

- トップコラム／九州国際重粒子線がん治療センター センター長 工藤 祥
- 加速器を用いる放射性炭素年代測定のからくりと応用／
〔シリーズ1〕加速器質量分析を用いる $10^{-12}\sim^{-16}$ レベルの同位体比測定
- 除染作業の実際／〔シリーズ3〕被ばくリスクを低減し安心につなげる除染
- お願い／長期間当社にご返却されないバッジ(未返却バッジ)について
- お知らせ／第50回アイソトープ・放射線研究発表会
- お知らせ／平成25年度放射線取扱主任者試験の施行について

ト
ツ
ブ
コ
ラ
ム
138



工藤 祥

一放射線科医として

1895年11月8日のヴィルヘルム・C・レントゲンによるエックス線発見を記念して11月8日を「International Day of Radiology: 国際放射線医学の日」としようという呼びかけに、欧州放射線学会、北米放射線学会、日本医学放射線学会など、世界中から賛同が得られています。放射線医学のみならずすべての放射線科学がこのときから発展してきたわけですが、放射線物理学の最新の話は国際リニアコライダーの日本への誘致、放射線生物学でホットな問題は原発事故や医療における低線量被曝でしょう。他に工学、農学、考古学など多方面で放射線が活用されています。医学における放射線利用の進歩は目覚ましく、診断分野では、エックス線透視や撮影の他、CT、MRI、ガンマカメラ、PETなどが開発され、現在は細胞機能を反映した分子イメージングの時代に入っています。がん治療分野ではリニアック、ガンマナイフ、定位照射、強度変調治療、陽子線治療、重粒子線治療、小線源腔内照射、小線源永久刺入療法、放射性医薬品内用療法、ホウ素中性子捕捉療法など多種多様な方法が開発されています。

診療に有用な放射線ですが、20世紀初頭までは医師、技師に被曝による犠牲者が多数出ました。この放射線を安全に利用するために放射線科が作られ、被曝低減の努力の結果1954年以降に放射線科医師となった者に癌死の増加はないという論文が英国から出ています。今も放射線被曝が社会問題になっていますが、もともと放射線は自然界にあふれているものですし、世の中に無害なものなどありません。程度の差はあれいずれも益との兼ね合いで利用されています。感情的にならずに慎重に科学的事実を積み重ねる

べきでしょう。

私は1976年に医学部を卒業して松浦啓一教授の九州大学放射線科(1929年開設)に入りました。難しい画像の解釈をすらすら行う米国帰りの放射線科医師がかっこよく見えたのです。当時はCTもMRIもなく、診断の道具は、エックス線写真、消化管造影、血管造影、シンチグラムくらいでした。放射線科に入れば自然に画像が読めるようになるだろうと思っていましたが、大間違いでした。ただ画像を見ても所見はみえません。放射線診断とは、病理像を画像にみに(診に)ゆくものだったのです。学ぶべき範囲の広さと深さに茫然としました。放射線治療においても治療計画CTなどのない時代で、線量分布図を描き照射範囲を決めるのが大変でした。その後、広島放射線影響研究所(W・J・ラッセル部長:日米放射線科医師交流への功績大)を経て、米国エール大学セント・ラファエル病院で放射線診断、テキサス大学MDアンダーソン病院でがんの血管内カテーテル治療を学びました。帰国後は、九州大学や佐賀大学で教育・研究・診療にあたり、附属病院放射線取扱主任者として放射線防護も担当しました。学外では、佐賀県環境放射能技術会議委員として玄海原子力発電所の放射線防護に関わり、更に、佐賀県に粒子線治療施設をつくるための専門家会議に参加し、その関係で現職へ移りました。

重粒子線がん治療とは、光速の70%ほどに加速された炭素イオン線のブラッグ・ピークによる良好な線量集中性とエックス線や陽子線の2~3倍になる生物効果を利用するもので、副作用が少なく、治療期間が短く、更には従来放射線抵抗性とされてきた腫瘍への効果も望めるという、まさに患者さんにやさしく効果の高い治療法です。本施設は産・学・官の協力により、地域の多くの施設が利用しやすいようにと、重粒子線がん治療に特化した無床診療所として作られました。そのため、九州の各大学病院、がん診療連携拠点病院、国立病院機構加盟病院、その他の多くのがん診療施設と医療連携協定を結んでいます。平成25年開院の本センターが広域連携医療の一つのモデルとなることを期するところです。

