

New Food Industry

食品加工および資材の新知识

<http://www.newfoodindustry.com>

2016 Vol.58 No.5

5

論 説

- カロテノイドの酸化開裂／代謝変換と機能
- コーヒーのクロロゲン酸とフェルラ酸
- 行政OBの大学教員からみた今後のHACCPの対応
- 食品の栄養表示のための分析方法
- トランスポゾンの歴史と食品への利用
- 分岐型ポリエチレングリコール誘導体の有用性

これだけは知っておきたい 豆知識

- アフラトキシンM1について

連載コラム

- 野山の花 - 身近な山野草の食効・薬効 -
トチノキ *Aesculus turbinata* Blume (トチノキ科 Hippocastanaceae)

隔月連載

- 管理栄養士てるこ先生の家庭の食文化 第9回 大和路の五月と愛犬モモ
- シロザケ飼料の魚油添加効果-5
- イカリ消毒presents 食品衛生の今 最近の動向から衛生管理を考える 衛生管理の基礎 (7S) を考える

Report

- ミラノ万国博覧会2015を訪れて (後編)

エッセイ 伝える心・伝えられたもの

- - 水車 (みずくるま) -

“醤油を変えた” 驚くべきヒット商品

- - 『鮮度の一滴』 ヤマサ醤油株式会社 -

製品紹介 株式会社ウエノフードテクノ

- ノロウイルスや食中毒菌対策にエタノール製剤「キルバクト®SU」



論 説

- カロテノイドの酸化開裂／代謝変換と機能
..... 小竹 英一 1
- コーヒーのクロロゲン酸とフェルラ酸
..... 鈴木 聡, 岡 希太郎 13
- 行政 OB の大学教員からみた今後の HACCP の対応
..... 豊福 肇 20
- 食品の栄養表示のための分析方法
..... 大脇 進治 25
- トランスポゾンの歴史と食品への利用
History of the transposon and use to a food
..... 奥平 准之 29
- 分岐型ポリエチレングリコール誘導体の有用性
Functionalities of branched poly(ethylene glycol) derivatives
..... 河田麻衣子, 佐藤憂菜, 飯島道弘 33

連 載 これだけは知っておきたい 豆知識

- アフラトキシン M1 について
..... 一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC 42

連載コラム

- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —
トチノキ *Aesculus turbinata* Blume (トチノキ科 Hippocastanaceae)
..... 白瀧 義明 44

隔月連載 管理栄養士 てるこ先生の家庭の食文化

- 第 9 回 大和路の五月と愛犬モモ
..... 中村 照子 46

Contents

2016 年 5 月号

解 説

□ シロザケ飼料の魚油添加効果-5

..... 大橋 勝彦, 酒本 秀一 47

イカリ消毒 presents 食品衛生の今 最近の動向から衛生管理を考える

□ 衛生管理の基礎 (7S) を考える

..... 尾野 一雄 63

Report

□ ミラノ万国博覧会 2015 を訪れて (後編)

..... 尾作 浩司 69

伝える心・伝えられたもの

□ — 水車 (みずくるま) —

..... 宮尾 茂雄 75

“醤油を変えた”驚くべきヒット商品

□ — 『鮮度の一滴』ヤマサ醤油株式会社—

..... 田形 暁作 89

製品紹介 株式会社ウエノフードテクノ

□ ノロウイルスや食中毒菌対策にエタノール製剤「キルバクト®SU」

..... 前付け 8

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料
コクベス

new 発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

新発売! 乳製品にベストマッチな調味料
コクベス
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。

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

カロテノイドの酸化開裂／代謝変換と機能

小竹 英一 (KOTAKE-NARA Eiichi)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門

Key Words：酸化開裂・生体利用性・カロテノイド・代謝・機能

はじめに

カロテノイドは微生物や植物により生合成される脂溶性の色素で、天然には 700 種類以上知られており、その多様な生物活性（抗酸化、抗癌、抗炎症、抗肥満作用等）が注目されている。ヒトは通常の食事下では約 40 種類ものカロテノイドを摂取しているが、その生体利用性は他の脂溶性成分に比べて低く、カロテノイドの種類によってはヒト組織中にほとんど見出されな

いものもある。このような特定のカロテノイドのみが血液中に存在する理由についてはよくわかっていないが、消化管内に選択的な吸収機構が存在するのかもしれない。また、カロテノイドの蓄積は、吸収後の酸化開裂や代謝変換機構によっても調節される。代謝の代表例として、哺乳類において プロビタミン A カロテノイド (β -carotene, α -carotene, β -cryptoxanthin) (図 1) からのビタミン A への変換はよく知られてい

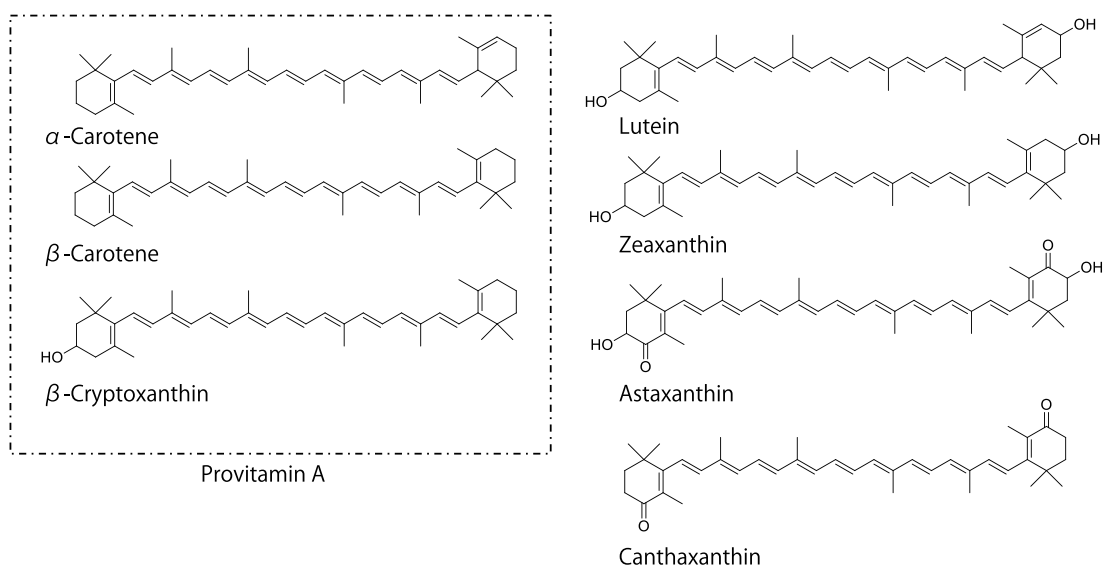


図1 カロテノイドの化学構造式

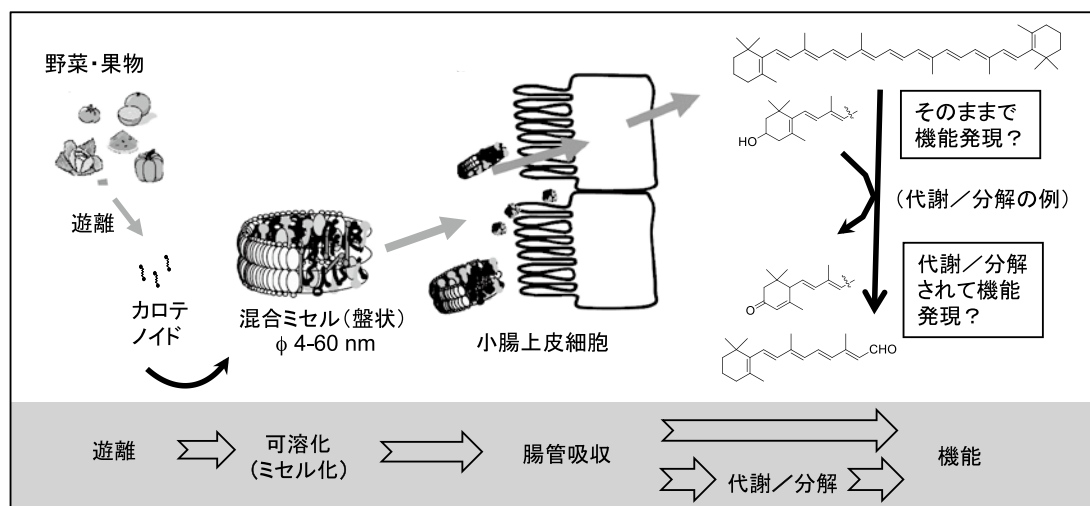


図2 カロテノイドの可溶化，吸収，代謝／分解，機能発現

るが，その他にも 9'-10' 間を切断する酵素や末端水酸基のケト基への酵素的変換が見出されてきている。また，化学的に酸化開裂して生成すると考えられるものもある。このような変換によって生成した代謝産物や分解物こそがカロテノイドの機能を発揮している可能性がある。生体利用性は腸管吸収・蓄積・代謝等に依存するが，これらを正確に把握することは，カロテノイドの機能性発現メカニズムを考える上で重要である（図2）。本稿では腸管吸収・蓄積後の酸化開裂や代謝変換，そしてこのような変換によって発現する機能に関する知見を紹介する。尚，腸管吸収過程の重要性については過去の解説¹⁾を参照いただきたい。

1. カロテノイドの非酵素的酸化開裂産物とその機能

カロテノイドの酵素的代謝としては，β-carotene 等のプロビタミン A が β-carotene-15,15'-oxygenase (BCO1) の作用でビタミン A に変換されることがよく知られている（図3）。非酵素的には，β-carotene の開裂産物や酸化物，canthaxanthin（図1）の中央開裂産物である 4-oxo-retinoic acid 等が生成することが

試験管レベルで多数報告されていた²⁻¹⁰⁾。

トマトやスイカの赤色色素である lycopene は日常的な食事下でヒト血中にも多く存在している代表的な非プロビタミン A カロテノイドである^{11, 12)}。Lycopene は共役二重結合を 11 個有しており，酸化開裂によって生じる分解物は多岐に渡る（図4）。ただし，9', 10' 位間は後述するような酵素で切断される経路もある。酸化による開裂はカロテノイドを分解し，体内蓄積に影響を与えるだけではなく，このよう

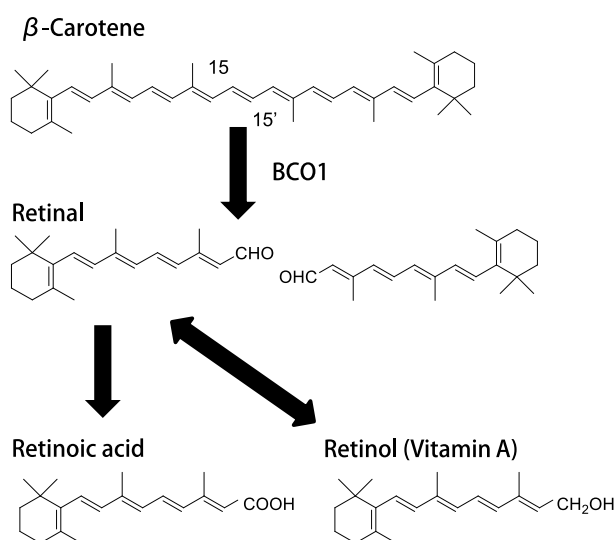


図3 プロビタミン A の酵素的変換

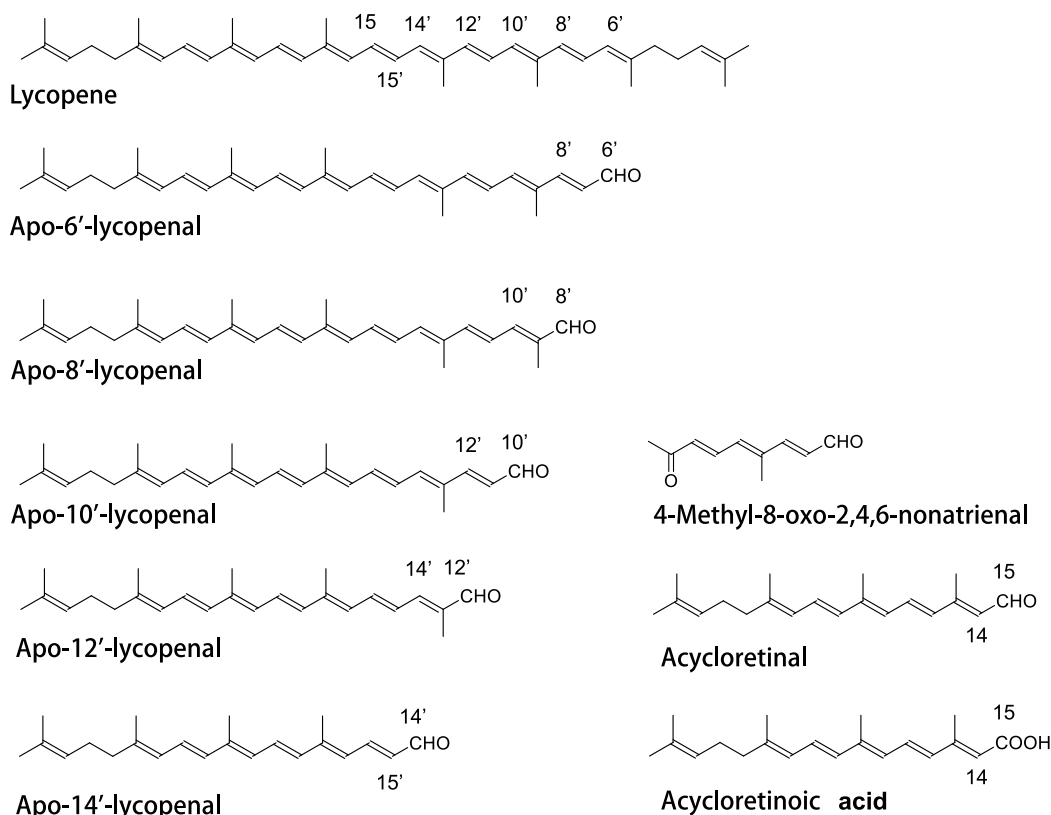


図4 Lycopene の酸化開裂産物

な分解物が機能を発揮している可能性がある。以前は特に注目されていたのは中央開裂産物であった。 β -Carotene の中央が開裂されてできる retinoic acid が核内レセプターのリガンドとなって様々な機能を発揮することが注目されていたからである。

すでに述べたように、lycopene は非プロビタミン A であるため、酵素的には中央開裂産物は生成しない。しかしながら、有機溶媒中、リポソーム中、ミセル中などにおいて、lycopene 中央開裂産物である acycloretinal (図4) が非酵素的に生成すること、ブタ肝臓ホモジネートによりさらに acycloretinoic acid へ（ここでは酵素的にアルデヒドから酸へ）と変換されることを我々は明らかにしている¹³⁾。Astaxanthin についても様々な酸化開裂産物が生成するとの報告がある¹⁴⁾。他の種類のカロテノイドでも同様の開裂産物が生成可能であろう。

我々はこのようなカロテノイドの酸化開裂産物が機能を発揮する可能性について検討を行った。有機溶媒中の自動酸化反応で生成する様々な開裂産物の全てを単離・精製して機能を確認することは難しい。そこで、最初に開裂産物混合物の機能を未酸化のカロテノイドと比較した。

カロテノイドとして、トマト由来の非環式カロテン lycopene, phytopluene, ζ -carotene (図5) を用いた。機能性検討のため、ヒト前骨髄性白血病細胞 (HL-60) やヒト前立腺癌細胞 (PC-3, DU 145, LNCaP の3種類) を用いて抗癌作用を調べた。これらのカロテノイドや細胞を使った理由は、retinoic acid が HL-60 細胞を単球や顆粒球へ分化させることがよく知られており¹⁵⁾、白血病の分化誘導療法薬として期待されていた、他のカロテノイドの中央開裂産物にも同様な効果を期待したこと、多くの欧米諸国において2000年頃すでに男性癌死の2位であった前立腺

癌への罹患がトマトやトマトベースの食品摂取量や lycopene 血中濃度等と逆の相関にあることが大変よく知られていたからである¹⁶⁾。前立腺癌の罹患率は日本でも今は上位にある¹⁷⁾。

これらの癌細胞に対して、カロテノイドそのものの添加でも比較的強い効果を示した phytofluene, ζ -carotene は培地中で非常に不安定で細胞に添加した直後から酸化開裂されていた。カロテノイドそのものよりも、それらの開裂産物混合物の方が非常に強い増殖抑制効果を示しており^{18, 19)}、開裂産物がより強い効果を発揮するものと考えられた¹⁸⁾。Lycopene 酸化開裂混合物にも強い増殖抑制効果が認められた¹⁸⁾。そこで

次に、lycopene の中央開裂産物、acycloretinoic acid を単離・精製してその機能を調べたところ、ヒト前立腺癌細胞 (PC-3) にアポトーシスを誘導して増殖を抑制することを見出した²⁰⁾。ただし、HL-60 細胞に対しては当初期待した分化誘導能は示さなかった。また、別の lycopene 開裂産物 4-methyl-8-oxo-2,4,6-nonatrienal (図 4) にもアポトーシス誘導による細胞増殖抑制効果が認められた²¹⁾。これらの結果は、カロテノイドの抗癌作用がその酸化開裂産物によることを強く示唆していた。全ての開裂産物について検討していないので、より強い効果を示すものが存在するかもしれない。

ここで機能を示したようなカロテノイドの開裂産物が動物の体内で生成するのか、ヒト組織に存在するのか等の確認は行っておらず、実際に生体内で機能を発揮しているのかどうかは不明であるが、トマトの前立腺癌予防効果の可能なメカニズムの 1 つと考えられる。次に、酵素的開裂産物について述べる。

2. カロテノイドの酵素的開裂産物と機能

既に述べたが BCO1 はプロビタミン A カロテノイドの中央開裂を触媒する。一方、強制発

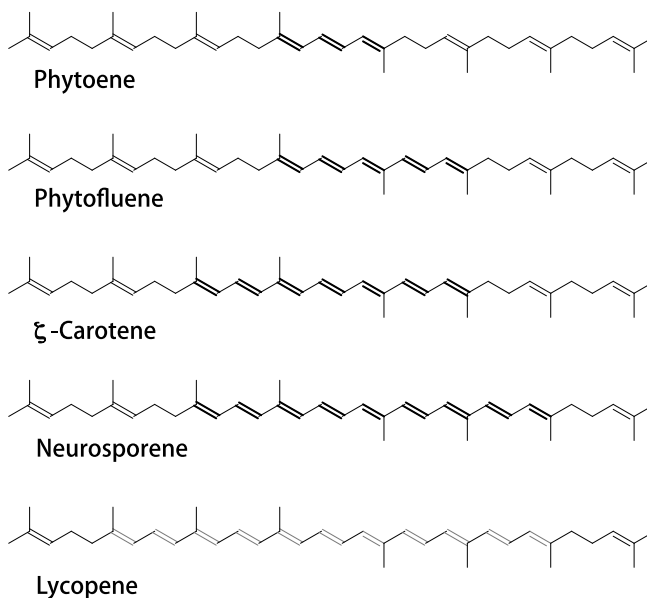


図 5 トマト中に含まれる非環式カロテンの化学構造式

現させた β -carotene-9', 10' -oxygenase (BCO2) は、 β -carotene, β -cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin, lycopene 等、様々なカロテノイドの C-9' と C-10' 間の二重結合を開裂する²²⁻²⁴⁾。図 6 は lycopene の例を示した。Phytoene と phytofluene は BCO2 の基質になるのかどうか、はっきりとわかっていない^{25, 26)}。

BCO2 の突然変異が動物に起こると、ヒツジ、ウシ、ニワトリ、ウサギではカロテノイドが代謝されずに脂肪組織へ蓄積して、体やミルクが黄色を呈する²⁷⁻³⁰⁾。BCO2 の KO マウスに lutein を与えると、野生型と比べて lutein の炭素骨格を保持した代謝産物が著しく蓄積する³¹⁾。BCO1 の KO マウスの肝臓では BCO2 の遺伝子発現が高まるとの報告もある²⁶⁾。BCO2 による炭素骨格の開裂はカロテノイドの主要な代謝変換であり、このような代謝が吸収機構と共にカロテノイドの蓄積に大きく影響していると考えられるだけではなく、この場合も代謝産物が機能を発揮するかもしれない。

BCO2 によって lycopene から開裂生成する apo-10' -lycopenal は、apo-10' -lycopenoic acid に変換されて (図 6) 機能を発揮することが期待されるが、実際、apo-10' -lycopenoic acid はヒ

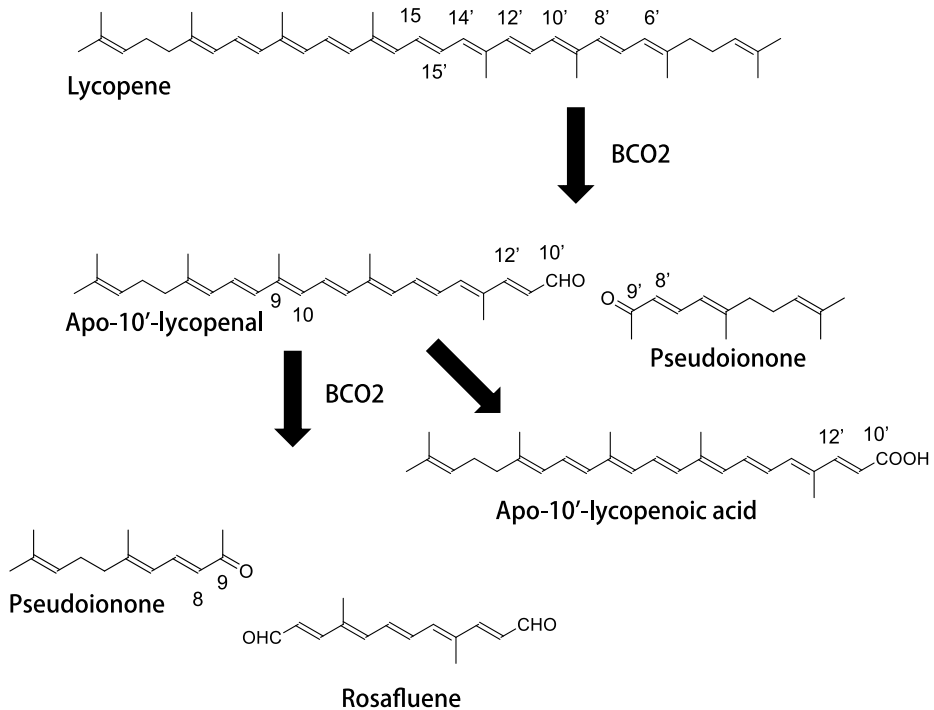


図6 BCO2による lycopene の開裂とその産物

ト肺癌細胞の増殖抑制効果を示し、マウスに投与した実験ではその血中濃度に比例して、4-(*N*-methyl-*N*-nitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK) 誘導肺癌の数を減らした³²⁾、正常気道上皮細胞やヒトマクロファージへの過酸化水素水による酸化ストレスを抑制した^{33, 34)}、肥満・糖尿病モデルマウスに対する sirtuin 遺伝子の発現上昇による脂肪肝変性を抑制した³⁵⁾、ヒト肝癌細胞の増殖や高脂肪食で促進したマウス肝臓の癌化を抑制した³⁶⁾、等のいくつかの報告がある。トマトジュース摂取後のヒトの血中に apo-10'-lycopenal の存在が報告されているが、その濃度は 0.3 nM 程である³⁷⁾。また、Apo-10'-lycopenoic acid としてヒト血中にどの程度存在するのかよくわかっていない。

3. 哺乳類におけるカロテノイド末端基の酵素的代謝産物

非プロビタミン A カロテノイドは体内で、上で述べたような非酵素的あるいは酵素的な酸

化開裂によって短い骨格のものへと徐々に分解されていくと考えられていただけであったが、長い骨格を維持したままの末端基の代謝変換についても明らかになってきた。

近年、マウスにおいて fucoxanthin^{38, 39)} と lutein からケトカロテノイドへの酸化的代謝変換が起こることが見出されている。マウスに与えた fucoxanthin は消化管内で加水分解によって fucoxanthinol となり体内を循環中、amarouciaxanthin A へと酸化的に変換される(図 7A)。このような変換はヒト肝細胞モデル HepG2 でも起こる。さらに、そのような酸化変換を触媒する脱水素酵素活性がマウス肝臓に存在すること、補酵素として NAD⁺ が必要なが見出された。すなわち、哺乳類において酵素レベルでカロテノイド分子中の二級水酸基が酸化的に代謝変換されることが明らかにされた³⁹⁾。

図 7B に示したような lutein の代謝産物と考えられる成分は、以前からヒトの血漿、母

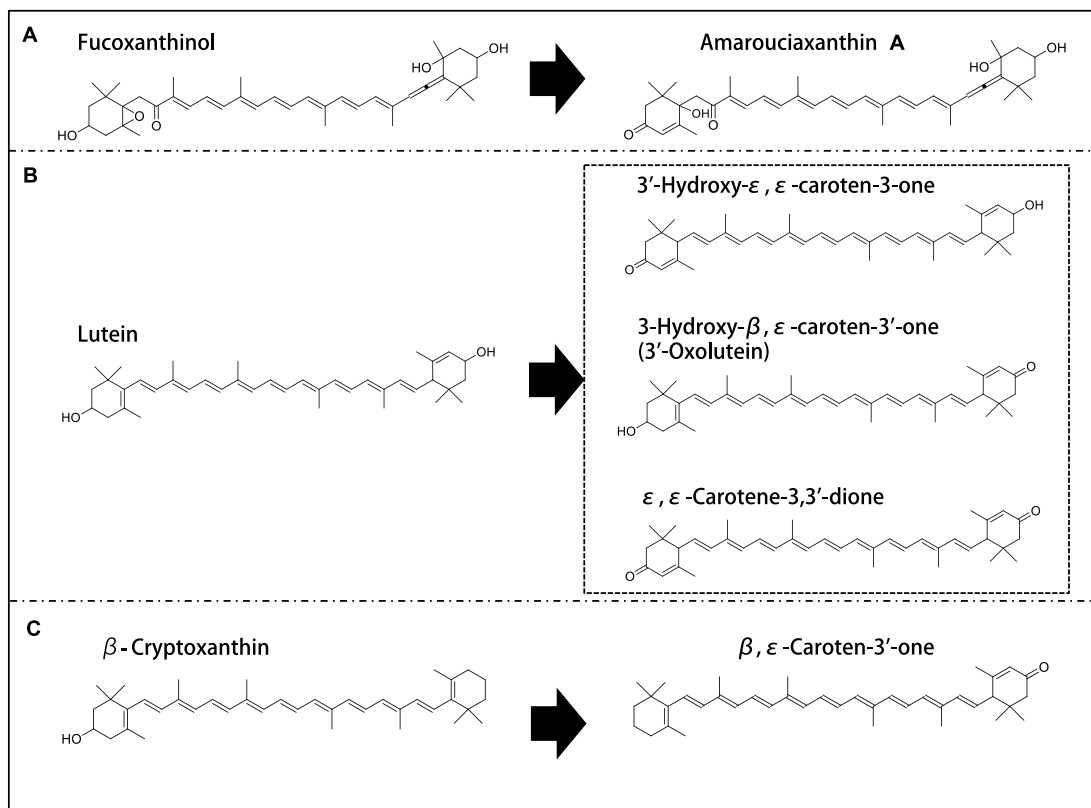


図7 カロテノイド末端環の酵素的変換（その1）

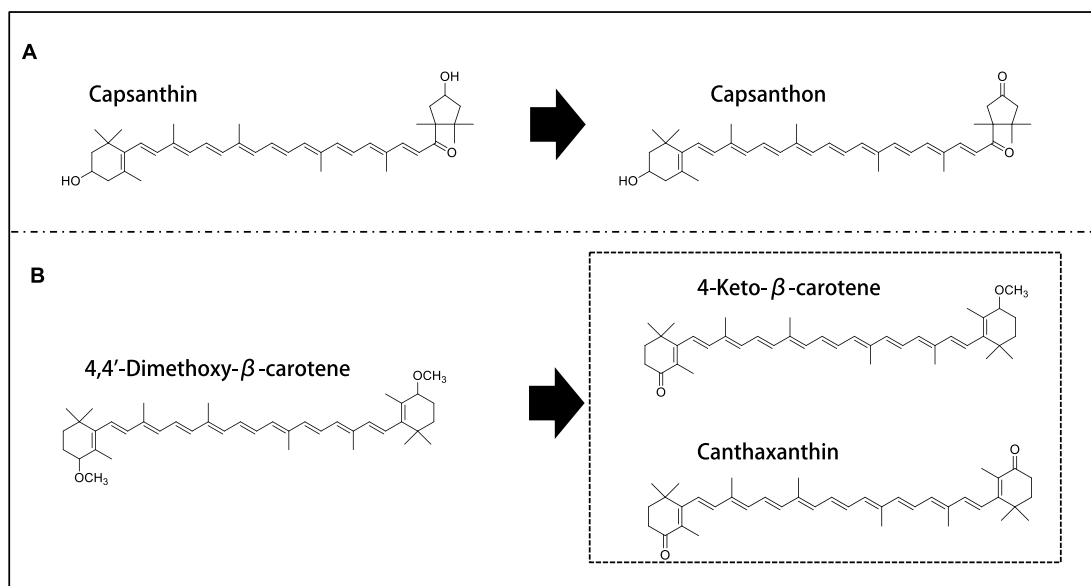


図8 カロテノイド末端環の酵素的変換（その2）

乳、肝臓、網膜中に存在することが知られていたが⁴⁰⁻⁴⁴⁾、代謝経路に関しては不明であった。Lutein 含有飼料を与えたマウスの血漿、肝臓、腎臓、脂肪組織中に lutein 代謝産物 (3'-hydroxy- ϵ , ϵ -caroten-3-one, ϵ , ϵ -carotene-3, 3' -dione) が著しく蓄積し⁴⁵⁾、マウス肝臓の lutein 代謝産物は未変換 lutein に対して約 2.5 倍に達していた。マウス肝臓よりは少ないが、ヒト血漿中にも lutein に対して約 23% もの代謝産物と考えられるケトカロテノイドが見出されている⁴⁶⁾。マウスだけではなく、ヒトでもこのような代謝産物が生成する。 β -Cryptoxanthin を多く含む温州みかんジュース (1.9 mg β -cryptoxanthin) を毎日摂取 (約 2 週間) した場合のヒトの血液には、その代謝産物である β , ϵ -carotene-3'-one (図 7C) の存在が認められている (24 nM)⁴⁷⁾。図 7B, C に示したような lutein と β -cryptoxanthin の代謝産物の合計は 144 nM であった。すなわち、ヒトを含めた哺乳類の体内でカロテノイド末端環の二級水酸基が酸化され、ケトカロテノイドに代謝変換されることを示している。ヒト血中に認められる代表的なカロテノイド (β -cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin) に対してだけではなく、パプリカジュース (capsanthin を多く含む) の摂取後、ヒト血漿中には capsanthin に加えて capsanton が見出された⁴⁸⁾。Capsanton は capsanthin の 3' - 水酸基が 3' - ケト基へ変換されて生成したと考えられる (図 8A)。また、4, 4' -Dimethoxy- β -carotene の経口投与後では、4-keto- β -carotene と canthaxanthin が血漿中に見出されており (図 8B)⁴⁹⁾、このような酸化的代謝変換が様々なカロテノイドに対して起こりえることを示している。今後、変換酵素の本体や遺伝情報の解明、さらには KO マウスの作製等が期待される。

4. カロテノイド末端基代謝産物の機能

Lutein, zeaxanthin, β -cryptoxanthin は、通常の食事下でヒト血中に多量に存在しており、その代謝も活発に行われて代謝産物も比較的多量に存在していることが明らかとなった。開裂産物

だけではなく、末端基が変換された代謝産物にも何らかの機能があるかもしれない。

カロテノイドの代表的な機能の 1 つに抗炎症作用がある。RAW264.7 マウスマクロファージのポリリポサッカライド刺激による nitric oxide (NO) 産生に対して、astaxanthin, β -carotene, lycopene, lutein, fucoxanthin が抑制効果を示すことが報告されている⁵⁰⁻⁵⁴⁾。我々は代謝前後のカロテノイドで RAW264 を用いて同様に抗炎症作用について評価した⁴⁷⁾。Lutein とその代謝産物 3' -hydroxy- ϵ , ϵ -caroten-3-one, ϵ , ϵ -carotene-3, 3' -dione 及び β -cryptoxanthin とその代謝産物 β , ϵ -carotene-3' -one について、NO 産生抑制効果を比較した。その結果、lutein には NO 産生抑制効果は認められなかった。しかし、代謝産物には効果が認められ、その効果は、 ϵ , ϵ -carotene-3,3' -dione の方がより強かった。 β -Cryptoxanthin にはそれ自体にも NO 産生抑制効果が認められたが、その代謝産物 β , ϵ -carotene-3' -one にはより強い効果が認められた。また、代謝産物が inducible nitric oxide synthase (iNOS) の発現を抑制していることも明らかにした⁴⁷⁾。

これらの結果は、代謝産物が機能を発揮、もしくはより強い機能を発揮していることを示していた。代謝産物に共通する化学構造として、マイケル反応部位として知られる α , β 不飽和カルボニル構造がある。Lutein 及び β -cryptoxanthin と同じ環状構造を有する 3-hydroxy- β -damascone と、代謝産物と同じ α , β 不飽和カルボニル構造を有する 3-oxo- α -damascone の抗炎症作用を比較した研究が報告されている⁵⁵⁾ が、後者の方が強い効果を示す。 α , β 不飽和カルボニル構造が nuclear factor E2-related protein 2 (Nrf2, 抗酸化酵素の発現を調節する転写因子) を活性化させて、heme oxygenase-1 (HO-1) の発現を高めることで NO 産生を抑制していると考えられている。抗肥満効果もカロテノイドの代表的な機能であり、すでに fucoxanthin, neoxanthin, β -carotene,

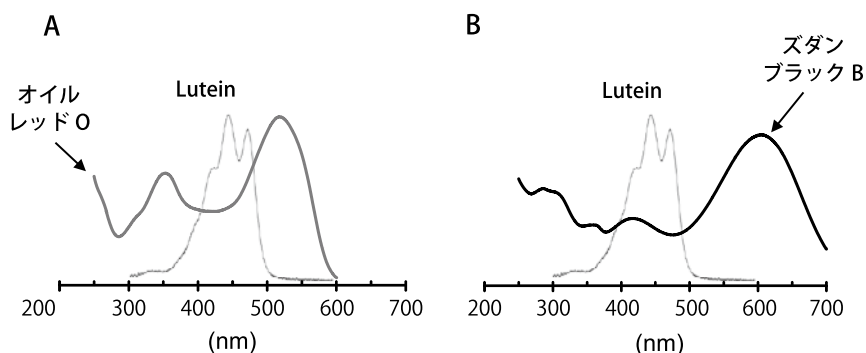


図9 カロテノイドと脂肪球染色試薬の吸収スペクトル
A：オイルレッドOはカロテノイドと極大吸収波長が近い
B：ズダンブラックでは両者の極大吸収波長が離れている。

β -cryptoxanthin についてマウス前駆脂肪細胞 3T3-L1 の脂肪細胞への分化誘導抑制効果が報告されていた⁵⁶⁻⁵⁹⁾。しかし、lutein そのものにはそのような効果が無い事も同時に報告されていた⁵⁷⁾。我々は lutein の代謝前後の抗肥満効果について 3T3-L1 を用いて比較した。3T3-L1 細胞を培養する際に Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) を用いたが、高グルコース含有タイプと低グルコース含有タイプがあり、ここで低グルコース含有タイプを使うと実験はうまくいかなかった。3T3-L1 細胞はクローン化されておらず、低グルコース含有 DMEM で培養すると、細胞増殖が速くて分化誘導能が低くディッシュからもはがれやすい細胞が選別されてしまったようで注意を要する。

また、3T3-L1 細胞内に蓄積した脂肪球の観察には、オイルレッドOが一般的によく用いられる。この試薬を使うと細胞内の脂肪球は非常に綺麗な赤に染まり観察しやすい。しかし、カロテノイドを細胞に添加する実験には適切な試薬とはいえない。カロテノイドが蓄積した細胞は赤くなり、その状態でオイルレッドOによって染色しても、どちらの赤か見分けることは難しい。図9Aに lutein とオイルレッドOの吸収スペクトルを示す。両者の極大吸収波長が近く、より高波長側に極大吸収を有するカロテノイドの場合は一層近接する。場合によっては、カロテノイドの効果が出ているのにオイルレ

ッドOで赤く染まっていると見間違えかねない。そこで我々はカロテノイドの色の影響を受けにくいズダンブラックB (図9B) を用いて観察・測定している⁶⁰⁾。

我々の研究でも以前の報告同様、lutein に分化誘導抑制効果は認められなかったが、同じ条件下で 3'-hydroxy- ϵ , ϵ -caroten-3-one に効果が認められた⁶⁰⁾。この結果は明らかに代謝産物が機能を発揮したことを示していた。Nrf2 活性化を経由した HO-1 の発現は、抗炎症作用だけではなく抗肥満作用の方でもメカニズムとして報告されている^{61, 62)}。さらに、動物実験でも lutein の投与が高脂肪食マウスのアテローム性動脈硬化を防止すること、そのメカニズムに HO-1 が関与していることが報告されている⁶³⁾。Lutein のマウスへの投与で代謝産物が大量に蓄積することはすでに述べた。すなわち、この場合も実際には lutein 代謝産物が HO-1 の発現を増加させて抗肥満効果を発揮している可能性が高い。我々の培養細胞による上記結果も同様のメカニズムで効果が発揮されると推測できるが、その証明は今後の課題である。

Lutein の代謝産物が抗炎症作用や抗肥満作用を発揮することを述べたが、lutein は網膜に特異的に蓄積し、抗酸化作用^{64, 65)}やブルーフィルター⁶⁶⁾として作用することで加齢性網膜黄斑変性症などの眼病予防に深く関わっていると考えられている⁶⁷⁾。ヒトの網膜には lutein

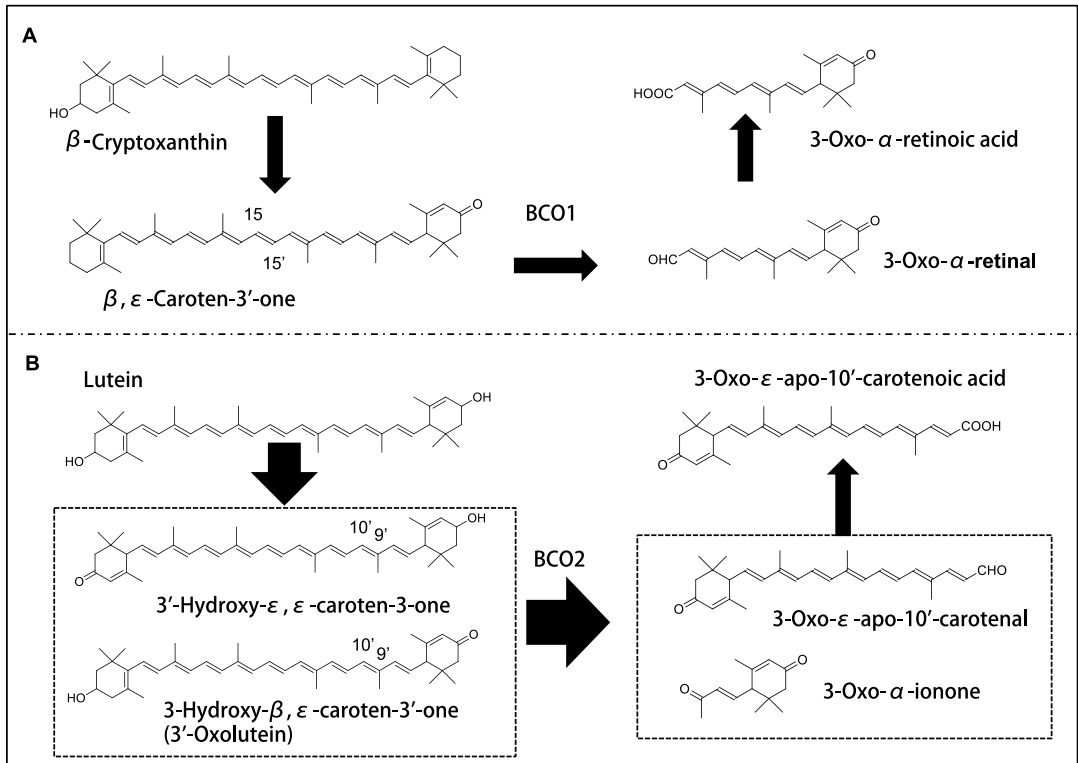


図 10 カロテノイド末端環代謝後のさらなる推定開裂経路

の代謝産物として、3'-oxolutein (3-hydroxy- β , ϵ -caroten-3'-one) の存在が知られており⁴³⁾、ここでも lutein の効果に加えて代謝産物も効果を発揮している可能性がある。3'-Oxolutein も図 7B に示すように α , β 不飽和カルボニル構造を有する。上で述べたようなカロテノイドが直接活性酸素等を消去する抗酸化作用に加えて、やはりこの場合も Nrf2 活性化を経由した HO-1 の抗酸化酵素の発現による網膜での抗酸化作用⁶⁸⁾が期待できる。

