

汚染水処理対策委員会
トリチウム水タスクフォース（第3回）

日時 平成26年2月7日（金）14：00～16：17

場所 経済産業省 別館3階 312各省庁共用会議室

○上田対策官

それでは、これより第3回トリチウム水タスクフォースを開催いたします。

傍聴される皆様への注意事項として、席上に資料を配付させていただいておりますので、ご一読いただければと思います。よろしくお願ひいたします。カメラによる撮影は冒頭のみとなっておりますので、よろしくお願ひをいたします。

それでは、資料の確認をさせていただきます。座席表、配付資料一覧、議事次第、名簿、資料1から資料5がございます。不備等があれば事務局のほうにご一報ください。

それでは、議事に入らせていただきます。これより山本主査に議事進行をお願ひをいたします。よろしくお願ひいたします。

○山本（一）主査

それでは、議事を進めさせていただきます。

まず、復習ですが、前回の第2回タスクフォースにおきましては、福島第一原発における汚染水処理とトリチウム水の保管状況、トリチウム分離技術、社会的な視点からの評価項目や留意事項についてご説明いただきました。本日の今回は、各選択肢に関する評価項目の角度からの議論といたしまして、トリチウムの環境動態、環境影響の考え方について議論できればと思っております。まず、初めに事務局から今回の議題の全体像についてご説明いただきます。

○上田対策官

それでは、資料1をごらんください。事務局で作成をした資料につきまして簡単にご説明をさせていただきます。これまでのタスクフォースの議論の中で、トリチウムの選択枝の評価項目としまして環境や人などへの影響、これが挙げられております。本日はトリチウムの環境中における動態、影響、この考え方につきまして4名の委員からお話をいただく予定でございます。資料1の図は、トリチウムの環境中における動態、あるいは人にどのような形で影響が及ぶのかといったものを模式的に示したものでございます。この中に本日の4名の委員からのお話がどの部分に当たるのかというのを簡単に記載をしたものでございます。

この図の中にもございますけれども、トリチウムの環境での動きについては、動きの場として

は大気あるいは海など、あるいは土壌といったようなものが考えられます。そこにも書いてございますけれども、土壌中のトリチウムというのは海などへの拡散ということが考えられます。トリチウムの海や川への移流ということによって、人への影響というのは水を飲むということによる経口摂取というラインと、あとは水産物への移行というものを介した経口摂取というものが考えられます。この下のほうに矢印で線を引いてございますけれども、また、大気につきましては、直接、大気へ移流・拡散ということに加えて、左のほうから斜め上のほうの矢印がございまして、海などからトリチウムが蒸発をしていくといったようなことも考えられるということでございます。

人への大気を介しての影響というのは、吸入摂取ということが考えられるということでございまして、この簡単な模式図の中で、本日はこの全体の環境動態の全体論について柿内委員のほうからご説明をいただくということと、あと、水産物への影響評価につきまして森田委員のほうから、また、人への影響のうち一般論と疫学の関係、これを立崎委員にお願いをする予定でございます。また、人の影響の中で実験データから生体影響につきまして、田内委員のほうにそれぞれご説明をいただくことになっております。

簡単でございますが、全体像のご紹介でございます。

○山本（一）主査

ありがとうございました。

それでは、ただいまの事務局からのご説明に引き続きまして、全体像につきまして柿内委員よりご説明をお願いします。

○柿内委員

それでは、よろしくをお願いします。

私からトリチウムの環境動態ということで、ここに項目を挙げてはございますけれども、まずは環境中のトリチウムを考えるときにどういった分類をするのか、あと、環境中のトリチウムの分析というのはいわゆるどういうふうにするのか、そういったことを見ていただくことで、そういう方法を使って分析をして、その動きを見るということになります。そういったことを把握していただいた後、これまでの一般環境でのトリチウムというのはどういう状況にあったのか、それを俯瞰いたしまして、あと、福島事故を受けまして、若干、陸及び海洋とかで影響が認められた事例をもとにして、簡単に説明をいたしたいと思っております。

続きまして、「はじめに」というところでページをめくっていただきまして、まず、トリチウム、前回からずっと引き続きまして表記としては水素の同位体ですので、 ^3H という書かれ方をしたりとか、あとはトリチウムを英語で表記して頭文字をTと略すことが多いんですけども、水

素の放射性同位体であると。

先日来、ありますけれども、トリチウムというのはもともと環境中には宇宙線と大気上層、酸素・窒素原子と相互作用することによって、ずっと昔から生成して環境中に存在していたというものと、あとは人為起源、具体的に申し上げますと大気中核実験で全球的に広がったというのが1960年代まであります。あとはそのほかに原子力施設とか、平和利用に伴うことによりできて生じるものがあるということがありまして、トリチウムの環境中挙動というのは、これまでここに(1)(2)と挙げてあるような観点での研究が多く行われておりまして、地球規模での挙動というのは大気中核実験で環境中、地球上で広く広がって、それをトレーサーとして使うということで広く全球的な広がりで行われてきた研究、あとは局所的、いわゆる地上部、原子力施設で放出されたもの、そういったものが環境中にできたときという非常に局所的な影響、広がりを見るという、その二つが行われておりました。

トリチウムというのは水素の同位体でありますので、水素を含む化合物、物質、その全てがトリチウムの研究対象になるんですけれども、ですので、トリチウムというのは水素の同位体、いろんな化学形、有機物であったりとか、いろんなかつてのこれから出てくるような形があるんですけれども、そういったものはまた生体内に取り込まれたときというのは、体の中での入りやすさであるとか、または入った後、出ていきにくさというのがありまして、いわゆるある一定の濃度をとったら、どのくらいの線量になるのかという線量換算係数というものがICRP等で規定されておりますけれども、そういったものも違うということで、環境中のトリチウムと一言で申し上げても、いろいろな化学形に分けて分析する必要があるということで、化学形に分けた分析法についてもご紹介いたします。

続きまして、環境トリチウムの計測ということで次のページを見ていただきたいんですけれども、トリチウムというのはβ線を放出して³Heに変わる、そして、放射能測定の場合、β線というのは非常にエネルギーが低いんですけれども、シンチレーターというエネルギーを受けると光を出す物質があるんですけれども、そういうものと有機溶媒がありまして、それと水の形で混ぜることによって放置して測定すると。そうすることによって光を出して、その光の数を数える、ここにあるような環境試料をはかるような液体シンチレーションカウンターというものがあるんですけれども、これは下に挙げてあるような二つが主なものなんですけれども、こういったものではかるという方法とあとは壊変した³He、ヘリウムは希ガスなんですけれども、出てきたものをある一定量集めて、それを質量分析によってはかるという方法があります。この分析法はまた後ほどご紹介いたしますけれども、非常に感度がいいことが利点として挙げられます。

続きまして、環境中の試料分類と測定法ということで、主に環境中で水素を含む化合物として、

もしくは試料を採取するときの形として、こういったものがあるということなんですけれども、大気中、いわゆるガスとして存在するというものは、水蒸気の形で水の分子が一つ置きかわったその形で、ここでHTOと表しますけれども、こういった形であるとか、あとは水素とか、あとは炭化水素、主な存在形態はメタンの形が多いので、ここでは CH_3T と表記しますけれども、こういったものを捕集法につきましてはここでは割愛いたしますけれども、最終的には水の形で捕集します。水にして先ほどの液体シンチレーションカウンターで測定すると、また、降水とか水道水その他、いろいろなものは蒸留をして精製して液体シンチレーションカウンターで測定する。

また、有機物というのはいわゆるとってきたもの、例えば魚でもいいですし、植物、葉っぱのようなものでも水を含んでいますので水を分けると。水で分けたものとあとは有機物、乾燥試料そのものをはかるということで、ここではFWT、OBTというものを測定します。ここでは詳しい説明は次のページで説明いたしますけれども、そういったものを水そのものを液体シンチレーションカウンターで測定したり、質量分析ではかったりいたします。また、土壤水分というのとは植物の中の水というのとは土壤水分の影響を受けますので、土壤水分もまた分けて考えるということで、こういったものを水として分析するということになります。

続いて、次の資料になりますけれども、有機物中トリチウムと題したページなんですけれども、ここで下の灰色であらわしていますように有機物の形で摂取しますと、水の形で体の中に取り込まれるものよりも吸収がされやすいということと、あとは体の中から出ていきにくいということで、いわゆる影響を考えるとときには化学形というのとは大事であるということで、こうやって分けて評価することがトリチウムの環境影響を考えるとときには一般的に行われております。

それで、この試料というのとは真空乾燥もしくは凍結乾燥といった言葉がなじみ深いと思うんですけれども、右の写真にありますように試料を真空ラインにつなげまして、コールドトラップといって氷の形で回収して乾燥試料と水試料を入れると。その水試料というのとはもともと組織の中に自由に含有水という形で存在しているもの、これを通称FWT、ここにあるように自由水中トリチウムと表記します。こういったものが植物の中にあリまして、また、有機結合型トリチウム、いわゆる有機物の中に含まれているトリチウム、これはOBTとここでは表します。

具体的なイメージとしては右下の図にありますように、ここでは例えば植物というのとはセルロース骨格、セルロースというのとは有機物の代表的なものと想像していただきたいんですけれども、そういったものがあリまして、その中には水が含まれております。なので、水を含んでいるので、これを燃やして水として回収すると、この水というのとはもともと有機物の中に含まれていた水素及びトリチウムを反映しているということで、従来、有機物OBTの分析というのとは燃やして水として測定することも行われておりました。最近では質量分析によるデータもできてきている

ということで、先ほどの説明にもつながるんですけども、そういったものがございます。

あと、本日は説明が煩雑になるので割愛させていただくんですけども、OBTの中でも交換型OBTと非交換型OBTと分けられる核分、そういう部分がありまして、これというのは先ほどの自由水中トリチウムであるとか、大気中の水蒸気、そういった水素のトリチウムと容易に交換をしてしまう部分があるということで、分けて考えるということも行われております。こちらに関しては、本日、説明は時間の都合上できないので、参考資料として後ろにつけてあるものを参照していただければと思うんですけども、本日は先に進めさせていただきます。

続きまして、環境トリチウム分析の前処理ということで説明させていただきます。これまでもトリチウムのデータってなかなか出てこないですよということをよく言われるんですけども、その理由というのはいわゆるβ線を出す放射性核種ですので、化学分離に時間がかかると。化学分離というのは具体的に申し上げますと、水にする、乾燥試料をつくるということになります。なので、有機物試料としては実際に分析するまでは冷凍保存しておいたものを乾燥して乾燥試料を得て、一部は質量分析ではかたたりとかするわけなんですけれども、得られた水もしくは有機物を燃焼して生じる水というのは、水試料として液体シンチレーションカウンターではかるという形になる。また、河川水とか降水試料というのは蒸留して精製して放射能計測、液体シンチレーションカウンターによる測定を行うということになります。

次に、後ほどまた説明が前後してしまうんですけども、このまま液体シンチレーションカウンターで全部測定できればいいんですけども、環境中のトリチウムの濃度レベルというのは非常に低くなっておりまして、それを濃縮して分析をしなければいけないということで、かなりの試料については電気分解、電解濃縮という言い方をするんですけども、をやって分析を行わなければならない濃度レベルになっているというのが現状です。

