

令和3年度原子力施設等防災対策等委託費
(航空機モニタリングをはじめとする環境放射
線モニタリング技術に係る国際動向調査) 事業

成果報告書

令和4年3月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

本報告書は、原子力規制庁による令和3年度原子力施設等防災対策等委託費（航空機モニタリングをはじめとする環境放射線モニタリング技術に係る国際動向調査）事業の成果をとりまとめたものである。

目次

1.	はじめに	1
2.	会議スケジュール実績	2
	2.1.1. セッションテーマ及び趣旨	2
	2.1.2. 発表者所属及びプレゼンタイトル	2
3.	発表概要	5
	3.1. カナダとの会議	5
	3.1.1. (1) 「原子力緊急事態への対応」	5
	3.1.2. (2) 「FNEP 及び事故後対応」	5
	3.1.3. (3) 「カナダ保険省・放射線防護局の環境放射線モニタリングプログラム」	6
	3.1.4. (4) 「放射線モニタリングの現状及び福島第一原発周辺の被ばく線量評価」	7
	3.1.5. (5) 「平時及び緊急時の有人放射線モニタリングの実施と運用」	8
	3.1.6. (6) 「原子力緊急時の対応、訓練及び運用」	9
	3.1.7. (7) 「カナダ天然資源省の緊急時空中放射線サーベイ及び無人航空機の展望」	10
	3.1.8. (8) 「デコンボリューション、ガンマ線方向性及びガンマ線イメージングを含む 新技術」	12
	3.1.9. (9) 「緊急時の環境放射線モニタリングプログラム及び放射線調査」	13
	3.1.10. (10) 「新商品について」	14
	3.2. フランスとの会議	15
	3.2.1. (1) 「原子力緊急事態への対応」	15
	3.2.2. (2) 「ASN の緊急時対応及び事故後の管理」	15
	3.2.3. (3) 「IRSN の緊急時対応」	16
	3.2.4. (4) 「福島事故から学んだ教訓を基本とする緊急時対応」	17
	3.2.5. (5) 「航空機放射線モニタリングの実施と運用」	18
	3.2.6. (6) 「空間線量率及び海水中 ^3H に着目した環境モニタリング」	18
	3.2.7. (7) 「航空機放射線モニタリング（飛行機、ヘリコプター及び UAV）」	19
	3.2.8. (8) 「Group INTRA の組織、ミッション及び手段」	20
	3.2.9. (9) 「2019 年の日仏合同調査のまとめ」	21
	3.2.10. (10) 「2019 年に日本で行った測定経験から得た機器の知識に関する教訓」	23
	3.2.11. (11) 「JAEA・NRA・ASN・IRSN の今後のコラボレーションと技術交流に関する 提案」	24
4.	質疑応答 (会議中)	25
	4.1. カナダとの会議	25
	4.2. フランスとの会議	30
5.	質疑応答 (会議前後)	36
	5.1. 質疑応答	36
6.	我が国における環境放射線モニタリング体制の確立に向けた提言	50

6.1.	航空機による放射線モニタリングの実施・運用について	50
6.2.	放射線モニタリングに係る情報の共有	50
6.3.	防護措置、環境モニタリング及び被ばく線量評価の関連性について	50
6.4.	緊急時モニタリング要員の被ばく線量限度について	50
6.5.	海域における放射線モニタリングの実施・運用について	51
6.6.	緊急時モニタリング体制全般について（資機材配備体制を含む）	51
7.	参考文献	52

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）では、福島第一原子力発電所事故以来、有人ヘリや無人機を用いた空からのモニタリング手法について研究開発を行っている。本報告書は、原子力規制庁（以下「NRA」という。）からの受託事業である「航空機モニタリングをはじめとする環境放射線モニタリング技術に係る国際動向調査」の一環として行った航空機モニタリングに関する関係者との協議結果をまとめたものである。

原子力災害発生時の放射線や放射性物質のモニタリングに係る技術や体制については、原子力発電所を有する諸外国においても検討が進められており、これらの内容をフォローし、国内での体制の検討に反映させることは有効かつ有用であると考えられる。本事業では、航空機モニタリングをはじめとする環境放射線モニタリング技術について、これまで深く意見交換を行うことのなかった諸外国の状況について情報収集することにより、今後の我が国の緊急時モニタリング体制の確立や関係各国との緊急時の円滑な情報共有に資することを目的とする。今年度は、カナダ及びフランスに着目し、原子力防災に関わる担当者とモニタリングに係る技術のうち、次の項目について情報交換会を行った。

- 1) 航空機による放射線モニタリングの実施・運用について
- 2) 放射線モニタリングに係る情報の共有
- 3) 防護措置、環境モニタリング及び被ばく線量評価の関連性について
- 4) 緊急時モニタリング要員の被ばく線量限度について
- 5) 海域における放射線モニタリングの実施・運用について
- 6) 緊急時モニタリング体制全般について（資機材配備体制を含む）

カナダ及びフランス両国は、我が国の緊急時モニタリング情報共有・公表システムに類似したシステムを運用している。カナダにおいては、古くはウラン鉱床の探査から始まり発展させた航空機モニタリングの技術を中心に、原子力防災の仕組みの整備は世界トップレベルである。Health Canada（カナダ保健省）、Natural Resources Canada（NRCan/カナダ天然資源省）及び Radiation Solution Inc. (RSI) 社との間で環境放射線モニタリングに係る技術について意見交換を実施した。フランスにおいては、チェルノブイリ原子力発電所事故の経験や自国での原子力施設の事故の経験から、原子力防災の仕組みの整備は世界トップレベルであり、航空機モニタリングに係る体制も整備している。Autorité de sûreté nucléaire (ASN/フランス原子力安全局) 及び Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN/放射線防護・原子力安全研究所) との間で、環境放射線モニタリングに係る技術について意見交換を実施した。これらの意見交換を通じて、今後の我が国の環境放射線モニタリング体制の強化に資する情報をまとめた。

2. 会議スケジュール実績

2.1.1. セッションテーマ及び趣旨

カナダ側と下記の趣旨に基づき会議を行った。

(1) 1日目セッションテーマ:「原子力災害対応に向けたロジスティクスの概要」

- ・放射線モニタリングに関する情報の共有及び公開について
- ・予防的措置、環境モニタリング及び放射線測定の関係について
- ・緊急モニタリングに従事する人員の線量限度及び管理について

(2) 2日目セッションテーマ:「原子力災害対応に向けた研究・開発状況」

- ・平時及び緊急時の有人放射線モニタリングの実施と運用について

(3) 3日目セッションテーマ:「将来の方向性」

- ・海域における放射線モニタリングの実施状況について
- ・緊急時の放射線モニタリングシステムについて（開発中のものを含む）

フランス側と下記の趣旨に基づき会議を行った。

(1) 1日目セッションテーマ:「原子力災害対応に向けたロジスティクスの概要」

- ・放射線モニタリングに関する情報の共有及び公開について
- ・予防的措置、環境モニタリング及び放射線測定の関係について
- ・緊急モニタリングに従事する人員の線量限度及び管理について

(2) 2日目セッションテーマ:「原子力災害対応に向けた研究・開発状況」

- ・平時及び緊急時の有人放射線モニタリングの実施と運用について
- ・海域における放射線モニタリングの実施状況について

(3) 3日目セッションテーマ:「将来の方向性」

- ・2019年の日仏合同調査の議論

2.1.2. 発表者所属及びプレゼンタイトル

表 2-1 にカナダ、表 2-2 にフランスとの会合における発表者所属及びプレゼンタイトルについて示す。

表 2-1 発表者所属及びプレゼンタイトル(カナダとの会議)

日付	No.	発表者所属	タイトル
12/7	(1)	NRA	Correspondence for nuclear emergency preparedness 原子力緊急事態への対応
	(2)	カナダ保健省	FNEP and post-accident response FNEP 及び事故後対応
	(3)	カナダ保健省	Environmental radiation monitoring programs at Radiation Protection Bureau (RPB) of Health Canada カナダ保健省・放射線防護局での環境放射線モニタリングプログラム
	(4)	IAEA	Current situation of radiation monitoring and exposure doses evaluation around FDNPP 放射線モニタリングの現状及び福島第一原発周辺の被ばく線量評価
12/8	(5)	IAEA	Implementation and operation of manned (piloted) radiation monitoring (normal and emergency) 平時及び緊急時の有人放射線モニタリングの実施と運用
	(6)	カナダ天然資源省	Nuclear emergency response, exercises and operations 原子力緊急時対応、訓練及び運用
	(7)	カナダ天然資源省	Emergency aerial radiation surveying at NRCAN and perspective on remotely piloted aircraft カナダ天然資源省による緊急空中放射線サーベイ及び無人航空機の展望
	(8)	カナダ天然資源省	New technologies and methods including deconvolution, gamma directionality, gamma imaging デコンボリューション、ガンマ線方向性及びガンマ線イメージングを含む新技術
12/9	(9)	カナダ海軍	Environmental Radiological Monitoring Program and radiological survey during an emergency 緊急時の環境放射線モニタリングプログラム及び放射線調査
	(10)	Radiation Solutions Inc.	New commercial equipment 新製品について

表 2-2 発表者及びプレゼンタイトル(フランス会議)

日付	No.	発表者所属	タイトル
2/15	(1)	NRA	Correspondence for nuclear emergency preparedness 原子力緊急事態への対応
	(2)	ASN	Emergency preparedness of ASN and Post-accidental management ASN の緊急時対応及び事故後の管理
	(3)	IRSN	Emergency preparedness of IRSN IRSN の緊急時対応
	(4)	JAEA	Emergency preparedness based on lessons and learnt of the Fukushima accident 福島事故から学んだ教訓を基本とする緊急時対応
2/16	(5)	JAEA	Implementation and operation of airborne radiation monitoring 航空機放射線モニタリングの実施と運用
	(6)	IRSN	Environmental monitoring and focus on ambient dose rate and sea water - ³ H 空間線量率及び海水中 ³ H に着目した環境モニタリング
	(7)	IRSN	Aerial radiation monitoring (plane/helicopter and UAV) 航空機放射線モニタリング (飛行機、ヘリコプター及び UAV)
	(8)	Groupe INTRA	Groupe Intervention Robotique Sur Accidents: Organization – Missions – Means Groupe INTRA の組織、ミッション及び手段
2/17	(9)	JAEA	Summary of FY 2019's joint survey 2019 年の日仏合同調査のまとめ
	(10)	IRSN	Lessons of the measurement campaign of 2019 in Japan on our equipment knowledge 2019 年に日本で行った測定経験から得た機器の知識に関する教訓
	(11)	IRSN	Proposal of topics for further JAEA-NRA-ASN-IRSN collaboration – technical exchange JAEA・NRA・ASN・IRSN の今後のコラボレーションと技術交流に関する提案

3. 発表概要

3.1. カナダとの会議

3.1.1. (1) 「原子力緊急事態への対応」

(発表者所属: NRA)

- ・ 福島第一原子力発電所事故以前は、拡散予測システムで住民防護措置を決定していた。しかし、実際には拡散予測が難しかった経験から、事故後は Emergency Action Level (EAL/緊急時活動レベル) 及び Operational Intervention Level (OIL/運用上の介入レベル) をベースとした措置に変更した。
- ・ 災害時要支援者とそれ以外に分類。放射性物質の放出前において、Precautinary Action Zone (PAZ/予防的防護措置を準備する区域) 内の要支援者は、Alert (AL/警戒事態) で避難準備を開始、Site Area Emergency (SE/施設敷地緊急事態) で避難を開始する。その他の住民は、SE で避難準備、General Emergency (GE/全面緊急事態) で避難となる。
- ・ 重点区域の考え方も変更し、International Atomic Energy Agency (IAEA/国際原子力機関) が定める最大距離である PAZ を 5 km、Urgent Protective Action Planning Zone (UPZ/緊急防護措置を準備する区域) を 30 km とした。
- ・ 原子力発電所事故後に、環境中に放出された放射性物質のモニタリングのため、2011 年に総合モニタリング計画を策定。関係省庁や自治体及び原子力事業者が連携してモニタリングを実施した。
- ・ 2021 年 4 月、安全性を確保し風評対策を徹底することを前提に、Advanced Liquid Processing System (ALPS/多核種除去装置) 処理水の海洋放出を決定した。
- ・ 福島県周辺では、4 つの団体 (NRA、福島県、東京電力、環境省) が海域モニタリングを実施。総合モニタリング計画に、 ^3H の検出下限値が規定されている。近傍海域及び沿岸で ^3H , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs のモニタリングを実施した。
- ・ 米国の原子力潜水艦寄港地 3 拠点については、周辺住民の安全を確保するため調査を実施 (モニタリングステーションを設置) している。

3.1.2. (2) 「FNEP 及び事故後対応」

(発表者所属: カナダ保健省)

- ・ カナダ保健省の放射線防護局は、①原子力緊急対応、②放射線健康評価、③放射線サーベイ、④線量測定サービスの 4 部署から成り、人員は 160 名である。
- ・ 緊急時対応体制については、現場から地方自治体、自治体から州、州から連邦政府へ必要に応じてサポートを求めるボトムアップの形を採用している。
- ・ 1984 年に保健省が Federal Nuclear Emergency Plan (FNEP/連邦原子力緊急計画) を策定した。各実施主体に求める技術的な要件を規定。2011 年の福島第一原子力発電所事故後に、アップデートした。
- ・ 原子力緊急事態のカテゴリーは A : カナダの原子力発電所、B : 米国またはメキシコの原子力発電所、C : カナダにおける原子力潜水艦の寄港、D : 北米でのテロなどの主要な出来事、E : 北米以外での出来事に分類されている。

- ・ FNEP に統合されるデータの種類として、放射線モニタリングネットワーク、IAEA や原子力安全委員会などのソースチーム、モデリング、空中・地上モニタリングがある。これらの情報から技術報告書を作成し、IAEA や World Health Organization (WHO/世界保健機関) などの国際機関に共有した。
- ・ 保健省のフィールド対応チームの主な役割は、オペレーションコンセプトの策定、技術評価グループのサポート、トレーニングなどである。地上サーベイでは、全体のコーディネートと通信環境の設定、光刺激ルミネッセンス線量計や個人電子線量計を用いた線量測定サービス、汚染管理（テントやモニターの設置、車両、人員のモニタリング）、トレーラーでのサンプル準備、移動式ラボでの分析(Ge 半導体検出器及び液体シンチレーションカウンター配備)を実施する。
- ・ 空中モニタリングのキャリブレーションの支援として In-Situ 測定を実施。バックパックや車両での線量率測定のほか、可搬式のドロップボックスが 20 個あり、衛星を通じて線量率が報告される。
- ・ 2010 年のバンクーバーオリンピックや G7、G20 などの主要イベントに備えて大規模な原子力防災訓練を実施。2015 年には、福島周辺でもバックパックや車両でモニタリングを実施した。
- ・ Connaught Ranges（オタワ近郊のカナダ軍施設）での訓練では、原子力事故をシミュレーションして機材や対応手順のテストを行い、人員の配置や州・連邦・国際機関との連携について欠陥がないか確認した。機材への影響を確かめるため冬場に行うことが多い。バックパック及び走行サーベイを行い、隠した線源を発見できるかシミュレーションした。線源を散布した状態での訓練も実施している。

3.1.3. (3) 「カナダ保健省・放射線防護局の環境放射線モニタリングプログラム」

(発表者所属: カナダ保健省)

- ・ 放射線サーベイ課では、放射線 3 つのモニタリングネットワークを活用して環境放射線のモニタリング、検出及び分析を実施している。
- ・ 固定モニタリングポストが 80 か所あり、カナダ東部の原子力発電所周辺、主要都市、原子力潜水艦の寄港する港に設置。Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT/包括的核実験禁止条約) のポストが 4 か所、Canadian Radiological Monitoring Network (CRMN/カナダ放射線モニタリングネットワーク) のポストが 26 か所ある。
- ・ CRMN ネットワークは 1959 年開設された。飲料水、牛乳、雨などの放射能、空気中のサンプルや、 γ 線による外部被ばく線量などをモニタリングしている。これらのデータは、すべて「Open Government」というサイト²⁾上で公開されている。
- ・ CTBT ポストについては、エアサンプラー（マニュアル）で採取したサンプルを Radionuclide Aerosol Sampler/Analyzer (RASA/エアロゾル中放射性核種分析装置) で自動で分析している。データは自動でセンターに送られ、オタワにある CTBT のラボで分析する。
- ・ Fixed Point Surveillance (FPS/固定モニタリングポスト) は、2002 年に設置し測定を開始している。3”×3”の NaI(Tl)スペクトロメータを使用。通常時は 15 分ごとに自動でデータが送信及び処理されるが、緊急時は 1 分に短縮される。これらのネットワークは、空気カーマ率と周辺

線量当量 $H^*(10)$ でキャリブレーションすることで、 ^{41}Ar 、 ^{133}Xe などの検出が可能になる。これらの情報は保健省のウェブサイトで公開され、European Radiological Data Exchange Platform (EURDEP/欧州放射線データ交換プラットフォーム)、IAEA に共有している。

- ・ International Commission on Radiological Protection (ICRP/国際放射線防護委員会) などで言及される換算係数を基に、FPS のデータから原子力事故による放射性核種の降下量や土壤中沈着量を予測。2011 年 3 月 21 日、駐日カナダ大使館の敷地内で FPS を設置。また、土壌サンプルを採取してオタワのラボで分析した。緊急時対応の分析及び汚染予測には、NaI(Tl)検出器が有効³⁾であることがわかった。
- ・ FPS を宇宙線のモニタリングネットワークにも活用している。宇宙線のチャンネルを 130 MeV 超まで拡大し、RS250 (NaI(Tl)検出器) と BC408 (プラスチックシンチレータ) の同時測定を行って、ミュオンの比率を確認する。宇宙線の計数率と JAEA の分析した実効線量を比較したところ、相関関係が見られた⁴⁾。ここから、長期間の宇宙線由来の実効線量を予測した。同様に FPS を宇宙天気モニタリングにも活用⁵⁾している。

