



米国エネルギー省「探索及び放出後管理に関する
国際ワークショップ (ISCM-WS)」調査報告

Report on the Research through the U.S.DOE

“The International Search and Consequence Management Workshop (ISCM-WS)”

川上 剛 田崎 隆

Takeshi KAWAKAMI and Takashi TASAKI

原子力緊急時支援・研修センター

Nuclear Emergency Assistance and Training Center

December 2011

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

米国エネルギー省「探索及び放出後管理に関する国際ワークショップ (ISCM-WS)」調査報告

日本原子力研究開発機構原子力緊急時支援・研修センター

川上 剛・田崎 隆⁺

(2011年 6月 1日 受理)

2010年5月17日から20日にかけて、米国エネルギー省(以下、「DOE」という。)主催の「探索及び放出後管理に伴う国際ワークショップ」(以下、「ISCM-WS」という。)が開催された。

ISCM-WSは、世界的な原子力・放射線緊急事態への対応能力を構築・強化し、核・放射線テロへの戦いを支援することをねらいとしており、DOEは、世界26カ国から92名及びIAEAから3名の関係者を招き、米国の核・放射線テロ対応、原子力・放射線緊急事態も含めた放出後管理のための技術・体制・活動等について紹介していた。

本報告は、このISCM-WSに参加し、ワークショップ内で紹介された核・放射線テロを想定したDOEの核安全保障局の探索チームの活動、原子力緊急事態や核・放射線テロ発生後の放出後管理に伴う活動に関する内容を含めた調査結果をまとめたものである。

得られた参考となる知見は、次のとおりである。

- －核爆破装置や放射性物質の探索のための、遠隔モニタリング機材の配備と遠隔測定に関する技術開発
- －測定結果の地図化や再検証のためのGPSによる位置情報の取得と測定計画策定や測定結果の地図化の支援のため地理情報システムの活用
- －現場対応機関が測定した結果を、遠隔地の研究機関の放射線測定や放射性物質に関する専門家に送信してフォローする体制
- －放射線測定や放射線管理のための機材、人員を速やかに展開可能にするための体制と展開後の維持に必要な後方支援(国の専門家チームを派遣する仕組みも含む)
- －航空機による環境放射線測定、移動分析施設による環境試料分析
- －放出後管理時の現場、後方、関係機関との連携を図るための情報共有システム

原子力緊急時支援・研修センター：〒311-1206 茨城県ひたちなか市西十三奉行 11601 - 13

⁺ 東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所保安全管理部

Report on the Research through the U.S.DOE
“The International Search and Consequence Management Workshop (ISCM-WS)”

Takeshi KAWAKAMI and Takashi TASAKI⁺

Nuclear Emergency Assistance and Training Center
Japan Atomic Energy Agency
Hitachinaka-shi, Ibaraki-ken

(Received June 1, 2011)

The International Search and Consequence Management Workshop (ISCM-WS) that was organized by the U.S. Department of Energy (DOE) took place from May 17th to May 20th, 2010. The aim of this Workshop was to build and enhance the global capacity to prevent and respond to nuclear and radiological emergencies, and it directly supports the aims of global initiative to combat nuclear terrorism. The U.S.DOE brought together 92 officials from 26 countries and 3 officials from IAEA in this workshop. DOE introduced two matters in the USA, first was response against nuclear and radiological terrorisms and second was technology, systems, activity for consequence management.

This Review Report summarized the observation of the ISCM-WS including activity of DOE/NNSA's Search Response Team and activity of consequence management.

Important knowledge from the ISCM-WS is as follows:

- Development and Equipment of remote radiation measurement system for searching Improvised Nuclear devices, Radiological Dispersal Device, etc
- Using GPS data for mapping and checking of radiation measurement, Using GIS system for supporting planning and mapping of radiation measurement
- Follow up system for checking first responder's radiation measurement data by radiological specialist in the radiological institute at distance place
- Deployment system and logistics system for radiation monitoring team and radiation management team including national agency's team who are deployed on the spot
- Aerial Measuring System and mobile laboratory for environmental samples analysis
- Information sharing system for consequence management

Keywords: Nuclear and Radiological Emergency, Nuclear and Radiological Terrorisms,
Radiation Measurement, Environmental Monitoring, Consequence Management

⁺ Safety Administration Department, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories,
Tokai Research and Development Center

目次

1. はじめに	1
2. ワークショップの概要	2
2. 1 参加者	2
2. 2 日程及び内容	2
3. 核・放射線テロに対する DOE/NNSA の活動・装備	4
3. 1 探索チーム (SRT)	4
3. 1. 1 チームの体制	4
3. 1. 2 活動	4
3. 1. 3 使用機材等	5
3. 2 TRIAGE システム	7
3. 2. 1 TRIAGE システムを支える体制	7
3. 2. 2 TRIAGE システムの内容	8
3. 3 DOE/NNSA の活動・装備から得られた知見	8
4. 米国の放出後管理	16
4. 1 放出後管理活動に関する体制	16
4. 1. 1 放出後管理対応チーム (CMRT) の体制	16
4. 1. 2 連邦放射線モニタリング分析センター (FRMAC) の体制	17
4. 2 CMRT と FRMAC の活動	17
4. 2. 1 モニタリング	17
4. 2. 2 分析・評価	19
4. 2. 3 保健・安全	20
4. 2. 4 活動支援	21
4. 3 米国の放出後管理から得られた知見	21
5. 放出後管理に関するリモートセンシング研究所 (RSL) の活動	38
5. 1 RSL における研究開発の概要	38
5. 1. 1 研究開発プロジェクトの体制	38
5. 1. 2 放射線検出・分析技術の研究開発	38
5. 1. 3 通信機材の研究開発	39
5. 2 RSL の緊急時の活動	39
5. 3 RSL の研究開発や活動から得られた知見	40
6. まとめ	42
謝辞	43
参考文献	44
付録 A ISCM-WS の参加国・機関及び人数	45
付録 B 略語リスト	47

CONTENTS

1.Introduction·····1

2.Summary of the workshop·····2

 2.1 Participants·····2

 2.2 Contents and schedule·····2

3. Activity and Equipment of DOE/NNSA against nuclear and radiological terrorisms···4

 3.1 Summary of Search Response Team(SRT)·····4

 3.1.1 Formation·····4

 3.1.2 Activity·····4

 3.1.3 Equipments·····5

 3.2 Summary of TRIAGE system·····7

 3.2.1 Supporting Structure for TRIAGE system·····7

 3.2.2 Contents of TRIAGE system·····8

 3.3 Knowledge from Activity and Equipment of DOE/NNSA·····8

4.Structure and activity for consequence management in USA·····16

 4.1 Summary of structure for consequence management in USA·····16

 4.1.1 Structure of Consequence Management Response Team (CMRT)·····16

 4.1.2 Structure of Federal Radiological Monitoring and Assessment Center (FRMAC)·17

 4.2 Activity of CMRT and FRMAC·····17

 4.2.1 Monitoring·····17

 4.2.2 Analysis and evaluation·····19

 4.2.3 Protecting health and safety·····20

 4.2.4 Logistics·····21

 4.3 Knowledge from consequence management in USA·····21

5.Activity of Remote Sensing Laboratory(RSL) for consequence management·····38

 5.1 Summary of research and development in RSL·····38

 5.1.1 Framework of projects for research and development·····38

 5.1.2 Research and development of radiation measurement and analysis·····38

 5.1.3 Research and development of communication system·····39

 5.2 Activity of RSL for emergency situation·····39

 5.3 Knowledge from Activity of RSL·····40

6.Conclusions·····42

Acknowledgements·····43

References·····44

Appendix A List of participating nations and organizations with number of participants in
 ISCM-WS·····45

Appendix B List of Abbreviation·····47

表リスト

表 2.1	ISCM-WS の日程	3
表 3.1	検出器と適用される活動	9
表 3.2	SRT が使用する携帯型放射線検出器・計測器 (1/2)	9
表 3.3	SRT が使用する携帯型放射線検出器・計測器 (2/2)	10
表 3.4	TRIAGE システムの入力項目	10
表 4.1	AMS の測定モードと機材、速度、高度、間隔の関係	23
表 4.2	FRMAC の GIS チームが運用する GIS 資機材	23

図リスト

図 2.1	ISCM-WS 参加国	3
図 3.1	広域探索の模式図	11
図 3.2	チョークポイント探索の模式図	11
図 3.3	施設内探索による計測結果の地図のイメージ	12
図 3.4	携帯型検出器による施設内探索の模式図	12
図 3.5	LRM を使用したコンテナ測定の様式図	13
図 3.6	モバイルモニタリング機材の車両への搭載例	13
図 3.7	LRM の模式図と表示例	14
図 3.8	広域探索計画ツールの画面例	15
図 4.1	DOE の緊急時対応に係る連絡等の流れ	24
図 4.2	放出後管理における立上げ時間の目安	25
図 4.3	CMRT の体制図	26
図 4.4	FRMAC の体制図	27
図 4.5	AMS 機材の基地	28
図 4.6	NARAC の大気拡散予測モデルの構成とデータのフロー	28
図 4.7	RAMS のデータ分析処理フロー	29
図 4.8	FRMAC における DOE の通信体系	30

写真リスト

写真 4.1	AMS による測定結果の地図例	31
写真 4.2	DOE フィールドモニタリングチームの使用する測定機材	31
写真 4.3	DOE フィールドモニタリングチームの使用する試料採取用機材	32
写真 4.4	DOE フィールドモニタリングチームの使用する携帯型計測器	32
写真 4.5	ゲート型モニター	32
写真 4.6	NARAC に基づく放射性物質の拡散予測結果の地図例	33
写真 4.7	袋に包まれた環境試料及び環境試料回収用様式	33
写真 4.8	環境試料受付所	34
写真 4.9	空飛ぶ分析室の外観	34
写真 4.10	可搬型フードボックス	34
写真 4.11	可搬型グローブボックス	35
写真 4.12	可搬型液体シンチレーションサーベイメータ	35
写真 4.13	サンプル保管庫	35
写真 4.14	REAC/TS の救護所テント外観	36
写真 4.15	REAC/TS の救護所テント内部	36
写真 4.16	REAC/TS の救護所テント内部に置かれた医療用キット	36
写真 4.17	REAC/TS の救護所テント内部に置かれた医療用機器	37
写真 5.1	収納運搬型の ECN 機材 (衛星アンテナ)	41
写真 5.2	MPCD 用アンテナを設置した車両	41

This is a blank page.

1. はじめに

2001年に発生した同時多発テロ以降、米国をはじめ世界各国でテロリズム（以下、「テロ」という。）対策を強化している。世界各国で、その発生が懸念されているテロの形態の一つに、「核・放射線テロ」が挙げられる。核・放射線テロでは、簡易核兵器（Improvised Nuclear Device。以下、「IND」という。）^{注1}や放射性物質拡散装置（Radiological Dispersal Device。以下、「RDD」という。）^{注2}等が使用されることが想定されており、装置が使用された地域とその周辺における放射性物質による汚染や大衆への被ばくなどの影響が懸念されている。

我が国の原子力研究開発の中心機関である日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）は、原子力・放射線緊急事態において、原子力・放射線の専門家として技術支援を行うことが日本原子力研究開発機構防災業務計画によって規定されている。また、原子力機構は、武力攻撃事態対処法に基づく指定公共機関にも指定されている。原子力機構は、これらの規定に基づいて、原子力・放射線緊急事態等に伴う放射線や放射性物質による影響の分析・評価し公衆防護のための対応を支援するための活動である放出後管理に関して、現場から放出される放射線や放射性物質の測定とその分析を担うことが期待されている。これらの活動の参考とするために、先進国における放出後管理に関する技術や体制の最新動向を把握する必要があった。

このような状況の中、米国のエネルギー省（Department of Energy。以下、「DOE」という。）核安全保障局（National Nuclear Security Administration。以下、「NNSA」という。）では、2010年5月17日から20日に、世界的に原子力・放射線緊急事態への対応能力を構築・強化し、核・放射線テロへの戦いを支援することを目的に、「探索及び放出後管理に伴う国際ワークショップ（International search and consequence management workshop。以下、「ISCM-WS」という。）」を開催し、日本を含む諸国の原子力・放射線関連の規制当局、研究機関、治安・国防機関などをメンバーに招き、米国における核・放射線テロに対応するための探索活動や放出後管理について紹介を行った。

本調査報告は、ISCM-WSにおいて公開された、米国の核・放射線テロに対応するための環境モニタリング活動とそれに使用される装備及び測定技術と装備の技術開発に関する動向を中心に調査した結果をまとめたものである。

注1：米国保健社会福祉省（Department of Health and Human Services）のWebページ^[1]の解説によると、テロリスト等が盗取した核兵器又は核物質を寄せ集めて作成した核兵器である。

注2：米国保健社会福祉省のWebページ^[1]の解説によると、RIの拡散を目的とした兵器で、ダーティボム（爆弾の爆発でRIを拡散させる兵器）、RIを航空機等から散布する装置が含まれる。

2. ワークショップの概要

第1章でも述べた通り、DOE/NNSA は、世界的に原子力・放射線緊急事態への対応能力を構築・強化し、核・放射線テロへの戦いを支援することをねらいとして、ISCM-WS を開催した。本章では、ISCM-WS の概要について紹介する。

2. 1 参加者

ISCM-WS には、日本を含む世界 26 カ国より関係機関職員（原子力・放射線関連の規制当局、研究機関、治安・国防機関など。日本からは原子力機構、原子力安全基盤機構より各 2 名が参加した。詳細は、付録 A を参照。）92 名、国際原子力機関（IAEA）より 3 名が参加した。また、米国の国内関係機関から 27 名がオブザーバー及び案内役として参加していた。参考までに、参加国を世界地図に示したものを図 2.1 に示す。

2. 2 日程及び内容

ワークショップは、2010 年 5 月 17 日（月）から 5 月 20 日（木）の 4 日間にわたり、米国ネバダ州内にある DOE 所掌施設であるネバダ核実験場トリモートセンシング研究所（Remote sensing laboratory。以下、「RSL」という。）及び州兵トレーニングセンターを会場に開催された。ワークショップの日程を表 2.1 に示す。

5 月 17 日はネバダ核実験場において、NNSA の探索チーム（Search response team。以下、「SRT」という。）及び空中モニタリングシステム（Aerial measuring system。以下、「AMS」という。）の説明会とデモンストレーションが実施された。

5 月 18 日、19 日は州兵トレーニングセンターにおいて、放出後管理に関して実施主体である連邦放射線モニタリング分析センター（Federal Radiological Monitoring and Assessment Center。以下、「FRMAC」という。）の活動の紹介とデモンストレーションが実施された。また、RSL では、緊急時における RSL の活動及び FRMAC における大気拡散予測の実施主体である大気放出勧告センター（National atmospheric release advisory center。以下、「NARAC」という。）の活動が紹介されたほか、RSL が実施した FRMAC の活動で使用されている機材や将来使用される機材に関する研究開発の事例が紹介された。

5 月 20 日には、ネバダ核実験場の視察を実施し、米国が過去に実施した核実験と、現在も周辺地域よりも高い線量を有する環境を利用した生物への影響評価の調査研究に関する紹介を受けた。

今回の視察は、核・放射線テロに関する対応活動及び放出後管理に関する活動に重点を置いていたことから、3 章以降では、5 月 17 日から 19 日の視察内容に絞り詳細な報告を行う。

表 2.1 ISCM-WS の日程

日程	内容	
5/17(月)	ネバダ核実験場 ・探索対応チーム (SRT)の説明会とデモンストレーション ・空中モニタリングシステム(AMS) の説明会とデモンストレーション	
5/18(火)	ネバダ州州兵トレーニングセンター ・連邦放射線モニタリング・アセスメントセンター (FRMAC) の説明 ・FRMAC デモンストレーション	リモートセンシング研究所 (RSL) 研究所視察
5/19(水)	ネバダ州州兵トレーニングセンター ・ISCM デモンストレーション所見 ・FRMAC デモンストレーション	
5/20(木)	ネバダ核実験場 ・核実験場の視察	



図 2.1 ISCM-WS 参加国 (■ : 参加国、■ : 開催国)

3. 核・放射線テロに対する DOE/NNSA の活動・装備

DOE/NNSA では、核・放射線テロを未然に防ぐため、RI、IND、RDD の探索を支援するための探索チーム（以下、「SRT」という。）を設置している。また、DOE/NNSA では、TRIAGE システムと呼ばれる、現場における放射線測定結果を研究所へ送信させて解析させるためのシステムを整備している。