くどう しょう(九州国際重粒子線がん治療センター センター長)

プロフィール●1950年12月大分市生まれ。九州大学医学部卒業。放射線科専門医、米国放射線診断専門医、医学博士。佐賀大学放射線医学教授を経て2011年9月より現職。医用画像など、目に見える技術を用いた診療・研究が好き。米国と日本の医学・医療の良いところ取りをしたいいつも思っていますが、なかなか難しいところです。楽しみは玄界灘での船釣りですが、重なる行事や悪天候のためなかなか行けないのが残念です。

加速器を用いる放射性炭素年代測定のからくりと応用 [シリーズ1]

加速器質量分析を用いる $10^{-12} \sim 10^{-16}$ レベルの同位体比測定

名古屋大学 年代測定総合研究センター 教授 中村 俊夫



はじめに

ここ数年の間に、日本最古の土器片発見や水田稲作を特徴とする弥生時代の始まりが500年早まるなど考古学分野の話題となった出来事は、高精度の放射性炭素 (^{14}C) 年代測定の成果です。これまで一部の考古学者にしか利用されなかった ^{14}C 年代測定が注目を浴びるようになったのは、加速器質量分析の発展のおかげです。加速器質量分析とは、どのような方法でしょうか。

加速器質量分析

加速器質量分析はaccelerator mass spectrometry(AMS)の和訳です。AMSとは、粒子イオンを加速する装置(加速器accelerator)とその重さ(質量)を区別する磁場装置(質量分析装置mass spectrometer)を結合して、粒子イオンを質量数について分離し、それらの存在量を測定する方法です。天然の炭素を例にとると、炭素は放射性的炭素原子 (^{14}C) と安定な炭素原子 (^{12}C および ^{13}C) から構成されます。記号“C”は炭素を表し、左肩の数字は質量数を表します。AMSにより、試料炭素に含まれる ^{12}C 、 ^{13}C および ^{14}C の個数の比率を正確に測定することができます。

名古屋大学に設置されている加速器質量分析装置の構成を図1に示します。炭素を含む様々な年代測定試料(木炭、木片、貝殻、古文書など)から特定の炭素成分を抽出してグラファイトに変え、ターゲットホルダー内にプレスします。複数個のターゲットホルダーを充填した試料台を分析計のイオン源にセットします。イオン源では、充填されたグラファイトの一つを選び、構成する炭素原子に電子を付着させて陰イオンを作り、入射電磁石で質量数12、13、14の炭素陰イオンを選び加速器に導きます。タンデム加速器の前段加速部で加速したあと、Arガスに衝突させて電子をはぎ取り陽イオンに変換して後段加速部で再加速し、質量分析電磁石により ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C を互いに分離します。 ^{12}C および ^{13}C の陽イオンはファラデイカップを用いて電流として定量します。 ^{14}C は、気体電離箱検出器へ導き、 ^{14}C であることを確認して計数します。大気中 CO_2 の炭素同位体の構成をみると、 ^{12}C が0.989に対して ^{13}C が0.011、また ^{14}C は0.000000000001とわけて微量にしか存在しません。AMSは、ごく微量(1兆分の一の割合)の同

位体比が高精度で測定できる超高感度の分析方法です。

このような超高感度の分析が可能理由は、AMSでは ^{14}C の検出を妨害する質量数14のイオン (^{14}C の同重体) を以下のようにして排除できるからです。(1) ^{14}N は陰イオンを作らないため、陰イオン源にて排除されます。(2) 同重の分子イオン ($^{13}\text{CH}^-$ 、 $^{12}\text{CD}^-$ 、など) は、タンデム加速器の中央部における陰イオンから陽イオンへの荷電変換において、Ar原子との衝突により、原子イオンに分解され排除されます。(3) 電離箱検出器を用いて妨害イオンの中から ^{14}C イオンを識別して計数します。

