

# 放射線・アイソトープ利用の更なる発展に向けて —各研究分野からみた課題と展望—



出席者 藤 浪 眞 紀<sup>1)</sup>  
          ほん だ のり なり<sup>2)</sup>  
          うわ み のよし 朋<sup>3)</sup>  
          はた ざわ とも じゅん<sup>4)</sup>  
          なか にし とも こ<sup>5)</sup>  
          かつ むら よう すけ<sup>6)</sup>  
司 会 勝 村 庸 介

【2018年8月9日（木）開催】

**勝村（司会）** 本日の司会進行をさせていただきます勝村です。よろしくお願いいたします。

まず先生方からご専門を含め自己紹介をお願いします。

**藤浪** 千葉大学の藤浪と申します。2018年の4月から発足した理工・ライフサイエンス部会の部会長を務めさせていただいています。

私のRIの利用経験は、卒業研究でのメスバウア共鳴実験での、<sup>57</sup>Coの密封線源に始まり、学位取得後の企業でのメスバウア分光や陽電子消滅の研究等長く繋がりががあります。大学に戻って、<sup>22</sup>Naや、KEKで加速器を使った陽電子ビーム発生をやっていました。学生の頃から研究を始めてRIや放射線が周りにあって、放射線は私にとってはある意味で空気のような存在です。いまは、陽電子を材料研究に使うという立場で研究しています。

協会との繋がりも、学生の頃から実習の助手をしたり、いまも各実習の講師やRI誌の編集委員、昨年3月までであった理工学部会の専門委員を担当する

など、大変お世話になっております。

**本田** 医学・薬学部会長の本田憲業と申します。1976年に大学を卒業し、1985年までは呼吸器内科の医者として勤務しておりました。埼玉医科大学総合医療センターが1985年にできて、初代教授の町田喜久雄先生のお招きで放射線科を担当することになり、以来、核医学と放射線科をやってまいりました。基礎的な研究ではなく、臨床研究のみで、核医学を使う臨床医というのが私の立場です。

日本核医学会でも役員をやらせていただき、健保委員会、リスクマネジメント委員会等々で仕事をさせていただきました。2010年には核医学会の大会長として、大宮で学術総会を開催したことが1番の思い出です。

2017年10月以降、埼玉石心会病院にいます。ここは新設で核医学施設があるという近年珍しい病院でしたので、新たに核医学をやるのであればということで、それを1つのモチベーションとして、いま埼玉石心会病院の核医学部門に奉職しております。

**上養** 放射線安全取扱部会長の上養と申します。1977年に大学の原子核工学科を卒業しましたが、4年生の頃から東大の原子核研究所で加速器を使った計測や遮蔽の実験をやっていました。修士を卒業して放医研に入り、当時あった養成訓練部で、放射線安全取扱の講習会を4年間担当しました。その後、東大の原子核研究所に移ったのですが、放射線管理室

- 1) 千葉大学大学院工学研究院 教授
- 2) 社会医療法人財団 石心会 埼玉石心会病院 核医学部門 部長
- 3) 理化学研究所仁科加速器科学研究センター
- 4) 大阪大学大学院医学系研究科 放射線統合医学講座（核医学）教授
- 5) 東京大学大学院農学生命科学研究科 特任教授
- 6) 日本アイソトープ協会常務理事



藤浪真紀氏



本田憲業氏

で大きな加速器の放射線管理とそれに関連する計測や遮蔽の実験をやりながら11年いました。理化学研究所では安全管理室で放射線管理だけでなく、化学安全、高圧ガスの安全にも関係しました。仁科センターに移ってからは、クレーンやレーザー等の安全一般についても担当していますが、やはり放射線が主ということになります。

大きな思い出という、現在仁科センターはRIBFという世界最強の加速器を運用していますが、それを建てるために、40年運転した和光で最初にできた古い160cmサイクロトロンを廃止し、更地にしたこと、当時無かった遮蔽データを放医研の実験で取得し、RIBFの遮蔽設計をやって、立ち上げから運用まで一通り担当させていただきました。

原子核研究所、理研と通算30年以上放射線取扱主任者に選任され、その間、主任者部会や安全取扱部会にかかわってきて、2年前から安全取扱部会長を担当しています。

**畑澤** 大阪大学の畑澤と申します。私は1979年に大学を卒業して、最初の十数年は東北大学のサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの加速器部に医学部から配属され、核物理、核化学の先生たちの中で、その分野の医学利用というテーマで勉強させていただきました。当時はまだPET (Positron Emission Tomography) の黎明期で、世界に3か所しか施設がないというときでしたが、それを日本に導入し、臨床ができる体制をつくったりしておりました。その後、秋田県立脳血管研究センター、脳卒中の病院ですが、そこで臨床のPETが動いていたので、11年ほどお世話になりました。2002年、大阪

大学に移り、現在は核医学の分野の教育と研究をメインにしています。

陽電子と言われても何のことか医学の中ではよくわからないような時代から、加速器等基礎の分野のことを医学にトランスレートすることがここ30~40年の間にできるようになってきた。核医学という分野で1番大きく変わったそういう時代に生きることができて、大変幸いだったと思います。

核医学では画像診断が格段に進歩しましたが、現在は更に新しい放射性核種を使ったがんの治療がメインテーマになりつつあります。そこへの橋渡しを次の世代の人たちにできればいいなと思っています。私はいま日本核医学会の理事長を拝命し、国内での核医学の診療の普及と次の世代へのバトンタッチを主に行っています。

