

原子力委員会  
食品照射専門部会（第3回）  
議事録

1. 日 時 平成18年2月17日（金）13：30～16：30

2. 場 所 新霞ヶ関ビル 1階101会議室（内閣府会議室）

3. 議 題

（1）食品照射に関する意見聴取について（敬称略）

・古田 雅一 大阪府立大学大学院 助教授

・田島 眞 実践女子大学 教授

・鵜飼 光子 北海道教育大学大学院 教授

・小嶋 拓治 日本原子力研究開発機構

量子ビーム応用研究部門 研究主席

（2）食品への照射について

（3）その他

4. 配布資料

資料第1号 照射食品の誘導放射能の評価について（古田資料）

資料第2号 照射食品の栄養について（田島資料）

資料第3号 照射食品検知法（鵜飼資料）

資料第4号 照射施設及び照射工程における安全（小嶋資料）

資料第5号 食品照射専門部会（第2回）議事録

5. 出席者

委 員：多田部会長、碧海委員、市川委員、大村委員、鬼武委員、久米委員、  
田中委員、東嶋委員、等々力委員

原子力委員（オブザーバー）：

近藤委員長、齋藤委員長代理、木元委員、町委員、前田委員

事務局： 戸谷参事官

## 6 . 議事概要

(戸谷参事官)食品照射専門部会の第3回を開催させていただきます。前回のご議論におきまして、有識者の方々からご意見を伺うという話がございまして、本日は4名の専門家の先生方にお越しいただいておりますので、まず最初に、私の方から簡単に先生方のご紹介をしたいと思います。

初めに、鵜飼光子先生でいらっしゃいます。北海道教育大学教育学部函館校にいらっしゃいまして、ご専門は検知技術のうち特に電子スピン共鳴法であると伺っております。

続きまして、小嶋拓治先生でいらっしゃいます。日本原子力研究開発機構の量子ビーム応用研究部門の研究主席でいらっしゃいまして、放射線照射設備全般についての専門家と伺っております。

引き続きまして、田島眞先生でいらっしゃいます。実践女子大学生生活科学部食生活科学科の教授をなさっておられまして、栄養学全般についてのご専門ということで、照射した後の栄養性の問題について本日お話を伺えると伺っております。

最後に、古田雅一先生でいらっしゃいます。大阪府立大学大学院の理学系研究科生物科学専攻の先生でいらっしゃいまして、食品照射に伴う誘導放射能、照射した後に放射能ができるのかどうか、そういったことについてのご専門でいらっしゃいます。

有識者の先生方は、以上4名でございます。

引き続きまして、資料の確認をさせていただきたいと存じます。

まず、資料の第1号は古田先生の資料でございまして、「照射食品の誘導放射能の評価について」でございます。資料第2号は田島先生の資料でございまして、「照射食品の栄養について」でございます。資料第3号は鵜飼先生の資料でございまして、「照射食品検知法」でございます。資料第4号は「照射施設及び照射工程における安全」ということで、小嶋先生の資料でございます。あと、資料第5号は第2回の食品照射専門部会の議事録でございます。

配付資料につきまして、何かお気づきの点、落丁その他不備がございましたらお知らせいただくようお願いいたします。よろしゅうございますでしょうか。

それでは、多田部会長、よろしく願いいたします。

(多田部会長) 皆様ご苦労さまでございます。

これまで2回行いまして、一応、食品照射の概略的な概念というものについては、皆様、共通認識を持たせたかと思いますが、その過程で、いくつかの疑問、それから多くの消費者の方の素朴な疑問に答えねばならないといった話の中で、俗っぽく言うと、放射線を当てたら放射能が生じるのではないかというような心配に対する回答、それから、特別な何かができる毒になるのではないかというような安全性の問題、どんな方法で安全性を調べたのかというような質問も出てまいりました。それから、栄養学的に本当に問題ないのかというような質問もあったかと思いますが。さらには、照射したかどうかをどうやって見つけ出すのか、どう判定するのかというような疑問、そういう照射施設は本当に大丈夫なのか、安全なのか、施設そのものについて知りたいというようなご意見がございました。それで前回、では、それぞれの専門家に来ていただいて、やさしい言葉でお話ししていただくという提案をしましたところ、皆様からご同意いただきまして、事務局の方で折衝していただきまして、今日は4人の先生方に来ていただいております。

それぞれ専門分野をお持ちで、限られた時間の中でその全てについては述べられないと思いますが、主に、ご自分がご専門としていることを中心に、簡潔に「こんなものもありますよ」というような紹介をしていただきながら進めたいと思います。4人おられますので、大体15分を目途に発表していただいて、そのあと質疑をして、理解を深めていきたいと思います。

そんな形で進めたいと思いますが、よろしゅうございますか。それでは、早速ですがけれども、古田先生からよろしくお願いします。

(古田氏) それでは、早速始めさせていただきます。

本日の説明内容は、私が1990年位に学位論文の仕事として行ったものでございまして、その辺を詳しく説明させていただきたいと思います。

放射線照射食品の安全性に関しましては、放射性照射で毒性のある分解生成物が生じないかということが一番大きな問題かと思われまます。

食品というものを学びますと、いわゆる食品といえども有機化合物の集合体であり、

それに放射線が当たると放射線化学反応が起こりまして、それによって独特の反応生成物ができるかもしれないので、それについての毒性が、微生物の細胞、あるいは動物の細胞、あるいは動物そのものを使った安全性試験で評価されているということでもありますけれども、特に一般消費者の素朴な疑問としては、放射線照射されることで食品が放射能を帯びないか、こういう疑問がよく出てくるわけでございます。私自身も、大阪市内で毎年夏休み頃にやっている「みんなの暮らしと放射線展」という展示会で芽止めされたジャガイモを展示していて、来られた方から「放射線が当たっているの？放射能が出ているのと違う？」というようなことをよく聞かれます。そういうことがきっかけで、放射線を当てたときに本当に放射能が検出されるのか、もう一度しっかり確認しておいた方が良くということで研究を始めたわけです。

まず、放射線照射で食品が放射能を帯びる場合があるのかないのか、文献をいろいろ調べましたところ、かなり古くから検討がなされていることがわかりました。1950年代～60年代、特にアメリカ陸軍の研究所を中心に非常に詳細な検討が行われております。しかしながら、その検討は、いわゆる物理学的な放射線物理を基本とした理論的評価による検討であります。専門家の方にはこの程度のレベルの放射線であれば問題ないことは常識になっておりまして、そういうことが非常に短い言葉で1981年のFAO、IAEA、WHOの合同専門家委員会の食品照射の安全宣言の中にも謳われているわけですが、私自身も、理科系ではございますけれども生物系、農学系でありますので、この辺の理論的評価をパッと見て理解するのはなかなか難しく、ましてや一般的な消費者の方には分かりづらいのではないかと、やはり実際に放射線を当てたものの放射能測定をしないとイケないかなということで、私なりの評価をやってみようということで研究を始めたわけでございます。

先ほど申しました理論的評価の流れにも沿いますが、どういうふうにして評価したかをご説明させていただきます。

先ほど、食品は有機化合物の集合体であると申しましたけれども、さらに細かく見てまいりますと、食品でも最小構成単位は原子であります。では、どんな原子が含まれているかを考えますと、有機物でございますので、圧倒的に炭素、水素、窒素、酸素といった元素が多いわけであります。そういったところで、3頁の表に示しますよ

うに、さらに詳しい元素分析を行ってみました。どんな食品で行ったかといいますと黒コショウと白コショウです。それを見ますと、いろいろな元素が並んでおります。ナトリウムから始まりまして、アルミニウム、硫黄、塩素、カリウム、カルシウムと並んでおりまして、だんだん重くなってまいります。下はウランとかトリウムとか水銀とか、そういう非常に重い元素も微量ながら含まれていることがわかります。これは、中性子放射化分析法という分析法に基づいて測定しています。

元素というのは一体どういう構造をしているのか復習しますと、この横(資料第1号3頁左)に書いてあるような図でありまして、高校位になりますとこういうことを習うわけでありまして、原子というものは、原子核が核になって、この中には中性子と陽子が主に含まれているということです。その周りを電子が回っている構造になっておりまして、最も軽い元素ですと、例えば、水素の場合、原子核に陽子が1個あり、周りに電子が1個回っている、重い炭素ですと原子核の陽子の数は6つというように、元素が重くなっていくにつれ、原子核の陽子と中性子の数がだんだん増えてくることが知られているわけでありまして。

そこで、このような元素の集合体に放射線が当たった場合、元素が何か反応して、放射線を出す、放射性同位元素に変わるということが起こり得るのかどうかは次の検討になってくるわけです。

放射線物理の世界では既にいろいろ研究がなされておりまして、そういう反応が起こることは分かっております。それを核反応と呼んでおります。これはどういう反応かといいますと、放射線が当たり、原子の中の原子核に放射線のエネルギーが吸収されますと、今まで安定に存在している原子核の中に要らないエネルギーが入ってきているわけですから、原子核が励起されるということです。それでごたごたして、例えば、原子核の構成成分である中性子とか陽子が邪魔になって飛び出してしまう、そういう反応です。その結果、いわゆる放射線を出すような、興奮した、あるいは不安定な原子核に変わることが起こり得るわけです。

では放射線が当たれば絶対こういうことが起こってどんどん放射能を帯びてしまうのかというと、そういうことはありません。核反応が生じるためにはいくつかクリアしないといけない要件がございます。

その1つは、放射線のエネルギーです。放射線のエネルギーが低い場合はこういうことは起こらないわけであり、あるエネルギー以上の放射線、強いエネルギーを持った放射線が当たらないとこういう反応は起きませんということでもあります。もう一つは、エネルギーが高くなれば高くなるほど核反応は起こりやすいと、一般的には言われております。

核反応には、いろいろな反応があります。例えば、エネルギーが高くなれば高くなるほど多種多様な核反応が起こり得るわけですがけれども、食品照射で使われる放射線は、一般的には10 MeV（メガエレクトロンボルト）これはエネルギーの単位ですがけれども、その10 MeV以下の放射線で、特に電子線とガンマ線が使われているわけですがけれども、そのぐらいのレベルで問題になってくるのは主として（ $\gamma$ , n）反応であるということが、物理学的な検討でわかっております。要するに、ガンマ線が当たる、そうすると中性子が放り出されて原子核の状態が変わる、そういう反応です。では、電子線が当たった場合はどうなるのだということですが、電子線が物に当たりますと制動放射という現象が起こりまして、ガンマ線に変換されます。そのガンマ線が原子核に吸い込まれて、ある場合は（ $\gamma$ , n）反応が起こり得ます。

こういう基礎的な情報をもとに、過去、いろいろな研究者が誘導放射能の理論的評価をされたわけです。一番最近のまとめとしましては、IAEAが出しているTECDOCという文書、2002年4月に出ておりますけれども、非常に詳しい理論的な検討結果も出ておりまして、今のところ、これが、いわゆる誘導放射能の安全性に関する決めのデータになろうかと思われまます。

この手順を簡単に説明しますと、先ほどお示したように、対象となる食品の元素組成を測定して明らかにするというステップがまず入ります。多くの理論的評価は、さまざまな食品の元素組成を総合的に評価して、大体すべての食品はこの程度の元素組成だろうという元素組成モデルを設定して、それに対して食品照射に使われる放射線、コバルト - 60あるいはセシウム - 137から出てくるガンマ線、それから5 MeVのX線、それから10 MeVまでの電子線、そういうような放射線のエネルギーが吸収された場合に起こり得る核反応をリストアップします。これをリストアップした結果、ほとんどは（ $\gamma$ , n）反応の寄与が大きいことが理論的にわかっているわけ

