

第14回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和7年4月22日（火） 14:00～15:23

2. 場 所 中央合同庁舎第8号館6階623会議室

3. 出席者 原子力委員会

上坂委員長、直井委員、岡田委員、畑澤参与、岡嶋参与、小笠原参与

内閣府原子力政策担当室

井出参事官、武藤参事官

東北大学大学院工学研究科

志田原准教授

4. 議 題

（1）工学系大学・大学院での核医学診断学の研究と教育について（東北大学大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻 准教授 志田原美保氏）

（2）その他

5. 審議事項

（上坂委員長）時間になりましたので、令和7年第14回原子力委員会定例会議を開催いたします。

本日は、畑澤参与、岡嶋参与に御出席いただいております。また、小笠原参与はオンラインで御出席です。

本日の議題ですが、一つ目が工学系大学・大学院での核医学診断学の研究と教育について、二つ目がその他です。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

（井出参事官）それでは、事務局から御説明いたします。

一つ目の議題ですが、工学系大学・大学院での核医学診断学の研究と教育について、東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻の准教授をしていらっしゃいます志田原美保様より御説明を頂きます。志田原准教授はオンラインで御出席でございます。

本件は、原子力利用に関する基本的考え方の3ポツの7、放射線ラジオアイソトープの利用の展開に主に関連するものです。

それでは、志田原准教授から御説明をよろしく願いいたします。

(志田原准教授) それでは、このようなタイトルでお話をさせていただきます。どうかよろしく願いいたします。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

こちらが本日の発表の構成となっております。

それでは、まず初めに次のスライドに移っていただきまして、自己紹介から始めさせていただきますと存じます。

私は、先ほども御紹介いただきましたとおり、現在、東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻で、原子力系の専攻で7年ほど工学部の教育や核医学に関係した研究を行っております。

前職が、同じく東北大学の中なんですけれども、医学系研究科におりまして、その中の保健学専攻放射線技術科学コースということで、診療放射線技師の卵の学生を養成するコースで7年ほど教育に当たっておりました。それ以前の経歴としましては、研究職を行っておりました。

本日のキーワードであります核医学診療、核医学診断学に関しましては、以下の二つの経験を有しております。

一つ目が、医療現場で実際に働く診療放射線技師の養成。二つ目が医療機器メーカーや研究職に就く工学系学生の教育ということで、医療系、工学系の学生の教育の経験を有しております。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

本日のキーワードとなっております核医学診断学について、まず簡単に説明させていただきます。

核医学診断学とは放射性医薬品を患者の体の中に投与して、特定の臓器、組織から放出される放射線を体外で計測して機能や代謝の情報を画像化し、病気の画像診断を行う領域でございます。

この核医学診断学の主な対象としましては、一番下を書いてあります悪性腫瘍の発見、転移、またがんの治療効果の判定、又は認知症の診断、こういった様々な病気の診断に用いられております。

この核医学診断学の領域には、従来から非常に優秀な原子力人材が活躍してまいりました。
それでは、次のスライドをお願いいたします。

こちらの右上の円グラフに示しておりますのが、当専攻で修了した学生の就職先の比率のデータになるのですが、オレンジの部分のほとんどが電力、重工など原子力系への就職が主ではございますが、うち7%が医療系の進路を選んでおります。

その7%の中でも核医学領域で活躍している当専攻のOB、OGの現在の勤務先としましては、医療機器、製薬企業の例としましては、島津製作所、キャノンメディカルシステムズ、日立製作所、日本メジフィジックス、未来イメージング、住友重工、こういった企業様がおりますし、研究所・大学の例としましては、量研機構の研究所、秋田県立循環器・脳脊髄センター、東北大など様々な所属の中、核医学領域で卒業生が活躍しております。

ということで、これまでも原子力系の専攻としましては、人材を核医学に輩出してきたという実績がございます。

次のスライドをお願いいたします。

近年では、核医学の診断学だけではなく、核医学治療の領域も大変重要となってきました。

まず、核医学治療とは、放射線医薬品を用いて体内から治療を行うものでして、 α 線や β 線といった短い飛程の放射線を放出する核種をがんや異常な組織にピンポイントに送り込んで死滅させる、そういう治療法でございます。

この核医学治療は、核医学診断学と比較すると違う点が多くございますが、例えば核医学診断学は1回のイメージングで診断が可能であるのに対しまして、核医学治療はより多くの工程を必要とします。

例えば、この治療をまず行うに当たって、一つ目のポツの適用判定、この治療の適用判定のためにまず計画イメージングといいまして、放射性医薬品が確かにがんの治療対象の領域に集積するかを確認する必要があります。血液検査や腎機能評価など治療に耐えられるか、治療に適用できるのかと多面的に評価を行ってまいります。

次のポツの治療の段階に入りましても、放射性医薬品の投与というのは複数回に分割して行いますので、投与の都度、患者様には病院に来ていただく必要がございますし、また体調をその都度体調を把握したり、必要に応じて内部被ばくの線量をモニターしていく必要がございます。

計画された治療が終わった後も手厚く確認イメージングを行うことによりまして、治療効

果の確認、体調の把握というのをやっていくということで、核医学治療というのは従来の核医学診断学に比べますと、非常に多くの工程を必要とします。

このような多くの工程を必要とする治療に関して、一番下に書いてございます国内において今まさに専門知識、技能を習得した人材が求められている現状でございます。そのため系統だった教育プログラムというのが設立されつつある状況でございます。

次のスライドをお願いいたします。

こちらにお示ししますのは、日本医学物理士会が開催されました核医学治療セミナーの紹介資料でございます。

こちらのセミナーの対象の方は核医学治療に直接関わる方々となっております、下に書いてありますが、eラーニングの視聴、確認試験の完了をもって単位の習得となるものでございます。

プログラムの内訳を見ていただきますと、国内の治療の最前線にいらっしゃる著名な講師の先生方に治療の概要、治療の薬剤、また被ばくの線量、最先端の話題、これらを提供していただくという知識習得型のセミナーでございます。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

