸化ストレスを軽減し、虚血性脳障害の早期段階で過剰産生されるROSやRNOSなどを減少させ、アポトーシス経路の活性化を抑制することで病態の進展を抑制できるものと考えられる。脳梗塞や癌など死因の上位を占める疾病や、糖尿病などの慢性疾患の根治は難しく、また、これらの病因は食生活をはじめとする生活習慣に大きく依存する。つまり、食生活を改善し、食品や食品成分の機能を有効に活用して疾病の発症を見逃さないようにする初期の治療が今後益々重要になろう。その上で、活性本体が明らかになれば、治療を目的とした新薬開発にも寄与できるはずである。

これまでに、抗酸化作用を有する健康食品に

よる脳保護作用については数多く報告されているものの、これらの知見を疾病の予防や初期の治療に適切かつ有効に活用しているとは言い難い。我々は、機能性食品としてのLEMの有用性を高め発展させる上で、今後ヒトにおいて適切な摂取量などを明確にすることで、医薬品に匹敵する効果を持つ食品でありながら脳障害の軽減が期待できる機能性食品を、疾病の発症予防に活用することができると考えている。現時点においてこのような視点で機能性食品の摂取方法を明確にするプロジェクトは少ないと言える。この構想に基づいて、科学的根拠に裏打ちされた機能性食品を積極的に国民が活用する取り組みは、超高齢社会を維持し国家を安定して発展させる上で必須な要素であろう。医薬品ファーストでは、決して国家の繁栄と国民の健康を持続させることは難しいはずである。

引用文献

1. Caceres JA., Goldstein JN.: Intracranial hemorrhage. *Emerg. Med. Clin. North Am.* **30**(3): 771-794, 2012.
2. Adams HP Jr., Bendixen BH., Kappelle LJ., *et al.*: Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. *Stroke*. **24**(1): 35-41, 1993.
3. Saito A., Maier CM., Narasimhan P., *et al.*: Oxidative stress and neuronal death/survival signaling in cerebral ischemia. *Mol. Neurobiol.* **31**(1-3): 105-116, 2005.
4. Siesjö BK.: Mechanisms of ischemic brain damage. *Crit. Care Med.* **16**(10): 954-963, 1988.
5. Choi DW.: Ischemia-induced neuronal apoptosis. *Curr. Opin. Neurobiol.* **6**(5): 667-672, 1996.
6. Siesjö BK., Katsura K., Zhao Q., *et al.*: Mechanisms of secondary brain damage in global and focal ischemia: a speculative synthesis. *J. Neurotrauma*. **12**(5): 943-956, 1995.
7. Zhang Y., Wang X., Wang X., *et al.*: Protective effect of flavonoids from *Scutellaria baicalensis* Georgi on cerebral ischemia injury. *J. Ethnopharmacol.* **108**(3): 355-360, 2006.
8. Kim DH., Kim S., Jung WY., *et al.*: The neuroprotective effects of the seeds of *Cassia obtusifolia* on transient cerebral global ischemia in mice. *Food Chem. Toxicol.* **47**(7): 1473-1479, 2009.
9. Ban JY., Kang SW., Lee JS., *et al.*: Korean red ginseng protects against neuronal damage induced by transient focal ischemia in rats. *Exp. Ther. Med.* **3**(4): 693-698, 2012.
10. Okazaki M., Iwata N., Horiuchi S., *et al.*: Protective effects of a water-soluble extract from culture medium of *Ganoderma lucidum* mycelia against neuronal damage after hypoxia-ischemia in mice. *Jpn. J. Comp. Alter. Med.* **5**(2): 153-162, 2008.
11. Xuan M., Okazaki M., Iwata N., *et al.*: Chronic treatment with a water-soluble extract from the culture medium of *Ganoderma lucidum* mycelia (MAK) prevents apoptosis and necroptosis in hypoxia/ischemia-induced injury of type 2 diabetic mouse brain. *Evid.-Based Complement Altern. Med.* Article ID 865986, 16 pages, doi:10.1155/2015/865986, 2015.
12. Yamamoto Y., Shirono H., Kono K., *et al.*: Immunopotentiating activity of the water-soluble lignin rich fraction prepared from LEM: the extract of the solid culture medium of *Lentinus edodes* mycelia. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **61**(11): 1909-1912, 1997.
13. Kawano M., Thet MM., Makino T., *et al.*: DNA microarray analysis of signaling pathway in macrophages

- stimulated by lignin-carbohydrate complex from *Lentinus edodes* mycelia (LEM) extract. *Anticancer Res.* **30**(7): 2567-2576, 2010.
14. Hibino Y., Konishi Y., Koike J., *et al.*: Productions of interferon-gamma and nitrite are induced in mouse splenic cells by a heteroglycan-protein fraction from culture medium of *Lentinus edodes* mycelia. *Immunopharmacology.* **28**(1): 77-85, 1994.
15. Morinaga H., Tazawa K., Tagoh H., *et al.*: An in vivo study of hepatic and splenic interleukin-1 beta mRNA expression following oral PSK or LEM administration. *Jpn. J. Cancer Res.* **85**(12): 1298-1303, 1994.
16. Kojima H., Akaki J., Nakajima S., *et al.*: Structural analysis of glycogen-like polysaccharides having macrophage-activating activity in extracts of *Lentinula edodes* mycelia. *J. Nat. Med.* **64**(1): 16-23, 2010.
17. Shen J., Tanida M., Fujisaki Y., *et al.*: Effect of the culture extract of *Lentinus edodes* mycelia on splenic sympathetic activity and cancer cell proliferation. *Auton. Neurosci.* **145**(1-2): 50-54, 2009.
18. 蝶良英郎, 西本光廣, 西井一雅: 肺結核の化学療法で併発した薬剤性肝障害に対するシイタケ菌糸体抽出物顆粒の使用実験. *Prog. Med.* **19**(8): 128-134, 1999.
19. 東口高志, 伊藤彰博, 児玉佳之, 他: C型慢性肝炎に対する *Lentinula edodes* mycelia-enriched diet (L・E・M®) の有効性および安全性に関する臨床的研究, 生物試料分析, **31**(3): 204-214, 2008.
20. Matsuhisa K., Yamane S., Okamoto T., *et al.*: Anti-HCV effect of *Lentinula edodes* mycelia solid culture extracts and low-molecular-weight lignin. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **462**(1): 52-57, 2015.
21. 寺田弘, 大原豊実, 山口康代, 他: 椎茸菌糸体抽出物の四塩化炭素肝障害に対する防御効果, 新薬と臨床, **50**(7): 655-664, 2001.
22. Itoh A., Isoda K., Kondoh M., *et al.*: Hepatoprotective effect of syringic acid and vanillic acid on CCl₄-induced liver injury. *Biol. Pharm. Bull.* **33**(6): 983-987, 2010.
23. 職田真智子, 大島佳奈, 東野英明, 他: 脳卒中易発症性高血圧自然発症ラット (SHRSP) に対する椎茸菌糸体抽出物の作用, 新薬と臨床, **52**(1120): 52-60, 2003.
24. 中村リサ, 渡邊愛子, 猪木彩子, 他: 生体内脂質過酸化に及ぼすシイタケ菌糸体抽出物 (L.E.M) の影響, 日本栄養・食糧学会誌, **58**(4): 217-223, 2005.
25. Yamada T., Oinuma T., Niihashi M., *et al.*: Effects of *Lentinus edodes* mycelia on dietary-induced atherosclerotic involvement in rabbit aorta. *J. Atheroscler. Thromb.* **9**(3): 149-156, 2002.
26. Xuan MY., Okazaki M., Iwata N., *et al.*: Protective effects of a water-soluble extract from culture medium of *Lentinus edodes* mycelia against neuronal damage after hypoxia-ischemia in mice. *Jpn. J. Comp. Alter. Med.* **8**(2): 99-107, 2011.
27. Tureyen K., Bowen K., Liang J., *et al.*: Dempsey and Raghu Vemuganti Exacerbated brain damage, edema and inflammation in type-2 diabetic mice subjected to focal ischemia. *J. Neurochem.* **116**(4): 499-507, 2011.
28. Sakata A., Mogi M., Iwanami J., *et al.*: Female type 2 diabetes mellitus mice exhibit severe ischemic brain damage. *J. Am. Soc. Hypertens.* **5**(1): 7-11, 2011.
29. Tsubokawa T., Jadhav V., Solaroglu I., *et al.*: Lecithinized superoxide dismutase improves outcomes and attenuates focal cerebral ischemic injury via antiapoptotic mechanisms in rats. *Stroke.* **38**(3): 1057-1062, 2007.
30. Garcia JH., Wagner S., Liu KF., *et al.*: Neurological deficit and extent of neuronal necrosis attributable to middle cerebral artery occlusion in rats: statistical validation. *Stroke.* **26**(4): 627-635, 1995.
31. 川上忠孝: アルツハイマー病と血管性認知症, 血圧, **19**(8): 706-709, 2012.
32. 吉田光宏: 血管性認知症, 医学のあゆみ, **235**(6): 737-743, 2010.
33. 柄澤昭秀: 痴呆の疫学, 治療, **86**(5): 1635-1639, 2004.
34. Román GC., Tatemichi TK., Erkinjuntti T., *et al.*: Vascular dementia: diagnostic criteria for research studies. Report of the NINDS-AIREN International Workshop. *Neurology.* **43**(2): 250-260, 1993.
35. Niwa A., Tomimoto H.: Pathological and clinical features of vascular dementia. *Cognition and Dementia.* **9**(3): 201-208, 2010.
36. 神谷達司, 片山泰朗: 4血管閉塞モデル (Pulsinelli & Brierley のモデル), 分子脳血管病, **2**(3): 347-350, 2003.
37. Wang L., Tang C., Lai X.: Effects of electroacupuncture on learning, memory and formation system of free radicals in brain tissues of vascular dementia model rats. *J. Tradit. Chin. Med.* **24**(2): 140-143, 2004.
38. 脇田英明, 富本秀和: 血管医学, **15**(1): 43-49, 2014.
39. 新堂晃大, 矢田健一郎, 富本秀和: 慢性脳低灌流モデル, *Thromb. Med.* **3**(2): 148-154, 2013.
40. Tsuchiya M., Sko K., Yra S., *et al.*: Cerebral blood flow and histopathological changes following permanent bilateral carotid artery ligation in Wistar rats. *Esp. Brain Res.* **89**: 87-92, 1992.
41. Otori T., Katsumata T., Katayama Y., *et al.*: Measurement of regional cerebral blood flow and glucose utilization in rat brain under chronic hypoperfusion conditions following bilateral carotid artery occlusion. Analyzed by

- autoradiographical methods. *Nihon Ika Daigaku Zasshi*. **64**(5): 428-439, 1997.
42. Tomimoto H., Akiguchi I., Wakita H., Kimura J.: White matter lesions after occlusion of the bilateral carotid arteries in the rat-temporal profile of cerebral blood flow (CBF), oligodendroglia and myelin. *Brain Nerve*. **49**: 639-644, 1997.
 43. Wakita H., Tomimoto H., Akiguchi I., *et al.*: Glial activation and white matter changes in the rat brain induced by chronic cerebral hypoperfusion: an immunohistochemical study. *Acta Neuropathol*. **87**(5): 484-492, 1994.
 44. Wakita H., Tomimoto H., Akiguchi I., *et al.*: Axonal damage and demyelination in the white matter after chronic cerebral hypoperfusion in the rat. *Brain Res*. **924**: 63-70, 2002.
 45. Tomimoto H., Ihara M., Wakita H., *et al.*: Chronic cerebral hypoperfusion induces white matter lesions and loss of oligodendroglia with DNA fragmentation in the rat. *Acta Neuropathol*. **106**(6): 527-534, 2003.
 46. Tomimoto H.: Chronic cerebral hypoperfusion-the molecular mechanism and correlation with dementia. *医学のあゆみ*, **254**(1): 27-31, 2015.
 47. 岩田誠：ゲノム時代の脳神経医学, *Molecular Medicine*, **37** 臨時増刊号, 中山書店 2000.
 48. 上原孝, 野村靖幸：脳虚血ストレスによるニューロン死惹起機構, *和光純薬時報*, **70**(2): 22-23, 2002.
 49. 桂研一郎, 片山泰朗：フリーラジカル, *Brain Medical*. **22**(1): 19-23, 2010.
 50. 金藤秀明, 片上直人：ROS reactive oxygen species. *Vascular Medicine*. **3**: 71-75, 2007.
 51. 棚橋紀夫, 山口武典：発症後4.5時間以内の脳梗塞急性期におけるエダラボン使用に関する前向き観察研究－方法と中間集計－, *脳卒中*, **35**(2): 108-113, 2013.
 52. Peng S., Yao J., Liu Y., *et al.*: Activation of Nrf2 target enzymes conferring protection against oxidative stress in PC12 cells by ginger principal constituent 6-shogaol. *Food Funct*. **6**(8): 2813-2823, 2015.
 53. Mhillaj E., Catino S., Miceli FM., *et al.*: Ferulic acid improves cognitive skills through the activation of the heme oxygenase system in the rat. *Mol. Neurobiol*. doi: 10.1007/s12035-017-0381-1, 2017.
 54. Yuan J., Liu W., Zhu H., *et al.*: Curcumin attenuates blood-brain barrier disruption after subarachnoid hemorrhage in mice. *J. Surg. Res*. **207**: 85-91, 2017.
 55. 織田真智子, 大島佳奈, 東野英明, 他：脳卒中易発症性高血圧自然発症ラット (SHRSP) に対する椎茸菌糸体抽出物の作用, *新薬と臨床*, **52**(1120): 52-60, 2003.
 56. Horiuchi S., Okazaki M., Iwata N., *et al.*: Neuroprotective effects of a water-soluble extract from the culture medium of *Lentinus edodes* mycelia (LEM). *New Food Indust*. **58**(4), 1-10, 2016.
 57. Hong H., Liu GQ.: Protection against hydrogen peroxide-induced cytotoxicity in PC12 cells by scutellarin. *Life Sci*. **74**(24): 2959-2973, 2004.
 58. Guan S., Bao YM., Jiang B., *et al.*: Protective effect of protocatechuic acid from *Alpinia oxyphylla* on hydrogen peroxide-induced oxidative PC12 cell death. *Eur. J. Pharmacol*. **538**(1-3): 73-79, 2006.
 59. Koh SH., Kwon H., Park KH., *et al.*: Protective effect of diallyl disulfide on oxidative stress-injured neuronally differentiated PC12 cells. *Mol. Brain Res*, **133**(2): 176-186, 2005.
 60. Koh SH., Kim SH., Kwon H., *et al.*: Epigallocatechin gallate protects nerve growth factor differentiated PC12 cells from oxidative-radical-stress-induced apoptosis through its effect on phosphoinositide 3-kinase/Akt and glycogen synthase kinase-3. *Mol. Brain Res*. **118**(1-2): 72-81, 2003.
 61. Bagetta G., Chiappetta O., Amantea D., *et al.*: Estradiol reduces cytochrome c translocation and minimizes hippocampal damage caused by transient global ischemia in rat. *Neurosci. Lett*. **368**(1): 87-91, 2004.
 62. Wang Q., Zhang QG., Wu DN., *et al.*: Neuroprotection of selenite against ischemic brain injury through negatively regulating early activation of ASK1/JNK cascade via activation of PI3K/AKT pathway. *Acta pharmacol. Sin*. **28**(1): 19-27, 2007.
 63. Clemens JA., Stephenson DT., Dixon EP., *et al.*: Global cerebral ischemia activates nuclear factor-kappa B prior to evidence of DNA fragmentation. *Mol. Brain Res*. **48**(2): 187-196, 1997.
 64. Onem G., Aral E., Enli Y., *et al.*: Neuroprotective effects of L-carnitine and vitamin E alone or in combination against ischemia-reperfusion injury in rats. *J. Surg. Res*. **131**(1): 124-130, 2006.
 65. 武陽明, 山崎直樹, 福田尚久, 他：椎骨および総頸動脈閉塞による脳虚血モデルラットの生理学的ならび生化学的検討, *Folia Pharmacol. Japon*. **84**, 471-483, 1984.
 66. Suk K., Kim SY., Leem K., *et al.*: Neuroprotection by methanol extract of *Uncaria rhynchophylla* against global cerebral ischemia in rats. *Life Sci*. **70**(21): 2467-2480, 2002.
 67. 沖千絵, 姫田敏樹, 早川夏美, 他：一過性脳虚血スナネズミの遅発性神経細胞死に対するピタバスタチン (HMG-CoA 還元酵素阻害薬) の抗酸化作用, *Ther. Res*. **26**(6): 1277-1286, 2005.
 68. Itoh A., Soda K., Kondoh M., *et al.*: Hepatoprotective effect of syringic acid and vanillic acid on CCl₄-induced liver injury. *Biol. Pharm. Bull*. **33**(6): 983-987, 2010.
 69. 北川一夫：脳梗塞：炎症の制御を標的とした治療戦略の可能性, *日本薬理学雑誌*, **134**(4): 202-206,

2009.

70. Yu S., Weaver V., Martin K., *et al.*: The effects of whole mush-rooms during inflammation. *BMC Immunol.* **10**(12): 1-13, 2009.
71. 中川育也, 日比野康英, 大橋康宏, 他: マンネンタケ(霊芝)菌糸体培養基より得られるヘテロ多糖・蛋白質画分(MTP2)によるマウス脾細胞の障害活性の増強, *Biotherapy*. **13**: 513-515, 1999.
72. 白井達洋, 岡崎真理, 神内伸也, 他: 霊芝菌糸体培養培地抽出物の糖負荷後の血糖上昇抑制効果と食後過血糖改善薬との併用効果, *日本栄養・食糧学会誌*, **60**(5): 249-255, 2007.
73. Zhou ZY., Tang YP., Xiang J., *et al.*: Neuroprotective effects of water-soluble *Ganoderma lucidum* polysaccharides on cerebral ischemic injury in rats. *J. Ethnopharmacol.* **131**(1): 154-164, 2010.
74. Wu YL., Wang DN.: A new class of natural glycopeptides with sugar moiety-dependent antioxidant activities derived from *Ganoderma lucidum* fruiting bodies. *J. Proteome Res.* **8**(2): 436-442, 2009.
75. Zhu M., Chang Q., Wong LK., *et al.*: Triterpene antioxidants from *Ganoderma lucidum*. *Phytother. Res.* **13**(6): 529-531, 1999.
76. Sun J., He H., Xie BJ.: Novel antioxidant peptides from fermented mushroom *Ganoderma lucidum*. *J. Agric. Food Chem.* **52**(21): 6646-6652, 2004.
77. You YH., Lin ZB.: Antioxidant effect of *Ganoderma* polysaccharide peptide. *Yao Xue Xue Bao.* **38**(2): 85-88, 2003.
78. Boh B.: *Ganoderma lucidum*: a potential for biotechnological production of anti-cancer and immunomodulatory drugs. *Recent Pat. Anticancer Drug Discov.* **8**(3): 255-287, 2013.

家庭内常在菌 セラチア菌, モラクセラ菌, カンジダ菌 に対するバイオイオナース®の除菌効果について

窪田 倭 (KUBOTA Sunao)¹ 高塚 正 (TAKATUKA Tadashi)² 和田 雅年 (WADA Masatoshi)¹
松澤 皓三郎 (MATUZAWA Kozaburo)¹ 山地 信行 (YAMAJI Nobuyuki)¹

¹ セパレーターシステム工業株式会社 開発部

² 一般財団法人ケケン試験認証センター 関西事業所

Key Words: 日和見感染症 バイオイオナース® セラチア菌 モラクセラ菌 カンジダ菌

はじめに

わが国の高齢化社会に伴い 65 歳以上の高齢者が平成 26 年に在宅医療を受けた推計患者数は 137 万 1 千人で、総数の約 88% を占めている¹⁾。一方、医療の進歩とともにがん患者、臓器移植患者、そして中心静脈カテーテル挿入や埋め込み型人工臓器を装着した患者などが自宅にて日常生活が送れるようになってきた。これら高齢者、がん患者、移植患者、埋め込み人工臓器装着患者などは抵抗力・免疫力低下を引き起こしているのが常である。その結果易感染性状態にあり、日和見感染症の家庭内での罹患の危険性が危惧される。

家庭内の空気中や湿潤性の台所、ふろ場、トイレなどに付着した細菌や真菌（カビ）などの家庭内常在菌が日和見感染源となることが考えられる。さらに空気調整設備は快適な温度と湿度の維持および保持を行い快適な生活を営むための設備であるが、適正な管理を怠ると呼吸器感染症やアレルギー疾患などを引き起こすことが指摘されている。家庭内常在菌種としてセラチア菌、モラクセラ菌、レジオネラ菌、カンジダ菌などが知られており、いずれも日和見細菌感染症や日和見真菌症の主要な感染源である。

著者らは生体に無害であり環境に易しいクエ

ン酸を基体とした除菌・消臭剤バイオイオナース®を開発し、病原菌に対して抗菌作用を²⁾、ノロウイルスや高病原性鳥インフルエンザウイルス (H5N3) などのウイルスに対しては不活化作用^{3,4)}を、そして真菌（白癬菌）に対しては抗真菌作用を有すること⁵⁾などを報告してきた。今回、著者らは家庭内常在菌で日和見感染源となるセラチア菌、モラクセラ菌、カンジダ菌に対してバイオイオナース®が除菌効果を有するかどうかを検討し若干の知見を得たので報告する。

1. 実験材料および方法

(1) 実験材料

【粉末化バイオイオナース】

無水クエン酸、クエン酸三ナトリウム、塩化セチルピリジニウム、乳糖を既に報告した配合比、大きさ 400 μ の粉末を用いた²⁾。

これを精製水に溶解して濃度 2.0% (w/v) のものを検液とした。

(2) 除菌効果試験方法

【使用菌株】

Serratia marcescens NBRC12648 (セラチア菌), *Moraxella osloensis* ATCC19976 (モラクセ

ラ菌), および *Candida albicans* IFO1594 (カンジダ菌) 以上3種の菌株を用いた。

(3) 感受性試験

1) セラチア菌およびモラクセラ菌

試験菌液はセラチア菌およびモラクセラ菌を標準寒天培地にてそれぞれ前培養, 滅菌純水にて分散, 調整した。検液 1mL を 1.5mL 容エッペンドルフチューブに採取し, その中へ試験菌液 0.01mL を接種し, 試験管ミキサーでよく攪拌し 30 秒間接触させた。接触時間終了後直ちに 0.15mL を標準寒天培地に塗布し, 培養後, コロニー生育の有無を肉眼観察するとともに写真撮影した。培養条件は 35°C で 24 時間とした。対照として滅菌純水を用いて同様の試験をした。

2) カンジダ菌

試験菌液はカンジダ菌を標準寒天培地にて前培養, 滅菌純水にて分散, 調整し, 4.7×10^5 cfu/mL とした。検液 1mL を 1.5mL 容エッペンドルフチューブに採取し, その中へ試験菌液 0.01mL を接種し, 試験管ミキサーでよく攪拌し 30 秒間接触させた。接触時間終了後直ちに 0.15mL を標準寒天培地に塗布し, 28°C で 48 時間培養後, コロニー生育の有無を肉眼観察するとともに写真撮影した。

対照として水道水および滅菌純水を用いて同様の試験をした。

【発育抑制試験 (カンジダ菌)】

試験菌液はカンジダ菌を標準寒天培地にて前培養, 滅菌純水にて分散, 調整し, 4.7×10^5 cfu/mL とした。検液 1.0mL を直径 90mm 滅菌シャーレに採取しその中へ溶解した標準寒天培地 9mL を注ぎ, 攪拌・固化させた。ついで作成した平板をターンテーブルに載せ試験菌液 0.15mL 塗布接種し, 28°C で 48 時間培養後, コロニーの有無を観察するとともに写真撮影を行った。

対照として水道水および滅菌純水を用いて同様の試験をした。

2. 結果

セラチア菌に対しては図 1 に示す如くバイオイオナース® 30 秒接種後菌の検出は認められなかった。一方対照として用いた滅菌純水についてはセラチア菌が検出された。

モラクセラ菌についても図 2 に示す如くバイオイオナース® 30 秒接種後菌の検出は認められなかった。一方対照として用いた滅菌純水についてはモラクセラ菌が検出された。

カンジダ菌に対して図 3 に示す如くバイオイオナース® 30 秒接種後菌の検出は認められなかった。一方対照として用いた水道水や滅菌純水についてはカンジダ菌が検出された。

カンジダ菌抑制試験に於いても図 4 に示す如くカンジダ菌の発育は認められなかった。一方対照として用いた水道水や滅菌純水について

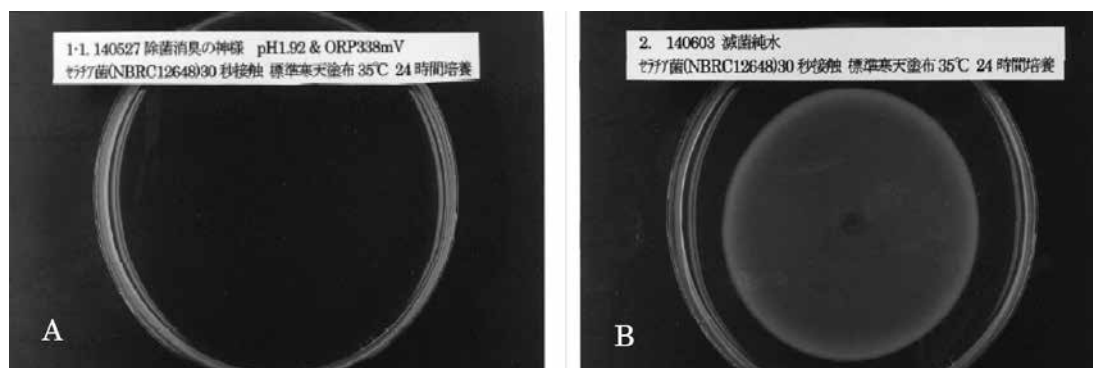


図1 セラチア菌に対する除菌効果

バイオイオナース® では菌の検出は認められない (A)。滅菌純水では菌が多数認められる (B)

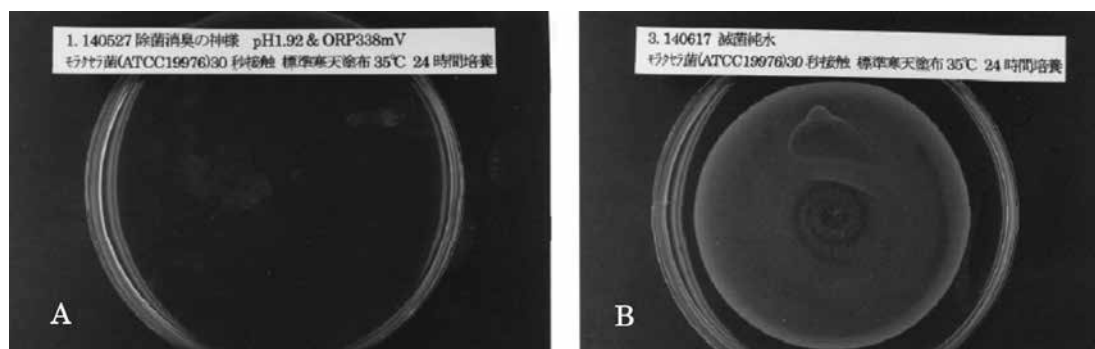


図2 モラクセラ菌に対する除菌効果
バイオイオナース®では菌は認められない(A)。滅菌純水では菌が多数認められる(B)。

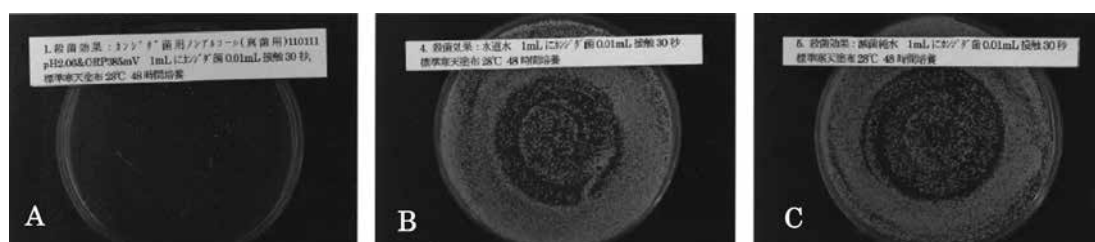


図3 カンジダ菌に対する除菌効果
バイオイオナース®では菌の検出は認められない(A)。水道水(B)および滅菌純水(C)では多数認められる。

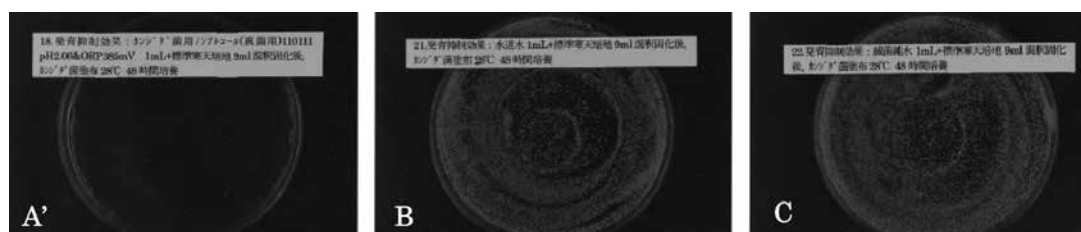


図4 カンジダ菌に対する発育抑制効果
バイオイオナース®では菌の発育が抑制される(A')。水道水(B')および滅菌純水(C')では多数認められる。

はカンジダ菌が多数検出された。

3. 考察

わが国の生産年齢人口は1990年代をピークに年々減少傾向にあり、2010年から2050年にかけて3,000万人以上減少すると推計されている⁶⁾。また平均寿命は延伸する傾向にあり、平成27年では男性80.79歳、女性は87.05歳と高齢社会化している⁷⁾。そのため国民医療費は増大し2008年は34.8兆円が2020年には47.2兆円と増え続け、とりわけ後期高齢者のそれは約20兆円と推定されている⁸⁾。国もこれに危機感

