



環境・放射線科学に関する研究

原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター
環境・放射線科学ディビジョン

中長期計画と実施計画

②項目5基礎基盤研究

中長期計画（抜粋）

核データ、燃料・材料の劣化挙動、**放射性核種の環境中挙動等の知見を蓄積**し、長寿命核種の定量分析や核燃料物質の非破壊測定等の測定・分析技術を開発する。また、核特性、熱流動、**環境動態、放射線輸送、耐震評価、シビアアクシデント時の炉内複雑現象等のモデル開発のための基礎データの拡充並びに信頼性及び妥当性検証のための測定手法や分析手法の開発を進め、データベース及びコンピュータシミュレーション技術の開発を進める。**

この研究を進めることにより**東京電力福島第一原子力発電所事故の中長期的課題への対応**、分離変換技術等の放射性廃棄物処理処分、軽水炉を含む原子炉技術高度化、**環境影響評価及び放射線防護**の各分野に貢献する。

達成目標

- ・大気拡散モデルの高分解能化と機能拡張、海洋拡散システムを完成させる。
- ・水中核種測定システム、同位体測定・実験技術を開発し、環境中核種挙動データを取得する。
- ・飛跡構造や核熱連携等の解析を可能とする汎用放射線挙動解析コードを完成させる。
- ・公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステムを完成させる。
- ・高線量環境下における核種同定システム及び生体試料中核種分析法を完成させる。

実施計画	年度	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	
A.環境動態研究		a1.大気拡散モデルの高分解能化、 海洋拡散システム開発			a2.計算コードの機能拡張、計算効率化、実用化				
		a3.水中核種測定システムの開発、 環境中核種挙動データ取得			a4.環境中核種挙動データ取得の継続、 核種挙動メカニズム解明				
B.放射線挙動解析研究		b1. エネルギー付与計算の高度化				b2. ミクロからマクロスケール影響評 価へ繋げる手法の開発			
		b3. 高精度線量評価モデルの開発				b4. 個体差を考慮した線量評価法の 開発			
C.放射線管理技術開発		c1.高線量下核種同定システム開発 c2.生体試料中超ウラン元素分析法開発					c3.分析法確立		前倒して 完了

A.環境動態研究

達成目標1：大気拡散モデルの高分解能化と機能拡張、海洋拡散システムを完成させる。

- ✓ 建物影響を考慮した高分解能大気拡散計算と建物の遮蔽効果を考慮した線量評価が可能な高分解能大気拡散モデルLOHDIM-LESを開発した。また、LOHDIM-LESの事前計算による気流場データベースと実気象データを用いて迅速予測が可能な実用的計算法を開発した。
- ✓ 大気拡散予測システムWSPEEDIを改良し、様々な気象条件や任意の放出源情報に対する大気拡散の計算結果を即座に取得できる大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBを開発した。（主な成果で説明） また、放出源情報を推定し拡散状況を再構築する手法を開発した。さらに、拡散予測の不確実性をAI技術を活用して評価する手法を開発した。（想定以上の成果）
- ✓ 放射性核種の海洋拡散をリアルタイムで予測する緊急時海洋環境放射能評価システムSTEAMERを開発した。また、沿岸域を対象とした高分解能海洋拡散モデルを導入しシステムを完成させた。

達成目標2：水中核種測定システム、同位体測定・実験技術を開発し、環境中核種挙動データを取得する。

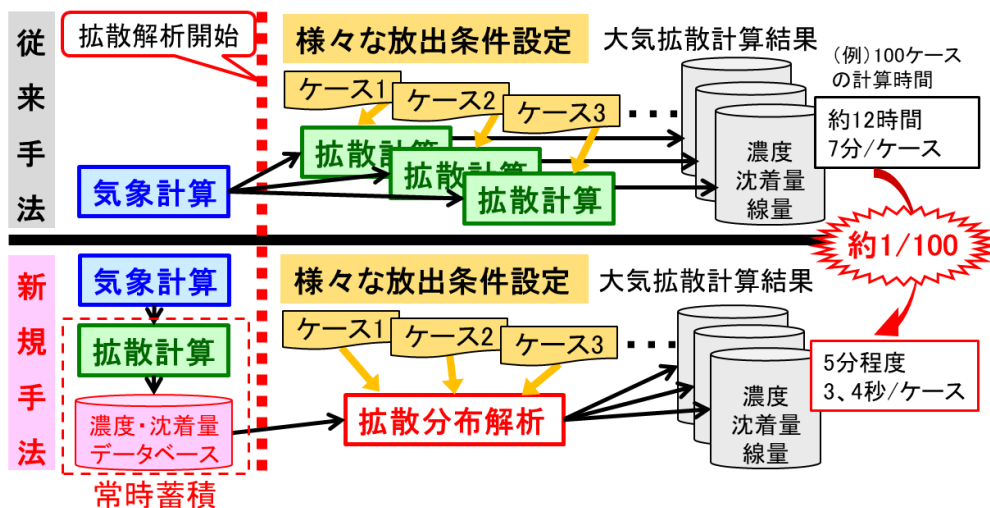
- ✓ 水中核種連続測定システムを開発し海洋調査での実地試験によりCs-137の測定性能を実証した。
- ✓ 放射性炭素（C-14）の測定・実験技術を活用した陸域炭素循環の解明手法を確立し、「同位体分析を利用した土壌研究ガイド」として公開した。