本章では、NNSA の SRT の任務及び装備並びに TRIAGE システムについて、ワークショップ内で紹介された内容を基に述べる。

3. 1 探索チーム (SRT)

3. 1. 1 チームの体制

SRT は、1 チーム 7 人で、放射線科学、自然科学、電子工学、後方支援、通信の分野に精通する専門家から構成されている。ネバダ州ネリス空軍基地を拠点に 24 時間召集に応えられる体制になっている。また、SRT の要員は、平常時から同チームで使用する機材を運用するためのトレーニングを受けている。

3. 1. 2 活動

SRT は、都市部や農村部に隠された RI、IND、RDD の探索、国家特別警備イベント^注・大規模なスポーツ大会・海外から多数の来客が訪問するイベント等における RI 等の持込みの監視を主な任務としており、他の連邦や地方の対応機関等と連携して実施している。

情報機関からの核・放射線テロの脅威に関する情報を受けた場合、NNSA は SRT の立ち上げを指示する。立ち上げられた SRT は、機材とともに現場に向う。また、現場の地理情報システム(以下、「GIS」という。)情報を収集するとともに、探索活動に必要な地図の作成を実施する。現場に到着した SRT は、連邦捜査局 (FBI) や税関・国境警備機関 (CBP) 等の連邦機関や、州や地方の対応機関と共同で探索活動にあたる。複数の SRT と探索活動にあたる他の機関の人員、機材、活動の統制、管理を行う部署として、探索管理センター (Search Management Center。以下「SMC」という。)がある。SMC は、探索活動を計画するためのコンピューターツール、人員等の追跡のためのコンピューターツール、遠隔地から送られてきたデータの解析用コンピューターツールを有しており、これらのツールを駆使して SRT の探索活動を支えている。

SRT では、以下に挙げる RI、IND、RDD の探索活動を実施している。以下の活動と、使用される検出器の関係については表 3.1 に示す。

(1) 広域探索

都市、農村等の広域な地域を、放射線測定機材 (モバイルモニタリング機材。詳細は、3.2.1 項を参照。) を積んだ車両等を使用して移動しながら RI、IND、RDD を探索する活動である。

車両による広域探索の模式図を図 3.1 に示すように、測定対象地域をカバーするような経路を通過しながら探索が実施され、特に関心のある区画 (駐車場、コンテナ集積場など) に対しては、その区画の周囲を巡回して探索を実施する。内蔵する GPS による測位データを基に測定

^注: シークレットサービスが中心となり、連邦捜査局 (FBI) や地元警察等と連携を取りながら警備に当たる行事で、共和党と民主党の全国大会や年初の大統領の一般教書演説が該当する。

結果を地図上に表示できるようになっている。

(2) チョークポイント探索

図 3.2 の模式図に示すように、核・放射線テロに関与している車両や人物が通過すると想定される経路上やイベント会場等入口に検問（チョークポイント）を設けて、その路側に放射線測定機材と SRT 要員を配置し、道路上の検問を通過する車両やイベント会場等の入口を通過する人物を検査し、RI 等の持込を阻止するための活動である。車両に対するチョークポイント探索の場合は、モバイルモニタリング機材を使用して、検問を通過する車両を 1 台ずつ測定し、核・放射線テロに使用する機材、物質を積載した車両を発見する。歩行者の場合は、バックパック型検出器（詳細は、3.2.2 項を参照）、又は、線状放射線モニター（Linear Radiation Monitor。以下「LRM」という。詳細は、3.2.3 項を参照。）を用いて通過する人物を測定し、それにより核・放射線テロに使用する機材、物質を所持していると疑われる人物を特定し、その人物を拘束してから携帯型検出器・計測器（詳細は、3.2.4 項及び表 3.2、表 3.3 を参照。）による身体と所持品の検査を実施する。

(3) 施設内外の探索

イベント開催前に大規模集客施設の内外を、放射線計測機器を所持した SRT 要員により探索する活動である。施設内外の検査では、バックパック型の検出器を背負った SRT 要員が、施設内外を歩行し、測定を行う。測定結果は、図 3.3 で示すように地図化され評価に供される。また、施設内の探索の場合は、携帯型検出器・計測器も使用されており、図 3.4 示すように、廊下、施設内の壁際を測定するほか、室内をカバーするように往復して測定する。

(4) 荷物の探索活動

コンテナや個人の所持品など、線源が内包している疑いのある荷物の検査を実施する。コンテナの検査では、LRM を使用しており、図 3.5 に示すように、LRM を吊るしながらコンテナの側面を測定する形で行われる。

また、個人の所持品の検査は、携帯型検出器・計測器が使用されている。

3. 1. 3 使用機材等

本項では、SRT の探索活動で使用する機材及び SMC が支援に使うツールについて説明する。

(1) モバイルモニタリング機材

SRT ではモバイルモニタリング機材として、中性子線検出器、 γ 線検出器、SPRACS（Spectral Advanced Radiological Computer System）と呼ばれる分析ユニットにより構成したものを使用している。SPRACS は、スペクトル分析の他、GPS によるリアルタイムな航跡追尾が可能になっており、スペクトルデータを表示できるほか、広域探索の測定結果と同様に地図上に表示できる仕組みとなっている。

SRT では、モバイルモニタリング機材を、車両、航空機、船舶などの乗り物に積載して使用している。モバイルモニタリング機材は、乗り物に 2 セットずつ積載して運用されている。これは、機材が 1 セット故障しても残り 1 セットで任務が継続できるようにするためである。車

両に積載する場合、図 3.6 に示すように、線源が存在する方向（歩道側）に面するように、検出器を車両後部から見て右側^{注1}に配置しており、また、透過度の違いを考慮してγ線検出器を外側に、中性子線検出器を内側に配置している。車両で測定する場合、時速 20 マイル（約 32 km）で走行しながら測定することができ、また、30keV 以上のエネルギーを持つγ線を測定することが可能である。

（2）バックパック型検出器

バックパック^{注2}型検出器は、SRT の要員が背負いながら計測を実施する機材である。バックパック内には、中性子検出器（He-3 検出器）、γ線検出器（NaI(Tl)検出器）、バッテリー、Blue tooth アンテナ（携帯端末との送信用）が納められたスチレン製の容器が入っており、操作のスイッチが外に出る形となっている。

検出器の測定データは、携帯端末に表示される仕組みとなっている。ISCM-WS では、音声メッセージで検出を伝えるタイプのもので紹介されていた。この音声メッセージは、イヤホンを通して、バックパック型検出器を背負う要員に流される。そのため、放射線測定を実施していることが、部外者からは分からないようにすることができる。そのため、チョークポイント探索で使用される場合、バックパック型検出器を背負った要員が、放射線の検出を確認した場合には、警備や所持品検査を行う要員にジェスチャーで合図を送り、放射性物質等を所持した疑いのある人を足止めして検査するように促すような運用が行われている。

また、GPS で測定地点の座標データを取得し、対象の施設の地理情報データと対応させることで、施設内のモニタリング結果を図 3.3 のように図示することも可能になっている。

（3）線状放射線モニター（LRM）

LRM は、図 3.7 に示すように、筒型の検出器（プラスチックシンチレーションγ線検出器と He-3 中性子線検出器）をケーブル（光ファイバー製）で接続したもので、γ線検出器 18 個と中性子線検出器 9 個を接続した状態で、全長 80 フィート（約 24m）となる機材である。γ線検出器 2 個と中性子線検出器 1 個で構成される検出器のグループごとに、シリアル番号が振られており、LRM の表示画面には、放射線を検出した検出器のグループのシリアル番号に対応する位置にグラフが表示されるようになっている。図 3.7 に表示のイメージを示す。これにより、直線状の範囲を同時に測定し、線源の位置を特定することが可能になっている。

（4）携帯型検出器・計測器

SRT では、表 3.2 及び表 3.3 で示す、様々なタイプの携帯型検出器・計測器を使用している。

これらの機材に共通の特徴としては、「核種同定機能を有すること」、「パソコンや携帯電話とのデータのやり取りが可能なこと」の 2 点である。核種同定機能は、現場に存在する核種をその場で推定することを可能にする。また、パソコンや携帯電話とデータのやり取りが可能であることは、スペクトルデータ等の情報を関係機関に迅速かつ確実に伝達することを可能にしている。

注1 右側通行の場合、歩道側の面する位置になる。

注2 バックパック (back pack) は、リュックサック(rucksack)を指す米国英語である。

(5) 広域探索計画ツール

モバイルモニタリングを実施する際に、測定プランを立てるために SMC が使用するソフトウェアであり、図 3.8 に画面の模式図を示す。対象地区、測定チームの数、(各測定チームが保有する測定機器の) 最大検出可能距離を指定することで、測定チームの割り当て、測定者の経路を自動的に設定できる機能を有している。また、測定時に移動する距離、測定範囲の面積、測定所要時間を算定することもでき、その算定にあたり、渋滞、道路構造、気象及び NRC が登録した核種データをリンクしている。

(6) 要員・機材の追跡ツール

SMC が、SRT の要員・機材を追跡するために使用するコンピューターツールであり、チーム、機材、個人、異常有無等の状況及び要員から送られてきた写真、報告を確認できるほか、要員に対し通報を送ることができる。また、SRT の機材には GPS 情報を取得できるものもあり、それにより得られた位置情報を基に、地図上に表示することもできる。

(7) 通信システム

SRT では、データ転送を含む通信手段としてスマートフォン(携帯情報端末と携帯電話を兼ねた携帯端末)を使用している。SRT が使用するスマートフォンには、Mini-Hermes と呼ばれるソフトウェアインターフェイス(ソフトウェア間の情報のやり取りを定めたもの)を実装されており、これにより放射線検出器から送られたデータ及び放射線検出器に接続したパソコンから送られたデータをスマートフォンにより転送することが出来るようになっている。また、転送される情報は、線量やスペクトルデータに留まらず、位置情報(取得できる場合に限る)、警報、通信状況、通信エラー、通信履歴の情報もやり取りされる。スマートフォンからデータを受けるサーバーには、ソフトウェアの自動更新、データの完全な保管、Eメールで一斉通報を実施できる機能を有しており、スマートフォンによる通信体制を支えている。

3. 2 TRIAGE システム

米国では、国内への核・放射線テロで使用される機材、物質の持ち込みを防ぐため、国境を通過する人や物に対して国境警備員・税関職員が、放射線測定を行っている。また、米国では、警察や消防が現場を探索中に異常な放射線を検出することも想定している。これらの要員は、放射線測定に熟達している訳ではなく、また使用する機材の核種同定能力も高いとはいえないため、現場で核種同定できないことが起こり得る。この様な状況において、核種同定を支援するため DOE が提供するものが TRIAGE システムである。本節では、TRIAGE システムの解説を行う。

3. 2. 1 TRIAGE システムを支える体制

DOE には、TRIAGE システムを支えるためのチームが設置されている。チームは、以下の組織、要員により構成されている。

- ①ワシントン DC の DOE 緊急時指揮センター(Emergency operation center)
- ②DOE の緊急通報対応要員
- ③ロスアラモス国立研究所、ローレンス・リバモア国立研究所、サンディア国立研究所に所属

の原子力科学者

緊急通報対応要員が通報を受けると、**TRIAGE** システムを立ち上げる。また、緊急通報対応要員は通報者に対し、指定したメールアドレスに測定データを含む情報を送信すること、後述する **TRIAGE** システムの Web ページに必要なデータを入力することを指示する。

TRIAGE システムにより研究所に送信されたスペクトルデータを、2人の科学者が異なる分析ツールを使用して分析を行ない、その結果に基づき電話会議を通じて科学的な判定が行われる。

分析により得られた核種同定結果は、現場からスペクトルデータを送信してから 30～60 分以内に、現場へ返信される。

3. 2. 2 TRIAGE システムの内容

TRIAGE システムは、パスワードにより保護された Web ベースのシステムで、インターネットに接続したパソコンで開くことができる。入力画面上に、表 3.4 に示す事項を入力し、スペクトルデータのファイル（最大 5MB まで。）を添付することで、研究所にスペクトルデータ等を送信することができる。

3. 3 DOE/NNSA の活動・装備から得られた知見

DOE/NNSA の核・放射線テロを未然に防ぐための活動・装備に関する視察調査から得られた知見で日本の核・放射線テロ対応の整備に参考となる事項を以下にまとめる。

(1) 遠隔モニタリング機材の利用

隠匿された RI、IND、RDD の効率的な探索のため、特定の地域や施設の周辺を移動しながら対象物周辺の放射線を遠隔で測定が可能なモニタリング機材が重要である。また、海外から人や物が往来する港湾や空港、不特定多数の人が入場する公共施設やイベントの敷地境界において、核爆破装置や放射性物質の持込阻止を図るためにも、通過する人物や対象物を遠隔で測定できる機材の配備が重要である。

(2) GPS や地理情報システムの活用

核・放射線テロに使用される装置の探索や、核・放射線テロ発現場における放射線の測定は、不特定多数の施設や地域を対象に実施されることになる。そのため、測定結果の地図化や測定結果の再検証のためには、測定した場所の座標データの取得が重要である。また、これらの現場では迅速な対応が求められていることから、座標データの取得のために GPS と組み合わせられた測定装置が望ましく、また、測定結果の地図化を迅速に行うために地理情報システムの活用が有効である。

(3) 現場対応機関の測定結果をフォローする体制

放射線測定に必ずしも熟達しておらず、装備している機材の性能もまちまちと考えられる警察、消防、国境警備等の現場対応機関が測定した結果をフォローするために、遠隔地にある専門機関に送信し、放射線測定や放射性物質に関する専門家が確認してフィードバックする体制が有用である。

表 3.1 検出器と適用される活動

検出器の種類	適用される活動
モバイルモニタリング機材	<ul style="list-style-type: none"> ・ 広域探索 ・ チョークポイント探索 (対車両)
バックパック型検出器	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設内外のサーチ ・ チョークポイント探索 (対人)
L R M	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンテナの検査 ・ チョークポイント探索
携帯型検出器, 計測器 (表 3.2 及び表 3.3 参照)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施設内の探索 ・ 個人荷物の検査 ・ 対象物の計測

表 3.2 SRT が使用する携帯型放射線検出器・計測器 (1/2)

メーカー	Icx 社	Polimeter 社	
型番	Identifinder	PM1401MA	PM1401GNB
機材種類	γ線スペクトロメータ	γ線検出器	γ・中性子線検出器
外観			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 核種同定機能を有する。4種類の核種データベースに計72種の核種を収録。 ・ 重量 1.2kg 以下 ・ USB、シリアルポートによるパソコンとの接続可能 ・ スピーカー、ランプ、振動によるアラーム機能を有する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CsI(Tl)検出器を搭載 (PM1401GNBは、さらにHe-3検出器を搭載。) ・ 重量 PM1401MA : 250g PM1401GNB : 420g ・ 核種同定能力を有する。29核種及びU-238とTh-232の娘核種を核種データベースに収録。 ・ 無線LAN、赤外線による、パソコンとの通信可能 ・ スピーカー、表示、振動によるアラーム機能を有する。 	

表 3.3 SRT が使用する携帯型放射線検出器・計測器 (2/2)

メーカー	Thermo 社	ORTEC AMETEK 社
型番	Interceptor	trans-SPEC-DX-100
機材種類	γ ・中性子線スペクトロサーバイメータ	Ge 半導体スペクトロメータ
外観		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ CZT(Cd, Zn, Te) 検出器と He-3 検出器を搭載。 ・ 重量 390g 以下 ・ 核種同定機能を有する。28 核種を核種データベースに収録。 ・ ボイスレコーダーとデジタルカメラを内蔵。 ・ 無線 LAN によりパソコンへデータ転送可能。 ・ SD カードに最大 1GB のデータを保存可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気冷却式で液体窒素不要 ・ 重量約 12kg ・ 12 時間の冷却で使用可能 ・ 核種同定機能を有する。24 核種を核種データベースに収録。 ・ USB によるパソコンとの接続が可能。

