我が国の最先端研究開発

シリーズ解説 第25回

放射線科学を支える研究基盤技術

細胞から宇宙までを対象にした開発研究

(独)放射線医学総合研究所 日下部 正志, 白川 芳幸

研究活動を効率的に進めていくためには支援組織が必要である。放射線と人々の健康に関わる総合的な研究開発に取り組む国内で唯一の研究機関である放射線医学総合研究所において、これに当たるのが基盤技術センターであり、開発研究、その実用化、最新技術の導入、既存技術の維持・管理を通して研究に必須の基盤技術を提供している。これら技術の骨格となるのが放射線計測技術、放射線発生・照射技術、そして実験動物技術である。放医研の活動をシリーズで紹介する初回となる今回は、この基盤技術センターが手がけている内容のうち、最先端の開発研究に的を絞って、細胞から宇宙までを対象にしたホットな話題を紹介する。

Ⅰ. はじめに

放射線科学という言葉は『広辞苑』にも載っていない。見慣れた放射線化学のように一般的に定義された言葉ではなく、大学・研究所によって、それぞれの研究分野を包含して、それが放射線に関わる科学領域であれば放射線科学と呼んでいるようである。さて放射線医学総合研究所(以下、放医研)では、①放射線の人体への影響、障害の予防、および治療に関する研究領域、同時に、②積極的に放射線を医学に利用する研究領域を放射線科学と考え、その研究に取り組み、国民の健康の増進、安全・安心の確保に努めている。

この放射線科学は組織的には、①については放射線防護研究センター、緊急被ばく医療研究センター、②については重粒子医科学センター、分子イメージング研究センターで研究されている。この研究を支援する組織として基盤技術センターがある。支援は既存の施設・設備およびそれに関わる技術の提供はもとより、放射線科学研究の基盤となる新技術の研究開発も含んでいる。具体的には、ここでは放射線の計測、放射線の発生・照射、および実験動物に関する開発研究が行われている。次章からそれぞれの分野の先端的研究成果を紹介する。

Ⅱ. 計測最前線

放医研の持つ多種多様な放射線場、例えば γ 線、X線、電子線、 β 線、 α 線、陽子線、中性子線、重粒子線(重イオン線)の場における放射線計測あるいは線量評価のために、われわれは個性的な放射線検出器や計測技術の開発を行っている。開発方針は積極的に産学連携を行い、さらに国際共同研究などにより新しいアイデアやテクノロジーをスピーディーに開発し、時々のニーズに合致した形で実用化することである。本章では最近、話題になっているペットボトルの計測利用と宇宙環境での放射計測について紹介する。

1. ペットボトルの計測利用¹⁾

放射線を受けると蛍光を発するプラスチックシンチレータは、相当量が原子力発電所や放射線使用事業所の安全管理のための放射線機器に使用されている。その製造は、海外企業のノウハウによるところが非常に大きく、添加される波長変換剤の量や種類など、詳細な情報はすべて企業秘密のベールに包まれている。また、製造できる企業も数が限られていて、市場はほぼ海外に独占されているという状況である。

そこで、身の回りにある様々なプラスチックに着目して、プラスチックシンチレータの技術的なブレイクスルーを試みることにした。身の回りの代表として1年間で何億本も消費されるペットボトルを検討対象にした。

Latest Fundamental Technology for Radiological Sciences :
Masashi KUSAKABE, Yoshiyuki SHIRAKAWA.

(2010年 8月10日 受理)

そこで耐熱性ペットボトルを固めた樹脂を作り放射線(この場合、電子)を当ててみた。蛍光分析器にて解析したところ、驚くべき結果が得られた。

第1図は、プラスチック素材の蛍光波長と光センサーの受光感度を比較したものである。ここで、中央のピークはペットボトル樹脂からの蛍光波長分布、右側のピークは市販されているプラスチックシンチレータからの蛍光波長分布、左側のピークはプラスチックシンチレータのベース素材であるポリビニルトルエンからの蛍光波長分布、幅の広い大きなピークは光センサーの受光感度を示す。この結果、プラスチックシンチレータの蛍光波長のピーク(420 nm)やプラスチックシンチレータのベース素材であるポリビニルトルエンの蛍光波長のピーク(330 nm)とは異なり、ペットボトル樹脂の蛍光波長のピーク(380 nm)が、通常スペックの光センサー(光電子増倍管)の波長感度のピークに重なることが示された。つまり、ペットボトル樹脂が放射線計測に適していることが示唆されたのである。また、化学分析などを行ったところ、ペットボトルには酸素が含まれており、典型的なプラスチックシンチレータの密度(1.05 g/cm^3)と屈折率($n=1.58$)よりも、密度(1.35 g/cm^3)と屈折率($n=1.64$)が高く、放射線検出に対する感度が高いことが判

