

第4章 サイエンスカフェ開催報告

東京大学大学院農学生命科学研究科附属食の安全研究センター

林 瑞穂、佐藤久美子、渡辺孝康、澤田尚子、小山朋香、関崎 勉

平成24年度から開催しているサイエンスカフェは、通算で26回を数えるまでになり、平成28年度には第19回～第26回の8回を開催した。これまで同様、食の安全研究センターの研究室が入居するフードサイエンス棟のエントランスホールで開業しているカフェに協力戴いて、午後のほぼ半日を貸し切りとし、定員20名ほどの設定で一般消費者から参加希望者を募り、リラックスした雰囲気、食の安全に関連する科学的知識について理解を深めてもらおうというイベントである。情報提供者としては、本センター放射線部門の教員に加えて、適時、他部門の教員や外部講師にも登壇してもらう形式は、平成28年度も継承した。参加者との双方向の議論を盛り上げるためファシリテーターとしては、本年より特任助教の渡辺またはセンター長秘書の澤田が務め、活発な議論を誘導すべく場の雰囲気作りにこだわった。昨年まではマイクを使わずに生の声で講師の説明を聞くようにしていたが、研究棟関係者による会場脇の通行や入り口自動ドアの開閉など騒音もあるため、今年度はマイクを使った発言をお願いした。これまで同様に、話の途中で質問受け付けや、ファシリテーターの誘導が呼び水となって、参加者からは多くの質問や意見が寄せられ、終了時間を超えても殆どの参加者は帰ることなく、講師を取り囲んで質問攻めにする光景は毎回の恒例となっている。終了後に参加者から回収したアンケートにも、ファシリテーターの誘導により質問がしやすかったことや、他の参加者の考えも聞けて、参考になったとの意見が寄せられている。また、これまでの経験を生かして、講師には予め参加者の期待する話題の焦点や参加者の理解の程度について伝えていたことから、講演内容が分かりやすかったという評価が特に多くなったと感じた。参加者側が、解説や議論の内容をよく理解しただけでなく、講師側も予期しなかった質問によって新たな発見をし、さらに、主催者側にとってもこれまでの情報提供が適切であったかどうか知る機会となる実り多いイベントであった。

第1章の概要に記載した通り、本事業は福島県の畜産業復興を目的としているが、食のリスクに関連する危害因子は放射性物質だけではなく、その他の危害因子に対しても平等に知識を身につけてもらい、放射性物質よりもさらに怖いものがあることを知ってもらうことは、放射性物質汚染の怖さの程度を知るためにも必要なことである。また、危ないものばかりを題材としていると、参加者にも何らかの偏りが生じる可能性があるかもしれない。そこで、平成28年度では、放射性物質関係の話題とその他の危害因子に関する話題に加えて、危害とは違う題

材も取り上げた。また、原則として毎回の開催時には、次回の開催予告を披露して参加者への周知を高めた。各回で実施したアンケートとリピーター調査により、参加者の興味の傾向と評判を精査して、次回以降の話題選択に生かすこともできた。これらの改善を行った結果、これまでよりも多い全8回を開催できた。すなわち、第19回はセンター兼任教員で本研究科水圏生物科学専攻の横山博助教による「食の安全を守る研究最前線！-魚の寄生虫と食中毒のコト-」、第20回は外部講師として特定非営利活動法人 くらしとバイオプラザ21の佐々義子博士による「身近な食品だからこそ聞いてみよう！-遺伝子組み換え食品の安全性のコト-」、第21回も外部講師で本事業の事業推進評価委員でもある富山大学大学院医学薬学研究部 放射線基礎医学講座の近藤隆教授による「いちばん身近な放射線！？ -医療用放射線と被ばくのコト-」、第22回はセンター兼任教員で本研究科附属高等動物教育研究センター(附属牧場)の李俊佑助教による「附属牧場の先生に聞いてみよう！ -被ばく豚の救済と健康状態のコト-」、第23回はセンター兼任教員で本研究科附属放射性同位元素施設の二瓶直登准教授による「放射性物質と農産物 ~福島のお食べ物について~」、第24回は外部講師で本事業の事業推進評価委員である神戸大学大学院農学研究科食の安全・安心科学センター長の大澤朗教授による「『機能性食品』って本当に機能するの？ -お口に入った機能性食品成分たちの腸管内運命-」、第25回はセンター専任教員の中西友子特任教授による「農作物の放射性物質汚染について考える ~福島原発事故を踏まえて~」を開催した。先着順に参加者を受け付けたが、毎回、定員を超える応募があり、空席待ちとして受け付ける回もあるほど盛況であった。特に、第24回では公募後2日で満席となり、参加出来ないことを悔やむ方も多かったことから、第26回として、上記の大澤朗教授に追加開催第26回「『機能性食品』って本当に機能するの？ -お口に入った機能性食品成分たちの腸管内運命-」として再度ご登壇戴いた。これまで同様、各イベント終了後、それらの開催報告をウェブページ上で公開し、参加できなかった消費者にも知ってもらえるよう配慮した。次ページ以降に、ウェブに公開している本年度のサイエンスカフェ開催報告を一部改変して転載する。

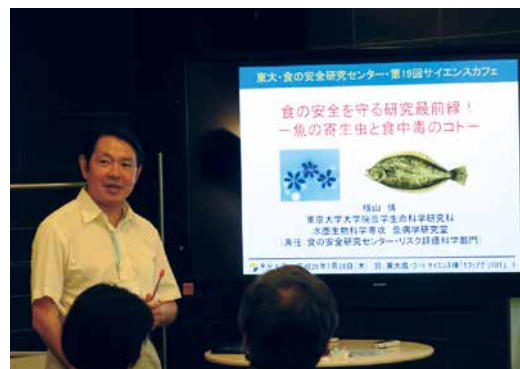
第19回サイエンスカフェ

「食の安全を守る研究最前線！ ― 魚の寄生虫と食中毒のコト ―」

開催報告

2016年7月28日、第19回サイエンスカフェ「食の安全を守る研究最前線！ ― 魚の寄生虫と食中毒のコト ―」を開催しました。

東京大学農学生命科学研究科 水圏生物科学専攻 魚病学研究室の横山博助教に、人間の健康に影響を及ぼすような魚の寄生虫についてお話しいただきました。特に、最近まであまり知られていなかったヒラメの「クドア食中毒」に焦点を当て、その特徴や発生原因、感染除去の取り組みについてお聞きしました。今回も多くの方にご参加いただき、質疑応答も活発に行われ、盛会となりました。



話題提供者の横山さん

※以下、記載がない場合の発言は横山氏のもの

※質疑応答は一部抜粋

【食品衛生上の問題となる魚介類の病原体】

人間に害を及ぼす魚の病原体として、ノロウイルス、腸炎ビブリオ、寄生虫では横川吸虫、ドジョウの剛棘顎口虫、アニサキスなどはよく耳にするかと思います。今日お話しするのはヒラメのクドア・セプテンククタータという寄生虫です。ここ4～5年話題となっていますが、これについては平成21年の読売新聞で「謎の食中毒」として報じられました。この時点では原因不明とされていました。記事によりますと「謎の食中毒」は約100件の発生報告があり、これはノロウイルスやカンピロバクター、サルモネラなどに次ぐ数字となっています。これが全て単一原因の食中毒かはわかりませんが、原因不明ということで、飲食店や保健所が困っている状況です。

渡辺：このデータは全国的な調査によるものでしょうか。

横山：倉敷市で全国の保健所に向けてアンケート調査を行い、そこで得られた回答の統計結果です。

- 「謎の食中毒」の地理的な分布を見ますと、北海道・東北地方は少なく東京は多くなっています。これには飲食店が多いことが関係しているかもしれません。また原因を推定するため、食中毒が発生した飲食店のメニューに載っていた食材を調べてみたところ、ヒラメが突出して多いということが判明し、ここから、ヒラメを中心とした研究が進んでいくこととなりました。
- 食中毒を起こしたヒラメを集めて遺伝子検査をしたところ、クドアという寄生虫が大量に出

てきました。さらに、この寄生虫を、下痢を起こす動物に投与して実験を行ったところ、実際に食中毒を起こしたことから、クドアが新しい食中毒を起こす原因として科学的に証明されました。これを受けて、平成23年に産経新聞などにも厚生労働省の発表として「ヒラメのクドア」が謎の食中毒の原因であるという掲載がなされました。

関崎：ヒラメは冷凍はあまりしないということですが、ヒラメは冷凍はダメなのでしょうか。

横山：ヒラメは冷凍するとおいしくなくなってしまいます。油の量などが関係しているのかもしれない。

参加者：新聞資料に馬刺しについても記載がありますね。

横山：これは、ヒラメの食中毒とは別の寄生虫によるものです。同時に発表されましたが、件数はヒラメに比べてずっと少なく、また、外国産の馬だったということでさほど大きな問題にはなっていません。

関崎：この馬は、カナダから輸入されたものです。カナダからは馬肉として輸入するのがふつうですが、熊本で生きた馬を輸入して、それが感染していたものです。魚の食中毒と馬刺しの食中毒が同時に問題になりましたが、魚は魚、馬は馬で別の原因となっています。馬刺しのほうも冷凍すれば大丈夫ですが、生のままで食べると食中毒を起こすことがあります。

参加者：ヒラメについて加熱した場合はどうなりますか。

横山：ヒラメは、基本的に刺身で食べる人が多いかと思いますが、70度位まで加熱すれば解毒はできます。

【クドアとは】

ほとんどの方はクドアがどのような寄生虫かご存じないかと思います。クドアとは、一言でいうと粘液胞子虫という生物群のクドア属であり、胞子を作る寄生虫です。この胞子の形態的特徴としては大きさ10 μ m程度、極嚢が特徴的です。クドア属の場合、通常4つ以上の極嚢を持っています。クドア属は100種以上が知られていて、多くは海産魚に寄生します。

参加者：極嚢とは何でしょうか。

横山：何らかの化学的な刺激によって外に出て、その際に殻が開いて中にある原形質が外に出て次の宿主への感染が成立します。このように感染の補助的な役割を果たします。

関崎：極嚢が4つで、4匹ということでしょうか。それとも極嚢が4つで1匹でしょうか。

横山：クドアは、極嚢が4つ、殻が4つ、胞子原形質が1つの合計9個の細胞からなる多細胞体です。そういう意味からすれば、原虫よりも遥かに上位の生物群となります。その後の研究から、極嚢はイソギンチャクやクラゲの仲間である刺胞に似ているため、刺胞動物が寄生生活に適応した結果、粘液胞子虫が出来た可能性が示されています。

【クドアの生活環】

- 生活環について、粘液胞子虫のひとつであるミクソボルス属の話になりますが、昔は、魚の

中で作られた胞子が外に出てきて他の魚に感染すると思われていました。しかし実験的に胞子を取り出して魚に注射したり、餌に混ぜて食べさせたり、飼育水に混入させたりしても全く感染が成立しませんでした。ところが、飼育器の中に混ぜて数カ月たつとなぜか感染がおこるため、泥の中で熟成する期間が必要なのではないかとみられるようになりました。しかし20～30年くらい前に、熟成するのではなく泥の中の環形動物(淡水ではイトミミズ、海産だとゴカイの仲間)に取り込まれその中で極嚢が極子を弾出し、殻が開いて原形質が出てきて感染することが分かりました。環形動物の中で増殖し最終的には放線胞子虫という形態になります。

- 放線胞子虫は、かつては環形動物の寄生虫として分類されていましたが、これが水中に浮遊して出てきて魚に感染するということがわかってきました。魚と環形動物を交互に経るということで、どちらが成虫でどちらが幼虫かということも区別ないので、どちらも同じレベルで交互宿主という言葉が暫定的に使われています。これはつまり、水槽内で魚から魚にうつらないということです。ヒラメは、生け簀で飼うこともありますが、感染したヒラメが水槽の中に紛れ込んでいたとしても、同じ水槽の中に環形動物がなければ水槽内で蔓延することはありません。
- クドアについては、約百種類があるクドアの中で生活環がわかっている種類は世界中に1つもありません。クドアは海の寄生虫ですから、海で無脊椎動物を探すというのは非常に困難なためです。粘液胞子虫を魚に注射したり食べさせたりするなどの実験で感染が成立した例はないので、おそらくもう一つの宿主があり、それはゴカイの仲間ではないかということが推測されます。ヒラメは陸上水槽で養殖されますが、ここから出てきた粘液胞子虫の胞子が沿岸に生息する環形動物(ゴカイの仲間)に取り込まれて放線胞子虫に変態し、その後貯水槽からヒラメの水槽に入りヒラメに寄生するのではないかということが想定されています。
- 感染には環形動物が必要ということから粘液胞子虫は病気の発生が風土病的であるといえます。環形動物の生息域に依存するため、感染がよく発生する所とそうではない所があるということです。薬やワクチンはありませんので、生活環を遮断するというのが寄生虫病としては基本的な考え方となります。今回の場合は媒介する環形動物を駆除ということが対策として考えられます。



クドアの胞子について紹介

参加者：交互宿主というのは寄生虫では珍しいのでしょうか。

横山：今のところ粘液胞子虫類にしか使われていません。

渡辺：魚が宿主ということなのですが、人が例えば寄生虫にかかるというと、口から食べたもので感染するとイメージされるのですが魚も口から入るのでしょうか。

横山：いろいろな説がありますが、基本的には放線胞子虫の極糸弾出は魚の体表粘液と接触させることにより起こるので、体表から入るとというのがメインではないかと思います。

渡辺：人間でしたら、皮膚をすり抜けて入るというイメージでしょうか。

横山：種類によると思いますが、皮下で増えて、血流を辿り他の器官に行くのがあります。ただクドア属では後ほど出てきますが生活環が分かっていないので、感染ルートは今後の調査が必要です。

【代表的な粘液胞子虫病】

1. ブリの粘液胞子虫側弯症(骨曲がり)

- この病気はブリの脳内に形成されたシストが神経系を物理的に圧迫し、運動機能障害を引き起こすことによるものです。この病気は養殖が始まった1970年代から散発的に見られていましたが、マスコミがブリの骨曲がりを取り上げたことにより、1980年代になって社会問題にまで発展しました。
- 一般的に、養殖魚には抗生物質を用いるもので、出荷前の一定期間は薬の投与を止めて残留している薬の成分を除去するということが規則で定められています。したがって、市場に出回る魚に抗生物質が残ることはないのですが、「養殖魚は大量に抗生物質を投与されていて、また市場ではたくさんの骨曲がりが発生している」という報道により、抗生物質=骨曲がりの原因と一般の人々は考えてしまいました。実際には抗生物質は無関係にもかかわらず、全体のイメージ悪化と水産業界への大きなダメージをもたらすことになり一つの風評被害を引き起こしました。

2. ブリの奄美クドア症

- ブリの筋肉に、シストという米粒状の異物が作られる病気であり、奄美大島や沖縄地方に特異的に発生する風土病です。これは、魚の成長には影響はないものの、人間が食べるとなると見た目が気持ち悪いということで、商品価値を損ねてしまいます。
- 一番大きく問題となったのは、沖縄国際海洋博覧会の際、本部町にて飼育展示されていた海洋牧場にて発生したものです。未来の養殖の姿として、沿岸を網で仕切って魚を自由に泳がせ、餌をあげるときだけ魚を集めて餌を与えることで魚へのストレスなく飼育を行うという展示として行ったものでしたが、展示後ブリを三枚おろしにしたところ、すべてにシストが発生していました。その後沖縄ではブリ養殖は不可とされ、1990年代に再度試験飼育が開始されましたが、やはり全てに寄生していることが分かりました。一方、本部町から、5キロしか離れていない場所では殆どシストが見られず、発生の地理的分布が本部海域に局在しているということが分かり、交互宿主となる環形動物も本部町に局在するという想定がなされています。

【ヒラメのクドア食中毒】

ヒラメのクドアは筋繊維の細胞内に寄生し、その極囊数が5～7個と幅があります。肉眼的

には寄生しているかどうかかわからず、気が付かずに食べてしまいます。

クドア食中毒の特徴としては以下のようなものがあります。

- 食後数時間で一過性の下痢や嘔吐が発生する。
- 軽症で回復は早く、約一晩で治る。→クドアが人間の体内で増えるわけではない。
- 発症は摂取量依存性があり、約10の7乗（1千万）個以上の胞子の摂取が必要（刺身1切れでも発症する）。
 - 重度の寄生を受けたヒラメ肉を摂取した場合に限る。
 - クドアは死んだヒラメの体内で増えることはない。
 - 調理や保管の不備ではなく、食材自体の問題。
- 冷凍、加熱は有効だが、商品価値を損ねる。
- 後遺症や家族へうつす心配はない。

渡辺：食後数時間で下痢をするということですが、クドアは胃や腸などで何をしているのでしょうか。

横山：腸で極糸を弾出し、原形質が腸管上部に入り込むようです。これが沢山入り込み、物理的に何らかの障害を与えて下痢や嘔吐を引き起こさせるようです。ただ、人間には感染せず、腸の中で数時間で死滅します。また、実際にクドアに寄生されたヒラメを研究で食べた人達もいるのですが、その中でも発生する人としらない人がいたらしく、どのような人が感染するかということについてはわかっていません。

渡辺：クドアが寄生したヒラメは、体中すべての場所に寄生しているのでしょうか。

横山：重度の寄生であれば、体の筋肉すべてに寄生しています。筋肉も、ヒラメの縁側もです。

関崎：見た目にはクドアに感染しているかどうかわからないというお話でしたが、見極める方法はあるのでしょうか。

横山：薄く肉をそぎ取ったものを、スライドグラスでつぶし、実体顕微鏡の倍率を100倍程にして観察すれば見ることが可能です。

【クドア対策】

どういった対策が必要なのかを考えたとき、養殖段階、稚魚の段階で対策をとるしかなく、消費段階での対策は困難です。ヒラメの稚魚は種苗生産場で養殖用に育てられ、遺伝子検査にかけて陰性だったものだけが養殖場に移されます。養殖場では、出荷前に顕微鏡検査を行い、胞子の密度が規定値を下回ったものは検査証明書を添付して流通に回されます。

渡辺：最初の遺伝子検査はどこでやっていますか。

横山：できる所は、養殖場や種苗生産場でも行っています。県の水産試験場など行政で行っているところもあります。

渡辺：養殖場や生産場が自らが検査する場合、仮に陽性でも陰性だと偽ることが可能ではないかと思うのですが。

横山: 例えば、ヒラメの養殖が多いのは大分県ですが、そこでは漁協に検査室があり、丸一日検査に費やす係もいて、信頼できるかと思います。全くないとは言い切れませんが。

参加者: 筋肉には均一に胞子があるのでしょうか。サンプルの取り方によって、検出が漏れることはありますか。検査を実施しているにもかかわらず、食中毒が発生している理由がわかりません。

横山: 感染しているものは、体全体に、均一に胞子があります。

参加者: 検査した個体以外が感染していて、その感染しているヒラメが流通してしまう可能性があると思います。

横山: ヒラメの養殖数の多さを考えるとすべての個体を検査するのは難しいといえます。それについて詳しくは後ほど説明いたします。

- 日本で消費されるヒラメは、昔は輸入物が少なく、漁獲と養殖(国産)が約半々でしたが、今は、その養殖物の半分が輸入物に置き換わっています。輸入物は、韓国産になります。養殖のヒラメは、陸上施設で種苗生産・養殖が行われています。
- 養殖場での感染対策として、入口で遺伝子検査、出口で顕微鏡検査を行うと説明しましたが、その結果、種苗生産場で感染が起きていることが分かってきました。そこで感染を抑えるための感染防除法の開発がなされました。具体的には生活環の遮断になります。飼育用水処理による感染防除として、砂ろ過と紫外線照射を併せて行うことで、種苗の完全な感染防除ができるようになりました。

渡辺: 環形動物との交互宿主というお話でしたが、環形動物はどう関係しているのでしょうか。

横山: 環形動物は、養殖場や種苗生産場の外にいますが、環形動物が海水中に放出した放線胞子が魚の口から入るなどして感染すると考えられます。

渡辺: 人工的に作った海水を水槽に入れて養殖すればそういったことは起きないのではないかと思います。

横山: 多くの場合、海水(流水)を用いて養殖を行っています。人工海水も可能ですが、コスト的な面で自然海水を用いるのが一般的です。

- 出口での検査での問題点ですが、養殖場での検査を行うために、たくさんのヒラメを殺傷することは、業者にすれば商品数が減るというデメリットがあります。また、より簡便に検査する方法はないかという声もあり、非殺傷検査法が開発されました。これは、商品として影響が出ない範囲内でヒラメからごく少量の肉を取り、検査を行うというものです。妊娠検査薬のようなもので、顕微鏡を持っていない一般の方々でも簡単に検査することができます。
- 韓国から輸入されているヒラメに感染しているものが混ざっている可能性があります。さらに、産地偽装されたヒラメも流通しているようで、感染が確認された国産表記のヒラメの生産業者を調べてクドアの検査を行ったところ、その生産場からは感染が確認されなかったという事例もあります。日韓クドアの識別のために、クドアの極嚢を調べてみたところ、日本のクドアは平均6つ、韓国では平均7つの極嚢が出現しており、極嚢の数が異なっていることが分

かりました。産地偽装が疑われたヒラメを改めて調べてみたところ、確かに7極囊が多く、表示上は国産とされていましたが韓国産のヒラメである可能性が高いと推定されました。この知識が市場関係者の間に普及してくれば、流通過程での混入の抑止力になるのではないかと期待されています。

【今後の課題】

- 研究者が今後やるべきことは生活環の解明です。これが分かれば環形動物の駆除法が分かり、国産ヒラメのクドアを駆逐することができるかもしれません。行政がやるべきことは、韓国からの輸入ヒラメを監視することです。検疫所での遺伝子検査は非常に時間がかかりますが、ヒラメを置いておく生け簀がないので、その間にほとんどのヒラメは流通に回ってしまいます。そのため、検査結果が陽性でも回収は事実上不可能です。しかし、非殺傷検査法であればより多くのヒラメを短時間で検査することが可能ですので、コスト面をクリアすれば現場の声に応えるものとなっていくでしょう。
- ヒラメのクドア感染率は非常に低いのですが、一度マスコミに出てしまうと「ヒラメは危ない」という認識が世間に埋め込まれてしまいます。飲食店や、大手のスーパーマーケットでは取り扱わないというところも多くなっており、消費を回復するためにもヒラメの安全性を周知啓蒙する必要があるのではないかと考えられます。関係者全員による情報公開ということが非常に大切となります。養殖業者が自主的に検査内容・結果を公表すること、行政は検査対象や食中毒件数の現状を公表すること(HPや冊子体)、研究者は研究結果を公開すること(学会、一般向け公開講座等)、それからマスコミもそういったことを偏見なく公表し、冷静に報道することが大切かと思います。現在はSNSやインターネットなどにより、消費者が自ら発信も行える時代となっていますので、産官学民が相互に理解を深めるリスクコミュニケーションが大切になってくるかと思います。



多くの方にご参加いただきました。

第20回サイエンスカフェ

「身近な食品だからこそ聞いてみよう！

— 遺伝子組み換え食品の安全性のコト —」 開催報告

2016年8月26日、第20回サイエンスカフェ「身近な食品だからこそ聞いてみよう！ — 遺伝子組み換え食品の安全性のコト —」を開催しました。

特定非営利活動法人 くらしとバイオプラザ21の佐々義子先生に、私たちの暮らしに欠かさない味噌、サラダ油さらにはフルーツなど様々な食品に応用され始めている遺伝子組み換え食品の最新技術や安全性をチェックする仕組みなどについてお話しいただきました。

遺伝子組み換え食品開発の経緯、技術や範囲の広がり、安全性確保の努力だけでなく、消費者の意識や、安心感の醸成に情報提供やコミュニケーションが大きく関わっていることにも言及していただきました。参加者からも活発な質問や意見、話題提供があり、盛会となりました。



話題提供者の佐々義子さん

※以下、記載がない場合の発言は佐々氏のもの

※質疑応答は一部抜粋

【あなたは遺伝子組み換え食品を食べたことがありますか？】

遺伝子組み換え食品を確かに食べているという人はいますか？(10名ほどの参加者が手を上げる)どんなものを食べていますか。豆腐？ダイズ製品だからですか。

参加者：表示がないけれど、食べている気がする。「遺伝子組み換えでない」と書いてあるものがあるが、書いてないものがあるから食べているのではないかと。ダイズやコーンの油にも含まれていそうです。

【日本にどのくらい遺伝子組み換え食品が来ているの？】

- 日本で消費しているお米844万トンに対して、トウモロコシ約1,300万トン強、ダイズは約270～280万トン。このうち遺伝子組み換えでないのは少ししかない、ということは、表示はされないものの、この差を見ると、皆さんの「食べているかもしれない」という感覚はいい線を行っていると思います。トウモロコシもダイズも1粒ごとに名前が書けるわけではありません。そこで、日本では、それがどこの国から来ているのか、その国の遺伝子組み換え作物の栽培面積の割合がどのくらいかを基に遺伝子組み換えの量を推定します。
- 例えばトウモロコシなら約1,300万トン強のうち、1,169万トンがアメリカからで、アメリカで

は9割ぐらいは組み換え品種です。トウモロコシはアメリカ、ブラジルからが多く、両国とも遺伝子組み換えを8～9割作っていますから、日本で私たちが飼料や油など何らかの形でトウモロコシに出会ったときには、合計で9割ぐら이가組み換えだろうという考え方で、日常の食生活を支えているトウモロコシやダイズについて推定しているわけです。

- 飼料で言えば、日本は国産飼料はとて少なく、ほとんど輸入品です。ということは、私たちが口にする酪農製品、例えば牛もこんな割合で遺伝子組み換えの材料を含んだ飼料を食べている。その飼料を食べた鶏や牛を私たちが食べているということになります。

【遺伝子組み換え表示の仕組み】

- 先ほど参加者の方が「書いていないけれども食べている気がする」と言われました。なぜ書かれていないか、それは表示の仕組みのせいです。表示には義務表示と任意表示とがあり、「確かに組み換えました」、「遺伝子組み換えと非組み換えとをちゃんと分別してはしません」といった区分をしています。大きな船で輸入されるときは、ダイズやトウモロコシはばら積みされてくる。非組み換えというときには畑にあるときから「これは非組み換えですよ」、収穫の後も「非組み換えだから、こちらの倉庫にしまおう」と、非組み換えだけを分けてくる。これをIPハンドリング(分別流通管理)といいますが、そのように管理したものでない場合は混ざっている可能性があり、日本では「不分別」と呼んでいます。
- 笑い話で「無分別(むぶんべつ)」と言ったりしていますが、組み換えが入っている可能性があるのは、「不分別(ふぶんべつ)」「組み換え使用」のものです。これら義務表示に対して、任意表示では「確かに私は畑から非組み換え作物を契約して輸入した」という場合は、「組み換えでない」と書いていいというのが日本の表示の仕組みです。「確かに組み換えです」というもの以外は、不明瞭な状況になっています。鋭意分けてもばら積みすると混ざってしまうかもしれない割合が5%と想定し、5%が表示をする・しないの基準になっている。皆さんは目でご覧になっていないけれども、多くは入っていそうだと、という予想はとて勘のいいお答えだったと思います。
- 品目ごとでは、納豆や豆腐は義務表示の対象になっていて、不分別の材料や組み換え原料を使用していなければ、「入っていない」という解釈になる。でも、前述のように懸命に分けても混ざって、5%以下程度入っているかもしれない。東京都では2～3年おきに実際に何品目か買ってきて調べていますが、そのなかで1%程度入っていたものが、20～30品目の中に1、2品目見つかるという状況です。5%以下なので違反にはなりません。

