

平成29年度科学研究費補助金「新学術領域研究  
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「福島原発事故により放出された放射性核種の  
環境動態に関する学術的研究」

(領域設定期間)

平成24年度～平成28年度

平成29年6月

領域代表者(筑波大学・アイソトープ環境動態研究センター・教授・恩田 裕一)

# 目 次

1. 研究領域の目的及び概要	6
2. 研究領域の設定目的の達成度	8
3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	11
4. 審査結果の所見及び中間評価で指摘を受けた事項への対応状況	12
5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	14
6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧，ホームページ，公開發表等）	17
7. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	23
8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用，研究費の効果的使用を含む）	25
9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	32
10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	33
11. 総括班評価者による評価	34

**研究組織** (総括：総括班, 計画：総括班以外の計画研究, 公募：公募研究)

研究 項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成 員数
X00	24110001 領域研究の支援・推進と 統括	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	恩田 裕一	筑波大学・生命環境系・教授	10
A01 計	24110002 放射性降下物大気輸送 モデリングと移行過程 の理解	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	中島 映至	国立研究開発法人宇宙航空研究開発 機構・第一宇宙技術部門・センター 長	13
A02 計	24110003 放射性物質の大気沈着・ 拡散過程および陸面相 互作用の理解	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	五十嵐 康人	気象庁気象研究所・環境・応用気象 研究部・室長	31
A03 計	24110004 海洋および海洋底にお ける放射性物質の分布 状況要因把握	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	山田 正俊	弘前大学・被ばく医療総合研究所・ 教授	29
A04 計	24110005 海洋生態系における放 射性物質の移行・濃縮状 況の把握	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	神田 穰太	東京海洋大学・学術研究院・教授	18
A05 計	24110006 水・土砂移動に伴う放射 性物質の移行過程の理 解	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	恩田 裕一	筑波大学・生命環境系・教授	16
A06 計	24110007 陸域生態系における放 射性物質の循環過程の 理解	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	竹中 千里	名古屋大学・生命農学研究科・教授	17
A07 計	24110008 移行に伴う放射性物質 の化学形態と微量分析 技術の開発	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	山本 政儀	金沢大学・名誉教授	11
A08 計	24110009 様々な化学形態におけ る放射性物質測定およ び技術開発	平成 24 年度 ～ 平成 28 年度	篠原 厚	大阪大学・理学研究科・教授	24

統括・支援・計画研究 計 9 件

A01 公	25110502 福島原発事故由来の硫黄放射性同位体モデルを用いた硫酸塩エアロゾルの動態の解明	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	吉川 知里	独立行政法人海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・技術研究員	1
A01 公	25110510 放射光ナノビーム X 線分析による大気粉塵中の放射性物質の起源解明	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	中井 泉	東京理科大学・理学部・教授	1
A02 公	25110505 福島県河口域の放射性セシウムの移動と堆積状況の把握	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	張 勁	富山大学・理工学研究部(理学)・教授	1
A02 公	25110508 放射性核種の海域移行定量化に向けた統合型河口・浅海域土砂輸送解析システムの開発	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	内山 雄介	神戸大学 大学院・工学研究科市民工学専攻・教授	1
A02 公	25110511 最適内捜法による人工放射性核種の海洋汚染の実態解明	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	猪股 弥生	金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授	1
A03 公	25110501 放射性物質の都市河川および都市沿岸域における挙動把握	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	鯉淵 幸生	東京大学・新領域創成科学研究科・准教授	1
A03 公	25110503 粒径分布に着目した土壌流出現象の実験的検討と物理モデルの開発	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	木内 豪	東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・教授	1
A03 公	25110504 反応速度論に基づく水生生物のセシウム摂取モデルの開発	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	吉村 千洋	東京工業大学・土木工学科・准教授	1
A03 公	25110506 福島第一原発周辺に分	平成 25 年度 ～	福土 圭介	金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授	1

	布する土壌粘土鉱物によるセシウム脱離予測モデル	平成 26 年度			
A03 公	25110507 放射性セシウムの樹幹内における分布と存在形態の動的解析	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	福島 和彦	名古屋大学・生命農学研究科・教授	1
A03 公	25110509 農産物を介した福島原発事故由来の人工放射性核種の環境動態と内部被ばく評価	平成 25 年度 ～ 平成 26 年度	平良 文亨	長崎大学・国際保健医療福祉学研究分野・客員准教授	1
B01 公	15H00974 初期の 3 次元的詳細気象データに基づく放射性核種沈着プロセス推定	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	谷田貝亜紀代	弘前大学・理工学部地球環境学科・准教授	1
B01 公	15H00978 放射光複合 X 線分析による福島第一原発事故由来の放射性物質の特性化	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	中井 泉	東京理科大学・理学部第一部応用化学学科・教授	1
B02 公	15H00968 Study of stable cesium for long-term	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	Yoschenko Vasyl	福島大学・環境放射能研究所・特任教授	1
B02 公	15H00969 森林に降下した放射性セシウムの初期遮断率の広域評価	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	加藤 弘亮	筑波大学・生命環境系・准教授	1
B02 公	15H00970 間伐施業が森林生態系の放射性セシウムの循環に及ぼす影響の定量的評価	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	高橋 純子	筑波大学・生命環境系・助教	1
B02 公	15H00975 セシウムと植物成分の相互作用解析ならびに物理的・化学的吸脱着過程に関する研究	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	福島 和彦	名古屋大・生命農学研究科・教授	1

B03 公	15H00971 都市域および都市沿岸域における放射性物質の動態解明	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	鯉渕 幸生	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授	1
B03 公	15H00972 網羅的分析アプローチによる自然水中での放射性セシウムの存在形態と溶出機構の解明	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	吉村 千洋	東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授	1
B03 公	15H00973 汽水域での河川－海洋相互作用を考慮した放射性セシウムの移行プロセス解析	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	張 勁	富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授	1
B03 公	15H00977 放射性核種の海域移行評価に向けた懸濁態・溶存態セシウム同時輸送解析システムの開発	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	内山 雄介	神戸大学・工学研究科市民工学専攻・教授	1
B04 公	15H00976 福島原発事故に関する放射線測定メタデータベース構築と初期被曝推定	平成 27 年度 ～ 平成 28 年度	伊藤 好孝	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授	1
公募研究 計 22 件					

## 1. 研究領域の目的及び概要（2ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

平成23年3月11日の大地震および津波を契機として、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生した。原子炉施設から放出された放射性物質は、福島県とその周辺地域をはじめ、東日本の広域に飛散・沈着した。放射性物質による影響は、初期の気象条件や地形、地表面の被覆状態等により特異な分布を示した。その後、地表面に降り積もった放射性物質の再飛散や、放射性物質を吸着した土砂の移動にともなう河川、湖沼、海洋への移行、森林・農作物、陸域・海洋生物への移行が問題となり、短期予測や除染などの対策基盤策定のための調査から、長期予測を視野に入れた学術研究の必要性が高まっている。一方で、放出された放射性物質は大気の輸送拡散

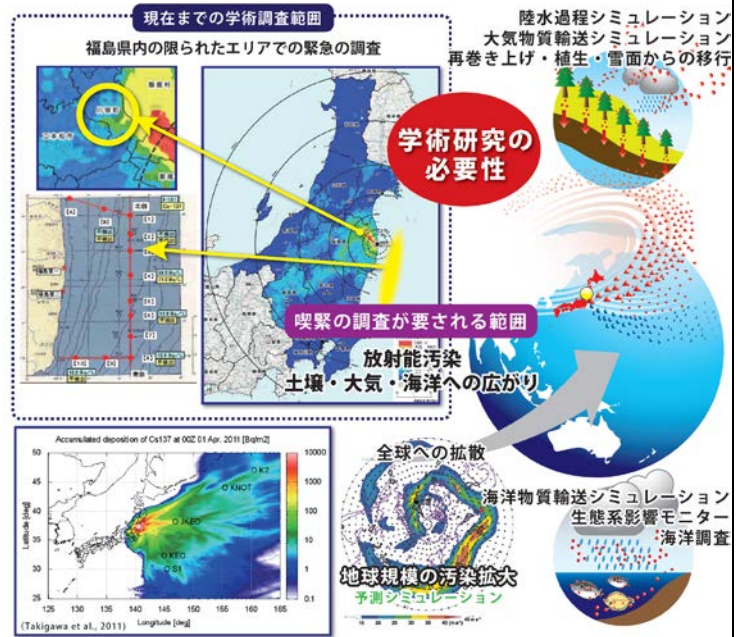


図1 環境中の放射性物質移行の学術研究の必要性

過程により全球に拡散しており、事故当時からどれほどの放射性物質が環境中に放出されたかを明らかにし、またその移行過程についての学問的知見を国際的に発信することが我が国の責務である（図1）。

本領域研究の目的は、オールジャパン体制で放射性物質の拡散・輸送・沈着・移行過程を同定し、その実態とメカニズムを解明すること、及びそれに基づいて長期的な汚染状況の予測と被ばく線量の低減化のための方策を提示することである。しかし、環境中に放出された放射性物質は、これまでに、大気・海洋・陸域での物理化学過程や生態系での移行・濃縮などの様々な移行が進行しているため、その影響や相互作用は多岐にわたる。そのため、この放射能汚染は、既存の学問分野の単独的な取り組みでは解決できない複合的で未曾有の問題であり、地球環境科学の多くの分野に放射化学や放射線計測技術の分野などを加えた、分野横断的で新しい学問領域を創設して取り組むことが必要である。さらに、化学の専門チームを備えた新領域を形成することにより、公募研究を含めた新たな分野を創生することに意義がある。

以上を踏まえて、本領域研究では、研究項目を4項目（**項目 A01** ～ **項目 A04**）に区分したうえで、各項目が協働で研究を深化させ、相互にフィードバックを図れるように8つの計画研究を設定した（図2）。

**項目 A01**では、放射性物質の大気中への影響に注目し、放射性物質の大気循環モデリングと拡散・沈着過程の解明により、大気—陸面相互作用の理解を目指す。**項目 A02**では、放射性物質の海洋への影響に着目し、海洋及び海洋底における放射性物質の分布状況と移行要因の把握、および海洋生態系への移行・濃縮状況の把握を目指す。**項目 A03**では、放射性物質の陸域での移行に着目し、水・土砂移動にともなう移行過程の理解と森林をはじめとする陸域生態系での放射性物質の移行・循環過程の理解を目指す。**項目 A04**では、移行に伴う放射性物質の存在形態の解明および測定技術の開発に着目し、さまざまな化学形態における放射性物質測定技術の開発を目指す。

大気拡散モデルである SPEEDI は、原子力発電所からの放射性物質放出という緊急事態に、周辺環境への影響を迅速に予測するシステムとして備えられてきたが、その数値シミュレーション結果の学術研究利

用における道筋は明らかでない。他方、汚染物質の全球大気拡散モデルは、国内の複数のモデルグループが有し、この度の事故にともなうシミュレーション結果を報告している。しかし、事故当初の原子炉からの放射能放出の時刻や規模、原発周辺の詳細な風向や降水等の気象条件が明らかでないことと、複雑な地形にともなう気流系・降水の正確な表現に至っていないため、従来の大気モデルでは、事故当時の地域的な放射性物質の降下の

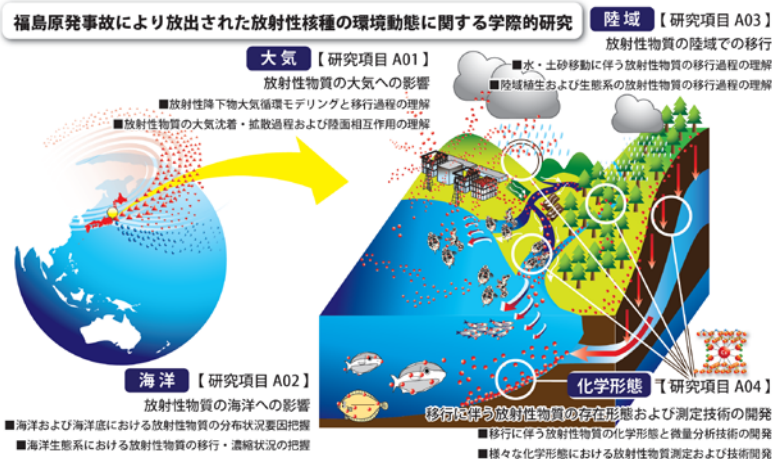


図2 本領域研究の研究体制

再現や長期的な予測は難しい。観測データとシミュレーション結果の比較による検討が必要である。

海洋についての観測データは圧倒的に少なく、特に大気経由の海洋への放出量については、大気輸送・沈着モデルと海洋中での分布・移行データの双方から解析することが必要である。さらに、水中の溶存態あるいは有機物等を介した海洋・淡水生物への移行・濃縮など、大気－土壌－河川－海洋での放射性物質の発生源や輸送経路、生態系循環への取り込みといった一連の移行過程を理解するには、地球環境科学の多くの分野に、放射化学や放射線計測技術分野などを加えた分野横断的な協力や連携無くしては解決出来ない。森林における放射能汚染に関しては、これまでの実態調査から、樹体に吸着した放射性物質は、雨水や落葉とともに徐々に地表に降下し、移行が開始していることがわかってきた。チェルノブイリの知見から、森林では約1年で放射性物質が樹体から土壌へと移行し、その後再び樹木に吸収されるという「循環」が始まる。こうした放射性物質の移行による環境の二次汚染の広がり、および農作物や飲料水への影響は、住民や産業に極めて深刻な被害を引き起こす。チェルノブイリ周辺と全く異なった地形・地質・気候環境における福島において、除染の優先順位や、山林のすそ野に住宅を建て、森林を生活圏の一部としてきた住民の今後の帰還を考える際、こうした放射性物質の移行を予測することが最重要課題である。

以上のように、この放射能汚染という問題は、各学問分野の単独的取り組みでは解決できない複合的で未曾有の問題であるが、同時にその解決に向かい研究者が英知を結集させ、その我が国の学術的水準のさらなる向上につなげていくことは、科学者としての責務である。住民生活の安全確保に寄与し、さらに事故当時国としての責務を果たすためには、放射化学や放射線計測技術の分野などを加えた分野横断的で新しい学問領域を創設して取り組むことが不可欠である。また、福島原発事故およびその後の経過は世界の注目するところで、国外への情報発信が必要であり、それに加えてチェルノブイリ原発事故との関連においてヨーロッパを始めとした各国との国際的連携は問題解決を促進するものと考えられる。こうした一連の学際的で国際的な取り組みを深化していくことにより、今後の我が国における学際的研究への模範的事例を提示することができると思われる。とくに若手研究者の本領域研究への参画を奨励し、経験を積ませることは、我が国における次世代の学術的水準を確実に向上させるものと信じる。

