

はじめに

大型再処理施設放射能影響調査事業の一環である環境影響及び生物影響に関する調査研究を、当研究所の主要事業として、これまで青森県から受託しており、平成30年度においても同事業を受託し、これを遂行した。それに加えて、国が進める福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立のための放射能測定を日本原子力研究開発機構から受託した。

また、それらの調査研究に係る情報を青森県民に提供するための情報発信活動等を行った。さらに、研究領域の拡大や新たな調査研究の展開を目指し、研究所独自の自主研究や科学研究費補助金による研究を行った。その他、学生に対する放射線の実習・講義等により、人材育成を支援した。

事業の内容

I. 放射性物質等の環境影響等環境安全に関する調査研究

青森県からの受託調査研究事業として、以下の環境影響及び生物影響に関する調査研究を進めている。

排出放射性物質の環境影響に関する調査研究では、これまでに開発した気圏、陸圏、水圏における放射性核種の移行及び人体の被ばく線量を評価する総合的環境移行・線量評価モデル（総合モデル）を高度化するとともに、検証を目的として、各種環境試料中の排出放射性核種濃度を測定した。さらに、より現実的な線量評価を行うために、放射性炭素等を対象とした環境からリンゴ等の県内産物への移行、被ばく線量評価に用いる人体代謝、及び長期的な土壌への蓄積に係るサブモデルの構築を実証的に進めている。加えて、大型再処理施設周辺に分布するクロマツの被ばく線量評価法の開発及び土壌から作物への放射性セシウムの移行低減化手法の開発を実施した。（1節）

低線量放射線の生物影響に関する調査研究では、マウスを用いて低線量率放射線長期連続照射の子孫への影響（継世代影響）を高線量率放射線照射と比較する研究を行った。また、母体内で低線量率放射線照射された胚・胎仔への短期影響及び出生後の長期影響に関する研究、低線量率放射線が生体の細胞に引き起こす応答及びゲノムへの影響に関する研究、並びに低線量率放射線に対する生体の造血系・免疫系・内分泌系の応答に関する研究を行った。（2節）

また、日本原子力研究開発機構からの受託調査研究事業等の外部資金による調査研究、環境科学技術研究所自主研究、及び科学研究費補助金による研究についても報告する。（3節～5節）

1. 排出放射性物質の環境影響に関する調査研究

1.1 排出放射能の環境移行に関する調査研究

平成27年度までに開発した大型再処理施設から排出された放射性核種の環境における移行及び被ばく線量を評価する総合的環境移行・線量評価モデル（以下、総合モデル）を高度化し、実測データによる検証を行うため、以下の調査研究を行った。

1.1.1 総合モデルの高度化と運用体制の構築

総合モデルの高度化を行うため、大気中放射性核種濃度等の実測値をデータ同化する機能、被ばく線量の確率論的評価機能及びこれまでの調査で得られた知見をモデルに導入する。また、気象データをオンラインで入手し、使用する運用体制を整えるとともに、水圏関連サブモデルへの機能追加等を行う。

平成30年度は、総合モデルに導入した、放射性核種濃度等の実測値をデータ同化する機能を評価し、さらに被ばく線量の確率論的評価機構を導入するための基本設計を行った。また、大気－作物間¹⁴C移行モ

デルを導入するとともに、大気－作物間³H移行モデルの基本設計を行った。加えて、総合モデルを効率よく運用可能とするため、水圏関連モデルの計算機能の効率化を行った。

1.1.2 総合的環境移行・線量評価モデル検証

大型再処理施設の本格稼働に備えて、気圏、陸圏及び水圏環境における排出放射性核種の濃度及び動態に関するフィールド調査を実施し、モデル検証用の基礎データとする。また、青森県内で得られにくい、¹³⁷Cs等の環境移行パラメータを福島県において取得する。

平成30年度は、六ヶ所村等の大気、降下物、土壌、植物、日常食及び農畜水産物、並びに水圏環境における水、堆積物、懸濁粒子及び水生生物中の放射性核種濃度を測定するとともに、環境研構内に整備した圃場において栽培した農作物中の排出放射性核種（³H、¹⁴C及び¹²⁹I）濃度を測定して、再処理施設本格運転前のバックグラウンドデータ取得を継続した。さらに、青森県内で得られにくい、¹³⁷Cs等の土壌からの再浮遊、河川を通じての移動等に関連する環境移行パラメータを福島県において取得した。

