

農学・生命科学における放射線利用

中西友子

1. 放射線利用の経済規模 (エネルギー以外の原子力利用)

今から約20年ほど前、当時の科学技術庁が放射線利用についての経済規模の調査を行った。調査委員会は20人ほどの委員で構成され、そのほとんどは放射線の工業利用についての専門家であり、その他、医学と農学分野の者が少数集まった。放射線を利用した製品が市場でどの位の金額となるのか、製品の種類を洗い出し合計して市場規模を算出した。私は農学分野を調査する四人の一人として参加していたが、纏め役の一人を除いて、一人は品種の専門家なのでガンマ線照射による新品種が占める市場を計算することとなり、私ともう一名が食品照射も含めた利用について調べることとなった。しばらくして各放射線利用分野の検討結果が合計され、市場規模は約6.3兆円と算出された。何と当時のエネルギー利用の5.7兆円を上回ったのである。この結果は参加した者全てにとって驚きであった。特に、放射線の利用といえば、そのほとんどが原子力エネルギー利用だと捉えていた当時の科学技術庁にとっても予想外の結果だったのである。急遽、経済学の専門家が調査委員会に新たに加わり再調査が行われたものの、やはり工業・医療・農業における放射線利用の市場規模は、原子力発電に代表されるエネルギー利用と同等以上であった。

では、米国はどうか。各分野の委員が手分

けて調査をすることになった。農学分野では、食品照射を担当した二名がその任に当たり、私はUSDA (United States Department of Agriculture) やFDA (Food and Drug Administration) などの政府関係、もう一人が実際のスーパーなどを調べるようになった。驚いたことには、米国では既に1990年ごろから、将来の老人化社会を見据えて食品の安全性が大切だという議論が始まっており、食品照射の重要性が認識されていたのである。そして、市民の賛同を得るために、一般市民の教育を州ごとに10年間かけて展開していた。実際に調査に行った2000年には、既にほとんどの食品についての放射線照射が認められてきていたところだった。

そして、この科学技術庁による放射線の経済性についての調査から10年ほど経過した後、つまり今から約10年ほど前に、旧原子力研究所の研究者を中心に再度調査が行われたが、その結果は先の20年前の調査結果と同様に、エネルギー利用が放射線利用の約半分を占めていた。

図1に放射線の経済性についての最初の調査結果を示した(1997年)。エネルギー分野の市場規模は米国と同等であるが、エネルギー以外の放射線の利用については米国の三分の一であった。つまり、もし米国並みに利用が進めば、日本の経済規模が3倍ほど大きくなる可能性を示しているとも考えられる。

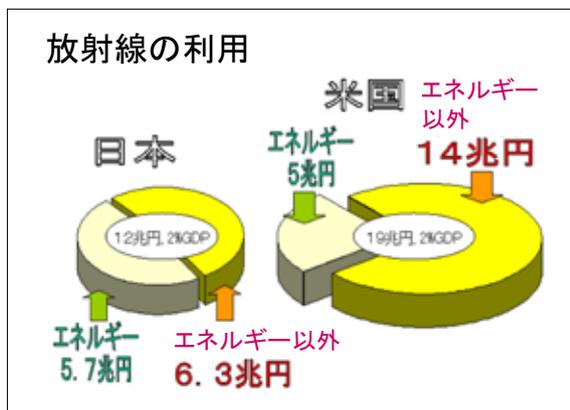


図1 放射線利用の経済規模 (1997年)

ただ、日本では放射線利用の市場調査は約20年前と約10年前の2回しか行われておらず、現在の調査結果が待たれるところである。本年3月、アジア12か国におけるエネルギー以外の放射線利用についての会議 (FNCA) が日本で開催された。農業における新しい品種開発が目立ったものの、中国では電線のケーブルを被覆する材料についての放射線照射が放射線利用全体の2/3位を占めているとの報告があった。耐熱性ケーブルの被覆材の開発には、通常の化学反応では不可能な架橋ができる放射線の利用が不可欠だからである。放射線の利用は耐熱性ケーブルの他、ラジアルタイヤなど材料の開発に欠かせない技術であり、中国ではその利用が発展してきていると思われる。

