

ICRU 国際シンポジウム「福島復興と放射線計測」議事録

2023 年 7 月 3 日

産業技術総合研究所計量標準総合センター

1. 日 時：令和 5 年 4 月 19 日（木）13：00～17：40
2. 場 所：いわきワシントンホテル（アゼリア B・C）および Zoom
3. 定員：事前登録制：現地参加 50 名、オンライン参加 300 名
4. 参加者：会場 60 名、オンライン 116 名、報道 1 社（福島民報）
5. 議 題：ICRU 国際シンポジウム「福島復興と放射線計測」

（司会）齋藤則生：NMIJ 招聘研究員、ICRU 委員

齋藤則生です。NMIJ に所属し、ICRU 委員を務めております。東日本大震災から 12 年経ち、今回、ICRU 委員会をいわきに招致し、これにあわせて本シンポジウムを開催することができました。本日のシンポジウムは、福島復興と放射線計測に焦点を当てております。本日のシンポジウムにおいて、福島の現状と活動について ICRU 委員と日本の専門家の間で意見交換を行い、震災から福島の復興を内外にアピールする機会になればと思っております。まず初めに、ICRU 委員長 Vincent Grégoire 博士から開会の挨拶をお願いします。Vincent Grégoire 委員長、お願いします。

【開会挨拶】 Dr. Vincent Grégoire : ICRU 委員長

ご招待いただきありがとうございます。また、冒頭ご挨拶の機会をいただきありがとうございます。産業技術総合研究所 計量標準総合センター長、いわき市長、福島県企画調整部長、F-REI 理事長、ICRU の友人のみなさま、ご来席の皆様、ICRU 委員長としまして、皆様をこのようにお迎え出来て大変光栄で喜ばしく存じます。テーマは「福島復興と放射線計測」です。私は ICRU の委員長を務めております Vincent Grégoire と申します。1925 年に ICRU 国際放射線単位測定委員会が設立されまして、最初の会合はロンドンで開催されました。ICRU の目的は非軍事的な放射線の利用についての勧告を行うことです。つまり、医療、診断、放射線防護、そして放射線の計測などの分野です。齋藤委員からお話しがありました通り、世界から 15 人が ICRU の委員となっており、齋藤委員も含めて活発に ICRU の活動に参画をしてくださっています。そして、今年は日本で ICRU 年次総会を開催することになりました。これに私達がすぐに賛成したいいくつかの理由があります。今日午後のシンポジウムでも取り上げるトピックではありますが、私たちはチームとして放射線防護について取り組んでおります。また、炭素線と陽子線を使った放射線治療についての研究も行っており、日

本は粒子線治療のリーダであり、日本で開催されることを大変うれしく思っております。毎年 ICRU は平均して1つのレポートを出版しており、これまでに報告は97出しており、100近くなっております。本日の午後は放射線防護の分野でいくつかのテーマで講演されることになり、様々な分野から講演者をお招きしています。日本、そしてICRUから講演者が発表を行ってくださいます。これによってさらにはずみがついて、日本の専門家、科学者とICRUとの協力が深まることを願っております。F-REI 理事長と先週の土曜日に F-REI の設立記念シンポジウムに参加させていただきまして、共通の内容が数多くあるということを知りましたし、様々なテーマで協力が可能と感じております。本日午後は、良い議論がそれぞれの発表の後でまた、総合討論の場でも行われることと確信しております。ありがとうございます。

齋藤：

Vincent Grégoire 委員長ありがとうございます。次に、ご来賓からご挨拶をいただきます。ここから日本語にてご紹介いたします。（レシーバーの説明。）

本日は、多くのご来賓にお越しいただいております。ここでご来賓を代表しまして内田広之いわき市長にご祝辞を頂戴いたします。内田市長宜しくお願い致します。

【来賓挨拶】 内田広之氏：いわき市長

皆様こんにちは、内田広之と申します。いわき市市長です。いわき市にお越しくださってありがとうございます。ICRU 国際シンポジウムの開催にあたりまして、開催地を代表いたしまして一言お祝いの言葉を申し上げたいと思います。本日は、国内外のたくさんの専門家の方がお越しくださいませ、この初めての国際シンポジウムが行われますことを心からお喜び申し上げたいと思っております。

ここ福島県いわき市は、福島第一原子力発電所から 30 km 圏内に北部のエリアが該当しております。それで、東日本大震災の際に大きな影響を受けております。東日本大震災の際には、大地震、大津波、そして原子力災害がございました。複合災害でございました。その際、特に放射線の影響というのが非常に大きかったです。特に、当時、一般市民の間で放射線に対する知識が十分でなかったために、商工業、観光業、そして農林水産業などいろんな分野で風評被害がおきまして、それがいまだに継続しているという状況でございます。こうした未知の世界に対して、風評を払拭していくためには、正しい知識、そして正しい情報をしっかりと共有していくことが風評の払拭につながっていくと思っております。こうしたことから、ICRU におかれましては、放射線、放射線の量や、単位の定義、そして測定、また、診断や治療における正しい利用の促進ということを行っておられまして、そういったものに対する国際的な報告を目的としておられる活動をしていると伺っておりまして、正しい情報、正しい知識の普及のために本当に重要な委員会だと思っております。本日のシンポジウムを通しまして、放射線に対する国内外の知見、様々な実績の情報、そして様々な知識

の共有が進むことが、浜通り地方全体の復興の加速につながるというふうに考えております。先般、F-REI 福島国際研究教育機構も開所致しまして、そういった世界最先端の英知が今後集まってくる運びとなっていてございまして、そういった流れからも、我々様々な知見を今後、産業界、学术界、地元の様々なリソースと結び付けながら、浜通りの復興、そして世界の発展の貢献につなげて参る所存でございます。

結びになりますが、主催者であります F-REI 福島国際研究教育機構並びに産業技術総合研究所、そして国際放射線単位測定委員会の益々の発展を祈念致しますとともに、皆様方のご活躍を心から祈念申し上げまして、地元を代表してお祝いのご挨拶とさせていただきます。本日は開催、誠にありがとうございます。

齋藤：

内田市長ありがとうございました。

続きまして、来賓を代表し五月女有良福島県企画調整部長よりご祝辞を頂戴いたします。五月女様宜しく願い致します。

【来賓挨拶】 五月女有良氏：福島県企画調整部長

福島県企画調整部長の五月女でございます。一言、ご祝辞を申し上げます。本日、国際放射線単位測定委員会、ICRU 国際シンポジウムがこのような盛大に開催されますことを心からお喜び申し上げます。また、主催の ICRU Vincent Grégoire 委員長、産業技術総合研究所計量標準総合センター白田センター長、福島国際研究教育機構、F-REI 山崎理事長をはじめ、本シンポジウムの開催にご尽力をいただいた関係の皆様へ深く敬意を表します。震災と原発事故から 12 年が経過する中、先月から今月にかけて浪江町、富岡町の特定復興再生拠点区域の解除に続き、飯館村の同区域においても、来月 1 日の避難指示解除が決まるなど、本県の復興は着実に前進しております。一方で、今もなお多くの方々が避難生活を続けておられるほか、廃炉と汚染水・処理水対策、除染による環境回復、風評と風化の問題など、本県は多くの困難な課題を抱えております。こうした中、ここ福島で 16 日から ICRU 年次会合が開催され、本日は ICRU 国際シンポジウムを開催いただきました。「福島復興と放射線計測」をテーマとした本シンポジウムを通じて、福島県の環境回復など、復興再生に資する議論が深まるとともに、関係者の皆様方の研究活動等のさらなる発展につながることを大いに期待しております。また、ご参会の皆様方におかれましては、専門のお立場から本県の復興に一層のお力添えを賜りますようお願いを申し上げます。結びに、本シンポジウムのご盛会とお集まりの皆様方の益々のご健勝とご活躍を心からお祈り申し上げ、挨拶と致します。本日は誠にありがとうございます。

齋藤：

五月女部長ありがとうございました。

続いて、共催機関から臼田孝 産業技術総合研究所計量標準総合センター長から挨拶をさせていただきます。臼田総合センター長宜しくお願いします。

【挨拶】 臼田孝氏：産業技術総合研究所計量標準総合センター長

Dr. Vincent Grégoire ICRU 委員長、山崎光悦 F-REI 理事長、いわき市並びに福島県関係の皆様、後援をいただいた復興庁、経産省関係各位、そして、ご出席の皆様、本日は国際シンポジウム福島復興と放射線計測開催へのお力添えを賜り、また、ご参加に心より感謝申し上げます。わたくしは産業技術総合研究所計量標準総合センターの臼田孝と申します。共催機関の一員として開催にあたりご挨拶を申し述べます。

現代社会はテクノロジーによる恩恵を享受する半面、様々なリスクに直面しております。しかしながら、人類はそのようなリスクを教訓として共有し、よりよい未来に生かす術も構築して参りました。その際、科学的なエビデンスに基づく開かれた議論は欠かせません。F-REI は、正に世界の英知を結集し、創造的復興を目指し設立されたものと理解しております。そして今般、ICRU はその理念に共鳴し、本シンポジウムに先立ち F-REI に集い年次総会を開催するに至りました。世界各国から参集いただいた ICRU 委員各位に改めて感謝申し上げます。本シンポジウムでは、総会で議論された放射線計測に関する専門的な内容も含め、最新の知見を一般の皆様に分かりやすく共有いただけるものと期待しております。産業技術総合研究所では様々な「はかる」基準の開発に取り組んでおります。計測結果の信頼性、同等性の向上には、国際的な標準化とそのための合意形成が欠かせません。その点で私共は、ICRU をはじめとする多くの国際機関と日頃より協力しております。今後も放射線計測を中心に、様々な機関とともに F-REI の事業に協力して参る所存です。

最後になりますが、このシンポジウムが放射線計測への正しい理解につながり、福島復興に貢献することを願っております。皆様方のご理解とご協力に心より感謝致します。

齋藤：

臼田総合センター長ありがとうございました。

最後になりましたが、主催者を代表しまして福島国際研究教育機構 F-REI 山崎光悦理事長よりご挨拶を申し上げるとともに、新しく設立されました F-REI の事業内容についてご紹介をさせていただきます。ではまず初めにこちらの動画をご覧ください。

動画再生。

●「福島国際研究教育機構の紹介」

山崎光悦氏：F-REI 理事長

皆さんこんにちは、今、ビデオに出ていた山崎でございます。まずは地域の自治体、皆様方、AISTの臼田さん、ご挨拶ありがとうございます。こうしたかたちで国際シンポジウムを開催させていただけること、大変、我々としてもありがたい、名誉なことだと考えております。

（スライド投影）先ほどの7分のビデオで、F-REI、福島国際研究教育機構の内容についてはご紹介できたつもりでおります。最初のシンポジウムを実は先週の土曜日に同じ会場で私ども開催をさせていただきました。一部のICRUのご参加の皆様もご参加いただいたのではと思いますので、中には今のビデオを2回ご覧になった方もいらっしゃると思います。強調したいのは、この福島、あの事故から12年が経過を致しましたが、特に1Fに近い大熊町とか双葉町、あるいは、葛尾村とか浪江の山手のところなどなかなか厳しいところが残っているのが現状でございます。ICRUの皆様方は日曜日からはまったこの国際会議でいろいろ放射線の単位についてご議論があったというふうに理解をしておりますが、多分お疲れでしょう。大変ご苦労様でございました。今日の午後はリラクセスしていただければと思います。それから明日はエクスカージョンということで、いろいろ見ていただくことになっていると聞いていますけど、特に1Fに少しお入りいただいて、我々問題になっているのが、原子炉のうちの1号炉、2号炉にデブリが残ってしまっていて、F-REIもその廃炉に資するようなロボット技術の開発と、もう少し具体的に申し上げますと、真っ暗な水の中、しかも放射能に汚染された放射能濃度の非常に高い中で、下のところにはデブリがありますので、ロボットとしては非常に厳しい環境で作業をすることになりますので、世界の最先端の技術を持ってしてもなかなか今のところクリアできていませんので、我々が廃炉の処理の下支えをさせていただきながら、且つ、その研究成果をいろんな分野に広げることで、世界トップレベルの研究機関になろうとしているのは一例でございます。先ほど5つの研究分野を紹介しましたが、その内の1つです。また、その応用で農業分野。除染がまだまだ終わっていないところが結構あります。そういったところの除染を進めながら、農地、圃場をしっかりと元に戻して、そこでは大型の最先端のスマート農業を展開しようということで、日本の農業は零細でコストがかかってなかなか諸外国と対抗できないという状況にありますので、それをどうやって覆すと言いましょうか、チャレンジすると言いますか、新しい農業を福島の浜通りから日本中に広げていこうというようなことを第2番目のテーマであります。放射線の負の面だけではなくて、私どもは放射線科学という、人間にとって利益になる部分を医療応用とか産業応用とかですね、いろんな面から進めていきます。また、1Fの事故を起こした日本という国としてですね、この汚染の状況が環境動態モニタリングによってですね、どれくらい元に戻るかと、そここのところもしっかりこれから、もう12年計測していますけど、さらにその計測網をしっかり受け継ぎながらそのデータを整理しアーカイブ化をして世界に発信してまいりたいと考えております。ですので、是非具体的に、明日のエクスカージョンでは、まだまだ除染が終わってなくて、一部はバスの窓からも見ることが出来ると思いますが、我々の同胞がまだもとに戻れていないという、帰還困難区域をたぶんご覧になると思いますので、12年経っても未だに住まいがもとに戻っていないという、あ

るいは1Fの中ですね、ALPS処理水のタンクが平地に見る限りところ狭しと立ち並んでおります。そんな状況やら、実際に展望デッキというのが出来上がっていますので、そんなところでご覧いただいて実感をしていただけたらなと思います。我々一生懸命、一日も早く廃炉の処理が終結するように、また、除染の活動が終わって、帰還困難区域に人がもどってくるようにいろいろ努力をしております。そんな現状を見てお帰り頂けたらなと思います。ご参加いただいたことに改めて感謝を申し上げ、また皆さんにいろんな知見をお持ち帰りいただき、また、我々に教えていただいくということを是非宜しく願いをしてですね、今日のシンポジウム最初のご挨拶とさせていただきます。最後までどうぞ皆さんご参加宜しくお願い申し上げます。終わります。

齋藤：

F-REI 山崎光悦理事長より事業についてご紹介をさせていただきました。ありがとうございました。では、ここからは福島復興と放射線計測をテーマに、講師の皆様方にご講演をいただきます。休憩までの前半の司会を産総研の佐藤が努めます。ここからは英語でシンポジウムを進めさせていただきます。日本語でお聞きの方は同通レシーバーをチャンネル2でご使用ください。

佐藤：NMIJ 主任研究員

齋藤則生博士ありがとうございます。このセッションの座長を務めます佐藤泰です。計量標準総合センターから参りました。テーマは「福島復興と放射線計測」です。それでは最初のスピーカーをステージにお招きしたいと思います。深堀智生博士 日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門福島研究開発拠点副所長でいらっしゃいます。タイトルは、日本原子力研究開発機構の福島第一原子力発電所廃炉に関わる研究開発の取り組みです。どうぞ。

● 「JAEA R&D Efforts for Decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS」

深堀智生氏：日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島研究開発拠点 副所長

座長どうもありがとうございます。ご紹介ありがとうございます。まず、この機会をいただきましたことを感謝申し上げます。このタイトル、日本原子力研究開発機構 JAEA の私どもの取り組みについてお話しさせていただきます。JAEA は、福島の事故の当初、早い段階から研究開発支援を行っております。福島第一原子力発電所の廃炉に関わる分野だけではなく、福島地域の環境回復の分野での支援も行っています。本日は、廃炉関連の研究開発にフォーカスしてお話ししたいと思います。

まず、皆様のご記憶を呼び起こすために、事故のところからお話しを始めたと思います。皆様も覚えておられる通り、2011年3月11日に東北地方の太平洋沖に地震が発生しまし

