

第10回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和2年3月24日（火）13:30～15:15

2. 場 所 中央合同庁舎第8号館6階623会議室

3. 出席者 内閣府原子力委員会
岡委員長、佐野委員、中西委員
内閣府原子力政策担当室
竹内参事官
大阪大学
篠原教授

4. 議 題

- (1) 放射化学について（大阪大学）
- (2) その他

5. 配布資料

- (1) 放射化学とは 一現状と課題、そして未来へー

6. 審議事項

（岡委員長）それでは、時間になりましたので、ただいまから第10回原子力委員会を開催いたします。

本日の議題ですが、一つ目が放射化学について（大阪大学）、二つ目がその他です。本日の会議は15時を目途に進行させていただきます。

それでは、事務局から説明をお願いします。

（竹内参事官）議題1でございます。放射性物質の性質など化学面について、放射性物質について研究対象とする化学の一分野として放射化学があります。放射化学は放射線や研究用原子炉加速器、原子核反応などについて理解するためのベースとなるものであります。本日は篠原大阪大学放射線化学基盤機構長にお越しいただいております。

それでは、よろしくお願いいたします。

(篠原教授) 御紹介ありがとうございました。このような機会を与えていただきまして、どうも感謝しております。

本日はタイトルが「放射化学とは」となっていて、少し変なタイトルなのですが、放射化学自身をあまり我々の努力も足りないと思うのですが、周知できていないということもありますので、放射化学とはどういう学問かということと、それと現状どういう研究を広げているか、課題ですね。実は課題が割とあるのですが、そのあたりを少し前半はお話させていただいて、後半は最近非常に注目されているような研究を2例お話ししたいと思っております。

それで、私自身は最初自己紹介ですが、ここにありますように核化学・放射化学とよく言われるのですが、そういう分野を一応メジャーにしております。それ以外に中間子化学とか、あと福島原発事故以来、環境放射能も手がけておりますし、最近では核医学を利用しようということもやっております、この図は我々のところの大学の研究室に学生が来たときにいつも見せる図なのですが、私の研究室のキャッチフレーズとかロゴマークでもないですけども、特色を表しております、元素記号の一番下ですね。第7周期、これは御存じのとおり3年前ですかね、一応118番まで元素記号が決まりました、オガネソンまで。この本当に重たい百何番元素というあたりの化学的な研究をするということと、全く新しい新種の元素、原子核と電子で原子はできておりますけれども、電子の代わりにマイナスの違う素粒子、例えばミュオン粒子とかパイ中間子とか、そういったものがぐるぐる回っても同じような新しい人工原子ができます。それを化学的に研究しようということ、実はもともとはそういうことをずっとやっております、最近こういう環境とか核医学ということもスタートしております。

これは私の履歴で、もともと阪大卒でして、今現在は大阪大学の中に学内の放射線関係の施設を統合するような組織を整備いたしまして、そこの機構長を仰せつかっております。

その前に放射化学は大体よく分からないので、今割と見えやすい成果として世間で言われているようなものをちょっと図で示しました。これ今日、中で少しずつ触れますけれども、例えばこの一番左上は医学利用です。アルファ線核種、アルファ線を出す放射性核種を使ってがんを治しましょうという研究をしております。この右側はミュオン粒子を使って新しいミュオン原子というのができますが、そこから非常に高いエネルギーのエクソ線が出まして、元素を調べることができる、元素分析ですね。それで、例えばこういったこれからはやぶさ

が持ってくるサンプルを調べようとかいうことを計画しておりますし、これはネイチャーの表紙を飾ったのですけれども、周期表の構造を変えるかもしれないというローレンシウムという非常に重たい元素のイオン化ポテンシャルを決めたりとか、これは皆さんよく御存じのニホニウムですね。これは森田先生が発見されたのですけれども、その中では化学者、我々のチームが非常に力を発揮しております。それと、これは一番今問題になっています福島の関係で、これについても我々のメンバーの分野の人は非常に尽力しているというところでして、最後この辺の話も少し入れていきたいと思っております。

それでは、1は今やりましたので、まず放射化学とはどういうものかというのを簡単に説明させていただいて、それをベースにする学会をつくっておりますので、その辺の紹介をしたいと。そこで、学会の中で活動している研究分野、これは四つほど分科会がございます。そこら辺の説明をさせていただいて、その分科会の中の研究の現状とか課題、将来構想をお話ししたいと思います。4番目に少し最近伸びてきている新しい研究の芽を話したいと思っております。

では、まず放射化学とはですけれども、これはちょっと字ばかりで恐縮ですが、我が国の日本の放射化学の始まりというのは、これはもちろん放射化学という学問自身はベクレルが1896年に放射能を発見しますが、そこから始まりです。それまで放射能は知りませんでしたので、そこから始まります。ただ、その後もう少しして、例えば北投石の中にあるものなのですけれども、放射性物質を含んだ石、これを発見されて、そのあたりからだんだんと日本人が関わってきたと。1920年代には飯盛先生とか、あと、木村健二郎先生は非常に有名な先生なのですが、このあたりのそういった仁科芳雄先生は理研をつくられた先生です。そこら辺の時代に放射化学の基本になるような研究がスタートしております。

どんどん進展するのですが、戦後、ビキニ事件あたりから大学にたくさんそういう放射能を使う研究室ができてきまして、放射化学はその後、特に原子炉とか加速器を使うものから、そういったものの整備とともに発展してきたということになります。

ですから、放射化学というのは一言で言いますと、ベクレル由来の放射能をベースにしたような基礎化学ですけれども、普通の化学と違って原子核の反応とかを扱いますので、強い力、核力、それとか弱い力なんかも含めたような基礎化学というので、少しスタンスがちょっと普通の化学とは違った、よりマイクロな方向へ向いたものですが、実はその応用が非常に広がっております。そこに書いていますが、次にいろんな学際領域が広がっておりまして、ミュオンを使ったものとか宇宙科学とかニホニウムのような新しい元素の話とか、新しいビ

ームですね、量子ビームを使ったもの、それと9年前に起こったような福島事故とか、研究分野と申しますか、対象にする事象が非常に広がっております。

もう一つは、核現象と核エネルギー、これを安全に使うための基礎的な部分を担っていると思っております、もちろん原子力の研究と申しますか、原子力社会のベースになるような研究分野であると。ですから、もう一つ大事なのは教育とか人材育成ですね。これは後の方でまた課題が出てきますけれども、そこら辺に非常に重要な役割を担っていると思っております。

それで、これは完全に私の私見なのですが、物質の大きさと言いますか、階層を変えて大体どの辺を対象にしているか。メインの対象にしているのは原子よりも小さい方向ですが、実はずっと広がっているということですね。実際には原子核自身を化学的な方法論で調べるといふのと、原子核の核現象を使って例えば放射性改変とか放射線、こういうものを使ってケミストリー、科学をするという反対用語ですね。それと、対象になる原子、こういう物質をどんどん広げていく、これはベクレルの放射能発見以来、キュリー夫人とかがラジウムポロニウムを発見して、それ以降ずっと延々と続いております。こういったものが我々の分野であると思っております、細かい用語を入れますと、こういった核反応、核分裂とか新規核現象とか、トレーサー技術とか、あと例えば年代測定なんかもそうですし、環境放射能、それと新しい元素の合成ですね、こういったものが含まれると。それと、これをベースにして広がっているところが非常に多くて、いろんな医学利用、生命研究、エネルギー、工業利用、最近では核鑑識というのもあります。あとは原子力のベースになるようなバックエンドとか一番問題になっている廃炉とか、こういったものの基礎に対応するのではないかと考えています。

それで、そういった分野を実はずっと討論会と言いますか、学会はあったのですが、これは1957年に第1回の放射化学討論会というのが始まっております。ここで、日本中で研究されている先生方が集まってディスカッションを始めたのですが、それから現在まで今年秋にやりますが、64回目、非常に歴史のある学会なのですけれども、途中1999年に学会をつくりました。これはそのホームページですけれども、実は今非常に広がっているといいましたが、コアメンバーはそんなに大きくなくて、学会会員は400名弱ですね、これぐらいの小規模な学会です。一応そこで学会を開催したり会誌とかのジャーナルですね、学術雑誌を発行したりということをやっております。

これも今言いました。今の放射化学の歴史ですが、我々がちょっと注目するイベントとい

うか、事象の一つは1954年、これは第5福竜丸事件というのはビキニ事件です。このあたりに日本の放射化学者がどんどんと、研究室ができて、日本の中にも大学にたくさんできてきたと。それで、その3年後ですかね、学会がスタートしたのですけれども、あと、チェルノブイリの事故とか、あと、最近といいますか、JCO、1999年、こういった事件がありまして、ちょうどJCOの事故があった1か月後に放射化学会ができたのですけれども、非常に因縁を感じるのですけれども、1999年ですね。その後、2011年に東日本大震災で福島原発事故があったというふうなことで、いろいろと放射能に関係する事件・事故が絡んできております。

それと、これは世界的にもこういった分野は非常に特にアメリカとかヨーロッパは盛んでして、国際的な学会もたくさんありますが、一応日本のこの放射化学会が中心に、アジアとか環太平洋を中心に国際シンポジウムをスタートしました。これが1997年、これは非常に活発にたくさん集まってきてもらっております。これが今回は来年やるのですが、来年第7回目を郡山でやります。ちょうど福島原発事故10周年、10周年という言い方は変ですけれども、10年目でかなり海外の方は関心を持っておられますので、たくさん集まると思っております。