2. 農学・生命科学への応用

放射線の利用は、放射線の照射効果を扱うものと放射性同位元素 (RI) そのものを扱う分野

に分かれる。放射線を植物に照射することにより、新しい品種を作成できることは周知の通りである。例えば、黒斑病に強い梨としてゴールデン20世紀が開発され、グレープフルーツでは中が赤いルビーという品種が開発された。また、害虫を駆除するために放射線を照射したオスを多量に放ち、交配しても次世代をできなくする技術開発では、沖縄のウリミバエを絶滅させることができた。これら放射線を利用する新品種開発と害虫駆除技術は、今でも日本が発展途上国に供与している農業面での重要な技術となっている。

では、研究面での応用はどうだろうか。放射線とRIの利用技術は他の研究手段と同様、研究を支える重要な科学技術の一端を担ってきた。放射線の利用は、他の手法では不可能な種々の特徴を持つ技術のひとつであり、その技術の開発可能性には、近年の急激な医療分野の発展を考えてみても大きなものが期待される。ただ、放射線やRI利用は、他の化学物質等を利用する研究とは異なり、放射線を取り扱うための厳しい規制下で行われてきているため、次第に研究者は規制の緩やかな手法を用いる研究へと移りつつある。つまり、かつては日常の研究手段のひとつとして身近だった放射線利用が、特別視されるようになり、ひいては研究者のみならず、学生や一般の人からも放射線を扱うことは非常に特別なことだと思う雰囲気が醸成されることになってしまった感がある。特にRIを用いる研究は、RIから出される放射線を頼りに

生体内での物質挙動を定量的に調べるため、不可欠な手法を提供するものの、現在では莫大な施設の整備が必要なため、殆ど行われなくなってきた。先日、ある大手の食品会社の研究者がRIを用いれば食品の体内の挙動が直接解析できるものの、施設が無いと、思うように研究が進まないと言っていたことが記憶に新しい。

研究面でも放射線利用は、放射線そのものの利用と放射性同位元素 (RI) を用いたトレーサー利用の二つに分けることができる (図2)。放射線の利用は分析技術とRIを用いるトレーサー技術が挙げられる。まず、放射線利用であるが、古くから行われている放射化分析は非常に重要な手法である。多くの場合、研究用の原子炉を用い、試料を原子炉内に入れるだけで多元素同時非破壊分析が可能となる。試料に含まれる多くの元素が原子炉中で (n, γ) 反応により放射性核種を生成するが、生成される放射



PROFILE

中西友子
(なかにし ともこ)
東京大学大学院農学生命科学研究科
教授
専門：放射線植物生理学

性核種から放出される γ 線のエネルギーが異なるため、同時に多元素が測定できることとなる。非破壊状態で定量分析が可能ということは、試料中の元素の絶対量が判るということである。現在、広く行われている他の分析手段では、試料を溶解して分析するため、試料が全て溶解するかどうかという「収率」の問題と、使用する試薬からの元素の「コンタミ」という二つの可能性を排除できないため、絶対量の分析は不可能である。米国の標準技術や標準物質を扱う NIST (National Institute of Standards and

Technology) では放射化分析を常に行っており、世界各国との技術の共有化を図っているものの、日本の標準物質を扱う機関では、まだ本技術は採用されていない。

放射線を利用した可視化技術としては、例えば中性子線を照射すると、植物では内部の水の像を得ることができる。図3には日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR3M からの中性子線を照射して得られた水の像を示した。正確

放射線利用研究

① 放射線(ビーム)の利用

分析技術: 高感度、絶対量の測定、
多元素同時測定

可視化技術: 非破壊動画 (ex. 油、水etc.)

