

New Food Industry

食品加工および資材の新知識

<http://www.newfoodindustry.com>

2010 Vol.52 No.8

8

論 説

■ 新規指定添加物

「ステアロイル乳酸ナトリウム (SSL)」について

■ 桜の花からの清酒酵母採取とその利用果

■ 窒素循環型減圧噴霧乾燥によるレモン果汁の粉末化

■ 芽胞比率を高めた納豆の発酵制御技術

■ 防臭・消臭食品容器を目的とした光触媒/DLCコーティング技術の開発

■ ヤマブシタケの抗認知症効果

■ 福島県産小麦ゆきちからの性質と中華麺への応用(2) — 中華麺として求められる加工特性 —

エッセイ

■ 伝える心・伝えられたもの — 市 —

連 載

■ 葉膳の知恵 (49)

■ 築地市場魚貝辞典 (ウナギ)

ご案内 第37回食品の物性に関するシンポジウム



論 説

- 新規指定添加物
「ステアロイル乳酸ナトリウム (SSL)」について
..... 村上 敦也 1

- 桜の花からの清酒酵母採取とその利用
..... 加藤 美都子, 山岡 邦雄, 柏木 亨 11

- 窒素循環型減圧噴霧乾燥によるレモン果汁の粉末化
..... 北村 豊, 山野 善次, 山崎 和彦 18

- 芽胞比率を高めた納豆の発酵制御技術
..... 古口 久美子 25

- 防臭・消臭食品容器を目的とした
光触媒/DLC コーティング技術の開発
..... 尾関 和秀 31

- ヤマブシタケの抗認知症効果
..... 河岸 洋和 40

- 福島県産小麦ゆきちからの性質と中華麺への応用 (2)
-中華麺として求められる加工特性-
..... 庄司 一郎 47

エッセイ

□ 伝える心・伝えられたもの — 市 —

..... 宮尾 茂雄 54

連載

□ 薬膳の知恵 (49)

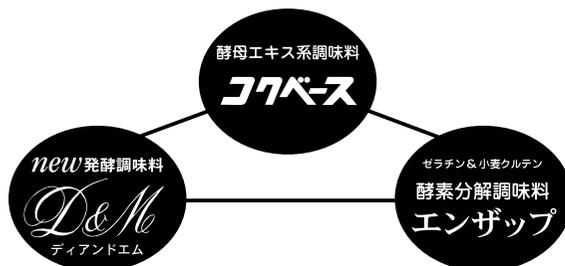
..... 荒 勝俊 62

□ 築地市場魚貝辞典 (ウナギ)

..... 山田 和彦 67

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベス

ラクティックイーストエキス

乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな
特長がある乳酵母エキスです。



大日本明治製糖株式会社

食品事業部

新規指定添加物

「ステアロイル乳酸ナトリウム (SSL)」について

村上 敦也*

*MURAKAMI Atsuya (株式会社武蔵野化学研究所 東京研究所)

KeyWords：乳化剤・小麦粉・生地・パン・菓子・ケーキ

はじめに

ステアロイル乳酸ナトリウム (以後 SSL) は、米国・EU 等では、古くから類縁のステアロイル乳酸カルシウム (以後 CSL) と共に、食品用乳化剤・小麦粉製品の品質改良剤として、ベーカリー製品等、幅広い食品に使用されている。FDA (米国食品医薬品局) での SSL 及び CSL の認可は 1961 年である。

一方、日本では、Ca 塩である CSL は 1964 年にパン用品質改良剤として認可され、1993 年と 2002 年に使用基準が改正されて、現在ではパン以外にも対象食品が広がっているが、Na 塩である SSL は、これまで食品添加物としては認可されていなかった。しかし、今回、2010 年 5 月 28 日付けの官報 (号外第 112 号) により、SSL が日本においても、食品添加物として正式に認可された。

今回の SSL の認可は、企業からの要請によるものではなく、2002 年 7 月に厚生労働省の薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会で承認された方針に基づくものである。その方針とは、① FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (JECFA) で国際的に安全性評価が終了し、一定の範囲で安全性が確認されており、かつ、② 米国及び EU 等で使用が広く認められており、

国際的に必要性が高いことが予想される香料以外の食品添加物 46 品目と香料 54 品目については、企業等からの要請がなくとも、個別品目ごとに国内での認可を検討していくとの方針である。SSL は、この方針のもと、(1) 関係資料の収集と分析、(2) 食品安全委員会 (内閣府) における食品健康影響評価、(3) 薬事・食品衛生審議会での最終審議を経て、今回、認可されるに至った。

このような行政が主導する国際汎用添加物の新規認可の主目的は、輸入食品などに含まれる国内未認可添加物への対処である。それによって国際流通の円滑化を図る事であるが、SSL は諸外国においては、その有用性が古くから広く知られ、また長い使用実績もあるため、今回の認可が単なる輸入食品への対策としてだけでなく、SSL が日本においても、製パン工業をはじめとする食品業界に貢献・普及する事は間違いないと思われる。

乳酸の製造・販売メーカーである (株) 武蔵野化学研究所は、食添認可前から、CSL と共に SSL の食品への用途開発を長い間継続して研究している。本稿では、最初に SSL の基本的事項を解説した後、小麦粉生地に対する機能とパン等の小麦粉製品への効果について主に述べる。

1. 構造と物性

SSLはステアロイル乳酸類のナトリウム塩を主成分とし(図1)、これとその関連酸類、及びそれらのナトリウム塩との混合物である。参考までに図2はCa塩であるCSLの主成分である。SSLの性状は白～微黄色の粉末であり、水には不溶であるが、温水には分散し、エタノールや油脂(36～47℃以上)には可溶である。

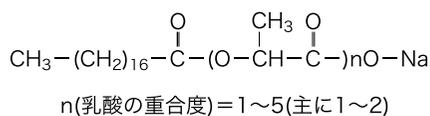


図1 SSLの主成分

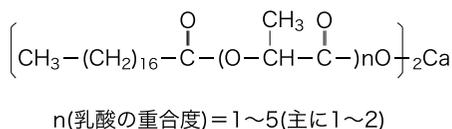


図2 CSLの主成分

SSLの製法は、ステアリン酸、90%乳酸、NaOH水溶液を反応釜に仕込み、減圧下で加熱濃縮しながらステアリン酸と乳酸のエステル化反応及び酸の中和反応を同時に行った後、反応液をそのまま冷却し、粉末状あるいは顆粒状にする。このため、SSLは単一な化合物では無く、主成分であるステアロイル乳酸のナトリウム塩の他に、遊離のステアリン酸や遊離の乳酸の他に、ステアリン酸ナトリウム、乳酸ナトリウムなども含まれる。そのため、酸価・エステル価・総乳酸・融点とは一定では無く、原料のグレードや配合組成、反応温度等、製造条件により変わる。図1での乳酸の重合度は1～2が大部分を占めるが、3以上も若干含まれる。また、純度の低いステアリン酸を原料とした場合はパルミチン酸も含まれる。

SSLは水の存在下でイオンに

解離し、アニオン側が作用するイオン性の乳化剤である。親水性が高く、Ca塩であるCSLのHLB値(親水親油バランス)が7～9であるのに対し、SSLのHLB値は18～20と報告されている¹⁾。融点は約50℃であり、栄養上のカロリーは約7.5kcal/gである。

2. 規格と一日摂取許容量

規格は、JECFA規格、FCC規格、欧州(EU)の食品添加物規格を参考に設定されている。主な規格を表1に示すが、JECFA規格にほぼ準じている。ただし、溶解性の確認試験は、JECFAとEUでは設定されているが、日本では重要性が低いと判断され、規格に含まれていない。なお、表1に示す融点54～69℃は、確認試験法でのジエチルエーテル除去後の残留物の融点であり、実際の製品の融点(約50℃)は、規格値よりも低いので注意されたい。

一日摂取許容量(ADI)は、ラットの1ヶ月反復投与毒性試験で得られた無毒性量の最小値の1/100である20mg/kg体重/日と設定されている。SSLが長い間日本で認可されなかった理由は、Na塩は吸湿しやすく、また健康上、塩分が敬遠されたため等と言われる場合があるが、近年流通しているSSLは昔のものよりも、かなり吸湿しにくくなっており、また流動性も良く、小麦粉への分散性も改善されている。食品への塩分増加の懸念については、例えば、使用するSSL中のNa含量が規格値の最大の5%含むものと仮定し、またパンへの添加量が使用基準(表5参照)の最大である0.4%使用した

表1 ステアロイル乳酸Naの規格

酸価	60～130	鉛	2.0μg/g以下
エステル価	90～190	ヒ素(As ₂ O ₃)	4.0μg/g以下
総乳酸(%)	15～40	融点	54～69℃
ナトリウム(%)	2.5～5.0	溶解性	設定しない

場合でも、0.02%の添加量にしかならず、もとも普通のパンには1~2%の食塩が使用されているので、SSLによる食品への塩分増加を懸念する必要は無いと考えられる。

3. 小麦粉生地に対する機能：その1

SSLを初めとする小麦粉製品の品質改良剤、特に乳化剤は、現在の製パン工業では、非常に重要な役割を果たしている。SSLの小麦粉生地に対する機能は、大きく二つに大別される。一つ目の機能は生地の強化と改良であり、いわゆるドウ・コンディショナー（生地調整剤）としての機能である。SSLが小麦蛋白であるグルテン及び澱粉と複合体を形成することにより、グルテン網が改良されて、生地が強化・安定化するだけでなく、伸展性・弾力性・ガス保持力も向上し、また水分保持力の増加により粘着性の少ない生地となる。

SSLと生地中の各成分との結合形態(焼成前)については諸説あるが、Chungは図4に示すようなモデルを考案している^{2~3)}。ChungによるとSSLのようなアニオン系の乳化剤は小麦粉中の極性脂質と似た作用をもち、グルテンと澱粉の結合力を高める。グルテンは、グルテンとグリアジンからなるが、SSLは紐状蛋白であるグルテンとは疎水結合、球状蛋白であるグリアジンとは親水結合、澱粉とは親水結合する事により、[グルテン-極性脂質・SSL-澱粉]

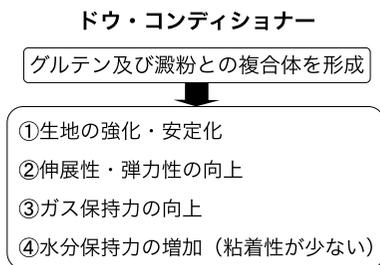


図3 小麦粉生地への機能：その1

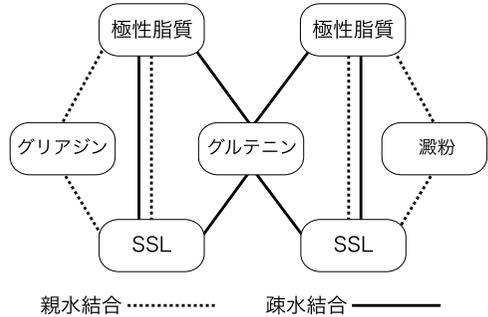


図4 小麦粉生地中の結合モデル：焼成前^{2~3)}

からなる複合体を形成・強化する。この複合体は製パン性に重要な因子であり、この複合体が強化されていないと、連続製パン法での強力な混捏時に複合体が壊れて低分子化してしまい、製パン性が低下してしまう。

一方、モノグリセリン脂肪酸エステル(MG)のような非イオン系の乳化剤の場合は、小麦粉中の中性脂質と似た作用をもち、グルテンとグリアジンとは結合するものの、澱粉とは加熱されていない生地では結合しないとされている。

SSLは小麦蛋白の他に、大豆蛋白との作用も知られている。栄養を強化する目的で、小麦粉に大豆粉をブレンドした場合、小麦蛋白と大豆蛋白の性質の差から、生地の伸展性が悪くなるため、パンの膨らみが減少してしまう。しかし、SSLは図5に示すように小麦蛋白と大豆蛋白の両方に作用するため、大豆粉をブレンドした場

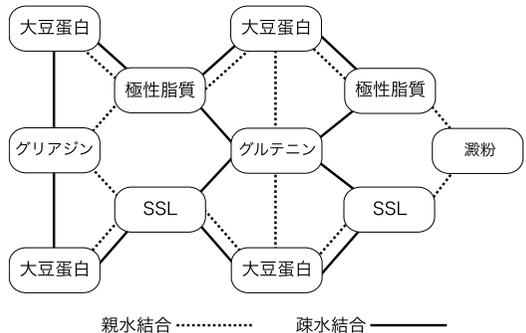


図5 小麦-大豆生地中での結合モデル⁴⁾

表2 ファリノグラフ試験

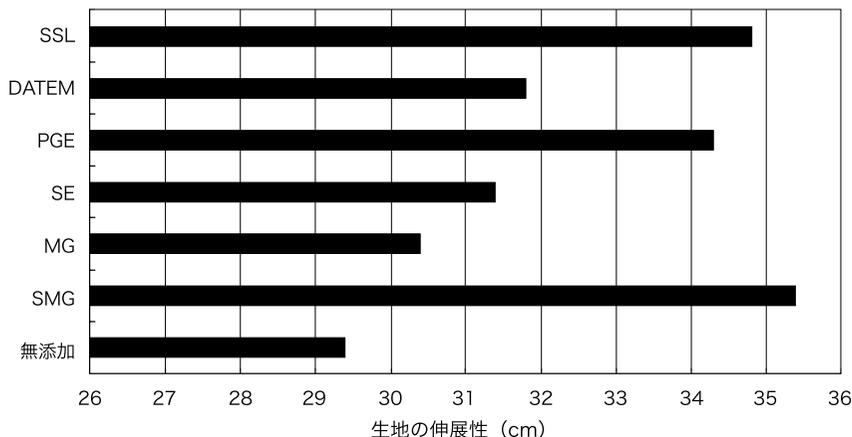
測定項目	無添加	SSL	MG 製剤
形成時間 (分)	10.0	17.5	12.0
安定度 (分)	12.0	18.5	14.5
Weakness 5 (BU)	10	3	10
Weakness 10 (BU)	18	5	18

形成時間 : 一定の硬さになるまでの時間 (曲線の頂点までの到達時間)
 安定度 : 一定の硬さが継続する時間 (曲線の平行時間)
 Weakness 5 : 形成時間での抵抗値と、それから5分後の抵抗値との差
 Weakness10 : 形成時間での抵抗値と、それから10分後の抵抗値との差

表3 エクステンソグラフ試験

測定項目	時間 (分)	無添加	SSL	MG 製剤
伸張度 E (mm)	45	197	215	202
	90	193	210	202
	135	187	201	195
伸張度 E1 (mm)	45	160	168	159
	90	150	163	151
	135	147	160	151
抗張力 R (BU)	45	490	445	485
	90	600	555	615
	135	695	590	615

E : 生地を引き伸ばしてから、切れるまでの長さ
 E1 : エクステンソグラムの曲線の頂点までの長さ
 R : エクステンソグラムの曲線の頂点までの高さ (生地の最大抵抗)



SSL : ステアロイル乳酸Na
 DATEM : ジアセチル酒石酸モノグリセリド
 PGE : ポリグリセリン脂肪酸エステル
 SE : ショ糖脂肪酸エステル
 MG : モノグリセリド
 SMG : コハク酸モノグリセリド

図6 生地の伸展性の比較⁵⁾

合でも、伸展性が良く、ガス保持力の強い生地となり、ボリューム感のあるパンを作る事が出来る⁴⁾。表2は、当社の依頼で(社)日本パン技術研究所で行った小麦粉生地のファリノグラフ試験の結果である(対粉0.5%)。ファリノグラフ試験とは、生地の強度と安定度の指標となる試験である。SSL配合生地の場合、形成時間(Development Time)と安定時間(E.E.)が長く、弱化度(Weakness)は弱い。すなわち、生地の安定性が優れている事を示している。

表3は生地の伸展性の指標となるエクステンソグラフ試験の結果であり、SSL配合生地の伸展性はモノグリセリン脂肪酸エステル(MG)製剤に比べて良い。また、図6からもSSLはコハク酸モノグリセリドと同様に伸展性の向上に有効である事が判る。この伸展性の良さは、SSLがグルテン網の強化だけでなく、グルテン網同士の潤滑剤としての作用も優れているからである。

4. 小麦粉生地に対する機能：その2

SSLの小麦粉生地への二つ目の機能は、クラム・ソフナーとしての機能である。生地の焼成時にはグルテンの熱変性のために、SSLとグルテンの結合は切れるが、澱粉が膨潤するにともない、澱粉とは焼成前に比べて、より強く結合する。この結合形態は、アミロースの螺旋構造内にSSLのステアリン酸基が挿入された形態とされている。SSLが澱粉と強固な複合体を形成することにより、放冷後の α 化澱粉の再結晶化が遅延するとともに、可溶性澱粉の溶出を抑制して、澱粉粒同士の結着を防止することにより、製品の経時的な老化を抑制し、ソフトな食感を維持する。

表4は、各乳化剤のアミロースとの複合体形成能であるが、SSLは硬化ラードなどの飽和脂肪酸モノグリセリド（蒸留品）に次いで、複合体形成能が強い⁶⁾。

5. パンへの効果

これまで述べたSSLの小麦粉生地への二つの機能により、SSLは製造工程での効果と品質への効果を併せ持つ。製造工程での効果としては、生地の機械耐性・混捏耐性・発酵の安定性及び作業性が向上する。品質への効果としては、比容積の増大、内相の向上、老化の抑制などである。また、発酵終了後の焼成前の生地には衝撃を与えてしまうと、パンの体積が減少してしまうが、図8に示すようにSSLやDATEMを配合した場合は、他の乳化剤に比べて体積損失率が小さい事も報告されている⁵⁾。

以下の図9と①～⑧にSSLのパンへの効果をまとめる。

クラム・ソフナー

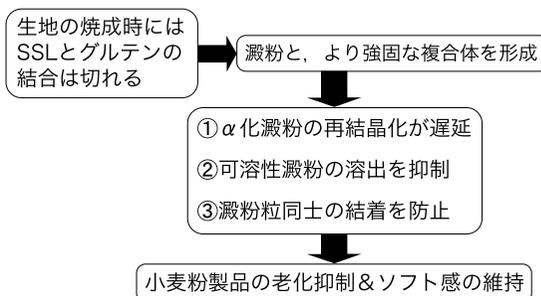


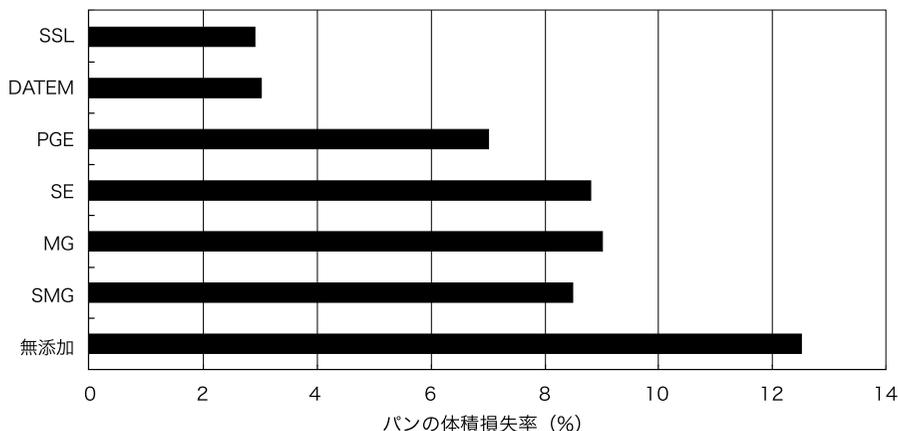
図7 小麦粉生地への機能：その2

表4 アミロースとの複合体形成能⁶⁾

乳化剤	複合体形成能
硬化ラード（蒸留モノグリセリド）	92
ラード（45%モノオレイン）	35
硬化大豆油（85%モノステアリン）	87
大豆油（55%モノリノレイン）	28
ステアロイル乳酸ナトリウム（SSL）	72
コハク酸モノグリセリド	63
ジアセチル酒石酸モノグリセリド	49
プロピレングリコールモノステアレート	15
ショ糖モノステアレート	26

- ①グルテンが受けるダメージを減らし、回復力も良くする。
- ②生地の混捏時間や加水率に多少の変動があっても、品質変化が少ない。
- ③生地の発酵時間・温度の変動による影響も少ない。
- ④生地が装置に付着しにくくなり、作業効率が増す。
- ⑤窯伸びが良く、ガス保持力も強いいため、比容積が増大する。
- ⑥気泡膜が薄く、光沢を持つスダチの良い、ソフトなパンとなる。
- ⑦製品の経時的劣化（澱粉の老化）を防ぐ。
- ⑧衝撃による体積損失率が小さい。

次にパンでの実験データを示す。強力粉 100 + ショートニング 6 + ドライイースト 4 + 脱脂粉乳 4 + 上白糖 4 + 食塩 1.5 + 水 65 + SSL0.6



SSL：ステアロイル乳酸Na
 SE：シヨ糖脂肪酸エステル
 DATEM：ジアセチル酒石酸モノグリセリド
 MG：モノグリセリド
 PGE：ポリグリセリン脂肪酸エステル
 SMG：コハク酸モノグリセリド

図8 生地焼成前の衝撃によるパンの体積損失率⁵⁾

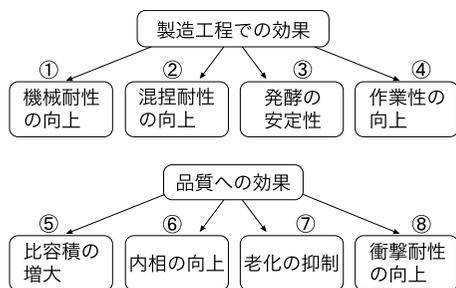
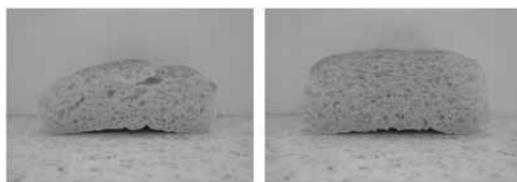


図9 SSLのパンへの効果



無添加
 1日後の荷重 430gf
 高さ 24.7mm

SSL添加(対粉0.6%)
 1日後の荷重 245gf
 高さ 26.2mm

写真1 パンへの効果

からなる生地組成でストレート法によりパンを作成した。写真1のパンは、ベンチタイム終了後、生地を5mmの厚さに延ばし、直径10cmの円形に型抜きした生地を最終発酵した後、焼成したパンである。SSL配合のパンは、比容積

が増大し、内相の状態も良く、また老化も抑制でき(1日後の荷重が小さい)、弾力感とソフト感に富んでいた。

6. 冷凍パン生地への効果

昨今では、パン業界においても冷凍品が普及しており、パン生地の冷凍耐性の向上が重要な課題となっている。図10は、パン生地の冷凍期間と、その冷凍生地から焼成したパンの体積を示したものである。SSLを配合して生地を強化・改良した場合には、冷凍生地の保存期間を延長出来る

さらに、運搬中や冷凍庫の扉の開閉時には、一時的な冷解凍(熱ショック)を受けやすいが、SSLは生地の冷解凍の耐性にも有効である。図11と図12は、故意に生地の冷解凍を繰り返した後(冷凍生地を3.3℃で一晩解凍)、その生地から焼成したパンの体積と軟らかさを示したものである。図11、12に示すようにSSLを配合した生地の場合には、冷解凍を繰り返してもボリューム低下が少なく、またクラムも硬く

なりにくいことが判る⁷⁾。また、同文献⁷⁾では砂糖やショートニングの配合量が多いイースト菓子の生地の場合でも、同様な効果が報告されている。

なお、冷凍生地の品質劣化の原因は、古くは、冷凍期間中に死滅した酵母菌からの還元物質が遊離することにより生地の構造が弱くなるため

とされていたが、最近では、氷結晶の成長時に生地から水分子が離脱することにより、3次元のグルテン構造が弱くなることが主な原因とされている。このため、SSL単独使用よりも、食品の冷凍障害防止に効果がある乳酸ナトリウムやトレハロース等と併用すると、より一層効果的と考えられ、その併用の研究も今後期待される。

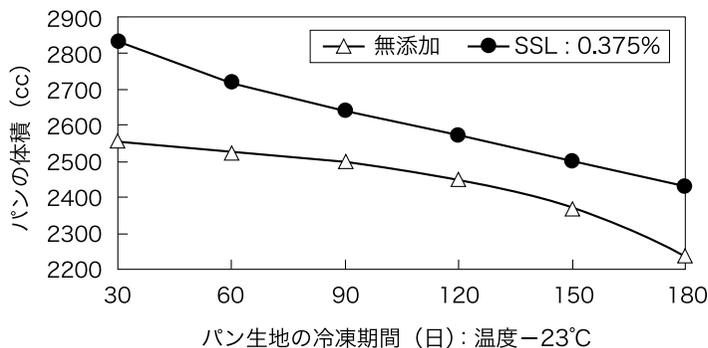


図10 パン生地の冷凍期間の延長

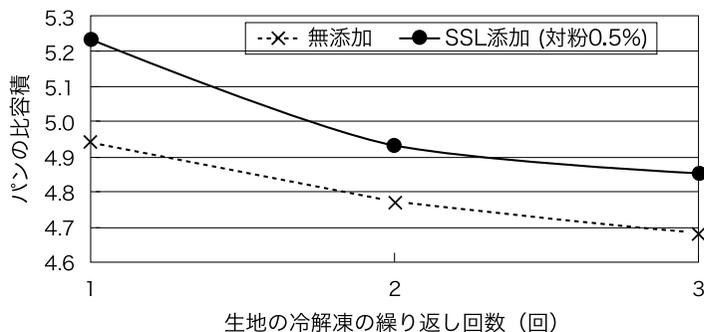


図11 生地の冷解凍の耐性 (体積)

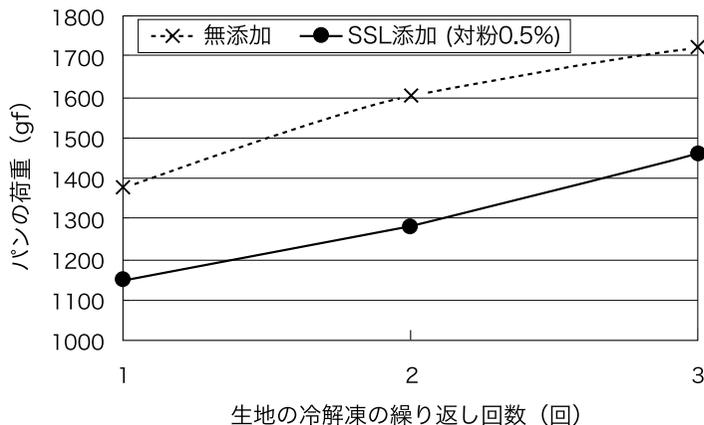


図12 生地の冷解凍の耐性 (軟らかさ)

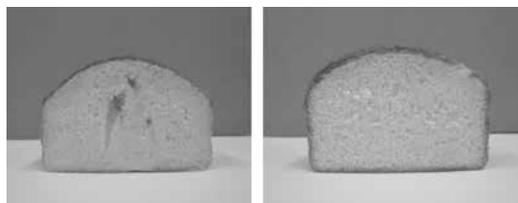
表5 SSLの使用基準と用途

対象食品 (大別)	対象食品 (例)	主な添加効果	最適添加量 (対粉：%)	量的な基準 (最終食品中)
パン	例：食パン、パン粉 菓子パン ロールパン	製造工程の改良 品質の向上 老化の防止	0.3～0.5	4.0g/kg 以下
菓子 (小麦粉を原料とし、 ばい焼したもの、または 油脂で処理したもの)	スポンジケーキ及び バターケーキ	比容積の増大 品質の向上 老化の防止	1.5	5.5g/kg 以下
	上記以外 例：ドーナツ 揚げパン クッキー	比容積の増大 さくみの向上 食感の向上 老化の防止	0.3～0.7	4.0g/kg 以下
蒸しパン (小麦粉を原料)	蒸しパン	製造工程の改良 食感の向上 老化の防止	0.3～1.5	5.5g/kg 以下
蒸しまんじゅう (小麦粉を原料)	蒸しまんじゅう	製造工程の改良 内相・食感向上 老化の防止	0.3	2.0g/kg 以下
生菓子 (米を原料)	例：だんご 柏餅 桜餅	製造工程の改良 弾力・歯切れ 老化の防止	1	6.0g/kg 以下
ミックスパウダー	生菓子用 (米を原料)	弾力・歯切れ 老化の防止	1	10.0g/kg 以下
	スポンジケーキ、 バターケーキ、 蒸しパン用	比容積の増大 品質の向上 老化の防止	1.5	8.0g/kg 以下
	菓子用(小麦粉を原料と し、油脂で処理)、 パン用	製造工程の改良 品質の向上 老化の防止	0.3～0.7	5.5g/kg 以下
	菓子用 (上記以外)	比容積の増大 老化の防止	0.7	5.0g/kg 以下
	蒸しまんじゅう用	食感の向上 老化の防止	0.3	2.5g/kg 以下
めん類 (即席麺とマカロニ類以 外の乾麺には使用出来な い)	マカロニ類 乾麺(水分12%換算)	弾力性付与 形状保持 歩留まり向上	0.4	4.0g/kg 以下
	その他の麺類 (即席麺、乾麺は除く)	弾力性付与 歩留まり向上	0.3	4.5g/kg 以下

