

New Food Industry

New food indust. 61 (9): 2019.

9

- 乳酸菌の経口摂取による肌状態の改善効果 — 腸から肌へ —
- 雪室熟成によるコーヒーの香気と呈味の変化
- リレーショナルデータベースの初歩的解説 — 発酵食品データベースを例にして —
- 半導体レーザー照射が閉経後骨粗鬆症モデルの
オッセオインテグレーションに及ぼす影響
- 製品解説 アンデスのスーパーフード「キヌア Quinoa」
- 新解説 グルテンフリー穀物によるケーキ、パスタ、ピザ、幼児食製造
- エッセイ 伝える心・伝えたいもの — 都会の中の水田 —
- 組織の活性化と人材の育成～ — 分野を超えたコラボの必要性 —

研究解説

- ☐ 乳酸菌の経口摂取による肌状態の改善効果 ―腸から肌へ―
Oral administration of lactic acid bacteria improves skin conditions
..... 依田 一豊 649
- ☐ 雪室熟成によるコーヒーの香気と呈味の変化
Evaluating the effectiveness of yukimuro storage for the aging of
roasted coffee beans
..... 神山 伸, 押味 真里菜, 伊藤 美咲,
大内 彩也夏, 磯島 秋穂, 曾根 英行 657
- ☐ リレーショナルデータベースの初歩的解説
―発酵食品データベースを例にして―
ABC of Relational Database
..... 曲山 幸生 665
- ☐ 半導体レーザー照射が閉経後骨粗鬆症モデルの
オッセオインテグレーションに及ぼす影響
Effect of Diode Laser Irradiation on Osseointegration
in a Postmenopausal Osteoporotic Model
..... 山崎 崇秀, 横瀬 敏志 674

製品紹介

- ☐ アンデスのスーパーフード「キヌア Quinoa」
..... 大日本明治製糖株式会社 683

解説 (連載)

- 新解説 グルテンフリー穀物によるケーキ, パスタ, ピザ, 幼児食製造
..... 瀬口 正晴, 竹内 美貴, 中村 智英子 687

エッセイ 伝える心・伝えられたもの

- — 都会の中の水田 —
..... 宮尾 茂雄 699

連載

- デンマーク通信 デンマークのストリートフード
..... Naoko Ryde Nishioka 710
- 野山の花 — 身近な山野草の食効・薬効 —
ノイバラ *Rosa multiflora* Thunb. var. *multiflora*
(=*Rosa polyantha* Siebold et Zucc.) (バラ科 Rosaceae)
..... 白瀧 義明 712

組織の活性化と人材の育成～

- 一分野を超えたコラボの必要性—
..... 坂上 宏, 虻川 東嗣, 友村 美根子, 大石 隆介,
白瀧 義明, 中谷 祥恵, 真殿 仁美, 小川 由香里,
天野 修司, 刀祢 重信, 飯島 洋介, 肖 黎, エンジェル・パウリノ 715

世界から、優れた「自然の恵み」を提供します

アンテスの母なる穀物

キヌア



南米アンテス原産のヒユ科アカザ亜科の雑穀です。インカ帝国の時代より食され、栄養価の高さから伝承的に「母なる穀物」として重用されてきました。食物繊維や鉄・マグネシウムなどのミネラル、すべての必須アミノ酸を含む、栄養バランスに優れたグルテンフリーの雑穀で、スーパーフードとして世界的にも注目されています。

「茹でる」「炊く」が1番ポピュラーな食べ方で、フクフクとした食感を楽しめます。スープ・雑炊・サラダ・雑穀米など様々な料理に使われています。

◆キヌア粒
◆有機キヌア粒
◆レトルトキヌア

New Food Industry 原稿執筆要項

1. 最新の情報をもととした論文・解説とする。
2. 投稿原稿の言語は、日本語または英語とする。250 語以内の英文抄録（Abstract）をつける。
また、英文原稿には、5 つ以内の英語のキーワード、末尾に、和文の表題、著者名および所属機関名（所在地）、5 つ以内の和文のキーワードおよび和文抄録をつける。
3. New Food Industry に掲載された論文タイトル、要約は New Food Industry Web ページ上に掲載する。
5. 著作権：エヌエフアイ合同会社に準ずる。

論文提出方法：

本文は横書きで作成し保存したデータをメールに添付してご提出ください。図表内の文字データはテキスト入力とし、フォントのアウトライン化はしないでください。複写原稿や手書きの原稿は出来るだけ避けるようにください。原稿全体のデータ容量が 15M を超えるような場合はお手数でも数回に分けてご送信ください。また、本文中の図表の位置などは欄外または本文中にご指示くださるようお願いいたします。

- ◆原稿の字数は本文のみで 7,000 字～ 16,000 字程度を目安にしてください。フォントについての指定はありません。
- ◆図・写真・表は 10 点以内にとどめ、各図表には必ずタイトルをいれてください。
- ◆写真は鮮明なものに限り、印刷物などからスキャニングする場合は 250dpi 以上の解像度で保存してください。
- ◆引用文献は最終ページにまとめてください。

文献記載形式

- 文献の記載は引用順に本文末に一括し、本文中には右肩に当該番号を付けて下さい。
- 著者名は論文の信頼性を得るためにも出来るだけ書き入れ、多数の場合は他（et al）として下さい。
 - ・雑誌の場合
番号）著者名：論文名．雑誌名 巻（号）：頁一頁，発行年
 - ・単行本の場合
番号）著者名：論文名．書名，編集者名．発行地，発行所，頁一頁，発行年
 - ・特許の場合 番号）公開番号 発明特許名称
 - ・URL の場合 番号）ホームページの名称，URL

<対応ソフト>

Word, Excel, PowerPoint・Adobe Photoshop, Illustrator 等

【著者校正について】

著者校正は初校、再校までとし、最終確認をしていただきます。訂正については、加筆などの大幅な修正は出来る限り行わないようお願いいたします。

- ◆原稿提出締切日：毎月 10 日締め切り

- ◆問合せ先：エヌエフアイ合同会社

〒 185-0012 東京都国分寺市本町 3-7-23-302

電話：042-312-0836 FAX：042-312-0845

編集室直通：042-326-6258

- ◆メールによる原稿添付送信先 E-mail:newfood@newfoodindustry.com まで

お問い合わせ、ご質問については出来るだけメールにてご連絡くださるようお願いいたします。

乳酸菌の経口摂取による肌状態の改善効果 —腸から肌へ—

Oral administration of lactic acid bacteria improves skin conditions

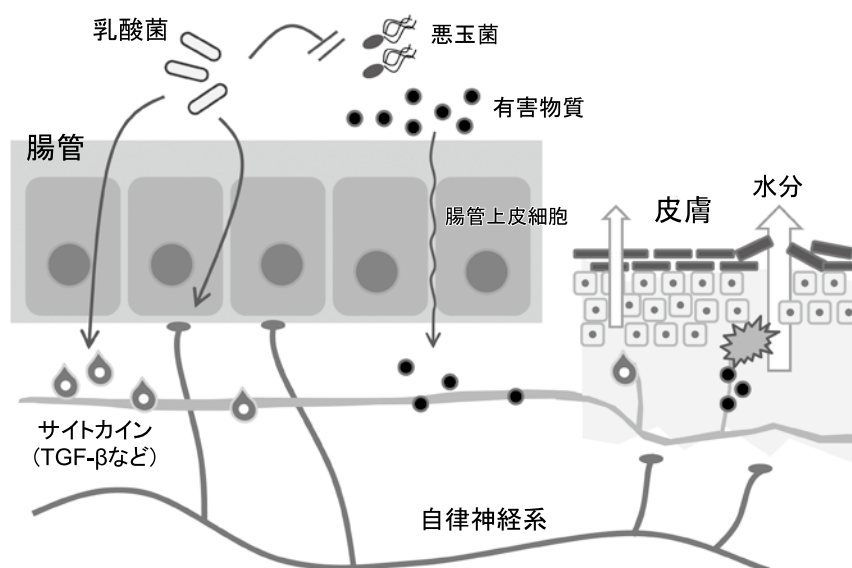
依田 一豊 (YODA Kazutoyo)

タカナシ乳業株式会社 商品研究所

Key Words：乳酸菌 経口摂取 肌 腸

lactic acid bacteria, oral administration, skin, intestine

Graphical abstract



はじめに

私たちにとって乳酸菌はもっとも身近な発酵微生物の一つである。日本では古くから味噌や醤油、漬物などに乳酸菌を利用してきたし、食の多様化に伴いヨーグルトやチーズなども日常的に食卓に並ぶようになった。これらのような食品に対する乳酸菌利用の目的は、飽くまで発酵による食品の保存の長期化や風味の付加であった。しかし、近年ではプロバイオティクスという概念¹⁾から、乳酸菌自身がもつ保健効

果に期待が集まるようになってきている。

そのきっかけとなったのは、100年以上も前にロシアの生物学者メチニコフが唱えた「ヨーグルト不老長寿説」であろう²⁾。メチニコフは、ヨーグルトを摂取すると腸内環境が清浄化されて、老化が抑えられると考えていた。その後、イギリスの微生物学者フラーは「腸内フローラのバランスを改善することにより、宿主に有益な作用をもたらす生きた微生物」をプロバイオティクスと定義した³⁾。現在、プロバイオティ

クス乳酸菌の機能が腸内環境を整えること、つまり整腸作用であることは、多くの研究者で基本的な理解になっているのではないだろうか。一方で、2001年に *Lactobacillus rhamnosus* GG の摂取による乳幼児のアトピー性皮膚炎予防について報告がされたように⁴⁾、今日ではアレルギーや感染症予防などの機能も当たり前のように認知されている。そして、プロバイオティクス乳酸菌の作用メカニズムは腸内環境を整えるだけでなく、乳酸菌自身が免疫機構や脳神経系に影響することもわかってきている。

このように乳酸菌は様々な機能性を示すことがわかっているが、本稿では比較的研究の報告数が少なく、未だ明らかとなっていない部分の多い肌への影響を取り上げてみたい。ただし、アトピー性皮膚炎のような疾患に関するものではなく、健康なヒトの肌に対する作用である。ヒトの身体を簡略化して食品の竹輪（ちくわ）に例えると、外側が肌、穴側が消化管となることから、肌と消化管内は互いに外部へ晒された組織であることが解かる。そのため、消化管の上皮をずっと辿って外側に出ると肌に繋がる。そう考えると口を介して腸管内に入った乳酸菌にとっての肌は、いわば日本人にとって地球の裏側にあるブラジルのような場所とも言えるかもしれない。そんな遙か遠い対極な場所に対して乳酸菌がどのように作用しているのだろうか、という疑問を感じる者は少なくないと思う。そこで、これまでに発表されている研究報告に加え、筆者らの研究結果も紹介しながら「乳酸菌と肌」の関連について解説したい。

1. 皮膚の構造と役割

肌とはヒトの皮膚のことであるため、本稿では明確にヒトの皮膚を示す場合は「肌」、それ以外の場合は「皮膚」と表記していることを初めに断っておきたい。皮膚は、主に表皮および真皮、皮下組織の3つから構成される。表皮は最も外側の層で、主にケラチノサイトと呼ばれる細胞で形成されているほか、紫外線から皮膚を防御するメラニンなどを含んでいる。また、

表皮の最上部（最外部）は角層と呼ばれ、活動を止めた角層細胞と細胞間脂質が重なってできている。また、角層の細胞間脂質は水分を保持し、皮膚自体の保湿にも寄与している。真皮は、表皮と皮下組織の間にある層で、コラーゲンやエラスチン、ヒアルロン酸などから構成されている。

コラーゲンは真皮の約70%を構成する主要なタンパク質である。そして、エラスチンはコラーゲンの繊維を支える役割をもっている。コラーゲンの繊維が網状に分布し、エラスチンがそれを支えることによって皮膚の弾力性が生まれている。ヒアルロン酸は保水性が非常に高いムコ多糖の一種で、肌の水分保持に大きく関与している。また、真皮にはコラーゲンを産生する繊維芽細胞なども存在している。皮下組織は最下部の層を形成しており、表皮と真皮を支えているほか、血管や神経などを保護する役割をしている。また、多量の脂肪を含んでいるため、栄養の貯蔵や断熱・蓄熱といった機能をもっている。

2. 乳酸菌の摂取が肌へ及ぼす影響

多くの人は、「ヨーグルトを食べると肌の調子が良くなる」「便秘になると肌が荒れる」というような情報を見聞きしたことがあるのではないだろうか。あるいは、経験的にそのような感じている人も多いと思う。そして、これらの説明として「腸内で増えた悪玉菌によって作られたアンモニアなどの腐敗産物が、腸から吸収されて肌にダメージを与える。しかし、ヨーグルトや乳酸菌を食べると腸内環境が整えられ、結果として肌のダメージが抑えられる」というのが鉄板となっている。それでは、乳酸菌の摂取が肌の状態を改善すること示す学術的な根拠はどの程度あるのだろうか。肌に対する臨床試験の研究報告があり、且つ日本国内で使用されている代表的な乳酸菌株を表1に示した。尚、本稿は乳酸菌をテーマとしているため、ビフィズス菌については記載していない。ここでは、表1

表 1 研究報告のある代表的な乳酸菌株（日本国内）

株名	文献
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 2038	伊澤ら ⁵⁾
<i>Streptococcus thermophilus</i> 1131	木元ら ⁶⁾
<i>Lactococcus lactis</i> H61	Kimoto <i>et al.</i> ⁷⁾ Kimoto <i>et al.</i> ⁸⁾ Kimoto <i>et al.</i> ⁹⁾
<i>Lactobacillus brevis</i> SBC8803	Ogawa <i>et al.</i> ¹⁰⁾
<i>Lactobacillus casei</i> 327	Saito <i>et al.</i> ¹¹⁾
<i>Lactobacillus plantarum</i> TK61406	森下ら ¹²⁾
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> GG	宮澤ら ¹³⁾
<i>Lactobacillus casei</i> Shirota	Miyazawa <i>et al.</i> ¹⁴⁾ Nagino <i>et al.</i> ¹⁵⁾

に示した各乳酸菌の肌に対する作用についてみていきたい。

2-1. 肌の保湿

表 1 の研究報告の多くでは、経表皮水分蒸散量（TEWL）や角層水分量の測定が行われている。これらは肌の水分保持のパラメーターである。面白いことに、乳酸菌の摂取は TEWL を抑制し、角層水分量を保持あるいは上昇させている。例えば *Lactococcus lactis* H61 は、50 ～ 60 歳代の女性の頬⁶⁾ や前腕部⁷⁾ の角層水分量を保持することが示されている。*Lactobacillus brevis* SBC8803 でも、乳酸菌食品の摂取頻度が少なめの男女の頸部、前腕部、目の下部の水分保持・上昇に関与することが報告されている¹⁰⁾。

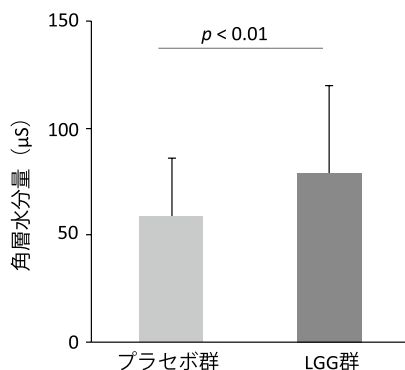


図 1 摂取後の前腕部の角層水分量の比較
プラセボ群、LGG 群はそれぞれプラセボもしくは *Lb. rhamnosus* GG を 4 週間摂取

（参考文献 14 を基にグラフを作成）

これらの例は各試験期間での乳酸菌を摂取する前と後を比較した場合の結果であるが、より条件が厳しいと考えられるプラセボ摂取群との比較でも *Lactobacillus casei* 327¹¹⁾ や *Lb. rhamnosus* GG¹⁴⁾（図 1）、*Lb. brevis* SBC8803¹⁰⁾ を摂取した試験対象者で前腕部や頸部の水分が保持もしくは上昇している。これらの研究報告は摂取期間、試験対象者、乳酸菌株などが異なっているものの、総じて TEWL が抑えられ、角層水分量が保持または上昇していることから、乳酸菌の摂取が肌の保湿に何らかのかたちで寄与していると考えられる。

2-2. 弾力性、毛穴、色ムラの改善

皮膚の評価に関する項目は多数あるが、TEWL と角層水分量以外の機器分析項目のなかで乳酸菌摂取との関連が報告されている項目について紹介する。伊澤らは、*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 2038 と *Streptococcus thermophilus* 1131 を含むヨーグルトを摂取した試験対象者の顔をキュートメーターで測定したところ、皮膚の弾力性が改善したことを示している⁵⁾。また、*Lb. rhamnosus* GG を摂取した試験対象者の顔面を皮膚画像解析装置で解析すると、毛穴や色ムラの改善がみられるほか¹³⁾、*Lactobacillus plantarum* TK61406 の摂取では顔の目立つ毛穴数が有意に減少したことが報告されている¹²⁾。

2-3. 医師による診断による肌状態の改善

2-1, 2-2 で示した項目は機器測定による評価だが、ここでは皮膚専門医による第三者からみた乳酸菌摂取と皮膚の関係を紹介する。機器分析の結果は数値としてデータを得られるために解かり易い部分もあるが、その数値と実際の肌状態、例えば本人の実感が必ずしも一致するとは限らない。医師による診断では、実際に肌で起こっている変化を医学的見地から評価できるという利点がある。

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* 2038 と *St. thermophilus* 1131 を含むヨーグルトを摂取した試験対象者では、医師の所見によって肌の乾燥や鱗屑（りんせつ：角質が剥がれ粉をふいたような状態）の改善が認められている⁵⁾。また、*Lb. rhamnosus* GG を摂取した場合は、顔面と前腕部の肌の乾燥、紅斑、丘疹が改善されている¹³⁾。ただし、これらの結果は両方とも前後比較試験での結果であり、表1の中のプラセボ対照二重盲検試験では医師の診断に関する報告はない。今後、医師の所見でも、プラセボ摂取と比較して乳酸菌摂取が肌状態を改善することを示す情報が蓄積されていくことが期待される。

2-4. 試験対象者が感じる主観的な改善効果

健康人を対象とした試験では病状の回復や改善のような具体的な判断基準がなく、むしろ被験者のQOLが改善したかどうか、という主観的な判断は非常に重要となる。そのため、アンケート調査の結果は一つの重要な指標になると考えられる。アンケート内容の例としては、「全体的な調子」「つや」「はり」「うるおい」「ファンデーションののり」「くすみ」「しみ」「しわ」「赤み」「かゆみ」「キメ」「毛穴」「ベタつき」「透明感」などがあり、質問事項は多岐にわたる。それ以外にも、皮膚疾患特異的なQOL指標であるSkindex-16と呼ばれる評価もよく実施される。表1の中の複数の研究報告で肌状態に関するアンケート調査は実施されており、各試験によってアンケート項目の違いはあれど、乳

酸菌摂取によって試験対象者の多くで肌の状態が改善されたと感じている。また、プラセボ群との比較でも有意に改善している項目もあり、多くの人がもっている「乳酸菌やヨーグルトを食べると肌の調子が良くなる」という経験的な実感は、科学的見地からも満更でもないことが解かる。

3. 乳酸菌摂取が肌におよぼすメカニズム

これまで紹介してきた研究において、その試験対象者は全て乳酸菌を経口摂取している。つまり、肌に直接塗布したり、注射されているわけではない。無論、摂取した際に唇や口の周囲に触れることはあるだろうし、たまたま乳酸菌が付着してしまった手で他の部分の肌に触れる可能性もあるだろう。しかし、測定部位に乳酸菌が直接接触する可能性は高いとは思えない。また、経口摂取された乳酸菌がバクテリアトランスロケーションによって血中に入り、皮膚組織まで届くこともあるかも知れないが、これも一般的な現象ではないだろう。つまり、乳酸菌は消化管内から何らかのかたちで肌まで影響を及ぼしていると考えられる。ここでは、現在考えられている乳酸菌による肌状態の改善メカニズムについて紹介する。

3-1. 腸内環境の正常化

腸内の悪玉菌は、*p*-クレゾールやフェノール、アンモニア、インドール、スカトールなどの腐敗産物を産生する。これらは、腸管から吸収され血液を介し体内を循環し、様々な悪影響を及ぼすと考えられている。ヘアレスマウスにアミノ酸の一種であるチロシンを多く含む餌を与えると、通常の餌を与えられた対照群と比較して、皮膚の*p*-クレゾールやフェノール量が有意に増加し、皮膚が黄色くくすむことが報告されている¹⁶⁾。さらに、ヒトでも血清中のフェノール量と角質細胞の大きさに負の相関があることが示されているのに加え、*in vitro* 試験ではフェノールや*p*-クレゾールが角化細胞の分化を抑制することが示されている¹⁷⁾。これらの試験は、

腸内腐敗産物が増加すると皮膚がダメージを受けるといふ因果関係を示しており、糞便中や血液中の腐敗産物を測定することは、皮膚への影響を説明する重要な指標となると考えられる。

便秘のヒトでは上述したような腐敗産物の濃度が糞便や血液で高く、肌の状態が良くないことが報告されている¹⁸⁾。他方、ヒト試験では、糞便や血液のサンプリングは被験者への負担も大きく困難を生じる場合もある。そこで、排便回数や便性状を記録することによって腸内環境の状態を把握し、肌への影響を説明する間接的な指標とすることも多い。しかしながら、皮膚へ影響を及ぼす因子を直接測定しているわけではないことから、メカニズムの説明としては若干説得力に欠ける部分があるだろう。

乳酸菌を摂取した試験でも糞便中のアンモニア濃度の低下や、排便回数の増加、糞便性状の改善が報告されていることから¹²⁾、整腸作用は肌状態の改善メカニズムとしてやはり鉄板と言えるだろう。

3-2. 免疫系への影響

乳酸菌が腸管免疫系に作用することは、すでに当たり前のように知られている。その基本プロセスは、経口摂取された菌体が小腸のパイエル板に取り込まれることから始まる。そして、腸管の免疫細胞が活性化され、さらには全身性の免疫反応へと波及する。その際に大きな役割を果たしているのが、免疫細胞から放出されるサイトカインであり、様々なサイトカインが皮膚に影響することが知られている¹⁹⁾。乳酸菌摂取と肌の関係を調査したヒト試験では、サイトカインの一種であるトランスフォーム成長因子ベータ (TGF-β) の血清中濃度が、乳酸菌摂取群で上昇することが報告されている²⁰⁾。TGF-β は上皮成長因子 (EGF) と協調して角化細胞の成長を調整しているほか、真皮の繊維芽細胞のコラーゲン産生を促進するサイトカインである。筆者らもヘアレスマウスを用いた乾燥肌モデルの試験で、血清中 TGF-β の濃度を解析している。この試験では試験群に *Lb.*

表2 ヘアレスマウスの血清中 TGF-β 濃度

	濃度 (pg/mL)	
	TGF-β ₁	TGF-β ₂
対照群	736 ± 239	193 ± 14
LGG 群	1325 ± 1100	219 ± 30

平均値 ± 標準偏差 (各群 $n = 5$)

LGG 群: *Lb. rhamnosus* GG 投与群

rhamnosus GG を 18 日間投与し、投与 15 ~ 17 日目にラウリル硫酸ナトリウムを皮膚に塗布した。その結果、*Lb. rhamnosus* GG 摂取群で角層水分量が保持されたほか、有意差は得られなかったが血清中 TGF-β 濃度が対照群より増加している様子が観察された (表2)。乳酸菌摂取によって上昇した血液中の TGF-β と肌の保湿効果との因果関係は現在調査中だが、*Lb. rhamnosus* GG 摂取がヒトの母乳中の TGF-β 量を増加させるという報告もあり²¹⁾、TGF-β の産生促進が本菌株による皮膚状態の改善メカニズムの一端を担っているのではないかと筆者らは考えている。

3-3. 腸管神経系への影響

腸と脳は自律神経系を通して双方向的に作用しており、この関連を「脳腸相関」と呼ぶ。ストレスがかかるとお腹が痛くなったり下痢をするのは、このためである。最近では、腸内細菌が腸の自律神経系を介して脳へ作用し、全身へ影響を与えることがわかってきている。その流れからすれば、経口摂取された乳酸菌が腸の自律神経系を介して皮膚へ作用していると考えるのはごく自然なことだろう。*Lb. brevis* SBC8803 を十二指腸に投与すると、皮膚動脈交感神経の活動が抑制される結果、皮膚の血流量が上昇する²²⁾。皮膚の血流の増加は新陳代謝を上昇させ保湿にも関与することから、乳酸菌による肌状態の改善メカニズムの一つとして考えられている。筆者らも同様に *Lb. rhamnosus* GG を 10^9 cfu/mL になるよう生理食塩水にけん濁し、ラットの十二指腸に投与して皮膚動脈交感神経を測定した。その

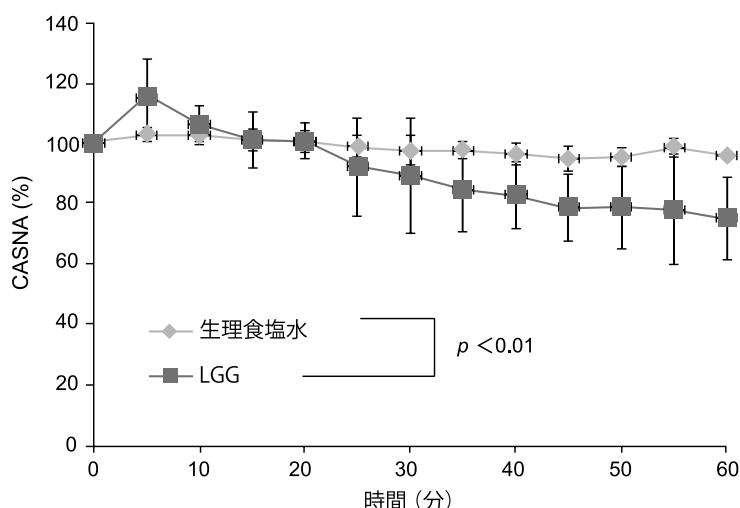


図2 乳酸菌投与による皮膚動脈交感神経への影響
LGG: *Lb. rhamnosus* GG を生理食塩水にけん濁し投与

結果、生理食塩水だけを投与したラットと比較して有意に交感神経の活動が抑制することを確認している（図2）。

おわりに

本稿では「乳酸菌の経口摂取による肌状態の改善効果 ―腸から肌へ―」と題して、ヒト試験が実施された国内の研究報告を中心に、乳酸菌摂取と健常なヒトの皮膚への影響について紹介してきた。これらをみる限り、乳酸菌の経口摂取が肌に対して何らかの改善効果を示すことが期待できるだろう。そして、冒頭では「腸管にいる乳酸菌にとっての皮膚」を「日本人にとってのブラジル」のような遥か遠くのところと例え、その遠隔作用のメカニズムについても動物試験や細胞試験の報告等を含め考察してきた。すると、白黒付けられるような単一のメカニズムで乳酸菌が皮膚へと作用しているのではなく、体の防御システムや情報伝達システムなど多様な経路を介して作用していることが見えてきた。そして、おそらく未だ知られていないメカニズムもたくさんあるのではないと思う。また、プロバイオティクスの機能性は株レベルで異なることが一般的に知られている。そ

の理由の一つは、菌株によって免疫細胞の反応が異なるからである。3-2で述べたように免疫システムを介した皮膚の改善メカニズムが考えられていることから、それぞれの菌株によって皮膚へ与える影響が異なってくることは容易に推測できる。今回、筆者による検索（2019年6月25日時点）において、論文での報告が見当たらなかった乳酸菌株については本稿の対象に含めなかったが、*Lactococcus lactis* JCM 5805 や *Lactobacillus gasseri* N320 でも皮膚を改善するという研究結果が学会等で報告されている。また、乳酸菌と並んで代表的なプロバイオティクスであるビフィズス菌についても、本稿のテーマの関係で述べなかったものの、経口摂取と肌の改善に関する研究報告が複数存在している^{23, 24)}。それでも、プロバイオティクスの肌改善に関する研究報告数がまだまだ不足していることは否めない。

