

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、令和2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、環境省が必要とする研究テーマを提示して公募を行う環境研究総合推進費の調査研究や六ヶ所村からの要請による受託研究を行った。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

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や、六ヶ所村の大型再処理施設から大気排出されるトリチウムのうちHTが土壌中でHTOに酸化される速度の測定手法の確立を進めた。加えて、六ヶ所村の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。さらに、低線量率放射線が引き起こす細胞レベル・分子レベルの変化に関する研究、低線量率放射線が個体レベルの生理学的調節・統合機能に与える影響に関する研究、並びに放射線影響の大きさや現れ方を変化させる「修飾要因」に関する研究を行った。（2節）

また、環境省が進める環境研究総合推進費による六ヶ所村の大型再処理施設周辺のヨウ素に関する研究や競争的研究資金による研究や六ヶ所村からの要請による環境調査や浄化手法開発、地域振興に関する受託研究、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を行った。（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六ヶ所村の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。

令和2年度は、総合モデルに導入した被ばく線量の確率論的評価機構の機能評価を行った。さらに、陸域移行サブモデルへ土壌－牧草間のCs移行係数の経時変化を取り入れた実験式を導入した。加えて、データ

同化機能を含めた総合モデルの全体的な性能の評価を行った。

1.1.2 大型再処理施設周辺等データの取得とモデル検証

六ヶ所村の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、 ^{137}Cs 等の環境移行パラメータを福島県において取得する。

令和2年度は、六ヶ所村等の気圏及び陸圏環境における大気、降水物、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求めるとともに、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 、 ^{14}C 及び ^{129}I) 濃度を測定して、総合モデルの検証に資する知見を得た。さらに、青森県内で得られにくい、 ^{137}Cs 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

排出放射性核種を対象として、経済的に重要な青森県産の農産物である果樹（リンゴ）、畑作物（ナガイモ）、同様に海産物であるヒラメ、ホタテガイへの移行に関する実験を行い、それぞれの移行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 農産物への放射性物質移行調査

本調査では、リンゴ成木を対象として ^{14}C の大気からの移行・蓄積モデルを構築するとともに、ナガイモについての同様のモデルを構築するために室内における栽培手法を確立する。さらに、リンゴ樹に負荷した安定ヨウ素等の移行・蓄積及びウエザリングモデルを構築する。

令和2年度は、リンゴ成木を対象とした $^{13}\text{CO}_2$ ばく露試験を行うための手法及び生長データの取得法を確立するとともに、ナガイモのムカゴからの栽培手法確立に向けた試験を開始した。さらに、ふじ幼木を対象に、粒子状ヨウ素及びセシウムの降雨によるウエザリング実験を行うとともに、姫リンゴ幼木を対象に、液状ヨウ素の葉面への負荷実験を行い、それぞれの移行パラメータを取得した。

1.2.2 海産物への放射性物質移行調査

本調査では、海水からヒラメへの放射性ヨウ素の移行モデル、海水からホタテガイへのトリチウム及び放射性ヨウ素の移行モデル、及び餌料からホタテガイへのトリチウムの移行モデルを構築する。

令和2年度は、ヒラメへの放射性ヨウ素移行調査及びホタテガイのトリチウム移行調査のための、実験系の構築を行った。

1.3 HT型トリチウム移行調査

六ヶ所村の大型再処理施設からHTとして大気排出されるものの一部は土壌中で酸化されてHTOになり、酸化速度は土壌の性質や植生などの環境条件に大きく影響を受ける。そこで、県内の土壌特性の調査を行い、HT酸化速度に関するマップを作成する。

令和2年度は、HT沈着速度の測定手法を確立するために圃場を整備して実験を行うとともに、採取した土壌の室内での評価手法の確立及び植生依存性に関する実験を行う圃場の整備を行った。

1.4 樹木の被ばく線量評価法の開発に関する調査研究

六ヶ所村の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。さらに、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乾性沈着速度を大気中安定ヨウ素を用いて求めるとともに、大気中¹²⁹Iを用いた湿性沈着及び除去速度を取得する手法を確立する。

