

平成 2 1 年度

事 業 報 告 書

〔 自 平成 2 1 年 4 月 1 日
至 平成 2 2 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. 放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 パラメータの充実	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	2
4. 閉鎖型生態系実験施設における炭素移行に関する調査研究	2
4.1 炭素移行モデル作成試験	2
4.1.1 作物炭素移行モデル作成試験	2
4.1.2 家畜炭素移行モデル作成試験	2
4.1.3 ヒト炭素移行モデル作成試験	3
5. 閉鎖系陸・水圏実験施設における炭素等移行に関する調査研究	3
5.1 湿地生態系における炭素移行に関する試験	3
5.2 海草群落生態系における炭素移行に関する試験	3
5.3 トリチウムの海産生物への移行に関する試験	4
6. 微生物系物質循環に関する調査研究	4
6.1 土壌における炭素の蓄積と放出の調査	4
6.2 堆肥化による炭素挙動の調査	4
7. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究	4
7.1 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）	4
7.2 低線量放射線の生体防御機能に与える影響調査	5
7.3 低線量放射線のがん関連遺伝子に与える影響調査	6
8. 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. 排出放射性物質等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	9
1. 施設の整備、運用等	9
2. 組織・人員等	9
3. その他	9

〔Ⅰ〕事業の概要

平成21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12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12件を、8項目18課題に分類し、課題ごとに成果の概要を報告する。

1. 放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

「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うため、施設から排出される放射性物質の環境中における分布について調べた。平成21年度には、アクティブ試験に伴って排出された放射性核種 (^3H 、 ^{85}Kr 、 ^{129}I) のうち、大型再処理施設周辺の大気中 ^3H 濃度等を検証に用いた結果、モデル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。今後、パラメータの調整等を行い、検証を進める。

1.2 環境移行・線量評価モデルの高度化

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、地域特性を考慮したより現実的な線量評価を行う「総合的環境移行・線量評価モデル」を構築することを目的とし、平成21年度は、大気拡散過程の精度向上のために導入した気象モデルの効果を確認した。尾駱沼に関するモデルの高度化を図るため、「尾駱沼集水域放射性核種移行モデル」による ^3H と ^{137}Cs の挙動予測を可能とし、「尾駱沼高次栄養段階生態系放射性核種移行モデル」の魚類・底生生物の部分構築した。更に、海洋放出口と尾駱沼河口域を含む六ヶ所沿岸海域モデルを構築し、機能を確認した。

1.3 パラメータの充実

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。平成21年度は、土壌に添加したCs、Iの形態変化と植物吸収に与える化学肥料の影響を調査した結果、Csは植物吸収が増加するが、Iでは変化しなかった。また、淡水域に生息す

る植物プランクトンを培養した淡水試料にヨウ素を添加したところ、ヨウ素の大部分が溶存態のままであり、プランクトンに収着されないことが判明した。

1.3.2 作物葉面における挙動

植物の葉面に沈着した放射性核種の葉面吸収、転流に対する降雨の影響を明らかにするため、安定Cs、Srを含むエアロゾルを用い、大型人工気象室内において気象条件をコントロールした実験を行った。その結果、降雨により葉面上のCs、Srの一部が除去された。しかし、葉面上に残ったCs、Srの植物体内への吸収率が無降雨の場合より増加するため、結果的に、植物体内に吸収される量に大きな減少は見られなかった。

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、平成20年度に引き続き、六ヶ所村及び青森市において収集した日常食や食品の放射化学分析を行い、内部被ばく線量を推定した。更に、六ヶ所村の森林生態系に生息する哺乳類が受ける内部被ばく線量を推定するため、ボクセルファントムを作成するとともに六ヶ所村南部で中型ほ乳類を捕獲し、天然放射性核種身体負荷量を求めた。

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Niの除去効率（面積当たりの収奪量）が高い野生植物としてオオイヌタデ等を選択するとともに、平成20年度に選択した栽培植物の最適栽培条件を決定した。また、すでに得られているCs耐性を持つモデル植物の2系統及び野生株にCs輸送関連遺伝子（*AtCNGC17*）を過剰発現させた形質転換植物を作製した。

4. 閉鎖型生態系実験施設における炭素移行に関する調査研究

4.1 炭素移行モデル作成試験

4.1.1 作物炭素移行モデル作成試験

大型再処理施設から排出される¹⁴Cの環境移行のモデル化、及び速度論的な被ばく線量評価に資するため、前年度までに大気中の¹⁴C濃度からイネ、葉菜、豆類、根菜の可食部及び牧草中の¹⁴C濃度を予測する数学モデル（コンパートメントモデル）を構築した。21年度は、異なる生育時期にあるこれらの植物に¹³CO₂をばく露し、モデルの妥当性の検証を行った。この結果、構築した動的炭素移行モデルは、従来用いられている比放射能法に比べ、作物中の¹⁴C濃度をよりの確に予測し得ることが明らかになった。

