

かずさDNA研究所ニュースレター

第36号 2010年12月3日





研究所からのお知らせ

アグリビジネス創出フェア 2010 (於:幕張メッセ) に出展しました

当研究所は、11月24日(水)~26日(金)の3日間に幕張メッセで開催された展示会「アグリビジネス創出フェア~ひろがるチャンス!実らせよう産学官連携~」に参加・出展しました。この展示会は農林水産省が主催したものであり、農林水産業・食品産業分野における最新の研究成果や技術の実用化・産業化を促し、この分野における技術革新と実用化を通じて研究成果や技術を社会還元することを目指して、多数の研究機関や民間企業等が一堂に会して情報交換や交流をおこなう技術交流展示会です。約187の団体が出展し、約2万7000人の方が参加されました。

1日目には、当研究所の柴田産業基盤開発研究部長が「最先端メタボローム技術を駆使した企業研究開発支援」と題するプレゼンテーションを行ないました。メタボロームとは生体に含まれる膨大な種類の代謝物を同定し、それらの合成や分解の経路を、数種類の質量分析機などを用いて網羅的に解析する方法であり、産業上の価値がある代謝物を用いた商品開発や品質管理の手助けを

するものです。

一方、当研究所の展示ブースでは、最先端のメタボローム技術の展示に加えて、当研究所でこれまで行なってきたDNA研究の成果や解析技術を活用した受託業務の紹介も行ないました。世界中で日々更新されているさまざまな植物のゲノムデータを比較して品種改良に役立つ遺伝子を見つけ出したり、種の識別や遺伝子タイピング、育種に役立つDNAマーカーの開発成果などを展示しました。展示ブースには多数の来場者が訪れ、産学官連携活動や研究シーズの開発についての質問や意見交換が活発に行われました。





財団法人 かずさDNA研究所 http://www.kazusa.or.jp/ 〒292-0818 千葉県木更津市かずさ鎌足2-6-7 TEL: 0438-52-3956 FAX: 0438-52-3901

DNA技術の活用



アフリカ農業技術財団 (AATF) の活動:乾燥に強いGMトウモロコシ育種の現状

かずさDNA研究所 所長 大石 道夫



私は、2年前よりAATF (アフリカ農業技術財団; African Agricultural Technology Foundation)の理事を務めています。AATFはケニアのナイロビに本部を置く非営利組織であり、アフリカにおける農業の技術的な改善のために、アフリカの気候や土壌ならびにアフリカにおける農業の置かれた状況を考慮し、遺伝子組換え(GM)作物の作製技術等を活用してアフリカに適した作物の開発の技術的な援助を行ない、主としてサハラ砂漠周辺のアフリカの食糧事情の改善に寄与しようという目的で2002年に設置されたものです。このような目的の達成を目指して、strigaまたはwitchweed(「魔女」と名付けられるほど厄介なイネ科作物に寄生する雑草)の除去法の開発、cowpea(カラスノエンドウならぬ「ウシノエ

ンドウ」:アフリカのみならず、アジアや中央アメリカの乾燥地帯で栽培される乾燥に強いマメの一種)やアフリカで広く栽培されているバナナの品種改良、後述する乾燥に強いトウモロコシの開発などいくつかのプロジェクトが進められております。

年に2回ほど理事会に出席するため アフリカに行く必要があります。通常 はケニヤのナイロビで理事会を開き、 そこで本財団に関するいろいろな問題 を討議するのですが、今回はタンザニ ア最大の都市、ダル・エス・サラーム (タンザニアの以前の首都であり、現在 は人口250万人ほどの経済の中心都市) で理事会が開かれました。その後、か なり内陸部に入ったところにある (バ スで 9 時間) WEMA (Water Efficient Maize of Africa;高効率で水分を利 用することができ、乾燥に強いアフリ カのトウモロコシ) の実験農場の見学 をして参りました。AATFは、年間20 億円程度の予算をもち、主としてアメ リカのゲーツ財団をはじめとする数財 団からの寄付によって運営されてお り、これらの基金で、モンサントなど の企業や世界の研究機関から、アフリ