令和2年度は、これまでに得られたクロマツの形状データ等を基にした群落ファントムを作成し、線量換算係数の計算を行うとともに、クロマツの自然被ばく線量率を求めた。さらに、クロマツ林内外の大気降下物や大気中粒子態及びガス態の安定ヨウ素濃度を測定して、大気中ヨウ素のクロマツへの乾性沈着速度を求めた。加えて、大気中¹²⁹Iを利用した大気中ヨウ素のクロマツ林への湿性沈着及び除去速度の測定手法を確立するとともに、令和元年度に採取したクロマツ試験木の部位別試料及び土壌試料中¹²⁹Iのバックグラウンドレベルを取得した。

1.5 放射性物質の移行低減化に関する調査研究

六ヶ所村の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。

令和2年度は、牧草を対象とした調査では、令和元年度に¹³⁷Csを添加した三八・津軽地域牧草地土壌による栽培実験を行い、¹³⁷Csの移行性と土壌特性との関連を調べた。さらに、令和元年度に調査した三八・津軽地域の牧草地土壌のうち¹³⁷Cs移行性が高いことが明らかになった土壌を対象に平成29年度に確立した移行低減化手法の有効性を検証した。イネを対象とした調査では、輸送体ブロッカー等の薬剤をイネ植物体に散布し、子実のセシウムの濃度に及ぼす影響や、その効率的な散布方法について検討を行った。

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。

調査最終年度である令和2年度は、終生飼育実験、死亡マウスの病理学的解析並びに遺伝子変異解析を完了し、総合解析を行った。

2.2 低線量率放射線に対する分子細胞応答影響実験調査（第2期）

第1期調査において、低線量率放射線長期照射はマウス組織・細胞の遺伝子発現を変化させること、この変化はより高い線量率の照射の場合と異なること、またこの遺伝子レベルでの変化は個体レベルでの肥満や脂肪肝といった健康影響と関連している可能性があることが見出された。そこで、本調査では、この低線量率照射に特有な遺伝子発現変化をもたらしている制御機構の変化（エピジェネティックな変化、具体的にはDNAメチル化や非コードRNAの変化）を明らかにするとともに、これらの分子レベルの変化により

引き起こされると考えられる細胞の性質（増殖能や分化能等）への影響を明らかにする。

調査初年度にあたる令和2年度は、低線量率放射線の遺伝子発現制御機構への影響及び細胞の増殖能や分化能等への影響を解析するために必要な手法を検討し確立した。

2.3 低線量率放射線に対する生理応答影響実験調査（第2期）

マウスへの低線量率放射線長期照射は、個体の生理学的恒常性維持のための様々な調節システムに影響を与え、その結果として個体レベルでがん及び非がん病変の誘発、寿命短縮などの影響を及ぼしていることが明らかになりつつある。第1期調査では、低線量率放射線の造血系、免疫系、内分泌系に対する影響に関して解析を行い、内分泌系に関しては、内分泌器官である卵巣の照射の影響が個体内を伝播し他のさまざまな臓器における発がんを引き起こしていることを明らかにした。本調査では、低線量率放射線影響が内分泌系を介して全身に伝播する仕組みをさらに詳細に解析するとともに、新たに神経系及び血管系に関する解析を行う。

調査初年度にあたる令和2年度は、内分泌系、神経系、血管系それぞれへの低線量率放射線の影響の解析に関する実験の手法を確立した。

2.4 低線量率放射線影響に対する修飾要因実験調査

ヒトが放射線被ばくしたときの影響の大きさや現れ方については、生活環境、生活習慣などの因子によって異なることが明らかになっている。言い換えると、放射線の影響の大きさや現れ方を、これらの因子の調節によって「修飾」することが可能であると考えられる。本調査では、最終的にはヒトの放射線影響低減化に資する情報を得ることを目的として、マウスの飼育環境、飼育条件の調節による低線量率放射線長期被ばくの影響の大きさや現れ方の変化を明らかにする。