4.1.2 家畜炭素移行モデル作成試験

大型再処理施設の周辺地域で生産されている牛肉への牧草を介した¹⁴C移行を評価

する予測モデルを構築するため、前年度に引き続き¹³Cで標識した牧草を経口摂取させ、呼気、尿、糞、血液および筋肉への炭素移行データを収集した。また、牛乳への¹⁴C移行を評価するために同様の¹³C摂取試験を行った。これらのデータに基づき、ウシ体内での炭素代謝は2コンパートメントモデルで表現できることが明らかになった。さらに地域における飼育状況を考慮した¹⁴C移行係数を求め、現行の被ばく線量評価が十分な安全裕度を有していることを示した。

4.1.3 ヒト炭素移行モデル作成試験

¹³C標識米及び大豆の摂取時の¹³C代謝試験を行った。この結果、前年度までに構築した三大栄養素（糖、アミノ酸、脂質）ごとの人体内炭素代謝モデル（3コンパートメントモデル）は、食物摂取時における¹⁴C代謝に適用できることが示された。さらに人体での炭素残留率は、被ばく線量評価のために国際放射線防護委員会（ICRP）が推奨しているICRPモデルによる推定値より低いことが明らかになった。この結果は、大型再処理施設の安全審査におけるICRPモデルに基づく線量係数を用いた被ばく線量評価は、大きな安全裕度を有することが示された。

5. 閉鎖系陸・水圏実験施設における炭素等移行に関する調査研究

5.1 湿地生態系における炭素移行に関する試験

前年度までに、閉鎖系陸圏実験施設内に構築した湿地生態系において得られた炭素交換速度、植物バイオマス炭素量、土壤微生物バイオマス炭素量などのデータを基に、人工的湿地生態系における炭素移行・蓄積モデルを構築した。21年度は、このモデルによる炭素循環に関連する諸量の予測値と野外条件下での観測値との比較検証を行った。この結果、野外での観測値は空間的な変動が大きいものの、モデル予測値はその標準偏差内に収まることが確認された。これは、構築したモデルが湿地における短期的な炭素移行・蓄積を予測・評価する上で有効であることを示している。

5.2 海草群落生態系における炭素移行に関する試験

閉鎖系水圏実験施設のアマモ群落における主要な消費者（ウニ）及び腐植質食者（ナマコ）の固体レベルの炭素収支データを基に、アマモ群落生態系での炭素移行に関する基本モデルを構築した。さらに、海草群落のアマモの全炭素量、枯死量等についてのモデル予測値を実験データと比較し、モデルの検証を行った。このモデルにより沿岸海域のアマモ群落単位面積当たり堆積物への炭素蓄積速度は約0.022g/d、アマモ炭素量に対する見かけの移行率は、1.3%/d と推定された。この推定値は、これまでに報告されている観測値の変動範囲内である。

5.3 トリチウムの海産生物への移行に関する試験

前年度に引き続き青森県の太平洋沿岸海域に生息している海産生物を対象とし、海水から海産生物へのトリチウム移行について重水素 (D) をトレーサーとした試験を行った。21年度は、自由水型トリチウム (FWT) について、移行速度の塩分並びに水温に対する依存性を明らかにした。さらに、海産生物体内での有機結合型トリチウム (交換型及び非交換型OBT) の蓄積・排出を調査するため、Dをトレーサーとする実験・測定系を確立し、交換型OBTに関する基礎実験を行った。これらの実験結果を基に、次年度以降の調査を実施する。

6. 微生物系物質循環に関する調査研究

6.1 土壌における炭素の蓄積と放出の調査

バイオマスの再利用に伴う¹⁴Cの農耕土壌-大気間での挙動予測に資するため、¹³C標識稲ワラ等を用いて、水田土壌への稲ワラの鋤き込みや、畑地への稲ワラを材料とする堆肥の施用に伴う炭素蓄積に関する調査を行った。この結果、施用1年目の炭素残留率は水田で約50%、畑地では約60%であった。2年目以降の土壌中有機物の分解速度は遅く、水田で半減期約2年、畑地では半減期約3.5年と算出された。また、水田および畑地に施用された有機物中の¹⁴Cの極一部は、当該土壌で栽培された作物へ移行することが明らかとなった。