第1図 プラスチック素材の蛍光波長と光センサーの受光感度の比較

第2図 ^{207}Bi 線源から放出される放射線(内部転換電子)をペットボトル樹脂で測定した結果

明した。さらに、ペットボトル樹脂から得られるスペクトルを調べたところ、第2図のように明瞭なエネルギースペクトルが得られた。

本研究により、波長変換剤を含まない市販の極めて安価なペットボトル樹脂で放射線を検出できることが示された。また、紫外光領域に感度のある光センサー(光電子増倍管など)を用いることで、さらに高い精度での放射線検出器が可能になる。これらの成果を放射線計測基盤技術として、サーバイメータなどの放射線防護機器や医療機器に応用することを現在検討している。

2. 宇宙飛行士と宇宙放射線^{2~7)}

放医研の有する多様な放射線場(例えば大型サイクロトロン、重粒子線がん治療装置の加速器など)、あるいは実際の宇宙船を利用して線量計などの開発研究を国際的規模で主導的に進めている。

宇宙環境には、銀河から到来する高エネルギーの陽子や重イオンが存在し、さらに、地球磁場に捕捉された陽子や太陽のコロナ質量放出現象に伴う陽子も存在し、船壁において相互作用を起こし、中性子や短飛程の高LET(線エネルギー付与)の2次粒子線も発生する。さらに、線量は太陽活動、飛翔体の高度により増減するなど、地上とは異なる環境であり、様々なエネルギー・線種の宇宙放射線の線量評価は容易ではない。しかし将来の宇宙ステーションや月面・火星基地での長期滞在における宇宙飛行士の被ばく線量管理のために必須である。

このような新たな放射線環境に対応し線量を正確に評価するために、線量計の開発を行っている。個人被ばく線量計としては、宇宙航空研究開発機構(JAXA)などにおいても熱ルミネッセンス線量計と固体飛跡検出器を組み合わせた線量計パッケージが一般に利用されている。放医研では、固体飛跡検出器の感度を変化させる技術の開発や、光学顕微鏡自動解析システムの開発・特許化などにより、その高度化を進めており、JAXAや個人線量モニタリング企業などへの導入が行われている。

しかし、これらのパッケージは、化学的な処理が必要などのため、長期間の滞在には不向きである。そこで、低LETの放射線にも感度があり、かつ、高LET粒子の飛跡も検出可能な蛍光飛跡検出器の開発を米国ラングウア社との共同研究により進めている。独自の顕微鏡システムの構築により、重イオンビームに対する応答も確認され、今後の発展が期待される。

中性子に関しては、特に高エネルギー中性子の線量は十分に評価されていない。放医研では、10年以上にわたりホスウィッチ型中性子検出器の開発を進めており、加速器ビームによる校正実験を行い、 γ 線との分別能力も評価している。宇宙飛翔体への搭載のために各種の試験を現在行っているところである。

さらに、重粒子線がん治療装置の加速器のビームを利

第3図 ICCHIBAN プロジェクトにおける比較実験に用いられる線量計群

第4図 ICCHIBAN プロジェクトにおける各国線量計に重粒子線照射をする様子

用して、第3, 4図に示す世界中の宇宙機関(NASA, JAXA を始め13ヶ国22機関)の線量計の応答の比較, 校正を行う ICCHIBAN(InterComparison for Cosmic-rays with Heavy Ion Beams At NIRS)プロジェクトを組織し推進しており, 宇宙放射線線量計の信頼性の向上, 標準化を目指している。

今後も, 新たな放射線環境に対応する検出器の開発を進め, 放射線科学の様々な分野の発展に貢献していく予定である。

Ⅲ. 加速器利用最前線

放医研には種々の加速器が装備されており, それらを用いた研究が盛んである。加速器の紹介では, 一般に大型のシンクロトロンのような極めて高いエネルギー(数十 GeV)の施設が良くとりあげられるが, ここでは, 対極にある低いエネルギー(数 MeV)を用いて精緻な分析や生物実験を行う世界トップクラスのミクロの加速器利用技術を紹介する。

1. 放医研の静電加速器

加速器として低いエネルギーである数 MeV の荷電粒子を加速する実験では, そのエネルギー分解能がきわめて重要となる場合が多い。このため静電加速器がしばしば用いられる。静電加速器は, 摩擦電気を運んで高電圧

第5図 タンデム型静電加速器(HVEE 社製)

を作るバンデグラフ型と整流器とコンデンサを組み合わせて順次高電圧を作るコッククロフト・ワルトン型に分類される。放医研は後者であり, この加速電圧はきわめて精密である。第5図に示す放医研の静電加速器の場合では, 加速電圧1.7 MV に対する変動はわずか16 Vpp であり, 百万分の1程度の優れたエネルギー分解能を有する。

放医研の静電加速器は, タンデム静電加速器と呼ばれターミナル電圧を2度利用するきわめて巧妙な加速方式を用いている。まず, 最初にイオン源で負イオンを発生させる。多くの場合, 陽子やヘリウムが負に帯電される。その後, 正に印加されたターミナル電圧により加速される。ターミナル電極部にはきわめて少量ではあるが窒素などの不活性なガスがカーテンのように流れており, このガスに衝突することによりイオンに付着していた電子が剥ぎ取られ, 負であったイオンは正に変わる(荷電変換)。このためイオンは正に印加した電極から蹴り出されることになり, 再びターミナル電圧の加速を受ける。このため, たとえばターミナル電圧が2 MV であると, イオンはその2倍の4 MV の加速を受けることになる。