あと、続きまして環境試料中トリチウム濃度のあらわし方というシートを見ていただきたいんですけども、具体的にこういった分析試料をあらわすときにどういう表記の仕方があるか。いろんな着目の仕方では表記が変わるので、ここでまとめてみました。トリチウムはいわゆる水として存在することが多いですので、水1リットル当たり存在する、1ベクレルで存在するときには1Bq/L、ここにあるような表記の仕方をします。また、今回では表現が余り出てこないんですけども、いわゆる地下水とか年代決定とかで水文学というのがあるんですけども、そういった分野でまだ使われている表記で、1TUと書かれたものがあるんですけども、これは水素原子 10^{18} 個が存在したときに、その中でトリチウム原子が1個は存在するときには1TUという表現をします。これは先ほどのBq/Lで表記すると約0.12、0.118Bq/Lに相当します。

また、有機物ですと、こちらの環境試料というのはとってきたもの、いわゆる水を含んでいる

当たり、いわゆる食べるときにどのくらい食べて、その中にどのくらい放射能が含まれているんですかというときには、ここにあるように湿重量もしくは生重量という言い方をしますけれども、湿重量当たりどのくらいのベクレル数が入っていますよという言い方もあれば、あとは乾燥試料当たりどのくらい含まれているかという表記、あとはほかの放射性物質を表記するときとは異なる表現としては燃焼水、先ほどトリチウムを燃焼して分析するというのが従来あったという話しをいたしましたけれども、燃焼水1リットル当たり1ベクレル含まれるときには、1Bq/Lという表記をします。

この表記は、いわゆる植物のもともとの中に含まれている水の濃度というのが燃焼水の濃度とほぼ同じというか、反映したものであるということで、この化合物の反対方向に矢印を向けると、二酸化炭素と環境の水を使って光合成を行う反応にもなります。したがって、有機物の中のトリチウム濃度、いわゆるOBTの濃度というのは生物が育った、もしくは植物が育ったところの環境の濃度レベルを反映するというので、燃焼水1リットル当たりの濃度というのは便利なわかりやすい表現になるので、汎用として使っております。また、大気は1立方メートル当たりの濃度、もしくは水蒸気の場合ですと、水として1リットル当たり存在する量として考える考え方がありますので、ここでもあわせて表記いたしております。

続きまして、降水中トリチウム濃度の推移ということで、右下に出典、放医研とあと環境放射能データベースから引用したデータを年平均で示しています。先ほど環境中のトリチウムというのは、大気中核実験というのが1963年をピークとして行われておりまして、63年に大気中というか、降水中のトリチウム濃度というのは、日本においても年平均で100ベクレルを超える濃度を示していました。それがここで大きいマズのフレームを見ていただくように、大気中核実験が減った後は急速に減少していくと。この減り方というのはトリチウムの半減期というのは12年なんですけれども、半減期以上に速く減るといのは日本が海に囲まれているということで、海は非常に水の量が多いということで、いわゆる希釈の効果も手伝って非常に速やかに濃度の減少が認められます。

そして、赤フレームで囲っているところを縦軸を拡大して見たものが右上の小さいグラフになりますけれども、こちらのように80年代、90年代もだんだんまだ減衰が認められているんですけれども、2000年代に入ってその濃度というのは減衰がほぼ年平均でいうと、なかなか、認めづらくなっている。これがいわゆる定常状態、大気中の降水レベルで申し上げると、ほぼ大気中上層部でできているトリチウムと壊れていくトリチウムがつり合った濃度レベルというのは、このぐらいなのでしょうということ、ここからも見てわかります。ここで見ていただきたいのは最近の降水中レベル、定常状態の濃度レベルというのは、0.5を下回るぐらいが大体一般環境のトリ

チウム濃度レベルになります。

そして、環境試料中のこちらはOBT濃度定量という話をしたんですけれども、ここで比較の次に表をお示ししますけれども、ただ、0.5Bq/Lというのを有機物の濃度であらわそうとすると、なかなか、分析が難しいということを示すための表になりますけれども、ここで乾燥重量当たり供試料量を出しておりますけれども、大体、植物というのは水として物にもよりますけれども、重量に対して50%から90%の水を含んでいますので、大もとの試料量からするとこの約10倍を考えていただくと、そんなに違いはないかなと思いますけれども、そういった試料をスタートとして分析をします。

そして、それぞれの燃焼法、いわゆる燃やして水を回収して分析をするということで、そのときに得られた水の量から分析すると、こういう濃度下限を有するというで、ただ、燃やすだけだと今、環境試料中の濃度を定量することは難しい。また、それを得るためには大量の水が要りますので、供試量をふやして分析をする。それでも一応、環境の濃度レベルぐらいいけるんですけれども、これは非常に試料量を多くこなさなければいけないので、前処理にかかる時間が非常に多くなると。質量分析に関しては3日とあるのは複数試料を同時に処理をして、一つ当たりの処理時間になるんですけれども、それが一番短いんですけれども、先ほど壊変して生じる³Heをためると言いましたけれども、ためる期間が2カ月必要ですので、処理をした後、2カ月の時間のずれが生ずるといふのがあります。

次は一般環境中の濃度レベルというのを分析の検出下限と並べた図になるんですけれども、陸域環境というのが先ほど降水で最近の濃度レベルをお示したんですけれども、大体、変動の範囲を考えますと、この緑であらわしたところが通常陸域の濃度をあらわすものになるんですけれども、水圏ですと沿岸海水、そういったところだと非常に海水の濃度が低いので、分析できる場所というのはなかなか難しいというのが、それで、最近、そういうところを分析した報告例が少ないということにもつながっております。

そして、ここで一般環境のそれぞれの濃度の話に移りたいと思いますけれども、大気中トリチウム濃度、こちらは我々の仕事の中から一つ引用を持ってきたんですけれども、九州の熊本であるとか、中部地方の岐阜県の土岐、あと、六ヶ所村の、熊本と土岐に関しては引用データなんですけれども、1立方メートル当たりで大気水蒸気ですと約4ミリベクレル、水素の形で約9ミリベクレル、炭化水素、メタンの形で約2ベクレルということで、それぞれ、水素の形が一番濃度が大きくてメタンが少ないという形にはなるんですけれども、総じて濃度レベルというのは同じ桁のあたりに分布しているんですけれども、さきほど1 TU、水素原子 10^{18} 個当たりの濃度の話をいたしましたときに、水素原子当たりで考えますと水素とメタンというのは、水、水蒸気と比べ

まして3桁から4桁高い非放射能という言い方をするんですけれども、水素原子体のほうが高いと。これはできたときの起源が違うということをあらわしておきまして、何で違うかにつきましては、大気上層でできるときのもが多いであるとか、いろいろな話があるんですけれども、ここではその説明は割愛させていただきます。

それで、環境中トリチウムの存在量というものをベクレルの軸に従って示しておりますけれども、先ほど大気中核実験で入ったというのが、一番中央上の部分にある核実験由来と表示されたところがありますけれども、63年までにそれだけの量が入って、それが壊変して減って行って、あと、平衡存在量というのは絶えずできているもの、それが真ん中の2010年あたりで 2×10^{19} ベクレルぐらい存在している。それが環境中で分布して降水であるとか、環境中のトリチウム濃度レベルを決めているという話になります。

前回のタスクフォースの中で、東京電力さんのほうから汚染水中のトリチウムがどのくらいあるんだという話ですけれども、このスケールで示しますと 8×10^{14} 、このところに位置すると。参考までにということでデータベースから、フランスとイギリスの再処理の海洋へ排出された量というのがそのあたりに位置しまして、あと、最後になんですけれども、2013年に発表された論文で、福島沖でトリチウムだけではなくてヨウ素129とかセシウム137、セシウム134をはかって、海洋へどのくらい入ったかというのを推定した論文があるんですけれども、そこにトリチウムの量がこのぐらい、2011年6月時点での調査をもとに推定されたところによると、そこにあるような数値が示されておりました。

続いて13ページのシートになるんですけれども、この量というのがどういったものかと申しますと、福島沖の表層海水、水深200~300メートルのところのトリチウム濃度をはかったところ、バックグラウンドの濃度レベルに対して0.07から0.15に上がったということで、水1リットル当たり0.08ベクレル上がったということで評価されております。

ここで線量としてどう考えるかということはこの事例をもとに簡単に紹介いたしますと、水圏環境というのは、先ほどのFWTというのは魚のすんでいる周辺の海水の環境、そこと濃度的に速やかに平衡に達することが、数時間のうちに平衡に達するということが実験的にも確かめられております。また、この水を使って魚というのも生活していますので、有機物としてもこの濃度というのは存在して、かつ魚からの要る水として有機物がつくられるときというのは、生体濃縮は起こらないということが知られておりますので、それをもとに年間摂取量、1年間に60キロの魚を摂取して濃度上昇分0.08、これは水1リットルと重量の1キロが同じということで、ここではkgと表しておりますけれども、それにOBTの線量換算係数、本来であれば魚の含水率、水の量と有機物の量を分けて考えるんですけれども、ここではいろんな魚種もいるということで、線量換算

係数として水よりもOBTの線量換算係数のほうが大きいので、これを用いまして全量をOBTとして計算すると、大体 2×10^{-10} シーベルトというような評価をするということで、こういう形になります。

続きまして、福島で事故前、事故後、どういった濃度だったかということを示す図になりますけれども、こちら放医研とあと放射能データベース、あと、2011年に関しては福島県の河川水、水道水の調査結果をここでは入れております。こちらは1978年以降からデータをあらわしておりますけれども、このように河川水というのは降水よりも濃度が70年代、80年代前半に高いというのは、河川水というのは地下水とかでちょっとおくれで過去の高い濃度のものが入ってくるので、降水の濃度よりも高く出るとい一般的傾向です。ただ、こういうふうに過去に高い濃度があったということをご紹介したいという話です。

2011年11月から12月にかけて採取された河川水とか水道水なんですけれども、ここにあるように過去2001年のところに青い点が並んでいると思うんですけれども、このものと2011年の青い点のところというのは、2012年に濃度範囲が広がっているんですけれども、統計的に見ますと有意差はないということで、広がりはあるけれども、有意な差は認められない。ただ、環境中は濃度が上がったかもしれないというはあるんですけれども、今のところ、公表されたデータベースとしては上がったデータはないということです。

あと、2011年に福島で採取した植物、これは我々のグループが採取したものになるんですけれども、2011年3月、4月及び夏の7月後半から8月にかけて植物を広く採取するというので行いました。これは環境の水というのは水の動きというのは非常に速いんですけれども、植物の場合ですと土壌に間隙水として入った水とかも吸い上げて使うということで、影響があるのであればその後、事故の直後でなくても評価できるのではないかとということで入ったデータになります。それで、ここにあるような点を打ったところで採取して、植物種に関してはここに表記してあるとおりです。こちらは濃度分布を示すのに色を使って描いておりますけれども、ここで示しますように先ほど降水の濃度レベルというのは、0.5Bq/Lというのが一般環境の濃度レベルですよという話を降水から判断するとできるんですけれども、それから見ると明らかに長いということで、事故直後、福島にはトリチウム濃度が上がる、セシウムが多く沈着したように上がった、見えたということが確認できます。

ただし、この3月、4月、4月の直後で20キロ圏内でセシウムの非常に影響が見えたところというのは、トリチウムの高い濃度も認められたんですけれども、そういう高いところを除いて、3月、4月、7月～8月と考えますと、大体1カ月で濃度が半分ずつになっていくというような濃度減少の傾向を示しております、植物の濃度レベルとかでも年の10月、11月というのはほと

んど一般環境濃度レベルと変わらないぐらいに収束しているということがわかりました。また、線量評価として考えるときにはどう使うか。例えば植物の中のフリーウォーターというのは、大気水蒸気の関係と関係式であらわすことができまして、それで大気中のHTO濃度を評価することができます。それを評価して吸入摂取による被曝線量を評価しますと、3マイクロシーベルトという評価結果が得られました。