今後、菌種レベルでの効果、菌株レベルでの効果についての情報がさらに蓄積されることが望まれるだろう。そして、「瑞々しく、若々しいお肌を保ちたい」と願う多くの人たちの夢が叶えられることを期待したい。

参考文献

1. Gilliland SE, Morelli L, Reid G: Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria. *Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food held in Córdoba, Argentina from 1-4 October, 2001*. 2001.
2. Metchnikoff E: *Essais Optimistes*. Paris. A. Maloine. 1907.
3. Fuller R: Probiotics in man and animals. *J Appl Bacteriol* **66**: 365-378, 1989.
4. Kalliomaki M, Salminen S, Arvilommi H, Kero P, Koskinen P, *et al.*: Probiotics in primary prevention of atopic disease: a randomised placebo-controlled trial. *Lancet* **357**: 1076-1079, 2001.
5. 伊澤 佳久平, 野間 晃幸, 山本 昌志, 木村 勝紀, 伊藤 裕之, 他: LB81 乳酸菌を使用したヨーグルトの皮膚機能改善効果に関する検証. 腸内細菌学雑誌 **22**: 1-5, 2008.
6. 木元 広実, 青木 玲二, 佐々木 啓介, 鈴木 チセ, 水町 功子: ヒトの肌の状態に対する *Lactococcus lactis* H61 の摂取効果 年齢層別解析. 日本畜産学会報 **83**: 307-313, 2012.
7. Kimoto-Nira H, Aoki R, Sasaki K, Suzuki C, Mizumachi K: Oral intake of heat-killed cells of *Lactococcus lactis* strain H61 promotes skin health in women. *J Nutr Sci* **1**: e18, 2012.
8. Kimoto-Nira H, Nagakura Y, Kodama C, Shimizu T, Okuta M, *et al.*: Effects of ingesting milk fermented by *Lactococcus lactis* H61 on skin health in young women: a randomized double-blind study. *J Dairy Sci* **97**: 5898-5903, 2014.
9. 木元 広実, 守谷 直子, 酒井 勝, 辻 容子, 木村 智信, 他: 夏季における *Lactococcus lactis* H61 含有ヨーグルトの摂取が中高年女性の肌及び体調に及ぼす影響. *Milk Science* **66**: 1-7, 2017.
10. Ogawa M, Saiki A, Matsui Y, Tsuchimoto N, Nakakita Y, *et al.*: Effects of oral intake of heat-killed *Lactobacillus brevis* SBC8803 (SBL88) on dry skin conditions: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Exp Ther Med* **12**: 3863-3872, 2016.
11. Saito Y, Mihara T, Maruyama K, Saito J, Ikeda M, *et al.*: Effects of intake of *Lactobacillus casei* subsp. *casei* 327 on skin conditions: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group study in women. *Biosci Microbiota Food Health* **36**: 111-120, 2017.
12. 森下 美香, 西尾 翔子, 伊與田 哲也, 小室 あゆ美, 河本 哲宏: 漬物由来乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* TK61406 の摂取が腸内環境, 肌状態および集中力に及ぼす影響のランダム化比較試験検討. 新薬と臨床 **65**: 1274-1294, 2016.
13. 宮澤 賢司, 依田 一豊, 原田 岳, 井田 恵, 平山 伊知郎, 他: *Lactobacillus rhamnosus* GG 株の摂取による便秘傾向な女性の排便および皮膚に及ぼす影響. 日本乳酸菌学会誌 **28**: 12-17, 2017.
14. Miyazawa K, Harata G, Yoda K, Yamazaki K, He F, *et al.*: Effects of intake of *Lactobacillus rhamnosus* GG on intestinal environment and skin condition in healthy adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Int J Probio Prebio* **13**: 11-18, 2018.
15. Nagino T, Kaga C, Kano M, Masuoka N, Anbe M, *et al.*: Effects of fermented soymilk with *Lactobacillus casei* Shirota on skin condition and the gut microbiota: a randomised clinical pilot trial. *Benef Microbes* **9**: 209-218, 2018.
16. Iizuka R, Kawakami K, Izawa N, Chiba K: Phenols produced by gut bacteria affect the skin in hairless mice. *Microb Ecol Health Dis* **21**: 50-56, 2009.
17. Iizuka R, Kawakami K, Chiba K: Gut bacteria producing phenols disturb keratinocyte differentiation in human skin. *Microb Ecol Health Dis* **21**: 221-227, 2009.
18. 土橋 英恵, 木村 勝紀, 伊藤 裕之, 飯野 久和, 川島 眞: 食品による腸内環境および皮膚機能改善効果. *Cosme Tech Japan* **1**: 70-75, 2011.
19. Hanel KH, Cornelissen C, Luscher B, Baron JM: Cytokines and the skin barrier. *Int J Mol Sci* **14**: 6720-6745, 2013.
20. Gueniche A, Philippe D, Bastien P, Reuteler G, Blum S, *et al.*: Randomised double-blind placebo-controlled study of the effect of *Lactobacillus paracasei* NCC 2461 on skin reactivity. *Benef Microbes* **5**: 137-145, 2014.
21. Rautava S, Kalliomaki M, Isolauri E: Probiotics during pregnancy and breast-feeding might confer immunomodulatory protection against atopic disease in the infant. *J Allergy Clin Immunol* **109**: 119-121, 2002.
22. Horii Y, Kaneda H, Fujisaki Y, Fuyuki R, Nakakita Y, *et al.*: Effect of heat-killed *Lactobacillus brevis* SBC8803 on cutaneous arterial sympathetic nerve activity, cutaneous blood flow and transepidermal water loss in rats. *J Appl*

Microbiol **116**: 1274-1281, 2014.

23. Kano M, Masuoka N, Kaga C, Sugimoto S, Iizuka R, *et al.*: Consecutive Intake of Fermented Milk Containing *Bifidobacterium breve* Strain Yakult and Galacto-oligosaccharides Benefits Skin Condition in Healthy Adult Women. *Biosci Microbiota Food Health* **32**: 33-39, 2013.
24. Mori N, Kano M, Masuoka N, Konno T, Suzuki Y, *et al.*: Effect of probiotic and prebiotic fermented milk on skin and intestinal conditions in healthy young fe-male students. *Biosci Microbiota Food Health* **35**: 105-112, 2016.

連絡先：依田 一豊 (Kazutoyo Yoda)

タカナシ乳業株式会社 商品研究所

〒241-0023 神奈川県横浜市旭区本宿町5番地

TEL 045-367-6645 FAX 045-364-2160

E-mail : k-yoda@takanashi-milk.co.jp

雪室熟成によるコーヒーの香気と呈味の変化

神山 伸 (KAMIYAMA Shin)* 押味 真里菜 (OSHIMI Marina) 伊藤 美咲 (ITO Misaki)
大内 彩也夏 (OHUCHI Sayaka) 磯島 秋穂 (ISOJIMA Akiho) 曾根 英行 (SONE Hideyuki)**

新潟県立大学 人間生活学部健康栄養学科

Key Words : 雪室熟成 コーヒー 香気成分 オフフレーバー

Evaluating the effectiveness of yukimuro storage for the aging of roasted coffee beans.

Shin Kamiyama*, Marina Oshimi, Misaki Ito, Sayaka Ohuchi, Akiho Isojima, Hideyuki Sone**

Faculty of Human Life Studies Department of Health and Nutrition University of Niigata Prefecture

Key Words: Yukimuro storage to age, coffee, flavor component, off-flavors

Abstract

Yukimuro, a traditional type of cold storage room that uses snow as its coolant, has long been utilized to preserve fresh foods. Yukimuro storage rooms can maintain a stable low temperature near 0 °C and high humidity level of more than 90%. It is also known that conditions produced by yukimuro storage tends to enhance the palatability of foods such as carrots and potatoes. In this study, we studied the effectiveness of using yukimuro storage to age roasted coffee beans. Roasted Brazil and Mandheling coffee beans were packaged and stored for a month under three different conditions: in a storage room without temperature control (at room temperature), in a refrigerated storage room (controlled at 10 °C), and in a yukimuro storage room. Compared with Brazil coffee beans aged at room temperature, those aged in the yukimuro showed a significantly decreased sensory score for astringency and an increased score for sweetness. No differences were observed in regards to chlorogenate derivatives (bitter compounds) and carbonic acids (sour compounds) content among the beans stored under different conditions. In contrast, aging in the yukimuro remarkably modified the odor constituent composition in the roasted coffee beans. These findings indicate that the yukimuro storage of roasted coffee beans tends to suppress unpleasant off-flavors and thus changes its taste by reducing astringency and inducing sweetness.

Corresponding authors:

471 Ebigase, Higashi-ku, Niigata-City, Niigata, Japan 950-8680

* Tel: +81-25-368-8269

E-mail: kammy@unii.ac.jp

** Tel: +81-25-270-7182

E-mail: sone@unii.ac.jp

はじめに

雪下貯蔵や雪中貯蔵（雪室貯蔵）などの雪を利用した食品貯蔵は、低温・高湿度（室温 0～2℃、湿度 95% 以上）の環境を保てることから農作物の品質の保持の上で有用であり、北陸・東北地方などの積雪地域で古くから実施されている。雪下貯蔵は収穫時期の野菜類を収穫しないまま雪下で越冬させ、雪解けの早春期に収穫する貯蔵方法であり、新潟県津南市の「雪下にんじん」などが知られている。また、積雪中に埋没させた貯蔵庫や、冬の間に採取した雪や氷を利用して氷室や雪室を作り、それを冷房源として夏の間の食品貯蔵などに利用する雪中・雪室貯蔵も、古くから魚や農産物などの食品保存に用いられてきた。これらの貯蔵方法は電気利用冷蔵庫の普及により次第に利用されなくなり、その多くが姿を消して行ったが、近年では雪や氷を利用する「氷雪冷熱」が CO₂ を排出しない環境に優しい冷熱エネルギーとして見直されつつあり、この「氷雪冷却エネルギー」は平成 14 年 1 月の「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の改正により、新エネルギーとして認知されるに至った。それに伴い、平成元年には豪雪地域においてわずか 3 施設に過ぎなかった雪冷熱エネルギーを利用した施設も、平成 28 年には 169 施設に増加しており、その 65% が農産物・加工品等の貯蔵に用いられている。

これらの雪冷熱エネルギーを利用した貯蔵は、低コストの冷蔵システムとして貯蔵温度を 0℃ 付近に維持できるうえ、その高湿度の環境により農産物の乾燥を防ぐことが可能である。また、冷房装置による空気変動や振動などを受けないため、環境ストレスの少ない状態で食品を保存できる利点がある。加えて、これらの雪利用貯蔵を行ったいくつかの農産物では呈味が向上する効果が示されており、高付加価値商品としても注目されるようになった。一般的に、植物類は低温にさらされることにより細胞内の糖類やアミノ酸類などの濃度を高めて凍結温度を下げ、耐凍性を獲得する（低温馴化）。その

ため、雪中貯蔵を行った人参（雪下人参）やキャベツ、ジャガイモなどの作物では貯蔵により遊離糖や遊離アミノ酸が増加するなど、その食味が向上することが示されている¹⁻³⁾。近年では加工食品を含むいろいろな食材について低温貯蔵する試みが行われており、雪利用貯蔵による食味向上が謳われているが、雪利用食品のブランドイメージにもかわらずその有効性が示されたものは必ずしも多くはない。

コーヒーは世界で最も好まれている飲料の一つであり、日本においてもその消費量は高く、現在では世界第三位のコーヒー豆輸入国となっている。コーヒーの生豆にはコーヒーらしい味や香りはなく、焙煎による変化により苦味、酸味成分とともに数多くの香気成分が生み出され、コーヒーとしての味と香りを示す。焙煎後のコーヒーは通常常温で熟成と保存が行われるが、焙煎によって生じた香気成分が豆に閉じ込められた二酸化炭素とともに徐々に失われるとともに、長期保存によって劣化臭（オフフレーバー）が増加することにより品質劣化を招く。この焙煎後のコーヒーを雪室により熟成する試みが新潟県内で行われており、現在「雪室珈琲」としてブランド化されて販売されている。この雪室熟成コーヒーは「苦味の角がとれる」「甘味が増す」「すっきりとした飲み口」などと評されているものの、その呈味および成分変化に関する科学的な裏付けは得られていなかった。新潟県立大学では、この雪室熟成によるコーヒーの風味変化について検討しており、雪室モデルを用いた実験により香気成分の構成が変動することを報告している⁴⁾。

本稿では、この雪室熟成コーヒーと常温熟成コーヒーとの風味の違いを官能検査により評価するとともに、雪室熟成による香気成分と味成分の変化を常温熟成あるいは冷蔵庫熟成と比較しつつ検討した結果について紹介する。

1. 実験方法

1-1. 実験試料

コーヒー豆は、株式会社鈴木コーヒー（新潟

県新潟市)より提供された焙煎直後のマンデリンあるいはブラジル豆を試料として用いた。これを(1)焙煎直後(2)常温熟成(3)冷蔵庫熟成(4)雪室熟成の4試験区にわけ、焙煎直後は焙煎後直ちに冷凍保存(−80℃)した。常温熟成では株式会社鈴木コーヒーの熟成室にて通常出荷と同じ条件で熟成を行い、冷蔵庫熟成では株式会社鈴木コーヒーの冷蔵庫(10℃設定)にて熟成を行った。雪室熟成に関しては、新潟県上越市安塚区の雪室貯蔵庫(温度0〜1℃,湿度95〜100%)を利用して行った。熟成期間はいずれも1ヶ月であり、熟成後は実験まで−80℃にて冷凍保存した。

1-2. 官能評価

マンデリンとブラジルの両方に関して、常温熟成のコーヒー豆と雪室熟成のコーヒー豆を用いて官能評価を行った。それぞれのコーヒー豆をコーヒーミルでグラインドし(中挽)、試料48gあたり1000mLの水を用いて、メリタ製コーヒーメーカー(ルックデラックスII, MKM-9110)により抽出した。抽出したそれぞれのコーヒー飲料に関して、新潟県立大学の女子学生15名を被験者として評価法による官能試験を行った。評価項目は「芳香」「苦み」「渋み」「甘み」「酸味」「総合評価」の5項目を設定し、「芳香」と総合評価については「良い」と「悪い」を指標とし、「苦み」「渋み」「甘み」「酸味」については「ある」と「ない」を評価指標としてそれぞれを5段階評価した。官能評価による評価については、ヘルシンキ宣言を遵守して人権を尊重し、新潟県立大学の倫理審査に基づいて行った。

1-3. 高速液体クロマトグラフィー(HPLC)による味成分の分析

1-3-1. クロロゲン酸類

破碎したコーヒー豆の水抽出物について、HPLCにより苦味成分であるクロロゲン酸類の含量を定量した。グラインドしたコーヒー豆1gを10mLの水で抽出し、3000rpmで10

分間遠心分離することにより不溶物を除いた後、0.2μmのフィルターで濾過したものを分析試料として用いた。Inertsil ODS-3カラム(5μm, 2.1×250mm; GL-Science, 東京)を用い、100%メタノールと20%メタノール/10mMクエン酸水溶液のグラジエントにより流速0.2mL/分、カラムオープン40℃の条件で分離した。検出器としてフォトダイオードアレイSPD-M20A(島津製作所, 京都)を用い、標品(3-caffeoylquinic acid, 4-caffeoylquinic acid, 5-caffeoylquinic acid, 3-caffeoylquinic acid lactone)をもとに325nmの吸光度により定量した。定量値は5-caffeoylquinic acidの標品から検量線を作成し、5-caffeoylquinic acid相当量として計算した。

1-3-2. 有機酸類

クロロゲン酸測定と同様にして、コーヒー豆の水抽出物の有機酸含量をHPLCで分析した。Shim-pack SCR102HGをガードカラム, Shim-pack SCR102H(7.9mm×30cm; 島津製作所)2本を分離カラムとして用い、5mMp-トルエンスルホン酸と0.1mMEDTA-2Naを含む20mMBis-Trisを移動相として、流速0.8mL/分、カラムオープン40℃の条件で分離した。電気伝導度検出器CDD-6A(島津製作所)を用いて標品をもとにそれぞれの有機酸(シュウ酸, クエン酸, リンゴ酸, コハク酸, 乳酸, フマル酸, 酢酸, ピログルタミン酸)を定量した。

1-4. 加熱脱着ガスクロマトグラフィー質量分析機(GC-MS)による香気成分の分析

コーヒー豆に含まれる香気成分に関しては、テナックス管濃縮捕集による加熱脱着GC-MS(QP5050A, 島津製作所)を用いて分析した。破碎したそれぞれのコーヒー豆0.5gを10mLの蒸留水および内部標準液(0.1% 2-acetylpyridine, Sigma-Aldrich)100μLとともに75℃で10分間湯煎し、揮発した香気成分を窒素ガスでバージし、テナックス捕集管(AERO TD GL-Tube Tenax, ジーエルサイエンス)に吸着させたあと、加熱脱着GC-MSによって分析

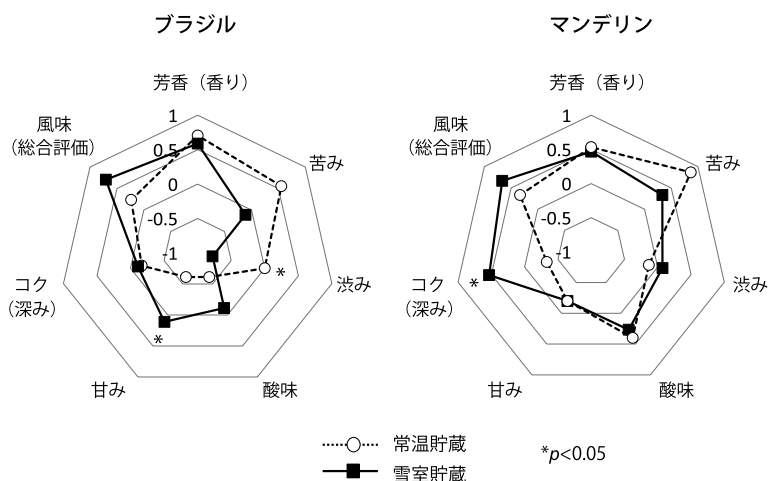


図1 常温熟成コーヒーと雪室熟成コーヒーの官能評価

左：ブラジル豆、右：マンデリン豆。それぞれの条件で一ヶ月熟成したコーヒー豆の抽出飲料について5点評価法により官能検査を行なった。*が付いている項目は、 $p < 0.05$ での有意差を表す。

した。それぞれの香気成分は、CLASS-5000 ソフトウェアを用いて解析した。

1-5. 統計処理

官能評価および測定結果の統計処理は対応のないt検定あるいは一元配置分散分析 (one-way ANOVA) で行い、5%を有意水準とした。統計処理はStatView 5.0 (SAS Institute Inc., アメリカ) プログラムを用いて行った。

2. 結果

2-1. 官能評価による試験

試料として用いた2種類のコーヒー豆のうち、ブラジル豆はマイルドな味わいであり、一方マンデリン豆は強い苦味とコクをもつ。ブラジルについて、1ヶ月間常温熟成と雪室熟成を行ったコーヒー豆の抽出飲料について官能評価を行った結果を図1に示した。常温熟成物と比較した場合、雪室熟成物で有意に渋みが低下しており、甘味が増加していた ($p < 0.05$)。苦味については有意ではなかったものの、常温熟成に比べ雪室熟成で低下する傾向がみられた。総合評価に関しても、有意ではなかったものの、常温熟成に比べ雪室熟成の方が高い評価が得られた。マンデリンの官能評価では、ブラジルと

異なり渋みと甘みの評価ではほとんど差はみられなかったが、「コク (深み)」の評価が雪室熟成で有意に上昇していた ($p < 0.05$)。苦味に関しては、有意でなかったものの常温熟成に比べ雪室熟成で低下する傾向がみられ、総合評価に関しても有意ではないものの雪室熟成の方がやや高い評価であった。「芳香」に関してはマンデリン、ブラジルともに差は認められなかった。

2-2. 苦味成分 (クロロゲン酸およびカフェイン) の含量

コーヒーには多様な苦味成分が存在しているが、その代表的なものとしてクロロゲン酸類とカフェインについて定量を行った。クロロゲン酸 (5-カフェオイルキナ酸) はコーヒー豆を始めとする多くの植物に含まれているポリフェノールであり、焙煎によって生じたクロロゲン酸ラクトン類などの派生物がコーヒーの苦味に大きく寄与しているものと考えられている。表1にそれぞれの方法で熟成したブラジル豆抽出物に含まれるクロロゲン酸類の含量を示した。常温、冷蔵庫、雪室のいずれの熟成方法においても、コーヒー豆抽出物のクロロゲン酸類の含量に違いは認められず、ほぼ焙煎直後のものと同

表1 それぞれの条件で熟成したブラジルコーヒー豆の有機酸類の濃度 (mg/L 抽出物)

	シュウ酸	クエン酸	リンゴ酸	コハク酸	フマル酸	酢酸	乳酸	ピログルタミン酸
焙煎直後	12±1	860±13	197±3	61±1	192±2	226±3	ND	137±5
常温	13±0	898±12	206±3	60±1	193±2	226±3	ND	135±6
冷蔵	13±0	909±19	198±3	59±0	196±2	226±2	ND	144±2
雪室	14±0	904±9	211±2	61±1	197±1	232±1	ND	146±2

ND: not detected.

表2 それぞれの条件で熟成したブラジルコーヒー豆のクロロゲン酸類の濃度 (mg/L 抽出物)

	3-CQA	5-CQA	4-CQA	3-CQL	5-FQA	4-FQA
焙煎直後	129±4	272±10	150±5	110±9	26±2	73±4
常温	126±8	252±16	142±9	103±6	25±1	64±4
冷蔵	125±2	257±6	145±3	104±2	25±1	67±1
雪室	131±1	262±4	149±2	107±2	26±0	67±1
	4-CQL	3-FQL	4-FQL	3,4-diCQA	3,5-diCQA	4,5-diCQA
焙煎直後	42±2	27±2	16±1	21±2	14±1	19±2
常温	33±2	24±1	15±0	18±1	12±0	16±1
冷蔵	35±1	25±1	15±0	18±0	12±0	16±0
雪室	34±1	25±1	15±0	19±0	12±0	16±0

CQA: caffeoylquinic acid, CQL: caffeoylquinic acid lactone, FQA: feruloylquinic acid,
FQL: feruloylquinic acid lactone, diCQA: dicaffeoylquinic acid

じであった。また、苦味成分の一つであるカフェインについても、常温熟成 0.04 mg/mL、冷蔵庫熟成 0.04 mg/mL、雪室熟成 0.05 mg/mL と熟成方法による違いはみられず、熟成方法による呈味の違いは苦味成分の変化によるものではないことが示唆された。

2-3. 有機酸類の含量

酸味あるいは渋みを示す成分として、それぞれの方法で熟成したブラジル豆の抽出物に含まれる有機酸類（非フェノール性カルボン酸）を定量した（表2）。有機酸は生豆中にも含まれているが、その種類と量は焙煎初期に増加し、深煎りになるにつれて減少する。測定した有機酸類のうち、クエン酸の含量が最も多く、他にも酢酸、リンゴ酸、フマル酸、ピログルタミン酸、コハク酸などが検出された。いずれも熟成方法の違いは認められず、ほぼ焙煎直後と同じ値を示した。これらの結果から、貯蔵方法の違いによる呈味の違いは、苦味成分や酸味、渋み成分の変化ではないことが示唆された。

2-4. 香気成分

コーヒーの香気成分の多くは焙煎によって生じ、揮発性のカルボン酸や、アルコール類、アルデヒド類、フラン類、ピラジン類、含硫化合物などの多様な化合物が数百種類含まれている。

貯蔵方法の異なるブラジル豆について、破碎物を 60℃で湯煎することにより揮発した成分を加熱脱着 GC-MS で測定したクロマトグラムを図2に示した。焙煎直後のコーヒー豆では、保持時間 10 分までにアルコール類やアルデヒド類、ケトン類、10 分から 20 分までの間にピリジンやピラジン類、20 分から 30 分の間にフラン類、フルフラール類、ピロール類などが検出された。常温熟成させたものは焙煎直後と類似した成分が検出されており、冷蔵庫熟成でもほぼ常温と同じクロマトグラムであったのに対し、雪室熟成では 10 分までのピークが大きく低下していた。

保持時間 10 分までに含まれる香気成分には、イソブチルアルデヒド (2-Methylpropanal) やメチルエチルケトン (2-Butanone)、イソバレルアルデヒド (3-Methylbutanal) などがあり、

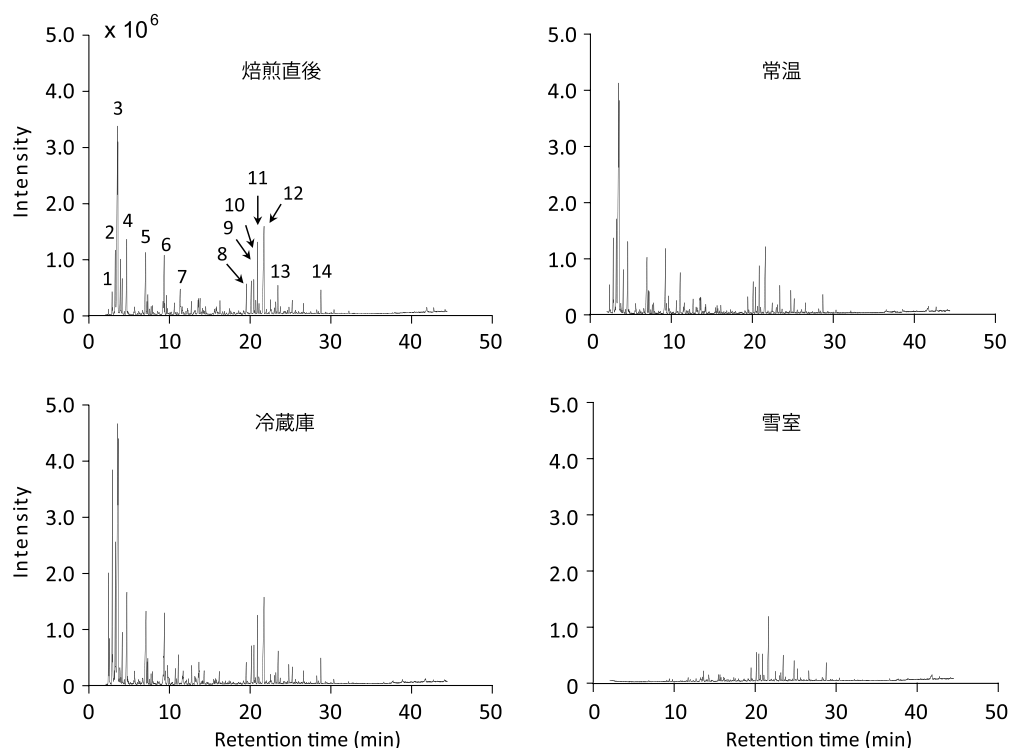


図2 それぞれの条件で熟成したブラジルコーヒー豆のGC-MS クロマトグラム

ピーク 1: 2-Methylpropanal, 2: 2-Butanone, 3: 3-Methylbutanal 等(混合ピーク), 4: 3-Methyl 2-butanone, 5: 2,3-Pentadione, 6: 1-Methyl pyrrole, 7: Pyridine, 8: Furfural, 9: Furfuryl methyl sulfide, 10: Furfuryl formate, 11: Pyrrole, 12: Furfuryl acetate, 13: 2-Furfuryl furan, 14: Furfuryl pyrrole.