を抱き病院中心医療から在宅医療への移行を推進している。一方、最近の抗がん剤や免疫抑制剤の開発進歩によりがん患者や臓器移植患者らの長期生存患者、また生体適合性の良い埋め込み型人工臓器による長期装着患者などの多くの患者が自宅での日常生活が可能になってきた。寝たきり老人、進行がん患者、移植患者および埋め込み型人工臓器を装着した患者などは抵抗力・免疫力が低下して易感染状態にある。その結果ほとんど無害であった細菌や生体内外の常在菌が病原性を引き起こすことがある。それによって引き起こされる感染症、いわゆる日和

見感染症を呈する。病型としては呼吸器感染症、尿路感染症、皮膚感染症などの局所感染症にとどまらず、敗血症などの全身感染症に進展し、重篤化しやすく時には死に至ることもある。局所感染症であっても難治性であり再発しやすい。症状としては一般的には発熱で風邪症状との鑑別が困難であり、またがん患者には腫瘍そのものによる発熱などの基礎疾患との鑑別も困難である。

セラチア属菌は9菌種あり環境水系や土壌など自然環境に広く分布する。代表菌種は *Serratia marcescens* で以前はヒトに対して非病原菌と考えられていたが、最近では日和見感染細菌群の一つで肺炎、尿路感染症、敗血症、骨髄炎、髄膜炎などの症状を引き起こす。薬剤耐性のみならず消毒液耐性菌や消毒液内からも検出されることが報告されている^{9,10)}。一方モラクセラ菌は環境水系、洗濯機、洗濯後の衣類などに発見されている。*Moraxella osloensis* は洗濯後の衣類に付着し4-メチルー3-ヘキセン酸を発生し雑巾のような臭い(生乾き臭)の原因とされている¹¹⁾。感染症としては骨髄炎、髄膜炎、心内膜炎、化膿性関節炎、敗血症などが報告されている¹²⁾。これら症例の約半数は抵抗力・免疫力低下患者、特にがん患者に多いと報告されている¹²⁾。日和見真菌症の原因菌で最も多いのは *Candida albicans* である。ついで *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis*, *Candida krusei* などが挙げられる¹³⁾。一般に *Candida glabrata* は高齢者、特に65歳以上の固形腫瘍患者に高率に検出される。カン

ジダ菌は湿った環境や口腔内、膣内などの生体膜や消化管に常在している。口腔内、糞便中、環境からのカンジダが手指に付着し、適当な温度や湿度があると皮膚で増殖して皮膚病変を引き起こす。寝たきり老人でおしめ常用者では糞便中からのカンジダが増殖し陰部カンジダ症が発症する。前述した免疫抑制状態にある患者がカンジダ血症に罹患するとその死亡率は31.4%と高率である¹⁴⁾。

これまで日和見感染症は、病院内特に腹部外科手術後、血液透析、ICU入院中などのリスク因子を有する患者に於いてその致死率の高さから対策が練られてきた。しかし在宅医療が推進される今後は、家庭内での感染対策・制御が担当医のみならず家族にも重要な課題となる。この感染制御に於いて消毒剤は有用なツールであり、消毒剤の性質および抗菌スペクトルを把握することは非常に重要である。消毒剤は薬剤の性質から医療器材や環境の消毒に主に使用される消毒剤と手指の消毒や創傷処置に主に用いられる消毒剤に大別される。バイオイオナース® は既に報告した如く室内環境の除菌・消臭剤としての効果があり¹⁵⁾、さらにウイルス、病原性細菌、そして真菌など幅広い抗菌・抗ウイルス・抗真菌作用を有している。結果の項で述べた如く日和見感染源である室内常在菌や生体内常在菌に対しても抗菌・抗真菌作用を有している。従って在宅医療を受けている免疫力低下の患者に対して室内常在菌・真菌や生体内常在菌・真菌による日和見感染症に対して有用な消毒剤であることが期待される。

参考文献

1. 厚生労働省大臣官房統計情報部「平成 26 年患者調査の概況」
2. 窪田倭, 松澤皓三郎, 和田雅年, 森勲, 山地信幸: クエン酸を基体とした消毒剤バイオイオナースの錠剤化および粉末化製剤の殺菌効果. *New Food Indust.* **53** (4): 1-4, 2011.
3. 窪田倭, 松澤皓三郎, 和田雅年, 森勲, 松下行利, 山地信幸: ノロウイルスの代替としてのネコカリシウイルスに対する粉末化バイオイオナースの不活化効果. *New Food Indust.* **55** (2): 1-4, 2013.
4. 窪田倭, 松澤皓三郎, 和田雅年, 森勲, 松下行利, 山地信幸: 高病原性鳥インフルエンザウイルスに対する粉末化バイオイオナースの効果について. *New Food Indust.* **55** (6): 1-4, 2013.
5. 窪田倭, 高塚正, 松澤皓三郎, 和田雅年, 森勲, 山地信幸: 白癬菌 (水虫菌) に対する粉末化バイオイオナースの抗真菌効果について. *New Food Indust.* **58** (2): 9-13, 2016.
6. 総務省「ICT 超高齢社会構想会議報告書」
7. 厚生労働省「平成 27 年簡易生命表の概況」
8. 厚生労働省「医療費等の将来見通し及び財政影響試算 (平成 22 年 10 月)」
9. Marrie TG, Costerton TW: Prolonged survival of *Serratia marcescens* in chlorhexidine. *Appl Environ Microbiol.* **42** (6): 1093-1102, 1981.
10. 野口雅久, 成井浩二, 笹津備規: 市販消毒薬に対する最近の感受性. *医学と薬学.* **46** (2): 195-202, 2001.
11. Kubota H, Mitani A, Niwano Y, Takeuchi K, Tanaka A, Yamaguchi N, Kawamura Y, Hitomi J.: *Morexella* Species are primarily responsible for generarinig malodor in laundry. *Appl Environ Microbiol.* **78** (9): 3317-3324, 2012.
12. Shah SS, Ruth A, Coffin SE.: Infection due to *Morexella osloensis*: case report and review of the literature. *Clin Infect Dis.* **30** (1): 179-181, 2000.
13. Pfaller M, Neofytos D, Diekema D, Azie N, Meier-Kriesche H, Quan S, Horn D: Epidemiology and outcomes of candidemia in 3648 patients: data from the prospective antifungal therapy (PATH Alliance®) registry, 2004-2008. *Diagn Microbiol Infect Dis.* **74** (4): 323-331, 2012.
14. Andes DR, Safder N, Baddley JW, Playford G, Reboli AC, Rex JH, Sobel JD, Rappas PG, Kullberg BJ.: Impact of treatment strategy on outcomes in patients with candidemia and other forms of invasive candidiasis: A patient-level Quantitative review of randomized trials. *Clin Infect Dis.* **54** (8): 1110 -1122, 2012.
15. 窪田倭, 松澤皓三郎, 和田雅年, 森勲, 山地信幸: 室内噴霧消毒におけるバイオイオナースの有用性—厨房内消毒への基礎的検討—. *New Food Indust.* **52** (1): 55-58, 2010.

グルテンフリー食品のマーケットと消費者

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)¹

¹ 神戸女子大学

Key Words：グルテンフリー ベーカリー 小麦 セリアック病

要約

本論文「グルテンフリー食品のマーケットと消費者」は、アメリカのグルテンフリー食品のマーケット現状について解説したものである。具体的には、米国の穀物研究者、Jeff Casper と Bill Atwell によって書かれた本（“Gluten-Free Baked Products” 2014 by AACC International, Inc. 3340 Pilot Knob Road St. Paul, Minnesota 55121, U.S.A.）の一部（“The Gluten-Free Market and Consumer”）を翻訳し紹介するものである。

はじめに

セリアック病の子供にとって、パースデーの日はケーキを買えない気の重い1日だ。小麦粉で作ったパースデーケーキは、ベーカリーの店で購入できるし、自宅でも簡単にベーキングでき、殆ど普通の子供にとってはそれほど大きな問題ではない。市販のアイスクリームにすら、グルテンの入っていることがある。この状況は、セリアック病の患者、あるいはそれ以外の一部の人がいかにグルテンフリーベーカリー食品の安全性確認やその入手の困難さに悩んでいるかを示すスポットライトのようなものである。彼らに取って商品のラベルを読むことは非常に大切であるが、それも時間のかかる仕事である。一度、店員がこれは安全で望ましい品質ですと言ったり、ほんとうにその商品に安全だという信用がでてくると、そのブランドとローヤリティーは非常にあがる。つい最近までグルテンフリーベーカリー食品エリアは非常に限定されていた。しかし、近年このマーケットは大きく成

長し、香りのいい、テクスチュア、見てくれのいい高品質グルテンフリー食品がバラエティーに富んできた。

消費者

ベーカリー食品の中、グルテンフリーマーケットは複雑である。そのマーケットのあるものは、全人口のうちで体の要求にもとづくひとに対するもので、あるものは単にグルテンが全く入っていないものをたべる人たちに対するものである。このグループもはっきりしていて、より消費者パーセントの高いものであろうが、グルテンを食べても悪影響を示さない人たちのグループである。

グルテンフリーマーケット上、目標のはっきりした消費者グループとは、セリアック病、グルテン不耐性、あるいは小麦アレルギーに苦しむの人たちのグループだ。これらの人たちは、グルテンを含むベーカリー製品を食べないように診断された人たちで、不法、不健康な結

果にならないような、小麦ベーカリー食品によく似た食品を、積極的に探す。これらの多くの人たちは、人生の後半にはグルテンに対して有害な反応をするようになる。しかしグルテン入り加工食品については覚えている：例えば焼きたての新鮮なパンがどれほどおいしかったのかを知っているからだ。ベーカリー加工食品メーカーにとってはっきりしていることは、良好なグルテンフリーベーカリー食品を作ることができれば、どんなものでもその販売活路を大きく展開できるということである。

品質の良いグルテンフリーベーカリー食品を提供すれば、その販売は大きく伸びる。

グルテンをさげねばならない病気の人を相手とするマーケットは、そうでない人を相手とする別のグルテンフリーマーケットを無視しても、そこにとどまれるか、さらにもっと大きく展開する可能性がある。このマーケットが大きくなると信じられる理由がある。セリアック病の診断が、これまで特に米国ではいつも正確であったというわけではない。セリアック病患者の症状は、しばしば他の病気だと診断されてきた。最近、多くのセリアック病の診断の混乱がはっきりして来た。診断法の改良により、セリアック病のひろがり（全人口中のセリアック病と診断された人の数）は大きくなってきた。さ

らに、幾つかのデーターはセリアック病発生率の増加を示した（全人口中新たに診断された患者の数）。ある研究では、Korean War（朝鮮戦争）に参戦した兵士の血中セリアック病関連抗体のレベルは、最近の米国民の抗体形成レベルより低かった¹⁾。原因は不明だが、はっきりしていることはセリアック病の広がりが上昇しているということだ。もう1つ別の調査でも、経時的なセリアック病の広がりが、1970年では人口の約0.2%だったものが2000年では約1.0%に増加している²⁾。

グルテンフリー食品の消費者マーケットは、医学的にグルテン関連の患者と診断された人のマーケットより大きい。1家族のうち1人が患者であって、他がそうでない場合、必要に迫られて“2つの台所”が必要になるに違いない。グルテンフリー食品は、一般にグルテン含有食品より品質が悪く（つまり貧弱な食感、フレーバー、見てくれ）、高価である。グルテン感受性のない普通の人は、グルテンフリー食品は品質が悪くなく、それらを買いたくないという意見を持っている。そこで、高品質のグルテンフリー食品を納得行く価格で作れる製造業者は、セリアック病患者を持つ家族全体を消費者として考えている。もし同じものを家の中で消費できれば、“2つの台所”は必要なく、グルテンフリー食品を全ての家族で食べることができ

表1 グルテンを食べないのは誰か^a？

分類 ^b	2010年患者数 ^c (米国)	忌避理由
ライフスタイル	1400万人	グルテンフリー食品が健康に良いと信じている人。グルテンフリー食で体重管理。
セリアック病	230万人 (133人中1人)	セリアック病唯一の治療法はグルテンフリー食。殆どの人は未診断。ひろがっている。
その他の健康異常	450万人	多くは、自閉症、多発性硬化症、注意欠陥多動性障害、過敏性腸症候群、その他異常の徴候を持つ。
小麦アレルギー	150万人	小麦は“Big 8”アレルギーの1つ。
グルテン不耐性 あるいは感受性	1500～3000万人	ある人は、グルテンにより便秘、下痢、疲労、および貧血等複数の問題を持つ。

^a From(3)

^b 分類は重複する可能性がある。

^c 全グルテン忌避者数は4000万人ほど。

る。消費者マーケットは新しいものとなる。

家族全員が同じものを食べれば、“2つの台所”はいらない。

グルテンと間接的に関わる他の病気（例えば自閉症、多発性硬化症など）について、グルテン消費と関連してデスカッションされている。多くの場合、グルテンとこれら非セリアック病の症状の間に医学的なつながりは十分に理解されていない。しかしながら医学上の専門家は、彼らにグルテンフリー食事を進めている。個人的に集まった集団で、これらの食事を取りながら情報交換して、健康によいということを学び、グルテンフリー食事を採用している。

最後には、グルテン摂取は健康上は何も問題はないが、ただグルテンが不健康なのだという人もいる。これは、もちろんマーケットにとって最もわけのわからないグループである。グルテンはバランスのとれたタンパク質ではなく、ある種の必須アミノ酸に欠ける、しかしグルテンの入ったベーカリー食品は、千年間食べ続けられてきて、ふつうは何も体に悪い影響はなかったのである。にもかかわらず、多くの人は、曖昧なままにマスコミからの報告に影響を受けている。表1³⁾は、米国内の消費者区分とその

計算上の数を述べたものである。

マーケットサイズとその区分

小麦ベーカリー食品マーケットのうち、最も大きな生産区分はパンである。他のドウ、バターを用いた食品のマーケットは小さい。しかしグルテンフリーベーカリー食品区分のうち、生産グループのマーケットサイズは、常に同じ分布で推移してはいない。例えば、2009年にはグルテンフリークッキー販売額は、グルテンフリーパン販売よりずっと大きな金額だった（表2）³⁾。これは多分グルテンフリー食品の違いのせいであろう。クッキー製造ではグルテンの置き換えはパンよりずっと簡単であるが、パン製造ではそうはいかずにグルテンは大きく製パンに機能し、パンのふくらみ、テクスチュアなどに好ましい品質を与えてきたからだ。最初の製品品質は、グルテンなしで調製した製品の配合時に遭遇する困難さを反映していた。グルテンフリーパンは、非常に食感、外観、フレーバーが小麦パンに比べて劣るため、マーケットをリードできるようなものではなかった。しかし改良したグルテンフリーパンを製造した業者は、セールスを増やすことができ、その結果、グルテンフリーパンマーケットのサイズは大きくなった。グルテンフリーパンの品質要望に基

表2 2009年グルテンフリーベーカリー食品マーケット分類
(2009年5/16までの52週間)

食品, 米国内	変化 (対 2008 年 5 月)		変化 (対 2008 年 5 月)	
	値段, ドル	(%)	量, lb	(%)
パスタ	17,420,364	28.8	3,784,300	22.4
クラッカー	17,347,934	52.6	1,548,158	49.7
クッキー	12,337,878	25.2	1,397,491	21.3
ミックス	11,402,844	39.8	2,741,974	34.2
パンケーキとワフル	9,357,186	8.3	1,727,324	1.0
フラワー / ミール	6,072,521	43.9	2,177,390	108.2
ピザ	5,913,076	40.4	614,597	26.3
パン	5,166,204	37.8	1,313,021	25.0
ケーキ	1,014,287	-3.0	134,827	4.9
パン粉	559,551	44.3	110,804	33.2
スイート	62,835	181.5	7,977	192.2
ベーカリー他	9,474	-29.9	3,887	-1.8

表3 2011年グルテンフリーベーカリー食品マーケット分類
(2011年4/16までの52週間)

食品, 米国内	変化 (対2010年4月)		変化 (対2010年4月)	
	値段, ドル	(%)	量, lb	(%)
クラッカー	38,038,715	43.2	3,411,350	43.0
パン	35,715,349	65.0	6,842,785	45.0
ミックス	29,207,651	82.0	7,053,651	58.2
パスタ	27,637,211	39.4	5,822,974	52.5
クッキー	21,895,564	43.2	2,442,590	42.2
パンケーキとワフル	12,702,417	37.9	2,265,238	37.3
ピザ	10,665,033	2.3	1,046,638	1.8
フラワー / ミール	10,411,736	2.3	3,626,007	1.8
ケーキ	1,272,007	43.7	192,226	36.6
パン粉	1,142,112	12.8	193,109	9.2
スイート	390,397	281.2	45,340	256.5
ベーカリー他	67,992	-12.7	11,937	9.2

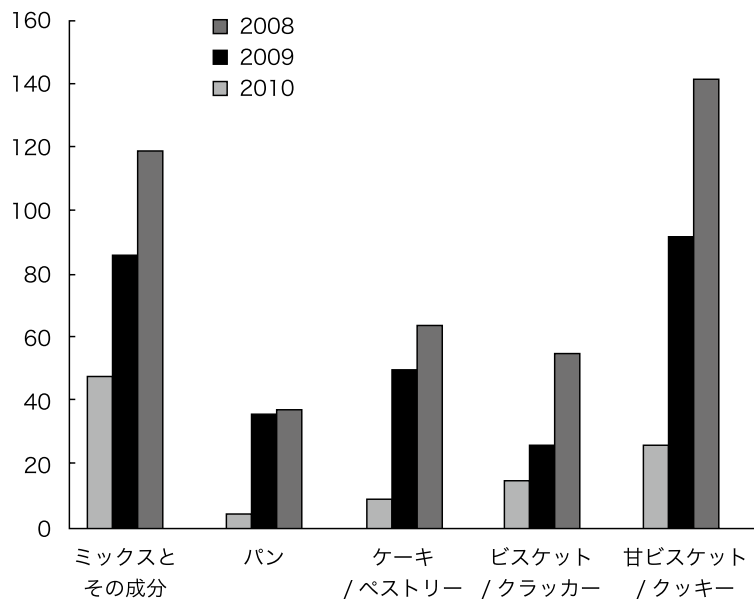


図1 グルテンフリー食品、小売店の新製品のタイプ (2008-2010) ³⁾

づいて改良されたので、グルテンフリーベーカリー食品のマーケットでのパンの位置が確立された。

表2と表3³⁾は、2009年と2011年のベーカリー食品群の各マーケットサイズを示した。2009年5月16日と2011年4月16日の間で、全体のグルテンフリー小売店マーケットは、86,664,156ドルから189,146,184ドルへドラマ

チックに急上昇した。殆どのグルテンフリー食品のマーケットはこの急激な成長を経験した。生産物リストの内、パンは2009年わずか8位であった。2011年には販売量が7倍ふえ、2位になった。このパンの部門の2010と2011の間では65%ふえた。明らかにグルテンフリーベーカリー食品は成長するマーケットであった。

もう1つのマーケット成長の追跡データ

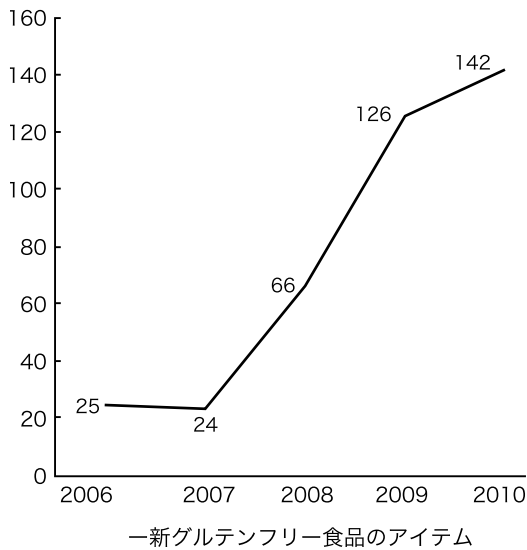


図2 2006～2010年グルテンフリー食品サービスの紹介³⁾

は、新しい加工食品の出現数である。図1³⁾は2008年から2010年に米國小売り店マーケットに紹介された新商品の数である。何れも各分野で大きく増加している。この傾向は、2006年から2010年のS.S.food serviceのマーケット紹介(図2)³⁾からもわかる。グルテンを除くものが、明らかにこれまで以上にベーカリー食品に出現してきた。2000年には、グルテンフリーマーケットは特別のマーケットで、主要生産者にとっては価値のある関心事ではなかった。しかしこの状況は変化し、今やグルテンフリーベーカリー食品の進歩、生産、その分布は、グルテンを食べれない人に対し多くの新しい選択肢を与えている。

参考文献

1. Rubio-Tapia, A., Kyle, R. A., Kaplan, E.L., Johnson, D.R., Page, W., Erdtmann, F., Brantner, T.L., Kim, W.R., Phelps, T.K., Lahr, B.D., Zinsmeister, A.R., Melton, L.J., and Murray, J.A.: Increased prevalence and mortality in undiagnosed celiac disease. *Gastroenterology* **137**: 88-93. 2009.
2. Catassi, C., Kryszak, D., Bhatti, B., Sturgeon, C., Helzlsouer, K., Clipp, S., Gelfond, D., Puppa, E., Sferruzza, A., and Fasano, A.: Natural history of celiac disease autoimmunity in a USA cohort followed since 1974. *Ann. Med.* **42**: 530-538. 2010.
3. Cargill Inc. Internal communication; used with permission.

マメ類の知的選別機の開発

古木 三裕 (FURUKI Mitsuhiro)¹ 田邊 大 (TANABE Dai)¹ 高橋 史夫 (TKAHASHI Fumio)²
片平 光彦 (KATAHIRA Mituhiko)¹

¹ 山形大学農学部, ² 株式会社ガオチャオエンジニアリング

Key Words: マメ類 エダマメ 加工 選別機

1. 緒言

マメ類の中でもエダマメは2015年の全国作付面積が12,500ha、収穫量が65,900t、出荷量が49,100tの指定野菜に準ずる特定野菜35品目の1つである。主な産地は新潟県(2015年度作付面積:1,560ha)、山形県(1,430ha)、秋田県(1,150ha)、群馬県(1,120ha)、北海道(887ha)千葉県(829ha)となっている。全国の作付面積は前年比100%、収穫量と出荷量が前年比98~99%とほぼ横ばいである⁷⁾。また、本学のある山形県鶴岡市はダダチャマメの産地として有名であり、2012年の作付面積が783ha、出荷量が4,488tと山形県内でも栽培が盛んな地域である⁶⁾。

エダマメは収穫量が増加する一方で、収穫後の品質低下が早いこと、調製作業の効率化と早期予冷が品質維持の観点から必須になっている。そのため、収穫調製作業では収穫機が38%、粗選別機が62%、予冷庫が約60%の経営体で導入されるなど、効率化が進んでいる¹⁾。なお、導入されている粗選別機は良品のエダマメ莢と同じ厚さの幅に設定した複数のガイドレールを振動させ、レールの間に未熟な莢を落下して選別する機構である。その粗選別機は選別率が0.1、不良品回収率が16%と作業精度が低い。そのため、生産現場では手作業での精

選別作業(作業能率:10kg/時間, 42時間/10a, 選別率:0.6~0.7)を追加しており、栽培面積拡大に伴う収穫量の増加に対応できない現状にある。そこで、選別作業を効率化して生産規模を拡大するには、高能率で高精度な選別機の導入が不可欠である。

また、エダマメの生産地では選別に際して排出される一粒莢や莢割れ、莢の変色傷害などの不良品判定豆の莢を剥き、子実のみの剥き豆やそれを活用した加工品を出荷している。加工手順は市販されている莢剥き機を用いて剥き豆に一次加工され、調製・殺菌の後に冷凍保存されて二次加工^{4,5)}されている。莢剥き機は加工された豆の健全粒歩合が約98%、作業能率が20~25kg/hと人力の6~7倍で処理できる⁴⁾。しかし、加工された豆には図1に示すとおり、莢



図1 エダマメの剥き豆

の内側にある薄皮（中果皮）や破碎された少量の豆の断片が混合しているため、その除去を手作業で行っている状況にある。その結果、加工施設などではその除去作業に多大な労力（6kg/h）を要しており、作業の効率化に対する要望が高い。

エダマメは平均収穫量が 800 ～ 1000kg/10a であるため、一日あたりの収穫面積を 6 ～ 10a と仮定すると 480 ～ 1000kg を処理する必要がある。その場合、選別機はそれに対応するため、1 日 8 時間の稼働として時間あたり 60 ～ 125kg を処理する必要がある。また、人手の精選別作業では上記したとおりの精度（選別率：0.6 ～ 0.7）を有するため、それと同等の精度が求められる。加工された剥き豆では、莢剥き機的能力（最大：25kg/h）に対応することを鑑み、現状の約 4 倍以上の能力で処理する必要がある。

本稿では日本の水田転作作物として有望な作物であるマメ類の中で特にエダマメ生産の効率化に着目し、生産農家や加工所の生産性を改善して 6 次産業化の進展による粗収益の増加による地域活性化を目的に、効率的にエダマメ莢や

子実を選別する高精度なマメ類選別機の開発を行った。実験は作業能率がエダマメ莢で 120kg/時間以上、剥き豆で 25kg/h 以上、選別率がいずれも 0.5 以上の精度を有することを目標に、振動フィーダを用いた分離機構と各選別項目を画像処理のアルゴリズムで検出するシステムを用いたマメ類選別機を開発し、その作業能率と作業精度を調査した。

2. 実験方法

2-1. 実験場所と供試材料

エダマメの選別実験は 2014 年と 2015 年、剥き豆の選別は 2016 年にいずれも山形県鶴岡市の（株）ガオチャオエンジニアリングで行った。

供試材料は 2014 年度が山形大学農学部附属高坂農場で栽培したエダマメ 3 品種（品種名：庄内 3 号、あきたさやか、あきた香り五葉）、秋田県農業試験場で栽培したエダマメ 1 品種（品種名：秘伝）の 4 品種、2015 年度が秋田県農業試験場で栽培したエダマメ 1 品種（品種名：秘伝）を用いた。収穫したエダマメ莢は、それぞれ市販の脱莢機と選別機で脱莢と粗選別を

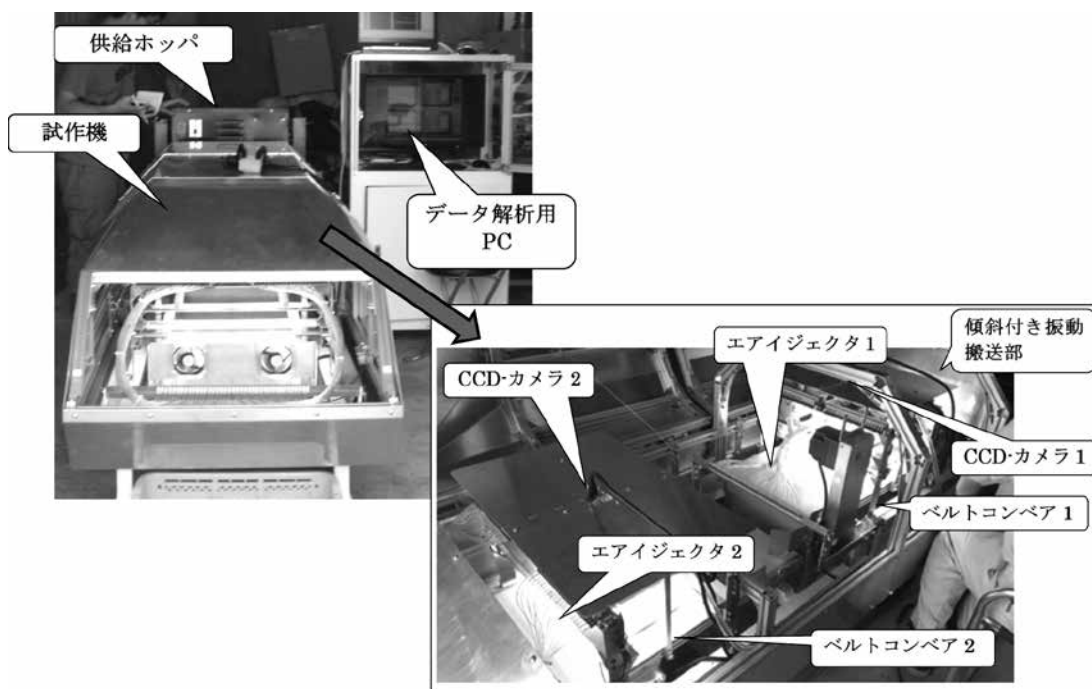


図2 マメ類選別機（株）ガオチャオエンジニアリング、GE-EDSEN001）

行った。

剥き豆の選別は山形大学農学部附属高坂農場と秋田県農業試験場で栽培されたエダマメ2品種（品種：庄内5号，秘伝）を開発した選別機で良品と不良品に選別し，山形農総研センターで剥き豆に加工した。

2-2. 試作マメ類選別機の概要

実験は図2に示すマメ類選別機（株式会社ガオチャオエンジニアリング,GE-EDSEN001,以下開発機と呼称）を使用した。

開発機は供給部から投入されたエダマメ莢と剥き豆の重なりを除去する傾斜振動部，エダマメ莢と剥き豆を搬送する2台の搬送用ベルトコンベア，2台のCCDカメラでエダマメ莢と子実を撮像する検出部，エアで良品と不良品进行分类する選別部で構成した。開発機の形状特性は全長2100mm，全幅700mm，940mm，80kgである。開発機の特徴を以下に示す。

1) 整列搬送部：開発機の投入口には傾斜付きの振動部を配置し，振動部に落下したエダマメや剥き豆の質量を基にコントローラ（S社,Type-c）で振動数を変化させて莢の引き離しと重なりを除去を行った。搬送用ベルトコンベア（幅400mm）は莢や剥き豆との

