

Wed. Jul 8, 2026

Panel Discussion

3:35 PM - 5:35 PM JST | 6:35 AM - 8:35 AM UTC | A(Miraikan Hall)

パネル討論「核燃料再処理施設周辺における環境放射能」

Chairman:Hirofumi Tsukada(Fukushima University, Professor Emeritus)

3:40 PM - 4:10 PM JST | 6:40 AM - 7:10 AM UTC

[1A12] Impact of the spent fuel reprocessing plant on radionuclide concentrations in atmospheric, terrestrial, and aquatic environments

○Shinji Ueda¹ (1. Institute for Environmental Sciences)

4:10 PM - 4:40 PM JST | 7:10 AM - 7:40 AM UTC

[1A13] Radioactivity in the Coastal Area of Rokkasho Village

○Hisaki Kofuji¹ (1. Japan Marine Science Foundation)

4:40 PM - 5:10 PM JST | 7:40 AM - 8:10 AM UTC

[1A14] Long-term variations of tritium in offshore seawater and marine organisms around the Rokkasho nuclear fuel cycle facility

○Yuhei Shirotani¹ (1. Marine Ecology Research Institute)

Thu. Jul 9, 2026

Panel Discussion

1:45 PM - 3:45 PM JST | 4:45 AM - 6:45 AM UTC | A(Miraikan Hall)

パネル討論「福島第一原発事故から15年：ERAN ネットワークが拓く環境動態研究と将来展望」

Chairman:Kazuya Yoshimura(JAEA)

1:45 PM - 2:10 PM JST | 4:45 AM - 5:10 AM UTC

[2A07] Research Findings and Future Prospects of ERAN and the University of Tsukuba

○Yuichi Onda¹ (1. Center for Research in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences, University of Tsukuba)

2:10 PM - 2:25 PM JST | 5:10 AM - 5:25 AM UTC

[2A08] Research Achievements and Future Prospects at Fukushima University

○Kenji Nanba¹ (1. Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University)

2:25 PM - 2:40 PM JST | 5:25 AM - 5:40 AM UTC

[2A09] Research Achievements and Future Prospects at Hirosaki University

○Tomisato Miura¹ (1. Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University)

2:40 PM - 2:55 PM JST | 5:40 AM - 5:55 AM UTC

[2A10] Research Achievements and Future Prospects of the Institute of Environmental Science and Technology

○Yoshiya Shimada¹ (1. Institute for Environmental Sciences)

2:55 PM - 3:10 PM JST | 5:55 AM - 6:10 AM UTC

[2A11] Research Achievements and Future Prospects of the Fukushima Research and Education Institute (F-REI)

○Seiji Hayashi¹ (1. Fukushima Institute for Research, Education and Innovation)

Fri. Jul 10, 2026**Panel Discussion**

2:10 PM - 4:10 PM JST | 5:10 AM - 7:10 AM UTC | A(Miraikan Hall)

What is the next? -Radiation Measurement-

Chairman:Shunsuke Kurosawa(Nagoya University)

2:10 PM - 2:30 PM JST | 5:10 AM - 5:30 AM UTC

[3A05] From Basic Research to Social Applications of Quantum Measurement Technology: A Case Study of Nuclear Emulsions

○Tatsuhiro Naka¹ (1. Toho University)

2:30 PM - 2:50 PM JST | 5:30 AM - 5:50 AM UTC

[3A06] Development of a Thorium-229 Nuclear Clock for Next-Generation Quantum Metrology

○Sayuri Takatori¹ (1. Okayama University)

2:50 PM - 3:10 PM JST | 5:50 AM - 6:10 AM UTC

[3A08] Emerging Quantum Detection Technologies for High-Energy Nuclear Physics
—Semiconductor Photodetectors and Streaming Data Acquisition—○Sho Nagao¹ (1. University of Tokyo)

3:10 PM - 3:30 PM JST | 6:10 AM - 6:30 AM UTC

[3A07] How can technologies for measuring invisible particles be applied to society? Perspectives from nuclear physics experiments

○Tatsuya Furuno¹ (1. University of Fukui)

Panel Discussion

🎵 Wed. Jul 8, 2026 3:35 PM - 5:35 PM JST | Wed. Jul 8, 2026 6:35 AM - 8:35 AM UTC | 🏢 A(Miraikan Hall)

パネル討論「核燃料再処理施設周辺における環境放射能」

Chairman: Hirofumi Tsukada (Fukushima University, Professor Emeritus)

3:35 PM - 3:40 PM JST | 6:35 AM - 6:40 AM UTC

挨拶

3:40 PM - 4:10 PM JST | 6:40 AM - 7:10 AM UTC

[1A12] Impact of the spent fuel reprocessing plant on radionuclide concentrations in atmospheric, terrestrial, and aquatic environments

○Shinji Ueda¹ (1. Institute for Environmental Sciences)

4:10 PM - 4:40 PM JST | 7:10 AM - 7:40 AM UTC

[1A13] Radioactivity in the Coastal Area of Rokkasho Village

○Hisaki Kofuji¹ (1. Japan Marine Science Foundation)

4:40 PM - 5:10 PM JST | 7:40 AM - 8:10 AM UTC

[1A14] Long-term variations of tritium in offshore seawater and marine organisms around the Rokkasho nuclear fuel cycle facility

○Yuhei Shirotani¹ (1. Marine Ecology Research Institute)

5:10 PM - 5:35 PM JST | 8:10 AM - 8:35 AM UTC

討論

使用済み燃料再処理工場が気・陸・水圏環境の放射性物質濃度に与える影響
Impact of the spent fuel reprocessing plant on radionuclide concentrations in
atmospheric, terrestrial, and aquatic environments

(公財) 環境科学技術研究所 環境影響研究部

植田 真司

(UEDA, Shinji)