中長期計画以外の成果

- ✓ WSPEEDI-DBを活用した長期間における様々な条件の大気拡散解析により、島根県のモニタリング計画の最適化に貢献した。（主な成果で説明）
- ✓ ヨウ素の化学形態を考慮した全球大気拡散モデルを開発し、大気中ヨウ素129の動態を解明した。
- ✓ 陸面環境中の熱・水・炭素循環を再現し放射性核種（トリチウム・炭素14・ヨウ素129・セシウム137）の移行挙動を精緻に予測できる陸面核種移行モデルSOLVEG-Rを開発した。また、1F事故による森林樹木の汚染メカニズムの解明と濃度変動の将来予測に活用した。
- ✓ 福島県内の土地利用の異なるサイトと茨城県内の森林集水域において、放射性セシウムの分布及び時間変化の調査を実施し、1F事故による放射性セシウムの陸域での動態を解明した。
- ✓ アジア原子力協力フォーラム（FNCA）気候変動科学プロジェクトにおいて、同位体測定・実験技術を活用した国際協力研究を推進した。

放射性物質の様々な条件の大気拡散計算を高速化

解析データを連続的に常時蓄積し、データベース化することで、複数の気象条件と任意の放出条件に対する大気拡散の計算結果の比較・検討を飛躍的に効率化できる（従来の約1/100の時間）大気拡散データベースシステム「WSPEEDI-DB」を開発し、計算コードを無償公開



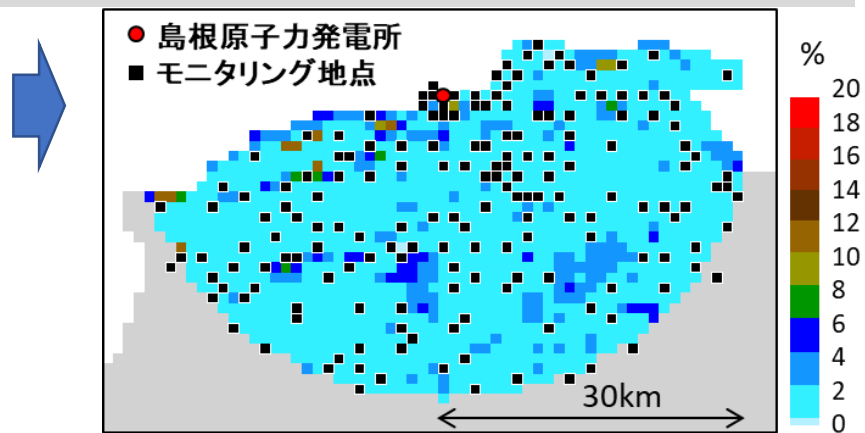
従来手法との比較

【プレス発表】 「放射性物質の様々な条件の大気拡散計算を高速化」、令和2年6月、読売新聞等13紙に掲載

アウトカム

気象条件などに応じた最適なモニタリング方法の検討や、訓練用シナリオの検討と模擬モニタリングデータの作成など、地方公共団体による、放射性物質の大気拡散計算を用いた様々な検討への活用が期待できる。

約1年間（8592ケース）の拡散分布解析結果から、ある地点の空間線量率の計算値が、周辺4つのモニタリング地点で計算された最大値の2倍以上となった空間線量率の高い場所（ホットスポット）の割合を算出し、モニタリングポスト配置の有効性を評価した事例（島根県原子力環境センターとの共同研究）



上記の解析を従来手法で行う場合では約42日かかる拡散計算が、WSPEEDI-DBでは約9時間で解析できるため、様々な放出条件を想定した検討が可能

B.放射線挙動解析研究

達成目標1：飛跡構造や核熱連携等の解析を可能とする汎用放射線挙動解析コードを完成させる。

- ✓ PHITSによる水中のエネルギー付与計算の空間分解能を向上（生体で、細胞レベルからDNAレベル）するとともに、人体形状を精密に表現する幾何形状（連続四面体）の読み込み機能を開発した。
- ✓ 様々な用途に対する包括的ベンチマーク計算を実施し、PHITSの信頼性を担保した。
- ✓ PHITSの誘導放射能計算等の高度化を行うとともに、核熱連成計算機能（エネルギー付与による発熱量計算）、系統的不確かさ評価機能等を新たに実装した。
- ✓ あらゆる物質における種々の放射線の飛跡をナノスケールで解析する機能をPHITSへ実装し、マクロスケールからの練成計算を可能とした。

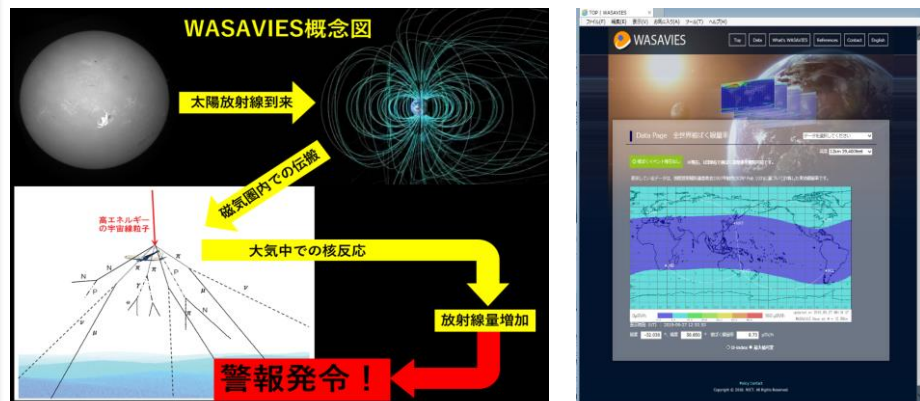
達成目標2：公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステムを完成させる。

