

独立行政法人食品総合研究所の近未来

食品総合研究所 理事長 鈴木 建 夫

序に代えて

農林水産省傘下の19の農業関係試験研究場所は、行政付置機関となる農業政策研究所を除き、6つの独立行政法人に組織替えとなった。水産、林野関連研究所を含め8つの独立行政法人が農林水産研究での新機軸を模索することになった。

とはいえ、農業技術研究機構や林水の大所帯に比べ、単独での出発を行う食品総合研究所は131名（研究職員107名）の弱小集団である。

嘆いてもいられないので、「山椒は小粒でも」「一寸の虫にも」、「窮鼠ネコを嘯む（?）」と、勇を鼓舞して一騎当千を狙ってみたい。

流行のチビッコ軍団ミニモニのような特色ある活動で大ブレイクし、5年後の評価ではアルマジロよろしく大法人の陰で小さくなって、弾が当たらないように頑張りたい。

器の充実

大学の偉い先生から、国研は大学に比べて金持ちだからうらやましい限りであるとの話を伺った。

大学の禄を長いこと食んでいた身で確かにと思う反面、一部の中途半端な施設や機械の多いことに驚いたことがある。大学の研究費は確かに少ない。

しかしながら、一方で削っても、超豪華で先進性の高い装置を具備している。これが全体の起爆剤となり、研究全体の嵩上げに繋がってきた。翻って、国研などでは中途半端で、さして使用頻度の高くない装置を多く抱え、勿論、税金で購入したものであるにもかかわらず、「抱え込む」研究者が散見された（希望的観測も含め過去形です!）。

食総研でも、既にご視察賜った方々の多くにはご理解いただいていると思うが、研究のレベル全体を上げるための施設の機械を導入し、また、産学官共同研究の場として多人数が切磋琢磨できるような実験室の提案をしてきた。

主として若手の研究者の方々の意見を採り入れながらの設計であったため、ご批判の方々もおられたように聞いている。

しかし、年寄りが未来への責任を取れるはずもなく、今後何十年か勤められる若い方々の意見を尊重すべきであると考えた。

ともあれ、270、300、500、600、800MHzと各種の目的にかなった核磁気共鳴装置やガスマス、液クロマス、マスマス、FTMS、TOF-MSなどの質量分析装置、原子間力顕微鏡など各種の新鋭機器群は、多分、きっと、確実に成果を出してくれるだろうと期待している。

産との連携

日本の産業界は、穿った見方でもあろうが、相互成長型のgive and takeは少なくtake and takeが多いようである。

特に、情報収集力抜群の大企業（わが国では3.5%）の一部は、実に迅速に要点を押さえ、「お人好し」の我が研究者からエッセンスを聞き出し、2度と現れることがない。それなら、96.5%の、基礎研究などをしておられぬ食品産業と連携を持ちたいと考え、JAS認定工場のリストを農林水産消費技術センターのご協力を得て入手した。

センターは小樽から門司まで全国8ヶ所ありフランチャイズ方式で研究会を作って3,000~4,000社の加入を期待したい。趣旨に賛同いただける都道府県試験研究機関、食品産業センター、消費技術センターに、当研究所が加わり、大学の協力も得ながらの連携を模索したい。

従来の地域農業試験場を中心とした連携では、農林水産業（生産）が中心となり齟齬が解決できないままになると考えられるが、その理由である。食総研の場合、生産部門との連携は、当面コメ、ムギ、ダイズ、そして安全性の分野を中心に、なおかつ現有勢力で対応できる技術に限って進めたい。

3,000人近くの研究者の成果を、僅か107人で、食品産業に繋ぐのは、残念ながら不可能であるし、おこがましい。

学との連携

大学からは農や食の文字が消えている。より基礎的分野の研究が大学の使命であることは論を待たないが、一方では実学である農学の、社会に対する即応性にも期待したい。

遺伝子工学などの研究が新展開を図ることについては異を唱えないが、そのおかげで食品の安全・加工・流通・貯蔵など本質的な分野の研究が遅滞気味であることも否定できない。

長鳴や王が全盛であった頃。スポーツと言えば野球を指し、今は盛んなサッカーなど、他の競技に運動神経抜群の学生が興味を示すことは少なかった。

幸い、大学も独立法人化を視野に入れた改革を行いつつある。「国家の盛衰は、その国民の食べ方の如何による」とは、フランスの生理学者でグルメの元祖とも言えるブリア・サヴァランの言であるが、食を軽んじない方向付けが欲しい。

農林水産業の国内総生産は約9兆5千億円であるのに対し、食品産業は88兆円もある。通常いわれる両輪の関係どこか、食料という4輪駆動車の大部分は食品産業であることを念頭にいた議論が欲しい。

食総研にとって、目的達成のために連携大学院制度を利用した食品研究の深化は魅力である。

現在、筑波大学とお茶の水女子大学の2大学と連携大学院契約を結んでいるが、やはり地の利の良い茨城大学、優秀な栄養士を輩出している女子栄養大学に加え、優秀な学生を「貸して」くれそうな東京理科大学を対象にした連携大学（院）を行いたい。相補的、かつ、飛躍的な向上を期待しよう。

官との連携

今回の省庁再編では、食品産業の振興も所掌する総合食料局がいわゆる筆頭局になった。また、技術会議設置法（5ヶ条）の中でも従来はなかった「食品産業」の文言（4ヶ所）が盛り込まれるなど、食品研究がより重要視されてきたと考えたい。

公立試験機関では残念ながら二極化しているように思われる。食品研究のための組織を戦略的に考えて地場産業に資そうとするケースと、効率重視の工業の一部と考えられて埋没されてしまうケースとである。

どちらも自治体それぞれの事情によるものではあるが、消費者の立場を考えた上でのことであって欲しい。

食総研では、行政の付置検査機関であった農林水産省消費技術センター、肥飼料検査所、農薬検査所などとも連携を密にしたいと考えている。それぞれに独立行政法人となったが、それぞれが民間関連検査機関との競合が熾烈になってくると考えられる。しかしながら、新JAS法など関連法規を持っているのは羨ましい限りである。

食総研の基礎的研究能力と、行政付置検査機関であった際の「人脈」と実績を、相補的に活用しあえば、消費者にとって極めて有意義なものになると考える。

結びに

タイトルにもあるように、本文の内容には「予測」が含まれることをご看過いただきたい。

また、もっとも大切に考えるべきは、卓上に載せる料理である「研究成果」である。今日も食べて美味しい料理、「食い付きの良い」料理を並べるよう関係者にはお願いしたが、皆さんの判断に待ちたい。

講演にあたり

公開講演会座長 食品工学部長 名 和 義 彦

食生活を通じた健康の維持・増進が今日の私たち国民の大きな関心事となっています。そのような中で、食品の安全性確保と品質管理の徹底を図りながら、環境維持・リサイクルなども視野に入れ、限られた資源を有効に利用しつつ消費者のニーズに合った多様な食品をできる限り自前で製造、加工し、流通させ、安定して供給することが求められています。同時に、消費者が食品・商品を選択・購入できるための情報提供や表示に関して、新しい手法が必要となっています。

ここ2、3年、食品総合研究所の本公開講演会では、食品の安全性について、食と健康の科学的な解析について、有用な微生物・酵素の優れた役割について、などのテーマを取り上げてきましたが、今回は、食品工学（計測、製造・加工、流通）面での研究成果を取り上げ、「最先端の計測・加工技術で食品のかくれた姿、良さを探る」と題して、5つの話題を提供させていただきます。

講演その①は、『サラサラ血液・ドロドロ血液－血液の流れで測る人の健康と食品の効果』です。

血の巡りが悪いといったあまり嬉しくない表現がありますが、私たちはこれまで自分の血液の流れを自分の目で見たことはありませんでした。人工的に「毛細血管」を造り出せなかったことが大きな一因ですが、半導体微細加工技術がそれを解決しました。人工的なミクロの流路に血液を通してその流れ方を観察したところ、健康と食品の関係について思わぬことが判りました。ここでは、食品の今まで見えなかった姿、秘密、パワーを探ります。

講演その②は、『ミクロ粒子に変身した油、その利用』です。

人工的ミクロ流路の応用研究から新しい食品加工技術の糸口が得られました。すなわち、このミクロな流路に油を通し、圧力をかけて水中に押し出したところ、安定で極めて微細な油滴懸濁液（乳濁液）が得られました。乳製品などの食品において乳濁液（エマルション）は大変重要な状態の一つですが、ここでは油の新しい姿とその新たな応用性や用途の可能性を探ります。

講演その③は、『ナノテクで見る・測るゲノムと食品』です。

ミクロより小さい、ナノの世界を観察することにより食品の隠れた秘密を知ろうとする場合、今までは電子顕微鏡がよく使われてきました。この場合、検査試料を見やすくするために過酷な処理がなされます。そのため、結果として、いわば「生の状態」のものは観られませんでした。そこで新しい手法・装置を探す中で、原子間力顕微鏡の有用性に注目してみました。ここでは、新手法を駆使し、食品中のゲノムやデンプン粒など微細構造体のナノレベルでの生の姿・状態を探ります。

講演その④は、『おいしさの成分を立体で見る』です。

お米は普通、玄米を精米処理して炊きます。また、清酒造りのなかではお米を仁丹のようになるまで削って仕込む場合があります。これらは、お米の粒の中の味に関係する成分の種類とその分布の違いを利用しているのです。しかし、じつは、どの成分がどの場所にどのように分布、存在しているのか、まだ誰も観たことはありませんでした。ここでは、新たに開発した手法を駆使し、おいしさの成分を3次的に映像化・可視化し、今まで見えなかったお米の新たな姿を探ります。

講演その⑤は、『顔が見える、声が聞ける農産物情報ネットワーク（VIPS）』です。

私たちが購入する食品（農産物）は、どのような人が、どのような場所で、どんな手入れをして育て、どのような基準で収穫しているのでしょうか。また、最適購入時期（熟度）はいつ頃がいいのでしょうか。これらのことを私たちは、今までほとんど知ることができませんでした。生産者も十分な情報提供ができていませんでした。しかし、新しい流通システムがそれを解決しました。ここでは、今まで見えなかった食品の内なる姿や良さを探り、付加価値と呼ぶ新しいシステムを紹介します。

食品産業は、今や90兆円近い規模の産業となり、私たちの生活、すなわち衣食住において名実ともに重要な位置・関係を築いています。本日はご紹介する最先端の技術が少しでも役立つことを期待し、できる限り易しい言葉で紹介させていただきたいと思います。

サラサラ血液・ドロドロ血液－血液の流れで測る人の健康と食品の効果

企画調整部 マイクロチャネルアレイ工学チーム長 菊池 佑二

1. はじめに

少し細長い六角形と六角形との間を血液がサラサラと、あるいは、ドロドロと流れる映像が最近良くテレビに映って、多くの人が目にしています。私も一緒に映ったり、映らなかったりしています。血液サラサラ、ドロドロは流行になりつつあります。

私自身は、研究者として、血液サラサラ、ドロドロという言い方は好きでないのですが、今となつてはどうしようもありません。正しい理解が伝わるようにして、悪徳商法などに利用されないように努めなければなりません。

そういう訳で、血液サラサラ、ドロドロは私のオリジナルではありませんが、それを定量的に、また、目に見えて良く分かるようにした技術と装置は私のオリジナルです。装置はMC-FANと名付けました。ある食品を食べたり飲んだりするとドロドロと流れていた血液がサラサラと流れるように変わる、何の説明も要らないものですから、これほどテレビ向きのものはありません。取材が多くなって研究が妨げられるようになってきましたが、自分の研究が播いた種ですので、忙しいからといって自分から断ることは致しません。