区別を明確化できるように白色を基調とした。また，ベルトコンベアはエダマメ莢や剥き豆の両面を検出するため2段に配置し，前段と後段間に段差と速度差を設けて，莢と剥き豆の反転と引き離しを行った。

2) 検出部と画像処理アルゴリズム：検出部は前段と後段の搬送部の上部に2台のCCDカメラを配置した。そこで撮像した画像は，形状と変色の情報を抽出して画像処理を行う。形状の検出はあらかじめ良品に分類されるエダマメ莢や剥き豆の幅，長さ，厚さを計測し，それと比較して良品と不良品を判定する。変色の検出は良品のエダマメ莢と剥き豆，両者の傷害部に対する色彩情報を基に2階調に区別する閾値を設定し，傷害部を分離抽出して判定^{2,3)}する。剥き豆の選別では，良品粒（長辺長：11～17mm，無着色粒）と不良品（不良粒（長辺長11mm未満），半粒（半分に分割された粒），変色粒，薄皮，欠損粒）に分類するように開発機を設定した。エダマメ莢と剥き豆の選別の選別設定を図3にそれぞれ示す。

3) 選別部：選別部は前段のベルトコンベア端と後段のベルトコンベア端にエアエジェクタと選別板を設置した。エアエジェクタは

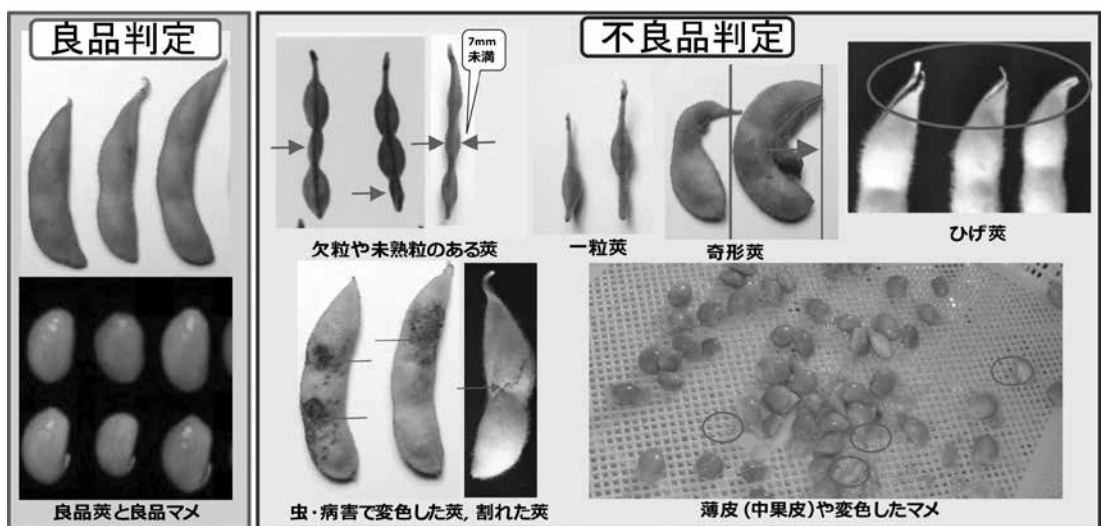


図3 開発機でのエダマメ莢と剥き豆の選別設定

画像処理部で良品と不良品に判定された情報を基に不良品をエアで除去する。選別板は、エアで除去された不良品がコンテナに収納されるようにエアの噴出方向に向けて一定間隔で設置した。

2-3. 検討項目

1) 作業能率

エダマメ莢に対する作業能率は脱莢と粗選別した後のサンプルを開発機に投入し、投入開始から選別終了までの時間を計測し、単位時間あたりの作業能率 (kg/h) を算出した。剥き豆の作業能率は一定量の供試材料を開発機に投入し、選別開始から終了までの時間を計測して作業能率 (kg/h) を算出した。

2) 選別精度

選別精度は片平ら報告した選別基準と式^{2,3)}を用い、良品莢・剥き豆の回収率 (η_a)、不良品莢・剥き豆の回収率 (η_b)、選別率 (η)、莢熟度・形状に対する傷害の回収率 (η_s) と着色系傷害の回収率 (η_i) をそれぞれ算出した。

2-4. 実験方法

1) エダマメ莢

実験は各品種とも収穫したエダマメ莢 9 ~ 33kg を試作機に投入 (3 反復) して行った。対照の手選別は山形大学附属農場で手収穫したエダマメを 2 ~ 3 等分し、それを 3 ~ 4 人で選別した。なお、選別作業者の経験年数は 15 年と 6 年であった。

2) 剥き豆

実験は良品莢剥き豆区と不良品莢剥き豆区の 2 区 (庄内 5 号のみ) を設定し、それぞれ約 300g を選別した。

3. 試験結果と考察

3-1. 作業能率

1) エダマメ莢

2014 と 2015 年に行った開発機と手選別によるエダマメ莢選別時の作業能率を図 4 に示す。開発機の作業能率は平均値で 80.4 ~ 83.0kg/h,

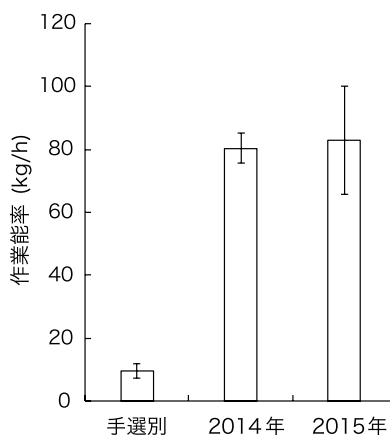


図4 エダマメ莢選別時の作業能率

手選別が 9.6kg/h・人となり、手選別の約 9 倍に相当した。エダマメ莢の選別では傾斜振動部によって供給ホッパから落下して塊になった莢を効果的に分散するため、搬送コンベア内での滞留や莢の重なりが少なくなり、目標とする作業能率が確保できた。

2) 剥き豆

剥き豆選別時の作業能率を図 5 に示す。

開発機の作業能率は平均値で 9.7kg/h となり、手選別の 6kg と比較して約 1.6 倍に増加した。剥き豆の選別は子実や薄皮 (中果皮) などに多くの水分を含むため、開発機の傾斜振動部や搬送用ベルトコンベアにそれらが付着する現象が多く発生した。その結果、実験時にはそれらの異物を除去することが必用になり、選別に際して時間を要した。25kg/h 以上の作業能率を確保

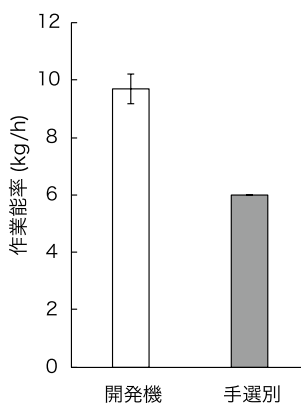


図5 剥き豆選別時の作業能率

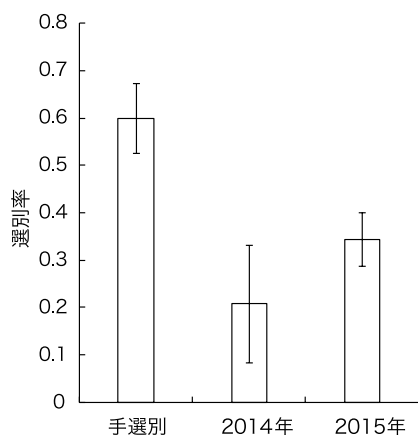


図6 各選別方法がエダマメ莢の選別率に与える影響

するには、異物の付着が見られた部位に対する撥水コーティングなどの対策が必要といえる。

3-2. 選別率

1) エダマメ莢

開発機と手選別での選別率を図6に示す。

試作機の選別率は平均値で0.20～0.34、手選別が0.59であった。

試作機は手選別と比べて0.25～0.39ポイント低い選別率であった。なお、2015年は選別率が2014年と比較して0.14ポイント向上した。これは2014年の結果を基に画像処理プログラムを改善したため、良品莢の回収率が改善されたことが要因である。

2) 剥き豆

開発機の選別率を図7に示す。

庄内5号と秘伝の剥き豆に対する選別実験では、選別率が0.04～0.17の範囲にあり、目標とする0.5を下回った。

開発した画像処理アルゴリズムによる剥き豆の選別は、子実の長辺画素数を基にした閾値処理、着色度合いをGの波長帯を利用した閾値処理をそれぞれ組み合わせることで選別が必用な粒（薄皮（中果皮）、変色、破碎）が検出できた。しかし、剥き豆は前記したとおり子実表面に水分を多く含むため、画像処理アルゴリズムで各傷害を認識後に搬送されるベルトコンベア表面に豆が付着して良品粒が不良品側に誤っ

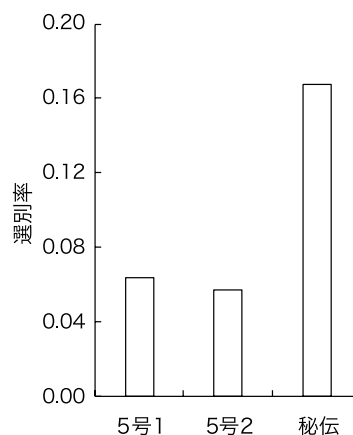


図7 剥き豆の選別率

注：5号1、良品由来莢、5号2、不良品由来莢

て落下する現象、エア選別部に投入できない現象が多発したことから選別率が低下した。

3-3. 良品と不良品の判定率

1) エダマメ莢

開発機と手選別での良品莢と不良品莢の判定率を図8に示す。

開発機の莢判定率は平均値で良品が0.56～0.69、不良品が0.65であった。手選別の判定率は良品が0.85、不良品が0.75であった。莢判定率は2014年から2015年にかけて選別アルゴリズムを修正したため、良品の判定率が改善できた。

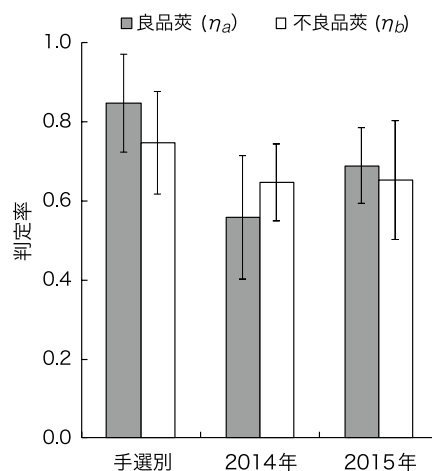


図8 各選別方法での良品莢と不良品莢の判定率

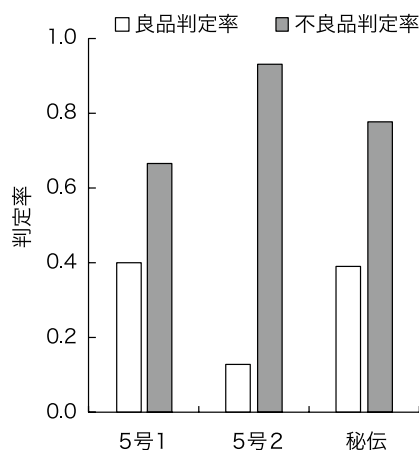


図9 剥き豆の良品と不良品の判定率

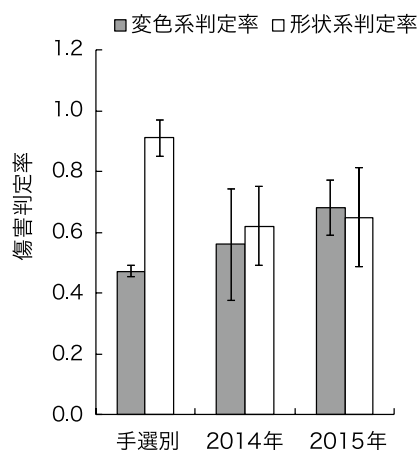


図10 各選別方法でのエダマメ莢の傷害別判定率

2) 剥き豆

開発機での良品と不良品の判定率を図9に示す。開発機の剥き豆判定率は良品が0.13～0.67, 不良品が0.42～0.93であった。良品判定と不良品判定莢の違いでは良品判定率が良品莢由来で0.40(5号:平均値)と0.39(秘伝), 不良品莢由来で0.13であった。不良品判定率は良品莢由来が0.66(5号)と0.78(秘伝), 不良品莢由来が0.93であった。

良品莢由来の子実は不良品莢由来の子実と比較して良品判定率が高まる傾向にあるが、全体としてその判定率は低かった。不良品莢由来の子実は不良品判定率が良品莢由来よりも増加する傾向にあった。不良品判定莢は莢表面の傷害が内部の子実や薄皮(中果皮)にも影響を及ぼし、不良品の判定率に寄与した可能性がある。

3-4. 傷害別判定率

1) エダマメ莢

変色系(莢割れ, しみ莢, 虫害莢, 豆押され莢)判定率 η_i と子実熟度系(1粒莢, 奇形莢, 未熟莢, 欠粒莢)の判定率 η_s を図10に示す。

開発機の η_i は0.56～0.68, 手収穫が0.47であった。 η_s は開発機が0.62～0.65, 手収穫が0.91であった。開発機での η_s の低下は未熟莢や欠粒莢の検出が低かったことが原因である。なお, 変色や割れなどの莢の色に起因する傷害の検出

率は手選別を上回った。

2) 剥き豆

剥き豆の着色系傷害判定率 η_i (変色・薄皮)と形状傷害判定率 η_s (不良粒・欠損)を図11に示す。

開発機の判定率は η_i が0.67～1.00, η_s が0.40～0.93であった。良品判定と不良品判定莢の違いでは η_i が良品莢由来で0.83(5号:平均値)と0.88(秘伝), 不良品莢由来で1.00であった。 η_s は良品莢由来で0.65(5号)と0.76(秘伝), 不良品莢由来で0.93であった。不良品莢由来の子実は良品莢由来の子実と比較し, 着色・形状ともに判定率が高い傾向にあった。

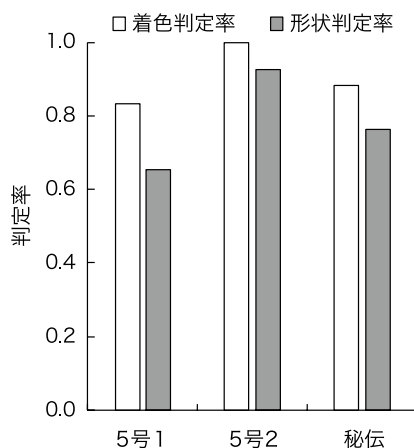


図11 剥き豆の傷害別判定率

3-5. 各選別方法での選別莢の構成割合

1) エダマメ莢

各選別方法によるエダマメ莢の良品判定側構成割合を図12、不良品判定側構成割合を図13に示す。

開発機での選別莢の構成割合は、良品判定に含まれる機械的損傷が0.9～5.4%、変色系傷害が4.0～6.7%、形状と熟度が21.3～26.9%、

良品莢が66.6～68.2%であった。同様に不良品判定では機械的損傷が3.1～8.2%、変色系傷害が7.2～8.5%、形状と熟度が37.7～56.1%、良品莢が32.3～46.9%であった。開発機は手選別と比較して良品判定に含まれる良品莢が8.0ポイント少なく、不良品判定莢が8.0ポイント多くなった。

■形状と熟度 ■変色系 □機械的損傷 ■良品

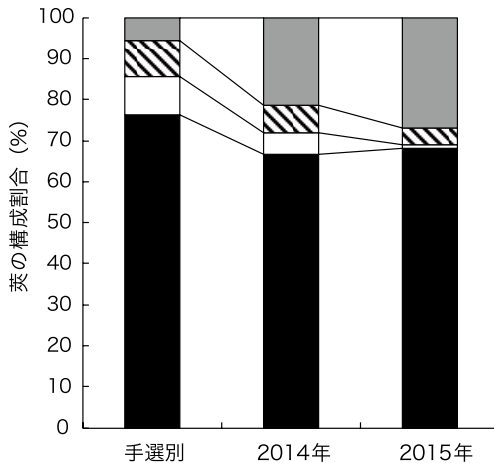


図12 各選別方法でのエダマメ莢の良品判定側に含まれる莢の構成割合

■形状と熟度 ■変色系 □機械的損傷 ■良品

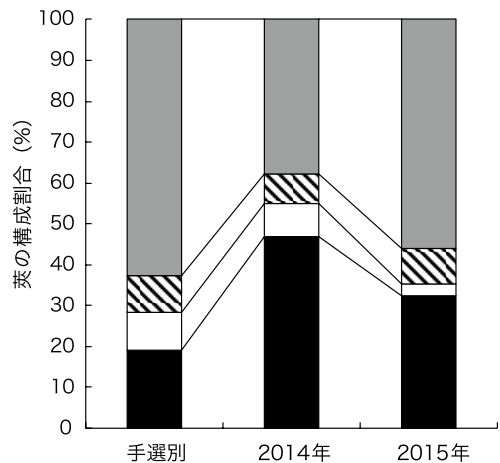


図13 各選別方法でのエダマメ莢の不良品判定側に含まれる莢の構成割合

■薄皮 ■変色 □形状 ■良品

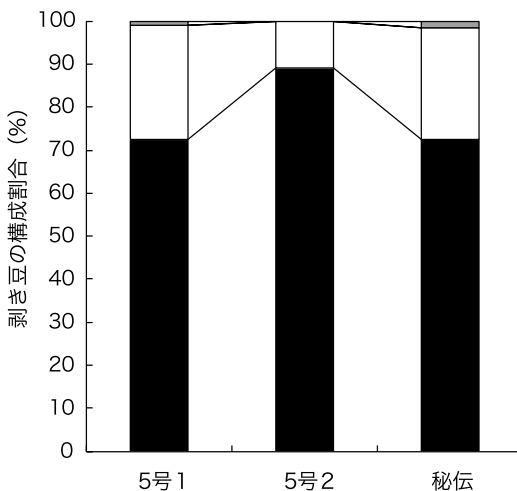


図14 剥き豆の良品判定側に含まれる子実などの構成割合

■薄皮 ■変色 □形状 ■良品

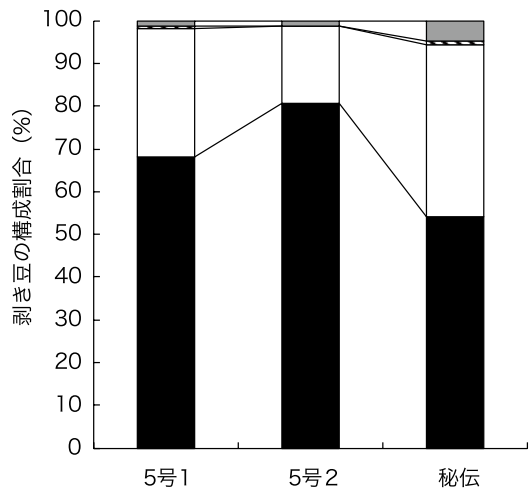


図15 剥き豆の不良品判定側に含まれる子実などの構成割合

2) 剥き豆

剥き豆の良品判定側構成割合を図 14, 不良品判定側構成割合を図 15 に示す。開発機での剥き豆の構成割合は, 良品判定に含まれる薄皮(中果皮)が約 1.1 ~ 1.6%, 変色が 0.0%, 形状が 11.0 ~ 26.5%, 良品莢が 72.4 ~ 89.0% であった。同様に不良品判定では薄皮(中果皮)が 1.1 ~ 4.6%, 変色が 0.1 ~ 1.2%, 形状が 18.1 ~ 40.0%, 良品莢が 54.2 ~ 80.6% であった。良品判定と不良品判定莢の違いでは, 不良品判定莢の不良品判定に良品の子実が多く混入する傾向にあった。

剥き豆では, 不良品判定に占める良品子実の割合がいずれも多くなった。また, 良品判定では, 形状に問題のある子実の割合が高くなった。以上から, 剥き豆の選別精度を向上するには, 形状検出に関する閾値の設定を再検討や前記した搬送用ベルトコンベアへの付着に対する対策が必要である。

4. 結論

- (1) 開発機の作業能率の平均値は 80.4 ~ 83.0kg/h, 手選別が 9.6kg/h・人となり, 手選別の約 9 倍に相当した。
- (2) 開発機の選別率は平均値で 0.20 ~ 0.34, 手選別が 0.59 であった。開発機は手選別

と比べて 0.25 ~ 0.39 ポイント低い選別率であった。

- (3) 開発機の莢回収率は平均値で良品が 0.56 ~ 0.69, 不良品が 0.65, η_1 が 0.56 ~ 0.68, η_2 が 0.62 ~ 0.65 であった。
- (4) 開発機は手選別と比較して良品判定に含まれる良品莢が 8.0 ポイント少なく, 不良品判定莢が 8.0 ポイント多くなった。
- (5) 剥き豆の選別は子実の長辺画素数を基にした閾値処理, 着色度合いを G の波長帯を利用した閾値処理を組み合わせることで選別が必用な粒(薄皮(中果皮), 変色, 破碎)が検出できる。
- (6) 剥き豆選別実験では作業能率が 9.7kg/h, 選別率が 0.04 ~ 0.17 であった。
- (7) 剥き豆選別の内訳では良品判定率が 0.13 ~ 0.67, 不良品判定率が 0.42 ~ 0.93, 着色粒判定率が 0.67 ~ 1.00, 形状判定率が 0.40 ~ 0.93 であった。
- (8) 剥き豆は豆表面に水分を多く含むため, 画像処理アルゴリズムで各傷害を認識後に搬送されるベルトコンベア表面に豆が付着して良品粒が不良品側に誤って落下する現象, エア選別部に投入できない現象が発生して選別率が低下した。

参考文献

1. 鶴沼秀樹, 片平光彦: エダマメ収穫調製機械作業体系の経済的導入規模. 東北農業研究 第 60 号: 235-236, 2007.
2. 片平光彦, 田村晃, 張樹槐, 大泉隆弘, 後藤恒義: 画像処理によるエダマメの選別方法に関する研究 (第 1 報), 農業機械学会誌 70 巻 2 号: 90-96, 2008.
3. 片平光彦, 張樹槐, 大泉隆弘, 後藤恒義, 鶴沼秀樹, 田村晃, 後藤克典: 画像処理によるエダマメの選別方法に関する研究 (第 2 報) 農業機械学会誌 73 巻 2 号, 127-134, 2011.
4. 鬼島直子, 渡部恵美, 今野周, 軽部秀子: 莢剥き機によるエダマメの剥き豆加工とその利用, 東北農業研究, 61, 209-210, 2008.
5. 今野周, 今野陽一, 鬼島直子, 中野英秋: 小型自動莢剥き機の利用によるエダマメ加工処理の効率化, 東北農業研究, 59, 261-262, 2006.
6. 鶴岡市: 鶴岡市の統計. http://www.city.tsuruoka.lg.jp/stat/5_nogyo/h22/index.html, accessed by 2014.
7. 農林水産省: 平成 27 年産野菜生産出荷統計. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html, accessed by 2019.

食品物性研究における質量基準と 体積基準に関する一考察

西津 貴久 (NISHIZU Takahisa)¹

¹ 岐阜大学 応用生物科学部 応用生命科学課程

Key Words：食品物性 空気 質量基準 体積基準 加成性

要約

食品の物性は成分と構造に影響を受けることが知られている。多孔質食品の中の空気（気泡）は、物性に影響を及ぼす成分として認識すべきかどうかについて、質量基準の物性値と体積基準の物性値の観点から考察してみた。

はじめに

日本食品標準成分表は食品の品目別に、可食部 100 g あたりの水分、タンパク質、脂質、炭水化物、灰分などの質量を整理したデータベースである。はんぺんやパンのような多孔質な食品では、空隙の中に空気が入っているが、この成分表には「空気」の項目はない。空気は食品を構成する実質的な成分ではなく、食品の栄養機能や健康にかかわる機能への貢献がないため「成分」と認識されていないことが大きな理由であるが、そもそも空気は質量がほぼゼロであるため、質量基準でまとめられている食品成分表には載ってこないのである。

確かに空気の質量は他成分に比べて無視できるほど小さいが、食品の成分構成を体積基準で考えると空気は量的に無視できない成分となる。空隙の存在により、やわらかくなるなど物性に大きく関わっていることも知られている。このように考えると、空気は食品の2次機能に影響を与える重要な「成分」因子であると言うこともできる。食品物性は食品の成分と構造に影響を受けるが故に、食品物性と成分の関係を

検討する場合、空気に限らず、その物性を質量ベースで考えるべきか、それとも体積ベースで考えるべきなのかを意識しておく必要があるそうである。

本稿では、食品物性について考える際に、あまり意識することのない質量基準の物性と体積基準の物性の違いについて述べることにする。

1. 物性とは何か？

一質量基準と体積基準から考える一

1-1. 物質定数と物体定数

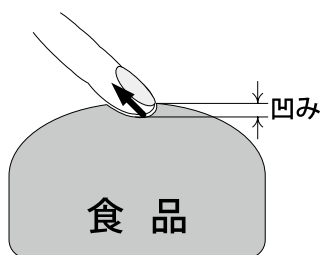
食品のかたさに関係するみかけのヤング率は、代表的な物性値である。応力—歪線の傾きで定義され、基本的には物質に固有の物理量であり、試料の形状や大きさには関係しない。このような物理量を物質定数という。一方、食品の弾性を考える際のモデル図によく出てくるばねは、伸び縮み量に比例して抵抗する性質がある。この性質はばね定数（単位は N/m）として表すことができる。同じ鋼材であっても、線径、コイル径、巻き数が異なるとばね定数も異なってくる。伸び縮みに対して抵抗するのは、鋼材

という「物質」に固有の性質ではなく、螺旋構造が持つ性質である。このように構造、形状や大きさに影響を受ける性質を表す物質量を物体定数という。

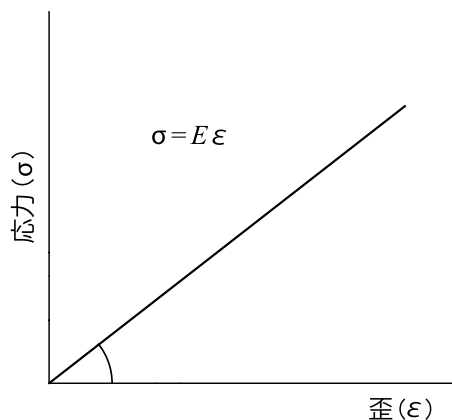
この物体定数は広義の物性値（工学定数）であるが、モノを特定した議論が必要になるため、本稿では構造や形状による影響がない物質定数を扱うこととする。以降、これを物性定数と称することとする。

1-2. 関数と物性

我々は普段から食品を少しつまんだり、ついたりすることで食品のかたさを何気なく判断している。例えば、図1(a)のように指先で食品をつついたとき、その表面が少し凹む。微小な凹み量を指先が敏感に感じとり、凹み量に関する膨大な記憶と照合することで、かたさを判断している訳である。



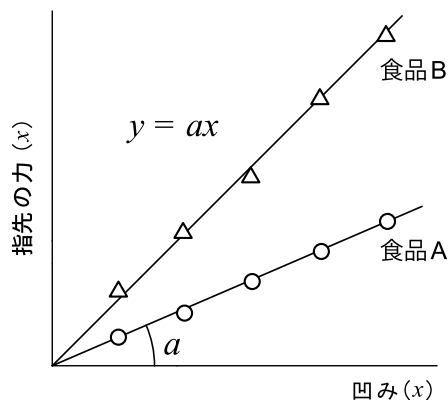
(a) 食品をつついた時の凹みと指先で感じる力



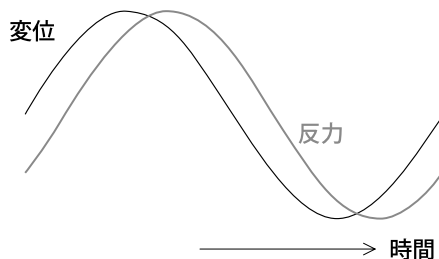
(c) 垂直応力と歪の関係

つつく際の指先の力を大きくすると、凹み量はさらに大きくなる。いま、食品Aと、それよりもかたい食品Bについて、それぞれつづいた時の凹み量を変えながら、指先にかかる抵抗力を記録したとする。そのデータをプロットするとおそらく図1(b)に示すグラフが得られるはずである。食品Aと食品Bはどちらも原点を通る1次の直線式で近似される。一定の凹み量を与えるために必要な力はかたい食品Bの方が大きいことから、この直線式の傾きを「かたさ」の指標とすることは合理的な判断と言ってよい。この指による圧縮に代わり平板プランジャーで整形試料を圧縮したときの垂直応力と歪の関係は、図1(c)のように1次の直線式で表される。この式中の係数がヤング率に相当する。

直線式のは変数の関数である。指でつづいた時のかたさの指標はこの「関数」の「係数」



(b) 食品A（やわらかい）と食品B（かたい）をつづいた時の凹み量と指先にかかる抵抗力



(d) 動的な変位と反力の関係

図1 食品のかたさの定義

に相当する。平板プランジャーによる圧縮により得られる直線式から、垂直応力は歪の関数で表され、この「関数」の「係数」がヤング率に相当する。

粘性に関するニュートンの法則は、式 (1) で示すようにせん断応力が速度勾配に比例する微分方程式で表される。また熱伝導に関するフーリエの法則は、式 (2) に示すように、熱流束が温度勾配に比例する微分方程式で表される。(ただし、 x と y は空間の座標軸とする

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy} \quad (1)$$

$$Q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

これら微分方程式も関数であり、式 (1) と (2) の「係数」が粘性係数、熱伝導率である。

図 1(d) に示すように動的な変位を与えると、得られる反力も動的な応答になる。このような振動的变化は複素量で表すことができる。変位と反力をそれぞれ複素歪と複素応力で表すと、それらは次式で示すような関係で結ばれる。

$$\sigma^* = E^* \varepsilon^* \quad (3)$$

これは複素量の関数であり、式 (3) の「係数」である複素量が複素弾性率、つまり動的弾性率の (は虚数) である。

以上から、物性定数とは、ある系 (試料) に何か摂動 (入力) を与えた時、その変動分に対して注目する性質の変化 (出力) の比 (出力 ÷ 入力) を示すものと言うことができる。つまり、入力に対する出力の比であり、出力 = 物性定数 × 入力という関数で考えると、物性定数は、「関数式の係数」ということになる。