3.1.4. (4) 「放射線モニタリングの現状及び福島第一原発周辺の被ばく線量評価」

(発表者所属: JAEA)

- ・ JAEA が行う放射線モニタリングには 4 つの手法があり、移動・可搬性、正確性、コストの面でそれぞれ特徴があり、様々組み合わせて分析。航空機モニタリングの結果を 1 として各手法を比較すると、固定モニタリングポスト、歩行サーベイ、走行サーベイの結果が低めに出ることがわかっている⁶⁾。これは測定の範囲と場所が影響していると考えられる。
- ・ 有人ヘリコプターでのモニタリング結果から、線量率が高いのは福島から 200 km の範囲に留まっている⁷⁾ことが分かった。西日本で高い線量率が高いのは、天然放射性核種由来のバックグラウンド線量率によるものと考えられる。
- ・ 地上サーベイ、有人ヘリ、無人ヘリ (福島第一原子力発電所周辺 5 km) による測定結果を時系列で並べると、線量率が高いエリアが減少しているのがわかる⁸⁾。無人機の測定結果から 4 つのプルームの跡がわかる。
- ・ 土壌試料をスクレーパープレートを用いて採取し、放射性セシウムの深度分布の変遷を調査している。時間の経過と共に、放射性セシウムは土壌の表層から深さ方向に浸透している^{9,10)}ことが分かった。
- ・ JAEA がモニタリングで取得した空間線量率や放射性核種濃度に関するデータは、「放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト¹¹⁾」にて公開されており、ダウンロードすることができる。
- ・ 福島の地理的特徴について説明。特定復興再生拠点区域は、今年から来年にかけて解除する予定である。帰還困難区域は 2020 年代に解除を目指す。
- ・ 空間線量率の高い地域のモニタリングには新しい手法が必要である。住民の生活行動パターンに基づいて、被ばく線量を評価¹²⁾している。線量計のデータと、スマートフォンの GPS を用いて算出した生活行動パターンから検証した積算線量から 1 日の被ばく線量を推定した。避難指示区域の住民約 150 人の測定データを見ると、年間被ばく線量は 1 mSv 以下の者が多

い。

- ・ 内部被ばく線量を評価するために、原子力発電所事故の2年後から、避難指示区域で24時間・365日のエアロゾルのサンプリングを実施¹³⁾している。場所によって大きな差はなく、除染など人為的な影響が大きい。被ばく線量としても低いレベルである。
- ・ モニタリングに使用する機器について。走行サーベイシステムには、CsI(Tl)検出器とGPSを搭載した。測定結果はマップ上に表示される。他機関との測定手法比較が重要で、Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI/韓国原子力研究所) と合同サーベイを以前実施した^{14,15)}。バックパックサーベイシステムは、走行サーベイとほぼ同じシステムを可搬できるようにしたものである。サーベイメータを用いて、福島第一原子力発電所の周辺5,000か所を毎年測定している。セシウム沈着量のIn-situ測定には、Canberra製のGe半導体検出器Falconを使用¹⁴⁾している。
- ・ 有人ヘリモニタリングには、日本に5台あるRSI製の機器を使用している。JAEAが開発したUAV用検出器¹⁶⁾もある。高度な分析技術の例として、今までに測定した経験を機械学習して解析する方法¹⁷⁾を開発中である。

3.1.5. (5) 「平時及び緊急時の有人放射線モニタリングの実施と運用」

(発表者所属: JAEA)

- ・ 原子力災害対策マニュアルには、原子力発電所事故の発生時、JAEAが空中モニタリングを実施する義務が規定されている。JAEA内に対応チームを設置しているが、具体的な実施スキームは規定されていないため、JAEAが技術的な問題を明らかにする必要がある。
- ・ 事故以前は、日本原子力研究所が有人ヘリモニタリングを行っていた。事故後に、原子力安全技術センターにノウハウと技術が移転した。その後は、予算カットにより効果的なモニタリング体制が確立されていなかった。そのため、2011年の原子力発電所事故直後は、米国エネルギー省が有人ヘリモニタリングを実施した。JAEAは、米国エネルギー省の技術を学び、複雑な地形で得られたデータの補正¹⁸⁾や、天然放射性核種由来の γ 線との弁別¹⁹⁾などの日本の状況に合致した手法を開発している。
- ・ 上空からのモニタリングについて、有人ヘリではカナダRSIのNaI(Tl)検出器を使用している。GPSを含む測定値がデータボックスに保存される。地形により実際の飛行高度が異なることから減衰係数をかけている。計数率から空間線量率への変換のため、地上でも線量率を測定している。また、バックグラウンド線量率なども差し引く必要がある。飛行速度は時速160-185km、高度は約300m。分析・マッピングにはInverse Distance Weighted (IDW/逆距離加重)法を使用している。
- ・ Unmanned aerial Vehicle (UAV/無人航空機)の離着陸は手動で行われ、その後は事前に設定したルートに沿って自動で運航する。UAVでは、線量率の高い場所や森林の上空など、人が容易に立ち入れない区域でもモニタリングが可能。UAVで使用する検出器のエネルギー分解能は2.8%で、¹³⁷Csピークを弁別するに十分である。
- ・ 有人ヘリモニタリングの結果を時系列で見ると、除染作業や降雨などにより線量率の高いエリアが縮小している。一方で、福島第一原子力発電所周辺の帰還困難区域ではまだ線量率が

高い。UAV サーベイの方が地上に近い場所を飛ぶため、より詳細なデータが入手できる。

- ・ 無人ヘリで撮影した写真と空間線量率を重ねたトポグラフィック・マップを基に、地形による線量率の変化を分析している。
- ・ 原子力災害への対応準備として、バックグラウンド線量率を測定する総合訓練を、防衛省などと毎年実施²⁰⁾している。
- ・ 原子力発電所事故の際は、放射性核種にかかわらず PAZ（原子力発電所から 5 km）内の住民は避難する。放射性物質放出後は、地方自治外が UAZ (5-30 km) で「OIL 1 (500 μ Sv/h)」を発動し、直ちに避難。「OIL 2 (20 μ Sv/h)」では一日以内に一時避難。OIL 6 (0.5 μ Sv/h) では 10 日以内に飲食物のスクリーニングを実施する。政策決定者は、モニタリングポストの値を参考に OIL の範囲を判断。モニタリングポストの数は限られているため、UAV をツールとして使い詳細なデータを取得する。
- ・ 長距離飛行ができる UAV を紹介する。ヘリコプター Fazer R G2 は、福島第一原子力発電所周辺でのモニタリングに使用されており、100 分間飛行できる。それに対し、固定翼の Penguin C は最大 20 時間飛行可能である。Penguin C は同じ場所に留まれないが、Fazer R G2 はホバリングが可能。ミッションにより使い分けることが重要である。Penguin C はカタパルトで離陸し、パラシュートとエアバッグで離陸する。オペレーターは、専用ソフトウェアで飛行経路を策定する。
- ・ 2016 年に放射性プルームの研究を開始¹⁶⁾している。測定手法や汚染による機体への影響、測定データの可視化などが課題として残っている。

3.1.6. (6) 「原子力緊急時の対応、訓練及び運用」

(発表者所属: カナダ天然資源省)

- ・ 天然資源省の原子力緊急対応チームは安全面・セキュリティ面で核放射線のリモートセンシングの技術サポートを行う。FNEP や CBRNE (Chemical, biological, radiological, nuclear, explosive) によって発生した災害) セキュリティ・チームのサポートも実施している。
- ・ 活動の一つとして、オンタリオの原子力発電所周辺で行った上空からのモニタリングの訓練がある。モニタリング結果を基に、放射線マップを作成。365 日いつでも緊急時に対応できるよう、スタンバイチームを配置し、航空機及びトラックによるモニタリングを実施する。カナダ地質調査部は 50 年の経験があり、国土の 40% のサーベイを実施している。
- ・ 有人ヘリモニタリングには RSI 社の 705 型を使用。 γ 線検出器、中性子線検出器と衛星電話を搭載し、リアルタイムで地上にデータを送信できる。システムは自動で作動し、航空機・車両から独立している。
- ・ 天然資源省はヘリを所有していないため、他の政府機関や民間企業に頼っている。システムのフレキシビリティを紹介する。レーザー高度計、NaI(Tl)検出器、GPS 受信機などをバスケットに入れて、ヘリコプターに外付けして測定できる仕組みもある。
- ・ その他の検出器として、車載型の RSX-5 及び RS-501 や、自己遮蔽効果のある指向性検出器などがある。
- ・ 航空機や走行サーベイ結果のリアルタイム分析には、「RadAssist」というソフトウェアを使用

している。「Waterfall」プロットでは1秒毎にスペクトルを表示。エネルギースペクトルの加算から核種の識別が可能。GIS ウィンドウでは航空機の経路と核種のピークが同時に表示される。

- ・ 通常の航空機モニタリングでは、事前に設置した高度と経路で並行にフライトする。バックグラウンドを補正してGISソフトウェアに取り込み、地上の線量率を推定する。
- ・ オペレーション対策として協力団体と訓練を実施している。トロントで行った訓練では、消防署の近くに線源を隠して発見した。サーベイを継続し、ライセンスを保有する建設会社の敷地内で2つ目の線源を発見した。勤務はシフト制で、定期的にシステムをチェックしている。また、バックグラウンド線量率の測定や研究も実施している。
- ・ 事故などの影響を念頭に行っている1日タイプ (Day 1 Type) のサーベイでは、原子力発電所からジグザグに航空機を飛行させて、影響を受けたエリアの特定、線量レベルの推定、PAZの設定を行う。第2段階のサーベイ (Follow On Survey) では、人口密集地帯や重要なインフラがあるエリアなどで詳細なモニタリングを実施。高度は50-100 m、飛行経路の幅は50 m。
- ・ 2021年10月、カナダ東岸の原子力発電所のエリアで、バックグラウンド線量率を測定。カナダ軍のヘリを使用した。機材の搭載や危機対応プロセスなどを確認できた。
- ・ 福島事故後の対応として、2011年3月に警察が所有する固定翼機で、カナダ西部のモニタリングを実施した。 ^{133}Xe が検出されたが、濃度は低い水準であった。
- ・ セキュリティオペレーションの役割も担っており、オリンピックやG7、G20など主要イベントなどの際に訓練を実施している。訓練では航空機モニタリング、及び走行(トラック)サーベイを行う。2017年にはカナダ東部で米国との共同訓練を実施した。簡易核兵器を想定し、事前及び事後のサーベイを行った。
- ・ 天然資源省と米国ネバダ州の Aerial Monitoring System (AMS/航空機モニタリングシステム) とで行った共同サーベイでは、米国のヘリにカナダ側の機材を搭載し、非常に類似した結果が得られた。技術的な意見交換も毎年実施しており、日本とも今後行いたい。
- ・ Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization (CTBTO/包括的核実験禁止条約機関準備委員会) の上空からの γ 線分析システムに対して、カナダは航空サーベイによる γ 線検出システムを提供した。

3.1.7. (7) 「カナダ天然資源省の緊急時空中放射線サーベイ及び無人航空機の展望」

(発表者所属: カナダ天然資源省)

- ・ 発表者は、天然資源省の原子力緊急対応チームで地質調査を行っている。FNEPについて再度述べる。天然資源省は、原子力災害時の航空機モニタリングを実施する義務がある。
- ・ オペレーションのコンセプトとしては、情報を受け取る「通知」 (Notification)、起動 (Activation)、出動 (Mobilization)、オペレーション (Operations)、出動解除 (Demobilization)、事後対応 (Post-action review) という体制をとっている。
- ・ 天然資源省自体は、航空機モニタリングに使用する航空機を保有していない。効率的な機材の配備と機体ごとのデータの比較が行えるよう、標準化された配備 (インストラクション) 方法を定義づけしている。

- ・ 航空機モニタリングでは、RSI社のNaI(Tl)検出器を使用している。リアルタイムのテレメトリーを遠隔地に送信できる。長距離ミッションには、NaI(Tl)検出器を5台搭載したタイプを使用する。ヘリコプターには、GPSアンテナを常時取り付けているわけではないので、より正確な位置情報を得るためGPS受信機を外付けしている。また、慣性計測装置で機体のロールやピッチなどの情報も読み取っている。その他、電波高度計やレーザー高度計も活用する。
- ・ 航空機に搭載する機材はミッションによって異なる。どんな機体や車両にも素早く搭載できるようにコンパクトにまとめた「早期対応 (Rapid-response) キット」や、長距離・広範囲のマッピングに必要な高感度の検出キット、カナダ空軍のヘリコプターに載せる早期対応キットなどがある。
- ・ 天然資源省が使用しているDart Aerospace社のカーゴ・バスケットを紹介する。検出器やGPS受信機、GPSアンテナ、高度計などをバスケット内に収め、カナダで広く運用されている3種のヘリコプターに取り付けられるようカスタマイズした。
- ・ バスケットを使用するメリットとして、ヘリコプターのキャビン内と比べて遮蔽が少なくなる点が挙げられる。特に、地上の航空機モニタリングでは線量率に40%の差が生じた。海上のモニタリングではほとんど差がなかった。¹⁴⁰Laを地上に散布して行った航空機モニタリングでも、バックグラウンドの補正などを行って線量率に換算した結果、バスケットで測定したデータの方がキャビン内のデータよりピークが鮮明に見られた。
- ・ ジオリファレンスシステムについては、RSIの検出器と一緒に搭載したGPS情報とRAWデータでは、特に機体が旋回するときはずれが生じてしまうため、高度計などで補正する必要がある。
- ・ キャリブレーションは難しく、地上で測定したデータとその場所に対応する航空機の高度に換算係数をかけて算出する。地上での空間率分布は均一ではないため、まずはキャリブレーションしたいエリアを可能な限り均一にスキャンするのが重要である。
- ・ 次に、RPAS (Remotely Piloted Aircraft System/遠隔操縦航空機システム) について紹介。原子力緊急時への対応の手段としてドローンによる放射線モニタリングを検討している。25 kg未満のマルチコプターを使用して実証試験を行っている。1機は、17.9 kgのドローン「ING Responder」で、RSI社のCsI(Tl)検出器 (3.3 kg) を搭載。もう1機は、1.5 kgの小型ドローン「3DR Solo」で、Kromek社のCZT検出器 (460 g) を搭載している。
- ・ UAVの場合、ペイロードが少なかったり飛行範囲や航続時間が短かかったりなどの課題はあるものの、あらゆる方向でモニタリングができ、In-situ測定と比べて事業者と危険物の距離を離せるなどのメリットがある。パイロットのリスク軽減、初動対処時間の削減、コスト面などでの効果を期待している。
- ・ 緊急時にドローンが活躍する場面は3つあると考える。1つはヘリコプターよりも小さいスケールでモニタリングを行う場合。オペレーターは防護服を着る必要があるが、汚染エリアに直接入ることはない。2つ目は人が立ち入れないエリアに放射線モニターを届ける場合。もう1つは、市街地や高層ビルなどの間をあらかじめ設定した経路に沿ってフライトして、3D汚染マップを作る場合である。

3.1.8. (8) 「デコンボリューション、ガンマ線方向性及びガンマ線イメージングを含む新技術」

(発表者所属: カナダ天然資源省)

- ・ 特定の検出器に活用できる新技術や、新しい検出方法を紹介したい。まず、デコンボリューション (deconvolution) について紹介する。この手法は、ソースタームに対する検出器の反応をシミュレーションしてライブラリに加えるものである。これにより、機器やサーベイの特性による影響を取り除き、よりリアルな信号処理ができる。
- ・ 開発した等式²¹⁾によって、測定時間とシミュレーション時間の短縮ができるようになった。ある地点で測定した値と、検出器のシミュレーションによって求めた寄与度に重量パラメータを積算し、その地点の不確実性で割ることで求められる。
- ・ ¹⁴⁰Laを散布して、カーゴ・カーゴバスケットで測定した航空機モニタリングでは、スペクトル情報のみで方向の情報がないためモデルの作成に時間がかかる。デコンボリューションの等式を使って、シミュレーションすれば同様のモデルが簡単に出せるのみならず、より解像度の高い汚染図を得られる。シミュレーションからプルームの形状がわかるが、これは実際の線源の位置に合致している。マップ上で不確実性の加減も表すことができる。トラックの走行サーベイで線源上を通過するように蛇行して航空モニタリングのデータと比較したところ、デコンボリューションにより分散範囲をより特定できることがわかった。
- ・ 次に、検出器にスペクトルと方向の両方の情報を載せるγ線方向性 (gamma directionality) に関する手法について紹介する。UAV (ドローン) を用いた新しい測定方法として、RSI社の指向性検出器「Advanced Radiation Detector for Unmanned Aerial Vehicle Operations (ARDUO/無人航空機用最新型放射線検出器)」を使用²²⁾する。ARDUOはSiPM読み出し式の8つのCsI(Tl)シンチレータをまとめ、自己遮蔽ができるようにした検出器システム。方向データとイベントレートを組み合わせ、方向ベクトルと地上が交差する点をイベントレートで加重してマッピングする。
- ・ ¹⁴⁰Laを農場にL字状に散布してモニタリングした実験では、イベントレートのみでは散布範囲がはっきりしないが、これに方向データを組み合わせることで散布の位置と方向がわかる。例えば、CTBTOに航空機モニタリングを要請され、何らかの理由で飛行できないエリアがある場合、そのエリア周辺のベクトル情報を取得すれば少なくとも線源の存在を知ることができる。
- ・ 最後に、γ線イメージング (gamma imaging) について紹介する。1つのロケーションから広範囲のγ線イメージングを行う手法。約10年の研究の末、セーフティ・セキュリティ向けSiPMコンプトンカメラ「Silicon photomultiplier-based Compton Telescope for Safety and Security (SCoTSS)」を開発。光学カメラのリアルタイム画像にγ線を投影して重ねるもので、キューブ状のCsI(Tl)シンチレータを2面 (吸収面とスキャッター面) のコンプトンカメラに収めている。エネルギー分解能は7% (662 keV) である。
- ・ 各機材のパラメータがイメージングの性能に影響を与えるため、オペレーションの分野が異なる場合は、すべてに最適な指標を見つけるのは難しい。そこで「Time-To-Image」 (ある程度の正確性を確保しながら、線源の位置を特定するのにかかる時間) という概念のもと、SCoTSS一式、SCoTSS単体、H3D社のPolaris-H Quadで比較したところ、線源の位置を特定するのにかった時間はそれぞれ3秒未満、1分、2分という結果であった。

