

「第52回アイソトープ・放射線研究発表会」から

パネル討論 1

ナノ粒子のライフサイエンス及び 医学分野への利用に向けて

佐々木 徹
Sasaki Toru

ナノ粒子とはナノメートルオーダー、一般的には球状で数～数百 nm の大きさの粒子をいい、ライフサイエンス、医学分野のみならず、電子部品材料、センサー、塗料、建材、触媒、化粧品などに利用される。本討論はライフサイエンス部会からの企画に基づき、ナノ粒子のライフサイエンス及び医学分野への利用促進を目的として行われた。

大阪大学の中川貴氏からは、「磁性ナノ粒子のバイオ・医療への応用」と題した講演をしていただいた。ナノ粒子の基本的な説明に続き、混合系からの特定分子の分離、細胞導入・操作、薬剤送達、センチネルリンパ節へのがん転移診断、MRI への応用など、磁性ナノ粒子のバイオ・医療領域における利用について示された。また、工学からのアプローチとして、磁気ハイパーサーミア、励磁音響効果の応用、ナノ粒子に複数の機能を担わせた多機能化など、将来の発展が期待される先端研究の紹介があった。京都大学医学部附属病院の栗原研輔氏からは、「新規ナノキャリアラクトソームのがんイメージング及び放射線治療への応用」と題して、乳酸系両親媒性高分子の自己組織化により形成されるナノ粒子“ラクトソーム”を用いた

腫瘍の核医学的診断と治療についての話があった。腫瘍組織の“EPR 効果”に基づき、 ^{131}I 、 ^{111}In などの単光子放出核種で標識したラクトソームを用いることで腫瘍のイメージングが行えるという。栗原氏は、ラクトソームの疎水鎖長を変化させることで粒子の形状や粒径を制御できることを示すとともに、ナノ粒子の体内動態が初回と2回目以降で異なる“ABC 現象”の回避策、 ^{90}Y 標識ラクトソームによるがんの内照射療法について、乳癌モデル動物における治療効果も示した。日本歯科大学新潟生命歯学部の中持眞氏からは、「シリカナノ粒子による口腔癌センチネルリンパ節転移診断の基礎的検討」と題して、口腔癌のセンチネルリンパ節転移の診断を中心に、標識ナノ粒子の応用の可能性について話があった。臨床的に転移なしと診断されたリンパ節の小さな転移“オカルト転移”の診断にはセンチネルリンパ節のバイオプシー有用とされる。中持氏はより正診率の高い診断法として、がん遺伝子産物に特異的に結合する抗体を結合させた放射性同位元素 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)、遠赤外蛍光標識ポリアミドアミン修飾シリカナノ粒子を用いた転移リンパ節のイメージング及び診断と治療を融合した *theranostics* の可能性を示した。術中にリンパ節への放射性薬剤の集積を描出するための小型半導体ガンマカメラの開発についても説明があった。また、リンパ節転移動物モデルにおいて、近赤外蛍光標識がん遺伝子産物特異的結合抗体によるがんナノコロイドである $^{99\text{m}}\text{Tc}$ フィチン酸によるリンパ節の弁別診断の可能性を示した。東京理科大学戦略的環境次世代健康科学研究基盤センターの小

島周二氏からは、「ナノ粒子の生体への影響」と題して、ナノ粒子の安全性に関する講演であった。小島氏はナノ粒子が材質等にかかわりなく活性酸素の生成を亢進する性質を持つことに着目した。ナノ粒子の粒子径が重要な因子であることを示した。活性酸素の生成機序としては、ナノ粒子内包好中球やマクロファージのNADPH oxidase 反応、ナノ粒子表面の酸化促進官能基あるいは金属を介したレドックスサイクリングが示された。好中球やマクロファージによく取り込まれる大きさのナノ粒子（粒子径30 nm 程度）が、より多くの活性酸素の生成を誘発することが理解できた。

講演後は参加者を含めて活発な討論が行われた。夢の繊維、油として登場したアスベスト、PCB（ポリ塩化ビフェニル）も後に深刻な生体影響が明らかになる。ナノ粒子の開発も有効性と安全性を車の両輪として進めることが真の利用促進につながるであろう。最後にパネリストの先生方と悪天候の中、参加くださった皆様に司会者として御礼申し上げます。