2. マイクロビーム細胞照射技術⁸⁾

上述の静電加速器から取り出された荷電粒子は, 従来から知られている PIXE 分析(元素分析)などに利用されている。これに加え, われわれはこの荷電粒子ビームを直径数 μm まで収束させて照射を行うマイクロビーム照射技術を開発した。マイクロビームを作るにはコリメータ式と複数の多極電磁石でビームを絞り込む収束式とがあるが, 放医研では照射系に低エネルギー側の散乱粒子の外乱を低減できる収束式を採用した。その結果, 大気圧環境下で3.4 MeV の水素イオンを5 μm 以下まで絞り込むことに成功した。これは世界最小のビームスポットである。この世界最小スポットのビームを用いて低線量影響研究を中心とする生物実験が行われている。

従来の低線量率放射線生物影響に関する研究では, 照射容器中の大量の細胞にまばらに放射線を照射することとなるため, すべての細胞に等しく照射が行われていなかった。そのため放射線に誘起されて発生した生物影響は確率的評価とならざるを得ない。マイクロビーム照射

を支援技術として具現化すること、世の中の最新技術を取り込むこと、既存の技術を安定に維持していくことが重要である。これら一体化した研究基盤技術をもって放射線科学研究の発展に寄与していければ幸甚である。

—参考資料—

- 1) H. Nakamura, *et al.*, *rspa*, 2010.0118, (2010).
- 2) F. Cucinotta, M. Durante, *Lancet Oncol.*, **7**[5], 431–5 (2006).
- 3) T. Doke, *et al.*, *Radiat. Meas.*, **24**[1], 75–82 (1995).
- 4) 俵 裕子, 他, 放射線, **28**[2], 181–194 (2002).
- 5) N. Yasuda, *et al.*, *Radiat. Meas.*, **40**, 311–315 (2005).
- 6) M. Takada, T. Nakamura, *Radiat. Prot. Dosim.*, **126**, 178–184 (2007).
- 7) Y. Uchihori, Eenton eds., HIMAC Report–128, (2008).
- 8) T. Konishi, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods*, **B, 267**, 2171–2175 (2009).
- 9) T. Kokubo, S. Matsushita, *Exp. Anim.*, **58**[2], 189–192

(2009).

- 10) H. Katoh, T. Nishikawa, *et al.*, *Exp. Anim.*, **59**[2], 183–190 (2010).

著者紹介

日下部正志(くさかべ・まさし)

(独)放射線医学総合研究所
基盤技術センター
(専門分野/関心分野)環境放射能, 環境科学

白川芳幸(しらかわ・よしゆき)

(独)放射線医学総合研究所
基盤技術センター
(専門分野/関心分野)放射線計測, 放射線教育

新刊紹介

エネルギー問題！

松井賢一著, 406 p. (2010. 2), NTT 出版.
(定価2,300円) ISBN 978-4-7571-6046-0

石油をはじめ, 天然ガス, 石炭, 原子力, 再生可能エネルギーなど, さまざまなエネルギーの特徴を, 歴史的経緯やそれをめぐる政治的な思惑を含めて, ていねいに説明してある。エネルギー問題を学ぶための入門テキストとして, お勧めできる本だ。

ただ, なかにはその主張に, 異論を持たれかねない言説も含まれている。例えば石油について, 著者は「石油は安いから価値があるのであって高い石油には価値がありません」と述べ, 「高くなった石油は代替化が進み, 石油に対する需要が減少する。それは石炭がたどった道と同じだ」と説明。リープナブルな価格の石油資源がなくなるピークオイルが起きる可能性は, 極めて低いと断じている。

また科学は, 各国の政治的利害で恣意的に利用される危険性をもつものであると主張。その一例として, 炭酸ガスが温暖化ガスの主犯であることについては懐疑的な見解を数多くとりあげている。筆者である松井氏の主張や, あるいはクライムゲート事件の真相が明らかになるには, もう少し時間がかかるのかもしれない。

筆者は日本エネルギー経済研究所などで, 30年に及ぶエネ

ルギー・エコノミストの経験をもつ。エネルギー問題の虚実に関する記述は, そこでの経験のたまものだろう。エネルギー問題は単に資源や技術に帰する問題ではない。たしかにそれは, 政治や経済をもとにした思惑の結果として立ち現われていることが, 本書を読めばよくわかる。

目次は以下の通り。

- Chapter1 石油問題の本質—石油時代終わりの始まり
- Chapter2 息の長い石炭, 急成長する天然ガス
- Chapter3 原子力との共存
- Chapter4 再生可能エネルギーは補間的役割・省エネルギーの逆説
- Chapter5 地球温暖化問題—政治を利用する科学, 科学を利用する政治
- Chapter6 世界のエネルギーを動かす人々
- Chapter7 人類・文明・エネルギー
- Chapter8 日本のエネルギー政策を振り返る—特徴, 成功と失敗
- Last Chapter エネルギー革命が始まった—日本の長期エネルギー戦略は

(日本原子力研究開発機構 佐田 務)