おわりに

カロテノイドの生体利用性には、腸管吸収・

蓄積後の代謝や分解などが深く関わっている。また、吸収・蓄積後に様々な分解物や代謝産物が生成して機能を発揮している証拠が得られてきた。代謝産物の機能を期待するには代謝酵素の発現を高めるなどの工夫が重要となるが、ここで示した末端基の酸化的代謝反応については酵素の実体が不明であり、今後の解明が待たれる。さらに、末端基が代謝された後、イソプレノイド骨格が開裂反応を受けて様々な産物が生成することも考えられる。可能な反応や生成物について図 10 に示した。これら反応についての検証や生成物の機能性研究についても今後の進展が待たれる。

参考文献

1. 小竹英一：脂溶性機能成分の可溶化と腸管吸収—カロテノイドの吸収促進—, *New Food Industry* **57**(8): 30-40, 2015.
2. G. J. Handelman, F. J. van Kuijk, A. Chatterjee *et al.* : Characterization of products formed during the autoxidation of beta-carotene. *Free Radic. Biol. Med.*, **10**, 427-437, 1991.
3. R. C. Mordt, J. C. Walton, G. W. Burton *et al.*: Oxidative degradation of β -carotene and β -apo-8' -carotenal. *Tetrahedron*, **49**, 911-928, 1993.
4. T. D. McClure & D. C. Liebler : A rapid method for profiling the products of antioxidant reactions by negative ion chemical ionization mass spectrometry. *Chem. Res. Toxicol.*, **8**, 128-135, 1995.
5. S. P. Stratton , W. H. Schaefer, D. C. Liebler : Isolation and identification of singlet oxygen oxidation products of beta-carotene. *Chem. Res. Toxicol.*, **6**, 542-547, 1993.
6. D. L. Baker, E. S. Krol, N. Jacobsen *et al.*: Reactions of beta-carotene with cigarette smoke oxidants. Identification of carotenoid oxidation products and evaluation of the prooxidant/antioxidant effect. *Chem. Res. Toxicol.* **12**, 535-543, 1999.
7. K. J. Yeum, Y. C. Lee-Kim, S. Yoon *et al.*: Similar metabolites formed from beta-carotene by human gastric mucosal homogenates, lipoxygenase, or linoleic acid hydroperoxide. *Arch. Biochem. Biophys.*, **321**, 167-174, 1995.
8. Z. Wu, D. S. Robinson, R. K. Hughes *et al.*: Co-oxidation of beta-carotene catalyzed by soybean and recombinant pea lipoxygenases. *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 4899-4906, 1999.
9. X. Hu, K. M. White, N. E. Jacobsen *et al.*: Inhibition of growth and cholesterol synthesis in breast cancer cells by oxidation products of β -carotene. *J. Nutr. Biochem.*, **9**, 567-574, 1998.
10. M. Hanusch, W. Stahl, W. A. Schulz *et al.*: Induction of gap junctional communication by 4-oxoretinoic acid generated from its precursor canthaxanthin. *Arch. Biochem. Biophys.*, **317**, 423-428, 1995.
11. F. Khachik, G. R. Beecher, M. B. Goli *et al.*: Separation, identification, and quantification of carotenoids in fruits, vegetables and human plasma by high performance liquid chromatography. *Pure Appl. Chem.*, **63**, 71-90, 1991.
12. F. Khachik, C. J. Spangler, J. C. Smith *et al.*: Identification, quantification, and relative concentrations of carotenoids and their metabolites in human milk and serum. *Anal. Chem.*, **69**, 1873-1881, 1997.
13. S. J. Kim, E. Nara, H. Kobayashi *et al.* : Formation of cleavage products by autoxidation of lycopene. *Lipids*, **36**, 191-199, 2001.
14. H. Etoh, M. Suhara, S. Tokuyama *et al.*: Auto-oxidation products of astaxanthin. *J. Oleo Sci.*, **61**, 17-21, 2012.
15. L. Degos, H. Dombret, C. Chomienne *et al.*: All-trans-retinoic acid as a differentiating agent in the treatment of acute promyelocytic leukemia. *Blood*, **85**, 2643-2653, 1995.
16. E. Giovannucci, A. Ascherio, E. B. Rimm *et al.*: Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer. *J. Natl. Cancer Inst.*, **87**, 1767-1776, 1995.
17. A. Matsuda, T. Matsuda, A. Shibata *et al.*: Cancer incidence and incidence rates in Japan in 2008: a study of 25 population-based cancer registries for the monitoring of cancer incidence in Japan (MCIJ) project. *Jpn. J. Clin. Oncol.*, **44**(4), 388-396, 2013.
18. E. Nara, H. Hayashi, M. Kotake *et al.*: Acyclic carotenoids and their oxidation mixtures inhibit the growth of HL-60 human promyelocytic leukemia cells. *Nutr. Cancer*, **39**, 273-283, 2001.
19. A. Nagao & E. Nara : Conversion of carotenoids to retinoids and other oxidation products. ACS symposium series 851, *Food factors in health promotion and disease prevention.*, **28**, 322-335, 2003.
20. E. Kotake-Nara, S. J. Kim, M. Kobori *et al.*: Acyclo-retinoic acid induces apoptosis in human prostate cancer cells. *Anticancer Res.*, **22**(2A), 689-695, 2002.
21. H. Zhang, E. Kotake-Nara, H. Ono *et al.* : A novel cleavage product formed by autoxidation of lycopene induces apoptosis in HL-60 cells. *Free Radic. Biol. Med.*, **35**, 1653-1663, 2003.
22. C. Kiefer, S. Hessel, J. M. Lampert *et al.*: Identification and characterization of a mammalian enzyme catalyzing the asymmetric oxidative cleavage of provitamin A. *J. Biol. Chem.*, **276**, 14110-14116, 2001.
23. K. Q. Hu, C. Liu, H. Ernst *et al.*: The biochemical characterization of ferret carotene-9',10'-monooxygenase catalyzing cleavage of carotenoids *in vitro* and *in vivo*. *J. Biol. Chem.*, **281**, 19327-19338, 2006.
24. J. R. Mein, G. G. Dolnikowski, H. Ernst *et al.*: Enzymatic formation of apo-carotenoids from the xanthophyll carotenoids lutein, zeaxanthin and β -cryptoxanthin by ferret carotene-9',10'-monooxygenase. *Arch. Biochem. Biophys.*, **506**, 109-121, 2011.
25. N. A. Ford, S. K. Clinton, J. von Lintig *et al.*: Loss of carotene-9',10'-monooxygenase expression increases serum and tissue lycopene concentrations in lycopene-fed mice. *J. Nutr.*, **140**, 2134-2138, 2010.

26. B. L. Lindshield, K. Canene-Adams, J. W. Erdman, Jr. : Lycopene metabolites bioactive? *Arch. Biochem. Biophys.*, **458**, 136-140, 2007.
27. D. I. Våge & I. A. Boman : A nonsense mutation in the beta-carotene oxygenase 2 (BCO2) gene is tightly associated with accumulation of carotenoids in adipose tissue in sheep (*Ovis aries*). *BMC Genet.*, **11**, 10, 2010.
28. R. Tian, W. S. Pitchford, C. A. Morris *et al.*: Genetic variation in the beta, beta-carotene-9', 10'-dioxygenase gene and association with fat colour in bovine adipose tissue and milk. *Anim. Genet.*, **41**, 253-259, 2010.
29. J. Eriksson, G. Larson, U. Gunnarsson *et al.*: Identification of the yellow skin gene reveals a hybrid origin of the domestic chicken. *PLoS Genet.*, **4**, e1000010, 2008.
30. J. Strychalski, P. Brym, U. Czarnik *et al.*: A novel AAT-deletion mutation in the coding sequence of the BCO2 gene in yellow-fat rabbits. *J. Appl. Genet.*, 2015. [Epub ahead of print]
31. J. Amengual, G. P. Lobo, M. Golczak *et al.*: A mitochondrial enzyme degrades carotenoids and protects against oxidative stress. *FASEB J.*, **25**, 948-959, 2011.
32. F. Lian, D. E. Smith, H. Ernst *et al.*: Apo-10'-lycopenoic acid inhibits lung cancer cell growth *in vitro*, and suppresses lung tumorigenesis in the A/J mouse model *in vivo*. *Carcinogenesis*, **28**, 1567-1574, 2007.
33. F. Lian & X. D. Wang : Enzymatic metabolites of lycopene induce Nrf2-mediated expression of phase II detoxifying/antioxidant enzymes in human bronchial epithelial cells. *Int. J. Cancer.*, **123**, 1262-1268, 2008.
34. A. Catalano, R. E. Simone, A. Cittadini *et al.*: Comparative antioxidant effects of lycopene, apo-10'-lycopenoic acid and apo-14'-lycopenoic acid in human macrophages exposed to H₂O₂ and cigarette smoke extract. *Food Chem. Toxicol.*, **51**, 71-79, 2013.
35. J. Chung, K. Koo, F. Lian *et al.*: Apo-10'-lycopenoic acid, a lycopene metabolite, increases sirtuin 1 mRNA and protein levels and decreases hepatic fat accumulation in ob/ob mice. *J. Nutr.*, **142**, 405-410, 2012.
36. B. C. Ip, K. Q., Hu, C. Liu *et al.*: Lycopene metabolite, apo-10'-lycopenoic acid, inhibits diethylnitrosamine-initiated, high fat diet-promoted hepatic inflammation and tumorigenesis in mice. *Cancer Prev Res (Phila.)*, **6**, 1304-16, 2013
37. R. E. Kopec, K. M. Riedl, E. H. Harrison *et al.*: Identification and quantification of apo-lycopenals in fruits, vegetables, and human plasma. *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 3290-3296, 2010.
38. T. Sugawara, V. Baskaran, W. Tsuzuki *et al.*: Brown algae fucoxanthin is hydrolyzed to fucoxanthinol during absorption by Caco-2 human intestinal cells and mice. *J. Nutr.*, **132**, 946-951, 2002.
39. A. Asai, T. Sugawara, H. Ono *et al.*: Biotransformation of fucoxanthinol into amarouci-xanthin A in mice and HepG2 cells: formation and cytotoxicity of fucoxanthin metabolites. *Drug Metab. Dispos.*, **32**, 205-211, 2004.
40. F. Khachik, G. R. Beecher, M. B. Goli *et al.*: Separation, identification, and quantification of carotenoids in fruits, vegetables and human plasma by high performance liquid chromatography. *Pure Appl. Chem.*, **63**, 71-90, 1991.
41. F. Khachik, P. S. Bernstein, D. L. Garland : Identification of lutein and zeaxanthin oxidation products in human and monkey retinas. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **38**, 1802-1811, 1997.
42. F. Khachik, F. F. de Moura, D. Y. Zhao *et al.*: Transformations of selected carotenoids in plasma, liver, and ocular tissues of humans and in nonprimate animal models. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **43**, 3383-3392, 2002.
43. P. Bhosale & P. S. Bernstein : Quantitative measurement of 3'-oxolutein from human retina by normal-phase high-performance liquid chromatography coupled to atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Anal. Biochem.*, **345**, 296-301, 2005.
44. P. Bhosale, D. Y. Zhao, B. Serban *et al.*: Identification of 3-methoxyzeaxanthin as a novel age-related carotenoid metabolite in the human macula. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **48**, 1435-1440, 2007.
45. L. Yonekura, M. Kobayashi, M. Terasaki *et al.*: Keto-carotenoids are the major metabolites of dietary lutein and fucoxanthin in mouse tissues. *J. Nutr.*, **140**, 1824-1831, 2010.
46. F. Khachik, F. F. de Moura, E. Y. Chew *et al.*: The effect of lutein and zeaxanthin supplementation on metabolites of these carotenoids in the serum of persons aged 60 or older. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **47**, 5234-5242, 2006.
47. A. Nagao, T. Maoka, H. Ono *et al.*: A 3-hydroxy β -end group in xanthophylls is preferentially oxidized to a 3-oxo ϵ -end group in mammals. *J. Lipid Res.*, **56**, 449-462, 2015.
48. H. Etoh, Y. Utsunomiya, A. Komori *et al.*: Carotenoids in human blood plasma after ingesting paprika juice. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **64**, 1096-1098, 2000.
49. S. Zeng, H. C. Furr, J. A. Olson : Metabolism of carotenoid analogs in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **56**, 433-439, 1992.
50. K. Ohgami, K. Shiratori, S. Kotake *et al.*: Effects of astaxanthin on lipopolysaccharide-induced inflammation *in vitro* and *in vivo*. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **44**, 2694-2701, 2003.
51. S. K. Bai, S. J. Lee, H. J. Na *et al.*: beta-Carotene inhibits inflammatory gene expression in lipopolysaccharide-stimulated macrophages by suppressing redox-based NF-kappaB activation. *Exp. Mol. Med.*, **37**, 323-334, 2005.

52. M. M. Rafi, P. N. Yadav, M. Reyes : Lycopene inhibits LPS-induced proinflammatory mediator inducible nitric oxide synthase in mouse macrophage cells. *J. Food Sci.*, **72**, S069-74, 2007.
53. M. M. Rafi & Y. Shafaie : Dietary lutein modulates inducible nitric oxide synthase (iNOS) gene and protein expression in mouse macrophage cells (RAW 264.7). *Mol. Nutr. Food Res.*, **51**, 333-340, 2007.
54. S. J. Heo, W. J. Yoon, K. N. Kim *et al.*: Anti-inflammatory effect of fucoxanthin derivatives isolated from *Sargassum siliquastrum* in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 macrophage. *Food Chem. Toxicol.*, **50**, 3336-3342, 2012.
55. C. Gerhäuser, K. Klimo, W. Hümmer *et al.*: Identification of 3-hydroxy-beta-damascone and related carotenoid-derived aroma compounds as novel potent inducers of Nrf2-mediated phase 2 response with concomitant anti-inflammatory activity. *Mol. Nutr. Food Res.*, **53**, 1237-1244, 2009.
56. H. Maeda, M. Hosokawa, T. Sashima *et al.*: Fucoxanthin and its metabolite, fucoxanthinol, suppress adipocyte differentiation in 3T3-L1 cells. *Int. J. Mol. Med.*, **18**, 147-152, 2006.
57. T. Okada, M. Nakai, H. Maeda *et al.*: Suppressive effect of neoxanthin on the differentiation of 3T3-L1 adipose cells. *J. Oleo Sci.*, **57**, 345-351, 2008.
58. G. P. Lobo, J. Amengual, H. N. Li *et al.*: Beta,beta-carotene decreases peroxisome proliferator receptor gamma activity and reduces lipid storage capacity of adipocytes in a beta,beta-carotene oxygenase 1-dependent manner. *J. Biol. Chem.*, **285**, 27891-27899, 2010.
59. Y. Shirakura, K. Takayanagi, K. Mukai *et al.*: β -Cryptoxanthin suppresses the adipogenesis of 3T3-L1 cells via RAR activation. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **57**, 426-431, 2011.
60. E. Kotake-Nara, M. Hase, M. Kobayashi *et al.*: 3'-Hydroxy- ϵ , ϵ -caroten-3-one inhibits the differentiation of 3T3-L1 cells to adipocytes. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **80**, 518-523, 2016.
61. J. Lee & S. Kim : Upregulation of heme oxygenase-1 expression by dehydrodiconiferyl alcohol (DHCA) through the AMPK-Nrf2 dependent pathway. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **281**, 87-100, 2014.
62. S. Sasaki, T. Tozawa, K. Sugamoto *et al.*: Diterpene para-hydroquinone compounds derived from cryptochinone inhibit adipocyte differentiation of mouse 3T3-L1 cells and activate the Nrf2/ARE pathway. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **77**, 2131-2133, 2013.
63. H. Han, W. Cui, L. Wang *et al.*: Lutein prevents high fat diet-induced atherosclerosis in ApoE-deficient mice by inhibiting NADPH oxidase and increasing PPAR expression. *Lipids*, **50**, 261-273, 2015.
64. N. J. Miller, J. Sampson, L. P. Candeias *et al.*: Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Lett.*, **384**, 240-242, 1996.
65. P. Di Mascio, S. Kaiser, H. Sies : Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.*, **274**, 532-538, 1989.
66. A. Junghans, H. Sies, W. Stahl : Macular pigments lutein and zeaxanthin as blue light filters studied in liposomes. *Arch. Biochem. Biophys.*, **391**, 160-164, 2001.
67. E. Kotake-Nara & A. Nagao : Absorption and metabolism of xanthophylls. *Mar. Drugs*, **9**, 1024-1037, 2011.
68. A. Koskela, M. Reinisalo, J. M. Hyttinen *et al.*: Pinosylvin-mediated protection against oxidative stress in human retinal pigment epithelial cells. *Mol. Vis.*, **20**, 760-769, 2014.

コーヒーのクロロゲン酸とフェルラ酸

鈴木 聡 (SATOSHI Suzuki) *¹ 岡 希太郎 (OKA Kitaro) *²

*¹HAB 研究機構附属研究所, *² 東京薬科大学薬学部

Key Words : クロロゲン酸 カフェ酸 フェルラ酸 生物学的利用率 薬理作用

はじめに

コーヒーと健康の疫学研究が進んで、毎日コーヒーを飲む習慣ががんと生活習慣病の罹患リスクを軽減することが解ってきた。本稿では、コーヒー・ポリフェノールとも呼ばれるクロロゲン酸 (CGAs) について最新的话题を解説する。CGAs はあらゆる食品のなかでコーヒー豆に最も多く含まれている。CGAs はヒトの体内でカフェ酸 (CA) とフェルラ酸 (FA) に変化して全身に分布し、尿中に排泄される¹⁾。平成 21 年、文科省の依頼を受けた (財) 日本食品分析センターの調査報告書によれば、健康の維持増進に関わるフェニルプロパノイド系食品成分とは、CGAs, CA, FA の 3 つである²⁾。CGAs はコーヒー以外にも野菜、香草、果実などに広く分布しているので³⁾、食習慣をほんの少し工夫すれば健康の維持増進にとって好ましい効果を期待できる。

1. 焙煎度と CGAs 含有量の関係

CGAs は熱に弱いので、200℃に達する高温焙煎では分解反応が進行し

て消滅する。それに対して野菜など 100℃前後の調理中に分解することはない。コーヒー焙煎中に減少する CGAs の時間—濃度曲線を図 1 に示す (日本薬学会第 136 年会で発表予定, 2016 年 3 月, 横浜)。

この図から明らかなことは、コーヒーから薬理的に有意量の CGAs を摂取するには、焙煎度が大切ということである。図で第 2 ハゼ音が始まると、CGAs 含量は生豆のときの 5 分の 1 程度まで減少する。さらに第 2 ハゼ音が終わ

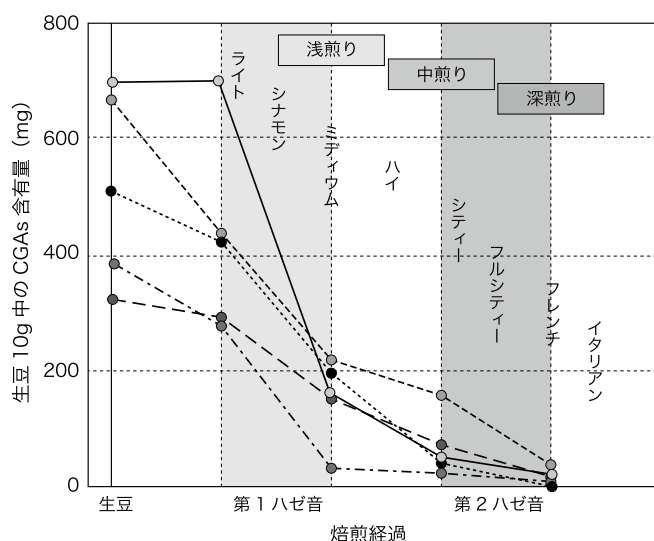


図 1 コーヒー豆の焙煎度と CGAs 含有量の関係

る頃にはほとんど消滅してしまう。従って深く煎ったコーヒーに CGAs は含まれていない。疫学研究で、1 日 3~4 杯のコーヒーの効果が最大となる理由の 1 つは、消費者が浅煎りよりも中~深煎り（ハイ~フルシティー）のコーヒーを好むためと思われる。実際に市販の焙煎コーヒー豆を調査したところ、10g 中に 100mg を超える商品は非常に少ないのが現状で、CGAs の薬理作用量を摂取するには 1 日 3~4 杯を要するのである。

2. CGAs の体内動態

図 1 で第 1 ハゼ音が終わる頃（シナモン~ミディウム）の浅煎りコーヒー 1 杯には 200mg 前後の CGAs が含まれている。その一部は小腸で吸収されるか、または粘膜エステラーゼの作用で CA, FA, およびキナ酸（QA）に加水分解されてから吸収される。小腸を通過した CGAs は大腸細菌叢によって嫌氣的に処理され、主にジヒドロ桂皮酸になる（図には省略）。小腸で吸収された CA は肝でメチル化されて FA になる。以上の変化を反映して、血中からは主に CGAs, CA, FA が検出される³⁾。これらの体内量を尿中排泄量と比較すると、そ

れぞれ 5%, 37%, 58% で、FA が比較的多く、CGAs はその 10 分の 1 程度である¹⁾。また、CA と FA は血小板に貯留して抗凝固作用を示す（後述）。

3. 抗酸化作用

細胞内にフリーラジカル（活性酸素など）が過剰に存在すると、タンパク質や脂肪膜が傷害されて、正常な細胞機能が保てなくなる。このような現象を酸化ストレス状態と呼んでいる。CA に見られるカテコール構造（図 2 のカフェ酸のように、ベンゼン核に 2 つの水酸基が隣接している構造）は、直接フリーラジカルを補足して無毒化する。この作用は非酵素的（または化学的）抗酸化作用であるが、俗に「ポリフェノールの抗酸化作用」とも呼ばれている。一方、酸化ストレスを受けた細胞が、自ら抗酸化酵素などのタンパク質を作って酸化ストレスに対応することを、細胞性抗酸化作用と呼んでいる⁴⁾。CGAs, CA, FA はともにこれら 2 つの抗酸化作用を示す成分である。

3-1. 非酵素的抗酸化作用

CGAs とその代謝物はフリーラジカル（活性酸素など）と反応する性質があるので、他のポ

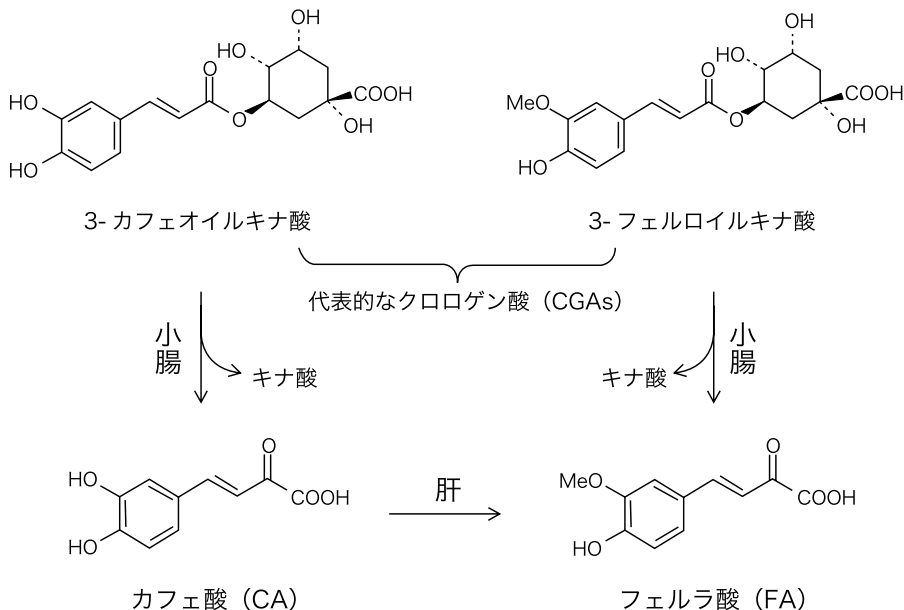


図 2 代表的 CGAs の体内変化

リフェノールと同様に、化学試薬による抗酸化性の予測に興味もたれている。市販の測定キットで得られるデータは、体内での抗酸化性を反映する数値ではないが、測定法が安価なために汎用され、商品のPRに使われている。また、「抗酸化成分は善玉で、フリーラジカルは悪玉である」との単純な通説が消費者に受け入れられている。しかし最近、この通説への反論が説得力をもってきた⁵⁾。

次の2つの論文は、上記の通説がヒトに対して必ずしも通用しないことを示唆している。第1に、フリーラジカルを大量に産生するように遺伝子操作した原虫を飼育しても、正常な個体より早く死ぬことはなかった⁶⁾。第2には、グルタチオンのような生理学的抗酸化成分を大量に産生するように遺伝子操作したマウスを飼育しても、正常マウスより長生きすることはなかった⁷⁾。フリーラジカルと疾患や寿命の関係は種によってバラバラなので、ヒトではどうかという疑問に対してはまだ信頼できる答えはない。

3-2. 細胞性抗酸化作用

細胞がもっているもう1つの抗酸化システムは Keap1-Nrf2-ARE 経路と呼ばれ、細胞性抗酸化作用を担っている（図3）。上述した非酵素的抗酸化作用が食事由来の抗酸化成分で成

り立っているのに対して、細胞性抗酸化作用は過剰に産生したフリーラジカルや外部から侵入する発がん性物質などの酸化ストレス源（図3の1）が引き金になって活性化する。酸化ストレス源が安定化タンパク質 Keap1 から転写因子 Nrf2 を切断すると、Nrf2 は核へ移動し、染色体上の抗酸化応答性配列 ARE に結合する。すると、酸化ストレス防御酵素の遺伝子が発現して、抗酸化性の各種タンパク質（図3の2~5）が合成される。これらのタンパク質が酸化ストレス源を排除することで細胞の生存が可能になる。

近年、コーヒーの CGAs が（CA と FA も）、酸化ストレス源と同じくこの経路に介入することが見出された⁴⁾。細胞質に存在している Keap1-Nrf2 複合体に CGAs などが作用すると、Nrf2 が遊離型となって核に移動するのである。図3にある酸化ストレス防御酵素には、グルタチオン合成酵素やスーパーオキシド消去酵素（SOD）の他に、ベンツピレンなど強力な発がん性物質を分解する酵素や細胞外へ排出するトランスポーターなどが含まれている。コーヒーのポリフェノールにはこれらを除く作用があるとの研究例が増えている。

細胞性抗酸化作用は、正常細胞が受ける酸化

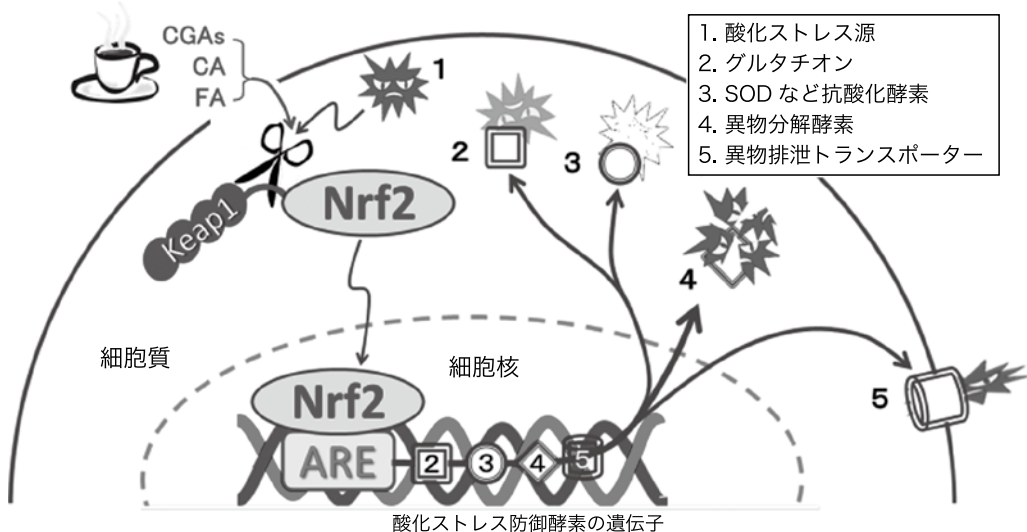


図3 細胞性抗酸化作用の機序

ストレスの軽減になくてはならないものである。しかし、がん細胞にとって Nrf2 の活性化は腫瘍悪性化の原因であり、かつ薬剤耐性を獲得する原因でもあるとの論文がある⁸⁾。言い換えれば、CGAs などの抗酸化性成分は健常者のがん予防には効果的であるが、がん罹患からの過剰摂取については今後の調査に待たなければ良し悪しの判断は難しい。

4. 血小板抑制作用

CGAs 投与はマウス血管内皮の酸化ストレスを解消して血圧を下げる。この薬効は代謝物の CA と FA に基づいているが、FA の方がより強く観察される。2010 年までのまとめが既に本誌に掲載されている⁹⁾。そこで本稿では CA と FA が血小板に分布して抗血小板作用を示すことを紹介する。CGAs 投与が血液と血管内皮の両面から血液循環動態を維持し、血圧のみならず心疾患と脳卒中の罹患リスクを軽減する可能性を示す。

臨床試験によれば、CGAs を多く含むコーヒーを飲んだ群で、血液凝固能の低下が観察された。このとき血小板にはコーヒーを飲む前の 8 倍の CA と 2 倍の FA が取り込まれていた¹⁰⁾。カフェインは血小板には入らなかった。一方、マウスに血小板刺激薬を投与すると血栓を生じるが、CGAs を同時投与すると予防できる。CGAs はホスホジエステラーゼ (PDE) を抑制して、血小板内の cAMP 濃度を高めることで血小板を抑制した¹¹⁾。同様の現象が CA と FA にも観察されるが、刺激薬としてアデノシンジリン酸 (ADP) を使ったときの効果が強かった¹²⁾。

CGAs とその代謝物 FA と CA の血小板抑制作用は、既存の抗血小板薬に比べると弱いものである。しかし、CGAs を含むコーヒーを飲んだ後に血液凝固能を測定すると、明らかに低下しているし、再現性も高い。この事実は、疫学調査で得られた「コーヒーを飲む群は心疾患や脳卒中による死亡リスクが低い」ことを説明するコーヒーの作用であるが、CGAs 以外の成分も寄与していると考えられる。

国立循環器病研究センターの発表によれば、抗凝固薬シロスタゾールを服用中の患者はアルツハイマー病の発症が遅れる傾向にある¹³⁾。この論文には海外でも大きな反響があり、その後の研究に弾みが掛かっている¹⁴⁾。一方、上記したように CA と FA は PDE 阻害作用を示すので、シロスタゾールと似た効果を発現する可能性がある。臨床試験の実施を求める意見もある¹⁵⁾。

5. メチル基転移酵素阻害作用

遺伝子 DNA のメチル化は正常な胚発生と細胞分化に欠かせない。幹細胞が体細胞に分化するとき、不必要な遺伝子をメチル化して保護したり、逆に必要な遺伝子を脱メチル化して発現させる。DNA のメチル化には DNA メチル基転移酵素 (DNMT) とメチル基供与体 S-アデノシルメチオニン (SAM) が必要である。DNMT が SAM を使って DNA をメチル化すると、SAM はメチル基を失って S-アデノシルホモシステイン (SAH) になる。蓄積した SAH は DNMT 活性を抑制し (負のフィードバック効果)、その間にリサイクルされて SAM に戻る¹⁶⁾。それでも食事からのメチオニンに余剰があると、過剰になった SAH がホモシステイン (Hcy) となって蓄積するか、またはビタミン B 群の作用でシステインに変換され、栄養素としてリサイクルされる。

近年、日常的なカロリー制限が長寿をもたらすとの疫学データが多数あるが、実は必須アミノ酸メチオニンを制限するだけで同じ効果が得られるとの論文が増えつつある¹⁷⁾。逆に、メチオニンの摂り過ぎは心血管系疾患の罹患リスクを高めて寿命を短縮する¹⁶⁾。その分子論的な説明として、メチオニンの摂り過ぎが SAM を介して Hcy を増やすとの説につながる¹⁸⁾。しかし、メチオニンの過剰摂取で動脈硬化が起こるものの、Hcy 血症で動脈硬化は起こらないとの説も有力で、さらなる検証が必要である¹⁶⁾。

ここで注目すべきは、SAM は DNA の他に

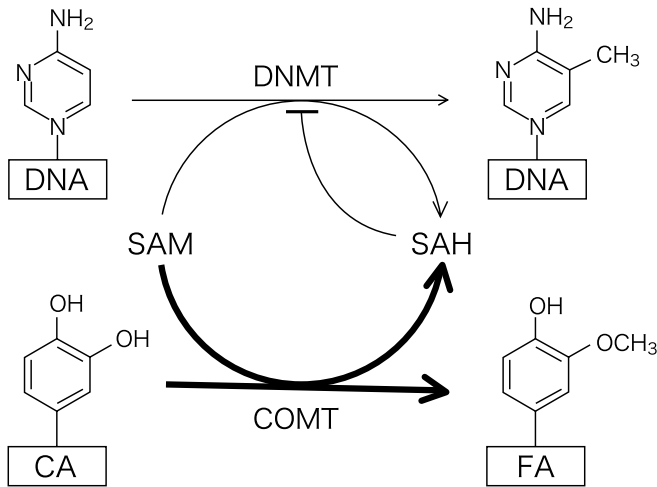


図4 SAMを共有するCOMTとDNMTの競合反応

も100種類以上の生体物質にメチル基を供与しているという事実である。CGAsも例外ではなく、カテコール-O-メチル転移酵素（COMT）とSAMによってメチル化を受ける。CAも同様にメチル化されてFAに変化する（図4を参照）¹⁹⁾。もし体内にCAが大量に存在すると、そのメチル化によってSAMが不足する事態が起こる。するとDNAのメチル化速度が相対的に遅くなるか、または停止する¹⁹⁾。換言すれば、CAはDNAのメチル化速度を抑制して細胞分化に影響を及ぼし、がんや循環器疾患の予防につながるとの可能性が指摘されている¹⁹⁾。この効果はメチオニン制限下に強く発現すると考えられる。

逆に、メチオニンの過剰摂取によってDNAのメチル化が過剰に進行すると、発がん性をもったエピゲノム（メチル化によって修飾されたDNA）を増やすこととなり、その結果、がん罹患するリスクが高まる。CAを補給することでエピゲノム化を遅らせることができれば、がん予防につながると考えられている。

さらに、コーヒーを飲む群の血中ホモシステイン（Hcy）濃度は高いという疫学データがある。CGAsとCAのメチル化でSAMがSAHに変化した結果と考えられる。一方、コーヒーを飲む群ではがんや循環器疾患の罹患リスクが下

がっている。コーヒーを飲む群のHcy高値は循環器疾患のリスク因子ではなく、COMTとDNMTがSAMを競合した結果と考えた方が疫学データを説明しやすい。

6. 糖質・脂質代謝系への作用

CGAs投与が血清脂質と肝脂肪を減らす効果は2002年に、グルコース吸収を遅らせる効果は2003年に発見されている。同じ頃、ヨーロッパの疫学研究で、コーヒーを飲む群の2型糖尿病罹患リスクは低いという論文がランセット誌に発表された。コーヒーと健康の関係が初めて科学的に

解明された瞬間だったが、コーヒー（CGAsではない）の臨床試験と疫学研究の間には大きな矛盾があった。前世紀に行われたコーヒー臨床試験では、特にコーヒーをほとんど飲まない群で、コーヒーを飲むと血圧、血清脂質、血糖の上昇が観察されていた。それでもコーヒーが2型糖尿病のリスクを下げる理由が模索され、その後の研究経過のなかで、これらの矛盾は次第に解消されてきた。

まず、花王食品の研究グループによって、焙煎コーヒーにはCGAsの降圧作用に拮抗するラジカル発生源（ヒドロキシヒドロキノン）が含まれていることが判明した。同グループは発生源を除去することでCGAs本来の降圧作用を回復することに成功し、ヘルシア缶コーヒーを開発した^{9,20)}。次に血清LDL値に見られた矛盾は、コーヒーオイルから単離された2つのジテルペン類、カフェストールとカウェオールによって説明可能となった。即ち、コーヒーオイルやコーヒー滓を含んだコーヒーを飲むと血清LDLが上昇するが、それらを排除して抽出したコーヒーを飲めば血清LDLは逆に抑制されることが解った²¹⁾。血糖値についての矛盾はCGAs含有量の高低によって説明された。即ち、含有量の高いコーヒーを飲んだ群では、血糖値の有意な低下が認められたのである²¹⁾。

表1 クロロゲン酸 (CGAs) とカフェイン (C) の同時投与による相乗効果

測定項目	対照群		C 群		CGAs 群		CGAs + C 群	
	平均値	SE	平均値	SE	平均値	SE	平均値	SE
試験前体重 (g)	24.03	1.08	24.35	1.01	23.98	0.96	24.07	0.97
試験後体重 (g)	44.67	1.38	41.75	1.46	43.24	1.42	38.36	1.17
体重増加 (g)	20.45	1.39	17.40	1.36	19.26	1.11	14.29*	0.78
肝重量 (mg)	1556	81	1516	65	1518	51	1476	42
腹腔内脂肪重量 (mg)	3998	461	2875	398	4039	500	2082*	359
血液生化学								
総コレステロール (mmol/l)	3.20	0.18	3.28	0.27	2.78	0.16	2.61*	0.08
中性脂肪 (mmol/l)	3.84	0.44	3.46	0.67	2.41*	0.37	2.73*	0.25
グルコース (mmol/l)	3.07	0.48	3.19	0.62	3.19	0.77	3.12	0.53
遊離脂肪酸 (μg/l)	1.50	0.29	1.57	0.27	1.39	0.21	1.48	0.31
レプチン (ng/l)	425	28	360*	20	396	29	348*	16
肝脂質 (mg/g 肝臓)								
総コレステロール	14.1	1.35	10.3	1.52	10.8	1.38	10.5	1.25
中性脂肪	61.3	3.30	42.6*	3.35	49.0	5.47	37.9*	3.83
リン脂質	15.4	0.21	15.9	0.91	14.5	0.31	14.55	0.39

