植物科学シンポジウム

食料・エネルギー・環境問題の解決に貢献する植物科学

要 旨 集

日　時：**2011年12月2日（金）**
10:00～18:00（開場 9：30）

場　所：**コクヨホール**

主　催：独立行政法人 農業生物資源研究所
独立行政法人 理化学研究所 植物科学研究センター
大学植物科学研究者ネットワーク
独立行政法人 産業技術総合研究所

プログラム

10:00-10:10　開会の挨拶　石毛光雄（農業生物資源研究所理事長）
松田紀子（農林水産技術会議事務局研究総務官）

基調講演

10:10-10:50　「作物ゲノム研究の現状と今後」……3
佐々木卓治（東京農業大学総合研究所）

先端研究を支える研究基盤

10:50-11:15　「植物科学最先端研究拠点ネットワークと研究支援」……4
篠崎一雄（理化学研究所）

11:15-11:30　「植物CO_2資源化研究拠点ネットワーク（NC-CARP）の開始にあたって」……5
福田裕穂（東京大学）

11:30-12:00　「作物ゲノミクスと遺伝資源」……6
矢野昌裕（農業生物資源研究所）

植物科学の課題研究

12:00-12:15　「植物科学の課題研究 ― CREST・さきがけについて ―」……8
磯貝　彰（「CO_2資源化」研究総括／奈良先端大）

12:15-13:25　休　憩

食料生産への貢献

13:25-13:50　「イネの生産性向上に向けた取り組み」……10
北野英己（名古屋大学）

13:50-14:15　「ダイズゲノム育種の取り組み」……12
石本政男（農業生物資源研究所）

バイオマス利用

14:15-14:35　「先端的低炭素技術開発（イモ革命）」……14
横田明穂（奈良先端科学技術大学院大学）

14:35-14:55　「理研バイオマス工学研究プログラムからのグリーンイノベーションへの貢献」……16
篠崎一雄（理化学研究所）

14:55-15:15　「稲わらバイオマスの糖化技術開発」……18
徳安　健（農研機構 食品総合研究所）

15:15-15:35　「産総研におけるバイオマス研究の取り組み」……20
高木　優（産業技術総合研究所）

15:35-15:55　休　憩

食料・エネルギー・環境問題の解決に貢献する植物科学研究と
応用展開への各省庁の取り組み

15:55-16:05　石井康彦（文部科学省 研究振興局 ライフサイエンス課 課長）

16:05-16:15　田口　康（文部科学省 研究開発局 環境エネルギー課 課長）

16:15-16:30　藤村博志（農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究開発官）

16:30-16:45　岡田正孝（経済産業省 製造産業局 生物化学産業課 事業環境整備室 室長）

16:45-16:50　休　憩

技術開発から実用化へ

16:50-17:20　話題提供：民間での取り組み「遺伝子組換え花きの開発と商業化」……22
田中良和（サントリー植物科学研究所）

17:20-17:55　パネルディスカッション ……23

17:55-18:00　閉会の挨拶　　横田明穂（奈良先端科学技術大学院大学）

18:30-　交流会

作物ゲノム研究の現状と今後

佐々木卓治
東京農業大学総合研究所

いうまでもなく人間は医と食が保証されてこそ充実した生活を送ることができる。歴史的にもこの2点は人類の発祥以来最大の関心事であった。この2点に関わるその時々の問題点を解決することで今日の60億を超える数の人間が限られた資源の地球上に暮らしている。しかし、人間の欲望には際限がなく、餓えることなく病気をせずに一生を全うしたいと思う人が大部分であり、この目的のために実に多額の金銭が使われてきた。近年では遺伝情報が医療や作物の改良に直接利用できるのでは、という期待のもとにこの遺伝情報＝ゲノム情報の獲得に多額の投資が行われている。医療においては個人の全ゲノム情報を読み取って配列の特徴と遺伝的蓋然性の相関が精力的に調査されている。例えばNature Genetics誌に掲載される論文の大多数はこのような研究成果で占められている。人間の場合には遺伝情報の改変は倫理的に許されないので、高い確率で発病が予測される塩基配列を有する個人は発病の環境要因を除く努力が唯一の回避方法となる。ゲノム情報を利用したこのような新たな医療が既に始まっている。一方の食料作物におけるゲノム情報の解読と利用はどうであろうか。作物の品種改良の基礎が遺伝法則であることをメンデル以前から経験的に知っていたことを想えば、現代の作物改良にゲノム情報を利用しない手はない。当然、ニーズは大きく主要作物（穀類・園芸作物）の多くはゲノムシーケンシングの対象とされ、最新の解析手法と得られたデータの集約が精力的に行われている。これら得られた成果は現代の作物育種や植物の理解に多面的に利用されており、従来の知識では超えられなかった壁を越える例も散見できる。とはいえ現状での問題点も例えば以下に述べるように存在する。1）シーケンシング技術の変化（高速化・大容量情報獲得・低コスト化）に伴う情報の精度への懸念。2）対象となる作物種が多く、資金・人材の分散が避けられない。ただし、これには多様な植物種の情報が得られる利点もある。3）成果が作物改良にまだ十分利用されていない。従来の育種方法で得られた結果の検証ではなく、ゲノム情報の成果がなくては得られない新品種作出例が少ない。4）成果の利用が「ゲノム生物学」という新たな学問分野に十分展開できていない。この点に関してはゲノム情報の利用で従来分子レベルでの解決が残されているいくつかの現象を、メンデルが遺伝法則を発見したと同様のブレークスルーで説明することが望まれる。5）国際的な研究の広がりや連携が進んでいない、この原因はシーケンシングの一局集中にあると思われる。これらの問題点の解決を図ることが医療と並んで人類に欠かせない食料確保に本当に貢献できる証左を示すことになり、これからの作物（植物）のゲノム解析研究継続の重要性を社会にアピールすることにつながる。今回の講演では以上の問題点について私見を中心に解決策（らしきもの）を述べる。