これは大体の歴史ですね。こちらも趣意書で書いてある今まで言ったようなことを書いてあるだけです。

それで、その分野のキーワードをちょっと並べたいのですが、こういった研究をしているかということですが、これは今までの学会の中でのいわゆるセッションですね。討論するセッションの主題を並べてあります。これは学会ごとに微妙に違っているのですけれども、大体こんなものかなと。核化学というのと環境放射能、放射化分析、核プローブですね。それとか医学利用とかアクチノイド・バックエンドとか、あと地球科学とか年代測定とか教育ですね、放射線教育、そういったものが並んでおりますが、最近は例の福島の事故以来、環境放射能に当然含まれるのですが、福島関係は非常に発表が多いもので、特別セッションをつくっている場合が多いですし、ニホニウムの発見以降、この超重元素、これは100番を超える重たい元素のことなのですが、これは我々の核化学という分野では、私は学生の頃からずっとテーマでして、昔は天然の中で探していたのですけれども、最近はつくるということで、核化学のメインのテーマでしたが、ニホニウム以降これまた増えまして、特別セッションが大体設けられて、世界的も増えております。

これは大体分野的に大きく四つぐらいの分科会というのが実は学会の中でありまして、こ

これは学会本体で、そういう分科会、これ微妙にこういう書き方をしてあるのは、これ分科会自身は割と実態が何か組織があるわけではないのですが、それぞれいろいろな研究会を主催しております。それで、そこには学会以外、ほかの分野の方がどんどん入ってきて、かなり広いスタンスでやっております、例えば分析ですと分析化学の先生方がいっぱい来るわけですね。その中で放射能を使っているコアメンバーが放射化学会に入っているという感じになっておりますので、大体書いている感じになっているわけです。核化学は一応かなり放射化学にどっぷり入り込んでいるという感じですね。これは全部関連しております。後で出てきますけれども。大体こういう枠組みの学会というか、学問分野です。

それで、今からそれぞれの分野についてちょっと分科会の代表的な方をお願いして、今の現状とか将来どういう方向かというのを簡単に資料を頂きましたので、それを紹介させていただいて、一部最近進んでいるような研究を紹介したいと思っております。その放射化学の課題を一回まとめてみたいと思います。

まず、核化学という分野です。これ分科会がありまして、これは毎年夏の学校というのを開いてたくさん集まって議論しているのですけれども、これは正に放射化学全体を示しているものに近い図なのですが、核化学というのは例えば新しい元素、こういうものをつくったりとか、核反応、核分裂の研究とかいうことがメインの研究テーマです。ですから、物理と本当に接近しております。核物理学です。もちろんツールはケミストリーですから、科学ともかなり近い、いろんな方法論を使って研究すると。これの成果といいますか、関連して放射能を使いますから、やっぱり放射化分析とも関連するし、原子核合成、核反応でつくったりしますから、同位体、R I、放射性同位体の製造とか分離とかにも関係しますし、もちろん核プローブにも関係するというので、割と放射化学の中の真ん中において、全体と連携しているという分野です。それのところで、また分析は分析、環境は環境とか核プローブがいろんな方向に発展しているという形になっております。これは割と全体を示しているかと思っております。

この中の核化学なのですが、やっぱり中心テーマは非常に重たい元素のケミストリーをしたいというのが一つの最近の、一昔前までは核分裂とか核反応にかなり注力していたのですが、最近是非常に重たい超重元素と言いますが、そういった原子をつくって、その化学的性質を見ましようということをやっております。この図は理研で3年前ですかね、つくられました113番、これは皆さん御存じと思うのですが、83番のビスマスという原子核に30番の亜鉛ですね、ジンク、亜鉛を核反応でぶつけます、加速器で。83番と30ですから、

113が出来ます。中性子が1個ぼろんと出るのでありますが、これが融合して複合核という興奮状態の原子核ができて、1つ中性子が出て113番の278の原子核ができる、これが森田さんの発見された113番元素です。これが113であるということは、こういったアルファ改変でどんどんと改変しまして、知っている既知の原子核にたどり着きます。たどり着くと、アルファ線というのは中性子にヘリウムを放出していますから、原子番号は2個ずつさかのぼれるわけですね。例えば四つ連続して知っているところにいたら8番前の重たいものから出たと、親が分かると。これは遺伝的な手法と言っておりますけれども、これで確実に分かります。この方法で決めるということをしております。

実はこの実験は非常に大変でして、これもよく当時は新聞に出てきましたけれども、足かけ9年間かかって3個見つけた、原子を三つ見つけたというぐらいものです。我々実はこれの化学的性質を見たいと思っているのですけれども、まだそこまで行きませんけれども、それで一昨年ですか、こういった名前がやっと初めて、日本の名前がついたのは初めてです。アジアでも初めてですかね。118まで一気に名前がついたということです。

そしたら、核化学というか化学としてどうするかというと、これ原子核の陽子の数で周期表の原子番号は決まっていますから、周期表に並べることができるわけです。118まで今並んでいます。だけれども、9年間で三つの原子が本当にこの周期表のこの場所、113はここですかね。タリウムとかの下ですけれども、本当にこの化学的性質をしているかということ、全然分からないですね。調べないと分からないというので、本当に重たい、1個ずつつくれるような重たい元素の化学的な性質を見ることで、この周期表がどうなっているか、これ周期表が変わっているかもしれないという理論がいっぱいありますので、その辺を見ていこうというふうなことが大テーマです。

ただ、問題は寿命が非常に短い、ニホニウムですとミリ秒ですけれども、この辺の113とか104番、105番あたりでも1分ぐらい、数十秒なのですね。しかも、核反応で本当に少しずつしかできる量が本当に少ない、1個ずつしかできないですね。ですから、同時に一つしか扱えない、そういう同時に一つしか扱えない原子の化学的性質を見ていこうというのがこの第7周期のこの辺の一番最下位、周期表の一番下の元素をやるべき化学の姿です。新しい、方法論的にも新しいですね。この辺をやっけていこうというわけです。ですから、ベーシックにも非常にチャレンジングですし、化学としては本当の基礎と思っています。

実際にこれ世界最高性能の加速器、実は理研なのですから、理研というのは非常に優れています。これで作ったときに104番、105番とかのできる量、原子の生成量、こ

んなものですね。一番よくできるものでも1分間に数個、この10⁸番ですと1日に三つとか、これを取り出してきて化学的実験をしたら10分の1ぐらい減りますので、もうこれの10倍ぐらい時間がかかってこれぐらいの数だというわけですから、何が起こるかという、シングルアトムケミストリー、1原子でどんな化学ができますかという話になってきます。それともう一つは周期表が変わるかもしれないと、これは相対論的な効果で予想はされているのですが、まだ実験的な証拠は全然なくて、この辺を調べていきたいと。

1個しかないものをどうするのですかと。これ わけにもいかないですね。多分可能なのは、ここにちょっと出ていますが、二層間分離とよく言われるのですけれども、例えば水と油、どっちに行きやすい、どちらの方に行ったら安定かと。これは溶媒抽出とよく言われてやっているところがありますけれども、こういったものは1個 ですから、一つの原子でもう性質ができるだろうと思っていますので、これが使えるだろうと。だけれども、普通は濃度を見るのですね。どれだけどっち側が安定かというのは濃度比を見るのですが、一つしかないので、たまたま1回実験したときに例えば1の方にあった、次は2の方にあった、これ何回も何回もやって確率の分布を見ます。この確率の比が濃度比に等しいでしょうというものに基づいております。これ一応理論的にはそれがあるのですけれども、これに基づいて入れられるクロマト法と化学では言われていますが、この方法を使って今実験をしていると。実際には加速器でターゲットがありまして、加速器でビームを当てて精製したものが飛び出します。運動量保存則で飛び出しますが、それをガスの気流に乗せて実験室に運んであげて、その実験室のところいろいろな化学実験をする装置を作っております。例えばこういう溶媒抽出とかガスクロマトグラフィーみたいな、いろんなものをやります。測定は今のニホニウムで説明したアルファ線を測って決めると。

実際これは溶液系の例です。これ10⁴番元素のラザホージウムというのは化学実験をしていて、これは一番最初に日本でスタートした原研のJAEAで繰り上げて、そのタンデム加速器を使ってやった実験です。ここからビームが当たって、キュリウムというターゲットに酸素を当てるとラザホージウムというのができまして、これを送ってあげて、ここでイオン交換挙動を見ます。樹脂を詰めておいて、その樹脂に元素がひつつくかひつつかないかをいろんな液性を変えてあげて調べてみると。これはほかの同属のものと比較することで化学的な性質を見ようということで、例えばこれはフッ酸を流して調べた、樹脂につくかつかないかという割合、分配率を調べてあげると、ジルコニウムとハフニウム、これラザホージウムの上です。同じ属です。この青と緑のプロットですね。これは濃度に対してプロットし

ているのですけれども、それに対してラザホージウムは違う傾きを持っていると。これ実は原子構造に関係すると考えられておりました、幾つフッ素がついているかの数に関係するのですが、どうも違いただろうということが初めて、超重元素になって化学的性質が同属と違うことを明らかに示したのは、これは初めてです。

こういった研究を今どんどん進めておりますし、もう一つは相対論的な効果というのは電子配置というか、原子の結合に関係していますので、酸化還元電位というのを調べてあげると非常に分かるのですが、だから、電気化学を使うといいのですけれども、原子は1個ですから、電気を流しても電流が測れないのですね。ですから、電解はするのですけれども、酸化数、例えば2価を3価に変えたりしたときの化学的な挙動、例えば粒子につく、つかない、そういう挙動に違いが出ます。それをうまく利用してあげることで、2価、3価の変化を見ようと、そういうのを電極反応と同時にするような修飾電極を使ったやり方を開発いたしました。

これは初めてノーベリウムで電圧を変えて2価から3価に変わったというのをちゃんと電位が分かったということで、単一原子で電気化学をしたのは世界初ですね。これ今現在はノーベリウムとメンデレビウムでも成功しまして、今シーボーギウムでやろうということをしております。この辺が割と日本の成果の大きな一つですね。

