

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2014 Vol.56 No.9

9

論 説

- カリウム施肥によって変化するイネ体内の放射性セシウムとカリウムの動き
- フォトセンサと画像処理技術を活用したエダマメ用高精度選別機械の開発 (第2報)
- 米粉パン特有のテクスチャーの数値化と老化度の多面的評価
- イサダ由来の8-ヒドロキシエイコサペンタエン酸 (8-HEPE) による脂肪燃焼促進作用
- 社会システムにおける安全・安心・信頼 (1)
ー中国の食を巡る問題の複雑性とルーマンのリスク概念による分析ー
- 玄米抽出液及び玄米人工消化液に含まれるフィチン酸 (IP6) は,
 β -セクレターゼ 1 (BACE1) 活性を阻害する

解 説

- 新発見ビタミンK含有の意味するもの

特別寄稿

- Cytoprotective Effects of Opuntia Ficus-Indica Extract

連 載

- ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)
- “地域密着でキラリと光る企業”
仙台銘菓「萩の月」を創造した『株式会社 菓匠三全』



論 説

- ☐ カリウム施肥によって変化する
イネ体内の放射性セシウムとカリウムの動き
.....小林 奈通子, 登 達也 1

- ☐ フォトセンサと画像処理技術を活用した
エダマメ用高精度選別機械の開発 (第2報)
..... 鴻巣 直哉, 石川 祥大, 高橋 史夫, 片平 光彦, 夏賀 元康 8

- ☐ 米粉パン特有のテクスチャーの数値化と老化度の多面的評価
.....佐々木 朋子 21

- ☐ イサダ由来の 8-ヒドロキシエイコサペンタエン酸
(8-HEPE) による脂肪燃焼促進作用
..... 山田 秀俊 29

- ☐ 社会システムにおける安全・安心・信頼 (1)
-中国の食を巡る問題の複雑性とルーマンのリスク概念による分析-
.....三好 恵真子 35

- ☐ 玄米抽出液及び玄米人工消化液に含まれるフィチン酸 (IP6) は,
 β -セクレターゼ 1 (BACE1) 活性を阻害する
..... 谷口 正之, 阿部 貴子, 山中 崇, 築野 卓夫 45

Contents

2014 年 9 月号

解 説

- ☐ 新発見ビタミン K 含有の意味するもの
..... 伊東 芳則 54

特別寄稿

- ☐ Cytoprotective Effects of Opuntia Ficus-Indica Extract
..... ALEJANDRO MENA ACRA, HIROSHI SAKAGAMI, TOMOHIKO MATSUTA,
KAZUNORI ADACHI, SUMIKO OTSUKI, HIROSHI NAKAJIMA, KAZUE SATOH,
TAISEI KANAMOTO, SHIGEMI TERAOKUBO, HIDEKI NAKASHIMA,
ANGEL VISOSO ALGADO and NORMA MONTIEL BASTIDA 59

連 載

- ☐ ベジタリアン栄養学 歴史の潮流と科学的評価
(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)
..... ジョアン・サバテ, 訳: 山路 明俊 70
- ☐ “地域密着でキラリと光る企業”
仙台銘菓「萩の月」を創造した『株式会社 菓匠三全』
..... 田形 聡作 81

おいしさと健康に真剣です。

酵母エキス系調味料
コクベス

new発酵調味料
D&M
ディアンドエム

ゼラチン&小麦グルテン
酵素分解調味料
エンザップ

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

DM **大日本明治製糖株式会社**
食品事業部

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

カリウム施肥によって変化する イネ体内の放射性セシウムとカリウムの動き

小林 奈通子 (KOBAYASHI Natsuko I.) * 登 達也 (NOBORI Tatsuya) *

* 東京大学大学院 農学生命科学研究科

Key Words : イネ・稲作・ ^{137}Cs ・カリウム・施肥・放射性セシウム低減効果・実験

はじめに

福島第一原子力発電所の事故により、環境中に多くの放射性物質が放出されてから3年半が経過しようとしている。事故当年に500 Bq/kgと定められた食品中の放射性セシウム濃度に対する暫定規制値は、翌2012年には基準値として100 Bq/kgに引き下げられた。福島県の主力農産物である米については2012年度と2013年度には全袋検査が行われ、出荷に先立って100 Bq/kg以下であることの確認がなされた。そして、県のホームページを通じて公表されている測定結果によると、基準値を超えたのは、1千万袋を超える米のうち2012年度では0.0007%、2013年度には0.0003%にとどまっている¹⁾。

ほとんどの水田では基準値を超える米は産出されない状況であることは、現状のままで稲作の継続が可能であることを示している。しかしながら実際には、米の放射性セシウム含量をゼロに限りなく近づけるための努力が続けられている。そして何より、極めて少ない数ながらも、基準値を超える放射性セシウムを含む米が収穫されるに至った要因を一つ一つ分析することが求められている。要因を特定し、そのメカニズムを解明することは、放射性セシウムの低減に有効な農業施策の推進や、有効性が低い

施策の見直し、あるいは、通常効果を有する施策が例外的に効果を示さない条件の特定を通して、安定的かつ効率的な営農の実現につながると期待される。本稿では、放射性セシウムの低減効果が早くから示されていたカリウム施肥の作用機構について、植物生理学的な面から検証した結果を紹介する。

1. セシウムとカリウムの関係

2011年の秋、収穫が終わった水田土壌の交換性カリウム濃度と、そこで収穫されたコメの放射性セシウム濃度の関係が調べられ、両者は明らかに負の相関関係にあることが示された²⁾。つまり、水田土壌に交換性カリウムが少ないと、イネは放射性セシウムを大量に吸収するのである。そして、この調査結果をもとに発表された政府報告書で、水田へのカリウム施肥が推奨されるに至った。ところで、そもそもコメの放射性セシウム汚染の要因を分析する際に、交換性カリウム濃度が分析対象に含められたことは偶然ではない。ともにアルカリ金属に属すカリウムとセシウムは生体内での動態がよく似ていることが知られており、植物研究分野においても、植物によるセシウムの吸収や植物体内での移行

について、カリウムとの関連性が長年調べられてきたという背景がある^{3,4)}。イネ (*Oryza sativa*, L. Nipponbare) の根によるセシウムとカリウムの吸収が競合関係にあることを確認した実験の例を図1に示した。各元素の吸収量は、水耕液にトレーサーとして少量添加しておいた¹³⁷Csと⁴²Kという放射性同位体を定量的に検出することで算出した。水耕液に含まれるセシウム濃度を100 nmol/Lに保ったままカリウム濃度を上げていくと、カリウムの吸収量が増え、セシウムの吸収量が減る(図1)。

しかも、この傾向は、カリウムが低濃度域にあるときに特に顕著である。近年では分子生物学的な研究の発展によって、この現象の原因となる分子の特定も進んでおり^{5,6)}、カリウム施肥推奨の科学的な根拠を提供している。

根によって吸収された後のセシウムとカリウムの植物体内動態についても様々な研究例があるが^{7,8)}、吸収のメカニズムに関する知見と比較すると、これまでに得られたコンセンサスは限定的であると言えよう。しかしながら、植物の生育時におけるカリウム栄養状態、すなわち、カリウムが十分であるか欠乏しているかによって、植物体内のセシウム動態が影響を受けることは間違いないようである。

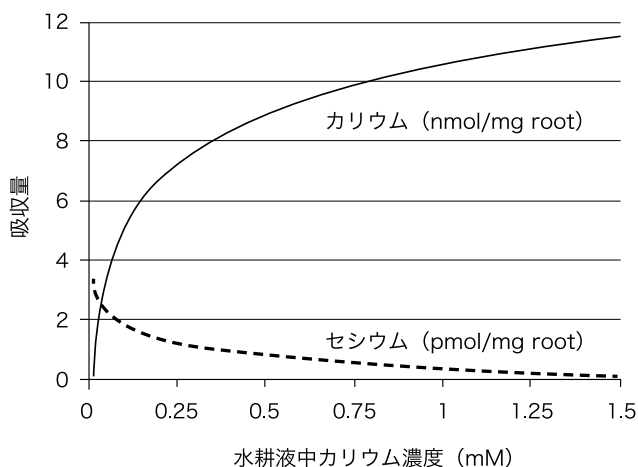


図1 イネの根による30分あたりのカリウムとセシウムの吸収量

る必要はなく、本実験から得られる結果は純粋に植物の持つ基本的な生理活動として解釈できる。水耕液としては、カリウムを十分に含む栄養水耕液と、そこからカリウムを除いたものの2種類を使用し、それぞれカリウム十分条件、欠乏条件として、播種後3週目から処理を開始した。また、¹³⁷Csを水耕液に加える期間は、播種後3週間目から収穫期まで、あるいは、出穂後から収穫期までとした。

まず、播種後3週間目から収穫期まで¹³⁷Csを与えた場合の、イネの地上部における¹³⁷Csの分布を図2に示す。図2の上段のオートラジオグラム像では、¹³⁷Cs濃度が高いほど濃く写る。これによると、カリウム欠乏によってイネ地上部の¹³⁷Cs含量は2.5倍程度に上昇する。さらに、カリウム十分条件のイネでは下位葉と中位葉という古い葉の¹³⁷Cs濃度が高いのに対し、カリウム欠乏条件のイネでは上位葉、稈、そして穂での濃度が顕著に高い。図2の下段の円グラフは穂とワラへの¹³⁷Cs分布割合であり、カリウムが欠乏すると、穂への分布割合が高まることが分かる。実は、このような放射性セシウムの2通りの分布パターンは、2011年秋に福島県内で収穫されたイネでも見られてい

2. カリウム栄養条件によって変化するイネ体内のセシウム分布

本稿で紹介する実験は、¹³⁷Csをトレーサーとして水耕液に加え、そこで栽培したイネのどこにどれだけの¹³⁷Csが分布したのかを調べたものである。イネは、温度や明暗条件がコントロールされた人工気象器内で水耕栽培したため、水田の調査で検討されるような、土質や水質、あるいは気候といった環境要因を考慮す

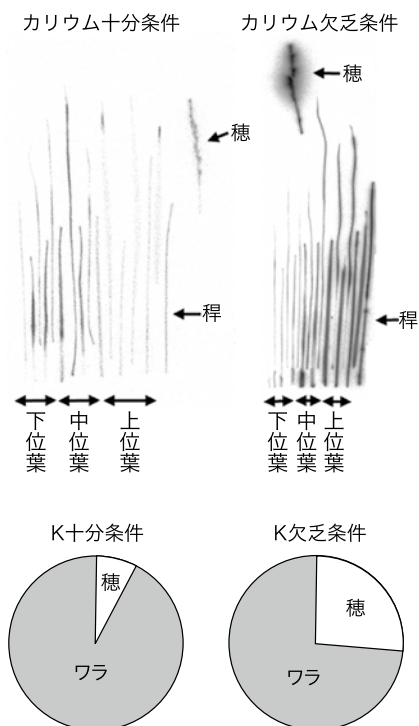


図2 イネ地上部における ^{137}Cs 分布

た⁹⁾。上位葉や稈、穂での放射性セシウム濃度が高いイネが収穫された水田はカリウム不足であったと考えられ、実際に、カリウムを施肥した後に同じ水田で翌年収穫されたイネでは、放射性セシウム含量が大きく低下した。

3. 無機元素濃度に及ぼすカリウムの影響

カリウム栄養条件は、特にセシウムの分布に限って影響を与えるのであろうか。この問いは、カリウム施肥がコメの放射性セシウム低減を促す原理をひもとく上で重要である。そこで、収穫期のイネの各組織に含まれるカリウム、マグネシウム、カルシウム、ナトリウム濃度を ICP 発光分析法で、 ^{137}Cs 濃度をガンマカウンターで測定した (図3)。その結果、葉のカリウム濃度はカリウム欠乏によって激減する一方で、稈、もみ殻、玄米ではほとんど変化がないことがわかった。また、カリウム十分条件では玄米

中のカリウム濃度は葉よりも少なく、カリウム欠乏条件では一転して葉よりも濃度が高まるという傾向が見て取れた。そしてこの傾向は、 ^{137}Cs の濃度についても同様に見られるものであった。ただし、カリウム欠乏条件下で稈、もみ殻、玄米のカリウム濃度に変化が見られなかったこととは対照的に、 ^{137}Cs の濃度はカリウム欠乏によって 10 倍以上に上昇した。

マグネシウムとカルシウムはアルカリ土類金属元素であり、生物の多量必須元素である。この2つの元素濃度は玄米で低く、下位葉や中位葉では高かった (図3)。カリウムが欠乏すると、マグネシウムの濃度はやや高まり、カルシウムの濃度は低くなることが分かったが、各組織の変化量は最大でも 2.5 倍の範囲内であった。

植物種によっては、カリウム不足に陥いるとナトリウムを積極的に吸収するようになり、カリウム欠乏症を緩和することができると古くから言われている¹⁰⁾。図3からも、カリウム欠乏条件下で、ナトリウムが積極的に吸収され、茎葉部に蓄積されている様子がうかがわれた。しかし唯一、玄米においては、ナトリウム濃度はカリウムの有無によらず非常に低く保たれた。この結果は、ナトリウムのカリウム代替作用は穂では示されないとした既往の研究報告と合致するものである¹¹⁾。また、カリウム欠乏によって玄米中の濃度が大きく上昇した ^{137}Cs とは対照的であり、地上部でのナトリウムとセシウムの動態は別個のメカニズムによって制御されている部分が大いことが示唆される。そして、地上部全体での ^{137}Cs とカリウムの濃度分布を俯瞰すると、両者は非常によく似ている (図3) ことから、イネ体内での両者の動態には共通の輸送メカニズムが関与している可能性が考えられた。つまり、カリウム欠乏条件下では、体内のカリウムを穂へ集中させる機構が働き、その過程にセシウムが混入する形で、カリウムとともにセシウムが穂へ集められるという

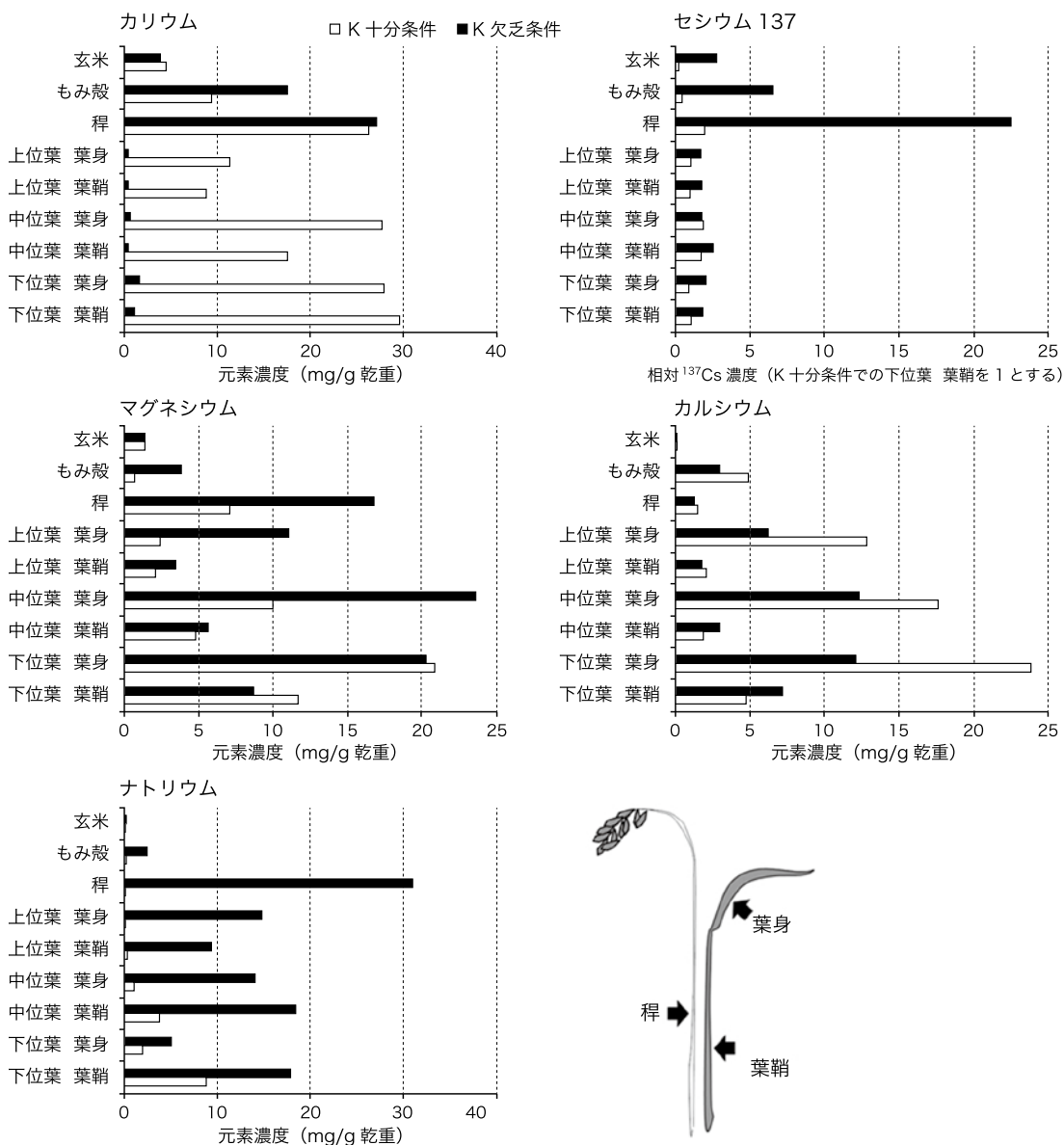


図3 カリウム十分条件および欠乏条件下で栽培したイネ体内の元素濃度

メカニズムが想定されるのである。カリウムの施肥が穂の放射性セシウム含量を低減する効果は、根からの放射性セシウムの吸収の抑制に加え、穂に放射性セシウムが集積することを防ぐことで発揮されているのではないかと予想される。

4. セシウムとカリウムの動きの相違点

カリウムの輸送メカニズムによってセシウムの動きもコントロールされている可能性があるものの、実際には両元素の動きが全く同じというわけではない。もしも全く同じように動くのであれば、イネ体内のどの組織においても、カ

リウム濃度とセシウム濃度の比は同じになるはずであるが、例えば上位葉と玄米における濃度比だけを見ても、値が同じではないことが分かる(図4)。上位葉葉鞘でのカリウム濃度対セシウム濃度比を1とすると、葉身での比はそれと同じ程度であるが、玄米では約4倍になる。つまり、玄米ではセシウムに対するカリウムの選択性が高まっているのである。この現象をもたらすメカニズムとして、イネにおけるセシウムとカリウムの吸収輸送に関して2種類の可能性が考えられた。1つ目は、玄米が形成される時期には根によるカリウム吸収の選択性が高まり、吸収されたカリウムが玄米へと優先的に輸送されるというものである。しかし、カリウム濃度対セシウム濃度比が葉よりも玄米で高いという現象は、カリウム欠乏条件、すなわち播種後3週目以降は水耕液にカリウムを含まない条件で育てたイネでも見られたことを考慮すると(図4)、仮にこのメカニズムが存在したとしても、本実験結果に与えた影響は小さいと考えられた。そして2つ目の可能性は、玄米の形成に必要なカリウムは既存の茎葉から供給され、そのプロセスにおけるカリウムの選択性が高いというものである。この可能性について検討するためにカギとなるのは、穂に含まれるセシウム

が、いつ水耕液から吸収されたものかということである。

5. 穂に含まれるセシウムの由来

収穫期の穂に含まれるセシウムが、イネの成長のどの段階で吸収されたものであるかを調べるため、播種後3週目から収穫期まで ^{137}Cs を与え続けたイネと、出穂期以降のみ ^{137}Cs を与えたイネの穂に含まれる ^{137}Cs の量を比較した。すると、水耕液中のカリウムが十分か欠乏かによらず、穂に含まれる ^{137}Cs の9割以上が、出穂期より以前にすでに吸収されていたものであることが判明した(図5)。つまり、根から吸収されたセシウムは茎葉に蓄積され、出穂期以降に穂が成長する際に、茎葉から穂へと輸送されていくということになる。このことは、前述の、 ^{137}Cs の穂に分布する割合がカリウム欠乏条件下で高まる(図2)という現象が、茎葉から穂へのセシウムの輸送がカリウム欠乏条件によって活性化されることで起こったものであることも示している。そこで次に問題となったのは、どの時点でのカリウム欠乏が、 ^{137}Cs の動きを決定するのかである。この問いに答えるこ

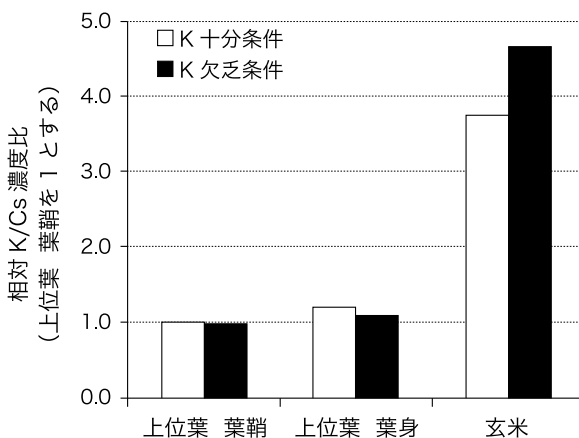


図4 上位葉と玄米におけるKと ^{137}Cs の濃度比の相対値

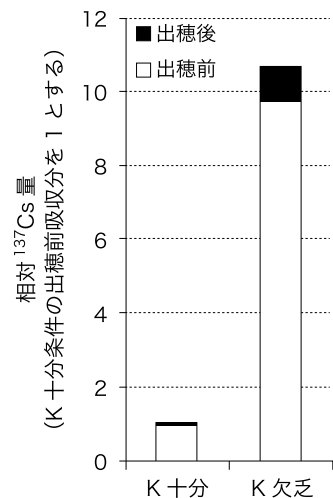


図5 収穫期の穂に含まれる ^{137}Cs の吸収時期

とは、実際の稲作において、コメに含まれる放射性セシウムを低減させるためにカリウム施肥を行う場合、どの時期の施肥が効果的かを明らかにすることにもつながる、重要な課題と考えられた。

6. カリウム追肥がセシウムの動きに与える影響

イネは出穂と期を同じくして開花し、続いて玄米が成長し始めるとともに糖や栄養元素などが玄米へと輸送される。この時にセシウムも玄米へと流入すると思われるため、出穂期における水耕液中のカリウム条件がセシウムの動きに与える影響を調べることにした。実験としては、イネをカリウム欠乏条件下で ^{137}Cs を与えながら出穂期まで栽培し、それ以降はカリウム十分条件に変えて ^{137}Cs を与えずに収穫期まで栽培した。

まず、これまでの実験結果から、収穫期まで継続してカリウム十分条件、あるいは欠乏条件で育てたイネの場合、出穂前に吸収された ^{137}Cs のうち、収穫期に穂に分布する割合はそれぞれ 17.3% と 27.8% であると算出された (表 1)。これに対し、出穂期まではカリウム欠乏条件で育て、出穂期以降はカリウム十分条件で育てたイネでは、出穂前に吸収された ^{137}Cs のうち 25% が穂へと輸送されることが分かった (表 1)。穂に含まれる ^{137}Cs のうち 90% が出穂前に吸収されたものとすれば (図 5)、収穫期において穂に含まれる ^{137}Cs を、7% 程度下げる効果があるということになる。なお、図 5 に示したように、穂に含まれるセシウムのうち 10% 程度は出穂

期以降に吸収されている。出穂期以降の追肥が、この、出穂期以降のセシウム吸収を抑制する作用が大きい可能性を考慮すると、出穂期以降のカリウム追肥の植物の生理学的な側面からの放射性セシウム低減効果は、最大で 17% 程度と推定された。この数値が、カリウム追肥に期待される効果に対して大きい小さいかの判断は別にして、穂に放射性セシウムを蓄積させないためには、出穂前までの生育初期段階に十分にカリウム施肥を行うことのほうが肝要であると結論できるだろう。

おわりに

世界的に見て、食事構成は年々多様化してきているものの、世界人口のエネルギー摂取量のうち半分を占めるのは依然として穀物である¹²⁾。穀物の中でも、米、小麦、トウモロコシは三大穀物と言われ、特に米の世界生産量のうち 9 割がアジアで生産されており、アジアでは米が主食とされている。それだけに、米の構成成分の如何は多くの人々の食事の質に影響を与えることになる。そしてそれゆえに、米に含まれる有害元素を減らし、有用な元素を増やす取り組みが盛んにおこなわれている。近年、特に注視されている有害元素としてはカドミウムとヒ素、そして放射性セシウムが挙げられよう。カドミウムについては、日本人が生涯を通して摂取する量の半分近くが米からの摂取であることもあって、米のカドミウム含量を減らすことは重要なテーマである。一方、有用な元素を多く含む作物を生産することを目的とした取り組みはバイオフォーティフィケーションと呼ばれ、エネルギー摂取量は十分であってもミネラルが欠乏することによって健康を損なう、いわゆる“隠れた飢餓”の防止の観点からも、多くの研究活動がなされている。そして、これらの研究の進展のためには、各無機元素の植物体内動態を把握した上で、動態をコントロールするメカニズ

表 1 出穂前に吸収された ^{137}Cs の穂への分布率

カリウム条件		穂分布率 (%)
出穂前	出穂後	
十分	十分	17.3
欠乏	欠乏	27.8
欠乏	十分	25.0

ムを理解することが非常に重要と考えられる。各無機元素の植物体内での移行を担う分子の同定を目指した遺伝学的な解析は、イネやシロイヌナズナといったモデル植物を中心に進展しており、セシウムについても既にいくつかの候補

分子が報告されている¹³⁾。今後は、これらの研究から得られる情報が稲作の現場に有効活用され、米の放射性セシウム含量のさらなる低減につながり、また、安定した営農の一助となっていくことが期待される。

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

- 1) ふくしまの恵み安全対策協議会ホームページ：<https://fukumegu.org/ok/kome/>
- 2) 暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が生産された要因の解析（中間報告）：http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyu/05gensiryoku/240112_tyukan.pdf
- 3) E. Smolders, K. VandenBrande, R. Merckx : Concentrations of Cs-137 and K in soil solution predict the plant availability of Cs-137 in soils, *Environ. Sci. Technol.* **31**(12) : 3432-3438, 1997.
- 4) W. L. Robison, E. L. Stone, T. F. Hamilton, C. L. Conrado: Long-term reduction in Cs-137 concentration in food crops on coral atolls resulting from potassium treatment. *J. Environ. Rad.* **88** (3) : 251-266, 2006.
- 5) Z. Qi, C. R. Hampton, R. Shin, B. J. Barkla, P. J. White, D. P. Schachtman : The high affinity K⁺ transporter AtHAK5 plays a physiological role in planta at very low K⁺ concentrations and provides a caesium uptake pathway in *Arabidopsis*. *J. Exp. Bot.* **59** (3) : 595-605, 2008.
- 6) Y-G. Zhu and E. Smolders : Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application. *J. Exp. Bot.* **51** (351) : 1635-1645, 2000.
- 7) W. L. Robison, P. H. Brown, E. L. Stone, T. F. Hamilton, C. L. Conrado, S. Kehl : Distribution and ratios of Cs-137 and K in control and K-treated coconut trees at Bikini Island where nuclear test fallout occurred: effects and implications. *J. Environ. Rad.* **100** (1) : 76-83, 2009.
- 8) R.M. Anjos, B. Mosquera, N. Sanches, C.A. Cambuí, H. Mercier : Caesium, potassium and ammonium distributions in different organs of tropical plants. *Environ. Exp. Bot.* **65** (1) : 111-118, 2009.
- 9) 田野井 慶太郎, 小林 奈通子, 小野 勇治, 藤村 恵人, 中西 友子, 根本 圭介 : 2011 年における福島県の汚染された農地における収穫期イネの放射性セシウム濃度分布, *Radioisotopes* **62** : 25-29, 2013.
- 10) 間藤 徹, 馬 建鋒, 藤原 徹 編 : 「植物栄養学 第2版」, 文永堂出版, 2010.
- 11) 長谷川 栄一, 斉藤 公夫, 久末 勉 : 水稲によるカリウムとナトリウムの吸収, *東北農業研究* **33**: 59-60, 1983.
- 12) The State of Food Insecurity in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012.
- 13) U. Kanter, A. Hauser, B. Michalke, S. Dra "xl, A. R. Scha" ffer : Caesium and strontium accumulation in shoots of *Arabidopsis thaliana*: genetic and physiological aspects. *J. Exp. Bot.* **61** (14) : 3995-4009, 2010.

フォトセンサと画像処理技術を活用した エダマメ用高精度選別機械の開発（第2報）

鴻巣 直哉 (KONOSU Naoya) *1 石川 祥大 (ISHIKAWA Syo-ta) *1 高橋 史夫 (TAKAHASHI Fumio) *2
片平 光彦 (KATAHIRA Mitsuhiro) *1 夏賀 元康 (NATSUGA Motoyasu) *1

*1 山形大学農学部, *2 株式会社ガオチャオエンジニアリング

Key Words：枝豆・農業用機械・選別機・精度・改良

緒言

エダマメは2012年の全国作付面積が12,700 ha, 収穫量が71,600 t, 出荷量が51,500 tの指定野菜に準ずる特定野菜35品目の1つである。主な産地は新潟県(2012年度作付面積:1,580 ha), 山形県(1,480 ha), 群馬県(1,160 ha), 秋田県(1,060 ha), 千葉県(883 ha), 北海道(874 ha)となっている。全国の作付面積は前年比99%と減少したが, 収穫量と出荷量は前年比108~109%に増加している。特に本学のある山形県鶴岡市はダダチャマメの産地として有名であり, 2010年の経営体が987戸と栽培が盛んである¹⁾。また, 山形県全体では10aあたりの収量, 収穫量と出荷量が前年比130%と全国平均を大きく超えている²⁾。

エダマメは収穫量が増加する一方で, 収穫後の品質低下が早いため, 調製作業の効率化と早期予冷が品質維持の観点から必須になっている。そのため, 収穫調製作業では収穫機が38%, 粗選別機が62%, 予冷库が約60%の経営体で導入されるなど効率化が進んでいる³⁾。なお, 導入されている粗選別機は良品のエダマメ莢と同じ厚さの幅に設定した複数のガイドレールを振動させ, レールの間隙に未熟な莢を落

下して選別する機構である。その粗選別機は選別率が0.1, 不良品回収率が16%と作業精度が低い。そのため, 生産現地では手作業での精選別作業(作業能率:10 kg/時間, 42時間/10 a, 選別率:0.6~0.7)を追加しており, 栽培面積拡大に伴う収穫量の増加に対応できない現状にある。そこで, 選別作業を改善して生産規模を拡大するには, 高能率で高精度な選別機の導入が不可欠である。

前報⁴⁾ではエダマメの機械選別に必要な基準を確定し, それを基に画像処理による傷害検出方法, および透過画像を利用した子実熟度検出方法を用いた実用規模のエダマメ選別機を試作して実験を行った。その結果, 開発機は作業能率が36~46 kg/h, 選別率が0.09~0.35となり, 作業能率と作業精度ともに改善の必要性が示唆された。すなわち, エダマメは平均収穫量が800~1000 kg/10aであるため, 一日あたりの収穫面積を6~10 aと仮定すると480~1000 kgを処理する必要がある。その場合, 選別機はそれに対応するため, 1日8時間の稼働として時間あたり60~125 kgを処理する必要がある。また, 人手の精選別作業では上記したとおりの精度を有するため, それと同等の能力

が求められる。

そこで、本稿では日本の水田転作作物として有望な作目であるエダマメ生産の効率化を進めて農家の粗収益増加と機械開発に伴う地域産業の活性化を目的に、これまで得られたエダマメ選別機開発に伴う諸問題を解決して市販化に耐えうる高精度な選別機の開発を行った。実験は作業能率が 120 kg/時間以上、選別率 0.6 以上の精度を有するエダマメ選別機の開発を目標に、前報で開発した検出手法を適用した機種に加えて、振動フィーダを用いた分離機構と各選別項目を画像処理のアルゴリズムで検出するシステムを用いた新たなエダマメ選別機を開発し、それぞれ作業能率と作業精度を調査した。

1. 実験方法

1-1. 実験場所と供試材料

エダマメの選別実験は 2012 ～ 2013 年に山形県内の鶴岡市と大江町で行った。

供試材料は、2012 年が山形大学農学部附属

農場で栽培したエダマメ 4 品種（品種名：湯あがり娘；中生，庄内 3 号；中生，あきた香り五葉；中晩生，秘伝；晩生），鶴岡市の生産者が栽培したエダマメ 4 品種（品種名：早生甘露；早生，甘露；中生，庄内 3 号；中生，庄内 5 号；中晩生）の 7 品種 8 サンプルを用いた。2013 年度は山形大学農学部附属農場で栽培したエダマメ 4 品種（品種名：湯あがり娘，庄内 3 号，あきた香り五葉，庄内 5 号），秋田県農業試験場で栽培したエダマメ 2 品種（グリーン 75；早生，湯あがり娘），山形県農業試験場で栽培したエダマメ 2 品種（秘伝，彼岸青；晩生），山形県大江町の生産者が栽培したエダマメ 1 品種（秘伝）の合計 7 品種 9 サンプルを用いた。栽培の概要と使用した選別機の種類を表 1 に示す。

収穫したエダマメ莢は、それぞれ市販の脱莢機とエダマメコンバイン（山形県農業総合研究センター試作機）で脱莢して選別機で粗選別を行った。

表 1 供試材料

年次	品種名	系統	栽培場所	収穫日	使用選別機
2012	早生甘露	早生	鶴岡市	8 月 13 日	12-A 型
	湯あがり娘	中生	山形大学附属農場	8 月 14 日	12-A 型
	甘露	中生	鶴岡市	8 月 22 日	12-A 型
	庄内 3 号	中生	鶴岡市・山形大学附属農場	9 月 4 日	12-B 型
	庄内 5 号	中晩生	鶴岡市	9 月 8 日	12-B 型
	あきた香り五葉	中晩生	山形大学附属農場	9 月 4 日	12-B 型
	秘伝	晩生	山形大学附属農場	9 月 25 日	12-B 型
2013	グリーン 75	早生	秋田県農業試験場	7 月 23 日	13 型
	湯あがり娘	中生	山形大学附属農場	8 月 5 日	13 型
			秋田県農業試験場	—	13 型
	庄内 3 号	中生	山形大学附属農場	8 月 23 日	13 型
	あきた香り五葉	中晩生	山形大学附属農場	8 月 28 日	13 型
	庄内 5 号	中晩生	山形大学附属農場	9 月 9 日	13 型
	秘伝	晩生	山形県農業総合研究センター	9 月 25 日	13 型
			山形県大江町	9 月 25 日	13 型
	彼岸青	晩生	山形県農業総合研究センター	9 月 25 日	13 型

1-2. 試作エダマメ選別機の概要

1-2-1. 2012 年度試作機

2012 年度の実験では、エダマメ選別機 12-A 型（株式会社山本製作所，試作機：以下 12-A 型）とエダマメ選別機 12-B 型（株式会社ガオチャオエンジニアリング，試作機：以下 12-B 型）を用いた。

12-A 型はエダマメ莢を搬送する搬送用傾斜コンベア，莢の整列と引き離しを行う振動フィーダと搬送用コンベア，莢の形状と熟度を検出する熟度・形状検出部，莢の変色系傷害を検出する傷害検出部，莢を良品と不良品に分類する選別部で構成した（図 1）。12-A 型の形状特性は全長 2,000 mm，全幅 590 mm，全高 1,055

mm，質量 170 kg である。

12-A 型の特徴を以下に示す。

- 搬送部：搬送部は 2 段階の振動フィーダと搬送用ベルトコンベアを配置し，5 列の搬送ラインに対してエダマメ莢が均等に振り分けられると同時に莢の引き離しを行った。
- 熟度・形状検出部：熟度・形状検出部は前報と同様にアナログ出力型ファイバーセンサ（azbil, HPX-MA，出力範囲：1 ～ 5V，応答時間：1 ～ 50 ms）に取り付けた光ファイバー（azbil, HPF-T021T，スクリーン幅 15 mm）で行い，搬送部の端に投光部と受光部を設置した。ファイバーセンサは，投光部と受光部の間をエダマメ莢が通過した際に変化する光量を検

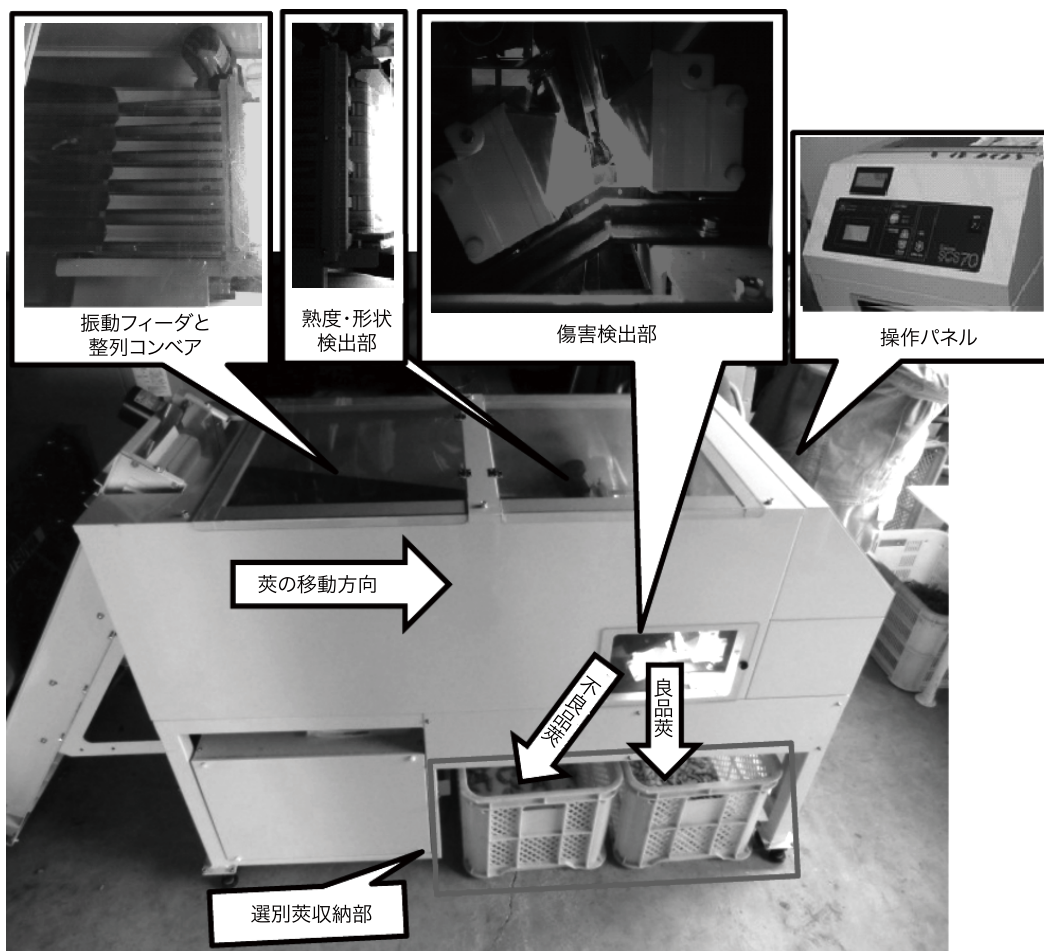


図 1 エダマメ選別機 12-A 型

出し、それをアナログ信号として出力する。

- c. 傷害検出部：傷害検出部は照明とラインセンサ（山本製作所，CLX-502DF，分解能：水平 0.115 mm，垂直方向：0.25 mm）2 基を搬送用ベルトコンベア先端に相対するように配置し，5 条の搬送部から運ばれ，落下するエダマメ莢全周の撮影を行った。
- d. 選別部と制御部：選別部はエアエジェクタと選別板で構成した。各検出部の情報を処理する制御部は画像判別装置（山本製作所，CLX-502DF）とシーケンサ（Panasonic，EPG-C32T）で構成した。情報処理は各検出部を通過したエダマメ莢を前報で示した選別アルゴリズムで分類して，良品判定莢を自然落下させて良品側に，不良品判定莢に対してのみエアを噴射して不良品側に分類した。

12-B 型は投入されたエダマメ莢をベルトコンベアで搬送する搬送部，2 台の CCD カメラで子実熟度と形状，病虫害による傷害莢を検出する検出部，良品判定莢と不良品判定莢にエアで分類する選別部，選別基準の設定と情報の処理を行うパソコンで構成した（図 2）。12-B 型の形状特性は全長 1,600 mm，全幅 300 mm，全高 1,300 mm である。

12-B 型の特徴を以下に示す。

- a. 整列搬送部：12-B 型でのエダマメ莢の整列搬送は投入部とカメラ 1 の間とカメラ 2 の前の計 2 か所に回転式の整列機構を設けた。1 段目と 2 段目のベルトコンベアは段差を付けて配置し，エダマメ莢がその前後で反転するようにした。なお，12-B 型はベルトコンベア内でのエダマメ莢の滞留を防止するため，12-A

