

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2016 Vol.58 No.3

3

特集 ノロウイルス食中毒

- ノロウイルスの検査方法
- ノロウイルス食中毒事例から学ぶ衛生管理
- 発生状況から見えるノロウイルス食中毒の特徴

論 説

- 加齢と食品成分の血管機能改善
Age-related vascular alteration and vasoactive food compounds
- 新世代の健康食品素材PQQの効能・効果および代替医療としての可能性
- 油脂および油脂食品の劣化度測定法
- 熱可逆性ゲルのレオロジー的性質および熱的性質と感覚特性値の関連づけ
- シリカゲルを用いたキウイ果汁中のアレルゲンタンパク質の低減化
- 食と健康 一頭で食べて、さらに健康にー

ベジタリアン栄養学

- 歴史の潮流と科学的評価 (第4節 健康的なベジタリアン食への提言)
16章 ベジタリアン・フードガイドの進展 続

連載コラム

- 健康食品のエビデンス 第11回 DHA
- 野山の花 ー 身近な山野草の食効・薬効 ー
サンシュユ *Cornus officinalis* Siebold et Zuccarini (ミズキ科 Cornaceae)
- 中国の食材 食効・薬効 羊肉

隔月連載

- 管理栄養士てるこ先生の家庭の食文化 第8回 春を告げるお水取り

これだけは知っておきたい 豆知識

- 食品の放射能汚染の現状

会 告

- ◆ 第20回腸内細菌学会
- ◆ 第22回ケモメトリックスワークショップ



特集 ノロウイルス食中毒

- ノロウイルスの検査方法
..... 稲垣 暢哉 1
- ノロウイルス食中毒事例から学ぶ衛生管理
..... 西尾 治 5
- 発生状況から見えるノロウイルス食中毒の特徴
..... 福田 伸治 13

論 説

- 加齢と食品成分の血管機能改善
Age-related vascular alteration and vasoactive food compounds
..... 福田 俊彦, 松井 利郎 23
- 新世代の健康食品素材 PQQ の効能・効果および代替医療としての可能性
..... 池本 一人 33

連載コラム

- 健康食品のエビデンス 第11回 DHA
..... 濱舘 直史 30
- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —
サンシュユ *Cornus officinalis* Siebold et Zuccarini (ミズキ科 Cornaceae)
..... 白瀧 義明 38
- 中国の食材 食効・薬効 No.7 羊肉
..... 生 宏 40

隔月連載 管理栄養士 てるこ先生の家庭の食文化

- 第8回 春を告げるお水取り
..... 中村 照子 72

会 告

- ◆ 第20回腸内細菌学会..... 前付け6
- ◆ 第22回ケモメトリックスワークショップ..... 前付け8

Contents

2016 年 3 月号

論 説

- 油脂および油脂食品の劣化度測定法
..... 遠藤 泰志 41
- 熱可逆性ゲルのレオロジー的性質および熱的性質と感覚特性値の関連づけ
..... 渡瀬 峰男 48
- シリカゲルを用いたキウイ果汁中のアレルゲンタンパク質の低減化
..... 近藤 徹弥, 半谷 朗, 児島 雅博, 加藤 丈雄,
増田 敬恵, 間瀬 民生, 村上 耕介, 松田 幹 63
- 食と健康 一頭で食べて, さらに健康にー
..... 林 清 73

ベジタリアン栄養学

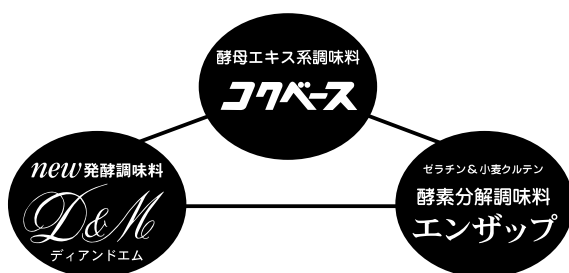
- 歴史の潮流と科学的評価 (第4節 健康的なベジタリアン食への提言)
16 章 ベジタリアン・フードガイドの進展 続
..... ジョアン・サバテ, 訳: 山路 明俊 78

連 載 これだけは知っておきたい 豆知識

- 食品の放射能汚染の現状
..... 一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC 94

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



【新発売!】乳製品にベストマッチな調味料

コクベス
ラクティックイーストエキス
乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな
特長がある乳糖酵母エキスです。



大日本明治製糖株式会社

食品事業部

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

ノロウイルスの検査方法

稲垣 暢哉 (INAGAKI Nobuya)

一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC 微生物検査室

Key Words：ノロウイルス検査 RT-nested PCR 法 RT-リアルタイム PCR 法

はじめに

国内において、ノロウイルスによる食中毒患者数は最も多い。このことは、メディアなどでも盛んに取り上げられているのでご存知の方も多いのではないだろうか。弊財団では食品中から分離されるノロウイルスの受託検査を行っており、検査を通じてノロウイルス食中毒を減らす一助となれないかと日々考え検討を行っている。

ここではその一例として食品の中でもノロウイルスと関わりの深いカキに絞って、弊財団がこれまで行ってきた、養殖海域のカキ由来ノロウイルスと実際に起こったノロウイルス食中毒を比較することで見えてきた「ノロウイルス検査」の現状と課題について解説する。

1. ノロウイルス検査の目的

ノロウイルス検査は、食中毒が発生した際の原因究明と再発防止、食中毒を発生させないための回避（予防）の大きく2つの目的に分かれる。前者は事後に行う検査であり、状況に応じた検査を実施する。後者は事前に行う検査であり、ヒトを介しての感染であれば、食品調理施設従事者の定期的な糞便検査、二枚貝（カキ）を介しての食中毒であれば、養殖海域のカキの

モニタリング検査となる。この養殖海域のカキのモニタリング検査の例として、三重県の養殖海域では、平成15年度より三重県伊勢保健所が「みえのカキ安心情報」として養殖海域のカキのモニタリング検査を含む海域情報をHPに掲載している。弊財団では平成17年度より、この検査依頼者（漁業者）が行う自主的なカキのモニタリング検査を受託している。

ここからは、これまで行ってきた受託検査の経験から、養殖海域のカキによる食中毒に絞って、説明していく。

みえのカキ安心情報

<http://www.pref.mie.lg.jp/NHOKEN/HP/kaki/1-index/index.htm>

弊財団では、検査と併せて5年前より海域のモニタリング検査結果と実際に発生した食中毒事件との相関を考察している。この目的の原点には、「養殖海域から出荷されるカキの食中毒リスクが高い時期をより正確に、かつピンポイントで予測したい」という思いがある。カキを介しての食中毒の場合、防ぐには加熱または回避しかなく、この回避を行うには、より適した検査を実施し、養殖海域のカキの食中毒リスクが高まっている時期をピンポイントに絞ること

が必須である。現状、生カキを美味しく安全に食べるには、この回避時期の正確な特定が重要になってくると考えている。

2. ノロウイルス検査の現状

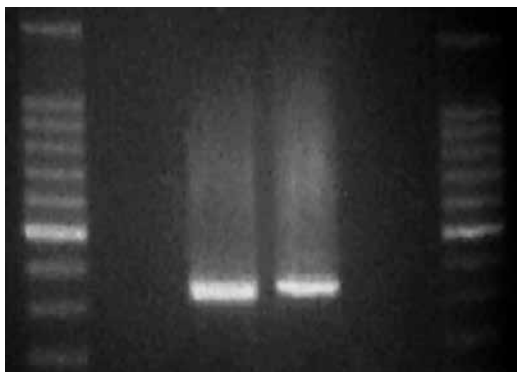
ノロウイルスの検査方法には、大きく分けて電子顕微鏡検査、抗原検査、遺伝子検査があり、後者になる程、検出感度が高くなる。抗原検査では、検査法としてELISA法、イムノクロマト法がある。遺伝子検査では、RT-PCR法、RT-リアルタイムPCR法、RT-nested PCR法がある。なお、厚生労働省の通知法（平成19年5月14日食安監発第0514004号）にはRT-PCR法およびRT-nested PCR法、RT-リアルタイムPCR法の遺伝子検査が収載されている。検査方法を理解し、目的に応じて検査方法を使い分ける必要がある。

遺伝子検査で使用する機器を紹介する。写真1はRT-PCR法、RT-nested PCR法で使用するThermal cyclerである。この機器は検査で必要となる目的の遺伝子領域を増幅するために使用する。目的の遺伝子領域の増幅の有無を確認するために、アガロースゲル等により電気泳動にて分離を行う。写真2はアガロースゲル電気泳動後の結果である。レーン2はノロウイルスが保有する遺伝子領域の増幅が見られないため陰性、レーン3はノロウイルスが保有する遺伝子領域の増幅が見られるため陽性となる。RT-PCR法、RT-nested PCR法は定性検査である。写真3はRT-リアルタイムPCR法で使用するReal-time PCRである。RT-リアルタイムPCR法はウイルス量の定量を目的とした検査である。

各検査方法による検出感度を表1にまとめた。最も感度が高いとされるRT-nested PCR法、RT-リアルタイムPCR法でも>100個である。他方、ノロウイルスは10~100個程度で感染する。したがって、現在の検査方法では、ウイルス量が少ない場合、ノロウイルスで汚染された全ての検体が検出できる感度があるわけではないことになる。



写真1 Thermal cycler



1 2 3 4 5 6

写真2 アガロースゲル 泳動写真

(2: 陰性検体, 3: 陽性検体, 4: 陽性対照, 5: 陰性対照, 1, 6: 分子量マーカー)



写真3 Real-time PCR

3. ノロウイルス検査の課題

ノロウイルスは培養法が確立されておらず、活性ウイルスを検査することが出来ないため、遺伝子検査が用いられることが多い。しかし、現状表1および前項で述べた問題があるため、

表1 各検査方法による検出感度

検査方法	検出感度 (/1ml 当たり)
RT-nested PCR 法	>100 ~ 1000
RT-リアルタイム PCR 法	>100 ~ 1 万
ELISA 法	>100 万
電子顕微鏡	>100 万

※それぞれの検査法で陽性となるために必要な、検体 1ml 中に含まれるウイルス量を示す。また、表1に示す検出感度は一般的な検出感度であり、市販検査キットの種類や検体によって異なる。

出典：野田 衛 著 ノロウイルス食中毒・感染症からまもる！！ ―その知識と対策― 一部抜粋

検査方法を工夫して検出感度を高める必要がある。ヒトの検便であれば体内でクローン化されており、ウイルス量も多い。他方、カキの場合、表1に示したようにウイルス量が少ないため遺伝子検査を行うこととなる。遺伝子を検査するため感染性の有無（活性の有無）にかかわらず検査することとなるが、表1に示したように遺伝子を増幅した上でも検出感度では感染性を有する量を検出出来ない場合が考えられる。したがって、正確な検査を行うためには検出感度を高めることが必須である。

ただ検出感度を高めるだけではなく、「感染性がある」ノロウイルスを検出できるようにしていくことも重要である。

また、これまでの検査結果から現状の方法でも流行した年とそうでない年の検出パターンが異なることがわかっている。この知見を積み重ねることで、感染性ウイルスのパターンを類推することが出来るのではないかと考えている。

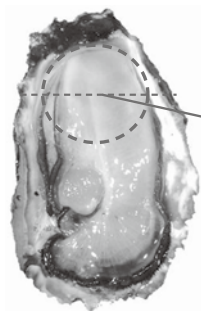


写真4 殻付きかき



写真5 かき断面図

4. 新しい検査方法への SUNATEC の取組み

昨年度より、検出感度を高める取組みとして、ノロウイルス抽出工程中のカキから取り出した中腸腺に PBS(-) を加えた試液に対して α -アミラーゼを添加し、RT-nested PCR 法により検出する方法を検討している。ノロウイルスは二枚貝の中腸腺に蓄積されるが、中腸腺の周りには白い脂肪及びグリコーゲンが覆われている。このグリコーゲンは PCR を阻害するため、出来るだけ取り除き中腸腺のみにして、検査を行う必要がある。これまで、メス等で中腸腺を出来るだけ取り除き検査を実施してきたが、 α -アミラーゼを加えることでさらに検出感度を高めることが狙いである。昨年度の結果から、一定の効果が得られていると考えている。実際に昨年度の結果では、 α -アミラーゼ未添加区に比べて添加区の方が 18% 陽性が増える結果が得られた。

また、ピンポイントで予測するという点では、昨年度より、三重県保健環境研究所、三重大学地域イノベーション学研究科と共同研究を実施し、養殖海域のカキ由来ノロウイルス遺伝子と食中毒患者のノロウイルス遺伝子との相関を調査している。ノロウイルスは G I から G V の遺伝子群に分類されている。その中でヒトに感染性を有し、食中毒や感染症の原因となる遺伝子群は G I、G II であり、それぞれ G I が 14 種類、G II が 21 種類の遺伝子型に分類されている。この遺伝子型を比較することで、より関連性をみることが出来る。遺伝子型を調べるため

には、写真6の DNA シーケンサを使用する。DNA シーケンサを使用することで、ATGC からなる塩基配列を調べることができる。この塩基配列がどの遺伝子型と同じか比較することで、遺伝子型を決定する。

この他にも、昨年度は食中毒事件発生時の養殖海域



写真 6 DNA シーケンサ

のかきのウイルス量についても調査を行った。食中毒発生時の海域のかきのウイルス量は高くなるのではないかと予想していたが、この予測

を裏付けるような結果は得られなかった。他方、海域から取れるカキ 3 個を検体として、RT-リアルタイム PCR 法にて検出されたウイルス量は、通常 0~100 個と少ない傾向にあることがわかった。表 1 より、これは検出感度より少ない量であり、陰性もしくは陽性であっても少ない量となる。このウイルス量の調査は今年度以降も検査して相関を確認していく予定である。

おわりに

今後も、弊財団の基本理念である「信頼される分析技術とその関連サービスを通じて社会に貢献する」をもとに、ノロウイルス分析技術の開発を通じてかきの衛生対策の向上に貢献していきたい。

参考文献

一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC メールマガジン
かきウイルス物語（かきを美味しく安全にたべるために）シリーズ 1～5
<http://www.mac.or.jp/mail/091001/01.shtml>
<http://www.mac.or.jp/mail/091101/03.shtml>
<http://www.mac.or.jp/mail/091201/03.shtml>
<http://www.mac.or.jp/mail/100201/03.shtml>
<http://www.mac.or.jp/mail/100301/06.shtml>

かきを美味しく安全に食べるために（カキとノロウイルス食中毒 - 現状と課題）
<http://www.mac.or.jp/mail/150701/01.shtml>

三重県のかき養殖海域におけるノロウイルス遺伝子の分離状況
<http://www.mac.or.jp/mail/120301/03.shtml>

ノロウイルス食中毒・感染症からまもる！！－その知識と対策－
野田 衛 著 公益社団法人日本食品衛生協会、食品のウイルス標準試験法検討委員会
<http://www.nihs.go.jp/fhm/csvdf/index.htm>

ノロウイルス食中毒事例から学ぶ衛生管理

西尾 治 (NISHIO Osamu)

愛知医科大学医学部 公衆衛生学講座

Key Words：ノロウイルス 食中毒 衛生管理 食品工場 手洗い 使い捨て手袋 使用法 事例研究

はじめに

ノロウイルスによる食中毒の特徴として、食品中ではノロウイルスが増殖しないにもかかわらず、しばしば大規模な食中毒事件を起こすことである（表 1）。そこで、2つのノロウイルス食中毒事件の衛生管理上の問題点を検証し、明らかになった点を学ぶことから、今後の食中毒の予防策に繋がると考えられる。

さらに、2014 年から中国を初め、アジア、欧米そして、わが国でも新型ノロウイルスが見出され¹⁾、新型ノロウイルスの脅威が報道されており、今後ノロウイルスによる大規模な食中毒事件が増大すると予測され、防止に一層努めなければならないことから、重要と考えられる。

1. 事件の概要

取り上げた事件は表 1 の No.1 と No. 5 である。A 事例は 2012 年 12 月に原因食品である弁

当等を摂取した患者数 2,035 名（入院 1 名）²⁾、B 事例は原因食品である食パンを喫食した 1,271 名の体調不良者が発生したもので³⁾、両事件ともに患者の主症状はノロウイルスの特徴である下痢、嘔吐であった。

ノロウイルス検査：A 事例では調理従事者 7 名の便はノロウイルス GII が陽性で、拭き取り検査 10 検体のうち、従事者用トイレ 2 検体（男性用トイレ、障害者用トイレ）からノロウイルス GII が検出された。しかし、原因食品からノロウイルスは検出されず、汚染経路は不明であった。

B 事例では食パン製造所従事者の便：23 名中 4 名の便からノロウイルス GII が検出、食パン製造所従事者の作業服の検査：便からノロウイルスが検出された 1 名の服も陽性であった。

B 事例で保存されていた検査：19 校 154 検体中 2 検体（食パン）からノロウイルス GII が

表 1 患者数 500 人以上のノロウイルス食中毒事例（2011～2014 年）

No.	発生施設のある自治体	発生年月日	原因施設	原因食品	患者数	喫食者数
1	浜松市	2014/1/15	製造所	13 日に製造された食パン	1,271	8,027
2	北海道	2013/9/12	その他	調理提供された食事	516	1,100
3	愛知県	2013/4/3	仕出屋	不明（昼食弁当）	526	2,643
4	山梨県	2012/12/11	仕出屋	弁当	1,442	3,775
5	広島市	2012/12/12	仕出屋	弁当	2,035	不明
6	岐阜県	2011/12/26	仕出屋	弁当	756	1992
7	岡山県	2011/1/21	仕出屋	弁当	1197	3,092

検出され、それぞれ2,400, 3,333 copy/gであった。

これらの検査結果等から両事例ともにノロウイルスによる食中毒事件と断定された。

両事例共に複数の従事者からノロウイルスが検出されており、A事例では調理従事者らが調理盛付工程上で食品を、B事例事件ではパンのノロウイルス汚染はスライス作業後、食パン1枚毎に手に取り、異物混入を確認する検品作業を行った際にノロウイルス汚染が生じたと推測された。

2. ノロウイルス食中毒の発生要因

ノロウイルスに汚染されているのは二枚貝のみである。しかし、二枚貝の体内でノロウイルスが増殖することはない。二枚貝にノロウイルス汚染が起きるのは、ノロウイルス感染者が大量のノロウイルスを糞便と共に塩素消毒する事無く便器に流すと、ノロウイルスは下水処理場に行き、一部がそこを潜り抜け、河川水および海域を汚染する。海域中の二枚貝は大量の海水を吸引するので、ノロウイルスが内臓に蓄積・濃縮される。汚染された二枚貝を生食あるいは加熱不足で食することにより食中毒となる。厚生労働省食中毒統計によると魚介類を介する食中毒事件（大部分が二枚貝）は約15%程度である。一方、魚介類を除く約85%の食中毒の原因食材は肉類、卵類、乳類、穀類、野菜類等で起きているが、これらの食材は二次的にノロウイルス感染者が汚染したものである。すなわち、ノロウイルス感染者が手・指等を介して生あるいは加熱後の食品、調理器具、食器等にノロウイルスを汚染することにより食中毒となったものである。

3. ノロウイルスによる大規模食中毒の発生要因

ノロウイルスはヒトの腸管細胞でのみ増殖し、糞便あるいは嘔吐物共に体外に出されるが、大部分は糞便ともに排出される。成人では糞便1g当たり1億個以上で（図1）⁴⁾、乳幼児は10億個以上存在する。嘔吐物中にも通常1g当

たり100万個程度のノロウイルスを含んでいる（図2）⁴⁾。ノロウイルス感染者は突然、胃をひっくり返すような強烈な嘔吐が急激に起こり、トイレに行く暇がなく、あらゆるところで嘔吐する。すなわち、ノロウイルスは腸内容物とともに胃を通り、口からあらゆる場所に排出される。このことがノロウイルス感染症の防止を困難としている。

米国CDCによるとノロウイルス18個で感染が成立することから、感染力が極めて強い。患者便が20gで日本国民全員を感染させることができる。それゆえ、微量の患者便が手についても、大規模な食中毒事件となる。

B事例ではパン1g当たりのウイルス量が2,400, 3,333 copy/gであった。この程度の汚染は容易に起き、この汚染量はヒトを発症させる

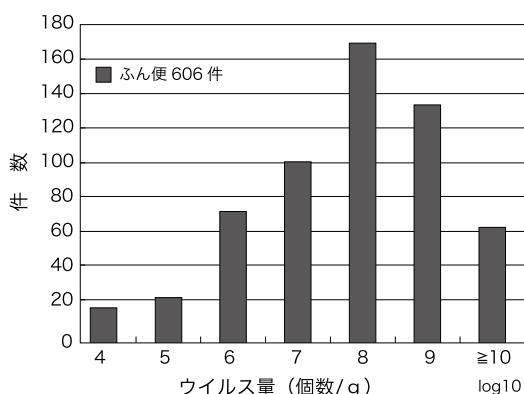


図1 患者中ふん便のノロウイルス量

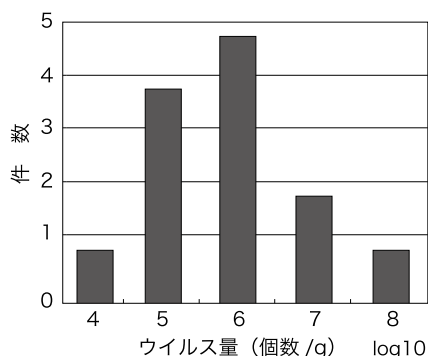


図2 患者嘔吐物のノロウイルス量

ことができる。

なお、糞便・嘔吐物中のウイルスは乾燥すると、塵となり空中に漂い、それが食品中に付着すると食中毒に、口に入ると感染症となる。塵となると広範囲を汚染するので、感染源は直ちに処理しなければならない。

このウイルスは物理化学的抵抗性が強く、一般的に細菌が死滅する塩素濃度では容易に不活化しない。

70%の消毒用アルコールでも容易に不活化されず、不活化には85～90℃、90秒間以上の加熱が必要と考えられている。一般的に細菌では有効な加熱あるいは消毒方法で不活化されない。

ノロウイルスの感染力の維持は冬期が1ヶ月、夏期が1週間程度である。特に冬期は長期間感染力を維持できることから、食中毒がこの時期多発する要因となる

4. 食中毒防止のキーポイントはトイレの整備

食中毒事件で、調理施設のふき取り試験を行ったところ、ノロウイルスが検出されたのは調理従事者のトイレが最も多い(表2)⁵⁾。トイレの汚染を防ぐことが食中毒並びに従業員の

感染を防止するキーポイントである。A事例ではトイレは調理従事者だけでなく、事務員や配送員も共用し、障害者用トイレは従業員の一部が喫煙場所として利用し、多くの人が入室したことが汚染された原因の一つである。調理施設で従業員の汚染を防ぐには、調理員専用のトイレを設置し、トイレの個室の前に前室を作り、そこで外衣をかけ、作業着を汚染させないこと(写真1)、履物もトイレ専用のものに替える。トイレの個室に手洗い設備を設置し、排便後にお尻を拭いた後、衣類を整える前に手洗いをを行うことで、自らの衣類、トイレの便器のふた、レバー、ドアノブ等の汚染も防ぐことができる。写真2は手に蛍光色素を付け、排便の模擬試験を行い、蛍光色素が光っているところが手の触れたところである。このような場所が汚染し

表2 拭き取り検査結果

事例 No.	陽性 / 検査数	検出ヵ所
事例 A	1/11	従事者トイレ
事例 B	1/4	手指拭き取り
事例 C	1/12	トイレドアノブ
事例 D	1/3	トイレ
事例 E	1/3	トイレドアノブ

検査 14 事例：検査数：95

- ・用便後の手指を介して、ドアノブ等にウイルスが付着し、後にトイレを使用した人の手指を汚染する。
- ・用便後の手指から衣服、ドアノブ等が汚染されることを防ぐため、衣服を整える前に手洗いができるよう、個室に手洗いが必要である。

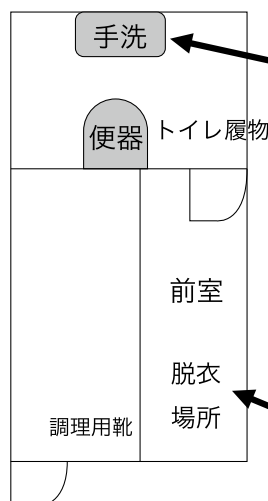


写真1 専用トイレの前室と個室に手洗い設備

文部科学省：学校給食施設改善事例集より

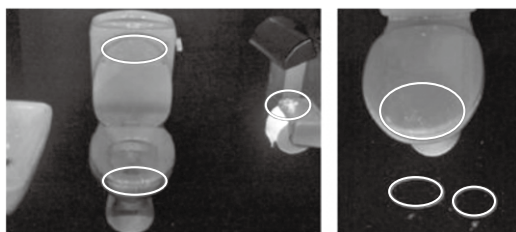


写真2 排便時に手が触れた場所と手からの水分が落ちたところ

文部科学省：調理場における洗浄・消毒マニュアル Part II より

やすい場所である。便器が和式の時には排便時、便器から糞便が飛び散り、履物、靴下、ズボンの裾に付くことがあるので、洋式が望ましい。便器は蓋付きとして、流水後に空気が逆流して、ウイルスが舞い上がることを避けるために蓋を閉めてからゆっくり流す。感染者がトイレをはじめ、身の回りのドアノブ、手すり、電話機、パソコン等を汚染すると、そこに触れた他のヒトの手・指等に付着し、それを介して感染する。トイレの整備は食中毒のみならず感染症の防止の意味からも不可欠である。実際に、A事例の調理従業員は作業の間の休憩中にトイレを使用していたことから、トイレで汚染を受けた調理従事者が、手指の洗浄消毒が不十分のまま調理施設内に入室し、施設および食品を汚染したことも考えられる。B事例施設では作業服（上下のうち上のみ）のふきとり検査で便から検出された1名の服からノロウイルスが見出されているので、トイレでの手洗い不足で手・指および衣類にウイルスを付けた状態で、パンの検品を行ったと推察され、トイレに入る前に前室を設置し、そこで外衣を脱ぎ、排便後の手洗いの必要性が改めて認識される。

5. 衛生的な手洗いの必要性

手はいろいろな所に触れるので、膨大な数および多くの種類の微生物が付着する。手は病原微生物の運び屋であり、衛生的な手洗いが食中毒・感染症防止の基本であり、手洗いが必要な時は、①調理従事者の作業開始前、②汚れたも

の（食肉、魚介類、お金、ゴミ等に）触れたとき、③作業内容が変わったとき（後に加熱工程がない食品に触れる前）、④トイレ後である。食中毒発生要因にノロウイルス感染の好発時期が冬季であるにもかかわらず手洗い設備で冷水しか出ないため、手洗いが不十分だった可能性が指摘されている³⁾。温水対応にすると手洗い時間が確保され、汚れも落ちやすくなる。ノロウイルスは微小であり、手の皺の奥に入るので、簡単な手洗いでは除去できない。手洗いの水量が少ないと、洗い残しが生じ、食中毒の原因となる。そこで洗い残しのない手洗い方法を実践しなければならない。衛生的な手洗いの基本は文部科学省の手洗いマニュアル(写真3、http://www.mext.go.jp_menu/sports/syokuiku/8040316.htm)を手洗い場に掲示して常に見ながら実施する。手洗いの基本は液体せっけんを用い、手の全面にこすり、温水ですすぎ、ペーパータオルで水分をしっかりと取り、アルコール消毒剤を手に刷り込む。こうすることにより手についた微生物の殆どが除去される。

しかし、A事例は調調理場内の個々の手指洗浄消毒設備には、不要物が置いてあり、ペーパータオルがない等、手指の洗浄消毒が十分に行えない状態で、B事例では製造室前の手洗いは水流が少なかった。トイレのみならず、調理室内で多くのヒトの手・指が触れるドアノブ、冷蔵・冷凍庫の取っ手、水道栓、ゴミ箱の蓋等には多数の病原体が付着する。手洗い設備は手が触れるところを無くし肘まで洗えるシンクの大きさで、温水対応で給水、せっけん液、アルコール消毒薬が自動で出るものとし、ペーパータオル、蓋付きのゴミ入れが設置されているものが望ましい(写真4)。また、手洗いに少なくとも30秒間は要することから、調理場に入室する際の手洗いシンク数が少ないと、後からのヒトの手洗い不足を招くので、従業員5人当たり1か所が必要である。実際に弁当屋におけるノロウイルス食中毒事件では調理員30人に対して、手洗いシンクは1ヵ所のみで、このことが食中毒発生の要因の一つとして挙げられた。

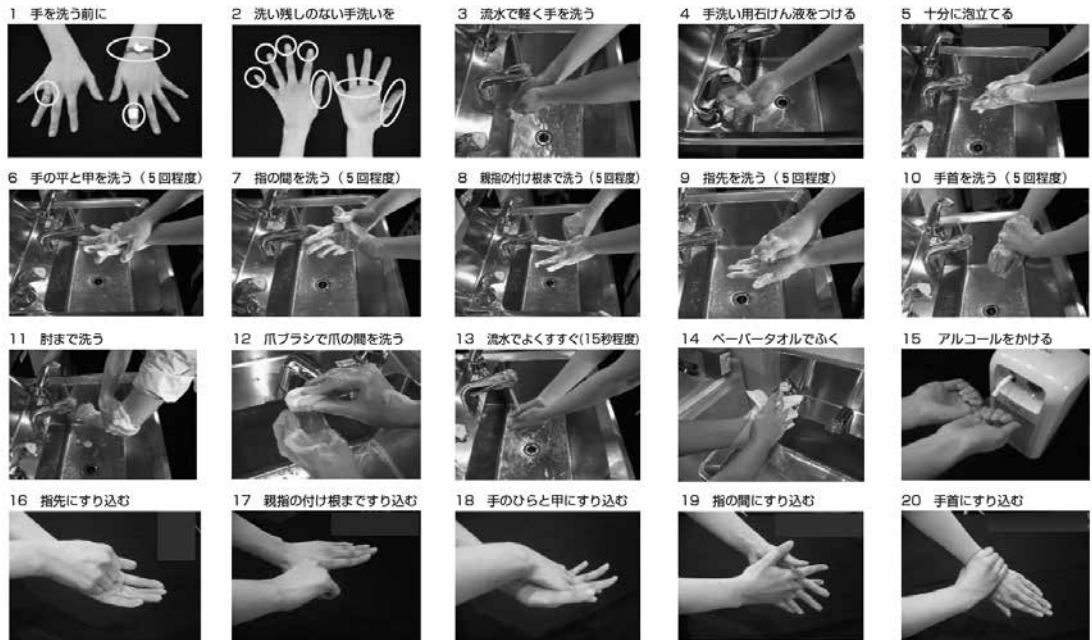


写真3 手洗いマニュアル

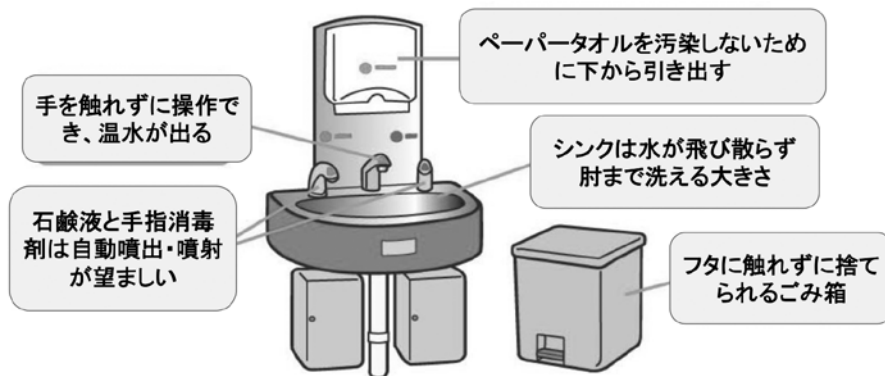


写真4 望ましい手洗い設備

6. 使い捨ての手袋の使い方

A 事例事件では食品を盛り付け、B 事例事件ではパンの異物混入を確認するために、1 枚毎に手に取り行っていたが、その際に使い捨ての手袋（手袋）を使用していた。両事件ともに手袋が正しく使用されておらず、食中毒を起こした。今回の手袋の使用目的は手に付いているウイルス、細菌等を食品に付着するのを防ぐために用いる。注意すべきことは手袋装着前に手洗いをし、装着は手袋の袖口をつまんで行うこと。

手袋の装着後は食品以外の物には触れない、触れた際には交換する。装着後、エプロンの紐を結んだり、マスクを直したり、食器に触れたりすることが見られるが、決して行ってはならない（写真5）。また手袋の二度使用も禁止である。手袋は食中毒の防止の最後の砦であり、手袋の使用方法が崩壊すると食中毒に繋がることを認識して、使用していただきたい。そのほかの手袋の使用目的として、手荒れがひどい時には、手の荒れた部分に病原体が付着し、手洗い



写真 5 手袋の間違った使い方 No.2

関東学校給食サービス協会

①手袋の袖口をつかんで手袋の外側が内側になるように、裏返しながら、片方の手袋を外す。

②もう片方の手袋の外側に触れないように、手袋を外した手を袖口に差し込む。

③①と同じように外側が内側になるように、裏返しながら外す。
※手袋の内側は、皮脂で汚染されているので、使い捨て手袋の使いまわしはしない。
※手袋を外した後は、手洗いをする。

①



②



③



写真 6 使い捨て手袋の外し方

文部科学省：調理場における洗浄・消毒マニュアル Part II より

で完全な除去が難しいので手袋を着用する。食中毒の防止には「手荒れをさせない」ことがキーポイントでの1つである。手袋を取る際には片方の袖口をつかみ、外側が内側になるように引っ張って取る。片方の手袋は手袋を外した手を手袋の袖口に差し込んで内側が外側になるようにして外し(写真6)、その後も手洗いをを行う。

病原体から調理従事者を守るためにも手袋を用いる。肉類および魚介類は多くの病原体に汚染されていることがある。食肉は、サルモネラ、カンピロバクターにしばしば汚染されており、ときには腸管出血性大腸菌が、生鮮魚介類には腸炎ビブリオが海水温の高い時期に高濃度に汚染されていることがある。手袋はそれらが手、食品、調理器具等を汚染しないためのものである。当然これらの食材に用いた手袋は他の食材、調理器具には一切触れない。

7. 塩素剤による消毒

市販の塩素系漂白剤は(次亜塩素酸ナトリウム)通常 50,000 ppm の濃度で、野菜、果物等には消毒は 100 ppm (10 分間)あるいは 200 ppm (5 分間)で行う。調理台あるいは台車には 200 ppm 液を十分に湿した白い綿布で拭く。金属部分は 10 分後に水拭きする。作り置きした次亜塩素酸ナトリウムは直射日光により分解されるので、遮光の容器に入れ、冷暗所で保存する。次亜塩素酸ナトリウムによる消毒は独特の刺激臭が強く、調理の場では食材にも臭いが付くと同時に、調理をする人の健康へ、調理器具や機械を腐食するという問題があるので嫌うヒトも多い。そのような欠点を補うものとして微酸性電解水があり、刺激臭がほとんどないため、使いやすく、金属の腐食性が極めて低いので、機器にも優しい。微酸性電解水は機器を用いて水道水と希塩酸または食塩水の混合液で生成できる。微酸性電解水は塩素濃度が 10 ~ 80 ppm の濃度と低いものの、次亜塩素酸は次亜塩素酸ナトリウムと比べ 10 倍ほど殺菌効果が高いので、除菌に用いられる。注意すべき点は微酸性電解水の反応性が非常に高く、有機物に接

触すると反応して水に戻る性質があるので、野菜、台車、食器、調理器具等幅広く使用できるが、使用に際しては、水洗いして汚れを除いてから「かけ流し」で用いる。近頃、小型で安価な微酸性電解水を生成する機器も販売されている。

8. 健康管理

パン製造日の従事者に体調不良者はいなかったとのことであった。ノロウイルスに感染したヒトの下痢症状は通常 1 ~ 2 日で治癒するが、その後 10 日間程度はウイルスの排出が続く。例えば土日が休日とすると、金曜日の夜から日曜日の昼頃に嘔吐・下痢症状があったとしても月曜日には治癒している人が多い。従って健康チェックは休日も含め、毎日、個人ごとに家族を含めた下痢、嘔吐、化膿性疾患、発熱等の有無の健康観察を行う。また調理従事者は手等の化膿性疾患もチェックする。

調理従事者本人および家族が感染性胃腸炎のときには職場に出勤しない。本人が職場外で体調不良を起こしたときには職場には行かず、電話、メールで連絡し、直ちに受診し、医師には「調理従事者」であることを告げ、高感度の検査を受ける。検査で陰性結果が出るまで勤務に就かない。陽性結果が出た時も同様である。ノロウイルス陽性者は高感度検査で陰性となったときに業務に復帰できる。ノロウイルスに感染しても、何ら下痢、嘔吐の症状を示さない無症状感染者が見られ、症状のある患者となんら変わらない、大量のウイルスを排出する人も存在する(図3)。この不顕性感染者がしばしば感染症および食中毒の源になっている。

調理員が感染性胃腸炎を発生した時には、同一職場の調理員の間で不顕性感染が起きる可能性があり、高感度ノロウイルス検査を行うことが必要である。同時に、職員の控室、調理場内、特にその人が触れた可能性のある場所、調理器具、食器等を塩素剤で消毒を行う。家族内でノロウイルス感染者が見られた時には高感度ノロウイルス検査を受けさせ、結果が出るまで業務を控え、ノロウイルス陰性の時に業務につく。

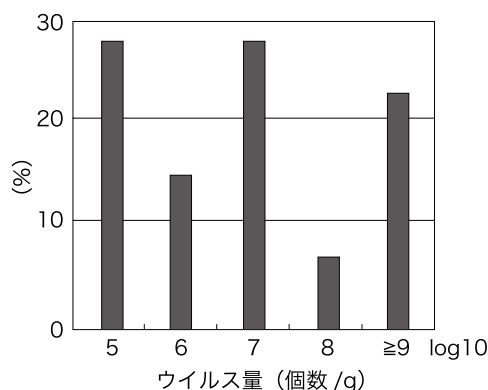


図3 非発症者のふん便中のウイルス量

9. ウイルス検査

2014 年末に中国で現れ、その後アジア地域を含む日本、欧米等で新型ノロウイルス (GII.17) が見出されている。昨年末まで世界的に流行していた GII.4 型に対してのイムノクロマト試験でのウイルスの検出感度は糞便 1 g 当たりウイルス数が 100 万個以上存在すると多くが陽性となるのに対し、GII.17 に対しては著しく感度が低い (1/100 ~ 1/1000 以下) ことが報告されている⁶⁾。このことから、ノロウイルスの検査は遺伝子検査を行うことで、より確実な診断が行える。

10. 抗ウイルス建材

ごく最近になり抗ウイルス性能を持つメラミン化粧板が開発された。この建材は抗ウイルス性能を有し可視光の下でノロウイルス代替えの

ネコカリシウイルスを 4 時間以内に 99.9% 以上を不活化できる⁷⁾。この建材をトイレの壁、床をはじめ手すり、ドアの取っ手等の多くの人の手が触れる場所に用いると、その部分はノロウイルスのみならずインフルエンザウイルス、大腸菌等も除菌され、感染症・食中毒の発生リスクを減少させることができる。

まとめ

ノロウイルスによる食中毒事件は突然起きるものではなく、ノロウイルス感染者がノロウイルスの付着した手・指、衣類等を介して食品、食器、調理器具等に触れることにより生じる。ノロウイルスの食中毒の予防の基本はノロウイルスに感染しないことである。

ノロウイルス感染症には不顕性感染があり、さらにノロウイルスは常にヒトからヒトへと感染を継続しないと消滅するので、感染者が常時存在している。調理に携わるヒトは冬季のみならず年間を通して、感染しているあるいは感染する危険性があるとして防止策を徹底しなければならない。

残念ながら、ノロウイルスには直接効果のある薬剤、ワクチンは存在しない。感染防止には自らが防止するほかに手段はなく、予防の基本は古くから言われている手洗いの励行と生もの、生水を摂らないことが基本であり、感染防止に努めていただきたい。

参考文献

1. Lu J, Sun L, Fang L, Yang F, Mo Y, Lao J, *et al.*: *Emerg Infect Dis.* **21**: 1240, 2015.
2. 厚生労働省：薬事・食品衛生分科会食中毒部会配布資料（平成 25 年 3 月 18 日）
3. 古田 敏彦, 大田 邦生, 寺田 善直: *IASR* **35**: 64, 2014.
4. 西尾 治, 秋山 美穂, 愛木 智香子: *食衛誌*, **46**: 235, 2005.
5. 西尾 治: *施設管理者のためのノロウイルス Q&A 事例ブック*. 東京, 幸書房, 2013.
6. Khamrin P, Thongprachum A, Takanashi S: *Euro Surveill.* **20**(28): 21185, 2015.
7. イビデン建装株式会社：第二回トイレ産業資料, 東京, 10 月, 2015.

