



東京大学農学部公開セミナー 第47回

農学に役立つ千里眼と透視 —見えないものを見る—

講演要旨集

~~~~~ プログラム ~~~~~

【 開会の挨拶 】

13:35~14:25

**植物の反応を見る：最先端農業や環境観測への応用**  
生物・環境工学専攻 教授 大政 謙次

【 休憩（10分） 】

14:35~15:25

**放射性物質で見る植物の中の元素の動き**  
附属放射性同位元素施設 助教 小林 奈通子

【 休憩（10分） 】

15:35~16:25

**セルロース分解酵素の分子を観察して  
ナノメートルスケールの「渋滞」を解消する**  
生物材料科学専攻 准教授 五十嵐 圭日子

【 閉会の挨拶 】

司会 教授 金子 豊二

日 時 2014年11月8日（土）13:30~16:30  
場 所 東京大学弥生講堂・一条ホール  
主 催 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部  
共 催 （公財）農学会

# 植物の反応を見る：最先端農業や環境観測への応用

生物・環境工学専攻 教授 大政謙次

人間の目は、電磁波のうちで非常に狭い波長域（可視光）のみを感じ、対象に関する情報を得ている。画像計測は、種々の波長域の電磁波（あるいは音波）を検知するセンサを用いて、人間の目では見ることのできない波長域の電磁波を、目で認識できるように変換（可視化）する技術である。γ線からラジオ波までの種々のセンサが利用できる。

これらのセンサを用いた実際の計測では、対象に関する情報を担うべき電磁波が存在することが必要である。このため、環境からの電磁波や対象から放射される電磁波を利用した受動方式の計測だけでなく、電磁波を照射して対象に関するより詳細な情報を得る能動方式の計測技術が発達している。また、顕微鏡を用いて、人間の目では直接見ることができない微細なものを計測する技術や、航空機や人工衛星にセンサを搭載して、鳥のように、上空から対象を計測する技術等がある（図1）。

画像計測のうち、離れたところから対象を2次元、3次元的に計測する技術をリモートセンシングという。人工衛星や航空機からのリモートセンシングは、地球観測のような広域の植生情報を得るのに適している。しかし、観測頻度と空間解像度の問題から植物機能の情報を得るには不十分な点が多く、地上観測で得られた知見や地理空間情報システムのデータ（ビッグデータ）と併せて、解析やモデリング、検証等を行う。その際、近距離からのリモートセンシングが地上観測の手段として有効である。

実験施設や地上観測、あるいは簡易な無人飛行機（UAV）等の近距離からのリモートセンシングでは、得られた分光反射、温度、蛍光、距離等の画像情報を解析することにより、植物の形や構造、含有色素、蒸散、光合成、成長等の植物反応に関係する情報を2次元、あるいは3次元的に得ることができる（図2）。最近では、人工衛星や航空機からのリモートセンシングでも、同様な情報を得るための研究が進んできている。