カの食糧増産に役立つと思われるGM農作物のアフリカにおける頒布権を譲り受け、その有効性をテストして、アフリカ (特にサハラ砂漠周辺地方) の個人、または小規模農園への頒布や技術指導をするものです。

私が今回、訪問したのは、写真1にあるようなWEMAの実験農場です。WEMAは、モンサント社が既存のトウモロコシの交雑と微生物からとった遺伝子の導入により作られた、水分を有効に利用することのできるGMトウ



写真 1: Makutupora実験圃場への入り口

看板に "confined field trial" (入場を制限した実験農場) である旨の表示がなされています。

今月のキーワード

~「DNA技術の活用」にでてきた言葉の解説へ



遺伝子組換え作物:DNA技術の進歩に伴い、従来の交配による育種法に加えて、作物に目的とする形質をもった遺伝子を導入したり、必要のない形質をもった遺伝子を除いたりすることができるようになりました。そして、この方法を用いることで、特定の除草剤に耐性を持つ品種や、特定の病害虫の発生を抑える品種などが開発されてきました(第一世代の遺伝子組換え作物)。その後、第二世代の遺伝子組換え作物として、例えば、ゴールデンライスと呼ばれ、β-カロテンを含有し、精米された米が黄色を呈するイネなど、特定の栄養素を多く含む作物も作られるようになりました。今後は、本文にもありますように、耕作不適地等に適応させるために、耐乾燥性や耐塩性などを持たせた品種の開発が期待されています。

今年名古屋で開催された「生物の多様性に関する条約の締結国会議 (CBD/COP10)」でも話題になりました「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律 (通称:カルタヘナ法)」では、遺伝子組換え生物を指す言葉として、GMO (Genetically Modified Organism) だけでなく、現在のさまざまなバイオテクノロジーを駆使して作出された「生きている組換え生物」を指すLMO (Living Modified Organism) という語が用いられています。

耐乾燥性:本文中のトウモロコシは、納豆菌の近縁の土壌細菌である枯草菌 (Bacillus subtilis) 由来の「低温ショックタンパク質B」と呼ばれるタンパク質の遺伝子を導入することで耐乾燥性にしたものです。植物体内のmRNAにこのタンパク質が結合すると、乾燥にさらされてもタンパク質合成が安定して行なえるようになるためです。



写真2:実験圃場の内部

実験農場の内部には作物に散水するためのパイプ (写真に見られる多数の平行に 配置された細いパイプ) に供給する水の量を調節するための装置がところどころ にあり、水に関するいろいろな条件を設定できるようになっています。

モロコシであり、特に、降水量が少ないためにトウモロコシの収穫量が著しく低下している地域、または降水量が少ないためトウモロコシの耕作不適地とされた地域の土中の水を有効に利用できる (water-efficient) GMトウモロコシの実験農場です。この実験農場はタンザニア政府の規制で、GM農作物を栽培することから高い塀と柵で囲まれており、内部に入ることも厳重に管理されています。

写真2は実験農場の内部の様子であり、広大な敷地のところどころに散布する水の量を調整するためのこのような装置が設置されており、地中の水分の変化によって、植えてある乾燥に強いとされるGMトウモロコシがどのように生育し、且つ収穫量がどう影響を受けるかを調べるものです。アフリカのようにGM農作物が非常に必要とされ、また、財政的に厳しい地域でも、へき地に莫大なお金を投じてこのような完全に閉鎖した実験農場を造らねばならないこと、更には収穫後の農作物は写真3にあるような深い溝の中に入れて焼却する規制になっ