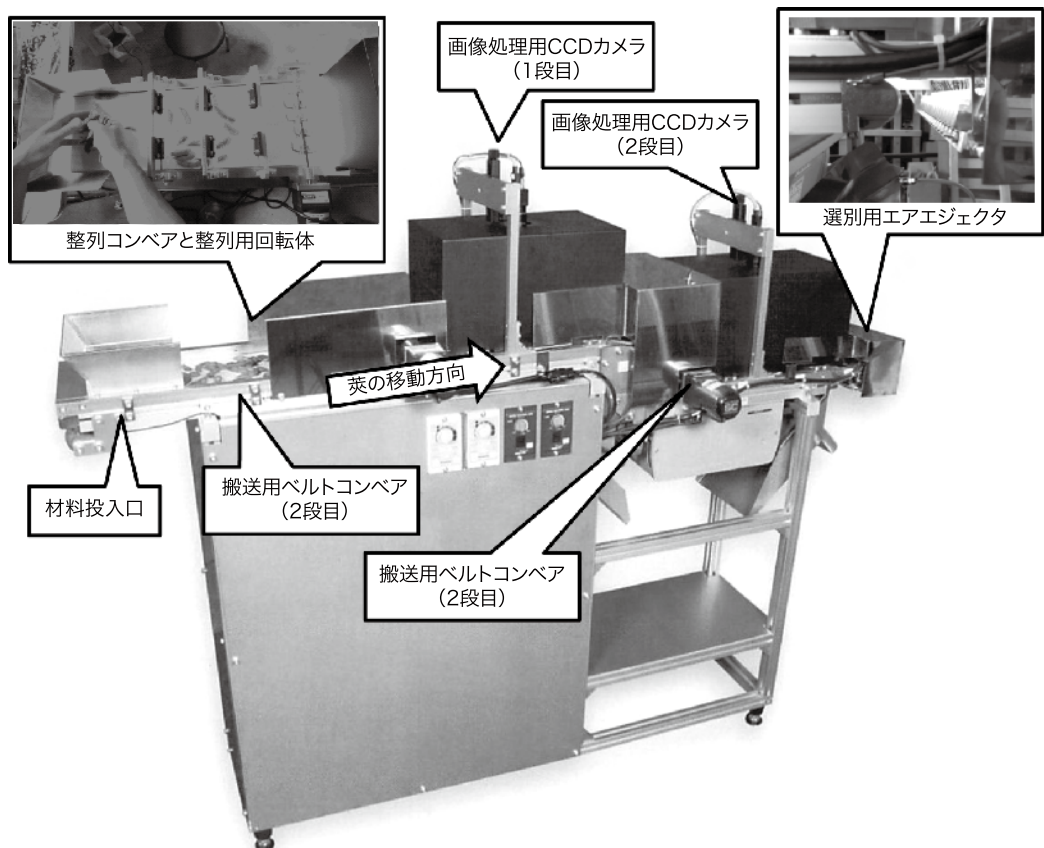


図 2 エダマメ選別機 12-B 型

型に組み込んだ搬送ラインを設置せず、エダマメ莢がランダムに搬送される型式とした。

- b. 形状と傷害検出部：エダマメ莢の形状と傷害莢の検出は2台のCCDカメラで莢を撮像して各傷害を抽出し、複数の検出アルゴリズムを組み込んだ画像処理で良品と不良品莢に判定した。画像処理アルゴリズムはエダマメ莢の長さ、幅、色相、彩度、輝度を多角的に判別し、光の三原色と莢の特徴を基に作成した。CCDカメラは搬送ベルトコンベアの上流側と下流側に設置し、ベルトコンベア間の段差を利用した反転動作でエダマメ莢の両面を撮像する型式にした。なお、エダマメ莢の撮像は画像の認識をトリガとした。
- c. 選別部：選別部は1段目と2段目の搬送部の端にエアエジェクタをそれぞれ設置し、不良品莢に対してエアを噴射して選別した。選

別されたエダマメ莢は不良品莢がエアエジェクタで選別機下部のコンテナに分離され、良品莢が2段目の搬送コンベア後部に配置したコンテナに収納される。

1-2-2. 2013 年度試作機

2013 年度の実験では、図3に示すエダマメ選別機13型（株式会社ガオチャオエンジニアリング, GE-EDSEN001, 以下13型）を使用した。

13型は供給部から投入されたエダマメ莢の重なりを除去する傾斜振動部、エダマメ莢を搬送する2台の搬送用ベルトコンベア、2台のCCDカメラでエダマメ莢を撮像する検出部、エアで良品莢と不良莢を分類する選別部で構成した。13型の形状特性は、全長2100mm、全幅700mm、940kgである。

13型の特徴を以下に示す。

- a. 整列搬送部：13型の投入口には傾斜付きの

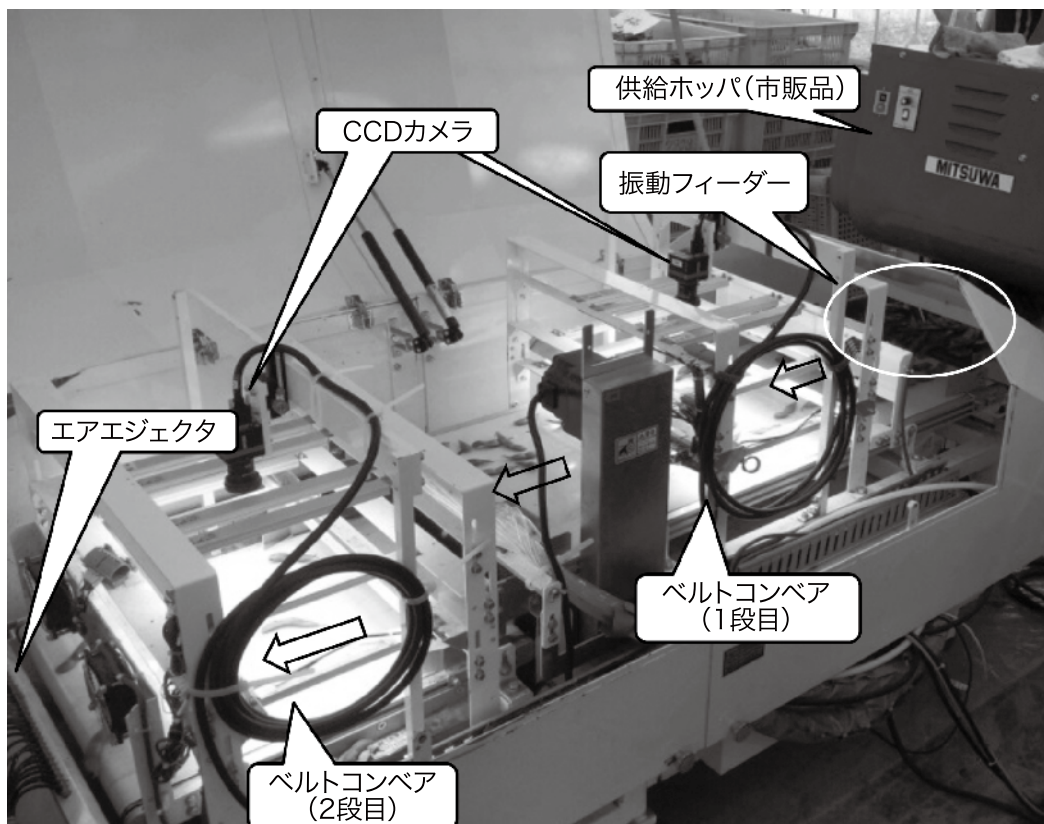


図3 エダマメ選別機13型

振動部を配置し、振動部に落下したエダマメの質量を基にコントローラ (S 社, Type-c) で振動数を変化させて莢の引き離しと重なりの除去を行った。搬送用ベルトコンベア (幅 400 mm) は莢との区別を明確化できるように白色を基調とした。また、ベルトコンベアは 12-B 型と同様にエダマメ莢の両面を検出するため 2 段に配置し、前段と後段間に段差と速度差を設けて、莢の反転と引き離しを行った。

- b. 検出部と画像処理アルゴリズム：検出部は前段と後段の搬送部の上部に 2 台の CCD カメラを配置した。そこで撮像した画像は、形状と変色の情報を抽出して以下のアルゴリズムで画像処理を行う。形状の検出はあらかじめ良品に分類されるエダマメ莢の幅、長さ、厚さを計測し、それと比較して良品と不良品を判定する。変色の検出は良品エダマメ莢と傷害部の色彩情報を基に両者を 2 階調に区別する閾値を設定し、傷害部を抽出して判定する。
- c. 選別部：選別部は前段のベルトコンベア端と後段のベルトコンベア端にエアエジェクタと選別板を設置した。エアエジェクタは画像処理部で良品と不良品に判定された情報を基に不良品をエアで除去する。選別板は、エアで除去された不良品がコンテナに収納されるようにエアの噴出方向に向けて一定間隔で設置した。

1-3. 検討項目

1-3-1. 作業能率

作業能率は脱莢と粗選別した後のエダマメ莢を 12-A・B 型と 13 型にそれぞれ投入し、投入開始から選別終了までの時間を計測し、単位時間あたりの選別量 (kg/h) を算出した。

1-3-2. 選別精度

選別精度は片平ら報告した選別基準⁵⁾と式⁶⁾を用い、良品莢の回収率 (η_a)、不良品莢の回

収率 (η_b)、選別率 (η)、子実熟度検出部の回収率 (η_s)、傷害検出部の回収率 (η_i) を算出した。

1-4. 実験方法

1-4-1. 2012 年度選別実験

2012 年度は 12-A 型を 8 月 13 日～23 日にかけて鶴岡市の有限会社田和楽の作業場に設置して実験を行った。実験は早生甘露と甘露が収穫当日に選別し、湯あがり娘は収穫後に冷蔵庫で保存し翌日に選別した。早生甘露と甘露のサンプリングは、12-A 型で 2 分間選別したエダマメ莢を 1 サンプルとし各品種計 2 回実施した。また、湯あがり娘はエダマメコンバインで栽培したほ場から 4.00 m × 0.75 m の区画分を収穫して 12-A 型で選別し、それを 4 反復した。なお、選別作業時のエダマメ莢の流量は選別機手前に設置してある市販の供給ホッパー (ミツワ, GSH-1 型) で調整した。選別時間は供給ホッパーからエダマメ莢が 12-A 型に投入された時点から、最後のエダマメ莢が選別された時間を計測した。

12-B 型を用いた選別実験は、(株) ガオチャオエンジニアリングで 9 月 5 日～9 月 26 日に行った。実験は庄内 3 号、あきた香り五葉、庄内 5 号、秘伝の 4 品種を用い、収穫後に冷蔵庫で保管して収穫翌日か 2 日後に選別を行った。なお、山形大学附属農場でコンバイン収穫した品種 (庄内 3 号、あきた香り五葉、秘伝) は、12-A 型と同様の手順で実験を行い、鶴岡市で収穫した品種は 4kg 分を 1 回のみ選別した。12-B 型の設定は各サンプルから良品莢と不良品莢を無作為に選び、設定用パーソナルコンピュータで選別基準を設定した。

対照の手選別は鶴岡市と山形大学附属農場で実施した。鶴岡市では庄内 3 号と庄内 5 号の各 4 kg を 3～4 人で選別した。山形大学附属農場ではエダマメコンバインで収穫した 4.00 m × 0.75 m の区画分の庄内 3 号、あきた香り五葉、

秘伝を1～4人で選別した。なお、選別経験年数は鶴岡市が約10年、山形大学附属農場が平均7年であった。選別基準は作業者の基準とし、選別開始から終了までの時間を計測した。

1-4-2. 2013年度選別実験

2013年度の選別実験は山形県大江町のエダマメ生産者の作業場に13型を設置し、8月6日～10月2日に行った。

実験は各品種とも収穫したエダマメ莢8～14kgを3分割して3反復した。なお、山形県農業総合センターで栽培した秘伝と彼岸青（各7kg）は2反復、山形県大江で栽培した秘伝（5kg）は1反復とした。

対照の手選別は山形大学附属農場で行った。対象とした品種は秋田県農業試験場で栽培したグリーン75（5kg）、山形大学附属農場で栽培した湯あがり娘（8kg）である。実験は手収穫した湯あがり娘を2等分、グリーン75を3等分し、それを3～4人で選別した。なお、選別作業者の経験年数は15年と6年であった。

2. 試験結果と考察

2-1. 2012年度選別実験

2-1-1. 供試品種の収量と状態

2012年度に行った選別実験で使用した各品種の収量と良品と不良品莢の割合を表2に示す。

2012年度に供試した各品種は選別前の良品割合が14～62%、不良品割合が37～86%で

あった。特に山形大学附属農場で栽培した庄内3号は収穫適期から5日遅れで収穫したため、良品割合が14%と最も低かった。

2-1-2. 作業能率

2012年度に行った12-A型と12-B型、手選別での作業能率を図4に示す。

作業能率の平均値は12-A型が45.7 kg/h、12-B型が17.4 kg/h、手選別が7.9 kg/h・人となり、手選別と比較して12-A型が37.8 kg/h、12-B型が9.5 kg/h大きくなった。なお、作業能率はF検定の結果、各選別方法で品種による差がなかった。

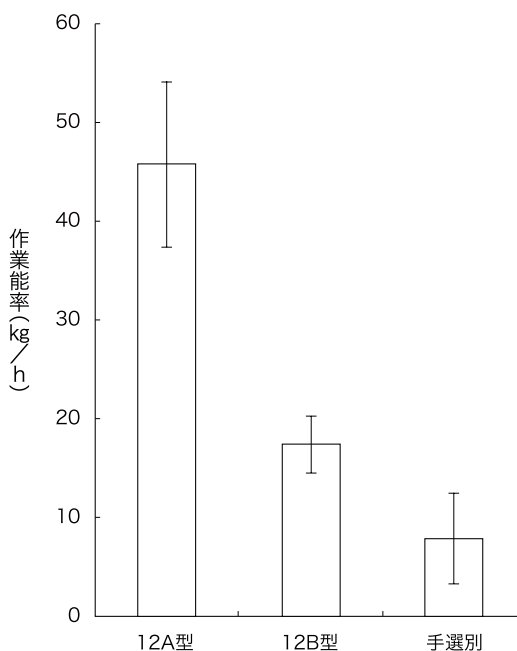


図4 作業能率（2012年度）

表2 供試品種の概要

品種	収量 (kg/10a)	良品割合 (%)	不良品割合 (%)	収穫場所
早生甘露	-	38	62	鶴岡市
湯あがり娘	1089	62	38	山形大学附属農場
甘露 (1回目)	-	63	37	鶴岡市
甘露 (2回目)	-	48	52	鶴岡市
庄内3号	-	56	44	鶴岡市
庄内3号	655	14	86	山形大学附属農場
あきた香り五葉	710	53	47	山形大学附属農場
庄内5号	-	57	43	鶴岡市
秘伝	573	21	79	山形大学附属農場

12-A 型は手選別の約 4 人分に相当し、12-B 型は手選別の約 2 人分に相当する。12-A 型は標準偏差が他の 2 つの方法と比べて大きかった。これは供給ホッパーに投入したエダマメ莢の量や供給ホッパーの搬送速度に差があったためである。12-A 型は投入口にある振動フィーダでエダマメ莢を整列させ引き離しを行う。しかし、エダマメ莢は振動フィーダ内での滞留が発生することがあり、作業能率に影響を及ぼした。12-B 型はブラシと回転式整列機構を使用し、莢が重ならないようにした。しかし、取り付けたブラシ部分は中晩生から晩生品種の大莢品種が引っ掛かり、その部位での滞留が頻発した。また、回転式整列機構は品種に係わらず滞留することが多く、作業能率に影響を及ぼした。

2012 年度は、12-A・B 型ともに搬送ライン内でのエダマメ莢の滞留や選別量を人手で確認しながら行った。しかし、選別機を生産現場に導入する場合は、このように確認する人がいない場合が多いため、搬送ライン内での滞留現象の解消が必要である。

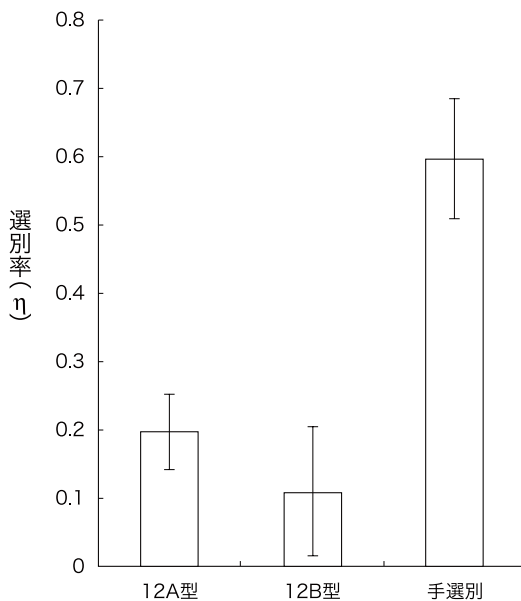


図 5 選別率 (2012 年度)

2-1-3. 選別率

2012 年度に行った 12-A 型と 12-B 型、手選別での選別率を図 5 に示す。

選別率の平均値は 12-A 型が 0.20、12-B 型が 0.11、手選別が 0.60 となり、手選別と比較して 12-A 型が 67%、12-B 型が 82% 低下した。なお、選別率は F 検定の結果、それぞれの選別方法に対する品種間の差がなかった。

12-A 型と B 型での選別率の低下は、いずれも各検出部を通過する際にエダマメ莢が引き離されず、莢が重なって通過したことが原因である。しかし、両機種を選別率はいずれも品種の違いによる変動が少なく、人手と同程度であった。なお、12-A 型は黄化莢や豆押され莢を選別できないが、12-B 型は画像処理でそれらの傷害も検出可能である。すなわち、12-B 型は整列搬送機構を改善し、エダマメ莢を 1 莢ずつ画像処理部に投入できれば選別率の改善に繋がる。

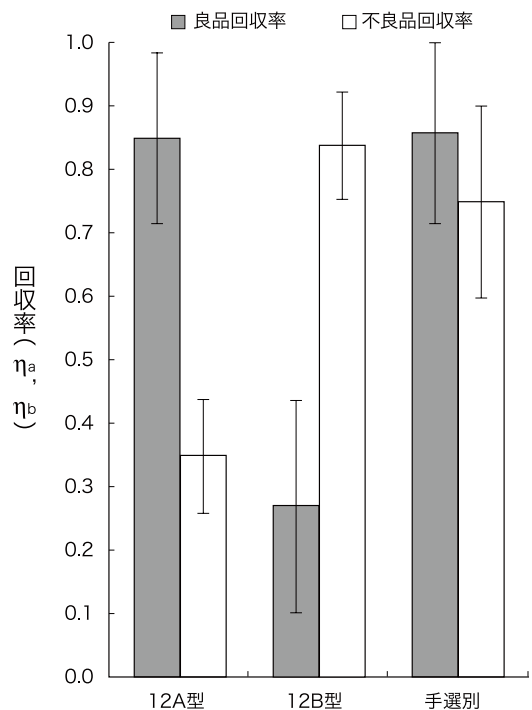


図 6 良品莢と不良品莢の回収率 (2012 年度)

2-1-4. エダマメ莢の回収率

2012 年度に行った 12-A 型と 12-B 型、手選別でのエダマメ莢の回収率を図 6 に示す。

η_a の平均値は 12-A 型と手選別が 0.85 と 0.86 と高く、12-B 型が 0.27 と低かった。 η_b は 12-B 型と手選別が 0.84 と 0.75 と高く、12-A 型が 0.35 と低かった。

選別率 η を高めるには、手選別のように η_a と η_b を共に高くする必要がある。2012 年度に開発した選別機の選別率が低かった要因は、 η_a と η_b のいずれか一方が極端に低かったためである。12-A 型と B 型の η の差は図 6 に示すとおり 12-A 型の η_b が 12-B 型の η_a より高くなったことに起因する。すなわち、 η_b が低い 12-A 型は選別後に良品判定された方に不良品が多く含まれていることになり、人手による再選別が必要である。一方、 η_a が低い 12-B 型は選別後に不良品判定された側に良品が多く含まれていることになり、歩留まりが悪く出荷量の減少に繋がった。

2-1-5. 傷害別回収率

変色系（莢割れ、しみ莢、虫害莢、豆押され莢）回収率 η_i と子実熟度系（1 粒莢、奇形莢、未熟莢、欠粒莢）回収率 η_s を図 7 に示す。

η_i は 12-A 型が 0.30、12-B 型が 0.82、手収穫が 0.55 であった。 η_s は 12-A 型が 0.41、12-B 型が 0.86、手収穫が 0.82 であった。

12-A 型は搬送ライン内での莢の引き離しが不十分であったため、各検出部での傷害の検出

能力が低下して回収率が他の方法と比較して低い結果となった。一方、12-B 型は搭載した画像処理アルゴリズムが高精度であるため、12-A 型で採用した画像処理システムと光電センサによるハイブリッド式よりも各傷害の検出能力が上回った。ただし、12-B 型は良品莢も不良品莢として判別され取り除かれることも多く、画像処理による判別を的確に行うため前記したとおり莢の引き離しを十分に確保する必要がある。

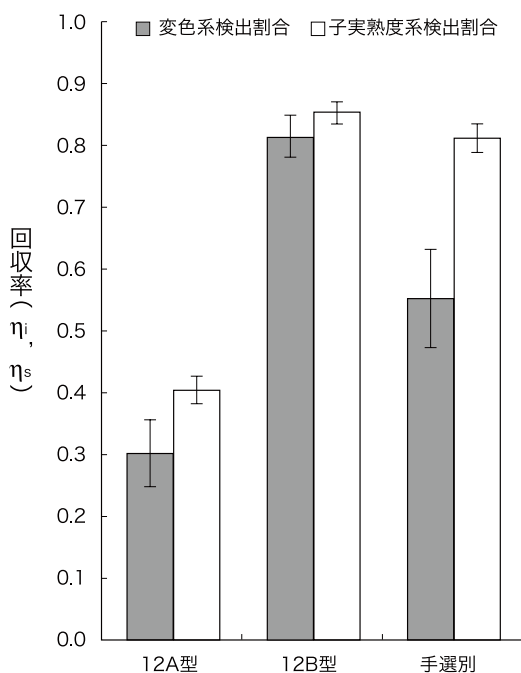


図 7 傷害別回収率（2012 年度）

表 3 供試品種の概要（2013 年度）

品種	収量 (kg/10a)	良品割合 (%)	不良品割合 (%)	収穫場所
湯あがり娘 A	-	58	42	秋田県農業試験場
湯あがり娘 B	355	53	47	山形大学附属農場
庄内 3 号	120	57	43	山形大学附属農場
あきた香り五葉	172	67	33	山形大学附属農場
庄内 5 号	527	20	80	山形大学附属農場
グリーン 75	-	62	38	秋田県農業試験場
秘伝 A	-	55	45	山形県農業総合研究センター
秘伝 B	-	70	30	山形県大江町
彼岸青	-	57	43	山形県農業総合研究センター

2-2. 2013 年度試験結果

2-2-1. 供試品種の収量と状態

2013 年度に行った選別実験で使用した各品種の収量と良品と不良品莢の割合を表 3 に示す。

良品割合は表 3 に示すとおり各品種で 20 ～ 70% の範囲で変動し、秘伝 A の 70% が最も高く、庄内 5 号の 20% が最も低かった。庄内 5 号は収穫適期内で収穫できなかったことが良品割合に影響を与えた。

2-2-2. 作業能率

2013 年度に行った 13 型と手選別での作業能率を図 8 に示す。

開発した 13 型の作業能率は平均値で 99.1kg/h、手選別が 9.8kg/h・人となり、13 型の作業能率が手選別の約 10 倍に相当した。

13 型は 12-A・B 型と異なり、前後段に設置したベルトコンベア内にエダマメ莢が滞留する現象が発生しなかった。13 型はエダマメ莢投入口に質量に応じて振動数を変化させる傾斜振動部を設置し、エダマメ供給ホッパーで供給量を調整したことが主な要因である。今後は目標とする 120 kg/h の能率を実現するため、傾斜振動部幅を広くすると同時に移動距離を長くするな

どの対策を施す必要がある。

2-2-3. 選別率

13 型と手選別での選別率を図 9 に示す。

13 型の選別率は平均値で 0.12、手選別が 0.49 であった。

13 型は手選別と比べて約 1/5 の選別率であった。13 型は搬送路内でのエダマメ莢の滞留を少なくしたが、割れた莢や未熟莢の誤認、選別部でのエア出力が弱く不良品判定莢を正確に除去できない現象が発生した。また、13 型は処理量増加に伴いエダマメ莢に付着した汚れがベルトコンベアを汚損することが多く、それを傷害と誤認して良品莢を不良品側に選別したと考えられる。

13 型は 12-A・B 型と比較して作業能率を大きく改善したが、作業精度は同等から低くなった。選別率を改善するにはエア圧力の強化、画像処理アルゴリズムの改善、ベルトコンベアの汚損対策、使用時の初期設定条件の簡素化が必要である。

2-2-4. エダマメ莢の回収率

13 型と手選別でのエダマメ莢の回収率を図 10 に示す。

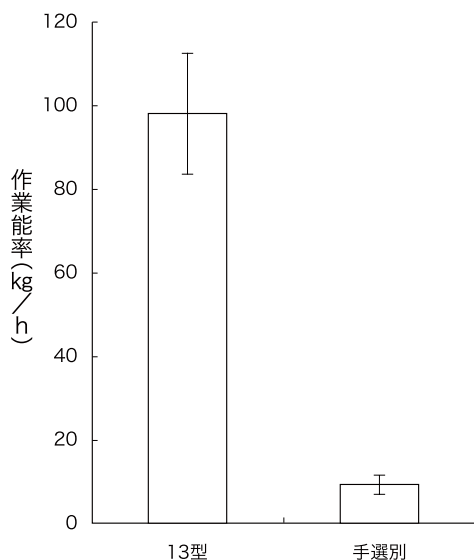


図 8 作業能率 (2013 年度)

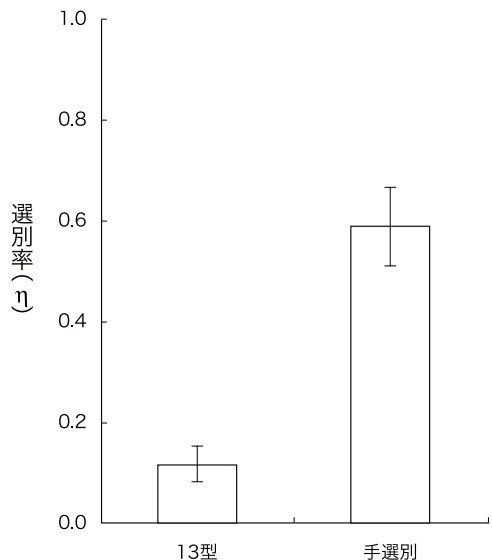


図 9 選別率 (2013 年度)

13型の回収率は平均値で良品が0.70, 不良品が0.42であった。手選別の回収率は良品で0.85, 不良品で0.75であった

13型は12-B型と異なり η_a が η_b より高い結果であった。13型で η_b が低くなった理由は、割れた莢や未熟莢の誤認が多かったことに起因する。また、不良品の判定ではエダマメ莢の搬送間隔が短い場合、画像処理での形状検出アルゴリズムに影響を及ぼすことがあり、不良品の回収率を低下した。

2-2-5. 傷害別回収率

変色系(莢割れ, しみ莢, 虫害莢, 豆押され莢)回収率 η_i と子実熟度系(1粒莢, 奇形莢, 未熟莢, 欠粒莢)回収率 η_s を図11に示す。

13型の η_i は0.46, 手収穫が0.47であった。 η_s は13型が0.41, 手収穫が0.91であった。13型での η_i の低下は割れに相当する傷害の検出が低かったことが原因である。 η_s の低下は1粒莢と未熟莢の検出が低かったことが原因である。

割れによる傷害は変色を伴わない場合に画像処理での検出が困難であった。また、1粒莢と

未熟莢では莢の長辺方向が長く、2粒莢との差が小さい場合に誤認が多く発生した。

13型は12-A型と比較して η_i を改善できたが、12-B型と比較して精度が倍以上に低下した。13型は12-B型を発展させ、より実用機に近づけたことで作業能率を改善したが、作業能率と画像処理システム、選別機構の能力との不均衡が作業精度の低下に寄与したものと考えられる。

今後は割れによる変色異常を精度良く検出するため、近赤外域の情報を解析するシステムの導入を検討する。子実熟度の検出については振動フィーダや引き離し機構の調整、画像処理アルゴリズムの改善による対応が必要である。

2-2-6. 各選別方法での選別莢の構成割合

2012年度と2013年度の試験を基に、各線別方法で選別したエダマメ莢の良品構成割合を図12, 不良品構成割合を図13に示す。

選別莢の構成割合は、良品判定に含まれる機械的損傷が5.8～9.6%, 変色系傷害が4.0～13.5%, 形状と熟度が5.6～37.3%, 良品莢が

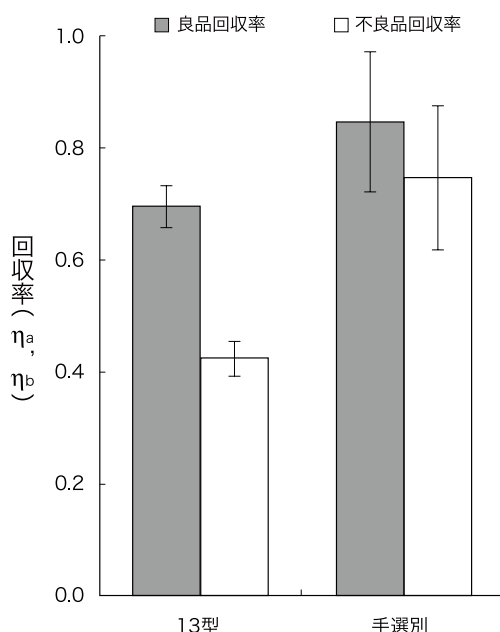


図10 良品莢と不良品莢の回収率 (2013年度)

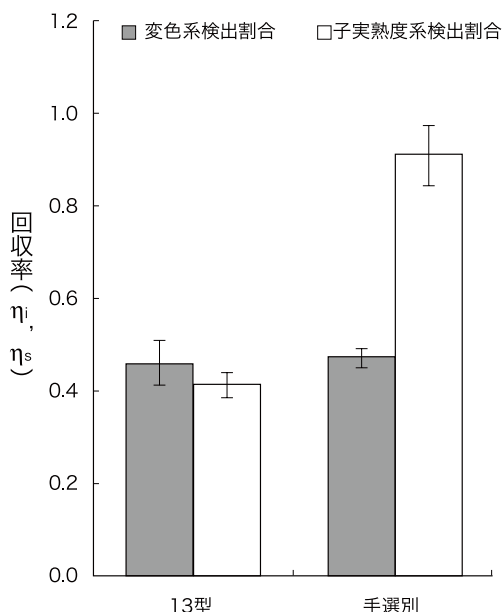


図11 傷害別回収率 (2013年度)

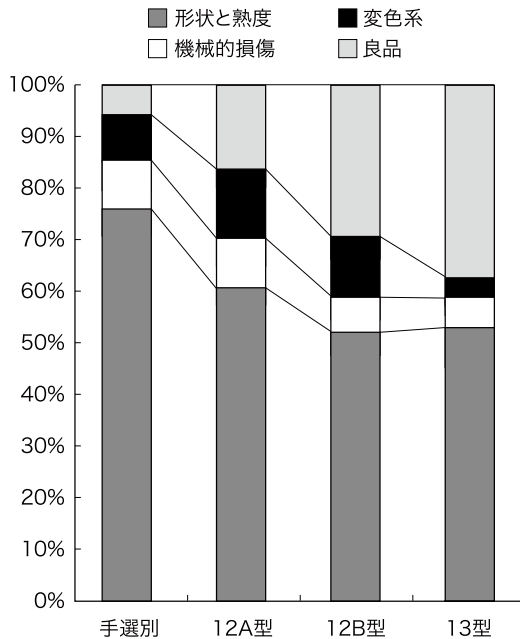


図 12 各選別方法での選別莢の構成 (良品判定莢)

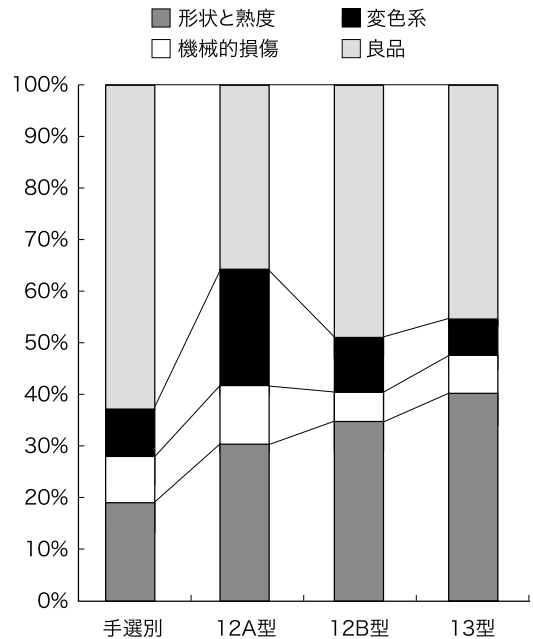


図 13 各選別方法での選別莢の構成 (不良品判定莢)

52.1 ~ 76.2% であった。同様に不良品判定に含まれる機械的損傷が 5.6 ~ 11.3%, 変色系傷害が 6.5 ~ 22.5%, 形状と熟度が 35.8 ~ 62.7%, 良品莢が 19.0 ~ 40.4% であった。

開発した選別機は、手選別と比較して良品判定に含まれる良品莢が少なく、不良品判定莢が少なかった。13 型は 12-A・B 型と比較して変色系傷害の検出能力が高くなったが、子実熟度に起因する傷害の検出力が低下している。これは前記したとおり、選別アルゴリズムの問題と選別作業能率との不均衡が要因と考えられるため、これらの修正が今後の課題である。

2-2-7. 作業能率と作業精度の関係

2012 年度と 2013 年度の試験を基に、作業能率と作業精度の関係を図 14 に示す。

12-A 型は作業能率が 38 ~ 57 kg/h, 選別率が 0.12 ~ 0.25 の範囲で変動し、決定係数 R^2 が 0.07 となり、両者に相関が見られなかった。12-B 型は作業能率が 15 ~ 22 kg/h, 選別率が 0.06 ~ 0.21 の範囲で変動し、決定係数 R^2 が 0.30 となり、両者に相関が見られなかった。13 型は作業能

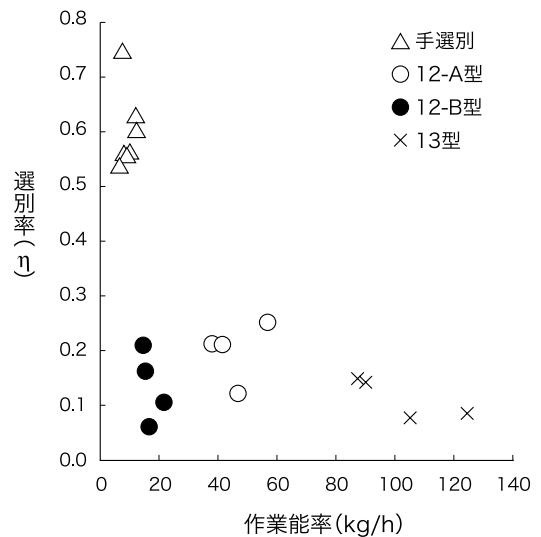


図 14 作業能率が作業精度に与える影響

率が 88 ~ 125 kg/h, 選別率が 0.08 ~ 0.15 の範囲で変動し、決定係数 R^2 が 0.76 となり、作業能率の向上に伴い選別率が低下する傾向にあった。手選別は作業能率が 6 ~ 13 kg/h, 選別率が 0.54 ~ 0.75 の範囲で変動し、決定係数 R^2 が 0.00 となり、両者に相関が見られなかった。

作業能率と作業精度は 13 型で負の相関が見られたが、それ以外の機種と手選別では相関が見られなかった。13 型は実用機に近づいた機種であるため、作業能率の変動を大きくすることが可能となり、作業精度に与える影響が大きくなったことがその要因といえる。

3. 結論

- (1) 2012 年度の試験では作業能率の平均値が 12-A 型で 45.7 kg/h, 12-B 型で 17.4 kg/h, 手選別で 7.9 kg/h・人となり、手選別と比較して 12-A 型が 37.8 kg/h, 12-B 型が 9.5 kg/h 高くなった。
- (2) 選別率の平均値は 12-A 型が 0.20, 12-B 型が 0.11, 手選別が 0.60 となり、手選別と比較して 12-A 型が 67%, 12-B 型が 82% 低下した。
- (3) η_a の平均値は 12-A 型と手選別が 0.85 と 0.86 と高く、12-B 型が 0.27 と低かった。 η_b は 12-B 型と手選別が 0.84 と 0.75 と高く、12-A 型が 0.35 と低かった。
- (4) η_i は 12-A 型が 0.30, 12-B 型が 0.82, 手収穫が 0.55 であった。 η_s は 12-A 型が 0.41, 12-B 型が 0.86, 手収穫が 0.82 であった。
- (5) 2013 年度に開発した 13 型の作業能率は平均値で 99.1 kg/h, 手選別が 9.8 kg/h となり、

13 型の作業能率が手選別の約 10 倍に相当した。

- (6) 13 型の回収率は平均値で良品が 0.70, 不良品が 0.42 であった。手選別の回収率は良品で 0.85, 不良品で 0.75 であった。
- (7) 13 型の η_i は 0.46, 手収穫が 0.47 であった。 η_s は 13 型が 0.41, 手収穫が 0.91 であった。
- (8) 各選別機で選別したエダマメ莢の構成割合は、良品判定に含まれる機械的損傷が 5.8 ~ 9.6%, 変色系傷害が 4.0 ~ 13.5%, 形状と熟度が 5.6 ~ 37.3%, 良品莢が 52.1 ~ 76.2% であった。同様に不良品判定に含まれる機械的損傷が 5.6 ~ 11.3%, 変色系傷害が 6.5 ~ 22.5%, 形状と熟度が 35.8 ~ 62.7%, 良品莢が 19.0 ~ 40.4% であった。
- (9) 作業能率と作業精度は 13 型で負の相関が見られたが、それ以外の機種と手選別では相関が見られなかった。

[謝辞]

本研究の実施にあたり、秋田県農業試験場の皆様、山形県農業総合研究センターの後藤克典主任研究員、株式会社山本製作所の皆様、KM システム工場の丸山光一様、国立大学法人山形大学の生産機械システム学講座の諸氏に多大な協力をいただいた。関係各位に対し謝意を表す。

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

- 1) 鶴岡市：鶴岡市の統計。 http://www.city.tsuruoka.lg.jp/stat/5_nogyo/h22/index.html, accessed by 2014
- 2) 農林水産省：平成 24 年産野菜生産出荷統計。
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html, accessed by 2013
- 3) 鶴沼 秀樹, 片平 光彦：エダマメ収穫調製機械作業体系の経済的導入規模。東北農業研究 第 60 号：235-236, 2007.
- 4) 片平 光彦, 張 樹槐, 田村 晃, 大泉 隆弘, 夏賀 元康：フォトセンサと画像処理技術を活用したエダマメ用高精度選別機械の開発, *New Food Industry*, 54(7): 21-37, 2012.
- 5) 片平 光彦, 田村 晃, 張 樹槐, 大泉 隆弘, 後藤 恒義：画像処理によるエダマメの選別方法に関する研究 (第 1 報), 農業機械学会誌 70 巻 2 号：90-96, 2008.
- 6) 片平 光彦, 張 樹槐, 大泉 隆弘, 後藤 恒義, 鶴沼 秀樹, 田村 晃, 後藤 克典：画像処理によるエダマメの選別方法に関する研究 (第 2 報) 農業機械学会誌 73 巻 2 号, 127-134, 2011.