7. SSL の使用基準とパン以外への効果

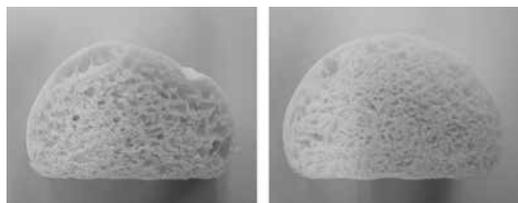
表5にSSLの使用基準と用途を示す。使用基準は、Ca塩であるCSLと全く同じである。但し、CSLと併用する場合の使用量はCSLとの合計以下となる。食品に使用した場合の表示例は乳化剤となる。対象食品は、パン以外には、スポンジケーキなどの焙焼菓子、ドーナツ等の油ちょう菓子、蒸しパン、蒸しまんじゅう、米を原料とする生菓子、麺類、及びミックスパウダーである。パンと同様にケーキ類でも比容積の増大・内相の向上・老化の抑制・食感の向上等に効果がある。写真2はSSLのスポンジケーキへの添加効果である（薄力粉100＋全卵130＋砂糖100＋水25＋ベーキングパウダー2＋SSL1.5）。

揚げパン・ドーナツ等の油ちょう菓子では、油っぽくならず、サクミに優れ、ソフトで口どけも良い食感となる。クッキーでは拡がり係数



無添加	SSL添加(対粉1.5%)
1日後の荷重 1461gf	1日後の荷重 857gf
比容積 188mL/g	比容積 213mL/g

写真2 スポンジケーキへの効果



無添加	SSL添加(対粉0.3%)
1日後の荷重 1620gf	1日後の荷重 409gf
比容積 347mL/g	比容積 389mL/g

写真3 中華まんじゅうへの効果

(直径/厚さ)が高くなるという特徴もあり^{8~9)}、ショートニングの使用量も低減出来る。蒸しパン・蒸しまんじゅうでは、比容積の増大・内相の向上・老化の抑制の他に、シワや窪みがない滑らかな表面となる効果もある。写真3はSSLの中華まんじゅうへの添加効果である（強力粉50＋薄力粉50＋上白糖13＋食塩1＋ベーキングパウダー1.5＋ドライイースト2＋ラード3＋水50＋SSL0.3）。

生菓子では、製造工程においては生地へのべたつきが軽減するため、機械からの剥離性が向上し、製品への効果は弾力・歯切れの向上・老化抑制である。

麺の場合は、生麺製造時には、生地のもまりが良くなり、麺帯・麺線の表面が均一で滑らかになるとともに、切り歯への粘着も少なく、作業性も向上する。茹でた時には、麺からの澱粉の溶出が抑制されるため、茹で液の濁りが少なく、弾力・コシに優れた食感となる。

表5に示した効果は類縁のCSLでも同様に得られるが、“どちらが、より良いのか”については、商品の目的・材料組成によって異なるので、実使用に当たっては現場でのテストが必要であり、その結果を踏まえて、選択あるいは併用する事が重要である。当社研究所の実験経験では、材料の種類や配合組成などでも異なるが、油ちょう菓子のサクミ感や団子・餅の歯切れを優先するならばCSLが好ましく、麺ではSSLが好ましい。

おわりに

今回のSSLの新規認可が単なる輸入食品の対策や、類縁のCSLの代替となるだけでなく、SSL独自の新しい国内市場が大いに展開していくように、(株)武蔵野化学研究所もその一役を担っていく所存である。

当社では、SSLの認可前からCSLとの比較や、SSL独自の用途開発にも長年にわたり携

わっており、今後も継続して、その新しい用法・効果などを随時、製パン工業を初めとする食品業界にご紹介していきたいと考えている。さらに、他社様の SSL に関する特許文献においても、興味深い用法や知見がいくつか公開されており、これらも SSL の国内市場での普及に貢献するものと思われる。

なお、本稿では紙面の都合上、SSL の単独使用での効果のみしか紹介できなかったが、SSL や CSL は、単独で使用するよりも、その対象食品や使用目的に応じて、モノグリセリン脂肪酸エステル・ジアセチル酒石酸モノグリセリ

ド (DATEM) などの他の乳化剤や、食物繊維、酵素、増粘多糖類やトレハロース等の糖質などと併用すると、より良い効果が得られることが知られている。弊社では、その併用や製剤化の研究も行っており、これらについても今後機会があれば、紹介させて頂きたい。

最後に、SSL,CSL のサンプル要望は随時承っているのですが、ご希望の方は弊社営業部へ、お気軽に要求して頂きたい。

本社営業部 :03-3274-5502

大阪営業所 :06-6341-2625

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

- 1) Y. Pomeranz, "Advances in Cereal Science and Technology" (1984)
- 2) O.K. Chung : *Cereal Chem.* **52**, 549(1975)
- 3) O.k. Chung : Thesis, Kansas State Univ.(1973)
- 4) O.K. Chung : C.C.Tsen, *ibid.*, **58**, 220(1981)
- 5) 山口猛 : 製パン技術研究会講演要旨 (1982)
- 6) N. Krog: *Sutace Active Lipids in Foods.*(1968)
- 7) Eric W. Davis: *Bakers Digest.* **55**(3), 12(1981)
- 8) Hoover, W.J: *Bakers Digest.*, **47**(4), 34 ~ 39(1973)
- 9) Del Vecchio, A.J.: *Bakers Digest.*, **49**(8), 28 ~ 35(1975)
- 10) 衛生技術会 : 食品用乳化剤と乳化技術 (1979)
- 11) 工業技術会 : 食品乳化剤と乳化技術 (1995)
- 12) 日高徹 : 食品用乳化剤 (幸書房), 1987
- 13) 戸田義郎ら : 食品用乳化剤 (光琳), 1997
- 14) 長尾精一 : 小麦の科学 (朝倉書店), 1995

桜の花からの清酒酵母採取とその利用

加藤美都子*¹ 山岡 邦雄*² 柏木 亨*³

*¹KATO Mitsuko (独立行政法人 国立高等専門学校機構 宇部工業高等専門学校),

*²YAMAOKA Kunio (独立行政法人 国立高等専門学校機構 宇部工業高等専門学校 名誉教授)

*³KASHIWAGI Toru (山口県味噌醤油共同組合 常務理事)

KeyWords : Yeast · Cherry blossom · Japanese sake · Ethanol

はじめに

近年、日本酒の消費量は停滞しており、業界としては、若者や女性向けの新しい日本酒に対する要望がある。その背景としては、日本人の食生活がここ数十年大きく変化したことがあげられる。一方、清酒も生酒や吟醸酒、純米酒が広く浸透し、味の成分が辛口淡麗化してきているが、清酒の甘辛を含めた味覚が、現代の消費者一般の嗜好に合わなくなってきたことも考えられる。そこで、何とか現代の食生活にマッチした個性のある清酒ができないものか、という強い希望が業界に生まれた。その対策の一つとして、新しい野生酵母を自然界から採取し、特徴のあるエタノール製造に用いる試みが、地域おこしなどの目的で、各地で行われている。しかしながら、得られた酵母のエタノール生成量は低い場合が多く、従来から用いられている協会酵母（一般に清酒醸造に用いられている酵母）に勝る酵母を採取できていないのが現状である。他方、醸造方法に関しては、新しいやり方が工夫されてはいるが、清酒の製造方法は本質的に大きな変化はない。また、用いられている協会酵母は、ほとんど清酒もろみから分離された優秀なものが使用されてきているため、各酵母はみな親類関係にあり、大きな味の改良は

難しい。

このような背景の中、平成11年春に山口県産業技術センター（現在 独立行政法人 山口産業技術センター）から「自然界には多くの酵母が存在している。分離する対象を拡げてみたら、従来の酵母とは異なるユニークな酵母がいるのではないか。」との考えから、「桜の花からエタノールを生産する野生酵母は採取できないだろうか、協力して欲しい。」という依頼が、宇部高専 物質工学科 細胞工学研究室にあった。当研究室ではこれまで乳酸菌の増殖と代謝、脱陰菌や大腸菌の硝酸還元および代謝について研究を行ってきた。これまで蓄積したノウハウを応用することを基本に依頼を受諾した。

対象の花は、山口県産業技術センターの強い希望で「桜」のみとした。「桜」の花にも蜜があり、そこには酵母がいるかもしれない。アルコール発酵をする酵母が存在すれば、清酒に使用したらどんな酒になるだろうか。香りや味に特徴ある清酒ができるのではないか。「桜」、「日本を代表する花」、「日本酒＝清酒」、と連想する中で、「桜」というキーワードが新製品開発に組み込めないか……。もしもそのような酵母を分離できたならば、清酒の復権をかけて新たな展開が可能になる。冬の寒さから開放されたばかりの

植物からの微生物の分離は難しいかと思われたが、山口県産業技術センターと宇部高専で共同研究を始めた。将来有用な酵母を発見した場合のことを考え、酒造業界から酒井酒造（株）にも参画していただいた。分離作業は、宇部高専だけでなく山口県産業技術センターでも行いながら、定期的に検討を重ねた。清酒造りに使用するため、米麴糖化液を発酵して、最低10%のエタノールを生成する能力のある酵母の選抜分離を目標とした。自然界の植物の表面には、カビや細菌などが多種類混在するため、分離操作は大変困難であったが、試行錯誤の結果、桜の花から高濃度エタノールを生成する「やまぐち・桜酵母」の分離に成功し、数社で日本酒、焼酎などの商品化に成功した。今回、効率的な酵母分離方法や培養条件、「やまぐち・桜酵母」の性質についても検討したので報告する。

1. 野生酵母の単離過程

a. 平成11年度の取り組み

平成11年春に、まず宇部市近辺の桜の木約30本から花を採取し、野生酵母の採取に取り掛かった。満開の桜から花を無菌的に採取し、試験的に麴汁培地に培養した。培養数日で培地が泡立ち、何らかの微生物が発酵しているのがわかった。顕微鏡で観察すると、糸状菌、球菌、長・短桿菌に混じって酵母のグループが存在していた。しかし、通常見慣れている清酒酵母のような球状のものは少なく、楕円形のものや横に長いものが多かった。エタノール臭を含むなんともいえない良い香りが、フラスコやシャーレに漂うことが時々あった。おそらく酵母は存在していたが、分離方法が悪く、高濃度エタノール生産酵母は採取できなかつたと考えた。この年は試行錯誤を繰り返したり、技術的にも不十分だったこともあり、多くの手間と労力をかけたものの、麴汁培地で約3%のエタノールを生

成する産膜酵母しか見つけることができず、失敗に終わった。

b. 平成12年度の取り組み

業界からの強い依頼もあり、平成12年度再度取り組みを再開することになり、春先に対象範囲を大きく広げ、宇部市内および近郊を中心に約100本の桜の木から桜の花の採取を行った。採取時期は満開の4月を中心に、時期外れの秋口まで採取した。10月までは桜の花を冷凍保存し、その間に新しい分離方法の確立を行った。

1つの花から派生する菌株や培養用シャーレ、試験管の数はおびただしいものがあり、その整理と、分別には多大な時間と労力を必要とした。最終的に試験管レベルで10%エタノールを生産する酵母を分離することができた。この酵母を用いて、山口県産業技術センターで醸造方法の確立を行い、清酒醸造可能な条件設定が行われた。その後、県下の希望する酒蔵で商品化の運びとなり、現在に至っている。なお、この酵母は「やまぐち・桜酵母」と命名され、特許を取得した。「やまぐち・桜酵母」を用いて醸造したフルーティーな清酒・焼酎は、好評でのべ10数種類市販された。

2. 酵母の単離操作

a. 第一段階

桜の花から酵母を採取する時は、桜の管理者の許可を得た上で行った。手や衣類、器具からの菌の混入を防ぐために滅菌ゴム手袋をし、無菌チューブに採取した。採取時期は満開の4月と、狂い咲きや避寒桜などを10月に採取した。花を茎ごと麴培地¹⁾、Hyduck培地¹⁾や酒合成用培地（水1L中にYeast Extract 1.5g, Polypeptone 1.5g, Potassium Dihydrogenphosphate 1.0g, Magnesium sulfate 5.0g, Lactic acid 0.8mL, glucose 100.0g）に浸し、25℃で1週間静置培養した。この培養液を寒天培地に塗布し、画線

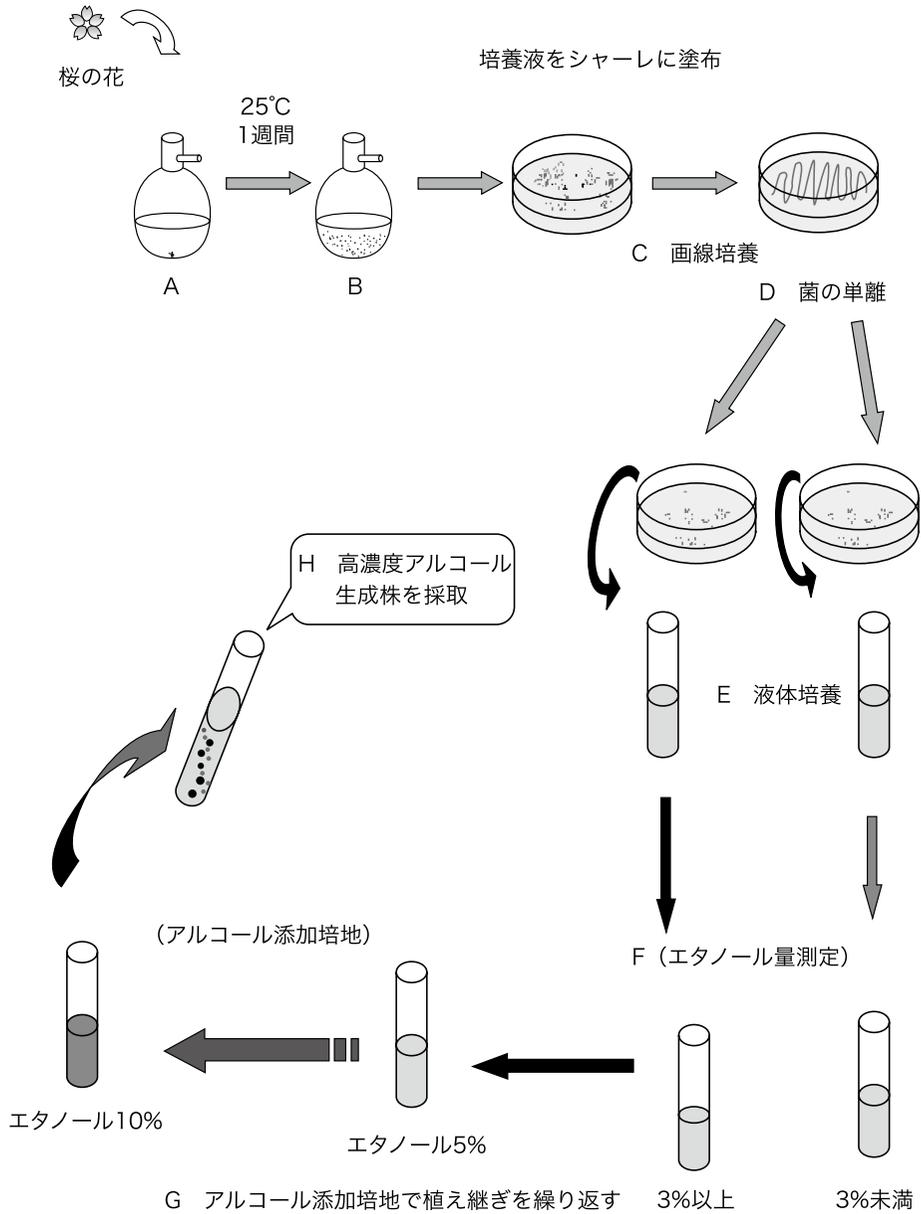


図1 野生酵母採取の概略図

- A. 桜の花を酒合成培地に入れて25°Cで約1週間、嫌氣的に培養する。
- B. 培地中に菌が増殖してにごってきたら、寒天培地に塗布する。
- C. 1個のコロニーを取り、新しいシャーレに画線培養する。
- D. 菌の単離を行う。C、Dを繰り返す。
- E. 顕微鏡観察や芳香で、ある程度選別し単離した酵母を、液体培養する。
- F. エタノール量を測定し、3%以上の酵母に絞る。
- G. 培地中のエタノール濃度を段階的に高め添加して培養し、それに耐えさらにエタノール生成能を高めた酵母を最終的に選別。
- H. 高濃度エタノール生成株として保存

培養を繰り返して菌を単離した。生じたコロニーを顕微鏡観察とエタノール香で確認しながら²⁾酵母を選別した。次に、得られたこれらの酵母を試験管で液体培養した後、エタノール量の測定をした。エタノール測定は低濃度の場合にはF-キットエタノール(J.K. インターナショナル)を、高濃度ではアルコールチェッカー(YAZAKI, YAS-200)を用いて測定した。しかし、当然の事ながら他のバクテリアやカビ等が多く存在し、分離は極めて困難であったため、まずバクテリアを減らす目的で滅菌して冷却した培地に、アンピシリンを60 μ L/mL添加した。この操作により、バクテリアは大幅に減ったが、培養時間が長くなると耐性菌が増殖し始めた。何よりカビが多く、酵母を駆逐してしまうことが問題であった。当研究室は長年通性嫌気性の大腸菌等^{3,4)}を扱っており、その際の菌の増殖に使う方法を試みることにした。すなわち培養フラスコ内の空気をヘリウム置換し、嫌氣的に培養した。この培養法でほとんどのカビは増殖しなくなり酵母の単離が急速に進んだ。これらの操作法を図1にまとめた。

b. 第二段階

このようにして多くの酵母を得たが、高エタノールを生成する酵母をなかなか単離できなかった。そこで、試験管レベルで5%~7%くらいのエタノール生成が見られた酵母に対して、事前にエタノールを添加した培地へ酵母を植え継ぎ、エタノールの生成量の変化を検討した。その結果5%のエタノールを添加した培地で培養を繰り返した酵母は、エタノール無添加の場合に比べて約1.3倍のエタノール生成量があった。更に添加するエタノールの濃度を上げ、植え継ぎ回数を増してエタノール生成量の変化を検討した。最終的に14%エタノールを添加した培地で培養した酵母は、エタノール生成量も1.8倍に増加した。このようにして得られた野生酵母は試験管レベルで約8~10%程度

エタノール生成能を有していた。

3. 酵母の性質

得られた酵母が清酒製造に使用可能かどうかを知るために、各種の性質を調べた。比較対照として現在、主に清酒醸造に使われている協会酵母を用いた。

a. 培養温度による増殖

この野生酵母の増殖至適温度を測定したところ、図2に示すように30 $^{\circ}$ Cでの増殖が最も高く、従来の協会酵母のそれより高い値を示した。このことは清酒醸造にあたって、従来の協会酵母による清酒醸造とは、やや異なった時期での醸造を可能にすると考えられた。

b. 糖の資化性について

協会酵母と野生酵母の糖の資化性について検討した²⁾。図3に示すように大きな相違は無かったが、トレハロースの資化性については違いが認められた。酒の醸造に必要なグルコースとサッカロースの濃度変化によるエタノール生成量をみると、図4で示すように酵母の違いによる相違は無く、2つの糖共に含有量が多いほ

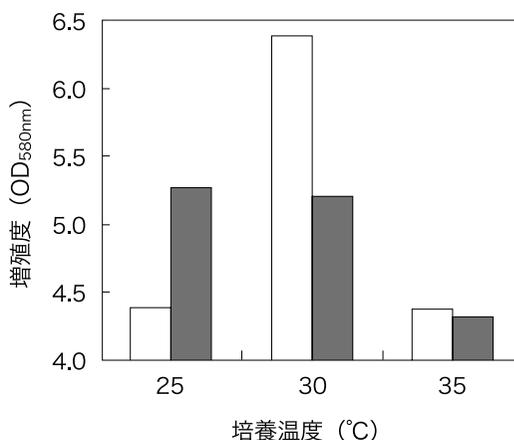


図2 培養温度を変化させた時の「やまぐち・桜酵母」と協会酵母の増殖度

増殖度は580nmの吸光度で確認した。

□; やまぐち・桜酵母, ■; 協会酵母 601号

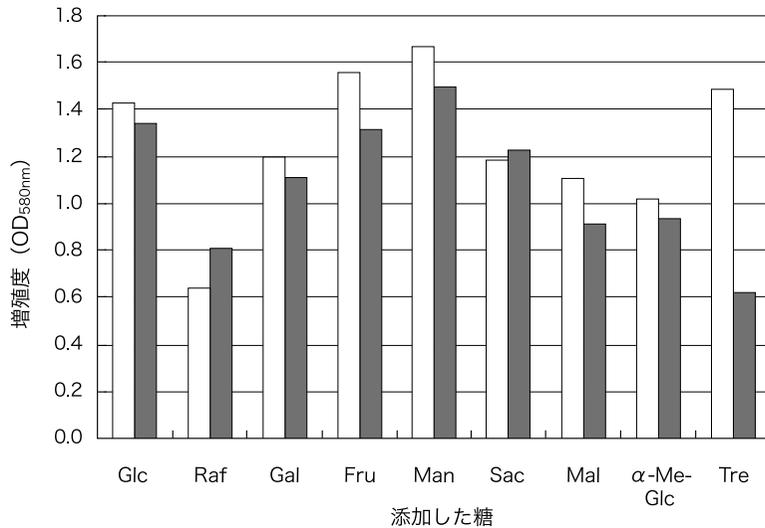


図3 「やまぐち・桜酵母」および協会酵母による糖の資化性の検討

各糖の濃度は10% (w/v) 添加し、5日間の培養後増殖度を測定した。
□; やまぐち・桜酵母, ■; 協会酵母 601号

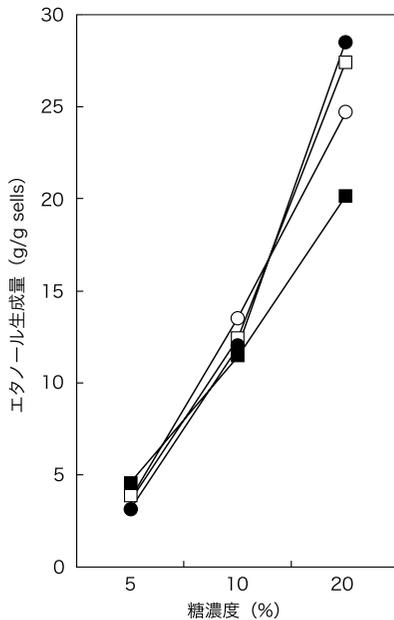


図4 グルコースとサッカロースの濃度変化によるエタノール生成量の比較

「やまぐち・桜酵母」と協会酵母に炭素源としてグルコースとサッカロースの濃度を变化させて添加し、5日間培養後エタノールの生成量を調べた。
○; やまぐち・桜酵母 (Glu), ●; 協会酵母 601号 (Glu), □; やまぐち・桜酵母 (Sac), ■; 協会酵母 601号 (Sac)

どエタノールの生成は増加した。

c. その他醸造に関して

山口県産業技術センターで、酵母の酒造適性について試験を行った。現在清酒醸造に使用している酵母の増殖に影響を与えるような酵母は、醸造場では一切使用できないため、最初に協会7号酵母を対照としてキラー感受性を調べた。その結果、キラーファクターは有しないことが判った。さらに米麴糖化液 100 ~ 1000g の小仕込み試験を繰り返し実施して、酒造適性を調べた。標準的な仕込み配合による醗酵試験 (50% 山田錦使用, 最適温度 10℃) では、協会7号酵母と比較すると「やまぐち・桜酵母」の方が発酵は旺盛であった。また最高温度を 10, 15, 20, 30℃ の各温度に設定して小仕込み試験を行い、試醸酒の有機酸濃度をクロマトグラフィーで分析したところ、クエン酸, コハク酸, ピルビン酸, リンゴ酸の生成量は協会酵母とほとんど同じだったが、図5に示すように、酢酸の生成が「やまぐち・桜酵母」は協会7号酵母と比べて 1/3 ~ 1/4 と

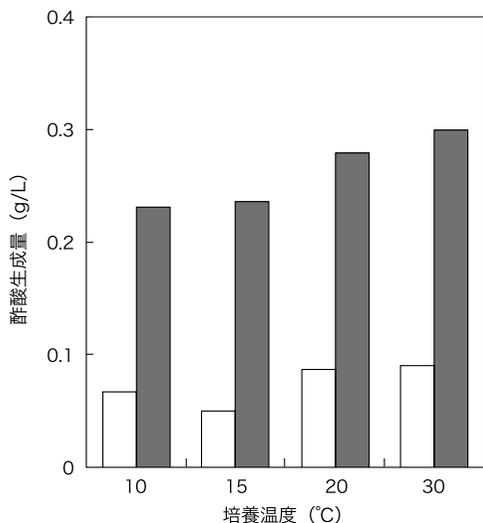


図5 「やまぐち・桜酵母」と協会酵母7号の仕込み試験における酢酸生成量の比較

仕込み液を液体クロマトグラフィーにかけ測定した。
□；やまぐち・桜酵母，■；協会酵母7号

著しく低い値を示した。このことは、「やまぐち・桜酵母」による醸造酒の味がまろやかになることと関係があると考えられた。一連の小仕込み試験からエタノール15.5～18.0%、酸度2～3の清酒が得られた。協会7号、9号酵母のような高く華やかな香りではないが、甘く、ほのかに桜を連想させる香りを有する清酒ができた。この性質を活かして焼酎の醸造も行われた。この酵母を使用した場合、出来上がった焼酎をまろやかにするために通常行われる長い熟成期間を必要としなかった。

d. 酵母の同定

菌の分析をK.K.テクノスルガ・ラボ(前NCIMB・Japan)に依頼した。遺伝子解析により「やまぐち・桜酵母」の28rRNA 遺伝子(rDNA) D1/D2 領域塩基配列を決定し、両者相互の比較DNAデータベース(Gen Bank)での相互性検索による同定を行った結果、*Saccharomyces cerevisiae* Meyen ez. *E.C.Hansen* と同定された。図6はその顕微鏡写真である。



図6 「やまぐち・桜酵母」*Saccharomyces cerevisiae*の電子顕写真

S-4300形電界放出形走査電子顕微鏡で5000倍で撮影

4. 「やまぐち・桜酵母」を使用した清酒の商品化

山口県産業技術センターから、県内の全酒造場に「やまぐち・桜酵母」の分離と試験醸造の結果を報告すると共に、4月の花見に間に合うように何例かの実施パターンを示し、商品化を呼びかけた。酒造期の途中であったが、4企業から希望があった。この4社に依頼し、



図7 「やまぐち・桜酵母」を利用して醸造された清酒と焼酎写真

現在この「やまぐち・桜酵母」を使って5社から10数種の清酒が、1社から焼酎が作られている。

4様の仕込みを行った。その方法は、高温糖化酒母をヒントにしたもの、醗酵を途中で中止し糖と酸のバランスをとったもの、従来法に準拠したもの等々それぞれ個性のある清酒が出来上がった。各社とも純米酒で桜をイメージしたネーミングを付けた。低アルコールで香りが非常に良いため、“かおり”と命名した生酒は国内で好評を得て、欧米にも出荷し、日本酒ブームの一翼を担っているものもある。これまで十数社からそれぞれタイプの違う清酒や焼酎がつくられた(図7)。フルーティなワインのような酒や、香りの良い低アルコールの酒、スパークリングな日本酒のワインなどが地域の名産品としても売り出されており、好評である。

おわりに

今回のこの試みは、桜からの酵母の採取は宇部工業高等専門学校の当研究室で行い、醸造試験等は山口県産業技術センターで実施し、最後の酒の醸造、販売は酒造会社で行うこととなり、図らずも「産学官」の体制が成功した形となった。その点からも「産学官」の1つのモデルとして評価され、2006年度山口県産業科学技術振興賞という栄誉を得た。また、この「やまぐち・桜酵母」を用いた日本酒製造の成功は、単なる新製品の開発に留まらず、その製品の良さから、県下の新しい名産品への期待もある。なお、本校が教育機関であることから、ここに述べた実験方法等は学生の教育・指導を踏まえた立場で行ったことを付記しておく。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 千葉英雄 他 「食品工学実験書」 京都大学農学部・食品工学教室編 養賢堂, 10-13 (1970)
- 2) 飯塚廣, 後藤昭二 「生理学的性質の試験法 “酵母の分類同定法”」 東京大学出版会 41-48 (1980)
- 3) Yamaoka K, Kato M, Kamihara T, “Control of Cellular Activity of Nitrate Reductase in *Escherichia coli*” *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **58**, 995-997 (1994)
- 4) Yamaoka K, Kato M, Kamihara T, “Effects of Cysteine on Cellular Activity of Dissimilatory Nitrate Reductase in *Pseudomonas denitrificans*” *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **56**, 1601-1603 (1992)

