

令和7年度

事業報告書

〔 自 令和7年4月 1日  
至 令和8年3月31日 〕

公益財団法人 環境科学技術研究所

# 目 次

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 事業概要                                  | 1  |
| 事業内容                                  | 3  |
| 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（公益目的事業1）  | 3  |
| 1. 排出放射性物質による環境影響に関する調査研究             | 3  |
| 1.1 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  |
| 1.1.1 排出放射能の環境影響に関する調査研究              | 3  |
| 1.1.2 地域主要農水産物への移行・残留性に関する調査研究        | 4  |
| 1.2 放射性物質の異常放出事後対応に関する調査研究            | 5  |
| 1.2.1 放出核種の土壌等から作物への移行低減化に関する調査研究     | 5  |
| 2. 低線量率放射線による生物影響に関する調査研究             | 6  |
| 2.1 低線量率放射線による被ばく影響の実証調査研究            | 6  |
| 2.1.1 幼若期被ばく影響の解析                     | 6  |
| 2.1.2 修飾要因の解析                         | 7  |
| 2.2 低線量率放射線被ばく影響の機序調査研究               | 8  |
| 2.2.1 細胞・分子・遺伝子への影響の解析                | 8  |
| 2.2.2 生理機能への影響の解析                     | 8  |
| 3. トリチウムの影響に関する調査研究                   | 10 |
| 3.1 トリチウム臓器レベル線量評価に関する調査研究            | 10 |
| 3.2 トリチウム生物影響評価に関する調査研究               | 10 |
| 4. その他の調査研究                           | 11 |
| 5. 環境科学技術研究所自主研究                      | 11 |
| 6. 競争的研究資金等による研究                      | 11 |
| 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（公益目的事業2） | 12 |
| 1. 理解醸成活動                             | 12 |
| 2. その他の普及啓発に関する活動                     | 13 |
| III. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援（公益目的事業3） | 13 |
| IV. その他本財団の目的を達成するために必要な事業            | 13 |
| V. 運営体制の充実を図るための取組                    | 14 |
| 附属明細書                                 | 15 |

## 事業概要

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、青森県からの委託を受け、県内全域を対象に放射性物質の環境動態や人の線量評価、低線量放射線の生物影響を調べるとともに、青森県六ヶ所村の大型再処理施設は2026年度内を竣工目標とされている中、本格稼働を見据え、更なるデータの蓄積と当該施設の異常放出時等の事後対応の調査や、社会的に関心の高いトリチウムの生体影響に関する調査研究を進め、次期中期計画に資する研究課題の検討を行った。また、調査研究で得られた成果の活用策等について、原子力開発利用に伴う環境安全に関する正確な知識と情報を地域の人々にわかりやすく提供し、双方向のコミュニケーションを通して理解醸成活動の強化に務めた。学術的な研究業績としては、当該年度における論文掲載は環境影響に関しては18件、生物影響に関しては7件、トリチウム影響に関しては3件の実績であった。

さらに、競争的資金等による調査研究で得られた成果や専門知識・技術を活用し、この分野の研究機関との連携とネットワーク化を強化し、成果の最大化を目指して放射線研究の国際的プレゼンスを高めることに努めた。また、専門家派遣や学生の受け入れ等による人材育成支援、各種委員会等への参画、講演、一般からの問合せ対応等、社会貢献活動を積極的に行った。

これらを踏まえ、公益財団法人として社会から信頼される組織となるために、法令等を厳格に遵守するなどコンプライアンスの徹底を図るとともに、監事及び公認会計士による監査、指導・助言等に基づく適切な会計処理の実施及び情報公開を通じて法人運営の公正性・透明性を確保し、一層の事業運営の合理化・効率化を図った。

令和7年度は、以下の事業を効率的に進めた。

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、大型再処理施設の操業を想定し、環境試料のサンプリング及び観測体制の増強を図り、当該施設周辺における排出放射性核種の濃度変動、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するとともに、日常食及び農畜水産物等の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った。また、施設周辺における水源林の野外調査により、森林及び林内土壌中における放射性核種の移行及び分布に関するデータを取得した。さらに、周辺地域における主要な農水産物中放射性核種の濃度変化を評価するためのトレーサ実験を実施し、農水産物における放射性核種の移行・残留性に関するデータを取得した。加えて、大型再処理施設の方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に、作物への移行低減等に関するデータを取得した。