ここでは、このようなリモートセンシングによる植物機能に関する情報を得るための技術と、植物の環境応答の解析や診断、表現型を遺伝子と環境の両面から研究する植物フェノミクス研究、情報通信技術（ICT）を用いた最先端農業技術研究、広域での環境観測への応用研究等について紹介する。

詳細については、下記のホームページの著書や論文を参照されたい。

（論文） <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/papers2010311.html>

（著書・解説） <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/books20090123.html>

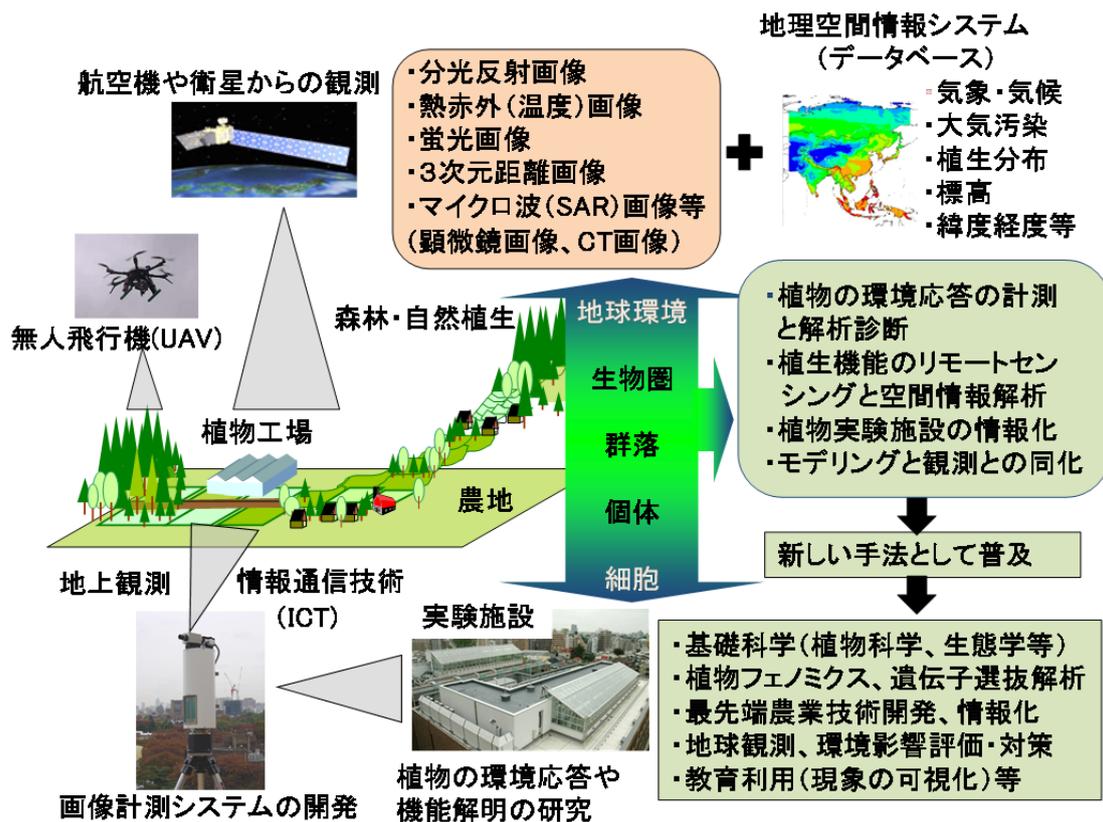


図1 階層的植物機能リモートセンシングの概念図

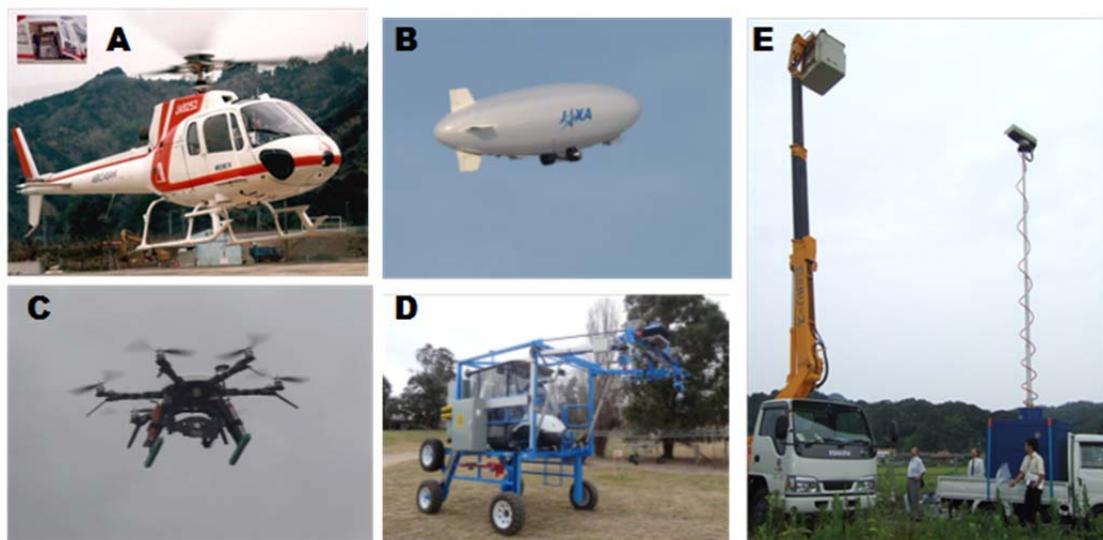


図2 高頻度、高空間解像度観測が可能なプラットフォームの例

A: ヘリコプター、B: 飛行船、C: マルチコプター、D: ほ場計測車、E: 高所作業ブームと伸縮ポール。AからDは、GNSS(全地球測位システム)とIMU(慣性計測装置)を搭載し、自動走行あるいは位置情報の検知が可能である。

# 放射性物質で見る植物の中の元素の動き

附属放射性同位元素施設 助教 小林奈通子

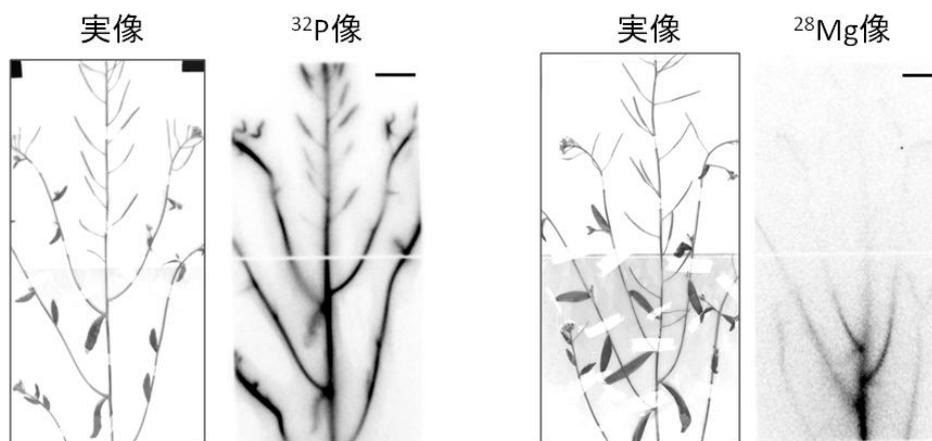
## 1. 植物と無機元素

植物の育つ様子を見ていると、私たち人間の生長とは大きく異なる点があることに気づく。例えば、植物は一般に、水と栄養元素さえあれば、有機物を光合成によって自ら作りだすことで生活できるため、他の生物を必要としない。一方、私たちはエネルギーを摂取することが必要で、植物が生産したエネルギーを、ミネラルとともに、毎日の食事を通していただくことで生命を維持している。それから、植物は常に新しい器官（葉、茎、あるいは根など）を作り出しながら大きくなっていく。古くなった器官は枯れていくわけだが、この時、器官に含まれていた無機元素のうち必要な部分は植物体のほうに集められ、新しい器官に配られる（転流と言う）。

私たちとは違って移動することのできない植物は、与えられた環境の中で必要な無機元素をせっせと吸収し、体内でやり繰りしながら成長するのである。植物が必要とする無機元素には14種類あり（炭素、酸素、水素を除く）、それらが不足しても、過多でも、成長に悪影響を及ぼす。無機元素を適切に植物に与えることは、作物の生産性を左右する重要なポイントである。

## 2. 元素の動きを見る装置

植物が元素を吸収・分配する様子は、様々なデータを通して垣間見ることができる。しかし、元素の動きそのものを見ることほどストレートな方法はないだろう。元素を見るために強力なツールとなるのは、放射性物質であ



放射性同位元素 ( $^{32}\text{P}$ -リン酸,  $^{28}\text{Mg}$ -マグネシウム) を根から24時間吸収させたシロイヌナズナ