もう一つ、セミナーを御紹介させていただきます。

こちらは核医学専門技師認定機構が実施しております核医学治療セミナーでございます。

こちらも核医学治療に直接携わる方を対象として、先ほどの知識習得型のeラーニングに加えまして、人数は制限されておりますけれども実地研修も行っているものとなります。

この実地研修の項目の内訳を見てみますと、①番、②番といったものは病院の施設の中ではどのように治療を行うのかという実際の運用を重視したような内容となっております、③番目が患者さんの被ばく線量をどのように推定するかというテクニカルなもの。さらに、④番目が体の中の薬剤の分布をどのようにイメージングするかという放射線技術に関する実習となっております。

このような実地研修の内容を拝見すると、我々原子力系の専攻、若しくは原子力の人材というものが従来も核医学診断学の領域で人材を輩出してまいりましたけれども、更に今以上に核医学診療に貢献できる余地があるのではないかと考えております。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

二つ目のトピックスとしまして、当専攻で行っている教育、また核医学診断に関係した教育の内容について御紹介をさせていただきます。

次のスライドをお願いいたします。

まず、当専攻の概要について御紹介させていただきます。

東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻は、原子力エネルギー、放射線の高度利用、大規模プラントの保全、放射性廃棄物の処理・処分、こういった四つの軸を持っておりまして、基幹研究室が14分野、また右の図の資料の下の方に書いてありますが、協力講座として、多元物質科学研究所、金属材料研究所、先端量子ビーム科学研究センターなどの学内の研究所、研究センターの7分野で構成されております。

次のスライドをお願いいたします。

こちらが実際の当専攻の講座、分野の内訳でございます。

この中で、放射線の医学利用の教育研究を行っている研究室が資料の上の右側、粒子ビーム工学講座というところの、粒子ビームシステム工学分野、応用量子医工学分野、放射線高度利用分野、核燃料科学分野、この4研究室と更に協力講座、下の表……（音声不調）……。

申し訳ありません。私の方で、スライドが見えなくなっておりますが、状況を教えていただけますでしょうか。

（事務局）先ほどネットワークの関係でちょっと接続が切断してしまいまして、音声がかきこえてない状況が先ほどまで生じていました。ちょっと今、資料をもう一度表示し直します。

（志田原准教授）お願いいたします。

先ほどの音声の切断はどの辺りからでしたでしょうか。

（事務局）12ページの協力講座のお話をされている辺りから聞こえなくなりました。

（志田原准教授）それでは、12ページに進んでいただけますでしょうか。

先ほど途中まで説明させていただきましたけれども、こちらに示しておりますのが、具体的な当専攻の研究室の一覧となっております。

この研究室の中で放射線の高度利用、医学利用を行っている研究室が実際には六つの研究室がございます、それ以外にも核医学で非常に重要となる放射化学の領域につきましても、核エネルギーフロー環境工学、協力講座の放射化学分野、上の基幹講座の中の粒子ビーム工学講座の中の核燃料科学分野と三つの研究室がございます。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

こちらが当専攻のカリキュラムの概要を示した図となっております。

細かく説明は省略させていただきますが、学部1年から大学院まで特に学部の低学年のところでは原子力関係の基礎の教育を手厚く行って、研究室配属の後は原子力関係のよりしっ

かりとした教育、大学院では特に応用力を鍛えるような教育プログラムを展開してございます。

次のスライドをお願いいたします。

東北大学の理念の一つに、実学尊重というものがございまして、当専攻でも学内外の実験や実習などを特に力を入れて行っております。こちらに示しておりますのがそれらの写真になります。

次のスライドをお願いいたします。

本日のキーワードであります核医学診断学につきまして、原子力系の方で提供している科目の紹介をさせていただきたいと思います。

まず一つ目、エネルギーと資源持続可能性、これは学部1年生を対象としているオムニバス形式のものなんですけれども、その中でも放射線の医学利用につきまして、医療機器の話題ともう一つ、国内の医療用放射性同位元素の供給・製造について、特に原子力委員会様で発出されているアクションプランの内容を解説するような行為を行っております。

二つ目は学部3年生を対象とした放射線医用工学という科目でございまして、こちらは放射線を医学に利用する放射線医用工学の内容を理解する、幅広く網羅した内容を提供しております。

三つ目は、こちらは医学系研究科で実施されている科目になるんですけれども、特にPET、分子イメージングについて、応用研究や診療を深く理解するために大学院生を対象とした科目となっております。

こちらの例に挙げましたような科目が原子力系の学生へ提供されている核医学診断学に係した科目となっております。

次のスライドをお願いいたします。

先ほど、学内での座学の話でございましたけれども、原子力系の教員が学外への教育の実施も行っておりまして、特に診療放射線技師の方を対象とした専門技師認定機構の講師とか、書籍の執筆、又は技術学会での講演。下にいっていただきまして、技術系雑誌の論文の査読、編集委員、そのほか14年ほど東北エリアの核医学理工系と保健学系学生の研究交流、研鑽の場としまして、セミナーを毎年開催しております。

このセミナーにつきましては、最初の年は7名からスタートしましたがけれども、去年は35名の参加と規模を拡張して実施させていただいており大変好評を頂いております。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

続きまして、原子力系専攻でどのような核医学研究を行っているかということについて御紹介させていただきます。

本来ですと、専攻内に六つの研究室がございますけれども、本来は六つの研究室の内容を網羅してお話しさせていただくべきところですが、当研究室、私が所属している研究室に特化した御紹介とさせていただきますたく存じます。

私が所属しておりますのが、応用量子医工学分野という名前の研究室でございます、研究室の概要としましては、原子力系専攻の中の医工学の役割を担った研究室になっております。

さらに、放射線の医学利用の中でも特に放射性同位元素の医学利用に関係した研究を行っているということで、核医学に特化した研究を行っております。

非常に小さな研究室でございます、教員としては私一人、あと学術研究員の四月朔日先生の二人体制で、学生が11名所属しております。比較的工学系の中では女子学生が多い研究室となっております、今、女子学生の方が11名中3名在籍されています。