同様の受託研究である低線量率放射線による生物影響に関する調査研究については、低線量率

放射線被ばく影響の実証調査研究（低線量率被ばく影響がどのようなものでどのような大きさか、実験動物に実際に低線量率照射を行い明らかにする。）及び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発現の機序を高線量率放射線の場合と対比して明らかにし、高線量率データからの低線量率リスクの推測・外挿に資する。）の2つの調査を実施した。前者においては、被ばく時期が異なる個体、具体的には子どもの被ばくの影響及び生活環境や生活習慣による被ばく影響の現れ方の違いを調査し、後者においては、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に関する調査を行った。

さらにトリチウムの影響に関する調査研究については、トリチウム摂取による内部被ばくへの社会的な関心の高まりに対応し、トリチウム摂取からの内部被ばくとガンマ線外部被ばくによる影響の違いや、摂取形態（HTO 及び OBT）による影響の違いに関するデータを取得した。また、幼若期（胎児期からヒトの成年に相当する年齢に達するまでの期間）での摂取による体内分布の違いを調べるため、マウスへのトリチウム投与実験を行い、線量評価に必要な各臓器組織における残留量データを経時的に取得した。

放射性物質等の環境影響等環境安全に関する普及啓発について、受託事業である理解醸成活動においては、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や蓄積してきた生物影響研究データの可視化等を進めることで調査研究成果の発信や県民への理解を醸成するための活動を実施した。

以上の青森県からの受託事業に加え、社会的あるいは科学的に重要な事項に関する調査研究事業の委託に積極的に応えとともに、研究領域の拡大や新たな調査研究の展開のために自主研究及び競争的研究資金による研究を実施した。また、地域住民、県民、国民を対象とした原子力と環境のかかわりについての理解増進を図る活動を実施した。

人材育成支援については専門家派遣や学生の受け入れ等を行った他、地域等からの要請に対し、人材、施設・技術・知識等を提供するなど積極的に応えとともに、所内外との研究協力体制を整備し、事業の円滑・効率的な推進に努めた。

## 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（公益目的事業1）

#### 1. 排出放射性物質による環境影響に関する調査研究

大型再処理施設の稼働状態（健全性）、すなわち「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、及び現実的な被ばく線量の評価を行った。通常運転時においては、引き続き施設周辺の気・陸・水圏環境の排出放射性物質の時空間的な分布及び移行特性を求め、周辺環境で得られた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、周辺地域の主要作物における移行性及び残留性等の評価を行った。とりわけ、青森県特産の農水産物については、施設運転開始後の風評被害につながる懸念もあることから科学的な評価を行った。

一方、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物質について、周辺地域の主要作物に沈着した後の移行挙動を明らかにし、安全性に関する科学的な説明につなげる。さらに、放射性物質の作物への移行低減化手法について、中長期的な効果を明らかにするとともに、環境中の挙動に関する知見が乏しい放射性物質に関する土壌中の挙動特性を明らかにするための調査を実施した。

これら調査は以下の2つの調査で、研究項目3つのテーマから成る。

#### 1.1 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

##### 1.1.1 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 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 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を行った。

令和7年度は、①大気については $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 等を対象として六ヶ所村及び弘前市における大気中濃度、降下量変化及び濃度分布等のデータを取得するとともに、施設東側の本研究所構内における地上気象及び高度別風況の連続測定を行った結果、施設由来の排出放射性核種濃度の上昇は認められなかった。

②陸域については、施設周辺における土壌・植物中の $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 濃度等を取得するとともに、本研究所構内の圃場において栽培した農作物中及び大気環境中の排出放射性核種濃度の測定結果を併せて、土壌・大気－作物間の放射性核種の移行実態について評価を行った結果、施設由来の排出放射性核種濃度の上昇は認められなかった。さらに、六ヶ所村の面積の約半分を占める森林地帯で、排出放射性核種（ $^3\text{H}$ と $^{129}\text{I}$ ）がどのように林内を移

動していくのかを調べるため、施設の近くにある水源林で調査を実施した。その結果、森に降る雨に含まれる $^3\text{H}$ 濃度は、バックグラウンドの水準であったが、春にやや高くなる特徴が見られた。また、雨水が土に染み込む $^3\text{H}$ のプロセスを土壌浸透水、森林表面水(溪流水)及び表層地下水中 $^3\text{H}$ 濃度から追ったところ、地中深く進むにつれてもともとあった土壌水と緩やかに混ざり合い、最終的に川へと流れ出していることが示唆された。加えて、土壌中を $^{129}\text{I}$ がどのように分布しているか調べたところ、全体の約6割が、地表からわずか10 cmまでの浅い層に集まって蓄積していることが明らかとなった。