そのように一般環境データでそういう線量評価とかを行うんですけども、実際に人への被曝経路というのを考えるときというのは経口摂取、食べることによって摂取するというのは水の形であり、有機物の形である。有機物というのは光合成によって、そういうFWTを使って有機物がつくられていって、最終的にはそういうものを評価する、また、飲料水としてどういうふうな変動になるのかというのは、例えば汚染水というものを貯蔵したときには陸上でどこかで置くわけなんですけれども、そういったものというのは漏えいする可能性がある、そういうときには陸域での広がりや評価しなければいけない、また、そういったものは吸入摂取とかで大気に漂うわけなので、そういったものも合わせて評価しなければいけないんですけども、実際、どのくらい広がるかというのは大気移行モデルとか、海洋であれば海洋の拡散モジュールを使ったまづ濃度の予測が必要だと思います。また、実際、それを環境データによる安全確認をしながら、評価するというものが大事なのではないかと思います。

以上です。

○山本（一） 主査

ありがとうございました。

ただいまのご説明につきまして、ご意見とかご質問等がございましたら、ご発言をお願いいたします。高倉委員、お願いします。

○高倉委員

すみません、ちょっとお聞きしたいんですけども、トリチウムの場合、大体、生物学的半減期は10日なんて言われているんですけども、これは有機のほうは考えない。

○柿内委員

それは水の場合で、有機物の場合は大体40日ぐらいだったように、記憶違いだったら申しわけないんですけども、確認してまた。

○高倉委員

あと、それから、先ほど福島県でやったんですが、あれは環境の放射能の場合、口に入るものということだったので、大体、水道水の源泉に近いところのものをはかっていたわけです。それで、現実的に水ははかりやすいんですけども、有機物というか、魚とか何かははかり

にくいものですから、それをはかった覚えがないんですよ。それで、先ほどいろいろはかっている、草とかをはかっているようなんですけれども、その測定誤差というのはどれぐらいものではかれるものなのか、わからないですけれども。

○柿内委員

測定誤差と申しますと、一般環境の例えば降水の濃度レベル、1 Bq/Lぐらいですと、大体10%の誤差と考えていただければ、大体、大きな違いはないと思います。

○高倉委員

それから、先ほど福島の場合、3.11以降、はかっている結果が出ているんですけれども、これによるとかなり希釈が自然浄化といいますか、それが速いといいますか、これを感じるんですけれども、それは植物に有機物として吸収されるのが少ないということですか。

○柿内委員

こちらはまだ有機物自体の測定結果というのは、今、分析の途中なんですけれども、水の形ですといわゆるトリチウムの動きは水そのものの動きですので、水の回転というか、循環が速ければ速いほど、結局、連続的にトリチウムが出てきているわけではないので、一回、入ったものは水の代謝に従ってどんどん抜けていっているというふうな理解で我々はいます。

○高倉委員

それから、核実験で大気中の汚染したのがかなり浄化していくという結果が見られるんですけれども、水の場合ですとさらに水の中での拡散ですから、それよりもっと速く拡散するんじゃないかと思われるんですけれども、大気中よりも。

○柿内委員

そういった意味で、大気中核実験が起こったときには陸と海洋の両方に沈着という表面に落ちていくわけなんですけれども、海洋の場合は深い方向にどんどん沈み込んでいくという意味です。なので、表層のところは濃度が薄いやつが入ってというか、低くなって、それが陸域で雨とか大気の循環でもたらされて、それが陸域にあるトリチウムを希釈する形で作用しているために、見た目、速く濃度が減衰しているというふうに認められます。

○高倉委員

あと、もう1点、すみません、そうすると一番大事なのは有機物の生成といいますか、それがどのぐらいあるかというのが結局、問題になってくるのかなという感じなんですけれども。

○柿内委員

そういった意味で、いわゆる濃度レベルが低いということで、実際、実環境で魚のこういう濃度をはかった例というのが非常に少ない、特に海水ですとほとんど本当はないというのが実情で、

あとはあっても非常に特異な例というんですか、施設の周辺環境でかつ出てくるトリチウムが水だけではなくて有機物の形で出てきてしまって、こういう場合の比較評価に使うには適切ではない例というものが少なからずありますので、ここでは一応、一番考えられ得る形で濃度推定したんですけれども、実際、一般環境で例えば魚の自由水は、周辺のとったところの海水の濃度レベルとほぼ一緒ですという話をしたんですけれども、魚によってはいろんなところを回遊しますので、海洋の中でも濃度の違うところがありますので、見た目上、1を超えるものが存在するか、そういった生育環境を反映した形で出てきますので、例外も多々存在します。ただ、例外を評価するためのデータというのが現状、不足して、こういうところを考えるときには、一応、考えられ得る一番考えやすいシナリオで今回は紹介をした次第なんですけれども。

○高倉委員

そうすると変な話ですけれども、例えば放出するにしても遠洋のほうで放出した場合は、完全に定着魚ではないものですから、かなり魚に対する影響は少なくなるという。

○柿内委員

そのところは、とても私も魚の生息環境とかに関しては専門的な知見があるわけではないんですけれども、あと、放出するときどういう海洋の状況、海流とかいうもので拡散を評価して、濃度がどのくらい推定されるのかというのと、あとはとれた魚というのがどのタイミングでとれたかによって、非常に出した直後にたまたまそこを通った魚を捕まえてしまうと、何か見た目、高く評価してしまうという可能性も十分考えられますし、その逆も当然考えられますので、こういったところは想定され得るシナリオを整理して、実際、そういうことを評価するときには慎重にしなければいけないというふうには考えますけれども。

○山本（一）主査

ありがとうございます。

○中津オブザーバ

海水のところでお聞きしたいことがあります。13ページのところの資料でございます。福島沖表層海水の濃度ということでご説明があったわけなんですけれども、二つ質問がございまして、一つは福島沖というのも地理的にはどのあたりの場所なのかと、水平的な場所ですね、が一つ目です。それから、柿内委員に今、ご説明いただきました表層海水ということで、200～300メートルまでということになっておりますので、深いところはもうちょっと濃いということであれば、深いところの魚も高くなる可能性があるというふうに理解してよろしいか、この2点をお願いします。

○柿内委員

ポイント的なところは、緯度情報的なところで正確なところは把握していないんですけども、大体100キロぐらいは離れている認識です。

それで、先ほどの深いところまでトリチウムが入っているかという話ですと、本当に上の表層のところの200～300メートルのところまでで、まだ、深いところには入っていないということです。あとは一般的な話として、一般的な話って大気中核実験の時の話ですと、約1,000メートルぐらいのところまではあるんですが、海水で表層、中層、深層とあって、なかなか、深いところには行きづらいという話があって、単純に拡散速度というか、物理拡散の速度で下に入っていくのが大体わかっておりますので、大体、表層のところ、遠洋であれば200～300メートルぐらいのところから、深いところまでも1,000メートルぐらいを見ておけば、短い時間スケールであれば大丈夫だと思うんですけども、あとは長い目でどこまで評価するかというのは、また、考えなければいけない問題だとは思いますが、現状では表層のこの深さぐらいのところまであったという調査の報告です。

○中津オブザーバ

ありがとうございました。

○高倉委員

我々もずっと海水、3キロ沖合ぐらいまでなんですけれども、上中下に分けてはかっているわけなんですけれども、現実的にオオハシ先生なんかのを見ると、温度が高いのは上のほうを走りますね。下のほうには余り行かないんですよ。ですから、かなり深いところにはそんなに行かないんじゃないかという感じがするんですけども。

○柿内委員

恐らくというか、原子力発電所その他のいろいろなところかでも、いわゆる温排水として海洋に排出するものは、表層のほうを拡散するというのは報告例として拝見したことがあります。あと、原子力施設とかで例えば六ヶ所の再処理工場なんかでの海洋へ排出するときというのは、2.何キロか沖の水深40メートルのところにパイプの先があって、そこから排出するとか、そこはいろいろな施設においてさまざまな形があると思うんですけども、それは多分、そういった拡散をさせるときに非常に太平洋側ですとオープンな開かれた海ですので、広く拡散すると思うんですけども、例えばこれがフランスの再処理工場ですと、海域が狭いところを通っていくので、比較的高い濃度のものが検出されるというような事象もありますので、そこは地理的なというか、地形的なことを考慮して、いろいろ考え合わせなければいけないものだと考えます。

○森田委員

水研センターの森田ですが、海の海水の拡散というのは周りの水との混合というか、まじりぐ

あいなので、水のもともとの水温と塩分濃度で決定されるので、深層水、下のほうというのは冷たい水なので重いのが下へ行くと、ですが、温排水みたいな温かい水は上をなぞっていくというのは軽いのでいくと。今回、放出がどういう形かわからないけれども、もし、淡水で放出したらまざらないので、そのまま淡水は上を滑っていくということで、拡散は完全に周りの水と同じような条件の水で出せば速やかに拡散するし、違った条件で出せば拡散しないでいつまでも水の塊として残るという話です。

○山本（一） 主査

ありがとうございます。

それでは、引き続き水産物の影響評価のお話に移りたいと思います。森田委員、ご説明をお願いします。

○森田委員

資料3のトリチウムの水産物への影響評価についてというところで説明させていただきたいと思います。

前回、コープふくしまの方から放射性セシウムについてはいろいろ知識がふえてきたんだが、新しいトリチウムということについてまだまだなじみがないというから、この資料のつくり方として、セシウムとトリチウムを比較しながら説明してみたらどうかということで、資料でつくってみました。

それで、まず、簡単に言うと濃縮係数というのがあるんですが、水の濃度が幾つかのときに生物の濃度が何倍ぐらいになっているかというのを濃縮係数といいます。これはセシウムで海産魚類だと5倍から100倍ぐらいに濃縮するとか、タコとか貝みたいな軟体類は60倍ぐらいといいます。淡水魚類の場合、見た目上、見かけ上の濃縮係数と書いていますが、非常に高くなるというのは実際は淡水魚の場合、水からセシウムを取り込んでいるわけではなくて、実際は餌からほとんどは取り込んでいますから、水の濃度が非常に低いので逆に割り算したときの分母がすごく低いので、見た目上、すごく高く見えてしまうというのは見かけの濃縮比係数です。一方、トリチウムに関しては先ほどの柿内委員の話もありましたが、現在、少しずつの誤差はあるにしろ、ほとんどの濃縮係数は1だということでは知られていると。

淡水魚のところでは私はデータなしと書いていますが、これは参考文献的にデータがないという、引用した文献の中にデータがないという意味であって、これもほぼ1だと考えてもらってもいいと思っています。それで、先ほど、これもまた柿内委員のほうからありましたが、イギリスの例えばAmershamの工場のように直接、海にトリチウム水ではなくて有機結合型のトリチウムを直接放出していたようなケースの場合、水ではなくて有機物として魚がトリチウムを摂取していると

いうケースが今までありまして、そうすると、これも先ほどの淡水魚の話と同じように海水中の濃度から割り算をすると、見かけ上の濃縮は見た目上、すごく非常に濃縮しているかのように見えてしまうケースは多々あると。

では、実環境において海の中で有機結合型のトリチウムが非常に多くなるケースがあるのかということを考えて、ほとんど、それはないであろうと。ただ、無理やりつくれと言われれば、トリチウム水を放出したときに、そこに鉄とか、みずからわざと植物プランクトンのブルーミングを起こすとか、そういうことをすれば、有機結合型のトリチウムを海域に無理くり発生させれば魚に入っていくかもしれないんですが、普通の状態ではほぼ濃縮係数は1だと考えてもいいんじゃないかということです。