植物科学最先端研究拠点ネットワークと研究支援

篠崎一雄

独立行政法人理化学研究所

植物科学は、モデル植物のゲノム機能研究、オミックス関連技術、モデル植物から作物への応用研究などの進展に伴い急速に進展しました。さらに植物科学研究の成果からグリーンイノベーションへの展開が期待されています。しかし一方で研究機器の高度化、高機能化にともない、個々の研究機関が所有する設備だけでは充分な対応が難しくなりました。このため、多様な植物の遺伝子、タンパク質、代謝産物などを迅速に解明できる計測基盤の強化、植物細胞解析のための顕微鏡施設、大規模な形質転換育成・形質評価基盤の強化と、そのネットワーク化が必要とされています。文科省、最先端研究基盤事業の「低炭素社会実現に向けた植物研究の推進のための基盤整備」では、最先端の解析基盤と形質転換育成・評価基盤の集中整備を進めています。オールジャパンでの最先端研究基盤の整備と利用推進のために研究拠点ネットワークを強化することにより、植物バイオマスの生産性の向上、光合成による二酸化炭素の固定量の増大、植物バイオマス利活用等の連携研究などの推進を目指しています。

さらに、植物科学最先端研究拠点ネットワークの強化により、国内外の若手・女性研究者や地域の研究者が最先端の研究機器や研究技術にアクセスしやすい基盤を提供することにより植物生産性向上の技術開発に貢献するためのオールジャパンでの研究体制の構築を進めます。以下のWEBサイトで研究支援のメニューと利用のための手引きが得られます。研究推進のために積極的にご利用下さい。

ネットワークホームページ（http://www.psr-net.riken.jp/）

植物CO_2資源化研究拠点ネットワーク（NC-CARP）の開始にあたって

福田裕穂

NC-CARP代表　東京大学

現在の社会的な課題、CO_2資源化を進めるための技術基盤を作るために、文部科学省の大学発グリーンイノベーション創出事業「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）事業」の一貫として、植物CO_2資源化研究拠点ネットワーク（NC-CARP）を開始いたしました。

NC-CARPでは、植物科学研究において実績のある大学、およびバイオマス変換利用に実績のある研究所や大学を中心として、生産性が高くかつ工業原料として利用しやすいバイオマス育種を行う「スーパーバイオマス育種拠点」と、育種されたスーパーバイオマスからバルクおよびファイン化学品の高効率生産を行う「バイオマス利活用拠点」を置きます。この2拠点に加え、企業コンソーシアムを構築し、これらを有機的にネットワーク化することで、バイオマスの増産から化学品生産までを行う研究と人材育成のネットワークを構築します。本講演では、この事業について簡単に説明するとともに、皆様へ参加のお誘いをさせていただきます。

作物ゲノミクスと遺伝資源

矢野昌裕

（独）農業生物資源研究所

作物育種における遺伝資源の重要性については広く認識されており、我が国のジーンバンク事業は、イネをはじめとした穀類のみならず野菜や果樹などの多様な遺伝資源の保存に貢献し、ニーズに応じて研究者や育種家にそれらを提供する役割を果たしてきている。しかしながら、遺伝資源がもつ潜在的な有用性が、正確に把握され、かつ有効に利用されているとは言い難い。所蔵する系統が多いイネについても、日本では育成品種どうしの交雑が主体で近代品種が育成されており、かならずしも多様な遺伝資源が積極的に活用されてはいない。その原因の一つとして、遺伝資源のもつ潜在的能力（有用遺伝子）の評価が難しいことが挙げられる。たとえば、病害抵抗性や耐虫性などについては、その性質が他の形質変異に影響されずに評価できるために、有望遺伝資源を多数の系統から選抜しやすく、育種における遺伝資源の活用は進んでいるが、品質や収量など作物一般における重要な形質についての遺伝資源の潜在的な価値はほとんど評価されないで残されている。形態などの一般的な特性評価は可能であるが、遺伝資源をそのまま評価しても、様々な形質が変化していることによって、その変化が他の形質にも影響し、表現型が保有している遺伝子の効果を直接、反映しているとは限らないからである。特に、イネにおいては育種選抜において対象とされる形質の多くは出穂期の違いによって大きく変化する。これは、草型や収量、品質など最も重要な育種形質は、達観での評価が難しいことを意味する。もう一つの原因は劣悪形質の連鎖のひきずりである。野生種や遠縁品種に有用遺伝子を見いだしたとしても、交雑育種によって優良品種に取り込む場合は、劣悪形質との連鎖のひきずりがその有効利用を妨げることもある。不稔や弱勢など明らかに淘汰される形質ばかりでなく、品質や形態の微細な変化も、栽培品種としては避けられるケースが多い。またこのような形質は研究の対象になっていない場合が多く、ゲノムのどこに劣悪形質を生じる遺伝子が存在しているのかもよくわかっていない場合が多い。

このような問題の理解とその解決のために、演者らはアジア栽培種からその遺伝的関連に基づいて選抜した10系統を供与親にした染色体部分断片置換系統群の作出を継続してきた。これらの系統群は日本の近代品種として最も受け入れられているコシヒカリを背景にし、様々な供与親のゲノムの一部が置換された系統の集まりで、供与親のもつ一部の染色体の形質への作用を解析できる実験系統群である。出穂期に影響する遺伝子の染色体領域以外の置換系統では、出穂期の差が生じず、信頼性の高い形質評価が可能となる。作出した系統群の収量や品質あるいは生理形態形質について、様々な環境下で比較することによって、供与親がもつ潜在的な遺伝的有用性が明らかにできると考えている。また作物研究所においては、近縁野生種を供与親として用いて、同様な置換系統群（イントログレッション系統群）を作出している。これらの系統は生物研および作物研から公開分譲されており（される予定）、育種的な利用のみならず植物学的研究に利用されることが期待される。

近年の塩基配列解析の技術革新は、参照ゲノム配列が解読された植物のゲノム再配列解析を極めて容易にした。このことが、遺伝資源の評価法に新たな展開をもたらしている。多様な遺伝資源のゲノム

塩基配列の比較から、異なる作用をもつ遺伝子の発掘が可能となり、それらの表現型への作用を最後に確認することで、新規な遺伝子あるいは異なる作用を持つアリルの同定と利用が可能になる、いわゆる逆遺伝学的なアプローチである。演者らは上述の実験系統群の作出において供与親に用いた多様な遺伝資源について次世代シーケンサーを用いたゲノム塩基配列解析を行っており、これらの塩基配列情報を実験系統群と組みあわせて利用することで、これまで順遺伝学的なアプローチが主体であった自然変異の解析についても、逆遺伝学的なアプローチが適用可能となると期待される。