関崎：今の「1%くらい入っていた」というのは、わざと入れているものですか。それとも分からないで入ったものですか。

佐々：不分別のものと混ざったものか、あるいはわからないうちに入ったものと考えられます。基準を5%以下にすると、高いお金を払って認証を得て輸入しているのに、それはちょっと商社に気の毒ですね。種子自身も調べる必要はあるけれど、全部の種子をすりつぶして調べると

実がなくなってしまう。それで、このくらいは混ざっていてもいいということで5%になっています。

参加者：表示対象となっている作物と食品は表にあるもので全部なのですか。

佐々：はい。以前「非遺伝子組み換え明太子」というものが出ました。今、組み換えサケが話題になっていますが、当時、組み換えの明太子などできていないのに「非組み換え」と書くと価値が上がりそうだとということで、そんなものが出回ったりしました。お米の組み換え品種も出ていないときに「非組み換え冷凍おにぎり」が出たりもしました。組み換えでつくった品種がないものは出しようがないですね。

参加者：遺伝子組み換えというものと突然変異というものは違いますよね。

佐々：遺伝子組み換えは、手続きを経て計画を出し、環境影響評価や食品としての評価を経たものしか出回らないようになっています。突然変異で遺伝子が変わるのとは別のお話です。

参加者：放射線照射をしたものは遺伝子組み換えに入れませんか。けれど、どちらも遺伝子は組み換わっていますね。

佐々：放射線照射のものは遺伝子組み換え技術とはいえません。放射線を当てた育種です。表にあるのは組み換え作物・食品として安全性が確認されたものだけです。品種改良されたものの遺伝子は組み換わってはいません。

参加者：放射線を使わなくても、かけ合わせだけだつて、当然遺伝子は組み換わっているから、それも「遺伝子組み換わっちゃった食品」ですよ。

佐々：野生種から、何年もかけて遺伝子組み換わっちゃった食品、それはとてもいい名前だと思います。

【遺伝子組み換え食品の価格について】

- この夏、中華のファミレスなどで注目されたのが、遺伝子組み換えパパイア。レインボーという名前で、中華のファミレスや、コーヒー店ではスムージーになって出ています。これは生食できるもので、最新の33番目にリストに入った品目になります。
- 値段はどうでしょう？ 7年ほど前にコープでコーンマーガリンの写真を撮ってきました。コープはありのままを表示する方針ですが、表示の仕組みとしては表示の対象外です。油を精製して純粋な油になればなるほど、最終製品では遺伝子組み換えを見つける目印になるDNAやたんぱく質などは見つけられなくなるからです。原料のどれくらいが組み換えの原料だったかは、生産者に尋ねて答えを聞くしかない状況です。科学的に言えないことを法律の罰則対象にはできないから外しましょうということで、油は対象外です。ビールも対象外です。
- マーガリンの値段は、今は容器が300gですが、始め450gと225gというのがありました。値上がりの時にだんだん器が小さくなり、これはその途上で320gになったときの写真です。お店によってキャンペーンなどがあり、一律には言えないですが、価値差がありました。ソフトタイプのやわらかい、水分の多いものだと、さらに安く100円近く差がありました。正式な

表示として「不分別」と書いてあります。これは義務表示ではないです。

- コープとしては情報提供と言っています。これは「危険」・「安全」ではなく、消費者の選択のための情報提供で、油は表示対象外ですが、お知りになりたければ書きましょう、という態度で書かれています。
- 少し古いコープのデータでは、2003年と2007年でキャノーラの1,350gの非組み換えと、一番搾りの不分別表示がしてある1,500gを比べると、やはり価格差があります。不分別と非組み換え原料がありますが、マーガリンと食用油で、不分別のほうがよく売れているし、店頭での値段が違う。つまり、あまり皆さん表示を気にせずに、値段とか賞味期限とかいろいろな理由で選んでいらっしゃる。不分別表示食品は十分消費者の生活に浸透しているように、私には見えます。
- 去年の調査では、「トップバリュー」というイオンのプライベートブランドは、全部の製品で事細かにアレルギーや原産地について書いてあります。例えば不分別のナタネを使ったものは、前はドレッシングくらいでしたが、今はマヨネーズも揚げ油もあります。ダイズは旨味成分、油成分くらいでしたが、今は乳化剤もあります。去年調べて驚いたのは、トウモロコシの水あめとか、異性化糖とか、コーンスターチなど、組み換え原料を使っているものがいろいろ増えています。
- 調味料136品目を1個1個調べてみると、不分別と表示しているものは、そのうちの56ありました。アイスクリームとかシャーベットでは30品目中20、洋菓子では27品目中14です。それほど製品が作られ続けているのは、それらが売れていて、かなり浸透しているからだろうという印象を受けています。

【組み換え食品 日本では作っていないの？】

遺伝子組み換え作物はどんな国で作っていると思いますか？

世界的には、この約20年で世界の遺伝子組み換えの栽培面積は約100倍になりました。世界の農家には非常に受容された技術だと言えます。栽培している国は、多い順にアメリカ、ブラジル、アルゼンチン、カナダ、インド、中国。そして、ヨーロッパ、アフリカと、かなりの国が作っています。

- 2011～2012年頃に先進工業国と発展途上国の遺伝子組み換え作物の栽培面積が逆転しています。1国当たりによればアメリカなどがすごく多いわけですが、全部を足すと今は発展途上国の方が多く作っている状況になっていて、発展途上国の生産者にもかなり受け入れられているように思います。インド、中国は栽培しているのは組み換え綿が多いですね。

澤田：スーパーに行くと、納豆などで「米国」と書いてあるの



消費者目線の質問も気軽に

をよく見かけますが、ほかの途上国の国名が入っているのはそんなに見かけないようです。

佐々：はじめにお話したように主な輸入元はアメリカ、ブラジルだからです。日本の場合、商社の買い付けには量が安定していなければならないので、相手国に農業規模がないと取引しません。何か所かから少量ずつ買い付けるよりは、大口で取引したほうが効率がいいということだと思います。

【国内での遺伝子組み換え作物試験栽培状況は？】

- 「国内では作ってないんじゃないの？」というお話ですが、作っていません。作っているのは青いバラだけです。日本では、つくばの農水系の研究所、現在の農研機構ですが、そこが中心になって試験栽培をやっています。また外資のシンジェンタ、日本モンサント、デュポン、バイエルクロップサイエンスなどは、日本で自分の会社の圃場を持っています。また筑波大学がユーカリの試験栽培をしています。これらは野外でやっているものです。ほかに、実験室だけの閉鎖系での試験栽培は、もっとたくさんあります。
- 圃場試験をするとすると、地元説明会をしたり、地元農家の方が交雑の心配をしなくていい方法を検討したり、市民の理解を得るための手続きも必要です。圃場試験は、今はどこでも円満に行われ、トラブルは起きていません。ある外資は、始めは「何で来たんだ！」と言われたけれど、毎年収穫祭などをして、地元と信頼関係ができ、今では「頑張れよ」と言われるようになったそうです。
- 今日は「カイコでコラーゲン」というイベント案内もお持ちしました。カイコの場合、廃棄したクワの枝に小さい幼虫がついていて、外のカと交雑などするといけないので飼育試験をして調べています。カイコの試験飼育は閉鎖していないといっても屋根のある施設で行っています。そのほか、サントリーの青いバラは国内ですけど、青いカーネーションは海外で作って日本に運んでいます。

参加者：遺伝子組み換え作物の栽培面積が、20年間で約100倍になったとのことですが、生産量も100倍になっているのですか。

佐々：そんなには増えていません。

参加者：これだけ急に増えているということは、人類は否が応でも食べているということでしょうか。その弊害というのは出ていないですか。

佐々：先ほどの例のように油などで食べているということになります。食品の安全性において弊害はないですね。もし本当に弊害が出るとすれば、まず国内外の家畜がやられてしまうでしょう。

参加者：では、なぜ日本で遺伝子組み換え作物の生産をしないのですか。

佐々：それは私も聞いてみたいところです。「やってみたい」という生産者はけっこういて、特に次の世代に継がせるか否かと、組み換え作物栽培を関係づけて検討されている生産者もいます。北海道などで耕地が数百haもあるような生産者は「やってみたいが、消費者が嫌うから……」と言われます。皆さんのように「そんなに悪くないんじゃないの」とおっしゃる方がいる

のですから、そうしたコミュニケーションがうまくつながるといいなと思います。

【遺伝子組み換え作物の安全性はどうチェックするのか】

- 遺伝子組み換え植物の食品の安全性については、環境としてどうか、そして人間が食べてどうかという2つの視点で調べています。まず遺伝子組み換え植物の作り方については、いくつか方法があります。例えば、バラなど木の根っこにできているコブを見たことがあるでしょう。あれは、土壌の中にいる微生物が植物の体の中に入り、自分のエサとなるものを作るように自分の遺伝子を植物の体に送り込むのです。可哀想にこのバラにはコブができて、そのコブが微生物のエサ作り工場にされてしまうのです。バラの病気の1つです。これを微生物による「植物の植民地化」といいます。
- こういう微生物がいるなら、ここに人間に都合のいい性質を植物に与えるような、タンパク質を作る遺伝子を送り込んだらいいんじゃないのと言って作られたのが、最初にできた遺伝子組み換え技術で、土壌微生物に感染させる「アグロバクテリウム法」です。
- だけど、この組み換え技術は双子葉には使えるけれども、単子葉には使えなかった。そこで、火薬や電気力で遺伝子を入れる方法で実用化をどんどん進めてきたわけです。
- さて、どんなふうに安全性を調べるかというお話です。始めに、環境に悪影響を及ぼさないかを、そして、食品として食べても大丈夫かを調べます。さっきの青いバラは食べませんから、環境の試験だけ可ならそこで商品化となります。食品は、人間が食べたときの安全性、家畜なら飼料としての安全性を調べます。それぞれを担保する法律があります。
- 複雑なのは、担当省庁が分かれていて、人が食べる時は厚生労働省、家畜が食べる時は農林水産省、環境を調べるのに、大学の中などでやっているときなどは文部科学省などとなっています。例えば「第一種使用」という名称がありますが、外に出すとすると、農林水産省、環境省などに書類をいっぱい提出しそれぞれの法律に従って審査を受けます。
- 最初は実験室でやって、それから少しずつ外にならしていくときに、温室が2種類あって、完全に閉鎖されているのと、網戸くらい開いて空気だけ出入りするのとありますが、どちらもまだ閉鎖系なので「第二種使用」といいます。この段階では、まだほかのものと交雑がどうかとか様子が分からないので、柵で囲われているところで行っています。
- その他に、鳥よけの網を張ることもあります。使った水はどうするか、刈った後の苗はどうするか、そういう処理も全部計画で決められた処理の仕方をする第一種使用という枠組みがあって、各状況下での環境への影響を調べ、書類が提出され、審査されます。

【環境影響はどんなポイントを見る？】

- 環境影響は3つの視点から見えています。遺伝子組み換え生物が外へ出たとき、もともと生えていたものを全部追い出してしまわないかが1番目。地元の住人である植物に対して何か毒になるようなものを出したりしないかが2番目。3番目は交雑して、純粋種がなくなるような混ざ

り方で、元の植物の遺伝子資源が失われていないかです。これら3つの視点で審査がされます。

- 「日本では今栽培されていません」と言いましたが、農林水産省系の研究所には指針があり、それに従って進めています。自治体ごとにさらに網をかけているところもあります。自治体の条例は、違反すると罰則があります。ガイドライン・指針・方針の場合は、努力目標といったところですが、日本人は真面目なので、指針であろうが法律であろうが、きちんと皆さん守られます。



試験栽培について経験を情報提供

- 日本で野外での遺伝子組み換え作物の栽培に対して条例で規制しているのは、北海道と新潟です。神奈川も作っていますが、最初に作ったのが北海道で2006年です。滋賀は2004年に作りましたが指針でしたので、条例で最初なのは北海道です。その後増えて、2011年の神奈川の条例以降は作られていません。千葉は2006年から指針を作るための検討会を立ち上げていますが、2016年から年に1回程度検討会をするという状況で、長期のペンディングになっています。

関崎：指針やガイドラインだと、ある意味守らなくてもいいけど、本当に守っているかどうか、チェックは入っているんですか。

佐々：守っているかどうか、隠れて作っていないかどうかについては、チェックは入っていないと思います。

関崎：ユッケの食中毒で騒ぎになったとき、生肉はこう扱いましょうと、厚生労働省が指針を出しました。そこで一斉に全国調査したら、守っている飲食店は半分ぐらいしかなかった。逆に、半分守っていて、私は「すごいな」と思ったんですけど。今おっしゃった指針・ガイドラインを100%守っているのだろうか、非常に疑問に思います。

笹川：私は、試験栽培の経験がありますが、農水省の指針の場合は書類の検査の後に、すごく細かくいろいろな必要事項をやったかどうか厳しいチェックがあります。茨城県にはありません。つくば市には検討委員会があり、関係者が見学に来て、現場を確認したりしています。

佐々：それぞれの施設でルールに沿って進めていると思いますが、関崎先生がおっしゃったように、「守らなくてもいい」と考えているような人たちには無防備ということになると思います。

参加者：基本的にやっちゃいけないことがあるんですか。あるいは遺伝子組み換え作物の栽培を推進するために、「あれとこれはやっていいよ」という感じなんですか。

佐々：例として北海道の条例について。「北海道は農業の可能性があるので、こんな規制があると新しいことに取り組めないじゃないか」という話があったときに、「いや、これを守ればできるんだから、大いにできるんです」と委員会の委員長は言われていました。でも、条例ができてから、北海道で遺伝子組み換え作物の栽培は行われていません。国内の栽培は限られた

所のみというのが現状です。

- 環境省と農林水産省と自然保護団体が「こぼれナタネ」調査をやっています。主に港のそばでナノハナを採ってきて、遺伝子を調査します。先ほどの3つの視点から見て本当に環境を脅かすような状態になっているかどうか。その意味で、実際どんな調査をしているかと言えば、「こぼれナタネ」の調査がそれに当たるかもしれないです。
- もう1つは、研究者が条例や指針の対応で苦勞しているのは地元説明会です。研究者は書類をきちんとして実験を計画どおりに進めるのは得意ですが、地元説明会のようなものは難しい。現に地元説明会で紛糾して実験が中止になった例もあります。

参加者：今、使われていない田畑がたくさんありますが、それを有効活用するというところに着目して、先生方がうまくコミュニケーションをしていけば、生き残る道はあるかもしれないですよ。

佐々：そうですね。農家の方から、組み換えダイズだと手がかからないので、せめて耕作放棄地に組み換えダイズを蒔いて、「緑肥」というそうですけど、すき込んでしまって土の栄養にしたい、雑草が生えると、その種で畑が死んでしまうから、せめて緑肥用のダイズを植えたいというお話がありました。ただ、作ろうとすると、地元説明会や他の農家の方との人間関係などいろいろあって、ご苦勞されているのを感じました。

参加者：遺伝子組み換えしたダイズなどを食べたときに、その組み換わった遺伝子は我々の体内に残りますか。それとも排泄されてしまうんですか。害はないですか。

佐々：排泄されます。ではそのあたりについて次に話します。

【遺伝子組み換え作物は体内ではどうなるの？】

- 日本では環境影響調査が終わったものについて、第一種使用で承認されたもののリストを発表しています。これは2～3カ月おきに更新されていて、2015年よりは20種類くらい増えています。厳しい審査を受けて、実験室、温室で試験を経たので、外で作ってもいいですよというところまで来ています。
- 例えば今審査で通っているものとして、除草剤グリホサート誘発性雄性不稔とか、チョウ目、コウチュウ目抵抗性、グリホシネート、グリホサート耐性等、複数種類の除草剤耐性など、たくさんの性質を付与された作物ができています。グリホシネートとグリホサートは除草剤ですが、各社の除草剤に対応できるように、企業も互いの特許を利用しあうようになってきています。今までは1つの性質を加えるだけだったのが、今はいろいろな種類の性質を持った組み換え作物が出ています。
- そして、食べ物としてはどうなのか。実際は食品衛生法の中の品質基準にたくさん評価項目が書いてあります。それらが大雑把に書き分けてみました。大きく分けて3つの視点から食品としての安全性評価があると思っています。例えばトマトなら、組み換える前の元のトマトがどんなだったかが1つ。どんな遺伝子をどのように入れたのかが2つ目。最後は全体として

どうなのかという観点です。

- まず元の品種については、すでに長く食べられてきて安全に利用してきた歴史があります。調理法などによって、例えばジャガイモだったら芽をとるとか、安全に食べる知恵をずっと守ってきているわけです。そういうあらゆる事柄をまず整理します。
- 遺伝子組み換えは、遺伝子の断片を入れることで何らかの新しいタンパク質を作らせたり、利かなくしたりします。どんな遺伝子につなぎ、どんなふうに入れるのか。微生物に運ばせて入れるのか、また入ったかどうかをどうやって見つけるのか。目印をつけるのか。例えば除草剤耐性なら、除草剤で枯れないものは組み換わったとわかるけれども、実が成らない性質のようにわかりにくいときは、一緒に目印になるようなもの、例えば抗生物質への耐性を持たせた遺伝子を入れるなど、何らかの遺伝子の関連する部分を入れます。
- さらに、できたもの全体として、新しく入れたDNAは食品の中でどんなふるまいをするか、それにより作られたタンパク質はどうなっているか。その他の栄養成分は変わっていないのか。ジャガイモのソラニンのようなあまりよろしくないものも、元と変わらずに残っているかとか。消化される様子はどうか。アレルゲンとよばれる、アレルギーの原因物質は、消化されにくい。難分解性です。消化液でも、熱を加えても変化しないという性質がないかなどの、消化の様子。今まで毒素の成分として登録されているものと、分子レベルで比べて似ていないかなど、食品としての安全面を調べます。

澤田：ベクターというのは何ですか。

佐々：ベクターは運び屋さんです。例えばアグロバクテリウムには輪の形をしたプラスミドというDNAがあって、それに自分に都合のいい遺伝子を入れて植物に送りつけるらしいんです。どんな運び屋さんを使うかをチェックするのです。

澤田：では、この段階でプラスするものが人体や動物に害があるということではなくて、足し合わせた結果、元々の植物なり食べ物が、何らかの防衛として毒素を出すようになったりすることを調べたりするんですか。

佐々：観点がはっきりわかるように3つの部分に整理して、1つ1つの安全性について調べます。いきなり最後の部分だけ調べるのではなく、作る前、作る途中のところと、分けて調べていく。日本はその項目がとて多くて大変厳しいんだそうです。

- 例えば家でお腹をこわした人がいると、お母さんが、「何か変なもの食べたんじゃない？」とよく言いますよね。みんなは何でもない。朝と夜はみんなと同じものを食べてたから、1人だけ昼に違うものを食べて、そこに原因があると考えerわけです。遺伝子組み換え作物について調べるときの考え方もそれと似ています。何か変化が起こったら、その変化の部分を探る。ある場合は、宿主を調べ、または組み込むところを調べ、あるいは最後の部分を見ます。
- 「お腹の中に溜まっちゃうの？」というお話について、害虫抵抗性を例にお話しします。害虫を殺すタンパク質としてBTタンパク質というものがありますが、これは微生物が作るタンパク質で古くから伝統的な農業では使われてきたものです。今は有機農業の人たちも使っている、

害虫にとっては毒になるタンパク質です。害虫抵抗性では、このBTタンパク質を植物体の中で作らせます。例えばBTタンパク質を作るトウモロコシにガが飛んできて卵を産みつけ、その卵からイモムシが孵ると、エサになるトウモロコシをかじります。イモムシの消化管にはBTタンパク質に対する受容体という鍵穴のようなものがあり、そこにBTタンパク質がはまると害虫は死んでしまいます。

- 害虫の消化液はアルカリ性です。人間は胃が酸性なので、BTタンパク質は分解されたり弱められたりします。腸には行きますが、人間にはBTタンパク質の受容体という鍵穴はないので、単なるタンパク質としてアミノ酸に分解されたり、排泄されたりして、人間には毒にならない。そういうことがわかっていたので、これまでも農薬として使われてきたのです。それを植物体の中で作らせようとしたのが害虫抵抗性の遺伝子組み換えなんです。

澤田：家庭で野菜を食べるとき、イモムシがついてると、「あ、イモムシも食べてるからこれは安全な野菜なんだよ」と子どもに食べさせたりするんですけど、この理屈で行くと、イモムシには害がないけれど、人間には害があるような農薬もあるんですか。

佐々：農薬は農薬で、人の口に入るものは何日前までしか散布してはいけませんよという決まりがあって、それが守られています。残留農薬についての話ですが、問題ないと思います。ただ、植物もかじられたらかじられっぱなしではなくて、イモムシに一矢報いようと思うわけです。それで、天然農薬という言い方をしますが、かじられた植物が虫の毒になるようなものを出します。植物は傷害を与えられるとそのストレスでタンパクを出します。植物の持つ天然農薬もなかなかのものだという研究もされていて、農学、植物学の先生たちは「虫がいっぱいついているのは勘弁してよ」と言います。それは単に虫が嫌なんじゃなくて、それだけ傷害を与えられたら、植物はすごいストレスタンパクを出しているはずだから、あまりいただきたくないということだそうです。

【国の担当省庁や関連法律については？】

- 食品の場合は、厚生労働省の担当です。例えば東京大学が何かすごい遺伝子組み換え作物を作って、食品として出すとします。厚生労働省に「こういうものを作りました。安全審査の資料をもってきました、よろしく」と提出します。すると厚生労働省が内閣府の食品安全委員会にこれを送ります。食品安全委員会の親委員会の下に専門調査会があり、遺伝子組み換え食品等の専門調査会にこれがかけられます。審査をされる先生によると、ダンベル運動に使えるくらい重い書類がいっぱい送られてくるとのことでした。たくさんの書類の審査が行われて、資料の補足や差し戻しがあったりします。例えばパイヤは10年くらいかかりました。
- 審査が終わると、親委員会から厚生労働省に書類が戻り、厚生労働省の手続きを経て官報に載り、食品安全委員会からも、国民に対して新しい遺伝子組み換え作物の情報が提供されます。
- 今は、食品安全委員会がこうした形で遺伝子組み換え食品の安全性の審査をしていて、厚生労働省のホームページを見ると品目がどんどん更新されています。組み換えた酵素も同じよ

うに審査されています。何種類もの性質を持つものや、様々な虫や除草剤への耐性を持たせたものについては、さらにそれらを普通の交雑でかけあわせることで両方の性質を持った遺伝子組み換え作物が作られています。

【消費者の意識は？】

- 食品安全委員会が毎年、応募制の食品安全モニター400～500人に調査しています。これに応募するような人は意識が高い人だから、遺伝子組み換え技術に賛成だろうと思われると思いますが、現実には、食品安全委員会が走り始めた頃は8割ぐらいの人たちが不安だと言っていました。それが減ってきて、平成22年ぐらいから5割を割って今日に至っています。
- 事業者がきちんと法令遵守をしてないんじゃないか、という不安を持っているというのは、組み換えの場合はほとんどないんです。ところが農薬や食品添加物のほうはある。事業者に対してどうも信用できないというところが不安の理由になっている。国が信用できないというのは割となくて、事業者に不安を感じるということが割と多い。
- ではなぜ納得したのか。安全性の科学的根拠を聴いて納得した、というのは組み換え食品にも残留農薬にも食品添加物にもあります。食品添加物は苦戦と先ほど言いましたが、科学的根拠の説明に納得したという人は食品添加物がむしろ多いんです。次に多いのは、「行政が規制をしっかりしてくれているから」というもの。安全情報は行政からなのではないでしょうか。このときに事業者がしっかり守ってくれている、だから十分だという答えはすごく少なくて、行政がいいからという人が多い。
- 日本人は「国は信用できない」などと報道ではよく言っていますが、やっぱり安全性のお墨付きとかは、国がきちんとってほしいと思っている人が多いのではないかと思います。

参加者：安心というのは消費者個人が判断することだと思うんです。安全性を行政で担保してほしいというのはわかるんですけど。サイエンスカフェみたいなもので正しい科学知識を得て、最終的に安心するのは消費者個人でないといけないんじゃないかと思うんですよ。

【食品の安全と安心を決めるのは？】

- 新しい技術が誕生したとき、その技術を使っていかどうかについて、科学者と社会の話し合いがあったほうがいいですよ。遺伝子組み換え技術の場合は、アシロマ会議というところで話し合い、科学者自らが規制をかけながら慎重に研究が進められてきました。これは今までの科学の歴史の中では初めての進め方だろうと思います。毒ガスや原子爆弾を作ってしまった科学者たちが非常に悲しみや痛みを抱えてパグウォッシュ会議をしている。それでバイオの研究者たちはアシロマ会議を開催したと私は思っています。
- さて、食品には基本的に致死量はない。だから化学物質である農薬や薬でやってきたようなやり方が使えない。困った。それでファミリーアリティという、長く付き合ってきた私たちの歴史を重んじるという考え方をとり入れました。例えば、お米の品種改良をしても、モモタ

ロウとかササニシキ、コシヒカリとかが出てきたときに、これは今まで食べてきたお米をかけた合わせたりしているからいいはずと、受け入れてきたと思います。

- 今度は、組み換え食品ができて「食品の安全性はそもそもどう考えるの?」となった。その意味で遺伝子組み換え食品というのは食品の安全性を初めて考えるきっかけになった。それはこれまでやってきた化学物質とは違う。お塩のようなものなら食べ過ぎると毒だとわかりますが、おいしいお米だと、食べ過ぎて太っちゃうとか、お腹をこわすとかはあっても、それが毒になるという意識はない。この20年間くらいで遺伝子組み換えの技術や食品と出会ったことで、私たちは食の安全や安心をどう考えたらいいのか考え始めた、ということだと思います。
- 「安心は行政から」という部分は、次回からは「安全のお知らせは行政から」に直したいと思います。(注:参加者からのご発言と佐々先生からの詳細なコメントのもと、当初スライドにあった「安全は行政から」という表現は「安全のお知らせは行政から」が妥当ということで意見が一致しました。

【アンケート調査にみえる消費者意識の変化】

- 最後はおまけです。2015年2~3月に行われ、2016年度の調査として発表されている「食品のリスクについて」というアンケート。これは食品安全委員会のモニターさんに「食品の安全性に関する意識と情報源について」聞くもので、「あなたが安全性について気にならなくなったものは何ですか、上位5つを選んでください」という形式でした。
- すると、1番がBSE、次は食品添加物、残留放射性物質、遺伝子組み換え食品、残留農薬。これらを「もう心配しなくていい」と思うようになった一方、ウイルスなどの有害微生物、いわゆる健康食品、家畜の抗生物質。アクリルアミドなどはまだ気にしないといけないと思っている人がいるようです。
- なぜ気にならなくなったか。上位の理由は「リスク評価の考え方を知ったから」、「行政のリスク管理がちゃんとできているから」、「食品安全委員会が存在するから」。食品安全委員会というものがあるからいいんです、と言う人もいます。それから「検査結果の公表」もあります。それぞれの項目に基数割合をかけると、400人のうち90人くらいが「リスク評価の考え方を理解することによって、私はハザードを心配するのをやめました」と言っています。
- 人類が生まれてきて、飢餓が続いていたのが、今のように安全なものが食べられて、日本はこれだけ長寿で、乳幼児の死亡率も世界一低い、食と衛生の完備した本当にありがたい環境になっていると思います。それを支えているものとして見ると、遺伝子組み換えとか、農薬とか、放射線照射、肥料、品種改良等々の技術の進歩はいい食べ物をたくさん作ることだと言えます。そして食品をよりよく保存できるために食品添加物、食品放射線照射があります。それらが食料がたっぷりあること、いつでもあること、どこでもあることにつながっている。私たちの人類の歴史でいちばんありがたいことは安定供給で、それを支える技術の1つとして、

