

研究最前線

植物を使った環境浄化の道を拓く

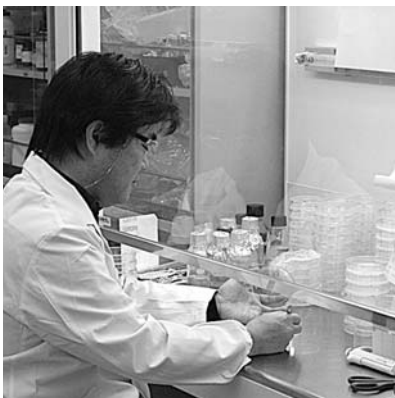
環境動態研究部 山 上 睦



核燃料再処理施設の稼動に伴って環境中に放出される放射性物質に関する調査研究を行っている中で、土壌中に蓄積されるものに対する処理方法を検討することも必要なことと考えています。そのひとつの方法として、植物を使った環境浄化技術を放射性元素の除去に応用することをめざしています。

植物の元素集積能力を使った環境浄化法としては、トウモロコシやソルガムを使った塩類集積耕地からの塩類の除去、モエジマシダによる砒素の除去などを挙げることができます。チェルノブイリ原発事故後にマツやニガヨモギ、一部のきのこに放射性物質のセシウム (Cs) やストロンチウム (Sr) が集積されていました。それらを使った Cs や Sr の土壌からの除去は有効だと思いますが、積極的に行われた話は聞いていません。六ヶ所村にある核燃料再処理施設の平常時における一般公衆の被ばく線量評価では、Cs と Sr は放出量の多い主要な核種ではないものの、ベータ線及びガンマ線を出すその他の核種の中で考慮されていることから、研究の対象にこれらの核種を選びました。

イギリスの Broadley らは、過去に報告された14の論文のデータを標準化し、ヒユ科のアマランサス属、アカザ科のアカザ属、フダンソウ属、ハマアカザ属で Cs 吸収量が大いことを明らかにしました。これらの文献を参考にして、青森県内で栽培可能な作物及び野生植物からの Cs、Sr 及びヨウ素 (I) の集積植物の探索・選定を進めています。これまでに、青森県の環境条件下でも生育が可能な作物約85種を環境研内の同一な元素組成からなる土壌条件下で栽培し、葉及び植物中の Cs と Sr の濃度を比較しました。その結果、これまでにヒユ科のアマランサス、アカザ科のビート、キク科のヒマワリとカキチシャ、スベリヒユ科のスベリヒユを浄化用候補植物として選定しました。特に、スベリヒユは、今までの報告で最も高かったアマランサスと比較して2倍以上の高い濃度の Cs を蓄積していました。また、I については、約50種を比較したところ、ヒユ科のアマランサス、キク科のヒマワリが浄化用候補植物として選定できました。



今後は、六ヶ所村及び周辺地域の野生植物の調査も進めます。野生植物を同一の土壌で栽培して

比較することが必要になりますので、環境研内の圃場で栽培して吸収率を比較します。ヒユ科のイヌビユやイノコズチ、アカザ科のアカザ、キク科のアキノノゲシは青森県でも大きく育ちます。それらのCs、Sr及びIの吸収率を調査すると同時に、それぞれの科の近縁の植物も合わせて検討することで、これまで未報告のCs、Sr及びIの集積植物が野生植物から見つかる可能性は高いと考えています。



アマランサス



スベリヒユ



カキチシャ



ビート

【研究者に聞く】

Q. 実験はどのような方法で行っているのですか。

A. 実験の目的は放射性的のCs、Sr及びIの集積性ですが、植物の栽培時には放射性物質は使っていません。栽培した場所の土壤に含まれている安定同位体のCs、Sr及びIが植物に吸収される量を調べました。植物の種子を直接圃場にまいて4～5ヶ月間栽培した後収穫し、それを乾燥・粉碎して、含まれるCs、Sr及びIの濃度を分析装置で測定しました。