これらは量が多い場合は不快臭（オフフレーバー）として感じられることが知られている。雪室貯蔵では「コーヒーらしい香り」を構成するピラジン類やフラン類（保持時間10分以降）の変動が少なく、オフフレーバーを含む成分（保持時間～10分）の減少が大きかったことは、雪室貯蔵コーヒーは香りが変わることにより、風味の違いの評価に繋がった可能性が考えられる。これらのことから、雪室貯蔵による呈味の変化は味成分の変化ではなく、香気成分の変化による香りの違いが大きく寄与しているものと考えられる。

3. 考察と展望

本研究ではコーヒーにおける「雪室熟成」の有効性を検証するため、焙煎後のコーヒー豆について保存条件の違いによる成分と味の変化を比較検討した。

通常の常温熟成を行なったコーヒーと雪室熟成コーヒーとの官能評価による比較では、雪室熟成を行ったコーヒーで有意に渋みが低下し、甘味が増加するなどの呈味向上が確認された。焙煎後のコーヒーには多くの苦味成分が含まれており、生豆に含まれるカフェインよりもクロロゲン酸分解物などの焙煎によって生じる成分が主たるコーヒーの苦味成分であることが示唆されている⁵⁾。本研究で測定したクロロゲン酸類においては、熟成方法の違いによる変化は認められなかったことから、「渋み」や「苦み」の減少はこれらの成分の変動によるものではないものと考えられる。また、コーヒーに比較的多く含まれる苦味成分であるカフェインや、酸味・渋みを示す成分である有機酸類においても、熟成方法による変化はほとんど認められず、雪室熟成においてはこれらの味成分の変動が呈味の向

上に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

このように、いずれの熟成方法でも味成分の変動がほとんど認められなかったのに対し、GC-MSで測定した香気成分には顕著な変化が認められた。コーヒーのおいしさにおいては、焙煎によって生じる香りが最も重要であり、香気成分のわずかなバランスの違いがその風味に大きくすることが知られている。筆者らの実験でも、発酵処理などによりコーヒー豆の香気成分を変化させた場合、「味」としての評価が大きく変わることを確認している⁶⁾。焙煎によって生じるコーヒーの香気成分は800種類以上に及ぶが、単独でコーヒーの香りを再現できる香気成分はなく、フラン類、ピラジン類、含硫化合物などの多くの香気が集合して「コーヒーの香り」を構築する^{5,7)}。筆者らは以前の研究で、雪室のような低温・高湿度の環境における保存では、代表的なコーヒーの香気成分のうち刺激臭や不快臭を含むアルデヒド類やケトン類の香気成分の構成比が低下し、甘い香りや香ばしい香りを含むピラジン類やコーヒーらしい香りを含むフラン類の構成比が上昇することを報告した⁴⁾。雪室熟成コーヒーにおいても同様の香気成分の変化がみられており、本研究における呈味の向上においても、こうした香気成分の変化が大きく寄与しているものと考えられる。ここで、雪室熟成コーヒーでは甘味の評価も有意に上昇していたが、焙煎後のコーヒー豆には甘味を示す遊離糖類や遊離アミノ酸類はほとんど存在しないことから、コーヒーにおける甘味は、その香気や味の相互作用によって感じられるものと考えられている。したがって、雪室熟成コーヒーでは香気成分の変動で味がマイルドに感じ

られることにより、相対的に甘味の評価も増加したものと考えられる。コーヒーの香りの違いはそれを嗅いだ人に及ぼす生理作用も異なっており、ブルーマウンテンやグアテマラのようなコーヒー豆の香りはリラックス作用が強く、一方でマンデリンやフラジルサントスのような豆の香りは集中力を高める作用が強いことが報告されている⁸⁾。この雪室熟成コーヒーの香りにより、リラックス作用と集中力増加作用のどちらが強く生じるかについて興味を持たれる。

本稿で報告した焙煎後のコーヒー豆の雪室熟成による風味の向上効果は、「香気改善」の視点から加工食品における雪室貯蔵の有効性を示したものである。近年では農作物のみならず、日本酒や発酵食品、畜肉等のさまざまな食品について雪室熟成の試みがなされており、筆者らの検討でも、チーズの低温熟成⁹⁾や小麦粉の雪室貯蔵による製パン性の向上¹⁰⁾など、加工食品においても新しく雪室貯蔵の有効性が示されている。今後、雪室貯蔵の効果が検証されていないままとなっている多くの食品においてもその有効性が明確にされることにより、雪室貯蔵による科学的な裏付けに基づいた高付加価値化が進められることを望んでいる。

謝辞

コーヒーの雪室貯蔵には、株式会社鈴木コーヒーの佐藤健之様と佐藤俊輔様、公益財団法人雪だるま財団の伊藤親臣様にご協力を頂きました。また、分析にあたっては、新潟県農業総合研究所食品研究センターの小林和也先生と渡辺聡先生にご協力いただきました。深く感謝申し上げます。

文 献

1. 下條明, 佐藤嘉一, 安藤健介, 他:『ばれいしょ』の雪室貯蔵による品質向上効果の検証～低炭素社会にふさわしい雪による新たなニイガタブランドの創造～. 食品の試験と研究, **46**: 69, 2012.
2. 松村謙生:「野菜の雪中貯蔵方法とその実証」. 北陸農業試験場報告, **29**: 75-94, 1987.
3. 石原和夫, 鈴木裕行, 土田早苗, 他: ニンジンの雪下貯蔵に伴う香気成分の変化. 園芸学研究, **4** (3): 353-357, 2005.
4. 曾根英行, 押味真里菜, 伊藤美咲, 他: 雪室貯蔵によるコーヒー豆の香気成分の変化について (雪室を再現したモデル実験による検討). *Trace Nutrients Research*, **31**: 12-16, 2014.
5. 旦部幸博: コーヒーの科学「おいしさ」はどこで生まれるのか. 講談社, 130-164, 2006.
6. 神山伸, 佐藤佑香, 太田ひかる, 他: コーヒー生豆のモデル発酵とそれによる風味変化. 人間生活学研究, **10**: 15-25, 2019.
7. 日本香料協会 (編): 食べ物 香り百科事典. 朝倉書店, 200-202, 2006.
8. 古賀良彦: 香りが脳機能に与える効果. 国際生命情報科学会誌, **22** (1): 179-186, 2004.
9. 神山伸, 田山舞, 須崎奈美, 他: 雪室モデルを用いたチーズの雪利用貯蔵の有効性に関する検討. 日本食品工学会誌, **19** (3): 137-144, 2018.
10. 神山伸, 柳原詩野, 本間千裕, 他: 雪室貯蔵が小麦粉の品質と製パン性に与える影響. 日本食品工学会誌, **18** (4): 19-24, 2017.

連絡先: 神山 伸 (Shin Kamiyama)*

新潟県立大学 人間生活学部 健康栄養学科
〒950-8680 新潟市東区海老ヶ瀬 471
新潟県立大学 2 号館 2109 号室
TEL: 025-368-8269
E-mail: kammy@unii.ac.jp

曾根 英行 (Hideyuki Sone)**

新潟県立大学 人間生活学部 健康栄養学科
〒950-8680 新潟市東区海老ヶ瀬 471
新潟県立大学 2 号館 2311 号室
TEL: 025-270-7182
E-mail: sone@unii.ac.jp

リレーショナルデータベースの初歩的解説 ー発酵食品データベースを例にしてー

ABC of Relational Database

曲山 幸生 (MAGARIYAMA Yukio)

農研機構 食品研究部門 企画管理部 企画連携室

Key Words : リレーショナルデータベース テーブル SQL 発酵食品データベース
relational database, table, SQL, fermented food database

はじめに

現代社会では膨大なデータが日々蓄積され、誰もが大量のデータを以前よりも簡単に収集できるようになりつつある。そして、社会のあらゆる分野で、その大量のデータを効果的に活用する者がその分野をリードしていくという状況になっている。情報工学において、「データ」とは客観的に事実を記録したもので、「情報」とは特定の目的のためにデータを加工し利用できるようにしたものとして定義されている。この用語を使えば、今日の社会状況の記述を「膨大なデータの海から高品質の情報を産み出した者が成功者になる。」と言い換えることができる。深層学習やデータマイニング等を中心にしたAI技術が注目を集める理由は、膨大なデータの活用方法を提供するからであり、今日の社会状況から当然のことだと言える。

データを情報化する装置として最も基本的なものがデータベースである。人類が文字を獲得したときすぐに様々な事象を記録しただろうが、これも広い意味ではデータベースかもしれない。しかし、通常は、特定の条件を満足する複数のデータを収集して、利用しやすい形にまとめたものをデータベースと言う。「特定の条件を満足するデータ」は「あらかじめ決められた形式で表現されたひとまとまりの客観的事

実」と言い換えることができる。例えば、この解説記事をデータベースとは呼ばないが、一方、住所録、組織図、社員の出勤簿、料理レシピ集等はデータベースである。このようにデータベースの範囲を限定したとしても、昔から社会の運営にはデータベースが必須であった。例えば、国を治めるために戸籍の整備は基本であったし、種々の取引記録をきちんと管理している商人が成功を収めてきた。コンピューターを駆使する現代では、その利用範囲は著しく拡大し、様々な新しいデータベースが生み出され、活用されている。データや低次の情報からより高次の情報を生み出す能力を獲得するために、現代に生きる多くの人にとって、データベースに関する基礎知識が有力な武器だと言えるだろう。

本稿では、コンピューター上でデータベースを管理するシステム(DBMS; Database Management System)として、現在もっとも広く利用されているリレーショナルデータベース管理システム(RDBMS; Relational Database Management System)について、著者が最近開発・公開した発酵食品データベースを例にして、初心者向けに具体的に解説する。実用上の入門的な知識の獲得を目的としたため、学問的な厳密さは考慮していないことを最初にお断りしておく。

1. 発酵食品データベースとは何か

最初に、例として採り上げる「発酵食品データベース」について、簡単に紹介する。2019年3月に <https://ffdb-web.dc.affrc.go.jp/> で公開した発酵食品データベース（図1）は、日本全国の様々なところに散在している多様な発酵食品に関する情報を多面的な視点で収集し、保存したもので、発酵食品関係者に活用してもらうことを目的にしている。対象としているデータの種類は、発酵食品、発酵食品に含まれる成分、発酵食品を使った製品、発酵食品製造で発生する副産物、発酵食品製造で使われる微生物株や複合微生物系、発酵食品を製造するための原材料、発酵食品に関係する場所・時・人・行事等で、これらのデータに言及した論文・書籍・特許等の文献、これらのデータの問合せ先も含まれている。発酵食品に関係することなら、とり

あえずこのデータベースにアクセスすれば、目指す情報がどこにあるのかを知ることができるようにしたいと考えて作られた。データの収集登録作業に基準を設けているので、発酵食品に関する信頼できる情報だけを対象にしたポータルサイトが「発酵食品データベース」であると言える。

詳しい内容を知りたい方は、著者が発表した論文¹⁾を参照してほしい。使い方を紹介した解説記事²⁾もある。

2. なぜリレーショナルデータベースを使うのか

2-1. カード型データベース

コンピュータが利用できるようになる前から、一般の人にとって身近なデータベースシステムがあった。現在利用者はかなり減少していると思われるが、「情報カード」と呼ばれるア

食品データ

項目	内容
食品コード	906
食品名	金山寺みそ（和歌山）
大分類	味噌
小分類	なめみそ
地方	近畿地方
都道府県	和歌山県
地域	紀ノ川流域
備考	（みそ文化誌P317） ダイズとオオムギを蒸したものに米麹を合わせ、塩を加えて仕込みまで保存する。ナスとウリを小口切りにして塩をふり、シソの実は塩もみして千切りのショウガに塩をふっておく。仕込みは盆が過ぎたころで、麹と野菜類を桶に入れ、塩・砂糖を加え混ぜ、これを大きなつぼに移し中ぶたをして重石を乗せる。つぼの上部にたまる最初の液汁は捨て、半年から1カ月で食べ始める。
登録日	2014-07-04
最終更新日	2018-01-11

関連件数

原材料食品	派生製品	関連微生物	関連原材料	関連食文化
0	0	1	7	0
関連文献	関連問合せ先	関連ファイル	関連機能	
1	1	0	0	

図1 発酵食品データベースのページ例

ナログ式データベースシステムである。住所録や料理レシピ集の用途には最適で、専用のカードも市販されている。ノートに記録するのは違って、氏名や料理名を常に五十音順に並べた状態にしておけば、必要なデータを簡単に見つけ出すことができるというメリットがある。このようなデータの整理方法はコンピューター上でも行うことができ、「カード型データベース」と呼ばれ、誰もが簡単に利用できるわかりやすさが特長である。紙のカードから、コンピューターに媒体が変わったことで、並べ替えや検索の実行が速くなり、検索項目も複数選ぶことができるようになった。

しかし、データベースが大規模になるにつれて、複数のカードに同じことを書かなければならないことがあるという、デメリットが目立ってきた。例えば、個人の知り合いを考えたときに複数の人が同じ会社に所属していることがよくある。このような人の住所録で職場住所の項目が入っている場合、その項目のデータは同じものが複数登録されることになる。また、社名変更があった場合、すでに同じものが登録されていれば、それらをすべて修正しなければならない。

また、過去に作成されたデータベースを活用しにくいというデメリットもある。例えば、あるレストランが、お客さんの好みを知るために、いつ、どのお客さんが、何を注文したのかを登録したデータベースを作成したいと考えたとする。この場合、日付と顧客名と料理名からなる新しい注文料理データベースを作成することになるが、すでに顧客名簿（住所録）と料理レシピ集を持っていたとしても、カード型データベースでは、顧客の連絡先も、料理の作り方もわからない。顧客の連絡先を知りたい場合には、顧客名簿を別に開く必要がある。

2-2. リレーショナルデータベース

このようなカード型データベースの問題点を解決しているのがリレーショナルデータベースである。厳密性を犠牲にしてわかりやすく言う

と、リレーショナルデータベースは、カード型データベースを複数含み、それぞれの間の関連付け情報も包含したデータベースである。このようなシステムでは、カード型データベースの前述した二つのデメリットが解決される。

第一のデメリットである「データの重複」問題を解決するには、前述した例の場合、職場住所録を別に作成し、住所録の中には職場コードだけを記録する。職場名や職場住所等の職場に関する他のデータは職場住所録を参照する構造にすればよい。

第二のデメリット「過去の遺産を継承できない」ことも、リレーショナルデータベースなら解決できる。つまり、いつ、どのお客さんが、何を注文したのかを登録した注文料理データベースに加えて、顧客名簿と料理レシピ集の3つを統合したリレーショナルデータベースを作成すればよいのである。注文料理データが充実してくれば、1週間後に、ある料理が好きなお客さんが来店する可能性が高いので、食材は何を準備しておくのがよさそうだという予測ができるようになるかもしれない。

このようなメリットから今日使われているデータベースの大部分はリレーショナルデータベースとなり、その増加に合わせてリレーショナルデータベースを動作させるためのシステムである RDBMS が著しい進化を遂げてきた。その恩恵にあずかっている発酵食品データベースは、主に日本の伝統食品を対象としていることに加えて、RDBMS の技術の上に成り立っていることから、今日の日本だからこそ構築できたデータベースだということもできる。最近よく使われている RDBMS には、Oracle Database, Microsoft SQL Server, IBM DB2, MySQL, PostgreSQL 等がある。無料で使用できるもの（前述の5つのうち後半の2つ）も高性能で信頼性も高く、公共のデータベースでもよく利用されている。発酵食品データベースは、PostgreSQL を使って運用している。また、開発の初期段階では、データベースの基本設計を検討するために、ユーザーインターフェイスの

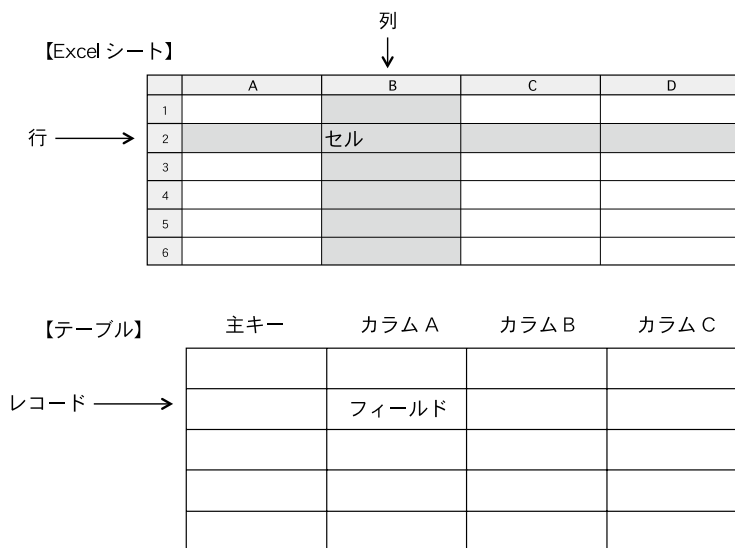


図2 Excel のシートと RDBMS のテーブル

構築の手間を省力化できる Microsoft Access も利用した。

3. テーブル

3-1. テーブルとは

リレーショナルデータベースでは、データを複数の「テーブル」で管理する。テーブルとは、まさに表であり、Excel のような表計算ソフトのシートと同じである。Excel では、「セル」「行」「列」という概念があり、セルに一つの値（数値、テキスト、数式等）を入力する（図2）。どのセルにどんな値を入力するかシステム上決まりはないが、多くの場合、利用者がそれぞれの位置に固有の意味を与えている。例えば、A 列の1 行目から 10 行目までに自家用車に給油したガソリンの量、11 行目にその合計を入力したりする。行と列を入れ替えて、1 行目の A 列から J 列までに給油量、K 列に合計値でもかまわない。しかし、それぞれの値を脈絡なくランダムな位置のセルに入力することはないだろう。

一方、リレーショナルデータベースのテーブルにも Excel のセルに相当する「フィールド」に値が入力されるが、その入力規則は厳格に決められている。複数のフィールドから構成される一つのデータが 1 行に記載され、この単位が

「レコード」（「行」と呼ばれることも多い）である。列に対応するのが「カラム」（「列」と呼ばれることも多い）で、それぞれ、データベースの設計者が属性（例えば、32bit の整数や 30 文字のテキスト）と登録すべきデータの種類を決めており、利用者が勝手に変えることはできない。

リレーショナルデータベースの一つのテーブルに収納できるデータは、一つのカード型データベースと同等である。したがって、リレーショナルデータベースで単一のテーブルからなるシステムを作ることは可能だが、意味がない。

複数のテーブルを効率的に操作するリレーショナルデータベースでは、各レコードを確実に迅速に見つけ出すことがシステムの性能を左右する。そこで、レコードを識別するための専用のカラムとして「主キー」を使うことが推奨されている。あるレコードが削除された場合、主キーに割り振られていた値は、原則として、新たに登録されるレコードの主キーに割り振られることはない。

3-2. 発酵食品データベースのテーブル

発酵食品データベースも多くのテーブルから構成されている。大きく分類すると、主要な

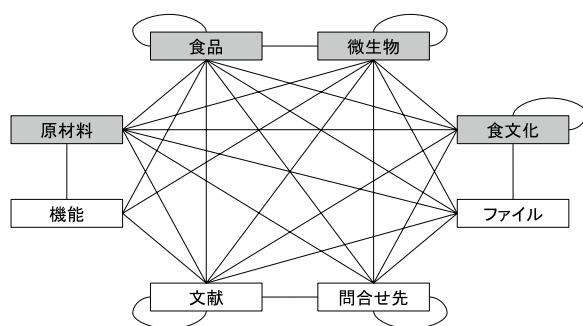


図3 発酵食品データベースのテーブル構成

表1 「基本テーブル_食品」の一部

食品コード	食品名	大分類コード	小分類コード	地方コード	.....
1	仙台みそ	1	1	3	.....
2	信州みそ	1	1	6	.....
3	北海道みそ	1	1	1	.....
.....					

表2 「基本テーブル_原材料」の一部

原材料コード	原材料名	原材料分類コード	地方コード	都道府県コード	.....
1	米	1	15	50	.....
2	大豆	2	15	50	.....
3	塩	7	15	50	.....
.....					

表3 「参照テーブル_地方」の一部

地方コード	地方	地方_並べ替えキー
1	北海道地方	a-01
2	北東北地方	a-02
3	南東北地方	a-03
.....		

表4 「関係テーブル_食品_原材料」の一部

食品_原材料コード	食品コード	原材料コード	.....
1	1	1	.....
2	1	2	.....
3	1	3	.....
4	2	1	.....
5	2	2	.....
6	2	3	.....
.....			

データを格納するテーブル（基本テーブル_食品，基本テーブル_微生物，等），重複を避けるために共通するデータを格納するテーブル（参照テーブル_地方，参照テーブル_都道府県，等），主要なデータ間の関連付けデータを格納するテーブル（関係テーブル_食品_食品，関係テーブル_食品_微生物，等）の三つに分かれる。図3に発酵食品データベースのテーブル構成を示したが，四角に囲まれたものが基本テーブル，それを結ぶ線が関係テーブルを表している。煩雑になるので，参照テーブルは記載していない。

実際，基本テーブルにどのようにデータが格納されているかを，表1と表2に示した。どちらも最初の5カラムを示したが，2カラム目の食品名と原材料名以外，それだけでは意味を持たない数値が格納されている。別のテーブル（参照テーブル）を参照すると，初めて意味のあるデータを取得できるように設計されている。例えば，「地方コード」のカラムの数値「3」は，参照テーブル_地方（表3）を見ると，「南東北地方」であることがわかる。前述したように，このようにするとデータの重複を最小限にできる。さらに，「南東北地方」を「南奥羽」に変えたいときには，1か所変更操作をするだけでよい。

発酵食品データベースには，食品，微生物，原材料，食文化，文献，問合せ先，ファイルという7種類の主要なデータと生理機能の分類データを格納した8個のテーブルがあり，それぞれのデータを有機的に関連付ける工夫が必要だった。第3のテーブル「関係テーブル」がその工夫であり，発酵食品データベースにおいて重要な役割を果たしている。

表4に，食品データと原材料データを関連付ける「関係テーブル_食品_原材料」の一部を示した。1行目から3行目の食品コード「1」は「仙台みそ」を表している。4行目から6行目の「2」

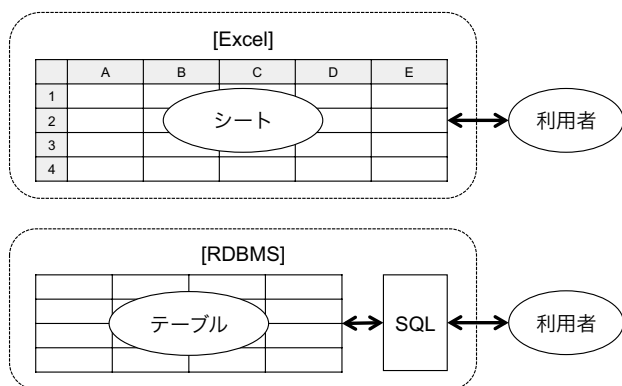


図4 ExcelとRDBMSの違い

は「信州みそ」である。1行目と4行目の原材料コード「1」は「米」を表している。2行目と5行目の「2」は「大豆」、3行目と6行目の「3」は「塩」を、それぞれ表している。つまり、仙台みそから見て原材料は米と大豆と塩であること、逆に、米は仙台みそと信州みその原材料になっているという関係が格納されていることになる。このような関係を「多対多」、その関係を格納するためのテーブルを、一般に「中間テーブル」と言う。厳格なRDBMSでは一つのカラムには一つの値しか格納できないが、その問題を中間テーブルは簡潔に解決してくれる。

4. クエリ

4-1. クエリとは

ExcelのシートとRDBMSのテーブルの間には、実は決定的な違いがあり、私はそれがデータベース初心者には「データベースは難しい」と思わせる最大の理由だと考えている。その違

いは、Excelシートにはすでにデータの入出力の機能（閲覧と編集ができる機能）が用意されているのに対し、RDBMSのテーブルは単にデータを格納する機能しか持たないということである（図4）。リレーショナルデータベースを利用するためには、RDBMSに命令を与えなければならない。この命令が「クエリ」で、「SQL」という言語を用いる。Excelシートと同レベルでRDBMSを理解するためには、テーブルに加えて、クエリとその言語であるSQLを理解しなければならない。

1970年に計算機科学者であるエドガー・F・コッドがリレーショナルデータベースの理論的基盤となる論文³⁾を発表したが、RDBMSの実現とその後の展開には紆余曲折があり、長期間、RDBMSを操作する言語はSQLと呼ばれていても、RDBMSを提供する会社ごとに違っていた。1986年にその状況を打開するために統一標準規格が発表され、その後も技術の進歩に合わせて多くの改正が行われてきた。その努力により、現在ではかなりの部分が共通している。

クエリには大きく分けて、「データベースの設計に関わるもの」と「データの操作に関わるもの」がある。前者には、テーブルの作成や削除、テーブルのカラムの定義、権限の設定等に関するコマンドが準備されているが、すでに構築されたデータベースシステムを利用したいと考えている初心者にとっては、煩雑であり当面必要もないので、ここでは説明を割愛する。

発酵食品データベース							
登録件数							
食品	微生物	原材料	食文化	文献	問合せ先	ファイル	機能
2600	697	1082	675	19265	999	3	20

図5 発酵食品データベースのページの上部

4-2. データの操作に関わるクエリ

この節では、発酵食品データベースを題材にして、データの操作に関わるRDBMSのクエリを例示していく。

発酵食品データベースのトップページには、何も操作しなくても、データの種類ごとの登録件数が表示されている（図5）。この登録件数もRDBMSに命令して取得したもので、食品の登録件数の場合クエリは下記のとおりである。

（式1）

SELECT count(*) FROM 基本テーブル_食品；

count(*)は組み込み関数で、登録されている行数が得られる。部分ごとの意味は表5のとおりである。これは、SQLにおいて「SELECT文」と呼ばれている、最も基本的な構文である。登録件数の「食品」ボタンをクリックすると食品ページが表示されるが、その左側には「食品一覧」がある（図6）。この部分には食品名[食品小分類]が100レコード（1ページ）表示されるが、そのデータを取得するクエリは下記のとおりである。

（式2）

SELECT 基本テーブル_食品.食品コード,
 基本テーブル_食品.食品名,
 参照テーブル_食品小分類.小分類
FROM 基本テーブル_食品
LEFT JOIN 参照テーブル_食品小分類
ON 基本テーブル_食品.小分類コード =
 参照テーブル_食品小分類.小分類コード
ORDER BY 参照テーブル_食品小分類.
 小分類_並べ替えキー,
 基本テーブル_食品.食品名
LIMIT 100 OFFSET 0;

式2は式1に比べると長いですが、式1と同様に部分ごとに見ていくと理解しやすい（表6）。この中で、3行目が二つのテーブル（「基本テーブル_食品」と「参照テーブル_食品小分類」）