発生状況から見えるノロウイルス食中毒の特徴

福田 伸治 (FUKUDA Shinji)

中国学園大学 現代生活学部 人間栄養学科

Key Words : ノロウイルス 食中毒 特徴 発生要因 予防

はじめに

ヒトノロウイルス（ノロウイルス）の名称が多くの人に知られるようになった2006/07年の大流行以来、ノロウイルスはその後も流行を繰り返し、それぞれの分野において重点的に対策が行われているものの、一向に減少する様子が見られていない。明確な報告がある訳ではないが、10 - 100 個程度の少量で感染が成立する¹⁾と言われており、ノロウイルス対策を困難にする一因となっている。また、かつてはカキなどの二枚貝の生食に起因するノロウイルス食中毒の報告が主流であったが、食品取扱者からの食品汚染に起因する食中毒が増加するなど、ノロウイルス食中毒の発生状況も変貌している。

大流行があった2006/07年以前にも3回の世界的大流行があったとされ、これらの大流行には特定の遺伝子型 GII.4 が関係していたことが確認されている。多くの遺伝子型が存在するなかで、遺伝子型 GII.4 は今日まで長期間にわたり流行を繰り返している^{2,3)}。これは遺伝子変異を伴った GII.4 新亜型の出現による免疫回避に起因しており、ノロウイルス対策を複雑なものにする要因となっている。さらに、2014 年後半から新たな遺伝子型 GII.17 の検出割合が多くなり⁴⁾、大流行に発展するのではないかと

の危惧がある。新たな遺伝子型および新たな亜型の出現は大流行の大きな要因であるが、これに加えて、遺伝子組換え体であるキメラウイルスに関する報告もなされ^{5,6)}、これらの遺伝子変異を伴ったノロウイルスの出現も感染拡大に関与していることが推察されている。

また、症状回復後も長期間糞便中にウイルス粒子が排泄され⁷⁾、乾燥環境中でも低温であれば長期間活性が保たれる⁸⁾。このこともノロウイルス食中毒の発生が減少しない一因となっている。

ノロウイルス食中毒は前述の病原体側の要因のみならず、さらにヒト側の要因などの種々の要因が複雑に絡み合って発生していることが推察されるが、ここでは、改めてノロウイルス食中毒発生状況を観察・その特徴を抽出し、疫学的理解を深めながらノロウイルス食中毒の発生予防の一助としたい。なお、ノロウイルス発生状況は厚生労働省の食中毒統計資料 (http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/shokuhin/syokuchu/04.html) を基に解析した。

1. ノロウイルス食中毒発生割合の経年変動

かつて食中毒の多くを占めていたサルモネラ

属菌,腸炎ビブリオ食中毒の発生割合が激減し,替わってカンピロバクター属菌,ノロウイルス食中毒の発生割合が急増している。ノロウイルス食中毒の発生割合はH15年(2003)までは5%から25%へと急増傾向を示していたが,それ以降の発生割合は年変動があるものの微増傾向を示している(図1)。発生割合から見ると,カンピロバクター食中毒と併せ,ノロウイルス食中毒対策が重要であることを示している。

2. ノロウイルス食中毒の月別発生割合

ノロウイルス食中毒が冬季に発生することは周知の事実であり,12月あるいは1月に発生のピークが認められる。一方で,3月にも小さいピークが認められる(図2)。月別発生割合を原因施設別に見ると,飲食店では12月あるいは1月,仕出屋では12月あるいは1月,旅館では12月,事業場では1月に発生のピークが認められ,原因施設により多少異なっている。

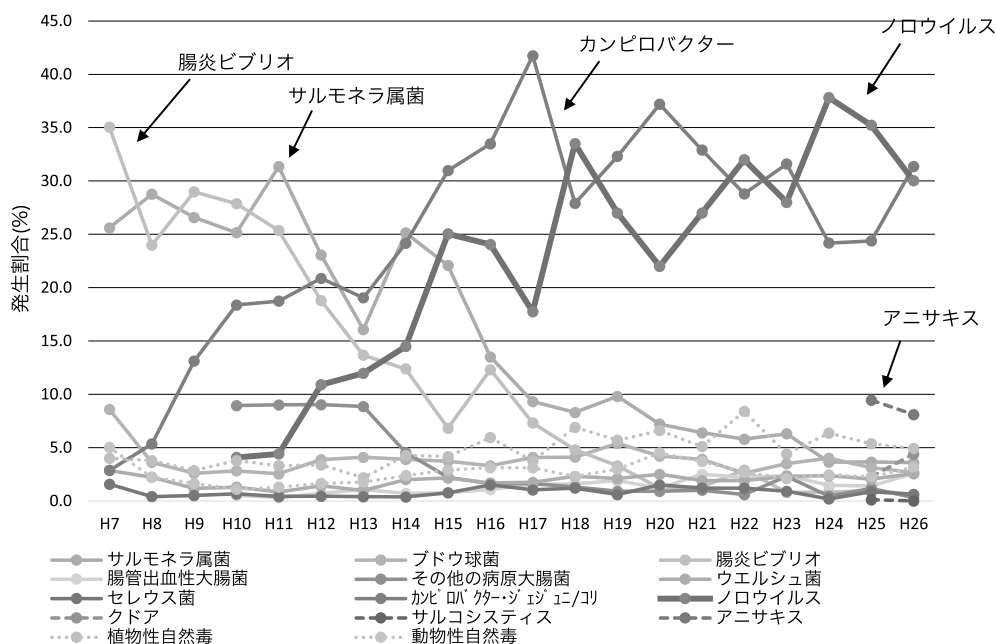


図1 ノロウイルス食中毒発生割合の経年変動

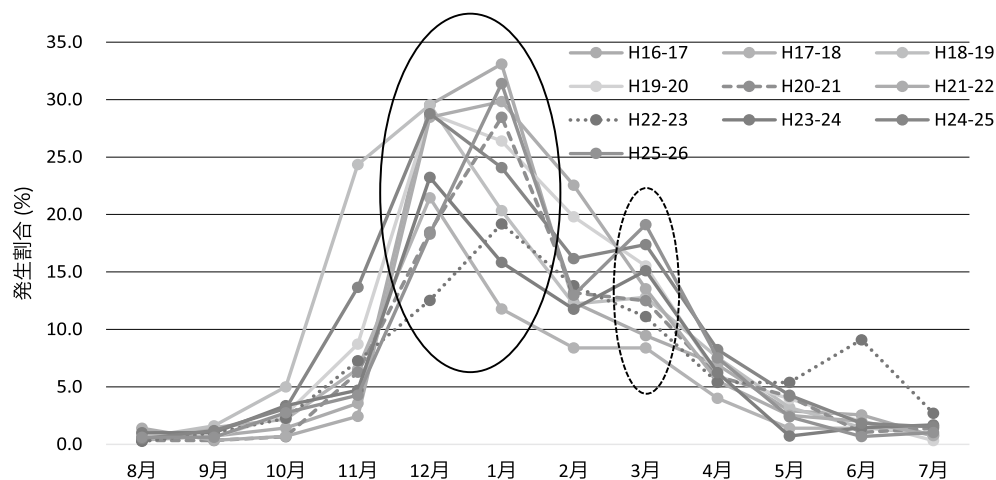


図2 ノロウイルス食中毒の月別発生割合

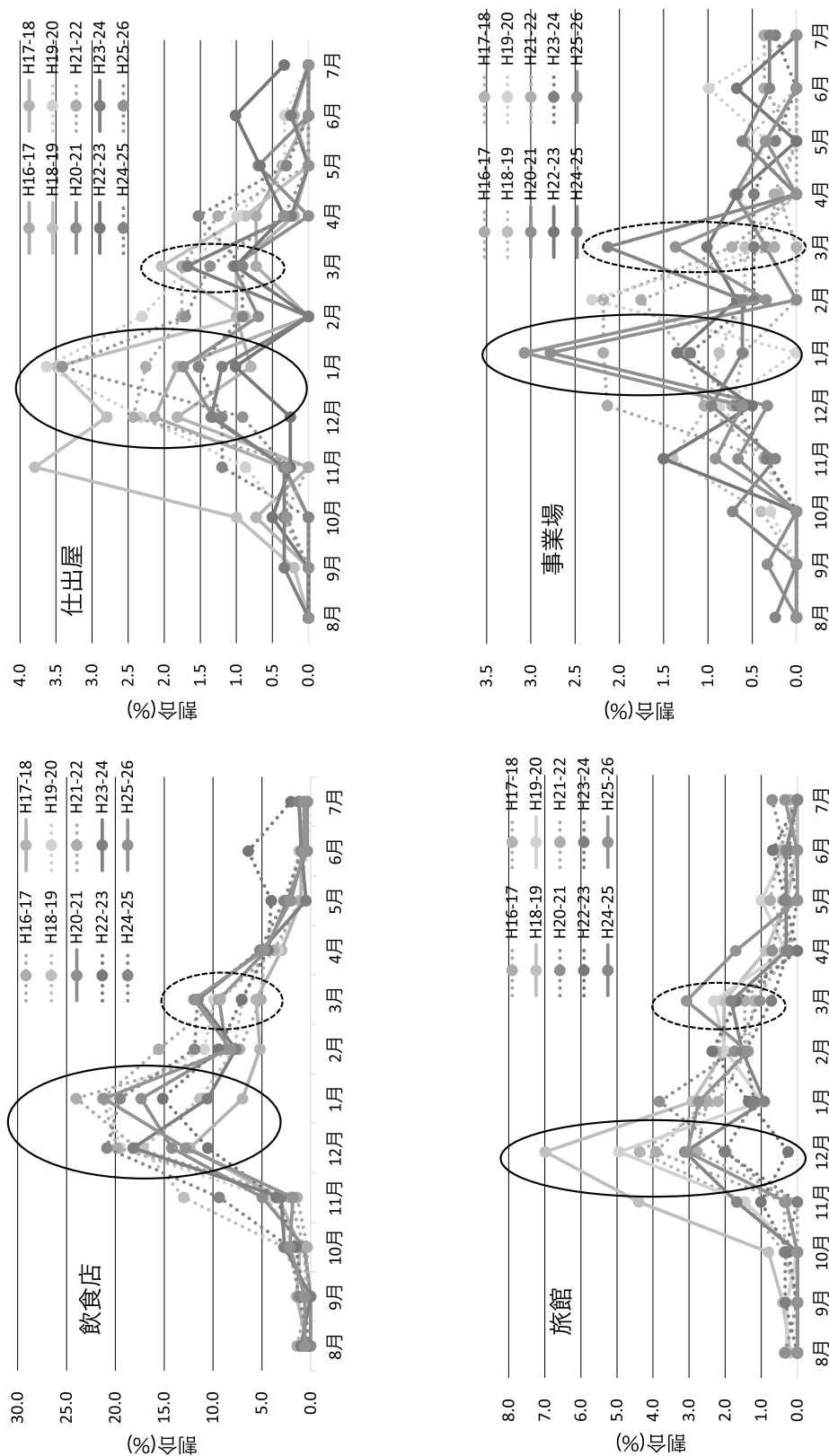


図3. 原因施設別月別ノロウイルス食中毒発生割合

さらに、年により差異はあるが、3月における小ピークは飲食店、仕出屋、旅館および事業場ともに認められる（図3）。月別発生割合の原因施設における差異は、人の食行動あるいは利

用頻度などの行動様式の違いを表しているのではないかと推察される。また、3月における小ピークは年度末の種々の行事に伴う食行動が影響しているのではないと思われる。

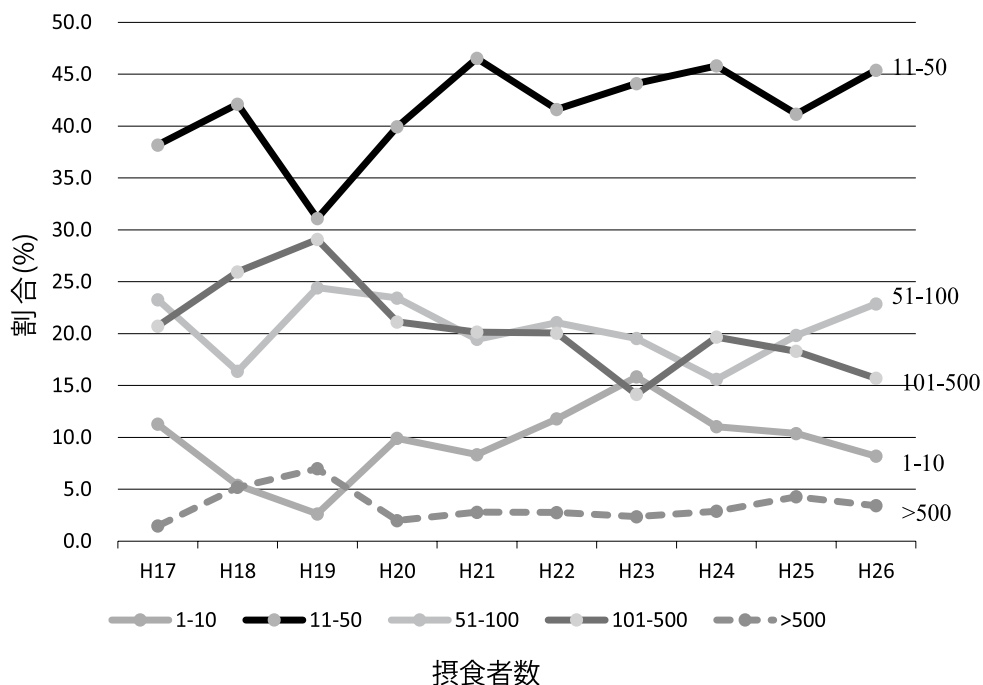


図4 摂食者数別ノロウイルス食中毒発生割合

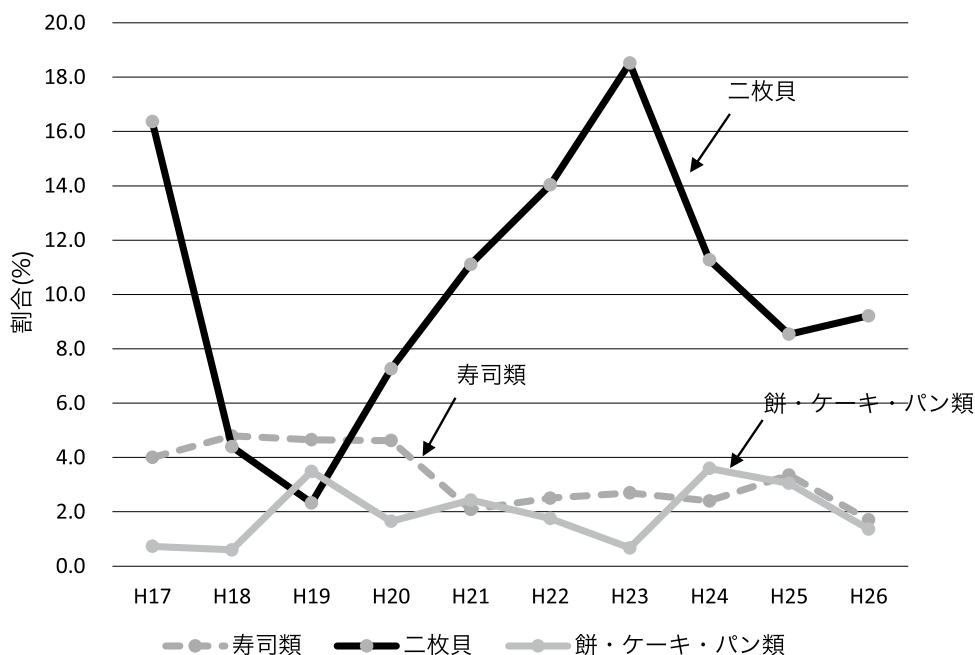


図5 ノロウイルス食中毒の原因食品の経年変動

3. 摂食者数別ノロウイルス食中毒発生割合

摂食者数が11～50人規模のノロウイルス食中毒が最も多く、45%程度を占めている。摂食者数に係わらず大きな年変動は認められないが、摂食者数が101～500人規模のノロウイルス食中毒において僅かながら減少傾向が認められる(図4)。明確な理由は不明であるが、HACCPの概念を取り入れた大量調理施設衛生管理マニュアル制定などによる衛生管理の効果が表れているのかもしれない。大量調理施設衛生管理マニュアルは平成9年3月に厚生労働省より通知され、平成20年6月にはノロウイルス食中毒の予防に重点を置いた改正がなされている。また、平成25年10月にはノロウイルス食中毒の多発を鑑みての改正もなされている。

4. ノロウイルス食中毒の原因食品

ノロウイルス食中毒は仕出し弁当などの弁当類、会席料理などの食事を原因とする事例が多数を占めているが、不明の事例も多い。一方で、原因食品が特定されたものはカキなどの二枚貝、寿司類および餅・ケーキ・パン類がある。二枚貝を原因とする事例以外では調理従事者から二次汚染を受けた食品あるいは食事によると推定されるものである。弁当類および会席料理

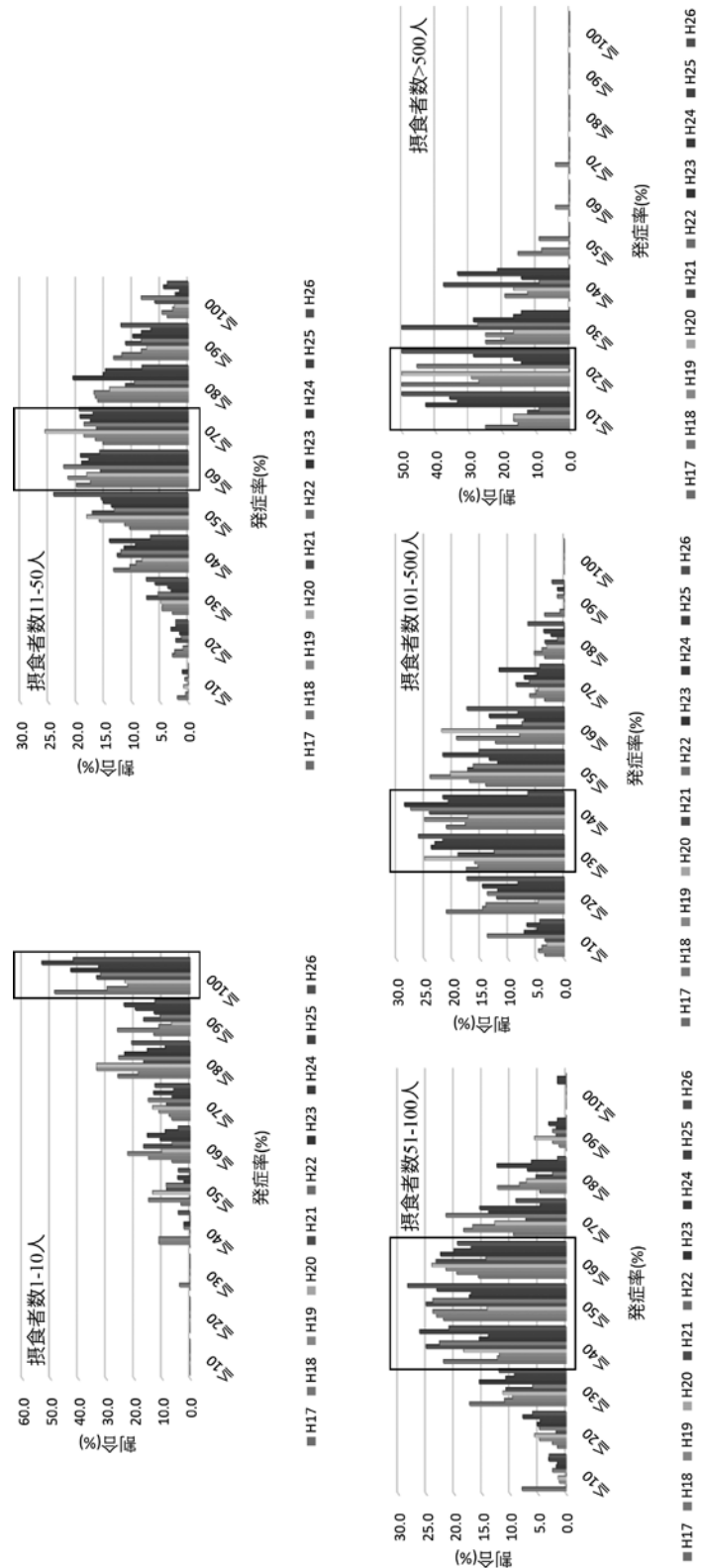


図6 摂食者数別発症率

などにおいては複数の食品が盛り合わされており、複数の食品がノロウイルスの汚染を受けているであろうことが推測される。図5には原因食品として特定された二枚貝、寿司類および餅・ケーキ・パン類の全発生件数に占める割合の年変動を示した。寿司類および餅・ケーキ・パン類を原因とする事例においては大きな年変動は観察されないが、二枚貝を原因とする事例は振幅の大きい変動が観察される特徴が認められる。しかし、ノロウイルスの大流行と二枚貝を原因とする食中毒発生数との間には、相関関係は認められない。

食品からノロウイルスを効率よく検出する検査法が確立されているとは言い難い現状ではあるが、平成25年10月22日付け食安監発1022第1号で「ノロウイルスの検出法について」の一部改正がなされ、 α -アミラーゼと特異抗体を用いた改良検出法が厚生労働省より通知されたところである。これまでの方法に比べると食品からの検出率の向上が期待され、疫学調査に寄与するところが大きくなるであろうが、まだ十分な方法ではなく、さらなる検出感度の高い検出法の研究開発が期待される。

5. 摂食者数別発症率

図6に示したように、摂食者数1～10人の事例の発症率は90%超の事例が多く、同様に、摂食者数11～50人の事例の発症率は50%台から60%台、摂食者数51～100人の事例では30%台から50%台、摂食者数101～500人の事例では20%台から30%台、摂食者数500人以上の事例では20%以下が多い。摂食者数が多くなるに比例して、発症率が低下する傾向が認められる。換言すれば、調製する食数が少ないほど、ノロウイルス汚染が全体に行き渡りやすいことを示している。また、ノロウイルスは細菌と異なり食品中で増殖することはないので、調理従事者からのノロウイルス汚染が原因であることを如実に示している結果とも言える。

6. 原因施設別1事例当たりの患者数

1事例当たりの患者数（中央値）が多い施設は仕出屋、旅館、製造所、病院および学校である（図7）。大規模食中毒ほど発症率が低下する傾向が認められるが、大規模食中毒ほど患者数（実数）は多くなる傾向にある。仕出屋、旅館、製造所、病院および学校においては多くの食数を一度に調理・提供するので、当然

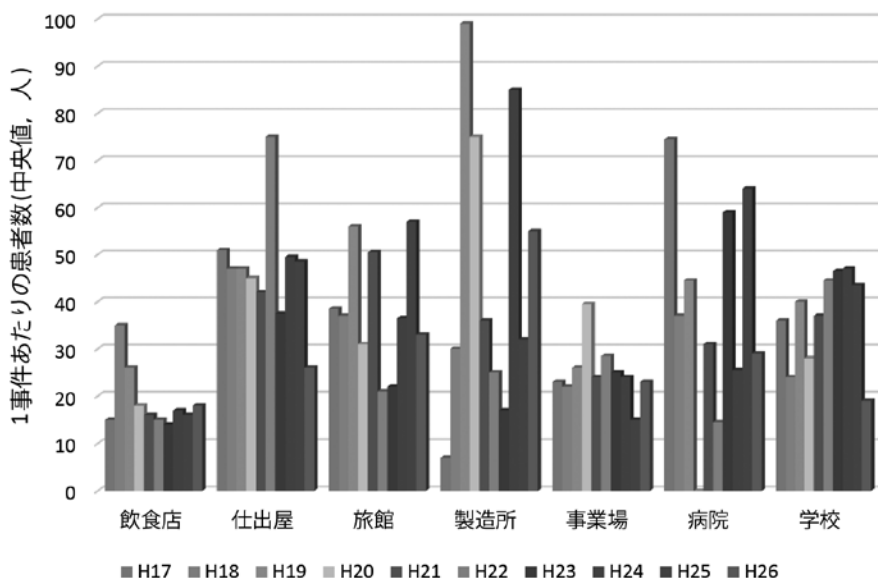


図7 原因施設別1事例当たりの患者数

の結果であるとも言える。

7. ノロウイルス食中毒発生事例から見た発生要因と予防

「西尾治・古田太郎著 現代社会の脅威 ノロウイルス 感染症・食中毒事件が証すノロウイルス伝播の実態 幸書房 2008」⁹⁾に掲載された事例および事例報告^{10, 11)}から発生原因を抽出した。表1に示したように、①調理従事者の健康管理不備によるもの、②食品の取り扱い等衛生管理不備によるもの、③二枚貝の取り扱い不備によるものに大別される。①および②は調理従事者の関与した事例である。調理従事者が関与した事例では複数の調理従事者からノロウイルスが検出される事例が多いことが報告されている^{12, 13)}。ノロウイルスに不顕性感染した1名の調理従事者からトイレノブ等の複数の触れる場所を介して複数の調理従事者に蔓延した後、手洗い不足、素手での調理・食品調整・盛り付け、調理台・盛り付け台の汚染等の衛生管理不足により、食品を二次汚染することでノロウイルス食中毒が発生していることが推察される。体調不良での調理従事は論外であるが、家族にノロウイルス感染者（下痢をしている者）がいる場合は症状がなくてもノロウイルスに不顕性感染している可能性が高くなる。症状を呈していない調理従事者においても多量のノ

ロウイルスが糞便中に排泄されており¹⁴⁾、糞便中への排泄期間は平均21.9日であったとの報告がなされている¹⁵⁾。厚生労働省のノロウイルスに関するQ&A (http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/syokuchu/kanren/yobou/040204-1.html)には「下痢等の症状がなくなっても、通常では1週間程度長いときには1ヶ月程度ウイルスの排泄が続くことがあるので、症状が改善した後も、しばらくの間は直接食品を取り扱う作業をさせないようにすべきです。」と記載されているが、大量調理施設衛生管理マニュアルに示されているように、高感度の検便検査によりノロウイルスを保有していないことが確認されるまでの間は、食品に直接触れる調理作業を控えることが望ましい。実際には長期間調理作業から外れることになるので、その対応は多くの施設で困難な問題となる場合が多い。

用便後の手洗いは非常に重要であり、ハンドソープを用いた流水による手洗いを複数回繰り返すなどの十分な手洗いが必要となる¹⁶⁾。用便時には調理作業衣を脱ぎ、履物も履き替えるが、調理従事者の衣服の袖口からノロウイルスが検出された事例¹⁰⁾もあり、調理作業衣の下に着る衣服の汚染にも注意する必要がある。実験的にもトイレを起点としてノロウイルス汚染が拡大することが証明されている¹⁷⁾。トイレットペーパーで覆われていなかった拇指球および袖口がノロウイルスに汚染されるので、用便時には袖口を捲り上げ、用便後は着衣を整える前に、前述のような十分な手洗いを行うことが望ましい。トイレには便座に座ったままで、手洗いができる設備の設置が望まれ、便器のふたを閉めて水を流すことも効果的であると言われる。また、人差し指～小指ではトイレットペーパーを5枚重ねた場合でも、中指および小指では10枚重ねた場合でもウイルスが検出したとの実験結果¹⁸⁾もあり、十分な手洗いが重要であることを示している。

さらに、冬季においては数%の調理従事者がノロウイルスを保有している^{19, 20)}ので、その

表1 ノロウイルス食中毒発生事例から見た発生原因

- | |
|-----------------------------|
| ① 調理従事者の健康管理不備 |
| ・ 複数の調理従事者がノロウイルスを保有（不顕性感染） |
| ・ 体調不良にもかかわらず調理に従事 |
| ・ 調理従事者家族がノロウイルス感染 |
| ・ 早期の業務復帰 |
| ② 食品の取り扱い等衛生管理不備 |
| ・ 素手での調理、食品調整、盛り付け作業 |
| ・ 調理台、盛り付け台の汚染 |
| ・ 手洗い不十分 |
| ・ 衣服の汚染 |
| ・ 自家用井戸水の糞便汚染 |
| ③ 二枚貝の取り扱い不備 |
| ・ 二枚貝の生食、加熱不足のまま提供 |
| ・ 二枚貝取り扱い不備による他食品の二次汚染 |

ことを念頭に置いた衛生管理も重要である。ノロウイルスは低温の場合は非常に長期間生存している⁸⁾ので、調理台および盛り付け台などを洗浄により衛生的な状態に保つことも重要である。また、井戸水などの自家用水を用いる場合には水質検査により安全性の確認された水を使用する必要がある。

カキなどの二枚貝が原因となった事例が全体に占める割合は過去に比較すると減少していると言われる。調理従事者から二次汚染を受けた食品による事例が多数を占めているためである。前述のごとく、二枚貝が食中毒の原因として占める割合は年により振幅の大きい年変動をしているが、平均的には10%前後である。カキには「生食用」と「加熱調理用などの加熱処理を必要とするもの」の用途区分がある。これは細菌を基準として区分されているものであり、ノロウイルスは基準に入っていない。生食用カキは清浄海域で養殖されたものあるいは人工浄化により清浄化されたものであるが、ノロウイルスが陰性であることを保証したものではない。しかし、清浄海域で養殖されたカキのノロウイルス保有のリスクはそれ以外の海域で養殖されたカキに比べ低減することは確かである。著者が過去行った解析では、清浄海域以外で養殖されたカキは清浄海域に比し、ノロウイルスの検出が6-7倍高いことを認めている。ノロウイルスを考慮した基準ではないが、用途区分を守るとはノロウイルス食中毒のリスク低減に一定の効果があると考えられる。

カキは餌である植物プランクトンを捕食するときに、海水中に存在するノロウイルスを取り込み、中腸腺部分に蓄積する。ノロウイルスはカキ体内で増殖することはないが、細胞との接着反応（感染）に関与していると示唆される血液型抗原の1つのA型抗原に似た抗原があり、

中腸腺の消化細胞にノロウイルスが結合することが報告されている²¹⁻²³⁾。また、ノロウイルスの型によっては鰓や外套膜の絨毛に結合（シアル酸を含む糖鎖）することも報告されている²³⁾。これらのことはノロウイルスを人工浄化により減少させることができない理由かもしれない²⁴⁾。ノロウイルスフリーのカキの生産技術を確認することは非常に困難であり、二枚貝によるノロウイルス食中毒減少のためには用途区分を守ること、加熱を必要とする場合は十分な加熱を行うこと、二次汚染予防のために調理器具等を明確に区別することが重要であろう。

おわりに

ノロウイルス食中毒・感染症の減少が見られない原因は①ウイルス、それ自体の遺伝子変異等による集団免疫からの回避、②調理従事者の健康管理不備、③衛生知識の欠如に起因するウイルスの拡散、④食品の取り扱い不備、⑤人の食行動様式に関わる事項などであるが、これらが複雑に絡み合いノロウイルス食中毒を発生させているようである。

改めてノロウイルス食中毒発生状況を観察すると、特に発生が集中し、予防策を強化する必要がある時期などのいくつかの特徴が見えてきたように思われる。ノロウイルスは食品中では増殖することはないので、食品に付けないことが最も重要であり、そのための手洗いはノロウイルス対策の要点である。平素よりノロウイルス食中毒の特徴・発生傾向などの知識を念頭に置き、リアルタイムで公表される発生状況を敏感に把握しながら、効果的な予防策を実践し、関係者全員が一丸となってノロウイルス食中毒の予防・減少に努力することを期待するものである。

参考文献

1. Green KY : The role of human caliciviruses in epidemic gastroenteritis. *Arch. Virol. Suppl.*, **13** : 153-165, 1997.
2. 福田伸治, 重本直樹, 谷澤由枝 : 広島県におけるノロウイルス遺伝子型 GII.4 の変異. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告, **18** : 15-19, 2010.
3. 重本直樹, 久常有里, 谷澤由枝 他 : 2013/14 シーズンにおけるノロウイルスの遺伝子型検出状況. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告, **22** : 15-20, 2014.
4. Matsushima Y, Ishikawa M, Shimizu T *et al.*: Genetic analyses of GII.17 norovirus strains in diarrheal disease outbreaks from December 2014 to March 2015 in Japan reveal a novel polymerase sequence and amino acid substitutions in the capsid region. *Euro Surveill.*, **20** (26) : 1-6, 2015.
5. Phan T G, Kaneshi K, Ueda Y *et al.*: Genetic heterogeneity, evolution, and recombination in noroviruses. *J. Med. Virol.*, **79** (9) : 1388-400, 2007.
6. Fukuda S, Sasaki Y, Takao S *et al.*: Recombinant norovirus implicated in gastroenteritis outbreaks in Hiroshima Prefecture, Japan. *J. Med. Virol.*, **80** (5) : 921-928, 2008.
7. 三好龍也, 内野清子, 吉田永祥 他 (2006) : ノロウイルス感染におけるウイルス排泄期間と排出量. 食品衛生研究, **56** (11) : 9-15, 2006.
8. Doultree JC, Druce JD, Birch CJ *et al.*: Inactivation of feline calicivirus, a Norwalk virus surrogate. *J. Hosp. Infect.*, **41** (1) : 51-57, 1999.
9. 西尾治, 古田太郎著 : 現代社会の脅威 ノロウイルス 感染症・食中毒事件が証すノロウイルス伝播の実態. 幸書房, 35-129, 2008.
10. 中沢春幸, 小林広記, 内山友里 他 : 従事者衣服からノロウイルスを検出した集団食中毒事例についてー長野県. 病原微生物検出情報 (IASR), **33** (5) : 137-138, 2012.
11. 古田敏彦, 大田邦生, 寺田善直 : 浜松市内におけるノロウイルス集団食中毒事例. 病原微生物検出情報 (IASR), **35** (7) : 164-165, 2014.
12. 福田伸治, 高尾信一, 桑山勝 他 : ウイルス性食中毒の発生の特徴. 日食微誌, **20** (4) : 203-209, 2003.
13. 吉澄志磨, 三好正浩, 後藤明子 他 : ノロウイルスによる胃腸炎集団発生についてー北海道, 2009/10 シーズンー. 道衛研所報, **60** : 61-65, 2010.
14. 森功次, 林志直, 佐々木由紀子 他 : 発症者および非発症者糞便中に排泄される Norovirus 遺伝子量の比較. 感染症誌, **79** (8) : 521-526, 2005.
15. 林志直, 秋場哲哉, 森功次 他 : 東京都内における非発症調理従事者のノロウイルス排泄期間. 日食微誌, **29** (2) : 108-113, 2012.
16. 森功次, 林志直, 野口やよい 他 : Norovirus の代替指標として Feline Calicivirus を用いた手洗いによるウイルス除去効果の検討. 感染症誌, **80** (5) : 496-500, 2006.
17. 高野穂高, 和田由美, 安田正美 他 : トイレを起点とするノロウイルス汚染拡大の検証. 食品衛生研究, **62** (9) : 33-35, 2012.
18. 東京都健康安全研究センター : 「ノロウイルス対策緊急タスクフォース」最終報告書. 2010. (http://idsc.tokyo-eiken.go.jp/assets/diseases/gastro/noro_task/final_report.pdf)
19. 柿島安博, 杉枝 正明, 中島 節子 : 学校給食施設調理従事者便からの SRSV 遺伝子の検出. 日食微誌, **16** (3) : 193-196, 1999.
20. Jeong AY, Jeong HS, Lee JS *et al.*: Occurrence of norovirus infections in asymptomatic food handlers in South Korea. *J. Clin. Microbiol.*, **51** (2) : 598-600, 2013.
21. 山本紀彦, 植木洋, 須藤篤史 他 : in situ Hybridization 法によるカキ消化盲嚢部の組織化学的ウイルス分布. 日食微誌, **23** (1) : 21-26, 2006.
22. Le Guyader F, Loisy F, Atmar RL *et al.*: Norwalk virus-specific binding to oyster digestive tissues. *Emerg. Infect. Dis.*, **12** (6) : 931-936, 2006.
23. Maalouf H, Zakhour M, Le Pendu J *et al.*: Distribution in tissue and seasonal variation of norovirus genogroup I and II ligands in oysters. *Appl. Environ. Microbiol.*, **76** (16) : 5621-5630, 2010.
24. Ueki Y, Shoji M, Suto A *et al.*: Persistence of caliciviruses in artificially contaminated oysters during depuration. *Appl. Environ. Microbiol.*, **73** (17) : 5698-5701, 2007.

製品紹介 世界初 手袋除菌システム「ソルパット」

「ソルパット」の特徴

1. 除菌力が強力

除菌に最も効果的な 254nmUV ランプを使用することで、菌やウイルスを強力に光分解します。一般的なニトリル、ラテックス手袋は紫外線を遮蔽しますので安心してご使用頂けます。

2. スピーディー除菌

わずか5秒間で人が持ち込む食中毒原因菌を何も触れずに除菌し、ドライ除菌だからエアタオルやペーパータオルは不要です。

3. 優れた管理力

作業者毎の除菌履歴を残すシステムを搭載し、正しく除菌しているか記録を残すことができます。装置に挿入したSDカードに使用者毎の除菌履歴が自動で保存され、Bluetooth（ブルートゥース）により離れた現場でも記録を確認することもできます。

除菌履歴管理は、FSSC22000/ISO22000 の取得、運用においても効果的です。

お問い合わせはこちら

(株)マブチ・エスアンドティー

〒399-0497 長野県上伊那郡辰野町樋口1365

TEL 0266-41-0001 FAX 0266-41-2500

E-mail info@mabuchist.co.jp

URL <http://www.mabuchist.co.jp/products/prod12/solpat.html>

手袋除菌システム「ソルパット」

たった5秒でノロウイルス対策

わずか5秒間の紫外線照射により
手袋(ニトリル・ラテックス)に付着した
ノロウイルス・O157・黄色ブドウ球菌
等の食中毒原因菌に優れた除菌効果を
発揮します。

製造元 株式会社ワークソリューション

URL <http://www.worksolution.co.jp/>

販売元 株式会社マブチ・エスアンドティー

URL <http://www.mabuchist.co.jp/>



加齢と食品成分の血管機能改善

Age-related vascular alteration and vasoactive food compounds

福田 俊彦 (FUKUDA Toshihiko) 松井 利郎 (MATSUI Toshiro)

九州大学大学院 農学研究院 生命機能科学部門 食料化学工学講座

Key Words : 加齢 血管弛緩

はじめに

高血圧は心血管や腎臓への負荷を増大させ、血管壁の肥厚や血管内腔の狭窄による動脈硬化を誘導し、血管系疾患（心筋梗塞や脳梗塞）を引き起こすことが知られている。「人は血管とともに老いる（William Osler, 1849-1919）」との格言のように、年齢を重ねるとともに血管系疾患のリスクは増大し、70歳以上では約半数が高血圧状態にある。我が国での超高齢化社会の到来を鑑みると、高血圧の予防・改善は喫緊の課題といえる。血圧上昇は、図1に示すようにレニン・アンジオテンシン系の賦活化による体液量の上昇、血管での Ca^{2+} 濃度上昇を一因とする血管抵抗性の増大によって惹起され、全身系が関わる疾病のひとつである。したがって、高血圧改善にはレニン・アンジオテンシン系や血管収縮 Ca^{2+} シグナル系を調節できる降圧剤が有用となる。他方、

特定保健用食品（トクホ）や機能性表示食品（H27年4月施行の新制度）の研究開発・上市から明らかなように、食品には生体機能を調節し、健康の維持や改善に寄与する成分が含まれていることがヒトレベルで実証されている。食品成分による「高血圧の予防・改善」に関しては、

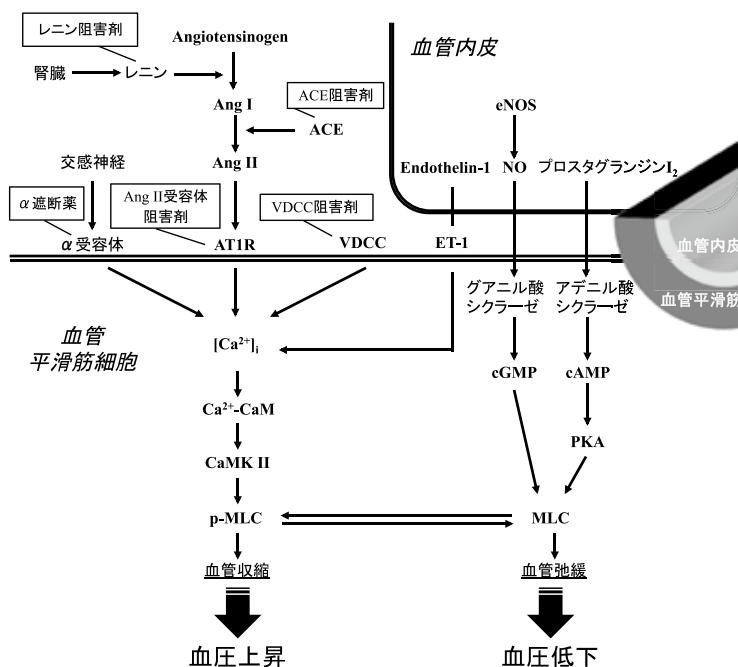


図1 血管収縮ならびに弛緩メカニズムと降圧剤

表1 加齢と血管リモデリング

	因子	加齢による増減	文献
弛緩系	NO	↓	[1, 2]
	eNOS	↓	[1, 2]
	EDHF	↓	[1, 2]
	Ang II 2型受容体 (AT2R)	↓	[6]
収縮系	Endothelin-1	↑	[34]
	Ang II 1型受容体 (AT1R)	↑	[6]
	Ang II 量	↑	[35, 36]
	Superoxide anion	↑	[1, 2]
	NADPH oxidase	↑	[1, 2]
炎症系	終末糖化産物 (AGEs)	↑	[1, 3]
	カルシウムの沈着	↑	[3]
	VCAM, ICAM	↑	[1, 2]
	炎症性サイトカイン	↑	[1, 2]

アンジオテンシン (Ang) I 変換酵素 (ACE) 阻害作用がその主体とされるが、最近の報告では収縮血管を弛緩させる (血管弛緩作用) ことで血圧低下作用を示す新たな血圧調節成分 (ペプチドやポリフェノールなどがその候補成分) が明らかになりつつある。他方、高血圧発症と関連する加齢、すなわち高齢者における機能性食品の摂取の有効性に関しては不明な点が多い。近年の研究では、加齢/疾病に伴い低下した血管機能 (血管リモデリング, 表1) を改善可能な食品成分が明らかになりつつある。そこで、本稿では血圧決定因子である血管抵抗性に着目し、加齢と血管機能ならびに血管機能を調節可能な食品成分について概説する。

1. 加齢と血管機能

血管の柔軟性は収縮と弛緩、すなわち血管伸縮の度合い (血管のしなやかさ) によって決定される。収縮および弛緩は、血管伸縮シグナル因子の産生場である内皮層と伸縮を司る平滑筋層の応答によって制御される。加齢は酸化ストレスや血中 LDL コレステロール量などの増加を惹起し、結果として内皮応答性を低下させることにより血管平滑筋細胞の遊走や増殖の誘発による血管収縮や硬化を招く^{1, 2)}。加齢 (硬化) 血管では各種の受容体やチャンネル量が変化する³⁾とされているが、十分な機能解明には至っていない。

血管内皮には、プロスタグランジン I₂/cAMP 系や一酸化窒素 (NO) /cGMP 系が主要な血管弛緩系シグナルとして存在する。NO は内皮型 NO 合成酵素 (eNOS) によって産生され、グアニル酸シクラーゼの活性化によって弛緩因子である cGMP 産生を促す。一方、加齢に伴う eNOS 発現量の低下や NADPH oxidase 活性の増大によって血管弛緩因子である NO のバイオアベイラビリティは低下する¹⁾とされる。Wirth ら⁴⁾は加齢/高血圧ラット血管では内皮機能が低下し、内皮依存的な弛緩活性が低下することを報告している。筆者らも、40 週齢高血圧自然発症ラット (SHR) 血管では NO 産生誘発剤であるアセチルコリンによる弛緩の程度が若齢ラット血管と比較して顕著に低下することを確認している⁵⁾。このことは、血管内皮依存的に NO/cGMP 系を賦活する食品成分では加齢による内皮 (血管伸縮) 機能の低下を克服できない可能性を示唆するものである。また、強力な血管収縮剤である Ang II による収縮の程度も加齢血管において低下した⁵⁾ことから、加齢/高血圧の進展によって血管の伸縮機能そのものが低下していることが推察される。

血管平滑筋では主に Ca²⁺ 濃度上昇がトリガーとなって収縮が達成される。平滑筋での Ca²⁺ 収縮シグナル系は、ACE の作用によって Ang I から産生した Ang II などのペプチドホルモンが受容体 (AT1R) に結合することによって活性化する。すなわち、AT1R を介して小胞体からの Ca²⁺ の放出や L 型 Ca²⁺ チャンネル (VDCC) のリン酸化による細胞外からの Ca²⁺ の流入が促進され、細胞内 Ca²⁺ 濃度が上昇する。細胞内 Ca²⁺ 濃度の上昇はミオシン軽鎖 (MLC) のリン酸化を促し、結果として血管が収縮する。加齢/高血圧の進展は Ca²⁺ 収縮シグナル系での AT1R の発現を促す⁶⁾。それに対して、弛緩反応に関わる AT2R の発現量は加齢により減少する (図2)⁶⁾。したがって、加齢血管では AT1R 応答の増大に伴い血管収縮が促進されると推察されるが、加齢 SHR 血管では逆に収縮活性の低下が認められる⁵⁾。他方、細胞

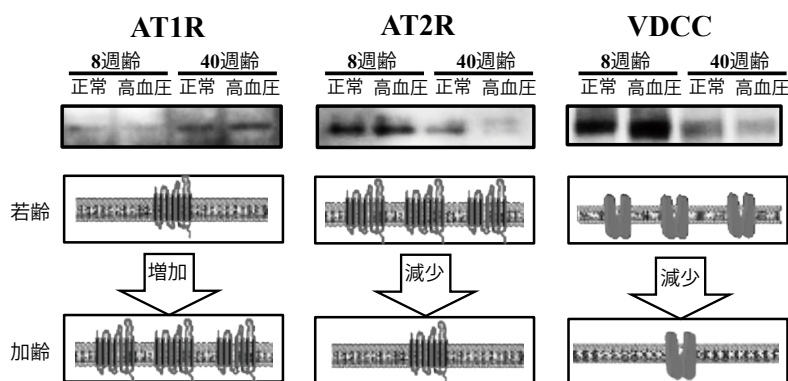


図2 加齢に伴うラット血管での各種レセプターおよびチャンネル量の変化

外からの Ca^{2+} 流入を担う VDCC 発現量は加齢により顕著に減少する⁵⁾(図2)。このことは、降圧剤である VDCC ブロッカーによる降圧作用が加齢によって減弱(消失)する可能性を示唆する知見といえる。実際、Ragazzi ら⁷⁾ は VDCC ブロッカーである verapamil による血管

