

平成20年度

事業報告書

〔 自 平成20年4月 1日
至 平成21年3月31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に関する調査研究-----	1
1. 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究-----	1
2. 放出放射能の環境分布に関する調査研究-----	1
2.1環境移行・線量評価モデルとパラメータの検証-----	1
2.2環境移行・線量評価モデルの高度化-----	1
2.3 パラメータの充実-----	2
2.3.1 放射性物質の形態間移行-----	2
2.3.2 作物葉面における挙動-----	2
3. 植物の元素集積性に関する調査研究-----	2
4. 閉鎖系植物及び動物・居住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 大気から作物への炭素移行モデルの作成-----	2
4.1.2 ウシにおける炭素移行データの収集-----	3
4.1.3 ヒトにおける炭素代謝データの収集-----	3
4.1.4 実験系の運用技術開発-----	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-----	4
6. 微生物系物質循環に関する調査研究（土壌における炭素の蓄積と放出の調査）-----	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-----	5
8. 生物学的線量評価に関する調査研究-----	6
Ⅱ. 放射性物質等の環境影響に関する普及啓発-----	7
Ⅲ. その他-----	8
1. 組織・体制等-----	8
2. その他-----	8

〔Ⅰ〕事業の概要

平成20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。その調査研究活動の一環として、低線量放射線発がん遺伝的影響に関する国際検討委員会を、六ヶ所村の文化交流プラザ「スワニー」において開催した。

〔Ⅱ〕事業の内容

I. 放射性物質等の環境影響に関する調査研究

県から受託した12件を、8項目17課題に分類し、課題ごとに成果の概要を報告する。

1. 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19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として針葉樹林を選び、そこに生息する小型哺乳類が受ける内部被ばく線量を推定した。

2. 放出放射能の環境分布に関する調査研究

2.1 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、施設から放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20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、尾駈沼湖水中で測定した ^{129}I 濃度をモデルの検証に用いた結果、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、他の核種についても放出源情報を基に、モデル・パラメータの検証を進める。

2.2 環境移行・線量評価モデルの高度化

大型再処理施設から放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20年度は、大気拡散過程の精度向上のために気象モデルを導入した。尾駈沼に関するモデルの高度化を図るため、「尾駈沼集水域放射性核種移行モデル」の栄養塩に関する部分及び「尾駈沼高次栄養段階生態系放射性核種移行モデル」の藻場の部分を構築した。更に、海洋放出口と尾駈沼河口域を含む六ヶ所沿岸海域モデルの基

本設計を行った。

2.3 パラメータの充実

2.3.1 放射性物質の形態間移行

放出放射性核種の環境中での移行を精度良く評価することを目的として、環境中における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）における形態間移行速度を求める。平成20年度は、土壌に添加したCs、Iの形態変化と植物吸収との関連を調査した結果、Iは添加する化学形により土壌植物間移行が変化した。また、野外から採取した汽水に添加したランタノイド、アクチノイド及びヨウ素の形態変化を調査したところ、いずれの変化も極めて迅速であることが判明した。

2.3.2 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、転流に対する湿度の影響を明らかにするため、安定Iの塩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、 IO_3^- の葉面吸収率はIに比較して極めて低かった。また、 IO_3^- の風によるウエザリングは認められなかった。

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）が高い栽培植物を選択するとともに、野生植物からそれらの元素濃度の高い植物を見出した。また、すでに得られているCs耐性を持つモデル植物の2株について、耐性を制御する遺伝子を決定した。更に、葉緑素合成系の酵素遺伝子をノックアウトした植物にCs耐性を認めた。これにより、環境中Csの浄化用組み換え植物を開発できる可能性が示された。

4. 閉鎖系植物及び動物・居住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 大気から作物への炭素移行モデルの作成

大型再処理施設から放出される ^{14}C 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、前年度までの試験に引き続き、ジャガイモと飼料作物に $^{13}\text{CO}_2$ をばく露し、生育時期による ^{13}C 固定量の違い、作物の成長における作物内の炭素転流の寄与を明らかにした。

また、前年度までに得られたイネ、コマツナ、ダイズおよびダイコンでの実験データに基づき、大気中の ^{14}C 濃度からイネ、葉菜、豆類および根菜の可食部中の ^{14}C 濃度を予測する数学モデルを構築した。

4.1.2 ウシにおける炭素移行データの収集

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、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、次年度の乳牛への¹⁴C移行係数に関する実験調査に反映させるため、前年度までに得られた小型反芻動物（ヤギ）における乳汁への炭素移行データに基づき、経口摂取された¹⁴Cの乳汁への移行を予測する数学的モデルの基本設計を行った。

4.1.3 ヒトにおける炭素代謝データの収集

平成18～19年度における糖質、たんぱく質摂取時の炭素代謝に引き続き、¹³C標識パルミチン酸並びに¹³C標識ラッカセイ油を用いて、脂質摂取時の炭素代謝試験を行った。被験者の呼気、尿、便および血液中の¹³C同位体比を8ヶ月間追跡することにより、炭素の短期及び長期の体外排出データを収集した。