断らないのにはもう一つ理由があります。MC-FANが予防医学の進展のために極めて重要だと確信しているからです。医学・医療の世界に広めていくためにまたとない宣伝になります。患者さんに「ここではどうして測れないのか？」ときかれれば、病院も考えざるを得ないはずです。医師もMC-FANに注目せざるを得ないはずです。

血液サラサラ、ドロドロとは毛細血管を血液が円滑に流れるかどうかということです。毛細血管では中を流れる赤血球や白血球の方が血管より大きいという信じられない条件になっています。血液が円滑に流れる方が不思議です。その毛細血管を血液が円滑に流れていれば健康が維持され、円滑に流れないことが増えてくると生活習慣病が発症してくると私は考えています。まず、毛細血管の重要性を改めて確認することから始めます。

2. 60兆個の細胞の生存を支える総延長10万kmの毛細血管

われわれの身体は60兆個の細胞からできているといわれます。この値は、もちろん実測された値ではありません。60kgの成人の体積60ℓを組織細胞1個の平均体積 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ で割ることにより出てきます。とにかく、この大変な数の細胞に酸素と栄養分を供給しているのが全身くまなく張り巡らされた毛細血管です。その総延長は10万kmと計算されます。これも血管の総延長として良く使われる数値です。計算は少し難しくなりますので省略します。毛細血管以外の血管と心臓は毛細血管に血液を循環させるためにあるといって間違いではありません。

毛細血管は全身の細胞が最大に酸素を要求した場合でも酸素を十分供給できるように張り巡らされ

ています。毛細血管の総本数は1500～1600億本になりますが、安静時に使われているのは約130億本と10分の1以下です。心臓や脳など常時活発に活動している組織では毛細血管はいつも一杯近く使われています。

毛細血管がつまったり、さらに本数が減ったりして、組織の毛細血管血流量が低下すると、局所的なあるいは一過性の組織の低酸素状態が出現し、組織の機能は様々な程度に障害されることとなります。軽いものは不調・不定愁訴となり、重いものは疾患となり、加齢と共に進むのが老化であると考えられます。

生活習慣病の要因に関して様々な議論が行われていますが、私は毛細血管血流の低下が生活習慣病を進行させると考えています。生活習慣病には多かれ少なかれ動脈硬化が関係しますし、動脈硬化自体が生活習慣病です。その動脈の血管壁も毛細血管で養われています。その血流低下が動脈硬化の進行に関係しているはずで、これは多くの研究者が見落としている点です。そして、その血流を低下させる一番の原因になるのが「ドロドロ血液」です。

3. 毛細血管モデルで明らかになったサラサラ血液、ドロドロ血液

毛細血管の平均径6 μm に対して赤血球（両凹円盤状）の径はヒトで約8 μm あります。なぜこのような逆転関係にあるのか理由は明確になっていませんが、赤血球は変形しなければ毛細血管を通過できません。そのため、赤血球は外力を受けると極めて容易にその力に応じた形に変形できる特性を持っています。すなわち、その高い変形能によって赤血球は僅かな抵抗で毛細血管を通過できるわけです。白血球は赤血球より大きく、さらに大きく変形して毛細血管を通過します。このような壁と強く接触する条件下では変形能に加えて壁との粘着性が通過抵抗を大きく左右することになります。血小板は2～3 μm の大きさで全く抵抗なく通過できますが、相互に凝集すると直ちに毛細血管を閉塞してしまいます。

ですから、何らかの原因で赤血球の変形能が低下したり、白血球の粘着能が増加したり、血小板の凝集能が増加したりすると、血液は毛細血管を円滑に流れなくなってしまうのです。すなわち、サラサラ状態からドロドロ状態に変化してしまいます。

このような毛細血管での血流の状況を明瞭に示してくれるのが、われわれが開発した毛細血管モデルです。シリコンの単結晶基板表面に毛細血管とほぼ同じ巾（7 μm ）の微細な溝を多数（8736本）並列に加工し、ガラス基板で漏れのないように覆った構造です。加工精度が高いことに加えて、流路を通過する血液細胞の挙動をガラス基板越しに顕微鏡で観察できること、全流路を通過する流量を正確に測定できることが利点・特徴です。

毛細血管を通過する際の血液の流動性に極めて大きな個人差があることがこの毛細血管モデルを用いて初めて明らかになりました。健康を自認している男性および女性から採血した全血試料（ヘパリンで抗凝固）を20cm水柱差で流し、100 μl の通過時間を求めた結果を図1に示します。各被験者の通過時間を横棒で示し、短い順に下から並べたグラフです。通過時間が短いほど流動性が高いことを意味します。男性では40秒から60秒の間に、女性では35秒から50秒の間に多くが分布しました。通

過時間が60秒を越す例では血小板凝集が顕著であり、通過時間の延長の大部分は血小板凝集塊によって流路が閉塞された結果です。女性の血液が男性の血液より流れやすいことが明らかなです。流れの悪い場合と良い場合の観察例を図2に示しました。

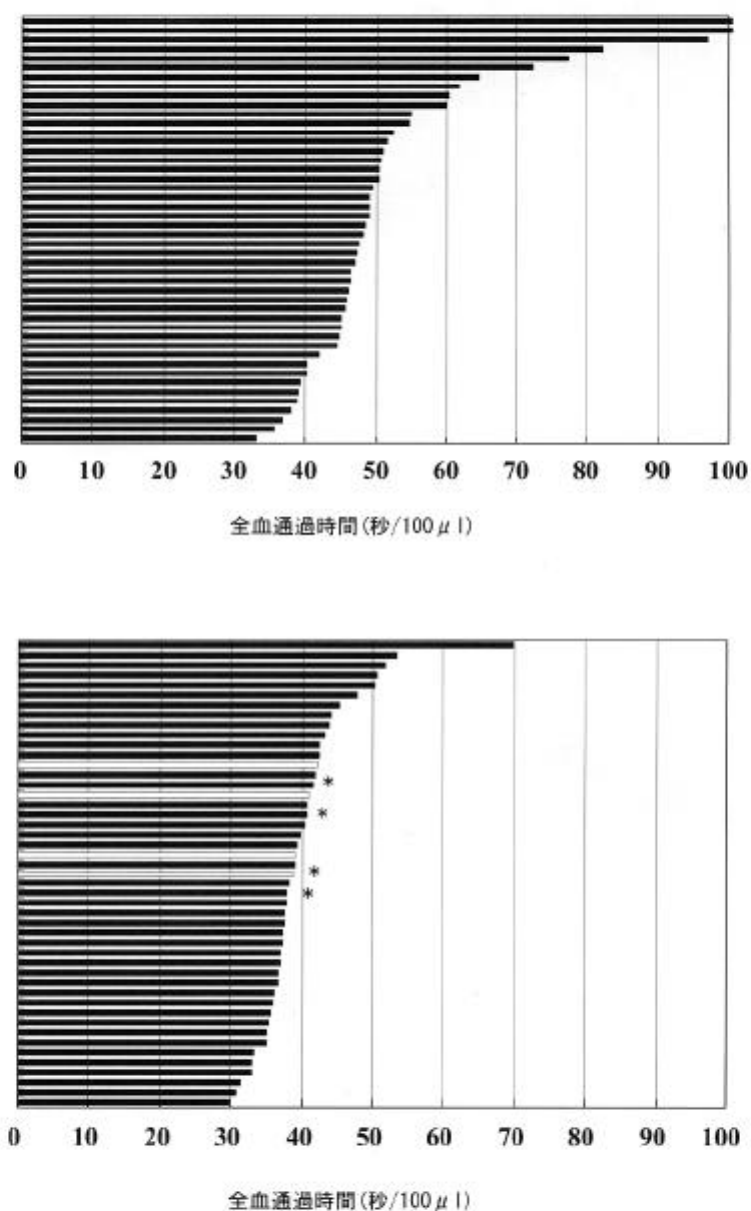


図1 健康者における全血通過時間の分布（上段：男、下段：女、*65歳以上）

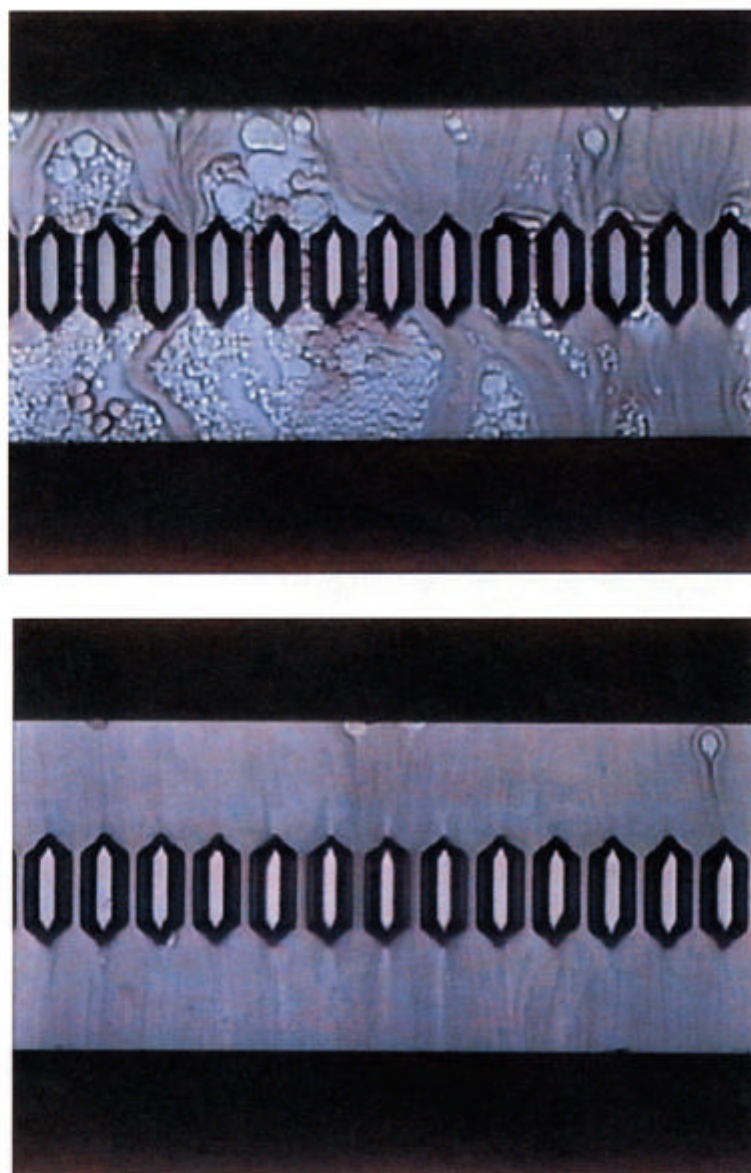


図2 毛細血管モデルを通過する全血の流れ
(上段：黒豆煮汁を飲む前、下段：黒豆煮汁を飲んだ後)

4. 黒豆煮汁、梅干し、そば、ビール、などなどによって血液がサラサラに

図2は黒豆煮汁を飲んだ前後のある被験者の全血試料の流れの比較です（後は飲んでから1時間後）。前で血小板の凝集が顕著であり、後でその抑制が明らかです。黒豆約50gを水約500mlと共に、まず強火で沸騰させ、その後弱火で30－40分煮詰めて得た100ml前後の煮汁を使用しました。15例の被験者について、全血通過時間の変化を図3に示しました。飲む前の通過時間の長い例、すなわち血小板凝集が顕著な例で、通過時間の著明な短縮が得られています。変化のない例、僅かに通過時間が増加した例もありましたが、いずれも飲む前の流れが悪くない場合です。