1. はじめに

青森県六ヶ所村では、国内初の商業用使用済み燃料再処理工場の 2026 年度竣工、その後の操業開始に向け、原子力規制委員会による最終段階の設計及び工事計画認可（設工認）審査が進められている。本工場の操業に伴い、標高約 205 m の主排気筒から大気中に ^3H 、 ^{14}C 、 ^{85}Kr 及び ^{129}I 等が、沖合約 3 km の海洋放出口から海水中に ^3H 及び ^{129}I 等の放射性物質が管理放出される。再処理事業変更許可申請書における評価では、周辺公衆の実効線量は約 0.022 mSv/年と推定されており、ICRP が勧告する公衆被ばく限度（1 mSv/年）と比較して十分に低い。しかし、被ばく線量が十分に低くなることが想定されているものの、住民の不安解消や施設への理解を醸成するためには、操業後の実測データに基づき放出放射性物質の環境動態や被ばく線量を精緻に評価することが重要となる。以上の背景から、環境科学技術研究所では中立的な第三者機関として、放出放射性物質の環境中における移行・蓄積挙動や化学形態を調査し、実測に基づいた現実的な線量評価に関する情報を公表してきた（植田ら, 2024）。

過去、2006 年 3 月から 2008 年 10 月まで、再処理工場ではアクティブ試験の一環として、使用済燃料約 425 t-U（最大処理能力 800 t-U/年）を用いた、せん断・溶解処理が実施され、この間、環境中に ^3H 、 ^{14}C 、 ^{85}Kr 及び ^{129}I 等の放射性物質が放出された。本会では、せん断・溶解処理による気圏、陸圏及び水圏、並びに村内の一般家庭の食事での放射性物質濃度に与える影響について報告する（図 1）。

2. 結 果

せん断・溶解処理の期間、空間 γ 線線量率の上昇や、周辺の降下物・湖沼水といった環境試料の一部で、試験前を上回る ^3H 及び ^{129}I 濃度が検出されたが、多くの環境試料においては有意な変動は確認されず、上昇が確認された試料も試験終了後は速やかにバックグラウンド水準へと低下した。一方で、工場周辺の土壌や湖底堆積物については、 ^{129}I が比較的長期間保持されることが明らかになった。

村内の一般家庭の大人 1 人あたりの食事（調理済み）中の ^3H 、 ^{14}C 及び ^{129}I による預託実効線量は、せん断・溶解処理期間中とその後の期間で差はなく、再処理工場の明確な影響は認められなかった。

本調査の結果、再処理工場のせん断・溶解処理に伴う環境放出の影響は極めて限定的であることが確認された。当研究所は今後も中立的な立場を堅持し、信頼性の高いデータの発信に努めていく。

*本記載事項は、青森県からの受託事業により得られた成果の一部である。

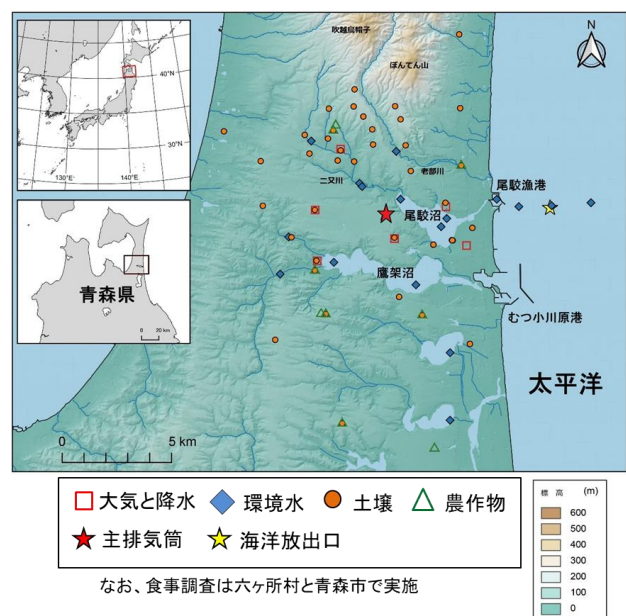


図 1 環境試料の採取地点

Department of Radioecology, Institute for Environmental Sciences

六ヶ所村沿岸海域における放射能 Radioactivity in the Coastal Area of Rokkasho Village

(公財) 日本海洋科学振興財団*1

小藤 久毅*1

(KOFUJI, Hisaki*1)

1. はじめに

青森県六ヶ所村の再処理施設では運転に伴い大気及び海洋に放射性物質が放出される。当財団では青森県からの受託事業として、排出放射性物質の海洋への影響解析のためのシミュレーションシステムを整備しており、その検証のため、周辺海域の流れ等の観測を行うとともに、海洋への主な放出核種である ^3H 及び ^{129}I を排水のトレーサとして分析している。アクティブ試験開始によって放射性物質の放出が始まった 2006 年以後、施設に由来する ^3H 及び ^{129}I の濃度変化が海域において検出されてきた。海洋放出された放射性物質の影響についての理解のため、六ヶ所村周辺海域における ^3H 及び ^{129}I の分析結果について紹介し、流れのデータ等とともに海域での分布や変動の特徴について議論する。

2. 沿岸での ^3H 及び ^{129}I 濃度

六ヶ所村周辺海域の沿岸海水中での ^3H 及び ^{129}I 濃度は、2005 年以前はそれぞれ約 0.2 Bq/L 以下及び約 30 nBq/L 以下であったが、2006～2008 年には両核種共に 2 桁以上の濃度上昇が見られた(図 1)。ただし、この期間においても濃度上昇が見られたのは一部の試料のみであり、大部分は従来と同程度の濃度であった。 ^3H 濃度で施設寄与が見られたのは 2006～2008 年のみだが、 ^{129}I では最近でも影響が検出されている。これは、 ^3H は排水中の濃度がピーク時(2007 年)に比べて 5 桁以上低下しているのに対し、 ^{129}I は 3 桁程度の低下にとどまること、加えて、 ^{129}I は元の海水中の濃度が極めて低い(20～30 nBq/L 程度)ため、僅かな付加でも識別できることによる。海水の ^3H 及び ^{129}I 濃度から排水の希釈状況を見積もると、放出翌日には数十万から約 100 万倍以上に希釈されており、2006～2008 年頃と最近で違いはない。

3. まとめ

海域の ^3H 、 ^{129}I データは、少なくとも観測データが得られている放出翌日には、排水は十分に希釈されていることを示している。海域の流れに伴う放出放射性物質の分布の特徴については、移流拡散シミュレーション結果も用いて報告する予定である。

