

## 植物研究における RI・放射線利用の展望



出席者 鬼柳善明<sup>1)</sup>  
保倉明子<sup>2)</sup>  
田中淳<sup>3)</sup>  
塚田祥文<sup>4)</sup>  
古川純<sup>5)</sup>  
(司会) 白岩善博<sup>6)</sup>

白岩 今日は「植物研究における RI・放射線利用の展望」という題で、新春座談会を開催します。皆さん、お忙しい中ご参加いただきありがとうございます。

2010年7月に行われたアイソトープ・放射線研究発表会 パネル討論2「アイソトープ・放射線で植物の何を明らかにできるのか?」のパネラーの先生方にお集まりいただきました。アイソトープの利用については、昔から使われているトレーサ技術というのは比較的地味になってきて、放射線を利用した研究が非常に盛んになっています。大型施設の利用によって、植物研究にも別の展開が起こっているということ、それを支える技術とか、何ができるのかと

いったことについてお話を伺いたいと思っています。

最初に、鬼柳先生から、我々植物を研究する者に対するメッセージ、技術提供、そのような観点からお話をいただければと思います。

### —パルス中性子を用いた植物イメージング—

鬼柳 僕自身は、中性子を使って色々な研究を行うということで、最近は特にパルス中性子を使ってエネルギー分析をしたイメージングを進めています。J-PARC（大強度陽子加速器施設）ができて、ゆくゆくは1 MW になるというところを見据えてみると、中性子で数十  $\mu\text{m}$  の範囲でものが見えるようになると思います。

今までは原子炉で、水分の分布について色々なことが調べられています。今僕の頭にあるのは、エネルギー分析を加味して水分子がどのようになっているのか、動きにくい状態なのか、それとも動いているのか、それが場所によって変わるのか、そのようなことが見えたらいいかなどと思っています。

例えば、木に入っている水がなかなか凍らな

- 1) 北海道大学大学院 工学研究院量子理工学部門
- 2) 東京電機大学 工学部環境化学科
- 3) (独)日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門
- 4) (財)環境科学技術研究所 環境動態研究部
- 5) 筑波大学大学院 生命環境科学研究科生命共存科学専攻
- 6) 筑波大学大学院 生命環境科学研究科情報生物学専攻



鬼柳 善明 氏

い。そこでどんなところから凍りだしていくのかとか、そういうことが定量できるという夢を持っています。原理としては、普通の軽水素の中性子断面積が、中性子のエネルギーが低くなるに従って大きくなっていく、その傾きが水の動きやすさの度合いに比例しているということです。どこまで定量的にできるかはこれからの課題ですが、その辺りを技術的にも開発していければ、まだ夢の段階ですが、水の存在状態についての情報が出せると思っています。

もう少し簡単な方法では、重水素を取り扱えば、実際に回折のブラッグエッジが出てくるので、定量的に凍っているか液体だとか、逆にそのときの構造が若干変わったりするところも見えるかもしれません。それを進めるには検出器のパワーが少し足りないので、まだ改良していかなければいけない点があります。

白岩 パネル討論のお話の中で中性子イメージングという技術は水の動態を見るために使う、それが非常に優れた方法であることが紹介されました。そうすると、研究者側でそれをどう使うかが問題になりますが、古川先生、どうですか。

古川 以前、中性子ラジオグラフィーを行っていた場合の話では、基本的には水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) なのか、それとも構成している有機物質の中の水素 (H) なのかというのは議論があったわけで

ですが、構成成分の水素と  $\text{H}_2\text{O}$  としての水素というのは、パルス中性子で判別できるものだと思いますか。

鬼柳 これから検討するところですが、どこまで定量化できるのか、軽水素断面積の傾きだけで検出していくというのは難しいかもしれません。

古川 その辺りが分かってくると、低温環境の植物では中の水だけが氷状になっているのかが見えてくると思います。維管束系の中が凍ってしまうと、溶けた後の蒸散の回復が困難になるので、それに関しては凍らないように植物は強固に守っている、そういうところが知りたいですね。

鬼柳 そういう変化は、パルス中性子で見やすいと思いますね。もともとの有機物質として入っている水素と  $\text{H}_2\text{O}$  の水素がどの比率で入っているか分けるには定量性がかなり必要ですが、実際に測っている間に、例えば温度を変化させると断面積も変化することを見ることができれば、凍っていているという情報は得られると思います。

