

2020年日本アイソトープ協会奨励賞 受賞者研究紹介

(五十音順, 所属は受賞時)

革新的無機シンチレータの開発と アイソトープ検出への応用



黒澤 俊介
Kurosawa Shunsuke

1. はじめに

γ 線等の放射線の検出素子として利用される無機シンチレータは、放射線計測の条件や環境によって適切な材料が求められる。例えば、医療応用等として利用される陽電子放出断層撮影においては、内在バックグラウンドは多少あったとしても、密度や有効原子番号が大きく、短い蛍光寿命と比較的高い発光量から優れた時間分解能が求められている。すべての特性を満たすようなシンチレータの実現は筆者らの夢ではあるが、一般的にバンドギャップエネルギー (E_{gap}) に反比例する発光量の向上を狙うと、50℃以上の高温で発光量が低下しやすくなる点 (温度消光) や、潮解性のある材料に選択肢が限定される点といった、トレードオフの関係にある点も多い。

2. 方法

E_{gap} 以外に発光量に寄与する要因として、(i) 電離後の電子の発光中心までの輸送効率や、(ii) 発光中心における励起から基底サイトへの遷移時の量子収率等が挙げられる。材料の設計指針として、筆者らは(i)に注目をし、 E_{gap} が大きくても十分な発光を示す材料を探索した。特に注目・参考にしたのが、北海道大学や、ウクライナで研究が進んでいたパイロシリケート系である。筆者らも、集光式浮遊帯溶融法 (FZ法)、マイクロ引き下げ法 (μ -PD法) 等の結晶育成法を用いて探索した。FZ法は、結晶合成

しやすい化学組成である調和融解組成かどうかにかかわらず、比較的多くの結晶合成が可能であり、後者の μ -PD法は、調和融解組成がメインであるが、1日に複数個の合成が可能である。

3. 結果及び考察

開発したCe添加(Gd, La) $_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (以下 Ce:La-GPS) は発光量 40,000 光子/MeV 以上、エネルギー分解能 (FWHM 値) 5~6% 程度 (最良値は 4.5%) と非常に良く、更に潮解性なし、内在バックグラウンドもごくごくわずかという優れた点を備えていることが分かった。にもかかわらず、La-GPS の E_{gap} が 7.2 eV 程度と測定され、既存のシンチレータの E_{gap} は 6 eV 程度以下が多い中、非常に大きい値であった。これは、前述の(i)で述べた輸送効率が通常の材料に比べて約 1.5~2.0 倍程度優れていることに起因することも、分かってきた。Ce:La-GPS は、その後、チョクラルスキー法を用いて、直径 2 インチサイズまでの大型化に成功し、電子飛跡型コンプトンカメラ (ETCC) への導入も始まっている。また、150℃以上でも温度消光しにくいことから、石油探査等周辺温度が 100℃を超える大深度での RI 探査におけるシンチレータとしての応用も期待されている。

4. 結論

今回は、 E_{gap} を小さくするという材料設計指針以

外に注目して Ce:La-GPS を開発例として取り上げた。これ以外にも、多くの新規材料を酸化物、ハロゲン化物、そして、近年では有機物まで幅広い領域で開発し、発光機構等の解析のほか、検出器に組み

込んで、RI 検出等の実証試験を行っている。

(東北大学 未来科学技術共同研究センター、金属材料研究所)

ラジオアイソトープトレーサー実験による 植物体内の元素動態解析



小林 奈通子
Kobayashi Natsuko I.

植物において無機元素の吸収・輸送は成長に直結する重要な営みである。筆者らの研究グループは、近年発展してきたラジオアイソトープ (RI) イメージング解析手法を活用した器官・組織別経時的観測と、ゲノム科学から得られる分子情報を組み合わせることで、植物体内の元素動態とそれを司るメカニズムの解明に取り組んでいる。