今日は遺伝子組み換えのお話をしました。

関崎：水を差すようですが、今日は安全性はちゃんと調べていると伺ったのですが、やっぱり食べ物だから何か気持ち悪いなど思う人はいっぱいいると思います。表示を見て嫌なら、その人は食べなくてもいいということでしょうか？

佐々：そうです。

参加者：組み換え表示をすると、消費者が買わなくなってしまう、生産性向上したい企業は表示をしたくないと聞きました。

佐々：アメリカでは、安全性も調べたんだからと、当時メーカーは「Soy bean is soy bean.」と言ったんです。調べると確かに遺伝子やタンパク質は変わっている。しかし、ちゃんと調べたら、前のトマトと、同程度に安全だという言い方をするんです。前のトマトと、組み換わったトマトと実質的には同じだとして、Substantial Equivalence、SEだと言ったわけです。

- 日本も表示はしないつもりだったんですけど、大反対があって表示することになりました。ところが、実際は科学的に最終製品で調べられない油などもあるので、調べられるものに限って表示をすることになったというのが経緯です。

- アメリカの規程はともかく、日本の表示に関しては、消費者の皆さんと相談して実現してきたものです。トウモロコシも、以前はなかった遺伝子組み換えの爆裂種ができたので、これも表示の対象にするなど、日本のほうがずっと消費者の意見を聞きながら表示をして、選んでいただけの環境作りをしてきていると思います。



参加者からは活発な質問・意見が

第21回サイエンスカフェ

「いちばん身近な放射線!? — 医療用放射線と被ばくのコト —」

開催報告

2016年9月29日、第21回サイエンスカフェ「いちばん身近な放射線!? — 医療用放射線と被ばくのコト —」を開催しました。富山大学大学院医学薬学研究部 放射線基礎医学講座教授の近藤隆さんに、放射線の基礎知識と同時に、レントゲンやCT検査など身近な医療用放射線やその考え方についてわかりやすく説明していただき、医療を受ける立場での今後の選択などについて、参加者から多くの質問やコメントが寄せられました。



話題提供者の近藤さん

※以下、記載がない場合の発言は近藤氏のもの

※質疑応答は一部抜粋

【放射線の医学利用】

- 121年前のこの写真が世界を変えました。これはレントゲン博士が奥さんの手を撮ったもので、当時一世を風靡しました。X線を発見したのはレントゲンということになっていますが、その前にこのクルックスという人が、不思議な光があるということをもう報告していました。
- 放射線といいますと、どんなものでも透過してしまう、通ってしまう。それが分かったので、診断に使われております。一方、放射線を浴びると、いろんな障害が起こり、細胞が死ぬという効果も分かってきました。細胞が死ぬということは、がん細胞に放射線が当たれば、それは治療に使えるということです。
- 放射線はよく診断に使われています。皆さん方にもX線は身近ですね。そして、今日特に意識を持ってお話しするのはCTというコンピューター断層撮影です。これはX線を使う診断装置です。もう1つはPET(ペット)です。これは陽電子放出断層撮影という難しい名前ですが、放射線による診断の1つの種類です。RI検査といって放射線を出す薬を体に投与して、それで診断するというものです。
- MRIという検査や超音波という検査があります。似たような装置ですが、MRIというのは磁場を使い、超音波というのは、非常に波長の短い、周波数が高い音を使います。超音波は実は放射線ではないので、安全性は非常に高い診断です。磁石の診断ですから、磁気を持つような金属だとか、そういうものがある方は要注意なんです。磁場と超音波、この2つの検査は、放射線と比べると限りなく安全性は高いと思いますので、ここは明確に区別して覚えておいてください。

- ご覧の写真は男性か女性かすぐ分かると思いますが、なんとこのX線写真の落札価格は500万円なんです。これは誰のX線写真だと思いますか。実はマリリン・モンローでした。だから、X線写真でも500万円というわけです。
- さて、X線、放射線を使った診断は、幾つかありますが、ここには代表的なものを紹介しています。皆さんが健診を受けるとき、「息止めて、はい、写真を撮ります」というのがあります。もし肺に影があったら、何かある。次にCT検査をしますと、なんと私たちの体が輪切りにされて見える。そこにいろいろな影が映ると、両方を合わせて、ひょっとするとがんかもしれない。PETというのは、お薬を注射してその薬が体内のある部分に取り込まれる。すると取り込まれたところが光ります。光り方を見ると、とても元気な細胞があるので、どうもがんならしい、というような診断が行われるわけです。しかし、この段階でも体は放射線に少し被ばくしているわけです。
- 放射線診断で、よく聞くのは「では、CT撮りましょう」ということではないでしょうか。さて、ひょんなことで気が付いたんですが、CTという装置の開発には、なんとビートルズが関係しているんです。CTというX線を使った装置、コンピューターによる断層撮影を開発したのはEMIという会社でした。最新の機器なのに、医療機器ですから始めはなかなか儲からなかったんです。EMIという会社はレコードを売っていたんですが、当時のレコードの売り上げに大貢献をしたのがなんとビートルズでした。つまり、ビートルズなくして今世界に普及しているこの医療機器はなかった。そういう思いでビートルズの音楽を聞くと、「サンキュー！ビートルズ」となるわけです。
- CTでは何でも見えます。最近では装置に横になって1回転させるだけで、脳や胸の血管、冠動脈の詰まりなんかも分かってしまう。この写真で平たく広げようになっているのは、大腸の展開図です。大腸の内視鏡をしなくても、CTを撮るだけで展開図ができてしまうんですね。
- このCTの画像と、PETの画像とを合わせると、どこの細胞がどういうふうに活発に働いているかということが分かります。CTでは、ほとんどのものが見えるということでもあります。

【画像診断への応用】

- この100年、200年の間で医療が一番進歩したのは、この放射線診断と抗生物質だと私は思います。抗生物質ができたおかげで、ほとんどの感染症が制御でき、X線が発見されたおかげで診断の技術が圧倒的に進化した。それがどんどん精緻になって、たくさんの情報が得られるようになってきている。すると、医療側は、たくさんの情報を早くいっぱい得たいと思うんです。それはそうです。1枚の写真よりも何枚も撮って正確に診断したいと思うのが人の心です。
- 最初は1枚の断層撮影だったのが4枚になり、次に16枚に。さらに32枚、64枚、128枚と、どんどん技術が進歩しています。放射線は確かにあまり体に当たり過ぎると良くないとは言われていますから、メーカーでも、1枚当たりの被ばく量をなるべく減らすようにと、コンピューターを駆使して工夫してはいるんですが、撮影する側としてはいっぱい撮りたくなる、しっ

かり調べたい。そうすると、全体としてはどうしても被ばく量が若干増えてしまうというのが問題ではあります。

- この筒型で人が入るような格好になってる装置は、CTではありません。PETです。PはPositron、陽電子、EはEmission、TはTomography、断層撮影という意味です。Emissionというのは、飛び出すとか、放出するという意味です。Positronというのは電子の陽、プラスの電子ということです。この世界はプラスとマイナスがあるということですが、電子には明らかにマイナスの電子とプラスの電子があります。プラスの電子を出すと、マイナスの電子と結合する。そこに電磁波、X線が出るのを利用するという、とてつもなく物理学的な世界が医療に反映されているんです。
- その辺りをよく知らないで、マスコミは宣伝していたんですが、これは明らかに放射線を出す装置です。放射線を出して検査をする装置なので放射線の影響がやはりあります。病院ではいろんな検査があって、核医学という名前の検査があります。核と聞くと違和感を感じる方もいらっしゃると思いますが、これもやっぱり放射線を意味します。放射線を出す薬を入れて、放射線が出ているところを検出して、それで絵を描くんです。
- また、この診断のいいところは、薬を入れますが、薬がどんだん体の中を移動しますので、ある臓器の機能、働きの時間的な変化が分かります。核医学ですから、使われているのは放射線を出す薬です。全く知らない人がこれを聞くと、「え、放射線なんか体の中に入れて大丈夫なの」と心配されると思いますが、これは半減期という放射線の特別な性質があって、この薬の場合の放射線はあつという間に消えてしまいます。これが長いままなら駄目ですね。半減期が短いということが大事です。

【放射線の影響とがん】

- 私も含めて、がんのリスクをいつも考えなければいけない時代になっています。年を取ればがんになるリスクが上がり、死亡率もかなり増えているということで、国民の最大の関心事にもなっています。私も医学部で教育していますが、どこの大学も同様に、がんを取り扱う専門の科というのがいまだにない。これでいいのかなといつも思っています。
- 頭の前から足まで並べてみると、頭の脳腫瘍、目の腫瘍、舌がん、咽頭がん、喉頭がん、肺がん、乳がん、がんにならないところはほとんどないんですね。でも、がんにならないところがあるんです。どこでしょうか。意外にもそれはハートです。心臓のがんというのはあまりないんです。ゼロではないんですけど、心臓の場合は筋肉ですから、肉腫になります。
- 大腸がんは有名ですね。しかし、意外と小腸はないんです。十二指腸腫瘍はたまにあります。ほとんどがんがないのが小腸というのは皆さん方ご存じでしょうか。小腸は、大体1日に150グラムぐらいずつ表面の細胞が剥がれ落ちていきます。皆さんの腸管を全部広げて、細かいひだひだを全部広げると、テニスコート1枚分ぐらいになるんです。その上のうっすらとした表層の細胞は、食べ物を食べ、消化管で消化して吸収するときに表面が毎日のように削れてい

きます。大体150グラムぐらいで、例えばちょっとしたステーキを1枚食べる分ぐらいの量の小腸の上皮が常に入れ替わっているんですね。入れ替わりが激しいと、細胞が次から次へどんどん失われていくので、がんになる暇がない。活性の高い組織というのは、意外とがんになりにくいと言われています。



参加者：がんっていうのは細胞が固まってなるがんができるしくみを解説する近藤さん
でしょう。そのがんの塊を他の細胞と比べたときに、普通の部分と全然違う味がするものなんですか。例えばカラスに餌としてそれをやったら、カラスは食べないんじゃないかな。がん細胞はやっぱり全然違うものだと思うんだけど。

近藤：血液のがんもあるので塊とは限らないです。細胞を食べることについては全く答えを持ち合わせておりません。がんを一般的に言うのは難しくて、われわれの細胞はいろいろ遺伝子的な変化をしますが、オリジナルはわれわれの体の細胞です。その表面に抗原というたんぱく質を発現するわけです。だから、がん細胞はもとの細胞と似ていると言えば似ているし、似ていないと言えば似ていないので、私たちの体の防御反応もそれを見つけれなくてがんになることがある。見つけて、これはがん細胞で異物だから消しましょとなれば、がんにはなりにくいというになります。

参加者：食べられるものですか。食べてみるとどういう味になるんでしょうか。

関崎：牛や豚やニワトリもがんになります。がんになった場合は食用には一切流通させないで廃棄されますので、一般には出ないんですけど、試しに食べるとあまりおいしくないです。

近藤：先生は食べられたことがあるんですか。

関崎：食べたことがあります。まずいです。

近藤：やっぱりおいしくないそうです。

- ちょっと学問的になりますが、がんというのは何で起こるのか。いろいろありますが、一番の原因はたぶん化学物質なんですね。ノーベル賞を取りそこなってしまった話なのですが、東京大学、昔の帝国大学の病理学の山極先生が、当時研究室にいた札幌農学校の市川厚一先生と一緒に研究をして、ウサギの耳に毎日コールタールを塗ったわけです。毎日塗っては剥がし、塗っては剥がし、それを何日も塗り続けました。人が考えられないぐらい長くやったら、良性の腫瘍ができて、最終的にいわゆるがんになったということが分かって、報告したんです。しかし、日本はまだ当時は後進国という扱いだったんでしょうか、その年には寄生虫ががんを起こすという報告をしたオランダの研究者にノーベル賞を取られてしまいました。この寄生虫の話は完全なうそでした。
- このコールタールを塗った研究は、今でも世界で高く評価されています。日本人の優秀さとか、そういう基礎研究が非常に多くなされたのは事実です。ただ、日本のマスコミは、

この研究について、がんか、贗作の「贗」か、この先生が頑固だったから「頑」かということで、「癌か、贗か、はたまた頑か」と言って揶揄したり、茶化したりしたということがありました。

- がんは原因がいっぱいありますが、なかなか特定することは難しいです。しかし、タバコは原因となる化学物質をいっぱい含んでいますので、たくさんタバコを吸って、アルコールという有機溶媒をいっぱい摂ると、確かにがんにはなりやすいだろうと思います。
- こういう話をすると、「うちのおじいちゃんは大酒飲みで、タバコをいっぱい吸ってたけども90歳まで生きた」というようなことをよく言われます。したがって、原因というのは一般的にどこまで説明がつくかは難しいんですね。個人の体質とかもありますし、一概には言えませんが、たくさんタバコやアルコールはやっぱり避けたほうがいいですね。
- それと環境を整えることが重要です。食事で私たちは多かれ少なかれいろんなものを取り入れます。あまり1つのものに偏らず、植物性の特に抗酸化物質を含む緑黄色野菜、そして新鮮なものをバランスよく摂ることが大事だと思います。
- がんについて、2つの矛盾することがあります。1つは、がんはゆっくり成長するということです。多くの場合、健診を受けて何もありませんと言われたら、たぶん半年ぐらいは大丈夫です。しかし、がんになるときは、ある日突然なるんですね。がんは成長するのに多くの場合長い時間がかかります。成長の過程でもいろんな刺激を受けて少しずつ変容して、体の中でも消去されずに細胞が不老不死になり、それが悪性化して、目に見えるような形になってお医者さんに行くと、大きな病院に行って検査してもらってください、となる。そして、内視鏡で組織を取ってみたら「早期のがんですよ」と確定診断がつきます。このように、がんはゆっくり成長するわけですが、医学的には、私自身も含めて、明日あさってがんになるかもしれないということですね。

【がんの放射線治療とその応用】

- ここからが私どもの専門ですが、がんの放射線治療というのが出てきたんですね。日本はちょっと遅れているんですけども、結構普及して需要が多い治療法になっています。なぜなら、体の機能と形が保存できるし、QOL—生活の質の面で優れている。また、どんな部位でも照射ができます。副作用は比較的少ない。ないわけではありませんが。高齢者でも可能ですし、通院しながらも治療可能なので、放射線治療は今、日本でも非常に広がりつつあって、その需要に、我々、放射線腫瘍学会もなかなか100%応えきれてないような状況です。
- もちろん課題もあります。根治性という点では、早期の外科手術などに比べるとちょっと落ちます。それから、放射線治療はいろいろあります。治療期間が長い場合があったり、普通の放射線治療だとがんによってはどうしても効かないものもあります。
- 治療の放射線が発がんの原因になっていると思われる方いるんですが、リスクはやはりゼロではありません。大体1%、2%といわれますが、放射線を用いて治療したら、今度は別な肉腫がそこから発生してしまったということもないわけではありません。そうした、いろいろ

な状況を踏まえた放射線の治療が普及しつつあります。これまでいろんな放射線治療が開発され、使われてきました。ここ10～15年でものすごく進歩して、私が富山に赴任したのが20年ぐらい前ですが、その当時と比べても格段の差があります。

- 治療の応用の1つとして高エネルギーのX線を使ったがん治療があります。定位放射線治療とか、強度変調とか、動体追尾放射線治療とかも最近出てきました。それから、陽子線も放射線で、陽子線がん治療もあります。
- 重粒子がん治療、ホウ素中性子というのもあります。ホウ素中性子捕獲療法は、最新の治療ということで開発が進んでいます。誰でも自分が患者になったときにマイナスのことはあまり考えたくないんですが、治療という行為は介入行為なので、何らかのリスクが必ずあるんですね。手術を受けるといっても、100%安全ということではないわけです。放射線の治療も、受ける前はみんな期待が大きいんですが、必ずしも副作用がないわけではないです。
- それから、重要なことなんですけれども、放射線治療は昔は使う場所が非常に限られていました。例えば乳がんとか、頭頸部とか、前立腺とかです。今は、条件や適用の症状等にもよりますけれども、ほとんどのがんが多かれ少なかれ放射線治療の対象になります。したがってキーワードは「ほとんどすべて」ということになります。

【放射線治療の部位—キーワードは“ほとんどすべて”】

参加者：近藤さん、その中で一番よく治るのはどれですか。

近藤：よく治るといえる点では、乳がんは割と5年の生存率が高いほうです。それから、放射線が、もともと効きが良いとされているのは、この頭頸部腫瘍ですね。頭頸部は、顔面等がありますので、ここを手術するというのは、やっぱりなかなか大変な手術になります。ですから、放射線の適用になるがんですね。

- 前立腺がん、これは手術もありますし、ホルモン療法などありますが、放射線治療も割とよく使われています。食道がんというのは実は手術はできるんですけど、なかなか手術としては難しい手術なんですね。なので、放射線と化学療法を併せた化学放射線治療というのが食道がん結構使われています。これは切らずに治療できますので、効果も今は非常に期待されています。条件にもよりますが、ほとんど手術と同程度の成績が出ているということです。

参加者：そうしたら、逆に治らないものは何ですか。

近藤：普通の放射線で治りにくいのは、肉腫関係です。肉腫は放射線の効きが非常に悪いです。それから、メラノーマってご存じですかね。かかる割合は非常に少ないですが、ほくろ様のものががんになったりする、悪性黒色腫と言うものです。普通の放射線はほとんど効かないのです。

- 放射線を適用するがんをいろいろ挙げていますが、有名だけど出ていないものに胃がんがあります。大腸がんもあまりない。最近ちょっとだけ出てきましたけれども、胃がんや大腸がんは腺がんが多いので、どちらかというと比較的放射線の効きが悪いということがあります。
- がんの一番厄介なところは転移で、例えば脳にも転移してしまうことがあるんですね。それ

に対して、最近の産業用ロボットはアームから放射線のビームが出るんですけども、同じような細かい放射線のビームを1点に集めてがんをたたこうという治療があります。これはサイバーナイフという治療装置なんですけど、こういう装置にかかりますと、1個の腫瘍を完全に消すことができるということなんです。また、多発で、脳の中に転移した腫瘍がたくさんある例ですが、これを治療して9割がた消すことができたというものです。このように、局所用としては放射線は素晴らしいと思います。ここでのキーワードはピンポイントということですね。

参加者：写真で、白っぽく見えるのががんなんです。なぜ白っぽく見えるんですか。

近藤：たぶん細胞の中の組成が普通の正常組織と違って、放射線の通り方も違ってらるんです。

- がんは単純なただの球形、真ん丸ではないんです。実はもっといびつで、周りにあちこち枝葉を伸ばして、複雑な形をしています。今までの放射線は、とにかくがんの部分に放射線をいっぱい集めようということでした。でも、厄介なのはがんと正常な細胞との区別が付きにくいので、がんにいっぱい放射線を当てようとすると、周りの正常組織にも放射線が当たってしまうんです。
- それで、放射線のがんのいびつな形どおりに当てられたらもっと効果が出るだろうというのが、強度変調放射線治療なんです。この治療は、様々な角度からがんの形に合わせて部分的に強く当てたり、弱く当てたりと濃淡をつける、3次元で当て方を細かく変えるという治療法です。

【放射線治療の最前線】

- われわれのがんは、実は呼吸すると動きます。そうすると、今までの放射線治療では、放射線を当てているとがんが動いて他のところにも当たってしまっていました。がんが動くのを追っ掛けて放射線を当てれば、正常組織に当たる割合が少なくなります。工学医療の世界ですが、陽子ビーム砲、粒子ビーム砲というものもあります。こんな未来の装置が今医療の世界で、あちこちでマスコミにも宣伝されています。粒子線治療とか、陽子線治療とか、重粒子線治療という装置が出てきているということです。
- なぜ粒子線のがんの治療に使われるかと言いますと、X線は当たった所からだんだん深くなると減衰してしまいます。したがって体の奥にがんがあったとき、いくら外から放射線を与えても、届くまでに正常な他の組織にも当たってしまう。ところが、粒子の場合不思議な性質があるんです。粒子の形の放射線は、体の中に入ってこの粒子線がどこかで止まっちゃうんですけど、その直前にだけそこでエネルギーを出すという性質があります。この性質を利用すると、奥深いところにもしがんがあれば、がんの深さに合わせてこの粒子線を与えると、がんの所だけ放射線を当てることができる。そういう装置開発が認められて、今、全国に粒子線の装置が出ていて、かなりの市民の方がもう既に受けられているという状況になっています。
- 千葉にある放射線医学総合研究所には、日本でも最初の炭素線という粒子をがんに打ち込む装置があるんですけど、大きな特別な腫瘍がかなり小さくなっています。
- 陽子線治療、重粒子線治療というのはかなり普及していて、今はたしか先進医療の保険でも

カバーできるようになっています。ただ、どうしても二の足を踏むのは価格です。これを受けるためには大体280～300万円ぐらいかかってしまうということになります。普通の放射線の治療がいろいろありますが、大体数十万円で済むと思うと、陽子線治療とか重粒子線治療とかは自己負担になりますからね。

- 難治がんにも使える治療として、最近また注目されているのが中性子捕獲療法です。ちょっと怖い感じがしますね。中性子というと原子炉から出てくる粒子で、「そんなもの医療に使うの?」と思うかもしれません。最近、病院に置けるような加速器からも中性子を取り出すことができるようになりまして、注目されています。非常に治りにくい、放射線で治らないがんにもこれは使えるということです。これはホウ素。周期表で水素、リチウムの次ぐらいにある原子番号の比較的若い元素ですが、Bのホウ素を含む化合物ががん細胞に割と取り込まれやすいので、それを取り込ませたがん細胞に周りから中性子を与えるのです。すると、ここでBは核反応を起こして、この細胞だけをやっつけてくれるのです。他の正常細胞には影響せず、ホウ素を取り込んだがん細胞だけが死んでいく。がん細胞に特異的な治療として、がぜん注目されつつある治療法です。東北地方のある民間病院なんかも、既に導入しているということです。
- この治療の優れたところは、悪性黒色腫への適用です。皆さんがたもちょっと気を付けていただきたいのは、ほくろと言っても普通のほくろは放っておいて全然問題はないんですが、だんだん大きくなるようなほくろ、また、いわゆる足の裏とか色素のない所にあるほくろというのは皮膚科に行って診てもらったほうがいいということです。足の裏に広がってしまったほくろで、厄介ながんの一種で、悪性黒色腫という病気の場合があります。

関崎：さっき治らないほうの例に入ってたがんですか。

近藤：普通の放射線では治らないです。細胞レベルで非常に放射線感受性が低いんです。

- 化学療法もあまりなく、とにかく早期に発見して手術をするということになっていました。けれども、手術と言っても、かなり大きく切り取らなきゃいけない。足を大きく切り取ったらどうなるか。命を救うか、足を救うかぐらいの極端なこともあります。手術で命が仮に助かったとしても、大変です。しかも、転移というか、あちこち飛んでいく性質が非常に高いがんなので、この取り扱い結構厄介なんです。
- 最近注目されたのが、PD-1抗体という免疫チェックポイント阻害剤。年間3,500万ぐらいかかるという、あの治療薬が実はこれに結構効果があるということなんです。100%ではありませんし、タイプにもよりますが。この悪性黒色腫にホウ素のお薬を取り込ませて中性子を与えたら、足はほとんど影響なく悪性黒色腫だけ消えていってしまったんです。5年間の生存率は普通の治療と同じなんですけど、普通の治療は手術をしているので、足を大きく切り取っちゃうから歩けないんですね。生活の質を考えると、やはり足は残してほしいと思いますよね。
- 一番典型的な効いた症例として小野先生からお借りした写真は、いろんなことを施しても再発してしまった耳下腺がんです。こんな大きながんにも、先ほどご説明したBNCTの治療をして、

だんだん腫瘍が消えて治ってきています。耳とか他の所にほとんど影響がなかったんです。

- このように放射線治療にもいろいろあります。「もしも」とは私自身も言いたくないですが、可能性がある場合には、この放射線治療が選択の1つになり得るとい時代になってきました。

参加者：リニアックっていう放射線を当てた患者さんはどんな治療ですか。

近藤：リニアックは、先ほど言いました高エネルギーのX線と考えていいです。リニアックは加速器なんですけれども、加速器に電子を加速して金属板に与えると、電子が運動エネルギーで金属板に当たって止まった瞬間にエネルギーの高いX線に変わります。それを使った放射線治療で、通常の放射線治療はリニアックを使った治療がほとんどです。

参加者：炭素とかで陽子というのは、大きさが全然違うけれども、それを人間がコントロールできるようになったということですか。遺伝子をたたくわけですね。

近藤：結果的にはそうです。いろんな粒子線はもちろん研究で確かめられていて、鉄イオンを使うなど、いろいろあります。それから、陽子線と重粒子線は生物学的な作用が少し違います。最終的には、がんという細胞ですから、遺伝子をたたけば増殖はしないです。

参加者：放射線治療はどういう場合に効いて、どういう場合にダメなのか、規則性はないんですか。

近藤：一般論で言うと、放射線治療は大きくなってしまったがんには非常に効きが悪い。特に酸素が乏しくなったところでは、がん細胞は非常に放射線に強くなっちゃうんですね。だから、がんと言っても実は全てのがんが同じように放射線にやられるとは限らないんです。比較的小さいものならやられますが、大きなものはやられにくいんです。血流の問題もあります。遺伝子の話も出ましたが、もともとのがんの性質にも依存する等々、一筋縄ではいかないというのが正解です。

参加者：放射線治療というのは、痛いとか、熱いとか感じることはあるんですか。

近藤：たぶんそれはないと思います。副作用として後で皮膚炎が起こったりすることがありますが。

参加者：大学で、例えば重粒子線の装置を医学部で持っている割合はどのぐらいですか。

近藤：重粒子線を装置を持っているのは、現在私の知る限り群馬大学1校だけです。陽子線はだいぶ増えました。中性子発生源を直接大学が持っているのは、たぶん2カ所ぐらいですかね。

参加者：X線治療のところで10%だけの施行とありました。残り90%は放射線以外の治療ですか。

近藤：違います。放射線治療全体を100にしたときに、どのぐらいの割合かということです。例えば、乳がんの場合はほとんどです。化学療法などを使う場合もありますが、多くは手術をして、加えて、ミクロなレベルで「ある」かもしれないがんをたたくために放射線を併用します。