- ✓ 広範な環境中に分布した核種による被ばく線量を解析する手法を構築した。
- ✓ PHITSと最新の人体モデル(ポリゴンファントム)を用いて、被ばく線量を精緻に解析する手法を開発した。
- ✓ 姿勢変化を再現可能な人体モデル、外部被ばく線量評価データベースを開発した。
- ✓ 公衆の光子及び中性子による外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステムを開発した。

中長期計画以外の成果

- ✓ 放射線科学に関する基礎研究により、複雑なDNA損傷プロセスやシンチレーション検出器の光出力の仕組みの解明に係る知見を明らかにした。
- ✓ 不溶性放射性微粒子の吸入に伴う内部被ばくによる線量を評価する手法を開発するとともに、細胞やDNAが受ける影響の解明に有益な知見を明らかにした。
- ✓ 外部機関と協力したPHITSの応用研究により、医療、産業、宇宙開発などの分野で科学的知見、実用的システムを創出した。世界各国の平均宇宙線被ばく線量の評価、原爆被ばく線量再評価への協力により、国際的な放射線防護基準やデータの見直しに有益な知見を明らかにした。（主な成果で説明）

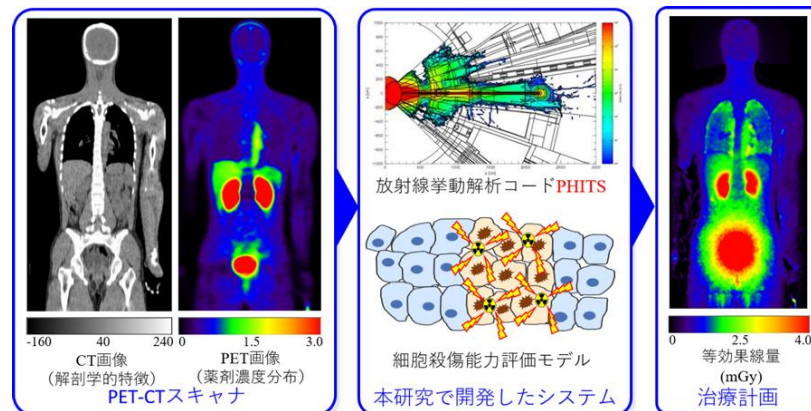
太陽放射線被ばく警報システム(WASAVIES)



WASAVIESによる警報発令の概念図（左図）及びホームページ（右図、<https://wasavies.nict.go.jp/>）

- 情報通信研究機構（NICT）、原子力機構、情報・システム研究機構国立極地研究所を中心とする研究グループが、各機関の強みを結集して開発
- JAEAは大気内での核反応シミュレーションと線量計算、及び全モデルを統合したリアルタイム計算アルゴリズムを開発
- NICTにおいて令和元年11月に公開、運用開始
 - ⇒ 巨大な太陽フレア時における航空機乗務員被ばく線量の低減対策（航空機運航に必須情報として利用が期待）
- 令和元年プレス発表：読売新聞、日刊工業新聞等5紙に掲載

α線核医学治療に用いるシステム

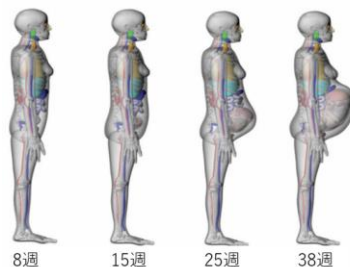
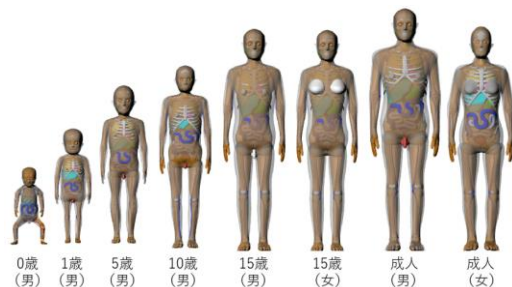


開発した核医学用線量評価システムの概要と検証例（大阪大学との協力により開発）

- 患者のPET-CT画像から自動で体内の積算放射能分布を推定し、PHITSを用いてTAT（α線を用いた標的核医学治療）用の吸収線量分布を計算するシステムを構築
- α線の高い細胞殺傷効果や腫瘍内における薬剤不均一性を考慮して、同じ効果を与えるX線治療の線量を推定する新しいモデルを確立し、システムへ搭載
 - ⇒ X線治療の臨床結果からTATの治療効果や副作用の大きさが推定可能（オーダーメイドの治療計画が可能）
- 令和3年1月にプレス発表：日刊工業新聞等2紙に掲載、医療系メディア（MedPeer）で動画ニュース配信

国内の研究機関、大学との協力により、太陽放射線被ばく警報システムや、治療効果や副作用を精緻に推定可能とするシステムの開発に成功するとともに、BNCTの治療計画にPHITSを導入する商用利用契約を住友重機械工業と締結し、PHITSの応用研究により成果の社会実装まで達成した。

