

BRAIN

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

平成23年1月15日(隔月1回15日発行)

ISSN 1345-5958

TECHNO NEWS

No.143

15 JANUARY, 2011

ブレインテクノニュース



トチュウ大規模栽培林 (接ぎ木繁殖林)

グリーンバイオマスからのトチュウエラストマー生産開発

大阪大学大学院工学研究科 Hitz バイオマス開発共同研究講座

中澤 慶久

目 次

特別寄稿

- 産業競争力懇談会（COCON）における「農林水産業と工業の連携研究会」の報告概要 1
産業競争力懇談会「農林水産業と工業の連携研究会」事務局

特 集

- グリーンバイオマスからのトチュウエラストマー生産開発 5
中澤 慶久（大阪大学大学院工学研究科 Hitz バイオマス開発共同研究講座）
- 近赤外分光による豚肉脂質評価装置の開発 12
大倉 力¹・朴 善姫¹・指田 邦夫¹・入江 正和²（¹株式会社相馬光学 技術開発部,
²宮崎大学農学部 畜産草地科学科）
- アプタマー技術を応用した食品の安全性に関する簡易リスク判定技術の開発 18
和賀 巖^{1, 2, 3}・秋富 穰¹・古市 真木雄^{1, 2}（¹NECソフト株式会社 VALWAY
テクノロジーセンター バイオテクノロジーグループ, ²NECソフト株式会社
VALWAYテクノロジーセンター つくばラボ, ³NEC イノベティブサービス
ソリューション事業部 ヘルスケア事業推進グループ）

文献情報

- 活性X染色体における *Xist* 発現抑制によるマウス体細胞核移植技術の改善 24
K. Inoue *et al.* (*Science*, 330, 496-499, 2010) 抄訳：下司雅也
- トマトの種内・種間不和合性に関わる花粉側因子の解析 25
W. Li *et al.* (*Science*, 330, 1827-1830, 2010) 抄訳：高田美信
- アブラムシの体色を変える共生細菌 26
Tsuchida T *et al.* (*Science*, 2010 Nov 19;330(6007):1102-4.) 抄訳：柳原沙恵

表紙の説明

トチュウ（杜仲：*Eucommia ulmoides* Oliver）は温帯圏で唯一大量のトランス型ゴム（トランス型ポリイソプレン：TPI）を産生する木本植物である。筆者は、TPI 製造法として、環境負荷の少ない新手法による腐朽分解法を考案した。さらに、中国・黄土高原にてトチュウの生産実証試験を行い、持続可能型農業生産として、TPI 生産事業と森林・農民保護の共存するシステムの開発に取り組んだ（表紙写真）。トチュウが産生した高分子 TPI を新規素材「トチュウエラストマー」と呼称している。

詳細については5頁をご覧ください。

◀ 特別寄稿 ▶

産業競争力懇談会(COCN)における 「農林水産業と工業の連携研究会」の報告概要

産業競争力懇談会「農林水産業と工業の連携研究会」事務局

I. はじめに

COCN (Council on Competitiveness-Nippon) は、2006年に日本の産業競争力の強化に深い関心を持つ産業界の有志により発足した任意団体であり、我が国の持続的発展の基盤となる産業競争力を高めるため、科学技術政策、産業政策などの諸施策や官民の役割分担を、産官学協力のもと合同検討により政策提言としてとりまとめ、関連機関への働きかけを行い、実現を図る活動を行っている。COCNでは、推進テーマ毎にプロジェクトや研究会を設置し、諸課題等について検討を行っているが、今回は、2009年度に設置した「農林水産業と工業の連携研究会」（以下、農工連携研究会）からの報告概要について紹介する。なお、本研究会は初年度に、農林水産業全般に亘る課題・技術開発を対象に検討し、二年目となる今年度は、必要と考えられる連携の中から、より具体的に「微細藻類を利用したバイオマス燃料」と「植物工場」に焦点をあて、より深掘りした検討を重ねている。

II. 2009年度報告概要（農林水産業全般）

1. 日本の農林水産業における課題と技術開発

① 農業

主要課題は、食料自給率低下、農業構造の脆弱化、農業従事者の高齢化、低所得に加え、農村の過疎化が主要因である。作業の効率化や負担軽減、生産の効率化等の為にICT（情報通信技術）利用や自動化技術、ロボット技術等が、また、食の安全確保の為に食品トレーサビリティシステム構築にはICTが貢献可能と考えられ研究が進んでいる。一方、季節や天候に左右されず、計画的に且つ安定的に生産できる植物工場の技術開発や普及への取組みも進められている。

〒100-8280 千代田区丸の内一丁目6番6号

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

弱体化、食の安全確保である。先の二つの課題は、農業従事者の高齢化、低所得に加え、農村の過疎化が主要因である。作業の効率化や負担軽減、生産の効率化等の為にICT（情報通信技術）利用や自動化技術、ロボット技術等が、また、食の安全確保の為に食品トレーサビリティシステム構築にはICTが貢献可能と考えられ研究が進んでいる。一方、季節や天候に左右されず、計画的に且つ安定的に生産できる植物工場の技術開発や普及への取組みも進められている。

② 林業

主要課題は、採算性悪化による生産活動停滞に加え、従事者の減少や高齢化、また国土保全という重要な機能を有する森林の荒廃の懸念等である。これらの課題に対して、労働力の確保、効率的な木材の収集、過酷労働の軽減等につながるような技術開発や、木質バイオマスを利用した燃料や化学品などの新たな製品に繋がる製造技術開発が進められている。

③ 水産業

主要課題は、水産資源の悪化、漁業構造の脆弱化等である。水産資源は資源の回復力を超えた漁獲や汚染などにより悪化が進んでいることから、安定供給のための養殖の促進や漁場環境の保全などが必要である。養殖については高度な養殖技術や再生可能エネルギーの利用などが技術開発されている。また、地球温暖化対策として、燃費の良い漁船の開発やそれを購入した場合の補助制度を導入するなどの対応が行なわれている。

2. グローバル化と世界市場の状況

① 農産物

日本の農業は小規模であることもあり国際競争力では劣勢である。グローバル化からも大きく立ち遅れているが、海外での日本食ブームに合わせて、高品質な日本の農産物が高い評価を受ける状況にあり、国際商品としての育成環境が生まれつつある。一方、オランダでは、施設園芸を利用した農業生産が進んでおり、日本の1/10の国土で、緯度も樺太程度に位置する国であるにも拘らず、輸出額は5兆円を超え、世界第2位の農産物輸出国として成功している。また、韓国では、日本向けパプリカ栽培を国策として産業育成し、日本で販売されているパプリカの7割は韓国産となり、対日輸出額も60億円を超えている。

② 木材（バイオマス）

日本は国土の2/3が森林であり、木材資源は豊富に賦存しているものの、大量の森林バイオマスの安価な収集が困難とされている。バイオマスから燃料や化学品を製造する技術開発は進められているが、欧米に比較し規模は大きくない。一方、大規模の未利用地があり資源が豊富なアジアでは、例えば、フィリピンはバイオ燃料法を2007年に施行し、海外資本の導入促進を図っている。

③ 水産物

世界の水産資源は減少傾向にあり、需要増加分は養殖で賄われている。日本は養殖の技術力は高いが小規模経営体が多く、国際競争力は弱い。一方、世界の日本食ブームとも相俟って、ノルウェーやチリではサケ・マスの大規模養殖を行なっており、ノルウェーでは年間輸出量が80万トンを超えている。チリでも25年間で16倍の40万トンを超え、輸出額2,000億円以上となっている。最大輸入国は日本であり、中国の輸入も急拡大している。

3. 農林水産業と工業との連携に関わる提言

前述した農林水産業の状況や研究開発の状況等を整理し提言を取りまとめた。

【提言－1】 国際競争力強化による新産業創**出のための開発・事業化戦略の構築**

農産物の輸出を、施設園芸を基にして大産業化したオランダや、サケ・マスの大規模養殖技術を基にして輸出先の食に合わせた生産を行うノルウェーは、農業や水産業を輸出産業として育成する手本となる。急速な発展途上にある中国やASEAN諸国は市場拡大しており、数兆円の産業に育成できる可能性がある。バイオマス利用についても、日本の技術を資源が豊富な東アジアで展開することにより、東アジア共同体構想にも貢献できる。

【提言－2】 農林水産業と工業との本格的・大規模連携の構築

大企業の資本力や技術力、国際性などを生かした、大企業が参加する基礎研究段階からの技術開発のための大型連携による取組みが重要である。オランダの施設園芸は「園芸生産管理機構」という垂直連携による組織が構築されており、この組織が学や官との連携を取って技術開発を支えるという仕組みを作っており、恒常的な連携による取組みが重要であることが示唆されている。

【提言－3】 事業参入にハードルとなる規制の緩和

農業関連以外の法人が、農業への事業参入をするに当たっての規制の緩和や法律の整備などが既に行なわれているものの、まだまだ参入障壁が高いケースがある。特区指定によるモデル事業を推進することで、その障壁を把握し、有効な規制緩和に反映させることが好ましいと思われる。

4. 今後期待される連携提案

我が国の状況と、農林水産業及び工業の現状と課題等を議論した結果、我が国には次に述べるような連携が必要であると考えられる。

【連携－1】 高生産性・低コスト植物工場の開発及び国内大規模実証と輸出産業の創出

- (1) 大規模植物工場モデル事業の戦略策定、実施と開発成果のグローバル展開
- (2) 高生産性・低コスト植物工場及び関連機

器・システムの開発

- (3) 次世代型完全人工光型システムの開発
- (4) 植物工場による機能性物質、新規物質生産システムの検討

【連携－2】 バイオマス（セルロース系、微細藻類）を原料とする燃料・化学品複合変換システム（バイオマスリファイナー）の開発、及び海外展開

- (1) セルロース系バイオマス原料による燃料・化学品複合変換システムの開発
- (2) 微細藻類バイオマス原料による燃料・化学品複合変換システムの開発
- (3) バイオリファイナーの海外展開

【連携－3】 大規模養殖システムの開発、及び、輸出産業の創出

- (1) 大規模養殖システムの開発、及び海洋における食料・バイオマスの生産
- (2) 海洋でのエネルギーシステムの開発
- (3) 水産資源拡大のための技術開発

Ⅲ. 2010年度中間報告概要（個別テーマ）

2009年度に提案した連携の中から、「微細藻類を利用したバイオマス燃料」と「植物工場」に焦点をあて、より深掘りした検討を重ねている。中途段階であるが、中間報告の概要について以下のとおり触れたい。

1. 微細藻類を利用したバイオマス燃料

我が国の地球温暖化対策、エネルギー・セキュリティの確保の観点から、ジェット燃料、灯油留分等向けの次世代バイオ燃料として陸生植物を原料にした場合に比べて単位面積あたり1桁程度高い生産量を持ち、食料との競合を緩和できる微細藻類を利用したバイオ燃料が有効である。しかし、燃料に求められる3Eである、環境適合性(Environmental harmony)・経済性(Economic efficiency)・供給安定性(Energy

security)を確保するためには、原料である微細藻類の生産から燃料化までの各工程をシステム全体として最適化し、高効率生産を達成できる一貫生産システムを開発する必要がある。

現在、国内では民間、大学など各方面にて微細藻類を利用したバイオマス燃料に関する技術開発が個別に進められているが、実用レベルの一貫生産システムは未だ開発されていない。培養、油脂抽出、脱水、燃料化、油脂残渣利用等の個別の工程には数多くの課題が存在しており、例えば培養工程だけでも、生産性の高い微細藻類の株の確保、培養設備のコストダウン、使用エネルギーの低減、培養管理手法の確立などの課題が挙げられる。現状は多岐にわたる数多くの課題を抱えた状態であり、これらに対して一機関、あるいは機関間の小規模なアライアンスにより解決を図るとすると、技術の実用化迄に非常に長い時間を要する。