弛緩作用は2ヶ月齢ラットに比べて18ヶ月齢の加齢ラットにおいて顕著に低下することを報告している。

2. 加齢と食品成分による血管機能改善

血管に対して改善作用を示す食品成分の一

表2 これまでに報告されている血管機能改善食品成分(一部)

	食品成分	血管弛緩 内皮 平滑筋	作用	メカニズム	含有食品	文献
ペプチド	Val-Tyr	+		Ca^{2+} 流入抑制	イワシ	[37]
	Trp-His	+	抗動脈硬化, 抗炎症作用	Ca^{2+} 流入抑制, Ca^{2+} シグナル抑制	合成	[8, 10, 11]
	His-Arg-Trp	+		Ca^{2+} 流入抑制	合成	[9]
	Val-Pro-Pro, Ile-Pro-Pro	+	抗動脈硬化	ACE阻害, NO産生	乳カゼイン	[37]
	carnosine	+		cGMP産生	食肉	[38]
プリン塩基	アデニン	+		平滑筋への作用	モロヘイヤ	[15]
	アデノシン	+	抗動脈硬化	cAMP/PKA活性化, NO産生	野菜	[16, 17, 18]
	カフェイン	+		cAMP/PKA活性化, 内皮リアノジン受容体活性化	コーヒー	[39]
カテキン	EGCg	+	内皮機能向上	NO産生	緑茶	[22]
	ケルセチン		内皮機能向上	NO産生, 抗酸化ストレス	果実・野菜	[41]
フラボノイド	ダイゼイン, ダイジン	+		K^{+} チャンネル開口	大豆	[23]
	ルチン	+	内皮機能向上	NO産生, K^{+} チャンネル開口, プロスタグランジン系	ソバ	[40]
フェノール酸	フェルラ酸	+	内皮機能向上, 抗炎症作用	抗酸化ストレス, 抗炎症	穀類	[24, 25]
	カフェ酸	+	内皮機能向上, 抗炎症作用	抗酸化ストレス, 抗炎症	穀類	[25, 42]
	クルクミン	+	内皮機能向上	抗酸化ストレス, NO産生	ウコン	[26]
	レスバトロール	+	内皮機能向上, 動脈硬化, 抗炎症作用	抗酸化ストレス, NO産生	ブドウ	[41]
	セサミン, 代謝物	+		抗酸化ストレス, NO産生	ゴマ	[43]
	プロシアニジン	+		K^{+} チャンネル開口	リンゴ種子	[21]

部を表2に示した。弛緩をはじめ抗動脈硬化、内皮機能改善、さらには抗炎症などの作用がこれまでに報告されている。

2.1. ペプチドによる血管機能改善

血管弛緩ペプチドの作用機構には内皮依存型と内皮非依存型の2つのタイプがあり、主に前者は内皮層でのNO産生系の賦活化、後者は平滑筋層での収縮 Ca^{2+} シグナル系の抑制作用である。塩基性ペプチドTrp-His⁸⁾やHis-Arg-Trp⁹⁾は、平滑筋細胞内への Ca^{2+} 流入を阻害することで血管を弛緩させ、その発現に塩基性アミノ酸であるHis残基のイミダゾールプロトンが関与する⁹⁾。なお、Trp-Hisはペプチド体として吸収され¹⁰⁾、動脈硬化の進展を抑制する¹¹⁾。同様に、Val-Pro-ProやIle-Pro-Pro¹²⁾は動脈硬化の進展を抑制し、血管内皮NO産生を向上させる¹³⁾ことが報告されている。また、Lys-Arg-Glu-SerはHDLコレステロールの増加を介して大動脈病変形成を抑制する¹⁴⁾との報告がある。これらの知見は血管に対するペプチド機能の多様性を示唆するものといえる。一方、加齢および高血圧ラット胸部大動脈血管を用いた血管張力試験において、若齢ラットで認められたTrp-Hisの弛緩作用は加齢に伴い消失する⁵⁾。加齢血管でのペプチド機能の消失はVDCC量の減少(図2)が一因と考えられる。

2.2. プリン塩基による血管機能改善

プリン塩基はプリン骨格を有する塩基化合物であり、これまでにアデニン¹⁵⁾やアデノシン¹⁶⁻¹⁸⁾などが血管弛緩作用を示すことが報告されている。モロヘイヤに含まれるアデニンは内皮非依存的な血管弛緩作用を示す¹⁵⁾。アデニンの血管弛緩作用発現には(1)電荷を帯びていないイミダゾール環および(2)イミノ基プロトンが重要である¹⁵⁾。前項で述べたように、イミダゾールの重要性は塩基性ペプチドでの結果と一致する。アデニンとリボースから構成されるアデノシンは、アデノシン受容体を介したcAMP/PKA活性化^{16,17)}や、NO産生促進¹⁸⁾により血管弛緩作用を示す。さらに、アデノシンはアデノシン受容体を介して抗動脈硬化作用を示す¹⁹⁾ことから、血管機能維持に対して有用な機能性成分であるといえる。しかしながら、Wistarラット冠状動脈血管に対するアデノシンの弛緩作用が加齢によって減弱したと報告されている²⁰⁾ことから、血管弛緩を指向するには塩基性を有する食品成分は加齢に対して負に働く可能性がある。

2.3. ポリフェノールによる血管機能改善

重合ポリフェノールであるプロシアニジン類は血管内皮での K^{+} チャンネルの活性化を介して過分極を誘導²¹⁾し、モノポリフェノールで

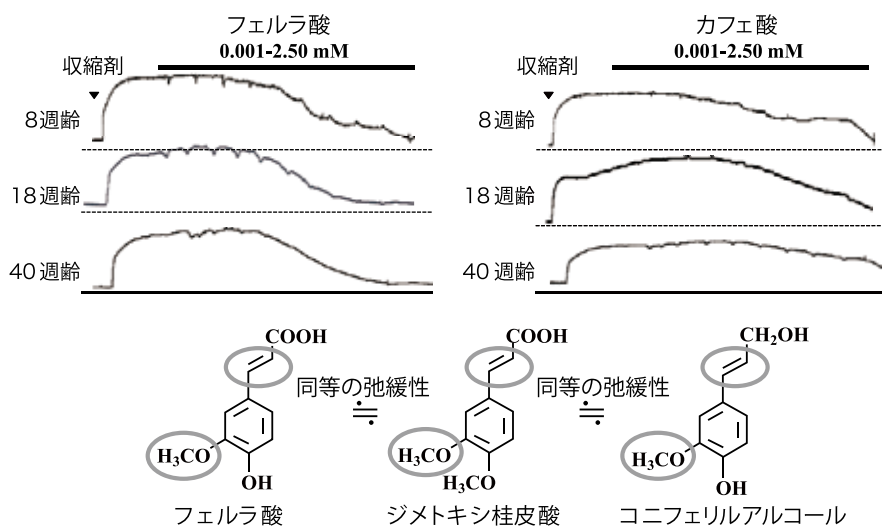


図3 加齢血管とフェノール酸の弛緩作用

あるカテキン類は NO 産生系を活性化²²⁾して血管を弛緩させる。他方、大豆フラボノイドであるダイゼインやダイジン²³⁾は、血管平滑筋層の K⁺ チャンネルを開口させ、Ca²⁺ 流入を抑制することにより内皮非依存的に血管を弛緩させる。また、抗炎症作用²⁴⁾を有するフェノール酸であるフェルラ酸は、塩基性成分では弛緩性が消失した加齢血管に対して明らかな弛緩作用を示す²⁵⁾(図 3A)。さらに、抗炎症作用を示すクルクミン²⁶⁾は、26-28 月齢の高齢マウスにおいて、コラーゲンの沈着による血管の硬化や、加齢による内皮機能の低下を改善する。これらのことから、フェルラ酸やクルクミンは、低下した血管機能を改善する可能性が示唆される。筆者らのこれまでの研究では、加齢血管でのフェルラ酸の弛緩作用にはフェニル環 3 位のメトキシ基と 2-プロペン酸側鎖が重要であることを明らかにしている²⁵⁾(図 3B)。メチル化によってインスリン放出²⁷⁾、抗炎症作用²⁸⁾や NADPH oxidase 阻害作用²⁹⁾が増強されるとの報告があることから、メチル化ポリフェノール類による加齢血管の機能改善作用の究明が今後大いに期待される。

3. 血管弛緩と相乗効果

単一薬剤による降圧作用が不十分な場合、作用標的が異なる降圧剤を併用することで、より

効果的な降圧目標を達成できる場合がある³⁰⁾。食機能分野においても、食品成分が多成分混合系であることから、このような併用効果についての概念は重要である。例えば、VDCC 阻害作用を示す Trp-His の血管弛緩作用は NO/cGMP 系を賦活化する EGCg との併用によって増強される³¹⁾。また、炎症誘導血管においてはフェルラ酸と EGCg の併用によって相乗的な弛緩作用が発現する³²⁾。さらに、フェルラ酸はアスコルビン酸との併用により血管損傷および酸化ストレスを相乗的に減少させることも報告されている³³⁾。このように、フェルラ酸は老化血管の応答性回復を促すとともに、共存食品成分の機能発現を補完する可能性を秘めた食品成分といえる。食品は対処療法的な薬剤服用とは異なり、多成分摂取を前提としていることから、食相乗性研究は今後ますます重要になるものと思われる。

おわりに

高血圧や動脈硬化等の血管に関わる疾患に対する食機能研究の進展には目を見張るものがある。他方、加齢や疾病等による血管機能低下を克服しようとする食機能研究は緒に就いたところであり、今後のさらなる展開が期待される。

参考文献

1. Ungvari Z., Kaley G., De Cabo R., *et al.*: Mechanisms of vascular aging: New perspectives. *Journals Gerontol. - Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* **65 A**: 1028-1041, 2010.
2. Vanhoutte P. M., Shimokawa H., Tang E. H. C., *et al.*: Endothelial dysfunction and vascular disease. *Acta Physiol.* **196**: 193-222, 2009.
3. Lee H.-Y. & Oh B.-H.: Aging and arterial stiffness. *Circ. J.* **74**: 2257-2262, 2010.
4. Wirth K. J., Linz W., Wiemer G., *et al.*: Differences in acetylcholine- and bradykinin-induced vasorelaxation of the mesenteric vascular bed in spontaneously hypertensive rats of different ages. *Naunyn. Schmiedeberg's Arch. Pharmacol.* **354**: 38-43, 1996.
5. Fukuda T., Kuroda T., Kono M., *et al.*: Attenuation of L-type Ca²⁺ channel expression and vasomotor response in the aorta with age in both Wistar-Kyoto and spontaneously hypertensive rats. *PLoS One* **9**: e88975, 2014.
6. Touyz R. M., Endemann D., He G., *et al.*: Role of AT2 receptors in angiotensin II-stimulated contraction of small mesenteric arteries in young SHR. *Hypertension* **33**: 366-372, 1999.
7. Ragazzi E., Chinellato A., Pandolfo L., *et al.*: Effect of calcium antagonists on isolated aorta from hypercholesterolemic Yoshida rats of different ages. *Gen. Pharmacol.* **25**: 1321-1327, 1994.

8. Tanaka M., Tokuyasu M., Matsui T., *et al.*: Endothelium-independent vasodilation effect of di- and tri-peptides in thoracic aorta of Sprague-Dawley rats. *Life Sci.* **82** : 869-875, 2008.
9. Tanaka M., Watanabe S., Wang Z., *et al.*: His-Arg-Trp potently attenuates contracted tension of thoracic aorta of Sprague-Dawley rats through the suppression of extracellular Ca^{2+} influx. *Peptides* **30** : 1502-1507, 2009.
10. Tanaka M., Hong S.-M., Akiyama S., *et al.*: Visualized absorption of anti-atherosclerotic dipeptide, Trp-His, in Sprague-Dawley rats by LC-MS and MALDI-MS imaging analyses. *Mol. Nutr. Food Res.* **59** : 1541-1549, 2015.
11. Matsui T., Sato M., Tanaka M., *et al.*: Vasodilating dipeptide Trp-His can prevent atherosclerosis in apo E-deficient mice. *Br. J. Nutr.* **103** : 309-313, 2010.
12. Nakamura T., Hirota T., Mizushima K., *et al.*: Milk-derived peptides, Val-Pro-Pro and Ile-Pro-Pro, attenuate atherosclerosis development in apolipoprotein e-deficient mice: a preliminary study. *J. Med. Food* **16** : 396-403, 2013.
13. Hirota T., Nonaka A., Matsushita A., *et al.*: Milk casein-derived tripeptides, VPP and IPP induced NO production in cultured endothelial cells and endothelium-dependent relaxation of isolated aortic rings. *Heart Vessels* **26** : 549-556, 2011.
14. Navab M., Anantharamaiah G. M., Reddy S. T., *et al.*: Oral small peptides render HDL antiinflammatory in mice and monkeys and reduce atherosclerosis in ApoE null mice. *Circ. Res.* **97** : 524-532, 2005.
15. Tokuda S., Fukuda T., Kobayashi Y., *et al.*: Effect of the uncharged imidazolium moiety in adenine on endothelium-independent relaxation in the contracted thoracic aorta of Sprague-Dawley rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **76** : 828-830, 2012.
16. Kleppisch T. & Nelson M. T. : Adenosine activates ATP-sensitive potassium channels in arterial myocytes via A2 receptors and cAMP-dependent protein kinase. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **92** : 12441-12445, 1995.
17. Silver P. J., Walus K. & DiSalvo J. : Adenosine-mediated relaxation and activation of cyclic AMP-dependent protein kinase in coronary arterial smooth muscle. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **228** : 342-347, 1984.
18. Hein T. W., Belardinelli L. & Kuo L. : Adenosine A2A Receptors Mediate Coronary Microvascular Dilation to Adenosine: Role of Nitric Oxide and ATP-Sensitive Potassium Channels. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **291** : 655-664, 1999.
19. Koupenova M., Johnston-Cox H. & Ravid K. : Regulation of atherosclerosis and associated risk factors by adenosine and adenosine receptors. *Curr. Atheroscler. Rep.* **14** : 460-468, 2012.
20. Hinschen a K., Rose' Meyer R. B. & Headrick J. P. : Age-related changes in adenosine-mediated relaxation of coronary and aortic smooth muscle. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **280** : H2380-2389, 2001.
21. Byun E. B., Korematsu S., Ishikawa T., *et al.*: Apple procyanidins induce hyperpolarization of rat aorta endothelial cells via activation of K⁺ channels. *J. Nutr. Biochem.* **23** : 278-286, 2012.
22. Kim J.-A., Formoso G., Li Y., *et al.*: Epigallocatechin gallate, a green tea polyphenol, mediates NO-dependent vasodilation using signaling pathways in vascular endothelium requiring reactive oxygen species and Fyn. *J. Biol. Chem.* **282** : 13736-13745, 2007.
23. Deng Y., Ng E. S. K., Yeung J. H. K., *et al.*: Mechanisms of the cerebral vasodilator actions of isoflavonoids of Gegen on rat isolated basilar artery. *J. Ethnopharmacol.* **139** : 294-304, 2012.
24. Alam M. A., Sernia C. & Brown L. : Ferulic acid improves cardiovascular and kidney structure and function in hypertensive rats. *J. Cardiovasc. Pharmacol.* **61** : 240-249, 2013.
25. Fukuda T., Kuroda T., Kono M., *et al.*: Augmentation of ferulic acid-induced vasorelaxation with aging and its structure importance in thoracic aorta of spontaneously hypertensive rats. *Naunyn. Schmiedebergs. Arch. Pharmacol.* **388** : 1113-1117, 2015.
26. Fleenor B. S., Sindler A. L., Marvi N. K., *et al.*: Curcumin ameliorates arterial dysfunction and oxidative stress with aging. *Exp. Gerontol.* **48** : 269-276, 2013.
27. Adisakwattana S., Moonsan P. & Yibchok-Anun S. : Insulin-releasing properties of a series of cinnamic acid derivatives in vitro and in vivo. *J. Agric. Food Chem.* **56** : 7838-7844, 2008.
28. Kumar S., Arya P., Mukherjee C., *et al.*: Novel aromatic ester from Piper longum and its analogues inhibit expression of cell adhesion molecules on endothelial cells. *Biochem.* **44** : 15944-15952, 2005.
29. Steffen Y., Gruber C., Schewe T., *et al.*: Mono-O-methylated flavanols and other flavonoids as inhibitors of

- endothelial NADPH oxidase. *Arch. Biochem. Biophys.* **469** : 209-219, 2008.
30. Kostis J. B. : Antihypertensive therapy with CCB/ARB combination in older individuals: focus on amlodipine/valsartan combination. *Am J Ther* **17** : 188-196, 2010.
31. Tanaka M., Zhao J., Suyama A., *et al.*: Epigallocatechin Gallate Promotes the Vasorelaxation Power of the Antiatherosclerotic Dipeptide Trp-His in Contracted Rat Aorta. *J. Agric. Food Chem.* **60** : 9048-9054, 2012.
32. Zhao J., Suyama A., Tanaka M., *et al.*: Ferulic acid enhances the vasorelaxant effect of epigallocatechin gallate in tumor necrosis factor-alpha-induced inflammatory rat aorta. *J. Nutr. Biochem.* **25** : 807-814, 2014.
33. Yogeeta S. K., Gnanaprasam A., Kumar S. S., *et al.*: Synergistic interactions of ferulic acid with ascorbic acid: its cardioprotective role during isoproterenol induced myocardial infarction in rats. *Mol. Cell. Biochem.* **283** : 139-146, 2006.
34. Donato A. J., Gano L. B., Eskurza I., *et al.*: Vascular endothelial dysfunction with aging: endothelin-1 and endothelial nitric oxide synthase. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **297** : H425-432, 2009.
35. Wang M., Takagi G., Asai K., *et al.*: Aging increases aortic MMP-2 activity and angiotensin II in nonhuman primates. *Hypertension* **41** : 1308-1316, 2003.
36. Benigni A., Cassis P. & Remuzzi G. : Angiotensin II revisited: new roles in inflammation, immunology and aging. *EMBO Mol. Med.* **2** : 247-257, 2010.
37. Majumder K. & Wu J. : Molecular targets of antihypertensive peptides: understanding the mechanisms of action based on the pathophysiology of hypertension. *Int. J. Mol. Sci.* **16** : 256-283, 2015.
38. Ririe D. G., Roberts P. R., Shouse M. N., *et al.*: Vasodilatory actions of the dietary peptide carnosine. *Nutrition* **16** : 168-172, 2000.
39. Echeverri D., Montes F. R., Cabrera M., *et al.*: Caffeine' s Vascular Mechanisms of Action. *Int. J. Vasc. Med.* **2010** : 834060, 2010.
40. Man-li Xia, Xin-mei Zhou, Hui Yao, *et al.* : Rutin-induced Endothelium-dependent Vasorelaxation in Rat Aortic Rings and the Underlying Mechanism. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* **6** : 5595-5597, 2005.
41. Khurana S., Venkataraman K., Hollingsworth A., *et al.*: Polyphenols: Benefits to the cardiovascular system in health and in aging. *Nutrients* **5** : 3779-3827, 2013.
42. Da Cunha F. M., Duma D., Assreuy J., *et al.*: Caffeic acid derivatives: in vitro and in vivo anti-inflammatory properties. *Free Radic. Res.* **38** : 1241-1253, 2004.
43. Nakano D., Kwak C.-J., Fujii K., *et al.*: Sesamin metabolites induce an endothelial nitric oxide-dependent vasorelaxation through their antioxidative property-independent mechanisms: possible involvement of the metabolites in the antihypertensive effect of sesamin. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **318** : 328-335, 2006.

健康食品の エビデンス

濱舘 直史 / 濱舘学術事務所

第11回

DHA

「魚を食べると頭が良くなる」そんな歌をスーパーで聞いたことがあります。これは魚にDHA（ドコサヘキサエン酸）が多く含まれることから作られた歌かと思います。DHAは、 ω -3脂肪酸に分類される不飽和脂肪酸で、魚の油に多く含まれます。特にマグロやカツオの目の周りの脂肪に多く含まれることが知られていて、サプリメントの原材料として使用されています。EPA（エイコサペンタエン酸）という似たような成分をご存知の方もいらっしゃるかと思います。DHAもEPAも体内では合成できない α -リノレン酸から体内で合成されるため、広い意味で必須脂肪酸と考えることができます。多くの研究報告からDHAとEPAとでは生体内で違った役割を果たすことがわかっていますが、DHAを摂取しても体内でEPAに一部変換されたり、EPAを摂取しても体内でDHAに一部変換されたりすることもわかってきています。また、DHAは酸化されやすいため、抗酸化物質と共に摂取することで、摂取後の血中濃度を高められるのではないかと検討が進んでいます^{1,2)}。

カナダとグリーンランドに住むイヌイットという民族は、日本人と見た目の似ている同じモンゴロイドです。このイヌイットの人達が、食生活の中で脂肪摂取量が多いにもかかわらず、西洋人に比べて、動脈硬化、脳梗塞、心筋梗塞などの心血管性疾患による死亡率が低いことから ω -3脂肪酸の有用性に注目が集まりました。研究の中で、イヌイットの人達は脂肪を魚やアザランから摂取することが多く、西洋人の食事と比べて、DHAを含む ω -3脂肪酸の摂取量が多いことがわかりました。DHAを含む ω -3脂肪酸の心血管性疾患予防に対する有用性は、アメリカ心臓協会（AHA）も可能性が高いと報告しています。また日本でも、DHAを含む ω -3脂肪酸は必須栄養素とし

て摂取目標量が設定されています。厚生労働省の「日本人の食事摂取基準（2010年版）」の報告書において、DHAとEPAの摂取目標量は1日1gと設定されました。「日本人の食事摂取基準（2015年版）策定検討会」の報告書では、DHAとEPAの摂取目標量は設定されていませんが、日本人では、EPA+DHAを0.9g/日摂取している群で有意に、非致死性心筋梗塞罹患の減少が認められていると結んでいます。2005年、2006年国民健康・栄養調査の結果からの計算によれば、日本人30～49歳のEPAおよびDHA摂取量の中央値は、0.32g/日（男性）、0.23g/日（女性）と報告されていますので、一般的な1日の食事に加えてさらに0.6～0.8g以上の摂取が推奨できると考えられます。DHAの有効性については、心血管性疾患だけでなく、糖尿病、乳がん、大腸がん、肝がん、加齢黄斑変性症、認知障害やうつ病に対しても予防する可能性を示唆した研究結果が報告されています。また、2011年に消費者庁公募で日本健康・栄養食品協会が実施した「食品の機能性評価モデル事業」では、心血管疾患リスク低減、血中中性脂肪低下作用、関節リウマチ症状緩和の3項目で総合評価Aと評価されています。さらに、EPAは閉塞性動脈硬化症に伴う潰瘍、疼痛および冷感、高脂血症を適用とした医薬品として取り扱われています。神経保護や正常な発達に対して、乳児の摂取も推奨されており、多くの市販の粉ミルクにも含まれています。

DHAの有用性について検討した試験報告は、健康食品の素材の中でおそらく一番多いのではないかと思います。アメリカ国立医学図書館の国立生物工学分野情報センター（NCBI）が運営する医学・生物学分野の学術文献検索サービスであるPubMedで「DHA」

埼玉県出身。北海道大学大学院医学研究科博士課程修了。専門分野は天然物化学、循環器薬理学、神経薬理学。健康食品会社にて研究開発部門の創設に携わり、健康食品の安全性・有効性の評価を担当。現在は濱館学術事務所を設立し、健康食品関連企業向けの学術・研究開発をサポートするコンサルタント業務を行っている。



を検索すると 10,000 件以上の論文がヒットします。その中でもヒトでの試験報告 (Clinical Trial) は 1,000 件以上と膨大なデータがあることがわかります。近年では DHA を含んだカプセル状のサプリメントが容易に入手できるようになったことから多くの介入研究が行われるようになりました。これらの介入研究結果をまとめたメタアナリシスも多く発表されています。冠動脈疾患に関しては、DHA 摂取群で平均 18% の冠動脈疾患罹患の減少、平均 9% の心臓死減少を認めています³⁾。中性脂肪に対しては、用量依存性の効果が確認されていて、1 g/日の EPA および DHA 投与により血中トリアシルグリセロール値が 5 ~ 10% 低下し、投与前の血中トリアシルグリセロール値が高い患者ほど効果は強いことが報告されています⁴⁾。血圧については、平均 11.7 週間、中央値 3.7 g/日の魚油を摂取することで、収縮期 / 拡張期血圧が -2.1/-1.6 mmHg の有意な降圧があることが報告されています⁵⁾。この効果は軽微なものであるため、DHA 単独で降圧効果を期待するというよりは、組み合わせで使用するもしくは予防効果を期待するものと考えられます。認知機能については、アルツハイマー病のリスク低減と認知症ではない認知機能の低下に対する有用性が示されています⁶⁾。加齢黄斑変性症に対しても、 ω -3 脂肪酸を多く摂取することで発症のリスクを 38% 抑えることが報告されています⁷⁾。

DHA は主に 2 つの作用機序によってその効果を発揮すると考えられています。ひとつは、細胞膜の構成脂肪酸となることで、さまざまな受容体結合や酵素反応などと関係する膜の流動性を亢進させることです。もうひとつは、炎症性サイトカインの反応を抑制することで抗炎症効果を発揮することがあげられます。 ω -6 脂肪酸のアラキドン酸は体内で代謝されることでプロスタグランジンに変換されますが、DHA および EPA はアラキドン酸と同様に代謝されプロスタグランジンよりも作用の弱い物質に変換されます。

この代謝物によって、相対的に炎症が抑制されるパーシャルアゴニスト (部分作動薬) として作用すると考えられています⁸⁾。加えて、 ω -3 脂肪酸が細胞膜へ取り込まれることによって、細胞膜のアラキドン酸が減少し、効力の強い生理活性物質の産生が相対的に減少します。これらの結果として、血小板凝集、炎症、免疫反応などが抑制されると考えられています。さらに、DHA の代謝産物の中に強力な抗炎症作用をもつものがあることもわかってきています^{9, 10)}。また、神経保護作用として、DHA はアルツハイマーで増加がみられるアミロイド β 蛋白の集積による神経細胞死を抑制することが報告されています¹¹⁾。さらに、血管内皮にある NO 合成酵素 (eNOS) 由来の血管拡張物質である NO 産生を増加させることで、血管の内皮機能を改善することも報告されています¹²⁾。これによって血流依存性の血管拡張反応などが改善し、高血圧に対して有効性が示されると考えられます。

DHA は、これまでの食経験や多くの臨床試験結果から安全性の高い健康食品と考えられます。加えて魚油は、米国食品医薬品局 (FDA) から安全食品認定 (GRAS) の認定を受けています。また、(独) 国立健康・栄養研究所の「健康食品」の安全性・有効性情報では「適切に用いれば経口摂取でおそらく安全であるが、大量摂取は危険性が示唆されている。」「1日 3 g 以上の摂取で、凝血能が低下し出血しやすくなる可能性がある。」「妊娠中・授乳中の安全性については、魚などの食品や特別用途食品 (特定保健用食品を含む) として摂取する場合は安全と思われる。」「EPA, DHA を含む魚油では、げっぷ、吐き気、鼻血、軟便が知られている。」と記載があります。以上のことから考えて、健康なヒトが DHA と EPA をあわせて 1日 3 g 以下の量を摂取することは一般的に安全であるといえます。特に高用量の摂取については、多くの出血が予想される手術前後や抗凝血薬を服用しているときには注意が必要です。

参考文献

- 1) Ikeda S *et al.*, Dietary sesame lignans decrease lipid peroxidation in rats fed docosahexaenoic acid, *J Nutr Sci Vitaminol* (Tokyo), **49**(4): 270-276. 2003.
- 2) 濱館直史ら, ドコサヘキサエン (DHA) 含有食品へのアスタキサンチン配合が男性成人における血中の脂質 DHA 濃度ならびに主要な n-3 多価不飽和脂肪酸濃度に及ぼす効果—無作為化、二重盲検、並行群間比較試験—, *Progress in Medicine*, **35**: 1969-1980. 2015.
- 3) Delgado-Lista J *et al.*, Long chain omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: a systematic review, *Br J Nutr*, **107** (Suppl 2): S201-13. 2012.
- 4) Miller M *et al.*, Triglycerides and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association, *Circulation*, **123**(20): 2292-2333. 2011.
- 5) Geleijnse JM *et al.*, Blood pressure response to fish oil supplementation: meta-regression analysis of randomized trials, *J Hypertens*, **20**(8): 1493-1499. 2002.
- 6) Mazereeuw G *et al.*, Effects of ω -3 fatty acids on cognitive performance: a meta-analysis, *Neurobiol Aging*, **33**(7): 1482.e17-29. 2012.
- 7) Chong EW *et al.*, Dietary omega-3 fatty acid and fish intake in the primary prevention of age-related macular degeneration: a systematic review and meta-analysis, *Arch Ophthalmol*, **126**(6): 826-833. 2008.
- 8) Tatsuno I *et al.*, Comparison of the effect between leukotriene B4 and leukotriene B5 on the induction of interleukin 1-like activity and calcium mobilizing activity in human blood monocytes, *Agents Actions*, **29**(3-4): 324-327. 1990.
- 9) Serhan CN *et al.*, Resolvins: a family of bioactive products of omega-3 fatty acid transformation circuits initiated by aspirin treatment that counter proinflammation signals, *J Exp Med*, **196**(8): 1025-1037. 2002.
- 10) Spite M *et al.*, Resolvin D2 is a potent regulator of leukocytes and controls microbial sepsis, *Nature*, **461**(7268): 1287-1291.
- 11) Kondo T *et al.*, Modeling Alzheimer's disease with iPSCs reveals stress phenotypes associated with intracellular A β and differential drug responsiveness, *Cell Stem Cell*, **12**(4): 487-496.
- 12) Dietary omega 3 polyunsaturated fatty acids augment endothelium-dependent relaxation to bradykinin in coronary microvessels of the pig, *Br J Pharmacol*, **95**(4): 1191-1196. 1988.

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	

新世代の健康食品素材 PQQ の効能・効果 および代替医療としての可能性

池本 一人 (IKEMOTO Kazuto)

三菱ガス化学株式会社 新潟研究所

Key Words : PQQ ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩

はじめに

ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩(PQQ)は新世代の健康食品として注目されている。日本では2014年にデビューした食品素材である。すでに化粧品では国内で使用され、アンチエイジング効果があると好評である。このPQQは1979年にアルコール脱水素酵素から発見された微生物の酸化還元酵素の補酵素であるピロロキノリンキノンの水溶性塩である。ピロロキノリンキノンは自然界ではピーマン、パセリ、キウイ、納豆、お茶、母乳に含まれており、日常的にヒトはPQQおよびその誘導体を0.1-1.0mg/day摂取していると考えられている。学術的には1989,2003年に栄養素として欠乏症やビタミンの可能性があると有力なジャーナルに掲載され注目を集めた^{1,2)}。米国では2008年にFDAに発酵法で生産された三菱ガス化学(株)製PQQが新規食品素材として受理され、サプリメントとして販売されるようになっている。日本でも厚生労働省への個別照会により2014年から使用可能になった。効能・効果を数多く有しており、新たなベースサプリメントとして期待されている。また、医療分野での研究も数多く行われている。今回は効能・効果と共に医療分野の研究について紹介する。

1. PQQ の物理・化学的性質

ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩(PQQ)は赤色の結晶である。一般的なピロロキノリンキノン二ナトリウム塩の化学式は図1で示され、分子内に2つのナトリウムをもつ塩である。実際にはPQQは偏光性を有する三水合物結晶(図2)である³⁾。PQQは通常赤色である。水分量が減少すると黒く変化するが、湿度の高い

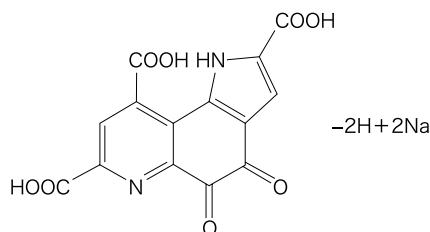


図1 ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩(PQQ)

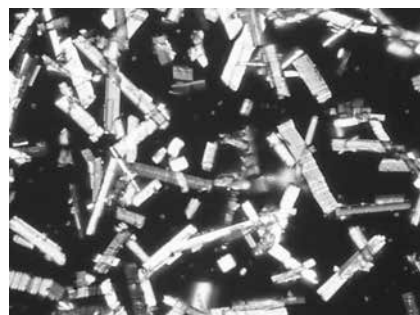


図2 PQQ結晶(偏光顕微鏡写真)

表1 ピロロキノリンキノン二ナトリウム塩 (PQQ) の物性

色	赤色
分子式*	C ₁₄ H ₄ N ₂ Na ₂ O ₈
分子量*	374.17
CAS 番号	122628-50-6
臭い	無臭
融点	300℃以上 (分解)
味	なし
水への溶解性	3g/L, 25℃
エタノール, 油への溶解性	難溶
同定方法 (結晶形)	XRD(Cu-Kα) 分析 2θ=9.1, 10.3, 13.8, 17.7, 18.3, 24.0, 27.4, 31.2, 39.5° (いずれも±0.2°)

*結晶水を含まない

環境におき吸湿させることで赤色に回復する。この色の変化はかなり見た目では大きい純度等とは関連しない。PQQ の物性に関して表1にまとめる。PQQ は単独では安定でオートクレーブ滅菌も可能である。熱, 光安定性の高い物質である。粉塵爆発の試験においても爆発性が見られなかった。水に対し PQQ は室温で約 3g/L 溶解し, 弱酸性の pH3.5 になる。温度を 80℃まで上げると 10g/L まで溶解させることができる。水酸化ナトリウムで pH を調整し, 中性にすることで 15g/L まで溶かすことが可能になる。PQQ は単独では安定な化合物であるが, 高い生理活性に伴う反応性を有している。アスコルビン酸, システイン, グルタチオン, アミノ酸, 金属イオンとも反応する。

2. PQQ の効能・効果

PQQ は化学的に非常に特徴的な機能を持っている。第一は酸化還元性である。通常, 酸化型である PQQ が生体内では容易に還元することで抗酸化性, 活性酸素シグナルを出す働きを出している。その効能・機能は多岐にわたっており, 図3に示すように非常に幅広い。

ヒト試験では脳, 皮膚, 脂質

について試験されている^{4,5)}。特に脳機能に関しては別項で紹介する。皮膚では肌の水分量の改善が見られ, 皮膚の乾燥についても PQQ は効果がある。29 から 49 歳の女性が PQQ を 20mg/day 経口摂取すると 1 ヶ月後にプラセボに対し皮膚の水分量の改善が見られた。肌のバリア機能を改善している。化粧品ではなく, 経口摂取で皮膚の水分量が変化することは興味深い。美容

分野への応用が期待される。コレステロールに関してヒト試験結果が明らかになっている。40 から 57 歳を被験者として PQQ 20mg/day の経口摂取で LDL コレステロールは 6 から 12 週で低下した。脂質によるリスクの低減に有効であると考えられる。

3. 細胞に対する影響⁶⁻⁸⁾

細胞への影響は PQQ の機能解析の基本として研究されてきた。細胞増殖因子, ミトコンドリア新生, 抗酸化作用, NGF 増産が代表的な機能として知られている。PQQ は正確には細胞増殖因子様物質であるが, 多様な細胞に効果

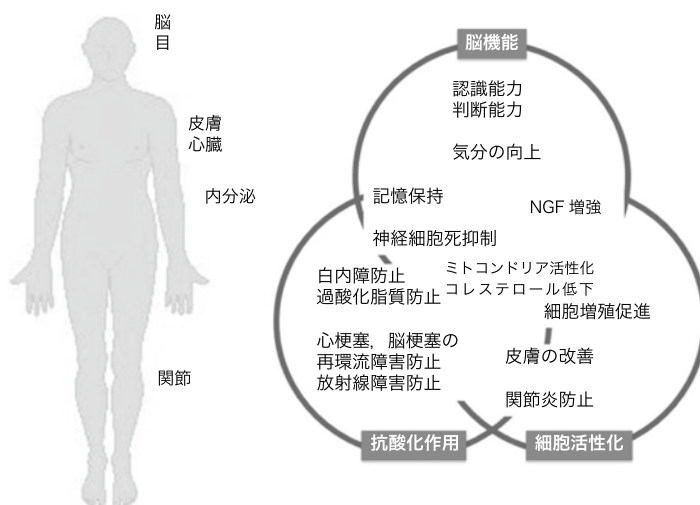


図3 PQQ の効果・効能のまとめ

があることから細胞増殖因子と呼ばれることが多い。一般的にはタンパク質である増殖因子がこのような低分子で同様な作用を示すことは興味深い。このメカニズムについては詳細に研究が行われており、PQQ の有する酸化還元性が活性酸素シグナルを出し増殖を引き起こしていることが報告されている。ミトコンドリア新生とは細胞内のミトコンドリアの量を増やす効果である。基本的な代謝を行っているミトコンドリアを増やす効果は代謝活性を上げている可能性を示している。神経細胞を伸ばす作用を持つ NGF を分泌する細胞に PQQ 添加すると最大 40 倍もの NGF 産生量になる。これは後述する脳機能の要因の一つとも考えられる。また、培養神経腫細胞を用いた検討では、6-ヒドロキシドーパミンや過酸化水素による酸化ストレスから神経細胞死を抑制することが報告されている。このように PQQ は細胞全体を活性化する働きがある。

4. 脳機能改善

加齢は記憶力の低下、気分の低下を生じさせる。これらに対し PQQ が改善することが報告されている。米国ではこの用途に注目され商品化されている。そこでより詳細に脳機能について説明する。

認知、記憶力改善^{9,10)}

PQQ の 20mg/day 摂取により認知力の改善が報告されている。平均年齢 58.6 歳の被験者で 12 週間の摂取によって色と文字情報の識別（ストループテスト）でプラセボに対しストループ干渉率の変化量で有意に効果が見られた。同時にタッチパネルを使った認知力の試験が行われ、機能試験の点数が低い下位グループヒトで改善が見られた。また、水溶性の PQQ (20mg/day) と脂溶性のコエンザイム Q₁₀ (300mg/day) の組み合わせによって 12 週間の摂取によってストループテストの効果が見られた。また、別の試験では即時記憶の改善が見られ、特に、初期のスコアが低かった下位群で改善が顕著に認められた。動物では、モリス水迷路を用いての

評価が行われ、学習機能が向上すること、酸化ストレスから記憶保持能を守ること、PQQ とコエンザイム Q₁₀ の併用効果が高いこと、若年ラットでも老齢ラットでも同様の作用が確認されたことなどが報告されている。

気分あるいは睡眠に対する効果¹¹⁾

睡眠に問題があると自覚し、疲労感のある成人勤労男女を対象とした 8 週間の試験が実施された。アンケート調査の結果、睡眠の質、入眠時間、睡眠時間及び日中覚醒困難が有意に改善した。主観的な睡眠の質と睡眠時間が向上し、ネガティブな心理状態や疲労感が低減されるとともにポジティブな感情が高まることがわかった。

鬱、発達障害^{12,13)}

ねずみを使用した鬱の改善実験も報告されている。強制的にストレス下においたねずみは活動性が低下し、不安感に起因する行動を行う。これらが PQQ 摂取で活動性、不安感の改善につながっている。発達障害のモデルとして感覚器官のひとつである頬ひげを切ることで、空間認知能力、コミュニケーションの低下が見られる、これらに対しても PQQ 投与は改善効果がある。このような高度の脳機能においても効果がある。

5. 抗酸化活性

PQQ の代表的効能・効果として抗酸化作用が知られている。強い抗酸化作用を有する形態は活性型（還元型）になって発現していると考えられる^{14,15)}。PQQ は NADPH、アスコルビン酸、アミノ酸、グルタチオンなどの生体内に広く存在する物質で容易に活性型に変化するため、生体内でも活性型に変化していると考えられる。モデルラジカルであるアロキシルラジカルを消去するのは活性型 PQQ はビタミン C の 7.4 倍と速い。また、活性酸素種である一重項酸素消去速度はビタミン C の 6.3 倍であることが報告されている。通常、抗酸化物質は活性酸素と反応してそれ自身は活性がなくなる。しかし、活性型 PQQ は一重項酸素との反応では触

媒的に消去しており、反応により活性がなくならないため活性を維持している。

実際、ヒト試験において、経口摂取後、TBARS（チオバルビツール酸反応性物質、あるいは TRAP（総ラジカルトラップ）による抗酸化能に改善が見られた。この時、PQQ の血中濃度が低い状態でも有効であることから、PQQ が抗酸化物質として有効な理由としては単純にラジカル消去速度が高いだけではなく、ラジカルと共に活性型が消費されるが、他の抗酸化物質と異なり、生体内の物質で容易に還元され再生されるためと考えられる。

脳機能試験では高酸素下におかれることで酸化ストレスにより記憶障害が生じる。しかし、PQQ はそれを防止する効果がある。有機溶媒による白内障の防止においても抗酸化性と考えられている¹⁷⁾。この酸化還元性は内分泌の改善にも有効に働いている¹⁸⁾。血糖値改善はそのメカニズムが詳細に調べられており、還元型 PQQ が働くことでインスリン受容体の数が増え、糖の取り込みを促進している。このメカニズムは細胞増殖を促進する働きとも関連している。

6. 代替医療¹⁹⁻²³⁾

医療への応用として数多くの研究があり、特に強い抗酸化作用が注目されている。脳梗塞や

心筋梗塞を起こしたときに起きる障害は血液が行き渡らないことが問題であるが、治療して血液が再環流した際にも組織に障害が生じる。この原因は血液が流れ出した際の大量の活性酸素が原因と考えられている。PQQ の投与によって活性酸素障害が有意に小さくなり、既存の医薬品よりも強力に作用したことも示されている。放射線障害の防止は核、放射線治療で問題となる。放射線障害の正体は高いエネルギーによるラジカル発生と考えられている。げっ歯類に PQQ を摂取させると放射線による寿命の低下を防ぐことができる。最近では関節リュウマチへの有効性が報告されている。コラーゲンで人工的に関節に炎症を起こした場合、PQQ 投与の治療効果がある。医療としての応用は注射や高用量摂取で食品機能とは別モノである。しかし、食品として機能を探すヒントになると考えられる。

おわりに

PQQ は新しい健康食品素材であり、脳機能改善を始めとして、多様な機能が見出されている。しかし、現時点では一般消費者の認知度が低く、知ってもらうところからは始める必要がある。今後、多機能な新しい健康食品素材として広く使用されていくことが期待される。

参考文献

1. J. Killgore, C. Smidt, L. Duich, N. Romero-Chapman, D. Tinker, K. Reiser, M. Melko, D. Hyde, R. B. Rucker, Nutritional importance of pyrroloquinoline quinone, *Science* **245**, 850-852, 1989.
2. K. Kasahara, T. Kato, Nutritional biochemistry: A new redox-cofactor vitamin for mammals, *Nature* **422**, 832, 2003.
3. K. Ikemoto, H. Sakamoto, M. Nakano, Crystal structure and characterization of pyrroloquinoline quinone disodium trihydrate, *Chemistry Central Journal*, 2012 Jun 19; **6** (1):57. doi: 10.1186/1752-153X-6-57
4. M. Nakano, A. Kamimura, F. Watanabe, *et al.*, Effects of Orally Administered Pyrroloquinoline Quinone Disodium Salt on Dry Skin Conditions in Mice and Healthy Female Subjects, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **61**, 241-246, 2015.
5. M. Nakano, Y. Kawasaki, N. Suzuki, *et al.*, Effects of Pyrroloquinoline Quinone Disodium Salt Intake on the Serum Cholesterol Levels of Healthy Japanese Adults, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **61**, 233-240, 2015.
6. W. Chowanadisai, K. B. Bauerly, E. Tchapanian, A. Wong, G. A. Cortopassi, R. B. Rucker, Pyrroloquinoline

