

これからの低線量放射線による生物影響調査・研究

— 染色体解析法などの検出感度の良い方法が必須 —

生物影響研究部
主任研究員

田 中 公 夫



放射線は医療現場など様々な分野で使用されているため、私たちは極低線量の放射線に被ばくする機会が増えています。そんなおり2005年に発表された三つの報告は注目に値します。米国科学アカデミーの報告書*1 (BEIR VII)、と国際がん研究機関による15カ国の原子力施設作業員約40万7千人もの大集団を対象としたがん死亡率についての論文は、100ミリシーベルト以下の低い線量の放射線に被ばくしても一定の確率で発がんの危険性があるという「しきい値のない直線 (LNT) 仮説」を妥当なものとしています。これに対して、フランス科学・医学アカデミーの報告書*2では、生体には放射線損傷に対する様々な防御機構があり、低線量放射線の影響は高線量放射線の影響とは質的に異なるため、100ミリシーベルト以下の低線量域にLNT仮説を適用することは正しくないと述べています。低線量域での「LNT仮説」適用については様々な議論がありますが、低線量放射線の影響を正しく評価するためには、DNA損傷、遺伝子変異、染色体異常、細胞応答やがんなどが生じるメカニズムを細胞や分子レベルで明らかにする必要があります。

低線量放射線により生じる生物影響を遺伝子やタンパク質レベルで調べる時の最大のハードルは、照射を受けた低頻度の細胞に生じた変異を検出するという点ですが、現在、検出感度の良い方法は殆ど存在しません。これまでに用いられてきた多くの分子生物学の技術は、細胞を集めて解析するため、多数存在する正常細胞の中に変異を持つ少数の細胞が埋もれてしまい照射群と非照射群間での変異の差を検出できないのです。そこで、1細胞ごとに変異を精度よく観察できる技術を開発し導入することがぜひとも必要です。放射線により生じた染色体異常の解析は1細胞ごとに異常を観察する大変検出感度の良い方法の一つです。

放射線に被ばくしたヒト集団と被ばくしない集団間で、発生したがんの細胞の染色体異常や遺伝子変異を比較し、違いを見つけた報告がいくつかあります。1グレイ以上の放射線に被ばくをした広島原爆被爆者に発生した白血病の染色体異常や、チェルノブイリ原子力発電所事故時、近郊に住んでいた子供に発生した甲状腺がんのがん遺伝子変異などは、放射線被ばくにより生じた特徴的な“しるし”と考えられます。これらの“しるし”に着目して1細胞ごとに変異を感度良く検出する方法を用いれば、低線量放射線被ばくによりがんが有意に増加するか、しないかがわかるようになり、LNT仮説の妥当性の議論の決着に大きく寄与しうることが期待されます。

*1 「電離放射線の生物影響」についての報告

*2 「低線量電離放射線の発がんの線量効果関係と推定」についての報告

平成18年度事業報告

平成18年度の環境研事業報告書について、6月8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、青森県民の天然放射能による内部被ばく線量を推定した。更に、六ヶ所村のブナ林に生息する小哺乳類が受ける内部被ばくによる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・線量評価モデルとパラメータの検証

大型再処理施設のアクティブ試験に伴って排出された放射性核種〔トリチウム (^3H)、クリプトン85 (^{85}Kr)、ヨウ素129 (^{129}I)〕のうち、放出源情報が得られた大気中の ^{85}Kr による線量率上昇データを用いて、大気拡散モデルの検証を行った。

(2) 環境移行・線量評価モデルの高度化 前年度までに整備した「大気拡散・陸域移行モデル」システムの総合試験、感度解析による特性評価を行い、モデ

ルに含まれる各パラメータの重要度を検討した。さらに、通常運転時及び仮想事故時の事例計算を行った。また、尾駮沼モデルにおける集水プロセスを記述する「尾駮沼集水域モデル」の基本設計を行った。

(3) パラメータの充実

土壌内及び水中における微量元素の形態別分析に基づき、形態間移行速度を求める分析法や実験条件を確立した。さらに、土壌中のセシウム (Cs)、ストロンチウム (Sr) の形態変化と植物吸収に関する試験、並びに水中におけるランタノイド、アクチノイド及びヨウ素の形態変化に関する予備試験を行った。また、植物の葉面に沈着した放射性核種が、雨、風などの気象現象により葉面から除去されるウェザリング過程の実験法を確立した。

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、すでに得られている Cs 耐性を持つモデル植物について、耐性を制御する遺伝子の座乗染色体を決定した。