② 放射性同位元素(RI)の利用

トレーサー実験(特に生物分野)

可視化技術: 非破壊動画
明条件下、画像の定量性

図2 研究における放射線の利用



図3 中性子線による水分像（オリズラン）
左：照射ターゲット、右：水分像（白い所ほど水分量が多い）

には水分というよりも水素の像であるが、生きている植物の8割以上が水でできているため、水分像と呼んでもよいことが判ってきている。放射線を用いるイメージングの利点のひとつは画像に定量性があることである。

例えばこの水の像でも、画像の黒化度を基に各箇所的水分量を求めることができる。本手法を利用することにより、土壌中の根の生育動態や根による水分の吸収動態について定量的な分析が可能となった。また、植物体の乾燥過程、種子の水分吸収過程、小口材の乾燥過程などにおける水分動態解析のみならず、さや中の種子の形成過程など、外から見るできない植物の生育過程についても解析ができる⁽¹⁾。

放射線を利用する研究には、こ

れら放射線の利用の他に放射性同位元素そのものの利用が挙げられる。RIを用いる利用の代表例はトレーサー実験である。マクロには生物の代謝を知る上でも、また、ミクロな細胞の化学的な性質を知るためにもRIの利用は欠かせない。RIで標識した化合物を供給することにより、その化合物がいつどのように吸収され分布していくかが判る。それも定量的に解析

することができるのである。ただ、測定はRIから放出される放射線を計測するため、その化合物の化学的な形態がどのように変化するかは判らない。化学的な形態を知るためには組織の

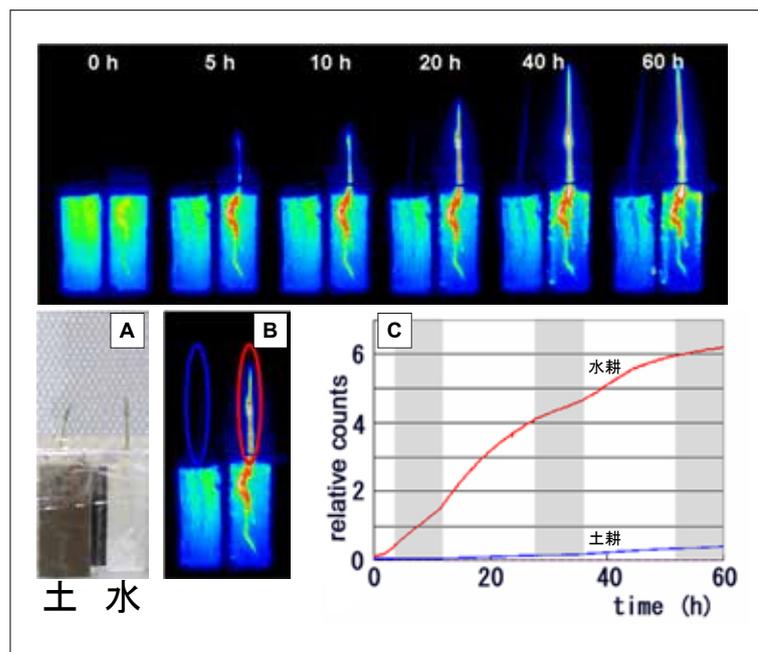


図4 イネの水耕栽培と土耕栽培におけるリン酸の吸収動態
P-32標識リン酸のリアルタイム吸収画像とその解析グラフ

化学処理が必要となってくる。そして放射線を頼りに放射性核種と結合した化合物の精製を行うと化学反応が見えてくる。例えば、光合成の化学反応過程を解析してノーベル賞を受賞した M. Calvin 博士は ^{14}C で標識した炭酸ガスをクロレラに吸収させ、時間ごとに ^{14}C を含む化合物を同定することにより、一連の化学反応過程を示すことができたのである。