窒素循環型減圧噴霧乾燥による レモン果汁の粉末化

北村 豊^{*1}, 山野 善次^{*2}, 山崎 和彦^{*3}

^{*1} KITAMURA Yutaka (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

^{*2} YAMANO Yoshitsugu, ^{*3} YAMAZAKI Kazuhiko (田辺工業株式会社)

KeyWords：減圧噴霧乾燥・窒素・酸化・レモン果汁・ビタミンC

はじめに

液体食品の貯蔵・運搬のための水分蒸発による容量減少と品質安定の技術として噴霧乾燥法が知られている。噴霧乾燥法は、乾燥塔内で微小液滴化した材料に直接熱風を接触させることにより、瞬時に水分を蒸発させて乾燥粉末を得る方法である¹⁾。液体食品を短時間で連続的に処理することから、乾燥効率が高く製造コストを低く抑えられる利点があり、粉乳、粉末果汁、粉末調味料、粉末香料などの生産に広く利用されている。液滴は乾燥初期に高温の熱風と接触するが、乾燥の進行とともに熱風温度が低下するため、乾燥粒子は比較的低温になるとされる。しかし乾燥塔内に残留する粒子は乾燥後も熱風に暴露されることがあり、その間に粒子中の感熱性成分は、変質・消失する可能性も示唆されている²⁾。

一方、種々の材料を氷点以下の温度で凍結さ

せ、昇華によって乾燥させる凍結乾燥法は、噴霧乾燥法と比較して材料の物理的・化学的变化が少なく、含有成分の熱劣化、散失、失活等が起こりにくいと言われている。しかしその乾燥速度は非常に小さいため、特に材料が液体の場合には運転費・設備費が高くなり、他の乾燥法に比べて製品が割高になる欠点もある³⁾。

これに対して著者らは表1に示す噴霧乾燥法と凍結乾燥法のそれぞれの長所を兼ね備えた新しい乾燥法として減圧噴霧乾燥 (Vacuum Spray Dryer, VSD) を開発している。VSDは乾燥塔内を真空ポンプによって減圧することにより、従来の噴霧乾燥法よりも低温 (50℃前後) での乾燥を可能とするものであり、感熱性成分の変質・消失の抑制が期待される。著者らは⁴⁾ VSDを用いて発酵乳の粉末化を乾燥塔温度 40～60℃で行い、感熱性プロバイオティクスである乳酸菌の活性を高く保てることを明らかに

表1 噴霧乾燥法と凍結乾燥法の長所と短所

乾燥法	長所	短所
噴霧乾燥	短時間・連続処理が可能 →乾燥効率が高く低コスト	高温の熱風と接触 →感熱性成分の変質・消失
凍結乾燥	凍結状態で処理 →品質変化の抑制	乾燥速度が小さい →運転費・設備費の増加

した。VSDにはこのような感熱性素材に加え、ビタミンや脂肪酸など熱による酸化の容易な材料を対象とすることもできる。しかし現有のVSDでは、圧縮空気によるせん断作用を利用する二流体噴霧ノズルを使用するため、空気(酸素)との接触により材料が酸化される可能性がある。そこで空気に代えて不活性ガスである窒素を二流体ノズルの噴霧ガスに使用する方式を新たに考案した。

本研究では噴霧ガスとしての窒素を循環利用するVSD(以下、N₂循環VSD)を新たに構築するとともに、易酸化物質であるビタミンCを含むレモン果汁を材料とする乾燥特性を実験的に明らかにすることにより、低温乾燥機能を有するVSDに対する酸化抑制機能の新たな付与を検証した。

1. ベンチスケールVSD

ベンチスケールVSDの概略を図1に示す。乾燥塔は円筒部φ29cm×高さ25cm、円錐部25cm、容積25.2Lの硬質ガラスにより成り、その内部には噴霧ノズルを取り囲むように環状の遠赤外線ヒータが設置され、噴霧液が加熱さ

れる。また乾燥塔は、その外部に巻きつけられたビニルチューブに温水を循環させることにより緩やかに加温される。乾燥塔に連結するサイクロンセパレータには排気ホースが接続され、排気量100L/minの油回転真空ポンプ(アルバック機工、GLD-101)により乾燥塔内は減圧される。乾燥塔内で蒸発した水分は、真空ポンプと乾燥塔の間に設置するコールドトラップにより凝縮・除去される。また、コールドトラップと真空ポンプの間には減圧した乾燥塔内をブレイクさせるためのリークバルブを設置した。乾燥塔内の圧力監視は乾燥塔上部に接続したデジタルマノメータ(SHIBATA, DM-10)により行われる。噴霧前の液体試料は加熱攪拌器によって35~40℃に予熱しながら攪拌される。噴霧ノズルに用いる二流体ノズルでは、一般に噴霧角は30~60°と小さく、高粘性液体の噴霧に際しても液滴径の小さい噴霧滴が得られる⁵⁾。

2. パイロットスケール窒素循環VSD

図2に窒素循環VSDのフロー図を示す。原料タンク①から供給される試料は35~40℃に予熱された後、水冷式後冷却器②により調温さ

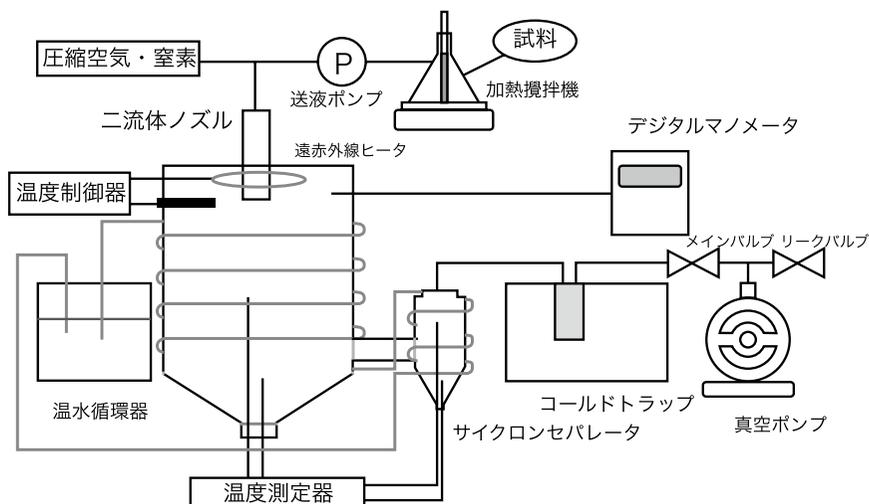


図1 ベンチスケールVSDの概要

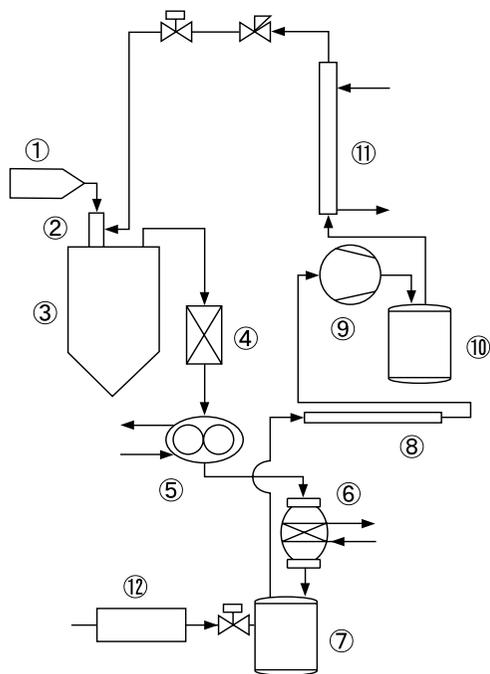


図2 パイロットスケール窒素循環型 VSD

①原料タンク、②二流体ノズル、③乾燥塔、④フィルタ、⑤真空ポンプ、⑥除湿器、⑦緩衝タンク、⑧保温器、⑨ガス圧縮機、⑩ガスタンク、⑪後冷却器、⑫噴霧ガスタンク

れた系内循環窒素とともに二流体ノズル②を経て容積 350 L の乾燥塔③の頭頂部より噴霧される。作成された粉末は乾燥塔の円錐部に残留し、窒素は真空ポンプ⑤により吸引され、同伴する微粉末はフィルタ④で、蒸発水分は除湿器⑥により、それぞれトラップされる。窒素は噴霧ガスタンク⑫から補充されながら緩衝タンク⑦で濃度調整される。そして保温器⑧にて調温されガス圧縮機⑨により圧縮後、ガスタンク中の貯留を経て再び噴霧ガスとして利用される。このような噴霧ガスの循環再利用は、噴霧に係るコストの低減を可能とするものと考えられる。噴霧液の乾燥加熱は噴霧口の周辺に設置した遠赤外線ヒータ (3kW) により行われる。また乾燥塔内壁における水蒸気の凝縮を防ぐため、乾燥塔をジャケット構造として、温水を循環させる

ことにより乾燥塔全体が緩やかに加温される。なお乾燥操作は、ガスタンク内の酸素濃度が 0.2 ~ 0.3% まで減少した後に開始する。

3. 供試果汁

感熱性かつ易酸化性を有するビタミン C を多く含む材料として、国産のストレートレモン果汁を選んだ。本品は殺菌処理およびパルプ量調整が行われており、固形分 9.2%，クエン酸 6.3%，パルプ 0.3% であった。レモンはさわやかな芳香と酸味から世界中で広く用いられているミカン科柑橘属の果実である。また、レモンには様々な機能があり、料理に添えて味覚、嗅覚などの感覚器を刺激して食事を楽しみ、消化吸収を助けるだけでなく、鎮静作用も認められている。レモン果汁にはビタミン C やフラボノイドといった強い抗酸化物質が含まれており、活性酸素による生活習慣病の発病を抑制する効果も期待できる⁵⁾。またその他の成分として、カリウムやカルシウムなどのミネラル、ビタミン B 群なども含まれている。レモンの酸味はクエン酸によるものであり、レモン 1 個に約 4g 含まれている。クエン酸には疲労回復の機能や、カルシウムや鉄と結合して安定する性質がある⁶⁾。一方、ビタミン C は水溶性の成分のため、水洗いなどにより損失してしまったり熱に弱いことから熱湯で煮たり茹でたりすると容易に分解してしまう。さらに空気接触によって酸化酵素がはたらき、急激に失われてしまうことがある⁷⁾。以上よりレモン果汁は、VSD 乾燥における酸化防止機能を検証するのに最適な材料の一つであると考えられた。

4. 賦形剤の決定

結晶化しにくい物質をそのまま高温で融解した後、融液を冷却すると過冷却液体のまま粘性

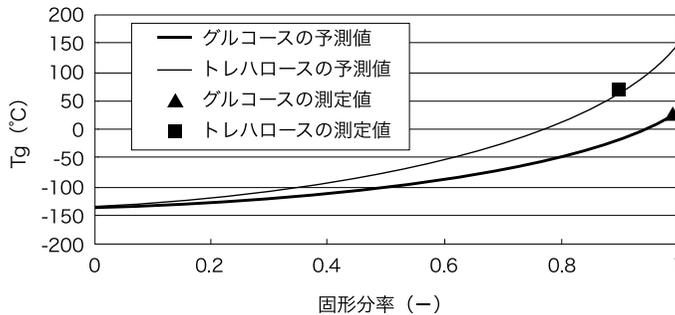


図3 賦形剤のガラス転移温度

が増大し、分子の並進運動が止まるとその力学的性質は固体と等しくなる。すなわち、硬く、こわれやすく、透明なガラス状態となる。レモン果汁のように低分子糖を含む液体の粉末化が一般的に困難とされる原因の一つとして、このガラス状態への転移温度 (T_g) の低いことが挙げられる。すなわちガラス転移温度の低い材料は、噴霧乾燥における乾燥温度域では乾燥終了後にラバー化する⁸⁾。したがってレモン果汁を粉末化するためには、その噴霧液滴をガラス状態にしなければならない。賦形剤とは、材料の見かけガラス転移温度を上昇させることのできる高分子素材である。

いくつかの賦形剤の中から、グルコース、トレハロース (林原)、デンプンを選び、その見かけガラス転移温度 (T_{gapp}) を示差走査熱量計 (DSC-60, SHIMADZU) で測定・比較することにより、レモン果汁に添加する賦形剤を決定した。測定した T_{gapp} を Gordon-Taylor 式に代入して得られた賦形剤のガラス転移温度曲線を図3に示す。これより無水時のグルコース、トレハロース、デンプン (文献値) のみかけガラス転移温度は、29.3°C, 147.6°C, 243.0°C と推察されたことから、粉末生成後の状態維持 (保水力、矯味・矯臭効果) において有効性が高いとされているトレハロースを賦形剤として用いることとした。

トレハロースは植物やきのこ、酵母、乳酸菌、

昆虫などに含まれている非還元性の二糖類である。メイラード反応による着色がほとんどなく、酸や熱に強いことに加え食品中の種々の成分の安定化や好ましくない変質の抑制などの機能特性を有している⁹⁾。特に水に対する作用 (水分活性) は強く、製品中の水分活性を低下させ保湿性を高め、保存・日持ちを向上させるほか、凍結な

どによって起こる離水を防止することなど、水分をわずかに含む粉末にとって好ましい機能を持っている。これはトレハロース分子の水酸基が水と類似した構造で、周りに水分子を保持しやすいためと考えられている¹⁰⁾。また、水だけでなく、炭水化物やタンパク質にとっても有用で、デンプンの老化防止やタンパク質の変性抑制に機能することが分かっている¹¹⁾。このような親水性の成分以外にも、脂質、特に不飽和脂肪酸の変敗を顕著に抑制することが見出され¹²⁾、いわゆる食品の三大栄養素すべてにトレハロースが好ましい機能を発揮することが分かっている。

5. 賦形剤添加量とガラス転移温度の関係

レモン果汁に対するトレハロース添加量を決定するにあたり、トレハロースとレモン果汁との質量混合比を 3:1, 2:1, 1:1, 0.75:1 と4段階に変化させた溶液の噴霧実験を予備的に行うとともに、 T_{gapp} が VSD の乾燥温度 (約 50°C) よりも約 20°C 高くなる¹³⁾ ような賦形剤の添加量を策定した。各混合割合における噴霧乾燥時の乾燥塔内の様子を図4に示す。トレハロースとレモン果汁の比が 0.75:1 の試料の T_{gapp} は 55°C であり、VSD の乾燥温度を上回っていたが、その粉末化を予備的に行ったところ塔内の一部壁面にラバー状試料の付着することが観察

質量混合比	1 : 3	1 : 2	1 : 1	1 : 0.75	1 : 0.5
T _{gapp} (°C)	124	93.6	75.8	55.4	測定不能
					

図4 賦形剤・レモン果汁の混合比と噴霧乾燥状態の関係

された。T_{gapp} が 124°C を示した 3:1 混合試料の粉末化においては、壁面への溶液付着は見られなかった。しかし賦形剤を必要以上に混合すると、粉末の品質やコストに影響を与える恐れがあるため、供試試料にはトレハロースとレモン果汁を 1:1 で混合したものをを用いた。試料の固形分は 55.0%，密度は 1.24 kg/m³，粘度は 9.7 × 10⁻³ Pa·s であった。

6.

ベンチスケール VSD におけるレモン果汁粉末化の特性

トレハロースを添加したレモン果汁を VSD により乾燥粉末化し、生成粉末の物性として含水率（ろ乾法）、水分活性¹⁴⁾、ビタミン C（ヒドラジン法）を測定するとともに、粉末回収率（供給試料中の固形分に対する生成粉末の固形分の比）やビタミン C 残存率（供給試料中のビタミン C 含有量に対する生成粉末中のビタミン C 含有量の比）を求めて、VSD の乾燥特性を明らかにした。

実験区は表 2 に示す通り、噴霧ガスと乾燥塔のブレイクガスの両方に空気を用いる Run 1、噴霧ガスには窒素を、ブレイクガスには空気を用いる Run 2、噴霧ガスとブレイクガスの両方に窒素を用いる Run 3 とした。ブレイクガスとは減圧噴霧の乾燥後、塔内の圧力を大気圧に戻すために送気するガスを指す。それぞれの Run

表 2 ベンチスケール VSD の実験区

	噴霧ガス	ブレイクガス
Run 1	空気	空気
Run 2	窒素	空気
Run 3	窒素	窒素

表 3 ベンチスケール VSD の乾燥粉末化特性

	回収率 (%)	含水率 (%)	水分活性	ビタミン C 残存率 (%)
Run 1	45	5.5	0.25	60.9
Run 2	46	4.1	0.21	69.6
Run 3	45	4.3	0.20	70.6

ごとに 3 回以上実験を行い得られたデータを平均した。表 3 に Run 1 ~ Run 3 で生成された粉末の物性およびビタミン C 残存率を示した。回収率は、Run 1 ~ 3 で、45、46、45% となり有意差はなかった。水分活性値は、Run 1 ~ 3 で、0.25、0.21、0.20 を示し、いずれも 0.5 以下であったことからどの粉末も微生物が繁殖しない良好な粉といえる。含水率に関しては、Run 1 ~ 3 で、5.5、4.1、4.3% であり、有意差があった。圧縮空気と窒素ガスの水分量を測定したところ、圧縮空気には 2mg/L の水蒸気が含まれており、窒素ガスにはほとんど含まれていなかった。実際の噴霧実験では 1 分間に 200mg/L の圧縮空気を約 1 時間送風するため、1 回の実験で圧縮空気から 1.44g の水分が供給されると考えられ、これが窒素粉末との含水率の有意差

の原因となったと考察できる。ビタミンC残存率に関してはRun 1とRun 2, 3の間に有意差があった。窒素ガスを噴霧ガスとして用いた方が圧縮空気を用いて生成した粉末に比べ10ポイントの保持率が上昇したため、窒素ガスを用いることで、VSDに酸化抑制機能を付与することができたといえる。また、乾燥塔のブレイクガスについては、大気中の空気でも、窒素でも粉末の物性に差が生じなかったため、窒素の利用は必要ないことがわかった。

7. 窒素循環パイロットスケールVSDにおけるレモン果汁の粉末化特性

約40℃に予熱した試料を約200 g/hで4～5 kPaに減圧した乾燥塔に噴霧した。噴霧圧は220 kPa、乾燥塔温度は約50℃で、窒素循環流量は30～35 L/minとした。得られた粉末の物性値を表4に示す。窒素噴霧で得られたRun 5の粉末の含水率は、空気噴霧のRun 4のものよりやや高かった。これはベンチスケールVSDによる乾燥と同様、空気噴霧では乾燥した外気を絶えず吸入利用していたのに対して、噴霧ガスを除湿しながら循環利用する窒素噴霧では、ガス中に水分の残留があったことが原因として考えられる。粉末の水分活性はいずれの噴霧についても0.3以下の値が得られ、保存性の高い粉末の得られることが示された¹⁵⁾。またビタミンC残存率は、窒素噴霧のRun 5で得られた粉末が76%を示し、空気噴霧のRun 4と比較して約16ポイント向上することがわかった。以上の結果より、窒素循環パイロットスケールVSDで得られる粉末の物性は空気噴霧で得られるものと同等であり、さらには窒素利用によりビタミンCの消失が抑制されることを確認した。一方、いずれの粉末の回収率も30%程

表4 パイロットスケールVSDによる乾燥粉末化特性

	回収率 (%)	含水率 (%)	水分活性 —	ビタミンC 残存率 (%)
Run 4	31	6.2	0.26	60.4
Run 5	28	7.5	0.21	76.4

度と低かったのは、VSDの分解洗浄後にフィルタから多量の微細粉末が回収されたことから、乾燥塔からの粉末の排出によるものと考えられる。従って微粉末の衛生的な回収機構の付与が今後の窒素循環VSD設計開発の課題として求められる。

まとめ

熱や酸化による変質を受けやすい成分を含有する液体食品を乾燥する目的で、不活性噴霧ガスとして窒素を循環できる減圧噴霧乾燥機(VSD)を構築した。賦形剤であるトレハロースを重量比1:1で添加したレモン果汁を供給しながら、窒素の循環機構を複合するVSD実験機の乾燥特性を明らかにした。窒素を循環させたVSDにより作成された粉末は在来式VSDのものよりも高濃度のビタミンCを含有していたことから、噴霧乾燥において粉末の酸化を抑制する機能が付与されたことが実証された。窒素循環型のVSDを食品産業において実用化するには、粉末の回収率を向上させる必要性が示唆された。

謝辞

本研究は科学技術振興機構「地域イノベーション創出総合支援事業シーズ発掘試験」の研究課題(不活性ガスの循環供給による低温噴霧乾燥技術の確立と食品への応用)として行われた。

..... 文 献

- 1) 古田武, 辻本進: 噴霧乾燥. 食品工学ハンドブック. 松野隆一, 宮脇長人, 安達修二他. 東京, 朝倉書店, 258-263, 2006
- 2) 小林通有: 新乾燥技術「低温噴霧乾燥」. 日本 PDA 学術雑誌 GMP とバリデーション, **3**, 20-27, 2001
- 3) 林弘通: 食品の乾燥 (3). 調理科学, **25**, 172-181, 1992
- 4) 北村豊, 本多慎平: 乳酸菌プロバイオティクス食品の減圧噴霧乾燥, 月刊バイオインダストリー, 60-66, 2007
- 5) 松野隆一, 中村厚三, 古田武他: 濃縮と乾燥, 東京, 光琳, 1-12, 225-258, 1989
- 6) 板倉弘重: 食生活がわかる, アエラ編集部編, 東京, 朝日新聞社出版, 62-63, 2000
- 7) 齊藤進: 野菜と果実のビタミン C 入門, 東京, 誠文堂新光社, 3-15, 87-105, 165-192. 1985
- 8) 高井睦雄: 食品におけるガラス状態 (固化状態) の利用技術. 食の先端科学, 相良泰行, 東京, 朝倉書店, 119-131, 1999
- 9) 茶園博人: 新規酵素法によるトレハロース生産とその利用, 応用糖質科学, **44**, 115, 1997
- 10) 櫻井実ら: 糖の水和とトレハロースの生理機能, 生物物理, **37**, 326, 1997
- 11) 竹内叶: トレハロースの食品の品質改良効果と応用, 月刊フードケミカル, **6**, 29, 1997
- 12) 奥和之, 黒瀬真弓, 茶園博人他: トレハロースによる不飽和脂肪酸のラジカル酸化抑制作用. *J. Appl. Glycosci.*, **52**, 381-385, 2005
- 13) B.R. Bhandari, T.Howes: Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods, *J. Food Eng.*, **40**, 71-79, 1999
- 14) J. A.Troller, J.H.B.Christian: 食品と水分活性, 平田孝, 本木徹訳, 東京, 学会出版センター, **17**, 1981
- 15) 鴨居郁三: 第 6 章食品保存法. 食品製造科学. 東京, 建帛社, 70-72, 1994

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

芽胞比率を高めた納豆の発酵制御技術

古口 久美子*

*KOGUCHI Kumiko (栃木県産業技術センター)

KeyWords：納豆菌・芽胞・発酵・*Bacillus*

はじめに

納豆菌は *Bacillus subtilis* の一種の好気性グラム陽性桿菌であり、細胞内に芽胞を形成する。芽胞は栄養細胞に比べ、酸や紫外線、熱に対する耐性が高いことが知られており、消化液に対する耐性もある。

そのため、納豆菌の芽胞には、生きたまま小腸上部に到達し、腸内で発芽することによる整腸作用が認められている^{1, 2)}。

食品としての納豆の場合も一定数の芽胞を確保した試験で、同様の効果が確認されている^{3~5)}。その結果⁴⁾をもとに、2008年2月には旭松食品株式会社の「おなか納豆」(50g中に30億個の芽胞を含む)に対し、特定保健用食品として「おなかの調子を整える」効果の表示が認められた。芽胞数は1gあたりに換算すると 6×10^7 cfu/g になる。

納豆製品中の納豆菌であるが、芽胞の数よりも、栄養細胞の数の方が圧倒的に多い。筆者らが市販の日付の新しい納豆11点について調べたものでは、納豆菌総数(栄養細胞+芽胞)に対する芽胞の比率は平均で3%程度、中には芽胞比率が0.1%を切る納豆もみられた。

一方、熟成が進んだ納豆は芽胞数、芽胞比率ともに上がるがアンモニアが増えて臭いがきつ

くなる。

そこで、保存中にアンモニアの増加が少ない納豆菌 TK-1 株⁶⁾を用い、アンモニア臭の増加を抑えながら製品中の芽胞の比率を通常より高めるような納豆の発酵制御技術を開発することを目的として研究を行った。

その結果、アンモニアを増やさずに、後熟終了時での芽胞比率を平均で58%にすることが可能となったので、発酵過程における芽胞形成のポイントを含め解説する。

1. 納豆菌を含む *Bacillus* 属細菌の芽胞形成について

納豆菌を含む *Bacillus* 属細菌の芽胞は、菌が栄養細胞の状態で分裂増殖できない環境になった時に生き延びるための形態である。そのため、芽胞形成を開始する時に発現する遺伝子は、栄養の欠乏(炭素源、窒素源、リン酸等)や浸透圧の変化等、生育に不利となる外部環境の変化がシグナルとなっている^{7, 8)}。また、栄養細胞から成熟芽胞までの変化は、形態学的にも生理学的にも異なっている7つの段階に区分され、それぞれの段階の芽胞形成遺伝子が逐次的に働くことにより、調節されている^{7, 8)}。

2. 納豆発酵中の納豆菌の状態

なぜ市販の納豆では芽胞比率が低いのか。納豆菌の大豆表面での生育状況と芽胞形成の条件でもある栄養素の状態から、芽胞比率を高めるためのポイントを整理した。

①発酵開始から対数期の前半

一栄養素では、はじめに炭素源が減少する一納豆菌の特徴として、発芽から対数期初期の増殖が活発な時期では、納豆菌は隔壁を作らずに伸長する（図1）。大豆表面のような固体上

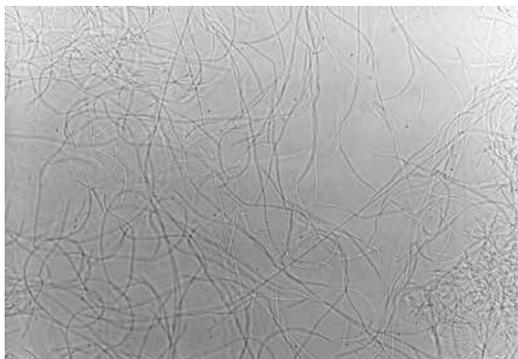


図1 長く伸びた納豆菌

本来は桿菌だが、生育初期で栄養状態がよい場合、隔壁をつくらずに繊維状に伸びる。

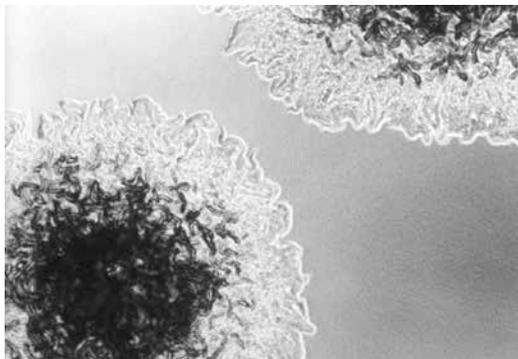


図2 納豆菌の若いコロニー

中央部では、菌が密集し、折り重なるように上に向かって増殖している。コロニーの周辺部は外側に向かって薄く広がっていく。生育段階の早い時期では、周辺部の菌は、長く伸びた形をしている。

の発酵では、コロニー（図2）の中心部と周辺部では、ミクロ的な栄養状態の偏りがおこるため、先に生育が始まったコロニー中心部では、コロニー周辺部より早い時期に、繊維状に長い形態が切れて、桿菌の形状に変化していく。

このとき主に使われるのが大豆中の糖類（シュクロース、スタキオース、ラフィノース等）で、発酵6時間を過ぎた頃（一般的に使われている納豆菌では対数期の始まる時期）から、菌の生育に伴い急激に減少していく⁹⁾。

②対数期の後半から定常期のはじめ

一アミノ酸を炭素源として使用することで、アンモニアが生成する一

炭素源である大豆中の主な糖類であるシュクロース、スタキオース、ラフィノース等は、発酵により単糖類であるフラクトースやグルコースに変換され、菌により消費される。大豆の種類によって異なるが、炭素源であるグルコースが存在するのは、10hr～12hr（一般的に使われている納豆菌では定常期のはじめ）まで、14hr以降では、ほとんどなくなる⁹⁾。

炭素源の欠乏により納豆菌は、通常は窒素源として使われるアミノ酸を、炭素源として使い始め、その分解によりアンモニアが放出されるようになる。

一炭素源が欠乏する一方で、窒素源及びリン酸は発酵が進むと増加する一

炭素源が欠乏する一方で、この時期には、菌体外に放出されるプロテアーゼにより大豆のタンパク質が分解され、大量のアミノ酸が納豆中に放出される。アミノ酸については、前述のように炭素源として利用される分もあるが、減少分より増加分の方が多く、窒素源の欠乏という条件にはない。