原爆被爆者の臓器線量の再評価



上図) 日本人標準体型に調整した年齢別人体モデル

左図) 日本人標準体型に調整した妊婦のモデル

放射線影響研究所、米国機関との共同研究により、1945年当時の日本人の体格を再現したモデルを用いて臓器線量を再評価

⇒臓器によって±15%程度の差、疫学調査結果の精緻化が期待

- 令和2年8月にプレス発表：NHK水戸放送局、朝日新聞（茨城、長崎版）等の多数報道

ICRP刊行物公開への寄与



タスクグループメンバーとして、環境中の放射性核種に対する換算係数データベース（ICRP Publ.144）の開発へ寄与
⇒国連科学委員会(UNSCEAR)による1F事故後の公衆の線量評価に活用

公衆の宇宙線被ばく線量の評価

年間宇宙線被ばく線量の平均、最小/最大値(mSv/y)

国名	平均値	最小/最大値
日本	0.27	0.24/0.86
全世界	0.32	0.23/6.1

参考) UNSCEAR (2008) 世界平均 0.39(mSv/y)

独自に開発した宇宙線強度計算モデルと世界標高や人口のデータベース等を組み合わせ、公衆の宇宙線被ばく線量の人口平均値等を世界230ヶ国に対して評価（世界初）

⇒ 新たな国際標準を提唱する基礎データ

- 平成28年9月にプレス発表：全国紙2件（毎日、読売）、通信社1件（共同通信：47news）等で掲載

- 国際的な放射線防護基準や線量評価用標準データ、世界のバックグラウンド線量の策定や見直しに貢献するとともに、プレス発表により成果を積極的に発信した。
- 他、IAEAによる放射線照射を受けた材料の損傷評価に用いる指標を与える報告書作成にも貢献した。

C.放射線管理技術開発

達成目標1：高線量環境下における核種同定システム及び生体試料中核種分析法を完成させる。

- ✓ 高線量率環境中で光子スペクトル測定が可能な核種同定システムを開発し、福島第一原子力発電所敷地内での測定試験による検証を経て完成した。
- ✓ バイオアッセイ試料（糞・尿）とICP-MSを用いた難測定核種（Sr-90、Pu、Am）による内部被ばくを1～2日で評価可能な多核種迅速逐次分析法の開発を完了した。
- ✓ 当初計画より1年前倒しで目標を達成し、令和2年度で研究開発を終了した。

中長期計画以外の成果

- ✓ 眼の水晶体及び末端部モニタリング用個人線量計の開発、シミュレーション計算による被ばくの不均等度の評価により、放射線業務従事者の眼の水晶体等末端部等価線量の適切な評価が可能となった。
- ✓ 中性子やγ線校正場について新規開発及び精度向上を実施することにより、放射線測定器の試験可能なエネルギー範囲の拡大や校正精度の向上を可能とした。

令和3年度計画

環境・放射線科学研究では、環境中核種分布・移行評価技術高度化のために、高分解能大気拡散モデルの実用的な計算法、大気放出・拡散過程の再構築手法を完成させることにより、放射性物質の海洋放出の迅速予測及び原子力施設敷地内や都市域での放出事象に対する詳細な影響評価に資する環境中分布・移行評価技術を確立する。また、令和2年度までに開発した人体への影響を表す防護量と環境・個人モニタリングで用いる防護量の近似値である実用量との関係を与えるデータベースを活用し、体格を考慮した従来よりも精緻な公衆の外部被ばく線量評価を可能とするシステムを完成させる。

令和3年度実績（みこみ）

【目標を達成】

- 高分解能大気拡散モデルLOHDIM-LESの事前計算で構築した平均・乱流風速データベースと3次元風速場観測データとの融合により、リアルタイムで現実の拡散状況を詳細に再現可能な実用的拡散計算法を開発し、簡易拡散実験との比較により有効性を実証した。
- 大気放出・拡散過程の再構築機能を完成し、大気拡散データベースシステムに導入した。
- PHITSに放射線の飛跡構造解析機能を実装し、マクロスケールからミクロスケールの練成計算等を可能とする汎用放射線挙動解析コードとして完成した。
- 令和2年度に開発した実効線量換算係数データベースを活用し、公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステムを完成させた。

【計画外または計画を超える実績や特筆すべき成果】

- 大気拡散予測の不確実性を評価する手法について、AIの活用方法を検討しWSPEEDI-DBと連動した不確実性評価機能を開発した。

第3期中長期計画達成目標と成果（1F関連）

③1F廃炉研究開発基盤

D. 1F事故対処への貢献

達成目標1：環境汚染状況の把握と移行挙動を解明し、国や国際機関による被ばく線量評価に貢献する。

- ✓ 大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBを活用して1F事故時の大気放出量の推定と大気拡散・沈着過程の再現性を向上し、放射性核種の環境中時間空間分布データベースとして公開した。データベースは、環境省「放射線健康管理・健康不安対策事業」及び国連科学委員会UNSCEARにおける被ばく線量評価に利用された。（主な成果で説明）
- ✓ 福島県内の土地利用の異なるサイトと茨城県内の森林集水域において、放射性セシウムの分布及び時間変化の調査を実施し、1F事故による放射性セシウムの陸域での動態を解明した。
- ✓ 陸面環境における放射性核種の移行挙動を精緻に予測できる陸面核種移行モデルSOLVEG-Rを活用し、森林樹木の汚染メカニズムを解明し、将来の濃度変動を予測した。