下の生物学的半減期というところがありますが、一旦、生き物の中に取り込んだ放射性セシウムなり、トリチウムが半分になる期間を生物学的半減期といますが、このやつを示しています。それで修正をお願いしたいんですが、私は軟体類の自由水のところを11~190日と有機結合型と同じ数を入れてしまっているんですが、これは実際、0.6日から41日というのが正しい数字です。それで、セシウムも実際、水に溶ける物質で、魚が取り込まなければ徐々に魚から排出されていくわけなんです、トリチウムはそれよりもほぼ水ですから、すごいスピードで排出されていくと。軟体類に関して多少、長くいることが見えるというのは、貝殻に入ってしまったやつが出にくくなって、特に有機結合型のやつは長い日数がかかるということです。

また、これも海産魚類のところデータなしと示していますが、これもまた、先ほどと同じように参考文献の中でデータが示されていなかっただけなんです、調べられなかったんですが、海産魚の場合、大体1日に最大体重の20%ほど海水を飲んでますから、排出するスピードも淡水魚類に比べて圧倒的に速いので、淡水魚よりも速く水の交換をしているというのは容易に想像ができるということです。ちなみに淡水魚はほとんど水を飲まないという性質です。大体、こういうことでほぼ水中の濃度と同じような濃度になったものが、生物学的半減期のスピードで大体排出されていっているということです。

次のページで、これは水産物と書くよりも海洋生物そのものへの影響評価をどう見るかという話なんです、通常、こういう評価をするときは標準生物を大体設定して、その濃度で評価するというので、ここをざっくりと説明すると、先ほどの最近、セシウムを摂取したときの実効線量係数とかで計算して、どのくらい被曝をするのだというようなことと同じように、この換算係数からそのときの周りの海水の濃度が何ベクレルだった場合、浮いている魚を浮き魚、ヒラメのようなやつを底魚といいます、これらが外部被曝としてどの程度、放射線を浴びているのかとか、下の表は魚の筋肉中に何ベクレルのトリチウムがあったときに、実際、内部被曝としてど

のくらい被曝をしているのかというのを計算する係数を、これはいろいろな考え方があるんですけども、UNSCEARの文献から引いてきた数字であると。こういう数字を使って実際、生き物がどの程度、被曝をしているかというのを計算することができるということです。

さらに次のページへいきますと、実測値が多少はあるんですが、なかなか、ないということで、それがいいのかどうかかわからないんですが、現在の基準値が6万Bq/Lという放出基準値がありますから、これを濃縮係数がそのまま1だと仮定して魚がどのくらい被曝しているかというところ、 0.48×10^{-2} mGy/dayというふうな数字になると。これがどの程度の魚に対する被曝かというのを下の四角でくくったところに示していますが、NCRP、アメリカの放射線防護審議会だと思いますが、そこで水生生物が最大10mGy/day程度の慢性的な線量率であるならば、集団としては適切に防護できるとか、IAEAやUNSCEARにおいても10mGy/day、もしくは魚だとしたら1.6mGy/dayぐらいの線量であるならば、水生生物について影響を防護できるということです。

実際、ちょっと話がずれますが、福島第一原発の影響、多いのはセシウムですが、影響で魚に奇形が出るんじゃないですかみたいな話がありますが、例えば青字で書いたように原発、今、2号機の前で採取された一番高かった魚がセシウムで74万Bq/kgという魚が採取されていますが、これもセシウムの線量で計算すると3.2mGy/dayであるということです。横の右下の表が急性致死がどのぐらいで起こるかというところで、魚でいえば大体10Gy以上ですから、大体1万mGy以上浴びないと魚の急性致死が起きないというようですから、3.2mGy/day程度ではそうそう魚が浮いてくるような状態にはならないという話です。

さらに上の四角でくくった評価基準の中で、集団の防護に十分であるかという表現が出てくるわけなんですけど、これは結局、左下の赤字で書きましたけれども、例えば魚の場合、1匹から数万粒の卵が生まれると、それが計算上、2粒残ると完全に資源量が維持されるわけです。ですから、多産でかつ初期の生残率が極端に低い水生生物において個体の防護というよりは、集団で防護するという考え方のほうが強いということで、上の評価基準の場合、集団の防護として十分であるかどうかというのを考えると。今回、極端な言い方をすれば、福島第一原発の港湾の中にいるアイナメが全部死んだとしても、その周辺のアイナメの種としては全く死に絶えることはないという話です。ということで、それほど言ってしまうとあれなんですけど、相当濃度のトリチウムがない限り、魚そのものへの影響が出てくるということは、科学的には想定することができないということです。

次のページへいきますが、ただ、そういう科学的な話と違う別の次元において、漁業者の方が非常に不安を覚えるということです。それはまさに一番上に書いたように、トリチウムを含んだ汚染水の海洋放出が風評被害を生じさせるということです。そういった風評被害を放射性セシウ

ムの場合も、これまで測定データをきちんと公表していくことによって、払拭するということしか手立てがないということで、そういうことをこれまで行ってきたわけですが、実際、先ほどの柿内委員の話があったように、生物そのものの測定というのは非常に時間もかかるし、非常に大変であると。かつ、コープふくしまの前の話もありましたが、仮に濃縮係数が1だということで海水の濃度、それは魚の濃度であるというふうに代用したとしても、実際、現在の食品の基準値の中にトリチウムというのが含まれていないという事実があると。そうすると何をもちて漁業者側からいけば、我々がとっている魚が消費者に販売してもいいのかどうかという判断が非常につきにくいということです。

さっき、言ったように相当量のトリチウムがない限り、魚そのものについても安全であるし、問題ないし、それを食べる人についても問題はないと思われませんが、後で話が出てくると思いますが、一部の非常に微妙な危険性が高いことのみを強調するようなことがいろいろ言われていて、このあたりはちゃんと正しい情報を提供してほしいというのが漁業者の方の意見であるということで、今、話がずれましたが、実際、基準値に含まれていない理由というのは基準値をつくっているのが厚生労働省ですから、厚生労働省のホームページにはこういう理由が書いてあるということで、その下に基準値の参考としてありますが、プルトニウムとかストロンチウムといったものは現在、基準値に織り込み済みだということで、セシウムだけをはかっているという話になっているんですが、トリチウムに関して実際のところ、影響が少ないということでわざわざ考慮する必要があるかどうかというのはまた別の話だと思いますが、含まれていないということが、逆に安全だから含まれていないという理由だと思うんですが、それがなかなか伝わっていないということになっていると。

次のページは、ここら辺は参考資料なんですけど、実際のところ、水産庁のホームページに出ているものをそのまま借りてきたものですが、セシウムの濃度をはかった検査結果ですが、既に100ベクレルを超えているものがわずかに海産種だと1.7%程度しか25年10月-12月期ではないと、淡水魚でも5.6%しかない。それでも次のページにあるように福島県の試験操業というのが右側の地図の沖合、大体40~50キロメートル沖の部分と、あと、相馬側の船引きで表層海水の濃度が非常に下がったので、これはシラスとコウナゴだけを行っている漁ですが、こういう部分的なものしか行うことができないと。福島県は実際は沿岸の底引きでヒラメとか、そういうものが主体の漁業がメインだったわけですが、それが前のページの100ベクレルを超えるものがこれだけ少なくなっているにもかかわらず、なかなかできないと。それが実際、さっき言った風評被害ではないかということで、トリチウムに関してもさらなるそういう風評被害が生じるんじゃないかということをして現在、懸念していると。

最後、ざっと説明したのであれなんですが、トリチウムに関して魚そのものへの生物的影響というのと、それは低いと感じられますが、汚染しているという実測定とイメージとの乖離が大きくて、トリチウムということになかなか一般に受け入れがたいんじゃないかというのが私の意見です。

以上です。

○山本（一）主査

ありがとうございました。

ただいまのご説明に対しまして、ご意見とかご質問等がございましたらよろしくお願いします。

○高倉委員

すみません、意見になるのかわからないんですけども、実は我々は放射線教育をやっている、この間は三陸のほうの漁業から頼まれて行ってきたんですけども、津波の被害が大きいのに何でこんなのをやるんですかと聞いたんですけども、実はキロ当たり100ベクレル以上だと出荷できない、その意味がわからないということで勉強したいということで呼ばれたんですけども、現実的にはキロ当たり100ベクレルと測定が非常に難しいというか、今、測定機がないので、東北大も今、一生懸命、生ではかれるやつをやっているんですけども、なかなか、その測定が難しいということが一つと、それから、100ベクレル以下で10ベクレル以下は出たらどうかと思ったら、これもまた、たたかれて出荷できないわけです。

要するにデータが出ないで判断が出て、それは折れないということで非常に困ったということを書いておりましたけれども、その辺がキロ当たり100なんていうと、例えば海草だったら超しちゃいますから、完全に、普通のやつでもカリウムでも超しちゃうんですけども、その辺の考え方が訂正というのは変なんですけど、法律ですから訂正されないんですけども、余りにも厳しい法律のもとであるので、なかなか、住民を納得させるといいますか、それが非常に難しいような感じがするんですけども、変な話ですけども。

○森田委員

ここで言っているのはセシウムの100ベクレルは厳しい、個人的には私もそう思いますが、むしろ、今、ちょっと話がずれているんですが、トリチウムに関して何らかの数字を言ってもらえれば、それを下回れば大丈夫なんですという判断する数字がないというのが一番困っているということです。だから、このぐらいというか、本当は基準値の中に100ベクレルの中にストロンチウムみたいなものと同じように盛り込んでしまうと、そういうことをしない限り、いつまでもこの魚のトリチウムは何ベクレルですかと延々と聞かれる話が続くという話。

○高倉委員

そうですね。現実的にこの間も福島の人が話しましたけれども、トリチウムとセシウムの区別がつかないわけです。みんな、放射性物質としてとして考えますので、ですから、その辺を広報の問題だと思うんですけども、測定もまた難しいんだと思うんですけども。

○森田委員

セシウムに関しては測定機器が何とかなっていますけれども、先ほど柿内委員のにあったようにトリチウムに関してはとても市民レベルというか、一般レベルではかれる代物ではないので、今、ストロンチウムもまさにそうなんです、セシウムの基準値の中に盛り込むことによってはからなくて、セシウムで代用できるよさだということをしておかないと、なかなか、厳しいんじゃないか。

○山本（一）主査

柿内委員。

○柿内委員

濃度を決めるときに例えばトリチウムの場合、線量換算係数がセシウムと比べて随分小さいので、濃度的に同じ横並びの基準にすると許容されるんだろうということは考えられるんですけども、その数字そのものを見られたときに、何でこんなに濃度が高いのという話はもちろんある。ただ、あとはそれだからといって、濃度が低いところをここまではかってくださいというときに現実的に十分な数値であれば、例えば分析法は先ほど紹介したのは一般環境の濃度ををはかるため、基準を決めるための濃度はもっと高いところであれば、前処理法というのを検討して数をこなすとかというのは、現実的にはある程度まではできるかもしれないというのはあるんですけども、まずはその数値をどう決めるかというところを現実的に現場の対応で決めるのか、線量として決めるのか、どちらにしろ、すごく影響から見ると乖離した議論にはなると思うんですけども、どこかでそれは決めなければいけない話なのかなとは思いますが。

○山本（一）主査

この議論はここでは難しかろうと私も思うんですが。

○森田委員

結論として言いたいのは、そうそうトリチウムを放出しても、魚がぷかぷか浮いてくることはありませんということだけは言いたいです。

○山本（一）主査

それはずっとトリチウムを使ってきた方とか、測定をずっとなされてきた方は大体、そういう感触はお持ちだと思いますけれども、今まで経験が深い人はそうなんだけれども、余りなじみのない方々には数字だけ、大きさだけでびっくりする部分がございますので、その辺は我々もちゃ