米粉パン特有のテクスチャーの数値化と 老化度の多面的評価

佐々木 朋子 (SASAKI Tomoko) *

* 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 食品工学研究領域

Key Words：米粉パン・テクスチャー・パンの老化・アミロース含量・澱粉の再結晶化

はじめに

米を米粉としてパン、麺等の食品に活用する取り組みが近年注目され、それに伴い米粉食品の品質の向上が求められている。米粉を配合したパン（米粉パン）の大きな特徴のひとつは、従来の小麦粉 100% のパンとは異なる独特なテクスチャーをもつことであり、その食感は「しっとりしてももちもちとした」等の表現が一般的に使われている。米粉パンの品質向上には、この独特のテクスチャーを的確に評価する評価手法の確立と評価基準の選定が不可欠である。しかし、「もちもち」というテクスチャー用語は複合的な要素を合わせ持ち、嗜好性要素も含まれるため、機器測定によって客観的な数値として示すことは困難である。そこで、米粉をパンに配合することによって生じるユニークなテクスチャーの構成要素を多面的な機器測定によって明らかにし、客観的なパラメータとして提示することができれば、米粉パンの品質制御・改良の指標として利用されることが期待できる。

さらに、一般的に米粉パンは小麦粉 100% のパンよりも品質劣化が早いことが知られており^{1, 2)}、米粉パンの特徴的なテクスチャーは老化によって急速に変化する。米粉パンの大量流通に向けた品質向上のためには、米粉パンの老

化度を的確に評価し、その制御要因を明らかにする必要がある。従来、機器測定によるパンのテクスチャー評価法としては硬さの測定が中心であり³⁾、硬さの経時変化が老化の指標として最も用いられているパラメータであるが、硬さ・柔らかさという単純な指標だけでは米粉パン特有のテクスチャーを十分に表すことはできない。本稿では、米粉パンのテクスチャーを多面的に評価することによって、米粉パン特有の食感に関与しており、さらに老化の指標として使用できるパラメータを探索したので、その結果をご紹介します。また、澱粉中のアミロース含量が異なる数種類の米粉を配合したパンのテクスチャーを解析することによって、米澱粉中のアミロース含量が米粉パンのテクスチャーに及ぼす影響についても検討した。

1. 圧縮試験による回復率の測定

1-1. 回復率の測定条件の最適化

米粉パンのひとつの特徴として、クラムを指で押しつぶした際に、クラム組織が圧縮されて密な状態になり、指を離してもなかなか元の状態に回復しない傾向が見られる。米粉を配合することによって、小麦粉だけで調製したパンの

クラムよりもクラム組織の内部結着力が高まり、気泡が押しつぶされた後にすぐには回復できなくなると考えられる。さらに圧縮後にクラム組織が密な状態になることが、パンを噛んだ時の独特の食感に関係していると予想される。そこで、圧縮後のクラムの回復率を簡便な機器測定で数値化することを目指し、測定条件を検討した。測定装置はテクスチャーアナライザー (TA-XT Plus, Stable Micro System 社) を使用し、圧縮の条件は AACC (American Association of Cereal Chemists) 公定法³⁾ による硬さの評価方法を基本とした。円柱型 (直径 36 mm) のプランジャーを用いて 1.7 mm/秒 の速度で圧縮試験を行った。パンは 20 mm 幅にスライスした後、クラムの中心部からなるべく変形を与えないように約 23 mm × 23 mm のブロック状に切り出した試料を用いた。同じ試料を用いて圧縮試験を連続して 2 回繰り返し、圧縮時の試料の厚さが自動的に測定されるので、1 回目と 2 回目の厚さの比率を回復率 (%) としてもとめた:

$$\text{回復率 (\%)} = \frac{2 \text{ 回目圧縮時の厚さ (mm)}}{1 \text{ 回目圧縮時の厚さ (mm)}} \times 100$$

回復率を測定する際に、試料の厚さに対する変形率を変えて測定を行ったところ、変形率

70% と 80% の間で、米粉パンの挙動が大きく変化し、80% の圧縮変形を与えた際に、米粉パン (米粉 50% 配合) と小麦粉 100% のパン (小麦粉パン) の回復率の値に顕著な差が見られた (図 1)。小麦粉パンは 70% と 80% いずれの変形率でも回復率は 90% 以上を示したが、米粉パンでは測定時の変形率を 70% から 80% に変えることによって、回復率が大幅に減少した。さらに、小麦粉パンでは 3 日間の保存期間を通して回復率の経時変化はほとんど見られなかったが、米粉パンでは保存にともない回復率の増加が認められた。この結果から、クラムの厚さに対して 80% の圧縮変形を与えて測定した回復率が米粉パンのクラムの特徴である圧縮後の戻りにくさを表す指標、ならびに米粉パン特有の老化の指標として有効であることが示唆された。

1-2. アミロース含量の異なる米粉を配合したパンの回復率の比較

澱粉は米の主成分であり、ほぼ直鎖状のアミロースと分岐構造をもつアミロペクチンと呼ばれている 2 種類の高分子から構成されている。澱粉中のアミロース・アミロペクチンの組成は澱粉を主成分とする穀類加工食品の加工特性に

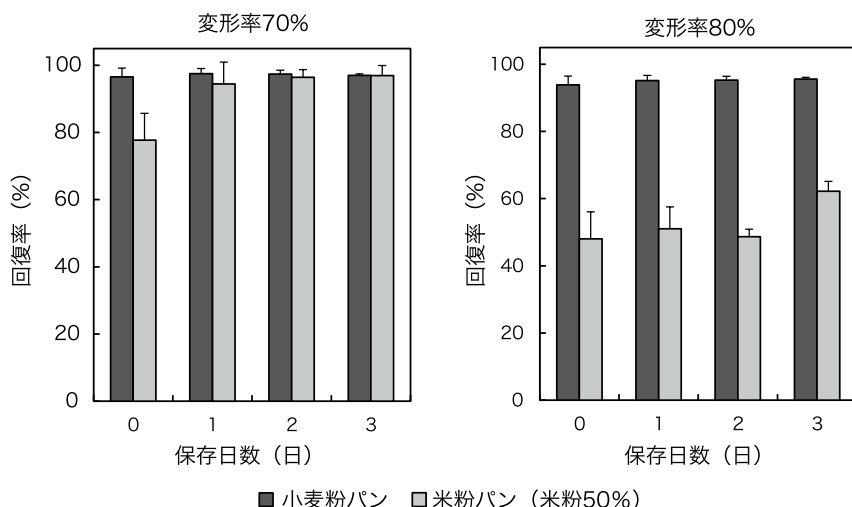


図 1 パンの厚さに対して 70% および 80% 圧縮変形した際の回復率の比較

重要な影響を及ぼすことが知られている。米粉パンでもアミロース含量が高い米粉ほど硬くなりやすく、低アミロース米の米粉パンは柔らかく、ケービングしやすいことが報告されている⁴⁾。そこで、澱粉中のアミロース含量が異なる米粉を用いてパンを調製し、澱粉中のアミロース含量が米粉パンのクラムの回復率に及ぼす影響を解析することにした。アミロース含量が異なる3品種の米①「ひとめぼれ」(アミロース含量 17.2%) ②「ミルキークイーン」(10.2%) ③「マンゲツモチ」(2.2%)

を気流湿式で粉碎した米粉(日の本穀粉株式会社)を用いて、米粉と小麦粉を30:70の比率で配合した米粉パン、そして比較試料として同じ製パン法で小麦粉100%のパンを調製した後⁵⁾、上記の方法でクラムの回復率を測定した。さらにパンを焼成後3日間室温で保存した際の回復率の経時変化を観察した(図2)。クラムの回復率に対する米粉のアミロース含量の影響を見ると、焼成1日後までは米粉のアミロース含量が低いほど米粉パンのクラムの回復率が低くなる傾向を示した。アミロースをほとんど含まない糯米のマンゲツモチを配合したパンは、保存期間を通して他の米粉パンよりも回復率が顕著に低い上に保存にともなう回復率の上昇が少なかった。以上の結果から、澱粉中のアミロース含量が低いほどクラム組織内の付着性が高くなり、圧縮後気泡が元の状態に回復しにくいことが示された。一方、低アミロース米品種のミルキークイーンの米粉を配合したパンは、焼成1日後から2日後にかけて回復率が急上昇し、小麦粉パンの値に近づいたため、この時点で品質劣化がかなり進行して、クラム組織内部の結着力が急激に低下したことが推測される。マンゲツモチの米粉を配合したパンはユ

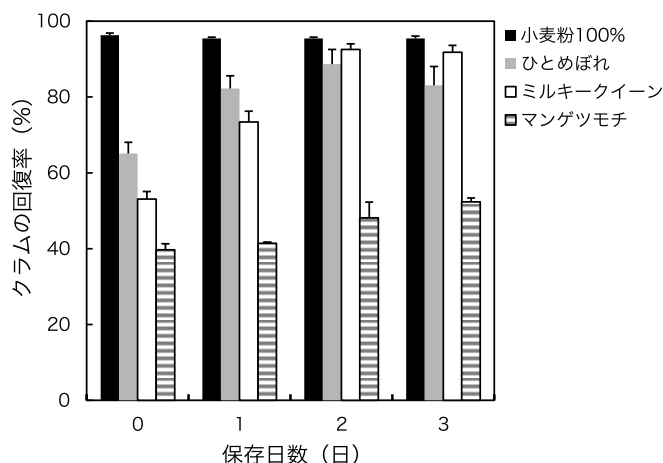


図2 アミロース含量の異なる米粉を配合した米粉パンの回復率の比較

ニークなテクスチャーを持つが、その好みは分かれるところである。従って、回復率が低ければ良いというわけではなく、今後は米粉パンのおいしさと回復率の関連性を官能評価と合わせて検討し、望ましい米粉パンの特徴を明らかにする必要がある。

2. 貫通試験による伸長率の測定

パン生地 of 伸展性はパンの重要な加工特性のひとつであるが、生地を焼成した後のクラムの伸展性は「伸びがよい」等といわれるように、パンの食感に多大な影響を及ぼす。そこで、米粉パンと小麦粉パンのクラム組織の伸展性を比較するために、貫通試験を行った。貫通試験は、中心に穴のあいた試料台を使用し、プランジャーが試料を貫通する際の荷重値の変化を測定する手法である。伸展性を測定する手法としては、通常引っ張り試験が行われるが、本稿で後述するように、パンの引っ張り試験は試料を固定した箇所が破断しやすいため、試料の固定が難しい。そこで、もっと簡便に伸展性を比較できる手法として、貫通試験の測定条件を検討した。試料は20 mm幅にスライスしたパ

ンをクラストがついた状態で使用し、クラムの中心部が試料台の穴に重なるように置いた。球状のプランジャーを使用し、クラムの中心部をプランジャーが貫通する際に観察できるクラム組織が伸びる過程での破断特性を測定した。この測定の重要なポイントは試料台の穴の径とプランジャーの直径とのバランスにある。プランジャーがクラムの中心部を圧縮・貫通する過程で、破断するまでクラムが適度に伸びる余裕を持たせるような両者の径の選択が必要となる。今回の測定ではスライスしたパンの面積も考慮した上で、試料台の穴の径を 50 mm, そして球状プランジャーの直径を 25 mm にして (図 3), 1.0 mm/秒の速度で測定を行った。

図 4 に焼成 1 日後のアミロース含量の異なる米粉を 30% 配合したパンと対照試料の小麦粉パンについて、貫通試験によって得られた荷重-変形率 (伸長率) 曲線を示す。小麦粉パンは比較的ピーク幅が狭く、破断点 (ピーク点) 後に急速に荷重値が減少したことから、クラムに一度亀裂が入ると、完全にプランジャーが貫通

するまでの抵抗が少ないことがわかる。一方、米粉を 30% 配合したパンは小麦粉パンと比較すると、破断点後の傾きが緩やかな傾向が見られた。米粉パンはクラムに亀裂が入った後も、クラムの伸展性が高いため、荷重値の減少が緩やかで貫通に対して抵抗性が高いことが示された。貫通試験の測定結果から、米粉を配合することによって伸展性が向上し、伸展性の高さが米粉パン特有のテクスチャーに関与していることが示唆された。

さらに、貫通試験によって測定した破断時の伸長率は、配合した米粉のアミロース含量の違いを反映していた。図 5 に各種米粉パンの破断時における変形率 (伸長率) の経時変化を示す。焼成 1 日後まではアミロース含量の低い米粉を配合したパンほど伸長率が高い傾向を示した。糯米のマンゲツモチを配合した米粉パンは 3 日間の保存期間を通して、伸長率が顕著に高かったため、澱粉のアミロース・アミロペクチンの組成がクラムの伸展性に関与していることが明らかになった。

図 6 に気流乾式粉碎で製粉したコシヒカリの米粉を 30% 配合したパンの貫通試験による荷重-変形率曲線の経時変化を示す。パンの保存にともない、曲線の形状は顕著に変化し、破断

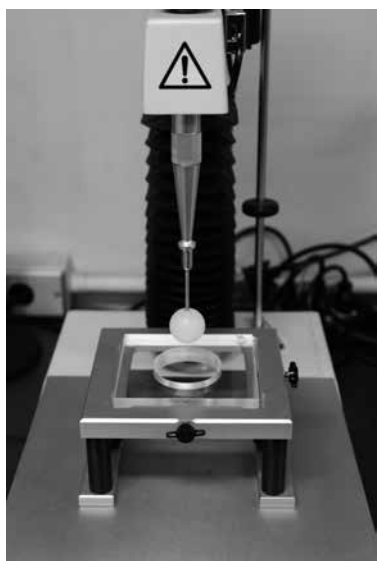


図 3 貫通試験に用いたプランジャー (Tortilla/Pastry Burst Rig, SMS 社) と試料台

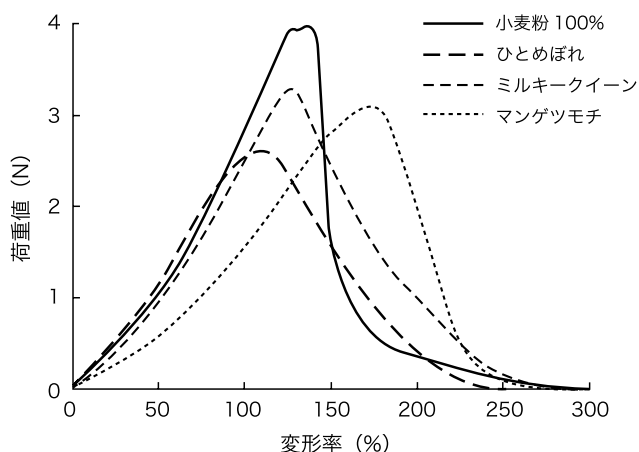


図 4 貫通試験による荷重-変形率 (伸長率) 曲線

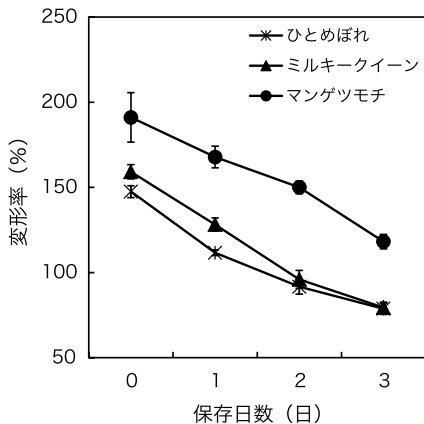


図5 貫通試験による破断時の変形率（伸長率）の経時変化

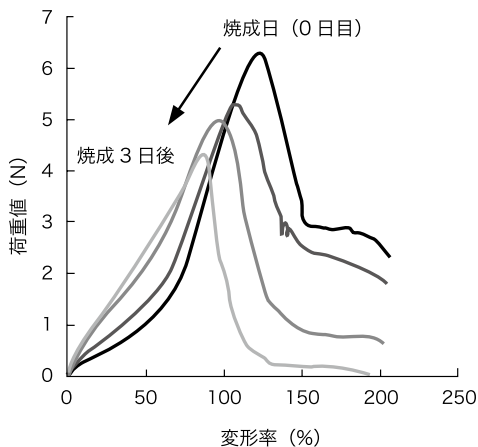


図6 貫通試験による荷重－変形率（伸長率）曲線の経時変化（コシヒカリ米粉30%配合）

点における伸長率の減少、ならびにもろさの増加（破断荷重値の減少）を検出できたことから、貫通試験によって得られたパラメータは老化の指標としても有効であることが示された。

3. 引っ張り試験による伸長率の測定

上述の貫通試験と併せて、引っ張り試験によるクラムの伸長率の測定方法を検討した。パンを対象とした引っ張り試験は、治具に固定した箇所からパンに亀裂が入りやすく、測定が難し

い。そのため、試料に様々な工夫がされており、楔形にクラムを切り出してクリップ式の治具に固定する等の手法が報告されている⁶⁾。しかし、パンをテクスチャー解析の試料として用いる場合、試料の切り出し作業は最も慎重を要する作業であり、なるべくクラムに変形を与えないように留意することが必要である。そこで、切り出し作業を最小限におさえるために、上下端のクラストを残した状態で35 mm幅のスティック状に切り出した試料を引っ張り試験に用いることにした。試料の固定にはピザ用の突き刺しタイプの固定治具（A/PT, SMS社）を選択し、測定を行った。クラストに近い部分はクラム組織の密度が高く、亀裂が入りにくいため、その部分に固定治具のピンを軽く突き刺した状態で、3 mm/秒の速度で試料を上方向に引っ張り、荷重値の変化を測定した。図7にアミロース含量の異なる米粉を30%配合したパンと対照試料の小麦粉パンについて、引っ張り試験によって得られた荷重－変形率（伸長率）曲線を示す。焼成日（0日目）の試料を比較すると、米粉を配合したパンのクラムの破断点における伸長率は小麦粉パンよりも高く、さらに米粉のアミロース含量が低下するに従い、伸長率が増加する傾向が見られた。特に、糯米のマンゲツモチを配合したパンの伸長率は他の試料と比較すると極めて高く、破断点後の傾きが緩やかであった。この結果は貫通試験の結果とも一致しており、クラムの伸展性の高さがマンゲツモチを配合した米粉パンのユニークなテクスチャーの構成要素になっていることが示された。引っ張り試験で測定したクラムの伸長率はパンの保存にともない減少し、破断荷重値は増加する傾向が認められたため（図7）、伸展方向は異なるが、貫通試験による伸長率と同様、引っ張り試験によって得られた伸長率も老化の指標として有効であることが示された。特に焼成日から1日後にかけて小麦粉パンに比べて米粉パンの伸長率

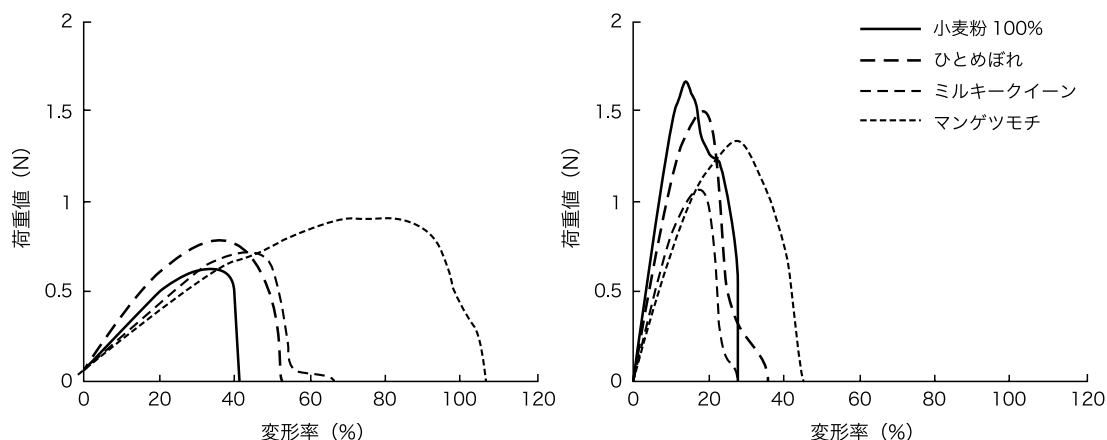


図7 引っ張り試験による荷重－変形率（伸長率）曲線（左図：焼成日、右図：焼成3日後）

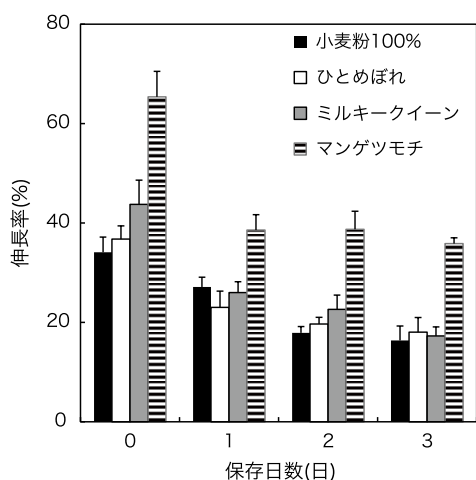


図8 引っ張り試験による伸長率の経時変化

の減少が大きいと、米粉パンは老化にともないテクスチャーが急速に変化していることが推察される（図8）。

4. 澱粉の再結晶化と米粉パンの老化の関連性

製パン材料および製パン法にもよるが、一般的に米粉パンは小麦粉パンよりも老化（硬化）が速いことが知られている。上述の機器測定の結果からも、米粉を配合したパンのユニークなテクスチャーは経時変化が大きく、特に焼成日

1日～2日後の変化が顕著であることが明らかになった。パンの老化には小麦粉の主成分である澱粉の加熱・冷却による構造変化、つまり澱粉の老化の影響が大きいと考えられている⁷⁾。澱粉を構成する2種類の高分子、アミロースとアミロペクチンでは老化のメカニズムは異なるが、ここでは主にアミロペクチンの老化（再結晶化）に着目し、米粉パンと小麦粉パンの老化の過程における澱粉の再結晶化を観察した。示差走査熱量計（DSC）は澱粉の糊化・老化特性を評価する手法として広く使用されているが、焼成直後から4日後までの小麦粉パンと米粉パンのクラムを直接DSCの試料容器に入れて、老化澱粉の再糊化に伴う吸熱エンタルピーを測定した。焼成直後の米粉パンならびに小麦粉パンではまだ澱粉が完全に糊化した状態であり、吸熱ピークが見られないが、焼成1日後から主にアミロペクチンの再結晶化による吸熱ピークが検出された。図9に各種パンのアミロペクチン再結晶化による吸熱エンタルピーの経時変化を示す。小麦粉パンと米粉を配合したパンでは吸熱エンタルピーの経時変化のパターンが明らかに異なっていた。小麦粉パンのエンタルピーは焼成3日後まで米粉パンよりも高かったが、2日目以降エンタルピーの上昇速度が急

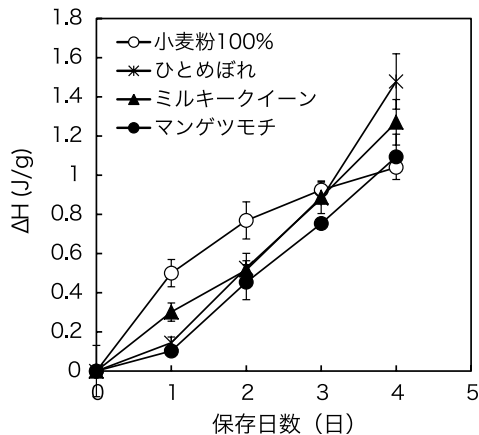


図9 各種パンの吸熱エンタルピーの経時変化

激に低下し、4日後には逆に米粉パンよりも低い値になっていた。一方、米粉パンのエンタルピーは4日間の保存期間中はほぼ直線的に増加しており、保存期間の後半は、小麦粉パンよりもアミロペクチン再結晶化の速度が速い傾向を示した。パンの保存による硬化とアミロペクチンの再結晶化との間に関連性があることが報告されており⁸⁻¹⁰⁾、本研究で用いたアミロース含量の異なる米粉を配合したパンでも圧縮試験によって測定したクラムの硬さとDSCで測定した吸熱エンタルピーとの間に有意な相関性が認められた。しかし、クラムの硬さと吸熱エンタルピーの経時変化のパターンを比較すると、両者の関係は米粉の品種間で異なっていた。マンゲツモチの米粉を配合したパンは、ひとめぼれやミルキークイーンのパンよりもアミロペクチンの再結晶化も硬化の速度も遅い傾向が認められたが、アミロペクチンの再結晶化による吸熱エンタルピーの品種間差よりも、硬さの差異が際立っており、吸熱エンタルピーの違いだけでは米粉パンの硬化速度の品種間差を説明できない。パンとの比較試料として、パンの調製に使用した同じ米粉を使って40%の懸濁液を調製し、一度完全に糊化させた後、4日間冷蔵保存した時のアミロペクチン再結晶化による吸熱エ

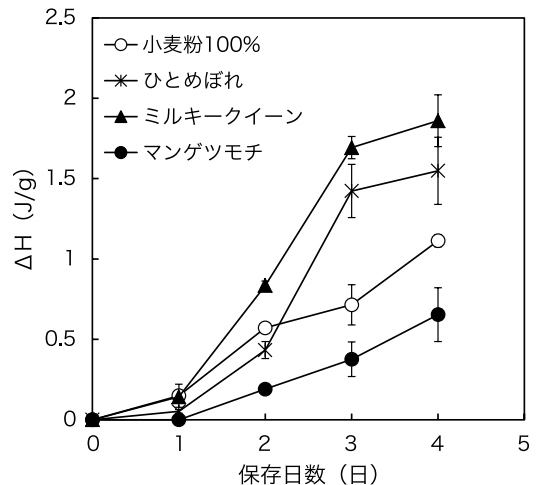


図10 40%小麦粉ゲルおよび米粉ゲルの吸熱エンタルピーの経時変化

ンタルピーの経時変化をDSCで測定した。その結果、ひとめぼれとミルキークイーンの米粉は、2日目以降に急激に吸熱エンタルピーが上昇し、3日目以降は小麦粉よりも顕著に高い値を示した(図10)。今回は米粉の配合率を30%として、米粉パンを調製したが、これらの米粉の配合率を上げた場合には、米粉パンにおけるアミロペクチンの再結晶化が促進されることが考えられた。一方マンゲツモチの米粉は、保存期間を通して小麦粉よりも吸熱エンタルピー値が低く、増加の速度も遅かったため、パンの状態でも米粉の状態でもアミロペクチンの再結晶化が遅いことが示された。

米粉パンと小麦粉パンの老化メカニズムの違いについては、澱粉だけではなく、共存成分であるタンパク質、非澱粉性多糖類等の含量や組成の違いも少なからず影響を与えていると考えられるため¹¹⁻¹²⁾、今後さらなる研究が期待される。

おわりに

本稿では、小麦粉に米粉を配合することによって生じるパンのユニークなテクスチャーの構成要素の一例を紹介した。今後これらのパ

ラメータが米粉パンの品質制御・改良の際の評価指標として、利用されることが期待されるが、米粉パンの特徴を活かした好ましいテクス

チャーと機器測定によるパラメータの関連性については、官能評価を含めたさらに詳細な検討が必要であると思われる。

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

- 1) Yamauchi H., Noda T., Matsuura-Endo C., *et al.* Bread-making quality of wheat/rice flour blends. *Food Sci. Technol. Res.* **10**:247-253, 2004.
- 2) Nakamura S., Suzuki K., Ohtsubo K. Characteristics of bread prepared from wheat flours blended with various kinds of newly developed rice flours. *J. Food Sci.* **74**:E121-E130, 2009.
- 3) AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 74-09.01. Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine. Approved November 3, AACC International: St. Paul, MN., 1999.
- 4) 高橋 誠, 本間 紀之, 諸橋 敬子他:米の品種特性が米粉パン品質に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **56**(7):394-402, 2009.
- 5) Sasaki T., Kohyama K., Miyashita K., *et al.* Effects of rice flour blends on bread texture and staling. *Cereal Chem.* **91**:146-151, 2014.
- 6) Zghal M. C., Scanlon M. G., Sapirstein H. D. Effects of flour strength, baking absorption, and processing conditions on the structure and mechanical properties of bread crumb. *Cereal Chem.* **78**:1-7, 2001.
- 7) Baik M. -Y., Chinachoti P. Effects of glycerol and moisture redistribution on mechanical properties of white bread. *Cereal Chem.* **79**:376-382, 2002.
- 8) Krog N., Olesen S. K., Toernaes H., *et al.* Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. *Cereal Food World* **34**:281-285, 1989.
- 9) Bhattacharya M., Erazo-Castrejon S. V., Doehlert, D. C., *et al.* Staling of bread as affected by waxy wheat flour blends. *Cereal Chem.* **79**:178-182, 2002.
- 10) Miyazaki M., Maeda T., Morita N. Starch retrogradation and firming of bread containing hydroxypropylated, acetylated, and phosphorylated cross-linked tapioca starches for wheat flour. *Cereal Chem.* **82**:639-644, 2005.
- 11) Martin M. L., Zeleznak K. J. Hoseney R. C. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. *Cereal Chem.* **68**:498-503, 1991.
- 12) Gudmundsson M., Eliasson A. -C., Bengtsson S., *et al.* The effects of water soluble arabinoxylan on gelatinization and retrogradation of starch. *Starch.* **43**:5-10, 1991.

イサダ由来の8-ヒドロキシエイコサペンタエン酸 (8-HEPE) による脂肪燃焼促進作用

山田 秀俊 (YAMADA Hidetoshi) *

* 公益財団法人 岩手生物工学研究センター 生物資源研究部

Key Words : オキアミ・エイコサペンタエン酸・ヒドロキシエイコサペンタエン酸・ペルオキシソーム増殖因子活性化受容体・脂質代謝

はじめに

日本人のおよそ6人に1人がメタボリックシンドローム, またはその予備軍に該当すると見込まれている。特に, 40~74歳の男性では2人に1人と深刻な状況である。メタボリックシンドロームとは肥満を要因として高血糖, 脂質異常, 高血圧が引き起こされる状態のことで, 肥満が大きな要因となる。

肥満を考える上で重要なのは, 食事で摂取するエネルギーと基礎代謝, 運動・生活活動, 体温調節で消費されるエネルギーのバランスである。摂取エネルギー量が消費エネルギー量を慢性的に上回ると過剰な脂肪が蓄積され肥満になる。いかに消費エネルギー量を増加させるかが, 肥満の予防・改善の鍵となる。

1. 脂肪の合成と分解

食品から摂取した糖や脂質は, 小腸で吸収され肝臓を通して生体内を循環し, 主要なエネルギー源として利用される。余剰な糖や脂質は脂

肪組織や肝臓でトリグリセリドに代謝され, エネルギー源として備蓄される。脂肪や肝臓に備蓄されたトリグリセリドは, 絶食による血糖値の低下や運動による需要エネルギー量の増加に応じて, 細胞内のミトコンドリアやペルオキシソームで分解され, エネルギー源として利用される。肝臓や脂肪組織におけるトリグリセリドの合成と分解をコントロールしているのが, ペルオキシソーム増殖因子活性化受容体である。

2. ペルオキシソーム増殖因子活性化受容体 (PPAR)

特定のタンパク質や化学物質を認識・結合し, 細胞内へ情報を伝達する役割を担うタンパク質を受容体と呼び, 受容体と結合・活性化する物質をリガンドと呼ぶ。PPARは核で働く受容体の一種で, 脂肪酸や脂肪酸代謝物を認識し, 脂肪の合成や分解を担うタンパク質をコードする遺伝子の発現をオンにする。PPARにはPPAR α , PPAR β , PPAR γ , 3種類のアイソフォームが存在

連絡先: 〒024-0003 岩手県北上市成田 22-174-4

公益財団法人 岩手生物工学研究センター 生物資源研究部

URL: <http://www.ibrc.or.jp/> E-mail: hyamada@ibrc.or.jp

Tel: 0197-68-2911 Fax: 0197-68-3881

し発現部位と働きが異なる。PPAR は肝臓や心臓での脂肪分解とエネルギー産生を制御している^{1,2)}。PPAR は脂肪組織に発現しており、脂肪細胞の形成と脂質合成を制御している^{3,4)}。PPAR はほぼ全身で発現していて、多くの組織で脂質分解とエネルギー産生を制御していると考えられている。また、PPAR の活性化が骨格筋での糖の取り込み促進や運動能力の向上に繋がることも報告されている⁵⁾。

PPAR, PPAR, PPAR 活性化剤には肥満や糖尿病の改善効果があり、PPAR 活性化剤のフィブラート系薬剤は高脂血症の治療薬として使用されている。また、魚油に豊富に含まれるエイコサペンタエン酸 (EPA) にも PPAR, PPAR の活性化作用が報告されている⁶⁾。

3. エイコサペンタエン酸

脂肪酸は二重結合を持たない飽和脂肪酸と、二重結合を持つ不飽和脂肪酸に構造的に分けられる。さらに、不飽和脂肪酸はアラキドン酸などのオメガ-6 脂肪酸とエイコサペンタエン酸 (EPA) やドコサヘキサエン酸 (DHA) などのオメガ-3 脂肪酸に分類される (図 1)。オメガ-3 脂肪酸は心血管系疾患リスク軽減効果で注目され、これまでに、炎症抑制効果やコレステロール低下作用、血中中性脂肪抑制効果など

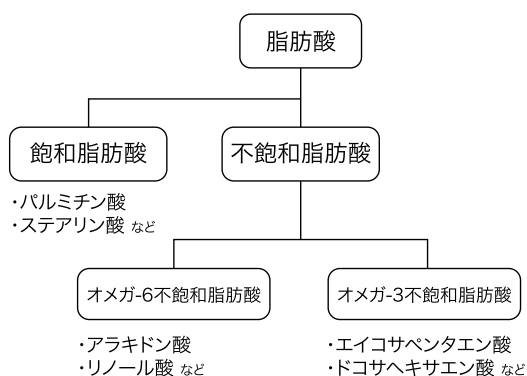


図 1 脂肪酸の分類

様々な生理作用が報告されている。オメガ-3 脂肪酸のなかでも、EPA は心血管系疾患予防効果と脂質異常症の改善効果についてよく研究されており、特定保健用食品や医薬品として利用されている。

4. イサダ (ツノナシオキアミ)

イサダは北太平洋に生息するオキアミの一種で、三陸から常磐で年間約 3 万 5 千トンが水揚げされる。水揚げされたイサダは主に養殖魚の餌として利用されるが、三陸地域では古くから佃煮やキムチの原料、魚醤などとしても利用してきた。近年、乾燥品の製造技術が確立され、煮干しや素干しの乾燥オキアミがスーパーに並ぶようになった。しかしながら、イサダの食品利用率は依然として低く需要促進や高付加価値化が求められている食品素材である。

5. ツノナシオキアミ成分による肥満抑制効果

オキアミ (南極オキアミ) の脂質成分はクリルオイルと呼ばれ、EPA, DHA, アスタキサンチン含有の機能性素材として販売されている。クリルオイルにはリン脂質型の EPA, DHA が含まれているなど魚油とは異なる特徴があり、その点に着目した研究も行われているが、機能性素材として魚油とクリルオイルを明確に差別化できていないのが現状である。また、クリルオイル以外の成分については、ほとんど研究されていなかった。

我々は、イサダ (オキアミ) 特有の機能性を見いだすことを目的に、極性溶媒 (水, アルコール) 可溶の成分にターゲットを絞って生理活性探索試験を行った。培養細胞を用いた解析の結果、イサダ成分がインスリンシグナルによって誘導されるトリグリセリドの蓄積を抑制する作用があることを見いだした (図 2)⁷⁾。

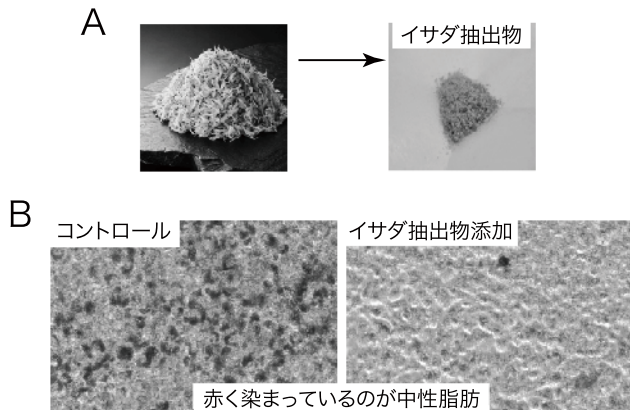


図2 イサダ成分によるトリグリセリド蓄積抑制

- A: イサダからの水溶性抽出物 イサダに蒸留水を加え、ホモジェナイズ、遠心分離、フィルター濾過、凍結乾燥にて水溶性抽出物の粉末を作製した。
- B: マウス脂肪前駆細胞 (3T3-F442A) をインスリン刺激 (10 $\mu\text{g}/\text{ml}$) によって脂肪細胞へ分化誘導した。分化誘導時に 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ のイサダ抽出物を培地に添加して培養

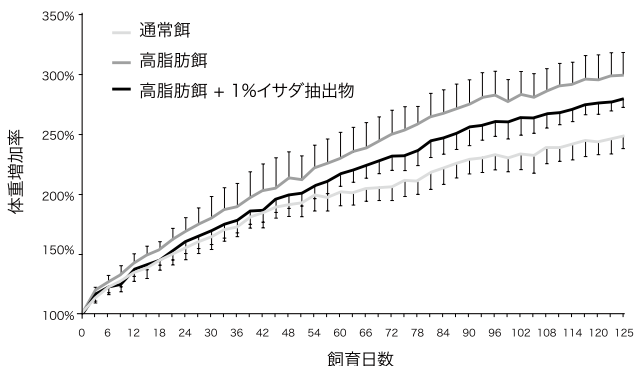


図3 イサダ成分摂取による体重増加抑制
試験開始時の体重を 100% としてグラフを作製

次に、イサダ成分による肥満抑制効果について検討するため、高脂肪食摂取による肥満誘導モデルによる動物試験を行った。5週齢の野生型 (C57BL/6 系統) 雄マウスを、①通常の餌 (10 kcal%) を摂取する群、②カロリー比 45% が脂質の高脂肪餌 (45 kcal%) を摂取する群、③高脂肪餌に 1% オキアミ抽出成分を添加した混餌を摂取する群の 3 群にわけて、18 週間試験を行った。オキアミ成分を摂取したマウスにおい

て、体重増加の抑制、肝臓におけるトリグリセリド量の低下、血中レプチン値の低下、脂肪細胞の肥大抑制が観察された (図 3)。一方で、高脂肪餌摂取群とオキアミ成分の混餌摂取群における摂餌量には差が無かった。以上の結果から、オキアミ成分摂取によって高脂肪食摂取時の体重増加が抑制されることが示された⁸⁾。

イサダ成分の作用機序について明らかにするため、イサダ成分を摂取したマウスの肝臓における網羅的遺伝子発現解析を行った結果、脂肪酸の酸化に関連する遺伝子の発現誘導が観察された。この結果は、イサダ成分摂取によって脂肪酸酸化関連遺伝子の発現を制御している転写因子の活性化を示唆しており、イサダ成分による PPAR 活性化作用が推察された。そこで我々は、PPAR 活性化を測定するレポーターアッセイシステムを構築し、イサダ抽出物の活性を測定した。活性測定の結果、イサダ成分が PPAR, PPAR, PPAR 全てを活性化作用を有している事が明らかになった (図 4)。動物試験の結果と PPAR レポーターアッセイの結果から、イサダ成分には PPAR を活性化作用があり、イサダ成分摂取マウスでは PPAR 活性化によって脂肪の燃焼が促進し、肥満が抑制されたと考えられる。

6. 8-ヒドロキシエイコサペンタエン酸 (8-HEPE)

PPAR 活性化物質は創薬ターゲットの一つであり、食品由来成分であれば機能性食品素材としても有望である。そこで、イサダに含まれる

ペルオキシソーム増殖因子活性化受容体:PPAR

	発現組織	働き
PPAR α	肝臓・心臓	脂肪燃焼促進 エネルギー産生
PPAR γ	脂肪組織	脂肪細胞の形成 糖の取り込み促進
PPAR δ	全身 (皮膚, 筋肉など)	脂肪燃焼促進 糖の取り込み促進 エネルギー産生

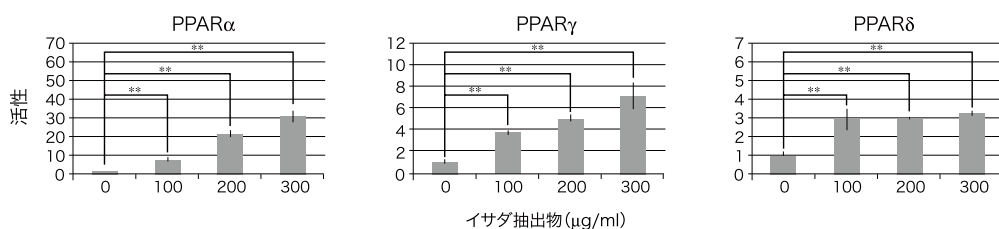


図4 イサダ成分による PPAR 活性化

乾燥イサダより作製したメタノール抽出物をあらかじめレポーター遺伝子を導入しておいた NIH-3T3 細胞に添加し、24 時間培養。細胞よりライセートを作製し、蛍ルシフェラーゼの活性を測定。ウミシイタケルシフェラーゼの値でノーマライズした。

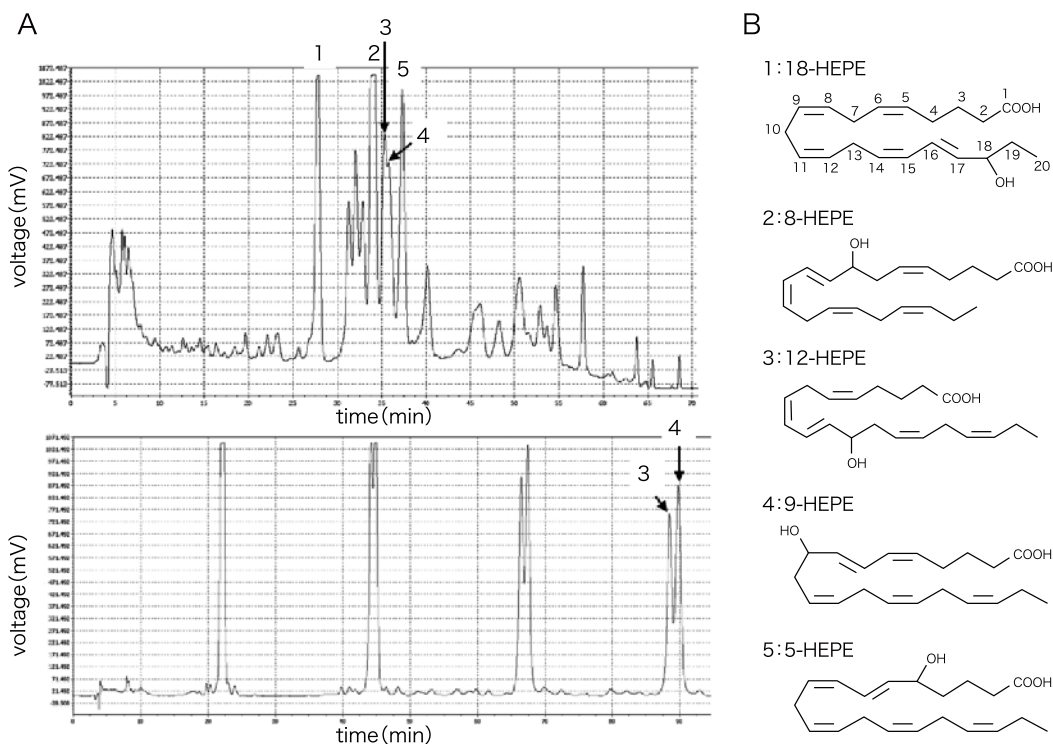


図5 乾燥イサダからの PPAR 活性化物質の精製

A: 分取 HPLC におけるクロマトグラフ 1-5 のピークをそれぞれ分取後、質量分析器 (LC/QTOFMS) にて分析。

B: イサダより精製した HEPE の名称と構造

表1 オキアミおよび魚類における HEPE と遊離型 EPA 含有量 (mg / 100g)

	乾燥 (素乾し)	冷凍				
	イサダ	イサダ	南極オキアミ	マイワシ	サンマ	サバ
5-HEPE	2.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
8-HEPE	3.6	21.8 ± 8.8	11.4 ± 3.4	n.d.	n.d.	n.d.
9-HEPE	1.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
12-HEPE	0.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
18-HEPE	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
EPA 遊離型	36.0	157.9 ± 36.6	329.3 ± 81.5	2.5 ± 2.0	6.8 ± 2.0	2.9 ± 0.1

PPAR 活性化物質の単離精製に取り組んだ。精製には素乾しイサダを原料として用い、ミルサーにて粉末にした後、アルコールにて抽出した。その後、ダイアイオン HP-20 にて粗精製を行い、GL サイエンス社の疎水カラム (Insert Sustain C18) と分取 HPLC システム (PLC 761) を用いて活性物質を精製した (図 5A)。精製した活性物質を質量分析器 (LC/QTOFMS) にて分析し、極大吸光、保持時間、精密分子量から、ヒドロキシエイコサペンタエン酸 (HEPE) であることを明らかにした (図 5B)⁹⁾。素乾しイサダから精製した 5 種類の HEPE と EPA の PPAR 活性化作用について比較したところ、8-HEPE および 9-HEPE が最も高い活性を示した。この結果は、EPA の水酸基導入が PPAR 活性化作用を増強すること、水酸基の導入部位によって活性が変化することを示している。次に、HEPE 含有量について乾燥イサダと冷凍イサダで比較した (表 1)。興味深いことに、冷凍イサダ中には 8-HEPE しか含まれていなかった。このことから、加工前のイサダには 8-HEPE のみが含まれていて、5-HEPE、9-HEPE、12-HEPE、18-HEPE 乾燥過程で EPA が非酵素的に酸化され生成したと考えられる。8-HEPE はイワシ、サンマ、サバなどの魚類には含まれておらず、オキアミ特有の成分である (表 1)。

おわりに

今回我々はイサダより、新たな PPAR 活性化物質として 8-HEPE を同定した。8-HEPE は

高い PPAR 活性化作用を有しており、生活習慣病の予防・改善効果が期待される。既に医薬品や健康食品として活用されている EPA よりも高い PPAR 活性化作用を有することから、新たな機能性食品素材や PPAR 活性化剤としての活用が期待されるが、8-HEPE 摂取量と生活習慣病の予防改善効果の関係など今後検討すべき課題も存在する。さらに、HEPE 研究は EPA の作用機序についての新たな知見を提供するのではないかと期待している。EPA が細胞内でリポキシゲナーゼによって代謝され、HEPE が生成されることは知られていたが、これまでは単にエイコサノイド生成過程の中間体として考えられていた。しかしながら、HEPE が EPA よりも強い活性や EPA とは異なる活性を有しているとすれば、EPA 摂取によって報告されている生理作用に体内で生成した HEPE が深く関わっている可能性がある。実際に、EPA より代謝された 12-HEPE や 15-HEPE が炎症抑制に機能していることを示唆する報告もある¹⁰⁾。HEPE 研究によって EPA の薬理作用に新たな展開が生まれれば、EPA の新たな活用方法が生まれ、メタボリックシンドロームの克服に一步近づくことができるのではないかと期待している。

[謝辞]

本研究の一部は公益財団法人さんりく基金および JST 復興促進センター・復興促進プログラム・マッチング促進事業の研究助成を受けて行われた研究です。

• • • • • 参考文献 • • • • •

- 1) Bernal-Mizrachi C, Weng S, Feng C, Finck BN, Knutsen RH, *et al.*: Dexamethasone induction of hypertension and diabetes is PPAR-alpha dependent in LDL receptor-null mice. *Nat Med* **9**: 1069–1075, 2003. doi:10.1038/nm898.
- 2) Reddy JK, Hashimoto T : Peroxisomal beta-oxidation and peroxisome proliferator-activated receptor alpha: an adaptive metabolic system. *Annu Rev Nutr* **21**: 193–230, 2001. doi:10.1146/annurev.nutr.21.1.193.
- 3) Tontonoz P, Hu E, Graves R a, Budavari a I, Spiegelman BM : mPPAR gamma 2: tissue-specific regulator of an adipocyte enhancer. *Genes Dev* **8**: 1224–1234, 1994. doi:10.1101/gad.8.10.1224.
- 4) Rosen ED, Spiegelman BM : PPARgamma: a nuclear regulator of metabolism, differentiation, and cell growth. *J Biol Chem* **276**: 37731–37734, 2001. doi:10.1074/jbc.R100034200.
- 5) Wang Y-X, Zhang C-L, Yu RT, Cho HK, Nelson MC, *et al.*: Regulation of muscle fiber type and running endurance by PPARdelta. *PLoS Biol* **2**: e294, 2004. doi:10.1371/journal.pbio.0020294.
- 6) Yu K, Bayona W, Kallen CB, Harding HP, Ravera CP, *et al.*: Differential activation of peroxisome proliferator-activated receptors by eicosanoids. *J Biol Chem* **270**: 23975–23983, 1995. doi:10.1074/jbc.270.41.23975.
- 7) Yamada H, Ueda T, Yano A : Water-soluble extract of Pacific Krill prevents triglyceride accumulation in adipocytes by suppressing PPAR γ and C/EBP α expression. *PLoS One* **6**: e21952, 2011. doi:10.1371/journal.pone.0021952.
- 8) Sadzuka Y, Sugiyama I, Miyashita M, Ueda T, Kikuchi S, *et al.*: Beneficial Effects by Intake of Euphausiacea pacifica on High-Fat Diet-Induced Obesity. *Biol Pharm Bull* **35**: 568–572, 2012.
- 9) Yamada H, Oshiro E, Kikuchi S, Hakozaiki M, Takahashi H, *et al.*: Hydroxyeicosapentaenoic acids from the Pacific krill show high ligand activities for PPARs. *J Lipid Res* **55**: 895–904, 2014.
- 10) Tomio K, Kawana K, Taguchi A, Isobe Y, Iwamoto R, *et al.*: Omega-3 polyunsaturated Fatty acids suppress the cystic lesion formation of peritoneal endometriosis in transgenic mouse models. *PLoS One* **8**: e73085, 2013.