リン酸についても、大豆中にはフィチン酸の形で多く存在しており、従来の納豆菌はフィチン酸を分解するフィターゼを持つため、フィチン酸からリン酸が分離されてくる。

3. 芽胞比率を高める発酵制御方法の検討

1) 芽胞比率を高めるためのポイント

①納豆菌 TK-1 株の特性の利用

本試験で使用している納豆菌 TK-1 株は、納豆菌のコロニーや、できる納豆の色調が白く、特に炭素源として分解されるとアンモニアを多く生成するアラニンに対して低温で資化しない低温感受性株で、納豆保存中の品質変化が少ない菌である⁶⁾。フィターゼを欠損させた納豆菌については、目的とする納豆の性質は異なるが、納豆製造企業 2 社から特許の菌として登録されている^{11, 12)}。

納豆菌 TK-1 株も、確認したところ、フィチン酸を分解しない菌であることが明らかになった。これにより、フィチン酸からのリン酸の供給がなくなると考えられるため、従来の納豆菌より、芽胞形成の開始シグナルのひとつであるリン酸の欠乏状態が長く続くと思われる。

②納豆菌の植菌量の検討

場所による栄養状態の差を減らし、菌が伸長した状態になっている時間が短くなれば、早い時期に、芽胞形成開始のシグナル（炭素源の欠乏）を受ける菌が多くなると考えられる。それには、蒸煮大豆への植菌量を多くするのも選択肢のひとつである。しかしながら、蒸煮大豆に摂取する納豆菌の植菌量は、納豆品質に対して大きな影響を与える因子のひとつである¹³⁾。植菌量が少ない場合は納豆の発酵が遅れ、多すぎた場合には早い時期にアンモニア臭が出やすい状態となる。また、植菌量の調整により、同じ発酵条件でも発酵中の品温上昇開始時間や最高品温が異なってくるので、その他の発酵条件も調整する必要がある。

③納豆発酵室中の温湿度制御及び吸排気による酸素濃度の調整

実際の納豆製造においては、プログラム制御

により温度、湿度、吸排気（外気導入）の 3 条件を調整して納豆の発酵が行われている。

酸素濃度については、納豆菌は好気発酵の菌なので、密閉状態の発酵室では吸排気を行わないと酸素濃度が低下し、発酵不良の納豆となる可能性がある¹⁴⁾。しかしながら、発酵の後半でアミノ酸が増えている場合には、好气的条件で発酵を続けると、栄養細胞状態の納豆菌の活動を抑えることができず、際限なくアンモニアが生成することとなる。そのため、温湿度条件と合わせて、発酵の後半で、アンモニアの発生を抑え、芽胞形成の段階を進めるように調整できる条件について検討する必要がある。

2) 試験方法

①納豆の試作条件

原料大豆は国産の納豆小粒を用いた。納豆菌は当センターで開発した、保存中のアンモニアの増加が少ない納豆菌 TK-1 株を用い、蒸煮大豆 1g あたり植菌量は 3×10^5 cfu/g, 3×10^4 cfu/g, 3×10^3 cfu/g として試作試験を行った。

納豆の発酵には、自動納豆製造装置（鈴与工業（株）社製, SY-20）及び O₂-CO₂ 培養器（（株）ヒラサワ製）を用いた。好气的な発酵条件での納豆試作は自動納豆製造装置を、密閉状態でやや嫌气的な発酵条件の場合は O₂-CO₂ 培養器を用いて試験を行った。両者とも、発酵中の室温設定は 40℃一定とした。湿度条件の検討は、プログラム制御により設定可能な自動納豆製造装置で、発酵試験を行った。酸素濃度条件についての検討は、O₂-CO₂ 培養器を用い、発酵中の二酸化炭素及び酸素濃度について本体付属のセンサーで測定、記録した。

納豆の盛り込み量は、50g 用 PSP 容器あたり 50g を標準とし、発酵室内への引込み量は、O₂-CO₂ 培養器では 50g 用 PSP 容器で 18 個分、自動納豆製造装置の場合は 36 個または 54 個とした。発酵時間は 19 時間、発酵終了後、3℃で 18～24 時間後熟したものを製造日当日の納豆

として試験を行った。

②納豆の成分分析及び菌数検査方法

納豆の一般生菌数、芽胞数は発酵終了後、3℃で18～24時間後熟したのものについて、食品衛生検査指針微生物編¹⁰⁾の方法により測定した。また、芽胞比率は、芽胞数×100／一般生菌数(%)として算出した。

3) 試験結果及び考察

①納豆菌の植菌量の影響

蒸煮大豆1gあたり植菌量を $3 \times 10^5/g$ 、 $3 \times 10^4/g$ 、 $3 \times 10^3/g$ とした場合の発酵中の品温経過を図3に示す。植菌量の少ない $10^3/g$ では、菌の生育により品温上昇までに時間がかかり、19時間の発酵時間では発酵が未熟になる傾向が見られた。植菌量 $10^4/g$ の場合は、最高品温が

53℃を超える場合もあり、高温になりすぎた場合に出る「焼け」と表現される香りが発生し、品質上問題があった。 $10^5/g$ の場合は、発酵前半で栄養成分を消費してしまうため、もっとも菌数の多くなる対数期後半では品温上昇が抑えられ、過発酵になりにくいことが示唆された。

栄養成分の欠乏は、芽胞形成開始の第1段階で働く要因であるため、本試験の目的から、植菌量 $10^5/g$ が適しているものと思われた。

②湿度条件が芽胞比率に与える影響について

図4に発酵中の湿度条件と納豆の生菌数、芽胞数の測定結果を、図5に発酵中の湿度条件と芽胞比率の関係についての測定結果を示す。

発酵前半では湿度90%以上、菌の生育が定常期に入ってから80%以上の湿度を維持し

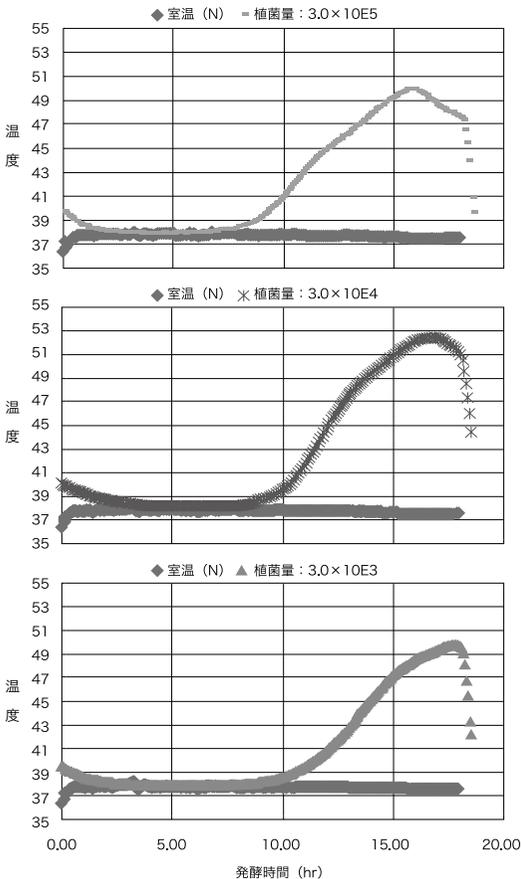


図3 植菌量と納豆の品温経過

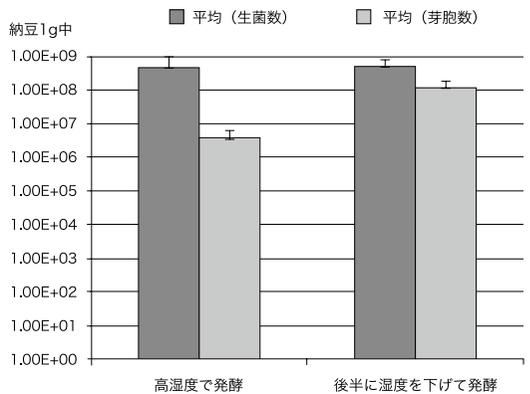


図4 発酵中の温度条件と生菌数、芽胞数

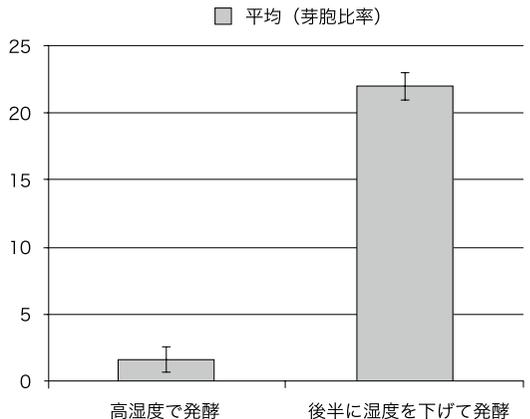


図5 発酵中の温度条件と生菌数、芽胞比率

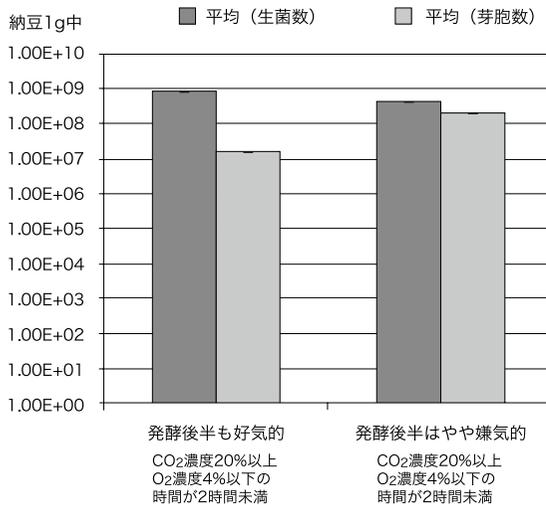


図6 発酵後半の酸素条件と生菌数、芽胞数

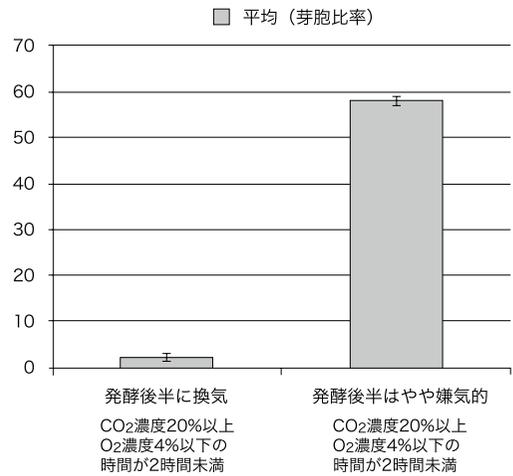


図7 発酵後半の酸素条件と生菌数、芽胞比率

た高湿度条件の場合は、芽胞比率は0.6%～2%と非常に低い水準になるが、湿度を菌の生育ステージが対数期の後半になるまでは90%まで維持、その後、段階的に80%～75%まで下げようように後半に湿度を下げて発酵する場合には、発酵室内の酸素濃度が2%程度しか低下しない条件でも、芽胞比率を30%まで上げることが可能であった。

③納豆発酵室中の酸素濃度が芽胞比率に与える影響について

納豆発酵中の品温は、O₂-CO₂培養器中の酸素濃度が納豆菌自体の呼吸作用により7%まで下がると品温上昇が緩やかになり、4%以下になると発熱が停止し品温が下がるという現象が観察された。図6に発酵後半の酸素条件と納豆の生菌数、芽胞数の測定結果を、図7に発酵後半の酸素条件と芽胞比率の関係についての測定結果を示す。

後熟終了時の納豆の生菌数は、発酵後半も好氣的な条件、すなわち発酵途中で扉を開け、空気を入れ換えた場合の方が多かった。早い時期に酸素濃度が低くなりすぎると、生菌数が少なくなる傾向が見られた。

芽胞数は、発酵後半に二酸化炭素濃度が20%

以上、酸素濃度が4%以下になり、品温が下がりにはじまってからの時間が2時間以上の場合には芽胞数は多くなった。特に、酸素濃度が4%以下になり品温が下がりにはじまってから、4時間以上発酵を続けた場合には、後熟終了時での芽胞比率は平均で58%となった。その場合でも、納豆のアンモニア態窒素は100mg%程度と十分に低い水準であった。

なお、この装置では、強制的に窒素ガスを入れることにより、酸素濃度を下げることが可能であるが、前半を好氣的に制御した状態で、定常期になってから急激に酸素濃度を低下させても、芽胞比率は上昇しなかった。

以上の結果から、TK-1株の場合、①植菌量を 3×10^5 cfu/gと多めに設定すること、②湿度条件は、発酵前半では高湿度を保ち、対数期中盤以降、段階的に湿度を下げるように制御すること、③酸素濃度については、納豆菌自身の呼吸により、発酵前半から徐々に酸素濃度を低下させ、発酵後半での酸素濃度が4%以下になる時間を2時間以上とすることの3条件が、納豆の芽胞比率を高める方向で作用していることが明らかになった。

おわりに

今後、発酵中の湿度制御と酸素制御の相乗効果について検討することにより、芽胞数増加と芽胞比率のさらなる上昇が期待できる。

また、納豆菌 TK-1 株は、芽胞の形態になると、より品質変化が少なくなると考えられるの

で、従来の納豆より賞味期限の長い納豆製品を提供できる可能性もあると考えている。

なお、本研究は、JST 地域イノベーション創出総合支援事業平成 20 年度シーズ発掘試験の採択を受けて実施した。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 細井知弘：納豆菌の腸管における生理機能. 食品と技術 No.341, P13-15 (1999)
- 2) 細井知弘：Probiotic としての納豆菌の作用 - 腸内菌叢と腸管免疫システムに対する作用. 日本醸造協会誌 Vol.98, No.12, P830-839 (2003)
- 3) TERADA A, YAMAMOTO M, YOSHIMURA E：納豆摂取がヒト腸内フローラおよび腐敗産物に及ぼす影響. 日本食品微生物学会雑誌 Vol.16, No.4, P221-230 (1999)
- 4) 三ッ井陳雄, 塚原美央, 村沢久司, 田村正紀, 梶本修身, 西村明, 梶本佳孝, 弁野義己：Bacillus subtilis K-2 株 (芽胞) 含有納豆が健常成人の排便状態および糞便内菌叢に及ぼす影響ならびに過剰摂取による安全性の検討. 薬理と治療 Vol.34, No.1, P135-148 (2006)
- 5) 竹村浩, 塩谷順彦, 小森美加, 陶易王：納豆菌 Bacillus subtilis MC1 芽胞を含む納豆の摂取が健常成人女性の排便および糞便内菌叢に及ぼす影響. 生活衛生 Vol.53, No.1, P11-18 (2008)
- 6) 特許 2881302 号：「外観色が白みを帯持し、保存中の品質変化の少ない納豆の製造方法」
- 7) 小林泰夫：枯草菌の胞子形成期におけるシグマ因子のカスケードと局在化 最も進んだ細胞分化の分子生物学. 生物物理 Vol.31, No.3, P133-141 (1991)
- 8) 小林泰夫：細菌胞子の発芽と形成に関する分子生物学的研究. 日本農芸化学会誌 Vol.69, No.1, P1-8 (1995)
- 9) 納豆発酵過程における大豆糖質の変化：栃木県食品工業指導所業務報告 昭和 56 年度 P21-23(1981)
- 10) 食品衛生検査指針 微生物編 (2004)：厚生労働省著, 監修
- 11) 公開特許公報 2007-209294：「納豆菌及び納豆の製造方法」
- 12) 公開特許公報 2007-014298：「フィターゼ酵素低活性納豆菌及び長期安定な納豆」
- 13) 高橋淳一郎, 古口久美子, 宮間浩一, 菊地恭二：納豆菌の接種量と納豆の品質. 栃木県食品工業指導所研究報告 No.10, P17-18 (1996)
- 14) 長谷川裕正：納豆発酵不良原因の検討 酸素欠乏の影響. 茨城県工業技術センター研究報告 No.28 P88 (2000)

防臭・消臭食品容器を目的とした 光触媒／DLC コーティング技術の開発

尾関 和秀*

*OZEKI Kazuhide (茨城大学工学部機械工学科)

KeyWords：食品容器・光触媒・DLC

はじめに

タッパーウェア®に代表されるプラスチック製の食品保存容器(図1)は、1963年に日本での販売が開始されて以来¹⁾、軽くて密閉性が高いなど、使い勝手の良さから日本の台所に急速に広がっている。そして、今やその市場規模は食品保存シートを含め70億円程度に達している²⁾。その用途としては、残った食材の保存、食材の取り分け、食材の収納等が主であるが、最近では電子レンジに対応できるものまで販売され、今や家庭の台所用品としてなくてはならない存在になっている。

しかし、この便利なプラスチック容器も、半永久的に使用できるものではなく、破損、傷、食品から出る臭いの吸着等、様々な理由で使えなくなる。特に臭い吸着については機能上や外観上の問題がなくても、臭いの強い食品、例えばカレーやニンニクの含まれた食材等の保存に

使用すると、他の食品への臭い移りが気になり、ひどい場合には廃棄に至ってしまうケースもある。

これらのプラスチック包材への臭いの吸着に関して、臭い成分とプラスチック材との相互作用を明らかにする研究は20年以上前から続けられている。その中で臭い成分のポリマーへの吸着量を予測する研究や臭い吸着を抑制するためのポリマー表面の改質に関する研究がなされているものの、未だ抜本的な解決に至っていないのが現状である³⁾。

また、この臭いを除去する方法として、家庭でどのような方策が取られているかをインターネットで検索してみると、米の研ぎ汁や洗剤、酢水に数時間浸け置きしたり、野菜くずを容器に入れておいたり、重曹で擦ったりと、様々な方法が主婦層を中心に試されており、食品容器に吸着した臭いの除去に対する需要が高いことが推察される。と同時に、抜本的な解決策がないことがわかる。私自身、妻からのこういった不満がこの研究を始めるきっかけになった。

食品保存用プラスチック容器は、主に本体にポリプロピレン、フタにポリエチレンが用いられている。これらのプラスチックは、国内で生産されているプラスチック総量の実に47%に



図1 食品用保存用プラスチック容器

も及ぶ⁴⁾。しかし、これらのリサイクル率に目を向けてみると、ペットボトルに使用されるポリエチレンテレフタレート (PET) のリサイクル率が約 25% に留まり、その他のプラスチックのリサイクル率は低い⁵⁾。近年のプラスチック廃棄率は国内で 500 万トンにも及んでおり、包装業界では容器の繰り返し使用 (reuse) や包装材そのものの減量化 (reduce) を進めている。

このプラスチック廃棄率を少しでも低減するためにはリサイクルも重要だが、ゴミ自体を出さないことが先決である。食品保存用プラスチック容器について言えば、臭いの吸着を防止出来れば、それが原因で廃棄に至っているケースの低減が期待できる。従って、プラスチック容器に防臭・消臭性機能を付加することは、環境面においても理にかなっているといえる。そこで、この小文では、薄膜技術 (ダイヤモンドライクカーボン膜、光触媒) を利用した食品保存用プラスチック容器への防臭・消臭機能付加に関して、いくつか得られた知見を紹介していく。

1. ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜

一般に DLC 膜と呼ばれるダイヤモンドライクカーボン (diamond-like carbon) は、高硬度、低摩擦、化学的安定性などのダイヤモンドと類

似した性質を持ち、水素原子を含むアモルファス構造のカーボン膜のことをいう (図 2)。DLC 膜という用語は 1970 年代のはじめに Aisenberg⁶⁾ らにより発表され、それ以来多くの研究開発がなされている。

DLC 膜は各種硬質皮膜の中でもトライボロジー特性に優れた硬質皮膜と位置づけることができ、特性的にはダイヤモンドに類似しているが、酸化開始温度が低いこと、膜表面が極めて平滑であることなどの点でダイヤモンドとの違いがある⁷⁾。また、DLC 膜のその他の優れた特性としては、離型性、低凝着性、潤滑性、低摩擦性、耐摩耗性、防汚性、耐蝕性、ガスバリア性、赤外線透過性、生体親和性などが挙げられる。

このような特性から DLC 膜を用いることで、材料特性は格段に向上にする。DLC 膜の応用は、電気・電子機器、切削工具、金型、自動車部品、光学部品、医療用機材、ペットボトルのガスバリア膜、衛生機器、装飾品など幅広く、特に機械部品の保護膜として需要が加速的に増大している⁸⁾。

また、近年では酸素や二酸化炭素などのガスを通しにくいという特徴から、PET ボトルへのコーティングにも使用されるようになり、炭酸飲料の炭酸の抜けや、酸化による飲料の劣化を防ぐことが出来るなどの特徴がある⁹⁾。

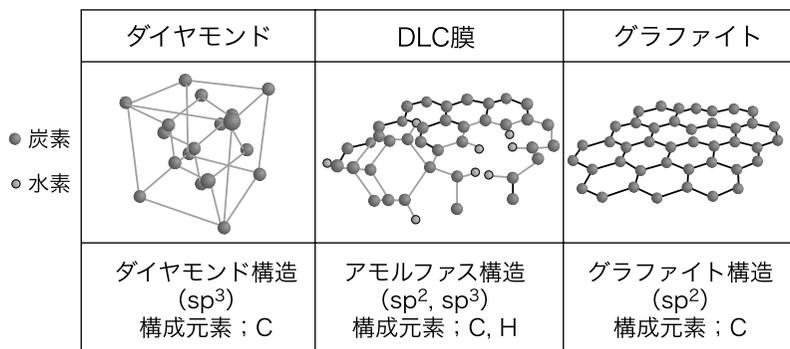


図 2 ダイヤモンド、DLC、グラファイトの構造

2. 光触媒

光触媒とは太陽などの光（紫外線）が当たると、その表面に強力な酸化力が生まれ、接触する有機化合物や細菌などの有害物質を除去することができる環境浄化材料のことで、特に酸化チタン（TiO₂）での応用が最も普及している¹⁰⁾。

光触媒の機能は「大気浄化」「脱臭」「抗菌・殺菌」「防汚」「浄水」の5つに大別できる（図3）。特に、NO_xやホルムアルデヒドなどの有害物質をはじめ、アンモニア、タバコ臭、腐敗臭、にんにく臭などの悪臭物質の除去にも優れ、脱臭・消臭機能がある。一方、光触媒機能には超親水性もあり、水滴が表面につきにくく、また、光触媒効果で分解しきれなかった汚れは雨によ

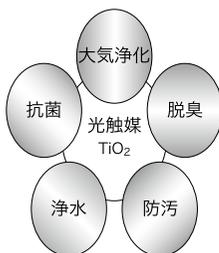


図3 光触媒の主な機能

って洗い流されるセルフ・クリーニング効果を持つ。これらの優れた特徴から、建築資材、家庭用品、電気製品、車両関連、道路関連、農業関連、水処理・土壌汚染関連、空気処理関連、そして医療関連など広範な分野で応用されている¹¹⁾。

3. コーティング技術

本研究ではDLC膜及び酸化チタンをプラスチック基材にコーティングする手法として、DLC膜はプラズマCVD法を、酸化チタンにはスパタリング法を用いたため、その手法についても簡単に述べておく。

1. プラズマCVD法

CVD法とは化学気相成長（Chemical Vapor Deposition：CVD）法のことです。ガス状原料

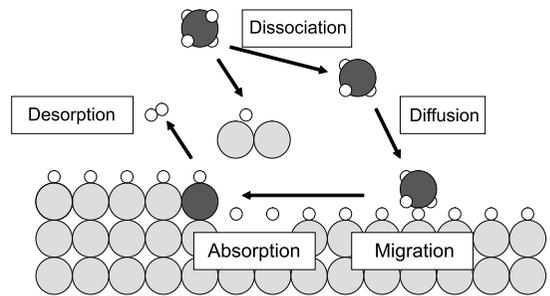


図4 プラズマCVD法による薄膜の堆積過程の模式図

の気相・表面での反応を利用して、原料分子に含まれる元素を薄膜状に堆積する方法である。化学反応をスムーズに進めるためには、熱やプラズマのエネルギーが使用され、励起源としては、高周波、マイクロ波、熱フィラメントなどがある。図4に成膜プロセスを示す。はじめに原料ガスが基板付近にまで拡散によって輸送され、エネルギーを受けて励起や分散した状態になり、化学的に活性化する。そして、基板上の他の分子と反応し、新たな粒子の核が形成される¹²⁾。

図5はプラズマを励起源としたDLCの気相合成の装置構成である。原料ガスにはメタンなどの炭化水素系ガスを用い、電極上側に取り付けた基板の上にDLC膜を堆積させる⁸⁾。

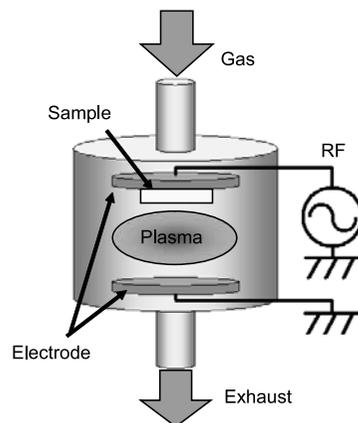


図5 プラズマCVD法

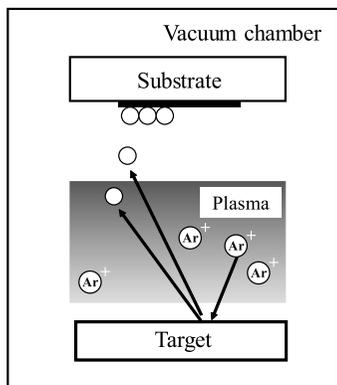


図6 スパッタリング法

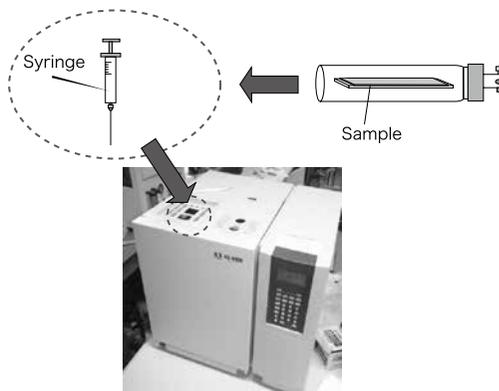


図7 防臭性評価実験

2. スパッタリング法

スパッタリング法とは、スパッタリング現象を利用した物理蒸着法の一つである。蒸着させたい物質をターゲットとすることで、基板上にターゲット物質を堆積することが出来る。スパッタリング現象とは、高エネルギー原子（通常 Ar イオン）が固体表面に衝突すると、高エネルギー原子が固体表面の構成原子と弾性または非弾性衝突し、固体表面の構成原子が固体表面から蒸発する現象のことをいう（図6）。

特徴としては、複雑な形状に蒸着が可能であり、絶縁物、合金・複合材料といった絶縁体まで薄膜化ができ、今日では半導体製造分野等に幅広く応用されている¹³⁾。

4. 実験評価

1. DLC 膜の防臭性の評価

DLC 膜の高いガスバリア性に着目し、食品保存用プラスチック容器に使用されているポリプロピレン、ポリエチレンの防臭機能付与を目指し、プラズマ CVD 法により DLC 膜をコーティングした。

測定用サンプルの作製には、ポリプロピレン (PP)、ポリエチレン (PE) 基板の両面に、メタンガスを原料として高周波プラズマ CVD 装置（キャノンアネルバ製 PED-301）により、

0.1 [μm] の DLC コーティングを行った。

試験用の臭気には、ホルマリン、エチレン、ターメリックを使用した（エチレンは野菜等から発生する気体で野菜の傷みを進行させる働きがあり、ターメリックはカレーの臭いの主要成分である）。実験には各臭気 20ml をシリンジで取り、図7のような予めサンプルを入れておいたボトル内に注入する。24 時間後、ボトル内の臭気をシリンジで採取し、ガスクロマトグラフィー（GC-4000; GL サイエンス）により測定した。測定された臭気のピーク強度から、臭気を定量評価した。なお、ターメリックについては、βターメロン¹⁴⁾のピーク強度の変化により定量評価を行った。サンプルには PP, DLC/PP, PE, DLC/PE を用い、ボトル内の臭気残存量（残臭率）から、各臭気に対する各プラスチックの臭気吸着量を評価した。プラスチックの臭気吸着量が高いほど、ボトル内の残臭率が減少することになる。

各臭気に対する防臭性試験結果を図8(a)～(c)に示す。図より、ポリプロピレン上でのボトル内の各臭気、ホルマリン、ターメリック、エチレンは、24 時間後、それぞれ 76.6%、88.7%、85.2% に減少しており、各臭気がポリプロピレンに吸着したと考えられる。これに対し、DLC をコーティングしたポリプロピレンでは、ほとんど臭気の減少は認められないこと

から、DLC膜の高ガスバリア性によりポリプロピレン上への臭気吸着が抑制されたことがわかる。

また、ポリエチレン上ではホルマリン、ターメリック、エチレンガスの24時間後の残臭率はそれぞれ91.9%、92.6%、92.4%となり、ポリプロピレンほどの臭気減少は認められなかった。またDLCコーティングを行っても顕著な