白岩 私は植物プランクトン（微細藻類）を取り扱っているのですが、低温になった場合、何で増殖や細胞活性がストンと落ちてしまうのか、それが細胞の中の水なり体内の水の状態の変化というものなのかどうか分かるのでしょうか。

鬼柳 水の状態が変化したかどうかはある程度分かると思いますが、それが増殖や細胞活性が落ちる原因かどうかは別の情報も必要ではないかと思います。

保倉 パネル討論の際に金属材料の結晶種のお話がありましたが、例えば植物の中の高分子といったものに対してのアプローチができる可能性はいかがですか。

鬼柳 そのためには、重水素 (D) でなければいけないのです。結晶構造解析ができなければいけないので、干渉性散乱が起きる物質でなければなりません。光は干渉性散乱ですが、中

性子的場合には干渉性散乱と非干渉性散乱があります。軽水素は非干渉性散乱をする元素です。そうすると軽水素は回折が起きないので、どちらかという運動状態の違いで調べることになります。重水素が使えと、同じように構造に関する情報、ともかく集団的な情報は得られると思っています。

**田中** おっしゃるように、J-PARC などから発生する中性子を用いて、タンパク質に存在する水素や、タンパク質にくっついている水分子の構造を解明することができます。中性子はX線に比べて水素原子を見やすい特徴があります。例えば、タンパク質の活性中心に存在する水分子の位置によって、タンパク質の構造や酵素活性などの機能が変わってくるという発見などがあり、中性子回折は重要な手法になってきました。

**鬼柳** 場所依存で何かが変わるということを知りたいときには、イメージングが良い。ただし、そういうことをあまり気にしないで良ければ、普通の回折で見たほうがいい。

**白岩** J-PARC について研究者側としては、どのような利用を考えていますか。

**古川** 今すぐJ-PARCで何かできるかという、まだ我々には見えてきません。そういう意味で、イメージングというのは取り掛かりとしては非常にいいと思っています。最初の解析をイメージングで行う。その後、解析のポイントがある程度はつきりしてきたら、自分の手元でもっと数を多くこなすようなことができる体制があるとうれしい。研究者間のネットワークが大事なかなと思っています。

#### —放射光の利用とファイトレメディエーション—

**白岩** 保倉先生の研究の中で、元素のマッピングや分析に興味があるのですが、研究内容と、この先の展開についてお話をいただけますか。

**保倉** 私が放射光のX線マイクロビームを



保倉明子氏

植物の分析に使い始めたのは2003年ごろです。ちょうどX線の集光素子の開発がSPring-8でも進んできていて、数 $\mu\text{m}$ のビームサイズが実現してきたので、これを植物へうまく応用したいと考えていました。一方で、重金属を蓄積する植物を使った環境浄化というものがだんだんクローズアップされてくるようになっていたので、それを組み合わせた研究として進めています。

もともとは、どうして特別な植物だけが重金属をためるのかという素朴な疑問が出発点です。やればやるほど結果は出てくるのですが、本質的な謎にはまだ迫っていないので、面白いのですが、悩みも多いです。

**白岩** そこはすごく難しいですね。私はセレンを少し調べているのですが、セレンは多くの生物では必須元素ですから、どうしても利用しなければいけない。しかし、酵母と陸上植物はどういうわけか、この世の生き物の中で、セレンタンパク質を作る遺伝子を持たないわけです。カドミウムとなると、必要とする生物がいるかは分かっていない(笑)。だから研究対象として植物の重金属濃縮を研究し、その仕組みが解明できれば素晴らしいと思うのですが、金属やレアアース元素濃縮の技術を使って植物を改良するなり、機能性の高いものを見つけて元素回収や環境ファイトレメディエーション(植物

を利用する環境修復技術)に使おうというお考えですか。

**保倉** そうですね。出口としては、そこにつながっていくと思います。

**白岩** 数 $\mu\text{m}$ のビームはもっと細くなるのでしょうか。細胞の中の元素マッピングを正確にオルガネラ(細胞小器官)レベルで見たいというニーズは、多いと思うのですが、見通しはどうでしょうか。

**保倉** 高エネルギーのX線を集光するというのは非常に難しいですが、エネルギーがもう少し低い、例えば15 keV以下であれば集光の技術はもっと進んでいるので、数十nmのナノビームも実現しています。現在、SPRING-8のビームラインで動物細胞のマッピングデータが次々と出始めています。