**中西** 中西友子と申します。東京大学大学院農学生命科学研究科の特任教授です。福島原発事故関連の研究をしています。平成26年から原子力委員会の委員になり、広く原子力や放射線について学ばせていただいています。

私はバックグラウンドが放射化学で、1978年にPh.D.を取り、企業やアメリカも含めて色々な場所に勤務しておりましたところ、東大農学部主任者資格を持った女性がいなくなるのでどうかと言われ、1987年に大学に参りました。

大学に来ると、会社と違って、自分の好きなことができ、研究には誰の指示も無く、週報も月報も要らず、給料も上がりました。まだ、男女共同参画という言葉が無い頃でしたが、とても良い環境でした。

この十年来、リアルタイムのアイソトープを使っ





上 義 朋 氏



畑 澤 順 氏

たイメージング装置開発をしています。

放医研の客員研究員なので、2か月に一度、 $^{28}\text{Mg}$  (半減期 21 時間) を作らせていただくため、夜中までの実験があります。また、森永晴彦先生 (ミュンヘン工科大学名誉教授) が作られた  $^{42}\text{Ar}$  のジェネレーターから  $^{42}\text{K}$  (半減期 12 時間) をミルキングしてイメージング研究に使っています。最近  $^{14}\text{C}$  でラベルした二酸化炭素を使い、どこで行われた光合成産物がどこの組織をつくるかがリアルタイム画像で見られるようになりました。

協会との関連ですが、まず、主任者の役割等についていろいろ教えていただき、続いて RI 誌の編集委員、アイソトープ研究発表会のお世話や、理事もさせていただきました。ただ、原子力委員になりましたので、理事は退任させていただきました。

学会関係では、日本植物生理学会、日本土壤肥料学会で、それぞれ評議員や理事をし、日本放射化学会の会長は 2018 年春まで 2 期務めさせていただきました。放射化学について何も知らない方がおられ戸惑ったことがありますので一言説明させていただきます。放射化学とは、ビキニ事件後、化学の分野の研究者が環境放射性核種の分離・精製や測定等を始め、放射性核種の特性和測定法等を研究してきた学問で、原発事故関連には多くの知見があります。

**勝村** 先生方、どうもありがとうございます。まず最近の RI 利用についての話題提供ということで、畑澤先生、トップバッターで先生の分野での状況をご紹介いただければと思います。

**畑澤** 医療の分野ではここ 30~40 年、病気の診断、特に早期の診断をするための方法としてイメー

ジングが世の中に広く普及してきました。現在、年間に 180 万件ぐらいの検査が国内で行われています。

もともと医療における RI 利用は甲状腺のバセドウ病や甲状腺癌の治療からスタートしたのですが、これは主に  $\beta$  線による治療で、最近  $\alpha$  線の非常に強い殺細胞効果を生かして利用し、いままで治療できなかった難治性のがんの治療を行おうというのが 1 番大きな出来事だと思います。特に難治性の前立腺癌の治療が非常に進行した状態からでもすっきり治るぐらい効果があることがここ 2 年の間にたくさん報告されるようになり、 $\alpha$  線核種を使った内用療法、核医学治療が国際的にもどこの学会に行っても大変な興味を引いて、皆が研究を進めているところです。

この  $\alpha$  線核種の 1 つの問題は、手に入れるのが大変難しい、簡単に手に入るものではないということで、これから供給不足になると予想されます。

また現在、iPS 細胞を使った新しい再生医療の方法がほとんど国策のようにして推進されているわけですが、こういう新しい治療法が出てきたときの効果を評価するための方法として使われ始めています。更にたくさんの抗癌剤やアルツハイマー病の治療薬の開発も進んでいますが、薬物の動態や効果を評価する新しい手法として使われ始めています。普段の診療にプラスして新しい分野が開拓されていると理解しています。

**勝村** ありがとうございます。 $\alpha$  線の RI という、むしろ以前は  $\alpha$  線を出すものは効果が大きくて怖いという感じでしたが、それを逆手に取って治療



中西友子氏



勝村庸介氏

に使おうということですね。これは期待できそうな感じですね。

ところで協会では5年ごとに核医学実態調査をやっています。2017年のデータは第8回として整理され、『RADIOISOTOPES』にも報告されていますが、いまの状況、あるいは今後の見通しについて、本田先生からよろしくお願ひします。

**本田** この調査は1972年から始まり、5年に1回行われています。直近の調査が第8回で、2017年6月に行われました。1か月間の検査数をアンケート形式で調査する方法で、PET検査とRI治療については1年分の件数を報告していただくようにした調査です。どの検査も毎回90%程度の回収率を誇っています。精度が高く、現状手に入る日本の核医学検査についての最新のデータであると考えられます。

今回の調査に参加した施設数ですが、SPECT施設が1,156、PET施設が389です。SPECT施設は若干減少していますが、PET施設を足し合わせると、核医学施設は減っていない、むしろかですが、増える傾向にあります。

検査の内容ですが、PET施設については、サイクロトロンでつくっている施設と製薬会社からFDGを購入して検査している施設があります。最初、PETは研究の道具という面が強かったので、院内でサイクロトロンを用いて医薬品を製造する施設が半数以上でしたが、今回は389のうち、自施設でつくった医薬品のみを使う施設が46とだいぶ減っており、製薬会社が供給するFDGを使う施設のほうが多数派になっています。また、サイクロトロンを持つ施設でも運転時の点検その他緊急事態に備えてデリバ

りFDGも使用している実態が明らかになりました。イメージングの件数は、今回、1年間の検査数が108万3,800件と推定されていますが、FDG-PETが71万1,800件で、両者を加えると年間約180万件行われ、こちらもPETを加えれば以前よりも増加傾向が続いていると言えます。

現在の核医学の主流は、脳の核医学、心臓の核医学、及びFDG-PETを使った腫瘍核医学の3種類です。PET以外のSPECT検査の内容を見てみると、平面像から横断像の検査に変わってきていることがうかがえます。