本領域研究を行うに当たって、代表者はこれまでの放射性物質の環境動態研究の経験、そして地球環境科学における学際的研究事業における経験を最大限に活用する。代表者はこれまでにグローバルフォールアウトによる<sup>137</sup>Csの挙動を指標として土砂や水の移動を研究してきた経験があり、今回の事故に伴う政府系の緊急調査では、<sup>137</sup>Csに関する長年の観測実績が、福島県の計画的避難地域の放射性物質が吸着した土壌や植生からの移行調査に活かされ、文部科学省への報告書の提出のほか、行政関係者にも指導的立場に立っている。これらの経験を活かし、計画研究班間の協働を深化させ、全体会議によるフィードバックをはかることにより、放射性物質の生態影響評価と将来予測を提示することを目指す。



## 2. 研究領域の設定目的の達成度（3ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目ごとの状況も記述してください。

### [研究項目 A01] 放射性物質の大気への影響

○大気輸送モデル整備・高度化（**A01-1班**担当，**A01-2班**，**A04-7班**，**A04-8班**との連携） **達成度 80%**

合計 25 種類以上の領域大気，全球大気，海洋モデルを用いてシミュレーションを実施し，各モデルによる  $^{137}\text{Cs}$  沈着の時系列変化は実測値と整合的でよく再現できていたが，総沈着量は航空機モニタリングによる実測値と差があり，精度向上のため気象場，排出シナリオの改善，放射性物質の微物理特性および沈着・再巻き上げ過程に関するモデリングを行った。 $\beta$ 線吸収浮遊粒子状物質（SPM）自動測定器の使用済みテープろ紙の分析・解析を行い，実測値とモデル値の比較により再現性の向上を果たし，本手法の有用性を示した。また放射性物質の広域分布特性の再現と将来予測のため  $^{131}\text{I}$  などの核種についても合わせて全球への拡散シミュレーションを行い，広域輸送の評価し，得られた研究結果を基に，点状発生源型の甚大な大気汚染問題のためのモニタリングシステムのデザインを行った。さらに逆解析による放出量推定，マルチモデルアンサンブルにより，モデルの高度化を行った。

○土壌・生態系に沈着した放射性物質の再飛散プロセス解明（**A01-2班**主担当，**A03-5班**，**A04-7班**，**A04-8班**，**公募研究班**と連携） **達成度 85%**

大気エアロゾル粒子試料の組織的収集を汚染地域で行い，計約 5 千試料の分析を行った。その結果，再飛散発生源は，森林生態系からの発生可能性や季節変動性があるなど，極めて複雑であることが判明した。汚染地域での観測およびフラックスの定式化 1D 飛散モデルを開発した。さらに，福島第一原発からの遅れた漏えいも含め，バイオエアロゾル再飛散と沈着の収支解析・森林からの放出モデル化を行い，収支を解明した。その結果，漏えいのごく小さく，夏季森林からの再飛散の重要性が判明した。放射性物質の滞留半減期とその要因解明，沈着直後の再飛散率の解明なども達成した。このほか，原子炉内での中性子放射化で生成した硫黄同位体  $^{35}\text{S}$  の観測，輸送モデル開発を達成した。

○一次放出の物理・化学・同位体性状解明と湿性沈着メカニズムの解明（**A01-2班**主担当，**A01-1班**，**A04-8班**，**公募研究班**と連携） **達成度 85%**

2011 年 3 月 14,15 日のフィルター試料について，イメージングプレートや SEM-EDS による可視化等で，非水溶性の粗大球状 Cs 粒子の存在が明らかになるなど，極めて新規性の高い発見が得られている。SPRing-8 での分析（元素マッピング）で Zn, Fe, Cs に加え，Ba, Rb, Zr などの核生成性物質由来と考えられる元素が検出された。これらの，粗大球状 Cs 粒子の特性を組み込んだ高解像度モデルによる沈着量計算等を行った。さらに，Cs 粒子の内部構造解明や，福島第一原発に比較的近い領域の土壌試料から初めて不溶性 Cs 粒子の単離に成功し，同粒子の地理的な分布に関しての手がかりを得た。

### [研究項目 A02] 放射性物質の海洋への影響

○海水中の放射性物質の分布と移行過程（**A02-3班**主担当） **達成度 90%**

東電福島第一原発事故で放出された核種のうち主要な核種である放射性セシウム（ $^{134}\text{Cs}$  および  $^{137}\text{Cs}$ ）の河口域から外洋域までの海洋内部への配分について観測およびモデル研究によって明らかにしその長期挙動を解明した。北太平洋中部での黒潮および黒潮続流域では大気から降下した放射性セシウムと直接漏洩した放射性セシウムは，海流によって北太平洋中緯度域をおよそ一日当たり 7 km の速度で東に輸送され，事故後一年で太平洋中央部日付変更線に達した。モデルシミュレーションによる再現計算でも表層においては北太平洋で観測された放射性セシウムの輸送の様相と良好な一致を示した。

事故直後に黒潮・黒潮続流のすぐ南側に大気沈着した放射性セシウムは，2011 年 3 月に同海域で形成されていた北太平洋亜熱帯モード水の沈み込みに伴って亜熱帯域の亜表層（深度約 200-400m）を南に運ば

れ、2012年1月には北緯20度まで到達した。また、北太平洋で測定された事故起源放射性セシウムの観測データを取りまとめた。事故起源放射性セシウムは、主に3つの経路（表層、亜熱帯モード水、中央モード水）で北太平洋に広がっており、それぞれの経路による放射性セシウムの移行量を推定した。

○粒子による放射性物質の沈降除去過程（**A02-3班** 主担当，**A01-1班**，**A01-2班**，**A02-4班**と連携）**達成度 90%**

海中粒子による放射性物質の鉛直／水平輸送および除去過程の解明のために時系列式セジメントトラップを活用し、人工放射性核種の溶存態と粒状態との存在比、粒状態での存在形態、粒状態物質の輸送状況等について解明した。福島第一原発の南東沖約100 kmの大陸棚斜面における時系列式セジメントトラップセジメントトラップに捕集された<sup>134</sup>Csは、海洋表層から鉛直的に沈降したものに加え海中を水平的に移動したものを多く含むと推測された。また、懸濁質海洋分散解析モデルを開発し、懸濁質輸送解析を行った。新田川起源懸濁態<sup>137</sup>Csの海洋分散及び海底堆積物の時空間変動特性についてもモデル解析を行った。さらに数値モデルを用い、福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性物質濃度の時空間分布の再構築を行った。領域海洋スケールの福島沖合モデルと北太平洋モデルを構築し、海洋への放射性物質の直接漏洩率の推定と挙動評価及び北太平洋スケールのシミュレーションで2011年から2016年まで北太平洋の<sup>134</sup>Cs濃度の再現計算を行った結果、再現性は概ね良好であることが分かった。

○海洋生態系における放射性核種の分布と動態と経時変化（**A02-3班**，**A02-4班** 主担当，**公募研究班**（猪俣）と連携）**達成度 90%**

放射性セシウムを主な対象に、海洋生態系における放射性核種の分布と動態について経時的なデータを取得した。福島沿岸域については2011年7月以降、年に2回の観測を通して十分なデータセットを得た。また外洋域の動物プランクトンについても複数の海域で貴重な時系列データを得た。

○海洋生態系での放射性物質の移行の経路・メカニズムの解明（**A02-4班** 主担当，**A02-3班**，**A03-5班**，**A03-6班**，**A04-7班**，**公募研究班**（内山）と連携）**達成度 90%**

海洋環境の放射能が一般的に速やかに低下する中で、比較的高いレベルの放射性物質が食物連鎖経由で供給され続けている可能性の検証を中心に、堆積物からの移行、福島第一原子力発電所や陸域からの継続供給などを検討した。特に放射性セシウム濃度の低下が著しく遅れていた岩礁性の底生魚に重点を置いて検討した結果、懸濁・沈降粒子や堆積物の有機物画分等からの食物連鎖を通じた移行の影響は小さいことを確認できた。また沿岸域においては高線量粒子の出現頻度が高いことが明らかになり、その影響についても検証した。以上のデータセットとプロセス解析の結果から、放射性セシウムの移行モデルを構築し、沿岸生態系内の放射性セシウムの推移を再現することができた。一方、全体的に放射能レベルが著しく低下する中で、沿岸域においては放射能レベルが高い陸域からの供給の影響、外洋域においては動物プランクトン放射能の低下が遅れているについての検証が課題として残されている。

#### [研究項目 A03] 放射性物質の陸域での移行

○森林から水・落葉を通じた放射性物質の環境への移行とモデル化（**A03-5班**，**A03-6班** 担当，**A01-2班**，**A03-5班**，**A03-6班**，**A04-7班**，**A04-8班**と連携）**達成度 90%**

チェルノブイリ原発事故の際には十分なデータのない、森林環境内での放射性セシウムの移行状況の解明を行った。初期セシウム沈着量が異なる3地域（福島・山木屋＞栃木・那須＞栃木・佐野）の森林において、森林樹冠から林床への移行量の観測を行った結果、放射性物質濃度の低減傾向が二重指数関数モデルで再現できることが解明された。その一方で、濃度の低下傾向が、地点によって異なることが判明したため、樹木からの溶出と吸収に関し、化学形態の解明を行った。さらに、セシウムの再飛散量が、森林から比較的多く認められたことから、樹冠での雨水遮断と雨滴飛沫の発生プロセスの観測を行った。

○森林生態系での放射性物質の移行（**A03-6班**，**A03-5班** 担当，**公募研究班**（福島）と連携）**達成度 90%**

森林と里山の生態系において、要素間および要素内での放射性物質の動態の定量的把握とそのメカニズムの解明を目的とした。樹木、リター、動物・昆虫、土壌生物、腐葉土および有機質肥料、モデル植物を用いた植物生理学的実験、モデル構築という流れで放射性セシウムの循環モデルを構築し、その妥当性を検証することを目標としており、ほぼ達成することができた。

○地下水、湧水への移行状況調査 (A03-5 班) 主担当, (A03-6 班, A04-7 班) と連携) 達成度 80%

小流域において、浮遊砂、粗大有機物を採取し、放射性セシウム濃度の時間変化傾向を確認した。山木屋サイトにおいて、地下水においてはセシウム濃度がきわめて低いことが明らかになった一方、渓流水中の放射性セシウムの低下速度は、地下水よりも緩やかなことが明らかになった。

○放射性核種の河川・湖沼・海洋への流出量とモデル化 (A03-5 班) 主担当, (A02-3 班, A02-4 班, A04-7 班, モスクワ州立大学, 公募研究班) (内山) と連携) 達成度 90%

各種の公表データをとりまとめ、流出土砂の放射性セシウム濃度およびその時間変化をモデル化し、放射性セシウム沈着量の時間変化予測を可能とした(公募研究班(木内))。これらの実績を基に、新田川を対象に、土壌-河川-海洋での合同調査を行った(A02-3 班, A02-4 班, A04-7 班, モスクワ州立大学と連携)。また、フランス LSCE との共同研究によりセシウム及び  $^{110m}\text{Ag}$  を用いた土砂の供給源の推定や、河川敷内での堆積状況や、海洋への輸送量を計算した(公募研究班(内山))。一方、関東地方の都市河川では、福島河川とは異なる出水時のセシウム濃度変化が認められた(公募研究班(鯉淵))。霞ヶ浦での調査から、湖沼へのセシウム流入フラックスの推定および魚介の放射性セシウム濃度の推定法を開発した。

#### [研究項目 A04] 移行に伴う放射性物質の存在形態および測定技術の開発

○様々な核種の放出・沈着素過程および沈着後の存在形態解析に基づく移行挙動予測 (A04-7 班, A04-8 班) 主担当, (A03-5 班) と連携, (ウクライナ気象水文研究所) と協力) 達成度 80%

「プルトニウムなどのアクチノイド諸核種の分析と挙動解析」, 「原発から 40-50 km 範囲の黒い物質などに含まれる U, Pu, Am, Cm 同位体の定量による放射性核種の放出過程解析」, 「加速器質量分析計による  $^{236}\text{U}$  などの分析と新規海洋トレーサーの開発」, 「質量分析計による不溶性 Cs 粒子中の Cs・U 同位体比の分析」, 「大気環境を記録したテープろ紙 (SPM) 中の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{129}\text{I}$  の分析による放射性核種の放出過程解析」などを進めた。これらは放射性核種放出の初期過程や拡散・沈着過程の理解に重要な手がかりを与える。また「放射光 X 線吸収微細構造 (XAFS) 法を用いた環境試料 (エアロゾル, 土壌, 堆積物, 植物) 中の Cs・I の存在形態の推定」, 「河川-河口-海水系での Cs の吸脱着反応のイオン交換モデルによる定式化」, 「RIP の地域性や表面積・有機物・鉱物組成などの影響のモデル化」などの研究を進めた。これらは、Cs や I の環境動態に物理化学的根拠を与え、その移行挙動モデルの精緻化に貢献する。これらは、放射性微粒子やエアロゾルの分析 (A01-1,2 班), 海水・沿岸堆積物 (A02-3,4 班), 土壌・河川水・河川堆積物・懸濁粒子・リター (A03-5,6 班) などとの活発な共同研究や分析支援に繋がった。

○微量な放射性核種の定量を可能とする高感度測定法の開発と応用 (A04-8 班) 主担当, (A02-3 班, A01-1 班, A04-8 班) 連携) 達成度 80%

難測定核種の中で重要な  $^{90}\text{Sr}$  について、迅速分析法を確立し、それによる科学的成果も得た。その他 Pu, Am についても迅速分析法を開発した。特に、 $^{90}\text{Sr}$  については緊急事対応の測定マニュアルの作成を行いまとめるなど、十分成果が得られた。不溶性粒子探索と微量核種分布測定の目的を含め、5 年後の汚染状況の経時変化を調べるために、H28 年度に帰還困難区域を中心として土壌試料収集を行った。 $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$  と空間線量について分析した結果、経時変化について貴重な情報が得られた。現在、炉内事象や被曝評価に大きく関わる不溶性粒子のインベントリを明らかにするべく粒子測定に取り組んでいる。