た。記録ではマグニチュード 9.0 という巨大地震が発生しました。福島第一原子力発電所の原子炉がまず安全にシャットダウンされましたが、電源が喪失し、冷却機能が喪失され、その結果、INES（注：国際原子力・放射線事象評価尺度）レベル 7 の原子力事故となりました。その後、避難を余儀なくされ、原子力発電所近くから避難をせざるをえませんでした。しかし、今では多くの方々が戻っておられます。近い将来には、帰還を希望する方々全てが戻ることができることを願っております。

これが現時点での福島第一原子力発電所の 1 号機から 4 号機の状況の推移です。この推移は主に廃炉のマイルストーンを示しています。燃料プールから使用済み核燃料を各原子炉からまず撤去します。3 号機と 4 号機では既に取り出しが終わっていますが、1 号機と 2 号機では燃料プールにまだ使用済み核燃料が残っています。福島第一原子力発電所の廃炉で一番難しいのは、燃料デブリを取り出すという問題です。こちらが 4 号機で、左側が現時点、そして右側が事故当時です。かなり変わってきています。これは 3 号機。こちらが 2 号機。そして 1 号機です。福島第一原子力発電所の廃炉において、研究開発における残る大きな課題は、以上のように考えています。

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた残された課題と研究開発ニーズに対して、わたしたちは支援を行う機関として、とても険しい山を登るような廃炉の中で、シェルパの役割を果たしていると考えています。例えば、大量の放射性物質が非密封状態で、また状況がよく分からないまま残されています。また、放射性物質を閉じ込める障壁が完全ではありませんし、状況も不確かです。そしてまた、アクセスが難しい。ここで不明な道については減らしていき、そして不明なことを既知にしていく必要があります。研究開発によってデータを収集・統合・分析をして、特性付け、可視化、そして安全性とリスク評価の手法が必要とされております。常にそういったことを念頭に研究開発を行っております。

それでは簡単に JAEA の福島関連の研究開発の拠点、施設についてご紹介したいと思います。ポインター、ご覧になれますでしょうか？今、私達、ここ福島、いわき市に滞在しています。私達 JAEA は、7 つの活動拠点が福島にあり、檜葉、富岡、大熊、南相馬、三春に 5 つの研究センターがあります。緑色のこの 2 つの拠点は、研究開発として環境回復に関連する研究開発に携わっています。残りは廃炉関連の研究開発を行っています。

こちらが NARREC です。遠隔技術開発を行っています。

こちらが大熊分析研究センターです。第 1 棟では放射性廃棄物の測定を行います。第 2 棟は建設準備中で、こちらは燃料デブリの測定を行います。

こちらは配布されておりますパンフレットの中にも入っています。この部分について、廃炉関連の燃料デブリ、それから廃棄物に関わる場所をお話いたします。主に、放射線測定に関するところ です。

まず、放射線の測定及び可視化について申し上げたいと思います。3 つの計測機器を組み合わせています。1 つが 3 D レーザースキャナーです。これはオプティカルカメラのように光学情報を測定しています。また、これがコンプトンカメラで、ガンマ線の測定を行います。

ガンマ線がどういう方向からきているのかも測定しています。そしてまた放射線サーベイメーターがあります。全てを組み合わせると1つのシステムに統合し、統合型放射線イメージングシステム「iRIS」と呼んでいます。これは見えない放射線のマッピングを行っています。こちらが一例です。これは1号機と2号機間の排気塔です。ここで蒸気ベントが実施され、セシウムによる汚染がひどいところですが、測定するのに近づくことが困難なエリアです。そのため、ちょうどこのあたりで計測を行っています。10分間の徒歩だけでこのように放射線マップを3Dモデリングで作ることができました。この手法は、ホットスポットがどこにあるかを検知するために使われます。作業員を放射線から守る上では大変重要です。また、福島第一の原子炉建屋の中での作業をどうするかということにも大変有用です。こちらがiRISの機器です。これがコンプトンカメラです。大きさとしてはルービックキューブよりも少し小さいくらいです。

では次に、アルファ線放出核種の計測について紹介します。こちらが福島第一原子力発電所で、燃料デブリがたくさんあります。燃料デブリにはアルファ線放出核種が多く含まれています。中がどうなっているのかを理解するために、アルファ線放出核種のモニタリング及び封じ込め管理が大変重要になります。リアルタイム高解像度アルファ線放出核種の可視化をしています。ここでは、アルファ線放出核種に最適化したシンチレータを使い、測定データにガンマ線とベータ線が混在することを低減することによって、このようなポイントデータが取得できます。これは顕微鏡に繋がっていて、アルファ線放出核種がサンプルのどこにあるのかを取得できます。また、アルファエアロゾルモニターを開発しました。これは、燃料デブリの切断の時に発生するアルファ線放出核種の粉塵をモニターするときに使われます。エアロゾルの流れから、どのようなアルファ線放出核種がどのくらい粉塵から放出されるのか連続的に計測することが出来ます。

またさらに解明したいと思っているのが、燃料デブリの分布や組成がどうなっているかということです。しかし、いまのところは直接デブリに到達することはできません。楢葉で作業員に対してロボットアームの取り扱いのトレーニングをしています。まず2号機のペデスタル（注：原子炉格納容器下部の円筒構造物）から行います。今の段階では、燃料デブリにちょっと触れる程度です。燃料デブリを回収する前に燃料デブリがどのような核種により構成されているのかが分かれば、どのように処理すればいいのかが分かります。また、光ファイバーレーザー誘起ブレイクダウン分光法（LIBS）も考えています。LIBSは、もう既に確立し使用されている分析法です。この分析法と光ファイバーを組み合わせると、遠くのサンプルに対して使えるようにしたいと考えています。例えば、ペデスタルの中の燃料デブリを分析したいということであれば、少なくとも50mは必要です。実際には100m程度の長い光ファイバー技術が必要であり、今、ちょうどそこに到達しようとしているところです。実際の測定を福島第一原子力発電所の中で行っています。福島第一原子力発電所にこのようなものを作っています。大きさとしてはこのくらいです。浜通りの産業界の人達とともに作ってきました。今、汚染されているサンプルを使ってテストを行っており、大変良い結

果が出ています。次はこれを燃料デブリに使いたいと思っています。

またシミュレーションも行っています。1号機から4号機まで様々な測定が東電等によって行われています。そのような情報を蓄積し、これらのデータを用いて原子炉建屋内の放射線量率の分布がどうなっているかシミュレーションしました。これが1号機、2号機、3号機。これは、実際の廃炉で原子炉建屋の上部の蓋を外すときや、横からアクセスする場合に使えます。原子炉格納容器からどのような放射線の影響がもたらされているのかが分かります。そうすると、実際の廃炉の準備、または設計に役立ちます。毎年このようなシミュレーションのアップデートを行い、結果を東電に提供しています。

最後ですが、デジタルテクノロジーを使って原子炉建屋の中を推定したいと思っています。いずれコンピューター上で福島第一原子力発電所のデジタルツインが作れば良いと思っています。檜葉研究開発センターNARRECでは、リアルツインがテストフィールドの中で作成できます。JAEAの中で、デジタルとリアルツイン、両方とも大変重要な情報を提供し、東電の廃炉の設計に役立つことを望んでいます。福島第一原子力発電所のために準備をしていますが、現在はJAEAの大洗にあるJMTRを使ってテストを行っています。こちらのサイトでまず測定点の最適化を行っています。勿論、数多くの点を計測するとホットスポットがどこであるかを簡単に推計できますが、ただ、全ての点を測定するのが難しい場合もあります。そこで少ない測定点を用いて、汚染されている地点の特定について結果を得ました。こちらが測定したデータ、こちらが推計で、両者が良好に一致しています。このようなデジタルツインテクノロジーを使ってこういう成果が出ています。今日ご紹介したのは、テクノロジーを駆使して高度な測定方法、高度なシミュレーション方法を使ったものです。JAEAは継続的に福島第一原子力発電所の原子炉の事故の当初から開発を続けています。これからも福島第一原子力発電所の廃炉のサポートを続けたいと考えています。

ご清聴どうもありがとうございました。

佐藤：

素晴らしいプレゼンテーションをありがとうございました。それでは短めのご質問のお時間がございますのでどうぞ。質問、マイクをお使いください。

Aさん：

シミュレーションにはどんな計算コードを使っていますか？

深堀智生氏：

PHITSコードを使っています。私もPHITSコードを作成している初期の担当者の1人です。

（拍手）

佐藤：

他に質問ありますか？

Dr. Roger Wells Howell：

大変素晴らしいプレゼンテーションありがとうございました。線量率をカメラのように見る機器に関しては、医療用に使えますか？特に放射線医学に関して、患者さんの安全性または実際に放射線を投与している人の安全性には重要かもしれません。

深堀智生氏：

はい。我々のテクノロジーを医療に適用することは可能だと思います。というのは、医療用というのは大変小さな領域です。我々は既にもっと大きな領域をやっているので、比較的簡単に我々のテクノロジーを医療用に使えらると思います。協力できると思います。

佐藤：

大変興味深い議論ではありましたが、残念ながら時間通りに進めてまいらなければなりませんので、深堀博士にはさらにセッションの後、また質問にお答えいただけたと思います。深堀博士どうもありがとうございました。

深堀智生氏：

ありがとうございました。

佐藤：

それでは次に、山下俊一 福島県立医科大学副学長にお話しいただきます。福島原発事故の教訓：公衆衛生上の緊急時対応と復興の限界ということでお話しいただきます。

● 「Lessons Learned from Fukushima Nuclear Power Plant Accident: Limitation of Public Health Emergency Response and Recovery」

山下俊一氏：福島県立医科大学副学長

議長、どうもありがとうございます。委員各位、およびゲスト、そして参加者の皆様、本日はこのようなかたちで皆様に対し、私どものチェルノブイリ原発事故および福島原発事故に基づく経験と知識について共有させて頂く名誉に感謝申し上げます。その上で福島県の医療現場で何が実際に起きたのかということをお話しさせていただきます。

まず私共がとりわけ注意を払わなければいけないことがあります。それは、原発事故が起こった際に、市民の健康危機の観点から、市民を守るためにどのように対応するのかということです。私ども緊急被ばく医療の専門家や対応者は、現場およびオフサイトにおいて迅速

かつ適切なかたちで、それも承認されたガイドライン、マニュアルやまた事前に計画された行動計画のもとで対応することが強く期待されております。そういった行動計画及びその実行については、放射線防護の国際標準に適合したかたちでなされなければいけません。しかしながら、危機時の健康リスクのコミュニケーションには困難な点があります。それは、市民や避難された方々は、放射線関連のリスクや規制についての知識を十分にもっていらっしやらないため緊急事態でのリスクコミュニケーションが極めて難しいわけです。それだけでなく、一般公衆は疑わしい情報や対立する価値観にさらされています。

ここにいらっしやる参加者の皆様におかれましては、どのようなメカニズムで放射線防護システムの文化が成り立っているのかをご理解のことと思います。放射線影響研究所、UNSCEARなどが科学的なデータを収集・評価し、WHO、ILO、OECD/NEA、IAEAが協力して基本安全基準を出し、ICRPが多くの重要なガイドラインや勧告を出しています。福島事故の前、残念ながら市民の方々はそういった国際的な体制や放射線防護の文化についてご存知ではありませんでした。

例えば、市民の方々が放射線疫学について、とりわけ、得られた集団データから解析された放射線リスクに基づく確率的影響の概念について、よくご存知ではありません。放射線の利点とリスクのバランスについて、市民に説明するのはとても難しい問題です。そういったこともあり我々としましては、適切な線量の測定そして評価と正しい病気の診断に基づく疫学の重要性を理解した上で、例えばこのスライドに書かれている甲状腺がん発症リスクの重要性に関しても理解しなければなりません。左側のグラフをご覧ください。こちらは、外部被ばくの実効線量に対する甲状腺がんのリスクが示されています。一方で、右側のグラフをご覧ください。右側のグラフにおきましては、内部被ばくによる等価線量と甲状腺がんのリスクを示しています。この両方のグラフによれば、幼少期の被ばく時に対して、100 mGy以上の線量により甲状腺がんのリスクの増加につながるということが分かります。一方で、私どもは甲状腺がんの高い検出率については注意する必要があります。とりわけ、潜在的なもの、そしてこの無症状のがんにつきましては、感度の高い超音波検査で検知されてしまうということもあり、福島のデータの解釈をどのようにするべきかについて後ほどお話しさせていただきたいと存じます。

このスライドにおきましては、放射線による健康リスク分析としてエビデンスのまとめを示しています。これらは、原爆被爆者やまたチェルノブイリの被災者の方々、そして福島の健康管理調査からそれぞれから得たものでございます。ご覧の通り原爆被爆者のデータによれば、外部被曝による線量および年齢依存性のがんリスクが、無制限の潜伏期間を経て生涯続くことが証明されています。しかしながら興味深いことに、精神心理的なメンタルケアは1995年の神戸大震災前に受けることはありませんでした。一方でチェルノブイリのデータでは、事故後の子供の甲状腺がんの劇的な上昇を示唆しています。これは非常に重要な問題を孕んでいます。チェルノブイリでは、外部被ばくではなく、短半減期の放射性ヨウ素による内部被ばくが小児甲状腺がんの原因となっております。これは呼吸ではなく食品の

摂取、特に放射性ヨウ素に汚染されたミルクの摂取など経口摂取によります。これは福島事故前から理解されていたことであります。しかしながら福島のデータを見ると、公衆衛生上の対応で食品の流通制限がなされていますが、放射線リスクコミュニケーションの改善の必要性が示唆されています。これは放射線防護で用いられている LNT モデル（リスクのしきい値のない直線モデル）では扱えない問題です。これら LNT モデルによる防護措置のあり方と実際の健康リスクの乖離については私共も既に、原爆被爆者やチェルノブイリ事故の被災者の経験から学んでいたことであります。

まず、福島事故前、皆さんは、チェルノブイリ原発事故による放射線の健康影響として子供の甲状腺がんが上昇したという認識をもっていました。こちらの地図はわたくしが 1991 年に旧ソ連から得た、セシウム 137 による土壤汚染の程度を表した地図です。この汚染地図で示されている通り、チェルノブイリ周辺地域に住んでいらっしやった人、そしてヨーロッパ全体に住んでいらっしやった方々が外部被ばくだけでなく内部被ばくについて大変な懸念を示されていたことが分かっています。この汚染地図に対してわたくしは日本のマップをかぶせました。この 2 つの事故に大きな違いがあります。例えば、被ばく線量の違いと健康リスクへの影響に関する違いであります。しかしながら一方でこの 2 つの事故には大きな類似性があります。例えば、チェルノブイリ事故当時の東西冷戦構造時代におきましては、情報がブロックされ正しい情報は伝わってきませんでした。しかしながら福島では SNS などネット情報の拡散機会の増大が大きな位置を占め、むしろ情報氾濫の状況で何が正しいかの判断が難しく、その情報の量や質も大きく異なっていました。これらは、ある意味で、いずれの事故でも情報の過小に関わらず情報災害と言えますし、放射線への甚大な恐怖や不安が煽られる傾向にあったわけです。

なぜ福島はパニックそして放射線の理解に関する混乱が生じたのか。それは被災者の方々が、この放射線に対する恐怖心が大きかったわけです。とりわけ、チェルノブイリ事故のような甲状腺がんの発症増加、すなわちチェルノブイリの再来を恐れていたわけです。一方、チェルノブイリの原発事故で得た最も重要な教訓というのは、先程申し上げた通り、どのように市民を不必要な内部被ばくから、そして外部被ばくから、そして、汚染されたミルクやそれ以外の食品から、守るかということであります。そしてどのようにしてこの被ばくによって生じる甲状腺がんを予防するのかということなのです。一回事故が起こると、平時とは異なり市民の方々と冷静なコミュニケーションをとるのは大変に難しいということが言えます。とりわけ、LNT モデルに基づいたリスクについて、論理的な考え方ができないと、理解がとても難しいものとなっております。ですので、私共といたしましては、専門的な対応前に、放射線の確率的な影響と、様々な因子の相互作用による健康影響の不確かさの存在を理解することが本質的に重要となります。