もう一つの例は、これは気体です。気相反応、これ寿命が短いと、液体ですと溶かしてまた測定するために時間がかかったりするのですが、気体ですとそのままできますから、寿命の短いものは気体反応がよくやられているのですけれども、106番元素、シーボーギウムというのをこれは理研の加速器を使って、ニホニウムを発見したところです。これで実験して、これは国際共同研究です。

実は、理研はもう今や世界的なメッカで、世界中から研究に来ております。これは化学では今最近の一番のトピックスでして、カルボニルですね、C oをひっつけてあげようと。タングステンとかモリブデンはこういう6個ひっつくことが分かっているので、シーボーギウムを調べてあげると、実はこれ温度勾配をかけたカラムにガスを流してあげて、どこの温度のところで吸着するかを調べてあげると性質が分かります。その風が測定器になっているのですね。その測定は上がカウント数ですけれども、これであとモリブデンとタングステンとやって、シーボーギウムを同じ、ちょっとばらばらしていますけれども、よく似たカーブですねというのがこれ初めて出たというふうな研究です。これもかなり時間をかけてやっております。

そのあたりは元素の化学的研究ですが、もう少し物理的なことになるのですが、イオン化ポテンシャル自身を直接測定したいということがありまして、これ実は何年か前のネイチャーのトップを飾った、表紙を飾ったこれはすばらしい業績だと思うのですが、ローレンシウムのイオン化ポテンシャルを表面電流の現象を使って調べようということをしております。これもやっぱり単一原子でできる新しい手法です。それで、同属のランタノイド、それと比べてあげてイオン化 変わるのですが、これが1番 PかDかで変わるのですが、それについて回答を与えたというふうなもので、周期表の構造に関わるような大きな成果として今はまだ議論がされております。これが一つ割と大きな最近の成果。

それともう一つ、これちょっとトピックス的なのですが、トリウムという、229というトリウムという特殊な原子核がありますけれども、これ非常に低いところにちょっと見にくいですが、8エレクトロンボルトという非常に低い励起エネルギーの核同位体があります。励起状態ですね。これ何で注目されているかという、我々のグループは実は昔からやっております、これだけ低いと改変の半減期なんかは化学状態で変化するだろうと。この改変するときの改変様式が内部転換励起していますね。電子と相互作用して改変するようなものがあります。

それですと、電子の状態を変えると変わるわけですね。例えばウランの235mなんかは変わります。数%も変わります。これは分かっておりますし、 入れたベリリウム7なんかも変わるので、普通は化学状態で半減期は変わらない、だから年代測定とかできるわけですが、実は特殊な条件では変わると。これの対象にしていたのですが、実は最近ヨーロッパの方が中心で、この核順位を使ってあげて原子核時計ができるのではないかと。今世界中の時計で一番正確なセシウムを使った原子時計、これが標準になっているのですが、それに更に何桁か精度のいい核時計ができるということで、非常に注目されているもので、今まだこれは基礎研究ですが、本当にこれができる多分センセーショナルな、本当に基本定数ですね、プランク定数とか重力定数とか、そういうものが変わるかどうかという研究に使われようとしております。

これはちょっと去年あったイベントですね。周期表をメンデレーエフさんが発見、発明かな、150周年というのを世界中でやっております、東京でクロージングのイベントがありましたけれども、そのときに第7周期、元素を発見した、発見したイコールじゃないのですが、関係者が皆さん集まってセレモニーをしました。こういったイベントで、周期表が割と最近ちょっと注目されているということで、我々は一番下をやっているわけですね、重た

いところ。

それで、核化学のゴールといいますか、周期表200周年と書いていますが、長期的なスタンスでやはりこれ核図表というもので、横軸は中性子、陽子の数で、今発見されている同位体が全部プロットしてありますけれども、大体3,000近くございます。いろんな同位体ですね。その中で黒いところが安定な同位体で、これが天然にあるもので256個あります。あるかもしれないと理論的に予想されているのがまだ7,000ぐらいあるのですね、未知のところ。我々は学生なんかによくまだまだ発見できるからと言っているのですけれども、その中でやっぱり重たいところ、ここです。この辺が今つくられているのですが、本当に重たくて安定なところというのは、実はまだ分かっておりません。

ここら辺なのでありますが、この数字はマジックナンバーと言いまして、原子核が非常に安定になるところです。この数字のところになると、原子核は非常に安定化します。最後はこの鉛のところが一番安定なのでありますが、その次のマジックナンバーがあるだろうと思っていまして、ここら辺を目指そうと。どんどん重たい方をつくっているのですが、過去重たいのをつくると周期表も伸びていきますから、今第8周期119番、理研が実験を始めておりますけれども、それをずっといって第8周期とかどんどん伸びると。どこまで行くんやというわけですが、それは分からない。原子核がどこまで存在するかによると思うのですが、その辺を展開すると、化学の範囲も広がっていくと。そうすると、元素の起源とか新しい応用とかいろんなことがこれから広がるだろうと思っております。だから、こういった元素自身、化学をつくる一番ベースですね。その基礎の本当の基本の部分を核化学はやっていると思っております。

ちょっと時間を取ってしまいましたけれども、もう一つのトピックは放射化分析、これは放射能を使って分析です。分析手法です。これは多元素同時分析で、非破壊でできるので非常に特徴的な分析手法ですので、使いようによっては非常に有効です。今は機器分析は発展しておりますけれども、やはりものによってはこれにかなうものはないと。対象物質を選ばないのですね。大体何でも対象にできます。そこに書いておりますけれども、いろんなものに使えます。これは植物とかいろんな天然物ですね。あとは高純度をやるような半導体とかそういうものの分析とか、あと、いろんな鑑定に使うものとか貴重なものですね、考古学試料とか隕石とか、こういったいろんなものを対象に分析が非破壊でできるというので、中性子を当てて放射化して、その放射線を測ることで分析するので、高感度です。しかも、いろんな元素が同時にできるわけですね。ただし、道具立てが大変でして、中性子の場合に

はこういう原子炉が必要であったり加速器が必要であったりしますので、ちょっと道具立ての方が少し大変ですので、今ちょっと苦しんでいるところはございます。

これは最近の成果ですが、これははやぶさです。1号の方です。これが戻ってきたときに中身は空っぽで困ったのですが、実はよく見ると小さな微粒子がありまして、これ分析できるのかと思ったら、さすが放射化分析屋さんですね。やっぱり分析をちゃんとしました。それで、この元素分析をきっちりして、はやぶさのイトカワの起源を調べたという業績があって、次、はやぶさ2号が帰ってくるのを待っています。

こちらは気体ですね。これはハロゲンを調べた例でして、これは非常に難しいのですね、分析。これを世界的なレベルで調べることができたというふうな、これ非常にテクニカルにすばらしい。一番右側は、これは新しい方法論です。中性子を当てて放射能をつくって今までは分析していたのですが、中性子と核反応したときに同時に出るガンマ線を見てあげようというふうなやり方もできます。これ放射能では分かりにくい元素もありますから、割と双方向的に両方できると全体が分かるというので、それが今開発されておりまして、その方法自身は大分前にできているのですが、それとTOFとか中性子の方の分析ですね。そちらと一緒に併せて新しい手法にしようというものが進められております。

この下の方は国際的な標準物質の分析です。これ日本は非常にトップレベルを行っておりまして、産総研なんかが非常にリーダーとして動いております。

それで、これどういう方向に行くかなのですが、残念ながら御存じのとおり、今研究原子炉は京都大学の原子炉が動いているのですが、それ以外止まっております。JAEAのJRR-3というのはもうすぐ稼働すると思っておりますが、これが動き出すと、ここに書いていますようにいろいろな新しいごく微量なものとか、プロントガンマ、即発ガンマ線ですね、今さっき言いましたああいうものを組み合わせた新しい手法を開発して、どんどんと対象を広げようという計画がございます。それと、はやぶさ2がこの12月に帰ってきますけれども、その分析の準備が進んでおりますし、同じ中性子とかビームを使うときに別のこういうメスバウアーとか核プローブ、次に紹介しますけれども、核プローブの手法と合わせて、融合して非常に高度な分析に発展させようというふうな試みも考えられております。

ただ、この分野もやっぱり道具立てが大きいので、それを運転するためとかのことも必要だし、あとは人材ですよ、この辺が非常に今非常に困っておりまして、そこら辺をこれからやりたいというところです。

次が原子核をプローブとして使うような化学、これいろんな分野に使われています、プロ

ープとして。極端なことを言うと、よく化学の分野で使われるNMRがありますけれども、あれも核プローブですね、原子核の性質を使っているわけです。ここでは特に物性研究をするためのプローブについてちょっと紹介しております。いろんなものがあります。メスバウアー分光とか μ SR、角相関とか β -NMRとかいろいろな核プローブの手法がございます、これ全て物質中の局所の様子を調べるというものです。

簡単にこれ大体どんなものかを書いた図なのですが、これメスバウアーというのは皆さん聞いたことがあるかもしれませんが、その原子がいる環境の周りの場ですね。例えば磁場をどう感じているか、電場勾配をどう感じているかとか、それによって原子核の順位、核の励起準位がございますけれども、それが微妙にスプリットしたりとかシフトしたりとかします。その微妙な順位の変化を同じ原子核の順位、合っている同じ順位からいったらガンマ線を吸収させることで、だから、状態が一緒だったらぴったりですから吸収するのですが、微妙にずれるわけですね、環境によって。そのちょっとしたずれをここで振動と書いていますけれども、線源を動かす、これ何をやっているかという、ドップラーシフトです。スピードを変えることで光の波長がちょっとずつ変わりますよね。その本当に微妙に動くドップラーシフトぐらいの変化です。それぐらいの変化をさせることで微妙にシフトしたりスプリットしている順位の形を見ると。この形からこれがどういった磁場状態にあるか、電場勾配にあるかというのが分かるというものです。これは非常に局所場を調べて、この物性研究に非常に役に立つ。