【放射線ってなんだろう?】

- では、放射線って何でしょう。多くの場合放射線は基本的にX線だけを抽出すると、電磁波なんですね。電波です。目に見えないから分からないですね。でも、身の回りにはあるわけで、ラジオの電波、電子レンジのマイクロ波、携帯電話、これはマイクロ波ですね。全部実は親戚にあたります。ただ波長は違います。長さによって放射線、X線の部類、波長が非常に短くなってくるとエネルギーが高まります。私たちの体は俗に言うとほとんど水でできているようなものですが、その水にこの電波が当たると水が分解して、体の中に活性酸素ができてしまうということなんです。
- 放射線を受けると、メカニズムはともかく、水の中に、 H_2O_2 、過酸化水素ができます。ということは、私たちの細胞の中にも過酸化水素が直接できるんです。過酸化水素は昔、消毒剤や漂白剤にも使われていました。そういった化学物質が細胞の中に直接できてしまうので、細胞に放射線を当てると生き残った細胞がとても少なくなってしまいます。放射線が直接遺伝子に当たることもあります。すると、遺伝子が切れたりして壊れます。活性酸素ができると、それが遺伝子に傷を付けます。これは決して特別なことではなくて、私たちは普段酸素を吸っていますから、活性酸素ともいつも戦っているわけです。
- 放射線にいろいろな単位があります。被ばくの話では、物差しがないと比較できませんから、物差しを用意しましょう。放射線の単位でよく使うのは、GyとかSvという単位です。X線だけに限って言えばGyもSvも同じです。
- では、放射線に当たったらどうなるか。浴びる線量に応じてだんだん増えていく影響と、もう1つは、放射線を浴びても何も変化はないけれど、一定量を浴びるといろんなことが起こりますよという確定的影響に分類されます。原発事故のときに「直ちに影響ありません」と言ったのは、後者の話です。放射線を一度にたくさん浴びると皮膚が赤くなり、脱毛もします。そして、リンパ球の減少。これは放射線をたくさん浴びたときに起こる現象ですが、一定量の放射線を浴びなければ起こらないということです。
- 問題はがんとか白血病です。放射線を浴びる量が多くなるほど影響が現れる確率が高まる、という影響に分類されています。これが今日の議論の重要なポイントです。放射線を浴びると、確かにDNA、遺伝子が傷付きますが、私たちの体の遺伝子の傷はほとんど治ってしまいます。ごくたまに治らないものがあると突然変異が起こり、それが非常に長い期間がかかってたまっていくと、場合によってはがんになるということです。
- たくさんの放射線を浴びれば、がんになりやすくなりますが、どのくらいの放射線でなるかはよく分かっていません。少しの放射線でも発がん



放射線とは何か、わかりやすく説明していただきました。

んの原因となるという考え方に基づいています。放射線をしっかり制御、管理するには、そのほうがいいんです。それで、法律の施行規則等ができました。日本の場合、公衆については1年間に1mSvが線量限度です。医師、看護師、X線等の技師や原発の作業員の方などについては特別に管理されていて、5年で100mSvです。1年間あたりでは普通の人の20倍、年間20mSvが線量限度で、これを超えないようにと決まっています。

- 放射線は私たちが社会生活で使っている所ではいろいろな規制があって、公衆の限度、学校に行かない限度、業務従事者の線量限度、作業員についての線量の年間上限なども決まっています。緊急時については100mSv、今回の原発事故のように特別な過酷事故の場合最大250mSvなど、いろんな規制もあります。
- 医療も放射線を使いますが、こちらは規制がありません。前述の放射線も医療の放射線も基本的には同じ放射線です。物差しを1個持っていて、片方は物差しで測って使うけど、もう片方は物差しなしという状態です。規制はないですけども、医療者側としては検査や治療での放射線は当然使うべきだし、使っているよなという正当的な局面と、それでもできるだけ放射線は減らしましょうという努力目標はあります。放射線の明らかな二面性、被ばくの二面性があるわけです。

【身近な環境にもある放射線】

- 皆さんの体の中にも放射性物質がちょっとだけあります。というのは、私たちは呼吸でいろいろ吸い込み、大地からも照射を浴びています。食物や肥料の中にもあって、肥料を取り込んだ穀物、植物にもありますし、太陽からも来ています。昔の核実験の名残もまだゼロではありません。
- 医療被ばくについては、日本が世界の基準に比べて2～3倍と結構高いんです。日本は医療健診が行き届いていて住民健診や職場健診、学校の検診等々がしっかりしています。こうした身の回りの放射線があるということをご理解いただきたいところです。
- これは1つの事例ですが、最近歯科に行きますと、「ちょっとX線写真撮りますね」となりますが、これは大体0.01mSvです。住民健診で「息止めて、はい」と、撮るのは0.03mSvです。これらの撮影での被ばく線量は、前述の物差しの数値から言えば、まあいいかなというイメージですね。マンモグラフィは0.4mSv、バリウムを飲んで、ちょっと形を変えて撮影する胃の透視や、頭部のCT、全身のPETなどもそれぞれ値は違います。腹部CTは6.8mSvです。
- CTを撮ることの良しあしとか、こんなに被ばくするということを言うつもりはないです。医療行為は必要とあればしっかり受けなきゃいけません。ただ、例えば若い方がマンモグラフィを撮ると、乳腺が発達している人の場合白く映ってわかりにくいので、できれば超音波検査のほうがよりの確に使えるとか、腹部CTで肝臓の検査をする場合などは、超音波を使ったほうがいいのではないとか、それぞれに並行して、より被ばくしない検査もあるのも事実です。
- 東京都で、普段どのぐらいの線量の中にいるかということ、大体1時間に0.03か0.04mSvぐらい

浴びています。線量率はとても低いです。だけど、1000時間たつと1000倍です。私たちが生きていく間だんだん積み重なっていきませんが、グラフの右上の端まで行くと、年齢的にもあの世からお迎えが来る時期なので、浴びるのもこの辺で終わります。福島の場合は、グラフはちょっとだけ上側ですが、ずっと長く住み続けてもそれほどでもありません。医療被ばくは、例えばCTは3回受けると15mSvなど、線量率は高いようでも、一時的ですね。急にたくさん浴びるのは怖いけれど、ゆっくり浴びたら必ずしもそうではないんです。例えば、蚊に刺されることを想像してください。1日に1,000回蚊に刺されるとしたら、大変ですよ。では1日1回刺されるのが1,000日間続くというのはどうでしょう。皆さんはどちらをとりますか。



1000匹の蚊に刺される例でわかりやすく

【医療の放射線をどうとらえるか】

- 診断機器や診断回数の増加、世界的な医療レベルの向上によって、医療被ばくは増加しています。被ばくの健康影響に関して発がんのほか、最近では心・血管障害や、白内障等の非がん影響、がん以外の病気も放射線が関係していることも問題になってきています。特に小児、発達期の子どもの医療被ばくも増加しています。その実態把握は今後の課題です。
- 放射線の診断の正当化、用いる診断技法の適正化が必要です。低線量、分割被ばくと非がん影響に関する科学的研究はされていますが、がんへの影響などの研究に比べるとまだ少ないです。わが国においても医療現場における診断参考レベル、例えば何回もCTを受ける人は、その参考値を記録し続けるなどの診断設計、最適化の方策が必要ですし、医療被ばくの現状把握のための組織的な取り組みが必要になるだろうと考えます。
- 福島の事故以来、各大学でも放射線の影響などについて医学でも教育しなければならないということで、臨床の放射線医学という教室は各大学にあります。しかし、そこでは放射線の基礎的なことは教育する時間があまりありません。小さいながら8大学ぐらいが一生懸命そういう講座を持って教えていたのが今は16大学ぐらいになり、福島では特に増えましたが、まだ全国の医学部の5分の1程度です。こうした講座の設置をぜひ要望してください。
- 最後の話題は、正解はありません。イケメンのドクターに「取りあえずCT撮りましょうか」と言われたり、あるいは美しい若い女医さんに「念のためにCT撮っておきましょうね」と言われたら、あなたはへと答えますか。皆さん、おうちに帰って考えてください。

参加者：レントゲンを撮ると、体の中にたまっていくのですか。なくならないんですか。

近藤：誤解されやすいですが、放射線は何かたまるということではないんです。あるのは放射線の影響で、遺伝子の傷はある程度残ります。

参加者：放射線の影響は少しずつ消えていくと思って、自治体の検診など放射線を使う検査は

3カ月間を置くようにしてはいますが、それは関係ないですか。

近藤：確かに間を置くほうがちょっと安全な気がします。

参加者：年間1mSvで生活するのと、1mSvの環境で仕事をするのと比較すると、がんの場合を除いて平均寿命は違いますか。

近藤：対象をどこにするかで違うと思います。インドとか中国とかの高線量地域は、高バックグラウンド地域と呼びますが、そうしたところで、病気になりやすいかどうかや平均寿命などを考慮して疫学的調査をし、医療などの要因を補正すると、基本的には高バックグラウンドということでの他の地域との差はほとんどないと思います。

参加者：化学物質と寿命の話で、ご飯をいっぱい食べると生涯何日命が短くなるとか、たばこをずっと吸い続けると5～6年短くなるとか、食べる物によって種々の化学物質が入っていて、どんどん寿命が短くなるとか、定期的に検査を受けている方は受けない方より寿命が短くなる方が多かったという話を、新聞で読みました。

近藤：検査での蓄積で寿命が短縮するかどうか。まず、ないと思いますが、非常に難しい議論です。

- 日本の場合、世界に比べると数倍近く医療による被ばく線量は高いです。外国の統計をやっている先生は、日本では医療被ばくが多いので、日本での発がん率に何パーセントか寄与しているという計算を出している先生もいて、一時期大問題になりました。ただ、平均的に考えれば日本全体の平均寿命はかなり高く、あくまで線量は数字の問題なので、直接個人で医療での被ばくをしたことが寿命に関わるとはたぶん考えなくていいと思います。ただ、国全体としてはトータルでの影響は考えなきゃいけないです。
- 一方で、検査をするとある程度早期に見つかるがんもあります。結果早期の治療ができてがんが治るということもあります。これも一面では正しい。
- 健診で行う胸部X線写真も、昔は結核の検査でした。それによってどれくらい結核の人を助けられたという効果を検証したデータによると、それはあまり多くないということなんです。しかし、現在は結核ではなく肺がんや、心臓の病気の発見に置き換わっています。健診の効用・効果は一般論では国も推奨して行っているのですが、本当に全ての健診が効果があるかということに疑問を投げかける研究者もいます。
- 放射線の被ばくのがん以外の影響について、10年ぐらい前からの調査では、被ばく者への影響を心臓と循環器障害、すなわち心筋梗塞で亡くなる人の割合を調べると、結構低い線量でもそうしたリスクが高まるという統計的なデータが出てきています。
- 医療従事者については、線量バッジやポケット線量計を付けていて、どんな作業をしてどれぐらい被ばくしたかが分かりますので、絶対線量限度を超えないようにしています。医療従事者がしっかり自分で管理をする、あるいは管理されていれば安全と言えると思います。
- たくさんの線量を浴びるのは良くないことはもう分かっていますが、一定量以下のものを浴びたときに個別にどうなのかの科学的な議論はなかなか難しいんです。しかし、そのことは

今日本でも決して無視されているわけではないし、医療に使われる放射線や福島自然界に散らばってしまった放射線の被ばくも、議論としては同じ放射線のことです。きちんとよく考えて、われわれも知恵を持つべきだろうと思います。

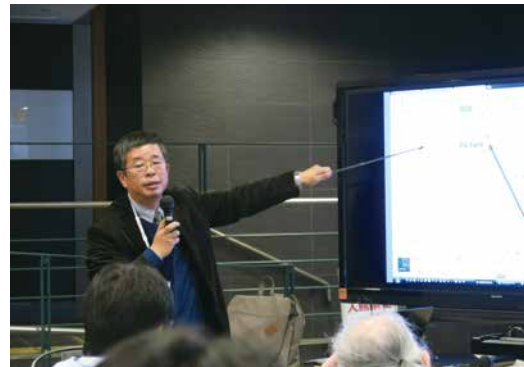
第22回サイエンスカフェ

「附属牧場の先生に聞いてみよう！」

— 被ばく豚の救出とその健康状態のコト —」開催報告

2016年11月8日に第22回サイエンスカフェ「附属牧場の先生に聞いてみよう！ — 被ばく豚の救出とその健康状態のコト —」を開催いたしました。東京大学大学院農学生命科学研究科附属牧場助教の李俊佑先生に、原子力発電所警戒区域である20キロ圏内の屋内豚舎で約100日間飼育された原種豚を救済し、放射性物質の影響やその後の成長と健康状態を見守りながら、実証的な健康評価、生殖機能評価、被ばく量モニタリング等を実施してこられた状況をお話いただきました。

接することの少ない豚舎での飼育状況や健康状態に、参加者の関心は高く、質問もいろいろな角度から寄せられ、和やかなディスカッションとなりました。



話題提供者の李俊佑さん

※以下、記載がない場合の発言は李氏のもの

※衆議院応答は一部抜粋

【震災と原子力発電所の事故と附属牧場】

- 約6年前に東北地方、太平洋沖に大きな地震がありました。その津波の高さが40メートル。イメージがしづらいですが、こんな大きな船でも陸上に軽く運んでしまうぐらいの大きさでした。そんな想定外の津波で東京電力第一原子力発電所事故が起きたのです。その時の水蒸気爆発で、いろんな放射性物質が放出されました。
- 我々の附属牧場は大体この位置です。福島の東京電力の原子力発電所から、文科省が発表したデータでは放射線は風に乗って、西南部側に流れてきたということですが、牧場のほうは多少濃度が高くなっております。東大牧場の濃度は大体0.1から0.2マイクロシーベルトですが、東京都とほとんど変わらないです。東大には柏キャンパスという所もあって、そののほうはもうちょっとレベルが高かったというデータもあります。
- 当時発表されたデータでは、東大牧場はヨウ素が5.13マイクロシーベルトな一方、柏のほうは17.24で、3倍以上のフォールアウトがあったかと思います。東京の場合は7.75ですので、ほぼ東大牧場とは変わらないです。セシウム濃度は東大牧場と、東大のメインキャンパスでほとんど変わってないかと。柏のほうは14ですので、大体4倍近く高くなっているというデータがあります。これは事故のあった年の4月18日頃、測ってみようと思いついて測った牧場のデータと比べてみました。

- 附属牧場の敷地は36ヘクタールあり、主に家畜は4種類飼育しております。乳牛とヤギと馬、そしてこの震災当時豚は飼育してなかったんですが、後に福島から豚を救済することになって、豚がこっちに入ってきたわけです。牧草地と放牧地があります。普段は牧草地には家畜を入れて自由に食べさせて自由に運動させるようになっています。
- 他に、牧草地があって、こちらは家畜を入れずに、牧草を春と夏にいっぱい作っておいて、それを冬と早春に備えて刈り取っておきます。この草の生産をするのに、秋に来年のために耕して、種をまきます。冬を越して、次の年の春はその種が先に芽生えてきます。5月以降に刈り取ります。青草だったらだいたい1日乾燥させて水分を5割ぐらいまで下げます。そして、これをロールにしてラッピングします。これは大体2年間もちます。
- 原子力発電所の事故は3月12日でしたね。われわれが牧草を刈り取ったのもこの時期(5月)です。申し上げたいのは、この牧草は原子力発電所事故後ですので汚染されてしまったということです。ですから、収穫してロールしたのも汚染されているということになるかと思えます。牧場内を調べてみると、これは2011年の4月8日ですが、大体地表1センチの所で濃度がかかなり高くなっていて、ヨウ素、セシウム134、セシウム137ですね。でも、1センチ以下で、2センチ、5センチと取ると、かなり濃度が低くなってしまいます。また、このデータは6月3日です。ヨウ素は半減期が8日ということで、既に検出できなくなっていました。でも、他のものは濃度が低いですが残っています。

渡辺: 一つ手前の写真の汚染牧草は、もう次回に餌で使うことが決まっていたのですか。

李: はい。でも、結果を申し上げますと、この牧草は使えなくなってしまったんですね。普段通り収穫はしましたけれども、汚染されたことがわかって、これは廃棄することになってしまいました。当時はミルクも多少汚染されたりしたので、それも1年間ずっと廃棄したんです。

- 今度は、牧草を調べました。これは先ほどの発表通りで、土壌から1センチ上だったら結構な濃度になりました。一番刈りと言っていますが、ようやくその頃から研究を再開し始めました。それまでは職場も落ち着いていなかったのです。
- 4月8日ですと、事故から1カ月ぐらいたっています。生草からやはりヨウ素はわずかながらも検出されました。セシウム134と137もです。次にヘイレージですけれども、これは同日に取った草です。ヘイレージっていうのは先ほど言ったように半分乾燥させるのですね。青草だけだったら水ばかりなので、牛たちは食べてしまっても、栄養がないのでこまります。水分を落として乾燥させて作ったのがヘイレージです。4月8日に取った分の生草を取って乾燥させたら濃度が高くなるのは、当たり前ですね。水分が減ってしまったので濃度が高くなっているんですけれども、ヨウ素は半減期は短いほうだったので、ここは検出できなくなりました。

渡辺: 土とか牧草に放射性物質が検出されたということですが、もし被ばくしていなければ全く検出されないのですか、ここに出ている物質が。

李: そうです。これは原発から出ているものです。普段は検知不能、検出限界以下になります。

参加者: 例えば水洗いとかしたら落ちて減るとか、そういうことはなかったのですか。

李：実際やったことはないのですが、あり得ると思います。吸収したというより葉っぱのほうに落ちたというのが大きかったと思うんですね。馬も放牧していますが、馬の濃度が高くなかったということがあって、たぶん草には葉っぱには落ちるけれど吸収するのは少ないんじゃないかというイメージはあります。

【牛乳中の放射性物質はどこから？】

- まず牛ではミルクを調べました。与えた水は地下水で、ここからは検知できないレベルになりました。でも、ミルクからはわずかながら検知されました。20Bq/kgとか、40Bq/kgありました。
- 牛を飼育する場所は、屋根のある場所で、下はコンクリートです。牧草地の牧草は食べられないですね。牛の餌はその前の年に取った餌でした。つまり汚染されていない餌と水を与えたにもかかわらず、ミルクからわずかながら出てしまったということです。そこで汚染された牧草を与えたらどのくらい上がるのか、どのくらい移行するのか、研究を始めました。
- 古いデータですが、厚生省が発表した、日本での母乳で育児する割合です。1カ月齢までは大体45%ですね。そこから3カ月齢まで3分の1くらいまで下がる。3カ月齢まで母乳を与えて、それから離乳をされるってということになるかと思います。その離乳後の代用品は何だろうと考えると、牛のミルクか粉ミルクが多いかと思います。牛のミルクは、タンパク質、炭水化物、脂質もいっぱい、カルシウム、ビタミンA、ビタミンBも十分入っています。ですから代用乳として十分な栄養価値を備えております。
- このミルクについて、生乳を日本国内では年間約400万トン使っていますが、生乳ですので海外から輸入するわけにはいかないですね。この約400万トンは日本国内で生産しています。そのミルクの生産量、北海道が1位です。しかし北海道の生乳を東京、関東まで運ぶのはコストが高くかかってしまうので普通はしない。北海道のミルクは生乳として販売されるのは半分以下で、他はほとんどチーズかバターを生産しています。2位は栃木県、3位は千葉県、4位は群馬県、牧場のある茨城県は8位で、主に東京方面向けに販売されているかと思います。
- 福島の東京電力の第一原子力発電所からは風の流れて南西のほうにいっぱい放射性物質が放出されたんですが、その上でミルクがどのくらい汚染されているかという研究については、大学の牧場が引き受けました。セシウムを取り込んでしまったら排出してゼロになるまで、どのくらい時間かかるのか、についても考慮に入れ研究を計画しました。
- 研究の方法は、乳牛のホルスタインを使います。乳牛とはミルクを主に生産する牛です。黒毛和牛って大体年間600kgのミルクを出しますが、乳牛は年間、普通8,000kg出すんですね。食べるのも半端じゃないし、ミルクの量も半端じゃない。8,000kgでもびっくりするんですけど、2万5,000kg出す牛もいますよ。つまり1日80kg出している牛もいるわけです。
- この乳牛について対照群として1頭を、普通は1頭では対照群とは言えないと思いますけれども、でも作りましょうと。一方で4頭にこの汚染された餌を与えて、どのくらいの量がミルクに移

るのかについて研究を進めました。

渡辺：この牛は東大の附属牧場でもともと飼っていた牛ですか。

李：東京大学には、農学部には獣医学専攻がありまして、将来の獣医さんを育てています。卒業するまでに大体4回ぐらい牧場に来てもらって、練習や実習をします。それで常時、牛を飼育していて、その牛を実習などに使っているわけです。

参加者：その牛は、実験をする前にもう被ばくしていた、それともしてない牛ですか。

李：牧場で屋根の下で飼育されていますので被ばくは全くないです。ですが、被ばくしていないのに、ミルクから検出がありましたね。水も餌も汚染されていないのに、ミルクには多少出る。たぶん人も同じで、空気中にも飛んでいるから、空気を吸って汚染されるのは、どうしても避けられないんですね。それで、汚染された牛ではないんですけども出てしまう。

渡辺：それは、ほこりみたいな感じで吸っちゃってるってということになりますか。

李：そうです。フォールアウトされたのが飛んできますので。4頭の牛は牧場で収穫した草、汚染された草を与えて、どれ位ミルクに移るだろう、ミルクからなくすのはどの位時間がかかるんだろうって調べるために計画しました。

渡辺：すると対照群というのは、被ばくした牧草を食べさせないということですか。ただし、空気中でもう吸っているから少しはミルクで検出されると。だけど、それと比べて被ばくした牧草を食べさせるとどれだけ増えるかっていうことですよ。

李：そのとおりです。ですので、この対照群の1頭だけは、全期間、事故の前年に収穫した草の飼料を与えました。さらに、ミルクを出すために栄養が必要なので、濃厚飼料としてトウモロコシは10kg以上あげています。

- 草と濃厚飼料、合計で35kg。濃厚飼料はほとんどは輸入品です。ですから、こちらは汚染されていない。処置群には、始め2週間はこのきれいな餌をあげます。これは馴致するためです。実験するとき、この餌に慣れてもらわなきゃ困りますので。次の2週間は汚染飼料を2日10kgあげます。でも、汚染飼料だけだったら、草だけになってしまうので栄養が足りないの、さらに25kgは栄養分が入っている餌が必要だということです。35kg全部を汚染飼料で与えるわけにはいかない。汚染飼料は10kgしかあげなかったということです。さらに2週間経つと、汚染されていない餌を1日35kgあげます。
- 結果ですけれども、汚染飼料を与えるとミルクの中のセシウムが著しく上昇しました。でも、汚染飼料を止めて、非汚染飼料だけをあげると、すぐ下がってしまうんですね。
- ここで気を付けていただきたいのは、開始時は、対照群のほうが少しだけ値が高いという現象が起きていたことです。開始時にはこれ以上は下がらなかったのです。多分これは、先ほど渡辺さんのおっしゃったように、普通も下がらないということでしょう。他は、食べたものはミルクで出すだけじゃなくて、他の臓器とか筋肉にも入ってしまうので。それは出すのに時間ももっと時間かかるという理由だと思います。

渡辺：これはミルクで測ったものですか。

李：そうですね、ミルク中の濃度です。処置群は非汚染飼料を食べたら下がるのですが、対照群は、当初よりもっと下がってしまったのです。一つ考えられるのは空気中のセシウム濃度が下がったのではないかということ。当初は空気中のものは多少残っていた、そこからどんどん測れなくなってしまったので、落ち着いているんだらうと、今は、そういう結論になっています。

参加者：移行率、体外排泄というところについて、今まであまりデータがなかったところを今回新しく出ましたという解釈でよろしいでしょうか。

李：チェルノブイリ事故のはあったんですよ。彼らの実験はこういうきれいなデータじゃなくて、我々のようにきれいに計画したデータがなく、汚染飼料の汚染濃度が全然違います。濃度が高いから移行係数が高いのではと思いましたが、この結果を踏まえて計算してみたら、移行率はそれほど変わらないという結論でした。10数%まで上がったというのが計算で出ています。

- チェルノブイリの事故と比較しながら、実際。当時はこういうことの比較対象はそれしかありませんでしたので。
- これはミルク中のセシウム濃度ですけども、縦軸が1kg当たりのベクレル数で、40ベクレルまでメモリがあります。処置群ではその40ベクレル近くまで上がってしまった。ですけれども、当時の国の暫定規制値というのがありまして、牛乳、乳製品は200Bq/kgまではOKでした。
- しばらくして基準値は50Bq/kgまで下がり、厳しくなりました。しかし、わざわざ汚染飼料を与えても、40Bq/kgまでしか上がらなかったということで、さらに止めてしまったら全部体外に排出されたわけです。先ほど申し上げたとおり空気中のものは避けられないのですけれども、飼料と水だけコントロールすれば、実際ミルクはすごくコントロールしやすいものではないかと思います。国の基準値は50Bq/kg。これは世界でもまれな基準です。世界的には大体500Bq/kgですけども。ですから、ミルクを飲んでいただくのにはそれほど心配は要らないということもわれわれは考えているわけです。

参加者：今出てきたミルクの中のセシウム量は、日本全体がそうであると考えられるのですか。

李：それについては調べていません。濃厚飼料と粗飼料は日本は今ほとんど輸入しています。実は東大牧場が特殊で、敷地がいっぱいあるので、牧草を自分たちで作って与えていました。その意味では、我々は一番良くない状況でやってたかなと、思っています。

参加者：移行率が10数%ですが、では汚染されている牧草の汚染度が事前に分かっていたら、ある程度生産時にコントロールができるんじゃないかということになりますよね。

李：できます。

- ここで豚の生産の説明をしますね。養豚場に入るのは1つの国に行くよりもっと難しいんです。なぜなら、豚は1部屋で大体何千とか何万頭飼育していて、1頭が風邪ひいてしまったら全部風邪ひいてしまったりするので、誰でも入ってほしくないわけですね。それでなかなか豚舎に入れられないのです。
- わが牧場は10数年前から最近まで豚の生産をやめていた時期がありました。豚って生産が大変なんですよ。これは分娩舎です。産後、お母さんが横になった時子供が圧死することがよ

くあるので、そうならない工夫をしています。このように、壁の両側から逃げられるようになっています。赤ちゃんの豚って温度調節能力がすごく低いんです。32度以下だったら育てられないとか、そういうことがあります。必ず温かいマットとランプをつけています。さらに離乳してからも部屋の中にいます。部屋から出しません。この写真はアメリカの有名な豚肉生産会社の養豚場も、養豚場、分娩舎、赤ちゃん育児舎、これは肥育豚舎があって、庭は使っていない。豚は思ったより部屋の中で生まれて、ずっと部屋の中で過ごせるんですね。

- 餌も屋内で配合されています。車で運んでトウモロコシ(アメリカの例)とかこういうタンクに積み込んでいますね。豚は生まれてから成長して出荷されるまで、その都度餌の配合内容を変えますが、そのミックスも屋内の機械でされます。飼料を生産する会社、施設では大体コンピューターで調整して、組み合わせしたりするので、外と結び付くことがないです。で、できた餌もコンテナの中に入れて運ぶんですね。10kgか20kgの袋に入れてもらったりして。養豚場の中でも、飼料タンクに入れてもらった後はパイプラインを通して餌は移動する。豚はずっと部屋の中で生まれて育ちますし、餌もこうやって中でもらっています。