それでは、その研究テーマについて説明させていただきます。

次のスライドをお願いいたします。

当研究室では複数の研究テーマを展開させていただいておりますけれども、本日は二つのテーマを紹介させていただきます。

まず、一つ目が放射性医薬品のAI創薬技術に関する研究です。

放射性医薬品のAI創薬技術の話をする前に、一般的な治療薬のAI創薬について説明させていただきます。

一般的な治療薬のAI創薬というのは以下の四つのポツで書いてあるような項目でAIを使って創薬を行っております。

一つ目が治療薬の治療の目的となるような分子を探すため標的分子の探索にAIを使う。二つ目が治療薬の、こういった構造がよいのかという治療薬の構造を探索するような研究。また、三つ目の治療薬が体の中でどういう状態になるのかということ予測したりする技術。四つ目、既存薬がほかの病気でも使えるのではないのかというような領域、これら四つの領域でAIを使って新薬の開発を加速していくようなアプローチをAI創薬といいます。

このAI創薬は広い枠の中で、青字で書いておりますバーチャルスクリーニングというところと、もう一つ、動態予測というものに注力した研究を当研究室では行っております。

下の四角で書いておりますけれども、核医学で対象としている放射性医薬品というものは

必ず放射性同位元素の標識が必要になりますけれども、開発の段階でも加速器による放射性同位元素の製造や被ばくを伴うという問題がございます。

次のスライドをお願いいたします。

そこで、放射性医薬品開発の早期の段階では放射性同位元素を使わない被ばくゼロの創薬技術が必要と考えまして、開発の候補となっている化合物、この図の中の太い黒枠で囲っている化合物の構造から、様々な物性値などを抽出してきて、体の中でどのように動いていくかという動態を予測するという研究を行っております。

当研究室は当初はこの図の右側の上の独自の生体数学モデル、体の中の薬剤の動きの振る舞いを全て数理モデルで説明しようと、数学は美しいと思って説明しようとしておりましたが、この数理モデルだけでは臨床で成功する薬剤の動態はうまく表現できるんですが、開発早期に発見したい動態がよくない不適な化合物の動態を予測するには不十分であったために、更に下にご覧のとおり既報創薬知見の統合データベースというものを構築して、様々な知見を組み込んでAIで動態を予測するシステムというものを現在開発しております。

次のスライドをお願いいたします。

また、スクリーニングという観点で、化合物の開発を続ける、中止する、こういう判定するためのスクリーニングのために化合物の性能評価指標というものも当研究室では提案しております。Clinical Usefulness indexというCUIという名前を付けておりますけれども、このCUI、放射性医薬品が臨床に進んだ場合、診断にどれくらい貢献できるかということの評価する指標となっております。

このCUIの内訳につきましては、左下の黒枠の中で定義式がございますけれども、このAzというものがReceiver operating characteristics解析、いわゆるROC解析で得られる診断能を表すAzと、どれだけの統計データがオペレーションを使えば患者、健常者、統計的に有利な差が得られるのかという統計の指標を表すeffect sizeのEs、あとPET検査を受ける患者さんの病気が発現しているところの集積を表す集積比、Srこれらを組み合わせたCUIというのを提案しております。

様々なPETトレーサーに適応しておりますが、こちらではアミロイドという認知症の早期に脳の中でたまっていくごみを検知するPETトレーサーの薬剤の研究例をお示ししております。

このグラフの中には32個のPET薬剤が含まれております。この薬剤の中には臨床に進

んだもの、臨床に進まなかったもの両方が含まれております。それらの薬剤それぞれにCUIを計算してランキングしたものがこちらのグラフになっております。

このグラフの中の赤線がCUI 3の閾値でございますが、全ての臨床に進んだ薬剤というのはこのCUIが必ず3を超えているということで、このCUI 3という指標が開発のある程度の目安になるだろうという知見が得られました。

また、もう一つ、このランキングの中の一番右側が高いスコアのものでございますけれども、それに次ぐ2番目の薬剤というのは実際には臨床には進んでおらず、開発がストップしてしまった放射性薬剤でございますが、こういうスクリーニングを行うと、もしかしたら臨床に進んでいたらよい特性を示せたかもしれない。こういう化合物を拾い上げることができるということが示唆されました。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

もう一つの研究テーマの紹介をさせていただきます。

話題が少し変わってしまいますが、核医学治療を受ける患者さんの内部被ばくの評価法を開発しております。

こちらに今示している資料というのは、現在、市販されている核医学に関係した内部被ばく、計算線量ソフトの1例となっております。

上に書いている表は、臓器の線量を計算するソフトの例になっております。これらの臓器レベルの線量を計算するソフトウェアというのは、右側に書いてあります用途として、研究用、新しい放射性薬剤の被ばく評価のために用いられております。

下の表を見ていただきますと、こちらは臓器レベルではありませんで、画素レベルの内部被ばくの線量を計算するソフトウェアの例となっております。

こちらが最近、販売されているものでございますが、用途としましては核医学治療を受ける患者様の被ばく線量を推定するためのソフトウェアになっております。

この核医学治療を行う際の被ばく評価をどのように行うかという線量評価法のところを見ていただきますと、青字の3次元コンボリューション法が主流となっていることが見て分かるかと思います。

次のスライドをお願いいたします。

そこで、当研究室ではこのコンボリューション法に着目しまして、特にLu-177というβ線放出核種を使った核医学治療を標的としまして、このLu-177を用いた核医学治療では従来、体から放出されるγ線をガンマカメラで計測して二次元で薬剤分布を把握する

というのが臨床の現場で主流でした。

この二次元の画像ですと、三次元コンボリューション法が適用できない。臓器レベルの評価しかできないということが大きな問題でございました。

そこで我々のグループでは二次元の画像に対して、三次元ではなく二次元のコンボリューション法というものを開発しまして、二次元の線量マップを計算する手法というものを新たに開発しております。我々工学系の研究室でございますので、核医学治療の領域で必要とされている新たな方法を1から開発するというを行っております。

次のスライドをお願いいたします。

続きまして、最後のトピックスとなります。

原子力系専攻の核医学への貢献可能性について最後にお話しさせていただきます。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