6.2 堆肥化による炭素挙動の調査

リサイクルバイオマスとして¹⁴Cを含む稲ワラを用いた堆肥化を行った場合の¹⁴Cの挙動を調べるため、¹³C標識稲ワラ及び家畜排泄物を用いて堆肥化し、含有有機物の組成並びに炭素残留率の経時変化を求めた。この結果、堆肥原料として再利用された稲ワラ中の易分解性有機物は、牛糞との堆肥熟成中に速やかに分解され、熟成日数30日で稲ワラ中の炭素残留率が50%程度に減少することが分った。また、畑地に施用された堆肥中の¹⁴Cは、難分解性有機物であるセルロース、リグニン及び一部が分解されたヘミセルロース中に残留すると推測された。

7. 低線量放射線の生物影響に関する調査研究

7.1 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/22 h/day、1 mGy/22 h/day、20 mGy /22 h/day) γ 線を約400日間連続照射したオス親マウスを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間交配によって孫 (F2) を得て、非照射対照群の仔・孫とともに、それら

を終生飼育して死亡マウスの寿命、死因、発がん及び遺伝子変異等を調べている。オス親マウスの照射は6回に分けて行っており、平成21年度末までに5回分（140匹）の照射を終了し、それぞれ3世代の繁殖データの収集、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。昨年度までに、20 mGy/ 22 h/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の減少傾向が認められた。また、寿命に関しては、20 mGy/22 h/day照射群の親世代オスマウス（合計101匹）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ており、21年度には解析数が増えた結果、20 mGy/22 h/day照射群の仔(F1)世代オスマウス（合計78匹）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。

低線量率放射線を長期連続照射したマウスの生殖細胞におけるゲノムの突然変異を検出する方法を確立するため、ポジティブコントロールとして、高線量率(900 mGy/min) γ 線を高線量(8000 mGy)照射したオス親マウス、非照射メス親マウス、及びそれらの交配によって得た胎子マウス、それぞれの組織から抽出・精製したゲノムDNAを用いて、オリゴマイクロアレイCGH法による突然変異検出法について検討を行った。その結果、オリゴマイクロアレイCGH法を用いた解析によって欠失や重複を示すコピー数の異常を照射群の胎子マウスで検出できた。今後、本法により低線量率（20 mGy/22 h/day） γ 線を高集積線量(8000 mGy)に達するまで長期連続照射したオスマウスの子孫におけるゲノムの欠失や重複を検出する計画である。

7.2 低線量放射線の生体防御機能に与える影響調査

低線量率放射線の長期連続照射が免疫系に及ぼす影響を明らかにするため、低線量率(20 mGy/22 h/dayおよび1 mGy/22 h/day) γ 線を長期連続照射したメスマウスの脾臓リンパ球の比率を調べ、同日齢非照射マウスと比較したところ、各リンパ球サブセット及びT細胞サブセットの構成比には、有意な変化が観察されなかったが、異系統マウスのリンパ球（アロ抗原）に対する長期連続照射したメスマウスのT細胞の増殖応答能が有意に低下していることを見出した。また、低線量率(20 mGy/22 h/day) γ 線を長期連続照射したマウスで、移植した腫瘍細胞の生着率が増加し、腫瘍細胞に対するリンパ球の増殖応答能が低下していることが分かった。これらの結果から、低線量率 γ 線の長期連続照射により、腫瘍に対する免疫機能が低下している可能性が示された。

低線量率放射線連続照射メスマウスの体重増加（組織の脂肪化）が起こる要因を明らかにするため、低線量率(20 mGy/22 h/day) γ 線を連続照射したメスマウスで体重増

加と卵巣の病変や機能の変化との関係を調べたところ、有意な体重増加が認められる時期に先立って、卵巣の著しい萎縮が認められ、非照射対照マウスに比べて早期の閉経が起こっていることが分かった。この結果から、低線量率 (20 mGy/22 h/day) γ 線を長期連続照射したメスマウスの体重増加には卵巣萎縮と閉経に伴うホルモンバランスの変化が密接に関与することが示された。

7.3 低線量放射線のがん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や遺伝子等への影響を明らかにするため、低線量率 (20 mGy/22 h/day) γ 線を連続照射したマウスにおける悪性リンパ腫のゲノム異常と遺伝子発現変化、白血病のゲノム異常、遺伝子発現変化と細胞分化段階を調べた。さらに、同様の低線量率 γ 線で連続照射中のマウスの脾臓組織リンパ球の遺伝子発現についても調べた。