以上のような前提から、福島原発事故直後に長崎から福島に対して、事故の 1 週間前後、被ばく医療専門の先生らが現場派遣されました。そして、我々専門家はまず危機時のクライシスコミュニケーション、その後危機後の放射線リスクコミュニケーションに集中して支

援しました。しかしながら、平時と危機時、とりわけ危機後という3つのフェーズでのリスクコミュニケーションは異なります。確立された規制科学に基づく包括的な健康リスク管理に取り組みましたが、残念ながらその対応成果は不十分でした。今回の経験と教訓を生かし、私共は次の事故に備えなければいけません。最後のスライドにおきまして、日本における原子力災害医療体制の新体制についてお示ししたいと考えております。

こちらのスライドをご覧ください。事故の直後に福島県立医科大学で行われた危機時のクライシスコミュニケーションの事例を示しております。勿論、長崎大学だけでなく、広島大学、QST 放医研やその他の機関から被ばく医療の専門家の方に来ていただきまして、また、世界からも支援をいただきました。この場を借りて、皆さまからの福島への支援に心から感謝するところであります。

この福島におけます混沌と混迷の中、そして混乱のさなか、どれだけの放射性物質が大気中に放出されたのかということ把握することができませんでした。後々私たちも環境中の線量レベルなどの情報を把握することとなります。

同様に、環境放射線の線量レベルなどについても、航空調査で評価することは最初の数週間・数か月間、福島で活動し始めた初期に正確に知ることはできませんでした。ですので、迅速な放射線測定というものがとても重要です。正しいだけでなく、タイムリーなデータをしっかりと市民の方々に共有するという、そして専門家グループとも共有することが重要です。

被ばく線量が不明な初期においても、私共は、常に支援が必要な対象者について検討し、そしてその対象者の振り分けを行っております。このような分類というものが対処方針の決定には重要でありましてこの題名に書かれている通りです。これは、どの国々におけますとも救急応対者にとっての原則でありますし、CSCATTT の原則に基づくものであります。CはCommand and Control、SはSafety、CはCommunication、AはAssessment、TはTriage、Transport、Treatmentと意味するわけではありますが、このもとでしっかりと平時に対策を立てておく必要があります。事故が起きた際に3つの重要なグループについて適切な支援を検討する必要があります。ここにあります通り、原子力発電所の従事者が一番プライオリティの高い方々であります。どのようにして守り、助けるか。そして2つ目に重要なのが緊急事態対応に関わる従事者です。最後に福島の被災者、住民の方々となります。しかし、実際には公衆の被ばく線量が低かったとしても、最後のグループが大変懸念をもっている大多数の人々となります。その意味では、やはり重要なのは普段からの放射線教育そしてコミュニケーション、そして正確な情報が、事故が起こる前も、事故後も必要となります。

多くの人々がこのスライドにあります通り避難を強いられました。ここに書かれておりますのが避難された方々の数です。私共は事故後から数ヶ月間は様々な村や住民の方々と話をし、そしてレクチャー、セミナー、対話を行いました。そして県民の1万人以上の人々と事故から3ヶ月の間お話しをしました。勿論のこと、この間の空間線量は分かりましたが、個人の被ばく線量のデータはありませんでした。個々人が空間線量からどれくらい被ば

くしたのか評価するのはとても困難でした。

しかしながら、このような困難に対応するにあたって私共福島医大におきましても、こういった被災県民の全面支援にあたることといたしました。私共は福島県全人口の200万人もの人々に支援をすること、特に被ばく線量の推計を基本目標にしました。2011年には避難の指示が出された人数は、警戒区域からは7万7千人が避難。そして、計画的避難地域から1万人。また、緊急時避難準備区域から2万6千人、合計で11万3千人が強制避難を余儀なくされました。しかし、この数値は正しくなく、自発的に避難を行った方々も含めると約16万人以上が福島から県内外へ避難しました。事故から12年経っても、まだ3万人近くが避難先にとどまっています。さらに重要なこととして、震災関連死があります。この10年間で亡くなった方々の半分以上が震災関連死と報告されていますが、大変悲しい状況です。また、医師として、あってはならない自殺の増加、あるいは避難に伴う二次的な原因による死亡等を防げなかったのは悲しいことです。

このような健康に対する負の影響を克服するために、放射線に直接起因するものではないけれども、生活スタイルの変化や避難による健康への二次的影響については、3か月経った時、2011年6月から、国内、学内外の重要なパートナーとともに、長期的な健康状態をモニタリングするために福島の県民健康管理調査事業を始めました。当初、居住地や勤務先も変わって分からないでいるなど、避難をした人達をフォローするという事はなかなか簡単ではありませんでした。そこでまず、事故直後から最初の4か月間の外部被ばく線量の調査について、郵送で質問表を送るという基本調査を行いました。また、対象を絞った集団に対しては、より詳細な調査を行っています。チェルノブイリの再来ではないかという不安に応える為に、事故当時0歳から18歳の県内の子供、約38万人に対しては全員に超音波による甲状腺検査、それから包括的な健康診査、心の健康、生活習慣調査、そして妊産婦に関する調査を計画した上で毎年行いました。だいたい、福島では1万5千人以上の妊産婦が毎年いらっしゃいますので、母親の不安、懸念を解消するためにもこのようなプログラムを行っています。これらの事業の多くは継続中であり、非常に重要な健康管理プログラムとなっています。

このスライドは外部被ばく線量を最初の4か月間分を分析した早期のデータを示しています。その中には4か月間にどういった行動をとったのかの問診調査に合わせて経時的な被ばく線量の変化の分析を照合しています。これは放医研が作ったソフトウェアに基づいて統合した分析を行っています。また、長期の健康管理調査のデータベースを構築しています。そして、当時すでに50万人以上がこの調査に参加し回答しています。最初の4か月の時点からはじまった基本調査ですが、現在もこの調査は続いています。

最初の3年間の集計データでの結果ですが、個人の外部被ばく線量の分布が示されていますけれども、大半が5mSv未満の線量で、避難区域に留まった一人が最大で25mSvありました。これを現在もアップデートしていきまして、幸いなことに、最初の4か月の外部被ばく線量がほとんどの方で1mSv未満、あるいは2mSv未満でした。

原発事故から6か月後、2011年の9月に私たちは日本財団の財政支援を得まして大規模な国際専門家シンポジウムの第一回目を福島医大で行いました。これは非常に重要な会議でした。というのは、UNSCEAR、IAEA、WHO、IARC、IRSN、ICRP、NCRPなどの国際機関からの参加、チェルノブイリ関連諸国からも参加がありました。事故わずか6か月後の未だ混乱の中でのことです。様々なことを議論し、低線量の健康に対する影響が不確かであるということについて提言を出しました。科学的アプローチも勿論重要ですが、社会医学、規制科学も重要です。共通の理解に基づいて健全に放射線防護に関する政策を立案していくということが極めて重要となります。この国際会議が開催できたことを私達は大変うれしく思っています。というのは、県民健康管理調査は、事故後3ヶ月目から国、県、医大その他の関係機関との折衝と調整の上でいち早く開始したのですが、国際専門家会議の専門家たちは、倫理的、法的そして社会面からも県民見守りの健康調査をおこなうということの支持を表明してくれました。

その後、UNSCEARが2015年と2020年に福島事故に関する科学的な報告書を出しており、その中で福島における放射線被ばく線量がこのスライド下の方で示しているように公表されています。黄色でハイライトしているところで右側に示したように、チェルノブイリと福島では、甲状腺の吸収線量が大きく違っています。これは非常に幸いなことで、チェルノブイリと福島ではその被ばく線量レベルが全く違う状況です。

次に、甲状腺超音波検査は2年に1回対象とする集団に対して継続して行っています。1回目の3年間については予備調査と位置づけられ、福島県における甲状腺異常のベースラインレベルの検出件数が示されています。この黄色い列で示しているデータを公表したところ、福島で見つかった甲状腺がんに対してメディアなどが非常に多く福島にやってきてチェルノブイリと同じだと、子供の多くが被ばくのせいで甲状腺がんになったと言い立てたのです。しかし、甲状腺がんの原因について全く誤った解釈をしていますので、このデータについては、後ほど改めて見解をお示ししたいと思います。福島において2年ごとに、同じ対象者に2回目、3回目、4回目と検査を行うにつれて、1000人あたりのがんの発見件数は増えるどころか減っています。これは重要な科学的エビデンスに基づいたもので、疫学調査というのはこのように大変重要なのです。さらに、個々人の甲状腺の被ばく線量を直接測定することはできませんが、関連するデータなどからの推計では、福島での甲状腺被ばく線量が極めて低いということが分かります。

福島とチェルノブイリのデータを比較してみます。左がウクライナ、右がベラルーシのデータです。ウクライナとベラルーシの線量応答曲線が黒で示されています。福島の線量は赤い矢印でお示ししているとおり非常に低い水準です。したがって、甲状腺がんやその他のがんが増加するような線量ではないことが分かります。

このような知見について、福島での最初の小児から若年者の甲状腺がんの5年間の検査結果について、また、最近の10年間の検査結果について、それぞれ論文を公表しています。こういった県民健康調査から得られたデータを、具体的に、科学的なアプローチに基づいて

継続して収集公表しています。

福島での甲状腺データをどう解釈するのか、本日のメインのトピックです。申しあげましたように、最初の10年間、270例ほどの小児から若年者の間での甲状腺がんが福島で見つかりました。特に、思春期以降に多く発見されています。これは、日本の専門家が導入した高度な超音波検査とその共通な診断基準を用いて集団スクリーニングをおこなったための発見率の増加現象（スクリーニング効果）です。今回の甲状腺検査は、新生児から思春期までの子供までを初めて対象とした大規模検査であり、チェルノブイリでも事故直後からそういったデータは集められていませんでした。そのためスクリーニングバイアスやハーベスト効果ということが新しい検査を導入することで生じています。しかし、チェルノブイリと比較して福島での甲状腺被ばく線量は極めて低い、それからまた潜伏期間は少なくとも数年間あるはずであるということから、この初期3年間に集団スクリーニングという初めての超音波検査の導入により、甲状腺がんとして見つかったものは、被ばくによるという可能性は極めて低いと結論付けました。それは国際的な専門家グループ、また、県民健康調査検討会の甲状腺専門部会もその見解を支持しています。しかし、このデータは、逆に過剰診断によって見つかったものではないかということが主張されて、一部混乱を引き起こしました。この過剰診断については議論が続いています。甲状腺がんという診断は正確な診断であったのですが、しかし、がんはがんであるのですが、本当に見つけなければいけないほどのがんであったのか、あるいは生涯このままで、そのまま未発症のがんであったのかというのは見つかった時点では分かりません。このため過剰診断か否かが議論されているのです。甲状腺がんを診断を受けた場合は、母親も子供たちも大変心配になります。したがって過剰診断に対しては注意深いアプローチが必要となります。がんという病名に関しては、公衆衛生そして疫学の知識に基づいて、また用語にも注意を払ってリスクコミュニケーションをし、集団検診のデメリットを取り除いていかなければなりません。そこで、例えば、細胞診、そして超音波診については、成人の場合には微小甲状腺がんが見つかった場合の対応として、もし、低リスクと考えられる場合はすぐには治療をしない見守り戦略をとることが推奨されています。小児についても同じことが考えられますが、しかし、そういった判断に対して、親たちは非常に心配になります。そこで私達は次のようなサポートをおこなっています。甲状腺検査は強制ではないことについての同意のもとで、マイナスなインパクトを受けるといふことに対しては、相談に乗る、あるいは注意深い対応をとる、それからまた患者さんを巻き込んでの意思決定を行うといったアプローチをしています。そして心配につながる過剰診断の問題については、いろんな方法を用いた改善策を示されています。

福島での原発事故の前には、放射性ヨウ素に対する大量の被ばくのリスクの懸念がある場合どう対応するべきかについて、国際的なマニュアルやガイドラインがありませんでした。そこで2016年にそういった甲状腺検査のガイドラインを作成していただきたいと要請をしました。専門家の結論として重要な内容がこちらのIARC報告書でありまして、スライドで表紙をお示ししています。専門家グループは、原発事故後このような甲状腺の集団スク

リーニングを実施することを推奨しないとしています。それは、低線量被ばくであった場合には裨益効果がないから、すなわち、検査のメリットとデメリットを考えた場合は、過剰診断の懸念があり推奨しないということです。しかしながら、もし、100 mGy から 500 mGy 以上の甲状腺線量を被ばくした場合には甲状腺モニタリングという言葉を使い注意深くフォローアップをするべきとしています。では、福島事故後について振り返ってみますと、県民健康管理調査を事故後 3 ヶ月または 4 ヶ月後に始めたころは、個人被ばく線量のデータは全くなく、人々はパニックを起こし、あまりにも心配をしすぎていました。そのような場合、子供たちや親たちをどうサポートすれば良いのでしょうか。公衆の問題意識と事故対応の関係者の間には非常に大きなギャップがあったのです。もし、次の原発事故が起こることがあった場合には、甲状腺の被ばく線量を注意深くモニターすることが非常に重要になります。

福島の事故を受けて日本では 2015 年に原子力規制庁が新たに 5 つの高度被ばく医療支援センターを指定しています。弘前大学、福島県立医科大学、広島大学、長崎大学、そして放医研です。2023 年 4 月に福井大学が新たに 6 番目として指定されました。そして、私たちは、訓練や研修、さらに教育を通じて被ばく医療や原子力災害医療の分野で事故対応と準備を行っています。そういった力強い体制づくりと支援を行っていることに加えて、PAZ(注：予防的防護措置を準備する区域)、それから UPZ(注：緊急時防護措置を準備する区域)の緊急区域については、安定ヨウ素剤の事前配布を行うことが決定され、福島以前の準備との大きな違いとなっています。また、甲状腺被ばく線量のモニタリングを事故が発生した場合には重要な課題となりますので、現在、日本ではその導入と整備の議論が行われているところです。

最後に、福島の原発事故対応から学んだことですが、放射線に関連する健康影響は福島においてはその直接被ばくによる健康リスクは極めて低い、あるいはほとんどない状態です。しかし、小児、思春期の甲状腺がんが多い件数として高度な超音波検査によって見つかったということは重要な問題です。これは、医学的には甲状腺がんという正しい診断ですが、過剰診断が議論されています。しかし、放射線被ばくによるものではないということが国際的なコンセンサスを得ています。この点での理解を得ることが重要な課題であり続けていますが、住民とのリスクコミュニケーションで正しい情報、正しい知識を伝えていかなければなりません。調査に参加した対象集団に対してだけではなく、国際社会にも福島の甲状腺問題を正しく伝えることが重要です。第一に、誤った解釈や理解、さらに不安、恐れという難しい問題も解決しなければなりません。2つ目に、私達医療関係者、そして放射線防護の担当にあたるもの、そして行政官は、この問題を単に議論するだけでなく、是非福島に来ていただきまして、何がまだ今続いているのかということをご自身の目で 12 年後の状況、現状を見ていただきたいと思います。

最後に、もう一つ強調してお伝えしたいのが、例えば、本日のような会合を含めて、健全なかたちで放射線リスクについて学び、一般社会との放射線リスクコミュニケーションを継

続することが非常に重要だということです。原子力発電所事故から12年経っていますけれども、放射線リスクについて、ステークホルダーが共通理解として専門的知識を獲得し共考していくということが重要です。F-REIが、原子力発電所事故のマイナスのインパクトを根源として、地元社会、グローバル社会と全てのステークホルダーと共に、その悲劇を克服し、将来にわたり奇跡に変えていくことを常に念頭に活動されんことを願っています。そして、F-REIが輝かしい未来を地元、県民にもたらすことを願っています。