【救出から研究へ】

- 2011年6月ある日の深夜、牧場長から電話があり、10数年間使っていない豚を飼育する設備を調べてくれないかと言うのです。当時の民主党の城島先生と、元牧場長の林先生から連絡があり、汚染されたこの地域の家畜のと殺処分が始まって、とても見ていられない、何とかしてあげたいということで、豚を救済して飼育出来るところがあればという話になって、電話がかかってきたそうです。豚舎は多少傷んでいるものの、翌日現場の技術職員に聞いたら、お金があれば給水器等を直せば使用可能ですとのことでした。
- ですから、当時は研究するというより、とにかく命を救出しましょうという目的だったんですね。でも、肝心なのは飼育する人で、もともと豚を担当していた方たちは既にリタイアされてしまって誰もいません。幸いに僕は大学と修士の卒論は豚でした。また、中国で養豚学を教えていました。それで何とか力を貸してくださいって、他のスタッフも説得して受け入れることになり、福島から豚26頭を救済する運びになりました。
- 場所は福島第一原子力発電所から約17キロ離れたところ。そこに養豚農家があって、ここから救済しました。当時現場の線量は1.9から3.8マイクロシーベルトでした。餌代とかどうするんだってということで、中央競馬会に研究補助金の申請をしました。それから研究へ踏み切ることになったんですね。
- 研究の目的として、引き続き畜産利用をしていくためということを挙げていました。ある程度



積み上げられた牧草について説明する李さん

の距離を置いた地域で、適正に保管された飼料で、屋内で飼育されていること等を確認されている家畜についてはその食肉が食品衛生法の暫定基準値—当時は500Bq/kgだったんですが—、これを超過しない畜産物として利用可能かに関する事です。

- 研究内容については当時は全く手探りでした。豚の研究の主体となる生化学検査のための血液を採って健康状態など調べ、繁殖学、そして動物行動学から調べることになりました。健康状態に異常がないという前提で、それを確認するためでしたから、こちらに来て普通に育てて正常に動いて、それでいいだろうという予想でした。
- 実際、この豚たちは、低いレベルで被ばくしているというのが前提だったんですね。低線量被ばくとは、線量が年間100mSvから200mSvの場合を指します。現地でサーベイメーターを用いて測ると、豚舎辺りは1,000cpmでした。事故から107日間そこにいた値に換算すると、被ばく量は21mSvになります。つまり想定レベルより、はるかに低線量だったということです。
- 後から気付いたんですけども、豚を救済して研究したのは日本が初めてだったんです。世界中になかったんです。ですから、すごく不幸な状況でこういう運びになってしまったのですが、大事な研究材料をいただいたと思います。
- 2011年6月28日に救出した26頭、オスは10頭、3.7歳の平均年齢で、メスは16頭、平均年齢4.8歳でした。どうしてこの26頭になったのか、直接この養豚会社の社長に聞いたことがありました。豚は小屋にずっと住んでいるため、出たがらなくて中々出すのに難儀したそうです。そこで、入り口から近いほう、出てきたブタから出していくしかなかった、品種とか年齢とか性別は全く計画していなく、ランダムだったとのことでした。
- さて、救出後その年の9月26～27日、順調に育てて体重も大体回復したことを確認しました。次は、繁殖して子どもを育てるのが普通だろうということで、繁殖を始めました。ありがたいことは、今もその当時の豚が生きているんですが、この豚が最初に交配して、初めて子どもを産んだんです。これが分娩後の写真、1月19日です。当時は分娩舎がないから空けてもらったヤギ舎で分娩しました。さらに、急きょ現場の人をお願いして、赤ちゃんのための温度を保てるような箱を作ってもらいました。
- 分娩室には保温室が無く環境温度が低くて、体温が下がる心配はありましたが、体重測定やこまめに面倒を見て、正常に育てられました。実際、東大牧場に救済されたその豚から生まれた豚のうち4頭がまだ生きてるんです。子どもたちのことについて調べるなど、いろいろ後手になりはしましたが、やるべきことがあって、4頭残して今飼育しています。また、後日元オーナーの社長のご厚意により、2頭目からのお産はちゃんときれいな分娩舎を与えることができ、そこで分娩してもらえました。
- 繁殖の時期から話は戻りますが、8月30日と9月22日、実はこの時期から元気な豚以外に、後ろの脚が立てない豚が続々と出てきました。我々は驚きました。そこでよそから豚専門の獣医さんを呼びましたが、彼らも打つ手がないということだったので、そのまま飼育せざるを得ませんでした。その中で、若い1歳ちょっとの立派な豚がいました。それで急きょ、地面の

ある小屋に変えて、カラス除けの網も設置するなど飼育環境を整えました。餌や水の与え方も工夫していました。ですが、この豚は、次の年のお正月に亡くなってしまいました。

- 初めこの研究は観察研究という位置付けでした。観察とはつまりコントロールしたり、対照群というものはありません。必ずしも今回の結果は放射線の被ばくと結び付けるのは難しいということです。ただし、否定はできないところもあります。ミルクの実験と違って、当初は低レベル被ばくが前提だったので豚については最初被ばく程度を調べる目的がありませんでした。調子の悪い豚が出てから、これを調べることになりました。ただ、実際当時は慌ててやってしまったので、計画ができるまでちょっと不十分なところがありました。ミルクの実験自体も、肉も臓器も調べておけばよかったなと後から後悔したところがあります。でも、後からわかることも多くて、当時はそういうことしかできなかったのが事実でした。
- また、低線量被ばくの前前提だったのにばたばた死んでしまった、でも因果関係もわからない、獣医さんと呼んでも治せない。さっきのミルクの中では大体2週間たてばセシウム濃度も下がってきたんですけれども、こういう経緯があったので、当初の計画にはありませんでしたが筋肉とか臓器中でどのくらい移行するのか調べてみようとなりました。
- まずはいくわられる放射線の影響として、精巣か卵巣を、また、おおよその大きな臓器を採って、筋肉は大腰筋、つまりヒレを採取しました。大腰筋はお腹の中にあるので、たどり着くとすれば最後になる筋肉だと思います。可能であれば尿も採りました。
- すると、案外体内に残ってたんです。2011年9月9日と29日に2頭連続で死んだ豚です。東大牧場に運んできたのが6月28日だったので3カ月後のことです。事故からはちょうど半年以上たっていました。事故から6月に移動させるまでに食べた餌は輸入餌だったとおっしゃっているので、多分汚染されてない餌だろうと推測されていました。こちらに来てからは、汚染されていない餌に間違いありません。それを3カ月以上食べて、水もクリーンな状態でした。
- 先ほどのミルクの結果のように、空気中の放射性物質についてはもうこの時期だったらほとんど飛ばなくなってしまったので、それも考えられない、でも肉からは1kg当たり400Bqの濃度で検出されたということが事実でした。ですから。当初は普通の飼育や繁殖で終わると思ったことが、まだやることあるとわかりまして、色々研究アイデアを出そうということになりました。
- ところで、この後、繁殖も行ったので赤ちゃんが生まれましたね。ただし、赤ちゃんは育てても、豚肉として出荷してはいけないという契約でした。観察後淘汰するのも我々の役目でしたので、今度とは殺後にこの赤ちゃんの臓器なども調べることにしました。我々のイメージでは、赤ちゃんは東京大学の牧場に来て生まれたので、体内には残っていないと考えていましたが、実際は違っていました。それは何でだろうというのが、牧場の土が原因じゃないかということです。豚たちが掘って遊んでいた時にミミズや芝などと一緒に食べたかもしれない東大牧場の土は、汚染されていたと分かっています。それで赤ちゃん豚の体内に放射性物質が残ってしまって、きれいな餌を食べたにもかかわらずある程度濃度があったということが分かってきました。

参加者：赤ちゃん豚は牧場の土を食べて内部汚染されて死んだっていうことですよね。

李：赤ちゃん豚については、観察実験が終わって、また契約上食料にもできないのと殺したということです。

参加者：先ほどの大きな豚がなぜ死んだかは内部汚染でしょうか。確定できないのですか。

李：コントロールがありませんので、内部汚染かどうかはわかりません。分かったのは、内部にはまだセシウムが残っていたということだけなんです。今もまだ残っている豚も結構いるということです。ただ、影響がないと言い切れないところが苦しいですけども。

- 解剖した豚の体内濃度の時系列変化を見ると、2011年9月、そして翌年の1月、8月に我々は臓器などを採取し、線量濃度を測りましたが、時間がたつにつれてどんどん低くなっていったのがわかります。多少の個体差は見られますが、このように1年たてば体内に残っていたものもきれいに排出されると、我々の研究からわかりました。

参加者：それから、牛や豚の臓器別のセシウムの強さについて、筋肉が若干他と比べて高いような傾向があるかなと思ったんですけど、セシウムって何か別のものの代わりにたまるとか、そういうようなことがあるんですか。

李：セシウムが実際の化合物と結合するか、何かセシウム自体が影響があるかは調べていませんのでわかりません。普通は濃度差で血液の中に入って排出されるんじゃないかと思うんですね。とにかく体内に入ったら、排出までに1年かかると今回の研究からわかりましたので、それは自信を持って言えます。

- ところで、別件で当時、南相馬市の家畜保健所から連絡があってわれわれの救済した農家からもちょっと南のほうで牛と豚から採材したいんですけど、東大牧場いかがですかというオファーがありました。ここは救済した養豚農家よりは汚染度が高い地域でした。そこで、牛の胎児から豚までサンプルを取りました。ただしこの家畜たちは、例えば牛は放牧状態だったか、それとも屋内、フェンスの中で飼育したか、全くデータがありません。妊娠している牛もいまして、これについては胎盤と羊水が他の臓器よりすごく高くなっていることがわかりました。
- 豚もどういった飼育環境から連れてきたか不明でした。そのサンプルは、2011年9月当時のものですが3頭、体内に4,500Bq/kgあります。同様に9月に2頭、東大で測定したサンプルは1kg当たり400Bqでした。それより10倍ぐらい高く体に残っていることがわかりました。一番高いところは筋肉、ヒレでした。
- そこで、東大牧場の土壌や牧草の濃度も調べました。また、それを相馬市の牧草地と比べますと東大の20倍以上ぐらい高くなったということがこれでわかりました。



いろいろな質問が次々と

- 相馬市の牛と豚でも比較しました。大腰筋など、豚のほうがはるかに牛より高い濃度です。豚はよく土を掘って食べたりするので、その影響ではないかと思われます。また、牛の汚染濃度がかなり低かったんです。1,000Bq/kg以下ということは、汚染された草をそれほど食べていないということだと思われます。放牧地自体が汚染されている一方で、牛はそれほど汚染されていないことってというのが分かりましたので、放牧はされていないかと思われます。
- 馬も放牧しています。でも、牧草地が汚染されているにもかかわらず牛より馬のほうが低かったのです。通常牛と馬の放牧される時、見える光景が違うと思います。馬はいつも餌を食べる姿が見えているんですが、牛は食べている時があれば休む時そして反芻する時もあります。凡そ8時間食べて8時間寝たり、8時間反芻しています。
- 一方馬はずっと食べますが、長い草はあまり食べずに芽生えたばかりの小さい草を食べています。馬は上下歯があって歯でちぎって食べるので、細かい草しか食べないんですね。つまり彼らが新しい草を常に食べているので汚染濃度が牛やヤギに比べて低くなっているのではないかと思います。牛はペロで草を巻き上げて食べますのである程度高さが必要で、小さい草は食べられないんです。要は、新しく伸びた草を食べたか、それとも原子力事故時から伸びた草を食べたかの違いではないかと思えます。草の成長には、セシウムをそれほど吸収しないことが最近の研究で分かっています。

参加者：李さん、中国の方ですが、中国は原爆も原発もあるから、放射能は出ますよね。

李：そうなんですよね。われわれの豚救出当初の気持ちと全く同じで、向こうは全く知識と万が一の原発事故から守るという意識を持っていないんです。全く知らないし、知ろうともしない。でも、講義には学生がいっぱい来て、質問は鋭いですよ。

参加者：セシウムで測定しているそうですが、他の核種も同様な動きと考えていいでしょうか。

李：実際一番スポットすべきはヨウ素じゃないかと思うんですね。ヨウ素はβ線を出しているんですけども、半減期が短く、飛んでしまうというのがあります。実際なぜ救出した豚たちが汚染されたのか。牧場に来る前も地下水と汚染されていない餌を食べてるわけですよ。でも彼らの体に残っているというのはなぜか。移送してから半年も体に残っていたということは、すでに申し上げたように、これは空気しか考えられないですよ。

- セシウム137、これは高崎で観測されたものですね。これは国の機関で、世界中の汚染濃度を、24時間事故がなくても測定している機関から発表されたデータです。当時は福島から高崎まで飛んでくるのに時間が多少かかったと思うんですけど、セシウム濃度はこれなのに、ヨウ素はここ。ヨウ素は半減期が短いから、エネルギーを一度に出してしまうんです。飛ぶ距離が何ミリという単位ですが組織の中に入ってしまったらこっちのほうが怖いので、ヨウ素のほうも、われわれは引き続き取り組んでいます。

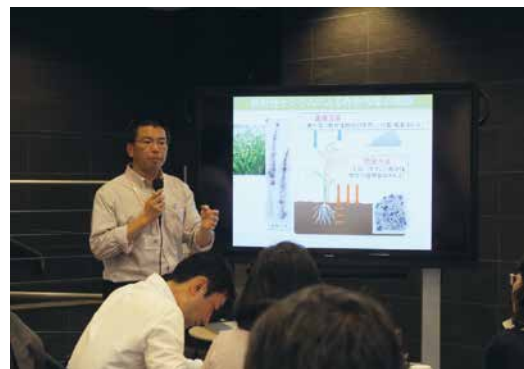
第23回サイエンスカフェ

「放射性物質と農産物 ～福島のお食べ物について～」

開催報告

2016年12月7日第23回サイエンスカフェ「放射性物質と農作物 ― 福島のお食べ物について ―」を開催いたしました。東京大学大学院 農学生命科学研究科 附属放射性同位元素施設 准教授の二瓶直登さんに、震災・原発事故から5年半を経た福島のお食べ物の現状、農作物と栽培における対策、現場での奮闘・工夫などを当時の経験や現在の研究を通してお話いただきました。

参加者の皆さんからは、カフェならではのくつろいだ雰囲気の中で、気になっていた食べ物のことなど、多くの疑問・質問が寄せられ、畑作での施肥の方法などについて具体的な関心も高く、有意義なひとときとなりました。



話題提供者の二瓶さん

※以下、記載がない場合の発言は二瓶氏のもの

※質疑応答は一部抜粋

【放射性物質はどうやって飛んできたか】

- 私は福島県の海沿いにあるいわき市の出身で、大学卒業後は地元で畑作担当の県職員として麦とか大豆とかの栽培をしてきました。福島県は北海道と並んで有機農業の先進県で、私もその初期に県にいたので、なぜ有機農業がいいのか、有機農業と慣行農法との違い、化学肥料との違いなどを研究していました。地震のあと、さらに研究したいということで、県庁のデスクワークから今の大学のポジションに移りました。
- 試験場に13年、最後の2年間は県庁で食の安全に関わる業務をしていました。農薬問題、残留農薬、期限切れなどの問題を扱っている部署ですが、震災直後から業務はほぼ放射線や原発問題関連で、県の水産、畜産、水田などの部署から集まってくるデータをとりまとめていました。福島県から避難していてこれから戻るという方を対象に、このところ何回か避難者セミナーを担当させてもらっていて、福島の現状を1時間半ほど説明しています。今日は現状をお話して、「全く出てないわけじゃない、福島の今のものも、後から放射線が入ったものも少しはある、それがどのぐらいのレベルか、他と比べてどの程度か」を分かっていたければと思います。
- 2011年3月11日に東日本大震災があって、そのとき郡山の試験場にいました。地震だったので待機していると「津波が来た」と聞こえてきて、大変だなと思っていました。その後帰宅

したら、今度は原発が止まりました。試験場は200人くらいは入るホールがあり、比較的新しかったので避難所の1つになって、大熊とか双葉から避難された方々がいました。2日目の夜には、家が近いこともあり、試験場から呼び出されて受付の対応などもしました。原発事故があって放射性物質が放出されてしまったことです。

- この図は東日本全体に、原発事故が起源でどのくらいの放射性物質が飛んだかを表します。濃度の濃い、薄いわかります。福島第一原発から福島県全体に飛んでいますが、福島県以外にも飛んでいて、ホットスポットと呼ばれる岩手の辺りや、東京から近いところでは柏なども、たまたま風と地形の影響で飛んできている。よく福島県しか話題にされないんですが、福島県以外にもちょっと影響はあるということです。
- 拡大図を見ると、福島第一原発は2つの市町村にまたがっています。双葉町と大熊町。普通、柏崎とか他の原発は地名で呼ばれるんですけども、福島だけは福島という名前なのは2つの自治体にまたがっているからと言われています。それが良かったかどうか、今となっては分かりませんが。このちょうど真ん中辺りに第一原発があり、当時は南西の風、南から海からの風に乗って放射性の物質が飛びました。
- ここで1つ分かってほしいことは、決して同心円状に均一に広がったのではなく、方向性があったということです。全く風がなければ、基本的には放射線というのは距離の2乗に比例して離れば離れるほど弱くなるし、近付けば近づくほど放射線の影響を受けます。今回は、放出源から風、雲に乗ってその中のごみとくっついて南西の方向に広がってしまったんです。
- 放射性物質のそのものではないですが視覚的に捉えたものがあります。放射線があるとその部分が感光して色が変わる特殊なシートです。福島で土壌を取ってきて、そのシートの上に置いておくと、どこに放射性物質があるかが分かります。黒いぼつぼつが濃度の高いところです。土には均一に濃度が広がっているように思われると思いますが、そうではなく、ごみやちりなどの周りにセシウムがくっついたと言われています。
- 葉っぱを取ってきて、このシートの上に乗せて何日か置くと、その放射性物質から光を受け取って、どこにあるかが分かります。こういうものが土壌に降って、その当時の小麦の葉っぱに付いた様子の図です。震災は3月11日でしたので、5月くらいには2カ月間生育して小麦は隣の葉っぱぐらいになります。当初の3月はこの葉っぱが最初の2~3枚しか展開してなくて、開いた葉に放射性物質がくっついて、その後生育していますが、ぼつぼつと見えます。一度付いたものはこの葉っぱから他の葉っぱにあまり動いてないのが分かると思います。

関崎：若い葉っぱと以前から開いていた葉っぱですね。

二瓶：3月に開いていた葉と、その後4月から5月にかけて開いた後ろの葉ですが、3月に開いたところしか放射性物質は影響していない、付いていないということなんです。

参加者：黒い点が放射性物質ということですが、そうした場所は、多いんですか。

二瓶：そうですね。放射線自体は元素のレベルなのでものすごく小さいんですが。空気中に雲の核となるごみがありますが、その周りに放射性物質がぼつとついたというイメージです。

参加者：葉っぱや土壌に降ってついたものが他に移動する気配はないというお話でしたけど、くっついてるのが洗えば落ちるレベルじゃないってことですか。

二瓶：それは明からかに落ちます。ゼロではない。葉っぱには気孔とかがあるので、ある程度中に取り込まれているものもあるかもしれませんが、洗えばだいぶ落ちます。なぜかという表面に付いているからという理解です。

- セシウムボールって聞いたことありますか。放射性物質が飛んできたときの形は何かというのは研究者の関心の1つですが、その中でセシウムボールっていうのが最近見つけられています。先ほどの僕の説明はごみの周りに付いているということでしたが、そうではなくて、原発事故のとき高温で飛んだそのものが閉じ込められたものがあるらしい。周りがガラス状のもので、真ん中にセシウムがあって、それがあがる程度飛んだんじゃないかと。実際に確認されているものあって、そういう形でも飛んできています。ただ、これはたぶんガラスが入っているんで、作物がそれを吸うかどうかということでは、あまり吸わないと思っています。しかし、放射線は出すので、それは作物にとって放射線外部被ばくということはあると思います。それがどのぐらいの割合で飛んだかというのは、まだ分かっていません。たぶん作物の中に入ったんじゃないで水溶性の形で飛んで、何かごみについて飛んだらろうと考えています。
- 放射性物質とは何でしょう。物質を細かく分けていくと原子とか原子核というレベルになります。この原子っていうのは112あって、2016年日本で113番目の新しい元素ができましたね。元素が細かくなっていくと原子になるんですが、原子がある重さを持っていると、とても不安定な形になっています。原子核、電子、陽子と中性子から成り立っていますが、例えば原子力発電所の中だと、中性子を付けるんですけれども、そうすることによって不安定な物質になります。不安定な物質から安定な物質に変わろうとするときに出てくるのが放射線と言われています。
- こういう原子核は、先ほど言ったように百何種類あるんですが、その中でも、今回の原発事故で問題になっているのは、ヨウ素、セシウム、ストロンチウム、プルトニウムの4つです。ヨウ素は半減期といって、放射線を出して安定になる日にちが8日で、8日たてば100あったものが50になるし、50あったものが、また8日たてば25になるということで、半減期が短いんですね。事故直後は問題になったんですが、ヨウ素は今は主な問題とはなっていません。

【半減期の異なるセシウム134と137】

- ストロンチウムとプルトニウムは量が比較的少なかったと言われていまして、現在われわれが問題としているのはセシウムです。2つ書いてありますが、それぞれのセシウムの成り立つ中性子と原子の数の比率によって、134個その原子が集まったものと、137個集まったものがある。どちらも放射線を出して安定になろうとしています。
- 2種類のセシウムの違いは、安定になろうとする期間、半減期です。134が2年、137が30年もかかり、それぞれが放射線を出しています。これをわれわれは注視しています。被ばくには

外からの被ばくと、食べることによる内部被ばくという、2つの被ばくの影響があるとされています。農作物への影響としては、3月11日にそこにあったものは葉っぱに直接放射性物質が付いて、この影響がありました。ただ、その後成長したものを後に収穫したものや現在のものは原発から放射性物質が飛んで付着したものはありませんので、この影響はほとんどありません。

- もう1つの影響は間接汚染といって、土壌に付いたものを、土壌を通して作物が吸ってしまって、作物が放射性物質を持ったものを人間が食べるかどうかということになります。作物が吸うというのは、作物は成長するために、必要な栄養分を根っこから吸います。作物の育成にとって必要な栄養は113の元素のうち17元素だけです。逆に言えば、これがなければ生育できません。中でも、窒素、リン、カリは量としてすごく大切なものです。この17元素にセシウムは入っていませんから、作物にとってセシウムは必要な元素ではないのですが、非常に形が似ているカリウムは必要な元素としてよく吸い込むので、間違っしてセシウムを吸ってしまい、作物がセシウムを持ってしまうという間違いが起きているとされています。
- 作物がセシウムを大量に吸ってしまうと、どうなるでしょう。スライドは、試験的なもので、実際には福島でこんなに光るものは取れていません。実験的に、試薬として売っているセシウムを高濃度に与えて、大豆と稲を作り栽培しました。作物の食べる部分のどこにセシウムがたまるのかというのを調べたかったからです。137の放射性セシウムを与え続けて栽培した大豆を2つに切って、先ほどの特殊シートの上に乗せてコンピュータ上で色を付けました。
- 例えば、稲は将来芽とか根になる胚という部分と糊粉層という周りの部分に多く、逆に中心の澱粉の部分にはほとんどないことが分かります。なので、玄米から白米にすると、周りを削りますので、玄米で100あったのが精米にすると48くらいに減るというデータもあります。それで、日本酒とか大吟醸にすると出ないというので、福島で酒米を作っているということもあります。これも低減対策の1つですね。
- 一方、大豆は全く逆というか残念なのですが、種全体にためてしまうという違いがあります。私の専門は大豆で、大豆はいろんな意味で必要なものですから、どういう条件だとよく吸うのか、どうやって吸わなくするかという研究をしています。

【農業県福島の除染対策・低減対策】

- 福島県は農業県で、震災前は2,330億の売り上げがあった一大産業です。中でも一番は米です。福島県は水田が多く、「天のつぶ」という福島県のオリジナルブランドがあります。各県がコシヒカリとかひとめぼれみたいな県のオリジナルブランドを作っていて、福島県も震災前から取り組んでいます。
- 10年以上かかって、「天のつぶ」という新しい品種ができたんです。もしよければ買っていただきたいです。私も買ってますが、おいしいと思います。その他には南会津のトマト、須賀川の周辺の岩瀬村のキュウリが有名です。また、果物が有名で、モモは本当においしいですし、

ナシ、ブドウ、リンゴ、カキもあります。

- ただ、放射性物質が農地にも降っていますので、これらを作る上でどうすればいいか、どう気を付けなければいけないのかというのが課題として残りました。そこで、まず果樹農家は震災直後に木の幹を洗いました。果樹であれば皮の所に放射性物質が付いていますが、麦の葉っぱの例のように、付いているだけなので洗えば落ちるということで洗いました。さらに表皮を剥ぐこともしました。皮が付いているので、それが取りこまれて吸われてモモとかカキに出ることが心配されました。剥ぐことができない樹種もあるんですが、できるものに関しては表皮を剥ぐ除染対策が行われました。
- カリウム施肥も行われています。たぶん、これが現在行われている低減対策で最も効果があるとされている手法です。カリウムという肥料は窒素やリンとともに農家では毎回入れるもので、10アールに対して10kgくらい入れます。カリウムを入れておけばセシウムは吸わないとされています。
- 周期表で見ると、縦のラインが似ている元素です。セシウムの2つ上の段にカリウムがあり、セシウムとカリウムが似ているので、植物がカリウムを吸う量が一緒だとすれば、カリウムがいっぱいあるとセシウムを吸う割合が少なくなるのです。
- 最近分かってきたこととして、根っこはカリウムとセシウムを間違わないで見分ける力もあるんです。カリウムがたくさんあれば植物自身も余裕があって、カリウムとセシウムはちゃんと見分けてくれるんですけど、カリウムが少なくなると必死になって何でも吸う力が働きます。それでカリウムとセシウムを間違える率も変わるとされています。こうした2つの点から、カリウム施肥というのは必ずしましょう、という話になっています。

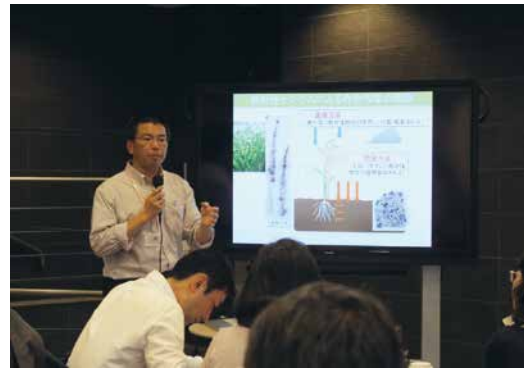
参加者：カリウムと間違えて摂取したセシウムというのも植物にとって何か栄養源になるものとして効果があるんですか。

二瓶：ありません。セシウムを取り込んだ後にカリウムの働きをするかというとしません。

- カリウム施肥はセシウムを吸わせないという効果があるので行われているし、水田農家に関しては土壌中のカリウムレベルというのが決まっていて、それ以上になるようにカリウム施肥を行いましょと県も指導しています。東大の根本先生が伊達市で現状を見るために一部カリウムをまかないで育てている圃場があるんです。それを見ると、やっぱり残念ながらまだ100Bq/kgを超えるものが出る、出ていないのはカリウムで抑えているからということも言えるので、東電はまだ賠償継続はしてくれています。そのくらいカリウムは大事です。大体の農家は代かきの前に圃場にまいて、その後水を入れて代かきをします。カリウムの追肥も一般的で、生育を良くするために震災前から行われています。
- メカニズムとして、植物が養分を吸うときには、それぞれの元素ごとに窓をちゃんと持っていて必要なものを吸います。土壌から染みて入ってくるならば、土壌中の濃度と根の中の濃度が一緒になるはずですが、根の中のほうが圧倒的に高い。ということは、薄い所から濃いほうに吸収するっていう力が働いているということです。