- quinone stimulates mitochondrial biogenesis through cAMP response element-binding protein, phosphorylation and increased PGC-1 α expression, *J. Biological Chem.*, **285**, 142, 2010.
7. K. Kimura, M. Takada, T. Ishii, K. Tsuji-Naito, M. Akagawa, Pyrroloquinoline quinone stimulates epithelial cell proliferation by activating epidermal growth factor receptor through redox cycling., *Free Radic. Biol. Med.*, **53**, 1239-51, 2012.
8. K. Yamaguchi, A. Sasano, T. Urakami, T. Tsuji, K. Kondo, Stimulation of nerve growth factor production by pyrroloquinoline quinone and its derivatives in vitro and in vivo, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 1231, 1993.
9. Y. Itoh, *et. al.* Effect of the antioxidant supplement pyrroloquinoline quinone disodium salt (BioPQQTM) on cognitive functions, in press
10. 中野昌彦, 生方恵祐, 山本哲郎, 山口英世, 中高年の脳機能に対するピロロキノリンキノン (PQQ) の効果, *FOOD Style 21*, **13**, 1, 2007.
11. M. Nakano, T. Yamamoto, H. Okamura, A. Tsuda, Y. Kowatari, Effect of oral supplementation with pyrroloquinoline quinone on stress, fatigue, and sleep, *Funct. Foods Health Dis.*, **2**, 307-324, 2012.
12. 池本一人, 中野昌彦, 古川昭栄, 福光秀文, 虎谷厚志, うつ予防, 日本特許公開番号: 特開 2012-158527
13. 池本一人, 中野昌彦, 古川昭栄, 福光秀文, 発達障害治療または予防剤, 日本特許公開番号: 特開 2014-037384
14. A. Ouchi, M. Nakano, S. Nagaoka, K. Mukai, Kinetic study of the antioxidant activity of pyrroloquinolinequinol (PQQH(2), a reduced form of pyrroloquinolinequinone) in micellar solution, *J. Agri. Food Chem.*, **57**, 450-456, 2009.
15. A. Ouchi, M. Nakano, K. Mukai, Kinetic study of the quenching reaction of singlet oxygen by Pyrroloquinolinequinol (PQQH(2), a reduced form of Pyrroloquinolinequinone) in micellar solution, *J. Agri. Food Chem.*, **59**, 1705-1712, 2011.
16. CB. Harris, W. Chowanadisai, DO. Mishchuk, MA Satre, CM. Slupsky, RB Rucker, Dietary pyrroloquinoline quinone (PQQ) alters indicators of inflammation and mitochondrial-related metabolism in human subjects, *J Nutr. Biochem.*, **24**, 2076-84, 2013.
18. T Urakami, C. Yoshida, T. Akaïke, H. Maeda, H. Nishigori, E. Niki, Synthesis of monoesters of pyrroloquinoline quinone and imidazopyrroloquinoline, and radical scavenging activities using electron spin resonance in vitro and pharmacological activity in vivo, *J Nutr Sci Vitaminol.* **1**, 19, 1997.
19. M. Akagawa, M. Nakano, K. Ikemoto, Recent progress in studies on the health benefits of pyrroloquinoline quinone, *Biosci. Biotechol. Biochem.* 2015 Jan;**80**(1):13-22. doi: 10.1080/09168451.2015. 1062715
20. B. Zhu, H. Zhou, L. Li, J. Teerlink, J. Karliner, Pyrroloquinoline quinone (PQQ) decreases myocardial infarct size and improves cardiac function in rat models of ischemia and ischemia/reperfusion, *Cardiovasc Drugs Ther.*, **18**, 421-431(2004)
21. Y. Zhang, P. Feustel, H. Kimelberg, Neuroprotection by pyrroloquinoline quinone (PQQ) in reversible middle cerebral artery occlusion in the adult rat, *Brain Res.* **1094**, 200-6, 2006.
22. X. Xiong, Y. Zhao, X. Ge X, *et al.*, Production and radioprotective effects of pyrroloquinoline quinone, *Int. J. Mol. Sci.*, **12**, 8913-23, 2011.
23. Z. Liu, C. Sun, R. Tao, X. Xu, L. Xu, H. Cheng, Y. Wang, D. Zhang, Pyrroloquinoline quinone decelerates rheumatoid arthritis progression by inhibiting inflammatory responses and joint destruction via modulating NF- κ B and MAPK Pathways, *Inflammation*, 2015. DOI: 10.1007/s10753-015-0245-7

サンシュユ *Cornus officinalis* Siebold et Zuccarini (ミズキ科 Cornaceae)

3月、ようやく春めいてきた山里を歩くと、民家の庭などに黄金色の花をびっしりと枝一杯に付けた木を見かけます。ハルコガネバナ（春黄金花）とは、よく言ったもので、これがサンシュユ（山茱萸）です。中国及び朝鮮半島に自生し、日本には、薬用植物として伝えられましたが、現在では花木として庭園に植えられています。本植物は落葉小高木で高さ4 mぐらいになり、枝は対生してよく茂ります。幹や枝の皮ははがれやすく、葉は対生で楕円形、葉脈はやや斜めにわん曲して平行に走り、特徴的な形をしています。小枝も葉も丁字形の伏毛が生え、脈腋には黄褐色の毛があります。早春、葉に先立って細かく分枝した小枝の先に散形花序をつけ、多数の黄色小花を開きます。花弁、雄しべはともに4個、雌しべは1個で秋になると、グミに似た真っ赤なだ円形の核果をつけます。この果実から種子を抜き、乾燥したもの（偽果の果肉）をサンシュユ（山茱萸、Corni Fructus）とよび、漢方では滋養、強壮、収斂薬として、六味丸（ジオウ、サンシュユ、サンヤク、タクシャ、ブクリョウ、ボタンピ）、八味地黄丸〔六味丸＋（ケイヒ、ブシ）〕、牛車腎気丸〔八味地黄丸＋（ゴシツ、シャゼンシ）〕などに配合され、また、これを酒に浸けたものを山茱萸酒といい、強壮、強精薬として飲用されます。成分はイリドイド配糖体のloganin（ロガニン）、moroniside（モロニシド）、セコイリドイド配糖体のsweroside（スウェロシド）、タンニンのtrapain（トラパイン）、リンゴ酸等の有機酸が知られています。埼玉県越生町、越生梅林の近く、「田代三喜の生地」とされる所に見事なサンシュ



写真1 サンシュユ（春）



写真2 サンシュユ（秋）



写真3 サンシュユ（田代三喜の生地、春）



写真4 サンシュユ（田代三喜の生地、秋）

ユの木があり、毎年3月中旬に、実に綺麗な黄金色の花が咲き、秋には真っ赤な珊瑚のような実がなります。さて、田代三喜について説明しますと、三喜は室町時代後期の漢方医で1465年、越生町で生まれ、15歳で僧となり、1487年頃に明に渡り、僧医月湖に師事し、李東垣（りとうえん）、朱丹溪（しゅたんけい）の流れを汲む李朱医学（金元医学）を学び、1498年、多くの医学書を携え日本に帰国したとされます。帰国後、1509年に下総国古河に移り住み古河公方の侍医となり、数年後、武蔵に帰り、生まれ故郷の越生や河越（現在の川越市）を中心に関東一円を往来して医療を行い、多くの庶民を病苦から救い医聖と仰がれました。曲直瀬道三は三喜の弟子で三喜は道三をよき後継者として指導し、死期近い病床でなお口述を続けたとされ、道三によってその内容を書き留めたのを「涙墨紙」といい、三喜は1544年、79歳で没したとされています（他説あり）。

明海大学歯学部 MPL 生 宏 (Sheng Hong)

今年の初雪が見られて嬉しかった。雪だるま作りや雪合戦ができるほど雪が積もれば、子供達はもっと雪に興奮しますね。中国では「瑞雪は豊年の兆しである」という言葉がある。年の始めに雪が降ると今年は豊かな一年になるという意味である。雪が綺麗で、空気が新鮮である。この季節、中国の食生活に欠かせない食材は羊肉である。「鮮」という漢字は「魚」と「羊」からなり、両方とも特有の臭いがあるが、昔から美味しい食材だ。

漢方でも効能がある羊肉は、身体を温める作用があるので、中国では、特に、北方地域や少数民族が多く居住する地域では、厳寒期の定番は羊肉である。各地域の羊肉料理も多い。今も中国人にとって非常に馴染み深い食べ物である。例えば、北京名物としての羊のしゃぶしゃぶ「涮羊肉 シュワンヤンロウ, shuàn yáng ròu」は冬場の人気メニューです(写真1)。北京では「東來(来)順」(とうらいじゅん, dōng lái shùn)という店が、清代以来の老舗として有名。その他、西安の名物料理の羊肉泡饅(ヤンロウパオモー, yáng ròu pào mó), モンゴル族の羊の丸焼き, 新疆の伝統料理の羊肉串焼き(kǎo yáng ròu chuàn)も全国で有名である。スパイスたっぷりの羊肉串焼きは夏場でも人気がある。また、羊肉水餃子, 羊肉スープ, 羊ホルモンなどの羊料理もある。

日本でも北海道でジンギスカン料理が有名であるが、魚、牛肉、豚肉や鶏肉に比べると羊肉を売っている店が少ない。日本で生活する中国人にとって、簡単に入手することではないが、最近、中東出身の在日外国人が増えているので、ムスリム向け飲食店や外国人経営しているハラール店も増えているため、羊などの食材を購入や外食はそんな難しくなくなる。

漢方では、羊肉は性味甘、性温、益気補虚、温中祛寒の効能がある。「本草綱目」中で「虚劳寒冷、五劳七傷を治する」と記載されている。豚肉、牛肉に比較し脂肪やコレステロールが少なく、より柔らかく、栄養分が豊富である。冷え症のほかにも生理不順、疲労回復、筋骨を強くし、補血する効能もある。

禁忌：

1. 体に熱がこもりやすい体質の場合は控える。
2. 体が炎症がある時食べないほうがいい。



写真1 涮羊肉

連絡先：生 宏

〒 350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1

明海大学歯学部 MPL

E-mail: dentistseikou@dent.meikai.ac.jp

油脂および油脂食品の劣化度測定法

遠藤 泰志 (ENDO Yasushi)

東京工科大学応用生物学部

Key Words：油脂 油脂食品 劣化度評価法 酸化劣化

はじめに

油脂（脂質）はタンパク質や炭水化物と並ぶ三大栄養素の一つであり、ヒトにとって大切なエネルギー源として機能するだけでなく、食品の味や匂い、食感などにも寄与している。しかし、油脂の酸化や加熱による劣化は、油脂および油脂食品の品質や栄養の低下を招くので、油脂の劣化を把握し、防止することは、油脂および油脂食品の品質管理をする上で重要である。本稿では、酸化および加熱による油脂および油脂食品の劣化を評価する方法について解説する。

1. 油脂の酸化と加熱劣化

油脂および油脂食品の主な劣化は酸化に由来する。油脂の酸化反応には、非酵素的な化学反応による酸化と酵素的な酸化とに区別される。また非酵素的酸化には、自動酸化と光増感酸化がある。一般に油脂の酸化反応は、主にリノール酸 (C18:2) や α -リノレン酸 (C18:3) といった多価不飽和脂肪酸が対象となる。

自動酸化では、多価不飽和脂肪酸のビスアリル水素（活性メチレン）からの水素の引き抜きにより開始されるラジカル連鎖反応によって進行し、一次生成物としてヒドロペルオキシドが生成する。ヒドロペルオキシドは不安定である

ため、二次生成物である炭化水素や、カルボニル化合物（アルデヒド・ケトン）、アルコール、脂肪酸といった低分子化合物に分解される他、重合反応により二量体などの重合物を生成する。ヒドロペルオキシドは毒性を有するが、二次生成物のカルボニル化合物や重合物も毒性を有し、ときには食中毒を引き起こすことがある。とくに二次生成物は、油脂および油脂食品の匂いや味、物性といった品質に影響する（図1）。

一方、光増感酸化には、光増感剤の種類により二つのタイプがある。タイプIは、光増感剤がリボフラビンやキノン類の場合で、光照射によりエネルギーを吸収して励起された光増感剤が不飽和脂肪酸に直接作用して、ラジカル連鎖反応を引き起こす。一方、タイプIIは、クロ

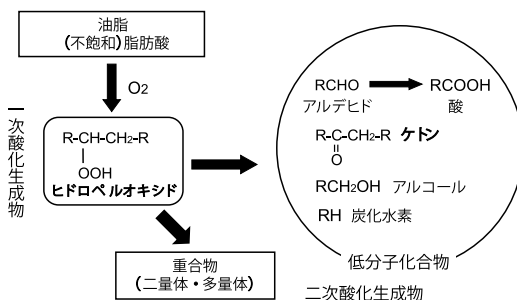


図1 油脂の酸化劣化機構

ロフィルとその分解物やローズベンガルなどが光増感剤として作用する。この場合、光照射により励起された光増感剤は基底状態の酸素分子（三重項酸素）と反応し、よりエネルギーの高い一重項酸素とよばれる酸素分子に変化させる。この一重項酸素は非常に反応性が高く、不飽和脂肪酸の二重結合に直接作用してヒドロペルオキシドを生成する。光増感酸化は自動酸化に比べ、酸化速度が速いだけでなく、タイプIIでは、酸化生成物が、自動酸化と異なるため、クロロフィル類を含むような食品を保存する場合は、とくに注意が必要である。

油脂では保存中に自動酸化や光増感酸化が起こる。生鮮食品では酵素酸化も起こりうるが、フライ食品のような加工食品の保存では、一般には自動酸化や光増感酸化による劣化が主である。

フライ調理でも、油脂の酸化が起こる。この場合、基本的には自動酸化と同じであるが、温度が180℃以上と高温であるため自動酸化よりも反応が速いだけでなく、不飽和脂肪酸以外にも、飽和脂肪酸も酸化される。またこの高温では、ヒドロペルオキシドの生成速度よりも分解速度の方が速いため、ヒドロペルオキシドは蓄積されず、分解物や重合物が多く生じる。そのため熱酸化と呼ばれ、自動酸化と区別されている。フライ調理では、熱酸化に加え、熱分解、熱重合、加水分解といった反応も同時に起こるため、劣化機構は複雑である（図2）。

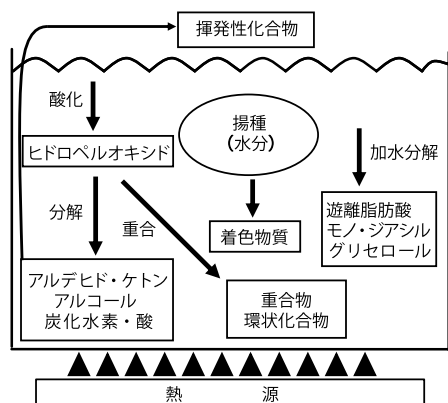


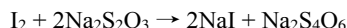
図2 油脂の加熱劣化

2. 油脂および油脂食品の劣化度評価法

食用油脂および油脂食品に含まれる油脂の劣化については、食品衛生法上の規制がある。油分を10%以上含む菓子類については、酸価が3かつ過酸化価が30meq/kg、あるいは酸価が5または過酸化価が50meq/kg以下であることとしている。また、弁当・惣菜の衛生規範では、酸価が1、過酸化価が10meq/kg以下の油脂を使用し、酸価が2.5以上、カルボニル価が50以上および発煙点が170℃未満に達した場合には、すべての油脂を新油に交換することが記載されている。このように、油脂および油脂食品の劣化度は、主に油脂の酸化一次生成物（ヒドロペルオキシド）と酸化二次生成物（カルボニル化合物や重合物など）をそれぞれ定量することにより評価される。以下に、日本油化学会制定の『基準油脂分析試験法』に登録されている油脂の代表的な劣化度評価法を紹介する。

2-1. 過酸化価（Peroxide Value; PV）（基準油脂分析試験法 2.5.2.1-2013, 2.5.2.2-2013）

測定原理： $\text{LOOH} + 2\text{KI} \rightarrow \text{LOH} + \text{K}_2\text{O} + \text{I}_2$



定 義：規定の方法に基づき、試料にヨウ化カリウムを加えた場合に遊離されるヨウ素を試料1kgに対するミリ当量数で表したものをいう。

特 徴：油脂の酸化劣化の代表的な指標であるPVは酸化一次生成物である脂質ヒドロペルオキシドを定量するものであり、ヨウ化カリウムでヒドロペルオキシドを還元する際に遊離するヨウ素をチオ硫酸ナトリウムで滴定する。PVは油脂の自動酸化の指標として利用されているが、ヒドロペルオキシドは安定性に乏しいため、加熱油脂や自動酸化がかなり進行した油脂では、本法は適当でない。

過酸化価の測定としては、デンプンを指示薬としたヨウ素還元滴定法の酢酸-イソオクタン法が広く用いられているが、微量試料や着色試料の測定に有効な自動滴定装置を用いた電位差滴定法が2013年度から『基準油脂分析試験法』基準法に加えられた。

表 1 試料採取量の目安

推定 PV (meq/kg)	試料採取量 (g)
～ 10	5
10 ～ 50	5 ～ 1
50 ～	1 ～ 0.5

方 法：酢酸 - イソオクタン法（基準油脂分析試験法 2.5.2.1-2013）

- ①試料を 200mL 共栓付き三角フラスコに、その推定 PV に対応する採取量（表 1）に準じて正しくはかり取る。
- ②酢酸 - イソオクタン（3:2）溶剤 50mL を加え、静かに振り混ぜて試料を完全に溶解する。
- ③窒素ガス約 600mL でフラスコ内の空気を穏やかに置換する。さらに窒素ガスを通しながら、飽和ヨウ化カリウム水溶液 0.1mL を加える。
- ④直ちに栓をして、1 分間連続して円を描くように振り混ぜる。
- ⑤水 30mL を加え、栓をして 5 ～ 10 秒間激しく振り混ぜる。
- ⑥ 0.01mol/L チオ硫酸ナトリウム標準液で滴定する。測定液が微黄色を呈したらデンプン溶液 0.5mL を加えて滴定を続け、測定液の青色が消失するときを終点とする。
- ⑦ 本試験と並行して空試験を行う。
- ⑧ 測定値には酢酸 - イソオクタン法であることを併記する。
- ⑨計算方法

$$PV \text{ (meq/kg)} = 10 \times (A - B) \times F/C$$

A；本試験の 0.01mol/L チオ硫酸ナトリウム標準液使用量（mL）

B；空試験の 0.01mol/L チオ硫酸ナトリウム標準液使用量（mL）

C；試料採取量（g）

F；0.01mol/L チオ硫酸ナトリウム標準液のファクター

2-2. 酸 価（Acid Value;AV）（基準油脂分析試験法 2.3.1-2013）

測定原理： $\text{RCOOH} + \text{KOH} \rightarrow \text{RCOOK} + \text{H}_2\text{O}$

定 義：試料 1g に含まれる遊離脂肪酸を中和するのに要する水酸化カリウムの mg 数をいう。

特 徴：AV は、油脂に含まれる遊離脂肪酸

を、水酸化カリウム標準溶液で中和滴定することにより定量する方法で、油脂および油脂食品の劣化の指標として PV と共に広く用いられている。測定では指示薬としてフェノールフタレインを用いるが、変色が判定しにくい試料ではプロモチモールブルーやチモールフタレインなどの指示薬も利用できる。また、用いる溶剤が完全に中性でない場合は空試験を行って滴定値を補正する。なお、AV の低い試料や試料量が少ない場合は、0.01mol/L 水酸化カリウム標準液を用いた自動滴定法が有効である。また、食品製造現場で簡易的に測定できる AV 用試験紙が市販されている。

なお、AV はフライ油の劣化度を評価するのに適した方法であるが、自動酸化や光増感酸化では、遊離脂肪酸の生成量が少ないため、酸化劣化の評価法には不適當である。

表 2 試料採取量の目安

推定 AV	試料採取量 (g)
1 以下	20
1 ～ 4	10
4 ～ 15	2.5
15 ～ 75	0.5

方 法：

- ①試料をその推定 AV に対応する表 2 の採取量に準じて三角フラスコに正しくはかり取る。
- ②ジエチルエーテル/エタノール（1:1）混合溶液にフェノールフタレイン指示薬を加え、0.1mol/L 水酸化カリウム - エタノール標準液で中性にした溶剤 100mL を加え、試料が完全に溶けるまで十分に振る。固体試料の場合は水浴上で加温溶解した後、溶剤を加えて溶解する。
- ③ 0.1mol/L 水酸化カリウム - エタノール標準液で滴定し、指示薬の変色が 30 秒間続いたときを終点とする。
- ④計算方法

$$AV = 5.611 \times A \times F/B$$

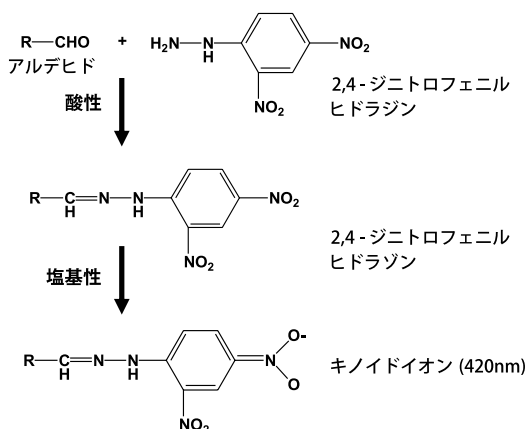
A；0.1mol/L 水酸化カリウム標準液使用量（mL）

B；試料採取量（g）

F；0.1mol/L 水酸化カリウム標準液のファクター

2-3. カルボニル価 (Carbonyl Value; CV) (基準油脂分析試験法 2.5.4.2-2013)

測定原理：



定 義： 試料に 2,4- ジニトロフェニルヒドラジンを作用させた場合に反応するカルボニル化合物量を試料 1g あたりの 2- デセナール量に換算したものをいう。

特 徴： CV は油脂や脂質類の主要な酸化二次生成物であるカルボニル化合物を、酸性条件下で 2,4- ジニトロフェニルヒドラジンと反応させてヒドラゾンにした後、塩基性で比色定量するものである。従来、溶剤としてベンゼンを使用する方法が利用されてきたが、より安全な方法として、1- ブタノールを溶媒としたブタノール法が 2013 年度から公定法に制定された。

方 法：

- ① 試料 50 ～ 500mg を 10mL 全量フラスコに正しくはかり取り、1- ブタノールで標線まで満たして測定試料溶液とする。
- ② 15mL 栓付き試験管に測定試料溶液、または 2- デセナール標準溶液 1mL を正しくはかり取る。
- ③ 50% 含水 2,4- ジニトロフェニルヒドラジン 50mg を 100mL の 1- ブタノールと 3.5mL の濃塩酸に溶解した溶液 1mL を加えて振り混ぜて栓をする。
- ④ 40 ～ 45℃ で振とうさせながら 20 分間加熱する。
- ⑤ 流水で室温まで冷却した後、8% 水酸化カリウム-1-ブタノール溶液 8mL を加えてよく混ぜる。

- ⑥ 3,000rpm で 10 分間遠心分離する。
- ⑦ 上層を吸収セルに取り、1- ブタノールを対照として、波長 420nm における吸光度を測定する。
- ⑧ 空試験として試料溶液の代わりに 1- ブタノール 1mL を用いて同様の操作を行う。
- ⑨ 2- デセナールを用いて作成した検量線から 2- デセナール濃度を算出する。
- ⑩ 計算方法

$$\text{CV} (\mu\text{mol/g}) = \text{A/B}$$

A；試料溶液の吸光度から求めた 2- デセナール濃度 ($\mu\text{mol/L}$)

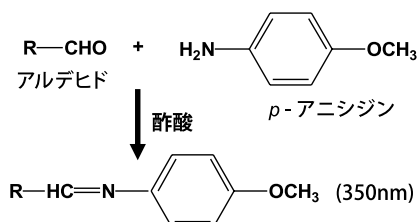
B；試料溶液 1mL 中の油脂量 (mg)

なお、ブタノール法の測定値は次式によりカルボニル価 (ベンゼン法) に換算できる。

カルボニル価 (ベンゼン法) = $0.67 \times$ カルボニル価 (ブタノール法)

2-4. アニシジン価 (*p*-Anisidine Value; AnV) (基準油脂分析試験法 2.5.3-2013)

測定原理：



定 義： 試料に *p*- アニシジン (*p*- メトキシアニリン) を作用させた場合の 350nm の吸光係数 $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ を 100 倍したものをいう。

特 徴： AnV はカルボニル価と同じく、主要な酸化二次生成物であるカルボニル化合物を、*p*- アニシジン (*p*- メトキシアニリン) を用いた反応により比色定量する方法である。操作が CV よりも簡便であるため、フライ油の劣化度評価法として、EU 諸国において使用されている。ただし、発色の強度がカルボニル化合物の種類 (二重結合や炭素の数) によって異なるため、脂肪酸組成が異なる油脂同士を比較することはできない。

方 法：

- ① 清澄な試料 0.1 ～ 4.0g を 25mL 全量フラスコ

- に正しくはかり取り, 2,2,4- トリメチルペンタンで完全に溶かしてから標線まで希釈する。
- ②試料溶液を吸収セルに取り, 2,2,4- トリメチルペンタンを対照として波長 350nm の吸光度を測定する。
- ③試料溶液 5mL を試験管に取り, 別の試験管に 2,2,4- トリメチルペンタン 5mL を取る。
- ④ *p*- アニシジン - 酢酸溶液 (0.25g/100mL) 1mL を正しく取り, 各試験管に加えて振り混ぜる。
- ⑤正確に 10 分後に, 空試験溶液を対照として, 波長 350nm の吸光度を測定する。
- ⑥反応後の溶液の吸光度が 0.2 ~ 0.8 にならない場合は試料溶液の濃度を調整し, あらためて上記の操作を行い, 吸光度を測定する。
- ⑦計算方法

$$AnV = 25 (1.2A - B) / C$$

A ; *p*- アニシジンと反応後の溶液の吸光度

B ; 試料溶液の吸光度

C ; 試料溶液 25mL 中の試料量 (g)

2-5. 極性化合物 (Polar Compounds, PC) 量 (基準油脂分析試験法 2.5.5-2013)

定 義 : 試料中のトリアシルグリセリン (TAG) を主体とする非極性化合物を定量し, その残部を極性化合物とみなして百分率で算出した値をいう。

特 徴 : 油脂の酸化劣化によって生成した極性化合物全体を定量する総合的な評価法である。すなわち, 下記の方法に基づきシリカゲルカラムクロマトグラフ法により非極性化合物と極性化合物に分画し, カラムに負荷した試料量から非極性化合物画分量を差し引いて極性化合物量を算出する。極性化合物には加熱酸化生成物と加水分解によって生成したモノ・ジアシルグリセリンおよび遊離脂肪酸などが含まれ, 加熱劣化の総合的な指標として利用できる。EU 諸国では, 極性化合物量が 25 ~ 27% を揚げ油の使用限界としている国が多い。

方 法 :

- ①カラムの調製 : 5% 水和シリカゲル 25g を, 内径 20mm, 長さ 300mm のカラムに充填する。
- ②非極性化合物画分の溶出 : 溶出溶媒としてヘ

キサン / ジエチルエーテル (87:13) を用い, 2.5 ± 0.1g の試料を全量 50mL の溶液とし, その 20mL をカラムに負荷する。

- ③溶出溶媒 200mL で非極性化合物を溶出し, 脱溶媒後秤量する。
- ④ジエチルエーテル 150mL を用いて極性化合物を溶出し, 脱溶媒後秤量する。
- ⑤溶出物を 10% クロロホルム溶液とし, シリカゲル TLC プレートに負荷してヘキサン / ジエチルエーテル / 酢酸 (70:30:2) を用いて展開し, 非極性化合物と極性化合物の分離を確認する。
- ⑥計算方法 :

$$PC \text{ 量 } (\%) = [(A - B) / A] \times 100$$

A ; カラムに負荷した試料溶液 20mL 中の試料重量 (g)

B ; 非極性化合物画分の重量 (g)

なお, 公定法ではカラムクロマトグラフィーによる極性化合物と非極性化合物の分画の確認を TLC 法によって行っているため, TLC 法を定量化した TLC-FID 法により, 微量な試料量で極性化合物量を簡便に測定することが可能である。

2-6. 重合体 (Polymerized Triacylglycerols) 量 (基準油脂分析試験法 2.5.7-2013)

定 義 : 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で分離した油脂重合体の試料に対する面積百分率をいう。

特 徴 : 油脂に含まれる重合体を分子の大きさで分離するゲル浸透クロマトグラフ (GPC) 法によって定量する方法である。ここで油脂重合体とは, GPC 法により油脂の主成分であるトリアシルグリセリン (TAG) よりも先に溶出する全てを指す。

方 法 :

- ① HPLC は, カラムにスチレン系の有機溶媒系 GPC 法用カラムを, 移動相としてテトラヒドロフランを用いる。また, 検出器には示差屈折計を用いる。
- ②試料をテトラヒドロフランに溶解して 0.5g/100mL 溶液とする。

③試料溶液を注入して、油脂重合物を測定する。

④計算方法：

$$A = C / \Sigma B \times 100$$

A；油脂重合物の面積百分率（%）

ΣB；試料全体の面積

C；油脂重合物の面積

2-7. その他の評価法

油脂の劣化度を評価するその他の方法を表3にまとめた。油脂および油脂の劣化度測定法には化学的評価法と物理的評価法がある。化学的評価法では、ヨウ素価やケン化価などがある。油脂は酸化に伴う多価不飽和脂肪酸の分解によりヨウ素価が減少する他、ケン化価は上昇する。油脂は酸化や加熱により粘度が上昇したり、着色するため、物理的評価法として粘度や着色度などが用いられる。近年では、核磁気共鳴法（NMR）や（近）赤外分光法を利用して、油脂の劣化度を評価する方法が報告されている。一方、油脂の誘電率を測定することで、フライ油の劣化度を簡易的に測定する方法が実際の食品製造・加工現場で用いられている。油脂（トリアシルグリセリン）自身は誘電率が低いが、フライ加熱で生じるカルボニル化合物や遊離脂肪酸は誘電率が高いため、誘電率の大きさから極性物質量を求めることができる。しかし、これらの評価法は、油脂の種類や油脂以外の成分（色素成分など）の影響を受けるので、異なる種類の油脂同士を単純に比較することはできない。

一方、油脂の揮発性成分をガスクロマトグラフィーで分析する方法が油脂の劣化度評価に用いられることがある。油脂をバイアルに入れ、その中のヘッドスペースを分析する方法で、油脂の匂いを分析する方法として有効であり、官能検査の結果と照らし合わせることができる。

3. 油脂食品の劣化度評価法

3-1. 抽出油の評価法

油脂食品は、一般に溶剤で油脂を抽出してから、油脂の劣化度を測定することで、油脂食品

表3 油脂の劣化度評価

評価法	自動酸化・光増感酸化	加熱劣化
1. 化学的評価	過酸化価物価 カルボニル価 アニシジン価 チオバルビツール酸値 共役酸量	酸価 カルボニル価 アニシジン価 ケン化価 ヨウ素価 着色度 酸化酸量 極性化合物量 重合物量
2. 物理的評価	電位差滴定 赤外吸収スペクトル 紫外吸収スペクトル 電子スピン共鳴 核磁気共鳴 化学発光 蛍光スペクトル ガスクロマトグラフィー ポーラログラフィー	発煙点 色度、色差 粘度 電導度、誘電率 核磁気共鳴 化学発光 赤外吸収スペクトル ガスクロマトグラフィー 匂いセンサー 泡延距離
3. 官能評価		
4. 生物的評価	成長試験 毒性試験	成長試験 毒性試験

の品質を評価する。

評価法としては、油脂の劣化度評価法に準じて行われるが、PV や AV, CV を用いることが多い。市販されている主な油脂食品の劣化度を測定した結果を表4に示す。油脂食品の場合、油脂と違って、試料油の量が少ないことから、場合によってはPV が測定できないことがある。この場合、共役ジエン量からヒドロペルオキシド量を算出しても良い。油脂の自動酸化で生じるヒドロペルオキシドは共役ジエン構造を有するため、間接的にヒドロペルオキシドを定量することが可能である。試料油をヘキサンまたはイソオクタンに溶かして233nmの吸光度を測定し、次の計算式から共役ジエン酸量を算出して、ヒドロペルオキシド量とする。

計算方法：

吸光係数 $k = A / bc$

ただし、A：吸光度，b：セルの長さ（cm），

表4 市販の油脂食品の劣化指標値

食品	カルボニル価 ($\mu\text{mol/g}$)	過酸化物質 (meq/kg)	酸価 (mg/g)
即席麺	8.34	5.8	0.25
油麴	23.9	4.7	1.2
ポテトチップス	6.7	1.4	0.6
フライドチキン	12.0	5.3	0.66
さつまあげ	43.4	15	1.4
油揚げ	10.9	7.5	1.5
ドーナツ	6.19	1.3	0.70
揚げせんべい	11.7	4.2	0.59

c: 試料溶液の濃度 (g/L)

共役ジエン酸量 (%) = $0.91 (k - 0.03)$

3-2. 油脂を抽出しない評価法

油脂食品の品質評価には、官能検査が有効である。実際、PV や AV が低い場合でも、官能検査で劣化臭を認めることがある。官能検査は感度の点で、化学分析や機器分析よりも優れていることがある。しかし、官能検査には熟練したパネラーが多数必要であること、また官能検査の結果を数値化することが難しい問題がある。そのため、化学分析や機器分析による数値化が求められているが、油脂食品は多種類にも及ぶため一律に評価する方法は無い。また、溶剤を用いて油脂を抽出することは、操作上手間がかかり時間も要する。さらに抽出操作中に油脂の劣化が進行する恐れがある。そのため油脂を抽出しないで油脂食品の劣化度を客観的に評価するいくつかの試みがなされている。

(1) ヘッドスペース法

バイアルに油脂食品を入れた後、加熱しながら固相マイクロ抽出装置によってヘッドスペース内の揮発性成分を捕集する。その後、ガスクロマトグラフィーによって揮発性成分を定性・定量する。捕集剤の種類によって捕集できる成分が異なるので、その食品に適した捕集剤を選択する必要がある。

参考文献

1. 金田・植田編, 「過酸化脂質実験法」 医歯薬出版, 1987 年
2. 日本油化学会制定「基準油脂分析試験法 (2013 年版)」, 2013 年
3. 戸谷・原編, 「油脂の科学」 朝倉出版, 2015 年

(2) 蛍光法

油脂食品の中には、例えば乾燥肉やきなことといったタンパク質を多く含む食品がある。このような食品を保存した際に、油脂の劣化によって生じるカルボニル化合物がタンパク質 (アミノ基) と反応して蛍光物質を形成することがある。そこでこれら食品の表面の蛍光強度を測定することにより、油脂食品の劣化度を評価する方法が提案されている。

(3) 化学発光法

油脂の酸化反応において、極微弱な化学発光が生じることが知られている。同様にポテトチップスやインスタントラーメンのような油脂食品でも化学発光が観察されている。化学発光種は、一重項酸素や励起カルボニルと考えられており、いくつかの油脂食品では、化学発光と PV との間に相関性があると報告されている。

おわりに

油脂や油脂食品の劣化度評価法として、食品衛生法では、PV や AV, CV が採用されているため、これらを測定するのが一般的である。ただし、自動酸化をはじめ、油脂の劣化反応は複雑で、生成する化合物も多種多様である。とくにフライ調理では顕著である。従って、油脂および油脂食品の劣化度を評価する場合は、一つの指標だけを用いるのは望ましくない。必ず2つ以上の指標を評価する (できれば、酸化一次生成物と二次生成物の両方を測定する。) ことが必要である。また、その指標の測定原理を理解していないと、劣化度を誤って評価する危険性がある。油脂および油脂食品の劣化機構を把握することはなかなか難しいが、上記のことに注意しながら、油脂および油脂食品の品質管理をしていただきたい。

熱可逆性ゲルのレオロジー的性質および熱的性質と感覚特性値の関連づけ

—非常に個体に近いゲルから非常に液体に近い 液状ゼリーの「摂食・嚥下の流れ」に与える影響—

渡瀬 峰男 (WATASE Mineo)

食品ゲル研究所

Key Words：ハイドロコロイド ゲル状態 キサンタンガム 嚥下

はじめに

食品を構成している主成分はたんぱく質系、炭水化物系および脂肪系食品に分類される。そのうち、たんぱく質系食品と炭水化物系食品はほとんどが食品ハイドロコロイド^{*1}で構成されている。これらの食品ハイドロコロイドは調味料などを含めて多種類の食品混合系でもある。

他方、ゲル系成能をもつ食品ハイドロコロイドは食品のテクスチャーを改良するテクスチャー・モディファイヤーとして広範な食品に使用されている。

前者の食品ハイドロコロイド（種々の食材の混合系の場合が多い）は水分子との相互作用により、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子（共存する他成分に水和していない通常の状態の水の意である）は減少している。例えば、食品ハイドロコロイドには、沢山のOH基などの親水基を含んでいる。これらと水の相互作用が出現すると、その影響は食品ハ

イドロコロイドにおける濃度、側鎖基の量、種類や配位の仕方などに影響される。その結果、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子は減少する。さらに、ゲルを形成する食品ハイドロコロイドは数量の添加で食品のテクスチャーを変えることができる。例えば、咽頭期障害がある場合には、咀嚼・食塊形成後、食塊を咽頭に送り込む場合、口腔期における「食塊の形成や保持の再現性」が誤嚥防止に重要といわれている。食塊が口腔期・咽頭期および食道期を小さな応用で、大変形をして胃にスムーズに送り込むことが望ましい。

しかし、咽頭期に障害のある場合は、付着性が高く粘膜に張り付き易いもの、パサつくもの、咀嚼し難いもの、低粘度の液体、液体と固形物の混合系など、その他に不適切な食品が数多く存在する。

ゲルを形成する食品ハイドロコロイドは少量の添加で食品のテクスチャーを変えることがで

^{*1}「食品ハイドロコロイド」とは、たんぱく質系食品および炭水化物系食品の多くは、広い意味での食品ハイドロコロイドそのもので構成されている。食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子とは共存する他成分に水和していない通常の状態の水の意である。したがって、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子は減少している。その中で均質性の液状ゼリーを形成するためには、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子を定量しなければならない。これらを定量するには、測定値に再現性が得られる機器測定法が必要である。

きる。例えば、小さな応力で変形し易くしたり、食塊表面の水和を高めて滑りをよくしたりする。さらに、均質性の液状ゼリーは食塊の形成や保持の再現性を高めることができる。

生命の危険が生じる恐れがある咽頭期を食塊がスムーズに進行するためには、嚥下の流れに望ましいレオロジー的性質の食塊を作製することである。これらの食塊は口腔期における食塊の「形成や保持の再現性」が高められる。その結果、嚥下反射が適切なタイミングで引き起こされる。

種々の食材混合系における食品ハイドロコロイドの“均質性ゲル”（または液状ゼリー）を作製するには、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子を定量しなければならない。仮に、不均質性ゲルを作製した場合、口腔期において、食塊の「形成や保持の再現性」が得られなくなる。その結果、口腔期における食塊の送り込みにも、再現性が得られなくなる。これらは、嚥下反射が引き起こされる前に食塊が喉頭に達することで、食塊が気道に流入する「誤嚥」などが起こる危険性がある。

食塊の形成や保持の再現性を得るには、まず、均質性ゲルを作製することである。しかし、食品ハイドロコロイド（食材の混合系の場合が多い）に存在する“自由な”水分子を正確に定量することは難しい。

これらは、迅速かつ簡便な方法で測定することができる機器測定法の利用が望ましい。

したがって、機器測定法の利用は多様な商品の開発において、工業的に重要である。

1. 寒天、カラギーナンおよびキサンタンガムの化学構造とゲル化構造

ゲルを形成する多糖類は少量の添加で食品の口当たりや舌触りなどを改善する Texture modifier として、粘弾性や熱特性を調節するのに用いられている。一般に、高分子ゲルとは鎖状分子が溶媒を多量に含んで三次元的な網目構造を形成したものと考えられている。寒天とキサンタンガムは水溶液において、三次元網目構

造を形成する。その架橋点は主として水素結合からなる。したがって両者は典型的な熱可逆性ゲルであるが、両者の水溶液におけるゲル化機構は大きな差異がある。寒天は個体に近いゲルを形成するが、キサンタンガムは液体に近いゼリーを形成する。この他にも、両者の数々の機能特性は“摂食・嚥下の流れ”からみた場合、大きな差異がみられる。

第一に、寒天およびカラギーナン分子とキサンタンガム分子の水溶液における立体配座はかなりの差異がある。食塊の舌搾送運動により咽頭への送り込み、咽頭期における嚥下反射により食塊の咽頭から食道への送り込み、さらに食道期における蠕動運動により食塊の胃までの送り込みにかなりの差異がある。それぞれの器官が互いに関連しあって働くことにより、食塊を口から胃まで運ぶ過程において、個体に近いゲルから、液体に近い液状ゼリーの間で、両者のレオロジー的性質や熱的性質に、かなりの差異が出現するとみられる。

第二に、ほとんどの食品は「ゲル状態」で供される。そのゲル状態は、固体と液体の間の状態を意味している。一般に、ゲル状態は多量の液体を含むが、自重では流れ出さず形を保った状態のことをいう。多糖類が条件によりゲル-ゾル転移で起こるものを熱可逆性ゲル（例：寒天、カラギーナン、ペクチン、ジェランガムなど）と呼ぶ、ゲルは形成されると、条件を変えてもゾルにならないものを熱不可逆性ゲル（コンニャク、カードラン、卵白など）と呼ぶ。これらに対して、非常に希薄な水溶液で熱可逆性の液状ゼリーを形成するキサンタンガムは上記のゲルにみられない多くの機能特性をもっている。

寒天やカラギーナンゲルは多量の液体を含むが、自重では流れ出さず、形を保っている。他方、キサンタンガム液状ゼリーは非常に液体に近いゼリーのために、容器を傾けると容易に流れ出す。この主たる要因は、両者の水溶液におけるそれぞれの分子の立体配座の差異である。これらの差異は、ゲルの三次元網目構造における架

橋点（主として水素結合）の数密度にも影響を与えている。

それ故に、両者の貯蔵弾性率 G' （ひずみを加えても壊れない強い結合の数密度）が著しく異なる。しかし、キサンタンガム液状ゼリーは他のゲルを形成する多糖類にない多くの機能特性をもっている。これらの機能特性は嚥下食の嚥下の流れに望ましい性質を示す。

ハイドロコロイドは天然系と合成系に分類される。天然系のハイドロコロイドとして、さらに植物系の海藻粘質物に分類される。寒天およびカラギーナン (κ , ι および λ) はゲルを形成する多糖類に分類される。他方、微生物産生粘質物としてキサンタンガム、ジェランガムおよびカードランが挙げられる。

多糖類は条件によりゲル-ゾル転移で起きるものを熱可逆性ゲル（寒天、カラギーナン、キサンタンガムおよびジェランガム）、一度ゲルが形成されると条件を変えてもゲルにならないものを熱不可逆性ゲル（コンニャク、カードランおよび卵白など）と呼ぶ。寒天やカラギーナンなどの分子は水溶液中で高温においてはほとんどランダムコイル（一部はヘリックスになっている）をなしているが、温度を徐々に下げて