達成目標2：ALPS処理水の管理放出、廃炉に伴う放射性物質の飛散・汚染水漏えいに対する監視・影響評価手法を開発する。

- ✓ 緊急時海洋環境放射能評価システムSTEAMERによる30日先までの海洋拡散予測を毎日自動実行し、経済産業省資源エネルギー庁及び外務省へ提供する体制を構築した。提供した予測結果は、海洋放出に関する国内外対応の検討に活用されている。（主な成果で説明）
- ✓ 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業の課題解決型廃炉研究プログラム採択課題「ガンマ線画像スペクトル分光法による高放射線場環境の画像化による定量的放射能分布解析法」において、γ線画像から大気中3次元核種分布及び放出量を逆解析する手法の開発を進め、廃炉に伴う放射性物質の飛散を検知可能な測定・解析手法を試作した。

主な成果：1F事故対応への拡散解析による貢献

③1F廃炉研究開発基盤

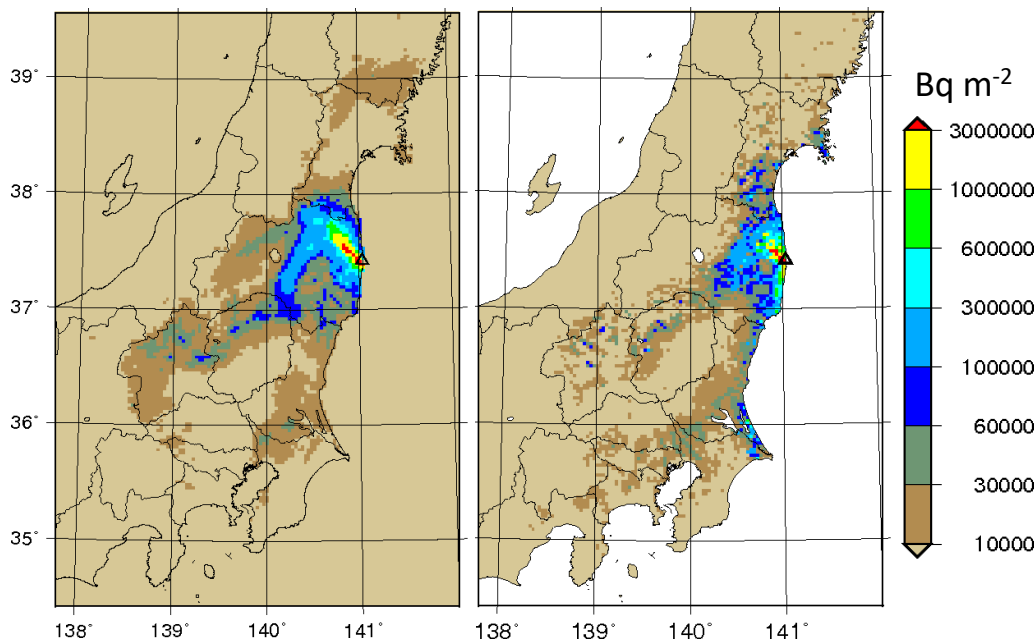
大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBによる大気拡散過程の再現 海洋拡散予測システムSTEAMERの海洋拡散予測情報の提供

1F事故時の大気放出量の推定と大気拡散・沈着過程の再現性を向上し、放射性核種の環境中時間空間分布データベースとして公開

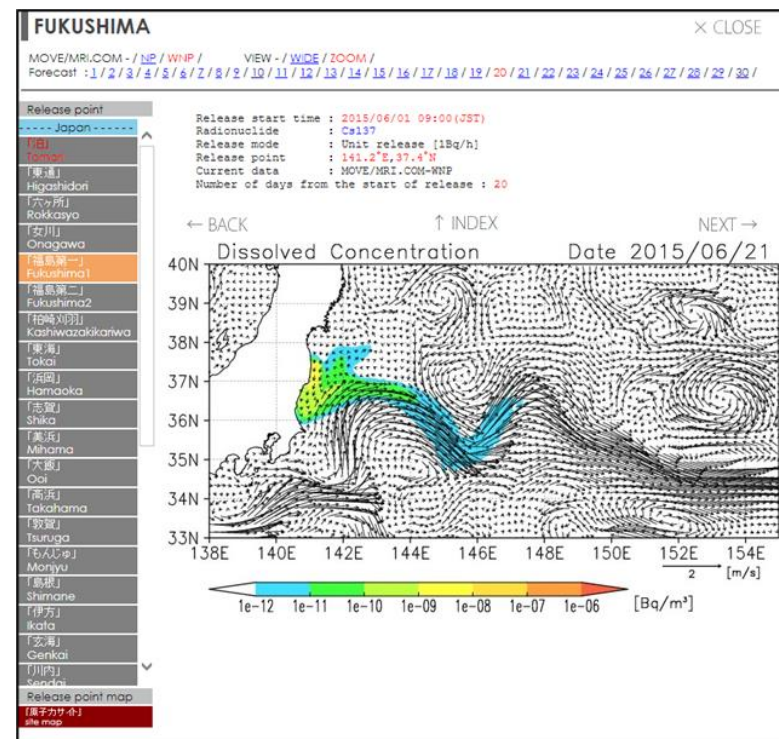
1Fからの海洋放出を想定した30日先までの海洋拡散予測計算を毎日実行し、予測結果をエネルギー及び外務省へ提供