AMSによる ^{14}C 年代測定の特徴

名古屋大学のタンデム加速器質量分析装置による ^{14}C 年代測定は次の様な特徴を持ちます。

(1) ごく少量の炭素試料で測定が可能です。最終段階で分析に必要な炭素量は0.2~2mgです。

(2) 測定誤差は、数千年前までの比較的新しい試料につい

ては、定常的な年代測定では $\pm 20 \sim \pm 30$ 年程度です。試料の年代が古くなると統計誤差によりこれより大きくなります。

(3) ごく低い ^{14}C 濃度の測定が、すなわち古い年代の測定が可能です。約5万年前まで遡って年代測定ができます。

(4) 測定に要する時間

が短く、1試料あたり0.5~1.5時間程度です。

おわりに

加速器質量分析装置の最大の利用分野は年代測定です。特に ^{14}C 年代測定は、地質学分野(堆積物、埋没樹木・炭化物、プランクトン微化石、など)、文化財科学分野(古文書、古布・繊維、建材)、考古学分野(人骨・獣骨、炉跡炭化物、貝殻、土器付着炭化物)等は幅広い分野で利用されています。

地球上には、宇宙線が一定の割合で降り注いでおり、その作用で放射性同位体が形成され存在します。さまざまな物質内に固定されたこれらの宇宙線生成放射性同位体の濃度は時間の経過と共に減少することから時間の情報をもち、それらの試料の年代測定に利用されます。 ^{10}Be (半減期:160万年)、 ^{14}C (5730年)、 ^{26}Al (72万年)、 ^{36}Cl (30万年)、 ^{41}Ca (10万年)、 ^{129}I (1570万年)等です。

これから6回のシリーズに渡って、AMS法による ^{14}C 年代測定の原理や応用、また、 ^{14}C をトレーサーとして用いる研究をご紹介します。

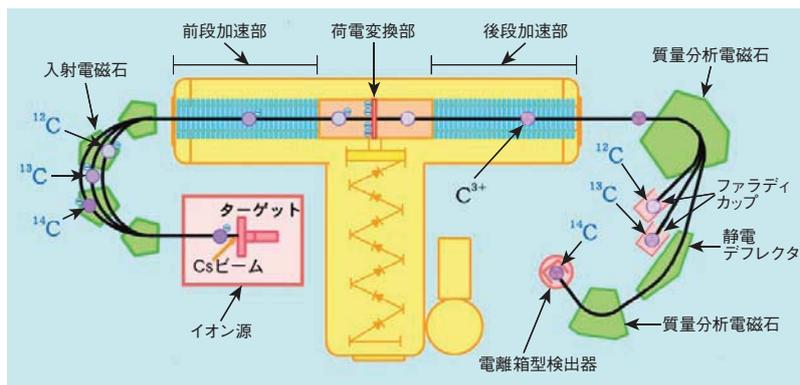


図1 名古屋大学に設置されている加速器質量分析装置の全体図

除染作業の実際 [シリーズ3]

被ばくリスクを低減し安心につなげる除染



公益社団法人 農業農村工学会 農地の除染対策技術検討委員会 委員 *茂木 道教

避難指示区域等の区域区分の見直しにより、避難区域解除準備区域に指定された地域では、住民の帰還のためインフラの復旧と共に除染作業が進められている。また、汚染状況重点調査地域に指定された市町村においても、住宅や公共施設、農地等の除染作業が行われている。いずれも、安心して生活できる環境を取り戻そうとする取り組みである。

1. 住民の安心につなげる除染

主に環境省が具体的な除染方法をまとめた「除染ガイドライン」に基づき、居住地の除染作業が行われている。当社が行なっている屋根の除染では、飛沫飛散防止カバーをつけた洗浄ノズルを用いて行い、洗浄により発生する排水を全量回収し水処理を行なっている。また、舗装道路の除染には高压吸水洗浄車を採用し、1台で1日約5,000㎡程度の除染を行なっている。



