

令和4年度

事業報告書

〔 自 令和4年4月 1日
至 令和5年3月31日 〕

公益財団法人 環境科学技術研究所

目 次

事業の概要	- 1 -
事業内容	- 2 -
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	- 2 -
1. トリチウムの影響に関する調査研究	- 2 -
2. 排出放射性物質の環境に関する調査研究	- 2 -
2.1 大気・海洋への排出放射性物質の環境影響に関する調査研究	3 -
2.1.1 排出放射能の環境影響に関する調査研究	3 -
2.1.2 地域主要農水産物への移行・残留性に関する調査研究	3 -
2.2 放射性物質の異常放出事後対応に関する調査研究	4 -
2.2.1 作物地上部表面の放射性物質の挙動に関する調査研究	4 -
2.2.2 放射性物質の移行低減化に関する調査研究	4 -
3. 低線量率放射線による生物影響に関する調査研究	4 -
3.1 低線量率放射線による被ばく影響の実証調査研究	4 -
3.1.1 幼若期被ばく影響解析	5 -
3.1.2 修飾要因の解析	5 -
3.2 低線量率放射線被ばく影響の機序調査研究	5 -
3.2.1 細胞・分子・遺伝子への影響の解析	5 -
3.2.2 生理機能への影響の解析	6 -
4. その他の調査研究	6 -
5. 環境科学技術研究所自主研究	6 -
6. 競争的研究資金等による研究	7 -
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	7 -
1. 排出放射性物質影響調査理解醸成活動	8 -
Ⅲ. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援	8 -
Ⅳ. その他本財団の目的を達成するために必要な事業	9 -
1. 地域からの要請への対応	9 -
2. 研究協力体制の整備及び推進	9 -
附属明細書	- 10 -

事業の概要

大型再処理施設放射能影響調査交付金を活用した事業として、青森県等からの委託を受け、青森県全域を対象に環境放射線の線量率分布や放射性物質の分布・移行及びこの移行に及ぼす地域特性の影響を調べるとともに、低線量放射線の生物影響に関する調査研究を行った。また、令和6年度に予定されている青森県六ヶ所村の大型再処理施設（以下、「大型再処理施設」という）の竣工及びその後の操業に向けて、更なるデータの蓄積を行うとともに、当該施設の異常放出等の事後対応の調査及びトリチウムの生体影響に関する調査研究を開始した。同時に、これまでの調査研究で得られた成果を含めて、原子力開発利用に伴う環境安全に関する科学的な知識と情報を地域の人々に提供し、理解醸成に努めた。学術的な研究業績として、当該年度における論文掲載の件数はトリチウム影響に関する成果は11件、環境影響に関しては29件、生物影響に関しては15件の実績であった。¹

さらに、専門家派遣や学生の受け入れ等による人材育成を支援するとともに、大型再処理施設や東京電力福島第一原子力発電所事故に関連する放射性物質に関して、これまでの調査研究で得られた成果や専門知識・技術を活用し、放射能測定や線量評価、各種委員会等への参画、講演、一般からの問合せへの対応を行った。

令和4年度は、以下の事業を効率的に進めた。

トリチウムの影響に関する調査研究については、社会的な関心の高まりに対応し、トリチウム摂取による内部被ばく線量評価のため、重水素トレーサを用いたマウスの実験を開始し、トリチウム濃度測定のための前処理方法の検討と体内各部位の試料を得るとともに、一部の組織について代謝データを取得した。得られたデータからトリチウムを投与した場合の線量評価を行った。