③陸水については、施設周辺の河川水、地下水、湖沼水、漁港水及び尾駱沼産水生生物試料中の $^3\text{H}$ 、及び $^{129}\text{I}$ 濃度並びに $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比はいずれもバックグラウンドの水準で推移した。また、尾駱沼産水生生物及び堆積物試料における $^{14}\text{C}$ 比放射能もバックグラウンドの水準で推移した。一方、尾駱沼の堆積物中の $^{129}\text{I}$ 蓄積量(0~25 cm)は、平成20年度に上昇した水準と比較して減少したが、昨年度に引き続きバックグラウンドの水準と比較して約4倍高く、当該施設のせん断・溶解処理試験時に排出された $^{129}\text{I}$ の痕跡が確認された。また、表層堆積物(深さ0~5 cm)中の $^{129}\text{I}$ 濃度は減少傾向にあり、 $^{129}\text{I}$ 濃度および $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比のピークが深部方向へ移動していることが確認された。これは、過去に沈着した核種が堆積作用により深層へ移行していることを示唆された。

④沿岸海域については、六ヶ所沿岸海域の海水、堆積物及び水生生物中の $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 濃度等を測定した結果、バックグラウンドの水準であった。

⑤食品・日常食については、施設周辺において生産・漁獲された農畜水産物、並びに周辺住民から提供を受けた日常食中の $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 濃度等を測定した結果、施設由来の排出放射性核種等の濃度上昇は認められなかった。なお、勤労世帯の内部被ばく線量は平均 $0.27\text{ mSv y}^{-1}$ だった。

#### 1.1.2 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、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 $^{14}\text{C}$ 、水産物に関しては $^3\text{H}$ 及び $^{129}\text{I}$ を想定し、それぞれ安定同位体である $^{13}\text{C}$ 及び重水素、並びに放射性同位体の $^{129}\text{I}$ 等を用いたトレーサ実験を行った。

令和7年度は、①農産物については、圃場において1年子を種イモとしてナガイモを栽培した。成長データのモデル解析により、1年子中の貯蔵炭素量が植付後60日間は他部位への転流によって大幅に減少し、その後は1年子の呼吸によって緩やかに減少することを明らかにした。

②水産物については、堆積物から底生生物を介したヒラメ等底生魚への $^{129}\text{I}$ の移行を明らかにするため、 $^{125}\text{I}$ をトレーサとして添加した人工堆積物を用いて底生生物であるゴカイを飼育し、8日間のばく露期間中にゴカイ中 $^{125}\text{I}$ 濃度が緩やかに上昇することを明らかにし

た。また、海水中 $^3\text{H}$ のメバルへの移行及び残留性を水温別に明らかにするため、重水

(D) 添加海水へのばく露により生成した非交換型有機結合型重水素 ( $\text{NxOBD}$ ) の筋肉からの排泄データを10、15及び20°Cの水温別に取得し、水温が高いほど排泄速度が速くなることが分かった。メバル筋肉中 $\text{NxOBD}$ の生物学的半減期は、水温15°Cではヒラメと比較して1.6倍の239日となり、その水温依存性はヒラメよりも緩やかであることを明らかにした。

## 1.2 放射性物質の異常放出事後対応に関する調査研究

### 1.2.1 放出核種の土壌等から作物への移行低減化に関する調査研究

牧草等を対象に、有効性が認められたセシウムの移行低減化手法を実環境に応用するための実証的試験を行うとともに、様々な資材や肥料による放射性セシウムの移行抑制の中長期的効果を解明するための栽培実験を行った。また、放射性ルテニウムが農地土壌に沈着した際の土壌中挙動に関する予備実験を行った。

令和7年度は、①転流抑制については、牧草地上部へのカルシウム散布がセシウムの収穫部位への転流に与える影響に関する調査を行った結果、地上部中セシウム濃度は、カルシウム散布による顕著な低減は認められなかった。