また、前年度までに収集した試験データに基づき、経口摂取した¹⁴Cの人体内における残留量を、炭素の摂取形態（3大栄養素構成比）から予測する数学的な基本モデルを作成した。

4.1.4 実験系の運用技術開発

平成21年度に実施する大気-植物炭素移行モデルの有効性検証試験では、閉鎖系植物実験施設内の大気中¹³CO₂濃度を任意の値に調整する必要がある。このため、閉鎖系植物栽培室内の大気¹³CO₂/¹²CO₂濃度比の時間的・空間的変動を抑え、植物に供給するCO₂の $\delta^{13}\text{C}$ 値を十分な精度に調整する方法を確立した。

ウシと人における炭素代謝モデルの作成に必要な全排出炭素量を簡便かつ効率的に測定する方法として、閉鎖型生態系実験施設の廃棄物処理設備による排泄物中炭素量測定、並びに閉鎖系居住実験施設における人の呼気中CO₂ガス排出量測定の有効性を検証するとともに、及び最適な実験条件を求めた。

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

閉鎖系陸圏実験施設内に構築した湿地生態系において、生態系の炭素交換速度、植物の地上部および地下部のバイオマス炭素量、土壤微生物バイオマス炭素量などのデータが得られた。これらのデータを用いて、湿地生態系における炭素移行・蓄積基本モデルのパラメータを求めた。このモデルで計算された各炭素リザーバー量や、生態系呼吸速度などの変動予測値は、実測値と概ね一致した。また、生態系からのメタン放出量については、短期変動予測では違いがあったものの、長期変動予測ではよい一致が見られた。

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腐植質食者（マナマコ）の有機物消化率、堆積物への炭素移行に関連する有機物（枯死海草並びにウニ糞）分解速度、等のデータを得た。さらに、これまでに得られた個体レベルでのデータを基に、海草群落生態系での炭素移行に関する基本モデルを作成し、閉鎖系水圏実験施設内の海草群落におけるアマモの全炭素量、枯死量等についての予測値を実験データと比較した。

また、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関する試験を開始した。本年度は、自由水型トリチウム（FWT）について、D₂Oを用いた室内実験により海水-海産生物間における移行・交換速度を求めた。魚類以外の生物（ウニ、ナマコ、ホタテ等）では、魚類より速い交換速度が得られた。

6. 微生物系物質循環に関する調査研究（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-大気における挙動予測に資するため、¹³C標識稲ワラ等を用いて、収穫後の稲残渣の土壌への残留と鋤き込み、稲ワラを材料とした堆肥の施用などにより、土壌における炭素の蓄積と放出の調査を行った。

水田に鋤き込まれた¹³C標識稲ワラ中の炭素は、土壌中での有機物分解により、8ヵ月後までに約18%が二酸化炭素として大気中に放出された。また、鋤き込んだ稲ワラ中炭素が稲に再吸収される可能性が示された。

¹³C標識稲ワラと牛糞を主原料として堆肥を熟成する過程においては、稲ワラ中の有機物の分解は、牛糞中の有機物分解より約2.4倍速く、堆肥中炭素における稲ワラおよび牛糞由来炭素の寄与は、概ね1:2であった。熟成した¹³C標識堆肥が施された畑地では、施用後4ヶ月間で堆肥中の炭素の約17%が二酸化炭素として放出された。また、水田での稲と同様、堆肥中炭素の一部が栽培された植物（ニンジン）へと移行した。

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）

低線量率放射線の継世代影響を明らかにするため、低線量率（0.05 mGy/22時間/日、1 mGy/22時間/日、20 mGy/22時間/日；以下それぞれ0.05 mGy/日、1 mGy/日、20 mGy/日と表記） 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る。オス親マウスの照射は、各群180匹を6回に分け7年間で終える計画である。平成20年度末までに、4回分（100匹）の照射を終

了し、それぞれ仔と孫を含む3世代の妊娠率、出産匹数等繁殖データの収集、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。

また、生殖細胞遺伝子突然変異解析法を確立するため、高線量率(900 mGy/分)・高線量(8000 mGy)照射オス親マウス、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開始した。

7.2 低線量放射線の生体防御機能に与える影響調査

低線量率放射線の連続照射が免疫系に及ぼす影響を検討するため、低線量率(20 mGy/日および1 mGy/日) γ 線を連続照射したマウスの脾臓リンパ球の比率と増殖能の変化を経時的に調べ、同日齢非照射マウスと比較した。低線量率(20 mGy/日)・高線量(1000~8000 mGy) γ 線連続照射マウスでは、脾CD8リンパ球数の低下傾向、Th2リンパ球比率の増加、およびTリンパ球増殖能の低下が認められた。一方、低線量率(1 mGy/日)・中線量(400 mGy) γ 線連続照射マウスでは、このような脾臓リンパ球の変化は認められなかった。低線量率・高線量放射線照射による免疫細胞の比率や増殖応答能の変化は、免疫機能の低下あるいは変調につながり、寿命試験で認められた低線量率・高線量放射線照射マウスの早期腫瘍死や一部腫瘍の発生率上昇等にも関わっている可能性が考えられる。