梅干し、そば、ビールなどにも血液の流れを良くする効果が見られました。

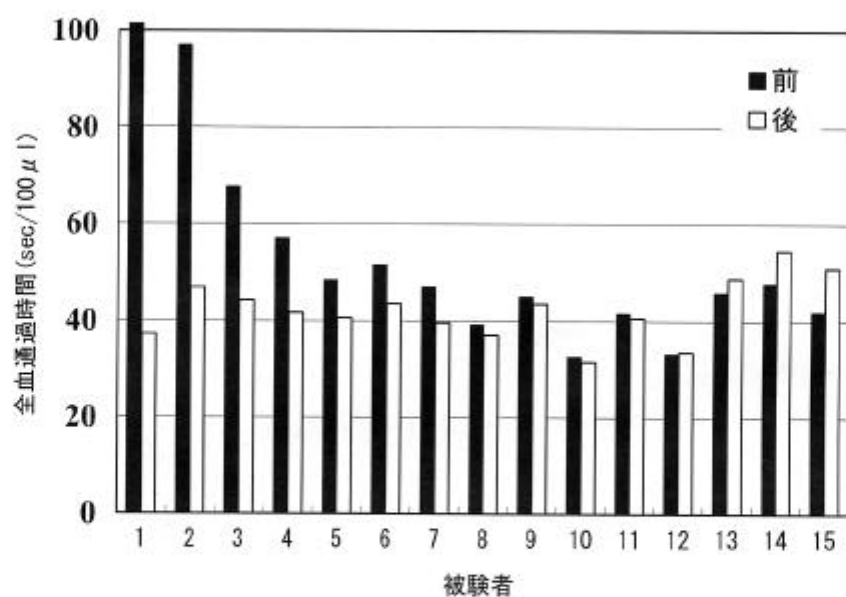


図3 黒豆煮汁1回摂取による全血通過時間の変化

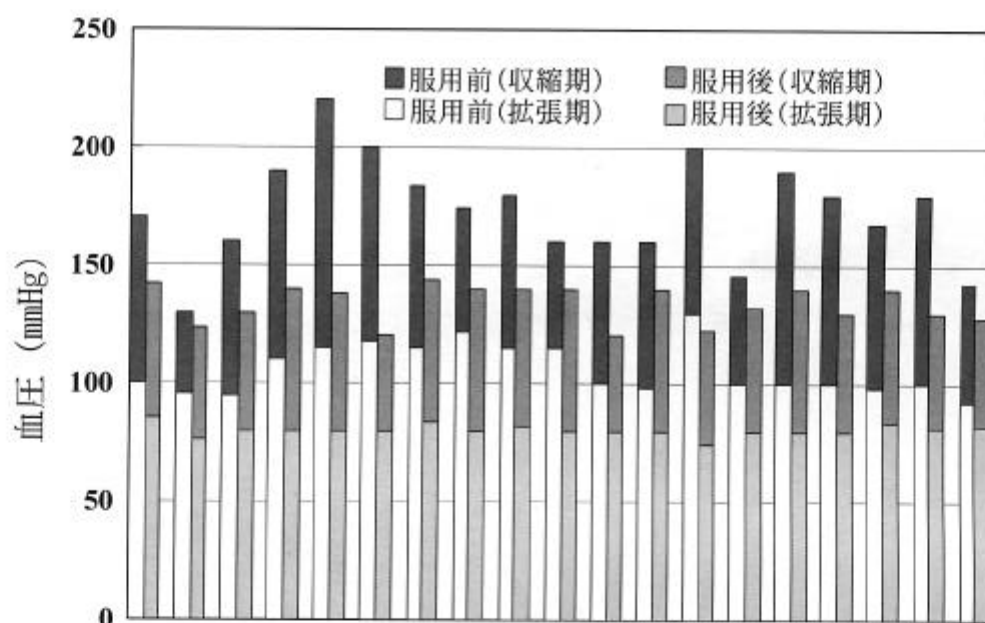


図4 黒豆煮汁継続摂取による高血圧患者の血圧の低下

5. 続けて飲むと血圧も下がった

兵庫県加古川市の野崎医師は、高血圧の患者さんに駄目元で黒豆煮汁を飲み続けてもらったところ、2週間から3ヶ月間で血圧が下がることを観察されました。その成績の一部を図4に示します。境界型をはるかに越えた高血圧が正常血圧の範囲内に下がっています。「なぜ下がるのか理由が分からない。血液の流動性が改善されたのでは？」と野崎先生がわれわれの所に来られたのがこの共同研究の始まりでした。

6. 血液サラサラ、ドロドロと高血圧との関係

高血圧の大部分は原因がはっきりしない本態性高血圧と呼ばれるものです。何らかの原因で血液が流れにくい状況があり、それを補償するために血圧を上げた状態と考えられます。高血圧を作り出している状態すなわち小動脈が収縮した状態も血液の流れにくい状況を作り、悪循環が形成されることになります。これまで考慮されなかったことは、高血圧が血液の流動性を低下させる可能性です。血液の流れにくい状況に対して血圧を上げて無理に流す結果、血液細胞にかかる力学的ストレスが増加することになります。特に血小板は力学的ストレスに感受性であり、凝集能を高める結果になります。したがって、高血圧と血液流動性の低下の間にも悪循環が形成されるわけです。

高血圧は動脈硬化を促進することが知られていますが、血液流動性の低下による血管内皮の傷害と血管壁の毛細血管の血流低下による血管壁代謝障害が理由として推定されます。血圧が高く、また毛細血管モデルを用いた測定でいつも血液通過時間が延長している場合は、動脈硬化のリスクがより高いと考えられます。

降圧剤を飲むことは対症療法に過ぎません。血圧の上昇と血液流動性の低下との間の悪循環を断つことこそ本来の治療であり、まさに黒豆煮汁はこの悪循環を断って血圧を下げたと考えられます。

7. 血液サラサラ、ドロドロと活性酸素傷害との関係

活性酸素による酸化傷害が多くの疾患の原因であるとする考えが研究者のコンセンサスになっています。例えば、酸化変性LDLをマクロファージが際限なく食べて泡沫細胞化することが動脈の粥状硬化の原因であるとされています。活性酸素の生成は避けられないことであり、また、現在でもその脅威が減っていない感染症の防御には白血球による活性酸素の産生が不可欠です。したがって、抗酸化性物質を多く摂取することが疾患の予防の決め手になるはずですが、食品・食品成分の機能性も専ら抗酸化性により評価されることになりました。しかし、抗酸化性物質の代表格であるβ-カロテン、ビタミンE、ビタミンCなどの積極的な摂取により、冠動脈の粥状硬化が原因になる虚血性心疾患の発症が低下するかどうかを大々的に調べた研究では良い結果は得られていません。

活性酸素傷害は実際には虚血-再還流に伴って生じると考えられます。生体は本来活性酸素に対して十分な防御能力を備えています。その防御能力を越えて活性酸素が生成される可能性があるのは、放射線被爆等を除いて上記の白血球が産生する場合だけです。活性酸素に対する防御能力は組織の代謝に依存します。循環が途絶えると防御能力が著しく低下し、その後循環が再開され白血球による活性酸素が加わると組織傷害が起きてきます。虚血再還流障害として知られている事態です。

毛細血管モデルを用いた測定から、活性化した白血球あるいは血小板の凝集塊が一過性に毛細血管を閉塞する事態、すなわち局所的な虚血-再還流が比較的頻繁に起きていることが推測されます。白血球の粘着能や血小板の凝集能を抑制してそのような事態を減らすことこそ活性酸素傷害を防ぐ決め手になるはずですが。

8. おわりに

毛細血管が活性化した白血球や血小板の凝集塊で長時間閉塞されると毛細血管自体が壊死します。一過性でも活性酸素傷害が進むことになります。ですから、毛細血管の本数が次第に減ってくることが予想されます。皮膚の毛細血管が減ると、弾力性がなくなり、カサカサになったり、しわになったりするのですが、その変化は見た目には明らかです。血管壁を養う毛細血管が減ると血管壁に同様な変化が起きると考えられます。それが恐らく動脈硬化の本態ではないでしょうか。そうするとコレステロールも蓄まってきます。これまでいわれてきたこととは反対に、コレステロールが血管が動脈硬化でポロポロになるのを防いでくれている可能性も十分考えられます。

血漿コレステロールを低下させるために大変な努力が払われてきましたが、それが無意味だったとしたらさらに大変な問題になってしまいます。

血液を常にサラサラに保つことができれば、動脈硬化の進行を遅らせることができるはずです。生活習慣病の進行を遅らせることができるはずです。その管理には毛細血管モデルによる測定が不可欠です。われわれの毛細血管モデル装置を普及させようと私は一生懸命です。

ミクロ粒子に変身した油、その利用

食品工学部 反応分離工学研究室・特別研究員 岩 本 悟 志

「水と油」という言葉を聞いて、みなさんは何を連想するでしょうか。水と油は仲が悪い、混ざらない、その他いろんなことを連想されるでしょう。

「あぶら」を辞書でひくと『普通、水にとけない透明な液体』と書いてあります。実際、水と油を試験管に取り、振ると一時的には混ざりますが、すぐに別々に分かれてしまいます。これは、仲が悪い水と油の境界（界面）をたくさんつくってその面積を拡げるよりも、水と油に分かれて仲のよい同じもの同士がより集まって、界面の面積をずっと小さくした方が安定なためです。

ところが、水と油に界面活性剤を入れて振ると、水と油が混ざって牛乳のように白く濁って来ます。この現象を乳化と呼び、出来た液体のことをエマルションと言います。このエマルションを拡大してやると、ミクロの油の粒子（分散相）が、水（連続相）に分散している様が観察できます。

私たちの身の回りにはエマルションが多く存在しています。牛乳やマヨネーズ、肌の保湿に使う乳液、ペンキ等々数え切れません。またファンデーションや液晶モニターに利用されているミクロのパウダー（高分子微粒子）はエマルションに薬品を添加したりして作られています。さらに最近では抗ガン剤を油に溶かしてエマルションを作りガン治療に役立てようとする試みも進んでいます。このようにミクロな油滴が分散したエマルションは我々の生活と切っても切れない重要な役割を担っています。

さてそれでは、食品や医薬品あるいは化成品工場でエマルションはどのように作られているのでしょうか。簡単に言いますとミキサーのような機械を使って水と油を攪拌してエマルションを作成しています。しかしながらこの方法では、1) 油粒子の大きさを変化させたり、大きさをそろえたりする事が難しく、2) 機械的に大きな力が働くためエネルギーが大量に消費されます。エマルションの安定性などの様々な性質は、油粒子の大きさやその分布に依存しますので、それらをコントロールすることが必要となってきています。きめ細やかなヨーグルトを作る、あるいはドラッグデリバリーシステムを構築する等々・・・

食品総合研究所では、半導体加工技術を駆使して作成したミクロの流路であるマイクロチャネル(MC)を使用して油粒子の大きさを自由自在にコントロール可能で、油粒子の大きさのそろったエマルションを作成することのできるマイクロチャネル乳化法を提案しました。今回の講演会ではこの新しい乳化法の紹介をします。

