

IAEA-TECDOC-1092

NIRS-M-179
ISBN 4-938987-28-7

原子力あるいは放射線緊急事態における モニタリングの一般的手順

放射線医学総合研究所
緊急被ばく医療研究センター
線量評価研究部 訳



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

IAEA
1999年6月

The originating Section of this publication in the IAEA was:

Radiation Safety Section
International Atomic Energy Agency
Wagramer Strasse 5
P.O.Box 100
A-1400 Vienna, Austria

GENERIC PROCEDURES FOR MONITORING IN A NUCLEAR
OR RADIOLOGICAL EMERGENCY
IAEA, VIENNA 1999
IAEA-TECDOC-1092

©IAEA, 1999

Printed by the IAEA in Austria
June 1999

序文

放射線緊急事態時の対応において最も重要なのは、防護措置の必要性を迅速かつ適正に評価する能力である。事故対応時において防護措置を行う場合には、入手した関連情報の中から鍵となる情報を利用しなくてはならない。意志決定及び事故評価は、より詳細で完璧な情報が利用可能になるに従って、初期の評価を修正する繰り返しのダイナミックな作業である。緊急時のモニタリングが必要な情報を得るための主要な情報源のひとつとなる。

この出版物は、**Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency** : 原子力事故あるいは放射線緊急事態時の援助に関する協定 (**Legal Series No.14**) の範疇にあり、その規定の中で IAEA は加盟団体あるいは加盟国に対して、さまざまな事柄の中で、適切な放射線モニタリングプログラム、手順、基準の作成を援助する権限が与えられている (第5項)。

このマニュアルの包括範囲は、原子力及びその他の放射線緊急事態時における環境及び線源モニタリングのための実務ガイダンスに限られている。これは緊急時対応準備について述べるものではなく、事故評価の緊急時対応分野について網羅するものでもない。これらの分野は **Method for the Development of Emergency Response Preparedness for Nuclear or Radiological Accidents** 原子力及びその他の放射線事故への緊急対応準備体制確立の方法 (IAEA-TECDOC-953)、 **Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency** 原子力及びその他の放射線事故時の介入基準 (**Safety Series No.109**)、 **Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions During a Reactor Accident** 原子炉事故時の防護措置決定のための包括的評価手順(IAEA-TECDOC-955)等を含む他の IAEA 出版物で扱われている。このマニュアルでは原子力施設における事故後の施設内モニタリングは扱っていない。

この出版物に掲載した手順とデータは正確であるようにと適切な配慮をはらって準備されたものである。しかしながら、現在、進行中の改訂作業の一環として、詳細な品質管理チェック中であり、コメントを歓迎する。そして、より詳細なレビューのために必要な一定期間の後に、IAEA は継続的な改良の一過程としてこの文書を改訂することとなるであろう。その間、この情報が利用者の目的にとって正しく、適切であることを確認する責任は利用者にある。このマニュアルには多数の一般的な手段が利用されている。ゆえに、使用に先立って、その内容を注意深く検討して採用することが強く望まれる。

IAEA はこの出版物の作成とレビューに助力頂いたメンバー国の専門家の貢献に感謝する。IAEA のコンサルタント **R. Martinčič** 氏は **scientific secretary** であり、放射線と廃棄物安全部の **M. Crick** 氏はこの出版担当の IAEA オフィサーである。

IAEA は、本刊行物の翻訳、出版、印刷に関する、正確さ、品質、信憑性あるいは出来ばえに関し、なんらの保証も責任も負わない。また IAEA は、本刊行物の使用により直接的あるいは間接的に生じるいかなる損失あるいは損害についても、一切の責任を負わないものとする。

放射線医学総合研究所
緊急被ばく医療研究センター
線量評価研究部 編纂

翻訳出版に際して

放射線医学総合研究所は、緊急被ばく医療体制強化のため2003年3月に緊急被ばく医療研究センターを再編し、それまでの被ばく医療部に加えて線量評価研究部をセンター内に設立した。この線量評価研究部においては、緊急被ばく時に必要となる線量評価を迅速かつ正確に行える体制確立のためこれまで努力を行ってきた。その取り組みの一環として、研究部をあげて関連報告書の輪読を行っている。今回、放射線医学総合研究所のレポートとして出版するこの報告書はIAEAにおいて検討されている放射線緊急事態に関する一連の報告書のひとつである。当研究部職員が順番に翻訳を担当し、その訳文を研究部全体で検討・吟味し作成したものである。

この日本語訳は我々のみならず、わが国の放射線緊急事態対応に取り組んでおられる方々のお役に立てばとIAEAから日本語訳の出版許可を得て、ここに出版するものである。

広く皆様に活用いただければと願っております。

平成17年3月1日
藤元憲三
緊急被ばく医療研究センター長
(併) 線量評価研究部長

翻訳を担当した職員の名簿を下記に記載する。

緊急被ばく医療研究センター
線量評価研究部

計測技術開発室

鈴木 敏和
金 ウンジュ
矢島 千秋

微量分析研究室

白石久二雄
サファー サラタ クマール

体内挙動研究室

西村 義一
渡辺 嘉人
武田 志乃

物理線量研究室

石樽 信人
仲野 高志
松本 雅紀
榎本 宏子

生物線量研究室

吉田 光明

目 次

緒論	9
内容の範疇	9
緊急モニタリングの目的	10
報告書の構成	10
モニタリングの概要	11
モニタリング組織	11
緊急モニタリングとサンプリングの設計	11
小規模の事故	14
中・大規模事故	16
スタッフの資格	16
測定機器	19
移動実験室	24
航空機サーベイ	27
緊急チーム防護活動ガイド	28
品質保証と品質管理チェック	29
A節 野外放射線及び汚染モニタリング	
手順 A0: 放射機器品質管理調査	35
手順 A1: プルーフの調査	37
手順 A2: 大地沈着サーベイ	40
手順 A3: 環境の線量測定	42
手順 A4: 線源モニタリング	45
手順 A5: 表面汚染のサーベイ	49
手順 A6: 航空機モニタリングによる汚染サーベイ	55
手順 A6a: 航空機モニタリングのためのスペクトロメータ校正	63
手順 A7: 航空機サーベイによる線源モニタリング	66
手順 A8: 個人モニタリング	73
手順 A8a: 個人線量評価—外部	75
手順 A8b: 甲状腺のモニタリング	78
手順 A8c: 個人汚染モニタリング	80
手順 A8d: 個人除染モニタリング	84
手順 A9: 緊急隊員個人防護手引き	87
B節: 野外サンプリング	
手順 B1: 空気サンプリング	93
手順 B2: 土壌サンプリング	96
手順 B3: 水サンプリング	99
手順 B4: ミルクサンプリング	102
手順 B5: ヒトの食物サンプリング	104
手順 B6: 飼料用牧草のサンプリング	106
手順 B7: 堆積物サンプリング	108
C節: グロスアルファ/ベータ計測	
手順 C1: 空気・水サンプルのグロスアルファ/ベータ計測	113
手順 C1a: エアフィルタのための比例計数器の校正	117
手順 C1b: 水サンプルのための比例計数管の校正	119
手順 C1c: アルファ線/ベータ線比例計数管の品質管理チェック	122
D節: ガンマ線スペクトロメトリー	
手順 D1: In-situ ガンマ線スペクトロメトリー	127
手順 D1a: In-situ 測定のためのスペクトロメータ校正	132

手順 D1b:	緊急事態における迅速校正法	138
手順 D2:	実験室ガンマ線スペクトロメトリー	140
手順 D2a:	エネルギー校正	144
手順 D2b:	効率校正	146
手順 D2c:	緊急事態における迅速校正法	151
手順 D3:	スペクトロメータの品質管理チェック	152
手順 D4:	サンプル調整	154

E節: 放射化学分析

手順 E1:	単純蒸留法によるトリチウム分析	159
手順 E1a:	液体シンチレーションカウンタの校正	163
手順 E1b:	液体シンチレーションカウンタの品質管理チェック	165
手順 E2:	ストロンチウム分析	167
手順 E2a:	液体シンチレーションカウンタの校正	170
手順 E2b:	液体シンチレーションカウンタの品質管理チェック	172
手順 E2c:	サンプルの前処理	173
手順 E2d:	ストロンチウムの精製—硝酸法	177
手順 E2e:	ストロンチウムの精製—抽出クロマトグラフィ法	180
手順 E2f:	ストロンチウムのための樹脂カラムの準備	182
手順 E3:	プルトニウム分析	183
手順 E3 a:	アルファスペクトロメータの校正	185
手順 E3b:	スペクトロメータの品質管理チェック	187
手順 E3c:	サンプル調整	188
手順 E3d:	プルトニウム分離のためのイオン交換カラム	194
手順 E4:	アメリシウム/キュリウム分析	195
手順 E4a:	サンプル調整	198
手順 E4b:	アメリシウム/キュリウムのためのTRU樹脂カラム	200
手順 E4c:	アメリシウム/キュリウムのためのTEVA樹脂カラム	201

F節: 基本的なデータ評価

手順 F1:	野外モニタリングデータ評価	205
手順 F2:	放射性核種濃度データ評価	206

ワークシート

ワークシート A0:	計測器品質管理チェック記録	211
ワークシート A1:	周辺線量率記録	212
ワークシート A2:	環境モニタリングのためのTLD野外データシート	213
ワークシート A3:	線源モニタリングデータシート	214
ワークシート A4:	汚染サーベイデータシート	215
ワークシート A4a:	車搭載汚染サーベイデータシート	216
ワークシート A5:	個人線量計記録	217
ワークシート A6:	個人汚染コントロール記録	218
ワークシート A7:	個人除染記録	219
ワークシート A8:	地表汚染のための航空機サーベイ結果	220
ワークシート A9:	線源モニタリングのための航空機サーベイ結果	221
ワークシート B1:	空気サンプリング記録	222
ワークシート B2:	土壌サンプリング記録	223
ワークシート B3:	水サンプリング記録	224
ワークシート B4:	ミルクサンプリング記録	225
ワークシート B5:	ヒトの食物サンプリング記録	226
ワークシート B6:	飼料用牧草のサンプリング記録	227
ワークシート B7:	堆積物サンプリング記録	228

ワークシート C1: 空気と水のグロスアルファ/ベータ測定結果	229
ワークシート D1: In-situガンマ線スペクトロメトリ結果	230
ワークシート D2: ガンマ線スペクトロメトリ結果	231
ワークシート E1: トリチウム分析結果	232
ワークシート E2: ストロンチウム分析結果	233
ワークシート E3: アルファ線スペクトロメトリ結果	234

測定器チェックリスト

チェックリスト A0: すべてのチームに共通の測定機器	237
チェックリスト A1: 環境サーベイチーム用機器	238
チェックリスト A2: 個人モニタリングと除染チーム用機器	239
チェックリスト A3: 航空機サーベイ用機器	240
チェックリスト B1: 空気サンプリングチーム用機器	241
チェックリスト B2: 環境・食物サンプルサンプリングチーム用機器	242
チェックリスト D1: In-Situガンマ線スペクトロメトリチーム用機器	243

付録

付録 I: モニタリングチーム案	247
付録 II: 測定機器	249
付録 III: 全地球測位システム	251
付録 IV: 放射性核種データ	252
付録 V: 作業介入レベル	266
付録 VI: サンプリング計画と方法	268

文献	279
----------	-----

用語解説	281
------------	-----

記号	293
----------	-----

略語	295
----------	-----

草案作成者と論評者	297
-----------------	-----

索引	301
----------	-----

表のリスト

表 A1:	一般的な皮膚と衣服の作業介入レベル	82
表 A2:	個人の除染ガイド	86
表 A3:	積算外部ガンマ線量として表現した救急隊員退却線量指針のデフォルト値	89
表 D1:	効率校正にしばしば用いられる放射性核種のリスト	147
表 E1:	ストロンチウム分析における特有パラメータ	167
表 E2:	プルトニウム分析における特有パラメータ	183
表 E3:	Am/Cm分析のための特有パラメータ	195
表 I1:	モニタリングチーム案、スタッフ数、必修訓練	248
表 III:	測定機器の主な分類の概要	250
表 IV1:	アルファ線放出核種	253
表 IV2:	ベータ線放出核種	253
表 IV3:	ガンマ線放出核種	254
表 IV4:	Geスペクトロメータで計測したスペクトルに見られるバックグラウンド ガンマ線エネルギー	257
表 IV5:	エネルギーで示したガンマ線のエネルギーリスト	258
表 IV6:	ガンマ線スペクトロメトリにおける考えられる妨害	262
表 IV7:	種々の原子力事故時に放出される特有の放射性核種	264
表 IV8:	原子炉事故時に放出される特有のガンマ放出核種	265
表 VI:	原子炉事故時における作業介入レベル(OIL)	267

図のリスト

図 1:	一般的な環境とおよび線源モニタリング構成	13
図 2:	モニタリング戦略	14
図 3:	緊急時モニタリングとサンプリングのための決定順序	15
図 4:	放射線モニタリング機器	20
図 A1:	汚染の検出に使用する時のパンケーキグローブの持ち方として推奨する方法	54
図 A2:	航空機ガンマ線スペクトロメトリシステムの例	62
図 A3:	放射性核種が表面分布のときのさまざまな飛行高度に対する光子エネルギーの関数 として示した幾何学的係数 ϕ/A_s	65
図 A4:	放射性ヨウ素取り込みに対する甲状腺のスキヤニング	79
図 A5:	身体検査の手法	81
図 D1:	in-situガンマ線スペクトロメトリーを行う野外の典型的な場所	129
図 D2:	光子エネルギーの関数で表した表面線源分布の場合の地上1mに対する ϕ/A_s	133
図 D3:	相対効率22%のGe検出器に対する典型的な応答係数	135
図 D4:	Ge検出器の角度相関係数	137
図 D5:	Geガンマ線スペクトロメータおよびNaI(Tl)ガンマ線スペクトロメータの典型的な 効率曲線	148
図 E1:	トリチウム分析用の蒸留装置	160
図 E3:	電着槽の例	192
図 E2:	プルトニウム分析の場合の全体工程表	193

緒 論

この出版物は最近の IAEA-TECDOC [1, 2, 3]のシリーズの 1 つであり、原子力或いは放射線事故への緊急時計画と準備と対応のための手引きを提供するものである。

この出版物の目的は原子力または放射線緊急事態における環境、線源、人および機材のモニタリングの実質的なガイダンスを提供することである。

- (a) このマニュアルは既存の緊急時対応と事故評価組織と資源を発展させるための計画を立てる過程において再検討し改訂する必要がある。多くの基本的なモニタリングの原則は同じものとして残るであろうが、測定機器の詳細は変わるだろう。
- (b) このマニュアルはこのマニュアルの使用について教育、訓練された隊員によってのみ使用するものである。
- (c) 手順のステップは実行されるべき一般的な順番に掲載されている。しかし、多くの場合、順序から外れてステップを実行することは可能である。したがって、それを適用する前に各手順を徹底的に読んでほしい。
- (d) 手順は、品質保証必要条件と矛盾がない形式で書かれている。

この出版物は、「原子力事故あるいは放射線緊急事態の援助についての協定[4]」の範疇にある。

内容の範疇

このマニュアルは原子力または他の放射線緊急事態対応における放射線モニタリング、環境サンプリングおよび実験室分析に対する技術的必要条件と手順を提供する。そのような内容のものとして、このマニュアルの内容は測定技術とサンプリング技術、測定機器の仕様および職員資質、さらなる解釈および分析を進めるための測定結果の記録に限定される。このマニュアルは詳細なデータ判断或いは線量評価をするために企画されてはいない。それらの項目は[2,3]に含まれる。また、介入基準[5]を含むものでもない。しかし、むしろ職員が野外、実験室のどちらにおいても測定を遂行するための手引きを与えるものである。

事故は重大な原子炉事故から少量の放射性物質が関連する事故までの範囲をカバーしている。敷地外へ影響をもたらす大事故の場合にはマニュアルは敷地外モニタリングを中心とする。施設内のモニタリングについては扱っていない。従って、このマニュアルは環境サーベイチーム、空気サンプリングチーム、in-situ γ線スペクトロメトリーチーム、個人モニタリングあるいは個人除染チーム、そして同位元素分析チームのためのガイダンスを提供している。それぞれの緊急計画のカテゴリーに対して推奨されるチームの提案すべき最少人数が付録 I に示してある[1]。

緊急モニタリングの目的

緊急モニタリングの目的は

- (a) 事故の分類のための情報を提供する。
- (b) 作業介入レベル（OILs）に基づく防護活動および介入を講ずる必要性に関して意思決定者を支援する。
- (c) 汚染拡大防止を支援する。
- (d) 緊急作業者の保護のための情報を提供する。
- (e) 放射線緊急事態に起因する危険のレベルと程度に関する正確でタイムリーなデータを提供する。
- (f) 危険の広がりと持続期間を決定する。
- (g) 危険の物理的、化学的特徴の詳細を提供する。
- (h) 除染処置等のような救済処置の効率を確認する。

報告書の構成

このマニュアルは、重大な原子炉事故を優先する順位順に測定に関係のある節から構成されている。すなわち、

- ・ プルーム、大地沈着あるいは線源からの周辺 γ/β 線線量率
- ・ 空気中の放射性核種濃度
- ・ ^{131}I と ^{137}Cs そして他の重要な放射性核種に対する沈着マップ
- ・ 沈着物中の放射性核種の混合
- ・ 食品、飲料水および他のサンプル中の放射性核種濃度

緒論の節は緊急モニタリングとサンプリング計画の設計、モニタリングチームの資格およびチーム員の訓練、モニタリングの機器と機器使用法、緊急モニタリングチームのための防護活動と品質保証および品質管理チェックの概要を規定した。

A節では野外放射線モニタリングと汚染モニタリングの詳細を扱う。B節では野外サンプリングを取り扱う。C節ではグロス α とグロス β の測定のための必要条件を説明する。D節では γ 線分析、E節では放射化学分析の手順、F節では基本的なデータ評価を記載する。

幾つかの作業計画表、機器チェックリストや付録は緊急時モニタリングに適応できる実例や有益なデータを表示して手順を支えるものを提供している。

注釈

このマニュアルの中の適切な項目を見つけるため次の3つの方法がある。

- (a) 図1を用いることによる一般的なモニタリング組織、
- (b) 目次
- (c) 索引を用いるキーワード

モニタリングの概要

モニタリング組織

多くの公式な組織および団体は様々な目的のために環境放射能と放射能汚染レベルを日常的に監視している。そのような組織を同定し、装置や訓練された人員についてその組織の持っている資源を認識し、またそれらの支援を求めることは緊急時計画において重要である。対応がとれる機関は、可能なときはいつでも放射線事故の場合に備えて定期的に練習あるいは訓練するべきである。

このマニュアル中の一般的なモニタリング組織は緊急時対応の準備[1] と原子炉[3] あるいは他の放射線事故評価[2]のためのマニュアル中の組織と対応計画に基づいている。図1は上述した出版物に対応する一般的モニタリング組織と機能の概要を示している。

緊急モニタリングとサンプリング計画の設計

緊急モニタリングとサンプリング計画の設計は確立された初期目標によって決定される(図2)。それは最初に答えを要求する質問を提示し、次に資源として必要なもの(専門家人員、機器および実験施設)を定めるプログラムを作成することが必要である。