航空機モニタリング

計算値



アウトカム



- 大気拡散データベース：環境省「放射線健康管理・健康不安対策事業」及び国連科学委員会 UNSCEARにおける被ばく線量評価に利用
- 海洋拡散予測情報：1Fからの海洋放出に関する国内外対応の検討に活用

環境・放射線科学に関する自己評価 (1/5)

②項目5基礎基盤研究

評価項目	自己評価
(1)研究成果の達成度と当初計画の妥当性 ・研究開発の達成度（成功・不成功の原因の把握・分析）と妥当性	S

大気拡散モデルの高分解能化と機能拡張、海洋拡散システム、水中核種測定システム、同位体測定・実験技術開発、環境中核種挙動データ取得、飛跡構造や核熱連携等の解析を可能とする汎用放射線挙動解析コード、公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステム、高線量環境下における核種同定システム及び生体試料中核種分析法の開発を計画通り達成できており計画は妥当であった。さらに、学会賞等を20件（文部科学大臣表彰2件、国際表彰2件を含む）受賞すると共に、計画外にも多くの成果を挙げたことから、当初計画を大きく上回る特に顕著な成果を創出したと評価した。

第3期中長期計画分(③項目5)

達成目標①：大気拡散モデルの高分解能化と機能拡張、海洋拡散システムを完成させる。

- 高分解能大気拡散モデルLOHDIM-LESとその実用的計算法、大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBと放出源推定・拡散再構築手法及び不確実性評価手法、緊急時海洋環境放射能評価システムSTEAMERを開発した。

達成目標②：水中核種測定システム、同位体測定・実験技術を開発し、環境中核種挙動データを取得する。

- 水中核種連続測定システムを開発し海洋調査での実地試験によりCs-137の測定性能を実証した。放射性炭素（C-14）の測定・実験技術を活用した陸域炭素循環の解明手法を確立した。

達成目標③：飛跡構造や核熱連携等の解析を可能とする汎用放射線挙動解析コードを完成させる。

- PHITSの高度化（エネルギー付与計算の空間分解能向上、連続四面体の読み込み機能、誘導放射能等の高度化、系統的不確かさ評価機能、ナノスケールの飛跡解析機能）汎用放射線挙動解析コードを完成させた。

達成目標④：公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステムを完成させる。

- 環境中に分布した核種からの被ばく線量解析手法、最新の人体モデルを用いた被ばく線量解析手法、姿勢変化が可能な人体モデル、外部被ばく線量評価データベースを開発し、公衆の外部被ばく線量を評価するシステムを構築した。

達成目標⑤：高線量環境下における核種同定システム及び生体試料中核種分析法を完成させる。

- 高線量率環境下核種同定システム、バイオアッセイ試料中の難測定核種の迅速分析法を開発した。

第3期中長期計画分以外（③項目5の当初計画外）

- WSPEEDI-DBを活用した自治体の防災計画への貢献、全球大気拡散モデルの開発と大気中ヨウ素129の動態解明、陸面核種移行モデルSOLVEG-Rの開発と森林樹木の汚染メカニズム解明と濃度変動の将来予測、1F事故による放射性セシウムの陸域での動態解明、アジア原子力協力フォーラム（FNCA）気候変動科学プロジェクトにおける国際協力を推進した。
- 複雑なDNA損傷プロセスやシンチレーション検出器の光出力の仕組みの解明、不溶性放射性微粒子に対する線量評価手法の開発、細胞やDNAが受ける影響の解明、外部機関との連携による実用的システムの創出、世界各国の平均宇宙線被ばく線量の評価、原爆被ばく線量再評価、国際的な放射線防護基準やデータの見直しに貢献した。

環境・放射線科学に関する自己評価 (2/5)

②項目5基礎基盤研究

評価項目	自己評価
(1)研究成果の達成度と当初計画の妥当性（つづき） ・学会賞等の受賞数	S
<p>学会賞等の受賞数：20件</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>H27年 文部科学大臣表彰・科学技術賞（開発部門）「緊急時環境線量情報予測システムWSPEEDIの開発」</u> ✓ <u>H27年 米国化学会論文賞「Vertical and Lateral Transport of Particulate Radiocesium off Fukushima」</u> ✓ H28年 日本原子力学会賞論文賞「Increase in rare earth element concentrations controlled by dissolved organic matter in river water during rainfall events in a temperate, small forested catchment」 ✓ H28年 日本原子力学会奨励賞「放射線により生じる電子機器の誤動作現象に関するシミュレーション技術の高度化」 ✓ H29年 日本原子力学会賞学術業績賞「放射性炭素の原子力施設からの放出と環境中での移行に関する総合的研究」 ✓ H29年 JNST Most Popular Article Award 2016 ✓ H30年 JNST Most Cited Article Award 2017（2件） ✓ H30年 JNST Most Popular Article Award 2017 ✓ H30年 日本原子力学会賞技術賞「環境に分布する放射性セシウムによる公衆の外部被ばく線量推定手法の開発」 ✓ H30年 日本保健物理学会論文賞「体格の異なる成人日本人ボクセルファントムの構築と外部光子照射に対する臓器線量評価への適用」 ✓ <u>H31年 文部科学大臣表彰・科学技術賞（研究部門）「放射性炭素の大気放出と環境中移行に関する総合的研究」</u> ✓ H31年 JNST Most Popular Article Award 2018（2件） ✓ <u>R2年 アジア原子力協力フォーラム（FNCA）2020年最優秀研究チーム賞「気候変動科学プロジェクト日本チーム」</u> ✓ R2年 日本原子力学会賞技術賞「緊急時海洋環境放射能評価システムの開発」 ✓ R2年 JNST Most Cited Article Award 2019（2件） ✓ R2年 日本原子力学会保健物理・環境科学部会賞（論文賞）「Development of a stochastic biokinetic method and its application to internal dose estimation for insoluble cesium-bearing particles」 ✓ R3年 日本原子力学会論文賞「Measurement of displacement cross-sections of copper and iron for proton with kinetic energies in the range 0.4 - 3GeV」 	