調査初年度に当たる令和2年度は、マウスの飼育環境、飼育条件調節による放射線照射の影響の大きさや現れ方の変化を評価する実験条件の検討を行い確立した。

3. その他の受託研究

環境省が必要とする研究テーマを提示して公募を行う環境研究総合推進費の調査研究について所管する環境再生保全機構からの委託により、「沿岸堆積物に蓄積した放射性ヨウ素の溶出及び底生魚への移行過程の把握」の調査研究を行った。また、六ヶ所村から環境悪化及び地域振興に関する委託調査として、「市柳沼における水質実態調査」、「田面木沼水質浄化法開発調査」、「富ノ沢地区農用地における候補植物選定調査」を行った。

4. 競争的研究資金等による研究

科学研究費補助金等による研究として、以下の12課題を実施した。

研究代表者である研究

- ・ 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
- ・ ジョロウグモを指標種とした複数放射性核種による汚染及び被ばく線量の総合的評価
- ・ 低線量率放射線照射によるROS産生とインスリン抵抗性惹起機構の解明
- ・ 放射線が細胞競合に及ぼす影響をラット乳腺培養系で評価する
- ・ 食品中炭素の脂肪組織への長期的な蓄積及び代謝排出の評価（公益信託医用薬物研究奨励富岳基金助成）

分担研究者である研究

- ・アボプラスト障壁の形成と機能の理解
- ・非栄養元素・毒性元素を代替利用する細胞の危機適応力の探求
- ・根圏の微量元素可溶化メカニズムとその制御による放射性セシウム吸収抑制手法の開発
- ・植物根圏におけるヨウ素還元機構の分析化学的、分子遺伝学的解明
- ・海洋酸性化に対する海藻藻場生態系のエネルギーフローの応答
- ・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
- ・農業・環境分野での環境媒体中の各種イオンの生物利用可能量の次世代型評価方法の開発

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。

令和元年度に採択し、令和2年度へ継続した自主研究

- ・キメラマウスを用いた新規発がん解析系の構築

令和2年度に採択した自主研究

- ・β線による発光現象を使用したシロイヌナズナ輸送体変異系統における放射性セシウム動態
- ・植物におけるヨウ素必須性証明に向けての生理学・遺伝学的研究
- ・環境試料中ルテニウム分析技術の開発
- ・低線量率放射線長期連続照射がマウス聴覚に及ぼす影響
- ・低線量率放射線照射による臓器間ネットワークの解析

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、六ヶ所村の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、及び八戸市の3か所で開催し、「放射性物質は土壌に蓄積されるのか？～放射性炭素やトリチウムの土壌中への移行～」、「色と形から分かる放射線の影響～染色体の変化から分かったこと～」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「六ヶ所村沖で物質はどのように拡散するか」の報告も行った。参加者は3会場合計で238名であった。なお、弘前市開催についてはコロナウィルス感染症の流行により中止となった。

出前説明会は青森県内でコロナウィルス感染症対策に万全を期して計23回実施し、参加者総数は1,084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を開催した。なお、村内イベントへの出展はコロナウィルス感染症の流行のため中止となった。

Ⅲ. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成の支援

青森大学薬学部の放射線実習への派遣や北里大学、八戸工業大学第一高等学校、弘前学院聖愛高等学校などの教育機関の研修等を受け入れた。さらに、北海道大学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、六ヶ所高校において防災に関する講演会を実施するなど教育機関との連携による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。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。

2. 地域からの要請への対応

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、各種委員会への職員の委員としての参画、また当所が持つ人材・技術を活かした地域環境の調査や浄化手法開発、地域振興のための受託調査等を通じて、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、量子科学研究開発機構や電力中央研究所との包括的連携協定を結ぶとともに、弘前大学や日本原子力研究開発機構等国内の機関と9件の共同研究を実施した。