次に治療は非常に増加しています。最も多いのは甲状腺癌の治療です。これの多くは<sup>131</sup>Iを使った甲状腺の治療ですが、核医学会等の努力があり、外来で30 mCi (1.11 GBq)まで使用できるようになったこと、及び限定的ではありますが、医療保険でRI内用管理料という技術料が取れるようになったので、大きく増えています。

しかし大きな問題は、RI治療病室です。外来の30 mCiでは行えない転移を持つ分化型甲状腺癌の治療の病室が少なく、むしろ減っている傾向にあります。患者さんは増えているのに病室は減っているという逆ざや状態になっており、治療までの待ち時間が6か月ぐらいになるという憂慮すべき事態になっているのが現実です。

核医学の潮流は、PETが増えている、RI内用治療が増えているというのが大きな変化だと思います。SPECT検査も、断層像の利用が増えているという特徴が見られました。

**勝村** ますます核医学の診断が広がっていく、特

にPETの方向に重点がシフトしているという感じですね。

今回は中西先生からお話を聞きたいと思います。原子力委員会から原子力白書が出されました。そこでは放射線利用ということで一章を割いておられますが、ご紹介いただけますか。

**中西** 原子力白書は2017年に7年ぶりに発行され(平成28年版)、放射線利用については数ページでしたが、今回(平成29年版・2018年7月発行)は非常に厚くなりました。

放射線利用に対してあまり知られていないため今回、どのくらいの経済規模があるかを調査してみました。同様の調査は、20年前科学技術庁時代に始まり、10年前にも調査しているのですが、最近の調査がまだ行われていませんでした。調査の結果、日本における放射線利用の経済規模が、原子力発電でのエネルギー利用と同じ規模で、しかも伸びているということが分かりました。

まず、原発を中心としたエネルギーは約4兆円の経済規模です。そして、エネルギー以外の放射線利用も4兆円ほどですが、その半分が医療です。つまり2兆円弱が医療分野の経済規模になります。残りの半分、2兆円強が工業利用で、ほかにも少し使っていることが示されました。

医療では、診断が非常に伸びています。20年前はエネルギー以外の放射線利用の経済規模の中で、医療の占める割合が4分の1でしたが、つい最近では半分にまで増加しました。つまり、1兆円だった市場がこの20年間で2兆円に膨れ上がったことになります。1兆円伸びた、こんなに急成長する産業はあまりありません。

ちなみに、エネルギー以外の放射線利用の中での工業利用は半導体の製造が一番大きく、1兆円ほどのマーケットです。原子炉でつくる半導体は非常に高性能で、ほかの方法では凌駕できないからです。

この半導体製造のために各国が原子炉をつくっており、オーストラリアは半導体の製造額が10倍になり、ドイツも2.5倍になりました。アメリカではMIT等大学でも小さな原子炉で半導体を製造しています。もちろん医療用のアイソトープもつくっています。アイソトープという面から見ると、外国では経済効果が大きいので、大量の医療用アイソトープをつくり始めていると聞きます。半導体に話を戻

しますと、高品質の半導体をつくるためには原子炉は必須なのですが、日本には半導体製造という商業用に特化した原子炉はありません。世界の7~8割のインゴット材料は日本でつくっているにもかかわらず、インゴットは外国で照射してもらっているので、まず設備が欲しいと思っています。

**勝村** ありがとうございます。最近のRI・放射線利用のお話を聞いてきましたが、こういった中で協会は、これまで活動してきた理工学部会とライフサイエンス部会を統合して新しくスタートしたわけです。藤浪先生からコメントをいただければと思います。

**藤浪** 50年来続いていた理工学部会とライフサイエンス部会が統合したということで、その位置付けに対する認識と活動内容、部会長として期待することを述べさせていただきます。

理工学部会は、基本的に放射線の発生や検出というシーズ研究の工業利用という観点、ライフサイエンス分野は、核種を分子に修飾し、分子としてトレーサやイメージングで細胞レベルでの影響を研究対象としています。

それらを統合する意味は何かというと、全体的にRI利用が低減していく中で、ライフサイエンスのトレーサ利用はほとんどなくなり、新しく分子イメージングが急速に発展している現状を踏まえて、理工学分野で出ているシーズ研究を、ライフサイエンスを経て、ターゲットがはっきりしている核医学へどう繋げていくか、そういう新しい軸の創成の期待と考えています。

今、部会には7つの専門委員会があり、5つは統合準備ワーキンググループの中でプレゼンし、皆さんで投票して決めたものです。

プレゼンの結果、RI利用を促進するにはどうしていったらいいかという専門委員会が残りました。RI利用促進、植物RIイメージング利用、獣医療におけるRI利用、あと下限数量以下の非密封を安全に使うための活動、もう1つは人材育成です。くしくもワーキンググループの委員の中でRI利用への危機感が共有されていて、それを促進していくようなものが採択されました。まずRI利用の種まきの委員会での成果をあげていきたいと考えています。

委員は基本的にボランティアなので委員会での活動は大変ですが、「情けは人のためならず」で(笑)、



いつかは自分に返ってくると考えていただいて、数年後、自分たちの専門委員会の仕事の利用拡大につ繋がり、研究者の人数が増えていけば、それだけ研究分野が広がるという発想で、目標達成をお願いしています。

部会長としての期待は、2019年で56回目のアイソトープ・放射線研究発表会に關してです。この歴史ある発表会で、東京電力の福島第一原子力発電所の事故に関する特別セッションを2011年から8回継続しています。参加者数や講演数もずっと維持されており非常に重要でまだまだ必要なセッションであると認識しています。