【吸着と固定】

- 対策として樹皮を剥ぐこととカリ施肥を紹介しました。栽培前に行う対策としては、反転耕が行われます。セシウムは土壌の表面に付着して残っていて、それを30センチぐらい下と上の土を入れ替えて、希釈するんです。セシウム自体を取り除いてはいないので、そこにあることには違いないんですが、また、濃度が濃い所は表土剥ぎを行っています。表面5センチの土壌を取って、フレコンパックに入れてあります。これ



根の中の様子を写真で紹介

は土壌にあるものを取り除くので、一番効果が高いですが、大量のフレコンパックが出ます。その置き場が大変問題になっています。土壌の濃度が5,000Bq/kg以上の所は、除染のために国の責任で行っています。5,000Bq以下の所は作物生育にも影響がないので大丈夫だろうという考えです。濃度の薄い所は一般的に反転耕です。希釈によってセシウムの吸収率も下がるということで、推奨されています。

- 濃度が濃い飯館村とか、大熊町とか、双葉町では、表土剥ぎを行っています。5センチでいいのとかご心配されると思いますが、ストロンチウムが結構動きやすいのに対して、セシウムは元素の特長としてすごく土壌に吸着しやすく、動きにくいという特徴があるので、表土5センチを剥ぎ取ればいいんです。塩沢先生の研究だと80%以上が表層2センチの所にあるとされています。

参加者：セシウムとかストロンチウムは雨の影響で下に出ていたりとかするんでしょうか。

二瓶：セシウムがイオンであればそれは水溶性なので流れます。それが、土壌なりに吸着します。土壌はイオンをつかまえておく力があって、土壌自身がプラス、セシウムはマイナスなので、プラスとマイナスでそこにとどまる力になっています。

- また構造として、土壌は層が重なっていて、層の間の大きさと、セシウムイオンの大きさがたまたま一緒に、ここに入るとなかなか出てこず、移動しにくくなってしまいます。作物も吸いにくいですが、移動もしないので、長年土壌にたまっているんです。土に吸着するだけなら雨とか降れば多少は移動するけれど、層の間に入ると固定してしまいます。
- 吸着と固定という2つに分けて言っていますが、固定になると土壌からはなかなか抜け出さず、時間とともに固定する割合が高まるので、なかなか下には行かない、とされています。

参加者：セシウム134は半減期が2.1年。137は30年、今回は134のほうが多いんですか。

二瓶：事故当初は1対1でしたが、134は2年で減るので1対0.4くらいに変わっています。

参加者：134が半減期2.1年で消えていくというのは、エネルギーをたくさん出して、137はエネルギーが小さいんですか。

二瓶：大体一緒です。その4と7の比を見て、それが福島由来かどうか分かるそうです。

•50年くらい前は、中国などが大気圏で核実験をして、山梨とかその辺のキノコを測るとセシウムが出ますが、137しか出ないので、それは50年前に出たものと判断もつくんです。4と7の比で福島由来かどうか、あるいは1号機、2号機、4号機かも判断できるのです。

参加者：チェルノブイリの事故の際、ヨーロッパでキノコの汚染が問題になりました。キノコは選別能力が弱くて何でも取りこんでしまうということですか。

二瓶：そうだと思います。植物の場合は根っこの膜を通るのですが、キノコは菌なので、もっと貪欲に吸っていて、だからこそキノコは栄養があって、われわれは食べていたわけですが、カリウムもいっぱい吸ってためるが故にセシウムもいっぱい吸ってしまっているようです。

関崎：キノコにもいろいろありますが、キノコの種類ごとに違いがあったりするんですか。

二瓶：キノコは菌根性と腐生性というタイプがあります。マツタケみたいに、生きたものに生えて松の根っこから養分をもらってるものと、死んだものを分解してキノコが育つという、大きく2種類に分けられますが、その腐生性のほうが数値が高いという話を聞いたことがあります。植物によつての違いもあるし、キノコ、そして山菜は間違いなく普通の植物とは違います。キノコを含めた山菜と水産物は福島で基準値に近いものが出ています。他のものはほとんど出ていないのですが、それほどキノコはまだ注意しなきゃいけないものです。

参加者：希釈についてですが、希釈しても残っているので、農作業等の際は、出ている放射線を浴びてしまうような危険性というのはないのでしょうか。

二瓶：なくはないと思います。外からの被ばくで外部被ばくという範疇です。山などは除染がされていないです。家から20メートルまでしか除染されず、それ以外は面積が広すぎて手つかずですし、国もやると言っていないんです。そういう所での作業では浴びた量を管理するため、ガラスバッジや線量計を付けながらやっている所もあります。作業をしている場所での外部からの被ばくは、福島では今後一番の問題ではないかなと思います。コントロールされた中でも、あるかないかと言えば「ある」ので、なるべく少なくなるような管理は必要かと思えます。

【農産物出荷時のチェック体制づくりに奮闘】

- いろいろな対策をして作られた農作物が売られるときに、消費者の皆さんは本当にそれが大丈夫なのかと思われると思いますが、いろんな所でチェックしています。一番大きいのが出荷する段階のチェックです。それだけではなく、スーパーで売られているものを覆面で買ってきて、それをちゃんと測って基準値以下かどうか確認したり、学校職員の日常食の実際に食べる1食分を作ってもらって、その中にどのくらいあるかを測る、陰膳調査をしたりします。
- 数として多いのが家庭菜園の作物のチェックです。自分の畑で自家用に作っているものまでは県とか国はできません。でも心配する方は多いので、県に500台、放射線を測る機械が公民館等に置いてあり、心配ならそこへ持って行って測れるような体制を取っています。
- 売っていいかの判断は、福島県が独自ではなくて、国の法律の下、原子力災害特別措置法に

基づいて、国の指示で県が行っています。モニタリング検査をして、基準値を超えているかどうかを判断して、超えていけば出荷制限します。その地域のものは出荷しちゃ駄目ですというのは国から送られてきます。基準の濃度を著しく超えると、採取もできません。基準値の超え具合、出る割合によって制限の割合も変わります。また、出荷制限は、食べてはいけないという判断だと思われがちですが、正確には農家がそれを取って食べるのまでは抑えていません。基準値を超えたものは道の駅に出すとか、人にあげたり、流通させたりすることはいけません、というものです。

- モニタリング検査は、市町村ごとに行われて、例えばモモならモモを、国の法律は1市町村、1品目3点以上を無作為に取ってくる、福島県はさらに加えて10点ぐらい取ってきているはずですが、それを検査しOKならば、いわき市のモモは売ることができて、流通に乗ります。
- 抽出検査で基準値を超えるものがあれば、その農家のモモが出荷制限されるのではなくて、町全体が止まります。出荷制限は地域ごとで、全体が止まる形で行われます。これを59ある市町村の単位でやってもらっています。さて、実際の検査では、サンプリングしてきたもの、例えばモモを刻んで、容器に入れます。なるべく容器の中に均一なものを詰め込みたいから刻みます。それをゲルマニウム半導体検出器という放射線を測る機械で測ります。混ざりを除くために作業用のシートも手袋も容器も全部使い捨てです。切る道具も使い捨てで、大きめのカッターナイフの刃だけでそのサンプルを刻みます。モモはましですが、カボチャなど固いものが来るととても大変で、僕はよく指を切ってテープを巻いたりしていました。この機械は、原発事故前には福島になかったんですが、2011年の夏に整備されて10台稼働しています。

【食品の基準値はどう決められているの】

- 基準値の数字はどのように決まっているのでしょうか。現在一般食品は1キロ当たり100Bq/kgという濃度の基準値で、万が一これを超えていけば、出荷停止、超えていなければ、例えば80Bq/kgでも国としては認められていることになります。農産物の出荷の基準値は100Bq/kgですが、大本になっているのが追加の放射線量が生涯100mSvという基準です。これから死ぬまでに追加に被ばくしてもいいのが100mSvというもので、1年当たりにして1mSv、それを食べ物から取ってもいいよ、その限界が100Bq/kgです。

参加者：生涯って人によって残された年数は違いますが、生涯100mSvで、1mSv/年ということとは、赤ちゃんとかも考慮して100年生きるとして計算されているんですか。

二瓶：はい。生涯が多く見ても赤ちゃんで100年だろうということで、年割りされています。

- 放射線の単位ですが、基準値が100Bq/kg、ベクレルはそのものが出す放射線量です。そして100Bq/kgのものをどのぐらい食べて、どのぐらい影響を受けるかがシーベルトです。

参加者：シーベルト換算だと α 線と β 線とは違うんだよということが起きるわけですか。

二瓶：例えば α 線の1Bqと γ 線の1Bqは全然違って、 α 線は20倍です。 α 線は飛ばないんで

すけども、飛ばない分受ける影響が20倍大きいので、かける20の計算になります。

- 100mSvの大本は広島、長崎のデータから来ています。広島、長崎後の調査で100mSv浴びた人のがんになる確率が若干上がっていることが統計的にあり、これが元になっています。
- 「追加」という言葉について。もともとわれわれは大気、食べ物、宇宙などから放射線を浴びており、日本人だと年間2.1mSv浴びています。それにプラスして年間1mSvを浴びても、食べてもいいですよということです。放射線は原発事故以後に出てきたんだろうと心配される方がいますが、そんなことはなくて、例えばコーヒーにはカリウムが多く、すると放射線もある程度あります。昆布にも2,000Bqあるし、われわれ自身も放射線を1人4,000Bqほど持っているとされています。

参加者：日本の平均で食品がとても多く見えるんですけど。何を食べているんですか。

二瓶：いい質問です。何だと思えますか。日本人がよく食べるもの。

- 世界でラドンが多いのは、石の家に住んでいるからで、石の中に放射線の古いのがあって、その中で生活しているからだと言われます。日本人の食べ物で多いのは魚です。魚にはポロニウム210というのがたまる仕組みがあり、そこからの放射線で多くなっています。
- 「追加」というのは、もともとあったものプラス、生涯100mSvはいいよってということです。放射線の100mSv未満の影響は、大体野菜不足と同じくらいのリスクとされています。さらに、1,000mSvの影響は、喫煙のリスクと同じくらい、肥満の人は生涯に500mSv受けたと同じくらいのリスクになります。そう聞くと、放射線の影響が特別大きいんじゃないということを理解していただけるかと思えます。

【「一般食品100ベクレル」の計算は？】

- ベクレルとシーベルトは食べるものが持っている放射線量とその放射線から受ける影響の度合いでした。ベクレルはどのぐらいの濃度のものを食べていいか、kg当たりの量なので、何キロ食べるのかという摂取量の問題になります。
- ベクレルとシーベルトを換算するには実効線量係数という係数があって、これはいろんな実験結果から、このベクレルのものが体にあったらどのぐらい被ばくするだろうという計算がされます。まず年間1mSvから水の分を引くと、食べ物から0.88mSvはいいですよという計算になります。食べる量は年代によって違い、一番食べる13歳から18歳の男の子は年間748キロ食べるとされています。またすべて国産のものを食べるのではなく、約半分が国産のものという係数がかかります。半分国産で、半分は安全な外国のものという計算です。748かける0.5で、実効線量係数0.000018で計算すると食べていいのは120Bq/kgまでという数字が出ますが、より安全を見て限度は100Bq/kgということになっています。食べる量も実効線量係数も年代によって違うのですが、数字を当てはめて年代ごとに見ると、13歳から18歳の男の子が食べる量が最も多く、食べ物から受ける影響が120でもっとも厳しい数字となっているので、それをさらに安全側に切りよく100とされたということです。

- 日本の基準は一般食品100Bq/kgに対してヨーロッパでは1,250Bq/kgが基準にされていて、アメリカは120Bq/kgだということです。輸入ものの割合も違うので単純には比較はできないんですが、日本は100と厳しめのところで管理されています。

【福島の食べ物の現状・お米の全袋検査】

- 福島県は地震の直後の3月17日からモニタリング調査を行っています。牛乳から始めて、初めのうちは危ないものが出て、現在まで調査は続き毎年約11万点ぐらい測っています。検査件数が夏や秋に多いのは、産物が採れて測るものが多いという季節性です。
- 横軸が時間、縦は対数軸の図ですが、見て分かるのは震災直後、原発事故直後は高いものがあったということです。その後も収穫して、土から吸うものは最初あったんですが、ここ3年ほど、野菜に関しては基準値を超えるものは出ていないとされています。これは土壌に固定が進んだことでもあります、カリウム肥料や除染で管理されているためと伺っています。
- 畜産物は牛や豚の肉、卵とか牛乳が入りますが、震災直後530の牛乳が出ましたが、その後やはり餌を管理することによって、100を超えるものは出ていないとされています。
- 畜産物や野菜が大体いいという話で終わればいいんですが、現実はそのように甘くなくて、林産物、キノコ以外山菜も入りますが、山菜の一部のものは100に近いものがまだ出ています。山菜はコントロールがしにくくカリウムをまくってということもなかなかできないので長い付き合いになると思います。ただ、全部ルールに沿って販売されていてモニタリング検査を通過していますので、福島県の林産物だからといって危ないと思わないでくださいね。
- 水産物もだいぶ減って、高く出るもの、低く出るものと分かれてきていますが、一部のものからまだ出ます。濃度が低いものや、当初は高かったけども低くなって今はほとんど全然出ていないものというのは、回遊魚のカツオとかサンマ、そしてイカ、タコ、エビ、カニです。これはなぜかセシウムはあまり出ませんでした。ヒラメとかカレイのような下にいる魚はまだ高く、淡水魚、川の魚、イワナ、ヤマメもまだちょっと高いとされています。
- 海水魚は海の中で海の水を飲んで生活しているので、塩をたくさん取っては大量に吐き出します。淡水魚は真水の中で生活していて、でも生活していくには塩は必要なので、真水の中のを逆に取り込もうとする働きがあるそうです。なので、セシウムなども、イワナとかヤマメのような淡水魚は体の中にため込もうとして、なかなか下がらない。海のものはいっぱい取るけども、いっぱい出すのできれいになるのが早いそうです。
- 福島県はやはり水稲が一番です。水稲は6万3,000ヘクタールで全国7位になって、震災前は4位だったくらいに面積がたくさんあって、毎年36万トンくらいの米を作っています。30kgの袋で約1,200万袋です。米は県の主力品目だけに米に関してだけ抽出検査じゃなくて全袋検査をしています。
- モモとか他の野菜は抽出検査で1市町村3点以上っていうルールでやっていますが、米は基本的に作られたものすべてを測ります。屑米も、縁故米という人にあげるものも、売るもの

外のものもすべてです。苦勞したのは測定装置です。以前の機械は大体20分で1つしか測れなかったもので、全部やるには5万日かかる計算です。1個20秒から30秒で1,200万個を測って、農家は年内にその年作った新米を売りたい。そのために新しい機械を作ってもらえないかと仕様書を書いて、各メーカーに投げたら、ベルトコンベアー式の機械を日本の4社とアメリカの1社が作ってくれて、今県内に200台が入って稼働しています。1台2,000万に、アームという持ち上げる機械が400万で、計2,400万。

- 1カ所で1日2,000から3,000袋測ります。測定してOKならば流通していいというシールが貼られます。駄目なものは焼却処分が基本です。これは100が出ないかどうかを調べる機械なので、100行かなくてもグレーゾーンがある、そういうものは二段構えで先ほどのゲルマニウム半導体検出器で測られるっていうシステムです。

参加者：駄目なものは大体同じ田んぼからのものですか。すると、全滅とかになるのですか。

二瓶：そうです。2012年から始まって、71袋、28袋、2袋となって、去年(2015年)、一昨年(2014年)からゼロで、今年(2016年)も今のところ出てないです。この71とか28は、ちゃんと理由があって、味の問題とかでカリをまきたくないっていう農家が多くて、これはカリをまかない農家でした。28のうちの27は別の原因でした。原発で廃棄処理をするために原発の中の物を動かしたらしく、そこから何かが飛んで、南相馬の小高いところの近くの場所から27袋出たんです。原発から飛んだ放射性物質が直接汚染したのが原因と言われています。

- その後対策をしてごみが飛ばないように東電も気を付けてくれていると思いますが。あとの1袋はカリウムをまかなかったためでした。26年はゼロ、その後も今のところゼロです。
- 検査結果は、ホームページ上で公開されていて、見ることができます。県でこれの担当をしていて、本当に全部出しているのか、危ないのは出してないんじゃないかと言われたんですけど、時間はかかっても必ず全部出しているの、信用して見ていただければいいかなと思います。福島民友新聞にも、モニタリングのデータが出ています。
- 検査の体制づくりとか、除染の取り組みとか、安全性の確認をして、100を超えるものは出ていないとされているんですが、米の値段が戻っていません。いわゆる風評被害というのが福島にはまだ根強くあります。福島の中通りや浜通りという原発のある所は震災前に比べて8割ぐらい。原発事故前までは福島県産として売られていたのが、今は中食、外食とか、名前で売られずに安く買いたたかれたりされているようです。
- 福島は現状、まだ9万人避難している方がいます。2017年の3月でだいぶ避難解除になります。すると農業をまたやりたい人が多くなるので、これまでのどういう点が危ないなどの情報を共有して県などと協力しながら進めていきたいと思っています。

関崎：3.11から軌道に乗るまで、モニタリングや県と市町村との役割分担とかにどのぐらいかかっていますか。2~3年後ですか。

二瓶：モニタリングは6日後の3月17日からで、牛乳から始まり、福島県になかった測定機械が揃った夏ぐらいから今と同じぐらいの体制になりました。米の全袋検査は2012年からです。

米も2011年は抽出検査でしたが、県で漏れがあって、福島県知事が「福島県の米は安全です」って安全宣言を出した後に、自主的に調べた米から当時の基準値500Bq/kg付近のものが出てきて、福島の調査大丈夫かとなった。そこから全袋を検査する体制になったのです。

参加者：今は制度は確立して、漏れがほとんどないところまで来ているのですか。

二瓶：はい。実際、県内ではどう取めよう、どう減らしていこうという話になっています。しかし、検査をやってるから安心して買ってくれるって人も多く、その辺はまだ難しいです。

参加者：震災直後日本のものは危ないと、懸命にオーストラリアの肉とかを買っていました。日本で出回っている肉の基準ですが、輸入品に緩くて国内に厳しいとかあるんでしょうか。

関崎：一緒です。輸入検疫で国内の基準を満たさないといけませんから。

二瓶：日本も原発事故の前にも昔から飛んでたのもあったんですが、そのときはわれわれも全然気にしてませんよね。オーストラリアもそのレベルで、それと一緒にのかなと思います

- チェルノブイリの事故で、直接影響のあったスウェーデンなどは対策などをかなりやっていて、われわれも参考にさせてもらっています。その他はあまりないと思うので、われわれの経験を、今度は世界のどこかであったとき参考にもらえるようにしていきたいと思います。



活発な質問に解説する二瓶さん

第24回サイエンスカフェ

『機能性食品』って本当に機能するの？

— お口に入った機能性食品成分たちの腸管内運命 —」開催報告

2017年1月10日第24回サイエンスカフェ「『機能性食品』って本当に機能するの？ — お口に入った機能性食品成分たちの腸管内運命 —」を開催しました。

話題提供してくださったのは、神戸大学大学院農学研究科、食の安全・安心科学センター・センター長教授の大澤朗先生です。機能性食品たちは消化管内、特に腸管内ではどのように変わっていくのか、ヒト腸管モデルを使った評価などについて、現在の研究を踏まえ、お話しいただきました。

普段の食生活について認識を新たにされる一方、もっと知りたい、聞きたいと、興味深い話題に参加者からの質問も多く、有意義な会となりました。



話題提供者の大澤さん

※以下、記載がない場合の発言は大澤氏のもの

※質疑応答は一部抜粋

【コアラとユーカリとタンニンと】

- 1988年から勤めたブリスベンの市営動物園にはコアラがたくさんいました。コアラはユーカリの葉を食べて生きています。ユーカリの葉は半分は水ですが、タンパク、糖分、脂肪などを含み栄養価は牧草とひけを取らないくらい高いんです。しかし、ほかの草食動物は食べようとしない。タンニンという成分が、普通の野菜では1%以下なのに、ユーカリの葉には10~20%含まれているんです。
- タンニンは、動物の生革の皮なめし剤や、木の壁や塀の防腐剤としても使われます。タンニンはその性質として、タンパク質、アルカロイド、金属イオンやでんぷん等の高分子と結合して難溶性の塩を作り、そのため、微生物や動物が分泌する消化酵素がタンパクに効かず、タンパクの消化ができなくなります。
- ユーカリの葉の絞り汁を、可溶性のタンパクの水溶液中に垂らすと、モクモクと雲の綿のようなものができます。これがタンニンとタンパクの結合物質で、お腹の中のどんな消化酵素でも分解できないと言われています。しかし、コアラは300万年ぐらい前にウォンバットから分かれて、ユーカリもそこから食べ始めたのですが、それ以来コアラは他の草食動物が見向きもしない植物、ユーカリを専ら食べて、血なり肉なりを作っているわけです。
- どうしてコアラはユーカリを消化することができるのか。研究のきっかけは、今から30年以

上前私がオーストラリアから一時帰国して東大の山上会館でコアラの話をしたときに、「コアラがどうしてユーカリを消化できると思う?」とご聴講されていた光岡知足先生(現・東京大学名誉教授)に聞かれました。答えられずにいたら、腸内細菌研究の権威である光岡先生に「ユーカリの葉にはタンニンが含まれていて、消化を阻害するんだけど、コアラが専らユーカリを食べられるのは、お腹の中にタンニンを分解・消化する菌がいるからだよ。調べてみるといいよ」と言われ、そのお考えをいただいて私はオーストラリアに戻りました。

- 戻った後何をしたか? 細菌培養に使う寒天平板の表面に、タンニン酸をフィルタ滅菌したものを流し、しばらく放置して、タンニンとタンパクの結合物質が表面を覆っている培地を作りました。コアラの新鮮な糞便を希釈液で希釈し、このタンニン酸処理寒天培地の平板に塗って、2日ぐらい嫌気培養をすると、濃度がだんだん薄くなってきますが、そこにコロニー、集落ができます。1個が2個、2個が4個、4個が8個と指数関数的に増えて、だんだん円状になります。このコロニーの周りに注目すると白く透けて見える、クリアゾーンという部分ができます。透けて見えるというのは、タンニンとタンパクの結合物質が溶けているということです。そこで、その菌を顕微鏡で見ましたところ、グラム陰性の桿菌で、数珠つなぎに100～200ミクロンの長さにもなる菌でした。
- この菌の注目すべき性質はタンニンを分解するタンナーゼという酵素を産生することでした。カビしか産生しないといわれていた酵素をこのバクテリアが産生します。しかも、タンニンリッチな食物を食べる動物から効率よく取れたのです。この菌のDNAを調べて既知の教科書に載っている菌に照らしたのですが該当がなく名前もなかったので、ローンパインの動物園のコアラから取れたということで属名がロンピネラ、種名がコアララムとなりました。1995～1996年の発表当時はネットはないので、知る人ぞ知る菌だったのですが、今ではGoogleの検索エンジン等にこの菌の名前を入れるとたくさん情報が出てきます。
- このタンナーゼは後につながりますので少しだけ触れます。タンニンの代表的な化学構造は中心部にグルコースがあり、その周りに没食子酸がくっついています。高校の化学Bなどを取られた方は、エステル結合について勉強されていると思いますが、タンナーゼという酵素はそのエステル結合を切るんです。これは加水分解ですね。タンパクがこの湾みたいなところにはまっけてなかなか消化できないけれど、エステル結合が切れてしまうとタンパクが外れて利用できるようになるということらしいです。
- 光岡先生が予言したとおり、コアラのお腹の中にはバクテリアがいて、そのバクテリアはタンナーゼというユーカリのタンニンを分解するということがわかったんですが、私は当時はバクテリアのことが関心事の中心ということではなく、専らコアラの病気を治すことをしていましたが、この辺から腸内細菌との共生は大切かなと思い始めました。1993年に日本に戻ってからは、光岡先生がされているようなヒトを対象とした腸内細菌との共生について仕事しております。今日は、「『機能性商品』って本当に機能するの?」というテーマですが、まずはプロローグとして、我々の腸内にいる微生物との関わりや作用について紹介させていただきました。

【機能性食品の「科学的根拠」を示すには】

- 一昨年の4月、安倍政権の景気対策として、アメリカで1990年代に取り入れられたDSHEA法 (Dietary Supplement Health and Education Act : 「ダイエタリーサプリメント健康教育法」) をお手本に、いわゆる健康食品をはじめ健康保健機能を有する成分を含む加工食品、農林水産物についても、一定の条件を満たせば新たな機能性商品として企業の責任で表示できますよ、ということになりました。
- 医薬品とか食品を作る際には、医薬品に関しては厚生労働省ががっちり管理しています。保健機能商品、特保とか栄養機能食品はちょっと緩いんですけども厚生労働省が薬に準じた形で審査しています。ところが新制度はもうちょっと緩めて健康食品をはじめとして加工食品、農林水産物、例えばニンジンでもいいよ、となったんです。科学的根拠を示せば、その会社や生産者で「これに効きますよ」と言えますよと。薬や特保を作ったりすると、相当お金と時間がかかりますが、これでだいぶ楽になったかなと思うような制度です。しかし、実はこれは大変な制度です。科学的根拠というところすごく聞こえはいいですが、新規機能製品については最終製品を用いたヒト介入試験を行ってくださいと言われる。薬と同じくらいのことを要求されるんで、皆さん「科学的根拠を示せば」というところで悩んでいます。
- 機能性・安全性評価における従来の概念とフローチャートは、いきなりヒトを使えませんが、培養細胞の中に効きそうなものをチャボンと入れて、培養細胞がどう変化したかを見て、健康につながりそうな候補を見つけます。その後、これがよさそうだと選りすぐった後に、すぐヒトにではなく、ネズミとか、イヌとかの実験動物を用いた試験で本当に効くか調べます。
- 細胞でも動物でもうまくいけば、これはヒトでも行けそうだと、ヒト介入試験をやります。薬の場合は本当に10年越しでこれがだめ、またこれがだめと、非常に効率が悪い。培養細胞、動物の試験でよかったのに、ヒトではだめだと。
- その理由の1つは、機能性食品を試験するのにネズミに与える量を試しに人間に換算するとすごく法外な量をネズミに食べさせて評価している場合があること。ヒトに効くために法外で、他の病気になっちゃうような量にしないと効かない。ヒトが食べるものならそこまで現実的に考えていかなければいけないですよ。
- ヒトで効かない、うまくいかない理由のもう1つはお腹の中。ネズミと人間では口から入って最後に出るまでの時間も違うし、お腹の中での機能性食品のいろんな成分がどうなっているかをよく見ないといけないんじゃないかということです。
- 光岡先生の「総説」から、光岡先生にお許しを得て自分なりにスライドを作りました。まずは口から回腸、小腸の終わりまでの推移です。ここは腸内の内容物1グラム当たりの菌数の対数表示で、胃ではガクッと下がります。ほとんどの菌は胃酸でやられます。回腸、空腸のあたりからまたぐっと菌が上がってきます。食道、胃、空腸、回腸と、滞在時間とpHなどどういふものにさらされるかを書きました。
- 口に入った後は、薬のように易吸収性／活性の機能性食品成分が、胃または小腸ですっと入っ

て目的とする体内の細胞に行くんだなと思いがちです。でも本当はこんなことは少ないんです。山口大学農学部から今は宇部興産の社員で、ポッドキャストの科学番組などでサイエンスコミュニケーターとしても活躍している中西貴之先生の本『薬はこうしてやっと効く』で、皆さんが飲んだ薬が体の中に入ったら、すぐに標的細胞に行くのではなく、肝臓に行って代謝されたりするという、薬物動態について本を書いています。これは、ずっと薬のように体内に入っていく場合の話です。