マグネシウム (Mg) の欠乏症は、博士号取得後に定めた最初の私の研究テーマである。当時、Mg 欠乏症の初期段階は全く未解明のままであったが、 ^{28}Mg 及び ^{32}P によるトレーサ実験の結果、若い葉において特異的に蒸散速度が低下することが、その葉が枯死に至る決定打であることを発見した。また、根においては欠乏開始の翌日には Mg 吸収速度が上昇すること、このメカニズムには Mg 輸送体が関与していることを示した (図 1)。 ^{28}Mg 分布画像からは、Mg 吸収速度の上昇は根の先端から 1 cm までの範囲で顕著であることが見て取れ (図 1)、この部位の解析が Mg 吸収速度制御機構解明の手がかりとなると考えられる。

セシウム (Cs) の体内動態はカリウム (K) と類似性が高いことが知られていたが、具体的な類似点・相違点は十分に把握されていなかった。そこで私は ^{42}K と ^{137}Cs を用いたダブルトレーサ法によるアッセイ系を独自に確立し、植物体内での動態の解析を進めることにした。その結果、これまでに、両イオンのイネ体内での動態には、根に吸収されてから地上

部に達するまでの間に明らかな相違があることを見出している。

世界で広がっている塩類土壌においては、ナトリウム (Na) を植物が過剰に蓄積することが生育抑制の主要因となっている。Na の研究者と共に、イネの葉から Na を排斥する膜タンパク質として知られていた HKT1;5 の Na 輸送に果たす具体的な役割を ^{23}Na を用いて調べた結果、成熟葉へ輸送される Na を導管外へと取り除く役割に加え、茎内の維管束においては篩管の周辺で発現し、篩管内を通して未熟な最新葉に向かう Na を抑制することを明らか

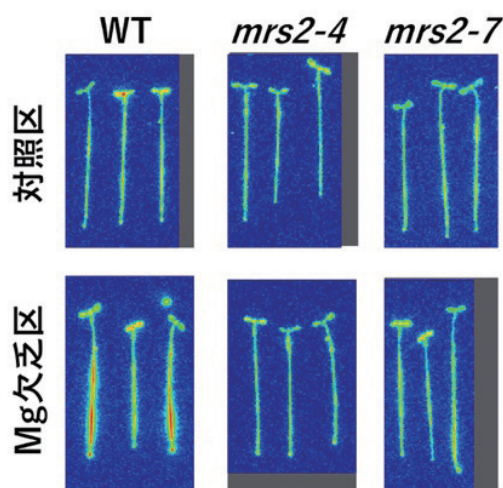


図 1 播種後 6 日目のシロイヌナズナにおける ^{28}Mg 分布図

^{28}Mg を 30 分間吸収させ、イメージングプレートで可視化した。Mg 欠乏により野生型株 (WT) の根端付近の Mg 含量が増える一方、Mg 輸送体を欠損した変異体である *mrs2-7* や、特に *mrs2-4* では対照区との違いがないことが分かる。

にすることができた。

以上の研究は、貴重な短寿命核種 ^{28}Mg の製造・精製や、半減期約 12 時間の ^{42}K の常時利用を可能とする ^{42}Ar - ^{42}K ジェネレータの整備、新規イメージング装置によって支えられています。共同研究者の

皆さま、卒業生を含む研究室の皆さまにこの場をお借りして深くお礼申し上げます。

(東京大学大学院農学生命科学研究科 附属アイソトープ農学教育研究施設)

加速器を利用した新規有用アイソトープの製造とライフサイエンス分野への応用研究



渡辺 茂樹
Watanabe Shigeki

1. はじめに

放射性同位元素 (RI) は、これまで医学・工学・産業等の幅広い分野で使用されており、これからも大きな可能性を秘めている。発表者は加速器を利用してライフサイエンス分野での利用拡大が期待できる新規 RI の製造法とその応用研究を行ってきた。