一方、既存のセッションはやや減少傾向にあります。学術的な大会を変革して参加者を伸ばしていこうというのは難しいのですが、各コミュニティが全国規模の人を集められるように働きかけていき、研究領域の議論をするのにふさわしい場として研究会を盛り上げていきたいと思っています。

私の研究は陽電子を材料へ応用していくことです。陽電子をやっている人たちは、物理、化学、材料等いろいろな立場から取り組んでおり、関連学会で発表しています。一方、陽電子そのものの研究も必要なので、そういう場としてアイソトープ・放射線研究発表会を利用しています。実は陽電子というのは金属でも半導体でも高分子でも、その中でどのような相互作用があるか、何がいつ起こっているのか、分かっているようで分かっていない部分がいっぱいあります。特にバイオ系、高分子等のソフトマター系はまだ分かっていないことがかなりあって、陽電子自身を研究している人たちが一堂に会して議論していくことが大事です。そのような観点から、陽電子、メスバウア分光、照射効果、放射線検出等の分野でアイソトープ・放射線研究発表会を利用させていただき、会を盛り上げてほしいと思っています。

**勝村** ありがとうございます。RI、放射線は広く使われているし、分野によってはもっと広がっていくと期待できるわけですが、安全に使うということが前提です。そういう意味で、放射線安全取扱部会の部会長、上養先生からコメントをいただければと思います。

**上養** 安全だけに目を向けているとRI利用の足を引っ張るので、世の中の進展に合わせて工夫しな

がら安全を確保していく、それが一番大事だと思っています。残念ながら、そういう点からいくと受身的で、部会としてはRI利用の活動は積極的にやっています。

ただ、世の中の動きとしては、例えば原子力規制庁に申請をするとき、RIを使うと1%が空気中に飛んでいくという仮定をします。ほとんど飛ばないようなものでも1%飛ぶというのは結構過大な評価になって、そのために排気設備がこれだけの排気量だとここまでのRIしか使えないといった制約が多かった。しかし規制庁も、安全研究というかたちで、いろいろなところの主任者や安全関係の方と共に取り組んで、もう少し合理的な値を求めようという動きが続いています。合理的な量が使えようになるのではないかと期待しています。

2017年の4月、改正放射線障害防止法が公布されました。いままで従事者になるためにはどんな使い方をする人も一律6時間教育訓練を受けなくてはいけないことになっていたのですが、例えば施設によっては2時間ぐらいでもいいとか、利用者の実態に合わせて柔軟に対応できるようになった。大きな進歩だと思います。

部会としては、いろいろな事業所が法改正に対して予防規程等管理の部分を変えなくてはいけないのですが、どんなふうにしたらいいかの規制庁からの説明会を、部会、主に支部の方が中心となって、あちこちで開いています(編者注:2018年9月で終了)。

部会の最近の動きは、部会のあり方を見直して、自主的に考えて、ちゃんと地に足をつけた活動にしましょうとか、国民の放射線理解のためにも専門家として活動しようとしています。利用の促進には繋がりませんが、部会としてはそんなところで活動しています。

**勝村** ありがとうございます。RIを利用しようとすると、場所、施設の問題が出てくると思います。それぞれ先生方、その辺りの状況について紹介していただければと思いますが、藤浪先生は工学部ですね。

**藤浪** 千葉大学にはキャンパスが3つあり、それぞれアイソトープ実験施設があるのですが、1番大きいのは学生数や学部が多い西千葉のキャンパスの実験施設です。1番多く使っていたのは薬学部の先生方、学生さんだったのですが、数年前に薬学部が

別キャンパスに移転したことにより、1番大きな実験施設の利用者の数がかなり減っています。

どこの大学のアイソトープ実験施設も利用者が減少していると思いますし、また法令等に照らし合わせると維持したり管理したりするときのコストは同じなので運営が苦しくなっている。施設を運営するのにかかるコスト、あるいは人的な投入に見合う研究業績や教育実績が上げられているかといつでも説明できるように準備しておくことが大切です。

いま千葉大では文部科学省で行っている大学間連携共同教育推進事業「実践社会薬学の確立と発展に資する薬剤師養成プログラム」に申請して採択され、千葉科学大学薬学部、城西国際大学薬学部、薬学系の人たちが薬剤師として必要な放射性医薬品をどう扱い管理していくかという課題に対して、千葉大のアイソトープ実験施設を利用するという教育システムを構築し、その活動を継続しています。せっかくある実験施設ですので、地域で共同して使ってもらえる仕組みを薬学では作っている。工学、理学、農学の分野でも門戸を開いていくのも1つではないかと、主任者の先生方と話しているところです。

**勝村** RI施設を維持管理するのが大変になった、それに対して共同で重点的に使う仕組みをとるという案は聞くのですが、実際にネットワークができていくというのは1つのグッドイグザンプルかもしれませんが。では今度は病院に関係して、本田先生から。

**本田** 私どもの病院は私の赴任と同時に新しく核医学を始めたので、普通の病院と違う管理体制を敷いています。

薬を扱うのは薬剤師だけ、診療放射線技師は放射性医薬品を扱わないという具合に仕事を分けています。薬剤師の皆さんが放射性医薬品の利用をしたことがなく、学生時代の実習等もほとんど無いような状態で、薬剤師さんが放射性医薬品の調製・調剤に携わることに高い壁があります。

当院ではあらかじめ標識された医薬品を医薬品会社から購入して使用しているという状況です。本来、ジェネレーターを使って自前で標識して使ったほうが経済的にもいいし、なおかつ緊急検査に対応できる等、いくつか医療上のメリットがあるのですが、私どもの病院では現在そこまで至っていません。