マイクロチャネル乳化法

マイクロチャネル乳化法とはMCを通して加圧した分散相（油）を連続相（水）に押し出すことによりエマルションを作成する方法です。MC乳化装置と装置内でおこる乳化の概略図を図1に示します。実験装置は、分散相（油）を供給する部分と連続相（水）の入った部分から構成されます。MC基板は、モジュール内で加工面をガラス面に圧着された状態で取り付けられており、図に示すように、MC壁の上部とガラス面を接触させることでMCが形成されます。MCの形、大きさはマイクロメートルの単位で制御することができます。油はポンプにより供給され、MCを通過することによりエマルションが生成されます。一連のエマルション作成の様子は、ガラス面から顕微鏡を介して、リアルタイムで観察することができます。

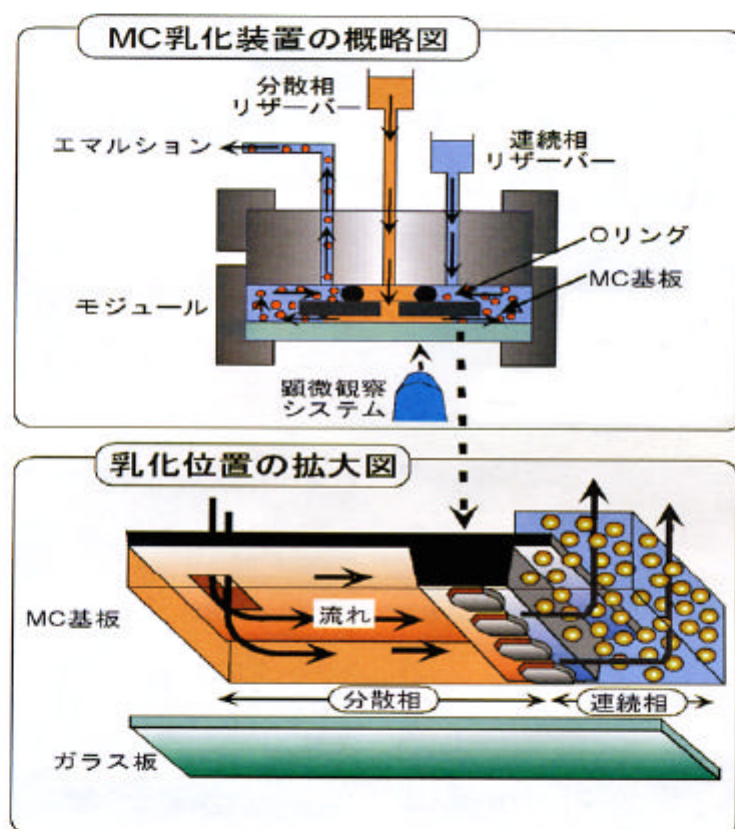


図1 MC乳化装置と乳化の概略図

次に実際のMC乳化挙動を示します。(図2) 供給圧力が0.42kPaに達したときに、油がMCの入り口まで侵入し、さらに圧力を上げていき、0.53kPaに達したときに油がMCを通過し、エマルションの生成が始まりました。このエマルションの作成が始まる圧力はブレイクスルー圧力と呼ばれています。

さらに圧力を上げていくとほぼ全てのMCからエマルションが作成されるようになりました。作成された油滴の平均径は $21.3\mu\text{m}$ でした。またこの方法によって得られたエマルションは数ヶ月の間、水と油に分離しませんでした。

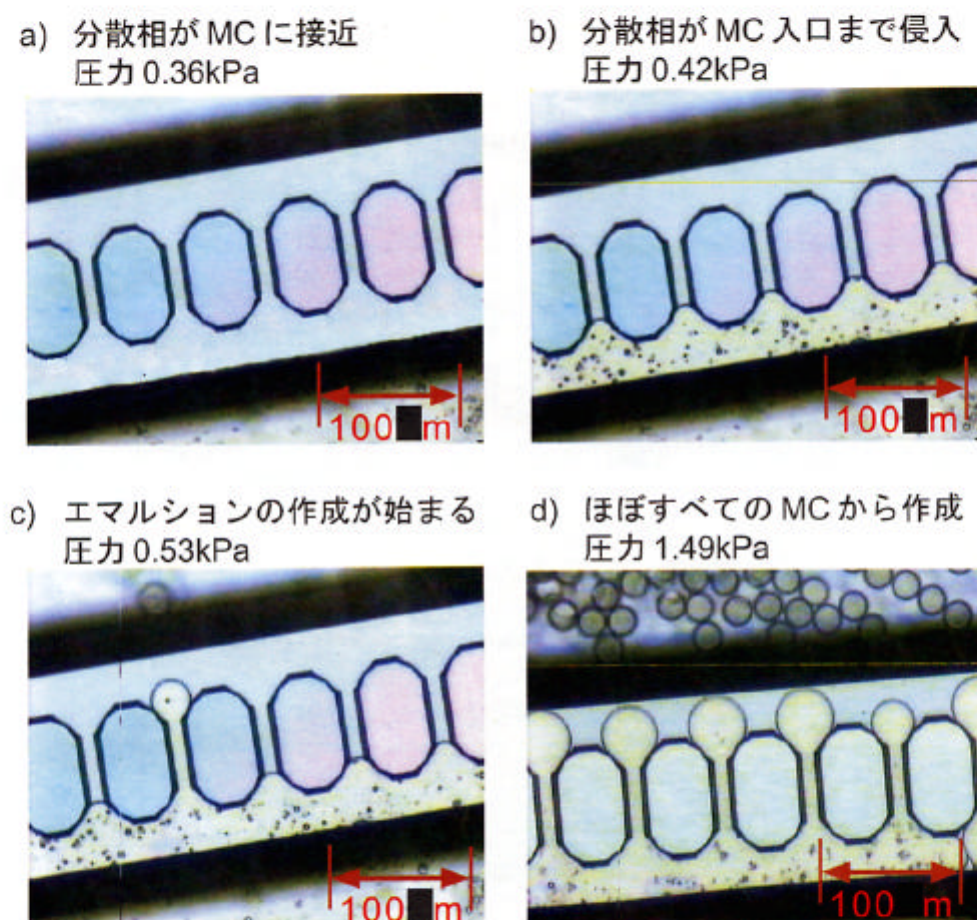


図2 エマルションの作成挙動

貫通型マイクロチャネル

最近では、マイクロモータなどの立体的なマイクロ構造物の作製が可能となってきました。私たちは、マイクロマシーニング技術を応用して大きさの等しいマイクロな貫通孔を持つ新たなマイクロチャネル（貫通型MC基板）を作成しました。貫通型MC基板では、MCの総数を大幅に増加できるため、生産性の向上が期待されます。貫通型MC基板の電子顕微鏡写真を図4に、作成されたエマルションを図5に示します。作成された油滴は平均滴径 $32.5\mu\text{m}$ で非常に大きさがそろっていました（図4）。この貫通型MC乳化法では、従来のMC乳化法の十倍以上の量のエマルションを得ることが出来ます。

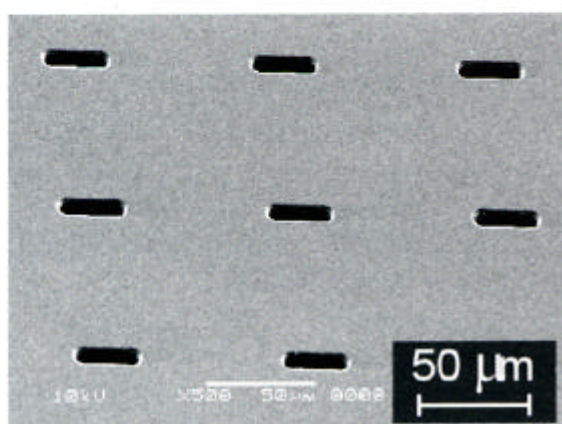


図3 長形状貫通型マイクロチャネル

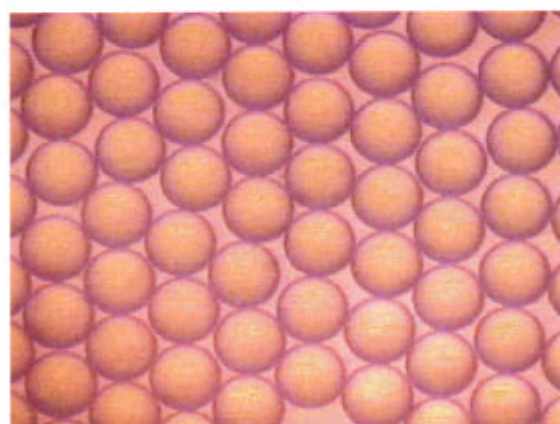


図4 ミクロの油粒子

おわりに

MC乳化法は、大きさのそろったエマルションを作るのに有効であること、さらには得られたエマルションが非常に安定であることがわかりいただけたと思います。私たちが提案した新しい乳化法により作成されたミクロの油がさらにすばらしい変身をして様々なミクロ粒子、すなわち、高分子微粒子、ゲルビーズ、マイクロカプセルなどになります。これらのミクロ粒子は食品や化成品、医薬品にわたるまで様々な可能性を秘めています。私たちは現在この大きさのそろったミクロの油が分散した“単分散エマルション”の応用研究を日々進めて、機能性マイクロ粒子の作成を目指しています。紹介した研究成果は、生研機構基礎研究推進事業（マイクロチャネル乳化による単分散マイクロスフィアの作成）の助成を受けたものであります。

ナノテクで見る・測るゲノムと食品

食品工学部 計測工学研究室長 大谷 敏郎

1. はじめに

最近、「ナノテク」や「ゲノム」という言葉を新聞などでよく見かけるようになりました。本日の演題のように、本当に「ナノテク」で「ゲノム」や食品を観察したり測定したりすることはできるのでしょうか？ そもそも「ナノテク」や「ゲノム」とはいったい何を指す言葉なのでしょう？

「ナノテク」とは「ナノテクノロジー」の略称です。次世代の基本的科学技術としてたいへん注目を集め、昨年来、世界各国で本格的に研究が開始されました。ところでこの「ナノ」とは何でしょうか？ 10センチメートルは0.1m、1センチ2ミリメートルは0.012mのことです。センチメートルは1メートルの百分の一、ミリメートルは千分の一を表します。「ナノ」はセンチやミリと同様に、元の何分の一を表すかの接頭語です。ここでのナノは長さの単位ですから、前述の例と同様に1メートルの何分の一になるかを示します。1メートルの千分の一がミリメートルでした。そのまた千分の一がマイクロメートル（ミクロン）で、さらにそのまた千分の一がナノメートルになります。乱暴に言ってしまうと「ナノテク」とは、原子の世界に限りなく近い十億分の一メートルの領域を対象にするテクノロジーということになります。

それでは「ゲノム」とは？

JIS(日本工業規格)によれば、「生命を維持できる最小限の遺伝子群を含む染色体の組」と定義されています。大雑把に言えば、生きていくのに必要不可欠な遺伝子全部を指します。このゲノムという用語も流行語で、DNAの塩基配列を解読することを広くゲノムサイエンスと呼んだり、次世代のライフサイエンスをポストゲノムなどと呼んでいます。

この「ナノテク」と「ゲノム」を結びつけば「時代の最先端！」と言いたいところですが、そうそう話は簡単ではありません。しかしながら「ナノテク」を応用することで、従来とは異なった観点から「ゲノム」を解析ができるということを本日はお話したいと思います。