いくと、二重あるいは三重らせん分子が会合して秩序のある構造（架橋領域）を形成する^{1~3)}。カラギーナンの分子鎖会合はコイル-ドメイン転移と言われている^{4,5)}。温度を変えればコイル-ドメインの割合は変化する。即ち、低温ではドメインの割合が、高温ではコイルの割合が増加する。なお、寒天のゲル化機構は図1に示す。

カラギーナンの場合、D-ガラクトースと3,6-アンヒドロ-D-ガラクトースおよび硫酸基含量が κ , ι および λ で異なる。したがって、ゲルの三次元網目構造における架橋点の数密度が3者で異なるために、架橋点の数密度の高い順に貯蔵弾性率 G' およびゲルの融解温度 T_m などは、 $\kappa > \iota > \lambda$ の順になる。このような傾向はゲル化構造が類似している寒天にも出現する^{6~9)}。なお、3種のカラギーナンの化学構造は図2に示す。

以上のゲル化機構は図2からでも明らかのように複雑である。しかし、レオロジー的性質や熱的性質を測定する場合にはゲルの三次元網目構造に再現性が得られるように、約5℃の冷蔵庫で aging するのが一般的である。これらは、寒天ゲルの場合も同様である。

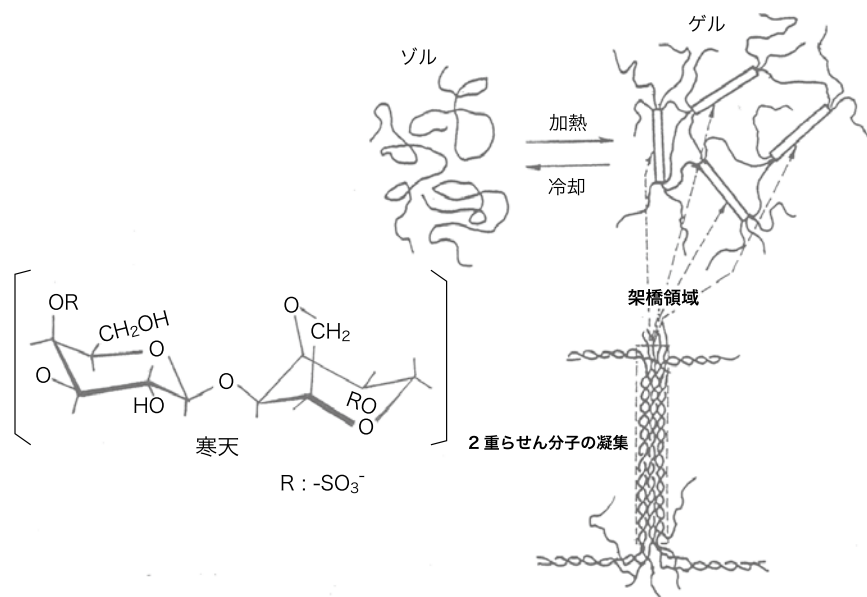


図1 寒天のゲル化機構

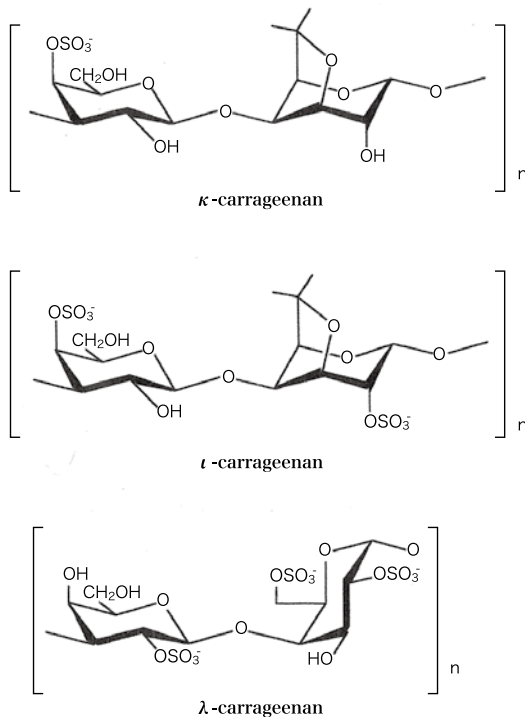


図2 3種のカラギーナンの化学構造

キサントガムはキャベツの葉焼病の原因菌である *Xanthomonas campestris* の培養生成物としての多糖類である。キサントガムはマンノース、グルコース、グルクロン酸の構成糖からなり、主鎖は β 1,4 グルコシド結合からなる。側鎖は主鎖のグルコースと1つおきのグルコース基に、そのC3の位置に2つのマンノースと1つのグルクロン酸の鎖が結合している。末端のマンノースはC4とC6に位置でピルビン酸がアセタールで結合している。主鎖のグルコースに直接結合しているマンノースはC6の位置にアセチル基がついている¹⁰⁾ (図3参照)。

キサントガムは希薄な水溶液で高粘性を

示す。この水溶液を激しく攪拌すると粘性は急激に減少するが、攪拌を停止するともとの高粘性に戻る。いわゆるチキソトロピーの性質を示す¹¹⁾。これらは、三次元網目構造の架橋点の数密度が低いので攪拌・停止をすることで架橋点の数密度を変えることができ、さらに、水溶液におけるキサントガム分子の立体配座がエネルギー的に非常に安定化しているため、高温でも容易にもとの高粘性に戻る。即ち、攪拌によるキサントガム液状ゼリーの架橋点の数密度は切断されて一時的に減少するが、攪拌を停止すると、素早くエネルギー的に安定なもとの立体配座に戻る。この均衡関係は攪拌回数や攪拌速度にほとんど影響されない。

これは、食物を口に取り込み、咀嚼後の食塊形成におけるレオロジー的性質の再現性がみられる。これらが、咀嚼回数などにほとんど影響されないということは、口腔内における食塊の咽頭への送り込みに再現性が得られる。したがって、口腔期における食塊の「形成や保持の再現性」に重要な役割を演じている。ただし、攪拌が激しすぎたりして、キサントガム分子の切断などが生じて立体配座に影響がでた場合、或いは、咀嚼回数が長すぎて分泌する唾液量が非常に多い場合などは適用されない。以上の影響は、咽頭期における嚥下反射が適切なタイミングで引き起こされ、咽頭残留や誤嚥の防

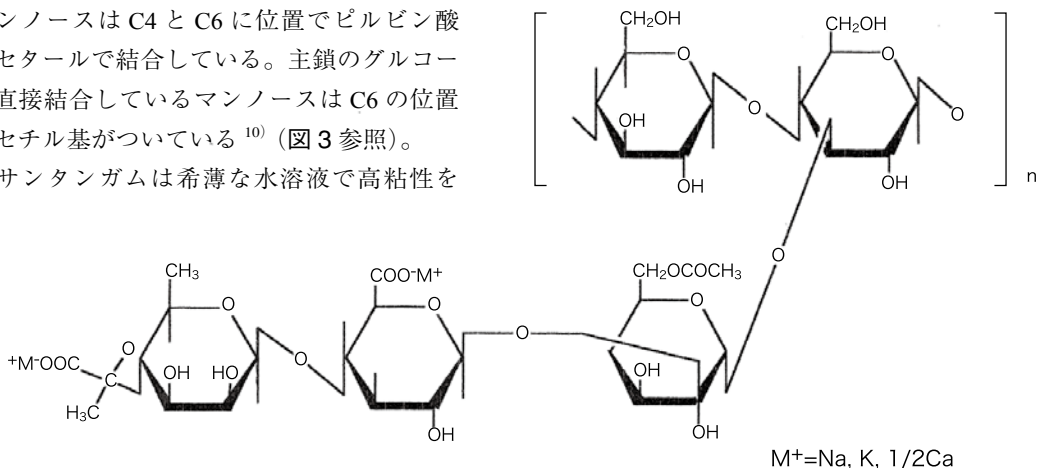


図3

止になると考えられる。(図4は咽頭期における食塊の送り込みである)。

唾液量は食塊表面や刺激強度などにも影響され、食品の物理的性質に大きく影響を与える。一般に、非常に個体に近い寒天ゲルや κ カラギーナンゲルと比較して、非常に液体に近いキサンタンガム液状ゼリーは咀嚼回数が少ない。さらに、液状ゼリーは食塊表面の水和や変形率など、嚥下の流れに非常に望ましい特性を持つ。

2. 溶媒としての水の特異な性質

水は4つのsp混成軌道のうち、二つはO-H結合を形成し陽子供与体となり、残りは二つの孤立電子対を形成して陽子受容体となる。つまり水分子は陽子供与体であると同時に陽子受容体として働き、各分子が4つの水素結合によって正四面体的に三次元につながる。

水の性質のなかで際立った特性は、4℃における密度の最大であり、さらに易動度や拡散係数の圧力にとまう増大も考えられる。また、構成から生じる四面体的結合様式特有の隙間に多い構造は、食品ハイドロコロイドの性質を考察する際、基本となる食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子の存在が問題である。これまで良溶媒としての性質に、あまり意識されなかった。その後、次第に水の性質そのものに関心が深まり、親水性物質に対しては水の双極子モーメントによる静電的水和と、水素結合形成による水和があり、高い誘電率とあいまって種々の物質をよく溶かすことが明らかにされた。これと対照的なのが疎水相互作用である。

3. 個体に近いゲルと液体に近い液状ゼリー

ハイドロゲル（以下、ゲルと略記）状態は個

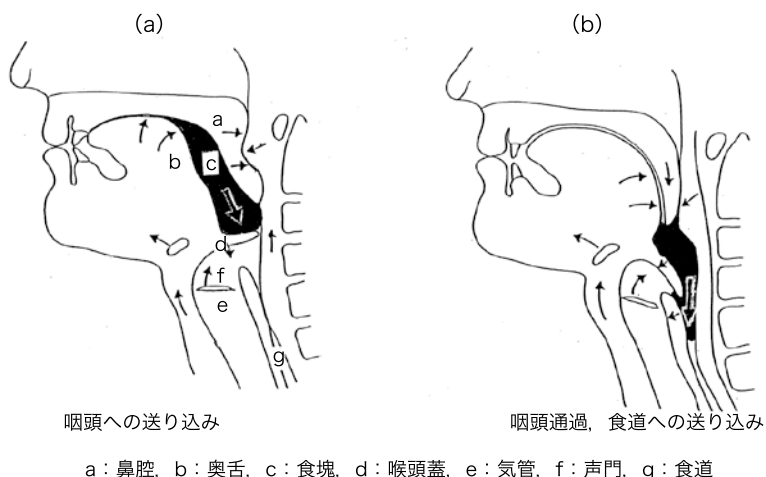


図4 咽頭期における食塊の送り込み

体と液体の中間の広範なゲル状態のなかで前者の方向に移動している非常に個体に近い寒天ゲルや κ カラギーナンゲルと非常に液体に近いキサンタンガム液状ゼリーの三次元網目構造における架橋点は主として水素結合からなっている。それ故に、両者は熱可逆性ゲル（または液状ゼリー）である。しかし、両者の架橋点の数密度にかなりの差異があるため、寒天ゲルや κ カラギーナンゲルは非常に個体に近いゲルであるが、キサンタンガム液状ゼリーは非常に液体に近い液状ゼリーである。しかし、両者のゲル-ゾル転移温度 T_m はほとんど差異がない。この点は、両者の水溶液における立体配座の熱的安定性などが主たる要因である。したがって、貯蔵弾性率 G' （ひずみを加えても壊れない強い結合の数、即ち強い結合の数密度に比例する）の値は寒天ゲルや κ カラギーナンゲルの方が、キサンタンガム液状ゼリーに比べてはるかに大きい。

寒天ゲルや κ カラギーナンゲルは3,6-アンヒドロ-L-または-D-ガラクトース含量などによってもゲル状態¹²⁾は著しく変わる。

両者の G' 値のかなりの差異は咀嚼回数にも影響を与える。咀嚼回数の変化は唾液量に影響する。そのために、準備期における咀嚼と食塊形成は食品の物理的性質を変化させる。したがって、咀嚼・食塊形成は、液状ゼリーから固体の

ゲルの方向に進行するにつれて複雑化する。それ故に、キサンタンガム液状ゼリーはチキソトロピーの性質と併せて、食塊形成の再現性が高められる利点が“嚥下の流れ”（食塊が口腔・咽頭・喉頭および食道まで互いに関連しあって動くことで、食塊を口から胃まで運ぶ過程）に望ましい影響を与える。これらを、レオロジー的性質からみた場合、 G' 値は両者でかなりの差異があるが、 $\tan\delta$ ではほとんど差異がない。この点からでも、食塊液状ゼリーの変形に対するレオロジー的性質の安定性が推察できる。

一般に、ゲル化機構がほぼ同じゲルの場合、架橋点の数密度が高いゲルほど、 G' 値は高く、 $\tan\delta$ 値は低い。しかし、キサンタンガム液状ゼリーの場合、非常に固体に近い寒天ゲルや κ カラギーナンゲルに比べて、架橋点の数密度が非常に低いが、 $\tan\delta$ 値および T_m 値はほとんど変わらない。さらに、 T_g 値はキサンタンガム液状ゼリーの方が高い。これらは、明らかに両者のゲル化機構の差異である。

寒天や κ カラギーナンは3,6-アンヒドロ-L-（あるいは）-D-ガラクトース含量、分子量や硫酸基含量などに上記のレオロジー的性質が著しく影響する。これらの影響は、使用目的が明確の場合、広範な用途にあった試料が抽出できる。

しかし、キサンタンガム分子は希薄な水溶液に限られる。その立体配座はレオロジー的性質などに安定化している。それ故に、上記の非常に固体に近い寒天ゲルや κ カラギーナンゲルに比べて添加物などによるレオロジー的性質の影響はほとんど受けない。この両者の差異は種々の食材混合系である食品ハイドロコロイドにおいて、ゲルを形成するキサンタンガム液状ゼリーは、その少量の添加（ただし、“自由な”水分子のなかで均質性の液状ゼリーである場合）でテクスチャーを変えることができる。これは、口腔内の食塊の形成や保持の再現性を高めるうえでも非常に重要である。

キサンタンガム分子は主鎖よりも長い側鎖、さらに側鎖間の距離で引力と斥力のバランスが

保持されている。そこに側鎖基間の水素結合が形成されるが、その数密度が低い。その結果、「希薄な水溶液で、レオロジー的性質に安定な立体配座を取り、さらに、その分子の立体配座を補強するため、数密度の低い分子鎖間の水素結合が形成される」と筆者は考えている。この水溶液における挙動は、種々の塩類の添加、広範な pH 範囲などに対しても、ほとんどレオロジー的性質は影響されない。さらに、希薄な水溶液でも「 T_m 値および T_g 値は高く、しかも T_g 値が T_m 値に非常に近いこと、即ち、ゾルからゲル化する温度は T_m 値に近い。このことからでも水溶液における立体配座の熱的安定性がわかる。さらに、希薄な水溶液の G' 値は約 10Pa 以下であるが、 $\tan\delta$ 値は 1 ~ 0.1 (weakgel) の範囲内にある。また、変形のひずみが約 80 数%までレオロジー的性質が変わらないなど」が挙げられる。これからは、希薄濃度のキサンタンガム液状ゼリーのレオロジー的性質および熱的性質の安定性で説明できる。

これらの機能特性は、キサンタンガム水溶液濃度が約 1wt% 以下で適用されることは、希薄濃度の水溶液のなかで、第一にキサンタンガム分子がレオロジー的性質などに対して、安定な立体配座が取れる濃度である。第二に希薄水溶液における架橋点は、外的要因によって、キサンタンガム分子の立体配座に影響がでない程度为数密度で立体配座を補強しているところに意味があると筆者は考えている。

<ゲルの弾性率の濃度依存性>

ゲルの弾性率の濃度依存性は古くから研究^{13~15)}されてきた。キサンタンガム液状ゼリーの弾性率の濃度依存性は約 0.3wt% 以下では、弾性率の濃度依存性は 4 乗則が、それ以上の濃度では 2 乗則が成立する。濃度が約 1wt% を越すと濃度の増加に対する G' の増加は急激に緩慢になる。以上のことから、水溶液中のキサンタン分子がエネルギー的に安定な立体配座を取る濃度が推察できる。希薄濃度の範囲内でもチキソトロピーの性質が出現したり、広範な温度範囲、種々の無機塩の添加、さらに広範な pH 範

囲に対してもレオロジー的性質はほとんど変わらないのは、上記の液状ゼリーのメカニズムが影響していると考えられる。

種々の食材や調味料に無機塩類を添加したり、さらに広範な pH 変化に対してもレオロジー的性質の影響もほとんどみられない。さらに広範な温度範囲でもレオロジー的性質はほとんど変化しない。これらは嚥下食の「嚥下の流れ」において望ましい機能特性である。さらに、ひずみの変形率が約 80 数 % までの範囲内では、レオロジー的性質がほとんど変化しないことは、口腔、咽頭、および食道の各器官が互に関連しあって働くことで食塊が変形をしてスムーズに口から胃まで運ぶことができる。

また、種子多糖として増粘剤、安定剤および保水剤として利用されているものに、グァーガムおよびローカストビーンガムがある。これらの主成分はガラクトマンナンで、 β -1,4-マンノースを主鎖に、側鎖としてガラクトースが α -1,6 結合した多糖類であるが構成比が異なる。グァーガムはマメ科のグア樹 (*Cyamopsis tetragonoloba*) の種子の胚乳から抽出した多糖類である。

ローカストビーンガムはキャロップ樹 (*Ceratonia siliqua*) の種子の胚乳から抽出した多糖類である。分散液や水溶液はゲル化しにくい、他の多糖類との相互作用でゲル化する特有な性質^{19~21)}がある。

さらに、キサントガムの特性はガラクトマンナンとの混合系にある。主成分はガラクトマンナンで、 β -D-マンノースの主鎖が β -1,4 結合、 α -D-ガラクトースの側鎖が α -1,6 結合した多糖類である。グァーガムはマンノースとガラクトースの比率が約 2:1 であるが、ローカストビーンガムのその比率は約 4:1 である。キサントガムとガラクトマンナン混合系はゲルを形成することが出来る。ガラクトマンナンは主鎖が β -1,4 マンノシド結合からなるが、キサントガムは主鎖が β -1,4 グルコシド結合からなる。両者の主鎖構造の類似性から分子鎖間の凝集によりゲルを形成する。混合系のゲルの粘弾

性は両者の混合比、さらにグァーガムとローカストビーンガムの差異でも生じる。これらの混合系ゲルから広範囲のレオロジー的性質の試料が得られるが、両者の分子鎖間の凝集による架橋点の相互作用は輸送時などの激しい振動や攪拌などで分子鎖間の相互作用は切断され、その結果、粘弾性は著しく低下する。放置しただけでは元の状態に戻らない。したがって、商品の輸送時に激しく振動する場合や激しく攪拌する場合はこの混合系は望ましくない。しかし、上記の混合系は広範囲のレオロジー的性質の液状ゼリーが作製できる利点がある。

以上のキサントガム液状ゼリーの機能特性はキサントガム濃度が限られている欠点がある。濃度が僅かに増加しただけで、食品ハイドロコロイドにおける液状ゼリーのレオロジー的性質の再現性に影響がでる。

キサントガム水溶液濃度が 1wt% 以上になると、濃度の増加に対する弾性率の増加は急激に緩慢になり、やがて、キサントガム液状ゼリーの均質性も失われていく。その結果、測定値の再現性も低下していく。このような場合、口腔期における食塊の形成や保持の再現性にも影響がでるため、食塊の咽頭への送り込みが適切に行われないと、気道へ流入する咽頭残留や誤嚥が生ずる危険性がある。

一般に、ゲル化機構が類似した熱可逆性ゲルは架橋点の数密度が増加すると、二重らせん分子の会合で形成された架橋領域が増加する。その結果、ゲル・ゾル転移温度 T_m 値およびゾル・ゲル転移温度 T_g 値にも影響が表れる。

しかし、同じ熱可逆性ゲルでもゲル化機構が異なる場合は、ゲルの架橋点の数密度に無関係に、 $\tan\delta$ 値、 T_m 値および T_g 値などに影響がみられる。

これらの結果は、水溶液においてゲルを形成する食品ハイドロコロイドの立体配座の差異がレオロジー的性質や熱的性質に影響する。

例えば、寒天やκカラギーナンはともにゲル化機構は類似する。さらに、両者はゲルの三次元網目構造における架橋点の数密度は高い。そ

れ故に、 G' 値と T_m 値はほぼ比例して高い値を示す。しかし、 T_g 値は T_m 値に比べて低く、 T_m 値と T_g 値にかなりの差異がある。即ち、ゲルの架橋点の数密度と G' 値および T_m 値は関連性がある。しかし、キサンタンガム液状ゼリーの架橋点は同じ水素結合からなるが、液状ゼリーの三次元網目構造における架橋点の数密度は寒天ゲルや κ カラギーナンゲルに比べてかなり低く、また G' 値もかなり低い。しかし、 T_m 値は寒天などと類似して高い値を示す。

特に、興味深いのは T_g 値の両者の差異である。寒天および κ カラギーナンとキサンタンガムの水溶液におけるゲル化機構の差異は降温過程で顕著に出現する。即ち、ゾルからゲル化していく過程の差異である。その結果、 T_g 値からゲル化機構が推論できる。

T_g 値は、架橋点の数密度が著しく低いキサンタンガムの方が高い値を示した (図 5 参照)。

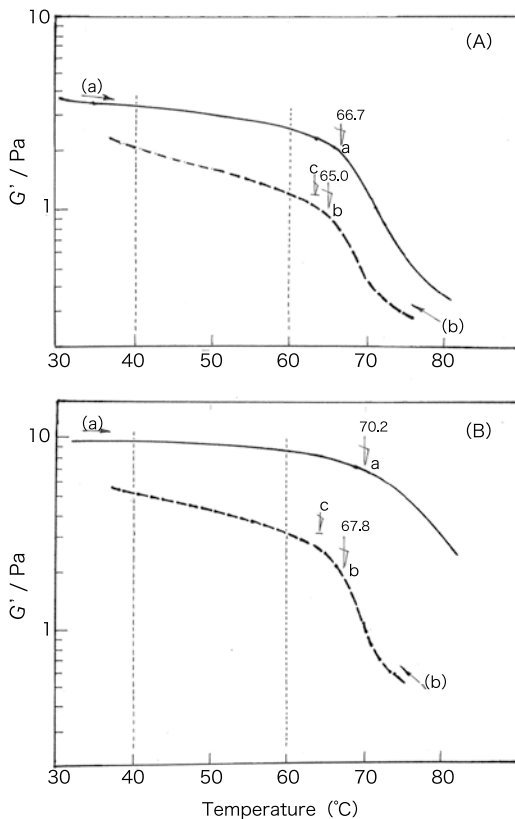


図 5

しかも、 T_g 値と T_m 値の差異は非常に小さい。両者の G' 値の著しい差異にも拘らず、 T_g 値は希薄濃度のキサンタンガム液状ゼリーの方が高い値を示した。両者の差異はゲル機構におけるレオロジー的性質および熱的性質の安定性による差異である。寒天および κ カラギーナンのゲル化機構は上述したので、簡略に述べると、高温から温度を下げていくと、水溶液におけるランダムコイル（一部はヘリックス）は、次に、二重あるいは三重らせん状態となる。さらに温度を下げていくと架橋領域を形成してゲル化していく。しかし、キサンタンガムは希薄濃度の水溶液において、主鎖よりも長い側鎖間の引力と斥力の一定の均衡関係が保持され、これらがレオロジー的性質や熱的性質に対して安定性なキサンタンガム分子の立体配座を補強している。そのため、激しく攪拌して、一時的に粘度は低下するが、静止するともとの立体配座に戻り、さらに水素結合して立体配座を補強する。しかし、上述の多くの機能特性が出現する濃度は限られている。これらの機能特性の各論を以下に考察する。

チキソトロピーの性質を示す、希薄なキサンタンガム水溶液で、攪拌を激しくすると、粘弾性は急激に減少するが、静止するともとの粘弾性に戻る。

これは、第一にキサンタンガム分子鎖間の架橋点の数密度が低いこと、第二にキサンタンガム分子の水溶液における立体配座の安定性が要因であると考えられる。さらに、水溶液において長い側鎖間の距離、親水基として $-OH$ 、 $-O-$ 基などによる部分的な水素結合の形成はキサンタンガム分子の立体配座をさらに補強していると考えられる。その分子鎖間の水素結合による数密度が少ない点が非常に大きな意味を持っている。即ち、水溶液においてエネルギー的に安定な立体配座を取ったキサンタンガム分子は少ない数密度の水素結合で補強されている。したがって、激しい攪拌に対して一部の架橋点は切断され粘弾性は低下してもキサンタンガム分子の立体配座に影響されなければ、直ちにもとの

状態に戻る。

第二に、種々の無機塩の添加や広範な pH 変化に対してキサンタンガム液状ゼリーのレオロジー的性質が変化しないということは、キサンタンガム液状ゼリーおよび水素結合による架橋点の数密度も変化しないことである。水溶液において種々の無機塩添加や pH 変化が生じてキサンタンガム分子の水溶液における立体配座に変化がなければ、立体配座を補強している水素結合の数密度は変わらないから、レオロジー的性質も変わらない。

第三に、非常に希薄なキサンタンガム水溶液で、80℃近くまでレオロジー的性質が変わらないというのは、第一にキサンタンガム分子に立体配座の熱的安定性がある。キサンタンガム分子の立体配座が高温度まで安定であれば、それを補強する水素結合の数密度も変わらないが、実際には、濃度が 0.3wt% と 0.5wt% では分子鎖間の架橋点の数密度は差異がある。しかし、70℃付近ではその差は小さい。これらの影響は G' などに出現するが、水溶液におけるキサンタンガム分子の立体配座の熱的安定性で、変化しなければ架橋点の数密度の変化は元の状態にもどる。以上のことから、希薄水溶液では、キサンタンガム分子の立体配座は熱的性質あるいはレオロジー的性質にも非常に安定であることがわかる。

第四に、高温で摂取できるゲルを形成する食品ハイドロコロイドはキサンタンガム液状ゼリーが唯一考えられる。これらは、非常に希薄濃度、さらに架橋点の数密度も非常に小さいが T_g 値が T_m 値に非常に近いことが要因している。即ち、キサンタンガム分子の水溶液におけるゲル化機構はキサンタン分子の立体配座が高温度でもレオロジー的に非常に安定であることがわかる。 T_m 値とところで熱的に安定な立体配座をとり、温度の低下とともに徐々に水素結合による架橋点が増加する。70℃付近ではほぼゲル化するので、摂取温度と約 10℃の間で、高温殺

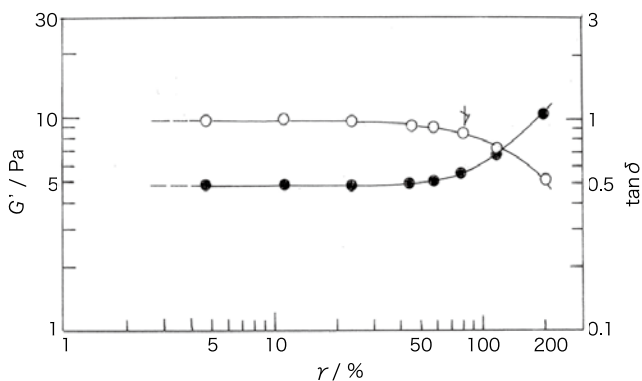


図6 キサンタンガム液状ゼリーの貯蔵弾性率 G' および損失正接 $\tan\delta$ と変形のひずみ γ の関係

菌したり、熟成をして分子鎖間の水素結合形成によるレオロジー的性質の安定性を得ることができる。

第五に、希薄濃度のキサンタンガム液状ゼリーは変形のひずみが約 80 数%までレオロジー的性質は変わらない。この性質も、ほかのハイドロゲルにみられない挙動である。即ち、液状ゼリーを 80 数%変形のひずみに対してもレオロジー的性質は変わらないということは、液状ゼリーにおける架橋点の数密度も変化しないことである。液状ゼリーは 80 数%の大変形に対しても立体配座および分子鎖間の水素結合に影響されないということは、水溶液において、キサンタンガムの分子鎖間の水素結合による架橋点の数密度が主要因である。したがって、80 数%変形しても立体配座に影響がでないのである。

図6に 0.5wt% キサンタンガム液状ゼリーの貯蔵弾性率 G' および損失正接 $\tan\delta$ と変形のひずみ γ の関係を示す。なお、周波数は 2Hz に固定した。図中の○印は G' であり、●印は $\tan\delta$ である。

図6における G' および $\tan\delta$ ともに γ の増加とともにほぼ 60%までは一定値を示す。その後、徐々に G' は減少しだす。それとは逆に、 $\tan\delta$ は徐々に増加する。図中の矢印はゲルから徐々にゾル化の方向（液状ゼリーのレオロ

ジー的性質の変化しだす点、変形のひずみは約82%である)に進行しだす変形のひずみである。 γ が200%のとき、 $\tan\delta$ は1を越すのでゾル化している。これらの傾向は、希薄濃度のキサンタンガム液状ゼリーであり大きな差異がみられないが、寒天や κ カラギーナンなどの G 値が高い熱可逆性ゲルは γ 値の増加とともに G' 値は減少しだし、やがて急激に減少してゾル化する。その傾向は分子量、3, 6-アンヒドロ・ガラクトース含量などに影響される。

4. 食品ハイドロコロイドにおける“自由な”水分子

食品ハイドロコロイドにおける側鎖基などは溶媒である水分子と相互作用をする。その結果、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子は減少している。さらに、その食品ハイドロコロイドに単糖類から多糖類まで添加していくと、糖類の-OH、-O-などの含量や配位の仕方などにより、食品ハイドロコロイドにおける“自由な”水分子の数はさらに減少する。

即ち、食品ハイドロコロイド混合系（調味料なども含めて）に存在する“自由な”水分子は食品の種類や量など、さらに側鎖基の含量、種類、配位の仕方などにより著しく変化する。それ故に、食品ハイドロコロイド混合系における“自由な”水分子を定量することは非常に難しい。しかし、食品ハイドロコロイドに存在する“自由な”水分子を定量できなければ、均質性の液状ゼリーを作製できない。均質性液状ゼリー（またはゲル）の必要性は、口腔期における食塊の形成と保持の再現性を高めることである。これが不十分なときは食塊の口腔期の送り込みに再現性が得られない。その結果、嚥下反射によって食塊を咽頭から食道に送り込む段階で、嚥下反射が適切なタイミングで引き起こされないために食塊が咽頭に残る咽頭残留や気道に流入する誤嚥の危険性が生じる。食品ハイドロコロイドの不均質性ゼリーを作製した場合、レオロジー的性質の再現性に出現する。これらはテクスチャーだけでなく、味や香りなど

にも影響される結果、食欲低下の要因になるといわれている。

また、非常に固体に近いゲルから非常に液体に近い液状ゼリーでは、まず咀嚼回数が異なるから、分泌する唾液量も異なる。その結果、飲み込み易い大きさまで噛み砕き唾液と混合して食塊形成するまでは、液状ゼリーに比べて個体に近いゲルの方は咀嚼回数が増加し、さらに、咀嚼回数の幅も大きくなる。それ故に、分泌する唾液量の変化も大きくなる。この傾向は、嚥下訓練食における食塊の均質性から不均質性への過程、即ち、段階的嚥下訓練食へと繋がるのである。

なお、食品ハイドロコロイド混合系におけるゲルまたは液状ゼリーの均質性は機器測定法で迅速に測定できる。さらに測定値の再現性からゲル状態を推論することも可能であるから、これらの品質管理は工業的に重要である。近い将来、推定条件を選定して得られた機器測定値と感覚特性値の関連づけが求められる時代がくると考えられている。

5. 非常に液体に近いキサンタンガム液状ゼリーの機能特性

5-1. 摂食・嚥下の流れにおけるキサンタンガム液状ゼリーのレオロジー的および熱的性質の安定性

ここでは、他のゲルを形成する食品ハイドロコロイドにみられない特有の機能特性をもつキサンタンガム液状ゼリーの例を挙げる。

認知期として五感で食物を認知し摂食・嚥下の動作が開始される。次に食物を口に取り込み、咀嚼をして唾液と混合し、飲み込み易い状態に調整する。

(1) 咀嚼と食塊形成の段階での機能特性として、咀嚼後の食塊形成における再現性に重要な役割を演じている[チキソトロピーの性質]。その間、味・香りや温度などが知覚される。口腔期において、呑み込みやすい状態になったキサンタンガム液状ゼリーは非常に低濃度(0.3~1wt%程度)であり、さらに架橋点の数密度は低いので[小さな応力で大変形をする]。

(2) [変形のひずみが80数%まで液状ゼリーのレオロジー的性質が変わらない]。

(3) 食塊表面は [十分に水和されている (液状ゼリーは非常に低濃度である。したがって、液状ゼリーの結晶性と非晶性の一定の均衡関係は後者の方向に移動しているので食塊表面は十分に水和されている)]。

したがって、舌中央に集められた食塊は、舌搾送運動で小さな応力で大変形をして咽頭に送られる。その間の食塊液状ゼリーは均質性であり、高温でもゼリーのレオロジー的性質 (65℃付近) は変化していないので、食塊液状ゼリーの形成や保持は再現性がある。したがって、舌の運動による咽頭へ送り込みもスムーズに進行する。

その間、テクスチャー特性を的確に表現すると、「舌触りがよい」という一つの特性で表現できる。さらに咀嚼して唾液と混合し、飲み込み易い状態に整え、舌搾送運動によって咽頭に送られる段階まで、キサンタンガム液状ゼリーの機能特性は再現性が得られている。

したがって、嚥下反射が適切なタイミングで引き起こされることで咽頭残留や誤嚥防止などになる。

5-2. 水溶液におけるキサンタンガム分子の立体配座のレオロジー的性質および熱的性質の安定性

ゲルを形成する食品ハイドロコロイドはそれぞれゲル化機構が異なるが、共通していることはゲルを作製後、ゲルのレオロジー的性質の測定値に再現性が得られるために、「低温で熟成する時間」が必要である。

高温で摂取する場合は、高温殺菌の利用の温度と時間は明確にすることである。さらに熟成温度、熟成時間の選定は均質性ゲルのレオロジー的性質の再現性を高めるから測定条件として設定することが望ましい。例えば、ゼラチンゲルの場合、15℃ (18℃付近でゲルの内部融解が生じる) に保持した場合、ゲルの動的弾性率が一定値に達するまでの時間は約10時間¹⁷⁾を要した。

5-3. キサンタンガム液状ゼリーにおける貯蔵弾性率と温度の関係

キサンタンガム液状ゼリーの弾性率の濃度依存性から2乗-4乗則¹⁸⁾が求められる。図6(a)および(b)はキサンタンガム液状ゼリー濃度が0.3wt%および0.5wt%における昇温過程と降温過程である。前者はキサンタンガム液状ゼリー濃度が低い場合であり、 n がほぼ4に等しい。後者はキサンタンガム液状ゼリー濃度が高い場合であり、 n がほぼ2に等しい。

キサンタンガム液状ゼリーの弾性率 G' の濃度依存性、即ち2乗-4乗則が成立する濃度範囲は、ほぼ1wt%以内である。それ以上の濃度では、濃度の増加とともに G' の増加する傾向は急激に緩慢になり、測定値に対する再現性も低下してくる。

2乗-4乗則の境界濃度はほぼ0.3wt%である。におけるキサンタンガム濃度は図中の(A)は0.3wt%、(B)は0.5wt%である。図6の実線は昇温過程であり、室温(a)から2℃/minの割合で温度を上げていくと、 G' 値は徐々に減少していく。その傾向は0.5wt%の方が、0.3wt%よりも緩慢である。やがて液状ゼリーが徐々に融解し始め、ゾル化すると G' 値は急激に低下する。図中の記号a点がゲル-ゾル転移温度ゲルの融解温度 T_m である。液状ゼリーの濃度が0.3wt%の場合、 T_m は66.7℃であり、0.5wt%の場合、 T_m は70.2℃である。

前者の弾性率においては、濃度依存性はほぼ4乗則が成立する。この濃度範囲では濃度が低い場合の領域である。しかし、後者の弾性率は、濃度依存性はほぼ2乗則が成立する。この濃度範囲では濃度が高い場合の領域である。これらの関係は、同一条件で試料が作製されていれば、測定値に対する再現性は得られるが、昇温速度および降温速度を変えた場合、 G' 値と T_m 値および T_g 値の影響が寒天ゲルやκカラギーナンゲルと同様な傾向が出現するか興味深い。

昇温過程(a)は液状ゼリーの融解過程、降温過程(b)はゾルから液状ゼリーのゲル化過程である。昇温速度と降温速度を変えた場合、

水溶液におけるキサンタンガム分子の立体配座の熱的安定性などを調べるうえで興味深い問題である。

次に、80℃付近でゾル状態の2種の試料を約10分間放置後、昇温過程と同じ条件で降温すると、徐々にゲル化するにつれて G' 値は急激に増大し、やがて b 点でゲル化する。即ちゾル-ゲル転移温度 T_g である。0.3wt%の場合は65.0℃であり、0.5wt%の場合は67.8℃である。キサンタンガム液状ゼリーの三次元網目構造における架橋点は小さく、さらに濃度も低いが、 T_g 値が高い値を示した。このような特性は他のゲルを形成する食品ハイドロコロイドにはみられない。この要因は高温で希薄濃度のキサンタンガム分子の長い側鎖が水溶液において、エネルギー的に安定な立体配座を形成することである。これらの見解は、希薄濃度のキサンタンガム水溶液の変形のひずみが80数%までレオロジー的性質²²⁾が変わらないことと、併せて上記の見解を支持すると考えている。

即ち、キサンタンガム液状ゼリーを約80数%まで変形しても水溶液におけるキサンタンガム分子の立体配座に影響を与えなければレオロジー的性質は変わらない。その立体配座を保持しているのは数密度の低い架橋点（主として水素結合）である。この安定性は熱的性質にまで影響する。その結果、 T_g 値はほぼ T_m 値に近い値を示す。このようなゲルを形成する食品ハイドロコロイドの機能特性は他に存在しない。

降温過程はキサンタンガム分子の水溶液におけるゲル化機構を究明するうえで非常に興味深い。ゾル-ゲル転移温度 T_g 値が高い温度で出現した。その値は T_m 値に非常に近いということは、ゾル状態のキサンタンガム分子は T_m 値に近い温度でゲル化し始める立体配座をとり、やがて分子鎖間の水素結合による架橋点の数密度の増加とともに G' 値は増大してゲル化(b 点)する。キサンタンガム水溶液のゲル化機構がゲルの融解温度近くで起こることは、すでに高温においてもキサンタンガム分子の立体配座がほとんど変わらない。したがって、 T_m 値と T_g 値

の差は、キサンタンガム分子の立体配座を補強する分子鎖間の水素結合の数密度の増加に対応していると考えられる。これから、キサンタンガム分子の水溶液における立体配座が温度でも安定性が証明された。

これらの機能特性は、種々の食材の混合系から作製される食品中の”自由な”水分子の定量、さらに口腔期から食道期までの複雑な嚥下の流れなどに影響を与える液状ゼリーの均質性においてそれぞれ望ましい性質である。

さらに、これらが非常に希薄濃度の水溶液である。即ち、非常に液体に近いゲル状態であることに意味がある。図6の説明を以下に記述する。0.3wt%および0.5wt%の2種の濃度における昇温過程と降温過程では、かなりの差異がみられる。両者の昇温過程における T_m 値までの曲線は液状ゼリー濃度にはほぼ無関係に類似する。

温度の上昇とともに僅かに減少するが、降温過程では、図中 b 値（ゾル-ゲル転移温度 T_g ）から温度の降下とともに G' 値は急激に増大する。 T_g 値を過ぎるとゲル化過程は融解過程に比べて G' 値の変化が大きい。即ち、降温速度と昇温速度における G' の変化は差異がみられる。しかし昇温過程は殺菌作用および熟成時間を利用できる利点がある。これらを利用して、殺菌作用や昇温速度を調整し、口に取り込み、咀嚼・食塊形成し、舌搾送運動で咽頭に送り込むまで、60℃付近から40℃付近の温度範囲でレオロジー的性質の変化がないように、殺菌作用や熟成時間を調整することが望ましい。

5-4. キサンタンガム液状ゼリーの長所と欠点

上記の機能特性は、キサンタンガム濃度が約1wt%以下の希薄水溶液の場合にのみ適用される。ゲルを形成する食品ハイドロコロイドは少量の添加で食品のテクスチャーを変えることができる。キサンタンガム液状ゼリーの数々の機能特性は増粘剤として非常に優れている。これから、ますます使用範囲は広がっていくと考えられる。しかし、固体から液体までの「ゲル状態」において、非常に希薄な濃度範囲でのみ適用できるという欠点もある。

6. 非常に固体に近い寒天ゲルおよびカラギナンゲル

6-1. 寒天ゲル

熱可逆性ゲルである寒天の弾性率は主として、架橋領域の数密度、架橋領域間を結ぶ鎖状分子の立体配座などによって支配されるものと考えられる（図1参照）。熱可逆性ゲルの弾性率の温度依存性は単位体積中の鎖状分子数 N 、架橋領域からセグメントがほどけ出るのに必要な結合エネルギー ϵ 、架橋領域間を結ぶ鎖状分子の平均的長さ r_m 、解放セグメント上限数 ν によって記述される。ここで、セグメントがある数以上架橋領域からほどけ出ると、ゲル-ゾル転移が起り、それ以上ほどけだセグメントは弾性率に寄与しなくなると考えられるが、その上限が ν である。パラメーター N 、 r_m 、 ν が同じで (a) ϵ が大きい場合には、弾性率が温度上昇とともに増加する（ゴム弾性）。(b) ϵ が小さい場合には、弾性率が温度の上昇に伴い、単調に減少する。

寒天のゲル形成能に与える影響は、主として分子量、3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量および硫酸基含量が挙げられる。そのうち、3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量の増加は D-ガラクトースと 3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトースの相互の繰り返しの度合いを高める。その結果、二重あるいは三重らせん分子が会合して秩序ある構造、即ち架橋領域の増加する方向に進む。その結果、寒天ゲルの結晶性と非晶性の一定の均衡関係は前者の方向に移動する。寒天ゲルを 3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量から大まかに 3 つのゲル状態に分類すると、(a) 3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量が約 35% 以上では、(b) の状態が約 34% 以下では (c) の状態がさらに約 25% 以下では弱いゲルの状態²³⁾ になり、容器を傾けると徐々に流れる^{*2}。しかし、論理的には、3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量が 50% になると結晶化する。実際に 50% 近くになることはない。したがって、

*2 重量平均分子量は約 2×10^5 以上である。

寒天の 3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量を再現性よく生産できれば、固体から液体までの広範囲の「ゲル状態」を作り出すことができる。ほとんどの食品は「ゲル状態」で供されるから非常に興味深い話である。

3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトース含量は海藻の産地、採取時期等の選択である程度、再現性を得られる。さらに、分子量は寒天ゲルのレオロジー的性質に影響を与える。例えば、分子量が約 2×10^5 付近までは分子量の増加とともにレオロジー的性質は変化するが、それ以上ではほとんど変わらない。これは抽出法である程度は調整できる。これらから機器測定法を利用して品質管理が求められる。寒天の場合は主として 3, 6- アンヒドロ -L- ガラクトースと分子量によるデータの蓄積が新商品の開発に役立つと考えられる。

さらに、ゲルの弾性率とゲルの吸熱エンタルピー ΔH_m の関係では、重量平均分子量 M_w が約 2×10^5 付近までは、 W_n の増加とともに ΔH_m も増大するが、それ以上では W_n が増加してもほとんど変わらない。 W_n が低いところでは試料の溶解性が高いが、 W_n が高いところでは結晶性が高く、ゲルの結晶性と非結晶性の均衡関係が保たれている²³⁾。