先ほど藤浪先生から他大学の学生さん、薬剤師さんの実習のために受け入れているというお話を聞いて、

こういうシステム、プログラムを全国のRIセンターでやっていただいて、放射性医薬品を扱うことにアレルギーのない薬剤師をたくさんつくってもらったらいいなと思います。

日本は法令が整備されるより先に核医学を行っていた大学病院があるので、医者自らが調剤・調製する大学病院もまだ残っています。多くの古い病院では、薬剤師さんはいないけれども、診療放射線技師が調製している。調剤と言うと法律違反になるので、調製と言っていて、これも法令に定められた理想的なやり方とちょっと違っているのではないかという気がします。

また患者さんの承諾を得るという点が新しくやる施設では難しいですね。核医学の検査は非常に高いのですが、原因のほとんど医薬品が高いこと。すべての検査の自己負担額が数万円のオーダーになる。これは諸外国と比べると決して高くはないのですが、全般的に日本の安い医療費の中では特異な例です。

医薬品の供給についても、特にTcの供給がときどき不安定になります。あれが起きると急に予約が減ります。できないというのが先生方の頭にすり込まれて、いつから使えるという案内を出しても、一旦落ちた予約は回復するのが遅くなるという事態があります。現場では放射性医薬品の安定供給が非常に重要なことであると感じた次第です。

**勝村** ありがとうございます。今度は大きな加速器をお持ちの理研での状況はいかがでしょう。

**上養** 和光のキャンパスには大きな加速器とRIのハンドリング施設があります。ライフサイエンス関係でのRIの利用はものすごく減っていて、加速器のほうは逆にユーザーが非常に増えています。

例えば113番のニホニウムを見つけて、次の119の合成に努めているのですが、その研究をしようと思うと、 $^{248}\text{Cm}$ という自発核分裂をする $\alpha$ 核種をミリグラムオーダーで標的に使う。それをターゲットとして照射すると、 $^{248}\text{Cm}$ も飛んで周りの真空槽の内側を汚すし、ターゲットは傷んでくるので、半月とか1か月に1回、液体にして電着し直すといった作業が必要です。普通の核種ですと $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の被ばくだけ考えていればいいのですが、自発核分裂をする核種では、ポリエチレンで遮蔽しないとダメ。放射線管理をする人間にとっては頭が痛い、

心配が尽きないという研究が増えています。

理研で加速器を利用して<sup>67</sup>Zn等がかなりたくさんつくれるのですが、それらをアイソトープ協会に卸して国内の研究者に使っていただいています。

$\alpha$ 線を使った内用療法が注目を浴びているので、理研でも<sup>211</sup>Atの生産をやっているのですが、動物を扱う施設もありますので、よそから来て<sup>211</sup>Atを動物に投与したりする実験も始まっています。

理研では核種ごとに管理の方法が違い、1つの核種でも、こちらの使い方をする場合はいくらだけの量しか使えないし、こちらの使い方の場合はいくらたくさん使えとか、管理が非常に複雑になっています。例えばこれは8時間しか使えない、8時間をどうやって担保するか等、悩ましいところです。

理研はかなり大きな加速器施設を持っているので、それに関して外からのRI利用の希望もあります。理研は共同利用施設ではないので、客員研究員として理研の仕事を手伝うという格好ですが、東大からも理研のRI施設を使いたいという申し出があったりして、かなり貢献できていると思っています。

**勝村** 理研でのお仕事はだいたい最先端の従来ないようなものだから、わがままな注文が多い(笑)。では次に畑澤先生からご紹介いただければ。

**畑澤** 私ども医学部附属病院では、本田先生がおっしゃったような一般的な核医学の診療を行っています。加えて大学ですので研究開発もミッションになっており、患者さんのための臨床用の設備と、そこに至る手前の前臨床、動物実験のためのイメージングの施設ができています。いまから15年ぐらい前に学内で研究のRI利用が減りました。理由は細胞レベルの実験が減ってきたことですが、その後、動物のイメージング、体内動態を解析できることで技術的に成熟したので、利用が殺到し、再び利用が右肩上がりになってきたというのが現状です。

もう1つ非常に大きな特徴は、企業からの利用が前臨床の施設にしる臨床の施設にしる大変増えてきているということです。現在、動物実験施設も病院も20%ぐらいは企業との共同研究になっていると思います。これは新しい治療法、医薬品を開発したとき、体の中の薬物動態を早い段階で検証するというのが、現在、核医学の方法しかないのです。それを開発したアカデミアの先生方、企業の方々の利用が

増えているということです。

将来的にこれを医薬品にしようということで計画を始めると、動物実験ではGLP (Good Laboratory Practice) の施設をつくらなくては行けないし、病院はGMP (Good Manufacturing Practice) 基準をクリアしなくては行けないので、そこにある程度の投資、費用が発生しますが、企業の利用で得た共同研究費等を投下して維持しています。

RI利用は新しい分野がどんどん開けてきて、利用は潜在的には拡大できるのですが、共同利用施設をつくって、そこに集約して、集約したところは高性能の施設にするというのがいいのではないかと大学にいて感じているところです。RI利用をするうえで規制する法律はたくさんありますが、それがうまく追い付いていないと感ずることがあります。例えば薬機法の中で放射性医薬品の位置付けはあまりはっきりしていません。例えば患者さんに投与した薬を取っておいて、変化が起こっていないというのを検証しなくては行けないのですが、放射性医薬品はどんどん変化するので、それができない。そういうことの位置付けがクリアではないので、制限がかかって利用が広がらない。

また、障害防止法で言えば、例えば<sup>18</sup>Oは2分の半減期ですが、設計上は減衰しないという前提で計算しなくては行けないので、過大な設備が必要になる。そういうところを改善してもらえればいいなと感ずることがあります。