表 3.4 TRIAGE システムの入力項目

必須入力項目	その他入力項目
<ul style="list-style-type: none"> ・ イベントの種類 ・ 通報した機関 ・ 測定時間 ・ 通報者氏名 ・ 検出器種別 ・ 検出器型式 ・ 検出器と線源の距離 ・ 遮蔽物の種類 ・ 対象物の外観等の説明 ・ 事象の概要 ・ 事象に関する詳細な説明 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定開始年月日 ・ 連絡先電話番号 ・ 連絡先 E-mail ・ 検出器による核種同定結果 ・ 中性子検出器の型式 ・ 中性子線量率 ・ 対象物に関する履歴 ・ その他のコメント

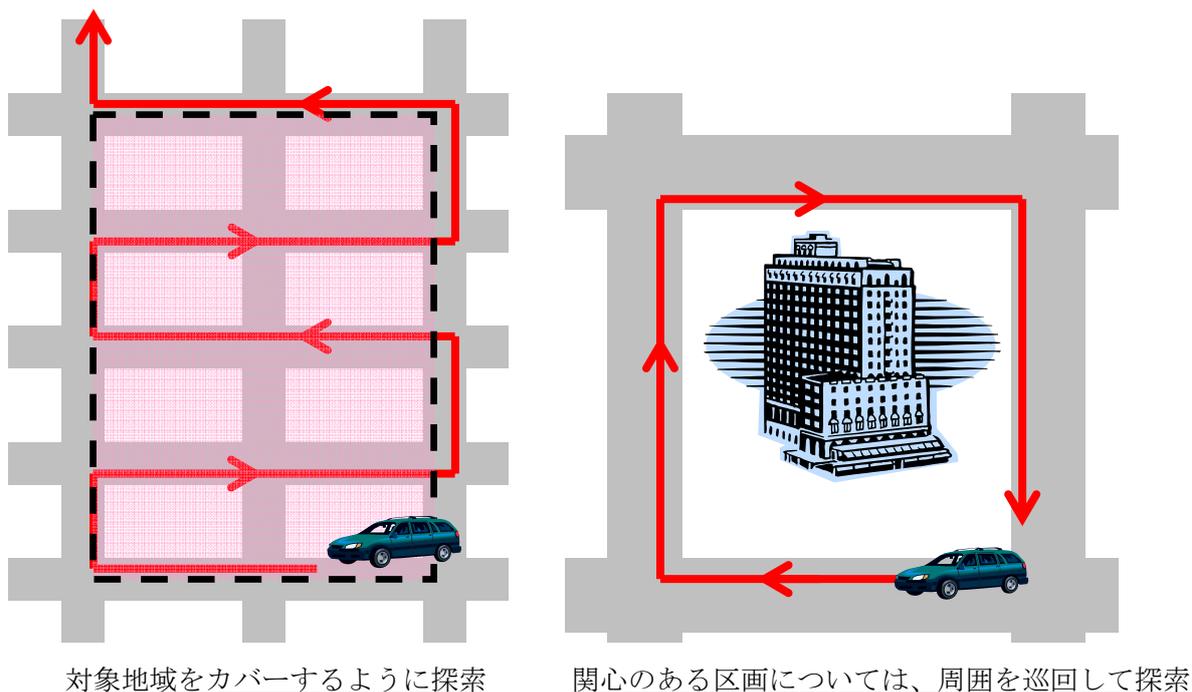


図 3.1 広域探索の模式図

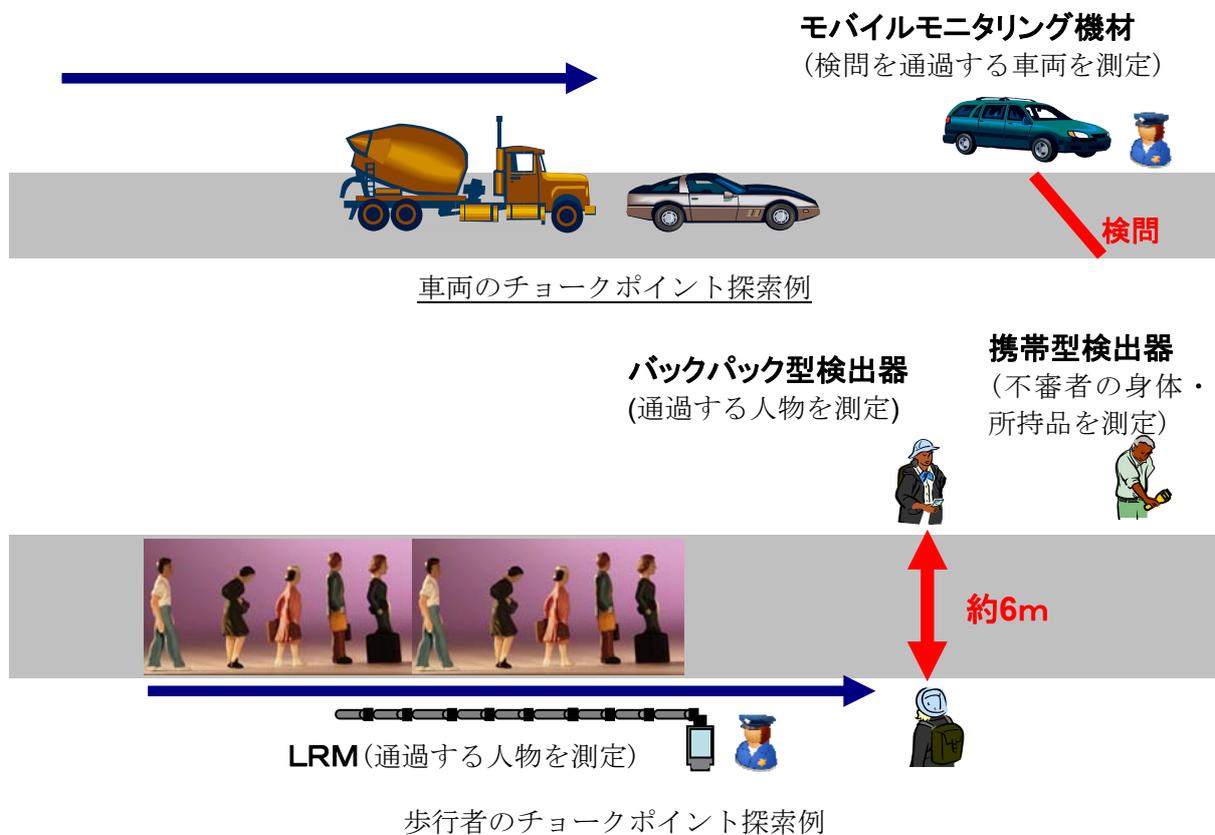


図 3.2 チョークポイント探索の模式図

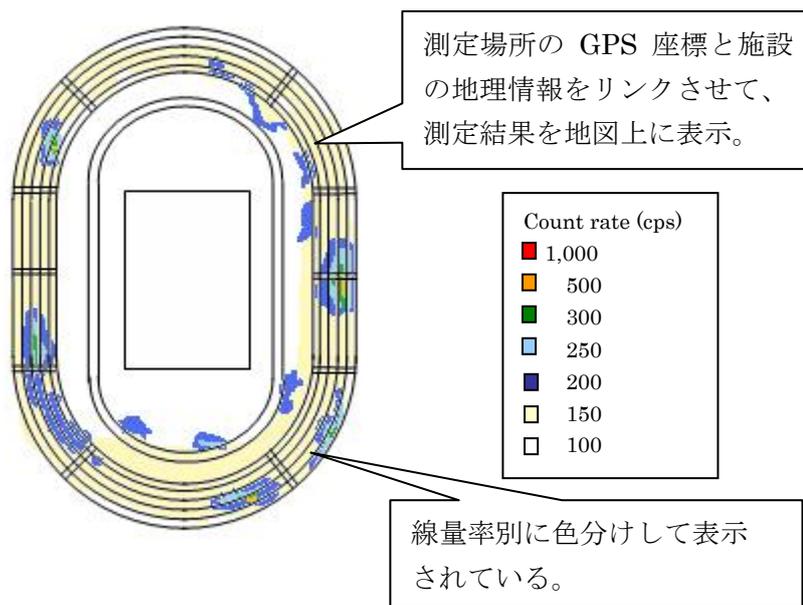


図 3.3 施設内探索による計測結果の地図のイメージ

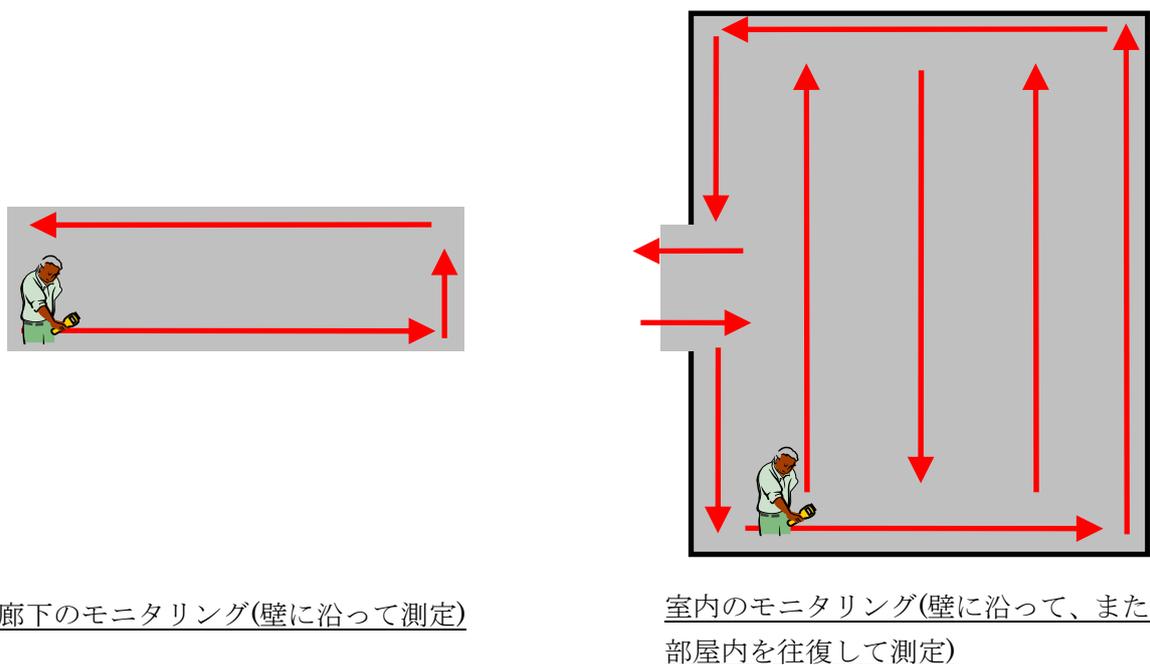


図 3.4 携帯型検出器による施設内探索の模式図

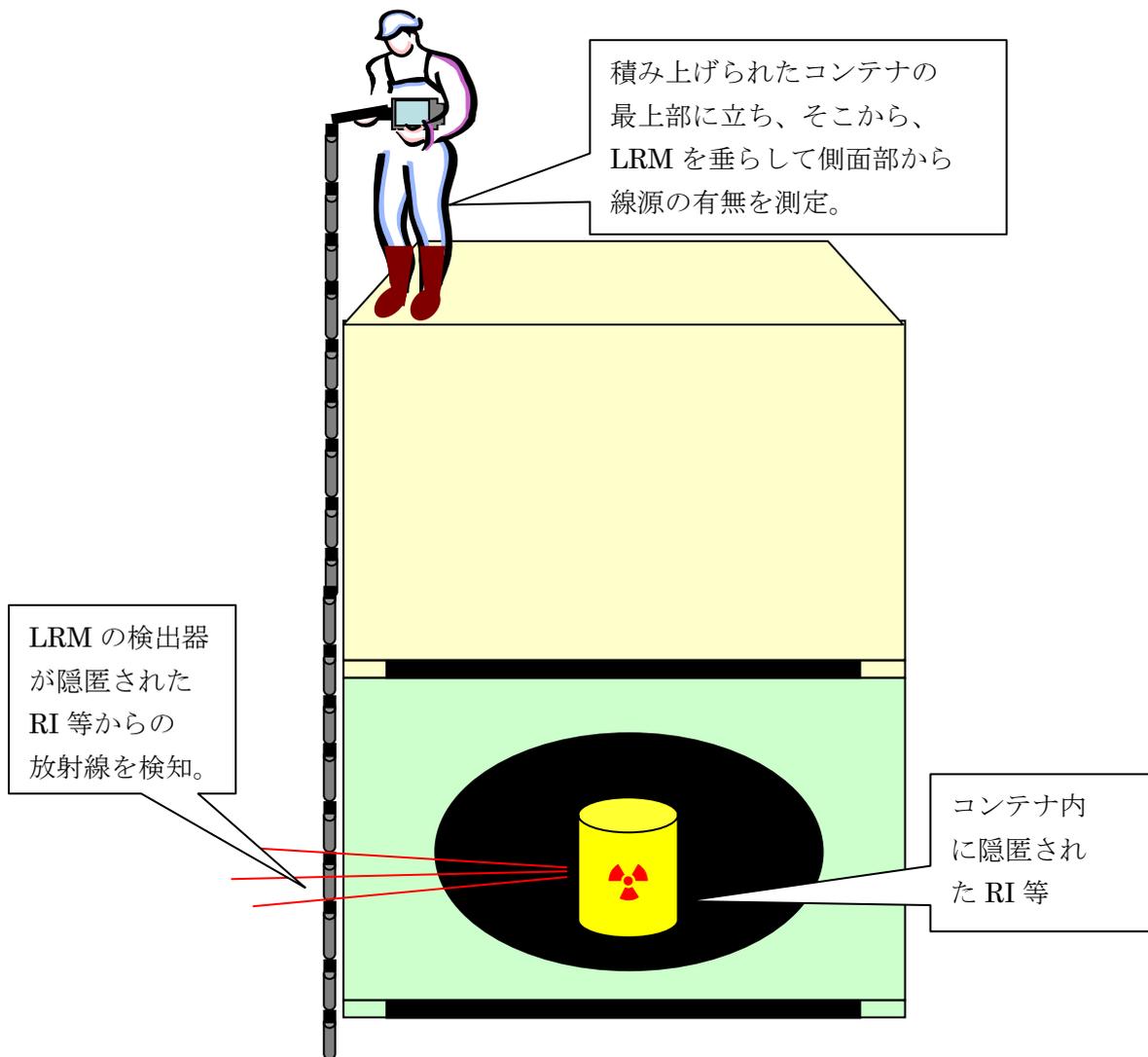


図 3.5 LRM を使用したコンテナ測定の様式図

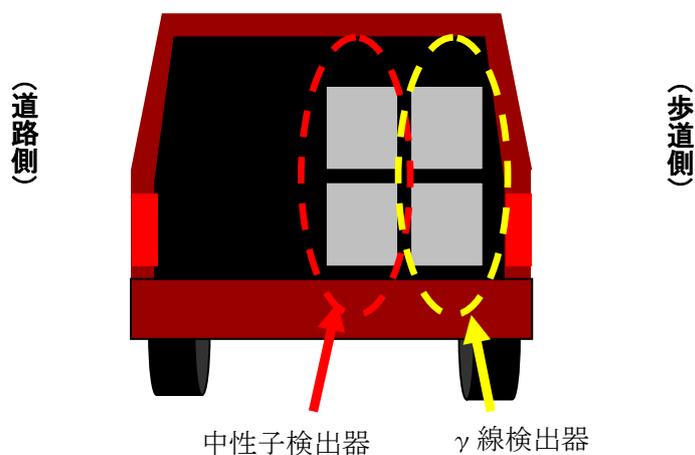
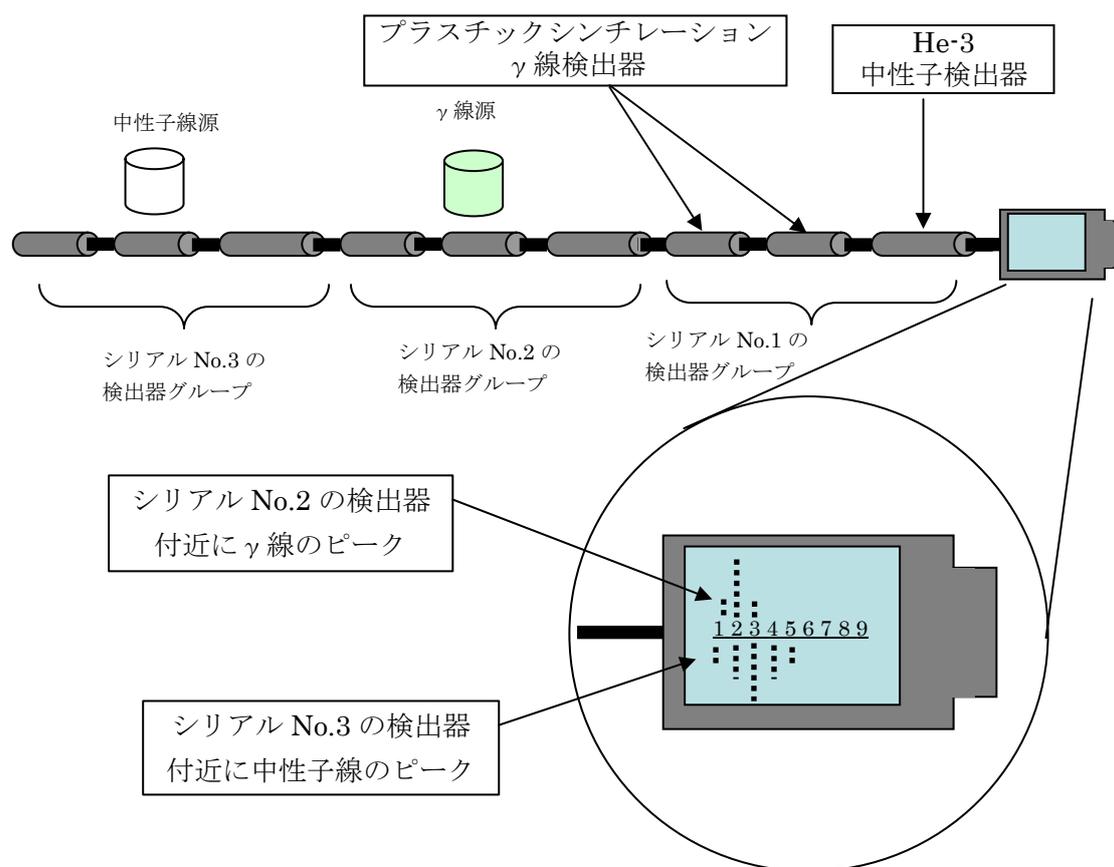
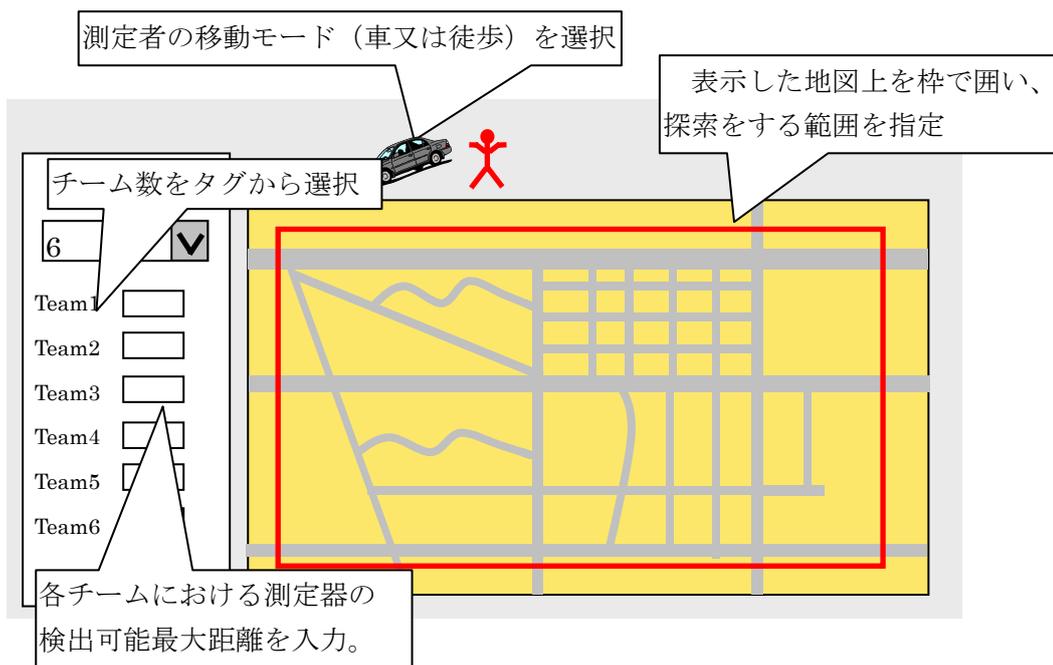


図 3.6 モバイルモニタリング機材の車両への搭載例



注：検出器グループは、シリアル No.1 から No.9 までである。(模式図では、シリアル No.6 以降を省略)

図 3.7 LRM の模式図と表示例



広域探索計画ツール設定画面のイメージ



広域探索計画ツールによる出力結果イメージ

図 3.8 広域探索計画ツールの画面例

4. 米国の放出後管理

放出後管理の活動は、原子力・放射線事故等の発生時に、放射性物質拡散の予測、放射性物質等の測定と分析、放射性物質による影響評価を行ない、タイムリーで適切な住民防護活動を支援するものである。

放出後管理で想定している事象は、事故だけでなく故意に引き起こされた事件（施設内部の人間による悪意のある行為、核・放射線テロ等）も対象となっており、実際に放射線の漏えい、放射性物質の放出が発生した場合だけでなく、その可能性がある場合についても想定している。

これらの事象は、地方の対応機関だけでは対応困難な事象が多い。そのため米国では、原子力・放射線事故等の発生時に、地方の対応機関を支援するため、連邦政府機関及びその傘下の研究所が放出後管理活動を実施する体制が整備されている。

本章では、ISCM-WS 内で紹介された米国における放出後管理の体制について、その中核となる連邦放射線モニタリング分析センター（以下、「FRMAC」という。）の活動も含めて解説する。

4. 1 放出後管理活動に関する体制

米国では、“国家対応フレームワーク原子力/放射線対応編 (National Response Framework, Nuclear/Radiological Response Annex)”^[2]に基づき、初期の放出後管理については、DOE が主導するとしている。また、DOE の FRMAC の運営マニュアル^[3]によると、図 4.1 に示すように、州政府からの要請を受けたその州を担当している DOE 地方支局は、放射線援助プログラムチーム (Radiological Assistance Program team。以下、「RAP チーム」という。)^{注1}を派遣して放射線モニタリング^{注2}の対応にあたり、また、州から国土安全保障省 (Department of Homeland Security。以下、「DHS」という。)等を通じて要請を受けた DOE/NNSA の本部は、傘下にある組織に立上げを指示して対応にあたらせる体制となっている。その中でも、放射線モニタリング、分析、評価等の対応の中核となるのが、放出後管理対応チーム (Consequence Management Response team。以下、「CMRT」という。)とその組織を引き継ぐ FRMAC である。本節では、CMRT と FRMAC について解説を行う。

4. 1. 1 放出後管理対応チーム (CMRT) の体制

発災後、速やかに立ち上がる体制が、CMRT とそれを支援するためのチームである放出後管理本部チーム (Consequence Management home team) である。放出後管理本部チームは、CMRT の技術支援、後方の支援を実施するとともに、関係機関からの要請を現場チームに橋渡しをする役割も担うチームであり、就業時間帯中に原子力緊急事態等が発生した場合は速やかに、それ以外の時間帯では事態等の発生から 2 時間以内に、立ち上がる。この役割を果たすため、放出後管理本部チームのメンバーには、管理担当の他、後方支援の専門家、連絡員、システムエンジニア、測定データ管理者等が配置されている。

発災現場における測定、分析、評価にあたるのが CMRT であり、発災後、3 段階に分けて立

注1 全米 8 箇所にある DOE 地方支局には、1 支局につき最低 3 チームの RAP チームを配置しており、1 チームは 8 名のメンバーにより構成されている。^[3]

注2 放射線測定器(α線、β線、γ線、中性子線)、γ線スペクトロメータ、大気サンプリング用機材、除染機材、防護具、通信機を装備し、初期の放射線モニタリングにあたる。大気以外の環境試料の収集は実施しない。^[3]

上げが行われる。先発部隊である CMRT フェイズ 1 は、発災の通報から 4 時間以内に立ち上げられ、25 名のメンバーが約 1.6 トンの資機材と共に DOE のネバダ事務所から発災現場に派遣できる体制となっている。CMRT フェイズ 1 の部隊は、関係機関連絡員、後方支援、モニタリング、保健安全のチームから構成されている。

後続部隊である CMRT フェイズ 2 は、研究所における分析を支援するチームが中心であり、発災の通報から 12 時間以内に立ち上げられ、CMRT フェイズ 1 と同じく DOE のネバダ事務所から派遣される。また、CMRT フェイズ 2 の派遣の際に、38 名のメンバーと共に、更なる資機材、食料（軍用の携行食品、100 人×3 日分）、寝袋等、約 11 トンの物資が運ばれる³⁾。食物・飲料水摂取制限の実施範囲を確定するため、モニタリング関連要員の増員が必要な場合、発災後 12 時間後を目途に増援のための体制（CMRT Argumentation（増員）と称されている）が立ち上げられる。この体制により派遣される要員が配置されることで、より広範囲にわたる環境モニタリングとそれに伴う大量の環境試料の分析及び測定データの処理が可能になる。

CMRT 等の立上げの目安時間を図 4.2 に示す。また、CMRT の体制図を図 4.3 に示す。

4. 1. 2 連邦放射線モニタリング分析センター（FRMAC）の体制