ていることにも驚いた次第です。

このような問題はあるにしろ、アフリ カにおけるGM農作物の研究は、トウ モロコシ以外の様々な作物において も、少なくとも実験レベルでは着実に 進んでいます。しかし、国によってそ の理解度や受け入れ方に大きな差があ ることが問題です。AATFはGM農作 物に対する理解の程度が低い国の政府 への受け入れのための働きかけも行っ ていますが、要は、世界中でGM農作 物を最も必要としているアフリカでの GM農作物の普及と理解の増進には、 一種類でも多くのGM農作物につい て、その有効性と実用性がもっともっ と科学的に明白になることが最も重要 であり、且つ有効だと思いました。



写真3:収穫後にトウモロコシを焼却するために掘られた溝 写真に写っている人の大きさから判断していただけると思い ますが、深さ2メートル、幅2メートル、長さ50メートル程の 溝が多数掘られているのを見ました。政府の規制により、収 穫後のトウモロコシを焼却するためのものです。

🔥 どんなゲノム こんなゲノム 🔥

* トウゴマのゲノム (2010年9月号のNature Biotechnologyで発表)

トウゴマ (*Ricinus communis*) はキャッサバやヤトロファ (ナンヨウアブラギリ) と同じトウダイグサ科の作物であり、その種子は油糧種子と呼ばれる油を多く含む種子です。トウゴマの種子からは主として工業用油として用いられるヒマシ油が作られます。ただし、トウゴマの種子には猛毒のリシン (ricin) が含まれています。リシンは2分子のタンパク質から構成される糖タンパク質 (タンパク質の特定部位に糖が結合したもの)であり、その毒性は、細胞のリボソームRNAに作用して特定の位置にある塩基のアデニンの構造に障害を与え、それによってタンパク質の合成を阻害することによるということがわかっています。

トウゴマの染色体の数は2n=20であり、ゲノムの大きさは約3億5000万塩基で、遺伝子の数は3万1237個と推測されています。ゲノムの解読結果はグレイグ・ベンターの研究所が公開しました。今後、他の植物のゲノムデータとの比較などが行なわれ、新しい知見がもたらされるでしょう。



DNA物語 (10)

前回、DNAの二重らせん構造の発見後もっとも重要な課題であったDNAと遺伝子の関係、特にDNA上にある遺伝子が働く(これを「遺伝子が発現する」と言います)ということは何か、それはどのようにして明らかになってきたかについて述べました。そして、遺伝子が発現するということは、遺伝子(DNA)の塩基配列が一旦メッセンジャーRNA(mRNA)にコピーされ、作られたmRNAが核から出てリボソーム上でタンパク質の合成を誘導することであるという考えに至った過程を説明し、それに関連してクリックの提唱したセントラルドグマについて紹介しました。

ただし、このように述べますと、はじめから「アミノ 酸を結合してタンパク質を作る過程は遺伝子によって決 められている」と考えられていたように受けとめられる かも知れませんが、実は1950年代までの段階では、そ もそもタンパク質がどのようにして作られるのかがはっ きりしておらず、ビードルとテータムの「一遺伝子一酵 素」仮説 (第5回のDNA物語) による予想にもかかわら ず、タンパク質の合成はタンパク質の分解反応の逆反応 によっておこなわれるのではないかと考えていた研究者 も多かったようです。ところが、1951年にイギリスのサ ンガー (Frederick Sanger) によってインスリン (または インシュリン。膵臓から分泌され、血糖値の調節を行う タンパク質性ホルモン)のアミノ酸配列が決定され、タ ンパク質分子はアミノ酸のでたらめな集合体ではなく、 きちっとした一定の配列をもった重合体であるというこ とが明らかにされました。これによって、タンパク質は 遺伝子からの指令に基づいて一定のアミノ酸配列をもつ 重合体として作られることが確定したのだと言えます。

