

平成28年度

事業報告書

〔 自 平成28年4月 1日 〕
〔 至 平成29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	1
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
1. 排出放射性物質の環境影響に関する調査研究	2
1.1 排出放射能の環境移行に関する調査研究	2
1.2 青森県産物への放射性物質移行に関する調査研究	3
1.3 陸圏における放射性物質蓄積評価に関する調査研究	4
1.4 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	4
1.5 樹木の被ばく線量評価法の開発に関する調査研究	5
1.6 放射性物質の移行低減化に関する調査研究	5
2. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究	5
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）	5
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	6
2.3 低線量率放射線に対する生理応答影響実験調査	6
2.4 低線量率放射線に対する分子細胞応答影響実験調査	7
3. その他の調査研究	8
4. 科学研究費助成事業の調査研究	8
5. 環境科学技術研究所自主研究	8
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	9
1. 排出放射性物質影響調査研究情報発信活動	9
2. 環境科学技術研究所 国際放射線防護委員会 共催シンポジウム	9
3. 広報活動	10
III. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援	10
IV. その他本財団の目的を達成するために必要な事業	10
1. 福島原発事故対応への貢献	10
2. 地域からの要請への対応	10
3. 研究協力体制の整備	10
附属明細書	11

事業の概要

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 28 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、環境省からは極低線量率放射線連続被ばくマウスを用いた健康影響解析の研究を受託した。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、国際放射線防護委員会第 5 専門委員会との共催により環境防護に関する公開シンポジウムを六ヶ所村で開催し、加えて、研究領域の拡大や新たな調査研究の展開を目指し、科学研究費助成事業の調査研究及び研究所独自の自主研究を行った。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、大型再処理施設から排出される放射性核種を対象として現実的な環境中移行、人体内代謝及び被ばく線量を計算する総合的環境移行・線量評価モデル（総合モデル）を開発している。このため、施設からの排出量が多いトリチウム (^3H)、炭素 14 (^{14}C) 等の放射性核種について、地域に即した各種移行パラメータの取得並びに実証的な環境移行・蓄積及び人体代謝サブモデルの開発を行って、これらを総合モデルに組み込み、さらに、各種環境試料中の排出放射性核種濃度を測定してモデルの検証を行っていく。平成 28 年度には、これらを遂行することに加えて、放射線からの環境防護に資するための環境自体の線量評価法開発の対象としてクロマツを選択するとともに、人体への被ばく線量低減化を目指した環境中における放射性核種の移行低減化手法の開発を新たな課題として取り上げ、それぞれの研究に着手した。(1 節)

生物影響に関する調査研究では、低線量率放射線を長期間被ばくした時の生体への健康影響がどのようなものであるかを理解するために、モデル動物であるマウスを

用い、様々な生物指標について実験的な解析を行うこととしている。平成 28 年度には、以下の点について調査した。継世代影響については、オス親の長期及び短期照射とその後の交配を続けると同時に、仔の長期観察を始め、母体内被ばくの影響については短期的に現れる影響として生殖器官への影響が顕著であることを明らかにした。さらに、生体の生理応答機能への影響については、造血システム、抗がん免疫能、内分泌系への影響を詳細に解析することを始め、分子、細胞レベルでは低線量率放射線長期被ばくで見られる脂肪肝の増加に密接に関与している可能性のある遺伝子を見出し、また染色体異常誘発における線量率依存性の解析を始め、初期の結果を得た。

(2 節)

また、日本原子力研究開発機構、環境省等からの受託調査研究事業、科学研究費助成事業の調査研究及び自主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

1.1.1 総合モデルの高度化と運用体制の構築

平成 27 年度までに総合的環境移行・線量評価モデル（以下、「総合モデル」）を開発してきたが、更なる高度化を行うため、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を行う。

平成 28 年度は、風向風速データ同化に用いる手法を選定するとともに、大気中放射性核種濃度実測値データ同化機能の基本設計を行った。さらに、オンラインで配信されている気象データを受信・管理する運用体制を構築した。加えて、水圏関連サブモデルに、水産物摂取による内部被ばく線量を評価する機能を追加した。

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

大型再処理施設周辺で採取した大気、降水をはじめとして陸域、湖沼及び沿岸海域の環境試料及び日常食中の放射性核種濃度 (^3H 、 ^{14}C 、 ^{129}I 等) を測定し、得られたデータを用いてこれまで構築した総合モデルを検証する。

平成 28 年度は、ほとんどの試料中の排出放射性核種濃度がバックグラウンドレベルであったが、土壌や湖底堆積物等に大型再処理施設のアクティブ試験によって排出された ^{129}I が残留し、その蓄積量に大きな変化は認められなかった。また、福島県浪江町における大気中 ^{137}Cs の再浮遊率が約 1.2 年の半減期で減少して

いること、及び福島県飯舘村の小河川における ^{137}Cs の流出量が、降下沈着後の早期には急減し、その後に漸減していることを明らかにした。

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、 ^{14}C 、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 ^{14}C 、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、 ^{14}C 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、屋外栽培個体のばく露実験等によるモデル検証を行う。