緊急モニタリングプログラムの作成においては、既存の能力および技術的な専門知識を確認する必要がある。重要な構成要素が見当たらず明白に定義された必要なものがあるならば、そのような専門知識や能力は確立され、開発される必要がある。対応する機関および技術的な専門家の任務および責任を確認し、かつ各アプリケーションあるいは職務の標準操作手順を設定することはこの過程において重要である。モニタリング能力開発に責任をもつものは、さらに動員と反応時間を短くするために能力および資源を共有するように他の管轄との提携あるいは相互扶助協定の設立を考慮するべきである。

原子炉あるいは放射線事故の間および直後には、対応すべき資源は極度に無理を強いられるだろう。そして、追加援助が確保されるまで、それらの資源が出来るだけ有効かつ効率的に用いられることが非常に重要である。最初は、全ての入手可能な気象情報およびモデル予測を、放射性物質の放出により人々への影響が生じる地理的なエリアを決定するために使用されるべきである。モニタリングとサンプリングとしての優先順位には、影響を受けている地域が住宅地域、農地、田舎、商用地域なのか、また、産業活動、公共事業および経済基盤を特徴つけている地域であるか地域の構成を考慮に入れるべきである。人々、家畜、作物、水道設備などへの付加的な防護処置の必要性や水と食物の使用禁止および必要不可欠な経済基盤のメンテナンスあるいは復旧の必要性は、作業介入レベルおよび他の要因に基づくべきである。

初期対応において特に対応資源が限られている場合、影響を受けた地域が本当に「汚い」かの判定は定量分析より優先するべきである。

深刻な原子力災害では、広範囲（100～1000 km²）の迅速なモニタリングが必要になってくるだろう。そのために、初期モニタリングとプルーム追跡のため、原子力発電所（NPP）周辺に自動計測所を整備することが一般的に推奨される。そして自動計測所では継続的な計測がなされ環境中の線量率が緊急センターに継続的に送信される。もし、計測所が空気中浮遊粒子及びガス状ヨウ素をも測定することが可能であればさらに良い。予め選んでいたサンプリング地点を記載した地図（少なくとも原子力発電所の周辺50カ所）もまた準備されるべきである。発生源や気象条件などを考慮に入れた放射性プルーム拡散のコンピューターモデリングはモニタリングの優先度を明らかにするのに役に立つ。最も汚染されると予想される人口密集地域は優先的にモニタリングされるべきである。

放出される放射性核種の組成は原子炉事故のシナリオに依る。揮発性の放射性核種である¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I, ¹³¹Te, ¹³²Te, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ruおよび希ガスは極めて高い確率で放出される。事故後数日および数週間の線量の最も大きな部分は¹³²I, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹⁰³Ru, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴¹Ceのような短寿命放射性核種から来る。このことはモニタリングの準備とサンプリング計画において考慮すべきことである。

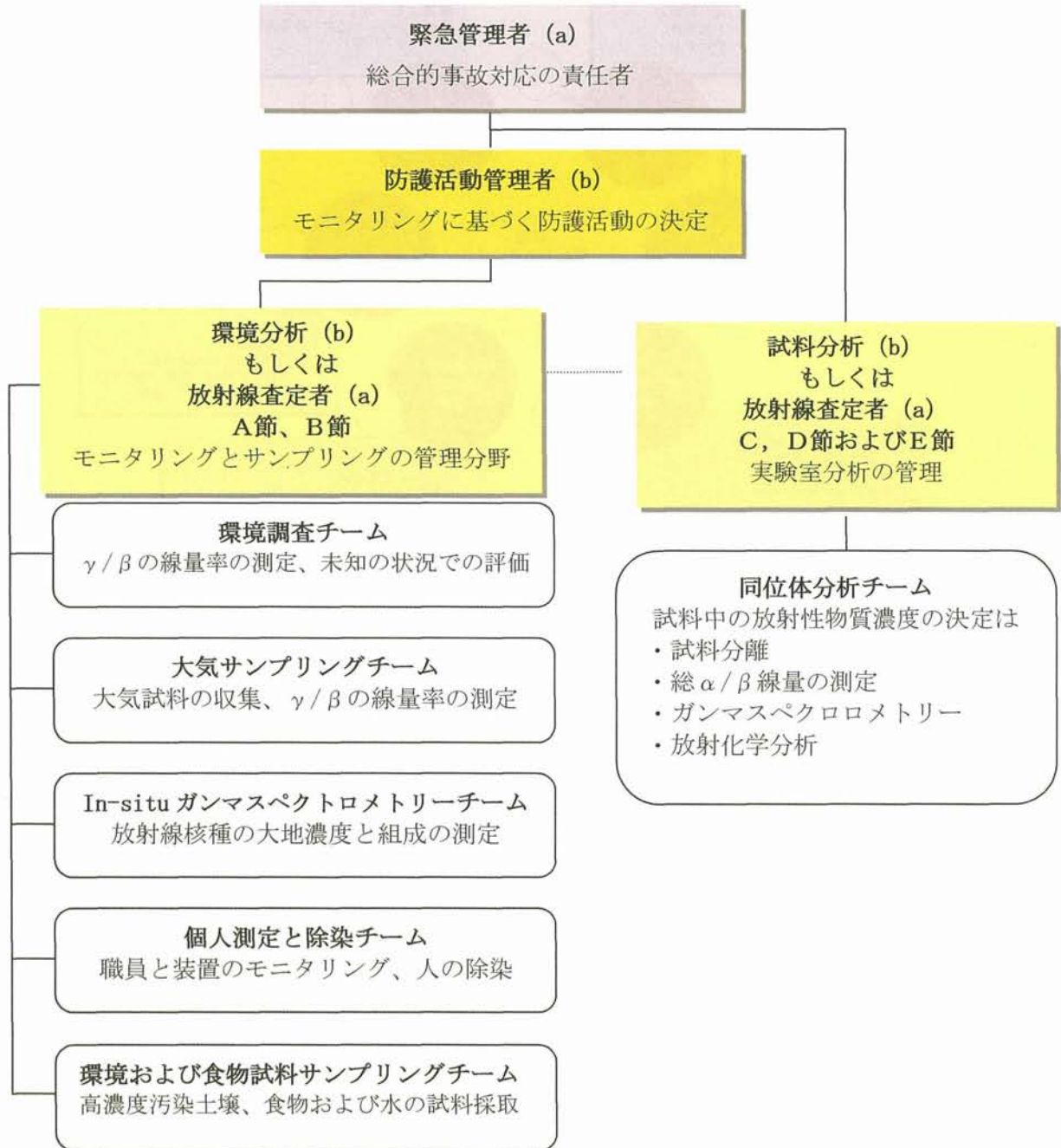
緊急モニタリングとサンプリング計画の設計は予想される事故の大きさと放射線緊急事態対応のための適格なチームの利用可能性によって決定される。

図3の中の決定順序は、緊急モニタリングおよびサンプリング対応を決定する質問の順序を図示している。

*放射線防護の職員は放射能レベルがバックグラウンドを越えた、いかなる場所でも放射線事故による「影響を受けた」エリアであると決定してしまう傾向があるとの無理もない政治的懸念が存在する。これは厳密な科学上の定義において真実かもしれないが、社会的、経済的影響を考えると、それは極端に保守的すぎる。この意味では、「汚い」エリアとは、人に対する潜在的に有害である当面の被ばくを回避するために介入が要求されるレベル以上の周辺放射線レベルを示す地域にすべきである。それら以外の地域、放射線レベルがある程度のバックグラウンド以上にあるかもしれないが、(少なくとも短期においては)分析者が基本的な機能の復旧に寄与する、規制あるいは限定されている活動を排除したりしないことが必須である。

図1

一般的な環境および線源モニタリング構成



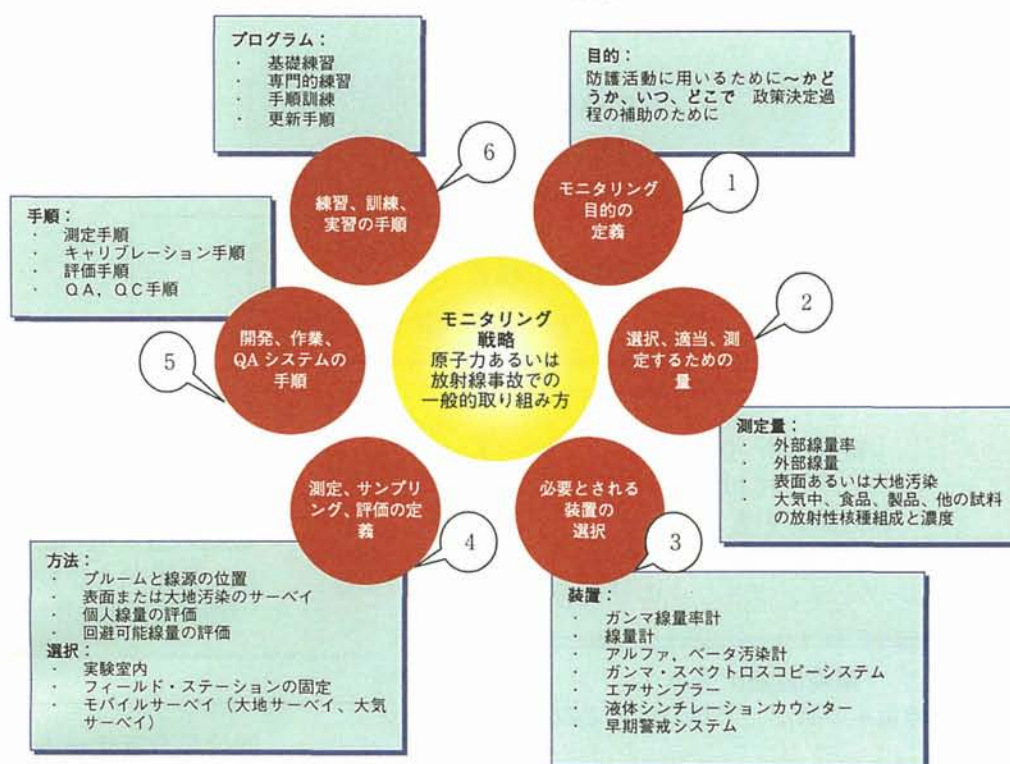
(a) [2]で説明

(b) [3]で説明

所見：各職務の別々のチームを利用するのではなく、實際上、1つの特別のチームが1つあるいはこれらの職務を実行してもよいことが認識されている。チームは実際いくつかの組織の混成であるか、「チーム」はオーバーラップすることができる。組織的な構造は反映するために修正されるべきであり、国立であるべき条件である。

図 2

モニタリング戦略



小規模の事故

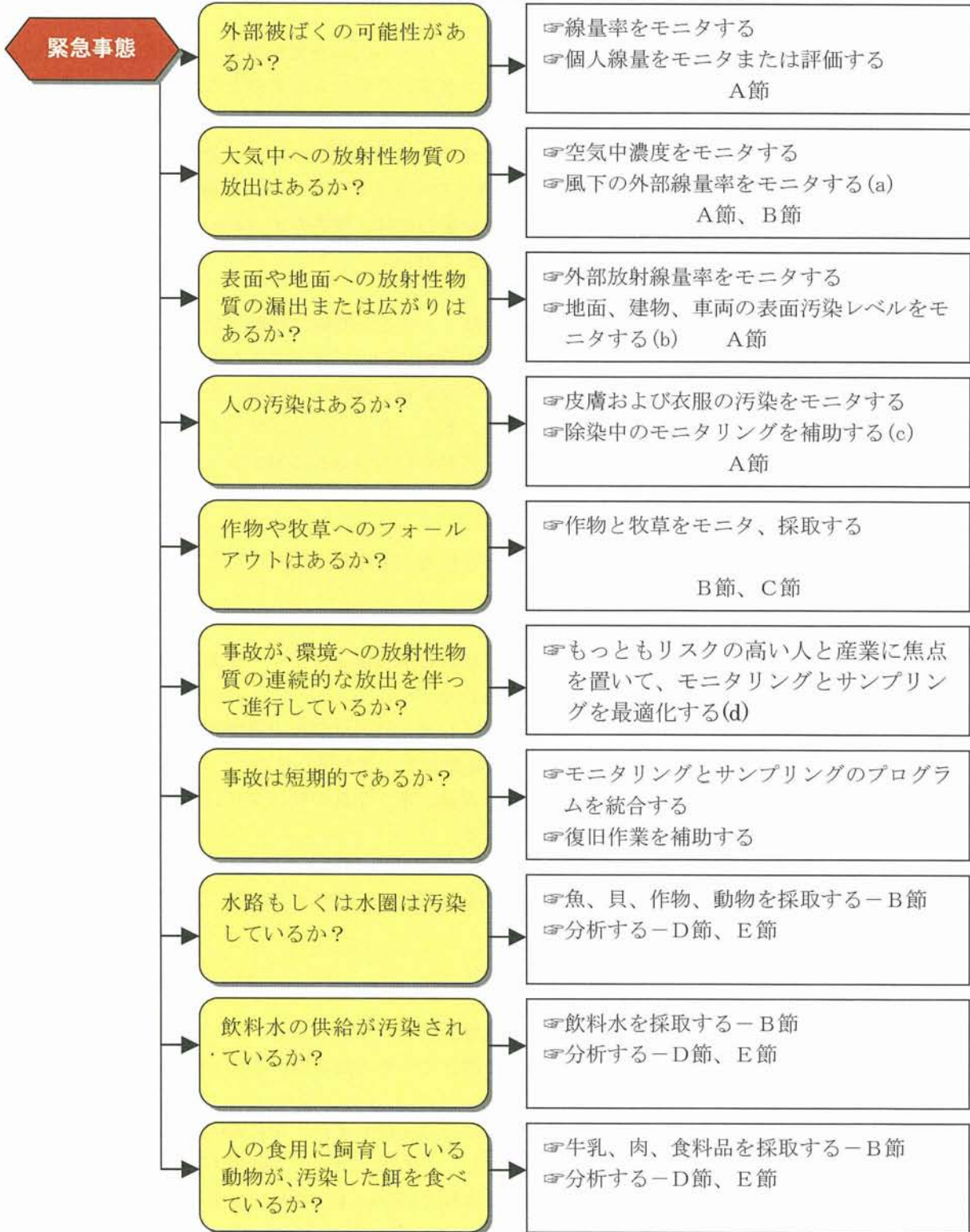
線源の紛失、輸送中の小さな事故、放射性物質の僅かな漏出のような小規模の事故については、基本的な放射線モニタリング機器と放射線モニタリング手法に熟練した人員が一人いれば、必要十分であろう。この技術的専門家あるいは「放射線評価者」は、放射線取り扱い免許の検査官、健康管理官、病院の物理療法士、大学職員、消防官などの場合があり、モニタリング機器の使用、測定値の解釈、救済処置対策を伝達することに対して熟練していなくてはならない。この基本的なモニタリング機器には、中程度の範囲を測定可能な線量率計、一般的な用途の可搬型汚染モニターが含まれるだろう。

地理的に広範囲わたっている状況では、こうした専門官が首都に居住している場合があり、地域レベルであまり熟練していない人たちがこうした基本的モニタリング用装備の使用についての訓練、および、離れた場所の緊急状況や関連した測定値を技術専門家に連絡して、必要な警戒すべきことと適当な復旧作業のための評価および助言を受けるための訓練を受けている必要があるだろう。消防士、警察官またはその他の地域の緊急対応要員がこうした種類のサポートを与えるのに適しているかもしれないが、適当な訓練を受けてかつ適当なモニタリング機器が供給されていなければならないことが前提条件である。このような体制を整えるのに重要なことは、緊急時の連絡と共同作業によって、適当な人員に昼夜を問わずいつでも連絡をとることができ、モニタリングチームと「放射線評価者」の間で情報が明瞭に伝達されることである。

「放射線評価者」は、どのような計測が必要であり、また事故現場へどのようなモニタリングあるいはサンプリング機器を持っていくか派遣する必要があるかを決定する必要があるだろう。モニタリングあるいはサンプリング機器がなくては、「放射線評価者」が事故の程度、性質を十分に決定することはできないだろう。電離放射線の線源の有無を確かめるためには、「放射線評価者」は適切な放射線検出装置に頼らなくてはならない。

図 3

緊急時モニタリングとサンプリングのための決定順序



- (a) モニタリングチームの数は放出の規模によって決まり、1チームから多数のチームの場合まであり得る。データは現地からモニタリングチームを指揮する中央コントロール本部に通信される。現場のサンプルはガンマ線スペクトロメトリあるいは他の放射性核種分析に回される。
- (b) もしも表面汚染の広がりが気体放出からのフォールアウトによるのであれば、レベルの高い土地、降水のあった地域、人口の集中している地域、食物生産地域に特に注意をはらわなくてはならない。
- (c) 内部線量測定、スクリーニング、評価によって、ひよっとしたらしなくてはならなくなる追跡サーベイができるように、汚染した個人について詳細を記録する。
- (d) モニタリングとサンプリングの頻度やサンプリング地点などを確定する。モニタリングとサンプリングのチームおよびサンプル分析チームの交代に備える。

中・大規模事故

大気中への放出を伴う事故では、プルームの広がり、プルーム内の空気中濃度、プルームからの沈着を明確にして公衆への危険を判断するために、複数のモニタリングチームが必要とされるであろう。モニタリングチームには、クラウドシャイン、グラウンドシャインあるいは線源からの直接的な放射線について周辺線量率測定をする必要があるだろう。モニタリングチームの安全について十分の考慮をしつつ、公衆に対する最大限の防護が確実となるように、早い段階でモニタリングチームを配置すべきである*。事故あるいは緊急事態が長期間にわたって続く見込みがある場合には、現場のチームの交代要員となる緊急モニタリングおよびサンプリングチームの準備をするべきである。

即座の状況把握および適切な緊急処置を行った後には、人々を一時的に移動させる必要があるか、また動物を建物内へ退避させて非汚染の餌を与える必要があるかについて決定するために、サンプリングプログラムをたてる必要がある。野菜および地域のその他の生産物、飲料水の供給、その地域の搾乳場からの牛乳について検査を行い、対策レベルと比較する必要がある。そうしたサンプリングプログラムの範囲と性格を決めるのは、放出の範囲と規模、および農業慣習および人口分布に関するその地域の人口統計であろう。

大きい事故ではどの段階でもサンプリングが必要とされる。気体状汚染を伴うような事故早期においては、サンプリングの優先順位は以下ようになる。

- (a) 放出中のプルーム中空気のサンプリング；放射性核種の濃度測定により、吸入による害の評価および OIL1 と OIL2 の再見積もりに必要なデータが得られる。
- (b) 放出終了後あるいはプルーム通過後の土壌サンプリング；放射性核種の濃度測定により、地表沈着の値がわかり、OIL4、OIL6、OIL7 の再見積もりに必要なデータが得られる。
- (c) 放出終了後あるいはプルーム通過後の、汚染した食品、水、牛乳のサンプリング；放射性核種の濃度測定により、食品の制限のためのデータが得られる。

作業介入レベル(OILs)は[3]で定義されており、ここでは付属書Vに書かれている。

スタッフの資格

緊急対応時において重要なことは、モニタリング機器、サンプリングとサンプル調製の手順、サンプル分析について、日常の仕事の中で熟練し経験を積んで慣れている人員を用いることである。