一方、食品分野ではこれまで化学的な手法を中心に研究が行われ、数々の成果が得られ、多くの画期的な製品が生み出されています。さらに分析装置の発展と共に、従来のように化学成分を使った解析に加え、実際の食品内での存在形態までが論議されるようになってきました。また従来の電子顕微鏡では観察できなかった生の状態に近い微細な構造を計測したいという要望も多くなっています。「ナノテク」でこれらの問題を解決できる可能性があるということをお話するのも、本日のテーマの一つです。

2. 小さいものを見る方法

いくら目を凝らしても、肉眼で見えるのはせいぜい0.1mm程度です。虫眼鏡で見れば多少よく見えるようになりますが、そんなに大きく変わりません。小さいものを見るのにはやはり光学顕微鏡が一般的です。光学顕微鏡は光を使ってものをみているので、原理上、光の波長程度のものでしか見えません。人間の見える光の波長はだいたい0.5 μm 前後ですから、光学顕微鏡で見える大きさも0.5 μm 程度までということになります。

さらに細かく見るには電子顕微鏡を利用します。電子顕微鏡は文字通り電子を使ってものを見るので、電子が飛ぶことのできる真空のなかで観察する必要があります。そのために観察するものを予め乾燥しておきます。電子顕微鏡の観察では、数十倍から数万倍以上の倍率まで、自由な倍率で写真を撮ることができます。大きさで言えばmmからnmまでをカバーしますから、電子顕微鏡があれば小さい試料を観察するのには問題がないように思えます。確かに金属のような水を含まない試料では、乾燥させても構造が変わらないので問題が少ないのですが、生物試料のように大量に水を含む試料では、乾燥させる際に構造が大きく変化してしまう恐れがあります。また電子顕微鏡の種類によっては、試料の表面に金属の薄い膜をつける必要があり、この場合は倍率を上げると金属の膜自体が見えてしまい、あまり倍率を上げられないという問題も生じます。電子顕微鏡は長い歴史を持ち、生物試料であってもほとんど問題ないレベルまで技術が向上していますが、大気中あるいは液体中で μm 以下の領域を観察したいという要求はずっと続いていました。

この要求をある程度かなえることができるのが次に述べる原子間力顕微鏡です。

3. 原子間力顕微鏡とは

原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope, AFM) は、非常に高い分解能で物質の表面を見るまったく新しい方法として1986年に発明され、以後急速な進歩を遂げています。すでに材料科学の分野では、固体表面や薄膜表面の分子配列などのナノスケールの構造解析手法として多用されており、半導体製造時の検査装置としても利用されています。

AFMは、極めて鋭い先端を持つ探針で物体表面をなぞり（走査して）、その凹凸を記録し、コンピュータ上で凹凸のデータを地図のように画像として表示するのを基本的な動作原理としています。

AFMは探針と物質との間に働く反発力（総称して原子間力）を利用するため、生体試料のような絶縁体の測定が可能で、大気中や溶液中でも観察できます。また先端径が数十nm以下の探針を用いるため、電子顕微鏡相当の高い倍率の画像が得られ、得られた画像を立体に表示することも可能です。現在のところ、実用的な分解能は、大気中で高さ方向0.1nm (1Å) 程度、水平方向0.5nm程度、溶液中ではその十倍程度です。

電子顕微鏡以上の分解能を大気中または液体中で得られる手法は他になく、生体試料の構造をいわゆる「生」のままで測定できるので、生体試料の測定には重要な手法になってきました。

4. AFMによる観察例

(1) ゲノム

① DNA

DNAの二重らせんの観察はまだ一般的には難しい状況ですが、DNAファイバー自体の観察は比較的容易に行える段階にあります。基本的には、新たに劈開した雲母の表面にDNA溶液を滴下した後乾燥させるだけで観察が可能となります。適正に探針を制御すると、一般にDNAは高さが1 nm程度のひも状の構造として観察できますが、DNAの幅は探針先端の半径の影響を受け、5~20nm程度になります。

② 染色体

染色体は古くから光学顕微鏡で観察されてきました。そのため構造はすでに良く分かっているように思われていますが、細かい構造はほとんど分かっていません。光学顕微鏡で観察するには小さすぎ、電子顕微鏡での観察では前処理によって試料の構造が失われている恐れがあるからです。

AFMを使って、染色体全体の観察(図1左上)から順次走査範囲を狭めていったところ、一辺1 μm 以下の走査で20-30nm程度の超微粒子構造が観察できました(図1右下)。従来の走査型電子顕微鏡による観察に比べ、得られる画像が多少異なっています。電子顕微鏡観察に比べ金属をコーティングしていないので元の状態により近い構造を観察できたものと考えられます。

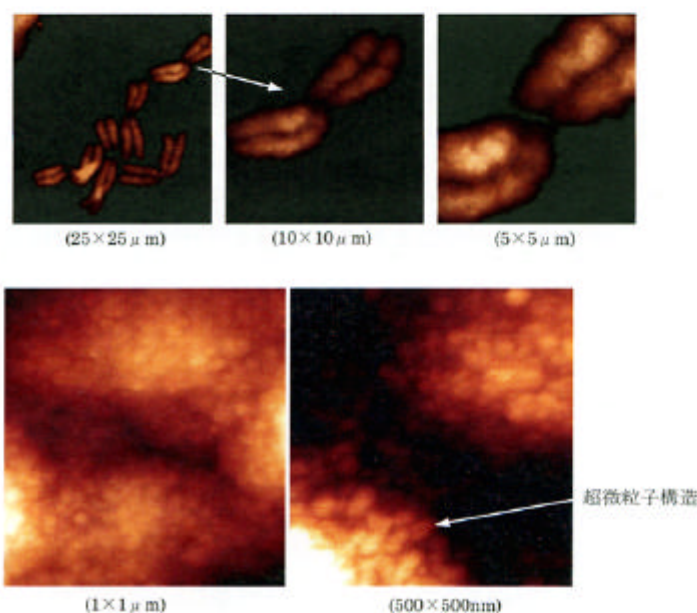


図1 染色体のAFM像

(2) 食品関連

① デンプン

デンプン粒子内の高次構造は化学分析や透過型電子顕微鏡により推定されていますが、電子顕微鏡観察では、試料の固定、切片の作成、染色などの煩雑な前処理が必要でした。図2に、AFMでデンプン粒子内の高次構造を観察した例¹²⁾を示します。水中でデンプン粒子を微粒子化した後、粒径が1 μm 以下の粒子を回収し、大気中でその表面を観察しました。図2左は通常の凹凸像、中央は凹凸のエッジ部分を強調した像です。これらの結果から、粒径が数十nm程度の超微粒子構造がデンプン粒子内に多数存在していることが容易に観察できました。また、これらの超微粒子が直鎖状に繋がって

いる構造（図2右）やレンガ状の構造も観察されました。

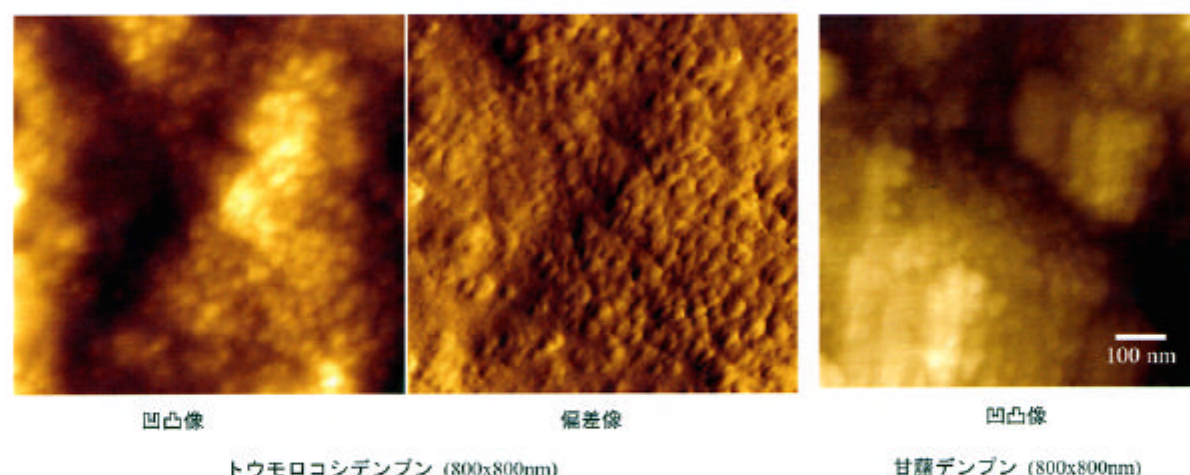


図2 デンプンの微細構造

② オオムギの細胞壁

AFMの特徴の一つに溶液中での観察があります。図3には、大麦子葉鞘細胞の表面を、液中でAFM観察した例³⁾を示します。切り出し直後の生の細胞(図3 A)に比べ、常圧大気中(図3 B)と0.38MPaのキセノンガス雰囲気下(図3 C)で保存した場合細かい凹凸が観察されました。一方、0.48MPaの保存した場合では(図3 D)凹凸は観察されず、切り出し直後と同等の細胞表面を維持していることが明らかになりました。さらに走査範囲を狭めて倍率を上げて観察した結果などから、細胞表面の微細な構造を保持できる、すなわち品質を保持できるキセノンガスの保存圧力条件が明らかになりました。

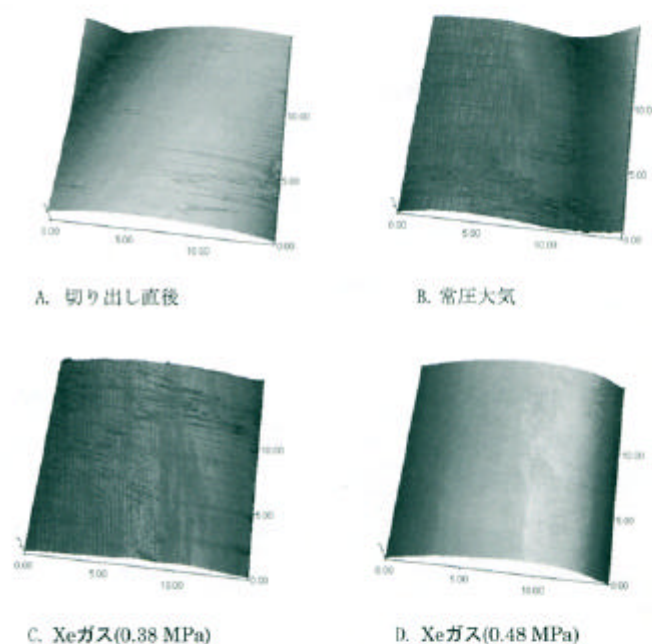


図3 大麦子葉鞘細胞表面の液中AFM観察

(3) その他

DNAの他、ヌクレオソーム、脂質二重層、タンパク質分子（コラーゲン分子やミオシン）などの生体高分子の観察も可能です。また細胞から単離したアクチンフィラメント、コラーゲン細線維、染色体などの立体微細構造解析も行われています。さらに細菌の表面タンパク質の微細配列の構造解析や生きた細胞の動的変化の連続観察など様々な分野に応用されています^{4,5)}。

5. これからのAFM – SNOM/AFM –^{9, 10)}

AFMによる生体試料の計測だけでも様々な新しい発見が期待できますが、探針を光ファイバーに置き換えてAFMによる画像に光の情報を加える研究も進んでいます。この光情報を得ることのできるAFMを走査型光プローブ原子間力顕微鏡(Scanning near-field optical microscope, SNOM/AFM)といいます。光の波長以下の分解能で測定を行う目的で、近接場(near-field)光と呼ばれる特殊な光を利用するためこのような名称になっています。なお、SNOMはNSOM(Near-field scanning optical microscope)と表記されることもあります。