る。元素の種類は同じ（陽子の数が同じ）で、重さが異なる（中性子の数が異なる）ものを同位体というが、同位体の中には放射線を発する、放射性のものが存在する。この、放射性同位体が発する放射線を目印にして元素の動きを追跡する実験手法は古くから用いられてきたが、私たちはこの手法を大きく改良し、生きた植物の中を元素が動く様子を動画として撮影している。これまでに、イネやシロイヌナズナが、様々な元素を吸収し、体内に分配する様子を捉え、元素ごとに根から地上部への移行速度が大きく異なること、地上部においても分配先が異なることを示すことに成功した（図参照）。根から吸収した元素がいつ、どこに分配されるのかという情報は、農業の現場で施肥の時期や方法を考える上でも役立つのではと期待している。

### 3. 放射性セシウムの問題について

2011年に起こった福島第一原子力発電所の事故によって飛散した放射性セシウムは、農業にも大きな影響を与えている。放射性セシウムが農地に降下し、植物を汚染していった様子は、植物体における放射性セシウムの分布画像から見てとれる。農地に降下し、植物表面に付着した放射性セシウムは微細な点状に写るので、植物体内に吸収された放射性セシウムとは明確に区別することができるからだ。放射性セシウムの「量」として扱うと同じ汚染度であっても、「分布」を見ると、汚染経路が違うことが分かる場合がある。汚染経路の特定は、汚染低減策の構築に直結することからも、「見る」ことの重要性は高いと言えるだろう。

また、セシウムは植物体内では、多量必須元素であるカリウムと類似の動きを示すと考えられてきたが、どこが似ていて、どこが違うのか、ということも、両元素の放射性同位体を使った実験によって分かってきた。イネの場合、カリウムは根をゆっくりと通過し、地上部へ移行していくが、セシウムは根に大部分が留まり、ごく一部だけが地上部に移行する。しかしながら、いったん地上部に到達すると、両元素の分配先は極めて似たものになる。このような、セシウムとカリウムの動きは、栽培条件によってどのように変化するのだろうか。こういった研究は、農作物の放射性セシウム含量を減らす方策を打ち立てるための基本情報を提供することができるだろう。

### 4. おわりに

近年の植物科学の分野では、無機元素の動きをコントロールする仕組みが急速に明らかとなり、元素動態モデルが刷新されつつある。無機元素の動きについても、現代の農学における諸問題に合わせて解析対象・解析手段を選び、改めて情報を提供する時期にきていると言えよう。

# セルロース分解酵素の分子を観察して ナノメートルスケールの「渋滞」を解消する

生物材料科学専攻 准教授 五十嵐 <sup>きよひこ</sup>圭日子