発災から 24 時間後を目途に、CMRT の体制を引き継ぎ FRMAC の体制が稼動する。FRMAC は、DOE や米国環境省（Environmental Protection Agency。以下、「EPA」という。）等の連邦機関及び州が連携して長期に及ぶモニタリング、放射線影響分析の活動にあたるための体制であり、図 4.4 の体制図に示すような体制となっている。FRMAC は、緊急事態解除前までは、DOE が主導する体制となっている。緊急事態が解除されると、FRMAC は EPA が主導される体制に移行し、モニタリング活動の他、施設の除染や周辺環境の浄化に関する活動を実施する。本節では、緊急事態解除前までの体制についての説明を行う。

4. 2 CMRT と FRMAC の活動

4. 2. 1 モニタリング

(1) 空中モニタリングシステム

米国では、航空機に放射線検出機材を装備して、空中より地上からの放射線を観測するための体制として空中モニタリングシステム（AMS）の機材をネバダ州ネリス空軍基地と、メリーランド州アンドリュース空軍基地に配備^{注1)}しており、DOE では、通報を受けてから 12 時間以内に現場に派遣できる体制となっている。なお、ISCM-WS の中では、ワシントン州ハンフォードとイリノイ州のアルゴンヌに新たな AMS 機材の基地を配置する予定であることを紹介している。米国の AMS 機材の配置及び機材展開状況を図 4.5 に示す。

ISCM-WS 内で実施された、AMS の技術紹介によると、一度に測定できる領域は高度の 2 倍の幅を持つ直径の円形の領域であり、単位時間あたりに測定できる面積も、高度が高くなれば広がることになる。しかし、高度が高くなれば、大気による減衰の影響が大きくなる、分解能、精細度、感度^{注2)}が低下する等の問題が出てくる。そのため、DOE では、表 4.1 に示す測

^{注1)} DOE の他、DHS がジョージア州サバンナ・リバーに、EPA がテキサス州ダラスに、AMS 用機材を配備している。

^{注2)} γ線エネルギーによる検出下限を例にとると、固定翼機では 300KeV であるのに対し、ヘリコプターでは 60KeV 以上となる。

定モードや測定機材の使い分けを実施しており、例えば、広域のサーベイを固定翼機で実施後、関心のある領域（発災場所近傍、避難経路等）に対して、ヘリコプターによる詳細なサーベイを実施する。DOE が現在使用する AMS 測定機材の内部には、NaI (TI) 検出器及びγ線スペクトル分析装置が 1 機あたり 2 セットずつ搭載されており、1 セットが動作しない場合でも残り 1 セットで任務が継続できるようになっている。また、固定翼機には、可搬型電気冷却式 Ge 半導体スペクトロメータも 1 台装備しており、飛行中の機内の線量確認を行うために運用している。ISCM-WS 内では、γ線と中性子線両方を測定可能で GPS との連携が出来る測定機材を近い将来導入予定であることを紹介していた。

DOE が運用する AMS 用の固定翼機には、1 機あたり操縦士 2 名、科学者、保健物理学者、技術士、工学者各 1 名の計 6 名が乗り込む。また、DOE の AMS 用ヘリコプターには、操縦士 2 名の他、技術士、工学者が各 1 名乗り込み、科学者、保健物理学者は、地上から支援する体制となっている。

固定翼機、ヘリコプターの機内には、スペクトルデータを表示・解析するためのパソコンが設置されており、飛行中も測定結果を確認できるようになっている。また、AMS で測定されたデータは、衛星通信を介して地上に送信され、DOE のリモートセンシング研究所にあるデータサーバーからインターネットを経由して、関係機関に配信されるほか、測定結果を基に作成された、写真 4.1 に示すような測定結果地図も配信される。

(2) フィールドモニタリングチーム

地上における環境試料の採集、放射線測定を実施するのがフィールドモニタリングチームである。DOE のフィールドモニタリングチームは、1 チームあたり通常 3、4 名の編成で、3 名のチーム場合、サンプリング及び計測実施要員 2 名、記録要員兼運転手 1 名で構成されている。1 チームは、写真 4.2 に示すように測定機材等や通信機器を積載した車両 1 台に搭乗してモニタリング活動を実施している。

DOE のフィールドチームの使用する資機材として写真 4.3、写真 4.4 に示すような資機材を使用しているのを確認している。また、特徴的な資機材としては、環境試料用の警告ラベル、マルチパス通信端末、GPS である。環境資料用警告ラベルは、採取した環境試料の分析にかかる優先度を示すものであり、優先度の高い順に、赤 (Above background levels : バックグラウンドレベル以上)、黄 (High Priority : 高い優先度)、青 (Priority : 優先) の 3 種類がある。採取した環境試料に対して、どの色の環境資料用警告ラベルを貼るかを決定するのはチームリーダーの役割であり、現場における環境試料の線量測定結果に基づき決定される^{[4][5]}。

マルチパス通信端末は、複数の通信方法を利用可能な通信機材であり、ペーパーレス FRMAC と呼ばれる、現場から紙面ではなく電子データで情報の送信を行うためのシステムにも対応している。詳細については、5.1.3 項で解説する。

GPS は、測定実施した場所の位置情報を取得するために使用しており、4.2.2 (4) で解説する地理情報システムとの連携に欠かせないものである。

なお、環境放射線測定、環境試料回収に使用する資機材は、日本国内における環境モニタリングで使用しているものと類似の物を使用していた^[6]。

ISCM-WS では、フィールドモニタリングチームのデモンストレーションが実施されており、環境試料回収のほか、作業後の汚染管理に関するデモンストレーションが行われていた。モニ

タリング要員の汚染検査のデモンストレーションとして、乗車前の靴底検査、環境試料受付所前及び除染所前における身体汚染検査が実演された。また、モニタリングチームの車両に対する汚染検査のデモンストレーションとして、タイヤホール内のサーベイメータによる検査と写真 4.5 に示すゲート型モニターによる車両の検査が実演された。

4. 2. 2 分析・評価

(1) 大気放出勧告センター (NARAC)

原子力・放射線災害を含む、有害物質等が大気中に拡散する災害が発生した場合、あるいは、発生のおそれのある事象に対し、米国において大気拡散予測を行うのが、大気放出勧告センター（以下、「NARAC」という。）である。NARAC は、DOE の研究所の一つであるローレンス・リバモア国立研究所に設置されており、365 日 24 時間体制で通報を受ける体制が整っている。

NARAC が支援する機関から通報を受けてから 15 分以内、それ以外の機関に対しては通報を受けてから 1 時間以内に、初期の拡散予測に基づく被ばく線量予測の地図を提供できる体制となっている。拡散予測に基づく被ばく線量予測の地図の例を写真 4.6 に示す。

この初期の拡散予測に基づき、AMS 等によるモニタリングの計画が策定される。計画に基づき実施されたモニタリングの結果をフィードバックし、NARAC による拡散予測の再計算が実施され、影響評価に反映される。

NARAC の拡散予測のシステムは、図 4.6 で示すように複数の計算モデル(Grid Gen, ADAPT, LODI 等) から構成されており^[7]、WSPEEDI2 に近いシステム構成をしており、また、インターネットを通じて他の連邦機関、地方政府に情報を提供するため、Web サーバーと接続している。また、広域における拡散予測に対応でき、発災場所から 80 km 以上離れた地域への拡散はもとより、世界的規模の拡散予測が可能である。