悪性リンパ腫に関しては、低線量率 (20 mGy/22 h/day) γ 線を高集積線量 (8000 mGy) になるまで連続照射したマウス及び非照射マウスにそれぞれ発生した悪性リンパ腫の遺伝子発現パターンを比較した。その結果、*A1k*、*CD30*等の細胞表面受容体とその下流のシグナル伝達等に関与する遺伝子の発現増加を特徴とする悪性リンパ腫（ここではA群悪性リンパ腫と呼ぶ）が照射群に有意に多かった。また、A群悪性リンパ腫採取時のマウスの日齢は非A群悪性リンパ腫を採取したマウスに比べて若かったため、A群悪性リンパ腫は早期に発生した可能性がある。さらにA群悪性リンパ腫のゲノム異常をオリゴマイクロアレイCGH法で調べると、T細胞増殖因子受容体遺伝子 *Il2ra* を含む2番染色体動原体近傍領域の増加が多く観察され、この遺伝子の発現量も高いこともわかった。このことから、A群悪性リンパ腫の発生・進展には上記の遺伝子の他に *Il2ra* 遺伝子も関与している可能性がある。

白血病に関しては、低線量率 (20 mGy/22 h/day) γ 線を高線量 (8000 mGy) になるまで連続照射したマウスに発生した白血病細胞のゲノム異常と細胞分化段階は、高線量率・高線量 γ 線照射マウスの白血病とは異なり、2番染色体欠失頻度が少なく、未熟なリンパ球系の分化段階にあることがわかった。さらに白血病幹細胞の起源となる細胞を同定するために、白血病細胞を分画して同系マウスに移植し、白血病発症の有無を調べるとともに白血病を誘発した移植細胞を遺伝子発現プロファイルに基づいて分類した。高線量率・高線量照射マウスの白血病幹細胞が骨髄球系前駆細胞由来であるのとは異なり、低線量率・高線量照射マウスの白血病幹細胞の多くは、リンパ球系共通前駆細胞に近い性質を持つ細胞から発生していることがわかった。

低線量率 (20 mGy/22 h/day) γ 線を10, 40日間連続照射したマウスの脾臓T, Bリンパ球で、3つの遺伝子（細胞周期に関わる *p21* と *CyclinG1* 遺伝子並びに細胞死に関与する

*Bax*遺伝子) の発現量を調べた。*p21*遺伝子の発現量はTリンパ球では10日間の照射で、Bリンパ球では、10、40日間の照射でそれぞれ高い遺伝子発現が観察された。また*Cyclin G1*遺伝子は照射40日目のTリンパ球のみで、*Bax*遺伝子はT, Bリンパ球で照射40日目にそれぞれ発現量が増加した。これらの遺伝子発現量は、いずれも*p53*遺伝子欠損マウスでは照射しても増加しなかったため、低線量率照射でも高線量率照射と同様に*p53*の活性化が関わっていることがわかった。

8. 生物学的線量評価に関する調査研究

低線量率・低線量 γ 線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、I期調査で用いた線量率の1/20にあたる、低線量率(1 mGy/22 h/day) γ 線を最大約700日間連続照射(総線量は700 mGy)したマウスの脾臓細胞の転座型染色体異常頻度を調べた。これまでの観察では、I期で調査した低線量率(20 mGy/22 h/day)長期連続照射マウスと比べると、低頻度であった。照射開始日(56日齢)の値と比べて照射開始617, 720日目では異常頻度が急増し、クローンの出現頻度も増加した。

また、低線量率・低線量のトリチウム β 線のヒトリンパ球の染色体等への影響を調べる時の詳細な線量評価法を作成するには、取り込まれたトリチウムの細胞内分布を調べる必要がある。そこで、トリチウム標識アミノ酸を使用する前に、まずトリチウム非標識・蛍光標識アミノ酸をヒトBリンパ球細胞株の培養液中に添加して細胞質と細胞核ごとの分布を蛍光顕微鏡下で調べる実験を行った。この結果から細胞核へのアミノ酸の取込み効率は高いことがわかった。

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、環境と人体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18回実施し、前年度の報告会で紹介した内容を基に、環境と人体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下稿を作成した。また、調査研究内容の理解に資するため、放射性物質と放射線に関する説明を中心に、原子力施設の説明を織り交ぜた小冊子を作成した。

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

前年度運用を始めた先端分子生物科学研究センター第2研究棟では、照射室線量分布測定作業を終え、11月から動物照射・飼育実験を開始した。

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人員の見直しを行った。平成22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	: 4
総務部	: 11
技術・安全室	: 5
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	: 13
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

: 6（非常勤）
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外部の8機関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。