大学ですので研究開発と実践の両方を行っているわけですが、潜在的にはRIを利用できる分野がたくさんあると実感しております。物理、化学、薬学、いろいろな先生方とコミュニケーションしながらそういう分野を開拓していける環境にあります。

**勝村** 中西先生、お聞きになっていかがでしょうか。

**中西** 原子力委員会ではアイソトープや放射線利用の有効性をもっと認知してもらいたいと思っています。その前に放射線利用について知ってもらうため、現時点での詳細な調査が必要です。

例えばある大手の飲料メーカーでは、ペットボトルの内部を放射線で殺菌しています。また汎用の医薬品容器は放射線で滅菌しているのですが、皆、放射線を使用していることをおっしゃらないので調べることは大変です。



もうひとつは海外の情報ですが、アメリカのエネルギー省（DOE）のホームページは非常に興味深い情報がたくさん載っています。例えば放射性医薬品ですと、アメリカとしてはどの核種を有望なターゲットとしているかが一覧になっています。そしてどこの大学とどこの研究所がネットワークを組み、どういう核種をつくっているのかが全部出てきます。それも非常に分かりやすく、また人を惹き付けるようなホームページとなっています。核医学の先生が最近、国際会議から戻られ、アメリカではいかに国を挙げて放射性医薬品をつくる体制をきちんと整え、かつ皆が知識を持っていることが分かり、非常にショックを受けたと言われていました。

これは後にも繋がるのですが、日本は放射性物質を使うことは厳しく、使用者各人に対して教育訓練を毎年、十分にしなくてはならないのですが、その規制が厳しいというところを逆に利用して、アイソトープの利用について教育訓練時に説明できるのではないのでしょうか。

**勝村** ありがとうございます。いまご紹介のあったお話の中で、DOEがポリシーをもってやっていて将来展望を明確にしている。日本はそういうのがいままであまりなかったですね。

今後、RIのメリットを生かした研究、活動を展開していくにはどうすればいいか、何人かの先生方から聞いて感じたのは、キーワードとして「選択と集中」があったような気がします。それと大学と企業のコラボレーションということで、「連携」ですね。組織の連携と同時に、物理、化学、薬学、医学という学の連携もキーワードで出ていて、そういうところがこれからのやり方ではないかと思います。最近、大阪大学で放射線の関係している機構をつくられて、発足式をされたように聞いています。畑澤先生、ご紹介いただけますか。

**畑澤** 大阪大学では、さまざまな学部を横断的に放射線に関係する研究者が集まる機構をつくっています。放射線科学基盤機構という名称で、医学部、工学部、核物理、ライフサイエンス系医学等、個別にやっていた研究を研究者が1つの屋根の下に集まって交流しながら進めていこうというコンセプトでつくりました。基盤は放射線管理の一元化が1つのテーマですが、同時にいろいろな部署の研究者の情報が集まってきて、放射線の関係する科学とそ

れの応用を大学として進めましょうということで発足しました。

使い方を知りたくても、そういう情報は学内ですらも十分に共有できていないというのが現状だだと思います。医療の現場からは、こういう核種が欲しい、こういう安全管理が必要だといったニーズばかりあって、それらを聞いてもらえる場が無かったのですが、核物理、核化学、医用工学の先生方の、それは自分らの分野のここが使える、これが利用できる、こうすればいいといういろいろな知恵が集約されると、少しずつかたちになってきました。

そういうことが大学のレベルだけではなく、国のレベルでもできるようにになれば、もっと使い道に合った安全管理の仕方等ができてくるのではないかと思います。組織をつくってどうなるかが1つの社会実験のようなものですが、それはそれでやる価値があると思っています。

**勝村** ありがとうございます。そういう新しい動きについて、何かコメントがあれば。

**藤浪** PETが400台を超える勢いであるという話で、ハードはかなり揃ってきた。PETは有機合成、薬剤の合成から始まって、動態、あるいは空間分解能の向上とか、いろいろな技術課題があります。一方、 $\gamma$ 線の検出器の開発、画像解析、更には画像診断でAIとか、理工のほうはシーズが出ていて、ただ、それが細胞とか核医学にどれだけ貢献できるか。そのへんのニーズをしっかりと捉えた方向でニーズオリエンテッドなシーズ研究をしていくというコラボレーションをRI利用でも進めていきたい。

**勝村** そうですね。そのほかいかがでしょうか。

**中西** いまおっしゃったとおりで、放射線やアイソトープは科学のツールのひとつです。蛍光物質を使うように、ツールのひとつだという感覚が大切ではないかと思います。

私は最近知ったのですが、細胞を培養するシャーレを放射線重合して硬さや表面等を変化させると、その上にくっついて増殖する細胞の分化の方向を、薬品を使わずに制御できるという夢のような現象です。細胞シートを研究された有名な先生は、それを利用した細胞培養容器を作られていて特許を取られています。最先端研究にどのように放射線が使用されているのかということをもっと取り上げて宣伝してもいいのではないかと思います。他の分野では、

例えば食品も照射すれば長期間、腐らないので宇宙食等にも利用されるという例もあります。

**藤浪** 蛍光物質を使うことについては、皆さん普通に何の抵抗も無く使っていく。ところがRIを使うことに対して、利用したことの無い人にとってはすごく大きな壁があります。この間もRI利用促進のところで話があったのですが、分子イメージングでもすばらしい結果が得られるのは分かったけれども、どのようにしたら使うことができるのか分からない。そんな特殊なスキルは要らないのですが、イメージとして見えざる壁が先入観も含めてある。その壁を下げていくには、これだけいいものができるよといったことだけではだめで、どのような道筋で、どこで使える、どうやって使えばいいということまで丁寧に示していかないと拡大していかない。統合部会でもそこまで踏み込んで情報を出してくれないかというお願いをしているのですが、そこまで我々は歩み寄らないといけないと思います。