んとお知らせすることに努力しなければいけないんだろうなということは思います。

ほかにご質問とかご意見とかありますか。

○立崎委員

ご指摘があったように有機物と水とは線量係数が違いますが、先ほど全て有機物にみなすとか、あるいは80%から90%くらい有機物というようにお話もありましたが、水の中にすんでいるもの、あるいは植物でもキログラム当たりどのくらいの割合がOBTでどのくらいが水というのは、ここで分類を海産、淡水、軟体、海藻類と分けて、大体、わかっているのでしょうか。

○森田委員

魚の濃度、濃度でデータを僕は見たことがあるんですが、結局は濃度じゃないということですね、トータル量ということを言われたんですね。だから、有機物の量がどのくらいあるかということと、魚の中の水分量がどのくらいあるかなので、多分、まちまちになってしまうという。濃度だと比較データがある。ほとんど同じような濃度にはなっているんですけども、存在量は個々の魚の種類によって身が多い魚だと有機物が多いし、水分が多いようなものだと水分が多くなるという、そういうことなので、何対何というのは僕の知識ではわからないんですけども、柿内委員。

○柿内委員

現場というか、実際に調査という形で魚をはかることはあるんですけども、魚種が一定ですと含水率というのはほぼ一定なんですけれども、あとは摂取量と考えるときに可食部分では消費量って年間当たりとか統計というのはあるんですかね。

○森田委員

魚としての年間消費量というのはあるですよ。だから、可食部だけを食べる魚もあるし、全体を食べる魚もあるので、そこまできっちりとは出ていないはずですよ。

○柿内委員

だから、食べるうちのどれくらいが有機物でどのくらいが水かというのは、非常に統計的な最新のデータベースをもとに評価するというのはあるんですけども、あとはマーケットバスケットといって、どのくらいこの地域では消費しているんだというのを掛けて、線量としては評価するという手法はありますけれども、そういう方法でしか多分できないと思いますし、あとは個々に含水率を反映させるか、評価としては全部有機物として評価するか、それは国によってもイギリスとかですと、生重量全部に有機物の換算係数を掛けて、ひっくるめて評価するというところもあれば、そうじゃないところもあるということで、評価するやり方だとどこまでの数値の精度を求めるかで決めていかなければいけないところだとは思いますが。

○山本（一） 主査

ありがとうございます。

結構、難しい部分があります、本当に。

そのほか特になければ今までのご議論を踏まえまして、立崎委員から健康影響の一般論と疫学をお願いいたします。

○立崎委員

それでは、それらの食物を初めとして、人に入ったときにどうなるかという話の部分に入りますけれども、私は健康影響の一般論、それから、疫学ということでお話しさせていただきます。

1 ページをめくって、まず、田内委員の前座という意味も含めまして、低線量影響の一般的な話と内部被曝の一般的な話をさせていただいた後に、人自体への影響のわかっている範囲でお話をいたします。

まず、低線量影響の一般的ですが、2枚めくっていただいて表1というやつですけれども、先生方はご存じだと思いますので簡単に流していきますが、人体への影響というのはそもそもDNAへの放射線の障害で起こると。DNAの障害が細胞を殺す、細胞死を起こす場合とそれから遺伝情報を変えてしまう場合、まれではありますけれども、そういうことも起こり得る。ただ、DNAの損傷はほとんどは完全に修復しているということがあります。

その影響が起こる細胞が生殖細胞か体細胞かで起こってくる影響は違うということです。下のほうからいきますと、細胞死が体細胞に起これば、その数によってその機能が損なわれるし、生殖細胞であれば数が多くなれば不妊としてあらわれてくる。上にいきまして、突然変異が体細胞に起こると一部はがんとしてあらわれる。それから、生殖細胞に出れば遺伝性影響という形で次世代に伝わっていくということです。

上のほう、突然変異によるものは確率的影響、下のほうを確定的影響と整理しているところですが、発症機構は今、言ったように突然変異か細胞死ということで、具体的には下の確定的影響のほうは閾値がある、それよりの線量になると発生率がふえてきて最終的には100%になるということで、右に少し図が描いてありますけれども、要するにある程度の細胞死の量がなければ診断できない、あるいは症状として出てこないということから閾値が存在するわけです。それに対して上の確率的影響のほうはバックグラウンドがあって、それより大きければ少しの線量だと非常に確率は小さいけれども、でも、ちょっとは増加するんだよという考え方、これが確率的影響の考え方で、このあたりはまた次のスライドで少し話します。それから、右上の線量と重篤度が一定というのは、線量が多くなると起こってくる確率は変わるけれども、一たび、起こってしまえば重篤度、がんの重さというのは線量にかかわらないよということでございます。こういう整

理をして人の影響を考えております。

次にいきまして閾値の例ですけれども、要するに確定的影響はどのくらいのことで起こるのか。ここで挙げているのはICRPの表からとっていますけれども、非常に感受性の高い、要するに弱い影響、弱い臓器を挙げています。一番右が吸収線量であらわした閾値ですけれども、一時的不妊、男性であっても0.1グレイで、例えば造血機能の低下だと0.5グレイとか、脱毛ですと4グレイとか、一番下の白内障は最近改訂がありますのでもう少し低くなってはおりますが、いずれにしても0.1グレイ、つまり、低LET放射線と考えれば100ミリシーベルト相当以下では、確定的影響は起こらないと考えてよろしいかと思えます。

次のページですけれども、一番問題になるがんの低線量の影響をどう考えているかというところでございますが、いろいろ議論があるところではあります、これまでのがんのリスクというのは疫学データで特に重要視されているのが広島、長崎の原爆被爆者の方のデータでございます。

それで、一番最新の広島、長崎からのレポートの中で一番重要なグラフがここに上げているFIG. 4というやつですけれども、縦軸は固形がんの過剰相対ですけれども、要するにどのくらいがんがふえるかというので、0ということはがんがふえていないよということです。横軸は大腸線量としてとってありますけれども、体の中心部ということではほぼ全身の線量を代表させていて、中性子の影響も換算してグレイに直したものです。それぞれの点が疫学データですけれども、ざっと見てもほぼ真っすぐ、Lというのが直線回帰ですが、これで直線で当てはめても問題はないと考えられているところです。

ただ、結構、それぞれにばらつきが大きいということと、それから、今、話題にしております100ミリシーベルトとかいうラインというのは、このグラフでいいますと、0.5のさらに左、5分の1のところは100ミリシーベルト相当ですから、そのあたりになってくるとデータのばらつきがかなり大きいということになります。ですから、バックグラウンドの中に隠れてなかなか有意な差というのが見えにくくなっていくというのが現実にあります。それも含めて直線で回帰するということが、その辺をもう少し模式的に描いたのが次の図でございます。

外挿するモデルと書いてありますけれども、ですから、0.1シーベルトぐらいから上は、これも0.1とはっきりと言えるわけではないですけれども、その辺から上であれば日本人原爆被爆者データ等で大体直線で間違いないということはわかりますが、そこから下ははっきりしなくなってくるので、これを直線で延ばしてしまったのが直線閾値なしモデル、LNTモデルと言われているもので、恐らく平均的な考え方だと思います。このあたりはまた田内先生のスライドにもあると思いますのでお話があるかもしれません。その部分は閾値を考えている考え方とか、あるいはさらに低線量影響がむしろ逆に少なくなるんだという考え方とか、あるいはそこは多いんだと、

いろんな説があることはありますが、少なくともICRPとか国連科学委員会はLNTモデルを支持しているところでもあります。

その次ですけれども、低線量のリスクを実際にどうやるかという、実効線量と線量に換算してリスクを代表する値ということで、確率的影響の大きさを判断しているわけですが、式でわかりにくいと思いますが、要するに組織ごとにどのくらいの放射線が当たっているかという吸収線量に放射線加重係数というものを掛けます。これはそれぞれの放射線、例えば中性子ですとか、今ですとトリチウムの β 線とかが標準となる放射線に対してどのくらい影響があるかというのを加味する、さらに W_T （組織加重係数）というのはそれを重みづけして平均化するため、全身のリスクに換算するための係数と、こういうので出しているわけです。あとで W_R に関しては触れませんが、組織加重係数のほうはトリチウムの分布が人体内ではほぼ均一化してしまうということです、トリチウムの場合は余り問題になることはないと考えられています。

続きまして、内部被曝の一般のお話です。これも一般の話ですが、まず、内部被曝の図ですけれども、一般に経路として入ってくる経路は人体吸入もしくは経口摂取、飲食物から入ってくるのが主で、さらに傷口から入ることもあります。ただ、トリチウムの場合、経皮吸収もほかの核種と違って若干はあるということですが、何といても主体は吸入と飲食ということになります。

もう一つ、内部被曝の考え方ですけれども、普通の外部被曝の線量と違って預託線量という考え方を使っています。つまり、体に入った放射性物質が一生のうちにずっと体の中から代謝されて少なくなっていく、あるいは排泄されていく、あるいはそれ自体の物理的半減期で減っていくわけですが、それも含めて将来にわたってどのくらい吸収線量として与えるかというのも将来にわたって含めて、全部、加算して積算してあらわすのが預託線量の考え方で、内部被曝はこういう考え方をしていますので、外部被曝の線量とはちょっと違うということになります。

次のページへいって、1回で摂取した場合、そのように少なくなっていくのを全部足しますけれども、定常的に例えば食事に入っていたり、飲水に入っていた場合には少しずつ入って行って、そうしますと体内の放射性物質はだんだんふえて行って、あるところで一定量になる、つまり、入っていく量と消えていく量が平衡したところで一定量になるということになります。尿中の例えば放射性物質などはかって、それから、どのくらいの影響があるかというのを推定する場合には、それまでのヒストリー、いつ、どのくらい摂取したかというヒストリーによって線量の推定というのは全然変わってくるという問題はありますが、ただ、その次にいきまして線量係数の話ですけれども、実際、今回のような場合ですと、入ってくる量が例えば食事の量とかで推定できる、あるいは測定できるとすれば、その摂取量に線量係数、つまり、放射性物質の単位摂取量当たりの線量というものを掛けて求めることができます。ですから、実効線量の場合には実効

線量係数を摂取量に掛けて預託実効線量を出す。単位としてはSv/Bqで、これは今までもお話があったように摂取経路、つまり、吸入か経口かによって違いますし、もちろん、核種によって違うし、それから、先ほどから出ているように化学形態、例えば有機物か水か、さらに年齢によっても変わってくるところであります。

ということで一般論は終わりにしましてトリチウムのお話に入りますが、後から申しますようにいわゆる発がん等の人のデータというのはほとんどないので、実際の実効線量を計算するときなどは放射線加重係数というのが問題になってきます。低LET放射線一般のリスクを放射線の生物実験で得られる知見を加味して、実際のリスクを推定しているわけですが、そこで、そのモデル自体、ほとんど問題はないですが、ちょっとだけ議論があるのが放射線加重係数の点で、歴史的に見ますとICRPの1977年の主勧告で1で、その後、ICRP、ICRUのジョイントタスクグループでトリチウムのβ線の加重係数を2としています。その後、90年勧告、103勧告でまた1というふうに変遷があります。

現時点でICRPの最新の勧告ですと、この加重係数のもとになる生物学的データ、これはまた、田内委員のほうから具体的ご説明があるかもしれませんが、これは1から3.5の範囲で、対γ線だと1から3、対X線だと1から2ぐらい、多くは1から1.5の間であるという事実から、現在、ICRPは下に書いてありますように、トリチウム水としてトリチウムからのβ線放射について得られたRBE値は、低LET放射線に対して一般に観察される値の範囲内であり、単一の1を使用するというアプローチでいいのではないかという考え方をとっております。