- 2番目のケース、せっかく効くものが入ってきたのに、胃酸や胆汁や消化酵素あるいはその他の成分にさらされることによって、活性のあるものが、失活したり難吸収性になるということです。これは、やはり中西さんが、『食べ物はどうして血となり肉となる』という本で平易に書かれていて、僕もすごく勉強になりました。
- 例えば、静岡県ではがんによって死ぬ人が他より1~2割低いんです。どうしてか。1家庭当たりの1年のお茶の消費量が静岡県は1万5,000円程度で、私が暮らしている神戸の3倍以上。静岡はとにかくお茶をたくさん飲むので、疫学的に見て、何か緑茶ががんになるのを予防しているのではないかとされるようになり、1990年代の中頃からペットボトルで緑茶がよく売れるようになってきているんですね。
- 緑茶の成分はいろいろありますが、特にポリフェノールの中でカテキン類といわれるものが、抗酸化、抗突然変異、抗がんなど良いことづくめの成分です。これはもう少し解説すると4つ成分があって、エピカテキン、エピガロカテキン、エピカテキンガレート (ECg) とエピガロカテキンガレート (EGCg) です。ここでプロローグのお話とつながると思いますが、これが没食子酸エステル結合している。ということは、このECgも EGCgも、タンニンと同じように、高分子と結合して塩を作ってしまうという性質があります。EGCgはお茶の半分ぐらいを占める重要なカテキンですが、皆さんが飲むときはお茶だけで飲むのではなく、昼ご飯などを食べた後にお茶を飲みますと、食事の成分の中のでんぷん、タンパクとお腹の中でミックスになって、巨大分子になるんですね。せっかく高い抗酸化性のある EGCg ですが、こうなってしまうと体内に吸収されないんです。分子量1万以上になると通常は腸管壁を通過できないんです。一方、エステル結合していないエピガロカテキンは、分子量が小さくて400~500の間なので、ずっと入っていくことができるんです。

参加者：EGCgは、タンパク質と結合して腸まで行きますか。それとも唾液や胃酸でいろんなところでやっても全然だめなんですか。

大澤：唾液とか胃酸でも全くこのままです。コアラの腸内細菌のようなタンニンを分解する菌がない限り、糞便としてそのまま出ちゃうんですね。

渡辺：この分子量1万以上は通過できないというのは、EGCgなどがなければ、タンパク質などは普通は腸管で吸収されるということですね。

大澤：タンパク質は小腸から分泌されるトリプシンなどで分解され、アミノ酸やペプチになり吸収しやすい大きさになります。EGCgなどと結合したままの状態だと消化酵素が効かない。

渡辺：大きいまま分解されず、そのまま行ってしまっ、入っていけないということですか。

大澤：そうです。

【機能性食品成分の「機能」はさまざま】

- これはケルセチンですが、これも抗酸化能があります。タマネギとかニンニクにあっても分子量は300ぐらいなんだけど、一見すっとな腸管壁から入っていきそうなんだけど、これは入らないんです。分子量が低いから入るかと思ったのにです。抗酸化能があるんだし、入るようにしたいということで、大阪にある添加物を製造・販売されている会社、三栄源さんが、人工的に作ったケルセチンをもっと吸収しやすくするためにどうしたか。ここに問題のケルセチン分子にブドウ糖を数珠つなぎにして、わざわざ高分子にするんです。これだと余計吸収しなくなるんじゃないかと思えますよね。実は、腸管にはグルコーストランスポーターという輸送装置みたいなものがあって、それがグルコースをつかまえて中に取り入れるんです。三栄源さんは、グルコースを標識として付けて、「あ、グルコース来た」と思わせて取り込みさせて、腸管上皮細胞の中に入ったらチョコキンと切られてケルセチンが中に入っていきようにしました。つまり、腸管壁の選択は分子量が低ければ入るかということ、ちょっと眉唾なんです。

参加者：今のケルセチンの効果は、抗酸化性ということですが、効果があるほうの1つですか。

大澤：そうです。

- では、吸収できないんだったら役に立たないのかどうか。例えば、この難吸収性機能食品成分でレンチナン、シイタケなどに入っている多糖類、フコイダン、海藻に入っているぬるぬる成分の多糖類、乳酸菌でもいいんですけど死菌体そのもの。これらも分子量が高いから吸収も消化もされないまま、糞便に出てきちゃう。ところが、我々の腸管上皮にこれらが触れただけで、腸管上皮の細胞がこんなもの来たよと間接的に下にいる細胞に知らせる。すると免疫細胞が活性化し健康になる。腸管に入って来た成分はそのまま糞便に出てっちゃうのんです。
- 実例の1つとして、うちのラボで実験をやってみて確かにすごかったのでご紹介するんですが、明治のR-1の *Lactobacillus delbrueckii* という乳酸菌の1種、これは一般にはブルガリア乳酸菌と呼ばれています。この菌の多くの菌株、先ほど言った糖の分子が数珠つなぎになった糸みたいなのを産生します。実際にR-1を試してみると糸を引きますが、糸を引くというのは糸が束になっているんです。これは、複雑な糖が数珠つなぎになって、枝分かれしてたりしているもので、糖鎖といいます。
- このネバネバの成分は先ほどのフコイダンやレンチナンなどの糖鎖、また全く構成する糖も構造も違うけれども、このR-1、明治さんが数千のブルガリア乳酸菌株の中から選んだ株です。株ごとに産生する糖鎖が違って、菌の名前がブルガリア乳酸菌ならどんな菌株でもいいというわけじゃなくて、この株だからできる技を見つけられたんですね。

• さて、この糖鎖が腸管に来ると腸管上皮にこのネバネバの糸みたいなのが触れただけで、吸収されもせず、消化されもせず、普通に出ていっちゃう。触れただけで、下に敷かれている樹状細胞、免疫のカスケードが動いて、Th1系、細胞性免疫のほうにお知らせが行きます。がん細胞とかウイルスに感染した細胞はもともと自分の細胞だけと違った標識を出しています。我々は健康であってもその体内ではがん細胞が出現していると言われていています。なぜがんにならないかと言えば、その1つの理由はがん細胞を毎日巡回しているナチュラルキラー(NK)細胞ががん細胞特有の標識に気づいて攻撃、排除しているからなのです。ウイルスに感染した細胞も同様に排除されます。でもその標識の認識力が甘いと、そのまま許して感染が進んでいってしまうことがあります。先ほどのR-1の糖鎖はNK細胞の活性化、つまり標識の強化を促すということが分かったわけです。

参加者：乳酸菌が産生する多糖類というのは、何か構造上特徴があるんですか。例えばグルコースが長々とくっついていて一方、お話だと腸の中に入りやすくなる化合物がありますよね。

大澤：それはすごく難溶性、難消化性の糖鎖で、複雑な糖鎖構造です。

参加者：免疫の樹状細胞に信号が行って、免疫が何で活性化するのがよく分かりません。

大澤：これは、まだよく分かってないんですが、腸管上皮細胞から一酸化窒素やNO_x、過酸化水素がシグナルとして出てるんじゃないかと。ここのセンターの八村先生もされていると思いますが、トランスウェルという疑似腸管の免疫系のモデルでは、このEPSに触れただけで、疑似の腸管上皮とされている細胞の中で「サイトカインを作れ！」という信号が伝わり、そこからさらに下の組織、例えばマクロファージやT細胞にそのサイトカインを介した免疫調節の情報伝達が行われる(いわゆる「免疫カスケード」)、このような実際に近い状況が再現されています。

• このR-1を、2010年に佐賀県の小・中学校で飲んでもらい、一冬越したら、飲んでもらっていた学校のインフルエンザの感染率が下がったということが発表されました。それで一時期スーパーマーケットに行ってもR-1は全然なかったり、お1人お1つですなどと言われました。今はそのようなことはないですが。全然消化されない、吸収されないものでも、こういった機能を持っているものがあることを認識していただければと思います。

渡辺：R-1の菌自体が悪い菌を叩くのではなく、難溶性の糖鎖を作るのが一番の作用なんですか。毎日摂らないといけないと聞いたんですが、1回食べるだけで定着はしないのですか。

大澤：そうです。糖鎖をつくることです。また私見ですが、1回だけ食べても定着はしないです。乳酸菌のポピュレーションは小腸で10の7~8乗なんですが、彼らの代謝能が機能するよりも、糖鎖の糸とか菌体表面についている糖鎖が、その乳酸菌の生死に関わらず、糖鎖に免疫付与能があれば必要量10の8乗になるぐらい食べると、それなりにR-1らしく効果があるということです。

• 某社の商品ではチョコレートに乳酸菌を入れてるけれど、乳酸菌はたぶん熱で死んでいると思うんです。でもそれなりの量を食べると腸に接して、フコイダン等と同様、糖鎖だけは接するので効果があるということなんです。酒粕でも、山廃の酒粕は乳酸菌の死がいがいっぱ

い入ってるんだけど、それを食べると免疫付与になるということで、乳酸菌に関しては決して生きて腸まで届けなければいけないということはないと、私は思っています。ビフィズス菌の場合は別ですが。

渡辺: 最低限のこのぐらいの量は食べないと効果がないとか、逆にたくさん食べれば食べるほど免疫の活性化がすごいとかいうことはないんですか。

大澤: 量については、長寿でピンピンしている人がどのぐらい食べているかというのを参考にされるのが良いのでは? と思っています。私は動物のお医者さんなので、そのへんのコメントは差し控えます。

- 次は、小腸を離れて大腸へ行きます。ビフィズス菌と乳酸菌、いいことをする菌なんですが、ビフィズス菌は、偏性嫌気性菌といって空気があると全く育たず、嫌気度があるところでドーンと増えてきます。ところが乳酸菌は空気があっても育ちます。対数当たり10の7乗ぐらい。ヤクルトはいっぱい飲めば10の8乗ぐらいになりますが、それ以上ということはないのできないんです。ところがビフィズス菌は普通にこのぐらい育ちます。年齢にもよるんですけども。若い人は10の10乗ぐらいいますけど、私なんかはせいぜい乳酸菌と同じぐらいです。
- 善玉といわれる菌なんですけども、大腸でいいことをするメインのものは、こういった乳酸菌よりはビフィズス菌です。偏性嫌気性菌が1,000倍以上になっているという感じです。後で腸管モデルのお話でふれますが。大腸内で何が起きているかということ、小腸から難吸収性の不活性の機能性食品が送られてきて、このまま糞便として出てっちゃうのかと思いきや、皆さんのお腹の中には10の12乗、1グラム当たり1兆個菌がいて、そこにはいろんな仕事をする菌がいます。この菌の作用を受けて、役に立たないと思われていたものがいろいろな変換・代謝を受けて機能性成分になるというものがあります。あるいは吸収しやすくなって結果、健康になるということがあるわけです。
- 私は日本に帰国した後はもうタンナーゼ産生菌は研究をしないのかなと思っていたんですが、うちの教室の学生さんが一生懸命その辺にいるんじゃないかと、タンニン処理した培地にいろんなものを塗ってくれていたら、実はキムチとかぬか漬けにくっついてる乳酸菌が、前述のロンピネラと似たような働きを持っていることが分かったのです。僕らの身近にこんなのがいるんだ、ならばこの乳酸菌をあらかじめ僕らのお腹の中に入れておけば、タンナーゼを出す菌ですので、ここで、大腸あたりで何もしなければ糞便として出ていたもったいない抗酸化性のある緑茶カテキンとタンパクの複合体が分解され、抗酸化性があって、しかも吸収しやすいカテキン類が産生される。お茶が本来持つ抗酸化性をより上手に体の中に届けてあげることができるのではないかと考えてみました。
- 7年ぐらい前にこんな発想で、広島尾道に本社がある丸善製薬さんと一緒に共同研究をして、スマート乳酸菌というプロバイオティクスを開発しました。これは死菌体がTh2のほうを刺激し、花粉アレルギーなんかに働く、そういう素材として今売られております。
- 別の例としては、ヒト腸内から大豆由来ダイゼインをエクオールに代謝する乳酸菌を発見し

ましたが、それは *Lactococcus garvieae* という、乳酸菌の1つなんです。閉経後に女性の方が骨粗鬆症になりやすいのですが、それは女性ホルモン、エストロジェンが骨の形成にすごく大事な役割を果たしていたのが、どんどん低下していくためです。エストロジェンの低下をどう補うか。大豆イソフラボンと総称されるものが非常にエストロジェンと構造が似ていて、それを食べると、閉経後のエストロジェンの低下で起こることが軽減されることが分かっています。

- そして、これよりもっとエストロジェンと同じような効果が強いというのがエクオールというものなんです。この菌は「エクエル」といわれて売られています。この菌は高齢なのに骨粗鬆症になっていない女性を調べたら、おしっこからエクオールがたくさん出てきて、糞便からはダイゼインをエクオールに変換する菌が出てきたそうです。それが *Lactococcus garvieae* だったのです。全員の女の方にはいるのではないんですけども、いる人にはこういう菌がいて、普通に生活しても骨粗鬆症にならない。それを、菌を補うわけではなく、その菌がダイゼインから代謝して作ったエクオールをそのまま錠剤で飲めばいいという着想です。

参加者：大澤さん、その菌は魚の病原菌じゃないですか。

大澤：そうです。魚の病原菌とされてるんだけど、なぜかヒトのお腹の中にもいて、それならもうお墨付きで使えと。しかもこれはプロバイオティクスではなく、工場でエクオールを作るための種菌として使ってるだけということも理由で、この菌の使用が安全であると考えられたのかなと思っております。

参加者：大豆イソフラボンで、結構女性の方、摂る方が多いと思うんですけど、誰でも効果が得られるものではないといったことがあって、それとこの菌というのは関係していますか。

大澤：そうかもしれません。活性のあるものを作る菌は見つかったけれど、これを活性のないものにしてしまう菌、ダイゼインを不活化してしまうような菌を持っている人もいるかもしれないという考え方もあるわけです。

- ですので「大腸から運ばれてきて吸収されたら効くのかなあ〜」、と思われる「機能性成分」も、今度は逆に、皆さんのお腹の中にあるものの働きで機能性成分が不活化されたり消去されたり、または逆方向に毒化、いいことが起こらないものに変化してしまうこともあります。
- 良かれと思って食べてたものが疾病になる。2013年に雑誌「Nature Medicine」に取り上げられています。最近メタボ対策でサプリメントにいろいろな成分が入っています。食事性カルニチン、ヒトの肝臓細胞内のミトコンドリアによる脂肪の代謝をよくすると言って……。あと乳化剤などは、普通に食品の中に水と油をよく混ぜるといった添加剤として使われています。
- カルニチンとコリンといわれる乳化剤ですが、昨今、食品によく添加されているこれらのものが、ある腸内フローラの大腸まで行ったとき、せつかくヒトの健康に良いことをする活性があると思ったのが、トリメチルアミンというものに交換されて、さらに肝臓までいって酸素がくっついて、これが動脈硬化につながっちゃうというアメリカのグループの研究が載っているんです。これは、誰のお腹のフローラでも起こるのではなく、特に肉食系で大腸の中の細菌叢がちょっと変わっ

ている人でこの反応が大きいと、報告しています。

【KUHIMヒト大腸フローラモデル】

- 機能性食品は、ヒト腸内での動態を考慮した評価が必要です。ただ、ヒト腸内での動態をじゃあヒトにいきなり飲んでもらう、ヒトを実験動物のように使うことはできません。
- ヒトの腸内環境を模した機能性・安全性評価試験系が必要になって、神戸大学で今から3年くらい前に始めたのが、ヒト腸管モデル、Kobe University Human Intestinal Model (KUHIM) を用いた安全評価です。2系統あり、1つは小腸を中心とした主に免疫系の評価。もう1つは大腸でどういう動態を示すかを評価するものです。大腸モデルのほうを少しご紹介します。
- 最初の頃は、1個の培養槽の中でヒトの新鮮な糞便をほんのちょっと入れて、この中で嫌気培養をします。イメージとしてはこの中で上行結腸、横行結腸、下行結腸のひとかたまりの消化物の中の細菌がどう変化していくかをトレースしていこうということです。時間の経過とともに大体36時間ぐらいまでやって、時々培養液の一部を解析用サンプルとして取り出します。
- 大事なのは、先ほど言った、偏性嫌気性菌が1,000倍ぐらい優勢な状況を作らないと模していることにならないということです。ひと昔前は培養法で寒天平板作ってコロニーの菌を手作業で数える気の遠くなる作業でした。今世紀、次世代シーケンサーができて培養液からDNAを網羅的に取って、500～1,500種類あるといわれる腸内細菌がどのぐらいいるか結果が楽に出せるようになったので、いいタイミングで腸管モデルができるようになりました。
- この腸管モデルの考案をした人は今から40年くらい前から始めていたんだけど実際のフローラの変遷の調べ方で止まっていた。けれども次世代シーケンサーで調べてみると、これはボランティア3人の糞便を6時間、9時間、12時間、24時間培養し、ある検出限界で切ったもので検出されたバクテリアの属が、16ぐらいあります。ほとんどが偏性嫌気性菌です。KUHIMの培養液中はこの偏性嫌気性が優勢というのが実現できているわけです。
- スライドの棒グラフの白い帯のものは難培養バクテリアです。普通の寒天培地では栄養が足りないのか、他の菌がいないと増殖できない菌ですが、それがちゃんと増殖しているんです。9～12時間までに全体では100倍ぐらい菌が増殖していて、難培養性の菌がグラフの白い帯のところですが、もし僕らの培養系で培養できてなければどんどん見えなくなってしまうはずですが、相変わらず同じプロポーションで維持しているので、問題の難培養菌がちゃんと培養できているということになります。
- 偏性嫌気性というのは、空気があるとすぐ死んじゃう類の菌の性質です。多いのは悪いことではなくて、人間の腸を模してつくとそうなるんです。



腸内フローラの変化を説明

【有機酸の組成でわかった菌たちの環境づくり】

- 菌叢を構成する菌種としては、表示しているデータの場合、少なめな人たちが300～400種ぐらいですけれども、糞便で検出された種と培養液で検出された種が多様性もほぼ維持しているということです。もっと大事なことは、大腸で起きていることです。消化性の糖あるいは糖鎖でできた繊維でもいいんですけれども、これはバクテリアに消化されると、短鎖脂肪酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸などになります。今まで老廃物、ごみだと思われていたのが、今世紀の文献で、そうした有機酸が実は僕らの大腸の細胞とか体の中の体細胞の栄養になったり、健全性の維持や組織修復に使われたり、さらにはこうした有機酸が免疫系に刺激を与えることがわかり、今とても注目されています。
- 大腸内での代謝にすごく注目して、動態を調べなきゃいけない。僕らのモデルも先ほどの3人の6～24時間培養液の中の有機酸の組成を調べていったら、最初乳酸とかコハク酸が出てくるんですが、そのうち酢酸とプロピオン酸と酪酸ということで残ってきます。
- これはちょっと古いですが、実際交通事故で急死された方のバイオブシーでいろんな部位から取った内容物の有機酸組成ですが、やはり実際の人もこのように大体3:1:1に酢酸とプロピオン酸と酪酸になるってということです。このことから、私たちのKUHIMはこの意味でも大腸を再現してるんじゃないかということです。
- 2009年の「Nature」に発表された論文ですが、いろんな人の糞便の門レベルの種類をやると、人によってバクテリアの叢が違うんですが、この研究ですごいのはバクテリアの持っているいろんな代謝関係の遺伝子の発現を調べると、バクテリアの種類は違うけども発現してる遺伝子レベル、代謝、そういうものを命令する遺伝子群の構成は一定してると。だからフローラが違ってても、やってる仕事は同じ。先ほどご紹介したように大腸内で産生される主な有機酸の構成比が3:1:1になるんです。健康な人が大体3:1:1、潰瘍性大腸炎とかになっている場合は有機酸の量も、組成も違ったりします。こういうことで、フローラは違ってても健康な腸にしよう、みんなで協力して作業をしてこのような有機酸の比になってるんじゃないかと考えています。
- 機能性全体の働きが同じということで、分類的なフローラ構成よりもその代謝産物構成が健康に重要ではないか、そう考えると、よほど食中毒を起こすような菌でない限り善玉も悪玉もない。それぞれみんな重要な仕事をしている。なぜ悪いことが起きるかという、そのバランスが崩れるからですね。悪玉をなくせばいいとばかり言われるけど、悪玉というのも実は重要な仕事をしていると。それをなくしてしまったら、えらいことになってしまうという考え方に転換していかなくてはいけないかなと思っています。



参加者からも注目が集まる資料映像

- さて、ヒト腸管モデルに皆さんから頂いた糞便を入れて培養し、調べたい成分を入れて、これを培養し、経時的にサンプリングしてDNAを取り、フローラの組成とか代謝産物の組成を調べます。
- 1リットルぐらいの培養叢で1人1回です。しかし比較する人やものが増えるとわかりにくくなり、時間もかかります。それで困ったんですが、この培養系の8連シミュレーション装置っていうのがあるんです。各々の培養液は大体200ccの容量ですが、ここに100ccぐらいの培養液が入ります。そのような培養槽が8個あって、一気に培養できる、800万円ぐらいする機械なんですけど、文科省の振興調整費の補助で私どものラボに設置することができまして、2年前から動かしています。これによって多項的な試験が可能になりました。
- KUHIMの使用例として、オリゴ糖のプレバイオティクスがあります。プレバイオティクスというのは、ヒトの大腸に常在するプロバイオティクス菌、これはビフィズス菌に象徴されますが、それを選択的に増殖するような効果のあるもので、難消化性の成分です。
- こういうものはヒトの消化酵素では分解されないで、しっかり大腸に届きます。ビフィズス菌以外の菌は、多くはオリゴ糖を食べることができない。ビフィズス菌には利用できて栄養源となります。そして大腸で酢酸を産生するというので、その酢酸が結構それなりに細胞の健全性を保つためにいいみたいなので、健康につながるということで、皆さん、ダイエットサプリメントのコーナーに行くと、オリゴ糖の商品がいろいろあると思います。
- 確かにオリゴ糖を食べるとビフィズス菌が選択的に動いていることは分かっていますので、実際KUHIMのモデルで6人の人の糞便にこのオリゴ糖を入れて、ビフィズス菌は本当に増えたのかをやってみました。いろんな年齢の人です。すると、ビフィズス菌がピッピって伸びましたよということで、6人の大腸でおおむねビフィズス菌に特異的な増殖促進が見られました。乳酸菌も調べましたが、乳酸菌は全然増えませんでした。
- 富山大学の名誉教授の服部先生が考察されたのが、漢方薬の、効く人、効かない人がいることについて、漢方薬の薬効発現には腸内フローラの代謝が重要な役割を果たしており、腸内フローラの個人差は適正な処方決定、投与量に大きな影響を及ぼすことが想定されると言っています。こういうこともKUHIMを使って検証できるかもしれないということです。
- 食物繊維、オリゴ、乳酸菌菌体、菌体多糖について、今、評価を進めています。機能性・安全性というのは新しい概念ですね。大事なのは、ヒトでは本当は効くのに機能性食品成分が通常の培養細胞や実験動物を用いた実験で沢山見過ごされているのではないかとことです。その取りこぼしがもったいないということで、KUHIMで何とか拾い上げていけたらなと思っております。
- 日本はすごく平均寿命が高いと言われてますが、最近問題にされているのは健康寿命です。認知症が、10年後には5人に1人というので、本人も周りの家族にとっても大変大きな問題です。対処としていろんな方法がありますが、ヒューマンマイクロバイオーター(ヒト腸内細菌叢)が認知症と関係がありますよという論文が近年発表されました。食事のバランス、加齢や

ストレスで腸が炎症を起こして、炎症が伝達されて脳まで波及すると脳細胞がやられるのだということが書かれています。スライドの論文にあるような乳酸菌飲料や難消化性の食物繊維を取ることで認知症等の人の脳疾患が改善されるようです。この分野については近年研究が始まったばかりですが、これからどんどん加速して明らかになっていくと思います。

第25回サイエンスカフェ 「農作物の放射性物質汚染について考える ～福島原発事故を踏まえて～」開催報告

2017年2月6日第25回サイエンスカフェ「農作物の放射性物質汚染について考える ～福島原発事故を踏まえて～」を開催しました。

東京大学大学院農学生命科学研究科附属食の安全研究センター特任教授の中西友子さんに、自然界の放射線や放射性元素の成り立ちなど基本の知識から福島の田畑や森林への放射性物質の影響など、放射性元素施設ならではの技術を使った画像なども紹介しながら、わかりやすくお話いただきました。

身近にも普段からある放射線、原発事故によって農畜産物に影響を与えた放射性物質等について、いろいろな角度から情報を提供いただき、参加者の方々からの質疑応答を通じて有意義なディスカッションが行われました。

※以下、記載がないがない場合の発言は中西氏のもの

※質疑応答は一部抜粋



情報提供者の中西さん

【宇宙の始まりと元素のなりたち】

- 私たちの周りには、身近な放射性物質があります。そもそも放射性元素とは、何でしょう。元素にも放射性のものが存在していて、天然のものと人工的に作ったものがあります。その両方が例えば両方とも同じエネルギーの γ 線を出していれば影響は一緒です。放射線を出して放射性元素は崩壊します。不安定なのが安定になろうとしている元素を放射性元素といいます。崩壊するのですが、放射線は一定の割合で減っていきます。一定時間たつと、あるものは半分、あるものは4分の1しか減らない。ものによって固有の時間を持っています。だから時計がたくさんあると考えてみてください。
- 私たちの身近な放射線、放射性物質とは何でしょう。放射性元素っていうのは2種類あって、1つは地面の中に埋まっています。それは46億年前に地球ができたときに、周りにある塵とかいろんなものを固めて地球っていう星ができたのですが、このときに取り込んで、地殻に存在しているものです。この際核種になって、それでも不安定でどんどん崩壊して、系列を作るものと作らないものがあります。
- そして宇宙線によって空からも降ってくるんですね。宇宙線は宇宙空間にいっぱい飛んでいます。ものすごくエネルギーの高い陽子線が、常に私たちの地球の外を走っているわけです。その

宇宙線が、空のすごく高いところで大気が薄くなっているところでも少しあるんですね。核破砕反応といって窒素とか酸素とかがそれに当たります。酸素とか窒素が壊されているような核種ができて、それがいつも降りてきています。

- ビッグバン、宇宙の始まりはインフレーション理論とかで、10のマイナス何乗秒でできたらいいんですが、46億年前に地球ができたとき、周りにあるものを全部取り込んで、それから今に至るまで、ずっと保持し続けてるんです。例えばカリウム40があります。コーヒーにも少しはカリウムが入っているし、私たちの体にもありますが、カリウムの1万分の1は放射性なんです。半減期が13億年なので、地球ができたときから考えたら4半減期で今は16分の1ぐらいだから相当減ってはいますが、1万分の1のカリウムは放射性です。普段の食べ物や接するもの全部、私たちの体にも入っていつているものがあります。
- この宇宙の生成っていうのは非常に実は面白くて、どうやって元素ができてきたか、この前、113番元素ができましたが、いろんな安定なものがあるんですね。いろんな元素の合成の歴史があるんですけども、面白いことにビスマス、鉄までしか、この元素合成でできないんです。鉄で平衡状態になってしまいます。でも星っていうのは、ずっと進化があって最後は爆発するんですね。超新星の爆発ですが、爆発する際には鉄より重い元素ができるんです。それを宇宙空間にたくさんばらまくわけですけど。
- まあ、元素の歴史を言っても仕方ないんですけども、こんなふうに、宇宙ではいつも元素合成の歴史が140億年前からつながっています。あるとき固まったのが地球だから、当然宇宙空間にあるものも取り込んでいるということになります。
- 天然にあるウランはほとんどウラン238なんです。0.7%だけウラン235って、燃料棒にするウランなんですけども。地球ができるときにウランももちろん取り込んで、地球が固まるときにいろんな鉱床ができて、あるところではウランが多かったりしています。そのときは45億年前ですから、今の倍の量ウラン238があった。これはとても面白いことで、身近に、いろんな核種があるんですけど、1つ1つが時計なんですね。だから年代測定っていうと、炭素14だけじゃなくて、ありとあらゆるものが使えるんです。