②収穫時期別移行抑制については、リン供給力が異なる牧草地土壌に対して放射性セシウムを用いた栽培実験を行った結果、リン肥料増強により1番草の放射性セシウム濃度を最大約6割低減でき、放射性セシウム固定能力が高いゼオライト施肥により、2番草及び3番草の放射性セシウム濃度を最大約6割低減できることが示された。このように、土壌へのリン施肥増強やゼオライト施肥により、牧草への放射性セシウムの移行を抑制する効果が認められた。

③移行抑制の経年変化については、造成後4年目の土壌から牧草へのセシウム移行性を調査するとともにセシウムの濃度変動に影響する要因を調査した。2番草及び3番草において、例年よりも $^{137}\text{Cs}$ 濃度が約1.6倍高い傾向にあり、収穫時期による $^{137}\text{Cs}$ 濃度の変動に牧草の灰分量（ミネラルの量）の違いが影響を及ぼしていることが示唆された。また、経年的にみると、表層土壌では交換性のカリウム濃度が蓄積傾向にある一方、カルシウム及びマグネシウムは減少する傾向にあった。

④ルテニウムの土壌固相-液相間の分配については、放射性同位体 ( $^{106}\text{Ru}$ ) を用いた実験手法の検討を行い、土壌固相-液相間の分配係数 ( $\text{Kd}$ ) を取得する方法を確立した。ルテニウムの $\text{Kd}$ 値に及ぼす振とう時間の影響を検討した結果、7日以上振とうにより一定の値が得られ、セシウムの $\text{Kd}$ 値と同等の値が得られた。また、土壌からのルテニウムの抽出率はセシウムと比較して低く、ルテニウムはセシウムとは異なり、土壌中で $\text{NH}_4^+$ イオンと交換可能な状態で存在する割合が少ないことが示唆された。さらに、 $\text{RuCl}_3$  から $\text{Ru}(\text{NO})(\text{NO}_3)_3$ に化学形を変換する方法を検討し、添加する化学形を考慮した分配係数取得方法を構築した。

## 2. 低線量率放射線による生物影響に関する調査研究

放射線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、「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」の2つを柱に調査を実施した。

### 2.1 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目的として、マウスを用いて、生まれてから人の成人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、低線量率放射線被ばく影響を生活習慣や生活環境が修飾する作用を調査するための実験を実施した。

#### 2.1.1 幼若期被ばく影響の解析

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の調査を進めている。

令和7年度は、幼若期マウスに低線量率放射線を照射終了後、比較的短期間に観察可能な影響について検索する「短期影響解析」と、照射終了後終生飼育し死亡後に検索を行う「長期影響解析」を行った。

①短期影響解析については、これまでに認められた生殖腺における顕著な変化について、組織学的解析を前年度に引き続き進めるとともに、照射期間中の経時的な変化について予備的な検討を実施した。その結果、成体期照射群において照射終了後比較的短期および20週後の時点における精巣の変化は、幼若期照射群における変化に類似していることが示された。また、成体期照射群オスマウス精巣の経時的な萎縮変化に関しては、積極的な細胞死誘導ではなく、精原細胞からの新規の供給が抑制されることにより精子形成段階にある細胞が徐々に枯渇することで精巣の萎縮に至る可能性が示唆された。染色体解析においては、前年度までの解析で、成体期照射・幼若期照射とも700 mGy/分（高線量率）照射群（総線量1120 mGy）では、照射から20週間後に大きく異常頻度が減少することが判明していた。本年度の成体期照射終了2週間後の解析により、転座型染色体異常、二動原体染色体異常ともに、この時期には、すでに有意な減少が観察されることが分かった。その減少の割合は、幼若期照射と比較して緩やかであった。100 mGy/日（低線量率）照射群（総線量5600 mGy）および20 mGy/日（低線量率）照射群（総線量1120 mGy）ともに、照射終了2週間後では、転座型染色体異常には有意な変化は観察されず、二動原体染色体

異常は減少傾向が観察された。この結果は、幼若期照射と同様に高線量率照射群と低線量率照射群では、時間経過による異常減少のメカニズムが異なっている可能性を示している。

②長期影響解析については、全7回の交配・飼育スケジュールのうち、第3および4回目実験群の飼育・観察を継続中であり、第5回目実験群の親マウス導入・飼育・交配等を開始した。体重の推移に関しては、前年度から引き続き性差が見られ、メスにおいて、20 mGy/日以上の高線量率の照射群で非照射群と比較し体重の増加傾向が見られている。