しかし、日常的にモニタリングやサンプリングをしている人員もまた、非日常的な緊急モニタリングやサンプリングについての特別の訓練を受ける必要があり、その中では、より高度の判断が求められ、サンプル処理技術に特別の注意が必要とされ、さほど洗練されていない手法を用いて大量のサンプルのスクリーニングを行うような新規の方法が必要とされるだろう。

*これに関して緊急センターへオンラインでデータ送信できる自動モニターの戦略的な設置は都合が良い。

緊急時においては、未経験人員や未試行の技術を用いるのは望ましくない。それは、不適切な、ともすると誤った技術情報を導き、決定者が誤った判断を下したり少ない資源を不適切に割り当てたりする原因になりかねないからである。そのため肝要なのは、環境と線源のモニタリングを行うかなめとなる人員が割り当てられた役割について十分に熟練し、また日常的に訓練をしていることである。適用されるべき測定及びサンプリング技術について緊急時に対応する技術スタッフは訓練されていなければならないため、日常のおよび非日常のモニタリングの実務経験は強く望まれるものである。チームの対応能力を徹底的にテストして、サンプリングや測定及びその他の手順をチェックするための相互比較練習を、訓練と準備の一環として、定期的に計画、実行しなくてはならない。

測定とサンプリングに熟練した技術要員は、双方向無線のような緊急時通信装置、地図の読解、全地球測位システム（GPS）装置の使用についても訓練を受ける必要があるかもしれない。あるいは、運転手、ナビゲーター、無線通信に習熟した人員をモニタリングとサンプリング班に配属して、そうした技能を利用することもあり得るだろう。後者のような人員は、地域の公共機関の緊急対応職員あるいは防衛職員から割り当てることが可能であり、こうした技能を維持、発展させるために定期的に訓練して練習を積み重ねることができる。

こうした現場のチームは皆、高い外部放射線レベル、吸入の危険、表面汚染の問題に直面することがありうる。そのため、班は十分に訓練を受け、個人の防護機器を適切に装備し、また帰還指針[3]に精通しているべきである。

緊急管理者

緊急管理者[2]は緊急事態全般の監督を行い、緊急時対応に対して最終的な責任をもつ。単純には、事故が起きた施設の最上位の幹部や、警察幹部、または地方役所の役人あるいは幹部役員がなりうるだろう。この職務に放射線の専門家がつかうことはほとんどありえない。それは、事故への全般的な対応において、放射線に関わるのは単に一部にすぎないからである。

防護対策管理者

原子炉事故における防護対策管理者[3]は、事故の種類と環境モニタリングに基づいた防護対策の決定に対して責任を持つ職務であり、通常は保健物理の専門家である。彼（女）はOILsの使用について精通していることが必要である。

環境分析者あるいは放射線評価者

環境分析者[3]あるいは放射線評価者[2]には、環境および線源のモニタリング技術の知識と経験がある業務部門あるいは環境部門の保健物理専門家が最も想定されるが、特定の実験室的な分析手法に熟達している必要はない。彼（女）はOILsの使用について精通していなくてはならない。この職務に任命されたものは、モニタリングおよびサンプリングチームを指揮し、モニタリングチームからのデータの意味を解釈し、その情報を事故評価組織の他のメンバーに伝えることについて、訓練を受けていなくてはならない。

サンプル分析者

サンプル分析者[3]は環境モニタリングデータの解釈についての専門家であり、多くの場合は環境保健物理の専門家または放射性核種濃度のサンプル分析の専門家である。彼（女）はOILsの使用、およびそれをどのように求め、また修正するのかについて精通していなくてはならない。

環境サーベイチーム

環境測定チームは、放射線量率および表面汚染の測定について訓練を受け、緊急対応シナリオについて定期的に練習をしている技術職員でなくてはならない。航空機サーベイ法についても訓練をする必要があるかもしれない。

空気サンプリングチーム

空気サンプリングチームは空気サンプルの採取に熟練し、また外部線量率と汚染のモニタリングにも熟練してはならない。サンプルを適当なラベル付き密閉式容器に封入するのに先立ちポータブル放射線モニタリング装置を用いた空気サンプルの野外での評価についてもまた、必要な訓練であるかもしれない。空気サンプリングチームはガンマ線スペクトロメトリーのような特定の分析手法に熟練している必要はないが、その場合にはこうした手法に熟練してより正確な放射性核種濃度評価をする人員に空気サンプルを渡さなくてはならない（同位体分析チーム）。

In-situ ガンマ線スペクトロメトリチーム

In-situ ガンマ線スペクトロメトリチームは、野外条件でのガンマ線スペクトロメータの使用に熟練した専門家チームである。地球表面の放射分析に熟練した環境科学の実験者あるいは地質検査官を、チームの要員に用いることができるかもしれない。班員に対しては、航空機測定技術および手順についての訓練をすることもありうるだろう。

個人モニタリングと除染のチーム

個人モニタリングと除染のチームのメンバーは、汚染の拡大を防ぐと共に、人々や表面の除染効率をモニターするために、皮膚や衣服の個人の汚染や、汚染物、表面、機器、車両などの身の周りの汚染を汚染モニターによって評価する方法について熟練している必要がある。こうした人員が熟練する必要があることとしてはさらに、安全に脱衣させる手法、個人汚染や表面汚染の除去法、ならびに甲状腺測定（スクリーニング）もあるかもしれない。こうした人員はすべて、そのような手法について、習熟するための訓練を定期的に行う必要がある。

環境および食物サンプリングチーム

環境および食物サンプリングチームのメンバーは、経験豊富な環境サンプリング員か、必要とされている特定の種類のサンプルを正確にサンプリングする手順についてよく教育された人員である必要がある。サンプリングチームのメンバーはサンプル分析の専門家である必要はない。高線量率または高レベル汚染地域に立ち入る、環境および食物サンプリングチームは、自身の安全性をモニターするために放射線評価技術の経験を積んでいるだけでなく、必要であれば効率的かつ迅速に現場の放射線計測データを供与する必要がある。

同位体分析チーム

同位体分析チームは、サンプル処理、ガンマ線スペクトロメトリ、およびその他の放射性核種の分析技術によく習熟している人員で構成されている必要がある。こうした人員は日常的にこうした分析に従事し、十分に校正した装置を使用し、承認された正当な分析手法を用いるべきである。こうした人員は、大学、官営の分析実験施設、研究実験施設あるいは工業実験施設から選ぶことができるかもしれない。人員、機器に関してどのような資源がそうした組織から利用可能であるかを知ることが、緊急時の計画立案者にとって重要である。準備の一環として、評価に必要であろうサンプルの種類のを挙げておくべきであり、多量のサンプルの迅速分析および結果の即刻の報告が必要な事故への対応について、こうした人員は訓練を受けていなければならない。

測定機器

放射線モニタリングの装置にはその性格により、設置型、可搬型、携帯用、個人用および実験室用の機器がある。設置型、可搬型、携帯型の機器はさらに、放射線モニタリング機器と汚染モニタリング機器に分類することができる。これを図4に図示した。

放射線モニタリング機器

放射線モニタリング機器では線量率と線量の両方あるいは一方が計測できる。ベータ+ガンマ線量率計は一般的に標準ガンマ線源で校正されているが、あるものはベータ線量率までも計測してしまうかもしれない。ベータ+ガンマ線量率計では、ベータ線が検出器に進入できるようにするための窓があるのが一般的である。窓が解放の状態ではこの計測器はベータ線とガンマ線を検出し、窓が閉鎖の状態ではガンマ線のみを検出する。野外作業に対して、こうした測定器の耐久性が十分なこともあるが不十分なこともある。窓に穴を開けないように気をつけなくてはならない。薄い窓がないガンマ線量率計はもっと丈夫であるが、ベータ線や低エネルギーガンマ線、X線の測定には不適切である。ベータ+ガンマ線量率計は、下記のように使用する線量率のレンジにしたがって、低レベル即ち環境レベル用、中間レベル用、高レベル用に細分することができる。

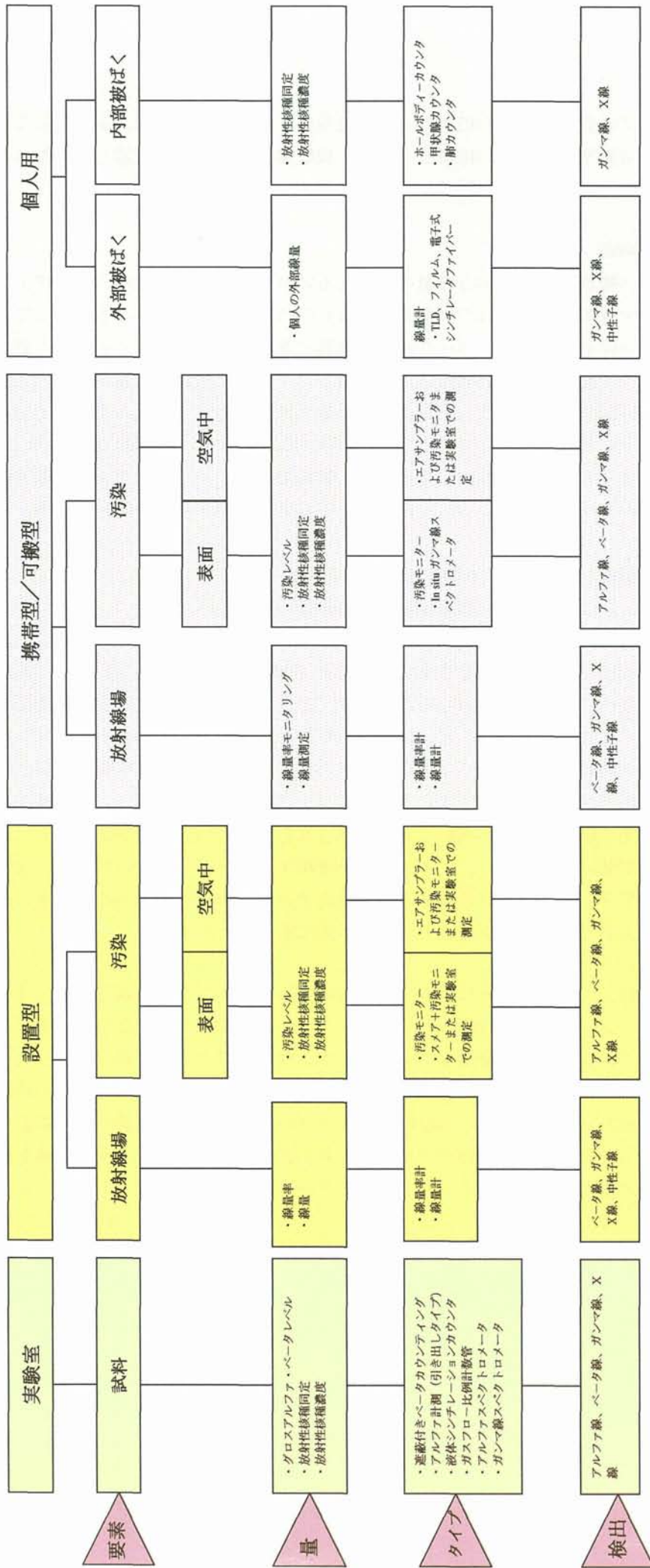
低レベル（環境レベル）	0.05 μ Sv/h – 100 μ Sv/h
中間レベル	10 μ Sv/h – 10 mSv/h
高レベル	1 mSv/h – 10 Sv/h

高レンジの測定器では、線源から測定者までの距離をできるだけ大きくとるために、遠隔検出プローブを備えていることが多い。事故対応に対する計画では、望ましい距離で測定可能な測定器が事故の状況下で確保できるようにすることが重要である。輸送中の事故では、低レンジから中間レンジの測定器で十分であろう。高レベルの放射線源が関わるような大規模の事故では、補助的に中間レンジから高レンジの測定器が必要となる。携帯用機器では、音声による反応があることが望ましい。大型機械があつたり交通量が多かつたりして周囲の騒音レベルが高いことが予想される場合には、線量率が最大となる位置を操作者がはっきりと確認する助けとなるように、イヤホンを使用することが望ましいかもしれない。設置型の測定器では音声によるアラームや警告灯を本体に一式備えているのが一般的であるが、さらにラインでつながった表示やアラームがモニタリングコントロール本部にあることもある。

可搬型の測定器では、デジタルまたはアナログの表示がある。デジタルの読みとりでは、オートレンジ機能によってマイクロシーベルト/時間からミリシーベルト/時間に変化することに気をつけなければならない。目盛りは明るい日光下でも豪雨下でも読みやすくてはならず、夜には自己発光しなくてはならない。測定器の反応時間は十分に短く、読みとり値が一定値の付近に安定するまでの時間がひどくかかることなく操作者が読みとれなくてはならない。アナログの測定器では、目盛りは対数表示、半分対数表示あるいはリニア表示である。対数目盛りでは、測定者が正しく報告できるように訓練を必要とするだろう。リニア表示の測定器にはレンジスイッチがあることが多く、それは通常 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ である。こうした測定器ではそれぞれのレンジについて、フルスケールの $2/3$ の針のふれで校正しなくてはならない。ある種の測定器には検出器が一つ以上あることがあり、だいたい一つは中間レンジであり、一つは高レンジである。こうした測定器では両方の検出器について校正を行わなくてはならない。

中性子線量率計は専門的な測定器であり、中性子線量率測定が日常の体制で必要であるような原子力施設でのみ装備しているのが一般的である。これは等価線量の単位で校正するのが普通であり、検出器に入射する中性子線束を熱中性子化するのに中性子減速材が必要であるので、物理的にかさばった物になる。利用可能なほとんどの検出器では、中性子線のスペクトルの違いを考慮に入れて、補正係数を用いなくてはならない。

図4
放射線モニタリング機器



汚染モニター

汚染モニターはさらに表面汚染の測定と空気汚染の測定に分けられる。表面汚染のモニターは一般に汚染モニターと呼ばれている。ハンド-クロスモニターのような備え付け機器は汚染管理区域の境界に設置されている。事故時には暫定的な汚染管理区域が設定され、そのエリアに入る全作業員、車両、機器類がそのエリアから退去時に汚染の検査を受けることになるであろう。携帯用の汚染モニターは固体や液体の線源がこぼれたことにより生じる表面汚染や、非密封線源の物理的な取り扱いにより散らばった汚染や、空気中の放射性物質からの降下物の検査に用いられる。これらは個人の皮膚や衣服、汚染した作業台や床、壁、機械等の検査にも用いられる。

測定する放射線（アルファ、ベータ、ガンマ）のタイプやエネルギーによって最適な汚染モニターを選択することが重要である。アルファ線は通常、シンチレーターとしての硫化亜鉛蛍光体と、シグナルを増幅するための光電子増倍管を用いた機器で検出されており、特定のアルファ線源に対して、カウント/秒（cps）あるいはカウント/分（cpm）で校正された適切な計数率計で計数されている。シリコン半導体検出器や薄い窓の Geiger-Mueller（GM）検出器も利用されるであろう。アルファ線の汚染モニタリングでは、空気中ではアルファ線は飛距離が短いので、（機器の汚染を回避するため）表面に触れずに、かつ、検出器の薄い窓に穴をあけないように、表面に近づけてモニタリングすることが重要である。表面が濡れている場合は、アルファ線は水によってシールドされてしまうので検出が困難であろう。車体や天板が平らな机のような、表面が平らで、吸収するものが無い場合以外は、直接アルファ線をモニタリングすることは、アルファ線の放射能の存在を示すだけであり、放射能の存在をはなはだしく過少評価するかもしれない。

最も典型的なタイプのベータ+ガンマ線の汚染モニターは Geiger-Mueller 検出器を用いている。これは一般に頑丈で充分増幅されたシグナルが得られるが、異なるガンマ線のエネルギーを識別することはできない。プラスチック蛍光体のようなシンチレーション検出器やヨウ化ナトリウムのような固体結晶などもベータ+ガンマ線の汚染モニターに用いられている。低いエネルギーのベータおよびガンマ線には、薄窓の検出器が必要である。中程度から高いエネルギーのベータ線にはやや厚い窓のより頑丈な機器が用いられるだろう。このような機器は通常、エンドキャップやシャッターが付いていて、これを開けるとベータ線とガンマ線の両者を検出し、閉めるとガンマ線のみを検出する。いくつかの汚染モニターは互換性のあるプローブを備えている。機器の電圧の設定や校正の設定は各々のプローブのタイプによって正確に調整されることが重要である。その計数率計にはデジタルあるいはアナログの読み取りと両者のスケールでの使用を比較して線量率計がこのことに関しては等しく適用できると検討した際の注釈があるかもしれない。音声応答は、操作者が計器の指示を見続けるよりもプローブや機器がどこにあるかに注意を集中させることができるので、是非とも必要な付属装備である。計器の指示は音声応答と連動されている。ヘッドホンは操作者が騒々しい環境下でも音声応答を明確に聞きとることができたり、観測者に不必要な懸念を抱かないように静かな作業を提供するのに役立つ。選択した汚染モニターがモニターしようとしている放射性核種についての測定条件を反映した幾何学的条件において適切に校正されていることが重要である*。

シンチレーション検出器、比例計数管、電離箱検出器、GM 検出器などを使用したガンマ線のみの汚染監視装置もある。事故時の野外汚染のモニタリングに対してもっとも適切な機器を選択する際、機器の耐久性、野外においても容易に交換でき、入手しやすいバッテリーの使用、操作の簡便性に着眼すべきである。

市場にはたくさんの手の込んだ汚染監視装置が揃っている。このような機器は熟練した操作者のみが使うべきである。一般的な緊急測定の目的には、さほど手の込んでいない機器が望ましい。

*例えば衣服内の自己吸収によって最大で 100 分の 1 に過少評価するかもしれない。

エアーサンプラー

エアーサンプラーというものは、決められたサンプリング時間、既知のあるいは指定の流量率で作動し適切なフィルター媒体を通して空気を引き込むポンプである。そして集められた空気は問題の汚染物質の分析に供される。フィルター上の放射能は Bq あるいは kBq で算定され、サンプリングした空気の体積から平均放射能濃度が Bq/m³ あるいは kBq/m³ で示される。備え付けのエアーサンプラーは定期的に空気汚染レベルをモニターするため原子力施設内にあり、もしレベルが異常に上がった場合は音響警報器あるいは視覚警報器により警告する。備え付けのエアーサンプラーは環境中に置かれその場所の空気汚染レベルを提示するために設置されるかも知れない。ハイボリュームエアーサンプラーのような可搬型のエアーサンプラーは、携帯用の発電機により作動し、重要性の高い場所に設置されるかも知れない。作動電圧 12 V の携帯用エアーサンプラーは野外サンプリングにおいて有用である。このサンプラーはモニタリング車のバッテリーとワニ口クリップを用いて直接的に、あるいは車に付いているたばこ用ライターを介して間接的につなぐことができる。しかしながら、携帯用エアーサンプラーを使用予定の車は、可能ならばあらかじめ外付けのソケットを配線しておくべきである。携帯用エアーサンプラーは 1 分あたり数十リットルの流量率で作動している。これらはある一定の流量率に流量を制限するために決定開口部を用いるか、内部に組み込んだ調節可能な流量率ロータメータを備えているであろう。もしくは、流量率は事前に校正されている。ひどい汚れでフィルターに負荷をかけた場合は、これが流量率を制限するかもしれないので、注意をはらうべきである。このような場合は、流量率ロータメータはサンプリングの前後でチェックし、濃度の推定には平均値を用いるべきである。