参加者：半減期が長いものについては確かにまだ半分になっているのはわかりますけど、短いものってなくなっちゃうと思うんですけども。

中西：そうです。星の中で作れないんです。ヨウ素131も人工的に作らないといけない。

参加者：普通は無ければ無い、ということですか。

中西：ええ。ないわけです。ラジウムですとか半減の長いものはあります。

- 単独に、原始放射性核種って、地球ができたときからあるっていうので、「原始」という言葉を使うんですけども、他にもあるんです。主なものでカリウム40とルビジウム87とかが岩石ならびに土壤中にあります。私の時代はベクレルじゃなくてキュリーですいません。これは13億年と、ルビジウムも480億年です。こんなものがなくならずに地球の中にあるわけです。
- トリチウム、 ^3H って書くんですけど、半減期は12年。それが、宇宙の高いところで核破砕反

応でいつも出てくるんです。雨水と一緒に降りてきます。H₂Oの普通の水素と置き換わって。ですからトリチウムっていうのは、私たちが飲むコップ1杯に、大体計算しますと10の7乗個、1,000万個ぐらいのトリチウムは入ってます。どんな水にも。水によって多かたり少なかったりするんですけど。だから、それだけ私たちは飲んで、体の中にも入っています。

- それからベリリウム7も面白くて、ベリリウム10っていうのは、10の6乗年ぐらいなんですけど、それはプレートはどんなふう動いてったか。地震のときですけども、そんなことを調べるのに使ってます。
- ¹⁴Cは年代測定でよく出てきます。なぜ年代測定ができるかっていうと、宇宙線がいつも炭素14を作って、二酸化炭素、CO₂の中には1兆分の1だけ、私たちが吸っている二酸化炭素、全部放射性の¹⁴Cなんですね。で、常に上から補給されてますから、平衡状態っていうか、一定量の割合で炭素14っていうのが二酸化炭素の中に入ってる。炭素14のCO₂がいつも入っているので、私たちが吸うのもそうですし、植物が呼吸してもそうですし、動物が呼吸してもそうですし、動物の体の中に入っているのもそうです。いつも呼吸して常に供給されているので、割合としてはほぼ一定なんです。
- ところがあるとき樹木を切り倒して、大昔の人がコップを作るとしますよね。そのコップが土に埋まってしばらくたつと、普通のところのものは炭素14と12の比が大体1兆対1なのに、12だけ減っていくわけですね。5,730年たてば、1兆対0.5になるわけです。1だったのが。その比を詳しく測ると、木を切り倒してコップを作ったのはいつ頃と分かるわけなんです。だから8割だったら1,000年たったとか。それで年代測定っていうのができるんですけど。
- 東大にタンデム加速器っていうのがありまして、そこでは、年代測定をいつもやっています。今は、何十ミリグラムの量、ほんのちょっと、100mgもあれば御の字ですけど、それだけの木片があれば、それを使って分析できる。まあ、でも、使ってしまうので、貴重なものは削れないっていうことはありますけども。年代測定っていうのは、私たちの周りに放射性物質が、元素があるからこそできる技法であります。

【私たちの身のまわりにある放射性物質】

- 空の高いところで宇宙線がたくさん飛び交ってますから薄くなった空気と当たって、いろんなものを作って私たちのところに降り注いでいる。私たちの地殻、地面の中にもいっぱいいろんな放射線核種が入ってます。実はウランなんかは花崗岩に結構多くて、私、まだ測っていないし、別にそうだから危ないってわけじゃないんですけど、花崗岩で作った建物っていうのは少し放射線が高いんじゃないかなと思ってます。
- 大学の中もいろいろ調べました。花崗岩でできた階段のところは、測ったら、ちょっと高めですけど、まあちょっと高めかなというぐらいです。それよりカリウムのほうが高いです。そして先ほどの話のとおり、空からはいつも降ってきています。下と上と両方からいつも放射線が降り注いでいる中で私たちは暮らしているということになります。

- それで、公共の放射線被ばく量は年間どれくらいか。日本の基準値は今年間1mSvですね。バックグラウンド値は別ですが。バックグラウンドとなる天然の放射線の被ばく量、大体日本は、合計1.5mSvなんです。で、いつもこれだけ浴びて、子どもから大人までみんな育ってきているわけです。これよりプラス1までいい、許容しましょうと。1mSvが今の基準ですが、これはでも、同じ放射性物質です。セシウムもそうですが、宇宙線から約0.3mSv。大地も0.4mSvあります。ラドンっていうのはこれは面白いです。ラドンはガスなんですね。ガスを結構吸うんです。世界の平均は2.5mSv。今、スウェーデンの人が日本に来てるんですけども、スウェーデンは、日本の3倍から4倍高いんですよ。だからスウェーデンで3~4カ月暮らすと、日本で1年間暮らす分の天然の放射線の被ばく量があるところなんです。自然の放射線は場所的に違うということですね。インドでは7倍あるところもあるし、地球っていうのはいろんなものを、放射線核種をあちこちで貯めてますから、地殻に。そこに住んでる人がいろいろいると。中国でも3倍のところがあるそうです。
- 100mSvまでは、がんになるかどうかっていうのが、確率が上がるかどうかっていうのは分かんない。データがないんですね。だから、低レベル被ばくっていいですけど、これについては、世界の機関では100mSv浴びると0.5%ぐらいがんの確率が上がるんですけども、各国が自分たちの国民はどれくらいまで許容するというものを決めなさいと。ですから20mSvや30mSvの国があって、日本は福島事故後1mSvにしたんですね。非常に厳しい、厳しいということ、食べ物も非常に厳しくしてるということになります。

参加者：ラドン温泉が体によいというんですが、どんなメカニズムですか。

中西：ラドン温泉は、実はリッター当たり1,000Bqないとラドン温泉って言わないんですね。昔からリウマチに効くとかいうのがあるんです。ラドンというのは周期表の一番右ですね一番右っていうのは、科学的に何も反応性がないんです。ガスとして吸って体の中では脂肪組織に貯まります。そしてその近くにある神経を刺激するんです。ラドンから出るα線っていう放射線ですけど、あんまり飛ばないんですね。近くのを、チラチラッと刺激して、それでリウマチが治ると言われている。ラドンっていうのは半減期が3.8日なんですね。ですから、まあ、たくさん吸っても、すぐなくなりますし、天然のレベルはそれでもすごく低いんですが。

- 日本中、宇宙・大地からの放射線、どこの場所がどれくらい、何mSvかっていうのを、これも、福島原発事故のずっと前、2000年に測ったデータでは、関西のほうでは人形峠がちょっと高めなんですね。東北とか北海道は0.9とか0.8で、関西は1.7、1.16とかあって、関西のほう放射線が10~20%高いんです。ところが、白血病、がんの発生率は東北地方が一番高い。だからがんとの確率っていうのは、この頃いろいろ



地球の成り立ちから理解を深めます

ろ調べたけれども、天然のものとはあんまり一致しないだろうということの推測です。疫学調査はいろいろされています。

- また、面白いデータですが、原子力研究所の人が大阪から東京までずっと放射線量を測りながら電車に乗って移動しました。そうすると、トンネルに入ると縦軸がマイクロシーベルト/時ですから、今、福島で0.0いくつとか言ってますが、トンネルでは0.05や0.04出ています。トンネルで高いのは、すぐ周りに地面、土がありますよね。土の中に結構いろんなものが入っているんで、そこから出てくる放射線量で高くなるんですが、川のところに行くと非常に低いですね。水が遮光して低くなったりしています。
- 言いたいことは、これだけ値には幅があって、動きますよということ。0.5が0.4になったといっても、天然の動きから見てそんなものかなということ。ただ、0にはならない、ということを知っておいていただければと思います。
- 天然原子炉というのがあります。実は日本人のKurodaという化学者が1956年に、存在を予言していましたが、これが当たったんです。ウランというのは、燃料にするのはウラン235で0.7%しかないんです。それを濃縮して4~5%になれば濃縮ウランっていうことで、原子力発電所で燃料として使っているんですけども、125は半減期が7億年なんです。ということは20億年も遡ると、20億年は $3 \times 7 = 21$ だから、3半減期で $2 \times 2 \times 2 = 8$ 。8倍。もう0.7%の8倍だと4~5%はあったわけですね。20億年前は環境中に濃縮ウランでした。あと7億年たつと、今0.7%ある235のウランも半分になってしまうわけですね。
- 他方238は、40何億年と長いですが、235は20億年前は濃縮ウランだらけだった。ですから、今、ウラン鉱山のあるところで、ちょっと自然条件が合うと原子炉ができたっていうのを予言したんですね。1956年という、1942年に初めてアメリカのフェルミグループが人工の放射線で原子炉を作ったんですが、世界中が驚いて、素晴らしい、人類の英知で研究用の原子炉ができた。ですから「天然にある」とは何事だと言って誰も見向きもしなかったんですね。とても短い論文でしたが。そうしたら、実際に後でフランス領のオクロっていうところで見つかるわけですね。
- 見つかったのは、ウランを採掘している場所で採掘したウランの品質を保証するために、ウラン235と238の比をいつも測っていたのです。私たちのところで取れたウランには0.7%、ちゃんと235ありますと示して出荷してた。ところがある場所で235がものすごく減ってたんですね。これはおかしいというので測ってみると面白いことに、238とか235とか、みんな核分裂していろんなものができるんですけど、どの元素がどれぐらいできるかっていうパターン、割合が全部決まってるんです。周りの土を分析すると、そのパターンどおりに元素の存在量が分かった。だからこれは235が何十億年かけて100万キロワット級の原子炉を持っていたということ。ほかに天然の原子炉が数台見つかったんですね。7~8基あったということですけど。天然というのは、人間の頭で想像できないすごいことが起きてるんだなあということがあります。
- 先ほどの、ラドンっていうのはどこから出てくるか。238の半減期が45億年、そして次々に他

の種類元素が出てくるんです。ビスマス、プロニウム、アスタチン、ラドン。で、どういうものになるか。トリウム234は、ここからプロトアクチニウムになって、ウラン234になってとどんどん崩壊していくわけですね。ラジウム226になって、ラドンの222。これが3.8日の半減期なんです。これはガスですね。鉛あたりにいくと、また固いんですが。鉛210は138日、210の鉛は22年とかですね。

- ずっと崩壊していった、最後にステイブルな鉛になってくるんですけども、鉛210なんてあまり聞いたことないと思うんですけど、それを測ってみて、鉛210と、他の比を測るんです。鉛210がこれだけ少ないじゃないかと。これは22年の半減期ですから、例えば江戸時代に持ってきた土なのか、ひっくり返したら出てきたのかわかるわけです。周りに身近にある放射線核種が時計の役割をしていて、地球や私たちの身近な歴史を知ることができるわけです。
- トリチウムっていうのは、薄い雨水と一緒に空から降ってきて、半減期は12年。ガスなんですけど、水にほんの少し溶けますので、地下水を測るとラドンが溶けています。それで、昔、この水がそこら辺に沸いてきたので、ラドンとトリチウムの比を測ったら、ラドンがいやに多かった。だからこの水は、雨水が貯まったんじゃないくて、地下にどこか割れ目があって、そこから来た水だろうと。ならば地震があるに違いないと言って地震予知につながったんですね。
- タシケントっていうところで実際に予知ができたんです。ただ、今の火山噴火予知連絡会の藤井先生にこの前お会いして、日本ではラドンとトリチウムも測ってますかとおたずねしたら、測ってるところもあるけど、それほど測っていないとおっしゃってましたので、もっと日本中で測ればいいと思いますが。まあ、当たらないこともあるんでしょうけど、半分ぐらいでも予知できれば、すごいなあと思うんですが。

【放射性元素の崩壊を捕まえる】

- 食品中のカリウム40。今回の福島のこと、測ってみると、結構ホウレンソウなどの野菜は大体200Bq/kgぐらいあるんですよ。規制値が100Bq/kgですから非常に大変なんです。200のところ、100だけ出るものを測りなさいっていうので。長い間測っても、バックグラウンドの値も揺れますし、測るものも揺れる。ノイズがずっと収まるまで長い間測ないと分かんないですね。なので非常に苦労して測っています。
- この200Bq/kgというのは、すごいことなんです。200個の元素の崩壊を、原子核の崩壊を捕まえてる。大体、私たちが知ってる化学反応は、1モル、22.3ℓで、アボガドロ数は10の23乗個。ちょっとあり過ぎる。水ですと18g。でも十何乗個ないと、私たちの化学反応っていうのはできないんですね。できないぐらいの量なんです。
- 前にダイオキシンが問題になったとき、ナノグラムが測れるかどうか問題になったんですけど、1ナノグラムを計算すると10の14乗か15乗かあるぐらいのダイオキシンがあるのが1ナノグラム。ナノグラムは10のマイナス9乗グラム。それを測れるかどうかぐらいしか今の分析方法の感度っていうのはないんですけども、この200個の原子核が分かる。すごくもう少量なわ

けですよ。

- ですから、何百とか、何万、何十万でもいいんですが、何十万ベクレルのものが降ってきて、その挙動といったら普通の化学物質と違うんですね。こういうのを扱っているのを放射化学といいますけど、放射線、放射性同位元素とか放射線を扱う化学なんですけど、200とか、もう数百ベクレルとかですと普通の挙動じゃなくて、もう溶けたなと思ってもですね、コップの周りにピタッとくっついていたり、まあ挙動が全然違うんです。
- で、葉っぱで例えば数百ベクレルあったとしますよね。数百ベクレル、セシウムだから、放射線出すから測れるわけであって、もしかすると鉄とか。他の元素もそれくらいのレベルだったら全部あるかもしれないです。でも放射線出さないから分かんないというくらいのレベルで。ある人は、クーロンケミストリーだとかいって、訳の分からないことを言うんですけど、とても化学的挙動というのは分かんない。それで、ほんのちょっと分かっている安定なセシウムをちょっと入れてやると、同じ挙動を示すんですね。
- さて私たちが普段食べているカリウム40は、普通のカリウムの1万分の1ですが、干すと濃度は上がりますよね。干し昆布が別に高いというわけではなくて、水に戻せばもうちょっと低くなるということになります。主な自然放射線の標準的な濃度は、ウランから始め結構いろいろ入ってるんです。ミリベクレルのオーダーですけどね。
- 1kg当たり、魚では鉛210ですと22年の半減期ですけど、2Bq/kgくらいあるんですかね。でも測定するのは非常に大変なことなんです。放射線医学総合研究所の方が一生懸命監修してそれなりの人が測ったということだと思います。
- それから放射性物質っていうのは、放射線を含んだ食べ物っていうのは放射線が出てますから、上にフィルムを置いておくとフィルムが感光されるんですね。X線を浴びますと後ろに骨の像とか、いろんな像が出ますよね。同様にフィルムですとちょっと感度が低いのでフィルムの感度を上げたようなイメージングプレートっていうのを最近使っています。これを食品の上に置いておいたんです。
- これは名古屋大の森千鶴夫先生がお肉の上にしばらく置いておいたんです。これは、イメージングプレートだと思います。脂肪組織のところがちょうど写ってます。カリウムは筋肉に含まれるので、筋肉組織にたくさんあるカリウムが一番多く出てくる。カリウムの他にもいろんなものもあるけれども、主に筋肉のところは像となって出るということがお分かりかかっています。
- 眼鏡の上にイメージングプレートを置いておくと、プラスチック製の部分はカリウムがあまりないので青いけれど、ガラスの部分はカリガラスともいうように、高級なガラスはカリウムがあるから、しばらく置いておくとこれだけ放射線が出ていますね。目はいつもこれだけ浴びてるというか、これが通常の眼鏡の状態です。
- バナナ、ポテト、ショウガ。普通の食べ物で、汚染されているものではありません。植物にも入っている。何にでも入っているということが分かります。ヒトの体の中も、もしヒトを全部粉々

にして元素別にすると、500円ぐらいだとかいうのを聞いたことがあるんですけど、酸素、炭素、水素、窒素とかですね、元素ごとにずっと分けてみると、体重に対して、酸素が一番多いとか、分かるんです。

- カリウムもヒトには結構入ってるんですね。体重の0.2%ぐらいはカリウムであると。そうすると、その1万分の1は、また放射線を出すわけです。水素も少しトリチウムが入っている。カーボンも1兆分の1は、カーボン14であるとか、いろいろ考えていくと、カリウムは大体1人当たり、体重60kgの人は4,000Bqぐらい。混んだ電車でも4万Bqぐらいの放射線源の人と接しているということになってしまう。炭素14も結構できています。足すと結構な値になりますよね。
- 結局私たちは、生まれたときからものを食べているので、内部被ばくを受けています。体重60kgの人には常に7,000Bq/kgぐらいの放射能はあるわけです。最も多いのがカリウム40で、セシウムと同様に γ 線と β 線を出します。食べ物から摂取する放射能により0.4mSvぐらいの被ばくを受けていると。放射能を含まない食品は地球上にないというわけですね。ここをちょっと知っておいていただくと、福島のことも見方が少し変わるんじゃないかと思います。

【福島農畜水産業への影響】

- チェルノブイリと比較した図です。資源エネルギー庁のサイトから見られます。同じ30kmの範囲を同じ大きさの円で示してみますと、福島原発事故の汚染面積はチェルノブイリ事故の6%。計算はいろいろありますが、資源エネルギー庁の値を持ってきました。同様に放射性セシウムの量は大体6分の1ぐらい。チェルノブイリのほうは燃料庫が飛んで、福島は水素爆発ですから、それなりに違いますが、放出距離は全体として10分の1ぐらいだった。
- ウクライナにもちょっと行ってみたんですが、石棺が全部覆っていてすごいです。でも、すぐ近くまでもう行けるんですね。観光バスも随分出ています。いろいろ感じる場所はたくさんありました。
- 私どもは弥生のキャンパス以外にいろんな演習林を持っています。その人たちが一緒になってボランティアベースで、放射能の農水産畜産物への影響を調べようということで、福島原発事故の直後から随分やってきました。土壌って素晴らしくて、セシウムを吸着して離さないでも少しは動くんですよ。でも、もし普通の量の、化学反応するぐらいの多量のセシウムだったら、もうずっといろんなことで簡単に処理できるんですけど、いったんくっついて離れない。ほとんど離れない。
- 絵のようにこれだけプロジェクトがたくさんあります。場所も、演習林以外に生態調和、圃場とか牧場とか、いろんなところを持っています。福島県の農業総合センター、実は非常に深い関係で、最初の頃からずっとお付き合いをしていますし、NPO法人とも今も交流していますし、放射線測定器があるので測って差し上げたり、いろいろしています。
- 例えば、棚田でイネが育ったとすると、その問題解決は土壌の専門家だけじゃいけないんですね。イネの育種の人とか、塩沢先生、根本先生、水利や森林の専門家など多くの人たちが全部一

緒にならないと解けない問題なんですね。それで、農学部始まって以来ということですが、随分いろんな先生方が参加されました。

- これは2011年のNature Newsに載ったんですが、塩沢先生が測られたものです。3月11日は、畑にかすかに入っていたのは麦です。麦踏みは早春に、畝の間を踏んで根をこうしっかり固めると強い植物ができます。早春の風景ですが、そんな中、土の深さ15cmでは放射能の強さがセシウム134と137で出ています。1対1ですね。18対15の第1発電所と異なります。爆発したときに、出たものの比が違うそうなんですね。いろんな農地で調べると、どっちの寄与が高いかって分かるらしいんです。
- 先週末福島に行って農水省のいろんな営農再開のプロジェクトに関わったんです。その時に測ったのは大体1対1。上の数センチしかセシウムがない。あとはほとんどないんです。土を4〜5センチでしょうか、広げてですね、先ほどの放射線を検知するイメージプレートをペタッと置いておくと、ポツポツと、黒くなります。均一ではないですが、大きく見えるものがあり、それは粒の大きさでなく、放射線が強いとポツポツが大きく見えます。大体どこの土を取ってきててもそうです。
- 最初の3か月、これは縦軸が深さで、横軸が放射能の強さですけども、プロファイルは、こう表面しかない、ちょっと下がるとほとんどないと。雨が降っても最初の3か月で2センチ、下に下がった。それでどんどん下がるんだと思ったんですよ。雨の量が3倍ぐらいに増えても5ミリしか下がらない。5年間のデータが全部あるけれど、今は1〜2ミリしか下がりません。最初に落ちたものはほとんどそのままなんです。いろんなもので洗ったりもしたんですけど、落ちるのは最初だけ、せいぜい2割ぐらいです。あと8割方は全部動かない。ということは、放射性核種っていうのは動かない。だからまた、それを集めてどこか持っていくのかとか議論が出るもことになるんですけど、動かないっていうのが一番のポイントです。
- また、ちょっと掘って50cmほど普通の土を入れると、放射線セシウムがあるのは気に食わないけれども放射線も出てこない。動きもしないといえば、これはまあ一つの対策になると思うんです。ただ、除染法っていうのは決まってしまったので、一度動きだすと変えるのはなかなか大変だということです。
- 小麦で2か月後に採取して、葉っぱを切って並べたら、一番枯れかけているのは2か月前に青々としていたんですね。2か月後に、また放射線がどこにあるかって見ると、この最初に、事故当時に空気中に開いていた青々とした葉っぱは、まだ放射線量が高い。ですから、黒い点もほとんど動かない。全部ではないけれど最初にくっついたまま。もし放射性物質が中に入っていたら葉脈に沿って動くことになるけれど、それらしい平行線も見えない。2か月たっても、ここにしっかりくっついている。それを考えて、いろんな除染法ができるかもしれません。

参加者：地下水のモニタリングなんかで増えるとか減るとか、今動かないっていうご説明でしたが、その辺はどうなんでしょうか。

中西：地下水ではないんです。ため池がたくさん測られてまして、ため池の底の土の表面の放

放射量がどれくらい減るかというのを全部見ていきましたら、結構減ってってるんです。ところが1か所だけ増えているのがあった。どうしてだろうと思ったら、ため池の上のほうに市街地の小さな村があって除染作業をしているんですね。道路とかあちこちを洗った水と一緒に随分出てくる。でも地下水は、地面に土があるためろ過されてほとんど出ないです。

- 事故サイトは分からないんですが、農業をしている場所、この周辺、何十キロより外側の話ですけども、そこはもう土でろ過されるので大丈夫です。
- 私たちの除染をやっているNPOに入ってる先生は、畑に水をシャワーと持ってくるんですね。水を持ってきて土を回すと、細かいものっていうのは上に行って、なかなか沈まないわけですね。しばらくたったら横に溝を掘って、上澄みをしゅっと水ごと持ってくると8割方はきれいになります。放射能はなくなる。溝に行ったものは、もちろんしばらくたつと水がはけてその溝の壁とかそこは全部放射性物質くっつくんですけど動かない。その上にきれいな土を持ってきて歩くこともできるし。
- その畑には簡単な放射能測定器を差し込んで、ソーラーバッテリーでメンテナンスフリーで測れるようにして、住んでる人がいつもそこにあって、他に出てないなっていうのを確認できるようにしているんですね。そこにあるのは、あまり気持ちもよくないけども、そばに行ってもちゃんと土を被せてあるから放射線は浴びないし、ものは動かない。
- 最初は分からなかったから仕方ないと思うんですけども、オンサイトで、その場でひっくり返すなりっていうのが一番いいということなんです。

参加者：反転耕が有効ということですよ。

中西：そうです。ただ地表5センチきれいにはつるなんてことはできないんですね。ですから、はつた後も結構放射線量がありまして、客土で山砂を入れてるんです。ですから栄養もなくて、そこをどうやって農業をもう1回できるようにするかっていうのが大問題で。ものすごく苦労しています。すぐ他の雑草がいっぱい生えてくるんですね。ヨシとか何とか、いっぱい生えてきますし、それをどうやって食い止めるかとか。最初いろんな除草剤で、ラウンドアップとかいろんなものまくんですけども、その後をまたどうすれば植えられるか。イネを植えても、やっぱりラウンドアップの影響がちょっと残ってたり。やっぱり草むしりが必要だったり。

- あとですね、一番いけないのが、はつるための重機で土がペしゃんこになってしまうことです。一番いい土っていうのは、大体1対1対1で、3分の1が水で、3分の1は空気層で、3分の1がマトリックスなんですけど、全部つぶれちゃって、押さえつけられちゃって水が抜けないんですね。そこをもう1回空気を通したり、まあ、いろんなことをやっています。

- ただ、それをですね、年取った農家の人にこれ



豊富な話題に次々と質問が

だけ言えないっていうんで、今年の4月からまた解除のところが出てくるので大変だというような話を試験場の人たちからも聞きました。

参加者：土をそういうふうに寄せたところで客土で持ってきたところ、例えばそれが福島じゃない土を持ってきたときに、そこでできたものは、かつての福島産と同じ扱いですか。

中西：そこで取れたら福島産となることは間違いありません。ただ、他の土といっても山砂なんですね。山砂なのでほとんど栄養がない土なんです。肥料をたくさんあげなくちゃいけないし、また、かき混ぜなきゃいけないし。

- 福島県は、ものすごい農業地ですから。その後も、最初に除染したところに行ったんですよ。遠くから見たら黄金色に稲が実っていて、ああ、たわわだなあと思って、近くで見たら、全く違いました。1つの房からいろんな色のお米ができています。日本の基準は「品質が一定であること」なんて、ものすごく厳しいですよ。一等米になると。ヤマユリとか何か生えてきたところを、今からやって、除染が終わっても、そこから後、営農が再開されるまでは5年、10年じゃ無理かもしれないと言っていました。

【福島のお米はいま】

- 福島県は全袋検査をしています。1袋30kgで、年間1,000万袋以上を、全袋を検査しています。2011年71袋、2012年28袋、その次の年が2袋出たんですね。家庭用に栽培して、売るつもりなかったけど測ったら出ちゃったということで統計に載ったんですけども、その後は全部ゼロなんですね。苦勞して測ったものを出荷するために、誰も作れないようなシールをペタッと貼ってたんですね。すると剥がれてくるという苦情があって、調べたら係の人の汗で濡れて貼れてなかったとわかった。苦勞しましたけど。今はゼロです。今年のお米は大変おいしいです。
- さて、ラボらしいこともしたいなということで、3日目、5日目、7日目、だんだん成熟していく玄米のお米の粒で、それを全部輪切りで撮りまして、三次元化させると米は外側と胚芽部分にセシウムが貯まっているんです。玄米を精米すると半分になる。精米を洗うとまた半分になって、実際に炊くときにはお水足して、出しますよね。だからこの濃度からいくと、お水は加えるわけですし、ものもふくれるわけですから、最初500近くあっても、食べるときは10分の1ぐらいに、50Bq/kgぐらいになることがわかります。でも今は500でなく100ですから、全然測れません。食べるご飯っていうのは、それぐらいに減っています。