表5 式1の意味

SELECT count(*)	「count(*)」を取得する
FROM 基本テーブル_食品	「基本テーブル_食品」から

食品一覧

【レコード】 1/2600

【ページ】 1/26

最初	前頁	前へ	次へ	次頁	最後
----	----	----	----	----	----

- そばみそ[味噌全般]
- ちんた味噌[味噌全般]
- にいら溜り[味噌全般]
- ねかしみそ[味噌全般]
- みそ[味噌全般]
- オンチョム[味噌全般]
- コチュジャン[味噌全般]
- ソテツみそ[味噌全般]
- ヒエ味噌[味噌全般]
- ラッカセイみそ[味噌全般]
- 陰鼓[味噌全般]
- 陰油[味噌全般]
- 宇都宮みそ[味噌全般]
- 永川香油豆瓣醬（ユンツァンパイシャ
ンユー）[味噌全般]
- 永川豆鼓[味噌全般]
- 黄醬（ファンジャン）[味噌全般]
- 加温醸造みそ[味噌全般]
- 花みそ[味噌全般]
- 開封西瓜豆鼓[味噌全般]
- 干豆鼓（カントウチー）[味噌全般]
- 宮みそ[味噌全般]
- 桐郷辣醬（トンシャンラージャン）
[味噌全般]

図6 食品一覧の例

を統合して、実質的に新しいデータベースを作成するための句で、リレーショナルデータベースの特徴である。つまり、「食品一覧」に表示される食品名は「基本テーブル_食品」、食品小分類は「参照テーブル_食品小分類」に格納されているが、それを一つのSQL文で取得できるのである。

表6 式2の意味

SELECT 基本テーブル_食品,食品コード,基本テーブル_食品,食品名,参照テーブル_食品小分類,小分類	「基本テーブル_食品,食品コード,基本テーブル_食品,食品名,参照テーブル_食品小分類,小分類」を取得する
FROM 基本テーブル_食品	「基本テーブル_食品」から
LEFT JOIN 参照テーブル_食品小分類	「基本テーブル_食品」を優先して「参照テーブル_食品小分類」を結合する
ON 基本テーブル_食品,小分類コード = 参照テーブル_食品小分類,小分類コード	「基本テーブル_食品,小分類コード = 参照テーブル_食品小分類,小分類コード」の結合条件で
ORDER BY 参照テーブル_食品小分類,小分類_並べ替えキー,基本テーブル_食品,食品名	「参照テーブル_食品小分類,小分類_並べ替えキー,基本テーブル_食品,食品名」をキーにして並べ替える
LIMIT 100 OFFSET 0	「0」行目から「100」行分だけを対象に

関連件数

原材料食品	派生製品	関連微生物	関連原材料	関連食文化	関連文献
0	599	15	22	208	2111
関連問合せ先	関連ファイル	関連機能			
8	3	14			

図7 「みそ」の関連件数

表7 式3の意味

SELECT count(*)	「count(*)」を取得する
FROM 関連テーブル_食品_食文化	「関連テーブル_食品_食文化」から
WHERE 食品コード = 4	「食品コード = 4」という条件を満足する

食品ページで食品一覧の右側には、一覧で選択されている食品のデータやその関連件数（原材料食品、派生製品、関連微生物等）（図7）が表示されている（図1参照）。これらのデータを取得するには、ある条件を満たすレコードだけを抽出するために使われる、WHERE 句を使う。例えば、「みそ」（食品コード = 4）に関連した食文化の件数は次の式で取得できる。

(式3)

```
SELECT count(*)
FROM 関連テーブル_食品_食文化
WHERE 食品コード = 4;
```

各行の意味は、表7にまとめた。

おわりに

リレーショナルデータベースは、設計者がデータの性質を解析し、その構造を厳格に規定したうえで設計されているという点で、カード型データベースの延長として捉えてよいかもしれない。実際、この解説記事で述べたように、リレーショナルデータベースをカード型データベースの弱点を克服するものとして考えると、初心者には理解しやすい。

一方、現代社会では、情報発信する者がマスメディアや特定の権威に限定されず、膨大な数

の個人がインターネット上でブログ, Twitter, Facebook 等で時々刻々, 文字や画像を流すようになってきている。そして, これらのデータに価値を見出し, 利用したいと考える個人(組織)も少なからずいる。残念なことに, これらのデータを厳格に構造化するのは極めて難しく, RDBMS を使ったデータベース化にはたいへん苦勞しなければならない。そこで, データ構造を適当に扱ってもうまく動作する DBMS を求めて, NoSQL が開発され, 実用化も進んでいる。NoSQL は前述したインターネット上で生まれるビッグデータを取り扱うのに, 特に向いていると言えるだろう。しかし, NoSQL

を駆使する人たちも, 決して RDBMS が必要ないとは考えていない。特長がまったく違うからである。RDBMS と NoSQL をケースバイケースで使い分けるのが, 現在のデータベースの専門家のやり方である。今のところ, RDBMS が他の DBMS に置き換えられて消滅してしまうという状況は考えられない。

この解説記事では現在ほとんどのデータベースで利用されている RDBMS を初心者に向けて解説した。身近にある効率的に活用できていないデータをデータベース化できないかとお考えの方が, データベースを本格的に勉強してみようというきっかけになれば幸いである。

参考文献

1. 楠本, 曲山: 発酵食品データベースの構築. 日本食品科学工学会誌 **66** (3): 74-82, 2019.
2. 曲山: 発酵食品データベース. 農業 **1653**: 45-53, 2019.
3. Codd, E.F.: A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM* **13** (6): 377-387, 1970.
4. 関係データベース (RDB) の歴史, <http://www.kogures.com/hitoshi/history/db-rdb/index.html>. (2019/06/30 閲覧)

連絡先: 曲山 幸生 (Yukio Magariyama)

農研機構 食品研究部門 企画管理部 企画連携室

305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

TEL: 029-838-8050

e-mail: maga@affrc.go.jp

半導体レーザー照射が閉経後骨粗鬆症モデルの オッセオインテグレーションに及ぼす影響

山崎 崇秀 (YAMAZAKI Takahide)* 横瀬 敏志 (YOKOSE Satoshi)*

* 明海大学歯学部機能保存回復学講座保存治療学分野

Key Words : OVX インプラント 半導体レーザー ラット

Effect of Diode Laser Irradiation on Osseointegration in a Postmenopausal Osteoporotic Model

Takahide Yamazaki, Satoshi Yokose *

* Division of Endodontics and Operative Dentistry Department of Restorative and Biomaterials Sciences Meikai University of Dentistry

Key Words: OVX, implant, diode laser, rat

Abstract

Purpose: The aim of this study was to investigate the effect of diode laser irradiation on bone construction around implants after implanting titanium implants a in postmenopausal osteoporotic animal model.

Materials and methods: This study involved 30 female 10-week-old SD rats. A postmenopausal osteoporosis model (OVX group) was prepared by excision of bilateral ovaries under anesthesia, and a non prepared group was designated the sham group. Two weeks later, both tibiae were perforated under anesthesia, and a sterilized titanium screw was inserted. A diode laser (OPELASER Filio) then irradiated the area at 2 W, CW, with irradiation time of 60 seconds, total energy of 120 J, with one irradiation. The irradiation distance was 50 mm from the implant implantation site. The control group was not irradiated with the laser. Then, 2, 3, and 4 weeks after implantation, samples were collected for digital X-ray photography and measurement of torque values. The sample was stained with hematoxylin - eosin by a conventional method and bone morphometry was performed.

Results: In the OVX group at 2 weeks after implantation, the torque value of the laser irradiation group compared with the control group increased significantly. Next, on bone morphometry 2 and 3 weeks after implantation, bone formation around the implant was increased in the laser irradiation group in both the sham group and the OVX group compared with the control group.

Conclusion: It appears that osseointegration between the implant body and bone tissue in postmenopausal osteoporosis model animals can be acquired early by irradiating with diode laser.

要 約

目的：本研究は、閉経後骨粗鬆症動物モデルにチタンインプラントを埋入し、半導体レーザー照射によりインプラント周囲の骨形態にどのような影響を及ぼすかを調べることを目的とした。

材料と方法：10週齢雌性SDラットを60匹用いて、麻酔下にて両側卵巣を摘出し閉経後骨粗鬆症モデル（OVX群）と非摘出群（Sham群）を作製した。2週間後に両腓骨を穿孔させ、滅菌されたチタンスクリューを埋入し、半導体レーザー（OPELASER Filio）を2W、CW、照射時間を60秒、総エネルギー量が120J、照射距離はインプラント埋入部位から50mm離し、1回の照射を行った。レーザー未照射群を対照群とした。インプラント埋入2、3、4週後に試料採取を行い、デジタルエックス線写真撮影およびインプラント体除去時のピーク値をトルク値として計測を行った。試料は通法によりH-E染色を行い、骨形態計測を行った。

結果：インプラント埋入後2週目のOVX群で、対照群と比較したレーザー照射群のトルク値が増加しており、有意差が認められた。次にインプラント埋入後2、3週目の骨形態計測では、Sham群、OVX群共にレーザー照射群におけるインプラント周囲の骨形成が対照群と比較して増加していた。

結論：閉経後骨粗鬆症モデル動物へインプラントを埋入し、半導体レーザー照射を行うことによって、早期にオッセオインテグレーションが獲得できることが示唆された。

1. 緒言

超高齢社会をむかえた我が国だけでなく世界規模で閉経後骨粗鬆症患者数は年々増加し¹⁾、多くの分野でその対応策が急がれている。このような現状下で保存歯科分野では長寿大国における健康維持、そして接触嚥下機能を支えるための「咬合」という機能をいかに維持し、さらに再建するかは大変重要な課題と言える。天然歯の保存は基本であるが、歯牙を喪失した部位の咬合再建にはインプラントの需要が今後ますます増加することは必然である。

骨は物理的な刺激に反応する組織であると認知されている。Wolff'sの法則²⁾やFrost'sのメカノスタット理論³⁾などで説明されるように、適度な物理的刺激を骨組織へ与えることで、骨形成を促進し、さらに骨折治癒を図ることが可能である。物理的な刺激として超音波^{4,5)}や超短波⁶⁾を用いて、骨形成、骨癒合を促進することが知られており、また我々はレーザー照射を物理的な刺激として捉え、骨代謝における反応についてこれまでいくつかの報告^{7,8,9)}を行っている。

骨粗鬆症モデル動物を用いた骨代謝関連の報告¹⁰⁾、さらに同モデル動物に対する低出力超音波照射¹¹⁾、様々なレーザー照射による影

響についての報告^{12,13)}はいくつかあるが、インプラント治療にレーザー照射を絡めた報告はほとんど見られないのが現状である。歯科において骨粗鬆症患者における外科的処置はMRONJ¹⁴⁾などの観点から、インプラント治療の適応が難しいとされており、咬合再建のための治療法として選択されないことが多い。よって、レーザー照射を行うことで、骨粗鬆症の骨代謝状態下でインプラント体のオッセオインテグレーションを得ることができれば、食生活の質の向上に繋がる重要な知見となり得る。

本研究は骨粗鬆症モデル動物にインプラント体を埋入し、さらに組織深達性が長く、骨形成促進させる作用を持つ半導体レーザー^{7,15,16)}を用い、インプラント体周囲の骨動態にどのような変化が起きるのか、さらにオッセオインテグレーションの獲得が可能なのかどうかを検討したので報告する。

2. 材料および方法

2-1. 実験動物および飼育方法

本研究は明海大学動物実験倫理委員会の承認（A1729）を得て、ガイドラインに従って行った。生後10週齢の雌性SD（Sprague-Dawley）ラット（日本クレア、東京、日本）を60匹使用した。

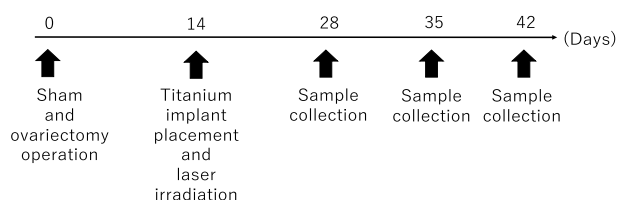


Figure.1 実験プロトコールを示す



A

B

C

Figure.2 A, B, C: インプラント埋入時の所見

A: ラット脛骨 B: 骨髓穿孔後 C: インプラント体埋入後

動物は恒温恒湿に保たれた飼育室で、固形飼料（MF、オリエンタル酵母）および蒸留水を自由に摂取させ、12時間サイクルで点消灯する条件で飼育した。

2-2. 実験動物の作製

10週齢の雌性ラット60匹にイソフルラン（エスカイン、ファイザー、USA）による吸入麻酔およびペントバルビタール（ソムノペンチル、共立製薬）の腹腔内投与（ $1\mu\text{L/g}$ ）により全身麻酔を施行した。30匹は後背部腰椎周囲の剃毛、70%エタノールによる消毒を行い、皮膚および筋層を切開し卵巣を露出後、卵管の結紮および切断により両側の卵巣を摘出し、筋層および皮膚の縫合を行い、OVX群とした。また、卵巣摘出を行わない擬似手術を行った30匹をSham群とした。実験過程を図に示す（Figure. 1）。

2-3. インプラント埋入

術後2週間飼育後、各群それぞれのラットに上記同様の麻酔を施行し、両側脛骨を露出させ、脛骨遠位骨端より15mm近心側の位置に歯科用スチールラウンドバー（ $\phi 1.5\text{mm}$ ）を用いて注水下で骨髓穿孔を行い、滅菌された純チタン製スクリュータイプインプラント（全長2mm、スレッド部の直径1.4mm、ピッチ0.6mm、表面性状は機械加工面の純チタン製、西村金属、福井、日本）を徒手的に埋入した（Figure. 2-A, B, C）。



A

B

Figure.3 A, B: 実験で用いた装置および照射時の所見
A: OPELASER Filio B: レーザー照射中

2-4. 半導体レーザー照射

OVX群およびSham群から無作為にラットを各15匹選び、インプラント埋入荷後に半導体レーザー（OPELASER FILIO, ヨシダ、東京、日本）を波長808nm、出力2.0W、照射時間を60秒、照射径24.8mm、連続波、インプラント埋入部位から照射口までの距離を50mm、総エネルギー量を 19.51J/cm^2 の照射条件で1回の照射を行い、2, 3, 4週間飼育を行った。なおレーザー未照射の動物群を対称群とした（Figure. 3-A, B）。

2-5. デジタルエックス線撮影及びトルク値測定

レーザー照射後2, 3, 4週目に脛骨採取を行い、デジタルエックス線画像処理装置（コンピュータ、ヨシダ）を用いて、管電流0.8mA、管電圧60kVの条件で撮影を行った。エックス線撮影後、インプラント体の引き抜き試験を実施した。除去トルク値測定には、Tohnichi Torque

driver FTD2-S (FTD2-S, 東日製作所, 東京, 日本) を使用し, 固定された脛骨からインプラント体を反時計回転させ, オッセオインテグレーションが破壊された最大トルク値を記録した。

2-6. 切片作製および H-E 染色

脛骨を 4℃ の 10% 中性緩衝ホルマリン (和光純薬, 東京, 日本) にて 24 時間固定し, 10% ギ酸クエン酸ナトリウム (和光純薬) にて 5 日間 4℃ で脱灰を行った。脱灰完了後, エタノール系列 (和光純薬) にて脱水後, クリアプラス (ファルマ, 東京, 日本) で透徹し, パラフィン (TissuePrep, Fisher Scientific, Hudson, USA) に包埋し, 4μm の連続切片を作製した。一般染色としてヘマトキシリンエオジン染色 (以下 H-E 染色) を通法に従い実施した。

2-7. 骨形態計測

デジタルカメラ付き光学顕微鏡 (BX41, オリンパス, 東京, 日本) で切片画像を取り込み, 画像解析ソフト ImageJ (NIH, Bethesda, MD, USA) を用いて, 骨髓穿孔させた範囲を単位面積 (Tissue Area; TA) とし, 新生骨面積 (Bone Area; BA) の割合 (Bone Area / Tissue Area ; BA/TA %) を計測した。

2-8. 統計解析

トルク値および骨形態計測の結果に対して統計学的解析を行い, 2 群間比較には Mann-Whitney U-test を, 3 群間以上の比較には Kruskal-Wallis H-test 後, 多重比較に Bonferroni 補正 Mann-Whitney U-test を用い, 結果は平均 ± 標準偏差 (SD) で示し, 5% 以下の危険率で有意差を検定した。

3. 結果

3-1. デジタルエックス線写真所見

インプラント体周囲に形成された骨量を観察するため, デジタルエックス線写真撮影を行った。インプラント埋入し 2 週間後のエックス線像では, Sham レーザー照射群においてインプラント体周囲に骨様不透過像が認められたが, 他群においては認められなかった。(Figure. 4-A, D, G, J) 次に, 3 週間後の Sham 群ではインプラント体周囲に明瞭な骨様不透過像が認められ, OVX 群においてもインプラント体周囲に骨様不透過像が認められた。(Figure. 4-B, E, H, K) 4 週間後では全ての群でインプラント体周囲に明瞭な骨様不透過像が認められ, 特に Sham レーザー照射群でインプラント体周囲骨髓腔内に広がる骨様不透過像が認められた (Figure. 4-C, F, I, L)。

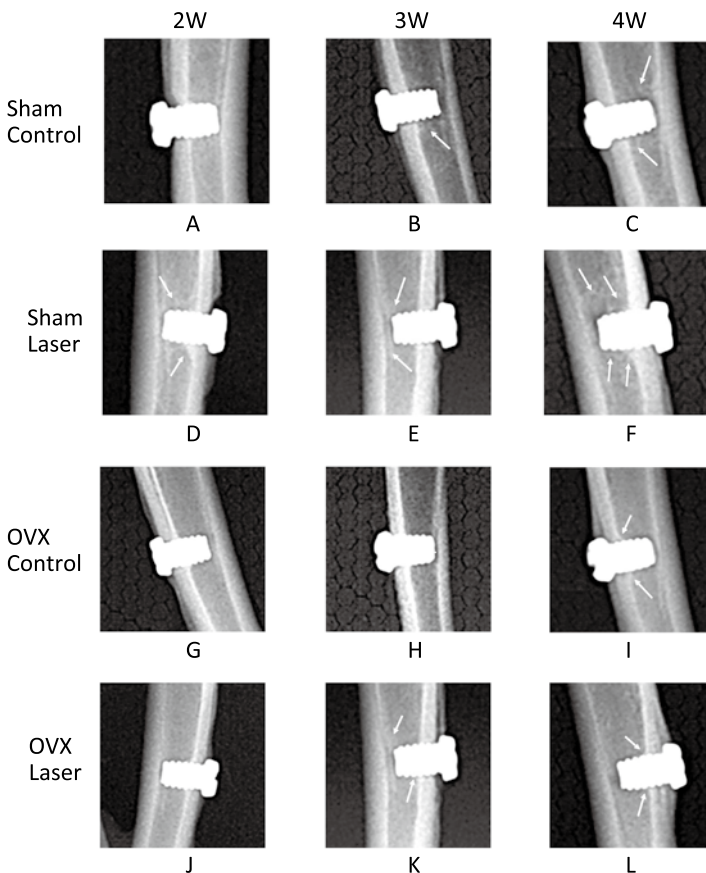


Figure.4 A ~ L: デジタルエックス線写真所見
A, D, G, J: 埋入後 2 週目, B, E, H, K: 埋入後 3 週目, C, F, I, L: 埋入後 4 週目,
A, B, C: Sham 対称群, D, E, F: Sham レーザー照射群, G, H, I: OVX 対称群, J, K, L: OVX レーザー照射群, →: 新生骨

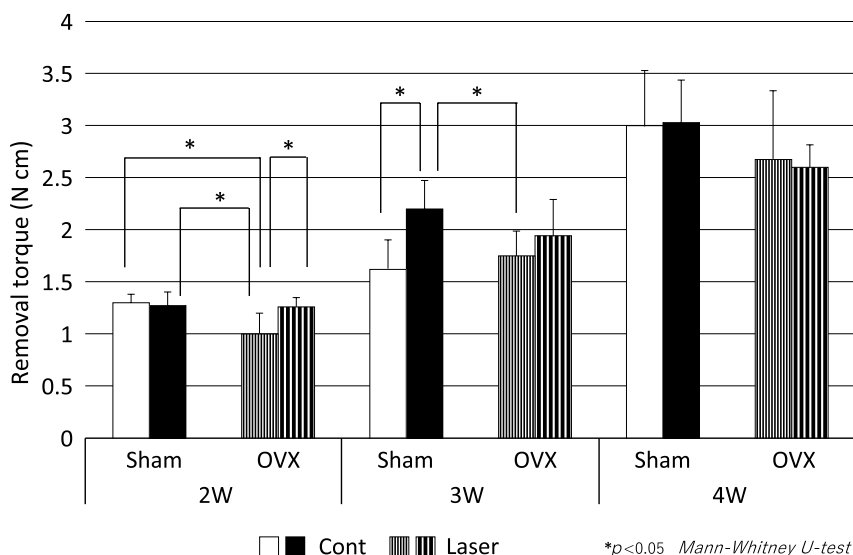


Figure.5 除去トルク値測定
平均±標準偏差 (Ncm). *:p<0.05

3-2. 除去トルク値測定

オッセオインテグレーションの程度を評価するため、インプラント体を除去する際に発生するトルク値を測定した。埋入2週間後の平均除去トルク値はSham対称群 1.3 ± 0.08 Ncm, Shamレーザー群 1.27 ± 0.14 Ncm, OVX対称群 1.0 ± 0.2 Ncm, OVXレーザー照射群 1.26 ± 0.09 Ncmであり, Sham対称群とOVX対称群, Shamレーザー群とOVX対称群, OVX対称群とOVXレーザー照射群の間に有意差が認められた。埋入3週間後の測定値は, Sham対称群 1.62 ± 0.28 Ncm, Shamレーザー群 2.2 ± 0.27 Ncm, OVX対称群 1.75 ± 0.23 Ncm, OVXレーザー照射群 1.95 ± 0.34 Ncmを示し, Sham対称群とShamレーザー群, Shamレーザー群とOVX対称群の間に有意差が認められた。埋入4週間後の測定値は, Sham対称群 3.0 ± 0.53 Ncm, Shamレーザー群 3.03 ± 0.41 Ncm, OVX対称群 2.68 ± 0.66 Ncm, OVXレーザー照射群 2.6 ± 0.22 Ncmを示し, 群間内の有意差は認められなかった (Figure. 5)。

3-3. H-E 染色所見

埋入後2週後では, Shamレーザー群でインプラント体周囲に連続した新生骨の形成が認め

られた。OVX群ではどちらもインプラント体周囲に新生骨の断片が認められるが, 新生骨の連続性は認められなかった (Figure. 6-A, D, G, J)。埋入後3週後では, 全ての群でインプラント体周囲に連続した新生骨の形成が認められた。特に, Shamレーザー群およびOVXレーザー群で形成された新生骨は, 対称群と比較してその幅に厚みが認められた。 (Figure. 6-B, E, H, K) 埋入後4週後では, 全ての群でインプラント体周囲に連続した新生骨の形成が認められた。インプラント体周囲に形成された新生骨内に埋入された骨細胞を認め, 皮質骨とインプラント体周囲新生骨との連続性を認めた (Figure. 6-C, F, I, L)。

3-4. 骨形態計測

インプラント体周囲に形成された新生骨量を評価するため, 骨形態計測を行った。埋入2週間後の新生骨面積は, Sham対称群 $9.24 \pm 0.41\%$, Shamレーザー群 $10.53 \pm 1.26\%$, OVX対称群 $8.11 \pm 0.66\%$, OVXレーザー照射群 $9.13 \pm 0.59\%$ であり, OVX対称群とOVXレーザー照射群の間に有意差が認められた。埋入3週間後は, Sham対称群 $9.33 \pm 0.12\%$, Shamレーザー群 $11.35 \pm 0.27\%$, OVX対称群 $10.01 \pm 0.19\%$, OVXレーザー照射群 $11.72 \pm 0.52\%$ を示し,

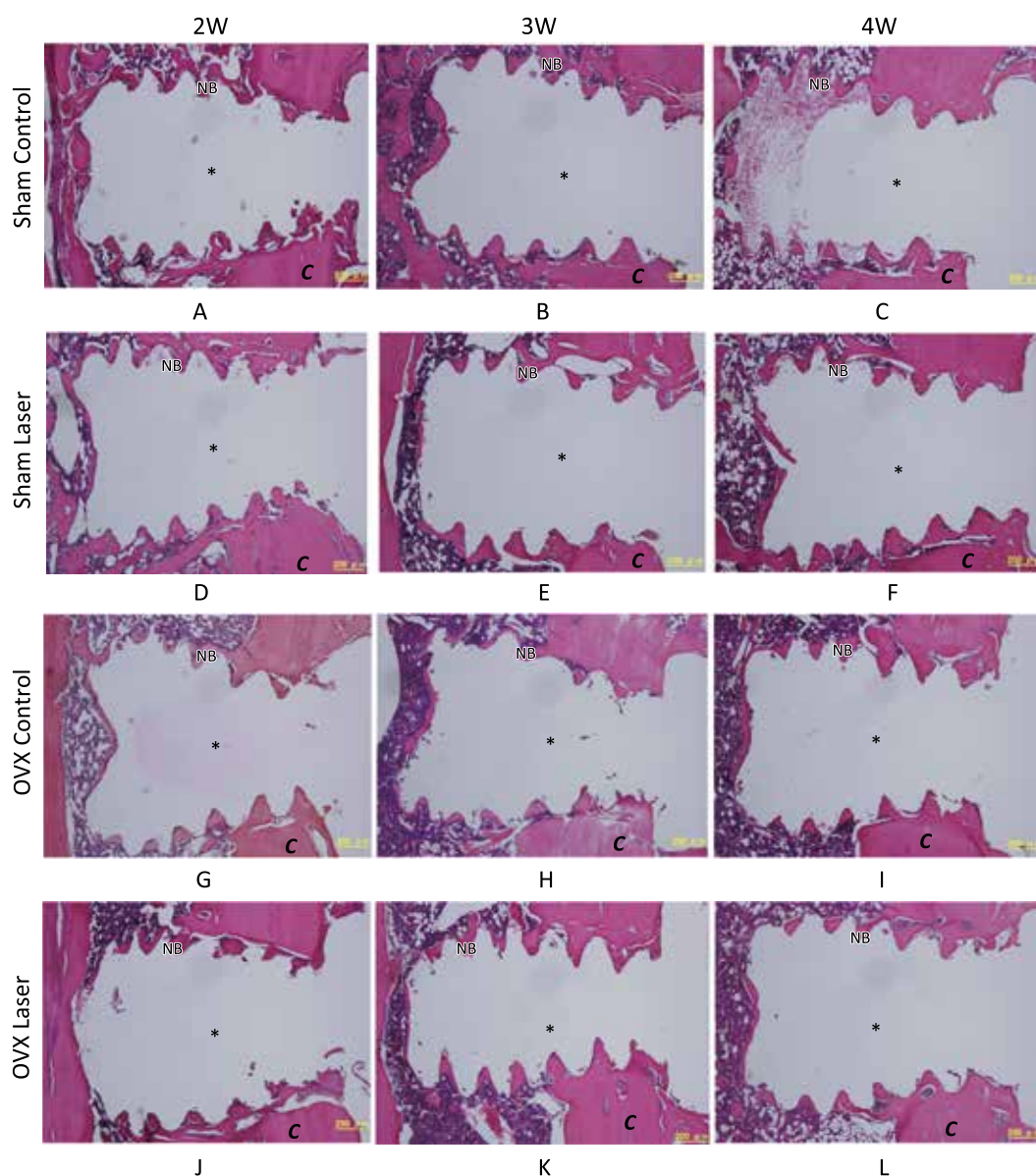


Figure. 6 A～L:H-E 染色所見

A, D, G, J: 埋入後2週目, B, E, H, K: 埋入後3週目, C, F, I, L: 埋入後4週目, A, B, C: Sham 対称群, D, E, F: Sham レーザー照射群, G, H, I: OVX 対称群, J, K, L: OVX レーザー照射群, c: 皮質骨, *: インプラント埋入窩, NB: 新生骨