1-3. 単位から考える質量基準と体積基準

食品の主成分である水について、ハンドブックなどのデータベースに必ず掲載される代表的な物性定数の種類とその単位を表 1 に示す。

いずれの物性定数も、定義としては本質的に与える摂動は一種類である。その摂動の対象が質量や体積そのものの場合、物性定数の単位の分母はそれぞれ kg と m^3 になる。物性定数の単位の分母から判断すると、表 1 に挙げる物性定数の中では、例えば比熱や比蒸発エンタルピーは質量あたりの単位を持つ質量基準の物理量 (質量または体積あたりの物性定数には「比」という接頭辞がつく) と言うことができる。そういう見方からすると、密度は体積基準ということになる。

一方、物性定数を定義する関数の中に示量性の物理量が入ってくる系では、対象の質量、体積、大きさ (代表長さ) あたりで考えることがある。また、入力量や出力量の定義がそもそも質量、体積、大きさあたりの量のこともある。表 1 の中にある熱伝導率は、式 (2) に示す通り、温度勾配 (単位は K/m) を入力とする関数の係数である。温度勾配は単位空間距離を隔てた地点の温度差のことであるため、熱伝導率は大きさ基準の物性定数と考えるべきである。このことについては後述する。

2. 食品成分と物性の関係

食品は多成分混合系である。物性に加成性があれば、食品の物性定数は、その構成する成分の物性定数に、その成分の質量割合もしくは体積割合を乗じたものの総和として求めることができる。しかし物性によって成立するものと成立しないものがある。このことについて、質量基準の物性定数と体積基準の物性定数という観点から考察してみる。

表 1 代表的な物性値と単位

物性値	密度	比熱	熱伝導率	温度伝導率	粘性係数	動粘性係数	体積膨張係数	沸点	比蒸発エンタルピー
単 位	kg/m^3	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	m^2/s	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	m^2/s	K^{-1}	K	J/kg

2-1. 比熱は質量基準の物性

系の温度を 1 K だけ増加させるのに必要な熱量を熱容量（単位は J/K）と呼ぶ。熱容量は示量性であり、単位質量あたりの熱容量とすることで物質固有の比熱（単位は J/(kg・K)）になる。食品が脂質、炭水化物、タンパク質、水の各成分の混合系で、成分間相互作用がなければ比熱に加成則が成立するとしてよい。食品の主成分である水は、その他の成分に比較して含有量が多く、その比熱が 4.18 kJ/kg・K¹⁾ とその他の成分（脂肪 1.90 kJ/kg, 炭水化物 1.22 kJ/kg, タンパク質 1.90 kJ/kg¹⁾）にくらべて 2 倍以上大きい。従って近似的に水とそれ以外の固形物から構成されている 2 成分系と考えてよく、Siebel の式のように比熱と水分は 1 次の線形関係で近似できる²⁾。

林 弘通 著の食品物理学（養賢堂，1989）に掲載されている各種食品の水分と比熱の実測データ³⁾を用いてグラフを作成した（図 2）。食品の種類を問わず、ほぼ同じ直線近傍にプロットされており、ほぼ 2 成分系の加成則が成立していると考えてよい。冒頭に述べた内部空隙のある食品のうち、パンとアイスクリームは

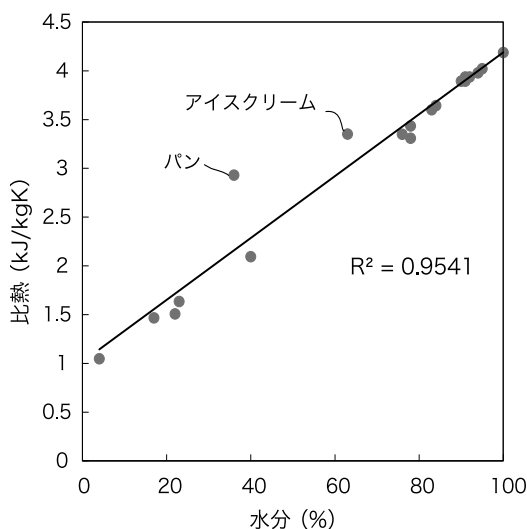


図 2 新鮮な食品の水分と比熱の関係³⁾
(林 弘通 著 食品物理学 (養賢堂, 1989) pp.103 表 3.10 に掲載のデータをプロットした)

外れているものの、レタスやキノコなど空隙のある野菜類のプロットが同一直線上にあり、比熱は空隙の影響がないことがわかる。

ここで、比熱には空気の影響を受けない理由について考えてみる。比熱は単位分母に質量があることから質量基準の物理量である。空気の密度（約 1.2 kg/m³）は、その他の成分（脂肪、炭水化物、タンパク質）の密度の約 1000 分の 1 である。例えば空隙率が 25 % (v/v) の食品を考えた場合、空気とその他の成分の密度をそれぞれ 1.0 kg/m³, 1.0 × 10³ kg/m³ とすると、空気の質量分率は 0.03 % となる。比熱に加成則が成立しているとすれば、空気の比熱が、他成分の比熱と同じ大きさであったとしても、みかけの比熱に及ぼす影響は 0.03 % しかなく、空気の比熱の関与はほとんどないとみなしてよい。

2-2. 熱伝導率は体積基準の物性

式 (2) に示すように、系内のある面を単位時間・単位面積あたり通過する熱量である熱流束 (J/(m²・s)) は温度勾配 (K/m) に比例する。その比例係数が熱伝導率 (W/(m・K)) である。食品の主成分である水の熱伝導率は 0.6 W/(m・K)⁴⁾ であり、他成分の熱伝導率（脂肪 0.18 W/(m・K), 炭水化物 0.245 W/(m・K), タンパク質 0.2 W/(m・K), 空気 0.025 W/(m・K)⁴⁾）は水よりも小さい。よって他成分、とりわけ熱伝導率の小さい脂肪や空気の含有量が高い食品の熱伝導率は減少する傾向にある。

水の比熱と同様、水の熱伝導率も他の成分よりも大きい。それ故、熱伝導率についても近似的に水とそれ以外の固形物から構成されている 2 成分系と考えることができるであろうか。空気含有率がほとんど無視できる液状食品では、水分が増すほど熱伝導率も増加し、高水分ほど水の熱伝導率に漸近していく。また両者には線形関係がみられ、固体食品でも肉類、穀物類、乳製品など、比較的空気を含まないものについては、水分と熱伝導率には線形関係がみられるものが多い⁵⁾。以上のことは空気含有率がほと

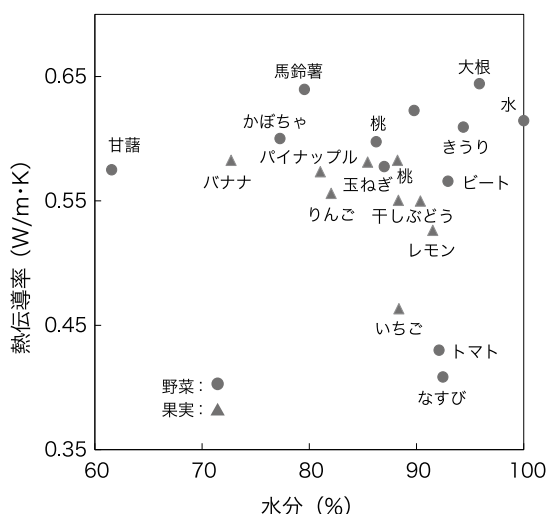


図3 果菜類の水分と熱伝導率の関係⁶⁾
(林 弘通 著 食品物理学 (養賢堂, 1989) pp.180 付図7
に掲載のグラフを再プロットした)

んどない食品にのみ言えることで、ほとんどの食品には空気が含まれるために、一般的には水分と熱伝導率との間に相関を見出すことはできない。図3の果菜類の水分と熱伝導率の関係⁶⁾が示すように、比熱のような線形関係は見られない。果菜類は組織中の細胞間隙にガスを貯えているが、その体積分率は種類によって大きく異なるため、熱伝導率を水分から予測することはできないのである。

さて、熱伝導率は式(2)から(単位面積あたりの熱量の移動速度)と(空間1mあたりの温度差)の比であり、その単位は次のように表すことができる。

$$\text{熱伝導率} \lambda = \frac{\text{単位面積あたりの熱量の移動速度}}{\text{空間1mあたりの温度差}} = \frac{\frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{K}}{\text{m}}}$$

つまり熱伝導率は「空間(距離)の温度差」が基準の物性定数であり、単位面積あたりのことを考えると体積基準の物性定数と言うこともできる。多孔質食品中の空隙の存在率は、質量分率では前述の通りゼロに等しいが、体積分率では無視できないほど大きい。他成分よりも熱伝導率の低い空気が「空間的」に無視できない量だけ存在すると、みかけの熱伝導率に影響を及ぼす。

体積基準の物性定数は、本来は体積ベースで加成性を考える必要がある。しかし、各成分の体積分率が同じでも系内での各成分の空間配置が異なると、熱伝導率も異なってくる。そのため、実際の応答に一致するように、各成分の並列モデル、直列モデル、そしてそれらを複雑に組み合わせたモデルが提案されている^{7,8)}。

おわりに

食品の物性定数が質量基準か体積基準であるかを意識しなければならないのは、質量はほとんどないに等しいが空間的に無視できない大きさを持つ空気が食品のみかけの物性に及ぼす影響について考える場合にはほぼ限定される。その場合、質量基準の物性はおおよそ加成則を満足するが、体積(または大きさ)基準はそうではないと考えておくとよい。もちろん各成分の相互作用により、質量基準であっても加成性を示さない場合があることを付記しておく。

参考文献

1. 林 弘通: 食品物理学, pp.97, 養賢堂 (1989)
2. 林 弘通: 食品物理学, pp.91, 養賢堂 (1989)
3. 林 弘通: 食品物理学, pp.103, 養賢堂 (1989)
4. 林 弘通: 食品物理学, pp.104, 養賢堂 (1989)
5. 林 弘通: 食品物理学, pp.109-110, 養賢堂 (1989)
6. 林 弘通: 食品物理学, pp.180, 養賢堂 (1989)
7. 西津貴久, 近藤 直, 林 孝洋, 清水 浩, 後藤清和, 小川雄一 編: 農産物性科学1—構造的特性と熱・力学的特性—, pp.96-98, コロナ社 (2011)
8. 豊田浄彦, 内田敏則, 北村豊 編: 農産食品プロセス工学, pp.22-23, 文永堂出版 (2015)

会 告 第 44 回食品の物性に関するシンポジウム

日 時：2017 年 9 月 8 日（金）および 9 日（土）

場 所：東京海洋大学品川キャンパス 白鷹館多目的スペース 1

主 催：食品の物性に関するシンポジウム運営委員会

プログラム

9 月 8 日

13：30～14：10 モデル食品系における氷結晶の成長と誘電緩和

萩原 知明（東京海洋大学海洋学部）

14：10～14：50 酸またはアンモニアで処理した小麦グルテンの特性について

村上 哲也（グリコ栄養食品（株）開発研究所）

14：50～15：30 グルテンフリー食品素材の開発研究

矢野 裕之（（国）農研機構 食品研究部門）

15：30～15：40

休憩

15：40～16：20 トリアシルグリセロール分子間化合物の結晶化におよぼす乳化剤添加効果

池田 絵梨子（三菱ケミカルフーズ（株））

16：20～17：10 〔特別講演〕 O/Wエマルジョンの分散および酸化安定性

安達 修二（京都学園大学バイオ環境学部）

17:30 頃～

懇親会

9 月 9 日

9：30～10：10 食品ゲルの凍結エージングに関する研究

小林 りか（日本大学生物資源科学部）

10：10～10：50 パンの柔らかさが長持ちする小麦の開発

中村 俊樹（（国）農研機構 東北農業センター）

10：50～11：40 〔特別講演〕 疎水化したデンプン粒の穀物食品への影響

—小麦デンプン粒表面タンパク質の重要性—

瀬口 正晴（神戸女子大学 名誉教授）

11：40～13：00

昼食休憩

第44回食品の物性に関するシンポジウム

13:30～13:40 青果物の包装設計 一求められる要件と最近の事例—

北澤 裕明（（国）農研機構 食品研究部門）

13:40～14:20 食品に含まれるオリゴ糖鎖の構造と機能性、健康食品としての利用

木村 万里子（神戸女子大学 家政学部）

14:20～14:30

休憩

14:30～15:10 超音波流速分布計を用いた複雑・混相液状食品の非接触物性計測

田坂 裕司（北海道大学工学研究院）

15:10～15:50 咀嚼えん下機能が低下した人に対する食品のテクスチャー特性と食べやすさ

中川 裕子（日本大学短期大学部 食物栄養学科）

シンポジウム参加費

一般（要旨集込み） 事前申込 5,000 円、当日申込 7,000 円

学生（要旨集込み） 事前申込 1,000 円、当日申込 2,000 円*

*: 今回は食品物性分野の発展を意図して、学生参加費を大幅に低くしました。多数のご参加を期待しています。

懇親会参加費：ウェブページをご覧ください。

シンポジウム及び懇親会への参加の事前申込は下記ウェブページでお願いします（プログラムもご確認いただけます）。シンポジウムの事前申込はシンポジウム開催7日前の9月1日（金）17時まで受け付けています。懇親会の事前申込については、ウェブページにて詳細をご案内いたします。

ウェブページ：<http://bussei-symposium.main.jp/>

その他お問い合わせ

香川大農 合谷 祥一

Tel.&Fax. 087-891-3103

E-mail: gohtahni@ag.kagawa-u.ac.jp

京大院農 松村 康生

Tel. 0774-38-3745, Fax. 0774-38-3746

E-mail: matsumur@kais.kyoto-u.ac.jp

ヒメマスの肉色改善

酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi) 佐藤 達朗 (SATO Tatsuro)¹

¹ (元) 中禅寺湖漁業協同組合

Key Words : ヒメマス 天然魚 養殖魚 色調 色素量 肉部の色素分布 成長と色素量
餌と色素量 カンタキサンチン アスタキサンチン 色素添加量 肉色改善

前報¹⁾で天然ヒメマスと養殖ヒメマスの違いを調べ、大きな違いの一つに肉の色が有ることを明らかにした。また、天然ヒメマスの赤い色はカロチノイド色素である事も分かった。微生物や植物は体内でカロチノイドを生合成出来るが、魚は出来ず、餌から取り込んだカロチノイドをそのまま体に蓄積するか、体内で別の色素に転換して蓄積するかである²⁾。天然ヒメマスの肉が赤いのは湖で増殖した植物プランクトンを動物プランクトンが食べ、その動物プランクトンを小魚が食べ、動物プランクトンや小魚をヒメマスが食べる事によっている。つまり、植物プランクトンが生合成したカロチノイドが食物連鎖を通じてヒメマスの肉に濃縮、蓄積されているのである。

上記の結果から、養殖ヒメマスの肉を赤くするには与える飼料にカロチノイドを添加すれば良いであろう事は誰でもすぐに思いつく。ところが天然魚と同様な肉の色にするにはどのような色素をどれ位の量添加すべきなのかが分かっていない。よって本試験では、最初に天然ヒメマスの肉色の特徴、例えば色素の種類と量、部位による色素量の違い、成長に伴う色素量の変化等を調べた。次いで、養殖ヒメマスの肉色を天然魚に近付けるにはどのような色素をどの位の量飼料に添加すれば良いかを調べた。最後に最も需要の多い体重150～200gの魚の肉色を良く

するには如何したら良いかを調べた。

天然ヒメマスの肉の色

ニジマスでは肉部の色素分布状態や、どのような色素をどれ位の量添加した飼料でどれ位の期間飼育すればどのような肉の色になるかは略明らかにされている³⁻⁷⁾。ヒメマスでは未だその様な検討はされていない。よって最初に尾叉長が30.3～23.1cmの比較的大きな天然ヒメマス3尾を用い、肉の部位によって色調や色素量が如何違うかを明らかにすると共に色素の組成も調べた。次いで、8月、9月に漁獲された小型魚11尾を用いて魚体測定を行い、背肉の特定部位の色調と色素量、一般成分等を調べた。

1. 方法

1-1. 供試魚

肉部の色素分布を調べた魚は9月に中禅寺湖漁業協同組合(以下漁協と略記)の職員が中禅寺湖で釣りによって漁獲した3尾である。尾叉長は30.3cm(No.1)、24.5cm(No.2)、23.1cm(No.3)であったが、食性調査で既に内臓が取り除かれていたので体重は不明であった。但し、尾叉長からして150g以上の魚であったのは間違いない。次いで調べた小型魚も漁協職員が釣りで漁獲した魚で平均体重が55g, 64g, 150g(推

定) および 160g の 5 段階の大きさであった。それぞれのサイズの供試尾数は 1 ~ 3 尾であった。なお、150g の魚は食性調査のために既に内臓が除かれていたもので、前報¹⁾の尾叉長と体重の関係から推測した値である。

1-2. 調査手順

部位別の色調と色素量の測定に供した大型魚 3 尾は図 1 の様に胴体を頭部から尾部にかけて 3 等分し、側線より上の背部を頭に近い方から A, B, C とし、側線より下の腹部を D, E, F とした。それぞれの部位の肉を切り出し、ミノルタ色彩色差計 CR-100 で Lab 表色系によって測色した。さらに測色部の肉の色素量(総カロチノイド含量)を前報⁴⁾の手順に従って測定した。

各部位の色素抽出液は供試魚毎に一緒にし、Sep Pak を通して不必要な脂質を取り除き、Merk 社製珪酸薄層プレート上で石油エーテル: アセトン =8:2 の移動相によって展開した。薄層クロマトスキャナーによってスキャンし、Rf 値を求めて色素の同定を行うと共に、それぞれの色素の組成比を求めた。標準物質にはロッシュ社のカロフィルレッドから抽出した遊離型のカンタキサンチンとカロフィルピンクから抽出した遊離型のアスタキサンチンを用いた。

色調と色素量を調べた部位の背骨を挟んだ反対側の肉を切り出し、個体別に水分と脂質を測定し、色素量と水分、色素量と脂質量との関係

表 1 部位別の色調と色素量

供試魚	部位	色調					総カロチノイド mg/100g
		L	a	b	a+b	a/b	
No.1	A	40.2	15.1	20.0	35.1	0.76	1.33
	B	39.4	14.3	19.1	33.4	0.75	1.18
	C	38.2	11.6	13.3	24.9	0.87	1.04
	D	43.7	14.7	21.8	36.5	0.67	1.23
	E	45.2	12.6	22.7	35.3	0.56	1.17
	F	40.2	13.6	17.3	30.9	0.79	1.06
No.2	A	43.5	11.9	16.7	28.6	0.71	0.87
	B	42.4	12.4	16.9	29.3	0.73	0.82
	C	42.1	11.5	15.7	27.2	0.73	0.69
	D	46.4	12.1	19.3	31.4	0.63	0.80
	E	45.3	12.5	18.8	31.3	0.66	0.73
	F	44.2	11.5	17.1	28.6	0.67	0.83
No.3	A	46.8	10.7	16.7	27.4	0.64	0.68
	B	42.7	9.9	14.5	24.4	0.68	0.69
	C	40.8	8.5	12.1	20.6	0.70	0.57
	D	49.7	9.8	18.2	28.0	0.54	0.67
	E	48.0	8.4	15.2	23.6	0.55	0.70
	F	43.3	8.1	13.3	21.4	0.61	0.67

を調べた。

推定体重 150g 以外の小型魚は内臓が取り除いてなかったため体重と尾叉長から肥満度(体重×100/尾叉長³⁾)を計算した。その後開腹して心臓と腎臓を除く内臓全体、肝臓、腹腔内脂肪蓄積組織(DL)の重さを計って体重比を求めた。

背鰭後端から脂鰭前端の下で、側線より上の部分の背肉を切り出し、同上的方法で色調と色素量を測定した。さらに色調と色素量を調べた反対側の背肉を各尾から等量ずつ採取してグループ毎に一緒にし、水分、タンパク質、脂質の分析試料とした。水分は常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法、脂質はソックスレー法で測定した。

2. 結果

2-1. 大型魚

部位別の色調と色素量を表 1 に示す。個体による多少の違いは認められたものの、背肉、腹肉共に頭部に近い部分の肉の色が濃く、a+b 値、色素量共に高かった。特に B, C 間と E,

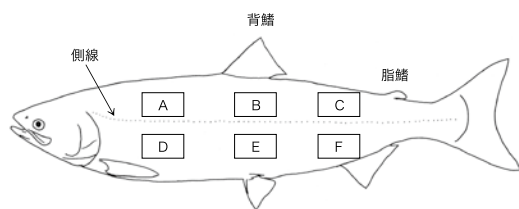


図 1 測色と色素量測定部位

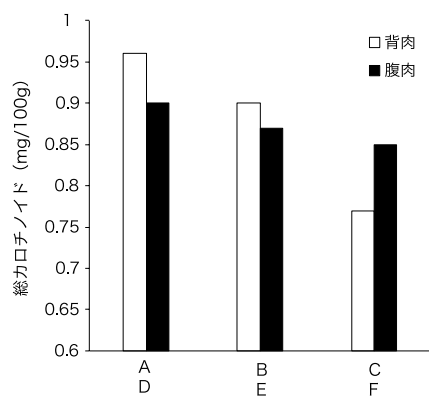


図2 部位別色素量

F間の違いが大きかった。また、a値とb値ではb値の違いが大きかった。a/b比は背、腹共に尾部に近い方が高かった。頭部に近いA、Dでは背肉の色が濃く、尾部に近いC、Fでは腹肉の色が濃かった。中間のB、Eでは略同じ値であった(図2)。但し、背側は腹側より肉が厚いので色が濃く見える事に注意が必要である。肉の厚さが同じであれば測色結果と見た目は良く一致するが、肉の厚さが違うと色素量と見た目は往々にして違う結果になる。

a+b値が高く、色素量が多い頭部に近い部位のL値が高い傾向が認められた。色が濃くなるとL値は低くなるのが普通である。後述の試験ではa+b値と色素量が高い部位のL値が低かった。本試験の結果は色素量以外に肉のL値に影響を及ぼす要因が有る可能性を示しているのではないと思われる。

部位別の色調と色素量の違いはニジマスとは全く異なっていた。ニジマスでは背側、腹側共に尾部に近い部分の色が濃くなっていた⁴⁾。頭部に近い部分は背肉の色が濃く、尾部に近い部分は腹肉の色が濃いのは共通であった。これまでニジマス、ギンザケ、アマゴ等で部位別の色を調べてきたが、全て尾部に近い部分の色が濃かった。ヒメマスのみが逆の結果であった。何故ヒメマスでは他の魚種と違った結果になるのか、魚種による肉部の色素蓄積機構に興味がある。

a値とb値の間には図3の相関が認められたが、背肉 ($y=1.115x+2.9915$, $R^2=0.7951$) が

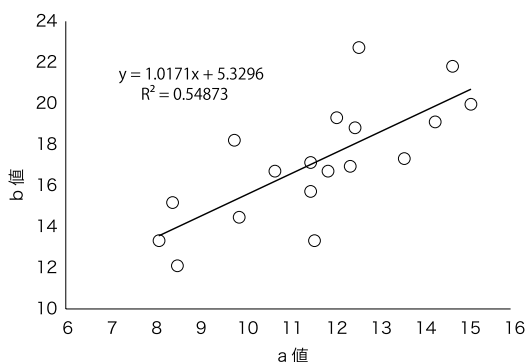


図3 a値とb値の関係(背肉+腹肉)

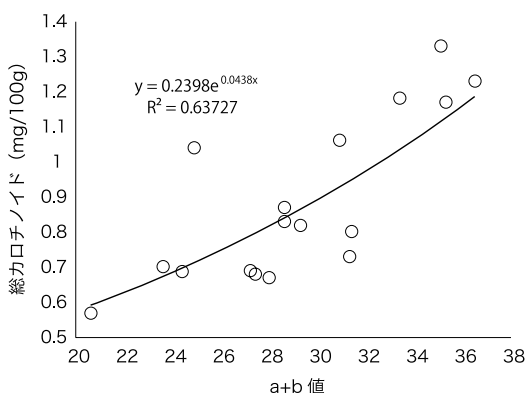


図4 a+b値と色素量の関係(背肉+腹肉)

腹肉 ($y=1.0127x+6.5659$, $R^2=0.6063$) より相関が強かった。直線の傾きも可也違っていたので、背肉と腹肉でa値とb値の関係が異なっているであろう。a+b値と色素量の間には図4に示す指数の相関が認められたが、背肉 ($y=0.1985e^{0.0519x}$, $R^2=0.6655$) と腹肉 ($y=0.2586e^{0.0401x}$, $R^2=0.6728$) は略等しい相関の強さであった。a+b値と色素量の方に比較的に強い相関が認められたので、色彩色差計による測色値である程度色素量を推測出来る可能性が高い。但し、背肉と腹肉では相関に違いが有る様なので、測定部位には注意が必要である。

色彩色差計は小さくて軽く、現場へ簡単に持ち運びが出来、測色操作も簡単で短時間に多数の検体を処理することが出来る。一方、色素量の測定には複雑な前処理と特殊な分析機器が必要で、現場での測定は難しい。ニジマスの様に

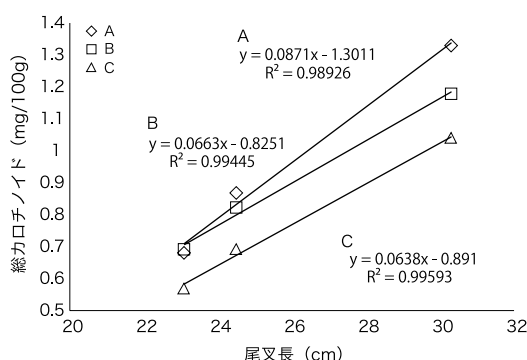


図5 尾叉長と部位別色素量の関係（背肉）

表2 魚体測定の結果と背肉の一般成分

採取月	9	8	8	9*	9
尾数	3	2	2	3	1
体重 (g)	54.9	63.6	124.0		162.0
尾叉長 (cm)	17.1	17.7	22.0	22.5	23.2
肥満度	1.09	1.16	1.16		1.30
臓器体重比 (%)					
内臓全体		9.97	9.90		10.5
肝臓	1.75	0.98	1.30		1.06
DL**	0.67	1.55	1.30		1.16
背肉の一般成分					
水分 (%)	76.9	75.9	76.2	75.2	74.5
タンパク質	21.5		21.1	21.6	22.1
脂質	0.68	1.13	1.57	2.13	2.59
タンパク質 (% 乾物)	93.2		88.7	87.1	86.7
脂質	2.94	4.69	6.60	8.59	10.2

*：食性調査で既に内臓は取り除いてあった

**：腹腔内脂肪蓄積組織

表3 背肉の色調と色素量

採取月	9	8	8	9*	9
尾数	3	2	2	3	1
色調					
L	45.8	39.3	35.3	40.1	35.3
a	4.4	8.0	10.8	12.5	11.2
b	8.3	8.5	11.8	17.0	15.0
a+b	12.7	16.5	22.6	29.5	26.2
a/b	0.53	0.94	0.92	0.74	0.75
色素量 (mg/100g)					
総カロチノイド	0.20	0.26	0.68	0.70	0.86

*：食性調査で既に内臓は取り除いてあった

測定例を増やして色彩色差計の測色値から色素量が推定出来るようになれば実用上大きなメリットが有る。

魚の大きさと色素量の関係を調べると、何れの部位でも魚が大きい程色素量が多かった

(図5)。魚が大きい程沢山の餌を食べていた筈なので、餌からの色素摂取量が多かったのであろう。

色素の分画結果によると、No.2と3の魚では約75%が遊離のアスタキサンチンで、その他に約15%程度未同定の赤色と思われる色素も混在していた。No.1の最も大きかった魚では遊離のアスタキサンチンは53%で、未同定の赤色と思われる色素が30%、遊離のカンタキサンチンも11%混在していた。No.1とNo.2、

3の魚には大きさに可也の違いが有ったので、中禅寺湖で食べている餌の種類に違いが有るのであろう。大型魚は昆虫や小魚を多く食べているのではないかとと思われる。

部位別の色素量と水分および脂質含量との関係を調べたが、何れにも強い相関は認められなかった。一般成分の分析値から色素量を推定するのは無理の様である。水分と脂質の間に $y = -1.3947x + 105.34$, $R^2 = 0.7596$ の負の相関が認められたのと、何れの部位でも背肉より腹肉の脂質が遥かに多かったのは他魚種と同様であった。

2-2. 小型魚

小型魚5例の魚体測定結果と背肉の一般成分を表2に示す。魚が大きくなるに従って肥満度が高くなり、脂質が多くなっていた。逆に水分と乾物換算したタンパク質含量は減少していた。内臓全体の体重比は殆ど変化無く、肝臓体重比とDL体重比はバラツキが大きく、一定の傾向は認められなかった。