先日、ヨーロッパのX線分析の国際会議に出席してきたのですが、3次元の元素マッピングも盛んに始められています。例えば植物の種では非常に密に詰まった状態ですので、調べやすい試料の1つだと思います。それに比べると、根とか、水分が非常に多くて微細なものは濃度も希薄ですし、ラディエーションダメージも結構シビアに受けるようなので、長時間の曝露に対して試料を保持するための技術開発が必要だという認識です。

**白岩** でも、その辺りがクリアされれば、リアルタイムでも見られますか。

**保倉** そうですね。今は回転させながら測るので、測定に時間が掛かってしまうのです。

**田中** ラディエーションダメージというのは、タバコの根といったものにはあまり影響しない程度ですか。

**保倉** 基本的に高エネルギーなので、透過性が高くて、長時間でなければダメージは少ないのですが、高分子膜に載せる場合、その高分子膜に吸収があったりすると、試料がダメージを受けます。

**白岩** 細胞レベルの現象を解析できるレベルにまで技術革新が進めば研究したいことが多く

出てきて、世の中の生物学者は寝ている暇はないですね(笑)。

**保倉** 一方で、植物というのは単なる細胞ではなくて、組織構造を持ち、器官という更に大きなグループを持って1つの個体として機能しているので、ミクロなものと、個体としての性質と、その両者をつなぎ合わせるものも必要ではないかと思っています。

#### —突然変異・進化の解明—

**白岩** 田中先生はイオンビームを用いて突然変異誘発の研究をされています。研究分野のご紹介と将来の展望などについてお話いただければと思います。

**田中** もともと私の専門は植物の突然変異という分野です。日本で植物に対するイオンビームの効果についての研究が20年ぐらい前から始まり、詳細に調べた結果、遺伝子を効率良く変化させることができるため、基礎研究材料であるシロイヌナズナ、ミヤコグサに始まって、作物、花、樹木、また微生物に至るまで、現在、利用が非常に広がってきました。身近な花や米などの食糧、また環境に役立つ緑化植物など、実用化が進んでいます。

興味深いことは、これらの突然変異の研究を通して、どのように遺伝子が変わって植物が進化してきたのか、植物と放射線のかかわり合いはどのようにしているのか、そういう根源的な問いにも答えることができるのではないかと考えています。

**白岩** 生物進化の謎解きということになりますね。

**田中** そうですね。植物というのは“カンブリアの大爆発”を起こした動物の進化とは異なり、意外に紫外線とか、ミュオンとか中性子などが原因になっているかもしれません。私はその解明を夢見ながら研究しています。

ただ悩みは、放射線というか、量子ビームを照射すると、遺伝子の機能が抑えられることが





田 中 淳 氏

ほとんどですが、植物の進化を考えると、遺伝子の増幅やゲノムの倍数化が植物にとって一番必要なのです。量子ビームを使いますと、特定の遺伝子が増え、色とりどりの花や、環境浄化に役立つ植物などが次々と誕生するのですが、その中に、遺伝子やゲノムが増えるという変化が果たして起こるのか、まだ見えてきません。

**白岩** 基礎と実用の両面を持っていらっしゃるから非常にいいですね。

今、我々が行っている、遺伝子を人工的に操作するということと、ビームを使った突然変異の誘発に対して、世の中の色々な議論がある点についてはいかがですか。

**田中** 特に日本は遺伝子組換えに対してまだマイナスイメージが強い。だから遺伝子組換えと突然変異とどちらがいいのか、ということはいくよくよく聞かれます。今まで私たち突然変異の研究者は、遺伝子組換えは、遺伝子を新しい種に入れるもの、つまり遺伝子をプラスするものであって、突然変異は遺伝子をなくす、すなわち、ゲノムから不要な遺伝子をマイナスするものだから、遺伝子組換えと突然変異は全く別物と説明することが多かったわけです。