佐藤：

素晴らしいプレゼンテーションをいただきどうもありがとうございました。それではこれより簡単な質疑応答に入らせていただきます。

Dr. Pawel Olko：

データやまた結果について詳しいプレゼンテーションをいただきましてどうもありがとうございました。明確なアクションをとられているということで素晴らしいことと思います。わたくしから2つ質問させてください。確率的以上に甲状腺がんが見つかっていないということ、増加していないということが分かったことはとても良いことです。ただ、大きなコントロールグループとして、原発事故から遠く離れたところで放射線にさらされていない人達と、被ばくした方と比較することが必要かもしれません。また、わたくしといたしまして最初のほうのスライドにあった、LNTモデルによって混乱が生じてしまったという点について同感です。放射線によりどのような問題を起しているのかということに関してですが、サイエンスに基づいた主張が重要です。低線量に関しましてLNTモデルを使うということによって混乱につながるということです。

山下俊一氏：

そうですね、ありがとうございます。LNTモデルは、その高い被ばく線量から低い被ばく線量にそのリスクを演繹したもので、LNTモデルは仮説でしかありません。放射線防護にとっては重要かもしれませんが、一方で、実際の健康に対する影響との間では大きなギャップがあると思いますので、そのようなコメントをいただきありがとうございました。

Dr. Soren Bentzen：

どうもありがとうございました。わたくしからも素晴らしい内容について賞賛申し上げたいと思います。個々人の推計、線量をどのくらいだったかということについては、絶対リスクとして甲状腺がんになるリスクについて個人には伝えているのでしょうか？

山下俊一氏：

がんの診断をする時、子供たちに対して子供には何か伝えることはできません。

Dr. Soren Bentzen :

そうですね。私がお聞きしたかったのは、その人個人の被ばく線量です。

山下俊一氏：

一人一人の被ばく線量は直接の測定はしておらず、残念ながらデータを持っておりません。この集団としての線量しか分かっていません。UNSCEAR が出しているようなデータです。

佐藤：

残念ながら時間に限りがあります。ですので、山下先生におかれましては、さらなる質問をおうけすることが次のセッションでもできますので、これを持ちまして終えたいと思います。山下先生どうもありがとうございました。それでは次のプレゼンテーションに入ります。東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープ研究センターの研究教授の吉田先生でいらっしゃいます。日本におけます被災地におけるこの木造住家におけます線量低減の評価についてということで宜しくお願い致します。

●「Evaluation of Dose Reduction Factors for Wooden Houses in the Affected Areas Based on in situ Measurements」

吉田浩子氏：東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープ研究センター 研究教授

ご紹介いただきどうもありがとうございます。皆さんこんにちは。今回のシンポジウムはハイブリッドで行われていると聞いています。オンラインでご参加の方、おはようございます、こんばんは。吉田浩子と申します。日本の東北大学から来ています。本日の話は、すでに紹介していただきましたとおりで、こちらが目次になります。本日は皆様方にお話しできることを大変うれしく光栄に思っております。

こちらが研究のバックグラウンドになります。最初にこのスライドについて説明します。被災地の方々、そして住民の方々の、最も大きな懸念の一つは、自分たちはどのくらい被ばくしているか、家族の被ばくがどのくらいなのか、また、避難している方々が実際に帰還した時にどのくらい被ばくするかということです。一般の人や住民の外部被ばく線量を評価するやり方には、2つの方法があります。まず、個人線量計を使うという方法、これにはメリットがたくさんあります。線量計は軽量で小さく、個々の個人線量を評価することができます。被災者にとっても、住人にとっても、また、一時的に滞在する人にとっても、大変有用です。しかし、この方法では、事前に外部被ばくを知ることは不可能です。また、不確実性も大きい。さらに、これによって得られる個々の線量を一般化することはできません。2つ目の方法は空間線量率を使う方法で、ここに示す式を用いて空間線量率を使い、各点における滞在時間を掛け合わせることで実効線量を得ることが出来ます。事前に外部被ば

く線量を推定することができます。しかし、この方法は過度に保守的に評価することが多いです。原発事故後は、これらの2つの手法を相互に補完し、状況に応じて使い分けてきました。2つ目の方法では、屋内の被ばく線量を評価する場合、（線量）低減係数を使います。低減係数と屋外の空間線量率と掛け合わせることで屋内の空間線量率を推定できます。

前のスライドに戻りますが、政府はこの式を追加被ばく線量の評価に使いました。追加被ばく線量 D_y (mSv/year) は、16時間屋内にいてそして8時間屋外にいと想定して計算されています。この式において低減係数が使われていますが、2011年の事故当時、残念ながら日本の住家の低減係数の測定値はありませんでした。そのため、日本政府は低減係数についてIAEAのドキュメントに掲載されている値を使いました。しかし、それらはアメリカまたはヨーロッパの住家でのデータで、日本の住家のデータではありませんでした。人々の多くは、屋内でもっとも長い時間を過ごしますので、被ばく線量を評価する上では、低減係数について適切な数値を使う必要があります。

さて、低減係数 RF の定義に移りたいと思います。この式に示されている通り屋内の線量率 ÷ 屋外の線量率です。両方とも自然放射線が含まれています。過去を振り返ってみると低減係数に関する用語はいろいろとあります。例えば、しゃへいファクター (shielding factor)、防護ファクター (protection factor) など、いろいろありますが、意味としては大体同じです。本日のお話の中では低減係数という用語を使います。例えば木造住宅のような軽量構造物においては、低減係数または線量低減係数が使われます。屋内の線量率の低減は、住宅の材料及び構造物のしゃへい効果と、（この用語に関してはご存じないかもしれませんが）uncontaminated effect によるものです。古田と高橋の論文では、モンテカルロ計算によって木造住宅のしゃへい能力は 0.7~0.9 と評価されています。しゃへい能力は木造住宅においてはさほど強くありません。

uncontaminated effect については次のスライドで説明します。左側の図は、平常時の住宅です。放射性プルームが上空を通過すると、乾性沈着が発生します。そして雨が降ると、湿性沈着が生じ土壌の汚染が生じます。しかし、右側の図をご覧くださいと、家屋の下に白いところがあることがわかります。つまり家屋の真下にある場所は汚染されていないのです。これにより uncontaminated effect と呼ばれる効果が生じます。

こちらがIAEAのTECDOCにある表です。この表では1階建て2階建ての地下なしの木造住宅で、代表的な低減係数またはしゃへいファクターが0.4と示されています。代表的なレンジとしては0.2から0.5になっています。つまり、木造建築物に関しては、uncontaminated effect が低減係数に大きく寄与し、0.4という低い数値になっているのです。先ほど申し上げたように、しゃへい効果自体は木造住宅についてはさほど強くありません。

我々の研究で中心に行ってきたのが、木造住宅の in situ 測定です。統計に基づくと、福島県では、約 79% の建造物、そして 97% の一軒家が木造です。この図は私の論文から引

用したのですが、宮城県の南部地域での1500人の児童についての調査結果で、これらの数字は屋内と屋外の滞在時間です。宮城県の南部地域は、原発事故の避難指示区域と隣接しており、飯舘村から10 kmしか離れていません。この地域も大きな影響を受けましたが、宮城県においては避難指示が出ませんでした。そこで子供たちの屋内と屋外の滞在時間を調査したのですが、1日の約70%、つまり16時間を自宅の内外で過ごし、そのうちの14時間から15時間を屋内で過していました。我々の主要な目的は、住民の被ばく線量を適切に評価するということで、そのためには、特に木造住宅の低減係数を詳しく調べる必要があるということがわかりました。

そこで、日本の木造住家について具体的な低減係数の値を得るために、住家の屋内・外の空間線量率の *in situ* 測定を行いました。こちらの地図に示すのは測定を行った69軒の木造住家です。これらの住家で空間線量率を測定し、低減係数を評価しました。空間線量率の測定にはNaI(Tl)シンチレーションサーベイメーターを使っています。屋内は、窓やドアから離れた部屋の中心で、床から1 mの高さで線量率を測定しました。屋外についても同じ高さで、表面が被覆されていない開けた場所で測定を行いました。

こちらが結果です。左図が屋内と屋外の空間線量率の相関関係です。傾きが0.44くらいになっています。もちろん低減係数には分布があります。右側が低減係数の分布の図です。中央値が0.4になっています。つまり、代表的な0.4というIAEAのTECDOCドキュメントにある低減係数と中央値との間には統計的な有意差はないということがわかりました。

別のスライドもお見せしたいと思います。私たちの研究だけではなく他の研究チームも福島県内で同様の *in situ* 測定を行いました。こちらが、実際に測定が行われた箇所の地図です。

結果をこちらの表にまとめてあります。木造住家については、だいたい似たような結果であり、0.4くらいであることが示されています。

前のスライドに戻ります。右側の低減係数の分布により高い係数の値を示している部分のあることがわかります。IAEAの代表的なレンジである低減係数、0.2から0.5の範囲にあるのは全てのデータの中の66.5%だけでした。データの10%が低減係数0.7から1.4の間と高い値となっています。そこで、日本の住家ではなぜそのような高い低減係数が観察されることがあるのか詳細に調査しました。

その結果、2つの原因があることわかりました。1つ目は屋根のセメン瓦です。これによって室内の線量率が高くなり、低減係数が高くなります。ここで示す写真は典型的なセメン瓦です。建ってから60年くらい経っています。(60年前の)当時、日本ではこのようなセメン瓦が汎用されていました。2011年に原発事故が起きた際に、浪江町、飯舘村などの避難指示区域ではセメン瓦がまだありました。そして、セメン瓦の屋根の下の部屋では、上方向からの放射線が高いということに気が付いたのです。

そこで、セメン瓦の試料を採取し、含まれる放射性セシウムの放射能を測定しました。また、シミュレーション計算をおこない、セメン瓦内の放射能がどれくらい室内の空間線量

率に影響を与えるのかということの評価しました。その結果、この例では屋内の線量率の約30%がセメン瓦から来ていることが分かりました。

そしてもう1つ低減係数が高くなる原因がありました。避難指示区域には山のある地域が多いです。とりわけ、飯館村や浪江町におきましては多くの住家が、例えばこの写真のように、山や崖の急斜面を後ろ側あるいは側面に背負って建てられています。表面の汚染された土壌はこのスロープの上から転がり落ちてきて、山と住宅の間にライン状の線源が生じます。こちらの図面に2つの低減係数の分布を示します。青い棒のグラフが住家の前側にある部屋の低減係数を示しています。そして赤い棒のグラフは、住家の裏（後）側にある部屋の低減係数を示しております。ご覧の通り、2つの分布で低減係数の中央値が0.4と0.5と異なっていることが分かります。地形がもう1つの原因であるわけです。さて、この図で示した初期の測定は、2012年12月から次の年まで行われ、これは除染が行われる前のことでした。この後、除染が実施され、空間線量は低下しました。そして諸状況も時間とともに変わっていきました。

そこで、継続的にこの調査を続け、低減係数が事故直後、時間の経過とともにどのように変わっていったのかを調査することにしました。というのも、IAEAのレポートでは、事故直後の低減係数のみしか示されていません。除染直後や除染後数年たった後の状況については網羅されていないのです。こちらの図で示されている通り、被災地では空間線量は急速に下がりました。これらの状況のもと、住家の屋内そして屋外の空間線量はどのようになり、低減係数はどうなったのかという疑問が生じました。除染後6、7年が経過し、除染により、あるいは、環境のウェザリング効果や放射能の物理的減衰により低減係数にどのような変化があったのか。またそれに加えて、この初期の0.4という低減係数をどれくらいの期間使うことが出来るのかという疑問もありました。

住家の屋内と屋外の線量の計測を前の測定と同じ方法で行うこととしました。また、ガンマ線スペクトルデータを解析することによって、カリウム、ウラン、トリウムによる自然放射線からの空間線量率についても評価を行いました。

こちらに示すのが屋内外の自然放射線の線量率です。これらの相関関係を見ると、除染が行われた前と直後そして、除染後数年経った後についてほぼ同じであることがわかります。調査地域の住家での屋内と屋外の線量率の比は約0.86でした。この値は過去の研究で報告された日本の住家の屋内と屋外の線量率の比の値の範囲に収まっています。

こちらのグラフは、住家周囲の屋外の空間線量が低下するにつれて、どのように低減係数が変わっていったのかということを示しています。赤いマークは除染前の低減係数のデータです。データのばらつきはありますが、低減係数0.4の周囲に多く分布しており、 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 以上の空間線量率では低減係数としては0.4が適切であろうと考えられます。そして、青いマークは、除染が行われて5～8年が経過した後の低減係数です。空間線量率が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ あたりまで下がっていくとそれより下では低減係数が急速に上がり、自然放射線の屋内/屋外の比である約0.86程度に近づいてきます。

こちらのグラフは、住家周囲の屋外空間線量率が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 未満の範囲について拡大した低減係数を示しています。こちらの表では、これまでの調査の結果から推奨される屋外の空間線量率に対する低減係数を示しております。低減係数は、屋外の空間線量率に従い変わっていきます。

最後に、この調査の結果を住民に伝えることの重要性について触れたいと思います。また、住民の方々のエンゲージメントについても触れたいと思います。先ほど申しました通り、住民のほとんどは自分の住家内でもっとも長い時間を過ごします。ですので、自宅住家内での放射線レベルというものが大きな懸念であったわけですが、大規模原発事故後の屋内測定データはほとんどなく、実測データについてもあまりありませんでした。住民は、政府や専門家から「一般的な」情報を聞いたとしてもそれらには説得力はありません。実際に測定された値、ご自身の住家での実測値を知ることによって住民の方々も私共の話に関心を持ち、耳を傾けます。そして毎回私共が同じ手法で屋内・外の計測をすることによって、事故後、除染の前と後でどう変わったか、そして除染から数年経って屋内外の空間線量率がどう変化したかについて具体的に理解することができます。住民との対話においてこれらの数値はとても良いコミュニケーションツールになったと考えています。福島事故は、放射線による健康へのインパクトを与えるものではなく、日常生活にインパクトを与えるものだったのです。その観点から住民とエンゲージメントすること、そして、対話をおこなっていくことは重要です。エンゲージメントはサイエンスや科学への理解を超えたものです。科学的な手法に基づいて測定を行った上で対話をしますが、住民の方々が求めているのは科学的なデータではなくそれを超えたものであると考えています。

こちらが本日の話のサマリーです。日本の木造住家の低減係数として 0.4 という数値が代表的な数値として適切なものであるということは、事故直後の初期に関しては言えるでしょう。しかしながら屋外の線量率が下がっていくとき、日本の木造住家の低減係数について、0.4 ではない値を活用することを提案いたします。これらの数値を使うことにより、地元の地方自治体等は屋内の空間線量率、そして住民の方々の被ばく線量を推定するにあたって、サーベイメーターによる住家周辺の屋外の測定だけで評価することができますので、有用であると思います。最後になりましたが、この調査研究については、環境省による放射線の健康への研究プロジェクトから一部支援を受けています。この場を借りて御礼申し上げます。

最後に皆様にお見せしたいものがあります。これは私たちが現在調査をしている大熊町で撮影した、満開の桃の花です。大熊町では多くはありませんが一部の住民の方々が帰還していらっしゃいます。3種類の色の桃の花がとても美しく咲いています。このような木々を明日の視察で見ることがあれば幸いです。ありがとうございました。

佐藤：

吉田浩子先生、素晴らしいプレゼンテーションをいただきありがとうございました。では質

問があればどうぞ。

Aさん：

大変素晴らしいプレゼンテーションありがとうございました。チェルノブイリのバブシカのように（政府に）実際耳を傾けず、困難区域にとどまるという人たちはいましたか？ 抵抗した人達、実際に言われたことに対して抵抗して、そして避難しないという人はいましたか？