- ・ 天然資源省のラボ内に¹³⁷Cs線源を置いて、SCoTSSで9か所、各45秒間撮影する実験を実施。1か所のみだと線源の位置が特定できないため、複数の場所から撮影し、重ねて投影することが必須。ここから得られたデータを検出器の性能をシミュレーションしてライブラリに登録しておけば、初動対応の際の時間短縮にもつながる。なお、先に紹介したL字状に¹⁴⁰Laを散布した農場でSCoTSSを使用したところ、散布エリアよりも広い範囲に放出が見られ、はっきりとしたL字型は抽出できなかった。
- ・ その他、現在研究開発中のものとして、1 kg超の指向性検出器、自己遮蔽のできる十字型のSCoTSS、UAV搭載型のSCoTSSなどがある。

3.1.9. (9) 「緊急時の環境放射線モニタリングプログラム及び放射線調査」

(発表者所属: カナダ海軍)

- ・ カナダでは、原子力艦やそれに準ずる潜水艦を運用されていないが、同盟国の原子力艦が港に停泊した際にモニタリングを実施している。国防省は、枢密院の命令により原子力安全管理法の適用が除外される。国防省は、インフラ・環境副大臣補佐官を通じて、原子力に関する活動を内部規制している。
- ・ 原子力艦の停泊する場所として、ブリティッシュコロンビア州にあるジョージア海峡(西海岸)、及びノバスコシア州にあるハリファックス(東海岸)が承認されている。
- ・ 海軍の原子力安全管理者は、Nucler Vessel Visit Satety Program (NVVSP/原子力艦停泊時の安全のためのプログラム) が、インフラ・環境副大臣補佐官の規制に関する指令に適合しているか確認する。
- ・ インフラ・環境副大臣補佐官によるオーソライズを受けるために以下の3つの条件を満たす必要がある。
 - 1) 原子力艦停泊時及び緊急時に対応するための計画には、国防省の人員や所有物、公衆や環境を適切に防護するための行動や手続きを記載すること。
 - 2) 現場の緊急時対応チームは、緊急時に緊急時対応プランを実行するために、適切に装備を準備し訓練を実施すること。
 - 3) 緊急時対応チームのメンバーの能力を検証するために、2年ごとに緊急時対応プランを更新すること。
- ・ 緊急時対応プランには、下記の情報が盛り込まれている。
 - 1) 原子力艦の停泊地点と緊急時対応のためのゾーン
 - 2) 緊急時対応チームの構成員と個々の責任
 - 3) 緊急時対応のための施設と装備品
 - 4) 緊急度に応じたチームのメンバーによって自動的に行う行動。具体的には、避難及び屋内退避ゾーンの設定や防護服や装備の準備などがある。
 - 5) カナダの健康ガイドラインに従う放射性被ばくを防ぐためのOILsの設定
 - 6) 海軍や国防省、市民に対するコミュニケーションに関するプロトコルやテンプレート
- ・ ゾーンはBase Alert, Base Emergency, General Emergencyの3つによって構成されている。
- ・ 緊急時対応チームは以下の5つによって構成。

- 1) 全体の統制と公的な事務のための指揮統制チーム（司令塔）
 - 2) 装置を用いて現場で放射性計測を行うチーム
 - 3) 汚染されたサイトへのアクセスを制限するセキュリティチーム（サイト内外の境界に位置する）
 - 4) 除染チーム（サイト内外の境界に位置する）
 - 5) 負傷者救助のための医療チーム（サイト内外の境界に位置する）
- ・ 緊急時対応チームの装備品として、以下のものがある。
 - 1) 目的に応じた可搬型の様々な放射線検出器（ α , β , γ , X線）
 - 2) ダストサンプラー
 - 3) 指令室の入り口に設定するモニター
 - 4) 自動車
 - 5) ボート
 - ・ 現場調査で得られた情報は、ネットワークを使って共有される。
 - ・ 平常時は原子力安全を遵守するために、業界の慣例として、海軍は環境放射能モニタリングを実施。資産運用受託者の行動規範を遵守するために、オーソライズされた原子力艦停泊地近傍の環境をモニタリングする。
 - ・ 平常時及び原子力艦停泊時に環境試料（水、底質、海産物、植物）を採取し、人工放射性核種を分析。原子力艦停泊地のベースラインとして比較するために、1997年に原子力艦停泊地でバックグラウンド γ 線サーベイを実施。天然資源省は、緊急事態の前の分析結果として参照するために、最近になってバックグラウンドサーベイを実施している。
 - ・ 原子力艦停泊地で排水されたビルジ（船底に溜まっている水やオイルなどが混合した不要液体）も採取。排水開始時と排水途中に試料を採取し、放射線レベルの現場での確認と実験室での更なる確認を行う。試料の分析はISO-17025に従って行う。
 - ・ 定常的なサンプリングは月に1回、年に3、4回の頻度で実施。海産物や海藻は3つの試料を年に1回サイトごとに採取、海の底質は4つの試料を年に一回サイトごとに採取。海水は12の試料を年に1回サイトごとに採取する（各月に1回採取）。上記のサンプリングに加えて、原子力艦停泊前、最中、後にサンプリングを行う。原子力艦停泊中のサンプリングは、原子力艦の到着から30分後と満潮時に実施。原子力艦停泊後のサンプリングは、原子力艦の出発直後に行う。

3.1.10. (10) 「新商品について」

(発表者所属: RSI)

- ・ RSIが提案する新商品は、対地高度などのパラメータを基にデータの解析範囲を自動で選別することが可能。また、放射性核種ごとに色分けしてマッピングが可能な機器もある。新たなコンソール (NaI(Tl)検出器) では、Wi-Fiとつなげることが可能になった。モニタリングで得られたデータを、Wi-Fiを介してスマートフォンに転送できる。
- ・ 中性子検出器はバックパックサーベイだけでなく、走行サーベイにも用いることができる。
- ・ スマホアプリ (RadMobile) では空間線量率だけでなく、地図情報や位置情報、放射性核種に関するパラメータも参照することができる。

- ・ ドローンや無人ヘリコプターに搭載できる3”×3”のNaI(Tl)検出器を開発中。テストサイトでの試験では¹³⁷Cs線源を見つけることができた。
- ・ UAV用として、無人ヘリコプターに搭載可能な8つのセルから構成されたCsI(Tl)検出器は、360°方向の放射線を検知することができる。VTOL (垂直離着陸が可能な機体) も開発中である。

3.2. フランスとの会議

3.2.1. (1) 「原子力緊急事態への対応」

(発表者所属: NRA)

- ・ 本会議において、特に着目したい7項目について述べる。1つ目は、有人の航空機を活用した放射線モニタリングとその運用について。平時及び原子力緊急時におけるモニタリングが対象である。
- ・ 2つ目は、環境放射線モニタリング結果の共有と公表について。日本では収集したモニタリングデータを「RAMIS」という情報システムを通じて共有及び公表している。フランスの実情について伺いたい。
- ・ 3つ目は、防護対策、環境放射線モニタリング、放射線測定に関連性について。放射性物質放出に備えたアプローチや考え方について意見交換を行いたい。
- ・ 4つ目は、緊急時モニタリング要員の被ばく線量限度と管理について。緊急時対応における被ばく線量限度の考え方などについて議論したい。
- ・ 5つ目は、海域における放射線モニタリングの実施と運用について。福島第一原子力発電所の処理水放出等を踏まえ議論したい。
- ・ 6つ目は、緊急時向けの放射線モニタリング資機材とその開発について。モニタリングポスト設置に係る考え方等について意見交換したい。
- ・ 7つ目として、2019年に福島県で行った日仏合同の環境放射線測定結果について意見交換したい。

3.2.2. (2) 「ASN の緊急時対応及び事故後の管理」

(発表者所属: ASN)

- ・ フランスの行政区画は 10,000 m²ほどの範囲の県、複数の県が集まった州、そして国全体の3つに分かれている。国と県、地方の組織で緊急時対応・危機管理にあたる。大規模事故については、首相と担当大臣が議長を務める Crossministerial Emergency Cell (CIC/省庁横断型緊急対応セル) で国全体が対応。
- ・ ASN と IRSN は国の危機管理の際に技術サポートを行っており、①事故現場での対応、②住民保護に関する勧告の提示、③住民への情報提供、④国際社会への情報提供という4つの役割がある。また、ASNは事業者が作成した Site Emergency Plan (PUI/オンサイト緊急計画) を承認し、それに基づいて作成する緊急対策プランを開発する。
- ・ 原子力事故が起きた際の国家対応計画はインターネット上で公開されており、英語版もある。
- ・ 2017年以降、原子力発電所の周りの Off-site Emergency Plant (PPI/オフサイト緊急計画) が変更され、2 km 圏内では屋内退避、5 km では時間をかけて避難をするなどが細かく決められた。
- ・ 住民の保護については 100 mSv がレファレンスレベルとなり、レベルに応じた対応が決められ

ている。10 mSv で屋内退避、50 mSv で直ちに避難となるが、必ずしもこの数字にこだわることなく、地域の実情に応じて対応することになっている。

- ・ 越境被害に共同で対処していく組織として Heads of European Radiation Protection Authorities (HERCA/欧州放射線防護機関管理者連合) と Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA/西欧原子力規制者会議) がある。2014 年、国を超える事故に対して共同で住民保護対応を行っていくことで合意。
- ・ 事故後は、Le Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle (CODIRPA/事故後段階の管理のための運営委員会) が政府の認証を受けて対応にあたる。政府系機関のほか、民間企業が入っているのがフランスらしいといえる。罰金などを含めて政府にいろいろ提案している。
- ・ CODIRPA は 2005 年に設立され、2012 年に原子力事故に対する対応計画文書を発表。福島事故を受けて、2019 年に改訂版の対応計画を公表した。2012 年の計画は事故後の対応に限界があった。短期間の放射線の放出、事故直後の対応、事故後の対応の関連性もあり、複雑な対応が求められる。
- ・ 新しい計画ではゾーニングの戦略を取り、各エリアでどのような避難措置を取るべきかを決めた。「移転地域」はなるべく早く避難すべき地域。その周りは、このエリアで採れた果物や野菜を消費してはいけない地域。さらにその周辺は、ここで作られた食料品を検査内で市場に出荷してはいけない地域。除染の結果などによってもゾーニングが変わる。
- ・ CODIRPA は原子力発電所事故以外に関連した活動や、除染、放射性廃棄物の処理、海域の状況把握など、対応計画を補完する事業も実施している。事故後の対応、耕作地の取り扱い、施設の強化なども含む。
- ・ 様々な媒体へのサポートも実施。周辺地区住民に対する情報提供である「プラクティカルガイド」は福島事故後の日本の対応を参考に作ったもので、専門家による Q&A など公開している。

3.2.3. (3) 「IRSN の緊急時対応」

(発表者所属: IRSN)

- ・ 国家レベルの事故は、政府と CIC が一緒になって対応。ASN が政府に対して技術的なアドバイスを行う。地域レベルの事故の場合は各知事が対応し、管轄地域以外の対応が必要になった場合は国が協力する。IRSN のモバイル部隊は可動式機器を準備して該当地域で環境モニタリングなどを実施。
- ・ CIC はパリに設置され、各地域にも組織があるが、IRSN は移動しながらアドバイスを提案。
- ・ 専門的技術のサイクルを紹介。施設から送られた測定データの把握、事故後の検査結果の診断、放出された放射性物質の特定と測定値の評価、データの比較を経てゾーニングを行う。
- ・ フランス国内に様々なモニタリングネットワークがある。「TELERAY」は空間線量率を測定するネットワーク²³⁾で 450 のプローブを使用。「OPERA AIR」はエアロゾル回収用のネットワークで 40 か所にサンプラーを設置。「HYDRO COLLECTOR」は原子力発電所周辺の河川 24 か所に設置。「HYDRO TELERAY」は河川で 7 つのサンプラーを使用。空間線量率の監視のため、遠隔のモニタリングも使用。

- ・ 事故時はモバイル部隊を現場に派遣して直ちに放射線を測定し、環境モニタリングの結果を見て理論的な結果から住民保護の方法を決定。
- ・ 放射性物質が放出された後、1-2 日で住民を避難させるべきか決定するため、周辺のモニタリングを行ってゾーニングする。飛行機やヘリコプターなどの航空機モニタリングや、地上での走行サーベイと歩行サーベイを実施。食料品を検査してからでないとは出荷できない地域を決めるにあたっては、範囲が広いと5日間の検査が必要。航空機サーベイに加え、エリア内の野菜などを収集し、ラボで測定して分析する。
- ・ 航空機サーベイでは大きな検出器を搭載できるため、4 L の NaI(Tl)検出器を4台使用。車載サーベイは地上に近く、より正確な数値を測定できる。バックパックサーベイでは3インチの NaI(Tl)検出器を使用しており、汚染地域の地形図をより正確に作成できる。In-situ スペクトルメータは、わずかな放射線でも検出できる。ラボの機能が搭載された車両も事故時に稼働。この車両では、事故対応人員と住民を対象とした人体の汚染度を測定する。
- ・ 被ばく線量の制限値はグループ分けしている。人命を救出するための行動については500 mSvが最大値。グループ1は走行サーベイを実施する者で100 mSvまで、それ以外のグループ2は20 mSvまでとなっている。
- ・ 緊急時に収集したモニタリング結果は、行政機関がアクセスできるウェブサイトを集約しているが、一般公開はしていない。IRSN や事業者、NPO などに公開されている Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM/環境放射能対策全国ネットワーク) というウェブサイト²⁴⁾もある。緊急時の測定データを一般の人々もアクセスできるようなツールを開発中で、年末までに運用できる予定。

3.2.4. (4) 「福島事故から学んだ教訓を基本とする緊急時対応」

(発表者所属: JAEA)

- ・ NRA は環境モニタリングの中心的な役割を果たし、①モニタリング結果を測定地点の緯度・経度とともに入力する、②入力した監視結果を地図上にプロット表示する、③指定した意地点の監視結果をグラフで表示する、④任意の時点の監視結果を表示する、⑤耐災害性を有するという5つの機能をもつシステムを準備。
- ・ 日本でも EAL や OIL の設置が義務付けられている。特に放射性物質の放出後は、農作物の摂取制限や除染の基準などの設定のため、詳細なモニタリングが求められる。
- ・ モニタリングポストは平常時にも測定。可搬式のデバイスも緊急時に使用しており、最低一週間程度のデータ転送を可能とする電力を備えておくことが重要。また、原子力発電所周辺にエアモニターやサンプラーを設置。
- ・ 緊急時におけるモニタリングの結果は、RAMIS に集約され、総理官邸、Emergency Responce Center (ERC/原子力規制庁緊急時対策センター)、Emergency Radiological Monitoring Center (EMC/緊急時モニタリングセンター) に速やかに共有されるとともに、一般向けに公表される。
- ・ モニタリングステーションやモニタリングカーから得られた情報を地図上に表示。測定結果は0.5 μSv/h 未満、0.5 μSv/h 以上、20 μSv/h 以上、500 μSv/h 以上に色分けして表示される。0.5 μSv/h という値は飲食物の検査を実施するためスクリーニング基準で、この値を超えた地域では飲食

物に含まれる放射性物質の検査が行われる。また、数 100 m 毎に測定できるような速度で走行モニタリングを実施。RAMIS は既に NRA のウェブサイトで一般公開されており、行政機関が住民の避難区域の決定などに活用できる。

- ・ モニタリング結果と航空機サーベイの測定結果を統合することが課題。JAEA のウェブサイトでは 1 億件のデータを公開。線量率マップや線量率の推移、汚染の分布図などを誰でも見ることができ、CSV 形式でデータのダウンロードが可能。
- ・ 国は必要に応じて海域モニタリングを実施し、海水や海底土の採取・分析結果を公表。福島事故以前は文部科学省が原子力施設沿岸で海水、海底堆積物、生物相の放射性物質濃度の調査を行っていたが、事故後に NRA が引き継いだ。現在、ほとんどの海域モニタリングの測定数値が事故以前の状態まで戻っている。日本では水産庁が海産物のモニタリングを実施。100 Bq/kg を超える割合は低下傾向にある。海域モニタリングの実施場所は①福島第一原子力発電所近傍海域、②沿岸部、③沖合部、④外洋部、⑤東京湾。
- ・ 2021 年 4 月、政府は風評被害などに対処するため「東京電力福島第一原子力発電所における ALPS 処理水の取扱いに関する基本方針」を発表。タスクフォースが責任をもって海域モニタリングを実施することになる。処理水の放出に向けて準備を行っている。
- ・ 海水と底質のモニタリングは原子力発電所周辺で地点の数が多。実施主体は NRA、環境省、福島県、東京電力で、主に放射性セシウムの測定を行っている。 ^3H の測定ポイントは 37 か所あり、各機関のモニタリングデータに基づいて決定。
- ・ 2020 年度の福島第一原子力発電所沖合の測定結果を見ると、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs のすべてについて事故前の水準に戻っている。外洋部では年間 100 件のサンプリングを行い、すべて検出下限値以下であった。