しかし、遺伝子組換えに使う遺伝子はどうやって見付けてきたのでしょうか。自然界で起こる突然変異や人為的に起こす交雑によってでき

た新品種と原品種との差を見て遺伝子を見付けてきたはずですが、つまり、突然変異によって遺伝子は見付かってきました。今や生物のゲノム解析が進められていますが、これもショウジョウバエやシロイヌナズナ、酵母菌など、様々な生物の突然変異体から見付けた遺伝子の情報を基に、今の遺伝子研究や遺伝子治療などの応用があるわけです。突然変異と遺伝子組換えは相補的なのです。

**白岩** その辺りを我々生物学者がきちっとアピールしていかななくてはいけない部分がたしかにありますよね。それぞれに利点もあるし、できること、できないこともありますしね。

#### —環境放射線—

**白岩** 環境の話が出ましたが、塚田先生は環境放射能に深くかかわった研究をされています。先生の研究のご紹介と将来展望などのお話をお願いします。

**塚田** 私の研究は、マクロで実学的な内容です。イネを例に紹介させていただきますと、一つひとつの細胞レベルやメカニズムを追求するというのも大事ですが、私の最終的な目標は、人の被ばく線量評価に影響する過程を考慮した放射性核種の移行と動態を明らかにすることです。実際の農業形態を見ると、イネの場合、白米、ヌカ、モミガラ、ワラに分けて利用しています。部位別にヨウ素濃度を測定しますと1,000倍も違ってきます。多くの元素についても部位によって濃度の異なることが知られていますが、必須元素以外についてその機能や存在形態については十分な知見が得られていないものが多くあります。ヨウ素は、存在形態( $I^-$ か $IO_3^-$ )によって植物への取り込み量が大きく異なることが知られています。しかし、SPRING-8などの放射光を用いて植物中におけるヨウ素の存在形態を測定しようとしても、一般的な植物では濃度が低くて検出できません。高濃度のヨウ素を植物に吸収させることで、ようやく存在



塚田 祥文氏

形態に関する情報が得られます。多量のヨウ素を植物に吸収させると短期間で生長阻害が起きて枯れてしまいます。したがって、まずは通常の管理の下で栽培された植物の放射性核種や安定元素の部位別分布に関する知見を充実し、一方で目的とする元素を多量に取り込ませた植物から存在形態やマイクロな存在分布に関する情報を得て、総合的に挙動を解釈できるようになると考えています。

#### —さらにミクロの世界へ—

白岩 海の植物プランクトンを何十種類か持ってきて、 $1\text{ mmol}$ の $\text{I}^-$ なり $\text{IO}_3^-$ を加えていくと、増殖が促進されるもの、影響がないもの、陸上植物のようにすぐ死んでしまうものに分かります。私のような微細藻類の研究者から言わせると、陸上植物というのは数は多いけれども、多様性の幅は小さいものです。一方、水の中の世界というのは種類は少ないのですが、生物間の多様性の幅が非常に大きい。水陸両方の情報が集まって初めて、生物界全体の仕組みが見えてきます。そのためには、相手が小さい細胞なので、大きくても $3\sim 10\ \mu\text{m}$ の生物にも応用できる技術も欲しいなあという欲求があります。

田中 今の光学顕微鏡では $100\ \text{nm}$ が限界で、

より微細な観察は電子顕微鏡を使うので、どうしても生きたままの細胞は見られません。その狭間にあるのですね。

白岩 おっしゃるとおりです。今できることは昔ながらのトレーサ技術を使い、それで物質の代謝の動態を見るということです。それから細胞を集めて一塊りとして取り扱う、つまり培養して、この中にいる何億、何十億細胞を1つの生き物のように見て分析するということが今はできません。だからバイオ PIXE を使って元素分析も行っているのですが、何十億細胞の平均しか見られないわけです。そのような意味で、例えば電子プローブマイクロアナライザーの分解能がミクロのレベルにまで上がって、先ほど保倉先生がおっしゃったようなマッピングするためのビームが $\text{nm}$ レベルになり、1個の細胞を固定し、それを見るという方法ができれば非常に面白いですね。おそらく微生物関係の研究の中で、ものすごく大きなブレイクスルーが起きると思います。

今ナノ SIMS (二次元高分解能二次イオン質量分析計) という技術があって、 $10\ \mu\text{m}$  ぐらいの細胞ですと、ビームを当てて削って表面を分析していきマッピングもできるようです。その技術を使うと、例えば $\delta^{13}\text{C}$ の細胞内分布なども測ることができるということです。