背肉の水分と脂質、脂質とタンパク質の間には負の相関が認められ、体重と脂質の間に正の相関が認められたのは前報¹⁾と同じであった。

背肉の色調と色素量を表3に示す。調べた部位は背鰭後端から脂鰭前端の下で、側線より

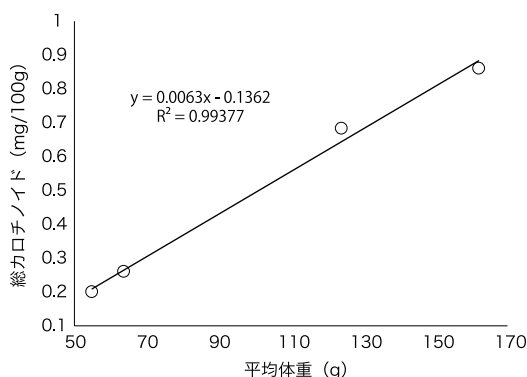


図6 体重と色素量の関係

上の背肉であった。図1でCの位置に相当する(図1参照)。この部分は何ら道具を使わず、一目で正確に位置を特定出来るので他魚種でもこの部位で色調と色素量を測定してきた。ヒメマス以外の魚では色素量の多い部位であるが、ヒメマスでは少ない部位である事に注意して数字を見て欲しい。測定は個体別に行ったが、値は平均値で示してある。

a 値, b 値は魚が大きくなるに従って高くなり、色素量も多くなっていた。体重と色素量の間には $y=0.0063x-0.1362$, $R^2=0.9938$ の非常に強い正の相関が認められた(図6)。a+b 値と色素量の間には $y=0.0681e^{0.0891x}$, $R^2=0.8665$ の指数の相関が認められた(図7)。逆に色素量とL 値の間には負の相関が認められた(図8)。肉の色が濃くなるに従って明度は低くなる事を表している。背肉の色素量と一般成分の間に相関は認められなかった。

魚が大きくなるに従って肉の色が濃くなり、a+b 値と色素量の間には $y=Ae^{Bx}$ の指数関係が認められたのは前項の大型魚と同じであった。

3. 要約

- ・ヒメマスは背肉、腹肉共頭部に近い部分の色が濃く、色素量も多かった。これはニジマス、ギンザケ、アマゴ等とは全く逆であった。

- ・大型魚程背肉、腹肉共に色が濃く、色素量も多かった。

- ・a 値と b 値の間には $y=AX+B$ の正の相関、

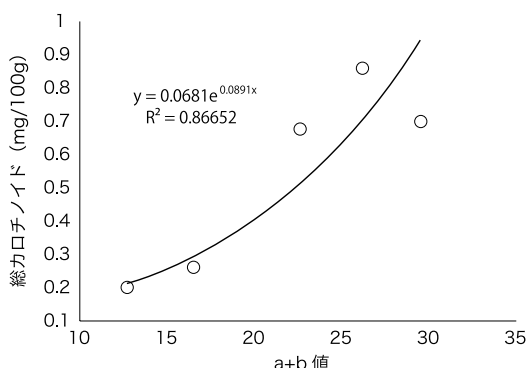


図7 a+b 値と色素量の関係

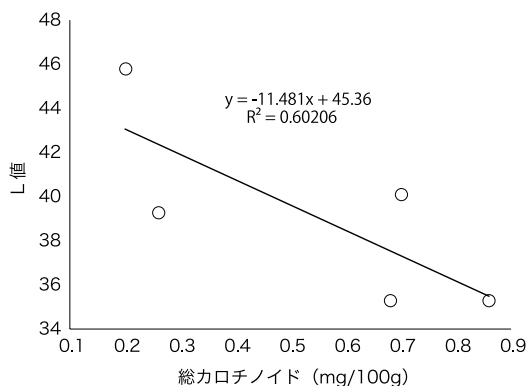


図8 色素量とL 値の関係

a+b 値と色素量の間には $y=Ae^{Bx}$ の指数の相関が認められた。

・肉に蓄積していた主な色素は遊離のアスタキサンチンであったが、最も大きな個体では未同定の赤色と思われる色素や遊離のカンタキサンチンも可也の割合で存在していた。大型魚になると食性が変化していると思われた。

・肉の色素量と一般成分の間に相関は認められなかった。

飼料に添加すべき色素の種類と量

養殖ヒメマスの肉の色を赤くするには飼料にカロチノイドを添加する必要がある。そこでニジマスでは極一般的に用いられているカンタキサンチンを 8mg/100g 添加した飼料でヒメマス2才魚を4カ月間飼育し、肉の色を調べてみた。カンタキサンチン無添加飼料で飼育した2才魚が無かったので、対照には色素無添加飼料で長

表4 魚体測定の結果と背肉の色素量

供試魚	1才魚	2才魚
体重 (g)	63.4	346
尾叉長 (cm)	17.4	29.9
肥満度	1.20	1.30
臓器体重比 (%)		
内臓全体	10.9	10.0
肝臓	1.38	1.36
DL	1.79	1.05
生殖腺		
精巢	Tr	Tr
卵巣	Tr	0.13
背肉色素量 (mg/100g)		
総カロチノイド	0.011	0.181

1才魚：色素無添加飼料で飼育

2才魚：カンタキサンチン8mg/100g添加飼料
で4カ月飼育

期間飼育した1才魚を用いた。供試魚は各5尾であった。

魚体測定の結果と背肉（小型天然魚と同じ部位）の色素量を表4に示す。生殖腺体重比は雌雄共1%以下であったので肉色に及ぼす成熟の影響は無かった。色素無添加飼料で飼育した1才魚に比べて4カ月間カンタキサンチンを添加した飼料で飼育した2才魚は多少肉に着色していたが、その色は薄く、同じ色素含量の飼料で飼育したニジマスより遥かに薄い色であった。また、前項の天然魚の色素量と比較しても明らかに少なく、調べた2才魚は346gであったのに、天然魚で最も小さい55gの魚の色素量よりも少なかった。ヒメマスはニジマスに比べて飼料の色素を肉に蓄積し難い魚種である可能性が高い。よって本試験では、ヒメマス用飼料に添加すべき色素の種類と量を検討した。

1. 方法

1-1. 試験区と供試魚

試験区はA～Dの4区とし、A区とB区にはカンタキサンチン、C区とD区にはアスタキサンチンを添加した飼料を与えた。

カンタキサンチン源にはロッシュ社のカロフィルレッド、アスタキサンチン源にはカロフィルピンクを用いた。それぞれの飼料の色素添加量はA区とC区が15mg/100g、B区とD区が30mg/100gとした。供試可能な色素無添加飼料飼育魚が無かったので、6カ月間カンタキサンチンを8mg/100g添加した飼料で飼育した平均体重144gの魚を用いた。18.7m²の屋外角型コンクリート池4面に150尾ずつ魚を収容し、7月11日から3カ月間飼育する予定であったが、漁協組合員の要請で9月5日に半数の魚を出荷せざるを得なくなり、それまでA、B区に比べて肉の色が薄かったC、D区の飼育を9月5日で打ち切った。A、B区は10月25日まで飼育を継続した。また、それまで供試魚を飼育していた池の魚をそのまま対照区として用いたので、カンタキサンチン添加区は8mg、15mg、30mgの3区となる。但し、対照区は飼育池の大きさ、収容密度等の飼育条件がA～Dの試験区とは異なっていた。

試験飼料の分析値を表5に示す。一般成分含量は区によって多少異なっていたが、乾物換算すると各区共略同じ値になるので、各飼料は正しく配合、製造されていたといえる。乾燥程度がやや異なったので水分含量に違いが生じ、このような結果になったものである。色素量も略理論値通りの値が出ていたが、飼料原料に由来する色素を考えると、各飼料共色素量がやや少なかった。飼料製造工程で両色素とも多少分解されていた可能性が高い。

表5 試験飼料の分析値

試験区 色素源 添加量 (mg/100g)	A	B	C	D
	カンタキサンチン	アスタキサンチン	アスタキサンチン	アスタキサンチン
	15	30	15	30
水分 (%)	9.5	9.9	7.0	5.6
タンパク質	44.2	44.0	46.0	46.5
脂質	6.0	6.0	6.1	6.3
灰分	9.0	9.5	9.6	9.9
炭水化物	28.4	28.2	30.3	31.0
総カロチノイド (mg/100g)	15.9	29.2	15.4	30.1

1-2. 調査項目

毎月1回各区から10尾ずつサンプリングして魚体測定を行った後背肉の色調と色素量、背肉と肝臓の一般成分等を調べた。手順と測定法は前項の天然魚と同じであった。

2. 結果

2-1. 魚体測定

多数の供試魚から毎月10尾のみの調査であったので、各区共体重、肥満度、各臓器の体重比等は変動が大きかったが、カンタキサンチンあるいはアスタキサンチン 30mg/100g の飼料添加によって成長の停滞等の異常が生ずることは無かった。また、各臓器も肉眼観察では異常が認められなかった。

2-2. 背肉の色調

9月5日までの背肉色調の経時変化を表6に示す。カンタキサンチン、アスタキサンチン共に添加量が多い区の方が早く肉の色が濃くなっていた。同じ色素量を添加した区ではカンタキサンチン区の方がa値、b値の上昇が早く、a+b値も大きかった。カンタキサンチン添加区とアスタキサンチン添加区の色調の違いはa/b比に表れており、アスタキサンチン添加区がやや高い値を示していた。アスタキサンチン添加区の赤味が強かった事が分かる。カンタキサンチン

は橙赤色の色素であり、アスタキサンチンは赤色の色素であるので、当然の結果ともいえる。

本試験では試験開始時に供試魚の肉にカンタキサンチンが多少蓄積していたのであまり目立たなかったが、ニジマスの試験でアスタキサンチンの単独投与では沈んだ感じの赤い色、カンタキサンチンの単独投与ではやや橙色がかった赤色になることが確認できている。カンタキサンチンとアスタキサンチンの両者を用い、添加比を必要に応じて変え、ユーザーに最も好まれる肉の色に仕上げるのが良いと考える。

カンタキサンチン添加3区の10月25日までのa+b値の変化を図9に示す。当然添加量が多い区のa+b値は高くなっていったが、添加量に対するa+b値の高くなり方は添加量が少ない区が高かった。これはニジマスやマダイ⁸⁾と同様であった。低い色素濃度の飼料で長期間飼育して肉の色を良くするやり方が効率は高いのであろうが、池の回転効率や最も需要が多いサイ

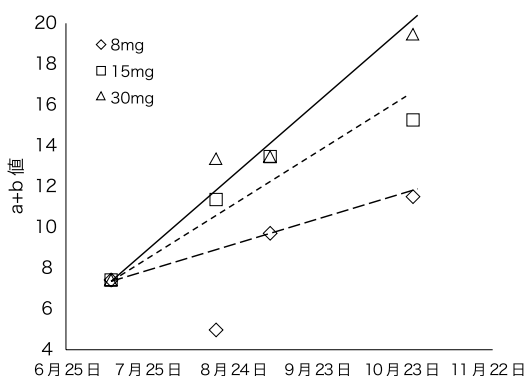


図9 a+b値の経時変化

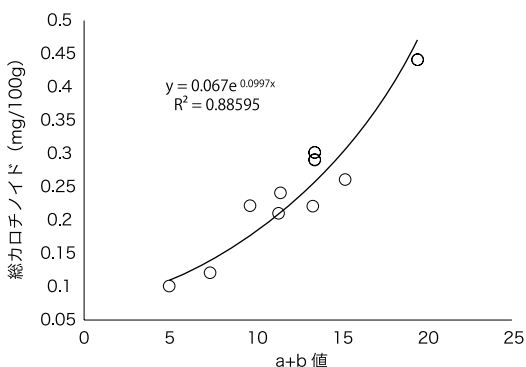


図10 a+b値と色素量の関係

表6 色調の経時変化

	L	a	b	a+b	a/b
7月11日					
対照	40.5	3.3	4.1	7.4	0.80
8月17日					
対照	46.0	1.7	3.3	5.0	0.52
A区	42.0	4.6	6.8	11.4	0.68
B区	40.7	5.5	7.9	13.4	0.70
C区	43.4	2.9	4.2	7.1	0.69
D区	42.4	4.0	5.3	9.3	0.75
9月5日					
対照	39.9	3.7	6.0	9.7	0.62
A区	39.2	5.8	7.7	13.5	0.76
B区	40.2	5.6	7.9	13.5	0.71
C区	39.7	4.9	6.4	11.3	0.77
D区	40.0	5.0	6.4	11.4	0.78

表7 背肉と肝臓の一般成分

部位 成分	背肉			肝臓		
	水分	タンパク質	脂質	水分	タンパク質	脂質
7月11日						
対照	74.4	23.6	0.82	76.5	16.7	3.52
8月17日						
対照	74.3	23.1	0.75	76.5	16.2	4.74
A区	74.3	23.2	0.71	73.9	15.7	5.91
B区	74.4	22.9	0.85	75.1	16.6	5.02
C区	74.8	23.0	0.71	74.9	15.7	5.38
D区	74.6	22.6	0.64	75.2	15.1	6.00
9月5日						
対照	75.2	23.0	0.86	74.7	15.0	4.27
A区	74.4	23.0	1.09	74.9	15.0	4.17
B区	74.3	23.1	1.11	74.1	15.8	4.57
C区	74.1	23.2	0.81	74.0	15.7	4.92
D区	74.5	23.2	0.91	73.7	15.2	5.29

単位：%

ズの魚を望まれる肉の色にする必要性を考えると適切な方法とはいえない。

a+b 値と色素量の関係を図10に示す。両者の間には $y=0.067e^{0.0997x}$, $R^2=0.886$ の強い相関が認められた。なお、カンタキサンチンを 30 mg/100 g 添加した飼料で3カ月以上飼育した区の色素量も 0.44 mg/100 g で、これはニジマスに比べて明らかに低い値であるといわざるを得ない。ニジマスではこの様な高い色素濃度の飼料を用いる必要が無いので、30 mg/100 g の飼料で飼育した数字は持ち合わせないが、魚1尾当りの投与色素量と肉の色素量の関係からヒメマスの値は低いといえる。

背肉と肝臓の一般成分を表7に示す。各区共に異常な値は認められなかったが、背肉の脂質はカンタキサンチン添加区がやや多く、肝臓の脂質はアスタキサンチン添加区がやや高い傾向が認められた。

3. 要約

・ヒメマスはニジマスに比べて飼料中の色素を肉に蓄積し難い魚種の様で、ニジマスの肉色改善に用いられる飼料の色素濃度では養殖ヒメマスの肉色を天然ヒメマスと同じにするのは難しい。

・平均体重 144 g の魚にカンタキサンチンあ

るいはアスタキサンチンを 30 mg/100 g 添加した飼料を与えると、2～3カ月で可也良い肉の色に出来ることが分かった。但し、この肉の色でも同じ程度の大きさの天然魚に比べると色素量は少なかった。飼育期間をもっと長くすればさらに天然魚に近い値にすることが出来る可能性は有る。

・アスタキサンチンよりカンタキサンチンの方がヒメマスの肉色改善に適していると思える結果であったが、アスタキサンチン区の試験を途中で中止せざるを得なかった事や、試験開始時の肉にカンタキサンチンが少量蓄積していたこと等から、再現性の確認が必要である。

・ニジマスの試験でアスタキサンチンの単独投与では肉の色が沈んだ感じの赤、カンタキサンチンの単独投与では橙色がかった赤になるのが確認出来ている。また、天然ヒメマスでもアスタキサンチンが主体であるものの、カンタキサンチンも相当量混在していた。養殖ヒメマスの肉の色を天然ヒメマスに近付ける、あるいは天然ヒメマスとは関係無く見た目でも良い色にするには、アスタキサンチンとカンタキサンチンを適切な比率で混合して使用するのが良いと考える。

長期間の肉色改善（小型魚）

前項の試験でカンタキサンチンあるいはアスタキサンチンを 30 mg/100 g 添加した飼料で養殖ヒメマスを2～3カ月間飼育すれば天然ヒメマスには及ばないものの可也良い肉の色に出来る事を確認出来た。ところが2才魚で肉色改善処理を開始しても肉の色が良くなった頃には最も需要が多い 150～200 g より遥かに大きな魚になってしまう。150～200 g で肉の色が良い魚を生産する方法を開発して欲しいとの強い要求が漁協組合員より出された。

養殖ヒメマスの販売価格と飼料価格の兼ね合いも有り、むやみに飼料の色素量を増やすこと

も出来ない。よって、小さな魚から色素添加飼料を与え始め、魚の成長と共に肉の色が如何に変化するかを調べた。

1. 方法

1-1. 供試魚と飼料

色素無添加飼料で飼育していた平均体重約40gの魚を供試した。実際の養殖池で試験を行うことになり、試験区は1区しか設定出来なかった。よって、試験飼料には前項の試験で最も結果が良かったカンタキサンチン 30mg/100g 添加飼料を用いる事にした。

1-2. 飼育条件と調査項目

大型の屋外角型コンクリート池で、一部に寒冷紗の覆いを掛けて魚の落ち着ける場所を設けた。魚の正確な収容尾数と重量は把握出来ていない。7月22日から翌年の8月31日まで1年1カ月の長期に亘って飼育を継続した。その間毎月10尾ずつサンプリングし、魚体測定を行うと共に背肉と肝臓の一般成分、背肉の色調と色素量、血漿成分等を調べた。調査の手順は従来と同じ方法で行った。

この試験で魚の成長に伴う肉色の経時変化を調べると共に、カンタキサンチンを多量添加した飼料でヒメマスを長期間飼育する事によって悪影響が表れるか否かも確認した。

2. 結果

2-1. 外観

飼育初年度の10月には腹部が黄色っぽくなっているのを認めた。翌年の5月には胴部、特に腹部の銀白色が明瞭になり、黄色っぽい感じは無くなっていた。この時期は降海に向けて体表のグアニン量が増えて銀白色化する時期⁹⁾なので、陸上水槽で飼育していた魚にも銀白色化が起こっていたのが分かる。7月には雌雄共成熟が進み、体表はサビ状態になり始め、全体がやや黒っぽくなっていた。また、雄は体型が変化し始めていた(写真1)。8月には雌雄共完全にサビていた。雄は独特の体型を呈し、体



写真1 成熟雄の体型変化

成熟雄は頭部が大きくなる。吻が長くなり、口裂が深くなるので口が大きくなる。体高が高くなり、セッパリ型になる。体色が黒くなり、表皮が厚くなる。粘液が増え、ヌルヌルして来る。各鰭も大きくなる。

表の後部が赤くなり始めている個体も認められた。この体表に色が出る現象は従来のカンタキサンチン 8mg/100g 添加飼料で飼育していた時には無かった事で、カンタキサンチンを増やした効果であると判断出来る。但し、天然魚より色は薄かった。カンタキサンチンよりアスタキサンチンの方が体表に色が出易いのが確認されているので、アスタキサンチンを併用すればさらに良い体表の色に出来るものと考ええる。一方、雌は腹部が太く、柔らかで、体表は黒かった。雌雄共体表は粘液が非常に多く、ヌルヌルしていた。外観の変化は雄の体表がやや赤くなった以外は従来の変化と同じで、カンタキサンチンの多量添加による悪影響は認められなかった。

2-2. 魚体測定

飼育開始翌年の6月から雌雄共生殖腺が急速に肥大し、8月には完全に成熟した(図11)。よって、6月以降の魚体測定結果には成熟の影響が強く表れていたと考えられる。肉眼による観察では、4月27日に精巣が従来の半透明から乳白色に変化し始めているのを確認しており、精巣体重比に未だ大きな変化は表れていなかったものの、4月下旬には既に雄の成熟は開始していたと推測する。生殖腺の発達時期、完熟時期および完熟時の生殖腺体重比等は従来の結果と殆ど一致していた。参

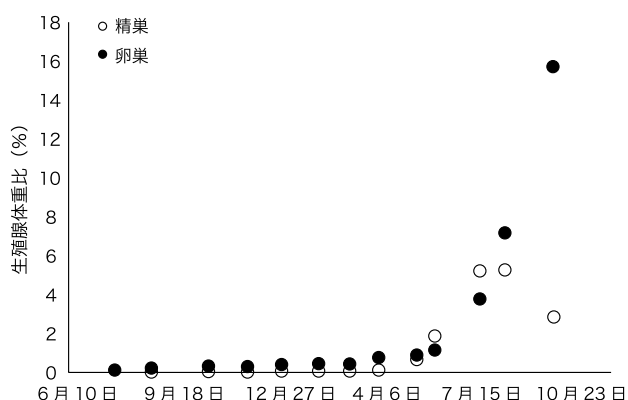


図 11 生殖腺体重比の経時変化

表 8 精巣一般成分の経時変化

	6月24日	7月17日	8月31日
水分 (%)	81.0	79.8	73.5
タンパク質	18.3	20.2	29.3
脂質	1.04	1.20	1.63
灰分	2.46	2.81	3.76
タンパク質 (% 乾物)	96.3	100	111
脂質	5.47	5.94	6.15
灰分	12.9	13.9	14.2

表 9 卵巣一般成分の経時変化

	6月24日	7月17日	8月31日		
			未熟	排卵直前	卵
水分 (%)	60.3	58.3	58.4	62.5	65.7
タンパク質	22.3		27.5	25.9	23.4
脂質	13.3	13.8	9.79	7.76	7.15
灰分	1.43		1.68	2.30	1.94
タンパク質 (% 乾物)	56.2		66.1	69.1	68.2
脂質	33.5	33.1	23.5	20.7	20.8
灰分	3.60		4.04	6.13	5.66

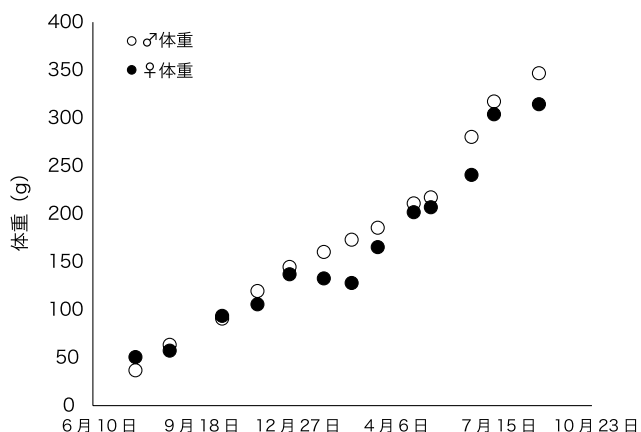


図 12 雌雄別成長曲線

考のために6月以降の精巣と卵巣の一般成分を表8と表9に示しておく。精巣においても卵巣においても従来の結果¹⁰⁾と全く同じ傾向であった。

雌雄別の成長曲線を図12に示す。この成長曲線は雌雄共従来の漁協の飼育結果¹¹⁾と何ら変わるところが無く、カンタキサンチンを30mg/100g添加した飼料で長期間飼育しても成長と成熟に悪影響は認められない事を確認した。雄の成長が常に雌より早かったが、低水温期である冬から春先と、生殖腺が発達し始めてからの差が大きかった。

肥満度は生殖腺が発達し始めるまで雌が大きい傾向が認められたが、生殖腺が発達し始めると雄が大きくなった。これは雄の体型の変化と関係しているであろう。また、雌雄共肥満度は12月～1月にかけて最大値を示した後小さくなり、雌では2月～3月以降殆ど変化しなかったが、雄では生殖腺が大きくなり始めると再び大きくなった。但し、12月～1月の最大値を超える事は無かった。

心臓と腎臓を除く内臓体重比は常に雌が大きかったが、生殖腺が大きくなり始めるとその差が著しくなった。これは精巣と卵巣の大きさの違いによっていた。

肝臓体重比は生殖腺が大きくなり始める直前の5月まで雌雄で殆ど違いは認められなかったが、それ以降雌が急激に大きくなり、排卵すると小さくなって雄と略同じ値に戻った。雌の肝臓は大きさの変化のみでなく、物性も大きく変わっていた。6月以降排卵するまで水っぽく、プヨプヨした感じで、色もやや白っぽくなり、褪色していた。排卵前の肝臓の肥大は卵に栄養成分を送り込むため、肝臓でビテロゲンが盛んに合成されていた事を示す。

DL 体重比は生殖腺が急速に大きな

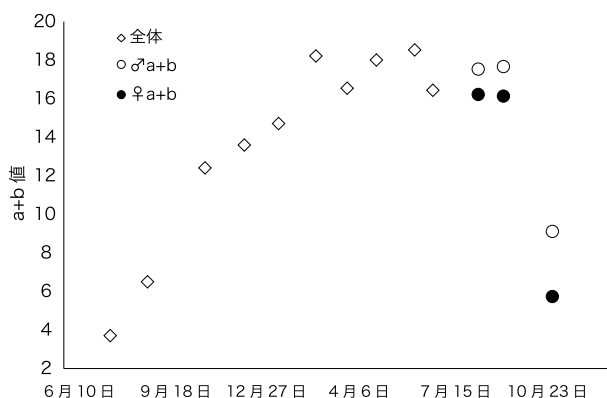


図13 a+b値の経時変化

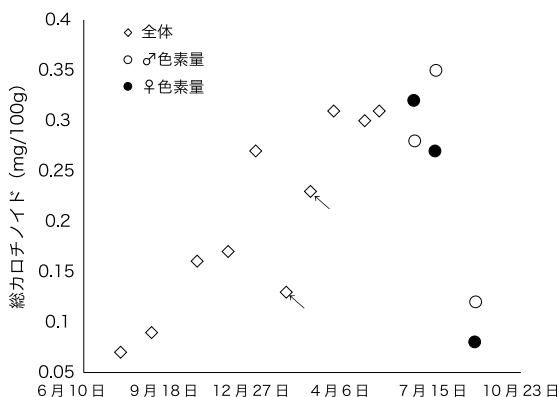


図14 色素量の経時変化

る6月まで常に雌が大きく、それ以降雌雄で違いは無くなっていた。雌のDL体重比は10月から翌年の2月まで高い値を示し、それ以降急激に低くなっていた。雄も同様に2月以降低くなっていた。腹腔内に蓄積された脂質は雌雄共2月以降急速に消費されていた事が分かる。雌では卵への脂質供給源とエネルギー源として、雄では主としてエネルギー源として利用されていたのであろう。雌雄共に完全に成熟した時にDLは殆ど残っていなかった。

脾臓体重比は常に雄が高かったが、生殖腺が発達し始めると雌の値が小さくなるので、差が著しくなった。

以上説明した魚体測定の結果は過去の試験で得られた結果と完全に一致しており、カンタキサンチンの多量添加飼料で長期間飼育しても各臓器の状態に何ら悪影響を及ぼさなかった事を表している。肉眼観察でも各臓器に異常は認め

られなかった。

2-3. 背肉の色調と色素量

肉眼による観察で、非常に色は薄いものの8月末には肉が着色し始めているのが分かった。また、11月には可也色が濃くなっており、「この大きさの魚で、この色になっていれば十分である。」と評価する関係者も居た。

背肉のa+b値の経時変化を図13に示す。生殖腺が急速に発達する前の5月まで雌雄の平均値で表し、6月以降は雌雄別に記してある。試験開始後a+b値は急速に高くなり、翌年の1月に略最高値に達し、雌雄共完全に成熟する直前の7月まで略同じ高い値を維持していた。放精、排卵が起こると雌雄共著しく低い値を示した。また、生殖腺が急速に大きくなる6月以降は常に雌のa+b値が低い値を示していた。

色素量の経時変化を図14に示す。a+b値よりバラツキが大きく、一部の値でa+b値と色素量が相関しない月も有った(矢印の付してある月)。全体的に見るとa+b値同様1月に略最高値に達し、それ以降7月まで同じ高い値を示していた。8月になって放精、排卵が起こると雌雄共色素量は著しく低くなり、雌の方が低い値を示した。この様に一部疑問が残る月も有ったものの、a+b値と色素量は略一致した変化を呈していた。色彩色差計による測色の単純さと、色素量測定 of 煩雑さからして、色素量の測定値に誤差が生じていた可能性が高い。

a+b値、色素量共に略最高値に達した1月の尾叉長は22.5cmであった。天然魚でこの大きさに一致する魚のa+b値と色素量を見ると29.5と0.70mg/100gであった(表2参照)。これに対して本試験の養殖魚は18.2と0.25mg/100gで、明らかに天然魚の色が濃かった。カンタキサンチンを30mg/100gも添加した飼料で6カ月間も飼育したのに天然魚の約1/3量しか肉に色素が蓄積していなかったのは何故であろう。ニジマスでは考えられない事である。その原因

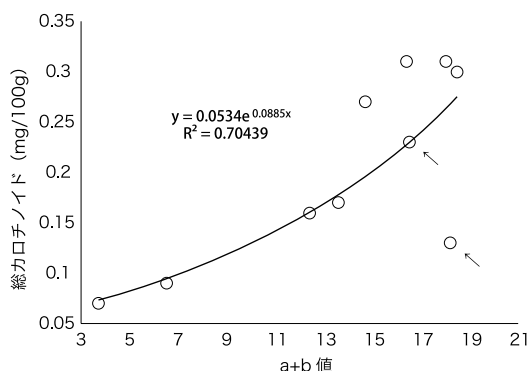


図 15 a+b 値と色素量の関係 (未成熟魚)

としてヒメマスは飼料に添加されている色素の吸収率が低い、吸収された色素の肉への蓄積率が低い、天然ヒメマスの食べている生物餌料の色素濃度が 30mg/100g より遥かに多い、食べる餌の量が天然魚の方が多し等の事が考えられる。吸収された色素が肉に蓄積されずにそのまま排泄されるのは考え難い。それなら最初から吸収しなければ良い。また、生物餌料の色素量が 30mg/100g より遥かに多い事も考え難い。養魚飼料の原料として利用されるオキアミミールの良質な物でも色素量は 20 ~ 25mg/100g 程度であり、その 3 倍量も生物餌料に含まれているとは想像し難い。配合飼料と生物餌料でヒメマスによる吸収率が違うことと、配合飼料と生物餌料では食べる量が違うことは十分に考えられる。配合飼料より生餌の消化時間が短く、吸収率も高いのはよく知られている。生物餌料の消化に要する時間が配合飼料より短いので早く胃に空きが出来、目の前に餌が有れば次から次へと食べているのではないかと想像出来る。これらの点に着目してヒメマスの肉色改善用飼料や技術の開発を行う必要が有るのであろう。