配列比較によって得られる多型情報は、作物におけるゲノムワイド一塩基多型（SNP）の解析にも貢献している。日本型品種、インド型品種、あるいは最近、育成された多収型飼料イネなどについて、ゲノムワイドなSNP解析を行うことによって、それぞれの品種がもつ染色体ブロックの定義とその系譜とのつながりなどが明らかにされつつあり、品種そのもののゲノムの構成（Genome Architecture）を詳細に解析することが可能となっている。ゲノムワイドSNPの利用により、日本型品種におけるコシヒカリゲノムの寡占程度の把握や遠縁交雑後代のゲノムの組み換えの評価など、育成品種や既存の遺伝資源のゲノム構成の評価が進み、今後の品種改良における重要な情報となることが期待される。

以上のように、遺伝資源の有用性をさらに増強するための研究基盤は、時間はかかるものの、ゲノミクスを背景として体系的なものとして構築されつつある。これらの基盤や実験系統あるいはマーカー等のツールは、今後の育種研究あるいは植物科学研究のプラットフォームとして役に立つことが期待される。その一方で、多様な農業生物の遺伝資源の整理と理解にはまだまだ多大な労力と時間がかかる。遺伝資源に関する研究基盤の構築には、短期間でその価値や効果を見せることはできにくいため、目先の出口を意識する短期的な研究プロジェクトによる集中的な予算配分はなじまない。農業生物の遺伝資源研究においては、この点を意識し長期的な視野に立った研究推進が不可欠である。

植物科学の課題研究 ― CREST・さきがけについて ―

磯貝　彰

「CO_2資源化」研究総括／奈良先端大

はじめに

日本の植物科学研究が、基礎研究のレベルでは世界に誇るものでありながら、それを活用した応用研究力が弱いということは、かねてから色々な方面で指摘されてきたことである。しかし、私達植物科学研究者の立場としては、そうした基礎研究力を生かすための課題研究プロジェクトが設定されてこなかったことにも、問題があると考えてきた。本年度より始まる第4期科学技術基本計画の中で、グリーンイノベーションが大きな課題となる中、私達は、CO_2削減、あるいは、CO_2循環の問題に対しては、地球上でCO_2循環に根幹的に関わっている植物を対象とした研究は大きな貢献をなしうるはずであると強く主張してきた。こうした主張が認められた結果であろう、今回、戦略的創造研究推進事業のCRESTとさきがけの両方で、「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」（「CO_2資源化」）の領域が設定された。こうした課題対応型の研究領域の設定は私達植物科学者にとって朗報ではあるが、一方では大きな試練でもあり、その力量が試されていることでもあると考えている。本年この第1年目の募集が行われた。11月下旬にはその採択課題が発表される予定である。現在の予定では24、25年度も引き続き募集が行われることになっている。そこで本シンポジウムでは、「CO_2資源化」プロジェクトの目指すもの、また、採択課題や審査体制、1年目の募集の状況などについて報告し、植物科学に託された課題に向けて、この分野に関係の深い方々の協力を要請したい。

1.「CO_2資源化」領域研究の目的

今、持続可能なエネルギー供給と低炭素社会への社会的要請と関心が高まるなか、日本の植物科学研究者には、その力を低炭素社会の実現など、社会的課題の解決に発揮することが求められている。社会の要請に応え、将来に真に実用可能な技術を生み出すためには、目的意識を明確にした緊密な連携を研究者間で構築し、これまでの研究成果を基に植物科学者の総合力を発揮できる研究体制が必要となっている。今回設定されたCREST とさきがけの研究領域は、こうした社会と時代の要請に応えるために植物科学研究者に託されたものである。

2. 研究目標

本研究領域では、植物の光合成能力の増強を図るとともに、光合成産物としての各種のバイオマスを活用することによって、二酸化炭素を資源として利活用するための基盤技術の創出を研究目標とする。

具体的な研究の内容としては以下の研究を想定する。

○ 光合成機能の統合的理解と、それに基づく光合成効率向上のための基盤技術の創出

○ 多様な環境に適応した多様な植物の機能解析・育種研究を通した、炭素貯留向上・高品質バイオ

マス開発のための基盤技術の創出

○ バイオマス分解・脂質合成システムの解明を通した、バイオマス利活用の効率向上・高度化のための基盤技術の創出

3. 研究推進の仕組み

CRESTでは、研究代表者が課題全体に責任を持ち、研究代表者の研究構想を実現するために最適な研究チーム（数名～20名程度の研究者の集団）を指揮して、研究期間5年以内で研究課題を推進する。

さきがけでは、研究者個人の独創的で挑戦的な発想を実現するために、研究期間3年または5年を応募時に選択し個人で研究課題を推進する。また、成功した場合には飛躍的、画期的な成果が期待できる研究は、大挑戦型として研究を推進する。

本研究領域では、CRESTとさきがけという2つの研究タイプの強みを活かしつつ統合的に研究を推進していく。

なお、本課題の研究目標達成のためには、植物科学を中心的に展開してきた理・農などの研究者のみならず、バイオマスとしての植物の活用を目指す、工の研究者の積極的な参加あるいは協力が重要であると考えている。

イネの生産性向上に向けた取り組み

北野英己

名古屋大学生物機能開発利用研究センター

日本人がいかにコメを大切にしてきたかは、敢えて説明する必要もないと思いますが、コメはアジアを中心に世界人口の約半分の人々においても大切な主食であり、コムギとほぼ同じ年間6.8億トンが生産されています。ちなみに日本のコメは現在精米換算で約9百万トン生産されており、主要穀物の中では唯一自給が達成できている作物です。

最近、日本食の素晴らしさが評価され、コメの需要は世界に広がりつつあります。また、深刻な食料問題を抱えるアフリカ地域でもコメの需要は広がっており、ネリカ（NERICA）米を初めとする稲作振興が日本政府の援助もあって進められようとしています。一方、最近経済発展が目覚ましい中国やインドなどの新興国では、経済力を背景に主食であるコメの生産に力を注いでいますが、国内需要に中々追いついていかない状況が続いています。また、タイやベトナムでは、重要な輸出品としてコメの増産に取り組んでいます。日本のコメの生産については、第二次世界大戦直後の飢餓状況から奇跡の復興を遂げ、1960年代には自給できるまでに生産性を回復しました。今ある水田を全て利用すれば、一般的なイネ品種を栽培するとしても最大で1,400万トンの生産能力を持っているといわれています。これを収量の推移の面から見ると、日本のコメ収量(10ａ当たり)は、明治の初期には高々100 kg/10ａ程度であったのが現在では500kg/10a以上になっており、過去百年の間に5倍もの収量増を果たしてきたことになります。このような生産性の向上には、圃場整備や機械化を含めた稲作技術の進歩と品種改良の技術が大きく寄与していることは言うまでもありません。