吉田浩子氏：

はい。被ばくのリスクよりも自分たちのライフスタイルとして自分の家にいることのほうに価値をおく住民もいます。驚いたことは、私たちの調査した住家の住民のかなりの方が、避難指示解除後に帰還したことです。測定結果をただ単に、頭で理解するだけではなくて、心の中で受け入れたわけです。家族全員ということでは必ずしもありませんが。我々専門家と住民との間で大変良い関係があったのだと思います。

福島事故後、最も大きな問題は実際に被災した人達と専門家や政府との間にギャップがあったということです。別の問題もありました。多くの専門家が住民と関わりましたが、専門家はその専門によって必ずしもみな同じ考え方ではありません。たとえば、LNT モデルなどに関して、自分たちの観点からそれぞれ異なる見解を住民に話しました。これによって住民達はたいへん混乱し、最後には、専門家は信用できないと思うようになりました。私達は長い間調査を行っており、この間何回もご自宅に訪問しました。そして継続的に対話を持ちました。それに基づいて住民は判断をしたということなので、私たちのデータを信頼してくれたのだと思います。

ありがとうございました。

佐藤：

他に質問ある方いらっしゃいますか？

重ねてお礼申し上げます。吉田先生どうもありがとうございました。

スピーカーの皆様そしてオーディエンスの皆様、素晴らしいディスカッションをいただきましてありがとうございました。それではこれにてこのセッションは終了致します。ご参加いただきましてありがとうございました。それではこれより休憩に入ります。（次のセッションの時間説明）

後半

佐藤：

セッションの後半を始めて参りたいと思います。Vincent Grégoire 委員長、座長用演台の方

へお願いできますか？

Vincent Grégoire 委員長：

ご参加の皆様ありがとうございます。シンポジウム後半ですが、最初にスイス出身のICRU委員 Thomas Otto 博士にお話しいただきます。CERNの安全オフィサーをされています。CERNはヨーロッパの研究施設でジュネーブにあります。ICRUレポート95、実用量について、また、環境測定についてお話しをいただきます。30分間でお話してください。

● 「ICRU Report 95 Operational Quantities for Environmental Measurements」

Dr. Thomas Otto : Project Safety Officer for High-Luminosity LHC, CERN

こんにちは。本日はこの機会をいただきありがとうございます。同じくICRU委員の齋藤さんをはじめとして大変素晴らしいシンポジウムを主催してくださってありがとうございます。ICRUが提案をしている新しい実用量の線量計測について、またそれが環境測定にもたらすインパクトについてお話しをさせていただきます。環境測定は非常に重要で、これまでの話環境の線量測定、屋内、屋外の話がありました。わたくしの話も直接それに関係する内容です。ICRUが提案している実用量が導入されると大きなインパクトがあります。

防護量と実用量とは何か、放射線防護における量、そしてICRUレポート95に示されている新たな実用量について、また、周辺線量の換算係数の変更についてお話しします。そして実際の放射線場における線量測定にどのような影響があるのか、また、環境線量計のレスポンスについてお話しし、最後にまとめたいと思います。

ICRUの姉妹機関であるICRPは防護量の定義を行っています。これは、放射線障害と線量限度を比較して人に対する放射線の影響を最適化しています。これは、外部被ばく、内部被ばくによる放射線障害を推計する統一的な概念です。本日は外部被ばくだけにフォーカスしてお話しをします。人体の臓器によって吸収された線量の平均である平均臓器線量、それに組織加重係数 w_R と放射線加重係数 w_T による重み付けをして合計することで、実効線量を評価しています。これは最も重要でもっとも良く利用される防護量といえます。というのは、全身に対する放射線の影響や放射線障害を知るには、防護量が通常用いられているからです。線量限度や線量制限は防護量を用いてなされます。

全身についての防護量である実効線量はICRPレポート110で示されている人体モデルファントムを使って計算されています。放射線の方向は、全方向、後方向、それからいくつかの方向での計算を行っています。また、水晶体の防護量と皮膚の防護量には、モデル化されたファントムを使っています。それが人体ファントムの中に入れて使われます。また、ヒトの皮膚を模した組織を表すファントムが使われています。この防護量では、人体の被ばく線量は測定できません。線量計として人の体と同じサイズ、組織でなければいけない、持

ち歩きもできない、そういったものがないと正確に実効線量を測定することができません。

そこで ICRU は ICRP と共に、実用量というものを定義しています。実用量は 1 点で定義をされるもので、原則的に測定可能なものです。ICRU レポート 39 では、実用量が等価線量 H で、深さ d の地点にて吸収された線量 $D(d)$ に、線エネルギー付与 L に依存する線質係数 $Q(L)$ の掛け算として定義されています。

これは単純化した数学的な形状を使って変換係数が計算されています。導入された当時、コンピューターで実用量を複雑な形状について計算することはできませんでした。そこで ICRU 球を使ってエリアモニタリング、周辺線量測定を行い、それからスラブファントムや円筒形ファントム、これは体幹部、頭部、それから四肢を代表するものとして個人の線量測定で使っています。そして、化学的に安定でなく数値的にしか生成できない ICRU 4 元素組織で作られたファントムが使われています。換算係数を数値的に計算し、その結果として得られる値が実用量となります。

これがそれぞれの関係を示しています。まず一番上にあるのが放射線場の物理量で、フルエンス、カーマ、 β 線では吸収線量です。そして左側に今お話しした ICRP の防護量、これは人体モデルファントムを使って計算、そして加重係数は w_R 、 w_T です。右側 ICRU では、幾何学的なファントムと LET に基づいた線質係数を用いて、実用量を計算します。2つの方法で計算すると、同じ放射線場で同じ条件の下でもこの数値的な数値としては違った結果がでてきます。それは定義が異なっているからです。似ているけれども、けっして同じ数字になることはありません。

ICRU は、これは満足のいく状況ではないと理解しています。ICRU だけではありません。この分野の特に高エネルギー分野で仕事をしている専門家、実務家は満足のいく状況ではないと感じ、ICRU がレポート作成委員会を立ち上げました。現状分析し、提案を行いました。将来的に、実用量は、これは換算係数と物理量の掛け算とします。ここではフルエンスとしていますが、光子の放射線場ではカーマを使うこともできます。そして換算係数 h_{cp} は、これは人体モデルファントム、加重係数 w_R 、 w_T を使います。これは防護量と全く同じものです。従って、より実効線量、それから組織線量について定義からしてよりよい近似されたものとなります。それ以外に ICRU レポート 95 に新しい内容がありますが、ここでは立ち入りませんが、例えば皮膚、それから水晶体については吸収線量としており、それからまた様々な粒子、エネルギーに対応した実用量を計算することができます。

全身の個人線量測定については、現在は、個人線量当量 $H_p(10)$ が使われています。これはファントムの 10 mm の深さでの吸収線量に線質係数 Q を掛けたものです。将来的には個人線量 H_p は、人体モデルファントムを使った組織吸収線量に w_R 、 w_T を加重して合計して計算されます。そして定義された方向からの平面平行の放射線場を使うというものです。

そしてこれに基づいて周辺線量については、従来の定義では整列・拡張場で ICRU 球の深さ 10 mm の地点での吸収線量 \times 線質係数を掛け算したのを使っていました。しかし周辺線量 H^* については ICRP 報告書 116 の方向係数に関する最大線量と定義し、より保守的な量

となります。

新しい提案した実用量とこれまでの実用量を比較した結果を示しています。2つの曲線、青で示しているのが実効線量の曲線、薄い赤がカーマ近似の光子の $H^*(10)$ 、これは ICRU のレポート 57 にて発表されたものです。濃い赤はフル電子輸送で換算係数を計算した線量です。高エネルギー領域では、場合によっては実効線量に対して過大評価、過小評価になります。低エネルギー領域では、従来の実用量では実効線量を最大で 5 倍ほど過大評価、これは非常に低いエネルギーで 15 keV から 35 keV までです。

新しく提案した実用量は緑の曲線で、これは特定の方向の実効線量の単純に一番高い水準を示したものです。そして定義からとてもよく合致しています。

同じようなことが中性子でもみられます。これが実効線量すべての曲線を中性子について全ての 6 つの方向について示しています。後方、前方、左側方、右側方、一様、回転での勝者方向に対してこれらの曲線が計算されています。現在の ICRU 球に対して計算された $H^*(10)$ は高エネルギー領域で過小評価が起こっています。僅かな量かもしれませんが、これは log 曲線ですので、そんなに小さいものではありません。新しい定義では、良く曲線が合致しています。そして過大評価も過小評価も行われていないということが分かります。

新しい関連図はよりシンプルになっています。ファントムや線質係数が必要なくなり、計算手法としても左側と右側が同じになっています。従って、いろいろなエネルギーにおいてまたいろいろな角度において、実用量の数値は防護量の数値と同じになります。

こちらでは、また別のプロット、これは光子の周辺線量です。この場合は物理量としてカーマをスタート時点で使っています。レンジとして 50 keV から 2, 3 MeV までのところまで新しい定義では古い定義の 86 % の $H^*(10)$ になっています。低いエネルギーのところでは、新しい定義は、古い定義の 5 分の 1 になっています。 $H^*(10)$ が実効線量を 5 倍ほど最大で過大評価していたからです。

こちらは放射線の測定に関して、直接的な影響がある例です。粒子線加速器の休止中において、作業場での放射化物からのスペクトルをモンテカルロシミュレーションで計算しました。光子スペクトルは上図の緑、そして β 線スペクトルが下図です。青が古い換算係数、赤が新しい換算係数になります。これらの 2 つの曲線から H^* と $H^*(10)$ の比率が出ます。光子に関しては驚くことは無いけれども 86 % になります。というのは、光子は硬ガンマ線でエネルギーは 50 keV からまた数 MV と十分高い。そのためこちらの範囲に入るわけです。そして新しい定義で β 線の新旧の比は、2 倍高くなっています。純粋な β 線の放射線に置いての線量においては、過去は過小評価している可能性があるということです。 β 線が支配的な施設はあまりないので、実際にはさほど大きな影響がないと考えています。

これは医療の分野で使われている低エネルギー X 線の例です。左側の青い線が 20 kV の X 線管からの高線量率の線質のスペクトルです。オレンジと緑のカーブを比較します。オレンジが $H^*(10)$ の重み付きスペクトル、そして H^* の重み付きスペクトルが緑のカーブになっています。この領域の面積が大体 5 倍くらい違います。これがこのスペクトルによる線量

の違いと同じです。失礼、もう少し精密に言うと、線量の測定値の違いです。これは、現在の実用量が実効線量をこの低エネルギーのところを過大評価しているからです。右側に点がたくさんあります。これらは、X線診断の校正用スペクトルに対応する変換係数を示しています。これは、IECが規定している規格で、医療機器で診断または治療で使われている線量計を校正しています。医療の放射線場の標準になっています。これがこのスペクトルの換算係数になっていますが、上の曲線が今現在の量においては $H^*(10)$ で、下の曲線の H^* に比べて必ず高い。こちらにおいても、図の右端の100 keVのところでは、 H^* は $H^*(10)$ の約70から80%になっています。左の方の低エネルギーのところでは、2から3から4倍ぐらい高くなっています。

では、これは光子用の線量計のレスポンスです。これは、例えば土壤汚染を生活圏または住宅の中で見るときには重要です。前の講演にあったとおりです。こちらが換算係数でフルエンスと実用量に関するものです。今現在の $H^*(10)$ の量と、そしてこちらが新たな量 H^* 。良い測定器があれば、線量計のレスポンスとしてはエネルギーに対してこの曲線通りにレスポンスするべきです。でもあまりにも完璧な測定器は今のところありません。測定器が主により高エネルギーのところで作動している場合にこちらの楕円形があります。いくつかの数 MeV から 70 keV のところ、ちょうどこのレンジでは2つの曲線が平行しています。新しい校正定数を使うことによって、既存の機器でも新たな実用量に再利用することができます。しかし、その測定器が低エネルギーに特化しているものであればもっと複雑になります。このレンジにおいて、2つの曲線はもはや並行していないからです。

こちらは公表されている線量計のレスポンスの算出方法です。論文等にもあります。それで再計算できます。新しい量に対するレスポンスを少し数学的に操作することによって古いものから新しいものへと再計算できます。様々な機器で同じようなことを行っています。こちらが結果になっています。特に、環境線量計に関して、こういった意味では大変興味があるところだと思います。

これは可搬型のガイガーミュラーカウンターです。こちらのプロットが50 keV から3 MeVのところまで行っています。一番高い校正点がCo-60の1.25 MeVになっています。2つのこの反応の曲線は、どちらかというところと並行しています。ここでもこの機器の再校正をすることで利用できます。小さなねじがあって少し変えることで調整が出来ます。校正することで完璧な値を示し、そして新たな実用値にも使えます。

また、光子用の高圧ガス電離箱においても同じです。これはとても高感度で、原子力施設の境界でのモニタリングに使われています。たいへん低い線量率でも測定でき、大変有用了。20 barの高圧ガスを使い、厚いスチールの外壁があるので、カットオフエネルギーが50 keVよりも高くなります。新しい実用量をこのような機器で採用する場合には、再校正することで問題解決ができます。

しかし、環境線量計でより低いエネルギーを測定する線量計では問題があります。こちらは、オーストリアのウィーンに近いところにあるSeibersdorf研究所で開発された環境用の

TLD 検出器のレスポンス曲線です。この検出器は、シリンダー形状で、PMMA の径が 6 cm で、1, 2 個の Harshaw TLD カードが入っています。赤い線が現在の量 $H^*(10)$ の応答曲線で、大変良い。しかし、新しい実用量に関しては低エネルギーのところでも過大評価されています。これは、現行の実用量が実効線量を過大評価するためで、これらの環境線量計は、低エネルギーのところでも過大評価を引き下げるために少し設計を修正しなければなりません。

同じような例がこちらの小さな 2 cm の PMMA 球で製作され、LiF の TLD が中心にある環境用 TLD 線量計です。スウェーデンで提案されています。セシウム線源の高エネルギーのところでは、単純に再校正が必要です。しかし、低エネルギー X 線が支配的になると問題になり、2 つの応答曲線が別方向に向かっています。

環境モニターでスペクトル計測を用いた線量計の状況は少し良くなります。こちらが、ICRU レポート 92 に記載のある NaI シンチレータベースの環境モニターです。この環境モニターのスペクトルがこのグラフです。放射線場をスペクトルで見ているので、周辺線量当量を得るのにレスポンスマトリックスが必要になります。レスポンスマトリックスが数学的にフルエンスやカーマのスペクトルから周辺線量当量 $H^*(10)$ に換算します。新しい H^* の量を使えるように、数学的なアルゴリズムを使って、このレスポンスマトリックスを適用させなければいけない。これらのスペクトルにはとても情報量が多いので、大きな問題にならない。そうすることにより、スペクトラムベースの H^* の設計が可能になります。

航空線量計は、大きな面積をサーベイする線量計です。これはドローンとかヘリコプターに搭載し、汚染された区域の上空を飛ぶことによって線量率を検出できます。検出器にはシンチレータが用いられ、スペクトルを出すことができますので、レスポンスマトリックスを適用することによって、再計算しなければなりません、新しい量に適用することができます。

中性子モニターに関して、特に、稼働している原子力施設においては、大変重要になります。中性子モニターは通常原子力施設の境界のところになります。それは、原子力施設の境界線を越えて、環境に中性子の大きな影響を起こさないということを示すためです。検出器は、TLD を 30 cm の径のポリエチレンの真ん中に入っています。アメリカ人にとっては 12 インチといった方が良いでしょう。こちらの赤と緑色の線が $H^*(10)$ と H^* のそれぞれの換算係数になっています。青線はポリエチレン球のレスポンス関数です。高エネルギー領域では 1 MeV 以上、100 keV 以上でも良くなっています。しかし低エネルギー領域ではあまりうまくいっていません。でもそれもそんなに重要ではありません。線量が中間的なエネルギーの中性子からくる線量はさほど大きくないからです。ICRU で提案している新しい実用量であったものとしても、古い検出器でも、小さな改良で上手く使えます。