変化は認められなかった。このことから、臭気付着は、ポリエチレンよりもポリプロピレンの方が支配的であり、また、DLC膜をコーティングすることで防臭性の向上が図れることがわかった。

2. ポリプロピレン及びポリエチレンのガス透過性評価

次に、ポリプロピレン及びポリエチレンのガス透過性と、DLCコーティングによる効果の関係性を確認するため、ガス透過試験を行った。厚み30 [μm]、50 [μm]のポリプロピレン及びポリエチレンシートに、DLC膜を0.1 [μm]コーティングし、ガス透過測定機（日本分光製 Gasperm-100）により、酸素ガス圧1.0kg/cm³で測定を行った。その結果を図9に示す。結果より、ポリエチレンはポリプロピレンに比べ1.5

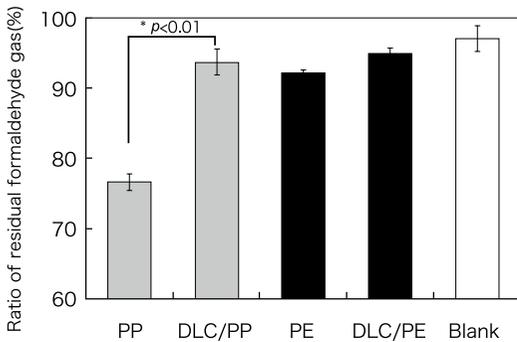


図8(a) ホルマリン臭の防臭性試験結果

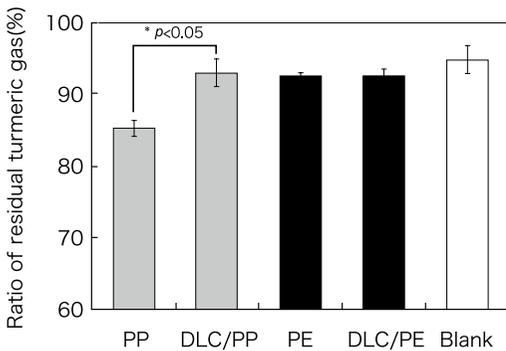


図8(b) ターメリック臭の防臭性試験結果

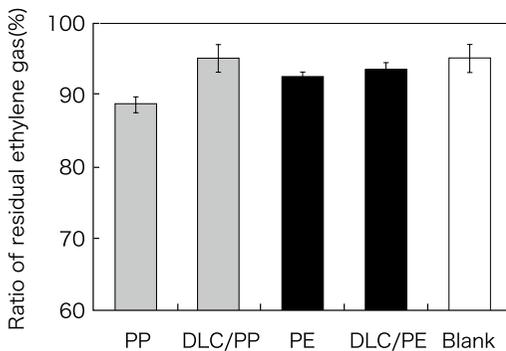


図8(c) エチレンガスの防臭性試験結果

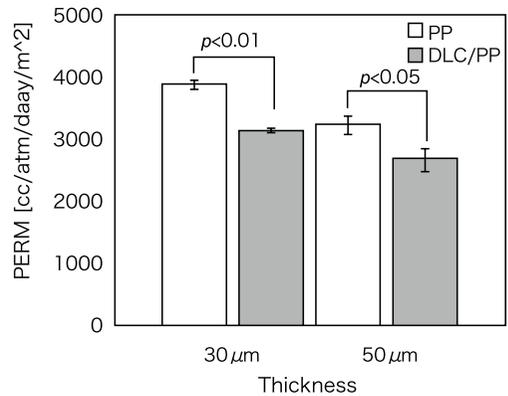


図9(a) ポリプロピレンにおける試験結果

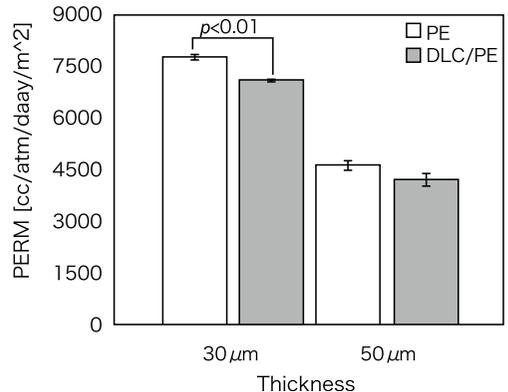


図9(b) ポリエチレンにおける試験結果

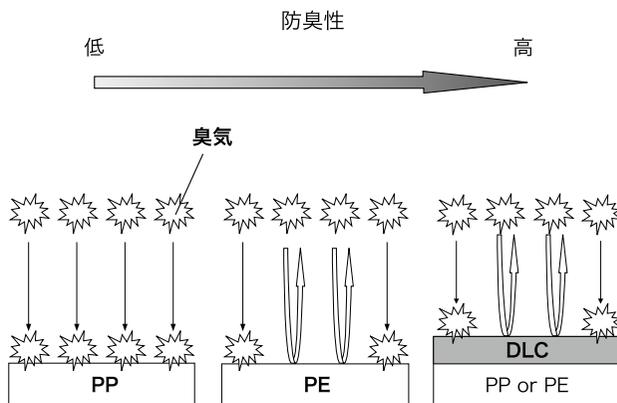


図 10 ポリプロピレン、ポリエチレンへの臭気吸着

倍以上のガス透過性を示した。また、いずれのプラスチックにおいても、DLCをコーティングすることにより、ガス透過性は減少しているが、ポリプロピレンの方が、ポリエチレンよりもDLC膜の効果がより高いことがわかった。

一般に、臭気のプラスチックへの吸着機構としては、①拡散・溶解によるプラスチック内部への臭気分子の侵入と、②静電的な力によるプラスチック自体への臭気分子の吸着が考えられる¹⁴⁾。①のプラスチックの拡散・溶解に関しては、ガス透過性の高いポリエチレンの方がより臭気を取りこみやすいと考えられるが、これは防臭性試験の結果と矛盾する。このことから、臭気のプラスチックへの吸着は、②のプラスチック自体への臭気分子の吸着が支配的である可能性が高いことが示唆される(図10)また、プラスチック容器の防臭性向上に関しては、ポリプロピレンの表面改質がより効果が高いといえる。

3. 光触媒/DLC膜の消臭性の評価

前述の結果から、ポリプロピレンへのDLC膜の付加により食品容器用プラスチック容器の防臭に効果があることが明らかとなった。しかし、一度吸着してしまった臭いを除去するにはどうすれば良いのか。そこで、さらに積極的な臭いの除去を目的として、DLC膜の上にもう1層の光触媒膜を付加し、その評価

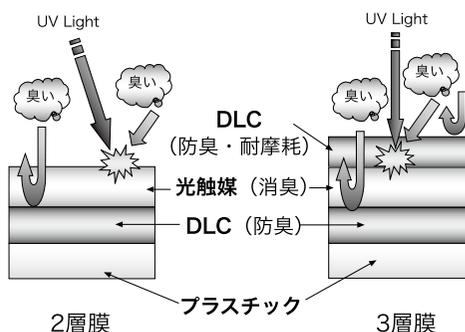


図 11 2層膜、3層膜の概念図

を行った。しかし、最表面を光触媒膜としてしまうと、折角のDLC膜の耐摩耗性や防汚性といった特性が失われるため、さらにもう1層のDLC膜を付加した3層膜の評価についても同時に行った。これらの膜の概念図を図11に示す。3層膜については、光触媒膜上にDLC膜があるため、当然、消臭性機能の劣化が考えられる。この点に着目して評価を行った。評価するプラスチックには、前述の結果からポリプロピレンの表面改質が効果的であることが明らかになったため、以降用いるプラスチックをポリプロピレンとした。

DLC膜のコーティングには、前述した高周波プラズマCVD装置により、ポリプロピレン基板の両面にDLC膜を0.1[μm]、蒸着した後、スパッタリング装置により酸化チタンを0.5[μm]コーティングした(TiO₂/DLC/PP)。さら

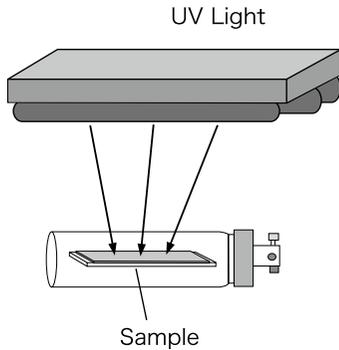


図 12 消臭実験における紫外線照射

に、3層膜については、その上に DLC 膜を 0.05 [μm] コーティングした (DLC/TiO₂/DLC/PP)。

消臭性試験の臭気には、防臭性評価と同様にホルマリン、エチレン、ターメリックを使用した。作製したサンプルを密閉されたガラスボトルに入れ、各臭気を 20 ml 注入した。暗所にて 1 時間静置した後、サンプルの入ったガラスボトルにブラックライトにより紫外線を照射した (図 12)。サンプル表面上での紫外線強度は 3.6[mW/cm²] であった。照射開始から、一定時間ごとに、ガラス管内の臭気を 0.5 ml 採取し、ガスクロマトグラフィーにより定量分析を行った。臭気定量には、最初に封入した臭気に対する一時間後の臭気の定量値を残留率 (%) として評価した。

ホルマリン、ターメリック、エチレンに対する一定時間ごとの残留率を図 13 ~ 15 に示す。図より、TiO₂/DLC/PP におけるホルマリン、ターメリック、エチレンの 40 時間後残留率は、それぞれ 13.7%、75.0%、65.2% となり、その他のコーティング試料に比べて最も高い消臭性を示した。これは、最上層の TiO₂ 膜の光触媒活性により、各臭気が分解されたことを意味し、各臭気に対してホルマリンの分解率が最も高い。これは、もともとターメリックやエチレンの光触媒による分解には、酸素と水を必要とするのに対し、ホルマリンは分子単体で光触媒での分

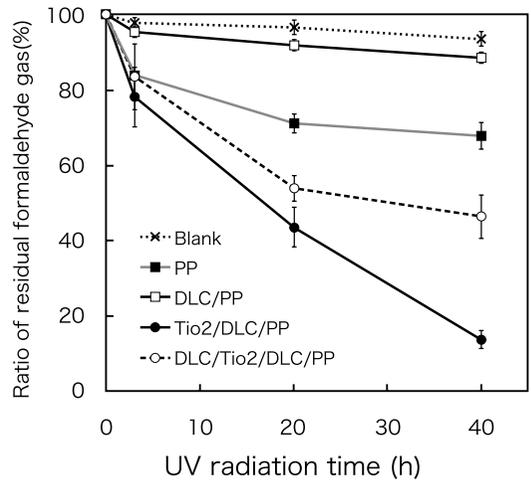


図 13 ホルマリン臭の消臭性試験結果

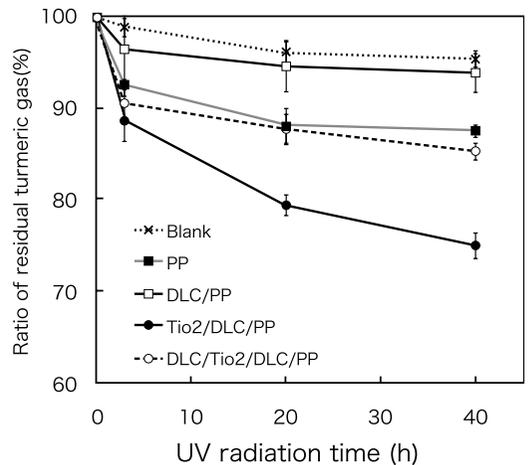


図 14 ターメリック臭の消臭性試験結果

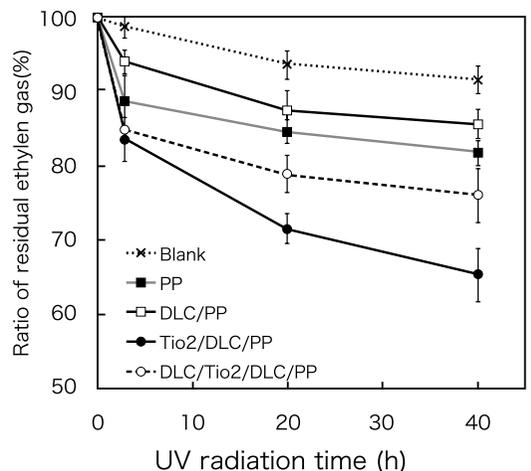


図 15 エチレン臭の消臭性試験結果

解が可能なことなど、分解効率が高いことが考えられる。

エチレンの分解率はホルマリンよりは低いものの、野菜等が発生するエチレンを分解できれば、容器内の野菜の鮮度維持に貢献できる可能性につながる。また、3層膜の DLC/TiO₂/DLC/PP においては、それぞれの40時間後の残臭率は46.5%、85.3%、76.0%となり、いずれの臭気に対しても、2層膜の TiO₂/DLC/PP よりは消臭性は下回るものの、一定の消臭力があることが確認された。

3層膜において、TiO₂層の上にDLC膜が堆積しているにもかかわらず、一定の光触媒活性を示した理由として、TiO₂表面に生成したラジカルがDLC層内の構造欠陥を通して、表面に到達し、有機物質を分解した可能性が考えられる。この現象はTiO₂層上にSiO₂膜やハイドロキシアパタイト膜を成膜した場合でも同様の現象が認められ、さらにTiO₂層上に絶縁膜が付加されることで光触媒活性の向上にもつながることが報告されている^{15,16)}。本実験では残念ながら、DLC膜を付加することにより、光触媒活性がさらに向上するといった効果には至らなかった。これはTiO₂層へ到達する紫外線がDLC膜の紫外線遮断性により妨げられ、生成するラジカルが減少したと考えられる。しかし、本結果から最表層のDLC層の膜厚をさらに最適化していくことにより、防臭、耐摩耗性、消臭を満す複合薄膜創出の可能性が見出された。DLC/PP、PPに関しては、防臭性評価で見られた傾向と同様に、DLC膜をポリプロピレンにコーティングすることで、ポリプロピレンへ

の臭気吸着が抑制されたものと考えられる。

まとめ

2009年、国連気候変動枠組み条約締約国会議(COP15)で、日本は「2020年までに1990年比で25%削減」という日本の温室効果ガス削減目標を世界に表明した。このような高い目標を実現していく上で、私たちがまず出来ることは、むやみに物を捨てないということも一つの手段ではないだろうか。これまでの大量消費・大量廃棄が可能であった社会から、リサイクル循環型社会への転換は着実に進みつつある。この中でプラスチック消費財の廃棄を抑えることは社会的な急務であろう。

本研究では、光触媒/DLC薄膜の防臭・消臭機能に焦点を置いて評価を行い、一定の効果が認められた。よって、本薄膜の食品保存用プラスチック容器への応用により、臭い吸着によるプラスチック廃棄の低減が期待される。

また、本研究はプラスチック容器への応用に留まらず、冷蔵庫内の壁面や入れ歯へのコーティング等様々な用途への展開が考えられる。今後は、消臭機能に必要な紫外光をどのように担保するか、また、DLC膜のプラスチック基板への密着性が実用に足るものであるか等、評価しなければならない課題もあり、継続的な研究を行っていく予定である。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたって、ガス透過試験では、茨城県工業技術センター地場食品部門所有の設備により測定を行いました。ここに感謝の意を表します。

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

- 1) Tupperware HP, <http://www.tupperware.co.jp/tupperware/index.html>
- 2) 富士経済 東京マーケティング本部編, 「トイレタリーグッズマーケティング要覧 2007 No.3」, 株式会社富士経済, 2007 年
- 3) 松井利郎, におい成分の収着—これまでとこれから, 日本包装学会誌 **16**, 173-178 (2007)
- 4) プラスチック・機能性高分子辞典, 産業調査会辞典出版センター, 2005 年
- 5) 123 リサイクル, <http://www.123recycle.net/index.html>
- 6) S. Aisenberg and R. Chabot, Ion-beam deposition of thin films of diamondlike carbon, *J. Appl. Phys.* **42**, 2953 (1971)
- 7) 鈴木秀人, 池永勝, 「事例で学ぶ DLC 成膜技術」, 日本工業新聞社, 2003 年
- 8) 「DLC 膜ハンドブック」, 株式会社エヌ・ティ・エス, 2006 年
- 9) Akira Shirakura, Masaki Nakaya, Yoshinori Koga *et al.*, Diamond-like carbon films for PET bottles and medical applications, *Thin Solid Films* **494**, 84-91 (2006)
- 10) 藤島昭, 「実力養成化学スクール 5 光触媒」, 丸善株式会社, 2005 年
- 11) 高機能光触媒創製と応用技術研究会編, 「高機能な酸化チタン光触媒」, 株式会社エヌ・ティ・エス, 2004 年
- 12) 真下正夫, 吉田政次, 「薄膜工学ハンドブック」, 講談社, 1998 年
- 13) R. V. Stuart, Vacuum technology, thin film and Sputtering, Academic Press Inc., New York (1983)
- 14) 白倉昌, 鈴木哲也, DLC のガスバリア特性, *New Diamond* **96**, 40-44 (2010)
- 15) K. Miyashita, S. Kuroda, S. Tajima, *et al.* Photoluminescence Study of Electron-Hole Recombination Dynamics in the Vacuum-Deposited SiO₂/TiO₂ Multilayer Film with Photo-Catalytic Activity, *Chem. Phys. Lett.* **369**, 225-231 (2003)
- 16) K. Ozeki, J. M. Janurudin, H. Aoki *et al.*, Photocatalytic hydroxyapatite / titanium dioxide multilayer thin film deposited onto glass using an rf magnetron sputtering technique, *Applied Surface Science*, **253** (2007), 3397-3401.

ヤマブシタケの抗認知症効果

河岸 洋和*

*KAWAGISHI Hirokazu (静岡大学創造科学技術大学院統合バイオサイエンス部門 (兼) 農学部応用生物化学科)

KeyWords：キノコ・ヤマブシタケ・ヘリセノン・認知症・動物実験・臨床試験

はじめに

ヤマブシタケ (*Hericium erinaceus*) はベニタケ目ハリタケ科ヤマブシタケ属のキノコである。その名は、山伏が身に付ける鈴掛衣の胸に付いている丸い飾りに似ていることから名付けられたと言われている (写真 1, 2)。英語では Lion's Mane (ライオンの鬣)、中国では猴头菇 (サルの頭のキノコ) と呼ばれている。インターネットで検索し健康食品関係のサイトを見ると、このキノコは古来より「頭に良い」キノコとして知られているという記述を散見する。し



写真 1 天然のヤマブシタケ



写真 2 栽培されたヤマブシタケ

かし、それは事実と異なり、健康食品としての付加価値を付けようとする何者かの意図によって、我々の 20 年に及ぶ抗認知症効果に関する研究が、いつの間にか古来からの伝承にされてしまったのである。

ここでは、このキノコの抗認知症効果に関するこれまでの経緯と最新の結果を紹介する。

1. 抗認知症物質の発見

認知症の発症のメカニズムは多様である。その一つに、神経成長因子 (nerve growth factor, NGF) などのニューロトロフィン (neurotrophin) の不足あるいは機能低下が指摘されている。我々は、その NGF の合成を促す物質をこのキノコから発見し、学名に因んで、ヘリセノン C-H (hericenone C-H, 1-6), エリナシン A-I (erinacine A-I, 7-15) と命名した (図 1)¹⁻⁶⁾。これらは天然から得られた初めての NGF 合成促進物質であった。

アルツハイマー病の病因としては、上記の NGF の欠損の他に、アミロイド β ペプチドの毒性が知られている。アミロイド- β -ペ

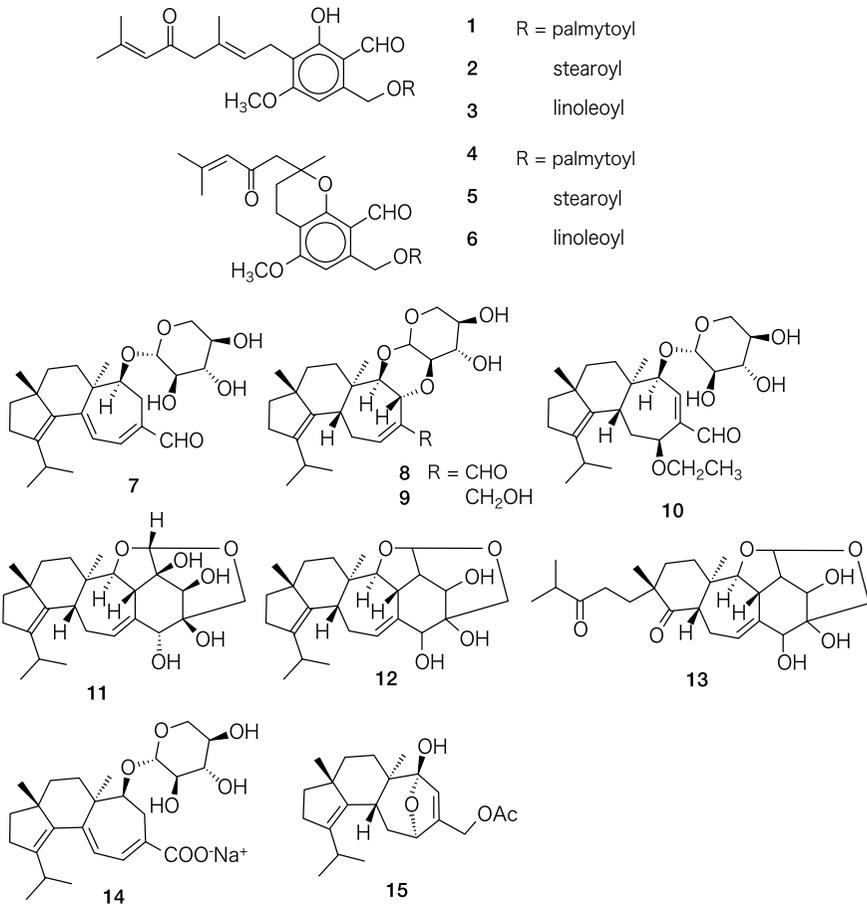


図1 ヤマブシタケから得られたヘリセノン類とエリナシン類

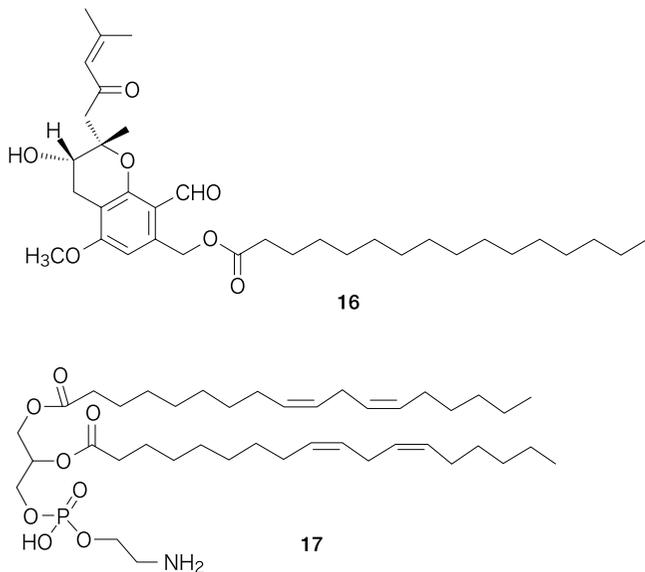


図2 ヤマブシタケから得られた小胞体ストレス抑制物質

プチドは神経細胞にストレスを与え、死に至らしめる。その一つとして小胞体に対するストレスがある。我々は、NGF 合成促進物質以外の抗認知症物質として、この小胞体ストレス抑制物質の探索を行い、このキノコからの活性物質として新規物質 3-ヒドロキシヘリセノン F (3-hydroxyhericenone F, 16) と dilinoleoylphosphatidylethanolamine (DPLE, 17) の精製、構造決定・同定、活性発現機構の解明に成功している (図2)^{7, 8)}。DPLE (17) については詳細に活性発現機構を検討し

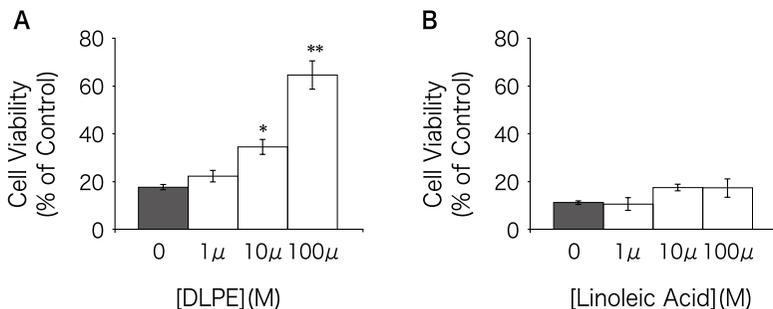


図3 DPLE とリノール酸の小胞体ストレス抑制活性の比較

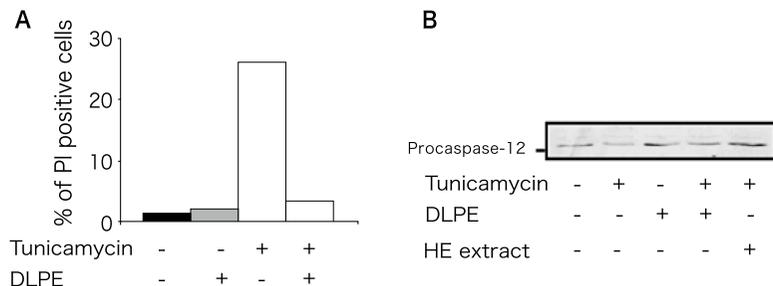


図4 小胞体ストレス細胞死に対する DPLE の抑制効果

た⁸⁾。アッセイは Neuro2a 細胞（マウス神経芽細胞腫由来）を用い、ツニカマイシンを小胞体ストレスのモデル化合物として用いた。17 は様々な植物や菌類に含まれありふれた化合物である。しかし、図 3A（縦軸が細胞生存率、横軸が 17 の濃度）に示すように、17 は濃度依存的にツニカマイシンに惹起された小胞体ストレスによる細胞死を抑制し、構成脂肪酸であるリノール酸は全く活性を示さなかった（図 3B）。また、構成脂肪酸が異なる様々な市販のフォスファチジルエタノールアミン類縁体の活性も測定したが、唯一 17 のみが活性を示した。多

くのリン脂質類縁体中で 17 のみが細胞死抑制効果を持つという結果はアミロイド-β-ペプチドによる毒性に対しても同様であった。図 4A（縦軸の PI 陽性細胞は死細胞を意味し、横軸はツニカマイシンと 17 の存在の有無を示す）は、ツニカマイシンの細胞毒性を 17 が抑制することを示し、また、その実験において、17 によって前駆体プロカスペーゼ-12 からアポトーシスを誘導するカスペーゼ-12 の生成が抑制された（図 4B、ツニカマイシンによって誘導されるプロカスペーゼ-12 からカスペーゼ-12 の変換が、DLPE あるいはヤマブシタケ抽出物によって抑制

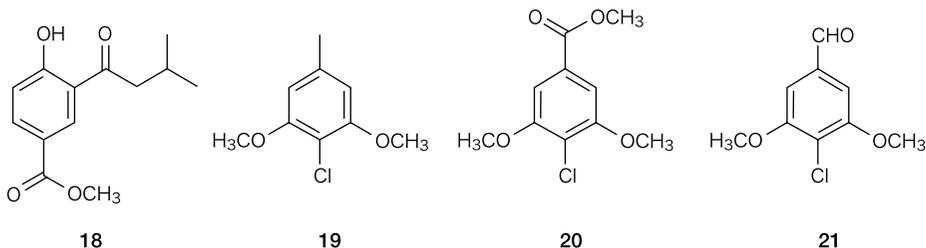


図5 ヤマブシタケ廃菌床から得られた小胞体ストレス抑制物質

され、プロカスペーゼ-12のバンドが減少していない)。この際、プロテインキナーゼCが活性化されていることが示された。

キノコ栽培において、廃菌床（キノコを収穫した後の菌糸が蔓延した培地）は産業廃棄物として処分されていることから、その廃菌床の有効利用をも考えて探索を行ったところ、小胞体ストレス抑制物質（18-21）を得ることに成功している（図5）⁹⁾。

2. 動物実験

NGF合成促進物質エリナシンA（7）とヘリセノンC（1）の動物実験による効果検証が行われた。出生直後のラットにエリナシンAを毎日経口投与（体重1kg当たり8mg）し、5週目に脳の各部位のNGF量を比較したところ、嗅球と大脳皮質ではコントロールと差がなかったが、青斑と海馬中のNGF量は大きく上昇していた（図6）¹⁰⁾。また、ラットを用いた別の動物実験（ヘリセノンCとエリナシンAを使用）において、キノコ毒であるイボテン酸を注入することによるアルツハイマー病モデルラットや人工的に血管を詰まらせる脳血管性痴呆モデルラットに対して、これら化合物は明らかに記憶の保持、学習能力の向上に効果を示した（未発表データ）。