Q. 浄化候補植物に対して、集積能力以外に何か調べているのですか。

A. 元素が根から吸収されて、茎を通り葉、花及び実に移り蓄積しますが、移動及び蓄積それぞれの段階で元素がイオンの形態をしているのか又は有機物に結合した形態であるのかを調べています。

その他に、Csが細胞に入る際に関係する輸送体タンパク質が、Csを輸送する仕組みについて調べています。

Q. 植物の大きさを考えたときに、1本で浄化できる量はどのくらいになりますか。

A. 植物1本の浄化能力を知るには、元素が蓄積

する全組織（葉、茎、花など）での値を調べます。Csを例にアマランサスとスベリヒユを見てもみると、草丈150～200cmのアマランサスでは1本あたり平均2.3 μ g、一方、草丈30cm程度のスベリヒユでは平均2.7 μ gでした(μ gは百万分の一グラム)。

また、実際に土壤を浄化する能力を判断する場合には、土壤1 m^2 あたりに何本栽培できるかといった、栽植密度が重要になります。ちなみにCsの場合の1 m^2 当りの浄化量は、アマランサス約25 μ g、スベリヒユ約54 μ gと見積もっています。

Q. 遺伝子組み換え技術も発達していますが、そのような方法で浄化能力を高めることは考えられますか。

A. CsやSrの集積に強く関与している遺伝子が明らかになれば、遺伝子工学の手法で集積性を改良することは可能だと考えています。

そのため、シロイヌナズナという遺伝子研究でよく使われる植物を用いて、Csの吸収と蓄積の機構を調べています。その中でCs耐性を獲得した変異株を使って、Csの吸収・蓄積に関与している遺伝子を探し出す研究を現在行っています。

平成21年度の調査研究内容

環境研の理事会及び評議員会が3月6日に開催され、平成21年度の事業計画が了承されました。概要は次のとおりです。

1) 放出放射能の環境分布に関する調査研究

- (1) 大型再処理施設から放出される放射性核種（放出放射性核種）の環境中における分布状況を調査し、開発した陸域移行・線量評価モデル及び尾駱沼の低次生態系水域移行モデル並びにパラメータの検証を行う。
- (2) 大気拡散計算に導入した気象モデルの運用試験を行う。また、上記尾駱沼水域移行モデルの高度化を図るため、沼集水域での物質移行、沼内部の高次生態系及び沿岸海域に関する各モデルの構築を行う。
- (3) 淡水中植物プランクトンが放出放射性核種のうちのランタノイド、ヨウ素等の形態変化に与える影響並びに施肥が土壤中のセシウム(Cs)、ヨウ素の形態間移行に与える影響を調べる。
- (4) 植物の葉面に付着したCs、ストロンチウム(Sr)が、降水や霧によって葉面から除去される割合(ウェザリング係数)について調べる。

2) 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究

放出放射性核種による被ばく線量の比較対照とするため、青森県民の日常食、食品からの天然放射性核種に起因する被ばく線量調査を継続する。また、生態系が受ける線量評価法を開発するため、中型動物を捕獲し臓器内放射性核種濃度を調べるとともに、被ばく評価用ボクセルファントムを作成する。

3) 植物の元素集積性に関する調査研究

青森県の環境条件に適した植物で、土壌からのCs、Sr及び微量元素の除去効率が高い野生植物を選定する。前年度選定した栽培植物の栽培管理法を確立する。また、セシウム耐性モデル植物での耐性制御遺伝子の特定及び判明した遺伝子の植物への導入を始める。

4) 閉鎖型生態系実験施設における炭素移行に関する調査研究

炭素の安定同位体(^{13}C)を用いて収集した、作物(イネ、牧草等)の炭素移行・蓄積データを基に、作物炭素移行モデルを作成し、検証のための実験を行う。飼料からの牛肉、牛乳への炭素移行を調べる。また、ヒトにおける炭素体内代謝モデルの検証を行う。