社会システムにおける安全・安心・信頼 (1)

—中国の食を巡る問題の複雑性とルーマンのリスク概念による分析—

三好 恵真子 (MIYOSHI Emako) *

* 大阪大学大学院 人間科学研究科グローバル人間学専攻

Key Words：リスク社会・中国・食の安全・安心・システム信頼・日中関係・コミュニケーション

はじめに

世界経済の牽引役として、その存在感を確たるものとする中国における食の安全性やそれを取り巻く諸問題は、現在、世界的に注視され、社会的・政治的波及効果も伴いかねない重要な課題の一つとして捉えられている。中国の食品工業は、ここ10年の間、年平均15%以上の高度成長を保つ一方で、それに連動する事故も頻発し、中国国内においても食の安全性の問題は、社会的関心事としての高まりを見せている。こうした状況を受け、2009年の「食品安全法」の制定以来、中国食品安全ハイレベルフォーラムが毎年開催され、中国食品の安全強化は、監督管理体制の完備、関連法体系の整備、食品安全基準の制定などにおいて著しい進展を遂げている¹⁻³⁾。特に、海外輸出に関するCHINAGAP（中国有料農業規範）制度や、HACCP（Hazard Analysis Critical Control Point）制度等、国際基準に追従する食品安全制度の導入の革新的な動きも見られる⁴⁾。さらにグローバル・イシューとして中国の食の安全性を注視する国際的潮流が急速に形成されつつある中、2010年より国際食品科学工学連合（IUFoST）と中国食品科学技術学会（CIFST）の共同主催による「食の安全に関する国際フォーラム（International

Forum of Food Safety）」が、北京で毎年開催されている。このフォーラムでは、「リスク管理：理論と実践」、「グローバルサプライチェーンとリスクコミュニケーションのための食の安全管理」、「食の安全強化に向けたグローバルチャレンジ」という毎回世界トップレベルのテーマを掲げながら、国内外の企業、学術機関、行政関係など300名を超える参加者が一堂に会し、いずれも成功裏に評価されている。

しかしながら、中国国内における食の安全性の問題は現行でも深刻とされており、こうした汚染食品の蔓延の現象は、著しい高度成長に伴う社会変化が急激であるために、安全管理体制と実態が連動していないことが予測される。さらに中国は顕著な地域間格差が存在し、東部・南部沿海地域では外資の進出による圧縮型工業化、急速な都市化、大量消費社会の形成による複合的な環境問題が生じる反面、西部では枯渇資源消費型経済発展、貧困と環境劣化に直面している状況も見見過してはならない。したがって、急速にプレゼンスを台頭した中国が、食の安全面でも世界水準に追従しようとする姿勢が高まっているものの、こうしてグローバルスタンダード化へ射程を置くことが必ずしも有効であるとは限らず、グローバルな課題である食や

環境問題は、その被害や負荷が、ローカルな場で展開され、その度合いもローカルな場の多様性に依存する「構造的な問題」として捉え直す必要があると考えられる。

このような中国経済の劇的な発展およびそれによって惹起される国際関係・国際秩序のかつてないほどの甚大な変化に向けた高い関心を背景に、現代東アジアの国際環境に軸を置く「日中関係」を巡る今日の課題に注視することへの重要性も、なお一層問われており、「食の安全性をめぐる日中協力体制の構築」についても同様であるといえよう。両国は、特に経済面において、貿易、投資、人的交流のいずれの側面においても躍進しており、相互依存関係の重層の実態を浮き彫りする一方で、政治・外交・資源・環境等の種々の課題が先鋭化しつつあり、緊張関係が高まっている。

そこで本研究では、中国の食品を巡る安全・安心・信頼について、「社会システム」から包括的に捉え直し、理論的・実証的枠組みの双方により分析・評価を進めてゆきたい。具体的には、日中における食の安全・安心を巡る問題に焦点を収斂し、日中間の外交問題にまで発展し、経済的にも負荷を与えてしまった中国食品に関する具体的事例を元に、多次元的な視点を加えることにより、中国の食の安全性をめぐる固有性の問題並びに科学的な安全性の追求だけでは解消し得ない「安全でも安心できない」社会構造を生み出している普遍的複層性を描き出してみる。

さらに、このような不安のコミュニケーション、あるいは情動的反応が既に生じてしまっている「現実」から出発し、それらをもたらし社

会的なダイナミズムを記述する（ありそうになさの公理^{注1)}）重要性に立脚しつつ、ニクラス・ルーマンのリスク概念と応答させながら再構築することにより、日中間の摩擦を解消するような社会的コンテクストを導く可能性についての検討を試みたい。ここでルーマンの理論装置に着目する理由は、機能分化した社会について、「オートポイエティックに自己再生産するシステムから成り立つ社会」として捉えることに留まらず、社会的なものの端緒としての「コミュニケーション（関係性）」から出発して、それを基軸に社会の諸側面を把握しようとする俯瞰的な視座が、リスクの問題を社会的に記述してゆく上で優位と見なされるからである。また、その先の理論的な工夫が様々な側面からなされており⁵⁾、基本的に現実の多様性に対して、柔軟で開放的な性質を備えていることも見逃せない。

ただし本研究では、中国の食の安全性をめぐる日本の消費者の「安心」「信頼」に焦点を当てるため、中国食品の安全性に関する科学的な課題というよりも、日本における中国食品輸入の「関係性」から派生する諸問題に軸芯を置いて論じている点を、予め断っておく。しかしながら、ルーマンの普遍的理論を相補的に応答させながら、具体的な事例を診断することにより、食を巡る日中関係の安全・安心・信頼に関する包括的な検討が可能となり、さらに今日の環境問題の背景に存在する「非知」の問題にも重層させながら、具現的・発展的な議論へと深化させてゆきたい。

注1) ルーマンによれば、学的関心のハビトゥスには2つの方向性があり、一つが、「正しいもの」を仮定して、そこから逸脱する現実を目を向けるやり方であり、もう一つが、現にあるものがそのような形で現にあることに驚き、現にそのようなありそうになさを仮定することから始めて、そうであるにもかかわらず、なぜ形式（秩序、構造など）が現に可能になっているかと探求する方法である。ルーマンは、後者を「ありそうになさの公理」と説明し、積極的にコミットしている。

1. 本研究の着眼点と分析的枠組み

1-1. 新しいリスクの到来：安全性の追求だけでは安心できない社会

複雑性が増大する現代社会において、環境問題などの「新しいリスク」^{注2)}が出現し、決定とその決定による影響領域との間の関係という点において、その新しさが存在すると言われる⁶⁾。すなわち、産業社会を支えていた保険制度を想起するリスクは、未来の損害を確率計算などによって予期され、計算可能であるという客観性を帯びたものであるのに対し、1980年代に入って顕著に現れてきた新しいリスクの場合、「現在から見た未来」と「未来において現実化される現在」との差が極めて大きく、社会的・文化的に構成されるものであることを特徴とする。しかも、非常に発生確率の低いものであり、事前に計算することが困難であるため（不可視のリスク）、当初予期することができなかった損害が帰結としてもたらされてしまうことが、もはや例外ではなくなるのである。さらに、新しいリスクの場合は、限定されたものとして把握することが難しく、著しい時間的・空間的広がり示している。

このようなリスクの現実を知らしめ、世界を震撼させた直近のものとして、2011年3月に日本で発生した福島第一原子力発電所の事故が挙げられ、我々は「安全神話」の崩壊を切実に体験し、いまだ様々な問題の痕跡を残している。この事故において刻まれた教訓は、リスクは人間の行為を伴う危険であるために、回避が極

めて困難であることを再確認するとともに、利便性の向上や経済性を目論んで開発されてきた「技術」自体が実にシステムとして未完成のものであり、その社会への適用のあり方への懸念であった。すなわち、リスクは常に決定のリスクであって、リスクを回避しようとする人々の営為によりリスクがまとわりつくのは必然であり、リスク不可避の事態を生み出してしまうと考察される⁷⁾。

また、食のリスクに着目してみても、メディアを騒がせている食品偽装事件などの場合、安全管理が破綻せずとも、安心は崩壊するという事態が起こっており、人々の安心・信頼というのは、科学的安全性の追求だけでは計り知れない難しさを物語っている。すなわち食の「安全性」は科学の向上によりある程度達成できるものの、それを駆動させる「安心」は人びとの心理的要因により誘発される複雑性に起因していると考えられる。

そこで本研究では、こうした「不可視のリスク」に起因する「不安のコミュニケーション」の頻発という事態に対して、安全工学に特化された観点のみでは応えられないような複雑な問題を、社会システムがいかに対処しうるものであるかについて、考察していきたい。具体的な事例として、2008年1月末に日本で起こった「中国製冷凍餃子中毒事件」^{注3)}とそれにより露呈した諸問題に焦点を当てながら、中国食品の安全性と日本の消費者の不安・不信の構造的性を多次的に分析した既報^{8,9)}を元に、ルーマンのリスク論との応答による分析的枠組みを用いて、再評価を試みる。

注2) クリトフ・ラウは、リスクを「伝統的なリスク」、「産業社会的—福祉国家的リスク」、「新しいリスク」という三つに分類している [Lau, 1989]

注3) 2007年12月から2008年1月にかけて千葉、兵庫県の3家族10人の冷凍餃子による中毒事件が明るみになった。中国の製造元の「天洋食品」の生産・輸出が一時停止され、中国当局が捜査を開始した。厚生労働省が発表した国内の被害者数1242人（2009年）（保健所の調査では、2500人以上）とその規模の拡大も大きかった。

本件の場合、最終的には、中国国内における人為的な毒物混入が原因であるとされ、食の安全性の問題とは別次元であったものの、その間、日中両政府の見解の不一致、協力関係の脆弱さが浮き彫りになるなど外交問題にまで発展し、また経済面にも影響を及ぼし、食の安全・安心を巡る複雑な課題を残した事件であったといえる。また、本事件発生以来、日本では消費者・企業ともに過剰なほど中国食品離れが起こり、食の「安心」を「国産」に求める動きが広まる一方で、食料自給率が40%程度と低く、輸入食品へ高度に依存しなくてはならない我が国の体制を改めて認識し、食の安全・安心の構築は、もはや中国との関係を抜きにして考えられない状況下にあることを記憶にとどめて置かねばならぬ出来事でもあった。

他方、中国においては、当時草案が提出されていた「食品安全法（2009年施行）」に大幅な修正が加えられる切っ掛けともなり、ここでの教訓が、中国の食の安全性に対する制度的対応の前進を促したとも解釈できる。

1-2. 分析的枠組み：ルーマンの理論装置と応答

安全・安心および信頼の概念は、様々な学問分野並びに実践の場において注目されており、特に、リスク社会^{注4)}における政策立案などの場面で必要不可欠なものと捉えられている。今日の社会科学分野におけるリスク概念への注目の高まりは、1980年代後半以降に、社会学の分野において、リスクに関する議論が新たな角度から興起したことの貢献が大きい。しかしながら、リスクという言葉は、多様な分野・領域において使用され、それゆえにリスク研究は多

岐にわたっているため、その類別化を試みることは容易ではないが、ここでは幾つかの視点から整理を行い、議論の核心への潤滑油としてゆきたい。

オートウィン・レンによると、リスク研究は、①保険数理アプローチ、②毒性学や疫学、③確率的なリスク分析、④リスクの経済学、⑤リスクの心理学、⑥リスクの社会理論、⑦リスクの文化理論の7つに分類できるとしている¹⁰⁾。一般に浸透しているリスク研究の概念は、安全工学や意思決定の際の基準を提供するための確率論的リスク論、あるいはミクロ経済に依拠したリスク論と想定されるが、レンの分類は、それ以外にも多様なアプローチが存在していることを提示している⁶⁾。他方、クラウス・ヤップは、コンテキストに中立的な立場か、コンテキストへの依存性を強調する立場か（社会的・文化的バイアスに大きく依存するという構成主義的）により分類し¹¹⁾、特に後者であるリスク文化論的研究^{注5)}並びにルーマンのリスク論が、1980年代半ば以降の社会学的なリスク研究に決定的な影響力を与えたと言及している。

これらに対し、「観察」というルーマン自身のリスク概念の区分を採用すれば、レンの7つの分類のうち、①保険数理アプローチから⑤リスクの心理学までが主として「第一次観察」に依拠したリスク概念であり、⑥リスクの社会理論と⑦リスクの文化理論が、「第二次観察」に依拠したリスク概念といえ、ルーマン自身は特に後者を強調する。これは、ヤップの「構成主義的」に捉え得る立場か否かの区分とある程度重なっている。しかし例えば、ウルリッヒ・ベックは明らかに構成主義的立場にあるものの、第二次観察のレベルに依拠しているとは言い難

注4) 現在では、一般的な用語として流布しているものの、ウルリッヒ・ベックの著作『リスク社会』（1986）が、特に大きな影響力を与えたと考えられる。

注5) 人類学者メアリー・ダグラスと政治学者アロン・ウィルダフスキーの共著『リスクと文化』（1982）を代表作とする。

い。ベックのリスクのとらえ方は^{12, 13)}、安全という概念と対比的に捉えるものだったことに對し、ルーマンの場合は¹⁴⁻¹⁶⁾、リスクの概念を「決定」と関連づけて把握しており、危険という概念の間に明確な区別を設定している。すなわち、ルーマンの説明によれば、リスク/安全の区分は、対象世界のある事象（テクノロジー、物質、出来事、状態）の属性と関連づけられており、これが第一次観察であるとしている。他方でリスク/危険の区分は、将来的損害を説明するためのタームであり、第一次観察をさらに観察することにより（第二次観察）、日常的に使用されるリスク/安全の区分では見えてこないものを観察しようとするところに、ルーマンのリスク論の狙いが見えてくる⁶⁾。つまり、社会的な観察の様式の差異に着目し、第二次観察によって、コミュニケーションの概念とリスク概念とを結びつけることが可能になるとしている。本研究では、この点に踏み込んで、リスク/危険の差異は、決定者/被影響者の差異でもあり、さらに被影響者の立場から表明される非知（特定化されない非知。詳細は後述。）について、どのように捉えるべきかという概念の考察も試みている。

ルーマンによるリスク/危険の区分は、現在諸領域へと急速に広がりつつ「リスクコミュニケーション」や回避・軽減のための方策を追求するリスク研究分野においても、基本的概念や認識として広く受け入れられ、社会に浸透してきている。実践的なリスク分野において「コミュニケーション」が重要視されるのは、リスク管理は、将来の「安全」を高める行為であるものの、それを駆動させるのは「不安」や「心配」という人々の「心的状態」依拠するからと指摘されている。ここにルーマンの解釈を導入すると、擬似的な不確実性が可視化され、それを基底として意識（個人の心理システム）やコミュニケーション（社会システム）が産出されてゆ

くことに連動してくる^{15, 16)}。したがって、食の安全性を巡り、ステークホルダー間の摩擦が生じるのは、心理的要因に誘導された「安全でも安心できない」という社会構造に起因していると考えられる^{17, 18)}。

さらに現代は、複雑化した「分業化社会」が構築されており、人々が「安心」できるかどうかは、専門家や行政など依存する相手に対する「信頼」の程度で決まると考えられている。そしてこうした安心から導かれる信頼の醸成の仕組みは、社会心理学の領域における「二重過程理論」により説明されている。ここでは、個人がある事柄に関して、①その情報を処理するよう動機づけられているかどうか、②その情報を詳細に処理できる能力があるかどうか、によって情報処理のルートが異なると説明されている。つまり、個人に動機づけも能力もある場合は、「中心ルート」による処理が進められ、相手の意見や情報の内容を十分に吟味し、提示された論拠を熟考することで、自らの意見が形成されていく。

一方、動機づけと能力のいずれかが低い場合には、「周辺ルート」による処理が進められる。この場合は、意見や情報を発信した相手の「信頼性」や「魅力（専門性）の高さ」など、周辺の手がかりによって、相手の見解を受け入れるかどうかが決められ、内容そのものについての情報は十分に吟味されるとはいえない。食の安全性に関しては、多くの人々は強い関心を持っており、比較的高い動機づけを有しているものと推察されるが、得られる情報の真偽や正当性に関して、自らの力で分析し評価する専門的能力を持ち合わせているとは考え難い。したがって、一般消費者は、内実の理解ではなく、情報を発信する相手への信頼性等により、判断していることが示唆される。同時にそれを表現するメディアの報道にも左右されることが予測される。

こうした複雑に分業した社会において、新しいリスクが到来し、「リスクコミュニケーション論」への期待が高まっている現状は、単純なリスクアセスメントによって、リスク政策を滞りなく行うことへの困難さから派生しており、当然の成り行きであると考えられる。しかしながらルーマンのリスク概念は、こうしたリスクコミュニケーション論との対比により、その意義が一層際立ってくることを指摘したい（3および結論にて論じる）。

本研究では、主として「社会システム理論」^{15,16)}に準拠し、社会システムの要素はコミュニケーションから成り立ち、創造された社会システムは、コミュニケーションを再生産する過程を通じて作動するという解釈を基礎概念として捉えてゆく。ここで、個人ではなく社会システムとして捉える理由は、食の問題が複雑性を有するグローバルな課題であるがためである。すなわち、それへの対応が個人レベルの受容能力では限界に達するため、代わりに社会システムが「複雑性の縮減」という課題を代替する必要性が生じてくる。そして社会システムが複雑性の縮減に役割を果たすことで、逆に個人レベルの当事者間にもある種の方向付けを与えることが可能になるのである。このように、社会システムの要素を「個人」や「人間」ではなく、「コミュニケーション」とし、他方で人間や個人はむしろ社会システムの「環境」とであると位置づけるルーマンの考察の含意は、次のような点にあると考えられる。個人は社会システムよりも大きな可能性を有する複雑な「環境」であり、多様な諸個人との多様なコミュニケーションを通じて、社会の中の諸機能システムへと関与し、多元的に包摂されている⁶⁾というリアリティに立脚しているのである。

2. コミュニケーションを拡充するメディアから生じる新たなリスク

ルーマンによれば、社会システムは、継続的にコミュニケーションからコミュニケーションを生産するオートポイエーシスのシステムであるとされる。さらに、コミュニケーションは、「情報」、「伝達」、「理解」という三層の選択過程を互いに結合するものであると解釈されている（図1）。また、コミュニケーションは、「情報の選択」、「多数の伝達の可能性からの選択」、「多数の理解の可能性からの選択」が、適切に行われる場合に成立し、3つの選択の働きの全てが統合されるときにはじめてコミュニケーションというものが成り立つと言及している。

他方、ルーマンは、コミュニケーションの不確実性について、①理解（相手が考えていることを理解できるか）の不確実性、②到達（受け手にコミュニケーションが伝わるかどうか）の不確実性、③成果（コミュニケーションが受け手に受容され、効果を発揮するか）の不確実性の3つが存在し、特に文字、印刷、無線通信等のコミュニケーションを拡充するメディアは、到達の不確実性をより確実なものに変換する役割を担うと説明している^{15,16)}。

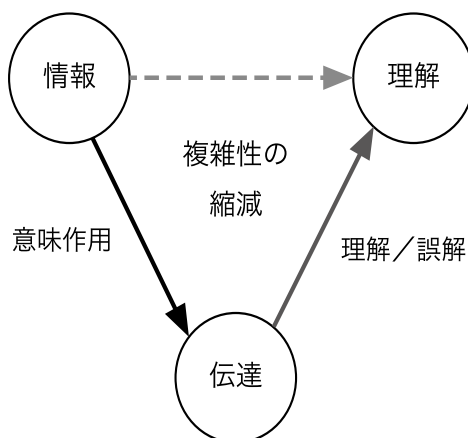


図1 3つの位相の概念図

しかしながら、種々の情報が拡散している情報化社会において、特に送り手と受け手との間を媒介するメディアは、「情報」、「伝達」、「理解」の選択の過程にも影響を及ぼし、少なからず個人の意思決定や伝達行為をも左右することが考えられる。そこで、「中国製冷凍餃子中毒事件」を事例に、メディアの影響力をコミュニケーションの選択過程の切り口から再分析してみることとする。

2-1. コミュニケーションにおける「到達」の不確実性：情報選択における課題

既報^{8,9)}では、中国製冷凍餃子中毒事件発生後の、日中両政府、日本の企業の本件への対応を主として Web 上の情報を集積して¹⁹⁻²²⁾、比較検討を行った^{注6)}が、要点をまとめると以下の通りである。

日本の企業の場合は、JT、生協ともに回収の徹底と管理体制の強化を打ち出していることが認識できる。ここで注目すべきことは、事件発生後の比較的早い段階で、日中両政府が協力して原因究明に取り組むと発表している事実である(2月)。しかしながら、調査が進むにつれて、日本政府側は「中国で毒物が混入した可能性は高い。」と発表するものの、中国政府側は、「中国国内での混入の可能性はない。」と対立的な見解を示している。さらに、2月に徳島のコープで販売された天洋食品の冷凍餃子の外袋から検出された毒物は、コープ店内で使用された殺虫剤が原因であると公表されると、中国側は「“問題の餃子”の原因も日本側にある」と主張するなど、見解一致からは益々遠ざかってしまった。

5月と8月に開催された大きな外交の舞台に

において、日中両政府は協力関係の強化をアピールするものの、実際のところ、事件の原因に対するそれぞれの見解の溝は深まるばかりであった。さらにこうした両政府の見解の対立は、メディア及び両国民のお互いに対する不信感をあおることになり、日本ではネット上で中国批判が高まってしまった。また中国国民の場合も、いまだに国内の情報に限りがあるため、「日本人犯人説」が信じられていると報じられていた。その後、6月に中国国内でも、餃子中毒事件が発生したことを受け、8月になると、中国政府は、問題物質の国内混入を認めている。しかし、日本政府は、その事実公表を一ヶ月近く先送りしていたため、日本国民の不信感はさらに高まることになる。

この間、日中両政府や日本企業が、それぞれの安全強化への取り組みを行っていることを、各HP等で詳細に情報開示していることが、本調査からも明確になった。しかしながら、政府や企業の Web 情報をこまめにチェックする人はそう多くはなく、またこれらの内容に関して、新聞やテレビ等のアクセスしやすいメディアからはほとんど報道されておらず、こうした事実からも、消費者の「安心」につながる情報は、消費者側が能動的に求めない限り、伝わりにくいことが推察された。

2-2. 内発的理解の欠如と意思決定の不在：消費者の安心・信頼感に及ぼす影響

ルーマンは、情報と伝達の選択のみしか互いに結びつけられないような場合、コミュニケーションは成立せず、伝達された情報が選択的に何らかの方法で理解されるとき、はじめて、創発的な出来事としてのコミュニケーションが成

注6) 中国側の企業に関しては、情報が極めて限られていたため、一覧として加えることができなかった。中国政府は、事件発生後すぐに天洋食品従業員に箝口令を敷き、報道関係者にも中国の非になる記事や情報が流れぬよう報道規制を行ったことが原因と考えられている。

り立つとしている。ただし、情報や伝達と同様に、理解は選択であり、多くの可能性の中から多様な様式で理解されなければならない。

既報^{8,9)}で報告したように、毎日新聞の朝刊・夕刊²³⁾をもとに、事件発生前後において中国製食品や農産物に関連する内容を扱った記事を分析してみた。本中毒事件が発覚したのは2008年1月30日であったが、翌2月は連日関連記事が紙面を賑わせ、197件にも上っている。次に、報道が過熱した2008年2月の197件の報道の内訳(①中国政府の対応に関連する報道、②中国生産者・製造者の対応に関する報道、③日本企業の対応に関する報道、④日本政府の対応に関する報道、⑤その他(被害や影響などを報じたもの、すなわち消費者の不安や不信に結びつくもの))を分析した結果、⑤のその他に分類される消費者の不安・不信をあおるネガティブな内容の記事が60%以上を占めている一方で、①や②の中国側に関する報道は10%強と極めて少なかった。

また、これら分類された記事の数だけでなく、各記事の見出しのフォントを数値化して平均した値(インパクト値)により比較してみても、同様の結果が得られ、日本人消費者にとって負の側面を持つものほど大きく取り扱われていることが明らかとなった。

しかし、これらの過熱する報道に対して消費者のほとんどが相当な洞察力と客観性を持って対応することは難しく、メディアからの否定的な側面を享受するだけに留まり、結果的に「中国」自体に否定的な感情を抱くシステムの中に陥ってしまっていることが推察できる。同時に、コミュニケーション・メディアは、抽象的に一般化された選択のコードであり²⁴⁾、システム全体の複雑性を断片化しつつ、個々人に歪

んだ理解を閉じ込められてしまったとも解釈できる。

さらに、この間、「中国では、メタミドホスは使い放題」という趣旨の報道がメディアを賑わせ、そこから波及した風評被害^{注7)}の多くは、メディアの情報発信の手法と消費者の受け取り方との関係性の中から生じた問題であると言っても過言ではない。結局のところ、外部依存性が高い現代社会では、受け身的な情報により簡単に消費者の食に対する安心・信頼感は歪められ、ことの本質を見極めるのは極めて難しいことを、本件は端的に物語っている。この現象を、ルーマンのリスク論に照らし合わせてみると^{15,16)}、リスク認知は、未来に対して能動的に対応した結果に付随して生じるものであるが、受け身的に情報を享受する人々にとって、意思決定不在のまま、「危険」として捉えられたままであるものと推察される。

2-3. コミュニケーションにおける「成果」の不確実性：経済システムへの影響

上述したように、中国製冷凍餃子中毒事件は、結論的に、中国国内における人為的な毒物混入が原因であるということで、日中両政府とも一致した見解を示している。よって、日本の消費者が避けるべきものは、天洋食品製の冷凍餃子のみでよかったにもかかわらず、日本の消費者は「中国食品全体」を避け、さらには「中国という国自体」への不信感を強めるという巨大なしこりを残してしまった。

ここでは、中国製冷凍餃子中毒事件発生により、中国食品に対する日本の消費動向に影響を与えたかどうかを考察してゆくが、特に、上述のメディア情報や政府、企業の対応に呼応して消費行動に変化が起きているかを追跡してみた。

注7) 問題がないとされていた中国産魚介類の取り扱いまで減少し、大手百貨店も大丸や松坂屋では中国産野菜や冷凍食品の全撤去を行うなどした。(2008年2月2日付毎日新聞記事「衝撃毒物混入」より)

2005 年から 2008 年の中国食料品の輸入額を財務省の貿易統計²⁵⁾を活用して、月別で示してみると^{8,9)}、事件の起きた 2008 年は、他の年よりも特出して低い値のカーブを描くことが明らかとなった。こうした輸入額の推移は、事件を受けて、日中両国政府が取った輸入禁止・輸出禁止の措置、そして企業の中国食品離れなどの影響によるものと考えられ、消費者の購買行動を直接的に反映しているものではない。しかしながら、企業や政府のこうした対応も、消費者のニーズを考慮した上での対応であり、中国食品の輸入額の長期低迷は、消費者の購買行動や意識を如実に反映しているものといっても過言ではないであろう。すなわち、本事件は、日本の消費者にとって、一過性の問題ではなく、その後の個々人の消費行動に長く影響を与えるほど、大きな衝撃を与えていることが示唆された。

以上の結果を小括すると、メディア等の選択コードは、象徴（シンボル）を媒介して、人々を結び合わせるという重要な役割を持つものの、その逆の側面をもたらす機能と表裏一体であり、システム自体に影響を与えることを見逃してはならない。

2-4. リスクの現実性からの乖離：農産物貿易における日中関係並びに中国食品の安全対策

ここでは、中国産野菜の輸出入における日中関係の実態と中国の食の安全対策の動向について、客観的に評価してみたい。まず、日本における中国産野菜の輸入額とそれらが輸入野菜全体に占める割合を分析してみると、特に 1990 年代以降に急増している様子が顕著に伺える。逆に、中国側からの野菜輸出額の相手国は、韓国、米国をはるかにしのいで、日本が第 1 位となっている²⁵⁾。ここ 10 数年間で、中国と日本の食糧需給の関係は、野菜を中心として急速に

緊密化しており、日本の消費者は安価で新鮮な食料品を求め、日系食品企業も生産拠点・販売市場としての中国を必要とし、一方で中国側も雇用創出・維持、技術力・商品開発力等の面で日系食品企業に依存しているため、日本と中国の間では、現状では「互恵関係」の成立が明白である。

中国政府は、続発する食品公害への対策のために、1992 年に「绿色食品」の普及をはじめ、また 2001 年には「無公害食品行動計画」を策定してきた。さらに、2009 年に「食品安全法」に施行され、大きな思想転換として、「食品衛生」の目的以外にも広域な「生命の安全」を導く概念が取り入れられるようになった。同法は、既に 2007 年 12 月に草案が提出されて成立に至ったのであるが、中国製冷凍餃子事件や中国国内で発生した粉ミルクのメラミン混入事件のような食品安全に関わる重大な事件の発生と同時期に審議がなされたために、これらの教訓を活かすべく、当初提出されたものよりも大幅な修正が加えられている。すなわち、関係行政機関の統一的な連携強化のほか、食品安全事故の深刻化につながる事実や証拠の隠蔽を防ぐための報告の義務づけ、食品検査態勢の強化、安全性に問題のある食品のリコール制度等が盛り込まれることになった。よって、食品の安全性の確保や重大事故を防止するためのフードチェーン全般にわたるセーフティネットの構築に必要な措置を広範囲に規定する内容となっている。

他方、中国にとって、輸出用の食品品質向上は、最優先課題であり、国内消費用よりも輸出用をより厳しく管理するシステムを整備している。既報^{8,9)}で報告したように、輸出用に対しては、政府の安全担当者が現地に赴き、指導を行い、農薬が残留しやすい薬物から農薬が残留しにくい根菜類へ転作するなどの様々な工夫が施されている。よって、日本を含む輸出向けの農産物は、中国国内のものよりも一段と厳しい

管理体制に置かれ、安全性が適切な水準で確保されているのである。実際に、中国からの輸入食品は、安全検査が徹底されて、違反率が低下していることを示す報告もある。

2-5. 不可視のリスクに対する不安のコミュニケーション

本研究で扱った「毒餃子事件」は、結果的に「食の安全性」とは、全く別次元の問題であったにも関わらず、日中の外交問題にまで発展し、経済面にも影響を与えてしまった。もし、この事件が、中国ではなく、他の国との間で起こったならば、これほどまでに問題が拡張したであろうかと危惧されるほど、現行の日中の関係性は極めて緊張関係を有しており、また中国の食の安全性そのものも構造的で複雑であり、極めて固有性が強い課題であるといえる。

従来、日本と諸外国の間に、食の安全性を巡る議論が幾度か発生しており、BSEに代表される日米協議、また日本と東南アジア間の水産物・果実協議などの例もあり、その結果、リスクコミュニケーションのノウハウや実務的共同対話の制度作りもある程度進展があったものと考えられる。しかし、こうした実績があるにもかかわらず、日中間の解決方法の提案に、なぜ十分には活かされなかったのか、あるいは予測できなかったのであれば、日中間の特殊な関係性の中に潜む重大さはどこにあるのか、という「新たな問い」を議論する必要性が生じてくる。そ

こで、ルーマンの理論に立ち返りつつ、急速にグローバル大国化してゆく「中国固有のリアリティ」に関して、さらに議論を深めてゆきたい。

ルーマンは、今日の環境問題の背景の一つである「非知」の問題を取り上げる際、知/非知の区分と並んで、非知そのものの内容的な区分（特定化される非知/特定化されない非知）も問題にすべきであると主張している。「特定化される非知」は、リスクの発見・評価から出発して、その回避・予防・軽減・移転等の手続きへ進むリスクマネジメントは、決定者の立場からリスクを吟味される際に依拠するものである。しかしながら、今日の環境問題におけるコミュニケーションにおいて、「危険」を被る立場にある被影響者の立場から表明される非知は、「特定化されない非知」であり、数量的なリスク計算によって説得させることが困難な状況を生み出す⁶⁾。よって、ルーマンが非知のコミュニケーションにおいて問題視しているものは、人々の「不安」や「懸念」等の「特定化されない非知」を巡るコミュニケーションであり、さらに、こうした非知そのものの区分により明確になる、それらをめぐって交錯し合うダイナミズムにこそ、着目しようとしているのである。他方で、決定者/被影響者というパースペクティブの溝を架橋する鍵は、決定者に対する被影響者からの「信頼」にある程度依拠するとも考えられ、以下、「信頼」の論考を進めてゆく。

(以下、次号へつづく)

玄米抽出液及び玄米人工消化液に含まれる フィチン酸 (IP6) は、 β -セクレターゼ 1 (BACE1) 活性を阻害する

谷口 正之 (TANIGUCHI Masayuki) *1, *2 阿部 貴子 (ABE K. Takako) *1
山中 崇 (YAMANAKA Takashi) *3 築野 卓夫 (TSUNO Takuo) *3

*1 新潟大学自然科学系 (工学部), *2 新潟大学自然科学系付置フードサイエンスセンター, *3 築野食品工業株式会社

Key Words : アルツハイマー型認知症・ β -セクレターゼ 1・フィチン酸・アミロイド β

はじめに

アルツハイマー型認知症 (AD) は、我が国では 65 歳以上の 20 人に 1 人が発症する深刻な脳疾患である。認知機能の低下だけでなく、暴力や徘徊などの問題行動を伴うこともある。発症から死亡までの全経過期間が 5 ~ 9 年と長い¹⁾ため、長期的な介護を要することが大きな社会問題となっている¹⁾。AD 治療の現状は、病状の進行を遅延させる対症療法的な手段に限られており、根本的な予防・治療法は世界的にも未だ開発されていない。

AD 発症の主な原因は、脳内でのアミロイドベータペプチド ($A\beta$) の過剰産生と蓄積であると考えられている²⁾。 $A\beta$ の蓄積は発症の約 15 年前から既に始まっている³⁾。また、AD 発症後に抗 $A\beta$ 抗体を投与して脳内 $A\beta$ 凝集量を低下させても、一端失われた認知機能は改善しない⁴⁾。従って、AD をコントロールするためには、治療のみならず、 $A\beta$ の蓄積を長期的に予防することがより重要である。

$A\beta$ は、 $A\beta$ 前駆体タンパク質 (APP) からアスパラギン酸プロテアーゼである β -セクレターゼ 1 (BACE1) 及び γ -セクレターゼによ

り順次切り出される^{2, 5)} (図 1)。従って、これらのセクレターゼ活性の抑制が、AD 予防の有力な手段となる。しかし、これまでに開発されたセクレターゼ阻害剤は、臨床試験において副作用を引き起こし、承認には至っていない⁶⁻⁸⁾。いずれのセクレターゼも APP 以外の基質にも作用することが知られており、従来の阻害剤の多くは APP 以外の基質の切断も阻害し、副作用を引き起こしたと考えられている。 $A\beta$ の蓄積を長期的に予防するためには、副作用のリスクのない、安全な阻害剤の探索が急務である。

近年、多くの疫学的調査により、食事因子を含む生活習慣が AD 発症に影響を及ぼすことが示唆されている⁹⁻¹¹⁾。世界の AD 患者は 2,000 万人以上と推定されているが、日本における発症率は欧米の 1/2 ~ 1/3 であり、米国に移住した日本人の発症率は欧米レベルへと上昇する¹²⁾。これらの調査結果から、食習慣を含めた日本特有の生活環境が AD 発症を抑制していると推測し、日本人の主食である米に、脳内 $A\beta$ の蓄積を防ぐ成分が含まれていると想定した。実際、我々は玄米抽出液及び玄米人工消化液が *in vitro* において BACE1 活性を阻害すること、

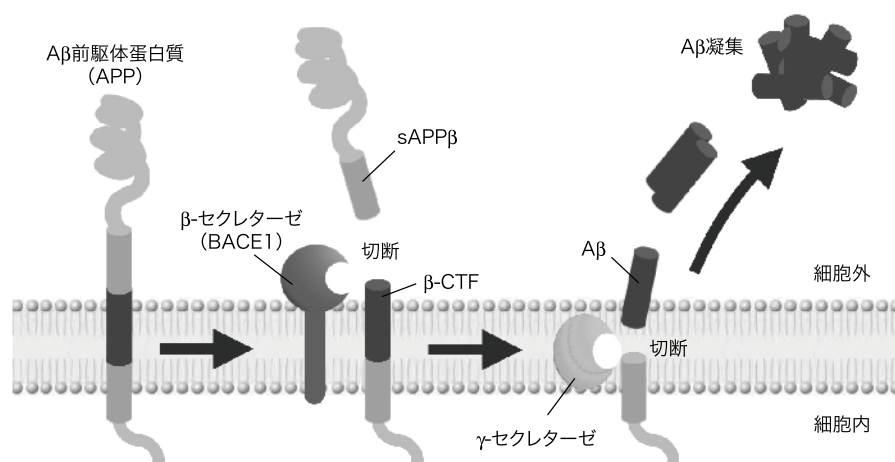


図1 アミロイドベータペプチド (Aβ) の産生経路

Aβ : amyloid-β peptide, APP : amyloid-β precursor protein, BACE1 : β-secretase 1/beta-site APP cleaving enzyme 1, β-CTF : C-terminal fragment of β-cleaved APP, sAPPβ : soluble amyloid precursor protein β.