*：対照群との統計学的有意差が、 $P < 0.05$ であることを示す。

さらに最近の論文によれば、CGAs がマウスのインクレチン関連ホルモン GLP-1 の食後分泌を促進したり²²⁾、糖尿病マウスのアディポネクチン受容体や脂質代謝を促す AMPK を高めることなどが観察されている²³⁾。特に示唆に富んでいる実験は、CGAs とカフェインの同時投与である。それぞれ単独では変化が見られない血清脂質と肝脂質が、両成分の併用によって有意に減少する²⁴⁾。表 1 にやや詳しく数値を示す。コーヒーの疫学研究には、コーヒーの疾患予防効果が CGAs やカフェインに基づくと思われる例が数多くあるが、その背景に両成分の相乗作用の機序が存在するのである。今後、コーヒー成分どうし、またはコーヒー成分と他の食品成分との好ましい相乗作用が研究されることは間違いない。

おわりに

本稿では浅煎りコーヒーに多く含まれる CGAs について解説した。しかし CGAs の作用だけではコーヒーの疾患予防効果を説明しきれない。カフェインと云う共存成分に恵まれたお蔭で、相乗効果という薬と見紛うほどの効能が実現するのである。また、CGAs に基づくといわれていた種々の薬理作用が、実は代謝産物のうち特に FA に基づいている可能性が高い。このようないくつかの理由で CGAs の薬理学的研究はまだ始まったばかりといえる。薬の世界ではカフェインを配合することで効果が高まる例が山ほどある。これからはカフェインとカフェイン以外の成分の組み合わせにも研究の光が当たることを期待したい。

参考文献

1. Del Rio D, Stalmach A, Calani L, *et al.* Bioavailability of coffee chlorogenic acids and green tea flavan-3-ols (Review). *Nutrients* **2**:820-33, 2010.
2. Upadhyay R and Rao LJM. An outlook on chlorogenic acids-occurrence, chemistry, technology, and biological activities. *Crit Rev Food Sci Nutr* **53**:968-84, 2013.
3. 文部科学省・科学技術学術審議会・第19回資源調査分科会・配布資料. 平成20年度新たな健康の維持増進に関わる食品成分等に対するニーズ調査.
4. Liang N and Kitts DD. Role of chlorogenic acids in controlling oxidative and inflammatory stress conditions (Review). *Nutrients* **8**:16-35, 2015.
5. Scudellari M. Myths that will not die (News). *Nature* **528**:322-5, 2015.
6. Doonan R, McElwee JJ, Matthijssens F, *et al.* Against the oxidative damage theory of aging: superoxide dismutases protect against oxidative stress but have little or no effect on life span in *Caenorhabditis elegans*. *Genes Dev* **22**:3236-41, 2008.
7. Pérez VI, Van Remmen H, Bokov A, *et al.* The overexpression of major antioxidant enzymes does not extend the lifespan of mice. *Aging Cell* **8**:73-5, 2009.
8. 本橋ほづみ. 酸化ストレス応答転写因子 Nrf2 による代謝制御と細胞増殖. 生化学 **86**:269-73, 2014.
9. 岡 希太郎. 高血圧を予防するコーヒーの薬理学. *New Food Ind* **53**:27-36, 2011.
10. Natella F, Nardini M, Belelli F, *et al.* Effect of coffee drinking on platelets: inhibition of aggregation and phenols incorporation. *Br J Nutr* **100**:1276-82, 2008.
11. Fuentes E, Caballero J, Alarcon M, *et al.* Chlorogenic acid inhibits human platelet activation and thrombus formation. *PLoS One* **9**:e90699, 2014.
12. Huang H, Ma ZC, Wang YG, *et al.* Ferulic acid alleviates A β 25-35- and lipopolysaccharide-induced PC12 cellular damage: a potential role in Alzheimer's disease by PDE inhibition. *Int J Clin Pharmacol* **53**:828-37, 2015.
13. Ihara M, Nishino M, Taguchi A, *et al.* Cilostazol add-on therapy in patients with mild dementia receiving donepezil: a retrospective study. *PLoS One* **9**:e89516, 2014.
14. Heckman PR, Blokland A, Ramaekers J, *et al.* PDE and cognitive processing: beyond the memory domain. *Neurobiol Learn Mem* **119**:108-22, 2015.
15. Yamada M, Ono K, Hamaguchi T, *et al.* Natural phenolic compounds as therapeutic and preventive agents for cerebral amyloidosis. *Adv Exp Med Biol* **863**:79-94, 2015.
16. Selhub J and Troen AM. Sulfur amino acids and atherosclerosis: a role for excess dietary methionine. *Ann NY Acad Sci* **1363**:18-25, 2016.
17. Ables GP, Brown-Borg HM, Buffenstein R, *et al.* The first international mini-symposium on methionine restriction and lifespan. *Front Genet* **5**:122, 2014.
18. 石井 功. ホモシステイン血症再考. 生化学 **85**:1067-71, 2013.
19. Lee WJ and Zhu BT. Inhibition of DNA methylation by caffeic acid and chlorogenic acid, two common catechol-containing coffee polyphenols. *Carcinogenesis* **27**:269-77, 2006.
20. Yamaguchi T, Chikama A, Mori K, *et al.* Hydroxyhydroquinone-free coffee: a double-blind, randomized controlled dose-response study of blood pressure. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* **18**:408-14, 2008.
21. Meng S, Cao J, Feng Q, *et al.* Roles of chlorogenic acid on regulating glucose and lipids metabolism: a review. *Evid Based Complement Alternat Med* **2013**:801457.
22. Fujii Y, Osaki N, Hase T, *et al.* Ingestion of coffee polyphenols increase postprandial release of the active glucagon-like peptide-1 (GLP-1(7-36)) amide in C57BL mice. *J Nutr Sci* **4**:e9, 2015.
23. Jin S, Chang C, Zhang L, *et al.* Chlorogenic acid improves late diabetes through adiponectin receptor signaling pathways in db/db mice. *PLoS One* **10**:e0120842, 2015.
24. Zheng G, Qiu Y, Zhang Q-F, *et al.* Chlorogenic acid and caffeine in combination inhibit fat accumulation by regulating hepatic lipid metabolism-related enzymes in mice. *Br J Nutr* **112**:1034-40, 2014.

行政 OB の大学教員から見た今後の HACCP の対応

豊福 肇 (TOYOFUKU Hajime)

山口大学共同獣医学部

Key Words : HACCP Codex 食品安全 管理システム

はじめに

今更ではあるが、なぜ、HACCP が重要かという、食品の国際規格であるコーデックス規格のなかに、食品衛生の一般原則 (General Principle of Food Hygiene, 以下、「GPFH」という。) (CAC/RCP 1-1969) およびその付属文書: Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application (以下、「HACCP 付属文書」という。)があること、コーデックス規格であるということは、世界貿易機構 (WTO) 加盟国は食品の規格を設定するときにはそれにあわせるか、少なくとも考慮にいれることが求められていること、さらに HACCP は 1970 年代はじめに米国 FDA の低酸性缶詰の規則に取り入れてから、全世界共通の食品安全管理システムとなり、多くの政府の食品コントロールシステム及び国際的な食品安全基準 (例えば、ISO 22000) のベースとなっているからである。

EU は一次生産者を除き HACCP を義務付け、アメリカでも水産食品、食肉及び食肉製品はすでに義務付け、食品安全近代化法 (FSMA) により、すべての事業者には HACCP の最も大事な部分であるハザード分析は義務つけられている。これは実は海の外の他人ごとでは済まされ

ない。まず、現在 HACCP を義務つけていない日本は、内外無差別の原則により、輸出国の施設に対し HACCP の実施を要求できない。つまり、極端なことをいうと HACCP による衛生管理をしている事業者の製品は EU と米国に優先的に行って、その次に日本向きになるか、あるいは HACCP を実施していない業者が製造した製品しか、日本には入ってこなくなる可能性が出てくる。つまり、全世界の食品輸出国の施設は、先進国はもちろん、途上国であっても EU とアメリカの市場に参入するため、すでに HACCP の実施は常識なのである。

環太平洋パートナーシップ協定の大筋合意により、WTO の SPS 協定の重要性が増し、従って、Codex 規格の重要性が増す。日本では TPP を受け、食品の輸出拡大も叫ばれているが、国際市場にアクセスするためには HACCP は必須である。また、厚労省は東京五輪に向け、HACCP を段階的義務化の方針を固めたという新聞報道もある。

行政 OB として一言で言うと、四の五の言わず、できないとか無理とか言わず、生き残るためにさっさと HACCP やるしかない、ほかに道はないということになる。EU の水産食品査察チームに日本の水産加工施設は EU レベル

の食品安全確保ができていない（その1つがHACCPができていないことで、HACCP以外にも多くの不適合点はあった）として、EU向け輸出を止められ20年以上経過するのに、まだいまさらHACCPとはいったい何を考えているのかという感否めないのである。（こんなことを書くところから、役人上がりは何もわかっていないと言われるであろうが）

ただ、ほとんどの施設はHACCPを実施していなくても、あるいは意識していなくても、安全な食品を製造するためにコントロールをしているはずである。そうでなければ、毎日のように食中毒や有症苦情が発生し、商売にならない。ただ、原材料が製造工程で発生する可能性のあるハザードを特定し、それらのハザードをコントロールする手段を特定し、コントロールの実施状況をモニタリングし、コントロールが失われた場合には改善措置を講じ、モニタリングと改善措置の結果を記録し、記録した内容を定期的に見直しHACCPが意図した通りに機能しているか検証することをしていないだけで、最初はとっつきにくいかもしれないが、ものすごく多くのことを要求しているのではない。書類も多く作成しなくて大変という声も聞くが、仕様書等既存の書類でかなりカバーされているはずで、不足分だけ作成すればいいのである。

なお、本稿に記載したことは、行政OBで、かつ世界のHACCPについて詳しい一個人としての個人的な見解である。

1. CodexのHACCPとは

日本の管理運営基準のもとになったコーデックスの食品衛生の一般原則（General Principle of Food Hygiene, 以下「GPFH」という。）は次のような構成になっている。

Section I: 目的

Section II: スコープ、使用及び定義

Section III: 一次生産

Section IV: 施設：構造設備

Section V: 作業のコントロール

Section VI: 施設：維持管理と洗浄、衛生

Section VII: 施設：従事者衛生

Section VIII: 輸送

Section IX: 製品の情報及び消費者の認識

Section X: 教育訓練

このうち、Section V: 作業のコントロールには、「5.1 食品ハザードのコントロール」という節があり、そこには「食品事業者は食品ハザードをHACCPのようなシステムの使用を通じてコントロールすべきである。それらは：

- 工程のなかで、食品の安全性上極めて重要（critical）なステップを特定し；
- それらのステップで効果的なコントロール手順を実施し；
- それらのコントロール手順の継続的な効果を保証するため、それらをモニターし；さらに
- コントロール手順を定期的にレビューし、また作業に変更があった場合はその都度「製品及び工程デザインを通じ、製品の賞味期限を通じて食品衛生をコントロールするため、これらのシステムはフードチェーンを通じて適用すべき」と規定されている。

つまり、7原則の2（CCP設定）、4（モニタリング）、6の検証はGPFHに既に規定されており、原則3のCritical Limit（管理基準）設定とは書いてはないが、CCPのコントロール手順を規定することは規定されている。また、文書化が適切な場合もあるとしている。そして、そのような食品安全システムのモデルは“Hazard Analysis and Critical Control Point（HACCP）システム及び適用のガイドライン（付属文書）に記述されているとしている。

GPFHとHACCPは別物のように考えられているが、実はかなりの部分で共通点があり、これらが一体に機能しないと食品の安全確保はできないのである。

2. 厚労省「食品衛生管理運営基準」改正の背景

HACCPとははっきり書いていないが、HACCPの考え方にもとづく総合衛生管理製造過程（以下「マル総」という。）を食品衛生法

に導入したのは 20 年前の平成 7 年（1995 年）である。当時は食品衛生法に HACCP を入れることが最優先で、その一方で、新たな衛生規制を導入することは社会情勢的に厳しく、衛生規制法である食品衛生法としてはめずらしく、規制緩和の枠組みとして HACCP（マル総）が導入された。マル総は製造基準が規定された食品であっても、HACCP による衛生管理を行えば、画一的な製造方法によらずに、ハザードさえ適切に管理できれば、多様な方法で製造することを認めるという任意の手揚げ方式のスキームであった。また、従来の製造方法のままで、マル総の承認を得られるというものであった。最初に乳・乳製品及び食肉製品から承認がはじまった。承認には HACCP の 7 手順の文書化、実施と記録はもちろん、10 項目の HACCP 実施の前提となるプログラムの文書化と記録も求めた。当時の厚生省による現地査察を行って実施状況を確認のうえ承認した。また承認の仕組みは同じように任意の HACCP 承認システムを持っていたカナダ食品検査庁（CFIA）の Food Safety Enhancement Program を参考にした。

現在、乳・乳製品及び食肉製品で、一般に大手量販店で購入できるほとんどの製品はマル総施設で製造されているとっても過言ではない。しかし、マル総の普及率は当初予想よりも低空飛行のままだった。また、製造基準の例外承認という本来の性格上、対象食品は製造基準が設定されている食品に限られることから業種はなかなか増やせない等の理由から、当初予想したほど、承認施設は伸びず、一方 ISO22000 や FSSC22000 の普及に伴い、これらとの競争に負け、マル総から民間認証に移行する施設もでてきた。また、HACCP に関する用語はすべて元は英語なので、それを日本語に変換することで、わかりにくくなった部分も否定できない。また、マル総は HACCP の部分だけではなく、前提条件プログラムの文書化と記録も求めたことが結果として、中小事業者の導入を阻んだかもしれない（結果として承認申請のファイルは一施設あたり 10cm ファイルが 1,2 冊の施設も

あった。）ただし、ハザード分析で重要とされたハザードは CCP だけでなく、PRP で管理することもありえるというのが最近の考え方なので、マル総の考え方は間違っていなかった。

現在の安倍内閣は、日本再興戦略のなかで、食品の輸出促進を進めるとしている。そのために HACCP の普及が必須になってくる。

以上のような背景で HACCP をもう一度日本に普及させようという機運が高まり、かと言って、いきなり義務化をするには、理屈もたないし、いろんな壁があるので、選択制が導入された。ただ、この選択制は厚労省も通知で明記しているように、将来の義務化を見据えたあくまで最初のステップとして考えるべきである。

3. HACCP 先進国に学ぶ

本稿のはじめにで、HACCP は世界中で実施されているのだから、さっさとやりなさいと書いた。HACCP7 原則による予防的な食品安全アプローチは使用者にとって効果的であることは世界的に認識されているが、HACCP のいくつかの部分の正しく理解し、かつ実務的に実施することは困難であることも示されている。これは、すべての HACCP7 原則の実務的適用について適切な技術的な支援がしばしば欠けている小規模及びあまり発展していない事業者（small and less developed businesses（以下、「SLDB」という。）及び途上国において、特に顕著である。これは SLDB において HACCP を適用させるための FAO/WHO のガイダンス（Guidance to governments on the application of HACCP in small and less developed business）でも指摘されている。本書は政府に対する HACCP 普及に向けての鍵となる文書であり、食品事業者による HACCP の実施を促進するために戦略を作成する上で、政府が実施できる手法の概要を示したものである。国または特定の業界によって実施された成功したアプローチなどについて、記載されている。

本書に記載されている事業者内部の HACCP 実施上の課題、そのなかでも、興味深い従事者

関連の課題の心理的要因をみると、自己効力感の欠如、惰性(以前の慣習に打つ勝つ能力)、HACCP なしでも安全な食品を製造できている根拠なく自信等が指摘されている。また、不適切な支援環境による課題のなかで、消費者の認識は事業者の HACCP 実施に向けての意識変化に対する非常に強いドライバーに成り得る一方、消費者が根本的な食品安全の重要性を認識していない場合には SLDB が HACCP 実施に向かうことはまずないとも指摘している。

HACCP Australia 2007 において、HACCP プログラムを実施するためのバリア上位 5 位として、1. 時間、2. 技術的な能力、3. シニアマネジメントからの自ら取り組もうという姿勢がない、導入が強制ではない、4. サポートが得られない、5. 不十分な、文書化されたシステム、または実務的ではないシステムが挙げられている。

別の報告では、HACCP 導入上の課題として、次のような事項が指摘されている。

- 業界団体その他の業界グループからのサポートがない限り、システム開発途中において、それなりの費用負担はある。
- 効果を検証する必要あり。
- 標準化されたと思われるプロセスのわずかなバリエーションによって、もたらされるすべてのハザードを予測するのは困難、従って常に細心の注意と更新が必要。
- 適用するために必要とされる技術的な知識の要素。
- 多くの小規模事業者は HACCP は複雑で官僚的とみなしている。
- 知識及び適切なトレーニングの不足。
- 多くの小規模事業者は HACCP を知らずにいる、または、営業者は HACCP に基づき、効果的なコントロールを導入し、維持するための手順について、十分な知識が欠けている。
- 従業員の入れ替わりの激しさ等のため、継続的なトレーニングコスト高は導入の妨げになりうる。

HACCP and ISO 22000

– Application to Foods of Animal Origin

このように、世界各国で HACCP 導入が困難なことが指摘されている。このような導入の障害を乗り越えるため、各国政府は種々の取り組みをしている。例えば EU では業界団体に、Generic HACCP モデルを作成させ、それを政府が承認し、営業者にはものモデルを、最悪そのまま実施するか、またはこのモデルをベースに始め、徐々に自分の工程やラインに合わせ修正することをしている。2014 年にフィンランドで行われた HACCP 付属文書の見直しを始めるかの検討会議においても、ハザード分析は施設ごと、工程ごとにかわってくるが、標準化された工程であれば共通する部分もあり、それは政府や業界団体が代わりに代行しても良いのではないかという指摘もあった。

このような HACCP 実施に向けての壁は営業者だけではない。監視をする立場の食品衛生監視員にとっても、施設基準、製造基準、管理運営基準を遵守しているか監視でチェックすることにくらべ、HACCP の原則に基づく要求事項の遵守状況を評価することが求められた場合、従前の具体的かつ細かな要求事項に対する評価と比べ、問題に直面する可能性がある。

4. HACCP の今後—食品事業者が目指すべき食品安全管理システムとは

一言で言うと、コーデックスの HACCP の定義である、「食品安全のため顕著なハザードを特定し、評価し、かつコントロールするシステム」が事業者が目指すシステムである。すなわち

- どんな ハザードが製品に存在しうるか？
 - どこでこれらのハザードは発生、増殖、混入、生残するか？
 - どのようにそれらのハザードを排除または許容レベルまで制御できるか？
- を考えた上で、特定されたハザードを前提条件プログラム (PRP)、あるいは CPRF または CCP でコントロールできるようにすることが

望まれる。

そのためには、次のようなことを迅速に進めていく必要があるであろう。

- ① HACCP の必要性、ベネフィット、メリットの理解を事業者、消費者、流通業界に広める。
- ② HACCP 指導者（コンサルタント）の育成、標準化。
- ③ 従事者教育用ソフトの開発（例、国税庁の年末調整のホームページのように数字や言葉を打ちこむことにより最終的に HACCP プランができあがるようなソフトの開発）。
- ④ 活用しやすい一般的 HACCP プラン、各種

食品カテゴリーごとに代表的なハザードとそのコントロールの方法をまとめたガイドの作成。

- ⑤ 飲食店向けビジュアル重視のチェックリストの作成と試行。

このうち、②については、2015 年度公益社団法人日本食品衛生協会が HACCP 指導者講習会を開催している。③、④、⑤については現在行われている厚生労働科学研究でプロトタイプが開発されつつあり、次年度には一部公開されることになっている。

白石カルシウムの炭酸カルシウム



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

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

- 一般の栄養強化には、「ホワイトン」
- 機能を求めるならば、「コロカルソ」
- 飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」

詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。

**白石カルシウム株式会社**

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

食品の栄養表示のための分析方法

大脇 進治 (OWAKI Shinji)

一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC 第一理化学検査室 室長

Key Words：食品表示基準 栄養成分 分析方法

はじめに

平成 27 年 4 月に食品表示法が施行されてから、1 年が経過した。新制度への移行の経過措置期間はまだ残されているものの、健康増進法の栄養表示基準では任意であった栄養成分の表示が義務化され、食品関連事業者の皆様におかれては、その対応に取り組まれた方も多いのではないだろうか。一方で、各所で開催された食品表示法をテーマにしたセミナーがいずれも盛況であり、新制度が施行された以降も引き続き多くの方々が情報を求めていることがわかる。

当所は、食品表示に係わる栄養成分の分析を行っているが、食品表示法の施行後、多くの栄養成分の分析依頼をいただいている。依頼主は食品関連事業者すなわち製造者あるいは販売者であり、その目的は分析値を表示に使用するだけでなく、品質管理、研究開発など多岐にわたる。さらに、その先の消費者にとっても、栄養成分表示は商品選択の重要な情報源であり、当所のような食品分析の第三者機関が果たす役割は大きい。本稿では、食品分析の専門機関として、分析化学的に定義される栄養成分とそれぞれの成分の分析における注意点について解説する。

1. 栄養表示の対象成分

食品表示法では、食品関連事業者に対し、一般の消費者に販売する加工食品、添加物に熱量、たんぱく質、脂質、炭水化物およびナトリウム（表示の際は食塩相当量に換算）についてその含量を表示することを義務付けている。また、表示することを推奨する成分として、飽和脂肪酸と食物繊維をあげており、将来的には義務化される可能性がある。

これらの栄養成分の含量の表示には、実際に分析を行って得られた数値（分析値）のほか、原材料の配合割合から公的なデータベースなどの数値を計算して得られた数値（計算値）など合理的な推定により得られた値を用いることもできる。分析値を表示に用いる際は、成分含量の変動要因である季節や生育環境などの自然要因、調理加工や保管などの人工要因を把握、考慮し、適切なロット数を分析する必要がある。一方、計算値を表示に用いる際は加工食品であれば廃棄率や水分変化など加工調理による影響も考慮しなければならず、複雑な計算をする必要がある。

分析を行うには施設の準備、技術の取得、費用の捻出などの問題があるが、当所をはじめ食品の分析を専門に行う機関を利用することによ

り、分析に係るコストを抑えつつ、信頼性の高い結果を得ることができる。対象となる食品の実態を把握するには、分析に基づいた表示を行うことが望ましいと考える。

2. 栄養成分の分析方法の実際

栄養表示を分析値による場合は、「食品表示基準について別添 栄養成分等の分析方法等」(平成 27 年 3 月 30 日消食表第 139 号消費者庁次長通知)に従い分析を行うことが一般的である。ここで規定されている分析方法は、特に基礎栄養成分であるたんぱく質や脂質などにおいては、各栄養成分の分析的定義に基づきそれぞれの含有量を評価する手法が取られている。食品の特性に合わせた分析方法と条件を選択し、適切に処理を行わなければ、正確な結果を得ることはできない。

ここでは、栄養表示が義務化された成分と推奨項目である食物繊維について、分析的定義と実際の分析方法について解説する。また、分析上の注意点についても併せて紹介するので、今後、自組織での分析を検討されている方々は参考にされたい。

1) たんぱく質

食品中のたんぱく質量は、食品に含まれる全窒素量を定量し、その値に食品ごとに設定された窒素・たんぱく質換算係数を乗じて求める窒素定量換算法により評価する。換算係数は、一般的な食品のたんぱく質を構成する窒素量がそのたんぱく質の質量のおよそ 16% であることから、通常は 6.25 (=100/16) が用いられる。その他、大豆、米、乳製品など食品の種類により、たんぱく質を構成しているアミノ酸組成の

特徴に応じて固有の換算係数が設定されているものもあり、測定対象の食品に対して最適な係数を選択する必要がある。

たんぱく質量は他の栄養成分とは異なり、換算によって求められるため、真のたんぱく質量を求めることが困難な場合がある。食品にはたんぱく質以外にも窒素含有化合物が多く存在している。アミノ酸類、アミド類、プリン塩基類およびクレアチン類などの窒素含有化合物を多く含む食品については、これらの成分の全窒素量はたんぱく質に由来するとみなされ、換算係数を乗じることでたんぱく質量を過剰に評価してしまう。また、コーヒー、ココアなどのカフェインやテオプロミンを比較的多く含む食品、アセスルファム K およびアスパルテム等の窒素を含む合成甘味料を主体とする食品は、これらの成分を別途定量して全窒素量から補正することが多い。たんぱく質量を評価する際は、窒素源となる成分がたんぱく質以外に存在するかを確認し、最適な換算、補正を行うことが肝要である。

2) 脂質

脂質はジエチルエーテル、石油エーテル等の溶剤に可溶な成分の総量と定義されている。食品によって脂質の特性、含量、脂質と組織成分との結合の程度などにより、複数ある分析方法の中から最適な条件のものを選択する必要がある。それぞれの分析方法と適用される食品の種類を表 1 に示す。脂質含量が高く、脂質と他の成分との結合が少ない食品であればエーテル抽出法を適用し、一般的な加工食品であれば、脂質と他の成分が結合していることが多いため酸分解法を適用するなど、食品に含まれる脂質

表 1 脂質分析の一例

方法	適用食品
エーテル抽出法	一般食品、脂質含量の高い食品
クロロホルム・メタノール混液抽出法	大豆、卵類などリン脂質を多く含む食品
ゲルベル法	牛乳、脱脂粉乳、加工乳
酸分解法	穀類、豆類、野菜類、加工食品など
レーゼゴットリーブ法	乳、乳製品、乳脂肪を含む食品など

の状態により分析方法を選択する。これを誤ると、脂質の抽出不足による過小評価や他の成分の溶出による過大評価が起こる場合がある。

また、溶剤に可溶性脂溶性ビタミン、カロテノイドは分析上、脂質として測り込まれるため、微量であれば影響は無視できるが、これらの成分を強化したサプリメントや食品添加物などにおいては、脂質含量への寄与率が大きくなる。この場合、別途にこれらの成分を定量し、その含量を差し引いて脂質とすることができる。

3) 灰分

灰分は、食品をある温度で灰化し、有機物および水分を除いた残留物の量と定義されている。言い換えれば、灰分は食品中の無機化合物の総量とも言えるが、灰化処理中に有機物に由来する炭素が炭酸塩に変化する、塩素の一部が損失する、無機化合物が熱分解するなど、処理工程における化学的な変化により過大または過小に評価されることがあるため、無機化合物の総量とは必ずしも一致しない。灰分自体は栄養成分として扱われず、表示の義務はないが、炭水化物、糖質をいわゆる「差し引きによる炭水化物」、「差し引きによる糖質」により求めるため、分析が必要な成分として規定されている。一般的な食品は 550 ～ 600℃で灰化するが、食品の特性に合わせて薬品を添加するなど、適切な方法を選択する必要がある（表 2）。

4) 水分

水分は食品を構成する成分の中で吸湿、放湿などにより最も変動しやすい成分である。その

表 2 灰分分析の一例

方法	適用食品
酢酸マグネシウム添加灰化法	穀類など、リン酸を多く含む試料
直接灰化法	食品全般
硫酸添加灰化法	精製された砂糖など

ため、試料の粉碎調製、保管方法など取扱いには注意するとともに、速やかに分析を行う必要がある。灰分と同様、水分は栄養成分として扱われないが、炭水化物、糖質の算出に必要な成分であるため、その分析方法が規定されている。

水分の分析方法には、加熱により水分を蒸発させる加熱乾燥法と化学的な反応を利用するカールフィッシャー（KF）法がある。加熱乾燥法は、加熱による酸化や熱分解などの成分変化が起きやすい食品を減圧条件下で乾燥することで 100℃以下でも水を除去できるため、様々な食品に適用できる。ペースト、粘質状の食品は、乾燥助剤としてケイ砂などを混ぜることで表面積を大きくし、試料内部の水分を蒸発しやすいようにする。これらの分析方法について表 3 に纏めたので参考にされたい。

加熱乾燥法では、食品に含まれる水分以外の揮発性成分も蒸発するため、水分として測り込んでしまう。アルコールや酢酸が含まれる食品は、それらの成分を別途に定量し、乾燥減量値から差し引く必要がある。その他、添加物や機能性成分の中には加熱により揮発する物質もあるため、原材料の性質をよく理解し分析方法を選択する必要がある。KF 法は、水と定量的に反応する KF 試薬を用いて滴定により水分量を測定するため、測定時間が短い、水への選択性が高く他の揮発性成分の測り込みが無いなどの長所があるが、適用できる試料は水分量が少なく均質なものに限られ、その範囲は狭い。

表 3 水分分析の一例

方法	適用食品
カールフィッシャー法	水分の少ない食品、加熱により成分変化しやすい食品
乾燥助剤法	粘質状、液状、ペースト状などの食品
減圧加熱乾燥法	加熱により成分変化しやすい食品
常圧加熱乾燥法	食品全般
プラスチックフィルム法	粘質状、ペースト状などの食品

5) 食物繊維

食物繊維は、基本的にはヒトの消化酵素では消化されない食品中の難消化性成分の総体とされており、プロスキー法（酵素 - 重量法）により定量される多糖類およびリグニンと定義されている。低分子水溶性食物繊維はプロスキー法のみでは定量できないため、プロスキー法に加えて高速液体クロマトグラフ法（酵素 -HPLC 法）により低分子水溶性食物繊維を定量し、プロスキー法で定量した食物繊維量と合算して総食物繊維量とする。

プロスキー法では、まず、熱安定 α - アミラーゼ、プロテアーゼとアミログルコシダーゼの 3 種類の消化酵素で処理した試料溶液に、エタノールを加えて未分解物を沈殿させる。続いて沈殿物の重量を測定したのち、この沈殿物のたんぱく質および灰分を定量する。沈殿物の重量からたんぱく質量および灰分量を差し引いた値を食物繊維量とする。

酵素 -HPLC 法は、プロスキー法では回収できない低分子水溶性食物繊維の定量が可能である。特に近年では、難消化性デキストリンなどの低分子食物繊維素材を添加した食品が多く、酵素 -HPLC 法による分析の需要が高まっている。しかしながら、添加した食物繊維素材は、分析上全て回収できるというわけではなく、一部は消化されるなど、添加量と実際の分析値に差異が生じる場合がある。

また、酵素 -HPLC 法では、得られたクロマトグラム上でマルトトリオースを指標に、これと同じかこれよりも前に溶出するものを食物繊維画分として定量しているが、理論上、食物繊維とは異なる成分であっても、クロマトグラムの食物繊維画分に検出したものは全て測り込まれるため、想定していた結果と異なる場合がある。

参考文献

1. 五訂増補 日本食品標準成分表分析マニュアル 建帛社
2. 新食品分析ハンドブック 建帛社
3. 栄養・食糧学 データハンドブック 同文書院
4. 四訂 早わかり栄養表示基準 解説と Q&A 中央法規
5. 食品表示法に基づく栄養成分表示のためのガイドライン 第 1 版 平成 27 年 3 月 消費者庁食品表示企画課

6) ナトリウム

ナトリウムの定量は、原子吸光光度法または誘導結合プラズマ（ICP）発光分析法により行われ、ナトリウムの分析値に換算係数である 2.54 を乗じた数値が「食塩相当量」として表示される。ただし、塩化ナトリウム以外のナトリウム塩も全て食塩に換算されるため、食塩を添加していない食品においても食塩相当量が数値化される場合もある。ナトリウム塩を添加していない食品においては、ナトリウム量の表示とともに食塩相当量を括弧書きで表示することが認められている。ナトリウムは普遍的に存在する元素であり、水道水、ガラス、人の汗にも含まれている。そのため、ナトリウムの分析を行う際は、環境からの汚染について注意を払う必要がある。ナトリウムの分析にはイオン交換水など厳密に管理した水を用い、ナトリウムを組成に含まない石英ガラスやプラスチック製の容器を使用しなければならない。

おわりに

栄養成分の分析は複雑多岐に渡り、また関連する成分を同時に分析できなければ、分析値を真の値に近づけることはできない。これらを全て分析するには、多くの設備投資と高い技術力の取得が必要であり、実施するのは非常に困難であろう。合理的な根拠に基づく数値であれば表示が可能であり、原材料からの計算や推定により表示値を決定する方法もあるが、実態を把握し適切な表示を行うには、分析により得られた数値を拠り所とするのが最も合理的と考える。これから新基準への対応をされるなかで、分析値を表示に用いることを検討されている事業者におかれては、本稿がその一助となることを願う。

トランスポゾンの歴史と食品への利用

History of the transposon and use to a food

奥平准之 (OKUDAIRA Noriyuki)

明海大学歯学部 病態診断治療学講座 薬理学分野

Key Words : トランスポゾン レトロトランスポゾン ヒトゲノム 遺伝子

要 約

本稿では、ヒトゲノム解析以降に注目を浴びている研究分野「トランスポゾン」に焦点をあて、トランスポゾンに関するこれまでの知見と食品との関連性についてまとめた。トランスポゾンは、胎児の発生段階において重要な役割を持ち、特に神経幹細胞の分化を統制していることが知られている。一方で、様々な有害因子（発がん物質や環境汚染物質）によってトランスポゾンは活性化し、疾病発症の誘因になっていることも知られている。遺伝子組換え技術の手法としても、注目されるトランスポゾンの将来性について本稿ではまとめた。

はじめに

トランスポゾンとは、ゲノム内を動き回る（転移する）遺伝子のことである。遺伝子がゲノム内を動くということは、1950年代に明らかにされているが、近年、急速にその機能に注目が集まっている。

ヒトの全ゲノムが解析された結果、我々のゲノム内には、動き回る遺伝子が約半分を占めていることが明らかとなった（図1）。機能遺伝子として、我々の生体機能を担う遺伝子は1～2%，一方でトランスポゾンのようなガラクタ配列が98%を占めているのは衝撃的な解析結果だった¹⁾。

では、このトランスポゾンは本当に我々の生体に何も影響していないのかという疑問が自然と湧いてくる。近年の研究では、ヒトの神経分

化機能や癌など様々な生命科学機能を統制していることが明らかとなった²⁻⁴⁾。

人類進化の面からも大変興味深いことがわかった。ヒトとチンパンジーの Long interspersed element 1: LINE-1 という動く遺伝子の長さを比

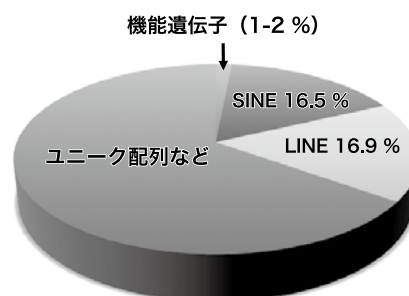


図1 ヒトゲノム解析結果集計
Short interspersed nuclear element : SINE, Long interspersed element 1 : LINE-1.