実は植物の光合成で作られた化合物というのは、 $\delta^{13}\text{C}$ が普通の細胞ですと非常にマイナスになるわけで、そういったものを利用すれば、 $^{13}\text{C}$ を人工的に与えて、その動態をミクロのレベルで見たいという思いは常にあります。もっとミクロに、もっとビームを細くできないでしょうか。

田中 私自身の研究ではないのですが、非常に期待しているのは、軟 X 線の顕微鏡です。 $2\sim 4\ \text{nm}$ の軟 X 線なので、光の性質から言えば、数 $\text{nm}$ のものまで見られる可能性があります。

これは生きた細胞の中の、水以外の構造物を見ることができます。原理的にはすばらしいものですが、まだまだ生きた細胞の中を見るのは

簡単ではなく、解像度は50~100 nm程度と聞いています。15年も前に、将来の夢の顕微鏡と紹介していた書物があり、私もそういうものができれば生物研究の世界が変わると思っているのですが、白岩先生がおっしゃるように、技術というのはなかなか進みません。

#### —リアルタイムイメージングの展開—

白岩 古川先生、植物と放射線というキーワードでずっと研究されてきた先生の考えはどうでしょうか。

古川 もう少しマクロな、例えば陸上植物の個体で何かの物質の局在を見たいと思ったら、それをつぶして、死んだ状態で、やっとなんかX線フィルムで見えていました。それが、今は生きのままをリアルタイムで見られるようになってきた。それをまた小さくするとすると、小さいものまで見えるようにするという1つの技術があって、さらにリアルタイムで生きのまま非侵襲でというもう1つの段階を経なければなりません。

白岩 ともかく生物学に電子顕微鏡が登場してきたとき、“あんなのはイカじゃなく、スルメを見ているのだから、本当かどうか分からない”という話があって、そう言われながらも技術がどんどん進歩しました。例えば第47回アイソトープ・放射線研究発表会の発表の中には、リアルタイムというキーワードが非常に多い。電子顕微鏡が出てきたころのスルメ論議を知っている者としては、科学の進歩を意識する部分です。したがって、リアルタイムで見ることができるということを最大限利用することが、更に未来につなげるための非常に重要な部分だと思います。今新しく開発中の技術で、生物研究に応用できそうなものはありますか。

田中 研究発表会で、ポジトロンイメージングというのがあったかと思いますが。それはポジトロン放出核種である炭素とかカドミウム、窒素を用いて、植物の栄養動態などをリアルタイ

ムで見ようというものです。

また、コンプトンカメラの開発も進められて、医療や植物研究にも応用できないか、検討されています。放出される $\gamma$ 線のエネルギーの違いを見ることができると、扱える元素の種類が格段に広がります。

白岩 その辺の技術の進歩があり、取り扱える元素の幅が広がった場合、今後どのような研究が可能になるのでしょうか。

田中 複数の元素の動態を同時に観測することができ、元素同士の相互作用なども見られるようになるでしょう。例えば、植物は、鉄や亜鉛などの必須金属元素を根から吸収しますが、同時にカドミウムも吸収してしまいます。しかし、吸収の仕方は、異なっているらしいのですが、その動態は分かっていません。これらの元素の放射性同位体をうまく使えば、植物が、これらの元素の吸収や移行、蓄積をどのように制御しているのかを観測することが可能になるわけです。これに、窒素や炭素も加えれば、植物の生理機能を総合的に理解し、作物の土壤環境など、農業に直結する課題解決や指針につながると期待できます。

#### —元素濃縮機構の応用—

白岩 植物でも、動物でもそうですが、技術が進歩して微量の元素を生体の中で検出できるようになれば、地球上にあるすべての元素が必須元素になるはずだという話があります。カドミウムを濃縮する遺伝子があるくらいだから、何があってもおかしくない(笑)。