#### 2.1.2 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。このため、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7年度は、①飼育環境要因解析では、高線量率（700 mGy/分）から中線量率（400 mGy/日）・低線量率（100 及び 20mGy/日）放射線の80日間連続照射下マウスの免疫細胞数の変化をもたらす機序を詳細に調べた。その結果、骨髄中にあるリンパ球の前駆体細胞である共通リンパ前駆細胞（CLP）をNK細胞へ分化を促進する転写因子の発現量が放射線照射によって増加していることが判明し、高線量率域でのNK細胞数の増加を一部説明できる結果が得られた。これらの転写因子の発現変化が放射線照射による抗腫瘍免疫活性の抑制を引き起こしている可能性が示唆された。一方、卵巣顆粒膜細胞腫由来の培養細胞を用いた腫瘍の生着に対する単体飼育の影響を調べる実験系を進めたところ、単体飼育が移植後の生着を抑制することが確認された。また、単体飼育によるマウスの免疫細胞数の変化を調べたところ、末梢血と脾臓においてNK細胞数が単体飼育により増加することが示唆され、単体飼育による移植腫瘍の生着抑制にはNK細胞の働きが関与する可能性が示唆された。

②食餌要因解析では、栄養補助成分の一つであるタウリンを放射線影響修飾物質の候補とし、腫瘍発生に対して示す効果を明らかにするため、高線量率放射線急照射（生後7日、700 mGy/分で総線量4.2 Gy照射）後の腫瘍発生を生後56日、84日を中心に調査を行った。胚発生の時期から生後にかけて連続したタウリン投与（2%タウリン水飲水投与）を行った。その結果、解析数が少ないため統計解析を行うことができない実験群があったが、84日齢でオスメスともに小腸腫瘍においてタウリン投与により腫瘍発生数が通常水群と比較して有意に減少していることが分かった。また大腸腫瘍においてはメスのみで有意な減少が見られた。

## 2.2 低線量率放射線被ばく影響の機序調査研究

低線量率放射線被ばくの影響が発生する機序、及びこれと高線量率放射線被ばく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。

### 2.2.1 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7年度は、DNA メチル化の解析、ヒストン修飾の解析、細胞分化能等の変化の解析を実施した。①DNA メチル化の解析では、次世代シーケンス法を用いて加齢に伴う変化と低線量率放射線照射による変化を比較検討したところ、DNA メチル化の標的配列

(CpG) に富む領域に注目した RRBS 法においては放射線照射が DNA メチル化のレベルに与える影響は非常に限定的で、仮に変化が起こっているにせよ加齢に伴う変化に比べると著しく小さいことを示唆する結果が得られた。ゲノムのさらに広い領域を対象とする WGBS 法においても、上記の RRBS 法によるものと同様の結果が得られた。一方、マウスの肝臓試料における転移性反復配列 LINE-1 の DNA メチル化のレベルと LINE-1 の発現 (RNA への転写) について測定を行った結果、LINE-1 の DNA メチル化については、照射群で非照射群に比べて有意に減少していた。しかし、これが転写に何らかの影響を与えていることを示唆する結果は得られなかった。

また、エピジェネティックな変化の解析の一環として、②ヒストン化学修飾の網羅的解析を実施し、本年度は、解析のためのマウスの照射を開始するとともに、いくつかのヒストン修飾等の検出法について検討し、活性エンハンサーに典型的なヒストン H3 リジン 4 モノメチル化 (H3K4me1)、ポリメラーゼにより転写されている状態 (活性) の遺伝子の本体部分に典型的とされるヒストン H3 リジン 36 トリメチル化 (H3K36me3)、また遺伝子間の相互作用を防ぐインスレーター活性に関与する CTCF 転写因子の結合について、十分な感度をもって検出が可能であることを確認した。

③細胞分化能等の変化の解析では、マウス肝臓から採材、培養し凍結保存したオルガノイド (臓器特性を保った培養系) のサンプルから、クローン化 (単一細胞由来) したオルガノイドを得る方法、得たクローン化オルガノイドの全エクソームシーケンス解析による変異解析法の検討を行った。