及び玄米人工消化液がヒト神経芽細胞において Aβ 産生を抑制することを見出した。更に、これらの活性成分の一つがフィチン酸 (myo-inositol hexakisphosphate, IP6) であることを突き止めたので¹³⁾、以下に報告する。

1. 実験材料および方法

1-1. 試薬

米由来フィチン酸 sodium salt (IP6 (SS), $C_6H_{18}O_{24}P_6 \cdot xNa \cdot yH_2O$), フィチン酸 dipotassium salt (IP6 (PS), MW : 736.22), D-myo-inositol 1,4,5,6-tetrakisphosphate potassium salt (IP4), D-myo-inositol 1,4,5-tris-phosphate trisodium salt (IP3) は Sigma-Aldrich 社から購入した。D-myo-inositol 1,3,4,5,6-pentakisphosphate pentapotassium salt (IP5) は, Santa Cruz Biotechnology 社の製品を用いた。BACE1 基質のアナログである β-secretase inhibitor III (阻害剤 III) は, Merck Millipore 社の製品 (カタログ番号 565780) を用いた。

1-2. サンプル調製

1-2-1. 酢酸緩衝液による抽出

玄米, 精白米, 及び強力小麦粉に, それぞれ 10 倍量 (w/v) の BACE1 アッセイバッファー (20 mM 酢酸緩衝液 (pH 4.5), 0.1% Triton X-100, 0.05% CHAPS) を添加し, 室温にて 1 時間緩やかに攪拌した。遠心分離 ($11,000 \times g$, 20 min) によって不溶物を除き, 上清液を $95^\circ C$ にて 30 分間加熱した。再度遠心分離 ($11,000 \times g$, 10 min) し, 上清液を, 後述の *in vitro* における BACE1 活性測定に供した。

1-2-2. ペプシンとパンクレアチンによる人工消化

玄米に, 10 倍量 (w/v) の 0.26% ペプシン水溶液 (塩酸で pH 2 に調整) を添加し, $37^\circ C$ にて 2.5 時間インキュベートした。1 M $NaHCO_3$ を滴下して pH を 5.5 に調整し, パンクレアチンを終濃度が 0.7% になるように添加した。更に $37^\circ C$ にて 2 時間インキュベートした後, $100^\circ C$ にて 20 分間加熱した。遠心分離 ($12,000 \times g$, 20 min) によって不溶物を除いた上清液を, 5 kDa 以下の分子を分離するスピンフィルター (Merck Millipore) で分画した。分子量 5 kDa 以

下の画分を回収し、以下の実験に供した。

また、コントロール実験に用いるために、玄米を含まない人工消化液（ペプシンとパンクレアチンのみ, pep + pan）も同様に調製した。

1-3. *In vitro* BACE1 活性測定

BACE1 活性測定は上述の BACE1 アッセイバッファーと、APP の BACE1 切断部位のアミノ酸配列から成る蛍光基質（H-RE (EDANS) EVNLDAEFK (DABCYL) R-OH, Merck Millipore), 及びヒト組換え BACE1 (Sigma-Aldrich) を用いて、96 ウェルプレート中で行った。各ウェルに、10 μ M の基質、0.2 μ g/ml の BACE1、上記 1-2. で調製したサンプル（終濃度 10%）あるいは精製 IP3, IP4, IP5 または IP6 を混合し、37℃にて 5 時間インキュベートした。BACE1 によって基質が切断されて生じる EDANS の蛍光シグナル（ex 355 nm/em 490 nm）を、プレートリーダーを用いて測定した。

1-4. 細胞培養系を用いた解析

ヒト神経芽細胞腫由来 SH-SY5Y 細胞を 96 ウェルプレートに播種し、2 時間後に、上記 1-2-2. で調製した玄米人工消化液または人工消化液（終濃度 10%）、またはリン酸緩衝液（PBS）に溶解した IP6 (SS) を培地に添加した。24 時間後に培地を採取し、培地中に含まれる A β 量を、化学発光基質を用いた酵素免疫測定法（ELISA）^{13, 14)} により測定した。発光シグナルはプレートリーダーを用いて測定した。

A β 産生量を測定するために培地を採取した後、残った細胞と培地に、生細胞と死細胞を同時に検出できる蛍光試薬（MultiTox-Fluor Multiplex Cytotoxicity Assay kit, Promega）を添加した。この試薬を添加した 30 分後に、生細胞の指標である glycyI-phenylalanyl-amino-fluorocoumarin (GF-AFC, ex 400 nm/em 505 nm) と、死細胞の指標である bis-alanyl-alanyl-

phenylalanyl-rhodamine-110 (bis-AAF-R110, ex 485 nm/em 520 nm) が発する蛍光シグナルを、プレートリーダーを用いて順次測定した。

生細胞当たりの A β 産生量（図 3A と図 7A）は、[化学発光測定値 / GF-AFC 測定値] として算出した。

1-5. 玄米抽出液及び玄米人工消化液中の、IP3, IP4, IP5 及び IP6 のイオンクロマトグラフィーによる検出

イオンクロマトグラフィーによる分析は、日本食品分析センターに依頼した。具体的には、Matsunaga らの方法¹⁵⁾ に従って、サンプルをトリクロロ酢酸と混合し、フィルター濾過した後、Na⁺ 型陽イオン交換カラムで処理した。その後、IonPac AS11 カラム（Thermo Fisher Scientific）と Dionex ICS-2000 イオンクロマトグラフィーシステムを用いて分画し、電気伝導度計を用いて各イオンを検出した。標準物質として、上記 1-1. に述べた精製品（IP3, IP4, IP5, 及び IP6 (PS)）を用いた。

1-6. ウエスタンブロットによる解析

IP6 (SS) の非存在下または存在下で培養した SH-SY5Y 細胞をセルスクレーパーで回収し、SDS サンプルバッファー（62.5 mM Tris-HCl (pH6.8), 2.3% SDS, 10% グリセロール）に溶解した。終濃度 5% になるように β -メルカプトエタノールを添加して 100℃にて 3 分間加熱し、8-16% ポリアクリルアミドグラジェントゲルで分離した後（各レーン当たり 40 μ g のタンパク質）、ニトロセルロース膜に転写した。膜を 5% スキムミルクでブロッキングした後、以下の一次抗体、HRP 標識プロテイン A/G, 及び化学発光検出試薬を用いて目的タンパク質を検出した。C-terminal fragment of β -cleaved APP (β -CTF)：モノクローナル 82E1 抗体（Immunobiological Laboratories）、APP：モノクローナ

ル APP (N) (10D1) 抗体 (Immuno-Biological Laboratories), BACE1: 抗 BACE1 N 末端 (46-62) 抗体 (Sigma-Aldrich), β -actin (ローディングコントロール): ポリクローナル β -Actin 抗体 (GeneTex)。

2. 結果

2-1. 米成分の BACE1 阻害活性

最初に, *in vitro* における酵素活性測定系を用いて, 米に BACE1 阻害成分が含まれるかどうか検討した。酢酸緩衝液で抽出した穀類成分を加熱処理し, BACE1 活性測定系に添加した結果, 図 2 に示す通り, 玄米が最も強い BACE1 阻害活性を示した。この時, BACE1 活性は, コントロール (蛍光基質と BACE1 のみ) に対して 23% にまで低下した。また, 精白米

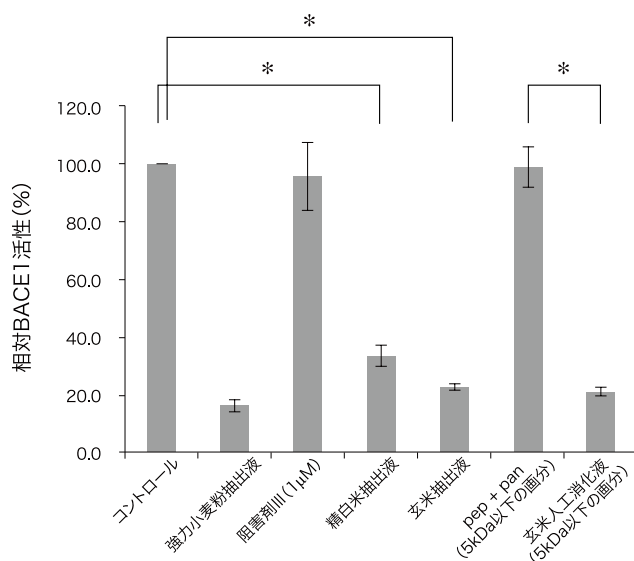


図 2 穀類由来成分の BACE1 阻害活性

使用したサンプル; コントロール: 蛍光基質と BACE1 のみ, 阻害剤 III: β -secretase inhibitor III, 強力小麦粉抽出液, 精白米抽出液, 玄米抽出液, pep + pan: 人工消化液 (ペプシンとパンクレアチン, 分子量 5 kDa 以下の画分), 玄米人工消化液 (分子量 5 kDa 以下の画分)。玄米抽出液と玄米人工消化液が最も高い BACE1 阻害活性を示した。データは平均値 $\pm$ 標準誤差で示した ($n=3-4$)。* $P < 0.001$ 。(文献 13 より改変)

にも BACE1 阻害活性が認められたが, 玄米よりも弱く, BACE1 活性は 33% に低下した。一方, パンの主要な原料である強力小麦粉には BACE1 阻害活性が認められなかった。

玄米人工消化液 (5 kDa 以下の画分) においても, 酢酸緩衝液で抽出した玄米成分と同程度の BACE1 阻害活性が保持されており, その活性は 1 μ M の阻害剤 III の活性に近かった (図 2)。玄米成分を含まない人工消化液 (pep + pan (5 kDa 以下の画分)) には, BACE1 阻害活性は認められなかった。

2-2. 培養ヒト由来細胞における, 玄米人工消化液の A β 産生抑制効果

玄米人工消化液 (5 kDa 以下の画分) を SH-SY5Y 細胞培地に添加した結果, A β 産生量をコントロール (人工消化液, pep + pan (5 kDa 以下の画分)) の約 75% に抑制できた (図 3A)。この時, 細胞障害は認められなかった。即ち, コントロール群と比べて, 玄米人工消化液添加群において生細胞数の指標値 (GF-AFC の蛍光強度) は 24% 上昇し (図 3B), 死細胞数の指標値 (bis-AAF-R110 の蛍光強度) は 26% 減少していた (図 3C)。

2-3. 玄米抽出液及び玄米人工消化液における IP6 の検出及び精製 IP6 の BACE1 阻害活性

水溶性米糠には IP6 が多く含まれている¹⁶⁾。そのため, 玄米抽出液及び玄米人工消化液中の IP6 とその分解物である IP3, IP4, IP5 の含量を, イオンクロマトグラフィーを用いて測定した。図 4 に示す通り, 玄米抽出液と玄米人工消化液はともに IP6 と IP4 を含んでいたが, IP3 と IP5 は検出されなかった。

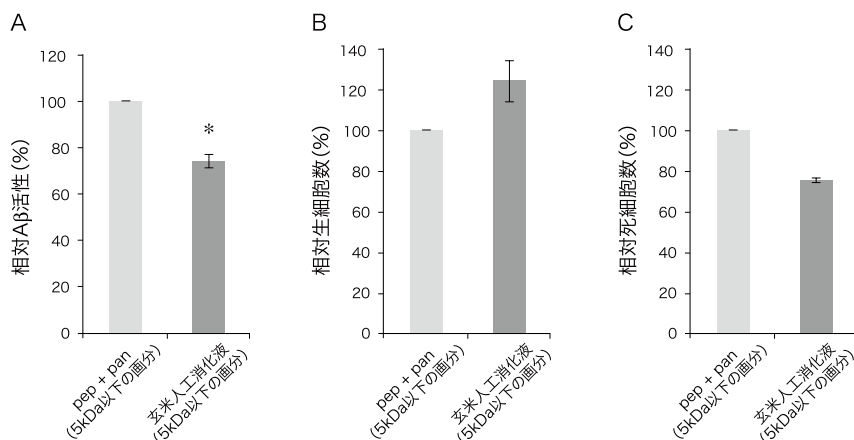


図3 SH-SY5Y細胞のAβ産生に対する米成分の抑制効果とその安全性

使用したサンプル; pep + pan: 人工消化液 (ペプシンとパンクレアチン, 分子量 5 kDa 以下の画分), 玄米人工消化液 (分子量 5 kDa 以下の画分)。(A) 培地中に分泌された Aβ_{1-x} 量を酵素免疫測定法により測定した。玄米人工消化液の細胞毒性の有無は, MultiTox-Fluor Multiplex reagent kit を用いて検討した: (B) 生細胞マーカー glycyL-phenylalanyl-amino-fluorocoumarin (GF-AFC), (C) 死細胞マーカー bis-alanyl-alanyl-phenylalanyl-rhodamine-110 (bis-AAF-R110)。データは平均値 ± 標準誤差で示した (n = 3)。*P < 0.001。(文献 13 より改変)

次に, IP3, IP4, IP5, 及び IP6 (SS) が *in vitro* の酵素活性測定系において BACE1 を阻害するかどうか検討した。図 5 に示す通り, IP6 (SS) は終濃度 1 µg/ml において強い BACE1 阻害活性を示したが, 同じ濃度の IP3, IP4, 及び IP5 は BACE1 阻害活性を示さなかった。

BACE1 阻害における IP6 の 50% 阻害濃度 (IC₅₀) を算出するため, IP6 (PS) の濃度を変えて, *in vitro* における BACE1 活性測定を行った。その結果を図 6 に示す。IP6 (PS) は用量依存的に BACE1 を阻害し, IC₅₀ は 0.18 µg/ml (0.25 µM) であった。

また, 強力小麦粉抽出液をイオンクロマトグラフィーにより解析したが, IP6 は検出されなかった。この結果は, 強力小麦粉抽出液が BACE1 活性を阻害しない結果 (図 2) と一致する。

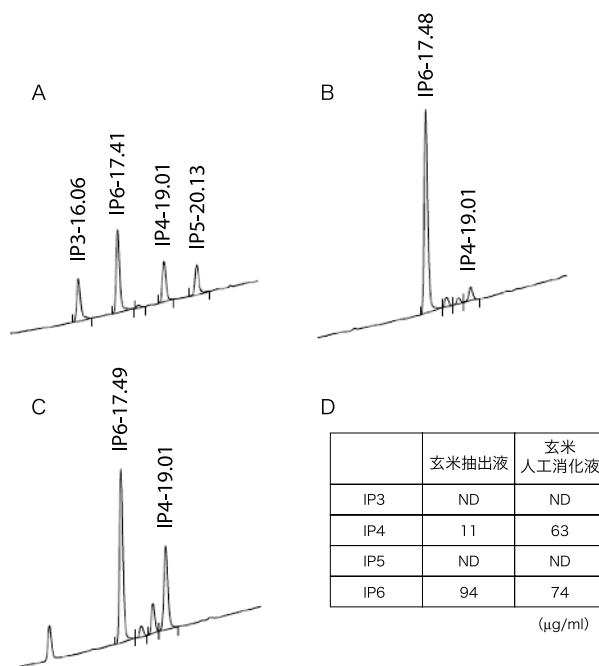


図4 玄米抽出液及び玄米人工消化液中のIPの定量

(A) IP3, IP4, IP5, 及び IP6 (dipotassium salt (PS)) を含む標準溶液のイオンクロマトグラフィーによる分離パターン。各ピーク上の数値は保持時間 (min) を示す。(B) 玄米抽出液のクロマトグラム。(C) 玄米人工消化液のクロマトグラム。(D) 玄米抽出液と玄米人工消化液に含まれる IP3, IP4, IP5, 及び IP6 の量を, 標準溶液のピーク面積値をもとに算出した。ND: 検出せず。(文献 13 より改変)

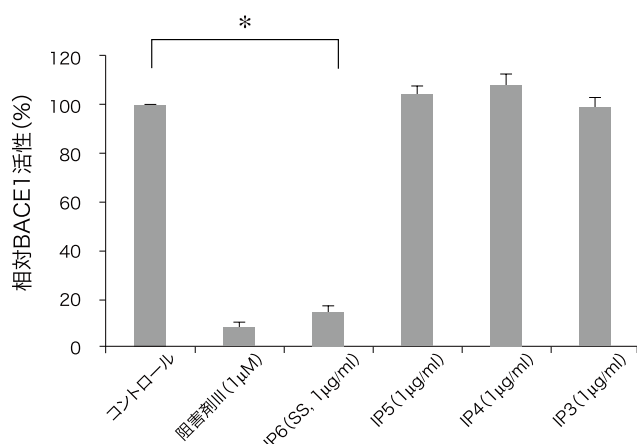


図5 IP6 (sodium salt (SS)) による BACE1 活性の阻害

IP6 (SS), IP5, IP4, 及び IP3 を *in vitro* の BACE1 活性測定系に供した。コントロール：蛍光基質と BACE1 のみ、阻害剤 III： β -secretase inhibitor III。1 $\mu\text{g/ml}$ の IP6 (SS) は BACE1 活性を強く阻害したが、同じ濃度の IP3-5 はほとんど阻害しなかった。データは平均値 $\pm$ 標準誤差で示した ($n=3$)。* $P<0.001$ 。(文献 13 より改変)

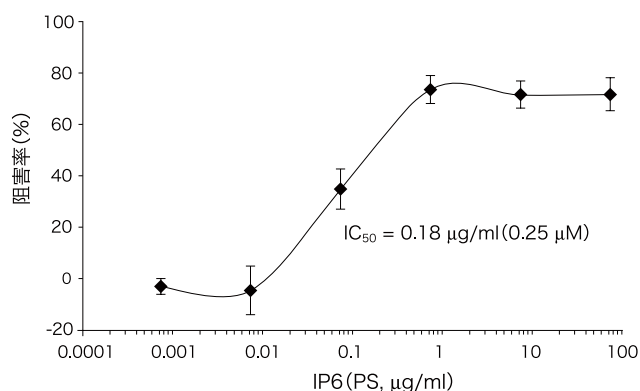


図6 IP6 (dipotassium salt (PS)) による BACE1 活性の用量依存的阻害

濃度を変えて IP6 (PS) の BACE1 阻害活性を測定した結果、50% 阻害濃度 (IC_{50}) は 0.18 $\mu\text{g/ml}$ (0.25 μM) であった。データは平均値 $\pm$ 標準誤差で示した ($n=3$)。(文献 13 より改変)

2-4. 培養ヒト由来細胞における、IP6 の $\text{A}\beta$ 及び β -CTF 産生抑制効果

SH-SY5Y 細胞培養系を用いて、 $\text{A}\beta$ 及び APP の BACE1 切断後の C 末端側断片 (β -CTF, 図 1 参照) の産生に及ぼす IP6 の添加効果を検証した。図 7A に示す通り、IP6 (SS) は終

濃度 10–1,000 $\mu\text{g/ml}$ において培地中の $\text{A}\beta$ 量を有意に減少させた。IP6 添加群において、生細胞の指標値 (GF-AFC) は上昇し、死細胞の指標値 (bis-AAF-R110) は減少していたことから (阿部ら, 未発表), IP6 は検討した範囲の濃度では細胞障害を引き起こさないことが示唆された。これらの結果は、同じ細胞に玄米人工消化液を添加した結果 (図 3) と一致していた。

また、図 7B に示す通り、培養 SH-SY5Y 細胞において、IP6 (SS, 1,000 $\mu\text{g/ml}$) 添加群ではコントロール群 (PBS) に比べて β -CTF 産生量が減少していた。この結果は、図 7A に示す $\text{A}\beta$ 産生量が減少した結果と一致する。APP と BACE1 の発現量は、IP6 の添加の影響を受けなかった。

3. 考察

本研究において、米に BACE1 活性を阻害する成分が含まれることを見出した。また、同成分の $\text{A}\beta$ 産生抑制効果をヒト由来神経系培養細胞において実証することができた。更に、有効成分の 1 つは IP6 であると同定できた。

AD の治療薬としては、既にアリセプト (成分名 ドネペジル塩酸塩) などが承認されているが、症状の進行を緩和する対症療法薬であり、根本的な治療・予防効果は望めない。一方、米

由来 BACE1 阻害成分である IP6 は、ヒト由来細胞において $\text{A}\beta$ 産生抑制効果を示したことから、根本的な AD 発症予防効果が期待できる。米成分の BACE1 阻害活性と $\text{A}\beta$ 産生抑制活性は、人工消化液 (ペプシンとパンクレアチン) で処理した後も保持されていた。従って、有

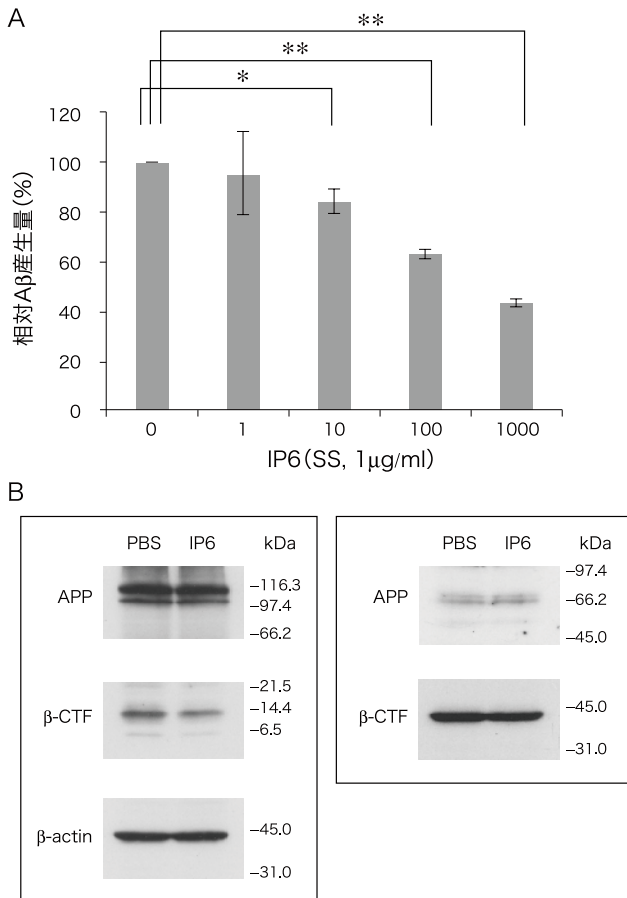


図7 SH-SY5Y細胞におけるA β 及び β -CTF産生に対するIP6 (SS)の抑制効果

(A) リン酸緩衝液 (PBS) で溶解した IP6 (SS, 0–1,000 $\mu\text{g/ml}$) を添加した培地を用いて、細胞を 24 時間培養した。培地中に分泌された A β_{1-42} 量は、添加した IP6 の用量に依存して有意に減少した。データは平均値 $\pm$ 標準誤差で示した ($n=3$)。* $P<0.05$, ** $P<0.001$ 。
(B) PBS (コントロール) または IP6 (SS, 1,000 $\mu\text{g/ml}$) を添加して、細胞を 24 時間培養した後、回収し、SDS サンプルバッファーに溶解した。試料 (レーン当たり 40 μg のタンパク質) を SDS-PAGE によって分離し、ウエスタンブロットにより解析した。IP6 添加群では、コントロール群と比較して β -CTF 量が減少したが、APP と BACE1 の発現量には変化が認められなかった。(文献 13 より改変)

効成分は体内での消化を経ても A β 産生抑制効果を発揮できると予想され、経口摂取による AD 予防薬・予防食品の素材として適していると考えられる。玄米抽出液及び玄米人工消化液中には、IP6 の他に IP4 も検出されたが (図 4)、精製 IP4 は BACE1 阻害活性を示さなかつ

た (図 5)。精製 IP5 についても同様に BACE1 阻害活性を示さなかったことから、myo-inositol が BACE1 阻害活性を発揮するためには、6 個のリン酸基の結合が必要であることが示唆された。

生体内での IP6 の効果については、Anekonda らの報告がある¹⁷⁾。この報告によれば、AD モデルマウス (Tg2576 系統) に IP6 (SS) を投与すると、脳内の可溶性 A β_{1-40} と不溶性 A β_{1-42} が減少した。Anekonda らは記述していないが、これらの脳内 A β の減少は、我々が見出した IP6 の BACE1 活性阻害作用によって引き起こされた可能性が高く、SH-SY5Y 細胞培養系において A β 産生量が減少した結果 (図 7) とも一致する。また、IP6 はキレート作用も持ち、体内への必須ミネラルの吸収を阻害する懸念があるが^{18, 19)}、Anekonda らは、栄養的にバランスの取れた餌を与えたマウスでは、IP6 (SS) を投与しても脳内の金属イオン (銅、鉄、及び亜鉛) 含量には影響を与えなかったと報告している。

既存の γ -セクレターゼ阻害剤と BACE1 阻害剤はともに、上述の通り副作用を引き起こすことが知られている。これに対して、IP6 を含む米由来 BACE1 阻害成分の安全性については、多くの国で食経験の長い米由来である点に加えて、本研究において細胞障害を引き起こさないことを実証できた。更に、BACE1 の基質として APP の他に neuregulin 1/herregulin-beta-2, β -galactoside $\alpha 2$, 6-sialyltransferase, P-selectin glycoprotein ligand-1, IL-1 receptor-2, voltage-gated sodium channel beta 2 subunit などが知られているが²⁰⁾,

IP6 は、BACE1 による neuregulin 1/herregulin-beta-2 の切断 (aa237 と aa238 の間) を阻害しなかった¹³⁾。この結果は、IP6 が BACE1 の活性中心に結合しないことを示唆している。また、生体分子間相互作用解析装置 (Biacore X) を用いた解析において、IP6 は、APP の BACE1 切断部位をコードするペプチドには結合しなかった (阿部ら、未発表)。これらの結果は、IP6 が、BACE1 モジューレーターとして APP 切断を特異的に阻害することを示唆している。従って、従来のセクレターゼ阻害剤に観察されるような APP 以外の基質の切断を阻害することによる副作用の発生を回避できると考えられる。

以上の通り、IP6 を含む米由来成分は、有効

で安全な AD 予防薬・予防食品を開発するための素材として適していると考えられる。AD の予防手段として、A β の蓄積を防ぐと考えられている抗 A β 抗体を用いたワクチンが開発中であるが⁶⁾、接種費用が高額となることが予想されている。米由来 BACE1 阻害成分を活用できれば、それらを含む安価な原料 (例えば、くず米、米糠など) を用いた経済的な製造が可能である。本素材を用いて AD を予防することが可能になれば、医療・介護費用の削減と、深刻な社会問題となっている「介護疲れ」などの介護側の負担の軽減に大いに貢献できると期待される。

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

- 1) 植木 彰. アルツハイマー型認知症の経過・予後. 老年精神医学雑誌 **20**(6): 605-10, 2009.
- 2) Querfurth H, LaFerla F. MECHANISMS OF DISEASE: Alzheimer's disease. *New England Journal of Medicine* **362**(4): 329-44, 2010.
- 3) Selkoe D. Preventing Alzheimer's disease. *Science* **337**(6101): 1488-92, 2012.
- 4) Gandy S. PERSPECTIVE: Prevention is better than cure. *Nature* **475**(7355): S15, 2011.
- 5) Sun X, Jin L, Peixue L. Review of drugs for Alzheimer's disease. *Drug Discoveries & Therapeutics* **6**(6): 285-90, 2012.
- 6) Mangialasche F, Solomon A, Winblad B *et al.* Alzheimer's disease: clinical trials and drug development. *Lancet Neurology* **9**(7): 702-16, 2010.
- 7) Imbimbo B, Giardina G. gamma-Secretase inhibitors and modulators for the treatment of Alzheimer's disease: Disappointments and hopes. *Current Topics in Medicinal Chemistry* **11**(12): 1555-70, 2011.
- 8) May P, Dean R, Lowe S *et al.* Robust central reduction of amyloid-beta in humans with an orally available, non-peptidic beta-secretase inhibitor. *Journal of Neuroscience* **31**(46): 16507-16, 2011.
- 9) Deweerdt S. PREVENTION: Activity is the best medicine. *Nature* **475**(7355): S16-7, 2011.
- 10) Sofi F, Macchi C, Abbate R *et al.* Effectiveness of the mediterranean diet: Can it help delay or prevent Alzheimer's disease? *Journal of Alzheimer's Disease* **20**(3): 795-801, 2010.
- 11) Solfrizzi V, Panza F, Frisardi V *et al.* Diet and Alzheimer's disease risk factors or prevention: the current evidence. *Expert Review of Neurotherapeutics* **11**(5): 677-708, 2011.
- 12) Farrer L. Intercontinental epidemiology of Alzheimer disease - A global approach to bad gene hunting. *Jama-Journal of the American Medical Association* **285**(6): 796-8, 2001.
- 13) Abe TK, Taniguchi M. Identification of myo-inositol hexakisphosphate (IP6) as a β -secretase 1 (BACE1) inhibitory molecule in rice grain extract and digest. *FEBS Open Bio* **4**: 162-7, 2014.
- 14) Yamakawa H, Yagishita S, Futai E *et al.* beta-Secretase inhibitor potency is decreased by aberrant beta-cleavage location of the "Swedish mutant" amyloid precursor protein. *Journal of Biological Chemistry* **285**(3): 1634-42, 2010.
- 15) Matsunaga A, Yamamoto A, Kurokawa H *et al.* Determination of condensed phosphates in food stuffs by ion chromatography. *Food Hygiene and Safety Science* **39**(1): 1-6, 1998.
- 16) Okazaki Y, Katayama T. Effects of dietary water-soluble rice bran, phytic acid and myo-inositol on prevention of

fatty liver in rats fed DDT. *Trace Nutrients Research* **22**: 81-6, 2005.

- 17) Anekonda T, Wadsworth T, Sabin R *et al.* Phytic acid as a potential treatment for Alzheimer's pathology: Evidence from animal and in vitro models. *Journal of Alzheimers Disease* **23**(1): 21-35, 2011.
- 18) Graf E, Eaton J. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biology and Medicine* **8**(1): 61-9, 1990.
- 19) Reddy M, Hurrell R, Juillerat M *et al.* The influence of different protein sources on phytate inhibition of nonheme-iron absorption in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* **63**(2): 203-7, 1996.
- 20) Luo X, Prior M, He W *et al.* Cleavage of neuregulin-1 by BACE1 or ADAM10 protein produces differential effects on myelination. *Journal of Biological Chemistry* **286**(27): 23967-74, 2011.

新発見ビタミン K 含有の意味するもの

伊東 芳則 (ITO Yoshinori) *

* 株式会社 TAFF

Key Words：マグロ類・魚油・DHA オイル・ハイブリッド抽出法・ビタミン K・品質向上

はじめに

最近、海外において、従来の製法で精製した魚油から製造された DHA サプリメントの有効性を疑問視する研究が相次いで発表されている¹⁻⁴⁾。

しかしながら、魚食の有効性は世界各地で疫学的調査が進み^{5,6)}、積極的な魚食が望まれている。この魚食と通常の DHA サプリメントの効果の違いは研究者にとって謎であった。筆者は、この謎を明確に解き明かしたと確信している。

ハイブリッド抽出法と命名した酸化し難い魚油の抽出法の特許を取得したが、この方法で抽出したマグロ油のサプリメントの機能が漸く市場で受け入れられてきて、製造に迫られる日々となっている。この製法により、従来からの“魚油は非常に酸化し易い、二重結合の多い DHA や EPA は特に酸化し易い”という学界や業界の常識を覆した。更に今回のビタミン K の発見により、魚食による魚油の摂取と同質若しくはもっと濃縮された世界唯一のマグロ魚油サプリメントを供給することに成功した。

1.

魚食の効果はオメガ 3 油のみで無く、天然に含まれるビタミン類との相乗効果による

最初にハイブリッド抽出法を発明した時は、酸化し難い理由を探る為にビタミン E の分析を行い、実質日本の食品中最も高濃度に含有することが確認された。更に、脂溶性ビタミン D も高濃度に含有することも確認された。ビタミン A は今迄安定的にその含有が保証出来なかったが、たゆまない製法の改善で最近では規格化出来るまでになっている。そしてこの製法の改善がビタミン K の発見に繋がった。

オーストラリアの研究で、実験に興味を示した 93 名から実験適格者として選ばれた 29 名の肥満者に 2 週間の run-in 期間の後、4 週間魚摂取グループ 15 名と魚油サプリメントグループ 14 名に分けて試験した結果、血漿中の高分子構造体アディポネクチン (HMW Adiponectin) の濃度は、魚食グループで 0.29 $\mu\text{g/ml}$ 増加したが、魚油サプリメントグループは、0.60 $\mu\text{g/ml}$ 減少した。この研究者はこの両者の違いが何故生じるかは明らかではないが、魚食にはビタミン D 等も含まれているからかも知れないと述べている。この両者間の含有成分と油の構造の違いが、一方は良い作用、一方は悪い作用を引

き起こしていると著者は推測している⁷⁾。

2. ビタミン K の発見

魚類特にマグロ類には、ビタミン K が含有されていないとされてきたが、国産の那智ビンチョウマグロ油と南方産ビンチョウマグロ油にビタミン K が、それぞれ 24 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 、29 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 含有されていることが初めて確認された（無濾過油分析）。これは、魚介類中で最高の含有率である（（一財）食品環境検査協会清水事業所に実施）。

文部科学省の 5 訂日本標準食品成分表では、魚類には含有されていないとされている。今回、農林水産省の平成 25 年度農山漁村 6 次産業化対策事業の一環の『緑と水の環境技術革命プロジェクト事業』で地域産業を革命的技術の導入により、新たな可能性を持った産業として構築していく為のプロジェクトに採択された中で、発見されたものである。

かねてより疑問に思っていた、本当にマグロはビタミン K を含有していないのか？ DHA・EPA が植物プランクトンで産生されるのなら、ビタミン K があってもおかしくないし、当然あるべきであると推測して分析してみた結果であった。更に、最初はビタミン K を分析したが、やはり微生物産生の K_2 もあるのではと推測し、分析したところ、なんと K_2 の方が K_1 より多く含まれていた。最新のビンチョウマグロ脱臭油の分析では、ビタミン K_2 が 42 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 、 K_1 が 1 μg との結果が出た。4 回 4 種類の製品で分析して総てビタミン $\text{K}_{1,2}$ が発見されている。

3. 脂溶性ビタミン総てを含有

マグロ類には、他のビタミン類も含まれており、ビタミン A（レチノール）：521 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 、ビタミン D：96.7 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 、ビタミン E（ α -トコフェロール）：52.1mg/100g、ビタミン K_1 ：1 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 、ビタミン K_2 ：42 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 、もちろん

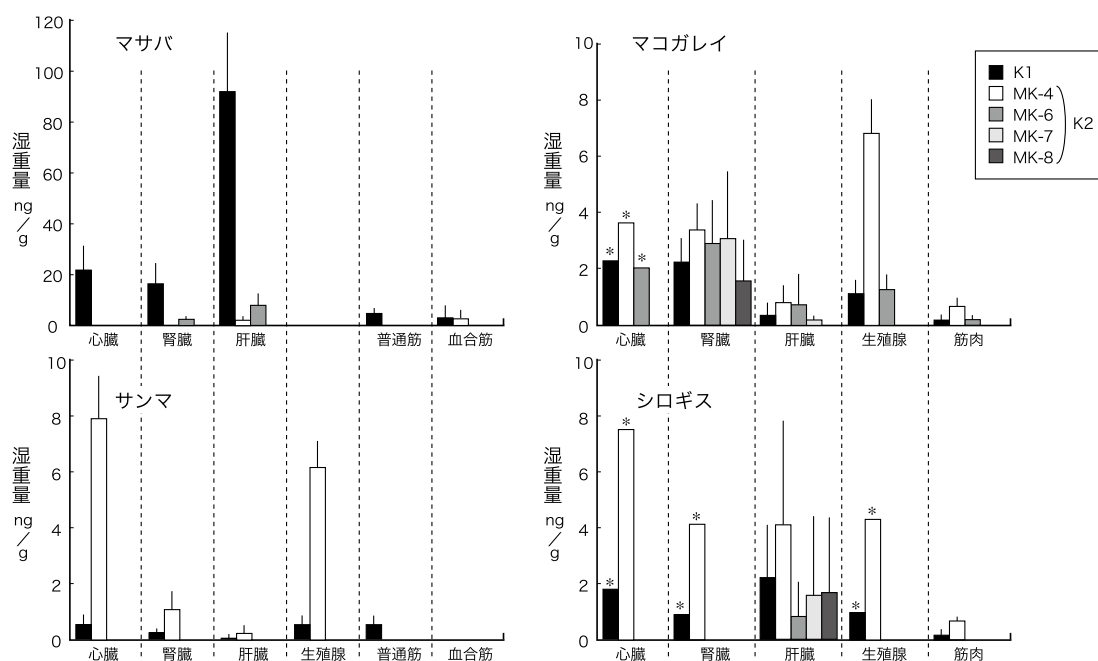


図1 魚類のビタミン K 含有量参考資料（中央水産研究所）

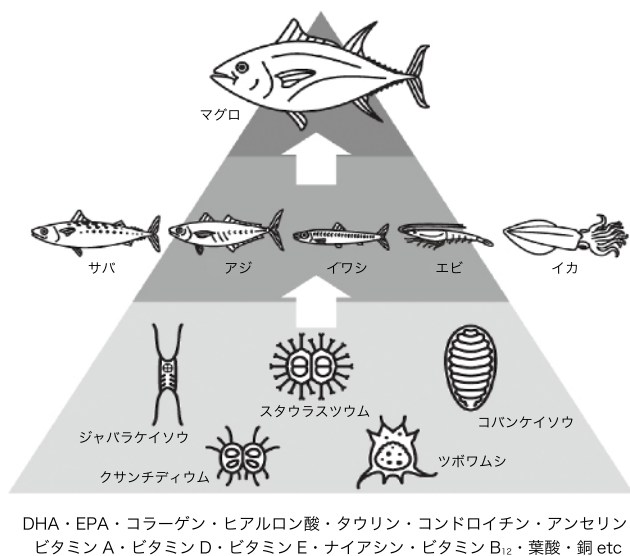


図2 生物濃縮の様子

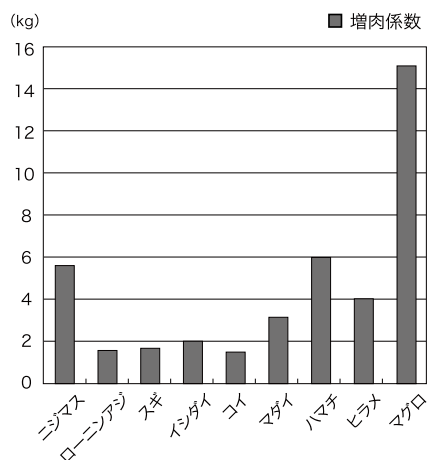
オメガ3も40.1%含有していた。現在特許申請審査請求中のマトリックス脱臭法の成果である。この脂溶性ビタミンがすべて含有されていることが自然の証しであり、製法上ビタミン類が総て破壊される従来の魚油サプリメントとの大きな違いである。

中央水産研究所の参考データを参照するとこれらのビタミンKの含有量の単位は、ナノグラムで今回の発見の千分の一である。他のマグロ類は文科省の5訂成分表では、ゼロとなっている。長年マグロを研究してきてその圧倒的パワーと生きざまにロマンを感じて、スーパーフィッシュと名付けたが正にその通りで次々とその機能性成分が明らかになってきている。

このKの新発見で、マグロ油には脂溶性ビタミンのA・D・E・Kが総て含有されていることが確認され、スーパーフィッシュを支える原動力の一部となっている。勿論、DHA・EPA・DPA等のオメガ3は、豊富に含有されている。食物連鎖の頂点に立っているマグロは、有益な青魚由来の成分の濃縮を司る、自然界の精密化学工場である。今後研究を進めれば、更

まぐろ：生きた精密化学工場の秘密

生まれてから死ぬまで15～25年も泳ぎ続けられる秘密
優れた成分の生物濃縮工場として原材料に秘密あり



*増肉係数：魚体1kg増やすのに何kgの餌が必要かを表す係数

図3 増肉係数の比較

なる未知の有効成分の存在もそのパワーを考えると容易に推測出来るとTAF社、期待している。

図2、図3は、生物濃縮とマグロが大食漢であることをわかり易く説明したものである。

4. トランス脂肪酸無し

検出限界を0.5%としたトランス脂肪酸検査で検出せずの結果を得た。他の魚油は、検出限界を5%にしているようである。しかしながら、昨年11月に今迄寛容であったFDAがトランス脂肪酸はゼロでなければ食品として許可しないの方針を打ち出し、代替品が見つかる為の猶予期間後は、使用を禁止することになった。翻って我が日本国は、世界でも唯一であろうトランス脂肪酸に対する規制の無い国である。本当にこれで良いのであろうか？特に若年層は食習慣が著しく欧米化している現状では、憂えざるをえない。

余談であるが、大リーグヤンキースで活躍中

の"マー君"こと田中将大投手の奥様で、料理や健康レシピで沢山のファンを持つ里田まいさんがブログの中で、マグロ油が天然 100% のマグロの調理油として紹介され、今更ながら有名人の影響力の大きさには驚かされた。いくら新聞やマスコミ等で記事が掲載されても、殆ど誰にも知られなかったが、ブログで紹介されただけで問い合わせが殺到した。嬉しいやら一寸悲しいやらの心境であった。

しかし、如何に消費者が本当に良いものを求めているかを知ることが出来たことは大きな成果だった。未だ完全脱臭には成功していないが、料理には幅広く使用出来ることが確認されたので今後の展開が楽しみである。

5. ビタミン K の効用

ビタミン K が欠乏すると、鼻血、胃腸からの出血、月経過多、血尿、血液凝固の遅延などといった症状が現れる。また、慢性的なビタミン K 不足は、骨粗鬆症や骨折を引き起こすことが知られている（国立健康・栄養研究所）。ここで最新の研究成果に基づいたビタミン K 特に K₂ の機能性について少し述べてみる。

①ビタミン K₂ はミトコンドリアの正常な ATP 産生を助ける。ビタミン K₂ は、ミトコンドリアの電子運搬者として、PINK1（ストレスによって誘導されたミトコンドリアの機

能不全から細胞を守る働きをすると考えられる遺伝子）不足を救い、ATP（アデノシン三リン酸）の産生を効果的にして、正常な ATP 産生を助ける⁸⁾。

②ビタミン D₃ and/or ビタミン K₂ の投与は更年期後の骨粗鬆症患者の脊椎骨骨折を予防する⁹⁾。

③ビタミン K₂ がオステオカルシンを活性化するとカルシウムを骨に取りこむ。D₃ と一緒になると破骨細胞の抑制に寄与する。又、Matrix Gla Protein (MGP) を活性化し、血管等の柔組織内の過剰なカルシウムを除去する¹⁰⁾。

結論

トランス脂肪酸の含有も無く、天然の機能成分であるオメガ 3 脂肪酸や脂溶性ビタミンすべてを含有しているハイブリッド抽出のマグロ油は、魚食以上の魚食効果を与え、そのサプリメントも又、同様の効果を与える唯一のマグロ油である。従来栄養成分として解釈されてきたビタミン D や K₂ の機能性の研究が進み、細胞の信号伝達に大きく関わっていることが解明されてきており、ビタミンでは無くホルモンであるという認識が米国の常識となっている。このビタミン類とオメガ 3 を一緒に摂れることが魚食と魚油のサプリメントの機能性を一致させられる唯一の方法と考えられる。

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

- 1) J.Fenton.: Fish oil linked to increased risk of colon cancer in mice; MSU News, Michigan State University, Oct.05, 2010.
- 2) Quinn J. *et al.*: Docosahexaenoic acid supplementation and cognitive decline in Alzheimer disease: a randomized trial. *JAMA*, **304**:1903-1911, 2010.
- 3) Brasky TM. *et al.*: Plasma Phospholipid Fatty Acids and Prostate Cancer Risk in the SELECT Trial. *J Natl Cancer Inst*, Jul 10, 2013.
- 4) Takayuki Kondo. *et al.*: Modeling Alzheimer's Disease with iPSCs Reveals Stress Phenotypes Associated with Intracellular A β and Differential Drug Responsiveness. *Cell Stem Cell*, **12**, 1-10 April 4, 2013.
- 5) Daniel Solomon, M.D., M.P.H., Eating Fish May Be Tied to Lower Rheumatoid Arthritis Risk. *Annals of*

Rheumatic Diseases, online, Aug.12, 2013

- 6) Fish and Omega-3 Fatty Acids: American Heart Association Scientific Statements: Fish Consumption, Fish Oil, Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease.
- 7) Elizabeth P. Neale *et al.*: Short-term effects of fish and fish oil consumption on total and high molecular weight adiponectin levels in overweight and obese adults. *Metabolism Clinical and experimental* 62(2013)651-660
- 8) Vos M. Esposito, *et al.*: Vitamin K₂ is a mitochondrial electron carrier that rescues pink1 deficiency. *Science*, **336**(6086):1306-10, 2012.
- 9) Jun Iwamoto *et al.*: Treatment with Vitamin D₃ and/or Vitamin K₂ for postmenopausal osteoporosis. *The Keio journal of medicine*, Vol.52, No.3 p147-150, 2003.
- 10) Rheaume-Bleue K.: Vitamin K₂ and the calcium paradox: How a little-known Vitamin Could save Your Life" 1st ed. Ontario, Canada; Wiley: 2011.
- 11) Plaza SM, Lamson DW.: Vitamin K₂ in bone metabolism and osteoporosis. *Altern Med Rev.*, **10**(1):24-35, 2005.