使用するフィルターのタイプは測定すべき汚染物質に依存する。ガラスフィルターやペーパーフィルターはグロスベータ+ガンマ線の粒子状物質に、トリチウム水・トリチウム蒸気には水気泡管が使用されるが、チャコール（活性炭）フィルターは放射性ヨウ素に用いられる。

In-situ ガンマスペクトロメータ

in situ ガンマスペクトロメトリ（D 節）はガンマ線を放出している地表面汚染の評価にとって迅速な手法である。*in situ* ガンマスペクトロメトリ測定は多くの理由に起因する不確かさを持つ。特に、現実の線源の分布が、適用された校正因子を決定するために仮定した分布から偏りがある場合に誤差が大きい。測定場所の性質に合わせて斟酌しなければならない。この点を考慮して、滑らかで平らなエリアで、場を乱す物体から離れた場所で、放射性核種が当初沈着した時の垂直方向の濃度プロファイルを壊してしまうような、農業や他の活動がない場所が理想的であろう。定められた位置に検出器が設置されているか注意を払うべきである（地上から 1 m 上で検出器のヘッドは下向き）。

緊急時の状況では、スペクトルの線強度からの表面汚染への変換は通常、放射性核種が均等に地表の平面に分布したと仮定して行う。いくつかの状況（ドライあるいはウェット沈着、事故からの経過時間、土壌の物理-化学的性質、表面のでこぼこ、など）のために、上記の仮定を用いると地表の単位面積に当初沈着した汚染物質の全放射能は過少評価となるかもしれない。この偏りは、しかしながら、もし事故後早い時期あるいは中程度経過した時点（すなわち沈着後間もないうち）で測定した場合は、ファクター 2 を超えることはなさそうである[6]。

Nal(Tl) と Ge の両者とも感度が高いので *in situ* ガンマ線スペクトロメトリの応用は汚染レベルが上昇するにしたがってより一層難しくなる。Dead time の問題、スペクトルのピーク形の歪みは分析結果に深刻に影響するだろう。相対効率が 20-30% の標準的な Ge 検出器は、表面汚染が ¹³⁷Cs に対して 1 MBq/m² を超えると、通常の動作から外れ始める[7, 8]。シールドすることにより検出器の感度を下げると、他のより効率の低い検出器を選択すると、*in situ* ガンマ線スペクトロメトリの適用範囲は数桁広げることができる。

検出器のタイプの選択は、さまざまな事情や状況による。もし、利用可能ならば、Ge 検出器は高分解能に優れ、そのため個々の放射性核種のより明確な同定ができ、その結果、サンプルに存在する各々の放射性核種の放射能をより精密に測定できる。しかしながら、その繊細なデザインや、ダメージに弱い点、通常、液体窒素で非常に低い温度に冷やす必要がある点のため、応用範囲が限定される。一方、シンプルで頑丈かつ耐久性のある NaI(Tl)シンチレーション検出器は、ユーザーがこのタイプの検出器で達成可能な分解能に限界があることに甘んじなければならないが、環境からの腐食性の影響に対して耐久性に優れている*。

検出器の選択はまた、事故のタイプによる。例えば、複数成分の混成の場合は高分解能の Ge スペクトロメトリが必要であるが、¹³¹I や ¹³⁷Cs のように単一あるいは数種のガンマ線放出核種による環境汚染では NaI(Tl)で容易に評価ができる。

個人線量計

個人線量計は高線量率のエリアに入る必要のある場合の緊急時の作業員に必要である。利用可能な個人線量計のタイプはその地域の線量計サービスに依存し、熱ルミネセンス線量計 (TLD) バッジ、TLD パルプ線量計、フィルムバッジ、あるいはガラスりん酸塩線量計などがあげられるだろう。これらのタイプの線量計は、事実上、被ばく経歴を示すものであり、処理手続きと線量評価のために線量計サービス会社に返却する必要がある。緊急時においては、これらを補うため直読型線量計をもつことが大変望ましい。直読型線量計の優れている点は、着用者が定期的にその時点で、今日まであるいは特定の作業で、どれだけの線量を被ばくしたかを知ることができることである。石英ファイバー電位計 (QFE) は比較的安価な、一般的な直接読み取り機器である。電子直接読み取り個人線量計は、これもまた、一般的に手に入るものが出来るものであるが、視覚的な読み取りに加え、一定の線量の増加毎にピープ音が鳴り、前もって定めたレベルでアラームを設定することが出来る。ピープ音の鳴る速度の増加が直ちに着用者に近傍の周辺線量率の変化を警告する。もし緊急モニタリングチームに直接読み取り線量計がない場合は、線量率計によりなされた測定値が用いられ、モニタリングチームが特定の線量率を示す特定の場所に滞在した時間に基づいてチームの被ばく線量評価が行われるだろう。いくつかのタイプの線量率計は積算線量表示を備えている。

ベータ線計数用遮蔽

移動式あるいは固定式の実験室では、遮蔽されたベータ線計数容器がグロスベータ+ガンマ線計数や大量のサンプルの迅速なスクリーニングに有用である。このようなシールド内では薄端窓 Geiger 管が用いられる。計数率は計数率計あるいはスケーラー/タイマーで表示される。場所から場所へ移動するときは感度の高い実験室仕様のユニットよりも頑丈なタイプのものがよい。

他の専門分析機器

アルファ線スペクトロメトリや液体シンチレーションカウンター、ガスフロー比例計数管のような他の専門分析機器は、E 節参照せよ。

実験室仕様のガンマスペクトロメトリの詳細は D 節にある。

*低い外気温環境 (0°Cをはるかに下回る) においてスペクトロメータや他の検出器を使用する際には注意しなければならない。すなわち、NaI(Tl)検出器は壊れるかもしれない、ポータブルコンピュータは止まるかもしれない、など。このような環境では耐久性のある (軍用の) 種類のものが望ましい。

サンプリング

環境におけるサンプリングでは、地面や水、食材、植物などの汚染のレベルや広がりを正確かつ迅速に決定できる代表的なサンプルを採取することが重要である。サンプリングの技術はサンプリングチーム間で一定にすべきである。

サンプルはサンプリングしやすい地点というよりもエリアの代表となる場所や汚染がより起こっているらしき場所で採取すべきである。例えば、わき道に沿って行くよりも、丘の頂き、雨などが降った所など、急勾配の場所やくぼみよりも平らな地域がよい。したがって、排水溝や木などは避ける。それらの地域へ行くため4輪車を持っていると役に立つ。すべてのサンプルは集めて適切な貯蔵所に収納し保存する、あるいは（もし指定されていれば）ある条件の下に保管する。サンプルは、どこで採取したか、採取した日時、サンプリングチームの識別番号、といったサンプルの性質を示すためのラベルを付けなくてはならない。

サンプルはその野外で携帯型／可搬型機器を用いて、または／あるいは移動実験室内で評価される場合と、前処理と放射性核種の分析のために専門的な実験室に戻される場合がある。

標準的な分析手順は、より多くのサンプルに対応するためできるだけ早く結果を得る必要性に応じるため、迅速手法と入れ替える必要がある。サンプルのスクリーニングテクニックが利用されるかもしれない。それは、一定のレベルより低いサンプルは、防護活動の必要性に対する関心がなくなるので、さらに先の分析はしない、というものである。一定のスクリーニングレベルを超えたサンプルは、より正確な情報を得るためにさらなる分析をする必要があるだろう。サンプリングプロトコールは、緊急時においては環境測定を遂行することができるすべての組織によりあらかじめ承認されていることが勧められる。一般的なサンプリング戦略とサンプリング方法は付録 VI に記載したが、サンプリングテクニックの詳細は B 節にある。

移動実験室

適切に装備した移動実験室は、緊急現場であるいはその近くで、迅速な分析を必要とするときはいつでも好都合である。この種の車のサイズは小型トラックから大型トラック、工業用のセミトレーラー、連結した大型トラック、更には軌道車まで含む。他の検出機器に混じって、これらの実験室に設置されている一般的な機器にはガンマスペクトロメトリやグロスアルファベータ線計数器、液体シンチレーションシステムが含まれている。

移動実験室の利用における多様性は事件に依存し、移動実験室はある特定の目的に応じて組み立てられる。例えば、原子力発電所の事故には迅速分析ができるように。移動実験室はまた、日常的な環境研究、線源の紛失事件、線源の成分がわからない事件、輸送中の事故、核兵器事故、核テロの事件の分析も行うように装備される。計画と注意深い設計により、移動実験室はこれらの事件のすべてを処理できるよう、構成されている。

移動実験室を利用するたった一つの最も重要な理由は、野外における迅速分析のためであり、その名のとおり、迅速な実験処理能力が求められている。効率的にするため、移動実験室はよく整備されていなければならない。レンタルの小型トラックや大型トラックは潜在的なエンジン不具合を起こしやすく、このことが移動実験室の即時使用の妨げとなる。これに対しトレーラの移動実験室は、牽引車が故障しても他の車体をすぐに利用できる点が都合がよい。移動実験室はまた、迅速な配備に役立つよう、軍用輸送機に搭載ができるよう設計されてもよい。軍用機

にとって重量や高さは重要な考慮すべき事項であり、そして、その国の道路状況のために道路を走る通常の車よりももっと頑丈なサスペンションが必要とされるかもしれない。移動実験室内の設備機器は良好な状態で現地に到着することが重要である。移動実験室は事故現場における電力事情に依存しないために自家動力供給型にしておくべきである。

移動実験室の設備機器の選定はサンプルが実験室内を速やかに通過できることを確保するために非常に重要だ。対応したコンピュータとソフトウェアが付いた単一結晶のゲルマニウムガンマ線検出システムが薦められる。緊急時においては、サンプルの前処理が半校正状態のスクリーニング測定のみを必要とするような地点に達しているかもしれないので、シールドのサイズとデザインは通常のサンプルよりも大きなものが許容できなければならない。機器の不調の場合のみならずサンプルの処理能力を高めるために一つ以上のガンマ線スペクトロメータを所有することが有利である。これらの検出器のためのシールドシステムは、移動実験室の枠組みにしっかりと固定し、悪路や急停車、小さな事故でシールドが移動し、投射物とならないような設計であるか思いを巡らせるべきである。大きなサンプルバックの植物から小さなエアフィルターやプランケット上のサンプルまで、多くのタイプのサンプルをガンマ線検出システムで速やかに測定することができる。種々のサンプルジオメトリを取れるように計画しておくことが望ましい。移動実験室はまた、少なくとも一週間持ちこたえられる初期量の液体窒素を搭載すべきである。

移動実験室用に2番目に選ばれる測定器は、通常、グロスアルファ/ベータ線計数器である。固定実験室仕様のガスフロー比例計数管をこの目的のために一部変更するのは、比較的容易である。この種のシステムの多くは通常、シールドのため一つ一つばらばらの鉛レンガを纏めた形で構成されているので、ここでもしっかりと固定することが重要である。グロスアルファ/ベータ線計数器の有用性はいくらか限られている。これらの機器は主にエアフィルター、スメア、ワイプ（拭取り繊維）の測定や水サンプルから乾固した粒子状物質の分析に限定される。しかしこれらの機器はあるタイプのシナリオの事故では非常に有用となるだろう。ガンマスペクトロメトリと連結した使用について以下に示した。実験室には少なくとも一週間持続できる計数ガスを搭載すべきである。

液体シンチレーションカウンター（LSC）システムもまた移動実験室に設置できる。これらの装置は ^3H や ^{14}C 、その他の低いエネルギーのベータ線放出核種の分析に有用であり、新しい装置の多くのものはグロスアルファ/ベータ線計数、チェレンコフ計数器、グロスガンマ線計数器として容易に組み込むことができる。ここでも、これらシステムの重量のためしっかりと固定することが重要である。いくつかの市販の液体シンチレーションシステムは移動実験室に適合するようになっているが他のものはそうはなっていない。自動サンプル交換装置はしばしば役に立つが、小型の単独サンプル用LSCシステムも利用可能である。NaI 検出器や低エネルギーガンマ線用の薄窓のガンマ線検出器、ベリリウム窓の付いた薄窓 NaI 検出器、端窓 GM 検出器、あるいはスメアまたはワイプ計数器のような他の専門的な検出器も移動実験室に設置されるかもしれない。

アルファ線スペクトロメトリのために必要なサンプル前処理は、野外において、迅速性を要する緊急時に基づいた分析のためにはあまりにも時間がかかるので、アルファ線分光分析検出器システムを移動実験室に設置することは勧められない。

分析の実行

未知の線源による放射線事故が発生した場合、 γ 線放出核種でないものや、 γ 線放出核種であってもそのエネルギーが測定器のレンジ外のものが存在するときは、グロス α/β カウンタが核種を確定する手助けになる。例えば、 ^{241}Am といった1種類の放射性核種が疑われる事故を取り上げてみる。多くの γ 線分析装置では ^{241}Am 由来の γ 線を検出することができるが、他の分析装置では検出できない。この場合、グロス α/β カウンタが重要になる。また高い β 線のカウント値が得られ、 γ 線のカウントが無い場合は事故には ^{90}Sr のような純粋な β 線放出核種が含まれているのではないかと疑うことができる。 γ 線計測では説明が付かないが、グロス α/β カウンタでは高い α 線のカウント値を示す場合、プルトニウムか ^{210}Po ではないかと疑われる。ここでのポイントは、未知の線源が関連する事故の場合、詳細で時間がかかる放射化学分析は別として、グロス α/β カウンタは経験豊富な保健物理学者がどのような放射性核種が存在しているのかを明らかにする手助けとなるということである。

γ 線放出核種を伴う別のケースでは、 β 線を放出する γ 線放出核種の割合が求められれば、特にエア・フィルタやスマアしたもののグロス α/β カウンタでの分析によって、 γ 線分析装置の作業負荷を顕著に低減することができる。

上記の様な γ 線分析装置は尋常では無いサンプル用に充分大きなサイズのシールドを必要とする。最初は小さなサンプルだけを計測するためにシールドが必要なのかも知れない。というのは、高濃度のサンプルが収集され、測定器の不感時間を減少させるため小さなサンプルが要求されるからである。例えば（装置の不感時間が長くなるような）非常に放射能の高いサンプルを渡したとすると、再びサンプル調製が必要となって貴重な時間が無駄になる。大きなシールドであれば、棚式のシステムとして使うことができる；事前に棚ごとの様々な幾何効率を校正しておけば貴重な時間を節約することができる。後になって、まずは果物または野菜の消費を控える必要があるかどうか判断するときの作業介入レベルを超えているレベルのものを探すために、多量の植物のようなサンプルを計測することができる。測定の際、二次汚染からシールドや検出器を守ることは極めて重要である。多くの実験室では検出器や内側のシールドを取り替え可能な大きなプラスチック製のごみ袋に入れることで、サンプルがこぼれたり測定容器の外部が汚染されている場合でも容易に除染ができ、検出器もシールドも汚染されていない状態に保つことができる。

多くの実験室のスタッフは、測定時間を固定した環境サンプルの測定を基盤とした経験を持っており、緊急の計測には新たな方法論が必要である。 γ 線スペクトロメトル分析、グロス α/β 測定器、LSCのような多くの検出装置にはたいてい「低計数率拒絶 low sample count rate rejection」「高計数率終了 high sample count rate termination」機能があり、この機能は通常のサンプルのためには用いられていない。「低計数率拒絶」を簡潔に説明すると、サンプルが低い計数率である場合には、その計数率は測定系にプログラムされているが、そのサンプルの測定を終了又は拒絶する機能である。この計数率は作業介入レベルから逆算して求めることができる。例えば緊急時に、作業介入レベルが設定される濃度1500Bq/Lがそのレベルであろう。分析者はcpm、cps、ピーク面積値に補正して1000Bq/Lを示さないものは拒絶するように計数率拒絶モードをプログラムしようとするだろう。というのは、レベルが低いものや放射能が無いサンプルは、まずは重要でないだろうから。測定ソフトウェアは問題となっているピークもしくはエネルギー範囲をスキャンし、計数率が不十分のために設定値にまで達しない場合は計測を終了する。判断をする人は、緊急時の初期段階に対する1000Bq/L以下という検出限界に非常に満足であろう。早い分析をするための似た方法として、OILに基づいた計数率測定があり、これは実に短時間で済むであろう。重要なサンプルであれば、時間があれば再測定、もしくは固定の実験室へ送ることもあり得る。

反対に、高サンプル計数率終了ルーチンにより、計数時間の完了前でも統計的に十分になったら、計数を自動的に止めることができる。例えば、高い放射能のサンプルでは、分析者が20分の計数をプログラ

ムしたとしても、ほんの1分の計数で統計的に十分となることがある。このように計数を終了することで、他のサンプルのために時間が節約でき、実験室の処理量が多くなる。サンプル分析の結果を手計算するのであれば、計数値とともに計数時間が分かるようにするか印字されなくてはならない。これができないと、誤った放射能を計算してしまうことになる。

サンプル調製の能力

サンプル調製は移動実験室では行わないことが推奨される。また、移動実験室は高いバックグラウンドの放射能から保護されなくてはならない。サンプル調製の設備は他の車両に設けるか、またはその場で利用可能な場所や施設に設けるべきである。これにより、こぼれることによって移動実験室の内部が汚染することを防ぎ、汚染の可能性がある線源や高い放射能をもつ放射線源が導入されるのを防ぐことになる。これらは、測定機器のバックグラウンドに影響を与えかねない。サンプル調製能力について最も重要な点は、利用可能なスペースである。それは、計測を行う前に、多くのサンプルを記帳し、開封し、処理し、調製するからである。特にサンプル調製のためにトレーラーが供給された場合、簡単な放射化学分析用の小さなフードを備え付けることになる。また他の移動実験室に特別の操作器具を備えたグローブボックスを備えることもあるだろう。(これは、プルトニウムで汚染したサンプルを扱うときに特に重要である。)

緊急時には単純なサンプル調製が必要とされる。複雑な放射化学的処理では時間がかかりすぎ、あまりに多くの必需品を使ってしまう。ガンマスペクトロメトリによる計測では、多量に供給のある単純な容器にサンプルをいれることになる。環境の通常レベルで正確な計測を行うためにはマリネリビーカーは有用であるが、緊急時に使用して補充の費用をかけることは直ちに疑問視される。その他のガラスやプラスチック製のふつうの容器で十分な校正ができ、有益な結果が得られるだろう。グロスアルファ/ベータの計数のためのスメアサンプルは、それらのサンプルを取り扱うための十分なスペースがあれば、計数用のプランケットに迅速に入れることができる。サンプルを液体シンチレーションカウンタ用のバイアルに移してシンチレーションカクテルを加えることは、移動実験室の外の方がより安全に行うことができる。サンプル調製実験室を汚染から守るように用心することは、特に土壌サンプルの場合は常に賢明なことであり、その用心とは、実験台の上にとろ紙を敷き、サンプル調製の器具を十分に準備することである。業務用あるいはレストラン用の品質のステンレス製スプーンや刃物はとても有用であり、比較的容易に除染ができる。

現地での、サンプル調製の場所とサンプル管理の場所(サンプルが処理開始前にまず受け取られる場所)との移動実験室の配置は重要である。高放射能のサンプルからの干渉を最小にするために、移動実験室はサンプル調製の場所とサンプル管理の場所から十分な距離をとった場所に置かれなければならない。