（北里大学医療衛生学部）

パネル討論 2

高速（MeV 級）クラスターイオン に関わる研究開発の展望

金子 敏明

Kaneko Toshiaki

7月9日（木）に東京大学弥生講堂において約40名の参加者の下、パネル討論2のセッションが開催された。セッションの簡単な紹介の後、1) 基調講演「高速クラスターイオンが物質との相互作用で魅せるモノ」（筆者：岡山理科大学）、2) 「巨大クラスターイオン源」（岩田康嗣氏：産業技術総合研究所）、3) 「クラスターイオンの生成と加速」（千葉敦也氏：日本原子力研究開発機構）、4) 「高速クラスターイオンによる固体内電子励起」（富田成夫氏：筑波大学）、5) 「クラスターイオンによるトラック形成」

（中嶋薫氏：京都大学）、6) 「クラスターイオンによる二次イオン放出」（松尾二郎氏：京都大学）の6件の講演が行われた。1)では、クラスターイオンビームは複数の粒子からなる空間構造を有して媒質内ではクーロン爆発や電子分極力による変形が起こるという特徴を持つ。電子励起過程では、①イオン1個当たりの平均電荷が低下する、②入射エネルギーが低いときのクラスターイオンのエネルギー損失（電子的阻止能）は抑制され、高いときには増長される、③低エネルギー二次電子の収量は抑制される、という3種類の“クラスター効果”が報告されている。①と②に関しては実験データと理論結果との整合性が良いが、③に関しては①の効果を導入しただけでは不十分であり、励起電子の伝播過程が関与している可能性が指摘された。2)では、時空間閉じ込め型巨大クラスター加速の実用器に関して詳細な説明がなされた。レーザーによって楕円体セル内で発生させたシリコン蒸気がヘリウムガスの衝撃波を利用することによってクラスターが生成される。この実用器をイオン源として C_{60}^{q+} 、 C_{180}^{q+} や Si_{31}^{4+} 、 Si_{72}^{5+} などの巨大クラスターイオンを、開発中の誘導加速マイクロトロンで加速すれば、核子当たり1 MeV の高速クラスターイオンの加速が可能になることが紹介された。3)では、原子力機構高崎量子応用研究所で、従来に比べて1,000倍以上の強度を持つ C_{60} のビームを得ることに成功した。セシウムスパッター型負イオン源（SNICS II）を用いた生成法とは異なるが、タンデム加速器で汎用のセシウムスパッター型イオン源を利用するために、イオン源の増設が不要で導入も容易で普及が期待できる。4)では、固体内の電子励起に関して筑波大学で得られた実験結果が報告された。1イオン当たり0.5 MeV の Cn^+ ($n=1\sim4$) クラスターイオンが炭素薄膜を通過したときのエネルギー損失は5%程度低下する（負のクラスター効果）が、低エネルギー二次電子収量は50%程度も低下するので電子的阻止能だけでは説明できない。一方、これとは逆にコンボイ電子の収量は増加する（正のクラスター効果）が、そのメカニズムはまだ解明

されていない。5)では、 C_{60}^{q+} ($q=1\sim3$) クラスターイオンをアモルファスの S_iN 薄膜に照射して生成された円柱状イオントラックのコア半径は、Au や Ar によるコア半径よりも大きいことが、核的阻止能はむしろ両者よりも小さいことから、核的阻止能が関与しているのではないかと、という指摘があった。6)では、同じ加速電圧でも粒子数が多いとイオン速度を低くできるという優位を活かしたクラスター SIMS (二次イオン質量分析) 法が紹介された。粒子数 1,000 以上のガスクラスターを用いて、スパッタリングによって発生する有機多層膜や生体高分子からの二次イオンを質量分析して、質量イメージングや生体組織のイメージングが光学顕微鏡に近いレベルにまで可能になりつつある。これは、スパッタリングのしきいエネルギーが小さくなるためである。

講演の後にパネル討論に移った。応用面では低速クラスターの利用が先行している。高速クラスターでは、加速エネルギーの上昇に伴って電子的阻止能を増大させる新たな励起モードでのクラスター効果が期待できるほか、高速クラスターに特有の電子励起メカニズムの解明、弾性衝突の寄与の評価に加えて、ビームの高強度化と配向制御など技術開発による応用への期待も大きかった。

(岡山理科大学理学部)