3.2.5. (5) 「航空機放射線モニタリングの実施と運用」

(発表者所属: JAEA)

- ・ 発表内容が 3.1.5 と同様のため、表記を割愛する。

3.2.6. (6) 「空間線量率及び海水中 ^3H に着目した環境モニタリング」

(発表者所属: IRSN)

- ・ フランスでは事業者、ASN、IRSN、NPO が環境モニタリングを実施。原子力発電所事業者は 10 km 圏内を担当。ASN は原子力発電所周辺と国内全体を担当し、細かい規定を決める。サンプリング対象は水、食料品、土壌である。
- ・ TELERAY のネットワークでは、フランス全土で約 450 のプローブを使用して調査し、インターネット上で情報を共有する。原子力緊急時には、エアロゾル・ネットワークを使用する。1 時間に 80 m³ の空気流量を計測できるサンプラーが 40 台、700 m³ 計測できるサンプラーが 10 台あり、年間 2,400 サンプルを調査できる。そこから、放射線核種の調査や原子力発電所周辺の測定マップの作成を行う。毎年、水質調査として河川のモニタリングを実施。2022 年は IRSN だけで、6,000 件以上の環境モニタリングが計画されている。
- ・ TELERAY は、早期警戒ネットワークシステムとして 1991 年に設置された。プローブの測定結

果は IRSN に直接送信される。送られてきたデータを分析し、数値の異常が見られたらすぐに調査できる体制を整えている。原子力発電所事故で線量が上がった際は、プローブのデータをすぐに確認する。気象学的な情報も必要である。

- ・ 放射性核種の同定も重要なポイントである。線量率の測定のみならず、スペクトル測定と核種同定ができる新しいプローブを、NaI(Tl)検出器に組み入れることを検討中。クリプトンを測るためのプローブは既に使用している。
- ・ TELERAY のデータ処理は自動で行う。気象パラメータの調査、線量の変動のシミュレーション、線量が一定量を超えたときの調査、ラドンの増減調査などができる。AI、機械学習を活用して、線量が上がった時になるべく早く検知できるようにするのが目標。
- ・ 事業者が行うモニタリングの目的として、①規制に関する厳しい要求事項に応えること、②原子力施設から 10 km 圏内で異常な線量があった場合に検出できること、③特定の放射性核種がないことを証明すること、④国と一般国民に広報を行うことなどがある。また、各原子力施設の周辺には、国の基準で承認を受けたモニタリング用のラボを事業者が設置しなければならない。
- ・ 事業者に求めるサンプルごとの検出下限値があり、 ^3H は 10 Bq/L。原子力発電所周辺でのモニタリングの頻度が決められており、例えば海水は毎日、海産物は年に 1 度測定することになっている。
- ・ IRSN の環境モニタリングの目的は放射線防護と放射線モニタリングの観点から設定。目的は主に 4 つあり、①放射線量の増加の検出・分析、②事業者が規則に沿って活動しているか確認すること、③環境放射線や原子力施設周辺の放射線量の状況把握、④関係当局や一般国民に線量データを報告すること。
- ・ ^3H のモニタリングでは、海水、土壌、海藻、軟体動物などの水産物を検査。海水の ^3H 検査の頻度は 1 週間-1 年に 1 度。放射線濃度が高い原子力発電所周辺の海岸沿いを中心に実施。2015 年にラ・マンシュ（英仏）海峡で行ったスポット調査では沖の方まで出て水質を調査した。原子力施設周辺で線量が上がった際に自動でサンプリングする機器もある。モニタリング結果は IRSN によるもののみならず、ASN や事業者によるものもすべて一般公開されている。

3.2.7. (7) 「航空機放射線モニタリング（飛行機、ヘリコプター及び UAV）」

(発表者所属: IRSN)

- ・ 航空機モニタリングで使用しているシステムに、Mirion 社の SpirMobile がある。1 つのシステムに NaI(Tl)検出器を最大 4 ユニット搭載でき、各ユニットは USB で PC 接続できる。外部に GPS システムがあり、高度などをデジタルで表示。リアルタイムで視覚化し、測定結果を分析できるツールを使用している。分析にあたっては自然放射線から線量率を算出する係数を使用。様々な協力会社と実施している有人ヘリモニタリングは、通常は 4 L の検出器 4 台と、GPS、特殊なタブレットを搭載させる。航空機の他に車載、バックパックなどの異なる機材を使うことでより細かく調査できる。
- ・ IRSN の組織の中で、フロントネー＝オー＝ローズの本社は危機管理技術センターと連携。モバイル部隊は事故があったときに地方に展開する。モバイル部隊のリクルートにあたっては、

候補者は年に7回以上訓練に参加して法律などを学ぶ。専門に特化しているため質の高い組織である。チームの構成人数は6名以上。モチベーションが高い人々が集まる。

- ・ 有人ヘリを運用する Hélicoptères de France (HBG/民間会社) との契約形態を紹介する。2021年から3年契約で、1年に少なくとも24時間のフライトを実施することを義務付けている。モバイル部隊との統合やより専門的な研究ができている。事故時についても契約書を作成中だが、事故時にどのような形でモニタリングを行うかが常に議題になる。
- ・ 線量が高くなった際のモビリティの向上が課題。国レベルで測定時の飛行高度やキャパシティを研究中。能力限界やリアルタイムでの線量分析のシミュレーションが必要と認識している。モンテカルロシミュレーションについては、法律に則った線量分析の方法がある。航空機サーベイでどのような係数を使うか決めるにあたっては、同じ地点で高度を変えた測量を実施。飛行を評価して異なるパラメータから最良のものを追求したい。
- ・ ドローンは原子力事故の場合と、汚染された地域のモニタリングのために使用。DJI Phantom 4には小型の検出器を搭載しており、測定データが無線を通じて操縦画面で視覚化される。DRONESTAR 850V2は8kgあり、より大きな検出器を搭載できる。GPSも付いており、LiDARで距離の測定ができる。ミッションプランナーで自動操縦をプログラムする。Mirion社のドローン SPIR EXPLORERはNaIを搭載。センサーで測定したデータと映像が無線で地上局に伝達される。データを可視化するソフトウェアはドローンのソフトウェアとは別のものを使用。
- ・ DRONESTAR 850V2でのモニタリングでは10-30mの高度で飛行。土壌の状況により高度を変更する。速さは1-3 m/s。無線データでの伝送によって一部のデータが途切れてしまうこともある。地上1m高さの空間線量率への換算には、JAEAの考案した式²⁵⁾を利用している。
- ・ 鉱物資源のある汚染地域の測定に関しては、植物が密集して調査が難しいエリアがあり、地上1m高さの線量率をなかなか決められない。森の場合はLiDARを使用する。Free Global DEM Data Sourcesによる測定は正確性に欠ける。今後、自動運行の測定により、正確な研究結果が得られると思う。
- ・ 開発中の機材を紹介する。屋外でもGPSの精度が良くないため、ドローンの自動運転の安定化を目指す。また、地形に沿ったドローンシステムの開発を目指す。

3.2.8. (8) 「Group INTRA の組織、ミッション及び手段」

(発表者所属: Group INTRA)

- ・ Groupe d'INtervention Robotique sur Accidents (INTRA/事故時ロボット介入グループ)は、Électricité de France (EDF/電力会社)、Civil Research Centers (CEA/民間リサーチセンター)、Orano社の3つの企業からなるグループ企業。原子力発電所事故の際に、ロボットを活用することを目的とする。原子力発電所の近くに本部があり、フランス電力会社が親会社になっている。
- ・ Groupe INTRAのミッションの1つに線量率のビジュアル化がある。遠隔操作でロボットを動かし、線量率の高いところに行って現場で調査することができる。
- ・ 危機管理の際の介入モジュールを紹介。事故があったら、状況に応じてドローン (UAV)、地上でのUGV、土木工事などモジュールごとに介入するか否かを決定する。Groupe INTRAは5人のエージェントと、4名の外部パイロットを確保している。事故後24時間以内に部隊が現場に

到着して、対応できる体制になっている。

- ・ 介入の際は3つのシナリオを想定している。シナリオ1は、UGV や UAV とそのパイロットが汚染される可能性がない場合。シナリオ2は、UGV や UAV が部分的に汚染され、パイロットも汚染する可能性がある場合。シナリオ3は、パイロットまで汚染される複雑な状況。シナリオ2及び3では防護服を着用する。
- ・ 現場・施設では重量250g-数kgのドローンや地上ロボットを使用。施設内部の状況をデータ化して伝送している。施設の外部では、ドローンで測定したデータを使って環境放射線の地形図を作成する。測定には有人ヘリも活用する。
- ・ UAVとして現在13機のドローンを使用し、データの視覚化、熟処理、放射線マップの作成などに活用している。UGVは15機ほど使用しており、10kg-50tまでのバリエーションがある。インターネットを通じて現場のデータが見られるようになっている。
- ・ 新製品を紹介する。25kgのハイブリッド長距離ドローンは、2kmまではペイロード10kg、10kmまではペイロード2kgを実現。現場内部で使用するロボットNERVA-XXは放射線の測定とビジュアル化が同時にできるもので、検出器の数値やカメラの映像も地上に伝送される。NERVAのメッシュネットワークとリレー機能を現在テスト中。重さ150kgのAtrax XLも放射線測定とビジュアル化を同時に行える。現在、Groupe INTRAが保有する機材を運用できるパイロットを採用・育成するためのストレステストを実施中。

3.2.9. (9) 「2019年の日仏合同調査のまとめ」

(発表者所属: JAEA)

- ・ 2019年の調査では、福島第一原子力発電所から5km圏内の高線量地域に位置する3地点（サイトG、I、J）で、可搬型Ge半導体検出器による測定、歩行サーベイ、無人ヘリコプターによるモニタリングを実施。車両サーベイでは、JAEA事務所を出発し、帰還困難区域を通過しながら現地の線量率を測定した。無人ヘリの測定はサイトIのみで実施。
- ・ 可搬型Ge半導体検出器による γ 線スペクトル測定では、JAEA、IRSNともに地上から1mの高さに検出器の実効中心が来るように設置し、30分間 γ 線スペクトルを測定した。2つの検出器の相対効率に大きな差はない。JAEAは土壤中放射性セシウムの深度分布を表すパラメータ β を3.83と規定⁹⁾し、土壤中の密度が一定であるという前提でHASL法を用いて放射性セシウム沈着量と空気カーマ率を算出した。
- ・ JAEAはNRAからの受託研究の一環⁹⁾で、福島第一原子力発電所周辺の85か所で毎年土壌を採取している。採取の際は、IAEAの規格に則って10cmの深さまでスクレーパープレートを用いる。得られた土壤中放射性セシウムの深度分布は、ICRUが提唱する指数近似式²⁶⁾によって表現される。一方、降雨の影響などで放射性セシウム濃度のピークが表層から深層にシフトしているケースがあり、このような深度分布を表現するために、松田らが双曲線正割関数を提案²⁷⁾した。これらの2つの近似式により得られた β を解析に使用。放射性セシウム沈着量と空気カーマ率を比較したところ、両機関が測定した結果はよく一致していることがわかった。
- ・ 歩行サーベイでは、JAEAはKURAMA-IIと呼ばれるCsI(Tl)検出器を使用。この検出器で測定できる空間線量率の上限は10 μ Sv/hで、30-3000keVの γ 線を検出することができる。同型の検

- 出器で結晶の大きさを変えれば、より高い空間線量率の場所でも測定が可能。
- ・ JAEA は周辺線量当量率を $G(E)$ 関数と γ 線スペクトルから得られた各エネルギーの計数率から算出。 $G(E)$ 関数は、光子の γ 線エネルギーに対する単位計数率当たりの空間線量率を表している。この関数は、モンテカルロシミュレーションの一種である MNCP5 を用いて導出している。
 - ・ JAEA は空間線量率のリファレンスバリューとして NaI で得られた周辺線量当量率を使用。これは、バックバックサーベイで得られた周辺線量当量率は測定者による γ 線の遮蔽効果の影響で過小評価されるため、1.404 という換算係数は、NaI で得られた周辺線量当量率と KURAMA-II で得られた周辺線量当量率の関係を表す近似式の傾きの逆数である。
 - ・ 格子状に歩行サーベイを行った空間線量率の測定結果を比較。IRSN が NaI で測定した結果は、GPS のエラーやガイガーミュラー計数管のレスポンスなどが原因で、空間線量率が他の 2 つの検出器の測定結果と異なる傾向にあった。
 - ・ 相対偏差を用いて空間線量率を評価。JAEA が KURAMA-II で測定した空間線量率に対する、IRSN が NaI で測定した空間線量率の相対偏差のヒストグラムは、2 つの山があることが分かった。これは、先述の 2 つの要因が影響していると考えられる。一方、IRSN が DORA で測定した結果と比較すると、相対偏差の平均値と中央値が 0 に近いことから、JAEA の測定結果とよく一致していることが確認できた。
 - ・ 車両サーベイについては、JAEA は KURAMA-II、IRSN は SPIRE を用いて、車両の内外で空間線量率を測定した。以前は JAEA と IRSN で異なる遮蔽係数を用いていたが、両検出器の特性を議論するために、同じ遮蔽係数を適用して再解析を行った。
 - ・ JAEA の空間線量率測定結果を見ると、福島第一原子力発電所周辺のプルームが通過した地点で空間線量率が高いことから、車両サーベイの精度でも対象とするエリアの空間線量率分布を十分捉えられることがわかる。また、相対偏差の平均値と中央値が 0 に近いことから、両機関の測定結果がよく一致していることがわかった。
 - ・ 無人ヘリ測定では、Fazer G2 に両機関の検出器を搭載し、まず地上から 10 m~100 m まで高さを変えるホバリングフライトを実施し、補足データとして、三脚を用いて地上 1m 高さでも測定を実施した。次に、高度 10, 20, 30 m でのエリア全体のフライトを実施した。
 - ・ 具体的な解析手法について紹介。JAEA は眞田らの手法²⁵⁾を用いて、地上 1 m の高さの空間線量率を推定。また、以前行った無人ヘリの解析過程で JAEA と IRSN で解析に用いるパラメータの取り扱い方法で違いが見られたため、今回新たにそれらの条件を可能な限り統一して再解析を実施。その結果、バックグラウンド、減弱係数、換算係数に違いが見られた。
 - ・ JAEA はモニタリングに $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を使用。 ^{138}La を含んでおり、自己汚染由来のバックグラウンド計数率について考慮する必要があるため、請戸川沖合海上 200 m 地点でホバリングフライトした結果からバックグラウンド計数率を算出した。また、これだけ高い高度でフライトしたとしても、2800 keV 以上の γ 線を出す宇宙線の影響は無視できるほど小さいことが分かった。IRSN は NaI とガイガーミュラー計数管を用いているため、バックグラウンド計数率については基本的に考慮しなくて良いと考える。
 - ・ 減弱係数について、これまでの解析では JAEA はエリア全体のフライトの対象高度である 10, 20, 30 m の結果だけで減弱係数を算出していた。今回新たに、IRSN と同じ条件で全ての高度のデ

ータを用いて減弱係数を算出した。

- ・ 無人ヘリ測定で得られた計数率から地上 1 m 高さの空間線量率に換算するための係数について説明。この換算係数の出し方が JAEA と IRSN で異なるので、可能であれば統一して再解析を行いたい。JAEA では無人ヘリのホバリングポイントから半径 30 m 以内の線量率測定データを抽出し、幾何平均値を算出。この幾何平均値と、AF を算出するための近似式から高度 1 m あたりの計数率を算出し、換算係数を導いた。IRSN はホバリングポイントで測定した空間線量率のみ解析に用いており、計数率も高度 100 m の値を使っている可能性がある。
- ・ 両機関の測定結果を比較すると、全体的な傾向として、IRSN の測定した空間線量率は、JAEA の測定した空間線量率よりも低い傾向にあった。JAEA の行った歩行サーベイで得られた空間線量率に対する、各機関が無人サーベイで測定した空間線量率の相対偏差を分析。両機関ともに高度が高くなるほど相対偏差の平均と中央値が 0 から乖離することから、ヘリ直下に依らず高度が上がるほど周辺環境の影響が大きくなることが示唆された。また、高度 10 m の段階で IRSN の無人ヘリ測定で得られた線量率が、JAEA の歩行サーベイで得られた線量率に対して低い傾向にあったことから、両者の換算係数やモニタリングに使用している検出器の特性の違いが解析結果に影響を与えている可能性が示された。

3.2.10. (10) 「2019 年に日本で行った測定経験から得た機器の知識に関する教訓」

(発表者所属: IRSN)