航空機サーベイ

地表汚染サーベイ

地表汚染は、土壌サンプルの実験室での計測、in situ ガンマスペクトロメトリ、あるいは航空機によるスペクトロメトリ計測により求めることができる。土壌サンプルの採取と測定には多くの時間がかかる。それは、測定地域の代表値を求めるためには、多くのサンプルを採取して分析しなくてはならないからである。広範囲のin situ ガンマスペクトロメトリによる汚染測定はもっと速いが、それでも時間がかかる。航空機測定は広範囲の迅速測定に適切な方法だと考えることができる。こうしたサーベイのためには、高純度ゲルマニウム検出器(HPGe)が最も適した検出器であるが、NaI(Tl)検出器も使用される場合があるだろう。

ウラン調査のために一般に用いられる空中計測システムは、容量が 16L から 50L の大容量 NaI(Tl)シンチレーション検出器を装備している。一般的にこれらの検出器は航空機汚染サーベイにも使用することが可能であり、特にもし少数のガンマ線放出核種でのみ汚染している場所の場合にはそうである。測定したスペクトルの評価と地表面の放射性核種濃度の定量は、ウラン探査に用いられる手順に従って行うことができる。

土壌中における放射性核種の実際の分布と、換算係数を定めるために用いた分布との差や、地形（森林、建物など）および可能性のある未知の要因の相違による不確かさに航空機ガンマ線スペクトル分析は左右される。光子エネルギーや、（ヘリコプター自身の遮蔽の可能性を含む）入射角に対する関数としての検出器の応答を知らなければならない。そのためスペクトロメーターは航空機測定のために、どのような使用に先立っても、校正をしなくてはならない。

汚染した空気の中を飛ぶ場合、機器の汚染と人員の被ばくを避けるために特別の注意が必要である。空気中の放射性核種濃度は低いか無視できるレベルでなければならない。航空機が汚染した空気の中を飛んだことがあると疑われる場合、それは除染を必要とするかもしれないし、その結果を確認し直すかあるいは修正するため地表での測定が必要かもしれない。

地表汚染を迅速に決定して輪郭を描くためには、地上でのサンプリングは随意でよい。しかしながら、より多くの時間が利用可能だったら、航空機測定のカロス校正のために地表のサンプルは有用である。

放射線源の探索

単一または複数の放射線源を探索するために、車載式の測定システムあるいは徒歩による携帯型線量率モニターを使用することができる。ガンマ線放出線源（高放射能）について、大きなエリア一帯の迅速な探索が必要な場合、航空機モニタリングは最も適当な方法と見なされる。この場合、NaI(Tl)検出器は最も適した検出器である。しかしながら、加圧した電離箱、比例計数管、GM検出器あるいは他の適切な線量率メータに基づいたシステムも使用することができるだろう。

一般に天候は、航空機モニタリングに重要な役割を果たす。フライトは昼光下でのみ行うことができ、有視界飛行の気象条件で、1.5km かそれ以上の視界があり、雲が 150m 以下にないことが望まれる。

緊急チーム防護活動指針

緊急時職員帰還線量（緊急時職員に最大限許容される線量計の読みとり値）は、自己読みとり線量計における積算外部線量として示されるべきであり、その値は吸入による潜在的な被ばく線量も暗黙のうちに考慮にいれられていなくてはならない。緊急職員はこの値を越えることがないように、あらゆる合理的な努力をするべきである。緊急職員帰還線量は指針としてのみ用いるもので、緊急時それぞれにおいて策定しなくてはならない。緊急チーム防護活動指針は、文献[3]の手順 C1 およびこのマニュアルの手順 A9 に記載してある。

事故の最初の局面が終了したら緊急作業員は追加被ばく線量を受けることになるような作業に従事することを許される前に、（最初の局面の期間に）受けた全線量を決定しなければならない。

品質保証と品質管理のチェック

野外測定とサンプリング

野外で採取されたサンプルのいくつかの測定は野外で行われ、残りは実験室でなされる。どちらの場合でも、有効な結果がえられるように測定をするのであるならば、野外活動で用いられる手順は正しく行われなければならない。採取すべきものおよびその量や、測定されるべき特性が適切であることを確かなものとするためには、サンプリングの開始前にすべての職員は用いる手順について知らされているべきである。下記の情報は[9]から抽出した。

方法

野外測定あるいは採取されたサンプルは分析されるべきパラメータや物質を代表するもので無ければならない。多くの環境パラメータや物質は場所と時間により変化する。例えば、土壌はたいていの場合には様々な粒径の粒子を含んでおり、その化学組成や表面反応性はしばしば粒子の関数として変化する。湖や海といった水圏は一般的には階層化されており、層ごとに物理的性質や化学組成が異なっている。

サンプルがその物質の代表であることを保証するために、サンプリングを開始する前に採取されるべき物質は正確に定められていなければならない。もし植物が採取されるべきだとするとサンプルには植物の根を含むのかどうか、もし、そうだとすると根に付いている土壌を注意深く取り除くのかどうか。もし、広域の代表的な大気中のエアロゾルのサンプルを採取すべきであるとすると、風向は問題となるのかどうか。大地からどの高さでサンプルは採取すべきなのか。そして、付近の建物や商業活動がサンプルの組成に影響する危険性があるのかどうか。サンプルは物質全体を代表するものであるべきであり、異質の物質による汚染があってはならない。サンプリング手順そのものが正しいサンプルであるかどうかに影響する。例えば、水サンプリング器を湖の中へ沈めるとき、表層付近の水を内部の採取する層へ持って行くかもしれない。従って、採取方法とサンプル取り扱いの詳細を採取開始前に注意深く考慮しなければならない。

サンプル調整とサンプルの保管

植物、水、大気中粒子などの環境物質の多くの種類の測定ではサンプルは採取し、分析のため実験室へ持ち帰らねばならない。これらのサンプルは分析される前にある種の前処理が必要であろう。例えば、植物サンプルは乾燥または灰化されるだろうし、水サンプルはろ過されるだろう。可能ならば、クロスコンタミの可能性を最小限にするため、分析対象物が高濃度であることが予想されるサンプルグループは低濃度のサンプルと別々に処理される。前処理は通常、サンプルの物理的状態を、また、たまには化学状態も変えてしまう。前処理を計画するとき行われる測定の性質とその測定対象となるサンプルの状態を考慮することが重要である。

サンプルの前処理の計画と実行において考慮しなければならない他の問題点は測定の結果を報告するときに利用されるであろうサンプルの標準的な状態である。例えば、植物、土壌、堆積物のサンプルは通常、分析される前に重さが計られる。そして、結果は単位重量あたり、そして、あるいはサンプルが採取されたところの単位面積あたりという標準的な形で報告される。通常、この種のサンプルは採取後直接重さが計られ（生重量）、乾燥され、分析される前に再度重量が計測される（乾燥重量）。しかしながら、サンプルの乾燥は緊急時には省略されるかもしれない。このプロトコールでは乾燥重量当たりとして結果を報告するため、すべてのサンプルは同じ程度に乾燥されていることを確認することが重要である。しかし、もし結果が単位質量当たりまたはサンプリングした単位面積あたりとして報告されるときは、この制限は解除

される。結果は規制当局によって定められた OILs と同じ形式で、即ち、乾燥重量または元のサンプル重量当りとして報告されるべきである。もし、前処理の過程が測定されるべきサンプルの特性を変えてしまうかもしれないものであると場合には前処理を行うべきかどうかの判断は複雑なものとなる。例えば、植物中のヨウ素のような揮発性の成分を測定する場合、植物サンプルの前処理は成分を揮発するようなものであってはならない。

記号化と記録管理

引き続き分析、計算、結果報告段階におけるサンプルの識別のために、サンプリング時または野外測定時にサンプルと求められたデータ群にはコード番号が与えられるべきである。データを転送する場合のエラーの可能性を最小限にするためコードを出来るだけ単純にすることは有利である。しかしながら、コードはサンプルとデータの各まとまりを、同じ実験室を通り過ぎる他の関係の無いサンプルとデータから区別するに充分なだけ特異なものでなければならない。ラベルやメモの読み誤りの可能性を最小にするためサンプルや野外データには明確に印を施すという注意が必要である。特にサンプリングや野外測定の段階ではサンプリングや測定の方法や時刻あるいはそれらの特質に関する情報を含んだコードを用いることがしばしば望ましいこととなる。

野外測定やサンプリング、それに引き続き分析データの記録についてのプロトコールを作成するに当たっては、記録されたデータが最終的な分析結果を作成することにかもしれない将来の潜在的な使用に対して十分に完全であるか考慮することが重要である。野外測定やサンプリングそして分析の各段階では、結果の解釈にとって重要であると予想されるものよりも、通常、更に多くの詳細な情報が得られる。それで、即座に有用であると思われる情報のみを記録する。最終データを検討しているときに、時々、記録していない情報のいくつかがそれらの結果を解釈するに当たって有用であったろうにということが明らかになる。有用な情報の欠落の可能性を取り除くため、綴じられたノートや他の回復可能な媒体に、野外または実験室での詳細なメモを記載する習慣をつけることが重要である。

化学分析と放射化学分析

化学分析と放射化学分析は承認された手順を用いて行われるべきであり、他の実験所の分析と整合性のあるものでなければならない。その手順には特有の品質管理チェックが記載されている。

機器による分析

すべての分析者にとって使用する機器の校正をしたり、作動させたり、保守したりするときに従うべき適切な手順を十分知っておくことは重要である。

機器

機器が十分な能力を発揮できるように適切な場合には予防的な整備の日程を守る。機器の動作記録は保持し、機器へのいかなる変更も文書化しておく。

校正

多くの機器に対して校正標準線源が利用できる。これらの標準線源は曲線を得るために測定される。その曲線は物質の濃度と機器からの信号強度、または測定される特性の強度を関連付けるものである。他の例では、この校正は単一の標準参照機器、線源、物質またはサンプルを用いた一点検査で構成されている。測定の質を最適化するために分析者は適切な標準線源、校正手順を用い、適切な頻度で校正を行なければ

ならない。そして標準化のトレーサビリティの記録を保持しなければならない。

バックグラウンド評価

分析者はバックグラウンド測定で使われる手順がその性質上適切で必要とされる頻度で実行されることを確かめなければならない。測定されたバックグラウンドの記録は保持されなければならない。そして、この記録はデータが適切に補正されるために、機器の問題や汚染によって生じる変動を見つけ出し取り除くことが出来るように、統計的に解析されるべきである。

機器の安定性の検査

分析者は分析的なデータを作り出すのに使われている機器のいかなる不安定性に対してもいつも気を付けているべきである。すべての電子部品は温度や湿度のような環境因子の変化のため変動し時間とともに悪化する。新しい装置でさえ弱い部品を含んでいるかもしれない。制御手順表を含めて機器校正やバックグラウンド測定の記録は機器の安定性を判断するのに用いられる主要なデータベースである。

品質管理チェック

各々の機器の動作前検査や品質管理チェックは適切に行わなければならない。

野外と研究室の記録

もし測定が検討中のパラメータを代表するものであったり、環境物質の代表であるなら、測定は大変有用である。サンプリング中または測定中に書かれるフィールドノートは普通、サンプルや野外測定の代表性を判断する基礎を提供する。同様にサンプル分析のあいだに作られる実験室ノートは分析の質を判断したり、それらの結果に悪い影響を与えたかもしれないような問題が分析手順の間に起こっていないかどうかを示すための基礎として役立つ。このため、野外測定やサンプリングの間に、またサンプル準備や分析の間に、分析の結果に影響することがかなり予期される手順のすべての状況を記録するのに努力がはらわれる。一般的な法則として定量化に影響を受けやすい関連のありそうなすべての変数は伝票にチェックマークをつけるだけでも記録されるべきである。これらの記録はそれらを書いている人や書かれている時間間隔のみに必要であるかもしれないだけでなく、多くの場合他の人たちや将来において、それらは必要とされるかもしれない。それゆえに、それを読む他の人が参照すべき事象を再構築できるようにノートは意味がはっきりしていて読みやすいことが重要である。

データ報告

防護活動管理者にデータを報告するとき、それらの不確かさの評価を提供しなければならない。単純な $X \pm Y$ の記述はいろんな方法で解釈されるので、報告された不確かさの意味は、それらが何を表しているかを正確に述べること、如何にしてそれらが計算されたかを記述することによって示されるべきである。もし不確かさが最終結果に報告された有効数字内で影響するならば、不確かさの記述は関連するすべての重要な誤差原因の評価、すなわち、これらの誤差は野外測定や採取時からなのか、分析時によるものなのか、データ換算時なのかどうかを記載していなければならない。

データが報告されるとき報告の書式は予想される使用に相応しい形であるべきである。表形式のデータは評価された不確かさや値を十分に表すことができる。グラフ表示は一般的にデータのより良い視覚化を可能にする。表やグラフの表示の両方でもって、何も直ぐに読者に明白になるものではないと仮定することは重要なことである。そして、欄見出しや凡例が表示されたデータを理解するために必要なすべての情報を含むべきである。データが表示されたとき、有効数字の適切な数のみを報告することは重要である。普通、データは予備的な計算の間に付加的な数が持ち込まれ、そして、最終結果は有効数字の適切な数に

丸められるべきである。計算機が表を印刷しているとき、使われている書式はいくつかのサンプルに対して小数点以下が多く報告されすぎる結果を招くかもしれない。もしこれが起こるなら表はすべてのデータが適切な桁になるようにするため編集されるべきである。

A 節

野外放射線及び汚染モニタリング

注意：以下に記載する手順は、適用される状況や能力に応じて改訂されるものとする。

すべての対応チームにより実施される	手順 A0	1/2 ページ
	放射線機器品質管理チェック	

目的

サーベイ活動に使用される各々の機器の動作前点検や品質管理チェックの実行のため

考察

事故処置のすべての段階における放射線障害を評価するために、放射線測定機器が必要となる。放射線測定機器の適切な保守と定期的な校正は非常に重要なことである。

加えて、放射線サーベイ機器の動作検査は電池の交換や緩んだケーブルの補修のような軽微な保守の後に同様に定期的に行うべきである。

警戒／制限

以下は、対応チームが事故現場に派遣される前にすべき手順である。もしそのチームがすでに現場にいる対応チームと交替するために現場に直接派遣されるならば、この手順はシフト交替のような合理的に都合のよいときに直ちに実行されるべきである。

事故の場合、機器の適切な機能確認には10分以下で十分である。

機器／必需品

- 測定機器が設計対象とする放射線の種類に対応した適切なチェック線源
- 検査される機器
- ワークシート A0

動作前検査

ステップ1

機器に明白な物理的損傷がないか点検する。

ステップ2

校正札または校正証明書を点検し機器校正日付を確認する。もし校正の有効期限が切れていたら機器を交換のために戻す。

注意

機器の校正有効期限が切れていたら、その機器は使わないこと。しかし、他に利用できる機器がない場合その機器を検査する。もし読み値がある特定の範囲内ならばまだ使用することが容認できる。

ステップ3

もし行動を起こす以前に電池が交換されないならば機器が使用条件を満たしていることを確かにするために機器の電池を点検する。

ステップ4

手動または電気式のゼロ機能を持っている機器はゼロに合わせる。

ステップ5

もし高圧が用いられるならば高電圧設定を点検する。多重プローブ機器の場合、そのプローブに正しい高電圧がかかっているか確認する。

ステップ6

機器を目盛り読み取りの最低レンジに設定する。メータの通常動作を観察する。もし普通でない予期されない応答または振る舞いが見られたらワークシート A0 に記録して修理のため機器を返却する。

品質管理チェック

ステップ7

測定機器が設計対象とする放射線、また、計測対象とする放射線の種類に呼応した適切なチェック線源を使用し、チェック線源を、前もって定められた計数のための幾何学的配置で、期待された読み値が確認できることを確認する。実行可能ならば多重目盛りの機器におけるそれぞれの目盛りのフルスケールの3分の2のところまで校正すべきである。

注釈

校正に引き続き、特定のチェック線源に対する応答を決定すべきである。そして一般的に、もし線量率モニターの応答がこれの $\pm 20\%$ 以内であるか、または汚染モニターが $\pm 30\%$ 以内ならば、それらの機器はまだ信頼して使うことができる。

ステップ8

勤務交代ごとの始まりと終わりに各々の機器を検査する。

注意

もし戻ってきた時の検査がネガティブならばモニタリング結果の記録に用いられる適切なワークシートにも記録する。そして、環境分析者/放射線評価者にこの機器でなされたいくつかの測定は疑わしいかもしれないことを知らせる。

ステップ9

欠陥機器を交換し代替品について品質管理検査を繰り返す。

ステップ10

ワークシート A0 にすべての機器データを記録する。任務の終了時に完成したワークシート A0 を環境分析者/放射線評価者に返却する。

環境サーベイチームにより 実施される	手順 A1	1/3 ページ
	プルームの調査	

目的

a)避難、屋内退避や甲状腺ブロック剤投与のための作業介入レベル（OIL1 や OIL2）を越えているか、b)緊急作業者の撤退手引きを適用すべきかどうか確認するために、プルームを横断や追跡することや周辺線量率を測定することによってプルームの境界を確認すること。

考察

プルームの追跡は車載測定装置を使うことができる。サーベイは線量率測定に基づく。

警戒／制限

野外で遭遇するかもしれない危害にいつも注意を払い、必要な警戒を怠らぬこと。適切な安全装置無しに野外活動を試みてはいけない。いつもどのようにそれを使うか知っておく。

被ばくは適切に成し遂げられる程度に低く維持されるように、すべてのモニタリング活動は実行されるべきだろう。チームの構成員は撤退レベルや雨によって洗い流されるプルーム内の放射性核種からの起こりえる汚染を知っているべきである。

装置／必需品

- すべての対応チームに対する共通の機器（チェックリストA0）
- 環境サーベイチーム用機器（チェックリストA1）

派遣されるのに先立って

ステップ1

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から最初の簡単な指令や最初の任務を受ける。
- 1.2. チェックリストA0やA1を使って適切な装置を入手する。
- 1.3. 手順A0に沿って機器を検査する。
- 1.4. 任務に向けて出発するとき無線の検査を行う。
- 1.5. 任務に向けて出発するときGPSの検査を行う。

ステップ2

環境分析者／放射線評価者からの指示に従って

- 2.1. 汚染を避けるために機器をビニールで包む。（もしあるのなら検出器の窓を除いて）
- 2.2. 自己読みとり式線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護機器を着用する。

注釈

もし機器に検出器窓があるなら汚染を避けるために機器をビニールで包むことはβ線や低エネルギーγ線の読み値の精度に影響するかもしれない。

環境分析者／放射線評価者から受けた情報や勧告に基づいて緊急管理者は甲状腺ブロック薬品や防護服、呼吸装置またはその他の防護装置の使用を決定する。

モニタリング位置への移動の間

ステップ3

初期放射線測定を行うためもっとも感度がよい機器や目盛りを用いて周辺線量率を観測する。

- 3.1. サーベイメータを車のなかで膝の上に置く。車の窓は閉めておく。
- 3.2. バックグラウンドの5倍かそれ以上の周辺線量率を観測したら自分の位置や読み値を環境分析者／放射線評価者に知らせる。
- 3.3. 環境分析者／放射線評価者の指図通り更なるプルームの横断／追跡を行う。