5) 閉鎖系陸・水圏実験施設における炭素移行に関する調査研究

施設内に構築したヨシ群落(湿地生態系)及び海草生態系での収集データに基づき、各生態系における炭素移行・蓄積評価モデルの構築、検証を行う。また、水素の安定同位体(重水)を添加した実験水槽で、海産生物へのトリチウム(三重水素)の移行を想定したデータ収集を行う。

6) 微生物系物質循環に関する調査研究

稲ワラの土壌への鋤き込みや稲ワラを材料とした堆肥使用時の炭素の移行・蓄積を、 ^{13}C を用いて調査する。また、堆肥における有機物分解促進の要因について調べる。

7) 低線量放射線の生物影響に関する調査研究

- (1) オス親マウスへの低線量率長期連続照射が、仔や孫マウスに与える影響について、これまでの実験で得た死亡個体の死因、組織から精製したDNAの遺伝子変異等を調べるとともに、最後の実験群への照射を開始する。
- (2) 低線量率で高線量照射のマウスで見られた寿命短縮の原因について、免疫系等生態防御機能の変化の観点から、免疫細胞の変化や照射マウスに移植した腫瘍への応答等を調べる。また、寿命試験で認められた体重増加に関わる因子等も調べる。
- (3) 寿命短縮の原因について、がん関連遺伝子の変化の観点から、悪性リンパ腫、白血病等でのがん関連遺伝子等に生じる変異、発現量変化等を調べる。

8) 生物学的線量評価に関する調査研究

低線量率・低線量放射線を長期照射したマウスの細胞に生じる染色体異常頻度を調べ、低線量放射線被ばく時の生物学的線量評価法について検討する。また、トリチウムがヒトリンパ球染色体に及ぼす影響に関する調査を始める。

9) 放射性物質等の環境影響に関する普及啓発

環境研で実施している調査研究内容や得られた成果等を、報告会、説明活動等で青森県民に直接紹介する他、インターネット、パンフレットにより紹介する。

役員交代

平成21年3月31日をもって、理事長 大桃 洋一郎は理事を退任し、4月1日付けで、新理事長に 嶋 昭紘 が就任致しました。

退任挨拶

大 桃 洋一郎



財団法人環境科学技術研究所（以下環境研）は、青森県六ヶ所村の原子燃料サイクル施設、特に使用済み核燃料再処理施設の環境安全・住民の放射線安全に関する実証的調査研究を行うことを目的とし、青森県の要請に国が応じて設立された研究財団である。設立に至る経緯は、環境研5年史に述べられている。研究所の事実上の発足は、森 茂初代理事長他5名の役職員が、大島友治国務大臣・科学技術庁長官から、直接財団設立の許可書をいただいた1990年12月3日に遡る。発足当時の現地事務所は、旧原燃産業株式会社大石平分室の食堂跡に予定され、改装が済むまでの約1ヶ月間、私は新橋のレンガ通りに面した日新建物ビル3階に用意された事務室で、事業契約書作成等の作業に従事した。

当時の六ヶ所村には、太平洋沿岸を北に向う国道338号線沿いに役場や集落が点在し、内陸の環境研建設予定地の尾駸地区は、文字通りの原野であった。改装後現地事務所に入居した日の記憶は定かでないが、三沢の借り上げ宿舎に引越したのは、雪のちらつく1991年1月13日である。六ヶ所村では雪が下から降ると言われる通り、強風に煽られた雪が足元から舞い上がる様は痛快であった。春になると花が一斉に咲き揃い、まさに北国の春。夏の新緑、秋の紅葉も捨てがたく、この地で働く道を選んだ己の決断の正しさを確信した。しかし四季の美しさだけでは研究者は集められない。魅力的な研究と施設を整備して始めて人が集まる。研究課題の選定と特色のある施設の整備に向けて苦闘が開始された。