です。そして、ここまで核反応、( , n ) 反応をリストアップしますと、それがそれぞれの元素組成の中にある元素とどの程度反応するのも理論的にわかりますので、生じる可能性のある放射性同位元素量が計算で出てきます。そういうようなことで、結果としてどの程度の放射能が生じるのかが、机上の計算で出てくるわけです。

そのときに考慮すべき要因としては、放射線のエネルギーレベルです。エネルギーが低いと、ある核反応は全然起こりませんので、そういうエネルギーのファクター。それから、放射線の量、核反応をたくさん起こすなら放射線をたくさん当てればいいということになります。あるいは対象となる元素の量も多い方がよろしいといったことにもなります。それから、同じ放射線量、同じ元素量であっても、核反応が起こるか起こらないかというような程度、これを核反応断面積と呼んでおりますけれども、いわゆる反応が起こる可能性というようなファクターが入ってくるわけです。この辺のファクターを全部考慮して計算することになるわけです。

その計算した結果、今現在、言われている結論としては、食品照射に用いられる放射線のレベル、60 kGy (キログレイ) ぐらい当てるとほとんどの食品で無菌化できるということですが、そのぐらいの照射では、生じる誘導放射能は事実上ゼロであると結論づけられております。

だから、専門家の頭の中で言いますと「もうこれでOK」ということで、他に何もなくていいではないかという話になるのですけれども、我々も含めた素人は、なかなかそれでは安心できないということになるわけです。

そのような観点から、私自身は実際にコショウを使って放射線を当てて、どの程度の放射能が出るか調べて、安全であることを確認するというのをやってみました。

先ほどお示しした元素組成に従って、どの程度の( , n ) 反応が起こり得るのか、私自身、文献を調べましてリストアップした表が6頁です。

例えば、硫黄では、ここにエネルギーのしきい値が書いてありますけれども、9.9 MeVと書いてありますので、10 MeVの電子線が当たった場合、( , n ) 反応として硫黄 - 36 から中性子が1個出て硫黄 - 35 が生じます。硫黄 - 35 は、バイオの関係の人はよくご存じだと思いますけれども、ベータ線を出す放射性核種です。したがって、硫黄に10 MeVの放射線を次々に当てると、ある程度のベータ線を出

す硫黄 - 35 が生まれることは理論上明らかです。けれども、先ほど申しました核反応断面積を評価いたしますと、起こり得るのですけれども、確率としては非常に少ないことがわかります。

そういう形でリストアップしていきますと、ここに示したような放射性核種が出る可能性はあります。しきいエネルギーをずっと見ますと、全部 10 MeV 以下の数字が出ておりますので、食品照射の最高エネルギーである 10 MeV の電子線を当てると、ひょっとしたら放射性核種が出てくるかもしれない。

では、それがどの程度のレベルであって、普通の放射能測定でどれくらい検出されるかというのが次の疑問になります。そこで、グラフで少し詳しく説明させていただきたいと思います。

7 頁は横軸に放射線のエネルギーを書いております。この反応は、ヨウ素 - 127 からヨウ素 - 126 という放射性核種が生じる ( $\gamma, n$ ) 反応を示しております。縦軸は「Cross Section」と書いてありますが、これは日本語に訳しますと「核反応断面積」、反応がどの程度起こりやすいかという指標です。約 7 MeV がしきい値ですが、エネルギーが高くなっていきますと、例えば、10 MeV のところでは、ほんの少しの反応しか起こっていないのがわかりますが、エネルギーがさらに高くなりますと、急速にこの反応の起こりやすさが大きくなってきて、実際に理想的な条件で測定もされております。

ところが、食品照射で認められている放射線エネルギーは 10 MeV までですから、それより上の反応が起こるような放射線は認められていませんから、食品照射で考慮するところでは反応は少ししか起こらないということです。これを理論的に計算して、この核種で実際にどの程度の放射能が出るか計算すると、もう誘導放射能は検出されないという結論になるわけです。

実証試験をやろうということですので、こういう知識をもとに、実際に黒コショウ、白コショウ種子を用いて、食品照射で用いられている最高エネルギーである 10 MeV の電子線を 60 kGy 以上の、100 kGy という無茶苦茶な量を当てたわけです。普通、香辛料に照射して殺菌する場合は、10 kGy ぐらい当てれば大体食品衛生上、問題ないレベルまで殺菌が可能ですが、その 10 倍量という極端な量を設定しました。

放射能測定は、現在、考えられる一番感度のいい放射能測定装置を用いまして、ガンマ線とベータ線の測定を行いました。測定のところ「鉄室内で」とありますのは、皆様ご存じだと思いますけれども、我々の居住空間には自然放射線が飛び交っておりまして、そういう自然放射線も非常に高感度な測定器を用いますと十分測定されるので、鉄の壁で囲って外から入ってくる自然放射線をできるだけ遮断する措置をとっています。そうすると、食品そのものから出てくる放射線がより感度よく測れることになります。

9頁が実際に測ってみた結果であります。

黒コショウの測定の解析結果を示しておりますけれども、何も入れないとき、バックグラウンドでこのぐらいのレベルの自然放射線が観測されます。ここにピークがいろいろ出ていますけれども、このピークは、細かくリストを載せてありますけれども、すべて土の中、岩石の中から生じてくる、専門的に言いますとウラン系列、トリウム系列と呼ばれる、自然放射線であることが同定できました。

照射していない黒コショウでは、そういった自然放射線によるピークがこういうふうに混ざってまいります。だから、この辺で見えているピークは何も入れないときにも見えている自然放射線のピークで、無視できるわけです。一部、香辛料特有のピークが出ておりますけれども、これは香辛料に含まれるカリウムで、カリウムの中には自然放射能としてカリウム - 40 という放射性同位元素が含まれておりますので、このように自然放射能として観測されるわけです。

9頁右が、照射していないコショウと照射しているコショウを同じレベルで放射能測定を行って比較したものです。一見してわかるのですが、照射したものに新たなピークは生じていないことがわかります。理論上、ほんの少し出てきそうな放射能であっても、実際の高感度の測定を行っても実際には全然検出されません。こういうことから、2002年のIAEAの結論の、誘導放射能は事実上ゼロということがサポートされるわけです。

しかし、それだけではもったいないということで、少し徹底的に調べることにいたしました。10頁はガンマ線測定の検出限界です。厳密に言いますと、9頁のグラフ中には検出されていなかったですけれども、検出限界値以下のものがあるかもしれな

いので検出限界値を示しておりますが、放射能が出ていたとしても、大体このぐらいのレベル以下であるということで、これはもう非常に小さい値なので、健康上は問題ないことがすぐわかるわけです。

11頁がベータ線の測定結果です。黒コショウと白コショウで、それぞれ上段が照射したもの、下段が照射していないものですが、数字的には有意な差は全くありません。バックグラウンドとして、何も入れていないものを測ったものも変わらないということで、全然問題ないという結果が得られた。

さらにしつこくということで、わざと( , n ) 反応による誘導放射能が出ると言われる銅、亜鉛、カドミニウム、スズ、アンチモン、セシウム、バリウムとか、そういう重金属類の化合物をコショウの粉の中に添加してみました。どのぐらい添加したかということ、18グラムのコショウに4.5グラムずつよく混ぜて、それに先ほどの10MeVの電子線を100kGy照射してみたわけです。そうすると、先ほどと同じ測定をして照射直後のガンマ線スペクトルを見ますと、予測どおりに、( , n ) 反応の生成物であるところの誘導放射能が確かに出てくるわけです。そのレベルも書いてありますけれども、出てくるといっても非常に小さいレベルです。幸い、この辺の放射性核種はすぐに消えてしまう放射性核種ですので、例えば5日後に測った場合、ほとんどの誘導放射能はもう検出されないレベルに落ちております。

そういうことで、安全性は確認できたわけですが、こういう数字が一応出ましたので、例えば、1グラムといたらかなり大量ですが、そういう照射直後の黒コショウを我々が食べ続けたと仮定しまして、預託線量当量をICRPのPublication 30に出ている表によって計算してみました。

この計算の仕方ですが、重金属を添加した試料において検出された放射能と、通常の照射コショウの誘導放射能と放射線影響の推定ということですが、加えた重金属量と、ナチュラルな黒コショウに含まれていた重金属量との比率を計算し、わざと重金属類を加えた場合に測定された放射能レベルから、ナチュラルな場合の放射能レベルはどの程度か比率から計算しますと、13頁の値が出てまいります。これはもう検出器では到底検出できないぐらいの $10^{-5}$  Bq / gとか $10^{-6}$  Bq / gとか、すごく小さい値となります。

そして、この値を I C R P の Publication 3 0 に出ている表に当てはめると預託線量当量が出てまいります。ST Wall という表記は胃壁のことで、胃袋の中に入ったときにどのぐらいの被ばく量があるかということですけれども、これで見ましても  $10^{-16}$  Sv / g というものすごく小さな量で、もともとコショウに天然に含まれているカリウム - 4 0、これはカリウムが含まれている食品の中にはどれにも含まれていて、もちろん我々の体の中に含まれている自然放射能ですけれども、これによって受ける被ばく線量と比較しても、1 0 0 万分の 1 以下ぐらいにしかならないということで、確かに問題ないということが確認できたわけです。

そういったことで、結論としては、文献を調べて理論計算による評価をしても、この程度の放射線を当てることに関しては、照射食品の誘導放射能に関しては問題ないことが理解できますし、実際に照射香辛料に対する放射能測定を行ってみても、誘導放射能及びその影響は無視できるレベルであることが確認できたということです。

以上です。

(多田部会長) どうもありがとうございました。

簡単に要約しますと、食品に放射線を当てた場合、全く放射性同位元素ができないわけではないけれども、それについてはほとんど無視できる、それよりもむしろ、1 0 MeV の電子線あるいは 5 MeV のガンマ線、X 線では、天然に存在する放射性同位元素よりも低いレベルの反応しか起こらないということだったと思います。

ちなみに、「放射能」という言葉は「放射性同位元素」という意味と考えていただいたらいいと思います。元素の中には、安定な元素と放射線を出す放射性同位元素と 2 つあります。空中にある炭素も、大部分の占める炭素 - 1 2 は放射線を出しませんが、大気中には炭素 - 1 4 が 0 . 0 0 0 1 4 % 程度あり、これは放射性同位元素であり放射線を出します。それから、カリウム - 4 0 というのが出てまいりました。これは体内にもたくさんありまして、私の骨を全部集めて測りますと、通常の検出器ですと検出上限を超えるぐらいのカウントが出てまいります。

そういうものとの対比において、いわゆる放射線を当てることによって放射性同位元素ができない、すなわち放射線を出すようにはならないという説明だったと要約で

きるかと思えます。

皆様の方からご質問なりご意見をいただきたいと思えます。

(東嶋委員) 貴重なお話、ありがとうございました。

ガンマ線と電子線、それからX線を当てた場合に関して、理論計算による評価では問題ないということですが、古田先生がなさった実験は10 MeVの電子線を当てたもので、理論的に評価されているガンマ線とかX線に関しては、実験なさっていないという理解でよろしいでしょうか。

(古田氏) なぜそれを使ったかと申しますと、エネルギーが一番高いものをという意味で、食品照射において最高エネルギーとなる10 MeVの電子線を用いました。放射能を生じる核反応はエネルギーが高い方が起こりやすいことはわかっておりましたので、今、食品照射で認められている最高のエネルギーとなる電子線で、しかも放射線の量も国際機関で推奨されている10 kGyの10倍量という極端な量を選んだわけです。