プルームの調査

ステップ4

開けているときはβ線+γ線が測れ、閉じたときはγ線が測れる窓を持った適切な機器を使って、腰の高さ（約地表1メートル）での放射線計測と地面レベル（地表3センチメートルぐらい）での下向きの計測を行う。読み値をワークシートA1に記録する。

注釈

もし使われる機器の検出器が指向性を持っていたら読み値に地面の沈着物からの放射線寄与がはいらないように腰の位置での測定をしている間は検出器の指向性部分を上向き（地面とは反対方向）にする。

ステップ5

読み値を以下の表と比較しプルームが上昇したか地表にあるのか通過したかを定める。

腰の高さで もしレベルが 窓開 窓閉	そして	地表で もしレベルが 窓開 窓閉	その場合には
$\beta + \gamma \cong \gamma$		$\beta + \gamma \cong \gamma$	プルームは上昇中
$\beta + \gamma > \gamma$		$\beta + \gamma > \gamma$	プルームは地表にある
$\beta + \gamma \cong \gamma$		$\beta + \gamma > \gamma$	プルームは通過した—地表汚染

注釈

プルームが地表にあることが確かめられたときエアースAMPLINGはプルームの中央線またはその近くで行うことを保証しなければならない。中央線の位置は速い応答を持ったモニターできめるべきである。この種のモニターは多くの場合、NaI 検出器のような汚染モニターである。

注意

線量計を一定時間ごとに検査し、読み値が定められた基準を超えたら環境分析者／放射線評価者に知らせる。

電池切れを避けるため使わないときは電池動作機器の電源を切る。但しプルームの地域から十分離れたときだけそのようにする。

汚染制御

ステップ 6

車両や個人は一定時間ごとに検査しワークシート A5 に読み値、時間や位置を記述する。

ステップ 7

任務が終了したときに手順 A5 や A8 を使って個人や機器のモニタリング（汚染検査）を実施する。または個人モニタリング除染チームに補助を依頼する。

環境サーベイチームにより 実施される	手順 A2	1/2 ページ
	大地沈着サーベイ	

目的

沈着からの周辺線量率を測定すること；大地沈着からの周辺線量率が、疎開が正当化されることを示しているような場所、あるいは、サンプリング測定されるまで食物が制限されるべきであることを示しているような場所を識別すること；ホットスポットの位置を突きとめること。

考察

大地沈着の測定は、理想的には車両、建物、樹木、道路、交通量の多い地域などから離れた手が加えられていない空地で行なわれるべきである。放出/ プルーム追跡中に最も高い線量率が確かめられた地域から開始する。プルーム通過中に降水（雨、雪）が発生した場所は最優先されるべきである。これに関連して、「ホットスポット」とはその地域の平均値以上を示す線量率の突然の、そして鮮明な局所的増加を意味している。

広大な地域をカバーするために、移動する車両の中から測定をすること（ルートモニタリング）、あるいは航空機サーベイ（手順 A6）を用いることが推奨される。しかしながら、道路モニタリングは一般的な沈着の指標としてはきわめて信頼性に欠けるものである。限られた大きさの地域における分布図の作成には、携帯型の線量率計を応用することができる。

沈着した放射能の放射性核種組成に関するより詳細な情報は、in situ ガンマスペクトロメトリー（手順 D1）を用いて得ることができる。

警戒 / 制限

野外で遭遇するかもしれない危険を常に認識し、必要な警戒をすること。適切な安全装備なしで決して野外活動を試みてはならない。常にその装備の使い方を知っておくこと。

被ばく線量が合理的に達成できる限り低く維持されるように、すべてのモニタリング活動は実施されるべきである。チームの構成員は退却レベルを承知しているべきである。

装備 / 補給品

- すべての対応チームに共通の装備（チェックリスト A0）
- 環境サーベイチーム用の装備（チェックリスト A1）

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者 / 放射線評価者から最初の概要説明と最初の指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と A1 を使い適切な装備を入手する。
- 1.3. 手順 A0 を使って機器を点検する。
- 1.4. 任務に向けて出動するとき、無線の点検を実施する。
- 1.5. 任務に向けて出動するとき、GPS の点検を実施する。

ステップ 2

環境分析者 / 放射線評価者からの指示に従って：

- 2.1. 汚染防止のためにビニールで機器（検出器の窓がある場合はそれを除いて）を包む。
- 2.2. 自動読取り式線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者 / 放射線評価者から受けた情報と勧告に基づき、緊急時管理者は、甲状腺ブロック剤、防護服、人工呼吸装置、あるいは他の防護装備を使用するか否かの決定を行なうことになる。

大地沈着サーベイ

ステップ 3

各路線を汚染地域に向かって移動し、測定器の最も低いレンジから始めて、車両の内部から測定をして（検出器ウインドウが閉じられているという状態で）、周囲の線量率がバックグラウンドの 2 倍となる地点を記録する。同様に、周辺線量率がバックグラウンドの 10 倍（約 $1 \mu\text{Sv/h}$ ）となる地点、さらには、 $10 \mu\text{Sv/h}$ 増加するごとに 1mSv/h に達するまでそれぞれその地点を記録する。

注意事項

汚染地域を通過して測定および車両の運転を行うときは、大地汚染の再飛散を防止するよう務めること。

ステップ 4

ワークシート A1 の適切な箇所に結果を記録する。

注意事項

線量計の読みを定期的にチェックし、読み値が規定されたレベルを超えたときは、環境分析者 / 放射線評価者に通知する。

電池切れを避けるために使用していないときは、電池作動機器のスイッチを切っておく。検出器窓の破損やプローブ / 検出器の汚染を防ぐように注意すべきである。

汚染管理

ステップ 5

車両と人員を定期的にサーベイし、ワークシート A5 に読み値、時間、場所を記録する。

ステップ 6

任務終了時には、手順 A5 と A8 を使い、人員と装備のモニタリング（汚染検査）を実施するか、あるいは個人モニタリングチームと除染チームからの支援を求める。

環境サーベイチームにより実施される	手順 A3	1/3 ページ
	環境の線量測定	

目的

放射能の事故的放出が起きたその周辺での放射線レベルのどんな可能性のある増加も評価すること；プルーム軌跡、そして/あるいは放射線場を再構築すること。

考察

環境線量計を、プルームの沈着が疑われる地域の内部およびその周辺に配置することが勧告される。環境モニタリングに適した TLD を選択することに注意しなければならない。

警戒 / 制限

すべての TLD は保管、配置、回収の間の曝露から遮蔽されるべきである。

装備 / 補給品

- 環境線量測定用の TLD
- すべてのチームへの共通の装備（チェックリスト A0）
- 環境サーベイチームの装備（チェックリスト A1）

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者 / 放射線評価者から最初の概要説明と最初の指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と A1 を使って適切な装備と TLD を取得する。
- 1.3. 手順 A0 を使って測定機器を点検する。
- 1.4. 任務に向かって出動するとき、無線の点検を実施する。
- 1.5. 任務に向かって出動するとき、GPS の点検を実施する。

ステップ 2

環境分析者 / 放射線評価者からの指示に従って：

- 2.1. 汚染防止のためにビニールで機器（検出器の窓がある場合はそれを除いて）を包む。
- 2.2. 自動読取り線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者 / 放射線評価者から受けた情報と勧告に基づき、緊急時管理者が、甲状腺ブロック剤、防護服、人工呼吸装置、あるいは他の防護装備を使用するかどうかの決定を行なうことになる。

TLD を受け取った時に、各チームは、輸送の間の TLD の安全な取扱い、そしてもし使用しないときの返却に対する責任を持つことになる。

環境測定用線量計の配置

ステップ3

環境分析者 / 放射線評価者により要請された地点に行く。空地に測定地点を見つける。もし GPS が利用可能ならば、その地点の位置を読み取り、ワークシート A2 に記録する。さもなければその位置を確認し、地図上にマークを付け、ワークシート A2 に記録する。その地点で周辺線量率を測定し、ワークシート A2 に記録する。

注釈

輸送の間、TLD のパッケージを、破損したり放射線や熱に曝される恐れのない最も低い場所（すなわち鉛により内張りされた箱あるいは容器）に保管する。

ステップ4

封入できるビニール袋に TLD を 2 個入れ、これを、プルーム足跡あるいは線源の中心に向けたポストあるいは造作物にしっかりと固定する。およそ地上 1 メートルの高さに TLD を取り付ける。岩石の露頭の上、あるいは地表に接して TLD を置いてはならない。

注釈

TLD はポストが TLD を遮蔽しない方法で取り付けられるべきである。

ステップ5

TLD の数を記録し、各環境測定点の位置の方位をワークシート A2 に表示することにより、TLD の回収ができるようにする。TLD が野外に配置された日付 / 時間を記録する。

ステップ6

配置終了後、環境分析者 / 放射線評価者にワークシート A2 を返却する。

回収

ステップ7

配置されたすべての TLD は、環境分析者 / 放射線評価者が指定するように、回収しなければならない

ステップ8

野外からの撤去の前に、適切な汚染検査用サーベイメーターを使い、TLD の汚染状況をサーベイする。TLD セットに汚染が発見された場合は、それらを他の TLD から隔離し、読み値を記したタグをつける。ワークシート A2 の備考欄に読み値を記入する。

注釈

バックグラウンドレベルが高いため TLD の直接の汚染検査ができないような汚染地域では、この検査は後で実行されるべきである。その時までには、TLD は汚染しているかのように扱われるべきである。

ステップ9

集められた TLD のそれぞれのセットを適当な大きさの第2のビニール袋で包装する。汚染が検出された場合は、袋とワークシート A2 にその旨書き留める。

ステップ10

集められた TLD の確認した数がワークシート A2 に記録された数と一致することを確認する。これらの TLD を収集した日付と時間を記録する。もし TLD のどれかが損傷を受けたり、あるいは紛失していたら、ワークシート A2 にその旨書き留める。

ステップ11

すべての収集された TLD を、仕上げられたワークシート A2 とともに環境分析者 / 放射線評価者に返却する。

注釈

輸送の間の、損傷、紛失、あるいは曝露の可能性を最小にするためにすべての TLD は遮蔽された容器に保管する。汚染した TLD と非汚染の TLD のセットは別々に保管されるべきである。

汚染管理**ステップ12**

帰還後、手順

A5 と A8 を使って人員と装備のモニタリング（汚染検査）を実施するか、あるいは個人モニタリングチームと除染チームからの支援を求める。

環境サーベイチームにより 実施される	手順 A4	1/4 ページ
	線源モニタリング	

目的

線源近傍の周辺線量率を評価すること、および防護活動を開始するか否か、あるいは線源を安全にするか否かが決断できるような情報を必要なときに提供すること。

考察

モニタリングの観点からは、設置されている、あるいは露出している線源にからむ事故は扱いが最も容易である。このような露出している線源近傍の線量率は、1 Gy/h のオーダー、あるいはそれ以上であるかも知れない。

紛失あるいは盗取された線源物質にからむ事故はモニタリングが最も困難である。こうしたケースでは、空中ガンマ線モニタリングの使用を考慮することは有効かも知れない。しかしながら、多くのケースでは、線源は容器の内部にあり、このため線量率は低い場合が多い。

以上のことは、使用する機器の選定に際して留意すべきである。

警戒／制限

野外で遭遇するかもしれない危険を常に認識し、必要な警戒を怠らぬこと。適切な安全装備なしで決して野外活動を試みてはならない。常にその装備の使い方を知っておくこと。

被ばく線量が合理的に達成できる限り低く維持されるように、すべてのモニタリング活動は実施されるべきである。チームの構成員は撤退レベルを知っておくべきである。

設備／補給品

- すべての対応チームに共通の設備（チェックリスト A0）
- 環境サーベイチーム用の設備（チェックリスト A1）

派遣される前

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から最初の概要説明と最初の指令を受ける。
- 1.2. チェックリスト A0 と A1 とを使い適切な装備を入手する。
- 1.3. 手順書 A0 を使い機器を点検する。
- 1.4. 任務に向けて出動するとき、無線の点検を実施する。
- 1.5. 任務に向けて出動するとき、GPS の点検を実施する。

ステップ 2

環境分析者／放射線評価者からの指示に従い：

- 2.1. 汚染防止のためプラスチックシートで機器を（検出器の窓がある場合はそれを除いて）包む。
- 2.2. 自己読取り式線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者／放射線評価者から受けた情報と勧告に基づき、緊急時管理者が、甲状腺ブロック剤、防護服、呼吸装置、あるいは他の防護装備を使用するか否かの決定を行うことになる。

線源モニタリング

ステップ 3

線量率の上昇が予測される地域へ入る前に機器のスイッチを入れる。

注釈

適切な線量率測定レンジを備えた線量率測定装置を使う。線量率が高い状況あるいは物理的に近づくのが難しい場所では、遠隔操作機能を備えた機器の使用を考慮する。

ステップ 4

- 4.1. 線源からの線量率を測定する。線源との距離を書き留める。もしも線源に接触して線量率が測定されたならば、線量率の指示値とともにそのことを記載すべきである。

注意事項

線量率計の指示値がスケールオーバーする場合は、指示値が得られるところまで線源から遠ざかり、このときの線源との距離を書き留める。もしも、目盛の範囲内の指示値を得ることができない場合は、指示値をスケールオーバーとして引用するにとどめ、自分自身および他の人々の安全確保を考える。直ちにその事態を環境分析者／放射線評価者に通報する。

- 4.2. ベータ線・ガンマ線混在場に対しては、線量率を、ベータ線用検出器窓を開いた状態と閉じた状態で測定する。この測定により、ベータ線およびガンマ線それぞれの線量率のレベルに関する相対的な指標が得られる。
- 4.3. ベータ線あるいはアルファ線の検出が推測される場合は、線源表面の間近でモニタリングする。そのとき、線量率計が汚染しないように気をつける。

ステップ 5

線源が見えない場合は、線源の位置を突き止めるため、次の方法のうち一つを用いる：

- 5.1. 線量率計を身体から離して保持し、指示値が最小になるまで身体を回転させる（ほとんどの線量率計では、線量率計の後部が線源の方に向き身体自身が遮蔽物として加わるときに最小値を示す）。最小値を示すとき、線量率計と身体の中心とを通る直線が線源のある方向を（非常に大まかではあるが）示すであろう。

注釈

この「照準線」法は、コリメートされた検出器を用いることにより、より有効に適用することができる。

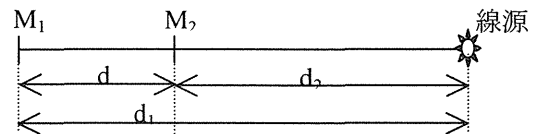
- 5.2. これとは別に、線量率の測定値が同じ値となる円を線源の周りに描くことができ、このとき、線源はその円のおよそ中心にあると仮定される。

注釈

線源近傍のもろもろの破片物や他の障害物により放射線が減弱し、線源周囲の等距離での線量率が別々の値をとることがあるかも知れない。

- 5.3. 「照準線」の上の、距離の異なる2地点で線量率を測定し、逆2乗則を用いることにより、線源までのおよその距離を推定することができる。

$$d_1 = \frac{d}{\left(1 - \sqrt{\frac{D_1}{D_2}}\right)}$$



上式において

- d_1 = 線源から遠い方の距離 [m]
- d_2 = 線源に近い方の距離 [m]
- d = 二つの測定点 M_1 と M_2 との間の距離
- D_1 = 測定点 M_1 における線量率
- D_2 = 測定点 M_2 における線量率

注意事項

局所的な遮蔽によって非常に不均一な放射線場が作られ、線量率の突然の増加や不確かな線源位置の推定をきたすようなことがないように注意すべきである。

ステップ6

データの全てをワークシート A3 に記録する。

注意事項

線量計の指示値を定期的にチェックし、指示値があらかじめ設定したレベルを超えたときは、環境分析者/放射線評価者に通報する。

電池切れを避けるため、使用していないときは、電池で作動する機器のスイッチを切っておく。検出器窓の破損やプローブ/検出器の汚染を防ぐように注意すべきである。

線源を除去できない場合は、他の者が立ち入ることを防ぐため、その区域に目印をつけ、境界線を引くことを忘れないようにする。

汚染管理

注釈

たとえ密封線源にからむ事故であっても、汚染の可能性を無視すべきではない。遮蔽が回復し、線源が適切な容器に戻されたあとに、汚染の無いことを保証するため注意深い測定が実施されるべきである（手順書 A5）。

ステップ7

手順書 A5 と A8 とを使い、人員と装備のモニタリング（汚染管理）を実施する。あるいは個人モニタリングチームと除染チームの支援を求める。

注意事項

このことは、汚染地域にいた人々、あるいはそこにいたかも知れないと推察される人々を巻き込むことになる。事故地域から持ち出された全てのものは、処分あるいは再使用する前に汚染検査を行なうべきである。

環境サーベイチームにより 実施される	手順 A5	1/6 ページ
	表面汚染のサーベイ	

目的

汚染地域、対象、器具類、機器、車両についての情報を与えること。それに基づいて防護活動、清掃活動ないし除染を開始するか否かの判断をすることが出来る。

考察

表面汚染は通常、直接モニタリング法により検出できる。複合放射線場においては、適切な機器あるいは機器の設置により α 線、 $\beta + \gamma$ 線を区別して測定できるようにする。放射された放射性核種が α 線あるいは β 線だけの場合には高い周辺線量率を与えることはない。比較的高い γ 線のバックグラウンドエリアでは、サーベイする表面と検出器の間にプラスチック板を入れることで、 β 線の読み値を γ 線と区別することが出来る。ある状況下（高バックグラウンド、感度不足、接近不可能な時等）では最初のモニタリング手順としてスメア（間接）法を用いてもよいであろう。

次の両方法は表面汚染を判断するのに使用されるであろう。即ち、直接測定のと後に除染可能な汚染であるかを定めるために代表的な場所のスメアがなされるだろう。スメアテストは又、検出限界に近い汚染場所を捜すのにも使用されるべきである。

対策レベル（アクションレベル）——除染を実施すべきレベル以上の汚染レベルに相当する前もって定められた限度、あるいは不必要な被ばくを避けるために隔離すべき対象品目や地域は定められているべきである。そのレベルは又、用いられる汚染モニタのタイプに依存する。例えば、パンケーキ型測定器を用いた時、バックグラウンド値より 300 cpm 高いレベルを対策レベルとすることは合理的である。しかしながら、少なくとも2回の除染がなされた後で、汚染が固定化され、取り扱いにより吸入、摂取、拡散することがなくなると判断された場合、バックグラウンドを越える値が 1500 cpm 未満の場合、汚染物品はその所有者に返却してもよいかもしれない。対策レベルは環境分析者／放射線評価者により定義されなければならない。

警戒／制限

野外で出くわすかもしれない害には常に注意すること。又必要な警戒を怠らぬこと。適切な安全機器なしでの野外活動を試みてはならない。いつもその機器の使用法を知っておくこと。

全てのモニタリング活動は合理的に達成できる限り被ばくを低くするようにすべきである。チーム員は引き返すレベルに気をつけておこう。モニタリング員はいかなる汚染地域やモニタリング活動中においても飲食、喫煙を慎まねばならない。