較した報告がある。ヒトでは LINE-1 という遺伝子が全長の状態で保存されている割合が多いが、チンパンジーでは短く切断されて保存されている割合が多くなっている。この論文では、高度に動く遺伝子が保存されている動物種ほど高度な機能を獲得した可能性があることに触れている⁵⁾。このように、動く遺伝子は我々が獲得してきた高度な脳機能や身体的特徴にも関与していた可能性が考えられる。

また、トランスポゾンの遺伝子へ挿入する能力を利用して iPS 細胞の作成や遺伝子治療への応用にも利用されており、かつてガラクタ配列と言われたトランスポゾンは、現在の生命科学で最も注目される研究分野の一つとなった。

ところで、今回のテーマである食品には、トランスポゾンとどのような関係があるのだろうか。歴史的な観点から、紐解くと、トランスポゾンの発見は、「とうもろこし」のゲノム内から最初に発見された（1950 年、USA）。最初のトランスポゾンの発見が食品との接点になる。とうもろこしの斑点模様は、トランスポゾンが関与しているという報告である。さらに、この発見以降、ブドウの皮の色、緑黄色野菜の多種多様な色にもトランスポゾンの関与が報告されている。本稿では、そのトランスポゾンの食品への応用と食品から産生される発がん物質のト

ランスポゾンとの関連性について解説する。

1. 動く遺伝子トランスポゾンとは

ヒトでは、ゲノムの半分近くがトランスポゾンのようなガラクタ配列になっているが、動物種ごとにその割合は異なる。マウスでは 39%、トリでは 9% が全ゲノムに対するトランスポゾン配列の割合であり、動物によって大きくその割合は異なる。これが、進化の過程でどのように影響したのかは未だに不明であるが、前述のヒトとチンパンジーの比較のように高度な能力獲得に働いていた可能性も十分にある。トランスポゾンには、もう一つレトロトランスポゾンというものもある。トランスポゾンとレトロトランスポゾンの違いを図 2 に示した。詳細な説明を省略し、簡単に述べると、トランスポゾンは「カット & ペースト」の機構でゲノム内を転移する。つまり、ゲノム内の DNA コピー数に変化はない。一方で、レトロトランスポゾンは、「コピー & ペースト」の機構でゲノム内を転移する。したがって、コピーされたゲノム箇所は残るので、レトロトランスポゾンが生じると、その度に DNA 配列のコピー数は増加することになる。このようにレトロトランスポゾンは、ゲノム内を動くことで自身の DNA コピー数を増やし、ヒトの生命機能に大きな影響を与

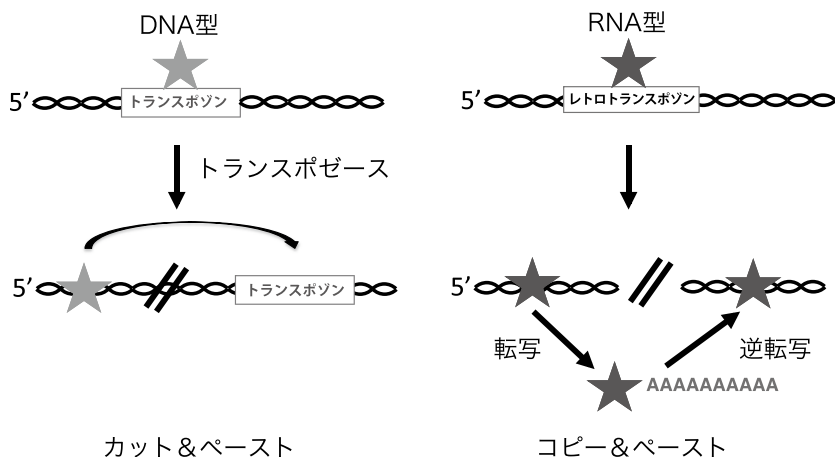


図2 トランスポゾンとレトロトランスポゾンの違い
トランスポゼース：トランスポゾン認識配列を識別し切り出す。

えてきたのかもしれない。このように、動く遺伝子の中でも、自身の DNA 配列を変えずに動くものと、動くことで自身の DNA 配列を増やしていく配列の 2 パターンあることがわかる。近年、特に注目を集めているのは、レトロトランスポゾンの配列である。自身の配列を増やしていくことで、生命機能の維持、特に胎児の発生に関わることが報告されている。その反対に、配列を増やすことで疾患の発症に繋がる機能を有しているのではないかという報告もある。レトロトランスポゾンについては、まだ数多くの不明な点があり、今後の研究成果が期待されている。

2. 遺伝子改変技術の食品への応用

近年、食品・食材業界には、遺伝子組み換え作物の登場という大きな出来事があった。遺伝子組み換え作物により、害虫の除去や栄養価の高い食材が世界に出回るようになり、人類の食糧事情は 1 世紀前とは格段に変化してきている。しかし、遺伝子組み換え作物の安全性に関しては、まだ不透明な部分も多いのが実情である。ヒトは、現在の生命科学において、遺伝子組換え作物を食べ続けると、生体にどのような影響がでるのか「答え」を持っていない。ゲノム編集という酵素を用いて遺伝子を切り貼りできる新しい遺伝子組み換え技術も登場してきたが、トランスポゾンにもそのような部位特異的に遺伝子操作できることを可能にする能力が秘められている。そのためには、トランスポゾン機構の詳細な解明が期待される。

野菜や果物だけでなく、新たな乳酸菌の開発や発酵技術の開発にも、トランスポゾンの技術をはじめとした遺伝子組換え技術が利用できる。将来的には、トランスポゾン機構を利用して作成した、食材が我々の食卓に並ぶ日も近いと思われる。その時には、安全性も保証されている食材として世の中に出回ることを筆者

も期待している。トランスポゾンを利用した野菜や果物で、害虫や生育環境に強いものが今後開発されると、発展途上国の発展にも繋がると考えている。

3. 食品中発がん物質とトランスポゾン

食品と疾患との関連性も様々な分野で指摘されている。特に生活習慣病と食事との関連は、栄養学の面から多くの研究成果が発表されており、トランスポゾンも多くの疾患発症に関与している。最初に、動く遺伝子と疾患との関連性が指摘されたのが血友病である。血友病 A の原因遺伝子である第Ⅷ凝固因子のエクソン領域に LINE-1 というレトロトランスポゾンの配列が挿入されていることが明らかになった⁶⁾。この発見以降、L1 というレトロトランスポゾンは、発がんや炎症疾患にも関与していることが明らかとなり、様々な疾患を誘発するゲノム不安定性に重要な因子であることが認知されるようになった。実際、筆者の研究においても、L1 が自己免疫疾患、発がん、感染症、薬物による精神障害に関与することが証明されている⁷⁻¹¹⁾。

食品中に存在する発がん物質として、肉や魚を焼いたときにできる「おこげ」がある。実は、この「おこげ」の中にも 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine (PhIP) や 2-amino-3,8-dimethyl-imidazo[4,5-f]quinoxaline (MeIQx) という発がん物質が含まれている (図 3)。このような食品由来の発がん物質は、動物実験において再現性良く発がんを誘導することが報告されている。食品由来の発がん物質は、発がんを誘導することは明らかにされているが、どのような機序かは全く詳細が不明だった。そこで、筆者がその機序を調べてみる

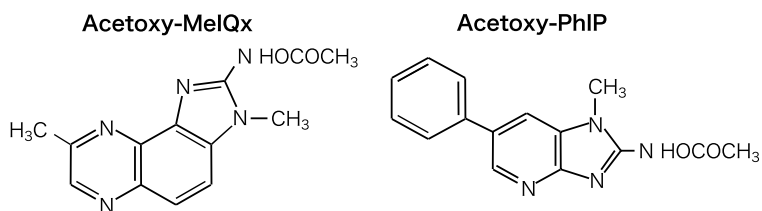


図 3 食品に含まれる発がん物質の化学構造式

と、食品由来の発がん物質は、L1を活性化しゲノム不安定性を誘導することで発がんを誘導していることが明らかになった。さらに、詳細な実験を行うと、食品由来の発がん物質は、芳香族炭化水素受容体 (Aryl Hydrocarbon Receptor: AhR) 依存的に発がん物質に反応してレトロトランスポゾンを誘導し発がんを誘導することが明らかになった¹²⁾。芳香族炭化水素受容体は、ダイオキシンの受容体として有名である。

おわりに

トランスポゾンは、我々ヒトの進化過程にも大きく貢献していることが知られている。ヒトが高度な知的能力を得たのもトランスポゾンの影響が大きいことが指摘されるようになった。今後、近い将来に新しい野菜や果物の新品種にも、このトランスポゾンの恩恵によって、新しい食材が我々の食卓に並ぶ日も近いかもしれない。

参考文献

1. Deloukas P, Matthews LH, Ashurst J, Burton J, Gilbert JG, *et al.*, The DNA sequence and comparative analysis of human chromosome 20. *Nature*. **414** : 865-71, 2001.
2. Baillie J. K., Barnett M. W., Upton K. R., Gerhardt D. J., *et al.*, Somatic retrotransposition alters the genetic landscape of the human brain. *Nature*. **479** : 534-7, 2011.
3. Kano H., Godoy I., Courtney C., Vetter M. R., Gerton G. L., Ostertag E. M., Kazazian H. H. Jr., L1 retrotransposition occurs mainly in embryogenesis and creates somatic mosaicism. *Genes Dev*. **23** :1303-12, 2009.
4. Muotri A. R., Marchetto M. C., Coufal N. G., Oefner R., Yeo G., Nakashima K., Gage F. H. L1 retrotransposition in neurons is modulated by MeCP2. *Nature*. **468**, 443-6, 2010.
5. Lee J, Cordaux R, Han K, Wang J, Hedges DJ, Liang P, Batzer MA. Different evolutionary fates of recently integrated human and chimpanzee LINE-1 retrotransposons. *Gene*. **390** : 18-27. 2007.
6. Kazazian HH Jr, Wong C, Youssoufian H, Scott AF, Phillips DG, Antonarakis SE. Haemophilia A resulting from de novo insertion of L1 sequences represents a novel mechanism for mutation in man. *Nature*. **332** : 164-6, 1988.
7. Okudaira N, Iijima K, Koyama T, Minemoto Y, Kano S, Mimori A, Ishizaka Y. Induction of long interspersed nucleotide element-1 (L1) retrotransposition by 6-formylindolo[3,2-b]carbazole (FICZ), a tryptophan photoproduct. *Proc Natl Acad Sci USA*. **107** : 18487-92, 2010.
8. Okudaira N, Goto M, Yanobu-Takanashi R, Tamura M, An A, Abe Y, Kano S, Hagiwara S, Ishizaka Y, Okamura T. Involvement of retrotransposition of long interspersed nucleotide element-1 in skin tumorigenesis induced by 7,12-dimethylbenz[a]anthracene and 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate. *Cancer Sci*. **102** : 2000-6, 2011.
9. Iijima K1, Okudaira N, Tamura M, Doi A, Saito Y, *et al.*, Viral protein R of human immunodeficiency virus type-1 induces retrotransposition of long interspersed element-1. *Retrovirology*. **10** : 83, 2013.
10. Okudaira N1, Ishizaka Y2, Nishio H3. Retrotransposition of long interspersed element 1 induced by methamphetamine or cocaine. *J Biol Chem*. **289** : 25476-85, 2014.
11. Okudaira N, Ishizaka Y, Nishio H, Sakagami H. Morphine and Fentanyl Citrate Induce Retrotransposition of Long Interspersed Element-1. *In Vivo*. **30** : 113-8, 2016.
12. Okudaira N, Okamura T, Tamura M, Iijima K, Goto M, Matsunaga A, Ochiai M, *et al.*, Long interspersed element-1 is differentially regulated by food-borne carcinogens via the aryl hydrocarbon receptor. *Oncogene*. **32** : 4903-12, 2013.

分岐型ポリエチレングリコール誘導体の有用性

Functionalities of branched poly(ethylene glycol) derivatives

河田麻衣子 (KAWADA Maiko) 佐藤憂菜 (SATO Yuna) 飯島道弘 (IIJIMA Michihiro)

小山工業高等専門学校・物質工学科

Key Words : リエチレングリコール 分岐高分子 表面修飾 水溶性高分子 末端反応性ポリマー
poly(ethylene glycol), branched polymer, surface modification, water soluble polymer,
end-reactive polymer

Abstract

Water soluble polymers are very important polymer for various applications, such as medical and industrial applications, because of the advantage for the environment. PEG, one of amphiphilic polymers, has become attractive in various fields. Recently, the branched PEG derivatives have been developed for surface modifier and gelation material. These branched-PEGs may be able to form high-performance materials. To create these materials, functional groups at each ends and precise control of polymer length may become important factor.

In this article, introduction of the branched-PEGs and their applications were reported. These branched-PEG derivatives are promising for biomedical and environmental materials.

はじめに

近年、材料や製品の高機能化に伴い、機能性高分子材料が注目を集めている。高分子材料とは、小さな分子（モノマー）がたくさん連結して大きな分子（ポリマー）になり、分子量が大きくなったもので、低分子化合物とは全く異なった性質を示すものである。また、それらの長さや並び、形状などにより、性質が変化させられるだけでなく、生成したポリマーどうしも混合し新しい素材とできる「多様性」が最大の特徴であり、プラスチック、ゴム、繊維だけでなく、化粧品や医薬品などの素材にも使用されている。

このようなポリマーの設計で重要となるの

が、分子内に複数のポリマー鎖を有する多成分系高分子などの利用であり、ブロックポリマーやグラフトポリマーなどが代表的なものであるが、精密な分子設計は容易ではないことが知られている。これら高分子の機能性や合成方法に密接に関与するものとして、末端または側鎖官能基の反応性がある。これは、官能基は異なるポリマー鎖との結合や他のモノマーの重合を可能にし、特定の物質とも結合するなど機能性発現のために活用できるからである。

このように、高分子化合物の機能を左右するものとしては、ポリマー鎖の組み合わせと長さ（分子量）、末端および側鎖官能基などの反応性が挙げられるが、最近ではその形状によっても

特異な性質を発現できることも分かりつつある。たとえば、簡単な枝分かれ構造やくし型ポリマー、星形高分子だけでなく、樹枝状のデンドリマーや球状の高分子ミセルなどさらに特殊で精密な形状を有するものが注目され、様々な用途へ展開されている。

このような高分子の形状として、主に直鎖型と分岐型（枝分かれ型）のものがあり、汎用として用いられるもののほとんどは直鎖型である。その理由としては、直鎖型のほうが合成しやすいうえに、分子鎖長や末端基など各種機能が制御しやすく、また分析機器などでも分子量などが把握しやすいところにある。

さて、それではなぜ分岐型の高分子というものが注目されているのか、次の項で説明する。

1. 分岐型高分子の概要と有用性

高分子の形状が直鎖型から分岐型になると、どんな点が有利になるのだろうか。図1のように、分岐の形状は様々であり、分岐の数や末端の機能によっても有用性は大きく異なるだろう。代表的な利用例として、デンドリマーなど機能性素材の原料、架橋剤、表面修飾剤、粘度調整剤などの例がある。

一般的に分岐型ポリマーの場合、特に高濃度下において直鎖型のものに比べて、①分子間相

互作用も働きにくく、溶液粘度や熔融粘度が低くなる傾向がありこと、②分岐構造を有することで非晶性になりやすいこと、③多くの官能基を導入することが可能であること、などの特徴を有しており、多様な性質を目的に応じて導入できる可能性がある。しかしながら、それらの分子設計においては、官能基の数や分子量などを精密に制御することは容易ではない。その理由に、末端基の定量や分子量の把握の難しさと直鎖型と比した溶解性の低下などもある。

例えば、図1のように、単純な枝分かれのものからくし型、星型のものまであり、官能基の選択により、デンドリマー^{1,2)}やハイパーブランチポリマー^{3,4)}など球状、放射状のように3次元的に構造制御された分子形態の精密合成が可能となり、大幅な機能改善が期待できる。

本稿では、特に医療や化粧品、食品などの用途にも重要な水溶性高分子に注目し、分岐型高分子の有用性を述べる。

2. 水溶性高分子とその重要性

高分子の中でも特に注目されているものに、水溶性の高分子がある。プラスチックやゴムを代表とする高分子化合物は、一般的には水に溶けるイメージはほとんどないが、高分子のなかには、水に溶解し機能を発現するものがある。

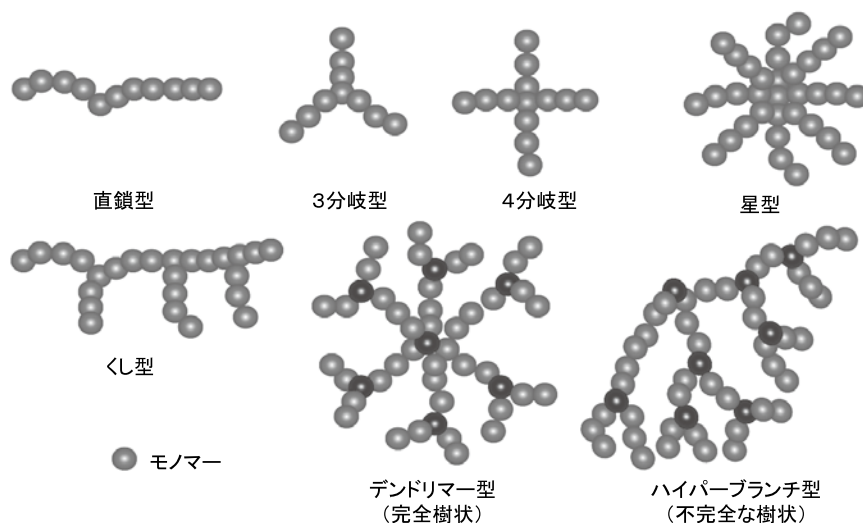


図1 分岐ポリマーの形状

これらには、ゼラチンやセルロース誘導体などの天然高分子やポリビニルアルコールなどの合成高分子などがある。これらの水溶性高分子は、接着、分散、凝集、増粘、成膜、湿潤などの機能を発揮できるため、水が関与する食品、化粧品、トイレタリー、排水処理、エレクトロニクス分野などで使用され、産業界において貢献している。

水溶性高分子は、水に溶けるという利点がある分、外界へ流出する可能性も高くなり、環境や人体への影響など配慮すべきことも多くなるのが現状である。また、これからの素材製造においても製造工程で有機溶剤を使わず水に溶解し、製造・精製できることは揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOC) などの環境面やコスト面からも利点が多いと考えられるが、実用化するにあたり課題も多い。

例えば、塗料などの分野においても、以前は有機溶剤に顔料と樹脂を混ぜ塗布していたものが、顔料を水溶性高分子とともに水に均一に分散させ、紫外線などの光や加熱、乾燥により周りの高分子が架橋し成膜、不溶化するなどの工夫により安定なものになる。この場合の水溶性高分子の役割は、顔料成分の分散と製膜性などである。しかし、実際には水への溶解性や分散性に優れながら、塗膜後の高い耐久性を両立さ

せることは簡単なことではないだろう。

また、水溶性高分子は、洗剤や化粧品用途で乳化剤、界面活性剤などにも利用されているが、溶解性やイオン性、分散性などを制御するために精密な分子構造制御が必要となり、環境や人体への配慮も常に必要となる。

このように産業界で用いられる水溶性高分子は、分散効果、溶解性向上、湿潤性向上などの代表的な機能以外に環境低負荷型の素材としても重要である。特に、分子構造の制御が比較的容易な合成高分子の応用例が多くなってきている。これら水溶性高分子のなかで、生体親和性や溶解性に優れた環境低負荷であるものとして、注目されているものに、ポリエチレングリコール (PEG) がある。

3. ポリエチレングリコール (PEG)⁵⁾

3-1. PEG の特徴

PEG は、図 2 のようなエーテルとエチレン構造を主骨格にする直鎖状高分子であり、水にも有機溶媒 (油) にも溶ける両親媒性の性質を持っている。化学構造では、ポリエチレンオキシド (PEO) やポリオキシエチレン (POE) と同一のため、一般的に混同されることも多い。最近、特に注目されている特徴としては、タンパク質などの生体由来物質や汚れなどを附着し

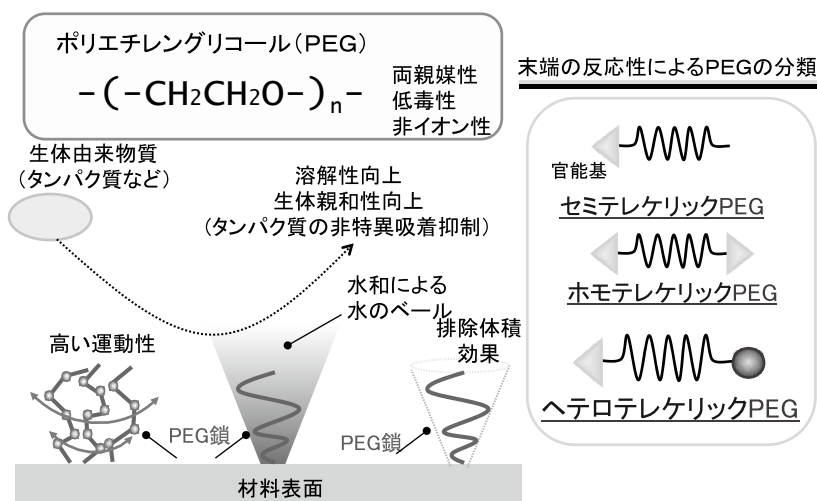


図2 PEGの構造と特徴

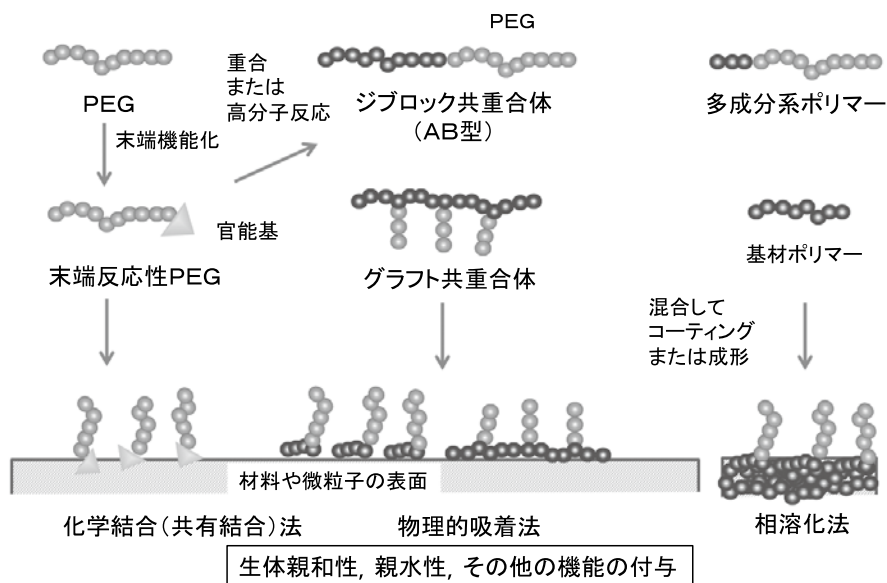


図3 PEG鎖の材料表面への導入方法例

にくくする性質を有していることであり、医療器具の表面処理や医薬品用微粒子の分散剤などとして幅広く利用されている。

このようなPEGの生体親和性を発現できるのは、PEGの運動性と高い排除体積効果を持つことである。排除体積効果とは、分子などが他の分子の侵入を許さない部分の体積を指し、PEGは運動性も高いことから、他分子を寄せ付けにくくなることが知られている。

3-2. PEGの有用性

前述のような性質から、PEG鎖を基材表面や微粒子表面などに修飾することで多様な用途展開が見込まれる。しかし、表面にPEG鎖を導入するためには、表面に固定化させる工夫が必要になる。PEG鎖を表面に修飾する方法としては、次のような方法がある（図3）。

①化学結合（共有結合）による修飾方法

PEGのみを用いるので簡単な方法で安定に修飾できる方法であるが、表面官能基とPEG末端官能基の定量的な反応や均一な表面処理が課題となる。官能基の反応性にもよるが、反応せずにポリマーで覆われていない不均一な表面ができることも多いのが現状である。

②物理的な吸着による修飾方法

第二の成分として、イオン性や疎水性を有するポリマー鎖を導入した多成分系ポリマー（ブロックポリマーやグラフトポリマーなど）を合成し、表面に物理的（疎水性相互作用や静電的相互作用など）に吸着させる方法で、いかに安定に吸着させるかが問題となる。実際には、共有結合に比べると簡便な方法ではあるが、安定性が低く耐久性が低いことなどが課題となる。

③相溶性を利用した方法

プラスチック基材と溶媒または熱により相溶させ、表面にPEG鎖を導入する方法である。基材と相溶化できるポリマー鎖を有する多成分系ポリマーを用いる方法で、ブロック成分や溶媒などの最適化が必要である。

いずれの方法においても、PEG末端基の機能が重要である。当然ながら、PEG末端官能基を利用しなければ、前述のような表面への化学結合や多成分系ポリマーの合成もできない。このようなPEGを末端の反応性で分類すると、片末端のみに官能基を有するセミテレケリックPEG（一官能性PEG）と両末端に同一の官能基を有するホモテレケリックPEG（ホモ二官能

性 PEG)、両末端に異なる官能基を有するヘテロテレケリック PEG (ヘテロ PEG) などに分けられる。ヘテロ二官能性 PEG はその用途展開からも有用性が高いと考えられるが、一般的に工業製品として作られているもののほとんどは、一官能性 PEG かホモ二官能性 PEG である。著者らの研究グループは、以前より PEG の精密合成法を研究しており、官能基を保護した開始剤を用いたエチレンオキシド (EO) のアニオン開環重合により、両末端に異なる官能基を定量的に導入し、分子量制御も可能にする新しい合成法を確立している^{6,7)}。

これら末端機能化 PEG の開発により、機能性ブロックポリマーの合成方法も飛躍的に改善し、親-疎水型のブロックポリマーの合成に発展している。これらは、水中で自己会合し、ナノサイズのミセルとなることが分かり、抗がん剤などの薬物を内包した薬物キャリアとしての利用も盛んに行われ、実用化段階まで発展している^{8~10)}。

このように様々な分野で PEG が用いられてきたが、そのほとんどは直鎖型の PEG であった。その理由は、その用途が多成分系ポリマーに展開するための素材として使われることがほとんどであり、分子量や官能基の詳細がある程度明確な直鎖型が望まれたためでもある。

しかし、最近では、分岐した PEG 誘導体が注目され、様々な用途に展開しつつある。

4. 分岐型ポリエチレングリコール

4-1. これまでの分岐型 PEG

さて、ここで分岐型 PEG について考えてみると、分岐型ポリマーのなかでもグラフトポリマーなどのようにし型ポリマーは、以前より注目され研究されていた。しかし、それは他のポリマー鎖なども含まれる多成分系ポリマーがほとんどであり、PEG ホモポリマーでの分岐型形状の合成はほとんど知られていなかった。

著者らは、一級アミノ基を有するヘテロ PEG の合成方法検討の過程で、アセトニトリルを開始剤として、EO のアニオン開環重合を

行くと、分岐した 2 本の PEG 鎖が生成し、分岐型ヘテロ PEG となることを明らかにしている⁶⁾。このような一級アミノ基を有する分岐型ヘテロ PEG の精密合成は容易なものではないが、機能性材料の素構造や表面修飾剤として非常に有用なものであると考えられる。

また、酒井らは、4 分岐の化合物を出発物質として、4 本の PEG 鎖を有する新しいテトラ PEG の合成に成功している¹¹⁾。この PEG は、4 本とも同じ官能基を有するという特徴はあるものの官能基変換や他モノマーとのブロック化などにより様々な誘導体が開発され、化学原料やゲル化剤、増粘剤、機能性微粒子合成などに検討され、すでに製品化されているものもある。これらの技術をもとに、6 本鎖、8 本鎖などの PEG もマルチアーム PEG として開発されている。これらの PEG から得られるゲルは、特有の性質を示すことも明らかになってきている。

さて、実際に分岐型 PEG の種類と機能には、どのようなものがあるのか、考えてみましょう。

4-2. 分岐 PEG の種類とそれらの機能

分岐型 PEG は、次のように主に末端官能基の種類や PEG 鎖長などにより分類でき用途展開も異なる (図 4)。

①マルチアーム PEG

前述のような 4 から 8 本鎖、またはそれ以上のものですべての PEG 鎖が同じ長さであり、末端官能基も同じものが全てに導入されているもののことを一般的に示す。これらは、新しい星型ポリマーの合成や架橋剤、ゲル化剤などとして用いられる。これまでの直鎖型 PEG では、架橋反応などに用いる場合は、二官能性であったため架橋効率の低さや材料強度が保てないなどの課題があった。しかし、開発されているマルチアーム PEG を用いると、多官能であることから PEG 誘導体だけのゲル形成も可能になり特有の性質を有するハイドロゲルが形成することが明らかとなっている。この際に、重要となるのは末端の官能基の働きであり、全ての PEG 末端に定量的に導入されていること

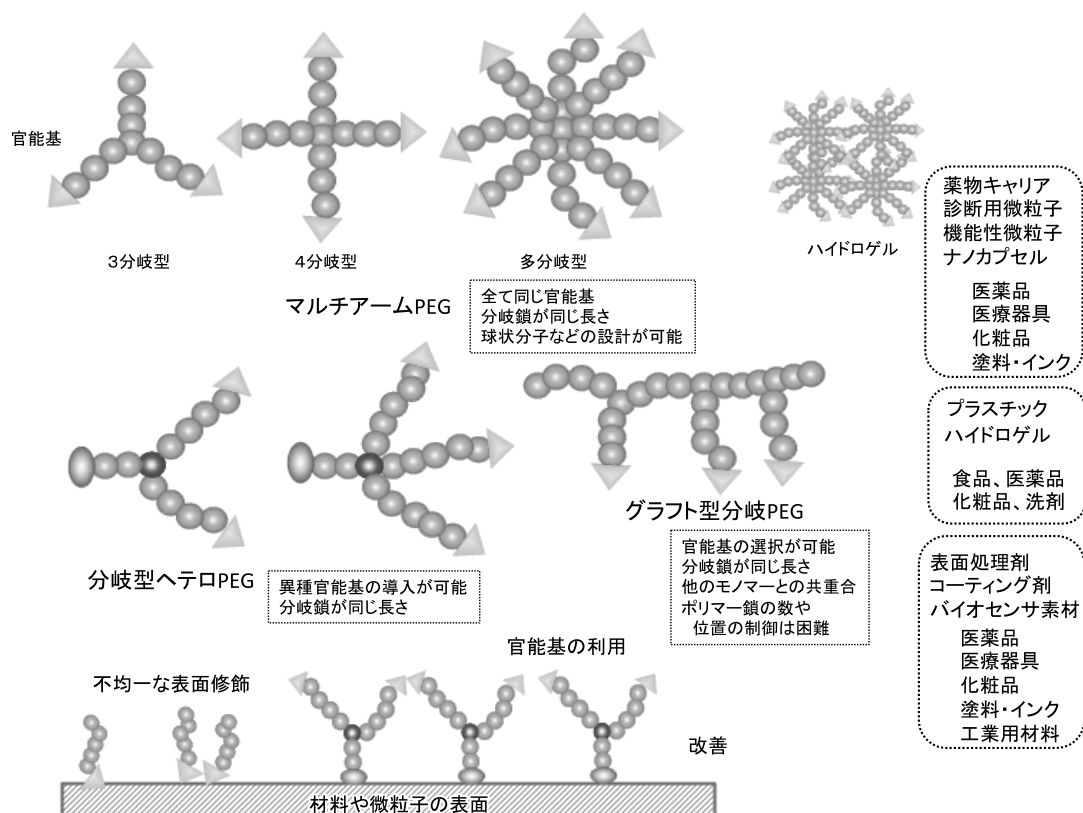


図4 分岐型 PEG の種類とその用途

が必要となる。これらは、複数のヒドロキシ基を有するペンタエリスリトール関連物質やグリセリン関連物質などを出発物質として合成するが、分岐が増加するほど親水性が増加し、重合反応の最適化が困難になるという課題も抱えている。

②分岐型ヘテロ PEG

異なる官能基を有する直鎖型ヘテロ PEG は、ブロックポリマーの精密合成や表面修飾剤などに幅広く利用され重要な位置付けとなっている。ここで述べる分岐型ヘテロ PEG は、片末端に官能基と複数の PEG 末端に異なる官能基を有するもので、上記のマルチアーム PEG とは異なり官能基の反応性の差異を利用した表面機能化剤や dendrimer 状物質の合成などが可能となる。特に、表面修飾への応用では、被覆効果と表面の官能基の利用を両立できるものとして注目されている。しかし、官能基を保護し

た分岐状化合物を出発原料として選択する必要や選択的な官能基変換と精製の必要があり、現状では限定されたもののしか開発されていないのは事実である。

③ PEG 鎖を有するグラフトポリマー

PEG の末端に重合基を有するマクロモノマーを用いて、他のモノマーなどと共重合し、くし型のグラフトポリマーを得る簡単な方法であるが、PEG マクロモノマーのみでは単独重合しにくいいため、主鎖に他のモノマーが存在することや導入される PEG 鎖の本数や位置は精密に制御することができないことが課題となっている。

これらのような PEG は、代表例であるが、直鎖型と比べて、分子量を精密に制御し、末端官能基を定量的に導入することは、その形状や溶解性などからも非常に難しいだろう。

4-3. 著者らの分岐型ヘテロテレケリック PEG の研究例

これまで著者らは、前述のように直鎖型のヘテロ PEG の合成法について研究してきた。その過程で、アセトニトリルから EO を重合することで、一級アミノ基と 2 本の PEG 鎖を有する分岐型 PEG の合成に成功している。しかしながら、2 本鎖の PEG のみを選択的に合成することは難しく課題となっていた。

また、アセタール基が酸処理により簡単にアルデヒド基に変換できることを利用し、アセタール基を有する様々な直鎖型ヘテロ PEG の合成を行い、アルデヒド基への変換を行ってきた⁷⁾。アルデヒド基は、水中で温和な条件でアミノ基と反応する性質があり、生体物質との化学結合も可能であるため、特に医学分野で注目されてきた。また、これらのポリマー合成法は、親-疎水型ブロックポリマーの精密合成から反応性高分子ミセルの調製に発展し、新しい薬物キャリアーや診断用ナノ微粒子として注目を集めている。

さらに最近の研究では、一つのアセタール基と二つの水酸基を有する化合物を開始剤として EO を重合することでアセタール基と二つの PEG 鎖を有する新しい分岐型の PEG の合成に成功している。現在、継続的に合成条件の最適化を行っているが、アルデヒド基は水中で簡単

にアミノ基などと反応するため、タンパク質やコラーゲンなどの生体由来物質の化学修飾や新しいブロックポリマーの合成などに有効であると考えられる。

アルデヒド基の利用は、特にコラーゲンなどの修飾に有効である。コラーゲンは、等電点の関係から中性付近で溶解しにくく酸性下または塩基性下で水に溶解する。しかし、一般的にタンパク質などの化学修飾に用いられているスクシンイミジル基は中性付近でしか反応しないため、タンパク質などの修飾条件には制限がある。そこで、注目されているのがアルデヒド基の利用である。著者らは、コラーゲンが溶解しやすい酸性条件下でのコラーゲンの PEG 修飾を行うことで、酵素による分解性も抑制され、分子量や修飾率による依存性を示すことも明らかになってきた（図 5）。上記で開発中の分岐型アルデヒド PEG の利用により更なる機能発現も期待できるものである。

カルボキシ基を末端に有する直鎖型ヘテロ PEG の合成条件の検討は古くから行われてきた。そのほとんどは ω 末端（停止末端）へのカルボキシ基の導入であり、 α 末端（開始末端）へのカルボキシ基への導入は容易ではないことが知られている。その理由は、 α 末端に導入するためには、カルボキシ基をエステルなど何らかの方法で保護し、EO の重合を行う必要があ

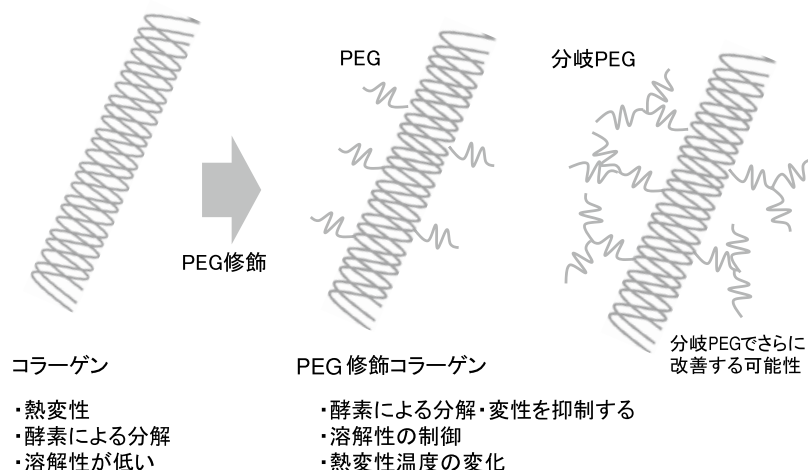


図 5 PEG によるコラーゲンの修飾と効果

るが、反応途中で保護基が不安定になり保護基が外れ均一に反応が進まなくなることが多いからである。このため、著者らは新しい方法としてカルボキシ基と水酸基を有する化合物に、カリウムナフタレンを添加しカルボン酸塩を形成させ、保護基なしでもカルボキシ基を重合中に安定化させる方法を見いだした¹²⁾。つまり、図6のようにヒドロキシピバリン酸を出発物質として、水酸基とカルボキシル基をメタル化

し、水酸基末端側からEOの重合を行い、最初是不溶で不均一であるがPEG鎖の伸長により溶解性や分散性が向上し均一になるというものである¹³⁾。

この方法を用いると、鎖長制御や停止末端制御も可能になるだろう。最近では、2,2-bis(hydroxymethyl) propionic acid という2分岐した開始剤を用いて、2本鎖のヘテロPEG合成を可能にしつつある。

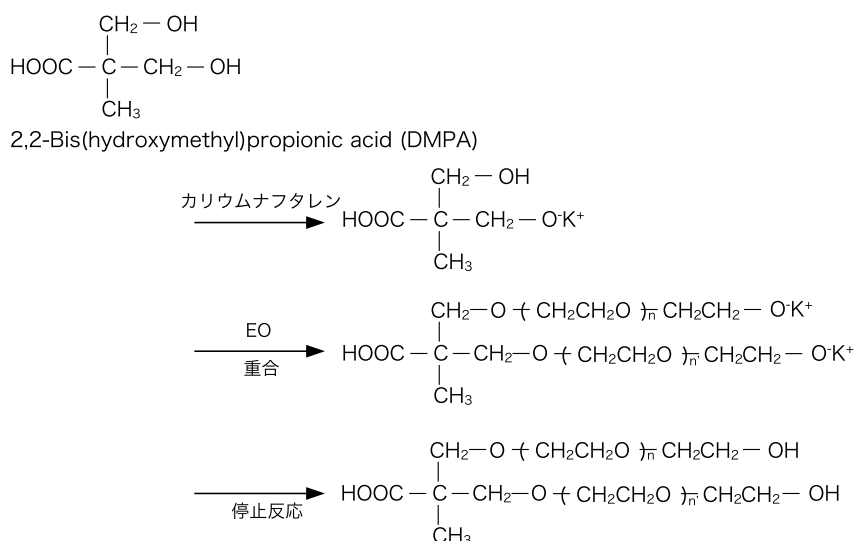


図6 カルボキシ基を有する2分岐型ヘテロPEGの合成例

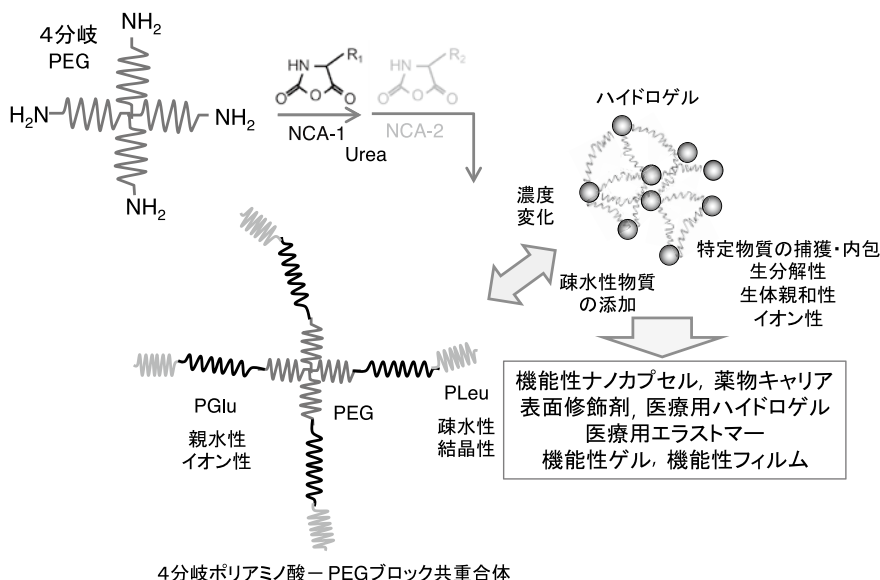


図7 分岐型PEGからポリアミノ酸含有多成分系高分子を作る例

また、分岐型 PEG の応用例として、増粘剤や架橋剤の利用も考えている。親水性の PEG 鎖などを中央に疎水性鎖を両端に持つ ABA 型ブロックポリマーは水中でフラワー型ミセルを形成し、濃度変化により橋かけ構造となりゲル化することが知られている。著者らは、両末端に 1 級アミノ基を有する PEG を開始剤として、二種類のアミノ酸 NCA を重合することで、これまでにない PEG を中間部に有し複数のアミノ酸を含有する ABCBA 型ペンタブロックポリマーを合成し、水中でフラワー型ミセルを形成しゲルやフィルムが合成できることが明らかにした^{14, 15)}。これらのゲル化挙動評価において、PEG 鎖長などによる依存性も確認された。今後の応用として、図 7 のように 4 本鎖またはそれ以上分岐した PEG 末端から同様のポリアミノ酸鎖を導入すると、ゲル化剤、増粘剤で利用できるだけでなく、PEG の生体親和性、ポリアミノ酸の生分解性などを利用すると、新しい医療用品などにも展開できる可能性も秘めている。

おわりに

水溶性ポリマーは、環境面、医療面などからも今後さらに重要となるものであるが、その分

子構造制御や機能制御は簡単ではない。代表的なポリマーであるポリエチレングリコールは、その特性から化粧品、医薬品、インキ・塗料などで用いられており、その末端の機能に注目が集まってきている。これらは、分岐することでさらに応用範囲や機能が拡大することが期待できる。分岐ポリマーの応用は、PEG やそれ以外でもまだ発展途中の分野であり、今後の知見の蓄積が、食品や医薬品など水を媒体として用いる製品群に大きな効果をもたらすものと信じている。

謝辞

本研究の一部に御助言、御協力いただきました、筑波大学長崎幸夫教授、東京工業大学西山伸宏教授、東京理科大学大塚英典教授、アラバマ大学 Carmen Scholz 教授に深く感謝いたします。また本研究に対して実施・検討していただきました小山高専飯島研究室の学生に深く感謝いたします。また、本研究におけるコラーゲン関連物質などへの応用は、株式会社サントタイプの御協力のもとで実施されたものであり、深く感謝いたします。

参考文献

1. D.A.Tomalia, H.Baker, J.Dewald, M.Hall, G.Kallos, S.Martin, J.Roeck, J.Ryder, P.Smith, *Polym. J.*, **17**, 117, 1985.
2. C.J.Hawker, J.M.Frechet, *J. Am. Chem. Soc.*, **112**, 7638, 1990.
3. J.M.J.Frechet, M.Henmi, I.Gitsov, S.Aoshima, M.R.Leduc, R.B.Grubbs, *Science*, **269**, 1080, 1995.
4. M.Jikei, S.-H.Chon, M.Kakimoto, S.Kawauchi, T.Imase, J.Watanabe, *Macromolecules*, **32**, 2061, 1991.
5. 飯島道弘, *New Food Industry*, **54**, 40, 2012.
6. Y.Nagasaki, M.Iijima, M.Kato, K.Kataoka, *Bioconjugate Chem.*, **6**, 702, 1995.
7. Y.Nagasaki, T.Kutsuna, M.Iijima, M.Kato, K.Kataoka, S.Kitano, Y.Kadoma, *Bioconjugate Chem.*, **6**, 231, 1995.
8. K.Kazunori, H. Atsushi, N. Yukio, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **47**, 113, 2001.
9. M.Iijima, T.Okada, Y.Nagasaki, M.Kato, K.Kataoka, *Macromolecules*, **32**, 1140, 1999.
10. M.Iijima, Y.Nagasaki, *J. Polymer Science Part A: Polym. Chem.*, **44**, 1457, 2006.
11. T.Sakai, T.Matsunaga, Y.Yamamoto, C.Ito, R.Yoshida, S.Suzuki, N.Sasaki, M.Shibayama, U. Chung, *Macromolecules*, **41**, 5379, 2008.
12. 河田麻衣子 他, 高分子学会第 60 回高分子討論会予稿集, **60**, 4886, 2011.
13. 飯島道弘, プア・ミンリー, 特許 5327800 号「カルボキシル基を末端基とするポリオキシアルキレン誘導体の製造」, 2013.
14. C.Scholz, M.Iijima, D.Ulkoski, Abstracts of Papers, 245th ACS National Meeting & Exposition, New Orleans, LA, United States 2013, POLY-46
15. 飯島道弘, Ulkoski David, Scholz Carmen, 第 62 回高分子討論会予稿集, **62**, 4563, 2013.

