

平成 2 2 年度

事 業 報 告 書

〔 自 平成 2 2 年 4 月 1 日
至 平成 2 3 年 3 月 3 1 日 〕

財団法人 環境科学技術研究所

目 次

〔Ⅰ〕 事業の概要-----	1
〔Ⅱ〕 事業の内容-----	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. 排出放射能の環境分布に関する調査研究-----	1
1.1 環境移行・線量評価モデルとパラメータの検証-----	1
1.2 環境移行・線量評価モデルの高度化-----	1
1.3 パラメータの精度向上-----	1
1.3.1 放射性物質の形態間移行-----	1
1.3.2 作物葉面における挙動-----	2
2. 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究-----	2
3. 植物の元素集積性に関する調査研究-----	3
4. 排出トリチウムの生物体移行に関する調査研究-----	3
4.1 大気排出トリチウムの大気-植物移行パラメータに関する調査研究-----	3
4.2 海洋排出トリチウムの移行パラメータに関する調査研究-----	3
4.3 ヒト体内におけるトリチウム代謝に関する調査研究-----	4
5. 排出放射性炭素の蓄積評価に関する調査研究-----	4
6. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究-----	5
6.1 低線量放射線生物影響実験調査（継世代影響とその遺伝子変異に係る実験）-----	5
6.2 低線量放射線の生体防御機能に与える影響調査-----	5
6.3 低線量放射線のDNA修復関連遺伝子に与える影響調査-----	6
7. 生物学的線量評価に関する調査研究-----	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-----	8
1. 排出放射性物質影響調査研究情報発信活動-----	8
2. その他の活動-----	8
Ⅲ．その他本財団の目的を達成するために必要な事業-----	8
1. 施設の整備、運用等-----	8
2. 組織・人員等-----	9
3. その他-----	9

〔Ⅰ〕事業の概要

平成22年度においては、青森県から放射性物質等の環境影響に関する調査研究として11件及びそれらの活動に係る情報を青森県民に対して発信する活動1件を受託し、計画どおりに実施した。

〔Ⅱ〕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

県から受託した11件を、7項目14課題に分類し、課題ごとに成果の概要を報告する。

1. 排出放射能の環境分布に関する調査研究

1.1 環境移行・線量評価モデルとパラメータの検証

平成18年度に開始された大型再処理施設のアクティブ試験に伴って排出されてきた放射性核種の環境中での濃度及び空間的な分布に関する調査データを用いて、これまでに構築してきた施設周辺の気圏、陸圏及び水圏（尾駱沼の低次栄養段階生態系）における排出放射性核種の挙動を模擬する「環境移行・線量評価モデル」並びにモデルに用いられている各種パラメータの検証を行ってきた。平成22年度には、これまでのアクティブ試験全期間に排出された ^3H 、 ^{14}C 及び ^{129}I の大気中濃度並びに、 ^{85}Kr による γ 線線量率等を検証に用いた結果、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{85}Kr では比較的良く実測値を説明できるが、やや過大評価となった。しかし、 ^{129}I 大気中濃度計算値の実測値との乖離は大きく、今後、形態別パラメータの導入等を行う。

1.2 環境移行・線量評価モデルの高度化

「環境移行・線量評価モデル」の予測精度向上と計算対象の拡張を図るため、気象モデル、尾駱沼内の魚介類等の放射性核種濃度を模擬するモデル及び尾駱沼集水域と六ヶ所沿岸海域から尾駱沼への放射性核種の流入を模擬するモデルを作成した。平成22年度には、これらのモデルを上記「環境移行・線量評価モデル」に結合して「総合的環境移行・線量評価モデル1.0」（総合モデル1.0）を構築し、その機能を確認した。