機器／補給品

- 全対応チームに必要な機器（チェックリスト A0）
- 環境サーベイチーム用機器（チェックリスト A1）
- 個人モニタリング／除染チーム用機器（チェックリスト A2）

派遣に先立って

ステップ 1

- 1.1 環境分析者／放射線評価者から初期説明と最初の指示を受ける。
- 1.2 チェックリスト A0、A1、A2 に従い適切な機器を集める。
- 1.3 手順 A0 に基づき機器をチェックする。
- 1.4 任務に向けて出動するときには無線のチェックを行う。

ステップ 2

環境分析／放射線評価者の指示に従い、

- 2.1 検出器窓以外の部分の汚染を起こさないようにプラスチック（シート）で機器を包む。
- 2.2 自己読みとり式線量計のアラームをセットする。
- 2.3 適切な個人用防護装備を着用する。最低限手袋とオーバーシューズを着用する。

注釈

環境分析者／放射線評価者から受けた情報と忠告に従い、緊急時管理者は甲状腺ブロック剤、防護服、呼吸装置、あるいは他の防護機器の使用を判断する。

表面モニタリングの直接法

ステップ 3

問題となっている放射性核種汚染に対して適切な汚染モニタを選ぶ。汚染が疑われている地域に入る前、あるいは汚染がありそうな表面に近づく前にスイッチを入れて、適切な時定数（可能であれば）を選ぶ。ワークシート A4 にバックグラウンド放射線レベルを測定し、記録する。検出器が汚染されていないことを確認するため定期的にこのレベル（バックグラウンドレベル）であることを再チェックする。

注釈

汚染が近づけない場所にある場合は、ケーブルで線量率計に接続された分離探査用の汚染モニタが必要であろう。

ステップ 4

汚染モニタの音声反応を利用して、汚染していそうな表面を一定速度で動かしながら、汚染モニタでそのエリアを連続的に掃引する。パンケーキ型検出部の保持方法として推奨される方法を図 A1 に示してある。周辺から中心に向かってモニタリングを行う。音声反応が有意な読み値を示している時、メータを見て読み取る。気づいたときは、メータが平均値に落ち着くまで指示値の読みを充分待つ。必要に応じてレンジを変えて、対象とする各点の平均指示値を記録する。

注釈

モニタの音が出ない時は、掃引を機器の反応時間（時定数）と同じ速度で行うべきである。汚染モニタは速い応答時間を持ち、どんな有意な汚染レベルもある一定の掃引速度のときに検出できることが望ましい。もし汚染場所が特定された時、よりゆっくりとした掃引速度によって汚染範囲をはっきりと特定できることが望ましいであろう。

ステップ 5

- 5.1 α 線、軟 β 線に対する汚染モニタの場合は、モニタを表面に近づける（プローブ窓とモニタする表面の距離は 0.5cm を越えてはならない。）。
- 5.2 湿った表面は α 線を遮蔽する可能性があるため、表面が乾いた時に再度モニタするか、あるいは表面を実験室分析用として採取する。

注釈

粗い表面ないし吸収性の表面は α 線と軟 β 線汚染をはなはだしく低く見積もるようになるかもしれない。このような場合直接モニタリングは汚染の存在を示すかもしれないが、放射能の推定に際しては十分な注意を払うべきである。報告を“ x Bq cm^{-2} より高い”ないし同等との表現で行うことを勧める。

モニタ表面から約 0.5cm にプローブを保つためにスタンドオフ付属品が使用できる。プローブの引きずられる方の底の端の下にまで伸ばした手袋をした指先でプローブをささえることは、もう 1 つの有益な方法である。

広いエリアでの α 線サーベイは代表的な場所のみがチェックされるので定性的となる。測定点数はエリアの大きさと許されるモニタリング時間に左右される。

ステップ 6

α 、 $\beta + \gamma$ 、 β および/または γ なのか、どこで、いつ読みとったか、読み取りに際して特殊な状況下であったかどうかをワークシート A4（車のモニタリングの場合はワークシート A4a）に記録する。測定機器や測定品目に関する測定データは特定の測定機器または品目に書き添えられるべきであり、ワークシート A4（車のモニタリングの場合はワークシート A4a）に記録する。

注意事項

モニタリングチームはモニタリング中に自身が汚染しないよう、又汚染を広げないように汚染の可能性のある表面に接触しないように気を配るべきである。

線量計を定期的にチェックし、前述の値を越えた時は環境分析者/放射線評価者に知らせる。

バッテリーで動く機器についてはバッテリーの上がりを守るために使用しない時はスイッチを切る。測定器や測定器のプローブがある場所をいつも見ておくこと。検出窓の破壊やプローブ/検出器の汚染を防ぐための注意が必要。

車両の汚染サーベイ

注意事項

放射線コントロールエリアで使用する全ての車両はモニタしなくてはならない。提案された記載様式は [2] のワークシート C1 に与えられている。

ステップ7

車両の一般的なグロスβ-γサーベイは、まずグリル、ホイールのみぞ、バンパー、そしてタイヤのサーベイから行う（ワークシート A4a の項目 A-G）。外面の汚染がアクションレベル以上であった場合は、ワークシートの適切な所に読み値を記録する。次に車を除染用に定められた場所ないし隔離が確保できる場所に移動する。

注意事項

モニタリングチームは、モニタリング実施中に自身の汚染を避けるため、又、車両内部への汚染を広げないようにするために、車の汚染の可能性がある外側には触れないように注意を払うこと。車の外部表面汚染が発見された時は、車の内部、あるいはエンジン部分をサーベイする前に外部を洗車（除染）すべきであることに注意する。

ステップ8

バックグラウンドより高いが対策レベルより低い汚染が車の外側のサーベイ時に検出される場合☞：

- 8.1 エアフィルタ枠の表面をサーベイする。もし実行可能ならば、グロスγ線をサーベイする。
- 8.2 車の内部に対策レベルを超える汚染があるかどうか決定するために、例えば座席、床、ひじかけ、ハンドル、ギヤシフト棒の様な車の内部表面をサーベイする（ワークシート A4a の I と J 項）。

これらの場所の読み値が介入レベルを超えているときは、車の運転手にこの事を知らせ、車を適切な除染処理方法が決定されるまで隔離するよう忠告する。車に関する全ての情報を記録し、発見された汚染程度をワークシート A4a に記入する。

注意事項

エアフィルタ枠のサーベイで対策レベル以上の汚染がある時は、エアフィルタを取り出してはいけない。この部分が汚染している場合はモーターオイルを含むエンジン内部もまた汚染されているかもしれないと思うべきである。この車両は他のモニタリングや除染が完了する時まで隔離しておくこと。

注釈

車のドライバーに汚染品目の預かり書を与えること。

ステップ9

初期の除染を試みたのち、汚染が発見された場所を再度サーベイする。

- 9.1 汚染レベルがかなり減少しているが、まだ対策レベル以上の汚染が残存しているときは、除染を繰り返した後、又サーベイする。
- 9.2 対策レベル以上の読み値が依然としてあるときは、車両を更なる評価のために保護エリアに隔離しておくべきであることを運転手に助言する。
- 9.3 車両に関する全ての情報を記録する。又発見した汚染の程度についてワークシート A4a に記録する。

ステップ10

初期の外面の除染作業において、対策レベルより低い値にまで除染できなかった時は、その汚染は固定されているのかも知れない。拭き取りテスト（ステップ11）でこれを確認し、その結果をワークシート A4a に記述する。

注釈

固定された汚染について、対策レベルの5倍以下の読み値の場合には、他の除去可能な汚染がなければ車両は開放して良いだろう。

表面モニタリングのスメア法

ステップ11

エリアを代表するサンプル収集場所を選ぶ。可能であればおおよそ 100cm^2 ($10\text{cm}\times 10\text{cm}$) の既知のエリアに印を付ける。

注釈

サンプル収集場所は平坦、なめらかな静止した表面であること。スメアは又、道路、歩道等にも注意を払いながら用いることができる。スメアにより擦りとられた固定されていない汚染の正確な割合がわからない時は、既定値 0.1 を用いるべきである。

ステップ12

前もって印をつけたエリアの上を2本の手袋をはめた指で注意深く擦ってスメアする。磨り減らして穴を開けたり、スメアが丸まるほどの圧力をかけて行ってはならない。

ステップ13

スメアの汚染レベルを推定するのにポータブル汚染モニタを使用しなさい。エリアや目的物の汚染レベルを推定するには、スメアにより除去された放射能の割合（スメア効率）を決めなくてはいけない。読み値を記録し、伝達する。

注釈

スメアモニタは読み値に影響するかもしれないような他の近くにある線源の方向に検出器を向けないようにして、検出器を前もって決めた距離にスメア面を保つようにしてなされる。もし、バックグラウンドが測定しづらいほど非常に高い時は、低いバックグラウンドに移動するかあるいは高いバックグラウンド下で値を読めるようにスメアサンプル用の特殊遮蔽ホルダーを使用する。

スメア内での自己吸収は放射能のグロス値を低く見積もることになるかもしれない。この場合液体シンチレーション計測が推奨される。よってスメアは、可能ならば、後の分析のために保管すべきである。この方法に関係する人はプローブ+スメアモニタリング法の限界を知っているべきである。

ステップ14

- 14.1 サンプルについて適切な情報（サンプリング場所、日時、採取者のイニシャル、並びに必要な時に採取場所をまた見出せるようにスメアしていただきたいの場所）と一緒にプラスチック袋にラベルする。
- 14.2 全てのデータをワークシート A4 に記録する。
- 14.3 スメアサンプルをサンプル分析者に届ける。

注意事項

線量計を定期的にチェックし、読みが規定値を超えた場合は環境分析者／放射線評価者に知らせる。

汚染コントロール

ステップ15

サーベイの終わりに、使った全ての器具類と機器の汚染をチェックする。読み値とチェックの時間をワークシート A4 に記録する。汚染が見つかった時は除染をできるだけ早く実施ように努力する。除染の効率をチェックしてワークシート A4 に読み値を記録する。

注釈

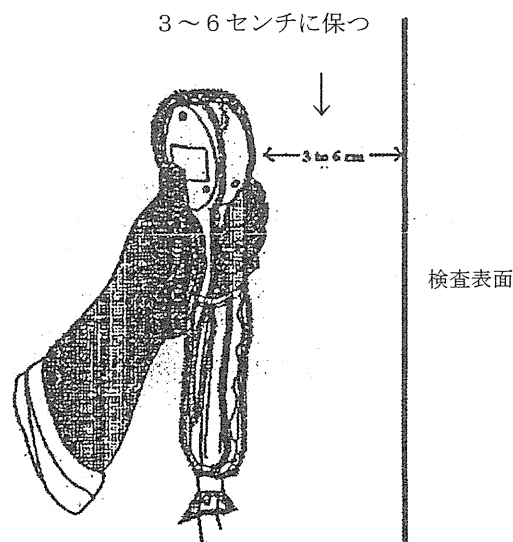
もし除染が必要とされ、可能ならば、いくつかの方法のうちの一つ、例えば乾いた布でふき取る、石鹼と水で流す、等々の方法を除染に用いて行うことができる。局在化している物質を広げてしまうような除染方法や表面浸透を増加させる除染方法をとってはならない。もし即座に除染がうまく出来ないときや実際的でない場合は、作業者は物品や機器の除染を断念して、所有者に汚染物品の預かり書を渡す。汚染物品をきちんと包装、ラベルし、人に害を与えることのないよう、又汚染が拡大することのないような状態で保存しなければならない。

ステップ16

手順 A 8 で個人の汚染チェックを実施する。汚染地域を離れる全ての人がモニタされることを徹底する。

図 A1

汚染の検出に使用する時のパンケーキプローブの持ち方として推奨する方法



注：米国イリノイ州、原子力安全局提供

In situ ガンマ線スペクトロメ トリチームにより実施される	手順 A6	1/8 ページ
	航空機モニタリングによる汚染サーベイ	

目的

防護措置および除染作業を始めるため、放射性核種の特特定を目的とした測定により、広域の表面汚染情報を得ることである。

考察

航空機スペクトロメトリ測定は広い地域を迅速にサーベイする適切な方法であると考えられる。こうしたサーベイのために高純度ゲルマニウム検出器 (HPGe) が最も適した検出器であるが、NaI(Tl)検出器も使用される場合があるだろう。

土壌中の放射性核種の実際の分布と換算係数を定めるために用いた分布との差や、地形の構成 (森林、建物など) および可能性のある未知の要因による数多くの不確かさに航空機ガンマ線スペクトル分析は左右される。

光子エネルギーや (ヘリコプター自身の遮蔽の可能性を含む) 入射角に対する関数としての検出器の応答を知らなければならない。そのため、スペクトロメータは航空機測定のためには、どのような使用にあっても先立って較正をしなければならない (手順書 D1a と A6a)。そして、手順 D3 を用いて、スペクトロメータ系の正常な動作を定期的にチェックしなければならない。

地表汚染を迅速に決定して輪郭を描くためには、地上でのサンプリングは随意で良い。しかし、時間があれば航空機測定のクロス較正のためにサンプルは有用である。

一般に、サーベイの目的によって、いくつかの異なった飛行の可能性がある。ヘリコプターによるサーベイには以下の探査様式が使用されるであろう。

平行軌跡探査 (Parallel Track Search) -PT:

記載事項: 300m の軌跡間隔で数 km の距離を平行直線軌跡。

適用: 平地か丘陵地形のサーベイ

線形探査 (line Search) -LS:

記載事項: 特別なライン (たとえば道路、鉄道線路、川) に沿い 300m の距離をおいた平行軌跡での飛行。

適用: 道路に沿ってのサーベイ。

等高線探査 (Contour Search) -CS

記載事項: 地理上の等高線に沿っての飛行。

適用: 深く刻まれた切通しや山のような地形のサーベイ。

貫通探査 (Penetration Search) -PS

記載事項: 異なる軌跡上の目印から目印への飛行。

適用: 汚染地域境界の迅速な発見。

フォールアウトの地図作成においては、飛行ラインの方向は、プルーム通過時に吹いていた風の風下で風に対しておおよそ直角にとるべきである。飛行ラインの間隔は初期の評価においては幅広く取ることができ、その後より詳細なマッピングのため間隔を狭める。

すべての可能なタイプの空中スペクトロメータシステムと、それに対応した測定データの評価に関する手順について詳細な手順を与えることは難しい。測定パラメータ（高度、飛行速度、座標、測定時間など）を収集し、放射線データと同時に保存することは基本的なことである。それらのデータは汚染地図を作成するために必要である。

ここでは一般的な手順についてのみ記載する。実際上は、適応されるべき特定のスペクトロメータシステムとそれを用いた特定な測定作業に対して、この手順を改定したり、事情に応じて設定を変更すべきである。航空機ガンマ線スペクトロメトリシステムの例については図 A2 を見よ。

要約

分析対象：	ガンマ線放出核種
幾何学的条件：	ヘリコプターあるいは固定翼機に航空機ガンマ線スペクトロメトリシステム、できれば HPGe 検出器—場合によっては—NaI(Tl)検出器を搭載しての飛行。
サンプルの種類：	サンプリングは必要としない。
マトリックス：	土壌、空気
MDA：	1-5 kBq/m ² (検出器の検出効率、飛行高度、放射性核種と土壌中におけるそれらの核種の分布に依存する)
測定時間：	10-300 秒/サイクル (検出器の検出効率、飛行高度、放射性核種、土壌中におけるそれらの分布と濃度に依存する)。
精度：	30-50% (土壌中の放射性核種の分布、サーベイした地形の構成、キャリブレーション精度、測定時間に依存する。)

警戒/制限

もしスペクトロメータを異なったタイプの航空機（ヘリコプター）に設置するのであれば、あらかじめ試験をしておくべきである。

もし航空機が汚染された空中を飛んだ疑いがあるときは除染と大地での測定が確認のため必要である。一般に飛行は日中のみに行うことができるが飛行視界は 1.5km 以上、雲は地上から 150m 以下にないといった有視界飛行可能な気象条件が必要である。

被ばく線量を合理的に達成できる限り低く保つために、すべての測定活動は実施されるべきである。チームの構成員は撤退レベルを知っておくべきである。

装備/補給品

- すべてのチームへの共通の装備（チェックリスト A0）
- 航空機ガンマ線スペクトロメータシステム（チェックリスト A3）
- ヘリコプター又は固定翼機

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1 環境分析者/放射線評価者から最初の概要説明と指令を受け取る。
- 1.2 チェックリスト A0 と A3 を用いて適切な機器をそろえる。
- 1.3 手順 A0 を用いて機器の点検を実施する。
- 1.4 気象条件と予報に関する情報を得る。
- 1.5 サーベイする地域に関する情報を得る。
- 1.6 環境分析者/放射線評価者から使用する座標システムに関する情報を受け取る。

ステップ 2

環境分析者/放射線評価者からの指示に従って：

- 2.1 自動読み取り式線量計の警報をセットする。
- 2.2 適切な個人用防護装備を着用する。

飛行前のチェック

ステップ 3

航空機スペクトロメータシステムに明らかな物理的破損がないかどうかを検査する。

ステップ 4

検出器を設置するにあたっては、ヘリコプターや航空機の燃料タンクや他の部品による遮蔽を最小限にするよう、適切な位置を選択する。

ステップ 5

ヘリコプターあるいは固定翼機に搭載された航空機スペクトロメータシステムの適切な機械的据付けをチェックする。

ステップ 6

ボードネット (board net) への電氣的接続と同様にレーダー高度計、GPS を含む航空機システムの電氣的接続をチェックする。

ステップ 7

HPCe 検出器を使用する場合、検出器デュアー瓶中の液体窒素をチェックし、必要であれば出発前に再び満たす。

注意事項

狭い空間で（液体窒素が）こぼれる事件がおきた時の酸素欠乏空気を吸入することによる乗員の窒息の可能性を最小限にするために 5%以上の液体窒素を入れない。また、液体窒素の流出はパイロットの視界を不明瞭にしたり、目、皮膚、機器類に損傷を引き起こす可能性もある。

ステップ 8

測定システムのスイッチを入れ、製造会社から提供された又は社内で開発された手順書（マニュアル）に従って測定システムの基本的機能をチェックする。

ステップ 9

たとえば測定時間、データ保存サイクルの設定など適切な測定のためのパラメータをセットする。

ステップ 10

- 10.1 任務のため出発する前に無線のチェックを行う
- 10.2 GPS をチェックする。
- 10.3 レーダー高度計をチェックし、必要があれば機器を校正する。

注意事項

ヘリコプターあるいは固定翼機の操縦士により行われる手順、すべての必要な許可を含む飛行作業、燃料や潤滑油、兵站支援などについてはここでは論じない。それらは飛行にあたっての国の規定に順ずるべきである。

パイロットの決定は義務的なものであろう。

ステップ 11

全ての関連するデータは日誌、チェックリスト、ワークシートに記録する。

測定

ステップ 12

サーベイする地域へと飛行して、一連の測定を開始し、環境分析者／放射線評価者によってあらかじめ与えられた飛行ルートに従う。

その状況や国の監督官庁の要求に依存するものであるが、推奨されるべき飛行パラメータは以下の通りである。

- i. 飛行高度：一般的には 90-120m 上空（ヘリコプターを使用する場合）を飛ぶが地形にもよる（木、建造物、送電線など）。飛行高度は可能な限り一定に保つべきである。建造物のあるような地形ではヘリコプターは建造物に沿って飛ぶように努めるべきである（安全第一！）。翼固定機での飛行高度は通常はもっと高い。
- ii. 飛行速度：使用するヘリコプターあるいは航空機の特徴に従う。ほとんどの場合ヘリコプターは毎時 60-150km で飛ぶように推奨されている。