同じように、その順位をこういう分離を見るのではなくて、摂動でサウンドをするのですね。スピンを持っていると回転します。回転の様子を見ることで調べてあげようというのが摂動角相関法です。ガンマ線が二つ連続で出ますと、二つのガンマ線を同時に測ると、そのスピンによって、運動量の変化によって角異方性があります。360度均一じゃなくて異方性があります。その異方性の部分が解体しますと、こういう振動として見えます。これをこの振動の周期から、もしくはそれが緩和して減ってくるとか、そういったものからそれが置かれている環境が分かるというものです。

同じようなもので、もともとスピンのそろったビームとして、見本のビームというのがありますが、これを使ってあげて、これと同じような感じですね。この歳差運動とかそういうものを調べてあげるとというのが右の μ SRという方法がございます。これ非常にそれぞれ核というか物性研究、特に μ SRなんかは超電導の研究なんか非常によく使われております。

これはこういった核プローブが扱われる特徴ですが、これはバルクでは得られない微視的な状態を調べるのに非常に威力を発揮すると。しかも、対象が大体何でもいける、固体からソフトマター、液体まで全ていけるというので、そういう意味で非常にユニークな手法です。ただ、扱うものは放射性同位体が多いですから、それなりの設備が要ということになります。最近はそのような同位体を使うのではなくて、ビームをそのまま使ってメスバウアーしようとか、非常に短寿命の核でもできるようにオンラインで実験、相関を測りましょうとか、放射光なんかも使うとまたいろいろとできます。こういった新しいビームを使ったようなもので、新しく展開しようということを今研究が進んでいるところです。

最後の分野は環境放射能という分科会がございまして、これ環境放射能を対象にする実証は、実は昔からいっぱいあって、戦争のときに広島、長崎に原爆が投下されました。その影響といえますか、そこから大体スタートしているのですが、それが非常に大きいし、その後、グローバルフォールアウトと書いていますけれども、要するに米ソ時代ですね、米ソ冷戦時代に盛んに大気中の核実験をやっているわけですね。世界中が放射能に汚染されているわけですが、その辺を対象にした環境の研究が大体メインでした。ただし、やっぱりどんどん最近になってきますと、チェルノブイリとかJCO、それについて最近では福島という非常に大きな事故がございまして、それらの環境的な研究と同時に待機中に放射性核種がまき散らされていますので、それをトレーサーにすると地球規模の実験といえますか、物質移動みたいなものが研究できるわけですね。そういったものについてもやられているというところになります。

ですから、ここに書いていますのは環境放射能的なもの、人体の影響的なものとかいろいろあるのですが、地球化学的なものもございまして、分析手法は放射能測定以外にも非常に高感度ないろんな分析手法、これを駆使して行っております。最近ではいろんなテーマはもちろんあるのですが、やっぱり福島がかなりメインとして動いております。

方向性は、これはやっている人を書いていただいたのですが、やっぱりより微量なものもしくは実態に即したものの方向に行こうと。だから、いろんな手法を組み合わせたり合うやり方をどんどん開発しましょうという方向、それと、やはり実学なので、だから、現場に行っているいろいろ調べると。何ですのかということ、もちろん環境動態とかいろんな原理的な研究ももちろんありますけれども、それをちゃんと研究することで未来予測するというのが最近よく言われているところです。

もっと大きいのは、この福島に関係しますけれども、ここで得られた貴重な経験とか化学

的ないろんなデータ、成果ですね、これはやっぱり世界発信して共有すると。これは多分日本の役割だろうということで、環境放射能グループを日本全体が連携して今はやっております、関係する大学が全部書いてありますけれども、非常に大きな組織になっております。これは研究所ですね。日本の研究所がいろいろありますし、それと最近では共同拠点といいますか、共同利用・共同研究拠点で環境放射能の関係で立ち上がりました。去年からですかね、立ち上がりまして、これは筑波大とか弘前大とかこの辺が中心に福島とか、それで動いておりますし、IAEAなんかではもちろん御存じのとおりいろんなワーキングが動いております。

それで、この辺で日本の今の環境グループはやっぱり総力戦で福島のことを何とかしたいと。そのプラットフォームになるのが放射化学会だろうと思っていて、簡単にこれ全体像を私は分かりませんので、私に関与したところについてちょっとどういうことを福島の関係でやっているか紹介したいと。これは放射性微粒子の発見とサブタイトルに書いていますが、こんなものは言うまでもなく皆さん御存じのとおり、津波で原子炉が溶融したと、炉心溶融が起こったわけですが、起こった当時、何回か放射性核種が放出されるプロセスがあったのですけれども、当時はやっぱり要するに組織だって動けないですね。個人ベースです。それでまず動き出しました。だんだんと学会ベースぐらいで動き出して、今全体でうまく連携しておりますけれども、個々に動いていたのと国からはやっぱりスクリーニングとか試料測定なんかの依頼がよく来ましたね。そういうのに対応していたというときののですが、やはりもうちょっとシステムチックに例えば土壤汚染なんかもしっかりと直接サンプリングして調べないかと。これ実は2キロメッシュで、全領域を2キロメッシュに切って全ての試料を取ってこようというプロジェクト、これはボトムアップです。学会の方から言って文科省を動かして、文科省のプロジェクトでやりました。それと大気測定なんかも系統的にずっとやっております。

これ実は今までまだまだ続いているのですが、最近ではやるべきことが研究にだんだん移ってきてまして、やっぱり継続的に化学的な観点でしっかり研究する必要があると。目的は、一つは未来予測、環境回復ですね。廃炉につなげると。あとは緊急時のときの例えばもしどこかで何かあったときに日本の科学技術が生かせないと絶対困るわけですね。その辺をしっかりとしましようということで、社会貢献と科学研究がタイプアップしてやっているというような状況です。

それで、これは当時、2011年の文科省のプロジェクトで当時やっている、ちょっとだ

け出しましたけれども、本当にボランティアベースで延べ1,000人ぐらいですかね、関係する人が集まってやりました。これはそのプレで行ったときですけれども、これ当時学生で4年生が来て、最後までこれをやって学位を取りましたけれども、こんな様子ですね。こんな様子でやりまして、とにかく1万サンプル以上集めまして、測定しまくって、それで例えばこれはセシウム137のプロットですけれども、もう全部データがございます。あととかいっぱいデータがあります。こういうことになり、これはもちろん放射化学だけじゃなくいろいろな人が努力してやったと。

その中で、それをやりながらやっぱり系統的、組織的にやる必要があるというので、2011年から新学術領域研究を立ち上げさせていただきました。これは筑波大の恩田先生を中心に立ち上げたのですけれども、環境中の放射能の汚染状況を未来予測、環境回復を一応目指して分野横断的な組織をつくってやろうということです。私はその中で化学状態分析とか測定技術の部分の一応ちょっと班長を務めさせていただいたのですけれども、これ問題は測定できるのは、原子炉から飛び出してやることで放射性核種が運ばれて雨なんかで落ちるのですけれども、サンプリングするのはこっちですよ。要するに雨なんかでさらされて環境中にあるものは測れるのですが、出たところは分からない。問題はどういう化学状態でどこから出てきたかというのを知ると、これがどういうふうに汚染が進展するか、もしくは除染するにはどうしたらいいとか、もしくはこういう状態が出るということは炉内がどういう状態であったか、炉内状況にも関わるわけです。

ですから、この一次放出核種と言っていますけれども、一次放出の化学状態を調べたいというのが我々のチームの目的でした。ただし、測れるのは出てきた環境に落ちたものだけです。それでなかなか困ったのですけれども、いろいろな今までセシウムとかヨウ素はよく言われていましたが、核分裂でできる元素はたくさんありまして、それ以外のものも実は少量ですけれども、見つかっています。ですから、違う種類の元素、いろんな種類を測ってあげて、分布を測ってあげると飛びやすいもの、飛びにくいものがありますから、それがどういう量関係であるかを見ると、炉の中がどれぐらい温度が上がったとか、酸化状態であったか還元状態であったとか、そういったことを反映しているはずですね。

ですから、いろんな元素を測ろうということを当時はやっております、実はそれをやっているときにこういった水に溶けない小さな微粒子が大量に飛び出しているということが見つけられました。これはいわゆる発見に近いのですけれども、今まで分かっていた。チェルノブイリなんかではなかったのです。これ実は水に溶けませんので、炉から出たこと

は明らかでしたので、環境中にあるのですが、この中に含まれている放射性核種は炉内にあった状態をそのまま保持しているということですね。そうすると、これを調べると非常に一次のこの状況が分かるのではないかとということで、そっちにだんだんと注力を始めました。

これ何年か前かな、テレビ番組になったのですけれども、これが見つかった当初。それで、当時のサンプルももちろんあるのですが、やっぱりもっと調べる必要があるということで、5年後、3年前かな、5年目にやっぱり地方の公共団体、自治体をお願いして、やっぱり5年後の状態を調べましょうということで、105地点サンプリングにこれかなり組織だってやりました。これは文科省と我々大学を中心にやりまして、もちろん今の放射能の汚染状況を調べると同時に、今度はサンプルをもっと微量分析しましょうということで破壊分析、それと不溶性の今の粒子ですね、溶けない粒子を調べるということをしております。これは現在もまだ研究が進んでおります。