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

(1) 作物における炭素移行データの収集
イネ及びコマツナに炭素13 (^{13}C) を含む二酸化炭素 ($^{13}\text{CO}_2$) を曝露し、生育時期による ^{13}C 取り込み量の違いを明らかにした。

(2) ヒト・動物における炭素移行データの収集

ヤギに ^{13}C を多く含んだ稲ワラを与え、呼気等の ^{13}C 濃度変化から、代謝によって ^{13}C を排出する速度に関するデータを得た。また、あらかじめ ^{13}C 摂取量の変動を抑えた被験者が、 ^{13}C を含む米とグルコースを食べ、呼気中の ^{13}C 濃度の時間変化のデータを収集した。

(3) 炭素移行シミュレーション基本プログラムの開発

ボックス型シミュレーションシステムが持つべき基本構造、各ボックス間での物質(CO_2)移動の応答特性を解析した。また、系内には時定数の小さな(速い)物理的なプロセスから、生態系を通しての CO_2 移行など時定数の大きな(遅い)プロセスまで内包しているため、ルンゲクッタ法など適切な計算アルゴリズムの検討を行った。

(4) 閉鎖居住実験

閉鎖型生態系実験施設全体の機能確認のため、空気及び水を閉鎖系内で循環させ、2週間の居住実験を3回実施

した。閉鎖系内での植物栽培では、養液の再利用による植物生育に対する影響を調べた。

(5) 廃棄物循環システムの運用技術開発試験

炭化・燃焼法による廃棄物循環システムを開発し、その機能試験を行い、ほぼ予定した燃焼効率が得られた。

(6) 閉鎖系居住実験施設における微量ガス制御技術試験

新たに導入した微量有毒ガス吸着・除去システムの機能試験を行い、閉鎖居住実験期間における NO_2 濃度を基準上限値(5 ppm)以下に制御できた。

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

閉鎖系陸圏実験施設内にヨシ群落生態系を構築した。導入された土壌、ヨシ群落における土壌特性、土壌水・地下水特性、土壌からの CO_2 及びメタン(CH_4)のフラックス等は、野外のヨシ群落土壌とほぼ同様の値を示した。

(2) 海草群落生態系構築と構成生物の炭素収支に関する試験

閉鎖系水圏施設内にアマモと底棲動物からなる海草群落生態系を構築し、

それぞれの生物活性（生産速度、呼吸速度、摂食速度、排糞速度等）を調べ、個体重量との関係を明らかにした。

6. 微生物系物質循環に関する調査研究

大気-植物-土壌間での¹⁴C循環に関するモデル構築における、土壌からの¹⁴C再放出に係る微生物活動の寄与について、調査の予備試験として、水田及び畑地における炭素量の変化を測定した。

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）の放射線を、それぞれ40匹のオスマウスに約400日間連続照射した。照射マウスと非照射メスマウスから得た仔と、仔同士との交配による孫を含む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、計画に従い、各線量率についてそれぞれ60匹のオスマウスの照射を開始するとともに、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

脾細胞中のリンパ球の比率と増殖能

について、高線量率（900mGy/分）または中線量率（400mGy/22時間/日）のガンマ（ γ ）線を1Gy及び2Gy照射したマウスで調べ、低線量率 γ 線連続照射による影響と比較するためのデータを得た。

また、低線量率（20mGy/22時間/日）の γ 線を連続照射したマウスを個別飼育して、体重、摂食量、飲水量及び排泄物量等を測定した結果、体重増加と摂食量あるいは飲水量との相関はみられなかったが、照射マウスの排泄物量/摂食量比が非照射対照群と比較して有意に高いことが分かった。

(3) 低線量放射線のがん関連遺伝子に与える影響調査

マウスに発生した悪性リンパ腫及び骨髄性白血病、並びに脾臓組織における遺伝子の変異または発現について解析を行った。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日間連続照射したマウスから得た試料を解析し、遺伝子発現プロファイルが、正常リンパ節のものと異なる発現プロファイルに分類されることが分かった。

骨髄性白血病に関しては、高線量率（約500mGy/分）の γ 線を3Gy照射したマウスに発生した骨髄性白血病試料を解析し、2番染色体欠失と遺伝子の点突然変異の他に、6番染色体の部分増加等が検出された。

脾臓組織については、低線量率（20 mGy／22時間／日）で800mGyまで、中線量率（400mGy／22時間／日）で8,000 mGyまで γ 線をそれぞれ連続照射したマウスの脾臓での遺伝子発現を調べた。中線量率照射では800mGy以上の集積線量から遺伝子発現が増加したが、低線量率照射では集積線量の増加に伴う大きな発現増加は観察されず、非照射の場合と比較して有意な差はみられなかった。