トレーサー実験と並んで可視化技術（イメージング技術）も重要な研究分野である。例えば

医療面では、PET 診断で代表されるイメージング技術は RI を人間に投与して RI から放出される放射線を頼りに種々の疾病の診断が可能となる。ただ、植物の場合には、RI を用いるイメージングにはもうひとつの利点加わる。植物は生育に光が必要であるが、光照射の下でも RI イメージングは放射線の計測を基にするため可視化が可能だからである。私たちは RI を用いるリアルタイムイメージング装置を開発しており、その結果の一部を図4と図5に例示し

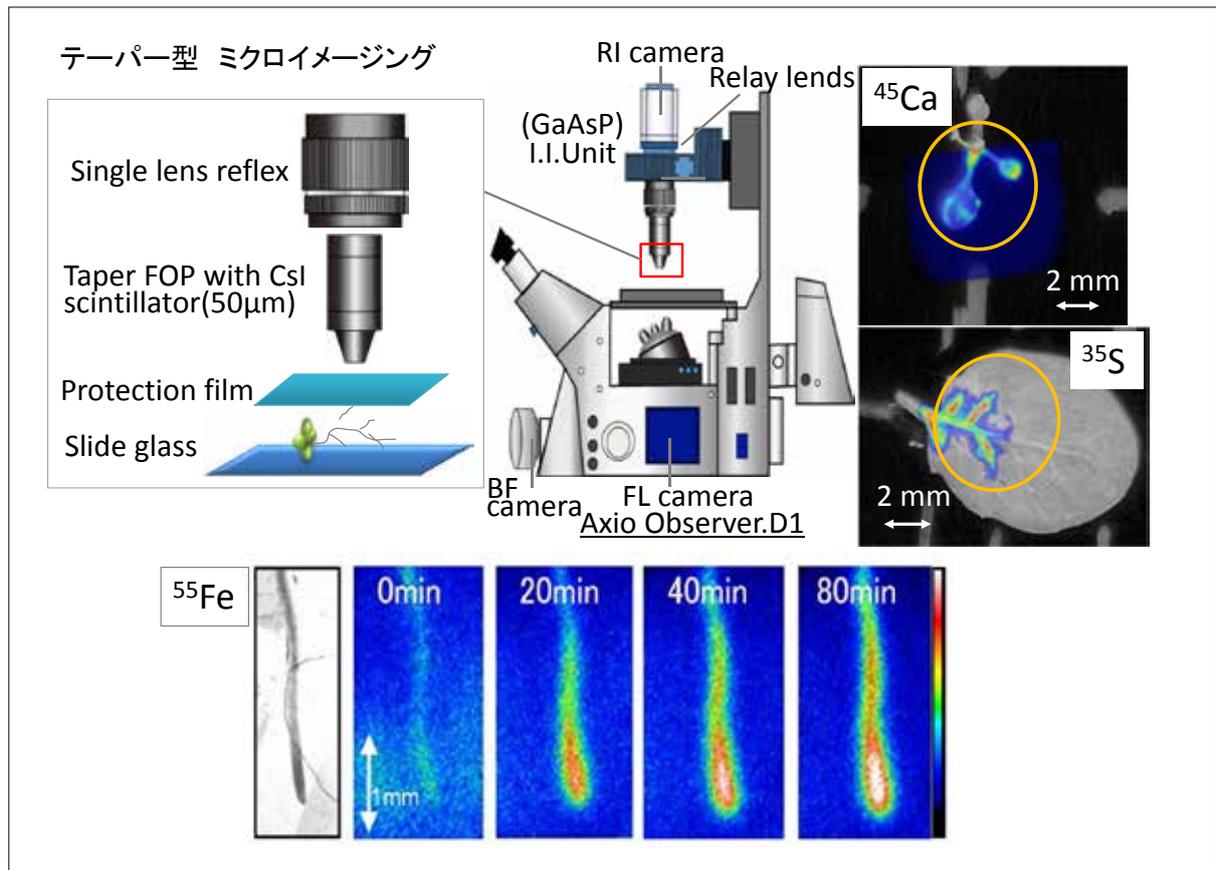


図5 ミクロイメージングシステムの概要
 蛍光顕微鏡を改造し、蛍光画像の他、放射線像も得られるようにした。
 イメージング例はシロイヌナズナの根と葉。

た^[2]。放射線は土でも水でも突き抜けることから、³²P標識のリン酸を植物に供給すると水耕栽培では土耕栽培と比較してイネは短時間に多量のリン酸を吸収し、はるかに生育が良くなることからわかる(図4)。この結果は、植物工場などでの野菜の促成栽培を行うことができることを端的に示すものである。しかし、土栽培と比較して水耕栽培では種子の収穫量が少ない。植物も苦勞して肥料を吸収する過程が多量の種子を生産する機動力になっているのかもしれない。図5では、蛍光顕微鏡を改造したマイクロイメージング装置によるRIイメージング結果の一部を示した。根からカルシウムやイオウを供給するとシロイヌナズナの葉にどのように分布していくのか、また、鉄を供給するとシロイヌナズナの根にどのように分布していくのかを画像として得ることができる。また、これらの他、かつてCalvinが行ったように、¹⁴Cで標識した炭酸ガスを植物に与えると、どこでどのように炭酸ガスが固定されていくのかを可視化することもできる。

植物生理学も次第に静的な解析から動的な解析へと移ってきている。近年、蛍光イメージング手法が分子イメージング法と称して発展してきたように、放射線イメージング法では蛍光イメージングでは不可能な可視化手法の開拓が期待できる。特に、照射射下で定量的な画像の取得ができるという放射線イメージングならではの特徴を生かした技術開発ならびに新しい研究分野の開拓が大切だと考えている。

3. 放射化学の重要性