これが見つかった例ですね。最初に見つかったのは、こういった小さな数ミクロンの丸い、これはガラス玉なのですけれども、シリカが主成分で、これにいろんな元素が入っているというのは分かっております。その後、こういったちょっと変な形のもっと大きい数十ミクロンから数百ミクロンあるのですが、こういったものも見つかっております。これはタイプA、タイプBとか呼んでおりますけれども、これ全然でき方が違うというのが分かりますよね。それで、起源も違います。2号炉から出たのとか1号炉、3号炉から出たものは違うのですけれども、その辺のこの中に何がどれだけ含まれているかを見ることで、その炉の中の様子も見られるだろうということですね。

我々のところは放射能測定がよくできますので、例えばストロンチウムとかプルトニウムとか、普通では測れないものを溶かして化学分析して調べるということをやりまして、これは放医研の力を借りて質量分析ですね、ICF-MSを使ってあげて測定いたしまして、プルトニウムの同位体分析をしますと、やっぱり不溶性粒子に見事プルトニウムは入っていました。この同位体の比から実は地面の中に全部プルトニウムはあるわけですね。グローバルフォールアウトで世界中に散らばっているわけですが、その原爆実験で出てきた同位体の比と福島の炉から出たのとは比が違います。同位体の量は違います。その比からこれは明らかに福島起源であるのは分かります。

というので、これなのですけれども、グローバルフォールアウト、240と239の同位体の比ですけれども、グローバルフォールアウトはこの辺なのですが、全然違いますよね。実際これはシミュレーションで計算した1号炉、2号炉の3号炉のあたりはこの辺ですね。

大体それに一致していると。いろいろ環境中に調べられたものも幾つかあるのですが、ほぼこれが入っているだろうと。一部同位体、グローバルの影響を受けているものはありますけれども、その辺が大分詳細に分かってきているという状況です。

今はこれをより詳細に調べて炉内の状況を見ていこうと。これ燃料自身が出ていますので、かなり重要な情報になります。これはプレスに出したときですね。こういったアウトプットもして、最近では国際共同研究でこういうプロジェクトがございまして、廃炉研究のプログラムで、イギリスのチームはこういったエックス線トモグラフィが得意なチームがあって、こういう今の不溶性粒子を透過して調べることをやっておりますので、彼らとタイアップして廃炉作業に向けて、開けたときに粒子が多分ありますから、やっぱりちゃんと物性を調べておく必要があるということで、一応こういったことを目的な研究も今進めているところです。

ちょっとこれも時間を取っちゃいましたけれども、福島関係、実はこれ大学でやっているのはなぜかという、廃炉とかこれは国プロでやれば、国がやるべきことなのですが、40年かかるとか言われているのですけれども、40年後は今やっている人がいないわけです。これは誰がやるかという、今の学生がやるのですね。だから、これはやっぱり今大学でいかのこの分野というか、こういったことができる人材をつくっていくのが大事でして、だから、廃炉しましょうと言ったら誰も来ないので、もっと魅力的な学問として大学の基礎研究、学術研究として定着させる、40年ですから、完全に定着させる必要があるかなと思っております。我々なんかもそのつもりで大学でやっぱりやるべきだということで今進めております。これは是非ともその辺、皆さんに一応御支援いただけたらと思っております。

それで、大事なのは日本がまたこんなのを起こすんじゃなくて、世界に原子炉500基ぐらいあるのです。計画を入れたら500基ぐらいあるわけです。だから、これは何かあったときに日本はやっぱりちゃんとその辺の技術、学術、学問を持っていると。貢献できるという状況をつくらないと、これは絶対日本の義務だと思っておりますので、この辺は是非とも進めたい、是非とも御尽力いただけたらと思っておりますけれども、それが実はここにつながりまして、放射化学の課題ですけれども、今いろいろと面白い研究とかいっぱいあると。福島でも重要で、我々は貢献できているのですが、これは放射化学者というかこの研究者、技術者を含めた人材が必要であることはどんどん言われております。実際にものを扱える人材ですね、これが今どんどんいなくなっているのですね。実際に放射性物質とか核燃料物質を扱える人というのが必要になってきている。なのに、一方では、実はこの上にちょっ

とデータを載せているのですけれども、我々の放射化学を多分中心に据えて研究しているような大学の研究室がどれだけあるかという、これは15年前の調べでは、ちょっとまだいい加減です。難しいのですよね。ほんまにそれ中心でやっているかなかなか判断しにくいところはあるのですが、大体これぐらい。少ないです、それでも。今、実はもっと減っているかもしれないです。本当に放射化学中心でやっている人は 足りないかもしれない状況です。

ただし、授業をкаろうじてやっている部局というのは、当時は70ぐらいあったのですけれども、今はこれも減っていますね。こういう状況ですので、実はこういったことを学会ベースで何とかしようと思っているのですが、その元になる大学とか研究室がどんどん減っていると。しかも、次のページに出ますが、これを扱えるような施設が陳腐化しているというのが大きな問題になっています。これによってアカデミア人材もそうですし、いわゆるこういった人材の輩出能力が下がってきていると。もっと言うと、もっとベースになる学校教育の中で放射線教育の位置付けというのがこれはもっと見直すというか、しっかりする必要があるであろうと思っています。

研究面は今まで言いましたように非常に面白いものが出てきているわけですね、いろんな医学利用も含めて。福島のこともあります、今言ったようにこういった人的な問題、施設の問題、特に大型施設が必要である場合が多いです。それと、これは1対1で対応するのは放射能を使う場合に法規制の問題があります。これはどんどん厳しくなっていますが、規制はちゃんとすべきです。ちゃんと安全を確保してやるのは、これは当然なのですが、やはりそれをどう運用するかがこれから考えるべきかなど。諸外国と比べて、実はいろんな法規制の元になる数値は一緒なのです。ただ、運用の仕方が違って、諸外国は本当にこういう研究がやりやすく、医学利用なんかでもどんどんと研究されているのですが、日本はなかなか難しいと。ただ、これからはやっぱりここですね。これは規制庁さんとも一緒になって、いい方向で合理的な運用をして、しかも、全体の安全は確保するという、これはもう社会的なコンセンサスが要ると思うのですが、必要であると思っていますので、この辺、教育とかあとは施設の問題。

これは要求ばかりしていても問題、テーマはたくさんありますから、本当にいい研究を活発にやるというのが一番近道というか、大ごとですから、これは是非やりたいと思いますし、今やっているところですが、是非とも周りからのバックアップもお願いしたいという状況です。特に施設については、大きな施設をRIセンターという大学が持っているところは21

あるのですけれども、そういったところが集まって拠点化をしてはどうかという構想もございます。これは最後にちょっとだけ出てきます。

それで、あとちょっと大分時間を取ってしまっていますが、簡単に最近立ち上がってきたといいますか、クローズアップされている新しいわけではないのですけれども、注目されている研究例を二つだけ紹介したいと、ちょっとこれは駆け足で。

一つはミュオンを使った分析法、元素分析法です。ミュオンというのは一番親しみ深い、あまり聞いたことがないかもしれませんが、これは今宇宙線から降ってきていまして、手のひら1個ぐらいに1秒間に1個は来ているのです。だから、皆さんの体にどんどん今は言っています、一番親しみ深いはずなのですが、あまり意識されていない。加速器を使うと大量につくることができます。これを使ってあげると、宇宙から降っているのは、実は最近だとNHKでもやっていたピラミッドの中の部屋があったとかいうのを調べたり、これは非常に透過性があるので、そういうレントゲン写真みたいなのが撮れるわけですね。こういうのに使われているのですけれども、これを使うとマイナス粒子が入ると、原子の代わりにぐるぐる原子核の周りを回り出して、原子を新しいミュオン原子というのをつくります。これは人工原子。ミュオン粒子は電子の200倍重たいのです。質量が200倍重たいと、出てくるエックス線、エックス線が出るのですけれども、これ200倍高いエネルギーのエックス線が出ます。

そうすると何が起こるかという、エネルギーが高いと透過性が高いわけですね。そうすると、非常にでかい物質の中の元素分析が破壊せずに調べることができるというので、多分新しい分析法になるのであろうということでスタートしていきまして、実はこういうミュオンは加速器で使える、今言いましたけれども、それを大量に発生させて使えるような環境があるところというのは、実は世界中にはそうなくて、世界に今までは4か所、スイスのPSIとかラザフォード、イギリスですね、それとカナダのTRIUMF、それと日本のJ-PARCです。東海のJ-PARCでやったのですが、最近私は大阪大学ですけれども、大阪大学の核物理研究センターというところにもう一つビームラインができて、これは連続ビームで、J-PARCはパルスビームですので、違うのですけれども、世界で5か所です。そのうち2か所日本にある、これは非常にいいですよ、条件が。

だから、これから多分はミュオンのメッカになると私は思っていますけれども、これで何をやるかという、これいろんなことをされていますが、私はちょっと関係するだけ入っています。ほかはあまり分からないので。実はミュオン原子ができるメカニズムというのは分

子によって実は変わるのですね。メカニズムを調べるためにいろんな分子で分子効果を調べることで調べていきましょうという科学的な研究があります。これはミュオンとかパイ中間子でずっと私が学生のときからやっていたのですけれどもね。それとか200倍重たいと、200分の1小さい原子核のすぐ近くをぐるぐる回りますから、マイナスが1個回っていると、外側の電子は原子核の原子番号は1減ったように見えるのですね。そうすると、例えばアルゴンにミュオンが1個入って、アルゴンミュオンをつくると、ミュオンアルゴンかな、つくると、マイナスが1個回っているから塩素に見える。だから、塩素の電子になるかもしれない。本当の塩素と一緒に、多分違うのですけれどもね。その辺を見ようというのが実はかなりテーマとして昔からやっている、まだできていないのですけれども、これはちょっと趣味的な、基本的なテーマですけれども。