評価項目	自己評価
(2)研究成果の社会への反映 ・研究開発成果の効果・効用（アウトカム）の把握・普及の程度 ・イノベーション創出への取組の妥当性 ・社会実装の達成度、取組の妥当性（技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む） ・科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性	S

ニーズに対応した研究開発のアウトカムを見据えて、多くの外部資金獲得や計算コード/データベースの公開、技術・知識基盤プラットフォームの構築を行っており、社会へ反映し国際的にも高く評価されている特に顕著な成果が得られていると評価した。

- ・計算コード/データベース等の公開等の成果の社会実装：コード配布約4,500件
 - ✓ 緊急時海洋環境放射能評価システムSTEAMERによる海洋拡散予測結果は、経済産業省資源エネルギー庁及び外務省へ提供され、1FのALPS処理水の海洋放出や廃炉に伴う汚染水漏えい等の対策の参考情報として活用されている。
 - ✓ 大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBは、国や国際機関による1F事故の被ばく線量評価に貢献するとともに、島根県における原子力発電所周辺のモニタリング地点の配置の妥当性検証に活用された。
 - ✓ PHITSコードのの普及のための講習会を84回、研究会を年1回程度開催し、現在のユーザー数は約6,000名で配布先は約50か国となっている。これにより、広く理学・工学・医学分野の放射線影響評価や放射線利用の発展に貢献している。
 - ✓ PHITSを用いて、太陽放射線被ばく警報システム（WASAVIES：情報通信研究機構のHPで公開）、PET-CT画像から線量を評価し治療効果を推定するシステム（大阪大学と共同）、産学連携による放射線照射による半導体ソフトエラーの解析手法を開発し、活用されている。
 - ✓ 高線量率環境下核種同定システムは、原子力発電所の高線量率作業場における放射線業務従事者の眼の水晶体の被ばく線量の調査研究に用いられるなど、放射線防護分野で大きく貢献している
- ・技術・知識基盤プラットフォーム構築:2件、有償商用契約:1件
 - ✓ 半導体ソフトエラー対策に関する研究開発（産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラムOPERA）
 - ✓ 太陽放射線被ばく警報システム（WASAVIES）の開発と運用開始
 - ✓ 住友重機械工業との有償商用契約（BNCT治療システム）
- ・国際機関のレポート類の公開への貢献、解説記事(含む書籍)：5件
 - ✓ UNSCEAR 2020 Report: Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station
 - ✓ ICRP 刊行物2件：Publication 144「環境中の放射性核種に対する換算係数データベース」、Publication 145「新たな標準メッシュ型人体モデル」
 - ✓ IAEA-CRPによる報告書1件：「初期の放射線照射断面積」(Eur. Phys. J. Plus誌)
- ・受託研究(国/民間)：42件
- ・科研費：108件

環境・放射線科学に関する自己評価 (4/5)

②項目5基礎基盤研究

評価項目	自己評価
<p>(3)研究成果の展開・発展</p> <p>・将来/次期中長期計画への研究開発の展開、新たな課題への反映の検討</p> <p>開発した計算コードは以下の研究開発へ展開・発展され、次期中長期計画において実施予定のデジタルツイン+にも反映させ、<u>環境・放射線科学研究のDX化を主導していく予定である。</u></p> <p>✓ 開発した環境動態のモデル・システムを統合して大気・陸域・海洋間の相互作用を考慮し、さらに実測値との融合等により精度を向上することで現実環境を精緻に再現し、<u>仮想実験による対策検討を可能とする計算システムの構築を目指す。</u>これにより、<u>原子力・放射線施設の平常時及び事故時の放射性物質・放射線による影響評価と防護・影響低減対策等の実効性向上・合理化に向けた科学的知見と技術の提供を進める。</u></p> <p>✓ 完成させたPHITSコードについては、今中長期計画で得た新しい科学的知見も反映させ、原子力、放射線科学分野での活用とともに、<u>新原子力のイノベーションを創出するための技術基盤となる放射線影響統合解析コードへ発展させていく。</u>また、開発した線量評価モデルの活用や、放射線生物影響に関する研究を進展させ、<u>放射線防護の基礎データや放射線リスクの創出、放射線影響に関する科学的知見の蓄積に貢献する研究を主導していく。</u></p>	A
<p>(4)国内外他機関との連携</p> <p>国際協力と共同研究を精力的に実施して、米国の基準策定や自治体の施策への貢献など、<u>社会実装につながる成果を創出しており、特に顕著な連携が得られていると評価した。</u></p> <p>・国際協力：2件</p> <p>✓ アジア原子力協力フォーラム（FNCA）では、国立環境研究所・東京大学・茨城大学と日本チームを構成して気候変動科学プロジェクトに参加し、<u>炭素循環の解明技術をアジア諸国の研究チームに提供し、国際協力研究を進める体制を構築した。</u></p> <p>✓ <u>米国EPAとの研究協定の下、米国の公衆の被ばく線量に関する新しい基準の策定へ貢献した</u>（同基準は国内における放射線安全規制に関する審議でも参照される）。</p> <p>・共同研究：66件</p> <p>✓ 島根県原子力環境センターとの共同研究では、大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBを活用し、原子力発電所周辺のモニタリング地点の配置の妥当性検証を行い、<u>地方自治体による原子力防災計画の実効性向上に貢献した。</u></p> <p>✓ 京都大学との共同研究では、高分解能大気拡散モデルLOHDIM-LES及び放射線輸送計算コードPHITSを活用し、京都大学が開発した計測器によるガンマ線画像から逆解析して放射性プルームの核種濃度分布と放出量を推定する手法を開発した。</p> <p>✓ 国内の企業、大学、研究機関との共同研究より顕著な成果を創出し、<u>複数件の共同プレス発表（量研機構、放影研）を行った。</u>また、<u>半導体ソフトウェアに関する成果は産業界に活用</u>され、他にも社会実装が期待できる成果（量研機構との共同研究で開発を進める治療計画システム）を創出している。</p> <p>✓ 大型加速器施設での眼の水晶体に関する調査研究において、他機関との連携により成果を創出している。</p>	S