最近、我々は、機能的食品への応用を考えて、NGF合成促進物質や小胞体ストレス抑制物質を多く含有する脂溶性画分（LMF）を用いた抗認知症動物実験（モリス水迷路）を行った（投稿準備中）^{11, 12)}。モリス水迷路実験とは、避難場所として水面下に隠れた踏み台を置いた円形の水槽にラットを泳がせると、ラットは休むために踏み台を探し、回数を重ねるとラットは避難場所を憶えるという原理を利用し、ラットの記憶を踏み台への到達時間で判定する実験である。図7にアミロイド- β -ペ

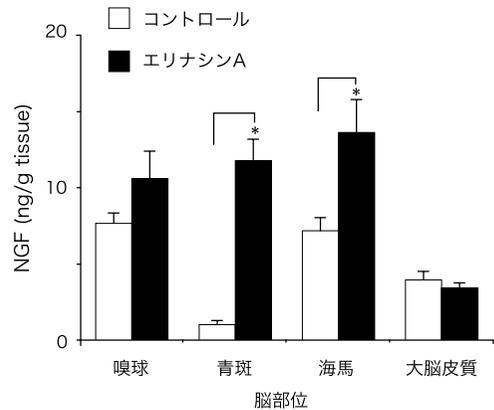


図6 エリナシンAによる脳各部位のNGF量変化
*危険率5%で有意差有り

プチドの注入によって認知症になったラットに対する実験結果を示す。ポジティブコントロール（ $A\beta$ +Aricept）群には抗認知症薬アリセプトを1mg/kg、 $A\beta$ +LMF-L群、 $A\beta$ +LMF-M群、 $A\beta$ +LMF-H群にはLMFをそれぞれ6mg/kg/日、12mg/kg/日、24mg/kg/日、ネガティブコントロール（ $A\beta$ ）群と正常ラット（Normal）群には同容量の生理的食塩水を胃ゾンデを用いて、毎日1回、連続4週間投与した。投与後第4週目から、モリス水迷路試験を毎日1回、連続1週間行った。試験開始後6日までの踏み台への到達時間を見ると（図7A）、 $A\beta$ +LMF-M群と $A\beta$ +LMF-Hは、正常ラットには及ばないものの $A\beta$ +Aricept群と同等の学習能力改善効果を示した。また、図7Bでは、試験開始後7日目の一定時間中の踏み台を通過する回数を示している。7日目には踏み台は除去されており、この結果はラットの記憶力を意味している。ここでも $A\beta$ +LMF-M群と $A\beta$ +LMF-H群は、 $A\beta$ +Aricept群と同様な効果を示した（図7B）。その後、各群の脳組織を摘出し、酵素免疫吸着測定法（ELISA）を用いて、その中の神経成長因子（NGF）の含有量を測定したところ、 $A\beta$ +LMF-M群、 $A\beta$ +LMF-H群、 $A\beta$ +Aricept群で海馬と大脳皮質中の含量が大幅に増加してい

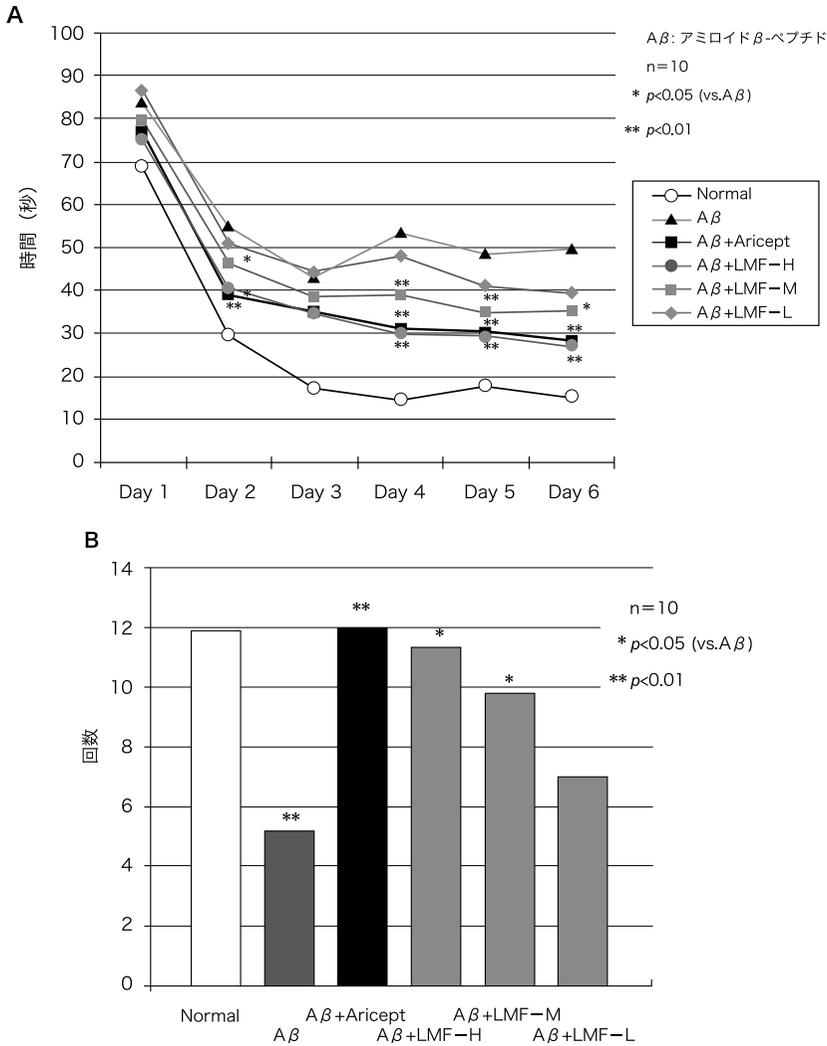


図7 LMFの抗認知症効果

た。アリセプトはアセチルコリンエステラーゼ阻害剤であり、LMF中にはNGF合成促進物質と小胞体ストレス抑制物質が高い含量で含まれており、作用機構が異なるため、現在これらの相乗効果について検討中である。

3. 臨床試験

動物実験では効果が確認されたヘリセノンやエリナシンではあるが、ヒトへの効果を試すことは薬事法の規制等によって容易ではない。し

かし、ヤマブシタケそのものは食用キノコであることから、このキノコを用いた臨床試験が行われた¹³⁾。群馬県桐生市の宏愛会第2リハビリテーション病院において、毎朝、乾燥ヤマブシタケ5gをみそ汁に入れ、半年間50人の患者（平均年齢75.0歳）に摂取してもらい、通常食の50人の患者（平均年齢77.2歳）と比較した。患者の病名としては、認知症、脳血管性疾患、退行性整形疾患、パーキンソン病、脊髄小脳変性症、糖尿病性神経障害、脊髄損傷、廃用症候群などがある。そして、ヤマブシタケ投

与前と投与後の FIM (Functional Independence Measure, 自立度) 値を比較した。FIM は評価項目を細かく定め、各項目に対して 1 点 (全介助) から 7 点 (完全自立) を付けていく。従って点数の高いほど健康に近い。内容は大きく運動領域 (食事, 更衣, 排泄管理, 歩行, 浴槽・

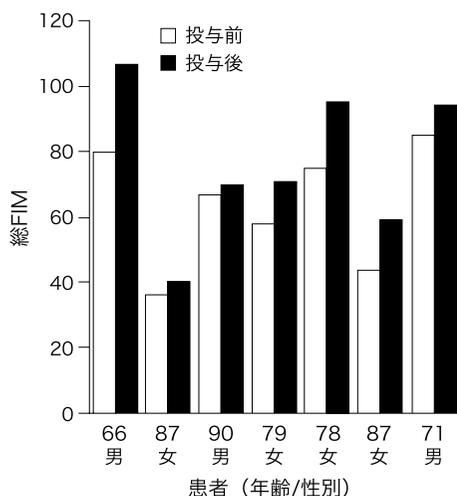


図8 ヤマブシタケ食による総 FIM 値の変化

シャワーなど 13 項目) と認知領域 (理解, 表出, 社会的交流, 問題解決, 記憶の 5 項目) に分けられている。この試験の結果, ヤマブシタケを食べたグループには 7 名の認知症患者がいたが, 6 名が認知領域 (5 項目) の上昇が見られ, FIM 値全体 (18 項目) では 7 名全員が上昇を示した (図 8)。また, この病院では, 2002 年にも同様な試験がなされた。前回の試験では形を保ったままの乾燥ヤマブシタケ 5g を 6 ヶ月摂取したが, この試験では粉末乾燥ヤマブシタケ 3g, 3 ヶ月の摂取で 15 名中 12 名の総 FIM 値が上昇した (笠原他, 未発表データ)。

また, 最近, アリセプトが無効な患者 18 名に対する臨床試験が行われ, ヤマブシタケの有効性が確認された¹⁴⁾。効果の判定にはミニメンタルステート検査 (Mini-mental state examination, MMSE) が用いられた。これは認知症の診断用に米国で 1975 年に開発された検査であり, その後改良されている。30 点満点

表1 ヤマブシタケ摂取によるアリセプトが無効なアルツハイマー病患者の MMSE の変化*

患者	性別	年齢	MMSE			判定
			摂取前	摂取後	変化	
1	女	66	22	24	+2	有効
2	女	69	18	23	+5	有効
3	男	86	21	25	+4	有効
4	男	80	18	22	+4	有効
5	女	72	20	24	+4	有効
6	男	81	23	26	+3	有効
7	女	80	18	21	+3	有効
8	女	69	21	25	+4	有効
9	女	84	17	19	+2	有効
10	男	87	20	20	0	不変
11	男	79	11	12	+1	不変
12	女	80	18	19	+1	不変
13	男	64	26	25	-1	不変
14	男	84	18	19	+1	不変
15	男	80	21	22	+1	不変
16	男	79	20	21	+1	不変
17	女	81	18	16	-2	悪化
18	男	73	19	14	-5	悪化

* 乾燥ヤマブシタケ粉末 1.5g を 1 日 2 回 (朝食後, 夕食後) 3 ヶ月摂取

の11の質問からなり、見当識、記憶力、計算力、言語的能力、図形的能力などを判定する。24点以上で正常、20点未満では中等度の知能低下、10点未満では高度な知能低下とされる。その結果を表1に示す。患者の半数に検査値の向上が見られ、その他の所見と合わせ、最終的に有効が11名、不変が4名、悪化が3名と結論された。

類似した臨床試験結果が報告されている¹⁵⁾。50歳から80歳の軽度認知障害患者30名を任意に対照群とヤマブシタケ群(各群15名)に分け、ヤマブシタケ群に240mgのヤマブシタケ子実体含有の錠剤を、対照群には同量のプラセボ錠剤を毎日4粒、毎日3回、連続16週投与した。その試験期間では、認知障害の改善に関連の薬またはサプリメントを一切服用しな

かった。判定はMMSE法に類似した改定長谷川式認知症スケールを使って行われた。その結果、ヤマブシタケ群では15名全員の改善が見られた。

おわりに

我々の研究を契機に、現在では世界中でこのキノコの栽培や機能性食品としての開発が進んでいるし、現在も国内の複数の病院でこのキノコの効果が試されている。しかしながら、キノコ自体を用いた臨床の結果が、我々の発見した化合物によるという直接的な証拠は無く、また、臨床試験結果は十分ではない。「ほけ防止にも役立つかもしれない化合物群・ヤマブシタケ」という表現が現時点においては最もふさわしいかもしれない。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) Kawagishi, H., Ando, M., Sakamoto, H., *et al.*, *Tetrahedron Lett.*, **32**, 4561-4564 (1991)
- 2) Kawagishi, H., Ando, M., Shinba, K., *et al.*, *Phytochemistry*, **32**, 175-178 (1993)
- 3) Kawagishi, H., Shimada, A., Shirai, R., *et al.*, *Tetrahedron Lett.*, **35**, 1569-1572 (1994)
- 4) Kawagishi, H., Simada, A., Shizuki, K., *et al.*, *Heterocycl. Commun.*, **2**, 51-54 (1996)
- 5) Kawagishi, H., Simada, A., Hosokawa, S., *et al.*, *Tetrahedron Lett.*, **37**, 7399-7402 (1996)
- 6) Lee, E.W., Shizuki, K., Hosokawa, S., *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **64**, 2402-2405 (2000)
- 7) Ueda, K., Tsujimori, M., Chiba, A., *et al.*, *Bioorg. Med. Chem.*, **16**, 9467-9470 (2008)
- 8) Nagai, K., Chiba, A., Nishino, T., *et al.*, *J. Nutr. Biochem.* **17**, 525-530 (2006).
- 9) Ueda, K., Kubo, M., Masuno, K., *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **73**, 1908-1910 (2009)
- 10) Shimbo, M., Kawagishi, H., Yokogoshi, H., *Nutr. Res.*, **25**, 617-623 (2005)
- 11) Zhuang, C., Kawagishi, H., Zhang, H., *et al.*, USP, 10/762,927 (2008)
- 12) 庄邨, 河岸洋和, 張陸勇他, 特願 2009-90483
- 13) 笠原浩一郎, 金子澄子, 清水佳代子, 群馬医学, 別冊, 77-81 (2001)
- 14) 大友英一, 清水通隆, 小松靖弘, 老年医学, **47**, 1061-1066 (2009)
- 15) Mori, K., Inatomi, S., Ouchi, K., *et al.*, *Phytother. Res.*, **23**, 367-372 (2009)

福島県産小麦ゆきちからの性質と中華麺への応用 (2)

—中華麺として求められる加工特性—

庄司 一郎*

*Shoji Ichiro (郡山女子大学 家政学部)

KeyWords：ゆきちから・小麦粉・麺・中華麺

1. タンパク質含量および灰分含量

小麦粉に加水して捏ねた生地（ドウ）は、写真1のような構造になっており、丸いデンプン粒の間に白く見えるグルテン粒（グリアジンとグルテニンが結合したもの）が形成されている。建物に例えると、グルテンが鉄筋、デンプンがコンクリートの役割を果たしていることになる。中華麺やうどんの食感は、グルテンとデンプンの関係で決まり、特に中華麺は、グルテンの役割が重要で、麺のコシや切れやすさに影響を与えている。上述したようにタンパク質はグルテン形成にかかわる重要な性質で、茹で伸びや食感、色相からタンパク質含量は12%が

適性だと考えられる（表1）。

中華麺の色相を左右する要因に灰分がある。小麦子実のタンパク質含有量を高めると灰分が増加するが、製粉後の灰分は逆に減少するため、

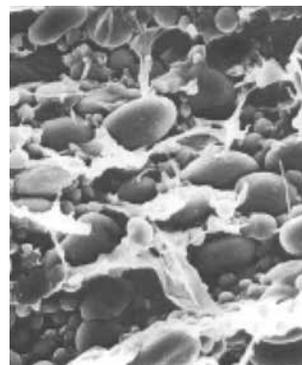


写真1 小麦粉生地中のデンプンとグルテン
(電子顕微鏡写真、小麦粉の魅力より)
丸い粒がデンプン、白く見える部分がグルテン

表1 出穂期の窒素施用量が異なるゆきちからの成分および中華麺の官能検査

品種名 および 銘柄名	出穂期 窒素施用量 (kg/a)	成分				中華麺の官能検査					
		粗タンパク質含量		灰分含量		生麺帯の色相		ホシの程度	食感	食味	食感
		源粒	60%粉	源粒	60%粉	製麺当日	製麺1日後	製麺1日後	茹で直後	茹で直後	茹で7分後
ゆきちから	なし	10.3	8.3	1.72	0.49	1.15	1.26	1.04	0.63	0.46	-0.08
	0.3	11.9	10.0	1.69	0.47	1.14	1.15	0.85	0.63	0.54	0.92
	0.6	13.3	11.2	1.73	0.46	0.44	0.74	0.63	0.50	0.38	0.54
	0.9	14.0	12.3	1.74	0.46	1.25	0.68	0.56	0.50	0.42	1.00
Hard Red Winter	-	12.2	9.7	1.51	0.41	-	-	-	-	-	-

注1)：2反復平均値。ただし、Hard Red Winterの成分は無反復。

注2)：粗蛋白質含量、灰分含量は源粒では12.5%wb、60%粉では13.5%wb換算値。

注3)：官能検査の標準品には総合食糧局から無償譲渡されたアメリカ産準硬質小麦「Hard Red Winter」を用いた。

注4)：官能検査の評価は標準品を0(普通)として、-3(かなり不良)～+3(かなり良)の7段階で行った。

表2 中華麺官能評価試験（東北農業センター資料より抜粋）

品種名	色相		ホシの程度	ゆで麺食感						合計
	生麺	ゆで麺		直後			7分後*			
				かたさ	弾力性	なめらかさ	かたさ	弾力性	なめらかさ	
ゆきちから	8.6	3.7	15.0	4.7	1.5	1.6	7.9	2.7	2.9	75.1
ハルイブキ	6.3	3.2	11.0	4.1	1.3	1.2	8.6	2.9	2.6	63.8
市販パン用	7.0	3.5	14.0	4.2	1.4	1.4	8.4	2.8	2.8	70.0

ゆきちから、ハツイブキは60%粉使用。

*：製麺直後の生麺をゆでた後7分間熱湯に浸けておいたものを評価。

表3 中華麺の色調（東北農業センター資料より抜粋）

品種名	生麺生地						ゆで麺					
	直後			1週間後*1			直後			1週間後*1		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
ゆきちから	68.3	-1.06	28.7	65.3	0.35	29.9	70.0	-1.61	23.9	67.6	-0.58	25.2
ハルイブキ	68.6	-0.23	24.0	65.4	0.99	25.2	67.5	-0.87	22.5	65.9	-0.10	22.8
市販パン用	72.8	-0.92	22.6	70.4	0.66	24.5	70.4	-0.67	22.2	67.4	0.28	22.5

ゆきちから、ハツイブキは60%粉使用。

L：明るさ，a：+赤，-緑，b：+黄，-青，*1：1週間冷蔵庫に保管後調査

タンパク質含量を高める追肥による灰分の上昇に伴う麺帯の色相低下はみられない。よって、中華麺用小麦の栽培にあたっては、目標をタンパク質含量に絞って施肥管理を行っても支障はないものとする。（表1）

他方、育成地でのゆきちからのパン加工適性評価では、アオバコムギに優り、輸入パン小麦と同程度で、製粉歩留および、ミリングスコア（製粉歩留に、ストレート粉の灰分含量を加味した値で、高い程望ましい）が高く、製粉性が優れている。また、ゆきちからの中華麺適性はアオバコムギに比べて麺の色が明るく、ゆで麺の食感は、ゆで直後は優れるが、7分後には市販強力粉と同程度を示した。さらに中華麺で重要な黄みの発色程度が、市販強力粉およびハルイブキより高い値を示した。（表2，3）

2. ゆきちからの製麺適性

ゆきちからなど国産コムギを利用する上での課題として、原料の安定性ととも価格差が指摘される。価格差を解消する方法として、製粉分画の見直しが考えられる。一般に中華麺用粉

は、灰分の少ない小麦胚乳の中心部を使用した1等粉が使われ、製粉歩留りは40%以下である。製粉歩留りを上げると麺の物理性に関するタンパク質含量は増加するが、同時に灰分含量も高まり、麺の色調が低下する。ゆきちからは、外国産コムギに比べて、同じタンパク質含量でも灰分含量が高い特徴がある。そこで、製粉分画においては2等粉を再分画し、製粉歩留りの向上が望まれる。

ゆきちからのような国産コムギは、中小規模の製粉業者にとって、大手製粉業者が対応できないこだわりの商品の素材となるものであり、生産効率上、問題があっても出来上がった商品に「ストーリー性」が加味されれば、販路の拡大が期待できる。このような商品コンセプトで重要なのは安全・安心のキーワードである。従って、品質や加工適性が重要なのは、当然であり、栽培履歴が明らかである必要がある。さらに、最近では食物アレルギーに対する対策が必要であり、コムギにほかの穀粒が混入しないよう栽培から製粉までの工程を管理する必要がある。特に、ソバはコムギとの輪作作物として導入されることが多く、会津地方での生産が多い作物

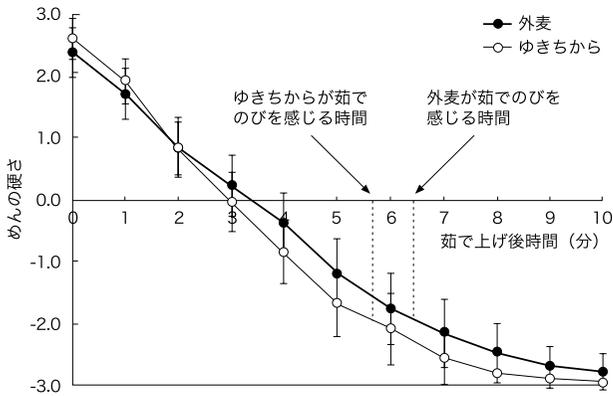


図1 ゆきちからと小麦の茹でのび (二瓶ら, 2008)
 -3: かなり軟らかい~, 0: ふつう~, 3: かなり硬い

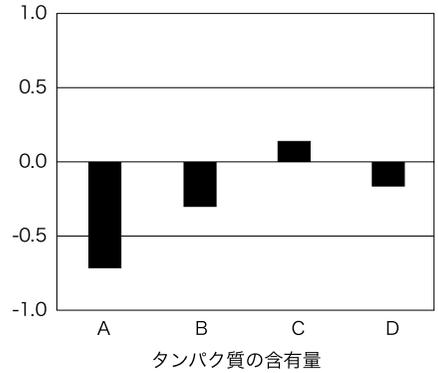


図2 タンパク質含有量と中華麺の食味^{1),2)}
 A: 9.1%, B: 9.8%, C: 9.9%, D: 10.8%
¹⁾ 茹で上げ7分後の食感
²⁾ 官能評価は HRW を D (標準) として実施

であることから、輪作する場合、異種穀粒の混入を防止する必要がある。

製麺業者にとっても販路の拡大は重要な課題であり、製粉業者同様新しいコンセプトの商品提案が求められる。喜多方ラーメンなどの地域のラーメンを支えているのは、地元の製麺業者などである。ゆきちからラーメン (喜多方産小麦 100%) の店頭販売での結果からは、話題性のあるラーメンとしてプラス評価がある反面、生麺の取り扱い性や麺の茹伸びを指摘する声が多

く、改善が望まれている。そこで、ゆきちからと小麦の茹伸びについて比較したところ、ゆきちからは茹上げ後、3分頃から軟らかくなり、6分より前に茹伸びと感じられるのに対し、小麦は6分過ぎに茹伸びと評価され、ゆきちからは1分程度伸びが速かった (図1)。

1食のラーメンを食べ終わる時間の平均値は7分といわれており、ゆきちからの茹伸びまでの時間はやや速いと考えられる。茹伸びの原因は、供試した小麦粉のタンパク質含量やグリア

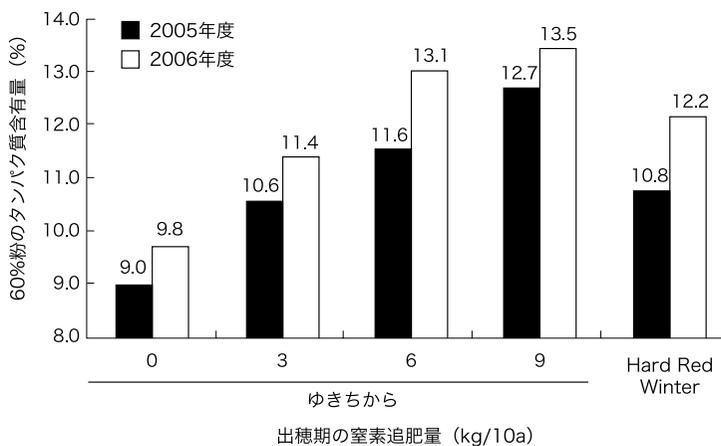


図3 出穂期の窒素追肥量が60%粉のタンパク質含有率に及ぼす影響 (平ら, 2008)
 タンパク質含有率は水分13.5%換算値
 ゆきちからは2反復平均値
 参考として総合食料局から無償譲与された Hard Red Winter を記載した。

ジン、グルテニンの質が関与しているものと考えられることから、ゆきちからのタンパク質含量と中華麵の食味について検討した。その結果、タンパク質の少ないゆきちから中華麵は外麦中華麵に比べて明らかに食味が劣っていた(図2)。

茹伸びにはタンパク質が関与していることが

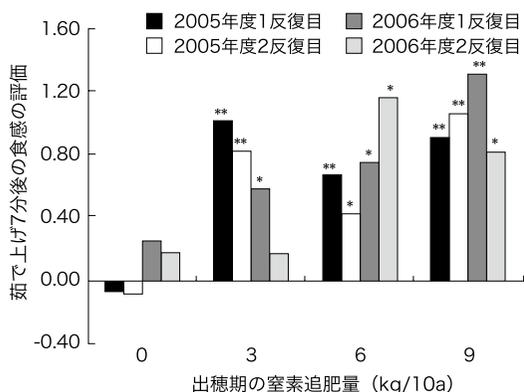


図4 ゆきちからの中華麵の茹で上げ7分後の食感の評点(平ら, 2008)

製麵1日後の中華麵を供試した。

官能評価は標準の品の Hard Red Winter を0(普通)として、-3(かなり不良)～、+3(かなり良)の7段階評価で実施。

* および** は、t検定の結果、標準品と比べてそれぞれ5%および1%水準で有意差があることを示す。

示唆され、その改善策としては栽培時における施肥法と、タンパク質含量の高い小麦粉や他の添加物とのブレンドについて検討した。

平らによれば、穂揃い期の窒素追肥を増加することで、子実タンパク質含量を上げることが可能である(図3)。さらに、出穂期の窒素追肥を増量することで、子実及び小麦粉のタンパク質含量を改善できることを報告している(図4)。二瓶らは、喜多方産ゆきちからに宮城県産ゆきちからや外麦をブレンドし、茹伸びの改善について検討し、外麦を20%混合することで、茹伸びを改善できることを明らかにしている(図5)。

著者らは柿渋タンニンのタンパク質凝集性(タンニンは繊維状タンパク質のグルテンと容易に強い結合)に着目し、グルテンの形成性との視点から茹伸びやコシの改善について検討した。その結果、仕込み時にタンニン添加により、生中華麵の物性値(弾力、強度)が高くなり、中華麵のコシが改善されることが示唆された。他方、麵帯形成における伸展性に対して負に作用し、タンニンはグルテン形成時にグルテンとは強く働き、弾性の改善に影響を及ぼしたが、グリアジンの粘着性を阻止するような働

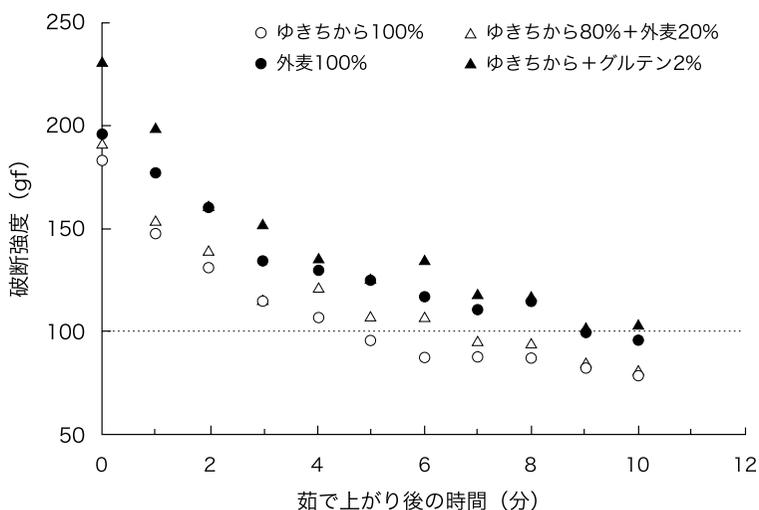


図5 ゆきちからと他の小麦のブレンドによる破断強度の改善(二瓶ら, 2008)
外麦: 中華麵用輸入小麦1等粉
破断強度が100gf以下になると茹でのびと感じられる。

きを示した。そこで、麺の弾性、粘性の改善を図ることを主に、タンニン、グルテン併用添加を試みた。その結果、麺の弾性、伸びも改善され、茹で時における麺の茹伸びにおいても若干改善され、タンニン、グルテン併用添加が効果的であることが示唆された。タンニン増加と色調との関係ではコントロールとの差異はみられず、タンニン、グルテン併用添加により、黄色がやや濃くなる傾向を示した(表4, 5)。また、タンニン添加と食味の関係では弾力、のどごし等では、テクスチャー値と同様の傾向を示した

が、タンニンの影響と思われる渋味が舌に残り、喜多方ラーメンのイメージを損ねてしまうとの意見が多かった。この要因としては、タンニンとグルテンの反応が不十分であったためと推測されるので、麺形成におけるタンニン添加の方法について早急に解決したい。(表6)

3. ゆきちからラーメンの普及拡大について

(1) 中華麺に適したゆきちからの栽培

喜多方ラーメンを始めとする地方色豊かな中華麺は、地域を代表とする食品として地域の観光資源やPRの素材とし注目を集め、地域活性化の原動力となっているが、その原料には輸入小麦が多く使われており、地域農業との結びつきが希薄である。そこで、国産小麦の茹で中華麺特性が高いといわれているゆきちからについて栽培地域、土壌条件と中華麺小麦として具備する条件について述べることにする。

