

日本における環境放射能研究の展開

環境動態研究部 塚 田 祥 文
主任研究員



環境中に放出された放射性核種の挙動に関する研究は、人（人を含めた生物）への被ばく線量に関わる問題であり、“放射生態学（Radioecology）”といわれる分野に含まれる。この分野は、学際的な研究分野であり、理学、工学、農水産学、医学等の幅広い領域間の融合によって成果を挙げてきた。

1950～1960年代にかけて盛んに行われた大気圏核実験によって、環境中に放射性核種が放出された。気象研究所の報告によると、我が国における ^{137}Cs （大気圏核実験由来の代表的な放射性核種、半減期30.2年）の年間降下量は、1963年のピークを境に1970年初頭にピーク時の5%にまで減少し、1986年のチェルノブイリ原子力事故時に一時的な上昇が見られたものの、その後は更に減少を続け1995年には約0.01%までになったと報告されている。一方で、大気圏から降下した放射性核種は、土壌や海水に蓄積しその痕跡をとどめている。このように、核実験由来の放射性核種の影響が減少するにつれ、環境放射生態学を主な研究分野として活動している研究者も世界的に減少傾向にある。この分野の国際的な学会である放射生態学連合（International Union of Radioecology）は、54カ国から535名の会員登録（2008年6月現在）があり、ヨーロッパを中心に活動している。アジア・オーストラレーシアの会員数は35名で、うち日本人は19名である。

地球温暖化防止対策が急務である現在、最も現実的で有効な対策は原子力エネルギーの活用と言われ、「原子力ルネッサンス到来か。」とささやかれている。放射性核種の環境から人への移行を扱うには、対象となる環境条件を考慮に入れたデータ（パラメータ）が必要であり、評価対象地域で得られたデータが最も適していることは言うまでもない。これまでに得られている多くの知見は欧米で得られた成果であり、発展の著しいアジアでの知見は限られている。日本では1957年8月に東海村の日本原子力研究所（当時）で原子炉の初臨界を迎え、その後多くの原子力発電所や関連施設が稼働し、それに伴って積み上げられた成果がある。また、（財）環境科学技術研究所には、大型核燃料再処理施設をはじめ原子力発電所などの原子力施設が立地している青森県で蓄積したデータがある。

今後、我が国が原子力平和利用における先進国として、環境の安全を確認しながら将来のエネルギーの安定確保を図るためには、放射生態学の分野でもアジアでの中核としての存在価値を高め、更なる発展と貢献が必要である。そのためには、環境科学にかかわる他の研究分野と積極的に手を組み多方面にわたる研究を展開し、世界に向けて多くの情報を発信するようになることを切に望むところである。

平成19年度事業報告

平成19年度の環境研事業報告について、6月9日に開催された理事会及び評議員会において了承されました。報告書の要旨は次のとおりです。

〔調査研究活動〕

1. 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究

六ヶ所村及び青森市において収集した日常食や食品の放射化学分析を行い、内部被ばく線量を推定した。更に、六ヶ所村のミズナラ林に生息する小哺乳類の受ける内部被ばく吸収線量を推定した。

2. 放出放射能の環境分布に関する調査研究

(1) 環境移行・線量評価モデルの高度化

昨年度までに整備した「陸域移行・線量評価モデル」と「尾駱沼低次栄養段階生態系放射性核種移行モデル」を統合し、「環境移行・線量評価モデル」とした。また、大気拡散過程の精度向上のために導入する気象モデルを選定した。

尾駱沼のモデルについて、水循環部分の構築、高次栄養段階モデルの基本設計を行った。

(2) 環境移行・線量評価モデルとパラメータの検証

アクティブ試験に伴って排出されたトリウム (^3H)、クリプトン85 (^{85}Kr)、ヨウ素129のうち、大気中 ^{85}Kr による γ 線線量率及び大気中 ^3H 濃度を用いて、環境移行・線量評価モデルに組み込まれている大気拡散モデルの検証を行い、数週間の平均濃度については比較的良く再現できていた。