前世紀後半に始まった「緑の革命」でコムギやイネの収量性を飛躍的に増大させることに寄与した技術の主役は、一部の在来品種に保存されていたたった一種類の半矮性遺伝子（コムギでは*Rht*、イネでは*sd1*）でした。しかし、半矮性品種はあらゆる農業環境で万能というわけではなく、自然の地力に依拠せざるを得なかった時代には、背丈が高く少肥下でも生育旺盛さを失わないような在来品種のほうが収量の確保には有利でした。このような在来種は、化学肥料の投入が容易に可能となると過剰な施肥に対して徒長反応を示し、倒伏により反って収量が減るという問題を持っていました。この問題を解決したのが半矮性という遺伝的形質の改良でした。従ってこの改良品種による多収効果は、肥料の投入とセットで実現する技術であったということになります。途上国の中には今世紀になっても化学肥料も手に入れることが出来ないような貧しい農業を強いられている地域が多数存在しており、このような地域では農業の基盤を整えることが実現しない限り、「緑の革命」の恩恵を受けることは出来ません。従ってこのような地域では、育種の立場からは全く別な発想で品種改良を行うことが必要になります。

20世紀における技術革新による人類の目覚ましい発展とグローバル化は、私達に改めて極めて難しい問題を提起しています。“地球的規模”での環境問題、エネルギー問題、そして食料問題の解決すべき3課題です。いずれも世界中の国が共同で取り組まなければ克服できない問題であることが、より現実的に鮮明になってきたと私達は実感していると思います。また、これらの課題は相互に関連しているこ

とが多いのでより問題の解決を難しくしています。

ここでは、今述べたようなことを意識し私達が行っている研究について触れたいと思います。私達は、コメは日本人にとって最も重要な作物であること、ゲノム情報の解読という国家プロジェクトで分子生物学的研究成果が最も蓄積されているという2つの理由でイネを材料に研究を進めてきました。現在私達の研究グループが行っている研究課題は、以下のような内容です。

（1）草丈を制御する遺伝的な仕組みの解明。

（2）不良環境にも適応し成育が可能となる有用遺伝子の発見と仕組みの解明。

（3）収量を直接制御している遺伝子の発見と仕組みの解明。

（4）これらの成果を育種に応用するための技術開発。

私達はこれまでにイネの収量増大や不良環境での成育に役立つと思われる有用遺伝子を幾つか同定してきましたが、これまでに解明したイネの遺伝子の多くが生産性を高めるために役立つと期待しています。これまで品種にある特定の遺伝子を交配によって導入することは年数のかかるとても難しい作業を必要としていましたが、ゲノム解読がなされた今では目的の遺伝子が存在する染色体上に多数のDNA分子の目印（分子マーカー）をつけることが出来るようになり、この目印を頼りに目的の遺伝子型の個体を選抜することで私達のような育種の素人でもこのような作業を比較的容易に進めることが出来るようになりました。

最近では役に立つ遺伝子が次々と発見されていますが、近い将来はこのような有用遺伝子を組み合わせて超多収を実現するような品種の育成も可能になるかも知れません。20世紀の目覚ましい科学技術の発展により私達は日常生活において多大の恩恵を受けてきました。しかし、このことが今まで経験したことの無いような大きくて難しい課題を21世紀に暮らす私達に突きつけています。食料問題についても20世紀の科学技術は農業の生産性を飛躍的に増大したにも拘わらず、食料分配の格差が益々広がって飢餓の解消にはほど遠い状況が生まれています。また、エネルギー消費型の科学技術は、最近のバイオエタノールの例に見られるように食料とエネルギーの競合という事態まで招いてしまいました。このような状況を打開し、将来の夢のある世界を実現するために、私達は、これからも研究の方向を見誤らないよう注意しつつ、食料生産の発展に役立つ学問を展開していこうと思っております。

ダイズゲノム育種の取り組み

石本政男
農業生物資源研究所

ダイズの重要性

ダイズは豆腐、煮豆、納豆、味噌、醤油などの伝統的な加工食品の原料、あるいは、枝豆やモヤシのように野菜として利用される、日本人にとって非常になじみ深い作物である。ダイズは栄養価の高いタンパク質に富むとともに、油脂含量が高く、植物油、飼料、工業原料やバイオ燃料の原料として、また、食品素材や安価な健康食品として世界的に注目されている。ダイズは日本を含む東アジア地域に広く分布するツルマメから、約4000年前に中国において栽培化されたと考えられている。これらの地域以外で本格的にダイズが栽培されるようになったのは実に20世紀になってからであり、近年、アメリカを中心に、ブラジル、アルゼンチン、カナダなど南北アメリカ大陸での生産が増大している。ダイズの全世界での生産量は、2000年の1.7億トンから2010年には2.6億トンへと、主要穀物の中で最も大きな伸びを示している。今後も、世界的なダイズ増産は続くと考えられ、2030年の生産量は3.7億トンに達すると推計されている。

国内に目を転じると、ダイズの消費量は年間約400万トンであるのに対し、生産量は約20万トンであり、油糧や飼料用途を除いた、食品原料として使用される約100万トンに対しても自給率は20％程度と低い。自給率の向上には、栽培面積を拡大するとともに生産性の向上が欠かせない。国内の平均収量は約1.6トン/ha（平成21年度）であり、世界平均である2.5トン/haに遠く及ばない。日本におけるダイズの生産は8割以上が水田転換畑で行われるため、梅雨や秋雨、さらには台風などにより湿害を受けやすい。加えて、病虫害、雑草との競合、生育期の干ばつなど、収量の低下と不安定さの要因にさらされる。そのため、水田転換畑環境下で安定多収を実現する品種の育成が求められている。一方で、非GMO分別（遺伝子組換えでない）ダイズよりも高い国産ダイズ価格を実需者や消費者が受け入れていく上からも、豆腐、煮豆、納豆や味噌といった用途別に優れた品質の実現と一層の向上が必須である。

以上のように、国内外で状況は異なるものの、ダイズ生産の増大と安定化が求められていることに変わりはない。さらには、ダイズはマメ科植物であり、根粒菌との共生による窒素固定を行うという、他の主要穀類にはない特徴を有している。そのため、品種育成の効率化、画期的品種の育成を目指して、アメリカを中心にゲノム研究が進展してきた。