これだけは知っておきたい

<http://www.mac.or.jp/>

豆 知 識

一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC

アフラトキシン M1 について

1. はじめに

カビ毒はカビが産生する化学物質のうち、人や家畜に対して有害な影響を及ぼす物質であり、マイコトキシン（Mycotoxin）と呼ばれている。カビ毒の毒性は発がん性、肝毒性、腎毒性など、様々な毒性が報告されており、食品のカビ毒による汚染を防ぐことは食品衛生上の重要な課題である。国内においては一部のカビ毒に対して規制値が設定されている。アフラトキシンは平成 23 年 10 月 1 日より、総アフラトキシン（アフラトキシン B1、B2、G1、及び G2 の総和）として、全食品に対して 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の規制値が設定された。また、平成 28 年 1 月 23 日より、アフラトキシン M1 は乳に対して 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の規制値が設定された。（乳とは、乳及び乳製品の成分規格等に関する省令第 2 条第 1 項に規定するものをいう。）

今回の豆知識は、新たに規制値が設定されたアフラトキシン M1 について紹介する。

2. アフラトキシン M1 とは

アフラトキシン M1 は、アフラトキシン B1 に汚染された飼料を摂取した家畜の体内において、アフラトキシン B1 の代謝産物として生成される。アフラトキシン M1 は体内において主に乳に移行することが知られているため、汚染リスクの高い乳に対して規制値が設定された。アフラトキシン M1 は諸外国等においても規制またはガイドライン値が設定されている（表 1）。アフラトキシン M1 の汚染を低減するため、国内においては家畜に供する飼料に対して、アフラトキシン M1 生成の要因となるアフラトキシン B1 の指導基準及び管理基準を設定している。

表 1 諸外国等における食品中のアフラトキシン M1 の規制またはガイドライン値

国・地域等	対象食品	最大基準値 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
コーデックス委員会	乳	0.5
米国	牛乳（液状乳製品）	0.5
EU	生乳，加熱処理乳，乳を原材料とする食品の原料乳	0.050
	調製粉乳及びフォローアップ調製粉乳 （乳児用乳及びフォローアップ乳を含む）	0.025
	乳幼児向け特殊医療目的の栄養食品	0.025

3. 乳におけるアフラトキシシン M1 試験法

乳を対象として通知された試験法のフローチャートを図 1 に示す。調製した試料をイムノアフィニティカラムにより精製後、HPLC-FL または LC-MS (/MS) で定量する方法であり、試験法の定量限界は 0.05 µg/kg に設定されている。試験法上の注意点にはアフラトキシシン M1 のガラス吸着について記載されており、分析時に使用する器具等に注意しなければならない。機器分析による定量法の場合、イムノクロマト法を用いた分析キットによるスクリーニング法が示されている。スクリーニング法では検出限界が 100 ppt 以下であることとされている。

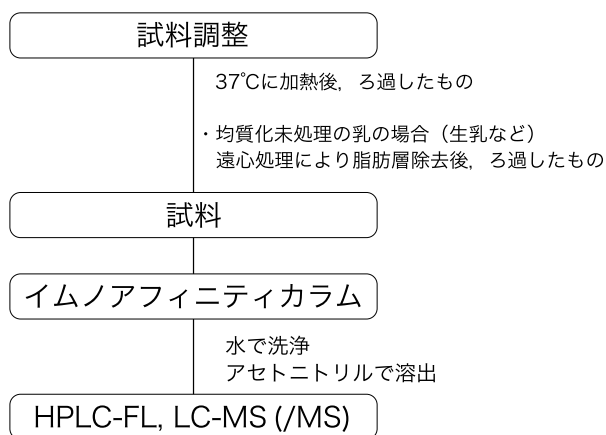


図 1 試験法のフローチャート

4. おわりに

カビ毒は熱に耐性を有するため、一度汚染された食品からカビ毒を除去することは困難である。従って、未然に汚染を防ぐことが重要であるが、食品のカビ毒汚染はカビ毒産生菌による非意図的な汚染であるため、管理が難しく、汚染状況の確認には精度の高い分析法が必要となる。国内において基準値が設定されているカビ毒は一部であるため、今後もカビ毒の規制が進むと考えられる。

[参考資料]

1. 食安発 0331 第 5 号「アフラトキシシンを含有する食品の取扱いについて」
厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知 平成 23 年 3 月 31 日
2. 食安発 0723 第 1 号「乳に含まれるアフラトキシシン M1 の取扱いについて」
厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知 平成 27 年 7 月 23 日
3. 食安発 0723 第 5 号「乳に含まれるアフラトキシシン M1 の試験法について」
厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知 平成 27 年 7 月 23 日
4. 食品安全委員会 かび毒評価書「乳中のアフラトキシシン M1 及び飼料中のアフラトキシシン B1」

トチノキ *Aesculus turbinata* Blume (トチノキ科 Hippocastanaceae)

初夏、山歩きの途中、ふと空を見上げると、天狗のうちのうのような大きな葉の茂みから白色の大きな円錐花序が顔をのぞかせていることがあります。これがトチノキです。トチノキは北海道南部から九州にかけて分布する日本固有の落葉高木で、高さ 25m、直径 1m になるものもあります。葉も非常に大きく、長さは 50cm にもなり、長い葉柄の先に倒卵形の小葉 5～7 枚を掌状（掌状複葉）につける温帯の落葉広葉樹林の重要な構成種の一つです。本植物は、水気を好み、適度に湿気のある肥沃な土壌で育ち、5～6 月に葉の茂みの上に雄花と両性花が混じった長さ数十 cm の円錐花序をつけ、個々の花と花びらはさほど大きくはありませんが、雄しべが長く伸び、花は白～薄い紅色を帯びています。秋にはツバキの実に似た直径 4cm ほどの蒴果が実り、果皮の外面には、いぼ状の突起があり、熟すと 3 裂して褐色の丸い種子が 1～2 個現れます。種子は大きさ、艶、形ともにクリに似ていますが、色は濃く、球状をしています。種子はデンプンやタンパク質を多く含み、渋抜きをすれば、食用になります。しかし、渋抜きはコナラやミズナラなどの果実（ドングリ）よりも手間がかかり、長期間流水に浸す、大量の灰汁で煮るなどの高度な技術が必要です。「栃の実」は飢饉の際の食料（救荒作物）としても重宝され、特に中部地方の山岳地帯では、盛んに「栃の実」の採取、保存が行われていました。各地に残る「栃谷」や「栃ノ谷」などの地名も、食用植物として重要視されていたことの証拠と思われ、栃木県では県木にもなっています。渋抜きした「栃の実」をもち米と共に



写真1 トチノキ（花）



写真2 トチノキ（秋の黄葉）



写真3 トチノキ（果実1）



写真4 トチノキ（果実2）

つ^{とちもち}搗いた^{とちもち}枳餅が現在でも郷土食として受け継がれ、土産物にもなっています。トチノキ種子に含まれるサポニンのエスチン (escin)、イソエスチン (isoescin) には小腸でのグルコースの吸収抑制等による血糖値上昇抑制活性が認められています。材は比較的乾燥しにくいのですが、芯が黄金色のような黄色で、周辺は白色調、綺麗な杢^{もくめ}目ができることが多く、軟らかくて細工しやすく、大材が得られるのでかつては白や木鉢の材料として利用されましたが、昭和中期以降は一枚板のテーブルに使用されることが多くなっています。



写真5 枳餅

また、本植物は、街路樹にも用いられます。パリの街路樹であるマロニエは、セイヨウトチノキ *A. hippocastanum* でマロニエの名は、種子がクリ（フランス語で marron）に似ていることに由来し、花は少し赤みがさし、実のさやに刺があるのが特徴です。また、マロニエと米国産のアカバナアメリカトチノキ (*A. pavia*) を交配したベニバナトチノキ (*Aesculus* × *carnea*) も街路樹として植えられています。

第 9 回

大和路の五月と愛犬モモ

新緑の五月、大和路には花が咲き誇ります。大和と伊勢を結ぶ初瀬山の中腹に建つ長谷寺、別名 花の御寺(みでら)とよばれ、牡丹の名所でもあり、その牡丹は 150 種以上、7000 株が毎年、咲き乱れます。宇陀の里、室生寺にはシャクナゲ、日本一小さな五重塔の傍らで楚々と咲き「女人高野」といわれるこの寺にふさわしい光景です。そして大和郡山市にある矢田寺は梅雨に紫陽花が矢田丘陵を紫色に染めます。また、我が家から遠くないあやめ池のほとりの遊歩道には少し淋しげな菖蒲の花が紫色に染まり可憐に咲きだすのです。

私には 11 年間一緒に暮らしてきた愛犬、シーズーのモモタロウがいます。これまでは仕事に追われ忙しく、モモと一緒にあまり出かけることが少なかったため、花いっぱい遊歩道を愛犬モモタロウと散歩しようとし楽しみにしていました。5 月号の原稿テーマを考えていた 3 月、モモに突然の異変があり「肝臓悪性腫瘍」ということがわかりました。それも末期であるという宣告です。地面にたたきつけられたような衝撃に私は戸惑い震えることしか出来ませんでした。モモの生命の灯が消えるかもしれない恐怖と絶望。犬を飼っている方なら理解をしていただけたと思いますが、私にとって、モモは子供同然の家族です。昨年の 1 月号から休むことなく続けてきた、このコラムを書ける状態ではなくなり、編集長に電話をしたら、「今回は食文化とは離れてもいいですよ。または、休まれてもいいですよ。」と言われました。

モモとのかけがえのない与えられた最後の時間を過ごしなが、少しでも前向きに考え、この原稿を書かせていただきました。獣医さんからは今出来ることは薬剤投与による緩和ケアのみと告げられ、時間が経たなければいい、このまま、ずっとこのままでいてほしいと祈ることしかできない日々が続いています。

今回の食文化は、犬にとって最も危険な食べ物について少しだけ触れます。昔から言われているのは、ネギ類(タマネギ、長ネギ)ニラ、ニンニク、生姜、そのほかタマネギ成分を含んだ魚肉ソーセージなど、表示をしっかりと見ないとネギ類と同じ仲間である場合が多いので注意をしないといけません。これらにはアリルプロピルジスルフィドという中毒物質が犬の赤血球に反応し、溶血性貧血や血色素尿症が起きます。また、テオブロミン、カフェインの入ったカカオ類なども危険食物になっています。人には安全でも、犬にとっては最も危険な食物に指定されています。安心なドッグフードも良いといわれますが、これらの中にも犬によってはアレルギー物質が含まれていることもあります。

モモはまだ 11 歳と 2 カ月。長生きできるように食事にも運動にも気を配ってきたつもりでした。定期的に身体検査もして去年の血液検査も異常なしでした。犬は人を癒すだけでなく、こちらの感情を読み取る能力に長けており、私が悲しい時、モモは首を少し傾けてじーっと眼を見て涙をべろべろってなめてくれました。この俗界にいるはずのない“天使”が舞い降り、11 年間もそばに寄り添ってくれました。モモは幸せだったのかな?と自分に問いかけます。この原稿が掲載され刊行されるときも生きていてほしいと願うばかりです。

犬を飼ったときからの宿命とはいえ、モモとの残された日々を大切に過ごし、これまで食べたダメってあげなかった甘いものやフライドチキンも食べさせてあげたい。モモの大好きな私の笑顔をしっかりと見ておいてほしい。あやめ池のほとりの遊歩道も、花の咲く丘もこの先もずっとモモと一緒に歩きたい。私をこんなに癒してくれてありがとう。モモと一緒に暮らせて幸せでした。

中村照子(管理栄養士 理学博士)

これまでは大学で栄養学関係の教職に携わり、蚕や桑葉の栄養機能成分の研究を行う。

現在は、テルコ・ニュートリション株式会社を設立、管理栄養士国家試験サポートや各種栄養に関するコンサルタント業を中心とした活動を行っている。

この上なく愛犬もたらそうを溺愛し、毎朝一緒に野菜ジュースを飲み、散歩している。奈良市在住

URL : <http://dr-teruko-nakamura.com/>

シロザケ飼料の魚油添加効果ー 5

大橋 勝彦 (OHASHI Katsuhiko)* 酒本 秀一 (SAKAMOTO Shuichi)

* 日本ドナルドソントラウト研究所

Key Words : シロザケ 飼料 魚油添加 淡水飼育 海水飼育 絶食 生残率 成長 体成分 飼料成分魚体蓄積率

著者らはシロザケ用飼料への魚油添加効果を調べる一連の研究¹⁻⁶⁾を行い、以下を明らかにした。

淡水での試験

- ・餌付けは油無添加飼料で行い、餌付いた段階で魚油添加飼料に切り替える。最初から魚油添加飼料を与えると餌離れを起こす。

- ・飼料に添加すべき油は魚油で、水温が9℃での至適添加量は約7%（飼料の脂質含量は約12%）である。

- ・魚油の添加によって成長、飼料効率、タンパク質効率等の飼育成績が改善される。

- ・魚体の脂質含量と脂肪酸組成は飼料の脂質含量と脂肪酸組成を反映する。

- ・魚体の脂質含量が高い程絶食耐性が強く、絶食からの回復も早い。

- ・魚体の脂質含量が少ない程絶食による死魚数が多く、肥満度が大きい魚も死亡する。

- ・魚体の脂質が限界まで消費され、タンパク質がエネルギー源として消費される様になると大量死が起こる。

- ・魚油添加飼料で飼育された魚は、絶食中魚体の蓄積脂質を主たるエネルギー源として利用し、タンパク質の消費を防ぐことによって生残率を高くしている。

- ・絶食による大量死が起こる時の体成分組成

の目安は乾物で脂質が約5%、タンパク質が約90%である。この時の水分含量は約85%である。

- ・低水温下でも魚油の添加効果が認められる。但し、高水温下程油無添加区との違いは大きくない。

海水での試験

- ・魚油添加飼料で飼育された魚の海水馴致能が油無添加飼料で飼育された魚より高い。

- ・海面飼育では天然餌料の種類や量によって生残率や飼育成績が大きく異なる。

- ・天然餌料の状態は年や時季によって大きく変化するので、海面飼育においても給餌が必要である。

- ・海面飼育においても飼料への魚油添加効果が認められる。

- ・海中での絶食時にも魚油添加飼料で飼育した魚は魚体に蓄積された脂質を主たるエネルギー源として利用し、タンパク質の消費を少なくすることによって生残率を高くしている。

- ・海水中では淡水中より脂質の要求量が多く、脂質がより重要なエネルギー源になっている可能性が高い。海面飼育時の飼料への至適魚油添加量を明らかにする必要がある。

- ・海中での絶食による生存限界時の体成分組成は淡水中での絶食試験で求めた値と大きく変わらない。

上記の結果に引き続き、本報告では低水温下の淡水における飼育試験と絶食試験で得られた結果の再現性の確認を行い、更に海中飼育用飼料への魚油添加量の検討および天然餌料が存在しない環境下での絶食の影響を調べた。

淡水での試験

給餌試験

1. 方法

1-1. 供試魚

2014年9月12日に採卵、採精、人工授精した卵を水温9℃で管理し、12月5日に孵化、2015年2月6日に浮上した稚魚を試験に用いた。

1-2. 試験区と飼料

A, Bの2試験区を設定し、A区には油無添加の基本飼料、B区には基本飼料に魚油を7%外割で添加した魚油添加飼料を与えた。なお、基本飼料は日本配合飼料(株)製の鮭稚魚用で、魚油は植田製油(株)製のナイスフィードオイルSであった。飼料への魚油の添加は、必要量の飼料をボールに計り入れ、精秤した魚油を加えて手で十分に混合し、暫く放置して油を均一に吸着させる手順で行った。両飼料の分析値を表1に示す。炭水化物は100－(水分＋タンパク質＋脂質＋灰分)によって求めた値である。また、B区の値は魚油が正確に外割で7%添加されていたと仮定して計算で求めた理論値である。これまでの試験では同じ方法で調製した飼料の分析値と理論値の間に問題になる程の違いは認められなかったため、本試験の値にも大きな誤差はなかったものとする。当然の事

表1 試験飼料

	A区	B区*
水分(%)	9.8	9.2
タンパク質	47.3	44.2
脂質	6.8	12.9
灰分	12.5	11.7
炭水化物	23.6	22.1

*: 理論値

ながら、魚油の添加によって脂質含量が増え、その他の成分は減少していた。

1-3. 飼育

日本ドナルドソントラウト研究所のシュワンベツ事業所で飼育を行った。2月6日にアトキンス式水槽(2間水槽)に両区3000尾ずつ収容し、4月22日まで飼育を継続した。その間毎日死魚数の確認と死魚の体重と尾叉長を測定した。給餌は2月9日から行い、給餌率はライトリッツの給餌率に従った。但し、B区は2月9日から2月19日まではA区と同じ油無添加飼料を与え、2月20日から魚油添加飼料に切り替えた。これは餌付け時から魚油添加飼料を与えると餌付きが悪く、一部の魚が餌離れを起こし、その悪影響が可也長期間残ることによる。本試験では従来の試験より水温が低かったため、やや長めに油無添加飼料を与えた。この手順を踏んだことによって全く問題無く魚油添加飼料に移行出来た。

午前10時に測定した水温の変化を図1に示す。2月6日から2月20日の間は豪雪の為に自記水温計が正常に稼働していなかったため水温は不明であったが、可也低水温だったのではないかと推測している。昨年も低水温下で飼育試験を行ったが、水温の上昇は昨年より約1ヵ月遅かった⁶⁾。

1-4. 魚体測定と全魚体成分の分析

試験開始時の2月6日、中間時の3月22日、

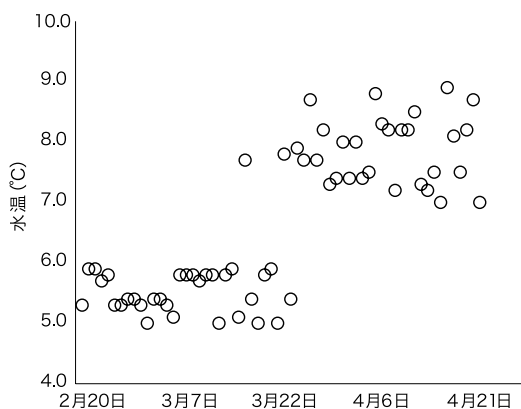


図1 淡水飼育期間中の水温変化

終了時の4月22日に両区から100尾ずつサンプリングして魚体測定を行った。魚をFA100(オイゲノール)で麻酔し、電子天秤で体重を、ノギスで尾叉長を測定した。その値から肥満度(体重×1000/尾叉長³)を求めた。体重と肥満度の変化は魚の状態を知る有用な指標である。

同じ日に全魚体の一般成分(水分、タンパク質、脂質および灰分)の分析用サンプルも採取した。魚体測定に用いた魚に加え、分析に必要な量になる様に魚を追加採取した。各区共合計の供試尾数は2月6日が300尾、3月22日が120尾、4月22日が100尾であった。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、灰分は直接灰化法で分析した。

2. 結果

2-1. 飼育成績

飼育成績を表2に示す。両区共飼育期間中の斃死は殆ど無く、生残率は99.9%で区間差は無かった。増重量(=成長)と飼料効率(増重量×100/給餌量)は魚油添加区の方が高かったが、従来の9℃の試験より著しく水温が低かった為か、両区間の差は小さかった。飼育水温が低くなればなるほど表面的には魚油添加効果が目立たなくなるのであろう。

2-2. 魚体測定

魚体測定の結果を表3に示す。両区の体重と肥満度の違いも従来の結果より小さかった。サンプリング時の魚の大きさに多少偏りが有った可能性も否定出来ないが、4月22日の値は両区間で殆ど違いは認められなかった。飼育成績同様、魚体測定の値も水温が低い程魚油の添加効果が目立たなくなる傾向が有る様なので、低水温時の魚油添加効果を飼育成績や魚体測定の結果だけで判断するのは危険である。

2-3. 体成分

全魚体の分析値を表4と図2、3に示す。両区で違いが大きかったのは水分と脂質で、タン

パク質と灰分には殆ど違いが認められなかった。魚油添加区の水分が少なく、脂質が多かった。また、水分、脂質共に飼育期間が長くなるに従って違いが大きくなっていった。魚油添加区は3月22日に既に水分は減少、脂質が増加し

表2 飼育成績

	A 区	B 区
生残率 (%)	99.9	99.9
増重量 (g)	2426	2575
給餌量 (g)	2230	2230
飼料効率 (%)	108.8	115.5

表3 魚体測定

	体重 (g)	尾叉長 (cm)	肥満度
2月6日	0.363	3.83	6.46
3月22日			
A 区	0.786	4.81	7.06
B 区	0.868	4.94	7.20
4月22日			
A 区	1.52	5.84	7.63
B 区	1.54	5.88	7.58

表4 全魚体の分析値

	2月6日	3月22日		4月22日	
		A 区	B 区	A 区	B 区
水分 (%)	79.4	80.0	78.6	78.3	76.5
タンパク質	14.9	14.1	14.4	15.5	15.5
脂質	3.8	3.2	4.8	4.1	6.1
灰分	1.4	1.7	1.7	1.9	1.8
タンパク質(%乾物)	72.3	70.5	67.3	71.4	66.0
脂質	18.4	16.0	22.4	18.9	26.0
灰分	6.8	8.5	7.9	8.8	7.7

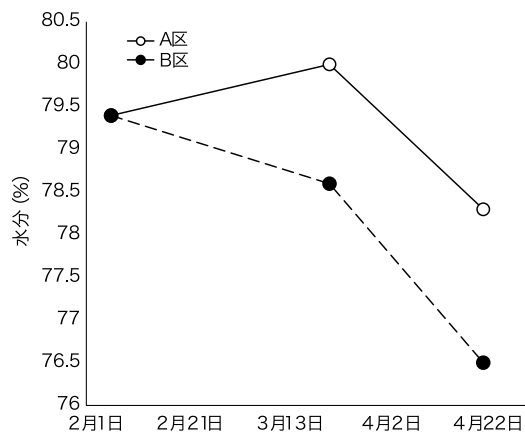


図2 全魚体の水分含量変化

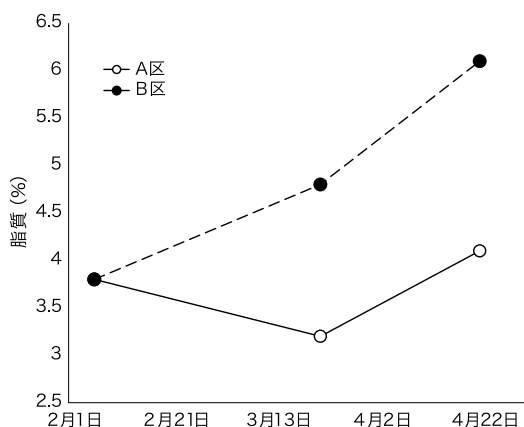


図3 全魚体の脂質含量変化

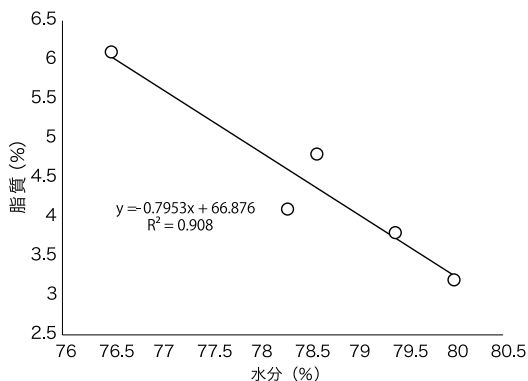


図4 水分含量と脂質含量の相関

ていたのに対し、油無添加区では3月22日まで水分は増加、脂質は減少していた。その後水分は減少、脂質は増加し、魚油添加区と同じ変化を示していた。摂餌開始時には体内に脂質を多量に含む卵黄が残っており、魚の成長に従って卵黄成分が消費されて脂質が減少する。油無添加飼料区では飼料からの脂質の供給が少ないので、このような変化を呈するのであろう。3月22日以降水分は減少し、脂質が増えるのは摂餌量が次第に多くなる事によると思われる。魚油添加区も線の傾きから初期は油無添加区と同じ変化をしていたが、2月20日から魚油添加飼料を与えたので、このような結果になったものと思われる。魚体の脂質が減少し、水分が増加するのは魚が衰弱傾向に有ることを示すので、卵黄が略吸収された段階の飼料成分が重要な意味を持つのかも知れない。全魚体の水分と脂質含量の間には強い負の相関が認められ(図4)、従来の結果と良く一致していた。

飼育成績と魚体測定の結果に両区で明確な違いは認められなかったが、体成分は明らかに違いが生じていた。

表4の値は供試魚100g当

りの各成分量であり、魚1尾当りの成分量ではない。体成分の変化を知るには魚1尾当りの成分量を求める必要が有る。表4の値と分析供試魚の平均体重(総体重/尾数)から魚1尾当りの成分量を求めた。更に、魚1尾当りに与えた飼料の各成分量を求め、飼育期間中に増加した各成分量および投与飼料成分が魚体に蓄積された率を飼育前半(2月6日から3月22日)、後半(3月22日から4月22日)および通期(2月6日から4月22日)に分けて示したのが表5である。但し、タンパク質と炭水化物は体内で脂質に転換し得るので、この値が単純に投与した脂質の魚体蓄積率とは

表5 飼料成分の魚体蓄積率

	A 区			B 区		
	投与量 mg/尾	増加量 mg/尾	蓄積率 %	投与量 mg/尾	増加量 mg/尾	蓄積率 %
前半						
タンパク質	187	62.0	33.2	177	73.0	41.2
脂質	26.9	12.5	46.5	48.0	28.4	59.2
灰分	49.5	8.70	17.6	46.7	9.90	21.2
後半						
タンパク質	313	123	39.3	292	115	39.4
脂質	44.9	36.8	82.0	85.3	52.5	61.5
灰分	82.6	15.4	18.6	77.3	13.0	16.8
通期						
タンパク質	500	185	37.0	469	188	40.1
脂質	71.8	49.3	68.7	133	80.9	60.8
灰分	132	24.1	18.3	124	22.9	18.5

前半：2月6日より3月22日、後半：3月22日より4月22日

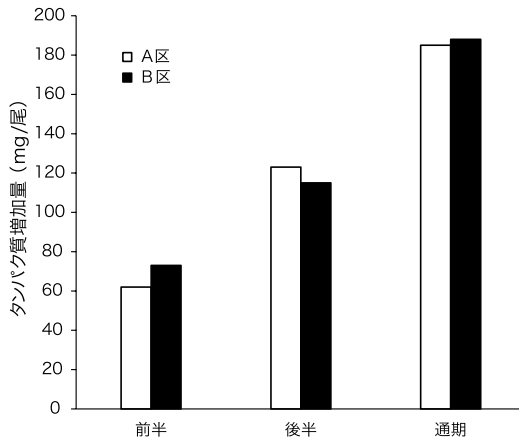


図5 魚1尾当たりタンパク質の増加量

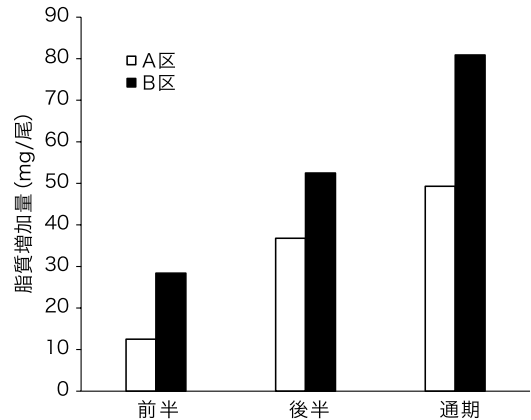


図6 魚1尾当たり脂質の増加量

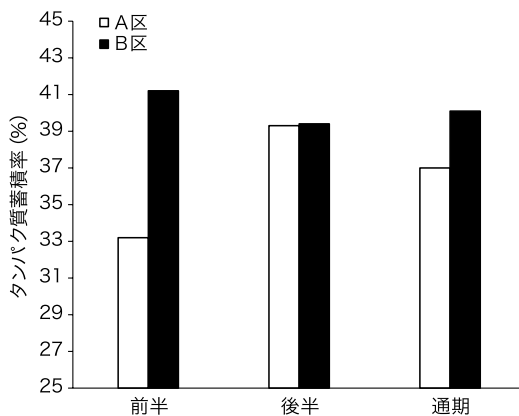


図7 飼料タンパク質の魚体蓄積率

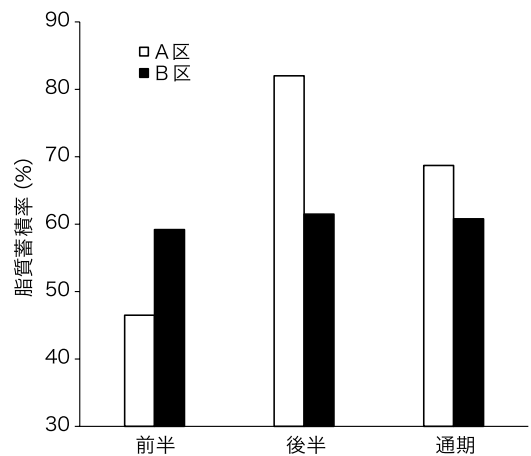


図8 飼料脂質の魚体蓄積率

云えないが、一応の指標として記しておいた。

タンパク質と灰分は前半と後半で両区の増加量が逆転しており、通期では大きな違いが認められなかった(図5)。一方、脂質の増加量は前半、後半とも魚油添加区が多く、通期では著しく多くなっていた(図6)。タンパク質の蓄積率は前半に魚油添加区が高く、後半は略同じで、通期では魚油添加区がやや高かった(図7)。脂質は前半魚油添加区が高かったが、後半は逆転して油無添加区の方が高い値を示していた(図8)。前半の結果は、体内に残存していた卵黄に含まれる脂質の消費に対して飼料から供給される脂質の量が不足していたこと、後半の結果は、油無添加区では飼料から取り込んだ少ない脂質を効率良く魚体に蓄積している事を示し

ているのであろう。

飼料タンパク質の魚体蓄積率は前半に魚油添加区が高く、後半は略同じであったこと、飼料脂質の魚体蓄積率は前半に魚油添加区が高かったが後半は逆転したことから、魚体にとっての脂質の重要性が推測出来る。

3. 要約

・低水温下でも飼料への魚油添加効果が認められたが、油無添加区との違いは高水温下での試験より小さかった。

・低水温下の飼育でも魚体成分に魚油添加の影響が明確に表れていた。特に水分と脂質において顕著であった。

・魚1尾当たりのタンパク質の増加量は魚油添

加区と油無添加区間で差が無かったが、脂質は明らかに魚油添加区の方が大きかった。

・飼料タンパク質の魚体蓄積率は飼育前半には魚油添加区が高く、後半は両区殆ど違いが無かった。飼料脂質の魚体蓄積率は前半に魚油添加区が高かったが、後半は逆転して油無添加区の方が高くなっていた。

絶食試験

1. 方法

3月22日に上記飼育試験の魚を両区1000尾ずつ取上げて別のアトキンス式水槽(2間水槽)へ移し、絶食試験を開始した。両区の表示はA区由来、B区由来とした。給餌を行わなかった以外の管理法は飼育試験と同じであった。試験期間は4月25日までとし、その間4月23日に魚体測定と全魚体の一般成分分析を行った。魚体測定には100尾、分析には魚体測定の魚も含めて130尾を供した。測定法と分析法は前記と同じであった。

絶食によって魚体に蓄積していた脂質が減少する。どの部位の脂質が主に減少するかに興味があったが、残念ながら魚が小さいので部位別に細かく分けて分析に供することが出来なかった。よって、鰓蓋の直後で魚体を切断し、頭側を頭部、それ以外を胴部として分析に供した。3月22日と4月23日に両区300尾ずつ分析に用いた。

2. 結果

2-1. 生残率

絶食期間中の死魚数はA区由来が17尾、B区由来が3尾と少なく、4月25日の生残率は夫々98.3%と99.7%と高かった。しかしながら、生残率の変化パターンは両区で明らかに異なっていた(図9)。A区由来の魚が早く死に始め、死魚の増え方も急であった。A区由来魚は絶食開始20日前後で死魚数が多くなり始めているのが分かる。従来の9℃での絶食試験では20日以上、特に1カ月以上絶食させると急激に死

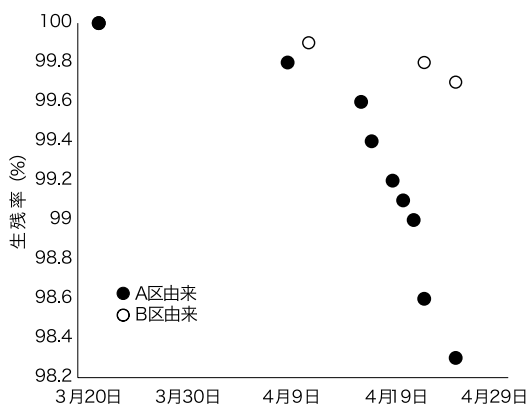


図9 絶食期間中の生残率変化

魚数が多くなっていた。本試験でも、それまで5～6℃であった水温が絶食開始時の3月22日前後に7～9℃と高くなっていた事から、本試験の結果も従来の試験結果と一致していたと云える。

2-2. 魚体測定

魚体測定の結果を表6に示す。絶食による体重、尾叉長、肥満度の変化は両区で殆ど違いが無かった。違いが明らかになる前に試験を終了した為と思われる。

2-3. 全魚体の成分

全魚体の分析値を表7に示す。絶食開始時にはB区由来魚の水分が少なく脂質が多く、終了時にも同じ傾向であった。但し、絶食終了時には両成分共区間差は小さくなっていた。灰分は絶食によって区間差が生じなかった。タン

表6 魚体測定

	A区由来	B区由来
3月22日		
体重 (g)	0.786	0.868
尾叉長 (cm)	4.81	4.94
肥満度	7.06	7.20
4月23日		
体重 (g)	0.635	0.712
尾叉長 (cm)	4.76	4.90
肥満度	5.89	6.05
減少		
体重 (g)	0.151	0.156
尾叉長 (cm)	0.05	0.04
肥満度	1.17	1.15

パク質は絶食開始時には両区同じ値であったのに、終了時はB区由来魚の方が高かった。

絶食期間中の各成分の減少量を魚1尾当りで示したのが表8である。B区由来魚で脂質の減少が大きく、タンパク質と水分の減少が少なかった(図10)。B区由来魚は魚体に多く蓄積されていた脂質を消費してタンパク質の消費を

表7 全魚体の分析値

	A区由来	B区由来
湿物		
3月22日		
水分(%)	78.3	76.5
タンパク質	15.5	15.5
脂質	4.1	6.1
灰分	1.9	1.8
4月23日		
水分(%)	83.0	81.5
タンパク質	14.1	14.4
脂質	1.3	2.3
灰分	2.1	2.1
乾物		
3月22日		
タンパク質(%乾物)	71.4	66.0
脂質	18.9	26.0
灰分	8.8	7.7
4月23日		
タンパク質(%乾物)	82.9	77.8
脂質	7.6	12.4
灰分	12.4	11.4

表8 絶食期間中の体成分減少量

	A区由来			B区由来		
	3月22日	4月23日	差	3月22日	4月23日	差
	mg/尾	mg/尾	mg/尾	mg/尾	mg/尾	mg/尾
水分	637	574	-63.0	678	628	-50.0
タンパク質	112	97.6	-14.4	124	111	-13.0
脂質	25.5	9.00	-16.5	41.4	17.7	-23.7
灰分	13.5	14.5	+1.0	14.7	13.1	-1.6

表9 頭部と胴部の分析値

	3月22日		4月23日	
	A区由来	B区由来	A区由来	B区由来
頭部				
水分(%)	84.1	83.6	85.2	84.0
脂質	1.9	2.3	1.5	1.8
灰分	2.1	2.1	2.4	2.5
胴部				
水分(%)	78.6	77.3	82.1	80.2
脂質	3.7	5.2	1.1	2.4
灰分	1.6	1.6	2.0	2.0

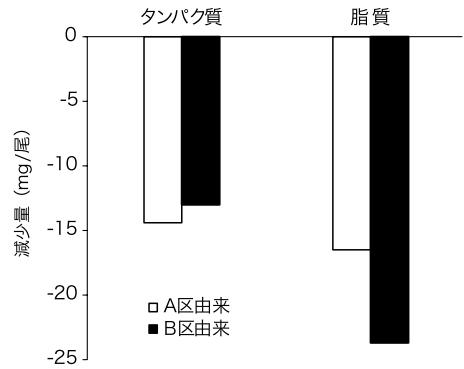


図10 絶食期間中の魚1尾当たりタンパク質と脂質の減少量

抑制していたのが分かる。これまでに行った絶食試験で、脂質が限界まで消費されてタンパク質の消費が大きくなると大量死が起こるのが分かっている。絶食あるいは不十分量の摂餌しか出来ない可能性が有る場合は、事前に魚体へ脂質を蓄積させておく事の重要性が本試験の結果からも確認出来た。

2-4. 頭部と胴部の成分

絶食前後の頭部と胴部の分析値を表9に示す。頭部、胴部とも絶食によって水分と灰分は増加し、脂質は減少していた。水分と脂質の変化は頭部より胴部で大きく、灰分の変化は頭部と胴部で違いが無かった。

絶食による体成分の変化は主に胴部で起こっていることが分かる。また、水分の増加はA区由来魚で、脂質の減少はB区由来魚で大きかった。サンプル量が少なくてタンパク

質の定量は出来なかったが、恐らくB区由来魚の方がタンパク質量の変化は小さかったものと推測している。

魚1尾当りの成分量に換算するとその違いがより明瞭になる(表10)。絶食による各成分の変化は胴部で大きかった。胴部の水分と灰分の減少量はA区由来魚の方が大きかった。一方、脂質の減少量はB区由来魚の方が大きかった。

表 10 絶食期間中の頭部と胴部の成分変化量

	A 区由来			B 区由来		
	3 月 22 日	4 月 23 日	差	3 月 22 日	4 月 23 日	差
頭部						
水分 (mg/ 尾)	139	142	3	141	144	3
脂質	3.13	2.51	-0.62	3.89	3.10	-0.79
灰分	3.46	4.01	0.55	3.55	4.30	0.75
胴部						
水分 (mg/ 尾)	504	374	-130	514	411	-103
脂質	23.7	5.02	-18.7	34.6	12.3	-22.3
灰分	10.3	9.12	-1.18	10.6	10.3	-0.3