白石カルシウムの炭酸カルシウム

炭酸
カルシウム
とは？

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

Cytoprotective Effects of *Opuntia Ficus-Indica* Extract

ALEJANDRO MENA ACRA^{1,6}, HIROSHI SAKAGAMI^{1,2}, TOMOHIKO MATSUTA²,
KAZUNORI ADACHI¹, SUMIKO OTSUKI¹, HIROSHI NAKAJIMA³, KAZUE SATOH^{1,4},
TAISEI KANAMOTO⁵, SHIGEMI TERAOKA⁵, HIDEKI NAKASHIMA⁵,
ANGEL VISOSO SALGADO⁶ and NORMA MONTIEL BASTIDA⁶

Divisions of Pharmacology¹ and Dental Materials and Sciences³, and Meikai Pharmaco-Medical Laboratory (MPL)², Meikai University School of Dentistry, Sakado, Saitama, Japan

⁴Department of Anatomy, School of Medicine, Showa University, Tokyo, Japan

⁵Department of Microbiology, St. Marianna University School of Medicine, Kanagawa, Japan

⁶Dental Research Center (CIEAO), Faculty of Dentistry, Autonomous University of State of Mexico (UAEM), Toluca, State of Mexico, Mexico

Key Words: Nopal extract, anti-HIV, UV protection, caspase, radical scavenging

Abstract.

Background: Hundreds of previous studies have suggested the beneficial effects of nopal extract on human body. We investigated here whether nopal extract shows cytoprotective activity against viral infection, ultraviolet (UV) irradiation and chemotherapeutic drug treatment used in the dentistry.

Materials and methods: The water and ethanol extract of *Opuntia ficus-indica* (WEO and EEO, respectively) were prepared. The viability of the mock-infected, HIV-infected, UV-irradiated, drug-treated cells without or with the extract was determined by MTT method. Radical scavenging activity was determined colorimetrically and by ESR spectroscopy.

Results: Both extracts did not show anti-HIV activity, but protected the cells from cell injury induced by UV-irradiation, possibly due to the slight inhibition of caspase-3 activation. WEO dose-dependently scavenged the superoxide anion, hydroxyl and DPPH radicals. WEO also significantly inhibited cytotoxicity of methotrexate, doxorubicin and 5-FU.

Conclusion. The present study suggests that the cytoprotective activity of nopal extracts against UV and anti-tumor agents may be partly due to its radical scavenging activity.

Correspondence to: Hiroshi Sakagami,

Division of Pharmacology, Department of Diagnostic and Therapeutic Sciences,
Meikai University School of Dentistry, Sakado, Saitama 350-0283, Japan.

Tel: +81-49-279-2758, Fax: +81-49-285-5171

e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp, alexmenaacra@gmail.com

Running title: Mena Acra et al: Cytoprotective Effect of Nopal Extract

*Present address, OP BIO FACTORY Co., Ltd., Uruma, Okinawa

Introduction

Herbs have been worldly recognized as medicine for thousands of years to cure diseases and heal wounds. Recently, it has been found that some components in fruits, vegetables and seeds have anticancer effects. Herbs and natural products usually show lower toxicity, as compared with chemotherapeutic agents, thus have been accepted as alternative medicines. Nopales (from the Nahuatl word *nōpalli* for the pads) are vegetables made from the young cladode (pad) segments of prickly pear, carefully peeled to remove the spines. These fleshy pads are flat and about hand-sized, having a purple or green color. They are particularly

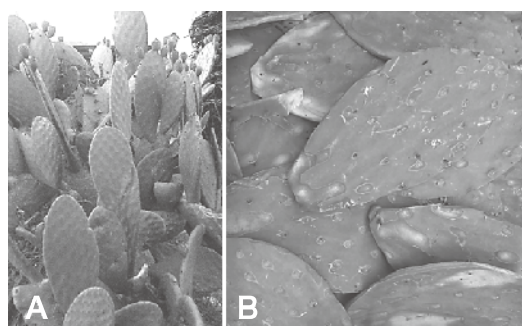


Figure 1. Panoramic (A) and magnified (B) view of *Opuntia Ficus-indica* grown in Mexico.

common in their native Mexico, where the plant is eaten commonly and regularly forms a part of mexican cuisine dishes. Nopal is often known as the *Opuntia ficus-indica* (OFI) specie, although the pads of almost all *Opuntia* species are edible. Cactus pear contains pectin, carotenes, betalains, ascorbic acid, quercetin and its derivatives all of which have antioxidant activity.

The water extract of OFI has been reported to show diverse beneficial biological activities, such as hypoglycemic activity,¹⁾ anti-arteriosclerosis activity,²⁾ reduction of cholesterol and fat levels,³⁾ immunopotentiality,⁴⁾ stimulation of digestion,⁵⁾ anti-ulcer activity,⁶⁾ colon cleansing,⁷⁾ anti-obesity activity,⁸⁾ hepatic activation,⁹⁾ renal activation¹⁰⁾ and alleviation of alcohol hangover (**Table 1**).¹¹⁾ These properties provide the basis for the nationwide use of nopal extract for the treatment of diabetics in Mexico. To search for new biological activity of nopal extract, we investigated whether the water extract (referred to as WEO) and ethanol extract (referred to as EEO) of OFI protect the cells from injury induced by viral infection, ultraviolet irradiation, and from the treatment with several chemotherapeutic drugs targeted to oral squamous

Table 1. Biological activity of nopal extract

Biological activity	Components	Ref.
Hypoglycemic activity	Low calories and sodium	1
Anti-arteriosclerosis activity	Amino acids, fiber, vitamins	2
Reduction of cholesterol and fat levels	Fiber, sterols	3
Immunopotentiality	Phytochemicals	4
Stimulation of digestion	Vitamins, minerals, fiber, pectin, mucilage, gum, amino acids.	5
Anti-ulcer activity	Mucilage.	6
Colon Cleansing	Fiber	7
Anti-obesity activity	Fiber	8
Hepatic activation	Flavonoids.	9
Renal activation	Anti- inflammatory diuretic.	10
Alleviation of alcohol hangover	Rehydrate the body.	11
Anti-HIV activity (negative data)	Water and ethanol extracts	This study
Anti-UV activity	Water and ethanol extracts	This study
Cytoprotection against 5-FU	Water extract	This study

cell carcinoma.¹²⁾

Materials and Methods

Materials. The following chemicals and reagents were obtained from the indicated companies: Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) (Gibco BRL, Grand Island, NY, USA); fetal bovine serum (FBS), 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT), hypoxanthine (HX), xanthine oxidase (XOD), diethylenetriamine pentaacetic acid (DETAPAC), 5,5-dimethyl-1-pyrroline-*N*-oxide (DMPO), RPMI 1640 medium, doxorubicin (DXR), ($\pm$)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (trolox) (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA); dimethyl sulfoxide (DMSO), dextran sulfate (5 kD) (Wako Pure Chem. Ind., Ltd., Osaka, Japan); fluorouracil (5-FU) (Kyowa, Tokyo, Japan); sodium ascorbate, *trans*-ferulic acid (Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Tokyo, Japan); curdlan sulfate (79 kD; Ajinomoto Co. Inc., Tokyo, Japan); methotrexate (MTX) (amethopterin, Nacalai Tesque, Inc., Kyoto, Japan), gefitinib (LC Laboratories, PKC Pharmaceuticals, Inc., MA, USA); 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) were obtained from Tokyo Chemicals Industry Co., Ltd. (Tokyo, Japan)..

Preparation of nopal extracts. The leaves of OFI (262 g) were cut into pieces of 1 × 10 cm and then extracted twice with water (400 ml) and after that twice with ethanol (400 ml) for 1 day at room temperature. The extracts were removed by evaporation *in vacuo* at 40°C to obtain water (WEO: 2.7 g) and ethanol (EEO: 2.0 g) extracts of OFI, respectively.

Assay for anti-HIV activity. Human T-cell leukemia virus I (HTLV-I)-bearing CD4 positive human T

cell line, MT-4 cells, were cultured in RPMI 1640 medium supplemented with 10% FBS and infected with HIV-1_{IIIB} at a multiplicity of infection of 0.01. The HIV- or mock-infected (control) MT-4 cells (3×10^4 cells/96-microwell) were incubated for five days with various concentrations of test samples and the relative viable cell number was determined by MTT reagent colorimetric method. The 50% cytotoxic concentration (CC₅₀), and the concentration that increased the viability of HIV-infected cells to 50% of the untreated control level (EC₅₀) were determined from the dose-response curve with mock-infected or HIV-infected cells, respectively. The anti-HIV activity was evaluated by the selectivity index (SI), which was calculated by the following equation: $SI = CC_{50}/EC_{50}$.¹³⁾

Assay of anti-UV activity. Human oral squamous cell carcinoma HSC-2 cells were inoculated into 96-microwell plates (3×10^3 cells/well, 0.1 ml/well) and incubated for 48 hours to allow cell attachment. The culture supernatant was replaced with 100 μ l phosphate-buffered saline without magnesium and calcium [PBS(–)] that contained various concentrations of test substances, placed at 21 cm distance from a UV lamp (wavelength: 253.7 nm) and exposed to UV irradiation (6 J/m²/min) for 1 min. The cells were then incubated for a further 48 hours in DMEM containing 10% FBS to determine the relative viable cell number by the MTT method. From the dose-response curve, the CC₅₀ and the concentration that increased the viability of UV-irradiated cells to 50% of the untreated control level (EC₅₀) were determined. The SI was determined by the following equation: $SI = CC_{50}/EC_{50}$.^{14, 15)}

Assay for caspase activation. Cells were washed with cold PBS(–) and lysed in lysis buffer. After

standing for 10 min on ice and centrifugation for 10 min at 10,000 $\times g$, the supernatant was collected. Caspase-3 activity in the cell lysate was measured by substrate cleavage assay. In brief, the lysate (50 μ l, equivalent to 100 μ g protein) was mixed with 50 μ l reaction buffer containing substrates for caspase-3 [DEVD-*p*NA (*p*-nitroanilide)]. After incubation for 3 hours at 37°C, the absorbance at 405 nm of the liberated chromophore *p*NA was measured by microplate reader.^{15, 16)}

Measurement of DPPH scavenging activity and concentration of polyphenol. DPPH was dissolved in methanol (25 mM) and mixed with an equal volume of WEO, EEO or trolox (total volume: 200 μ l), then kept at 4 °C for 30 min. The absorbance at 540 nm of each solution was measured by microplate reader (Multiskan, Biochromatic Lab System, Osaka, Japan). From the dose-response curve, the concentration that reduces the DPPH radical intensity by 50% (IC₅₀) was determined, and the DPPH radical scavenging activity was expressed as trolox equivalent value (μ mol-trolox equivalent/100 g). To evaluate the concentration of polyphenol in both extract, Folin-Denis method was carried out. Briefly, 25 μ l of diluted each extract, 25 μ l of 2N phenol reagent and 125 μ l of 1N NaOH were mixed, then kept at room temperature for 30 min. The absorbance at 630 nm of each solution was measured by microplate reader.

Measurement of radical scavenging activity by electron spin resonance. The radical intensity was determined at 25°C, using electron spin resonance (ESR) spectroscopy (JEOL JES REIX, X-band, 100 kHz modulation frequency, JEOL Ltd., Tokyo, Japan).¹⁷⁾ The instrument settings were: centre field, 335.5 $\pm$ 5.0 mT; microwave power, 16 mW;

modulation amplitude, 0.1 mT; gain, 630; time constant, 0.03 sec and scanning time, 2 min. For the determination of the superoxide anion (in the form of DMPO-OOH), produced by the HX-XOD reaction (total volume: 200 μ l) [2 mM HX in 0.1 M phosphate buffer (PB) (pH 7.4) 50 μ l, 1 mM DETAPAC 10 μ l, 8% DMPO 30 μ l, sample (in PB) 40 μ l, PB 40 μ l, XOD (0.5 U/ml in PB) 30 μ l], the time constant was changed to 0.03 sec. For the determination of the hydroxyl radical (in the form of DMPO-OH), produced by the Fenton reaction (200 μ l) [1 mM FeSO₄ (containing 0.2 mM DETAPAC) 50 μ l, 0.1 M PB (pH 7.4) 50 μ l, 92 mM DMPO 20 μ l, sample (in H₂O) 50 μ l, 1 mM H₂O₂, 30 μ l], the gain was changed to 160. The concentration that reduced the radical intensity of DMPO-OOH and DMPO-OH by 50% (IC₅₀) was determined from the dose-response curve.

Cytoprotective activity against chemotherapeutic agents. HSC-2 cells were inoculated at 1.5 $\times$ 10³ cells/96-microwell and incubated for 72 hours to allow the complete attachment. The cells were replaced with fresh culture medium and incubated for 48 hours without (control) or with each chemotherapeutic drug: 5-FU (4~1000 μ M), DXR (0.016~4 μ M), MTX (0.39~100 μ M) or gefitinib (0.04~320 μ M) in the presence of 50, 500 or 5,000 μ g/ml of WEO. The viable cell number was determined using the MTT method.

Statistical analysis. Statistical analysis for multiple comparison between groups was performed using one-way or two-way ANOVA those were followed by Bonferroni multiple *t*-test as *post hoc* test by SPSS II (IBM, New York, USA). Student's *t*-test was carried out to analyze statistical difference between two groups. Differences were considered

significant at $P < 0.05$. Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD).

Results

Anti-HIV activity. Water extract (WEO) and ethanol extract (EEO) of OFI did not protect the cells from cytopathic HIV infection ($SI = >1$), in contrast to the potent anti-HIV activity of popular anti-HIV substances: dextran sulfate ($SI=160$), curdlan sulfate ($SI=781$), AZT ($SI=6931$) and ddC ($SI=905$) (Table 2).

Anti-UV activity and caspase-3 activation. UV irradiation reduced the viable cell number (Figure 2) by inducing the cell death characterized by marginal activation of caspase-3 in HSC-2 cells (Figure 3). The addition of WEO reduced the UV-induced cell damage, increasing the viable cell

number (Figure 2A). Such protective effect of WEO was detected at concentrations slightly lower than the cytotoxic concentration, yielding the SI value of 6.0 (Table 3, WEO-Exp. I). Similar results were obtained in other 3 independent experiments (Exp. II, III and IV in Table 3), yielding the mean

Table 2. Anti-HIV activity of OFI extract

	CC ₅₀	EC ₅₀	SI
WEO (μ g/ml)	>500	>500	><1
EEO (μ g/ml)	>500	>500	><1
<Positive controls>			
Dextran sulfate (μ g/ml)	125	0.78	160
Curdlan sulfate (μ g/ml)	453	0.58	781
AZT (μ M)	201	0.029	6931
ddC (μ M)	1991	2.20	905

Each value was determined from the dose-response curve with triplicate assay at each concentration. DS: dextran sulfate, CRDS: curdlan sulfate.

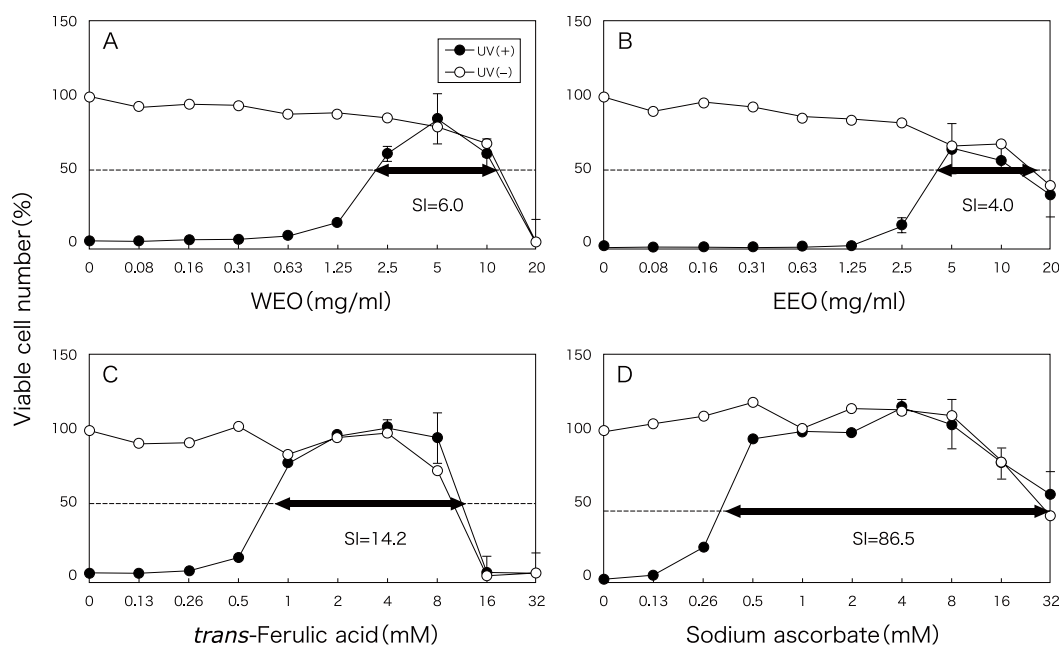


Figure 2. Representative anti-UV activity of nopal extract and two positive controls (*trans*-ferulic acid and sodium ascorbate) from one of two - four repeated investigations. HSC-2 cells were exposed (●) or not (○) to 1 min-UV irradiation in PBS(-) containing the indicated concentrations of WEO (A), EEO (B), *trans*-ferulic acid (C) or sodium ascorbate (D). Viable cell number was determined by MTT method 48 hours after incubation in regular culture medium, expressed as % of control (non-irradiated and incubated without compound). Each value represents mean $\pm$ S.D. of triplicate determinations.

Table 3. Anti-UV activity of OFI extracts

	CC ₅₀ (mg/ml)	EC ₅₀ (mg/ml)	SI
WEO (Exp. I)	20.5	3.4	6.0
WEO (Exp. II)	17.4	2.7	6.4
WEO (Exp. III)	20.7	3.4	6.1
WEO (Exp. IV)	14.4	4.8	3.0
mean±S.D.			5.4±1.6
EEO (Exp. I)	16.8	4.2	4.0
EEO (Exp. II)	4.7	1.3	3.6
EEO (Exp. III)	16.9	3.9	4.3
EEO (Exp. IV)	7.3	3.6	2.0
mean±S.D.			3.5±1.0
<i>trans</i> -Ferulic acid (Exp. I) (mM)	10.8	0.8	14.2
<i>trans</i> -Ferulic acid (Exp. II) (mM)	10.9	0.8	14.3
Mean			14.3
Sodium ascorbate (Exp. I) (mM)	29.4	0.3	86.5
Sodium ascorbate (Exp. II) (mM)	35.8	0.5	70.2
Sodium ascorbate (Exp. III) (mM)	11.8	0.8	14.6
mean±S.D.			57.1±37.7

Each value was determined from dose-response curve which was done with triplicate assays at each concentration.

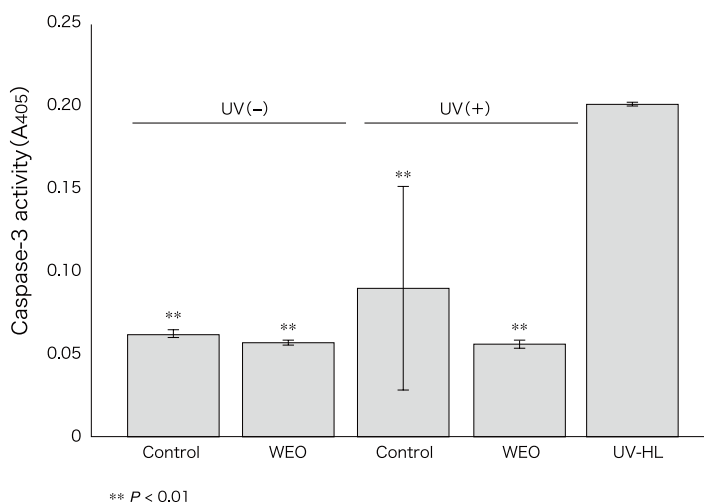


Figure 3. Effect of WEO on irradiation-induced caspase-3 activity. *: $P < 0.01$ (Bonferroni t -test, vs. UV-HL).

value of SI of 5.4 ± 1.6 . EEO showed similar, but slightly lower UV protective activity (SI=4.0) (**Figure 2B**, EEO-Exp. I in **Table 3**). Similar results were obtained in other 3 independent experiments (EEO-Exp. II, III and IV in **Table 3**), yielding the mean value of SI of 3.5 ± 1.0 . However, the anti-UV activity of WEO and EEO was much less than that

of *trans*-ferulic acid (SI=14.3) and sodium ascorbate (SI=57.1±37.7) (**Figure 2C, 2D**) (**Table 3**).

Although there were significant (One way ANOVA: $F(4,14) = 15.1$, $P < 0.01$; Bonferroni multiple t -test: $P < 0.01$) difference from apoptotic HL-60 cells (induced by UV irradiation), UV irradiation of HSC-2 cells slightly increased the

caspace-3 activity. Application of WEO (5,000 µg/ml), at the time of UV irradiation, did not increase the caspace-3 activity. WEO alone did not affect the caspace-3 activity in HSC-2 cells (**Figure 3**).

Radical scavenging activity and concentration of polyphenol. WEO and EEO showed the DPPH radical scavenging activity. For quantitative comparison, IC₅₀ for radical scavenging activity of both extracts was calculated and standardized with the radical scavenging activity obtained from trolox as control (**Table 4**). There were significant (One way ANOVA: $F(2,8) = 1189.7$, $P < 0.01$; Bonferroni multiple t -test: $P < 0.01$) differences between WEO, EEO and trolox, respectively. The radical scavenging activity of WEO was confirmed by electron spin resonance. WEO dose-dependently scavenged the superoxide anion, detected as DMPO-OOH radical (generated by hypoxanthine-xanthine oxidase reaction) and hydroxyl radical, detected as DMPO-OH radical (generated by Fenton reaction), with the 50% inhibitory concentration of 2450 and 1540 µg/ml, respectively (**Table 4**). The concentration of polyphenol in both extract was examined. WEO contained significantly ($P < 0.01$; Student's t -test) higher amount of polyphenol compared with EEO.

Cytoprotective activity against chemotherapeutic drugs. Since WEO showed higher anti-UV activity and radical scavenging activity compared with EEO (see above), we investigated the cytoprotective activity of WEO against chemotherapeutic drugs. Application of WEO reduced the cytotoxicity of some chemotherapeutic drugs, except gefitinib(D) (**Figure 4**). The DXR-induced dose-dependent reduction of viable cell number was significantly (dose of WEO: $F(3,119) = 13.7$, $P < 0.01$; dose of DXR: $F(9,119) = 291.4$, $P < 0.01$; WEO × DXR: $F(27,119) = 3.1$, $P < 0.01$; Two way ANOVA) inhibited by co-application of WEO (500 µg/ml: $P < 0.05$, 5,000 µg/ml: $P < 0.01$; Bonferroni multiple t -test) (**Figure 4B**).

The MTX-induced reduction of viable cell number was significantly (dose of WEO: $F(3,119) = 3.2$, $P < 0.05$; dose of MTX: $F(9,119) = 22.8$, $P < 0.01$; WEO × MTX: $F(27,119) = 2.9$, $P < 0.01$; Two way ANOVA) affected by co-application of WEO, depending upon the concentrations of WEO, however, there was no significant ($P > 0.05$) difference between concentration of WEO (Bonferroni multiple t -test) analysis (**Figure 4C**). Since MTX-induced cytotoxicity was already observed at 0.39 µM and did not increase in a dose-dependent manner, the data was separated into lower dose (0-3.1 µM) and higher dose (6.3-100 µM) for further analysis. At

Table 4. Effect of WEO on the radical intensity of superoxide anion and hydroxyl radicals.

	Superoxide anion radical (DMPO-OOH) IC ₅₀ (µg/ml)	Hydroxyl radical (DMPO-OH) IC ₅₀ (µg/ml)	DPPH free radical scavenging activity		Concentration of polyphenol (mg gallic acid equivalent /100g)
			IC ₅₀ (µg/ml)	(trolox eq. µmol/100g)	
WEO	2450	1540	1220±90 ^{a,c}	21.5±1.8	49.8±2.0 ^{**}
EEO			2320±40 ^{a,b}	8.3±0.2	18.4±2.3
Trolox			6.34±0.1 ^{b,c}	—	—

The value of DMPO-OOH and PMPO-OH assay were obtained from triplicate assays. The value of DPPH was obtained from three repeated triplicate assays. a: $P < 0.01$ vs. trolox, b: $P < 0.01$ vs. WEO, c: $P < 0.01$ vs. EEO; Bonferroni multiple t -test. **: $P < 0.01$; Student's t -test.

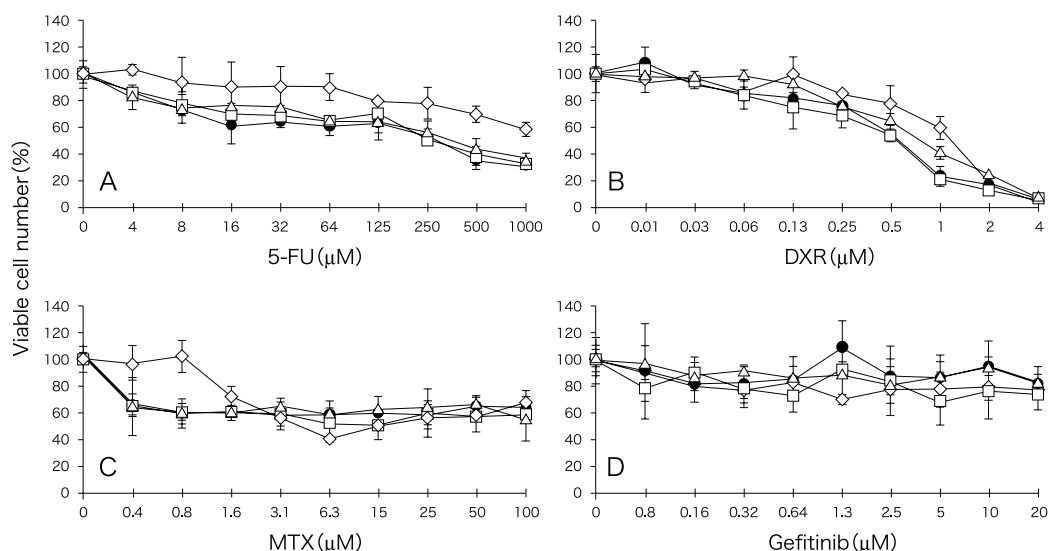


Figure 4. Effect of WEO on the cytotoxicity induced by representative chemotherapeutic drugs. HSC-2 cells were incubated for 48 hours with 5-FU (A), DXR (B), MTX (C) or gefitinib (D) in the presence of 0 (control) (●), 50 (□), 500 (△) or 5,000 (◇) $\mu\text{g/ml}$ WEO, and the viable cell number was determined by MTT method.

lower concentrations, MTX-induced reduction of viable cell number was significantly (dose of WEO: $F(3,59) = 10.2$, $P < 0.01$; dose of MTX: $F(4,59) = 31.7$, $P < 0.01$; WEO $\times$ MTX: $F(27,59) = 3.3$, $P < 0.01$; Two way ANOVA) inhibited by co-application of WEO (5,000 $\mu\text{g/ml}$: $P < 0.01$; Bonferroni multiple t -test). On the other hand, at higher concentrations, no significant ($P > 0.05$; Two way ANOVA) difference was observed with or without co-application of any dose of WEO.

The 5-FU-induced reduction of viable cell number was significantly (dose of WEO: $F(3,119) = 46.0$, $P < 0.01$; dose of 5-FU: $F(9,119) = 58.0$, $P < 0.01$; WEO $\times$ 5-FU: $F(27,119) = 1.1$, $P > 0.05$; Two way ANOVA) inhibited by co-application of WEO (5,000 $\mu\text{g/ml}$: $P < 0.01$; Bonferroni multiple t -test) (Figure 4A).

Discussion

High molecular weight polysaccharides and lignin-carbohydrate complex are easily extractable by hot-water or alkaline solution and thus be expected to

be present in higher amounts in the water extract, but the complete determinations of the chemical structures have never been achieved due to the structural complexity. On the other hand, tannins, flavonoids, terpenes and some saponins are mostly difficult to be dissolved in water, but more easily extractable with methanol, and the structures of thousands of compounds have been identified. These low molecular weight compounds are thus expected to be present in lower amounts in the water extract.¹⁸⁾ Therefore, the information of how much these lower molecular materials are present in hot-water extract of nopal is limited, and thus should be pursued. Several flavonoids have been isolated from the EEO of OFI, including (+)-dihydroquercetin (taxifolin), quercetin 3-methyl ether,¹⁹⁾ kaempferol 3-methyl ether, quercetin 3-methyl ether, narcissin, (+)-dihydrokaempferol (aromadendrin), eriodictyol, and two terpenoids; (6*S*,9*S*)-3-oxo- α -ionol- β -D-glucopyranoside and corchoionoside C,²⁰⁾ kaempferol and quercitrin,²¹⁾ isorhamnetin

3-*O*-(6''-*O*-*E*-feruloyl)neohesperidoside, (6*R*)-9,10-dihydroxy-4,7-megastigmadien-3-one-9-*O*- β -D-glucopyranoside,²²⁾ showing neuroprotective effects¹⁹⁾ and antidepressant effects²²⁾ by their antioxidative actions.

The present study demonstrated several novel biological features of nopal extract (**Table 1**). Neither WEO nor EEO showed any anti-HIV activity, however protected the cells from UV irradiation. WEO showed slightly higher anti-UV activity (SI=5.4 $\pm$ 1.6) than EEO (SI=3.5 $\pm$ 1.0). The anti-UV activity is slightly higher than the hot water extracts of green tea (SI=3.4), black tea (SI<1), Jasmin tea (SI<1) and Oolong tea (SI<1),²³⁾ although it was much lower than that of anti-oxidants such as sodium ascorbate (SI=57.1) and *trans*-ferulic acid (SI=14.3) (**Table III**). UV irradiation-induced cell death is observed in broad cell lines, however, there are distinct differences in the morphological and biochemical features (*e.g.*, type of cell death and activated enzyme) between cell lines.²⁴⁾ In the present study, UV irradiation induced cell death in both HSC-2 and HL-60 cells, however, significant increase of caspase-3 was observed only in HL-60 cells. This result is consistent with our recent report that UV irradiation induced the production of large DNA fragmentation and minor caspase-3 activation in HSC-2 cells, without induction of internucleosomal DNA fragmentation.¹⁵⁾ The UV-protection activity may be further enhanced by separating the protective substances from cytotoxic substances by column chromatography. We also found that WEO showed scavenging activity against superoxide anion and hydroxyl radical, although these scavenging activity (IC₅₀: superoxide=2450 μ g/ml, hydroxyl radical=1540 μ g/ml) is approximately three orders lower than that of sodium ascorbate (IC₅₀: superoxide=2.5-25 μ M,

hydroxyl radical=25-125 μ M).²⁵⁾ The UV protective activity of WEO and EEO may be derived from its radical scavenging activity (**Table 4**). DPPH free radical was scavenged by both WEO and EEO, however, WEO showed significantly higher scavenging activity compared with EEO and it also related with the concentration of polyphenol. By comparing with other plant extracts,²⁶⁾ higher amount of OFI-contained polyphenol was required to obtain equivalent scavenging activity. Furthermore the existence of those polyphenol might be related to the appearance of cytoprotective activity of WEO against several chemotherapeutic drugs (**Figure 4**). When higher concentration (5,000 μ g) of WEO was added, cytotoxic effects of DXR, MTX and 5-FU were significantly inhibited. In particular, the cytotoxicity of lower dose of MTX and 5-FU were almost completely inhibited and that cytoprotective activity of WEO was remained when dose of 5-FU was increased up to 1,000 μ M. The identification of chemopreventive agent(s) without toxic side effects may lead to the future establishment of treatment strategy. Previous studies have suggested that anti-carcinogenic properties of herb extracts and synthetic retinoids may due, in part, to the antioxidant effect, further confirming the oxidative damage as an important etiologic risk factor for many diseases, including cancer and heart disease. OFI extracts contain multiple antioxidants that can reduce oxidative damage like other plant extracts.¹⁷⁾

The mechanism of anti-cancer effect of OFI extracts is not yet completely understood, even though it has been demonstrated that OFI extracts increased the expression of annexin IV, a Ca²⁺-dependent membrane-binding protein, while it decreased the expression of vascular endothelial growth factor (VEGF) in several tumors. This

suggests that OFI extracts may inhibit the angiogenesis that is involved in the tumor growth and metastasis.²⁷⁾ Therefore OFI extracts could be such a candidate in cancer prevention, and, promising for long-term use, considering that they are safe food-derived products distinct from

"chemical". It remains to be investigated whether WEO shows cytoprotective activity against various normal cells as well as cancer cell lines, in order to elucidate the mechanism and selectivity of its cytoprotective activity.

..... References

- 1) Frati A, Gordillo B, Altamirano P, Ariza C, Cortés-Franco R, Chávez-Negrete A and Islas-Andrade S: Influence of nopal intake upon fasting glycemia in type II diabetics and healthy subjects. *Arch Invest Med (Mex)* **22**: 51-56, 1991.
- 2) Godard MP, Ewing BA, Pischel I, Ziegler A, Benedek B and Feistel B: Acute blood glucose lowering effects and long-term safety of OpunDia supplementation in pre-diabetic males and females. *J Ethnopharmacol* **130**: 631-634, 2010.
- 3) Butterweck V, Semlin L, Feistel B, Pischel I, Bauer K and Verspohl EJ: Comparative evaluation of two different *Opuntia ficus-indica* extracts for blood sugar lowering effects in rats. *Phytother Res* **25**: 370-375, 2011.
- 4) Cárdenas Medellín ML, Serna Saldívar SO and Velazco de la Garza J: Effect of raw and cooked nopal (*Opuntia ficus-indica*) ingestion on growth and profile of total cholesterol, lipoproteins, and blood glucose in rats. *Arch Latinoam Nutr* **48**: 316-323, 1998.
- 5) Hernández-Urbiola MI, Pérez-Torrero E and Rodríguez-García ME: Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus-indica*) at varied ages in an organic harvest. *Int J Environ Res Public Health* **8**: 1287-1295, 2011.
- 6) Alimi H, Hfaiedh N, Bouoni Z, Sakly M and Ben Rhouma K: Evaluation of antioxidant and antiulcerogenic activities of *Opuntia ficus-indica* f. inermis flowers extract in rats. *Environ Toxicol Pharmacol* **32**: 406-416, 2011.
- 7) Bensadón S, Hervet-Hernández D, Sáyago-Ayerdi S and Goñi I: By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant Foods Hum Nutr* **65**: 210-216, 2010.
- 8) El Kossori RL, Villaume C, El Boustani E, Sauvaire Y and Méjean L: Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus-indica* sp.). *Plant Foods Hum Nutr* **52**: 263-270, 1998.
- 9) Ncibi S, Ben Othman M, Akacha A, Krifi MN and Zourgui L: *Opuntia ficus-indica* extract protects against chlorpyrifos-induced damage on mice liver. *Food Chem Toxicol* **46**: 797-802, 2008.
- 10) Bisson JF, Daubié S, Hidalgo S, Guillemet D and Linarés E: Diuretic and antioxidant effects of Cacti-Nea, a dehydrated water extract from prickly pear fruit, in rats. *Phytother Res* **24**: 587-594, 2010.
- 11) Wiese J, McPherson S, Odden MC and Shlipak MG: Effect of *Opuntia ficus-indica* on symptoms of the alcohol hangover. *Arch Intern Med* **164**: 1334-1340, 2004.
- 12) Sakagami H: Apoptosis-inducing activity and tumor-specificity of antitumor agents against oral squamous cell carcinoma. *Japanese Dental Science Review* **46**: 173-187, 2010.
- 13) Nakashima H, Murakami T, Yamamoto N, Sakagami H, Tanuma S, Hatano T, Yoshida T and Okuda T: Inhibition of human immunodeficiency viral replication by tannins and related compounds. *Antiviral Res* **18**: 91-103, 1992.
- 14) Kantoh K, Ono M, Nakamura Y, Hashimoto K, Sakagami H and Wakabayashi H: Hormetic and anti-radiation effects of tropolone-related compounds. *In Vivo* **24**: 843-851, 2010.
- 15) Ueki J, Shimada A, Sakagami H and Wakabayashi H: Hormetic and UV-protective effects of azulene-related compounds. *In Vivo* **25**: 41-48, 2011.
- 16) Otsuki S, Sugiyama K, Amano O, Yasui T and Sakagami H: Negative regulation of NaF-induced apoptosis by Bad-CAII complex. *Toxicology* **287**: 131-136, 2011.
- 17) Sakagami H, Asano K, Satoh K, Takahashi K, Terakubo S, Shoji Y, Nakashima H and Nakamura W: Anti-stress activity of mulberry juice in mice. *In Vivo* **20**: 499-504, 2006.
- 18) Sakagami H, Kushida T, Makino T, Hatano T, Shirataki Y, Matsuta T, Matsuo Y and Mimaki Y: Functional

- analysis of natural polyphenols and saponins as alternative medicines. book under the working title A Compendium of Essays on Alternative Therapy. In: Bhattacharya A, ed. InTech, 2012.
- 19) Dok-Go H, Lee KH, Kim HJ, Lee EH, Lee J, Song YS, Lee YH, Jin C, Lee YS and Cho J: Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. saboten. *Brain Res* **965**: 130-136, 2003.
 - 20) Lee EH, Kim HJ, Song YS, Jin C, Lee KT, Cho J and Lee YS: Constituents of the stems and fruits of *Opuntia ficus-indica* var. saboten. *Arch Pharm Res* **26**: 1018-1023, 2003.
 - 21) Park SH, Sim YB, Han PL, Lee JK and Suh HW: Antidepressant-like effect of Kaempferol and Quercitrin, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. saboten. *Exp Neurobiol* **19**: 30-38, 2010.
 - 22) Saleem M, Kim HJ, Han CK, Jin C and Lee YS: Secondary metabolites from *Opuntia ficus-indica* var. saboten. *Phytochemistry* **67**: 1390-1394, 2006.
 - 23) Nanbu T, Matsuta T, Sakagami H, Shimada J, Maki J and Makino T: Anti-UV activity of *Lentinus edodes* mycelia extract (LEM). *In Vivo* **25**: 733-740, 2011.
 - 24) Lippens S, Denecker G, Ovaere P, Vandenabeele P and Declercq W: Death penalty for keratinocytes: apoptosis versus cornification. *Cell Death Differ* **12** Suppl 2: 1497-1508, 2005.
 - 25) Goto H, Takahashi H, Fujii H, Ikuta K and Yokota S: *N*-(4-Hydroxyphenyl)retinamide (4-HPR) induces leukemia cell death via generation of reactive oxygen species. *Int J Hematol* **78**: 219-225, 2003.
 - 26) Maeda G, Takara K, Wada K, Oki T, Masuda M, Ichiba T, Chuda Y, Ono H and Suda I: Evaluation of antioxidant activity of vegetables from Okinawa prefecture and determination of some antioxidative compounds. *Food Sci Technol Res* 2006.
 - 27) Li B, Dedman JR and Kaetzel MA: Intron disruption of the annexin IV gene reveals novel transcripts. *J Biol Chem* **278**: 43276-43283, 2003.