1.3 パラメータの精度向上

1.3.1 放射性物質の形態間移行

微量元素の形態別分析に基づき、土壌内及び水中（淡水、汽水、海水）における排出放射性核種の形態間移行速度を求め、環境中での挙動予測精度向上を図った。即ち、土壌に沈着した放射性Cs、Sr及びIの植物吸収の経時変化及びそれに与える肥料等の影響を明らかにするため、土壌へ安定元素等を添加した後の土壌-植物間移行係数の経時

変化を追跡した。その結果、Srには経時変化が認められなかったが、CsとIでは経時的に減少した。CsとIの土壌-植物間移行係数は減少速度の違う2つの指数関数の組み合わせで表すことができた。また、肥料の影響は添加後の早期に認められ、その影響を含む経時変化の関数を得た。加えて、それぞれの移行係数と相関の高い土壌抽出画分を明らかにし、簡便な土壌-植物間移行評価を可能とした。

水中に移行した放射性核種の粒子態への変化を明らかにするため、水試料にランタノイド、I等を添加し、その後の粒子への収着を調べた。その結果、ランタノイド、I等の収着は少なく、天然の元素の大部分が粒子態であることと対照的であった。加えて植物プランクトンが水中の形態に与える影響を明らかにするため、植物プランクトンを培養した水試料にランタノイド、I等を添加したところ、粒子への収着率はプランクトンが存在しない場合より大きかった。また、添加したIのプランクトンへの収着率は IO_3^- より大きく、更に、プランクトンによっては添加した IO_3^- をIに変化させることが確認された。

1.3.2 作物葉面における挙動

作物葉面に沈着した放射性核種の降雨等による除去（ウェザリング）の半減期は、作物を通じた放射性核種摂取による被ばく線量評価上重要なパラメータであるため、CsとSrまたはIを含むエアロゾルをハツカダイコン葉面に沈着させ、大型人工気象室内において気象要素(降雨時間、降雨強度等)毎に、葉面からの除去率を求めた。平成22年度に、得られた結果を総合して六ヶ所村の気象条件下における代表的なウェザリングの半減期を求めたところ、Cs、Sr、 IO_3^- については、大型再処理施設の安全審査に用いられた値よりも小さくなったが、Iでは大きく、Iに関しては化学形の重要性が明らかになった。

2. 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究

自然放射線・天然放射性核種による青森県民の被ばく線量評価、また生態系の被ばく線量評価法の開発を行うことを目的としている。このため、六ヶ所村及び青森市において収集した日常食の放射化学分析を行い、天然放射性核種による青森県民の平均的な内部被ばく線量は年間0.58 mSvであることを明らかにした。また、この内部被ばく線量の多くは ^{210}Po に由来し、食品別の分析結果から ^{210}Po による被ばく線量には水産物の寄与が大きいことが判明した。

更に、六ヶ所村の森林生態系に生息する哺乳動物が受ける被ばく線量を推定するため、村内の森林で、小型ほ乳動物（ヒメネズミ、ヒミズ）及び中型ほ乳動物（ホンドキツネ、ホンドタヌキ）の生息環境における γ 線線量率と ^{220}Rn 濃度及び天然放射性核種身体負荷量を求めた。これらの結果から平成21年度に作成したボクセルファントムを用い

た被ばく線量計算を行った。全身の被ばく線量は体内の²¹⁰Po濃度に大きく依存し、ヒミズ>ホンドタヌキ>>ホンドキツネ>ヒメネズミの順となった。

3. 植物の元素集積性に関する調査研究

青森県の環境条件に適した植物による環境浄化対策に資することを目的として、土壌からのCs、Sr及びIの除去効率（面積当たりの収奪量）が高い栽培植物としてヒマワリ、アマランサス等を選択し、野生植物としてオオイヌタデ等を選択して、最適栽培条件を決定した。

また、平成17年度までに単離したシロイヌナズナのCs耐性変異株のうち、2株についてCs耐性原因遺伝子を突き止めた。更に、文献でCs輸送が示唆されていたCNGC17輸送体の遺伝子をシロイヌナズナから単離し（*AtCNGC17*）、大腸菌を用いた実験によりCNGC17輸送体がCsを輸送すること明らかにした。*AtCNGC17*を過剰発現または抑制させたシロイヌナズナを作製したが、Cs吸収率に顕著な増加は認められなかった。しかし、*AtCNGC17*を過剰発現させたタバコの培養植物体（発根させた外植体）でCs吸収率の増加を認めた。