また、最も需要が多い 150 ~ 200g の魚の肉色を天然魚に近付けるためには、孵化稚魚から色素添加飼料を与えるのも一つの方法ではないかと考える。

生殖腺が急速に大きくなる 6 月以降は色調が急に变化したり、雌雄差が生じていたりした。よって、5 月までの値で a+b 値と色素量の

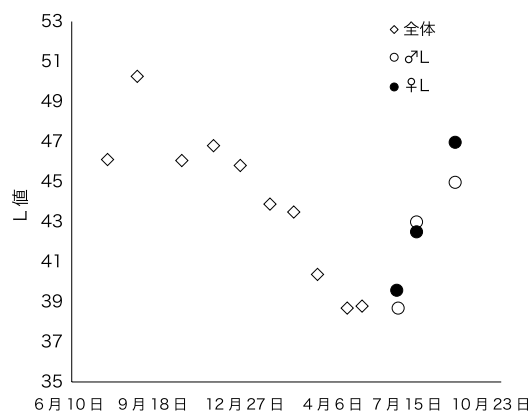


図 16 L 値の経時変化

関係を調べたのが図 15 である。両者の間には $y=0.0534e^{0.0885x}$, $R^2=0.7044$ の相関が認められた。この図で矢印が付してあるのが図 14 で色素量の測定値に疑問が有ったのではないかと思います。この 2 点を除いて両者の関係を求めると $y=0.0457e^{0.1074x}$, $R^2=0.9571$ の近似式が得られ、両者の間に強い相関が有ったことが分かる。

L 値の経時変化を図 16 に示す。肉の色が濃くなって色素量が多くなるに従って L 値は低くなっていった。4 月に最低値になり、6 月まで略同じ値を維持した後 7 月になると急に高くなり、8 月になるとさらに高くなっていった。成熟が進行すると肉の色が白くなり、L 値 (明度) が高くなった事が分かる。但し、1 月にはまだ高い値を示していた点と、7 月に急に高くなった点は a+b 値と色素量の変化とは一致しなかつ

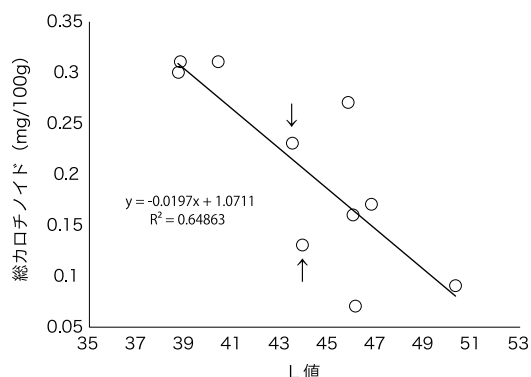


図 17 L 値と色素量の関係 (未成熟魚)

た。色素量以外にも L 値に影響を及ぼす要因が有るのであろう。5 月までの値で L 値と色素量の関係を調べたのが図 17 である。両者の間には $y = -0.0197x + 1.0711$, $R^2 = 0.6486$ の負の相関が認められた。色素量に疑問の有る 2 点(矢印)を除くと、両者間の相関は $y = -0.0197x + 1.081$, $R^2 = 0.7103$ となり、除かなかった場合と大きな違いは無かった。この結果からも色素量以外に L 値に影響を及ぼす要因が有る可能性が高いといえる。

2-4. 血漿成分

総タンパク質 (TP), グルコース (Glu), トリグリセライド (TG), 総コレステロール (T.Cho) 含量およびアルカリ性フォスファターゼ (ALP) 活性を測定したが、グルコース以外の成分が前報¹⁰⁾よりやや低い傾向を示した外に大きな違いは認められなかった。この違いは飼料への魚油添加の有無によるもので、カンタキサンチンの多量添加によるものではない。

カンタキサンチン 30mg/100g 添加飼料で長期間飼育しても血漿成分に異常は生じていなかった。

3. 要約

- ・平均体重約 40g の魚にカンタキサンチンを 30mg/100g 添加した飼料を 7 月から翌年の 8 月まで与えて長期間飼育した。

- ・カンタキサンチンを多量添加した飼料で長期間飼育しても成長、各臓器の状態、背肉や肝臓の一般成分、血漿成分および生殖腺の発達や成熟に何ら悪影響は認められなかった。

- ・色素添加飼料を与え始めた翌年の 1 月には a+b 値、色素量共略最高値に達し、その値が 7 月まで維持され、放精、排卵が起こると急激に低くなった。

- ・a+b 値と色素量が最高値を示した 1 月の魚と同じ大きさの天然魚の a+b 値と色素量を見ると、天然魚の方が遥かに高く、約 3 倍の値を示していた。

- ・養殖魚と天然魚でこれだけ大きな肉色の違

いが生ずる原因を推測すると、配合飼料と生物餌料の消化時間や吸収率の違い、食べる餌の量の違い等が考えられた。

- ・a+b 値と色素量の間には $Y = Ae^{BX}$ の強い相関が認められた。色彩色差計を用いて Lab 表色系で測色した値からヒメマスの肉の色素量がある程度推測出来ることが分かった。

- ・色素量以外に肉の L 値に影響を及ぼす要因が有るのではないと思われる。

長期の肉色改善試験 (大型魚)

前項小型魚試験の再現性確認が主目的である。また、大型の魚で肉色改善処理を開始した方がより高い色調と色素量が得られるのではないかと思える結果であったので、本試験では平均体重約 110g の魚に 9 月からカンタキサンチン 30mg/100g 添加飼料を与え、翌年の 9 月まで 1 年間飼育した。その間毎月 10 尾ずつ魚をサンプリングして小型魚と同様に処理した。

カンタキサンチンを多量添加した飼料で長期間飼育しても成長に異常は見られず (図 18), 外観、各臓器の状態や体重比、背肉と肝臓の一般成分、生殖腺の発達状態等に何ら異常は認められず、小型魚の試験結果を再現出来た。両試験の結果から、カンタキサンチンを 30mg/100g 添加した飼料で 40g から成熟するまで飼育を継続しても悪影響は認められない事を確認出来た。

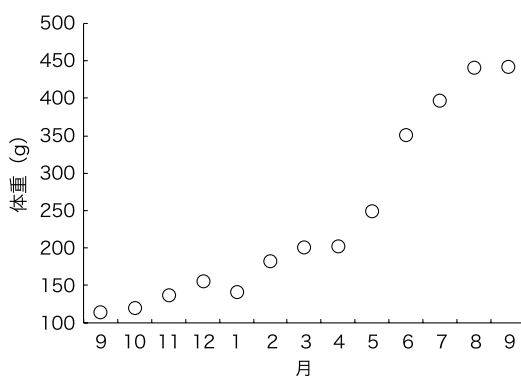


図 18 成長曲線 (♂ + ♀)

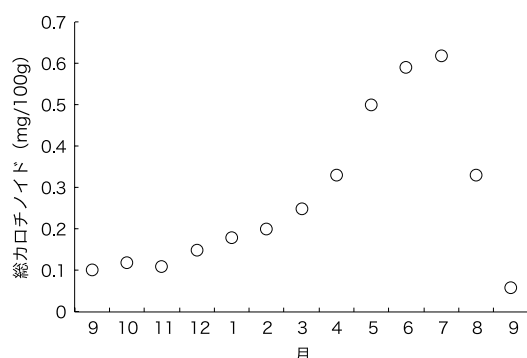


図 19 色素量の経時変化 (♂ + ♀)

背肉色素量の経時変化を図 19 に示す。値は雌雄の平均値で示してある。小型魚と違いシグモイド曲線様のカーブを描いて色素量は高くなり、7 月に最高値の 0.62 mg/100 g に達し、8 月に入って放精、排卵が起こると急に値が低く

なったのは小型魚と同じであった。本試験の最高値 0.62 mg/100 g は小型魚の 7 月の値の 0.31 mg/100 g (♂ 0.35 mg/100 g, ♀ 0.27 mg/100 g) より遥かに高く、予想通り魚が大きくなってから長期間色素添加飼料で飼育する方が肉の色が濃くなる事が分かった。多分、魚が大きくなって食べる飼料の量が増え、それに伴って取り込む色素の量も多くなることと関係しているのであろう。但し、天然魚よりやや少ない程度の色素量になった時には最も需要が多い 150 ~ 200 g より遥かに大きく、450 g 近くになっていた。この大きさになると皿への 1 尾付は無理であるが、刺身や切り身の焼魚としては天然魚と同様に利用出来るのではないと思われる。

参考文献

1. 酒本秀一, 佐藤達朗: 天然ヒメマスと養殖ヒメマスの違い. *New Food Industry*, **59** (7), 39-51, 2017.
2. 片山輝久: 海産動物. 水産動物のカロテノイド (水産学シリーズ 25, 日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 41-59, 1978.
3. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -1. *New Food Industry*, **57** (9): 39-51, 2015.
4. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -2. *New Food Industry*, **57** (12): 52-61, 2015.
5. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -3. *New Food Industry*, **58** (11): 39-48, 2016.
6. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -4. *New Food Industry*, **59** (2): 79-90, 2017.
7. 酒本秀一: ニジマスの肉色改善 -5. *New Food Industry*, **59** (3): 47-60, 2017.
8. 酒本秀一: 養殖技術, III - 2. 外観 - マダイ. 養殖魚の価格と品質 (水産学シリーズ 78), 恒星社厚生閣, 東京, 66-73 (1990)
9. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマスのグアニン量. *New Food Industry*, **54** (9), 48-58, 2012.
10. 酒本秀一, 佐藤達朗: ヒメマス飼料への魚油添加効果. *New Food Industry*, **59** (6), 41-54 (2016)
11. 酒本秀一, 佐藤達朗: 異なる水温で飼育したヒメマスの成長と体成分. *New Food Industry*, **59** (4), 30-44, 2017.



酒造りの文明史⑨

古賀 邦正 (KOGA Kunimasa)

(一財) 自然環境研究センター

9. ワインとビール：近現代の世界の動きとワイン・ビールの変遷

歴史の変遷と共に“果物の酒”ワインと“穀物の酒”ビールの来歴をたどって来たが、ワインとビールの章はこれで終りとしていたい。今回は、第一次世界大戦終了以降、今日までということになるけれども現代史ほど扱いにくいものはない。ゆれ動く出来事について個人のレベルでも国のレベルでも刹那の利害と好き嫌いの感情が伴い、何が歴史に残るほどの普遍性を持つのかを選び出すのはきわめて難しい。高度な専門性と客観性が必要であり、私の手に負えるわけではない。ワイン造り、ビール造りについても同様なことが言える。それぞれ、長年にわたってその道をきわめ、一家言を持つ専門家の諸先生が同時代におられるので、その方々に教を乞うことが適当だろう。ここでは、第一次世界大戦から第二次世界大戦までの世界の動きとワイン・ビールの変遷について概観するが、同時代のよしみということで大目に見ていただきたいというのが正直な気持ちである。

5-25. 第二次世界大戦と世界の動き

◆第一次世界大戦後の世界の動き

○ヨーロッパ

革命後のソ連では指導者レーニンが、1921年、国内中小企業の商業活動や農産物自由販売（新経済政策；ネップ）を認めた結果、経済は安定化に向かった。しかし、列強政府による干渉のため“世界革命”の可能性は消えた。

東欧ではドイツ・オーストリア・ロシアの3帝国が崩壊して多くの新興国（ポーランド・チェコスロヴァキア・フィンランド・ユーゴスラヴィア・バルト3国（エストニア・ラトビア・リトアニア）など）が生まれた（図5-58）。

大戦後のイギリスは経済不振が著しく、大英帝国を再編してすべての自治領を本国と平等の国家とし、1931年以降は連邦となった。アイルランドは共和国となり、イギリス連邦からも脱退した（1937年）。

大戦で大損害を受けたフランスは、当初ドイツに対して復讐心の強い施策をとったがうまくゆかず、左翼連合政府が樹立、ドイツとも協調外交を進めた。

ドイツではワイマール共和国（1919-1933）が発足。賠償支払いなどで不安定化したが、アメリカ資本を導入して経済を再建。輸出を振興して英・仏に賠償金を支払う経済復興の基本線がしかれ、1926年に国際連盟に加盟した。

戦勝国のイタリアは、領土要求が満たされず国民の不満が高まるなかファシスタ党のムソリーニが政権を握り、独裁体制を築いて国民の支持を獲得した。



図 5-58 第一次世界大戦後のヨーロッパ（ヴェルサイユ体制）（「世界史図鑑」より）

○アメリカ

大戦の影響が少なかったアメリカは自動車・電化製品・電話・建築などの工業を中心に発展を遂げ、世界の経済発展と大量消費社会への推進役を果たした。国際連盟への加盟拒否など孤立主義に傾きつつもドイツの賠償問題解決を主導、ワシントン会議（1921-1922）を主催して日本の中国・太平洋への進出をおさえ、自国に有利な体制を作り上げた。

○アジア

ワシントン会議で現状維持が確認され、不平等条約の改訂を望む中国の要求は満たされず、中国国内では列強支配に反対する反帝国主義運動が起こった。蒋介石を総司令官とする国民革命軍が軍閥打倒・中国統一を目指して北伐を進め、1926年、南京に国民政府を樹立、一党体制を目指した。一方、31年に毛沢東を主席とする共産党政府が江西省・瑞金に樹立され、両者の間で激しい内戦が続いた。

第一次大戦中に東アジア諸民族の民族的自覚が高まったが、大戦後のパリ講和会議では列強は自らの利権を守って彼らの要求に応えなかったため、インド、朝鮮、フランス領インドシナ、インドネシア（オランダ領東インド）、フィリピンなどで独立運動が起こった。

西アジアではトルコ共和国、アフガニスタン、イラク、サウジアラビア、エジプトなどが独立した。

◆第二次世界大戦

○世界恐慌とファシズムの台頭

第一次大戦後の世界を安定化させたのはアメリカ資本のドイツへの導入による復興システムだった。しかし、1929年秋、過剰生産と異常な投機熱を因とするニューヨーク株式市場の大暴落に端を発して大恐慌に陥り、その仕組みが破綻した。アメリカの大不況はたちまち他国に広がり、世界経済を大混乱に陥れた（世界恐慌）。資本主義諸国は競って輸入制限・関税引き上げ・経済ブロックの形成などの手段をとって恐慌から逃れようとしたため、国際協調と安定の時代は終わった。

恐慌のためアメリカの工業生産は約半分に落ち、失業者は1000万人を越えた。大統領のフランクリン・ルーズベルト（任1933-1945）は政府が経済に積極的に介入して生産調整・公共投資・農産物価格の引き上げなど（ニューディール政策）を行って恐慌を克服しようとした。

イギリスは英連邦内に排他的な特惠関税制度を樹立、ブロックを形成して貿易を維持しようとしたが、これは他のブロックの形成を招いて世界の経済競争をさらに激化させた。2年間で10回も内閣が交替したフランスもブロック経済の形成をはかった。

賠償の負担を負うドイツでは恐慌とともにアメリカ資本が引き上げられたため、失業者は620万人に達した。こうした中、ヒトラー（総統位1934-1945）の率いるナチスが台頭した。ナチスはヴェルサイユ条約の破棄やゲルマン民族至上主義を説き、共産党を弾圧、反対者やユダヤ人を迫害した。また、文化統制や教育支配を強めて画一的な全体主義国家を作り上げるとともに軍備増強に乗り出した。1933年、国際連盟を脱退、1936年、非武装地帯とされていたラインラントに軍隊を進駐させてヴェルサイユ体制は崩壊した。

日本は第一次大戦中には経済発展をしたが、戦後不況と世界恐慌に巻き込まれて深刻な経済危機に直面した。1932年に5族協和を謳って建国した満州国を国際連盟が承認しなかったことに反発して連盟を脱退（1933年）。中国で内戦を行っていた国民党と共産党は、1937年、抗日のために第2次国共合作を行った。このような状況下、日本は軍部が力を増し、全体主義化が進んだ。対外的には36年、日独防共協定を結んでドイツ・イタリアの枢軸国との提携を強めた。しかし、中国大陆における抗日戦線の抵抗は予想以上に激しく、アメリカ・イギリス・ソ連が中国を援助したので戦争は長期化した。

○第二次世界大戦

ドイツはラインラント進駐に続いてオーストリア併合、チェコスロヴァキアを保護領とし、イタリアは東欧のアルバニアを併合した。1939年9月、ドイツ軍がポーランドに侵略を始めるとイギリス・フランスはドイツに対して宣戦して第二次世界大戦が始まった（1939-1945）。1940年4月にドイツはデンマーク・ノールウェーを急襲、5月にオランダ・ベルギーを強行突破してフランスに攻め込んだ。イタリアも枢軸国として参戦。6月、フランスは降伏して国土の北半分がドイツ軍の占領下に置かれた。フランス政府は南のヴィシーに移ってドイツに協力したが、ドゴール將軍（1890-1970）はロンドンに亡命して抵抗を呼びかけた。イギリスはドイツの激しい空襲に耐えて抗戦を続けたため、ドイツ軍はイギリス上陸ができずに長期戦となった。1941年にドイツ軍はソ連に深く侵入したため、ソ連もイギリス・フランスの連合国側になった。

東ヨーロッパでは1943年初めソ連軍がスターリングラードでドイツ軍を破り、これを機にソ連軍優勢となった。西ヨーロッパでは1943年、米・英軍がイタリア本土に上陸、9月にイタリア無条件降伏。1944年、アイゼンハウアーを総司令官とする連合軍は北フランス・ノルマンディーに上陸。1945年、東西からソ連・アメリカ・イギリスの攻撃を受けたドイツは5月無条件降伏。

中国と長期の戦いをしていた日本は、1940年に日独伊3国同盟、1941年に日ソ中立条約を締結。ついで、中国への補給路を断つためにヴィシー政府容認のもとフランス領インドシナに軍隊を送つ

た。アメリカ・イギリス・オランダは石油などの経済封鎖で対抗したので、資源の少ない日本は苦境に立たされた。情勢打開をはかって日米交渉が行われたが、日本の中国・満州からの撤兵なしには合意なしという厳しい回答に、石油枯渇を恐れた日本は1941年12月ハワイ真珠湾を襲撃してアメリカ・イギリスに宣戦布告、太平洋戦争（1941-1945）が始まった。当初、大東亜共栄圏の建設を謳った日本はフィリピン・シンガポール・マレー・ジャワの英米列強の勢力を駆逐したが、1942年6月のミッドウェー海戦でのアメリカの勝利から戦局は転じた。1945年4月、アメリカ軍が沖縄に上陸、日本本土は度重なる空襲を受け、さらにアメリカは広島・長崎に原子爆弾を投下した。日本は8月降伏を呼びかけたポツダム宣言を受諾。第二次世界大戦は終了した。

◆この時代の飲酒

18、19世紀に大量生産技術が進むとお酒も手に入りやすくなって最下層階級の人も酒だけは飲めるようになった。当時、産業革命によって成長したロンドンには出稼ぎ労働者のアイルランド人が流入したが、ひどい労働環境のもとでの彼らの唯一の楽しみは飲酒（とくに酔いが早いジン）だったという。「貧困こそ乱飲を引き起こした」と言われた。

20世紀になると、貧困の様相の変化に伴って酒の飲み方も変わってきた。19世紀には「特殊技能のないすべての労働者は貧困」というみな共通の運命だった。しかし、20世紀になると生産の更なる増大によって下層階級者もかなりその恩恵に浴したのだ。多くの労働者は週末の土曜日の晩に稼いだ賃金の中から飲み代に使える金を持ってパブに行き、深夜まで陽気に騒いで一週間のうさを晴らしたのだ。

イギリスでは19世紀はじめまでは飲もうとすればパブに行かざるを得なかった。従って、どの階級に属しようとしてパブに集まって飲む光景が見られた。ところが、1934年、瓶詰めビールの持ち帰り販売を認める法律が作られた。小売り酒販店の誕生である。これを契機に中産階級は家庭で飲むようになり、パブの性格は大衆酒場の色彩を強める。そして、飲み場の階層化に拍車がかかってブルー・カラーはパブ、ホワイト・カラーはサロン・バーに集うようになった。

ジョージ・オーウェル（1903-1950）が1927-1929年のパリ・ロンドンのスラム街で暮らした経験を記述しているが下層階級の飲みっぷりがよく分かる。（『パリ・ロンドン放浪記』）

一飲み代に週30フランを使えるようになった私は（彼はホテルで皿洗いの職を得て、露命をつないでいた）その町の社交生活にも参加できるようになった。土曜日の晩には「三雀荘」の下にあるビストロでちょっと陽気に騒ぐ。（中略）

マダムFがふきんでテーブルを拭き、何本かのワインのリトル瓶とロールパンを追加したところで、我々はまた腰を据えて本格的に飲み始める。（中略）

1時には、もう幸せな気分は消えていた。一夜の飲が果てようとして、われわれは苛立たしくさらにワインを要求しても、マダムFはすでにワインを水で割っていて、それまでの味は二度と戻らなかった。（中略）

1時半には、ただ頭痛だけを残して歓楽は最後の一滴まで蒸発してしまった。すでに自分たちは輝かしい住民ではなく、ただいぎたなく飲んだくれた低級な低賃金労働者の一団としか思えなかった。いくら飲み続けてもそれは情性に過ぎず、その酒にとつぜん吐き気を催してきた。頭は風船のようにふくれあがり、床が大きく揺れ、舌も唇も紫色に染まっていた。これ以上は飲んでいても意味がなかった。幾人かがビストロの裏庭へ出て行って吐いた。われわれは着ているものもろくに脱がず、這うようにしてベッドに転がり込むと、あとはそのまま10時間、

こゆるぎもしなかった。

土曜日の夜はたいていこんな具合だった。それでも、ひたすら申し分のない幸せに酔える2時間には、そのあと頭痛に耐えるだけの値打ちがあるように思えた。結婚もせず、将来に希望もないこの地区の多くの男たちにとっては、一週間に一度の乱痴気さわぎこそ、唯一の生きが이었다のである――

このような状況の労働者に大不況が襲い、戦争への道を歩み始めたのだ。

5-26. 第二次世界大戦以降の世界

○米ソの動き

第二次大戦後、平和維持と国際協力を目的に国際連合ができた。しかし、なかなか思い通りにはゆかず、戦後まもなく米ソ両陣営が対立し、戦後処理や復興政策をめぐる“冷たい戦争”が始まった。

大戦によって大きな被害を受けた西欧諸国は経済困難に直面した。戦火を受けなかったアメリカは西欧の復興援助に乗り出し、西欧諸国は反共で結束し、1949年にアメリカ・カナダなどを加えた北大西洋条約機構（NATO）を結成した。一方、大戦中、ナチスの占領下で抵抗運動を続け、ソ連の軍勢力によって解放を実現した東欧諸国は社会主義圏を形成した。

この両陣営による冷戦のもと米ソは核兵器開発競争を行い、イギリス・フランス・中国がこれに続いた。さらに、インド・パキスタンが核保有。北朝鮮が核保有を目指しており、イスラエルは保有が憶測されている。核をどう管理して核兵器廃絶を実現するかは、今後の重要課題だ。

1961年にアメリカ大統領のケネディ（任1961-1963）が戦争・偏見・貧困・差別をなくすことを目的としたニューフロンティア政策を進め（1963年に暗殺）、64年に黒人の公民権を広く認めた公民権法が成立。また、75年以降、国際的な課題を解決するために先進国首脳会議（サミット）が開かれるようになった。その後、レーガン（任1981-1989）・ブッシュ（任1989-1993）のもとソ連との関係改善が進められた。クリントン（任1993-2001）は中東問題の調停に乗り出し、イスラエルとパレスチナ解放機構の相互承認・パレスチナ人暫定自治の合意を実現。

2001年9月11日、米国で同時多発テロ事件が起こってから情勢が変わってきている。ブッシュ（子、任2001-2009）政権はイスラム原理主義者アル・カーイダが犯人とし、彼を保護したタリバーン政権のアフガニスタンに軍事介入、暫定政権を擁立。また、2003年、核開発の疑惑を持つフセイン政権のイラクにイギリスとともに軍事介入したが開発していた証拠は見つからず、また激しい抵抗にあってアメリカ国内世論のイラク撤退の声も強まった。オバマ政権（任2009-2017）がイラク撤退を決定したがアフガニスタン・イラクの混迷は収まらず、また、「イスラム国」が出現して、世界中に無差別テロをしかけている。2017年には保守的な“アメリカンファースト”を唱えるトランプが大統領となって、動きは激しさを増している。

ソ連は1936年からスターリン独裁体制による社会主義国家体制が確立したが、政府主導のもとでの工業化のため量のみが重視されて質は軽視された。53年にスターリンが没すると集団指導性がとられ、西側との平和共存を模索するようになった。86年、ゴルバチョフ（任1985-1991）が停滞していた国内社会のたてなおし政策（ペレストロイカ）を開始、国内制度の民主的改革に着手。外交面では、米ソとの間で中距離核戦力全廃条約締結（アメリカ；レーガン）、冷戦の終了と新時代到来の確認（同；ブッシュ（父））を行った。1990年には、一党独裁を止めて大統領制を導入、ゴルバチョフが初代大統領。1991年、共産党解散、バルト3国の独立回復、11の共和国による独立国家共同体（CIS）が発足してソ連邦は消滅、ゴルバチョフは大統領を辞任。この結果、ソ連

を中心とする社会主義圏は崩壊してワルシャワ条約機構も解体した。多くの国が独立したが、これまで押さえ込まれていた民族・地域紛争が頻発。ついで、ロシア連邦大統領にエリツィンが就任（任 1991-1999）して急激な変革に伴う混乱に対応したが国際的な威信の低下は否めず、プーチン（任 2000-2008, 2012-）が強いロシアの再建を目標にして内外政策を進めている。

○ヨーロッパの動き

米国のヨーロッパ経済復興計画（マーシャルプラン）によって西欧諸国は復興を軌道に乗せ、さらに、ヨーロッパ共同体（EC）など種々の共同体を順次結成して諸国間の経済協力を進めた。この結果、西欧諸国は経済発展を遂げて米ソ 2 極の世界から多元化時代の 1 角を占めるようになった。1992 年には貨幣（ユーロ）も統一して協力体制をさらに強化した欧州連合（EU）が発足した。しかし、東欧への拡大とともにロシアとの軋轢、個々の加盟国の経済力格差の拡大、職や安定を求めて移動する難民の増大などの問題点も露呈してきており、イギリスの EU 離脱に見られるように今後の運営は必ずしも楽観できない。

フランスはドゴール（任 1959-1969）によって独自の外交を展開、イギリスはサッチャー（任 1979-1990）保守党内閣によって国営企業の民営化など自由化路線を進めた。戦後の変貌著しいのはドイツ。戦争直後、アメリカ・イギリス・フランス・ソ連に分割占領され、1949 年 9 月、西ドイツではドイツ連邦共和国、東ドイツではドイツ民主共和国が成立。首都ベルリンも 2 分された。西ドイツは 54 年に NATO 参加と再軍備が認められ、69 年には社会民主党の内閣が誕生して東側との話し合いが進んで関係が改善した。一方、80 年代の後半からは東欧も民主化革命によって次第に市場経済へと移行し、冷戦の象徴だった「ベルリンの壁」がこわれ、90 年に東西ドイツが統一した。統一後、多くの問題を克服したドイツの経済発展は著しく、現在は EU の牽引役を担っている。

○アジアの動き

大戦後の日本は戦後・復興期・経済成長期を経て、現在は停滞期が続いている。1968 年には GDP（国内総生産）がアメリカに次ぐ世界 2 位に達し、現在も 3 位の位置を占めている。停滞期が続く要因の一つは人口問題だろう。戦前の「産めよ、増やせよ」の時代から戦後の「少なく産んで上手に育てる」への変化、戦争直後のベビーブームから近年の出生率低下に平均寿命の伸びが重なって、少子高齢化社会に直面。少子高齢化社会は社会の生産性や活力が低下し、有病率増加に伴う医療費・社会保障費が増大する。膨大な額の債務超過の解決を目指した財政再建も「待ったなし」で、今後の日本の舵取りは重要な局面を迎えている。

中国は国民党との内戦に共産党が勝利して 1949 年に北京で毛沢東を首席とする中華人民共和国が成立、蒋介石の中華民国政府は台湾に逃れた。毛沢東（任 1945-1976）没後、鄧小平（任 1982-1987）らの体制となって農業・工業・国防・科学技術の現代化を進め、経済の近代化政策・対外開放政策（改革開放）を積極的に推し進めた。しかし、1989 年、学生らの民主化要求運動が武力弾圧（天安門事件）され、趙紫陽総書記（任 1987-1989）が失脚。江沢民（任 1989-2002）、胡錦濤（任 2002-2012）、習近平（任 2012-）と指導者交代が進んでいる。この間、中国経済は驚異的な成長を遂げた。また、香港が 1997 年、マカオは 1999 年に中国に返還された。共産党政権のもと GDP 世界 2 位にまで成長した大国が世界経済を牽引しながら国の舵取りをする難しさにさしかかっている。

朝鮮は大戦後、1948 年、北緯 38 度線を境にして北は金日成を首相（主席）（任 1948-1994）



図 5-59 第二次世界大戦後のアジア（1950 年頃を中心に）（「世界史図録」より）

とする朝鮮民主主義人民共和国，南は李承晩を大統領（任 1948-1960）とする大韓民国が成立。統一をめぐる対立が続いた結果，朝鮮戦争に突入。53 年に休戦協定が締結されて現在に至っている。韓国では李承晩が倒れた後，朴正熙（任 1963-1979）が政権を握り，1970 年代には日本の援助もあって経済が急速に発展した。しかし，急激な経済成長政策のひずみと独裁政治に対する民衆の不満が爆発，朴正熙は 1979 年に暗殺された。これを機に民主化運動が高まり，ソ連・中国との国交回復，朝鮮民主主義共和国との国連同時加盟が実現した。韓国は，その後も著しい経済発展を遂げているが，2012 年に北朝鮮の金正恩が最高指導者に就任以来，朝鮮半島は緊張度を増している。