光の情報は生体試料にとって、分光データを取得したり、蛍光ラベルの位置を測定したり多くの重要な情報を得ることができます。SNOM/AFMはAFMと並んで今後が期待される手法と考えています。

6. おわりに

AFMを使った生体試料への応用は最近になってようやく本格的に検討が始まりました。探針や装置の改良も進み、装置全体として安定性が向上してきたところで、AFMに適した試料の調整法が必要であることも明らかになってきています。装置の改良と試料調整法の改善が相互に補完することで、AFMを生体試料へ本格的に展開できるものと考えられます。

従来のAFMによる生体試料の観察は、「見えるところを見ている」場合が非常に多いのが実状でした。今後AFMは「見えるところを見ている」段階から「見たいところを見る」段階に、さらに「見たいところの機能を調べる」段階にさしかかっていると考えられます。

参考文献

- 1) T. Ohtani, T. Yoshino, T. Ushiki, S. Hagiwara and T. Maekawa : Atomic force microscopic imaging of rice starch granule structure in nanometer scale, *J. Electron Microscopy*, **49**, 487-489(2000).
- 2) T. Ohtani, T. Yoshino, S. Hagiwara and T. Maekawa : High-resolution imaging of starch granule structure using atomic force microscopy, *Starch/Stärke*, **52**, 150-153(2000).
- 3) T. Yoshino, I. Sotome, T. Ohtani, S. Isobe, S. Oshita and T. Maekawa : Observations of xenon gas-treated barley cells in solution by atomic force microscopy, *J. Electron Microscopy*, **49**, 483-486(2000).
- 4) 牛木辰男他 : 特集 原子間力顕微鏡、細胞、**31**、2-35(1999).
- 5) 安藤敏夫 : 原子間力顕微鏡とその応用 -液中にある生の生物試料の観察・走査・計測、細胞工学、**17**、458-468(1998).
- 6) 吉本護、吉田憲治 : 超平坦サファイア上で鎖状分子を見る -原子間力顕微鏡(AFM)でDNAやポリシランを観察する-、現代化学、**325**、24-30(1998).
- 7) 川合知二 : 走査型トンネル顕微鏡(STM)でDNAを操る、現代化学、**321**、25-33(1997).
- 8) 徳舂富由樹、竹安邦夫 : 生化学者にとっての原子間力顕微鏡、生化学、**69**、429-433(1997).
- 9) A. Meixner and H. Kneppel : Scanning near-field optical microscopy in cell biology and microbiology, *Cellular and Molecular Biology*, **44**, 673-688(1998).
- 10) M. Hausmann, B. Perner, A. Rapp, H. Scherethan and K. Greulich : NSOM Imaging of Labeled Mitotic and Meiotic Chromosomes, *Microscopy and Analysis*, May, 13-15(2001).

おいしさの成分を立体で見る

食品工学部 電磁波情報工学研究室・特別研究員 小川 幸春

・おいしさとは？

「おいしさ」とは何でしょうか。暑い夏の日の仕事帰り、のどカラカラの状態でギンギンに冷えた生ビールをグイッといく。さわやかな夏の朝、穫れたてのトマトをガブッと食べる。あるいは、まだラブラブの状況にある新婚家庭で、愛情いっぱいの手料理を二人きりで楽しく食べる。こんな時「うまいっ！」と表現される「おいしさ」を感じるのではないのでしょうか。普通、「おいしさ」とは感じるものであり、人間の感覚による主観的な形容を表す言葉です。したがって、主体である人間の状態や環境によって、例えば、日本人には中粒種の日本米がおいしいと感じられるのに、他の国の人にはおいしいと感じられない、といったように、その評価が変わってしまうこともあります。

「食品」は、生産、流通、販売などの過程を経て消費者に巡ってくる商品の一種です。したがって、「需要のあるものほど値段が高くなる」という経済の原則に従います。消費者は、『おいしくないもの』よりも『おいしいもの』が食べたいと考えるのが一般的です。このため「おいしさ」は購買のための重要な判断基準であり、「おいしいもの」ほど値段が高くなります。このことから、「商品」としての値段を決めるためには、食品の「おいしさ」を評価することが必要な条件となります。ところが、上述したように「おいしさ」の判断には人間の主観的な要素が介在します。

現在では、例えば米のおいしさを決める場合、大多数の人が「おいしい」と感じるものを「おいしいものである」と判定し、産地によるブランド化や生産・加工方法などを基準にして判断しています²⁾。このように「おいしさ」とは「味覚」が主となって判定されることがほとんどですが、野菜や果物などは、より簡単な評価基準である「見た目」の色や形などで「等級分け」し、差別化を行って価格を決定しています。図1は、食品の属性およびそれらの様々な要因（食嗜好）と、食行動との関連性を表したものです。「おいしさ」とは、これら複雑な要因が重なり合った結果、五感すべてによる感覚としてとらえられます。最近ではこれらの感覚を客観的に測定できるようにするための様々なセンサーが開発されています²⁾。また、より踏み込んだ方法として、おいしさを感じる人間の感覚を脳波などから直接調べて評価しようという「人間の感性」を基準にした研究（「感性工学」といわれています）も行われています³⁾。しかし、人間の感覚を客観的に評価することはとても困難なことであり、おいしさに関する研究の難しさもこの点にあります。

ところで、生物や農産物を含む食品は、物質としてその全部分が化学物質で構成されています。したがって、図1に示された食品の属性のほとんどが何らかのかたちで化学物質、つまり成分に関連することになります。例えば、食品の組成成分の比率が異なると、味覚として感知される食味が違ったものになってしまいます⁴⁾。このような食品の成分は、量を測定することで数値としてあらわすことが出来ます。つまり、食品中に含まれる多様な「成分」の種類や量を分析することで、「食品」を

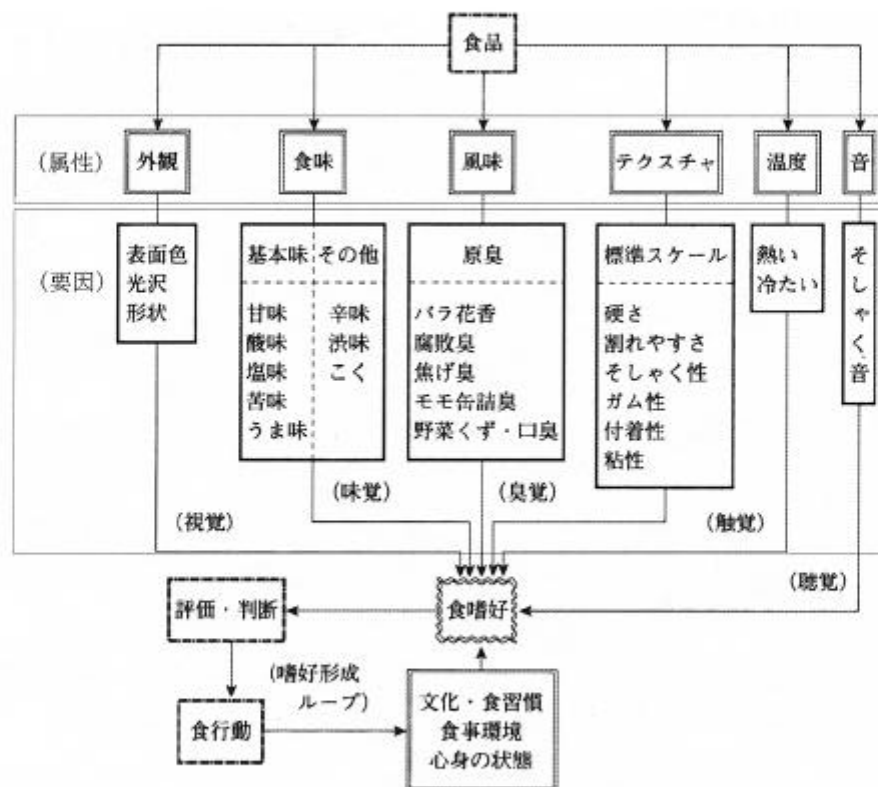


図1 食品の属性、要因と食行動¹⁾

客観的に評価することができます。食品の組成成分を分析する場合、普通は食品を破砕したり溶解させたりすることによって種類や量を測定し評価します。しかし、この世のものはすべて立体、すなわち3次元構造をもちます。したがって、食品の組成成分に対して真の評価を行うためには、対象となる食品成分の量や種類を調べるだけでなく、その成分の食品構造中における立体分布状態を評価、解析することが必要です。

では、どのようにすれば成分の食品構造中での分布状態を、しかも立体として観察することができるのか？これが今回の話の主題です。ここでは、穀類、特に日本人になじみの深い「米」を対象にして、成分の分布状態を立体で見ることに挑戦してみました。

・成分の分布状態を立体で見る方法

普通、生物の標本を観察する場合、対象物を光が透けるくらいに薄く切って顕微鏡で観察します。この操作を「切片化」、得られた薄片を「切片」と言います。切片化するためには「ミクロトーム」という装置を用います。ミクロトームは刃をスライドさせる機構と標本を少しずつ移動させる機構をもっており、ちょうどカンナで木を削るような動作で標本を切片化していきます（だいたい数 μ 単位の厚さに切片化できます）。切片化してしまえば、内部の状態、例えば様々な細胞組織やそれらが形作る各器官などが観察できるようになります。このようなミクロトームを使うことによって切片化された米粒の切片画像（胚乳部分）の一つを、例として図2に示します。画像中、米粒切片左上の周囲、

より白い部分は「胚」です。(右側にある二つの円形のもの、後で説明する「位置合わせ用標識」で、この場合は「そうめん」が薄く輪切りにされたものです)。しかし、図でも分かるように米粒の切片はほぼ白色であるため、切片上にどのような成分が分布しているのか直接観察することは出来ません。したがって、成分の分布状態を見るためには、まず成分を何らかのかたちで人間が観察できるようにしなければなりません。

食品に含まれる「成分」の多くは、それぞれに適合した固有の化学薬品を含む液体や気体と反応することで「着色」されてしまう性質があります。例えば、「デンプン」は「ヨウ

素の溶液」と混ぜ合わせることで紫色に着色されます。この性質を利用して、切片上での成分の分布状態を調べることが出来ます。このような、観察したい成分を着色する方法を「染色法」(難しく表現すると「組織化学的な染色」といわれています。以下簡単に「染色」と表します)と言います。例えば、切片上に存在するデンプンの分布状態を観察したい場合は、切片をヨウ素溶液に浸けた後、紫色に変色した部分を観察すればよいことになります。

ここで、もし、観察の対象となる食品を連続で切片化して、染色によって成分を着色したのち元通りの形状に重ね合わせることができれば、成分の分布状態を立体で観察できることになるのではないのでしょうか。つまり、「連続して切片化していくこと」と、「元通りに重ね合わせること」さえ解決すれば成分の分布状態を立体で観察できる、ということになります。

連続して切片化することは、マイクロトームの精度や刃の耐久性を向上させることで可能になります。しかし得られる切片の相対的な位置関係を何らかの方法で保持できるようにしておかないと、重ね合わせて立体にすることができません。逆に考えれば、次々と得られるたくさんの切片をバラバラにしなければいけません。この問題を解決するために、切片を粘着テープに貼り付けて次々に回収することを試みました。この方法の利点は、粘着テープ上に張り付いたものなら何でも同じ相対位置の関係を保つという点です。したがって、それぞれの切片の形状が異なっていたとしても、各切片間の相対的な位置関係を補正するための「標識」も一緒に切片化すれば、その標識を基準に重ね合わせることが出来ます。その結果、連続した各切片を切片化前の形状どおりに再現することが可能になります。実は、図2に示される切片は粘着テープ上に貼り付けられた状態の切片であり、右側にある二つの円形のものは切片の相対位置関係を補正するための標識なのです。位置合わせ用の標識も米粒の切片同様に粘着テープに貼り付けて固定されているので、連続した前後の切片との相対的な位置関係を補正することが出来ます。