したがって一貫生産システムを開発する連携体制として、各工程に関連した基盤技術を有する産学の研究機関が連携し、しかも技術研究組合などの一体運営・推進ができる体制が必要である。また事業化までに必要な制度設計、規制緩和等も必要であることから、技術開発、事業化を推進・支援する政府の役割が重要となる。

技術完成後に小規模事業は日本国内での実施が想定されるが、普及期の本格的な大規模燃料生産事業については広大な土地を要することから、海外での事業化が想定される。海外で事業化できれば、新たな輸出入産業形成に繋がり、また、完成された技術を国際協力、資源獲得手段のひとつとして生かすことも可能である。

更には、事業の発展型として燃料以外にも抽出残渣の飼料等への利活用による食料不足の緩和、残渣からの有用品・高機能物質の生産、将来のバイオリファイナー等への展開にも繋がる。

2. 植物工場

経済産業省、農林水産省の共通政策である「農商工連携（6次産業化）」と「地域活性化」に

係る支援・助成により、数年前、中小・ベンチャー企業を中心に第2次植物工場ブームに沸いたが、減価償却費や固定資産税等の負担に耐え、ランニングコストの低減を図り、採算の取れる事業経営とするには、徹底した低コスト化（1/3化）・高効率生産（収量3倍化等）の追求が喫緊の課題であった。ここにきて、一部の企業では、フォローの特殊要因があるものの、低コスト化・高収量化の改善努力により、目標を達成しつつあることから、事業化に関して新たな展開が期待できるステージに入ったと思われる。

植物工場（養液栽培による完全人工光型、人工光併用型、太陽光型）の本来的な意義・価値を改めて見出すため、植物の種苗～育成・栽培～応用商品創出までの長いバリューチェーン全体に亘って、従来の取組みを見直すと共に、以下に例示するような新たな商品群創出に向け従来とは異なる狙いをもった展開が必要である。

- ・ 従来の露地栽培産物の生産に止まらず、外食産業及び食品加工・製造業（中食産業）向けに、新たな流通・販路を開拓
- ・ 地方の廃れ行く特産植物、地域固有の植物等の再生
- ・ 機能性を有する食品（栄養機能食品、特定保健用食品、サプリメント等）、経口ワクチン等の医薬品、日焼け止め等の化粧品、芳香剤等の日用品向け原材料として、特徴的成分を含む植物の栽培 等

また、中長期展望として、農業に医学の知見を新たに加えることにより、「農医食同源」の考え方を実現する、機能性食品、経口ワクチン等の医薬品等様々なものを植物工場で柔軟かつ

効率的に生産できることが大いに期待される。植物工場による6次産業創出の目標は、環境・エネルギー・食で世界貢献できるトータルシステムとして、太陽光発電事業や水ビジネスとセットで、国内に留まらず、中国を含む東アジア、中東、ロシア等向けに輸出産業化を図ることである。海外における食品、医薬品、化粧品、日用品等のマーケティング、装置メンテナンス・オペレーションを含むエンジニアリング、液肥等の消耗品供給を含むサービス等パッケージ化した包括的取組みが必要である。

IV. おわりに

我が国の農林水産業における現状の課題を認識し、これらの課題の解決に向けた技術開発、今後の発展に必要と思われるグローバル化や産業連携について整理した。更には、個別の2テーマについて具現化している。紙面の都合で今回は限られた紹介となったが、より詳細な報告については、下記のHPの報告書を参照頂きたい。

本研究会には、民間機関メンバーのみならず、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構等の政府系研究機関やアカデミアの有識者の方々からのご参加も頂き、更にはアドバイザーもしくはオブザーバーである農林水産省、経済産業省の方々にご助言頂いた。本紙面を借りて感謝したい。

参考HP：産業競争力懇談会ホームページ
<http://www.cocn.jp/material/index.html>

◀ 特集 ▶

グリーンバイオマスからの
トチュウエラストマー生産開発大阪大学大学院工学研究科 Hitz バイオマス開発共同研究講座
中澤 慶久

トチュウ（杜仲：*Eucommia ulmoides* Oliver）は温帯圏で唯一大量のトランス型ゴム（トランス型ポリイソプレン：TPI）を産生する木本植物である。トチュウのTPIは乳管組織に数ミクロンの繊維状で存在する。TPI製造法として、環境負荷の少ない新手法による腐朽分解法を考案した。中国・黄土高原にて生産実証試験を行い、持続可能型農業生産として、TPI生産事業と森林・農民保護の共存するシステムの開発に取り組んだ。そのトチュウが産生した高分子TPIを新規素材「トチュウエラストマー」と呼称している。

はじめに

植物の産生するポリイソプレンは、天然ゴムとして利用され産業活動に欠かせない工業原料である。市場は、化石資源由来の合成ゴムと同価格・生産量で推移しており先物取引にて取り扱っている。近年、新興国の天然ゴム利用増大に伴い、価格上昇しているが急激な生産量増加は困難であり、最高値を更新している。東南アジアの生産国ではプランテーションの充実など天然資源の争奪の準備に備えている。

天然ゴムはシス型ポリイソプレン（CPI）とTPIに分類される（図1）。CPI産生植物の代表はパラゴムノキであり、熱帯域でプランテーションされ、タイヤなど商業的に広く利用されている¹⁾。TPIについては、熱帯域のグッタペルカノキ（*P. gutta*）からカメラのグリップ部や歯科材料の根管充填材として使用されてきたが、ナフサからの化学合成品に代替され、化成品や医薬品原料としての用途に用いられている。

中国原産の木本植物であるトチュウは固形、繊維状の超高分子（ 10^6 M超）TPIを全草に産生する^{2,3,4)}。TPIの化学合成では高分子生成が難しく鎖長領域制御が困難なため、高分子バイオ

マス資源として期待される特用樹木である。TPI産出植物は熱帯性の栽培環境であるのに対し、トチュウは温帯域や寒冷地が生育適応環境である。温帯域は、広範囲な栽培面積の確保が可能であり、木本植物を植林することは治水や砂防など環境保全役割を持つ。更に、ポリイソプレン=ハイドロカーボンとして蓄積することからClean Development Mechanism（CDM）適応樹種として、炭素排出権のクレジットを創成することも可能である。

トチュウをTPI産出実用植物として位置付けるには、TPI工業生産方法の開発や、農場管理手法の開発など、工業原料として安定的に供給できる生産技術開が求められる。バイオマス収穫方法の改良、TPI抽出製造方法の開発などの工業生産手段の開発、品種改良としてTPIを増産させるなど総合的な生産技術開発が必須である。

本稿は、グリーンバイオマス工業原料として活用が期待されるトチュウエラストマーの生産開発について解説する。

1. トチュウとTPI

トチュウは中国の中南部を原産として、標高600~2500mに自然分布する落葉性の喬木(高

NAKAZAWA Yoshihisa

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

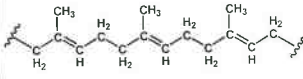


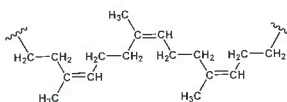
| | 分子構造 | 植物種 | 形状 |
|----------------------|---|---|---|
| 天然ゴム polyisoprene | トランス型 <i>trans</i> -polyisoprene (TIP)  | トチュウ <i>Eucommia ulmoides</i> | 固形・繊維状  |
| | 熱可塑性 酸・アルカリ耐性 | グッタペルカノキ <i>Palaquium gutta</i> バラタゴムノキ <i>Manilkara bidentata</i> | 乳液 latex  <p>← 乳管 Rubber particle ↓</p> |
| | シス型 <i>cis</i> -polyisoprene  | パラゴムノキ <i>Hevea brasiliensis</i> グアユール <i>Parthenium argentatum</i> その他, 2,000 種以上の植物 | |
| | 弾性 耐久性 | | |

図1 天然ゴムの分類 (トランス型ゴム・シス型ゴム)

木)で 20m 以上の高さに生長する。クロンキスト植物分類体系では独立種のトチュウ科であり 1 属 1 種とされる。しかし, Angiosperm Phylogeny Group (APG) 植物分類体系では, ガリア目トチュウ科と報告されている。染色体数は $2n=34$ の雌雄異株であり, 花器は風媒受精のため存在せず, 種子はニレ科の種子に似た分果の形態で, 風による飛散のため翅果形態になっている。

トチュウの特徴は, 目視できる全草の TPI である。植物名の *Eucommia* は, 「Eu: 良質の」「*commia*: ゴム質の」という形態学的特徴を示したものである。英国の *Kew bull.*²⁾には, トチュウを「*Gutta-percha from a Chinese tree*」と表現している。これは, ゴルフボール用のゴムとして利用されている *Gutta-percha* と同一とされていた。しかし, *P. gutta* から産生される TPI は乳液状で不純物を含むのに対し, トチュウは固形状・高純度 (99%) であることから, Bamba ら⁴⁾はトチュウゴム (*Eucommia-Rubber*: EU-rubber) と区別している。著者ら⁵⁾は, トチュウから産生される高分子 TPI を EU-rubber として定義し

ており, *P. gutta* の *Gutta-percha* とは区別して取り扱っている。また, EU-gum という記載⁶⁾もあるが, これらはトチュウの葉より加工された夾雑物の多い低分子 TPI ($\overline{M}_n = 6.0 \times 10^3$) の工業原料として位置付けしている。その他, 低融点, 高弾性を示す熱可塑性エラストマーで絶縁体としても有用な物質である。そして, Eu-rubber は商用で用いる際の商標として, トチュウエラストマー (*Eucommia-elastomer*) と称している。

トチュウにおける TPI の器官別 (樹皮, 葉, 根, 果皮) の分子量分布および含有量を比較すると, 高分子および高含有の器官は果皮であった (表 1)。続いて, 樹皮, 根, 葉の段階で減少するが, 根および葉については二峰性の分子量分布を示している (図 2)。すなわち TPI 産生器官として適する部位は種子の果皮である。種子の大規模バイオマス生産として, 接ぎ木繁殖により雌性トチュウの大量栽培が可能であり, すでに, 種子生産用の品種が系統選抜され, 中国では無性繁殖によるバイオマス栽培が始まっている。

表1 トチュウゴムの器官別含有量

| Ogans | Leaves | Barks | Roots | Seeds | Pericarps |
|-----------------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| Content | 2 - 6 | 8 - 12 | 5 - 10 | 13 - 20 | 25 - 32 |
| Average content | 3 | 10 | 7 | 18 | 28 |