歴史の潮流と科学的評価

(第3節 ライフサイクルと特定の集団から見た、ベジタリアン食の適正度)

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：排卵周期，初潮年齢，閉経年齢，フィトエストロゲン，ハーブ療法

10章 女性の生殖機能

1. はじめに

この章の目的は、女性の生涯にわたる正常な生殖機能を保持できるベジタリアン食の適切さを述べることにあります。最初は、この話題は簡単に見えます。ベジタリアンの女性は、雑食者の女性のように、思春期を経験し、子供を持ち、閉経期を経験します。それでも、栄養に関連する因子は、生殖能力に微妙かあるいは深く影響を及ぼし、ベジタリアンと雑食者の女性間に違いがあるかどうかの系統的研究はごくわずかです。

女性の生殖生活（思春期への変化，初潮から閉経までの年数，閉経期への変化）のそれぞれに対して，通常の生理学と内分泌学が分かりやすく説明します。それから，様々な食事因子の潜在的な因子が述べられ，ベジタリアンと雑食者の人とを比べたデータを討議することになります。生殖ホルモンへの影響は，この本の他の

章で掲載されている，生殖ホルモン量と慢性病（肺がん，心疾患，骨粗鬆症）間への潜在的影響よりも，生殖機能それ自体に関与するということに注目すべきです。

2. 思春期の変化と初潮

最初の生理的出血である初潮は，女性の生殖生活への始まりへの信号と多くの人が理解しています。それでも，ここで述べられているように，思春期の変化は初潮の始まりを伴わずに，しかも，比較的遅い時期に数年継続します。さらに，殆どの場合，初潮後数年間は，女性は未だ成熟（例えば，妊娠が可能になる能力）していません。この項は，まず最初に，変化それ自体に言及し，次に，栄養関連因子の影響があるかどうかを述べ，ベジタリアニズムが思春期に影響するかどうかを検証します。最後に，ベジタリアンと雑食者の人の初潮年齢を比較したデータについて検討します。

A. 思春期の変化

少女においては，思春期の始まりは，乳房が

目立ち、陰毛と腋毛の発達で示されます。乳房と陰毛の発達は、Tannerによると、1から5までの段階があり、1は前思春期の特徴を示し、5は成熟を示しています¹⁾。思春期が始まる年齢や発達の速度は個人によってかなり変動し、北アメリカの平均として、思春期は10～11歳で始まります。(8～13歳の範囲)²⁾ 通常、乳房の発達が最初に起こり、陰毛の発達が引き続いて起こり、発達速度が最高に達し初潮となります。初潮は、Tanner段階では、3～4の乳房発達に対応して起こります。しかし、最初の生理的出血は、通常、排卵周期とは関連せず、標準的な排卵周期の成立は、数年起こりません。例えば、初潮後の最初の年の15%のみが排卵があり、4年後で58%、6年後で74%となります³⁾。

思春期に伴う外見的变化は、感受性の高い組織が性腺ホルモン、特にエストロゲンに対しさらされることと関連しています。卵巣からのエストロゲンの排出増加は、脳下垂体の性腺刺激ホルモン、黄体形成ホルモン(LH)や卵巣刺激ホルモン(FSH)の絶え間ない放出増加による刺激があります。LHの増加は特に大きく、思春期の前や初期の思春期では、日中、平均60倍にも増えます³⁾。続いて、LHとFSHホルモン増加は、視床下部からの性腺刺激性ホルモン(GnRH)の分泌を引き起こすこととなります。

思春期の開始は、性腺と脳下垂体が、成熟のある段階に到達するというには依存していないようです。というのは、双方の組織は、通常の開始よりかなり早くホルモンの刺激に反応することができるからです。例えば、若年齢のメス猿にGnRHを投与し続けると、排卵性の生理サイクルを始めます⁴⁾。同様に、神経性食欲不振症と思春期が遅延している若年の女性へのGnRHの投与は、思春期と初潮への変化を誘導します⁵⁾。しかし、思春期への誘導に対するGnRH刺激剤の活性増加の理由は、はつき

りとはわかっていません³⁾。

B. 思春期と初潮開始に関与する因子

総合的な栄養状態、特にエネルギー摂取と消費(たびたび、身長、体重、体組成によって影響される)は、思春期開始の重要な調整器である数多くの証拠があります。(6～8) Bongaartsによって説明されているように、人におけるこの関連を支持するいくつかの1連の証拠があります。栄養的に満たされていない少女よりも、栄養豊富な少女の方や、同年齢でも体重/身長が高い人の方が、平均して、思春期が早く起こります。前世紀の後期以降、初潮の平均年齢は3歳低下し、このことは、食事の改善と体型の伸長に関係してきています。最後に、初潮年齢と社会経済的状態(SES)は、多くの国で負の関係があり、都市部と地方の集団、高い収入群と低い収入群の差としても見られます⁷⁾。

1. 体型の変動因子

身長と体重に対する初潮年齢に関与するデータは、集団レベルでは比較的確定的ですが、個人に対しては、これらの因子は信頼性の薄い予測因子です。8～10歳で始まる、633人の思春期前の女子の前向き研究で、成長(月毎の身長、体重測定)、正確な年齢、初潮時の伸長、体重、健康状態、母親と姉妹の初潮年齢、両親の身長、体重とSESのデータが得られました¹⁰⁾。少女の殆どは、中流の白人で、身長と体重は米国の標準と同様でした。この研究からの最も驚くべき発見は、結果が大きくバラついたことです。平均的初潮年齢は、 12.8 ± 1.2 歳(9.1～17.7歳)、平均身長は 156.6 ± 6.4 cm(135.9～177.8cm)、平均体重は 47.3 ± 6.9 kg(31.3～81.6kg)でした。相対体重もまた、大きなバラツキがありました。平均BMIは、 19.3 ± 0.8 kg/m²で、 $13.5 \sim 29.7$ kg/m²の変動がありました。初潮年齢と相対体重間には有意な関係がみられましたが(初潮年齢が若年の人は高い相対

体重), 計算によるこの関係の変動比は, 7% を丁度超えた数字でした。

2. 食事成分

前記で明らかなように, 体型の変動因子と初潮年齢間には相関がありますが, 変動因子の多くは説明がされないままになっています。それゆえに, 食事成分, 特に, 高たん白質や高脂肪食が初潮年齢を早めることに影響しているとの仮説が立てられてきました¹¹⁾。例えば, 高脂肪食で育てられたラットは成長が早く, 早期に発情に達し, 低脂肪食のラットより低体重でした¹²⁾。

食事成分の影響に対するヒトでの証拠は, 動物から得られるデータ程直接的ではありません。そして, 体型の変動因子に関係しているエネルギー摂取と, 食事成分からの影響を分けることはしばしば困難なのです。しかし, 初潮の正確なデータが得られている, 233 人のスロベニア人女子の研究から示唆する証拠が得られています¹³⁾。この研究は, 1956 年に発表され, 初潮の平均年齢は, 13.6 ± 1.2 歳でした。「たんぱく質系」の食事をした 45 人の女子は, 「混合食」をした 75 人よりも有意に初潮が早く (12.6 ± 0.9 対 13.4 ± 1.2 歳), 代わりに, 後者は, 「炭水化物食」を基本とした 110 人 (14.1 ± 1.6 歳) よりも有意な早さでした。残念ながら, 実際の栄養素摂取についてのデータはなく, 自分達でそれぞれの食事を分類していました。著者らは, 体育学級での女子を観察することで, 体型の影響を検討しようと試み, 「バロック (重い)」 「ルネッサンス (中間)」 「ゴシック (痩せ)」 と分類しました。しかし, 身長, 体重の直接の測定は実施されませんでした。予想通り, 重いと分類された女子の初潮は最も低年齢で, 痩せとされた女子が最も遅い年齢でした。しかし, 体型を考慮に入れた時でも, 食事に関係する違いは明確でした。例えば, 重いと分類された女子の初潮は, 12.4 ± 0.9 歳で, 高たんぱく質, 高

炭水化物食の人は, 13.9 ± 1.4 歳でした。中間と分類された女子のそれぞれは, 12.9 ± 0.8 , 13.8 ± 0.8 歳でした。

この仮説を支持する他のデータとして, Burrell ら¹⁴⁾ のものがあり, 南アフリカのバンツー族女子のおおよその初潮年齢を研究したものです。Transkei に住む, 10 ~ 18 歳の約 50,000 人を対象に初潮年齢を質問し, 家庭状態が「貧しい」か「貧しくない」かに従って検討されました。「貧しい」女子の平均初潮は 15.4 歳で, 「貧しくない」の平均 15.0 歳よりは有意に遅い年齢でした。著者らは, 食事の差, 特に, 動物性たんぱく質が観察結果に影響していると考えました。「貧しくない」女子は, 毎日, 発酵乳飲料を飲み, 毎週, ビーフや鶏肉を食べていましたが, 「貧しい」女子は動物性たんぱく質は殆ど摂取しませんでした。残念ながら, 両群の身長と体重は報告されていませんでしたので, これらの食事の違いが, 体型の違いに相関しているかどうかを決めることはできません。

つい最近, 身長と体重の測定を含む, 前向きコホート研究の結果が報告されました。2,299 人の 5 段階の女子のコホートで, 3 日間の食事記録があり, 初潮開始時期も確認できました。栄養素摂取と初潮年齢との相関は見られませんでした¹⁵⁾。同様に, 半定量的食物摂取頻度調査法を使用した 213 人の初潮前の女子の研究では, 初潮年齢と主栄養素間には, 相関は見られませんでした¹⁶⁾。これらの研究は, 動物性対植物性たんぱく質の摂取を評価するものではありませんが, 後者の研究では, 飽和脂肪摂取は初潮の低年齢化とは有意な相関がなく, 動物性食品の多食は初潮の低年齢化の決定因子ではないことを示唆しています¹⁶⁾。

C. ベジタリアンと雑食者の人の初潮年齢研究

前記で示唆されたように, 初潮年齢の決定因子については, 多くの課題が残っていますが,

総合的に見ると、栄養は重要な因子のようです。それゆえに、ベジタリアンと雑食者の初潮年齢を比較する研究を検討する際には、長期間のエネルギーバランスが同様であるかどうかを確認することは重要です。ベジタリアン児童の成長に関するデータは、他の章でさらに検討されます。しかし、まとめると、社会経済的状況が同様として、ベジタリアン児童の身長、体重は、雑食者の児童と実質的な差はありません。このように、成長の変動因子が、思春期の発達を調節するようになるまでは、充足されたベジタリアンと雑食者との差を予測することはできません。もし、差が見られたとすると、食事成分が思春期の発達の決定因子であるということが推定されます。

ベジタリアンと雑食者の初潮年齢を比較したデータはわずかです。Perksy らは、10 代の 35 人のベジタリアンと 40 人の非ベジタリアンの女子を研究しました¹⁷⁾。ベジタリアン女子は、ラクト・オボ・ベジタリアン食を取り入れているセブンスデー・アドベンチスト全寮制学校の生徒で、非ベジタリアンは、同じ市の全寮制私立学校の生徒でした。両群の食事のエネルギー量は同じくらいでしたが、ベジタリアン食の全脂肪(33.7 対 39.7%/エネルギー)、飽和脂肪(12.3 対 15.5%/エネルギー)、たんぱく質(13.0 対 15.1%/エネルギー)は有意に低値でした。また、ベジタリアン女子は、澱粉と繊維の摂取量が多く、砂糖とカフェインは少ない摂取量でした。ベジタリアン女子は、非ベジタリアンに比べ、2 インチ低い身長 ($P<0.05$) でしたが、体重には差がなく、身体活動能力同様に、平均 BMI も大変に似通っていました。(ベジタリアンで、 $22.8 \pm 3.8 \text{ kg/m}^2$ 、非ベジタリアンで、 $22.2 \pm 4.2 \text{ kg/m}^2$) ベジタリアンの多くはスペイン人です。(34.3% 対 2.5%)

民族の差が、身長のデータに影響しているかどうかの報告はありませんが、可能性は考えら

れます。ベジタリアンと雑食者の女子での、自己申告による平均初潮年齢は、 12.4 ± 1.3 歳でした。このように、異なる食事でもエネルギーバランスが明らかに似ている場合は、初潮年齢差は見られませんでした。

Hardinge ら¹⁸⁾によって実施されたにきびの横断研究の中で、要約という形でしたが、ベジタリアンと雑食者の初潮年齢が比較され、Sanchez ら¹¹⁾の資料がさらに追加されました。私立校の 481 人の女子生徒で、325 人が非ベジタリアンで、156 人がベジタリアンでした。初潮年齢は 0.5 歳単位で報告され、早い (<11.5 歳)、平均 (11.5 ~ 13.5 歳)、遅い (>13.5 歳) と分類されました。非ベジタリアンの 20% は早く、21% が遅い初潮でした。対照的に、ベジタリアンの 13% だけが早く、28% が遅い結果でした。分布差は有意でした。($P<0.5$) 残念ながら、これらのグループの身長と体重のデータがないので、この差がベジタリアン食の影響なのか、あるいはエネルギーバランスの差なのかは、確認することができません。

前記の研究は、米国のベジタリアンと非ベジタリアンの初潮年齢を比較したものです。この課題は、また、南インドの、SES の異なる 3 つの学校で、9 ~ 18 歳の 1,267 人の女子を対象に実施されました¹⁹⁾。全ての学校には、ベジタリアンと非ベジタリアンが在学し、食事は、全て、基本的には米と小麦でした。ベジタリアンでは、野菜の副業が付いていて、非ベジタリアンでは、3 ~ 5 回/週、羊肉、魚、卵や鶏肉が付いていました。

この研究においては、もっとも高い SES の学校の女子の初潮年齢は 12.86 歳で、もっとも貧しい学校では 14.08 歳でした。食事の影響は見られず、また、食事と学校間の相関もありませんでした。反対に、他のインドの研究では、ベジタリアン女子は非ベジタリアンに比べ、有意に遅い初潮年齢 (13.7 ± 1.2 対 $13.0 \pm$

1.2 歳, $P<0.01$) との報告がありました²⁰⁾。しかし, その研究では, SES が高い程, 早い初潮年齢と相関していました。また, ベジタリアンと非ベジタリアン女子が似通った SES にあるかどうかについての報告はなく, さらには, 身長, 体重の報告もありませんでした。それゆえに, SES, あるいは, 体型の差の影響で, 結果は, 混乱するかも知れません。

要約すると, 食品が自由に入手できる時には, ベジタリアンと非ベジタリアン間の初潮年齢には差はないと, 今までのデータは示唆しています。

3. 出産が可能な年代

出産が可能な初潮から閉経までの期間は, 女性では, およそ 40 年にわたります。生理があることが, しばしば, 妊娠できる能力と同じに考えられますが, 妊娠の成立は, 実際は, 正常な排卵周期があるからです (例えば, 正常な排卵による生理周期)。ベジタリアニズムが女性の出産に影響を及ぼすとすれば, 必然的に, 排卵周期に影響を及ぼすことになります。この問題を検討するための背景となる情報を提供するには, 臨床上と臨床上に現れない障害と, 出産に影響する潜在的影響と同様に, 正常な排卵周期が示される必要があります。ここでは, 周期の特徴に影響する様々な食事, あるいは食事に関係しない因子の影響について論じ, 最後に, ベジタリアンと非ベジタリアンの間には差があるかどうかを評価する今までの文献について論じます。

A. 正常な卵巣周期の特徴

排卵による生理周期は, ホルモンの複雑な相互作用に影響します²¹⁾。生理の間, エストラジオールとプロゲステロンの循環レベルは, 周期の最初の日を決定しますが, 低いレベルです。フィードバック障害の欠如は, 視床下部由来の

GnRH (性腺刺激ホルモン放出ホルモン) が, 脳下垂体前部からの低用量の FSH と LH の放出を刺激することを容易にさせます。FSH 刺激の結果, 数多くの卵胞が成熟を始め, エストロゲンを分泌します。それから, 周期の卵胞期の時に, エストロゲン濃度は徐々に上昇します。エストロゲン濃度の増加は FSH 分泌を阻害し, その結果, 最も成熟した卵胞 (専有している卵胞) は閉鎖に近い状態になります。専有している卵胞は多量のエストロゲンを放出し, 代わりに, 周期の中間付近で (通常は, 12 ~ 14 日) 主要な LH の波を刺激するようです。LH 波の結果, 卵胞細胞によるエストロゲン生成阻害をもたらす, また, 排卵を誘導する変化を開始させ (専有卵胞の破裂と卵子の放出), さらに, 周期が黄体期の間, 崩壊卵胞をエストロゲンとプロゲステロン双方を合成する黄体の集積体に変化させます。卵子が受精しない時は, エストロゲンとプロゲステロン濃度は減少し始め, 黄体集積体は, 生成後 10 ~ 16 日で分解します。卵巣ホルモンの低下は, 生理として, 厚くなった子宮内膜を発散させ, 次の周期の始まりとなります。周期は平均 28 日で, 通常は 21 ~ 35 日の範囲にあります。

B. 排卵の乱れ

上記の正常な排卵周期は, 初潮と閉経の間で一定に起こるわけではありません。周期期間と特徴の乱れは, 初潮から閉経の間では共通のことですが²²⁾, 生理学的, 社会心理学的な誘引に応じて, いつでも起こり得ます。これらの乱れは, 卵巣黄体期 (卵巣黄体の欠陥) でのプロゲステロン分泌の微小な減少から, 無月経 (妊娠していない女性において, 少なくとも 6 カ月間生理がないこと) に至る連続性を示しています。

1. 臨床症状に現れない乱れ

周期の中で, 最少のひどい乱れは臨床的には現れません。それらは通常の間の中で起こ

り、周期が血液や唾液中の一連のホルモンを測定するような技術で検査が実施されない場合には、明らかにではありません。これらの乱れは、卵巣黄体の欠陥（卵巣黄体期中の低プロゲステロン濃度）であり、短期間の卵巣黄体期（10日未満の持続期間）と排卵抑制（卵子が放出されない周期）なのです。周期の臨床症状に表れない乱れは、共通してはいません。1950年代と1960年代のスイスの女性を対象にしたVollman²²⁾のデータによると、成熟女性では周期の3%で排卵が抑制されていて、さらに、周期の14.6%が短期間の卵巣黄体期となっていました。乱れない2タイプの正常な排卵周期を持つ女性を予め選んだ、つい最近の研究の中では、66人のうちのたった13人だけが、その後も正常な排卵周期でした¹³⁾。残りの女性は、排卵が抑制（n=13）されたか、短期間の卵巣黄体期（n=40）の一つかそれ以上でした。別の方法でデータを解析すると、長期間にわたって分析した周期の29%で、短期間の卵巣黄体期か排卵が抑制されていました。しかし、正常な周期からはずれていたのは3%のみでした。また、明らかに健康な女性において、臨床症状には表れない乱れが高い割合で見られるという研究結果もあります^{24,25)}。

排卵抑制周期は、妊娠が出来ないことと明らかに相関しており、卵巣黄体期の欠陥あるいは短期の卵巣黄体期が受精能力を低下させるかも知れません。後者の場合、子宮内膜が遊離する以前に、プロゲステロン濃度は、接合子の植付けを可能にするだけの長い時間は保持していません。

2. 臨床上の乱れ

希発月経（月経間の36～180日）と無月経（妊娠していない女性で、少なくとも180日月経がないこと）は、月経がないか不規則な女性に明らかな周期の乱れを示しています。これらの乱れは、臨床症状の現れない乱れより頻度は

少なく、18～45歳のスウェーデン女性の0.7%から、若年の大学生のような選別されたグループの5%の罹患率に及んでいます^{26,27)}。希発月経の発生についての正確なデータは入手が難しく、この言葉は、特に、一つの長い周期の出現というより、長く不規則な周期を言い表すことに通常使用されます。それでも、20年代の初期に、スウェーデン女性の約15%が36日より長く、30～45歳の女性では、これが5%以下に減少することをVollmanは報告しました²²⁾。

長い周期はしばしば排卵抑制的ですが、これは必ずしも起きるわけではありません。しかし、明らかなことは、希発月経と無月経の女性の受精能力はかなり低下することです。

C. 卵巣周期への食事成分の影響

この項では、卵巣周期への様々な食事成分の影響を評価した研究が示されます。血清ホルモン濃度に対する多くの成分の影響に関する文献は比較的豊富で、そのうちのいくつかは、この本のどこかに記載されているかも知れませんが、ここでは卵巣周期それ自体の影響を評価したか、あるいは推論した研究に焦点を絞ります。月経周期へエネルギーの利用効率が際立った影響を及ぼす為、この話題については簡潔な総説となります。

1. エネルギー

不適切なあるいは、過剰なエネルギー利用効率は月経の乱れを誘引します。ベジタリアンと非ベジタリアンの相対体重は異なるので、これらのグループの月経周期不順の浸透度を評価する研究は、相対体重の差が考慮されていることを保証することが重要となります。

極端な場合、飢餓と憔悴は、殆ど常時無月経に関連していますが、実質的な体重減少が起こる前でさえも、食事は周期不順やあるいは不規則を誘引します^{28,29)}。大変に短い期間でも、急なエネルギー不足はLHの働きを妨げ、その

結果、排卵機能に影響を及ぼします^{30,31)}。

さらに極端な場合、周期不順は肥満に関連して起こります。50 年程前、神経性無食欲症が一般的になる前、無月経症の女性に肥満が高い割合で見られました³²⁾。最近の文献は、排卵抑制が肥満の女性に共通して見られ^{33,34)}、これらの人が体重を減少すると排卵が改善され、妊娠も可能になることを示唆しています³⁵⁾。

2. 脂肪

月経周期に対して、脂肪として 40% ~ 20% のエネルギーを含む食事の影響が、30 人の健康な閉経前の女性で検討されました^{36,37)}。エネルギー、たんぱく質、肉の量や不飽和脂肪酸 / 飽和脂肪酸比 (P/S) は同様な食事でしたが、低脂肪食は 37% 以上の粗繊維を含んでいました。女性はそれぞれ 4 回の月経周期の間、高脂肪食と低脂肪食を摂りました。40% 食に比べ、20% 食は有意に周期と月経の時間を増加させました³⁶⁾。周期の増加は、卵胞期の期間の増加によります³⁷⁾。

また、高脂肪、低脂肪食の影響が、6 人のラクト・オボ・ベジタリアン女性を対象にした他の研究において検討されました³⁸⁾。脂肪は 46% と 25% で、ほぼ同様のたんぱく質、エネルギー、P/S と繊維を摂取したクロスオーバー試験が、1 カ月間、実施されました。

月経周期、卵胞期の期間、あるいは、黄体期の期間には変化は見られませんでした。この研究は、良好に実施されましたが、被験者の数が少ないこと、介入の期間が短いことで、差を検出するには潜在的な限界がありました。

乳房に嚢腫疾患のある女性において、低脂肪食の介入試験が実施され³⁹⁾、脂肪を日常食として 35% 摂っている 16 人の女性に、エネルギーとして 21% の低脂肪食が指導されました。血清ホルモンとゴナドトロピンが、介入前と 2, 3 週間後に測定されました。月経周期についての特別なデータは得られませんでしたでしたが、介入

試験は、女性の月経周期への明確な影響はなかったと、研究者らは判断しました³⁹⁾。

3. 繊維

研究開始時に、1 日当たり、脂肪を少なくとも 25 エネルギー % と 25 g 以下の繊維を摂っている 62 人の閉経前女性において、繊維を約 15 g から 30 g と 2 倍にした場合の影響が検討されました⁴⁰⁾。コーン、オート、小麦ふすまのサプリメント (マフィンとして) が 2 カ月間、無作為に割り当てられました。エネルギー % としての脂肪は介入の間、変化はなく、体重も維持されました。月経周期の特長に関するデータは得られませんでしたでしたが、著者らは討議の結果、変化は起きなかったと考えました⁴⁰⁾。

4. 脂肪と繊維

低脂肪と高繊維食の複合効果が研究されていますが、月経周期の特徴についてのデータは必ずしも得られていません。Woods ら⁴¹⁾の研究において、17 人の閉経前の女性に、最初、脂肪として 40 エネルギー % の「典型的な西欧食」と 12 g の食物繊維が 1 回の月経周期の間、供給されました。それから、25 エネルギー % の脂肪と 40 g の食物繊維が、2 回の月経周期の間、供給されました。月経周期に関連する特別な結果は得られませんでした。

Goldin ら⁴²⁾の研究において、多くの女性 (n=40) を対象に、同様な実験手段で、周期、排卵期、黄体期の期間が研究されました。有意な変化はみられませんでしたでしたが、12 g から 40 g への食物繊維の増加は、排卵期の 0.69 日 ($P=0.27$) 延長と相関し、40% から 20 ~ 25% への脂肪減少は、排卵期の 0.51 日 ($P=0.47$) 延長と相関していたことが報告されました。

5. 肉

肉を含んでいる食事か否かの影響が、Hill ら^{43,44)}によって研究されました。最初の研究で、16 人の白人の女性が、通常の肉を含む食事 (平均 38 エネルギー % の脂肪) から、肉ま

たは肉製品を含まない食事(平均 33 エネルギー%の脂肪, P/S は変更なしで、おそらく多めの繊維)に変更しました。2 カ月の介入の間、体重は維持されました。ベジタリアン食は周期を 30.4 ± 0.6 日から 26.6 ± 0.4 日に有意に減少させ、これは、排卵期間の減少と有意に相関していました⁴³⁾。同じ研究の中で、ベジタリアン食を常食している、9 人の南アフリカの黒人女性に、2 カ月間、毎日、150 g の脂肪身の少ない加工肉が与えられました。脂肪が繊維摂取に変化があったかどうかは述べられていませんが、体重は、維持されました。肉を含む食事は、周期と排卵期の期間を有意に増加させました⁴³⁾。

著書らは、また、肉を食べない習慣を持つ 16 人の南アフリカの女性に、肉のサプリメントと大豆の等カロリーサプリメントの影響を比較しました⁴⁴⁾。介入の 2 カ月間、体重は維持されました。肉を摂った時には、月経周期は、 26.5 ± 0.9 から、 29.7 ± 0.8 日 ($P < 0.01$) に増加しました。これは、排卵期の期間が増加した為です。大豆のサプリメントを摂った女性には、変化はありませんでした。

6. フィトエストロゲン

イソフラボンとリグナンは、ダイズと亜麻仁それぞれに、時折、高濃度で含まれるフィトエストロゲンの 1 種です。Phipps ら⁴⁵⁾ は、18 人の健康な閉経前女性に 10 g の亜麻仁粉末を与えて、月経周期の影響を見ました。それぞれの女性は通常の食事を 3 カ月間実施し、亜麻仁豊富な食事を 3 カ月間、無作為・クロスオーバー試験で実施しました。亜麻仁のサプリメントを実施している間、黄体期の期間の平均は、有意に長く (12.6 ± 0.4 対 11.4 ± 0.4 日, $P = 0.002$)、排卵期の期間には差がありませんでした。

明らかに、Phipps のものとは反対の結果が、Cassidy ら^{46, 47)} によって見出され、それは、健

常な 6 人の女性の食事に、45 mg/日のイソフラボンを含む大豆たんぱく質を加えた影響を見たものでした。大豆のサプリメントを摂っている間、排卵期の期間は増加し (17.5 ± 0.9 対 15.0 ± 0.4 日, $P < 0.01$)、黄体期の期間に変化はなく、排卵期の血清エストラジオール濃度は、また、有意に増加しました。イソフラボンを化学的に抽出した大豆製品を摂取した女性には、変化は見られませんでした⁴⁷⁾。

他の介入試験では、1 カ月間、代謝を監視の下、毎日、200 mg のイソフラボンを含む豆乳を摂取した 6 人の女性の研究があります⁴⁸⁾。周期期間は、豆乳を摂取している間、増加傾向にありました。しかし、これは、緩やかな 5 人 (1 人は 2 日の減少) と比べて、12 日増加した 1 人の女性に大きく依存した為でした。周期期間の報告はありませんでしたが、排卵期の血清エストラジオールが増加した Cassidy's の発見とは対照的に、血清エストラジオール濃度は期間中、有意に低値を示しました⁴⁶⁾。血清プロゲステロン濃度は、また、大豆サプリメントでは低く、6 人のうち 2 人は、排卵抑制周期は一定していました⁴⁸⁾。

短期間の介入試験研究とは対照的に、大豆製品摂取の習慣と月経周期期間の関係が、日本の女性を対象に横断研究として実施されました⁴⁹⁾。50 人の健康な閉経前女性が、過去、平均 37.9 ± 26.1 g/日を 9 種の大豆製品から摂取していました。大豆製品の摂取は、エストラジオール濃度と反比例しますが、月経周期期間とは相関がありませんでした。($r = -0.13$, $P = 0.45$) 排卵期と黄体期の期間は検討されませんでした。

要約しますと、月経周期の特徴に関わる様々な食事成分の影響に関するデータは、一定ではありません。例えば、Reichman ら³⁷⁾の研究では、低脂肪食は排卵期の期間を増加させ、Hill's の研究 (肉を食事から除くと同時に脂肪も減少) では、排卵期の期間は減少しました。南アフリ

カ黒人のベジタリアン女性の食事に大豆を加えましたが、周期の特徴には影響がありませんでした⁴⁴⁾。一方、肉を追加すると排卵期の期間は増加しました⁴⁴⁾。対照的に、白人の女性に大豆を追加すると、排卵期の期間を増加させました⁴⁶⁾。最後に、大豆由来のフィトエストロゲンは、排卵期の期間を増加させ、排卵期のエストラジオール濃度は増加させるか減少させ、亜麻仁由来のフィトエストロゲンは、黄体期の期間を増加させます⁴⁵⁾。

研究間の不一致に加え、ベジタリアンと雑食者の脂肪と繊維量について一定した差は見られないことと⁵⁰⁾、組み合わせによって変化が生じる（例えば、大豆と亜麻仁双方を増やす食事）ことを思い起こすことは重要なことです。月経周期に対するそれぞれ個人の食事成分の影響を明らかにする為に、さらなる研究が求められますが、ベジタリアンと雑食者の間には差があるかどうかは、自由に生活している集団の食習慣を研究することのみで判断が可能です。

D. 卵巣周期に対する栄養関連物の影響

ヒトの女性の卵巣周期は視床下部によって調節されているので、生理学的な関連物質と同様に、生理学的な影響が起きます^{29,51)}。深い悲しみ、旅行、引越し等のストレスは、月経周期に影響することが知られていますが、これらが、ベジタリアンと非ベジタリアンの間で、異なる状態で起こるかどうかを示すデータはありません。ストレス因子は、栄養と食事に関係していますが、異なる食事パターンをする集団間ではおそらく異なってくることが考えられます。

一つの因子として、食事拘束認識があります。これは、食事が常に体重を調節する為の行動に拘束を受けていることの証しであり、「3因子食事質問票」の拘束尺度を利用することで評価できます⁵²⁾。その食事へのストレスは、少なくとも部分的には「認識」が反映され、ストレ

スが高いかあるいは低い女性は、類似の BMI 値を持ち、同様なエネルギー摂取を示すということが見られます^{24,53-55)}。

少なくとも3件の研究で、高いストレス度を持つ女性は、一般的には、同様な BMI 値を持っているにもかかわらず、低いストレス度の女性より、臨床では現れない月経不順に高い割合で罹患していることが見られました^{24,54,55)}。高い拘束度を持つ女性の食事と関連するストレスは、コルチコトロピン放出ホルモン (CRH) とコーチゾルの分泌を増加させます。CRH は、ゴナドトロピン分泌を阻害することが知られていて⁵⁶⁾、それゆえに、月経機能を乱すことがあります。

ベジタリアンと雑食者の間で、食事へのストレス度が明らかに異なるかどうかは、ベジタリアニズムへの動機に依存するかもしれません。食事へのストレス度が明らかに高い女性は、食事を制限する手段として、ベジタリアン食を採用しています。非常に拘束度の高い状態と特徴付けられる、拒食症の女性の研究がこれを裏付けています。2種類の患者を一貫して観察したケースでは、45%と54%がベジタリアンでした^{57,58)}。さらに、158人の健康な女性の調査で、彼女らは、高い抑圧度と高いフェミニスト値を持つベジタリアンのようでした⁵⁹⁾。高いフェミニスト値を持つ女性は、体重減少の食事を反社会的と思い、これらの人達にとって、ベジタリアンになることは食事行動を隠そうとしていることを示していると、この研究の著者らは推測しています⁵⁹⁾。

対照的に、ベジタリアンと雑食者を慎重に選んだ研究（正常な安定した体重、選別した食事パターンを少なくとも2年間継続し、さらに不規則な食歴がないという基準に基いた）では、ベジタリアン女性は、雑食者に比べ、有意に低い食事拘束度でした⁵⁰⁾。

このように、食事の拘束の程度と、摂食障害

の有病率は、ベジタリアンと雑食者では異なり、グループ間の月経機能を比較する研究を実施し、様々な要因を検討することが重要と言えます。

E. ベジタリアンと雑食者における卵巣周期の研究

1980年代、雑食者よりもベジタリアン女性の方が、月経不順の共通性が高いといくつかの報告が示唆していました⁶⁰⁻⁶²⁾。1984年、Brooksら⁶⁰⁾は、11人の無月経と15人の正常月経のランナーの食事について報告しました。9人はベジタリアンで(200 g/週以下の肉の摂取と定義)、正常な周期の2人とだけ比較されました。同年報告された他の研究で、Salvinら⁶¹⁾は、全ての食品群を摂取する人では3%だったのに比べ、肉を摂取しない人では31%が無月経を罹患していることを見い出しました。ベジタリアンか雑食者で、1 kg/週の体重減少をするように指定された介入研究のエビデンスも提供されました⁶²⁾。2群間の体重減少量は同様でしたが雑食者の9人のうちの7人に比べ、ベジタリアン食を指定された9人のうち2人のみが、正常な排卵周期でした。しかし、これらの研究は、月経不順の有病率がベジタリアンと雑食者では異なるかどうかを評価するには特別には設計されてなく、結果は、他の因子(例、摂食障害の有病率)によって影響を受けていることが考えられます。

この問題に対処するように設計された最初の研究の一つがPedersenら⁶³⁾によるものです。ニュースレターや新聞広告を通して応募したベジタリアンと非ベジタリアンの女性が、正常な周期(11~13回の月経/年)か、不定期な周期(3~10回/年)か、又は、無月経(2回以下/年)かを報告しました。雑食者に比べ、ベジタリアン女性は高比率で、不定期な周期か無月経でした。(26.5%対5.9%, $P<0.01$)しか

し、応募バイアスがあるので、この研究からの推定は限度があります。研究が、ベジタリアンの間で月経不順が一般的であるかどうかを検讨することの試みであると明記されていたとすれば、月経不順のベジタリアン女性はボランティアであったかも知れません。しかも、経口避妊薬(OCA)の日常の摂取は除外規定ではなく、OCAは、ベジタリアンよりも雑食者の方がかなり長期間使用していました。OCAの使用は「正常」な周期をもたらし、このことが、雑食者の高い正常周期率に貢献してきました。最後に、摂食障害かあるいは、その経験があるかが除外されていたかどうかは記述されていませんでした。この群の引き続いた研究の中で、3カ月前の間はOCAの未使用が規定され、27人のベジタリアンのうち4人が月経不順と無月経と観察され、非ベジタリアンにはありませんでした。 $(P<0.05)$ グループ内の女性の特徴の多くは、うまく調整されていましたが、応募のバイアスは残ったままで、摂食障害歴は検討されていないようでした。

著者と共同研究者が実施した研究は、可能な限り交絡因子を除くように設計されていました²⁴⁾。もし、ベジタリアンに臨床的な月経不順が一般的であるとするならば、非臨床的な不順も一般的であることになります。それにより、「正常な月経周期」と報告した女性のみを対象とすることで、応募バイアスを調整した研究になりました。他の応募規定は以下の通りです。

- 年齢は20~40歳(初潮や閉経前に起こる非臨床的な不順の発生を低下させる為)
- 少なくとも6カ月間、OCAは未使用
- 正常なBMIで安定体重
- 摂食障害歴が無い
- 未産婦(出産が可能な安定した月経周期)
- 飲酒は<アルコール飲料1本/日
- 運動は<7時間/週

女性は、少なくとも2年間、通常の食事パター

ンを続けました。基礎体温の測定が毎日、6 カ月間実施され、周期を短期間の黄体期を正常な排卵とし、あるいは無排卵と分類しました⁶⁵⁾。高度に選りすぐられたこの女性群において、ベジタリアンは、より長い黄体期の期間を持っていました。(周期の 4.6% 対 15.1%, $P<0.05$) この研究のベジタリアンは有意に低い食事拘束認識で、それは結果に反映していました。

これまでの研究結果では、ベジタリアニズムそれ自体は、月経不順の罹患率増加とは相関していないことを示唆していましたが、この知見は、集団レベルに一般化することはできません。前記のように、幾人かの女性は体重への関心が理由でベジタリアン食を採用したため、研究への参加を見送られたようです。この問題に対処するために、最大規模での集団研究が必要です。

(以下、次号へつづく)

“地域密着でキラリと光る企業”

仙台銘菓「萩の月」を創造した『株式会社 菓匠三全』

田形 暁作*

*TAGATA Yoshinari (TAGATA 食品企画・開発 代表)

Key Words : 仙台銘菓・萩の月・一掬いの飴・歴史と味・ブランド戦略・研究開発・商品開発

はじめに

菓匠三全は1947年(昭和22年)10月、現在の宮城県蔵王町で、飴の製造・販売を開始した。アワやサツマイモを原料とし、遠刈田温泉に行商することから始めた。終戦後の食糧難で、特に甘い物が不足していた。創業者の田中實氏は川口高等女学校の先生をしていた時、実用理科であめの作り方を教えた経験があった。大麦の芽の中のジアスターゼ(酵素)に澱粉を糖に変える働きがあり、これを用いて飴ができる。米は統制されていたので、材料はアワやサツマイモ。良く売れた。ところが、1950年(昭和25年)頃になると澱粉が統制から外れ、多くの飴の製造販売業者が色々な飴を売り始めた。

1953年(昭和28年)5月、長男が中学に通うようになり、宮城県大河原町に移転した。ここで、飴は皆がやっているの、まだ、他の人がやっていないものと考え、かりん糖にした。白い生地、赤い生地を重ねて巻いたうずまきかりん糖。最高で年間5千万円くらい売れた。ところが、そのかりん糖も他のお菓子に押されて売り上げが鈍化してきた。日本経済は高度成長を続けていた。買われる菓子類もポテトチップスやポップコーンなどのスナック菓子が中心となっていった。さらに、生活水準も向上し、食生活も豊かになるにつれて消費者の好みも変

化し、かりん糖やあられなどの油菓から、新たに出回ってきた高級米菓、半生菓子、ケーキなどの洋菓に嗜好が移っていった。

1967年(昭和42年)、油菓に代わる少しでも時代に合った菓子をと考え、卵とバターを使った洋風卷せんべい「クリームパリーロール」の製造を開始した。原料を吟味したので高価格となり、問屋には仕入れてもらえなかった。「高級菓子を販売するのなら、やはり東京」と考え、三鷹市の美多加堂に飛び込み営業して採用になり、これをきっかけに売れるようになった。

1973年(昭和48年)10月、石油危機が勃発し狂乱物価となった。売り上げ、利益が取れなくなってきた。そこで、名古屋にいる物理学校時代の同級生で、後にセロハン業界のトップになった二村氏に相談した。二村氏のアドバイスは「良く考えて、競争しない業種で、人が真似できない独特のものを作れ」ということであった。この時、バウムクーヘンを作る新しい機械が入っていた。この機械を使って人が真似できない“仙台名物”の新しいバウムクーヘンを作ることを考えた。それが「伊達絵巻」である。NHKの大河ドラマ「樫(もみ)ノ木は残った」で仙台は観光ブームになりつつあった。「伊達絵巻」の当初の販売は苦戦したが、長男で専務の裕人氏(現社長)をはじめ多くの努力で鉄道

弘済会に入り売り上げを伸ばした。

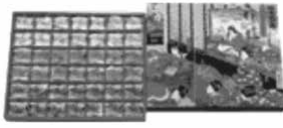
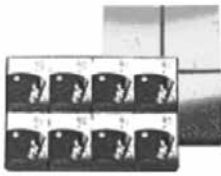
1977年（昭和52年）『萩の月』を発売した。この商品は消費者が菓匠三全に寄せるアンケート用紙から生まれた。萩の月の製造技術は、食品業界では初めての「エージェレス」の開発のほか幾つかの技術開発があつてできた。『萩の月』は爆発的なヒット商品となり現在でもその売り上げを伸ばしている。このたび、仙台銘菓『萩の月』を創造された株式会社菓匠三全専務取締役の田中正人氏に菓匠三全の歩みと『萩の月』誕生について取材をお願いした。

1. 会社概要【企業情報】

■会社名	株式会社菓匠三全
■設立	1947年（昭和22年）10月15日
■本社所在地	〒980-0804 仙台市青葉区大町2-14-18
■資本金	1億円
■代表者	田中裕人
■従業員	470名
■主要事業	「萩の月」をはじめとする約140種類のお菓子の製造・販売並びに研究・開発

2. 会社のあゆみ

1947年10月	宮城県蔵王町にて「田中飴屋」として製飴業を開始 
1953年5月	宮城県大河原町に移転、「田中製菓工場」として油菓子の製造を開始
1964年8月	株式会社とし「三全工業」に社名を変更
1965年	販路を宮城・福島・岩手県全域、秋田・山形県の一部に拡大

1967年	ベビーシュークリーム、洋風せんべい「クリーム・パリールール」等を発売 
1973年4月	社名を「株式会社三全製菓」と改称、仙台銘菓「伊達絵巻」を製造発売 
1974年8月	「伊達絵巻」が仙台駅で一日の売上最高記録（45万円）を達成
1976年8月	仙台銘菓「伊達小巻」を発売 
1978年4月	社名を「株式会社菓匠三全」と改称
1979年9月	仙台銘菓『萩の月』を発売 
1980年3月	『菓匠三全の誓い』を制定
1984年12月	第二工場竣工、萩の月製造ライン増設
1987年9月	萩まつりに協賛 
1988年7月	第三工場竣工
1989年5月	「萩の月」が全国菓子博覧会において「食糧庁長官賞」を受賞
1989年5月	仙台・青葉まつりに「青葉駒山鉾」初参加 

1990年5月	「萩の月」の姉妹品として「萩の調」を発売
1991年8月	「ら・ふらんす」発売
1992年4月	洋菓子の新ブランド「ロワイヤルテラッセ」開設
1992年4月	中央研究所・高砂工場竣工
1993年11月	第32回モンドセレクションにおいて、「ロワイヤル・テラッセ」が最高金賞、「萩の調」が金賞受賞 
1997年11月	創業50周年を迎える
1998年2月	和菓子の新ブランド 御菓子処「青ざし」開設
2001年12月	ずんだ餅専門店「菓匠三全 ずんだ茶寮」が仙台駅に開店。
2002年3月	「ロワイヤルテラッセ」仙台三越店が新店オープン。
2002年11月	第5回「七十七ビジネス大賞」受賞。
2003年3月	「レ・フィユ 仙台 さくら野百貨店 仙台店」が開店。
2003年8月	「菓匠三全 広瀬通り大町店」が新装オープン。
2004年3月	ずんだ餅専門店「ずんだ茶寮 東京大丸店」が開店。



2011年度モンドセレクションに出品した「ロワイヤルテラッセ」、「ダックワーズ」、「アーモンドパイ」、「マドレーヌ」、「ら・ふらんす」のすべてが最高金賞を受賞した。



ロワイヤルテラッセ



ダックワーズ



アーモンドパイ



マドレーヌ

モンドセレクションとは

1961年、食品の品質向上を目的にベルギー政府と欧州共同体（EC）が開始した、世界的な食品品評コンクールである。毎年80以上の国からの商品がモンドセレクションにて評価され、「世界食品オリンピック」とも呼ばれており、数ある食品品評機関に於いては世界で最も歴史のある代表的機構である。審査では、市場で販売されている商品を対象に、衛生、味覚、包装、原材料など多くの項目で審査される。味覚の検査は訓練を受けた専門のパネラーに、衛生検査、化学分析はベルギーの公的機関によって行われる。そのデータは、大学教授、業界有識者により組織される国際品評委員会により総合的に評価される。100点満点中95点以上で「最高金賞」、85点以上で「金賞」、75点以上で「銀賞」、65点以上で「銅賞」が贈られる。「モンドセレクション」を受賞した商品は、国際的な評価基準を満たし、世界に通用する商品といえる。



ら・ふらんす

3. 菓匠三全のこだわり

◆お客さまにご満足いただけるお菓子づくり

《菓匠三全》は、昭和22年の創業以来60余年にわたり、“お客さまにご満足いただけるお菓子づくり”を目指して、社業に励んできた。

お客様の心の琴線にふれる おいしいお菓子は、まずは作り手自身を磨き、お菓子を愛する心、お客様に和んでいただけるまごころをお菓子づくりに込めることで実を結ぶものと、社員一同、肝に銘じて日々精進している。仙台の歴史に思いを馳せ、豊かな四季の恵みに感謝しつつ、新たな味づくりを進めている。お菓子の製造・販売を通じて、さらなるお菓子文化の創造をめざすとともに、地域文化の発展を心がけている。

◆時代を吸収する“お菓子”づくりをめざして
技と工夫の限りをつくして、心のゆとりの象徴ともいえる お菓子を生みだし続けてきた日本のお菓子の歴史。それは、お菓子文化と呼ぶにふさわしい、先人たちの“知”の結晶と言える。《菓匠三全》は、このお菓子文化の流れを汲み、現代の食文化の中で求められる、味わい深くエスプリのきいたお菓子を生みだすべく、和菓子、洋菓子の領域にこだわることなく、時代を吸収する新しい味の境地を開くことを目指している。

◆一つひとつのお菓子里に託す《菓匠三全》の心
お菓子——その名を耳で楽しみ、その形、色を眼で味わい、香り、味を心で聞く。すると、心にやさしい光がさしこみ、豊かな気持ちになってくる。お菓子には人々の心を和ませ、語らいの場、団らんを創りだす温かい力がある。《菓匠三全》は、この、お菓子がかもしだす優しさを真摯にみつめていく。よりよい素材を選びぬく眼、素材を活かす技の極み、お菓子を包む彩り豊かなパッケージ……それらすべてに、いつも変らぬおいしさをこめていきたい。素材選び、技術、思いやりなどが、おいしさの感動と なってあらわれているならば幸いと考えている。