- ・ 2019 年の訪日・共同測定では、JAEA、IRSN の意見交換で実のある結果を得られたことに感謝している。特に、モニタリングの研究結果に関して両機関の関係が強化された。
- ・ フランスでは、空間線量率の測定に SPIDER というプローブを使用。その測定結果とツールとしての使い方を研究した。
- ・ UAV での測定では、2017 年末に購入した NaI(Tl)検出器を汚染地域で使用したことがなかったため、緊急時に対応できる性能を有するのか、またサプライヤーが納品した線量測定ソフトウェアのアルゴリズムが信用できるものであるかが課題であった。これを確かめるため 2019 年に JAEA と同じ手法で線量を測定した結果、フランスのサプライヤーのアルゴリズムでは同じような結果が得られなかった。そのため、高度 1 m の線量率の換算にあたっては JAEA の公式を採用。それでも汚染マップは少し異なるため、検出器のキャリブレーションを行ったり、AF ファクターを使用して別の場所で測定を行ったりして研究を続けている。
- ・ 1-100 m のスペクトル図を見ると、3-4 $\mu\text{Sv/h}$ の場所であれば、高度 30 m まではあまり変化がない。2019 年の研究では、同じ場所で高度を変えながら測定すること、高度 1 m の線量率を計算する際は JAEA の公式を使用すること、ドローンの検出器と手持ちの検出器の数値を比較することを学び、現在もそれを実行している。今後は異なるサイトでの測定と、トポグラフィーの効果を統合した研究を行いたい。
- ・ 2019 年の走行サーベイでは 3"×3"の NaI(Tl)検出器を使用。避難地域や汚染度の高い場所でどこまで使えるのか、限度を知りたいと思っていた。JAEA と IRSN が車内・車外で測定した結果を比較したところ、同じ結果となった。走行サーベイで線量を計算する際は AF ファクターを使用。この測定から、汚染地域を特定するために NaI 検出器システムが有効であることがわかつ

た。その後も異なる車両や検出器で調査しながらこの研究を継続している。

- ・ 歩行サーベイ用システムとしては、古いタイプの DORA と、3”×3”の NaI 検出器と GM 管を使ったバックパック用デバイスがあるが、汚染地域での使用実績がなかった。バックパック用デバイスは、5 $\mu\text{Sv/h}$ までは NaI、それ以上は GM 管に切り替えて測定するなるため、1つのバックパックで測定するのは困難であった。5 $\mu\text{Sv/h}$ 以下のサイト I で NaI スペクトルから線量の検出結果を分析したところ、他の検出器と同様の結果が得られた。一方、サイト G は 5 $\mu\text{Sv/h}$ 以上に該当するが、線量が高い場所から測定を開始することができないため、バックパック用デバイスを使用する場合は 5 $\mu\text{Sv/h}$ の場所からミッションを開始する必要がある。NaI から GM 管への切り替えがうまくいかなかったことから、各スペクトルから線量率を計算しなければならない。また、GPS デバイスもフランス国外や環境によってエラーが出てしまうため、アンテナを変えながらシグナルを受信できるポイントを決める必要がある。 ^{137}Cs に対する人体の減衰ファクター23%を用いたが、他の核種に対する減衰係数については現在も調査中。
- ・ 固定地点のサーベイには GM 管の SPIDER を使用。人工的な核種を使ってその性能を調べた。サイト I に SPIDER を設置し、計数を 10 分にした測定結果を見ると、他の検出器の測定結果と一致していた。サイト G では計測時間を 2 分とし、レファレンスポイントとしてスペクトロメータを置いた結果と比較すると、SPIDER の測定結果と DORA の測定結果が一致していた。SPIDER で測定したデータは衛星で転送される。IRSN にメールが送信され、それが視覚化される。SPIDER は汚染地域の線量測定に使用できる性能があり、距離に関係なくデータの送信も行えることがわかった。JAEA のおかげでこのような結論を出すことができ、感謝している。

3.2.11. (11) 「JAEA・NRA・ASN・IRSN の今後のコラボレーションと技術交流に関する提案」

(発表者所属: IRSN)

- ・ 時期は確定ではないが、2022 年後半にフランスに日本側の出席者をお迎えしたい。テクニカルセンターの訪問や危機管理システムなどを含めて技術交流、意見交換ができれば嬉しい。放射線事故を想定したシミュレーションモデリングにも関心がある。大規模事故の際のモニタリングでは民間企業との連携も必要になってくる。IRSN のみならず、チームとしてどう対処すべきか検討したい。
- ・ 2023 年にはフランス側の出席者が日本を訪問したい。ヘリコプターやドローンを使用したモニタリングと汚染マップの作成、地形に合わせたパラメータの設定、測定したデータの処理についても意見交換がしたい。日本にも様々なドローンがあると思うが、地形やアプリケーションに合わせてどのように使い分けるか検討したい。海洋モニタリング、事故後の対応における民間企業との協業もテーマとしたい。

4. 質疑応答 (会議中)

4.1. カナダとの会議

表 4-1 にカナダ側の出席者との質疑応答の一覧を示す。

表 4-1 質疑応答 (カナダとの会議)

質問者所属	回答者所属	質問・回答内容
NRA		平常時、海域のモニタリングは実施しているか。
	カナダ保健省	福島事故以降、海域モニタリングのサンプリングの頻度が増加。2015-2019 年まで沿岸から 2,000 km までの海域にサンプル調査領域を拡大。その後、通常のサンプリング頻度に戻った。「FukushimaInFORM」というサイト ²⁸⁾ でサンプリング結果を公表。
NRA		カナダには重水炉があるが、環境中の ³ H濃度の測定はどのようなものを対象にしているか。
	カナダ保健省	水、魚などのサンプリングは月に 1 回。エアサンプルは 2 種類あり、週に 1 回のもものと毎日のものがある。放射性物質がどこからリリースするかにもよるが、海水のサンプリングは各事業者が年に 4 回行い CSNC に報告している。サンプリングの対象はエアサンプル、海産物、野菜、土壌など事業所によって異なり、環境リスクアセスメントの結果を踏まえて決められる。
NRA		海水サンプルの収集から公表までにどれくらい時間がかかるか。
	カナダ保健省	福島事故以降、サンプリングの頻度が上がったため 3-4 か月かかることはないと思う。 ³ H の分析には 1 週間、 γ 線放出核種を含んだサンプルの分析には 3-4 週間かかる。ただし、ラボが多忙な時期はどちらも 1 か月以上かかる。サンプリングの報告は 3 か月ごとに行い、年に 1 回、環境データとしてまとめて公表している。
NRA		原子力事業者が環境モニタリングステーションや機器を所有しているはずだが、それに対するカナダの国としての検査は実施しているか。
	カナダ保健省	事業者の活動や事業者が所有するセンサーは関連する省庁の規制を受ける。
NRA		平時の海域や陸域などのモニタリング計画書があれば提供してもらえるか。
	CNSC	カナダ規格協会の文書 No. CSA N288.4:19 に「原子力施設及びウラン鉱山・精錬所における環境モニタリングプログラム」という文書があるので後ほど共有する。

NRA		固定モニタリングポストは 26 か所とある。日本の場合、OIL の判断をモニタリングポストで行っているため、原子力事故が起きた際の拡散予測のために多数設置している。カナダは OIL の判断をモニタリングポストで行っているのか、他の情報を使っているのか。
	カナダ保健省	モニタリングポストの 3 つのネットワークの情報を収集・比較して判断していると思う。
RSI		[別添資料 A3_1-4]_JAEA_Sanada_20211207.pdf のスライド 4 ページにある表について。Mobility、Accuracy、Cost の「○」「△」はどのような意味か。
	JAEA	有人ヘリは移動性（モビリティ）が高いがコストがかかる。歩行サーベイは正確だが、モビリティは今一つという意味の記号を付した。
NRCan		帰還困難区域や特定復興再生拠点区域の説明があっただが、この地域の線量率はどのように算出しているのか。区域内の学校や職場の周辺では、バックパックなどでより詳細な測定を行っているのか。
	JAEA	空中モニタリングや走行サーベイの結果を組み合わせるマップを作成。歩行サーベイも既に行っている。
NRCan		UAV によるモニタリングはすべて目視内で実施しているのか、目視外も含むのか。また、飛行距離は。
	JAEA	中間貯蔵施設周辺で実施。航空法による規制があるため目視内で実施。無線通信のため、飛行距離は 2-3 km。
NRCan		福島周辺では現在でも有人ヘリモニタリングを行っているのか。
	JAEA	2011 年 4 月に開始し、現在でも継続して実施。
NRCan		固定翼の説明に地上局からの通信距離 100 km とあるが、無人航空機の目視外飛行について規制はあるか。
	JAEA	実際、テストフライトでは安全性の理由から、地上局から数 km 内で実施。将来的に飛行範囲を拡大したい。 この場合、航空法上の特別な許可が必要。
NRCan		トポグラフィック・マップでは補正を行っているのか。濃度に換算する際、感度が異なるため谷や丘で違う方法を採用しているのか。カナダ側も現在活発に研究を行っている分野である。
	JAEA	無人ヘリでの測定後、カメラを付け替えて頻繁に写真を撮影。その後マップに統合する。複雑な地形の場所では UAV の測定結果に影響を及ぼすため、どう相殺するかを今後の課題としている。 AI を活用して分析する方法も開発中。

RSI		カメラの映像から地形を再現した図は JAEA が作成したものか。
	JAEA	JAEA が作成した。LiDAR システムを使用し、空間線量率と地形を統合して、地形と線量率の関係を示した。
JAEA		福島原子力発電所事故後、航空機モニタリングを最初に行ったのはいつだったか。
	NRCCan	3月18日と3月20日に行ったと思う。 アメリカ西海岸に放射性キセノンが到達したのが3月18日。その後3月20日に海上のモニタリングを要請した。
NRA		爆発物の分散という資料があったが、実際に分散させたのか。近隣住民への説明はあったのか。
	NRCCan	カナダ防衛研究開発所及び保健省などとの共同研究では、半減期40時間の ¹⁴⁰ Laを分散させ、ヘリコプターによるサーベイを実施。空中モニタリングと地上モニタリングのマップを比較した。住民のいない孤立したエリアで実験した。
NRA		原子力災害など緊急時の航空機モニタリングについて、マニュアルは整備されているか。
	NRCCan	標準的なオペレーションマニュアルはあるが、現在カナダ保健省が国全体のガイドとなるドキュメントを策定中。その中で移動サーベイ、航空機モニタリングを含めた原子力緊急時の対応手順についても定める見込み。
NRA		NRCCan のセキュリティ・サポートについて、大規模なイベントがあった際のサーベイは Dirty bomb のようなものを対象としているのか、それともラジオアイソトープを事前に撒いておいて、要人が来たときに被ばくさせるような事例を想定しているのか。
	NRCCan	Dirty bomb を想定。爆弾を探すのではなく、何か起きたとき、セキュリティエリアが汚染されたときなどに対処できることを目的としている。
NRA		航空機サーベイで、 ¹³³ Xe のようにグロスの線量率だけでなく、エネルギー情報を利用した解析例はあるのか。
	NRCCan	福島以外の事例では事故による放射性物質の放出事案はない。しかるべく管理されたミッションで放出させた事例はある。
NRA		CTBTO 向けのシステムでは何のアイソトープを測っているのか。
	NRCCan	オンサイト検査に使用されるシステムを提供。核爆弾のテストを行った際などに CTBTO から検査員が派遣され、そこでこのシステムが使用される。 ¹³³ Xe とアルゴンを検出できる。
JAEA		カーゴ・バスケットに GPS ユニットを搭載しているようだが、カナダではヘリコプターにこのような機材を外付けする際に許可が

		いるのか。
	NRCan	Dart Aerospace 社のカーゴ・バスケットは、Bell 206B、Astar As350、Bell 412 型のヘリコプターについて米国の STC (Supplemental Type Certificate/追加型式設計承認) を取得しているため、カナダ、米国、ヨーロッパで使用可能。日本側に関心があれば Dart Aerospace にコンタクトできる。元々検出器を載せるためだけでなく、レーザー高度計や GPS アンテナを取り付けられるようバスケットタイプにした。本来であれば GPS アンテナなどを取り付けるのに特別な許可が必要だが、カーゴ（貨物）としてバスケットに入れられる。
JAEA		ドローンによる 3D マッピングでは、線源の相対強度を用いるとあるが、既に経験があるのか。
	NRCan	今回紹介したのは希望的観測であって、まだ実際には行っていない。ドローンに指向性の検出器を搭載すれば、線源がどの方向にあるかわかるため、一連の飛行経路と高度、位置情報などから 3D マップを作成できると考える。
NRA		FNEP では、航空機モニタリングの結果も含めて Technical Advisory Group に対して情報提供して防災対策を行っているようだが、住民避難も航空機モニタリングや走行モニタリングの結果を踏まえて決定するのか。
	NRCan	NRCan はデータの収集を担っており、そのデータは FNEP の Technical Advisory Group に提供する。このグループには航空機モニタリングを行う専門家も含まれているため、その結果が住民避難などの判断に用いられることは考えられる。特に、最初を実施する航空機モニタリングの結果は、安全エリアの判断に使われる可能性が高い。
NRA		複数のコンプトンカメラの結果をデータにするには計算処理が大変だと思うが、リアルタイムで行っているのか。
	NRCan	コンプトンカメラのデータを逆投影したトモグラフィーマップは、既に測定したデータがあり、そのデータセットが分かっている場合はほぼリアルタイムでマッピングが可能。
NRA		カナダにおける ^3H のモニタリングの実施主体は誰か。
	CNSC	Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC/カナダ原子力安全委員会) からライセンスを付与された事業者がそれぞれ環境モニタリングを行い、結果を CNSC に報告する。CNSC 自体も独立したモニタリングを行っており、約 3 年ごとに各事業所のサンプリングを行い、事業所によるモニタリング結果と比較して公表している。
NRA		^3H のモニタリング結果は公表しているか。

	CNSC	各事業者は毎年 CNSC に環境レポートを提出することが義務付けられており、その中に海水のモニタリング結果も含まれる。各事業所のレポートのリンクを CNSC のウェブサイト に貼ることで一般公開している。
NRA		^3H の検出下限値の設定はどのように行っているのか。
	CNSC	自分はあまり詳しくないが、分析する核種によって下限値が異なる。各事業者やラボは下限値の基準に従って分析する。第三者機関が発行するライセンスを持っている事業者は、ベストプラクティスに準拠しなければならない。
NRA		エリアサーベイをする際に公的なプロトコルはあるのか。
	カナダ海軍	民間の専門機関と契約して情報を共有している
NRA		日本は固定型モニタリングポストを用いているが貴国ではどうか。
	カナダ海軍	現時点では、原子力艦の停泊する港ではあまり固定型モニタリングポストを用いていないが、将来的に用いる予定がある。西海岸と東海岸にある原子力発電所がある場所では、使用されている。
JAEA		解析範囲を選別する際にどのようなパラメータに着目しているのか。
	RSI	対地高度やヘリの軌跡などに着目している。

4.2. フランスとの会議

表 4-2 にカナダ側の出席者との質疑応答の一覧を示す。

表 4-2 質疑応答 (フランスとの会議)

質問者所属	回答者所属	質問・回答内容
IRSN		緊急時のモニタリングシステムについて、モニタリングポストは何基ぐらいを想定しているのか。また、どれぐらいの距離に置くのか。どのような測定をするのか。
	NRA	各原子力発電所の周辺 30 km 圏内にだいたい 100 基を想定し、空間線量率を測定。
NRA		ASN の目的の 1 つにあるコミュニケーション能力のテストとは何か。
	ASN	大規模事故の際、メディアやジャーナリストに正確な情報を伝える目的で管理・運営していくもの。プレス対応として、どんな質問があってもきちんと答えていくことが重要。社会的なネットワークにもかかわってくる。
NRA		屋内退避や避難などの防護対策は、実測の線量率に基づいて判断するのか。また、原子力発電所周辺のモニタリングを実施するのは事業者なのか、それとも国や県なのか。
	ASN	実測というより、緊急時対応の評価基準。ASN はモニタリングの準備段階には関わるが、実際に線量を測定するのは事業者。
NRA		ゾーニング戦略について、食料品の放射能を測定して出荷の可否を決めるとのことだが、その数値は IAEA が定めた OIL 6 の基準を使用しているのか。
	ASN	ヨーロッパで決められた数値に従っている。以前から基準として定められているものを使用。
NRA		フランス全土で行っている空間線量率とエアロゾルの測定目的は何か。原子力災害の場合には、航空機サーベイや走行サーベイなどがあるということだが、固定のモニタリング測定網は原子力災害を目的としているのか、それとも別の目的があるのか。日本では、 γ 線放出核種由来の線量率を測る考え方が 2 通りある。1 つは日本のバックグラウンドの今の水準を測るもので、チェルノブイリ事故など国外からの影響があった場合に数字を検知するため、国内の事故を想定しているものではない。もう 1 つは、国内の原子力発電所で事故が起きた際に、住民の避難区域を探るためのモニタリングである。フランスでも国外の事故を観測網でとら

		えることを目的としているのか。
	IRSN	TELERAY は原子力発電所周辺に置いており、主に放射線量を測っているが、国の気象機関と協力して気象データも取っている。 SPIDER は事故時に補完的に使われるもので3か月間有効。環境モニタリングを通じたバックグラウンド測定のほか、土壌や河川、食料品もあわせて年間 6,000 回の測定を実施し、データは一般公開している。TELERAY のネットワークは線量が上がったときや放射性物質の放出があったときに広く活用される。TELERAY は高線量しか検知できないため、福島事故の際は OPERA AIR で検知できた。住民防護のためのゾーニングにあたっては国が実施している他のタイプの測定結果も用いる。結果によっては医療的なバックアップが必要になる。
NRA		プローブが故障した場合、復旧するまでにどれくらい時間がかかるのか。TELERAY の交換にはどれくらいかかるか。
	IRSN	トラックタイプのプローブが故障した場合はラボにストックがあるのでその輸送時間が復旧時間となる。交換するのは 10 分程度だが、材料がない場合はパリから輸送するだけの時間がかかる。
IRSN		モニタリング結果は平常時も事故時も同じように公開されているのか。NRA が見られるデータと一般公開されているデータは同じものか。
	NRA	平常時も事故時も同じデータを使用。一般公開しているデータは、NRA 用のインサイド資料の抜粋版のようなもの。グラフや表にまとめて解析がしやすいようにしたのがインサイド資料で、それを一目でわかるように地図表示などでまとめたものが一般公開版。同じタイミングで同じデータが表示されるようになっている。
IRSN		^3H の検出下限値は制度で決まっているのか、機器の問題なのか。
	NRA	分析の方法によって決まる。今回はこのリミットで測ればよいという判断をしてその方式を採用。
IRSN		海域サンプリングの場所は誰がどのように決めているのか。
	JAEA	福島第一原子力発電所の周辺は、各機関が相互比較できるよう、モニタリング会議で決定。
ASN		フランスではラボが様々なアソシエーションを作ってモニタリング結果を共有しているが、日本も同じような状況か。
	NRA	日本でも民間業者と福島、東京電力と一緒にモニタリングを実施。分析・測定能力を統一化するため、NRA が各機関の品質保証状況を確認してモニタリングに参加してもらおう。測定法に関するマニュアルを作成し、同じように測定してもらおうことで質が揃ったモ