図 5-59 に示しているが，第二次大戦後のアジアの復興は目覚ましい。大東亜（太平洋）戦争での日本の動きに多かれ少なかれ触発されたと考えられるが，第一次大戦後には実現しなかったアジア諸国の独立が 1950 年までにインドネシア・ミャンマー（ビルマ）・フィリピン・インド・パキスタン・スリランカ（セイロン）などの国々で実現した。

インドは 1947 年，イギリスから独立。ネール首相（任 1947-1964）のもとで非同盟中立政策を進めた。20 世紀後半に経済改革を行い，高い経済成長率を実現。中国の経済成長に陰りが見えるなか，今後の発展が期待されている。

ベトナムは北ベトナム（ベトナム人民共和国）とフランスが介入する南ベトナムとの間でインドシナ戦争（1946-1954）が始まった。戦争終結後，南ベトナムでは政府軍と人民解放戦線との間で内乱になり，フランスに代わって介入を強めたアメリカは政府軍を支援して北爆を行った。人民軍の抵抗が強く 73 年にアメリカ軍撤退。1976 年，南北統一してベトナム社会主義共和国が成立した。86 年来のドイモイ（刷新）政策のもと市場経済を導入し，近年，発展が著しい。アジアの多くの地域では独裁体制のもと経済の近代化が進められた。ミャンマー（ビルマ）では独裁政権の後，1990 年の総選挙でアウン・サン・スー・チーらの全国民主連盟が圧勝。軍部との軋轢の後，2016 年に彼女が指導する政権が誕生。今後，民主化・発展が期待される。

1967年、シンガポール・インドネシア・マレーシア・フィリピン・タイの5カ国が東南アジア諸国連合（ASEAN）を結成し、経済の相互協力を進めている。その後、ベトナムなどの加盟国も増え、経済規模も大きくなって世界経済に影響を及ぼすまでに成長をしている。

西アジアでは、1946年、シリア・レバノン・ヨルダンが独立したが、西南アジアと北アフリカの中東情勢は波乱含みだ。アラブ・ユダヤ両民族が対立するパレスチナ問題、さらに諸国の独裁体制とそれに反対する革命運動に宗教（イスラム教）上の争いが加わって、様相が複雑化している。繰り返し起こる中東戦争、イラン・イラク戦争、アフガニスタンとシリアの内戦、さらにイスラム国の出現と止まるところを知らない。

○アフリカ・ラテンアメリカ諸国の2次大戦以降

アフリカでも、1956年以降チュニジア・モロッコ・ガーナ・ギニア・カメルーン・トーゴなど多くの国々が独立したが、領土紛争が続ぎ、しばしば軍事独裁政権が登場した。先進諸国の援助による近代化への努力も進められているが、度重なる戦乱や自然災害で多くの民衆が飢餓に苦しんでいる。白人少数派による厳しい人種隔離政策が続けられていた南アフリカ共和国は94年に初の総選挙で黒人指導者マンデラ（任1994-1999）が大統領に選ばれ、黒人・白人閣僚による国民統合政府を組織、近代化が大きく進んだ。

ラテンアメリカ諸国は1948年に米州機構（OAS）を組織して共産主義に対抗する体制をとった。大土地所有制を基盤とする軍事独裁政権の形をとっている国が多かったが、1970年以降、チリ・ペルー・ホンジュラス・アルゼンチン・ブラジルなど政権を民政に移管する国々が増えており、2016年にはブラジル・リオで南米最初のオリンピックが開催された。キューバでは、1959年カストロがアメリカ資本に支持されていた政権を打倒、革命政権を樹立してソ連への接近をはかった。1962年に核ミサイル基地の建設をめぐる米ソが対立したキューバ危機もあったが、54年ぶりにアメリカとキューバの国交正常化が実現した（2015年）。

◆二次大戦以降の世界と飲酒

○ビールのカン詰め

アメリカで施行された禁酒法（1920-1933）は少数の絶対禁酒論者を除いて国民に評判が悪く、10年あまりで廃止されることとなった。しかし、禁酒法中に酒場で酒を飲む習慣がなくなったうえに冷蔵庫が普及したため、瓶ビールを家庭で消費する新しい習慣が生まれていた。

その矢先にビールのカン詰めが出現した。商業的に発売されたのは1935年以降だが、缶はガラス瓶より軽く、殺菌が速くでき、場所をとらないし、一方交通で回収の手間がなくビール業者にとって二重にも三重にも便利だった。

同時に新聞広告やラジオでビールは手軽に飲める飲料、酒場だけではなく、家庭や社交の席やテニスコートや水泳プールでの飲み物、と宣伝して食料雑貨店とスーパーマーケットで缶ビールを扱うようになったことが大きく広がる原因となった。

○20世紀後半のワイン・ビールの大きな変化

第二次大戦後、モノ・ヒト・カネ・情報の地球規模の移動が進むグローバル化の中で酒文化の交流も急速に進み、新たな段階に入った感がある。とくに、1975年以降はワイン・ビールともに大きな変化が見られる。その要因はいくつかあり、それが互いに影響し合って今日に至っている。

第一の要因は、「原料栽培およびワイン・ビール醸造における現代科学の導入」。この流れは近代以降顕著だが、さらに拍車がかかった。その詳細は後述する。第二の要因は、「流通面の構造改革と技術革新」。貿易の自由化と空輸やトラック運送などの輸送技術の発達は生産者と消費者の距離を縮め、多様な酒を楽しめるようになった。とくに、20世紀後半以後、冷蔵庫を端末とするワールド・チェーンの普及で冷蔵・冷凍化された食材が地球規模で移動する「冷たい食文化」が一世を風靡している。家庭での冷蔵庫の普及は冷やして飲むラガービールの爆発的増加につながった。冷めたいラガービールはアメリカを皮切りに日本を始め、世界に広がっている。「近代化とは電化」の感があり、今後も、アジア・アフリカなどでの生活レベルの向上とともにこの傾向は続くに違いない。第三は「消費者層の変化」。情報の発信や受信が容易になって、消費者がよい物は値段が高くても購入する、悪いものは安くても購入しないという傾向が強くなった。豊かになり、賢くなった消費者が増えてきたと言える。第四は「専門ジャーナリズムの発展」。情報手段が発達し、ワイン愛好家やビール愛好家が増えると、それに応える情報を発信し助長するジャーナリズムが出現して消費を拡大してゆく。これが産業革命以降、資本主義の流れだ。

5-27. 近現代の科学技術の発達とワイン・ビール作り

○近現代の科学技術の発達

ボーア、ラザフォードらによって陽子・電子・中性子からなる原子モデルが1932年に確立。シュレーディンガーらによって量子力学が誕生、アインシュタインらによって特殊相対性理論が生まれてくる（図5-60（A~D））が、私の理解を超えるのでストップ。事ほど左様に近現代科学はそれぞれの分野で私ども素人の理解を超える発展をみた。



図5-60 近現代科学の巨人たち（1）

比較的、馴染みのある微生物分野では疾病と関わりのある細菌やウイルスが次々と特定され、その細菌を死滅させる薬剤の開発研究がさかんに行われた。梅毒の化学療法剤として1910年にエールリッヒと秦佐八郎によってサルヴァルサンが合成された。1928年にフレミングらによってアオカビが生産する抗生物質ペニシリンが開発された（図5-60（E~G））。また、1930年代の電子顕微鏡の登場によってウイルスの姿も明確になり、免疫分野の進展によって種々の疾病に対するワクチンも開発されている。様々な感染症に対する抗生物質・ワクチンの開発や公衆衛生の確立によって現代ではパンデミックな感染は起こりにくくなった。

生物学の分野では20世紀初頭に染色体上に遺伝子が配列していてその本体はDNAであることが明らかにされた。1953年にはワトソンとクリックがDNAの構造とその複製機構を明らかにした（図5-61（A~B））。これ以来、分子生物学が学問として独立して、飛躍的に発展した。

遺伝子はタンパク質の設計図であり、近現代になってタンパク質科学の進展も顕著だ。すでに述べたようにブフナーが酵母菌体中の酵素（チマーゼ）によって糖がアルコールに変換することを指摘したが、酵素はタンパク質であることがサムナー、ノースロップらによって明らかにされた。スタンリーはウイルスが核タンパク質で構成されていることを明らかにした（図5-61（C~E））。酵素を純化・結晶化する技術が確立され、タンパク質の構造がX線解析によって明らかにされ、酵素反応機構が次々と解明された。

酵素反応は生体内でも外でも同じように作用することから、生体外では酵素による有用物質生

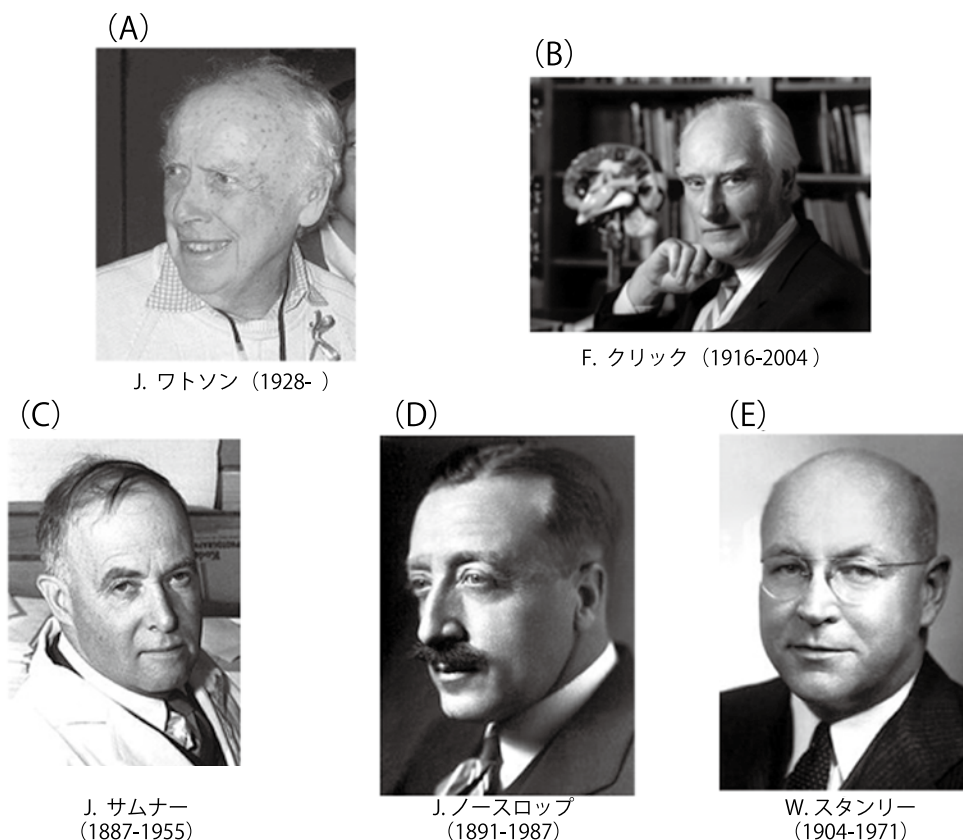


図 5-61 近現代科学の巨人たち (2)

産の研究開発進められ、生体内では様々な代謝反応や代謝調節の研究が進められた。まず、筋収縮の研究で成果があった。肝臓にグリコーゲンが蓄えられ、運動中に筋肉に乳酸が蓄積するという知見を基にマイヤーホーフらが筋肉中で酸素を消費してグリコーゲンが乳酸に変化し、その過程でできたエネルギーを利用して筋収縮が行われることを解明した。エネルギー物質がATP(図5-62)であることが明らかにされ、ワールブルグは呼吸によってATPが生成されること、そしてリップマン、クレブスらがATP生成経路の全貌を解明した(図5-63(A~D))。彼らの多くはドイツ系ユダヤ人だったが、第二次大戦中、

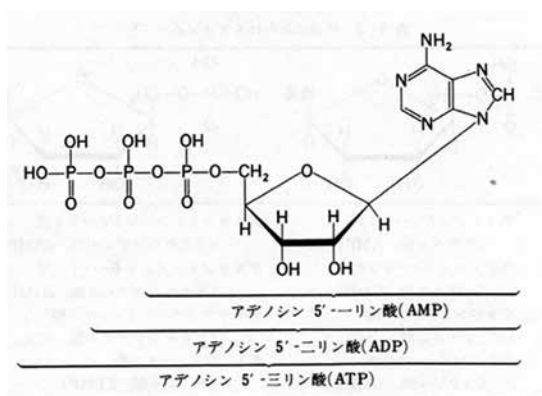


図5-62 高エネルギー化合物ATPの構造

ATP(アデノシン5'-三リン酸)のP原子は-に分極して互いに斥力が働くため、その結合部位にエネルギーが蓄えられている。

(A)



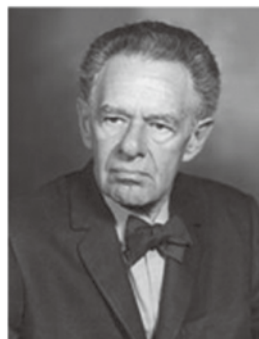
O. マイヤーホーフ
(1884-1951)

(B)



O. ワールブルグ
(1883-1970)

(C)



F. リップマン
(1899-1986)

(D)



H. クレブス
(1900-1981)

(E)



W. キャノン
(1871-1945)

(F)



鈴木梅太郎
(1874-1943)

図5-63 近現代の科学分野の巨人たち(3)

アメリカ・イギリスに亡命して研究を続けた結果の成果だった。

キャノンが生体は常に体内の機能や成分を一定に保とうとする仕組みを備えていること(恒常性:ホメオスタシス)を指摘したが様々な代謝反応や代謝調節が恒常性維持に寄与していることが明らかになった。また、生体を支えている食物の働きにも関心が向き、鈴木梅太郎(図 5-63 (E,F))が糖質・タンパク質・脂質の3大栄養素に加えてビタミンの存在を明らかにした。これらの多くは酵素の作用を補完する補酵素だった。

遺伝子(ゲノム)やタンパク質解析技術が著しく進展した結果、ゲノム解析によって生物進化・疾病・細胞機能の解明を行なう研究はゲノミクス、細胞に含まれるタンパク質を細胞機能に関連づけて行なう研究はプロテオミクスと呼ばれ、続々と成果が生まれている。

なお、ここで紹介した科学者たちはごく一部で、彼らに負けず劣らず優れた業績を残した多くの科学者が登場し、活躍してきたことは言うに及ばない。

○戦争と科学技術

20世紀は“戦争の世紀”と言われるが、戦争は科学技術の発展にもつながっている。電波によって情報伝達する無線化技術は日本でもいち早く取り込み、日清戦争・日露戦争勝利に寄与したことはすでに述べたが、この技術は電話、ラジオ、テレビの実用化へと広がった。

冷戦以降は情報戦争と呼ばれるように情報の収集・分析・整理は電子計算機(コンピューター)抜きには考えられないが、1930年代に弾道計算に用いることが目的に電子計算機の研究が始まったという。1942年にはプログラミング内蔵方式の計算機が考案され、1950年代から本格的な活用と研究がなされるようになった。電話回線/コンピューターによって通信網が整備され、さらにインターネット・電子メール・携帯電話が実用化して今日に至っている。

1903年にライト兄弟によるプロペラ機の初飛行で始まった航空機の進歩も戦争によるところが大きい。エンジンの大型化・高出力化・高効率化が進む一方、ジュラルミンなどの軽量合金を用いることによって機体の軽量化が進んだ。また、改良無線機によるナビゲーションシステムや自動操縦装置なども第二次大戦前に完成していたという。その後も、旅客機と軍用機の両面で大型化・高速化の研究が進められた結果、今日のように日常的移動手段となった。第二次大戦後、米ソによる人工衛星の開発競争も激しく57年ソ連が初めて打ち上げに成功(スプートニク号)、翌年にはアメリカも成功した。現在はもっぱら他国の監視や気象衛星が活躍している。

近代物理学の発展は原子の様相を明らかにするだけにとどまらなかった。1938年、密閉ウランに中性子をぶつけると核分裂連鎖反応が起こることが明らかになり、1945年に原子爆弾が開発され、広島・長崎でその威力の恐ろしさが実証されることとなってしまった。核分裂連鎖反応のコントロールの研究がなされ、平和利用としての原子力発電へ発展するが、その廃棄物処理の問題を考えるととてもその技術は完成したとは言えない。

5-28. 近現代、そして未来のワイン造り・ビール造り

◆ワイン・ビールの醸造工程

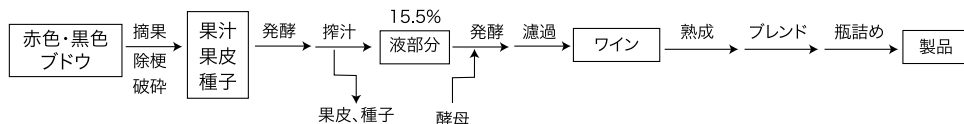
○ワイン・ビール醸造工程の昔と今

現代のワイン醸造工程と約5000年前の古代オリエントでのワイン醸造工程を比較したが(図 5-64)、すでに約5000年前から基本的な醸造工程は確立していた。

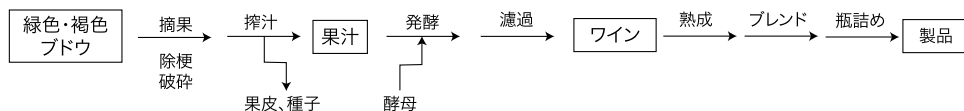
ビールの場合はどうだろうか。古代オリエント時代のバビロニアやエジプトでビール造りが盛んに行われていたが、それはビールパンを経て造る方法であり、現代のような麦汁からの発酵とは異

A

<赤・ロゼワイン>



<白ワイン>



B

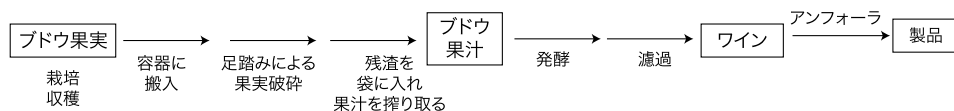
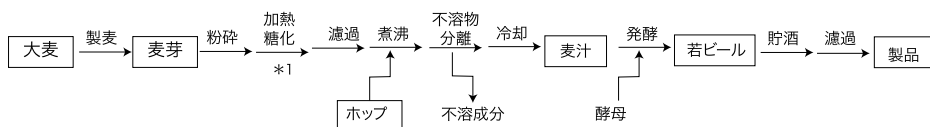


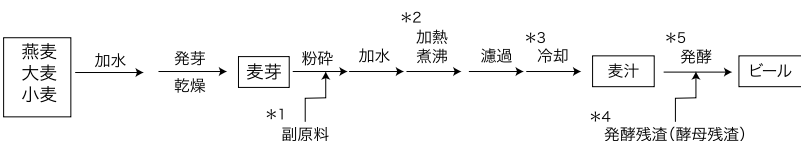
図 5-64 ワインの製造工程：(A) 現代 (B) 古代オリエント時代

A



*1 副原料として米などを添加する場合もある。

B



*1 副原料：ホップあるいはヤチヤナギ、ローズマリーなど
 *2 加熱・煮沸：ゆっくり昇温するので結果として糖化・殺菌される
 *3 底の浅い木桶に入れて冷ます
 *4 前回発酵終了後の残渣を添加
 *5 木樽で発酵

図 5-65 ビールの製造工程：(A) 現代 (B) 中世

なっていた。現代方式のビール醸造は黒海の北西部に伝わっていったと考えられる。この地域は森林地帯で農耕には適していなかったが、そこに居住していたケルト民族やゲルマン民族が麦汁スープからの醸造法を行っていた。図 5-65 に中世のビール醸造を現代のビール醸造と比較して示しているが、中世のビール醸造は麦汁からの発酵法であり、古代ギリシア・ローマ時代のケルト民族やゲルマン民族が行っていたのとはほぼ同じと考えられる。基本的なビール醸造工程は 2500 年以上前から確立していたと考えてよいだろう。

それではこの数千年の間、何をしてきたのかという疑問がわくが、結局“ワインとは何か？ビールとは何か？”を解き明かすために原料や一つ一つの製造工程の持つ意味を明らかにしてきたという事だろう。その結果、原料や工程と製品品質との関わりが明確になる。製品品質の明確化は製品の多様化につながる。さらに、必要に応じてそれぞれの工程に適した装置を開発して置き換え、人

力に代わるエネルギーを取り入れてきたのだ。

○工程の機械化・装置化

近現代は19世紀からの産業の大規模化・機械化に拍車がかかったが、とくにラガービール醸造で顕著だった。また、各工程の装置やそれをつなぐパイプの材質がステンレスやガラスライニングを施したものになった事も大規模化・機械化に寄与した。発酵槽は20世紀初頭まで開放型の木桶が使われていた。友人で、サントリーのビール研究所長だった中谷和夫氏によると彼が1992年にピルスナービールを生んだチェコ・ウルケル社を訪問した際



図 5-66 ビールの木桶の発酵樽
(「とりあえずビール、やっぱりビール」より)

樽の容量は2KL。これが100倍容量のステンレス製に交代してゆくことになる。

には、ピルスナー誕生当時の木桶発酵槽(2kL)や地下貯蔵庫をまだ使用していたということだ(図5-66)。それが10年後には200kLの縦型ステンレス製に変わってしまった。ウルケル社の醸造装置はラガービール誕生とつながるため精一杯守っていたこともあるが、20世紀半ば以降同様の変換は世界のビール醸造所で進んでいたのだ。

工程の機械化を考えるとワイン・ビールの原料であるブドウや大麦栽培の機械化が進んだが、その象徴はトラクターの導入だろう。一方、醸造工程を機械化するにはその工程の意味の解明が必須である。

ワイン醸造: ①ブドウの破碎・搾汁工程では、かつての先人たちは歌を歌いながらブドウ果を踏み潰し、袋にいれて人力(5人ばかり)で搾汁していたのが電気エネルギーによる機械化に代わった。機械化には破碎・搾汁の的確な条件が明確にされる必要がある。梗が果汁中に混じったまま発酵するとワインは渋味や苦味が濃くなる。破碎や搾汁が不足だと果汁収量が減り、破碎が強すぎて種子がすりつぶされるとワインの清澄化が難しくなったうえ渋みも苦味も増加する。搾汁具合も強すぎると果皮の成分が溶出しすぎて品質によくない。機械化にあたってはこのような破碎・搾汁条件を満たさなければならない。②発酵終了後のろ過はワイン清澄化にとって非常に大事な工程だが、混濁物の多いワインの清澄化に珪藻土濾過機やシート濾過機が力を発揮している。③熟成・ブレンド後、瓶詰め前にもワイン中の固形物を除去してワインを透明にするために濾過を行なう。また、瓶に充填した後、さらに熟成させる場合があるが、瓶に生きた酵母や乳酸菌が移行すると増殖して濁りの原因になるために加熱充填か精密濾過による除菌がなされる。

ビール醸造: ①製麦にあたって麦の種子が発芽するには適度の水分と温度が必要であるが、その条件の明確化には種子中の酵素の発現経過などを知らなければならない。機械化・大規模化にあたってどの種子も同じような湿度下・温度下に保つよう配慮した装置が開発された。②麦芽の粉碎が粗すぎると液中に溶出する糖の収量が低下するが、細かすぎるとは濾過の際に目詰まりを起こす。適度な粉碎が行われるようにすること、また糖化を終えて残った麦芽ハスクが濾過助剤となるような工夫もされた。③ビール醸造後に仕上げの濾過が行われるが、その目的はビール酵母や貯蔵中に発生する混濁物質の粒子を除いてビールを透明な照りのある黄金色のかげやきにすること。濾過装置

としては、遠心分離機・珪藻土濾過機、膜フィルターによる濾過などが用いられている。とくに、珪藻土濾過法は微粒子の捕捉性がよく、濾過の流量も大きく、濾過後の洗浄も自動化しやすいことから、広く用いられている。1970年代以前は濾過法と熱殺菌を併用していたが、現在では濾過だけで熱処理を一切行なわない生ビールが主流となっている。生ビールを造るためには醸造工程全体にわたって微生物汚染を予防する設備や管理方式が確立して初めて可能となる。

○熟成工程の解明

熟成工程は酒を置いておくだけの工程であり、それだけ時間も費用も要する工程なのでその意味づけが重要となる。

ワインの樽熟・瓶熟: 発酵を終えた赤ワインは樽に入れての熟成（樽熟）を行なうが、この工程で赤色素の安定化と渋みの粗さがとれて滑らかな味に変化することが明らかにされた。赤色の安定化は赤色の本体のアントシアンがタンニンと結合した結果、酸化され難くなるためと考えられている。樽熟の場合、酸素の存在下でタンニンの酸化重合が進むため渋みの粗さがとれると考えられている。さらに、樽成分の溶出、酸化なども寄与して熟成効果が発揮される。赤ワインや一部の白ワインは瓶詰め後に熟成する（瓶熟）。瓶熟の間、還元状態に置かれるためワイン中の酒石酸・リンゴ酸・乳酸・コハク酸などのエステル化とフェノール性香気成分の形成が認められている。

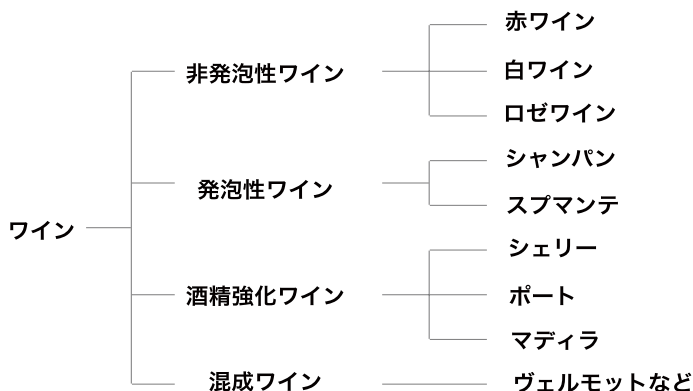
ビールの貯酒: ラガービール以降、ビールの貯酒が行われるようになったが、近現代の研究で熟成（貯酒）工程の重要性が明らかにされた。発酵工程では麦汁を酵母によって力強く発酵させ、アルコールや香気成分、炭酸ガスを生成させてビールの基本骨格をつくる。そして、低温に保持した熟成工程では残存するエキスを使得って酵母をじっくり働かせて未熟臭を除去、微小な不溶成分を沈降させてビールの清澄化、炭酸ガスを十分に溶け込ませてコロイド的に安定化を行い、粗さのとれたバランスのとれた香味に仕上げる。

◆多様なワイン、ビール

○多様なワイン

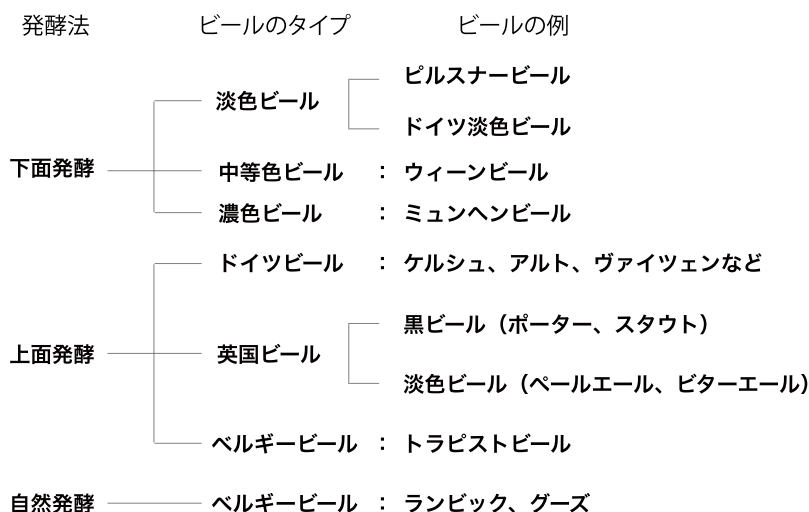
ワインの基本的な分類を表5-6に示した。ワイン造りの工夫や研究に伴ってワインのプロフィールが明確になり、飲み手のニーズと相俟って現在に至っている。

色調の違いは原料ブドウ、醸造法、産地の違いで決まり、赤ワイン、白ワイン、ロゼワインに分類される。赤ワインの色調はブドウ品種や産地によって淡赤色から濃赤紫色まできわめて広い幅がある。白ワインの色調は原料によって無色のものから淡黄色、黄金色、緑黄色からコハク色をしたもの、緑色の勝ったものなどがある。ロゼワインはフランスのローヌ河下流のタヴェル産グレナッシュ種を原料と



* 主に醸造法による分類
スプマンテはイタリアのスパークリングワイン

表5-6 ワインの分類



*ピルスナータイプのビールはチェコ以外にも
アメリカ・日本など多くの国で造られている。

表 5-7 ビールの分類

する橙色のもの、ロワール地方アンジュの橙赤色のもの、アメリカ・カリフォルニアのピンク色のものなどがある。

ワインは、通常、非発泡性ワインであるが、シャンパンなどの発泡性ワインや酒精強化ワイン（シェリー、ポート、マディラ酒）がある。混成ワインはワインに草根木皮、果実、蜂蜜などを加えたものだ。その多くはすでに紹介した。

○多様なビール

ビール醸造の歴史は、どうしても、現在、多く飲まれているピルスナータイプの系譜が中心となってしまう。しかし、それぞれの地方で育ってきたビールがあり、それらもまた、多くの紆余曲折を経ながら今日に至っている。

分類の概要を表 5-7 に示したが、麦芽製造時の焙燥（ロースト）方法を変えると淡色麦芽から濃色麦芽まで様々な色や風味を変えた麦芽ができ、多様な品質のビールができる。歴史的にも古い上面発酵ビールには個性的な味わいのものが多い。アルトはドイツ語で“古い”という意味だが、ケルシュとともに芳醇でホップの苦味が効いた品質が特徴。ヴァイツェンは小麦を 50% 以上使用しており、ねっとりとした泡が特徴。ベルリーナヴァイツェンは小麦 75% で酵母とともに乳酸菌も植え付けて造った酸味の強いビール。英国のエール、ポーターはすでに紹介したように一時代を画したが、品質を磨きながら今日に至っている。スタウトはポーターがアイルランドに伝わって生まれたと言われている。ベルギーは上面発酵で独自の文化圏を持っている。とくに、ランビックはブリュッセルとその近郊でのみ造られている。昔のままの設備の醸造所で、木樽に付着している酵母・乳酸菌・酢酸菌など多くの微生物が関与して、発酵・熟成に 2-3 年もかけて造る自然発酵のビールで、清潔で大規模な製造装置で完璧に管理されて造られる現代のビール造りの中で、その異色さと品質の多様さで評価が高まっている。