もっと高度な中性子検出器にレムカウンターがあります。これは、球またはシリンダーの形状で、30 cm 径というのが典型的な大きさになります。内側に特別な遮蔽があり、レスポンス曲線をより良くしています。2 つのレスポンス曲線のグラフがあります。理想的なものが 1 の数値のところでも水平の線になります。 $H^*(10)$ の量においては、こちらの中性子検出器

は、計量科学者にとってさほど正確な結果を与えません。放射線防護の計測をやっているのであればこれは、中性子の放射線場の良い推定になっています。この測定結果を使って、区域分け、遮蔽が十分厚いかどうか、など、通常の放射線防護が適切かどうかということの判断の最適化ができます。新しい量が右側に書いてあります。これを見ると曲線の一般的な形状はさほど変わっていませんが、しかし、検出器の感度を少し下げるとこれらの曲線がもう少し低く下がります。こちらに黒い線があります。黒い線は IEC が規定している基準で、中性子レムカウンターのレスポンスがこの線内に入っていなければいけないと定義しています。古い量において充足されています。新しい量においては、IEC に対してこれらの黒い線を少し改良してもらえればまた利用できると思います。先ほど申し上げた通り、中性子レムカウンターというのは、計量を行うものではないので、標準化機関においても柔軟性が少しあり、適用しうると思います。全体的に今の既存の勧告であったとしても、新しい実用量においても良い結果になっています。

まとめます。新しい実用量で ICRU が提案しているものをご紹介しました。光子周辺線量計でカットオフエネルギーが 50 keV より大きいものはあまり影響を受けません。再校正をして、電氣的にまたはデバイスでねじを調整することによって利用できます。ただ、低エネルギー用の光子周辺線量計に関してはフィルターの再設計、あるいは複数の検出器が含まれている線量計であればアルゴリズムを変える必要があると思います。スペクトルベースのシンチレータ、HpGe または中性子ボナー球を使っている線量計は、 $H^*(10)$ ではなく H^* を計算するために、レスポンスマトリックスを再評価しなければなりません。また、中性子レムカウンターは、中性子線量に対して良い推定を与えます。再校正し、IEC が基準の修正を行うことによって使用できます。

一言だけ申し上げたいのは、これらの新しい実用量の導入に関する ICRU の報告に、いろいろなところから関心が寄せられています。立法する機関、IAEA とか ICRP とかそういったところで ICRU は講演を行っています。一般的な理解としては、ICRP が次の勧告を出す前に、法律としては変わらないということです。ICRP は 2030 年ぐらいに次の勧告を行う可能性があります。それが発行されると、IAEA とか EU とかその他の組織ではこの新しい ICRP の新しい勧告を今度法律にするために活動を始めます。また、国内法も変えなければいけないという可能性があり、そうすると今度新しい実用量をその時点で導入する可能性があります。2030 年から 2040 年ぐらいの間ではないかと考えています。その後、新しい勧告されている実用量に対応するために、いつまで全ての測定機器を変えなければいけないという経過措置の期間が設けられると思う。それにはさらに 20 年ぐらいかかるでしょう。なので、個人的に思うのは我々にとっては次世代だと思います。次世代の人達は、研究開発を行って線量計を新しい実用量を反映するものをほぼ完璧に作るために、十分時間があると思います。そうするとこれらの新たな実用量を使うことができ、より良い防護量、特に実効線量の評価ができます。ご清聴どうもありがとうございました。

Vincent Grégoire 委員長：

ありがとうございました。Dr. Otto。ご質問を1つ2つお受けする時間があると思います。私の方からコメントがあります。それとも質問となるかもしれません。私は放射線防護の人間ではなく、ご存じのように放射線治療を専門としております。25年待たないと適用されないような発見であれば、その有用さはどういった有用さなのかと感じます。私のような単純な人間にとっては、環境の部分について発見されても20年間適用されないということはどうなのでしょう？

Dr. Thomas Otto：

放射線防護の分野というのは、科学、技術に基づいていますが、それ以外に法律、法務の分野も関わってきます。ほとんどの国では労働法に関わってきますし、原子力施設の法律にも関わってきますし、集団防護にも関わってきます。法的な手順というのは、科学の進歩よりもずっと時間がかかるというのは皆さんご存知の通りです。確たる基盤が必要、つまりICRPの勧告を皆が待っている。そして勧告がされても国内でこういった新しい定義が導入されるまでは時間がかかるということです。それは自分の経験でもそうです。私のキャリアを通じてみても最初の頃、今使われているH*(10)、Hp(10)などが導入されたのですが、最初提唱されてからここで導入されるまでには何年間もかかりました。私の同僚の中にも私ぐらいの年代の人達で古い定義の方を新しいと言っている人達がいるから、何世代かかかってやっと導入していくようです。

Vincent Grégoire 委員長：

Thomasさんありがとうございました。では次のスピーカーにお話をいただきまして、また後でOttoさんのプレゼンテーションの議論をしたいと思います。それでは、黒澤忠弘博士をご紹介したいと思います。日本の計量標準総合センターの方です。そして、低線量の環境モニタリングの校正方法についてお話しいただきます。

●「Establishment of Low Dose Rate Calibration Methods for Environmental Monitoring」

黒澤忠弘氏：産業技術総合研究所 計量標準総合センター 分析計測標準研究部門 放射線標準研究グループ

議長ありがとうございます。今回このような機会をいただきましてどうもありがとうございます。私は黒澤と申します。私は産業技術総合研究所の計量標準総合センターに所属しております。本日、わたくしより皆様に対してこの低線量率の環境モニタリングの校正についての研究をお話しさせていただきます。初めにわたくしから皆様に対し私共の研究の目

的をご説明し、日本におけます低線量率計測の状況について説明させていただいた後に、2つの手法についてお話しをさせていただきます。

原子力発電所事故が日本で起きた後、線量率の測定が、除染、そしてモニタリングのために要求されることになりました。こちらにあるような様々な可搬型サーベイメーターが使われました。これらが環境の線量率測定に使われるようになり、 $1.0 \mu\text{Sv/h}$ 未満の校正が品質保証のために必要となりました。また、こちらにあるような環境放射線線量測定機器のほとんどが現場に設置されています。これらは大型で重いということもありまして、校正を行うためにラボまで運んでいくということが難しくなっています。

そこでこれらの校正の信頼性を確保するために、校正方法を開発しました。1つが、サーベイメーターなどの可搬型線量計の校正のためのコンパクトな低線量率照射システムです。そしてもう1つが固定式の環境モニタリングポスト向けに開発された現地校正方法です。

それではまずこの可搬式線量計の校正システムについて説明します。バックグラウンド線量率を減らすために遮蔽用の箱を設計しました。こうすることで低線量率においても安定した校正が行えるようになります。一方で、外側のシールドは 30 mm の鉛でカバーされていて、内部は 2 mm のステンレス板、そして 1 mm のアルミ板を用いています。これらが鉛の特性X線を遮蔽します。そして、校正の参照点がこのボックスのほぼ中央に位置しています。そして線源からの距離は約 66 cm の位置となっております。

こちらが私共の照射システムの写真です。遮蔽能力のテストを行い、最適な遮蔽厚みの特定のために、外側の鉛の板の厚さを変えられる構造となっております。

この遮蔽レイヤーは 2 mm の鉛、そして 1 mm のアルミによって構成され、遮蔽の厚さは遮蔽板の数によって調整することが可能となっております。そして、線量率の測定は、この NaI サーベイメーターと CZT スペクトロメーターを用いました。

そして遮蔽能力を調べるために、まず初めに、下部パネルの遮蔽効果を確認致しました。遮蔽がない場合は、バックグラウンド線量率は $0.08 \mu\text{Sv/h}$ でした。一方で、下部のみを遮蔽した場合は $0.05 \mu\text{Sv/h}$ となりました。つまりは、下部の遮蔽によって線量率は約 $0.03 \mu\text{Sv/h}$ 減ったこととなります。

また、天面と側面のパネルの厚さを変えることによって遮蔽性能を調べました。厚さを 0 mm から 30 mm まで変更させています。そしてバックグラウンド線量率が箱の中で $0.01 \mu\text{Sv/h}$ よりも低くなりました。したがって低線量率でも安定的に校正をおこなうことができるようになりました。

また、散乱放射線をこの箱の中で調べました。照射システム内のセシウム 137 の光子エネルギースペクトルを、CZT 検出器で測定することにより、散乱光子の寄与度を評価しました。こちらは、測定データをアンフォールディング (unfolding) したエネルギースペクトルです。散乱光子の線量率は、セシウム 137 からの直接ガンマ線の線量率の 10% 未満でした。これはコリメート線源によるガンマ線照射室内の散乱光子の線量率の比率とほぼ同じです。

このシステムと標準的な通常の照射室において、3つの検出器を使い、校正結果の比較を行い、大変良好な校正結果が得られました。不一致率は3つの検出器の間で2%未満で不確かさの範囲内で納まっていました。

この校正システムについて不確かさバジェットシートをお示しします。校正標準不確かさ、 $H^*(10)$ については2%ほどです。

それでは次の研究内容、現地校正の手法についてお話しします。こちらでお示しているような現地校正用の照射システムを開発しました。この照射システムの特徴は、散乱光子を減らすためにコリメート照射を使っているということです。非コリメート線源を使った場合には、ガンマ線がいろいろな機器に当たり散乱光子が増えてしまいます。そこでこのシステムでは、散乱光子の影響について不確かさの評価がしやすくなっています。このシステムで校正の時間も短縮でき、また、簡単に設置することが出来ます。また、環境モニタリングのために、追加的な遮蔽のデザインも行いました。これにより、バックグラウンド放射線を減らし、安定的な校正を高いバックグラウンド放射線の環境でもできるようにしました。

こちらが、福島県内で、私たちは現地で試験を行ったときの写真です。リングが見えると思いますが、環境モニターのシールド遮蔽で、バックグラウンドを減らすためのものです。

結果をお示します。この表は、福島での校正の結果です。バックグラウンドレベルは2.8 $\mu\text{Sv/h}$ あるいは3.7 $\mu\text{Sv/h}$ でした。遮蔽することでバックグラウンド線量率がこのようにほぼ半分に減っています。最終的に校正定数は1.06そして1.07でした。これを茨城にある私たちの研究所に持ち帰り、バックグラウンドレベルがほぼ通常の中環境の中で同じ校正を行い、校正結果としては1.06と同じ結果となっています。遮蔽効果は、この手法については大体50%で、良い結果を得ることができ、ほぼ従来方法と同等の良い結果を得ることが出来ました。

最後に、この校正システムの不確かさについてお示しします。相対拡張不確かさは約6%です。これはあまり小さくありませんが、このシステムの利点は不確かさ評価という観点からは、追加的に散乱線の影響による不確かさを評価しなくてよいという利点があります。非コリメート線源を使った場合には、2%から10%程度の影響を受けることについて不確かさの評価に加えなければなりません、それが不要ないという利点があります。

ありがとうございました。

Vincent Grégoire 委員長：

どうもありがとうございました。何かご質問があるでしょうか？ Pawelさんお願いします。

Dr. Pawel Olko：

素晴らしいお話をいただきまして、また興味深い研究についてお話をいただきありがとうございました。日本におきましてはたくさんの地下におけます研究施設で例えば中性子

などの計測がなされております。非常に低い線量率の場所になっているわけですが、そういう地下の研究施設におきましてこういったようなこの校正というものは行なわれているのでしょうか？というのも、そういったような校正を行うにあたっては、おあつらえの場所だと思っております。

黒澤忠弘：

そうですね。可能だとは思いますが、あまり簡単にアクセスすることができるわけではないわけです。というのはわたしたちの機関から離れたところにあるからです。また、それだけでなく、私共この手法を活用することによって他の校正機関でも使っていただきたいと考えております。簡単に利用できるボックスになっているからです。

Vincent Grégoire 委員長：

他に黒澤博士にご質問ありますか？ Dr. Otto どうぞ。

Dr. Thomas Otto：

ありがとうございます。可搬型のものの校正については、単一の線源を使っているのでしょうか？それとも異なる放射能線源を使って異なる線量を使って、最終的にプロットでバックグラウンドの寄与度を消去していくのでしょうか？

黒澤忠弘：

可能であれば、異なる放射能線源を使いたいと思いますが、規制があり、屋外で使うことについては規制があります。セシウム 137 は 10 MBq が上限となっています。

Dr. Thomas Otto：

10 MBq と 5 MBq と 1 MBq を使ってプロットをして、バックグラウンドの評価はできるのではないのでしょうか？

黒澤忠弘：

それは可能かもしれません。その他に距離を変える手法も考えられます。

Vincent Grégoire 委員長：

さらにご質問がないということでありましたら、黒澤さんに素晴らしい講演をいただきましてお礼申し上げます。それでは続いてでございますが、本日最後の講演となります。Bochud 博士でございます。ロザン大学病院の放射線物理研究所のディレクターでありまして、線量測定に関する ICRP 第 2 専門委員会の委員長でもいらっしゃいます。本日は個人線量評価そして急性被ばくの事例ということでお話しをいただく予定です。François さん宜

しくお願い致します。

● 「Individual Dose Assessment: the Example of Acute Exposure」

Dr. François Bochud : Director, Institute of Radiation Physics at Lausanne University Hospital

ご紹介ありがとうございます。そして本当にいろいろとおもてなし頂き、主催者の方々に感謝申し上げたいと思います。これはわたくしがお話ししたい、個人線量評価、特に急性被ばくに関する事です。一般的に国民全体に対しての被ばくを計算することは、校正ファクター等を使ってできると思います。しかし場合によっては個人の線量評価をしたい場合があります。例えば医療においては、妊婦また子供にそのような場合が多くあると思います。本日は、ある特定の場合、つまり急性被ばく、つまりは原子力事故とか、爆弾が爆発し放射性物質が飛散した場合に集中したいと思います。ICRU レポート 94 という報告書の中に書いてあります。本日は是非このレポートをお読みいただきたいと思います。168 ページにわたっていますので、全てご説明をすることはできません。しかし、まずカラオケに行く前でも是非これを読みたいと、ICRU レポート 94 を読みたいと思っていただければと思います。

以前のレポートである ICRU レポート 68 も似たようなものです。これは遡及的線量測定に関するものです。特に疫学研究に関するもので、イベントからある程度経ってからのことになります。20 年ほど前にこれは公表されました。だからこそ ICRU としては新しくこれを公開しようということになり、イベントからもっと早い段階にフォーカスしていて、そして 20 年前からさまざまな研究成果があったのでこれらを反映するというものでした。どうやって事故があった場合に対応するか、特に、医療的な対応に関して準備できるように情報を提供するためです。

こちらが目次になっています。この報告書に関して、実際に中身がどのようなものであるか簡単に申し上げたいと思います。

まず、ICRU の中には、この名前の中にも単位というものがあるので、どういう量の話をしているのか定義する必要があります。この中では、組織、または線量計の吸収線量を使います。大規模な被ばくイベントがあった場合には、あまり多くの量を使うべきではなく、線量計の吸収線量にフォーカスすべきです。でも線量計というのは一般的な定義があるので、これは実用的なアプローチで決して精密というわけではありませんが実用的です。単位は SI 単位を使います。Dr. Thomas Otto が先程お話しをしていましたが、新しい量を使うためには 1 世代の時間がかかったというふうにおっしゃっていました。SI 単位を使うまで何世代もかかったという国もあるのでかなり時間がかかる場合があります。とにかく、SI 単位のみを使うべきです。そしてまた吸収線量があればこれを組織や臓器に対する線量に計算できます。線量計の情報があれば、その他の臓器や全身が吸収した線量もまた RBE（生物