先ず1993年3月末日本館が完成、4月には引越しを完了した。それから2008年3月にかけて、順次、低線量生物影響実験施設、閉鎖型生態系実験施設、全天候型人工気象実験施設、先端分子生物学研究センター第1、第2研究棟など、それぞれ特色のある研究施設や設備を整備することができた。その間、県民が自然から受ける線量の調査、再処理施設の安全審査に採用されたパラメータの妥当性の実証、施設から放出される放射性核種の中長期的・現実的線量評価システムの整備、閉鎖型生態系実験施設による人間居住実証試験、低線量率放射線の長期連続照射の寿命に与える影響試験などを実施し、その成果を青森県内および国内外にも発信することができた。偏に役職員の努力の賜物である。

創立以来18年、その間所長を12年、理事長として8年仕事をさせていただいた。施設整備が一段落し、飛躍の時を迎えている。まさにバトンタッチの好機である。ご支援を賜った国、県、村および関係者各位に心から感謝いたしますと共に、今後も倍旧のご支援をお願い申し上げます。

（特別顧問・青森県駐在に就任）

新任挨拶

嶋 昭 紘



大桃洋一郎前理事長の後を受けて、平成21年4月から私が理事長を務めることになりました。折しも財団法人環境科学技術研究所（以下環境研）は、公益法人制度改革に伴い、自動的に「特例財団法人」になり、平成25年11月末までに公益財団法人へと移行する道を歩み始めました。

私と環境研との関わりは、東大・放射線生物学教授であった18年間に2回、国際検討委員会へ招待して頂き、その時は「一人の招待講演者」として過ごしました。しかし4年半前に、大桃前理事長から突然の電話を頂き、東京駅構内のレストランでお目にかかり、環境研についてその設立の背景から現状までを詳しく御説明を受け、環境研へのお招きを頂きました。日本のエネルギー自給体制に占める核燃料サイクルの意義、大型再処理施設の立地を受け入れた青森県・六ヶ所村の決断、そして「大型再処理施設から排出される放射性物質の環境安全と住民の放射線安全の確保に関する実証的調査研究を行うべく青森県からの強い要請に国が応じて設立された研究財団」である環境研の使命の重さを認識するに至り、環境研への赴任を決心しました。

40余年の学徒生活を国立大学で送った私には、環境研は着任後4年を経た今日でも、なお異境の感があります。一方では、大学や科学研究費補助金では実施不可能な息の長い研究に負う放射線生物環境影響に関する重要な新知見は、環境研という場でのみ得られうることを認識しました。大桃前理事長はじめ多くの方々が長年の努力を通して築いてこられた基盤に立ち、特徴ある諸施設を有効活用し、環境研の設置目的を達成するためには、一義的には研究に直接携わる研究者の奮起が欠かせませんが、研究者は所内外の支援組織と協調的に機能することにより、初めて優れた研究成果を挙げるのが可能となります。環境研で得られた研究成果は、学術上の厳しい評価に耐えてこそ、地域住民の皆さんへ確信をもって提示することができるものと考えています。このことは即、青森県発の研究成果を国内外の人々と共有することにより、広く人類の「知」の蓄積としても貢献することに繋がります。

環境研設立の原点を再認識し、今後の原子力エネルギー平和利用の安心感醸成に結びつく研究成果の発信に向かって傾注する研究所の新たな出発にしたいと思います。

低線量率 γ 線長期照射マウスの染色体異常頻度と染色体不安定性

田中 公夫、香田 淳、豊川 拓志、一戸 一晃、小木曾 洋一
〔ミューテーション リサーチ誌 657 (2008) 19-25ページに掲載〕

低線量率の放射線を長期間受けた場合に、集積線量が増えるに従い染色体異常頻度がどのように時間的に変化していくかを調べるため、メスマウス(8週齢)に1日当たり20mGy(20mGy/日)の γ 線を約400日間照射した。照射後、マウスの脾臓細胞の染色体異常頻度を約100日おきに通常ギムザ法という方法を用いて観察した。染色体異常頻度は、集積線量が8000mGyまではほぼ直線的に増加した。