一方、タンパク質の合成の過程で何が起こっているのかを実験的に証明するための工夫もなされ、いろいろな研究者による試行錯誤の結果、細胞を破砕したホモジネート (細胞の内容物の混合物) に、その頃までに利用することが可能になっていた放射性同位元素で標識したアミノ酸を加え、放射性のアミノ酸を取り込んで合成されたタンパク質を解析するための「無細胞タンパク質合成系」が築かれました。つまり、複雑な「生体の中の(in vivo)」反応を解析するために、各種の実験条件を制御できる「ガラス管の中の(in vitro)」反応を解析する系の確立です。そして、この研究法は、DNAやRNAあるいはさまざまな酵素等を用いた生化学反応の解析のための重要な研究法として発展していきます。

ところで、DNAが多数の塩基の連なった直線状の分子であり、また同じようにタンパク質も多数のアミノ酸の連なった直線状の分子であることを考えますと、DNAからタンパク質ができるということは、DNAの塩基の配列が何らかの機構でアミノ酸の配列に変換されるとい

うことを示しています。したがって次の段階としては、 当然のことながら:

- 1. 塩基配列をアミノ酸配列に変換する仕組み
- 2. この変換の行われる場所であるリボソームの果たす 役割
- 3. 転移RNA (tRNA) の構造とその役割

を明らかにすることが重要な課題となります。これらは 全体として「遺伝暗号」の解析の問題と呼ばれ、長い間 多くの研究者を巻き込む大きな問題になりました。

その第一歩として行われたのが、アメリカのニレンバーグ (Marshall Warren Nirenberg) による研究で、試験管内の無細胞タンパク質合成系に人工的なmRNAを加えるとどのようなアミノ酸の重合体が生じてくるかを解析したものでした。この研究でニレンバーグは、ウラシルの重合体 (ポリUと表記します)を人工的なmRNAとして加えると、アミノ酸のフェニルアラニンが重合した一種のタンパク質ができてくることを見いだしたのです。したがって、ポリU上のUの「ならび」はフェニルアラニンのならびに変換されることが実験的に確かめられたことになります。

ところで、それでは塩基のならびをアミノ酸のならびに変換(この変換を「翻訳」と呼びます)する際に、一体何個の塩基のならびが一個のアミノ酸に対応するのかという点が問題になります。塩基は4種類であり、タンパク質に含まれるアミノ酸は20種類であることはわかっていました。ですから、数学的には2個の塩基が1個のアミノ酸に対応するのだとすれば16種類のならび(順列)しかできませんので4種類足りず、3個では64種類できますので多すぎることになります。

この問題の解決は、後述しますように、最終的にはニレンバーグとレーダー (Philip Leder) の開発した巧妙な解析法により、1960年代の半ばまでに決着をみることになるのですが、その過程で重要な示唆を与えたのがアメリカのベンザー (Seymour Benzer) がT4ファージを用いて行なった、遺伝学的な解析としては究極の精度をもつ歴史的な研究でした (これらの詳細については次回に述べます)。

DNA物語・異聞

第8回のDNA物語で、DNAの二重らせん構造発見の陰で、若くして亡くなったフランクリンという女性研究者のDNAの結晶のX線回折像が重要な役割を果たしたことを書きました。最近、この悲劇の女性研究者を主人公とした物語が、51号写真 (Photograph 51)というタイトルの演劇としてニューヨークで公演されたそうです (11月18日号のNature誌のニュース記事)。もとは、フランクリンがユダヤ人であり、かつ女性であったために受けたいろいろな差別に対する反発からなのでしょうが、彼女の態度は当時の仲間の研究者にも誤解されたようです。



宿主の体色を変える微生物

アブラムシ (アリマキ) と細菌類の共生関係は最もよく研究されています。ブフネラはアブラムシの脂肪体の中で共生する細菌であり、栄養素に乏しい師管液を栄養源とするアブラムシに必要なアミノ酸などを提供しています。一方、ブフネラの方も生存に必須な遺伝子を失っていて遺伝子の数は600ほどしかなく、アブラムシの体内でしか増殖することができません。この共生関係はアブラムシのゲノムに水平移動した別の細菌由来の遺伝子によって制御されていることが、"エンドウヒゲナガアブラムシ"のゲノム解析 (約5億塩基、35,000遺伝子: PLoS Biologyの2010年2月23日号で発表) から明らかになっています。