ただ、これをやっているうちに高いエネルギーが出るので、これは元素分析に使えると。しかも、中を調べることができて、深いところに、エネルギーを変えると深さ方向を調節できます。それで、ブームを振ってあげるとXYができますから、うまくすると三次元の空間分布ですね、三次元の元素分析ができると。しかも、多元素同時分析というので、ちょっと画期的な方法になるやろうと。しかも、近いところを回っていますから、原子核の。同位体によってエネルギーがちょっとずれるのですね。同位体も調べることができるというので、かなりユニークな面白い方法になるだろうと思っていまして、これ一例で大分前の実験ですけれども、こういう小判、皆さん、小判は金色をしているのは御存じだと思うのですが、実はこれ表面だけ金が多くて、中に入ると銀が合金なのですよ。江戸時代の経済状態によって銀がたくさん入ったりいろいろ変わるのですけれども、これをエネルギーを変えて、運動量ですけれども、変えてあげると表面で止めたり深いところで止めたりできます。止まったところの元素が分かるのですね。

実はこの辺が金のエックス線、ミュオンのエックス線です。エネルギーが高いですね、400KeV、この辺が銀です。赤が表面、青が深いところ。これ違いますよね、ちょっと分布が違う。表面は金が多いのですね。分布を見ると、やっぱり表面は金が多くて、深くなると銀が多くなるというのが見えて、これはもちろん標準資料で分かっているのですが、方法論として確立して、これから三次元分析をやりたいということになっておりまして、それで、実は去年から新学術領域で、これはやっぱりエックス線の測定器が優秀だとどんどんいいことができますから、実は宇宙観測用の検出器というのはすごいいいのがあるのですね。これを使ってあげて、いろんな分野で応用しましょうという新学術領域がスタートしま

して、その中のキーワードがミュオンです。その中でここです。元素分析を中心的に、これは私のスタッフ、若い人が今班長で頑張ってやっております。今の新学術は大分若い人がやるのですね。

それで、それを使って何ができますかというものです。例えばはやぶさ、これは待っています。分析しようと。当初はごついカプセルで落ちてきますから、カプセルのまま中を開けずにビームを入れて調べようということを考えていましたけれども、今はちょっと開けてやろうと言っていますけれども。それとか、表面を削ったりできない考古学資料、貴重な資料の中の分析、あとは産業利用ですね。これはエネルギーが高いですから、軽元素の分析が得意です。炭素とか酸素、窒素なんかの分析を簡単にできます。しかも、バルクなものができる。これは産業界で非常に要求されているようです。

もう一つは、これ燃料電池、リチウム電池なのですけれども、リチウム電池は非常に問題ですね。この電池を動かしながらリチウムの動きを見ようというのもやっています。だから、割と産業界のインパクトはすごいですね。こういうのを今 J-PARC を使って非常に中心的にやっていると。だから、新しい量子ビームが展開できるというのが例です。

もう一つ、今度は放射性核種を新しい方向で使おうというので、非常に割と最近アルファ線を出す核種を使ったがん治療をやしましょうということをやっております。これはエックス線を使ったこの中の CT とかこういうのは、もう皆さん御存じのとおりなのですが、最近では陽電子を出すような核種を体内に入れて、がんに行くような薬剤につけてあげるとイメージングができて、がんの診断に使えるというようなことで PET とよく言われていますように使われていますよね。がんのところに行くのだったら、そこにがん細胞を潰せるような放射線を出す核種、例えばアルファ線とかベータ線、こういうのを入れてあげれば同時に治療ができるだろうというわけです。アルファ線が非常に有効ではないかというのが最近出てきています。こういう診断と治療を同時にしましょうというのがいわゆる核医学と言われる分野の最近の動きです。そのためには、RI、放射性同位体が必要ですから、我々の分野とタイアップして今やっているというところでは。

それで、核医学で使うものは今の PET なんかは、この辺のベータ線を出すのは、これは今の核図表です。量子と中性子でプロットした二次元をちょっと横から見ているのですけれども、これは赤のところがそうなのです。陽電子を出すもの、ベータ線を出すこれは治療にもう現に使われているストロンチウムとかイットリウム 90 とかこういうのがありますけれども、最近ではアスタチン 211 とかアクチニウム 255 とか、こういうアルファ線を出すよ

うな核種を使って治療しましょうというのが今始まっているところです。この辺の新しい応用が開ける核種をつくることができると、医療についてのイノベーションがどんどん起こるだろうと。そういう基盤的なところを放射化学が担うのではないかと考えています。

実は、そうはいつでもこれをつくる必要がありますから、今現在は日本はなかなか原子炉がそれで製造したり難しいので、加速器でつくれるもの、これをメインでしておりまして、これはうちの大阪大学の核物理研究センターの中野先生が中心になって、日本国内のR Iをつくれるような加速器を連携させてプラットフォームをつくっています。この中で放射性核種を供給すると、研究者に供給するというをやっております、これは非常にうまく動いています。これはもっと多分発展する必要はあると思うのですが、この供給体制はできているのですが、研究レベルはいいのですが、これ本当に治療が動き出すと、これでは全然足りない、これは基本的に考える必要がありますけれども、これは後でもう一度出てきます。

アルファ線は何がいいかといいますと、実は御存じのとおりアルファ線というのは紙一枚ぐらいで止まります。ヘリウムの原子核が飛んでいますので。だけれども、そこで大量のエネルギーを失いますから、がん細胞のところさえ持っていけば、アルファ線核種を持っていけば、がん細胞のところだけ潰して周りまで行きませんから、正常細胞まで影響しないので、非常に副作用が少ない、しかも、非常に有効な治療ができるのではないかとことです。ただ、これちゃんとしないとがんと違うところへ行くとそこに影響しますから、実は医学界ではアルファ線核種はタブーだったそうなのですね、最近まで。だけれども、実はこの下に出ているような3年前から、三、四年前ですね、アクチニウム225というのをを使って、これ前立腺がんが全身に転移した人の図なのですから、この小さい点々は全部がんです。ここでちょっと末期ですよ。これにアクチニウムをPSMAという前立腺がんに行く薬剤があるので、それにひっつけてあげて投与すると、きれいになくなっていきます。もう一度投与すると、実はがんマーカー、ちょっと小さくて見えませんが、PSAというがんマーカーを見ると正常値になると。だから、完治したというのが出まして、これはアルファ線はすごいというので、世界中でこの分野の医学の先生方が注目して、多分世界的にはアクチニウムを今注目して研究が進んでおります。

我々のところは、実はアスタチンを使いましょうと。なぜかという、アクチニウムは原料がトリウム、その前のウラン233とかそういったものが原料になったり、加速器でつくるにしてもトリウムとかラジウム226とかそういったものになりますので、ちょっとすぐ

に大量には日本で難しいというので、ビスマスにアルファ線を当ててつくることができるアスタチン²¹¹、これを対象に今はやっております、今、大阪大学ではこの四つぐらい、共同研究でもっとたくさんやっているのですけれども、一番進んでいるのがNaAt、要するにヨウ化ナトリウムの代わりにアスタチンにしたものですね。これは甲状腺がんの治療法として、ヨウ素の¹³¹というのが使われています。その代わりにアスタチンはヨウ素の下は同じハロゲンですので、全く同じやり方でできるわけです。多分人間にやるには一番早いだろうというので、実はこれが一番進行しております、多分2年以内ぐらいに治験が始まると思っています。

それ以外にがんに行きやすいこういうアミノ酸を含んだようなもので、すい臓がんとか脳腫瘍を狙ったもの、いろいろな抗体が今ありますから、これにアスタチンをつけて、いろいろながん種に行くようなものを開発しております。

実際には、こういった分子にアスタチンをひっつけることをやって、まず細胞で実験して有効だったらマウスにやって、これで有効だったら非臨床試験、臨床試験というふうに進むのですが、実際には我々のところはまずアスタチンをつくるというところから始まりますから、加速器でこういった反応でつくりまして、実はアスタチンはちょっと書いていますのは、ヨウ素の下でハロゲンなのですが、寿命が長いものはないのですね。長いものでも8時間の同位体しかないです。だから、実は大量に持ってきて、いわゆる普通の科学的な研究というのは実は穂とされていない。だから、アスタチンは化学的性質は実は未知に近い、ヨウ素に近いと思っていますが、分からないのですね。そういう分からないものの医学利用は怖いですから、やっぱりアスタチン自身の化学研究もしましょうと、これは私の研究室でやっているところです。

こういったものをタイアップして研究を進めるということで、これが最近の成果の一つで、NaAtです。甲状腺がんを狙ったもので、これはマウスに甲状腺がんをひっつけてあげて、がんが大きくなっている様子ですけれども、NaAtを注射すると集まっています。イメージングで分かるのですけれども、がんを集まって行って、このアスタチンを入れなかったものが白です。入れたのは赤ですけれども、1回アスタチンを入れてあげると、どんどんがんのサイズ、がんの大きさです。これがどんどん大きくなっているのですが、アスタチンを入れると全然大きくならない、完全に抗がん作用があるということが見えてきております。これは今非常にいい成績ですので、今は安全試験をやって、非臨床をやっております、だんだんと臨床に行こうとしています。

もう一つはアクチニウムの例です。これは先ほど言いましたハイデルベルク大学でセンセーショナルな結果が出た当本人、ジゼル教授という方が大阪大学にクロスアポイントで来ていただいています、今共同研究をしています。国際共同研究の最初の成果です。すい臓がんを狙いまして、すい臓がんは実は全体を囲うような間質というのですけれども、膜をつくるのですね。それで抗がん剤なんかが行きにくくなって効きにくいのですが、その間質に入るような分子を合成して、それで非常にすい臓がん効いたというふうな例をこれつい最近発表しました。これはどちらもプレスリリースしますと、かなり反響がございます。新聞なんかで取り上げられまして、ですから、こういったので、今これがどんどんいろんな薬剤について研究が進んでおりますので、これを是非とも我々の分野の一つの強みでもありますし、医学に非常に貢献するということなので注目しているところです。