学的効果比) 値で重み付けされた吸収線量も計算できます。

ここでの線量計は先ほど申し上げたものよりも少し範囲が広いです。2つの線量計があります。まず人の爪、砂糖、これは例えばポケットの中に入っている砂糖、これらも線量計として使うことが出来ます。通常通りに換算係数が必要です。全身に対する線量を計算するのであれば、モンテカルロシミュレーションで計算できます。ファントムもありますし、また、ある身体の一部の線量または身体の中の線量が分かれば、これらのものを携行している全身の線量を計算することができます。そして実効線量も場合によっては計算できます。でも組織反応につながるような急性被ばくを見る場合には、必ずしも実効線量が必要なわけではありません。

こちら ICRU レポート 94 の報告の中には、生物学的な線量計の様々な種類がありますし、また物理的なものでもそうですし、また補完的な手法もあります。ここでは、それぞれに関して申し上げたいと思います。

まず生物学的線量計に染色体があります。生物学的線量計は生物に対する放射線の影響をみます。これらの手法を見ると全部、血液に関するもの、血液に関連し得るものです。血液の利点としては循環している線量計であるということで、全身の線量を平均することができるので大変有用です。組織として使われるものとして血液が唯一ではありません。尿が組織といえるのかどうか、違うかもしれないけど、他の液体を使うことはでき、尿もこちらにあるとおりの線量計として使うこともできます。この3つの生物学的線量計の手法に関して話したいと思います。最も一般的に使われているからです。

1つは二動原体染色体 (Dicentric chromosome) です。例えば、放射線によっての2つの染色体が切断され、再結合します。すると通常の1つである動原体 (Centromere) が2つ有するものができます。そうするとこの染色体の2つの動原体がつまり第二動原体染色体になります。こちらを測定する場合はこちらの画像で分かる通り、こちらは1つの染色体で2つの動原体があり、これが二動原体になります。これが50年前に開発された手法であるにも関わらず生物学的線量計測の主流になっています。

どういうふうにするのか、まず採血しなければいけない。そして結果がでるまで2、3日かかります。そしてもし採血が数週間遅れると、検出されるシグナルが低減するということをお断りしなければいけません。横軸に線量があって、縦軸が測定される値はこのような関係になります。MDD (最小検出線量) というのが検出限界になります。1例ですが、MDDは100 mGy です。

別の血液の測定の方法として、転座があります。放射線の吸収によって転座が発生します。これは詳細に申し上げませんが、直接、転座の数をペインティング FISH (fluorescence in-situ hybridization) 法で測定することができます。結果としては、染色体で転座したものが蛍光を発生するので、蛍光を測定することによりどのくらい線量を受けたかということの評価することができます。

サンプルの入手法は同じで、血液サンプルが必要です。先ほどの二動原体染色体よりも長

い間処理しなければなりません。けれども、転座のメリットは、何年も場合によっては何十年も持続するという事です。例えば広島・長崎の被ばく者で 21 世紀でもまだ大体どのくらいの線量を受けたかということが分かるというような研究論文もあり、大変長い間使えるというものです。こちらが測定と線量との関係です。MDD が少し高く、250 mGy よりも高い。

もう一つ良く使われているのは γ -H2AX というものです。染色体、DNA は 2 重らせん構造になっていることが知られています。実際に細胞の中で見ると違って見え、ヒストンと呼ばれるものに集約しています。ヒストンの 1 つが H2A は呼ばれており、放射線が吸収されるとこれが反応し DNA が切断されます。つまり二本鎖の切断です。こちらに図式化されています。まず、DNA が切断されると、 γ -H2AX のリン酸化がおきます。私は物理学者で生物学者ではないのですが、わたくしの理解としては、リン酸化するということは、リンが DNA に繋がって蛍光を発する。これが例になります。二本鎖切断があるとこのように見えます。そうすることにより細胞の中の二本鎖切断の数を測定することができます。

これはとても有用で、しかも迅速に行うことができます。これがメリットです。ここに異なる線量を受けた図があります。吸収線量がそれぞれ違って直接的に γ -H2AX が線量と比例的に高まることが分かります。

これもまた同じ手法で、血液のサンプルを取るけれども、早く処理することができます。感度は高いです。減衰が早いから、早く測定しなければいけない。こちらに書いてある通り、時間単位なので、24 時間が横軸で減衰が大変早いので測定に関してはかなり早く行う必要があります。感度は大変高く、数 mGy は測定できます。生物学的線量計測に関しては以上です。もし詳細についてお知りになりたい場合は、ICRU レポート 94 をご確認くださいね。

もう 1 つが物理的線量測定です。3 つの手法があります。1 つが EPR 法、そしてもう 1 つが TL、そしてもう 1 つが OSL 法です。

1 つ目、EPR (電子スピン共鳴) 法について紹介します。この EPR というのは、放射線が吸収されたときに発生するフリーラジカルを測定するものです。このフリーラジカルは比較的長い間安定した形で組織の中にとどまります。そして、組織内の結合に関わる電子 2 つのうちの、1 つの電子がその結合軌道に回っていて、他方の電子が自由に動くわけです。少なくとも 2 つの電子が関与するわけです。そしてフリーラジカルの 1 つとして使われておられるのが、炭酸イオン CO_2^- と呼ばれているものです。これはヒドロキシアパタイト (水酸化磷灰石) の不純物です。こちらが骨や歯のエナメル質の中に高く存在します。大変安定しております。例えば、古生物学者がこちらを活用することによって、10 万年前の骨を検査したりするためにも使ったりします。因みになんですけど、先程 1 つの電子が軌道を回っているという話をしましたけど、ゼーマン効果というものを覚えていらっしゃいますか？ この原子に磁場をかけていくと、この回っている電子の軌道エネルギーレベルというものが

分離します。そして、このある特定のスピンの方向に回っている電子に、適切な周波数の電磁波によりエネルギーを与えることによって電子をもう一方のこちら側に持ってくる事ができるわけです。つまり、この手法を活用することによって、このような状況下にある電子がある場合、このある特定の周波数の信号を送った場合、実際に吸収されます。電子が多いとより吸収されます。つまりこれが EPR の原理となっております。

先ほど申し上げた通り、EPR を利用するにあたってエナメル質が一番です。それ以外のものの活用することができます。この図面の下に行けば行くほど感度は悪くなりますが測定はできます。歯の一部の組織 5 mg 未満のものを取ってくるのが一番でしょう。歯医者さんに対しても、例えば虫歯があるときに提供したりすることもあるかと思えます。

もう 1 つ、生体に対して直接に測定を行うことが出来るものがあります。こちら文献から取ってきたものですが、あまり感度は高くないものの、高速で簡単に活用することが出来るものとなっております。

こういったわけで、歯のエナメル質を活用するというのが EPR におきましても主流で、MDD は 100 mGy となっております。これは歯のサンプルがある場合の値です。一方で現場での測定の場合、MDD はより高く、500 mGy になります。ただ、こちらにつきましては測定を行うことによって、いったい誰が高い線量にさらされているのか等々について調べたい場合には良いでしょう。

そして最後に物理的な手法として説明したいのが、蛍光法というものです。TLD ないしは OSL と呼ばれているものであります。結晶体ないしは結晶体のようなものがあって、その価電子帯の電子が放射線からエネルギーを受けると、伝導帯に励起され、それが中間レベルにトラップされると比較的長く維持されるというものがあります。そしてトラップの数を光もしくは赤外線によって測定できます。毎回ですけれども、素晴らしいアニメで示したいと思うのですが、ここで光もしくは赤外線を照射すると、電子が伝導帯に上がります。そしてその電子が価電子帯の方に下がっていき、その時に発光します。その光を測定することによって、吸収した線量を評価することが出来るわけです。

様々なサンプルでこういった類の測定を行うことが可能です。生体サンプル以外なども利用することが出来ます。それからそれ以外にも生体サンプルがあります。衣服は違うのではないかとされる方もいらっしゃるかもしれませんが、天然の繊維は OSL でも利用できます。ただ、光についてケアすることが必要です。左にあります通り、皆、こういったようなデバイス (スマートフォン) を持っていますよね? ポケットの中で。ですので、これを使って測定することが出来るわけですが、こういった非生体サンプルというものは、光にセンシティブです。ですので、測定するに当たっては光から保護する必要があります。ですので、例えば、スマートフォンの SIM カードなどでそういったような測定を行うということは可能でしょう。

こちらに示したのが線量と蛍光の関係で、こういったサンプルを利用出来るようになっています。MDD はかなり低く、数ミリグレイまで可能です。当たり前のことですが、測

定までに時間がかかればかかるほど MDD が高くなります。

最後に補完的な手法というものがあります。これまで説明してきた手法というものは、外部そして内部の被ばくというものを分けておりません。このレポートにおきましては、補完的な手法として、バイオアッセイ法と中性子放射化分析法の2つを示しております。

まず1つ目、バイオアッセイ法というのは、例えば HpGe やガンマスペクトロメータなどで、直接身体全体のガンマ線を測ることで行います。もしくは、排泄物や尿の分析を行うことも必要に応じて可能です。

もう1つが中性子放射化分析法です。ガンマ線とか中性子を受けた場合、その放射線効果は異なります。例えば、同じ線量を吸収していたとしてもガンマ線の場合と中性子の場合には生体への影響が異なるわけです。どのような中性子の照射を受けたかということ把握するには、我々の体にあるナトリウムを測定します。ナトリウムは中性子と反応を起こします。ここにその反応が示されています。ナトリウム 24 の半減期は 15 時間ですので、すぐに放射能の測定をする必要があります。ただ、数日間の余裕はあります。一方で、ナトリウム 24 から放出されるガンマ線のエネルギーは決まっています簡単に計測することができます。中性子を受けた人からのガンマ線を直接に測定するか、もしくはその人の血液サンプルを取ることによって血液が放射化したかどうかということを確認することが出来ます。そしてこの場合 MDD は比較的低く、1 mGy よりも低く、数十 μ Gy ということもあります。

そして最後になりますが、様々な場所で移動した人の線量評価をする場合は、次のフェーズに移ります。そこでは例えばですけれども、ICRP で推奨されているファントムなどを活用し、その人がどういった状況でどういったことをされていたのかということを確認した上で、モンテカルロ計算をして、測定結果と比較します。

先ほど説明した方法で計算するためには、その人がどこに、いつ、どれぐらいの時間、どういった遮蔽があったのか、そういったことを確認しなければいけません。ただ、気を付けなければいけないのは、私共の記憶は完ぺきでは必ずしもないということです。その点についても不確かさと言うことで念頭におかなければいけないということです。こういったようなことを全て把握することによって、実際に受けた線量を評価することができるようになります。レポートにおきましては、どういったかたちで行うべきなのかということに記載しています。

それではまとめます。まず、やはり迅速に行動することが重要です。時間とともに MDD が高くなるということがありますので、ベストな情報を得たい場合、とりわけ、トリアージを行いたいということであれば、比較的早く行動されることが勧められます。午後、話にありましたとおり、人々というものはどういったような影響を受けたのかということを知りたいということもありますので、必要です。いくつかの手法というのがレポートにも書かれておりますので、もっと情報が欲しいということであれば、重ねて皆様、このレポートをお読みになることをお勧めします。もう1つ覚えておかなければいけないことがあります。それは、実際にこういったイベントがあった場合に、その場で対応することはできませ

ん。したがって、しっかり前もって備えておくということが重要です。このレポート以外にも様々な論文があるわけですが、様々な情報があるわけです。それを基に準備をされることをお勧めします。残念ながらわたくしの国、スイスではあまり準備ができていないということもあるわけですが、何とか貢献できればと思っている次第です。

これで最後です。実際にこの作業に関わった方々に感謝します。わたくしは、例えばカウコウみたいなものですが、他の人が作った巣に住んでいる鳥のようなものです。わたくし自身がレポートの執筆に参加したわけではありません。ここに書かれていらっしゃる人々が正に作業されたということもありまして、感謝の意を表したいと思います。様々な貢献をされたということで、しっかりとこのコミュニティ全体に広めていくことが必要であると考えております。ご清聴ありがとうございました。

Vincent Grégoire 委員長：

どうもありがとうございました。大変すばらしいプレゼンテーションでした。では、ディスカッション始めたいと思います。今日は寝る前にまずレポート 94 を読み始めなければいけないということですね。ちゃんと理解しなければいけないというお話でした。質問があればお願いします。

Dr. Pawel OLKO：

どうもありがとうございます。最初に砂糖の話がされていました。しかし、その後、砂糖の測定値についておっしゃっていません。聞き逃したのでしょうか。

Dr. François Bochud：

いや、砂糖の測定の仕方はレポートの中に書かれています。今日はお話ししていません。

Dr. Pawel OLKO：

砂糖はどうなんですか？

Dr. François Bochud：

OSL を使うことができます。

Dr. Pawel OLKO：

塩は TL でしょうか？

Dr. François Bochud：

ほとんどの材料で OSL は可能だと思います。素晴らしいです。ただ、OSL の問題は、光に

感応度が高いということです。

Dr. Pawel OLKO :

TL はさほど光に対して感応度は高くないと思います。塩はそれで完璧だと思います。

Vincent Grégoire 委員長 :

他にご質問のある方はいらっしゃいますか？いかがでしょうか？ないということですか。

François さんプレゼンテーションいただきありがとうございました。

では、今日のスケジュールの中では 20 分の総合討論があります。かなり早く終わったら、それも良いかもしれません。もっと討論の時間を長くすることはできます。または、一杯飲む時間がより増えるのかは皆様次第です。いろいろなトピックをお話したり、また、それぞれの講演者の方に質問しても良いと思います。まず、わたくしの方から皆様に質問したいと思います。今回のシンポジウムのタイトルは福島復興と放射線計測、F-REI および ICRU が主催しています。ICRU のメンバーの方々にそして日本の F-REI に関する方々に伺いたいと思います。ICRU および F-REI そしてその他の日本の機関はどうやって協力することができるでしょうか？このシンポジウムのタイトルのように福島の復興に役立ち、放射線計測ができるのか。また、それぞれの言語を使っても良いです。日本の方々が日本語でお話された方が簡単なのであれば通訳もおりますので、どうぞ自由に。万が一日本語で質問があった場合には、レシーバーをつけていただければと思います。

吉田浩子氏 :

ありがとうございます。質問があります。フランソワ。すみません、発音が悪く、お名前をうまく発音できなくて。個人線量評価の話がされていましたが、正確な被ばく線量の評価だけの話ではなくて、どうやってそれを伝えるのか。どうやってその線量を推定したのか。また、その線量からのリスクをどうやって伝えるのか、これは大変重要だと思います。非常に複雑です。どういうふうに対応されますか？

Dr. François Bochud :

すみません。ご質問はレポート 94 を超えており、それに言及していません。おそらく ICRP に対する質問かと思います。Grégoire 委員長が言っていました。私も ICRP のメンバーです。ご質問の点は重要性が増しているため、次の勧告のリストの 1 つに入っています。今まで行ったことは倫理のところを強化しようとしています。実際に伝達する時にどういう価値を勘案しなければいけないのか、また、被ばくを伝える時に倫理ベースを強固にしなければならない。ICRP は間もなく医療における倫理に関してレポートを発行します。PR しようとしています。今、意見の募集が行われているので機会があればコメントを。ただ伝え

る時に、信頼というのが最も重要なものだと思います。例えば ICRU のような国際的なドキュメントを参照し、その通りにしていると、そして我々のやり方に関しては完全にオープンで、お互いに協力する。本当に私達がやっていることは皆さんに信頼してもらえるように、重要なことをしていると。ただこれ以外に関しては、先生は、実際に現実社会で関与されていたので、先生の方が良くお判りだと思います。私の知識は病院でやっていることで、先生が行っていることに比べると、本当に小さい規模です、

吉田浩子氏：

ありがとうございました。ICRP 第 2 専門委員会の委員長をされているということなので、おっしゃっていることは良く分かります。やはり個別化は大変難しいと思います。個別線量というところに入ると、このようなことを検討しなければいけないと思います。科学的なデータだけでは十分ではないと思います。