線量率が20mGy/日の場合と200mGy/日の場合とでの染色体異常頻度を比較すると明らかに線量率が10倍低くなることにより染色体異常頻度が低下するの(いわゆる線量率効果)が観察された。さらに、20mGy/日の連続照射において集積線量が増加するに伴い複雑な染色体異常の頻度が増加した。複雑な異常が出現することと類似の傾向は、脾臓細胞中に出現する小核^(注)の頻度と、蛍光インサイチューハイブリダイゼーション(FISH)法という方法で判明した5, 13, 18番染色体の染色体数が1~2個増加する異常の発生頻度でも観察された。このような異常は、高線量率高線量照射ではよく観察されるが、低線量率(20mGy/日)放射線でも400日間という長期連続照射をしている間に生じることが分かった。これらの結果は低線量率放射線長期被照射による生物影響を明らかにする上で重要である。

本研究は、青森県からの受託事業により得られた成果の一部である。

(注) 細胞質中に出現する小さな核で、放射線などにより切断された染色体の小さな断片から作られる。

英文タイトル: Chromosome aberration frequencies and chromosome instability in mice after long-term exposure to low-dose-rate γ -irradiation

〔研究者に聞く〕

Q. 表題に染色体不安定性とありますが、これと染色体異常頻度とはどのような関係があるのですか。

A. 染色体不安定性とは照射後、日を経て染色体異常が出てくることです。この研究では、放射線の直接影響ですぐ発生する特定の異常を目印にして染色体異常頻度と集積線量ならびに線量率との関係を調べています。それ以外の異常、要旨にある小核頻度や染色体数の増加を目印にして染色体不安定性を観察しています。

Q. 色々な臓器や器官がある中で、脾臓を使う理由は何でしょうか。

A. 染色体を観察して低線量放射線による影響の

変化があったかどうかを調べるには、多くの試料が必要になります。脾臓を使うと大量の細胞を調べることができるというのがその理由です。

Q. ギムザ法とFISH法という異なる方法を使う理由は何ですか。

A. 染色体の変化を調べるには、全体の形を観察する場合と、特定の知りたい部分を観察する場合とがあります。全体を見るのがギムザ法で、感度が少し落ちますが色々な異常の情報を得られます。特定部分を光らせて観察するのがFISH法で、知りたい部分の詳細な情報を得ることができるという特長があります

)))) 研究発表要約 (((((

¹³C 標識炭素経口投与後の体内残留量の評価

増田 毅、相部 洋一、多胡 靖宏、中村 裕二

〔「八戸工業大学エネルギー・環境フォーラム in 六ヶ所」(2008年5月)で発表〕

大型再処理施設から放出される核種によるヒトの被ばく線量への寄与が最も大きいとされるのは、放射性炭素を経口摂取した場合である。その被ばく線量をより現実的に評価するには、摂取した放射性炭素が体内に残留する量を実験で求める必要がある。そこで、安定同位体¹³Cを取り込ませた稲を栽培し、その米をヒト被験者5人に経口摂取させて、その後被験者から採取した1週間分の排出物(息)を質量分析することで、¹³Cの排出量と時間の経過との関係を明らかにした。その結果、標識炭素は初期に速い排出が、その後に遅い排出が観察された。また、投与量と排出量とから体内残留量を評価したところ、現在用いられている線量係数の算出根拠である、国際放射線防護委員会の計算モデル(ICRP ワンコンパートメントモデル)から推定される体内残留量よりも、実験で得た残留量の方が少ないことが明らかになった。