(碧海委員) 一般の消費者に対して説明する場合には、今、伺ったような専門的な説明をすることは不可能ですけれども、普通、私たちが食品として採るものに含まれるカリウム-40は測定可能なわけですが、お話のあった照射したコショウのようなものでは、放射性同位元素は理論的にはできないわけではないけれども、少なくとも測れるようなレベル、検知できるようなレベルではないと理解してよろしいですか。

(古田氏) そういうことです。それと、わざと普通の食品には含まれないレベルの非常に多量の重い元素を加えた場合は検出できるということで、それとナチュラルなものに含まれる重い元素の量の比率から、測れないけれども、恐らくこの程度のレベルは生じているという予測はできます。カリウム-40のような自然放射能は十分測れますので、それによる影響との比較というようなことは簡単に行えますので、そういう意味での定量的なデータは示せるというところです。

( 碧海委員 ) さらに確認ですが、香辛料の場合は 1 0 k G y ですが、例えば、宇宙食とか特殊な病人食みたいなものには 5 0 k G y というのが使われると聞いていますが、その 5 0 k G y であっても検知できないレベルと言ってよろしいですか。

( 古田氏 ) 1 0 0 k G y で実験して今説明したレベルですから、大丈夫と思います。

( 多田部会長 ) 他にご意見ございませんか。

ちなみに、中性子を当てますと放射化は起こりやすく、古田先生が発表した中にあった食品中の成分の定量は、中性子を当てて、それぞれの原子を放射性同位元素にして、そこから出る放射線を非常に感度よく検出すれば、どんなものができたかがわかるという手法でやっております。これはよく使われる方法です。

ただし、食品照射はガンマ線か電子線ということになります。先ほど出てきました電子線を当てて (  $\gamma$  , n ) 反応が起こるというのは、電子線そのものが化学反応に寄与するのではなくて、電子線が核の近傍を通るときに、その電子線のエネルギーが電磁波、ガンマ線と呼んでいいと思いますが、それに変換されて、それが次に寄与してくるということで、(  $\gamma$  , n ) 反応となります。電子線といっても ( e , n ) 反応ではございません。

ほかに何かございますか。

( 市川委員 ) 言葉の説明をお願いしたいのですが、5 頁の下の方に「( I A E A の T E C D O C では ) 事実上ゼロである」との表現がありますが、これは日本語に訳されてこういう表現になったのでしょうか、それとも本文そのものに「ゼロ」という言葉も出てくるのでしょうか。といいますのは、今、消費者は非常に食の安心・安全に関心を持ってきておりますし、ゼロリスクはあり得ない、ゼロというのは非常に意味のある言葉だということに気がついてきています。そういう状況の中で、この「事実上ゼロである」という使い方は、非常にセンシティブではないかという気がしています。この点、教えていただけたらと思います。

(古田氏)このIAEAのTECDOCは、PDFファイルでIAEAのデータベースに載っておりますので、誰でもダウンロードして読むことができますけれども、その最初のところに要約が載っております。その要約の一番最後のところで「induced radioactivity is insignificant」という言葉がありまして、その後、文章がどうなっていたかは忘れましたが、ゼロという言葉が書いてあります。それを訳させていただきました。

insignificantという言葉がゼロという意味合いを含んでいるかどうかまでは調べていませんが、内容をみますと、計算の結果として10のマイナス何十乗とかいう誘導放射能のレベルは値としては出てきます。そういう意味ではゼロではないのですけれども、その検討の中で、いわゆる自然界にある放射線、例えば食品ですとカリウム-40などがありますけれども、そういうものが人体に与える影響を評価しておりまして、その健康影響のレベルと比較するとゼロであると言える、そういう文章になっていましたので、一応、IAEAのTECDOCの文章を和訳して載せたということでご理解いただけたらと思います。

(多田部会長)古田先生、どうもありがとうございました。続きまして、田島先生に栄養学的な観点からの説明をいただきたいと思います。よろしくお願いします。

(田島氏)それでは、照射食品の栄養についてお話しさせていただきます。

照射対象になる食品には実はいろいろなタイプのものがあることを、まずお話ししたいと思います。

1頁で3つに分けてございますが、まず1つは、ばれいしょとかタマネギとか、あるいは果物のように、照射された後、保存・貯蔵されている間にさらに代謝を続けているもの。例えば、ばれいしょは代謝されて発芽が起きますし、果物などがだんだん柔らかくなっていくのも代謝です。そのように、代謝されていく食品というのは、貯蔵中の代謝による影響を考えて栄養を見なければいけないというのが第1点。2点目は、代謝は続けないけれども水分含有量が非常に高い食品。例えば食肉とか、あるいは

は魚介肉。こういうものは水分含有量が多いことの影響を受けて、さらに、こういうものは生では食さないわけで、調理による影響をある程度考慮して栄養価を考えなければいけません。3番目としては、穀類とか香辛料のように非常に水分が少ないもの。後ほどお話しいたしますが、放射線による影響は基本的に水から始まりますので、水分が少ないものは照射による影響がほとんどないことが知られています。このように3つに分けて、それぞれデータをお示ししたいと思います。

2頁は、食品に放射線が当たるとどういことが起きるかということで、食品に放射線のエネルギーが加わりますと、まず水に吸収され、そうすると、放射線は一般的にイオン化放射線と言われるように、イオンを生じてくるわけです。それがラジカルというものになります。最近、活性酸素やラジカルは「血液さらさら」なんていう話で、一般の方もよくご承知かと思いますが、そういったラジカルというものを放出します。そして、水からは、 $H^+$ とか、 $OH$ ラジカルとか、ここには書いていませんが $OH^-$ ですとか、ここにある $e_{aq}^-$ というのはヒドロキセルトロフィ、水和電子といわれるようなものですが、こういうような様々なラジカルが生じるわけです。

こういうものは、ラジカルですから、当然、非常に活性が高く、これが栄養素を攻撃するわけです。乾燥食品ですとここまで止まるのですが、水気の多い代謝するものは、1度栄養素が破壊されても代謝によってまた修復もできるということです。

では、どのような栄養素がラジカルによる攻撃を受けやすいかというと、栄養素には、炭水化物あり、たんぱく質あり、あるいは脂質あり、あるいはビタミン等いろいろあるわけですが、例えば、でんぷんみたいなものは非常に安定な分子ですので、ラジカルに遭っても何も起きず、攻撃を受けやすいのはラジカルと反応しやすい化学構造を持つものに限られます。

具体的には、例えば硫黄の原子が入っているもの、あるいは不飽和結合、二重結合を持っているもの、こういうものがラジカルによる影響を受けるわけです。具体的なものとして、例えば、ビタミン $B_1$ （チアミン）、あるいは $B_2$ 、あるいはC、こういうようなビタミンが一番影響を受けます。アミノ酸ですと、硫黄を含んでおりますのでシスチン・システインとか、あるいはメチオニンというようなアミノ酸が影響を受けるわけですが、基本的にはたんぱく質に結合しておりますので、実際には放射線の

エネルギーを吸収することはありません。そういうことで、食品のエネルギーを考える場合、照射による影響はビタミンB<sub>1</sub>とC、これが最も重要な栄養素だと一般的に言われております。

これから先は、昔、等々力委員と私自身が一緒にやった仕事なのでございますが、幾つかご紹介します。

4頁は、ばれいしよのビタミンCに対して照射が実際にどう影響するかという例です。0が非照射、そして0.05 kGy、0.1 kGy、0.15 kGyと照射していて、一般にばれいしよに照射されるレベルは0.1 kGyあたりで、0.15 kGyのものは過剰な場合です。

ビタミンCは、普通、還元型と酸化型がありますが、影響を受けやすいのは還元型の方で、確かに照射しますと減ります。この表では、還元型ビタミンCは14.9だったのが11.0と減っています。この単位は100グラム当たりのミリグラムです。当然、総ビタミンCも減っています。そういうことで、照射直後にはばれいしよのビタミンCは確かにガンマ線、これはコバルト-60のガンマ線ですが、その影響を受けて減ることが確かなわけでございます。

ところが、これを貯蔵しておきますと、5頁のような現象になります。外国のデータですが、横軸が貯蔵期間で、縦軸は総ビタミンCです。折線は、実線がコントロール、すなわち非照射の方で、破線が照射したものです。照射量は200 Gy (= 0.2 kGy) ですから割と過剰な照射です。普通、芽止めですと100 Gy (= 0.1 kGy) ですから、倍の量を照射してありますが、照射直後には確かに減るわけです。その後、放射線照射は貯蔵するために行うわけですから、当然貯蔵しておきますと、貯蔵に従って総ビタミンCはどんどん減っていくわけです。ところが、こちらのコントロール、非照射のものも、やはり貯蔵している間にどんどん代謝されますので、減っていくわけです。そうしますと、照射したばれいしよを食する6カ月後あるいは8カ月後、このとき非照射の方はもう発芽してしまってデータは途切れているのですが、そのときには、実は非照射のものの最終のデータよりもむしろ多い。保存した後では非照射のものも照射したものも、どちらもビタミンC含有量には差がない、こういうことになっているということです。

6 頁は、グレープフルーツの私どものデータです。グレープフルーツは殺虫するために 1 k G y ぐらい照射しますが、その照射直後と、4 で 1 カ月保存後の総ビタミン C がどうかといいますと、照射していないものはいずれも 4 3 m g / 1 0 0 g です。一方、1 k G y、3 k G y 照射しますと、確かに照射によって減りますが、1 カ月保存するとともに戻る、保存後には非照射のものと変わらなくなるということで、やはり水分含有量の高い、代謝を続けているような植物性食品の場合、貯蔵後には非照射のものと同レベルになるということです。

7 頁は、代謝を続けないものの例で、ハウレンソウです。これは外国のデータですが、- 1 8 で冷凍保存したときに、0 が非照射、そして、0 . 5 k G y、5 k G y 照射しています。そうすると、確かに照射直後にはビタミン C が減りますが、1 カ月保存しておきますと、非照射のものも減り、同レベルになるということで、代謝を続けず冷凍によって減っていく場合も、やはり照射されていないものの減りが激しいので、1 カ月保存した後に照射効果を確認すると非照射と同レベルになった、という話になります。

8 頁は、調理による影響の外国のデータです。タラのビタミン B 群。肉や魚にはビタミン C は含まれておりませんので、ビタミン B 群が一番影響を受けるものになりますが、6 k G y 照射したときと普通に調理したときの影響を B<sub>1</sub> と B<sub>2</sub> とニコチン酸についてみたデータです。生のものと調理したものがありますが、タラは生で食べませんから、調理した後のデータを見るのが自然だと思いますが、非照射に対して照射したものは、B<sub>1</sub> は残念ながらかなり減りますが、B<sub>2</sub> はほとんど影響がない。ニコチン酸もほとんど同レベルです。つまり、照射によって影響を受けても、調理による影響で割り引かれてしまうということで、最終的に食べるときには照射による影響は無視できるような値であるというようなデータです。

次は、乾燥した食品ではほとんど影響がありませんというデータを 1 つお示しいと思います。私が昔やった仕事ですが、9 頁の小麦と緑豆とレンズ豆です。たんぱく質のアミノ酸は影響を受けないと冒頭に申し上げましたが、遊離アミノ酸ですとある程度は影響を受けるので、実際に大きな影響を受けるのかを実際に調べました。線量は 3 k G y です。これは、アミノ酸データを全部示しますと小さくて見にくいもの