環境・放射線科学に関する自己評価 (5/5)

②項目5基礎基盤研究

評価項目	自己評価
<p>(5)研究成果の発信</p> <p>・研究開発課題／成果の社会的受容性（社会へ及ぼす影響度の想定）査読論文数/プレス発表</p> <p>査読付き論文数:主著160報、共著121報(うち高IF論文掲載(IF>5):主著6報、共著10報)、プレス:15件と、<u>高インパクトの発表を多数行っていることから、特に顕著な成果が得られていると評価した。</u></p> <p>高IF論文掲載(IF>5):16報</p> <p>Environmental Science & Technology (IF=9.028)2報、Environmental Research Letters (IF=6.793)、Science of the Total Environment (IF=7.963)3報、Mutation Research; Reviews in Mutation Research (IF=5.657)、Chemosphere (IF=7.086)2報、Geoscience Frontiers (IF=6.853)、Astrophysical Journal (IF=5.874)、Agricultural and Forest Meteorology (IF=5.734)、Journal of Nuclear Medicine (IF=10.057)、International Journal of Molecular Sciences (IF=5.923)、Cells (IF=6.6)、Geoderma (IF=6.114)</p> <p>プレスリリース（主体となった発表9件のみ記載）</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 公衆の宇宙線被ばく線量を世界で初めて国や地域ごとに評価（2016.09） ✓ 原子力事故による海洋汚染を迅速に予測するシステムを開発（2017.3） ✓ ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）によるがん細胞殺傷効果の理論的な予測に成功（2018.02） ✓ DNA損傷の複雑さを決める極低エネルギー電子の新たな役割を解明（2018.02） ✓ シンチレーション検出器の光出力を決める仕組みを解明（2018.08） ✓ 放射性物質の様々な条件の大気拡散計算を高速化（2020.6） ✓ 1945年の日本人体型を精緻に再現し原爆被爆者の臓器線量を再評価（2020.09） ✓ 患者の個性を反映したα線核医学治療の線量評価が可能に（2021.01） ✓ 世界初！あらゆる物質中の放射線の動きを原子サイズで予測（2021.12.21） 	<p>S</p>
<p>(6)人材育成に関する取組</p> <p>・若手研究者の育成・支援への貢献の程度、特別研究生・夏期実習生</p> <p>人材育成に関する取組を精力的に行っていると評価した。</p> <p>国内外大学、研究機関等への講師派遣:のべ44講座</p> <p>外国留学:4名派遣</p> <p>文部科学省原子力研究交流制度研究員:2名受入、IAEA技術研修生:2名受入れ</p> <p>特別研究生:2名受入、夏期実習生:60名受入</p>	<p>A</p>

実施計画項目	中長期計画における成果（見込み）	アウトカムへの反映
環境動態研究	<ul style="list-style-type: none">● 高分解能大気拡散モデルと実用的計算法を完成● 大気拡散データベースシステム、放出源推定・拡散再構築手法を完成● 海洋拡散予測システムを完成● 水中核種測定システム、同位体測定・実験技術を確立	<ul style="list-style-type: none">● 原子力施設内の影響評価や都市域での拡散テロ対応に貢献● 国・国際機関による1F事故の被ばく線量評価、地方自治体の防災計画の実効性向上へ活用● 1Fからの海洋放出への対策検討に活用● 温暖化対応研究への貢献、国際協力研究の推進へ活用
放射線挙動解析研究	<ul style="list-style-type: none">● PHITSを高度化し汎用放射線挙動解析コードを完成● 公衆の外部被ばく線量を詳細に評価するシステムを完成	<ul style="list-style-type: none">● 理学・工学・医学分野の放射線影響評価や放射線利用の発展に貢献、実用的システムを開発し社会実装● 公衆の放射線防護で最適な線量評価体系を提示
放射線管理技術開発	<ul style="list-style-type: none">● 高線量環境下における核種同定システムと生体試料中核種分析法を完成	<ul style="list-style-type: none">● 高線量率作業場における放射線業務従事者の眼の水晶体の被ばく線量の調査研究に活用