(3) パラメータの充実

土壌中に添加したセシウム (Cs) とストロンチウム (Sr) の形態変化と植物吸収との関連の調査を行い、Cs は時間の経過に伴い植物への移行率が低下する傾向がみられた。ランタノイド、アクチノイド及びヨウ素を天然の淡水に添加すると、いずれも極めて迅速に形態が変化した。

安定 Cs と Sr のエアロゾルを使った、植物の葉面に沈着した放射性物質の葉面吸収に対

する湿度の影響をみると、硝酸塩では湿度とともに増加するが塩化物では変化しなかった。

3. 植物の元素集積性に関する調査研究

土壌からの Cs、Sr 及び微量元素の除去効率(面積当たりの収奪量)が高い元素集積植物を数種類見出した。また、Cs 耐性に関連する遺伝子の調査を、Cs 耐性を持つシロイヌナズナを使い実施した。

4. 閉鎖系植物及び動物飼育・居住実験施設における炭素移行に関する調査研究

(1) 炭素移行モデル作成試験

炭素13 (^{13}C) を含む二酸化炭素 ($^{13}\text{CO}_2$) をばく露して大豆と大根を育て、生育時期による ^{13}C 固定量の違いを明らかにした。

^{13}C で標識したおからを与えたヤギの呼気等での ^{13}C 濃度変化から、 ^{13}C 排出速度に関するデータを得た。乳汁の合成にかかわる飼料の寄与についてみると、単位量当たりでは稲ワラよりおからの方が寄与率は大きかった。

ヒト(被験者)に ^{13}C を標識したロイシンと濃縮豆乳を与え、蛋白質摂取による炭素代謝を調べた。呼気等での ^{13}C 同位体比の時間変化では、糖類摂取の場合と同様な2種の炭素排出速度が観察された。

前年度までに開発した炭素移行モデルを使って、閉鎖系全体での炭素循環・移送量評価を行い、このモデルの妥当性を確認した。

(2) 実験系の運用技術開発

閉鎖型生態系実験施設内で発生する廃棄物を炭化・燃焼して炭素を循環させるシステムの、4週間の連続的な機能実証試験により所要の性能を確認した。

植物栽培室へ供給する大量の CO_2 の ^{13}C 同位体比を制御することを可能にした。また、回収した CO_2 を植物栽培に再利用する際に含まれる揮発性有機化合物やミネラル分は植物生育へ悪影響を及ぼさないことが分かった。

廃棄物処理及び再利用技術を確立とともに、微量有害ガス濃度の低減化、菌叢の増加抑制をはかり、最長4週間に及ぶ閉鎖居住実験を実施し、閉鎖型制御実験施設としての機能確認を行った。

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

(1) 湿地生態系構築と炭素移行に関する試験

実験施設内に構築したヨシ群落生態系において、湿地からの二酸化炭素発生量の時間変化等のデータ収集を行い、得られた二酸化炭素交換速度等の炭素移行解析に必要なデータを基に、湿地生態系における炭素移行・蓄積基本モデルを作成した。

(2) 海草群落生態系構築と構成生物の炭素収に関する試験

実験施設内に構築した海草群落生態系において、個体レベル及び群落レベルでの炭素移行に関する試験を行った。個体レベルでは、底棲動物の生理活性と水温の関係から、炭素移行に関する予測モデルを作成し、群落レベルでは、海草から底棲生物間の食連鎖に伴った¹³C同位体比の変化に関するデータを収集した。

6. 微生物系物質循環に関する調査研究

(1) 土壌における炭素の蓄積と放出の調査

稲わらを鋤き込んだ水田と牛糞・稲わら堆肥を入れた畑で土壌中の炭素量を測定したところ、水田土壌では年間を通じほぼ一定していたが、畑地土壌では季節変動が認められた。CO₂発生量はいずれも夏期に高く、土壌温度及び微生物活性と相関していた。また、牛糞・稲わら堆肥の熟成過程では、稲わら由来の有機物の分解が優先的に進んでいた。

7. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究

(1) 低線量放射線生物影響実験調査（継世代影響に係る実験）

低線量率（0.05mGy/22時間/日、1mGy/22時間/日、20mGy/22時間/日）のγ線をそれぞれ約400日間オスマウスに連続照射し、非照射のメスマウスと交配して得た仔、その仔同士の交配によって得た孫、及び非照射対照

群の仔と孫を終生飼育して死亡マウスの寿命、死因、発がん等を昨年度に継続して調べた。仔と孫を含む3世代の妊娠率、出産匹数等繁殖データの収集、死亡個体の病理学的検索及び遺伝子解析用組織試料の凍結保存を行った。また、実験に必要なマウスの自家生産と系統維持を行った。

(2) 低線量放射線の生体防御機能に与える影響調査

低線量率（20mGy/22時間/日、1mGy/22時間/日）γ線を連続照射したマウスの脾臓リンパ球の比率と増殖能の経時的変化を、高線量率（900mGy/分）または中線量率（400mGy/22時間/日）γ線を照射したマウスと比較した。20mGy/22時間/日（集積線量1,000~8,000mGy）の連続照射マウスでは、高・中線量率照射マウスの場合とほぼ同様に、免疫機能の低下あるいは変調を示唆する、脾CD8リンパ球比率の低下、Th2リンパ球比率の増加及びTリンパ球増殖能の低下が認められた。

また、20mGy/22時間/日を連続照射したマウスを個別に飼育して、寿命試験時の低線量率放射線連続照射マウスでみられた体重増加に関わる要因を検討した。体重、摂餌量等の測定、照射30週目の臓器の脂質含量を調べた結果、体重の重いマウスでは、摂餌量に変化はないものの、脂質代謝異常を示唆する、飼料効率（体重増加量/摂餌量）の上昇、肝細胞、脂肪細胞及び血清中の中性脂肪含量の増加等がみられた。

(3) 低線量放射線のがん関連遺伝子に与える影響調査

低線量率・高線量放射線を照射したマウスに発生した悪性リンパ腫の遺伝子変異、急性骨髄性白血病の発生・分化、脾臓組織の遺伝子発現及び培養細胞におけるタンパク質発現について、高線量率あるいは中線量率放射線照射の場合と比較した。

悪性リンパ腫に関しては、低線量率（20mGy/22時間/日）γ線を約400日間連続照射（集積線量8,000mGy）したマウスから得た試料で、mRNAの発現について解析した。照射群の悪

性リンパ腫発生率は非照射群とほぼ同じであったが、照射群の悪性リンパ腫では細胞増殖に関わる遺伝子の発現が、一方、非照射群の悪性リンパ腫では細胞死に関与する経路に含まれる遺伝子等の発現が、高いことを示す結果が得られた。

急性骨髄性白血病に関しては、 γ 線の低線量率・高線量(20mGy/22時間/日、集積線量8,000mGy)連続照射、中線量率(400mGy/22時間/日、集積線量4,000mGy)連続照射及び高線量率(約900mGy/分、総線量3,000mGy)1回照射したマウスに、それぞれ発生した白血病細胞の発生・分化段階を調べた。線量率の違いにより分化段階の異なる造血幹細胞・前駆細胞から白血病が発生してくる可能性を示す結果が得られた。

脾臓組織の遺伝子発現に関しては、低線量率(20mGy/22時間/日)及び中線量率(400mGy/22時間/日) γ 線をそれぞれ連続照射したマウスの脾臓Tリンパ球画分の遺伝子発現を調べた結果、細胞老化等に関わる *p21* 遺伝子等の発現増加が見られた。また、高線量率(900mGy/分) γ 線を照射した細胞の核内でみられる γ H2AXタンパク質のフォーカス形成は、ATM欠損マウス胎仔線維芽細胞では見られなくなるが、低線量率及び中線量率照射をしたATM欠損細胞では観察され、低・中線量率ではATM以外の細胞応答シグナルの関与の可能性を示す結果が得られた。