鬼柳 そういう元素の中で、これはひょっとしたら必須かもしれないという話題はあるのですか。

白岩 例えばテルルがあります。周期律表では酸素、硫黄、セレン、テルルですから、重要な働きをしている可能性もあるのではないのでしょうか。

鬼柳 テルルは珍しいですね。



古川 純 氏

白岩 生物の元素濃縮能というのは要るか要らないかと関係があるのか分からないのですが、いろんな元素を濃縮しますよね。

田中 微生物は一般的に、ウランとか、重金属を集積しやすいというのはありますね。

白岩 細胞に濃縮するタイプの生物と、細胞の表面に沈殿させるタイプがあるのです。微生物を使った元素濃縮を行っていると、いろんなものを濃縮することが分かります。例えば海には、濃度の差はあっても、すべての元素が溶けています。したがって、地面を掘って元素を採る必要は将来はないのではないのでしょうか。

コンピュータチップの製造に不可欠なインジウムが重要で大量に必要とされると、鉱山で碎かなければいけない岩が増えて、地球がどんどん削られていきます。しかし、海から元素を濃縮することができれば、地球環境面でも、コストパフォーマンスの面からもいいのではないかと考えています。ところが、化学濃縮と違って、ものすごく濃くはできないのです。生物屋の認識としては、まだ1桁ぐらいの濃縮能の向上があれば、生物の濃縮能力というのは使い道があるのではないのでしょうか。例えば化学反応で元素を取り出すことのできるレベルまで濃縮する機能を微生物に持たせる。

田中 微生物と化学濃縮の2段階ということでしょうか。

白岩 それによって海の元素が採れるのではないかという夢はあるのですが、そうすると、元素分析技術が不可欠です。海を鉱山に見立てると、地球が延々と溶かしてきたものをただ濃縮して目的元素を集めていく。そういうことは夢でしょうか(笑)。

古川 私も似たことを考えています。色々な核種が混在している理化学研究所のマルチトレーサを使っていて、なぜかイットリウムとか、まったく思いもかけなかったものの分布が、植物の系統によって違うということが分かってきました。そこで希土類元素に着目して実験しているのですが、そうするとある程度分布に共通性を示す元素があるのです。もちろん、そのために特別なトランスポーターがあるとか濃縮機構を備えているとは思わないのですが、何かしらの既存の機能を用いて分布の差が出ていると思うので、植物というのは色々なメカニズムを遺伝子資源として持っているのだというのが私のイメージです。

その遺伝子資源の中から、例えばカドミウムを濃縮する、カドミウムを通すことができるようなトランスポーターがはっきりしてきて、こういうアミノ酸配列があればいいんだということが分かってくれば、私はもっと半透膜のようなイオン選択性のある穴の開いたフィルタで集めるということもできるのではないかと考えています。新春ネタとしてはいいかなと思っていて、植物が偶然持っている機能を遺伝子資源として実用化していくというストーリーができるといいなと思っています。

#### —植物研究における RI 利用の展望—

白岩 生物の研究というのはどちらかという人間対象の研究が先行して、その技術を植物に応用してくるといって、植物側の人間からすると、いささか寂しい点があります。何か植物研究者側から新しい技術開発のようなアイデアはないのでしょうか。田中先生がおっしゃったコ



ンプトンカメラのようなものですか。

**田中** コンプトンカメラも医学，がん治療と同時に植物研究が進んでいるので(笑)，植物先行というわけにはなかなかいかないのかもしれませんが，新しいことだと思いますね。

**白岩** そのほかにそのような種類のものはどうでしょう，鬼柳先生。

**鬼柳** 中性子も，どちらかというと生物や薬品みたいなものが大きく扱われていますね。

**田中** 医薬品の創製ですね。

**鬼柳** 最近，どうしても産業応用が先に立っているのので，古川先生のような発想で，機構を調べたりするときには中性子が役に立つとか，元素分析的なものだとほかの手法がいいかもしれないけれども，もう少しダイナミクスが絡むとか磁気構造が絡むといった話があれば，中性子も役立つところがあると思います。

**白岩** 保倉先生や塚田先生が関係されている環境修復分野は植物の独壇場じゃないですか。

**保倉** 土壤汚染の対策というの，今までは土を掘り起こして，どこか工場に運んで浄化して埋め戻すというのが一般的でしたが，それだと運搬中に2次的な汚染が広がる心配があるということで，その場で浄化するという方向に切り替わってきているようです。植物を使ってその場で浄化ができれば，環境にやさしいと言えますね。ただ，根っこが入る深さに限界があるので，実用性を考えると，樹木のような根が張るものに組み替えになるのかどうか分かりませんが，重金属をためるような遺伝子を組み込んだ植物ができれば，深いところまで浄化の範囲が広がるのではないかと思います。