### 2.2.2 生理機能への影響の解析

生物個体内において、低線量率放射線は感受性の高い細胞や臓器にまず影響を与え、この影響が、生物個体内の生理学的な調節系あるいはネットワークを介して他の細胞や臓器に伝達され、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、内分泌系影響伝播解析、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7年度は、①低線量率放射線による卵巢萎縮を起点とし他の臓器の腫瘍発生に至る機構を調べる内分泌影響伝播解析では、低線量率連続被ばくメスマウスに認められる性腺周辺脂肪組織変性（Irregular Perigonadal Adipose tissue：IPA）が、被ばく後の体重増加及び摂餌行動の変化と密接に関連し、肝腫瘍罹患率の上昇に寄与することが示された。特に、被ばく閉経直後からの体重増加パターンは、IPA 発症個体を早期に識別可能な非解剖的指標となり得ることが明らかとなった。さらに、閉経後にもかかわらず発情期相当の角化細胞が膣スミアに出現する異常を新たに見出し、この変化は富栄養状態と連動する可能性が示唆された。また、画像解析による角化細胞及び有核細胞の自動定量手法を確立し、従来の目視診断とも良好に一致することを確認した。これらの結果から角化細胞増加の程度が IPA 発症個体の早期識別に利用できる新規の非解剖的指標となる可能性が示された。

②昼夜の放射線治療効果の違いが示唆されており、また夜勤労働者への放射線影響の違いが懸念されていることから、日周性解析では、異なる時間帯での照射の影響について調べを進めている。今年度は、明期照射実験（20 mGy/10 時間/日、56 日齢から 158 日齢）のデータを収集した。その結果、明期照射は明期における行動量を有意に低下させるとともに、暗期の行動量も有意差は検出されなかったが低下させる傾向が認められ、行動全体に影響を与えている可能性が示唆された。また、明期照射により体重と肝重量が低下する結果が得られたことから、明期照射により代謝の変動などを惹起している可能性も示唆された。

③血管内皮細胞応答解析では、疫学調査において放射線被ばくにより血管病変（心臓並びに脳血管疾患、動脈硬化症など）が発生すること、また、血管内皮細胞は放射線に応答し、生体内での放射線影響伝播の発出点になっており、造血幹細胞への影響により白血病発生を促進する可能性などが近年注目されていることから、血管内皮細胞について以下の2項目の解析を行った。

培養血管内皮細胞の応答解析：20 mGy/日の線量率の5日、20日照射（それぞれ総線量0.1 Gy、0.4 Gy）後のデータを取得し、非照射コントロールや、同じ総線量の高線量率照射を行って同じ日数培養した細胞と比較検討を行った。その結果、低線量率照射群、高線量率照射群のいずれにおいても、有意に変化する遺伝子数が10日目に最も多いことが確認された。発現変動する遺伝子から予想される生物学的現象については、線量率の違いにより応答の経路が異なる可能性が示唆された。20日目における発現変動の様子から、低線量率照射では、高線量率照射に比べて、より早く定常状態に回復する、あるいは照射環境下への適応が進みやすい可能性が示唆された。

血管内皮細胞の造血幹細胞制御機構への影響解析：骨髄と脾臓の細動脈内皮細胞

(AEC)、洞様毛細血管（類洞）内皮細胞（SEC）、血管内皮幹細胞（VESC）、PDGF 受容体（PDGFR $\alpha$ ）陽性間葉系幹細胞（PaS MSC）、の単離法と解析法の開発が進んだ。

### 3. 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放射性物質の一つであるトリチウムについて、マウスにトリチウムを投与する実験等により、トリチウムからの内部被ばくの生体への影響と、ガンマ線からの外部被ばくの生体への影響の違いを明らかにするとともに、トリチウムの化学形の中でも生体への影響に関する知見が極めて乏しい有機結合型トリチウム(OBT)からの影響とトリチウム水(HTO)からの影響の違いを明らかにするための調査を実施した。これに加え、放射線の子供に対する生物影響への関心の高さに鑑み、幼若期及び成体期マウスへのトリチウム投与実験を行って摂取時期による体内分布の違いを調査した。

