

## 第 60 回アイソトープ・放射線研究発表会印象記

### パネル討論「食品照射技術の新たな展開」

片岡 憲昭

Kataoka Noriaki

「食品照射技術の新たな展開」と題し、講演者 4 名によるパネル討論が行われた。

最初に農業・食品産業技術総合研究機構の亀谷宏美氏が講演予定だったが、急病のため等々力節子氏より「世界における食品照射の現状」が報告された。食品照射とは、食品や食料原材料に放射線を照射し、発芽抑制、殺虫や不妊化処理による植物検疫処理、殺菌・滅菌による食品の衛生化や保存期間の延長を行う技術である。次に、世界での照射処理は中国が 70~100 万 t の処理量で最も多く、対象はニンニク・香辛料・乾燥野菜などが主であるが、スパイシーチキン（鶏爪）の処理量が急増している。ベトナムも 2006 年以降に急増しており、海外輸出を目的とした冷凍魚介（エビ）が主であるが、植物検疫処理を目的とした果実の照射も拡大している。ベトナムやオーストラリアなどの国々では、植物検疫を目的の果実照射を推進し、アジア・太平洋地域内では相互の貿易を拡大している。米国内においては、食肉や香辛料の殺菌など 21 品目の処理が許可されている。また、貿易相手国から照射果実を輸入するとともに、国内検疫としてハワイ産のサツマイモ等の本土への移出を実施している。一方、ヨーロッパ諸国では、処理量は減少しているが、300 keV 以下の低エネルギー電子線（ソフトエレクトロン）で胡椒の処理を

実施している。

次に、農林水産省横浜植物防疫所の大村和孝氏より「世界の植物検疫と放射線照射処理」が報告された。農産物の輸出入に伴う病害虫の侵入とまん延を防止するため、180 以上の国と地域が国際植物防疫条約に加盟し、植物検疫措置を講じている。放射線照射処理の特徴として、対象害虫が即死する線量ではなく、<sup>ミタマ</sup>蛹から幼虫が羽化できない、成虫が産卵できない等、害虫が子孫を残せなくなる線量が規定されていること、処理後に生きた害虫が発見されても処理の失敗とはならない点が温度処理やくん蒸処理と異なること等が報告された。規制有害動植物（病害虫）に対する植物検疫処理基準は全 45 本であるが、放射線照射処理が 23 本で最も多く、次いで低温処理 14 本、蒸熱処理 5 本、くん蒸処理 2 本、蒸熱 & 調整大気の組み合わせ処理 1 本である。また、2022 年 11 月にタイ・バンコクで開催された放射線プロセス技術の国際会議 -IMRP20- に参加された情報では、コロナが収束に向かい国際物流も回復傾向で、各国の照射処理量も回復傾向にあること、植物検疫で使用される高い線量では、低酸素条件下であっても放射線照射の効果が確認された研究成果等が挙げられた。

次に、大阪公立大学の朝田良子氏より「食品ロス低減を目的とした損傷菌の動態解析と制御理論の構築」が報告された。加工食品は殺菌処理後に包装・保存→流通→保存・調理の工程を伴う。一部の菌は殺菌工程で物理的・化学的作用により細胞の構造や機能に傷害を負っているが、その後の適当な環境下で回復・蘇生・再増殖の可能性がある。これを損傷

菌と呼ぶ。損傷菌の評価には *Bacillus subtilis* という芽胞菌で寒天平板法と発育遅延解析法を用いた。加熱殺菌では損傷菌が多く発生したが、 $\gamma$ 線と紫外線では損傷菌の生成が少ない。芽胞菌はコア芯部のDNAの外側に保護タンパクが層状に重なり、熱処理では表面で保護される。一方、電磁波ではDNAに損傷を与えるが紫外線と $\gamma$ 線でDNA損傷機序が異なっていた。紫外線では発芽誘導過程で修復反応が起こるのに対し、 $\gamma$ 線照射ではDNA損傷修復によって、発芽後にDNA修復が行われていた。また、放射線では損傷菌が発生しにくいいため他の殺菌法に比べて腐敗菌の増殖リスクが少なく、処理の工程管理が線量のみで簡易的であることが挙げられた。

次に、筆者から「インハウス処理を可能とする低エネルギー電子/X線による食品照射」を報告した。従来の大規模照射施設の装置とは異なり、これらの装置は小さく設計できるため自社でインハウス処理でき、RI等規制法の規制対象とならず、管理が容易であることが挙げられる。照射対象物は低エネルギー電子では表層0.5 mm深さ程度までであり、低エネルギーX線では20 cm深さまでが照射可能範囲である。技術的には均一照射と線量管理が大きな課題となるが、放射線シミュレーションや新しい線量計の使用方法も含めて研究が進められている。