で、アミノ酸全体の組成を、その類似率という形で示しました。1が全く等しい、0が全く等しくないという数字ですが、0から0.5 kGy、1 kGy、3 kGyと照射量を増やすに従って、遊離アミノ酸全体の類似率が変わるのかなと見てみますと、全く変わっていません。類似率0.99以上ですので、全く変わっていないということで、やはり乾物、乾いたものについては放射線の影響は全く見られない。よく言われている話でございますが、確認したということです。

そういったことで、古田先生のお話にもありましたように、IAEA等が10 kGyまでの照射は影響がないという結論を出していますが、そのような各機関の評価においても、照射食品の栄養性については、照射の影響に加えて貯蔵による影響、あるいは調理の影響、もう一つは、私たちは照射した食品だけを摂るわけではなく、その食事全体の栄養素摂取量に占める割合も考慮しなければいけないといったことで、すべて考察されてきております。10 kGyまでは照射しても問題ないというのも、そのような考察に基づいているわけです。

原子力特定総合研究で7品目試験したときに、栄養試験というのがございましたが、その当時、実は私も参加していたのですが、主にやったのは栄養研究所ですが、栄養のところはすべて影響なしとなっております。当然、ばれいしよあるいはタマネギの場合はビタミンCが減っておりますが、そのビタミンCの減少についても、総合的に判断すれば影響なし、こういう結論に達しております。

それから、他の機関のものが何かあるかなと思ひまして、FDAは官報で様々なものを出しておりますが、その新しいところを2つばかり入手したので、12頁に示しました。

例えば、1997年の鶏肉の照射に対するステートメントで、「生鮮食品中チアミン含量に放射線処理がどう影響するかを検討した研究では、線量範囲が0.6から7.3 kGyで約10～50%の消失を示した」としてあります。確かに減ることはきちんと認識しているわけです。しかし、その照射される全生鮮食品、アメリカ人が食べる食用の牛肉あるいは鶏肉、魚のチアミン含量が50%まで減少しても、米国人の平均チアミン摂取量は1日所要量を十分超えているということで、「生鮮食品の放射線処理は、チアミン摂取量に対して有害な影響を及ぼさないと判断する」という形で結

論を出しています。あるいは2005年8月の貝類への照射に対するステートメントでは、「貝類にはチアミン、ナイアシン、ビタミンB<sub>6</sub>、さらにB<sub>12</sub>などを含むビタミンB群が含まれる。米国人の食事摂取パターンから計算すると、魚介類のチアミン、ナイアシン、ビタミンB<sub>6</sub>の摂取量に占める割合は、3%未満にすぎない」ということで、たとえ50%まで減ったとしても、アメリカ人の栄養に対して問題を与えない、こういう形で評価されています。

以上が私に与えられた栄養素に対する影響のお話です。

あと、1つだけ付け加えたいと思ひまして13頁を出したのですが、先ほど碧海委員もおっしゃっていましたが、実は、宇宙食は放射線で殺菌されております。現在飛んでいるスペースシャトルと、それからISS（国際宇宙ステーション）に乗っているNASAの宇宙食メニュー、約300あるのですが、その中でこれだけのものが、実は放射線殺菌されております。コバルト-60で照射されていますけれども、ほとんどビーフです。ビーフは、普通のレトルトにしますと1年間の保存期間後には非常に嗜好性が悪くなってしまいますので、レトルトでもって殺菌しにくいということで、放射線で殺菌しているわけです。実際、14頁が放射線で殺菌されたビーフです。これは私の食べかけのもので、少し汚くて申しわけないですが、こういう形のビーフです。

宇宙食というのは、宇宙飛行士が1年間それだけで栄養を摂るわけですから、パーフェクトな栄養性が求められるわけで、その中で、このようにビーフを中心として照射殺菌が取り入れられているということは、NASAでも放射線照射が栄養的に特に問題を起こすとは認識していない、そういう表れだと考えております。

以上で発表を終わらせていただきます。

（多田部会長）田島先生、どうもありがとうございました。皆様、ご質問なりコメントなりございましたら、ぜひどうぞ。

（碧海委員）たんぱく質あるいはでんぷんにはそれほど影響がない、というお話がありました。11頁の原子力特定総合研究の概要のうち、小麦の問題点等のところに

「小麦の粘度が低下する」と出ております。例えばグルテンですか、ああいうものに対する影響はないのでしょうか。

(田島氏)物性変化はいろいろ出ます。でんぷんの三次元構造のところに放射線エネルギーが入りまして、粘度が若干低下するといったことは報告書に書いてあります。しかし、いわゆるアミノ酸自身が壊れる、あるいはでんぷんのグルコースが壊れることはございませんので、栄養的には全く問題ないと捉えられます。

(碧海委員)穀類はガンマ線よりも電子線照射の方が向いているというのは、なぜなのでしょう。

(田島氏)それは私の専門ではございませんが、照射技術として、コバルト - 60 によるバッチ処理よりは電子線による流れ作業で照射した方が照射しやすいので、それで電子線が使われると私は認識しております。

(多田部会長)まさにおっしゃるとおりですが、1つ言えることは、電子線は深部まで入らないということがあります。

例えば麦の場合、ほとんどの微生物は表面にいます。放射線が中まで入るとでんぷんの物性が変わるということは、でんぷんが分解されているわけですがけれども、そうしますと用途が限られてきます。一般に高分子、でんぷんは大きな分子ですがけれども、多糖類、でんぷんなどはどちらかという分解型、それに対してたんぱく質は分解されにくくて重合型と言ったりするのでありますがけれども、そのように分けることはできます。麦、小麦にガンマ線なりエネルギーの強い電子線を当てて中まで放射線が入りますと、でんぷんが切れて本来の粘りがなくなるから用途が変わってくるわけです。逆に、そうすることによって違う用途の小麦をつくることも可能です。

なお、グルテンはたんぱく質でございますので、大きな変化はないと考えていただいても良いと思います。特に、穀類は非常に水分が少ないので、そんなに大きな変化はないと思います。おっしゃっていたとおりです。

( 碧海委員 ) ということは、栄養素の比率というか、それが減ることはあっても、調理上の食品の持つ特性みたいなものは余りにしなくていいということでしょうか。

( 田島氏 ) そうということです。

( 碧海委員 ) もう一つだけ。栄養成分表というものが出ておりますが、日本の場合にはジャガイモの発芽抑制にしか使っていないわけですから、栄養成分表には別に問題ないと思うのですが、アメリカのように、もっと食品の照射をやっているところでは、「照射した食品の場合は栄養成分がこう変わる」というような、そういう成分表のようなものが実際には出ているのでしょうか。それとも、そういうものは出ていないのでしょうか。

( 田島氏 ) ちょっとわかりませんが、アメリカの栄養成分表は、インターネットで U S D A ( 米国農務省 ) のサイトからダウンロードできます。アメリカの成分表は日本のように 1 食品 1 データではなくて、平均値まで出すためにいろいろ膨大なものが出ています。そうしますと、もしかしたら出ている可能性がございます。

( 田中委員 ) 影響を受けやすい栄養素としてビタミン C の例を挙げられて、照射で結構減るということでしたけれども、加熱調理するときのビタミン C の減る量と比べて、その辺はどうなのでしょう。

( 田島氏 ) 加熱食品の場合のビタミン C の減少も、非常にいろいろなデータが出てございます。ただ、食品によってかなり減少量は違います。ばれいしよの場合は、加熱してもビタミン C は割りと減りません。果実類の場合は、加熱しますとビタミン C は 10 分の 1 ぐらいに減ってしまいますので、照射による影響なんていうものは微々たるものとなります。

(多田部会長)他にどなたか、いかがでしょうか。

田島先生、確認ですけれども、実用レベルの放射線を当てても、栄養学的に部分的な水溶性ビタミンの減少はあるけれども、それ以外の影響はほとんどない、ビタミンの減少は、総合的にいろいろなものを食べる場合はその総計の中で考えるものであり、人間の栄養という観点において、ほとんど問題ないだろうとまとめてよろしゅうございますか。

(田島氏)そのとおりでございます。

(多田部会長)田島先生、ありがとうございました。

只今の田島先生のお話の中でも「ラジカル」という言葉が出てまいりました。次は、ラジカルを調べることによって放射線が当たっているかどうか判定することを専門にしておられる鵜飼先生に、研究方法を少し述べていただいて、そしてラジカルなどについてご説明いただきたいと思います。

鵜飼先生、よろしく申し上げます。

(鵜飼氏)ご紹介いただきました鵜飼でございます。照射食品の検知法について、概略をご説明させていただきたいと思います。

検知法については既に多くの報告がございます、1頁にお示ししますように、主な検知法は物理的な方法、化学方法、核酸(DNA)法、生物学的方法等でございます。これらの方法は、すべて我が国で検討されておりまして、この部会の専門委員のおひとりでいらっしゃる等々力氏を中心に研究がすすめられており、多くのデータが蓄積されております。検知法は、日本では既に十分に研究されていると考えていただいてよろしいかと存じます。

検知法は、国際的標準法として10種類の方法がございますが、2頁でお示ししますようにEUで公定法として、またコーデックスの国際的な標準規格として認められております。国際的に検知法に関しましてはプロトコル(実施要綱)が詳細に決まっております。ただ、問題なのは、コーデックスの位置付け欄をごらんいただきま

すと、タイプ でありますとかタイプ でありますとかの表示になっておりますが、そのなかにスクリーニング法と書いてあるところもございます。これらはいずれも定性法で、厳密な定量はできないのが現状でございます。そのために、1つの方法ではなくて幾つかの方法を組み合わせ、照射の有無もしくは照射履歴に関して検知しようではないか、というのが考え方になってございます。

私が今、研究しておりますのは検知法のなかでE S R測定と記載されているところでございます。2頁の骨のE S R（電子スピン共鳴分光）測定、セルロースのE S R測定、糖結晶のE S R測定などございまして、その対象は、鶏肉、肉類、魚（マス）、カエルの足、パプリカの粉末、ピスタチオナッツの殻、イチゴでございます。それから、乾燥パイヤ、乾燥マンゴ、乾燥イチジク、干しブドウといった食品も測定対象になっているところの分析法でございます。

我が国の取り組みの概略を申し上げます。

今、申し上げました国際標準の検知法をもとにいたしまして、ほとんどの検知法について我が国では検討されております。特に東京都の産業技術研究所におきましては、科学分析法やE S R測定、T L（熱ルミネッセンス）法などにおいて非常に多くの研究成果を上げております。それから、食品総合研究所では、昨今、サーモルミネッセンスを用いました検知法で大変よいプロトコールを提唱されてございまして、我が国の食品企業もしくは流通企業に対して、指導も行っている実績がございます。そのうちの1つをご紹介させていただきたいと思っております。4頁をごらん下さい。

日本では、ばれいしよへの照射が認可されているところでございますが、この照射ばれいしよの検知にT L法を応用した例が報告されております。ご存じのように、日本では、30年以上前から、北海道で芽止めを目的としたガンマ線照射が行われてございます。馬鈴薯の検知法としては、電気抵抗（インピーダンス）測定法が開発されておりますが、これは装置に問題がありまして照射食品検知に有用な汎用機種が開発が大変遅れておりました。

T L法と申しますのは、ヨーロッパ、特にドイツを始めとするチームで研究されております。T L法は、ばれいしよに付着しております土壤中の鉍物、すなわちミネラル類を測る方法でございます。ドイツの土壤組成と我が国の土壤組成は若干異なりま