○総括班測定支援チームの活動 達成度 100%

放射線測定技術の向上、標準化、測定支援は想定通り達成できた。

### 3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1 ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

#### 問題点 1 バイオエアロゾルの専門家の不在

(A01-2 大気陸面班) 二次放出の解明過程において森林生態系からの真菌類を中心としたバイオエアロゾルの関与の可能性に気付いたが、A03-5,6 班を含め ISET-R 領域内部にはバイオエアロゾルの専門家が不在であり、また森林生態系から系外へのエアロゾル放出・輸送についての知見は我が国には極めて乏しい。

#### 問題点 1 に対する対策 専門家の招へい

2015 年に領域外から専門家を招きいれてデータ解析、蛍光顕微鏡や遺伝子解析手法を用いた観測に加わってもらった(牧金沢大准教授を研究協力者とした)。この観測の結果からバイオエアロゾルの Cs 二次放出への関与に関し確信を深め、森林生態系からの二次放出発生源解明に寄与できた。

#### 問題点 2 放射能の分散による解析上の障害

(A02-4 海洋生物班) 沿岸域のプランクトン試料、堆積物試料、懸濁粒子・沈降粒子試料のいずれにおいても、同一地点で同時に採取した試料間の放射能の分散が大きく解析上の障害となっていた。

#### 問題点 2 に対する対策 高線量粒子についての知見の適用・専門研究分担者の追加

エアロゾル、陸上土壌等で見いだされた高線量粒子についての知見を適用することで高線量粒子での放射能データの偏差を相当程度説明できることが示された。生態系放射性物質移行モデルを専門とする研究分担者(電力中央研究所・立田穰)の追加によりモデル研究が大幅に進展した。

#### 問題点 3 除染による観測上の障害

(A03-6 陸域生態班) 定点観測をおこなっていた地点に除染作業が入り同じ条件での継続的なデータ収録ができなかった。

#### 問題点 3 に対する対策 視点の切り替え

除染の効果という視点でデータをとり論文としてまとめることとした(投稿中)。

#### 問題点 4 研究体制の強化の必要性

(A04-7 化学形態班) 化学的な存在形態の分析の強化・放射性微粒子の研究の推進の必要性があった。

#### 問題点 4 に対する対策 研究体制の強化

化学的な存在形態の分析の強化のために 2 年目にメンバーを追加した(高橋嘉夫)。また物理化学的モデル化を進めるために最終年度にメンバーを追加した(福土圭介, 山崎信哉)。また放射性微粒子を対象にすることが重要なポイントとなったため最終年度にはこの研究の推進のために博士研究員(栗原雄一)を雇用し研究体制の強化を図った。

#### 問題点 5 環境中の存在状態分析法の開発における課題と対応

(A04-8 測定技術開発班) 存在状態については、その研究手段自身が存在しない。

#### 問題点 5 に対する対策 新しいアプローチの推進

微量核種を含む多種類の放射性核種の分布とそれぞれの化学的性質の関係、模擬燃料の気化実験、人工エアロゾルへの付着過程などの研究を連携することで解明を目指す新しいアプローチを進めた。一方で Cs ボールと呼ばれる不溶性の微粒子上の存在形態が発見された(A01-2 班: Scientific Reports, Adachi *et al.*)。その生成過程も含む発生時のメカニズムの解明は炉内事象解明や環境動態や被曝評価に重要であると考え、特に期間後半は A01-02 班と緊密な連携を図る体制をとり前者の研究に優先して後者の研究を進めた。

#### 4. 審査結果の所見及び中間評価で指摘を受けた事項への対応状況（2ページ程度）

審査結果の所見及び中間評価において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

##### <審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況>

###### 研究項目：X00

「一般国民の注目が高いテーマであり、外へ向けた情報発信の努力がなされており一定の評価はできるが、更なるアウトリーチ活動を期待する。」との所見を受け、これまでの成果をまとめた書籍を出版予定である。また年間来場者数 100 万人以上を誇る日本科学未来館との連携を図り、常設展示を行うことに加え、H30 年 3 月 10-11 日には一般向けのシンポジウム開催を予定している。

###### 研究項目：A01

「モデル間に見られる結果のばらつきの原因究明を進めるとともに、放射性降下物の大気輸送および沈着過程の理解に向けてシミュレーションの精度向上を図っていただきたい。」との所見を受け、モデル比較とアンサンブル解析を進め、精度向上を図った。

「二次放出過程を理解すべく、観測の強化、モデルの構築という方向性が示されている。」これに関して、二次放出過程の解明のため、汚染地域での観測からダストフラックスの定式化を行い、またエアロゾルの現場観測データの解析を行った結果、現象の把握ができた。

###### 研究項目：A02

「 $^{90}\text{Sr}$  やその子孫核種である  $^{90}\text{Y}$  の測定を通じ、貯蔵タンクの汚染水と原子炉内汚染水の流出過程を識別する計画は、深刻化する汚染水問題にかかわり重要である。」との所見を受け事故初期における同一海水試料を用いて、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{129}\text{I}$ 、 $\text{Pu}$  など複数の元素を同時に分析することで、これらの放射性物質の分布や挙動、起源についてより多くの情報を得て、海洋での原発由来放射性物質の拡がりについて解明した。

また「海水、堆積物、海洋生物の中の  $^{137}\text{Cs}$  放射能の分布を継続して測定する計画は妥当である。」を受けて、プランクトン、ベントス（底生生物）、海水、堆積物の観測を継続するとともに、セジメントトラップによる観測を追加し、十分なデータを得た。

###### 研究項目：A03

「陸域での放射性セシウム流出の測定を継続し、その結果を元に、将来予測の高精度化に着手する計画である。高沈着量地域、中沈着量地域からの水系を通じた流出、河川水系における藻類、バクテリアなど生物を介した移行プロセスを解明する計画とあわせて妥当である。」との所見を受け、森林および河川における放射性セシウム流出の測定を継続し、事故後 6 年に及ぶ長期経時変化データを得たことで、長期予測モデルが精緻化された。また他班と連携して河川浮遊砂の放射性セシウム捕捉ポテンシャル

(RIP) と陽イオン交換容量・比表面積・有機物濃度・鉍物組成などの因子との関係について検討した。

「モデル植物を用いて、放射性セシウムの吸収・輸送メカニズムの理解を図り、最終的には陸域生態系における放射性物質の循環過程の理解を目指す計画は妥当である。」これについて、モデル植物としてポプラを用いて室内実験を行うとともに、植物・昆虫・動物等広く調査を行った。

###### 研究項目：A04

「今後も加速器質量分析法など、高感度検出技術をもとに、他の計画研究グループと深く連携をとって進めていく方針を継続するべきである。」との所見を受け、他の班で測定困難な核種測定、アクチノイ

ド, SPM 中の  $^{129}\text{I}$ , 海水の  $^{236}\text{U}$ , 不溶性セシウム粒子中の同位体分析などの分析法開発を積極的に行った。

「今後は継続して他の計画研究への測定支援, 依頼測定を実施する一方, 今後起こりうる原子力事故での使用を念頭に置いた迅速ストロンチウム分析法の開発という先駆的な計画にも挑戦する予定であり, 妥当である。」これについて, 環境試料の測定を継続するとともに, 緊急時の放射能分析マニュアル(ストロンチウム)の整備や, Am や Pu など難測定核種の化学前処理と測定法の開発を行った。

#### <中間評価で指摘を受けた事項への対応状況>

A01-2 大気陸面班が<sup>(1)</sup>土壌・生態系に沈着した放射性物質の再飛散プロセス解明(研究項目 A01-2 主担当)は, 他のグループと比して研究が遅れているようである。しかし, 再飛散は極めて複雑なプロセスであり, 研究の進展に時間がかかるのはやむを得ない。今後の進展に期待するとの指摘を受けた。また A03-6 陸域生態班が<sup>(2)</sup>樹木, 動物, 昆虫, 土壌生物を介した放射性セシウムの移行についての研究が稲の研究よりも若干遅れているという指摘をうけた。さらに A04-7 化学形態班は<sup>(3)</sup>今後も加速器質量分析法など, 高感度検出技術をもとに, 他の計画研究グループと深く連携をとって進めていく方針を継続するべきであるとの指摘を受けた。

(1) 3項に記載したように ISET-R 領域外から異分野の専門家を招へいし研究進展に臨んだ。その結果, H28 年度末までに放射性セシウムの再飛散について森林生態系からの再飛散プロセスとしてバイオエアロゾルを想定する必要があるとの結論を得た。本結論はまだ実態把握の域を出ないがチェルノブイリ事故による環境汚染の研究からは生態系からのバイオエアロゾル放出に関する報告は全くなく, 新規性の高い画期的な成果であると自負している。今後継続して森林生態系からのバイオエアロゾル放出に関し研究する必要がある。

(2) 構成要素に関するデータ収集, 解析に努めた。

(3) 加速器質量分析法をこれまで進めてきたウラン同位体 ( $^{236}\text{U}$  など) だけでなく, ネプツニウム同位体の分析に展開した。また従来から行われているヨウ素同位体 ( $^{129}\text{I}$  など) についても, 事故時のエアロゾルを含むテープろ紙から微量の  $^{129}\text{I}$  を分離・回収する化学操作法を確立し, 多数のエアロゾル試料に対して加速器質量分析を推進した。さらにウラン同位体については, 海水を主な対象にした高感度な分析法を開発した。また, 加速器質量分析法以外にも, 新規性の高い質量分析法を用いた放射性核種の分析を進め, バックグラウンドの低いトリプル四重極型 ICPMS, 固体を直接分析する二次イオン質量分析計 (NanoSIMS), レーザーアブレーション ICPMS を適用することで, 高感度な放射性核種の分析や放射性微粒子中の放射性核種の直接分析を可能にした。

## 5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する]

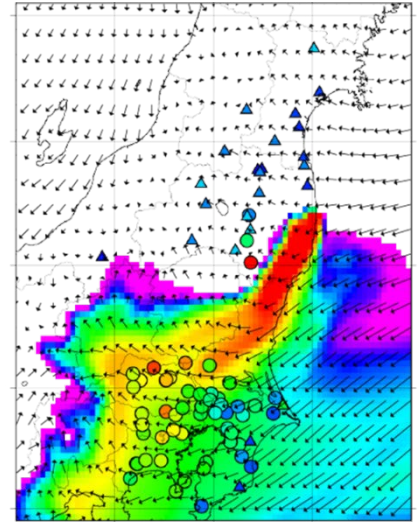
（3 ページ程度）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

### 研究項目 A01 放射性物質の大気への影響

#### A01-1 (計画・中島 (大気物理班))

- SPM 観測網の試料テープ分析により、多点毎時の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{129}\text{I}$  大気中濃度を測定する新手法を開発した。また、モニタリングポスト測定値から、多核種の大気中濃度を評価する手法を開発した。
- 複数の放射性物質の大気輸送モデルによるシミュレーションを行ない、事故当時のプルームの発生・消長・変動を把握し、A01 班統一放出シナリオを作成した。さらに、放射性物質の再浮遊量をモデルで評価し、再浮遊による除去過程は重要ではないことを示した。
- 福島原発事故による環境汚染研究とコミュニティの教訓をまとめた書籍（東大出版会、2014 年）の刊行に貢献した。その英語版をケンブリッジ大学出版会より 2017 年中に刊行予定である。



A01-1 (公募・伊藤) : A01-1 班との共同研究

- 福島原発事事故に係わる放射線測定メタデータ検索システムの開発事故直後に個人やグループで測定された放射線に関するデータを、データベース化するとともに、検索システムを開発した。

#### A01-2 (計画・五十嵐 (大気陸面班))

- A01-1 班, A03-5 班, A01公募班中井らと共同研究. 初期の Cs 放出には従来想定されていた水溶性サブミクロン・サルフェート粒子に加え、直径数  $\mu\text{m}$  の不溶性粗大球状 Cs 粒子が存在することを世界で初めて明らかにした。球状 Cs 粒子は、主要な構成元素として Fe, Zn, Cs, O のみならず, Ba, Te, Sn, Mo, Rb, U 等の中重元素を含み、非晶質で、含有される金属は高酸化状態であること等が判明した。
- 放射性物質の沈着直後の再飛散係数（沈着量に対する再飛散量率比）を求めた（A01-1 班と共同研究）。
- 再飛散は沈着した Cs の減少や移動にほとんど寄与しないことがわかった。また、再飛散 Cs 濃度は、里山地点では夏季に濃度が上昇し、冬季には低く、夏季の Cs 担体は、大部分が生物由来であることを見出した。（A01-1 班 A03-6班 共同）

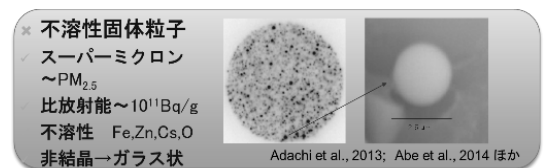


図2-1. 不溶性球状Cs粒子の性状まとめと電子顕微鏡像

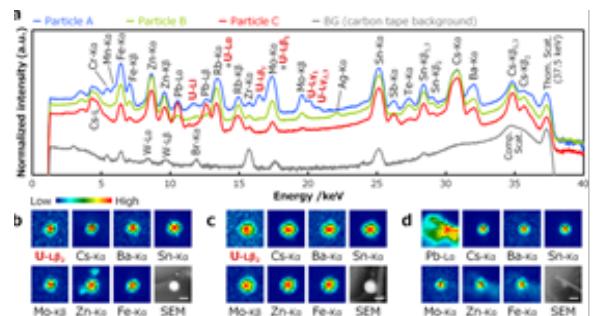


図2-2. 不溶性球状Cs粒子の  $\mu\text{-}$

### 研究項目 A02 放射性物質の海洋への影響

#### A02-3 (計画・山田 (海洋班))

- 北太平洋における福島第一原子力発電所事故由来放射性セシウムの輸送の三つの主要な経路と輸送の様相を明らかにした。1)北太平洋海流によって北太平洋中緯度域を、およそ一日当たり 7 km の速度で東に輸送され、事故後一年で太平洋中央部日付変更線に達した。モデルシミュレーションによる再現計算でも、表層においては北太平洋で観測された放射性セシウムの輸送の様相と良好な一致を示した。2)北太平洋亜熱帯モード水の沈み込みに伴って亜熱帯域の亜表層を南に運ばれた。3)中央モード水