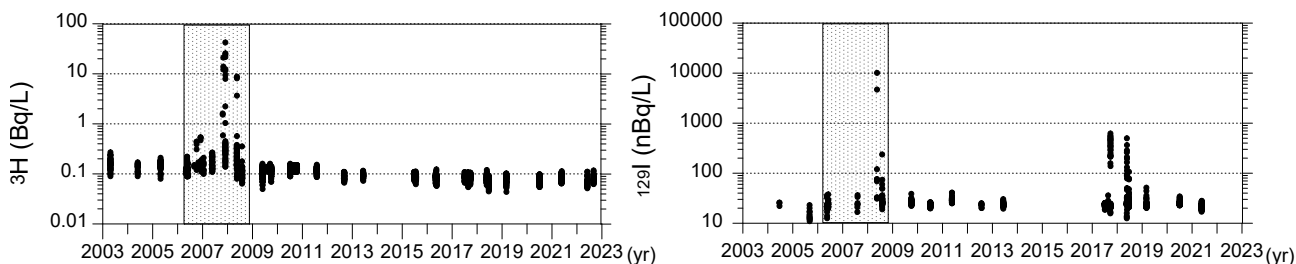


図 1 六ヶ所村周辺の沿岸海水中 ^3H 及び ^{129}I 濃度の変化

※網掛け領域はアクティブ試験における使用済燃料のせん断溶解実施期間を示す。2017, 2018 年の ^{129}I 濃度上昇は、放出口付近での連続的な採水を実施したことで、放出の頻度が減った最近でも影響を捉えやすくなったことによると考えられる。

*1 Japan Marine Science Foundation

原子燃料サイクル施設沖の海水および海産生物中のトリチウム濃度の変遷
Long-term variations of tritium in offshore seawater and marine organisms around
the Rokkasho nuclear fuel cycle facility.

公益財団法人海洋生物環境研究所^{*1}

城谷 勇陸^{*1}

(SHIROTANI, Yuhei^{*1})

1. はじめに

トリチウム (^3H) は再処理施設から環境中へ放出される主要な放射性核種の一つであり、周辺海域における長期的な挙動を把握することは環境影響評価上重要である。青森県六ヶ所村の原子燃料サイクル施設沖では、1991 年から海洋放射能モニタリングが継続されており、海水および海産生物中のトリチウム濃度に関する長期観測データが蓄積されている。また、再処理施設では 2006～2008 年にアクティブ試験が実施され、トリチウムを含む放射性核種が管理放出された。本研究では、1991～2024 年に取得された海水および海産生物中のトリチウム濃度データを解析し、その長期変動の特徴とアクティブ試験による影響を評価した。

2. 材料および方法

海水試料は 1991 年から 2024 年までに毎年 5～6 月と 10～11 月の年 2 回、原子燃料サイクル施設沖の測点で表層 (1 m) と下層 (海底面上 10～60 m) から海水試料を採取した。海産生物試料は 2001 年から 2024 年に青森県～岩手県沖で漁獲されたものを収集した。分析には可食部 (筋肉) を用い、組織自由水型トリチウム (Tissue Free Water Tritium; TFWT) と有機結合型トリチウム (Organically Bound Tritium; OBT) を分離・回収した。海水試料および TFWT 試料は電解濃縮法によりトリチウムを濃縮した。全ての試料は低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターを用いてトリチウム濃度を測定した。

3. 結果および考察

表層海水および下層海水中のトリチウム濃度は、1991 年以降長期的な減少傾向を示した。2024 年時点における平均値±標準偏差は、表層海水で 0.081 ± 0.013 Bq/L (最高値 : 0.13 Bq/L)、下層海水で 0.074 ± 0.012 Bq/L (最高値 : 0.10 Bq/L) であり、近年はほぼ一定の濃度で推移している。また、2007～2008 年にはアクティブ試験の影響により、主に施設南側の測点でトリチウム濃度の上昇 (最高値 : 1.3 Bq/L) が確認されたことから、放出されたトリチウムは調査時に卓越していた南向きの海流により輸送されたことが示唆された。

表層海水中トリチウム濃度の長期変動を指数関数で近似した結果、実効半減期は、検出下限値未満のデータを除外した場合で 8.0 ± 0.46 年、検出下限値を代入した場合で 8.4 ± 0.46 年と算出された。これらはトリチウムの物理半減期 (12.3 年) より短く、海洋中における拡散、混合および希釈により濃度低下が促進されていることを示している。

海産生物中の TFWT 濃度についても海水と同様に長期的な減少傾向が認められた。また、2006～2008 年には一部試料で濃度上昇 (最高値 : 11 Bq/L) が確認され、アクティブ試験による影響を反映した可能性が示唆された。OBT は 2001～2012 年に一部試料で低濃度ながら検出されたが、2014 年以降は検出されなかった。発表では、海水および海産生物中トリチウム濃度の長期変動に加え、5～6 月と 10～11 月の海水中トリチウム濃度の差異について、水塊構造との関係から考察する。

【謝辞】本研究は原子力規制庁からの委託事業「海洋環境における放射能調査及び総合評価事業」の成果の一部です。関係者の皆様に感謝いたします。

^{*1} Marine Ecology Research Institute

Panel Discussion

⌚ Thu. Jul 9, 2026 1:45 PM - 3:45 PM JST | Thu. Jul 9, 2026 4:45 AM - 6:45 AM UTC | 会場 A(Miraikan Hall)
パネル討論「福島第一原発事故から15年：ERAN ネットワークが拓く環境動態研究と将来展望」

Chairman: Kazuya Yoshimura(JAEA)

1:45 PM - 2:10 PM JST | 4:45 AM - 5:10 AM UTC

[2A07] Research Findings and Future Prospects of ERAN and the University of Tsukuba

○Yuichi Onda¹ (1. Center for Research in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences, University of Tsukuba)

2:10 PM - 2:25 PM JST | 5:10 AM - 5:25 AM UTC

[2A08] Research Achievements and Future Prospects at Fukushima University

○Kenji Nanba¹ (1. Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University)

2:25 PM - 2:40 PM JST | 5:25 AM - 5:40 AM UTC

[2A09] Research Achievements and Future Prospects at Hirosaki University

○Tomisato Miura¹ (1. Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University)

2:40 PM - 2:55 PM JST | 5:40 AM - 5:55 AM UTC

[2A10] Research Achievements and Future Prospects of the Institute of Environmental Science and Technology

○Yoshiya Shimada¹ (1. Institute for Environmental Sciences)