小麦は、秋に播種し、越冬後、春に出穂して初夏に収穫する作物で、日照時間が長い浜通り

表4 タンニン・グルテン添加ゆきちから生中華麺の色調^{*1}

	色調		
	L	a	b
コントロール	72.8	-2.5	17.8
タンニン 0.1%	72.4	-0.8	17.7
グルテン 1.0%	80.2	-2.0	20.6
タンニン 0.1%+ グルテン 1.0%	74.0	-1.4	18.0

*1: 日本電色工業(株) BP-1

L: 明るさ, a: +赤, -緑, b: +黄, -青

表5 タンニン・グルテン添加ゆきちから生中華麺のテクスチャー比較

	引張強度 ^{*1}			茹伸び (cm)	濁度 ^{*2} (TUR)
	弾力 (gf.mm)	強度 (gf)	伸び (mm)		
コントロール	244.2 ± 18.3	6.9 ± 0.2	57.9 ± 4.8	1.7 ± 0.2	3.0
タンニン 0.1%	341.8 ± 26.8	9.1 ± 0.3	51.7 ± 4.4	1.2 ± 0.2	1.6
グルテン 1.0%	274.3 ± 32.6	7.0 ± 0.4	55.9 ± 6.1	1.4 ± 0.3	2.5
タンニン 0.1%+ グルテン 1.0%	332.9 ± 36.0	8.3 ± 0.3	57.1 ± 4.9	1.2 ± 0.1	2.4

*1: 島津テクスチャーアナライザー EZ test

*2: 共立理化学デジタル濁色度計

表6 タンニン・グルテン添加ゆきちから中華麺の官能検査*

	のどごし	弾力	色	香り	なめらかさ	渋み	総合
タンニン 0.1%	0.58	1.25	-0.25	0.42	-0.08	-0.83	0.50
グルテン 1.0%	0.80	1.00	0.08	0.42	0.50	0.33	0.75
タンニン 0.1%+ グルテン 1.0%	1.08	0.67	0.42	0.67	0.67	-0.50	1.08

*: 官能検査の評価は標準品を0(普通)として、-3(かなり不良)~+3(かなり良)の7段階で行った。

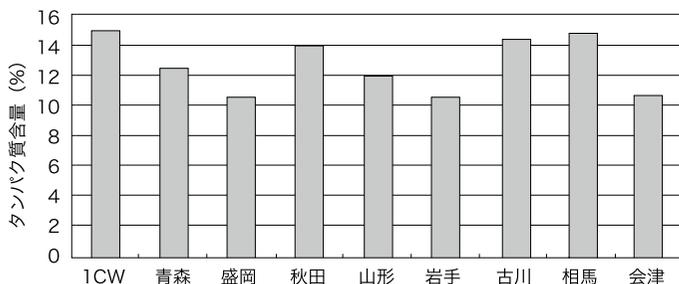


図6 ゆきちからの地域別タンパク質含量
ICW：カナダ産小麦

表7 土壌型と小麦の成分

土壌型	精子実量 (g/ポット)	蛋白質 含量 (%)	灰分含量 (%)
灰色低地土	17.3	11.2	1.63
褐色森林土	14.8	10.8	1.66
花崗岩質土壌	10.9	11.4	1.14
黒ボク土	18.0	14.3	1.65

表8 普通畑・転換畑と小麦成分

栽培ほ場	精子実量 (g/ポット)	蛋白質 含量 (%)	灰分含量 (%)
普通畑	61.2	10.6	1.70
転換畑	52.9	10.6	1.62

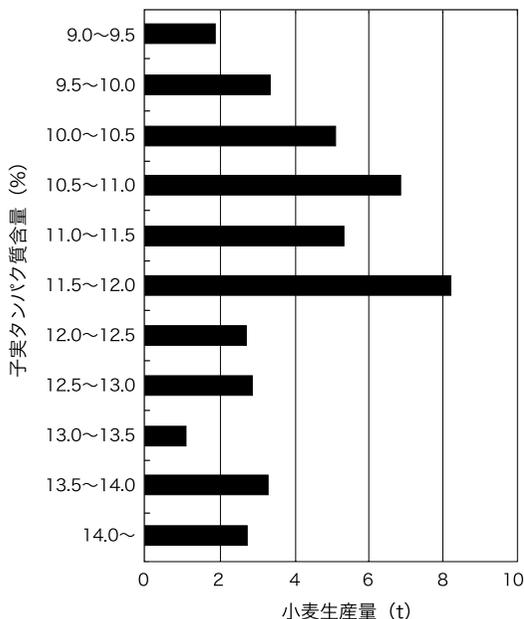


図7 喜多方現地実証試験穂で生産された小麦実タンパク質含量の分布

や中通りの収穫が多い。会津地方は、播種適期が短く、気象条件（融雪時に湿害を受ける）が良くないことから、収量が低い傾向にある。しかし、出穂期から収穫時期までの気象条件は、浜通りがやませの影響等で多湿なのに比べ、会津は相対的に晴天の日があり、赤カビ病や雨による品質劣化が少ない。

一方、小麦のタンパク質含量は、寒冷地ほど多い傾向にある（図6）。本県の試験例からみると、同じ施肥量であれば浜通りが高く、次いで中通り、会津の順となり、タンパク質含量が確保しにくい会津地方では、出穂期後の追肥が重要となる。また、小麦タンパク質含量は、栽培する土壌条件によっても異なる。収量、タンパク質含量を確保しやすいのは黒ボク土で、水田に多い灰色低地土では、収量は確保できるがタンパク質含量が低くなりやすいので、追肥が重要となる（表7, 8）。次に、実際に中華麵適性の高いゆきちからを生産するには、中華麵用小麦粉のタンパク質含量目標は10%以上、原料小麦では12%以上が必要になる。

平成20年産小麦の子実タンパク質含量の分布は（図7）の通りで、子実タンパク質含量が12%なのは、13.1tで、全体の30%であった。また、これらの小麦の子実タンパク質含量の平均は13.4%であった。今回生産された小麦43.8tを使って、子実タンパク質含量12%以上の製粉原料小麦を調整するためには、子実タンパク質10.4%以上の小麦を利用すればよく、小麦の量は34.5tで、全体の78.6%にあたり、子実タンパク質含量は12.0%になる。

(2) 総合的な販売戦略

喜多方ラーメン（しょうゆ味）は朝日新聞アスパラクラブ会員によるラーメンランキングにおいて、博多ラーメン（豚骨スープ）、札幌ラーメン（みそ味）に次いで、第3位にランクされ

ている。人口5万人の地方都市で市内100店舗以上のラーメン屋さんがしのぎを削って育ててきた地域ブランドであり、朝から食べるラーメン、通称「朝ラー」が観光客の間でもじわりとブームになっている。もともと地元ではごく一般的な食習慣だが早朝からにぎわうラーメン店を目指し、遠くから足を延ばす人も多い。朝ラーは農作業や早朝ソフトボールの後、昔から朝食にラーメンを食べる。いつしか朝ラーと呼ばれ、午前7時から営業する店もある。また、喜多方ラーメンの特徴である太麺のしょうゆ味という基本的な共通点は存在するものの、ラーメンに対するこだわりは多種多様で、それが特徴になっている。従って、使い慣れた麺を変えることやそれに伴ってスープを変えることには抵抗がある。一方で、新たな顧客の拡大に向けて、新しい商品開発にチャレンジする動きもあり、これらの動きをひとまとめにして対応することは困難と考える。

前述のように、地元で日常的にラーメンを食べる人々にとっては、これまでの味と価格を優先することが必要とされる。一方、始めて喜多方市を訪れる観光客にとっては、価格が多少高くとも、珍しいものに食指を動かされる傾向がある。地元のラーメン屋さんにとってのライバルは、コンビニエンスストアとファーストフード店で、単なる価格競争に巻き込まれないためには、ライバルと異なった商品コンセプト(例、外麦を原料としたラーメンを基準にしない。ゆきちからの特徴を生かしたもちもち、ソフト、弾力等、まったく別の麺、冷しラーメン、つけ麺、短いパスタ)。

ゆきちからの生産量からみてすべての麺を喜多方産に変えることは困難であり、喜多方産ゆ

きちからのストーリー性が商品となる店頭での限定販売が重要と考える。その際、生産者から製粉業者、製麺業者、ラーメン店それぞれが技術力にこだわり、努力が伝わるよう工夫する必要がある。即ち、生産から販売の一連の商品訴求のマーケティング展開が会津地方を挙げて必要と考える。(例、合言葉は喜多方産ゆきちからでラーメンを)。また、コムギの生産にあたっては、消費者からは生産者の顔が見えること、生産者からは自分たちの生産物が最終製品にどのように生かされているかを目の前で実感できる仕組みが必要である。コムギの買い入れには、品質に対応した価格設定がなされているが、喜多方ラーメン用コムギについて、特に中華麺適性を考慮したランク区分を独自に作るなど、商品化する仕組みづくりを支援することが重要と考える。

まとめ

ゆきちからは外麦に比較して、タンパク質含量がやや少なく、そのためゆきちから中華麺は腰が弱く、茹伸びがやや早い傾向にある。そこで、柿渋タンニンのタンパク質凝集性を利用した改善について検討した。タンニン添加により腰は改善されたが、その反面、生麺の麺帯形成が劣り、渋味が多少口に残る等、タンニン添加による新たな問題点に対する解決が生まれた。他方、ゆきちから100%を原料とした中華麺は外麦を原料とした中華麺に比してももちもち感やソフト感がみられ、ゆきちからの特徴を生かした商品開発が可能となった。そのことにより地場産食材にこだわり安全・安心にコストをかけた究極の喜多方ラーメンに近づくことを願っている。

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

- 1) 農文協編：食品加工便覧，第9巻，追録第5号，p.284の14～26（2008）
- 2) 木下敬三：小麦粉の話し，旭屋出版 p.30～34（2005）
- 3) 庄司一郎：日本家政学会東北・北海道支部 第52回大会講演要旨集，p.12 東北生活文化大学（2008）

伝える心・伝えられたもの

— 市 —

宮尾 茂雄
(東京家政大学)

数年前に初めて訪れた正倉院展で、天平宝字2年(758年)8月12日東大寺写経所の役人が「西市」で瓜と生大豆を購入したことを記した古文書に出会った¹⁾。平城京の「東市」、「西市」はどこにあったのか、そこではどのようなものが取引されていたのだろうか。大学の卒業式が終わった3月下旬、古代の市「海柘榴市(つばいち)」と平城京の「東市」、「西市」を訪ねて、奈良に向かった。

1. 海柘榴市(つばいち)

最初に奈良県初瀬の長谷寺にお参りをし、そこから伊勢街道(初瀬街道)に沿って海柘榴市を訪れることにした。近鉄大阪線長谷寺駅のホームに数人の乗客を降ろして電車が去ると、ウグイスの澄んだ声が空いっぱいに響いてきた。周囲の山あいには芽吹きを迎え、うっすらと萌黄色を帯び、ところどころ咲き始めた桜で薄紅色に染まっていた。駅前の階段を降り、大和川(初瀬川)に架かる「はつせ橋」を渡ると、伊勢街道である。車がひっきりなしに往来していたので、「長谷寺への近道」と書かれた看板を見つけて街道を離れた。坂道を登るとすぐに林に入った。少し進むと竹林になり、左手の下り坂は長谷寺への参道に続く道で、右手の上り坂は旧伊勢街道に続く山道であった(写真1)。すれ違った方にうかがうと、旧道までは直ぐとのことだったので、幅4m程の急坂を登っていくと「化粧坂(けわいざか)」(写真2)と書かれた道標が立っていた。登りきると視界が急に開け、眼下には伊勢街道、大和川、近鉄の線路が並行して走り、その向こう側の山の斜面には棚田が広がっていた。林を抜けると斜面に添うように小さな集落(与喜浦地区)があった。旧道沿いには庚申塚、江戸時代の常夜燈が奉られ、「伊勢参宮本街道」の道標が立っていた。風のない暖かい陽気に誘われて、しばらく旧道を歩いた。中央部が三角形の切妻屋根で両妻部分が瓦葺の大和棟が二軒



写真1 旧伊勢街道に続く山道(長谷寺付近)



写真2 化粧坂(けわいざか)



写真3 大壁に「水」と描かれた大和棟

並んでいた。そのうち一軒の大壁には大きく「水」と描いてあった(写真3)。近くで荷物の積み下ろしをしている方にお話をうかがった。昭和20年代に火事があり、集落全体が大きな被害にあった。消火用水に乏しい山里では、

火事が起きると怖いので、火災除けのお守りとして描いている。長谷寺本堂も何度も焼失している(現在のものは江戸時代の再建)。そのため火伏の神様、愛宕神社を奉祀されているとのことだった。長谷寺への参道は、先ほど通ってきた庚申塚から右へ竹林を抜ける道があり、村祭りでは、ふもとの與喜天満神社から集落まで、御神輿を担いで山道を走ったと教えて下さった(写真4)。

細い旧道はこの先も続いており、歩いてみたい誘惑にとらわれたが、引き返して、庚申塚から細く曲がりくねった坂道を下った。まもなく正面に長谷寺の本堂(観音堂)とそれを取り巻くような紫、緑、黄色、朱色、白色の五色の幔幕があざやかに見えた。長谷寺は一旦谷に下り、初瀬川を渡った対岸にあった。

仁王門わきの桜の大木、その奥のしだれ桜、目の届く限りの桜が七分咲きから満開で、長谷寺の境内全体が桜色に染まっていた。その間にサンシュユの明るい黄色が華やかさを添えていた。長い登廊をゆっくり歩いていくと(写真5)、右手に「お茶席開催中」の看板が見えた。朝からずっと歩いてきて、ひと休みしたくなったので、一服することにした。お茶席のある月輪院はちょうど山



写真4 與喜天満神社前にある「いせみち」の道標



写真5 長谷寺の長い登廊



写真6 お茶席が設けられていた月輪院(長谷寺)

の中腹にあった(写真6)。満開の桜とサンシュユ、点在する伽藍の大きな瓦屋根を見ながらお抹茶をいただいた。ゆったりと美しい景色を眺めていると、東京での慌しい生活がうそのように消えていくような気がした。正午を告げる鐘と法螺貝の響きにうながされるように重い腰を上げた。

長谷寺は観世音菩薩をご本尊とする名刹であり、平安時代にはすでに貴賤男女を問わず信仰の篤い霊場であった¹⁾。蜻蛉日記の作者、藤原倫寧女(ふじわらやすとものむすめ、?~995年)は片道5日を要して長谷寺にお参りしている¹⁾。数日間をこの地で過ごし、説法を聞き、熱心に祈願し、穢れを払う「参籠」であった。枕草子には桜の花の盛りに長谷寺(推定)に参詣する話が載っている(116段)。

「二月晦日(つごもり)、三月朔日(ついたち)ころ、花ざかりにこもりたるをかし」¹⁾。

長谷寺の門前はちょうどお昼時でもあり草餅、そうめん、川魚料理などの呼び込みで賑やかであったが、そこを抜けると通りは急にひっそりと静かになり、仏具屋、酒屋、土産物屋などの古い商家や老舗旅館などが並び、かつての門前町の雰囲気を残していた(写真7)。この静かなたたずまいを遺すため早稲田大学理工学術院と奈良県の連携事業「初瀬門前町における景観まちづくり」プロジェクトのポスターが商家の入口に貼られていた。

参拝者のために桜井から長谷寺まで軽便鉄道が敷かれていた時期もあり、その軌道をもとに現在の伊勢街道が作られたようだ。それ以前は大和川を使った舟運も利用されていた。かつての旧道は現在の伊勢街道に並行するようになるところどころに残っていた。旧道を西に向けて歩いていくと、低い軒先の木造家屋が軒を連ねていた(写真8)。十二柱神社は当麻蹴速(たいまのけはや)と野見宿禰(のみのすくね)が日本で最初の相撲(力比べ)をしたことから相撲発祥の地と伝えられ、今も「出雲ムラ」の話が伝説されている。常夜燈や庚申塚、お地藏様が祭られ、味噌や醤油の製造所の看板が残っており、かつては人の往来で賑わっていたことを想像させた。

しばらく行くと緑色のネットに覆われて、白い紐状の束が竿に架けられ、天日干が行われていた。近づいて見ると、はるさめであった(写真9)。その先には製粉工場があった。畑や人家が続く静かな街道沿いに食品工場があるのも珍しいように思い、帰宅後HPをみると、このあたりは江戸時



写真7 古い商家や老舗旅館のある門前町(長谷寺)



写真8 桜井への旧道に並ぶ木造家屋



写真9 「はるさめ」の天日干



写真10 大和川

代には小麦の産地として知られており、創業以来この地で生産を続けられている工場であった。

しばらく歩くと大和川に着いた(写真10)。河岸には「海柘榴市(つばいち)」と「仏教伝来の地」の碑が建っていた。「海柘榴市」は伊勢街道(伊勢に至る)、竹之内街道(大阪河内に至る)、磐余(いわれ)道(飛鳥に至る)、奈良への官道、大和川水運の港が集まる古代の交通の要衝であり、各地から様々な物資が運び込まれ、大規模な市が開かれていた。7世紀、朝鮮半島を経て仏教が、大和川を遡ってこの地に伝わったとされている。推古16年(608年)には遣隋使小野妹子(607年第一回遣隋使として中国に渡る、生没年不明)が隋の使者裴世清(はいせいせい、隋の高官、生没年不明)を伴って帰国した時、大和朝廷は銕馬(かざり馬)75頭を仕立てて盛大に出迎えたことが記されていた(記念碑)。古代の銕馬を偲ぶ馬の像が河川敷の歴史公園に飾られていた(写真11)。「海柘榴市」は都が明日香から平城京に移った後も、長谷寺参詣の宿場町として長く繁栄を続けた。

ベンチで休んでいるとよく日焼けした年配の方が桜の様子を見に来られた。生まれてからずっとこの地に暮らし、幼い頃はいつも大和川で遊んでいたという。先ほどの製粉所のことを思い出し、お話を伺った。銕馬の像が並んでいるあたりには粉挽き用の大きな水車があった。挽いた小麦を使って、農家の冬の副業として、どの家庭でもそうめんを作っていた。作り始めると4日間は手が離せ



写真11 「海柘榴市」の歴史公園に建てられた銕馬(かざり馬)

ず、葬式を出すのもそれが一段落してから行ったそう。早朝に小麦粉と水、塩を混ぜて捏ね始めてから、夕方遅く熟成を行うまでの連続作業、翌日も伸ばしと乾燥の工程で一日、乾燥は天日干しのため、快晴の冬空でも丸一日は必要であった。乾燥中の竿をいたずらして倒して怒られた記憶があるという。乾燥中に雨が降り始めたら大変だった。今は大きな製麺所が数ヶ所残っているが、農家で作ることはなくなったというお話だ。小麦もほとんど作られなくなったが、歴史公園の近くで今も栽培されている所があると教えてくださった。後で見に行くと20cm



写真 12 青い麦が育っていた（歴史公園付近）

程度に伸びた青い麦の畦が市民農園と思われる敷地内に広がっていた（写真 12）。

小麦の栽培は弥生時代前期，今から 2000 年前に，朝鮮半島から山口県（あるいは北九州）に伝わり，やがて西日本から近畿地方へと広がっていった³⁾。推古 18 年（610 年），高句麗の僧曇徴（どんちょう）が碾がい（西域から中国に伝わった水力利用の脱穀製粉用の石臼）の製法を日本に伝え，製粉法が開発された。それによって小麦粉から餅（索餅（さくへい）のちに索麵（そうめん））が作られるようになった^{3,4)}。

三輪明神の大物主神（おおものぬしのかみ）が，この地に小麦の種を播いたことから，小麦の生産が始まったとも伝えられている。三輪の巻向（まきむく）川，大和川流域は古くから，粘性に富む小麦産地であり，川の流れが急なことから水車製粉が発達し，製粉工業が発展していた⁵⁾。江戸時代には「和州（やまと）の三輪のものは昔から有名」と言われていた（和漢三才図絵 18，東洋文庫）。

歴史公園から北に数百メートル行ったところにある金屋の海柘榴観音堂にも「海柘榴市」跡の碑が残されていた。このあたりは東海自然遊歩道「山辺の道」で，三輪山の山裾を縫うように狭い道が続いていた。このような山間の地では人や物が集積する交易市としては手狭でもある。古代の「海柘榴市」の所在には，大和川畔，現在の桜井市内などいくつかの説があるようだ。山裾に沿ってやや上り気味に歩き，大神神社に参拝して，夕刻奈良市内にもどった。

2. 西市，東市

藤原京～平城京～平安京では中国の都を模した都造りが行われ，いずれも東と西の二つの市が設けられていた。平城京では朱雀大路を挟んで東側に東市，西側に西市が設けられ，市への物資運搬のために人口の水路，運河が造られていた（堀川）。

翌日は曇り空に黄砂が舞い，時折雨も混じる前日とはうって変わった寒い一日であった。近鉄橿原線で郡山駅の一つ手前，九条駅近くに西市の跡がある。駅前の広場の先にはかつての金魚養殖池と思われるコンクリートで区画された浅い掘割がいくつも残っていたが，今は水が抜かれて雑草が生え，風に揺れていた。大和郡山での金魚の生産は江戸時代に始まり，昭和 40 年代にはピークを迎えたが，その後都市化に伴う水質汚濁や環境の悪化などによって，生産量が低下している（大和郡山市 HP）。

東向き幅広い舗装道路の先に平城京西市跡の石碑が建っていた（写真 13）。西市の広さは約 7 万 m²（大和郡山市 HP），石碑の位置は市の西端に当たるようだ。碑の後方に



写真 13 平城京西市跡の石碑



写真 14 秋篠川（奥）と佐保川（右）の合流地点



写真 15 佐保川に架けられたらじょうもんはし

は西の堀川船着場跡の案内板があった。西の堀川は現在の秋篠川流域と部分的に一致し、佐保川と合流して大和川に注ぎ込み、難波から瀬戸内海へと繋がっていた。舟運は平城京の造営や薬師寺、唐招提寺などの大寺院の建立にも利用されていた。西市跡は現在一部には住宅やマンションもあるが、広い畑地の中であった。そこから東市を目指して「主要地方道奈良大和郡山線（旧八条大路?）」に沿って東に1km余り進むとスポーツ施設（九条公園）があった。晴れていると現在復元中の大極殿の大屋根が見えるそうだが、今日は土ほこりのため近くの建物もかすんでいた。この敷地内にあった奈良時代のもとの深さ3.5mの井戸底から、和銅元年（708年）に鑄造された和銅開珎よりもさらに30年以上前に造られた日本最古の貨幣「富本銭（ふほんせん）」が和銅開珎、ガラス玉、銅製人形などと一緒に初めて発掘されたそうだ（富本銭出土地案内板）。この辺りは西市の東端に当たり、活発な商が行われていたのだろう。さらに東に向かい、秋篠川と佐保川との合流地点（写真14）から南にすこし下ると、まもなく「らじょうもんはし」に至った（写真15）。この橋の南側約30mの地点から平城京の南端正面にあたる羅城門の遺構が確認されたそうだ。羅城門からは北に向かって平城京のメインストリート朱雀大路（下ツ道）が造られていた。平城宮の入り口、朱雀門までは羅城門から北に3.7km、1時間足らずの距離である。今回は再び旧八条大路に戻り、東市跡に向かった。このあたりはプラスチック製品などの化学工場や住宅工場が密集し、大

きな敷地を占め、行き交う人も少なかった。

「東市の植木の木足るまで 逢はず久しきうべ恋ひにけり」、門部王（?～天平17年（745年））の歌碑のある奈良市杏町、辰市神社（写真16）が東市跡とされている。しかし案内板はなく確証がなかったので、さらに東に進んだ。古くからある農家なのか大きな門構えの家が続く、まもなく辰市小学校が左手にあった（写真17）。学校の中に石碑などがあるかもしれないと覗いたが、見当たらなかった。小学校の脇には南北方向に側溝が残っていた。東市の近くに



写真 16 東市の歌碑（門部王）のある辰市神社



写真 17 東市跡とされる辰市小学校



写真 18 現在は畑地となっているかつての朱雀大路

は舟運のために東の堀川と呼ばれた水路があったはずだが、幅広い側溝が東堀川の跡であろうか。側溝に沿って北上してみた。道の両側は大部分が畑地で、側溝には鉄製の水門が設けられていたが、すっかり赤茶色に錆付き動きそうもなかった。かつては農業用水として利用されていたようだ。

あちらこちら、歩いたが東市の跡は分からなかった。関西本線の線路を越えると奈良県立図書館の案内板が出ていたので、寄ってみた。ちょうど「平城京の世界」展が開かれ、平城京

に関する図書類が多数展示されていた。「奈良時代MAP」⁶⁾によると、先ほど通った辰市小学校が東市の南西の角に当たり、そこから東、北の方向に市があったようだ。東の堀川は辰市小学校よりも東側に造られていた。図書館の北側は、正倉院御物献納に尽力した実力者、藤原仲麻呂邸（田村第）にほぼ隣接していた。図書館を後にして、かつての朱雀大路と思われる所を歩いたが、現在は宅地に囲まれるように畑地が残っていた（写真 18）。その直ぐ北には平城宮殿の入り口にあたる朱雀門があり、現在平城京遷都 1300 年を記念して大極殿とともに復元工事が進んでいた（写真 19）（平成 22 年 4 月 23 日完成式典が挙行されたと報道されていた）。



写真 19 復元工事が進められる朱雀門（二条通り）

3. 古代の市

日本最古の市は軽（奈良県橿原市大軽町付近）に開かれた軽市といわれている⁴⁾。現在の古市周辺、海柘榴市など街道と舟運が交差する交通の要衝に諸国から物資が集まり、それを商う市が立った。3世紀の日本の様子を知る手がかりとなる中国の魏志倭人伝には各地に市があると記されている⁷⁾。しかし平城京の東西市はそれまでの自然発生的な市とは異なり、新たに造営する平城京（往時の人口約 10 万）の流通拠点として計画されたものであった。市の大きさは約 7 万 m²、八条大路に面した南側に正門がおかれ、周囲を囲われた市にはたくさんの壘（店）、倉庫が並び、広場には樹木も

植えられていた（東市では杏）。延喜式（905～927年）によると東市には51、西市には33の店があり、絹、錦、縫衣、綿、木綿、履物などの衣類、櫛、針、筆、墨、油、土器、木器、薬、香、蓑笠などの日用品、太刀や弓などの武具、米、麦、塩、醬（ひしお、唐醬、現在の醤油の原型）、未醬（現在の味噌の原型、今よりも塩分濃度は高い）、索餅（小麦を粉にした餅）、海藻、干魚、生魚、心太（ところてんあるいはテングサ、ところてんの加工法は仏教伝来の頃、中国から伝わった）、海菜、蒜（のびる）、糖、菓子などの食料品、馬や牛など多種類の品物が扱われていた^{1,9)}。毎月15日までは東市、16日以降は西市が開かれていた。

市は正午の太鼓の音とともに始まり、日没の太鼓で閉市し、夜間や市以外での商取引を禁止するなどの管理体制が長安の東西市に倣って定められていた⁸⁾。升や天秤ばかりなどは国家検定済み（毎年2月）のものを使用すること、店は扱う品物の看板を立てること、刀や鞍などには作った人の名を書き入れること、不良品は役人が没収することなど取引の規則が決められていた。東西市司（いちのつかさ）を筆頭に市の役人による取締りが行われ、商人からは一定の手数料を徴収していた^{4,7)}。朝廷や官吏、大寺院などにとっては物納品を現金に交換し、必要品を買い入れる経済活動の拠点でもあった⁷⁾。畿内の大商人、工人、農民などもそれぞれの製品や薪、野菜などを運び込み大変な賑わいだったという。また人が集まることから、大道芸人なども集まり、雨乞いや五穀豊穰を願う神事も執り行なわれ、お祭り広場のような活況を呈していた。長安ではみせしめとして市の中で犯罪者の刑罰が行われていたが、平城京でも処罰や有能な官吏の表彰などが公衆の面前で行われたという⁷⁾。市は物資が集積するだけでなく、人と人をつなぐ広場でもあった⁷⁾。

正倉院文書は東西市での商いの様子、平城京周辺にある他の市では入手できないものがここでは調達できたことなど、市の活況と当時の人々の生活を今に伝えている¹⁾。枕草子には「市は、辰の市。椿市は大和にあまたあるなかに、長谷寺に詣づる人の、かならずそこにとどまりければ、観音の御縁のあるにや心ことなり。（11段）」¹⁰⁾とあり、東市や海柘榴市はその後も賑わっていた。しかし海柘榴市は大和川の氾濫により壊滅的な被害をうけ、東西市も時代の流れの中でやがて姿を消し、畑地に埋もれていった。平城京遷都（710年）から1300年の時が過ぎていった。