1.2 青森県産物への放射性物質移行に関する調査研究

大型再処理施設の稼働に伴い、¹⁴C、放射性ヨウ素等が環境中に排出され、また、異常放出時には、これらに加えて放射性セシウム及び放射性ストロンチウムの放出が考えられる。そこで、果樹（リンゴ）及び海産物（ヒラメ）等の経済的に重要な青森県産物を対象に、大気放出される¹⁴C、放射性ヨウ素及び放射性セシウムの果樹への移行並びに海洋放出される放射性ストロンチウム及び放射性ヨウ素の海産物への移行に関する実験を行い、それぞれの移行・蓄積サブモデルを構築する。このため、以下の調査研究を行った。

1.2.1 果樹における放射性炭素移行調査

本調査では、リンゴ幼木を対象に、¹⁴Cの大気からリンゴの果実への移行・蓄積モデルを開発するとともに、屋外栽培個体の¹³C安定同位体ばく露実験等によるモデル検証を行う。

平成30年度は、モデル作成用データを取得するため、実験室内において果実生育後半期の生育段階別に¹³CO₂ばく露を行い、収穫時の各部位における¹³C残存濃度を測定するとともに、各部位の炭素量の変化を明らかにした。

1.2.2 果樹における放射性ヨウ素等移行調査

本調査では、姫リンゴ幼木を対象に、放射性ヨウ素及び放射性セシウムの葉面、樹皮表面及び果実表面から果実への移行モデルを、それぞれの安定元素を用いた実験により構築する。表面への負荷形態は、乾性及び湿性沈着を考慮して、それぞれ粒子状及び液状とする。

平成30年度は、結実後のリンゴ樹の葉面又は樹皮表面への液状セシウムの負荷、及び結実前のリンゴ樹の葉面又は樹皮表面への粒子状セシウムの負荷を行い、それぞれの表面からの吸収及び果実への転流の速度を求めた。

1.2.3 海産物への放射性ストロンチウム・ヨウ素移行調査

本調査では、ヒラメを対象に、放射性ストロンチウム及び放射性ヨウ素について海水からの直接移行及び摂餌に伴う移行を含む移行・蓄積モデルを構築する。

平成30年度は、⁸⁶Sr安定同位体または¹²⁵Iを含有する餌料をヒラメに投与し、それぞれの体内への移行を

調べた。さらに、これまで ^{86}Sr を添加した海水中で飼育していたヒラメを通常の海水に移し、ヒラメから海水への短期的な ^{86}Sr 排泄速度を明らかにした。

1.3 人体内における放射性炭素・トリチウム代謝に関する調査研究

大型再処理施設から排出される ^{14}C 及び ^3H による被ばく線量をより現実的に評価することを目的として、 ^{13}C で標識した多種の脂質及びアミノ酸等について、ボランティアへの経口投与実験を行い、精度の高い ^{14}C 代謝モデルを作成するとともに、水の代謝モデルと組み合わせで ^3H 代謝モデルを構築する。

平成30年度は、平成29年度の ^{13}C 標識フェニルアラニン及びグルコースの投与実験で得られた毛髪試料の ^{13}C 濃度を測定し、有機態での ^{13}C 排泄速度を評価した。さらに、これまでに得られた ^{13}C 標識化合物投与結果を総合して、 ^{14}C 代謝モデルを構築した。加えて、モデルを検証するため、 ^{13}C 標識ラッカセイを作製して、被験者に経口投与し、実験期間中の呼気 ^{13}C 濃度を測定して無機態での ^{13}C 排泄速度を評価した。

1.4 陸圏における放射性物質蓄積評価に関する調査研究

大型再処理施設の稼動に伴い排出される ^{14}C の土壌への蓄積性を評価するため、施設周辺に広く分布するクロマツ林におけるモデルを構築するとともに、排出量の多い ^3H について、各種環境（クロマツ林、牧草地等）での土壌への蓄積モデルを構築する。

平成30年度は、牧草地における水の挙動を明らかにするため重水散布実験を継続するとともに、牧草の多年生部位（茎葉基部、根）に移行した有機物の長期挙動データを取得するための $^{13}\text{CO}_2$ ばく露実験を行った。加えて、クロマツ林内において、水文学的データ、炭素現存量及び炭素固定量関連データ、並びにリター分解速度関連データの取得を継続した。さらに、土壌中のトリチウム水の挙動に関するモデルの基本設計を行った。