Dr. François Bochud：

全くその通りだと思います。おっしゃる通りです。ICRP の中でもそのような議論が行われています。個別化に関してはいろいろな考えがあります。私としては第 2 専門委員会においては、もっと精密な線量換算係数がありますし、ファントムも幅広いサイズ等も網羅しています。おそらくこれからは、特定の人に与える線量に対して、我々が持っている精密な測定を使うべきだと思っています。ただ、注意しなければいけないのは、例えば胸部レントゲン撮影とかそういったことに関して個別に線量測定をするべきではない。有用な場合とそうでない場合とあると思います。でも、比較的簡単にできるのであればするべきだと思いますが、これは ICRP の中でも議論しているものです。

Vincent Grégoire 委員長：

François、私の方から。放射線感度は個人差があると思いますが、それはどう考慮に入れるのでしょうか？それは分かっているけれども少数派に過ぎないのでしょうか？個別化するけれどもどう対応するのでしょうか？

Dr. François Bochud：

ICRP で議論しているのですが、正におっしゃる通りです。私は第 2 専門委員会・線量計測の委員長を務めていまして、物理学者が参加しています。物理学者はなんでも分かっていると思っているので正確に被ばくした線量について議論ができる。しかし、生物学者、疫学者、そして医師と話をすると、現実を見なければいけないということになり今おっしゃったようなことになるわけです。個別化して個人の線量をみるのであれば、重要なのはリスク、そして、リスクと線量との関係には生物学があって個人差、個体差があります。正確ではないかもしれないけれども、今よりはもう少し正確にできるかもしれません。ただ勿論、確かに

不確かさや生存能力があります。

Dr. Soren Bentzen :

物理学者が全部分かっているかどうかというのは分かりませんが、物理学者は全部のことについてあまり自分が良く知らないことについても議論しがります。私もその一人ですので、私の発言について少し割り引いて考えていただきたいと思います。個人差、感度についてあるということですが、それがそんなに重要な影響があるかどうか分からないと感じています。この点については、がんの放射線治療でかなり研究が行われています。私もそういった研究に生涯の半分くらいもう既にかかっておりまして、遺伝的な症候群など極端な場合を除いては、個々人の感度の違いについては正確に突き止めることが出来ないと思っています。生物学的な線量計測で個人の感度の違いというのはバイオアッセイで場合によって見つかることがあります。それが人体の線量測定に対して優れているかどうか分かりませんが、生物学的な線量計測でそういうことがある。それから、分からないものについては推計する必要もあると思います。信頼を受けるためには、自分たちが正しい値が分からないことについて分かっていると認めることが信頼につながると思います。フランスさんもさっきおっしゃったように聞きましたが、被ばく線量の推計についていくつかの不確かさがあって、被ばくしたことの影響が分からなくなる。自然放射線の影響があるかもしれないし、それもさらに不確かさとなって、それを合わせて推計していかなければなりません。入手できているデータも活用できる、医学用のデータを活用することが出来て、それを外装しなければいけないこともありますけれども、リスクとしてそれらを用いて上限については推定をすることはできると思います。また、リスクコミュニケーションの方法については、例えば子供のがんに対して放射線治療を行うべきかどうかといったことについて、様々な研究が行われています。意外ではないと思いますが、絶対的なリスクの方が相対リスクよりは良く理解されます。個人にとっての絶対リスクの方が相対リスクよりも重要で、個人にとって相対リスクはあまり意味のないことが多いです。

Dr. John Michael Boone :

こちら少し古いかもしれないけど、個人差があります。放射線の感受性においてセンサーがあるということです。ベアセブンではそのような結果が見られています。是非それに関してどういうふうに正当化するのか、今は過去データになっていますが、それを教えていただければと思います。

Dr. Soren Bentzen :

おっしゃった具体的な報告書について私は知らないのですが、もし他に関心を持ってらっしゃる方があれば、さらに詳しくお話ししたいと思います。放射線治療によって被ばくをされた人体は研究されていまして、その観察結果というのは一貫性がある結果が得ら

れていますが、人による違いはあまり見られません。また、最近では全ゲノム、GWAS アッセイ等を使って遺伝的な違いがあるか、そして放射線感受性があるような形質を持っているかどうかということ調べていますが、そういうものはまだ見つかっていません。そして、異なる遺伝子タイプを持っている個人についても調べていて、5万人以上の個人のデータを集めている遺伝子コンソーシアムに私も参加しています。委員会に参加している他の委員は違う意見があるかもしれないけれども、個人的には放射線の影響がその個人の感度差によってあると思うのですが、そんなに大きな変化ではないと思います。

Dr. Francis Bochud :

私の方からもう少しコメントしたいと思います。現在、ICRP の個別化に関するディスカッションがあります。内部の提案としては、やはり例えば体格の大きい人小さい人がいるので、身体的なところですが、それも勘案する必要があります。そしてその他2つ、もっと重要なパラメータがあって、それは性、男女で感受性が違います。そして年齢もそうです。もし何か個別化するのであれば、その3つのパラメータを勘案する必要があると思います。

Vincent Grégoire 委員長 :

そちらに2つ質問があるようなので、ロジャーさん、それからパブレさん、パブレさんどうぞ。

Dr. Pawel OLKO :

ロジャーさんすみません、先に。私の質問は、2つのプレゼンテーション、山下先生それから吉田先生のレクチャーをお聞きしてこの疑問が生まれました。1つは甲状腺がんの場合のコミュニケーション、それからもう1つは吉田先生のコミュニケーションについては屋内の線量率が、経時的に、除染によって変わっていくということのコミュニケーションでした。けれども、福島事故の際に最も難しかったのは、避難への決定だと思います。避難の決定は、線量に基づいてそれから国際的な規制に基づいてなされていて、避難をさせなければいけないと大変難しい決定をした。そして、何年か経ちましたけれども、国際的な勧告を見直してみると、先生方のご意見では、ICRU とか ICRP がもっと注意を払うべき内容でしょうか。もっと研究をするべきでしょうか。あまりにも性急に避難させすぎるべきではない、もっとあるいは避難をするに際しては線量の条件をもっと高めるべきとお考えでしょうか。是非ご意見をお伺いしたいと思います。

吉田浩子氏 :

ありがとうございます。まず、政府が避難指示区域を決定したのですが、それは観測された実際の線量に基づいて決定しています。現存被ばく状況の参考レベルと実際の被ばく状況を考慮して、避難基準の設定をしました。それは、合理的なものとして受け入れられたと

思います。ただ、汚染の状況というのは、それぞれの地域で大きく違っていた。山のこちら
のほう、山のあちらの方、場所によって放射線量がかなり違っていました。しかし、避難指
示は地域単位で出されました。避難指示についても3つのタイプ、スライドでもお示しま
したけれども、緑と黄色と赤い地域、それは推定された被ばく線量に基づいて区域が指定さ
れました。また、宮城県、私の住んでいる県ですが、スライドでもお示しましたけれども、
宮城県の南の地域、筆甫ですとか白石といった地名の地域ではやはりかなり高い濃度の汚
染が生じました。しかし、宮城県では知事が福島に比較するとそれほど汚染されていないと
判断をし、放射線防護への対応が大きく異なることになりました。道を挟んですぐ隣の福島
県では、子供に対して個人線量計を使って被ばく線量の評価をすとか、健康調査を行う、
それから甲状腺の検査をすといったようなことが行われていましたけれども、福島県と
宮城県の県境で対応策が全く違っていた。ですので、宮城県の南の地域の子供たちに対して
私たちが被ばく線量の測定を行うことにしたのです。福島県側ではありません。親たちは福
島県で何が行われているのかを見ていました。福島県のすぐ隣で暮らしているのに、なぜ放
射線防護策が宮城県側では何も取られないのか。今日はあまり十分な時間がなくて私の研
究内容についてお伝え出来ませんでした。子供たちの宮城県における被ばく線量の評価
を行ったのですが、これに関して宮城県においては国の政府は何もしなかった。予算も有り
ませんでした。人々は国の決定を理解はしていますけれども、そうであっても国の防護策か
らこぼれ落ちてしまう人達がいるのです。また、避難指定区域においても3つのカテゴリー
があって、補償金についても区域によって違って、それについてかなり不満を表明する
人々も一部にありました。また、除染が始まったときには、緑のエリアからまず始まりまし
た。明日視察に行かれると思います。行くのは赤い地域です。この地域では、故郷に帰り
たいと思っても、放射線量がまだ高く、除染を待たなければならない。福島事故から12
年経ち、国の決定政策については理解をして受け入れてはいるけれども、それでもまだ影響
を受けている人々がいます。それらの人々全てについて網羅するのは難しいという印象を
持っています。

Vincent Grégoire 委員長：

何かコメントが直接ありましたらロジャーさんどうでしょうか？

Dr. Roger Wells Howell：

常に私がお話をしたかったコメントです。個々の人々に対する線量率の影響です。それと、
ICRP は線量率が生物学的線量計に関してどれくらい影響を与えると考えてらっしゃるの
でしょうか？ 通常、線量計は線量率に強く依存するので、生物学的線量計で実際に出てきた
データをどのように考えるかについてです。

Vincent Grégoire 委員長：

何かコメントありますか。フランソワさんマイクをお願い致します。

Dr. Francis Bochud :

残念ながらわたくしの方から今いただいた質問に対して答えを出すことはできません。とても難しい質問です。どなたかもっとわたしよりよくご存じの方に説明いただければと思うわけです。この点について既知の知識があるかどうかわかりませんが、今の質問に対して答えがある方いらっしゃいますか？ジョンさんもしかしたらお持ちかもしれませんけれども、いかがですか？

Dr. John Michael Boone :

単に理論的にですが、線量率は修復に関係しているわけですが、例えば、哺乳類でどの程度修復が行われているかわかりません。ですので、身体的な線量計は線量率にほぼ独立しているのではないかと思います。

Dr. Francis Bochud :

今の質問というのは、慢性的な被ばくの場合と急性なものとの違いに関する質問だったかと思うのですが、その点については多くのデータを持ち合わせておりません。ただ、放射線学者としてお伝えしたいことといたしましては、広島やまた長崎の方々に話すことは、受けた線量率と被ばくの期間は、被ばく者と医療患者では同様のリスクであるということがあります。この問題というのは、実際は問題ではないということが言えるのだと思います。

Vincent Grégoire 委員長 :

フランソワさんただ、放射線治療におきましては、線量率が低い場合は人体への影響が低いということは言えるかと思います。例えば、骨髄移植におきましては、低線量率の場合は、通常の組織に対しての悪影響は少ないということもありますし、人体への影響が低くなると思いますが、低線量率に対する放射線防護に関して同じことが言えますか？

Dr. Francis Bochud :

おっしゃる通りです。だからこそ、私どもはいっぺんにこの放射線治療の線量をあたえるわけではありません。わたくしが言わんとしていたことと致しましては、放射線防護におきましては低線量というものがあるわけですが、現実的な理由として、私共が、例えば人生を通じて、異なる時期に急性被ばくを受けた線量の効果は同じであると考えられるわけです。勿論のこと実際同じではないわけですが、実際どのような違いがあるのかということ把握するのは難しいということです。

Dr. Soren Bentzen :

1つ言いたい事としては、不確かさがでてくるのは、最終的にはカジノのようなものだと思います。この線量率がこういった影響をもたらすのかということとは分からない。

Dr. Thomas Rockwell Mackie :

わたくしの理解では、この甲状腺がんの潜伏期は、数か月や数週間ではないと思います。甲状腺がんの検査で当初は非常に高い検出率でしたが、時間とともに甲状腺がんの検出が減ってきました。特に若い人たちは、実際に被ばく前から甲状腺がんを持っている方もいらっしゃると思います。どのように被ばくによる甲状腺がんの確率的発生の推定を行っていらっしゃるのでしょうか？若い子供たちのために必要とされる放射線治療、例えばマントル照射（注：悪性リンパ腫に対する放射線治療）に基づいて、その潜伏期等そういったようなものについて考慮されたりしていらっしゃるのでしょうか？

山下 俊一氏：

どうもありがとうございます。とても重要な質問であります。この潜伏期間というものでありますけれども、これはとても長いです。ただ、子供に関してなんですけれども、例えば白血病のケースに関しましても、いわゆる先天的な胎児期のエラーというものもあるわけです。そういった意味で、潜伏期間というものは1・2年とか、5・6年ということで短くなります。一方で成人の場合は10年もしくは20年となります。こういった意味で我々は、より長い期間ということで対象集団をフォローすることが必要になります。ですので、甲状腺被ばく線量が少なくても、福島の大規模な甲状腺検査プログラムにおきましても長期にわたって見る必要があるでしょう。というのも、そういったような放射線の確率的な影響は、長く続き、最終的には日本におきましては3分の1の方々ががんでなくなるということがあります。ですので、こういった人たちをより長期にわたってフォローすることが必要となります。

Dr. Thomas Rockwell Mackie :

わたくしのポイントは、例えば他の地域の若い人たちに対して検査を行うということです。同じ年齢の子供たちを検査することによって、甲状腺がんが見つかると思います。日本の様々な地域におきまして、例えば沿岸地域と東部の子供たち、北部や南部でこのような検査を行うことによって、サンプリング効果の影響というものを除くことができるのではないのでしょうか。

山下 俊一氏：

そういうコホート研究はとても重要です。ただ、そういったような研究を行うことは研究では可能でも、倫理的にメリットがない集団スクリーニングとしては出来ないわけです。というのも、福島以外で、子供に対して、実際にそういったような超音波検査を受けることによ

て利益を得ることはないわけです。というわけで福島のみが実際に放射線の影響、すなわち何らかのリスクの可能性があるので、それで継続して調査しています。

Dr. Thomas Rockwell Mackie :

そう、そこが言いたいポイントです。どこであろうと低線量の自然放射線しか受けていない地域で、例えば 500 マイル離れた場所で、同じ年齢分布で、同じようにこの甲状腺の超音波検査を行ってそしてがんの調査を行うと、放射線と全く関係がない甲状腺がんの発生確率が分かりますよね。言い換えればコントロールと言うことです。

山下 俊一氏 :

そういったコントロールのような比較対照研究というものを福島外でできないということもありまして、私共この検査を福島全体で行うことにしています。例えば浜通り地域は比較的高い、そして中部におきまして中通りエリア、会津におきましてはほぼゼロということになっております。したがって、この3つの地域に関しましては比較をすることはできません。それを私共はこのような戦略を持って比較を行うようにしております。

Dr. Soren Bentzen :

コントロールとしてある一定の放射線を受けたということですね。

Vincent Grégoire 委員長 :

他にどなたかご質問があれば。いらっしゃいますか？

Dr. François Bochud :

わたくしの方からでありますけれど、確か韓国で行われた調査について話を聞いたことがあります。それが Dr. Thomas Rockwell Mackie さんの質問に対する答えになるかと思うのですけれども。

山下 俊一氏 :

確か 20 年前から韓国の甲状腺の専門家の方々ががん検診の一部として甲状腺超音波検査を行った。それによって、成人の甲状腺がんが非常に多く発見されました。しかし、それは対象が子供ではないです。子供に対して甲状腺がんの大規模甲状腺超音波検査が行われたのは日本が初めてで、多くのがんが確認されました。これが韓国と日本との間で行われたものの大きな違いです。

Vincent Grégoire 委員長 :

他にオーディエンスの中からご質問がある方がいらっしゃいましたら躊躇なく質問して頂

ければと思います。もしさらなる質問がないということでありましたら、この生き生きとしたディスカッションを行ったわけですが、関与された皆様にお礼申し上げます。白田先生そして山崎先生、ご招待にあずかりましてありがとうございます。そして、齋藤先生、このセッションを準備していただきましてありがとうございました。また、スピーカーの皆様素晴らしいレクチャーをいただきまして、また、オーディエンス皆様、シンポジウムに参加いただきましてありがとうございました。これをもちまして終了と致します。皆様良い夜を、そして今夜お帰りになる方におかれましてはご無事でご帰宅されるようお祈りしております。ありがとうございました。

以上