8. 生物学的線量評価に関する調査研究

マウスに低線量率(20mGy/22時間/日) γ 線を最大約400日間連続照射し、一定の集積線量ごとに脾臓細胞に生じた染色体異常頻度を調べたところ、不安定型染色体異常頻度及び転座型異常頻度はいずれも線量の増加に伴い、ほぼ直線的に上昇することが示された。また、低線量率(1mGy/22時間/日、20mGy/22時間/日)と中線量率(400mGy/22時間/日)連続照射マウス脾臓細胞の不安定型染色体異常頻度の線量効果曲線の勾配には有意な差が認められ、線量率効果があることが示された。また、低線量率 γ 線照射でも高線量(6,000mGy以上)になると、数個の細胞に同じ転座型染色体異

常が認められる所謂クローンが出現することがわかった。

〔普及啓発活動〕

放射線や放射性物質の環境影響に関する知識について説明するとともに、自然科学に対する関心を高めることを目的として、以下の活動を行った。

(1) 原子力と環境のかかわりに関する知識の普及活動

住民等からの申し込みに応じて県内外で対話集会を開催し、放射線、原子力、エネルギー、環境等について説明した。

地球環境とエネルギー問題、環境中の放射性物質及び低線量率・低線量放射線の生物影響について説明した講座を、青森市、弘前市、八戸市、むつ市で開催した。

原子力に関する基本的な内容、用語などをおかみくだいて解説したリーフレットと、やや専門的な内容について同様に解説した小冊子を作成し配布した。

(2) 排出放射性物質影響調査研究情報発信活動

平成18年度までに実施された「排出放射性物質影響調査」で得られた成果等の情報の中から、自然放射線に関する調査結果、マウス寿命試験の結果等を紹介した成果報告会を、青森市、六ヶ所村、弘前市、八戸市で開催した。

インターネット上に専用のホームページを制作し、調査の内容、成果の他、成果報告会の配布資料等も掲載した。

(3) その他の活動

環境研の年報及び環境研ニュースを発行するとともに、自然科学に対する関心を高めるため六ヶ所村の小学生等を対象とした理科教室を開催した。

〔その他〕

先端分子生物科学研究センター第2研究棟を竣工させた。また、六ヶ所村からの依頼により、田茂木沼の水質調査等2件を実施した。

研究最前線

低線量率放射線長期照射による 免疫バランスの乱れを捕まえる！

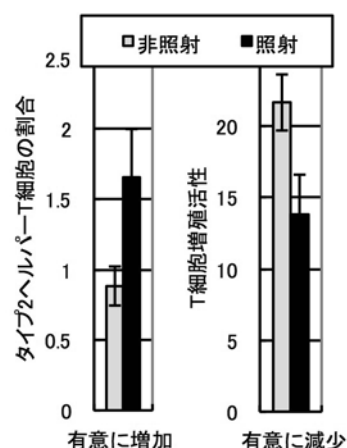
生物影響研究部 高井大策



私たちの研究グループは低線量率放射線の長期照射が生物に与える影響を明らかにするための研究を行っています。広島・長崎の原子爆弾による被爆や、東海村の核燃料工場で発生した臨界事故による被ばくで知られるように、放射線を短時間のうちに大量に浴びることで生命に重大な悪影響を及ぼすこともあることはご存知だと思います。これらは非常に強い（高線量率）放射線を大量に（高線量）浴びた事による影響です。しかしながら以前から、たとえある程度強い放射線でも短い時間・少量の（低線量）放射線を浴びた場合は悪影響が観察されないばかりか、一時的に放射線抵抗性が増える例も多く観察されています。これは動物の体が本来持っている、放射線という環境ストレスに対する防御機構の働きによると考えられています。