すので、T L法がわが国の照射馬鈴薯の検知法に適用できるかどうかという検討がされました。その結果、日本の照射馬鈴薯に対しても、照射、非照射の判別ができることがわかりました。また、ある程度の線量の推定も可能であることもわかってきました。

次に5頁にお示ししましたが照射による食品への作用についてご説明いたします。ここで、ターゲットと書いてあるところは食品だと思っていただければ結構でございます。放射線が食品にあたりますと、励起やイオン化によってラジカルが出ます。さらに、間接的な作用と書きましたように、殆どの食品は多く水分を含みますので、食品中の水分が照射されることによって、先ほどの田島先生の資料にもご説明がありましたが、水から多くのラジカルが出てまいります。

このラジカル成分は非常に不安定で、逆に言いますと活動的、活発といえます。私も大学で講義で「ラジカル」という言葉を英訳させると、過激派だとか活動グループとかの訳語がでてまいります。化学の授業ででてまいります「遊離基」と申しましたら正解でしょうか。

食品は放射線照射によってこのような不安定なもの、ラジカルが出てまいります。これがさらに食品に反応する。食品中の成分に作用します。これを繰り返し、さらにラジカルが出てまいります。

実はラジカルはいろいろな場面で出てまいります。調理の場合におきましては、例えば、電子レンジでチンしても、これは照射でございますのでラジカルがでます。私は北海道の大学に勤務しておりますが、ご存知のように函館はイカが有名です。イカは保存性をもたせるために干して加工します。干したイカをE S R法で測りますとラジカル信号を観測できます。つまり、日干しにしてもラジカルは出てまいります。

食品照射の場合、一般的に、照射によって誘導されるラジカルは大変不安定ですので、食品に照射するような量では、照射直後にほとんどなくなってしまうと考えられております。そこで、検知法では、照射によって出てくるラジカルの中で、比較的安定な壊れにくいラジカル種をE S Rの信号として観測しています。ESR法は大変感度が高い精密測定法ですから、照射誘導ラジカルの検知は可能です。

コシヨウの場合、多くのレポートを読みますと、コシヨウの中のセルロースの部分

にアタックされて誘導されるラジカル種を測るということになっております。6 頁にお示ししましたが、理論的に考えますと、このラジカル種は、水があると、例えばスープにコショウを振りかけたりラーメンにコショウを振りかけたりすると、その瞬間的に消滅する。もしくはクッキングする、加熱することによって消滅すると考えられます。ただ、それについては実験データはございません。

続いて、E S R法を導入した検知法について、私どもの研究成果をまとめたものをご紹介します。

7 頁をご覧ください。私どもは、E S R法について検知法としての有用性について検討しております。従来、E S R法については定量性はないけれども定性はできる、すなわち照射の有無の判別は確実にできると考えられてきました。現在私どもは、E S R法導入によって照射誘導ラジカルの計測に成功いたしまして、照射処理量の厳密決定法が可能になるということをお示ししました。

8 頁に ESR 信号をお示し致します。信号の真中を で囲んでございますが、詳細にみますと P1 信号の横に S1 と S2 の信号が観測されます。信号は「鳥が羽ばたいている」ような、大変きれいな信号です。信号の説明をいたします。P 1 と書きましたのがラジカルの信号だと思ってくだされば結構です。この横の P 2 と書きましたもの、これは典型的な 6 本のラインで出ていますが、これは試料中に含まれるマンガニオンの信号です。それから、P 3 と書いてありますのは鉄の信号です。こういうものは、古田先生の説明にもありましたけれども、基本的に放射能を帯びるわけではございませんので、照射してもピークの形は変わりません。そこで、この信号をマーカーにして、照射誘導ラジカルの信号強度を厳密に計測することができます。また、E S R法の特徴なのですが、測定条件を変えますとラジカルの緩和現象によって信号が見えなくなり、観測できなくなります。ですから、E Uの公定法の中で、この方法が厳密な計測法とならなかったのは、この測定条件の厳密な検討が欠けていたことに起因すると考えられます。

ここでお示したのは、照射コショウの E S R 信号でございます。照射量は 1 0 k G y と思いますが、照射することによって未処理のもの比べて 2 つの変化が見られます。第一に、P 1 という信号が大変きれいに見えてまいります。振り切れていると

ころが P 1 の信号だと思っていただければ結構です。照射によって信号強度を増します。また、感度を変えますとその両サイドに 2 つの信号 S 1 と S 2 を新たに観測することができます。これが第二の変化です。照射処理は P1 信号の増大と新規信号の発現で検知可能であることがわかります。従来照射食品の ESR 信号に関する報告を見ますと、S 1 もしくは S 2 の信号の観測は報告されていません。と申しますのは、照射すると P 1 の信号が大変大きくなってしまいますので、重なってしまい見えなくなるのです。しかしながら、測定条件を詳細に検討することで明瞭に観測することができます。

照射によって新規に出現するサイドのこの信号は、照射されているかどうかを簡単に判別するのに有用です。ESR 法の操作法を述べますと、大変簡単な方法でございます。細いガラスのチューブの中にサンプルを入れまして装置に入れますと、すぐこの信号が出ます。ですから、このサイド信号があるかないかで照射されているかいないかすぐわかるということになります。また、試料は繰り返し測定できます。

9 頁には、EU の公定法で示された ESR 法をお示しし、並べてわたくしどもの提唱する検知法を比較して書いております。厳密に信号の強度をとるために、マイクロ波強度を非常に細かにとって測り、電子スピンの緩和現象を考慮した方法を報告しております。

10 頁には、先ほど申しました S 1 と S 2 の信号について詳細に検討したデータです。これはどんな実験をしたかと申しますと、高崎にある日本原子力研究所（現・日本原子力研究開発機構）で照射していただいたコシヨウを、お肉に振りかけ、ビーフステーキのような状態にしたときに、照射誘導ラジカルはどうなるか、増えるか減るか、みようということになりました。S 1 と S 2 の信号は照射すると発現する新たな信号なのでその挙動には大変興味があります。

実験では 180 のオープンで照射コシヨウを焼き ESR 信号をとりました。ごらんの様に A の曲線は加熱前の信号で、山がとても高く出ています。すなわちラジカルが多いと考えられます。B は加熱して 5 分後のものです。山が低くなります。全く信号強度がとれなかった C は加熱後 10 分でございます。照射しないときは、勿論のことこの山型の信号は観測されないわけですし、C のようなラインになっています。つま

り、照射処理されたときに新たに出てくるラジカル種は、成分はまだわからないのですが、オーブンで通常の調理のように加熱すれば10分で消滅したのです。

こういったデータはあまりアカデミックでないので、どこの雑誌に出しても相手にされないだろうと思いましたが、「Journal of Food Science (論文雑誌)」にアクセプトされました。ですから、大変意味のあるデータであったと、後で思った次第でございます。

このような研究経過から、現在は照射処理によって出てくるラジカルを、厳密に定量できないかどうかについて検討いたしております。12頁でお示ししたESR信号は、8頁の信号とは違ってみえますが、最近の装置は信号をコンピュータ処理できますので、このように大変きれいな画像として出てまいります。この信号からラジカルがどれくらい出ているかを計算することができます。すなわち、何kGy当てたらラジカルは何個出てくるかがわかるようになってきました。ですから、実際に照射履歴を推測することができます。

もう一つの厳密定量法をご紹介します。13頁にお示しましたが、これは外挿法と言って、化石の年代測定に使われる方法を応用したものでございます。横軸は照射量、これは50kGyまで実験しております。縦軸はラジカルの信号強度です。信号強度は変化しますのでマイクロ波強度を変えて計測し、最も信号強度が高いところ(しきい値)でとってございます。信号強度と照射量との関係は直線になります。これによって照射量を推定することができます。これは化石の年代測定で長く使われている方法で、照射食品の中でも骨を含む肉の場合は、この方法が適用できます。

以上でご報告を終わります。検知法に関しましては、もう少し詳しくご説明を申し上げるべきところが多くあります。今回は時間の関係で概略のみを説明させていただきました。

(多田部会長) 鶴飼先生、ありがとうございました。

いろいろな検知法が提案されています。かいつまんで言いますと、当てたか当てないかはほとんど検知、判別はできます。しかしながら、どれだけの放射線を当てたかを測るのは、現時点ではかなり難しい、できないわけではないけれども、困難だとい

うことです。そういう状況の中、鵜飼先生はラジカルに着目してずっと検討されていて、現在の研究は、ラジカルのシグナルから被ばく暦というか、線量の推定ができるのではないか、ということの研究しておられるというご紹介でございました。

検知法についてご質問なりご意見をいただきたいと思いますが、いかがでございましょうか。

(大村委員) 非常に興味深いお話、ありがとうございました。

100 10分でラジカルが消滅するということは、逆に、普通の乾燥食品なども、照射した後、保存しておきますと段々とラジカルが減ってくると思いますが、その辺り、通常、何カ月のレベルまで置いておくと、ラジカルはほとんどなくなると考えていいのですか。

(鵜飼氏) 照射によって誘導される安定なラジカル種を測っているわけですが、今、この実験を始めて4年目ぐらいですけれども、4年たっても、先ほどのサイドシグナルは検知することができます。

(等々力委員) 減衰していくことは確かです。

幾つかの方法がある場合、まず骨を、ということに関していえば、生鮮食品で肉とか魚の骨を考えた場合、その食品自体の賞味期限が短いし、あと、冷凍してしまえばラジカルという意味では安定なので、冷凍の骨つき肉から骨をとってきたりした場合は、多分、問題なくESR法が応用できると思います。

問題になるのは、常温流通して、しかも賞味期限が長いものになると思いますけれども、減衰にはある程度限界があるのも確かでございます。ある年限までもっているものもあります。それから加熱で減衰していく部分も確かにありますが、TL法もそうですけれども、高い温度の履歴があると全部消えてしまうのですけれども、あるところまではもっていて、これらの方法が厳密にどこまで適用できるかという辺りの議論はあると思います。

私の方から、いくつかいいですか。

まず鵜飼先生、私の仕事も丁寧に紹介していただいたのですが、少し誤解されないように言わせていただきますと、日本では、法律的な根拠を持っている分析法、つまり公定法は今のところはありません。だから、何らかの分析をして、そのデータをもって、法的に「これは照射食品である」とか「そうでない」ということは、今は言えない状態です。ただ、昨今、殺菌の方法についてきちんと確認してから輸入しなさいという通達が税関から出ていることもございまして、心配だという方がいらっしゃることも事実です。それで、そういった方からご相談を受けることはありますが、私は指導などするような立場では全くございませんので、誤解のないようにしていただきたいと思います。そういう研究もしているということで、ご理解いただきたいということを傍聴の皆様にお伝えします。つまり、行政指導ができるような分析法はないということですし、あったとしても、私の所属する食品総合研究所はそういう立場ではありません。

それから、検知法についての考え方なのですけれども、実際に照射食品が世の中に流通するからそれを管理しなければいけません、ということで検知法が必要ということだと思いますが、検知法を使うことですべてを管理するという考え方は、多分、Eも採っていないと思います。表示することがまず1番で、それから記録を残すといったことだと思えます。だけれども、昨今、他のこともそうですけれども、表示をするからには、表示を裏づける分析法がなかったら効力は持てないだろうということだと思えます。コンプライアンスの問題というようなことで検知法を検討してきて、Eもやってきていると考えますので、検知法が仮にできてすごく高性能だとしても、それをもってすべてを管理することは多分難しいし、そういうためのものではないのではないかというのが私が個人的に思うところで、幾つかの行政なり政府機関なりは、そういう立場を採っているのではないかと思います。