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）の γ 線を最大約400日間連続照射し、脾臓細胞に生じた染色体異常の頻度を調べた。不安定型染色体異常と転座型異常頻度は線量の増加に伴い、ほぼ直線的に上昇することが示された。また、高線量率（約900mGy／分）及び低線量率（20mGy／22時間／日及び1 mGy／22時間／日）の γ 線をそれぞれ250mGy照射して比較したところ、不安定型異常頻度は低線量率では低下した。

〔普及啓発活動〕

放射線や原子力の環境安全等に関する知識の普及を図るとともに、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) 住民等からの申し込みに応じて、放射線及び科学について話をする出前講演を20回実施した。放射性物質の動き、生物への放射線の影響などについて、説明する「講座」を、弘前（3回シリーズ）、盛岡及び東京で開催した。
- (2) 環境研内で夏期及び冬期に理科教室を開催するとともに、ジュニアリーダー夏季研修会及び六ヶ所村少年少女発明クラブで科学実験を行った。また、放射線測定実演を、サイエンスフェア（十和田市）、ろっかしょ産業まつり、ショッピングセンター「エルム」（五所川原市）、青少年のための科学の祭典（山形市）、フェライトこども科学館（秋田県にかほ市）において開催し、身近にある自然放射線の観察・測定や放射線利用を体験してもらった。
- (3) 原子力に関する基本的な内容、用語などを分かりやすく解説したリーフレット「ミニ百科」、原子力の基礎的な事項について分かりやすく記載した小冊子「アトミックサイエンスノート」を作成するとともに、原子力利用が生活環境に及ぼす影響について理解する上で必要な放射線に関する知識をコンパクトにまとめたパンフレット「原子力と環境のかかわり」を改訂した。

環境研の活動等を発信するため、環境研ニュース及び年報を発行した。

低線量率放射線連続照射の染色体に及ぼす影響

生物影響研究部 香 田 淳



機器を用いた放射線被ばく線量評価のほかに、染色体の異常を調べて線量を評価する方法があります。高線量率被ばくの場合には、ヒトリンパ球に生じた染色体異常頻度が、被ばく線量とよく相関し、他の生物学的指標と比べて検出感度が良いことから、生物学的線量評価手法に用いられています。一方、低線量率の放射線を長期間あびた場合については、被ばく線量が増加すると染色体異常頻度が上昇するかどうかよく分かっていません。そこで、低線量率長期被ばくと染色体異常との関係を明らかにする目的で実験を行っています。

低線量率長期被ばくによる染色体異常頻度を調べる際、ヒトではタバコや食品中の物質などが関与するため、純粹に放射線の影響について結論を得るのは大変困難です。それらの関与を排除できる実験動物を使い、いろいろな線量率の放射線を照射し、影響を調べ、その結果からヒトでの影響を類推することが必要となります。具体的には、異なる低線量率の放射線で連続照射したマウスを用い、照射期間（集積線量）と転座型染色体異常の頻度との関係について調査しています。

20mGy/22時間/日（六ヶ所村の自然放射線量の約8000倍）の線量率で、生後56日から集積線量が8 Gyになる最大456日まで、毎日γ線を連続照射したマウスの脾細胞中の染色体異常を調べたところ、照射期間（集積線量）の増加に伴い、転座型染色体異常の頻度が、増えていくことがわかりました。また、200日以上照射したグループでは、染色体上の同じ箇所に異常を持つ細胞が増殖したクローンと考えられる細胞が、照射日数の少ないマウスより、多く観察されました。このクローンの形成は、がん化の初期の過程とも考えられています。

ヒトとマウスでは個体やリンパ球の寿命、放射線感受性等に違いがあるため、マウスの結果をそのままヒトの場合に当てはめることはできませんが、将来、マウスで得られた結果を基に、①リンパ球寿命などの修正係数を使用することで、被ばく線量の分からない低線量率長期被ばくの生物学的線量評価に応用できる可能性や、②ヒトにおいて、染色体異常保有細胞の増加と、がんとの間に、有意な関係がみられる最低の放射線線量がどのくらいかについて、推定できるようになる可能性があります。

新 役 職 員 紹 介

理事
環境シミュレーション
研究部長
中村 裕二



私は、平成6年2月から2年間、当研究所の環境動態研究部に出向職員として勤務したことがあります。当時の研究所では、松本現理事を中心に低線量生物影響実験棟の建設とマウスの放射線連続照射による寿命試験が開始され、また閉鎖型生態系実験施設の建設及び要素技術開発が進められていました。環境動態研究部で全天候型人工気象実験施設の建設計画がスタートした時期です。