2:55 PM - 3:10 PM JST | 5:55 AM - 6:10 AM UTC

[2A11] Research Achievements and Future Prospects of the Fukushima Research and Education Institute (F-REI)

○Seiji Hayashi¹ (1. Fukushima Institute for Research, Education and Innovation)

3:10 PM - 3:45 PM JST | 6:10 AM - 6:45 AM UTC

Panel Discussion

福島第一原発事故から 15 年:ERAN ネットワークが拓く環境動態研究と将来展望

Fifteen Years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: Environmental Dynamics Research and Future Outlook through the ERAN Network

筑波大学放射線アイソトープ地球システム研究センター*1

○恩田裕一*13

(ONDA, Yuichi*1)

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故から 15 年が経過し、環境中の放射線線量率は徐々に低下し、避難地域では住民帰還と復興が進められている。一方、放射性物質による環境汚染は、広島・長崎への原爆投下、ビキニ事件、大気圏内核実験、スリーマイル島事故、チェルノブイリ事故、JCO 事故、福島事故など、社会に大きな影響を与える事象として繰り返されてきた。

近年では六ヶ所村再処理施設の稼働も見込まれ、放射性物質の環境動態を科学的に解明し、長期影響を評価する研究の重要性は一層高まっている。

2. ERAN の活動

放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点 (ERAN) は、文部科学大臣の認定を受け、2019 年 4 月に活動を開始した。筑波大学 CRiES、福島大学 IER、弘前大学 IREM を中核拠点とし、JAEA、国立環境研究所福島地域協働研究拠点、環境科学技術研究所等と連携して、陸域・海域・生態系における放射性物質の拡散、輸送、沈着、移行メカニズムの解明、長期汚染予測、被ばく線量評価、移行モデリングに取り組んできた。令和 7 年 4 月以降は、JAEA および NIES の関連機能が福島国際研究教育機構 (F-REI) 第 5 分野地域環境共創ユニットに集約され、引き続き ERAN の参画機関として活動を担っている。

ERAN では、幅広い共同研究に加え、データアーカイブ、サンプルアーカイブ、環境試料測定、人材育成を統合的に推進した。事故初期からの環境試料について、ERAN 全体で 28,486 サンプルの情報を公開し、うち 14,767 サンプル (58 データセット) を DOI 付きで公開している。さらに研究設備の有効活用の一環として、令和 6 年 3 月末時点で 383 万件を超えるデータに DOI を付与して公開した。さらに、これまでの連携機関からのデータに加え、林野庁、TEPCO、IAEA など国内外機関の環境放射能関連データも収集・出版可能となり、今後はモデル計算データの DOI 出版も視野に入れている。連携 6 機関およびネットワークにより収集・解析されたデータは、研究者のみならず行政機関、政策決定者、社会一般に対して正確な環境放射能情報を提供し、科学の進歩と社会貢献に資するものである。

3. 今後の展望

ERAN および筑波大学 CRiES は、福島事故直後から国内外の研究機関と連携し、放射性物質の環境動態解明、データ・試料アーカイブ、分析標準化、人材育成を一体的に進めてきた。今後は、地球環境科学に放射化学、放射線影響学、原子力学を融合させ、放射性物質を物質循環のトレーサとして用いる「アイソトープ環境動態研究」をさらに発展させたい。加えて、アイソトープを用いた環境動態研究を気候変動研究等へ展開し、国内外の共同研究と社会実装を推進する国際的拠点形成を目指したい。

*1 Center for Research in Radiation, Isotopes and Earth System Sciences



ERAN・原発事故後の環境研究・復興便乗

Title of presentation in English

福島大学環境放射能研究所*1

○難波 謙二*1

(NANBA, Kenji*1)

ERAN は 2019 年に始まった。2019 年は大熊町の大河原地区の避難指示が解除された年であり、米の全袋検査で基準値超えが続けて現れなかった 5 年目の年でもある。翌 2020 年は双葉町中野地区の避難指示解除があり、常磐線富岡-浪江間が復旧し、全線で運転が再開された。原発事故後の影響を毎日生々しく感じる中で、ERAN は開始されたのである。当然、ERAN は環境放射能研究を通じて福島復興に資することをうたって設立されたと認識している。私自身はこの頃は環境放射線能研究所の職から離れていたということがあり、正確なことは分からないが、当時のメンバーを構成していた原子力機構、放医研、国環研がいずれも福島に組織を設けて活動にあたっていたという背景もそのような認識の根拠になるだろう。当時は、一般の人にとっても原発事故後の放射能について、米の検査、避難指示解除、除去土壌の中間貯蔵施設への輸送で、意識に上ることが多かったと思う。

もちろん現在でも、特定帰還居住区域の避難指示解除、福島第一原発の廃炉、アルプス処理水放出、中間貯蔵の最終処分、除染が行われない森林の管理や林産物の利用など、原発事故に由来する課題はまだ継続している。この 15 年の間、そしておそらくこれから先も、福島での原発事故後の研究成果は、復興に資するというだけでなく、その経験や成果を、共通の課題を想定する必要がある世界中の他所に共有もするという目的も持っている。福島で得られた経験や知見や培われた技術などが福島発のものとして発信される機会は今までにも数多く存在し、活用される場面もあるだろう。さらにいうと、現在の ERAN が専ら守備範囲とする研究分野以外の原発事故後の福島について寄せられる関心も小さくはない。

現在 ERAN に枠組みによる研究は ERAN 運営委員メンバーの中では高く評価されている。多くの優れた研究が論文として出版されているということは間違いないであろう。出版される論文の数などは研究拠点を評価する上では重要な要素だ。とはいえ、現在 ERAN において福島の研究は縮小しているという印象が拭えない。これは、原発事故後の放射線量上昇に対する社会的な不安が小さくなってきて、問題が解決に向かっていることの反映と考えるなら喜ぶべきことかもしれないが。