ちょっともう時間を大分取っちゃいまして、最後まとめですけれども、書いているのは言ったことばかり書いてあります。御存じのとおりR Iはとにかくエネルギー以外の産業界、医療、もう欠くことにできないのは明らかなのです。それと、研究面でも非常に新しいものがどんどん出てきておりますが、福島でも大事です。だけれども、問題はやっぱり基礎研究をするところのパートがどんどん弱ってきている。これを何とかしたいなど。それと、設備ですね。法規制とタイアップして、やっぱり設備はちゃんとする必要がございますので、その辺をこれから検討が絶対必要であるというので、これはほっといても仕方がないので、例えば一つはもちろん国に対していろいろ言うとか、学術会議とかと組んでいろいろな分科会で我々のところも入って提言を出したりもしております。この原子力委員会でも是非ともアピールしていただきたいと思っております。

それだけじゃなくて、やはり学会ベースでやられることですね、国際連携も含めて。R I施設は今拠点化を目指して動いておりますし、あとはもう大学ベースでやること、大学の中でやっぱりできることはやっていくということがありまして、ここからは半分宣伝ですけれども、例えば来年、国際会議を今企画しております。郡山、これは福島の近くですね。海外をたくさん広めに、分野を広げて多くの方に来ていただいて福島の原発の方にも行っていただくと思っていますけれども、こういったことを今企画しておりますし、施設の連携というのも構想案があります。これは是非ともいろんな関係省庁を回ってお力添えいただきたいと思っております。

これは日本全体にたくさんR I施設があつて、大学だけでも何百とあるのですよ。これは本当にどこも老朽化している、全部じゃないのですけれども、ありますから、全て要るか

いうとそうではないのです。ただし、なくなると教育人材ができない、育成できない。ですから、やっぱり連携、ネットワーク化、拠点化は必要だろうという方向で、将来的には日本全体の中で最適配置をして、機能集約をして、そうすると、全体の国としてのセキュリティ、リスクの管理の面でも改善されるだろうというので、やっぱりこれは国全体を考えても必要な方策ではないかなと思っております。それと、もちろんこれを整備することで人材育成の機能を強化したいと思います。

これは私の大学の宣伝でして、大阪大学、実はR Iの施設が17もあるのですね、大学の中に。これをちょっと統合する組織をつくりました。その中で部局横断的な研究とか教育をやるということでも今やっています、先ほど紹介しました医学利用なんかはここでやっているところで、今の核融合のアルファ線治療はそれ以外の福島大学とか理研とか放医研とかいろんところで今連携してやっているところでございます。

それで、最後これも宣伝ですね。大阪大学は今年からいわゆる卓越大学院で一つプログラムを採択いただきまして、しかも、量子ビーム、要するにキーワードに放射線とかR Iとかが入っています。これは珍しいと思うのですね。これをやっぱり強みにして人材育成、教育の中核にもなっていきたいと思っています。

これで一応終わりです、すみません、大分時間を取りましたけれども、今まで言ったことばかり書いてあるだけですけれども、特に教育は日本が放射線教育があまりよくないというか、本当は世界一すばらしい教育をすべき立場だと思うのですね。そこら辺を含めて人材育成、人的資源、それとちょっとだけ言っておかないかのは、実は一昨日ちょっと医学部の先生と話ししていると、この大規模R I制度というのは、実は日本でR Iは輸入しちゃうになっちゃっているのですけれども、ですから、大量につくる技術が実は失われているのですね。だけれども、多分これから必要であると。今言った医学利用が本当に始まると、こういった核種をやっぱり国内でもつくれるようにしたい。それと、テクネチウム99mというのは今医学の世界で大量に使われている、一番使われているのですが、何年か前に供給が減りまして大問題になりましたね。それ以降、国内製造の話をしてはいますが、実は今の新型コロナの今現在も聞いてみると困っていて、製造している原子炉の運転者が来なくなって止まっているところがあるとか、飛行機が減っていますよね。輸入ができないとかいうのも実は起こっているそうです。やっぱりそういうことを考えると、国内で全部を供給するじゃないですけれども、つくれる体制は絶対必要だろうと。これは別に放射化学というよりは、日本として基礎化学、そういう医療とか産業を支えるためにも必要であると。

これ急にはできません。本当にベースの基本の技術が今損なわれていますので、そういう人材育成から始めてやる必要があると思っていて、これちょっと昨日、一昨日、医学部の人と話ししていて気が付いたのですけれども、その辺だけプラスアルファで言っておきたいと思っております。

すみません、時間を大分取りまして。

(岡委員長) ありがとうございます。

それでは、質疑を行います。佐野先生、いかがでしょうか。

(佐野委員) 篠原先生、大変興味深いご説明をありがとうございます。

放射化学という一般には聞きなれない分野が実は環境分野、医療分野、宇宙分野あるいは産業利用等々、広範な分野において非常に大きなポテンシャルを持っており、かつ日本がこの分野で、潜在力を持っているという御説明いただきまして、大変感銘を受けました。

それで、68ページの課題と取組の中の、人材・教育の必要性あるいは緊急性が高いという御説明だったと思いますが、この大変興味深い分野で子供たちも興味を持つであろう分野を具体的にどういう戦略で進めていかれるのか。国への要請とか学会とか、それから、おの大学の取組を通じて、子供たちや学生たちあるいは若い研究者たちにどういう形でインパクトを与えていくのがよろしいかと考えますか。

もう一点は先ほど国際協力の話がありましたけれども、日本がこれ先頭を切っているという理解でよろしいのでしょうか。

(篠原教授) 分野によっては。

(佐野委員) 分野によるのでしょうかけれども、その国際協力を進める上で、例えばIAEAやそのほかの国際機関を活用していくのが一つの方法なのだろうと思うのですが、そのあたりの考えをお伺いしたいと思います。

(篠原教授) ありがとうございます。

まず、人材といいますか、生徒さんというか一般社会も含めて、多分これ今人材で困っているのは大学、我々の立場からいうと、我々の研究室とかいろんな研究室がたくさんあるのですが、そこに学生がどれだけ集まるかがまず一つポイントであります。それはもっと手前にやっぱり放射線、放射能という学生の持っているイメージがやっぱり客観的に見るとあまりよろしくないのですね。それはもっと学校教育、小中を含めてそこら辺から多分どういう教育をするかももう一度考えて、実は指導要領に放射能のことが大分入ってきてはいるのですが、やはりちゃんと教育ができていないのではないかなと思っています。

ですから、そこら辺からももう少ししっかりした形で、ちゃんとした放射能、放射線の教育を入れると。そのためには、一番問題は指導要領に書いてあっても、教える先生の方が知らないのですね、今は。もうかなり根が深いのですよ。ですから、まず我々学会として考えているのは、教員とかも対象に教育、教員の教育をまずやらないかのかなと。それと、学校教育の中にうまく取り入れてもらうということは、まずは何らかの形でいろんなところと連携してやっていきたいなど。それをやらないと、まず根元からやっぱり知識が大分不足していて、それで、何かあったらネガティブな情報ばかり入ってきていますから、なかなか面白いことをやっていますということと言っても、なかなか ですね。

福島の事故があったときだけはうちの研究室が満杯になったのですが、それはむしろ問題意識を皆さん持ったので来たのですけれども、今はまた落ち着いていますけれども、ですから、一つは学校教育、それとあとは社会人教育も含めて、その親御さんも含めてやらないと、実は研究室に来る学生なんかで、特に女子学生なんかは興味を持ってくる人がおるのですが、親に反対されたとかいうのですよ。やっぱりそこら辺は大分根が深いです。

ですから、ちょっとそこは時間をかけながら学会等も含めて、やっぱりそういう社会教育、学校教育にコントリビュートする必要があるかなと。その辺はちょっと我々の方も少し今まで力を入れられていなかったかなと思っています。それを是非やりたい。

それともう一つは、やっぱりいろんな人が見て興味あるというか面白いというふうなアピール性が高いというのかな、そういう研究結果、成果をうまく見えるような形で発信すること、今私もいろんなところでニホニウムのお話をしますが、あれは非常によかったわけですね。非常にあれは小さな学生なんか、生徒さんも興味を持ってすごく効果があります。ああいった種類のことをどんどん出していったらなど。ネタはたくさんあると思うのですね。それを今までうまく発信できていなかったのではないかなと。今のミュオンの話でも、これ面白い話なのです、実は。それは我々の方も努力してやるべきかなと思っていますし、何か国とかいろんなチャンネルをうまく使わせていただいでできたらなというぐらいですね。

一番の問題は、だけれども、大学で受け入れる側（がわ）の研究室が減っているのです、そこはちょっといろんなところに働きかけて頑張らないといけないと思っていますけれども、それはもっと研究のどんどん実績を上げて我々がやらないかんだと思うのですけれども。

それと国際連携の方は、実はもう実際には、例えば今の超重元素なんかではかなりトップを走っていますし、日本のサイエンスなんかでもトップを走っていると思っていますけれども、それぞれの学問分野では本当に連携が実はできています。組織的に例えば今言われていまし

た I A E A とかは、人材育成のプログラムは現に I A E A がいろんなプログラムを持ってまして、大阪大学で例えば医学系ですと、実際に人材育成のプログラムの協定を結んで、今実際に活動をもう何年も前からやっておりますので、それをどんどんと広げるということは、多分これからできるかなと思いますし、多分これからも例えば今度来年やるような国際シンポジウムなんかでも関係者を集めて、違う分野でもそういった連携をやりたいと思いますし、多分できる環境にはなってきていると思っています。それぐらいですよ。すみません。