東北大学の我々の量子エネルギー工学専攻では、現在原子力に関係しました人材育成事業というものが二つ走っております。

一つは、上の規制庁の原子力規制人材育成事業でございまして、こちらの事業では原子力に関する俯瞰的知識を有する原子力人材を育成するために原子力安全の論理と規制ということで原子力安全を担保するに当たっての考え方の授業。

あとは2番目に応用堆積学とありますけれども、理学部の先生方に御協力していただきまして、地層、堆積物を学ぶことによって、原子力安全について学んでいくというフィールドワークを実施したり、3番目のサイバーセキュリティ教育ということで、重大インシデント、ネットワークのインシデントを回避するための知識を定着するようなカリキュラムを展開しております。

二つ目の文部科学省、国際原子力人材育成イニシアチブ授業としましては、こちらは大型の実験施設を活用した持続的な人材育成拠点の構築ということを目指して人材育成事業を進めております。

この事業の中では、大きく三つ、実験原子力総合実習という名前で本学の学生、他大学の大学院生を対象とした原子力に関係した実習、加速器を使った実習、またシミュレータを使った実習、こういったものを行っております。

二つ目の実験原子力インターンシップでは、高専生を対象とした加速器を実際に運転してそれを応用してみるといった実証を実施しております。

3番目の高専生のための原子力材料実習というのは、こちらは大洗で実施しておりますけ

れども、照射試験片をミクロに観察するといった実習も展開しております。

次のスライドをお願いいたします。

そのほか、当専攻では学部での実習、実験としまして、学部生対象ですので、量子サイエンス、原子力に関する基礎の実習としまして、前期と書いてあるところで、一般的な工学の知識を習得、後期の方で特に放射線、加速器に特化した実験を実施しております。

放射化学実験でも非密封R Iを使った化学実験を行っておりますし、加速器実験ではビームの輸送を実際に学生が電流などを調整しながらビーム輸送を行っております。

次のスライドをお願いいたします。

こちらは大学院で提供しております学生実験、実習の中身になります。大学院生ですので、原子力に関する技術、産業を網羅した内容となっております。座学、実験・実習と二つに分かれておりますが、これらを学生が修めております。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

先ほどまで当専攻の教育、人材育成の話をしておりましたけれども、東北大学の中では放射線を使った様々な研究施設、設備がございます。核医学に関係した研究施設、設備を御紹介させていただきますけれども、一つ目の片平にあります金属材料研究所、アルファ放射体実験室では、核医学治療で非常に注目されている核種のAc-225、Th-229から化学的に抽出するような作業が可能となっております。

二つ目の当専攻では、静電加速器を2台所有しております。加速器の実習を様々な展開しておりますし、研究も行っております。

また、三つ目のこれまで説明しておりませんでしたけれども、当専攻では放射性同位元素実験室というものを所有しております。これは核燃物質を使用できる施設となっております。現在、改修工事がちょうど終わったばかりで、7月に新たに開設されるものになります。

改修工事の後の目玉としまして、新たに動物実験エリアを新設したことで、核医学治療を想定した使用できるα核種を拡張しているところで、ここからは改修工事後様々な研究を行う予定であります。

また、3番目の先端量子ビーム科学研究センターでも、核医学治療で重要なAc-225の製造、これは加速器を使った研究をされていますし、あとは核医学用放射性薬剤の合成もされています。核医学に必要な不可欠なイメージング装置を所有されております。

それでは、次のスライドをお願いいたします。

こちらは私からの最後のスライドになりますけれども、今回、お話しさせていただく機会を頂きまして、いろいろ考えて原子力系専攻が核医学にこういった形で貢献できるのかということを考えてまいったわけですが、幾つか考えられるものの一つとして、一番上に書いております核医学治療基礎物理セミナー、従来医療従事者を対象とした核医学治療のセミナーをもう少し拡張した、より深い知識、技能の習得を目指せるような、そういった教材、座学、実習などが原子力系専攻で提供できるのではないかというふうに考えております。

そちらの資料に書かれている項目につきましては、提供ができるであろう既存のもの、若しくはこれから準備して提供可能であるといった項目がそちらに書かれております。特に、放射化学につきましては、当専攻、研究室がございますので、様々な内容が提供できるのではと考えております。

これら全てを提供する、どういう形で実現するかについては、これから先になりますけれども、この中の項目のピンポイントの項目、是非受講したいというニーズが高ければそれだけをセミナーとして展開する、そういったことも考えてございます。

また、今日のお話では、教育を中心とした話題が多かったんですが、我々原子力系、工学系の立場からしますと、核医学にどういうふうに貢献できるかということを考えたときに、真に医療に貢献できる研究開発というのも努力していかなければいけないと考えております。

特に、核医学治療の核種のイメージングを行うためには、今まで以上に高感度なイメージング検出器、装置の開発が必要となりますし、また今後も加速器を用いた医療用R Iの製造というのは非常に重要になってくる領域でございます。

こういった領域の研究開発というのは、原子力系専攻単独でやっても真に貢献できる技術は開発できませんので、医療従事者の方、原子力系人材との交流というのが必須となってくるというふうに考えております。

以上をもちまして、今回、準備させていただきました資料の話題提供を終了させていただきます。御静聴ありがとうございました。

(上坂委員長) 志田原先生、原子力委員会委員長の上坂でございます。核医学診断学の研究と教育の両面の御説明、どうもありがとうございました。

それでは、委員会から質問させていただきます。

直井委員、お願いいたします。

(直井委員) 志田原先生、核医学を支える工学系の大学及び大学院での研究と技術系の専門家

育成に関しまして、東北大学における事例を大変分かりやすく御説明していただきまして、ありがとうございました。

先生のプレゼンの中でも御紹介いただきましたけれども、原子力委員会では2022年5月に医療用等ラジオアイソトープ製造利用推進のアクションプランを取りまとめておりまして、過去2年間にわたって実施状況のフォローアップを進めてまいりました。

特に、核医学に関わる医療関係の研究者、それからR I 製造を担う研究機関、製薬会社、行政機関などからお話を伺ってきましたけれども、核医学を支える技術者の育成というものが大きな課題の一つとして挙がっておりました。