の沈み込みにより海洋内部に運ばれ東方向に移動した。

- ・福島第一原子力発電所近傍海域における放射性セシウム、 $^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{129}\text{I}$ 、 $\text{Pu}$ の動態を明らかにした。外洋域における粒状態放射性セシウムの鉛直輸送と大陸棚斜面での水平輸送を明らかにした。
- ・事故による海洋への直接漏洩率(Bq/day)を推定した。2011年3月26日に直接漏洩が開始し、最初の12日間は $2.2 \times 10^{14}$  Bq/dayであった。その後、指数関数的に減少し、海側遮水壁閉合の直前では、 $10^9$  Bq/dayのオーダーまで低下したことを明らかにした。

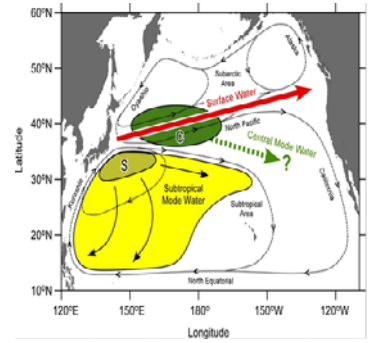


図 放射性セシウムの輸送経路

**A02-4 (計画・神田 (海洋生物班))**

- ・動物プランクトン群集の放射能について、海域や深度による変化および経時的低下が予想よりはるかに遅れていることについて、亜熱帯モード水の高い放射能との関連を中心に検討した。(A02-3と共同)
- ・福島沿岸海域生態系におけるセシウム放射能の時系列データセットと、A02-3の海水および放射能変動シミュレーションを基盤に、生物群集の放射能推移のシミュレーションによる再現を行った。その結果、有機態堆積物から底生魚類への放射能移行が強く示唆された。(A02-3と共同)
- ・沿岸域生態系への継続的な放射能移行経路として考えられる発電所からの継続流出の影響について、港湾の海水交換率の推定にもとづく定量的評価を行い、生態系への有意な影響は限定された海域でのみ有意であることを示した。

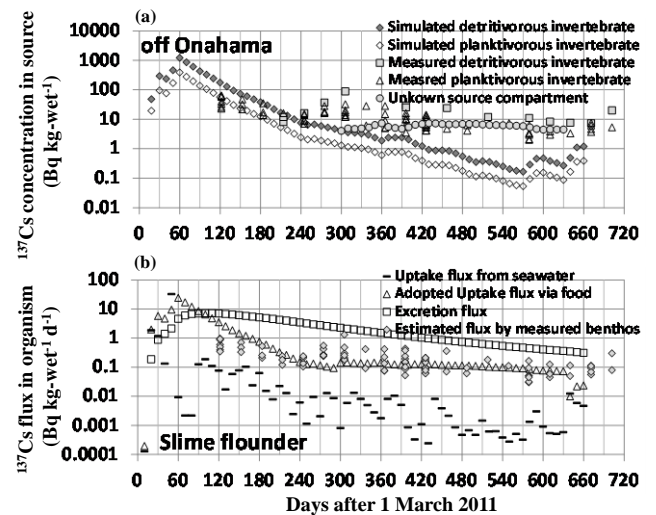


図 ベントスにおける理論的経時濃度再構築レベルと実測値(上)、および底生魚への移行フラックス(下)

**研究項目 A03 放射性物質の陸域での移行**

**A03-5 (計画・恩田 (陸域班))**

- ・森林渓流水における溶存態の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は二重指数関数的な低下傾向を示し、いずれの流域でも、 $^{137}\text{Cs}$ 流出フラックスにおいて全体を通して浮遊砂が総流出量の97%以上を占めることがわかった。水田・畑地の観測により、セシウム濃度の経時変化の土地利用依存性について明らかにした。
- ・阿武隈川本線の浮遊砂の $^{137}\text{Cs}$ 濃度変化はプリピャチ川と比較すると2年目以降は1桁低く、逡減傾向は、土地で説明できることが示された。
- ・モデルによる検討より、懸濁態として河川領域に輸送された $^{137}\text{Cs}$ は、9割以上が河川内に堆積することなく海域に輸送されること、阿武隈川高水敷において実施された現地観測によるセシウムの堆積分布と、モデルが十分な予測精度を持って河川内のセシウム移行過程を再現できること明らかにした。

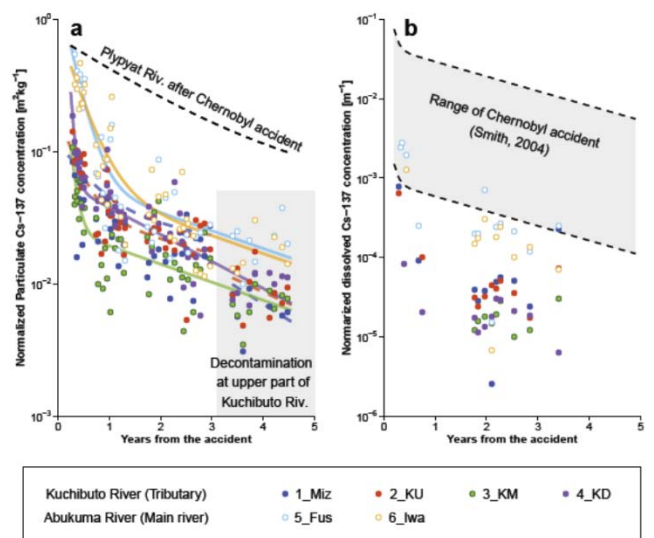


図 阿武隈川におけるSSのセシウム濃度変化とプリピャチ川、チェルノブイリとの比較



### A03-6 (計画・竹中 (森林生態班))

- ・植物における放射性 Cs の吸収・輸送過程の解明：公募・福島と連携。事故直後の植物への放射性 Cs の吸収には、葉面や樹皮からの表面吸収の寄与が大きかったことを明らかにした。また、放射性 Cs の樹木内動態についてカリウム輸送に関わる Cs 遺伝子の解析を行い、経根吸収および表面吸収由来の放射性 Cs が *SKOR* 遺伝子の発現変動を介して輸送されるという新たな機構を提示した。
- ・地表の菌類による放射性 Cs 輸送について、落葉広葉樹林において地表の菌類が放射性 Cs を上方輸送してリター層に移行させることを明らかにした。
- ・ジョロウグモがその生態系における放射性 Cs 汚染の指標となることを示唆し、また、ジョロウグモにおける放射性 Cs は K よりも Na 濃度と関係があることを明らかにした。
- ・スギ林のほうが落葉広葉樹林よりも放射性セシウムの樹冠遮断率が高いこと、(公募・加藤)、2016年の段階でまだ安定セシウムと非平衡状態であること(公募・Vasyl Yoschenko)等の知見を基に、スギとコナラ林におけるさまざまな構成要素に分布する放射性 Cs 量の変化のモデルを作成した。

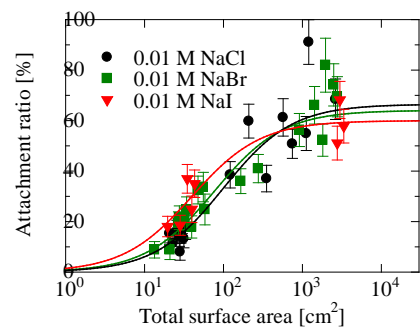
## 研究項目 A04 移行に伴う放射性物質の存在形態および測定技術の開発

### A04-7 (計画・山本 (化学形態班))

- ・環境試料や黒い物質に含まれるアクチノイド元素などを  $\alpha$  線スペクトロメトリや加速器質量分析法により定量し、福島原発の炉内の環境や放射性核種の生成および運搬過程について考察を行った。
- ・土壌・堆積物中の Cs や I の化学状態を選択的抽出法や XAFS により明らかにした。XAFS による局所構造により Radiocesium Interception Potential が持つ意味を明確にした。X 線顕微鏡の開発により懸濁粒子中の有機物の解析を行った。
- ・河川などにおける放射性セシウムのモニタリングを行い、関連する分析法の開発などと共に、その固液分配の経時変化などを報告した。河川から海水に流入した懸濁粒子からの放射性セシウム(Cs)の脱着を推定するために、室内吸脱着実験で得た固液分配係数  $K_d$  による脱着量の推定、天然系での実験、Generalized Adsorption Model によるイオン交換モデルによる推定を行った (A03-5 班と共同)

### A04-8 (計画・篠原 (測定技術開発班))

- ・主に大気中の放射性核種について、他班との共同研究で 5 年間にわたる長期観測を実施した。この研究により、2013 年に太平洋側で観測された高濃度のイベントの存在が明らかとなるなど、A01 班の成果の基盤が得られた。また、Sr や Am といった難測定放射性核種の定量法の開発、環境試料からの定量についても成果を得た。特に大気中  $^{90}\text{Sr}$  の分析では汚染イベントごとに濃度比が変化することを明らかにした (A01-01, A01-02, A04-07 と共同)
- ・事故時に原子炉から放出された放射性核種の化学形態は、その後の環境中の拡散過程、沈着過程とその後の環境動態に大きく影響する。本研究では事故を模擬した実験システムの開発を行い、核分裂反応により生成する元素の高温下での揮発過程、環境中で発見されている不溶性の放射性粒子の生成模擬実験、放射性核種の様々なエアロゾルへの吸着とその運搬過程について調べた。 $^{252}\text{Cf}$  線源を用いた核分裂核種の吸着実験から、図に示すように、放射性核種の吸着に平衡過程が存在することを明瞭に示した。



図：放射性核種の吸着率とエアロゾル表面積の関係

## 6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧，ホームページ，公開発表等）（5ページ程度）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文，書籍，ホームページ，主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては，本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合，新しいものから順に発表年次をさかのぼり，研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し，研究代表者には二重下線，研究分担者には一重下線，連携研究者には点線の下線を付し，corresponding author には左に\*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については，冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり，本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したものは，冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は，「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

---

### 1. 論文等出版物

領域全体：論文：のべ515件（内査読無し56件），プロシーディングス：70件，書籍（分担）：21件  
（領域全体の数は複数の計画研究による出版物の重複を省いた数）

**A01-1 班**：論文：105件（内査読無し12件），プロシーディングス：4件

- ◎▲\*Kajino, M., M. Ishizuka, Y. Igarashi, K. Kita, C. Yoshikawa, and M. Inatsu (2016) Long-term assessment of airborne radiocesium after the Fukushima nuclear accident: Re-suspension from bare soil and forest ecosystems. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 13149–13172, doi:10.5194/acp-16-13149-2016. (A01-2 と共同)
- ▲\*Nakajima, T., S. Misawa, Y. Morino, H. Tsuruta, D. Goto, J. Uchida, T. Takemura, T. Ohara, Y. Oura, M. Ebihara and M. Satoh (2017) Model depiction of the atmospheric flows of radioactive cesium emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Prog. Earth Planet. Sci.*, 4, 1–18, doi 10.1186/s40645-017-0117-x.
- ◎▲\*Tsuruta, H., Y. Oura, M. Ebihara, T. Ohara, and T. Nakajima (2014) First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations. *Sci. Rep.*, 4, 6717; doi:10.1038/srep06717.
- ▲\*Yumimoto, K., Y. Morino, T. Ohara, Y. Oura, M. Ebihara, H. Tsuruta, and T. Nakajima (2016) Inverse modeling of the <sup>137</sup>Cs source term of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident constrained by a deposition map monitored by aircraft. *J. Environ. Radioactivity*, 164, 1–12.
- ◎▲\*Hirouchi, J.\*, H. Yamazawa, S. Hirao, J. Moriizumi, Estimation of surface anthropogenic radioactivity concentrations from NaI(Tl) (2015) pulse height distribution observed at monitoring station, *Radiation, Protection Dosimetry* 164 (3), 304–315, doi:10.1093/rpd/ncu305.

**A01-2 班**：論文：64件（内査読無し18件），プロシーディングス：19件

- ▲\*Priyadarshi, A., Hatakeyama, S., Noguchi, I., Nojiri, Y., Tanimoto, H., Falkenthal, J. H., Thiemens, M. H., Yoshida, N., Toyoda, S., Yamada, K., Mukotaka, A., Fujii, A., and Uematsu, M (2013) Detection of radioactive <sup>35</sup>S at Fukushima and other Japanese sites, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1020–1027. doi: 10.1029/2012JD018485
- ◎▲\*Adachi, K., M. Kajino, Y. Zaizen, Y. Igarashi (2013) Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident, *Scientific Reports*, 3, 2554. doi: 10.1038/srep02554
- ▲\*Abe, Y., Y. Iizawa, Y. Terada, K. Adachi, Y. Igarashi, and I. Nakai (2014) Detection of uranium and chemical state analysis of individual radioactive microparticles emitted from the Fukushima nuclear accident using multiple synchrotron radiation X-ray analyses, *Analytical Chemistry*, 86 (17), 8521–8525. doi: 10.1021/ac501998d
- ◎▲\*Igarashi, Y., M. Kajino, Y. Zaizen, K. Adachi, M. Mikami (2015) Atmospheric radioactivity over Tsukuba, Japan: a summary of three years of observations after the FDNPP accident,

- ◎▲\*Ishizuka, M., M. Mikami, T.Y. Tanaka, Y. Igarashi, K. Kita, Y. Yamada, N. Yoshida, S. Toyoda, Y. Satou, T. Kinase, K. Ninomiya, A. Shinohara (2017) Use of a size-resolved 1-D resuspension scheme to evaluate resuspended radioactive material associated with mineral dust particles from the ground surface, *Journal of Environmental Radioactivity*, 166(3), 436-448. doi:10.1016/j.jenvrad.2015.12.023

**A02-3 班** : 論文 : 112 件 (内査読無し 3 件), プロシーディングス : 9 件

- ▲\*Aoyama, M., Hamajima, Y., Inomata, Y., Oka, E (2016) Recirculation of FNPP1-derived radiocaesium observed in winter 2015/2016 in coastal regions of Japan. *Applied Radiation and Isotopes*, (in press), DOI: 10.1016/j.apradiso.2016.12.003.
- ◎▲Bu, W. T., Fukuda, M., \*Zheng, J., Aono, T., Ishimaru, T., Kanda, J., Yang, G. S., Tagami, K., Uchida, S., Guo, Q. J., Yamada, M (2014) Release of Pu isotopes from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident to the marine environment was negligible. *Environmental Science and Technology*, 48, 9070-9078 DOI:10.1021/es502480y
- ▲\*Honda, M. C., Kawakami, H (2014) Sinking velocity of particulate radiocesium in the northwestern North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 41, 3959-3965, DOI:10.1002/2014GL060126.
- ◎▲\*Kumamoto, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Aono, T., Kouketsu, S., Murata, A. Kawano, T (2014) Southward spreading of the Fukushima-derived radiocesium across the Kuroshio Extension in the North Pacific. *Scientific Reports*, 4, 4276, DOI:10.1038/srep04276.
- ▲\*Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., Uematsu, M., Misumi, K., Maeda, Y., Yoshida, Y., Hayami, H (2013) One-year, regional-scale simulation of <sup>137</sup>Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *Biogeosciences*, 10, 5601-5617, DOI:10.5194/bg-10-5601-2013.