本研究は、青森県からの委託事業により得られた成果の一部である。

〔研究者に聞く〕

- Q. 被ばく線量の評価で、放射性炭素の経口摂取の寄与が大きくなる理由は何ですか。
- A. 再処理施設から通常運転に伴って大気中に放出される放射性核種は、放出量の多い順にクリプトン85、三重水素(トリチウム)、炭素14とされています。いずれも、ベータ線を出します。被ばくには、放射線を体の外側から受ける場合と、体の内側から受ける場合がありますが、ベータ線の透過力はガンマ線より弱いので、体内に取り込まれた核種からの放射線が、体の組織や臓器の細胞に当たることによる影響が大きくなります。
- 先に挙げた3つの核種では、水素と炭素は人の体を構成する元素なので、体内に留まりやすいのですが、クリプトン85は他の物質と結合しにくい性質なので、放出量に比して影響は小さくなります。水素と炭素では、炭素の方が体の中に長く留まる性質があります。この結果、人への被ばく線量は、炭素14が一番多いという評価
- になっています。
- Q. 炭素13を経口摂取した実験の具体的な内容を教えてください。
- A. 自然の炭素は、99%ほどは炭素12ですが、約1%炭素13があります。研究所の植物栽培施設で、自然の状態よりも多い割合の炭素13を取り込むように育て、炭素13を200mg多く摂取できるご飯を1回食べさせ、その後5時間は20分おきに、さらに3時間は1時間ごとに、翌日からは毎朝、息を採取して分析しました。
- Q. 線量係数とは何ですか。実験結果とこの係数とどんな関係がありますか。
- A. 放射線の強さから被ばく線量を計算するときを使う数のことです。放射線の性質、体内の残留性等のデータに基づいて決めますので、残留の値が変われば、係数の値も変わってくるようになります。

第155回環境研セミナー

講師：東北大学大学院 医学系研究科

ゲノム生物学分野 小野 哲也 氏

日時：平成21年2月18日 13:30~15:00

演題：「低線量率放射線照射マウスにおける遺伝子突然変異と mRNA 発現の変化」

低線量放射線のリスクを科学的根拠に基づいて評価するためには、分子、細胞、個体レベルでの多面的解析が必要である。その一つの活動として、小野先生が主査をされ、多くの研究機関が連携し、低線量率放射線連続照射マウスの生体応答を染色体、突然変異、mRNA、蛋白等の側面から解析されており、今回突然変異誘発、mRNA 発現変化及び蛋白レベルの変化についてご講演頂いた。

照射マウスにおける突然変異誘発率は、肝臓及び脾臓間で違いがみられ、照射線量率によっても異なっていた。また、突然変異のスペクトル解析では、照射により、欠失変異及び複数の変異が複合した複雑な突然変異が誘発されていることも分かった。mRNA 発現解析では、マイクロアレイを

用いた網羅的解析により、肝臓で脂質代謝、肥満、代謝異常、発ガン、アポトーシスに関連した遺伝子に発現変化があることが分かった。特に、肥満に関わる遺伝子の変化は、環境研で得られた結果の一つである、照射マウスの体重増加現象との関連を考えると興味深いとのことであった。また、低線量率連続照射マウスでは、肝臓の解毒作用に関連したミトコンドリア蛋白の変化がみられることについても報告され、今後は、個体レベルから分子レベルの反応まで、さらに多面的に解析するための共同研究が必要であると結語された。

(中村 慎吾)



小野 哲也 氏

説明活動のお知らせ

環境研では、平成21年度も、調査研究活動の内容、成果などを青森県民の皆様にご紹介するため、「報告会」の開催（青森市、弘前市、八戸市及び六ヶ所村）の他、地域の公民館などを使った「説明活動」を行うこととしています。

説明活動では、場所と時間を相談の上、皆様のところに出向いて説明することも行います。放射線の基礎的なこと、原子力・エネルギー利用に関することなど調査研究に関連する話も加えて、環

境研で実施している調査研究活動について分かりやすい説明をするよう心がけています。

内容の問い合わせ、お申し込みは下記のところをお願いします。

インターネットEメール：kanken@ies.or.jp

電話：0175-71-1240（広報・研究情報室）

なお、訪問による説明活動は、実施最少人数を5名、場所は青森県内としています。

編集・発行 財団法人 環境科学技術研究所（広報連絡委員会）

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字家ノ前1番7

電話 0175-71-1200(代) ファックス 0175-71-1270 URL: <http://www.ies.or.jp>