職員数も少なく、通勤のバスも小さかったのではないのでしょうか。昼食後の休憩時間には、本館前で野球に興じた記憶もあり、駐車場も小さかったように思います。13年経った今では、当研究所の規模も大きくなり、最先端の分子生物学研究施設を擁するようになってきました。これから、なお一層、研究の成果が問われることとなります。こうした時期に、2度目のお勤めとなりました。

私は、大学院では放射化学を専攻していました。それ以来、雑多な仕事をしてきており、専門が何であるのか、自分自身でもよくわかりません。この度、担当することになった環境シミュレーション研究部の仕事に関しても、また新たな勉強が必要と感じています。ただ、研究員の方々に、より良い成果をあげて頂くため、研究環境を整え、できる限りの支援をすることが本務と考えています。

理事
技術・安全室長
喜多 俊清



4月1日付けで、当研究所の技術安全を担当することになりました。東京都墨田区出身で、昭和23年生まれの現在58歳です。昭和45年に旧科学技術庁に入庁し、最初の頃は原子力以外の部局にいました。昭和58年に旧原子力安全局に配属になってからは、平成14年に原子力規制室を最後に文部科学省を退職するまで、原子炉施設や核燃料施設の安全審査、原子力施設のトラブル・事故対応などにあたってきました。平成14年からは（財）原子力安全技術センターにおいて主に緊急時放射能拡散影響予測システム（SPEEDI）を中心とした原子力防災を担当してきました。最初に六ヶ所村に来たのは平成2年の夏でしたが、その後何もない原野に環境研の赤い建物ができたのが印象的でした。まさか自分が環境研勤務になるとは夢にも思っていませんでした。環境研のために自分の経験が活かせればと思います。特技としては、剣道は教士七段、居合道は五段です。剣道は始めてから今年で丁度50年になりました。こちらでも何とか続けたいです。安全確保の基本は、①危険の予測、②ルールへの厳守、③仕事は手を抜かずきちんとすること、しかありません。当研究所が安全面でも青森県民や国民から高い信頼を得られるよう努力するつもりです。

環境シミュレーション
研究部

石岡 正直



4月1日付で環境シミュレーション研究部に配属となりました。主に動物系の試験について担当させていただいております。

職員といいましても、業務協力員ということで、今年の3月までの10年間は、協力会社として、環境シミュレーション研究部で行われている生物圏物質循環総合実験調査の動物実験や、植物栽培実験に携わってまいりました。これまでの経験や技術をフルに活かして、頑張っ参ります。

これまでは、実験の内容により効率的な作業を企画し、その作業を指示し、評価する仕事をしてきましたが、今年からは、実験そのものを考え、立案し、評価することになりました。新米職員になったつもりで、この一年邁進していきますので、宜しくお願いいたします。

趣味は色々あり、何にでも手を出してしまうのですが、中でも釣りが一番長く、やめられません。研究所の中でも釣りをする人が多いと聞いていますので、できるだけ多くの方々と釣りに行けたらと楽しみにしております。

環境動態研究部

武藤 ^{あずま} 東



はじめまして。武藤東と申します。いきなりですが、自己紹介をしたいと思います。出身は秋田です。2年前に秋田大学工学資源学部を卒業し、青森日揮プラントック(株)に入社いたしました。身長170cm、体重は…ご想像にお任せします。部活動は小学生の頃から大学まで1つの競技をやってきました。私の体格を見た人は、第一声に必ずと言っていいほど『柔道?』とか『相撲?』などと聞いてきます。私はずっと剣道をやってきました。これを言うと、大体の人が驚きます。ですが、本当の話です。剣道三段です。趣味としては、バイク関係、音楽関係です。旅やアウトドアも好きなので、バイクで旅をしたり、一泊二日のキャンプにいたりすることもあります。

現在は、山上先生の下で研究の補助を行っています。元々化学を学んできたので、生物関係の知識はというと、ゼロに等しい状態でした。ですが、先生に教えていただいたり、自分で学んだりして、少しはレベルアップできたのではないかと思います。これから先も色々学び、頑張っていきたいと思っています。

最後に、1年という短い間ではありますが、どうぞよろしく申し上げます。

環境研ニュース 第58号 2007年7月

〔編集発行〕 財団法人 環境科学技術研究所

〔編集責任者〕 広報連絡委員会委員長 武山 謙一

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駮字家ノ前1番7

☎ 0175-71-1200(代) FAX 0175-72-3690 URL : <http://www.ies.or.jp>

〔印刷〕 (有)アート印刷