Sham 対称群と Sham レーザー群, OVX 対称群と OVX レーザー照射群との間に有意差が認められた。埋入4週間後は, Sham 対称群 $9.29 \pm 0.4\%$, Sham レーザー群 $12.11 \pm 1.04\%$, OVX 対称群 $9.12 \pm 0.39\%$, OVX レーザー照射群 $9.83 \pm 0.47\%$ を示し, Sham 対称群と Sham レーザー群の間に有意差が認められた (Figure. 7)。

4. 考察

インプラント治療は生体材料や器具の開発によって発展を遂げているが, 顎骨壊死などの問題があり, 骨粗鬆症患者に対する適応は少ない。近年, 骨粗鬆症患者数は増加しており, 咬合再建のためにインプラント治療と骨代謝のエビデンス確立が必要であり急務である。我々はイン

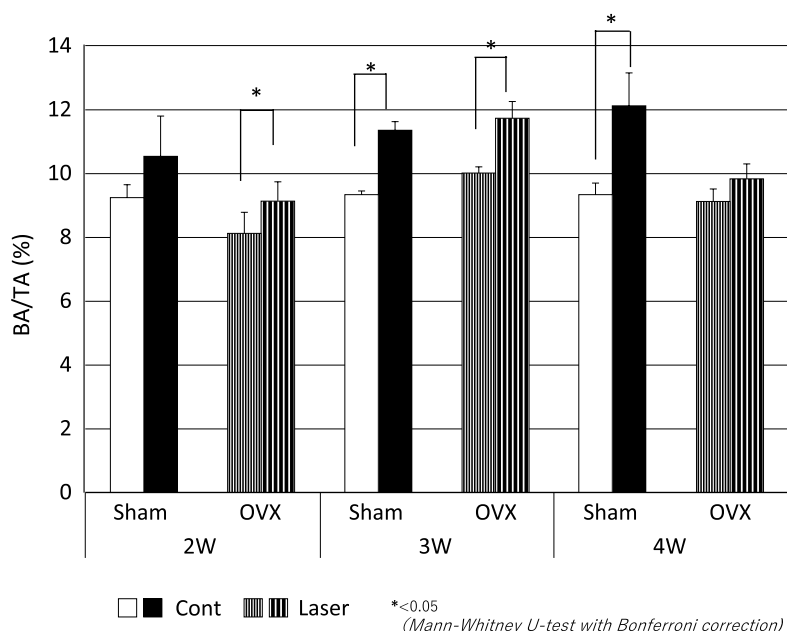


Figure.7 骨形態計測
Bone Area / Tissue Area ; BA/TA (%) . *:p<0.05

プラント治療におけるレーザー照射の影響、さらに骨再生療法について研究報告を行ってきた。本研究は、閉経後骨粗鬆症モデル動物の脛骨へインプラント体を埋入し、半導体レーザー照射による骨組織への影響について検討した。Wolff'sの法則²⁾は、骨組織が物理的な刺激に適応するように骨形成と骨吸収を制御すると提唱されている。この法則から、超音波^{4,5)}や超短波⁶⁾、運動負荷¹⁷⁾を含む物理的な刺激が骨形成に応用されており、物理的な刺激が骨代謝に及ぼす影響について多く報告されている。半導体レーザー照射がインプラント治療に及ぼす影響を確認するため、ラット脛骨にチタンインプラントを埋入し、オッセオインテグレーションの状態をその破壊トルク値で評価し、さらに骨形態計測を行った。トルク値においてインプラント埋入2週間後でSham対称群とOVX対称群、Shamレーザー群とOVX対称群、OVX対称群とOVXレーザー照射群の間に、埋入3週間後ではSham対称群とShamレーザー群、Shamレーザー群とOVX対称群の間に有意差が認められた。骨形態計測では、対称群と

比較したレーザー照射群で有意に骨形成が増加していたことから、本研究の結果は半導体レーザーの低出力照射を物理的な刺激と捉え、骨再生に応用できることが示唆された。Wronskiら¹⁸⁾は、卵巣除去後のラットの骨形成量は35～52日で最大になると報告しており、我々の研究で用いた実験モデル動物の骨代謝状態は高回転代謝であると示唆され、Sham群と比較してOVX群の方が早期に半導体レーザー照射の影響を受け、OVX群における骨形成およびオッセオインテグレーションの増大が起きたと考えられる。また、中ら^{5,19)}は低出力超音波パルスと炭酸ガスレーザーを用いた研究で、オッセオインテグレーションの獲得が早期に得られたことを報告している。

次にFrost'sのメカノスタット理論³⁾では、硬組織の生物学的反応と力学的負荷との関係について提唱している。骨モデリングは骨組織を添加することによって骨構造を高強度の機械的な歪みに適応させる。また骨リモデリングは骨吸収と骨形成が均衡を保ち、過負荷とならない条件下における骨組織の適応である。興味深い

ことに、モデリングとリモデリングとの間にはプラトー期間²⁰⁾が存在している。半導体レーザー照射がこのプラトー期間に影響を与えていると仮定すると、骨代謝回転が高回転下にあるOVX群のプラトー期間がSham群よりも短縮され、早期のオッセオインテグレーションの獲得が得られたと考えられる。骨粗鬆症モデルを使用した類似研究の中でも、プラトー期間について言及することは本研究が初めてであると思われる。

今回の研究では半導体レーザー照射がどのようなメカニズムで骨形成が増大したのかを明らかにするには至らなかった。Bonewald²¹⁾は、骨基質中に存在する骨細胞がメカノセンサーとしての役割を果たしており、物理的な刺激を感知していると提唱している。さらにその刺激がWntシグナル経路を活性化させる^{22, 23)}ことにより骨系細胞分化・増殖を誘導し骨形成が促進すると考えられており、本実験の結果はレーザー照射が物理的刺激として骨細胞に受容され、Wntシグナル経路が活性化し骨形成が促進され、オッセオインテグレーションの獲得が得られたと考えられる。

レーザー照射が骨代謝にどのような影響をも

たらすかについていくつかの研究報告がなされており、今後今回の研究で行ったレーザー照射条件を変更した際の組織学的な検討や、骨代謝回転が異なる時期におけるオッセオインテグレーションの状態についての検討、さらには骨形成のメカニズムの検討が必要であると考えられる。本研究の結果は、骨代謝におけるレーザー照射の新しい知見を示すものであり、また歯科臨床で咬合再建に大いに貢献するインプラント治療に、新たな可能性を示唆するものであると考える。

5. 結論

骨粗鬆症モデル動物へインプラント埋入を行い半導体レーザー照射することによって、OVXラットにおける早期のオッセオインテグレーションが獲得できることが示された。

6. 利益相反

本研究において開示すべき一切の利益相反はない。

本研究の一部は、科学研究費助成事業（基盤研究（C）課題番号16K11561）の補助により行われた。

参考文献

1. B. Antebi, G. Pelled, D. Gazit: Stem cell therapy for osteoporosis. *Curr Osteoporos Rep* **12**: 41-47, 2014.
2. J. Wolff: Das gesetz der transformation der knochen. *A Hirshwald* **1**: 1-152, 1892.
3. H. M. Frost: Bone's mechanostat: A 2003 update. *Anat Rec* **275A**: 1081-1101, 2003.
4. T. Wada: Effects of low-intensity pulsed ultrasound on bone remodeling during repair process of bone defects in rat tibiae. *Jpn J Conserv Dent* **53**: 309-319, 2010.
5. T. Naka, S. Yokose: Effects of low-intensity pulsed ultrasound on osseointegration in a rat model. *J Jpn Soc Oral Implant* **25**: 31-39, 2012.
6. T. Nishimura: Effects of ultra short wave on osseointegration of titanium implant in rat tibiae. *J Clin Dent* **32**: 249-256, 2012.
7. T. Yamazaki, T. Kikui, S. Yokose: Histological demonstration of bone healing in rat tibiae influenced by diode laser irradiation. *Jpn J Laser Surg Med* **37**: 80-86, 2016.
8. S. Yokose, H. Kadokura: Low-power carbon dioxide laser irradiation reduces sclerostin expression, but stimulates Dmp-1 expression in osteocyte-like cells of rats. *J Bio-Integ* **3**: 53-60, 2013.
9. S. Yokose, T. Naka: Consideration of bone regeneration induced by laser irradiation on the basis of Wolff's law and Frost's mechanostat thresholds. *J Jpn Soc Laser Dent* **21**: 192-196, 2010.

10. Y. Liu, J. Hu, B. Liu, *et al.*: The effect of osteoprotegerin on implant osseointegration in ovariectomized rats. *Arch Med Sci* **13**: 489-495, 2017.
11. A. Yoshida, H. Sasaki, Y. Furuya, *et al.*: Effect of low-intensity pulsed ultrasound on bone-healing process in murine low-turnover osteoporosis model. *J Hard Tissue Biol* **22**: 301-310, 2013.
12. S. Fallanezhad, A. Piryaee, F. Tabeie, *et al.*: Low-level laser therapy with helium- neon laser improved viability of osteoporotic bone marrow-derived mesenchymal stem cells from ovariectomy-induced osteoporotic rats. *J Biomed Opt* **21**: 098002-1-9, 2016.
13. S. Fallanezhad, A. Piryaee, H. Darbandi, *et al.*: Effect of low-level therapy and oxytocin on osteoporotic bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *J Cell Biochem*, doi: 10.1002/jcb.26265. 1-15, 2017.
14. O. D. Fede, V. Panzarella, R. Mauceri, *et al.*: The dental management of patients at risk of medication-related osteonecrosis of the jaw: New paradigm of primary prevention. *Biomed Res Int* doi: 10.1155/2018/2684924. 1-10, 2018.
15. J. Son, Y-B. Kim, Z. Ge, *et al.*: Bone healing effects of diode laser (808 nm) on a rat tibial fracture model. *In vivo* **26**: 703-710, 2012.
16. C. R. Tim, K. N. Z. Pinto, B. R. O. Rossi, *et al.*: Low-level laser therapy enhances the expression of osteogenic factors during bone repair in rats. *Lasers. Med. Sci* **29**: 147-156, 2014.
17. J. Steele, S. B-Low, D. Smith, *et al.*: Can specific loading through exercise impart healing or regeneration of the intervertebral disc?. *Spine. J* **15**: 2117-21, 2015.
18. T. J. Wronski, L. M. Dann, S. L. Horner: Time course of vertebral osteopenia in ovariectomized rats. *Bone* **10**: 295-301, 1989.
19. T. Naka, S. Yokose: Application of laser-induced bone therapy by carbon dioxide laser irradiation in implant therapy. *Int J Dent* doi: 10.1155/2012/409496. 2012.
20. J. B. Tyrovola, X. X. Odont: The "mechanostat theory" of frost and the OPG/RANKL/RANK system. *J Cell Biochem* **116**: 2724-2729, 2015.
21. L. F. Bonewald: The amazing osteocyte. *J Bone Min Res* **26**: 229-238, 2011.
22. J. G-Heinrich, L. Ye, L. F. Bonewald, *et al.*: Mechanical loading stimulates dentin matrix protein 1 (DMP1) expression in osteocytes in vivo. *J Bone Miner Res* **18**: 807-817, 2003.
23. L. F. Bonewald, M. L. Johnson: Osteocytes, mechanosensing and Wnt signaling. *Bone* **42**: 606-615, 2008.

連絡先：山崎 崇秀 (Takahide Yamazaki)
明海大学歯学部機能保存回復学講座保存治療学分野
〒350-0283 埼玉県坂戸市けやき台 1-1
E-mail : t-yamazaki@dent.meikai.ac.jp

アンデスのスーパーフード 「キヌア Quinoa」

大日本明治製糖株式会社

Key Words：キヌア スーパーフード 健康食 グルテンフリー

1. キヌアとは

キヌアは、アンデス原産の雑穀で、紀元前5～3千年から栽培されはじめ、15世紀～16世紀には栽培技術も確立されていました。栄養価の高さから伝承的に「母なる穀物」として重用され、インカ帝国の文明を支えた重要な穀物と言われています。ヒエに似た種子にはデンプンが含まれており、粉にしてパン状に焼いたり、また粒のまま粥にして食されるなど、現代でも重要な食用植物として栽培されています。たんぱく質、食物繊維や鉄・マグネシウム、カリウムなどのミネラル、すべての必須アミノ酸を含む、栄養バランスに優れたグルテンフリーの雑

穀で、スーパーフードとして世界的にも注目されています。現在ではペルー南部とボリビア西部を中心としたアンデス山脈の高原地帯アルティプレーノ（標高2500m以上）で栽培されています。キヌアは健康食として注目を浴び、北アメリカやヨーロッパ、インドなど世界各国で栽培されていますが、ボリビアとペルーが主要な生産国です。

2. 植物としてのキヌア

キヌアは一年草で、甜菜（さとうだいこん）やほうれん草と同じヒユ科アカザ亜科の植物です。マイナス8℃～38℃の気温変化にも耐えら



れ、湿度は40%～88%まで順応が可能です。また、海面0m地帯から標高4,000mに至る場所でも育つことができ、干ばつや高塩分濃度にも強く、痩せた土壌などの様々な生態学的環境や気候に適応できます。草丈およそ1m、上部30cm程度に小さな花が穂状に咲き、1本あたり100～3,000個の種ができます。穂は品種により黄、赤、白、紫等様々な色をしており、種の色も白、赤褐色、黒があり、栽培地による違いだけではなく多くの品種があります。

3. 国連にも認められたキヌア

2013年は国連が定めた「国際キヌア年、The International Year of Quinoa」です。「数千年前に種蒔かれた未来」と題されたこの国際キヌア年は、アンデス地方で数千年前から食されてきた穀物キヌアが食料危機の重要な解決手段になり得るとして、ボリビア大統領によって提唱されました。この提案が、2011年6月のFAO（国際連合食糧農業機関）の総会にて支持され、2011年12月に国連総会において正式に承認さ

れました。

国連総会では、キヌアが並外れた栄養価と多様な農業生態環境への適応能力を持ち、飢餓や栄養失調撲滅への可能性を秘めた偉大な穀物であることが注目され、その関連行事の推進に努める役割をFAOに任命。FAOにより国際キヌア年の様々な活動が行われました。

4. キヌアの特長

当社のキヌアは、南米ボリビア ウユニ塩湖近隣の高地アルティプレーノで栽培されたロイヤルキヌア（キヌアレアル）です。数あるキヌアの品種の中でもレアル種は粒が大きいことが特長です。粒が大きい方が、茹でた時のプチプチとした食感がより楽しめます。



表1 キヌアの栄養価

栄養成分	キヌア 玄穀	精白米 うるち米	こむぎ 強力粉 / 1等	とうもろこし 玄穀 / 黄色種
熱量 (kcal)	359	358	365	350
たんぱく質 (g)	13.4	6.1	11.8	8.6
脂質 (g)	3.2	0.9	1.5	5.0
炭水化物 (g)	69.0	77.6	71.7	70.6
食物繊維 (g)	6.2	0.5	2.7	9.0
ミネラル				
ナトリウム (mg)	35	1	Tr	3
カリウム (mg)	580	89	89	290
カルシウム (mg)	46	5	17	5
鉄 (mg)	4.3	0.8	0.9	1.9
銅 (mg)	0.47	0.22	0.1	0.18
マグネシウム (mg)	180	23	23	75
亜鉛 (mg)	2.8	1.4	0.8	1.7
ビタミン				
ビタミン B ₁ (mg)	0.45	0.08	0.09	0.30
ビタミン B ₂ (mg)	0.24	0.02	0.04	0.10
ビタミン B ₆ (mg)	0.39	0.12	0.06	0.39
ビタミン E (mg)	2.6	0.1	0.3	1.0
葉酸 (μg)	190	12	16	28

日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）から引用

Tr：微量

表2 商品一覧

型番	特徴	使用例	性状	荷姿	賞味期限
キヌア粒	南米ボリビア ウユニ塩湖近隣の高地で栽培された、数あるキヌアの品種の中でも粒が大きいロイヤルキヌア（キヌアレアル）の全粒です。	サラダやスープの具材、ベーカリー、炒飯や雑炊のお米代わりに、揚げ物の衣、雑穀ミックス	粒状	一般用 300g×12 袋 /cs 業務用 1kg×10 袋 /cs 10kg× 2 袋 /cs	製造後 12 か月
有機キヌア粒	南米ボリビア ウユニ塩湖近隣の高地で栽培された、数あるキヌアの品種の中でも粒が大きいロイヤルキヌア（キヌアレアル）の全粒です。有機 JAS 認証取得済みです。	サラダやスープの具材、ベーカリー、炒飯や雑炊のお米代わりに、揚げ物の衣、雑穀ミックス	粒状	1kg×10 袋 /cs 10kg× 2 袋 /cs	製造後 12 か月

当社では、1998 年にキヌアを販売して以来、同じ生産組合から購入するなど、生産者と顔が見える形で取引を行っています。当社では、キヌアとコレステロールの関係など基礎的な研究から、キヌアの食べ方を検討するためのレシピ開発などを行うことでキヌアへの理解を深める一方、生産者側では、日本でも有機食品として販売できるよう有機 JAS 認定も取得するなど、キヌアを通じて関係を強化してきました。

5. キヌアの食べ方

お米同様に水洗いをして容易に調理することができます。

・茹でる、炊く

水分を含み、2～3 倍に膨らむ。プチプチとした食感があり、粘りは少なくパラパラして扱いやすい。サラダやピラフ向け。



・煮込む

米飯と比較して荷崩れし難い。

具材としての存在感があり、雑炊やリゾット向け。

・炒る、揚げる

香ばしく、パリパリとした食感。

いりごまの様にトッピングしたり、揚げ物の衣にも。

キヌアはサラダとして用いられることが多いですが、肉の付け合わせやスープの具材、パエリアなど主食としても食べられています。また粉にしてパン、パスタ、フレークなどにも加工されています。

5. キヌアの用途

・健康機能性

キヌアは、食物繊維やミネラルを多く含むこ

とから生活習慣病を予防する食品として注目されており、アレルギー疾患用食材としても健康機能性を持つ新しい食品素材としても可能性が期待されています。

• **栄養資質**

エネルギー、たんぱく質、またバランスのとれたアミノ酸組成により、病後や高齢者が陥りやすい症状・PEN（低栄養）などの予防にも適した食材です。

• **持続可能な社会に向けて**

キヌアの取引により、消費者はおいしさと健康という恩恵を、生産者は半乾燥地域のアンデス高地の所得収入を増大させ、生活を向上させることができるという恩恵を受けています。また、キヌアの栽培はほとんどが有機栽培であるため、自然環境やそこで生活する人々の健康にも配慮されています。

参考資料

- 世界の農林水産（公社）国際農林業協働協会
Summer 2013 通巻 831 号, Autumn 2013 通巻 832 号
- FAO 国連食糧農業機関
国際キヌア年 Web サイト <http://www.fao.org/quinoa-2013/en/>
State of the art report on quinoa around the world in 2013
- 日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）

連絡先：大日本明治製糖株式会社 食品営業部
〒103-0027 東京都中央区日本橋 1-5-3 日本橋西川ビル 7F
TEL 03-3271-0755 FAX 03-5205-7131

新解説 グルテンフリー穀物による ケーキ，パスタ，ピザ，幼児食製造

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)³ 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)³

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長, ³ 神戸女子短期大学

Key Words: グルテンフリー ケーキ パスタ ピザ 幼児食

本論文「新解説 グルテンフリー穀物によるケーキ，パスタ，ピザ，幼児食製造」は、"Gluten-Free Cereal Products and Beverages" (Edited by E. K. Arent and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER) の第 14 章 Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods by Eimear Gallagher の一部を翻訳し紹介するものである。

ケーキ 紹介

一般に現在のケーキバターは、水分中の脂肪、あるいは油脂の乳化システムと考える事ができる。水相には溶けた砂糖、懸濁した粉粒子が含まれている。多くのバターシステムでは、空気泡は水相より固形脂肪中に保持される。ベーキングの間、バターは加温されるので空気泡は脂肪から水/気泡相に移り、そして拡大する。ベーキングプロセスの後半、泡はケーキ構造を作る (Cauvain, 2003b)。既に述べたように薄力小麦粉は主には構造形成成分であり、グルテンネットワーク形成はケーキバター中には殆どできない。

ケーキ仕込み中の大部分の生の材料 ケーキ粉

ケーキ製造用には、粉は低タンパク質含量であり、低 α -アミラーゼ活性が普通は望ましい (Kent and Evers 1994) (表 14.2)。粉はケーキ仕込みの中で最も重要成分であり、機能としてはまず第 1 にクラム構造を作る (DesRochers *et al.*, 2003)。ケーキ粉は薄力小麦からひき、粉

は低タンパク質、低灰分レベルで、同様に細かな粒子サイズである。タンパク質量は低いが、その性質は小気泡にガスをトラップするのには十分な性質であるが、パン用粉で普通見られるようなタフネス/チューイネス (歯ごたえ) はない (Ortiz, 2004)。小麦粉のもう 1 つの重要な成分はデンプンであり、その糊化したものはケーキの大部分構造成分を形成する (Cauvain, 2003b)。水和すると粉タンパク質はケーキバター中でパンドウ中よりも僅かに弱いグルテン構造をとるが、それはケーキ構造中の砂糖、脂肪による破壊効果のためである。さらにケーキ仕込み中、高レベルの水であるのは、低粘度のバターを作り攪拌操作能をおとし、グルテン形成に必要なエネルギーを低下するためである。

ショートニング，砂糖，膨剤

ケーキ中でショートニングには 3 つの基本的役割がある；(1) それはクリーミングプロセスの間にトラップされた空気によりバターと焼いたケーキのエアレーション、膨化をそれぞれ助ける。これらの小さな空気セル

表 14.2 小麦の分類と一般的特徴と主要利用

分類	一般的特徴	一般的利用
Hard red winter (HRW)	高タンパク質, 強グルテン, 高吸水	パンとその関連
Soft red winter (SRW)	低タンパク質, 弱グルテン, 低吸水	ケーキ, クッキー, ペストリー, パイ クラスト, クラッカー, ビスケット
Hard red spring (HRS)	非常に高タンパク質, 強グルテン, 高吸水	パン, ベーガル, プレッツェルとその 関連
Hard white	高タンパク質, 強グルテン, 高吸水, ふすま色素欠	パンとその関連
Soft white	低タンパク質, 弱グルテン, 低吸水, ふすま	ヌードル, クラッカー, ウエハースと その関連だがスベックは望ましくない
Durum	高タンパク質, 強グルテン, 高吸水	パスタ

Atwell (2004)

はベーキングの間、蒸気や炭酸ガスによる泡の核となる。(2) それはタンパク質、デンプン粒をコートし、水和とグルテン-デンプンの連続ネットワーク形成を阻止する。(3) それはまたバター中の乳化液に取り込まれ、クラムの水分を増加し結果的にはクラムテクスチュアに影響を与える (DesRochers *et al.*, 2003)。

砂糖はケーキに甘さを与え、しかしバターのエアレーションと構造形成に顕著な役割も示す。砂糖はデンプンの糊化を調節し、焼いた製品の物理的な構造に影響する。ベーキングの間、デンプンの糊化を遅らせ、ケーキがセットする前に CO₂ と水蒸気によって生じた蒸気圧により適当な大きさの空気泡にする (Kim and Walker 1992)。砂糖はデンプンの糊化を 57°C から 92°C に遅らせ、好ましいケーキ構造の形成をさせる。砂糖の粒子サイズもまたバターの粘度に影響する。ケーキ製造で用いる最も普通の砂糖はシュクロースである。膨化はケーキやケーキバターが待ちうける空気を抱き込んだ構造形成を助ける重要なファクターである。イーストの代わり化学的に膨らませるケーキは重曹 (ベーキングソーダー) プラス酸性材料で水の存在下で CO₂ を生む (DesRochers *et al.*, 2003)。最終的焼いたケーキのかなりの部分とは、実際には空気である。バターが始めにオープン中に入った時生じる CO₂ ガス生産と発生は、ケーキ膨化メカニズムの重要な場面であり、

最終ケーキの容積と食感に影響を与える。

ケーキバターの性質

攪拌とベーキングの間、成分間の相互作用とバター構造へのそれらの影響が起こる。一般に未調理のケーキバターは oil-in-water (水中油滴型) 乳化と考えられ、連続水相に砂糖と懸濁した粉粒子が溶けている。初めに、ケーキ調製の攪拌段階後、脂肪の役割はバターのエアレーションに重要である。攪拌の間、システム中で起こる空気セルの閉塞が泡に成長する。最大のケーキ容積を与えるためには、システム中の空気の分布は大きなセルが少数よりも小さいセルが多数のほうである。ベーキングプロセスの間、液状のしかも空気抱き込んだエマルジョンのケーキバターは、半固形で多孔質の柔らかい構造に変わる。これは主にはデンプンの糊化、タンパク質の凝固、バター中に溶けた化学物質から生成されたガス泡、閉塞された空気、各成分間の相互作用によるものである (Sahi, 1994)。

グルテンフリーケーキの仕込み

これまで述べたように、ケーキ仕込み中の小麦粉の存在は多くの役割をもち、ケーキバターを粘度変化して最終的な焼けたケーキのクラム構造の形成と良好な食感の生成を行う。今日まで、比較的僅かの仕事しかグルテンフリーケーキ食品製造用の変更粉利用に関して出版さ

れなかった。米粉、ガム（キサンタン、グア、カラギーナン、ローストビーン）とある乳化剤がブレンドされ仕込まれたバターとケーキのレオロジー的性質が Turabi *et al.*, (2007) により研究された。全体的には、乳化剤とのコンビネーションでガムはミキシング段階中、空気をよりトラップする能力のバターになり、さらに乳化の安定性を増加した。著者らは納得のゆく品質の米ケーキの仕込みの際に、1% キサンタンガム（オープン中でケーキバター粘度を増加し、ケーキの破壊を阻止した）、さらに3% 乳化剤利用（ケーキ容積と多孔質の増加とソフトネスの増加）を薦めた。

キャサバデンプンは南アメリカ原産の食品の成分である。その化学的性質はこれまで非常に議論されてきたが (Cardenas and de Buckle, 1980; Camargo *et al.*, 1988), 最近グルテンフリー穀物システムにその有用性のあることが研究された。酸化に対して感受性があった (Mat Hashim *et al.*, 1992; Paterson *et al.*, 1994)。

Demiante *et al.*, (2000) は、キャサバデンプンの化学的酸化的サンプルの生産性について議論し、さらにこのデンプン（他のキャサバデンプンの範囲も含め）のベーキング性質と化学的構造の間の関係を議論した。彼らの研究から、著者らは化学処理キャサバデンプンがカルボキシレートグループを含みそれはドウ拡張とベーキング性質に重要であると結論した。

Bean *et al.*, (1983) は 100% 米粉でレーヤーケーキを作り、強い攪拌形態とカップルした粉の水和がケーキの品質改良することを見出した。彼らは米粉と水の強い攪拌が、デンプン粒を内胚乳から解放し、その機能を増加するのであろうと考えた。さらに高スピード攪拌は、「ゲル」タンパク質形成をもたらすケーキのクラムグレイン化を強く押し進める可能性がある。大豆粉、コーン粉、米粉を含むケーキタイプの製品が Borowski and Pomianowski (1994) らにより仕込まれ、一方 Jud (1993) はタラガムの性質を議論し、その特別のガラクトマンナン成