ソックスレー抽出法

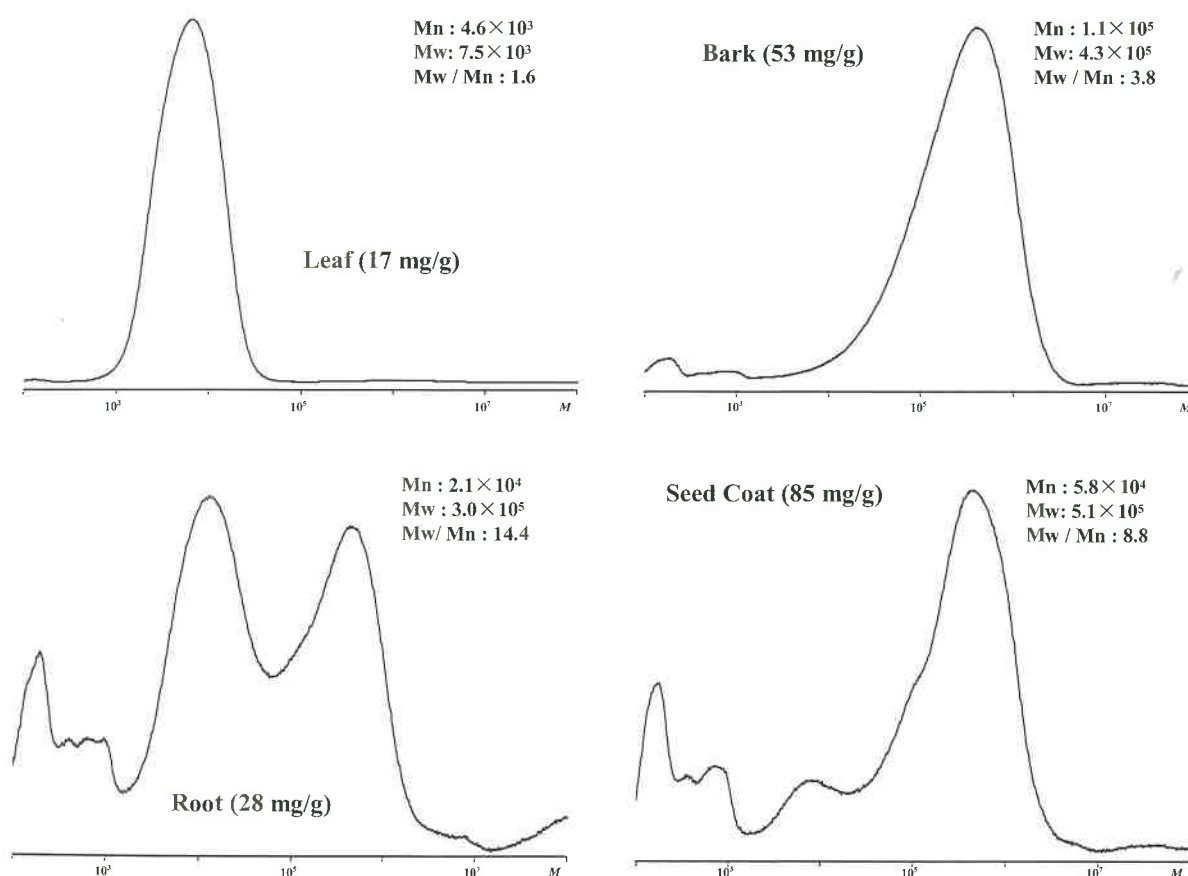


図2 サイズ排除クロマトグラフによるトチュウ器官毎の分子量分布

System : Hitachi 7000 series, Sic 480 II (SYSTEM INSTRUMENTS),
 Column : PLgel MIXED-B (5m, f7.5×300 mm) ×2 (Polymer Laboratories),
 Eluent : THF, Flow rate : 0.8 ml/min, Detection : RI, Column Temp. : 40°C,
 Calibration : polyisoprene

2. トチュウの栽培

国内への導入は、島津藩が江戸時代に植栽(鹿児島大学植物園 1987年台風により枯死)された

事に始まる。1914年に旧日本軍によるゴム採集の目的で導入され林野庁の外国樹見本園に植栽された。その頃に植栽されたものが尾根山演習林に存在している。現存する国内のトチュウは

同地域の営林署から 1990 年代の杜仲茶にブームで採種された子孫であると考えられる。国内栽培は、杜仲茶生産が目的であり、クワの栽培を模範した萌芽枝利用の栽培方法が実施されている。

中国における栽培方法は、トチュウの利用形態により異なる。生薬原料(樹皮)の栽培では、四川省を中心に種子繁殖後 1-2m 間隔で密植し、枝打ちを行い逆円錐樹型にて樹幹密度を高く造林する。10 年生前後になると夏期に剥皮され、



図3 トチュウ大規模栽培林(接ぎ木繁殖林, 冬の状況)
黄土高原に植栽し、退耕還林政策用の経済林として現地での利用が望まれている。



図4 トチュウ大規模栽培林(接ぎ木繁殖林, 夏の状況)

生薬原料市場に販売される。剥皮後は樹皮再生を待ち、数年間養生した後に再度剥皮される。植物への負荷が大きいためバイオマスの生長は著しく劣る。葉の生産目的として、日本の栽培手法を模倣、強剪定により萌芽枝を発生させ、蘇生葉の出現により葉の生長を数倍に高める手法を実施している。これらから生産された葉は栄養価が高く、動物用の飼料としての活用などが図られている。また、当年枝を活用したバイオマス生産を図っている。種子生産を目的とした栽培方法として、中国現地

法人では種子の栽培品種を河南省林業研究院から導入して、芽接ぎによる接ぎ木繁殖によって種子多産系統の栽培に成功している(図3, 図4)。この手法により、雌性制御が可能となり、大規模に種子を生産することが可能となった。更に、種子からは油脂生産を兼ねることが可能となっている。大規模栽培は、中国政府が推奨する中国西部地域の環境問題解決と退耕還林政策を推進する有効な手段と考えられる。街路樹栽培用など樹芸用途の開発も実施され、北京市内や西安市など環状線緑地帯の一部を日陰樹として活用している。

3. トチュウエラストマーの生産と事業化

果皮は 10^7M に達する超高分子 TPI を 30%程含有する。TPI の抽出方法として、定石では有機溶媒による抽出手法である。同法は高含有のバイオマス原料および採取条件が良ければ工業生産には適して

いる。しかし、設備投資が必要となりバイオマスを確保する山間部での工場設置は生産効率が低い。また、電気エネルギーや有機溶媒を用いることから環境負荷が懸念される。そこで、設備投資や環境負荷低減を目的とするため、新しいTPI抽出法の開発に迫られた。生物学的手法による製造法の開発とは、果皮などの植物組織を木材腐朽菌等により崩壊させたのちに、水洗によってTPIのみを直接採取する手法である。本手法は新規の天然ゴムの採取法である。天然ゴム抽出方法の違いを表2に示した。タッピング法はCPI採取のためパラゴムノキから1,000万トン/年間が生産されている。同法は100年以上続く天然ゴム採取法であり、労働条件の劣悪な環境下の作業が要求される。更に、ウルシや松柏類からのリジンなども同様の手法で生産される。有機溶媒抽出法は、溶媒によりゴムを植物組織から溶解して抽出する手段である。米国やロシアではゴムタンポポから同法による生産法を実施しているが、設備投資と環境負荷の問題が存在する。

新規ゴム抽出法である生物学的腐朽分解法の実用性検証のため、経産省下の（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の提案公募事業（ODA）の採択により、中国・西北農林科技大学に中日杜仲研究所を設立、研究設備を建設して実施試験を行った。果皮の腐朽に必

要な分解菌の選抜を中国各地域の森林土壌から探査して腐朽菌の選定を行い、種菌の選定・維持方法を確立した。エラストマー生産に必要な果皮数トンを用いて、実用規模での腐朽実験を数年繰り返す、気温上昇期と気温下降期における腐朽状態の周年管理や洗浄装置の開発などバイオエンジニアリングデータを取得して実用的な生産方法を確立している。

トチュウエラストマーの原料生産（種子）については、中国の現地法人の栽培農園を生産圃場とした。同農園には数十万本の接ぎ木繁殖繁殖個体が栽培されており、中国唯一の種子生産基地となっている。同地域は、黄土高原の南麓に位置しており年間降雨量600mmの乾燥帯であり、中国政府が推奨する退耕還林政策地域となっている。この政策は黄河流域の傾斜角25度以上の農耕地を砂防と水源涵養のため保護し、50年間以上森林として維持する政策である。中華文明発展のため森林伐採され、数千年間農民が畑作による生活圏を構築していることから、畑作の代替となる植物資源を活用した持続可能な農業生産システムの導入が要求されている。森林保護と農民保護が両立するサステナブル植物種の活用が、黄河流域の退耕還林政策を成功させる鍵となっている。トチュウ由来のTPI生産は、森林を維持しつつ雌性繁殖によって永年採取の可能な種子バイオマスを確保できるこ

表2 天然ゴムの採取方法

| 採取方法（植物） | 採取器官（細胞） | 性状 | 特徴 | 実績 |
|----------------------|----------|-------|--------------------------|-----------------------------------|
| タッピング法 （パラゴムノキなど） | 連結乳管細胞 | 乳液 | 労働集約型 労働条件劣悪 設備投資小 | 100年以上の実績 （東南アジア） 1000万トン/年 |
| 有機溶媒法 （ゴムタンポポなど） | 単乳管細胞 | 乳液・固形 | 環境負荷大 高コスト 設備投資大 | 米国などで実績あり |
| 腐朽分解法 （トチュウ） | 単乳管細胞 | 固形 | 環境負荷小 低コスト 設備投小 | 実績なし ODAでの検証あり |

とから、持続可能な農業生産システムとして、同地域の退耕還林政策と一致する。中国での農園経営は、政策と一致しない樹種の栽培を進めることは困難である。トチュウは退耕還林に適しており、非化石燃料素材であり、大気中の炭素循環により得られたカーボンニュートラルな工業原料である。

日立造船(株)と大阪大学では、上記の技術課題や政策的課題解決に取り組み、トチュウエラストマー生産技術を確立した。更に、日立造船(株)では、本件の実用化に向けてトチュウエラストマーの用途開発事業に着手、中国に研究拠点を設けて研究開発と生産研究を進める方針である。また、企業アライアンスによる新製品開発のためトチュウエラストマーのサンプルと情報提供^{5,7)}を行っている。

4. トチュウエラストマーの特徴

トチュウエラストマーの特徴は、植物が直接産生した高分子 TPI である。単用で用いるより二重結合部を化学修飾して、官能基に他の化合物と反応させることによる機能付加が用途拡大の可能性を秘めている。また、鎖長末端がアシル化による停止しており、天然ゴムとは違い鎖長末端にタンパク質が存在しないことから、動物試験による PCA 反応試験、生薬利用や杜仲茶の食経験等から低アレルゲンの素材である。物理化学的特性として、低温熱可塑性があり、可塑剤を含まない状態でも形成加工が容易である。更に、引張り強度、耐摩耗性、耐振動吸収性について、天然ゴムより優れていることが判明している。市販されているナフサ由来の合成型 TPI と違い、超高分子であることや植物由来のグリーンケミカルである点も差別化の特徴である。特に高分子合成酵素の働きにより、分子量分布がシャープな放物線を示す点は生物由来の特徴である。この TPI は光合成により得た二次代謝産物であり、トチュウが産生した TPI が、単乳管組織内に蓄積・硬化した高純度 TPI (99% 以上) の結晶である。形状は数ミクロン単位の

繊維状 TPI が集合した連結形態を示す天然物である。当該 TPI は植物由来のハイドロカーボンであり化石燃料であるナフサ代替の工業原料である。地球温暖化防止と脱石油産業素材として、化成品、ポリマーや樹脂などの化学工業界から地球と人に優しい素材であるため用途開発が注目されている。

5. むすび

戦前の日本ではトチュウからの海底ケーブルなどの開発目的のため、当時の清国からの本種の導入を図った。しかし、栽培方法や量産化する手段が未解決であり、石炭・石油政策に頼る経済のため 100 年程凍結される時代が続いてきた。1998 年から日立造船と大阪大学が中心となり、トチュウの TPI 生産に関わる機能解析に取り組み、植物科学の国策研究として NEDO が実施した植物の物質生産に関わる 2 テーマの基盤研究(1999 年～2010 年)を続けてきた。フィールド研究として、中国遺伝資源の確保(中国・西北農林科技大学演習林栽培保管)、TPI 高産生能精英樹の選抜、突然変異体・倍数体育種、遺伝子組換え栽培の基礎を構築している。分子生物学的取組として、cDNA からの EST 解析、TPI 合成遺伝子(TIDS)の機能評価をモデル植物と実用植物での証明。更に、TIDS 過剰発現による TPI 増産、RNA 干渉による制御の成功。異種生物の TPI 合成に世界で初めて成功している。また、細胞生物学的解析により、生体内への TPI 蓄積機序を非破壊観察する SCLMS 手法の開発、マイクロアレイによる TPI 合成と共発現遺伝子や転写因子の解析により、生化学の 7 不思議とされてきた植物でのゴム生産の生合成機序について TPI によりその全容を掴んでいる。