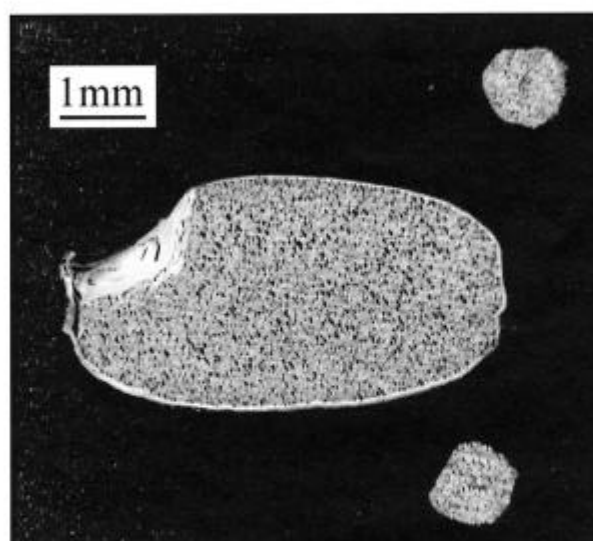


図2 ミクロトームによって切片化された米粒(胚乳部分)の切片画像

以上のように粘着テープ上に切片を貼り付け、位置合わせ用の標識を利用することでそれぞれの相対的な位置を補正しながら実際に各切片を元通りに重ね合わせることが出来ても、単に形状が再現されるだけで内部の様子を観察することは困難です。しかし、コンピュータによるデジタル技術（ここ数年よく耳にする「IT」のことです）を応用すれば、デジタルデータとして仮想的に重ね合わせることができます。さらに、目的に応じた様々な画像処理を行うこともできます。つまり、連続した各切片をそれぞれデジタル画像として記録し、コンピュータ内の仮想空間上で重ね合わせれば、仮想的に再現された立体の内部も観察することができる、ということになります。図3は、米粒の連続切片をデジタル画像として記録したのち、コンピュータ内の仮想空間上で立体に再現した状態（立体再構成画像）を表しています。米粒の左下に2本ある棒状のものは、位置合わせ用の標識を重ね合わせた結果再現された基準物になります（今回、基準物として使ったのは「そうめん」ですが、棒状で簡単に切片化できるものなら何でも基準物になります）。ちなみに、ここで用いた切片は染色を行っていないので、米粒中の成分の分布状態を観察することができません。単に切片化前の米粒の形状が立体でコンピュータ内に再現されているだけになります。

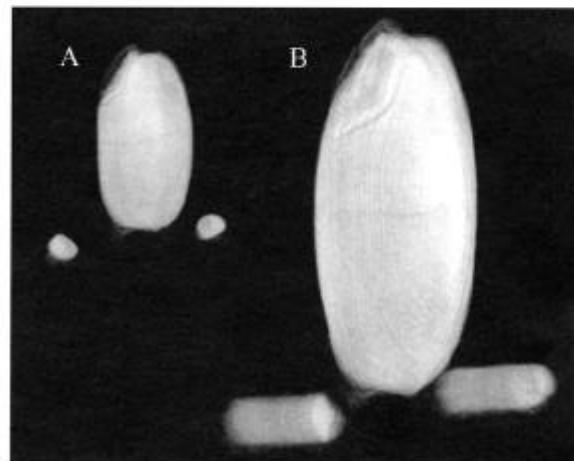


図3 米粒の連続切片画像を、コンピュータ内の仮想空間上で立体に再現した状態を表す画像

(A：切片の切断方向に対して垂直からの眺め、
B：斜めからの眺め)

以上に述べた、成分の分布状態を立体で見るための手法の概略を図4に示します。上述したように、「連続切片化」、「染色」、「デジタル画像化」、「3次元再構成」、の組合せによって成分分布が立体で観察できるようになります。

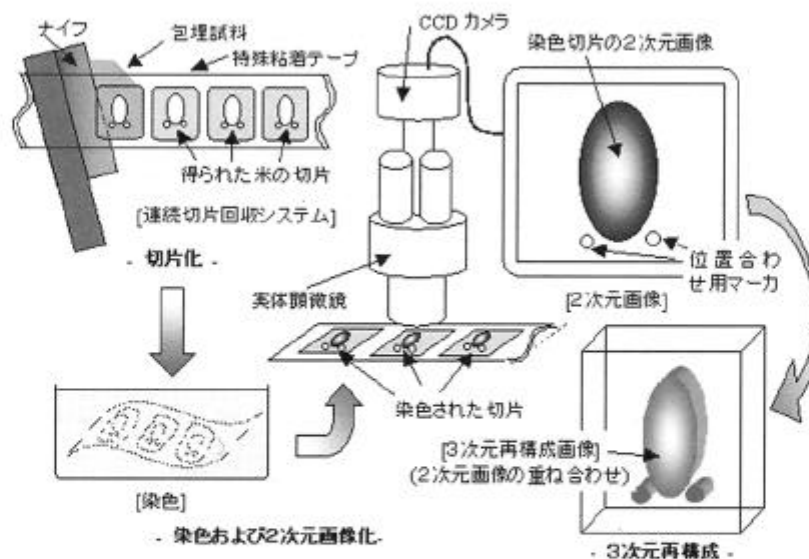


図4 米粒中の成分の分布状態を立体で見るための手法の概略

・米粒中の成分の立体分布状態

図5は、米粒の連続切片を染色したのちデジタル画像として記録し、コンピュータ内の仮想空間上で立体に再構成した立体データの画像を表します(図5-A)。再構成された立体はデジタルデータなので仮想的に分割することもできます(図5-B)。切片を染色するための方法としては、CBB(Commassie Brilliant Blue)溶液でタンパクを含む部分を青く着色し、ヨウ素溶液でデンプンを含む部分を紫色に着色しました。したがって図5では、米粒中のタンパク(青い部分)とデンプン(紫色の部分)の分布状態が立体で表されていることになります。ここに示した図では胚の部分と外皮部分が青く表示されているため、それぞれの部分にタンパクが存在することが観察できます。また、米粒内部は紫で表示されていることから、デンプンの分布部位は胚乳内部であることも分かります。

さらに、デジタルデータの利点を生かして様々なことが出来ます。例えば、指定した色の部分だけを抜き出して観察することも可能です。

この場合、青い部分と紫色の部分を分離すること、つまり、図6のように、タンパクの分布部位(図6-A)とデンプンの分布部位(図6-B)を分離することが出来ます。

以上のように、染色された連続切片をデジタルデータとして仮想的に再構成することで、成分の分布状態を立体で観察することが可能になりました。

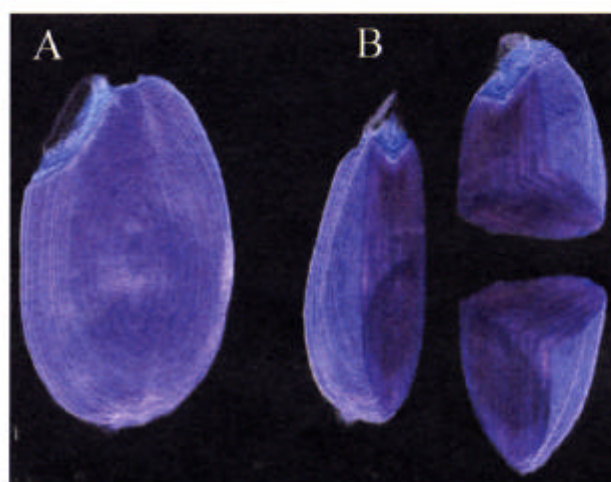


図5 米粒の連続切片画像の立体再構成
(A: 立体再構成像、B: Aの分割画像)

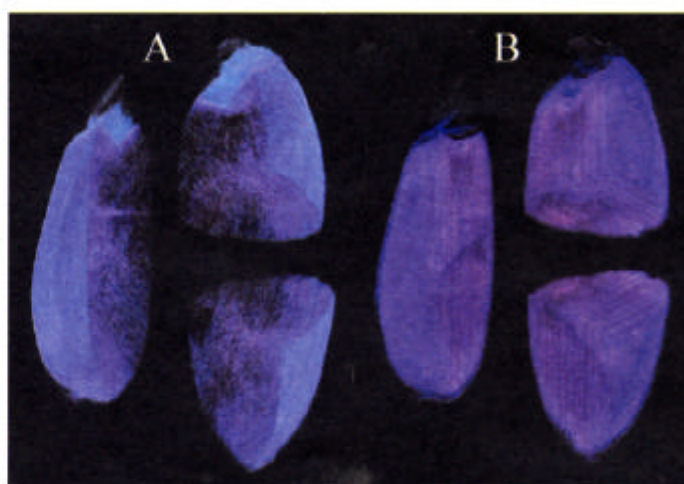


図6 米粒中のタンパクとデンプンの立体分布状態 (A: タンパク、B: デンプン)

・おいしさの評価への可能性

これまで説明してきた方法は、ごく一般的な「切片の染色による成分の可視化」という手法で観察できる点に特徴があります。したがって、染色などの操作によって可視化できる成分であるなら、それらの分布状態が立体で表現できることになります。また、デジタルデータとして解析することも可能であるため、成分が分布している状態を数値として評価することもできます。

今後、例えば、おいしさに影響を与えられている成分、特に各種のタンパクや脂質などの立体分布状態を観察し、おいしさの評価に役立てていければと考えています。

参考文献

- 1) 米の食味評価最前線、全国食糧検査協会 (1997)
- 2) 相良泰行編、食の先端科学、朝倉書店 (1999)
- 3) 相良泰行編、食品感性工学、朝倉書店 (1999)
- 4) 佐藤昌康、小川尚編、新編一味覚の科学、朝倉書店 (1997)

顔がみえる、声が聞ける 農産物情報ネットワーク（VIPS）の開発



食品工学部 電磁波情報工学研究室長 杉 山 純 一

1. はじめに

昨今のO-157による微生物汚染や牛乳の食中毒事件、異物混入等、健康を脅かす事件が次々と発生する一方で、輸入農産物の増加や残留農薬の問題、有機農産物の認証制度等を通じて、農産物そのものの履歴に対しての消費者の関心が非常に高まりつつある。本来、農産物は、工業製品と異なり、画一化が難しい産品である。逆に、そのことがブランド化を推し進められる要因であるはずだが、現実には、複雑な流通経路によってなかなかそれができないところに生産者、流通業者、消費者にそれぞれの悩みが生じている。すなわち、生産者側では、無農薬や有機栽培で丹精こめて作ってもなかなかそれに見合った価値で売り込むのがむずかしく、流通業者においては、他店舗との差別化や品質保証をしたいがその的確な手段がみつけれない、また消費者においては、ある程度高くても安全で付加価値のある農産物を購入したくても見極めたり購入したりする術がないといった状況である。これらの問題点は、端的にまとめてしまうと生産者側の情報が消費者に伝わらないという一言に尽きる。つまり農産物の履歴情報が現状の流通システムでは伝えられないのである。そこで、少し観点を変えて既存の流通システムはそのままにして、別に情報の流通経路を造ってしまおうというのが当研究室で開発している農産物ネット認証システム（Virtually Identified Produce System: 略称VIPS）である。