4. 排出トリチウムの生物体移行に関する調査研究

大型再処理施設から排出されるトリチウム(T)による実証的な被ばく線量評価に資するため、トリチウムの代わりに同じ水素の安定同位体である重水素(D)を用いて大気-作物間、海水-海産生物間でのトリチウムの移行、生物体内での有機結合型トリチウム(OBT)の蓄積、及び人体内でのトリチウム代謝に関するデータを収集する。

4.1 大気排出トリチウムの大気-植物移行パラメータに関する調査研究

大気-植物間の自由水型トリチウム(FWT)の移行パラメータ、植物体内でのFWTから有機結合型トリチウム(OBT)への移行・蓄積パラメータを実験的に求める。

平成22年度は、経根吸収による葉菜へのトリチウム移行をモデル化するため、葉菜（コマツナ）に重水(D₂O)を添加した養液を供給し、植物体中のFWD濃度の時間変化を求めた。また、作物の各生育段階における光合成・呼吸活性、OBD生成量、収穫時のOBD残存率のデータを収集するための実験系を構築した。

4.2 海洋排出トリチウムの移行パラメータに関する調査研究

トリチウムの海産生物への移行・蓄積に関するパラメータ、特に海産生物におけるOBTへの移行・蓄積に関するパラメータを評価するための基礎データを、室内実験により収集する。

平成22年度は、重水を添加した海水中で、生産者及び一次消費者にあたる海産生物(海藻、植物プランクトン、動物プランクトン、底生動物等)を長期飼育し、生体内に形成されたOBDを経時的に測定することにより、食物連鎖を介さない交換型及び非交換型OBTの蓄積に関するパラメータを求めた。また、重水素で標識した植物プランクトンや海藻等の培養方法や、動物プランクトンに重水素標識植物プランクトンを給餌・飼育する手法等を検討し、食物連鎖に伴うOBTの海産生物への移行・蓄積に関するパラメータを評価するための実験系を構築した。

4.3 ヒト体内におけるトリチウム代謝に関する調査研究

ヒト被験者へ重水素(D)標識物質を経口投与し、重水素の人体内残留量に関するデータを収集するとともに、ラットを用いた動物実験により重水素の特定臓器・組織への蓄積の有無や成長段階による水素代謝の違い等を調べ、経口摂取されたトリチウムの線量換算係数の基礎である人体内トリチウム代謝モデルに反映する。

平成22年度は、重水(D₂O)及び重水素(D)標識糖質を経口摂取したヒト被験者の呼気、尿、血液中のD同位体比を1週間程度にわたって測定し、短期的なD排出に関するデータを収集した。また、週齢の異なるラットを用いて、代謝モデル構築に必要な水素フローデータを求めるとともに、重水摂取後の各臓器・器官・組織における重水素(D)の残留率データを収集した。

5. 排出放射性炭素の蓄積評価に関する調査研究

大型施設周辺地域における土地区分として代表的な森林、牧草地、水田、畑地及び湿地を対象に、施設から排出される炭素-14(¹⁴C)の植物体や土壌への蓄積・放出を推定・評価できる予測モデルを整備し、大型再処理施設稼動に伴う中長期の影響評価(環境への蓄積等)に資する。