**A02-4 班** : 論文 : 65 件 (内査読無し 6 件), プロシーディングス : 4 件

- ◎▲\*Tateda, Y., D. Tsumune, K. Misumi, T. Aono, J. Kanda (2017) Biokinetics of radiocesium depuration in marine fish inhabiting the vicinity of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *J. Environ. Radioact.* 166, 67-73. doi: 10.1016/j.jenvrad.2016.02.028.
- ◎▲\*Kitamura, M., M.C. Honda, Y. Hamajima, Y. Kumamoto, M. Aoyama, H. Kawakami, T. Aono, M. Fukuda, Y. Mino (2017) Temporal changes in radiocesium contamination derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in oceanic zooplankton in the western North Pacific. *J. Environ. Radioact.* 172, 163-172.
- ◎▲\*Tateda, Y., D. Tsumune, T. Tsubono, K. Misumi, M. Yamada, J. Kanda, T. Ishimaru (2016). Status of <sup>137</sup>Cs contamination in marine biota along the Pacific coast of eastern Japan derived from a dynamic biological model two years simulation following the Fukushima accident. *J. Environ. Radioact.* 151, 495-501. Doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.05.013
- ◎▲\*Baumann, Z., N. S. Fisher, C.J. Gobler, K.O. Buesseler, J.A. George, C.F. Breier, J. Nishikawa (2015) Fukushima <sup>137</sup>Cs at the base of planktonic food webs off Japan, *Deep-Sea Research Part I*, 106, 9-16, Doi:10.1016/j.dsr.2015.09.006
- ▲\*Kanda, J. (2013) Continuing <sup>137</sup>Cs release to the sea from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through 2012, *Biogeosciences*, 10, 6107-6113, Doi:10.5194/bg-10-6107-2013

**A03-5 班** : 論文 : 87 件, プロシーディングス : 8 件

- ◎▲\*Kato, H., Onda, Y., Hisadome, K., Loffredo, N., Kawamori, A. (2017) Temporal changes in radiocesium deposition in various forest stands following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 166, Part 3, 449-457. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2015.04.016

- ◎▲\*Iwagami, S., Onda, Y., Tsujimura, M. and Abe, Y. (2017) Contribution of Radioactive  $^{137}\text{Cs}$  discharge by Suspended Sediment, Coarse Organic Matter, and Dissolved Fraction from a Headwater Catchment in Fukushima after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 166, Part 3, 466-474. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.07.025.
- ▲\*Matsunaka, T., Sasa, K., Sueki, K., Takahashi, T., Satou, Y., Matsumura, M., Kinoshita, N., Kitagawa, J. and Matsuzaki, H. (2016) Pre- and post-accident  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  levels, and  $^{129}\text{I} / ^{137}\text{Cs}$  ratios in soil near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, p.209-217, Doi:10.1016/j.jenvrad.2015.10.010
- ▲\*Satou, Y., Sueki, K., Sasa, K., Adachi, K., Igarashi, Y. (2016) First successful isolation of radioactive particles from soil near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, *Anthropocene*, 14, p.71-76. Doi: 10.1016/j.ancene.2016.05.001 (also in A01-2)
- ▲\*Yoshimura, K., Onda, Y., Wakahara, T. (2016) Time dependence of the  $^{137}\text{Cs}$  concentration in particles discharged from rice paddies to freshwater bodies after the Fukushima Daiichi NPP accident, *Environmental Science & Technology*, 50 (8), p. 4186-4193. DOI: 10.1021/acs.est.5b05513.

**A03-6 班** : 論文 : 66 件 (内査読無し 17 件), プロシーディングス : 2 件

- ▲\*Deguchi S., Matsuda Y., Takenaka C., Sugiura Y., Ozawa H and Ogata Y. (2017) Proposal of a New Estimation Method of Colonization Rate of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Roots of *Chengiopanax sciadophylloides*. *Mycobiology*, 45(1), 15-19  
<https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.1.15>
- ◎▲\*Wang Wei, Matsushita, Y., Aoki, D., Fukushima, K., Tomioka, R., Iizuka, K., Takenaka C. (2017) Decontamination of Cs from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) via kraft cooking. *Journal of Wood Science*, online DOI 10.1007/s10086-017-1628-1
- ▲\*Yang B., Onda Y., Wakiyama Y., Yoshimura K., Sekimoto H. and Ha Y. (2016) Temporal changes of radiocesium in irrigated paddy fields and its accumulation in rice plants in Fukushima. *Environmental Pollution*, 208, 562-570.
- ▲\*Noda, Y., J.Furukawa, T.Aohara, N.Nihe, A.Hirose, K.Tanoi, T.M.Nakanishi and S.Satoh (2016) Short day length-induced decrease of cesium uptake without altering potassium uptake manner in poplar. *Scientific Reports*, Vol. 6, article number: 38360
- \*Tamaoki M., T.Yabe, J.Furukawa, K.Ikeda, I.Yasutani and T.Nishizawa (2016) Comparison of potentials of higher plants for phytoremediation of radioactive cesium from contaminated soil. *Environmental Control in Biology*, 54(1), 65 - 69.

**A04-7 班** : 論文 : 81 件, プロシーディングス : 3 件, 書籍 (分担) : 1 件

- ◎▲\*Q. Fan and \*Y. Takahashi (2017) Employment of the generalized adsorption model for the prediction of the solid-water distribution of radiocesium in the river-estuary-ocean system. *Applied Geochemistry*, 79, 75-84, Doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.020.
- ▲Yamamoto, M. (2015) Overview of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident with amounts and isotopic composition of the released radionuclides, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 303, 1227-1231. Doi:10.1007/s10967-014-3639-3.
- ◎▲\*Sakaguchi, A., Tanaka, K., Iwatani, H., Chiga, H., Fan, Q., and Onda, Y., Takahashi, Y. (2015) Size distribution studies of  $^{137}\text{Cs}$  in river water in the Abukuma riverine system following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J Environ Radioactivity*, 139, 379-389. Doi:10.1016/j.jenvrad.2014.05.011.
- ◎▲\*Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Tomihara, S., Fukushi, K., and Yamamoto, M. (2013) Export of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the Fukushima river systems at heavy rains by Typhoon Roke in September 2011, *Biogeosciences*, 10, 6215-6223, Doi:10.5194/bg-10-6215-2013.

▲\*Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Ochiai, S., Takada, T., Hamataka, K., Murakami, T., and Nagao, S. (2014) Isotopic Pu, Am and Cm signatures in environmental samples contaminated by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioactivity*, 132, 31-46, Doi:10.1016/j.jenvrad.2014.01.013

**A04-8班**：論文：52件（内査読無し1件），プロシーディングス：12件

\*T. Saito, Y. Kurihara, Y. Koike, I. Tanihata, M. Fujiwara, H. Sakaguchi, A. Shinohara, H. Yamamoto (2015) Altitude Distribution of Radioactive Cesium at Fuji Volcano Caused by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 303, 1613-1615. 10.1007/s10967-014-3753-2

\*H. Muramatsu, K. Kawasumi, T. Kondo, K. Matsuo, and S. Itoh (2015) Size-distribution of airborne radioactive particles from the Fukushima Accident. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 303, 1459-1463. DOI 10.1007/s10967-014-3690-0

◎▲\*Y. Oura, M. Ebihara, H. Tsuruta, T. Nakajima, T. Ohara, M. Ishimoto, H. Sawahata, Y. Katsumura, and W. Nitta (2015) A Database of Hourly Atmospheric Concentrations of Radiocesium (<sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs) in Suspended Particulate Matter Collected in March 2011 at 99 Air Pollution Monitoring Stations in Eastern Japan. *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, 15, 15-26

▲\*K. Takamiya, T. Tanaka, S. Nitta, S. Itosu, S. Sekimoto, Y. Oki, and T. Ohtsuki (2016) Attachment Behavior of Fission Products to Solution Aerosol. *J Radiat Prot Res* 41, 350-353. 016/j.jenvrad.2015.12.023

▲\*Zhang, Z., Ninomiya, K., Takahashi, N., Saito, T., Kita, K., Yamaguchi, Y., Shinohara, A. (2016) Rapid isolation method for radioactive strontium using Empore™ Strontium Rad Disk. *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, 16, 15-21.

**公募班**：論文：35件，プロシーディングス：6件

◎▲\*Yoschenko, V., Takase, T., Konoplev, A., Nanba, K., Onda, Y., Kivva, S., Zheleznyak, M., Sato, N., Keitoku, K. (2017) Radiocesium distribution and fluxes in the typical Cryptomeria japonica forest at the late stage after the accident at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *Journal of Environmental Radioactivity*, 166(1), 45-55. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.02.017

◎\*Koibuchi, Y., Murakami, M., Sueki, K. and Onda, Y. (2015) Sediment-associated radiocesium originated from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant flowing from Ohori River to Lake Teganuma. *Journal of Water and Environment Technology*, 13 (3), 249-261. DOI: 10.2965/jwet.2015.249

▲\*内山雄介・山西琢文・津旨大輔・宮澤泰正 (2014) 福島沿岸域における放射性核種の海域移行定量化を目的とした領域土砂輸送モデルの開発, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I\_571-I\_575. Doi:10.2208/kaigan.70.I\_571

\*Kinouchi, T., Yoshimura, K., Omata, T. (2015) Modeling radiocesium transport from a river catchment based on a physically-based distributed hydrological and sediment erosion model, *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 407-415.

▲\*Inomata, Y., Aoyama, M., Hirose, K., Sanada, Y., Torii, T., Tsubono, T., Tsumune, D., Yamada, M. (2014) Distribution of radionuclides in surface seawater obtained by an aerial radiological survey. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 51:9, 1059-1063. DOI: 10.1080/00223131.2014.914451

▲\*Fukushi K and Fukiage T (2015) Prediction of intrinsic cesium desorption from Na-smectite in mixed cation solutions. *Environmental Science and Technology*, 49, 10398-10404

▲\*Takahashi J, Tamura K, Suda T, Matsumura R, Onda Y. (2015) Vertical distribution and temporal changes of <sup>137</sup>Cs in soil profiles under various land uses after Fukushima Dai-ichi Nuclear

## 書籍：21件

- 中島映至・滝川雅之・山澤弘実・中村尚・竹村俊彦・森野悠・鶴田治雄(2014) 中島映至, 大原利眞, 植松光男, 恩田裕一 編 (2014) 『原発事故環境汚染 福島第一原発事故の地球科学的側面』 ISBN978-4-13-060312-6, 東京大学出版会, 判型:A5, 312頁
- 中島映至 (2013) 「原発事故-危機における連携と科学者の役割」 p34-37, 尾内隆之, 調麻佐志編, 『科学者に委ねてはいけないこと。科学から「生」をとりもどす』, 岩波書店

## 2. ホームページによる情報公開状況

- ISET-R: 福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究  
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/hydrogeo/isetr/index.html>, News Letter の発行 10件(日英版 各通算)
- 論文位置情報を示すMeta-data base の公開準備中。

## 3. シンポジウム開催

- 福島原発由来の放射性核種の環境動態に関する分野横断シンポジウム  
2015年1月9-10日 筑波大学 合計 125名参加
- IAEA 2nd Proficiency Test Japan Meeting 結果報告会  
2014年3月24日 筑波大学 合計 40名参加
- 福島第一原子力発電所事故由来放射性物質調査研究 分野横断ワークショップ  
2014年3月15-16日 筑波大学筑波キャンパス総合研究棟A110 (※世話人として運営を担当) 全体会議の様子をU-streamで配信 (<http://www.ustream.tv/channel/alltsukuba2014>) 合計 述べ 117名参加

## 4. 一般向けのアウトリーチ活動

### 市民向け公開講演等

- 日本科学未来館との連携を図り, 2016年3月より, 常設展示を行うことに加え, H30年3月10-11日には一般向けのシンポジウム開催を予定している。
- 科研費新学術領域研究若手講習会 (A01-1, 2班共催) 「福島第一原発事故による放射性物質の環境汚染シミュレーションに関する講習会」, 第1回:平成25年10月28日-29日;第2回:平成26年8月19日;第3回:平成27年8月25日, 場所:東京大学情報基盤センター, 参加者:のべ120名
- 公募班(張)の研究グループは松川浦等をフィールドとして, 漁業従事者の方々や及び漁業協同組合職員の方々の多大なご理解・ご協力のもと研究を行った。研究期間内に5回の経過報告会を開催した。
- 「福島第一原子力発電所事故から現在まで海洋学の視点」藤沢市放射能測定器運営協議会 学習会, 平成28年11月12日, 藤沢市民会館, 藤沢市(海洋研究開発機構 熊本雄一郎)
- 「福島第一原子力発電所事故と海」地球情報館公開セミナー 第191回, 平成27年7月18日, JAMSTEC 横浜研究所, 横浜市(海洋研究開発機構 熊本雄一郎)
- 「福島第一原子力発電所事故起源放射性物質の海洋への影響:最新の研究動向」日本放射線影響学会第56回大会市民公開講座 平成25年10月20日 青森市(弘前大学 山田正俊)
- 「福島原発事故により放出された放射能核種の環境動態に関する学術調査(招待講演)」平成25年10月21日-23日 第3回CSJ科学フェスタ (筑波大学 恩田裕一)
- 「Terrestrial Trasfer of fallout radionuclides by geomorphological process by Fukushima NPP accident(招待講演)」平成25年7月23日 Joint Assembly of IAHS-IAPSO-IASPEI, Gothenburg (Sweden)