排出放射性物質の環境影響に関する調査研究については、六ヶ所村の大型再処理施設の本格稼働を見据えて、当該施設周辺環境における排出放射性核種(⁸⁵Kr、³H、¹⁴C及び¹²⁹I等)の濃度変動、蓄積及び食品・日常食中の放射性核種濃度に関するデータを取得した。また、野外実験により、放射性核種の移行実態及び環境要因が土壌中放射性核種の化学形態に与える影響を調査した。さらに、周辺地域における主要な農水産物中の放射性核種の移行及び残留性を室内でトレーサを用いて実験し、評価のためのデータを取得した。加えて、取得した周辺環境及び食品・日常食における放射性核種濃度データから地域の実態に即した線量評価を行い、線量規制値やバックグラウンド線量と比較・検討した。また、大型再処理施設における万が一の異常放出時に環境中への放出が想定される放射性セシウム及び放射性ルテニウムを対象として、作物地上部における挙動及び作物

¹ 令和3年度は各々5、14、2報

への移行低減に関するデータを取得した。

低線量率放射線被ばく影響の実証調査研究及び低線量率放射線被ばく影響の発現機序調査研究は各々の目標に向け、前者については子どもの被ばくの影響及び生活環境による被ばく影響の現れ方の違いを調査した。後者については細胞の遺伝子発現制御システムへの影響及び個体の生理学的恒常性維持システムへの影響を調査した。

理解醸成活動として、これまでに蓄積した調査の成果や関連する技術・知見、人材を活かすとともに、排出放射性物質の現実的な被ばく線量を評価できる総合モデルの検証・可視化等を進め、県民への調査研究成果の発信を行った。また、地域の団体等との間で共創活動を行った。

上記の受託研究に加え、六ヶ所村からの地域振興等に係る委託に積極的に取り組むとともに、研究領域の拡大や新たな調査研究の展開のための自主研究及び競争的研究資金による研究、放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)による研究を実施した。

人材育成支援については、専門家派遣、学生実習の受入、他機関の育成事業支援等を行った。また、研究所の有する人材・施設・技術・知識等を活用しつつ所内外との研究協力体制の強化に努めた。

事業内容

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

1. トリチウムの影響に関する調査研究

大型再処理施設から排出される主要な放射性物質であるトリチウムについて、全世代に適用できる内部被ばく線量評価の調査研究、及び内部被ばく線量とその生物影響との関係について実証的な知見を得るため調査研究を行った。

令和4年度は、トリチウム濃度測定のための前処理方法の検討を行い、方法を確立した。また、重水素標識有機化合物をマウスに経口投与し、一部の臓器・組織について長期的な残留データを取得し、得られたデータから、重水素に代えてトリチウム標識有機化合物を連続摂取した場合の体内各部位のトリチウム濃度を推定し、線量を評価した。

2. 排出放射性物質の環境影響に関する調査研究

大型再処理施設の「通常運転時」と「異常事象発生時」それぞれの状態における放射性物質の挙動等の評価を行った。通常運転時においては、引き続き施設周辺の気・陸・水圏環境における排出放射性物質の時空間的な分布及び移行特性を求め、実測値を用いて実態に即した被ばく線量の評価を行った。加えて、内部被ばくに影響を与える放射性炭素、ト

リチウム及び放射性ヨウ素を対象に、周辺地域の主要農水産物における移行性及び残留性等を評価した。異常事象発生時においては、大気放出される可能性のある放射性セシウムについて、周辺の主要作物に沈着した後の移行挙動、さらに、放射性セシウムの作物への移行低減化手法についての中長期的な効果、環境中の挙動に関する知見が乏しいルテニウムについて存在形態に着目し、土壌の固液分配挙動を明らかにするための調査を実施した。

2.1 大気・海洋への排出放射性物質の環境影響に関する調査研究

2.1.1 排出放射能の環境影響に関する調査研究

大気、陸域、陸水、沿岸海域、及び食品・日常食の5項目に分類し、大型再処理施設周辺における ^3H 、 ^{14}C 、 ^{129}I 及び ^{85}Kr 等を対象として、施設由来の排出放射性物質の影響について調査した。