分に関心を示した。この中性多糖は、グルテンフリーパストリータイプの食品に厚みを与え、ゲル化剤として応用でき、さらに食物繊維として考えられた。Von Atzingen and Machado Pintae Silva (2005) は、10 種のグルテンフリーデンプンと粉（キャサバ、米、コーン製品を含む）でグルテンフリーケーキを作り、機器的テクスチャと色の研究をした。米粉を使ったケーキは最も圧縮力があつた。修正キャサバデンプンのうち、酸処理デンプン調整品は最も明るい色調を与えたが、一方色調の強さは米、コーン粉で作るケーキが最も強かつた。キャサバ、大豆、ソルガム、セージ、ポテト粉をベースにしたグルテンフリーマッフィンミックスの微生物的側面が, Chauhan *et al.*, (2001) により評価された。材料、およびマッフィン中、主なバクテリア、カビの微生物のカウントの結果、最少—カビ無しのものでマッフィンミックスのシェルフライフは約 3 日間であつた。その結果は小麦含有マッフィンの結果と良く一致した。

結 論

ケーキ製造では、低タンパク質含量、低 α -アミラーゼレベル、粒子サイズの細かい薄力小麦を挽いた小麦粉を使う。粉の機能は、主にケーキクラムの構造を作ること、パンのテクスチャとむすびつくような正常のスポンジ的な性質ではなく、砕けやすいものである。ケーキ仕込みには、また脂質と砂糖の高レベルを含む。水が仕込み中に加えられると、粉タンパク質は砂糖と脂肪による仲介で弱いグルテンネットワークを作る。今日まで僅かに小麦粉に置き換わるケーキ製造研究の報告があつた。とられたアプローチは、米、キャサバ、コーン、ガム例えばキサンタン、グア、カラギーナン、タラ、ローストビンガムから作った粉で進められた。高品質ケーキは、米粉、キサンタンガムと乳化剤を用いて作り、米粉を用いて強い攪拌条件でやることもまた推奨された。

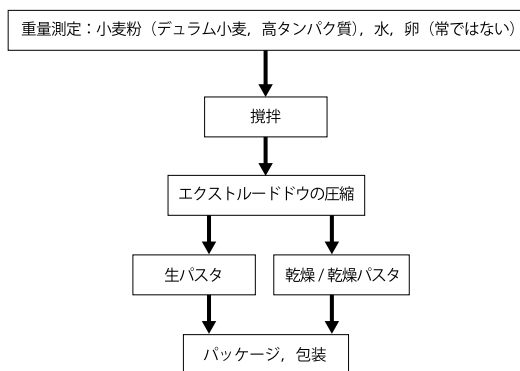


図 14.4 パスタ製造

パスタとエクストルーダ食品

パスタの製造

全てのパスタは同一の基本的技術を共有し、粉と液体（主に水）とを攪拌してドウを作り、次にエクストルージョンで加工して必要な形と食品自体の寸法に成型する（図 14.4）。

パスタ製造の大部分の材料—デュラム小麦

パスタはほぼ大部分セモリナ粉から作り、それはデュラム小麦を挽いたものである。実にデュラム小麦セモリナは、イタリア、フランス、ギリシャの国々の法律で許可されている唯一のパスタ製造材料である。特別のパスタは他のいろいろな成分（例えば生、冷凍、あるいは粉体化した卵、大豆タンパク質、小麦グルテン、ミルクタンパク質等）を混ぜて作られる（Cubadda and Carcea, 2003）。デュラム小麦は強力小麦で、セモリナ粉は均一なサイズの内胚乳粒子からなる粒子である。セモリナ粉のタンパク質は、SS 結合、水素結合、疎水結合でマトリックスを作り、調理したパスタに粘弾性を与える。デュラム小麦中のタンパク質含量は 9-18% の範囲である。タンパク質含量、グルテン組成の両方は、通常デュラムコムギパスタのドウの性質、およびクッキング品質に影響する主要要因と考えられている（表 14.2）。パスタクッキングをしている間のタンパク質マトリックスの成長は重要で、粘度のあるパスタドウとパスタは好ましく、その 1 つが水中でボイルの間、裂けない

あるいは崩れてバラバラにならないことである（Feillet and Dexter, 1996）。普通小麦で得られるドウは非常に伸展があり、中間 / 低粘性であるが、一方デュラム小麦で得られるものは一般に高粘性、弱い伸展性の特徴を示す。良好なグルテン粘度はデンプン粒をパスタ構造の内部に保持し、粘着性を低下する。またクッキング中、水吸収の転調をし、パスタの過剰な広がりを抑えて正確なかたさを与える。デュラムセモリナのグルテン定性、定量性がクッキング品質に影響する最も重要なファクターであるが、デンプン、可溶性、不溶性ペントサンのような微量成分、リポ蛋白質、いろいろな酵素類、酵素作用でできるものもまたそこに入る（Cubadda and Carcea, 2003）。

グルテンフリーパスタの仕込み

グルテンフリーパスタの調製は食品技術者にとり挑戦的仕事であるというのは、小麦をスタート物質として用いる時に形成されるグルテンが欠けているからである。グルテンは攪拌、エクストルージョンの間、ドウデベロップメントに貢献する主なものであり、沸騰水中でクッキングの間、パスタの解離を防ぐ（Feillet, 1984; Abecassis *et al.*, 1989）。グルテンなしを、加水と攪拌前に未糊化デンプンあるいはコーン粉のブレンドで乗り越える、あるいは攪拌やエクストルードの間、デンプンの一部を糊化して乗り越えると考えた（Molina *et al.*, 1975）。デュラムパスタはセリアック病を持つ人々の食事には支持されないで、パスタ生産には非デュラム成分の利用研究に進んだ。しかしながらデュラムと同じドウ水と生じる性質の効果を利用して、適当なエクストルージョンのドウ粘性に必要な正確な水とレベルを求める事は重要なことである（Manthey *et al.*, 2004）。デュラムによるパスタの重要な性質は粘着力である。粘着力はタンパク質ネットワークから大きく外れたデンプンによるものであり、調理した食品の表面に付着するものである（Cubbeda 1988）。これまでの研

表 14.3 擬似穀物アマランス、ソバ、キノアで調製したヌードルの性質の比較

	テクスチュア かたさ (N)	クッキング時間 (min)	クッキング重量 (%/100)	クッキングロス (%)
アマランス	0.43	4	2.48	10.5
ソバ	1.19	10	2.21	11.2
キノア	0.92	7	3.22	14.4
小麦	1.55	10	3.03	6

Schoenlechner *et al.*, (2004).

究で関心が深かったのは非セモリナ成分 / 粉で作ったときのパスタの劣った調理性であった。しかしながらこれは高あるいは超高温にて乾燥することで乗り越える事ができ、グルテンマトリックス中でのタンパク質の変性であり、その結果、でんぷん粒がクッキング中に破壊されることから防がれる。多量の損傷デンプンがセモリナ付近で吸水を強く増加させ、グルテンマトリックスの成長を壊す効果を示す成分となる (Manthey and Schorno, 2002)。さらにデンプンの損傷は、料理パスタの粘着性の増加と結びつく (Grant *et al.*, 1993)。これらの特徴はグルテンフリーパスタ形成の際、考慮せねばならぬ。Manthey *et al.*, (2004) は非デュラム成分を用いた時のパスタの性質の変化を議論した。非デュラム成分の化学的、および水—結合性がいろいろであるので、ドウ水和、ドウ伸展、ドウ粘弾性は変化する。そこで製造プロセスは適宜に変えねばならない、というのはドウ強さがエクストルージョンのスピード同様、エクストルージョンに必要とする機械的エネルギー量に影響

するからである (Levine, 2001)。

擬似穀物粉を利用するグルテンフリー研究があり、その重要な機能的性質により人気が上がっている。擬似穀物は Schoenlechner *et al.*, (2004) によってグルテンフリーパスタに関する研究に使われた。ソバ、アマランス、キノアを 10% レベルで食品中に入れて、高調理ロス、調理中低安定性が起こるという結果を得た。実験デザインの方法で (アルブミン、乳化剤、酵素添加ともに)、3 種の成分を異なった比率でブレンドし、グルテンフリーパスタの性質を改良した (表 14.3)。

Caperuto *et al.*, (2001) は、キノアとコーンのミックスを用いてグルテンフリーのスパゲッティタイプの食品を作るのに用いた。調理品質、テクスチュア (粘り、弾力性)、粘度が求められた。受け入れ状況は官能パネルで評価する。キノア粒の製粉はキノア、コーン粉ミックスが適合するのに必要であった。製品はマイルドなコーン味で一般に適当に受け入れられるものであった。グルテンフリーパスタを作る試み

表 14.4 小麦粉 (WGF)、ひよこ豆粉 (CF)、ミルクパウダー (MP) を含むある非伝統的パスタの製法と栄養的特徴

ブレンド	ブレンド中成分 (%)			タンパク質含量 (%)	タンパク質品質	
	WF	CF	MP		ケミカルスコア ^a	LAA ^b
WF	100			13.0	0.43	Lysine
CF		100		22.0	1.00	SAA ^c
MP			100	34.0	>1.00	None
ブレンド 1	70	25	5	16.3	0.79	Lysine
ブレンド 2	60	30	10	17.8	0.9	Lysine
ブレンド 3	50	35	15	19.3	0.99	Lysine

^a FAO/WHO/UNU をもとにした参照パターン (1991, 1998), ^b 制限アミノ酸, ^c Sulfur amino acids. Marconi and Carcea (2001) より

で、Marconi and Carcea (2001) は、乳タンパク質とカロウビン（イナゴマメガムからとったタンパク質）を用いた（表 14.4）。著者らはカロウビンがいかにグルテンのレオロジー的性質が似ているか、そしてグルテンフリーパスタ仕込みにテクスチュア剤として使い、それによってタンパク質ネットワークを形成し、しっかりしたパスタをつくり、パスタ料理でデンプンをホールドする能力を与えるだろうと述べた。

Feillet and Roulland (1998) は、分離したカロブタンパク質と小麦グルテンの間のレオロジー的類似性を研究した。いくつかの生化学的違いはあるが、2つのタンパク質は非常に似た性質をもちカロブタンパク質は高分子量サブユニットの高含量に寄与するものである。そこで、著者らはカロウビンがグルテンフリー食品に都合良く用いられるのではないかと考えた。

Gobbetti *et al.*, (2007) は半固形条件下でサワードウ・ラクトバチルスを用いて、未発酵のデュラム小麦セモリナに用いた。発酵に続いてドウは凍結乾燥、そば粉と混合して“fusilli”タイプのパスタを作った。2次元電気泳動とマスペクトルグラフィーにより、デュラム小麦グリアジンは殆ど全体的に乳酸バクテリアで発酵中に加水分解されることが判った。存在するグルテンのレベルはセリアック病の患者にとって未だ不安全であろうが、彼らは、20% 発酵したデュラム小麦セモリナがパスタの仕込みにあるならば、セリアック病にとって新規なもので安全な許容範囲を持つものと考えた。

Huang *et al.*, (2001) によって、RSM（応答曲面法）が非グルテンパスタの仕込み作成に用いられた。彼らは官能試験とパスタの粘着性の至適方法を基本にして、より高いレベルの修正デンプン、キサントガム、ローカストビングムを用いて小麦ベースのパスタに似ているグルテンフリーパスタを得た。これは良好な「初めに噛んだときのかたさ」をもつもので、高レベルの凝集性を持つものであった。

グルテンフリー豆粉は、タンパク質含量、リジン含量がいずれも小麦粉、セモリナより高い。

100% 豆粉の二軸エクストルーションで作ったパスタのクッキング品質が Wang *et al.*, (1999) によって評価された。豆粉成分で、これまでのパスタエクストルーダーを用いた同一のものと比べても新しい加工方法をカップルさせたものは、クッキング後に改良テクスチュアとフレーバーが示され、オーバークッキング後も変化は小さいことが判った。

Limroongreungrat and Huang (2007) はアルカリ処理したポテト粉に大豆タンパク質を補強したもので新しいパスタを作り、一方 Chen *et al.*, (2002) は、5% α 化デンプン（グルテンの機能をするものとして）と 95% 未処理デンプンで作ったグルテンフリーデンプンヌードルの生産を述べた。彼らの研究でスイートポテトデンプンでもドウを作り、できたものは良いクッキングの性質と官能の性質を示したが、スイートポテト品種間には大きな違いのある事をのべ、このヌードルを作る時重要なのはこの品種を選ぶことが大切なのだと強調した。

Mestres *et al.*, (1988) は、グルテンフリー米粉で作ったヌードルのデンプンのネットワークの研究をした。このヌードル中には、天然のデンプン構造は消え、しかし新しい結晶組織が見られた。アミロース-ベースの構造は、複合体フォーム中（米粉ヌードル中）、あるいは老化フォーム中（両ヌードル中に）の両方に見られた。著者らはまた両パスタは良いクッキング適性を示し、それはアミロースネットワークにもとづくもので或る事を見出した。

Kovacs and Varga (1995) は、グルテンフリーマカロニの性質に関する研究を行った。クッキング品質と官能試験は、3つのタイプのコーンデンプンと2つの乳化剤（ドウの水結合力と粘度改良のため）のマカロニミックスで試験した。高品質マカロニは高アミロース含量、低遊離グルコースかあるいは他のデンプン分解物含量の少ないコーンデンプンを使用した時に得られた。

エクストルーションはセリアック病患者用のスナック食品を製造する時に適した加工方法で

あるが、それはデンプンが最適食品中で好ましい拡張構造を与える主成分であるからである (Acs *et al.*, 1996)。Ibanoglu *et al.*, (2006) は、米、ひよこ豆、コーン粉をベースとしたグルテンフリーエクストルーdsnackの拡張の性質、色、官能性質についてについて研究のために実験計画した。エクストルーダーの供給スピード、スクリュースピードは、最終食品の色、香り、全体の受け入れられるものには影響しなかった。しかしスクリュースピードを増すと、食品の拡張とかたさに増加があり、一方供給スピードを上げるとかたさが減るがより拡張の食品になった。米ベースのsnackのエクストルージョンパラメーターは、Bhattacharya and Choudhury (1994) によっても研究された。彼らの結論したことは、エクストルーダーの直径に対する長さの比率 (L/D) は極めてエクストルージョンシステムのパラメータおよび関わる食品に大きく影響する点である。L/D 比を増加するとよりかたいものができ、一方バーレル温度 >150°C が米粉からの高級品質の拡張食品にとり必要であった。

結 論

パスタ食品の殆ど大部分はセモリナ粉で作られ、それはデュラム小麦から挽かれる。この小麦のタンパク質含量は 9-18% であり、グルテンの定量、定性の何れもドウに影響して、パスタのクッキング適性に影響する。パスタを作る時、グルテンマトリックス形成が好ましく、それはパスタが水中でボイルされている間テクスチャを保持するためである。グルテンフリーパスタが形成される時に、加工プロセスを以下の様に変えるべきと暗示されるのは、例えばミキシングあるいはエクストルーディングの間、事前にグルテンフリーデンプンを糊化しておく、あるいは高、または超高温度でタンパク質を変性しておき、調理の間デンプンの破裂を阻止する。いかにサワードウラクトバチルスが発酵前のデュラム小麦セモリナに使われ、グリアジンの加水分解が起こるかという新しい方法が述べ

られた。擬似穀物 (ソバ、アマランス、キノア) 粉の利用が報告され、その研究では良質グルテンフリーパスタが乳化剤、酵素を用い、実験計画を応用し得られた。グルテンフリーパスタ生産に用いられ、その他成功している成分には豆粉、ポテト粉、米粉、コーンデンプンそれに加えてハイドロコロイドである。

ピザ

ピザ粉、ピザドウ、グルテンフリーピザドウ

ピザには一般に 2 種類ある；厚いと薄いパリパリしたピザである。厚いパンピザにはかなり高いタンパク質粉が必要で、イーストで発酵してパン状のベースを作る。薄いパリパリしたピザは少し低いタンパク質含量の粉で、発酵するかあるいはビスケットタイプのガスをだしてつくるベースのものである。ピザドウはストレートフォワード法で作る (図 14.5)。小麦粉とともに残り成分は塩、水、膨化剤としてベーカズイーストを用いる。異なったタイプとして、乳酸菌とイーストが膨化プロセスで用いられる (Coppola *et al.*, 1998)。

全体的のピザの品質は主にドウに基づき、そ

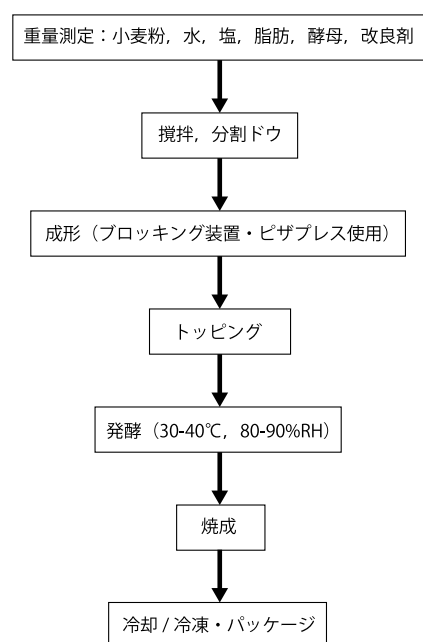


図 14.5 ピザの製造

の性質は膨化プロセスに、さらに粉のタイプ、調製方法に影響される。良い品質のピザは、ドウがシート状となり、ふくらみ、イーストによるガスを保持し、同様に良いテクスチャと官能性を有する。パンのように、ピザクラストの主要成分は強力小麦粉である。粉中のグルテンの品質は、一度粉が水和すると凝集性、伸展性ドウができ、発酵中膨らむことができ、シーティング加工の間その形状を保持する事ができねばならない。あるピザベース工場でイーストドウの冷蔵貯蔵（冷凍より保持）がゆっくりした中間発酵に用いられている。このプロセスは中間生産物の進展を楽にするために採用されて来た。

市販の利用できるグルテンフリーピザベースがある。これらは小麦デンプン、コーンデンプン、ポテトデンプン、米粉、コーン粉、ガム、乳化剤の用な成分がベースになっている。しかしながらトピックは未だわずか研究域である。アイルランドのカレッジ、コーク大学の研究者はその仕込みを研究していてグルテンフリーピザベースのレオロジー面、ベーキング適性を研究している。グルテンフリー粉とデンプン、タンパク質（卵、大豆）、あるいはハイドロコロイド（グアガム）とマイクロエンカプシュレート高脂質粉のいろいろなパラエターをコンビネーションして、これまでの述べた全ての要求を満たすことを可能とした（O'Brien *et al.*, 2002b）。ドウのかたさ、テクスチャ（ピザベースのかたさ）、色、ピザ容積のテストの結果、小麦粉ベースのコントロールによく似たグルテンフリーピザを作ることが可能であると述べた（O'Brien *et al.*, 2002a）。いろいろな成分の最もいいレシピのドウレオロジーへの影響は、基本的レオロジー（直線粘弾性域の振動試験）を用いて試験した。これらの測定から極めてはっきり判ったことは、コーンデンプンシステムでは弾性率で最も大きな増加が見られ、それはグアガムが高脂質粉と結ばれた時で（O'Brien *et al.*, 2002b）、このピザは小麦ベースをコントロールにしたピザベースに類似していた。

結 論

パンのような強力小麦粉がピザ製造ベースに使われる。ピザドウは、完全にグルテンマトリックスができ弾力の性質をもち、発酵過程の間CO₂をトラップする力を持たねばならない。ピザは世界中の全ての年代の人々に消費されている。しかしながらグルテンフリーピザベースの発展に利用できる試験結果は殆どない。1つの研究は、いかにしたらコーンデンプン、タンパク源、ハイドロコロイドを正確な比率でシート状ドウ食品を作り、良い性質のピザベースの食品を作ることができるであろうかと報告している。

グルテンフリー食品の栄養的面

グルテンフリー食品は一般に栄養価に富むとか強化しているというものではなく、時に精製した粉あるいはデンプンでつくられるため、置き換えるグルテン含有のものと比べ同じレベルの栄養価はない。そこで、グルテンフリー食事にはセリアック病患者が生きてゆくのに必要な栄養的バランスが確かにとれている食事と言えるかどうか不確実性が残っている（Gallagher *et al.*, 2004）。

Kunachowicz *et al.*, (1996) は、グルテンフリー成分、および製品の栄養価値の範囲について包括的な研究を進めた。その結果、タンパク質濃度は小麦デンプンに基づく典型的なグルテンフリー粉は低い（0.4-0.5g/100g）、一方、ソバ、キビ粉中では高く、例えば各14.6と11.6g/100gであった。明らかにこれらの値は小麦、あるいはライ麦粉（各9.2, 5.5g/100g）よりも高い。さらに、そば粉はチアミン、リボフラビン、ナイアシンに富んでいて、キビ粉はまたリボフラビン、ナイアシン濃度が高かった。得られた値は小麦粉、ライ麦粉よりずっと高かった。小麦デンプングルテンフリーケーキはタンパク質、ビタミン含量が低かった。Kunachowicz *et al.*, (1996)は、多くの“健康”グルテンフリー粉（例えばソバ、ライ麦）もあるがこれらは常には使われているわけではなく、一般には大部分のグ

ルテンフリー粉と食品の栄養価は、相当する本来の食品よりも低いと結論した。

Thompson (1999,2000) はグルテンフリー食品の栄養的面に関する2つの包括的な研究を行った。初めの研究では、多くのグルテンフリー穀物製品はチアミン、リボフラミン、あるいはナイアシンがそれらを置き換えようとしている栄養価のある小麦製品に比べて劣った量であるとわかった。セリアック病を持つ人でこれらのビタミンの取り込みをまた、その人の食事全体から摂取する場合には、この研究の結果は精製したものの利用で、栄養分を与えていないグルテンフリー穀物食品にはチアミン、リボフラミン、あるいはナイアシンが欠乏食となり、そこでセリアック食事とは、ビタミンB類の常に欠ける食事と評価せねばならないことを示した。Thompsonの2つ目の研究(2000)はグルテンフリー食品(パン、パスタ、冷穀物が調べられた)中の葉酸、鉄、食物繊維のレベルが調べられた。再度わかったことは、グルテンフリー穀物食品は、一般に葉酸、鉄のレベルが滋養された/栄養価を強化されたグルテン含有相当物よりも低い事であった。そこでもしグルテンフリー穀物食品がセリアック病患者に全エネルギー取り込みの十分な部分を与えるならば、そのグルテンフリー食事はこれらの栄養価が不十分レベルであることもあり得る。Grehn *et al.*, (2001) は、セリアック病と診断された49人の成人の栄養、食事の取り込みとグルテンフリー食事を調べた; その結果、正常の食事をしているコントロールグループの人に比べ、食物繊維の取り込みが低かった。栄養価の食事レベルが、典型的なグルテンフリー食事範囲内では低いと考えられるので、Mariani *et al.*, (1998) は、しっかりグルテンフリー食事を厳守すると、栄養的にバランスのとれてない食事をしている未成年の栄養状態をさらに悪くすると結論した。

グルテンフリー幼児用食事

良い栄養は幼児にとり至上の成長と発達を促進するのに不可欠なものである(Raiha and

Axelsson,1995)。穀物、粉も入るが、小児科医によって推薦される最も一般的な食物であり、炭水化物とタンパク質含量による高エネルギーの食物である(Perez-Conesa *et al.*, 2002)。最近の疫学的研究から、セリアック病は子供に一般的であり、その広がりには1:300と1:80の間である(Korponay-Szabo *et al.*, 1999)。矛盾する研究として、小児食習慣がセリアック病の全体的発生に影響するかどうかがある。Ivarsson *et al.*, (2002) は、小麦のグルテンの摂取を組み込んで長く母乳で育てたものはセリアック病の危険を低下させたと述べた。しかしながらZiegler *et al.*, (2003) は生まれて3ヶ月たつ前にグルテン含有の供与を追加した子供が anti-transglutaminase (セリアック病の特異的血清学的マーカー) 陽性の危険性の増加を示す事を見出した。そのためにはっきりした結論はでない。

グルテンフリー対グルテン含有の幼児、子供用の成分と食品の栄養上比較

離乳前の時期、食事は子供の健康に最高重要なものであり、それは主には穀物粒と子供ミルク調整粉乳がベースになるものである。フィチン酸は穀物中には高濃度ではいつている。フィテートは人間には吸収されず、フィチン酸は重要な金属類の生化学的利用とは反対の効果を示す。さらにフィテート(フィチン酸塩)のリン酸部は、栄養的には利用されない。そこでフィテートのネガティブな性質は赤子の健康に効果を示すだろう。Febles *et al.*, (2001) は、フィチン酸含量を400穀物食品(グルテン含有もグルテンフリー同様)で調べ、そしてグルテンフリー食品は明らかにグルテン含有食品(平均>20mg/g)と比べて平均3.3mgのフィチン酸の顕著な低レベルで有る事が判った。非タンパク質窒素は幼児栄養には不可欠成分として機能する。しかしながら産業加工条件は食品のその栄養価と安全性を害する(Man and Bada, 1987)。Perez-Conesa *et al.*, (2002, 2005) は、産業上の加工上の効果を調べ、例えば、熱とその後の酵

素処理の与える影響を小麦とグルテンフリー市販の幼児用の非タンパク質窒素（NPN）レベルで調べた。加熱、酵素処理の両方がはっきりと研究した全ての穀物の NPN をかえた。特に、NPN レベルはグルテン含有穀物よりもグルテンフリー穀物の方が低く、これらの穀物中のタウリン（生まれたばかりの新生児にとってもう 1 つの不可欠成分）の完全な欠乏は加熱反応ステップの間多分アンモニアに変化したのだろう。

結 論

グルテンフリー粉は一般に高度に精製されており、栄養は強化されてないので、グルテンフリー食事の人々は栄養的にはバランスがとれていない。栄養的に整ったグルテンフリー粉は存在する、例えばソバ、あるいはキビがそうであると報告されている。これらは高タンパク質で金属も高濃度である。しかしながらこれらの粉は殆ど使われておらず、業者は殆どこれを精製し、栄養価を強化しないグルテンフリー粉とし、それは低繊維、鉄、フォレートの粉であった。

健康食は幼児には最高の成長と発達するのに不可欠である。穀物（特に小麦）は幼児、若い子供の食事の基本を形成するもので、それらの置き換えは注意深く行い、栄養の取り込みが犠牲にならないように注意深く選ばねばならない。成分の選択同様、これらの成分の加工上の

変化もモニターせねばならない、それはこれまでの研究が報告するように、いかに高温や酵素処理が粉中の不可欠成分の幾つかを低下させているのかとすることである。

全体の結論

グルテンフリー穀物食品中のグルテン置換は大きな技術的挑戦である。今日までデンプン、ハイドロコロイドの利用が、産業界ではグルテンフリーベーカリー食品のグルテンを模倣するために広がった。ビスケット製造での薄力粉は、コーン、大豆、ソルガム、ソバのデンプンの範囲でうまく置換する事ができた。グルテンフリーケーキはガム、ハイドロコロイドを米、キャサバ、コーンの粉とブレンドしてつくられ、グルテンフリーパスタでは初めの成分の選択からパスタ製造のプロセス（そこではデンプンの事前の糊化、あるいは乾燥技術が導入される）まで追求する。しかしながらグルテンフリー粉の大部分は高度に精製された低栄養価のものである。グルテンフリー食品の健康面強化へのステップが次第にすすみ、最も著しいのはグルテンフリー穀物食品への擬似穀物、および他の栄養価ふくむ粉の導入である。特に高品質の食品製造で重要なのは、成長と生育が最も大切な健康な幼児、およびベビー食品である。

Reference

- Abecassis, J., Faure, J., and Feillet, P. (1989). *J. Sci. Food Agric.* **47**(4), 475-485.
- Acs, E., Kovacs, Z., and Matuz, J. (1996). *Cereal Res. Commun.* **24**, 441-449.
- Bean, M. M., Elliston-Hoops, E. A. and Nishita, K. D. (1983). *Cereal Chem.* **60**, 445-499.
- Bhattacharya, S. and Choudhury, G. S. (1994). *J. Food Process. Preserv.* **18**, 389-406.
- Borowski, J. and Pomianowski, J. F. (1994). *Przegl. Pierkarski Cukierniczy* **42**, 11-12.
- Camargo, C., Colonna, P., Buleon, A., and Richard-Moland, D. (1988). *J. Sci. Food Agric.* **45**, 273-289.
- Caperuto, L. C., Amaya-Farfan, J., and Camargo, R. O. (2001). *J. Sci. Food Agric.* **81**, 95-101.
- Cárdenas, O. S. and de Buckle, T. S. (1980). *J. Food Sci.* 45509-45512.
- Cauvain, S. P. (2003b). In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science, pp.756-759.
- Chauhan, S., Lindsay, D., Rey, M. E. C., and von Holy, A. (2001). *Microbios* **105**, 15-27.
- Chen, Z., Sagis, L., Legger, A., Linssen, J. P. H., Schols, H. A., and Voragen, A. G. J. (2002). *J. Food Sci.* **67**, 3342-3347.
- Coppola, S., Pepe, O., and Mauriello, G. (1998). *J. Appl. Microbiol.* **85**, 891-897.