市は、もともとは「五十路（いち）」、たくさんの道路の意という¹⁰⁾。ものの集まるところに、人が集まり、人の集まる所にもものが集まる。時が流れても、もの与人、人と人との出会いが市の礎であり、魅力であることに変わりはない。

参考資料

- 1) 奈良国立文化財研究所，平城京東西市関係史料稿，昭和56年3月
- 2) 田中重太郎，日本古典評釈・全註釈叢書 枕冊子全注釈三，角川書院（1972）
- 3) 芳賀登，石川寛子監修，全集日本の食文化第三卷「米・麦・雑穀・豆」雄山閣出版（1998）
- 4) 廣野 卓，食の万葉集，中公新書，中央公論社（1998）
- 5) 農文協編集，伝承写真館 日本の食文化⑧近畿，三輪そうめん，社団法人農山漁村文化協会（2006）
- 6) 株式会社新創社著，奈良時代MAP平城京編，光村推古書院（2007）
- 7) 奈良国立文化財研究所編，萬葉乃衣食住，飛鳥資料館（1987）
- 8) 西嶋定生編，日中合同シンポジウム奈良・平安の都と長安，小学館（1983）
- 9) 奈良国立文化財研究所編，平城宮跡ガイドフレーズまほらま2005，昭文社（2005）
- 10) 田中重太郎，日本古典評釈・全註釈叢書 枕冊子全注釈一，角川書院（1972）



“薬膳”の知恵 (49)

Key Words : 薬膳 ■ 面皰 ■ 食養生 ■ 老化

荒 勝俊*

中医学における美容の目的は“健康美”を達成することだと述べている。中医学は、《すべての物質は陰陽二つの気が相互作用し、表裏一体で構成されている》と考える（陰陽学説）と、《宇宙に存在する全ての事象は“木・火・土・金・水”と呼ばれる五つの基本物質から成り、その相互関係により新しい現象が起こる》と考える（五行学説）に基づいた独自の整体観から構成されている。即ち、人体も自然界の小宇宙として“陰”と“陽”が存在し、常に相互作用しバランスを保ちながら生命活動を営んでいるが、陰陽のバランスが崩れる事で体表に現れる美容上の変化は身体内部の状態を反映している。中医学では人体を一つの有機的統一体と考え、人体の構成要素である気・血・津液の状態をこれまで延べてきた診断法にて診断し、そのバランスを改善させる事でその人が本来もっている臓器の機能を回復させ、身体の内を整え、新陳代謝を改善し、肌により多くの栄養を供給する事で、健康美を獲得できると考えている。

“薬膳”とは《中医学の基礎概念である陰

陽五行学説に基づき、健康管理や病気治療のために食材の持つ様々な機能を組み合わせて作った食養生》のことである。薬膳には①食養生としての薬膳と、②治療補助的な意味の薬膳があり、健康美を目指す薬膳は“養生薬膳”に属している。



1. 面皰と食養生



面皰（ニキビ）や乾燥肌、肌荒れ、シミ・ソバカスといった皮膚の症状は、中医学的観点からみると気・血・津液の巡りのバランスの悪化に行きつく。

1-1 面皰（ニキビ）の中医学

大人の面皰の原因は、その人がもともと持っている体質や生活習慣から起きた体の問題点が原因と考えられる。中医学では、大人の面皰は体にこもった「熱」によって起こる、皮膚の炎症と考えている。大人の面皰のタイプは①白い面皰タイプ、②赤い面皰タイプ、③

* ARA Katsutoshi (技術士, 国際薬膳師, 漢方アドバイザー (JACDS), 薬草ガーデンマスター (JGS), 中国茶アドバイザー, 日本茶インストラクター (NIA))

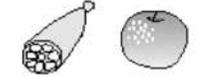
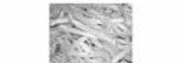
白い面皰	赤い面皰	黄色い面皰	紫の面皰
 <p>胡瓜 白菜</p>	 <p>大根 セロリ</p>	 <p>トマト 春菊</p>	 <p>アスパラガス 昆布</p>
 <p>レタス 枇杷</p>	 <p>蓮根 梨</p>	 <p>豆腐 コンニャク</p>	 <p>牛蒡 ブルーン</p>
 <p>イチジク アロエ</p>	 <p>柿 苦瓜</p>	 <p>モヤシ</p>	 <p>ワカメ 冬瓜</p>
 <p>緑茶 菊花茶</p>	 <p>ミントティ</p>	 <p>ジャスミンティ</p>	 <p>はと麦茶 ローズティ</p>

図1 面皰ニキビの食養生

黄色い面皰タイプ、④紫の面皰タイプ、の4つに分類される。

1) 白い面皰タイプ

鼻やのどが弱く、咳が出やすいのが特徴である。白い面皰は、辛いものを食べたときや煙りの刺激で咳が出やすく、のどや鼻が乾燥しやすいなど、呼吸器系が弱く、皮膚に熱がこもりやすい人に出やすい。

【改善方法】

①清上防風湯

顔に熱が上がりやすくなっている状態なので、その熱を下におろすことで皮膚の炎症やできものを治す漢方薬である。

②食材による予防

- 白菜、胡瓜、レタス……皮膚の熱をさましやすくする。
- 枇杷、干しイチジク……皮膚の抵抗力を高める。
- アロエ……便通をよくし、肌のトラブルを改善する作用がある。
- 緑茶、枇杷の葉茶、菊花茶……体の中の熱をさまし、呼吸器の機能を整える。

2) 赤い面皰タイプ

食欲旺盛で、肉や油分の多い食材や辛い食材を食べ過ぎると胃に熱が籠り赤い面皰の原因となる。生理前になると悪化するのが赤い面皰の特徴である。

【改善方法】

①涼血清営顆粒

赤い面皰は体の奥深くに熱が籠る事で血熱状態になって発生したと考えられ、体温が高くなる生理前に面皰がひどくなるのが大きな特徴である。

②食材による予防

- 大根、苦瓜、セロリ、蓮根、梨、柿……胃の熱をさます作用が強い。
- どくだみ茶……熱をさまししながら皮膚のトラブルを抑える。
- ミントティ……香りの作用で、ストレスによってめぐりが悪くなった気を巡らせる。

3) 黄色い面皰タイプ

便秘がひどい、暑がり、面皰跡も多いなどが特徴である。白い面皰や赤い面皰が悪化すると、赤く腫れ上がって痛み、そのうえに黄色い面皰になる。このタイプの面皰ができやすい人は、も

ととも体に熱が籠り易く、暑がりです、夏になると症状が悪化する傾向がある。

【改善方法】

①黄連解毒湯

黄色い面皰は、大きくて目立ち、治っても跡が残りがち。黄連解毒湯などが適している。

②食材による予防

●トマト、春菊、豆腐、緑豆モヤシ、コンニャク……体の熱をさましながらか化膿予防の効果がある。

●ジャスミンティ……化膿を防ぐ効果がある。

4) 紫の面皰タイプ

血液のめぐりが悪く、婦人科系の疾患を起こしやすいのが特徴である。さわるとしこりがあり、紫色を帯びた面皰は体内の血の巡りの悪さと関係している。血の流れが悪い為に起こる肩こりや頭痛、生理痛などを伴うことが多く、月経血にはレバーのようなかたまりが混じることもある。

【改善方法】

①冠元顆粒と星火温胆湯の併用

紫の面皰は見た目が悪いだけでなく、この面皰ができ易い体の状態を放置すると婦人病につながる。冠元顆粒などの血の巡りを良くする薬と、星火温胆湯のように痰や脂肪などの老廃物を体外に追い出す薬をいっしょに服用すると良い。

②食材による予防

紫の面皰対策には、しこりを取る作用を持った食材を用いると効果が有る。

●アスパラガス……血行を良くしながらしこりを取る作用が強い。

●昆布、ワカメなどの海藻類……しこりを取る作用がある。

●冬瓜、牛蒡……体の中の老廃物を取り除く。

●干し葡萄、プルーン……血行を良くする。

●はと麦茶……美肌効果と老廃物を排出する作用がある。

●ローズティ……血行を良くする。



2. 肌の老化



中医学において、肌の老化は腎と関係が有ると考えられている。《黄帝内経》において、皇帝が「女性が年をとると子供を生めなくなるのはなぜか」と質問したところ、侍医の岐伯（ぎはく）は、「女性は腎気の働きで7才の倍数で体に変化が生まれる。最初に7歳で腎気が活発になり女の子らしくなる（歯が生え変わり、髪が長くなる）。14歳で天癸^{*1}が至り、任脈を通じ、太衝の脈が盛んになるため、生理が始まり、妊娠することが可能になる。腎気が充実する事で天癸が盛になり、それが衝脈や任脈に注がれることで衝脈や任脈が充実し、男女ともに生殖能力が発生する。21歳で女性としての体が出来上がり、28歳で筋骨が充実して引き締まった状態になり、毛髪は最も長く豊かになる。35歳を過ぎると陽明経脈の機能が衰え、頬などははりが無くなり、老化が始まる。42歳で白髪が目立つようになり、49歳くらいで任脈が空虚となり、閉経する。」と答えている。このように、天癸の盛衰によって女性の一生が決定づ

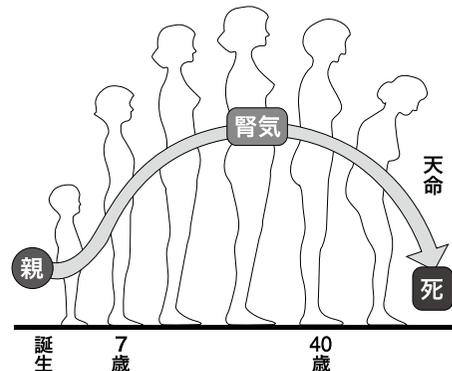


図2 腎気と成長・発育・老化

^{*1}天癸（てんき）：天の真陰の気（先天の精気）

けられている事が《黄帝内経》によって明確にされている。中高年になると、肌の荒れ、手足の冷え、頻尿や尿の出がスッキリしない、足などが浮腫むといった症状を呈し、腰が痛む、目がかすむなど、体のあちこちに老化の兆しがみられるようになる。これは中医学においては、生命のエネルギーに密接にかかわりがあるとされる“腎気”の働きが衰える事で引き起こされる現象（腎虚）と考えられている（図2参照）。

こうした老化を抑える手法として“補腎”という考え方が中医学で示されている。代表的な処方として、地黄丸類（八味地黄丸、牛馬腎気丸、杞菊地黄丸、六味地黄丸など）や参馬補腎丸、参茸補血丸、双料参茸丸などがある。また、補腎の働きがある食材としては、山芋、キャベツ、しいたけ、きくらげ、にら、栗、くるみ、ゴマ、黒豆、あわび、イカ、えび、うなぎ、海藻、自然塩、肉類（羊、牛、鳥、豚）動物の腎臓などが良いとされている。

《古典落語の中の食材：秋刀魚》

目黒の秋刀魚（めぐろのサンマ）は、古典落語の演目の一つ。秋刀魚という下魚（低級な魚）を、産地から離れた場違いな場で無造作に調理したものが美味しく、丁寧に調理したものはかえって不味いという滑稽噺。3代目三遊亭金馬などが演じている。

時は江戸時代、お殿様というのはお城の中にいて始終上げ膳据え膳の生活を送っていたので、城外の庶民の生活に関してはまったくの無知だった。

ある日菜っ葉のおひたしを食べていて、
殿：「これは昨日食べた菜と同じ菜であるか？」

侍従：「はい、昨日と同じ菜でございます。」

殿：「しかし、昨日の菜の方が美味しかったと思うが、本当に同じ菜であるか？」

侍従：「恐れながら、昨日の菜は農薬を使わず人糞などを肥料としてかけて作った菜、今日の菜は中国から取り寄せた菜でございます。」

殿：「そうか。では人糞をかけると美味しくなるのか。苦しゅうない、かけてまいれ。」

といった状況だったとか。

ある晴れた日、殿様が急に目黒まで鷹狩に出ると言い出す。お供を5騎ほど従えて江戸城を出発し、目黒に着いた時にはお殿様はすっかりお腹をすかしてまった。

殿：「これ空腹じゃ、弁当を出せ。」

しかし、急に野分けに行くと言われて、侍従はお弁当を持って来ていなかった。

殿：「弁当がないだと！」

と、そこに何やらおいしそうな臭いがしてきた。ちょうどお昼時で、畑仕事の手を休めた農民たちが昼食の用意をしていた。

殿：「なんだ、この美味しそうな臭いは？」

侍従：「この匂いは下衆庶民の食べる下衆魚、秋刀魚というものを焼く匂いです。決して殿のお口に合う物ではございません」

殿：「こんなときにそんなことを言っているのか」と言い、秋刀魚を持ってこさせた。

皿にのった秋刀魚を見てお殿様はびっくり。普段お殿様はお城で食事をする時は、まず侍従がお毒見をし、それから食べるので大抵の食事は冷えている。しかも焼魚は鯛の塩焼しか知らない。

目の前の秋刀魚は黒くてまだじゅうじゅうと脂がはねている。

殿：「これを食べるのか？たしかに臭いは美味しそうだが…」

殿：「よし、食すぞ！」と、箸で秋刀魚の身をむしって口に入れた。

殿：「うまい！これはうまいぞ！」お殿様は大感激で全部たいらげてしまった。

殿様は秋刀魚という魚の存在を初めて知り、かつ大好きになった。



図 3 目黒の秋刀魚

それからというもの、殿様は寝ても覚めても秋刀魚を食べたいと思うようになる。ある日、殿様の親族の集会で好きなものが食べられるというので、殿様は「余は秋刀魚を所望する」と言う。だが庶民の魚である秋刀魚など置いていない。急いで日本橋の魚河岸で秋刀魚を買ってくる。

料理人：「さて、どうするか？こんなに脂がのっけては殿様の体によくない。顔ににきびでも出来たら困る、蒸して脂を取ってしまおう。」と

秋刀魚を蒸し器に入れてしまいました。蒸しあがった秋刀魚は脂がすっかり落ちて、ペラペラになってしまいました。

料理人：「頭と尾も落としてしまおう。内臓なんでもってのほかだ。この黒い皮もはいでしまおう。骨も全部抜かないと喉に刺さったりしたら大変だ。」秋刀魚は毛抜きで骨を1本残らず抜かれ、身はポロポロ。薄味をつけてお殿様の前に出されました。

殿：「これが秋刀魚か？」前回見た秋刀魚とは似ても似つかない目の前の魚を見てお殿様は言いました。

侍従：「はい、秋刀魚でございます。」

殿：「いったいどこの秋刀魚じゃ？」

侍従：「日本橋の魚河岸で買ってきた三陸の秋刀魚でございます。」

殿：「ううむ。それはいかん。秋刀魚は目黒に限る」

殿様が、海と無縁な場所（目黒）でとれた魚の方が美味しいと信じ込んでその様に断言する、というくだりが落ちである。

*****◀

..... 引用文献

- 1) 中医学の基礎 平馬直樹・兵頭明・路京華・劉公望監訳 東洋学術出版社
- 2) やさしい中医学入門 関口善太著 東洋学術出版社
- 3) 中医臨床のための中薬学 神戸中医学研究会編著 医歯薬出版
- 4) [詳解] 中医基礎理論 劉燕池・宋天彬・張瑞馥・董連榮著／浅川要監訳 東洋学術出版社
- 5) 東洋医学のしくみ 兵頭明監修 新星出版社
- 6) 中医食療方 瀬尾港二, 宗形明子, 稲田恵子著 東洋学術出版社
- 7) 全訳中医基礎理論 浅野周訳 たにぐち書店
- 8) 漢方アドバイザー養成講座テキスト 漢方に関する基礎知識編 第二巻 JACDS
- 9) 薬膳と中医学 徳井教孝・三成由美・張再良・郭忻共著 建帛社
- 10) 医学生のための漢方・中医学講座 入江祥史編著 医歯薬出版
- 11) 全訳中医診断学 王憶勤主編 たにぐち書店
- 12) 中医診断学ノート 内山恵子著 東洋学術出版社

築地市場魚貝辞典 (ウナギ)

まだまだ暑い日の続く築地。そんな夏の日のお出来事をひとつ。ある日、場内の某事務所に行くことになった。場内には、まだ昭和初期に立てられたと思われる古い木造の建物が残っている。その事務所も、そんな建物の2階にあった。



階段をきしませ、汗をぬぐいながら事務所へ上がると、なんと窓が

築地市場から眺めたかちどき橋

全開にしてある。あるのは扇風機だけ。今どき、どこでも事務所はクーラーがギンギンにかかっているものと思っていたので驚いた。聞くと、場内作業で出入りが多いので、外と中の温度差が大きいと、体に悪いという。たしかに、開け放たれた窓から吹き込む隅田川からの風は、クーラーよりよほど体にも、地球にも優しいようであった。また別の日に、隅田川沿いを散策していたところ、大きなウナギが泳いでいるのを見かけた。高層マンションが林立し、護岸を固められた隅田川に自然の姿はないが、かつて隅田川は江戸前ウナギの産地であった。

今では一年中スーパーの店先にも並び、季節感の薄れた感のあるウナギであるが、土用の丑の日。やっぱり夏はウナギ。今回はウナギを紹介する。

—分類—

ウナギを分類学的に表すと、ウナギ目ウナギ科ウナギ属ウナギとなる。スズキのときと同じようにウナギ名前がずらっと並んでいる。言い換えれば、細長い魚を代表する典型的な魚と言える。細長く、体の断面が丸い魚のほとんどはウナギ目に含まれるからである（細長くてもリボン状の魚は別のグループになる。たとえばタチウオなど）。ウナギ目にはウツボやマアナゴ、ハモ、深海性のホラアナゴ、水族館で人

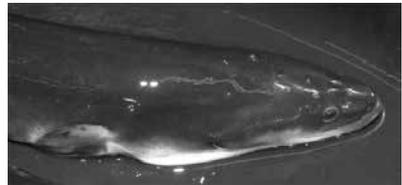
気のあるチンアナゴ(ガーデンイールと呼ばれることがある)などが含まれる。ウナギ科にはウナギ属の魚しか含まれない。ウナギ属の魚は、互いに似ていて特徴が少なく、外見だけで区別するのが難しいものもあった。世界のウナギ属の魚を調べた1939年の研究では、上顎の歯の形や背骨の数、模様の有無、鱗の位置、口の大きさなどを元に識別がなされているが、その違いは非常にわずかなもので、外形の違いのほかに、産地の情報がないと区別できないことになっていた。近年では、これら形態や分布のほかに、DNAによる解析が行われた結果、16種のウナギ属の魚がいるとされている。2009年には、フィリピンで新種のウナギ属魚類が発見され、身近な魚にも検討の余地が残されていることをしてしている。



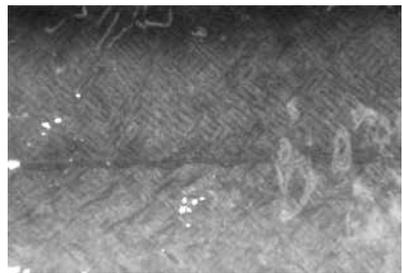
場内で売られているウナギ

—形態—

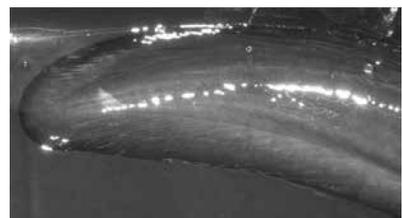
ウナギらしさというと、やはりクネクネ、ヌルヌルというのが頭に浮かぶのではないだろうか。体が細長い、というのが第一の特徴である。これは水底での生活に適応した結果であろうが、体を長くするのも大変で、脊椎骨の数は112から119もある。体表は粘液で覆われてツルツルして掴みどころがない。鱗など無いように見える。しかし、表面をよく見ると、竹細工で籠を編んだように、長い楕円形の細かな鱗が並んでいるのが見える。また下顎が上顎より突き出ているので顔つきも特徴的で、全体を見なくてもウナギかそのほかの細長い魚かを区別することができる。鰓孔は小さく、孔状に見える。鰓孔の後には、やや大きな胸鱗がある。腹鱗はない。背鱗は



頭部



鱗

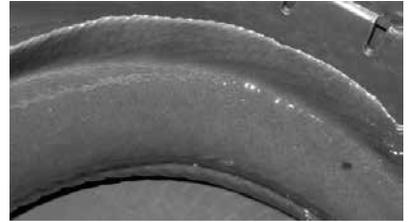


尾鱗

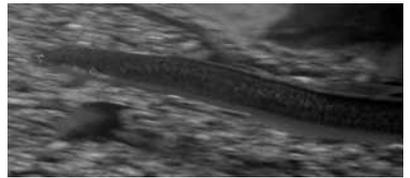
胸鰭の後端と肛門の中間付近から始まる。背鰭にトゲがない。また背鰭は尾鰭、臀鰭と連続する。側線は体の後方へ続く。

体色は餌や、条件によって変化するが、基本的に背中側の色が濃く、腹側は薄い。天然のウナギは、背中側は黄土色がかかり、腹側は黄色がかかる。養殖物の背中側は黒か濃灰色で、腹側は白い。

体長は、60cmを超える。大きな個体では太くもなり、オオウナギと間違えられることもある。しかし、オオウナギの体には黒い斑紋によるまだら模様があるので区別できる。



背鰭



オオウナギ

—生態—

日本人にとっては、たいへん身近な魚であるウナギの生態が謎に包まれていることは、有名な話であった。長年の調査研究によって、ごく最近、マリアナ諸島（グアム島を含む）の近海にある海山（山頂が海面に出ていない火山性の山）付近で産卵していることが突き止められた。

孵化した稚魚は、はじめウナギとは似ても似つかぬ姿形をしている。体は透き通り、薄っぺらで、ちょうど柳の葉に似た形をしている。これをレプトケパルスと呼ぶ。このレプトケパルスは、流れに乗って生活するのに適した形と考えられている。ウナギの仲間であるマアナゴやハモの稚魚もレプトケパルスである。海流に乗ったレプトケパルスはフィリピンの沖あたりから北上する海流である黒潮に乗り、台湾や中国、日本の沿岸に運ばれる。沿岸に近づいた頃、レプトケパルスの体が徐々に変化し、薄っぺらであった体が丸い棒状になり、透き通った小さなウナギとなる。これを「しらすウナギ」と呼ぶ。養殖に使われるのは、この「しらすウナギ」で、川に上がるところで漁獲される。「しらすウナギ」は海から川へ入り込み、体に色素ができて黒っぽくなる。黒くなった仔ウナギは「めそ」とか「めそっこ」などと呼ばれる。仔ウナギはさらに川



しらすウナギ

の上流を目指し、数年間、川で餌を捕り成長する。中には川に上らず、湾内など浅い海で過ごすウナギもいることがわかってきた。成熟したウナギはふたたび海へ下り、産卵場を目指す。その頃になると、ウナギは全身いぶし銀のように黒っぽくなり眼が大きく変化する。産卵場へ向かうための変化と思われるが、どのようにして産卵場に戻るのかは、わかっていない。



海で海藻に潜むウナギ

一漁業一

全国の河川や湖沼にすむウナギは、各地にいろいろな漁法があるが、およそ次のものにまとめられる。まずは釣り。棒の先に針と餌を付け、ウナギのいそうな穴に差し入れ食い付かせるものや、餌を付けた仕掛けを沈めておいて翌日引き上げるものなどがある。餌でおびき寄せる方法には、筒状のものに返しを付けて餌に惹かれて中に入ったウナギが出られなくする筒漁などがある。泥の中に潜ることも多いウナギを、カギ状の道具に引っ掛けて捕る漁法もある。魚の通り道に仕掛けた網や、木の枝などを沈めておいて隠れたウナギを捕る「そだ漁」、さらに手づかみなどもある。

私が小学生の頃、祖父が川で釣ってきたウナギをさばいて食べさせてもらった記憶がある。しかし、今から40年近く前であっても天然のウナギは高嶺の花で、養殖のウナギがかなり出回っていた。できたばかりの新幹線が浜松を過ぎ、浜名湖に差し掛かるあたりには、車窓の両側にたくさんのウナギ養殖池が見えていた。ウナギの養殖は、川に上がるウナギの稚魚を採集し、池に入れて餌を与えて育てるものである。もともとは露天であったが、成長を早めるためビニールハウスで加温しながら育てるものが多くなった。

天然を上回る出荷量があったとはいえ、国内で養殖されるウナギだけでは、今日のようにスーパーの店頭で一年中ウナギが並ぶことはなかった。日本のウナギの需要を見込んで、台湾でウナギの養殖が始まり、次いで中国でも養殖されるようになった。近年では、台湾を抜いて中国で養殖されたウナギが量的に多くなった。初めは生きたものが輸入されていたウナギであるが、現地で蒲焼に加工されたものの輸入が多くなった。そのため安価なウナギが通年流通することとなった。しかし、数年前に起きた食の安全や偽装表示問題などにより、最盛期より輸入

量は減っているという。

今年（2010年）の4月、独立行政法人水産総合研究センターは、ウナギの完全養殖に成功したと発表した。これは、人工的に孵化させたウナギを親とし、その研究室生まれのウナギが産卵した卵を稚ウナギにまで育てることができた、というものである。現在のウナギの養殖は、稚魚はすべて天然の稚魚に依存しており、乱獲による資源の減少が問題化している。マダイや最近行われるようになったクロマグロのように、親魚を育てて採卵し、稚魚が得られれば、資源保護に役立つので期待される完全養殖であるが、実用化にはまだ課題も多いようである。

築地市場には、全国各地から天然のウナギが入荷するが、養殖物より入荷量は少ない。ウナギは活魚で入荷し、店先では水を垂らした籠に入れて売られている。まれにヨーロッパウナギや、オーストラリア産のウナギ（ショートフィンイールなど日本のウナギとは別種）が入荷することもある。

—利用—

ウナギといえば、蒲焼であろう。全国で食べられているようであるが、地域により調理法が異なる。関東では背開きで蒸してから焼く。中部では背開きで蒸さずに焼く。さらに関西では腹開きで蒸さずに焼く。いずれにしても甘辛いタレを絡めて焼くのは同じで、ご飯によく合う。まことにうまい調理法を考えたものだと、感心してしまう。また蒲焼の食べ方もいろいろあって、ご飯に載せればうな井やうな重、名古屋では刻んだ蒲焼をご飯に混ぜ込んだ「ひつまぶし」などもある。寿司に載せたり、茶漬けにもなる。なお、ウナギの薬味といえば山椒であるが、これは天然の川のウナギは、川魚特有の臭みのようなものがあって、これを消すために使われたという。養殖ものがほとんどの現在では、なかなか川の匂いがするウナギを味わう機会は少なく、山椒の本来の役割も実感することがない。蒲焼以外にも料理の幅は広く、タレを絡めずに焼いた白焼き、蒲焼を刻んでキュウリの酢の物と合わせた「うざく」、卵で巻いた「うまき」、肝臓を焼いた肝焼きや、その吸い物である「肝すい」、天ぷら、雑炊にもなる。外国でも食べられていて、中国では炒め物、ヨーロッパでは燻製やオイル炒めなどにされる。

—エピソード—

ウナギが有毒であるという、驚く人がほとんどであろう。フグの仲間が有毒なのは誰でも知っていることで、国でもその取り扱いを厳しく制限している。しかし、ウナギについては、そのような話を聞いたことがない。ウナギの毒は身や内臓ではなく、血液に含まれる。

イクチオトキシンと呼ばれる血清中の毒である。料理人がウナギをさばいているとき、血が目に入るとかなり痛みを感じるという。ただ、この毒はたんぱく毒であるため、加熱調理されることの多いウナギでは、変性して毒性が失われるので問題とならない。

ウナギという名の付く魚の1つに、デンキウナギがある。最近では少なくなったようであるが、以前は多くの水族館で飼っていたように思う。南米のアマゾン川に生息し、全長1mを超える大きな“うなぎ”である。その特徴はなんと言っても強力な発電力で、体の大半を占める筋肉から変化した発電器官の発電力は、川を渡る大型動物を倒すといわれている。しかし、この魚はウナギの仲間ではなく、コイやナマズなどに近いグループである。ほかにもヤツメウナギやタウナギなど、体が細長いというだけで～ウナギと名づけられた、他人の空似というべき魚がある。

文 献

- 1) 井田徹治：ウナギ 地球環境を語る魚，岩波書店（2007）
- 2) 坂本一男：旬の魚図鑑，主婦の友社（2007）
- 3) 佐藤隆二：お国自慢 鰻料理百科，小学館（1998）
- 4) 仲坊徹次（編）：日本産魚類検索 全種の同定 第2版，東海大学出版会（2001）
- 5) 緑書房編集部：養殖 2010年3月号臨時増刊号 よくわかる！世界の養殖業，緑書房（2010）

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

ニューフードインダストリー 第52巻 第8号

印刷 平成 22 年 7 月 25 日
発行 平成 22 年 8 月 1 日
発行人 宇田 守孝
編集人 村松 右一
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 株式会社アイエムアート
定 価 2,100円（本体2,000円＋税）（送料100円）

email：info@newfoodindustry.com