令和4年度は、大気については ^3H 、 ^{14}C 及び ^{129}I を対象として六ヶ所村及び弘前市における大気中濃度及び降水量変化のデータを取得するとともに、施設周辺における大気中 ^3H 濃度の分布状況を把握した。また、環境研構内において ^{85}Kr 等計数率、空間 γ 線線量率、各種気象要素を連続測定した。陸域については、施設周辺における土壌・植物試料中(松葉、クマイザサ)の ^3H 、 ^{14}C 及び ^{129}I 濃度を取得するとともに、環境研構内の実験圃場において栽培した農作物中及び上記大気環境中の排出核種濃度データと合わせて、土壌・大気―作物間の放射性核種の移行について評価した。また、牧草地及び播種後二年目の牧草地において、HT型トリチウムの沈着速度データを取得した。陸水については、施設周辺の河川水、地下水及び湖沼水、湖底堆積物及び沼産水生生物を採取し、 ^3H 、 ^{14}C 及び ^{129}I 濃度等のデータを取得するとともに、沿岸海域については、海洋放出口近傍で海水、海底堆積物及び水生生物を採取し、さらに施設由来放射性核種の影響を評価した。食品・日常食については、六ヶ所村を中心に生産された農畜水産物中排出放射性核種等の濃度レベルを求め、排出放射性核種による線量を評価した。また、周辺地域及び青森市住民から提供を受けた日常食中の放射性核種濃度を測定し、その結果から実態に即した被ばく線量を評価した。

2.1.2 地域主要農水産物への移行・残留性に関する調査研究

地域の主要農産物であるナガイモ及び水産物であるヒラメやメバル等を対象として、大型再処理施設から排出される放射性物質の移行及び残留性に関する調査を行った。ナガイモについては ^{14}C 、水産物に関しては ^3H 及び ^{129}I を想定し、それぞれ安定同位体である ^{13}C 及び重水素、並びに放射性同位体の ^{129}I を用いたトレーサ実験を行った。

令和4年度は、ナガイモにおいて大気中 ^{14}C の光合成による移行速度の算出に必要な成長データを圃場で取得した。加えて、光合成で固定した ^{14}C の残留性を評価するための実験系の構築として、 $^{13}\text{CO}_2$ ばく露チャンバーを用いたトレーサ実験手法を確立した。ヒラメへの ^3H 移行に関する調査では、海水に添加した重水素(D)に由来する筋肉中の非交

換型有機結合型重水素(NxOBD)が、高水温条件でより速やかに排泄されることを明らかにした。ヒラメへの¹²⁹I移行に関する調査では、海水から筋肉中に移行した¹²⁹Iが、排泄により二相性に減衰することを明らかにした。

2.2 放射性物質の異常放出事後対応に関する調査研究

2.2.1 作物地上部表面の放射性物質の挙動に関する調査研究

地域の主要農産物であるナガイモを対象に、作物の葉面に沈着した放射性セシウムの葉面吸収、転流及びウェザリングに関する実証的データを取得し、異常事象発生時の農作物への放射性セシウムの移行に関する信頼性の高い挙動予測手段を提供することを目的とした。

令和4年度は、ナガイモを対象としたウェザリング及び葉面吸収移行調査の実験条件を確立することを目的に、ナガイモへのセシウムの負荷方法及び負荷したナガイモの前処理方法を検討し、実験条件を決定した。

2.2.2 放射性物質の移行低減化に関する調査研究

放射性セシウムの経根吸収及び転流を制御することにより、牧草及びイネ玄米への放射性セシウムの移行を低減化する手法について調査した。さらに、科学的知見の乏しい放射性ルテニウムについて、地表に沈着した後の挙動に影響する土壌の固相-液相間の分配挙動を調査した。

令和4年度については、イネの登熟期における穂へのカルシウム浸漬が、葉に吸収された放射性セシウムの玄米への移行に与える影響を調査した。また、青森県内の代表的な牧草地土壌を用いて、放射性セシウムをトレーサとした栽培実験を行い、収穫時期別の移行性を明らかにするとともに、造成後1年目の試験圃場において年に3回収穫した牧草中放射性セシウム濃度を測定し、施肥及び資材施用の違いが放射性セシウムの移行性に与える影響を調査した。さらに、造成後1年目においては、施肥条件の違いが土壌特性に及ぼす影響は明瞭ではなかった。加えて、溶液中安定ルテニウムの化学形の経時的な安定性を確認するとともに、安定ルテニウムを土壌に添加して固液分配比を求める実験条件と、土壌液相中ルテニウム濃度の測定方法を確立した。