しかし、効率良い生産のために、現実存在する問題に向き合う態度を忘れていないだろうかということは反省してみたい。「学が栄えて業が廃る」などという批判を受ける分野もあるが、同様に環境放射能の分野も当初うたったミッションから遠ざかってはいはしないだろうか。ERAN 内で寄せられるお互いの論文を引用しあって、さまざまな指標値を上げましょう、などという号令に気持ちの悪さを感じるのは私だけなのだろうか。そもそも原発事故後の環境放射能研究の必要性から設立された ERAN の幹事を筑波大学が務めることで、力点が分散し、福島の原発事故後の研究が希薄になりつつある一方で、ERAN が高く評価されるのは、震災復興への便乗が成功した例として位置づけられるのではないだろうか。さらに福島大学環境放射能研究所が ERAN の一角を占めているのは、福島にありながら復興便乗に加担しているのではないか、という批判に甘んじなくてはならない状況と言えるのではないだろうか。もう少し大きな目で原発事故後の状況を観察し、新たな長期的展望を考える場面が必要なのではないだろうか。

*1 Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University

支援から共創へー東日本大震災から 15 年、ERAN 共同研究が育む人材とネットワーク
From Support to Co-Creation: Building People and Partnerships Fifteen Years After
the Great East Japan Earthquake

弘前大学被ばく医療総合研究所^{*1}

○三浦 富智^{*1}, 藤嶋 洋平^{*1}, アンダーソン ドノヴァン^{*1}, 山田 椋平^{*1}, クランロッド チュティマ^{*1},
大森 康孝^{*1}, 田副 博文^{*1}, 赤田 尚史^{*1}, 床次 眞司^{*1}
(MIURA, Tomisato^{*1}; FUJISHIMA Yohei^{*1}; ANDERSON Donovan^{*1}; YAMADA Ryohei^{*1};
KRANROD Chutima^{*1}; OMORI Yasutaka^{*1}; TAZOE Hirofumi^{*1}; AKATA Naofumi^{*1}; TOKONAMI Shinji^{*1})

2011 年 3 月に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故後、弘前大学は浪江町復興支援ワーキンググループを組織し、被ばく医療総合研究所は震災直後からその中心的な役割を担ってきた。弘前大学は 2011 年 9 月に浪江町と包括連携協定を締結し、さらに、筑波大学を代表校とする「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点 (ERAN)」に参加し、放射線測定、放射線生物影響解析、放射線リスクコミュニケーション、環境動態解析、住民および職員の健康支援、さらには教育支援を実施してきた。本発表では、これらの活動のうち、放射線生物影響研究と教育支援の取り組みについて紹介する。

(1) 放射線生物影響

弘前大学生物影響調査チームは、東北大学、新潟大学および北海道科学大学と連携し、野生アカネズミを対象として、染色体異常および繁殖能をエンドポイントとした放射線生物影響調査を実施してきた。事故直後には、対象地域における染色体異常頻度は対照地域と比較して高い値を示したものの、2 年後には対照地域である青森県と同程度のレベルまで低下した。また、精巣の組織学的解析では、高線量汚染地域においても精巣内の生殖細胞の増殖が維持されており、繁殖能に対する負の影響は認められなかった。一方で、野生動物を対象とした解析では、適切な対照集団の設定に限界があるという課題が明らかとなった。この経験を踏まえ、我々は青森県六ヶ所村において、再処理施設の本格再稼働前からアカネズミ個体の捕獲を行い、原子力災害に備えたベースラインサンプルのアーカイブ化を進めている。

本パネル討論では、野生動物を対象とした放射線生物影響研究の成果と課題、ならびに六ヶ所村におけるサンプルアーカイブ構築の経緯と意義について紹介する。

(2) 教育支援

福島県浪江町では、震災前の小学校および中学校を統合し、2018 年 4 月になみえ創成小学校・中学校を開校した。弘前大学は、福島イノベーション・コースト構想推進機構が実施する「大学等の『復興知』を活用した人材育成基盤構築事業」に採択され、その一環として、なみえ創成小学校・中学校に対する教育支援を行っている。我々は、児童・生徒が生物とのふれあいを通じて身近な自然への理解を深める機会を提供することを目的として、「昆虫採集体験学習」や「川の生き物ふれあい体験学習」を実施している。

本パネル討論では、自然体験型学習プログラムを提案するに至った背景や、その実践を通じて明らかとなった成果と課題について紹介する。

^{*1} Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University

環境科学技術研究所の研究成果と将来展望

Research Achievements and Future Perspectives of the Institute for Environmental Sciences

(公財) 環境科学技術研究所¹○島田 義也, 阿部 康一, 柿内 秀樹, 谷 亨, 石川 義朗, 長島 明輝, 増田 毅, 植田 真司,
小林 敏之(SHIMADA, Yoshiya; ABE Koichi; KAKIUCHI Hideki; TANI Takashi; ISHIKAWA Yoshio;
NAGASHIMA Haruki; MASUDA Tsuyoshi; UEDA Shinji, KOBAYASHI Toshiyuki)

国策として進められてきた使用済核燃料の再処理施設の竣工が間近となってきた。再処理の操業に伴い大気と海洋にクリプトン 85、炭素 14、トリチウム、ヨウ素 129 などが放出される。ヒトの追加被ばく線量は、総線量が年間 0.022mSv。自然の放射線のレベルは年間 2.1mSv (青森県は、1.4mSv) なので、100 分の 1 となる。内訳は、大気由来と海洋由来は 6 : 1、内部被曝と外部被曝が 3 : 2 と推定されている (再処理事業変更許可申請)。環境研では、青森県の委託を受けて、これらの核種の環境動態、線量評価、生物影響を中心に調査を行ってきた。具体的には、大気、陸域、水域、農水畜産物におけるそれぞれの核種のモニタリングと動態調査、気象条件や日本海洋科学振興財団の周辺海域の情報をベースにしたシミュレーションによる濃度マップ、土壌への蓄積の将来予測、そして、人の被ばく線量評価等である。ヒトの被曝は、極低線量放射線の長期被曝になるが、当研究所では世界で有数のマウス照射室を整備し、極わずかの様々な生体影響を実証的に、また機序的に評価し、放出放射線の安全性について発信してきた。その成果は ICRP などの国際機関にも利用されている。また、設立当初より、住民とのコミュニケーションにも力を入れており、研究成果を青森県民の方に定期的に報告するとともに、親子放射線教室や理科実験の開催などを行っている。