ダイズゲノム研究の展開

ダイズの基本染色体数はn＝20であり、近縁のマメ科植物であるアズキやインゲンマメ（n＝11）に比べて多い。これは全ゲノムの重複によるものであり、その後の多様化と欠損、再配置により、染色体構造は複雑になっている。そのため、当初、有用形質の遺伝解析は困難を極めた。その後、ゲノム上の特定の領域に由来するSSR（simple sequence repeat：単純反復配列）を利用した多型性の高いDNAマーカーが開発され、マーカー情報が急速に蓄積され、20の基本染色体数に収束した分子連鎖地図へと統

合された。さらに、アメリカと日本で独立してダイズEST（Expressed Sequence Tag）ならびに完全長cDNAの配列解読プロジェクトが進められ、発現遺伝子情報が集積されていった。このような状況のなか、2008年12月にアメリカ品種「Williams 82」の全ゲノム配列情報がアメリカ合衆国エネルギー省と農務省との共同研究により公開された（http://www.phytozome.net/soybean.php）。Glyma1.0と名付けられたこの情報には、20の染色体に統合された975 Mb（全ゲノムの約85％）の塩基配列情報に加え、約46,000の遺伝子情報が掲載されている。このデータベースにより、任意の位置にDNAマーカーを設計することはもちろん、ポジショナルクローニングの際の候補遺伝子の絞り込みも容易になった。

DNAマーカーの解析から、日本のダイズは大陸のダイズからは早期に分化し、独自に多様化してきたことが分かってきた。アメリカのダイズは中国のダイズを元に改良されてきたことから、日本のダイズの特徴を明らかにし、マーカー選抜による品種改良を進めるために、国産品種「エンレイ」の塩基配列の解析を2007年に開始した。すでに、800 Mbの塩基配列を得て、年内の公開に向けてデータベースの整備を進めている。また、国産品種などの部分塩基配列情報を元に、SNP（Single Nucleotide Polymorphisms：1塩基多型）マーカーやSSRマーカーを開発し、国産品種への有効性の確認を進めている。さらに、組換え自殖系統や染色体部分置換系統を育成し、農業上重要な形質の遺伝解析を進めてきた。すでに、病虫害抵抗性や生産性関連形質の一部についてはマーカー選抜を事業育種に組み込み、品種が育成されている。一方、広範な遺伝資源の中から有用形質を探索し、利用するためには、原因遺伝子の同定と機能解析が欠かせない。遺伝子組換え技術の改良やウイルスベクターの利用技術の開発、TILLING（Targeting Induced Local Lesion IN Genomes）用の変異集団の育成が進展しており、機能ゲノミクスを実施する基盤についても整備されつつある。

本講演では、日本におけるダイズゲノム研究から育種への展開を中心に紹介する予定である。

先端的低炭素技術開発（イモ革命）

横田明穂

奈良先端大・バイオ

1. はじめに

日本の国土面積は3,780万haで、その内農耕利用可能全面積は610万haである。関東以西では冬も耕作が可能なので、最大耕作利用面積は850万haになる。しかし、実際は遊休地や冬場の休耕などで、稲作に180万ha、稲作以外に320万haを使っている。これだけでは1億2,700万人の食料はまかなえず、海外から1,200万haで耕作された農産物を輸入している。その結果、我が国の食料自給率は、40%弱（エネルギーベース）で推移している。耕地面積が不足している我が国がこの現状を改善する手立ては、世界の食料生産事情の改善を目指す科学技術によって世界を支援しつつ、栽培国の余剰分を輸入する以外に恒久的な解決策はない。では、作物も含めて、植物の生産力にはどれほどの余力があるのか、次に考えたい。

植物の生産を支える光合成にとっては、地表に届く太陽エネルギー量の1/3～1/2で十分である。この光の量で実測されている最大光合成CO_2固定速度は60 μmol/m^2/sである（Science, 1976）。この速度で半年間作物を栽培したとすると、50～100 t/ha程度の生産が可能になる。ドイツのジャガイモ生産性は44 t/ha/年である。乾物重では22 t/ha/年となる。したがって、本来土地利用効率とハーベストインデックスが高い作物はその生産力の上限をさらに向上させる研究には非常に魅力的である。多くの作物の生産性は1～10 t/ha/年である。

私たちは、このような観点から、元来生産性が非常に高いイモ類を使ってその生産性の上限をさらに向上させるALCAイモプロジェクトを開始した。多くの作物は、4億年ほど前に陸生を始めたシダ植物や裸子植物から派生し、2000万年位前に品種として独立したものが多い。したがって、このような作物種の遺伝子群はすべてこれらの先祖植物由来であり、現在は先祖植物以外の生物由来の遺伝子は全く使えない。その後の生育環境への適応過程で個々の遺伝子をより進化させてきたと思われるが、光合成を行っている葉にも、光合成産物を貯蔵する貯蔵組織にも深刻な限界があった。この限界こそが我々のALCAイモプロジェクトのターゲットである。以下に、我々のALCAイモの分子育種研究の立ち上がってきた経緯、研究の目標と内容などについて紹介する。

2. ALCAイモプロジェクト研究の目標と内容

1980年代の分子生物学的手法による遺伝子発現抑制技術の開発を受け、多くの光合成代謝遺伝子の重要度が解析された。CO_2の固定及び代謝反応を担うカルビン回路では、ルビスコ及び2つのホスファターゼがまさしく光合成全体の律速（光合成速度制限）酵素であった。これら2つのホスファターゼは固定CO_2から次のCO_2固定の受け手の化合物であるリブロースビスリン酸（RuBP）の再生に関わる酵素である。一方、ルビスコが機能を十分に発揮するには、RuBPで活性化されたルビスコ活性化酵素によって活性化を受けなくてはならない。実際、タバコのカルビン回路で高活性のラン藻型ホスファターゼを

機能させると、RuBPの葉緑体レベルが上昇し、さらにルビスコが活性化されて光合成CO_2活性が向上した。この遺伝子がこれまでで最も強力な葉の光合成機能改良遺伝子である。ジャガイモの葉でこの酵素を機能させると、葉の光合成は20～30%上昇した。