1.5 樹木の被ばく線量評価法の開発に関する調査研究

大型再処理施設周辺には放射線感受性が高いとされるクロマツが広く分布している。そこで、クロマツの被ばく線量率を計算する手法を開発し、その手法を用いて自然被ばく線量率を求めるとともに、大気放出される放射性ヨウ素によるクロマツの被ばく線量評価に必要なパラメータを安定ヨウ素により求める。

平成30年度は、平成28年度に設定した調査区域から根部を含めたクロマツ1個体を採取して、部位別の形状、重量、安定元素濃度及び放射性核種濃度の測定を行うとともに、周辺の土壌中安定元素濃度及び平成29年度に採取したクロマツの周辺の土壌中放射性核種濃度を分析した。さらに、地上部の部位別形状等のデータを基にしたクロマツ地上部基本ファントムを作成し、線量評価に必要な境界条件等を決定する試計算を行った。また、クロマツ林内外の大気降下物及び大気中ヨウ素濃度を測定し、クロマツへのヨウ素の乾性沈着速度及び降雨等による除去速度を求める調査を継続した。

1.6 放射性物質の移行低減化に関する調査研究

大型再処理施設周辺の重要な作物である牧草を対象として、青森県の土壌で栽培した場合の放射性セシウムの移行に影響を及ぼす土壌要因を明らかにし、要因に応じた施肥や資材等による移行低減化手法の検証を行う。さらに、青森県の主要農産物であるイネを対象として、玄米へのセシウムの転流を植物成長調節物質や化学物質によって制御する手法を確立する。

平成30年度は、下北地方の牧草地から採取した土壌に ^{137}Cs 添加し、牧草のポット栽培実験により、 ^{137}Cs の移行性と土壌特性との関連を調べた結果、特に熱硝酸抽出カリウム濃度が ^{137}Cs の移行性に大きな影響を

与えていることを明らかにした。また、平成29年度に¹³⁷Csを添加した上北地方の牧草地土壌を用いて同様の栽培実験を行い、¹³⁷Csの移行性の変化を明らかにした。さらに、放射性セシウムの移行性が高い上北地域の2地点の牧草地土壌を対象として低減化手法の効果を検討した結果、カリウム肥料や放射性セシウム固定資材の施用が有効であった。加えて、玄米の放射性セシウムの低減化手法として、成長調節物質等の玄米のセシウム濃度に及ぼす影響を調査した。

2. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究

低線量率・低線量放射線のヒトへの影響を推定するため、異なる線量率と集積線量の放射線をマウスに照射して以下の研究を実施した。

2.1 低線量放射線生物影響実験調査（継世代影響・線量率効果解析）

高線量率（700～800 mGy/分）及び低線量率（20 mGy/日）ガンマ線を同じ集積線量になるまでオスマウスに照射し、照射終了後に非照射メスマウスと交配して得られる仔マウスとオス親マウスを終生飼育し、病理学的に死因やがんの発生率等を調べ、線量率の違いが異なる継世代影響を及ぼすかどうかを調査する。さらに尾組織から抽出・精製したDNAを用いて遺伝子変異を調べる。

全部で5回の照射-交配-終生飼育実験を行っている（終生飼育マウス総数約1900匹）が、平成30年度初頭に、第5回（最後の）実験の交配を終了した。その後の終生飼育、死亡マウスの病理解析並びに遺伝子変異解析を引き続き実施した。

2.2 母体内における低線量率放射線被ばく影響実験調査

母体内、すなわち出生前の時期における低線量率放射線長期被ばくの健康影響を評価するため、受精卵、胎仔、仔の生死、胎仔の発生異常、外表奇形などの胎仔期あるいは生後比較的早期に発現する短期的影響を調べる。また、寿命、死因、発がんなどに関する長期的影響を明らかにする。

平成30年度は、短期影響解析においては、受精から出生までの全期間照射したマウスの生殖腺、生殖細胞および生殖機能に認められる影響についてのデータの蓄積を継続して行った。また、長期影響解析においては、受精から出生までの全期間照射したマウスの終生飼育及び死亡マウスの病理学的検索を継続して行った。

2.3 低線量率放射線に対する分子細胞応答影響実験調査

低線量率放射線長期連続照射マウスで見られたがんの誘発や寿命短縮を理解するためには、低線量率放射線が個々の細胞において引き起こす遺伝子発現変化やゲノムの変異を明らかにすることが必須であると考え、以下の調査研究を行った。