		ニタリングができる。福島周辺のモニタリングに関しては IAEA の Interlaboratory Comparison (ILC/分析機関間比較) という仕組みを使い、IAEA を交えて各ラボの能力を確認している。
NRA		フランスでもモニタリングに民間団体が入っているとのことだが、その能力を統一するための品質保証にはどのように取り組んでいるか。
	ASN	環境モニタリング用の機器は ASN の承認を受けたものを使用。計測学的な基準に合致しているか、ASN が 5 年に一度検査している。
NRA		エアロゾルのサンプリングは 7 日間とあるが、ろ紙を 7 日間ひとまとめで採取するのか、それともろ紙が自動的に動いて数時間ごとのスポットで採取するのか。また、検出器付きのモニターになっているのか、フィルターは現場で回収するのか。
	IRSN	7 日間全く同じフィルターを使って 1 週間後にラボで分析する。ろ過処理が終わった翌日には測定できるものを最近購入した。事業者がフィルターを回収している。
NRA		モバイル部隊を組む際の人員は、IRSN の職員なのか、それとも別の組織の人間がトレーニングを受けてオフィサーとして動くことになるのか。モニタリングに登録している人は何人くらいいるのか。
	IRSN	モバイル部隊は IRSN の職員だが、その他の組織と共同で活動する。消防士や危機管理組織、Groupe INTRA、事業者、専門職員など全体で対処する。モニタリング要員は IRSN だけで 30 名おり、地上での健康管理に関わっている人員を含めると 100 名程度になる。
Groupe INTRA		JAEA が公表している空間線量率について、何故地上 1 m 高さでの測定結果をリファレンスレベルとしているのか。
	JAEA NRA	福島事故後、IAEA の OIL の考え方を取り入れて、地上から 1 m の高さを基準としている。子どもは 50 cm となっている。OIL は地上 1 m の空間線量で判断するため、モニタリングポストや走行サーベイは 1 m の高さで測定し、航空機モニタリングでも最終的に 1 m の高さの空間線量率を表している。
NRA		NERVA-XX のメッシュワイヤレスは、IEEE 802.11 に準拠したものか。
	Groupe INTRA	Wi-Fi ではなく無線システムを利用。
JAEA		セキュリティ上、ロボットはフランス製のものを使用しているのか。

	Groupe INTRA	ロボットはすべてフランスで製造している。
IRSN		IRSN からの提案として、2019 年に IRSN と JAEA が福島で行ったミッションを踏まえ、2022 年に公開資料を作りたいと思っているが問題ないか。IRSN は Barker 氏が担当となる。
	JAEA	資料の公開については、JAEA 側は越智が担当となる。
NRA		地球温暖化の影響から原子力発電所の新設を計画しているようだが、原子力発電所がない地域、原子力発電所から遠い地域もモニタリングしているのか。
	IRSN	フランスでは原子力発電所の新設が決まった。既に原子力発電所がある場所なので、環境状態や汚染状態はすべてわかっている。原子力発電所施設があるところもないところも、しっかりモニタリングしている。
NRA		近隣諸国との間で、要望または合意に基づくモニタリングは行っているか。また、フランスが他国のモニタリングを実施することはあるか。
	IRSN	ヨーロッパでは原子力危機があった際の共同のメカニズムがあり、データをすべて共有することとなっている。ドイツ、ベルギー、英国、ルクセンブルクといった近隣諸国と契約している。EU としても各国のデータを共有しており、フランスの情報も公開している。フランスが他国に行ってモニタリングしたり、他国からフランスにモニタリングをしに来たりすることはないが、欧州委員会の検査があり、そこでのデータが公開される。
NRA		分析結果の正確性、品質保証のためにどのような方法をとっているか。
	IRSN	IRSN のラボが基準を作り、Le Comité français d'accréditation (COFRAC/フランスの認定制度を運営する非営利機関) という独立した認証機関が検査を行っている。
NRA		漁師に対してモニタリング結果はどう説明しているか。
	IRSN	我々のモニタリング結果は 400 ページの報告書にまとめられており、誰でも見られるようになっている。漁業関係者、農業従事者も閲覧でき、質問することもできる。
NRA		日本の場合、原子力発電所はほとんど海の近くに設置しているため、漁業関係者がモニタリング結果を気にしており、それらの人々への説明に力を入れている。例えば、ラ・アグ再処理工場ではどうか。
	IRSN	日本では漁業が盛んであり、 ³ H を含んだ水を放出する問題がある

		ので余計センシティブになるのはよくわかるが、フランスの漁業関係者から心配する意見が出てくることはあまりない。魚の放射能濃度は非常に低いため、心配している人が少ない。ラ・アーグ再処理工場周辺は水流に特徴があるため、モニタリングのモデルを設定し、検査している。海底については定期的なサンプリングではなく、放射性核種を放出したときにモデルとなる場所を選び、特別なサンプリングして検査している。
NRA		福島事故後の処理水を放出するにあたって、通常我々は海面に近い表層水を取ってモニタリングしていたが、IAEA から深層水を採取するよう通知が来た。これが国際的なスタンダードなのか知りたかったため、深い場所も定期的に検査しているとの情報は非常に参考になった。
	IRSN	深層水のモニタリングが国際的な基準かどうかはわからないが、フランスではスポット的にある程度の深さの海水をピックアップしたり、海底の堆積物や魚や甲殻類をスポットで検査したりすることがある。
NRA		スポットでサンプリングするのはどういうときか。
	IRSN	最低年に 1-数回、冬か夏に検査する。ラ・アーグ再処理工場の周辺の水質や海流はよく知られているため、そこでスポット検査をすることは少ない。放射能に変化があるか、海の状況が毎年同じかどうか確認することが目的のため、頻繁に検査することはない。
NRA		日本では ³ Hを分析するために、海水のサンプルを 1L 採取するが、分析に失敗したときに備えて予備のサンプルも採っているか。
	IRSN	1L の水を採取して分析する際は、すべて使うわけではなく一部を使い、過去の結果と比べて大きな差があったら残りを使うか、もう一度採取しに行つて 2 回目の検査をする。
NRA		分析の品質保証を行うという COFRAC は、国のどの省庁に属しているか。
	IRSN	COFRAC はどこの省庁にも属さない、完全に独立した国の機関。IRSN は測定をしているが、その戦略は別の機関が考えており、その機関がサンプリングもモニタリングも実施。年に 1 度、サンプルを送ると COFRAC の技術者が品質保証を確認。その後エンジニアが計測学に従って認証した後、IRSN の戦略策定機関に結果が送られる。COFRAC は放射線測定器のみならず様々な測定機器の品質保証を担い、認証を行っている。フランスの基準に加えて、ISO-17025 の取得を義務づけている。
IRSN		日本ではどのように品質保証を行っているか。

	NRA	日本の品質保証は、まず NRA が測定・分析方法に関する基準マニュアルを作成し、マニュアルを使ってモニタリングしてもらっている。データの質については、クロスチェックという形で NRA が自治体やラボの分析方法の確認・調査をしている。国が民間の分析機関を使う場合は ISO-17025 の取得を義務付けている。福島処理水の放出については、これに加えて IAEA のクロスチェックも受けることでより品質保証を高めている。
--	-----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5. 質疑応答 (会議前後)

5.1. 質疑応答

表 5-1 に質疑応答の一覧を示す。Q16-2 及び 30-36 についてはカナダ側には質問せず、新規にフランス側に質問した。

表 5-1 質疑応答

No.	質問事項	日本側の状況等	カナダ回答	フランス回答
1	貴国における緊急時の航空機モニタリングの実施体制は。	NRA が自衛隊の支援を受けながら日本原子力研究開発機構と連携して実施している。	1. 現場から地方自治体、自治体から州、州から連邦政府へ必要に応じてサポートを求めるボトムアップの形を採用 (カナダ保健省) 2. 365 日いつでも緊急時に対応できるよう、スタンバイ・チームを配置し、航空機及びトラックによるモニタリングを実施。天然資源省はヘリを所有していないため、他の政府機関や民間企業に頼っている (カナダ保健省)	1. IRSN や他の事業者が航空機モニタリングを含む様々なモニタリングを実施し、CRITER と呼ばれるソフトウェアを通じてデータを集約する。 2. フランスでは事故時の様々な団体が緊急空中モニタリングに関与する (IRSN の「Ulyse」システムや Groupe INTRA の「Helinuc」システム)。事故の際、Groupe INTRA はフランスの原子力事業者 (CEA, EDF, Orano) を代表して航空機モニタリングを実施する。 3. IRSN (及び ASN、県) は汚染エリアの特徴をつかみ、住民保護措置に関してフランス当局にアドバイスするために緊急航空機モニタリングを実施する。 4. 事故の際、Groupe INTRA と IRSN は協力して互いの行動を調整する。
2	原子力サイト周辺のバックグラウンド測定は行っているのか。頻度は。	平常時から年間 2-3 地域ほど原子力施設周辺のバックグラウンド線量率測定を行っている。おおよそ 6-7 年で一巡する。	1. 2021 年 10 月、カナダ東岸の原子力発電所のエリアで、カナダ軍のヘリを使用してバックグラウンド線量率を測定 (カナダ保健省)	1. 現在、IRSN は原子力施設周辺のバックグラウンド線量率の測定を航空機では行っていない。一部のフランス事業者 (EDF) は、その事業所上空のバックグラウンド測定を航空機で行ったことがある。 2. 原子力施設のモニタリングのため、IRSN に継続的な線量率モニタリングネットワーク (TELERAY ネットワーク) があり、原子力施設とレファレンスゾーン周辺のデータがリアルタイムで電送される。 3. また、原子力施設は環境モニタリングが義務

	航空機モニタリング要員のスキル維持はどのように行っているのか。	原子力施設のバックグラウンド測定を緊急時に航空機モニタリングを担う日本原子力研究開発機構が行っている。また、年1回の頻度で原子力総合防災訓練時に航空機モニタリングを行っている。これら実働によりスキルが維持されている。	1. 2010年のバンクバーオーリンピックやG7、G20などの主要イベントに備えて大規模な原子力防災訓練を実施（カナダ保健省） 2. Connaught Ranges（オタワ近郊のカナダ軍施設）での訓練では原子力事故をシミュレーションして機材や手順のテストを行い、人員の配置や州・連邦・国際機関との連携について欠陥がないか確認。機材への影響を確かめるため冬場に行うことが多い。線源を隠して、走行サーベイベイ及び航空機モニタリングを行い発見できるかシミュレーションした（カナダ保健省） 3. オペレーション対策として協力団体と訓練を実施。トレントでは、線源を隠して発見できるか訓練した。勤務はシフト制で、定期的にシステムをチェックする（カナダ天然資源省） 4. オリンピックやG7、G20などの主要なイベントの際には、航空機モニタリングや走行サーベイベイなどの訓練を実施。2017年にはカナダ東部で米国と共同で、簡易核兵器を想定した事前・事後サーベイベイの訓練を行った（カナダ天然資源省）	付けられている（ASNとIRSNが事業者に義務付けている規則）。 4. 国家規模の危機を想定した訓練では、IRSNが原子力施設周辺の走行サーベイベイで測定（γ線放出核種由来の空間線量率）を行う。
3			1. IRSNは民間のヘリ会社と契約して、移動測定機器管理チームの訓練を行っている。年間で計24時間のフライトを実施している。候補者は最低年間で7日間の研修、訓練を受ける必要がある。 2. IRSNは国際比較を通じて緊急時航空機モニタリングの技術の開発と維持に努めている。IRSNは毎年2回の訓練でモニタリング技術の向上を計画している。	
4	緊急時に航空機モニタリングを行うためのマニユアルなどは整備されているか。	NRAで航空機モニタリング実施に係る調整を行うためのマニユアルが整備されている。(ERC放射線班マニユアル)また、航空機モニタリン	1. 標準的なオペレーションマニユアルはあるが、現在カナダ保健省が国全体のガイドとなるドキュメントを策定中。その中で移動サーベイベイ、航空機モニタリングを含めた原子力緊急時の対応手順についても定める見込み（カナダ天然資源省）	1. IRSNはAMSや車両サーベイベイに関するマニユアルの策定を進めている。 2. IRSNは緊急時の航空機モニタリングの実施に向けてドキュメントを策定中である。

5	我が国では、モニタリングポストなどの情報は平常時からリアルタイムで一般住民に公開するシステムを構築している。貴国でも同じようなシステムはあるのか。	グの実務を行うためのマニュアルも整備されている。(JAEA)	1. 固定モニタリングポストの結果は、カナダ保健省の web サイトで公開されている (カナダ保健省)	1. TELERAY ネットワークというシステムで、10 分ごとのモニタリングポストの結果を公開している。スマートフォンにも対応。 2. 平時には、事業者や NPO、IRSN が実施したすべての環境モニタリングの結果が RNM というサイト ²⁴⁾ で閲覧することができる。IRSN のデータは 1 か月に 2 回 RNM のツールに転送される。
6	(ある場合) どのような項目を表示しているのか。平常時と緊急時で公表する内容は異なるのか。		1. 空気カーマ率と H*(10)。通常時は 15 分ごととに自動でデータが送信・処理されるが、緊急時は 1 分に短縮される(カナダ保健省)	1. 空間線量率 (周辺線量当量率 H*(10))を表示している。 2. TELERAY ネットワークでは、ウェブサイト上で選択したポイントの線量率、測定日時、移動中央値 (過去 7 日間) が表示される。RNM のウェブサイトでは、様々なサンプルの環境測定について、測定された核種とその結果 (不確実性を含む放射能や検出下限値と単位)、サンプリングポイント、測定を実施した団体の情報が見られる。
7	緊急時に環境モニタリングを行う要員の所属構成は。(国、自治体、事業所)	国要員、地方自治体職員、事業者の混成となる。	1. 天然資源省の原子力緊急対応チームは FNEP や CBRNE セキュリティ・チームのサポートを実施。365 日いつでも緊急時に対応できるように、スタンバイ・チームを配置し、航空機及びトラックによるモニタリングを実施 (カナダ天然資源省) 2. 天然資源省は原子力災害時の航空機モニタリングを実施する義務がある。(カナダ天然資源省) 3. 保健省のフィールド対応チームの主な役割は、オペレーションコンセンサスの策定、技術評価グループのサポート、トレーニングな	1. 各事業者 (Groupe INTRA、EDF、CEA、Orano など)、IRSN、各州・地方自治体 (含む消防団体)、非営利団体がそれぞれモニタリングを行う。

8	緊急時に環境モニタリングを行う要員の被ばく管理はどのように行っているのか。また、線量限度が定められているのか。所属により管理方法が異なるのか。一元管理されているのか。	被ばく管理は一元化されていない。	ど。(カナダ保健省) 1. 原子力事業者(ライセン্স保有者)の線量限度などは CNSC が「放射線防護規則」の中で定めている。 2. 同規則では、緊急時に対応する要員の被ばくは実行線量 50 mSv または皮膚への等価線量 500 mSv を超えないよう、事業者が保障しなければならぬと定めている。さらに緊急時の段階により実効線量 500 mSv・皮膚への等価線量 5000 mSv までの記述もある。(カナダ原子力安全委員会) 3. 同規則のほかに、保健省が作成した「原子力緊急計画・対応のための一般基準及び OIL」にも緊急時の被ばく管理についての記述がある。(カナダ保健省)	1. 人命救助のための要因は最大 500mSv, in-situ 測定要員は最大 100mSv、現場での人や環境試料の測定要員は最大 20mSv。 2. 国の規制により、人員の役割に応じて線量限度が定められている。 3. 危機対応要員の線量計は国のデータベースに集められる。事故の際、IRSN の対応要員は直読式線量計と受動型線量計を身に着ける。
9	環境モニタリング要員の被ばく管理を定めた文書やマニュアルなどあるのか。	原災指針補足参考資料に、外部被ばく管理、環境モニタリング要員の被ばく低減対策や汚染防止対策の考え方が記載されている。	1. 「放射線防護規則」(Radiation Protection Regulations) 2. 「原子力緊急計画・対応のための一般基準及び OIL」 (Generic Criteria and Operational Intervention Levels for Nuclear emergency and Response) (カナダ原子力安全委員会、カナダ保健省)	1. フランスの公共健康コード (R1333-82 Public health code) で緊急時及び平時の線量限度を定めている。
10	平常時に海域のモニタリングは行っているのか。行っている場合、対象試料は、対象核種は。	原子力施設立地道府県が定めた環境監視計画に基づき実施している。海水、海底土、海産物について、放射性セシウム、 ³ Hなどを測定している。	1. 福島事故以降、海域モニタリングのサンプリングの頻度が増加。また、2015-2019年まで沿岸から 2,000km までの海域にサンプリング領域を拡大。その後、通常のサンプリング頻度に戻った。「FukushimaInFORM」 ²⁰ でサンプリング結果などを公表している。水や魚などを月に 1 回採取。放射性セシウムや ³ H 濃度を測定 (カナダ保健省)	1. 対象試料: 海水、底質、藻類、ムール貝、甲殻類、海産物 2. 対象核種: ³ H (HTO, OBT) 3. 環境モニタリング計画に沿って海域モニタリングがあり、各事業者も ASN の要請によって独自のモニタリング計画を作成する。海水、堆積物、海産物中のセシウム、その他のγ線放出核種と ³ Hなどを測定する。また、IRSN は原子力施設周辺地域で特定の研究も行っている。
11	緊急時に海域のモニタリングは行っているのか。	我が国では、NRA が定めた緊急時における環境	1. 平常時と緊急時の区別をしていない (カナダ保健省)	1. 緊急時の海域モニタリングは、まず IRSN がシミュレーションを行い、原子力施設から放出