トチュウの利用は、当該国の環境政策と和諧事業を重要視している退耕還林政策として、水源涵養林の保護と農民生活圏の保護を両立し、農村地域社会全体の生活の質の向上をはかることが可能である。また、本システムは太陽エネルギーにより大気中の炭素を固定し持続可能な

農村社会を形成させる事例として寄与される事業となりうる。

トチュウは温帯域で生長し、低温耐性が高く耐乾抵抗性があり剪定による萌芽力が強く、栽培が容易な樹木という特徴を有している。この特性を生かし大量栽培できる地域は温帯圏であればどの地域でも可能である。すなわち人類の生存圏で未利用の土地であれば緑化、治水といった環境保全、および TPI I 生産による低炭素化社会の構築に最も適した植物であると考えられる。トチュウエラストマーの産業化は始まったばかりである。

本研究開発は NEDO による植物科学領域プログラム（11 年間の補助事業）、提案公募型 ODA 事業（2 年間）による研究成果である。

参考文献

- 1) Archer, B. L. *et al.* (1973), *Phytochemistry*, 2, 310-43
- 2) Anonymous. (1901), *Kew Bull*, 89-94
- 3) Tangpakdee, Jitladda *et al.* (1997), *Phytochemistry*, 45(1), 75-80
- 4) Bamba Takeshi *et al.* (2002), *Planta*, 215(6), 934-9
- 5) Nakazawa Y. *et al.* (2009), *Plant Biotechnology*, 26(1) 71-79.
- 6) Yan R-F. (1999), "China Forestry Publishing House publisher", 102-110.
- 7) 中澤慶久ら. (2010), 日立造船技報, 71(1) 38-47

◀ 特 集 ▶

近赤外分光による豚肉脂質評価装置の開発

¹株式会社 相馬光学 技術開発部，²宮崎大学農学部 畜産草地科学科大倉 力¹・朴 善姫¹・指田 邦夫¹・入江 正和²

豚肉品質評価において脂質の脂肪酸組成値は重要である。通常、ガスクロマトグラフィーにより測定されるが、熟練と時間を要する。近赤外分光による非破壊、短時間測定が可能となれば、食肉流通に貢献できるだけでなく、生産現場における高品質化にも寄与できる。我々は、豚肉脂質、特に豚枝肉腎臓周辺脂肪の脂肪酸組成値を測定する専用の小型携帯近赤外分光装置を開発した。精度は高くないが、測定は一頭あたり 5 秒程度なので市場へ出荷される豚枝肉全数の測定も可能となる。本装置の概要、開発手法について説明する。

1. まえがき

近赤外分光分析による品質測定は、カールノリス博士により 1970 年代に始まり、広い分野で利用されている。装置の安定度、SN 比を極限にまで高くして弱い吸収を検出可能としたことが、カールノリス博士の成功の秘訣である。この手法は、非破壊、簡便な短時間測定であり、果実オンライン糖度選別に利用されているが、果実以外の食品、工業製品、医薬品等の多くの分野にも使用されている。色々な分野において使用可能な技術で、多くの研究・装置開発が実施されている¹⁾が、すべて成功している訳ではない。

近赤外分光による定量分析の精度は、測定対象により大きく異なる。試料の光吸収が小さく、スペクトル波形が測定対象の特徴をはっきりと形を示さない場合には測定装置に特に高い安定度と SN 比が要求され、装置の製作が困難で高価な装置となってしまう。しかし、測定対象を限定した場合には、測定対象の近赤外分光の特徴を事前調査して装置開発を進め、必要最小限

の性能とすることにより、目的に適合した装置を安価に製作できる²⁾。

豚肉脂質の脂肪酸組成は、豚肉評価の重要な要素で、近赤外分光も含む各種光学的測定方法が研究されているが、現場で簡便に測定できる装置は、未だ開発されていない³⁾。我々は、豚枝肉の脂質特に腎臓周辺脂肪を対象とした小型携帯型豚肉脂質評価装置開発に成功した。この開発手法と装置について説明する。

2. 装置の仕様

豚肉可食部は、赤身と脂肪が混在し、脂肪含量(赤身中の脂肪量)そのものが変化するため、脂肪酸組成値の光学的測定は困難である。枝肉全体の平均的な脂肪酸組成値は、腎臓周辺脂肪の脂肪酸組成値と相関が高いので⁴⁾⁷⁾、腎臓周辺脂肪を測定することにより、枝肉全体の脂肪酸組成を推定できる。腎臓周辺脂肪は、脂質により構成されており光学的には比較的均質であるため、光学的測定が可能と考えられ、腎臓周辺脂肪の脂肪酸組成値を測定する装置を開発することとした。

本測定装置の目的は、枝肉の現場での測定である。そのため装置は、小型、携帯可能で測定プローブ部を枝肉に接触させることが可能でなければならない。

OKURA Tsutomu¹，PARK Shanji¹，SASHIDA Kunio¹，IRIE Masakazu²¹〒190-0182 東京都西多摩郡日の出町平井 23-6²〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1 丁目 1

本装置は現場測定が要求されるため測定時間5秒以内、また測定誤差について、豚肉脂質を3～5段階に分類するため、脂肪酸組成値推定誤差3%を目標とした。このような精度を実現するために、分光装置ハードウェアにどのような性能が要求されるかを把握して開発を進めることが必要である。

近赤外分光においては、スペクトル波形がなだらかであり、その波形のわずかな変化を検出しなければならないため、分光装置ハードウェアに高い精度が必要とされる。最も重要な性能は、SN比である。そのため、市販高精度大型分光装置では、分光器の波長分解能を波形が分解できる限界に近い10nm～20nm程度と大きな値に設定し、効率の高い光学系を使用して高い光量を得、更に、雑音と信号の周波数帯域の違いを積極的に考慮した波長走査速度を採用して数十 μ ABSを検出できる高いSN比を実現している¹⁾。そうして得られる比SNは一般的な分光光度計の数十倍から数百倍にもものぼる性能である。更に、波長再現性等、SN比以外の分光器特性にも高い精度が要求され、それを実現することにより色々なサンプルが測定可能となる。

このように高い性能、仕様を小型携帯の低価格装置において実現することは困難である。

しかし、測定対象を限定し、必要最小限の適正な仕様を事前に決定することにより、低価格装置の開発が可能となる。これは、事前に高精度市販近赤外装置により測定を実施、得られた光学スペクトルを評価することにより可能である。

3. 光学スペクトルによる事前検討

測定対象である豚肉脂質について60個の基準サンプルを準備し、ガスクロマトグラフィーによる脂肪酸組成値測定を実施し、そのサンプルを市販の高精度近赤外分光装置(ニレコ社扱い FossXDS 型)によりスペクトルを広い波長範囲にわたって測定した(図1)。こ

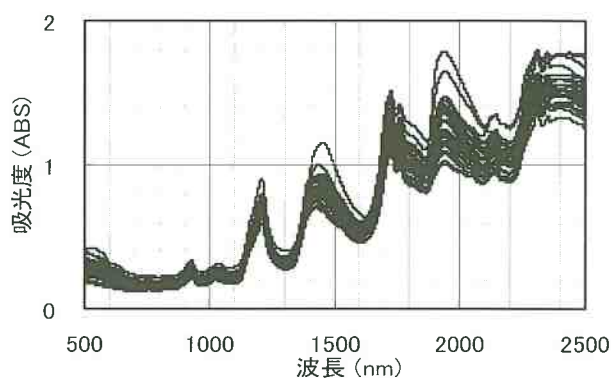


図1 60個の基準サンプルのスペクトル

の脂肪酸組成値とスペクトルを使用して、装置ハードウェアに要求される仕様、性能を検討した結果を以下に示す。

3.1 波長範囲

測定したスペクトルから色々な波長範囲データを取り出し、検量線を作成し、その結果を表1に示す。700nm～1000nmのデータを使用することで、高い精度の検量線を得ることができた。選択された波長範囲内には、脂肪酸のC-H結合由来の吸収である928nmが含まれており、この波長範囲の選択は適切であると考えられる。この波長範囲であれば、低価格高精度のシリコ

表1 色々な波長範囲での検量線精度

| 開始波長 (nm) | 終了波長 (nm) | 相関係数 | 脂肪酸組成値推定誤差 (%) |
|-----------|-----------|------|----------------|
| 1200 | 2500 | 0.73 | 3.0 |
| 1600 | 2500 | 0.79 | 2.7 |
| 1800 | 2200 | 0.77 | 2.6 |
| 1200 | 2200 | 0.76 | 2.9 |
| 1200 | 2000 | 0.77 | 2.9 |
| 1200 | 1800 | 0.76 | 2.8 |
| 400 | 1000 | 0.60 | 3.7 |
| 500 | 1100 | 0.69 | 3.3 |
| 600 | 1000 | 0.79 | 2.6 |
| 600 | 1100 | 0.60 | 2.7 |
| 700 | 1000 | 0.86 | 2.2 |

ンリニアアレイ検知器を使用し、低価格の回折格子型分光器を構築することができる。

3.2 雑音

測定対象により分光器に要求される雑音レベル(SN比)は大きく異なる。成分の吸収がスペクトル波形としてはっきり現れる場合は、雑音に影響されることは少ないが、成分の吸収がスペクトルにほとんど現れないような場合については、波形を精密に測定する必要があり、高いSN比が要求される。

測定されたスペクトルに、数値的に雑音を重畳して統計解析を行い、推定誤差、相関係数を求めることにより、SN比の影響を調べ、必要なSN比を求めることができる。

豚肉脂質の場合、図2から、雑音が50 μ ABS(約0.01%)を超えると、脂肪酸組成値の推定誤差が3%を超えることがわかる。脂肪酸組成値の判別において誤差3%を達成するためには、装置雑音(SN比)は50 μ ABS以下であることが要求される。これは、近赤外スペクトルの各種応用のなかでは、比較的厳しい値であるが、これを達成することにより誤差3%で脂肪酸組成値を推定できる。

3.3 波長安定度

近赤外スペクトルは、測定対象とする成分の吸収スペクトル以外に大きなベースラインとその傾きが存在し、妨害をあたえる。それを避けるためには、波長変動を減らし安定化させることが必要である。波長安定度の影響を評価するためには、測定されたスペクトルに対して波長値を人為的にずらして、推定値がどれくらい変動するかを求める。推定値に対する波長変動の影響を求めた結果を図3に示す。波長が3 nm程度ずれると、脂肪酸組成値推定誤差が、3%を超えるため、波長誤差は、3 nm以下である