ジャガイモの貯蔵組織である塊茎の貯蔵能力強化のための戦略は、意外な研究展開によってもたらされた。カラハリ砂漠原産の野生種スイカは地中深く根を伸ばして地下水を確保する能力に長けていることが生態学的によく知られていた。我々の研究でも、野生種スイカが土壌乾燥を感知すると根を急速に発達させることが確認された。そこで根の急速な発達時に発現する遺伝子を探索した結果、RANGTPase（RAN1）を見出した。このタンパク質はすべての真核生物で細胞分裂や細胞質と核間の転写因子などの輸送に関わる生存に必須のものである。野生種スイカにはこれに加えてもう一種存在し、土壌乾燥時に根端や側根生長点で強く発現していた。この遺伝子を35Sプロモーター制御下でシロイヌナズナやジャガイモに導入すると、これらの植物の根は強く発達した。また、このジャガイモを土壌でポット栽培すると、葉の光合成CO_2固定速度はベクターコントロールと比べ20～30%上昇した。

以上の結果は、ジャガイモの生産性は、これまでの作物学の常識を覆し、ジャガイモの場合ソース葉及びシンク組織双方が独立に生産性の制限要因になっていることを示している。また、これら両遺伝子を同一植物体で機能させると、葉の光合成は他の場合と同様に20～30%上昇したが、塊茎重量は3.5倍の上昇となった。このジャガイモの生産性向上が野外圃場で再現された場合、ジャガイモの乾物重は70 t/ha/年に達すると予想される。これはまさしくほぼ地球上の植物の最大生産性に近い値が達成されると期待され、将来のエネルギー、資源、食料などに有望な植物になる。これが我々のALCAイモプロジェクトである。

理研バイオマス工学研究プログラムからの
グリーンイノベーションへの貢献

篠崎一雄

独立行政法人理化学研究所

理研バイオマス工学研究プログラム（Biomass Engineering Program :BMEP）は、2010年4月に発足した新しい研究プログラムです。光合成により二酸化炭素を資源化する植物の能力を最大限に利用し、糖質、脂質やセルロースなどのバイオマスを増産し、植物バイオマスを原料としてバイオプラスチックなどの新バイオ素材を創る新たな技術を確立することにより、グリーンイノベーションへ貢献することを目的としています。

理研BMEPでは、理研内の植物科学、情報科学、微生物科学、酵素科学及び高分子科学の異なる研究分野で活躍している第一線の研究者がそれぞれの専門性を活かした独自の視点より、セルロースバイオマス生産、遺伝子組換えとゲノム設計、酵素設計と高機能化、バイオプラスチック設計、モデル植物／有用微生物基盤、代謝解析基盤に関わる基礎研究･技術開発を行うとともに、分野横断的連携を進めることにより、得られた技術の高度化を図りながらプログラムを推進しています。

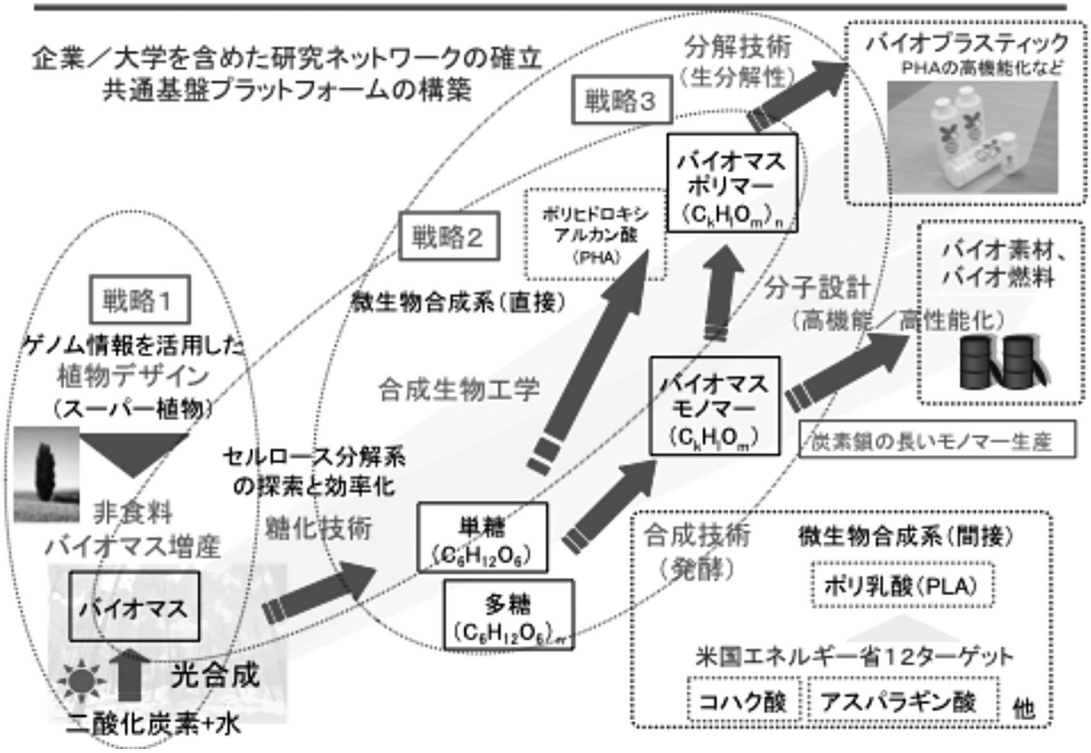
さらに理研内での研究の融合を図るだけではなく、バイオマス研究に関する理研外の大学、研究機関、企業との連携を進め、得られた技術をつなぎ合わせることにより、「植物バイオマス生産からバイオプラスチックなど新バイオ素材の生産までを一気通貫でつなぐ革新的技術の確立」を目指しています。また、海外研究機関と国際協力を進めることにより、アジアを含めた世界各地への技術展開を進めていきます。以下の三つの戦略目標を掲げて10年間の研究プログラムを推進しています。