(2) 放射線分析・モニタリングシステム (RAMS)

FRMAC の対応において、環境モニタリングデータ、現場の放射線測定データを収集、管理、共有するためのシステムが放射線分析・モニタリングシステム (Radiological Assessment and Monitoring System。以下、「RAMS」という。) である。RAMS は、Web ベースのシステムであり、RAMS に登録されたデータの各項目 (測定時の位置、測定単位、放射線の種類、測定機材等) がシステム上で自動的に確認され、登録者した測定者に間違いが無いことを再確認させるように促す仕組みとなっている。間違いがないことを確認されたデータは、補正計算が行われた後、分析ツールを介して、各種防護措置の判断に供するために図表化される。RAMS によるデータの分析処理フローを図 4.7 に示す。

(3) 現場・研究所における環境試料の管理・分析

現場で採取された環境試料等は写真 4.7 で示すように所定の回収用様式をつけて、写真 4.8 で示すような、環境試料受付所で引き渡される。また、環境試料受付所で登録した受付情報に基づき、テント内に設置された環境試料管理所において環境試料の搬入、搬出が管理される。

環境試料管理所のテントの隣には、写真 4.9 に示すような、仮設の分析設備 (通称、空飛ぶ分析室) が設置されている。仮設の分析設備は、牽引型発電機、可搬型空調設備と接続しており、また設備内に写真 4.10、写真 4.11、写真 4.12 に示すように可搬型のフード、グローブボッ

クス、放射線計測機器等が設置しており、環境試料の調整から測定まで実施できるようになっている。仮設の研究設備の隣には、写真 4.13 で示すように環境試料を保管するためのテントも設営されている。現場から遠く離れた研究所において精密な分析が必要な場合には、環境試料を保管するテントから、環境試料が後送される。研究所に後送する手続きは、環境試料管理所で行われる^[8]。

(4) 地理情報システム (GIS)

NARAC における拡散予測、及び AMS、フィールドモニタリングチームによる測定結果の分析、A チームなどによる評価、それらの結果の地図化で欠かせないのが、地理情報システム (以下、「GIS」という。) である。GIS は、地形、植生を含む土地利用、施設、人口等の、データベースと位置情報を結合し、状況把握、分析、評価を支援するためのものである。

FRMAC の GIS チームでは、原子力緊急時における活動のため、表 4.2 で示すように、ESRI 社製の地理情報システム ArcGIS をはじめとする資機材を運用していることを ISCM-WS 内で紹介していた。

4. 2. 3 保健・安全

(1) 放射線緊急事態支援センター／訓練施設 (REAC／TS)

放射線緊急時対応における医療支援に携わるのが、放射線緊急事態支援センター／訓練施設 (Radiation Emergency Assistance Center／Training Site。以下、「REAC／TS」という。) である。放出後管理における REAC／TS による緊急時対応としては、次のものがある。

- ①放射線緊急事態における医療管理
- ②特別な核種に被ばくした者の治療
- ③保健物理に関するアドバイスの提供
- ④体内除染剤 (DTPA^{注1}、プルシアンブルー^{注2}) の提供
- ⑤被ばく線量の計算・評価

また、平時の活動として、米国及び海外の医療従事者に対する被ばく管理に関する研修を行っており、放射線緊急事態に対応できる医療従事者を確保に結び付けている。

今回の ISCM-WS 内では、写真 4.14 で示すテント内に設けられた救護所において、REAC／TS による汚染のおそれのある負傷者のサーベイ、除染のデモンストレーションが実施されていた。また、テント内部には、写真 4.15、写真 4.16、写真 4.17 で示す様に医療器材等が置かれており、負傷者の治療が行える体制が整っていた。

(2) アドバイザリーチーム (A チーム)

米国内外で発生した原子力・放射線緊急事態における米国内の環境、食料、健康への影響についての諮問を行うのがアドバイザリーチーム (Advisory Team。以下、「A チーム」という。)

注1 ジェチレントリアミン五酢酸塩の略。プルトニウムやアメリシウム等の超ウラン元素に対する体内除染剤として使用されている。^[9]

注2 セシウムに対する体内除染剤として使用されている。^[9]

である。A チームは、FRMAC 中の独立した体制であるが、FRMAC と極めて緊密な関係にある。

A チームのメンバーは、主に、EPA、米国農務省、米国疾病予防管理センター（Centers for Disease Control and Prevention。以下、「CDC」という。）、米国食品医薬品局の機関の者で構成されており、必要に応じて他の連邦機関の者もメンバーに入る。

緊急事態において、環境、食料、住民の健康への影響を評価するほか、住民の被ばく及び農畜産物への影響を低減するため、以下の事項に関する勧告を州、地方政府に対して行ない、その勧告に基づき、州、地方政府は放射線防護対策の実施を判断する。

- ①ヨウ素剤の服用
- ②飲食物の摂取制限
- ③家畜、飼料の使用に関する制限
- ④対象地域への移住、再入域に関する制限
- ⑤対象地域の汚染除去に関する勧告

原子力・放射線緊急事態発生に伴う、DOE からの A チーム立上げ要請を CDC の緊急時オペレーションセンター^注が受けて、それに伴い A チームが召集される仕組みとなっている。

4. 2. 4 活動支援

(1) 通信

CMRT、FRMAC における現場、本部、関係機関のデータ通信を含む連絡を支えるため、DOE のリモートセンシング研究所が開発した通信システムが運用されており、システムの管理、運営を同研究所が実施している。図 4.8 で示すように、データの送受信は、無線、衛星通信、インターネットを介して行われており、リモートセンシング研究所に設置されたコンピューターサーバーに集約・処理され、必要な情報を関係機関で閲覧できるようになっている。通信機材の詳細については、5.1.3 項で解説する。

(2) 後方支援

CMRT、FRMAC の人員・機材の活動を支えるため、収容施設の確保、物資の補給、輸送、機材の修繕、警備要員の手配等の後方支援の体制を確保している。

4. 3 米国の放出後管理から得られた知見

米国の放出後管理の体制に関する視察調査から得られた知見で、日本の原子力防災や核・放射線テロ対応体制の参考となる事項を以下にまとめる。

(1) 迅速な召集、展開が可能な体制

核・放射線テロや原子力災害が発生した後、迅速な防護対策の実施と、被害を軽減のために放射線測定や放射線管理のための機材、人員を速やかに展開させることが重要となる。

^注 CDC の緊急時オペレーションセンターは、24 時間体制で稼働している。

また、原子力施設の立地していない地域においては、そのような機材、人員が配置されていないことから、原子力施設の立地する地域等にそれらの機材や人員を要請しなければならなくなる。それに伴い、原子力施設の立地していない地域にも国の専門家チームも含めた放射線測定と放射線管理のチームを迅速に展開できる体制が必要である。そのためには、空輸や車両による運搬に耐えうる機材の配備や、機材や人員の移動や展開後の維持に必要な後方支援（物資・施設の手配、機器の修繕等）の充実が重要となる。

（２）原子力施設の立地していない地域や広域における環境放射線、環境試料分析の体制

原子力施設の立地している地域であれば、モニタリングステーション等の測定設備が配置されている他、平時からのモニタリングを実施していることから、環境放射線や環境試料の分析体制が整っているが、原子力施設の立地していない地域では、その体制が整っていない。また、広域に放射性物質が拡散する状況の場合、拡散予測の実施だけでなく、広域に及ぶ環境放射線の測定と環境試料分析が重要である。

そのためには、空中モニタリングシステムのように短時間で広域の放射線を測定することが可能なシステムの導入、環境モニタリング要員だけでなくモニタリングで使用した車両に対するサーベイ体制の確立、可搬可能な環境試料分析機材の配備、環境試料の後送に備えた試料管理システムの構築が重要である。

（３）関係機関との連携が可能な体制

放出後管理では、現場のモニタリング班、後方の分析機関、警察・消防等の災害対応機関、地方公共団体等の関係する機関は、それぞれ単独で活動することは困難であり、関係機関同士の協力が不可欠である。また、これらの機関が協力して活動するにあたり、現場の状況、放射線・放射能の測定データ及び分析結果等の情報の交換・共有が重要である。特に、放射線測定データや地理情報データなどのように電子ファイルで交換・共有することが望ましい情報も取り扱われることになることから、音声通信だけでなく、データ通信も可能な現場、後方、関係機関を結ぶ情報共有システムの導入が重要である。特に、現場での運用を考えると可搬型の情報共有ツールが有用である。

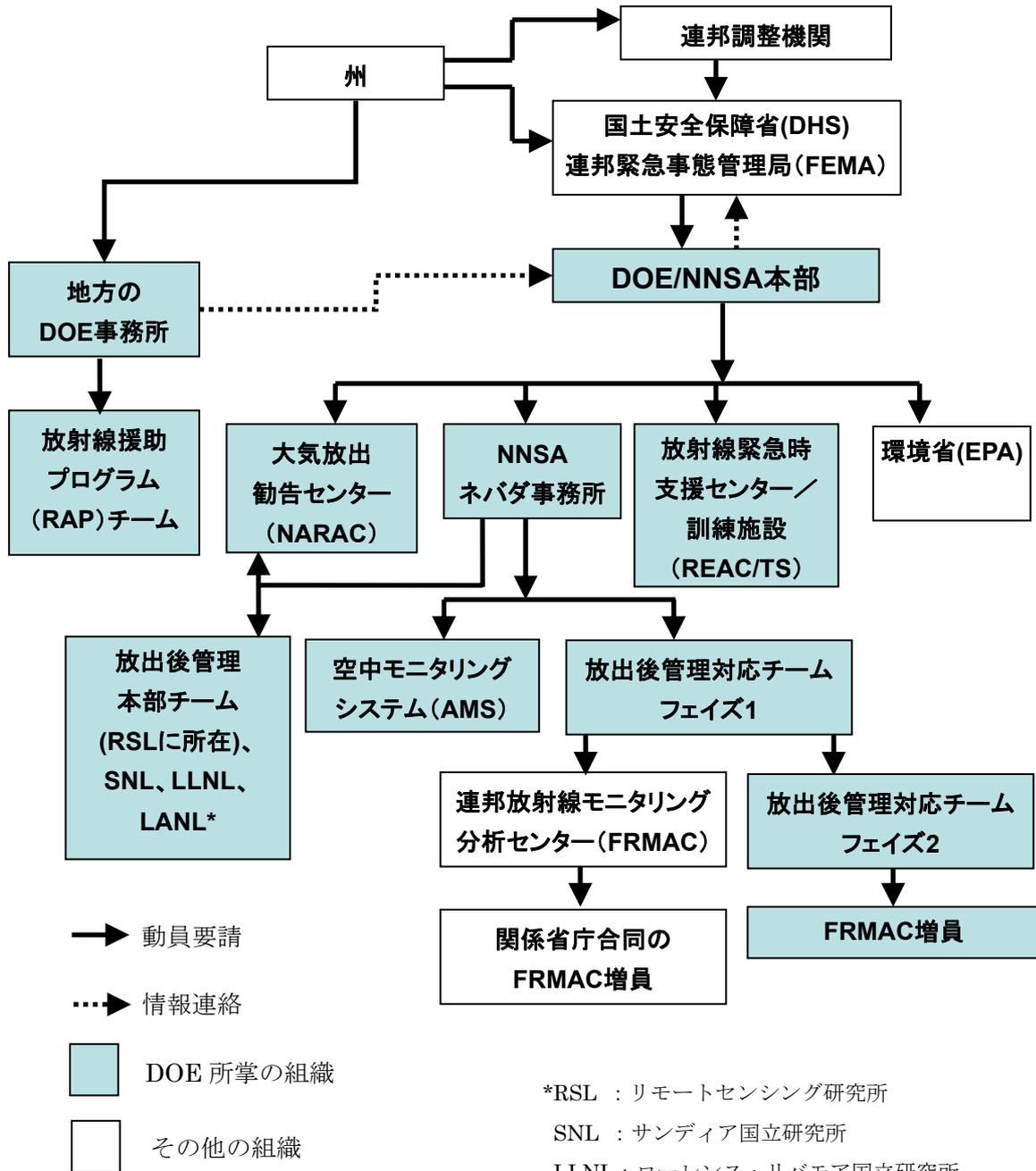
表 4.1 AMS の測定モードと機材、速度、高度、間隔の関係

測定モード	運用機材	時速	高度	間隔
Large area ($\geq 64\text{km}^2$ 注)	固定翼機	260km	150～300m	1.6～8km
Rapid over view	ヘリコプター	150km	150m	800m
Small area ($<64\text{km}^2$ 注)	ヘリコプター	130km	15～90m	30～150m

表 4.2 FRMAC の GIS チームが運用する GIS 資機材

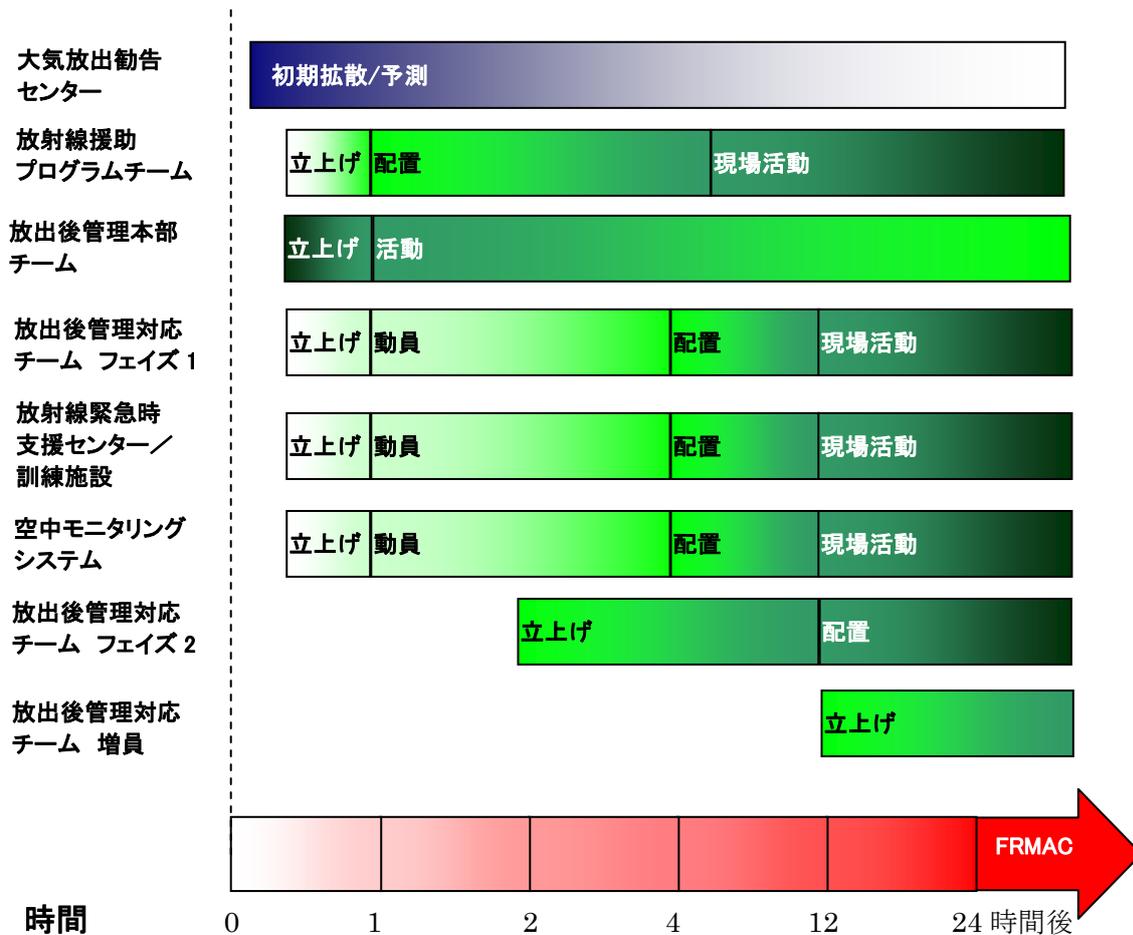
資機材名	個数	備考
ノートパソコン (GIS 用)	2	CMRTI の段階で投入
デスクトップパソコン (GIS 用)	2	CMRT II の段階で投入
GIS 用パソコンサーバー	2	
プリンター	2	地図等出力用
ArcGIS 端末パソコン用ライセンス	4	GIS ソフトウェア
ArcGIS サーバーパソコン用ライセンス	2	GIS ソフトウェア
米国社会基盤設備データベース	—	使用データ
米国基盤地図メモリー	—	使用データ