2. バイオメディカルトレーサとしての ^{64}Cu 研究

ポジトロン (陽電子) 放出 RI を用いるポジトロン断層撮像 (PET) は、診療に有用な検査法として広く認知されている。しかし、用いられる RI の半減期が短く、疾患への集積に時間を要する標的指向性分子の利用が困難等の課題があることから、これらの問題を解決する新規 RI の開発が期待されてきた。 ^{64}Cu (半減期: 12.7 h) は、上記の課題解決に十分な長さの半減期を持ち、キレートを経して多様な新規薬剤の開発が期待できるといった特徴を持つ。そこで、本 RI の新規製造法と PET 用 RI としての応用研究を行った。 ^{64}Cu 製造では、標的である高価な ^{64}Ni 濃縮安定同位体の煩雑な再利用プロセスを簡便化し、更に陰イオン交換を用いる分離法に比べ、短時間かつ簡便に分離できるキレート交換を用いた分離法を開発した。新規薬剤開発に向けた研究では ^{64}Cu 標識抗体 (^{64}Cu -TETA-NuB2) を用いた悪性リンパ腫移植マウスの PET イメージングを行い、その有用性を示した。また、 ^{64}Cu の更なる利用拡大

においては、植物研究用ポジトロンイメージング装置によりダイズ体内での ^{64}Cu の移行を世界で初めて可視化し、バイオメディカルトレーサとしての有用性を明らかにした。

3. 診断・治療の実現を目指した放射性ハロゲン

^{76}Br 及び ^{211}At 研究

放射性ハロゲンには、診断や β 線治療等に用いられてきた放射性ヨウ素を含め、医学利用が期待される RI が多い。そこで、放射性ハロゲンの利用拡大を目指して ^{76}Br (半減期: 16.1 h) 及び ^{211}At (7.21 h) を用いた診断・治療の実現に向けた製造法開発と放射性ハロゲンの標識化学の体系化に向けた研究を実施した。 ^{76}Br 研究では、乾式蒸留を用いる ^{76}Br 分離において最も重要な高収率で再現性の高い条件を見出すと共に、 ^{76}Br を高効率で標識できるケイ素—臭素交換反応を利用する新しい標識法を考案した。更に、得られた ^{76}Br -メタプロモベンジルグアニジン (^{76}Br -MBBG) を用いたマウスの褐色細胞腫の可視化に成功し、PET 用 RI としての可能性を実証した (図 1)。 ^{211}At 研究では、治療で確保すべき放射線量でも再現良く分離可能な湿式法を開発すると共に ^{76}Br 研究で得た知見を活かしてケイ素—アスタチン交換反応を用いた標識法の有用性を示した。これらの成果は ^{76}Br から α 線治療用の ^{211}At へと発展させた ^{211}At -メタアスタトベンジルグアニジン (^{211}At -

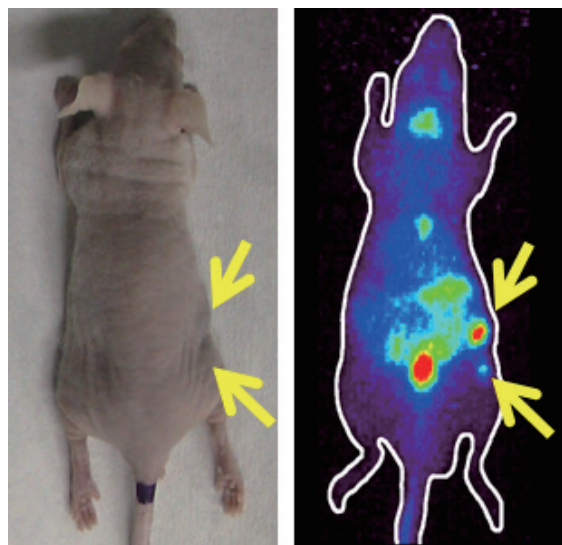


図1 ^{76}Br を用いた褐色細胞腫 PET イメージング。矢印は腫瘍を示す。

MABG) 開発につながり、褐色細胞腫に対する顕著な治療効果を見出した成果へと発展した。

4. 今後の研究

現在は、これまでの知見を活かした放射性ハロゲン標識化学の更なる体系化を目指した研究、高速炉等で用いられる液体金属技術を導入した液体 Bi 標的を用いた ^{211}At 新規製造法、更には液体合金標的を用いた複数有用 RI の連続製造法と製造した複数 RI を単一分子に標識するキメラ RI 化合物の開発等異分野の技術を融合した研究等に取り組んでおり、これらの研究を通して RI 研究の更なる発展と幅広い分野での利用拡大に貢献していきたい。

(量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所)