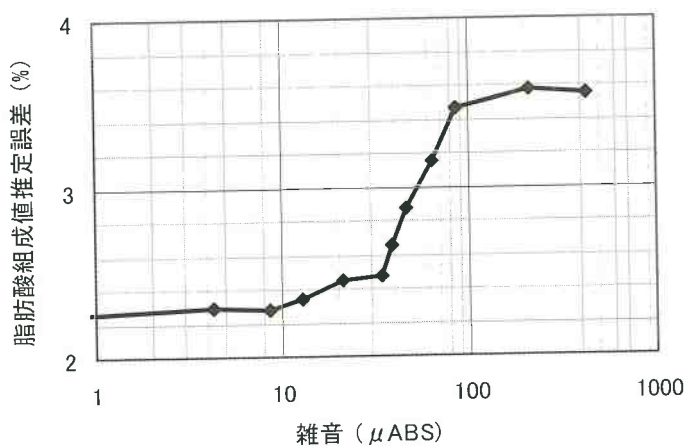


図2 雑音(SN比)の影響

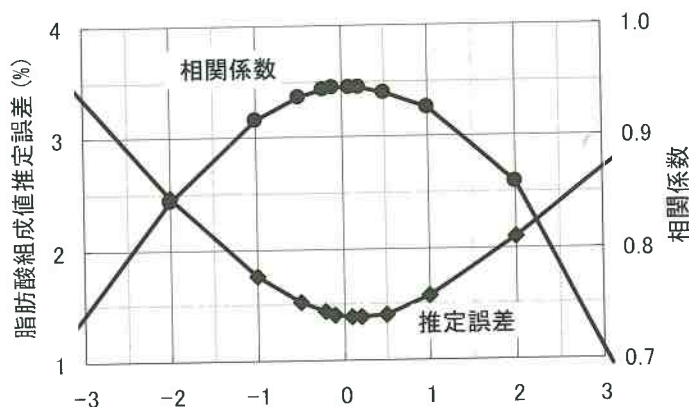


図3 分光器波長ずれの影響

ことが必要である。通常、回折格子分光器において波長安定度 0.5 nm 以内は容易に実現可能な値であるため、0.5nm を仕様値とした。この精度であれば、波長変動による推定値の誤差は無視できる。

3.4 波長分解能

回折格子分光器の波長分解能は測定スペクトルに歪みを発生し、推定誤差に影響をあたえる。波長分解能を低くすると得られる光量が増加し、高いSN比を得られるが、吸収スペクトル波形が波長に対して激しく変化する場合に分解能が低いと波形の歪みが大きくなり誤差が増加する。スペクトル波形の変化が少ない場合は、高い分解能は必要が無く、低い分解能により高

い光量を得て精度を向上させる場合もある。

取得したスペクトルについて畳み込み積分、スムージング等により人為的に低い波長分解能で測定した波形をシミュレートすることができる。その波形に、統計解析を実施し、推定誤差と相関係数から、波長分解能の影響を調べることができる。図4はその評価結果である。波長分解能が低下すると明らかに性能が低下する。推定誤差3%のためには、50nm程度の波長分解能となる。回折格子分解能を10nm以上の値とすると分光器光学系透過特性の波長変化により測定スペクトルに歪みを発生し、推定誤差を増加させるので、これも考慮すると波長分解能は、10nm程度とする必要がある。

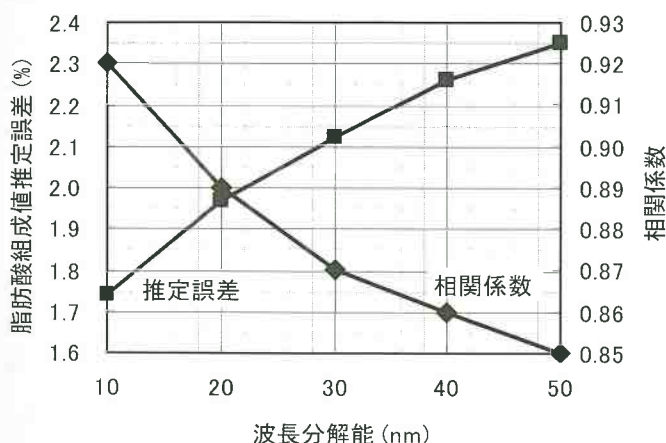


図4 波長分解能の影響

3.5 測定プローブ

試料の照射集光は、試料光学特性に合わせなければならないが、最終的には、高い推定精度が得られることが必要条件である。

ランプの選択、照射光量、照射角度、集光光学系について、検討しなければならない。本測定は、反射測定であるが、脂質内部状況を測定する必要があるため、インタラクタンス測定となるような配置とし、詳細配置については、実験を行い、脂質による928nm近辺の吸収が明確に捉えられるような配置とした。図5に示すよ

うに5つの小型ハロゲンランプを中心光軸に対し30度傾斜して、直径14mmのリング状に配置、中心部分を観測することとし、この光学配置の採用により、928nmの吸収を明確にとらえた上で、時間且つ高いSN比での測定が実現された(特許申請中 特願2007-290233)。

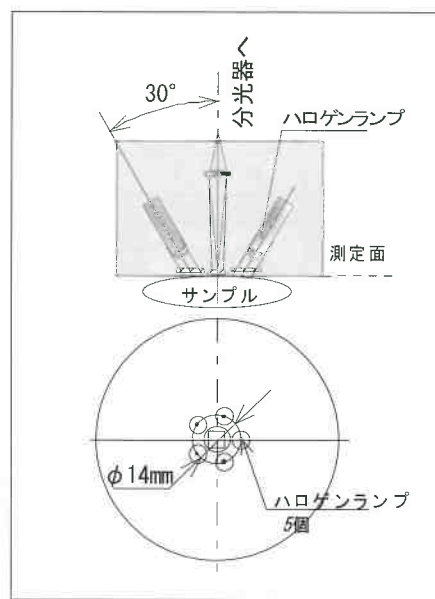


図5 プローブ光学系

4. 豚肉脂質測定装置の設計製作

前節での装置性能に関する検討により、仕様を決定し(表2)装置の設計、製作を進めた。必要なハードウェア性能を実現すれば、所定の性能を持った近赤外分光装置を構築することが可能となる。

設計・製作された装置のブロックダイアグラムを図6に示す。試料からの反射光は、光ファイバーにより集光され、分光器に導入される。分光器は、検知器としてリニアアレイを使用した小型の回折格子型分光器である。リニアアレイ出力は、AD変換され、USBインターフェイスを介して小型コンピュータにより読み取られ

表 2 豚肉脂質測定装置の仕様

| 項目 | 仕様 |
|-------|-----------------|
| 波長範囲 | 700 nm～1000 nm |
| 波長分解能 | 10 nm 程度 |
| 波長安定度 | 0.5 nm 以内 |
| 雑音 | 50 μ ABS 以下 |
| 直線性 | 10 %以内 |



図 7 装置外観

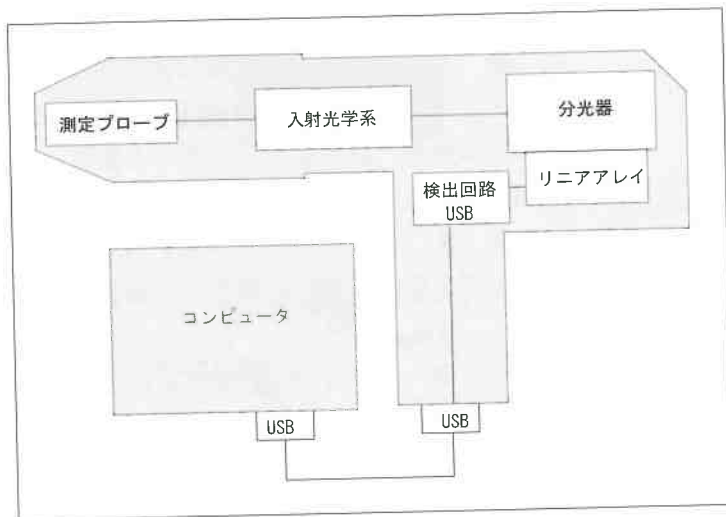


図 6 装置ブロックダイアグラム

る。データは小型コンピュータにより処理され組み込まれた検量線により脂肪酸組成値が表示される。装置外観を図7に示す。装置全体は肩掛けタイプ、小型携帯可能で、現場測定に対応できるように、内蔵の単三乾電池(6本)により連続2時間の測定が可能である。本装置では、飽和露光量の比較的大きな CMOS 検知器を使用し、複数ランプを使用し適切な光量を得た。開発した装置は、測定時間5秒の場合に 50 μ ABS 程度の SN 比が実現された。こうして測定された豚肉脂質のスペクトルを図8に示す。

5. データ解析

豚肉脂質サンプル 60 点について、PLS により、検量線を求めた。スペクトル前処理はサビツキ

ーゴレイの二次微分を施し、ファクター数は、4-6 となった。表 3 に豚肉の主要な脂肪酸組成についての解析結果を示す。測定対象である飽和脂肪酸とオレイン酸について、目的とする脂肪酸組成値の推定誤差 3 %以内を実現する性能を示し、豚肉評価の現場において実用できる性能となった。オレイン酸と飽和脂肪酸についての散布図を図9に示す。

6. 結 言

近赤外分光器の開発に際し、測定対象に合わせた装置性能、仕様の決定が必要である。豚肉脂質の脂肪酸組成測定について、必要な装置性能(波長範囲 700nm～1000 nm, SN 比 50 μ ABS 等)を決定し、それに従い装置開発を行った。そ

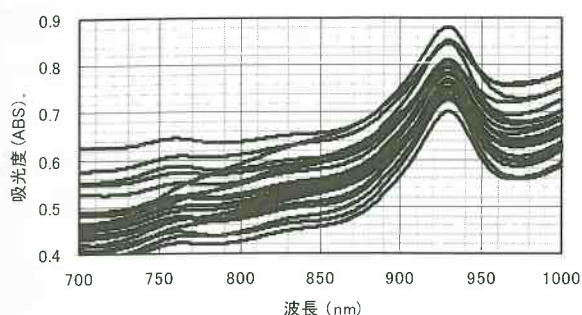


図8 豚肉脂質スペクトル

表3 解析結果

| 豚肉の主要脂肪酸 | 試料状態 | | 測定結果 | |
|----------|-------|------|------|------|
| | 平均 % | 分散 % | R | 誤差 % |
| 飽和脂肪酸 | 48.20 | 3.52 | 0.93 | 1.22 |
| 一価不飽和脂肪酸 | 40.46 | 3.20 | 0.77 | 1.98 |
| 多価不飽和脂肪酸 | 11.34 | 3.20 | 0.88 | 1.44 |
| オレイン酸 | 38.64 | 3.04 | 0.82 | 1.65 |

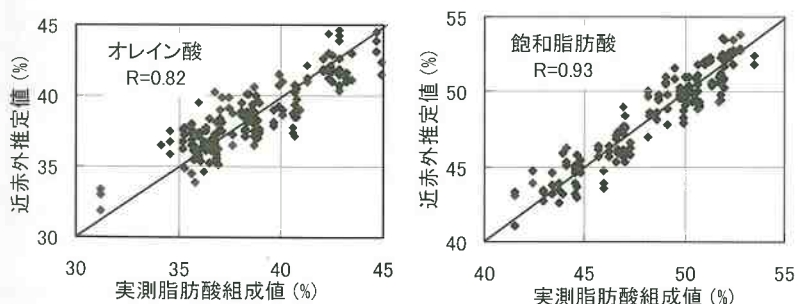


図9 脂肪酸組成値測定性能

の結果、目標通りの近赤外分光による測定性能(測定時間5秒、誤差3%以内)が実現された。このような開発方法を適用することにより、効率の高い近赤外分光装置の開発が可能となる。開発された近赤外豚肉脂質測定装置は、短時間、非破壊、現場測定が可能であり、今後、市場に流通する豚肉品質測定に有効に利用することができる。装置を複数台製作した場合の機差も重要な問題であるが、それについては、今後の研究による。

参考文献

- 1) 大倉, 服部: 近赤外分光計測の装置技術, 分光研究, vol.53(2), pp.109-115(2004).
- 2) 大倉: 近赤外分光による非破壊品質評価装置技術からみた側面-, ITE Tec. Report Vol.30(10), pp.13-18(2006).
- 3) 入江: おいしい豚肉の条件: ピッグジャーナル別刷 アニマル・メディア社,(2005).
- 4) J.D.Wood, R.I.Richardson, G.R.Nute, A.V.Fisher, M.M.Campo, E. Kasapidou, P.R.Sheard and M.Enser: Effects of fatty acids on meat quality: a review, *Meat Science* vol.66 pp.21-32(2003).
- 5) T.Nishioka, M.Irie: Fluctuation and criteria of porcine fat firmness, *Animal Science*, vol.82(6), pp.929-935(2006).
- 6) 入江, 藤谷: 豚の脂肪組織と筋内脂肪の理化学的性状に及ぼす大豆油添加と添加時期の影響, 日本養豚学会誌, vol.26(4).pp.255-260(1989).
- 7) 大武: 豚肉脂質および蓄積部位の異なる脂肪組織の脂質の性質上の差異, 日本畜産学会報, vol.54(3), pp.165-171,1983.