最後に、会場からは臭化メチルくん蒸の代替処理法としての放射線照射について、生レバーの食品照射の実用の見通しについて、ソフトエレクトロンを用いたペットボトル飲料の殺菌・充填法の成功例について活発的な議論が交わされた。食品照射の技術面では、日本が先進的で世界を引っ張ってきたが、実用化では先を越されている。今後は利用者（事業者）、製造業者及び研究者が一丸となり社会実装を目指すように協力していくことが必要だと感じた。

（東京都立産業技術研究センター）

## パネル討論「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン 2022 のインパクト」

畑澤 順

Hatazawa Jun

2023年7月5～7日の3日間、東京・日本科学未来館を会場に日本アイソトープ協会主催の第60回アイソトープ・放射線研究発表会が開催された。大会2日目の15時30分～18時の2時間半にわたって、パネル討論「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用促進アクションプラン 2022 のインパクト」が行われた。このアクションプランは内閣府原子力委員会から2022年5月に発出されたものである。医療用RIの国内製造、放射性医薬品の製造・頒布を担うサプライチェーンの構築、 $\alpha$ 線核種による核医学治療の推進、基礎と臨床をカバーする放射線・核医学分野の人材育成等について、アクションプランの作成に関わった方々を講師にお迎えし、それぞれご講演をいただいた。

日本原子力研究開発機構の大井川宏之氏は「ラジオアイソトープの国内製造・安定供給のための取組み推進について」と題して、研究用原子炉JRR3、高速実験炉常陽、及び福井県敦賀市に建設計画中の試験研究炉での取組みを中心にお話いただいた。1990年代以降、医療用RIは海外からの輸入に依存しており、それまで蓄積した技術の継承が困難な状況での再開であったこと、その中で $^{99}\text{Mo}$ の製造を再開したこと、収量、照射・供給計画や経費の見積もりを行ったこと、常陽が再稼働した際は高速中性子を活かして核医学治療用 $\alpha$ 線核種（ $^{225}\text{Ac}$ 等）の製造が可能になること、福井の新試験炉には放射性核種製造精製の設備を準備していること等の現状を報告いただいた。

日本アイソトープ協会の北岡麻美氏は、「医療現場でのラジオアイソトープ利用促進に向けた制度・体制の整備について」と題して、原子炉や加速器での医療用RIの製造、精製、品質管理、放射性医薬品企業への輸送等を担う組織が必要であること、価格の設定には保険診療での薬価を考慮に入れる必要があること等を報告いただいた。また、複数の原子

炉サイトと加速器サイト間の生産供給を調整する仕組みが重要であることを指摘した。

福島県立医科大学の鷲山幸信氏は、「ラジオアイソトープの国内製造に資する研究開発の推進について」と題して、福島県立医大ふくしま国際医療科学センター・先端臨床研究センターでの経験をもとに、新規がん治療用放射性医薬品開発の前臨床試験から治験にいたるまでのプロセスについて報告いただいた。GLP 基準に基づいた動物実験と実験データの処理・管理、PMDA への申請と薬事承認の道程、治験計画の立案等、現在進行中のプロジェクトを踏まえた内容であった。 $\alpha$ 線放出核種 $^{211}\text{At}$ による治験が国内では福島医大と大阪大で行われていること、アスタチン研究では日本が世界をリードしていることが報告された。

大阪青山大学 / 大阪大学の篠原厚氏は、「ラジオアイソトープ製造・利用のための研究基盤や人材、ネットワークの強化について」と題して、放射線科学の基礎分野での人材育成、人材確保、キャリアパスの確立等、多くの提言をいただいた。放射線科学分野の人材育成や基礎研究に必要な「放射性同位元素を利用できる施設（例えば、大学のラジオアイソトープセンター等）」の運営維持への支援、理工系出身者が医療に参加するキャリアパス等、具体的な提言があった。

各講演の後、講演者間及び聴講者との間で、活発な質疑が行われた。パネル討論を通じて、原子力委員会が発出したアクションプラン以後、RI 製造、がん治療用新規放射性医薬品開発を実現するためのアクションが加速していること、更なる進捗のためには国内製造に対応したサプライチェーンの立上げ、アクションを持続可能なものにするための人材育成、研究支援の重要性が浮き彫りになった。