- Cubadda, R. and Carcea, M. (2003). In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science, pp. 4374-4378.
- Cubbeda, R. (1988). In: Fabriani, G. and Lintas, C. eds. *Durum Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 217-235.
- Demiante, I. M., Dupuy, N., Huvenne, J. P., Cereda, M. P., and Wosiacki, G. (2000). *Carbohydr. Polym.* **42**, 149-158.
- DesRochers, J. L., Seitz, K. D., and Walker, C. E. (2003). In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science, pp. 760-765.
- Febles, C. I., Arias, A., Hardisson, A., Rodriguez-Alvarez, C. and Sierra, A. (2001). *Food Chem.* **74**, 437-441.
- Feillet, P. (1984). *Sci. Aliments* **4**, 551-566.
- Feillet, P. and Dexter, J. E. (1996). In: Kruger, J. E., Matsuo, R. B., and Dick, J. W. eds. *Pasta and Noodle Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 95-133.
- Feillet, P. and Roulland, T. M. (1998). *Cereal Chem.* **75**, 488-492.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. (2004). *Trends Food Sci. Technol.* **15**, 143-152.
- Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., and De Angelis, M. (2007). *Food Microbiol.* **24**, 186-196.
- Grant, L. A., Dick, J. W. and Shelton, D. R. (1993). *Cereal Chem.* **70**, 676-684.
- Grehn, S., Fridell, K., Lilliecreutz, M., and Hallert, C. (2001). *Scand. J. Nutr.* **45**, 178-182.
- Huang, J. C., Knight, S., and Goad, C. (2001). Model prediction for sensory attributes of nongluten pasta. *J. Food Qual.* **24**, 495-511.
- Ibanoğlu, S., Ainsworth, P., Ozer, E. A., and Plunkett, A. (2006). *J. Food Eng.* **75**(4), 469-472.
- Ivarsson, A., Hornell, O., Stenlund, H., and Petetson, A. (2002). *Am. J. Clin. Nutr.* **75**, 914-921.
- Jud, B. (1993). *Food Ingred. Eur.* 342-346.
- Kent, N. L. and Evers, A. D. (1994). In: Kent, N. L. and Evers, A. D. eds. *Kent's Technology of Cereals*. Oxford: Pergamon, pp. 170-189.
- Kim, C. S. and Walker, C. E. (1992). *Cereal Chem.* **69**, 206-212.
- Korponay-Szabo, I. R., Kovacs, J. B., Czinner, A., Goracs, G., Vamos, A., and Szabo, T. (1999). *J. pediatr. Gastrointest. Nutr.* **28**, 26-30.
- Kovacs, E. and Varga, J. (1995). *Tecnica Molitoria*, **46**, 1206-1211.
- Kunachowicz, H., Nadolna, I., Klys, W., and Ruthowska, U. (1996). *Zywnienie Czlowiekai Metabolizm* **23**, 99-109.
- Levine, L. (2001). *Cereal Foods World* **46**, 169.
- Limroongreungrat, K. and Huang, Y.-W. (2007). *Lebensm. Wiss. Technol.* **40**, 200-206.
- Man, E. H. and Bada, J. L. (1987). *Annu. Rev. Nutr.* **7**, 209-225.
- Manthey, F. A. and Schorno, A. L. (2002). *Cereal Chem.* **79**, 504-510.
- Manthey, F. A., Saujanya, R. Y., Dick, T. J., and Badaruddin, M. (2004). *Cereal Chem.* **81**, 232-236.
- Marconi, E. and Carcea, M. (2001). *Cereal foods World* **46**, 522-530.
- Mariani, P., Grazia, V. M., Montouri, M. et al.: (1998). *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **27**, 519-523.
- Mat Hashim, D. B., Morthy, S. N., Mitchell, J. R., Hill, S. E., Linfoot, K. J., and Blanshard, J. M. V. (1992). *Starch/ Stärke* **44**, 471-475.
- Mestres, C., Colonma, P., and Buleon, A. (1988). *J. Food Sci.* **53**, 1809-1812.
- Molina, M. R., Mayorga, I., Lachance, P. A., and Bressani, R. (1975). *Cereal Chem.* **52**, 240-247.
- O'Brien, C. M., von Lehmden, S., and Arendt, E. K. (2002a). *Irish J. Agric. Food Res.* **42**, 134.
- O'Brien, C. M., Schober, T., and Arendt, E. K. (2002b). *Proceedings: American Association of Cereal Chemists International Annual Meeting*.
- Ortiz, D. E. (2004). In: *Encyclopedia of Grain Science*, pp. 134-140.
- Paterson, L. A., Mat Hashim, D. B., Hill, S. E., Mitchell, J. R., and Blanshard, J. M. V. (1994). *Starch/Stärke* **46**, 288-291.
- Pérez-Conesa, D., Ros, G., and Periago, M. J. (2002). *J. Cereal Sci.* **36**, 125-133.
- Pérez-Conesa, D., Periago, M. J., Ros, G., and López, G. (2005). *Food Chem.* **90**, 513-521.
- Räihä, N. C. R. and Axelsson, I. E. (1995). *Pediatr. Nutr.* **42**, 745-764.

- Sahi, S. S. (1994). *J. Cereal Sci* **20**, 119-127.
- Schoenlechner, R., Jurackova, K., and Berghofer, E. (2004). *Proceedings: 12th ICC Cereal and Bread Congress, Harrogate, UK*.
- Thompson, T. (1999). *J. Am. Diet. Assoc.* **99**, 858-862.
- Thompson, T. (2000). *J. am. Diet. Assoc.* **100**, 1389-1396.
- Turabi, E., Summu, G., and Sahin, S. (2007). *Food Hydrocolloids* (in press).
- Von Atzingen, M. C. and Machado Pinta e Sliva, M. E. (2005). *Ciencia y Technol. Aliment.* **4**, 319-323.
- Wang, N., Bhirud, P. R., Sosulski, F. W., and Tyler, R. T. (1999). *J. Food Sci.* **64**, 671-678.
- Ziegler, A. C., Schmid, S., and Huber, D. (2003). *J. Am. Med. Assoc.* **290**, 1721-1728.

連絡先：瀬口 正晴 (Masaharu Seguchi)
Email: :gr228587@wf7.so-net.ne.jp

伝える心・伝えられたもの

— 都会の中の水田 —

宮尾 茂雄

(東京家政大学)

今年の東京地方の梅雨は、気象庁の予報どおり6月8日から始まった。灰色の空から勢いよく雨が降り始め、数日来の猛暑で乾いていた地面に大粒の雨が浸み込んでいった。大学の研究室の窓から見える木立の緑が、雨粒を受けていっそう色濃く輝いた。

米作りは早春の田起こしから始まる。4月上旬の種蒔き、田の水張り、代かき（田ならし）、そして5月～6月頃の田植えと作業が続く。梅雨を迎えて稲はグングンと成長する¹⁾。お米好きの私は、稲の成長を見るのが喜びである。都会暮らしの中で、出会った小さな水田を紹介したい。

水田

5月上旬、東京から京都に向かう東海道新幹線の車窓から外の景色を見ていて、どこかしら水田が少なくなったような気がした。新築の家が建ち並び、その間にポツンと水田が残っている。新幹線沿線ということで、宅地開発がいっそう進んだのかもしれない。畔に囲まれた、かつての水田と思われる場所には背の高い雑草が生え、人の手が入らない休耕田のようだ。

米（精白米）の1人当たりの年間消費量は、昭和37年度をピークに減少傾向にある。昭和37年度には118kgの米を消費していたのが、平成28年度には、およそ半分の54kgにまで減少した。また、主食用米の全国ベースでの需要は毎年約8万トンずつ減少している（米をめぐる関係資料：平成29年11月農林水産省）。「日本人の米離れ」といわれるようになってから久しい。

近年、東京ではビルの屋上緑化として、生物多様性の保全を目的とする「屋上ビオトープ」が人気である。屋上に水田を設置する試みもあり、その一例として地上45mにある六本木ヒルズ「けやき坂コンプレックス」の屋上庭園は、およそ1300m²の敷地の中に、約120m²の水田と約60m²の畑が造られている（写真1）²⁾。毎年開催される米作り体験イベントは、今年で17回目を迎え、毎回盛況だ。日本の伝統的な稲作文化を体験できるように「田植えから始まり、稲刈り、稲束作り、はし掛けによる天日乾燥、収穫したもち米の脱穀体験や餅つき」などが実施されている（六本木ヒルズ（森ビル㈱）ホームページ）。



写真1 「けやき坂コンプレックス」屋上庭園にある水田（8月下旬）

私のまわりでは家庭菜園を楽しむ人も多い。プランターで上手にミニトマトやキュウリを育てたり、日当たりが良くない家の陰には立派なミョウガが生えていたり、都会なりの工夫もある。食育活動の一環として、子供たちが野菜を知り、好きになってほしいと保育園や小学校での野菜作りも盛んである。

私の暮らす杉並区の区民農園は応募者が殺到し、落選者もでるそうだ。民間企業が駅ビル屋上で運営する貸し農園も、ほとんどの区画が貸し出し中だという。一方で、かつての畑地や水田は耕作放棄地となり雑草が生い茂っている。農業を続けられない農家と農業をやりたいけれど農地がない、経験もないと思っている人、理由は様々である。農をめぐる需要と供給を上手く一致させるのは難しいのかもしれない。

かつて山形県鶴岡市を訪れた時に知人から、「鶴岡では平らな土地、米を作ることできるところはどこも水田にした。結局残ったのは山の斜面だけになり、そこを開墾して焼畑にしていた。」と聞いたことがある。今では米を作ることできる平坦な土地でも米を作らなくなってしまった。これは農家の問題というより、農政、食生活、社会全体の大きな流れであり、浅学な私には多岐にわたる理由を論じる力はない。そのような土地を見ると、知人の話を思い出し、活用できる策はないものだろうか、と、素朴な思いがわいてくる。

東京小石川後樂園と神田上水

最初に訪れた水田は寛永6(1629)年、水戸藩の初代藩主徳川頼房(よりふさ、慶長8(1603)～寛文元年(1661)年)によって造られ、2代藩主光圀(寛永6(1628)～元禄13(1701)年)がさらに手を入れて完成した小石川後樂園の中にある(写真2)³⁾。

小石川後樂園は、代表的な回遊式大名庭園の一つで、江戸時代には水戸藩の中屋敷(後に上屋敷)として使われていた。元禄16(1703)年以前に描かれた後樂園の最も古い絵図といわれている「水戸様江戸御屋敷御庭之圖」⁴⁾には大きな池、田、畑、八ツ橋などが描かれており、造園当初から、後樂園に水田があった

ことは間違いない(図1)。光圀しつなえだの嗣子綱條(明暦2(1656)～享保3(1718)年)の夫人が京都の公家出身であることから、水田(田端、田毎)は夫人に農耕の尊さと農民の苦勞を教えようと光圀が作らせたものといわれている。昭和13年に刊行された「史蹟及名称小石川後樂園」にも、「光圀は夫人に農夫の粒々苦辛をしらしむべく特に水田を作って農耕を実習せしめたと傳へます」とある(図2)⁵⁾。光圀の好き



写真2 小石川後樂園の藤棚、松林、梅林、菖蒲田、水田、奥に見えるのは後樂園遊園地のジェットコースター(サンダードルフィン)

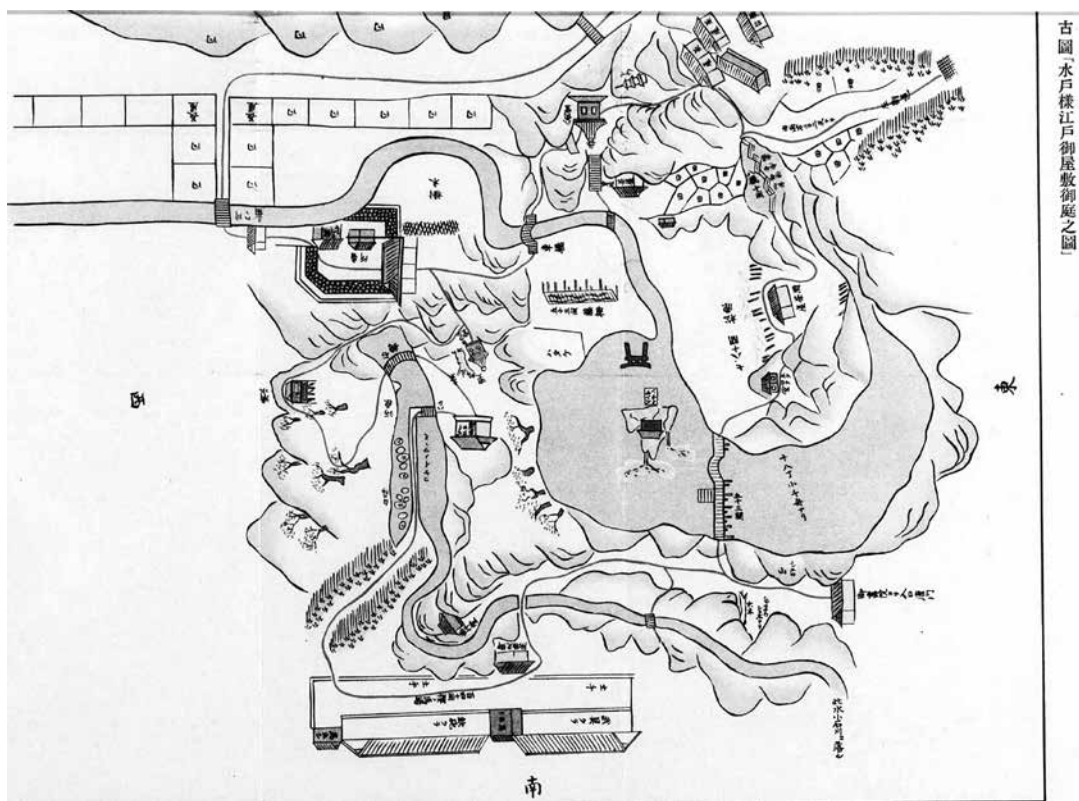


図1 水戸様江戸御屋敷敷御庭之圖，大池を中心に藤棚，松原，ハツ橋，水田など，現在と同じ意匠が広がる
(出典「名勝調査報告，第3輯」国立国会図書館デジタルコレクション)



図2 戦前，小石川後樂園にあった水田（田毎）
(出典「史蹟及名称小石川後樂園」国立国会図書館デジタルコレクション)



写真3 水田, 梅林, 九八屋(くはちや, 茶屋風の酒屋)などがある田の景観(8月, 後楽園)



写真4 園内を流れる神田上水の遺構(同)



写真5 水田, 5月10日の田植えから1ヶ月, 分株し苗も成長(6月中旬, 同「なつかしき程の雨降り植田かな」高浜虚子)



写真6 稲の茎葉の先に穂が出始める(8月上旬, 同「これよりはお天気ませ稲の花」横田弥一)

な梅林, 松原, 木製の八ッ橋のある菖蒲田, 水田などの一帯は, 田園風景を彷彿とさせると古来賞賛されている(写真3)。後楽園の敷地を, 西から東側へと神田上水が流れていた。大泉水(池)も水田も当時はこの水を利用していた。菖蒲田の近くには神田上水の遺構が残されているが(写真4), 現在は井戸水を汲み上げて流しているようだ。

水田の広さは約100m²ある。毎年5月には, 地元柳町小学校5年生の社会科・理科の校外学習教育として田植えが行われている(昭和50年〜)。9月にはすずめ除けの案山子を作り, 10月には稲刈りを行っている。2017年にはもち米「喜寿」が約24kg収穫され, お正月の鏡餅などを作ったそう。今年の田植えは5月9日に行われた。(東京都公園協会, 小石川後楽園 HP2019年5月14日号)。6月の梅雨の晴れ間に訪れた時は, 花菖蒲の最盛期で, 菖蒲田周辺は撮影会のような賑わいだった。時折, 後楽園ドーム球場での喚声が聞こえる水田で, 苗はすくすく育っていた(写真5)。8月の下旬には穂が少し色づき, 頭をたれ始める(写真6)。

ケルネル田圃

ケルネル田圃は目黒区立駒場野公園内にある。ここは日本最初の近代的な稲作研究・実習が行わ



写真7 水田の碑（ケルネル田圃，6月中旬）

れた駒場農学校の水田試験地があった。近代農学・農業教育発祥の地を記念する「水田の碑」が筑波大学附属駒場中・高等学校により建てられている（写真7）。

駒場農学校（後の東京農林学校，旧東京教育大学農学部）は明治11（1879）年に開校された。明治14年にはオスカー・ケルネル（日本滞在，明治14年～明治25年）が近代農法を指導する農芸化学教師としてドイツより着任した。ケルネル田圃では，水田土壌と稲作肥料の試験研究や実習が行われた。駒場農学校の最盛期にあたる明治17年の総面積は165,267坪，水田は3,661坪，その他に農場，果樹園，家畜病院などの附属施設があった。

旧東京教育大学農学部（現在の筑波大学）が移転した後，昭和60年にケルネル田圃（写真8）や池（写真9），雑木林など含む28000m²が駒場野公園として開園した（目黒区HP: 歴史を訪ねて 駒場農学校，

2013年10月1日付より）。谷戸に沿った緩やかな傾斜地に9枚の棚田があり（写真10），水源は水田上手にある池で，おもに雨水とのことだ。

ケルネル田圃はその後も筑波大学附属駒場中学・高等学校に引き継がれ，米作りを通して，環境



写真8 水田の近くに置かれた看板「田んぼの1年」(同)



写真9 棚田の上流にある池（同）



写真10 6月上旬の田植えから日が浅い早苗（同、「植田まだ空を写してあるばかり」高浜年尾）



写真11 ケルネル田圃の棚田，上手の水源から水が流れている（同）



写真12 『児童動物区』にある農村の再現（5月上旬，台北市立動物園）

問題や稲作文化の歴史など幅広い内容を学ぶ「総合学習」，「水田学習」が行われている。4月下旬に種粃を蒔き，苗を育て，6月上旬に田植え（写真11），10月には稲刈りが行われる。モチミドリやマンゲツモチなどのもち米の収穫は，毎年およそ300kgある。餅つきをしたり，入学式・卒業式には赤飯を炊いているそう（筑波大学付属駒場中・高等学校HPより）。ケルネル田圃は，今も教育現場に活用されている。

台北市立動物園の水田

2016年，5月上旬に台湾を訪れた。時間があつたので，ジャイアントパンダの飼育で有名な台北市立動物園に立ち寄った。山の斜面を利用した広大な敷地には世界各地の動物が飼育展示され，平日にもかかわらず観光客でにぎわっていた。行列もせずにパンダ飼育舎を見てから，その近くの『児童動物区』に足を向けた。ここには台湾のかつての農村風景を小規模ながら再現した一画があつた。井戸（写真12）や水車（写真13），水田（写真14），水牛やアヒル，砂糖キビの栽培やそれを運ぶ5份車などがおかれ，子供たちが農村生活に興味を持ち，動物とのふれあいが体験できるコーナーである。水田では台湾の優良米「桃園3号」が栽培されていた（写真15）。



写真 13 水田に水を引き入れる水車（同）



写真 14 分けつが始まり稲株が大きくなり始めた(同)



写真 15 栽培米「桃園 3 号」(香りが良く、消費者に人気がある)の説明板(同)



写真 16 水牛（同）

その数日前に台湾高速鉄道に乗車して台南まで行ったが、台北市を離れると線路の両側には水田地帯が広がり、台湾も米食文化圏だと思った。しかし市内に暮らす子供たちは水田を目にすることは少ないのだろう。動物園の中に水田を造り、稲を育て、農耕などの労役に水牛（写真 16）などを使っていた歴史を伝えることも（写真 17）、動物園の大切な役割だと感じた。

京都市動物園の水田

日本の動物園の中にも水田がある。京都市動物園の『京都の森』は、「Discovery 発見～豊かな森をかんじてみよう～」をテーマに、京都の豊かな自然や里山の風景、野生動物との関わりを体感できる展示スペースとして、2015 年にオープンした。広さはおおよそ 7600m²、琵琶湖疏水を利用した 3 段の棚田（1 枚の広さおおよそ 30 m²）（写



写真 17 牛を使い田畑を耕作する記録写真（同）



写真 18 『京都の森』の棚田(京都市動物園, 6月中旬)



写真 19 棚田と小川には、琵琶湖疏水から導水され、東山を借景に散策できる (同)

写真 18) と小川が整備されている (写真 19)。2017 年から棚田ではもち米やうるち米の栽培が始められ、多いときには 30kg 程の収穫があるそうだ。2019 年は、京都精華大学の学生と一緒に米作りを体験できる「どうぶつえん米を作ろう!」という企画が進行中だ (京都市動物園 HP)。ここでは 6 月上旬の田植えから稲刈り、精米までの米作りと水辺に生息する生き物の観察などを行っている (京都市動物園 HP)。私が訪れた 2017 年 6 月中旬だったが、苗は根を張り葉が 30cm 程に成長していた (写真 20)。ゾウやキリンなどの草食動物の糞や寝



写真 20 田植えは 6 月上旬, その後半月で、稲株も成長 (同)

わらなどはコンポスト化して、たい肥にし、園内の棚田や畑などで利用しているという。水田は水生昆虫などの生息場所でもあり、ホタルなどの定着、増殖に向けた取り組みも行われているそうだ。琵琶湖疏水沿いにある動物園はこじんまりしているが、私が訪れた時は、遠足や散歩の子供たちでにぎやかだった。なかなか見ることのない水田や稲の成長に、幼い頃から接することができるのは幸せなことだと感じた。

修学院離宮の水田

庭園というには壮大な修学院離宮^{しゅがくいんりきゆう}は、後水尾上皇^{ごみのおじょうこう} (慶長元年 (1596) ~ 延宝 8 (1680) 年) が比叡山の山麓に造られた山荘だ。ここでは離宮を取り囲む棚田や畑、農の営みを身近に感じる「農の風景」が守られてきており、私の好きな場所のひとつである。

総面積およそ 54 万 5 千 m^2 という広い敷地の東側は、比叡山をはじめとする東山連峰に連なり、およそ 8 万 m^2 の水田畑地が離宮を取り囲んでいる。高低差のある上、中、下の 3 つの離宮 (建物と庭園) で構成され、上離宮まで来ると、緑豊かな山並みやみごとな庭園を一望できる (写真 21) ⁶⁾。浴龍池 (大池) は、谷川を石垣や人工の土堤でせき止めて作った人工の池だ ⁶⁾。堤防は一番高い地



写真 21 上離宮にある隣雲亭からの眺め、浴龍池と西山（修学院離宮、7月）



写真 22 付属農場の入口付近から上離宮，比叡山を望む（同）



写真 23 苗代づくり，乾いて硬くなった土を耕す（同，5月）



写真 24 浴龍池にある水門，棚田や畑まで水路が続く（同）

点で15mあり，棚田への用水池の役割も果たしている。

参観は事前申し込み制である。しかし敷地内に立ち入らなくても，修学院の南側，西側の境界線にあたる山の辺の道などから，離宮とそれに繋がる修学院山，比叡山の眺望が楽しめる（写真22）。人工の堤防は有名な大刈込と呼ばれる常緑樹の生垣などで覆われ，周囲の緑にとけこんでいて見えない⁶⁾。山の辺の道を南に下ると曼殊院門跡，詩仙堂へと繋がる静かな散策路である。

今年の5月半ばに訪れた時には，棚田にはまだ水がなく，乾いた白い土で覆われていた（写真23）。農家の方のお話では，あと1週間程で浴龍池（写真24）や音羽川の水を水田に引き入れ，代かきをして田植えの準備をするという。ハウスの中の苗床では，苗が元気に育っていた（写真25）。クマゼミの賑やかな声が響く7月には，大き



写真 25 農業ハウス内の苗箱（同，5月）



写真 26 分けつが進み、大きく育った稲（同，7月）



写真 27 稲の濃い緑に染まる水田（同）

く生育した緑鮮やかな稲（写真 26）により風景は一変する（写真 27）。9 月頃に稲の刈り入れを行う。10 月には、稲束を稲木に干し、天日で乾燥させるはさ掛けが行われていた（写真 28）。近くの神社に注連縄を奉納するために、茎の部分が長いもち米も栽培しているとのことだ。

長年京都御所や修学院離宮などの庭園の維持管理に携わってこられた元宮内省林園課専門職の川瀬昇作氏によると、離宮造営は大治水工事であった。浴龍池などに蓄えられた豊富な水は、修学寺村の村人の棚田での米作りや畑作に大いに役立ったという⁷⁾。上皇は、農民の暮らしを

尊いものと考え、村人との関わりを大事にされたと伝えられている。造営初期の修学院離宮の様子を伝える「修学院図屏風（江戸初期、延宝年間制作、岡田美術館所蔵）」には、離宮周辺の水田や、刈り入れが終った秋に村人と身分の高い公家が、共に離宮での行楽を楽しむ様子が描かれている。

昭和 30～40 年頃、この辺りでは後継者不足などから農業をやめる人がでてきて、畑地が売りに出され、宅地開発が進んだ。それを危惧した宮内庁は昭和 39 年に周辺の農地を購入して付属農場とし景観保護を図った⁸⁾。現在は、近隣の農家には敷地内の耕作を許可しているそうだ。修学院離宮に広がる田園風景も、実は人の手によって守られ、維持されてきた貴重なものであることを教えられた。



写真 28 稲束を稲木に干して天日で乾燥させる（同，10 月、「かけ終へし稲架の長さを見て憩う」轟蘆火）

世界最古の水田跡は、中国蘇州郊外にある「草鞋山遺跡^{そうあいざん}」で、今からおよそ 6000 年以上前のものとされている⁹⁾。日本列島では紀元前 10 世紀半ばには北部九州で稲作が始まり、約 650 年かけて東北地方の仙台、山形あたりまで伝播した¹⁰⁾。それから長い時間が流れ、多くの人々に受け継がれ、守られ、耕されてきた日本の水田、小学校の校庭や庭園の中に残された水田、天空の庭の水

田でも米作りが営まれている。一方では消えていく水田があることも忘れてはならない。

稲穂にできる実の数を数えた記録がある¹¹⁾。稲1株の稲穂からは1758個の実（もみ→玄米→白米の一粒）が得られている。これはお茶碗に半分ほどの量なので、お茶碗1杯分には、稲2株分の実が必要になる。私たちの食卓を満たすには、多くの稲が、水田が必要なのだ。失われていく水田があることを忘れないでほしい。