(佐野委員) この前、I A E A の新しい事務局長のグロッシーさんが女性の研究者をサポートするため、近々マリ・キュリーフェローシップを創るのだという話をされました。実際先生の分野で女性の比率はどうでしょうか。

(篠原教授) 女の先生はすばらしいですけれども、今言われたのは非常にウイークなポイントで、ほかに比べてどうかな。特に少ないとは思わないのですが、基本的にやっぱり研究者まで、要するに博士課程まで行く女性のポピュレーションが非常に少ないですね。特にこういった分野、理科系では。そこら辺をどうするかというのが我々のところでは問題になるのですが、ちょっとそれは放射化学の問題というよりは、もうちょっと広い意味でやっぱりシステムをもう少し学位過程、やっぱり学生さんに聞いてみると、案外と私はそういった大学の中で放射化学とは直接関係ないのですけれども、学生と一緒にいろいろな活動をしていまして、OB を呼んできて学生にアクティベーションするといったときに、卒業生で社会で活躍している人を呼んできて話ししてもらおうと、非常に今の在學生は勇気づけられるのですね。自分の将来が見えますので。今頑張らないかん、何をやったらいいかというのが分かるのですけれども、そのときに案外と女性の方を呼ぶと、学部とか修士で出て会社とかに行くのですが、途中でやっぱり大学に戻って学位を取っているのもいるのですよ。割といますね。だから、子育てとかが終わって、それからでもやっぱりやりたいというのがいるのですね。非常にいいロールモデルで、女子学生なんかはよくそれを聞いていますけれども。

だから、多分今の大学院のシステム、特に博士課程なんかは何も博士が正規のルートだけれども、むしろそれでいく人は少なく、一回社会に出るなり何かいろんなパスでまた戻ってくるというプロセスをもっと強くサポートできるような体制をつくるというのが大事なかなと。そうすると、多分女性の研究者も増える可能性があるかなと。多分普通にいくと、人生設計はつくりにくいから、大体皆さんネガティブなのですよね。それはちょっと今思っているところです。

案外、たまにいます。マリ・キュリーさんが女性研究者で、ごつい超有名ですから、

それにあこがれる研究者がたまにいます。

(佐野委員) 是非頑張ってくださいと思います。

(篠原教授) ありがとうございます。

(岡委員長) 中西先生、いかがでしょうか。

(中西委員) どうも丁寧に御説明ありがとうございました。何十年も前ですけれども、PETの重要性はマツダ先生が主張して、それが多分日本がPET核種をつくるようになった走りだだったと思うのですね。放射化学も今ミュオンとか、あと大きな核種のことも是非声を大にして言っていたらと思っています。

一つ伺いたいのは人材育成、教員さえ少ないというのは、やっぱり人がちゃんと増えていないということかと思うのですけれども、そのための教育ですね。今までどちらかというところ、放射化学は理学部の化学で教えていたと思うのですけれども、例えば大阪大学では工学部とか医学部とか、そういうところの教育はどういうふうになっているのでしょうか。

(篠原教授) これ実は機構をつくる時に調べました。実はいろんな部局で放射化学というよりは、放射能に関する授業はたくさんあるのですね。たくさんというか、あります。ただ、やっぱりそれぞれ観点が違いますので、いわゆる今言っているような放射能を扱えるような人材に合うかどうかというのはちょっと分からないのですが、それぞれの部局でそれなりにあることはあるのです。

今この機構でやろうとしているのは、それを全部連携というか共有して、教育資源も共有化できますので、それでいろいろ考えた上で、例えば入ってきた1年生、初年度の学生にどのような授業を提供したりとかいうあたりから始めていって、それで、だんだん高学年になると多分分野として変わってくると思うのですけれども、そういうシステムチックな教育体制を是非ともつくりたいなど。実際には理学の化学で2年生の後半かな、我々のところはそれぐらいからしか、そこで初めてぼんと出るのでありますよ。それではやっぱりなかなか難しく、だから、いわゆる教育ですか、1年生ぐらいにちょっとベースになるようなことを今までも単発ではあるのですけれども、もうちょっと系統的に教えるようなことをできたらなど。それを今、大阪大学では多分できると思います。今そこで検討していますので。ただ、そういった教員がいないところではできないので、それをやっぱり学会ぐらいが動いて、教員派遣といいますが、出前授業的なことをやるとか、何かそうやって少し広げていって、多分一、二年生ぐらいに基本になるような授業をちゃんとすれば大分世界は変わるのかなと思います。

(中西委員) どうもありがとうございました。

(岡委員長) どうも大変ありがとうございました。放射化学の全体像を勉強させていただきました。化学が原子力利用で非常に重要な役割を果たしているということがよく分かりました。

幾つものグッドプラクティスがあると思うのですが、先生が会長をやっている学会がそのコアであるというようなこともそうだと思うのですが、後ろの方に大阪大学の放射線科学基盤機構の話がありますが、アイソトープセンターの一つの発展形というふうに理解しておりますが、これも日本の大学がほかのところも参考にすべきグッドプラクティスだと思います。

その次のページに応用卓越大学院プログラムとございまして、大阪大学は産業界との連携が非常にうまい大学と聞いておりますが、質問はこれの中に企業、法人の名前がいろいろ載っておりますけれども、このあたりは大学院プログラムでどういうふうな役割を果たしておられるでしょうか。

(篠原教授) これは、実はこれと同時に走っている産学連携のプログラムがあるのですね。これはJSTがやっている、そこに参画いただいている企業さんが大半なのですが、そっち側では実は共同研究で医学利用とソフトウェアですか、半導体の。研究を実はやって、それを社会実装しようということをしております。このプログラムの方に実はそういった企業、それ以外も入っているのですが、お願いしたのは、一つはこのドクターのコースに入ってきた学生さんのプログラムの中の一つに国内研修プログラムがあります。海外と国内とあります。国内のところでももちろん研究所とかに行ってもいいのですが、企業に例えばインターンシップみたいなので1か月とか数か月行くというプログラムがありまして、その受入れをお願いしたいということが一つの今の企業の方のミッションになっています。全部が全部受け入れてもらえるかどうか分からないのですが、それはお願いしているところですね。

あとは、授業を一つつくってまして、企業の方にやっていただく授業ちょっと用意してまして、多分2単位分全部をやれるような方は多分いらっしゃらないので、オムニバスになりますけれども、いろんな方に来ていただいて、順番に変わって授業をやってもらうと。それが非常に多分学生にとっては刺激になるかなと思っていますので、その辺が目玉の一つでもありますね。割と企業さんにも今協力を頂いて、もっと増やそうと思っているのですが、

(岡委員長) ありがとうございます。

もう一つ、最後に大規模RIの供給体制のお話とございまして、今、先生のところは加速

器で自分のところで半減期の短いアスタチンをつくっている。

(篠原教授) これは短いですから、近くに加速がある。今実際には核分析研究センターに加速器が今グレードアップ中で、工事中で、今現在は理研からもらってきているのですけれども、大体加速器を横に置いてあると。

(岡委員長) 加速器も小型化してきているので、うまい工夫をすれば、いい利用ができてというふうに思いますけれども。

(篠原教授) 多分これはアスタチンも量を増やすと、加速器は多分性能のいいのができるのですけれども、その後のハンドリングがなかなか大規模になると難しいですから、その辺の開発は要りますね。それと、やっぱり全体で、日本でそういうのができる大規模にテクネチウムとかいろんなものをつくれる組織だったものが要るかなという気がしています。

(岡委員長) もちろんそれだけじゃ駄目で、処理をして取り出すプロセスもある規模のものが要ると、そういうお話ですね。

(篠原教授) 全体ですね。一つ問題になっていますのは、アクチニウムとアスタチンはアルファ放射体というのが実は核燃料と一緒に、実は今廃棄物で困っているのですね。R I 協会が引き取らないので、それも込みで、トータルでやっぱりこれから考えていく必要はあるかと思えます。

(岡委員長) ありがとうございます。

先生方、ほかにございますでしょうか。

大変詳しいお話をありがとうございました。ほかにもいろいろ細かいことなら幾つかあるのですけれども、56ページにちょっとこれはそんなに大きな話ではないのですが、56ページの右の方にマッハ衝撃波緩衝領域での飛行中ミュオン触媒核融合の創生と書いてありまして、これは一体何のことかなと思って、ちょっと細かいのですが。

(篠原教授) これはちょっとまだ理論だけなのですよね。何か衝撃波みたいにすると、ミュオン核融合というのは御存じかと思うのですけれども、重水素と水素にミュオン分子、水素分子をつくったら非常に200分の1小さい結合をするので核融合が起こると。これは実証されていてももちろんあるのですが、その新しいやり方で、何か衝撃波をつくったら、その領域にそういう高密度の状況ができて、核融合がどうもエネルギーになるかどうかのブレークスルーが今微妙で、ちょっと足りないぐらいなのかな。それが低いという話だったかな。ちょっと私も詳しくは知らないのですけれども、そういう話で、これはまだ理論で、これを実証しようという研究です。

(岡委員長) 分かりました。

大変ありがとうございます。ますます御活躍を期待したいと思います。ありがとうございます。

(篠原教授) 是非とも御尽力をお願いいたします。

(岡委員長) それでは、議題1は以上です。

議題2について事務局からお願いします。

(竹内参事官) 今後の会議予定でございます。次回、第11回原子力委員会の開催につきましては、日時、3月31日13時半から、場所、8号館6階623会議室、議題は調整中で、後日、原子力委員会ホームページの開催案内をもってお知らせいたします。

(岡委員長) ありがとうございました。

そのほか、委員から何か御発言はございますでしょうか。

それでは、御発言ないようですので、本日の委員会はこれで終わります。ありがとうございました。