注 5 マイル四方 (25 平方マイル) の範囲



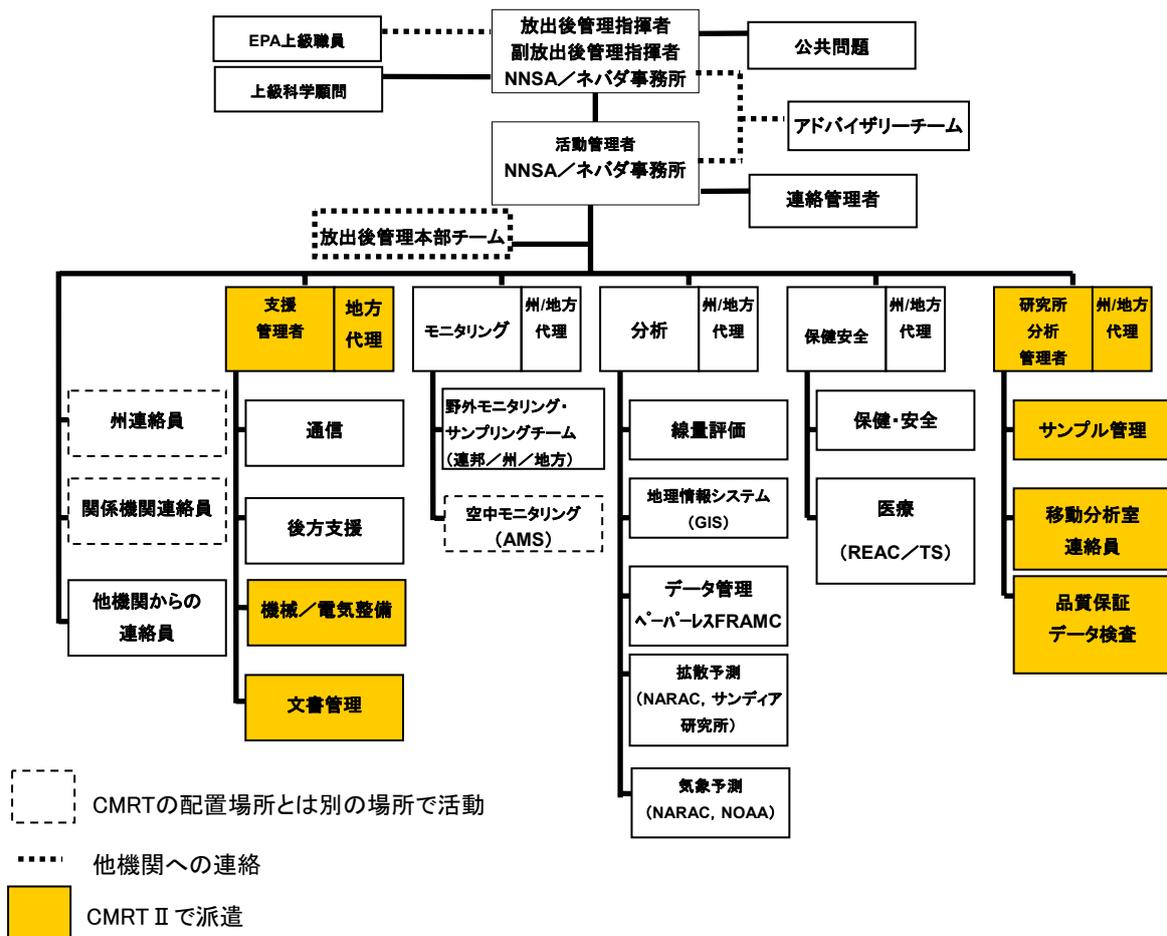
“FRMAC Operations Manual”¹³⁾を基に作成

図 4.1 DOE の緊急時対応に係る連絡等の流れ



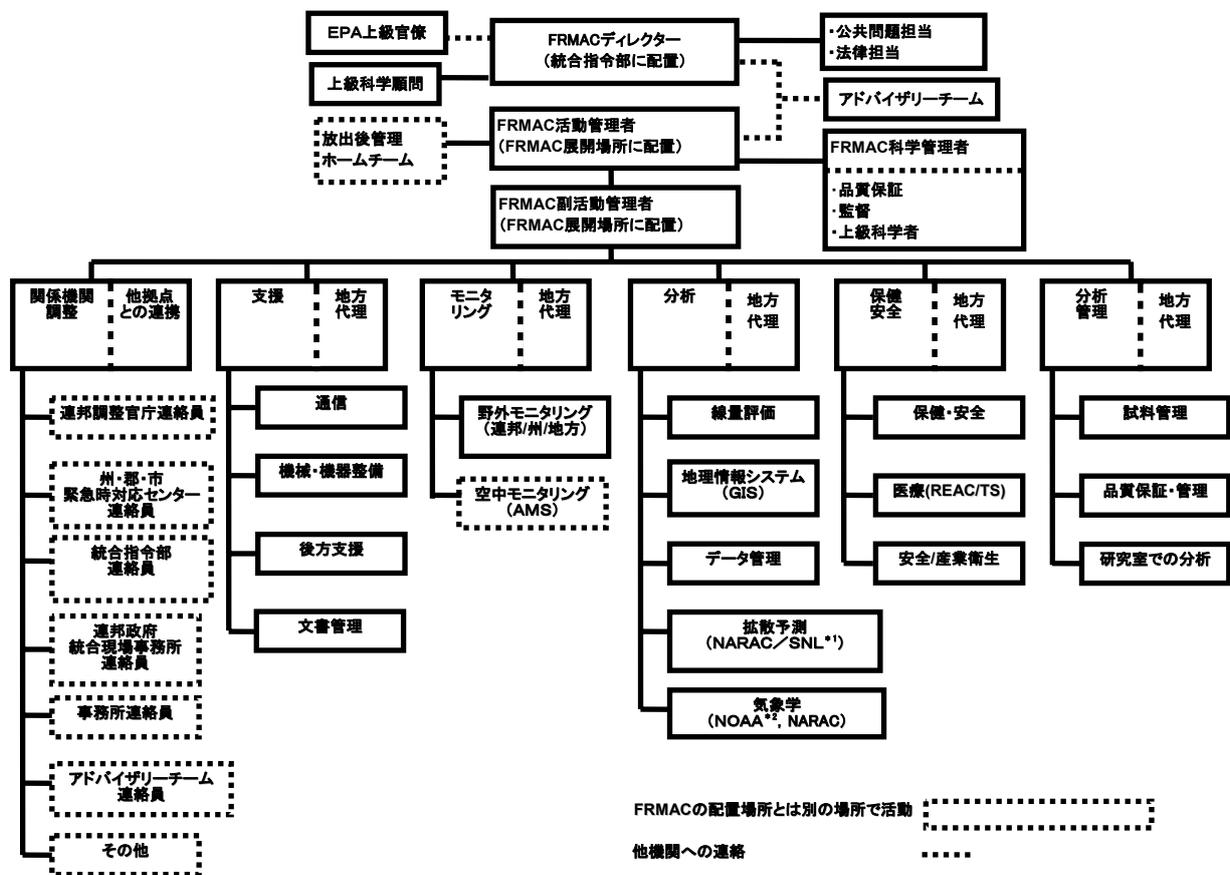
“FRMAC Operations Manual”^[3]を基に作成

図 4.2 放出後管理における立上げ時間の目安



“FRMAC Operations Manual”^[3]を基に作成

図 4.3 CMRT の体制図

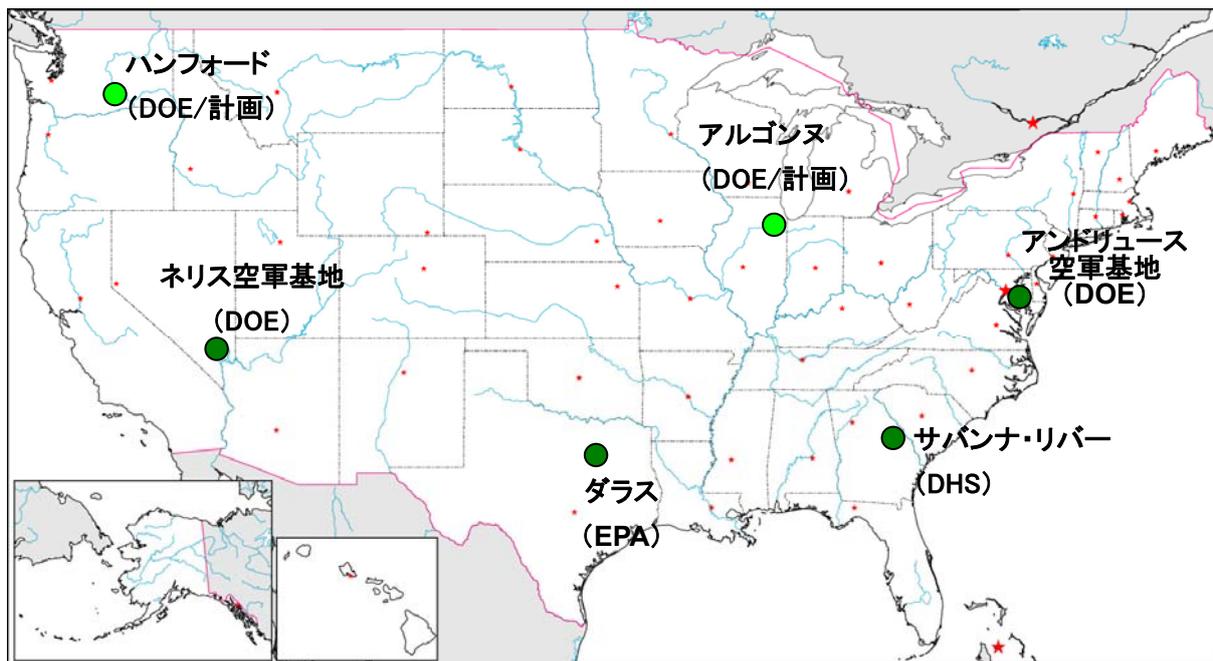


*1 サンディア国立研究所

*2 米国海洋大気圏局

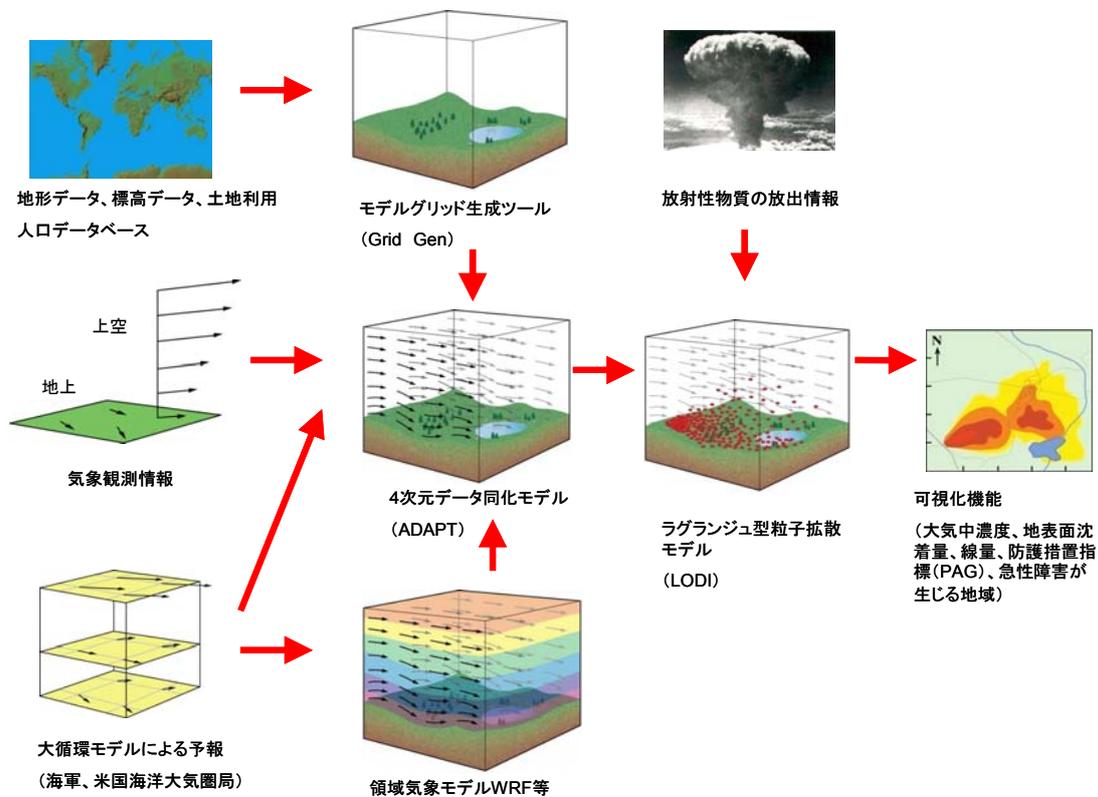
“FRMAC Operations Manual”^[3]を基に作成

図 4.4 FRMAC の体制図



* 括弧内の組織略称は、機材を所管する組織。

図 4.5 AMS 機材の基地



"NARAC/IMAAC overview"^[7]を基に作成

図 4.6 NARAC の大気拡散予測モデルの構成とデータのフロー

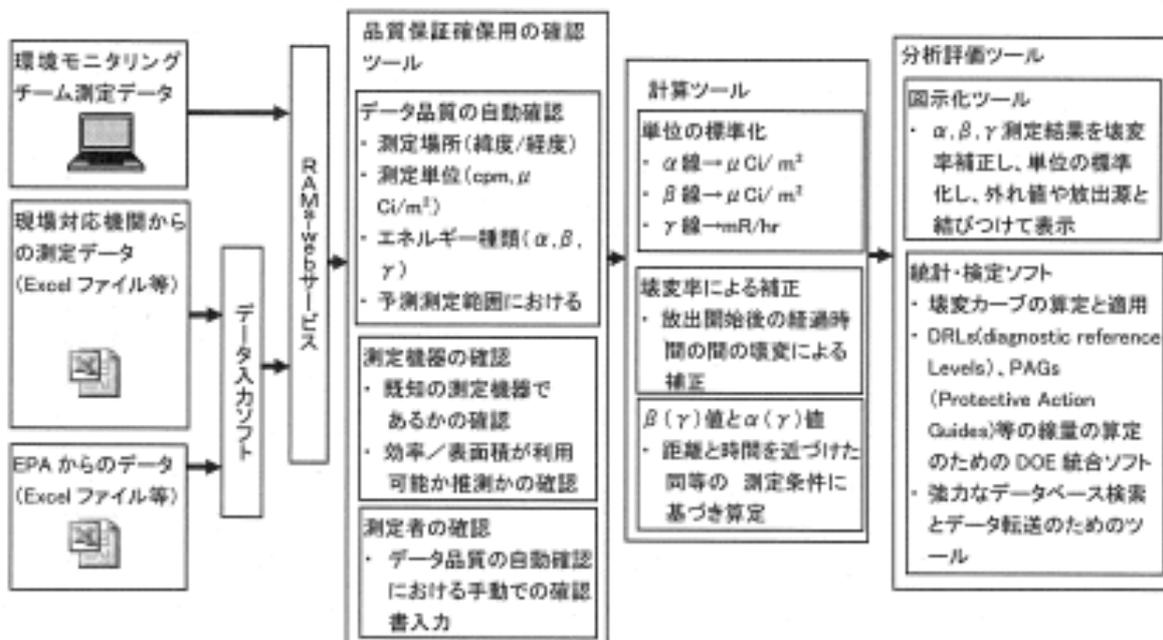


図 4.7 RAMS のデータ分析処理フロー

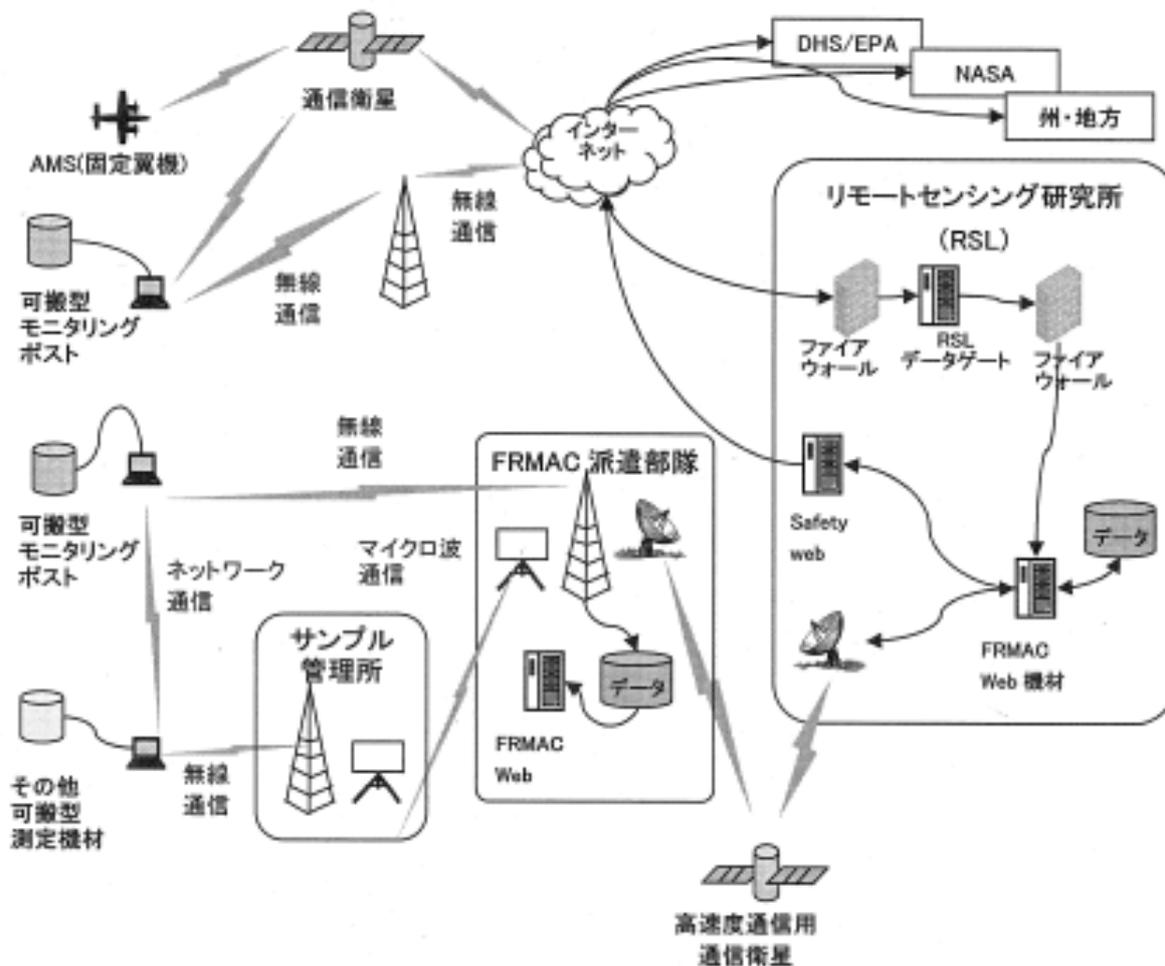


図 4.8 FRMAC における DOE の通信体系

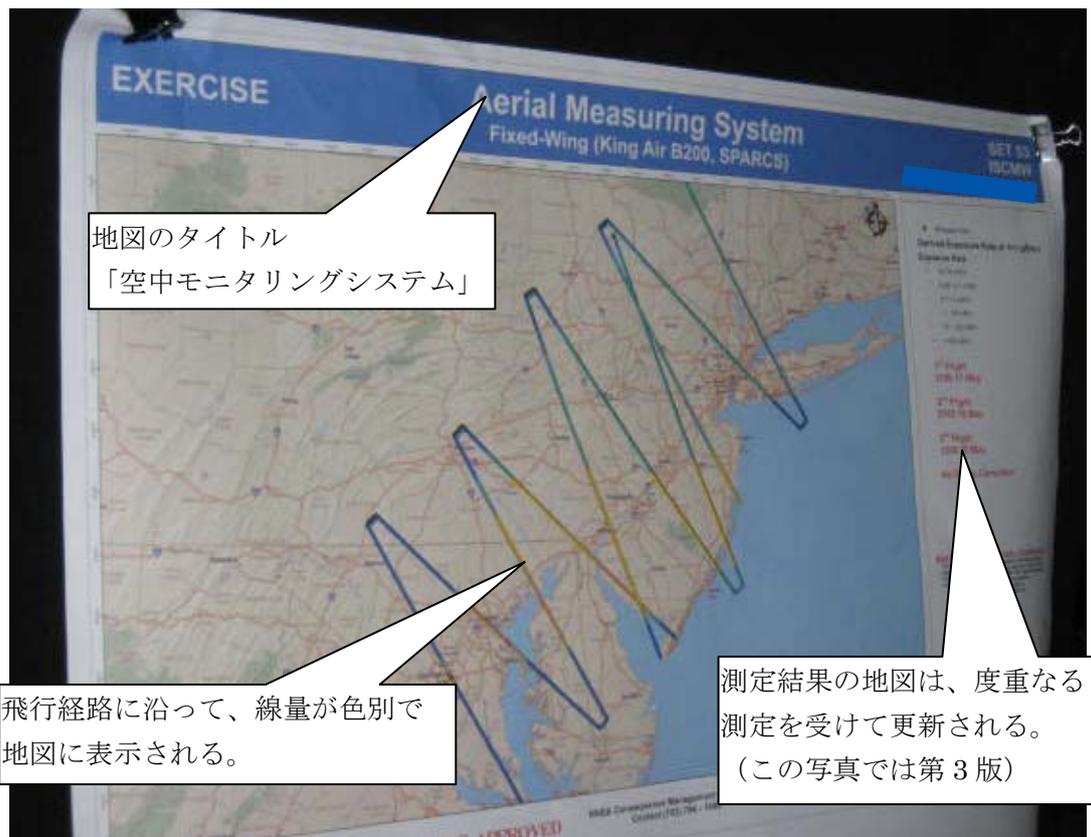


写真 4.1 AMS による測定結果の地図例

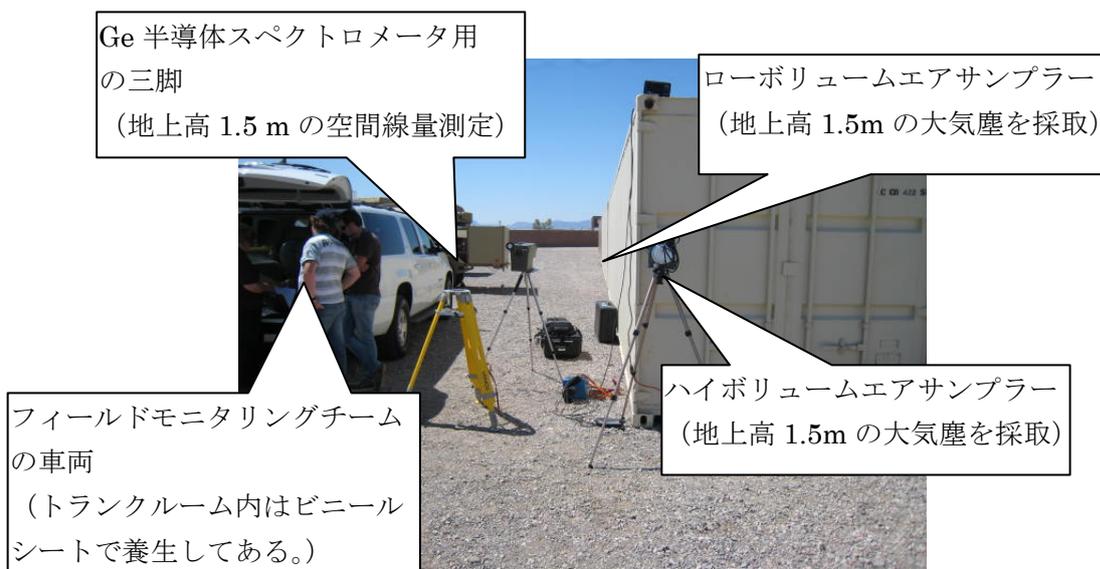


写真 4.2 DOE フィールドモニタリングチームの使用する測定機材

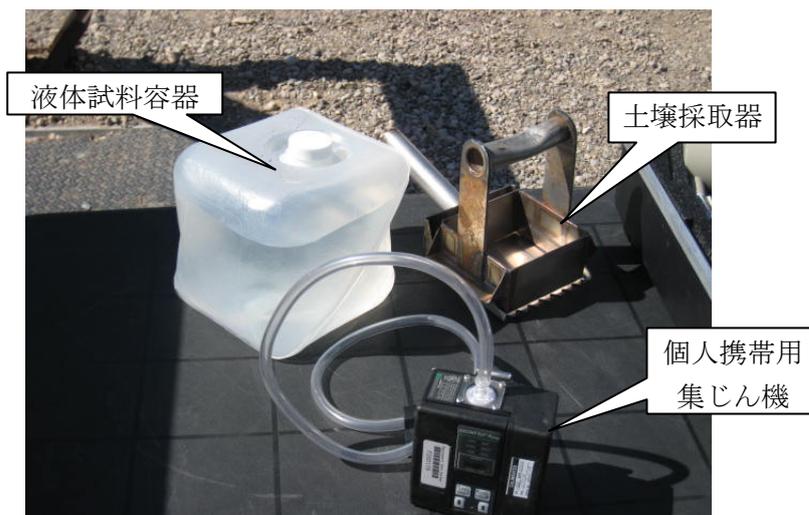