2011 年の東京電力福島第一原発事故時には、セシウムの再浮遊率の計算や河川中のセシウム移行調査を行った。トリチウムについては原発事故と六ヶ所村の再処理工場の操業で共通して関心の高いテーマである。原発事故やアルプス処理水の放出に関連して、① 線量評価に関するものとして、事故初期における大気トリチウムによる被ばく線量、ヒラメのトリチウム蓄積、マウスのトリチウム蓄積の年齢依存性、② 生物影響として、トリチウムによる遺伝子変異誘発の閾値の存在、③ 放射線防護関連では、有機結合型 (OBT) の線量係数の再検討、④ 異常時対応として、トリチウムの多サンプル迅速測定法の開発などを報告した。

今後の方向性としては、2006 年から 2008 年まで実際の使用済み核燃料を剪断・溶解試験が行われた時、環境放出された放射性核種の六ヶ所村内での動態のデータをまず確認する。さらに、異常時を想定し、ルテニウム 106 やストロンチウム 90 の環境影響評価に着手する。その他の種々の環境放射能調査を ERAN の課題として進めていきたい。近年、青森県六ヶ所村においても平均気温の上昇や、やませ発生の減少、海流の変化など、気候変動の影響が顕在化しており、放射性核種の環境動態への影響が興味深い。また、操業が始まると環境中で観測されるベクレルの値が高くなるが、公衆の線量限度の 1mSv を超えないことなど、住民の方とのコミュニケーションをさらに深めていきたい。

*本記載事項は、青森県からの受託事業により得られた成果の一部である。

¹Institute for Environmental Sciences

環境動態研究の知見を地域の再生・復興にどのようにつなげていくのか

How can findings from environmental research support regional regeneration?

福島国際研究教育機構地域環境共創ユニット^{*1}○林 誠二^{*1}(HAYASHI, Seiji^{*1})

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故から 15 年余りが経過する中で、重篤な放射能汚染を被った阿武隈中山間地域の環境回復や復興は、地域の多くを占める森林に沈着した放射性セシウム (^{137}Cs) の多くが、いまだに土壌表層に保持されていることもあって必ずしも進展していない。特に、林産物や水産物等の自然資源については、土壌からの移行や循環によって ^{137}Cs 濃度の低下速度が非常に鈍いため、地域の経済や食文化に影響をもたらし、森林の利活用を著しく遅滞させている。このような状況を鑑み、F-REI 地域環境共創ユニットでは当該地域の環境再生や振興に貢献するため、放射性物質の環境動態研究による知見を活用した取組を進めている。本稿ではその中から、今後の森林資源の利活用を図るためのゾーニングマップの作成と、キノコの菌床露地栽培の再開支援のための実証研究について紹介する。

2. 方法

森林利活用においては様々な基準値を考慮する必要がある、例えば、スギ・ヒノキ等であれば伐採木の持出基準として樹皮の放射性セシウム濃度 $6,400\text{Bq/kg}$ が設定されている。各基準への適合性を検討するため、まず、森林域を対象に原子力規制委員会の航空機サーベイによる空間線量率分布から沈着量分布を推定した。次いで、沈着量分布を入力データとした数値モデル (Kurikami et al. 2019) によって主な樹種ごとに樹木の部位別の正規化セシウム濃度を算定しマップ化した。

原発事故前に福島県内で幅広く栽培されていたハタケシメジとムラサキシメジの 2 種を対象として、県内の 18 カ所の林地 (地上 1m 空間線量率 $\text{AA}\sim\text{BB}\mu\text{Sv/m}$) で (公社) 福島県森林・林業・緑化協会きのこ振興センターが製造した菌床を用いた栽培試験を実施した。被覆材を含め栽培地の土壌や収穫した子実体については、前処理後に Ge 半導体検出器を用いて ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能濃度を測定した。

3. 結果および考察

ゾーニングマップの一例として、Fig. 1 にスギ樹皮の 2025 年と 2050 年の ^{137}Cs 濃度マップを示す。2025 年と比べて 2050 年時点では樹皮についてはほとんどの地点で搬出基準を満たしていることがわかる。このような視覚化により森林ゾーニングへの活用が期待される。

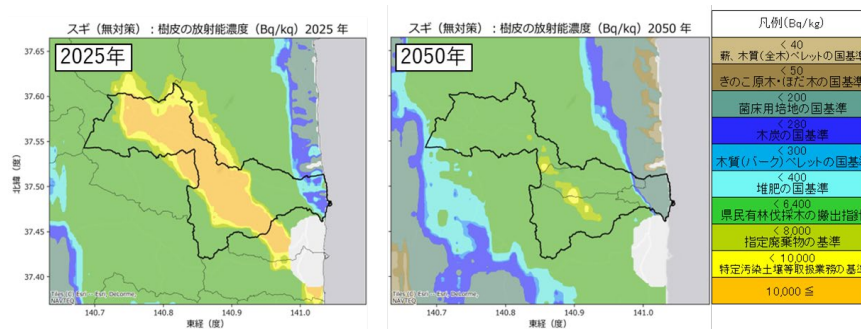


Fig.1 2025 年 (左) と 2050 年 (右) のスギ樹皮の放射性セシウム推定濃度マップ (黒線で囲まれたエリアは浪江町を示す)

栽培試験結果から、地上 1m の空間線量率が $1.0\mu\text{Sv/h}$ 未満であれば 2 種のキノコの放射性セシウム濃度はいずれも 100Bq/kg (出荷規制値) を十分に下回ることが確認された。またハタケシメジについては、移行抑制対策を講じることでより線量の高い林地でも規制値を下回る栽培の可能性が示唆された。さらにこれら成果を踏まえ、今年度からの福島県内での両種の菌床販売が再開された。

参考文献 1) Kurikami et al. (2019): J Environmental Radioactivity, 208-209, 106005.