胴部に比べて頭部の成分変化は少なかったが、両区共脂質は減少し、灰分は増加していた。脂質の減少と灰分の増加は B 区由来魚の方が大きかった。

脂質の減少率は頭部では両区共約 20% であったのに、胴部では A 区由来魚で約 79%, B 区由来魚で約 65% であった。絶食時には主として胴部の脂質が消費されていることと、脂質の蓄積量が多かった B 区由来魚の方が減少量は大きかったものの減少率は小さかったことが分かる。これが長期の絶食において脂質の蓄積量が多い魚の生残率が高くなる理由であろう。脂質が多かった魚の方が絶食下でも長期間魚体に脂質が残っており、タンパク質がエネルギー源として消費され始める時期を遅く出来るのであろう。更に、これが B 区由来魚の水分とタンパク質の減少量が少ない事に繋がる。

胴部では灰分も減少していたが、頭部では両区共増加していたのは意外であった。絶食期間中にも頭部の骨は大きくなっていたか、あるいは石灰化が進行していたのかも知れない。絶食下での頭部と胴部の成分含量変化の違いが、絶食が長期に及ぶと魚はマッチ棒の様に頭が大きくて胴部が細く見える所謂ピンヘッド状態を呈する理由であろう。

3. 要約

・魚体に蓄積脂質が多い魚の絶食耐性が強く、斃死が遅く始まり、生残率も高い。

・絶食時は主として魚体の脂質がエネルギー源として利用され、タンパク質の消費を抑制し

ている。

・絶食時には主に胴部に蓄積された脂質がエネルギー源として利用されている。

・絶食下でも頭部の成分含量変化は少ない。

・頭部の骨は絶食時にも大きくなっているか、あるいは石灰化が進行している可能性が有る。

海水での試験

給餌試験

1. 方法

1-1. 供試魚と輸送

4 月 22 日まで淡水で給餌を継続していた両区を 23, 24 日の 2 日間餌止めし、25 日に海面生簀へ運んで海水での飼育試験を開始した。2 日間餌止めを行ったのは魚の輸送中に糞等で水の汚れが生じるのを防ぐ為である。今回は輸送尾数が多かったため、ビニール袋に半海水と魚



写真 1 稚魚の輸送

を入れて酸素を密封して運ぶ方法ではなく、コンテナに半海水と魚を入れ、酸素を通気しながら輸送する方法を採った(写真1)。輸送には約1時間を要した。輸送中次項で説明するA区は事故で酸素供給パイプが外れ、酸欠状態になって少数の魚が死亡したが、他の区は全く問題無く輸送出来た。

1-2. 試験区と飼料

淡水で魚油7%添加飼料を与えていた区の魚を700尾ずつ2区に分け、夫々をA区、B区とした。A区には淡水での試験同様に魚油7%添加飼料を与え、B区には魚油10%添加飼料を与えた。一方、淡水では油無添加飼料で飼育していた魚も700尾ずつ2分し、夫々をC区、D区とした。C区には従来通り油無添加飼料を与えたが、D区は無給餌の絶食区とした。但し、何れの区も海水中に存在している天然餌料は摂取可能な状態であった。10%魚油添加区を設けたのは、これまでに行った海面での飼育試験において海水中では淡水中よりも脂質の要求量が多くなるのではないかと推測出来る結果を得ていたからである。

各試験飼料の分析値を表11に示す。魚油7%と10%添加飼料の値は計算で求めた理論値である。

1-3. 飼育

別海漁港堤防内の昨年と同じ位置に1.5×1.5×深さ1.5mの網生簀4面を設置した。網には目開き4mmの文字網を用いた。各生簀に700尾ずつ魚を収容して6月1日まで飼育を継続した。給餌は日に2回、A～C区同量を与えた。毎日午前10時に測定した水温を図11に示す。日を追うに従って水温

表11 試験飼料の分析値			
試験区	A*	B*	C
水分(%)	9.2	8.9	9.8
タンパク質	44.2	43.0	47.3
脂質	12.9	15.3	6.8
灰分	11.7	11.4	12.5
炭水化物	22.1	21.5	23.6
*: 理論値			

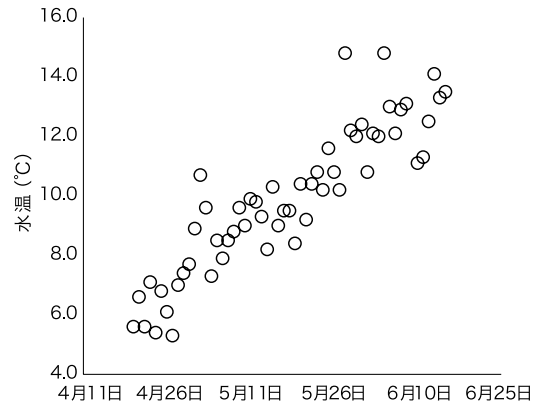


図11 海面飼育時の水温変化

は上昇し、開始時の約5℃から終了時には約12℃になっていた。

1-4. 尾数調査、魚体測定、体成分分析

5月24日に各生簀の魚を全て取上げて生残尾数を調べた。また、終了時の6月1日に各区から100尾ずつサンプリングし、魚体測定と全魚体の成分分析を行った。開始時の値には4月22日の値を用いた。

2. 結果

2-1. 飼育成績

表12に飼育結果を示す。魚油7%添加飼料を与えたA区の生残率、増重量、飼料効率、タンパク質効率(増重量×100/給与タンパク質量)がA～Cの給餌区中最も低く出ているのは、輸送中の事故死と海面飼育時の逃亡(A区の網生簀の隅に約5cm程度の大きさの穴が開いていたのが5月24日の調査時に判明)によるものである。残念ながら5月24日までの

表12 飼育成績				
試験区	A	B	C	D
生残率(%)				
5月24日	90.7*	99.0	99.9	83.7
6月1日	86.5*	97.1	99.9	68.1
増重量(g)	641*	832	642	
給餌量(g)	1261	1261	1261	
飼料効率(%)	50.8*	66.0	50.9	
タンパク質効率(%)	115*	153	108	

*: 輸送中の酸欠死、生簀網穴からの逃亡等の影響で低く出ている

表 13 魚体測定の結果

試験区	A	B	C	D
4 月 22 日				
体重 (g)	1.54	1.54	1.52	1.52
尾叉長 (cm)	5.88	5.88	5.84	5.84
肥満度	7.58	7.58	7.63	7.63
6 月 1 日				
体重 (g)	2.80	2.80	2.44	1.06
尾叉長 (cm)	7.22	7.19	6.92	5.71
肥満度	7.44	7.53	7.36	5.69
増減				
体重 (g)	1.26	1.26	0.92	-0.46
尾叉長 (cm)	1.34	1.31	1.08	-0.13
肥満度	-0.14	-0.05	-0.27	-1.94

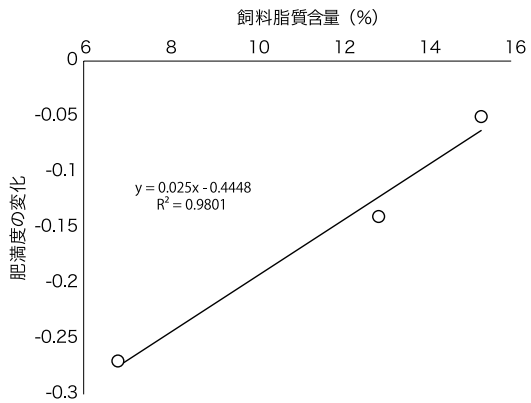


図 12 飼料脂質含量と肥満度変化の関係

死魚数を記録してなかったもので、事故死魚と逃亡魚の数が特定出来ず、補正も出来なかった。A 区の値は残存していた魚のみで得られた値である。網は 5 月 24 日に修理したので、それ以降の逃亡は無い。

油無添加飼料区 (C 区) と魚油 10% 添加飼料区 (B 区) を比較すると明らかに B 区の飼育成績が優れていた。A 区と C 区を比較すると、増重量、飼料効率、タンパク質効率共に殆ど同じ値を示していたので、A 区に事故死と逃亡が無ければ C 区と B 区の間の結果が出ていたのではないかと推測している。

無給時の D 区では 5 月 24 日に既に大量死が始まっており、日を追うに従って死魚数が多くなった。D 区で大量死が始まったのは従来の試験より早かったが、それは海水温が高かった事と、海中に存在していた天然餌料の量が少なかった事によるものと考えている。

2-2. 魚体測定

体重、尾叉長および肥満度の変化を表 13 に示す。絶食区 (D 区) の体重と肥満度が A ～ C の給餌区に比べて大きく減少していたのは当然として、給餌区の体重増加は魚油 10% 添加区 = 魚油 7% 添加区 > 油無添加区の順に大きく、明らかに海水中でも飼料への魚油添加効果が認められた。肥満度は給餌していたにも係らず A ～ C 区の何れにおいても減少しており、減少の程度は油無添加区 > 魚油 7% 添加区 > 魚油 10% 添加区の順に大きかった。肥満度にも飼料への魚油添加効果が認められた。また、飼料の脂質含量 (= 飼料への魚油添加量) と肥満度の間には強い正の相関が認められた (図 12)。

過去 2 回行った海面飼育試験でも最初の 20 日間位は給餌しているにも係らず肥満度は低下し、その後回復して最初の値より大きくなっていった。本試験では 1 カ月以上経過しても肥満度

表 14 全魚体の分析値

調査日	4 月 22 日				6 月 1 日			
試験区	A	B	C	D	A	B	C	D
水分 (%)	76.5	76.5	78.3	78.3	77.5	77.1	79.0	82.4
タンパク質	15.5	15.5	15.5	15.5	17.4	17.5	17.6	14.8
脂質	6.1	6.1	4.1	4.1	3.3	3.7	1.4	1.1
灰分	1.8	1.8	1.9	1.9	2.3	2.3	2.5	3.0
タンパク質 (% 乾物)	66.0	66.0	71.4	71.4	77.3	76.4	83.8	84.1
脂質	26.0	26.0	18.9	18.9	14.7	16.2	6.7	6.3
灰分	7.7	7.7	8.8	8.8	10.2	10.0	11.9	17.0

は最初より小さい状態であった。これには海水温が高かった事や、昨年同様あるいは昨年よりも天然餌料の量が少なかった事等が関係しているのではないかと推測している。

海水中に移行した初期に肥満度が大きく減少するのは、突然海水に移されたので摂餌量が一時的に減少する事や、海水中では体重の増加に対する体長の伸びが大きい可能性等が考えられる。浸透圧調整に関与しているとされる成長ホルモンの影響が有るのかも知れない。

2-3. 体成分

全魚体の分析値を表14に示す。D区は絶食によって水分が増加し、タンパク質と脂質は減少していた。脂質の減少がタンパク質の減少より大きかった。灰分はやや増加していた。A～Cの給餌区では水分、タンパク質、灰分は増加し、脂質は減少していた。増加が最も大きかったのはタンパク質で、灰分の変化が最も小さかった。この結果は海水中で脂質の消費が激しい事を示唆している。

表14の値を魚1尾当りの各成分量に換算したのが表15である。無給餌のD区では水分、タンパク質、脂質の何れもが大きく減少していたが、灰分は殆ど変化していなかった。給餌したA～C区では水分、タンパク質および灰分の何れもが増加しており、水分とタンパク質の増加量は魚油添加区が油無添加区より大きく、7%添加区(A区)と10%添加区(C区)の違いは小さかった。脂質は油無添加区と魚油7%添加区で減少しており、10%添加区は多少増加していた。減少量は油無添加区が大きく、魚油7%添加区は小さかった。

飼料の脂質含量と海面飼育期間中に変化した魚1尾当りの脂質量の間には図13の様に非常に強い正の相関が認められた。魚油7%添加飼料を与えたA区の魚でも脂質含量が減少していた事は、海中飼育用飼料への魚油添加量が7%では不足していた可能性を示唆している。今後シロザケ幼魚の海中飼育用飼料への至適魚

油添加量(=飼料の至適脂質含量)を明らかにしておく必要が有る。

海面飼育期間中に各成分が開始時の値に対して変化した割合(6月1日/4月22日)も全く同じ傾向を示していた。

以上の結果から、海水中では脂質の消費が著しく、主に脂質をエネルギー源として利用する事によって魚体にタンパク質を蓄積しているのではないかと推測出来る。

表15 魚1尾当り体成分含量の変化

試験区	A	B	C	D
4月22日				
水分(mg/尾)	1180	1180	1190	1190
タンパク質	239	239	236	236
脂質	93.9	93.9	62.3	62.3
灰分	27.7	27.7	28.9	28.9
6月1日				
水分(mg/尾)	2169	2155	1926	877
タンパク質	487	489	429	157
脂質	92.4	104	34.1	11.7
灰分	56.0	64.3	61.0	31.9
増減				
水分(mg/尾)	989	975	736	-313
タンパク質	248	250	193	-79
脂質	-1.5	10.1	-28.2	-50.6
灰分	28.3	36.6	32.1	3.0
6月1日/4月22日				
水分	1.84	1.83	1.62	0.74
タンパク質	2.04	2.05	1.82	0.67
脂質	0.98	1.11	0.55	0.19
灰分	2.02	2.32	2.11	1.10

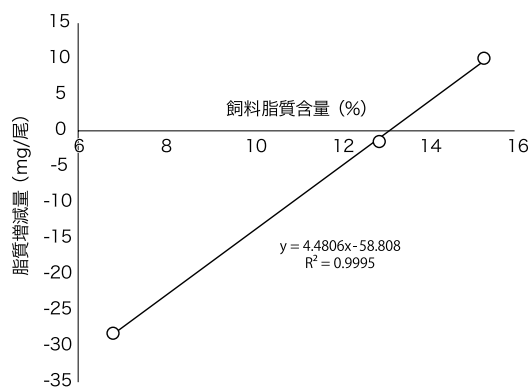


図13 飼料脂質含量と魚体脂質増減量との関係

3. 要約

- ・海水中でも飼料への魚油添加効果は認められる。
- ・海水中では淡水中より脂質の要求量が多い可能性が高い。海中飼育用飼料の至適魚油添加量(=至適飼料脂質含量)を求める必要が有る。
- ・海水中では淡水中よりも脂質をより多くエネルギー源として利用し、それによって魚体のタンパク質蓄積量を多くしている可能性が高い。これが魚の成長は淡水中より海水中で早い理由の一つかもしれない。

絶食試験

1. 方法

6月1日まで海面生簀で飼育していた魚を絶食試験に供する為、6月2日に陸上水槽に移した。絶食試験に当たってわざわざ陸上水槽に魚



写真2 絶食試験に用いたアルテミア孵化水槽

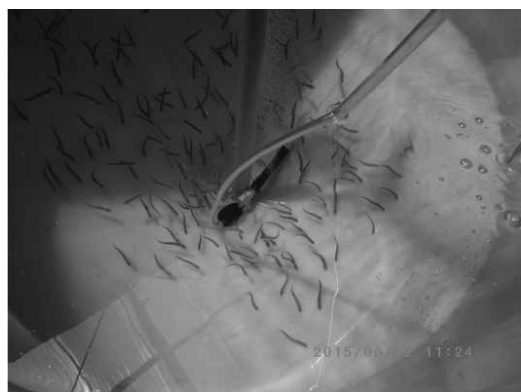


写真3 陸上水槽での絶食試験

を移したのは、過去2回の試験で海中に発生している天然餌料の種類と量によって結果に大きな影響を受ける事が分かったからである。よって、天然餌料の影響を受けない陸上水槽で絶食試験を行うことにした。

使用した水槽は1KL容のアルテミア孵化水槽(写真2)で、通水、通気下で試験を行った(写真3)。使用した海水は砂濾過してあり、シロザケ幼魚の餌になるプランクトンは含まれていなかった。試験期間中水温は9～11℃の間を変動した。海面生簀から陸上水槽に移した魚の数は、A～Cの給餌区は200尾であったが、無給餌のD区は海面での試験中に既に斃死が始まっていたので、200尾では絶食試験終了時の魚体分析用試料が不足する可能性が高いと判断し、生き残っていた407尾全てを陸上水槽に移した。

海面で給餌していたA～C区は6月23日まで絶食を継続した。一方、海面でも絶食させていたD区は6月8日には既に半数以上の魚が死亡し、このまま絶食を続ければ近日中に全て死亡すると思われたので6月8日に絶食試験を打ち切り、同日から7%魚油添加飼料を与え始めた。ここまで衰弱した魚でも給餌を行うと回復するか否かを確認する為である。なお、D区では6月8日に死亡していた魚を用いて魚体測定と全魚体の成分分析を行った。死亡直後の魚ではあったものの、測定値や分析値が生きている魚と同じであるかについては疑問も有るが、参考にはなると判断して実施した。

試験中は毎日の死魚数を数え、生残率の変化を調べた。試験終了時にA区は105尾、B区は120尾、C区は73尾、D区は72尾が生き残っていたので、A区とB区は100尾、C区とD区は全尾を用いて魚体測定と成分分析を行った。

2. 結果

2-1. 生残率

生残率の変化を表16と図14に示す。海面でも絶食していたD区は陸上試験開始時から急激な斃死が起こっており、開始6日目には

表 16 生残率の変化

試験区	A	B	C	D*
6月2日	100	100	100	100
6月8日				48.5
6月12日	98.5	98.0	95.5	38.1
6月23日	55.8	58.9	45.7	20.8

*:D区は6月8日以降給餌

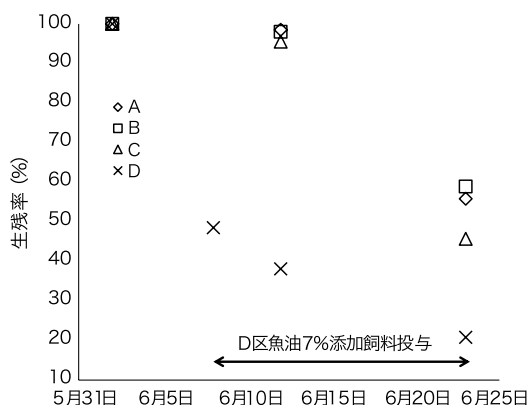


図 14 生残率の変化（陸上水槽）

既に生残率が50%を割っていた。その後給餌を開始すると毎日の死魚数は減少したものの、継続して死亡しており、6月23日の生残率は20.8%にまで減少していた。6月8日時点でまだ餌を食べて消化吸収出来るグループ内では比較的状态が良かった魚のみが回復して生き残ったものと思われる。

海面で給餌していたA～C区の魚は6月12日にはまだ95%以上の生残率を示していたが、それ以降急激に死に始め、6月23日には46%から59%の生残率になっていた。絶食開始より20日程度で50～60%の生残率になったのは、9℃の淡水中で行ってきた従来の絶食試験より早い時期に大量死が起こっていた事を表している。これは水温がやや高かった事や、海水中では淡水中よりもエネルギー消費が大きいこと等が原因ではないかと考えられる。

海面でも絶食していたD区は陸上水槽に移した時に既に大量死が始まっていたので、海面試験からの通期の生残率に換算したのが図15である。絶食開始30日後には15%以上が死亡し、40日以降給餌を開始するまでの間日を追

うに従って急激に死魚数が増えた。給餌を開始すると死魚数は減少したものの、試験終了時まで生残率の減少は続いていた。

試験終了直前の6月20日に各区の魚に体表の出血や眼球突出等のビブリオ病症状が認められたので、各区から3尾ずつサンプリングして

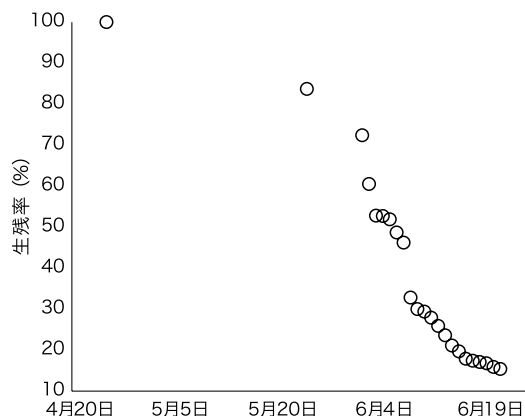


図 15 D区生残率の変化（海水中絶食通期）

表 17 魚体測定の結果

試験区	A	B	C	D
6月1日				
体重 (g)	2.80	2.80	2.44	1.06
尾叉長 (cm)	7.22	7.19	6.92	5.71
肥満度	7.44	7.53	7.36	5.69
6月8日				
体重 (g)				0.87
尾叉長 (cm)				5.49
肥満度				5.26
6月23日				
体重 (g)	2.40	2.44	2.08	1.23
尾叉長 (cm)	7.37	7.39	7.23	5.96
肥満度	6.00	6.05	5.50	5.81
増減				
6月1日－6月8日				
体重 (g)				-0.19
尾叉長 (cm)				-0.22
肥満度				-0.43
6月8日－6月23日				
体重 (g)				0.36
尾叉長 (cm)				0.47
肥満度				0.55
6月1日－6月23日				
体重 (g)	-0.40	-0.36	-0.36	0.17
尾叉長 (cm)	0.15	0.20	0.31	0.25
肥満度	-1.44	-1.48	-1.86	0.12

注：6月8日の値は斃死魚で測定

表 18 全魚体の分析値

試験区	A	B	C	D
6月1日				
水分 (%)	77.5	77.1	79.0	82.4
タンパク質	17.4	17.5	17.6	14.8
脂質	3.3	3.7	1.4	1.1
灰分	2.3	2.3	2.5	3.0
6月8日				
水分 (%)				83.6
タンパク質				12.6
脂質				1.2
灰分				3.9
6月23日				
水分 (%)	82.2	81.9	82.8	81.7
タンパク質	15.1	15.4	14.4	14.6
脂質	0.9	1.0	0.9	1.7
灰分	2.8	2.8	3.0	2.9
6月1日				
タンパク質 (% 乾物)	77.3	76.4	83.8	84.1
脂質	14.7	16.2	6.7	6.3
灰分	10.2	10.0	11.9	17.0
6月8日				
タンパク質 (% 乾物)				76.8
脂質				7.3
灰分				23.8
6月23日				
タンパク質 (% 乾物)	84.8	85.1	83.7	79.8
脂質	5.1	5.5	5.2	9.3
灰分	15.7	15.5	17.4	15.8

注 :6月8日の値は斃死魚で分析した値

北海道立水産孵化場（本場）へ魚病検査を依頼した。その結果、何れの区の魚からもビブリオ病の原因菌が検出された。よって、試験終了直前の斃死には絶食のみでなく、ビブリオ病も影響していた可能性が有る。絶食によって体力と抗病性が低下したことによって、海水中では略常在菌とも云えるビブリオ菌に感染し、発症したのであろう。

2-2. 魚体測定

魚体測定の結果を表 17 に示す。海面試験から絶食していた D 区の 6 月 8 日の測定値は、体重、尾叉長、肥満度共に開始時の 6 月 1 日の値より著しく小さかった。6 月 8 日の値は死魚で測定した値なので、グループ内の小型魚が集中して死亡していたことが分かる。この様な状態の魚に給餌すると 6 月 23 日には何れの値も

6 月 1 日の値より大きくなっており、生き残っていた魚は給餌によって明らかに回復していた。A～C の給餌区由来の魚も体重と肥満度は減少していたが、尾叉長は小さくなっていた。給餌区由来の魚も小型魚が死亡していた事が分かる。肥満度の減少は C 区 >> A 区 = B 区の順に大きく、海面において油無添加飼料で飼育していた魚が最も痩せていた。

2-3. 体成分

全魚体の分析値を表 18 に示す。6 月 8 日の D 区の値は 6 月 1 日の値より灰分が多く、タンパク質は少なかった。脂質は略同じであった。この状態の魚に給餌すると水分と灰分は減少し、タンパク質と脂質が増加して明らかに回復傾向を呈していた。

A～C の給餌区由来魚は絶食によって水分と灰分が増え、タンパク質と脂質が減少していた。水分の増加は A=B>C で、灰分は何れの区も同じ割合で増えていた。タンパク質の減少は C>>A>B の順に大きく、脂質の減少はタンパク質とは逆に B>A>>C であった。

魚 1 尾当りの各成分量の変化を表 19 に示す。D 区では 6 月 8 日まで水分、タンパク質および脂質は大きく減少し、灰分は殆ど変化していなかった。これに給餌を行うと何れの成分も増加し、6 月 23 日には開始時の 6 月 1 日の値より高い値を示した。給餌による回復が顕著であった。

A～C の給餌区由来魚では水分、タンパク質、脂質は減少し、灰分は殆ど変化していないか、やや減少していた。水分とタンパク質の減少は C ≥ A>>B の順に大きく、脂質は逆に B>A>>C の順に大きかった。絶食開始時に魚体の脂質が多かった魚は絶食時に脂質を消費し、タンパク質の消費を抑制していたことが分かる。海面では油無添加飼料で飼育していた C 区の魚は絶食開始時から魚体の脂質が少なかったため、消費出来る脂質の量が少なく、タンパク質の減少量が多くなったのであろう。これが給餌区の中

表 19 魚 1 尾当たり体成分含量の変化

試験区	A	B	C	D
6 月 1 日				
水分 (mg/ 尾)	2169	2155	1926	877
タンパク質	487	489	429	157
脂質	92.4	104	34.1	11.7
灰分	56.0	64.3	61.0	31.9
6 月 8 日				
水分 (mg/ 尾)				715
タンパク質				108
脂質				10.3
灰分				33.4
6 月 23 日				
水分 (mg/ 尾)	1973	2000	1728	1002
タンパク質	362	376	301	179
脂質	21.6	24.4	18.8	20.8
灰分	67.2	68.4	62.6	35.6
増減				
6 月 1 日－6 月 8 日				
水分 (mg/ 尾)				-162
タンパク質				-49
脂質				-1.4
灰分				1.5
6 月 8 日－6 月 23 日				
水分 (mg/ 尾)				287
タンパク質				71
脂質				10.5
灰分				2.2
6 月 1 日－6 月 23 日				
水分 (mg/ 尾)	-196	-155	-198	125
タンパク質	-125	-113	-128	22
脂質	-70.8	-79.6	-15.3	9.1
灰分	11.2	4.1	1.6	3.7

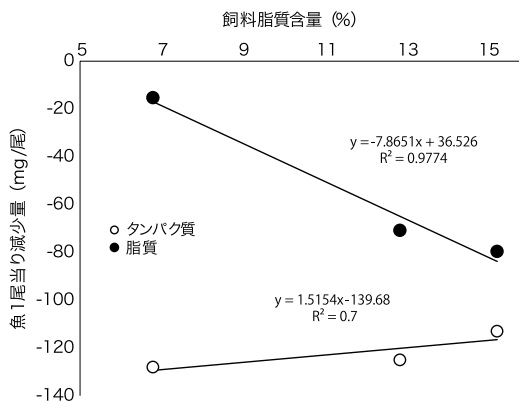


図 16 飼料脂質含量と絶食による魚 1 尾当たりタンパク質、脂質含量変化との関係

で C 区が最も生残率が低かった原因であると推測する。

魚体の脂質含量は与えた飼料の脂質含量に比例する。よって、飼料の脂質含量と絶食による魚 1 尾当りの脂質とタンパク質の減少量の関係を調べたのが図 16 である。飼料の脂質含量が多い程脂質の減少量が大きく、タンパク質の減少量が小さいことが分かる。

D 区の絶食期間（6 月 1 日～6 月 7 日）と給餌期間（6 月 8 日～6 月 23 日）における魚 1 尾当りの各成分の増減を示したのが図 17 と図 18 である。水分、タンパク質および脂質は絶食によって減少し、給餌によって増加しているのが分かる。灰分の変化は小さかったが、給餌によって増加している様である。魚の成長によって骨が大きくなっているのであろう。

絶食時には主として魚体の脂質がエネルギー源として消費され、タンパク質の消費を抑制している。脂質が限界まで消費されてタンパク質がエネルギー源として消費されるようになると大量死が起こるのは淡水でも海水でも同じである。本試験の結果から、シロザケ幼魚の海中飼育用

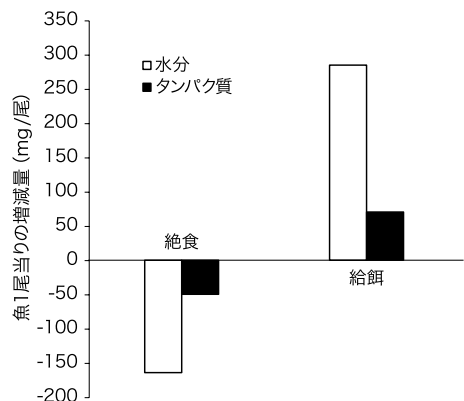


図 17 D 区の魚 1 尾当たり水分とタンパク質含量の増減

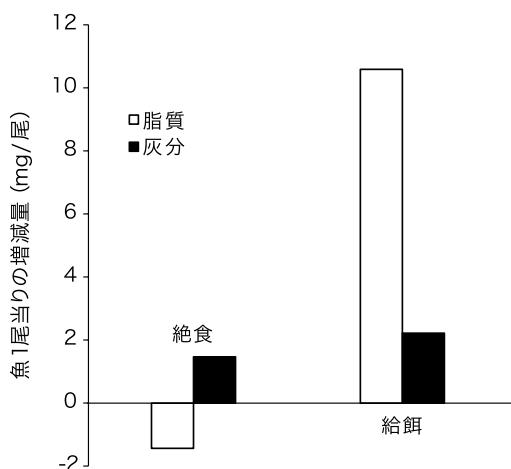


図18 D区の魚1尾当り脂質と灰分含量の増減

飼料には10%以上の魚油添加が必要ではないかと推測する。魚の成長段階、水温、天然餌料の種類と量等色々な要因が影響するのであろうが、海中飼育用飼料には最低限何%の油を添加すべきかを明らかにする必要があり、今後の課題である。

参考文献

1. 酒本秀一，大橋勝彦：シロザケ飼料の魚油添加効果－1. *New Food Industry*, **54** (3): 49-58, 2012.
2. 酒本秀一，大橋勝彦：シロザケ飼料の魚油添加効果－2. *New Food Industry*, **54** (4): 28-38, 2012.
3. 酒本秀一，大橋勝彦：シロザケ飼料の魚油添加効果－3. *New Food Industry*, **54** (5): 41-49, 2012.
4. 大橋勝彦，酒本秀一：シロザケ用飼料の油脂源. *New Food Industry*, **55** (1): 53-68, 2013.
5. 大橋勝彦，酒本秀一：シロザケ飼料の魚油添加効果－4. *New Food Industry*, **56** (1): 71-85, 2014.
6. 大橋勝彦，酒本秀一：低水温飼育下でのシロザケ飼料への魚油添加効果. *New Food Industry*, **57** (4): 47-60, 2015.

3. 要約

・給餌区由来の魚も絶食20日程度で生残率が50～60%にまで減少し、従来9℃の淡水中で行ってきた試験より早く大量死が起こっていた。

・絶食時には主として魚体の脂質がエネルギー源として消費され、タンパク質の消費を抑制していた。

・脂質含量が多い飼料で飼育された魚ほど絶食による脂質の減少量が大きく、タンパク質の減少量が少なかった。

・シロザケ幼魚の海中飼育用飼料には10%以上の魚油添加が必要である可能性が高い。

謝辞

本試験で海面飼育時の給餌、水温測定、サンプリングおよび魚体測定で宮川一男氏と大橋寿教氏，陸上水槽の絶食試験では仙石義昭氏，魚体測定結果の取り纏めで阿部信行氏に御協力頂いた。記して感謝の意を表します。

衛生管理の基礎（7S）を考える

イカリ消毒株式会社 尾野 一雄 (ONO Kazuo)

Key Words：食品 衛生管理 7S 管理体制 改善 マニュアル

はじめに

食品衛生が強く求められる今日、衛生管理を実施していくのは想像以上に大変なことである。また、微生物汚染防止対策、毛髪混入防止対策など、いろいろな対策を実施しなければならないため、工場の衛生管理活動として実施することは非常に多くなる。

このような衛生管理の活動すべての基礎になるのが7Sと呼ばれる活動である。しかしながら、基礎とはいえ7Sは簡単には実施できない。今回は基本的な考え方、7Sの難しさと実際のポイントについて著者の経験を元とに記載したい。

1. 衛生管理における7Sの位置づけ

上述したように衛生管理として実施すべきことは多い（図1）。

これらの対策を実施しやすくするためには、現場をある一定の状態にしておく必要がある。そのための手法が7Sである。つまり、7Sを実施しておくことで、対策が進めやすくなり、効果的に活動できるのである。逆を言えば、7Sができていなければ、実施する対策も効果を発揮しない。

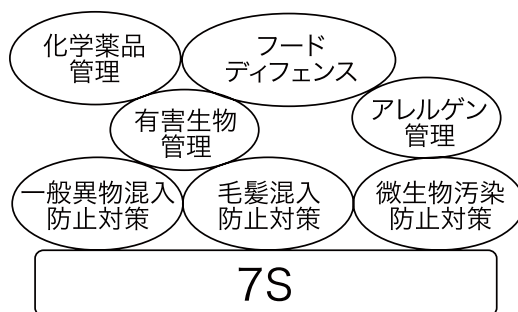


図1 衛生管理と7S

2. 7Sの基礎

7Sは5Sをベースに考えられたものである。5Sとは、整理・整頓・清掃・清潔・しつけ（習慣づけ）の5つの言葉を英語表記した場合の頭文字「S」をとって、5Sと呼ぶ。7Sは、この5Sの清掃を清掃・洗浄・殺菌の3つに分けたものである。

まず、7Sの基本について記載していく。7Sの全体像は以下に示すとおりである（図2）。

一般的な5Sと大きく異なる点はふたつある。ひとつは、清潔を目的としている点である。食品工場で活動する上では、従来の5Sの清掃・清潔は何をすれば良いのかわかりにくい面があった。それを、清潔を目的とすることで、わ

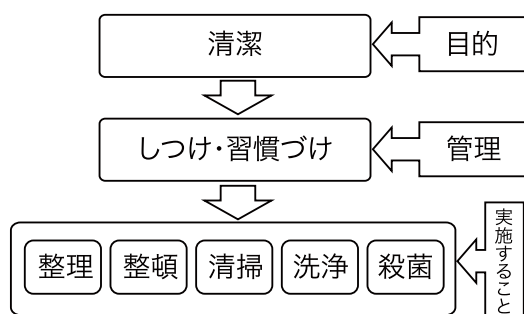


図2 7Sの概念図

かりやすくなった。清潔を達成するために整理・整頓・清掃・洗淨・殺菌を現場が行い、それができるように管理者がしつけ・習慣づけとして管理を行うのである。

もうひとつは、清掃を清掃・洗淨・殺菌の3つに分けた点である。食品工場では、清掃・洗淨・殺菌と目的の異なった3つの綺麗にする行為が存在する。これらを分けることによって、それぞれの目的と注意点を明確にしたのである。

では、ここからそれぞれの基本的な考え方を記載する。

2-1. 清潔

「清潔」とは、7Sの目的である。それは、食品に悪影響をおよぼさない環境、つまり微生物汚染、化学物質汚染、異物混入、アレルゲンのコンタミなどが起こらない状態を作り出すことである。

もう少し具体的に書くと、「混入しにくい環境をつくる」、「モノがなくなったらすぐわかるような環境をつくる」、「異常な状態であることに気づけるような環境をつくる」ことである。

2-2. 整理

「整理」とは、製造現場にある不要物、劣化しているものをなくすことである。

製造現場に不要物が多く存在すると異物の原因になるモノが増えることになる。また、モノが多いと製造現場にあるモノが製品に混入していても気づきにくくなってしまふ。また、製造

現場に不要なモノがあっても気づきにくくなってしまふ。

2-3. 整頓

「整頓」とは、モノの置き場所、数量を決めることである。

モノの置き方が悪いとモノ自体が異物の原因になったりしてしまう。そのため、最低限以下のような点に注意することが必要である。

- ・置いているモノが無くなっていないかわかるよう置く
- ・置いているモノ自体が異物の原因にならないように置く
- ・置き場所を綺麗にしておく

2-4. 清掃

「清掃」とは、水を使わずに施設・設備・機械・器具を綺麗にすることである。

清掃は、ゴミ、埃、土、食品残渣などが残ることのないように掃除しなければならない。掃除する対象や汚れの種類によって、掃除する方法や使用する清掃用具を選定しなければ、残渣などが残ってしまうことになる。

清掃で重要なことは、出来上がりの基準を明確にすることである。基準さえ明確になれば、綺麗になることが多い。

それでも綺麗にならない場合は、清掃漏れがおこりやすい場所を、注意箇所と提示するとよい。また、粉清掃などは、手順を間違えると粉を拡散する結果になる。こういった場合は、手順を作成した方がよい。

2-5. 洗淨

「洗淨」とは、水を使用して綺麗にすることである。この場合、洗剤の選定、洗淨の方法、すすぎの方法などが重要なポイントになる。汚れに合った洗剤を選定しなければ、汚れは落ちない。洗淨する際の水の温度も重要で、汚れによってどの程度の温度の水（お湯）で洗淨するのが良いかも検討が必要である。

また、すすぎの方法をしっかりと決めておかなければ、洗剤が残ってしまう。

洗浄の場合も清掃と同様で、出来上がりの基準を明確にすることが重要である。ただし、洗剤を使用することやすすぎが重要であることから使用薬剤や手順を明確にしておくことは重要である。

2-6. 殺菌

「殺菌」とは、微生物がいない状態をつくることである。洗浄後、高い清浄度が求められる箇所では、殺菌を行う。この場合も、殺菌する対象や程度によって、殺菌剤や用法を検討する必要がある。

殺菌の場合は、清掃や洗浄と異なり微生物がいない状態をつくるのが目的である。そのため、見た目だけで出来上がりの基準を決めることができない。微生物検査をして、どのような薬剤を使用し、どのような方法で殺菌すれば微生物がいない状態になるのかを検査しておく必要がある。そして、その方法を手順化しておかなければならない。

2-7. しつけ（習慣づけ）

「しつけ」とは、的確に5つのS（整理・整頓・清掃・洗浄・殺菌）を実施させるために、管理・教育訓練することである。「しつけ」というと、一方的に怒ってやらせるというイメージが強く、うまくいかない場合、従事者が悪いと結論づけられがちである。

そのような失敗をしないために、「しつけ」は「教育訓練する」と考えるべきである。必要なことは、「教える」「実施させる」「確認する」ことである。

つまり、「しつけ」は7Sの中の1つのSでありながら、非常に重要であり、成功するための大きなキーとなる部分なのである。

3. 7Sを構築するためのポイント

ここまでで記載した7Sの内容を見ると、非常に当たり前のことを書いている。当然、食品

工場では実施すべきことなのである。

しかし、この当たり前が非常に難しく、多くの食品工場では苦勞している。そこで筆者がいろいろな食品工場と活動してきた中でポイントだと感じたこと、先人たちから伝承されてきたことの中で、特に整理・整頓・しつけについて幾つかのポイントを記載する。

3-1. 7Sを大きく前進させるために

製造現場に不要物が多く、いくら頑張っても良くないという気はしないということはある。そこで、まず不要物を撤去する際のポイントをいくつか紹介したい。

整理では、不要物の定義が非常に難しい。必要・不要ということで考えるとどうしてもほとんどのモノを必要だと感じてしまう。そこで、以下のようなモノを不要物と定義するとよい。

- ・当日、使用しない原料、資材
- ・製造現場で使用する備品の予備
- ・使用頻度が月に1回以下のモノ
- ・製造に使用しないモノ
- ・私物

使用頻度が低いモノを製造現場に置いておくモノが増えていくので、使用頻度で区切って、必要か不要か判断する。設定する使用頻度に関しては、製造現場の広さにもよるが、製造現場が狭い小規模厨房などでは1週間に1回、製造現場にある程度の広さがある食品工場では1ヶ月に1回以上使用するものだけを現場に残す。