梅雨は、稲の分けつが進み大きく育つときだ。しかし恵みの雨は、「荒梅雨」といわれる大きな災害をもたらすこともある。大雨、早魃、冷夏、病害虫の発生など米づくりは厳しい自然環境の下で行われている。水田を見ると、今年もお米がたくさん収穫できるようにと豊作を祈る気持ちがわいてくる。子供たちにも米の生育を身近に見て、米の大切さ、食べられることへの感謝の思いをもってほしいと思う。

訪れた場所

1. 六本木ヒルズ「けやき坂コンプレックス」：東京都港区六本木6-10-2、大江戸線または日比谷線六本木駅下車、徒歩
2. 東京小石川後楽園：東京都文京区後楽園1-6-6、JR総武線飯田橋駅下車、徒歩
3. ケルネル田圃：東京都目黒区駒場2-19-70駒場野公園内、京王井の頭線東大駒場前駅下車、徒歩
4. 台北市立動物園の稲田：台北市文山区新光路二段30号、台北市地下鉄（MRT）文湖線動物園駅下車
5. 京都市動物園：京都市左京区岡崎法勝寺町岡崎公園内、京都市営地下鉄東西線蹴上駅下車、徒歩
6. 修学院離宮：京都府京都市左京区修学院藪添、叡山電車修学院駅から徒歩20分。事前申し込みは宮内庁京都事務所参観係りまで

参考資料

1. 飯村茂樹／白岩等監修：科学のアルバム・かがやくいのち20 イネ 米ができるまで、あかね書房（2014年）
2. 山口博喜：六本木ヒルズの田んぼ―都心に屋上水田ができるまで―、日本造園学会誌、68(1)69―70（2004年）
3. 小石川後楽園（第2版）、公益財団法人東京都公園協会発行（2013年）
4. 文部省編：名勝調査報告第3輯、文部省出版（昭和12年）
5. 東京市編：史蹟及名称小石川後楽園、東京市出版（昭和13年）
6. 修学院離宮、一般財団法人伝統文化保存協会発売・発行（平成28年）
7. 川瀬昇作：桂離宮・修学院離宮・仙洞御所 庭守の技と心、学芸出版社（2014年）
8. 宮内省監修：修学院離宮パンフレット、公益財団法人菊葉文化協会
9. 藤原宏志：稲作の起源を探る、岩波新書（1998年）
10. 新谷尚紀：「白米への憧れ 米とは何か」、関沢まゆみ編：「日本の食文化2米と餅」より引用、吉川弘文館（2019年）
11. 内山りゅう：しぜんのひみつ写真館6 ぜんぶわかる！イネ、ポプラ社（2016年）
12. 俳句引用 稲畑汀子編：ホトトギス新歳時記 改訂版、三省堂（2002年）



デンマークのストリートフード

デンマークの夏は6月くらいから本格的に始まり、7月には多くの人が長い休暇(3週間から4週間)をとります。北緯の高いデンマークでは夏の日が長く、湿度も温度も日本に比べると低いいため清々しく、まさにベストシーズンとなります。夏は晴ればビーチや運河沿い、湖など水辺に人が溢れ、太陽の光を楽しみます。

今回は、そんな夏の晴れた日に人々で賑わうデンマークのストリートフードを紹介したいと思います。

ストリートフードというと、屋台やトラックで売られる簡単な食事などのことですが、近年、ストリートフードまたはストリートキッチンという名前で、複数のお店が集まるフードコートのような場所がデンマークの各地にできています。そのお店の形態はモバイルのトラックが数台集まって、その周りに簡易テーブルが設けられているものや、簡単な店を構える固定タイプのものなどいろいろです。ストリートフードのフードコートは、夏のビーチで人気の場所や別荘などが多い場所、コペンハーゲンの中心地に近い人々の多く集まる場所など、いろいろなところにあります。食事時には多くの人で賑わい、人気を集めています。夏の晴れた日にはストリートフードを楽しみつつ、太陽の光にキラキラと輝くコペンハーゲンの運河や海を眺めながら贅沢なひと時を過ごすのもいいものです。

では、ストリートフードにはどのような食事があるのでしょうか。バーガーやピザなど洋食系のファーストフードはもちろんインド料理やタイ料理、中華料理などのアジア系の料理、サンドイッチやサラダ、ポケボールなどビーガンフードやヘルシーフード系の料理などがよく見かけられます。また、主食の他にはジュースやお酒などの飲み物系、アイスクリームやクレープ(こちらではパンケーキという)のようにスイーツ系があります。日本のクレープのように薄く、その中に砂糖やチョコ



運河ぞいひ日光浴の人々で賑わうため、ストリートフードの屋台も進出



夏のコペンハーゲンは、晴れの日には特に美しく、運河沿いは人々で賑わいます

コレート、バナナなどを入れて食べます。さらに、スムージーなどのデザート系など、様々なストリートキッチンが並ぶため若者から家族連れまで多くの人を楽しめる場所にもなります。デンマークでは、アジア系の料理も人気で、特にタイ料理などは若い世代だけでなく広い世代の支持を得ているようで、ストリートフードには欠かせません。コペンハーゲンの街中にあるストリートフードには、もちろん外国人も多いですが、地元デンマーク人にも人気なため、観光客ばかりの高価なレストランに行くより地元の雰囲気も味わえていいかもしれません。



ストリートフードといえば、アジア料理も人気
(写真はインド料理)

ストリートフードの価格は様々ですが基本的にはレストランより安く、一つの料理(一人分)が60～80 クローネ(1000円ちょっと～1500円くらい)で売られています。デンマークは最低賃金も高く、人件費も高いため、レストランなどのサービス産業は割高です。そのため、外食はあまり気軽にできるものではありませんが、ストリートフードであれば、カウンター越しに注文したものを自分で受け取り、自分で席を探して食べるので値段も手頃です。また、形式張っていないため子供やペットを連れていても気軽に食べられます。また、日本のファミリーレストランは、和食も洋食もあり、グループや家族全員がそれぞれ好きなものを食べられますが、デンマークではそのようなファミレスはないので、ストリートキッチンのフードコートがそのニーズを満たしているようでもあります。



ストリートフードのフードコート、夏の晴れた日には人々で賑わう

このように、ストリートフードのフードコートは、その価格と利便性が受けているのか、近年デンマークで増えてきているようです。特に夏には、外で食べるという楽しさがさらに追加されるので、たくさんの人で賑わっています。

野山の花

— 身近な山野草の食効・薬効 —

城西大学薬学部 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)

ノイバラ *Rosa multiflora* Thunb. var. *multiflora* (=*Rosa polyantha* Siebold et Zucc.) (バラ科 Rosaceae)

連絡先：城西大学薬学部生薬学教室
shiratak@josai.ac.jp

暑かった夏が過ぎ、秋風の吹く頃、野山を歩いていると、ほんのり赤味がかった小さな実をつけた棘の多いつる性の低木を見かけます。特に河原や原野などでこんもりした茂みをつくり、触れると鋭いとげが皮膚や衣服を刺します。ノイバラ（野茨、野薔薇）は北海道から本州、四国、九州までの川岸の茂み、原野、林縁などに生え、朝鮮半島や中国にも分布する落葉低木で、5～6月頃、枝先に5枚の白い花弁をもった直径約2cmの可憐な花を円錐状に多数つけ、周りにほのかな香りを漂わせます。雄しべは黄色で多数あり、雌しべは無毛。花柱はゆるやかに合着して柱状に



写真1 ノイバラ（花、遠景）



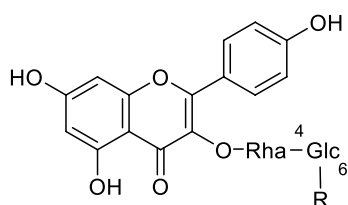
写真2 ノイバラ（花）



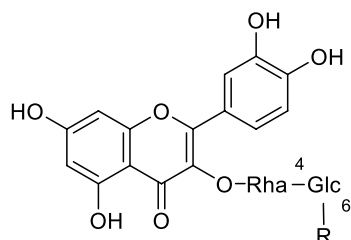
写真3 ノイバラ（果実）



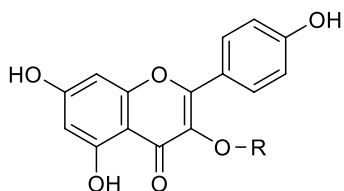
写真4 テリハノイバラ（花）



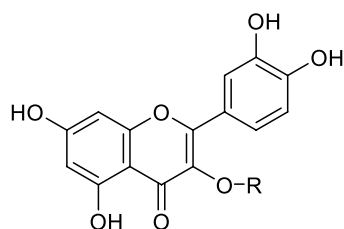
multiflorin A R
multiflorin B COCH₃
 H



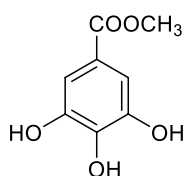
multinoside A R
multinoside B H
 Glc



kaempferol R
afzelin H
 Rha

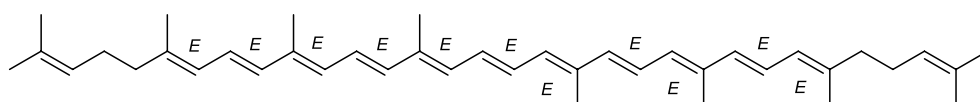


quercetin R
quercitrin H
 Rha



methyl gallate

Glc = D-glucose
Rha = L-rhamnose



lycopene

Double bond geometry as shown.

図1 成分の構造式

なり、花ののどの部分からつきでていて、萼筒は壺状で、萼片は広披針形。萼、小花柄、花序の軸には軟毛と腺毛が生えています。種小名の *multiflora* はラテン語で「花が多い」を意味しています。万葉集には、「^{うまら}荆」という植物が登場しますが、これはノイバラだといわれています。バラという和名は、この「ウマラ」が「マラ」になり、さらに訛って「バラ」になったそうです。秋、果実のように見える偽果は直径6～9mmの卵球形で9～11月に赤く熟します。中には長さ3～4mmの^{けんか}堅果が5～12個入っていて、完熟した果実は甘くて香りがよく、果実（偽果）はエイジツ（宮実、Rosae Fructus、偽果は玉宮実、堅果は宮実仁ともいわれます）といい、瀉下、利尿薬として家庭薬に用いられます。（現在、漢方薬としては、ほとんど用いられていません）。また、エイジツエキ스는、おでき、にきび、腫れ物に効果があるとして化粧品成分として利用されます。薬用には、偽果が深紅色に熟する少し前、多少青味があったものがある頃に採取し、日干しにするのが良いそうです。本草綱目を書いた李時珍によると、8月に採取するのを良しとしています。成分にはフラボノール（フラボノイドの一種）の kaempferol 配糖体である multiflorin A, B, afzelin, quercetin 配糖体の multinoside A, B, quercitrin、タンニンの分解産物と思われる methyl gallate、果皮の赤色素としてカロテノイドの lycopene などが報告され、multiflorin A には ED₅₀:30mg/kg という強い瀉下活性が認められています。

同属植物のテリハノイバラ *Rosa luciae* (= *R. wichuraiana*) は葉の表面にクチクラ層が発達しているため艶があり、花はノイバラより一回り大きく、花の数はノイバラほど多くありません。



写真5 生薬：エイジツ（宮実）、左：偽果、右：堅果

組織の活性化と人材の育成～

—分野を超えたコラボの必要性—

Improving the working environment and nurturing human resources: —Necessity of collaboration across fields—

坂上 宏 (SAKAGAMI Hiroshi)¹, 虻川 東嗣 (ABUKAWA Harutsugi)¹, 友村 美根子 (TOMOMURA Mineko)², 大石 隆介 (OISHI Ryusuke)³, 白瀧 義明 (SHIRATAKI Yoshiaki)⁴, 中谷 祥恵 (NAKATANI Sachie)⁴, 真殿 仁美 (MADONO Hitomi)⁵, 小川 由香里 (OGAWA Yukari)⁶, 天野 修司 (AMANO Shuji)⁶, 刀祢 重信 (TONE Shigenobu)⁷, 飯島 洋介 (IJIIMA Yosuke)⁸, 肖 黎 (XIAO Li)⁹, エンジェル・パウリノ (PAURINO Angel)¹⁰

¹ 明海大学歯学部, ² 明海大学保健医療学部, ³ 明海大学経済学部, ⁴ 城西大学薬学部, ⁵ 城西大学現代政策学部,

⁶ 日本医療科学大学保健医療学部, ⁷ 東京電機大学・理工学部, ⁸ 埼玉医科大学総合医療センター,

⁹ 日本歯科大学生命歯学部, ¹⁰ メキシコ国立自治大学

Key Words：組織の活性化 人材の育成 コラボ 大学連携 ダイバーシティ

Abstract

With the rapid progress in science and technology, competition to acquire scientific research funds has become much severe. In research conducted alone, it is difficult to get promising vision, and prepare all the consumables and equipment necessary for research. There is a limit to the development of individual research, and collaboration with many fields is important. The process of forming a collaboration between three adjacent universities and the future prospects will be described.

1. コラボ形成の足跡

急速な科学技術の進歩に伴い科学研究費の獲得は一段と厳しさを増してきた。一人で行なう研究では、ものの見方が十分でなく、研究に必要な消耗品や設備を全てそろえることは難しい。個別の研究の発展には限界があり、コラボが重要である。中国では、中国大陸だけに留まらず、EU やアフリカ大陸における中国の影響、世界における中国の立ち位置、といった複合的な視点に立つことが求められている。

筆頭著者 (HS) は、1997 年、明海大学歯学部歯科薬理学講座 (現薬理学分野) に赴任した。産学連携の研究所として明海薬医学研究室 (MPL) を立ち上げた。2017 年、退職と同時に MPL の後継の明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO) を創立し、現在に至っている。

コラボの形成の足跡を振り返ってみた (図 1)。

1990 年、ギリシャのマラソンで開催された第 3 回 Anticancer Research 会議におけるシンポジウムに招待された。ランチタイムに本橋登先生 (現、明治薬科大学名誉教授) 御一家と同席することができた。本橋先生のお知り合いの白瀧先生が明海大学と同じ敷地にある城西大学薬学部におられると聞き会いに行った。白瀧先生とは、1997 年の論文¹⁾を皮切りに、フラボノイド関連の論文を多数発表している。MPL に兼任勤務されていた友村美根子先生 (明海大学歯学部生化学) は、2010 年の論文²⁾を皮切りに、破骨細胞分化を抑制する天然物質の探索を開始した。白瀧研究室の鈴木先生や大学院生が植物から単離した様々な物質が送られてきた。城西大学薬学部の杉田先生、高尾先生の合成したク

ロモン誘導体が高い腫瘍選択性を持ち、ケラチノサイト毒性が抗癌剤よりも格段弱いこと、明治薬科植沢先生の協力により、腫瘍細胞の増殖阻害作用の機序と分子の形状に相関性の研究がなされた³⁾。

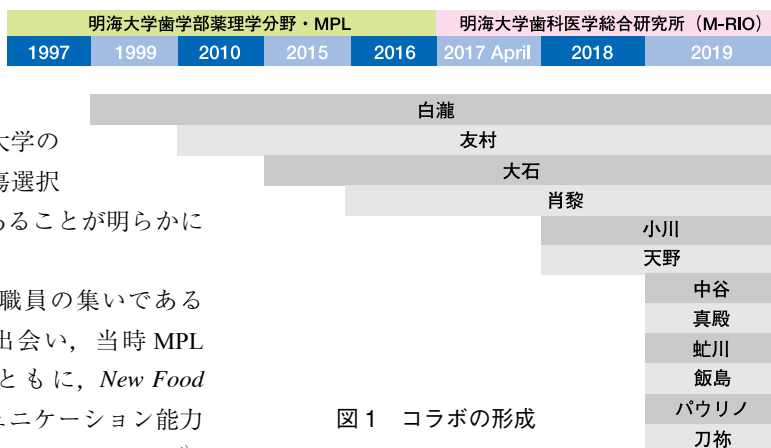


図1 コラボの形成

大石先生とは、明海大学職員の集いである
明友会（2015 年 12 月）で出会い、当時 MPL
職員であった生宏先生とともに、*New Food
Industry* 誌に、「国際的コミュニケーション能力
の重要性」のシリーズものをスタートさせた⁴⁾。
語学力が強力な武器になること、中国人とコラ
ボすることの重要性を認識した。姉妹校の第四
軍医大学（現航空軍医大学）の引率者と学生の
東京観光の付き添いを依頼された。中国語大使
館を訪問した折に、同時通訳をされた神崎龍志
先生（明海大学外国語学部）（図 2A）と出会い、
シリーズに参加していただくことになった⁵⁾。
イヌトウキの研究⁶⁾ でコラボをしているアピ
カ・コーポレーションの斎田圭子社長から、大
手広告代理店「電通」の初代北京事務所長、八
木信人先生を紹介していただいた（図 2B）。な
んと、神崎先生のお父様が、八木先生が中国通
信社におられた時の上司であり、神崎先生のお
母さまが、中国研究所中国語研修学校の中国語
の本科と別科の先生をされていた時、八木先生
も別科の先生をされておられたそう。

2016年8月26日に、札幌で開催された歯科基礎医学会で、私が座長を務めたセッションで、発表者の肖黎先生（日本歯科大学）のボスが三羽信比古先生であったことがわかり、吃驚した。実は、私は、三羽先生の「ビタミンCの

知られざる作用」という著書をバイブルのように読み、ビタミンCラジカルの研究にのめり込んだからだ。これが契機となり、肖黎先生とコラボすることになった^{7,8)}。治療不治の肺癌患者であった私の父の治療に使用した sodium 5,6-benzylidene-L-ascorbate (SBA) の分解産物が、ビタミンCと benzaldehyde であることを突き止め、benzaldehyde が癌細胞の TCA サイクルをブロックすることを発見した⁹⁾。肖黎先生の依頼により、2018年2月より、上海中医薬大学と一緒に博士号を取得した史海霞先生を1年間、M-RIOで研究指導することになった^{10,11)}。史先生とは、週3回ほど、高麗川沿いの城西大学グラウンド周囲の舗装道路をジョギングした。帰り道、城西大学の守衛さんに挨拶をしていた時、台湾出身の聶清輝先生が笑みを浮かべて近寄ってきた。なんと、聶先生は、上海交通大学で博士号を取得したそうだ。3人で明海大学の学食でランチを取った(図2C)。私だけに、偶然の出会いが多いはずがない。私以外の方にも、同様に、同じ確率で偶然の出会いが起ころうは



図2 (A) 神崎先生, (B) 齋田社長と八木信人先生, (C) 史先生と譽先生



図3 高麗川添いにある城西大学、明海大学歯学部、日本医療科学大学

ずであると考えた。もっと、コラボのネットワークを広げるために働きかけたかった。

2. 東武東上線は出会いの場

2018年7月3日 城西大学にて城西大学、明海大学、日本医療科学大学の3大学で連携協力協定が締結された。この協定は、各大学の建学の精神を尊重し、教育・研究活動の包括的な交流と連携・協力を推進し、教育・研究の一層の進展に資することを目的としている。3大学は、徒歩5分もあれば通える範囲内にあるためコラボには最適だ(図3)。

西武新宿線の中井駅を4:50の始発で出発すると、池袋発5:30発の東武東上線の急行に乗ることができる。朝のこの東武東上線内で、筆頭著者はこれまでに埼玉医科大学の教授2名、女子栄養大学の先生1名、朝帰りの女性1名を、降車駅で寝過ごす前に起こしてあげた。鶴瀬駅

から乗車される中谷(なかや)儀一郎先生(日本医療科学大学学部長)とは、よく実験の相談をするようになった。X線照射実験を担当していただけるようになった。明海大学の学食では、日本医療科学大学の小川由香里先生(生化学)、天野修司先生(国際政治)とお会いでき、ようやくコラボができそうな雰囲気になってきた。さらに、帰宅時に乗った東武東上線でお会いした城西大学薬学部の中谷(なかたに)祥恵先生、古旗賢二先生には、guest editorとして編集を頼まれた*Medicines*誌の特別号の原稿の1章の執筆を持ちかけたところ、快く承諾していただいた¹²⁾。

3. いよいよ第1回目のコラボ会議

そんな折、まず、「老化と放射線」ならば、3大学でまとまった研究ができるのではないかと話し合いが進み、小川先生が研究代表者となった研究「放射線による老化と抗酸化物質の役割」



図4 第一回コラボ会議参加者(2019.3.20)

が、日本医療科学大学で学長特別研究費として採択され、共同研究費を取得することができた。この研究には、中谷 S 先生、古旗先生、中谷 G 先生、徳永千尋先生（日本医療科学大学）が参加する。現在、3 大学のメンバーで、X 線照射による細胞傷害と抗酸化剤による保護効果の研究を開始し¹³⁾、論文を執筆中である。

文系のコラボを進めたいと思い、国際政治が専門の天野先生、経済学が専門の大石先生、医療経済学に興味をお持ちの虻川東嗣先生（明海大学歯学部口腔外科）、それから、中谷 S 先生から紹介された真殿仁美先生（城西大学現代政策学）にも参加を呼び掛けた。真殿先生は、中国に対する造詣が深い。

3 月 20 日に明海大学歯学部の第 3 会議室で、第一回目のコラボ会議を開催した。オブザーバーとして、最近、井出利憲先生の綬章お祝い会でお知り合いになった東京電機大学理工学部の刀祢重信先生、埼玉医科大学総合医療セン

ターの飯島洋介先生、メキシコ国立自治大学の大学院修士課程在籍中のエンジェル・パウリノにも参加していただいた。以下の研究項目のグループ毎に会合、シンポジウムや共同研究を行い、毎年 1 回、本誌に成果を報告することが決定された。

- 放射線による老化と抗酸化物質の役割
- 漢方の作用メカニズム
- 発生と分化におけるシグナル伝達
- 抗癌剤の開発
- キトサンの生理作用
- ダイバーシティーの必要性
- 医療組織の経営と運営に関する経済的視点からの分析
- 中国との友好関係の樹立

第 2 回目のコラボ会議では、これから 1 年間の成果についての経過報告をする。

参考文献

1. Motohashi N, Kawase M, Kurihara T, Shirataki Y, Kamata K, Nakashima H, Premanathan M, Arakaki R, Kanbara K, Ramanan S, Satoh K, Sakagami H, Saito S and Nakamura T: Relationship between radical intensity and biological activity of cacao husk extracts. *Anticancer Res* **19**: 1125-1130, 1999.
2. Hasegawa H, Kido S, Tomomura M, Fujimoto K, Ohi M, Kiyomura M, Kanagae H, Inaba A, Sakagami H and Tomomura A: Serum calcium-decreasing factor, caldecrin, inhibits osteoclast differentiation by suppression of NFATc1 activity. *J Biol Chem* **285** (33): 25448-25457, 2010.
3. 坂上 宏, 史海霞, 永井純子, 植沢芳広, 高尾浩一, 杉田義昭: クロモン誘導体の新規抗癌剤としての可能性, *New Food Industry* **61**(1): 11-18, 2019.
4. 坂上宏, 生宏, 大石隆介, 国際的コミュニケーション能力の重要性 一語学力は強力な武器になる— *New Food Industry* **58** (7): 81-94, 2016.
5. 坂上宏, 儲慶, 戴秋娟, 大石隆介, 神崎龍志: 国際的コミュニケーション能力の重要性 (3) 一日中関係の改善を目指して— Importance of international communication capability (3) - how to improve the Japan-China relation. 跨文化交流能力の重要性 (3) — 旨在改善日中関係—, *New Food Industry* **58** (11): 59-74, 2016.
6. 斎田圭子, 斎田悟, 八幡由花紫, 三間修, 青木晃, Zhagentkhan Abylaiuly, Bolshakova SB, Bogenbayeva GA, Dalenov ED, 福地邦彦, 坂上 宏: イヌトウキの神経保護作用と臨床効果, *New Food Industry* **60** (7): 39-48, 2018.
7. 坂上宏, 戴秋娟, 肖黎, 郑燕, 大石隆介, 神崎龍志, 土田幸広, 中井延美, ガルシア - コントレラス レネ: 国際的コミュニケーション能力の重要性 (6) 一ストレス社会における健康管理法—, *New Food Industry* **60** (6): 57-69, 2018.
8. 坂上宏, 肖黎, 戴秋娟, 大石隆介, 神崎龍志: 国際的コミュニケーション能力の重要性 (4) — 「中国料理」に見られる日本と中国における嗜好の相違—, *New Food Industry* **59** (6): 71-93, 2017.

9. Sakagami H, Sugimoto M, Kanda Y, Murakami Y, Amano O, Saitoh J and Kochi A: Changes in metabolic profiles of human oral cells by benzylidene ascorbates and eugenol. *Medicines* 2018, **5** (4): 116; <https://doi.org/10.3390/medicines5040116>
10. Shi H, Nagai J, Sakatsume T, Bandow K, Okudaira N, Uesawa Y, Sakagami H, Tomomura M, Tomomura A, Takao K and Sugita Y: Quantitative structure–cytotoxicity relationship of 3-(*N*-cyclicamino) chromone derivatives. *Anticancer Res* **38**: 4459-4467, 2018.
11. 史海霞, 阎泽昆, 韦博森, 坂上 宏: 世界の学食 (3) — 上海交通大学一, *New Food Industry* **60** (9): 43-49, 2018.
12. Ara T, Nakatani S, Kobata K, Sogawa N and Sogawa C: The biological efficacy of natural products against acute and chronic inflammatory diseases in the oral region. *Medicines* 2018, **5** (4): 122; <https://doi.org/10.3390/medicines5040122>
13. 坂上宏, 中谷儀一郎, 小川由香里, 白戸亮吉, 上田大輔, 延澤忠真, 中谷祥恵, 古旗賢二, 松田玲於奈, 田村暢章, 竹島浩: X線照射誘導性細胞傷害に対する抗酸化剤の保護効果, 第140回日本薬理学会関東部会抄録, 東京, 2019年7月

連絡先: 坂上 宏 (Hiroshi Sakagami)

明海大学歯科医学総合研究所 (M-RIO)

Tel: 049-279-2758 (Office), 049-279-2787 (M-RIO) (dial-in);

Cell phone: 090-1219-1393

e-mail: sakagami@dent.meikai.ac.jp

Research map <http://researchmap.jp/read0025533/>

Orchid: <https://orcid.org/0000-0001-8001-2121>

好評発売中

- A5版 / 248ページ
- 定価：(本体 3,500円 + 税)
- 発行：食品資材研究会



■ 著者 / 山口 正義 (やまぐち まさよし)

骨の健康と食因子

骨粗鬆症の予防と修復へのアプローチ

- 第1章 ホルモンと生体機能調節
- 第2章 ホルモンの細胞内への情報伝達とそのしくみ
- 第3章 カルシウム代謝とそのホルモン調節
- 第4章 骨代謝とそのホルモン調節
- 第5章 老化と骨カルシウムホメオスタシス
- 第6章 栄養性ミネラルと骨粗鬆症の予防
- 第7章 生体微量元素と骨粗鬆症の予防
- 第8章 骨粗鬆症を予防する食品由来生理活性因子
- 第9章 骨粗鬆症を予防する食品素材
- 第10章 複合食因子の骨効果と新規サプリメントの開発

◆ご注文は FAX またはメールにて **FAX:042-312-0845** info@nfi-llc.co.jp

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

ニューフードインダストリー 第61巻 第9号

印刷 令和 元年 8月25日
発行 令和 元年 9月1日
発行人 渡邊 力
編集人 今西 和政
発行所 エヌエフアイ合同会社
〒185-0012 東京都国分寺市本町3-7-23-302
TEL: 042-312-0836(代表)
FAX: 042-312-0845
振込先: 三井住友銀行 国分寺支店 普通2312814
多摩信用金庫 国分寺支店 普通3073817
ゆうちょ銀行 〇一九店 当座0324817

印刷所 株式会社メイク
定価 本体2,000円 + 税 (送料100円)

e-mail: newfood@newfoodindustry.com