今回、その人材育成について、志田原先生が東北大学工学研究科応用量子医工学分野を率いられて取り組んでおられることを知りまして大変力強く感じた次第です。

また、東北大学が有します核医学関連の研究施設も大変充実していて、非常に素晴らしいと思いました。

さて、私からの初めの質問なんですけれども、御説明していただきました核医学を支える技術者の育成という観点で、似たような同様の取組をされているほかの大学、研究機関というものはあるのでしょうか。

(志田原准教授) 私が今、考えているような育成と似たような取組というのが実は既に幾つか走っているものがございますので、ちょっと紹介させていただきます。

まず、短寿命プラットフォーム、科研費で実施されている事業でしょうか、短寿命プラットフォームというのはもともとニーズがある核種を製造して研究者に供給するというのが趣旨でございましたが、そのプラットフォームの中でR I 製造の実習というものを数年前から実施されているようでして、そこで実際に加速器を使ったR I 製造の教育を提供されているということで、似たような類似したものが既に走っているということをお聞きしております。

あともう一つ、阪大の方でも核医学治療に関する教育プログラムを今整備しているというふうにお話をお聞きしております。それ以外にもF-R E I のプラットフォーム、幾つかの核医学治療の物理系の関係組織の中で、こういった治療の人材育成のためのセミナーを開催しようという動きがあるということはお聞きしております。

我々の方でも是非、東北大単独でこういうセミナーとか、人材育成をというのではなくて、今既に動き始めているもの、先生方と連絡を密に取りながら何かしら貢献できる形を実現していきたいと考えている次第でございます。

ちょっと答えになっているか、大丈夫でしょうか。

(直井委員) なかなかこういった教育をされる場所というのは数少ないんですけれども、ネットワークを組んでいただいて、是非拡大していただければなと思いました。

それから、2 番目の質問なんですけれども、核医学に関する研究の御紹介、AI 創薬ですとか、それからドーズエスティメーションみたいな研究をされているという、非常に貴重な研究をされていることを御紹介していただきましてありがとうございました。

こういった研究というのは、医学系の研究科ですか、東北大学の中でも医学系の研究科もあると思うんですけれども、そういったところと連携をするというようなことはされているのでしょうか。

(志田原准教授) もちろん我々、薬剤の専門家ではございませんので、実際に放射性医薬品を開発されている研究者の方と実際には共同研究させていただいております。具体的には今は東北医科薬科大の薬理の先生方と密に研究を進めている状態でございます。

(直井委員) 最後の質問なんですけれども、29 ページ目で、原子力系専攻の核医学への貢献可能性という御提案がございましたが、大変すばらしい御提案で、是非とも実現していただきたいと思いました。

それで、プレゼンの中で、医療従事者と原子力系の人材の交流が必須というような御指摘は私も全く同感でございまして、この交流を活発化させる手立てとして、志田原先生のお考えをお聞かせいただけますでしょうか。

(志田原准教授) この交流というのは非常に重要で、工学研究科の中で閉じて装置開発をしても、実際に実用的な装置がなかなかできないというのを実際に感じておりますので、この交流は非常に重要だと思っています。

どうやって実現するかという形ですけれども、いろいろあると思うんですけれども、今、考えておりますのが、私はこれまで10 年くらい交流セミナーを実施しておりまして、東北エリア限定ではありますけれども、理工系の研究者と診療放射線技師、保健学科の方との交流は行ってきたんですけれども、そこに工学系にもより興味がある医学系の方に参加していただいて御講演していただくとか、そういう形で交流すればよいのではないかと、交流の形はいろいろあると思うんですけれども、今、考えているのはそういうセミナーでの交流を考えております。

(直井委員) 日本核医学会も学会の年次大会を核医学技術学会と合同でやったりしていて、そういったところが、恐らく医療従事者と原子力系の接点みたいなところになると思うので、是非とも実現させていただければというふうに感じました。

ありがとうございました。私からは以上です。

(志田原准教授) 貴重な御意見、ありがとうございます。

(上坂委員長) 岡田委員、お願いいたします。

(岡田委員) 志田原先生、御説明、ありがとうございます。

私は先生のお話を聞いて、東北大にお世話になって放射化学の技術を磨いた人間としては、場所は片平ですけれども、このように先生がずっと進めていらっしゃる、東北が中心になって核医学診断の教育、研究を進めているということはとても心強く感じました。

私は今言ったように、放射化学ですが、最近ですけれども、R I を使う施設がどんどん少なくなっていて、同時に人材もそこで教育できないし、育っていかないという現状があるのですが、やはり体験をしないと放射化学は特に操作に臆病なり、管理はどんどん厳しくなるという悪循環があると思います。

その辺について、先生はどういうお考えを持っているかということ、放射線は微量でも測定できるという利点があり、しっかり準備すれば、たとえちょっと実験を失敗したとしても、それは自分の責任のもとで管理し、実験がまたできると思うのですけれども、どうお考えでしょうか。

(志田原准教授) 東北大学の中でもR I 施設の統廃合というのが大きく進んでいまして、一番はやはり運営費の削減などそういったものと、あとは利用率といった観点で統合が進んでいると思うんですけれども、先生と同じく放射性同位元素を実際に、特に非密封、どのように化学実験で触っていくかという、学生自身が手を動かして、どの辺に注意が必要でということを実際に経験する場が減っていくことに対しては、非常に私も危機感を持っているところでございます。

学内では統合が進んでいる中で、当専攻のR I 施設は核燃物質を使用するという特殊な観点から、統合の中から外れて独自にこれからも研究を続けていくようにという位置付けになっておりますので、当専攻のR I 実験室を学生さんの非密封R I の操作習得の場にこれからも使っていく予定でありますけれども、できれば利用者をもう少し学外からも募って非密封のR I を使えるような場に整備していきたいというつもりでおります。

(岡田委員) 先生の研究室の研究のお話ですが、先生は被ばくなどを伴わず、R I を使ったものの数値計算とか、そういうのをやっているというお話ですけれども、このときに女子学生がほかの研究室よりも多いという話ですが、これはRIを使わないということと関係していますか。それとも先生の研究に魅力を感じているのは十分分かるのですが、被ばくをしないとい