**田中** 日本の国土といいますか，田畑などの日本の土壤でのカドミウム集積は表層から1mぐらいだと聞いたことがあります。そういう意味では，植物で根が1mぐらいまで長くできるようにしてやればカドミウムがうんと採れるかもしれません。

**塚田** 放射性核種の環境浄化に関して<sup>137</sup>Csを例に挙げますと，ご存知のとおりチェルノブ



白岩 善博氏

イリ原子力発電所事故によって放出された<sup>137</sup>Csで周辺土壤がひどく汚染し，ヨーロッパにも広がりました。セシウムは長い間表層土壤に留まり，土壤から植物へ移行します。そこで，セシウムと比較的挙動の類似しているカリウム肥料を多量に施用し，植物への<sup>137</sup>Csの移行を抑制することが行われています。また，粘土鉱物資材を土壤へ投入し<sup>137</sup>Csを吸着させ，移行を抑制することも行われています。一方で，セシウムを濃縮する遺伝子を探索し，それを大型の植物に導入して環境浄化を試みる研究も行われています。

**田中** それは<sup>137</sup>Csだけをためるのですか。同時に，ほかの重金属も吸収するのでしょうか。

**塚田** セシウムは，アルカリ金属のため，植物への吸収機構が重金属と異なるようです。一方，カドミウムなどの重金属については，植物を使った環境浄化の研究が進んでいます。

**白岩** 土壤に生えている植物中の元素動態をリアルタイムで，現場で見たいですね(笑)。

**塚田** 見たいですね。

**白岩** 研究という意味では，両方の貢献が大事だと思います。応用として社会への還元というのも大事ですが，生き物自身の仕組みとかメカニズムが分かることによって，もっと色々な思わぬところに波及効果が出る。そういうとこ

ろに放射線とかアイソトープの技術なり、技術開発で大型の装置などが役に立つというのは確実ですが、仕分けの時代ですから(笑)。どう対応するかというインパクトのあるブレイクスルーを……。そうするとユーザーと開発側との情報交換、ニーズがどれだけあるかとか、我々のニーズがまったくの夢なのか、どこかに可能性があるのかというのは、異分野の方が集まってディスカッションするという機会をもっと増やす必要があるのでしょうかね。

**鬼柳** 新しいものを作るときにはそれなりの目的があって作るけれども、応用範囲というのはそれだけではないわけです。ほかのところからの色々な情報があると、思いがけないところで発展があります。そういう意味では、今先生がおっしゃったように、情報を集めて、大型施設もより有効に使えるようにしていったらいいと思うのです。特に中性子は敷居が高いと言われているので(笑)、ぜひ使っていただきたいと思います。

**白岩** 最後に古川さん、どうですか。あなたは一番若いから、一番夢のある、これからこういうことをやってみたいとか、こういうものが欲しいという夢を語っていただいて、終わりにしたいのですが。

**古川** イメージングもそうなのですが、定量性があるということが利点です。今は蛍光でも細胞内局在を見られますが、ラベルできる波長の問題もあります。放射線だったらエネルギーで分けられるので、ラベルできる量が全然違う。そういう意味では、定量性もあって、ラベルすることにも、まったく問題がない。あとはリアルタイムに非侵襲で見るということを突き



会場風景

詰めていくのが、これから進んでいくところなのかなと思っています。

そこで何を対象に研究するかというと、その応用範囲が広いというのも放射線のメリットかなと思っています。そこで何か面白いものがあったときに、そのまま研究を進めてもいいけるし、違った手法で攻めることもできる。そういう深さと幅を持っているのが放射線だと思うので、最初の研究の取りかかり、スタートの部分としては、放射線は絶対に欠かせないということです。

**白岩** アイソトープや放射線技術を利用してやりたいことは限りなくあると思いますが、色々な話をしていただいて、本稿を読んでくださる人たちが、こういう面白いことができるんだとか、こういう面白いことができればいいのか、研究者の方もそうでない方も、アイソトープと放射線の研究の役割、有用性ということに思いを馳せていただければと思います。今日はお忙しい中、非常に楽しい、興味深いお話をしていただきまして、どうもありがとうございました。

(終)