#### 3.1 トリチウム臓器レベル線量評価に関する調査研究

トリチウムを標識した水及び各種有機物質をマウスに投与し、体内の特定組織・臓器、また細胞内の核や細胞質における分布を推定し、線量評価を行った。

令和7年度は、前年度に行った OBT 投与実験に引き続き、HTO を胎児期、授乳期、成長期、及び成体のマウスに経口投与し、HTO 摂取後の体内へのトリチウム残留量の経時的な変化に関するデータを取得した。その結果、眼の水晶体で他の臓器組織よりも残留しやすいことを見出したが、それから受ける線量は、最も取り込みやすい授乳期での摂取でも極めて低いものであることを明らかにした（例：排水基準 60,000 Bq/L で摂取した場合でも環境研のマウス実験で生物影響が観察されない 0.013 mGy/d 相当）。また、HTO あるいは OBT を培養細胞に与え、前年度に確立した細胞分画法を用いて各分画のトリチウムの測定を行い、細胞核における線量評価を行い、細胞核線量評価の方が従来の細胞内均一を仮定した線量評価よりも核内 DNA への影響を表現できることを示した。

#### 3.2 トリチウム生物影響評価に関する調査研究

成体期マウスに HTO 及び OBT を経口投与するとともに、基準放射線としてガンマ線を照射する実験を行い、トリチウム摂取からの内部被ばくとガンマ線外部被ばくによる染色体異常や免疫応答への影響を解析し違いを明らかにするための調査を実施した。また、培養細胞を用いて DNA 損傷誘発及びその修復様態を調べ、ガンマ線による損傷との違いを明らかにするための調査を実施した。

令和7年度は、マウスへのトリチウム投与実験を継続して行い、染色体異常の解析を進めた。その結果、HTO 投与からの受ける総線量が同じでも線量率によって影響が異なり、5 mGy/d では 20 mGy/d 以上の群よりも半分程度の影響となることを見出した。また、末梢血中の免疫細胞を同定・計数し、免疫応答への影響に関する調査を行うとともに、骨髓細胞を採取しリンパ球系共通前駆細胞における遺伝子発現を比較し、免疫細胞組成の変化に関わる機構を調査した。さらに、細胞培養を用いて HTO ばく露とガンマ線照射による体細胞

突然変異への影響を比較する実験を継続するとともに、DNA 損傷誘発及びその修復様態を比較する実験を行い、HTO ばく露とガンマ線照射による損傷との違いに関する調査を行った。これまでの調査でガンマ線照射による体細胞突然変異への影響の線量率しきい値が 6.6 mGy/d と 20 mGy/d の間であることを明らかにしていたが、令和 7 年度の結果からその範囲を 10 mGy/d と 20 mGy/d の間にまで限定することができた。

#### 4. その他の調査研究

京都大学から環境省再委託として「低線量率放射線照射下でのマウス飼育・繁殖およびマウス、ヒト細胞の培養」に関する調査研究を行った。

#### 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、研究所独自の調査研究を行った。

令和 7 年度に採択した研究課題

- ・オルガネラ特異的に蓄積するトリチウム化合物を用いた、放射線の核外被ばくの生物影響に関するフィージビリティスタディ
- ・環境 DNA と体組織の安定同位体比を用いた尾駁沼と近隣湖沼における魚類生態研究
- ・放射線がん影響の被ばく時年齢依存性の評価手法の開発－寿命調査データからがん影響を評価する数理モデル－
- ・低線量率放射線被ばくマウスにおける臓器グルコース代謝の評価 2
- ・タウリン投与  $Apc^{Min/+}$  マウスの腸腫瘍数の抑制における腸内細菌叢と血中成分の変化について
- ・加速器質量分析(AMS)法による  $^{14}\text{C}$  測定に関する代替機関の検討

#### 6. 競争的研究資金等による研究

科学研究費助成事業として、11 課題を実施した。

研究代表者である研究

- ・RI 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
- ・胎児期影響環境が惹起するエピゲノムプログラミング依存的低線量率放射線影響の解明
- ・新規 DNA 修復機構である対向型 DNA 損傷修復機構とそのゲノム安定性への寄与の解明

- ・大腸腫瘍可視化マウスを用いた放射線に起因した初期病変から腫瘍までの形成過程の追跡
- ・体組織水の安定同位体比による魚類の生息地判別手法の確立
- ・DNA 再結合による発がん機構：放射線発がんリスク評価の高度化を目指して  
研究分担者である研究
- ・卵子が持つ精子 DNA 損傷を修復する能力の分子機構解明と次世代ゲノム影響の解析
- ・アボ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
- ・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
- ・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
- ・環境要因が遺伝性腫瘍症候群に及ぼす発がんリスク増加の機構解明と予防開発