平成 28 年度は、晩生品種「ふじ」及び早生品種「つがる」を対象に室内での栽培条件の検討を行い、気温等の栽培条件を決定するとともに、果実が得られやすかった「ふじ」を平成 29 年度から開始する本実験の対象品種として選定した。また、屋外の「ふじ」及び「つがる」成木を用いて、着果枝への予備的な果実生育段階別 $^{13}\text{CO}_2$ ばく露を実施した結果、光合成で固定された ^{13}C の短期的な果実への移行は、果実発達期に増加し、「ふじ」では成熟期に減少するが「つがる」では減少が見られないことを明らかにした。

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・蓄積モデルを、それぞれの安定元素を用いた実験により構築する。

平成 28 年度は、目的元素のリンゴ樹への部位別負荷方法及び植物試料の前処理方法について検討を行うとともに、姫リンゴのアルプスおとめ幼木の室内栽培条件を検討し、それぞれの手法を確立した。

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食物連鎖を介した移行を含む移行・蓄積モデルを構築する。

平成 28 年度は、ストロンチウムの安定同位体である ^{86}Sr を添加した海水中でヒラメを飼育するべく露実験を開始し、筋肉と骨中の ^{86}Sr 濃度を経時的に測定した。得られた結果を基に、海水からヒラメへの暫定的な ^{86}Sr 短期移行モデルを製作した。さらに、平成 30 年度から行うヒラメから海水へのストロンチウム排泄を調べる実験に用いる個体について ^{86}Sr による標識を開始した。

1.3 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働に伴い排出される ^{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 28 年度は、平成 27 年度に造成した牧草地で降水の土壌内下方浸透に関する水文学的データ及び牧草の生長データを取得した。また、牧草のポット栽培実験により、刈り取り後に再生する茎葉への貯蔵有機物の寄与を明らかにした。クロマツ林では有機物生成量及びリター供給量を求めるためのデータ、並びに降水の土壌内下方浸透に関する水文学的データの取得を継続するとともに、リターの分解パラメータを求めるための調査を開始した。

1.4 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の投与実験を行い、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 ^3H 代謝モデルを構築する。

平成 28 年度は、脂質では ^{13}C 標識オレイン酸及びパルミトレイン酸（1 価不飽和脂肪酸）を、アミノ酸では代謝が遅いコラーゲンの主成分である ^{13}C 標識グリシンを被験者に経口投与し、呼気中 ^{13}C 濃度を測定した。また、平成 27 年度の ^{13}C 標識リノール酸（多価不飽和脂肪酸）及び ^{13}C 標識グルタミン酸（主要アミノ酸）の経口投与実験で得られた毛髪試料の ^{13}C 濃度を測定して炭素の有機態での排泄データを取得し、平成 27 年度の呼気排出データとともに用いて、リノール酸及びグルタミン酸中炭素の代謝モデルを作成した。

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 28 年度は、クロマツ林調査区を設定し、クロマツ地上部の部位別形状、重量及び安定元素濃度等の予備調査、並びに林内の環境γ線線量率の水平分布の調査を行った。さらに、調査区内等において大気からクロマツへの沈着速度等を求める手法を確立し、加えて、リターフォールによる樹木から土壌へのヨウ素移行量を調査した。

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吸着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 28 年度は、土壌中放射性セシウムの牧草への移行性及びそれに影響を与える土壌要因を評価するための実験手法、並びに土壌・資材への吸着特性及び有機物に収着した放射性セシウムの脱離に関わる微生物特性を評価する手法を確立した。さらに、イネを水耕により栽培し、継続的に蒸散抑制剤を散布したところ、散布により玄米中のセシウム濃度が 25%～35%低下することが明らかになった。

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）および低線量率（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、線量率の違いが継世代影響に異なる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 を用いてゲノムの変化を調べる。

平成 28 年度は平成 26 年度に決定した至適放射線照射線量および実験手法を基

に、オス親マウスへの照射・交配・終生飼育、死亡マウスの寿命・死因・がん発生解析並びに遺伝子変異解析を平成 27 年度に引き続いて実施した。

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、すなわち発生初期から胎児期にかけて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、受精卵の生死、胎仔の発生異常、死亡胎仔数、外表奇形などの出生前までに現れる短期的影響を調べる。また、出生後にみられる出産仔数、体重、外表奇形などに加え、長期飼育後に評価できる寿命、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 28 年度は、平成 27 年度に得られたデータを基に決定した実験条件を用いて短期影響解析を実施した。受精から胎仔期までの全期間、もしくは一部の期間に照射し、胎仔期に、あるいは生後 10 週齢までに発現する影響についてのデータを蓄積した結果、生殖腺の感受性の高いことが判明した。また、長期影響解析では受精から出生直前までの全期間照射し、次年度以降の解析のために終生飼育を開始した。

2.3 低線量率放射線に対する生理応答影響実験調査

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。

2.3.1 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 28 年度は、中線量率（400 mGy/日）、高線量率（700～800 mGy/分） γ 線を照射したマウスの造血幹細胞の周辺環境の解析を行った。また、平成 27 年度に導入した放射線照射なしに骨髄移植が可能な遺伝子変異マウス（WBB6F1-W/W^v）を用いて、造血幹細胞移植実験を実施した。