2. 農産物ネット認証システム（VIPS）

まず、具体的なイメージを描いてもらうために工業製品を例にとって説明してみたい。もともとはアメリカで宅配便の荷物のトラッキングシステムに端を発し、現在は、例えば図1にみられるようなパソコンにもその一例が見られる。すなわち、各製品に個別のID番号（ここでは、サービスタグナンバーと呼ばれる数字とアルファベットからなる7桁の番号）が割り振られ、その番号を既定のホームページから打ち込むことにより、自分の購入した製品の仕様と出荷日、写真が瞬時に示され、さらにその下には様々な付帯情報（ドライバのインストールの仕方やFAQ等）が見られる仕組みになっている。VIPSは、これと同様の仕組みを農産物にも導入しようというシステムである。しかし、農産物には工業製品とは異なった特有の難しさが生じる。1つは、情報の発信元がオンライン化された工場内ではなく、電話もない圃場あるいは農家であること。それともう1つは、企業のような統一ブランドがないためにアクセスするホームページが特定しづらいことである。それらを解決するために、図2のような仕組みを考えた。つまり、情報の発信のために、生産者が容易に使えるような専用のデータ入力・転送ソフトを開発すること、それと農産物に貼るラベルにID番号だけでなくアクセス先のホームページも記し、そのラベルをつけたまま農産物を出荷するということである。簡単な工夫で



図1. 工業製品の例

ID付与による農産物ネット認証システム

(Virtually Identified Produce System)

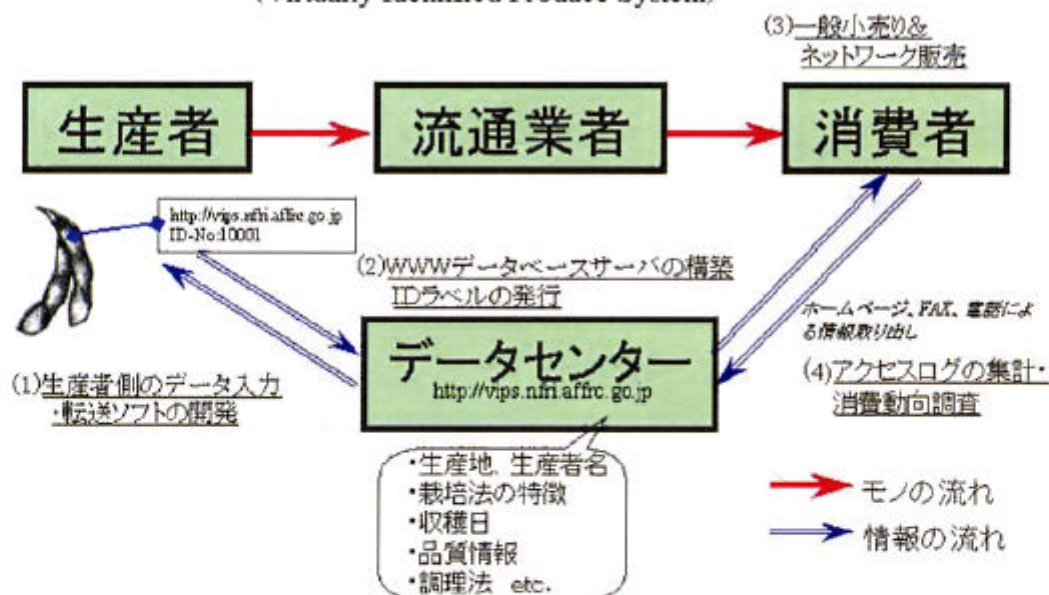


図2. 農産物ネット認証システム

あるが、その効果は絶大である。まず、物としての物流経路は従来と全く同じで行われる。しかし、生産者側から発せられる情報（生産地、生産者名、栽培法の特徴、収穫日、品質情報、調理法等）は、ID番号とともに先の転送ソフトによりデータセンターと呼ばれるサーバーパソコンにデータベースとして蓄積される。消費者は、IDラベルのついた農産物を購入し、そこに書かれているホームページのアドレスにアクセスすると、ID番号の入力が促される。そこでID番号を入力すると、データベースから、購入した農産物に関する情報が検索され、その結果を自動的にホームページとして消費者に提示されるようになっている。なお、現段階では、パソコンの普及率等を考えると生産者側で直接入力には無理があるので、ファックス等で中継地まで情報を送信してもらい、中継地からインターネット経由でデータセンターに入力するといった2段階による代替手段も実験されている。

さて、これで生産者側から消費者側への情報伝達手段が開通したわけであるが、インターネットの特徴には双方向性というものもある。すなわち、この経路は消費者側から生産者側への情報伝達も可能なことも忘れてはならない。例えば、消費者の感想をデータセンター経由で直に生産者に伝えることもできるし、消費者に購入日や郵便番号を入力をしてもらえば出荷から消費までの流通期間や流通範囲を解析することも可能になるわけである。

また、インターネットというネットワークインフラを利用することによって、これまでのバーコード利用や大型計算機による集中管理システムにはない利点も生じる。すなわち、ネットワークによる分散一元管理が可能になったことにより、①どこからでも入力、追加、編集、訂正が可能、②情報に時間差が無く、入力あるいは変更された結果がどこでも直ぐに反映され、③文字情報以外の画像、音声、動画等のマルチメディア情報も伝達可能、④地域格差がなく、地球の裏側でも安価に情報がみられる等の特長が活かせるのも大きなメリットである。

3. 販売実験

実際に図2に示すようなシステムを構築し、昨年から販売実験を行っている。表1に、その一覧を示す。終了した実験は、生産者の名前や写真等のプライバシー保護をした上で、シミュレーションが体験できるように公開している。（<http://vips.nfri.affrc.go.jp/>を参照）現在は、お米の販売実験を継続中である。図3に、商品に貼付するIDラベルの一例を示す。これらのラベルは、実用的にコストをなるべく下げるために市販のインクジェットプリンタで印刷できるようにしてある。アクセス番号は、データベースから参照されて印刷されるため、ラベル毎に異なり、これが個体毎にきめ細かく管理できる1つの理由になっている。この個体毎に管理できることを利用して、例えばお米のラベルにみられるように、アクセス番号でスピードくじを設定できるなどの販売促進手段への応用も試みている。また、今年になってシステム上で大きく改良した点は、現在の家庭へのインターネットの普及率を鑑みて、ホームページのアドレスは、通常のパソコンのみならず携帯電話のiモードにも対応している。加えて、電話やファックスでも情報が取り出せるようにしてある。但し、これらの代替手段で提供できる情報量にはどうしても限界があり、やはり本来の利点を活かすためにはパソコンからのホームページのアクセスが本命とみている。実際の情報閲覧の流れを図4に示す。図4の冒頭に

表1. 販売実験一覧

1. だだちゃ豆

URL: <http://vip2.nfri.affrc.go.jp/dadacha1999/>
 期間: 1999/8/12～9/5 (終了)
 販売地域: つくば市内(カスミ学園店、同アッセ店)
 運営・協力: 食総研、鶴岡市農政部、㈱カスミ、㈱メック
 特徴: 初めての販売実験

2. メロン

URL: <http://web05.agri.pref.kanagawa.jp/melon/>
 期間: 2000/7/1～7/6 (終了)
 販売地域: 全国宅配
 運営・協力: 神奈川農業総合研究所、食総研
 特徴: システムは神奈川農総研の独自運用です

3. だだちゃ豆

URL: <http://vip2.nfri.affrc.go.jp/dadacha2000/>
 期間: 2000/8/12～9/5 (終了)
 販売地域: つくば市内(カスミ学園店、同アッセ店)
 運営・協力: 食総研、鶴岡市農政部、㈱カスミ、㈱メック
 特徴: iモード対応、ファクス・一般電話でも情報取り出し可

4. しろね茶豆

URL: <http://vip2.nfri.affrc.go.jp/shirone2000/>
 期間: 2000/8/17～9/中旬 (終了)
 販売地域: 東京近郊(築地市場を通じて)

5. 米

URL: <http://vips.nfri.affrc.go.jp/kome/>
 期間: 2000年11/13～
 販売地域: つくば市内(カスミ学園店、同アッセ店、桜テクノパーク店)、通信販売
 運営・協力: 食総研、㈱田島屋、㈱メック、㈱大地
 特徴: 栽培履歴、インターネットによるオンライン販売の実験



ネット認証システム

**お求めのしろね茶豆の生産者、栽培法等の情報が
アクセス番号の入力により、ホームページ、ファックス、一般電話
で取り出せます。**

(iモード自動対応、ファックス通信、一般電話は音声読み上げ)



http://vip2.nfri.affrc.go.jp/shirone/
FAX & TEL: 0298-39-1553 (茨城県つくば市)

アクセス番号
181463

102



ネット認証システム

アクセスすれば、その場で**当たり**がわかる
スピードくじ付き

**お求めのお米の履歴情報が
ホームページ、ファックス、電話で取り出せます。**

(iモード対応、ファックス通信、一般電話は音声読み上げ)

http://vips.nfri.affrc.go.jp/kome2/
Tel&Fax:0298-39-1553(茨城県つくば市)
アクセス番号: **101652**

図 3. IDラベル

②販売形態



①店頭



③IDラベル

VIPs(農業情報公開システム)

お求めのだだちゃ豆の収穫日、品種、生産者、栽培特徴、栽培法等の情報がホームページで見られます。

http://vip2.nfri.affrc.go.jp

アクセスID: 47223

(※アクセスIDは必ず入力してください)

④ホームページ(トップ)



⑤検索結果



図 4. 実際の情報閲覧

あるように店頭で端末を置くことも試しており、その販売促進効果もある程度認められている。これらの実験は、いずれもアクセスした人からの評判はすこぶるよく、また各方面での関心も高く、インターネット環境が普及すれば、十分に実用的価値があるものと期待されている。

4. 最後に

ワープロが清書用の機械から考える道具として使われるようになるまで10年、電子メールがパソコンオタクの道具からビジネスの武器になるまで5年、携帯電話のiモードが2000万人に普及するのに2年ということを見ると、確実に時代の変化のスピードは加速している。この変化を無視して、農業が今のままでいいと思う者は決して少なくはない。私の所には、時々、農家から「このようなシステムに加入したい」といった内容のメールが届くことがある。いずれの文面も、短くも必死に変化を求める気持ちが読んでとれる。残念ながら、今のシステムではこのような個々の農家にすぐに対応することはできないが、いずれは「努力すれば報われる」ようなシステムを作り、日本の農業をちょっとばかり変えてみたいというのが私の夢である。夢が夢のままで終わるか、実現するかは、21世紀を迎えITが本格化するこれからが正念場であろう。

<参考文献>

- 1) 杉山純一：公開特許公報、「識別子付与による農産物の流通システム」、特開平10-302105, 1998
- 2) 杉山純一：特許出願、「流通ネットワークにおける情報公開用識別子」、特願2001-023637, 2001
- 3) 杉山純一：食品総合研究所ニュース, No.56, pp.2-3, 2000
- 4) 杉山純一：フレッシュフードシステム, Vol.29, No.3, pp.74-76, 2000
- 5) 杉山純一：食品の試験と研究, No.34, pp.14-18, 2000
- 6) 杉山純一：今月の農業, Vol.44, No.7, pp.35-40, 2000
- 7) 杉山純一：研究ジャーナル, Vol.24, No.7, pp.30-34, 2001