コロナ感染症のパンデミック、ウクライナ紛争等によって国際的サプライチェーンに支障が生じ、放射性同位元素を扱う分野は大きな影響を受けている。医療に関しては、何よりも患者さんの診療に支障をきたす事態が続いている。必要なものは、すべてではなくとも自国で供給できる体制を整備することが必要である。

(日本アイソトープ協会専務理事)

## 若手企画「研究者のキャリアパス」

平山 亮一

Hirayama Ryoichi

理工・ライフサイエンス部会の若手ユーザ活性化専門委員会では「研究者のキャリアパス」のセッションを最終日に企画した。昨年に続いて3回目の開催である。

大学や大学院を卒業した後のキャリア構築については誰もが不安を持つものである。本セッションにおいて、大学や大学院を卒業された後、様々な職種に就いたご経験を持つ5名の先輩方を招へいし、学生が在学期間中にキャリアパスについて何を準備しておくか、演者の体験談を交えてご講演していただくのが企画概要である。筆者は座長を担当しており、多様なキャリアパスから、参加する学生・若手研究者が自分に合ったキャリアパスを見つける1つのきっかけになるようなセッション構成を心がけ、フロアと一体となって、コロナ禍を機に始まった新しいキャリア形成のチャンス等も共有できればと考えた。以下、先生方のご発言の思いをそのままに紹介する。

最初は野田祐作先生(量子科学技術研究開発機構)が発表された。大学院時代に実験の楽しさを知り、思ったような結果が出ない中、有用な遺伝子を見つけ、指導教員の喜ぶ姿に感激し、現在の研究にも関係しているRIイメージング技術を学び鍛え上げることで、国際会議でのポスター賞受賞や学術誌での成果発表につながった。後に留学を経て、現職に就くまで、「これは負けない!」という強い自信・気持ちを持つことや研究の「独自性」の大事さについて講演された。

奥野泰希先生(理化学研究所)は、ご自身のご経験から見た研究者の生々しい実態をご紹介いただいた。ノリと勢いで研究者を目指し、博士研究員時代には苦労しながらも研究者としてのサバイバル能力を身につけ、「どこでも、なんでも、生き残る!」精神で、今日まで研究者を続けてきたこと、研究者を続ける難しさはあるが、目の前の研究・実験を通して研究の将来展望や研究者同士のつながりに「ワクワクする」、これが研究者を続けている動機であっ

た。研究者を目指す学生には、現実の厳しさの一端を垣間見る発表ではあったものの、分野の違いはあれど、同じような体験や思いをしているんだと、非常に共感を持った講演であった。

勝身麻美先生（長岡技術科学大学）は、「教師になる！」という夢に向かい、海外での小中学校教員を経て、博士号を取得し大学教員になった。夢を叶えるために様々な失敗や迷いはあったが、夢は「全部」諦めたくないという強い思いで、現在までにすべて夢を叶えられてきた並々ならぬ努力が伝わってきた。「夢がすぐに叶わなくてもいろんな方法がある！人生、何が起こるか分からないため、信念をもって前に進むのみ！」という熱いエールは現役の学生のみならず、同年代の我々にも響くものであった。

吉井幸恵先生（量子科学技術研究開発機構）は、アイソトープを用いたがんの基礎研究を20年近く続けられてきた。がん治療にはがんを診断する「みる」研究開発とがんを死滅させる「治す」研究開発が存在し、この両方を兼ね備えた革新的「みえる」がん治療プロジェクトは新しい製剤開発にフェーズが移ってきている。また、基礎研究から臨床応用研究への橋渡し研究（トランスレーショナルリサーチ）を実践されており、患者さんのための診断・治療に直結した実用化するための研究に取組み、その過程でベンチャー企業までも立ち上げてしまう実行力に強い本気度を感じ感動した。がん治療における診断と治療、基礎研究と臨床研究、研究者と起業家、と言った二刀流×3というマルチな戦略は、若手にとって新しい発想を生み出す、良いチャンスではないだろうか。勇気を持ってイノベーションを起こしてみたいかがだろうか。

吉原有里先生（日立製作所）は、大学ではなく民間企業での研究者を希望された理由を紹介された。大学と企業の研究（者）の違いについても触れただいた。企業から見た研究目的の特徴は、社会にある役立つ既存のものを組み合わせ、早く実用化することが優先される。大学では学術的に大事な面は、企業では必ずしも重要視されない点である。また、新しい技術よりも事業の創出と継続が重要とのことで、いかに新しい経済活動を見出していくかの想像力が求められるような感じを受けた。社会への貢献を意識している方は、一度で良いので企業の職場体験を体感すべきである。