◆原料研究

○ワイン造りに関するブドウ

ワイン造りに関わりの深いブドウ品種を表 5-8 に示した。第一は、カスピ海沿岸地域を原産とする欧州系品種（ヴィティス・ヴィニフェラ）で、西洋系と東洋系に広がっていった。世界のワインの大部分は欧州系西洋系品種から製造されている。有名なワイン品種は殆どがこのグループ。また、ゲノム解析によってブドウ種相互の関わりが解明されてきている。第二のグループは米国を原産とし、フィロキセラ抵抗性から接木の際の台木として用いられる。その他は生食用が多い。

歴史的背景もあって、ボルドーのカヴェルネ・ソーヴィニヨン、ブルゴーニュのシャルドネ、ピノ・ノワールを用いたワインは最高だ。しかし、フィロキセラ被害以来、フランス以外のオーストラリア、ニュージーランド、アメリカ、チリ、アルゼンチン、イタリア、南ア、東欧、日本などの国々でも有名品種を植栽して、積極的にワイン造りが行われるようになった（表 5-9）。これ以外にも、ドイツの白品種ラインリースリングはニュージーランド、米国カリフォルニアやオレゴン、オーストラリア。フランス・カオールのマルベックがアルゼンチン、フランスのコート・デュ・ローヌのシラーがオーストラリアや南米で造られるようになった。近年になってそれぞれ原産地をしのぐような高品質ワインに仕上げられている。

表 5-8 主なブドウ品種

グループ名		原産地	学名
欧州品種系	西洋系	カスピ海沿岸	<i>Vitis vinifera</i> *
	東洋系	カスピ海沿岸	<i>Vitis vinifera</i>
米国品種		米国	<i>Vitis riparia</i> <i>Vitis rupestris</i>
* 白ワイン用： シャルドネ ソーヴィニヨン・ブラン リースリング ユニ・ブラン		* 赤ワイン用： カヴェルネ・ソーヴィニヨン カヴェルネ・フラン ピノ・ノワール メルロ シラー グルナッシュ	

表 5-9 新興のワイン生産国と導入栽培品種

オーストラリア		シャルドネ, カヴェルネ・ソーヴィニヨン, メルロ, ピノ・ノワール
ニュージーランド		シャルドネ, ソーヴィニヨン・ブラン, ピノ・ノワール, メルロ
米 国	カリフォルニア	シャルドネ, ソーヴィニヨン・ブラン, カヴェルネ・ソーヴィニヨン, メルロ
	オレゴン	ピノ・ノワール
チ リ		シャルドネ, ソーヴィニヨン・ブラン, カヴェルネ・ソーヴィニヨン, メルロ
アルゼンチン		カヴェルネ・ソーヴィニヨン, メルロ, マルベック
イタリア	トリエステ地方	メルロ
東欧		カヴェルネ・ソーヴィニヨン, メルロ
日本		カヴェルネ・ソーヴィニヨン, メルロ

上記の導入品種以外の各国で開発したオリジナル品種でも美味しいワインが造られている。

○ビール造りの大麦、ホップ

ビール原料の二条大麦は収量・栽培のしやすさ・耐病性に加えて、高いデンプン含量、高い糖化酵素活性、適度なタンパク質含量といったビール製造に必要な性質が要求される。この特性を持った原料の品種改良が行なわれている。大麦についてはほぼ全てのゲノム配列情報が分かっており、ビール用大麦の選択や育種に大きく貢献している。

ホップはビール特有のほろ苦さと爽快な香りを付与するのに不可欠であり、苦味成分はアルファ酸（フムロン）が仕込み工程の煮沸によって変換されたイソアルファ酸（イソフムロン）である。このイソアルファ酸は雑菌の増殖を抑え、ビールの腐敗を防ぐ作用がある。これ以外にも、ホップにはビールの泡もちをよくする成分、過剰なタンパク質を沈殿・除去して清澄化する成分が含まれている。

◆微生物研究

○酵母

酵母のゲノム解析などによる分類技術が大いに進展した。上面発酵酵母は *Saccharomyces cerevisiae*, ワイン酵母は主に *Saccharomyces cerevisiae* と *Saccharomyces bayanus*, 一方下面発酵ビール酵母は *Saccharomyces cerevisiae* と *Saccharomyces bayanus* の両方のゲノムを併せ持った雑種である *Saccharomyces pastorianus* に属する。なお、デンマークのカールスバルグ研究所のハンセンが下面発酵ビール酵母を純粋分離してビール醸造を行ったことはすでに述べたが、彼はこの酵母を *Saccharomyces carlsbergensis* としたが、現在は *Saccharomyces bayanus* と同種とされている。

ビール醸造の場合、一般的には、上面酵母は華やかな果実のようなフローラルな香りで個性的な味、下面酵母はバランスがよく穏やか、爽快でスッキリした香味を呈すると言われている。また、香味だけでなく工場で安定して醸造を行なうためには発酵力・増殖力・生存性・凝集性・遺伝的安定性などの醸造特性を満たす必要がある。狙い通りのビール造りを行なうにはそれに適した酵母を選ぶ必要があり、ビール製造者は「酵母バンク」として数多くの酵母株を保有している。

ワイン醸造の場合、エタノール濃度が高く、二酸化イオウが添加されるため、これらの条件下で増殖・発酵性が優れており、かつ芳香成分の生産性がよく揮発酸が低生産性でオフフレーバー非生産性のものが望ましく、ワイン醸造業者も多くのワイン醸造酵母株を保有している。なお、赤ワインの醸造は高温域、白ワイン醸造には低温域に適した酵母を用いる。

○乳酸菌の関与

ワイン造りで乳酸菌の関与が明らかにされた。酵母によるアルコール発酵の後、乳酸菌によるマロラクチック発酵（マロ発酵）が進行する場合がある。原料ブドウにはリンゴ酸が多く含まれている。ワインの場合、タンニン成分による渋みが大きな意味を持つが、渋みと酸味との調和はリンゴ酸より乳酸の方が相性がよいと言われおり、アルコール発酵の後にマロ発酵が進行して、ワインがまろやかになる。マロ発酵はある程度温度が高くないと進まないが、赤ワインでは通常の発酵温度で進行する。アルコール発酵を終えた後、ブドウの果皮に付着していてアルコール発酵中に生き延びていたロイコノストックやラクトバシラスなどの乳酸菌が活動してワイン中のリンゴ酸を乳酸に変換する。しかし、寒い地方での白ワインづくりはマロ発酵が進行せず、辛口の酸っぱいワインができる場合がある。現在では、意図的に加温してマロ発酵をさせる造り手とさせない造り手に分かれている。このマロ発酵についてはっきりと分かってきたのは 1960 年代になってからだ。

◆代謝研究の成果

○発酵過程の解明

前述のマイヤーホーフ、ワールブルグ、リップマン、クレブスらの糖代謝とATPの生成経路の研究成果は醸造面で大いに役立つ成果だった。この成果から、酸素がない時はエタノール生成、ある時は増殖が活発になるという酵母に関するパスツール効果の代謝経路が明らかになった(図5-67)。

①は解糖系と呼ばれる代謝系でグルコース1分子($C_6H_{12}O_6$)からピルビン酸($CH_3COCOOH$)2分子へ9つの反応が関与して進む。酸素のない時はピルビン酸からエタノールへのアルコール発酵が行われる。②はTCA回路(クレブス回路)と呼ばれる代謝系で、酸素のある状態ではピルビン酸の誘導体アセチル CoA とオキサロ酢酸とが結合してクエン酸になることによってTCA回路に取り込まれる。TCA回路は8つの化合物から構成されており、クエン酸からオキサロ酢酸まで変化するうちに取り込まれたアセチル CoA は酸化されて CO_2 になり、ATPと還元型のNADHなどが

生成する。③の電子伝達系は酸化・還元のカスケードであり、NADH などから電子が伝達されることによって大量のATPが生成し、この最終反応で酸素が使われて H_2O ができる。

フックが顕微鏡でコルクを見て以来、細胞構造の研究が始まったが、19世紀末にはミトコンドリアやゴルジ体などの小器官が発見された。20世紀後半に電子顕微鏡が発達することによって、さらに細胞構造と細胞の代謝や機能との関わりが明確にされることとなる。①の解糖系は酵母細胞の細胞質で進行しており、②と③の代謝反応はミトコンドリアで行われている。

ATPの生成は酸素がない状態(嫌気状態)では2個であるのに対し、ある状態(好気状態)では37~38個。得られたエネルギー(ATP)は増殖に使われるから、嫌気状態では発酵、好気状態では増殖というパスツール効果が代謝の面から説明できたことになる。なお、好気状態の糖代謝は酸素を消費して二酸化炭素を生成することから呼吸と呼ばれている。

○品質と代謝

代謝研究はアルコール発酵の解明の後、香味成分や未熟臭成分の生成など品質面との関わりについてなされている。一般的に芳香成分として酒類中に共通に含まれる成分は C_2 ~ C_5 のアルコール類とそれらの酢酸エステル、および C_4 ~ C_8 脂肪酸のエチルエステルである。これらの成分は酵母の糖代謝やアミノ酸代謝に関わって生成される。

一方、主要な未熟成臭成分のジアセチルは酵母増殖中に酵母が生成するアミノ酸、バニリンの中

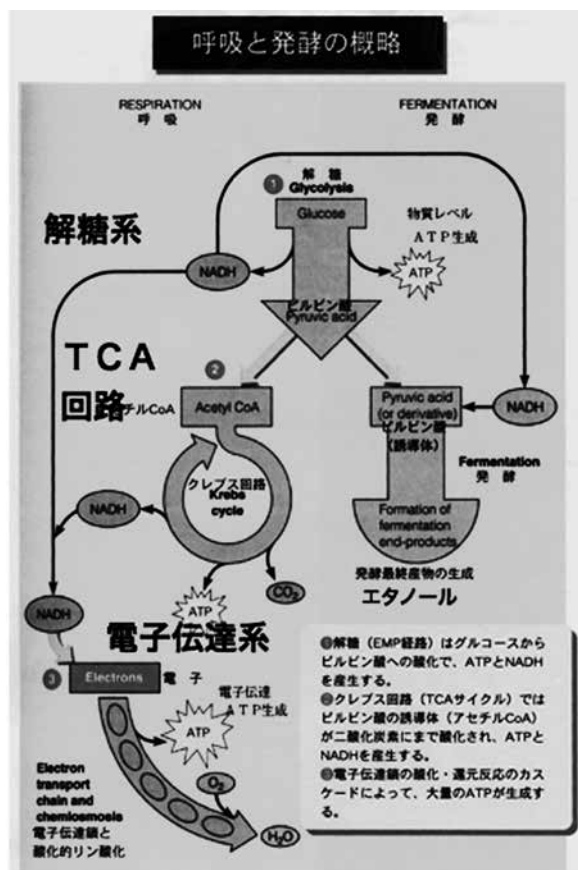


図 5-67 呼吸と発酵の概略

間体に由来することが明らかにされ、未熟臭を抑える方法も示されるようになった。

◆評価技術

○分析による品質評価

製品中の香気成分や品質劣化に影響する成分の分析に基づく品質評価技術の進展が著しいが、これには近現代の分析機器の進展よるところが大きい。表 5-10 に主にラボで用いられている分析装置の特徴と具体的な装置を例示している。最近ではさらに複合型の分析機器が開発されている。例えば、ガスクロマトグラフや高速液体クロマトグラフと質量分析計が連動して、分離した成分を即時同定することができる。近年、特にコンピュータテクノロジーの寄与が大きく、測定精度と測定効率の向上を同時に実現している。さらに、分析だけではなく特定のアミノ酸配列のペプチドや塩基配列の核酸などの合成装置の進展も著しい。また、ラボ室だけではなく、実際の工程に組み込まれて製造工程の管理に用いられている装置もある。

○官能評価

酒の品質評価は人の官能評価による所が大きいですが、専門パネラーの育成・評価用語の統一・数理統計手法の導入など評価結果の客観性に配慮されている。

客観的に評価するためにセンサーの開発も進められている。ビールの品質を評価するうえでコクとキレは大事だが、数多くのものが複雑に絡み合っているため、従来はこれを評価するには人による官能評価以外にはなかった。しかし、このコクやキレを客観的に評価することを目指して開発されたコク・キレセンサーなどが登場している。

表 5-10 主なラボ用分析装置

分析計の特徴 による分類	分析計の特徴	計測措置の例
電気化学分析装置	種々の成分が溶け込んでいる溶液の電位測定	pH メータ, ボルタメトリー, ポーラログラフなど
光分析装置	紫外, 可視, 赤外, 近赤外域の光を用いて分析を行う分析機器	吸光分析・原子吸光分析・蛍光分析・ラマン分光分析・ICP・発光分析の各分析計・濁度計・比色計・デンストメータなど
電磁気分析装置	X 線, 電子線, イオンビームなどを用いて分子や原子に関する情報をもたらす装置	質量分析装置, マイクロアナライザ, 電子顕微鏡, X 線回析装置など
分離分析装置	固定相に接して移動相を流し, 混合物を精密に分離して分析する方法	薄層クロマトグラフ, ペーパークロマトグラフ, ガスクロマトグラフ, 高速液体クロマトグラフ, 超臨界流体クロマトグラフ, 向流分配, 電気泳動装置など
分解・蒸留・分離・濃縮装置	試料の前処理操作装置が多い	蒸留装置, 遠心分離装置など
熱分析・熱測定装置	分子の集合体が加熱・冷却によって示す情報	示差熱分析装置, 熱量計など
その他の測定装置	特定成分の分析など	アミノ酸分析装置, DNA シークエンサー, 粘度計, 粒度分布測定装置など

○健康評価

—アルコールの代謝：アルコールの生体内挙動について積極的に研究が進められた。摂取されたアルコールの一部は胃壁から吸収されるが、大部分は小腸で吸収されて肝臓で分解される。肝臓では2つの酵素（アルコール脱水素酵素、アルデヒド脱水素酵素）によって酸化されて、酢酸からTCA回路に入って二酸化炭素と水に変換される系とアセトアルデヒドからアセトインに変換される系（ミクロソーム・エタノール系）とがある。

—“酔い”の研究：酔いはアルコールの麻酔作用によって脳の自己抑制から解放された状態と定義されている。すなわち、アルコールによって中枢神経細胞の働きが低下して酔いの状態になるのだ。そのメカニズムは二つあり、一つはエタノール分子が神経細胞表面にある神経抑制性の神経伝達物質 γ アミノ酪酸結合部位に結合して、 γ アミノ酪酸にかわって神経細胞の働きを低下させる。もう一つはエタノールが神経細胞の細胞膜に作用して、カルシウムの取り込み阻害を介してカルシウムを必要とする神経細胞の生理機能を阻害する。

—適度な飲酒は“百薬の長”であるが、飲み過ぎると肝臓などの内蔵疾患やアルコール中毒につながる。これらの面からの機能性研究が積極的に進められている。

◆周辺技術の現状と将来へ向けて

ワイン醸造・ビール醸造を取り巻く周辺技術に関しては機械化による効率化・省力化さらにはロボット化などが進むだろう。微生物関連では発酵中のアルコール以外のエステル成分・カルボニル成分などの香味成分の生成過程が明らかになり、これらの成分生成に適した微生物選抜・改良、醸造条件の適正化などが進んでいる。また、IT技術が進むことで工場管理・発酵管理、さらには種々の情報管理も進んでいる。

とくに、近年、分析機器の開発に伴う分析・評価技術の進展が著しい。微量な香味成分などがたちまち同定され、酵母が関与している場合には遺伝子レベルでの解析も進んでいる。

また、評価技術の場合も脳科学の進展によって、香味物質の官能メカニズムが神経科学も含めて評価されるようになってきた。これからヒトの脳科学が益々進展すると脳への機能評価も含めてこの分野の進展が期待される。また、市場評価もさらに進展することになるだろう。

このような技術に伴って洗練された多様な商品が一層生み出されてくる事になるし、また、今までとは違う関連商品も開発されるだろう。

ノンアルコールのワインやビールなどはワインやビールの歴史の中で一つのエポックを形成するかも知れない。まったく、発酵を行わずにビールテイストの製品が造られていることも驚きであるが、飲酒経験のある人の場合、脳は“酔い”を感じているという話だ。非常に面白い研究分野になるかも知れない。

有史以来、人類は酒に親しんできた。人類は文明の誕生以来、“ワインありき”であり、“ビールありき”だった。しかし、その大前提は“われわれヒトありき”である。産業革命以降、科学や技術が高度化した。とくに、20世紀の後半以降、ワイン造り、ビール造りの管理化が進んだ結果、酒造りの現場がわれわれの手の届かないところに行ってしまうてはいないか？ また、飲み手のヒトも管理された製品になじむあまり、そして過剰な情報に溺れるあまり、飲み手の感性を失ってはいないか？ という危惧を一方で感じざるを得ない。

産業革命の前までは酒造りも殆ど人力で行なわれていた。従って、当時は非常な熟練と経験が必要とした。醸造職人たちは五感を鍛錬し、これを働かせて酒造りを学んだのだ。当時のビール醸造について述べた件を以下に紹介する。

一原料大麦や麦芽はこれを握ってただけで、その粒の乾燥状態を知るようになるとか、仕込みの際、もろみを指先でかきまわすことによって、適温を把握するようになることは触覚の鍛錬の結果です。昔からよく言われている桶や樽のタガをはめ込む時に打ちおろすハンマーや木槌の扱い方は非常に触覚の働きと力の加減を必要としました。またビールの発酵状態は泡の形成や消滅によってその推移が一目のもとに了解されるようになり、醗酵室や貯蔵室の匂いを嗅ぎ分けることはビールのでき具合を知る上に重要なことで、それぞれ視覚、嗅覚の働きによります。さらに桶や樽の中味の入り加減は、これを外から叩いて察知し、機械の歯車の出す音によってその機械が正常に作動しているか否かを知ることは聴覚を養うことによって可能となります。ビールを飲む人たちはほとんどが主に味によってその良否を判断します。したがって醸造職人はビールの味について適正な判断を下しえるよう、常に味覚をじゅうぶんに養っておくことが必要なのですー（『ビール礼賛』）

現代は、まわりに便利な機器や手軽に得られる情報が溢れて五感を磨きにくい時代であるが、これに流されることなく、ワイン造りやビール造りが行われ、飲み手もその良否をしっかりと判断できる時代がいつまでも続くことを願いたい。美味しいお酒を楽しみながら実り豊かな人生を送ることは有史以来の人類の望みだったことを改めて感じつつ、これでワインとビールの来た道を終えたいと思う。長い間、お付き合い下さって有難うございました。

参考文献

1. 世界の歴史編集委員会：もういちど読む山川世界史．山川出版，2009.
2. 浅野 典夫：「なぜ？」がわかる世界史，前近代．学研教育出版，2012.
3. 橋本 浩：早わかり科学史．（株）日本実業出版社，2004.
4. 木村 靖二，岸本 美緒，小松 久男（監修）：詳説世界史図鑑．山川出版，2014.
5. 清水 健一：ワインの科学．講談社，1999.
6. 渡 淳二（監）：ビールの科学．（株）講談社，2009.
7. ワイン学編集委員会（編）：横塚 弘毅；ブドウの処理，ワイン学．産調出版，1991.
8. 山本 幸雄：ビール礼賛．東京書房，1973.
9. 中谷和夫：とりあえずビール，やっぱりビール！．（株）日本文芸社，2003.
10. 日本農芸化学会：お酒のはなし．学会出版センター，1994.
11. 日本分析機器工業会：分析機器の手引き
12. 宮崎 正勝：知っておきたい「酒」の世界史．（株）角川学芸出版，平 19.
13. 吉澤 淑（編）：酒の科学．朝倉書店，1995.
14. 浅井 昭吾：酔っぱらいの社会史ノート（「酒の社会史」3巻）．（社）アルコール健康医学協会，1997.
15. キャビン・D・スミス（大間知 知子訳）：ビールの歴史．原書房，2014.
16. マルク・ミロン（竹田円・訳）：ワインの歴史．原書房，2015.
17. フランソワ・ゴージェ（八木 尚子訳）：ワインの文化史．白水社，1998.
18. 山本 博：ワインの歴史．河出書房，2010.
19. 春山 行夫：ビール文化史2．東京書房，昭 47.
20. ジョージ・オーウェル（小野寺健（訳））：パリ・ロンドン放浪記（岩波書店，1989）
21. ヒュー・ジョンソン（小林章夫（訳））：ワイン物語（下）．日本放送出版協会，1990.

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)

キキョウ *Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC. (= *P. grandiflorum* (Jacq.) A. DC.) (キキョウ科 Campanulaceae)

梅雨が終わり、暑い夏の訪れる頃、山麓の山道を歩いていると茂みの中から紫色の花が顔を出しているのに会えることがあります。最近では観賞用に庭などに植えられ、園芸植物として定着していますが、これがキキョウです。

キキョウは日本、朝鮮、中国北部、ウスリー地方などに分布し、日当りのよい草原などに自生する多年草で、根は肥厚して太く白色の直根。茎は直立して高さ 40～100cm になり、茎の切り口から乳液が出ます。葉は互生しほとんど無柄で長卵形、ふちには鋭き鋸歯があり、質はやや厚く、下面は白色を帯びています。7～9月ごろ茎頂および枝先の葉腋に美しい青紫色または白色のやや浅い鐘状の花を開きます。花冠は径 4～5cm で 5 中裂し、がくも 5 裂し、雄しべは 5 個、花柱は先端が 5 裂し、雌雄同花ですが雄性先熟で、雄しべから花粉が出ていて雌しべの柱頭が閉じた雄花期、花粉が失活して柱頭が開き他の花の花粉を待ち受ける雌花期があり、なるべく自家受粉しないような仕組みになっています。園芸品種には白色や桃色の花をつけるもの、二重咲きになるもの、つぼみの状態のまま花がほとんど開かないもの、草丈が低いものなどがあります。果実は、ほぼ球形のさく果で上端が 5 裂し、種子は長さ約 2mm です。キキョウの根はサポニンを多く含むことから生薬として消炎排膿、鎮咳去痰などを目的に気管支カタル、ぜん息などに用いられ、生薬名をキキョウ（桔梗、*Platycodi Radix*）と呼び、皮付のものを生干桔梗、皮をとったものを晒桔梗として区別することもあります。漢方では気管支炎、扁桃腺炎、化膿性気管支炎などの治療に桔梗湯、けいがいれんぎょうとう 荊芥連翹湯、じゅうみはいどくとう 十味敗毒湯、ぼうふうつうしやうさん 防風通聖散、はいのうさん 排膿散などに配剤され、成分としてはトリテルペン系サポ

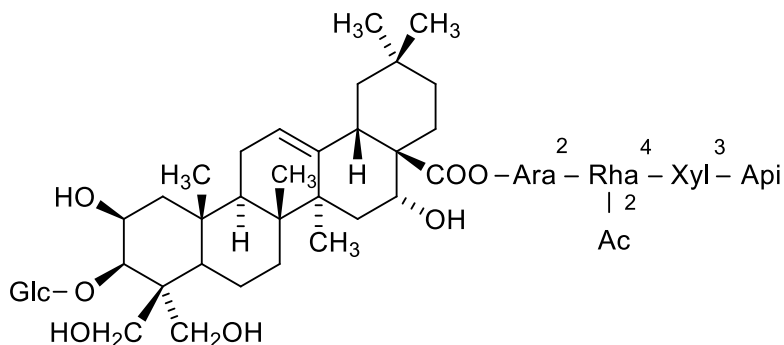


写真1 キキョウ（花）

ニンの platycodin A（プラチコジン A）などを含みます。生薬に調整したものは外形的に人参とよく似ていますが、味とかおりが異なります。ニンジンにはデンプンやサポニンを含み、初めやや甘く、その後、苦くなりますが、キキョウはデンプンをほとんど含まず、イヌリンとサポニンを含み、初めほとんど無味で、後、えぐくなります。韓国ではキキョウをトラジといい、水にさらしサポニンを除いたり塩漬けにして、食用にするそうです。キキョウは万葉集のなかで秋の七草に歌われ、山上憶良が秋の七草を詠んだ歌に、「秋の野に咲きたる花を指折りかき数ふおよびお



なくさ はぎ おばなくずばな なでしてこ
 れば七種の花 萩の花 尾花 葛花 撫子の花
おみなえし ふじばかまあさかお
 女郎花また藤袴朝貌の花」とあり、「朝貌の花」
 はキキョウとされ、今では本植物は絶滅危惧植
 物の一つとなっています。キキョウは秋の花の
 イメージが強いのですが、実際の開花時期は六
 月中旬の梅雨頃から始まり、夏を通じて初秋の
 九月頃まで咲いています。花はつぼみの状態
 では花びら同士が風船のようにぴたりとつなが
 っているため 英名を “balloon flower” と言いま
 す。また、花の形から「桔梗紋」が生まれ、美濃
 の山県氏、土岐氏一族は桔梗紋を紋所にしてい
 た事で知られ、明智光秀も土岐氏一族であるこ
 から桔梗紋を用いていました。





デンマークは茶色の主食が主流

今回はデンマークの主食、つまりお米やパン、パスタなどが「茶色い」話を紹介したいと思います。デンマークの食卓では、お肉料理に、脂肪分の高いブラウンソースを、茹でたジャガイモにかけて食べる、というのを伝統的な料理としてよく見かけられますが、それらの典型的なデンマーク料理の他にも、様々な国際的な料理が日常的に普及しています。主食もジャガイモだけでなく、パンやパスタ、米や麺類なども人気で、パスタやお米は学校の給食などにもよく登場する主食です。今回はそれらの主食、パンやパスタ、お米の茶色いものがよく普及していることについて紹介したいと思います。

デンマークの硬くて黒いライ麦パンについては以前にも紹介しましたが、デンマークでは「色が Dark であるほど Healthy、つまり黒っぽかったり茶色っぽいものの方が、栄養価が高く健康にいい」という考え方が基本に根付いています。デンマーク語で Fuldkorn（フルコーンと発音）という単語を色々な場面で見かけます。例えば、パンには Fuldkorn 70% 使用とうたわれていたり、パスタや麺にも Fuldkorn 使用とパッケージにうたわれていたりします。Fuldkorn とは、英語では whole wheat flour、つまり全粒粉のことを指します。全粒粉とは、小麦粉の一種ですが、小麦の

表皮や胚芽、胚乳をすべて粉にしたもので、胚乳だけを用いる通常の小麦粉と比べ栄養価が高く、薄力粉と比較して 3 倍程度の食物繊維や鉄分を含み、ビタミン B₁ の含有量も高いと言われていいます。そのため、健康に良いと認識されており、また、不純物を多く含むため、粉の色はやや茶褐色で、それを原料として作られた、パンやパスタは、茶色っぽい色をしているのです。色だけでは



スーパーの小麦粉の種類も豊富



全粒粉と普通のパスタが並ぶ



全粒粉のパンと普通のパンが陳列されるスーパー



茶色いスパゲッティー

なく、味にも独特の風味があり、真っ白に精製された薄力粉で作られた食品に比べると、味、食感、風味などがやや重く硬い感じがします。しかしデンマーク人にとってみると、黒っぽいほど、茶色いほど健康食なので、それぞれの家庭にもよりますが、Fuld Korn を使ったパンやパスタを当たり前のように食べるという家庭も少なくありません。そのため、スーパーにいても、黄色いパスタの隣に、必ずと言っていいほど、Fuld Korn の茶色いパスタが並んでおり、パン屋さんに行って陳列されているパンを見ても、白いパンはどちらかという少数派です。この感覚がさらに進むと、「白いパンやお米は、あまり健康によくない」との認識になります。日本では、真っ白でふわふわの柔らかい食感のパンがよく宣伝されています。それをトーストにしてバターをぬって食べることは、日本の朝食の当たり前の光景ではないでしょうか。しかしデンマークでは、真っ



茶色いトルティーヤ

白でふわふわのパンは、健康にはよくないという認識が強く、日本の真っ白なふわふわのパンも、デンマーク人には価値がさがって解釈されてしまうようです。

また、お米についても同様のことが言えます。日本でも発芽玄米や玄米が健康的な食品だとの認識が広まっており、玄米を炊ける炊飯器も普及していますが、デンマークでは、パンと同様、茶色い玄米は、白米と同じように、またはそれ以上の市民権を得ています。玄米以外にも、真っ黒なブラックライスや、黒や茶色のワイルドライスもよく見かけます。日本の白米は、その種や生産地によって随分味が異なり、白くてつやつやに炊き上げられた、ほかほかの白米はこの上ない贅沢品ですが、デンマークでは白米は栄養価の低いお米で、お寿司に使われるお米、くらいの認識なのかもしれません。日本の美味しい白米を世界に広めようという動きはありますが、栄養価の観点から、ここデンマークではハードルが高いかもしれません。しかし一方で、白米や白くてふわふわのパンをよく食べている日本は、世界でも群を抜く長寿国なので、健康な食文化は、パンやお米の主食だけを拠り所とするものではないことは明らかなようです。

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

ニューフードインダストリー 第59巻 第8号

印刷 平成 29 年 7 月 20 日
発行 平成 29 年 8 月 1 日
発行人 平井 朋美
編集人 今西 和政
発行所 株式会社食品資材研究会
〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(喜助新神田ビル)
TEL:03-3254-9191(代表)
FAX:03-3256-9559
振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318
三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

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