### TV報道

- NHK総合「放射能汚染からの漁業再生～福島・浜通り Part3～」平成28年9月18日(石丸隆)
- NHK総合「放射能汚染からの漁業再生～福島・いわき市 Part2～」平成27年7月19日(神田穰太)
- サイエンスゼロ「No. 489 シリーズ原発事故(13) 謎の放射性粒子を追い！」  
<http://www.nhk.or.jp/zero/contents/dsp489.html>, 平成26年12月21日放送(気象研究所:足立)

五十嵐，梶野，東京理科大：中井，筑波大学：末木)

- NHK 総合「放射能汚染からの漁業再生～福島・いわき市～」平成 26 年 6 月 22 日 (神田穰太)
- 福島中央テレビ「Cs ボール」について 平成 25 年 12 月放送 (気象研究所 足立光司)
- 東日本大震災「空白の初期被ばく～消えたヨウ素 131 を追う」、平成 25 年 1 月 12 日 NHK スペシャル (鶴田治雄・滝川雅之)
- 「Fukushima forests found to be radioactive」平成 25 年 3 月 10 日 Al Jazeera English (筑波大学 恩田裕一)
- 「消えない放射能-最悪事故が残す汚染の実態」平成 24 年 9 月 17 日 TBS テレビ・震災報道スペシャル (筑波大学 恩田裕一)

#### 新聞報道

- 「震災 5 年 放射性物質薄まった海洋」読売新聞 平成 28 年 3 月 20 日 (神田穰太、石丸隆)
- 「福島第一放射性雲 2 度の拡散裏付け」で、SPM データの解析結果 (原子力規制庁委託事業報告書) について報道。平成 26 年 9 月 6 日 朝日新聞・毎日新聞記事 (大気海洋研・首都大学東京のグループ)
- 「がれき粉じん 7 回宮城へ」で、宮城県丸森町での長期大気観測で、放射性セシウムが高濃度になった原因についての報道。平成 26 年 7 月 31 日 朝日新聞記事 (中島映至ら)
- 「Mishaps Underscore Weaknesses of Japanese Nuclear Plant」平成 25 年 4 月 10 日, The New York Times, (神田穰太)

## 7. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

各班の連携は以下のものであり、各計画班の研究を分野横断的に展開するために、分野横断研究グループを設定し、公募研究とあわせ積極的に活動した(図)。各計画研究班の活動は下記のものである。



### A01-1 班

大気中の放射性物質濃度の推定：A01-2, A04-7, 8 班と協力して、SPM 観測点からのサンプリングテープを利用した放射性セシウムの画期的な測定・データ解析を行った。また既存の観測データから  $^{137}\text{Cs}$  濃度と  $^{131}\text{I}$  の定量関係を確立した。

A02-3, A03-6 班と協力して、大気から海洋と陸域に沈着する放射性物質の降下量を算定できるモデルデータセットを作成した。

### A01-2 班

A01-1 班との連携：放射性物質の輸送沈着のモデル化。

A02-3 班との連携：海洋への放射性物質の輸送：北太平洋上への放射性 Cs 沈着量のモデル計算

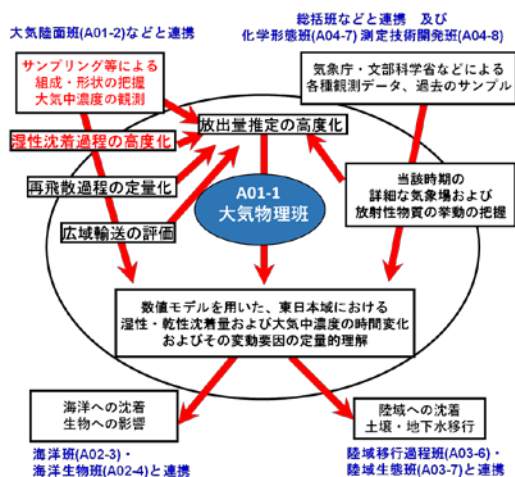
A03-5 班との連携：Cs 河川流出、地下水 Cs 濃度水準の変動、表土試料からの Cs 粒子の抽出を実施。

A03-6 班との連携：Cs の物理化学性状：森林生態からのバイオエアロゾル（真菌類胞子を含む）放出。

A04-7 班との連携：Cs の物理化学性状：土壌粒径分布。

A04-8 班との連携：Cs の物理化学性状，大気試料の放射能計測：不溶性球状 Cs 粒子の模擬作成

公募班（中井）との連携：Cs の物理化学性状：放射光 X 線分析による不溶性 Cs 粒子の詳細分析。





### A02-3 班

陸域から河川を通して海洋に移行する放射性セシウムの動態に関して、A02-3 班、A02-4 班、A02-5 班、A02-7 班と連携して取り組んだ。さまざまな条件における  $K_d$  (固液分配係数)を比較検討しその支配因子について、室内実験により明らかにした。また、福島沿岸堆積物の微粒子について河川由来放射性セシウムと有機炭素および、海底底有機物を摂取するベントス、および海底直上懸濁層に生息するアミ類における濃度に対して、陸域由来微粒子の寄与が示された。

公募班 (内山) と連携し、マルチクラス懸濁質輸送モデルを用いた福島沿岸域における河川由来懸濁質および懸濁態放射性核種の海洋分散解析を行った。

### A02-4 班

A03-7 班との連携により、堆積物や懸濁・沈降粒子からの海洋生物への放射性物質移行に関して、放射性セシウムの存在形態について化学形態の研究グループ (高橋) への試料提供を行い、解析を行っていた大気・陸域における高線量粒子の確認を受けて、海洋環境でもその存在を明らかにし、その寄与を見積もった

### A03-5 班

A03-6 班と協力して、森林樹冠から林床への移行量の観測を行った。また A01-2, A03-6, A04-8 班と協力して樹冠での雨水遮断と雨滴飛沫の発生プロセスの観測を行った。

新田川を対象として A02-3, A02-4, A04-7 班、モスクワ州立大と協力して、土壌-河川-海洋での合同調査を行った。またフランス LSCE との共同により新田川流域内の土壌試料、河川堆積物を採集し、土砂の供給源の推定等を行った。また公募班 (内山) へデータを提供し、海洋への輸送量の推定を行った。

### A03-6 班

A01-2 班との連携により、森林からの放射性セシウムを含むバイオエアロゾルに関する研究において現地調査および分析等で連携した。

A03-5 班との連携により、森林生態系から流出する放射性セシウムの化学形態に関する研究において、試料提供および情報交換をおこなった。

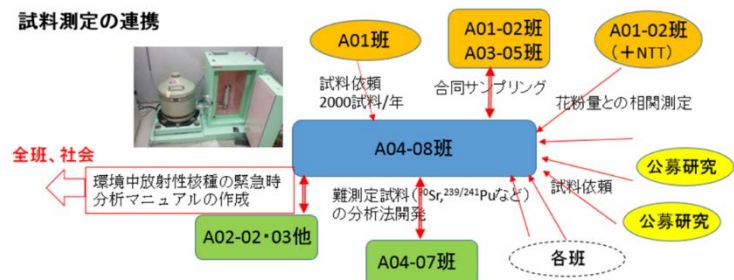
### A04-7 班

A04-7 班は、分析手法や物理化学モデルの開発であるため、研究内容が対象を主とする A01-A03 班と多彩な連携を行った。その結果、本領域で新たに設定された B 班の研究においても、B01 班 (A04-7 班メンバーの貢献内容: 放射性微粒子中の放射性核種の質量分析計による分析), B02 班 (植物中の放射性核種の存在状態解析), B03 班 (河川懸濁粒子中の放射性核種の存在状態解析と脱離過程のモデル化) のいずれにおいてもメンバーが所属し、これらの研究の進展に貢献した。

### A04-8 班

A04-08 班と他班の連携の様子を図で示す。A01-01 班および A01-02 班とは大気試料の採取、分析で強い連携関係にある。A01-02 班とは不溶性粒子の分析でも連携を強化している。難測定核種の分析、特に Sr の分析では A01-02 班とは大気中の、A02-03 班とは海水の、A03-05 班とは土壌の分析を共同して実施した。このような難測定核種の分析では A04-07 班とも全面的な協力関係にある。

試料測定の連携



## 8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用，研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

### A01-1 班

- ・ モデル講習会の開催費用(総括班の若手育成のため)
- ・ データ解析・モデル計算結果の整理に必要な計算機周辺機器の購入費

### A01-2 班

- ・ 走査型電子顕微鏡（SEM;日立ハイテク, SU3500）をリースで，マイクロマニピュレータ（マイクロサポート, Axis Pro）を購入整備したが，これらの機器は不溶性 Cs 粒子の発見や Cs 二次放出発生源の探索に大きく寄与した。
- ・ マニピュレータは，放射性粒子の抽出・単離のための試料分割威力を発揮し，フィルター試料の光学観察にも寄与した。

### A02-3 班

- ・ 井戸型 Ge 半導体検出器（金沢大学）：尾小屋地下実験室設置は 2013 年 3 月，その後遮へいの性能確認と計数効率などの評価を行った。測定試料は主に前処理済太平洋海水試料で，低濃度のため 1 週間程度の測定が必要であるが，稼働率 100%でこれまで約 250 件の測定を行った。
- ・ 元素分析計（JAMSTEC）：本装置により固体試料中の生物起源粒子・鉱物起源粒子の割合を把握することが可能となった。

### A02-4 班

- ・ 生物試料灰化用ボックス炉一式(東京海洋大学)：生物試料の放射性核種分析において，放射能レベルが低い場合に，領域全体の低レベル生物試料の灰化処理に利用を行った。
- ・ 超低温フリーザー：海洋の生物試料，懸濁物試料，堆積物試料等は，研究航海・フィールド調査で大量に取得されるため，一時的に超低温での凍結保存が必要となる。**A03-5 班**
- ・ ワークホース ADCP モニター：2013 年以来 阿武隈川河口で河口域付近の流速分布調査と，現地堆積物分布，数値モデル(JAMSTEC による J-COPE-T)との比較を行ってきた。
- ・ 液体シンチレーションカウンター：源流域において，トリチウムの放射性物質の汚染が危惧される地下水の滞留時間推定のために，地下水サンプルのトリチウム濃度測定等に使用した。

### A03-6 班

- ・ ICP 質量分析装置システム（サーモフィッシャー製 iCAP-Q）は，名古屋大学 RI 研究センター内に設置し，特に，安定セシウムとルビジウムの分析に利用している。（6 班，8 班共同利用）。
- ・ Ge 半導体検出器（キャンベラ GC2520）は，現在もフル稼働の状況である

### A04-7 班

- ・ 汎用型の四重極 ICP 質量分析計を購入し，放射性核種の分析に利用した。高エネルギー加速器研究機構において X 線顕微鏡の開発を行い，懸濁粒子中の有機物の分析に利用した。

### A04-8 班

- ・ 放射標準ガンマ体積線源：環境試料は様々な形状があり，それによる立体角の変化や自己吸収の影響が異なる。本研究予算で調達した体積線源を用いることで，それぞれの測定における検出効率を標準化することができた。

### 総括班分析チーム

- ・ 検出器は自体は既存のものを利用したが，修理や回路システムの更新，遮蔽（鉛ブロック，錫板）の強化に使用した。これらの予算利用は，他班や公募班の測定支援に大いに寄与した。

・研究費の使用状況

(1) 主要な物品明細 (計画研究において購入した主要な物品 (設備・備品等。実績報告書の「主要な物品明細書」欄に記載したもの。) について、金額の大きい順に、枠内に収まる範囲で記載してください。)

H24	ICP 質量分析装置分析装置システム	米国産サーモフィッシャー	1	20,422,500	20,422,500	名古屋大学
	ICP 質量分析装置	iCAP Qc	1	9,660,000	9,660,000	首都大学東京
	井戸型ゲルマニウム半導体検出器	キャンベラ社製 EGPC250-P21	1	8,998,500	8,998,500	金沢大学
	井戸型ゲルマニウム半導体検出器	キャンベラ社製, GCW4023	1	7,999,950	7,999,950	日本大学
	元素分析計	Thermo Fischer Scientific FLASH2000 NC	1	7,455,000	7,455,000	海洋研究開発機構
	マイクロマニピュレーター	(株) マイクロサポート AxisPro	1	5,607,000	5,607,000	気象研究所
H25	データ処理・保存装置	ファイルサーバ、ストレージ装置	1	7,035,000	7,035,000	気象研究所
	静電分級流量制御装置一式	東京ダイレック社製	1	6,321,000	6,321,000	京都大学
	イオンクロマトグラフ・陰イオン陽イオン分析用	メトロームジャパン (株) IC883	1	4,557,723	4,557,723	東京工業大学
	現場型粒径粒度分布測定システムモデル	米国 Sequoia Scientific 社製 EYELA FDU-1110	1	3,759,000	3,759,000	筑波大学
	ワークホース ADCP モニター	竹田理化工業 (株)	1	2,908,500	2,908,500	京都大学・防災研究所
H26	ICP 発光分析システム	日立ハイテクサイエンス SPECTROBLUE TI	1	9,903,600	9,903,600	弘前大学
	マイクロマニピュレーター	アクシスプロ SS・電動 XY ステージセット	1	5,842,800	5,842,800	大阪大学
	イメージングプレート装置	バイオラッド、PMI	1	4,199,040	4,199,040	京都大学
	ガスクロマトグラフシステム	PC システム Agilent7890B	1	3,294,000	3,294,000	筑波大学
	無粉塵型自動粉砕篩装置	大起理化工業株式会社 RK-4II	1	3,211,747	3,211,747	筑波大学
	高感度・脱溶媒試料導入システム	ナライザ DSA-LX 外イラス Apex-Q	1	2,073,600	2,073,600	東京海洋大学
	ゲルマニウム検出器遮蔽用遮蔽体一式	ミリオンテクノロジーズ・キャンベラゲルマニウム検出器遮蔽用鉛遮蔽体	1	3,348,000	3,348,000	気象研究所

(2) 計画研究における支出のうち、旅費、人件費・謝金、その他の主要なものについて、年度ごと、費目別に、金額の大きい順に使途、金額、研究上必要な理由等を具体的に記述してください。