		<p>るか。その場合、対象試料、核種は。マニユアルなどあるのか。</p>	<p>試料採取法マニユアル等に基づきモニタリングを行う。海水、海底土、海産物などを測定する。核種は、放射性セシウム、³Hなど。</p> <p>一部の自治体で船舶による海上避難を行っている。具体的な環境モニタリングは定まっていない。</p>	<p>1. 原子力潜水艦が寄港する Halifax、Esquimalt、Nanose Bay 周辺には路上から海上に避難する合理的な経路がないため、路上での避難が常に優先される。</p> <p>2. カナダ（少なくとも海軍）では原子力事故と自然災害が同時に起こることは想定されていないため、これらが同時に起きた場合の避難計画などは作成する必要がない。</p> <p>3. 仮に上記のような状況が起こった場合は一般的な緊急計画と原子力緊急計画を同時に活用。取り残された人々はまずその場で待機し、放射線モニタリングやモデリングで避難の優先順位を決め、優先エリアから順に避難する。海軍の艦船はそこまで多くないため民間のフェリーなどが州政府によって派遣要請される可能性がある。なお、海軍の指定船は通知から 8 時間以内に出航できる体制になっている。</p> <p>4. 戦艦にはヘリコプターも常備されているため空からの避難もあり得るが、ほとんどの場合人が人の救出や人命救助のために確保されていると思われる。陸上避難できない人々は、海上避難できるようにするまでその場で待機することが求められると思う。</p> <p>5. カナダ海軍は遠隔地からの住民避難訓練を必ずしも行う必要はないが（こういったケースが起きる確率が低い）、普段から様々な訓練を行っているためこのようミッシヨ</p>	<p>されることがわかっている放射性核種について、特定の測定を行う（自動測定またはサンプル採取）。サンプルと核種の対象は、原子力施設の状態や事故のタイプによって異なる。IRSN はこれに関する特別なデータベースを持っている。</p>
12	<p>住民の海上避難を想定しているか。想定しているとする、それに関わる環境放射線モニタリングはどうなっているか。</p>		<p>1. 内務大臣が決断を下す。</p>		

13	モニタリングポスト（固定、可搬）の主な検出器は何か。（平常時用、緊急時用）	低線量用として、NaI(Tl)検出器、高線量用として、電離箱検出器、半導体検出器を使用している。	<p>ンを行う能力は有している。（カナダ海軍）</p> <p>1. 固定モニタリングポストには、3"×3"のNaI(Tl)スペクトロメータを使用。（カナダ保健省）</p>	<p>1. 固定用：比例計数管</p> <p>2. 可搬型：NaI(Tl)検出器</p> <p>3. IRSN の TELERAY ネットワーク（線量率モニタリング）は比例計数管（フランス全土に440個のプロローブ）。新しいデバイス（SpectroTelera）はNaI検出器。緊急時は、可搬型のプロローブ（SPIDER、GM管）も使用する可能性がある。</p>
14	事業者ポストに対する国の検査（原災法のような法定検査の有無、検査内容、検査員のスキル等々）	法定検査で指示値確認検査、警報作動検査などを行っている。検査員のスキルは明確になっていない。	<p>1. CNSC からライセンスを付与された事業者がそれぞれ環境モニタリングを行い、その結果を CNSC に報告する。CNSC 自体も独立したモニタリングを行っており、だいたい3年ごとに各事業所のサンプリングを行い事業所によるモニタリング結果と比較して公表している（カナダ原子力安全委員会）</p>	<p>1. 原子力発電所周辺の環境モニタリングは ASN が行う検査の1つである。ASN の基準が適用されているかということ、事業者のサンプリング・分析能力をチェックすることが目的。</p>
15	原子力発電所のモニタリングポストの品質を保証する法定検査の様な制度はあるのか？	原子力事業者は、保安規定に基づくモニタリングポスト検出器の線源校正試験などを行っている。それ以外に、原子力災害対策特別措置法に基づく検査を年1回の頻度で行っている。	<p>1. 事業者の活動や事業者が所有するセンサーは関連する省庁の規制を受ける（カナダ保健省）</p>	<p>1. 空間線量率のトレンドから3つのシナリオを想定する。</p> <p>機械学習を基にラドンによる影響か否か判断する。</p> <p>2. ASN は IRSN のサポートを受けながら事業者の環境モニタリングの検査を行う。RNM では、特定の環境における放射線の時間的変化を追って、様々な主体が行った測定結果と比較できる。測定単位など、データを調和するための厳密かつ均一的な測定方法が確立されているため比較が可能となる。RNM のデータベースに入れるには、ASN が承認したラボで測定する必要がある。この承認は複数の当事者による委員会のアドバイスを受けて、ASN がチェックする形になっている。各ラボは、測定の信頼性を確保するために2つの条件を満たす必要がある。1つ目はサンプリングを含むテストや校正を行う能力の一般要件を定める国際規格 ISO/IEC</p>

			<p>モニタリングポスト点検を行う検査員のスキルは規定されていない。</p>	<p>17025 に準拠していること。もう 1 つは IRSN によるラボ間の比較試験。同じサンプルを使って各ラボで得られた結果を、参照値と比較して確認する。</p> <p>1. 検査は ASN が行う。目的は、ラボが ISO IEC 17025 規格に準拠しているか確認するため。ISO IEC 17025 トレーニングコースや計測トレーニンングコース、オプザバーとしての検査への参加など、ASN の検査員にも特定のスキルが必要となる。</p>
16-1	<p>その場合、どのような検査を行っているのか。検査員に求められるスキルなど規定されているものがあるのか？</p>	<p>モニタリングポストの品質保証/定期検査の項目は何か？</p>	<p>1. CNSC からライセンスを付与された事業者がそれぞれ環境モニタリングを行い、その結果を CNSC に報告する。CNSC 自体も独立したモニタリングを行っており、だいたい 3 年ごとに各事業所のサンプリングを行い事業所によるモニタリング結果と比較して公表している (カナダ原子力安全委員会)</p>	<p>1. まず、事業者が ISO IEC 17025 規格に準拠しているかという観点が第一。ISO IEC 17025 規格とは、個別機器の検査項目を定めるものではなく、「正確な測定/校正結果を生み出す能力があるかどうかを、権威ある第三者認定機関が認定する規格」である。すなわち事業者側がその測定及び校正項目を策定する。ASN は ISO IEC 17025 規格に準拠していると認定した事業者が策定した検査項目を实地や書類等でチェックする。よって、ASN が推奨するモニタリングポストの検査項目は存在しない。なお、検査項目は概ね国際的な規格である IEC 61017 を準拠している。</p>
16-2		<p>NRA の検査官は事業者が規定する品質保証計画に沿って、検査項目を決め実施している。統一的な基準はない。</p>		
17	<p>環境モニタリングの実施主体はどのようなものがあるか？ (国、州、事業者)</p>	<p>国、自治体、事業者がそれぞれ分担して実施している。</p>	<p>1. 国やライセンスを付与された事業者 (カナダ原子力安全委員会)</p>	<p>1. 国、自治体、事業者がそれぞれ分担して実施している。 2. 事業者は原子力施設及びその周辺 10 km 圏内の環境モニタリングを実施する。ASN が法的に求めている。 3. IRSN は原子力施設を含むフランス全土の環境モニタリングを独自に実施する。 4. 市民や NPO も公共エリアでのサンプリングを実施できる。</p>
18	<p>重水炉の保有状況</p>	<p>我が国の原子力発電所</p>	<p>1. カナダでは複数の重水炉を有している。</p>	<p>1. フランスの原子力発電所は軽水炉である。</p>

	と、環境中における ³ H濃度の測定は、どのような試料を対象としているのか?	は軽水炉が主である。環境中の海水、陸水、飲料水の ³ H濃度を測定している。	「FukushimaInFORM」でサンプリング結果などを公表している（カナダ保健省）	対象試料: 大気、陸水、飲料水、食品、海水、底質、藻類、ムール貝、甲殻類、海産物など。
19	³ Hのモニタリング結果は公表しているのか?	HPや広報誌などで一般住民に公表している。	1. 「FukushimaInFORM」でサンプリング結果などを公表している（カナダ保健省） 2. 各事業者は毎年CNSCに環境レポートを提出することが義務付けられており、その中に海水のモニタリング結果も含まれる。各事業所のレポートのリンクをCNSCのウェブサイトに貼ることで一般公開している（カナダ原子力安全委員会）	1. 事業者やIRSNによる ³ Hのモニタリング結果はRNMのウェブサイトで公表している。
20	公表している場合、検出下限値の設定はどのような行っているのか? (固定値、測定値、測定値の可変)	東電IF事故関連では、総合モニタリング計画の中で場所ごとの目標値を設定している。公表時には、結果がND(検出下限値未満)の場合に、その測定値の検出下限値を「ND」の横に併記している。	1. 分析する核種によって下限値が異なる。各事業者やラボは下限値の基準に従って分析している。第三者機関が発行するライセンスを持っている事業者はベスタプラクティスに準拠しなければならない（カナダ原子力安全委員会）	1. IRSNの場合、各測定場所の下限値はモニタリング計画で定めている。事業者の場合、下限値はASNが指定する。 2. 測定結果が検出下限値を下回っていた場合、"<検出下限値">と表す。
21	試料の採取から公表までの一般的な期間はどのくらいか? 目安などあるのか?	海水中 ³ H濃度の公表には、採水した日から概ね3-4ヶ月かかっている。目安等は特に決めていないが、試料の前処理等で分析には相当な時間が必要と認識している。	1. 福島事故以降、サンプリングの頻度が上がったが、3-4か月かかることはないと思う。日本のようにデータを取得、即公表という流れではなく、年に一度報告書としてまとめるイメージ（カナダ保健省） 2. ³ Hの分析には1週間、γ線サンプルの分析には3-4週間かかる。ただし、ラボが多忙な時期はどちらも1か月以上かかる。サンプリングの報告は3か月ごとに行い、年に1回、環境データとしてまとめて公表している（カナダ原子力安全委員会）	1. データの検証を行って15日後にRNMのウェブサイトにデータが伝送される。サンプリングからRNMのウェブサイトでは結果を公開するまでは数週間かかる。
22	海域や陸域などのモニタリング計画書が		1. カナダ規格協会の文書No. CSA N288.4:19に「原子力施設及びウラン鉱山・精錬所にお	1. IRSNの2022年の環境モニタリングプログラムについては別添の図を参照。

	あれば提供いただくことは可能か?		ける環境モニタリングプログラム」という文書があるので共有する（カナダ原子力安全委員会）	2. いくつかウェブサイトで ²⁹⁾ で公開されている。
23	貴国の原子力艦の寄港地での放射能モニタリングの体制（調査地域、間隔、機材）を教えてください。	横須賀、佐世保など米国原子力艦の寄港地がある。寄港時にモニタリングポストで空間線量率測定、海水中の線量測定を行っている。	1. 原子力艦の寄港地として、「Halifax」「Esquimalt」がある。 2. 平常時及び原子力艦停泊時に環境試料(水、底質、海産物、植物)を採取し、人工放射性核種を分析する 3. 海産物や海藻は3つの試料を年に一回サイトごとに採取 4. 海の底質は4つの試料を年に一回サイトごとに採取する 5. 海水は12の試料を年に一回サイトごとに採取する（各月に1回採取） 6. 上記のサンプリングに加えて、原子力艦停泊前、最中、後にサンプリングを行う（カナダ海軍）	1. フランス軍が管理する港に原子力船がある。 2. これらの港は原子力施設と見なされ、事業者の線量率プロンプでモニタリングされている。IRSN も港の近くに線量率プロンプを設置している。IRSN の環境モニタリング計画は、港周辺のサンプリング収集を規定している。
24	原子力艦災害時の緊急モニタリング体制（緊急時における放射能調査の仕方）について教えてください。	緊急時モニタリング計画に基づき、海上保安庁などの協力を得て空間線量率の測定（モニタリングポスト、モニタリングカー、モニタリングボート）、海水中の放射線計測、大気中の放射能濃度、環境試料（海水、飲料水、葉菜、原乳、雨水等）中の放射能濃度を測定する。	1. 緊急時対応プランに則り、ゾーニングを行う。汚染されたと定義されたエリア内の陸上及び海上で異なる種類の検出器を用いてモニタリングを行う。併せてダストサンプリングも行う（カナダ海軍）	1. 原子力艦の災害があった場合、状況の処理を担当するのはASNではなく、IRSNの助言を得て、防衛原子力安全局が緊急時モニタリング戦略を決定する。緊急時のモニタリングシステムはケースバイケースで決定する。
25	オンサイトでの環境放射線モニタリングの計画はあるか。あるとすればどのようなものか。代表的なものか。	オンサイトは原子力事業者、オフサイトは国や地方自治体が環境放射線モニタリングを行っている。	1. カナダ規格協会の文書 No. CSA N288.4:19 に「原子力施設及びウラン鉱山・精錬所における環境モニタリングプログラム」という文書があるので共有する（カナダ原子力安全委員会）	1. 環境放射線モニタリングは、ASN の法的な要請により原子力事業者がオンサイトで実施する。環境モニタリング計画は施設の放出力によって決められる。

	<p>サイトでの計画書などがあれば提供いただきたい。</p>		<p>1. FNEP がある。(カナダ保健省)</p>	<p>1. ASN は Basic Nuclear Installation (BNI/基本原子力施設) ごとに環境モニタリングに関するルールを定義しており、必要に応じて修正できる。ルールが遵守されていることと、施設の潜在的な異常を検出することが目的。</p>
26	<p>原子力安全に係る環境放射線モニタリングの基本方針、基本計画のようなものがあるか。貴機関大、又は国大で。(規制委員会設置法第4条第1項第7号の参考のため)</p>		<p>1. カナダ原子力安全委員会の規制文書 REGDOC-2.9.1「環境保護：環境原則、評価及び保護対策」(Environmental Protection: Environmental Principles, Assessments and Protection Measures)の中に、「クラスIの原子力施設及びウラン鉱山・工場の事業者(licensee)は、CSA規格N288.4に準拠した環境モニタリングプログラムを実施しなければならない」とある。</p>	<p>1. 環境放射線測定を行うラボに対するライセンスシステムがある(質問No.15参照)。</p>
27	<p>モニタリング業者に對する許認可制度はあるのか(GSR Part1 Requirement 13への適合性)。あるとすると、それはどのようなものか。</p>		<p>1. 「原子力安全管理法」(Nuclear Safety and Control Act)のセクション9(a)(i)に「原子力安全委員会の目的は、環境や人々の健康や安全に与える不合理的なリスクを防ぐため、(中略)原子力の開発、生産、使用を規制すること」とある。またセクション24(4)(b)に「事業者(licensees)は環境保護及び公共の安全と健康のため適切な準備をすること」とある。</p> <p>2. また、「原子力の安全・管理一般規則」(General Nuclear Safety and Control Regulations)のセクション12(1)(c)にも「事業者は環境保護及び人々の健康と安全のためあらゆる合理的な予防措置を講じる」とある。</p> <p>3. 事業者が上述の2つの法規に準拠できるよ</p>	<p>1. 事業者は、ライセンスを受けたラボを使用しなければならぬ(質問No.15参照)。</p>
28	<p>事業者(原子炉設置者等)に対してモニタリングを義務づける制度があるか。制度がある場合、どのようなモニタリングを求めているか。</p>		<p>1. 「原子力安全管理法」(Nuclear Safety and Control Act)のセクション9(a)(i)に「原子力安全委員会の目的は、環境や人々の健康や安全に与える不合理的なリスクを防ぐため、(中略)原子力の開発、生産、使用を規制すること」とある。またセクション24(4)(b)に「事業者(licensees)は環境保護及び公共の安全と健康のため適切な準備をすること」とある。</p> <p>2. また、「原子力の安全・管理一般規則」(General Nuclear Safety and Control Regulations)のセクション12(1)(c)にも「事業者は環境保護及び人々の健康と安全のためあらゆる合理的な予防措置を講じる」とある。</p> <p>3. 事業者が上述の2つの法規に準拠できるよ</p>	<p>1. 事業者は、ライセンスを受けたラボを使用しなければならぬ(質問No.15参照)。</p>