パネル討論 3

北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開Ⅲ

高畠 勇二、宮川 俊晴

Takahata Yuji Miyakawa Toshiharu

7月10日(金)東大弥生講堂にて、約90名の参加者を得て開催された題記パネル討論会の概要を報告する。

はじめに、以下の4つの実践報告と1つの新教科書に関する発表があった。

(1) 前田幸司先生(長崎市立東長崎中)

3年の3学期に6時間のエネルギー授業として、3,4時限目の原子力発電の中で、放射線の基礎的知識、からだへの影響などを扱った事例が報告され、真剣に受け止めていたと生徒の手応えを語った。各時間の授業内容をとても丁寧に紹介された。

(2) 青木久美子先生(世田谷区立千歳中)

世田谷区のお中学校の授業の実践状況のアンケート結果からの課題を紹介しながら、継続的な授業が必要であり、2年でも粒子の学習(原子、分子)や電力(電子)の学習に合わせて発展として、放射線の測定と遮蔽の実験を行った事例が報告され、はかるくんなど利用法に改善が要望された。

(3) 齋藤勇雄先生(福島県桑折町立醸芳中)

農業生産者と消費者が半々の環境にある学校として生徒の放射線に対する関心や知識に個人差が大きい中で、知的な好奇心を刺激するために、学級活動や理科、更には、社会、技術・家庭、保健体育でチームティーチングとして、放射線リスクを一層下げる方法を考えさせる学校として総合的に取り組んだ報告であり、継続が重要と結んだ。

(4) 紅露瑞代先生(徳島県立城ノ内中)

中学校学習指導要領理科改訂前の実践では、地元火力発電所を題材にエネルギー環境の授業を行い、未来の電源構成を考案させる中で原子力発電の長所・短所にも触れた。今年2月に行った福島第一原子力発電所への自身の視察経験を踏まえ、平成27年度は、放射線教育の充実に配慮し、エネルギーを扱う単元で放射線の性質や利用、測定、遮蔽実験などの授業を行う予定である。

(5) 畠山正恒先生(横浜市聖光学院中・高)

検定合格した全国5社の来年度からの中学理科新教科書は放射線の記述が充実したが、限られた時間数での授業における課題と留意点について発表があった。

その後、筆者(高畠勇二)の司会で、会場参加者も交えて、①具体的な授業法、補助教材・実験機材、②外部支援の在り方と可能性のテーマでパネル討論が行われた。

補助教材については、齋藤先生から福島県教委が作成したビデオ教材が紹介されたほか、“サイエンスウィンドウ”，“放射線教育支援サイトらでい”，日本アイソトープ協会の放射線教育資料（PPT）などの活用が論じられた。司会者から、新教科書に対応して必要な改訂の要望が関係者に出された。

教員の研修に関して青木先生から、霧箱の工作などの体験研修が好評であるが、多くの先生が生徒と一緒に実験をやり、考えていける研修内容の要望があった。

次に、司会者から放射線の授業目的には、①将来のエネルギー選択のため、②福島復興③放射線を夢ある社会を切り拓くためのサイエンスと、大きく3つの方向が実践されている現状にあり、時間数が限られる現状からは、放射線の記述が充実することを歓迎するも、現場の先生には精選が必要であると解説があった。

会場からの「中学の放射線授業はどこまでやるのが適切か」との問いに、司会者から指名された紅露先生は、五感に感じない放射線を生徒に実感させることの重要を指摘し、霧箱の観察や簡易測定器による自然放射線の測定が有効

であると話された。また、高校で学習する理科の科目は選択制となることから、高校の学習内容との系統性を検討し、中学校での放射線授業の在り方をこれからも探究して行きたいと発言された。

司会者からも、福島県の学校との交流でも自然界の放射線が存在を理解する重要性に対して同意が述べられた。

また、授業方法は今後とも各地の研究会の活動で充実させていくことが示唆された。福島の経験を世界に貢献できる形に発信することの重要性も会場から発言された。

以上、活発な討論が展開されたが、放射線の記述が充実した新教科書に対して、更に関係者が協力し合い、具体的な授業計画が立案、実践されることが重要であり、専門家もあらゆる場面でそれを支援することが期待されている。関係者に引き続き強力なご支援をお願いするとともにご参加の皆さんには心からの謝意を表し、報告としたい。

（エネルギー・環境理科教育推進研究所/
全国中学校理科教育研究会顧問、
放射線教育フォーラム/日本原燃(株)）