◀ 特集 ▶

アプタマー技術を応用した
食品の安全性に関する簡易リスク判定技術の開発¹ NECソフト株式会社 VALWAYテクノロジーセンター
バイオテクノロジーグループ² NECソフト株式会社 VALWAYテクノロジーセンター
つくばラボ³ NEC イノベイティブサービスソリューション事業部
ヘルスケア事業推進グループ和賀 巖^{1, 2, 3}・秋富 穰¹・古市 真木雄^{1, 2}

アプタマーは、特定の物質に結合する小型の DNA や RNA である。アプタマー技術が報告されて 20 年が経過し、医薬、検査薬、研究用試薬をはじめ様々な利用方法が提唱されている。私たちは、核酸解析アルゴリズムを利用してアプタマーを取得し、改良し、さらには DNAzyme (DNA 酵素) に結合させて、農薬や食中毒菌を見出す新しい検出技術を開発している。ここでは菌や農薬に対するアプタマーと、私たちの研究成果について報告する。

1. はじめに

DNA や RNA などの核酸分子は、塩基配列依存的にその相補鎖にハイブリダイズする以外に、高次構造をつくり特定のたんぱく質や、色素、抗生物質、代謝産物などと特異的結合する。前者は、生命の設計図を担う情報分子としての働きであり、後者は転写活性を制御するリボスイッチなど、植物や菌類の恒常性を担う働きである。後者のような、特定の分子に対し結合する比較的短い核酸を人工的に取得する方法は、S E L E X (Systematic Evolution of Ligands by EXponential enrichment) 法として L. Gold 博士のグループから報告¹⁾されている。また、WAGA Iwao^{1,2,3}, AKITOMI Joe¹, FURUICHI Makio^{1,2}

¹〒136-8627 東京都江東区新木場 1-18-7

NECソフト本社ビル

²〒305-8501 つくば市御幸が丘 34 番地

NEC 筑波研究所・NEC ソフトつくばラボ

³〒108-8558 東京都港区芝浦 4-14-22

大東田町ビル 2F

このような核酸分子は、結合する (To Fit) のギリシャ語 Ap u t a s を語源とした高分子として J. Szostak 博士によってアプタマーと命名された²⁾。アプタマーが最初に報告されてから今日までに約 2000 報以上の文献が発表され、すでに老人性黄斑変性症の医薬品が実用化されている。

私たちの研究室では、2005 年からこのアプタマー関連技術に関する研究を開始し、アプタマーの性質に特化した独自の 2 次構造予測アルゴリズムと小型化アルゴリズム³⁾の研究を基にしてゲノムシーケンサを活用したアプタマー取得技術の開発、抗体に結合する複数のアプタマーの取得^{4, 5)}と研究用試薬への実用化を進めてきた。最近では、脂質メデイエータに対する世界発のアプタマーを取得⁶⁾するに至り、独自ノウハウの準備も進み、これらの技術的なバックボーンを利用して、現在は食品の安全性を簡易に検出するプロジェクトを推進している。本誌の「異業種による注目すべき農林水産研究」特集にあたり、私たちのアプタマー関連の研究

に関して、これまでの成果と今後の展開を記載してみたい。

2. 抗体に結合するアプタマーの取得と簡易的な ELISA 検出法への応用

今日では、食の安全を検査する検査技術において、抗血清やモノクローナル抗体などを活用した ELISA (Enzyme-Linked Immuno-Sorbent Assay) 法が利用され、いくつかの製品が日本でも活用されている。通常の検査においては食品サンプルは特定の前処理を行い、主に抗体をコートした 96 穴を有するプレートに食品被検サンプルを添加して計測される。

私たちは、この ELISA に利用されているウサギの抗血清⁴⁾ に対して、次いでマウスモノクローナル抗体⁵⁾ に対してアプタマーを取得した。これらのアプタマーは、ナチュラルフォームの免疫グロブリンに結合するアプタマーとして Immuno-Aptamer と命名されている。図 1 にアプタマーを取得する一般的な SELEX 法を記載する。また、この手法によって取得されたウサギ Immuno-Aptamer の配列データを図 2 A に記載する。

アプタマーは、核酸 (A, G, C, T または U) のランダム配列 (30-40 bp) の両端に

PCR 反応用プライマー配列を結合した核酸プールから選別される。私たちのランダムプールでは、理論上 4 の 30 乗、すなわち 10 の 18 乗の分子種相当を出発材料として選別を開始する。これはマウスやヒトの抗体の分子種のおよそ 1000 万倍以上に相当する。アプタマーの報告には、抗体に比較して 100 倍以上の結合力を示す研究データが珍しくない。その理由の一つには、出発時点でのプールに含有される立体構造の多様性に端を発すると考えられている。

ウサギ IgG に対するアプタマー R18 の場合は、ターゲット材料に 2 種類のウサギ抗血清を利用し、10 ラウンドの選別工程を行い、最終的にクローニングした 33 クローン中に見出された同一の 6 クローンが由来である。ウサギ IgG に対する Kd 値は SPR 法を利用した測定で、約 15 pM を示した。このように、通常の 2 次抗体目的で使用される分子よりはるかに低い乖離定数が観測された。

興味深いことに、この R18 アプタマーは、SDS などで変性したウサギ IgG には結合できずナチュラルフォームの IgG にのみ結合する。したがって、免疫沈降後の分子の分子量を測定する目的で、2 次抗体として利用すると、たった一種類の抗体で免疫沈降法を実施することが可能となる。

最近、このアプタマーを用いて ELISA 法の感度を 100 倍以上向上する手法が確立できた⁷⁾。市販の ELISA キットを購入し、その 2 次抗体の代わりに R18 アプタマーを利用したときの測定結果を図 2 の C に記載する。図では、測定対象物質の一例として、ヒト血管内皮細胞増殖因子の結果を示す。推奨プロトコールにしたがいサンプルの添加、洗浄、1 次抗体の添加と洗浄工程までを同時に進めた

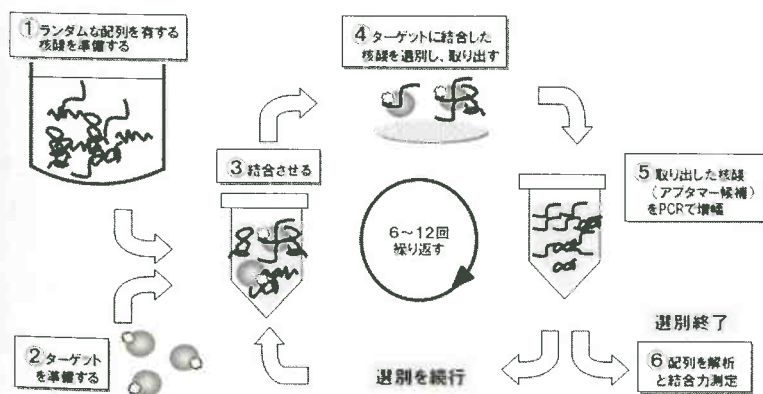


図 1 典型的な SELEX 方法のステップの模式図
 (参考文献 1)

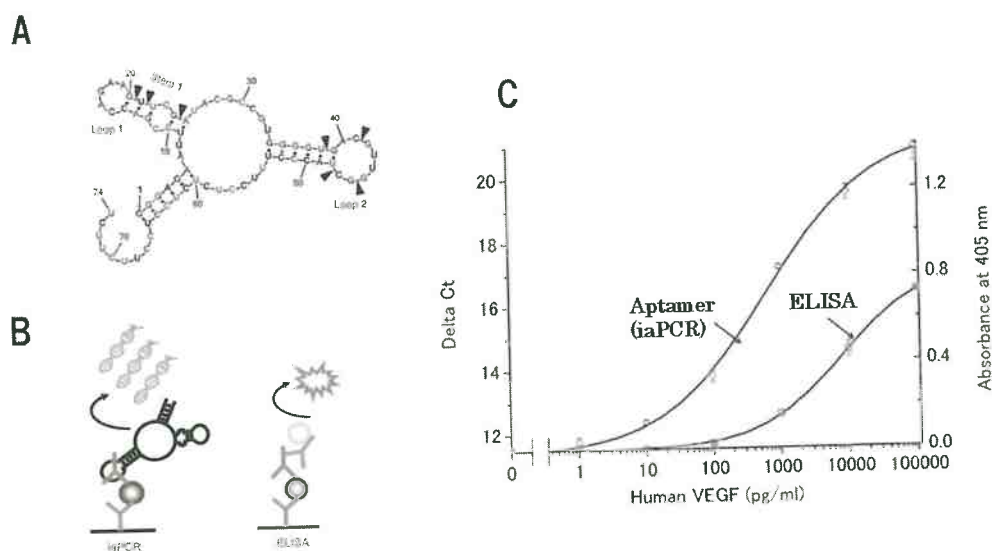


図2 タンパク質に対するアプタマーの一例 (吉田他, 参考文献4, 7)

- A: SELEX法を利用して選別されたウサギIgGに対するアプタマーの2次構造予測図。矢印は核酸のマッピング実験により見出された結合に関与すると予想された部位(参考文献4)。
- B: iaPCR (immuno-aptamer PCR)法と通常のELISA法の比較図。iaPCR法は、市販のELISAキットにそのまま応用できる。
- C: iaPCR法とELISA法による検出感度の比較(参考文献7)。

2種類のプレートを、2次抗体またはアプタマーを添加して洗浄後、測定感度を計測した。アプタマーを利用したPCR反応(iaPCR: immuno-aptamer PCR)の測定領域は下方に100倍確保できた。Q-PCR法は、ターゲットそのものを増幅する方法であるため、理論的には1分子計測が可能と考えられている。このようにアプタマーは、抗体のような結合活性を有しながらPCR反応を応用した計測ができる検出プローブとしての性質を有している。この方法を応用して、食品の安全性に関わるELISA検査手法の感度を高める観点での活用方法の検討を開始している。

3. 脂溶性物質に対するアプタマーの取得

農薬の多くは脂溶性であるため、通常、水溶性のターゲットを選別するSELEX法にて農薬

のアプタマーを取得するのは困難と考えられた。そのため我々は、脂溶性のモデルターゲットを設定し、アプタマー選抜条件の検討を繰り返して行なってきた。ここでは、世界発となる脂溶性リガンドSPC(スフィンギルフォスホコリン)に対するアプタマー取得例を紹介する⁶⁾。ビオチン化したSPCに対し2種類のビーズメディアを利用して、図1に示したSELEX法を用いて、段階的に12回にわたる結合活性のある核酸の濃縮を行った。最終的に取得された複数のアプタマーの一種C1アプタマー(図3A)の結合乗数は、 K_d が20nMであった⁶⁾。このような研究事例から、私たちは脂溶性物質の低分子に対し、アプタマーを取得することが可能であることを実証した。現在、イマザリルやメタミドフォスといった低分子を固定してアプタマーを取得する準備を開始している。