**本田** 阪大の放射線科学基盤機構のような試みは、ほかの大学でも始まりつつありますか。先生の後を追っていっぱいできればうれしいのですが。

**畑澤** そういう組織を自分の大学でももう1回計画してみたいという声は聞きました。というのは、いままで大学ごとにアイソトープセンターがたくさんあったのですが、全国のRIセンター長会議があって、その先生方に聞くと、各大学でアイソトープセンターという名前を閉じてしまってきているというのが現状だったそうです。それを仕組みや構成を変えながらも1回立ち上げるとい位置付けになるのではないかと思います。

**本田** リバイバルですね。先ほどRI利用が減っていたのがイメージングをやりだしたらぐっと上がってきたというお話を聞いて、これから先は研究利用の面ではイメージングに特化していかないとだめではないかと思えますね。

**畑澤** それまでの細胞レベルの実験から、生体のホールボディの解析がイメージングでできるようになったというのが1つのターニングポイントだったように思います。

**本田** 日本は動物のPET, SPECTがまだ少ないですね。そういうところに工学の先生がもっとたくさん出てきてやっていただければ。医学・薬学部会でもこれからの精密医療ではイメージングの重要性

がどんどん増している。これからiPS細胞等を利用したいろいろな治療法が出てきます。投与された細胞や医薬品等が、意図した通り人体内で本当に機能しているのか、思ったように体内に分布しているのかというのは、その細胞や薬剤の機能を表す薬を使って核医学のイメージングを行えば簡単に分かるわけです。そういう点で、イメージングが大事ですので、高分解能化、精細な画像ができるように検出器の開発をお願いしたいと思っています。

**勝村** では先生方から将来展望、将来への期待といったものをご紹介いただきたいと思います。

**藤浪** 自分がかかわっている陽電子の材料研究に関してお話しします。固体結晶では、原子は格子位置を占めています。しかし原子が無い空孔がいくつかあって、それは力学的特性、光学的特性、電子特性に関与しているのですが、原子空孔を見られるのは陽電子しかありません。ただし、材料の研究者も自分たちが陽電子を実際に使ってみて体感しないとなかなかその分野は発展していかない。そのためにも、利用を拡大していかないといけないのですが、陽電子消滅の実験をしようとする、アイソトープ実験施設が必要になってくる。特に材料研究は企業の方たちも多いので、管理区域の設置は1つの企業では大変だということになり、これまでは共同研究というかたちで行っていました。一方、非密封の下限数量が法律に入ってきて、陽電子消滅の実験は下限数量以下で使えるような実験です。管理区域外での使用のガイドラインがしっかりしていると、企業でも実験が可能になってくると考えられ、部会の専門委員会で下限数量以下の安全取扱いをワーキングとして、その指針を公開する予定です。「集中」も大事ですが、蛍光分子を使った分析がこれだけ広がっているのは、どこでも使える、使いたいときにすぐ使える。しかも自分のテリトリーの中で使えるということが大事なので、下限数量以下という仕組みをうまく利用して、陽電子を使った材料研究を広げていければいいなと思っています。

日本陽電子科学会では教育的なセミナーをしたり会報を出したりしながら、情報を広く発信しています。陽電子の研究は歴史があり、諸外国では研究者の数が減っているのですが、日本だけは増えています。100人近くのコミュニティですが、下限数量の線源を用いて、ボタン1つ押せばすべての測定と解

析が終わるような装置をアイソトープ協会や産総研の人たちが開発しています。以上のような活動を通じて RI 利用が広がっていくことを期待しています。

**勝村** ありがとうございます。では続いて本田先生。

**本田** 核医学がもう 1 つ求められているのは、治療ですね。医療保険が今後厳しくなるという状況では、診断だけでなく、治療にコミットする、治療に役立つ核医学を目指す必要がある。現実にもそうなっています。例えば  $\alpha$  線核種を使った骨転移の治療等、治療に向けた医薬品をどんどん開発していかなければいけないと思います。

それから治療薬が高くなっていますから、治療薬の選択に役立つ検査も大事になってきます。例えばアルツハイマー病ですが、アミロイドを減らす薬ができたときには、脳内アミロイド沈着を証明したうえで使うという規則ができると思われれます。この時、核医学が役立つと思います。既にアミロイドイメージングはできる状態になっていますが、保険診療で使えるようになっていません。しかし治療薬ができれば、それに伴って広く使われるようになると思います。

**勝村** どうもありがとうございます。では上叢先生いかがでしょうか。

**上叢** 私の立場から言うと、利用のバリアをできるだけ減らす貢献だと思えます。例えば理研でも  $^{211}\text{At}$  の関係で、GLP の施設に改造しようという話が出たのですが、いざ検討してみると、お金がものすごくかかる。とてもできない。やはり「選択と集中」というか、手軽にどこでも使えるというのも大事ですが、どこかで立派なものをつくって皆で使うというのが大事ではないかと思えます。

法規制から言うと、半減期が全然入っていない、それは非常に問題ですね。そこを合理的に取り入れられるようにならないか。

あと実際に加速器を使った放管をやっていると、例えば空気が放射化した  $^{40}\text{Ar}$  はサブマージョンという考え方で厳しい規制濃度が決まっていますが、仮定が過大評価になっている。外国ではほとんど規制の対象になっていないと思います。

例えば  $^{226}\text{Ra}$  を使おうと思うと、 $^{226}\text{Ra}$  と  $^{222}\text{Rn}$  が出てくるので、その  $^{222}\text{Rn}$  の対策を考えないといけない。最近、変更申請を書くため  $^{222}\text{Rn}$  の規制値を見