うことが女子学生を惹きつけているということはないでしょうか。

(志田原准教授) 工学部の中でも女子学生が常に多い研究室というのがあって、男性がP Iの研究室も結構あるんですけれども、どういう理由で女子学生が多いのかという分析まで、みんな疑問には思っているんですけれども答えが出てない状況です。

うちの研究室の話で申し上げますと、研究テーマの一つには計算創薬をやっているテーマもあるんですけれども、実際に非密封R IでP E T実験をやるような、被ばくを伴うような研究も展開しておりまして、女子学生さんは割と今は被ばく、医療被ばくに興味を持って研究を選ぶ方が多いんですけれども、被ばくを避けているという傾向はないと思っています。実際にR Iの実験も女子学生様にはやっています。ちょっと分析をしようと思うにも、なかなか数も少なくうまく系統だってちょっと理解できていないのが現状です。申し訳ありません。

(岡田委員) いえいえ、そんなことないです。志田原先生の魅力だと私は思っていますので、全然問題はないので、被ばくを避けるということと関係ないというのが、わかりました。

(志田原准教授) いや、私は本当にあれですけど、ありがとうございます。

(岡田委員) 非常に心強いです。ありがとうございます。

もう一つですけれども、最後の29ページのところです。こういう活動をしたい、貢献可能性というところが出ていますけれども、これをやるには人数というか、東北大の人で賄えるかなと私は思ったのですが、こういう場合に人材というのはどのくらい必要だと思いますか。やる側の人材です。

(志田原准教授) 今、既にうちの専攻では二つ人材育成で実習とかいろいろ走っていますので、そういったものに同時に参加していただければ、いろいろ効率はいいかなと思うところです。

核医学治療に特化した教育については、やはり放射化学の専門家の先生とか放射線計測の先生とかと相談しながら新たに何か立ち上げるということになると思います。ただ加速器運転などはもう学部の実習でもやっていますし、人材育成でもやっていますので、ある程度、今までのノウハウが転用できて効率がいい形で充実した内容を提供できるのではないかと考えております。

(岡田委員) ありがとうございます。是非いろいろなところと協力しながらやっていってほしいと思います。

最後に、質問ではありませんけれども、私は福島第一の事故が起きた直後に明星大学の工学部の集中講義をやったことがあって、その先生はなぜすぐに私を呼んだのか、その年の1

2月に呼ばれたのですが、そのときにその先生が人材育成は待ったなしですから学生には放射線の話をしたいのだという話だったのです。先生のこれだけの御尽力、今後もなさっていくと思いますが、人材育成にどうか力を注いでいただきたいと思います。もちろん研究もです。ありがとうございました。

(志田原准教授) ありがとうございます。今回の話題提供をきっかけに人材育成について深く考える機会を頂きまして、やはり鍵は既に同じような考え方を持って動いていらっしゃる方との連携が非常に重要だというふうに認識しましたので、国内の既に動いていらっしゃる先生方と連携しながらできることを見つけて実現させていきたいと思っています。

(岡田委員) ありがとうございました。以上です。

(上坂委員長) それでは、畑澤参与からも御意見を頂ければと思います。よろしくお願いします。

(畑澤参与) 志田原先生、大変丁寧に御説明していただきまして大変ありがとうございました。

私の方からはまず先生の経歴というのは大変珍しいというか得難いというか、そういうふうなキャリアだと思います。というのは、医学系研究科の保健学専攻で教育に携わっておられた。もともとの出身である工学系の量子エネルギー工学専攻で現在教育をなさっているという、この二つを経験している方というのはなかなかおられないと思います。

私は医療機関におりますと、保健学専攻を卒業した診療放射線技師さんたちとたくさん交流しておりました。それから、病院の中の放射線管理、放射線治療の分野では既に医学物理士の方々、理工系出身の方々と一緒に仕事をしてきました。それで、理工系の皆さんの深い知識と経験がないと今の新しい医療というのは決してスムーズにはいかないというふうに思っております。

そこで先生に質問ですけれども、量子エネルギー工学の教育とそれから保健学専攻の教育、主に核医学の分野でよろしいんですけれども、違いというか、保健学ではこういうことを主に教育する、工学系ではこういうことを教育するという、そういうカリキュラム上というか、シラバス上というか、内容で違いはあるものなののでしょうか。そこをまず教えていただければと思います。

(志田原准教授) まず、保健学と工学研究科ではアドミッションポリシーが全く違いますので、教育で目指している方向が違います。保健学は高度な医療技術を身に付けて人の健康のために貢献できるような人を養成するというようなアドミッションポリシーだったと記憶しておりまして、工学研究科は深いサイエンスのベースに基づいて新たな価値を生み出すような人

材を育成というようなポリシーだったと記憶していて、ちょっと違っていたら恐縮ですが、恐らくそういうふうになっております。

核医学に絞ってもやはり同じでして、保健学の教員で核医学の研究を学生としていたときにはやはり既存の技術に基づいて、よりよい医療を提供するにはどうしたらいいのかという立場で学生と話をしながら研究をしていました。

今の工学研究科に移ってきたときに、保健学科のスタンスそのままでは工学部で育てたい人材にはちょっと合わないということで、新たにどういうものがあれば世の中に大きくインパクトがあって、役に立つのかというような視点で学生と研究をするようになりました。ちょっと話が長くなりましたけれども、やはり教育の内容などは変えております。

(畑澤参与) 私はいつも考えていたのは、医学物理士さんという一つの分野があって、もう一つは診療放射線技師さんたちの分野があって、これをいかに医療の中で取り入れていくか、診療放射線技師さんというのは医療の中で必要欠くべからざるもの、医学物理士の皆さんの技量、経験も必要欠くべからざるものだと思っていて、ただそれを例えば病院の中のポストを作ったりとか、大学の中の医学系の中でそういうポストを作ったりするときに、どういうバックグラウンドがあって、それでどういうすり合わせをすればうまくいくのかなというのを考えていたものですから、今日先生に、入学のときのアドミッションポリシーがこうなんだということを教えていただきまして、そのレベルで大学院のレベルなのか、学部のレベルなのかは分かりませんが、ちょっとすり合わせていく必要があるなと思いました。そうすれば、今、7%というところが15%ぐらいまで増えてくるのではないかと考えておりました。