2.3.1 低線量率放射線照射による応答分子への影響解析

低線量率放射線を照射された個体中の細胞において誘起される遺伝子発現変化等を、高中線量率放射線との相違点、加齢との関連、雌雄差に重点を置いて解明する。

平成30年度は、マウスへの低線量率放射線長期（400日）照射・経時的組織サンプリングを完了し、これを用いた遺伝子発現の経時的変化についての網羅的解析を実施した。また、低線量率照射マウスの低分子代謝物の網羅的解析（メタボロミクス）を行った。波長が異なる蛍光で標識された2種の細胞を非蛍光マウス個体に移植し、蛍光細胞の個体内での挙動を追跡する実験を行った。

2.3.2 線量率の違いによるゲノムへの影響解析

低線量率及び高線量率放射線を照射したマウスの脾臓リンパ球における転座型染色体異常誘発を解析したこれまでの調査の結果、両者は明白に異なる反応を示すことが分かっている。本課題では、染色体異常誘発の線量効果関係が、線量率の変化に従いどのように変化するかについて解析することにより、放射線効果における線量率依存性の解明を目指す。またこのような解析の際の染色体異常頻度の見積もりに大きな影響を与える可能性がある染色体異常の経時的安定性について評価する。

平成30年度は、マウスに対する放射線照射、非照射条件下で長期飼育、経時的サンプリングを完了し、一部のサンプルの染色体異常頻度の解析を行った。

2.4 低線量率放射線に対する生理応答影響実験調査

生物個体が備えている生理学的恒常性維持のための各種調節システムの低線量率放射線照射に対する反応、及び低線量率放射線がこのようなシステムへの関与を通して生物個体に最終的に及ぼす影響（寿命短縮やがん発生）のプロセスを明らかにするため、これまでの調査により放射線の影響が顕著であることが明らかになっている造血系、免疫系、内分泌系の3システムに関し以下の調査研究を行った。

2.4.1 造血系解析

低線量率放射線の造血幹細胞への影響が、造血幹細胞が照射されたことによる直接的な影響であるのか、あるいは周辺の細胞や液性因子を介した間接的な影響であるのかを明らかにする。

平成30年度は、マウス個体または培養系、移植系を用い、造血幹細胞に対する放射線照射の直接的、間接的影響を分別して解析する実験を継続した。

2.4.2 免疫系解析

抗がん免疫能（がん細胞を排除する機能）などに対する低線量率放射線の悪影響が、飼育環境変化により低減されるか否かを明らかにする。

平成30年度は、移植したがん細胞に対する排除能力を観察する実験系を用い、低線量率放射線照射によって生じる抗がん免疫能低下に対する飼育環境変化の影響を評価する実験を継続した。

2.4.3 内分泌系解析

低線量率放射線により誘発された卵巢機能障害が、照射メスマウスのがん発生頻度の増加及び寿命短縮の原因であるか否かを明らかにする。

平成30年度は、前年度までに低線量率放射線照射、卵巢移植処置、もしくは卵巢切除処置を行ったメスマウスを長期飼育し、発がんを解析する実験を完了した。また、同様のマウスを終生飼育して、寿命を解析する実験を継続して行った。

3. その他の受託研究

日本原子力研究開発機構からの委託により、前年度に引き続き、福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立のために、土壌試料(300試料程度)に含まれるガンマ線放出核種(^{134}Cs 、 ^{137}Cs 等)の測定を行った。

4. 科学研究費補助金等の調査研究

科学研究費補助金等による研究として、以下の10課題を実施した。

研究代表者である研究

- ・北日本太平洋側における森林樹木の霧水利用特性の評価
- ・北極・南極における大気水循環の近年変動の解明
- ・土壌に蓄積するscyllo-イノシトールリン酸の動態に関わる生物学的要因の解明
- ・長期窒素連用樹園地における放射性セシウムの可溶化・下方移動と植物吸収との関係解析（住友財団環境研究助成）

分担研究者である研究

- ・日本の農耕地土壌における植物必須元素可給態量の網羅的定量と規定要因の機構論的解明
- ・プレート境界沈み込みに伴う南部チリ弧火成作用の多様性とマグマ生成過程の全容解明
- ・超新星背景ニュートリノ観測による星形成の歴史の研究
- ・難分解性溶存態有機物の消失経路 -泡による粒子化-
- ・寒冷地河川における実用的アイスジャム計算モデルの開発と陸面モデルによる広域展開
- ・海水減少が北極陸域水循環に与える影響の実態解明