¹ Regional Environmental Co-Creation unit, Fukushima International Research and Education Institute

Panel Discussion

📅 Fri. Jul 10, 2026 2:10 PM - 4:10 PM JST | Fri. Jul 10, 2026 5:10 AM - 7:10 AM UTC | 🏢 A(Miraikan Hall)

What is the next? -Radiation Measurement-

Chairman: Shunsuke Kurosawa(Nagoya University)

2:10 PM - 2:30 PM JST | 5:10 AM - 5:30 AM UTC

[3A05] From Basic Research to Social Applications of Quantum Measurement Technology: A Case Study of Nuclear Emulsions

○Tatsuhiro Naka¹ (1. Toho University)

2:30 PM - 2:50 PM JST | 5:30 AM - 5:50 AM UTC

[3A06] Development of a Thorium-229 Nuclear Clock for Next-Generation Quantum Metrology

○Sayuri Takatori¹ (1. Okayama University)

2:50 PM - 3:10 PM JST | 5:50 AM - 6:10 AM UTC

[3A08] Emerging Quantum Detection Technologies for High-Energy Nuclear Physics
—Semiconductor Photodetectors and Streaming Data Acquisition—

○Sho Nagao¹ (1. University of Tokyo)

3:10 PM - 3:30 PM JST | 6:10 AM - 6:30 AM UTC

[3A07] How can technologies for measuring invisible particles be applied to society? Perspectives from nuclear physics experiments

○Tatsuya Furuno¹ (1. University of Fukui)

3:30 PM - 4:10 PM JST | 6:30 AM - 7:10 AM UTC

討論

原子核乾板技術を例にした量子計測技術の基礎研究から社会応用
From Basic Research to Social Applications of Quantum Measurement Technology:
A Case Study of Nuclear Emulsions

東邦大学理学部^{*1}

○中 竜大^{*1}

(Tatsuhiko NAKA^{*1})

1. はじめに

これまでの歴史をみても、基礎研究と応用研究は、両輪として相互に連携をしながら学問と科学技術の発展、そして社会の発展に寄与してきた。量子計測技術において、19世紀後半の放射線の発見依頼、原子核物理学、量子力学、相対性理論そして素粒子物理学への発展とそれに伴う計測技術の発達、そして、その計測技術はさまざまな社会実装として結びつき、生命科学、医療科学、材料科学等さまざまな分野へと波及していった。その中で、本講演の題材として挙げる「原子核乾板」は、1910年、木下季吉が写真乾板が放射線（ α 線）の飛跡を記録できることを発見したことを皮切りに、その後、原子核物理や素粒子物理へ広く使われるようになった。その後、写真フィルムの市場拡大と技術開発に大きく助けられ、湯川秀樹が日本人として最初のノーベル賞を受賞する「 π 中間子」の発見に重要な貢献をなすことになった。今現在、原子核乾板はさらなる高度化を果たし、基礎科学のみならず社会実装においても注目されるようになってきている。特に、近年、最も注目をされたのがミューオンラジオグラフィによる大型構造物の内部透視であろう。ここでは、量子計測技術が基礎科学からどのように社会実装にいきついたかについて、原子核乾板の事例を紹介し、その後のパネルディスカッションへの話題提供とする。

2. 原子核乾板とその応用

原子核乾板は、銀塩写真フィルム的一种であり、微細なハロゲン銀(AgBr(I))結晶がポリマー中に分散された構造を持つ。AgBr(I)結晶のサイズは、典型的な原子核乾板で200nm程度であり、ここに放射線（荷電粒子）が通過すると、その電離作用によって内部で化学反応が生じ、最終的に放射線の飛跡を銀粒子の形で光学顕微鏡を用いて可視化することができる（図1参照）。原子核乾板は、この微細なAgBr(I)結晶がセンサーとして機能することから、極めて高い空間分解能を持つ放射線飛跡検出器として機能する。この記録された飛跡を読み出す技術は、光学顕微鏡が基本となるが、それを高速に読み出す技術開発が半世紀近く継続して進められ、それに伴い、原子核乾板実験を用いた実験の大型化が可能となった。

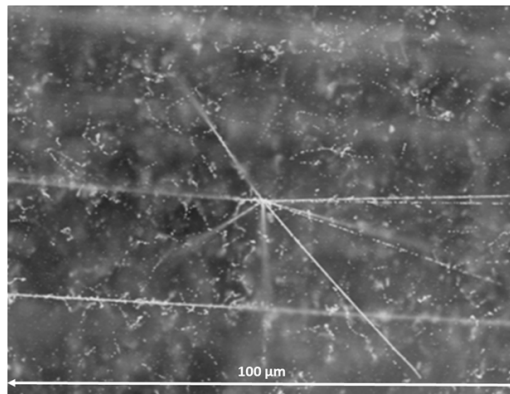


図1 原子核乾板に記録された重粒子線飛跡と核破砕反応の光学顕微鏡画像

原子核乾板を用いた最も大きな実験は2015年の梶田隆章博士がノーベル物理学賞を受賞した「ニュートリノ振動」の最終検証実験として行われたOPERA実験であり、産学連携での大規模な実験が行われ、大型化と効率化におけるさまざまな技術開発が行われた。これらの技術基盤と、原子核乾板が持つ高い空間分解能とそれに伴う放射線飛跡の高い角度分解能ならびに汎用性が、ミューオンを用いた非破壊イメージングに適していることが提案され、ミューオンを用いた非破壊イメージング（ミューオンラジオグラフィ）へと繋がり、基礎・応用科学両面において活用される量子計測技術として発展している。

^{*1} Faculty of Science, Toho University

^{*2} Kobayashi-Maskawa Institute for Origin of Particle and the Universe, Nagoya University

次世代量子計測に向けたトリウム 229 原子核時計の開発
Development of a Thorium-229 Nuclear Clock for Next-Generation Quantum Metrology

岡山大学異分野基礎科学研究所^{*1}

○高取沙悠理^{*1}

(TAKATORI, Sayuri ^{*1})

原子時計は、原子やイオンの量子準位間の遷移周波数を標準として時間を測定する技術であり、現代の量子計測を代表する技術の一つである。特に光格子時計や単一イオン時計では、極めて高い周波数精度が実現されており、重力ポテンシャル差の測定、基礎物理定数の時間変化探索等への応用も進んでいる。他方、トリウム 229 (^{229}Th) は約 8.4 eV という原子核としては特異的に低い第一励起準位（アイソマー準位）を持ち、レーザーによる直接制御が可能な、現在知られる唯一の原子核である。この原子核遷移を周波数標準として用いる原子核時計は、従来の原子時計より高い周波数精度を持つ可能性があり、その実現が期待されている。近年、 ^{229}Th アイソマー準位からの脱励起光の直接観測や、レーザーによる共鳴励起が相次いで報告され、原子核時計の実現に向けた研究が世界的に急速に進展している。