## 1. 透視とバイオマス

本公開セミナーのタイトルにある「千里眼と透視」の中で、私が話す内容はどちらかというところ「透視」になるかと思えます。「透視」というのは、開封しないで封筒の中身を見るなど、一種の超能力のような印象を持たれる方も多いかも知れませんが、X線（レントゲン）やCTスキャンで身体の中の写真を撮ることも、れっきとした透視と言えるでしょう。私たちは通常、目に見える光である「可視光線」の吸収や反射を認識してものを見ています。その波長は（人によって多少違うらしいですが）だいたい350nm（ナノメートル※）から750nmで、可視光線よりも波長が短い紫外線や波長が長い赤外線になるともう見えなくなってしまうことを考えると、人間が見えているものは意外と少なく、見えていないことの方が多いということになります。とくに私たちが見ようとしている「酵素」などは、大きいものでも100nmくらいしかなく、可視光線の波長よりもずいぶん小さいので、よく目をこらしても見えるものではないのです。

一方で、私たちは普段から木や草は飽きるほど見ることができます。私はそれほどお金持ちの家庭に育ったわけではないので、子どもの頃庭の草むしりをしながら、この草が食べられたりお金に換えたりすることができたら良いのにと考えたこともありました。太陽の光を浴びて好き放題伸びる草や木を有効利用することは多くの人の夢であり、特に資源が乏しい日本人にとっては歴史を見てもこのような木や草、ここからは「バイオマス」と呼びましょう、をうまく使って生活を豊かにしてきた実績があるのです。

## 2. バイオマスを食べて生きる生物

バイオマスとは、bio（生物）とmass（資源）から作られた造語で、地球上に存在する有機物ほぼ全てを指します。ただ、そのように定義をしてしまうと将来的な枯渇が心配されている石油や石炭から作られるものも広義にはバイオマスとなってしまうので、一般的には太陽の光を使って作られた再生可能な生物資源のことをバイオマスと呼んでいます。私たちが普段着ているコットンやウールの洋服（衣）や食べているもの（食）は（ほぼ）全てバイオマスですし、紙や木造建築物の柱（住）などは、まさに「木や草」から

※ 1mm=1000 $\mu$ m（マイクロメートル）、1 $\mu$ m=1000nm（ナノメートル）

作られたバイオマス製品なので、人間は衣食住の全てでバイオマスを使っているとと言えます。ただ、近頃は石油や石炭から得られるエネルギーや材料が広く使われるようになり、結果的に様々な環境問題を引き起こしていると考えられています。つまり、私たちが石油や石炭の代わりにバイオマスを使うことができれば、そのような環境問題を少しでも解消できるはずなのですが、私たち人間はバイオマスをうまく使う方法というのをあまり知らないのです。そこでその方法を教えてもらう先生が必要となりますが、それが「きのこ」や「カビ」などの微生物なのです。きのこは、もちろん私たちには食べ物として身近なものですし、一方でカビは色々なところに生えてくるマイナスのイメージを持っているかもしれませんが、実はきのこは地球上で唯一「木」を食べることができる生き物ですし、カビはありとあらゆるものを食べて自分たちのエネルギーに変えている強者なのです。