このような不要物の基準を明確にしておくこと以外にもうひとつポイントがある。それは、必要、不要以外に保留物を設定しておくということである。実際にモノを減らす時には、必要・不要の判断に迷うことが多い。その場合、保留というモノを設定しておくとうい。保留物は、1ヶ月や3ヶ月といった期間保管しておいて、必要なものは製造現場に戻し、その期間使用しなければ廃棄する。また、上記の頻度で使用し

工場の中のモノを『3つ』に分別

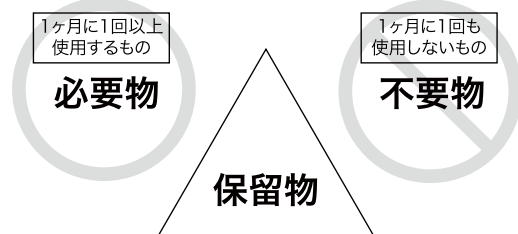


図3 不要物を減らすコツ

ないモノは、製造現場以外の場所に保管しておくといふ。

他に減らすことが難しいモノとして、工具がある。これは、どうしてもセットで購入するため、実際に使用しないモノが増えていく。不要な工具を減らす時は、ひとつひとつ使用する箇所があるのかどうかを確認し、必要な本数も最小限にとどめるように注意する必要がある。

また、これらの活動がなかなか進まない場合は、みんなで製造現場の不要なものを撤去する活動をするといふ。みんなですること、思い切ってモノを捨てることもできるし、不要物を置かないという共通認識も芽生える。また、思いのほか従業員の方々も楽しんで活動してくれている印象がある。あまりにも不要物が多い現場では、休日を利用してでも実施してみる価値がある活動である。

3-2. 整頓のポイント

モノを減らしても、モノの置き方が悪いと異物混入の原因に気づけなかったり、維持していくことも難しくなったりする。そのようにならないためには、いくつかポイントがある。

一番のポイントは、最後に片付ける場所だけでなく、使用中に置く場所も決めておくということである。整頓という、製造終了後に片付けている工場は非常に多いが、作業中の置き場所を決めている場合は少ない。その結果、作業中に変な場所にモノが置かれ、それが異物混入

の原因になってしまう。作業中の置き場所を決める場合、製品の近くに置くことが多くなるので、異物の原因になりにくい場所を選ぶ必要がある。ただし、作業しにくい、置き場所が作業場所から遠いといった状況にならないように注意しなければ、維持しにくいルールになってしまう。

次のポイントは、清掃しにくい場所、異物が付着しやすい場所にモノを置かないということである。例えば、棚の裏や天板の上、窓の枠部分などにモノを置くと、その場所が清掃しにくくなり、置いているモノにホコリなどの異物が付着しやすくなる。

もうひとつは、一目見てモノがなくなっていることがわかるように置くということである。



図4 一目見てわかるモノの置き方 1

写真提供：株式会社松北園茶店



図5 一目見てわかるモノの置き方 2

写真提供：株式会社トンボ飲料

調理器具や道具などを箱や容器の中に入れておくと、その中に本当にモノがあるのか、汚れていないか、不要なモノが入っていないかなどをいちいち確認しなければならない。それは、相当面倒なことである。そこで、一目見て不要なモノがない、必要なモノがなくなっていないということがわかるようにしておくとうい。

3-3. しつけの重要性

前述したように、整理～殺菌については、実施することを決めることで、実施にこぎつけることはできる。しかし、これを維持していくことが難しい。そのためには「しつけ」、つまり教育訓練が重要になる。

3-3-1. 教える、実施させる

「ルールに従事者に伝えるだけ」、「文書化されたルールを渡すだけ」では、従事者全員が同じような成果を出すことはできない。ルールを教える際に重要なことのひとつは、目的を伝えるということである。7Sという基本的なことは誰もが当たり前に感じているため、目的がなく、だらだらと実施してしまいがちになるので、目的はしつこく伝える必要がある。

教えた後は、実際に一緒に実施することが重要である。これにはふたつ理由がある。ひとつは、口で言うだけでは伝わらないということ、もうひとつはルール作成者自身がルールの良し悪しを体感しておかないと、問題点がわからないということである。従事者が実施している状況をルール作成者が確認しなくては、正確に伝わったかどうかわからない。また、本当に実施可能なのかどうかわからない。

3-3-2. 確認する

教えた直後は実施できたが、ルールや環境に無理があり、長く続けられない場合もある。そのため、ルールに従事者にしっかりと教えた後、実施されているか、「清潔」は達成されているかを確認する必要がある。確認で重要なことは、現場をよく見て、従事者の話をよく聴くということである。現場を確認する場合、次の5点がポイントである。

①ルールを把握して現場を確認する

ルールを把握して現場を確認すると、不要物があったり、清掃不良が見られたりする場合は原因を推察することができる。例えば、清掃不良を見つけた場合、以下のような見方ができる。

- ・清掃がルールどおりに実施されていないので、清掃ルールの伝達方法を見直さなくてはならないのではないか。
- ・清掃はルールどおり実施しているが、残渣があるので、ルール自体を見直さなくてはならないのではないか。
- ・清掃箇所から漏れていたもので、清掃箇所としてルールに追加しなければならないのではないか。

このように考えることで、発見した汚れを清掃するといった対処的な対策だけでなく、7S活動全体を見直すことに繋がる。

②類似した問題点を探す

問題点を見つけた時に、類似した問題の有無も確認すると、原因を絞りやすくなる。例えば、類似した問題が多く発生している場合は、7Sのルール自体や「しつけ」の方法に問題があるのかもしれない。ひとつの部署だけに問題が集中している場合は、その部署特有の問題があるのかもしれない。

③従事者の意見を聴く

原因を絞るためには、従事者の意見も聴かなければならない。従事者の意見も聴くことで、思いがけない問題に気づくこともできる。また、実際に7Sを実施している従事者の意見は改善のためには必須である。

④解決策を現場従事者と話し合う

現場を見て、話を聴いたら改善策を考える。この時、①～③で入手した情報を基に原因と対策を考える。この時、汚れていた箇所をいつ誰が掃除するか、不要物をいつ誰が撤去するかなどの決定も必要だが、「ルール作り」、「ルールの伝達方法」、「ルールの確認方法」、「原因究明や対策の立案」など活動の問題点に対しても原

因と対策を考えるべきである。

これらの話し合いに、現場の従事者を交えることにより、従事者の3Sに対するスキルや意識が向上する。

⑤一方的に怒らない

「教える、実施させる、確認する」時に、ルールを教える人間は、従事者を一方的に怒ってはならない。一方的に怒ると、従事者は意見を言わなくなったり、現場の悪いところを隠したりするようになる。そうなると従事者からの意見が吸い上げられなくなる。

7Sを維持するためには「教える、実施させる、確認する」を繰り返していかなくてはならない。これにより、製造環境の変化、製造品目の変更、人員の異動などによる7Sの崩壊を防げる。

3-3-3. 叱る

7Sを始めた時、進捗が悪いと従事者を叱責することで改善を進めようとしてしまう。しかし、大半の従事者が7S活動をしなない場合は、その目的、必要性や重要性を理解していないことが多い。全社的に7Sが進まない場合は、従事者を社外の会合に連れていったり、クレーム処理に同伴させたりして、7Sの意義を感じさせると効果的である。7S活動で叱るべきポイントは、以下の2つである。

①例外を許さない

大多数の従事者が7Sを実施しはじめたら、実施しない少数の従事者に対しては叱らなくてはならない。7Sを実施する際、「7Sをやるぞ」

という意気込みがある従事者と「7Sをやりたいくない」という従事者はいずれも少数である。大半の従業員は周りに流されている。そのため、7S活動が工場に浸透しはじめた時、少数のルール違反や例外を許していると、7Sを実施していない状態に逆戻りしてしまう。

②経営者や管理者にこそ叱責をする

経営者や管理者といった上位役職者がルール違反をした時は、叱責すべきである。工場に従事者が一生懸命7Sを実施しているにも関わらず、経営者のような上位役職者が全くルールを知らなかったり、自分に関係ないという態度を示したりする場合がある。経営者や管理者のルール違反は確実に、7S活動を行なう上で工場全体の士気を下げる。たとえ社長だとしても、ルール違反を叱責できる会社としての取り組みや雰囲気づくりも7S成功には重要である。

さいごに

7Sは、衛生管理における基本中の基本である。しかし、それが難しい。それを理解しておくことも重要である。簡単だと思い込んでいると、失敗してしまう。実は難しいんだと言うことを、特に管理者が理解しておくことが成功の最重点かもしれない。

また、7Sというのは現場従事者だけが実施することではなく、管理者がしっかりと管理することで成功するのである。そのことも忘れてはいけないと思う。

参考文献

- 1) 西島 基弘 他：情報社会における食品異物混入対策最前線，エヌ・ティー・エス，2015.
- 2) 尾野一雄：5Sじゃ足りない 食品衛生7Sの基礎知識，TPMエイジ2011年5月号，8-17，(株)JIPMソリューション
- 3) 米虫 節夫 他：現場がみるみるよくなる 食品衛生7S活用事例集2，株式会社日科技連出版社，2010.
- 4) 米虫 節夫：食の安全を究める 食品衛生7S導入編，株式会社日科技連出版社，2006.
- 5) 佐藤 邦裕 他：人を動かす食品異物対策，株式会社サイエンスフォーラム，2001.

ミラノ万国博覧会 2015 を訪れて（後編）

尾作 浩司 (OZAKU Koji)

一般財団法人 日本食品分析センター

■前回の振り返り

2015 年、万国博覧会史上初めて「食」を主題として開催されたミラノ万博に訪れた筆者の渡航記。後半は万博来場者約 2150 万人の約 10% の方が来館し、最終的にはパピリオンプライズで展示デザイン部門の金賞を受賞した日本館を中心について、本編を進めます。

■日本館

続いて日本館へ。“日本”はイタリア語で“GIAPPONE”。日本の伝統的な木材建築法の一つで法隆寺にも使用されている「めり込み作用」で木材を組まれた外壁は、まるで生きているかのようで、一見の価値ありでした。もちろん、耐震性にもとても優れているそうです。まさに温故知新。そんな外壁から圧倒的な存在感がありました。訪れた 9 月 23 日の午後の激しい風雨の中、日本館もまた 3 時間待ち。話し相手もおらず、雨なので一眼レフカメラをそんなにバッグから出すわけにもいかず、心身ともに風邪をひかなくてよかったと現在でも思います。人気のあった日本館。会期中には 10 時間待ちの日もあったそうです。行列嫌いで有名なイタリア人がここまで並んだと現地のニュースでも、取り上げられていました。

■デジタルアートと和の競演

パピリオンの中に入って、まず目を引くのは最近注目されている Team Lab さんが手掛けた「和」を強調したデジタルアート。日本のこの万博にかける意気込みをこのあたりからも感じられました。



写真 1 日本館の外壁



写真 2 大雨の中にも関わらず行列を作る様子



写真3 デジタルアートで日本の踊りを表現している様子



写真4 伝統工芸品などの展示

そして、イタリア館でも感じましたが、世界の方々に言語に代わって自分たちの思想を表現するときに絵や音で伝えられるということ。特に日本館では映像技術も駆使して日本の伝統を表現していました。日本各地の様々な各地の文化の紹介。人形などが多かった印象でした。日本人の私でも知らないものも沢山ありました。日本に来る外国人観光客が、日本人より様々なことに詳しいことがあるのも、このような理由からなのでしょう。今回の思いもよらない発見や気づきは、海外で日本を学ぶことの一端かも知れません。

次に、日本の食事や食材についての説明。この辺りから、日本の伝統文化から食に表現される内容が変わって行きました。次にダイバーシティの滝。写真にあるような真っ暗な部屋の中に青い光の柱のある部屋の様子は、ニュースやインターネットで沢山取り上げられていたので、目にしたことのある方も多いと思います。上から写真が降りて来て、その写真をタッチして、スマートフォンなどのタブレット端末のアプリケーションで取り込み、個別の説明を見ることができたものでした。普段何気なく使用しているスマートフォンなどをここまで活用するという発想、素晴らしいかったです(写真5、6)。

■米（こめ）と日本の食文化

その他にも様々な展示がありました。写真にある素晴らしい展示のこともよく期間中に説明されていましたが、ここには大きなテーマがありました。しかし、メディアにはあまり大きく取り上げ



写真5 スマートフォンのアプリを活用できる食品の写真が降りてくる



写真6 流れてくる写真をタッチするとスマートフォンのアプリで説明を読める

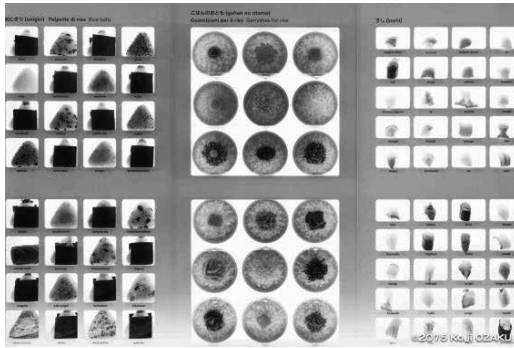


写真7 日本の食事



写真8 食育について

ていないですが、日本の美しいとされる原風景には米作りがあることでした。土地の利用法(棚田)から通常の水田に至るまで、日本の生活と歴史と文化と食にはお米が中心にあります。また、和食を考える上で、繊細な白米を中心に献立を考えます。お椀は出汁を取り、味付けをします。一汁三菜という言葉があるように、白米があることが大前提となっています。米から作られる日本酒、祝い事や季節の節目にはお餅と、日本人は稲作が出来るようになってから米と共にあるのですね。

また、田んぼの役割は米を作るに留まらず、日本独自の景色を作り出すだけでなく、ゲンゴロウやカエル、そしてコウノトリに至るまで生物の多様性を担う重要な拠点ともなっていることも説明していました。私が小学校や中学校で学んでいた理科や社会科の教科書にここまでのことを捉えて書いてあるものはありませんでした。自然や今ある日本の環境や食をはじめとした文化について総合的にとらえること。ぜひ現役の小中学生がこの展示を観たらどう思うだろうと思ったほどでした。

肉や魚や野菜や出汁や調味料に至るまで様々な食材、世界中が注目している握り寿司や御味噌汁やお蕎麦やうどんなどの料理の紹介。さらに食材や料理の紹介に留まらず、レシピを写真入りで紹介されていました。料理本のように詳しく書かれているレベルでした。このようなこだわりは日本人のみならずとも興味を抱きそうな内容でした。そして、食育という現在日本が最も大切にしているキーワードも紹介。

■食育

食育という現在日本が最も大切にしているキーワードも紹介されていました。「食育」と言語化できている日本の素晴らしさを感じました。また日本館全体が次世代のためにもなると捉えられました。日本のパビリオンは、ぜひ国内の子供たちに、また大人に対して見られる環境を作ってほしいと思える内容でした。

展示を観ながら、一次産業が縮小しつつある日本において、次世代を生きる子供たちと食材を作り、そして食べる大切さや喜びを知ることによってエネルギーの循環を自然に身につけることを語ってい

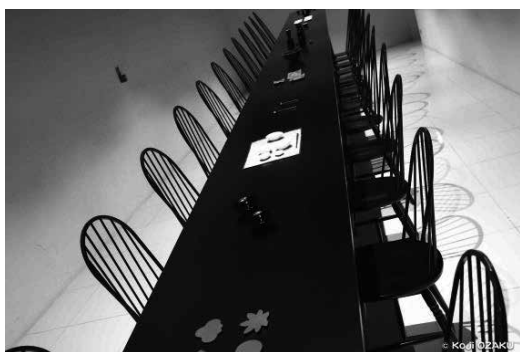


写真9 様々な食器の展示



写真10 お箸の使い方説明の様子



写真11 会場の様子

るようで、私には世代を越えて伝えなければならぬものが沢山あると言われているようでした。決して大きくスペースが割かれていた訳ではありませんが、とても重みのある展示となりました。また、愛・地球博のモリゾーとキッコロが映像の中に登場しての食と地球環境についても紹介。土壌微生物や大豆のことなど。特に発酵食品については興味深いものでした。日本は米と同様に、発酵食品の国と言っても過言ではないと思っています。自然の力とともにある日本の食事。世界にもっとアピールしていいと

思いました。

■食器

テーマは食材・食育から食器へ。そのストーリー展開に私の心が引き込まれて行くのがわかりました。細部にまでこだわった匠の技が光る食器の展示。ミラノという場所を意識してか、美的センスを感じるととても興味深い内容。モノトーンで統一され、文字通り Cool Japan といったところでしょうか。その曲線美、仕上がりの美しさに興味を抱いた外国人は少なくないはずです。後日談ですが、日本館がとても美しいとインターネット上で話題になったそうです。見せる、魅せるということにこだわった日本館でした。

■エンターテインメント

ここまで、日本の食についての一貫した展示を観てきて、最後に日本食についてのショーターム。入室前にショーで使うお箸の使い方について説明。お客様の担当者の説明を受ける眼差しは真剣そのもの。こちらが圧倒されそうになりました。そして会場内へ。

日本の食文化に関するクイズ。各自テーブルに専用タッチモニターがあり、お箸をタッチペン代わりに進めていく内容。ここで日本人としては間違えるわけにもいかず、このような場合、人というのは変に緊張するものです。すべて正解できて、ほっとした以上に、周りの方々がとても楽しそうにしている様子が印象深かったです。

ここまで日本館について書き記してきましたが、現在、日本食が世界で注目され欧州や北米でと

でも大きな波を起こしていることを受けているそうです。主な輸出産業が車であった日本が、漫画・アニメの次に、それ以上の大きな影響力のある新たな輸出産業として首相の指揮の下、総務省と農林水産省が力を入れている。そんな日本国の熱を強く感じました。そして、その日本の食に関する海外の熱もまた自らの肌でも強く感じました。これはとても貴重な体験となりました。外国人観光客が日本を訪れるようになったことから、世界における日本の注目度合いが変わりつつあることを日本人として、もっと感じてもいいのではないかと思います。

■現地日本人ジャーナリストとの会話から

幸運なことに私は現地で長年に渡リイタリアで活躍する日本人ジャーナリスト伊藤格氏とミラノで会食をする機会を設けることができました。（写真 12 はミラノ市内のとあるカフェにて。）伊藤氏は今回の万博においても大変大きな役割を果たしていました。そんな彼との会食の中では、まとまった現地の声を聞くことができました。その内容のいくつかをここに記します。

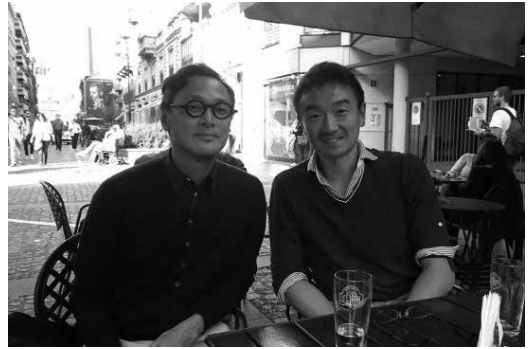


写真 12 伊藤氏（左）との記念写真

今回の日本パビリオンは、世界中の国々の方々から、とても高い評価をもらったそうです。また、万博の出口調査で、「どの国のパビリオンが最もよかったか？」という質問に、日本がもっともよい評価をもらっていたそうです。さらに今回の万博を通じて、「どの国に最も興味を持ったか？」という質問にも日本が飛び抜けてよかったそうで、その国に行きたいかという追加質問にも、もちろん行きたい！と評価をもらったそうです。そのように日本の食事や文化がとても高い評価を得ていることを誇らしく思いました。

2019 年に開催予定のラグビーのワールドカップ、2020 年に開催予定のオリンピック・パラリンピックが予定されている我が国が食文化の輸出国として、はたまた観光立国としてもさらなる進化を遂げようとする取り組み、そして世界中の人々に評価されてきている現実を目の当たりに出来たことはとても良かったです。しかし一方で普段の東京での生活から次のことが頭に浮かびました。食とは直接関係ありませんが、東京は現在ホテル不足と言われるほど渡航者で溢れています。新宿や銀座あたりを歩いていると、ここは日本なのかと目や耳を疑いたくなるほどです。また、渡航者から英語で質問されても対応しようとしないう・出来ない日本人も多くおり、観光立国を目指す日本の進むべき方向性と温度差がまだまだあるのも現状なのだなと思いました。

また、日本のパビリオンについて客観的な意見も伊藤氏からありました。デジタル技術をふんだんに用いることで大衆に対して素晴らしいアピールができ、数多くの日本のファンを作る切っ掛け作りはできていたと思いますが、手作り感のある一人ひとりの来場者と意見交換可能な他国のパビリオンと比べると個人に対しての話をするというケースが極めて少ない印象でした。これは日本のプレゼンテーションには



写真 13 日本館の外に掛かる虹

興味はあるけれども、その興味は「展示物や映像」に関してであって、「日本人」に関して興味を抱いたわけではないということを含んでいました。電車がきっちり定刻で運行される国、日本。あれだけの来場者があったパビリオンで機械的に見学を進めるなど、より多くの来場者に日本の文化を知っていただく機会を設けるためには、諸刃の剣ともいえる部分であったのかも知れません。遠い異国の地で長年に渡って活躍されるジャーナリストだからこそ、人もまた祖国の大切な文化であるという愛国心からの貴重なお話を聞くことができました。

改めて、万博を通じて見えて来たことを、ぜひ皆さんに今後の日本に活かしたいと思いました。写真 13 は、日本パビリオンを出たときに虹が架かっていたときに撮りました。このように、今回の万博での日本の取り組みが、世界との架け橋となるような気がした瞬間でした。

おわりに

イタリア館に代表されるように各国が自国の文化をととても大切にし、誇りにしていました。昔ながらの方法で食材を作り提供する。多少、機械化が導入されたとしても、根本は変わることの無い世界。継続して来たからこそ、持続可能なものを、世代を問わず伝えていこうという強い意志を感じました。また、この文章を作成している間に日本館が金賞を受賞したというニュースが届きました。益々日本が注目されていきます。

これから、さらに我々個人が自覚を持ち、自国の文化・伝統を再認識し自信を持って取り組むことで、日本という国の評価が高まり、より日本のファンが増えていくでしょう。日本という国は北海道や本州を始め、多くの島で出て来ている地球上の陸地が国家を形成しているのではなく、我々一人ひとりが日本という国を作り上げているのですから。

時は流れて行きます。デジタルの世界は人の世界の可能性を拡げてくれています。しかし、人の身体はデジタルで出来ている訳ではありません。また日本の建物が全て京都や鎌倉のような古くからある建物に東京のビル群が変わることは無いと思います。それらを上手に調和できるのが日本・日本人なのかも知れません。だからこそ、目にするもの触れるものが近代化される一方で、口や鼻や耳にするものは、勇気を持って変わらないという選択をし、古くから伝わるものをもっと大切にしたいと思いました。詰まるところ、今後の日本の永続的な繁栄のヒントが「日本の食」に集約されているように思いました。外から見る日本。日本の素晴らしい四季を演出する自然と歴史、おもてなしの心や文化、世界屈指の科学技術、そして何より世界中が注目する食文化に追い風を感じずにはいられない、とてもいい経験になりました。この旅行記で、皆様にも何かのヒントになるものがあれば幸いです。一生の思い出に残るいい旅でした。

～ プロフィール紹介 ～

尾作浩司（おざくこうじ） 1976 年生まれ。2000 年東京薬科大学生命科学部環境生命科学科卒。2002 年東京薬科大学大学院生命科学研究科修了、生命科学修士。同年（一財）日本食品分析センター入所。臭素系ダイオキシン類調査事業（環境省・平成 14-17 年度）、放射線照射食品の検知事業（厚生労働省・平成 18 年度）など官公庁事業に従事。その後、ポリフェノールなどを含む機能性食品の分析、アフラトキシンなどのカビ毒分析、異物検査、NMR による医薬品等の確認、純度および定量、輸入食品および容器等検査に従事。現在に至る。

伝える心・伝えられたもの

— 水車（みずぐるま） —

宮尾 茂雄

（東京家政大学）

私には、心に残る水車（みずぐるま）との出会いがある。京都市の琵琶湖疏水にある「夷川発電所」と三鷹市大沢の「新車」と呼ばれる水車である。それまで水力発電所というと黒部ダムのような山間部に作られた巨大ダムが頭にうかび、水車というとドライブインなどにある観光用水車の記憶しかなかったので、この2つの「働く」水車との出会いは忘れられないものとなった。それがきっかけとなり、水車を尋ね歩くようになった。昭和30年代頃までは、水車はまだ私達の身近にあって活躍していたが、その多くはいつの間にか姿を消していった。

1. 水車の発達

水力を利用する水車は、3000年以上も前からエジプトのナイル川、中近東のティグリス・ユーフラテス川の流域などにあった。木製の羽根をつけた水車は脱穀、製粉、木材や石材の切断などの動力として用いられていた¹⁾。その後、中国大陆を経て610年に碾磑（てんがい、みずうす）として日本に伝来した²⁾。碾磑は水力を利用した臼（主に製粉用か?）であるといわれているが、はっきりしたことは分かっていない^{2,3)}。天長6年（829年）には淳和天皇が「中国では水車を備えて水を汲み上げ旱魃を防いでいるので、このようなものを作って農業の資とさせるように」と仰せになられ、水車（揚水水車）が作られたと伝えられている⁴⁾。

正徳2年（1712年）頃発行された江戸時代の百科全書、和漢三才図会によると、「水車（みずぐるま）」とは、川などから水を汲み上げ田畑に供給する揚水水車とある⁴⁾（図1）。踏車とも呼ばれた足踏み水車（図2、写真1）は水田開発が盛んになった1600年代に登場し、400年以上たった現在も九州などの水田地帯で灌漑用に利用されている⁵⁾。

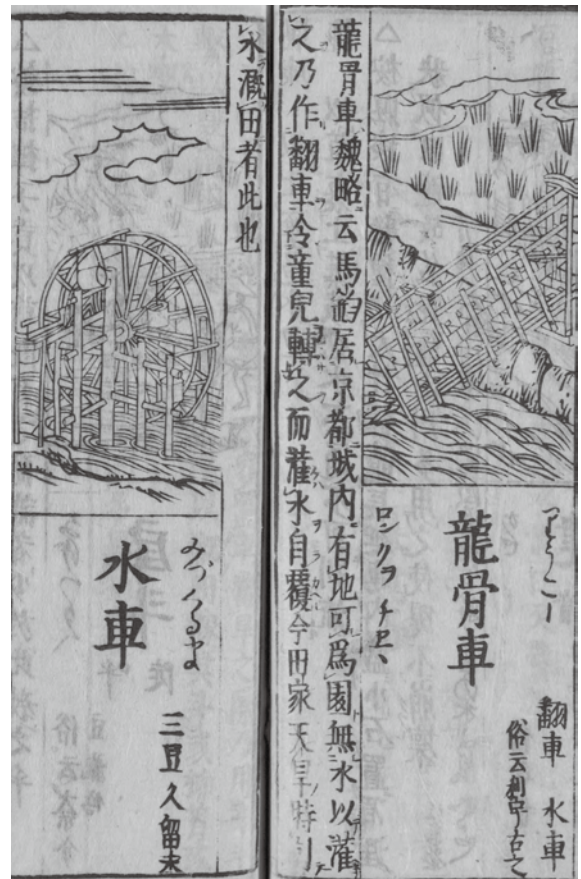


図1 水車（水車（和漢三才図会・出版江戸時代、出典：国立国会図書館デジタルコレクション）



図2 揚水水車説明図（出典：鶴岡市松ヶ丘岡開墾場「庄内の米作り用具収蔵庫」）



写真1 揚水水車（踏み車）（鶴岡市松ヶ丘岡開墾場「庄内の米作り用具収蔵庫」）

水車の動力が精米などに使われるのは、米の生産量、消費量が増大した元禄時代頃（1688～1704年）からとされている²⁾。

水車の構造は、①流水を樋で水輪の下の方に導き、おもに流れる水の力で回転させる下掛け水車、②水輪

表1 水車の種類と用途

種類	訪ねた所	水源	搗き臼	碾き臼	用途 (昔の使用時を含む)	参照
下掛け水車	大王わさび農場水車 (安曇野市) (写真2)	蓼 (たで) 川	?	?	黒澤明監督の映画 「夢」ロケ地、 製粉用か?	図3 Fig.2
胸掛け水車	新車 (文化5年、三鷹市) (写真3)	野川	14	2	精米、精麦、製粉	図3 Fig.3
	深大寺水車 (復元、調布市) (写真4)	逆川	3	1	精米、精麦、 脱穀(粟、黍)、 製粉(麦、ソバ、粳米)	
	小平ふるさと村 (復元、小平市) (写真5)	(小川分水)	3	1	精米、製粉(麦)	
	向島用水路水車 (復元、日野市) (写真6)	向島用水	2015年5月 現在工事中		精米、精麦、 製粉(麦)	
上掛け水車	偕楽園公園水車 (茨城県那珂郡山方町 から移築) (写真7)	不明	4台	1台	精米、そば粉等の製粉	図3 Fig.4
	恩多野火止水車苑 (復元、東村山市)	野火止 用水	3	?	精米、精麦、製粉	
フランスス 水車(初期)	夷川発電所(京都市) (写真8)	琵琶湖 疏水			水力発電 (低落差式発電所)	

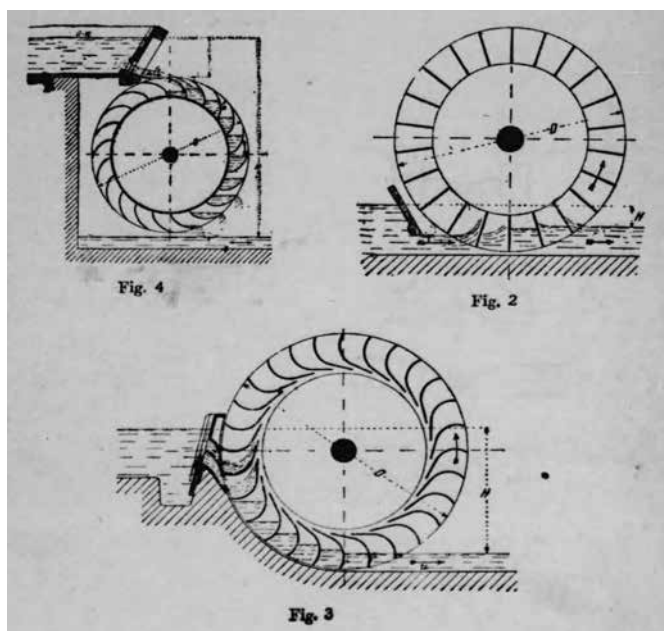


図3 水車のしくみ
(工業用附図, 出典: 国立国会図書館デジタルコレクション)

の中央付近の位置から水を羽根に流し込む胸掛け水車, ③水輪の上から水を羽根に流し込み, 水の落差を利用して車体を回転させる上掛け水車へと発達し, 上掛け水車が仕事の効率が最も良いとされている¹⁾(表1)。しかし上掛け水車で大きな動力を得ようとする, 水輪が大きくなり, その割には出力が少ないためタービン式の現代の水車が誕生した。初期の夷川発電所で使われたフランス水車は, 米国人技師フランスの発明によるもので, 優れた性能はそれ以降の水車(タービン)の基本といわれている¹⁾。

今回, 私が訪ねた水車の多くは武蔵野台地にある。昭和30年代まで水車が動いていた場所(あるいはその近く)にあり, かつての農村の暮らしを伝える道具として近年復元されたものが多い。武蔵野台地は水源に乏しい地域も多く, 江戸時代になっても開発が進まなかった。承応3(1654)年に玉川上水が開削され, そこからの分水が利用できるようになると新田開発が行われ, 急速に発展した。地形的にあまり高低差がないので上流側を高くして傾斜を強くし, 水路の幅を狭くして勢いよ



写真2 大王わさび農場の水車(安曇野市)



写真3 新車(三鷹市大沢)



写真4 調布市深大寺水車館(調布市深大寺)



写真5 小平市ふるさと村の水車
(小平市)



写真7 偕楽園公園水車小屋、水輪の
頂上に樋口が見える
(水戸市茨城県立歴史館)

く水をかける胸掛け水車が多かったといわれている⁶⁾。



写真6 向島用水親水路水車小屋（日野市）



写真8 夷川発電所放水路（京都市）



写真9 南禅寺舟溜まり、中央が琵琶湖疏水インク
ライン（京都市）

2. 「夷川発電所」

最初の出会いとなった「夷川（えびす）発電所」（送電開始は1914（大正3年））は京都市内、みやこめっせ（京都市勧業館）や平安神宮などが位置する地区にある。京都を訪ねる機会があると早朝に鴨川や琵琶湖疏水、高瀬川など水辺の散策をするのが私の楽しみである。地下鉄東西線蹴上駅を降りて、仁王門通りを下ると蹴上発電所が見える。その先には琵琶湖疏水のインクラインと南禅寺舟溜まりがある（写真9）。さらに疎水沿いを歩くと、今度は先ほどよりは狭いプール（貯水場）



写真 10 夷川発電所貯水池（京都市）



写真 11 夷川発電所水利利用標識（京都市）

が出現する（写真 10）。川を塞ぐように堰があり，水利利用目的に「発電」とある（写真 11）。夷川発電所は，日本最初の事業用水力発電所「蹴上水力発電所」（送電開始は 1892（明治 25 年））と同様，現役の発電所だ。落差わずか 3.4m の水力で水車を廻し，およそ 300 世帯分の電気を供給している（発電能力（出力）は 300kW⁷⁾）。不夜城のように電気を消費（浪費？）する大都会の真ん中に，その一部を補完する水力発電所があることは感動であった。

3. 大沢の新車

もう 1 つの出会いは，文化 5 年（1808 年）頃に造られ，大正 8 年（1919 年）に改造された東京三鷹市大沢の「新車（しんぐるま）」という精米，精麦，製粉用の水車である。上流側に天明 4（1784）年頃に造られた大車（おおぐるま）という水車があったことから「新車」と呼ばれたそう。水輪（水を受けて回転する部分）は「覆屋（水車小屋）」の中にあるので，外からは全体を見ることができない（写真 12）。新車は，搗き臼 14 台，碾き臼 2 台を備える武蔵野を代表する規模の水車といわれており（写真 13），昭和 43 年頃まで現役として動いていた。野川からの水車堀（水車までの導水路）は大車と共同で使い，水路の清掃管理なども一緒に行っていたそう^{8,9)}。



写真 12 新車の水車覆屋（左側奥），右側が野川



写真 13 新車の水輪（奥），搗き臼（手前），碾き臼（奥右側）



写真 14 導水路と水輪を傷めないように設置された金網の芥除け（ゴミよけ）
（三鷹市大沢新車）

しかし護岸工事の影響などで野川の水路が変更され、稼動を停止した。その後も水車農家の峰岸清さんが水車を大切に維持管理しておられた。亡くなられた後は、三鷹市が引き継ぎ、平成22年に水車堀を新設して水車を動かしている（写真14）。翌年からは年に1度、水車の動力による「精米・製粉作業見学会」が行われ、多くの見学者でにぎわっているようだ。

水車小屋の中に入ると直径約4.6m、幅およそ1mの水輪が廻る迫力と水受け板¹⁰⁾からザーと流れ落ちる水音が力強く響いていた。昭和30年代に搗き臼に代わって精米機を使い始めたが、

最初は水車の動力を精米機に利用していた。水車の動力を伝える太いベルトが今も残っている。製粉用碾き臼と篩（やっこ篩）、粉を再度挽くために碾き臼に運ぶ升降機（せり上げ）などもある。これらも電気が使えるまでは水車で動いていたようだ^{8,9)}。ボランティアの方が丁寧に解説して下さったが、からくり時計の中に入ったようで、全体のしくみを理解するのは難しかった。

4. 加賀藩下屋敷の水車

私が教鞭をとる東京家政大学は板橋区加賀1丁目にある。加賀という地名は、江戸時代、この辺りに兼六園のおよそ7倍にあたる21万8000坪という広大な加賀藩下屋敷があったことに由来する。参勤交代のために金沢を出発した藩主一行は金沢～江戸間の約480kmを12泊13日かけて中山道板橋宿に到着し、いったん下屋敷で休息をとった後、身支度を整えてから本郷の上屋敷に向かったようだ。下屋敷の面影を彷彿させるものは、加賀公園に残る小さな築山の跡だけといってもよいが、当時の絵図（御下屋敷御林大綱之絵図（文政7年）、原図所有者：金沢市立玉川図書館近世史料館、出典：参考資料12））から推測すると大きな池泉とその北側に築山があり、屋敷内には水田や畑があり、様々な農作物が作られていた¹¹⁾（図4）。

絵図では、石神井川は図面の左手、西側から流れ込み、右手から敷地の外へ流れ出る。その間に2つの水車と専用の水車堀が描かれている。当時とは流路は違っているが、現在この近くにある『みどり橋』（石神井川）

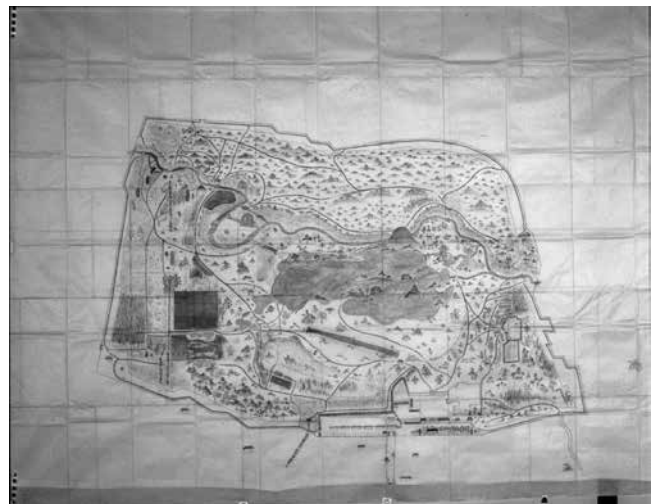


図4 加賀藩下屋敷絵図（全体）

（出典：（原図：御下屋敷御林大綱之絵図、金沢市立玉川図書館近世史料館（文政7年）、デジタル資料作成：板橋区郷土資料館、掲載許可申請のうえ使用）



図5 加賀藩下屋敷絵図（部分）
池泉式庭園にある大型水車（出典：図4に同じ）



図6 加賀藩下屋敷絵図（部分）
紙漉き用の水車と作業小屋（出典：図4に同じ）

は、隅田川の上流およそ4kmの地点にあたり、江戸時代には隅田川との間に舟の往来があり、周辺にはいくつかの水車があったそうだ。

大きく描かれた中央の水車（大型水車）は米搗き小屋とある（現在の加賀1丁目16番地付近）。図録によると、「山里の風景を表現するための一装置」として鄙びた里の景観の演出効果をねらったものようだ¹²⁾。実際に米を搗き、粉を挽いていたとしたら、雨よけの小屋掛け（覆屋）が必要だと思うが、描かれていない（図5）。

もうひとつの水車はそれよりも上流に架けられたもので、資料によると実際に紙漉きが行われていたそうで、水路をまたぐように建てられた水車小屋と紙漉き小屋が描かれている（図6）（現在の加賀2丁目14番地付近）¹²⁾。水車を動かすためには水量調整などが必要で、分岐路（取水口）にはそれなりの工夫があると思われるが、絵図からは分からない。幕末になると、紙漉きではなく、木製の長い大砲（大筒）の砲身の真ん中を削り抜く「錐通し」のために水車の動力が使われていたそうだ¹²⁾。