我々の研究グループも、放射光 X 線を用いた独自の励起手法により、 ^{229}Th アイソマー準位からの脱励起光の直接観測に成功し、レーザーでの直接励起に向けた長年の課題であったアイソマー準位のエネルギーおよび寿命の決定に貢献してきた。また、原子核時計の実現には、アイソマー準位の高精度レーザー分光が不可欠であるが、この遷移は波長約 148 nm の真空紫外（VUV）領域に対応するため、専用の狭線幅 VUV レーザー光源が必要となる。我々のグループでは、四光波混合法により、レーザー分光可能な狭線幅 VUV パルスレーザーを開発し、 ^{229}Th をドープしたフッ化カルシウム結晶を標的とした固体中での原子核レーザー分光を行った。実験の結果、固体結晶中における原子核遷移スペクトルの取得に成功した。

このように、我々の研究グループでは、 ^{229}Th 原子核時計の実現に向けて、アイソマー準位からの脱励起光直接観測、および VUV パルスレーザーによるレーザー分光を進めてきた。これらの成果は、原子核遷移を用いた新しい周波数標準および精密量子計測技術の実現に向けた重要なステップである。

本講演では、近年大きな進展があった ^{229}Th 原子核時計研究の現状や今後の展開について、我々の研究グループの成果とともに紹介する。

^{*1} Research Institute for Interdisciplinary Science (RIIS), Okayama University

高エネルギー原子核実験における次世代量子計測技術とは？

—半導体光検出デバイスと高速データ収集系—

Emerging Quantum Detection Technologies for High-Energy Nuclear Physics

—Semiconductor Photodetectors and Streaming Data Acquisition—

東京大学大学院理学系研究科^{*1}○永尾 翔^{*1}(NAGAO Sho ^{*1})1. はじめに

高エネルギー原子核実験では、電子・陽子など加速器から供給される高エネルギー粒子ビームを用い、原子核・ハドロンの構造や相互作用を実験的に解明してきた。その測定には、飛跡検出器、シンチレーション検出器、チェレンコフ検出器、カロリメータなど、多様な検出器が用いられ、粒子の位置、時間、エネルギー、識別情報を同時に取得する必要がある。検出器からの信号は、NIM/CAMAC/VMEなどのフロントエンド回路、さらに各研究所、実験グループ単位で開発されたトリガー型データ収集システムを組み合わせることで読み出されてきた。

一方で、近年の原子核実験では、希少事象の高精度測定に向けたビームの大強度化が進展しており、多チャンネル、精密時間・位置測定、高計数率環境、耐放射線、汎用化などをキーワードとして検出器・読み出し系の高度化が求められている。

2. 注目される技術的要素

このような要求に応えるため、半導体光検出デバイス、高集積フロントエンド回路、ストリーミング型高速データ収集系などを組み合わせた次世代量子計測技術の導入が進みつつある。

浜松ホトニクス社の Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) に代表される SiPM は、小型で高い光子検出効率を有し、磁場中での動作が可能であることから、従来の光電子増倍管に代わる光読み出しデバイスとして注目されており、多数のシンチレーションファイバーやセグメント化されたシンチレータと組み合わせる導入事例がある。

また、多チャンネル・高計数率環境に対応するためには、検出器信号を低雑音かつ高速に処理するフロントエンド回路が不可欠である。近年の原子核実験では、従来型の低速な電荷積分型 ADC といったフロントエンド回路から、サンプリング ADC モジュールや Time-Over-Threshold (TOT) 法、キャリアチェーン型 FPGA-TDC への移行が急速に進んでいる。さらにこれらフロントエンド回路モジュールに入力された全チャンネルの信号を連続的かつ高速に読み出すストリーミング型データ収集系の導入も進んでいる。

3. 導入事例の紹介

このような新世代の量子計測技術の導入により、高レート環境における効率的なデータ収集、複雑な事象選別条件への柔軟な対応が可能となった。また、この技術は小規模から大規模実験までを同じフレームワークで計測可能な汎用システムとなっている。前述の技術要素を取り入れた事例として、宇宙線・密封線源を用いたテスト実験、東北大学や J-PARC の加速器を利用した原子核実験の例を紹介する。これら事例では、従来の技術では回路規模が大きい、または計測困難であった実験を前述の新技术導入によりテーブルサイズのセットアップで実現している。

4. 結論

原子核実験では、多チャンネル化・高精度化・高計数率化に対応する新しい計測基盤が求められており、近年、新技术の発展と導入が進んでいる。本講演では、MPPC、高集積フロントエンド回路、ストリーミング DAQ の導入事例を通じ、その現状と展望を述べる。

見えない粒子を測る技術は、社会にいかに応用されるか：原子核実験からの視点
How can technologies for measuring invisible particles be applied to society?
Perspectives from nuclear physics experiments

福井大学学術研究院物理工学講座^{*1}

古野 達也^{*1}

(FURUNO, Tatsuya^{*1})

原子核物理実験では、原子核、ガンマ線、中性子に代表されるような、目に見えず、直接触れることのできない粒子や反応を測定対象としてきた。そのため、シンチレータ、半導体検出器、ガス飛跡検出器、カロリメータ、高速波形読み出しなど、多様な検出技術が発展してきた。これらの技術の本質は、単に放射線を検出することではなく、その粒子の種類、エネルギー、到来方向、反応位置、時間相関を再構成し、「見えない現象」を物理量として可視化する点にある。

このような原子核実験の計測技術は、基礎科学にとどまらず、医療、環境、産業、宇宙開発など幅広い分野に応用されている。たとえば医療分野では、PET や SPECT などの核医学イメージング、陽子線・重粒子線治療における線量分布や飛程の検証、放射性同位体の製造・品質管理などに放射線計測技術が用いられている。また、環境放射能の監視、非破壊検査、宇宙放射線計測などにも、基礎科学実験で培われた高感度・高分解能な検出技術が活かされている。

本講演では、原子核物理実験で用いられる粒子検出器とデータ解析の考え方を紹介し、それらが社会の中でどのように利用され得るかを議論する。「見えない粒子を捉える」技術は、次世代の医療画像、粒子線治療モニタリング、線量評価において重要な役割を果たす可能性がある。原子核実験を起点として、基礎研究と社会応用をつなぐ量子検出技術の展望を考えたい。

^{*1} Department of Applied Physics, University of Fukui