### 3. きのことカビの酵素を使ってバイオマスを利用する

きのこやカビは、バイオマスを分解するための消化酵素を数多く分泌します。つまりこれらの酵素をうまく使いこなせば私たちも木や草からバイオプラスチックやバイオ燃料の原料となる「糖」を取り出すことができるようになるのです。このような試みは 1970 年代に起こった石油ショック以来世界中で行われてきましたが、当時は分子生物学がそれほど発達しておらず、「夢の技術」で終わってしまっていました。しかしながら最近のバイオテクノロジーの発展によってこの夢が現実になろうとしています。きのこやカビの酵素を使うためには、そもそもこのような酵素がどのような反応をしているのかを知らないといけないのですが、冒頭にも書いたように私たちの目では酵素を見ることはできないので、これまではきのこやカビが作る酵素はどのように働いているのかを想像して、その反応をコントロールしようとしてきました。しかし、最近のテクノロジーの発展は顕微鏡にも大きな進化をもたらしました。私たちが酵素を見るために使ったのは、高速原子間力顕微鏡といわれる最新の顕微鏡で、非常に小さな酵素の分子を見るだけでなく、動画を撮ることもできる代物です。そのような現代の「透視」技術を使ってきのこやカビの酵素がどのように木や草を壊しているのかを観察してみると、このような酵素はすごく「渋滞をしやすい酵素」であることが分かってきました。これまで私たちが酵素をうまく利用できないのは、酵素が遅いからだと思っていましたが、私たちは酵素の交通渋滞を引き起こしてしまっていたことがわかってきたわけです。

講演では、このような最新の「透視技術」を駆使して夢を現実にする、実学としての農学の最先端をご紹介できたらと思っています。

## プロフィール

おおまさ けんじ  
**大政 謙次**

生物・環境工学専攻 生物環境情報工学研究室

### 主な研究活動

専門は、細胞から群落レベルまでを対象とした植物の機能や構造の2次元、3次元画像計測（バイオイメージングやリモートセンシング）とその応用に関する研究。画像情報、情報通信技術（ICT）等を利用した最先端農業技術研究、植物フェノミクス研究、環境保全研究、地球環境・空間情報研究等、幅広い分野で研究活動を行っています。

こばやし なつこ  
**小林 奈通子**

附属放射性同位元素施設 放射線植物生理学研究室

### 主な研究活動

環境中には、植物にとって必要な元素と有害な元素が混在しています。この中で、必要な元素を必要量だけ吸収し、さらに、各器官に分配する植物の仕組みを解き明かしたいと考え、放射性同位元素を使った実験を中心とした研究をおこなっています。震災以降は、農学部での放射能汚染対策研究において、測定を担当しています。

いがらし きよひこ  
**五十嵐 圭日子**

生物材料科学専攻 森林化学研究室

### 主な研究活動

学部学生（東京大学農学部）の頃に、きのこが木と水だけを栄養源として成長する様子に魅せられて以来、20年にわたってきのこやカビがセルロースを分解するメカニズムを解き明かすために研究を行ってきました。米国やスウェーデン、フィンランド等各国の共同研究者とともに、きのこやカビの酵素によるバイオマス変換の実用化を目指しています。