① 植物の機能強化による「高生産性・易分解性を備えたスーパー植物」の開発

② バイオテクノロジーを活用した化学製品原料の効率的な「一気通貫合成技術」の確立

③ ポリ乳酸に並び立つ新たなバイオプラスチックや新バイオ素材の探求

バイオマス工学研究プログラムの研究戦略の概要



BMEP ホームページ：　http://www.riken.jp/bmep/index.html

稲わらバイオマスの糖化技術開発
―シンプルな前処理工程CaCCO法の開発―

徳安　健

（独）農業・食品産業技術総合研究機構　食品総合研究所

1. はじめに

地球温暖化の一因とされるCO_2発生量がガソリンより少ない、バイオマス由来エタノール（バイオエタノール）を含有する輸送燃料への転換が世界各国で加速している。これまでの、いわゆる第一世代のバイオエタノール製造は、サトウキビ由来糖液、トウモロコシ澱粉などの糖質・澱粉資源を非食用用途に供するものであり、食料用途との競合が懸念されている。その一方で、稲わらや林地残材等のリグノセルロース系バイオマスを原料とした第二世代のバイオエタノール製造は、食料生産と競合を避けられる工程として強く期待されており、米国を中心に新技術の開発や実証試験が精力的に行われている。著者のグループでは、農林水産省委託研究プロジェクト「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発（BEC-BA220）」の中で、稲わらを対象として、100円/L程度以下での国産バイオエタノール製造技術の開発を目標とした研究を行っている。

2. 稲わら原料の潜在性

バイオエタノール製造コストを低減するための最も有効な方法は、高品質な原料を使用することである。そこで、著者らが原料の成分分析を行った結果、ほぼ全ての品種系統に、セルロースやキシランの他にも多様な糖質が含まれることを確認した。それらの糖質には、ショ糖、澱粉、ブドウ糖及び果糖のような非構造性炭水化物（NSC）に加えてβ-1, 3-1, 4-グルカンも含まれており、総称として「易分解性糖質」と呼ぶこととした。易分解性糖質は、直接の抽出または直接酵素糖化などの簡単な処理によって、容易に酵母が発酵可能な六炭糖に変換できるものであり、バイオエタノール製造工程における重要性が高い。茎葉部にこのような糖質が蓄積する現象は、三大穀物（稲、トウモロコシ、ムギ）の茎葉のうち、稲のみに観察される現象であり、稲作文化圏で利用可能な新技術開発は極めて重要となる。

3. 稲わら前処理法「CaCCO（かっこ）法」の開発

そこで、著者らは、稲わら中の繊維質の酵素糖化性を向上するためのアルカリ前処理と易分解性糖質の回収を両立し、低コストでのバイオエタノール製造を可能とするため、水酸化カルシウム前処理技術（CaCCO（Calcium Capturing by Carbonation）法：炭酸ガス吹付によるカルシウム捕捉法）を開発した。本法では、前処理後のスラリー中和に炭酸ガスを使用しており、ライム（CaO）は炭酸カルシウムとして沈殿し系内に残存する（図中央太枠内）。炭酸ガスは、蒸留時のボイラーや発酵槽からのガス利用から供給できる。多くの化学的前処理では、後段に薬液回収のための固液分離工程が組み込まれているが、固液分離によってショ糖、澱粉、β-1, 3-1, 4-グルカンやキシランの一部が液相に遊離し流亡する。このため、本工程では、炭酸ガス中和後に固液分離を行わずに酵素糖化を行うことを最大の特徴

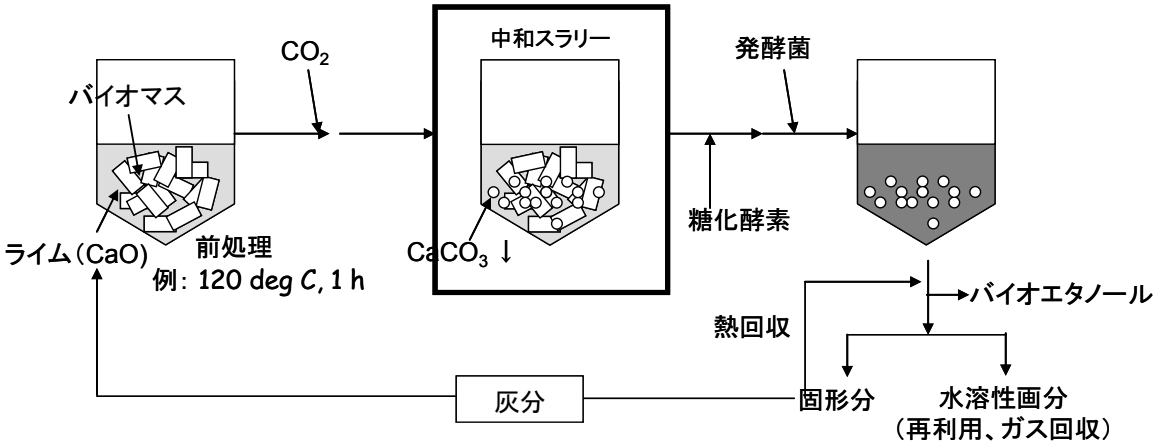


図 CaCCO法を軸とした稲わらからのバイオエタノール製造工程の概要

とする。その後、同じ反応槽内でエタノール発酵を行い、得られたもろみを蒸留してバイオエタノールを得る。その他に、蒸留残渣の固液分離後に固形分を燃焼し、灰分としてライムを回収できる。本プロセスは、原料からエタノールまでワンポットで変換が可能な、設備費を抑えたシンプルな工程となる。

4. おわりに

持続的に生産される稲わら原料を用いてバイオマス新産業を創出するためには、稲わらが籾収穫時の副産物という固定観念を捨て、稲わらと籾の両方を品質管理するための農業技術革新が極めて重要と考える。易分解性糖質が含まれる高品質な稲わらを安定的かつ低コストで生産し、籾収穫後も易分解性糖質の腐敗・損耗を抑えつつ品質を維持するためには、CaCCO法の高度化を含めて多岐にわたる新技術開発が必要となる。環境産業または人類全体からのニーズがこれらの開発を後押しできれば、新たな農業生産システムを基盤としたエネルギー生産技術の変革も夢でなくなるものと強く期待したい。

産総研におけるバイオマス研究の取り組み

高木　優[1]、坂西欣也[2]