続きまして、人への影響としてどうかといいますと、まず、確定的影響のほうですけれども、古い例として死亡例の報告があります。これは1960年代にヨーロッパでトリチウムを含む夜光塗料、これを使っている工場の研究者あるいは作業者に被曝事故というか、慢性の被曝が発生しています。2例、別々の死亡が報告されていますが、ただ、どのくらいの被曝があったかというのが極めて不確定で、尿中のトリチウムの測定などから3から20シーベルトの間ぐらいと推定されています。

それから、もう一つの問題はトリチウムの作業をする前にも放射性物質を扱っているんですが、この方たちはそこでの被曝がどのくらいあったのかというのが不明確であるということも含めて、被曝量は極めて不確定です。ただ、骨髄障害による汎血球減少、つまり、赤血球とか白血球とか血小板がなくなってくるような状況で亡くなっているようだ。それから、このうちの1例の助手の方にも貧血の発生を見ているという報告があるところでもあります。ただ、一つ、誤解のないように強調しておきたいのは、この不確定な推定線量であっても3から20シーベルトということですから、先ほど食品の話題になった1ミリシーベルトなんかと比べると、1,000倍、1万倍と

いう線量域での話です。

それから、続きまして先ほど人のデータは余りないと言いました。いわゆる人の疫学データ、これでトリチウムのものはあるかというので、系統的レビューが少し前ですけれども、あります。Littleらの論文をご紹介しておきますと、対象としているペーパーは作業員の方、英国、米国、カナダのもの、それから、環境放出による体内被曝と作業員のお子さんたちのデータ、これはカナダ、ドイツ、米国の論文、こんなものを幾つもレビューしています。結論としては、作業員にしろ、公衆にしても、がんとかその他の健康影響に関する利用可能な疫学データはないと。トリチウムに特化した線量が欠けていたり、あるいは線量自体が少なかったり、あるいは対象人数自体が少なく有用性が十分ないということです。今後、英国とかカナダ、米国なんかの作業員の方のトリチウム線量を求めていけば、データとして出てくる可能性はあるけれども、というのが結論です。

ですから、私の話をまとめますと、先ほどの原爆のデータのような直接のトリチウムの人への影響の疫学データは現在のところないということで、方法としては低LET放射線のデータから導かれるいわゆるリスクに、動物実験等あるいは生物実験の結果を加味して人のリスクとして使うと、そういうことで現在のリスクを求めていくという考え方になっているところであります。

以上です。

○山本（一） 主査

ありがとうございます。

ただいまのご発表に対しましてご意見とかご質問とかは。

○糟谷事務局長補佐

単純な質問で基本的なことで申しわけないんですけども、後ろから2枚目の加重係数関連事項というところでRBE値というのが出てくるんですけども、これは次の田内先生のあれにも出てくるんですが、RBE値というのはどういうものかというのをご説明をお願いします。

○立崎委員

すみません、RBE値というのは放射線がどのくらい強さがあるかということで……。

○田内委員

説明する予定でいますけれども。

○立崎委員

では、簡単に、また、ご説明があるそうですが、中性子線とかγ線とか、いろんなタイプの放射線があります。あるいはエネルギーによって同じ吸収線量を与えたときにも、生物影響というのは変わってきます。それをどのくらい放射線が強力かというのを比較した係数、relative

biological effectivenessというのがRBEという値になります。

○糟谷事務局長補佐

1 ということはどういう。

○立崎委員

1 ということは基準になる放射線と同じ効果である。それが多くなると例えばRBEが20であれば20倍強い放射線ですよということになります。

○山本（一）主査

ありがとうございます。

ほかになければ、引き続きまして田内委員からトリチウム水の生体影響につきまして、基礎実験データをもとにお願いいたします。

○田内委員

それでは、資料5をごらんいただきたいんですけども、ただいま質問がございましたが、RBEに関連することからご説明をしたいと思っております。というのは、生体影響は放射線の線量、それから、もう一つは放射線の線種、種類によってかなり変わってくるということが既にわかっております。先ほどから出ていていますいわゆる生物学的な影響の度合いを見るときに、基準になっているのが実は γ 線とかX線の影響です。一般にはX線がよく使われるんですけども、その影響です。

γ 線とかX線というのは、放射線でいうと光子という粒子でできている放射線ですけども、光と同じものですが、これは基本的にエネルギーがもちろんいろいろ違うんですけども、生体影響の度合いというのはほとんど変化しないということがわかっております。つまり、セシウムから出てくる γ 線でもコバルトから出てくる γ 線でもカリウムから出てくる γ 線でも、影響はほとんど一緒ということがわかっております。ですから、 γ 線、X線に関しては線質係数、先ほどの放射線の種類の係数と同じですけども、これはICRPでは1ということになっています。これは基準ですから、1というのは当然ということになります。

一方で、 α 線とか中性子とか、そういうものになりますと、実は影響が大体X線、 γ 線と比べると数倍から10倍ぐらい変化するということが実験的にわかっております。ただし、エネルギーが高ければ大きくなるということではございません。ある効率よくエネルギーを与える範囲というのがございまして、それがそこで線エネルギー付与という言葉が出ています。これはどちらでもいいんですが、効率よく生体に影響を与えるレベルのところが一番実は影響が大きくなるんですが、実際に10倍を超えるような例というのは余りないんですが、ICRPは安全側に評価することによって、粒子線に関しては5か10か20というのをそれぞれの粒子種ごとに割り振りをしており

ます。半端な数字は出しておりません。

トリチウムで問題になるのは実はβ線でございます。β線は電子線です。ICRPでは電子線の加重係数は全て1ということになっておりますが、先ほど立崎委員のほうから説明がございましたとおり、トリチウムのβ線というのは大体X線、γ線と比べると同じから2倍程度という報告が非常に多いということがございます。これは後でもう一度、詳しくご説明をさせていただきます。ちなみにβ線の影響というのは、エネルギーによって若干変わってくるんですが、それはどこに一番効いているかといいますと、実は線量評価のところにはβ線のエネルギーというのが効いてまいります。ですから、線量のところに効いてくるということは、これも後でもう一度、お話をさせていただきますたいと思っております。

めくっていただきまして、2ページ目は先ほど立崎委員からも説明がございましたとおり、いわゆる低線量放射線の影響で一番問題になるのががんです。これは確率的影響というふうに呼ばれていますが、線量が上がれば発生の頻度が上がるということはわかるんですけども、ところがある線量よりも低くなると、それが上がるかどうかというのはわからなくなることが現状としてございます。その絵の右下のほうの黄色の範囲、これは自然でも本来、発症するものでございまして、その頻度というのは、年、地域、いろんな個人の生活習慣、そういうものによって変わってくるわけです。ですから、ある程度、ばらつきがあつて、そのばらつきの中に頻度が隠れてしまうと実際に上がっているかどうかわからない。

ただし、いろんな実験から実は左の上にあるように、A、B、C、Dという四つの報告がもちろんございます。ただ、0に近いところまでデータがあるかというとはほとんどないというのが現状です。いずれにしても、そういう事象はあるんですが、ICRPは普通に考えれば真つすぐに引くのが妥当であろうということで、Bのタイプのいわゆる直線で0まで引いてリスクを評価するというをやっているというのが実情です。いずれにしても、わからない範囲の話、つまり、明らかに上がるというような範囲の話ではないということです。大体、その境目がよく言われておりますとおり、この場合はグレイと書いていますけれども、100ミリシーベルトというふうに考えていただいてもよろしいかと思います。

それで、トリチウムの生体影響、これまでいろんな実験がされてきております。その概要といたしまして3ページにまとめさせていただきましたが、まず、被曝は基本的に内部被曝です。トリチウムで外部被曝というのはまず考えられません。というのは、トリチウムのβ線というのは非常にエネルギーが低いことがありまして、例えば体の生体の成分の中でどのぐらいβ線が飛ぶかといいますと、平均で0.56マイクロメートルぐらい、最大でも6マイクロメートルぐらいしか飛びませんので、つまり、細胞の一つ分、大体、細胞というのは細胞の核でも直径が10マイクロ

メートルぐらいありますから、それよりもさらに短い距離しか飛ばない。ですから、基本的に外部被曝というのはないというふうに考えていただいて結構かと思います。ただし、体の中に入れば当然、細胞の中の水分として、あるいは有機物として入ってくるわけですから、当然、被曝を考えないといけないということになります。

これまで説明がありましたとおり、生体内ではいわゆる自由水、HTOというふうに書きますけれども、それと有機結合型（OBT）の二つのタイプで存在をしております。生体内での半減期というのは、これまでも出ておりましたとおり、自由水型で大体1週間程度、7から18日という幅がございますが、その程度で、有機結合型では40日程度というのがこれまでなされている報告です。生物学的効果比というのはどうやって計算するかといいますと、いろんな実験系で同じ影響を与えるのに必要な放射線量の比で計算をします。つまり、RBEが2ということはX線やγ線の半分の線量で同じ影響を出すことができる。そういうふうな意味で使っております。

大体1から2の範囲で、その下に表3ということではいろんな指標で見たRBEというのが書かれておりますが、一番上のLD_{50/30}と書いているのは30日以内に半分か死ぬという線量です。要するに半致死線量と呼ばれているものです。これで大体RBEが1.7程度という報告がございます。それから、放射線で被曝すると、脾臓とか胸腺という内臓が血液の成熟等に関連する臓器ですが、ここが萎縮するということが知られておまして、これでも1.3から1.5程度、それから、細胞の中の遺伝子の変異ということでもありますが、染色体異常で1から2、それから、腸の細胞も大量に被曝すれば死ぬわけですが、この影響で見えていくと大体1.4倍から2倍ぐらい、それから、子孫につながる卵母細胞、卵のもとの細胞の生存率でいけば1.6から3倍程度というふうな報告がございます。

実際に半致死線量はどのくらいかということなんですが、ネズミの場合に大体1ギガベクレルですから、10⁹ベクレルを1グラム体重当たりですから、ネズミの体重は大体数十グラムありますので、相当な量だということになるかと思います。先ほどありましたが、ネズミでも魚でもそのぐらい与えないと死ぬということはないということです。

めくっていただきまして、実際に体にトリチウム水の状態で取り込まれた場合ということで、ICRPのほうで文献等をもとにしてモデルがつくられています。取り込まれたトリチウム水というのは、最終的に吸入であろうが皮膚から入っても飲料から入っても血液中に入るわけですが、そこに入ったもののおよそ3%が有機結合型（OBT）に変わる、残りの97%は水としてそのまま出ていくというふうに考えられています。水のほうはICRPでは一応、生物学的な半減期は10日に出て体の中の量は半分になるということです。その出ていく先はいろいろあるわけですが、大体排泄物で半分、その他汗等、いろんなもので半分というふうな排泄です。OBTに関しては約

40日で半分に減る。

ちなみに、参考としてOBTとして摂取したらどうなるかということなんですが、OBTとして摂取した場合も小腸から吸収されて血液に入りますが、この場合は約半分がOBTのまま体の中に入ります。それから、残り半分は水として吸収されて同じように速く抜けていく。OBTで入っても全がOBTになるというわけではないということです。

では、その放射線の影響というのを実際に考えるときに大事なのが実はその次の資料なんですが、時間当たりの線量というのが実は放射線の生体影響には大きなウェイトを持っております。つまり、同じ被曝線量でも時間当たりの被曝量が小さければ影響は小さくなる。どういうことかといいますと、例えば人の半致死線量は先ほどトリチウムで8グレイ程度とありましたが、X線、γ線だと4グレイ程度というふうに言われておりますが、これは非常に短い時間に4グレイ、8グレイを浴びた場合です。どのぐらいが非常に短いかというのは難しいところですが、1日以内にそのぐらい浴びればという意味です。ところが、同じ4グレイを例えば10年かけて4グレイを浴びて死にますかというのと、そんなに死にません。ですから、当然、影響は小さくなるということです。