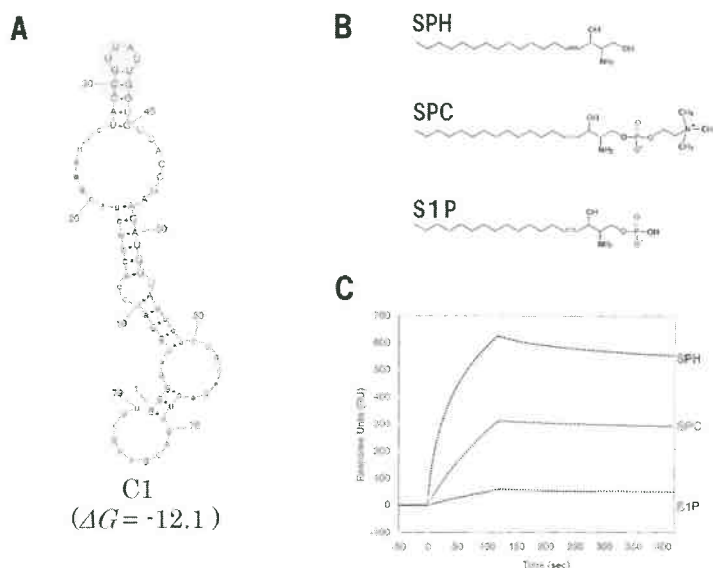


図3 脂溶性物質に対するアプタマーの例
 (堀井他, 参考文献6)

SPCはスフィンゴシルホスホリルコリン SPHはスフィンゴシン S1Pはスフィンゴシン1リン酸を示す。

- A: 脂溶性分子 SPC に対するアプタマーC1 の配列と2次構造予測図。
- B: SPC および関連物質の構造。
- C: アプタマーC1 と SPC, SPH, S1P との結合活性を測定した SPR 解析結果。センサーグラムのデータは、400 nM の C1 アプタマーを分子間相互作用解析装置 (Biacore 3000) に2分間インジェクトして得られた。

4. DNAアプタマー技術を応用した検出技術得射

ヘミンに対するアプタマーがパーオキシダーゼと同様の活性を有することが報告されている^{8, 9)}。私たちの研究室では、このヘミンDNAアプタマー (DNAzyme) が実際にパーオキシダーゼ活性を示し、複数のパーオキシダーゼ基質が発色形にコンバートされることや、電極を用いた実験から電子が誘導されることを再確認した。さらには電極を有するジーンチップを利用して、更に強いPOD活性を有するDNAzymeの配列を多数見出している (Kaneko他 登校準備中)。図4には、我々が作成しているアプタマーを用いた微生物や農薬の検出技術の概略を示す。パーオキシダーゼ活性を有するDNAzyme (図4

左上), および農薬や微生物を検出するアプタマー (図4左下) を連結した配列に、いくつかの塩基配列を追加して披検出物質が存在しない状況での安定構造を持つような配列をコンピュータ上でデザインするのである。配列デザイン上重要な点は、農薬や微生物のような披検物質がある場合、アプタマーがそれら分子に結合して、最も安定な構造を作る場合に、同時にDNAzymeの構造がオープンとなり酵素活性を有する構造になる (図4右下) 点にある。

現在、新しく見出されたDNAzyme配列を利用して、このような人工的なDNAアプタマー酵素の大量評価系の構築と関連ソフトウェアの整備を行っている。

5. 農薬や食中毒菌に対するアプタマー取得状況

農薬としても利用されている抗生物質のいくつかは、原核生物のタンパク質合成装置であるリボゾームに作用して微生物増殖阻害活性を示すことが知られている。アプタマーを研究する私たちにとっては、これら抗生物質と原核生物のリボゾームRNAとのインターアクションに関して非常に興味を引かれる。報告によると、ゲンタマイシンやネオマイシンは16SリボゾームRNAに補足され、タンパク質の合成を阻害するのである。核酸配列とこれらの抗生物質と相互作用するかを研究する方法として、アプタマーを取得するSELEX法が利用されている。

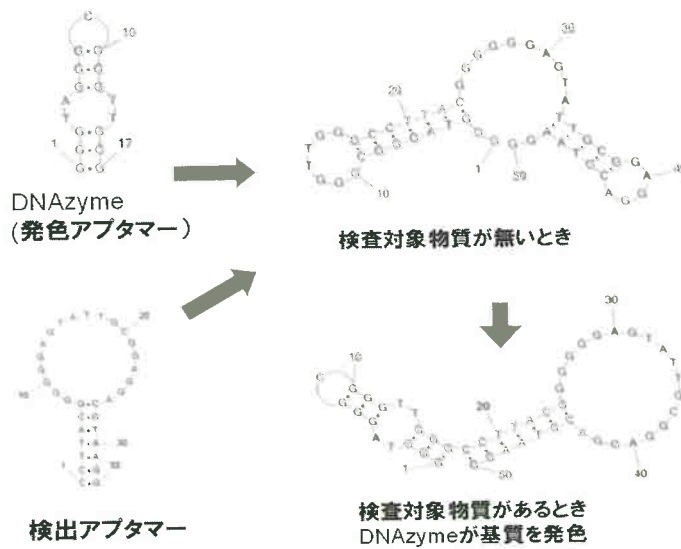


図4 DNAzymeを活用した分子センサーの概念図

DNAzymeの配列とアプタマー配列を連結して、酵素活性がないDNA配列を作成する。そのオリゴ配列は、ターゲット分子が存在する場合にのみ、アプタマー部分がターゲットに結合し、同時にDNAzyme活性を有する構造が誘導される形に変形する。

視点を変えるとリリボゾーマルRNAは、抗生物質のアプタマーとして再定義できる。

このような報告を基にして私たちは現在、約800種類ある農薬成分に対して特異的に結合する核酸配列を探索することに興味を持っている。特定のアプタマー様の核酸配列が見出せれば、図4で記載したスキームにその配列を入れ込み、新しい農薬検出用途のDNAスイッチが多数創出できると考えている。近い将来には、バーコードに印刷した食中毒菌や農薬のDNA酵素アプタマーを検出プローブとし、携帯電話やバーコードリーダーにて検査結果を報告し共有するシステムの提供も視野に活動を進めている。最近までの食中毒菌や農薬に関するアプタマー関連報告は表1にまとめる。

6. おわりに

我が国の食材は、カロリーベースで算定される6割が近隣諸国をはじめ、海外で生産され、主に貨物船によって数日から数週の輸送期間を

得て国内に持ち込まれる。食材への食中毒菌や農薬の混入が懸念されている。したがって日本の食の安全は、ELISAをはじめとした検査キットによって守られていると言っても過言ではない。その多くは、菌の扱いや生化学的なトレーニングを得た高度技能を有する検査技師の手によって担われている。しかし、近年の輸入食材にメタミドフォスが検出された餃子事件や、大手ステーキチェーンに発生し

た食中毒など残念な事故も、毎年のように報告されている。

このような現状を踏まえ、私たちは、ELISA法や微生物培養検査を補完、補強する補助検査として、特定の訓練を必要としないアプタマーによる簡易検出技術の開発に昨年度から着手した。食品のスーパーや外食レストランにおいてアルバイトの学生やパートタイマーの主婦が、簡単に安全性を確認できるようなDNA酵素検出技術を提供することが目標である。このような簡易検出方法は、日本の食の安全が高まるために利用されるほかに、国内外においてもクリーンな農産物を提供するような圧力となる効果も期待されると考えている。

表1 食の安全に関係する食中毒菌や農薬に関連するアプタマーの報告一覧

| 菌,ウイルス名 | 学名 | アプタマー | 情報ソース |
|-----------|-----------------------|-------|---|
| サルモネラ菌 | Salmonella | DNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1904986 |
| 腸炎ビブリオ | Vibrio alginolyticus | DNA | http://www.scientific.net/KEM.439-440.1456 |
| 出血性大腸菌 | E. coli O157 | RNA | http://sunzi.lib.hku.hk/ER/detail/hkul/3837136 |
| 黄色ブドウ球菌 | Staphylococcus aureus | DNA | http://nar.oxfordjournals.org/content/37/14/4621.full |
| カンピロバクター菌 | Campylobacter jejuni | DNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20582587 |
| ボツリヌス菌 | Clostridium botulinum | DNA | http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2008/CC/b717936g |
| ノロウイルス | Norovirus | DNA | http://www.omafra.gov.on.ca/english/research/foodsafety/2008/ts6069.htm |

| 品目名 | 英名 | アプタマー | 情報ソース |
|-------------|-------------------|-------|---|
| エリスロマイシン | ERYTHROMYCIN | RNA | http://gradworks.umi.com/33/96/3396621.html |
| オキシテトラサイクリン | OXYTETRACYCLINE | DNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19185128 |
| カナマイシン | KANAMYCIN | RNA | http://www.cell.com/chemistry-biology/retrieve/pii/S1074552195900489 |
| クロルテトラサイクリン | CHLORTETRACYCLINE | RNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11557342 |
| ゲンタマイシン | GENTAMICIN | rRNA | http://www.nature.com/emboj/journal/v17/n22/abs/7591334a.html |
| ストレプトマイシン | STREPTOMYCIN | RNA | http://www.cell.com/chemistry-biology/retrieve/pii/S1074552103000280 |
| スピラマイシン | SPIRAMYCIN | RNA | http://www.cell.com/molecular-cell/retrieve/pii/S1097276502005701 |
| スペクチノマイシン | SPECTINOMYCIN | RNA | http://nar.oxfordjournals.org/content/30/24/5425.full |
| ダイアジノン | DIAZINON | DNA | http://www.patentstorm.us/applications/20080161236/description.html |
| テトラサイクリン | TETRACYCLINE | DNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18617415 |
| テトラサイクリン | TETRACYCLINE | RNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11557342 |
| ネオマイシン | NEOMYCIN | rRNA | http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bi952479r |
| バージニアマイシン | VIRGINIAMYCIN | RNA | http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12860128 |

文 献

- 1) Tuerk C. *et al.* (1990), *Science*. 1990;249(4968):505-10.
- 2) Ellington AD, *et al.* (1990), *Nature*. 1990 346(6287):818-22.
- 3) Akitomi J. *et al.* (2011), Manuscript in preparation.
- 4) Yoshida Y. *et al.* (2008), *Anal Biochem*. 375(2) 217-722.
- 5) Sakai N. *et al.* (2008), *Nucleic Acids Symp Ser (Oxf)*, 52, 487-488.
- 6) Horii K. *et al.* (2010), *Molecules*. 5(8):5742-55.
- 7) Yoshida Y. *et al.* (2009), *Anal. Bioanal. Chem*, 395, 1089-1097.
- 8) Breaker RR (1997), *Nat Biotechnol* 15: 427-431.
- 9) Sen D, Geyer CR (1998), *Curr Opin Chem Biol* 2: 680-687.

◀ 文献情報 ▶

活性X染色体における *Xist* 発現抑制によるマウス体細胞核移植技術の改善

Impeding *Xist* Expression from the Active X Chromosome Improves Mouse Somatic Cell Nuclear Transfer.

K. Inoue^{1,2}, T. Kohda³, M. Sugimoto¹, T. Sado⁴, N. Ogonuki¹, S. Matoba¹, H. Shiura¹, R. Ikeda¹, K. Mochida¹, T. Fujii⁵, K. Sawai⁵, A.P. Otte⁶, X.C. Tian⁷, X. Yang⁷, F. Ishino³, K. Abe^{1,2}, A. Ogura^{1,2,8}

¹BioResource Center, RIKEN, Tsukuba. ²Graduate School of Life and Environmental Science, University of Tsukuba, Tsukuba. ³Medical Research Institute, Tokyo Medical and Dental University, Tokyo. ⁴Medical Institute of Bioregulation, Kyushu University, Fukuoka. ⁵Faculty of Agriculture, Iwate University, Iwate. ⁶Swammerdam Institute for Life Sciences, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands. ⁷Center for Regenerative Biology and Department of Animal Science, University of Connecticut, CT, USA. ⁸The Center for Disease Biology and Integrative Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo.