平成22年度は、森林について2つの代表的な樹林(常緑針葉樹林と落葉広葉樹林)の野外調査地を選定し、種構成や種別の生育密度、土壌の有機物含有量、栄養塩含量等の基礎情報を収集するとともに、周辺環境での気象観測を行った。また、森林及び湿地における中長期的な有機物分解速度を求める試験を行うため、閉鎖系施設等において¹³CO₂に植物体をばく露して¹³C標識植物体を作成した。一方、牧草地、水田、および畑地については、各土壌を採取し、閉鎖系植物実験施設内に導入して植物-土壌試験系を構築し、野外条件を模擬するための予備試験を行った。さらに、土壌中有機物分解に対する地温の影響に関する文献等の情報を基に、森林、牧草地、水田、畑地及び湿地の各土壌を用いる有機物分解試験において制御すべき実験条件(温度や水分等)や実験系の構成を確定し、データ解析法について検討した。

6. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究

6.1 低線量放射線生物影響実験調査（継世代影響とその遺伝子変異に係る実験）

低線量率放射線の長期間連続照射による継世代影響を明らかにするため、低線量率(0.05 mGy/22h/day、1 mGy/22h/day、20 mGy/22h/day;以下それぞれ0.05 mGy/day、1 mGy/day、20 mGy/dayと表記) γ 線を約400日間連続照射(総線量はそれぞれ20 mGy、400 mGy、8000 mGy)したC57BL/6Jオス親マウスを同系非照射メス親マウスと交配し、仔(F1)を得、さらにその仔同士の交配によって孫(F2)を得て、非照射対照群の仔・孫とともに終生飼育し、死亡マウスの寿命、死因、発がん及び遺伝子変異等を調べている。オス親マウス(各群180匹)への照射は6回に分けて行っており、平成22年度末までに全ての照射を終了し、3世代全て(総数約6,200匹)の繁殖データを収集した。また、死亡個体の病理学的検索及び遺伝子解析用組織試料の凍結保存を行った。その結果、20 mGy/day照射群で平均出産数(仔(F1)マウス数)及び仔(F1)マウスの平均離乳数に統計学的に有意な減少が認められた。寿命に関しては、20 mGy/day照射群の親世代オスマウスにおいて、非照射対照群に比べ統計学的に有意な寿命短縮が認められ、20 mGy/day照射群の仔(F1)世代オスマウスにおいても、オス親世代と同様に非照射対照群に比べ統計学的に有意な寿命短縮が認められている。また、親世代オスマウス、仔(F1)世代及び孫(F2)世代マウスともに死因の種類、発生腫瘍の種類及びその頻度には、いずれの実験群間においても有意な差は見られていない。

遺伝子変異解析では、上記の実験で死亡した全てのマウスのうち859匹の凍結尾組織からゲノムDNAを抽出・精製した。これまでに、20 mGy/day照射群のオス親、非照射メス親各6匹とその仔マウス32匹、非照射対照群のオス親、非照射メス親各7匹とその仔マウス41匹、合計99匹分のゲノムについてオリゴマイクロアレイCGH法による変異解析の1次スクリーニングを行った。その結果、20 mGy/day照射群の仔マウス3匹、非照射対照群の仔マウス1匹のゲノムからそれぞれ1カ所ずつ合計4カ所に、親には見られない新規変異が見つかった。

6.2 低線量放射線の生体防御機能に与える影響調査

低線量率(20 mGy/day) γ 線を長期間連続照射したマウス(B6C3F1)では、移植した腫瘍細胞の生着率が有意に亢進する。この生着率亢進の要因を明らかにするため、低線量率(20 mGy/day) γ 線を約400日間連続照射(集積線量8000 mGy)したマウスと同日齢の非照射対照マウスにそれぞれ同系(B6C3F1)マウス由来の卵巣顆粒膜細胞腫細胞を皮下接種した後、腫瘍受容(皮下腫瘍形成あり)及び腫瘍拒絶(皮下腫瘍形成なし)マウスをそれぞれ選び、耳朶組織から抽出したRNAを用いて腫瘍に対する免疫細胞応答に関わる