それを実際に線量率を横軸にとって、どのぐらい影響が変わるかというのを見た例が幾つかあるんですが、これは1グレイ当たり細胞10万個当たりの遺伝子の突然変異がどのぐらい出たかというのを横軸を線量率の対数でとって調べた例です。ごらんいただきますと青のγ線というのは高い線量率からその実験で調べた低い線量率までの間に、大体3分の1ぐらいまで影響が小さくなるということがわかりいただけるかと思えます。一方で、トリチウム水というのはそこまでは下がらないんですね。線量率の依存性というのはγ線やX線ほど変化しないということがわかっております。

ちなみに、ICRPの人体影響の考え方というのは、急性で大量被曝することは一般の公衆に関しても、あるいは作業員に関しても従事者に関しても普通はないだろうということで、慢性の長期被曝ということで大体急性被曝の半分だということで、いわゆるDDRFという線量・線量率効果係数とも言いますが、これは2ということで半分だという評価をしています。実験的には実は3分の1とか4分の1というのがほとんどですけども、そういうふうな評価をしております。トリチウムの場合はγ線ほどは下がらない。ここで見ていただいてもγ線より同じ線量だったら上に影響があるということですから、若干、影響は大きいということもここでもわかりいただけるかと思えます。

実際にトリチウム水を飲んだらどうなるんですかというのが実は実験は非常に少なく、トリチウム水を例えばマウスに飲ませることができる施設というのは世界的に見てもそんなにござい

ません。実は現在、この施設はなくなったんですけども、かつて広島大学でヤマモトオサム先生というのがトリチウム水をマウスに生涯、飲ませ続けてそのマウスの運命はどうなるかということを実験をされて論文を出されております。3報出されているんですが、そのうちの後半の2報、そのデータをまとめたのが6ページの表になります。

非投与というのは普通のお水を飲ませて育てたものです。それから、1日当たり0.3ミリグレイ、これはトリチウム水でどのぐらいですか。下に書いてありますが、0.2ミリグレイ1日というのは、1リットル当たり 8.69×10^6 、つまり、869万ベクレル1リットル当たりというトリチウム水を生涯、飲ませ続けたと、死ぬまで飲ませ続けるということです。その比でほかにも計算していただければ結構かと思いますが、大体7日ぐらいで体の中のトリチウム水の濃度は平衡に達します。平衡に達した体の中の組織を解剖してトリチウムの濃度をはかりまして、それをもとに線量率というのを算定しております。後で大体概算の仕方というのは出しますけれども、そういう計算をしております。ですから、飲ませた水の濃度と実は体の中の濃度は同じではもちろんございません。ですので、そこはご注意くださいと思います。

マウスの個体数がその表の一番上にありまして、2段目が平均寿命というふうになっています。プラスマイナスで標準偏差、ばらつきがどのぐらいあるかということですが、マウスは普通に実験室で飼って、生涯、死ぬまでずっと飼いと続けると、およそ2年ちょっと、平均で811日ぐらい寿命がございます。ばらつきが半年近くあるんですけども、それで見えていきますと、実は1日当たり3.6ミリグレイ、濃度になると大体 1.39×10^8 ベクレル、1リットル当たりですけども、このレベルになると実は平均寿命の差がわからなくなります、見えなくなります。

それから、実験に使った系統のマウスは最終的にがんを引き起こすという系統なんですけど、このマウスでどういうがんを何匹が引き起こしたかと見てみますと、普通の水で育てたマウスの約半分48%ががんを起こしております。トリチウム水を飲ませたマウスでがんが明らかにふえているのは1日当たり10ミリグレイを超えているところ、そこから83%、70%、70%、84%、どんどん、大体8割、7割ぐらいのマウスが出ています。0.9のところだけ78%ということになっていますが、3.6より下では差が見えない。

そのがんの内訳を見てみますと、明らかにふえたところでは実は胸腺リンパ腫というのが起こっております。実はこのマウスは放射線に被曝すると胸腺リンパ腫を起こすというので、モデルマウスとしてもよく使われているマウスでございます。確かに被曝の影響が10ミリグレイ1日当たりを超えると出ている。ところが3.6より下ではそれが出てこない。自然の発症とほとんど変わらない。そういうことが実際に報告をされております。ですので、線量率が十分に低ければ恐らく全く被曝をしていないマウスと差は見えないだろうという、そういう実験のデータです。

こういう実験は本当に貴重なデータだと思いますので、ここでご紹介をさせていただきました。

次の7ページなんですが、それで先ほど来、排水中の濃度限度でトリチウムが極端に高いのはなぜだろうということが出ていましたので、私なりにまとめをさせていただきました。私はそういう線量評価の専門ではございませんので、細胞の中の放射性核種の分布とかから実際には線量を出すわけですが、その部分というのは専門ではございませんので、そこまでは説明できないんですが、大体、こういう概念だということでもまとめさせていただいたのが7ページより後です。

一番簡単なのは、トリチウムというのは体の中に入るとどこに行くかといいますと、当然、水です、有機物も含めてなんですが、ほぼ全身に均等に分布いたします。ほぼ全身に均等に分布するよく話題に上がる放射性物質のもう一つが放射性セシウムなんです。一般に筋肉と言われていますけれども、筋肉が体重中で占める割合が非常に高いので筋肉ということで、実際にはほぼ均等に全身に分布しております。トリチウムと放射性セシウムというのは、排水中の濃度限度はトリチウム水は1ミリリットル当たり60ベクレル、これは1リットル当たりなら6万ベクレルですけれども、放射性セシウム137の場合は1ミリリットル当たり0.09、1リットル当たりだと90ベクレルということで、大体、ここで700倍ぐらい違います。

ちなみに、有機化合物のOBTの場合は1ミリリットル当たり20ベクレルですから、ここで大体300倍ぐらいの差がございます。何でこれだけ違うかといいますと、排水中の濃度限度というのは基本的に1ミリシーベルト1年当たりというのを担保するための濃度限度です。そうすると、当然、1ベクレル当たりの実効線量が違うということが容易に想像がつくわけですが、実際に実効線量を計算する実効数量係数、先ほど立崎先生のほうからも紹介がありましたが、それを実際に見ていただきますと成人の場合ですけれども、経口摂取の場合ですが、セシウムと比べると大体700倍ぐらい違います。ですから、それがそのまま排水中の濃度限度に効いているということです。

では、これだけ違う理由は何かといいますと、実は放射性セシウムとトリチウムの性質を比べていけば大体おわかりいただけるかなと思って、その下に表をまとめさせていただきました。放射性セシウムにはセシウム137と134というのが非常に話題に上がってきました。それと並べてトリチウムを書いてありますが、まず、体の中の生物学的半減期というのは、放射性セシウムというのは大体70から100日というふうになっております。一方で、トリチウムはその10分の1程度です。それから、放出する β 線、セシウムも β 線を出しますけれども、 β 線の最大エネルギーというのは放射性セシウムは大体500キロエレクトロンボルトを超えるエネルギーです。トリチウムはそれと比べて18キロエレクトロンボルトですから、ここで既に30分の1ぐらい、それから、セシウムは γ 線も出しますけれども、トリチウムは γ 線を一切出しません。ですから、このあた

りで線量そのものが同じ1ベクレルを取り込んでも、全然変わってくるということがわかりただけかと思えます。

実際にどうやって線量を計算するんですかということなのですが、めくっていただいた8ページがネズミとか人の組織の場合なのですが、トリチウム水を取り込んで内部被曝したときに線量率、先ほどの実験の線量率もありましたが、この場合は1時間当たり何ミリグレイか。グレイというのはシーベルトのもとになる値ですけれども、物理量ということになります。それを算出する式です。線量率は1ミリリットル当たり何メガベクレルのトリチウムが平衡状態にあるか、組織中ずっと存在しているかということと、それから、3.29という定数を掛けて含水率を掛ければ求められるということが物理的なシミュレーションから出されています。

3.29の根拠はその下にあるんですが、1メガベクレルでは100万壊変が1秒に起こるのが1メガベクレルですから、 1×10^6 というのがあります。それから、1時間にするために1時間は3,600秒ですから当然、壊変の数は $1 \times 10^6 \times 3,600$ というのが1時間当たりの壊変数です。それから、壊変のときにそこに与えられるエネルギーは幾らか。β線の平均エネルギーがトリチウムの場合には 5.7×10^3 エレクトロンボルトなので、それをそのまま掛けてあります。β線1個が出てきて、その平均エネルギーがそうだ。それから、その壊変のエネルギーをグレイに置きかえるための計算がその後ろの $1.602 \times 10^{-19} \times 10^6$ というのがグレイに置きかえるための計算です。

そうすると放射性の同じような分布を示すような例えばセシウムと比べてみるときにどこが変わるか。もちろん、全く同じ式で本当は計算できないんですけども、おおよそ同じような式が使えます。アンダーラインを引いてあるところが実は放射性β線のです。核種によって変わってくる。トリチウムは 5.7×10^3 ですが、下のほうにセシウム137と134を書いてありますが、大体、それよりも2桁高いエネルギー、しかも、セシウムはγ線も出します。セシウムのβ線も飛ぶ平均の距離はせいぜい数十マイクロメートルだろうと思いますけれども、それでも体の中にβ線が全部残りますので、この部分は完全に効いてきます。γ線は外にも出ますから全部がエネルギーとして与えられるわけではありません。ですから、同じベクレルを取り込んでも被曝の線量が全く違う。そのことが結局、シーベルトが小さくなるという理由になっているということです。

ですから、これは決して適当にやっているわけではなくて線量評価の上でも確かにそうで、この評価の上で生体影響を比べると大体γ線、X線と比べて全く同じからせいぜい2倍程度の範囲におさまる。ですから、仮に2倍だとしても同じベクレル当たりで出せば数百分の1の影響であるということは変わりませんので、そのところが実際の線量評価に効いているというふうに考えていただければと思います。

最後のページは先ほどの中身のもうちょっと詳しいまとめですので、参考にいただければ

と思います。

以上、大体、トリチウムの影響ということで、今、後生か言いましたでしたが、私が今回、ここにお呼びいただいているいろいろ考えていることは、放射線の影響というときに当然、ここでリスクの評価をしていかないといけないわけなんですけど、今、お話ししたとおり、線量率、つまり、時間軸というのが物すごく大きな意味を持ってきます。つまり、トータルが幾らあるということ以外に、それがどれだけの時間をかけてその濃度で存在するか、薄まっていくのか、そのまま残るのか、集中して残っているのか、広い範囲に残るのかというところで実は変わってきますので、当然、このリスクを評価するときには単位のベクレル当たり、これがペタベクレル当たりになるのかどうかわかりませんが、それ当たり、その状態で1年あればどういうリスクになるかということの評価していくということが大事だと思っています。

多分、タスクフォースは、ここは比較のためのデータを情報提供するというので、対策委員会のほうで最終的には考えられるんだろうと思いますけれども、多分、一つの解は私はないと思っています。多分、幾つかを組み合わせることによって最も影響が小さくなる解があるんだろうと思っていますので、そこを複合して評価できるようなことを考えて、ここで考えるができれば、私がここに来たかがあるかなというふうに思っています。

以上です。

○山本（一） 主査

ありがとうございます。

ただいまの説明につきまして、ご意見とかご質問等はございますでしょうか。高倉委員。

○高倉委員

すみません、ちょっとお聞きしたいんですけども、大変、いろいろな実験で有意義な結果が出ているのはわかるんですけども、大体はハツカネズミを使って生物実験をやっているんですけども、現実的に人間にトランスファーする場合にどのぐらいの正確性というのは失礼ですけども、実例として……。