明治になると、この辺りは国有地になり、陸軍の火薬製造所が設置された。敷地はその後拡張

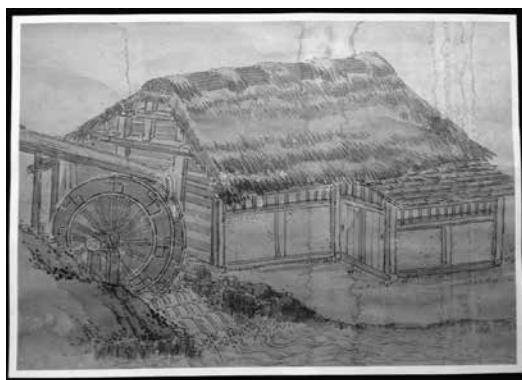


図7 製粉用の水車小屋（蒟蒻粉製造絵図）
（原図、幕末頃、福島県白川地方（現在東白川郡）、
絵師名不明）、（財）日本こんにゃく協会発行（複製出版平成5年）、（東京家政大学）

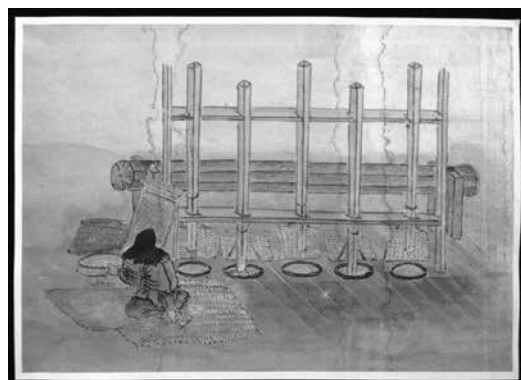


図8 荒粉を搗いて蒟蒻粉を製造（原図：図7に同じ）

し、昭和15年には東京第二陸軍造兵廠板橋製造所板橋工場となり、終戦を迎えた。この地に火薬製造所が設置された理由として、幕末にあった水車の存在が大きかったといわれている¹²⁾。明治9年12月には水車の動力を使い、日本で初めて西洋式の黒色火薬が製造された。築山の跡には火薬の性能を試す弾道検査管の標的が造られ、今も露出したコンクリートとレンガの壁の一部が加賀公園に残っている。

水車には「精米・製粉」というイメージがあるが、搾油や蒟蒻粉の製造（図7, 8）、生糸揚げ返し（生糸を大きな揚杵（あげわく）に巻きなおすこと）など様々な用途があった。今も線香水車や陶土粉碎などに水車を利用しているところがある¹³⁾。

5. 精米方法の進歩

『稲春（つ）けば かかる我が手を今夜（こよい）もか 殿の若子（わくご）がとりて嘆かむ』（資料14, 東歌巻14-3459）

1束の稲を搗くと粳1斗がとれ、1斗の粳を舂（つ）くと米5升になる¹⁴⁾。平安の頃までは、石包丁で稲穂を刈り、粳をそのまま臼に入れて堅杵（たてきね）で搗き、精白を行っていた。これらはおもに女性の仕事であり、厳しい労働に手荒れもひどかったであろう。

その後根元からの稲刈りが行われるようになった。稲束を天日で乾燥させた後、脱穀し、粳摺りしてから、玄米を搗き臼で精米する方法が定着した。江戸時代半ばになると、江戸、京都、大坂では武士、町人などの食生活も玄米食から白米に変わり、白米の需要が急激に増え、炊いたものを「こめのめし」、「しろめし」といった¹⁵⁾。人力で行う搗き臼や踏み臼、水力を使う水車（みずぐるま）などにより精米能力も向上した。

水が少なく大掛かりな水車を作ることができない地域では添水唐臼（そうずからうす、四国ではソウズ、東北地方ではバッテリーとも呼ばれる）が使われていた（写真15）。小川や懸け樋などの水を木製の筒の中に注ぎ入れる（写真15、左側）。水が溜まると重みで筒が下って水を吐き、軽くなると反転して元に戻る。このときに杵で臼の中の穀類を搗く。鹿おどしの仕組みと同じだ。人がそばにいらなくても時間をかければ精米できるので、四国では貴重な道具として昭和30年代頃まで使われていたそうだ（香川県高松市「四国民家博物館（四国村）」展示解説）。



写真15 添水唐臼（そうずからうす）小屋、（香川県高松市四国村）（写真提供増山友一氏）



写真16 復元された踏み臼（旧宇田川家住宅内、千葉県浦安市）

江戸市中の米屋（搗き米屋）では足踏み式搗（つ）き臼（踏み臼）による精米が行われていた（写真16）。また横杵を担ぎ、胴臼を転がしながら各家をまわり、庭先で米を搗いて手間賃をもらう「移動搗き米屋」も現れた。安政の頃の春（つき）賃（精米の手間賃）は、およそ白米1斗で40春（つき）が64文（1文およそ20円前後）と記されている¹⁵⁾。白くするには最低30春（つき）といわたが、白い米が好まれたのか、だんだん回数が増えたようだ¹⁵⁾。



図9 踏み臼による精米（摂津名所図会・池田・伊丹酒造業（部分）、出典：早稲田大学古典籍データベース、参考資料²⁰⁾）

米搗き用の水車は、明和の頃（1764～1772年）に今の摂津（兵庫県）灘の酒造業が使い始めたといわれている²⁾。江戸時代半ばになると、江戸の人口増加とともに、清酒消費量も増大した。摂津の池田、伊丹は清酒の産地として有名で、人力で行う踏み臼で精米を行っていた（図9）。それでは間に合わない、灘の山邑太郎左衛門らは六甲の急流で水車を連続高速回転し、御影石の臼を使い、精米度の高い白米を短時間で多量に確保できるように工夫した²⁾。「灘の宮水」、美味しい酒米、精米度の高い米からできる灘の酒は大いに評判になった。天保3年（1832年）には灘の酒25万石余りが樽廻船により江戸に送られ、「下りもの」の酒の5～7割を占めていたそうだ²⁾。

水車の出現によって精米能力はどれ位増えたのだろうか。株式会社サタケの技術情報誌「TASTY」によると、足踏み式では1人1日5臼（1斗5升5合約23kg（米1斗約15kgで換算））で1割搗き（精米歩合90%余り）だったものが、40台の搗き臼を備えた水車1台では、1日16石（約2400kg、1石=10斗）で2割搗き（精米歩合70～80%）が可能になった¹⁶⁾。

三鷹市大沢の「新車」によるドウヅキ（胴づき、精米作業）では、4斗=2俵分（60kg）におよそ5時間かかった。昭和32年頃精米機を導入し、これを水車で稼働させることで、玄米60kgを約1時間で精米できるようになった⁸⁾。私が利用しているコイン式精米機では玄米5kgが数分で精米できる。近所に精米機があるということは、都会暮らしのなかで、産地から玄米を送ってもらう人がいるということだ。私もその一人だが、ありがたいことである。

水車の経営には、裕福な村役人などの個人水車と村人が共同出資する小規模な共同水車があった¹⁷⁾。個人水車は規模が大きく水車小屋の広さはおおよそ25坪、廻し堀を作って用水を屋内に引き込み、搗き臼14～30台、碾き臼（製粉用）1～2台を備えていた。三鷹の新車とはほぼ同じ規模のものだ。共同水車は水輪が屋外にあり、室内の搗き臼が4～6台で当番を決めて順番に使用した。水量が少ないときは精米に時間がかかり、盗難を恐れて小屋に泊り込んだという話もある¹⁷⁾。昭和になっても水車による精米が行われていた。新車の優れた製粉能力が評判になり、遠方からわざわざ米や麦を持ちこみ製粉する農家があった。仮眠の出来る部屋と簡単な炊事場（井戸や釜戸）が残っており、ここで仕上がるのを待っていたそうだ⁸⁾。

6. 水車で米を搗く

平成4（1992）年にできた調布市深大寺水車館では、水車を利用した精米や製粉作業が体験でき、来館者が見学できる（写真17）。水車館の近くには、明治時代末期に地元の人が協力して造った共同水車があった。この辺りの畑で採れた麦、アワ、キビ、ソバなどの雑穀の脱穀や製粉に水車が使われていた。当時の共同水車は直径4mの大輪に1斗張り搗き臼5台、粳搗り（モミスリ）臼1台と手回しの碾き臼1台が設けられていたが、昭和32年には使われなくなった¹⁸⁾。

水車の水源は、深大寺の境内にある深沙大王堂（じんじゃだいおうどう）の裏手にある湧水池から流れ出る逆川（さかさがわ）を利用している（写真18）。現在は水量が少ないので、いったん流した水を再びポンプアップして再利用している。なおこの施設は平成5年に「手づくり郷土賞―自然とふれあう水辺づくり―（建設大臣賞）」を受賞している。

現在は水輪直径3m、幅40cmの胸掛け式水車で、2斗張り（36リットル）の搗き臼3台、重さ約70kgの碾き臼（石臼）1台が設置されている（写真19）。搗き臼は精米に、碾き臼はソバや麦を挽いている。近くにある深大寺小学校は、体験学習として神代植物園水生植物園の一角でソバを栽培しており（写真20）、秋には小学生が先生と一緒にソバを挽きにくるそうだ。



写真17 水車館と見学者（調布市深大寺）



写真18 深沙大王（じんじゃだいおう）堂裏手の湧水池、逆川水源（調布市深大寺）



写真19 搗き臼3台と軸芯と羽根木（はねぎ）、搗き杵と羽子板。奥にある2本の杵は縄で引き上げてある（調布市深大寺水車館）



写真20 ソバ畑（2015年9月）（調布市深大寺）



写真 21 左から関口宣明さん、宮崎良一さん、筆者、赤羽開作さん（水車館）



写真 22 「輪っか」（水車館）



写真 23 搗き杵で米を搗く



写真 24 杵が持ち上がると「輪っか」が見える

6月半ば茨城県の親戚から送ってもらった玄米を持って水車館を訪れた。搗き臼では、杵で搗くと押された米が臼の底から外側を通して少しずつ上へと移動する。この時米粒同士が上手くこすれ、熱をもたずに糠がこすりとれるようだ。玄米の量が少ないと、杵の力で米粒が潰れてしまう（杵の圧力に負ける）。水車館の搗き臼には少なくとも玄米 10kg が必要とのことだ。当日は調布市郷土博物館、水車館の関口宣明さん、宮崎良一さん、赤羽開作さんが対応して下さり、説明をまじえ手際よく精米作業を進めて下さった（写真 21）。

玄米 10kg を入れると、ちょうど石臼の内側にうっすら残る黒い線のところまで来た。これは長年使っているうちに米ぬか油がしみこんでできたものだそうだ。芯になるベルトにわら縄を巻いた「輪っか」（写真 22）を米の中央あたりに埋め込むように置く。杵の先がその真ん中にストンと落ちるように最初に 3～4 回試し搗きをした（写真 23）。杵で搗き、杵が上がると周りから米粒がアリ地獄のように「輪っか」の中にすべり落ちる（写真 24）。「輪っか」の利用は最初、誰が思いついたものか、賢い知恵だと思った。「輪っか」は麦用、米用、また量などによって高さや直径が異なるそうだ。「新車」には峰岸さんが作られた「輪っか」がいくつも残されていた。

水輪の回転は芯棒（軸心）に伝えられ、軸心の回転によって軸芯に取り付けた羽根木が搗き杵の羽子板を押し上げて搗き杵が上下運動する。作業がない時には杵が動かないように、1 本重さ



写真 25 胴づきを熱心に見る小学生



写真 26 「万石とおし」を使って糠とおし

約 70kg の杵を縄で吊り上げておく。縄をはずし、杵通しを通す。いよいよ水車による胴づき（精米）が始まった。回転運動する軸芯に取り付けられた 4 枚の羽根木が杵の横にある羽子板を持ち上げ、ある高さまでいくと外れるので、杵の上下運動が始まる。杵で搗くとザックという音、ズンと響くような鈍い振動を感じる。見学に来ていた小学生の男の子がその様子を熱心に見ていた（写真 25）。臼の縁がやや内側に削り込まれているので、米粒が臼から飛ばされることは少ない。

水車が回転するゴットン、ゴットン、ゴトゴトコットンという木の軋むような音と大輪から流れるザーという水音が連続して響く。当日は 10 時 20 分～ 15 時半位まで精米を行った。

少しずつ糠や胚芽の部分が取れてくるので、途中 1 時過ぎに糠を除くためにいったん胴づきを止め、臼から米をかき出して、米篩にかけて（万石通し、千石通し）（写真 26）、糠を分けた（糠通し）。水車の回転は朝のうちは 1 分間で 6 回転ほどだったが、糠の量が余り多くないということで、午後は水量を増やして、およそ 8 回転に変更した。薄茶色をしていた玄米が、3 時過ぎにはかなり白くなり、二度目の糠通しを行った。博物館の方によると七分搗き程度ではないかとのことだ。昔は今ののような真っ白なお米ではなく、たぶんこの程度の搗きではないかとのことのお話だった。精米度があがれば、カルシウムやビタミン類など栄養成分も糠や胚芽とともに除かれる（表 2）。江戸時代には「江戸患い（白米を食した江戸暮らしの人に多くみられた脚気などの症状を伴うビタミン B₁ 欠乏症、国元に戻り、玄米食にすると治った）」といわれた病が流行したそう。

表 2 めしの栄養成分の変化（炊いためし 100g 当りの成分量、各 47g 相当量の米を含む）

成分 米の種類	タンパク質 (g)	カルシウム (mg)	鉄分 (mg)	ビタミン B ₁ (mg)	ナイアシン (mg)	食物繊維 (総量 g)
玄米	4.2	7	0.6	0.16	2.9	1.4
半搗き米	3.8	4	0.2	0.08	1.6	0.8
七分搗き米	3.6	4	0.2	0.06	0.8	0.5
精白米	3.5	3	0.1	0.02	0.2	0.3

資料：五訂増補日本食品標準成分表（文部科学省、平成 17 年）

精米の終わった米を持ち帰り、いつもの精米機の米と比べた。水車精米はまだ細かい糠が残っているせいか、やや黄色く見えた（写真 27）。炊き上がっためしはほんの少し硬めなので、しっかり

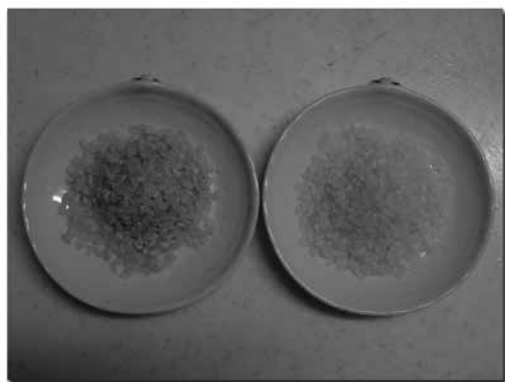


写真 27 米粒の様子、水車精米（左）とコイン式精米機（右）

かみしめて食べた。いつも以上に美味しいように思った。

水車農家の峰岸さんの話しでは、「胴づき」でも『白く上がるように搗いている』が、『機械にはかなわねえな、機械の方が、製品の見栄がいい』⁹⁾と「新車」も精米機に変わっていった。しかし胴づきは機械精米と異なり熱を持たないことから、「食べたら水車の方が味はいい。今も胴づきの方がいい⁹⁾」と語っておられたそう。

農村の水車は明治以降に台数がふえ、大正末期から昭和の初め頃が全盛期であった。いっぽう紡績や化学製品などの工場用水車は明治、大正時代が全盛期で²⁾、工業用動力としては、回転数が少なく出力が低いことから早い時期に電気などの他の動力へと移行していった¹⁾。

水力発電は、貯めた水を高い所から低い所まで導き、流れ落ちる水の力を利用して水車（water wheel, water turbine）を回し電気を起こす。日本の水力発電黎明期には、水量の豊富な平地の河川を利用し、比較的電気の消費地に近いところに発電所の建設が行われたという^{1,19)}。山間部にコンクリートダムを建設し、長距離の送電が可能になるのは大正時代になってからのことである。

2015年12月、国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）は「パリ協定」を採択し、閉幕した。産業革命前と比較して「気温上昇を2度未満に抑える」、「1.5度未満に向けて努力する」を目標に、各国が温室効果ガスの削減に向けて努力することになった。地球の未来に負の遺産をふやさないためにはどうすればよいか。風力、太陽熱、水力利用など再生可能エネルギーはますます重要になっている。水車には3000年以上の歴史があり、様々な分野で私達の暮らしを支えてきた。現在、身近なところにある用水路や河川などで利用可能な低落差式の小水力発電装置が注目をあびている。

水の力と水車、そこに込められた知恵や技術を今ひとたび振り返ることも大切なことだと思う。

水車精米をご指導いただいた調布市郷土博物館の関口宣明さん、宮崎良一さん、赤羽開作さんに深く感謝申し上げる。

参考資料

1. 内丸最一郎：水力タービン，技報堂（1954）
2. 黒岩俊郎他編：日本の水車，ダイヤモンド社（昭和 55 年）
3. 前田清志：日本の水車と文化，玉川大学出版部（1992）
4. 寺島良安著，島田勇雄他訳注：和漢三才図会 8，平凡社（1991）
5. 産業考古学会，内田星美他編：日本の産業遺産 300 選 2，同文館出版（平成 6 年）
6. 小坂克信：北多摩の精米・製粉水車，多摩の歩み第 115 号，財団法人たましん地域文化財団発行（平成 16 年）
7. HP（<http://homepage3.nifty.com/Ogino/gijutuj/ebisugawa.htm>）：京都の産業遺産 関西電力夷川発電所および夷川発電所及び説明用案内板
8. 武蔵野（野川流域）の水車経営農家生活誌 水車屋ぐらし，編集・発行三鷹市教育委員会（平成 12 年）
9. 水車屋ぐらしー峰岸清氏インタビュー記録報告書一，発行三鷹市教育委員会（平成 19 年）
10. 小坂克信：新車（しんぐるま）のひみつをさぐろう！編集発行三鷹市教育委員会事務局（2014 年）
11. 宮尾茂雄：加賀藩下屋敷を訪ねて，New Food Industry, vol.52 No.3（2010）
12. 板橋区立郷土史料館 小西雅徳編集：板橋区・金沢市友好交流都市協定締結記念 中山道板橋宿と加賀下屋敷，板橋区立郷土史料館（平成 22 年）
13. 産業考古学会，内田星美他編：日本の産業遺産 300 選 2，同文館出版（平成 6 年）
14. 廣野 卓：食の万葉集，中公新書 1452，中央公論社（1998）
15. 喜田川守貞著，宇佐美英機校訂：近世風俗志（守貞謄稿）五，岩波書店（2002）
16. 「特集酒造りと酒造精米の歴史」TASTY」Vol.34（2006 年）
17. 上野さだ子：日野の歴史と民俗 145（詳細版）日野の水車，日野市郷土資料館展示
18. 調布市郷土博物館編集・発行：深大寺水車の今と昔（平成 25 年）
19. 田中 宏：発電用水車の技術発展の系統化調査，編集・発行 国立行政法人国立科学博物館（2007）
20. 摂津名所図会：秋里籬畠著述，竹原春朝斎画，積玉圃出版（1796-1798），早稲田大学図書館所蔵

主な訪問地

三鷹市大沢の里 水車経営農家：三鷹市大沢 6-10-15

調布市深大寺水車館：調布市深大寺元町 5-10-6 水車の利用には，調布市郷土博物館への事前申し込みが必要。

小平ふるさと村（公益財団法人小平市文化振興財団）東京都小平市美園町 1-8-5

向島用水親水路水車小屋：日野市高幡不動駅下車

茨城県立歴史館偕楽園公園水車小屋：水戸市緑町 2-1-15

恩多野火止水車苑：東村山市恩多町 3-32

夷川発電所：京都市左京区蓮華蔵町

“醤油を変えた” 驚くべきヒット商品

— 『鮮度の一滴』ヤマサ醤油株式会社 —

田形 暁作 (TAGATA Yoshinari)

TAGATA 食品企画・開発代表

Key Words: 鮮度保持の容器開発 ブランド化 マーケティング戦略 脱コモディティエコ容器

はじめに

搾りたての醤油は澄んだ赤色で、さわやかで香ばしい風味をしている。ところが時間がたつと色は黒くなり、風味も重い感じになる。このことは醤油に関心がある消費者は誰でも気づいている。ところが、それが醤油だと思い多くの人は気にしていない。ヤマサ醤油の開発責任者は醤油メーカーの責任として搾りたての醤油の色、風味を容器開封後も保持することが出来ないか日々悶々と考えていた。その思いを世界で初めて画期的な新容器の採用で達成する開発をした。その醤油の商品名は『鮮度の一滴』という。『鮮度の一滴』の開発とマーケティング・販売について開発責任者と広報責任者を取材した。



1. ヤマサ醤油の会社概要

社 名 ヤマサ醤油株式会社

本 社

〒288-0056 千葉県銚子市新生町2-10-1

代 表 者 代表取締役社長 濱口道雄

創 業 正保2年(1645年)

設 立 昭和3年(1928年)11月

資 本 金 1億円

従業員数 792名(2015年12月現在)

事業内容

1. 醤油の製造・販売
2. 各種調味料の製造・販売
3. 医薬品類の製造・販売
4. その他

売上内容 535億円(2015年12月期)

事 業 所

本社・研究所・工場:千葉県銚子市

支 社:東京

支 店:札幌・仙台・新潟・静岡・大阪

営 業 所:名古屋・金沢・広島・福岡

関係会社

- ①株式会社ヤマサ成田工場
- ②株式会社ヤマサ ORM
- ③サンジルス醸造株式会社

④ YAMASA CORPORATION U.S.A.

⑤ YAMASA (THAILAND) CO.,LTD

⑥ Yamasa Europe B.V.

⑦ SAN-J INTERNATIONAL, Inc.

2. ヤマサ醤油の歴史

①醤油は紀州由良（現在の和歌山県日高郡）の興国時の僧「覚心」が、1255年頃径山寺味噌の製造中偶然出来上がった。今の「たまり醤油」に似たものが最初と言われている。ヤマサ醤油を創業した初代の濱口儀兵衛氏は、この「紀州由良」にほど近い醤油発祥の地「紀州湯浅」の隣り町「広村（現広川町）」の出身である。

②初代濱口儀兵衛氏が紀州から銚子にやってきてヤマサ醤油を創業したのは1645年（正保2年）である。紀州の出身で新しい漁労法で大成功をおさめ、銚子外川港をつくった「崎山次郎右衛門」に刺激され、多くの紀州出身者が房総・銚子に渡った。濱口儀兵衛氏もその一人である。銚子は、醤油作りに最適な紀州とよく似ている気候、すなわち、夏涼しく冬は暖かい穏やかな気候と高い湿度であることから、品質の良い醤油を製造することができた。濱口儀兵衛氏は銚子で醤油の製造・販売を開始した。

③1899年（明治32年）、醤油研究所を設立。同社の味の要である麹菌「ヤマサ菌」の分析など、これまで勘と経験に頼っていた醤油製造を科学的に研究し始めた。ヤマサ醤油の特長である「あざやかな赤い色」と「芳香」は、この「ヤマサ菌」でしか作れない。

④1983年（昭和58年）、12代目として現社長の濱口道雄氏が就任。現在に至るまで、総合調味料メーカー、医薬品類メーカーとして、グローバルな事業展開を行っている。

3. ヤマサマークの「上」は高品質の証

ヤマサのシンボルマークにある「上」の字は、高品質の醤油をつくり続けてきた証である。江



戸末期の1864年（元治元年）、幕府はインフレを抑えるため、諸商人に販売価格の3～4割引を厳命した。しかしながら、ヤマサをはじめとする7銘柄については、品質が優良なため、特に「値を下げるに及ばず」とのお墨付きを得て、「最上醤油」の商号を与えられた。その証がマークにある「上」の文字である。1895年（明治28年）には、関東最初の宮内省御用達醤油にも選ばれ、高品質の醤油としての地位を確かなものにした。

4. 『鮮度の一滴』の商品コンセプト

搾りたての醤油の色は「あざやかな赤い色」であり、風味は「芳香」である。ところが、開封して空気に触れると醤油は酸化し色は黒くなると同時に風味も悪くなる。その状況を図1に示した。醤油を卓上びんに入れ常温で保存すると徐々に黒くなり、1カ月たつと黒くなると同時に風味も悪くなる。また、ペットボトルの醤油を開封すると、8週間で黒くなると同時に風味も悪くなる。さらに、ペットボトルの醤油を開封後冷蔵庫に保管しても常温よりも劣化は遅いが色は黒くなると同時に風味も悪くなる。

醤油が空気に触れ酸化すると色は黒くなり、風味も悪くなることは多くの消費者は気付いているがこれは仕方ないとあきらめているのが現状であった。ところが、すし屋さんや和食料理屋などの専門店に行くと「あざやかな赤い色をした芳香な醤油」がでてくる。見た目にもおいしそうである。『鮮度の一滴』はこの搾りた

しょうゆの酸化について

しょうゆは保存食品ですが、開栓後は空気に触れることで酸化が進み、風味が劣化していきます

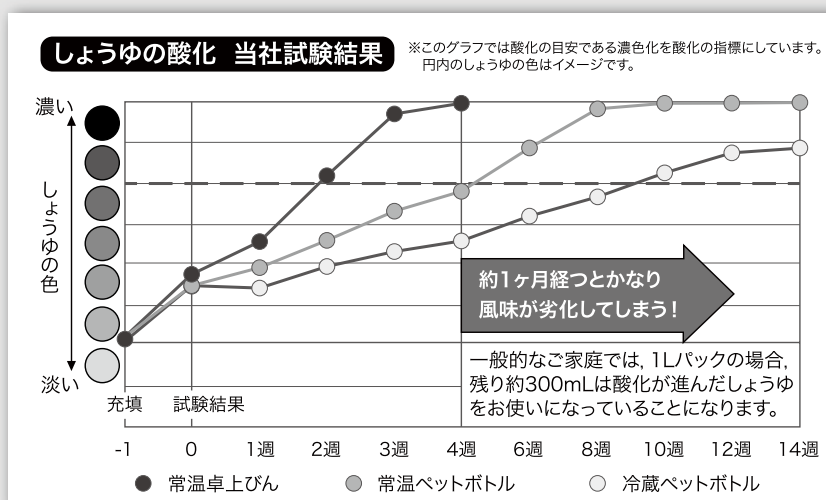


図1 しょうゆの酸化について

ての醤油を家庭内で開封後から使い切るまで味わっていただきたいという強い思いで開発した商品である。これがコンセプトである。

5.『鮮度の一滴』の技術開発

家庭内で搾りたての醤油のあざやかな赤い色と芳香な風味を開封後から使い切るまで味わって戴きたいという思いを達成した技術はまさしく容器開発である。容器開発は2001年から着手したが過去に容器開発に着目し本腰を入れて研究した事例は殆どなかった。醤油が酸化する原因は分かっていた。醤油を注ぐたびに外から酸素を含んだ空気が入れ替わって入ってくる。たとえキャップを締めても酸化を抑えることはできない。醤油と空気の接触を遮断するという発想から容器の表面に落しぶたを作りおいてみた。落しぶたは塩化ビニル樹脂で作った。きれいに浮いてくれた。ところが、当時、PETボトルの分別排出が始まっていた。したがって、落

しぶたの材質を容器と同じPET樹脂にする必要があり、PET樹脂で作った。比重が重く沈んでしまった。その後、落しぶたに浮き袋など付けたりなど約2年間試行錯誤を繰り返した。落しぶたで酸化を抑える効果は確認できたので「液体収納用壺容器」として特許は取得した。(特許第4379781号)ただし、商品化するには「見た目が悪い」、「コストアップにつながる」といった課題があり、商品化にはならなかった。

2005年、社内の醤油研究室のメンバーから開発責任者に「醤油の鮮度を保持できる新容器について」の論文が届いた。それこそが、株式会社悠心の社長二瀬克規氏が発明した『鮮度の一滴』の容器の原型であった。二瀬氏とすぐ連絡を取り会った。二瀬氏から試作品を見せて戴き、驚いたことは①樹脂量が少ない、②傾けるだけで醤油が出る、③醤油が出た後、容器に空気が入っていないの3点であった。目標とする機能を兼ね備えている画期的な容器だったの

で共同開発をお願いしたが、まだ改良する余地があるので待ってほしいと言われ2年間待った。2年後に改良された容器は「PID（パウチインデispenser）」という容器である。これが『鮮度の一滴』の容器である。醤油が容器に充填された時点ではほぼ真空状態となり、注ぎ口から醤油を出しても外から空気が入ることはない。この技術は特許を取得している。

< 特許 >

「逆止機能ノズルを備えるフレキシブル包装袋」（特許第 4490493 号）他 2 件。

< 意匠 >

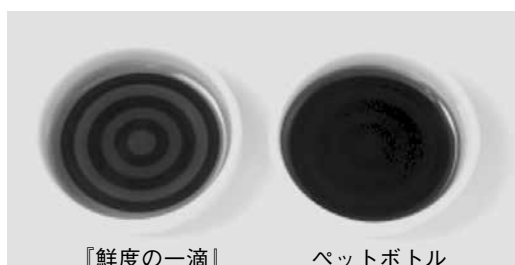
「包装用袋」（意匠登録第 1377043 号）他 8 件



新容器の仕組み
①新容器は外袋と内袋の二重構造になっており、内袋は液体の量にともなって自由に体積変化する。
②極めて狭いフィルム隙間（1μm～3μm）にある液体はフィルムに密着しながら全体に広がる。（毛細管現象）
③フィルムで出来ている柔軟な注ぎ口は液体の注ぎだす量に従って自在に変形し、注ぎ終わると閉じる。
④注ぎ出した後はフィルムの間に液体の薄い膜が残留し、それがフタとなって空気の侵入を防止する。

6.『鮮度の一滴』と従来容器品との色の変化の比較評価

『鮮度の一滴』と従来のペットボトルに入れた醤油を開封後1か月間常温保存した醤油の色



どちらも開封後、常温で1か月保存した（濃口）醤油

を比較評価した。上の写真のように『鮮度の一滴』は色は変わっていないがペットボトルの醤油は黒くなっている。風味についても『鮮度の一滴』は未開封品と変わらず良好な風味であったが、ペットボトルの醤油は雑味などがあり好ましくない風味であった。

7.『鮮度の一滴』の容器の樹脂量は少なくエコ

『鮮度の一滴』の樹脂量は従来のペットボトルの約 2/3 である。さらに使い終わった後は、折りたたんでコンパクトに廃棄できる。

8.『新商品開発の 5P』について

新商品を開発し、その商品が消費者の手元に届くために、筆者は図2の新商品開発 5P をチェック用に使用している。まず第一は「Product」である。「Product」には商品コンセプト、商品仕様、ネーミングなどがある。第二は「Package」である。包装仕様、デザインなどがある。第三は「Price」である。「Price」は販売、事業化に最も重要と考えている。第四は「Place」である。『Target』の消費者に届けるにはどのチャネルが良いのか。量販店なのか、CVS なのか、専門店なのか、ドラッグなのか、それとも通販なのか。色々なチャネルが出てきているので選択と集中が必要になる。第五は「Promotion」である。店頭プロモーション、媒体プロモーションなど費用がかかるので効果的なメディアミックスが重要である。

最後に 5P ではないが、『Target』がある。全

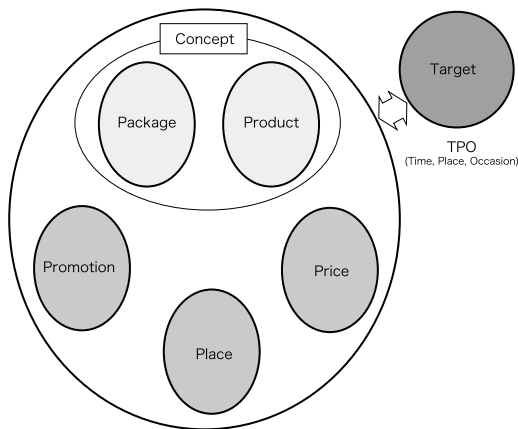


図2 商品開発 5P

開発品はユーザーの手に届く仕組みになっているか

ての5Pは『Target』を明確にした後のことである。「Product」は『Target』が明確にならないと決まらないはずである。技術先行型の新商品は兎角『Target』を忘れて技術開発に自己満足する傾向がある。顧客あつての新商品であることは最重要である。『鮮度の一滴』の新商品開発とマーケティング・販売を5Pにのっとり紹介する。

「Target」について

『Target』は醤油に鮮度を求める消費者である。従来の醤油は容器を開封すると卓上びんでは4週間、ペットボトルでは8週間で色は黒くなり風味は悪くなる。ところが、『鮮度の一滴』の色と風味は180日間（6か月）も搾りたての状態が保持される。コモディティ商品で十分に満足している消費者にはすぐに価値を理解していただけない可能性はあるが、良い物は口コミなどで情報が広がっていくので必ず普及していくはずである。

「Product」について

コンセプトは“開封後180日間も鮮度を保持する”醤油である。その技術は容器技術であり、先に書いた。『鮮度の一滴』のネーミングとデザインは脱コモディティ化を目指し、“安ければどんな醤油でも良い”という消費者にも理解



超特選しょうゆ



減塩しょうゆ



丸大豆しょうゆ

していただけることを期待し、一見、醤油らしくないウイスキーなどの嗜好品をイメージするよう考えた。そこで、ニッカウイスキー創業者の竹鶴正孝氏の孫で、株式会社アマナにおいて企画・デザインを手掛けている竹鶴孝太郎氏にネーミングやデザインのコーディネートを依頼した。なお、『鮮度の一滴』は商標権を取得している。(商標登録第 5271791 号) 前ページには『鮮度の一滴』の代表的な 3 商品を示した。

「Package」について

パッケージの技術については先に書いた。形状は今までの醤油とは全く異なり、発売当初は多くの消費者の方には詰め替えシャンプーなどと思われた。この事は新しさはあるが食品らしくないという不安がある。新しさに鮮度保持という価値を併せて消費者に理解していただく必要がある。そのためには「Price」と「Promotion」が重要になる。

「Price」について

通常のペットボトルの醤油の価格は容量に関係なく 200 円～ 300 円くらいである。1000ml の大きい容器は安売りが多いことが大きな理由である。こういった状況の中、『鮮度の一滴』は脱コモディティ化を目指し、平均売価 250 円を目標に商品を設計した。価格的には充分受け入れられると考えている。

「Place」について

スーパー、CVS など全ての小売業での取り扱いをめざし商談・配荷を進めている。

「Promotion」について

『鮮度の一滴』の開発責任者は 2007 年 4 月から新設された MD 推進室に責任者として移動した。MD 推進室のミッションはコミュニケーションや販売促進に取り組む部署である。『鮮度の一滴』の生みの親であるため、“開封後 180 日間も搾りたての色と風味を保持する” 商品をいかにして消費者に伝えるかの難題に正面から取り組むことができ、目標を達成した。具

体的には、サントリー、パナソニック、資生堂など他業種のマーケティング手法を解析・研究し、消費者にフィットする情報発信方法を考え抜いた。その結果『鮮度の一滴』のファンを作るために 360° のマーケティングを展開した。すなわち、メディア露出、売り場展開、専用コールセンター、さまざまなキャンペーンなどを WEB コミュニティサイトでプラットフォーム化した。双方の情報を共有化し友好的なマーケティング活動を展開した。シャンプーの詰め替え容器のようで食品らしくない容器が店頭では良く目立ち、消費者を引き付け、徐々に売り上げを増やしていった。

おわりに

家庭用として購入される醤油の量は年々減少している。その理由は、古くは家庭で醤油から作っていた麺つゆやぼん酢を家庭で作らなくなったこと。また、外食が日常化していることなどによる。図 3 に 2 人以上世帯の醤油の月間平均購入量 (mL) を示した。

2014 年は 1 世帯当たりの月間購入量 (mL) は 503mL であり、25 年前である 1985 年の半分以下まで減少している。この原因の一つに酸化した醤油の色が黒くなったり、風味が悪くなり、醤油本来の美味しさがなくなっていたことも考えられる。こういった市場状況下で、ヤマサ醤油から開封後常温保存で 180 日間も色、風味が搾りたてと同じように新鮮で美味しい画期的な醤油『鮮度の一滴』が市場に登場したことにより醤油市場が活性化することが期待される。

今後の醤油市場はヤマサ醤油の『鮮度の一滴』やキッコーマンの「いつでも新鮮」など「鮮度」をコンセプトにした商品が伸びてくると予想される。2015 年の家庭用醤油市場規模 (SCI による推定) は約 400 億円と推定される。そのうち鮮度系醤油は約 80 億円と推定され約 20% を

占める。近い将来は40%まで拡大すると予測されている。こういった市場状況から、ヤマ

サ醤油の『鮮度の一滴』が醤油を変えたといっても過言ではないと考える。

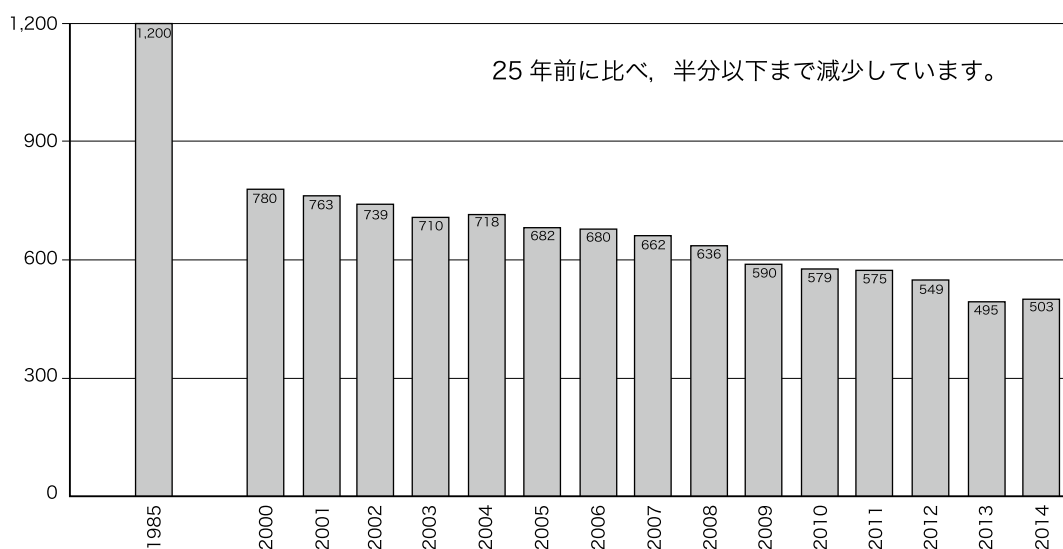


図3 家計調査（二人以上世帯）：月間平均購入量（mL）

New Food Industry のアドバイザーボード

月刊 New Food Industry は、「アドバイザーボード」を設置しております。本「アドバイザーボード」は、今後の弊誌編集上の課題、学術業界誌としてふさわしい論文・解説記事の掲載等、社外の有識者の意見を得ることを目的として設置しているものです。弊誌の経営状況や編集課題を踏まえた、有意義なご指導・ご助言をいただき、今後の編集業務に役立てております。

■ ボードメンバー（敬称略 / 五十音順）	
氏 名	所 属
大石 隆介 氏	（明海大学 経済学部経済学科）
大谷 元 氏	（信州大学名誉教授）
岡 希太郎 氏	（東京薬科大学名誉教授）
坂上 宏 氏	（明海大学大学院教授）
宮尾 茂雄 氏	（東京家政大学教授）
山口 正義 氏	（エモリー大学 医学部）

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

ニューフードインダストリー 第58巻 第 5 号

印 刷 平成 28 年 4 月 25 日
発 行 平成 28 年 5 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(共同ビル新神田)
T E L : 03-3254-9191 (代表)
F A X : 03-3256-9559
振込先: 三菱東京UFJ銀行 京 橋 支 店 (普通) 0070318
三 井 住 友 銀 行 日本橋支店(当座) 6551432

印刷所 モリモト印刷株式会社
定 価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

e-mail: newfood@newfoodindustry.com