3. 低線量率放射線による生物影響に関する調査研究

リスク評価上の課題である、低線量率放射線の影響と高線量率放射線の影響の違い(線量率効果)を明確化・定量化し、その理由・機序を明らかにするため、令和4年度から「低線量率放射線被ばく影響の実証調査」と「低線量率放射線被ばく影響の機序調査」を二つの柱に調査を実施し、線量率効果に関するデータを蓄積して解析を開始した。

3.1 低線量率放射線による被ばく影響の実証調査研究

低線量率放射線被ばく影響がどのようなものか、高線量率放射線被ばく影響とどのよ

うに異なるのかを明らかにすることを主な目的として、マウスが生まれてから人の成年に相当する年齢に達するまでの期間(以下、「幼若期」という)における低線量率放射線照射実験を実施するとともに、低線量率放射線影響を生活習慣や生活環境によって修飾する作用を調査するための実験を実施した。

3. 1. 1 幼若期被ばく影響解析

これまで取り組んできた成体期や胎児期の低線量率放射線被ばく影響の実証試験を、高線量率放射線に対しては特に感受性が高いことが知られている幼若期に拡張して、年齢別での低線量率放射線影響を評価する。このため、低線量率放射線を幼若期マウスに連続照射し、寿命及び発がん等への影響を調査した。

令和4年度は、短期影響解析として、高線量率(700 mGy/分)、低線量率(20 及び 100 mGy/日)に加え、1 mGy/日の低線量率照射を行い、その影響の解析及び比較を進めた。また、長期影響解析の実験系においては、全7回の交配・飼育スケジュールのうち、第一回目を開始した。

3. 1. 2 修飾要因の解析

高線量率放射線被ばくに対する感受性は、個人の年齢、性別、遺伝的背景のほか、生活環境・生活習慣などの因子によって異なることが知られているが、低線量率放射線被ばくについてはほとんど知見がない。そこで、低線量率放射線被ばくに対する感受性を規定する諸要因、特に、生活環境・生活習慣による感受性の変化を明らかにするための調査を行った。

令和4年度は、飼育環境や食餌の条件調節による低線量率放射線長期被ばく影響の大きさや現れ方の変化を調べた。飼育環境要因の解析においては、B6C3F1 メスマウスを用いて末梢血中の免疫細胞組成に対する低線量率放射線の影響を調べ、照射後7～200日までの間にNK細胞の割合が減少しB細胞が増加する傾向を見出した。また、食餌要因の解析では、まず *Apc^{min/+}* マウスの腸腫瘍発生における低及び高線量率放射線照射と抗酸化剤投与の影響を明らかにした。

3. 2 低線量率放射線被ばく影響の機序調査研究

低線量率放射線の影響が発生する機序、及びこれと高線量率放射線影響の発生機序との違いを明らかにするため、細胞・分子・遺伝子への影響と生理機能への影響の解析を行った。

3. 2. 1 細胞・分子・遺伝子への影響の解析

低線量率放射線が、生物個体を構成する細胞、さらにそれを構成する分子、遺伝子に作用し、これが最終的に健康影響として現れてくる機序を、高線量率放射線の場合と対比し調査を進めた。

令和4年度は、遺伝子レベルの解析としては、エピジェネティックな変化(遺伝子発現

制御機構の変化〔DNA メチル化や非コード RNA 等の発現等〕)、またこれによる細胞分化能等の性質の変化及びがんよりも早期に発生する非がん病変(脂肪肝等の代謝異常)を調べた。DNA メチル化の解析においては、非照射の 256 日齢の雌雄マウスの各染色体のグローバルメチル化率は、56 日齢の幼若期に比べて減少していた。また、照射により減少する傾向も認められた。非コード RNA の解析においては、これまでに用いていなかった新たなエクソソーム分離のシステムを用い、条件の改善を図った。細胞分化能等の変化の解析においては、肝臓幹・前駆細胞培養系である肝臓オルガノイドにおける DNA メチル化のレベルの解析、及びこれを利用した細胞加齢、細胞の性質の変化の解析を開始した。