ていたら、 $^{222}\text{Rn}$  が壊れた後の放射平衡核種についての内部被ばくを考えているので相当厳しい。ところが内部被ばくを起こす頃になると、 $^{222}\text{Rn}$  は半減期 10 時間ぐらいありますから、ものすごく拡散して薄まっている。それについてもいまの日本の法律は過大評価すぎるのではないか。今後  $\alpha$  核種の研究を広めるという意味で何とかしないといけないと思います。

事業所の面からみると、 $\alpha$  核種はいままでの  $^3\text{H}$  とか  $^{32}\text{P}$  とかの安全管理に比べてはるかに大変なので、主任者も合理的な申請ができるように勉強しないといけないと思います。

これはアイソトープ協会への意見ですが、いま  $^{223}\text{Ra}$  以外は  $\alpha$  核種の廃棄物という引き取っていただけません。医療に使うというのは半減期が短いので、核種によっては引き取るという体制も必要ではないかと思えます。

**勝村** ありがとうございます。畑澤先生いかがでしょうか。

**畑澤** 研究開発における RI 利用ということだと、新しい治療法、医薬品の開発には、現在、ヒトを対象としたさまざまな核医学のイメージング手法が使われ始め、このニーズがどんどん増えており、今後増えていくと思えます。

むしろ私が申したいのは、RI 製造のための研究開発です。最近、基礎の先生方、放射線科学基盤機構に参加している先生方とお話をして、例えば加速器の開発が技術的にも非常に進んできている。しかし加速器だけでは臨床に放射性核種を大量に提供するところまでは来ていないので、原子炉利用の研究開発ができれば、医療における利用がもっとできるのではないかと考えています。

私どもは医療用の放射性同位元素は輸入するのがメインだと、それが海外の事情で不安定で、先週、今週あたりも検査が制限されている状態があります。こういうのが何年かに一度定期的にかかる、今後の利用を考えると、国内で製造できる仕組みができればいいなと思っています。そのためには放射線利用が社会として受け入れられる情報の提供、PR が欠かせないので、そのへんも含めて進めていかなくてはいけないと感じました。

もう 1 点は国際原子力機関が核医学の分野でも元締めになって国際的な教育基盤をつくったり教育の



ための基準をつくったりということを行っているので、そういうところと深く連携し、こちらからのフィードバックと向こうからの知財、知識、経験を導入するという取組みが大切ではないかと思いません。

**勝村** どうもありがとうございました。先生方の意見を聞いて、中西先生いかがでしょう。

**中西** 放射線、アイソトープはもっとうまく使っていけば、イノベーションに繋がり利益も出ると思います。そのためには、畑澤先生がおっしゃったように、まず、RI製造の設備の確保が必要だと思います。小型でいいのですが、研究用と言わずに、商業用の原子炉を作ることも大切だと思います。医療用のアイソトープ製造設備としての原子炉は一般の方たちにも受け入れ易い面があるかと思えます。

医療面では、PETをはじめとする診断や治療についてです。この診断法は非常に発展してきていますが、PET核種からのポジトロンエネルギーが割合高いので、ターゲットの細胞から離れた場所で $\gamma$ 線となりそれを検出して元の場所の画像を作るため、分解能に制限があります。mmサイズ以下のがんは見つかりません。分解能を上げるにはポジトロン放出核種ではなく、半減期が短いほかのアイソトープの使用も必要かと思えます。

先ほど畑澤先生がおっしゃった大阪大学で各学部が共同して作られた新しい機構は本当に素晴らしいと思えます。同様のことをやろうとして失敗した大学もあります。ぜひ日本の成功例として、医学分野のアイソトープ利用の新しいあり方としてこの分野の発展を牽引していただきたいと思います。

放射線の利用では、研究から産業までの繋がりも大切ですが、もうひとつのターゲットは環境問題だと思います。欧米では環境問題に対する意識が非常に高いのですが、それに比べて日本では少し低い面があるかと思えます。環境中の極微量の放射性物質を分離分析できる技術は、鑑識も含め、核セキュリティ等いろいろなことに広がっていくのですが、

日本ではまだ未発達な面があります。

放射線やアイソトープの利用促進には色々な方面の方たちの関与や協力が必要なので、特にアイソトープ協会には頑張っていただきたいと思って期待しているところです。

**勝村** どうもありがとうございました。先生方のお話を聞きながら、まとめさせていただくと、今後、RI利用は場合によってはブレイクスルーでもっと展開する可能性があると感じました。

それと同時に、現状いろいろな問題を抱えているわけですが、グッドプラクティスということで、近隣の薬学系大学に対して、放射性医薬品取扱教育のために千葉大学のRI施設を使用する教育プログラムを構築され実行されているのはすごくチャレンジングだと思います。後半で出てきた大阪大学の新しい試みでは、分野の関係する人が意見交換、情報交換で新しいものが出てくると思えます。加速器の人とお医者さん、化学の人が議論する。そういうのはまさに新しい展開を期待させるものではないか。

そういうことを考えると、協会の部会活動もいまは理工とライフの統合ですが、これを医学・薬学部会や放射線安全取扱部会と活動を連携、統合していくような方向もあるし、それをやっていかないといけないと感じました。

アメリカには、ラディエーション・リサーチ・ソサエティがあります。放射線に関わる物理、化学、生物、医学を包含する学会として設立され、活動しています。ところが、その後スタートした日本では、分野ごとに細切れにして学会が設立されました。従来の発想はそれぞれの分野の中から出たものだし、活動もそれぞれの学会の中で議論しているのが日本です。これに対し、分野横断で日頃活動しているのがアメリカ、DOEの強さではないかと感じます。日本も遅ればせながら学会連携をやっていけばいいと思っています。

今日は長時間にわたりましたが、ありがとうございました。  
(終)