独立行政法人産業技術総合研究所 [1]生物プロセス研究部門、[2]バイオマス研究センター

産業技術総合研究所におけるバイオマス研究については、生物プロセス研究部門における植物グループが、植物転写因子機能研究の重要課題の一つとして、植物のバイオマス関連形質に関わる転写因子の探索およびそれらを用いた有用バイオマス植物の開発研究を進めている。バイオマス関連で注目する形質としては、植物の二次壁であるリグノセルロース系バイオマスを制御する因子を中心に解析研究を進めている。植物の二次壁は、ロース、ヘミセルロース、リグニンが主な構成成分であるが、産総研では、独自に開発した転写抑制因子を利用した遺伝子サイレンシング法であるCRES-T法を用いてNAC転写因子ファミリーに属するNST1（NAC SECNDARY WALL THICKNING FACTOR1）とNAC3が機能重複して植物の二次壁構成を制御する鍵転写因子であることを明らかにした。nst1 nst3二重変異体およびNST1キメラリプレッサーを発現するシロイヌナズナ形質転換体の花茎、胚軸では二次壁形成が抑制され、リグニン含量が減少し、セルロースの結晶化も抑制されていることが判った。さらにこれらの植物の二次壁成分のセルラーゼによる糖化率を調べたところ、野性型に比べ2倍以上の糖化されることが明らかになり、リグノセルロースからのバイオエタノール生産に有効な形質を持つ植物である可能性を示した。その他のバイオ燃料に有用な形質として、種子の油脂含量を変化させる因子の探索も行い、これまでにシロイヌナズナ種子において20％以上油脂含量を上昇させるキメラリプレッサーを（株）トヨタ自動車と共同して発見している。また、植物のメリステムあるいは頂芽優勢を制御する転写因子を同定し、これらを操作することによって、葉数を飛躍的に増加させることが可能になることをシロイヌナズナとタバコにおいて明らかにしている。さらに限られた容積における栽培施設において最大限のバイオマスを確保するのに有効な細胞伸長を抑制する因子も同定している。

一方、中国センターを主な拠点とする産総研バイオマス研究センターでは、炭酸ガス固定化能の高い木質系バイオマスを中心とした各種のバイオマス原料から革新的なバイオ燃料製造技術の開発に取り組んでおり、以下の4つの重点課題に取り組んでいる。

1）非硫酸法前処理・酵素糖化法によるリグノセルロース系バイオマスからの高効率エタノール製造技術の開発

2）ガス化・ホットガスクリーニング・FT（Fischer-Tropsch）合成・水素化分解・改質からなるBTL（Biomass To Liquids）トータルプロセス設計によるBTL-FTディーゼル燃料の製造技術開発

3）バイオマス液体燃料製造プロセスのシミュレーション技術によるシステム評価に基づいた経済性・環境性評価技術の開発

4）バイオマスアジアプロジェクト推進によるアジア及び世界規模のバイオマス利活用システムの構築

当センターでは、上記の研究開発の実現によって、石油を中心とする化石資源代替を促進し、かつ循環型エネルギー社会の構築に貢献できる費用対効果に優れた実用化バイオマス転換プロセスの開発を目指している。

さらに、環境化学研究部門では、バイオケミカルやバイオプラスチック等、生物由来原料を用いた再生可能資源を利用する材料・プロセス技術の研究開発を行っており、「環境に優しいものづくりの化学」を目指している。

このように産総研では、バイオマス研究に関して、基礎、応用、継続性を一体としてとらえて研究を進めている。

遺伝子組換え花きの開発と商業化

田中良和

サントリー植物科学研究所

多くの花き植物は世界各地から収集された野生種を交配することにより誕生した。バラやカーネーションも例外ではない。しかしながら、交配による品種改良では、交配可能な同じ種または近縁種の形質を利用することは可能であるが、異種の形質を利用することはできない。遺伝子組換え技術を用いれば、植物に限らずすべての種の遺伝子を品種改良に利用できるので画期的な新品種を開発できる。

一方で、遺伝子組換え植物の開発と商業化には、①有用な遺伝子の取得、②目的の植物の形質転換方法の開発、③導入遺伝子の発現制御などの技術的な課題の克服に加え、④「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物多様性の確保に関する法律」（通称カルタヘナ法）に基づき、生物多様性影響評価を行い、必要な認可を得る必要がある。それぞれにコストが発生するので、遺伝子組換えは高価な品種改良法といえる。

主要な切り花であるバラ、カーネーション、キクなどは、多くの青や紫の花に含まれるデルフィニジンという色素を合成することができないため、青や紫の品種がない。デルフィニジンを合成するために必要な酵素はフラボノイド3',5'-水酸化酵素（F3'5'H）である。*F3'5'H*遺伝子をこのような植物の中で発現させることにより、デルフィニジンを蓄積させ、花の色を青く変えることができた。デルフィニジンの含有率を上げ、花色を見た目に青く変化させるためには、①*F3'5'H*遺伝子の転写を制御するためのプロモーター、②*F3'5'H*遺伝子の起源植物種、③同じ基質を利用する内在性の酵素との競合の回避、④デルフィニジンの色は液胞のpHはじめいろいろな細胞内の環境に依存するので青の発色に適した品種を選抜、などの工夫を凝らす必要がある。このようにして開発されたカーネーションは「ムーン（ダスト）」シリーズとして日米欧などで、バラは「アプローズ」という商品名で日米で、販売されている。

生物多様性影響評価の中で最も大切な項目は国内野生種との交雑性の有無である。バラやカーネーションは切り花だけでも年間数億本が国内で生産・消費されていて、野生種へ影響は観察されておらず、我々の試験でも自然条件での交雑はありえないと思われるが、遺伝子組換えバラやカーネーションは系統ごとに厳密に審査される。この審査や準拠法は国や地域によりさまざまであり、米国では今回開発した切り花は組換え植物の審査の対象とされない。組換え植物の実用化の世界標準の制定と、植物種や導入遺伝子によっては大胆な規制緩和が行われれば、組換え植物の開発が活性化されると思われる。

パネルディスカッション「技術開発から実用化へ」

篠崎　一雄　理化学研究所 植物科学研究センター センター長／
バイオマス工学研究プログラム プログラムディレクター

矢野　昌裕　農業生物資源研究所 農業生物先端ゲノム研究センター センター長

北野　英己　名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 有用農業形質保存研究室 教授

石本　政男　農業生物資源研究所 農業生物先端ゲノム研究センター ダイズゲノム育種
研究ユニット ユニット長

横田　明穂　奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 分化・形態形成学講座 教授

徳安　　健　食品総合研究所 食品素材科学研究領域 糖質素材ユニット ユニット長

高木　　優　産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 遺伝子転写制御研究グループ
グループ長／主幹研究員

田中　良和　サントリービジネスエキスパート株式会社 技術開発本部 価値フロンティアセンター
植物科学研究所 所長

司　会

廣近　洋彦　農業生物資源研究所 理事

M E M O