高压吸水洗浄車による道路の除染状況

民家の除染の場合、住民の方との良い意思疎通が特に重要で、事前の十分な説明や丁寧な作業、場合によってはガイドラインにはない敷地内の不要物の処分・片付けなどを行うことがある。こうしたきめ細かな作業をとおして、結局のところ住民の方々に安心感をもっていただくことが最大の目的となっている。

2. 食の安全と農地の除染

福島県においては、水田の深耕や吸着材（ゼオライト）、セシウムの吸収を低減すると言われているカリ肥料散布により、コメの汚染低減に努めた。同時に平成24年度は、玄米1200万袋全数について汚染検査を行い、安心して食べてもらえるよう考えうる最大の努力を払っている。桃、梨、りんごなどの果樹では、セシウムは地表面に固定されており地中深くの根からの吸収は少ないが、汚染した幹・枝からの内部転流による実の汚染が懸念された。そのため、樹皮の洗浄や削り取りといった除染が行われた。その結果、

生産されるほとんどの果物は基準値を超えることがなくなった。福島県県北地区では、柿を加工したあんぽ柿が特産である。そのあんぽ柿の出荷が2年続けて制限されている。加工の段階で、乾燥させることにより柿の重量が3～5分の1になり、結果的に食品基準を超える可能性があるからである。摂取放射線量は、加工前も後も同じはずであるが、日本の基準が一律であるためこのようなことが生じている。柿農家にとっては死活問題となっている。

事故後放置された未耕起田畑は、今後本格的に除染が行われる。多くの地権者は、汚染物が残る天地替えよりも汚染した表土を除去し取り去ることを求めている。表土剥離には、主に土木用の重機が用いられる。また、芝草管理用のターフストリッパーや沈砂池等清掃用のスキマーと呼ばれる特殊機器の適用も試みられている。



ターフストリッパーによるグラウンドの除染状況

3. 林業の再建復興と除染

汚染面積の大半を占める山林の除染は、未だ方向性が見出されていない。実証事業として木を全数伐採する皆伐や、間引きする間伐、腐葉土層の除去などによる除染効果等の試験が行われている。汚染された山林に手を入れることは、単に除染することにとどまらず林産業の再興を意味する。木材の建築材料への利用や再生可能なエネルギー源としての利用など、産業そのものの新たな枠組みも含めて考えなければならない。

*

3回にわたって、除染作業の実際について取り上げた。目に見えない放射線への不安や、平穏な生活を突然奪われた憤りは、元に戻すという除染作業の進展のみで解決するものではない。しかし、「再び勢いを取り戻す」という意味の真の復興を目指し、地道な除染作業に取り組んでいる被災者も多くいることを知っていただければ幸いである。

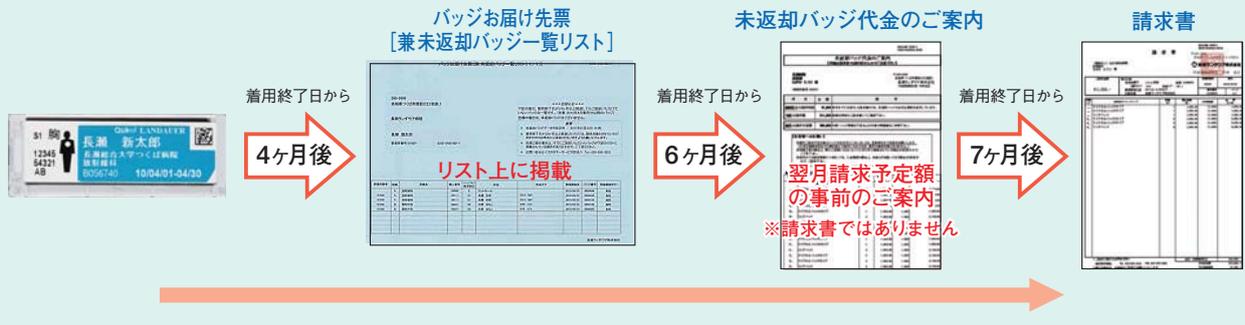
* (株)日本環境調査研究所所属

お願い

長期間当社にご返却されないバッジ (未返却バッジ) について カスタマーサービス課より

当社のバッジはお客様の被ばく線量を測定するために貸し出しており、返却後は再利用しております。そのため、着用期間終了後7ヶ月を経過してもご返却されないバッジについて