日本が、これからどういうやり方をするかは皆で考えるべきだと思いますけれども、ただ、ある程度判別ができて、表示をしたからには、その真偽をある程度見破るといふか、言葉は悪いですが、そういうための方法はある程度出来ています。Eもなどで最近出たのですけれども、抜き打ち検査のようなことをやりましたら、非表示のもので測定したら照射の履歴がありそうだというものが発見されたという報告

もでございます。そういう意味では、日本では法制化されていませんけれども、行政的に使えるようなものが技術的にあるといえます。

それから、コーデックスの標準分析法にタイプ1、タイプ2という位置付けがあるという話ですが、少しややこしい話ですけれども、タイプ1というのは、もうよほど厳密なものしか該当しないというものです。私もうる覚えですけれども、分析法それ自体で1個の値が出てくるようなもの、よく言われるのは、例えば、ある食品の水分含量をこのように定義すると言ったら、何で何分乾燥したときのある食品をどう測りなさいと決まるような、そのような厳密な分析法しかタイプ1とは認められないので、大概のものはタイプ2よりも下になっています。タイプ2とタイプ3の差はこれは校正や論争の解決には使えるといった用途のことだと思います。

(碧海委員)東京都立産業技術研究所での研究成果が多くあるというお話がありましたが、これはホームページなどでも紹介されているものですか。

(鵜飼氏)皆、学術論文雑誌に載ってございます。学術論文になっておりますので、容易に入手することができます。

(市川委員)すごく初歩的な質問で申しわけないのですが、照射履歴というところで考えたときに、例えば、いろいろな食品に照射をしますと、今、検知に使っていらっしゃる安定していると言われているラジカルについても、ものによってはそうではないケースもあるのでしょうか。

あと、食品はある時間の中で流通しますが、その常識的な時間の範囲において、その検知法が使えると認識していいのか、それから、例えば、「何十年か前に照射されたものです」というものが万が一出てきたとして、そういう状況でも使えるのか。すみません、的を射ていないかもしれませんが、教えてください。

(鵜飼氏)まず1番目の安定性の問題ですけれども、基本的に、食品によって出てくるラジカル種は違いますから安定性は違うと考えられます。ですから、食品ごとに検

知法があると考えてくださるといいと思います。

食品の流通段階でラジカルは当然減衰していきますけれども、先ほど化石の年代測定の話をしたしましたが、理論的には時間がたっても ESR 信号は観測できます。ただ、食品でございますので、長期間計測する必要性があるかどうかは別の違う観点になると思います。

(多田部会長)今のご懸念に対しては、田島先生もおっしゃっていたのですけれども、水の存在が大きく影響します。鵜飼先生がやっておられる ESR 法は乾燥物を対象としたときに非常に都合がいいものであって、水があつてすぐにラジカルが消えてしまうようなときには余り有効なものではないということになります。

そういうことで、すべてを ESR 法でやるということではありません。

例えば、ジャガイモに放射線を当てると、くっついている石(鉱物)と一緒にエネルギーを吸収して、吸収したエネルギーは加熱すると光に変わって出てくるので、その光を検知することによって、放射線が当たっていることがわかるといった TL 法などもあります。鉱物は放射線を吸収しますとエネルギーを蓄えて、いい例がガラスのメガネですが、放射線を当てますと茶色くなります。しかし、それはいつまでもあるものではないし、加熱すればすぐ元に戻るのですが、それは結晶格子が変わっているのであって、何かができているわけではなく、エネルギーを吸収しているということです。その入ったエネルギーをうまい方法で引っ張り出して測ることもできますよというのが TL 法で、それから光励起ルミネッセンス法もそういう原理です。

1 頁には生物学的な判定法というものもございましたけれども、サンプルを持ってきて細胞の数を全部見まして、どの程度死んでいてどの程度生きているのかを調べるといった方法もあるわけです。例えば、輸入したある種の食品の中に微生物がほとんどいない、何で殺したのだろうかというようなときにも、生きた細胞と死んだ細胞を調べることによって、放射線を使ったかどうか判定できるといったことも考えられます。

食品に応じて最も良いものを使うということで、2 頁では 10 個ほどの分析法が挙げられてあると理解していただいたらいいと思います。

( 碧海委員 ) ハムとかソーセージなどをつくる場合に香辛料を使いますが、そのハムとかソーセージとか、あるいは缶詰でもよろしいのですが、そういうものが輸入されたときに、その中に使われているスパイスが照射されているかどうかもわかるのですか。

( 鵜飼氏 ) 私の方法では、今のところは測れません。しかしながら、分析法の原理からいうと測ることはできます。

( 多田部会長 ) 理屈の上ではそうかもしれませんが、実用的なレベルでは絶対測れないと私は思います。ソーセージの中に入っているスパイスを引っ張り出してどうのこうのというのは難しいと思います。ただし、石 ( 鉱物 ) が入っておれば、それは何らかの情報を与えてくれる可能性はあります。石の中に吸収したエネルギーは、ソーセージをつくる時の熱では放出しないのではないかと思われるのですけれども、等々力委員、どうでしょうか。

( 等々力委員 ) 原料の一部について検知できるかというところは、皆様、関心があると思うのですけれども、正直に言うと、かなり難しいと思います。

ソーセージでしたら、多分、それ自身が照射されている場合は、加熱した後でも科学的な方法で測れると思います。あるところまでは測れてあるところまでは測れないという人はいるとは思いますが。しかし、では、照射したコショウが何粒入っていたら測れるかということになってくると。石があればという話ですが、食品メーカーは、石が入っていたらクレームがついてしまいますから、フツと吹いたら飛んでいくぐらいのものをかき集めてきますので、それでも測れるときは測れるのですけれども、その辺はかなり難しいと考えた方がいいと思います。

( 碧海委員 ) カレー粉は30種類以上のスパイスのミックスですが、カレー粉なら測れますか。

( 鵜飼氏 ) 私が測った範囲で申し上げますが、まだ論文雑誌に載っていないので、それでよしと判断されているわけではなく、そういうデータもあったということで聞いていただきたいのですが、先ほどハム、ソーセージの話が出ましたけれども、スパイスはミックスして、特別なハムをつくるときは特別なミックスをしたスパイスを使うわけですが、それに照射して信号が出るかどうか実験したことはあります。結果は、信号は観測できました。ハムになったものに関しては、私の分析法がまだ未熟で、観測できませんでしたが、理論的には観測できます。

ただ、それが検知法としてどういう意味を持つのかは、また別の問題になると考えておりますので、この実験はそれ以上は進めておりません。

( 田中委員 ) 鵜飼先生方のお話を聞いていると、先端的な研究によると E S R 法とか T L 法はかなり有望だとおっしゃられていますけれども、実用的なことも考えないといけないと思います。いつ、誰がやってもきちんとしたデータ、Yes or No といったことが出るかどうか、例えば、医薬品とか化学物質の場合でいえば、「いい方法を編み出した」、「すばらしい論文書いた」と言ってもそれだけではだめで、客観的な評価をまずしないといけないということになります。行政的にそれを受け入れるためにはステップがあって、研究グループを組んで実証試験をして、この系の欠点はどこにあるのか、利点はどこにあるのかをきちんとやっている系が、今、この分野でどのくらいあるのか、それを知りたいのですけれども、どうですか。

( 等々力委員 ) 日本で法的にそこまでいっていないというのは、日本の中でそういう実証がまだされていないから、今、厚生省の研究機関で鋭意努力中と私は個人的には聞いております。

E U の方法に関して言いますと、E U で統一基準をつくりましょうと決めたときに、検知法がなければいけないということがあって、それで、研究グループを組んでプロジェクトを起こして実証までした結果が、先に紹介のあった方法です。E U は、国がたくさんありますから、すぐ集まって、共同研究ということで、それぞれに試料を配付して、もらったものに答えを出して、それを集めて判定して正解率が 95% だった

とか、そういうことをやって、「この方法で良いでしょう」とEUの標準化委員会で決めたという方法が、これだけあるということでございます。

その妥当性を検証した実績を踏まえて、コーデックスのサンプリング分析法部会の方でも、コーデックスの標準分析法にしましょうということになっています。

だから、ここに食品の品目がいろいろ書いてありますけれども、学問的には、これ以外のものにも応用できるものはいっぱいあるのですが、ただ、皆にサンプルを配って答えを出して実証した食品について挙げていくと、こうなってくるということです。応用できるものはもちろんまだありますけれども、そういうように、EUでの妥当性検証は行われているということです。

(久米委員)食品の種類によって検知法を変えなければいけない、というのは当然出てくると思うのですが、それぞれの食品に合った形で検知法が選ばれるということで、これらの方法があるということだと思います。

ただ、香辛料は、世界的に照射が一番普及しているし、一番よく検討されているもののなのですが、それに関して、TL法とESR法がかなり有望な方法ということではあるのですが、ハムのような加工品になった場合は別にしましても、原料のスパイスに関しては、この2つの方法でまず大丈夫と考えていいのか、あるいは他の方法もさらに組み合わせることが必要な場合が出てくるのか、その辺はどうでしょうか。実証の問題もありますけれども、どんな感じでしょうか。

(鵜飼氏)スパイスの種類にもよると思いますが、私は主にコショウについて行っておりますが、コショウについてはESR法が大変有望であると考えてございます。TL法は、等々力委員のところで研究成果が蓄積されております。汎用機種も開発なさっているの、かなりいけるのではないかと思います、いかがでしょうか。

(等々力委員)本当にわずかに混入する土壌由来の鉍物質をとって測るのがTL法です。原理的には、香辛料でそれが採れば測れます。香辛料は、種類を問わず植物由来のものですからどこかで少しそういうものが付いてくる可能性があり、それが

あれば測れるけれども、しかし、非常にきれいに除去して、例えば、香辛料からエキスを抽出してしまうとかいうことをしたら、もうわからなくなります。

P S L法は、E Uなどでよく使っていますけれども、スクリーニングとして早く検査ができるからで、P S L法とT L法を組み合わせるのが、多分、E Uなどの検査では行われていると思います。

( 鵜飼氏 ) E S R法は万能のように印象付けるような説明をしてしまったかもしれませんが、問題がいくつかあります。まず、装置が大変高価です。精密機器ですから誰もが簡単に使える装置ではございません。ですから、国産の汎用機、照射食品測定用の装置開発が必要だと思ってございます。もう一つは、もし外挿法で厳密な定量をするのであれば、日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のように、厳密に照射できる施設をお願いして外挿しなければいけません。そういう手間がかかるものもあり、まだ解決すべき問題はあります。

ですから、簡便に測れる方法と厳密に測る方法を併用して評価していくのが良いのではないかと考えてございます。

( 多田部会長 ) まだまだ思うところはあるかと思えますけれども、とりあえずは検知法についての質疑を終わりたいと思います。鵜飼先生、ありがとうございました。

引き続きまして、照射施設はどうなっているのですかという質問、それから、その安全管理はどうなっているのですかというようなことも含めまして、小嶋先生からご説明いただきます。よろしく願いいたします。

( 小嶋氏 ) 原子力機構の小嶋です。

日本では、今、食品照射としてはジャガイモの照射だけですけれども、今日は医療用具の滅菌などに使われているような照射プロセスの例を引いて、コバルト - 6 0 のガンマ線とか、あるいは電子線で、どういう照射プロセスを組んで滅菌などをやっているのかというご説明と、その施設における安全確保のための設備及びシステム、これは実際のプロセスというよりは、私ども日本原子力研究開発機構の研究施設を例に