◆味に、包装に、店舗に、《菓匠三全》の主張を込めて

お菓子を通じて、暮らしに新鮮な感動をおくり続けたい——そんな《菓匠三全》の願いを、味はもちろんパッケージに、店舗に、様々な形

で表現している。《菓匠三全》の店舗に立ち寄られた時から、既に おいしさのストーリーは始まっている。お菓子を目にした時の心のやすらぎ、お菓子を手にした時のときめきを大切にしながら、お菓子一つひとつにふさわしいパッケージや 店舗のディスプレイ、販売員一人一人の接客にも、おいしさの演出を心がけている。これらの積み重ねで、作り手がお菓子里に込めたまごころを大切にお届けする。

◆暮らしに うるおいと楽しさを

お菓子は、暮らしに うるおいと楽しさをもたらしたいという 作り手の願いが結晶したものである。みんなを楽しませたいという、お菓子作りの その心の広がりの中で、さまざまなイベントが実を結んでいる。仙台の街に ひとときわ爽やかな風が吹き抜ける季節の“青葉まつり”。《菓匠三全》は、120名を越える社員が、青葉駒山鉦を引き、舞い、踊り、萩太鼓の小気味良いリズムに乗りながら中心街を巡行する。仙台市野草園の“萩まつり”のお手伝いや、“仙台クラシックフェスティバル”、“仙台七夕”、“定禅寺ジャズフェスティバル”、“みちのく YOSAKOI まつり”、“光のページェント”への協賛を通して、暮らしが豊かに彩られる ひとときを生みだそうと、さまざまな試みにチャレンジしている。

◆二十四節気

日本では平安の頃から、四季の移り変わりを折り込んだ二十四節気と呼ばれる暦が用いられるようになった。これは春分点を起点に一年を二十四の季節に分けたもので、宮中での祭祀や民間の行事にも重用された。「立春」「夏至」「秋分」など、二十四節気の季節区分は、何百年もの時を経て、今も私たちの暮らしにしっかりと息づいている。節気にちなみ、季節の移ろいを映したお菓子は、時を彩り、心に潤いをもたらす存在として、人々に愛されてきた。

4. 企業使命感と菓匠三全の誓い

◆企業使命感

真心こめた、技術と、奉仕で”歴史と味”をお菓子に託す「菓匠三全」

◆菓匠三全の誓い

三つの完全をめざす。

●お客様へのサービス

- ・お客様あつてのわが社である。
- ・お客様に完全なサービスを提供しご満足いただきます。

●喜働の職場づくり

- ・一人一人が持ち味を生かし、喜んで働く職場を築きます。

●堅実経営

- ・どのようなきびしい社会の変化にも適応し、強くたくましく伸びて行く堅実な会社をつくりまします。

5. 菓匠三全の50年

菓匠三全は1947年（昭和22年）創業から今年で66年になる。ここに、創業から50年の重大な変化をまとめる。また、大ヒット商品『萩の月』は5-6. 仙台に銘菓あり『萩の月』に記述した。

5-1. 創業前史

創業者田中實氏は明治43年10月3日、福島県伊達郡の半田村、今の桑折町で生まれた。当時は半田銀山の全盛期で、父親はそこで抗夫相手に呉服や時計を売る商売をしていた。小学校3年の春、半田銀山が不況となり、一家で北海道の夕張炭鉱に移った。炭鉱は好況であった。転入したのは夕張第一尋常高等小学校で、全校生徒は3,500人くらいのマンモス校であった。炭鉱で働くために全国から集まってきた人たちの子供である。その後、大正15年に函館師範

学校に入学し、昭和6年3月、師範学校を卒業した。就職先は、母校の隣の夕張第二尋常高等小学校。当時の先生は上から訓導、正教員、準教員、代用教員と序列があり、訓導での採用であった。教育には情熱を燃やした。ところが、卒業する生徒は東京の府立中学や札幌一中、二中などに入学していく。みんな大学に進み、立派になって20年後、30年後に夕張の私を尋ねてきたとき、相変わらず教員をしている姿を教え子に見られるのもどうか。そういった思いから大学に入り直すことにした。8年間子供たちと一緒に遊んでいたので高等数学などはすっかり忘れており、当時は無試験であった東京物理学校（東京理科大）に入ることにした。

昭和14年4月8日、同じ小学校の教師で、4歳年上のトメと結婚した。新婚生活はわずか1週間。15日には東京物理学校の入学式があるので、単身で上京した。東京で勉強している間、家族の世話をしてもらった。東京物理学校は、東京帝大の卒業生たちが設立した学校で、授業は東京帝大と同じレベル。入学試験がない代わりに進級試験が厳しく、一緒に入学した14,000人のうちストレートで卒業できたのはその百分の一の142人だけであった。田中實氏は、その中に入った。

在学中は生活費を稼ぐために、まず中学受験の塾を始めた。教えるのは得意だった。その後、学校の紹介で理化学研究所で働くことになった。ここは、物理と化学の基礎研究や、研究成果の工業化を目的とした研究所であった。所長は我が国の近代物理学の発展に非常に功績のあった仁科芳雄先生。あの朝永振一郎博士が研究員でいたほか、湯川秀樹博士も出入りしていた。物理学校を卒業後、中島飛行機にエンジニアとして就職。戦争がすすみ、高校の先生も出征して不足し、理科の教員をとの依頼を受け、中島飛行機から埼玉の川口高等女学校の教壇に立つ。後に、軍の研究所にて、レーダーに用い

る真空管の開発にあたる。東京空襲を予想し、研究所ごと東北大の金属研究所に移る。ここで研究の成果を挙げたが、仙台空襲ですべて灰となった。研究所を再建してもう一度やり直そうということになり、今度は空襲の恐れのない宮城県岩出山町に建てることになった。研究器材は諏訪湖近くの軍の研究所から分けてもらうことになり、リュックを背負ってもらいに行った。その帰りの福島駅の手前で終戦を告げる玉音放送を聞いた。

その後、色々な方から仕事の話があったが家族総勢7人を養うには、まず食糧の確保を考え、「農業をやろう」と決意した。とにかく食糧難。宮城県に相談に行ったところ、色麻村(現・色麻町)の王城寺ヶ原や蔵王の七日原などの入植地を紹介された。開墾しただけ開拓者の所有になるという。いろいろ見て回って考えた。川の流域は土地が肥沃と考え、松川流域の円田村(現・蔵王町)に決めた。終戦の年の昭和20年12月25日、クリスマスの日に入植した。

5-2 創業(昭和22～27年)

農業は素人であるが、狙い通り土が良いので立派な作物が獲れた。2年かかって耕したのは6反歩(約60アール)だけ、とても7人の家族を養えない。農業を始める時は、退職金や理化学研究所の仁科所長からのご援助で、かなりの蓄えがあったが、それも底をつき始めた。何とか収入の道を考えなくてはいけない。それで思いついたのが飴作り。終戦後の食糧難で、特に甘いものが不足していた。川口高等女学校の先生をしていた時、実用理科であめの作り方を教えた経験があった。

大麦の芽の中のジアスターゼ(酵素)が澱粉を糖に変える働きがあり、ご飯を炊いて少し冷まし、これに麦芽の粉末を少し混ぜる。一定の温度で8時間おくと、とろとろになる。布で絞って絞り汁を煮詰めると飴ができる。さっそく大麦を買い出しに行き、もやしを原料にして飴づ

くりの実験にとりかかった。理科の実験ではうまくいっても“商売用”となるとなかなか思うようにいかない。もやしを臼でつぶし、その中の糖化酵素ジアスターゼを取り出した。何度か試行錯誤をくり返した末に、やっと、ほんのわずかの水飴ができた。少し生のにおいがしたが、「まずはよし」である。こうして、田中實氏の前途に希望の灯をともし、「一掬(ひとすくい)の飴」がもたらされた。これが、現在の菓匠三全がまさに産声をあげ、製菓業の道を歩み始めた瞬間であった。

1947年(昭和22年)当時、米の流通は統制されていた。そこで、飴づくりを生活の糧とするにあたり、畑からとれるさつまいもを原料にすることに決めた。家中の鍋・釜を総動員して、今度はさつまいもを煮詰め、実験と同じ手順で飴を作った。小さな鍋にとにかくにもできあがった「一掬いの飴」を、實氏(創業者)夫婦は飴を丁寧に丸めてありあわせの缶に入れる。それを4キロメートル川上の遠刈田温泉の商店に売りに向かった。なにしろ、初めての「商売」である。ひとつ、ふたつと数えながら卸してお金をもらう。お金をもらいながら、「これでわれわれは助かったぞ」と思った。實氏はこのときの最初のお客様の顔を今でも忘れない。自分で作って、自分で売り、自分の手に現金が入る自営の喜び。22年秋、10月15日のその日は、まさに無から有、経験ゼロからの第一歩であった。その原点はたった一掬いの飴。蔵王山麓の円田村が発祥の地である。菓匠三全はこの日を創立記念日と決めた。

創業直後の製品はごまを入れた”ごま飴”，きな粉を入れた”きな粉飴”も作った。實氏夫婦はこれらの飴を、時には一斗缶(18リットル缶)に入れ、仙台まで運び駅前で売った。売り切ると、今度は魚の干物や日用品を買う。大河原駅で下車して、仕入れた魚を民家に売って歩いて山越えて帰ってきた。

昭和22年から24年までは、もっばらさつまいを原料とした黒い飴。25年から28年までは千葉県から仕入れた水飴を加工した本格的で見た目もきれいな飴など、さまざまな飴を作った。この7年間に作った製品は、その形状や使用原料からその名称は次のようになる。さつま飴、ごま飴、らっきょ飴、きな粉飴、チョコレート飴(黒飴)、ハッカ飴、茶玉、きのこ飴、あんこ飴、風船飴、だるま飴、などなどである。

これらのなかで最も好評だったのは特製”ごま飴”であった。見かけは牙えない地味な色のぶっきり飴だが、単なる煎りごまをふりかけただけのものではない。しっかり実の入ったごまを厳選し、ていねいにフライパンで煎り、飴の中にすり込んだので、実に香りが良くコクがあった。「このごま飴、どこで作っているの?」「円田の田中飴屋さんよ」というわけで、有名になっていった。

3年目の昭和25年頃には、売り上げも伸び、利益も上がった。その現金収入と開墾した畑から収穫した農作物の利益を合わせると、多少なりとも生活に余裕が出てきた。家も新しく建て替えた。この成功は實氏夫婦をはじめ、家族一丸となって奮闘努力した結果である。

5-3. かりん糖づくりの時代(昭和28～47年)

宮城県大河原町で「田中製菓工場」として再出発。田中實氏は大河原に引っ越してすぐに菓子の製造に着手したわけではなかった。大河原がある柴田郡には江戸時代から先祖代々続く菓子屋があったほか、戦時下には東京都台東区から強制疎開で移り住んでいた菓子製造業者も多数あった。この町にも飴屋、せんべい屋が十軒以上あった。「これでは競争にならないので、なにか別の菓子をつくらなければ」と考えていた。大河原に引っ越してくる前の27年に東京の安宿に泊まりながら模索していた。

「何を作ったら売れるのか」と、東京中を歩

いた。すると、なにかを油で揚げている美味しいような匂いがしてきた。思い切って、匂いのする工場を尋ねた。主人が話すには「もともと機械屋なのだが、終戦後の焼野原では機械を作っても売れない。まず食べ物をということで、空腹を満たす油菓子を作ろうと考えた」とのこと。そのための粉生地切断機を考案し、それを使って「かりん糖屋」を始めたという。さらに話していくと、主人は早稲田大学の理工学部出身ということが分かった。自分も物理学校出身ということで意気投合し、「ひとつ、そのかりん糖の機械を売ってくれないか」と頼むと、快諾してくれた。その上、その家に数日間滞在して、2～3種類のかりん糖の作り方も教えてもらった。住宅に隣接して15坪(約50平方メートル)の小さな工場を建て、そこに東京から運ばれてきた機械を据え付けた。わくわくしながら新しい機械を前にしてかりん糖の試作にとりかかったのは、昭和28年6月であった。

ここに「田中製菓工場」の看板を掲げ、菓子製造の拠点としての第一歩を記すことが出来た。この日から、「かりん糖」との戦いが始まった。飴は作れても「菓子」は初めてである。原料の小麦粉、砂糖、油脂、副材料などの性質についてもよく分からず、粉の仕込み、練り方、のし方、それに油の温度についても全くの素人である。出入りの原料問屋の営業マンに粉の種類やイロハから教えてもらい、原料の性質を知り、製法を研究する。食欲に、そして一生懸命、粉と油まみれになって働いた。28年～30年代半ばにかけての商品は苦心の歴史である。

●「京巻」(28年)

最初に手がけた商品であり、渦巻形のかりん糖で「京巻」と名付けた。商標登録した最初の商品である。白い生地を薄く伸ばし、その上に赤色を付けた生地を重ねて巻き込み、さらに渦巻形にして長く伸ばす。それを機械で薄く切断

した後、油で揚げ、その上に煮詰めた白砂糖液をかけて乾燥させる。

●「棒かりん糖」(28年)

もう1種、かりん糖のスタンダードともいうべきものが、「棒かりん糖」。黒、白、カレー、後にはピーナッツかりん糖も開発した。

●「海苔赤城」「ザラフライ」「生姜フライ」「上赤城」(29年頃から)

板かりん糖は、通称「赤城せんべい」と言われた。ごまを振り、砂糖を煮詰め、つや仕上げにした薄い角形のものが主流で、関東地方から流通してきた。青海苔をふり、グラニュー糖をまぶした「海苔赤城」、ザラメをかけた「ザラフライ」、夏向けには生姜をすり込んだ「生姜フライ」を作った。

●「フライ赤」(33年)

板かりん糖の中での最大のヒットは「フライ赤」であり、その後の主力商品となった。四角い生地、沖縄産や奄美大島産の黒砂糖、それに赤糖という砂糖を混ぜて仕上げ、「フライ煎餅(赤)」として売り出した。やがて「フライ赤」という名称になった。

5-4. パリーロールの製造(昭和42年)

日本経済は高度成長を続けていたが、中小零細企業を取り巻く環境は厳しさを増していった。製菓業界でも技術革新がめざましく、大手チョコレートメーカーや全国的に展開する製菓・製パンメーカーなど大手企業は、スーパーマーケットを舞台に熾烈な販売合戦に明け暮れていた。それに引き換え、地方の中小企業にすぎない三全工業は、年間5,000万円もあった主力のかりん糖の販売が減退していた。特に暑い夏は痛手をこうむった。さらに、自動販売機の普及により清涼飲料で甘みを摂取することが多くなり、買われる菓子類もポテトチップスやポップコーンなどのスナック菓子を中心になっていった。

生活水準が向上し、食生活も豊かになるに

つれて消費者の好みも変化し、かりん糖や澱粉あられなどの油菓から、新たに出回ってきた高級米菓、半生菓子、ケーキなどの洋菓子のほうに移っていった。昭和40年頃、圧倒的な出荷額を誇っていた油菓のフライ赤も、その後は減少の一途を辿っていた。代用米菓も飽きられ、南京豆を入れたりしないと売れない。「ピーナッツ小判」だけは売れたが、どこでも作っていて乱売合戦となる。新工場建設5年目の43年頃から売れゆき不振で返品が多くなった。そんな状況を打破しようと、42年3月、それ迄とは異なる製造機械を導入して新たな戦いが始まった。油菓に代わる、時代に合った菓子を、卵とバターを使った洋風巻せんべい「クリームパリーロール」の製造を開始した。

パリーロールの製造に当たっては、特別に吟味した原料を使ったので、キロ当たりの卸値が350円もした。地方の間屋には当初なかなか仕入れてもらえなかった。同系統の商品である「パピロ」はキロ当たり100円も安く、従来のかりん糖類は高くても170円ほどだった。「販売するのならやはり東京」と上京して、三鷹市の美多加堂に飛び込んだ。パピロと食べ比べてもらうなどして品質の良さを売り込み、取引に成功した。

発送は仙台から東京に戻る西濃運輸の混載便を利用した。また、美多加堂の上野での見本市には長女を伴って参加し、二人で必死に宣伝し、大量のパリーロールの注文を貰ってきた。専務で長男の裕人氏は転販に走り回った。43年7月には、東京の見本市に2トントラックに商品を積んで参加、帰社してから今度は北へ向かい、山形県の新庄から秋田県の大曲へとまさに東奔西走。努力の甲斐あって、福島の中合デパートにも納入された。45年頃にはスーパーや生協などの伸びが一般小売店より目立ち、地方間屋の力が低下してきた。

5-5. 仙台銘菓づくりへ（昭和48年～54年）

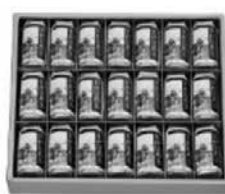
1973年（昭和48年）10月23日、石油危機が勃発し、狂乱物価となった。製造業もインフレの波に揺られ、前日納品された袋に値段が印刷されているためにそのままでは使えなくなり、値段の上に新しい価格のシールを貼ったり、新たに注文し直したりと右往左往する事態になった。

一方、流通の最前線では1袋50円の袋菓子を3袋100円で売る廉売店も出現するなど、スーパーを中心に安売り競争が激化した。この頃、菓匠三全では伊達絵巻のクーヘン焼成機の導入が決まり、その設置場所を確保するため、かりん糖の製造機械は整理してしまっていた。比較的売り上げが好調なのは「クリームパリーロール」だけであった。47年には大手有力問屋を除き問屋向けの取引は激減した。48年当時は生産する商品が限られていたため、他社から米菓、せんべいなどを仕入れて販売していた。これが全売り上げの8割近くを占めることになった。粗利は10%。10万円卸して、やっと1万円の利益。その半分以上を運転手と助手の人件費に、さらにガソリン代などの経費に充てると会社に入るのはごく僅かであった。この頃は資金繰りも苦しかった。そこで、名古屋にいる物理学校時代の同級生で、二村化学工業の社長をしている二村富久氏に相談に行った。二村氏は科学的理論と経験を生かし、戦後、醤油の着色料であるカラメルや活性炭を手掛け、その後、セロハンで業界トップになった。「二村氏なら科学の分野で、何かいい知恵を授けてくれるのではないか」と期待して名古屋まで訪ねた。しかし、二村氏は科学には触れず次のような話をした。「考えてみろ。全国には何百、何千軒というかりん糖屋がある。そういう業界で競争をしているから行き詰まるんだ。俺を見ろ。セロハン会社は日本で6社だけだったが、そのうちの2社をうちで吸収し、今はたった4社

だけだ。値崩れなどない。良く考えて、競争しない業種で、人が真似できない独特のものを作るんだ。」「独特のものか」。田中實氏は少し考える時間を取ろうと、上野からわざわざ鈍行列車に乗ったが、疲れて考えが浮かばぬまま眠ってしまった。と、威勢のいい駅弁売りたちの声で目が覚めた。

「宮の餅、宮の餅」と言っている。「宮の餅？宇都宮名物の餅菓子か。そうだ、これだ」と頭に閃くものがあった。「東京にも名古屋にもない、仙台の名物となる”うちだけの名物”を作ればいいんだ」。そう思うと、眼の前が急に明るくなった。

◆「伊達絵巻」の誕生



1973年（昭和48年）3月22日にはバウムクーヘンを作る新しい機械が入ってきた。そこで「クリームパリーロール」を越える新しいお菓子の製造開発が急がれていた。専務の裕人氏は「これは今までの機械とは全く違う」と感心した。

この機械でチョコレートがけした円筒形の菓子を作り、「ベルリン・クーヘン」と名付けて売り出してみたが、思うようには売れなかった。しかし、裕人氏はこの機械が作る「おいしい匂い」に、「売れる菓子だ」との予感があった。一方、友人の二村富久氏から、「人が真似できない独特のものを作れ」と言われて意気込んでいた實氏は、この小さなバウムクーヘンの改良に取りかかった。まさにこれに社運をかける思いだった。「今まではバラ売りでなかなか売り上げが伸びなかった。しかし、なんとかして“仙台銘菓”にして売り出したい。そのためにはネーミングが大事だし、包装にも特色がな

くてはならない」。仙台は伊達政宗公で有名である、「今こそ伊達だ」と直感した。NHKの大河ドラマ「樅ノ木は残った」で仙台はブームになりつつあった。そこで、實氏と裕人氏の二人は小さなバウムクーヘンの円筒形を絵巻物に見立て、躊躇なく「伊達絵巻」という名前を付けた。「伊達絵巻」は豪華絢爛でなければならない。外箱は格調高い黒のツヤだしにして、東京の有名絵師に描いてもらった勇壮な騎馬姿の政宗公をあしらった。箱の内側に、これも豪華な金色の紙を貼り、仕切り板で菓子を囲む。箱全体を真っ赤なひもで結ぶと、これぞ”銘菓”にふさわしいパッケージになった。もちろん、一番大事なのは中身である。クーヘンは材料を吟味し、バターとクリームと卵と小麦粉で練った。そして5層に焼き上げる。中に入れるクリームも日本で唯一の型どめのものを作り出した。東北地方では餡の人気も根強いので、特製の餡を用い、和洋折衷のしっとりとしたクーヘンを作り上げることが出来た。

◆ 社名変更と「伊達絵巻」の販路拡大へ

苦心惨憺して、ようやく完成させた”仙台銘菓第一号”となるべき「伊達絵巻」は、品質も、ネーミングも、パッケージも、十分に満足できるものであった。しかし、どこに売り込むかが大きな課題であった。土産品業界の知識も、販売への縁故もなく、全てが初めての体験となった。まず、地元白石駅の、それまでかりん糖を納入していた郷土物産店に頼んで置いてみて貰った。また、NHKの大河ドラマ「樅ノ木は残った」で有名になったばかりの船岡公園の船岡売店にも納入してみたが、そう大量には出ない。仲卸の商社にも納入したが、まだ商品の名前が売れていない上に利潤がとれず、急には成果が上がりそうになかった。そこで思い切った販路の拡大を推し進めることになった。

先ず1日に何万人もの乗客が乗り降りする大きな駅がよい。それには仙台駅の鉄道弘済会と

の取引を実現しなくてはならない。同時に、デパートにも進出する必要を感じていた。そうした方針がはっきりすると、社名が「三全工業」では、これからの銘菓を売り出そうという会社のイメージにそぐわない。「伊達絵巻」に取り組むと同時に考えていたことであった。創業者で社長の田中實氏と長男で専務の裕人氏は、社名を「株式会社三全製菓」とすることに踏み切った。1973年（昭和43年）4月であった。

◆ 仙台空港と鉄道弘済会へ納入

裕人氏は、現品と試食品を持って仙台に向かった。ところが、「三全製菓」といっても無名で、いきなり鉄道弘済会に顔を出しても、まともに相手にしてもらえない。「デパートで売っていますか。実績は？」と尋ねられる。「まだ売り出したばかりですが、買っていただいたお客様には好評です」「中身も洋菓子のクーヘンですから若い人にも合います」「仙台は伊達政宗公のブームですから、必ず売れると思います」と力説しながら、頭を下げてでも全く相手にされない。日を改めてまた通う。しかし、何度行っても同じであった。デパートにも行ったが、同じように断られ、取引はなかなか成功しない。社長の實氏もさすがに焦ってきた。

会社の年間売り上げが3,800万円ぐらいなのに、クーヘンの機械だけで2,500万円、包装機械などを合わせると3,200万円、それに箱・フィルム・原料代などを合計すると4,500万円を越す資金を投入してきた。これを毎月利子とともども返済していかなければならない。そこで裕人氏は、仙台空港の売店に着目した。菓子屋さんが入っているのを聞きつけ、「ここなら切り込めるかも知れない」と通い始めた。しかし、すぐには商談は成立するものではない。裕人氏は実に21日間通い続け、粘りに粘った。そしてついにその熱意が通じたか、「1か月間で10万円以上売る」という条件付きで、とうとう販売を許可してもらうことができた。裕人氏と

してはまさに企業存続のための気迫の商談であった。

仙台空港での販売の成果は上々であった。1か月25万円と約束の倍以上を売り上げた。当初は1箱500円だったので、月500箱、1日平均16箱以上売れたことになる。空港側も喜び、さらに場所の良い目立つところに陳列して貰えたので、2か月目には倍増し、50万円近くの売り上げを記録した。空港売店での実績を持って鉄道弘済会に行った。その売り上げ実績は仙台駅売店での他社の菓子、食品と比較してもAクラスの部類だった。

5月には鉄道弘済会が三全製菓の工場を視察、さらに種々の審査の後、取引契約が結ばれた。1973年(昭和48年)6月1日、ついに待望の初納品となった。納品を始めて1週間目あたりから売れ行きが伸びていった。また、8月6日～8日までの七夕の期間中、仙台駅前の丸光デパートで「売り上げの状況が良ければ取引する」という条件のもとにテストセールを実施した。

特設売り場でショーケース1本を与えられたことは、天にも昇る気持ちであり、ショーケースに毛氈(もうせん)を敷いて、「伊達絵巻」を陳列したり、伊達の兜をもちこんだりするなど飾り付けに工夫を凝らした。お客様に食べて戴きながら裕人氏は「仙台銘菓『伊達絵巻』、バターと卵で焼き上げたバウムクーヘン、新しいスタイルのお菓子です。どうぞご試食下さい」と声をからした。この三日間、ここぞと力を入れ、売りまくった。食べたことのない無名のお菓子を売る難しさと、売れていくたびに自信がついてくるのが分かる楽しさ。声がすっかりつぶれても充実感にひたることが出来た。この年(48年)、売り上げは飛躍的に伸びた。

◆「伊達小巻」を作る

創業者實氏のあくなき探究心は、さらに第二の製品に注がれた。「伊達絵巻」が勇壮な男性

的銘菓なら、次は「優しい女性的銘菓」を作ろうと研究し、1976年(昭和51年)8月に誕生したのが、優雅な餅菓子の逸品「伊達小巻」である。「伊達小巻」は素材、製法、味、包装など、これまでと一味違うものである。求肥粉(ぎゅうひこ)を原料とし、関西から取り寄せた梅、炒りごま、蜜漬け餡の3種の素材により、新しい味と色を出した。これを上品な小粒に仕上げた。そして粒の一つ一つを「ふくさひねり」で包んだ。外箱には歌舞伎の仙台萩の錦絵をあしらった。このように、どこから見ても「今までにない菓子」で、お茶会の菓子としても喜ばれ売り上げも堅調であった。

◆ 自営店オープン 1977年(昭和52年)

4月には、地元大河原商店街に待望の自営店第一号「栄町店」をオープンした。初めての開店予告チラシで販売員も募集した。栄町店のオープンによって、仙南地区のお客様の声を直接聞くことが出来るようになった。

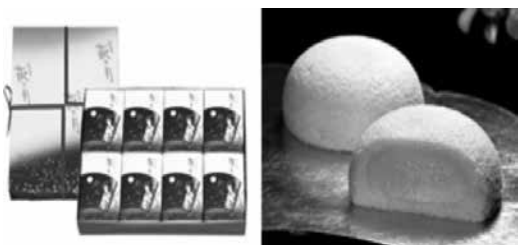
5-6. 仙台に銘菓あり 『萩の月』(昭和54年～平成3年)

◆ 新たな商品への3つの課題

「天の声」という一片の紙がある。消費者が菓匠三全に寄せるアンケートを経営者に伝える用紙である。この用紙によって、1日に何十というお客様の声が届く。この声の中に、「伊達絵巻」など既存の商品への感想とともに「このようなお菓子が欲しい」「このようなお菓子が好きだ」など、お客様の好みが端的に表れるものがある。菓匠三全にとってはまさに宝の山である。これまでの経験から、お客様の好みは約10年ごとに変化していくことを實氏や裕人氏は感じていた。菓匠三全としても常に新しい商品を開発していかなければならない。

昭和48年に発売した「伊達絵巻」、51年に発売した「伊達小巻」ともますます好調に売れていたが、その陰で、「次の商品は何か」の模索が既に始まっていた。その模索に重要な役割

を果たしたのが、アンケートである。52年に発売され、菓匠三全50年の歴史の中で最高のヒット商品となった銘菓『萩の月』は、菓匠三全を東北地方有数の菓子企業に成長させたが、『萩の月』の誕生に関して、社長の實氏は河北新報夕刊に連載された「我が道」の中で、『萩の月』はお客様に教えられたようなものです」と語っている。



萩の月

- オリジナルカスタードクリームをたっぷり使い、ふんわりとした高級カステラで包んだ
- 宮城県の県花がミヤギノハギであることにちなんで名づけられた

昭和50年頃、新しい菓子へのヒントとして、さまざまな調査の分析結果から「カスタードクリームをカステラで包んだもの」というアイデアに傾いていた。しかし、製造にあたって次の点が課題となった。

- おいしいカスタードクリームでなくてはならない。
- 土産品として、最低1週間は日持ちし、品質を保持する。
- ある程度の数量をつくれる。

まず、新しい菓子として注目され、好まれるためには、“これまでになくおいしい”カスタードクリームでなければならない。すでにさまざまなカスタードクリームが出ており、従来の味ではお客様を引き付けることはできない。新しい味は必要である。工場ではあらゆる材料の配合をいろいろと試み、実験を繰り返し、ついにこれならと納得するものを完成させた。これには昭和30年代の後半から40年代にかけて製造

していたベビー・シュークリームで培った技術が役に立った。この時にも重要な役割を發揮したのが、裕人氏の夫人の鋭い味覚であった。また、この軟らかいカスタードクリームをカステラの中にどのように入れるかも難しい問題であった。これも實氏はじめ製造部門が1年間にわたって粘り強く実験を繰り返し、解決した。さらに、意外に難しかったのは、ふっくらと仕上げることであった。

最大の課題として立ち上がったのが、「土産物として、最低1週間は日持ちし、品質を保持すること」であった。カスタードクリームはカビが生えやすいのが難点であり、万一の食中毒が一番怖かった。この課題解決には、商品の完成後さらなる研究開発を要することとなった。

◆「エージレス®」の採用

この「日持ち」の問題の解決が大きく前進する 때가やってきた。實氏が晴海の見本市で見つけた「エージレス」の存在であった。エージレスは還元状態の鉄粉が空気に触れると酸素と化合する反応を応用する脱酸素剤で、日本では三菱瓦斯化学（株）が製造していることを知った。当時、北米から毛皮を輸送する際に卵からふ化した虫が毛皮を傷つけないように、毛皮をすっぽりバリア性のフィルムでおおい、脱酸素剤を入れ、ふ化を防止していた。この脱酸素剤を食品に用いれば、保存料なしでもカビを防ぐことができる。これだとばかりに三菱瓦斯化学の協力を得てこの新しい菓子に試してみることにした。

今でこそ脱酸素剤は菓子、切り餅、コーヒーなど広く食品の分野で使用されているが、カビのはえやすいカスタードクリームの菓子にチャレンジした苦労は並大抵のものではなかった。まず、菓子の風味への影響である。エージレスを用いて日持ちテストをした結果、鋭い味覚と臭覚を持つ裕人氏の夫人が、ほんのわず

かだが鉄粉の臭いがすることに気づいた。毛皮ではさほど問題にならないことも、食品では鉄粉の放つ金属臭は悪臭である。当時、冷蔵庫の中の臭いを除くものとしてやしがらの活性炭を用いた脱臭剤「キムコ®」が知られていた。

テストをしてみると、鉄粉の臭いは活性炭を混ぜると無くなることが分かった。ところが菓子の風味も奪い取られていることに気づき、慌てた。食べようとする瞬間、何の香りもしないものには、おいしさを感じない。しかし、實氏は戦時中に合金を設計した研究の体験から、鉄粉と活性炭の割合を試験していけば鉄粉の臭いがせず、菓子の風味がする領域を特定できると見通した。この問題の解決はもとより、菓子の日持ちのテストに対する三菱瓦斯化学の研究・営業担当者の熱意と努力も特筆される。まだ新幹線もなく、交通も不便なところへ東京から月に何度も足を運び実験のデータを検討しながら議論する。その真摯な姿勢に頭の下がる思いがした。

インキュベーターを使用しての実験室での菌検査をクリアしたあと、實氏と裕人氏は、慎重を期し、ひと夏の間、実際に即したテストを行った。真夏に工場のある大河原から東京に走る車のトランクに菓子を入れ、高温下にあるサンプルの日持ちテストをした。暑い夏をクリアして、鮮度を保持する「エージレス」の効力に自信を深めた。このエージレスを菓子と一緒にどう包装するかも問題であった。エージレスの入った小袋が菓자에直接接触して、付着しないように一枚のセロハン紙で菓子を包み、ピロー包装を掛ける。

ピロー包装のフィルムはバリア性のフィルムを使用する。当時は、この種のフィルムにピンホールが存在したり、シールの安定性に欠けたりという状況があり、フィルムの選択、包装機械の選択に先駆けの苦労があった。これの一つ一つ小箱に入れる。そして大箱に納

める。この全包装工程をスピーディーに、かつ、完璧な衛生管理のもとに行わなければならない。實氏はかつて手指の消毒用脱脂綿「ポリメン®」の製造販売に乗り出した実績があり、この経験が大いに役立った。これら包装と衛生管理のシステム設計は、斬新で大胆かつ緻密なものであった。

◆「萩の月」と命名

1975年（昭和50年）から開発に取り組み、52年から自営店の冷蔵ケースで細々と売り出したこのお菓子は、エージレスの採用で日持ちの課題が解決するとともに、54年9月、本格的な製造体制が整った。これと共に重要であったのが、この菓子のネーミングである。ネーミングが良いかどうかで「銘菓」になるかどうか左右される。専務の裕人氏は、「ネーミングは印象的で覚えやすいものがいい。あれこれひねるより、簡単なものがいい」と考えていた。それにしても郷土仙台の「歴史」と、美しい「自然風物」と「人情」を、香り高く表現できれば最高であろう。そんな願いを込めて社内ではネーミングの検討を行っていた。實氏と裕人氏が親子で向かい合っていたとき、裕人氏は「この菓子は月みたいだ」とかねてから考えていたことを言った。「まさに月だな。萩の野原を照らす名月だな」と實氏。萩の花は宮城県の県花でもある。

すがすがしい中秋の名月が宮城野原を照らし、その月の明かりの中、ここそこに紫の可憐な花を咲かせる「ミヤギノハギ」の情景が二人の頭に浮かんだ。「そうだ、『萩の月』だ。ネーミングはこれ以外にない」と二人の意見はぴったりと一致した。こうして「萩の月」の商標登録の申請も行ない、後は売り出すばかりとなった。

◆またも空港が突破口に

1979年（昭和54年）9月、『萩の月』の本格的な製造販売が始まった時は、工場周辺の植え

込みの中にも、ミヤギノハギのとがった葉が繁り、楚々とした紫の花が咲き乱れる季節であった。しかし、売れ行きはあまり芳しくなく、返品される日もあった。ところが、またまた仙台空港が売り上げを伸ばす突破口になった。まだ、東京便と北海道便くらいしかなかった仙台空港に、東亜国内航空（現・日本航空）の仙台－福岡便が1日1便運航されることになった。当初は和菓子を機内でサービスしていたが、乗客の半分は手を付けられない状態であったという。その情報を得たので“チャンス”とばかりに仙台空港の担当者に当たったところ、まもなく、東京の客室係・大野修氏が菓匠三全を尋ねてきてくれた。

まず、仙台空港で売れている「伊達絵巻」「伊達小巻」を紹介したが、別なイメージのものを探しているようであった。そこで、新製品の『萩の月』を紹介したところ思いがけなく「これだ!」ということになった。「新しい形の新しい味で、機内食にはぴったり」と気に入っていただいた。それに加えて、機内食における厳しい衛生コードに照らした時、エージェレスによる安定した日持ちが高く評価された。ただし、いくつかの条件が出された。その一つは、一個一個を箱に入れること、二つ目は、乗客数に見合った個数を毎日納入することであった。生産上の問題はあったが将来を考え納入することにした。さっそく、パッケージ（小箱）のデザインに取りかかった。「萩の月」をイメージ化し、「月明かりがお城を照らし、それを和服美人が眺める情景」を完成させた。昭和54年4月10日、機内食として『萩の月』の納入を開始してから、その販売は驚異的と言ってよいほどの伸びを示し始めた。ショッピングバッグにはイラストレーター林静一先生のイラストが描かれ、そのモダンなデザインが広告効果を発揮し、『萩の月』の知名度を上げていった。その販売拡大に、新幹線、航空路、道路網、地下鉄の拡充が大

きく寄与した。

◆人員の増強

昭和54年に『萩の月』を売り出してからの売り上げ実績は、次のように推移している。55年は売上高3億円うち萩の月は2,000万円、年々その割合は増加していった。56年4億円、57年5億円、58年7億円、59年12億円（萩の月ライン増設）、60年18億円、61年24億円、62年26億円。『萩の月』の販売が拡大するにつれ工場は多忙を極めた。また、組織も整っていなかった。人員の増強が急がれた。

◆本社新工場の完成

『萩の月』の市場投入で社業が発展途上にある昭和59年12月5日、待望の本社新工場（第二工場）が完成した。ここに、事務所、大ホールをはじめ、社長室、企画室、会議室、応接室、休憩室などを設けた。

◆組織の近代化

躍進を続ける今こそ、本格的な経営近代化と合理的な生産体制の確立が急務となった。そのためには社内組織の整備と職場の体制づくりが欠かせない。1975年（昭和60）年6月1日に全従業員出席のもとに、新組織の発表と辞令の交付が行われた。社員も、『萩の月』を作りはじめた54年当時の54名から、60年末には185名を越えるようになった。このように萩の月は爆発的に売れ始め、現在も売れ続けている。

5-7. 新たな飛躍を期して（平成4～10年）

◆中央研究所・高砂工場の建設

本社工場の真向かいに、スマートな建物がある。1992年（平成4年）4月に竣工した「中央研究所・高砂工場」である。建物には「SPS」と表示してあるが、これは「Super Pioneer Spirit」の略で「無限の可能性へ向かって、特別な開拓者精神で成功するまで挑戦する」の意味が込められている。菓匠三全の新たな信念である。従来、菓子の開発は、手作りで試行錯誤を繰り返した後に、“これぞ”というものが生

まれてきた。しかし、現代は消費者の生活スタイルも変化し、嗜好も多様化している。菓子の好みやニーズも複雑で、さまざまに変化する。従来どおりの作り方では、とうてい新しい時代に対応しきれない。

菓匠三全では、これまでも消費者アンケートなどでお客様の好みを分析したり、工場内に商品開発のための研究室を設けて、新製品の試作を実施し、開発の成果をあげてきた。しかし、さらに長期的な視野で、幅広い消費者ニーズに对应していくためには、製造設備を備えた本格的な研究所の必要性をかねてから痛感していた。その答えが、中央研究所・高砂工場である。稼働以来、ここで手づくりでできたおいしさを量産できる生産技術の開発、さらには製造ラインのシステム開発などに精力的に取り組んでいる。すでに、新しい発想による数々の商品がここから巣立っている。しかし、菓匠三全はこれに満足しているわけではない。将来的にはお菓子の「ファクトリーパーク」ともいえるべき施設を模索している。生産の場としての理想を追求し、消費者にも憩の場として利用していただける環境も備える施設である。長い時間をかけて完成させていく施設ではあるが、将来的には菓匠三全にとって大きな役割を担うことになるであろう。

5-8. 裕人社長の誕生

1993年（平成5年）に受賞した「モンドセレクション」・最高金賞は、創業者田中實氏にとって一つの集大成であった。實氏と裕人氏は、菓子づくりの方向性として東洋文化と西洋文化の融合を意識した「和魂洋才」を「伊達絵巻」誕生の頃から意識していたが、モンドセレクションでそれが見事に評価された思いであった。實氏はまだまだ菓子づくりへの情熱は盛んであったが、社内の実質的な指揮はすでに裕人氏がとっていた。實氏は体調がすぐれないこともあり、「この辺で、裕人氏に名実ともに任せ

る」ことを決意した。裕人社長のもとで新しい展開が早くも動き出した。それらは、「通信販売の着手」、「社会とのコミュニケーションづくり」などである。また、平成6年に社長に就任してからも新商品の開発は絶え間なく行われている。「ら・ふらんす」「仙台発パイ倶楽部」等々。また、近年はブランド開発にも力を注ぎ、「青ざし」「ずんだ茶寮」「レ・フィュー」「あおざしからり」など、消費者の嗜好の多様化に对应している。

おわりに

菓匠三全は創業者の田中實氏の旺盛な知識欲と、機敏な経営判断と休まない努力で苦難の会社づくりをされてきた。軌道に乗り始めてからは長男の裕人氏と二人三脚で何でも話し合い決断してこられた。父親と長男が協調しながら会社を成長させて来られた事例は少ない。創業者は科学知識が豊富なので商品開発と生産を主に担当され、裕人氏は営業を担当され、お互いの担当を尊重し、情報交換は日常的に行われた。これが、菓匠三全がここまで「良き商品作り」と「良き販売体制作り」をされた力であると考ええる。何と言っても、最大の推進力になった商品は『萩の月』である。

『萩の月』の知名度が広がった理由はいくつかあると考えられるが、その中の一つがウイキペディアで紹介されている。それは松任谷由美のラジオ番組での発言で全国的な知名度を得たと言われている。それは食べ方にある。松任谷由美は冷凍庫で凍らせてアイスクリームのようにして食べる方法をあみだした。非常に美味しいそうである。有名人がラジオ番組やテレビで紹介して一時的なブームになる事はよくあるが、知名度が上がり商品の売上げが着実に伸びて行くのは商品に力があるからである。『萩の月』は、明治初期誕生の笹かまぼこや昭和20年誕生の仙台牛タンと並び、昭和50年代誕

生と歴史が短いながら仙台土産の定番になっている。業界紙がアンケートを基に選んだ「20世紀を代表する土産品」では、北海道の白い恋人、福岡県の辛子明太子に次いで、宮城県の『萩

の月』が全国3位になった。菓匠三全には今後も消費者の意見に耳を傾けながら、新たな魅力あるお菓子を創造していただき、多くの人に新しい美味しさを提供していただきたい。

参考資料

- 1) 一掬いの飴から 菓匠三全五十年史 平成10年11月発行 発行株式会社菓匠三全編集 株式会社菓匠三全 社史編集部会
- 2) 株式会社菓匠三全ホームページ
- 3) ウィキペディア 菓匠三全

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

ニューフードインダストリー 第56巻 第9号

印刷 平成26年 8月25日
発行 平成26年 9月1日
発行人 平井 朋美
編集人 結城 ななみ
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