< 熱可逆性有機低分子ゲルのレオロジー的性質および熱的性質 >

3 種の有機低分子ゲルの溶媒における立体配座の安定性を調べるために動的粘弾性および DSC 測定を行った²⁴⁾。有機低分子ゲルおよびキサンタンガム液状ゼリーはともに典型的な熱可逆性ゲルである。低分子量有機物質の誘導体および溶媒の種類、pH、側鎖基の種類および配置の仕方等に著しく影響される^{25, 26)}。これらの結果から、溶液中の立体配座はレオロジー的性質および熱的性質の安定性に影響することが明らかにされた。

< 寒天ゲルの弾性率の濃度依存性 >

さらに、ゲルの弾性率の濃度依存性は古くから研究されてきた。Hermans 理論を修正して Clark と Ross-Murphy はカスケード理論から f

(架橋領域から出てくる分子鎖の数)を計算した²⁷⁾。3～30wt%の濃度範囲のアガロースゲルから求めた f は25である^{28, 29)}。

<ゲル-ゾル転移に伴う吸熱エンタルピー ΔH と分子量の関係>

また、伊豆産まぐさ (*Gelidium Amansii*) 粘質物をアルカリ前処理してから、抽出温度を変えて5種の分子量を精製した。その後、5種の試料について、GPC測定により分子量を求めた。その結果、5種の分子量のゲルを室温から、一定の割合で昇温した場合、ゲルの融解に伴う吸熱ピーク面積から求めた吸熱エンタルピー ΔH_m が求められる。

アガロースの重量平均分子量 M_w と吸熱エンタルピー ΔH_m の関係を求めた。 M_w が約 12×10^4 までは ΔH_m は急激に増大するが、その後、その傾向は緩慢になった^{21～23)}。この結果、低分子量領域と高分子量領域のゲルのレオロジー的性質でかなりの差異がみられた。即ち、 M_w の増加とともにゲルの三次元網目構造における架橋点の数密度は増加する。同時に、 M_w の増加は架橋領域の増大する方向に進行する。それ故に、前者から後者へのレオロジー的性質の変化は「脆いゲルからラバーライクなゲル」への移行ともいえる。これらのゲル化機構の変化は主として ΔH_m 値に出現したと考えられる。

6-2. カラギーナン

カラギーナンは寒天と同様に紅藻類から抽出される海藻多糖類である。カラギーナンは寒天にはない特性を生かして用いられている。カラギーナンは極めて類似の構造組成をもつ寒天と異なる特徴は、第一に、硫酸基を多量に含有するため、たんぱく質との反応性に富んでいる。第二に、ゲル形成能の強いものから κ 型 $> \iota$ 型 $> \lambda$ 型に分けられる。第三に、アルカリ金属塩およびアルカリ土類金属塩に対して特異なレオロジー挙動を示す。これらの特性は食品ハイドロコロイドにおけるレオロジー的性質に著しく影響を与える。

しかし、カラギーナンは分子量が大きく、さらに、カラギーナンの非常に固体に近いゲルか

ら非常に液体に近いゲルまで広範なゲル状態が容易に得られる。これらは広範なレオロジー的性質のゲルが得られること。さらにレオロジー的性質の類似した試料の抽出も寒天よりも容易であると考えられる。

<付記>

本開発に対する主目的を以下1)と2)に絞って記述する。

1) 食品を構成している主成分は蛋白質系、脂肪系および炭水化物系の食品に分類される。そのうち、多くの蛋白質系食品と炭水化物系食品は食品ハイドロコロイドで構成される。ゲルを形成する寒天、カラギーナンおよびキサンタンガムなどの炭水化物系、ゼラチンの蛋白質系食品などを挙げることが出来る。これらの分子の大きさは広い範囲にわたって異なる多数の分子種からなる。例えば、キサンタンガム分子は分子的な混合物であるともいえる(分子量分布)。さらに、そこに添付されている多くの食品ハイドロコロイドは分子量、-OH、-O-基など、親水基の数や配置の仕方などの影響を受けて、「自由な水」分子(通常の水分子)の数は減少している。この中で、キサンタンガムがゲルを形成するとき、立体配座が影響されないことが必須条件である。

このことは非常に重要であるが、測定値に再現性がある測定法は見つからなかった。筆者は約10年間でやっと説明できる測定法に成功した。食品の様な種々の食材の混合系の場合は、測定値に再現性が得られる機器測定法は必須条件である。これが、この研究の中心である。

何故ならば、咽頭期は嚥下反射(1秒以内に起る)により食塊を咽頭に送り込む段階である。これらの働きは、圧勾配の形成と気道の保護が考えられる。これらの働きが阻害されると食塊が咽頭に残る「咽頭残留」や気道へ流入する「誤嚥」が生ずる。これらは、生命の危機を生ずる。ゆえに、咽頭に送られた「食塊のレオロジー的性質の変化」は絶対に避けなければならない。即ち、ゲルを形成する食品ハイドロコロイドの

均質性（水溶液中で立体配座が変わらない）であることは必須条件である。これは機器測定で解決できる。

尚、魚、マグロ赤身および脂身などの脂肪系食品でも、上記と同様の傾向を示した³⁰⁾。

2) 世界中で高齢化が急激に進行している。さらに、機器測定法の解決は、他種類の食品の開発と、多量の製造などが可能になってきた。これらの技術は、嚥下訓練食において近い将来、開発等は病院や施設から企業へと移行していくであろう。

参考文献

1. Rees, D.A., *Advan. Carbohydr. Chem. Biochem.*, **24**, 267, 1969.
2. Morris, E.A., Rees, D.A., Robinson, G., *J. Mol. Biol.*, **138**, 349, 1980.
3. Paolettim, S., Smidsrod, O., Grasdalen, H., *Biopolymers*, **23**, 1171, 1984.
4. Grant, G., Morris, E.R., Rees, D.A., Smith, P.J.C., Thom, D., *F.E.B.S. Letters*, **32**, 195, 1973.
5. Clark, A.H., Ross-Murphy, B.S., *Adv. Phys. Sci.*, **8357**, 1987.
6. Watase, M., Arakawa, K., *Bull. Chem. Soc. Jap.*, **40**, 472, 1967.; **41**, 1830, 1968.
7. Watase, M., Nishinari, K., *Rheol. Acta*, **20**, 155, 1981.
8. Watase, M., Nishinari, K., Hatakeyama, H., *Food Hydrocolloids*, **2**, 427, 1988.
9. Watase, M., Nishinari, K., Williams, P.A., Phillips, G.O., *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 1181, 1989.
10. Jeanes, A., Pittsley, J.E., Senti, E.R., *J. Appl. Polym. Sci.*, **5**, 519, 1961.
11. Jeanes, A., Pittsley, J.E., Senti, F.R., *J. Appl. Sci.*, **5**, 519, 1961.
12. Watase, M., Gelling Agents, "Polysaccharide", The Polymer Materials Encyclopedia, CRC Press Inc., USA (ed) J.C. Salamone, 1996.
13. Ward, A.G., Saunders, P.R., "Rheology" Vol.2 (Eirich, F.R.), Academic Press Inc., New York, P.313, 1958.
14. 平井西夫, 日化, **72**, 837, 1958.
15. Watase, M., Arakawa, K., *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **40**, 472, 1967.; **41**, 1830, 1968.
16. Glicksman, M., "Food Carbohydrates", (eds.) Lineback, D.R., and Inglett, G.E., Avi Publ. Co., Westport, CT, 1982.
17. Dea, C.C.M., Clark, A.H., McCleary, B.V., *Food Hydrocolloids*, **1**, 129, 1986.
18. Morris, V.J., "Functional Properties of Food Macromolecules" (eds.) Michell, J.R., Ledward, D.A., Appl. Sci. Publishears, London, 1986.
19. Watase, M., Nishinari, K., *Thermochim. Acta*, **206**, 163, 1992.
20. 渡瀬峰男, 新しい食品加工技術と装置, 産業調査会, 事典出版センター, 物性計測, P.647, 1991.
21. 渡瀬峰男, 食品工業, **55**(18), P.89, 2012.
22. 渡瀬峰男, 食品工業, **55**(20), P.85, 2012.
23. Watase, M., Aihara, T., Nishinari, K., Hydrocolloid, Physical Chemistry and Industrial Application of Gels Polysaccharides and Proteins, Elsevier Sci., B.V., Part 1, P.215, 2000.
24. 渡瀬峰男, 高分子ゲル研究討論会, 東京大学 山上会館 **5**, 8, 1994.
25. Watase, M., Itagaki, H., *Bull. Chem. Soc. Japan*, **71**, 1457, 1998.
26. Watase, M., Nakatani, Y., Itagaki, H., *J. Physical. Chem.*, **103**, 2366, 1999.
27. Clark, A.H., Ross-Murphy, S.B., *Br. Polym. J.*, **17**, 164, 1987.
28. Watase, M., Nishinari, K., Clark, A.H., Ross-Murphy, S.B., *Macromolecules*, **22**, 1196, 1989.
29. Clark, A.H., Ross-Murphy, S.B., Nishinari, K., Watase, M., "Physical Networks Polym. and Gels" (eds.) W. Burchard, S.B. Ross-Murphy, Elsevier Applied Sci., 1990.
30. 渡瀬峰男, *New Food Industry*, **41** (11), 1999.

シリカゲルを用いたキウイ果汁中の アレルゲンタンパク質の低減化

Effective removal of Allergenic Proteins in Kiwifruit Juice Using Silica Gels

近藤 徹弥 (KONDO Tetsuya) ^{*1}, 半谷 朗 (HANYA Akira) ^{*1}, 児島 雅博 (KOJIMA Masahiro) ^{*1},
加藤 丈雄 (KATO Takeo) ^{*1, a}, 増田 敬恵 (MASUDA Hiroe) ^{*2}, 間瀬 民生 (MASE Tamio) ^{*2},
村上 耕介 (MURAKAMI Kousuke) ^{*3, b}, 松田 幹 (MATSUDA Tsukasa) ^{*3}

^{*1} あいち産業科学技術総合センター 食品工業技術センター, ^{*2} 相山女学園大学 生活科学部 管理栄養学科

^{*3} 名古屋大学大学院 生命農学研究科 応用分子生命科学専攻

現所属: ^a 名古屋文理大学 健康栄養学科, ^b 国立感染症研究所 ウイルス第二部

Key Words: キウイ タンパク質 吸着 シリカゲル 低アレルゲン化

Effective removal of Allergenic Proteins in Kiwifruit Juice Using Silica Gels

Tetsuya Kondo ^{1, †}, Akira Hanya ¹, Masahiro Kojima ¹, Takeo Kato ^{1, a}, Hiroe Masuda ², Tamio Mase ², Kousuke Murakami ^{3, b}, Tsukasa Matsuda ³

¹ Food Research Center, Aichi Center for Industry and Science Technology, 2-1-1 Shinpukuji-cho, Nishi-ku, Nagoya, 451-0083, Japan

² Department of Human Nutrition, School of Life Studies, Sugiyama Jogakuen University, 17-3 Hoshigaoka-motomachi, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8662, Japan

³ Department of Applied Molecular Biosciences, Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

^a Current address: Department of Health and Nutrition, Faculty of Health and Human Life, Nagoya Bunri University, 365 Maeda, Inazawa-cho, Inazawa, 492-8520, Japan.

^b Current address: Department of Virology II, National Institute of Infectious Diseases, Gakuen 4-7-1, Musashimurayama, Tokyo 208-0011, Japan.

Abstract

The combination technique of adsorption of proteins with silica gel (SIL) and degradation of proteins by endogenous proteases was employed to remove the proteins containing allergens from kiwifruit juice. The proteins in kiwifruit juice were reduced by incubating with SIL. The removal of proteins was dependent on temperature in the range of 4-65°C and optimal at 45°C. SDS-PAGE pattern analysis of kiwifruit juice after incubation without SIL showed that the 30 kDa band of actinidin, a major allergen of kiwifruit, became the thinnest at 45°C. The phenomenon was inhibited by a cysteine protease inhibitor, E-64. These results suggest that the temperature dependence of protein removal with SIL is induced by autolytic degradation of cysteine proteases such as actinidin. Treatment of kiwifruit juice with SIL at 45°C for 1 h removed more than 98% of the total protein content. Actinidin was reduced to 1/6000 (0.15 µg/mL). Nutrient composition of kiwifruit juice treated by SIL was comparable to that of untreated kiwifruit juice, except decrease in the protein content and the flavor intensity. Thus, the data proposed that the treatment with SIL is a very effective way for manufacturing hypoallergenic kiwifruit Juice.

Keywords: Kiwi; Protein; Adsorption; Silica-gel; Hypoallergenic

要旨

シリカゲルによるタンパク質吸着と内在プロテアーゼによるタンパク質分解の組み合わせにより、キウイ果汁中のアレルゲンを含むタンパク質の除去を試みた。キウイ果汁中のタンパク質はシリカゲルとの接触により減少した。タンパク質除去は接触時の温度に依存し、4-65℃の範囲では45℃が最適であった。一方、シリカゲルと接触しない場合、キウイの主要アレルゲンである actinidin は45℃で最も減少した。この現象はシステインプロテアーゼ阻害剤である E-64 によって阻害された。これらの結果から、シリカゲルによるタンパク質除去の温度依存性は actinidin のようなシステインプロテアーゼの自己消化によるものであることを示唆している。シリカゲルと45℃で1時間接触させたところ、キウイ果汁中のタンパク質は98%以上除去され、actinidin は約 1/6000 (0.15 µg/mL) にまで低減した。シリカゲル接触後の果汁は、タンパク質が減少した以外、未処理果汁と比較して栄養成分に差は見られなかった。官能的には、未処理果汁に対してやや香りが少ないものの、シリカゲルの接触に起因する異味や異臭は認められなかった。これらの結果から、シリカゲルによる処理はキウイ果汁の低アレルゲン化に非常に効果的であると考えられた。

はじめに

キウイフルーツ (*Actinidia* spp., 以下キウイと呼ぶ) は世界で最も広く消費されている果実の一つであり、生食される以外に、ジュース、ジャム、シロップなどにも加工されている。本果実は、ビタミンC、カリウム、葉酸、繊維などの栄養素に富んでいる一方で¹⁾、アレルギーの原因物質と考えられている。特に乳幼児に対してキウイアレルギーが多く発症している²⁾。

キウイアレルギーの症状は、摂食した後に口の中やのどの粘膜にかゆみや腫れなどを起こす口腔アレルギー症候群に留まっていることが多いが、ラテックス-フルーツシンドロームや花粉症との関連性も指摘されている。Blancoらはラテックスアレルギーの52%がアボカド(36%)、クルミ(24%)、バナナ(28%)、キウイ(20%)、パパイヤ(12%)などの果実に感受性があることを報告している³⁾。ヨーロッパ諸国では、キウイは食物アレルギーを引き起こす最も多く報告されている食品の一つである^{2, 4-6)}。我が国においても、鶏卵、牛乳、小麦などに比べると症例は少ないものの食物アレルギーの原因食物の上位に位置している^{7, 8)}。このことから食品のアレルギー表示制度において、キウイは特定原材料に準ずる20品目の一つとして表示が推奨されている。

食物アレルギーへの対応としてアレルゲンを

含む原因食物の摂取回避が主流であるが、市場に流通している加工食品などでは完全な除去が難しい場合が多い。これに代わり栄養面を考慮しつつ食物のアレルゲン性を抑制させる手段として、加熱や酵素処理などの加工処理によりアレルゲンを除去または低減させる方法が提案され⁹⁾、低アレルゲン食品の開発も盛んに行われている。果汁のアレルゲン性を低下させる方法として、限外ろ過¹⁰⁾や加熱処理¹¹⁾などが行われている。さらに、タンパク質吸着材もアレルギーの原因となるタンパク質を除去するのに有効であると考えられる。

我々は、リン酸カルシウムやシリカゲルなどのセラミックスを用いて液状食品中のタンパク質を吸着除去する技術の開発に取り組み、清酒、みりん、発酵調味料などを対象に品質劣化に関わる酵素や滓原因タンパク質を効果的に除去できることを報告してきた¹²⁻¹⁴⁾。シリカゲルは、ベントナイトやリン酸カルシウムなどと同じく最も一般的なタンパク質吸着材の一つである。タンパク質の凝集に由来する飲料製品の混濁や滓の発生は飲料業界の最も普遍的な問題の一つであるが、これを回避するため、シリカゲルが果汁、ワイン、ビールなどの清澄化に用いられている¹⁵⁻¹⁷⁾。

本稿では、シリカゲルを用いたキウイ果汁中のアレルゲンを含むタンパク質の低減化について検討した¹⁸⁾。

表1 シリカゲルの特性値（製造元データシートによる）

Silica gels	Average particle diameter (μm)	Specific surface area (m ² /g)	Pore volume (mL/g)	Average pore size (nm)
Sylopute 202	16	300	1.6	21
Sylopute 303	20	650	1.3	8
Sylopute 403	16	750	1.3	7
Sylopute 202SP	16	341	—	—

1. 材料と方法

1) 材料

ハイワード種のグリーンキウイ (*A. deliciosa* cv. Heyward) は、地元の市場から購入した。シリカゲル (Sylopute 202, Sylopute 303, Sylopute 403, Sylopute 202SP) は、富士シリシア化学 (株) から提供された。シリカゲルの特性を表1に示す。

2) キウイからの actinidin の精製とポリクローナル抗体の調製

Brocklehurst ら¹⁹⁾ および Sugiyama ら²⁰⁾ の方法を参考にし、2回の硫酸アンモニウム分画、Thiopropyl-Sepharose 6B (GE Healthcare Life Sciences) を用いたアフィニティークロマトグラフィー、さらに Toyopearl-Super Q650S (東ソー) を用いた陰イオン交換クロマトグラフィーにより、actinidin を精製した。最終的に、SDS-PAGE 上でいずれも 31 kDa の分子量を示す3つのプロテアーゼ画分が得られた。MALDI-TOF/TOF MS 解析の結果、これらのプロテアーゼは全て actinidin と同定された。3つの画分を同濃度混合したものを標準 actinidin として、これを BALB/c マウス (6週齢、雌) 2匹に腹腔投与し、抗体価の上昇したマウスより採血し、その遠心分離上清を抗 actinidin ポリクローナル抗体 (anti-actinidin pAb) とした²¹⁾。

3) シリカゲルによるタンパク質吸着

キウイを剥皮し、搾汁後、ろ紙 (No. 2, アドバンテック) にてろ過してキウイ果汁を調製した。使用まで -20℃以下で凍結保存した。キウイ果汁にシリカゲルを懸濁し、一定時間、設定温度で振とうした。懸濁液を遠心分離し、その上清を以降の解析に用いた。

4) タンパク質の電気泳動

タンパク質の電気泳動 (SDS-PAGE) は、Laemmli 法²²⁾ にて行なった。15% ゲルを用いて泳動後、CBB R-250 によりタンパク質を染色した。

5) アクチニジンの免疫学的検出法

Immunoblotting (IB) 法による actinidin の検出、および ELISA 法による actinidin の定量は近藤らの方法に依った²¹⁾。すなわち IB 法では、SDS-PAGE 後のゲルを PVDF 膜に転写した後、ブロッキング剤によるブロッキング、一次抗体 anti-actinidin pAb との反応、二次抗体 (ペルオキシダーゼ標識ヤギ抗マウス IgG モノクローナル抗体) との反応、さらに発色反応を経て、actinidin を検出した。

ELISA 法には直接吸着法を用いた。Maxisorp ELISA plate (Nunc) の各ウェルに試料溶液中のタンパク質を固定後、一次抗体との反応、二次抗体との反応、さらに発色反応を行い、各ウェルの吸光度を測定した。標準 actinidin の検量線の吸光度を元に試料溶液中の actinidin 量を求めた。

6) ゲル内消化と MALDI-TOF MS/MS

タンパク質のゲル内消化法と MALDI-TOF/TOF mass spectrometer (4700 Proteomics Analyser, Applied Biosystems) を用いた質量分析によるタンパク質の同定は、村上らの方法²³⁾ に従った。

7) その他の分析法

キウイ果汁中のタンパク質濃度は、牛血清アルブミンを標準として、TCA-Lowry 法により定量した。すなわち、試料にデオキシコール酸ナトリウム (終濃度 0.007%, w/v) とトリクロロ酢酸 (TCA, 終濃度 4.5%, w/v) を加えた後、遠心分離により得られた沈殿物を Lowry 法²⁴⁾

に供した。タンパク質除去率は、未処理のキウイ果汁のタンパク質濃度 (A) とセラミックス処理後のキウイ果汁のタンパク質濃度 (B) から、次式 $(A-B) / A \times 100, (\%)$ に基づいて求めた。可溶性固形分は屈折率計 (RX-100, アタゴ) により、pH は pH メーター (F-12, 堀場製作所) により測定した。酸度は、pH 8.3 までに要した水酸化ナトリウム溶液の滴定量からクエン酸換算値として算出した。クエン酸、リンゴ酸、キナ酸は、SCR-101H カラム (島津製作所) を用いた HPLC (検出: 210 nm における吸光度) により定量した。グルコース、フルクトース、シュクロースは、KS-801 カラム (昭和電工) を用いた HPLC (検出: 示差屈折率) により定量した。

2. 結果と考察

1) キウイ果汁中のタンパク質

キウイ果汁の可溶性固形分, pH, タンパク質濃度は、それぞれ Brix 15.4°, pH 3.16, 3.1 mg/ml であった。

キウイ果汁中のタンパク質を SDS-PAGE によって分離したところ、4 本の主要なタンパク質バンドが認められた (図 1)。グリーンキウイ (*A. deliciosa*) では、actinidin (30 kDa, Act d1), thaumatin-like protein (24 kDa, Act d2), kiwelin (26 kDa, Act d5), pathogenesis-related protein PR-10 (17 kDa, Act d8), nsLTP1 (10 kD, Act d10) など 13 種類のアレルゲンタンパク質が同定され、国際分類²⁵⁾で命名されている。MALDI-TOF MS/MS 解析の結果、これら

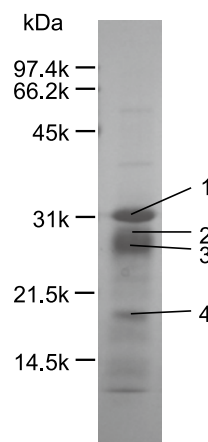


図 1 キウイ果汁の SDS-PAGE

Protein bands (No. 1-4) were identified by following MALDI-TOF MS/MS analysis as shown in Table 2.

のバンドから 3 つのアレルゲンタンパク質が検出、同定された (表 2)。31 kDa と 28 kDa のバンド (図 1 中のバンド 1, 2) からは、actinidin の部分アミノ酸配列が検出された。kiwelin は 28, 25, および 18 kDa のバンド (図 1 中のバンド 2, 3, 4) から、thaumatin-like protein は 25 kDa のバンド (図 1 中のバンド 3) から検出された。このように複数のアレルゲンタンパク質が異なるタンパク質バンドで検出されたことは、キウイフルーツ中のプロテアーゼによるタンパク質分解が生じていることを示唆している²⁶⁾。

これらのアレルゲンの内、actinidin はパパインやプロメライン、ショウガプロテアーゼなどと相同性の高いシステインプロテアーゼであり、パパインスーパーファミリーに分類されている。actinidin は、*A. deliciosa* の主要なアレル

表 2 MALDI-TOF MS/MS 解析によるタンパク質の同定

No	Protein name	Accession no. (Swiss-Prot /TrEMBL)	Allergen name	Number of MS/MS-sequenced peptides	Mascot ions score
1	Actinidin	A5H1I1	Act c1	3	210
2	Kiwelin	P84527	Act d5	3	190
	Actinidin	A5H1I1	Act c1	2	123
	Cysteine protease CP2	A5HIJ2		1	55
3	Thaumatin-like protein	Q5ND92	Act c2	3	165
	Kiwelin	P84527	Act d5	1	79
4	Kiwelin	P84527	Act d5	1	42

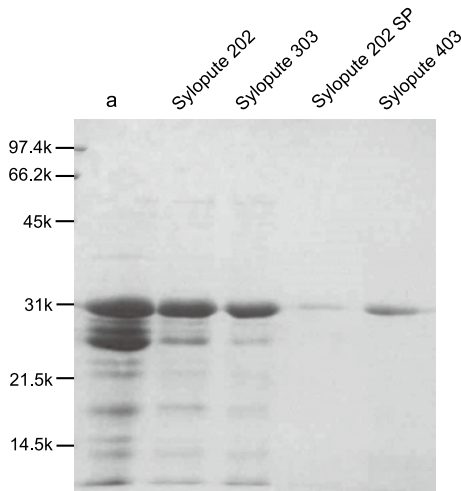


図2 シリカゲルと接触させたキウイ果汁のSDS-PAGE
Kiwifruit juice was incubated with silica gels (10%, w/v) at 4°C for 16 h and centrifuged. The supernatant was then analyzed by SDS-PAGE. The samples in each lane are kiwifruit juice without incubation (a) and the supernatants after incubating with Sylopute 202, 303, 202SP, and 403, respectively.

ゲンとして報告されている^{6, 27)}。ゴールドキウイ (*A. chinensis* cv. Hort16A) では見つからないが、他の幾つかの品種ではその存在が認められている²⁸⁾。店頭で最も多く見かけるヘイワード種グリーンキウイにおいて、actinidin は可食部中のタンパク質の 50% 以上を占める、最も豊富に含まれるタンパク質である。そこで actinidin 量を指標としてキウイ果汁中のアレル

ゲンタンパク質の低減化を試みた。

3. 様々なシリカゲルによるタンパク質除去

当初、カオリナイト系のセラミックスやリン酸カルシウムを用いてキウイ果汁中のタンパク質の除去を試みたが、タンパク質の吸着が遅い、タンパク質除去率が良くないなど、期待した結果が得られなかった。そこで、富士シリシア化学(株)から提供された4種類のシリカゲル(表1)を用いて、タンパク質除去を試みた。

シリカゲルを4°Cで16時間接触させ、遠心分離後の上清をSDS-PAGEに供した結果を図2に示す。いずれのシリカゲルを使用してもタンパク質バンドは減少したが、特に Sylopute 202SP、および Sylopute 403 はタンパク質の除去に有効であった。31 kDa の actinidin のバンドはかなり減少し、他のバンドは消失した。タンパク質除去率は、Sylopute 202SP および Sylopute 403 でそれぞれ 96.9 および 87.5% であった。最もバンドが薄くなりタンパク質除去率の高い Sylopute 202SP を用いて接触条件の最適化を図った。

4. シリカゲル量と接触時間

図3に4°Cで16時間、Sylopute 202SPを接触させたキウイ果汁のSDS-PAGEとタンパク質残存率を示す。試料中のタンパク質は、Sylopute

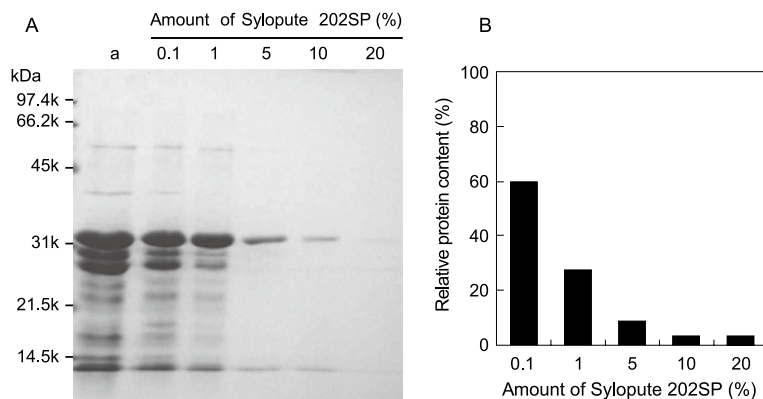


図3 キウイ果汁タンパク質の除去に及ぼすシリカゲル量依存性

Kiwifruit juice was incubated with Sylopute 202SP (0.1-20%, w/v) at 4°C for 16 h and centrifuged. The supernatant was then analyzed by SDS-PAGE (A) and protein assay with TCA-Lowry method (B). Protein content was expressed as a percentage of the protein content in kiwifruit juice without incubation (a).

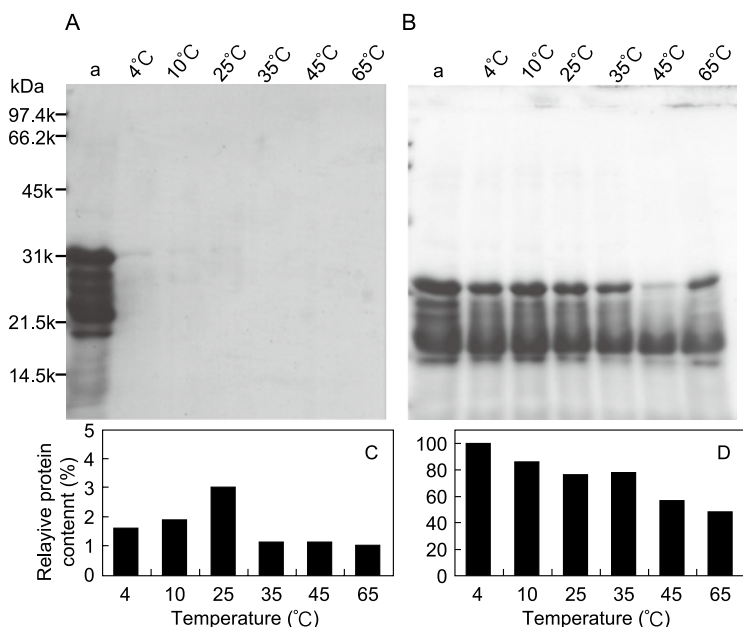


図4 キウイ果汁タンパク質の除去に及ぼす温度の影響

Kiwifruit juice was incubated with (A, C) or without (B, D) Sylopute 202SP (10%, w/v) at 4-65°C for 1 h and centrifuged. The supernatant was then analyzed by SDS-PAGE (A, B) and protein assay (C, D). Protein content in the supernatant was expressed as a percentage of the protein content in kiwifruit juice without incubation (a).

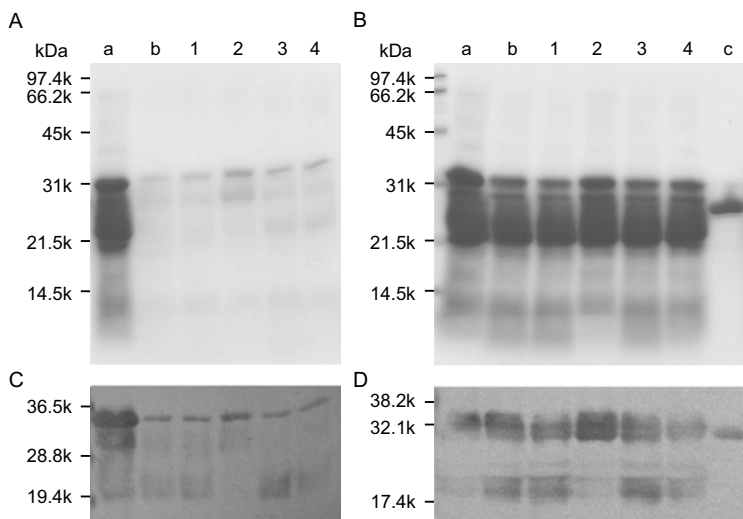


図5 キウイ果汁タンパク質の電気泳動パターンに及ぼすプロテアーゼ阻害剤の影響

Kiwifruit juice was incubated with (A and C) or without (B and D) Sylopute 202SP (10%, w/v) at 45°C for 1 h in the presence of protease inhibitors: 1 mM EDTA (1), 5 µg/ml E-64 (2), 5 µg/ml pepstatin A (3) or 1 mM PMSF (4). The supernatant was then analyzed by SDS-PAGE (A and B) and IB using anti-actinidin pAb (C and D). Kiwifruit juice without incubation (a), incubated without any protease inhibitors (b) and purified actinidin (c) were also subjected for comparison.

202SPの添加量に応じて減少した。5%添加ではタンパク質除去率は90%を超え、10%以上の添加で除去率は96%を超えたものの、31 kDaのバンドがわずかに残存し、完全に除去することはできなかった。また、Sylopute 202SPの添加量を10%とし、4°Cにおける接触時間について検討したところ、タンパク質の除去は速く、1時間以内に平衡に達した。

5. 接触温度の影響

キウイ果汁に対し Sylopute 202SP を 10% 添加して、4 ~ 65°C の範囲で 1 時間接触させた結果、SDS-PAGE 上では 25°C 以下で 31 kDa のバンドがわずかに残存したが、35°C 以上ではほぼ認められなかった (図 4A)。また、35°C 以上ではタンパク質除去率は 97% を超えた (図 4C)。一方、シリカゲルを添加せずに同様の実験を行ったところ、温度が高くなるにつれてタンパク質濃度が低下するとともに、45°C において 31 kDa のタンパク質バンドが明らかに薄くなった (図 4B, D)。この温度依存性について、キウイ中の内在プロテアーゼの影響が考えられた。そこで、各種プロテアーゼ阻害剤を添加してキウイ果汁を 45°C で 1 時間加温したところ、このバンド強度の減少はシステインプロテアーゼ特異的阻害剤である E-64 にのみ抑制さ

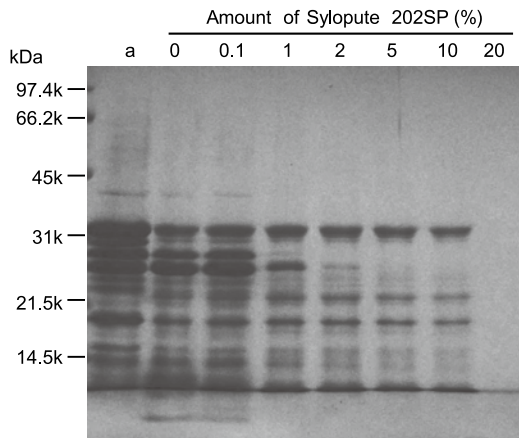


図6 キウイ果汁タンパク質の除去に及ぼすシリカゲル量依存性 (接触条件の違い)

Kiwifruit juice was incubated with Sylopute 202SP (0.1-20%, w/v) at 4°C for 1 h after preincubating at 45°C for 1 h. The supernatant was then analyzed by SDS-PAGE.

れ、他のプロテアーゼ阻害剤 (PMSF, EDTA, pepstatin) では抑制されなかった (図 5A, B)。anti-actinidin pAb を用いた IB の結果からも、E-64 を添加した試料以外では、actinidin の一部が低分子化していることがわかった (図 5C, D)。これらのことから、45°Cにおいて actinidin のような内在のシステインプロテアーゼが活性化し、自己消化も含めてキウイ果汁中のタンパク質を分解することが示唆された。この酵素的

分解とシリカゲルによるタンパク質吸着により、35°C以上でタンパク質除去率が向上したと考えられた。

しかし、シリカゲルとの接触前に温度を上げると、その後にシリカゲルと接触させてもタンパク質があまり除去されないことも新たにわかった。45°Cで1時間加温後に4°Cで1時間シリカゲルと接触させたキウイ果汁の SDS-PAGE パターンを図 6 に示すが、これまでの結果と比べてシリカゲルによるタンパク質除去能が大きく低下していることがわかる。このことは、内在プロテアーゼにより部分分解されたタンパク質はシリカゲルへ吸着しにくいことを示唆している。したがって、キウイ果汁中のタンパク質を効果的に除去するためには、内在プロテアーゼによるタンパク質分解とシリカゲルへのタンパク質の吸着が並行して起こる必要があると考えられた。

以上の検討から、Sylopute 202SP とキウイ果汁との最適接触条件を 45°Cで1時間とした。本条件でキウイ果汁を処理したところ、Sylopute 202SP が 10% 以上であれば SDS-PAGE 上でタンパク質は認められなくなり、anti-actinidin pAb を用いた IB においても actinidin は検出されなかった (図 7A, B)。また、ELISA

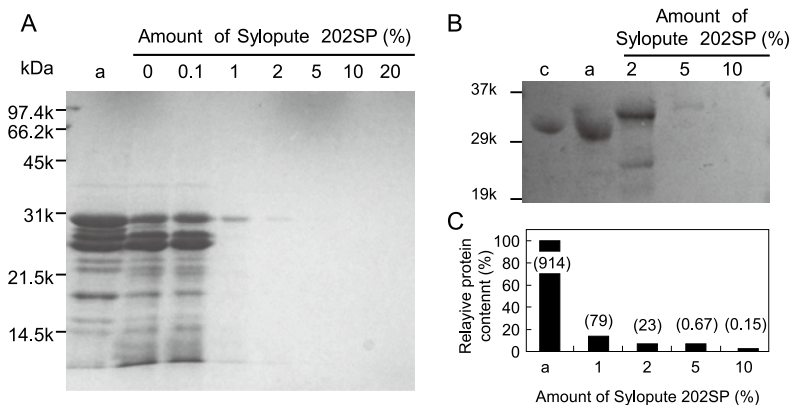


図7 シリカゲルと 45°Cで1時間接触後のキウイ果汁中のタンパク質および actinidin の検出

Kiwifruit juice was incubated with Sylopute 202SP (0.1-20%, w/v) at 45°C for 1 h and centrifuged. The supernatant was then analyzed by SDS-PAGE (A), IB with anti-actinidin pAb (B), and protein assay (C). Kiwifruit juice without incubation (a) and purified actinidin (c) were also subjected for comparison. Protein content was expressed as a percentage of the protein content in kiwifruit juice without incubation. The values in parenthesis in figure 7C represent actinidin concentration (μg/ml) determined by direct ELISA.

法（直接吸着法）により actinidin 量を測定したところ、未処理果汁中の actinidin 量が 914 µg/ml であったのに対し、10% の Sylopute 202SP と接触させると 0.15 µg/ml（未処理の 1/6000）にまで大幅に減少し、タンパク質残存率も 2.3% にまで低下した（図 7C）。

6. シリカゲル処理果汁の品質

未処理果汁や 45℃ で 1 時間加温した果汁は遠心分離後も混濁していたが、Sylopute 202SP と共に 45℃ で 1 時間接触後に遠心分離した果汁は清澄であった（図 8）。これら 3 試験区の果汁の成分分析結果を表 3 に示すが、pH, Brix, 酸度、糖組成や有機酸組成はほぼ同等であった。Sylopute 202SP を接触させた果汁においてのみ、タンパク質濃度が 1/100 以下に低下した。官能評価の結果、未処理果汁と比べてやや酸味や香味が低下するとの意見があったものの、シリカゲル処理に起因する異味や異臭は認められなかった。

おわりに

内在プロテアーゼによるタンパク質分解とシリカゲルによるタンパク質吸着を組み合わせ、キウイ果汁のアレルゲン性を低減化できる可能性を示した。昨今のグルメ嗜好や高級品志向により、品質劣化の少ない、フレッシュな風味を有した製品が求められている。シリカゲルなどのセラミックスを用いたタンパク質除去法は簡便であり、既存の果汁製造工程に容易に追加できるので、低アレルゲン化に伴う品質変化や製造コストの増加を抑えながら、フレッシュ感のある高品質な果汁飲料の製造が期待できる。さらに、セラミックスの種類や特性を適切に選択することにより、他の様々な液状食品への適用

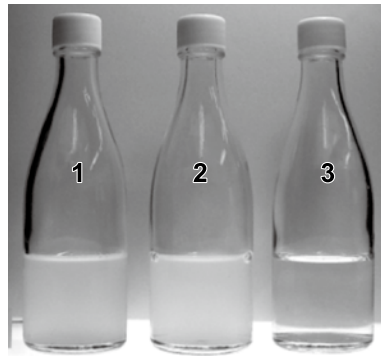


図 8 シリカゲル処理したキウイ果汁

Sample 1, kiwifruit juice without incubation; sample 2, the supernatant of kiwifruit juice incubated without silica gel at 45℃ for 1 h; sample 3, the supernatant of kiwifruit juice incubated with Sylopute 202SP (10%, w/v) at 45℃.

表 3 キウイ果汁の成分分析

Sample No.		1	2	3
pH (-)		3.33	3.29	3.28
Brix (% , w/w)		15.1	15	14.5
Acidity (% , w/w)		1.57	1.61	1.56
Protein conc.(mg/ml)		2.87	2.63	0.016
Sugars (% , w/v)	Sucrose	1.32	1.15	1.45
	Glucose	4.64	4.73	4.65
	Fructose	5.38	5.47	5.39
Organic acids (% , w/v)	Citric acid	1.64	1.63	1.58
	Malic acid	0.65	0.66	0.63
	Quinic acid	1.2	1.22	1.2

1 : without incubation.

2 : incubated without any silica gels at 45℃ for 1 h.

3 : incubated with Syropute 202SP (10%, w/v) at 45℃.