とって紹介させていただきます。それから、照射対象製品への照射が遂行できているかという意味での安全についてですけれども、そのための照射プロセスにおける工程管理方法についても含めた、3つの点について簡単にご説明させていただきます。

2頁の上段に示しましたのは、医療用具の滅菌などを主に行っていて、食品照射は行っていない、日本のコバルト - 60の施設の概要です。コバルト - 60の線源は、通常、水を張ったプールの中に格納されておりまして、照射をしたいときには、これが厚い遮へい壁に取り囲まれた照射室に出てまいります。空気中に出てきますと、線源から放射線が出て、照射室の中を通ったものに照射されるということです。照射対象となる製品は、迷路構造になっている照射室の外側から、コンベアを使いまして入って行って、線源の周りを周回して均一に照射されて出てくる、大体こういうプロセスで照射されております。

コバルト - 60の線源は、外国から購入してくるわけですが、原子炉でコバルトを照射して、コバルト - 60という放射性物質をつくります。それはペレット状になっているもので、それを316Lという特殊なステンレスのカプセルで二重に密封してございます。大きさは、直径1センチ、長さ45センチぐらいが標準のサイズになっておりまして、左下の写真は、プールの上から水の中の線源を見たものですが、棒状の線源をさらに垂直方向に何本か並べたものをフレームの中に入れたものが1つのユニットで、ユニットをさらに10個ぐらい並べて板状にしておいて、プールから上げたり下げたりして、照射室に通ってくる照射対象製品に放射線を当てるというものになっております。

右下の写真は土幌町農協のばれいしよの照射施設です。この施設の場合には、板状ではなくて円筒状の線源が組んでありまして、これが空気中に出てきたところにばれいしよのコンテナが回って、照射されるということです。

電子線照射の方は、電球を思い浮かべていただくとわかりやすいと思いますけれども、金属のフィラメントに電流を流したときに電子が出て、そういう電子に真空中で電圧をかけて加速することによって、エネルギーを持たせます。3頁左上の図で、ダイナミトロンというものが加速器の本体ですが、電子を発生するものがあって、そこから垂直方向に上から地面の方へ向かって、加速された電子が大気中に取り出せ

るようになっております。スキャンホーンの真下にカーテン状にビームが出るのですが、その真下に、先ほどの施設と同じように、照射対象製品のボックスを置いたものを通過、巡回させて、均一に放射線を当てることができます。これも医療用具の滅菌などを主に行っている施設で、食品照射はしておりません。下段はデンマークの例で、照射が終わってコンベアから出てきたところの写真です。

コバルト - 60 のガンマ線の場合には、その放射能は5年強で半分に弱まりますけれども、常に放射線を出し続けております。それに比べて、電子線の場合には電源のオン、オフで照射したり停止したりできます。

古田先生の説明にあったように、今、食品照射に使われるのは電子線でも10 MeV以下、X線にして5 MeV以下になります。

こういう区域への立ち入りであるとか、照射施設とその付随したものに対する安全の考え方は、ガンマ線も電子線もほとんど同じになります。ガンマ線の照射施設の安全について、これは私ども日本原子力研究開発機構の研究施設ですけれども、それを例にご紹介させていただきます。

まず、4頁左側、この線量計着用確認装置が置いてある手前側が、いわゆる普通の区域になります。管理区域と言われている放射線を扱う区域は、ここにありますように、誰もがわかりやすいように管理区域の標識を出してございます。それで、ここには施錠管理した扉があります。この中に立ち入りを許可されて登録された人は、ガラスバッチにバーコードがついておりまして、そのバーコードを読み取らせることによって登録者であるかどうかの確認が行われ、登録者であれば、ここを通ったときにブザーが鳴らないといったことで、確認できるようになっております。私どもはバーコードを使っておりますけれども、昨今はエレクトロニクスの時代ですから、これをカードシステムにすることも容易にできます。

それから、管理区域の出入りですけれども、この扉は、右側にありますように、登録者だけに知らされている暗証番号をテンキーで打ち込まないと開かないようなロックが付いております。これは、管理区域内への出入り口のところですけれども、それ以外にも、非常の場合の非常口が数カ所ございまして、その非常口に関しましては内部からしかドアが開かないような、いわゆるホテルロックになっておりまして、外

から無断で入ることはできない構造になっております。

5 頁は、照射施設の運転は、このように優先順位をつけた複数の条件をすべて同時に満たしたときだけに線がつながって、線がつながってというのはイメージですがけれども、そういうことで運転できるようになっております。優先順位をつけた複数の条件の例としましては、入室時の安全スイッチなど照射室内の人の立ち入りの状況、線源の状況と照射システムの状況、それからコンベアなどの状況、私どもの施設はコンベアを持っていませんけれども、こういうものが実際のプロセスには入ります。それから、プール水の水位であるとか水質といったものの状況、照射室の扉とか、照射室の真上にある天井ハッチといったものの開閉という遮への意味での条件、こういう複数の条件をすべて満たしたときにのみ、運転ができるような構造になっております。

それから、そのような状況の条件それぞれにつきまして、アラームが単に表示する場合と、警報を発する場合、さらにそのような信号がすべて事業所内の警報管理システムにつながるような、重要度に応じて警報システムが組まれております。

下段は制御盤の一例ですがけれども、運転に当たりましては、線源の状態等が常に一目で見えるような状態になっておりまして、さらにあちこちにモニターカメラを設置して併用することによって、この制御盤で集中管理できるようになっております。

では、実際、ガンマ線の照射室の外側はどうなっているかといいますと、6 頁が照射室の外側扉のところですがけれども、ここにも「使用室」の標識があつて、また、この中で照射が行われているか、行われていないかといった表示も出るようになっております。それから、今、線源が上がっているのか下がっているのか、そういう線源の状況が示されているようなパネルもございます。これは、照射扉のすぐ脇だけではなくて、他の側面にも同じように表示できるようなものがありまして、もし何か緊急の場合には、それぞれに緊急停止ボタンがあつて、線源を格納することができます。扉の開閉に関しましては、ここに開閉に関するキー、右上が拡大した写真になりますけれども、ここにキーを差し込んでボタンを押すことによって、扉を開けたり閉めたりするわけですがけれども、このキーは、20～30メートル離れたところに集中管理する制御室がございまして、その制御室の制御盤上のキーと1つのキーを共通して使うようになっております。つまり、運転員が制御室と照射室の間を行ったり来たりする

場合に、1つのキーしか扱えないということで安全を確保しております。このキーを使わない場合については、施錠した保管庫の中で管理いたします。例えば夜中とか使わない場合にはそういう管理をしております。それから、照射室内で火災が起こったような場合に関しましては、消火スイッチが壁のところに設けてございます。それから、サーベイメーターが常に置いてあって、サーベイメーターをもって運転員が入室して、その中の迷路をってから照射室の中に入れるようになっております。その途中、迷路の端のところには入室時の安全スイッチがございまして、これは人が入ったか、入らなかったかという確認をするボタンです。

線源の配置とか数量に関しては、定期的に見ております。それから、照射室の中に放射線が出ているか、出ていないかは、電離箱と言われる検出器が1対、2つついておりまして、室内の放射線レベルが立ち入りしても安全かどうか確認ができるようになっております。これを1対使っている理由は、1つが異常を起こしたりしたような場合であっても、もう一つの方で担保できるようにという意味で、必ず1対で使っております。それから、そういうことはまずないですけども、万一ここに閉じ込められたりしたようなときのために、緊急脱出スイッチがついております。それから、非常に補助的なもので、出入りに関しては、実際、運転員が人がいるかないか目視でもチェックをいたしますので、こういうものは要らないでしょうけれども、入室の人数チェックをする赤外線のカウンターもついております。また、先ほど申し上げたように、サーベイメーターを持って入りますので安全は確保できますけれども、実際に運転員は、常にプールの開口部から下を見て、線源が確実に格納されているかもきちんと目視で確認するようにマニュアル化されております。

では、この照射室の外側ではどういう安全が施されているかと申しますと、照射室の周りの周辺エリアと言われている場所には、先ほどと同じタイプの電離箱と言われる検出器があちこちに施してありまして、その上がその警報器になっています。この照射室外の放射線モニターの情報も監視盤というところで集中管理できるようになっていて、それは制御室のすぐ脇のところにあります。

それから、線源はプールの中に格納して遮へいすることで安全を確保していますので、プール水の状況が非常に大事になります。プールの端に水位計がついておりまし

て、万一、水位が下がった場合には、緊急の給水管などがついてございます。

それから、全体の建物としましては、照射室が幾つかあるのですけれども、そのプール水は、その外に水処理プラントがありまして、常にそこを循環しております。プールの水は非常に透明度の高い状態を常に保っております。そして、建物の外側に置いてあるプラントのところでは、いろいろな機械の腐食の抑制などのために、常に電気伝導度をチェックしたり、活性炭やイオン交換樹脂、苛性ソーダの中和槽みたいなものもございまして、常にPHが中性になるようにしております。そういう状況は、制御室のすぐ脇のところの浄化装置の監視システムによって、常に監視しております。そして、水は常に照射室の中を循環しておりますが、放射線のモニターによって漏洩がないかどうかといった監視をしております。

最後になりますけれども、照射プロセスにおいて照射できたかできないか、特に医療用具の滅菌などでは、放射線が当たったか当たらないかによって滅菌されたかされないかという話になります。滅菌されないと安全ではないわけで、そういう観点からの安全についてです。

10頁にある施設のように、医療用具などの滅菌をやっている施設では、一番に、放射線が当たるような場所と、そこを通過してきた製品のボックスの線量分布をまず測定いたします。これは、目的としている照射がきちんとできるかという性能の検証になります。それから、

製品内の線量は、もちろん均一に照射するわけですが、それでもその中で最大と最小という場所ができます。特に滅菌を考えた場合には、この最小のところが一番大事になりますし、それから、放射線を当て過ぎてはいけないようなものに関しては、最大の線量が重要になります。こういうような場所をまず特定することも行います。そして、その場所において、もしくはそこと相関関係が取れるような場所に線量計を張りつけて、線量を常に管理いたします。

線量計は、右下に例がありますが、プラスチックの透明な板が黄色っぽくなるとか、透明なプラスチックのフィルムが放射線によって青く色がつくといったものを分光高度計という装置を使って厳密に色変化を見て、それによってどれだけ放射線が当たったかの値を出します。

その値が、一つの製品でコンベアを通過するりと1照射工程にわたってどれだけ放射線に当たったかという積分値になり、それをもって、例えば、放射線滅菌であれば25 kGyという値が確認できれば、これが照射されたかという意味での品質の保証ができることとなります。この手法は、単にコンベアのスピードが変わりませんかという管理ではなくて、線量計の測定値に基づいて行うということで、国際的に認証が取れた方向になっております。

それ以外に、例えば、照射したものと照射していないものが混ざったりしてはいけませんので、通常のプラントでは、金網を置くことによって貯蔵する場所をきれいに分けますが、それでも万一混ざってはいけないということで、それぞれの箱のところにインジケータと言われるもの、線量計ほど厳密ではないのですけれども、放射線が当たったか当たらないかが大体わかるインジケータを張りつけて、照射されたものとされていないものが混ざらないように管理をいたします。

以上です。

(多田部会長)ありがとうございました。2頁のプールの水が光っているところについて、少し説明していただけますか。

(小嶋氏)これは、チェレンコフ光と言われているものです。放射線が水に当たって生じた電子が、光よりも速いスピードで動いたときに、青い光として私どもの目に見えるというものです。