放射線の利用については上述した農業・工業・医療などで展開される技術分類とは別に、放射線を放出するRIをきちんと利用できる化学、つまり「放射化学」がその基礎学問として欠くことができない。例えば、化学工業による製品開発を支える基礎学問として物理化学や有機化学が挙げられるように、放射化学の基礎が無くしては放射線の利用やトレーサー実験の発展は望めない。

もともと放射化学とは、かつてマリー・キュリー夫人がピッチブレンドから放射性核種を分離したように、身近に存在する放射性物質の分離から始まり、地殻や宇宙を構成する元素の生成や変遷、核反応生成物の分離技術などの知見の蓄積に立つ学問分野である。放射線を元に極微量元素の分離や合成をすることは、他の技術では追従できない単元素単位の化学挙動を理解することであり、通常の実験技術とは全く異なる独自の学問体系の展開が必要である。

残念ながら、日本においては放射化学の学問を教える大学の講座は激減してきている。そのため、福島原発事故で飛散した放射性核種について放射化学的に考えることができる専門家が非常に少なく、放射性セシウムも含め放射性核種の挙動についてはシステムティックに解析ができなかっただけでなく、今でも誤解が多いのが現状である。

身近な放射線やRIの利用、それは物理、化学、

生物など様々な学問の進展を促すだけでなく、新しい産業を生み出す原動力にもなると思われる。今回、エネルギー利用以外の放射線についての特集にちなんで、特に、これからの日本の科学技術を支える基礎として、放射線の利用について再度考えていただきたいと願うものである。

.....
文献

- [1] 例えばNakanishi, T.M. Neutron Imaging applied to Plant Physiology, In: Neutron Imaging and Applications, Ed.: Aderson, Ian S., McGreevy, Robert, Bilheux, Hassina Z., pp305-317, Springer, 2009.
- [2] 例えばKanno, S. and Nakanishi, T.M. et al., Development of Real-Time Radioisotope Imaging Systems for Plant Nutrient Uptake Studies. Transactions of The Royal Society, B 367 1501-1508 (2012).