3.2.2 生理機能への影響の解析

生物個体内において、低線量率放射線の照射によって、感受性の高い細胞や臓器がまず影響を受け、この影響が生物個体内の生理学的な調節系またはネットワークを介して他の細胞や臓器に伝搬され増幅されている可能性が、これまでの調査で示唆されている。このような機序を、高線量率放射線の場合と対比して解明するため、内分泌系影響伝搬解析、日周性解析及び血管内皮細胞応答解析により調査を進めた。

令和 4 年度は、内分泌系影響伝搬解析においては、摂餌時間制限は摂餌による脂肪組織重量の増加を抑制するが、被ばく閉経による脂肪組織重量の増加は抑制しないことを見出した。また、被ばく閉経により子宮重量(エストロゲンのレベルの指標)が減少することが明らかとなった。神経系解析においては、24 時間暗所条件において観察された低線量率放射線照射による日周性の変化が、その条件に特異的な現象かどうかを明らかにするために、通常の 12 時間明暗周期条件で飼育することで、日周性の変化について行動量を指標にして解析した。血管内系解析においては、ヒト大動脈血管内皮細胞を用いた実験では低線量率放射線照射により有意に発現変化する遺伝子は検出されず、影響は小さいことが推測された。

4. その他の調査研究

六ヶ所村から環境対策及び地域振興に関する委託調査として、「田面木沼の水浄化・流入水浄化試験調査」及び「富ノ沢地区農用地候補植物選定調査」を行った。

5. 環境科学技術研究所自主研究

これまでの受託研究を中心とした調査・研究に加え、研究領域の拡大や新たな調査研究の展開を目指し、所内公募・審査、継続審査、事後評価を行う独自の調査研究を下記のとおり行った。今後、科研費等競争的資金の獲得や青森県企画評価委員会が定める次期中期計画の策定などにつなげる可能性を見いだした。

令和 3 年度に採択し、令和 4 年度へ継続した研究

- ・落葉果樹成木における新生器官の初期成長への貯蔵炭素の利用抑制の評価
- ・低線量率放射線照射が及ぼすセノリシス効果への影響解析

令和4年度に採択した研究課題

- ・植物バイオミクリーの手法による土壌中に存在する放射性セシウム移行評価の検討
- ・施設周辺の水源林からのトリチウムの流出を評価するための調査手法の確立
- ・細胞内不均一分布での線量評価
- ・接続法を組み込んだモンテカルロ・シミュレーションによる小型ほ乳動物の線量評価法開発
- ・放射性セシウムの葉から茎及び根への短期的な移行に影響する陽イオン輸送体遺伝子の生理機能解析
- ・高感度検出系を用いた体細胞突然変異の線量率しきい値の線質依存性に関する研究
- ・放射線誘発腸腫瘍のがん幹細胞の1細胞解析系の開発

6. 競争的研究資金等による研究

科学研究費助成事業により、以下の9課題を実施した。

研究代表者である研究

- ・R I イメージング技術を活用した植物低リンストレス応答が「根圏」に与える影響の評価
- ・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

研究分担者である研究

- ・アポプラスト障壁形成の環境応答機構と栄養循環における機能の理解
- ・高精度かつ簡易な環境トリチウム計測手法の確立と日本のバックグラウンド濃度調査
- ・近赤外光を利用した寒冷地における陸上養殖、種苗生物の省エネ技術研究
- ・大型液体キセノン検出器を用いた宇宙暗黒物質及び新現象の研究
- ・海洋酸性化が沿岸生態系の炭素隔離能(ブルーカーボン)に及ぼす影響
- ・極長鎖脂肪酸をターゲットとした新規抗癌治療戦略
- ・虫垂切除パーキンソン病に与える影響に関する機構解明