とされるケモカインレセプターの発現量を比較した。その結果、腫瘍を受容した照射マウスで2つのケモカインレセプター遺伝子の発現量が有意ではないが減少傾向を示した。また、非照射マウス(B6C3F1)に自然発生した線維肉腫由来の培養細胞株を樹立し、低線量率(20 mGy/day) γ 線を約400日間連続照射した同系(B6C3F1)マウスと同日齢非照射対照マウスにそれぞれ移植したところ、照射マウスで生着率の有意な亢進が観察された。これらの結果から低線量率放射線長期連続照射マウスの腫瘍に対する免疫応答能低下が示唆された。

低線量率(20 mGy/day) γ 線を連続照射したB6C3F1メスマウスで見られる有意な体重増加(組織の脂肪化)の要因を明らかにするため、低線量率 (20 mGy/day)の γ 線を連続照射したメスマウスで体重変化と卵巣機能の変化を調べた。その結果、照射マウスでは、集積線量の増加に伴って卵母細胞数が有意に減少し、3000 mGyでほぼ枯渇した。また、照射マウスでは、非照射対照マウスに比べて早期に閉経が起こり、それとほぼ同時期に有意な体重増加が認められた。さらに、低線量率域(20~120 mGy/day)の γ 線を連続照射したメスマウスでは、線量率が高い程、閉経と体重増加が始まる時期が早いことが分かった。以上のことから、低線量率放射線を連続照射したメスマウスの体重増加には、放射線により誘発された卵母細胞の枯渇による早期閉経が関与していることが示唆された。

6.3 低線量放射線のDNA修復関連遺伝子に与える影響調査

低線量率放射線の連続照射による発がんDNA修復系遺伝子への影響を明らかにするため、悪性リンパ腫と白血病に焦点をあわせて調査を行っている。

悪性リンパ腫に関しては、平成21年度に終了した低線量放射線がん遺伝子影響実験調査で、低線量率(20 mGy/day) γ 線長期連続照射マウスに生じた悪性リンパ腫の一群(A群)では細胞増殖に関与する遺伝子群の発現増加の他に、ミスマッチ修復等のDNA修復遺伝子群の発現が低下していることを見つけた。そこで、ミスマッチ修復遺伝子の変異等により不安定性が生じやすいDNA上の5ヶ所のマイクロサテライトを調べたところ、A群の悪性リンパ腫ではマイクロサテライト不安定性が高いものが10検体中4検体に観察され、非A群悪性リンパ腫 (25検体中5検体) と比べ多く見られた。

また、寿命試験(平成7年度~平成15年度)で認められた低線量率(20 mGy/day) γ 線長期連続照射マウスの早期の腫瘍死は、低線量率長期連続照射により腫瘍が早期に出現することによるのではないかという仮説を立て、これを確認する指標として、悪性リンパ腫に特異的に出現する細胞表面抗原と染色体異常、並びに悪性リンパ腫を発症したマウスで変化する特徴的な血清タンパク質の探索を開始した。中線量率(400 mGy/day)照射マウスの血清を添加した培養液でマウス胎仔線維芽細胞を1日培養し、細胞中

の遺伝子発現の増加を調べることで、照射マウスの血清中に存在する生理活性物質を検知する方法を開発した。この方法は今後、悪性リンパ腫の発生に関与している血清タンパク質を検出するのに有用と考えられる。

白血病に関しては、低線量率(20 mGy/day) γ 線を照射開始後、100日目、150日目、200日目、300日目、400日目にマウス骨髄と脾臓から造血幹細胞など分化段階の異なる細胞をフローサイトメトリーで分取して、細胞数の時間的な変化を調べたところ、多能性前駆細胞数とリンパ球系共通前駆細胞数は照射開始後150日目と200日目で既に非照射群と比べて有意に減少した。従って、リンパ球系共通前駆細胞数は骨髓球系共通前駆細胞数（照射開始後400日目で初めて減少）よりは早期に減少することがわかった。このことより低線量率 γ 線照射マウスの白血病では、リンパ球系共通前駆細胞が白血病幹細胞の発生に関与している可能性がある。