が可能である。そのためには、低アレルゲン化処理後の製品品質の維持、コスト、低アレルゲン性の検証、および低アレルゲン性を担保する検出技術の開発など、解決すべき課題は多く残されているが、ここで紹介した方法によって低アレルゲン食品が開発され、安全で美味しい食品の提供につながることを期待したい。

参考文献

1. Singletary K: Kiwifruit: Overview of potential health benefits. *Nutrition Today*, **47**: 133-147, 2012.
2. Lucas JSA, Grimshaw KEC, Collins K, *et al.*: Kiwi fruit is a significant allergen and is associated with differing patterns of reactivity in children and adults. *Clin Exp Allergy*, **34**: 1115-1121, 2004.
3. Blanco C, Carrillo T, Castillo R, *et al.*: Latex allergy: clinical features and cross-reactivity with fruits. *Ann Allergy*,

- New Food Industry 2016 Vol.58 No.3 71

第 8 回

春を告げるお水取り

三月はやわらかな陽ざしの訪れと共に、女の子にとって楽しい行事「桃の節句」があります。

はしきやし ^{わぎへ} 吾家の毛桃 ^{けちも} 本しげみ ^{もと} 花のみ咲きて 成らざめやも (万葉集 1358)

春の苑 ^{その} 紅にほふ ^{くれなゐ} 桃の花 ^{したでる} 下照る道に ^{をともめ} 出で立つ娘子 (万葉集 4139)

どちらも桃の花を歌った万葉集です。幼い頃、雛祭りが待ち遠しく、特にあの小さくて可愛いお道具類でまごことをしてよく遊んだものでした。時の流れを経て家庭を持ち、いつしか自分の娘も成長し家庭を築き、ずいぶんと雛祭りから遠ざかっていました。そうして今春は娘の子の初節句となりました。

灯りをつけましょぼんぼりに お花をあげましょ 桃の花 五人囃子の笛太鼓 今日は楽しい雛祭り 私にとっても娘にとっても心嬉しい雛祭りの復活となりました。

奈良の都には春を告げる大きな行事があります。東大寺二月堂のお水取りです。毎年旧暦の二月一日から行われていたため「修二会」と呼ばれ、二月堂の名もこれに由来しています。人々に代わり罪を懺悔し天下泰平や五穀豊穡を祈るこの大規模な法要行事は西暦 752 年以来現在まで一度も途絶えたことがありません。三月一日に本行が開始され 14 日間休むことなく続けられます。11 人の僧侶による練行衆は毎夜高さ 6 メートルの巨大な松明（たいまつ）に火をともし二月堂へはいり深夜まで祈りを捧げます。その時に唱えられる「声明」（しょうみょう）は独特で幽玄な響きです。練行衆が御堂入りしたあと、燃え盛る松明は舞台の欄干に掲げられます。これが有名な「おたいまつ」と呼ばれ、降り落ちる火の粉が無病息災をもたらすといわれていることから沢山の参拝者が訪れます。本行のクライマックスは 12 日深夜、正式には 13 日午前 2 時頃、籠松明（かごたいまつ）が焚かれ、練行衆は祈りの合間に二月堂下にある若狭井（わかさい）に水を汲みにいく、これがいわゆるお水取りの儀式です。汲み上げた水は「お香水」（おこうすい）とよばれ本尊である十一面観世音菩薩に供えられ万物の平安と豊穡を祈る儀式を終えます。この儀式が終わったら奈良に春が訪れるといわれるほど古くから人々に親しまれている行事です。

このお水取りの本行期間中、練行衆の食事は茶粥であったと「古事類苑」に記されています。「あげ茶」「ごぼ」など特別な呼び名がついていますが「あげ茶」は茶粥を煮て汁を取り去ったもの、「ごぼ」は茶粥の汁の多いものです。大和では 1200 年以上前から茶粥が食べられていました。もとは聖武天皇の御代、南都大仏建立の時、“民家は粥を食し米を食い延ばしてご造宮の手伝いをし、以降奈良では茶粥を常食とした”とあります。米を少しでも節約するために始まった茶粥とのことですが、現代ではとても美味しい風情のある郷土料理になりました。香ばしく焙じた茶葉を煮だしたお湯に米をいれ、さらりと炊きあげた茶粥はミネラルと水分をとれる消化吸収のよい朝食として大和には欠かせない食文化のひとつです。

東大寺参道から奈良公園へ歩を進めると、興福寺の境内に入ります。その傍らに素朴な外観の一軒の茶屋があります。200 年前の木材を利用して作られたとか、うっかりすると見過ごしそうな古民家のようなひっそりとした趣深い佇まいです。小さなあられを添えた茶粥とともに地元野菜の炊き合わせ、魚西京焼き、奈良漬や吉野葛もちなどが美しく盆に盛られ、こころ和む奈良の味を楽しむことができます。鹿と戯れながら奈良公園を散策した折に立ち寄る私の憩いのスポットです。お水取りが終わると、奈良公園から吉野の山へ大和路を桜色に染める季節がやってきます。

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。

この上なく愛犬ももたらうを溺愛し、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/>

食と健康 一頭で食べて、さらに健康に一

林 清 (HAYASHI Kiyoshi)

東洋大学 食環境科学部

Key Words：高齢社会 生活習慣 フードファディズム 健康長寿

我国の農林水産業の生産額は10兆円であるが、食品産業はこれらに付加価値をつけて78兆円に高めている産業である。食品産業分野の技術にはブレイクスルーがなく、あるとしても遺伝子組換え農作物など、ごく限られる。大半の食品技術はニーズ対応型、利便性追求型であるが、特定保健用食品のコーラが突然ヒットしたり、「丸ちゃん正麺」をはじめとする生麺に近い食感のインスタントラーメンのブームが到来する等、消費者の多彩なニーズの一步先を読む必要がある。とりわけ、国民の健康意識は高く、健康にかかわる食への要望は高いことから、「食と健康」を見据えた商品開発を行うことが求められている。そのためには、今一度、「食と健康」の根幹を理解する必要がある。

1. 社会が発展すれば高齢社会へ

原始社会では事故等により若くして命を失うが、社会が発展するにしたがい寿命をまっとうする割合が増加する。寿命の限界は110歳前後と推察されているが、全員が110歳まで健康

で、ポックリと大往生するのが理想的である(図1)。我が国は超高齢社会であるが、中国や韓国も20年程度遅れて類似の人口構成となる。人口推計は各種統計のうちでも最も正確であり、どの国も高齢社会となるのは確実であり、高齢化は社会発展の必然の結果でもある。

わが国では、これまでは病気になった人を治療することで平均寿命を延ばしてきた。その結果、75～79歳の男性のお年寄り一人あたりの医療費は86.2万円(入院37.4万円、外来27.4万円、薬局14.8万円他、平成25年度国民医療費より)と高額であり、老齢基礎年金の77.3

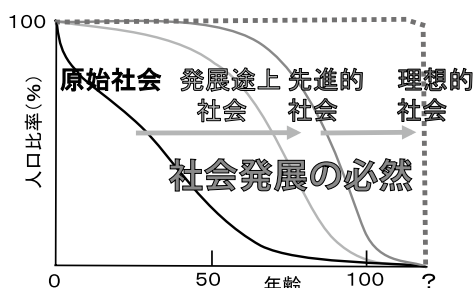


図1 社会発展と年齢構成の変化

連絡先：東洋大学 食環境科学部 学部長、健康栄養学科 教授
〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1
電話 0276-82-9220 メール hayashi@toyo.jp

☆これまで
治療技術の発展 → 平均寿命の延伸

☆これから
予防技術の発展 → 健康寿命の延伸

そのために

- ・「生活習慣と健康の科学」が重要
- ・食と健康、運動と健康、休養と健康

「食と健康の科学」
に関する研究の活性化

社会の発展が!
もたらす!
必然的課題

図2 社会発展 - 食と健康

万円（平成27年、満額の定額）を超えている。これでは、社会的負担が重すぎることから、病気になる前の予防、すなわち健康寿命の延伸に重点がおかれ、生活習慣と健康、食と健康の科学が注目されている（図2）。

食品研究はニーズオリエンテッドであることから、世界に先駆け超高齢社会となった我が国が、超高齢社会における食品ニーズを先取りし、いち早く超高齢社会に適合し、健康科学に立脚した関連食品を開発すれば、世界を席巻するチャンスでもある。

2. 私たちのカラダを知る

「食」のカラダへの影響を考える際、重要なポイントが2点ある。第1点目は、私たちの体は縄文時代より進化していないことである。犬などの動物では、交配を管理し品種を改良しているが、人間は古代より倫理感の強い社会を形成しており、誕生した一人一人の命を大切にしてきた。2000年ほど前の縄文時代から100世代ほどが経過しているが、このような淘汰の無い環境下では私たちのカラダは全く変化しないのである。戦後は、身長が伸びたり、寿命が延びているが、これらは遺伝子レベルでの変化ではなく、環境要因の結果である。

パソコン、携帯電話が急速に普及し、社会構造が大きく変化したことから、私たちのカラダも進化したかのような錯覚を覚えるが、大きな間違いである。

第2点目は、私たちのカラダは動的であり、しかも未知な部分にあふれている点である。機械などの静的な装置では、各パーツの動作能力や限界値等、あらかじめ詳細な特性がわかっている。調子が悪くなれば、パーツを交換する等の対応策も明白である。しかし、私たちの体は未知因子で満ちあふれている。ヒトの遺伝子が解読されて12年が経過したが、カラダの仕組みがわかったというよりも、一層複雑なことがわかった段階であり、不明な点が非常に多く存在する。

私たちのカラダは動的にできているため、もししないで寝ているだけでエネルギーの6～7割を基礎代謝として消費しており、非常に効率が悪い。しかし、見方を変えたとこの動的なシステムによりカラダが維持されるメリットも大きい。静的な機械でははたっおいても不調部位は直らないが、カラダは動的であり修復機能があり、環境の変化にも順応できる。

動的な一例として、食におけるたんぱく質摂取を示した（図3）。破線枠の中が体内であり、1日60gのたんぱく質を摂取する必要がある。60gのたんぱく質を消化、吸収するため、消化

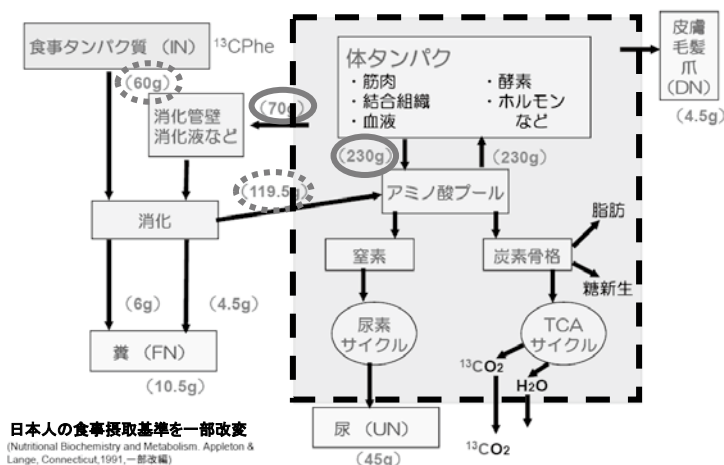


図3 ヒトの体は動的 - タンパク質の消化吸収

酵素や消化管壁の維持のため体内のたんぱく質の70gを使用している。摂取量よりも多いたんぱく質を使用し、吸収するという非常にダイナミックなシステムである。さらに驚くべきことに、筋肉などのたんぱく質は体内で代謝・合成が繰り返されており、毎日230gのたんぱく質が分解されては合成されている。私たちは60gのたんぱく質を食物として摂取するが、その4倍のたんぱく質が体内で分解され再利用されており、非常に動的にできている。食物はエネルギー源としてだけでなく、この動的な状態を維持するためにも必要である。たんぱく質は、カラダの動的システム維持のため、年齢にかかわらず60gを摂取することが推奨されている。

3. 食をささえる安全・安心

私たちのカラダを支えている「食」に対しては、「安全・安心」に高い関心が寄せられている。行政や研究サイドでは食品の「安全」という表現を使い、「安心」は使っていない。しかし、消費者が求めるのは食の「安心」であり、両者は同じではない。「安全」とは科学的評価で決まる客観的なものであるが、「安心」は消費者の心理的な判断で決まる主観的なものである。同じ食品でも一人一人の考え方によって判断が異なる。農薬、食品添加物などはその典型例であり、「安全」は十分に科学的に担保されているが、「安心」できないという消費者が少なからずいる。無農薬でないかと嫌だと判断する人もいるが、基準に従って農薬を使用し

ていれば無農薬でなくても良いと判断する人もいる。この安全と安心の乖離が大きな問題であり、「安全」に「信頼」が付加されて「安心」につながる(図4)。「安全」と「安心」の距離を縮めるために、行政や食品事業者の誠実な姿勢や真剣な取り組み、分析値の信頼性の保証、消費者への十分な情報提供が必須であり、検査機関がはたす役割も大きい。

また、個人レベルで食品のリスクを正しく認識することは容易ではない。「フードファディズム」として指摘されているように、「過大に悪いとされる食品」と「過大に良いとされる食品」が存在する(表1)。過大に悪いとされる食品の例としては、白っぽい食品で、白米や砂糖が良くないとされたり、アミノ酸として吸収されるため違いはないが動物性たんぱく質が悪く植物性たんぱく質が良いとされている。過大に良いとされる食品の例として、全粒穀物や雑穀がある。ふすま部分を一緒に摂取しているが、ふすまを多量に摂取した場合のリスクはほとんど研究されていない。天然酵母は人気があるが、パンの酵母は焼成により死滅しており、それが栄養素になっているわけではない。ダイエット食品、コラーゲン、サプリメント、健康食品な

表1 フードファディズム(流行を過大に信じ込む)

過大に悪いとされる食品

精製度の高い穀物を使用した食品(特に白い食品)、白米、砂糖、異性化糖(HFCS)、炭酸飲料、食品添加物(アスパルテームなど)、うま味調味料、マーガリン・ファットスプレッド・ショートニング、動物性タンパク質、動物性脂肪、ファーストフード(ハンバーガーなど)、牛乳、超高温殺菌牛乳、インスタントラーメン、遺伝子組み換え作物

過大に良いとされる食品

雑穀/全粒穀物、有機食品/無農薬食品、オリーブオイル、納豆、天然酵母、有精卵、天然塩、ダイエット食品、コラーゲン、サプリメント(ビタミン剤、カルシウム剤、プロテイン、クロレラ、核酸、キチン・キトサン)、健康食品(イチョウエキス、プロポリス、アロエ、酵素他)

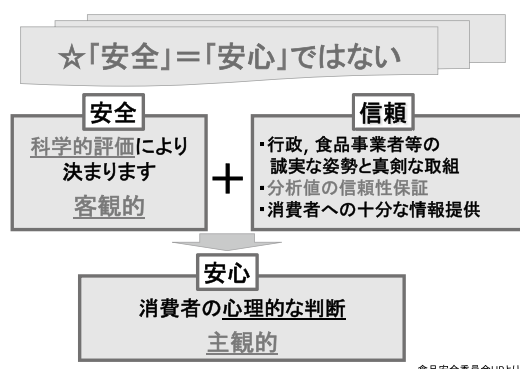


図4 食品の「安全」と「安心」

ウィキペディアより

ども過大に良いとされる食品である。食品に対して、過大な評価をしないよう、適切な評価ができるようにすることは、多様な情報が氾濫している今日では、容易ではない。

4. 健康のため、なにをどう食べるか

厚生労働省が、健康な人を対象に、健康の維持・増進、エネルギー・栄養素欠乏症の予防、生活習慣病の予防、過剰摂取による健康障害の予防を目的として「日本人の食事摂取基準」を制定している。保健所や民間健康増進施設等が実施する「栄養指導」、「給食提供」のための基礎となる科学的データであり5年ごとに改正されるが、今年からは、新しい2015年版が適用されている。

「食事摂取基準」は、重要度の高い順に記述されており、エネルギー、たんぱく質、脂質、炭水化物、ビタミン、ミネラルと続く。食事摂取で最も重要な因子はエネルギーであり、BMIを指標にコントロールする。目標とするBMIは18～49歳で18.5～24.9、70歳以上では21.5～24.9である。毎食のエネルギー計算は大変なことから、BMIを指標に、体重が適正値の範囲内であることを定期的にチェックすれ

ばよい。

エネルギーの次に重要なものがたんぱく質であり、12歳以上から70歳以上までの全ての区分で、1日60gである(15～17歳のみ65g)。高齢者がたんぱく質不足に陥っている例が多く見受けられるが、高齢だから肉を食べなくても良いのではなく、高齢であっても若い人と同じだけ肉(たんぱく質)を摂取する必要がある。前述のように人の体は非常にダイナミックにできており、体の動的平衡を維持するためにはたんぱく質が必要であり、若い人と同じ量を摂取する必要がある。

脂肪は重要な栄養素であり、脂肪を摂取しないのはカラダに良くない。全体エネルギーの20%以上は脂肪として摂取する必要があるが、その上限値は30%であるので、適正範囲は極めて狭い。脂肪はエネルギー密度が炭水化物、たんぱく質の2.5倍であることから、過剰摂取は肥満につながりやすい。

炭水化物については、差し引きで考える。必要エネルギーの総計は決まっているから、まずはたんぱく質を1日60gとる、脂ものも嫌わずに総エネルギーの20%ほどとる。あとはエネルギー量を適切にコントロールするために炭水

表2 ナトリウムの摂取基準 (mg/日), () が食塩量 g/日

性 別	男 性			女 性		
年齢等	推定平均 必要量	目安量	目標量	推定平均 必要量	目安量	目標量
0～5(月)	—	100 (0.3)	—	—	100 (0.3)	—
6～11(月)	—	600 (1.5)	—	—	600 (1.5)	—
1～2(歳)	—	—	(3.0未満)	—	—	(3.5未満)
3～5(歳)	—	—	(4.0未満)	—	—	(4.5未満)
6～7(歳)	—	—	(5.0未満)	—	—	(5.5未満)
8～9(歳)	—	—	(5.5未満)	—	—	(6.0未満)
10～11(歳)	—	—	(6.5未満)	—	—	(7.0未満)
12～14(歳)	—	—	(8.0未満)	—	—	(7.0未満)
15～17(歳)	—	—	(8.0未満)	—	—	(7.0未満)
18～29(歳)	600 (1.5)	—	(8.0未満)	600 (1.5)	—	(7.0未満)
30～39(歳)	600 (1.5)	—	(8.0未満)	600 (1.5)	—	(7.0未満)
40～49(歳)	600 (1.5)	—	(8.0未満)	600 (1.5)	—	(7.0未満)
50～59(歳)	600 (1.5)	—	(8.0未満)	600 (1.5)	—	(7.0未満)
60～69(歳)	600 (1.5)	—	(8.0未満)	600 (1.5)	—	(7.0未満)
70以上(歳)	600 (1.5)	—	(8.0未満)	600 (1.5)	—	(7.0未満)
妊 婦				—	—	—
授乳婦				—	—	—

化物の摂取量を調整し、BMI が適正値になるよう体重をチェックする。炭水化物量としては全体エネルギーの 50 ～ 65% 程度となる。食物繊維は生活習慣病の発症に関連すると言われており、1 日 12g 未満では心筋梗塞死亡率が増加し、24g 以上で低下するとの報告があり、18 歳以上では 1 日 20g を目標量としている。

ナトリウム（食塩相当量）については、高血圧予防の観点から、男女とも値を下げた。18 歳以上の男性は 2010 年版では 9.0g/ 日未満であったが、2015 年版では 8.0g/ 日未満に、18 歳以上の女性は 2010 年版では 7.5g/ 日未満から 2015 年版 7.0g/ 日未満に減少した。しかし、平成 23 年の食事由来のナトリウムは、男性 10.5 ～ 11.8 g、女性 8.8 ～ 10.0 g（中央値）であり、目標量よりも 3 割ほど多い。一方、2013 年の WHO ガイドラインが成人に対して強く推奨しているのは、食塩として 5 g/ 日未満であるが、この値は、我が国の成人のナトリウム摂取量の分布における下方 5 パーセンタイル値（男性が 4.9 ～ 6.2、女性が 3.9 ～ 4.9 g/ 日）付近であり、WHO ガイドラインを満たしている者は極めてまれである。さらに、食塩の推定平均必要量は 1.5g であり（表 2）、今後、一層の減塩が求められることになる。

人の体はキャパシティが大きく、摂取不足からの回復には数カ月、過剰摂取による健康障害からの回復でも数カ月を要する。さらに、生活習慣病の 1 次予防には数年～数十年を要し、長期間食べ続けないと効果が現れない。健康を左右するのは数カ月間の摂取量の平均値であり、毎回、毎皿、毎食、毎日を気にすることなく、月単位で把握する必要がある。さらに重要なことは、「注意して食べる」のではなく、「空気のように体になじんだ食習慣にすること」である。「頑張って減塩しています」は、良くない。「頑張って」が、年の単位で持続できないからである。塩辛いものは時々で十分、それ以上は受け付けないカラダにする必要がある。

5. おいしく食べてより健康に

食品にまず求められるのは栄養、健康の維持である第 1 次機能であり、それが満たされると、食に楽しみが期待されるようになった（第 2 次機能）。昨今では、ホルモン、神経、内分泌等生理機能の調節を食に求めるようになった（第 3 次機能）。しかし、これらの機能の大前提には、おいしさがある。

おいしさの構成要素は、テクスチャー、風味、外観の比率が高い。カリカリしておいしいとか、ムチッとしておいしいというのはテクスチャーであり、磯の香りがしておいしいのは風味、色が鮮やでおいしいというのは外観である。人の脳における信号量のうち、味覚はわずか 1% 程度である。目を閉じ、83% を占めていた視覚情報を遮断すると、嗅覚や味覚などの感覚が敏感となる。目を閉じて、食べる前の香り、口に入れ、ゆっくりと噛み飲み込むまでの過程をじっくり味わうと、今まで気づかなかったおいしさが出現する。さらに、どのような点がおいしかったかの一言を添えれば、より一層おいしくなり、大いに食を楽しむことができる（図 5）。

食事は「健康」に大きな影響を及ぼしている。栄養バランスが多少偏っていても、私達のカラダはすぐに具合が悪くはならないが、日々の積み重ねが重要である。これさえ食べれば健康になるという食べ物はこの世には存在しないことから、豊かでバランスのとれた食生活を楽しむ積み重ねることが、健康長寿につながる。

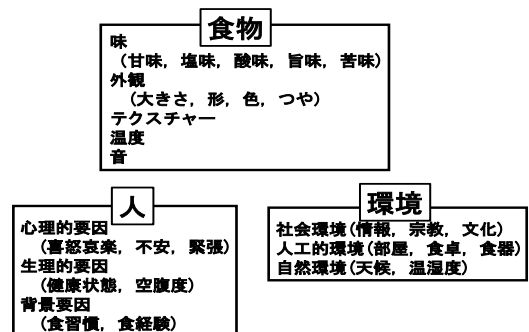


図 5 「おいしさ」を構成する要因

歴史の潮流と科学的評価

(第4節 健康的なベジタリアン食への提言) 続

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

*1 ロマリンダ大学栄養学部, *2 食のフロンティア塾

Key Words：マクガバンレポート, フードガイドピラミッド, ビタミン B₁₂, α-リノレン酸

16章 ベジタリアン・フードガイドの進展

4. Loma Linda 大学ベジタリアン・フードガイド進展過程

1995年, ベジタリアン栄養学の専門知識を持つ科学者, アカデミー会員や医療従事者の国際的グループが, 図で示される新たなベジタリアン・フードガイドを発展させるプロセスを補助する為に認定されました。異なるベジタリアンの伝統と様式を代表する個人を選択することが重要視されました。1997年に開催される第3回国際ベジタリアン栄養学会議を計画するプログラムの一つとして, これらのグループを組織化することが織り込まれました³⁵⁾。1987年と1992年の会議では, ベジタリアンの栄養指針を活用するための方法に対して, 数多くの要望がありました。保健指導士の殆どは, セブンスデー・アドベンチストの栄養会議総会 (GCNC) で刊行された, 肉なしのベジタリアン向けの USDA フードガイドを利用していました²⁵⁾。このピラミッドは, 多くのラクト・オボ・ベジ

タリアンに継続して活用されてきましたが, 食事から動物性食品を除外する程度に関してその頻度を示さず, また, ベジタリアン哲学を持ち続けるには十分な内容ではありません。

以下の考察は, ベジタリアンフードガイドを開発する仲間を組織化するのに貢献します。

1. 適切なガイドラインが適用された場合には, ベジタリアン食は, 適切な成長と発達を促進し, ライフサイクルを通じて健常人の栄養要求を満たします。
2. ベジタリアン集団の食事パターンについての科学に基いた研究が実施され, 報告されており, データは科学的文献として入手可能です。
3. 西欧諸国の, ベジタリアンに関する過去40年間にわたる疫学データは, 殆どの慢性疾患のリスクの低下と, 寿命の延長, 体重減少, 血圧低下及び健康状態の改善を示しています。
4. 植物性食品の豊富な摂取は, いくつかの慢性疾患のリスクを低下させますが, 肉と動物性脂肪の過剰な摂取はリスクを増加させることを, 臨床試験と疫学研究の結果は示

実施方法：

質問に yes か no で答え、自由回答質問にも答えてください。スペースが足りない場合は、追加してください。

- 1 以下の項目は、ベジタリアンフードガイドのいくつかの実施例です。最も重要で、どれを優先すべきと考えますか。
 - A. ベジタリアンになりたいと思っている人の為のフードガイドを開発する。
 - B. 「理想的な」ベジタリアンフードガイドを開発する。
 - C. ベジタリアンを実践できる幅のある、柔軟で実用的なガイドを開発する。
 - D. 慢性疾患の予防に役に立つベジタリアンフードガイドを開発する。
 - E. RDA's の基準に合うベジタリアンフードガイドを開発する。
- 2 このベジタリアンフードガイドは、まず最初に先進国（西欧諸国）に適用すべきですか、それとも発展途上国ですか。
- 3 食品を分類する際、どの規格が良いと思いますか。（例：一般的な栄養素、植物の分類、文化的な嗜好等）
- 4 ベジタリアンフードガイドに含むべき食品は何ですか。
- 5 あるとすれば、ベジタリアンフードガイドから除外すべき食品は何ですか。
- 6 ベジタリアンフードガイドとは分けて分類した方が良い食品は何ですか。
- 7 新規のベジタリアンフードガイドを開発する際、その過程で RDAs を活用すべきですか。例えば、カルシウムについては、RDA の最小値を採用すべきですか、それとも、最大値でしょうか。あるいは、RDA は無視し、最新の知見を採用した方がよいでしょうか。
- 8 ベジタリアンフードガイドを設計する際、疫学データはどの様に利用すべきですか。栄養学研究はどのような利用がよいですか。どちらを重視すべきですか。例えば、慢性疾患リスクが低い集団がいるが、その集団の食事は、ある種の栄養群が RDA の基準に満たない場合等。
- 9 ベジタリアンフードの設計は柔軟であるべきか。対象となるのは、ベジタリアン全体か、ラクト・オボ・ベジタリアンや、他のパターン等で、それとも、一つのベジタリアン信条を対象にした方が良いか。
- 10 栄養たっぷりの食品かどうかはポイント制を活用した方がよいか。
- 11 ベジタリアンフードガイドを開発する際に用いる図の方式はどれがベストか。
 - ・ピラミッド
 - ・星
 - ・パイ、プレート、ホイール
 - ・コラム
 - ・表
 - ・その他

図 16-1 ベジタリアン・フードガイド開発のための質問表

してきました³²⁾。

ベジタリアン栄養学の専門知識を持つ、異なる国際的な組織が認定されてきました。次に、それぞれの会員は招集状とベジタリアン・フードガイドを開発するための質問票を受け取りました（図 16-1）。最初の方針に基いて、原稿と、想定される図の構成を補うフードガイドの図面が製作者に配布されました。グループは、問題を議論するために最終的には個人別に集まり、コンセンサスを構築しながら選択しました。

A. 健康的なベジタリアン食を設計するための基準

回答者のコメントで、たびたび見られたのが、「健康的なベジタリアン食の基準」という言葉でした（表 16-1）。これらの基準は、異なるベジタリアン集団に対して、食事の組み立てと食品の選択の基礎となるものを示しています。以下のことは、これらの考え方と選択する際の基礎的な原理の要約です。

最初の基準「様々な植物性食品を豊富に摂取すること」は、健康的で予防効果のある植物性

表 16-1 健康的なベジタリアン食の基準

- ・様々な植物性食品を豊富に摂取すること
- ・できるだけ、未精製で最小限に加工された植物性食品を摂取すること
- ・乳製品及び/あるいは卵の摂取は任意です
- ・植物性油脂を幅広く摂取することは、健康に良いことです
- ・水と他の液体ものを豊富に摂取すること
- ・他の健康的な生活因子に注意を払うこと

食品を、毎日幅広く摂取することを積極的に重要視しています。植物性食品とは:全粒穀類(小麦, 米, オート麦, 大麦, グルテンや穀物加工品, 飲料), 豆類(えんどう, ひら豆, そら豆, 大豆加工品, 豆乳), 野菜, 果物, ナッツ, 種子, 植物油, 甘味料, ハーブ, スパイスです。基本的には, エネルギー要求量を満たす量があるとして, 全て様々な植物性食品から摂取した場合はビタミン B₁₂ と D を除き, ヒトに必要な全ての栄養素を得ることができます。十分な量の植物性食品の食事は, 総, 飽和脂肪が少なく, 繊維, 葉酸, 抗酸化栄養素とファイトケミカルが豊富です。多種類の植物性食品の摂取は, 予防効果を示す数千種類の物質をもたらし, その多くは次から次と同定され, 定量されています。

2 番目の基準「できるだけ、未精製で最小限に加工された植物性食品を摂取すること」は, 精製されたものか高度に加工されたものに比べ, ビタミン, ミネラルや食物繊維を多く含む植物性食品の摂取を強調しています。野菜, 果物, ナッツや豆類の殆どは, 最小限の精製で摂取されていますが, 穀類の場合はそうではありません。日常的な全粒穀類の摂取は心疾患, ある種のがんと糖尿病の低リスクと相関しています。しかし, 食品企業は精製することで大量生産による利益を得ていますが, 多くの穀物製品は, 加工で失われてしまう栄養素を補充しなくてはならない程度まで精製されています。この加工というものは, 有益な物質を除去してしまうことで消費者が最適な栄養素を得られる機会を失わせ, 法的許可のある強化法に加え, しばしば, 望んでもいない他の化学物質を戻すこ

ともになります。しかし, 全ての食品加工が有害ということではありません。食品加工は, ビタミン B₁₂, カルシウム, ビタミン D と他の栄養素を植物性食品

に強化する重要な役割を持つかも知れません。特別な栄養素で強化された植物性加工食品は, ベジタリアン食を補助する栄養学的な価値があるかも知れません。この食品加工の状態は, ベジタリアンにとって, 長い目で評価される必要があります。一般的に, 未精製で最小限に加工された食品は, 健康を増進し, 疾病を予防することに必要な最適バランスの物質を提供するように思われます。

3 番目の基準「乳製品及び/あるいは卵の摂取は任意です」は, 一部のベジタリアン(例: ビーガン)は, 乳製品と卵を制限する選択をしているということです。乳製品と卵の摂取は, RDAs を達成するためには必ずしも必要ではありませんが, しばしば, 簡便で実用的な面で実行されています。量的には, ベジタリアンによる乳製品と卵の摂取は, 時々から毎日と様々です。乳製品か卵, あるいは両者(例: ラクト・オボ・ベジタリアン食)のベジタリアン食は, 健康な成人に必要な全ての栄養素を容易に提供します。集団の研究では, これらの食事は健康的で長寿を促進し, 毎日の栄養素の補給は必要ありませんでした。いくつかの乳製品は, 脂肪と飽和脂肪含量が多いので, 脂肪なしと低脂肪の食品を重視することは好ましいことです。卵の摂取は, 各個人の健康と経済状態によって評価されるべきです。

ビーガンは, 要求される全ての栄養素を植物性食品に完全に依存している, ベジタリアンのもう一つのグループです。この食事パターンは, 不適切な摂取が考えられるいくつかの栄養素(ビタミン B₁₂, ビタミン D, カルシウム, α-

リノレン酸)に対し、適切な食品が必要とされます。このことは、成長期の児童、妊娠中あるいは授乳中の女性と高齢者等の弱者にとって特に重要です。

たんぱく質の必要量は、豆類、ひら豆、えんどう豆、全粒穀類、ナッツと種子等の植物を最適な量を摂取するビーガン食によって容易に充足されます。しかし、総カロリーが充足されない場合、適切なたんぱく質量にならない可能性があります。たんぱく質の不適切な状態が長期間続くと、筋肉疲労、極端な痩身、GI機能の障害、免疫と神経の機能障害を起こすことになります。

ビタミンB₁₂は、植物界にはない唯一のビタミンです。1948年に単離され、1963年に合成されました。ビーガン食に対しては、錠剤(経口か舌下)の形で植物性食品に添加されるか、医師の処方で注射されるかの手段で、ビタミンB₁₂を摂取することができます。全てのビーガンは、サプリメントか強化食品により、ビタミンB₁₂の信頼される供給源を定期的に確保する必要があります。

ビーガンは、また、定期的に日光に暴露するか、あるいはビタミンD強化植物性食品を摂取する方法で、ビタミンDを摂る計画を立てる必要があります。米国では、ビタミンDの基本的供給源は強化牛乳です。牛乳を含まない食事は、ビタミンDのサプリメントが必要になるかも知れません。このビタミンの非食品源は、保護していない皮膚を毎日日光に暴露することです。北方の地域で冬季の間は、日光への暴露が不足するかも知れません。日光への暴露や牛乳の摂取が適切でない場合は、朝食シリアル、豆乳や穀物飲料、エネルギーバー、キャンディ等でのビタミンD強化食品を摂取することが推奨されます。

今までは、これらの乳製品を除いた場合には、カルシウムのRDAを充足することは大変に困

難でした。しかし、アーモンドや緑黄色野菜に加え、植物性のカルシウム源は、豆乳や穀物飲料、オレンジジュース、エネルギーバー、キャンディ、パンやカルシウム添加豆腐等のカルシウム強化食品にまで拡大しました。カルシウムを十分に含む新製品は、継続して入手可能になり、カルシウムを簡易に摂取することが可能になっています。強化食品に加え、様々なカルシウムサプリメントは、ベジタリアンにとって信頼の置ける供給源となっています。

α -リノレン酸は必須脂肪酸で、主に以下の植物性食品に含まれます:亜麻仁種子、くるみ、大豆、大豆油、豆腐とキャノーラ油です。また、緑黄色野菜と小麦胚芽にもわずかに含まれます。ビーガンは、 α -リノレン酸の定期的で適切な摂取を計画する必要があります。

4番目の基準「植物性油脂を幅広く摂取することは、健康に良いことです」は、科学文献に記載されている、多くの洗練された様々なベジタリアン食のパターンに当てはまります。

主要な植物性油脂源は、ナッツ、ナッツバター、種子、アボガド、オリーブ、大豆、ココナッツと植物性油です。ベジタリアン食は、低脂肪の心臓病食と様々な治療食に良く合います。極低脂肪のベジタリアン食(例:脂質エネルギーとして10~15%)は、疾病に対する治療方法として有用であることが示されてきました。一般的に、ベジタリアン食パターンは、飽和脂肪、コレステロールとトランス脂肪酸はあまり含まれません。

ベジタリアン食パターンの脂質含量は、ベジタリアン間のもう一つの哲学の違いを示すのかも知れません。ラクト・オボとビーガン食パターン両者の脂質含量は、極低脂質含量(脂質エネルギーとして<20%)から、中程度含量(脂質エネルギーとして20~30%)、高含量(脂質エネルギーとして>30%)と幅広く変化します。食用植物性油群は、脂肪摂取の最大量を

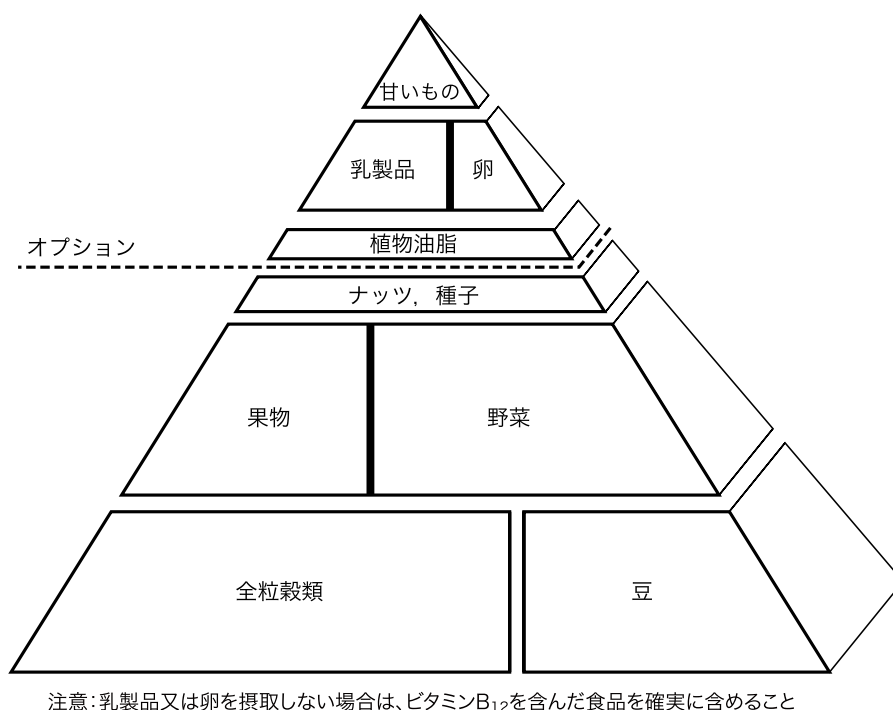


図 16-2 ロマリンド大学フードガイドピラミッド

調整するためのオプションとして示されています（図 16-2）。植物性油群の位置は、オプションラインの上か下かでした。しかし、ビーガンは、主に粗植物油を良く好み、精製度の高い油を嫌う傾向があります。植物油の殆どは、ある程度精製されています。オリーブとナッツ油は圧搾法なので、他の植物油程精製されていません。核のある植物群の摂取は、ナッツ、種子、アボガド、オリーブ、ココナッツや大豆等の傷んでいない植物油を主に摂取することに繋がります。

実際に、ベジタリアンの平均的総脂質摂取量を特徴付けするのは困難で、幅広く変化します。（15～40 エネルギー %/日）今、集団を対象にした公衆衛生からの勧告は、総脂肪摂取をエネルギーとして<30%に制限するとしています。この勧告は、脂質の殆どを動物性食品、動物性脂肪と高脂肪のスナックタイプの加工食品から摂っている西欧の人からのデータによります。

脂質の摂取を主に未精製の植物油から摂っているベジタリアンに対し、同じ脂質摂取勧告が適用されるかは明白ではありません。エネルギー摂取の消費とバランスが取れている場合、植物油を主要とした幅広い脂質摂取は、望ましい健康をもたらすように見えます。

ベジタリアン集団での液体ものの摂取は一般の人と比べ多いのです。5 番目の基準「水と他の液体ものを豊富に摂取すること」は、水、新鮮な状態の果物と野菜ジュース、そして緑茶とハーブ茶の摂取に言及しています。植物性食品群の中では特異的ではありませんが、緑茶はさらに抗酸化物質とファイトケミカルの供給源となります。緑茶は全てのお茶の中で最も加工度が少なく、約 5,000 年の間、植物性に基いたアジアの集団で摂取されてきました。緑茶は、フラボノイドを含む、多くの抗酸化物質を提供します。定期的に緑茶を摂取する伝統は、腫瘍の形成を阻害するか遅延させ、心疾患と心臓発作

のリスクを低下させることを報告書は示しています⁴⁴⁻⁴⁸⁾。要約すると、水と他の様々な液体ものの多目の摂取は、健康的なベジタリアン食パターンのもう一つの特徴を表しています。

アルコールを含めるかどうかが議論されましたが、今までのデータを注意深く検討すると、以下の理由でピラミッド図にはアルコールを含めないという考えになりました。

1. ベジタリアン食の健康的利点を支持する科学データの殆どは、アルコールを摂取しないベジタリアン集団より得られたものです。
2. リスクの低いベジタリアン集団にさらにアルコールを追加しても、最終的には慢性疾患のリスクをさらに低下させるというエビデンスはない。
3. アルコールを加えると、フードガイドにベジタリアンを幅広く分割して加えることになります。さらに、赤ワインに見られる予防因子の多くは、またぶどうジュースでも見られ、ピラミッド図では果物群の一つと考えられています。

6番目の基準「他の健康的な生活因子に注意を払うこと」は、定期的な運動、日光と新鮮な酸素に良く暴露する、適切な休養、ストレスに長期間晒されない、喫煙や過度の飲酒等の害のある行動を避けること等の多くのベジタリアンに見られる健康的な生活習慣に当てはまります。食事は、健康状態に影響するいくつかの行動因子の一つです。同様に、栄養指針を最適なものとし、有用な健康効果を得る為の手順として他の生活因子を検討する必要があります。

B. ベジタリアン・ガイド図式

ピラミッドの形は、消費者にとって、良く知られていること、柔軟性があることと実際に使用されていることで選ばれました。次に、健康的なベジタリアン食の基準は、食品群の確認と位置付けを指導するために使用されました。食品群は、ピラミッドの底からその重要性、割合と頻度に応じて段々に登って行き、最も一般的なベジタリアンの伝統である、ラクト・オボとビーガンも含まれています。フードガイドは、

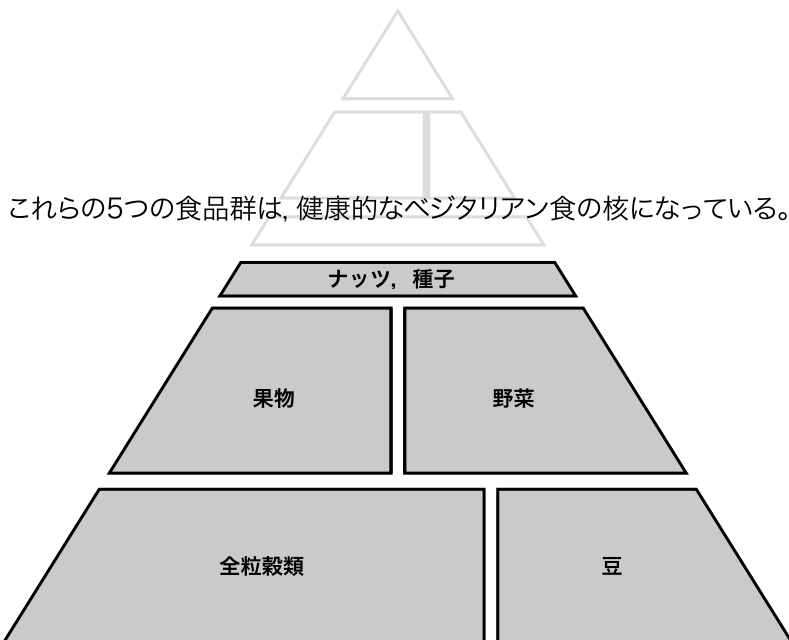


図 16-3 ロマリンダ大学のベジタリアン・フードガイド（下辺部）

9種類の食品を示しています：全粒穀類、豆類、野菜、果物、ナッツと種子、植物油、乳製品、卵、甘いものです。5種類の主要な植物性食品群（全粒穀類、豆類、野菜、果物、ナッツと種子）がビーガンの四辺形です。ピラミッドの下の部分、植物性食品の核となる群で、最適な量を摂取した場合には、健康的なベジタリアンの食事パターンの骨格を構成することになります（図16-3）。ベジタリアンの一部は、食事指針として、四辺形の部分を基本として採用しています。

3段と4段の間には、一線が引かれました。線の上は、ラクト・オボ・ベジタリアンへの食事指針の要求を満たすために追加された、4種の任意の食品群です。哲学的な価値観やベジタリアン個人の健康への信条によって、1つかそれ以上の食品（植物油、乳製品、卵と甘いもの）が、食事に含まれるかも知れません。任意の食品群と核となる食品群を分けるための線は、様々なベジタリアンの大多数がピラミッド図を理解し、使い易くしていると衆知されていました。また、厳格なビーガンの食事パターンを実施している人は、ビタミンB₁₂のサプリメントを必要とすることを図上に示す必要があるという声明がされました。強化された植物性食品や乳製品、卵を摂るということは、栄養素の選択、特にビタミンB₁₂とビタミンDの摂取を容易にしますが、また、総エネルギー、飽和脂肪とコレステロールの摂取を増加させるかも知れません。

ベジタリアン集団の中で、フードピラミッド以外に図式化されている3つの健康的な生活習慣因子があります。それらは、日光を良く浴びること、定期的な運動と水分を豊富に摂取することです。良好な食事因子と生活習慣因子は、ベジタリアンの健康と長寿に相乗的に貢献します。

C. 食品群のサービング数と回数

ピラミッド図は、最初は、科学者に対して基

本を示すことを意図した概念でした。第3回ベジタリアン国際栄養会議で、ベジタリアン・ピラミッドの紹介とその内容の容認に続き、もう一つのグループは、食品群のそれぞれにサービング数を加えました。これらの追加事項は、健康管理専門家に実務的な手段を提供し、ベジタリアンの特別な食事指針を提供するための補助となりました⁵⁰⁾。

7つの文化的に異なる食事パターンが取り上げられて検討されました。西欧、西欧のファーストフードと肉料理、スペイン、地中海のイタリア、中東、アジアとインドです。ビーガンとラクト・オボ・ベジタリアンの多様な食事パターンは、それぞれの特異的な文化へと発展しました。西欧のファーストフードと肉料理を除き、献立は家庭で作る食事をベースにしていました。最初は、実際に摂取しているパターンを表すことだけに、文化的な献立が記録されました。それぞれの食事パターンを正確に把握するために、それぞれの伝統文化に基き、先住民と料理本が調査されました。それぞれの文化的変異係数に対し、目標摂取エネルギーは、1,600 kcal, 2,000 kcal, 2,500 kcalに設定されました。最初に、2,000 kcalの献立が開発され、目標エネルギーに達するために上方あるいは下方修正されました。2,000 kcalの献立では、乳製品と卵はエネルギー摂取の調整には利用されませんでした。食事文化のパターンが確立し、詳しく検討された後、コンピューターによる栄養ソフトを使用して、それぞれの文化的変異係数を調べる為に栄養分析が実施されました。分析後の全てのビタミンとミネラルは、RDAの90%かそれ以上であることを結果は示していました。（例外として、いくつかの微量元素に3かそれ以上の欠損値がありました）次に、それぞれの食品群に対するサービング数が、それぞれの文化的変異係数とエネルギーレベルに合わせて決定されました。それぞれの文化とエネルギーレベルに合