○田内委員

少なくともネズミの系というのは、がんに関していえば非常に特殊な系で、実験室のネズミというのは非常に特殊な系です。というのは、この実験もそうですけれども、何もしないで飼って死んだときに半分ががんになっている、人も確かにそのぐらいがんになっていますけれども、そういう非常ながんが起りやすいんですね。そういう系を使っているということで、若干、評価のところが変わってくる可能性はあると思います。ただし、これよりも人のほうが影響が大きいということは恐らくないだろうと、がんに関していえば、ですから、同じような傾向はほかの

動物実験と人の間でそんなに大きく違うということはありません。

ただ、細胞のレベルでやると実は一つわかっていることがありますして、ネズミの細胞というのは培養して放射線を当てるとがん化するんです、がんになるんです。ところが人の細胞は幾ら当ててもがん化しません。ですから、恐らくネズミの細胞というのは、特殊な近親交配を繰り返して純系でつくってきたものを組み合わせて使っていますので、野ネズミでやったという実験はないですね、立崎先生、ですので、野ネズミだと実はがんは余り起きなかつたりするのかもしれないけれども、そういういろんな遺伝的なバックグラウンドのところ、必ずしも同じにはならないということはあるかもしれないですが、極端に違う、何十倍も違うとか、そういうことはないというふうに考えております。

○高倉委員

定性的な点はわかるんですけども、定量になった場合に疑問を感じるものですから。

○田内委員

そこは何ともしようがないんですね。人で実験するわけにはいきませんし、人に近いサルで実験するわけにも今はいきませんので、できるのが精いっぱいネズミのレベルだということでございます。

○山本（一）主査

ありがとうございます。森田委員、お願いします。

○森田委員

話が戻ってしまって申しわけないんですが、RBEの説明のところ、多分、田内委員の説明でわかる人はわかったのかとも思うんですが、わからなかった人が多かったんじゃないかと思えますけれども、結局、グレイからシーベルトに変換するときに γ 線はそのまま変換してもいいし、トリチウムは同じ数字ですよという解釈でいいですよ。

○田内委員

今の計算の仕方は、グレイ、シーベルトの換算はトリチウムも γ 線も同じです、1という数字を使っていますので。

○森田委員

例えば何グレイはそのまま何シーベルトと読みかえてもいいと。

○田内委員

ただ、実はRBEがそのまま線質係数に1だったら、1と置けるかという微妙なところがありまして、おおよその場合は0.7を掛けるというのが多いんですかね。若干、小さい数字になるんですが、でも、それが正しいかという何とも言えないので、多分、そのまま読んでいただいた

ほうが私はいいのかなというふうに思います。

○山本（一） 主査

そのほかは。

○森田委員

別に皆さんのプレゼンに文句をつけるというわけではないんですが、単位がいろいろ混在していて、なかなか、多分、わかりにくいんだと思いますよね。僕もいろいろなところにリスコミに行きますけれども、結局、今、食品で1ミリシーベルトをセシウムとろうと思うと、恐らく10万ベクレルぐらい食べないといけないということで、なかなか、その辺の4グレイとか8グレイを一体ベクレルに直すと、とてもすさまじい数字になってしまうというところがわかりづらかったんじゃないかということを僕は今、危惧しているんですけども。

○田内委員

それは私もずっと感じておまして、というのは、シーベルトというのが人への影響が尺度なんです。動物の実験でシーベルトは当然使えませんので、これは物理量であらわすしかない。物理量は当然グレイということになります。ところが人の評価のときになると、全てシーベルトに安全の場合は置きかえますので、そここのところでどうしてもギャップがあるんですね。ここは多分、ICRPでも毎回、話題に上がっているというような話を私は聞いているんですけども、残念ながら、全部ひっくるめて何か一つの尺度でというのは、今のところまだいないというのが現状だと思います。ですから、この場合は……。

○森田委員

さらにできる。

○田内委員

そうですね。そこにベクレルが入ってくると、なおさらベクレルをどう換算するのかという話が出てきますので、でも、グレイは基本的に特殊な粒子線みたいなものでなければ、シーベルトと置きかえていただいても、そんなに違いはないというふうに説明するしかないので、私はいつもそういうふうにお話をしております。

○山本（一） 主査

本日のご説明は数字がたくさん出てくるので、以上に丁寧にご説明いただいたわけですが、非常に数字が大きかったり、単位がいろいろあったり、なかなか、実感できない単位が多いので、これを説明するのは本当に難しい。私もいろんなところで困っておりますが、本日、トリチウムの環境動態、環境影響の考え方につきまして各委員からご説明いただきました。全体で何かございますか。

○高倉委員

ちょっと感じているんですけども、実は今回のトラブルでこういうことになったんですけども、それまで30年、40年という放出実績があるわけです。私も建設当時をいろいろ聞いているんですけども、そのときも放出核種についてのいろいろ評価、例えば昔ですとフード実験って今はコンピュータでやっているんですけども、そういう評価をやっているわけですよ、現実的に。それをもとにして例えば保育園なんかもみんなでフードチェーンというんですか、そういうのを研究しながら、それで、このぐらいまではいいでしょうというようなことを実際にやっていますよ。

ですから、そういったことも含めて、なぜ、ここまでだったら許容されたのか、それから、対外的にですと例えば重水炉なんか結構出ているわけですよ。日本のATRが結構出ているんですけども、それでも例えばカナダの炉とか韓国の炉、それは非常にさらに高濃度のものを放出しているわけです。そういったところによって再処理工場ももちろんそうなんですけれども、環境影響があったのかどうか、それから、放出実績で何か問題があったのかどうか、そういったところも含めて何か報告いただければ非常にわかりやすいんじゃないかと思うんですけども。

○上田対策官

今、いただいたご指摘は恐らく前回も同じようなご指摘をいただいたような記憶がございますので、事務局のほうで検討をいたします。

○山本（一）主査

森田委員。

○森田委員

前回か前々回、柿内委員からの希望もあったんですが、タンクにためておくにしる、空気中に放出か、水中放出かわかりませんが、するにしる、タンクから漏れるということもあるので、環境に拡散していくということのすごく拡散するというイメージをつかむためには、そういう拡散シミュレーションをやっている方に説明をいただいたほうがいいんじゃないかと僕は思っています、実際、水中だとなかなか実感を持ってないかもしれませんが、1メートル×1メートル×1メートルで1トンありますから量は膨大な量なので、拡散イメージというのはなかなか普通の人だとイメージがつかめなくて、本当に拡散というのはこのぐらいすごいんだというようなイメージを維持するためにはシミュレーションの方に一回、説明していただくのほうがいいんじゃないかと思っていますけれども。

○山本（一）主査

シミュレーションの場合は多分、1点にどれだけあって、それがどう動くかという、その原因

になるのがどれだけかといって線形的にどうか、それを倍するだけじゃなからうかと思うんですが、もっと詳しいようなのはやっているかな、例えばタンク 1 杯が一遍に出たというようなシミュレーションってあるんですかね。

○森田委員

どういふシミュレーションを組まれるかわからないんですけども、移流・拡散というのが実はすごく大きなファクターで、それによってどのぐらい生き物に入ってくるとか、どのぐらい近場に残るかとか、そういうのを決定するので。

○山本（一）主査

移流・拡散はいろんなところでやられていると思いますが、どうですか、柿内委員。

○柿内委員

トリチウムに限った話というか、私もその辺のところはトリチウムの環境影響というか、施設影響を見たときには、いわゆる事故の場合と運転したときに少しずつ出る両方をそれぞれ想定して評価する必要があつて、それぞれで考えるべきポイントがあると思うので、どういふ前提のもとに計算するかで考えなければいけない事象というのが多分、変わってくると思うんです。

例えば先ほどの私の発表で例として上げたように、福祉まで植物の影響が見えたというのは、あれは恐らく初期のころにセシウムが出たようなイベントと近いところで出たということで、これは事故時の放出で一遍に出た、そういうことで比較的広範囲に濃度が上昇したという事象が観測されたわけなんですけれども、例えばカナダでいわゆる重水減速炉でトリチウムがたくさん出るんですけども、多分、連続的に少しずつ出ている、そういったところでの陸域での環境データというのは、10キロを超えたあたりでほとんどバックグラウンドと区別がつかないぐらいになってしまうということで、そういったことを考えると、事故とそういう定常というのはどこまでを考えなければいけないかというのは、モデルでどこまで計算できるということと、あと、実測でそれを検証するというところで、そこは考えなければいけない話だと思います。また、海域ですと非常に濃度も低くなるので、そういったところを実証で示すことできない分、計算で示すことが多分、より見た目にわかりやすく、理解していただけるのではないかなと思います。

○森田委員

私の意見がちょっと言葉足らずだったんですが、実際、ここにおられる方が相当拡散するというのを理解していただけているなら、別にそれは必要ないと思うんですが、トリチウムタスクフォースの使命として評価していくわけですよね、評価していくときに、ここにおられる方が拡散をどういふふうにイメージされているのか、イメージできているのかどうかということのがわからなかったのも、もし、そういうことを実際、私の分野的にはそういうモデルのケースを

見ているのでイメージできますが、もし、そういうイメージがつかない人がおられるのなら、そういうことを紹介してもらったほうがいいんじゃないかということです。

○山本（一） 主査

移流・拡散方程式を解く場合、移流部分が大体入力になって、そこが変わると答えは全然違うわけですね。流れが全くなければすつと……。

○森田委員

定量的に何かというよりは、定性的にそういうふうに拡散していくのであるということ、委員の方々がイメージできているだろうかという話なんですけれども。

○上田対策官

すみません、資料1の中にも余り説明をしていなかったんですけれども、海などへの移流・拡散あるいは大気への移流・拡散のところについて、今度、詳細な検討が必要というぐらいに書かせていただいております、どういう形でご議論いただくというのは少し考えますけれども、この部分は確かにまだ十分な情報がこの場で提供されていないという認識ですので、いずれにしても、ここの部分の議論ができるような形に検討していきたいというように思っています。

○山本（一） 主査

ありがとうございます。

いろいろご指摘いただきましたが、実は丁寧に説明していただいたこともありまして、予定の時間を過ぎております。何かつけ加えていただくことがございますでしょうか。

○スガノ（渡辺オブザーバ代理）

福島県でございます。いろいろ議論をいただいております、それで、先日、前回の会議でコープふくしまのほうからも報告がありましたとおり、トリチウムというものについての新しい物質だということで、セシウムと比べたときに一般の方の理解もほとんどないような状況でございます。きょうの話を聞いても私個人的にも、非常に細かい技術的なところの理解が全部できたかというところ非常に不安なところもあります。今後、いろんな対策のほうにつなげていくんだと思うんですけれども、いかにこういったトリチウムとほかの物質との違いとか影響とか、そういったものをわかりやすく伝えられるかというところも念頭に置きながら、議論のほうは進めていただければと思いますので、よろしく願いいたします。

○山本（一） 主査

ありがとうございます。

それでは、ただいまのことも含めて今後の予定等を事務局からご説明をお願いいたします。

○上田対策官

本日は長時間、ありがとうございました。

改めて次回以降の日程はご連絡をさせていただきますが、第4回目は2月下旬あたりを念頭において考えてございます。また、日程調整が済み次第、ご連絡させていただきます。きょう、いただいたいろんなご指摘も踏まえて、今後、具体的にどう進めるのかということも主査を初めご相談をした上で、また、ご連絡をさせていただければと思っております。

以上でございます。

○山本（一）主査

それでは、これもちまして第3回目のトリチウム水タスクフォースを閉会いたします。

どうもありがとうございました。

—了—