【平成24年度】

・旅費

1. 93<sup>rd</sup> AMS Annual Meeting (アメリカ, オースティン), 669,746 円, A01-1 班
2. 93<sup>rd</sup> AMS Annual Meeting (アメリカ, オースティン), 481,027 円, A01-1 班
3. European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (ポーランド, クラクフ), 307,440 円, A02-3 班
4. テキサス大学にて研究打合せ及び施設見学 (アメリカ・オースティン), 246,860 円, A03-5 班・総括班
5. ウィーン大学 VERA で微量放射性元素の測定 (オーストリア, ウィーン), 242,960 円, A04-7 班
6. ウィーン大学 VERA で微量放射性元素の測定 (オーストリア, ウィーン), 170,000 円, A04-7 班
7. 森林学会・生態学会 (盛岡・宇都宮), 102,070 円, A03-6 班

・人件費・謝金

1. 特任研究員の雇用, 1,136,507 円, A01-1 班
2. 博士研究員 (立花愛子) の雇用, 680,418 円, A02-4 班 (海洋生物試料採取・試料処理のため)
3. 研究員 (ロルフレド・ニコラ) の雇用, 364,053 円, A03-5 班
4. 研究員 (金指努) の雇用, 274,880 円, A03-6 班
5. 研究支援者の雇用, 272,021 円, A01-1 班
6. 研究員 (綾部慈子) の雇用, 198,062 円, A03-6 班
7. 研究員 (梅尾美幸) の雇用, 108,760 円, A04-7 班
8. 研究員 (坂本真理子) の雇用, 73,335 円, A04-7 班
9. 実験補助の雇用, 64,800 円, A02-3 班 (環境試料の前処理)

・その他

1. SEM (走査型電子顕微鏡) リース5ヶ月分, 3,003,000 円, A01-2 班 (放射性核種を担っていたエアロゾルの形状, 組成, 混合状態を明らかにするため。)
2. 放射性セシウム分析のため海水試料前処理, 997,500 円, A02-3 班 (試料分析前処理外注)
3. 大気エアロゾル ICP 質量分析観測計画の作成, 987,000 円, A01-2 班 (大気エアロゾルの直接 ICP 質量分析を実施するための事前調査と計画立案のため。)
4. コンテナ内部断熱工事・棚設置, 947,625 円, A02-3 班 (海水試料保管用として使用)
5. GM サーベイメータ点検校正2式, 365,400 円, A02-4 班 (神鷹丸航海のため)
6. 新学術領域キックオフミーティング 会議室使用料及び会議にかかる飲食代, 284,692 円, 総括班
7. 桜川・恋瀬川における観測機器設置, 回収業務, 241,500 円, A03-5 班
8. 大容量ディスク装置の賃貸借 (2U ストレージアレイ 1 台・SAS HBA2 枚・ディスクストレージエンクロージャ 2 台), 223,020 円, A01-1 班

【平成25年度】

・旅費

1. Goldschmidt Conference 2013 (イタリア, フィレンツェ), 432,230 円, A02-3 班
2. Goldschmidt Conference 2013 (イタリア, フィレンツェ), 410,760 円, A02-3 班
3. Goldschmidt Conference 2013 (イタリア, フィレンツェ), 352,000 円, A01-1 班
4. EGU (オーストリア, ウィーン), 340,630 円, A01-1 班

5. EGU (オーストリア、ウィーン), 307,130 円, A01-1 班
  6. ウィーン大学 VERA で微量放射性元素の測定 (オーストリア、ウィーン), 242,960 円, A04-7 班
  7. EGU (オーストリア、ウィーン), 200,000 円, A3-5 班, 総括班
  8. ポール・シェラー研究所 (PSI) で実験および研究のとりまとめに関する打合せ (スイス、フィリゲン), 182,939 円, A04-7 班
  9. 福島県水産試験場での沿岸放射能調査, 打ち合わせ (福島県いわき市), 129,480 円, A02-4 班
- ・人件費・謝金
1. 特任研究員の雇用, 4,580,534 円, A01-1 班
  2. 研究員 (脇田茂) の雇用, 2,171,001 円, A03-5 班
  3. 研究員 (宮田佳樹) の雇用, 1,858,302 円, A04-7 班
  4. 研究支援者派遣, 1,776,915 円, A01-1 班
  5. 技術補佐員 (山口梓) の雇用, 1,749,934 円, A02-4 班 (堆積物・懸濁物試料の分析)
  6. 研究員 (金指努) の雇用, 1,362,530 円, A03-6 班
  7. 研究員 (FAN Qiaohui) の雇用, 1,232,056 円, A04-7 班
  8. 実験補助の雇用, 108,800 円, A02-3 班 (環境試料の前処理)
  9. 研究員 (綾部慈子) の雇用, 254,397 円, A03-6 班
- ・その他
1. SEM (走査型電子顕微鏡) リース 1 年分, 7,207,200 円, A01-2 班 (放射性核種を担っていたエアロゾルの形状, 組成, 混合状態を明らかにするため。)
  2. エアロゾル質量分析役務, 5,985,000 円, A01-2 班 (大気エアロゾルの直接 ICP 質量分析の実施。)
  3. SPM 計用テープ状ろ紙の水溶性イオン分析, 2,076,900 円, A01-1 班
  4. 大容量ディスク装置の賃貸借 (Dell PowerVault MD3200), 892,080 円, A01-1 班
  5. MSM-GPV デコードプログラム作成 1 式, 525,000 円, A01-1 班
  6. 福島河川への水位計設置, 493,500 円, A03-5 班
  7. 放射能測定システム点検・再校正一式, 403,200 円, A02-4 班 (海洋生物試料分析用)
  8. 液体窒素発生装置メンテナンス, 396,500 円, A02-3 班 (液体窒素を Ge 半導体検出器の冷却用に使用)
  9. ニスキン X 型採水器テフロンコーティング, 369,600 円, A02-4 班 (海水試料採取用)
  10. 新学術領域研究全体会議 会議室使用料, 265,475 円, 総括班

#### 【平成 26 年度】

- ・旅費
1. EGU (オーストリア、ウィーン), 480,729 円, A01-1 班
  2. American Geophysical Union 2014 Fall Meeting (アメリカ、サンフランシスコ), 483,640 円, A02-3 班
  3. WCRP JSC-35・AMS 14th Conference on Atmospheric Radiation (ドイツ、アメリカ), 442,608 円, A01-1 班
  4. IAEA 本部, サイバースドルフ研究所, 377,700 円, A03-5 班
  5. Goldschmidt 2014 (アメリカ、サクラメント), 337,720 円, A04-7 班
  6. 新学術研究打合せ及び調査のため 出張依頼, 301,795 円, 総括班
  7. 海洋地球研究船「白鳳丸」航海に乗船し, 試料を採取 (ニュージーランド、ウェリントン), 291,250 円, A02-3 班

8. 北京大学および中国科学院地球物理地質学研究所にて環境中の放射性核種の移行に関する研究打ち合わせ（中国，北京），214,650 円，A04-7 班
- ・人件費・謝金
    1. 特任研究員の雇用，5,336,117 円，A01-1 班
    2. 研究員（脇山義史）の雇用，4,652,309 円，A03-5 班
    3. 技術補佐員（山口梓）の雇用，1,579,286 円，A02-4 班（堆積物・懸濁物試料の分析）
    4. 研究員（金指努）の雇用，1,349,237 円，A03-6 班
    5. 研究支援者給与 2 名，1,338,073 円，A01-1 班
    6. 実験補助の雇用，888,720 円，A02-3 班（粒子状試料の前処理）
    7. 研究員（綾部慈子）の雇用，839,451 円，A03-6 班
    8. 特任研究員（田中雅人）の雇用，630,319 円，A04-7 班
    9. 特任研究員（横山隆臣）の雇用，622,587 円，A04-7 班
    10. 実験補助の雇用，374,000 円，A02-3 班（環境試料の前処理）
  - ・その他
    1. SEM（走査型電子顕微鏡）リース 1 年分，7,413,120 円，A01-2 班（放射性核種を担っていたエアロゾルの形状，組成，混合状態を明らかにするため。）
    2. エアロゾル質量分析役務，3,996,000 円，A01-2 班（大気エアロゾルの直接 ICP 質量分析の実施。）
    3. トラジェクトリモデル入出力 GUI 化プログラム，994,680 円，A01-1 班
    4. 東京電力福島第一原子力発電所周辺線量率等解析支援作業，898,552 円，A02-4 班
    5. 液体窒素発生装置メンテナンス，594,500 円，A02-3 班（液体窒素を Ge 半導体検出器の冷却用）
    6. マルチプルコアラー（大型）点検整備一式，442,800 円，A02-4 班（堆積物試料採取用）
    7. PT サンプル（土壌および植物試料）輸送費，434,908 円，総括班
    8. 福島県試験場の現地調査および維持管理業務，496,800 円，A03-5 班
    9. ICTD キャリブレーション（s/n 1386）水温，水圧，電気伝導度各一式，388,800 円，A02-4 班（海鷹丸沿岸海域調査・試料採取用）
    10. 堆積物の粒径分布測定（粒度分布，ふるい分け，レーザー回折法），356,400 円，A02-3 班
- 【平成 27 年度】
- ・旅費
    1. AGU Fall Meeting 2015（アメリカ，サンフランシスコ），599,936 円，A01-1 班
    2. ENVIRA 2015（ギリシャ，テッサロニキ），436,950 円，A01-1 班
    3. EGU（オーストリア・ウィーン），380,284 円，A03-5 班
    4. トルコ科学技術研究会議（トルコ），366,040 円，A03-5 班
    5. 10th International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry（アメリカ，ハワイ），341,905 円，A02-3 班
    6. 環太平洋国際化学会議（PACIFICHEM 2015）（アメリカ，ハワイ），322,510 円，A02-3 班
    7. ALS（Advanced Light Source）にて放射光実験（アメリカ，サンフランシスコ），322,130 円，A04-7 班
  - ・人件費・謝金
    1. 研究員（岩上翔）の雇用，4,661,414 円，A03-5 班
    2. 博士研究員の雇用，3,509,026 円，A02-3 班（環境試料中の放射性核種分析法の開発と環境動態解析）

3. 研究支援者派遣 1 年分, 2,656,705 円, A01-2 班 (効率よく研究成果を出し, 関連する研究業務を早期・円滑に実施するため)
  4. 研究員 (金指努) の雇用, 2,543,980 円, A03-6 班
  5. 技術補佐員 (山口梓) の雇用, 1,434,872 円, A02-4 班 (堆積物・懸濁物試料の分析)
  6. 実験補助の雇用, 884,086 円, A02-3 班 (粒子状試料の前処理)
  7. 研究員 (梅村光俊) の雇用, 753,597 円, A03-6 班
  8. 特任研究員 (栗原雄一) の雇用, 364,480 円, A04-7 班
- ・その他
1. SEM (走査型電子顕微鏡) リース 1 年分, 7,413,120 円, A01-2 班 (放射性核種を担っていたエアロゾルの形状, 組成, 混合状態を明らかにするため。)
  2. 再委託「放射性物質の大気中の輸送と時空間分布に係る研究」, 5,810,400 円, A01-1 班
  3. 大容量ディスク装置の賃貸借 (放射性物質輸送拡散モデルデータ解析用大容量ディスク装置), 892,080 円, A01-1 班
  4. データ解析用ストレージサーバー及び JBOD に対する延長保守 (データサーバーの保守のため), 12,659 円, A02-3 班
  5. ゲルマニウム井戸型ガンマ線検出器真空引き修理, 324,000 円, A02-3 班
  6. 霞ヶ浦での柱状泥採取作業, 332,640 円, A03-5 班
  7. セディメントトラップ (SMD26S-6000) 点検整備費, 266,760 円, A02-4 班 (北海道大学おしよる丸による乗船調査のため)
  8. 小沼での柱状泥採取作業, 265,680 円, A03-5 班
  9. 東京大学施設利用料, 放射性炭素年代測定経費, 140,000 円, A04-7 班

#### 【平成 28 年度】

- ・旅費
1. 9th International Conference on Nuclear and Radiochemistry (フィンランド, ヘルシンキ), 419,490 円, A02-3 班
  2. ヨーロッパエアロゾル会議 (EAC) 年次大会 (フランス, トゥール), 365,656 円, A01-1 班
  3. AGU フォールミーティング (アメリカ, サンフランシスコ), 360,143 円, 総括班
  4. International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (ハンガリー, ブダペスト), 357,0245 円, A02-3 班
  5. ノルウェー海外若手研修プログラム 依頼出張, 323,420 円, 総括班
  6. EGU (オーストリア, ウィーン), 275,096 円, A01-1 班
  7. IGRS 2016 Taiwan 5th International Geo-Hazards Research Symposium (台湾), 110,260 円, A04-7 班
- ・人件費・謝金
1. 研究員 (岩上翔) の雇用, 4,699,403 円, A03-5 班
  2. 博士研究員の雇用, 3,562,245 円, A02-3 班 (環境試料中の放射性核種分析法の開発と環境動態解析)
  3. 研究支援者派遣 1 年分, 2,753,269 円, A01-2 班 (効率よく研究成果を出し, 関連する研究業務を早期・円滑に実施するため研究支援者が必要である。)
  4. 研究員 (綾部慈子) の雇用, 2,671,982 円, A03-6 班
  5. 特任研究員 (栗原雄一) の雇用, 1,581,088 円, A04-7 班

6. 技術補佐員（山口梓）の雇用，1,457,132 円，A02-4 班（堆積物・懸濁物試料の分析）
  7. 研究員（金指努）の雇用，992,645 円，A03-6 班
  8. 研究員（山口敏朗）の雇用，826,848 円，A03-5 班
- ・その他
- 1.再委託「放射性物質の大気中の輸送と時空間分布に係る研究」，5,969,160 円，A01-1 班
  2. SEM（走査型電子顕微鏡）リース7ヵ月分，4,324,320 円，A01-2 班（放射性核種を担っていたエアロゾルの形状，組成，混合状態を明らかにするため。）
  3. 福島県の森林における空間線量率の測定，1,593,000 円，A03-5 班
  4. マルチ CTM 予測システム構築，1,325,000 円，A01-1 班
  5. 英文校閲，280,958 円，総括班
  6. 備船料・計測機器操作費生態系移行・メバル生息岩礁域調査，153,800 円，A02-4 班
  7. 英文校閲，84,240 円，A02-3 班
  8. Rare Earths 2016 参加登録料，60,000 円，A04-7 班