7. 生物学的線量評価に関する調査研究

低線量率・低線量放射線長期被ばく時の被ばく線量を染色体異常を指標として推定する生物学的線量評価法を確立するために、I期調査で用いた線量率(20 mGy/day)の1/20(1 mGy/day)及び1/400(0.05 mGy/day)の γ 線をそれぞれマウスに最大720日間長期連続照射し、脾細胞に見られる転座型染色体異常頻度等と線量および線量率との関係を調べた。今年度までに1 mGy/dayの低線量率長期連続照射群の8つの線量でそれぞれ3匹ずつの解析が終了し、染色体異常頻度と線量との関係が得られた。1 mGy/dayの低線量率照射では、転座型染色体異常頻度は線量が増えるとともに600 mGyまではほぼ直線的に増加した。0.05 mGy/dayの照射群では、個体数を増やして解析中である。一方、非照射群の転座型染色体異常頻度は356日までの日齢では殆ど増加しなかったが、568日からは急に増加した。

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

「排出放射性物質影響調査」によって実施されてきた調査研究の内容や得られた成果等を、報告会の開催、説明活動の実施等によって青森県民に直接紹介する他、インターネットホームページ及びパンフレットにより発信した。

報告会は、青森市、六ヶ所村、弘前市及び八戸市で開催し、環境中での放射性物質の動きに関する調査研究及び低線量率放射線の生物影響に関する調査研究の内容及び判明したことについてそれぞれ報告した。

説明活動は県内で17回実施し、環境中での放射性物質の動き、低線量率放射線の生物への影響について、基礎知識を組み合わせで説明した。また、青森市内の大学学園祭に参加して、成果とともに放射線に関する基礎的な内容を説明した。

ホームページに関しては、掲載している研究情報の更新や追加を行うとともに、ホームページ中で使われている専門用語について用語解説の追加を行った。報告会配布資料も掲載した。

パンフレットについては、排出放射性物質影響調査の概要を紹介するために青森県が発行するパンフレットの原稿を作成した。また、調査研究内容の理解に資するため、放射線の基礎知識を解説したパンフレットを増刷した。

2. その他の活動

環境研の活動等を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、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開催した。

Ⅲ. その他本財団の目的を達成するために必要な事業

1. 施設の整備、運用等

老朽化した施設・設備等の改修・修理等を行ったことにより、施設は比較的順調に運用された。年度末（平成23年3月11日）に発生した東日本大震災は、2日間の全面停電とその後1ヶ月に及ぶ燃料供給不足等を引き起こし、施設の運用に重大な影響をもたらした。しかし、震災が年度末であったこと、また職員・協力会社さらには物品納入業者等の努力・協力等により調査事業への影響を最小限に抑えることができた。

2. 組織・人員等

効率的な研究所運営をめざし、業務の変化や制度改正等に対応すべく、平成23年4月1日からの組織改正を目標として、実施人員・組織の見直しを行った。平成23年3月31日現在の組織と人員構成は以下のとおりである（年度末退職者を含む）。

1) 役員

理事長（常勤）	: 1
常務理事（常勤）	: 2
理事（常勤）	: 2
理事（非常勤）	: 9
監事（非常勤）	: 2

2) 職員

所長	: 1（理事長兼務）
特任相談役・業務執行役・調査役	: 3
総務部	: 11
技術・安全室	: 4
広報・研究情報室	: 3
環境動態研究部	: 14
環境シミュレーション研究部	: 11
生物影響研究部	: 14
先端分子生物科学研究センター長	: 1（常務理事兼務）

3) 特別顧問、技術顧問、相談役 : 4（非常勤）

合計 常勤役員 5名
常勤職員 64名

3. その他

調査研究事業を円滑に推進するため、東北大学や日本原子力研究開発機構等国内の9機関及びドイツ連邦共和国放射線防護庁と研究協力協定等を結び共同研究等を実施した。

六ヶ所村からの要請により、各種委員会等の委員として、また、産業祭り等の事業に協力した。