是非、引き続き先生のところで、教育、研究を拡大していただいて、将来的には核医学の分野には必須の皆さんですので、是非よろしくお願ひしたいと思います。

畑澤の方からは以上です。どうもありがとうございました。

(志田原准教授) 貴重なアドバイス、ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与からよろしくお願いいたします。

(岡嶋参与) 志田原先生、どうもありがとうございます。

原子力というか量子工学エネルギーの言わば新たな展開、学生にとって新たな展開というような感覚で私はお話を聞いていました。

ちょっと気にしているところは、スライド13ページのところに、教育の項目が挙がっているんですが、放射線による生物へのダメージ、放射線生物学といいますか、そういうよう

な学問が例えば何年次にどの程度、多分放射線安全工学の一部で行われているのかと想像しますが、それがどれぐらい講義されて、特に核医学診断学のところではそういう学生を相手に更に追加して講義するというようなカリキュラムがあるのでしょうか。そのあたりについて教えていただきたいと思いました。

(志田原准教授) 原子力系の人材育成に当たっての放射線の生物影響というのは必ず押さえておくべきものだと理解しております。

今、スライドで共有されているカリキュラムの中で、放射線の生物影響について教える機会というのが4年生の一番右側の放射線安全工学の科目になっております。今現在は放射線取扱主任者の範囲の生物について数回の講義で教えるということで、分量としてはかなり少ない量になっております。

私はこの専攻の出身でして、自分が学生だったときもこの科目は受けていたんですけども、その当時は医学系の放射線生物影響の先生がいらっしゃって、1コマ御担当していただいて、すごくその内容は今でもよく覚えておりますので、もう少し生物影響の教育を強化となったときには、工学系の教員が教えるというよりは医学系の先生に来ていただいて教えていただく、生命科学、生物影響の専門家の先生に少し教えていただくというのが必要なかなと今お話を聞いていて思いました。

(岡嶋参与) 私が50年くらい前の学生のときに、医学系ではないですが、獣医学系の先生に、生物で放射線のダメージ、生物に対するダメージを研究されている方の講義というのが1コマあったというのを記憶しております。やはりこういう分野ではそういうことはこれから先も必要になってくるのではないかと思いますので、是非その辺のところは御検討していただければと思います。どうもありがとうございました。

(志田原准教授) こちらこそありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、小笠原参与から御意見を頂ければと思います。

(小笠原参与) 志田原先生、御説明どうもありがとうございました。

私のような文系のバックグラウンドの者にも大変分かりやすい御説明で、先生のなさっている研究や教育活動の意義というものがよく分かりました。先生の御専門は複雑な学際的なアプローチが必要な大変難しい分野だと理解いたしました。その中で先端的な研究を続けられて、実績を挙げられているということにまず敬意を表したいと思います。

また、お話の中で東北大学では実学を重要視されているというお話がございました。志田原先生におかれても研究成果を踏まえて大変広範かつまた多様に社会実装の促進のための活

動を行っておられることを伺いまして非常に心強く思った次第です。

私個人としても、研究とか教育の成果というのが、ベネフィットが我が国の社会経済に還元されていくということが重要だと思っております。

冒頭のお話で、卒業される学生さんの多くが電力や原子力、産業界に進まれる中、約7%の方々が医療系の進路を選ばれているというふうに伺い注目いたしました。

就職先として幾つか具体的な企業名も挙げていただいたわけですが、医療機器の分野、これは我が国の今後の産業構造の中でも国際競争力を勝ち得ていける有望な分野ではないかと思っておりますので、先生のところで学ばれた得難い高い知見を持たれた卒業生の方々がそういった領域でも活躍されることを期待したいと思います。

一つ、質問ですが、こういった医療機器、先生のなさっている御研究、教育の活動は割と新しい分野ではないかと思いますが、こういった医療機器メーカーと大学との間に、研究、あるいは教育の面で協力のベースが既に構築されているのか。就職のパスとして確立したルートができているのか、そこら辺について伺えればと思います。

(志田原准教授) なかなかお答えするのが難しい質問でございます。現状、当専攻とこちらにお名前があります医療機器メーカー様と直接、教育、研究といった形で何か提携が結ばれているというものは今のところございません。

先日、東北大学のプレスリリースで、東北大学として島津製作所と血中のバイオマーカーを見つけるような共同研究拠点を作るという大掛かりなつながりのプレスリリースがありましたけれども、変更レベルで今ちょっとそういったものは走ってはいないですけれども、ただ医療機器メーカーに就職して活躍したいという学生は継続的に同じ企業の方に受け入れていただけておりますので、就職しておりますので、多分恐らく企業様の方でも東北大学の当専攻の学生を高く評価していただけて、就職採用が継続的に続いているというふうには思っております。

私はまだこの専攻に戻ってきて7年くらいでなかなかパスをきちんと作ってというところまで手が回っていないですけれども、引き続きOB、OGがどんどん医療機器メーカー、製薬会社に就職していきますので、そういったところのパスをお互いWin-Winな形で何か構築できたらなというふうには考えております。

(小笠原参与) 大変有望な分野だと思いますので、ますますの御活躍をお祈りいたします。どうもありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、上坂から意見を述べさせていただきます。

まず、研究についてですけれども、22、23ページに、内部被ばく評価法のお話であります。私も学会等で質問するのですが、外用放射線治療ではモンテカルロ法等を使った治療計画の精度が高く、内部被ばく量は計画と実際の差は数パーセント程度であると。一方、内用放射線治療、つまり核医学は、まだ数十パーセントであるようなことを伺いました。