それでは非常に弱い（低線量率）放射線を長期間にわたって浴び続けた場合はどうでしょうか？一日あたりに浴びる放射線の量は少なくとも、数百日にわたる被ばくにより総線量が高くなり身体への影響が懸念されるレベルに達した場合の影響はどうなるのか、これが私たちの研究グループのテーマです。この研究を実行するためには、コントロールされた環境下で実験動物を長期間にわたって飼育し、同時に放射線照射を連続して行う特殊な施設が必要であり、環境科学技術研究所にはそのための優れた施設があります。

これまでに、低線量放射線生物影響実験調査において、実験用マウスにバックグラウンドレベルの8,000倍の強さの放射線を400日間にわたって浴びせ続けたところ、寿命の短縮や腫瘍の早期化が観察されました。マウスで得られたこれらの結果をヒトに適用するためにはその機構の解明が必須であると考えられます。この機構を明らかにすることにより、将来的には、低線量率といえども人体に影響を与える可能性のある放射線被ばくの影響をより少なくする手段の開発に寄与することもできると考えています。そこで我々は今回、放射線による影響を受けやすく、また腫瘍の排除にも強く関わっている身体の免疫システムを担う細胞に着目し、低線量率放射線の長期にわたる照射がこれらの細胞に与える影響を観察しました。これまでにタイプ2のヘルパーT細胞の割合の上昇やT細胞の増殖活性の低下を確認しました。今後はこの変化が腫瘍に対する防御機構にどのような影響があるのかを明らかにしたいと考えています。



第152回環境研セミナー

日時：平成20年6月12日

講師：日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部（兼）原子力基礎工学研究部門 環境動態研究グループ

小 嵐 淳 氏

演題：「放射性炭素の環境中移行－モニタリングデータとモデル検証プロジェクトは何を示唆する？」

環境中核種移行モデル予測の精度向上に資するため、ある基本条件のもとでモデル間の国際比較を行う IAEA 主催によるモデル検証プロジェクト EMRAS が行われた。小嵐氏は EMRAS において The Rice Scenario のシナリオリーダーとして、東海村再処理工場周辺での放射性炭素¹⁴C の大気中濃度、および精米中濃度のモニタリング経験を元にした実測データに基づくシナリオによって、大気放出された¹⁴C の米への移行モデルを検証した。各モデルによる予測値は大気中¹⁴C 濃度変動や、精米中¹⁴C 濃度をよく再現していたとのことであった。その活動を通じて得た知見として、現状のモデル

予測能力は正確な放出源情報や気象情報があれば、局所的な大気拡散を予測することが可能であること、精米への移行も海外で開発されたモデル間でのよい予測精度を示すこと等が紹介された。さらにモデルごとに異なる予測値を与える要因となる、稲の成長段階における大気中¹⁴C 濃度の評価法について言及された。

最後に、原子力施設周辺の住民が安心できるためには、モニタリング結果を通じて検証されたモデルによる予測評価の必要があると提言された。本講演は大型使用済燃料再処理施設に隣接する我々にとって、実データに基づいた説得力ある話題であり、多くの示唆に富むものであった。

(柿内 秀樹)



小 嵐 淳 氏

新 職 員 紹 介

環境シミュレーション
研究部

まつした けんさく
松下 兼作



はじめまして、松下兼作と申します。平成20年5月1日付で業務協力員として採用になり、ヒト炭素移行モデル作成試験の担当をしております。出身は青森県七戸町（旧天間林村）です。ほとんどの方が県外の方のようで、共通言語が「標準語」に少々とまどっています。

今まで私は、高齢者福祉の仕事をしてきました。6年間でしたが介護、看護等について、多くの事を学んできました。今までの経験、知識を生かし、また、新しいことを勉強しこれから頑張っていきたいと思っています。私の実家は農業をしていることもあり、担当する試験以外の環境研の研究にも非常に興味をもって勉強させてもらっています。趣味は、バイクですが、去年はいろいろと忙しく、出動したのが「たったの1回(車検を取りにのみ)」今年こそは、多く出動したいと思っています。

これから皆様にお世話になるとは思いますが、やさしいご指導を宜しくお願い致します。

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駮字家ノ前1番7

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