29	第3者が環境モニタリングを実施する場合、適用する国内及び国際的なガイドライン等はあるか。		<p>う、カナダ原子力安全委員会は規制文書 REGDOC-2.9.1「環境保護：環境原則、評価及び保護対策」を発行。原子力安全委員会はこの規制文書を、新しい原子力施設や原子力活動に対するライセンス申請書や、発行済みライセンスの更新・変更を評価するために用いる。ライセンスを取得または更新するためには、申請者は適当な環境保護対策を行っていることまたは行う予定であることを証明しなければならない。</p> <p>1. カナダ原子力委員会の規制枠組みは、以下の文書と体制でIAEAの安全基準シリーズGS-R-1が定める環境モニタリング要件を満たしている。</p> <p>(1) REGDOC-2.9.1「環境保護：環境原則、評価及び保護政策」及び関連CSA規格N288.1, N288.4, N288.5, N288.6, N288.7：環境と直接相互作用のある施設は、環境保護 (EP) プログラムを通じて潜在的なリスクを特定・管理するために環境アセスメントを実施する必要がある。EPプログラムにはサイト固有のERA (環境リスクアセスメント、CSA規格N288.1及びN288.6) とERAを通じて特定されたリスクに応じて必要な排水モニタリング (CSA N288.5：核及び危険物質)、環境モニタリング (CSA N288.4：baseline, reference, exposure)、及び/または地下水モニタリング (CSA N288.7) などが含まれる。これらはすべて正式な環境管理システム (CSA ISO 14001) で管理されている。このニーズに応えるため、民間の放射線モニタリングとアセスメント産業が発展してきた。</p> <p>(2) REGDOC-2-10.1「緊急事態管理と防火：原子力緊急時の準備と対応」：熱容量が10 MW</p>	1. フランスではNPOが公共エリアのサンプリングを実施している。NPOも事業者と同じプロセスを経て、ライセンスを受けたラボを使用しななければならない (質問 No.15 参照)。
----	----------------------------------------------	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------

			<p>を超える原子炉施設のライセンス保有者は、原子炉施設周辺において、適切なバックアップ電源を備えた固定型・リアルタイムの放射線検出モニタリングを実施することが求められる。また、その結果はオフサイトの当局と原子炉安全委員会に伝えることが義務付けられている。</p> <p>(3) カナダ原子炉安全委員会に限らず、多数の政府機関が原子炉施設周辺の地域モニタリングを独自に実施している。例えばカナダ保健省は、放射能分析のためのサンプルを定期的に採取する「放射線モニタリングネットワーク」を設置し、地上に沈着した放射能と空気中の汚染物質を測定する定点監視システムを確立させた。また、オンタリオ州労働省も自ら原子炉監視プログラムを通じて環境放射線モニタリングを実施している。</p> <p>(カナダ原子炉安全委員会)</p>	
30	<p>フランスでは温暖化対策起因して原子力発電所新増設の話もあるようだが、操業前モニタリングや原子力施設がない地域のモニタリング（日本の水準調査のイメージ）は実施しているか。</p>			<p>1. フランスでは原子力発電所の新設が決まった。既に原子力発電所がある場所なので、環境状態や汚染状態はすべてわかっている。原子力発電所施設があるところもないところも、しっかりモニタリングしている。</p>
31	<p>隣国の要請や協定に基づいて行っているモニタリングがあるか。ある場合、モニタリング項目を決める際に近隣国と調整</p>			<p>1. ASN の業務の一環として、モニタリングに関する情報の他国の安全当局への提供がある。</p> <p>2. ヨーロッパでは原子力危機があった際の共同のメカニズムがあり、データをすべて共有することとなっている。ドイツ、ベルギー、英国、ルクセンブルクといった近隣諸国と契約して</p>

	<p>したか。また、近隣国の原子力施設を対象としたモニタリングを行っているか（放環室が島にMP設置してみたいかなやつ）</p>			<p>いる。EU としても各国のデータを共有しており、フランスの情報も公開している。フランスが他国に行つてモニタリングしたり、他国からフランスにモニタリングをしに来たりすることはないが、欧州委員会の検査があり、そこでデータが公開される。</p>
32	<p>分析結果の妥当性はどのような方法で担保しているか。品質保証制度などあれば教えてほしい。</p>			<p>1. 事業者は、ISO17025（試験所の能力に関する一般的な要求事項）に準拠した環境試験所を有し、フランスの安全当局に認証されている必要がある。 2. IRSN のラボが基準を作り、COFRAC という独立した認証機関が検査を行っている。COFRAC はどの省庁にも属さない、完全に独立した国の機関。IRSN は測定をしているが、その戦略は別の機関が考えており、その機関がサンプルを送ると COFRAC の技術者が品質保証を確認。その後エンジニアが計測学に従って認証した後、IRSN の戦略策定機関に結果が送られる。COFRAC は放射線測定器のみならず様々な測定機器の品質保証を担い、認証を行っている。</p>
33	<p>漁業関係者等へのモニタリングの結果は説明会などどのようなに行っているか。もし漁業関係者等への説明がある場合、モニタリング結果に対し、どのような反応があるか。</p>			<p>1. 事故後の段階における公衆と地元の利害関係者の新たな関与の仕方について、2024年以降を目標としてCODIRPAのために、議論を進めている。 2. 我々のモニタリング結果は 400 ページの報告書にまとめられており、誰でも見られるようになっている。漁業関係者、農業従事者も閲覧でき、質問することもできる。 3. 日本では漁業が盛んであり、³H を含んだ水を放出する問題があるので余計センシティブになるのはよくわかるが、フランスの漁業関係</p>

				<p>者から心配する意見が出てくることはあまりない。魚の放射能濃度は非常に低いため、心配している人が少ない。ラ・アージュ再処理工場周辺は水流に特徴があるため、モニタリングのモデルを設定し、検査している。海底については定期的なサンプリングではなく、放射性物質を放出したときにモデルとなる場所を選び、特別なサンプリングして検査している。</p>
34	モニタリングの採水地点はどのような根拠で決めているか。			<p>1. 最低年に1-数回、冬か夏に検査する。ラ・アージュ再処理工場の周辺の水質や海流はよく知られているため、そこでスポット検査をすることは少ない。放射能に変化があるか、海の状態が毎年同じかどうか確認することが目的のため、頻繁に検査することはない。</p>
35	底層等、深いところで採水しているか。もし実施していればどのような理由で底層の水の分析を行うこととしているのか。			<p>1. 深層水のモニタリングが国際的な基準かどうかはわからないが、フランスではスポットのある程度の深さの海水をピックアップしたり、海底の堆積物や魚や甲殻類をスポットで検査したりすることがある。</p>
36	採水は予備の測定分も併せて採水しているか。			<p>1. 1 Lの水を採取して分析する際は、すべて使うわけではなく一部を使い、過去の結果と比べて大きな差があったら残りを残すか、もう一度採取しに行って2回目の検査をする。</p>

6. 我が国における環境放射線モニタリング体制の確立に向けた提言

本事業において、特定の項目に対し、十分な時間を取り、カナダ及びフランスの政府関係の意思決定者及び研究者が一堂に会し情報交換を行ったことにより、多国間での会議では得られない詳細な情報を得ることができた。各国における原子力防災時における放射性モニタリングのスキームや技術開発の方向性は同様であり、似たような問題意識を持っていることが明らかとなった。以下、今後の我が国の原子力防災に生かすべき内容について、6つの重点項目に着目して記述する。

6.1. 航空機による放射線モニタリングの実施・運用について

日本においては、原子力災害対策マニュアルに基づいて、航空機モニタリングの義務は JAEA が負うことになっている。一方、具体的な運用のイメージについても、原子力総合防災訓練等で自衛隊と訓練を重ねることによってより具現化されている。カナダにおいては、現場から地方地自体から地方自治体などを介して、連邦政府にサポートを求める形式をとっている。365日いつでも緊急時に対応できるように、スタンバイチームを配置している。また、G7などの大型イベント時の原子力防災訓練や、米国との合同の簡易核兵器を想定したサーベイの訓練は、カナダ独自の観点である。フランスにおいては、IRSN と Group INTRA が協力して、互いの行動を調整し、航空機モニタリングを実施する。民間の原子力事業者 (Group INTRA) が、航空機モニタリングに関わる点は、日本と大きく異なる。三国ともに、自前の有人ヘリコプターを所持しておらず、民間のヘリ会社と契約してモニタリングを実施している。現状日本においては、福島第一原子力発電所事故後の空間線量率分布の変化傾向の調査を主目的に、航空機モニタリングが実施されている。今後は、カナダのように大規模イベント時の防災技術への転用や、フランスのように民間の原子力事業者との連携についても検討を進める必要がある。

6.2. 放射線モニタリングに係る情報の共有

我が国においては、RAMISなどを介して、収集したモニタリングデータを共有及び公表している。カナダにおいては、FukushimaInFORMというサイト²⁸⁾で、海域モニタリングの結果を公開している。飲料水、牛乳、雨などの放射能、空気中のサンプルやγ線による外部被ばく線量のデータは、Open Government というサイト²⁾で公開されている。フランスにおいては、IRSN のプローブで測定したデータが、TELERAY というサイト²³⁾で公開されている。また、IRSN や事業者だけでなく NPO が実施したモニタリング結果も、RNM というサイト²⁴⁾上で公開されている。日本では、NRA からの受託研究の一環で、JAEA がモニタリングを実施し、そのデータがウェブサイト¹⁾で公開されている。事業者やNPOがモニタリングしたデータについては、各実施者のウェブサイト上で公開されており、全ての結果を統合化したウェブサイトは存在しない。統合化の際には、データの品質や妥当性確認が課題と考えられる。フランスのASNは、コミュニケーション能力のテストを定期的に行うことで、大規模事故の際に、メディアやジャーナリストに正確な情報を伝えられるよう準備をしている。日本におけるリスクコミュニケーション活動を進める上でも、これらの知見は有用である。

6.3. 防護措置、環境モニタリング及び被ばく線量評価の関連性について

我が国においては、EAL 及び OIL をベースとして防護措置を実施している。カナダにおいては、FNEPに基づき、緊急時モニタリングを実施する。フランスにおいては、レファレンスレベルに応じた対応が決められているが、地域の実情に応じて対応することになっている。この点は、原子力発電所からの距離に応じて、PAZ と UPZ を定義している日本と異なる。また、「移転地域」、果物や野菜を消費してはいけない地域、食料品を検査内で市場に出荷してはいけない地域といったゾーニングを行う。三国ともに、初めに航空機モニタリングを実施し、放出された放射性核種の同定、それに起因する空間線量率分布の推定を行う点は共通していた。日本も航空機モニタリングの結果から、避難指示区域や居住制限区域などのゾーニングを行った経験があることから、今後も合理的なゾーニングの基準に関する検討を続けていく必要がある。

6.4. 緊急時モニタリング要員の被ばく線量限度について

我が国においては、被ばく線量限度に関して一元化されていない。カナダにおいては、原子力事業者の線量限度については、CNSC が「放射線防護規則」の中で定めている。フランスにおいては、国の規制により、人員の役割に応じて線量限度が定められている。また、モニタリング要員だけでなく救急隊員のような人命救助に係る作業員の被ばく線量限度についても、記載されていることに

注目したい。日本における合理的な被ばく線量限度を議論する際には、事業者のモニタリング要員だけでなく、関連する作業員の線量限度についても、検討の余地があると考えられる。

6.5. 海域における放射線モニタリングの実施・運用について

我が国においては、4つの団体が福島第一原子力発電所周辺の海域で、主に ^3H , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs のモニタリングを実施している。カナダにおいては、2015-2019年まで沿岸から2,000 kmまでの海域にサンプル調査領域を拡大し、その後の通常のサンプリング頻度に戻った。各事業者が海水のサンプリングを年に4回行い、CSNCに報告している。フランスにおいては、事業者、ASN、IRSN、NPOがモニタリングを行っており、事業者は原子力発電所から10 km圏内を担当している。ラ・アージュ再処理工場周辺は水流に特徴があるため、モニタリングのモデルを設定し、検査している。この点はフランス独自であるが、日本においても合理的なモニタリング地点の設定の際の一助となる。カナダ、フランス共に、日本と対象としている放射性核種や試料に大きな違いはなかったが、地域に固有の指標生物（例：ムール貝）などに若干の違いがあった。また、ステーキホルダー（主に漁業関係者）への処理水に関する説明に関しては、日本とフランスで大きな違いが見られた。

6.6. 緊急時モニタリング体制全般について（資機材配備体制を含む）

我が国においては、福島第一原子力発電所事故後、特に福島第一原子力発電所周辺でモニタリングポストが密に設置された。カナダにおいては、国土が広大なため原子力施設や原子力潜水艦停泊港を中心にモニタリングポストが設定されている。3つのネットワーク（FPS、CTBT及びCRMNステーション）でのモニタリング結果に基づき、放射性核種の拡散状況などを把握する。定点ポストで得られたデータは、EURDEPやIAEAに共有されている。フランスにおいては、TELERAYネットワークなどの固定ポストと可搬型プローブを併用している。TELERAYは高線量しか検知できないため、福島事故の際はOPERA AIRで検知できた。ヨーロッパ独自の観点として、原子力危機があった際の共同のメカニズムがあり、モニタリングに関する情報の他国の安全当局への提供を行う必要がある。欧州委員会の検査とそれに伴うデータの公開がある。日本においても、緊急時モニタリングで得られたデータの共有及び公開方法や隣国や関係諸国とのモニタリング協力体制の構築について、検討する余地がある。

7. 参考文献

- 1) IAEA, Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation, ERP-NPP-OILS 2017, 1-160 (2017).
- 2) Open Government, available from <<https://search.open.canada.ca/en/od/?keywords=Canadian+Radiological+Monitoring+Network/>> (accessed on 16 Mar. 2022).
- 3) W. Zang et al., Testing of an automatic outdoor gamma ambient dose-rate surveillance system in Tokyo and its calibration using measured depositon after the Fukushima nuclear accident, *J. Environ. Radioact.*, **125**, 93-98 (2013).
- 4) C. Liu et al., Development of a national cosmic-ray dose monitoring system with Health Canada's Fixed Point Surveillance network, *J. Environ. Radioact.*, **190-191**, 31-38 (2018).
- 5) C. Liu et al., Observation of Ground-level Enhancement Across Canada's Fixed Point Surveillance Network During the 20 January 2005 Solar Event, *Health. Phys.*, **117(3)**, 291-299 (2019).
- 6) Y. Sanada et al., Comparison of Dose Rates from Four Surveys around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant for Location Factor Evaluation, *J. Rad. Prot. Res.*, **46(4)**, 184-193 (2021).
- 7) Y. Sanada et al., The aerial radiation monitoring in Japan after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, **4**, 76-80 (2014).
- 8) Y. Sanada et al., Evaluation of ecological half-life of dose rate based on airborne radiation monitoring following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, *J. Environ. Radioact.*, **192**, 417-425 (2018).
- 9) JAEA, 令和2年度福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約 (受託研究), JAEA-Research 2021-025 (2021).
- 10) K. Ochi et al., Validation study of ambient dose equivalent conversion coefficients for radiocaesium distributed in the ground: lessons from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, *Rad. Environ. Biophys.*, **61**, 147-159 (2022).
- 11) 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト, available from <<https://emdb.jaea.go.jp/emdb/>> (accessed on 12 Mar. 2022).
- 12) 眞田幸尚ほか, 避難指示区域の解除に向けた特定復興再生拠点の放射線モニタリングと被ばく評価, 日本原子力学会和文論文誌, **20(2)**, 62-73 (2020).
- 13) T. Abe et al., Temporal Change in Atmospheric Radiocesium during the First Seven Years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident, *Aerosol Air Qual. Res.*, **21(7)**, 200636_1-200636_11 (2021).
- 14) Y. Y. Ji et al., Performance of in situ gamma-ray spectrometry in the assessment of radioactive cesium deposition around the Fukushima Daiichi nuclear power plant, *Rad. Phys. Chem.*, **179**, 109205 (2021).
- 15) Y. Y. Ji et al., Joint Environmental Radiation Survey by JAEA and KAERI Around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Performance of Mobile Gamma-Ray Spectrometry Using Backpack and Carborne Survey Platforms, *Health Phys.*, **121(6)**, 613-620 (2021).
- 16) 眞田幸尚ほか, 平成30年度無人飛行機を用いた放射性プルーム測定技術の確立 (受託研究), JAEA-Research 2020-006 (2020).
- 17) M. Sasaki et al., New method for visualizing the dose rate distribution around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant using artificial neural networks, *Sci. Rep.*, **11**, 1857_1-1857_11 (2021).
- 18) A. Ishizaki et al., Application of topographical source model for air dose rates conversions in aerial radiation monitoring, *J. Environ. Radioact.*, **180**, 82-89 (2017).
- 19) Y. Sanada et al., Distribution map of natural gamma-ray dose rates for studies of the additional exposure dose after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident, *J. Environ. Radioact.*, **220-224**, 106397 (2020).
- 20) 普天間章ほか, 令和2年度緊急時対応技術適用のためのバックグラウンド航空機モニタリング (受託研究), JAEA-Research 2021-020 (2021).
- 21) L. E. Sinclair and R. Fortin, Spartial deconvolution of aerial radiometric survey and its application to the fallout from a radiological dispersal device, *J. Environ. Radioact.*, **197**, 39-47 (2019).
- 22) C. M. Chen et al., In-flight performance of the Advance Radiation Detector of UAV Operations (ARDUO), *NIM-A.*, **954**, 161609 (2020).
- 23) TELERAY, available from <<http://teleray.irsn.fr/#mappage>> (accessed on 16 Mar. 2022).
- 24) RNM, available from <<https://www.measure-radioactive.fr/>> (accessed on 16 Mar. 2022).
- 25) Y. Sanada et al., Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant using an unmanned helicopter, *J. Environ. Radioact.*, **139**, 294-299 (2015).
- 26) ICRU, Gamma-ray spectrometry in the environment, ICRU report., **53** (1994).

- 27) N. Matsuda et al., Depth profiles of radioactive cesium in soil using a scraper plate over a wide area surrounding the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan, *J. Environ. Radioact.*, **139**, 427-434 (2015).
- 28) FukushimaInFORM, available from <<https://fukushimainform.ca/>> (accessed on 16 Mar. 2022).
- 29) National Response Plan, available from <<http://www.sgdsn.gouv.fr/uploads/2018/02/plan-national-nucleaire-fevrier2014-anglais.pdf>> (accessed on 16 Mar. 2022).