は、下記の手順で未返却バッジ代金を別途請求させていただきますので、速やかにご返却ください。また、退職者のバッジも忘れずにご返却願います。



お知らせ

第50回アイソトープ・放射線研究発表会

- 会期 平成25年7月3日(水)～7月5日(金)
 会場 東京大学弥生講堂 (東京都文京区弥生1-1-1)
 主催 (公社)日本アイソトープ協会 (Tel.03-5395-8081)
 参加費 2,000円 (学生は無料) 要旨集:3,000円
- ◆第50回記念特別セッション (講演2題)
 - ノーベル賞受賞者 小林誠先生によるご講演ほか
 - ◆特別講演
 - 宇宙開発に貢献する放射線利用-宇宙用太陽電池の放射線劣化とその予測-
 - 太陽光により発生する強い活性酸素の消去過程の増強による高収量性資源作物の作出-地球温暖化を阻止するための工業原料の供給をめざして-
 - 福島第一原発事故で放出された放射性物質の海洋底質への移行と蓄積
 - ◆パネル討論
 - 福島第一原子力発電所事故により放出された放射性ヨウ素の環境分布の再構築と被ばく線量評価に向けて
 - 加速器等を用いる新しい核プローブによる分析と応用
 - 北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開
 - ◆市民のための公開講座・しゃべり場 (公開講座:聴講無料)

食品照射って?消費者は、知らずに損をしていませんか?
 - ◆研究発表 (申込件数) 口頭発表:153件 ポスター発表:31件
 - 懇親会 参加費:2,000円 7月3日(水)18:00～

平成25年度放射線取扱主任者試験の施行について

- 平成25年度放射線取扱主任者試験は、次の日程・要領で施行される予定です。
1. 試験の日程
 - 第1種試験:平成25年8月21日(水)、22日(木)
 - 第2種試験:平成25年8月23日(金)
 - ※合格者は10月下旬に官報で公告される予定です。
 2. 試験地 札幌・仙台・東京・名古屋・大阪・福岡
 3. 受験申込期間
 - 平成25年5月17日(金)～平成25年6月17日(月)
 - ※郵送の場合、6月17日(月)の消印有効
 4. 受験料 (消費税込み) 第1種:13,900円 第2種:9,900円
 5. 受験申込書

受験申込書(無料)は全国の頒布機関で入手できます。郵送をご希望の場合、送料分切手を貼った返信用封筒(角2サイズ)を下記までお送りください。
 ※貼付切手など、詳しくはホームページをご覧ください。
 6. お問い合わせ先

公益財団法人原子力安全技術センター
 (主任者試験Gr.)
 〒112-8604 東京都文京区白山5丁目1番3-101号
 Tel.03-3814-7480 Fax.03-3814-4617
 ホームページ <http://www.nustec.or.jp/>
 電子メール shiken@nustec.or.jp

編集後記

トップコラムやシリーズ連載を拝読して、放射線は本当に幅広く利用されているものであると改めて思います。
 放射線だけでなく、様々な科学技術の進歩とは多くの関係者による不断的努力の積み重ねにより築き上げられ、安全性を含め実用レベルに至るまでに、幾多の困難を乗り越えて発展しているのだと実

感しました。まさに脱帽です。
 その発展した科学技術も、時と状況によってはうまく使えないものになってしまうことがあります。
 しかし、例えその様な場合においても、我々一人ひとりが更なる進歩を願い、温かく且つ注意深く見守っていくことも必要であると感じた次第です。
 (八木 信行)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール
<http://www.nagase-landauer.co.jp>
 E-mail: mail@nagase-landauer.co.jp

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は
 本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441
 大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

NLだより No.426
 平成25年<6月号>
 毎月1日発行 発行部数:34,300部

発行 長瀬ランダウア株式会社
 〒300-2686
 茨城県つくば市諏訪C22街区1
 発行人 中井 光正