2.3.2 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 28 年度は、平成 27 年度に得られたデータを基に決定した実験計画により、卵巢顆粒膜細胞腫由来培養細胞を移植する系を用い、低線量率（20 mGy/日） γ 線長期連続照射による移植腫瘍排除能低下に対する飼育環境影響観察実験を実施したが顕著な効果は見られなかった。今後、環境条件のさらなる検討をしたい。

2.3.3 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 28 年度は、平成 27 年度に導入・確立した低線量率（20 mGy/日） γ 線を長期連続照射したメスマウスへの卵巢機能の補完処置及び非照射メスマウスにおける人工的な卵巢の切除処置を継続して行うとともに、その影響を評価するため性周期の解析及び体重測定を実施した。その結果、照射による性周期の異常と体重増加は卵巢移植により効率良く抑制されることを明らかにした。長期的な影響を調べるための卵巢移植も行った。

2.4 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。

2.4.1 低線量率放射線照射による細胞応答分子への影響解析

低線量率放射線照射により個体細胞中で誘起される遺伝子発現変化を、高中線量率との相違点、加齢との関連、雌雄差に重点を置いて解明する。

平成 28 年度は、低線量率（20 mGy/日）放射線長期連続照射メスマウスの既存の正常組織サンプル（肝臓および脾臓）を材料として、臓器の機能の指標となる遺伝子の発現変化を経時的に追跡し、脂肪肝生成に関与している可能性のある遺伝子を見出した。また、次年度以降の雌雄差検討のため、オスマウスについての低線量率放射線長期照射・臓器サンプリングを行った。

2.4.2 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で放射線照射をしたマウスの脾臓細胞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、染色体異常誘発について、線量効果関係や異常のタイプがどのような線量率で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。

平成 28 年度は、平成 27 年度に得られたデータを基に決定した条件を用いて低線量率と高線量率の間の 5 線量率でのマウス照射を行い、うち 2 線量率について染色体異常解析と線量効果関係の決定を完了した。

3. その他の調査研究

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。

また、環境省から「極低線量率放射線連続被ばくマウスを用いた健康影響解析」を平成 27 年度に引き続き受託するとともに、環境省から大分県立看護科学大学に委託された「低線量率放射線長期連続照射によるマウス急性骨髄性白血病の起因となる PU.1 遺伝子変異の線量率依存性の解析」の一部を再受託し、計画通り実施した。

4. 科学研究費助成事業の調査研究

平成 28 年度から科学研究費助成事業（科研費）の対象の研究機関として指定を受け、当該事業による以下の 3 課題の分担研究を実施した。

- ・ 土壌中の有機物に含まれる放射性セシウムの挙動に及ぼす生物的要因の解明
- ・ 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程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

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 27 年度に採択し、平成 28 年度へ継続した自主研究

- ・ 低線量率 γ 線連続照射によるマウス寿命短縮に対するカロリー制限の軽減化効果とその機構解析

平成 28 年度に採択した自主研究

- ・ マウスを高温度で飼育することにより移植腫瘍排除能は亢進するか
- ・ 低線量率放射線照射されたマウス肝臓のメタボローム解析
- ・ 水生生物におけるヨウ素/炭素比（I/C 比）の変動要因の解明

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によって実施されてきた環境影響及び生物影響に関する調査研究の内容や得られた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、インターネット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、「アルファ線を出す放射性物質濃度を身の回りで調べました」、「放射線の生物への影響は飼育環境に左右される」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、六ヶ所村では日本海洋科学振興財団から六ヶ所村沖合の海況に関する報告も同時に行い、弘前市では青森県との共催により東京大学医学部中川恵一准教授の放射線の人体影響に関する講演もあわせて行った。参加者は、4 会場合計で、168 名であった。

出前説明会は青森県内で 15 回実施し、参加者総数は 1,140 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、新たに開始した調査研究内容について分かりやすく解説するページなどを追加・更新した。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、調査成果や関連する知識を分かりやすく記載したリーフレットを作成した。

2. 環境科学技術研究所 国際放射線防護委員会 共催シンポジウム

放射線からの環境防護を専門に取り扱う国際放射線防護委員会第 5 専門委員会との共催で、「ICRP 放射線防護体系における環境防護」と題した公開シンポジウムを六ヶ所村で開催した。

3. 広報活動

環境研の活動について発信するため年報及び環境研ニュースを発行するとともに、施設公開を行った。また、自然科学に対する関心を高めるため六ヶ所村の小学生等を対象とした理科教室を実施した。

III. 原子力開発利用の発展に寄与する人材育成への支援

青森大学薬学部の放射線実習及び八戸工業大学の原子力人材育成プログラムにおける研修を環境研内で実施し、学生に対する講習等を行った。さらに、東京理科大（4名）、東京海洋大（1名）、筑波大（1名）、大阪府立大（2名）より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、3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所として参加するとともに、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12件の共同研究を実施した。