写真 4.3 DOE フィールドモニタリングチームの使用する試料採取用機材

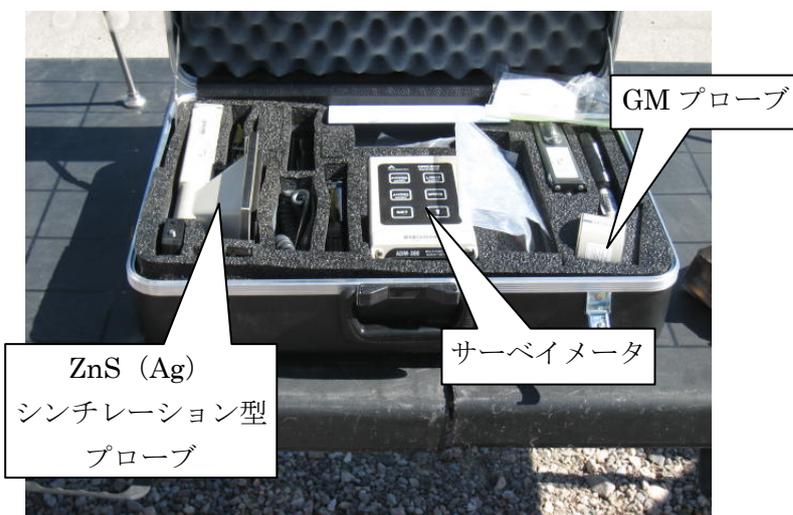


写真 4.4 DOE フィールドモニタリングチームの使用する携帯型計測器



写真 4.5 ゲート型モニター

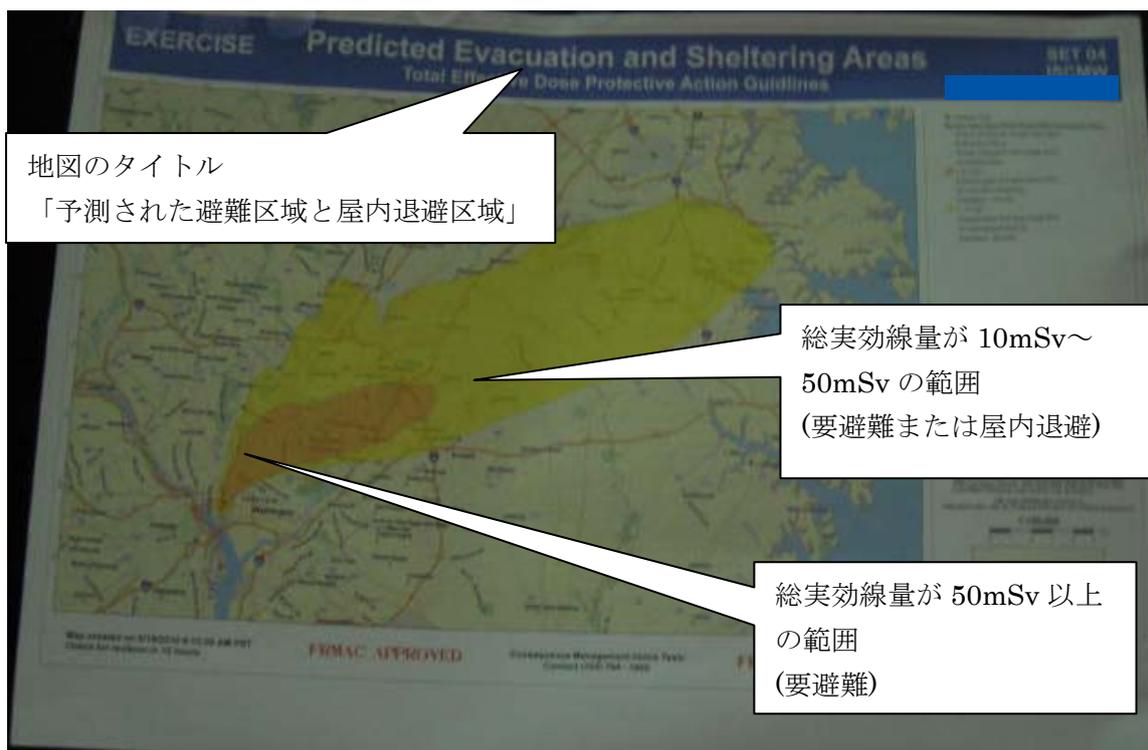


写真 4.6 NARAC に基づく放射性物質の拡散予測結果の地図例



写真 4.7 袋に包まれた環境試料及び環境試料回収用様式



写真 4.8 環境試料受付所



牽引型発電機

可搬型空調設備に
接続

写真 4.9 空飛ぶ分析室の外観



写真 4.10 可搬型フードボックス

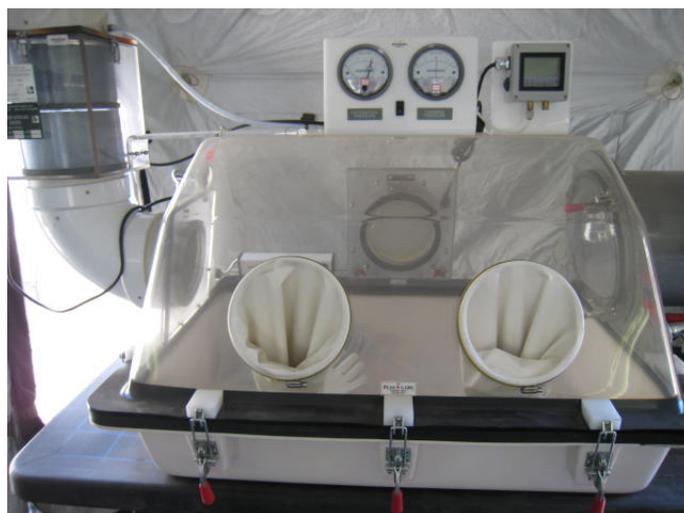


写真 4.11 可搬型グローブボックス



写真 4.12 可搬型液体シンチレーションサーベイメータ



写真 4.13 サンプル保管庫



可搬型
空調設備

写真 4.14 REAC/TS の救護所テント外観



点滴装置

負傷者用折りたたみベッド

屑入れ
(創傷部を拭いた
布等を捨てる)

写真 4.15 REAC/TS の救護所テント内部



このキット内にあるのは
注射器具や点滴器具

写真 4.16 REAC/TS の救護所テント内部に置かれた医療用キット



写真 4.17 REAC/TS の救護所テント内部に置かれた医療用機器

5. 放出後管理に関するリモートセンシング研究所（RSL）の活動

リモートセンシング研究所（以下、「RSL」という。）は、ネバダ州内にある DOE の研究所の一つで、1950 年代に設置された。その後、航空機を使用したリモートセンシング技術の研究開発や原子力緊急事態の事後対応に対応するための世界規模な緊急時システムを構築の開発に貢献しており、近年では、対核・放射線テロの対応活動のための研究開発も実施されている。