今回、産業技術総合研究所と理化学研究所を含むグループは、エンドウヒゲナガアブラムシの体色を赤から緑に変化させるのは共生するリケッチエラ属の細菌であることを突き止めました。ヨーロッパに生息するエンドウヒゲナガアブラムシには、集団内に赤色と緑色のアブラムシが同時に存在しています。色彩の異なる個体が同一種に共存する仕組みは、さまざまな捕食者の色彩の選択性が関与しているようです。

リケッチエラが感染したアブラムシは体色が赤から緑に変化するので、赤色を好むテントウムシには食べられにくくなりますが、緑色を好む寄生蜂の攻撃は受けやすくなります。そのため、寄生蜂の卵や幼虫を殺すことができる細菌類を同時に共生させることで、アブラムシの生存率を高めているようです。

実はこの体色の変化はもっと複雑であり、アブラムシの体色は元々緑色だったのが、ある遺伝子が細菌から水平移動によってもたらされたことによって赤色になったことがゲノム解析により明らかになっています。生物の体色という重要な性質が共生細菌によって変化するという発見は、生物が進化の過程でどのようにして多彩な機能を獲得してきたかという問題を解く手がかりのひとつとなるでしょう。

アーキアの細胞膜

アーキア (古細菌) は大腸菌などの通常の細菌と異なり、栄養源も乏しく、普通の生物が生きることができない高温や高塩濃度の水域などのいわゆる「極限環境」に多く生息しており、そのために起源の古い細菌だと考えられてこのように名付けられました。しかしいろいろな研究から、起源が古いのではなく、特殊な進化を遂げた細菌群であると考えられています。現在では、環境から採取したDNAを直接解析する「メタゲノム解析」が可能ですので、実験室での培養が困難なアーキアについての解析も進んでいます。

海洋研究開発機構の研究グループは、アーキア類の代謝を測定する目的で、長さ30cmほどのアクリル製の筒の内部に、栄養源となるグルコースの炭素原子を安定同位体の¹³Cで置き換えて注入し、深海底(水深1,453m)に放置しました。数日から1年以上の後に筒の内部の堆積物を回収し、エーテル脂質と呼ばれるアーキアに特徴的な細胞膜の成分を単離しました。

エーテル脂質はグリセロールにイソプレノイドという炭化水素がエーテル結合してできる脂質です。得られたエーテル脂質を質量分析装置を用いて解析した結果、グリセロール部分には「3Cがありましたが、イソプレノイド部分にはほとんど見いだされませんでした。このことは、取り込まれたグルコースがグリセロールの合成には用いられても、イソプレノイドの合成には用いられなかったことを示しています。

では、エーテル脂質のイソプレノイドはどこからもたらされたものなのでしょう?研究グループでは、アーキアはイソプレノイドを新しく合成するのではなく、個々の細胞の死後も分解されずに残されたものを取り込み、グリセロールと結合させてエーテル脂質としているのではないかと考えています。イソプレノイドは炭素原子を40も含み、1分子の質量が562という大きな分子であり、これほど大きな有機化合物をリサイクルする仕組みはこれまで知られていません。このような研究によってアーキアの生態が少しずつ明らかになっていくことでしょう。



<今月の植物> マルバノホロシ (ナス科) Solanum maximowiczii Koidz. (2008年11月29日撮影)

身近に見られるナス科の植物には秋になると赤いきれいな実を付けるものが何種類かある。マルバノホロシもその一つで、晩秋には実が真っ赤に熟し、花期とはまた違った趣になる。葉が丸い訳ではないが、近縁のヤマホロシやヒヨドリジョウゴと違って、全縁(縁に凹凸がない)なのでそう呼ばれる。