## 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（公益目的事業2）

調査研究で得られた客観的データ等の情報を、地域住民、県民を中心とした幅広い層に対して丁寧に発信するとともに、双方向のコミュニケーションにより理解醸成に務めた。

### 1. 理解醸成活動

調査研究で得られた成果や関連する技術・人材、国内外の知見等を活用するとともに、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、排出放射性物質に対する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み、インターネットや印刷物等を通じて、それらの情報を県内外の住民に発信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。

令和7年度は、地域住民向けの対話集会・講演会の開催として、地域の行政(六ヶ所村、むつ市他)や地域団体と放射線や地域の環境に係わるセミナーやワークショップの開催・共催、セクター別対話活動、サイエンスフェアの開催や村内イベント出展などの地域交流・理解醸成イベントを実施した(45回、参加者数:4,114名)。

また、六ヶ所村及び青森・弘前市において当調査事業の研究成果報告会やパネル展示等を併せた参加型講演会の開催(3回、参加者数:199名)、その他周辺地域においても、行政・研究機関と協働して地域に密着したテーマでの報告会を開催した(1回、参加者数:181名)。

教育機関や地域団体が進める教育関連活動の取り組みについては、実習形式による学習活動を中心に、「学ぶ楽しさ」「科学知識の向上」「社会と科学の関わり」に関するテーマで共同実施した(9回、参加者数:198名)。

加えて、地域の声の収集を行うため、地域の様々な業種(行政、農業、漁業、防災、商業関連等)に従事する方々とともに地域共創委員会を開催するとともに、地域で活動する団体や行政関連の方々と膝詰め会合を実施し、対話による情報共有や課題の掘り起こしに努めた。また、地域共創委員会と共創アドバイザー会議の合同会議を実施し、再処理施設の竣工を踏まえ、住民が知りたいことなどについて、意見交換を実施した。さらに、培われた知見の地域への還元については、文部科学省の放射能環境動態・評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)への参画により連携強化を進めるとともに、「Ⅲ. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援」に後述する地域の人材育成に協力した。

また、研究成果の可視化・運用として、一般の方々に対して総合モデルやその計算結果を説明するために作成した Web サイトの公開やコンテンツの拡張、アップデートを行った。

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化を進めるとともに、マウス実験病理サンプル・データの公開・共有のための有効かつ効率的なデータ公開への移行を進めた。

ホームページ及び印刷物資料のコンテンツの整備と強化については、調査研究成果や理解醸成活動の実施状況等についてホームページを介した情報発信を行うとともに、地域共創委員会や八戸工業大学との共創により食物に関するパンフレットを制作し、加えて、既存のパンフレットやリーフレット等の更新・増刷を行った。

## 2. その他の普及啓発に関する活動

六ヶ所村から教育研究に関する業務委託として「親子対象放射線講座」を行った。また、環境研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、印刷物の発行等を行った。

## III. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援（公益目的事業3）

青森大学薬学部の放射線実習や八戸工業大学、弘前大学などの講義に講師を派遣した。また、茨城大学、弘前大学、北海道大学、八戸工業大学が進める原子力人材育成に関する取り組みについて協力、支援を行った。さらに、六ヶ所村内の小学校を対象に環境自然学習や冬期理科教室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

地域からの要請に応え、六ヶ所村次世代エネルギーパーク事業への参加や青森県原子力・エネルギー対策県民会議、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、原子力規制委員会放射線審議会等に役職員が参画した。また、所内外と

の研究協力体制を整備し、調査研究等事業の円滑・効率的な推進に努めた。

#### V. 運営体制の充実を図るための取組

業務の適正を確保するために必要な規程等を整備している他、令和7年度は新たに「成果有体物取扱規程」及び「情報システム管理規程」等の規程を整備した。さらに、職員等に対して内部統制に対する意識を高め、リスクの回避、軽減を図るための教育・研修等を実施しており、令和7年度は、研究倫理教育の一環として毎年度の履修を義務化している研究倫理 e-ラーニングの実施、役職員がその能率を十分に発揮できるような職場環境を確保することを目的としたハラスメント防止対策のための所内講習会等を実施した。

また、当研究所は一定規模以上に義務付けられている会計監査人設置法人ではないが、ガバナンスの視点から情報開示の適正性及び経理的基礎を担保するため独立監査人による外部監査を導入し、毎年度定期的に監査を受けている。