ここで、先生の二次元コンボリユーション法を使いますと、その精度はどの程度向上していくのでしょうか。

(志田原准教授) 非常にクリティカルな御指摘を頂きまして、誠にありがとうございます。

核医学治療で行う内部被ばく線量の推定というのは外照射と違いまして、体の中に放射性核種がどのように分布しているかということを把握しないと、内部被ばくが評価できないということがございます。

体内のR Iの分布を把握するためにイメージングをするということが必須になるわけですが、このイメージングに関わる誤差要因というものが様々ございまして、画像を撮像した時点で10%程度の誤差が乗っている。その画像に基づいてコンボリユーション法で線量計算する。その結果、先生がおっしゃったような10%程度の誤差が残っているということが非常に大きな課題となっています。

どのようにその誤差を小さくするかということですが、まずは品質管理のところをきちんとやって、手順どおりやっていくというところ、構成などをきちんとやっていくというところが今までどおり重要になってくるところだと思いますけれども、我々が開発している二次元コンボリユーション法につきましては、基になっている画像の解像度、プラナー画像は余りよいものではありませんので、空間分解能は1センチ程度で、空間分解能は悪いので、そういう画像の解像度を上げるような工夫をしながらコンボリユーションすることで精度を上げるように工夫を今しているところでございます。

まだまだいろいろ精度を上げるためにやらなければいけないことはたくさんあるかと思えます。

(上坂委員長) ありがとうございます。よく分かりました。

次に、20ページと21ページで、これはR I創薬技術を使った候補化合物の評価指標があります。21ページに比較がありまして、これは前のページにありますように、既報創薬知見の統合データをA Iを使って学習されて精度を上げているのだと理解します。これはアミロイドPETですので、アルツハイマー診断に使われる。現在、日本の致死症の一番ががんあるいは認知症になった、そういう時代ですので、この診断は極めて重要だと思います。

その中で様々な候補化合物の性能をこのように定量的に比較したということは画期的なことと思います。

それで、教えていただきたいのですが、C U I というインデックスのイメージについてです。我々はP E Tですとこの化合物は、アミロイドで、海馬に集積されている。そういうこととC U I というのはどのような関係にあるのでしょうか。

(志田原准教授) このC U I という考え方は非常に大雑把な指標でして、本来であれば患者一人一人の状態を正しく反映したような指標が出てくることが望ましいと思うんですけども、今ここで取り扱っているC U I を出すためのシミュレーションというのは人という単位での計算になっています。性別も含んでおりませんし、病気の重症度、脳の形態の個人差、薬剤の集積の個人差、こういったものもちょっと含めておりません。

いわゆる人にまず投与したら、健康な人とアルツハイマー、アミロイドが形ではなくて、たまっている場合とどういうふうに区別できるかというのを見ているような指標になります。

我々もたまっている、たまっていないという単純な物差しだけでは不十分だろうということで、今回の発表では含めてはいなかったんですけども、更にちょっと踏み込んで化合物の構造から体の中でどういう集積になるのか、単に数値を予測するのではなくて、画像を予測するという研究をやっております。

そういうアプローチであればもう少し細かなアミロイドの集積のパターン、どの薬剤が得意、不得意ということがもう少し細かく評価できてくるのではないかと考えております。ただちょっとP E T画像を予測するという研究、体の中の生体分子の分布などもちょっといろいろ考慮しなければいけない。少しハードルは高いんですけども、今、進めているところではございます。御指摘ありがとうございます。

(上坂委員長) 最後、人材育成について、これはここまでも質疑がありましたが、29ページ、これは先生が御提案された核医学治療基礎物理セミナー、講義と実習です。これは極めて重要でして、原子力委員会でもアクションプランを出してもうすぐ3回目のフォローアップをやりますが、その中でも人材育成が入っております。それでその際に先生がおっしゃられた医学系、保健系だけではなくて、理工学系も入ってオールア라운드な講義・実習をやっていただきたいと考えているところであります。

そのためには昨年から国立アイソトープセンター長会議のシンポジウムや日本加速器学会のシンポジウムや短寿命R I 利用研究シンポジウムに出席しまして、全国の主要大学、大学院、研究機関での講義、実習のプラットフォームの必要性を申し上げてきました。それがも

うまさにこの形で具現化しつつあるかなという印象でございます。是非今後、全て先生がやられるというのではなくて、是非全日本のネットワークを組んでいただいて、各大学が強いところをやって、学生さんはそこにその講義を受けに行く。そのためには支援があるというような形がよろしいかなと思っております。今後そういうものが構築していったほしいと思うのですが、先生のイメージと合っておりますでしょうか。

(志田原准教授) ずっと核医学治療に関係したセミナー、原子力系の専攻が持っているリソースで提供したいというのはずっと思っていたんですけども、どうやって実現するかというところになかなか想像力がなかったところ、今回いろいろこの発表の機会を頂いたことでいろいろな先生方とお話をして、既に同じ考えを持っていらっしゃる、準備もされている方もいらっしゃるということも分かってきましたので、私の動きも遅いですが、いろいろな方と話をしながら進めていきたいというふうに思っているところですので、先生のお考え、御理解と同じかと思えます。

(上坂委員長) これからアクションプランの第3回目のフォローアップもあり、そこで人材育成の議論もいたしますので、是非今後ともよろしく御指導の方をよろしくお願いいたします。

(志田原准教授) こちらこそどうかよろしくお願いいたします。

(上坂委員長) それでは、ありがとうございました。議題1は以上でございます。

志田原先生、もう離れていただいて結構です。

(志田原准教授) 先生方、ありがとうございました。失礼いたします。

(上坂委員長) それでは、議題2について、事務局から説明をお願いします。

(井出参事官) それでは、議題2、その他でございます。

今後の会議予定について、御案内をいたします。

次回の定例会議につきましては、令和7年4月30日水曜日、火曜日がお休みでございますので水曜日の14時からということで、場所は中央合同庁舎8号館6階623会議室でございます。

議題については、調整中であり原子力委員会ホームページなどによりお知らせをいたします。

以上でございます。

(上坂委員長) ありがとうございました。

その他、委員から何か御発言はございますでしょうか。

御発言はないようですので、これで本日の委員会を終了いたします。

お疲れさまでした。ありがとうございます。

—了—