Science, 330, 496-499 (2010)

体細胞核移植による哺乳類のクローン作出は、移植核のゲノムのリプログラミングが適切に行われなかったために非常に効率が悪い。移植核のゲノムにおけるリプログラミングエラーはランダムに起こるように見えるが、胎盤異常や免疫不全など核移植に特有の表現型が存在することを考えると、リプログラミングエラーはランダムにおこるのではなく、限定可能なランダムではないエピジェネティックなエラーが存在するように思われる。そこで、著者らは、体細胞核移植において特異的に起こる遺伝子発現パターンを解明するため、卵丘細胞や未成熟セルト

リ細胞を用いた核移植胚と体外受精胚との間で網羅的な遺伝子発現パターンを比較解析した。その結果、*Xist*（雌において2つのX染色体のうちの1つを不活性化するノンコーディングRNA）が雌雄両方のクローンマウス胚において、活性X（Xa）染色体から発現されることを明らかにした。また、Xa上の*Xist*の削除により、遺伝子発現が正常となり、従来に比べてマウスクローンの作出効率が8～9倍改善されることを明らかにした。また、X連鎖遺伝子のサブセットを特異的にダウンレギュレートする*Xist*に関与しない独立したメカニズムを特定し、体細胞核移植の効率を改善しうるマウスクローンにおいて発生する無作為ではないリプログラミングエラーの存在を明らかにした。

体細胞核移植による産子が得られて以来、生産性の向上を目指した種々の取り組みが行われてきている。しかしながら、胚発生率の向上はみられても、早期胚死滅や流産の発生率はいまだに高い状況にある。体細胞核移植によるクローン動物作出効率の低さは、移植核のリプログラミングが適切に行われないことなどが影響していると考えられている。理論的には、リプログラミングが完全な胚のみが満期まで発生する能力を持つはずであるが、これまでの研究においては、完全にリプログラミングされた核を持つ胚を効率的に作出することはできていない。今回、核移植胚のX染色体における*Xist*の発現を抑制することにより、核移植によるクローンマウスの作出効率を飛躍的に向上させることが示された。ウシの核移植胚においてもマウス同様*XIST*の発現が上昇しているとのことであり、クローン技術の進展のためにも、ウシ・ブタ等の他の動物においても同様なメカニズムによりクローン動物の作出効率を向上させるかどうかの検討が望まれる。

（抄訳：下司雅也，GESHI Masaya，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所）

◀ 文献情報 ▶

トマトの種内・種間不和合性に関わる花粉側因子の解析

A pollen factor linking inter- and intraspecific pollen rejection in Tomato.

W. Li and R. T. Chetelat

Department of plant biology, University of California, Davis, USA

Science, 330, 1827-1830 (2010)

植物種内で起こる花粉・めしべ間での認識不和合性として、自家不和合性(SI)が知られている。ナス科において、この認識反応は、ゲノム上で極近接して存在する、めしべに存在するS-リボヌクレアーゼ(S-RNase)と花粉で発現するS-locus F-box (SLF)という両S遺伝子によって起こることが明らかになっており、この領域はS遺伝子座と呼ばれている。一方、種間一側性不和合性(UI)は、近縁他種間の交雑時に起こる受精障害のひとつで、柱頭親にSI種、花粉親に自家和合性(SC)種を用いた場合によく見られる(SI x SCルール)が、その分子機構はほとんどわかっていない。これまでの研究で、ナス科では、UIとS遺伝子座の関連が報告されているが、遺伝解析からはS遺伝子座以外にもUIを制御する領域が存在することが明らかになっていた。本論文では、トマトのUIを制御する花粉側因子の一つを単離したことを報告している。

栽培トマトとその近縁野生種では、自家不和合性の強い他殖性のものから、自殖性のものまで幅広い生殖機構の違いが見られる。一般的には、赤もしくは橙色の果実のトマトはSCであり、緑色の果実をつけるものはSIが多い(一部例外も含む)。これらの種間交雑時には、SI x SCルールに沿ったUIがみられる。著者らは以前、これらを材料とした遺伝解析の結果から花粉側

のUIを負に制御する染色体領域(*ui6.1*)に関する報告をし、第6染色体短腕約160kb内に存在するとしていた。本論文では、さらにマッピングをすすめ、2つの遺伝子を含む約22kbの領域内に存在することを見いだした。そのうちの1つは*Cullin 1 (CUL1)*と呼ばれる遺伝子と高い相同性を示し、花粉での高い発現量も認められた。さらにCUL1は、タンパク質のユビクチン化に関わるE3 ubiquitin ligaseの複合体の一つとされていること、花粉側S遺伝子SLFもまた同複合体で機能することなどの先行研究から、著者らはCUL1が*ui6.1*であると予測した。

SC型*S. lycopersicum*, SI型*S. pennellii*双方からそれぞれ*SICUL1*, *SpCUL1*を単離したところ、*SICUL1*では、第7イントロン内に436bpの欠失が存在し、これによるスプライシングミスによって終始コドンが作られることが明らかになった。さらに、*SpCUL1* cDNAを用いた相補試験によりCUL1が*ui6.1*であることを証明した。次に、栽培種を含むトマト近縁種のCUL1第7イントロン配列を調査したところ、SCの赤・橙色果実種トマトではすべてこの欠失が認められた。以上のように、種内・種間の花粉・柱頭情報伝達機構並びに花粉排除機構において、同様な生化学的機構の存在が明らかとなった。

植物の育種において、近縁他種の有用形質を導入する際の大きな障害の一つが種間不和合性である。今後CUL1詳細な機能解析や、さらなるSIとの関連の研究等により、この障害回避の新たな道ができるようになることを期待する。(抄訳：高田美信, TAKADA Yoshinobu, 東北大学大学院 生命科学研究科)

◀ 文献情報 ▶

アブラムシの体色を変える共生細菌

Symbiotic bacterium modifies aphid body color.

Tsuchida T, Koga R, Horikawa M, Tsunoda T, Maoka T, Matsumoto S, Simon JC, Fukatsu T.

Science. 2010 Nov 19;330(6007):1102-4.

エンドウヒゲナガアブラムシには赤色と緑色の個体が存在する。テントウムシは緑色の葉っぱの上の赤色アブラムシを好んで捕食し、寄生蜂は緑色のアブラムシに優先的に卵を産むことが知られている。これまでに、アブラムシの体色は遺伝的に決まることが明らかとなってきたが、本論文では共生細菌がアブラムシの体色に影響を及ぼすことを示した。

著者らは、フランスでこれらのアブラムシを捕獲しているうちに、ある種の緑色のアブラムシは赤色の子供を生むこと、その子供が成長するにつれて赤色から緑色へだんだん体色が変わることに気づいた。体色が変わるアブラムシの共生細菌を解析した結果、既知の数種類の共生細菌のほかに、昆虫病原細菌と近縁な *Rickettsiella* 属細菌を新奇に発見した。抗生物質処置により、*Rickettsiella* 属細菌以外の2種類の共生細菌を排除したアブラムシは体色の変化パターンは変わらなかったが、*Rickettsiella* 属細菌を排除したアブラムシでは、成長しても体色は緑色に変化せず赤色のままであった。さらに、定量的 PCR を用いた解析の結果、*Rickettsiella* 属細菌の密度と緑色の強さには正の相関があることが明らかとなった。

蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法による観察の結果、*Rickettsiella* 属細菌は bacteriocyte と呼ばれる細胞および鞘細胞、血リンパなどに局在することが明らかとなった。しかしながら、緑色のアブラムシの全てが *Rickettsiella* 属細菌に感染しているわけではなく、また赤色のアブラムシの中にも *Rickettsiella* 属細菌に感染しているものも存在することから、アブラムシの遺

伝タイプと共生細菌の組み合わせが体色に影響を与えるようである。つまり、*Rickettsiella* 属細菌の中には緑色を誘導できないタイプも存在し、宿主であるアブラムシの遺伝タイプによっては *Rickettsiella* 属細菌の活性を弱めたり阻害したりするものも存在するということが示唆された。

アブラムシの体色は、赤黄色素であるカロチノイドと青緑色素である多環式キノンから構成されている。*Rickettsiella* 属細菌に感染した緑色アブラムシ中のカロチノイドの量に顕著な違いは見られなかった。そこで、アブラムシの体内色素をブタノール抽出して薄層クロマトグラフィーに供したところ、*Rickettsiella* 属細菌に感染した緑色アブラムシの方が非感染の赤色アブラムシと比較して、3~4倍の強度の緑色バンドが得られた。これらの結果より、*Rickettsiella* 属細菌は新たに緑色色素を合成するのではなく、アブラムシの代謝を刺激して緑色色素の産生量を増加させることが推察された。

アブラムシの共生細菌は、高温耐性、天敵への耐性、植物適応などの特性を宿主にもたすことが明らかとされてきたが、今回初めて共生細菌がアブラムシの体色にも影響を及ぼすことが明らかとなった。*Rickettsiella* 属細菌に感染した緑色アブラムシはテントウムシに捕食されにくくなるが、寄生蜂には攻撃されやすくなると考えられる。しかし、多くの場合 *Rickettsiella* 属細菌は、寄生蜂への攻撃に耐性をもつ別の細菌と共感染しているため、結果的に共生細菌により宿主アブラムシの生存条件が有利になっていると考えられる。

本論文では、共生細菌による体色の変化が捕食被食関係にも大きく影響を与えるなど、その影響は宿主にとどまらず生態系全般におよぶ可能性を述べており、共生細菌が与える影響の大きさに驚くばかりである。

(抄訳：柳原沙恵, YANAGIHARA Sae, カルピス株式会社 発酵応用研究所)

編集後記

143号をお届けします。本号では特集として「異業種による注目すべき農林水産研究」を取り上げました。特別寄稿で産業競争力懇談会「農林水産業と工業の連携研究会」事務局に産業競争力懇談会(COCN)における「農林水産業と工業の連携研究会」報告の概要について、特集で中澤慶久氏(大阪大学)にグリーンバイオマスからのトチュウエラストマー生産開発、大倉力氏((株)相馬光学)らに近赤外分光による豚肉脂質評価装置の開発、和賀巖氏(NECソフト(株))らにアプタマー技術を応用した食品の安全性に関する簡易リスク判定技術の開発について、それぞれご執筆戴きました。

また、本号の文献情報は、下司雅也氏(畜産草地研究所)、高田美信氏(東北大学)、柳原沙恵氏(カルピス(株))にご執筆戴きました。

ご多忙な中玉稿をお寄せ戴きました執筆者各位に深甚の謝意を申し上げます。(佐々木記)

本誌著作物の複写利用等について

本誌掲載の論文・記事の複写・転載等を希望される方は、執筆者ならびに生物系特定産業技術研究支援センター(生研センター)の許諾を得て行って下さい。

生研センター 業務のご案内

～研究開発を強力に支援いたします～

提案公募型の委託研究制度

- 民間企業の実用化段階の研究支援なら 民間実用化研究促進事業
- 技術シーズ開発のための基礎研究や
応用・発展研究及びベンチャー創業を目指すなら イノベーション創出基礎的研究推進事業

その他の支援制度

- 「共同研究先のあっせん」、「遺伝資源配布先のあっせん」などもお気軽にご相談下さい。

詳細は、生研センター企画部企画第1課までお問い合わせください。

ブレインテクノニュース 第143号

平成23年1月15日発行

発行人 前川 泰一郎

編集人 浅野 将人

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

◎生物系特定産業技術研究支援センター(生研センター)

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目18番19号 虎ノ門マリビル10階

TEL 03-3459-6565 FAX 03-3459-6566

e-mail brainki1@ml.affrc.go.jp

URL <http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/>