今回の企画では演者の先生方が、学生や若手研究者が自身のキャリアを考える際に少しでも参考になればという着想のもと、ご自身の赤裸々な体験を中心に講演してくださった。演者の先生方を始め、多くの参加者と座長の島添健次先生（東京大学）並びに日本アイソトープ協会の方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げる。

（量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門 量子医科学研究所 重粒子線治療研究部 粒子線基礎医学研究グループ）

## 2023年日本アイソトープ協会奨励賞受賞講演

勝村 庸介

*Katsumura Yosuke*

日本アイソトープ協会奨励賞は今回初めて研究発表会にて表彰状の授与と受賞講演が実施された。研究発表会参加者の前で表彰状を受け取った後、受賞講演を行うことは受賞者にとっては誇らしい。参加者にとってはお祝いの気持ちを伝え、受賞者の今後の発展を祈る良い機会になったと感じた。2024年からは授与式、受賞講演の後に受賞者を交えての懇親会が開催できるのではと空想している。

筑波大学数理物質系の飯田崇史先生の「 $^{48}\text{Ca}$ の極稀崩壊研究のための検出システムの高度化」では、 $^{48}\text{Ca}$ を用いたニュートリノを放出しない二重 $\beta$ 崩壊 ( $0\nu\beta\beta$ ) 探索実験を進めている。この探索実験を実現するため、①バックグラウンドを極限まで低減するために鉛とホウ素を用いたシールドを導入することで低減化を実現し、② $^{48}\text{Ca}$ のQ値4.27 MeVのエネルギー較正のため、3.5 MeVと5.0 MeVの $\gamma$ 線を放出する $^{28}\text{Si}$ の(n, $\gamma$ )反応を用いた新しいエネルギー校正システムを適用すると共に、③従来の $\text{CaF}_2$ より著しく検出効率の高い新検出器として $\text{CaI}_2$ 結晶の開発を行った。

名古屋大学アイソトープ総合センターの杉田亮平先生の「植物体内における元素動態の非破壊RIイメージング技術の開発」では、植物体内における養分や元素の分配、輸送、蓄積等のメカニズム解明にリアルタイムRIイメージングシステム (RRIS) を

開発してきた。撮影環境を 100 cm に大型化し、シンチレータの改良により撮影範囲を 80 cm に拡大、軟β線放出核種にも適用可能にすることで、対象とする植物の大型化にも対応でき、使用可能な放射性核種も大幅に増えた。同一植物内での元素ごとの異なった振舞いの違いを明確に示す実例は印象的であった。本システムは多くの研究グループにより共同利用されてきており、その有用性の証左でもある。

金沢大学医薬保健研究域薬学系臨床分析科学の淵上剛志先生の「疾患や標的分子の特性に応じて精密設計した RI プローブの開発」では、以下の3つの分野を対象に各種の RI プローブを開発してきた。①脳機能解明や脳疾患の画像診断を目的とし NMDA 受容体、グリシントランスポーター、及びアミロイドβを標的とした RI プローブを開発した。②新興・再興感染症の診断のため、感染分子等にて引き起こされる致死性の脳神経疾患であるプリオン病の特異的イメージングを目的とした異常型プリオンタンパク質凝集体を標的とした RI プローブの開発を行った。③がんの診断や治療への応用を目指した RI プローブの開発として低分子化合物あるいは膜透過ペプチドを導入した中分子薬剤開発を行った。また、がん細胞膜表面に高発現する分子を標的とした RI プローブの開発を進め、標的への高い特異性を示す優れた RI プローブを見出している。プ

ローブによっては *in vitro* では効果的であるのに *in vivo* で効果が出ないことがある。これらは生体内の複雑性に起因するもので、今後の検討課題であろう。

飯田先生と杉田先生の研究においては新しいシンチレータの実用化が大きな役割を果たしている。シンチレータはこれまで多くの研究がなされており、研究の余地はないように思っていたが、まだまだ開発の余地があるようだ。

それ以外の感想を付け加えておきたい。初日の「イメージングセッション」では女性の発表者が多く、女性の割合が増えたとの印象を持った。対面の研究発表会は4年ぶりですう感じたのかもしれない。女性の活躍は時代の流れであり、この研究発表会でも着実に増大することを祈りたい。

もう1つは、パネル討論の「食品技術の新たな展開」を聴講して感じたことである。日本はこの分野で50年前は世界の先頭を走っていたが、現在ではどん尻を走っている。食品衛生法で食品の製造・加工、保存において放射線を使用することが禁止されているのがそもそもの問題で、これを撤廃し世界標準の放射線照射処理を受け入れることが第一歩であろう。

(東京大学名誉教授、元日本アイソトープ協会常務理事)