また、寿命試験で認められた低線量率放射線連続照射マウスの体重増加の要因について検討した。低線量率(20 mGy/日) γ 線連続照射マウスでは、体重及び肝・脂肪組織中脂質含有量が、同日齢非照射マウスと比較して有意に増加した。さらに、ヒトの肥満、脂肪肝、糖尿病及び高脂血症に関連して変動することが知られている因子群が、照射肥満マウスでも変動することがわかった。この体重増加と組織の脂肪化は、摂餌量の増加によらないが、照射マウスの摂餌量あたりの体重増加量が、非照射マウスと比較して大きくなる時期が特定できた。一方、中線量率(400 mGy/日；以下400 mGy/日と表記) γ 線連続照射マウスでは、低線量率放射線連続照射の場合と異なり、摂餌量の減少、体重増加及び組織の脂肪化の抑制等の反応が認められ、放射線の脂質代謝機能に及ぼす影響が線量率によって異なることが示唆された。

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検討するため、悪性リンパ腫の遺伝子発現変化、白血病のゲノム異常と細胞分化段階、脾臓組織リンパ球の遺伝子発現についてそれぞれ調べ、高線量率あるいは中線量率放射線照射と比較した。

悪性リンパ腫に関しては、低線量率(20 mGy/日)・高線量(8000 mGy) γ 線連続照射マウス及び非照射対照マウスに発生した悪性リンパ腫の遺伝子発現変化を、マイクロアレイ法を用いて網羅的に調べた。その結果、照射マウスでは、シグナル伝達に関わる *Alk* 遺伝子の高発現と、細胞死に関わる *Bax* 遺伝子の低発現という特徴的な発現変化を示す悪性リンパ腫が、非照射マウスに比べて有意に多かった。同様な傾向が中線量率(400 mGy/日)照射でもみられるのかどうかについて今後比較を行う予定である。

白血病に関しては、低線量率(20 mGy/日)・高線量(8000 mGy) γ 線連続照射マウスから発生した白血病細胞のゲノム異常と細胞分化段階を解析した。その結果、マウスの放射線誘発白血病に特徴的な2番染色体欠失がみられず、リンパ球系前駆細胞への分化が認められ、2番染色体欠失を有し、骨髄球系前駆細胞への分化が特徴的であった。以上の結果から、線量率の違いにより、ゲノム異常と細胞分化段階が異なる造血幹細胞・前駆細胞から白血病細胞が発生してくる可能性が示唆された。

脾臓組織リンパ球の遺伝子発現に関しては、低線量率(20 mGy/日) γ 線を最大100日間連続照射したマウスの脾臓Tリンパ球の遺伝子発現量を調べた。その結果、p53依存的に発現する遺伝子のうち、*p21* 遺伝子の高発現が観察されたが、中線量率(400 mGy/日)照射マウスの脾臓Tリンパ球と異なり、*Cyclin G1*等遺伝子の発現量増加はみられなかった。以上の結果から、線量率の違いによりp53による遺伝子制御機構が異なる可能性が示唆された。

8. 生物学的線量評価に関する調査研究

低線量率・低線量放射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期調査の1/20にあたる、低線量率(1 mGy/日) γ 線長期連続照射マウスの脾臓細胞に生じた染色体異常頻度について調べた。その結果、二動原体異常頻度と転座型染色体異常頻度のいずれもI期調査の低線量率(20 mGy/日)長期連続照射マウスの染色体異常頻度より低かった。クローンの出現は、これまでのところ(300日間連続照射終了時点;集積線量300 mGy)認められていない。また、低線量率トリチウムベータ線のヒトリンパ球の染色体への影響を調べるため、必要な培養技術等の検討を行った。

Ⅱ. 放射性物質等の環境影響に関する普及啓発

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、放射性物質の環境と人体中での動きを評価する計算モデル、染色体異常から被ばく線量を推定する生物学的線量評価等について紹介した。

説明活動は県内で17回実施し、前年度の報告会で紹介した内容を基に、青森県内の環境中の自然放射線と天然放射性物質及び低線量放射線の生物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、用語解説のページを制作し、紹介している調査内容を理解し易くするとともに、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他、放射線に関する基礎知識をまとめたパンフレットを作成した。

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

1. 組織・人員等

平成21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。

1) 役員

理事長（非常勤）	: 1
専務理事（常勤）	: 1
常務理事（常勤）	: 1
理事（常勤）	: 3
理事（非常勤）	: 9
監事（非常勤）	: 2

2) 職員

所長	: 1（専務理事兼務）
特任相談役・調査役	: 3
総務部	: 10
技術・安全室	: 7（内非常勤2）
広報・研究情報室	: 3
環境動態研究部	: 16
環境シミュレーション研究部	: 16
生物影響研究部	: 13
先端分子生物科学研究センター	: 1（兼務17）

3) 特別顧問、技術顧問、相談役 : 5（非常勤）

常勤役員	5名
常勤職員	67名
計	72名

2. その他

六ヶ所村からの依頼により、田茂木沼の水質調査を実施した。