5. 環境科学技術研究所自主研究

研究所の調査研究領域の拡大及び既存の調査研究の新たな展開を目指し、研究所独自の自主研究を下記のとおり行った。

平成29年度に採択し、平成30年度へ継続した自主研究

- ・気相中二酸化炭素及び分子状水素のパッシブサンプラーの開発とその応用
- ・低線量率放射線長期連続照射マウス表現型の包括的観察

平成30年度に採択した自主研究

- ・土壌HT酸化を黒ボク土牧草地で測定する手法の開発
- ・低線量率放射線照射によるポリアミン変動が及ぼす概日周期への影響についての解析

Ⅱ. 放射性物質等の環境影響等環境安全に関する普及啓発

1. 排出放射性物質影響調査研究情報発信活動

青森県からの受託事業として、大型再処理施設放射能影響調査事業で実施した環境影響及び生物影響に関する調査研究の内容や成果等を県民に対して発信することにより、大型再処理施設から排出される放射性物質の影響に関する県民の理解を得る活動を行った。具体的には、成果報告会、出前説明会、ホームページ及び印刷物によって、下記のとおり発信した。

成果報告会は、六ヶ所村、青森市、弘前市及び八戸市の4か所で開催し、「牧草への放射性セシウム移行低減に向けて」、「母体内における放射線被ばくの影響を調べる」と題してそれぞれ環境影響研究、生物影響研究の成果について報告した。また、全ての会場において外部有識者による基調講演をあわせて実施し、更に六ヶ所村、八戸市では日本海洋科学振興財団から「下北半島太平洋側沿岸における流れの変動の伝播について」の報告も行った。参加者は4会場合計で278名であった。

出前説明会は青森県内で21回実施し、参加者総数は1,286名であった。説明会は講演、出展の形式で実施し、前者では調査研究成果等を中心に放射線の基礎知識や生物影響についての講演、後者では青森県内の大学祭や六ヶ所村内のイベントに出展し、パネルを用いた成果の説明や放射線に関する基礎的な内容につ

いて説明した。

ホームページに関しては、研究の進捗に応じた研究紹介に関するページの更新等を行った。アクセス数は、福島原発事故以前に比べて高い水準を維持した状況であった。

印刷物については、放射線の基礎知識や調査で得られた成果を解説した放射線の基礎知識パンフレットや、調査成果を解説するリーフレットを作成した。

2. 広報活動

環境研が実施する事業活動の理解促進のため、年報及び環境研ニュース等の印刷物やインターネットを通じたホームページによる情報発信を行った。また、施設公開や六ヶ所村内の小学生等を対象とした理科教室等の開催、村内イベントへの出展等を実施した。

Ⅲ. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成の支援

青森大学薬学部放射線実習や弘前大学、八戸工業大学などの教育機関の研修等を受け入れた。さらに、弘前大学や筑波大学、東京理科大学等から学生実習生を受け入れ、分析手法等の指導を行った。また、北里大学と八戸工業高等専門学校において職員が講義を担当した他、弘前大学において被ばく医療に関する委員会の委員を務め、人材育成の支援を行った。

Ⅳ. その他本財団の目的を達成するために必要な事業

1. 福島原発事故対応への貢献

福島原発事故で問題となっている放射性物質及び低線量被ばくに関して、Ⅰ章3節「その他の調査研究」に記載の通り、1つの調査研究を受託した。また事故に関する調査や対策に関する委員会への就任要請に応え職員を派遣した。

また、福島県内において放射性セシウムの環境移行に関する調査を行い、それらのデータを研究に用いるとともに現地の行政機関へ放射性物質移行等の実態に関する情報として提供した。

2. 地域からの要請への対応

六ヶ所村内の教育機関からの支援要請により、講師としての職員の学校等への派遣や、職業体験学習の受け入れを行った。また、地域からの要請に応え、六ヶ所次世代エネルギーパーク事業に参加するとともに、産業まつりへの後援及び出展、各種委員会への職員の委員としての参画等を通じて、地域振興や社会教育に貢献した。さらに、青森県防災会議や青森県原子力施設環境放射線等監視評価会議等に職員が委員として参画した。

3. 研究協力体制の整備

調査研究事業を円滑に推進するため、弘前大学や日本原子力研究開発機構等国内の機関と13件の共同研究を実施した。