(多田部会長)それでは、今の説明について質問ございませんでしょうか。

(田中委員)甚だ素人な質問ですが、コバルト-60が水中に浸けてあるとすると、水の中で励起して、ラジカルが強烈に出ているのだろうなと思うのですけれども。

(小嶋氏)プールの中で水の分解が起こるということだと思いますが、起こります。

(田中委員) そうすると非常に活性になっていて、四六時中循環しているとおっしゃられたのですけれども、鉄管が錆びたりいろいろなことが起きるのではないかと思うのですが、逆に、循環しないということはだめなのですか。

(小嶋氏) プールには、放射線源以外にそれを上げ下げする駆動装置であるとか、いろいろなものが入っております。そういうものが腐食してはいけないので、常に非常にきれいな水である必要があります。そういう意味でも循環をさせます。

水の分解生成物については、大体酸性側に行くのですが、この中では腐食によって何か溶け出したり、イオン等が生じたかどうか、その伝導度でチェックしております。それから、酸性のものを中和するということで、苛性ソーダとか、そういった中和槽がございます。

それからもう一つ、鉄よりも水に溶けやすいマグネシウムみたいな金属をこのプールの中に一緒に沈めてあります。そうしますと、同じ腐食が起こるのでも、先にマグネシウムみたいなものが腐食して、このステンレスが守られます。そういった工夫もしております。

(田中委員) もう一つ質問ですが、もし仮に大地震が起きてプールの水が抜けた場合、どんなことが考えられますか。

(小嶋氏) 私どもの施設は、プールは地下になっておりますけれども、それはステンレス製の箱型になっておりますので、地震で揺れるような場合、それは箱がそのまま動くような状態になっております。あとは、地下水位というのがございまして、その地下水位が保たれているのであれば、それは遮へいが十分保たれるということになります。

(田中委員) プールはいいかもしれないですけれども、水を循環させているパイプのつなぎ目に亀裂が入って水が抜けるとか、そんなこともないのでしょうか。

(小嶋氏) この水は、汚染されているわけではありませんので。

(田中委員) 汚染はされていないのですけれども、水が抜けて遮へいがなくなった場合、コバルト - 60 がむき出しになるということがありませんか。

(小嶋氏) プールは地下にあって照射室は厚い遮へい壁で覆われていますので、そういう意味では、地上にいる人間には当たりません。照射室のコンクリートは2メートルの厚みを持っております。10頁に図がございますけれども、このように2メートルのコンクリートの壁の中に入っております。ですから、ここに亀裂が入ったりしても、地上の方には出てきません。

(多田部会長) 放射線利用に関しましては、今、おっしゃったようないろいろなことを考慮しなさいという法律があります。文科省の検査官が直接、定期的に立ち入りまして、人が入って被ばくする可能性がある境界線があつて、そのそばでどれだけ放射線が出ているか、それから、事業所境界でどのくらい放射線が出ているか、そういうものを全部チェックして、許可された施設だけが動いているわけです。

電子線発生装置もそうです。装置の周りは、電子線は透過率が少ないとはいうものの、電子線に誘導されてX線が出るわけですから、その遮へいのために随分と厚いコンクリートがあり、しかも鉄等を使ったりして、どうしても見る必要があるところは鉛ガラスを使うなど、外部に放射線が出ないことを非常に大事にして施設はつくられています。

したがいまして、電子線発生装置はスイッチのオン、オフで安心だけれども、コバルト - 60 やセシウム - 137 は周辺への影響が大きいとかおっしゃられることもありますが、少なくとも施設から放射線が出るようなことは許可されませんので、それは問題ないわけです。

それから、最近、一番注意しなくてはいけないのは、テロに対する対策だと言われているのですけれども、それも余程のことがない限り、中には入れないシステムになっているということです。

(市川委員)多田部会長のお話に関連するのですけれども、照射施設とか照射を行うための建物があれば、距離はあっても、その地域に住む方々もいらっしゃるわけで、そういう方々の理解とか安心を進めるための取り組みとかの状況、いわゆるリスクコミュニケーションは、今、どのような状況にあるのでしょうか。現実には照射をされている施設で働いていらっしゃる方として。

(小嶋氏)例えば、私どもには年に1回公開日がございまして、4月の第1日曜日ですけれども、そういう機会を利用して、施設の見学とか、実際どういう研究をしているかといった発表であるとかいうようなことをしております。それから、小学校やそういう団体の方、個人の方でも構わないですけれども、見学等は随時受け付けております。

(多田部会長)前回、碧海委員から、施設があるところで教育を受けている、知らされている人の認識度は高いという説明がありましたが、いわゆる公的な施設、また大規模な施設については、地域住民の方とのコミュニケーションを求める行動はたくさんやっておられます。しかしながら、小規模なところがやっておられるかということ、必ずしもそうでないかもしれません。

ただ、そこの側へ行っても、少なくとも有意な放射線は浴びないということ、すなわち、民間人の許容線量1ミリシーベルト/年を超えてはいけないわけですが、それよりも絶対に低くなっている、そうでないと施設として認知されないことになっております。

(市川委員)確かにそういうレベルですというお話はとてもよくわかります。ただ、普通の消費者、私もそうですけれども、「そう言われても…」という、何といるのでしょうか、科学的な説明を受けて、本当に安心ですと言われても、その科学的な部分がきちんと100%理解できているわけではないので、どこかに不安、不信等があると、絶対安心みたいなところにはつながらないと思います。

そういうことがあって、例えば、今現在、小規模とはいえ照射を行っている施設とか、そういうものが稼働しているところであれば、地域の人たちとのリスクコミュニケーションがどういう状況にあるのかを、ある程度きちんと把握することも必要なのではないかと思います。地域の方々がどういう気持ちをもってその施設を見ているのかとか、その製品を受けとめて使っているのかとか、私は個人的には関心を持っています。

(碧海委員)今は、例のテロ事件以来、原子力発電所は見学が非常に厳しくなっていて、なかなか中に入れなかったりとか、見学するとしても、こちらの情報を提供しなければならないということですが、この照射施設に関しては、今のところそういう制限は全然ないのでしょうか。例えば、地元の方が見学に行く場合に、住所や氏名とかを記入させるというようなことがあるのでしょうか。

(小嶋氏)最近、個人情報の保護というのがあって必ずしもではないかもしれませんがけれども、例えば、見学に来ていただいた方には、住所とお名前は書いていただくことになっております。というのは、管理区域の出入りはすべて記録を残すということがございますので、それを残さないわけにはいかないというところもあります。ただ、見学は随時受け入れています。

(多田部会長)私も、小さいですけども放射線源を持っております。セシウム - 137を持っています。見せてくれと言われたら必ず記帳してもらいます。これは法律で決められていて、その方は一時立入者という取扱いになります。2回も3回も入るのでしたら、教育訓練を受けないと入れません。そういう体制をとっております。

また、その放射線作業従事者と言われる方、中で働いている方は、被ばくの管理といいまして、毎日毎日どのくらい被ばくしたかを調べることも法律で定められております。そういうことから、施設内、それから施設の周辺において放射線による被害が出ることはないと思います。安心してもらえるかどうかは別としまして、そのようになっていることをお伝えしておきます。

ほかに何かございませんでしょうか。

小嶋先生、どうもありがとうございました。

今日は4人の方に大変易しい言葉で話していただきました。まだ少し疑問が残っているかと思いますが、私としまして1つ気になったのは、ラジカルという言葉、非常に怖いと思っておられる方もたくさんおられる中で、もうちょっと説明があってもよかったかなということで、次回までに何かでお知らせすることができればと思います。ちなみに、体内でもラジカルは随分できておりまして、できたり消えたりしながら我々は毎日をご過ごしているということでございます。

これで、最初に申し上げた4つの疑問についてご説明いただいたのですが、1つ、安全性の疑問のうち、安全性評価のやり方についてまだ残っております。次回はそれを皆でヒアリングしたいと思います。それから、そうしますと、施設管理する方、研究者の方からのヒアリングが一通り終わると思うのですが、ユーザーがどう思っているかという問題が1つ残っております。これにつきましては、放射線殺菌の許可の要請を出しておられる全日本スパイス協会から、なぜ申請したのかというようなことを含めた説明をいただいて、また皆様からの質問を受けるといふふうにしたいと思います。今お話しした2つのヒアリングは次回行いたいと考えております。

そして、それが終わりましたら、また自由ディスカッションということで、これまでの論議を踏まえて、我々は、この会は何をどうすればいいのか、そのまとめの方向などを、これまでの論議に対する質問も加えて論議したいと思っております。

そういうことで、次回第4回目は3月13日に予定されております。皆様ご出席をお願いいたします。

特に何かございますでしょうか。

(鬼武委員) 今日いろいろお話を聞いて勉強になりました。ありがとうございました。

それで、まだ少しクリアになっていない部分があります。食品衛生法との関係で、現状としては食品衛生法で照射したばれいしよについては表示するといったことがあるのですが、日本の現状として、実際に厚生労働省なりが国内のものについてどう執行しているのか、今日の検知法の話の聞くと、その部分がぼやけているというこ

とと、併せて、海外ではいろいろな食品に照射されていて、それが輸入食品として入ってくる。その部分についてどういう管理をされているのか、行政機関に聞いてはつきりさせた上で、議論を進めていただけたらという意見を持っています。いかがでしょうか。

(多田部会長) ごもつともだと思います。恐らく全日本スパイス協会の話の中でも、また、それに関連した質問の中でも当然出てくるだろうと思っておりまして、できる範囲の情報は集めておきますけれども、現時点で食品衛生法で言えることは、基本的に食品には放射線を当ててはいけない、ただし、ジャガイモについては例外規定として認めるということしか私は理解しておりません。

そういうことも含めて、厚生労働省がどんなことを考えているのかというところまで引き出せるかどうかはわかりませんが、法律との関係など、「第何条にこんなことが書いてありますよ」という条文の揃えはしておきたいと思います。

他に何か。

(東嶋委員) 今日いろいろお話を伺って、全般的なことは非常によくわかりました。

それと、食品に応じていろいろな検知法があり、それが非常に多岐にわたっていることがわかりまして、やはり先ほど鬼武委員がおっしゃったように、まず、日本が輸入するとしたら、どのような食品が照射されている可能性があり、それを検知する必要があるのかどうか、それから、日本で照射するとしたらどの食品で可能性があるのか、それはどなたにお伺いすればいいのかわかりませんが、そういうところをもう少し絞って議論を進めていかないと、私どもとしても、なかなか全体像を把握しつつというのは難しいのではないかと考えています。

(多田部会長) 次回、ユーザーの声という中で、私たちもそういうものをピックアップすることができればと思っております。他にございませんでしょうか。

それでは、今日は4名の先生方にご尽力いただきまして、易しい言葉で話していただきました。本当にありがとうございました。

私たちも、より理解が深まったと思いますので、今日のお話が無駄にならないように次の審議に使いたいと思います。本当にありがとうございました。

本日はこれで会を終わります。どうもご苦労さまでした。

(戸谷参事官) 次回の会議の日程だけ、改めて申し上げさせていただきます。

3月13日月曜日、10時から12時まででございます。場所は、第1回の会合がございました虎ノ門三井ビル2階の原子力安全委員会の会議室でございます。よろしくお願いたします。

それから、議事録につきましては、これまでと同じように案をつくりまして、ご確認をいただいた上で改めて公表させていただきます。

以上