また、同研究所は、技術支援機関として、原子力・放射線緊急事態への対応活動にあたることになっている。

本章では、RSL における研究開発事例と緊急時対応活動について述べる。

5. 1 RSL における研究開発の概要

本節では、RSL における研究開発プロジェクトの体制及び RSL で実施された研究開発プロジェクトの内、今回のワークショップで紹介された放射線検出・分析技術の研究開発及び通信機材に関する研究開発の事例を紹介する。

5. 1. 1 研究開発プロジェクトの体制

RSL では、航空機等によるリモートセンシング技術の開発をはじめとして、DOE の対核・放射線テロ、原子力・放射線緊急時対応に使用する機材や技術の研究開発を実施している。2002 年以降、サイト直轄研究開発（Site Directed Research and Development。以下、「SDRD」という。）プログラムに基づき、RSL を含む DOE 傘下の研究所で研究開発プロジェクトが進められている。

SDRD プログラムに基づき、各研究開発プロジェクトは、原則 1 予算年度単位で実施され、研究成果は、レポートとして報告される仕組みとなっている^[10]。また、SDRD プログラムでは、予算の最適利用を重視しており、リスクと成果のバランスを考慮したプロジェクトを目指している。

5. 1. 2 放射線検出・分析技術の研究開発

核・放射線テロに対する国家安全における技術的要求から、RSL においても放射線検出・分析技術に関する研究開発が実施されている。本項では、当該研究開発の事例を紹介する。

(1) 臭化セリウム（CeBr₃）シンチレーション検出器

高分解能を有するシンチレーションγ線検出器として多くの研究機関で開発が行われているもので、RSL でも研究開発を行っている。DOE では、現場での核種同定のため、携帯型のγ線スペクトロメータが配備されているが、精度の高い核種同定が行えるように高分解能の検出器が求められたこと、また、冷却機構等を必要としない軽量な機材^注が求められたことから、この種の検出器の研究開発が行われている。

^注 高分解能の機材として、DOE では、表 3.3 に示す携帯型 Ge 半導体検出器を配備している。同機材は、電気冷却機と一体型で重さが 12kg あること、また、測定可能になるまでに 3 時間程度の冷却時間が必要なこと等の問題点がある。

(2) 外周モニタリングの分析アルゴリズム

対象区域の外周部に設置した放射線検出器の測定結果を基に、対象区域の放射性物質等の分布を類推する方法である。内部に測定機材設置困難な場合（例えば、密閉されたコンテナ、内部に立ち入りできない施設、人が行きかう歩道、港湾の水中等）における線源等の検出に利用することを目的としたものであり、核・放射線テロに対する測定技術の研究開発として注目される。

5. 1. 3 通信機材の研究開発

RSL では FRMAC 活動における本部と現場間のデータ転送を含めた通信を支えるための通信機材の研究開発・整備を実施している。研究成果を基に整備された通信機材の例を紹介する。

(1) 緊急時通信ネットワーク (Emergency Communication Network : ECN)

1992 年に開発・整備された通信ネットワークシステムで、DOE 本部と各拠点や現場との音声、画像、データの通信に利用される。衛星通信をベースとしたシステムで、各端末からデータをセキュアな信号に変換して通信を実施している。また、このシステムにより DOE 本部と最大 72 地点の通信を行うことが可能になっている。

現場で使用する端末装置及びアンテナ等については、可搬できるように設計されており、写車両で牽引可能なタイプの機材と、写真 5.1 に示すような収納ケースに入れて運搬可能な機材の 2 種類が配備されている。

(2) ペーパーレス FRMAC とマルチパス通信端末

ペーパーレス FRMAC は、本部等での意思決定の迅速化を図ることを目的として、現場と本部との情報交換を紙面ではなく電子データで情報の送受信を行うためのシステムである。イベントのデータを端末に入力するほか、接続した検出器の測定データを添付するなどして作成したデータを、送信できるようになっている。

このペーパーレス FRMAC におけるデータ交換のために使う通信体系として開発されたのが、マルチパス通信端末 (Multi Path Communication Device。以下「MPCD」という。) である。

MPCD の特徴は、衛星通信 (ECN と同一のものを使用。) のほか、無線、無線 LAN、インターネット等の複数の通信ラインに対応していることである。MPCD の通信制御装置が、接続可能な通信ラインを自動的に識別し、その通信ラインを利用して通信を実施する。通信されるデータは、ECN 同様、セキュアな信号に変換して送信される。端末本体、通信制御装置、アンテナはトランクケース 1 個に収納して可搬できるようになっており、また、写真 5.2 に示すように、アンテナを車両の屋根に設置して利用することも可能になっている。

5. 2 RSL の緊急時の活動

RSL の緊急時対応チームは、DOE の事故対応グループや FRMAC、原子力緊急時支援チームの活動を支援するため、24 時間体制で召集に応じられる体制になっている。RSL の原子力・放射線緊急事態に関する対応は、次の通りである。

- ① 危機対応及び放出後管理の支援
- ② 緊急時通信ネットワークの提供
- ③ 後方支援、活動の支援
- ④ トレーニングと訓練の計画・実施

特に、航空機を使用したリモートセンシング技術に関して高度な技術を有していることから、空中からの放射線測定・モニタリングに関する分析や GIS システムを活用したマッピング等で、FARMAC における分析に寄与している。

また、RSL が通信機材の開発を実施していることから、先述の ECN やペーパーレス FARMAC の運用支援を担当しており、ECN のオペレーションセンターやペーパーレス FARMA のデータサーバーが RSL 内には設置されている。

5. 3 RSL の研究開発や活動から得られた知見

RSL の研究開発や活動の視察を通じて得られた知見で、本の原子力防災や核・放射線テロ対応体制の参考となる事項を以下にまとめる。

(1) 遠隔モニタリングの機材の研究開発

核・放射線テロで使用される装置の探索のための機材や、放出後管理で環境放射線モニタリングのための機材として、遠隔モニタリング機材が利用されている。これらの遠隔モニタリング機材やそれを用いた測定技術の技術開発が今後求められる。

(2) 緊急時対応のための通信技術の整備

現場、後方、関係機関との情報共有システムの必要性は、4.3 節でも述べた通りである。特に、情報共有のためのシステムに求められる要件で、着目すべき点としては、複数のセキュアな通信網を有し、それらを利用して集められた情報を管理するためのデータサーバーを備えることである。また、通信用の端末も可搬性や複数の通信網を利用可能なシステムであることが求められていた。これは、緊急時の情報共有システムの設計で大変参考になるものである。



写真 5.1 収納運搬型の ECN 機材 (衛星アンテナ)



写真 5.2 MPCD 用アンテナを設置した車両

6. まとめ

2010年5月17日から20日のISCM-WSの視察を通じて、我が国の原子力防災対応や核・放射線テロ対応に参考となる知見を以下にまとめる。

- (1) 隠匿された核爆破装置や放射性物質の効率的な探索、核爆破装置や放射性物質の持込阻止のための遠隔で測定できるモニタリング機材の配備が重要である。また、遠隔測定のための技術開発も重要である。
- (2) 不特定多数の施設や地域を対象に実施した測定結果の地図化や測定結果の再検証のためにGPSによる座標データの取得が重要である。また、測定計画策定の効率化、測定結果の地図作成の迅速化を行うために地理情報システムの活用が有用である。
- (3) 現場対応機関の測定結果が測定した結果を、遠隔地にいる研究機関の放射線測定や放射性物質に関する専門家のもとに送信してフォローする体制が重要である。
- (4) 原子力災害や核・放射線テロに対して、迅速な防護対策の実施のために国の専門家チームも含めた放射線測定や放射線管理のためのチームを派遣する仕組みが重要である。また、その機材、人員を速やかに展開可能にするために空輸や車両による運搬に耐えうる機材の配備や、機材や人員の移動や展開後の維持に必要な後方支援（物資・施設の手配、機器の修繕等）の充実が重要である。
- (5) 原子力施設がない地域で発生した核・放射線テロに伴う環境モニタリングや広域における環境モニタリングのために、航空機による環境放射線測定や、可搬型の装備による環境試料分析やそれを支える体制の整備が有用である。
- (6) 放出後管理時の現場、後方、関係機関との連携を図るために、データ通信も可能な情報共有システムの導入が重要であり、特に現場では、可搬型の情報共有ツールが有用である。

謝辞

ワークショップの視察にあたっては、日本より参加しました独立行政法人原子力安全基盤機構の西田誠志主幹、喜多充調査役には、視察内容の確認などで現地においてお世話になりましたことを感謝いたします。

財団法人原子力安全技術センターの山田正参事、世木田邦生主幹には、視察に関する助言を下さったことを感謝いたします。

大気拡散モデルに関する情報提供をいただきました、原子力緊急時支援・研修センター企画管理グループの中西千佳グループ員、米国の原子力防災体制や核・放射線テロに関する情報提供や助言をいただきました、原子力緊急時支援・研修センター調査研究グループの山本一也サブグループリーダー、渡辺文隆技術主幹に感謝いたします。

参考文献

- [1] The U.S. Department of Health and Human Services: “Radiation Emergency Medical Management (Radiation Event Medical Management), U.S. Dep. of HHS ”, available from <http://www.remm.nlm.gov/index.html> (accessed 2011-02-28)
- [2] The U.S. Department of Homeland Security: “National Response Framework Nuclear/Radiological Incident Annex” (2008)
- [3] The U.S. Department of Energy/NNSA: “FRMAC Operations Manual”, DOE/NV25946-980 (2010)
- [4] The U.S. Department of Energy/NNSA: “FRMAC Monitoring and Analysis Manual, Radiation Monitoring and Sampling Volume2”, DOE/NV11718-181-VOL2 (2005)
- [5] The U.S. Department of Energy/NNSA: “FRMAC Monitoring Division Manual, Volume1”, DOE/NV11718-853-VOL1 (2005)
- [6] 文部科学省科学技術・学術政策局 原子力安全課防災環境対策室: “環境試料採取法”, 放射能測定法シリーズ 16 (1983)
- [7] The U.S. Department of Energy/Lawrence Livermore National Laboratory/National Atmospheric Release Advisory Center: “National Atmospheric Release Advisory Center /Interagency Modeling and Atmospheric Assessment Center Overview (NARAC/INAAC overview)”, available from https://narac.llnl.gov/uploads/NARACIMAAC_OverviewPublic_2010AugRev1.pdf (accessed 2011-01-20)
- [8] U.S. Department of Energy/NNSA: “FRMAC Laboratory Analysis Manual”, DOE/NV11718-852 (2005)
- [9] 原子力安全研究協会: “緊急被ばく医療研修のホームページ”, available from <http://www.remnet.jp/index.html> (accessed 2011-01-20)
- [10] The U.S. Department of Energy: “Laboratory/Plant/Site Directed Research and Development System (LDRD)”, available from <http://www.cfo.doe.gov/majsys/ldrdr.htm> (accessed 2011-01-20)

付録 A ISCM-WS の参加国・機関及び人数

参加国/機関	機関名	参加人数	
		機関別	国別
アルゼンチン	原子力規制委員会	4	4
オーストラリア	オーストラリア放射線防護・原子力安全庁 (ARPANSA)	2	2
ブラジル	原子力専門委員会	3	3
カナダ	カナダ自然資源局	1	3
	放射線防護局	2	
中国	中国国家原子能機構	5	8
	中国輻射防護研究院	1	
	中国核能行業協会	1	
	米国 DOE 中国支局、駐中国米国大使館付 ^注	1	
チェコ	国立放射線防護協会	1	1
デンマーク	デンマーク緊急事態管理局	2	2
フィンランド	内務省	1	1
フランス	フランス原子力庁 (CEA)	5	6
	放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN)	1	
アイスランド	アイスランド放射線安全委員会	3	3
アイルランド	アイルランド放射線防護協会	2	2
イスラエル	イスラエル原子力委員会	4	4
日本	日本原子力研究開発機構	2	4
	原子力安全基盤機構	2	
マレーシア	マレーシア原子力局	1	2
	マレーシア王国警察	1	
メキシコ	エネルギー省環境放射線監視局放射線影響緊急事態担当	2	2
モロッコ	市民防護局	1	6
	最高国防評議会	1	
	外務省	1	
	保健省放射線防護センター	1	
	国立原子力・科学・技術センター	2	
パキスタン	パキスタン政府	4	4
ロシア	国営原子力企業 (ROSATOM)、原子力放射線安全部	3	8
	国営原子力企業 (ROSATOM)、国家機密情報防護部	1	
	サンクトペテルブルグ緊急時対応センター	2	
	全ロシア技術物理研究所 (VNIITF) 緊急時対応センター	1	
	ロシア科学アカデミー (RAS) 原子力安全研究所 (IBRAE)	1	

^注 中国側参加者の通訳として同行

参加国/機関	機関名	参加人数	
		機関別	国別
シンガポール	化学・生物・放射線・爆発防護グループ	1	3
	DSO 国立研究所	2	
スロベニア	スロベニア共和国市民防護災害救援総本部	1	4
	クルシュコ発電所	1	
	スロベニア原子力安全当局	2	
スロバキア	スロバキア原子力規制局	2	2
韓国	韓国原子力安全技術院 (KINS)	2	4
	韓国原子力研究所(KAERI)原子力緊急時準備チーム	2	
スペイン	外務省	1	2
	原子力安全評議会	1	
スウェーデン	防衛研究機関	1	8
	放射線安全当局	7	
スイス	国立緊急時対応局	1	1
イギリス	内務省科学開発局	3	3
国際連合	国際原子力機関 (IAEA)	3	3
米国	パシフィックノースウェスト研究所	1	27
	ロシア語通訳 ^注	2	
	エネルギー省 (DOE)	2	
	国土安全保障省 (DHS)	2	
	国務省	3	
	環境保護庁 (EPA)	3	
	国防省州兵総局	4	
	NNSA (ガイド役)	10	
合計			122

^注 ロシア側参加者の通訳として同行

付録 B 略語リスト

- AMS (Aerial Measuring System) : 空中モニタリングシステム
- CBP (U.S. Customs and Border Protections) : (米国) 税関・国境警備局
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) : (米国) 疾病予防管理センター
- CMRT (Consequence Management Response Team) : 放出後管理対応チーム
- DHS (Department of Homeland Security) : (米国) 国土安全保障省
- DOE (Department of Energy) : (米国) エネルギー省
- ECN (Emergency Communication Network) : 緊急時通信ネットワーク
- EPA (Environmental Protection Agency) : (米国) 環境省
- FBI (Federal Bureau of Investigation) : (米国) 連邦捜査局
- FPS (Federal Protective Service) : (米国) 連邦防護局
- FRMAC (Federal Radiological Monitoring and Assessment Center) : 連邦放射線モニタリング
分析センター
- GIS (Geographic Information System) 地理情報システム
- GPS (Global Positioning System) : 全地球測位システム
- GSA (General Services Administration) : (米国) 連邦政府一般調達局
- IAEA (International Atomistic Energy Agency) : 国際原子力機関
- IND (Improvised Nuclear Device) : 簡易核兵器
- ISCM-WS (International Search and Consequence Management Workshop) : 探索及び放出後
管理に伴う国際
ワークショップ
- LRM (Linear Radiation Monitor) : 線状放射線モニター
- MPCD (Multi Path Communication Device) : マルチパス通信端末
- NARAC (National Atmospheric Release Advisory Center) : 大気放出勧告センター
- NNSA (National Nuclear Security Admistratation) : 核安全保障局
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Admistratation) : (米国) 海洋大気圏局
- NRC (Nuclear Regulatory Commission) : (米国) 原子力規制委員会
- PAG (Protective Action Guide) : 防護措置指標
- RAP (Radiological Assistance Program) : 放射線援助プログラム
- REAC/TS (Radiation Emergency Assistance Center/Training Site) : 放射線緊急事態支援セ
ンター／訓練施設
- RI (Radioactive Isotope) : 放射性物質
- RDD (Radiological Dispersal Device) : 放射性物質拡散装置
- RSL (Remote Sensing Laboratory) : リモートセンシング研究所
- SDRD (Site Directed Research and Development) : サイト直轄研究開発
- SMC (Search Management Center) : 探索管理センター
- SPARCS (Spectral Advanced Radiological Computer System) : スペクトル先進放射線
コンピューターシステム
- SRT (Search Response Team) : 探索チーム

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角速度	ニュートン毎メートル	N/m
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電表面電位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電束密度, 電気変位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
誘電率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
透磁率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎キログラム	J/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