その他、競争的資金等による事業として、以下の2課題を実施した。

- ・陸・水圏植物における有機結合型トリチウム(OBT)生産速度の網羅的把握
- ・原子爆弾の投下に伴う気象シミュレーションモデルの構築及び放射性降下物の拡散状況の分析等に関する調査研究

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

調査研究の内容や得られた成果等を、報告会開催や対話集会の実施等によって青森県民に紹介するほか、県外からの講演依頼にも対応した。また、インターネットホームページや印刷物等を通じて、放射性物質の環境影響、放射線の生体影響についての情報を県内外の住民に広く発信し、理解醸成に努めた。

1. 排出放射性物質影響調査理解醸成活動

調査研究の内容や得られた成果等を活用し、報告会の開催や対話集会の実施等を通じ県民に広く話題を提供し、双方向のコミュニケーションにより理解醸成を図った。特に、近隣地域の行政、団体、教育機関と連携し、地域に根差した共創活動の充実を図り、住民の疑問等に積極的に対応した。また、これまでに培った研究資産、人材などの活用最大化を図るために成果等の可視化に取り組んだ。さらに、インターネットや印刷物等を通じて、それら情報を県内外の住民に発信し、理解醸成を図った。

令和4年度は、住民の関心に沿った対話集会やセミナー、六ヶ所村及び青森・弘前・八戸市での当調査事業の研究成果報告やパネル展示等を併せた参加型の講演会を開催するとともに、むつ市においても、行政・研究機関と協働して報告会を開催した。また、周辺地域の学校や教育関連団体との協働により当調査事業の理解醸成につなげるため、実習形式による学習活動や、それぞれが進める教育関連活動の取り組みについて共同で実施した。加えて、今年度新たに、住民とのコミュニケーション能力を向上させるため関係者に研修を行った。

研究成果の整理・可視化は、総合モデルの可視化のため地理情報の更新、令和4年中に大型再処理施設から排出された放射性物質の大気拡散及び令和3年中に大気・海洋へ排出された放射性物質による被ばく線量を計算した。また、総合モデルの可視化コンテンツについて詳細設計を実施し、紙媒体資料(リーフレットとパンフレット)を作成した。マウス実験病理サンプル・データの整備・運用については、スライドスキャナによる病理組織学的検査標本の高精細デジタルデータ化を進めた。ホームページに関しては携帯端末対応のためのシステム更新、調査研究紹介の情報更新や理解醸成活動に関する情報発信等、印刷物に関してはリーフレット及び放射線の基礎知識等印刷物の発行を行った。その他、当研究所が独自に進める広報活動や調査研究成果の普及活動について、県内外での講演やインターネットによる情報発信、年報の発行を行うとともに、六ヶ所村からの委託による親子放射線講座を行った。

III. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援

青森大学薬学部の放射線実習への派遣や北里大学、学習院大学、八戸工業高等専門学校などの教育機関の講義等を担当した。また、弘前大学が進める人材育成に関する取り組みについて協力、支援を行った。更に、八戸工業大学、茨城大学からの学生実習生、六ヶ所村内中学生の職場研修の受け入れなど教育機関との連携による人材育成を行った。

IV. その他本財団の目的を達成するために必要な事業

1. 地域からの要請への対応

地域からの要請に応え、六ヶ所村エネルギーパーク事業への参加や青森県原子力施設放射線等監視評価会議、六ヶ所村原子力安全管理委員会等に職員が委員として参画した。

2. 研究協力体制の整備及び推進

調査研究事業を円滑に推進するため、新たに北里研究所、日本海洋科学振興財団との包括的連携協定を結ぶとともに、シンガポール大学や量子科学技術研究開発機構等国内外6件の共同研究を実施した。また、放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)の共同利用共同研究拠点として、重点研究や若手研究、拠点間研究20件の調査研究課題の受け入れ・参画を行った。