(3) 最終年度（平成26年度）の研究費の繰越しを行った計画研究がある場合は，その内容を記述してください。



## 9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

### A01 班

- 大気中に放出された放射性物質の排出量推定と動態とに関するモニタリングとモデルシミュレーションに関する手法を確立した。これは、大気輸送モデルの性能の評価と問題点の洗い出しに貢献し、大気汚染と短寿命気候汚染物質の気候影響研究で利用されるモデルの改良に役立った。
- 学術会議の第1回国際モデル比較に続いて、本プロジェクトの研究者が中心になって、第2回国際モデル比較を実施中である。現在、世界の12モデル、専門分野としては原子力研究機関、地球科学研究機関、気象期間などが参加中であり、多分野のモデリング研究への波及効果がある。
- 従来を知見を超えた発見として、1) 一次放出形態のひとつとして、不溶性Cs粒子の発見があげられる。これは、事故の進展の解明、サイト廃炉研究、健康影響の研究にも大きな影響を及ぼしつつある。2) 真菌類孢子を含むバイオエアロゾルが担体となったCs再浮遊機構の解明、また3) 遅れた一次放出を含む再浮遊発生源と沈着の収支のモデル計算は、大気-陸域の相互作用の量的な関係を明らかにしており、インパクトの大きい研究となった。

### A02 班

- 福島原発事故初期の原発近傍海域における $^{134,137}\text{Cs}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{129}\text{I}$ 、 $\text{Pu}$ の汚染状況を復元した。また、原発から海洋への継続的漏洩を明瞭に捉えるとともに、観測データと領域海洋モデルによるシミュレーションを組み合わせて直接漏洩量を評価することができた。
- 北太平洋において広域観測を行い、福島原発事故由来 $^{134,137}\text{Cs}$ の輸送の三つの主要な経路と輸送の様相を明らかにすることができた。これにより、今後数十年にわたる放射性セシウムの内部循環過程の予測に資することが可能となった。
- 過去の海洋生態系汚染事例とは異なり、海洋環境汚染の時間的な変化が大きかった福島事故について、生態系汚染の推移に関する貴重なデータセットを残すことができ、かつ従来の海洋生態系における放射性核種移行のプロセスについての知見を修正することで、最終的には動的モデルによる生態系汚染の推移の再現に成功した。

### A03 班

- 河川における溶存態セシウム濃度、懸濁態セシウム濃度の経時変化を得た結果、それらと土地利用との関係が大きいことが分かり、これはモデル化にあたって大きく資するものである。
- 河川の数値計算で得られた懸濁態流出量を海へのインプットとして沿岸域における懸濁物質や土砂の堆積のシミュレーションを行い、海洋への $^{137}\text{Cs}$ の移行量の定量化につながった。
- スギ林と、コナラを含む広葉樹林の違いを明らかにし、森林における放射性セシウムの動態が樹種によって異なることを定量的に示すことで、森林施業の将来計画に貴重な情報を提供した。
- 土壌表面の有機質層での微生物活性が、硬質土壌層に含まれる放射性セシウムの上方への輸送をおこなっていることを実験的に明らかにし、除染への応用の可能性を現場でも証明した。

### A04 班

- 加速器質量分析計などを駆使した放射性核種の分析法を開発し、放射性核種の放出過程の解析や同位体トレーサーとしての利用可能性を示した。
- 分光学的手法や物理化学モデルの適用により、セシウムやヨウ素の固液分配を支配する因子を解明し、その後の研究の指針となった。
- 試料採取や分析法開発を基盤として多くの学会で関連セッションが設けられ、成果の多くが発表され、学会員との連携研究や新たな研究の発足を促すなど、大きな波及効果を引き起こした。

## 10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

※研究代表者・研究分担者・連携研究者・研究協力者として参画した若手研究者を指します。

若手育成策として、各計画研究班主催による「放射性核種の環境動態を学ぶ総合研修プログラム」および「国際学会等への旅費支援」を行った。なお、若手育成事業は、本領域の研究分担者・連携研究者らと共に研究に関わっている博士前期・後期課程学生及び39歳以下の研究者・教員を対象とした。5年間でのべ23の研修プログラムが開催され、のべ169名の参加があった。また大気・海・陸・化学の4分野のプログラムを網羅した参加者は12名となった。

### A01-1 班

- ・ 3回の「福島第一原発事故による放射性物質の環境汚染シミュレーションに関する講習会」を開催し、のべ120名が参加した。
- ・ 修士号取得後・JAEA 研究員（正職員）、博士号学位取得後・JAEA 研究員（正職員）、国立環境研究所の任期付研究員から主任研究員、気象庁気象研究所主任研究員から九州大学応用力学研究所准教授、名古屋大学助教から福島大環境放射能研講師に各1名が採用された。

### A01-2 班

- ・ 若手研修として A01-2 班では、「大気試料の採取と電顕観察」をテーマとして H25 年度から福島観測現地および気象研究所での研修を合わせて5回実施、合計で15名の若手研究者が参加した。
- ・ H26 年12月から合計4回の「論文執筆研修」を実施した。各参加者の卒論、修論、博士論文に加え、少なくとも10報の原著学術論文の投稿・掲載し、若手研究者育成に大きく寄与した。

### A02-3 班

- ・ 海洋研究開発機構むつ研究所において、海水からの放射性セシウムの分離精製・測定実習、海洋地球研究船「みらい」見学、講義（海洋における放射能調査）、最新海洋観測機器見学などのプログラムで若手育成研修を行った。合計28名（平成25年度：5名；26年度：6名；27年度12名；28年度：5名）の参加者があり、参加者のレポートによると大変好評であった。

### A02-4 班

- ・ 「放射性核種の環境動態を学ぶ総合研修プログラム」として、A02-4 班による主催で大学練習船上での観測調査実習及び調査内容の解説を計4回実施した。本計画研究の研究協力者であった若手研究者が、静岡大学理学部助教（任期なし）、京都学園大学バイオ環境学部准教授（任期なし）に採用された。

### A03-6 班

- ・ 研究分担者の1名は、2012年にテニユアトラックの審査に合格し任期なしの正規教員となった。
- ・ 研究協力者である若手研究者は、2016年9月より森林総合研究所の研究員として、2017年4月より公益財団法人環境科学技術研究所の研究員として採用されている。

### A04-7 班

- ・ 期間内に雇用した若手研究者は研究終了後、海外の大学・研究所の教授（1名；33歳）、准教授（1名）、任期付き研究員（1名）として就職し、国際的に活躍している。また、博士号取得者（1名）を輩出した他、修士号取得者においても得られた技術・知識を活かした職（JAEA2名、海生研1名、規制庁1名、分析関連会社1名）に就いている。

### A04-8 班

- ・ 本研究テーマに関連して、A04-08 班全体で博士の学生が2名、修士と学部学生についてはそれぞれ10名程度が学位を取得した。博士課程を修了した2名については、それぞれ国立大学および国立研究所で研究者としての職を得た。Ge 検出器による放射能定量法講習として、計5回の実習を行い、19名の修了者があった。

## 11. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

### 森口 祐一 東京大学大学院工学系研究科 教授

評価者は、研究代表者からの委嘱により本学術領域研究のアドバイザーを務め、平成24年8月のキックオフ会合（成田）から平成29年3月の最終会合（筑波大）に至るまで、1回を除き全体会議のほぼ全てに出席し、各班の研究および領域全体としての研究の進捗を継続的に見ることができる立場にいた。

事後評価報告書にまとめられた通り、本研究を構成する8つの計画研究班は、設定された研究課題に沿って、学術的に貴重でかつ社会的にも意義のある成果を挙げてきた。研究期間の初期には、各班相互の関係がやや見え難い印象もあったが、研究が進むにつれて班をまたがった研究協力の姿が明確に示されるようになった。中間評価書で示された後半の研究領域の推進方策に沿って、公募班も交えながら横断的な切り口での連携活動が組織的に実施されたことは、学際性の高い活動として特筆される。

大気、海、陸という3つの環境媒体に着目した放射性物質の動態の解明と、これら媒体を横断的にとらえた化学形態・測定という切り口からの計画研究班の構成は的確であり、分野毎に見ても総合力においても研究力の大きな進展が見て取れた。若手育成事業として数多くの研修プログラムが用意され、大気・海・陸・化学の4領域すべての習得を促すなど、深みと総合力を兼ね備えた人材育成が行われた。論文等による学術的な成果発表は、質・量ともに十分な水準であり、大規模な学会における企画セッションの継続開催や一般向けの講演会など、アウトリーチ活動も活発に行われた。TV報道や新聞報道も数多く、社会から寄せられる関心に応える成果を挙げてきたといえる。

チェルノブイリ事故の例を引くまでもなく、本課題が焦点をあてた「放射性核種の環境動態」は中長期的な調査研究が必要な課題である。主に大学の研究者によって進められた本課題は、日本原子力研究開発機構、国立環境研究所、放射線医学総合研究所などの国立研究開発法人が並行して取り組んできた事故由来放射性物質の環境動態に関する研究とも相乗的に作用し、評価者が部門長を務める福島県環境創造センター環境動態部門などにおける今後の中長期的な研究の進め方にも重要な示唆を与えている。本課題は、今後の調査研究を担う人材の供給という面も含め、さらに中長期的かつ着実に事故の影響の科学的解明を進めるうえで重要な堅固な礎を築いたといえ、当初の期待を上回る成果を挙げたと評価できる。

### 柴田徳思 日本アイソトープ協会 常務理事

研究成果の中で特筆すべきと考える成果を以下に挙げる。この研究領域を専門に研究してきたわけではないので、見落としのあることは大いにあると考えている。

「1. 大気への影響」ではSPM観測網の試料テープが各地点の毎時の空气中放射性浮遊物質の濃度測定に役立つことを早い段階で認識し、このテープ解析から各地でのCs-137とI-129の濃度の毎時の値を得て、放射性プルームの時間的挙動を明らかにした。これにより、大気拡散モデルの精緻化を進めたこと、事故におけるCs-137の放射源の時間的変化を詳細に検討したこと。これらの成果は避難民の行動調査と合わせて初期の被ばく評価に役立つし、今回の研究がなければテープは廃棄されていたかもしれない。また、Csボールと呼ばれる不溶性の直径数ミクロンの球状物質の発見が挙げられる。

「2. 海洋への影響」では放射性Csの太平洋における輸送経路が北太平洋海流、北太平洋亜熱帯モード水、中央モード水の3経路であることを明らかにした。直接漏洩量の大きさとその時間変化を明らかにした。沿岸海域生物群へのCs-137の移行が有機態堆積物から底生魚類への移行の可能性の高い事を示した。

「3. 陸域での移行」では森林溪流水の溶存態の時間経過を明らかにしたこと。Cs-137の流出フラックスにおいて不溶解性粒子状物質(ss)が97%以上であり、これらは河川に堆積することなく海域へ輸送されることを明らかにしたこと。事故直後の植物への放射性Csの吸収に関して、葉面や樹皮からの表面吸収の寄与が大きかったことを明らかにしたこと。

「4. 存在形態と測定技術の開発」ではアクチノイド核種の定量法を開発し、放射性微粒子中のUとCsの同位体比測定から、これらが燃料メルトから放出されたことを明らかにしたこと。SrやAmの定量法を開発したこと。Csボールを実験室内での模擬実験で生成に成功したこと。

事故後の放射性物質の環境動態を調査し世界に発信することは日本の科学者の責務であり、この研究がスタートしたことは大きな意義のあることだと考えている。スタートの当初は、どのように調査するかその手法がほとんど分からない状況で研究がスタートしたが、大きな成果が挙げたと評価する。研究期間が進むにつれて、問題点と何を調べればよいか明らかになってきたのが現状で今後の展開が期待できる状況であると判断している。

事故による環境汚染に関して、「原発事故環境汚染-福島第一原発事故の地球科学的側面」を出版し、この英文版の刊行を進めていることは重要であると認識している。今回の研究で多くの論文が発表されているが、成果全体が分かる日本語と英語の本の刊行が強く望まれる。また、放射性物質の環境動態に関して、環境省等が行っている調査研究、JAEAの行っている研究などを合わせて福島原発事故後の調査研究の全貌が分かる報告書をまとめて出版することが世界にとって重要で、その実現性を検討し提案してもらいたい。

#### 蒲生俊敬 東京大学大気海洋研究所 教授

本研究は、東日本大震災と福島原発事故の発生からほぼ1年後の2012年という絶好のタイミングで開始された。事故により放出された放射性核種が、自然界でどのように拡散・移行していくのか、物理・化学・生物学など、あらゆる自然科学の手法が効果的に組み合わせられ活用され、5年間にわたり、詳細に追跡・記録・研究された。この時期にしか取得できない新知見を次々と得、学際的な観測とモデリングの両面から分析・解析がなされ、きわめて重要性の高い研究成果が取りまとめられている。

放射性核種の漏出にあたり当初予測された事象の時空間的な推移について、本研究では確実にカバーし、世界的にもきわめて貴重な記録を残したことは高く評価される。また、自然科学研究の常として、研究の途上で、当初の想定外の現象にぶつかっているが、それ等に対する臨機応変の処置や軌道修正も巧みになされ、研究のレベル向上に生かされている。大気・海洋・陸域に幅広くまたがり、これだけ多種多様にわたる学際的研究チームをとりまとめ、研究の完遂に向けて舵取りすることは並大抵のことではなかったと推察されるが、研究代表者及び総括班メンバーはこの重責を全うし、巧みに交通整理と連携拡充に努めたことにより、数多くの優れた研究成果へと昇華させたことは、とりわけ高く評価される。

本研究の成果は、多数の著名な国際誌に原著論文として公表されつつあり、国際的に今後様々な分野で活用されることは論を待たない。このような文書としての未来への遺産に加えて、本研究によるもう一つの未来指向の活動は、若手研究者・大学院生の育成に絶えず気を配ってきたことである。すなわち研究班ごとに若手研修会・講習会を多数開催し、この5年間でなければ出来ない貴重な経験や体験を若手研究者に得させたことは、今後のこの研究領域の発展にきわめて有益だったことと評価される。実際、彼らの何名もが、研究の場に職を得て活躍を始めている。本研究の成果は確実に未来へと引き継がれていくことが期待される。(蒲生俊敬)