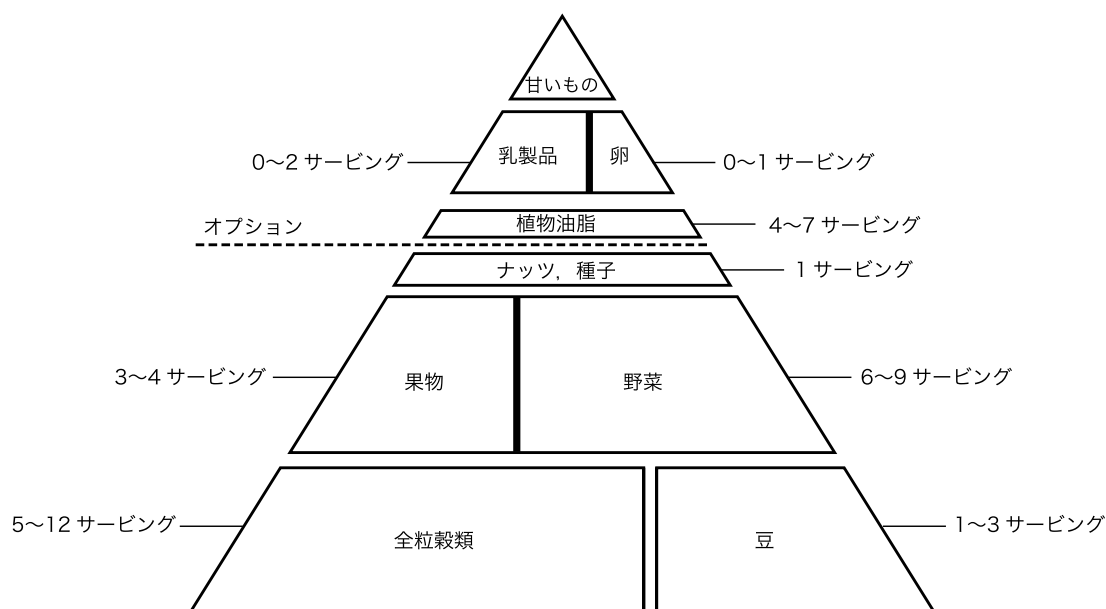


図 16-4 ロマリンダ大学ベジタリアン・フードガイドのサービング数

表 16-2 ロマリンダ大学ベジタリアン・フードガイドピラミッド：サービング数とサービングサイズの提案

食品群	サービング数	サービングサイズ
全粒穀類	5 ~ 12	・パン 1 枚 ・1/2 のロールパン、ベーグル、マフィン ・1/2 カップの加工シリアル、米、パスタ ・3/4 カップのフレーク型シリアル ・1 1/2 カップのパフ型シリアル
豆	1 ~ 3	・1/2 カップの加工豆、レンズ豆、えんどう豆 ・4 オンスのとうふ又はテンペ ・1 カップの豆乳
野菜	6 ~ 9	・1 カップの生野菜 ・1/2 カップの加工野菜 ・3/4 カップの野菜飲料
果物	3 ~ 4	・1 切れの果物 ・1 カップの角切り果物（メロンやベリー類） ・3/4 カップの 100% 果実ジュース ・1/2 カップの缶詰め果物又は加工果物
ナッツと種子	1	・1 オンスのナッツ ・2 杯の挽いたナッツ又は種子 ・2 杯の種子
植物油	4 ~ 7	・1 杯の植物油
乳製品	0 ~ 2	・1 カップのミルク又はヨーグルト ・1 オンスのチーズ ・1/4 カップのカテージチーズ
卵	0 ~ 1	・卵 1 個 ・たまごの白身 2 個
甘い物		・ひかえめに

わせた複数の食事パターンを用いて、平均サービング数と標準偏差が決定されました。その食事文化パターンの範囲内で、それぞれの食品群に合わせたサービング範囲を決定するために、標準偏差が利用されました。驚くことではありませんが、核となる食品群に対するサービング範囲は、全てのビーガンの文化的な変異係数に対しては、高いレベルでした。ラクト・オボの食事パターンのそれぞれの食品群に合わせたサービング数は、乳製品、卵と甘い食品群によるエネルギー密度の大きい食品を含むことができるように、より低いものとなっています。

ピラミッド図の適用を簡易化するために、ビーガンとラクト・オボの食事パターンが、サービングの範囲に1セット組み込ませられました(図 16-4)。

ビーガンパターンを最初に摂取する人は、四辺形区域に示されるサービング数の多い方が奨められました。ラクトとオボ・ベジタリアンの食事パターンを摂取する人は、低いところから中間のサービング数を選択することが奨められます。エネルギー摂取は、低いと中間のサービング数か、あるいは高いサービング数かによって調整することになります。消費者は、カロリー摂取の調整と栄養要求を満たすために、標準サービングサイズを選択することが可能でした(表 16-2)。正確な食事指針と評価を伝えることで、ピラミッドの最適な活用を容易にするためには、標準サービングサイズの利用は重要でした。適切に設計された場合は、ベジタリアン食は、最適でないにしても、運動選手や治療的效果を望む人と同様に、ライフサイクルの全ての段階に於いて適切な栄養を提供します。しかし、種類や量を制限したベジタリアン食パターンを摂取する人は、推奨される栄養素と多くのベジタリアンが受容している健康効果を獲得することが困難になります。他の食事パターンを考えながら、健全な栄養基準にこだわることは

重要なことです。

D. ベジタリアンの食品群

全粒穀類：全粒穀類の摂取が、世界中の殆どの食事パターンで重視されています。主要な全粒穀類は、小麦、米、とうもろこしです。希少穀類は、オート麦、ライ麦、ソルガムと雑穀です^{51,52}。「全粒穀類」という言葉は、もっと正確に表現すると、最小限の精製をしたもので、全粒穀類のパン、クラッカー、シリアル、パスタや米等の最適な食品の選択を示しています。全粒穀類と豆類がピラミッドの底にあるということは、食事に於ける全粒穀類の重要性や比率と同様に、植物性の食事パターンが世界中で主要であることを反映しています。全粒穀類をいつも食事に加えることは、おそらく心疾患、ある種のがんと糖尿病のリスクを低下させますが、精製の穀類製品を食べ続けては、同じ効果を得ることはないでしょう。精製穀類は、先進国や途上国で良く利用されています。穀類の精製は、胚芽とふすまを取り去り、澱粉を分解し、サイズと食感を変化させ、香料を添加し、保存料を添加することになります。精製工程に加え、消失した栄養素は補充でき、それは強化と呼ばれます。米国では、精製穀類のパンは、鉄、チアミン、ナイアシンとリボフラビンで強化されています。つい最近、米国政府は、穀類製品に葉酸を強化すべきであることを発令しました。いくつかの朝食シリアルはかなり強化されていて、1サービングで全てのRDAsの100%を満たしています。しかし、これらのシリアルはかなり精製されていて、強化された栄養素に関しては栄養的と言えますが、元来含まれている全ての栄養素は含んでいません⁵¹⁻⁵³。全粒穀類に共通の栄養素は、ビタミンB、たんぱく質、繊維、鉄、ファイトケミカルと多くの微量ミネラルと超微量ミネラルです。全粒穀類は、毎日摂取すべきです。

一部のベジタリアンは、主にグルテンで作られる肉代替品の形で穀類を摂取しています。グルテンは、製粉小麦の高たんぱく質の部分です。グルテン粉は、パティ、ボール、バーガーや様々な他の形状に加工されます。グルテンはたんぱく質が比較的多く、全粒穀類よりも豆類に相当するたんぱく質含量があります。例えば、1/4カップのグルテン粉は、14.5 g のたんぱく質を含み、1/2 カップのうずら豆は 7.9 g のたんぱく質、1/2 カップの製粉した小麦粉は、3.2 g のたんぱく質を含んでいます⁵⁴⁾。

平均すると、米国民の 1/2 は乳糖不耐症です。アジア人、ヒスパニックとアフリカ系米国人の間では、乳糖不耐症の比率はさらに大きくなります。このことが原因で、他の多くの人は、牛乳の代わりに穀類や大豆を原料にした様々な飲料に変更しています。多くの成人にとっては、牛乳に替えて穀類を原料にした飲料に切り替えることは、健康リスクがないように見えます。しかし、適切な食事指導が無い状態で、牛乳から穀類を原料にした飲料への変更は、児童、10 代の人、妊娠している人、授乳中の人と一部の高齢者等の弱者に対し、ある種の栄養素の不適切な摂取をもたらすかも知れません。伝統的に、牛乳は、かなり量の 5 つの重要な栄養素を提

供してきました。それは、たんぱく質、カルシウム、ビタミン D、リボフラビンとビタミン B₁₂ です。豆乳のたんぱく質は牛乳と同程度ですが、他の栄養素は異なります。穀物飲料はリボフラビンを摂取できますが、たんぱく質、カルシウム、ビタミン D とビタミン B₁₂ は期待できる量は摂取できません。豆乳や穀物飲料を購入する前に、これらの栄養素を確かめることは重要です。たんぱく質が強化されていない場合は、児童、10 代の人、妊娠中の人、授乳中の人や高齢者にとって、穀物飲料は牛乳や豆乳の最も良い代替品ではないかも知れません。表 16-3 は、豆乳と穀物飲料の栄養学的貢献度に対するガイドラインを示しています。

ベジタリアンは特徴として、平均的米国人の約 2 倍の食物繊維を摂っています。米国では、食物繊維の平均的摂取量は、12 ~ 17 g です。繊維の推奨量は、20 ~ 35 g で、60 g でも安全と考えられています。全粒穀類の定期的な摂取を心掛けることは、食物繊維を多く摂取することを応援することになります。

豆類、ひら豆、えんどう豆：1966 年、米国では豆の平均摂取量は 1 g/日 で、それに比べ、地中海の人は平均 30 g/日 でした。1997 年、人口当たり、米国の豆の摂取量は 10 g に上昇しまし

表 16-3 豆乳と穀類飲料の評価の為に規格比較^{20, 21)}

栄養素	RDA/DRI	豆乳、穀物飲料	無脂肪牛乳
KCAL	2,200 ~ 3,000 kcal/日	80 (65 ~ 160 kcal/ カップ)	86 kcal/ カップ
たんぱく質	46 ~ 63 g/ 日	2 ~ 10 g/ カップ 推奨 4 g/ カップ	8.4 g/ カップ
脂肪	15 ~ 30% 総 kcal/ 日	4 (0 ~ 6 g/ カップ)	0.4 g/ カップ
カルシウム	1,000 ~ 1,200 mg/ 日	0 ~ 10 mg (もし、強化されていない場合は、DRI の 20%+/ カップ)	302 mg/ カップ
ビタミン D	5 ~ 10 µg/ 日	0 µg (もし、強化されていない場合は、DRI の 20%+/ カップ)	
リボフラビン	1.1 ~ 1.3 mg/ 日	0.17 mg/ カップ (DRI の 20%+/ カップを推奨)	0.34 mg/ カップ
ビタミン B ₁₂	2.4 µg/ 日	0 µg (もし、強化されていない場合は、DRI の 20%+/ カップ)	0.93 µg/ カップ

許可を得て掲載

た。(ピーナッツを除き)1966年以来、米国人は、次第に豆を摂るようになりましたが、他の多くの国よりは遅れを取り続けています⁵⁵⁻⁵⁷⁾。ベジタリアンの食事パターンでは、豆は定期的に摂取するもので、しばしば主要なアントレー（主菜）となります。全粒穀類と共にピラミッドの底に位置する豆の食品群は、世界中で見られる多くの健康的なベジタリアンの食事パターンと合致します。それは又、豆乳、大豆を原料とした肉模造品、豆のチップや他の豆を原料にした製品等の豆製品の利用率を増加させることにもなっています。

豆類は、植物学的には野菜に分類されますが、栄養学的な貢献度は殆どの野菜とかなり異なっています。1/2 カップサービングの豆類は、7 g のたんぱく質を含んでいて、肉 1 オンスにほぼ匹敵します。豆類、ひら豆とえんどう豆に含まれる栄養素は：たんぱく質、繊維、チアミン、葉酸、カルシウム、リン酸、カリウム、鉄、ファイトケミカルと他の微量ミネラルです。豆類はまた、消化管に存在する有益なビフィズス菌の成長を促進する、オリゴ糖のラフィノースとスタキオースを含んでいます。オリゴ糖摂取のマイナス面は、大腸でのメタン発生で、時には過剰な腹の張りとなります⁵⁴⁻⁵⁷⁾。

豆類の中では、大豆は特異的な栄養特性を有しています。大豆には、動物性たんぱく質に匹敵する高品質のたんぱく質が含まれています。固形豆腐の 1/2 カップには約 20 g の大豆たんぱく質が含まれます。大豆は、冠動脈心疾患、がん、骨粗鬆症と更年期障害を特異的に抑制します⁵⁸⁾。

豆乳は豆を原料にしていますが、多くのフードガイドは、それらを乳製品の群に置いています。豆乳はプレーン、香料を添加したもの、脱脂したものや強化したものがあります。味と栄養組成や色と安定性は製品によって異なります。前述のように、豆乳は牛乳とたんぱく質含

量は類似していますが、カルシウム、リボフラビン、ビタミン D とビタミン B₁₂ 含量は異なります。豆乳と穀物飲料の栄養充足度を見たい時には、ガイドラインとして、表 16-3 を参照下さい。

肉模造品は、今や世界中の主流をなす食品市場で見かけられます。肉模造品は、通常大豆たんぱく質がグルテンから作られます。肉模造品の製造企業はハンバーグ、ホットドッグ、スカロップ、ソーセージ、ベーコン、ベーコンビッツ、ランチョンミートと他の様々な肉模造品の製造に成功しています。栄養成分と加工度は製品によって異なります。製品の多くは多種類の栄養素で強化されていて、特にビタミン B₁₂ はビーガンにとっては適切な選択を可能にしています。

野菜：野菜と果物の区別は、伝統に基く食文化の一つです。野菜と考えられている食品の多くは、植物学的には果物です。野菜はさらに、次のように分けられます：根菜類、緑黄色類、淡色類と海草です。根菜類を除いて、殆どの野菜は炭水化物は比較的少なく、ビタミン、ミネラル、抗酸化物質とファイトケミカルが豊富です。野菜の摂取は、また、少量のたんぱく質、繊維、カルシウム、鉄や微量元素を摂取できます。ベジタリアンは、現在の野菜の最小の推奨量を摂取している傾向があります。

果物：果物のグループは、生の果物だけでなく、冷凍、乾燥、缶詰とジュースも含みます。果物は、野菜より炭水化物を多く含む傾向があります。栄養素の含有量はそれぞれに異なりますが、殆どの果物は、繊維、ビタミン A、C、B、ミネラル、抗酸化物質とファイトケミカルを含みます。ベジタリアンは、共通して推奨量の果物を摂取しています。

ナッツと種子：ベジタリアンは、雑食者に比べナッツと種子を多く摂取します。ナッツや種子等の未精製の植物性油脂源は、多くのベ

ジタリアン食事パターンと同様に主要な植物性食品です。調査によると、ベジタリアンは、非ベジタリアンよりも、量も回数も多く摂取しています^{59, 60)}。これは、最近のことではなく、また、一部のことでありません。インドのベジタリアンの伝統が千年続くところでは、ピーナッツとピーナッツ油が食事の主要な部分です。

西欧諸国に住む一部のベジタリアンの研究は、ナッツからのエネルギー摂取は15%/日に達していることを示しています。カリフォルニアのセブンスデー・アドベンチストのベジタリアンは、同地域の非ベジタリアンや一般の人に比べナッツを食べる回数は多いのです。5回以上/週、ナッツを摂取すると心疾患のリスクを50%低下させ、食べる頻度が少ない人に比べ、寿命を数年間増加させることをアドベンチストの調査は示しました^{59, 60)}。特別なナッツが血中脂質を低下させることを実験が示しています。また、同様の有用性がオリーブ油、アボガドと他の未精製の脂質含有量の高い植物性食品にもあることが報告されています。驚くべきことに、日々の食事パターンの一部としてこれらのナッツと種子を摂る事は、望ましい体重を保持するかも知れないということです。様々なベジタリアン集団の中でも、特異的な栄養素の質と量のために、ナッツと種子は5つの核となる植物性食品の一つとしてピラミッド上に示されています⁶¹⁻⁶³⁾。

ナッツと種子は、そのままか、粉末にしてバターか原材料として摂取されます。アーモンド、ココナッツ、マカデミア、ピーカンとくるみ等のナッツの定期的な摂取は、慢性疾患のリスクを低下させる有効性を有することを示しています⁶⁹⁻⁷⁸⁾。

ナッツと種子は、栄養素の濃縮源です。ナッツと種子の栄養素含有量は変化しますが、それらの種類は、脂質、たんぱく質、繊維、ビタミン

ンB、ビタミンE、ビタミンA、鉄、カルシウム、銅、マグネシウム、マンガン、リン、カリウム、セレン、亜鉛、超微量ミネラルとファイトケミカルに及びます。

種子には、亜麻仁、かぼちゃ、ごまとひまわりが含まれます。亜麻仁とくるみの特異的な特徴は、必須脂肪酸の α -リノレン酸(18:3)を比較的多く含むことです。ベジタリアンは、オメガ-3脂肪酸、ドコサヘキサエン酸(DHA)、エイコサペンタエン酸(EPA)を含む動物原料を摂取しません。ベジタリアンにとっては、1サービングの亜麻仁種子、くるみ、なたね油と大豆製品等の α -リノレン酸の植物性供給源を摂取することが、DHAとEPA合成に必要な前駆体となる脂肪酸を供給することになります。

脂肪/植物油: 脂肪は、動物性脂肪あるいは乳製品(バター、サワークリーム、ラード、クリームチーズ)、植物性脂肪(アボガド、オリーブ、ココナッツ)、野菜とナッツ油(加工、圧搾)、水素添加あるいはトランス脂肪酸(マーガリン、ショートニング、サラダドレッシング)に分類されます。アボガド等の植物性油は、食文化的には野菜、植物学的には果物と考えられることもあります。動物性脂肪と水素添加脂肪は、一般的には、多量の飽和脂肪酸を表しています。植物性油と野菜油は、一価不飽和脂肪酸と多価不飽和脂肪酸の供給になります。殆どの植物性油と野菜油は、CVDのリスクに対する有効性については中立的でしたが、動物性脂肪、水素添加油とトランス脂肪酸は、CVDのリスクを増加させます。一価不飽和脂肪酸は、少なくとも全脂肪の半分の影響力を持つと殆どの科学者は理解しています。ベジタリアンの食事パターンは、おそらく、総脂肪、多価不飽和脂肪、一価不飽和脂肪と飽和脂肪の割合を含んだ脂肪摂取の推奨量を満たしています。

健康的なベジタリアン集団にとっては、植物油という表記が最も良い脂肪の分類であること

を表しています。ベジタリアンが摂取する動物性脂肪の代表的なものは、乳製品と卵です。水素添加油を含む加工食品は、あまり好ましくない食品の選択ですが、植物油群の一つと考えられることになります。

牛乳/乳製品：ベジタリアンの間では、乳製品の摂取が続いています。一部のベジタリアンは、たんぱく質の殆どを肉からでなく、牛乳、チーズ、ヨーグルトとカテージチーズから取っているかも知れません。他のベジタリアンでも、動物性でないたんぱく質の摂取は多くはありません。殆どのベジタリアンは、バターミルク、チーズ、ヨーグルト、ケフィアやアイスクリーム等の牛乳と乳製品を摂っています。米国では、乳製品はカルシウムの72%を供給しています。牛乳を飲む人は、飲まない人に比べ80%も多くカルシウムを摂っています。さらに、牛乳は、乳糖、たんぱく質、脂肪、飽和脂肪、コレステロール、ビタミンA、ビタミンD、リボフラビン、葉酸、ビタミンB₁₂、マグネシウム、カリウム、リン、ナトリウムや様々な他のミネラルの補給になります。1970年以来、全脂牛乳と乳製品の摂取は減少していて、一方、低や脂肪なし牛乳の摂取が増加しています。チーズの摂取は顕著に増加しています。低、脂肪なし牛乳と乳製品は全脂のものに比べ好ましいと言えます。乳製品製造企業の強力な支援があるので、乳製品の摂取は続くものと思われます。しかし、乳製品に代わる植物性食品が発売され続けるので、消費者は動物性食品の少ない摂取が可能となります。

卵：卵は、低価格で、生物活性の高いたんぱく質、5～6gの脂肪と213mgのコレステロールを含みます。それらの栄養組成によって、卵は豆類、ナッツ、種子と豆腐等の肉代替品の典型として位置付けられます。このグループへの推奨サービング数が通常、2と3の間にあるので、少し混乱を生じさせています。殆どの保健指導

士は、この量の卵の摂取を推奨してはいません。しかし、別の食品群に卵を載せる考え方もあり、それは、個人の健康状態にとっての適切な推奨となります。別の食品群に卵を載せるということは、また、ビーガン、ラクト・ベジタリアン、オボ・ベジタリアンとラクト・オボ・ベジタリアン間の区別を容易にすることにもなります。**スイーツ (甘いもの)：**スイーツは、2つかそれ以上の食品群の組み合わせの典型的なものです。殆どのスイーツは、砂糖、精製粉、バターかマーガリンか油、卵、クリームと様々な原料を含みます。加工したスイーツは、酸化コレステロールと同様に水素添加油を含んでいます。スイーツとデザートは程々に摂取すべきで、体重管理と体重減少が必要な場合は制限すべきです。一部の食習慣では、コースの最後あるいはデザートは、生の果物となっています。先進国の多くではこれを実践することで、良い生活習慣を得ることができます。

その他の食品：ベジタリアンが一般的に摂取する一部の食品で、容易には分類されないものがあります。廃糖蜜は、カルシウム、マグネシウム、鉄とカリウムの良い供給源です。スプーン1杯で、170mgのカルシウムを含みます。廃糖蜜は、ベーキングの時に使用されたり、食品に添加されます。ビーガンは、また、Red Star T6635ブランドの栄養豊富な酵母を、ビタミンB₁₂、鉄と他のビタミンBの信頼できる供給源として摂取します。ハーブと香辛料は、既存の食事指針では殆ど無視されている有用な植物です。ハーブと香辛料は、多くのビタミン、ミネラル、抗酸化物質とファイトケミカルの濃縮された供給源です。パセリ、シラントロ、バジル、コリアンダー、ターメリックと他の多くのものは、抗がんから抗血栓性に至る様々な生理学効果を示しています。将来、ハーブと香辛料をフードガイドに載せることが検討されるべきです。

5. まとめ

フードガイドは、健康的な食事パターンを正確に示す為に、進化させる努力が続けられて行くでしょう。フードガイドを進化させるということは、科学に基いた成果を検証することと、実際の行動との比較を嫌が上でも実施させることになります。世界的に通用する言葉で理想的な食事パターンを表現することによって、研究機関、専門機関と政府機関が、ベジタリアンや植物性に基くパターン等の健康的な食事パターンを発展させ、促進して行く為に一緒に頑張って働く必要があります。ベジタリアンの栄養素の摂取、食事パターンとその他の多くの健康的な生活習慣の特徴を明らかにする努力は、民族の異質性と同様に、生涯に亘る全ての年齢に及ぶ必要があります。ベジタリアンにとっての最新で有用な栄養指針を提供する努力は前進されるべきです。栄養状態や疾病状態に関する不必要な落とし穴を避ける為にも、適切な努力が要求されます。

科学的研究機関が将来の食事指針に加えるかも知れない問題は以下に示されます。

- レストランとファーストフードの施設に提供される植物性に基く食品
- 植物性食品の栄養強化
- 植物性食品の加工
- 植物性食品の組み合わせ
- エネルギー要求量
- ベジタリアングループの体重問題
- 植物性食品の食文化の相違
- 遺伝子を改変した植物性食品
- 機能的植物性食品

フードガイドは、強力な教育手段で、政治的な声明です。植物性に大きく依存する食品に対して、科学的証拠が重要性を示しているので、ベジタリアン栄養の実用的な応用に関する問題はもはや無視できません。柔軟性があり、また、この章で示されている様々なベジタリアンの伝統にも利用可能なベジタリアンのフードガイドを進展させることは、消費者と保健指導士両者にとっても有用です。

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

1. Gussow,J.: Ecology and vegetarian considerations: does environmental responsibility demand the elimination of livestock? *Am.J.Clin.Nutr.* **59**: 1110S-1116S, 1994.
2. Nestle,M.: Animal v. plant foods in human diets and health: is the historical record unequivocal? *Proc.Nut.Soc.* **58**: 211-218, 1999.
3. Messina,M. and Messina,V.: *The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets*. Gaithersburg,MD:Aspen Publishers,Inc.,1996.
4. Ziegler,E.E.,and Filer,L.J.,Eds.: *Present Knowledge in Health and Nutrition*, 7th ed. ISLI Press, Washington,D. C.,1996.
5. Shils,M.F.,*et al.*,Eds.: *Modern Nutrition in Health and Disease*, 9th ed. Baltimore,MD: Williams & Wikins,1999.
6. USDA Food Guide Background Development. U.S. Dept Agriculture,Miscellaneous Publication No.1514,1993.
7. Hunt,C.L.: Food for Young Children. U.S. Dept of Agriculture, Farmer's Bulletin No.717,1916.
8. Hunt,C.L.: A Week's Food for an Average Family. U.S. Dept of Agriculture, Farmer's Bulletin No.1228,1921.
9. Hunt,C.L.: Good Proportions in the Diet.U.S.Dept of Agriculture, Farmers' Bulletin No.1313,1923.
10. Hunt,C.L. and Atwater,H.W.: How to Select Foods.U.S.Dept of Agriculture, Farmer's Bulletin No.808,1923.
11. National Dairy Council. *A Guide to Good Eating*. Chicago: National Dairy Council
12. Stibeling,H.K.,and Clark,F.: Planning for Good Nutrition. In *Food and Life: Yearbook of Agriculture*,1939.
13. Stibeling,H.K.,and Ward,M.: Diets at Four Levels of Nutrition Content and Cost.U.S. Dept of Agriculture, Circ, No.296,1933.
14. U.S.Dept of Agriculture, War Food Administration. *National Wartime Nutrition Guide*, leaflet,1943.
15. U.S. Department of Agriculture. *Food D.C.:Agricultural Research Service*,1958.
16. U.S.Department of Agriculture. *Food : the Hassle-Free Guide to a Better Diet*.Home and Garden Bulletin No.122.

17. U.S.Dept of Agriculture, Science and Education Administration. The Hassle-Free Guide to a Better Diet. Leaflet No.567,1980.
18. U.S. Senate Select Committee on Nutrition and Human Needs. Dietary Goals for the United States, 2nd ed. Washington D.C.,U.S. Government Printing Office,1977.
19. U.S.Dept of Agriculture, Human Nutrition Information Service. Developing the Food Guidance System for Better Eating for Better Health, a Nutrition Course for Adults. Human Nutrition Information Services,Admin. Rep. No.377,1985.
20. U.S. Dept of Agriculture. Human Nutrition Information Service.The Food Guide Pyramid. Home and Garden Bulletin No.252,1992.
21. U.S.Dept of Agriculture and U.S.Dept of Health and Human Services. Nutrition and Your Health: Dietary Guidelines for Americans, 4th ed. Home and Garden Bulletin No.232,1995.
22. Beaton,G.H.recommended Dietary Intakes : Individuals and Populations. In:Shils ME,*et al.*,Ed. Modern Nutrition in Health and Disease, 9th ed. Baltimore,MD: Willams & Wilkins, 1705-25, 1999.
23. Truswell,A.S. Dietary Guidelines: National and International Perspectives. IN:Shils M.E.,*et al.*,Eds. Modern Nutrition in Health and Disease,9th ed. Baltimore,MD: Williams & Wilkins, 1727-41, 1999.
24. American Heart association, Nutrition Committee. Dietary Guidelines for Healthy American Adults. *Circulation*, **77**: 721A-724A, 1988.
25. The Health Connection. The Vegetarian Food Pyramid. Hagerstown,MD. 2000(catalog#24082)
26. Oldways Preservation & Exchange Trust. Mediterranean Diet Pyramid, 1994.
27. Oldways Preservation & Exchange Trust, Asian Diet Pyramid, 1988.
28. Cannon,G.,Ed.: Food,nutrition, and the prevention of cancer: a global perspective. Washington,D.C.:American Insititue for Cancer Research, 1997.
29. Second Report of the Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholestrol in Adults. National Cholesterol Education Program. National Insititues of Health, National Heart, Lung, and Blood Insititue, NIH publication 93-3095, 1993.
30. Vogt,T.M.,Appel,L.J.,Obarzanek,E.,*et al.*: Dietary Approaches to Stop Hypertension: rationale, design, and methods. *J.Am.Diet.Assoc.* **99**(8suppl): S12-8, 1999.
31. Nicholson,A.S.,Sklar,M.,Barnard,N.D.,*et al.*: Toward improved management of NIDDM: a randomized, controlled,pilot intervention using a low fat, vegetarian diet. *Prev.Med.* **29**(2): 87-91, 1999.
32. Whitten,C.,Haddad,E.,Sabate,J.: Developing an vegetarian food guide pyramid: a conceptual framework. *Veg. Nutr;Int.J.* **1**/1: 25-29, 1997.
33. Key,T.J.,Fraser,G.E.,Thorogood,M.,*et al.*: Mortality in vegetarians and nonvegetarians: detailed findings from a collaborative analysis of five prospective studies. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 516-24S, 1999.
34. Kromhout,D.,Bosschieter,E.B.,De Lezenne,Coulandere.: The inverse relation between fish consumption and 20-year mortality from coronary heart disease. *N.Engl.J.Med.* May **9**; 312(19):1205-9, 1985.
35. Vegetarian Nutrition, The Proceedings of a symposium held in Loma Linda, CA, March 24-26,1997. Johnston P.K. and Sabate,J.,Eds.*Am.J.Clin.Nutr.*, September Vol.**70**(suppl),No.3(S), 1999.
36. Johnston,P.K.(Ed.): Second International Congress on Vegetarian Nutrition. Proceedings of a Syposium held in Arlington, VA, June 28-July 1,1992. *Am.J.Clin.Nutr.* **59**: 1099S-1262S, 1994.
37. Fraser,G.E.: Diet as primordial prevention in Seventh-Day Adventists. *Prev.Med.* Dec;**29**(6Pt2): S18-23, 1999.
38. Sanders,T.A.: The nutritional adequacy of plant-based diets. *Pro.Nutr.Soc.* May;**58**(2): 265-9, 1999.
39. Key,T.J.,Fraser,G.E.,Thorogood,M.,*et al.*: Mortality in vegetarians and non-vegetarians: a collaborative analysis of 8300 deaths among 76,000 men and women in five prospective studies. *Public Health Nutr.* **1**: 33-41, 1998.
40. Snowdon,D.A.: Animal product consumption and mortality because of all causes combined, coronary heart disease, stroke, and diabetes, and cancer in Seventh-Day Adventists. *Am.J.Clin.Nutr.* **48**(suppl): 739-48, 1988.
41. Appleby,P.N.,Thorogood,M.,Mann,J.I.,Key,T.: The Oxford Vegetarian Study:an overview. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 525S-31S, 1999.
42. Trock,B.,Lanza,E.,Greenwald,P.: Dietary fiber, vegetables,and colon cancer: a critical review and meta-analysis of the epidemiologic evidence. *J.Natl.Cancer Inst.* **82**: 659-61, 1990.
43. American Dietic Association Position Paper: Vegetarian Diets. *J.Am.Diet.Assoc.* **97**: 1317, 1997.
44. Cao,G.,Sofic,E.,Prior,R.L.: Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J.Agric.Fd.Chem.* **44**: 3426-3431, 1996.
45. Dreosti,I.: Bioreactive ingredients: antioxidants and polyphenols in teas. *Nutr.Rev.* **54**(11): S51-S58, 1996.
46. Kromhout,D.,*et al.*: Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: The Zutphen Elderly Study. *Lancet* **342**: 1007-1011, 1993.
47. Zheng,W.,*et al.*: Tea consumption and cancer incidence in a prospective cohort study of postmenopausal women. *Am.J.Epidemiol.* **144**(2): 175-182, 1996.
48. Keli,S.O.,*et al.*: Dietary flavonoids, antioxidant vitamins and incidence of stroke: The Zutphen Study. *Srch.Int. Med.* **156**: 637-642, 1996.

49. Ninth Special Report to the U.S. Congress on Alcohol and Health from the Secretary of Health and Human Services June 1997. U.S. Dept Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, and National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism. NIH publication No.97-4017.
50. Haddad,E.H.: Development of a vegetarian food guide. *Am.J.Clin.Nutr.* **59**: 1248S-1254S, 1995.
51. Slavin,J.L.,*et al.*: Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 459S-63S, 1999.
52. Kushi,L.H.,Meyer,K.A.,and Jacobs,D.R.: Cereals, legumes, and chronic disease risk reduction: evidence from epidemiologic studies. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 451S-8S, 1999.
53. Ripsin.C.M.,Keenan,J.M.,Jacobs,D.R.,*et al.*: Oat products and lipid lowering: a meta analysis. *JAMA* **267**: 3317-25, 1992.
54. Pennington,J.A.T. Bowes & Church's Food Values of Portions Commonly Used, 17th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 1998.
55. Kushi,L.H.,Meyer,K.A.,Jacobs,D.R.,Jr.: Cereals, legumes, and chronic disease risk: evidence from epidemiological studies. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 452S-8S, 1999.
56. Messina,M. and Barnes,S.: The role of soy products in reducing risk of cancer. *J.Natl.Cancer Inst.* **83**: 541-6, 1991.
57. Anderson,J.W.,Smith,B.M.,and Washnock,C.S.: Cardiovascular and renal benefits of dry bean bean and soybean intake. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 464S-74S, 1999.
58. Messina,M.J.: Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 439S-50S, 1999.
59. Phillips,R.,Lemon,F.,and Kuzma,J.: Coronary heart disease mortality among Seventh-Day Adventists with differing dietary habits. *Am.J.Clin.Nutr.* Oct;**31**(10Suppl): S191-S198, 1978.
60. Sabate,J.: Nut consumption, vegetarian diet, ischemic heart disease risk, and all-cause mortality: evidence from epidemiologic studies. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 500S-503S, 1999.
61. Fraser,G.E.,Sabate,J.,Beeson,W.L.,and Strahan,M.: A possible protective effect of nut consumption on risk of coronary heart disease. *Arch.Intern.Med.* **152**: 1416-1424, 1992.
62. Hu,F.B.,Stampfer,M.L.,and Manson,J.E.*et al.*: Frequent nut consumption and risk of coronary heart disease in women: a prospective cohort study. *Br.Med.J.* **317**: 1341-1345, 1998.
63. Dreher,M.L.,Maher,C.V.,and Kearney, P.: The traditional and emerging role of nuts in healthful diets. *Nutr.Rev.* **54**: 241-245, 1996.
64. Spiller,G.A.,Jenkins,D.J.A.,Cragen,L.N.,*et al.*: Effects of a diet high in monounsaturated fat from almonds on plasma cholesterol and lipoproteins. *J.Am.Coll.Nutr.* **11**: 126-130, 1992.
65. Sabate,J.,Fraser,G.E.,and Burke,K.*et al.*: Effect of Walnuts on serum lipid levels and blood pressure in normal men. *N.Engl.J.Med.* **328**: 603-607, 1993.
66. Abbey,M.,Noakes,M. and Belling,G.B.*et al.*: Partial replacement of saturated fatty acids with almonds or walnuts lowers total plasma cholesterol and low-density lipoprotein cholesterol. *Am.J.Clin.Nutr.* **59**: 995-999, 1994.
67. Colquhoun,D.M.,Humphries,J.A.,and Moores,D.,*et al.*: Effects of a macadamia nut-enriched diet on serum lipids and lipoproteins compared to a low fat diet. *Food Aust:Off.J.Counc.Aust.Food Technol.Assoc.Aust Inst.Food Sci. Technol.* **48**: 216-222, 1996.
68. O'Byrne,D.J.,Kanuft,D.A.,and Shireman,R.B.: Low fat,monounsaturated rich diets contains high oleic peanuts improve the serum lipoprotein profiles. *Lipids* **32**: 687-695, 1997.
69. Kris-Etherton,P.M.,Yu-Poth,sabate,J.,*et al.*: Nuts and their bioreactive constituents: effects on serum lipids and other factors that affect disease risk. *Am.J.Clin.Nutr.* **70**(suppl): 504S-511S, 1999.
70. Sabate,J.,*et al.*: Effects of walnuts on serum lipid levels and blood pressure in normal men. *N.Engl.J.Med.* **328**: 603-7, 1993.
71. Morgan,W.A.,and Clayshulte,B.J.: Pecans lower low-density lipoprotein cholesterol in people with normal lipid levels. *J.Am.Diet.Assoc.* **100**: 312-318, 2000.
72. Edwards,K.*et al.* Effect of pistachio nuts on serum lipid levels in patients with moderate hypercholesterolemia. *J.Am. Coll.Nutr.* Jun;**18**(3): 229-32, 1999.
73. Wolff,R.L.,*et al.*: General characteristics of Pinus spp. Seed fatty acid compositions, and importance of delta-olefinic acids in the taxonomy and phylogeny of the genus. *Lipids* Jan;**35**(1): 1-22, 2000.
74. Wolff,R.L.,Christie,W.W.,and Coakley,D.: The unusual occurrence of 14metyldecanoic acid in Pinaceae seed oils among plants. *Lipids* Sep;**32**(9): 971-3, 1997.
75. Macfarlane,B.J.,*et al.*: Inhibitory effect of nuts on iron adsorption. *Am.J.Clin.Nutr.* Feb;**47**(2): 270-4, 1988.
76. Padmakumaran Nair,K.G.,Rajamohan,T.,KurupP.A.: Coconut kernel protein modifies the effect of coconut oil on serum lipids. *Plant Foods Hum. Nutr.* **53**(2): 133-44, 1999.
77. Sindhurani,J.A.,and Rajamohan,T.: Hyperlipidemic effect of hemicelluloses component of coconut fiber. *Indian J.Exp.Biol.* Aug;**36**(8): 786-9, 1998.
78. Kumar,P.D.: The role of coconut and coconut oil in coronary heart disease in Kerah,south India. *Trop.Doct.* Oct;**27**(4): 215-7, 1997.

豆 知 識

一般財団法人 食品分析開発センター SUNATEC

食品の放射能汚染の現状

1. はじめに

2011 年（平成 23 年）3 月の東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性物質が環境中に放出され、農作物、畜肉、魚介類などの食品に汚染が広がった。1 年後の 2012 年（平成 24 年）4 月に、放射性物質の暫定規制値が基準値（放射性セシウム濃度として）に変更された。原子力発電所事故から 4 年が経過し、国民の食品の放射能汚染の関心も低くなってきた。食品の放射能検査を通して、現在の汚染状況について紹介する。

2. 国内産食品の汚染状況

当財団にご依頼される国内産食品では、基準値（放射性セシウム濃度として）を超える食品は無く、検出される食品もほとんど見られなくなった。平成 26 年度の東京都内で流通した食品の調査では、1121 件の内、検出された食品は 4 件、基準値を超えた食品は 0 件であった。

また、平成 26 年度の厚生労働省による全国調査では、314216 件の食品調査で、検出された食品は 11081 件（3.53%）、基準値を超えた食品は 564 件（0.18%）であった。事故より 1 年後の、基準値が変更された平成 24 年度の全国調査（278276 件）の 8.39%の検出及び 0.83%の基準値超えと比較するとかなり減少している。

平成 26 年度 国内産食品の放射性セシウム調査結果

年月	調査件数	検出件数 (検出率 %)	* 基準値超過件数 (基準値超過率 %)
平成 26 年 4 月	28312	1062 (3.75)	38 (0.13)
5 月	21619	1335 (6.18)	56 (0.26)
6 月	31679	1239 (3.91)	36 (0.11)
7 月	24519	663 (2.70)	33 (0.13)
8 月	23676	618 (2.61)	33 (0.14)
9 月	31696	1122 (3.54)	59 (0.19)
10 月	25199	953 (3.78)	36 (0.14)
11 月	29381	1118 (3.81)	70 (0.24)
12 月	31094	1023 (3.29)	46 (0.15)
平成 27 年 1 月	15610	659 (4.22)	49 (0.31)
2 月	23934	622 (2.60)	47 (0.20)
3 月	27497	667 (2.43)	61 (0.22)
平成 26 年度合計	314216	11081 (3.53)	564 (0.18)

* 一般食品の放射性物質の基準値（放射性セシウム濃度として）：100Bq/kg

3. 輸入食品の汚染状況

2012年（平成24年）4月の放射性物質の暫定規制値が基準値（放射性セシウム濃度として）に変更されたこと合わせて、輸入食品の放射性物質の基準値も、それまでの370Bq/kgから100Bq/kgに変更された。厚生労働省によると、新基準値に移行後の平成24年度から平成26年度の放射性物質の基準値超えは、平成24年度が4件、平成25年度が2件、平成26年度が2件あった。基準値超え、又は検出された食品は、主にヨーロッパからのベリー類とキノコ類であった。

平成26年度 輸入食品の放射性セシウム基準違反

品名	産地国	検出値（Bq/kg）
生鮮きのこ類：アンズタケ	ベラルーシ	190
無加熱摂取冷凍食品：果実の調整品	フランス	150

“厚生労働省ホームページ 輸入時における輸入食品違反事例より抜粋”

なお、平成26年度に、当財団にご依頼された輸入食品においても放射性セシウムが数件検出された。

ヨーロッパからの輸入食品の放射能汚染の原因は、1986年4月に起きたチェルノブイリ原子力発電所の事故による。検出される放射性セシウム-137は、半減期が30年と長く、現在でようやく半分に減少したことになる。汚染地域は、日本と異なり平原が多く、放射性物質が雨に流されず、土壌に留まりやすい。放射性セシウムを蓄積しやすいベリー類やキノコ類に汚染が見られる。

4. 食品の放射性物質汚染の今後の予測

東京電力福島第一原子力発電所事故による国内産食品の汚染は、日本の地形や気候により減少に向っている。注意が必要なのは輸入食品である。ヨーロッパから輸入される食品は、時折高濃度で基準違反が見られる。調査数も、国内産食品の調査数に比べると少なく、調査の目を潜り抜けて、基準値超えの食品が国内に流通する可能性がある。輸入食品を取り扱う食品業者は、国内汚染に繋がらないように注意する必要がある。

[参考文献]

- ・東京都福祉保健局ホームページ 食品衛生の窓 東京都の食品安全情報サイト
<http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/shokuhin/ryuutuu/index.html>
- ・厚生労働省ホームページ 違反事例
http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/yunyu_kanshi/ihan/index.html
- ・食品中の放射性物質の対応
http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/shokuhin.html

[参考文献]

1. 厚生労働省ホームページ

「食品に残留する農薬，飼料添加物又は動物用医薬品の成分である物質の試験法」

<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/zanryu3/siken.html#2>

2. 食安発 0226 第 1 号

「食品に残留する農薬，飼料添加物又は動物用医薬品の成分である物質の試験法の一部改正について」

厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知 平成 27 年 2 月 26 日

3. 厚生労働省ホームページ

「LC/MS による農薬等の一斉試験法Ⅱ（畜水産物）の妥当性評価試験結果（平成 24 ～ 25 年度）」

<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzentu/0000075418.pdf>

<http://www.newfoodindustry.com/>**ニューフードインダストリー 第58巻 第3号****印刷** 平成 28 年 2 月 25 日**発行** 平成 28 年 3 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)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

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

email:newfood@newfoodindustry.com