注釈

測定パラメータ（高度、飛行速度、座標、測定時間など）を収集し、対応した放射線データとともに同時に保存することはきわめて重要なことである。これらのデータは汚染地図を作る際に必要となる。

サーベイ中のチェック

注釈

たとえばゲイン、高圧、ピークの位置、スペクトルのエネルギーシフトなど、サーベイ中のチェックは製造元の手順書（マニュアル）に従って行われるべきである。視覚によって測定データ、高度、GPS-データをチェックすることは非常に有用で、一般的には義務化されている。サーベイ中に必要なチェックについて前もって独自の事情に応じた手段を作成する。

最終着陸のあと

ステップ 1 3

製造元の手順書（マニュアル）に従って計測システムの基本機能を再チェックする。すべてに関連することを日誌に記録する。どのような不一致についても環境分析者／線量評価者に通知する。

ステップ 1 4

データは直ちに使えるような形になっていることを確かめる。すべての測定データのバックアップコピーを作る。

ステップ 1 5

ヘリコプター又は航空機や装備の汚染を手順 A-5 を用いてチェックする。

注意事項

もし放射性ブルームを通過する飛行があればヘリコプターあるいは固定翼機は汚染の可能性がある。もしヘリコプター又は飛行機が汚染された表面に着陸した場合、汚染を最小限にするように細心の注意をすべきで、航空機内部が汚染されることを防ぐ。汚染された陸地に着陸することは勧められない。

分析

注釈

ほとんどの場合、測定データの分析は任務（飛行）の後に行われるだろう。使用する測定システムによるが、飛行中に測定したスペクトルをある程度評価することができる。そして少なくともいくつかの支配的な放射性核種による土壌汚染をリアルタイムで推定することができるだろう。

仮に航空機にデータロガーがあれば測定データは飛行中にデータの初期評価のために無線で報告できる。

ほとんどの市販されているスペクトロメロリ-のシステムあるいは評価ソフトウェアプログラムは次々とステップを踏んで進める機能が内蔵されている。独自の事情に応じた評価手順を作成する。

ステップ 1 6

スペクトルにおいて検出されたラインの正味のピーク面積を決定する。

- 16.1 それぞれの関心領域の総カウントを総計する。
- 16.2 ピークの両サイド、3 チャンネルのバックグラウンドカウントの平均を計算する。
- 16.3 この平均にピーク内のチャンネル数を乗じてピークのバックグラウンドカウント数を求める。

- 16.4 正味のピーク面積を求めるために、ピークの総カウント数からピークバックグラウンドカウント数を差し引く。

注釈

上に示したアルゴリズムはシングルピークのみ適用される。オーバーラップしたピークはより複雑なアンフォールディング技術とコンピュータの使用が必要となる。

ステップ 17

スペクトルにおいて見出されたエネルギーに基づいて放射性核種を同定する。放射性核種の半減期、ガンマ線エネルギー、そしてその放出割合のデータは、信頼ができかつ参照されている放射性核種ライブラリーの電子版あるいは印刷コピーに見出されるだろう。エネルギー、正味のピーク面積、その統計的な計数誤差や関連する放射性核種はプリントアウトしておく(手順 D1 と D2 を参照せよ)。

ステップ 18

地上の放射性核種濃度は以下の式を用いて推定する。

$$C = \frac{10 \cdot (N - N_b)}{t \cdot C_f \cdot p_r \cdot SF}$$

ここで

- C = 測定した放射性核種の表面濃度 [kBq/m²]
 N = エネルギーEにおけるピークのカウント数
 N_b = エネルギーEにおけるピークのバックグラウンドカウント
 t = 測定ライブタイム [秒]
 C_f = エネルギーEにおける検出器のキャリブレーションファクター[cm²] (手順書 A6a の結果)
 p_r = エネルギーEにおけるガンマ線に対する放出割合
 SF = 遮蔽係数

注釈

遮蔽係数 (SF) は測定対象のガンマ線が透過する、ヘリコプターや固定翼機を構成している部品や材質による光子減弱を補正するため、上記の式に導入されている。この係数は特定の乗り物や測定の配置に対して決める必要がある。複雑な構造は評価の基になる放射線場の円筒状の対称性を歪ませるから、SF の正確な値を得ることは難しい。非等方性の影響と全フラックス密度の減弱は、異なった光子エネルギーの点線源を用いた測定により最もよく決定することができるだろう。実験データがない場合、SF は次の式で近似することができる。

$$SF = e^{-\mu_x \cdot d_x}$$

ここで、 μ_x はある光子エネルギーに対して与えられた平均線減弱係数で、 d_x はガンマ線が通過する物質の平均の厚さである。

ここで注意しなければならないのは、一上に述べたような理由のため—SF は相対的に高い不確実性をもってしか決定できないということである。この係数を使う主な目的は、汚染について起こりうる過小評価の範囲を明らかにすることである。この意味で μ_x は起こりうる線減弱係数の最高値を、そして d_x はガンマ線が横切る最も厚い部分をとることによって、測定したフラックス密度の減少の下限値を与えることとなるだろう。

ステップ19

全ての結果と測定パラメータは日誌とワークシート A8 に記録する。

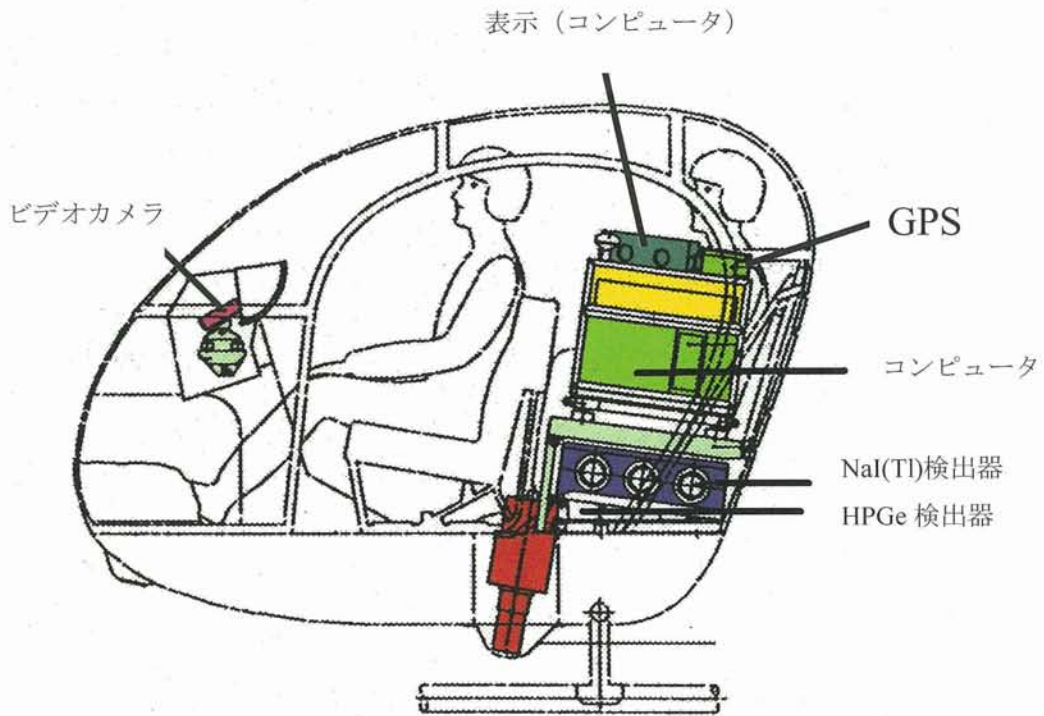
ステップ20

それぞれの放射性核種についてのフォールアウトマップを用意する。

注釈

このような一般的な手順では、測定したデータの評価についてすべてのステップ、すべての可能性のある方法についてそれぞれに特有な詳細を提供することは難しい。サーベイの成果物は通常、それぞれの放射性核種について表面放射能濃度の輪郭を描いたフォールアウト地図である。これは通常、適当なソフトウェアあるいは社内で開発されたソフトウェアと手順書を用いて作成される。

図 A2
航空機ガンマ線スペクトロメトリシステムの例



注：放射線防護のドイツ連邦オフィス提供

In situ ガンマ線スペクトロメトリチームにより実施される	手順 A6a	1/3 ページ
	航空機モニタリングのための スペクトロメータ校正	

目的

高純度ゲルマニウム検出器を用いた航空機サーベイのためのガンマスペクトロメータを校正すること。

考察

それぞれの放射性核種による土壤汚染を評価できるようにするために、ガンマスペクトロメータは校正するべきである。この校正手順は、in situ ガンマスペクトロメトリで与えられた手順（手順書 D1a）と同じようなものである。

ある放射性核種の表面濃度（ A_s ）に対する特徴的なガンマ線の正味のピーク領域のカウント率（ R_f ）の比で与えられる検出器の校正係数（ C_f ）は、個々に求めることができる三つの係数の積として示すことができる。：

$$C_f = \frac{R_f}{R_0} \cdot \frac{R_0}{\Phi} \cdot \frac{\Phi}{A_s}$$

ここで、

- C_f = 検出器の校正係数
- R_0/Φ = 応答係数；検出器軸（検出器の表面に垂直）に沿って検出器に入射するエネルギーEを持つ単位1次光子のフラックス密度によるピーク計数率
- R_f/R_0 = 角度校正係数；検出器の角度応答を説明するために必要とされる。
- Φ/A_s = 幾何学的係数；放射性核種の単位導入量や単位濃度あたりに対する、検出器位置での光子の総フラックス密度

In site スペクトロメトリに対する検出器校正係数を計算するための完全な様式は、[10,14]に与えられおり、高純度ゲルマニウム検出器を用いた航空機ガンマスペクトロメータシステムの校正にも使用することができる。

応答係数 R_0/Φ は、値づけされている点線源を用いた実験室での測定により決められる。角度校正係数 R_f/R_0 は、検出器の角度による感度の実験室での測定とフラックス密度の角度分布のモデル計算値との組み合わせによる決められ、最後に、幾何学的係数 Φ/A_s は[14]に記述されている方法を用いて異なる各高度に対して計算される。

土壤汚染を評価するためには放射性核種の土壤中の分布を知ることが極めて重要である。ほとんどの場合、土壤中の人工放射性核種は、深さとともに指数関数的に減少する分布で表現することができる。この場合、関連パラメータは質量緩和パラメータ α である。原子炉事故直後では、土壤中の放射性核種の時間依存分布及び土壤層の深部への浸透は、比較的重要なものではない。地表面分布を仮定することにより、放射性核種の地表濃度は、2 倍まで過少評価するかも知れない[14]。

警戒/制限

大気サーベイのためのスペクトロメータ校正は、あらかじめ、使用に先立って行うこと。

機器/補給品

- 航空機ガンマ線スペクトロメータ
- 値付けられている点線源

ステップ 1

手順書 D2a を用いてスペクトロメータのエネルギー校正を行う。

ステップ 2

手順書 D1a (ステップ 3) を用いて R_0/Φ の検出器の応答係数を決める。

ステップ 3

手順書 D1a (ステップ 4) を用いて R_f/R_0 角度校正係数を決める。

ステップ 4

航空機モニタリングにおいてよく用いられる各飛行高度での土壌への浸透のない表面汚染に対応する図 A3 のカーブから、スペクトル中のエネルギー E のピークと飛行高度に対する幾何学的係数 Φ/A_s を読み込む。それ以外の高度に対する幾何学的係数は、各曲線間の内挿や[10,14]の様式を用いて決めることができる。

ステップ 5

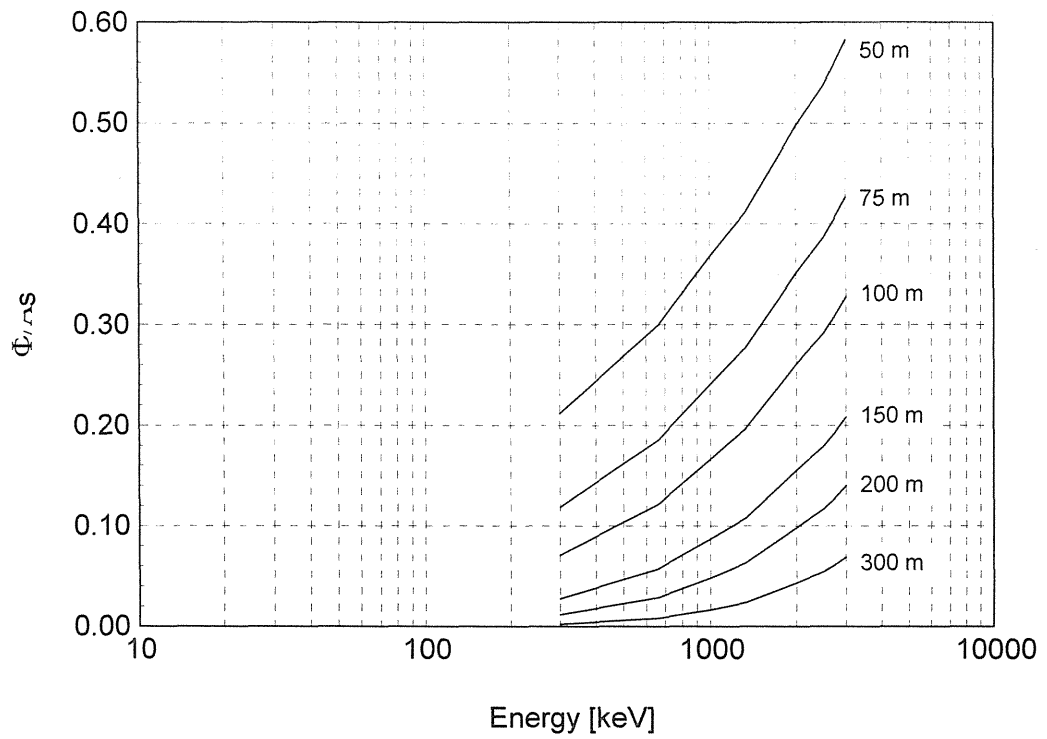
検出器の異なる各エネルギーでの校正係数は、以下の三つの係数の積により計算する。

$$C_f = \frac{R_f}{R_0} \cdot \frac{R_0}{\Phi} \cdot \frac{\Phi}{A_s}$$

対数対対数スケールで、各飛行高度での C_f とエネルギーの関連をプロットして、スムーズカーブによりデータをフィットする。スペクトロメータ記録帳にすべての C_f 点を記録し図を保存する。

図 A3

放射性核種が表面分布のときのさまざまな飛行高度に対する光子エネルギーの関数として示した幾何学的係数 ϕ/A_s



In situ ガンマ線スペクトロメ トリチームにより実施される	手順 A7	1/7 ページ
	航空機サーベイによる線源モニタリング	

目的

線源の安全を確保し、防護活動そして／あるいは洗浄作業を開始するために、広い領域においてガンマ線放出線源を検出し、その位置をつきとめ、核種を特定すること。

考察

航空機モニタリングは、広い領域の迅速な搜索に最も適した方法だと考えられる。この場合は、NaI(Tl)検出器が一番適している。しかし、加圧型電離箱、比例計数管、GM 検出器や他の適当な線量率計を用いたシステムも用いられるだろう。

光子エネルギー及び入射角度の関数（ヘリコプター自体の遮蔽の可能性も含んで）としての検出器の応答は調べられているべきである。このシステムは、使用に先立って、航空機モニタリングのために校正されるべきである。もし、スペクトロメータシステムを使用するならエネルギー校正においては手順書 D2a、検出器の校正係数においては手順書 A6a を用いる。代わりに加圧型電離箱、比例計数管、GM 検出器や他の適当な線量率計を使用するなら、簡単な校正手順を適用できる。この場合、与えられたジオメトリに対する検出器効率の迅速で簡単な校正は、適当な参考線源の上を飛行することにより実験的に実行することができる。

いかなる搜索活動を計画する時においても、以下の点を考慮すべきである：

- i. まず、汚染の疑いのある線源位置をサーベイすべきである；その中で、搜索領域は、居住地域を優先する。
- ii. 飛行ライン間隔及び飛行高度は、線源の放射能とその数、モニタリングシステムの感度に依存する。
- iii. 航空機及びヘリコプターの飛行能力
- iv. 地上チームと乗務員との連絡

一般に、サーベイの目的によっていくつかの異なった飛行可能性がある。ヘリコプターによるサーベイでは以下の搜索様式が用いられるであろう。

平行軌跡探査－PT

記載事項：300m の軌跡間隔で数 km の距離の平行直線軌跡

適用：平地か丘陵地形のサーベイ

線形探査－LS

記載事項：300m の距離をおいた平行軌跡を持つ特定のライン（例えば、道路、鉄道線路、川）に沿っての飛行

適用：道路に沿ってのサーベイ

等高線探査－CS

記載事項：地理上の等高線に沿っての飛行

適用：深く刻まれた切通しや山のような地形のサーベイ

貫通探査-PS

記載事項：異なった軌跡上の目印から目印までの飛行

適用：汚染地域境界の迅速な発見

一般観点での搜索活動について[2]

航空機モニタリングシステムのすべてのありえるタイプに対して詳しい手順書を与えるのは難しい。したがって、ここでは、一般的な手順書についてのみ記載する。実際上は、この手順書は、使用される特定のスペクトロメータシステムや線量率モニタに対して改定したり、事情に応じて設定を変更するべきである。

要約

分析対象：	ガンマ線放出放射性核種
幾何学的条件：	地上の点線源；ヘリコプターや固定翼機に航空機ガンマモニタリングシステムを備えて飛行。可能ならば NaI(Tl)検出器を使用
サンプルの種類：	サンプリングを必要としない。
マトリックス：	土壌、空気
MDA：	数 100MBq（検出効率、飛行高度、放射性核種及び飛行間隔に依存する。）
測定時間：	1-5 秒/サイクル（検出効率、飛行高度及び放射性核種に依存する。）
精度：	好都合な条件下で放射能に対して±30%から±50%（サーベイを行った地域の構造、校正精度、測定時間、環境条件、放射性核種、自然放射線バックグラウンド、飛行間隔に依存する。）

警戒／制限

校正後、システムの設定及び調整条件は変えないこと。

一般に、飛行は日中のみに行うことができるが飛行視界は 1.5km 以上、雲は地上から 150m 以下にないといった有視界飛行可能な気象条件が必要である。すべてのモニタリング活動は、被ばく線量を合理的に達成できる限り低く保つために実施されるべきである。チーム構成員は、退却レベルを知っておくべきである。

装備／補給品

- すべてのチームへ共通の装備(チェックリスト A0)
- 航空機ガンマモニタリングシステム(チェックリスト A3)
- ヘリコプターあるいは固定翼機

注意

ヘリコプターあるいは固定翼機の操縦士により行われる、すべての必要な許可を含む飛行作業、燃料やオイル、兵站支援などについての手順はここでは論じない。それらは飛行にあたっての国の規定に順ずるべきである。

パイロットの決定は、In situ ガンマスペクトロメトリチームにおいて義務的なものである。

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1 環境分析者／放射線評価者により初期の概要説明及び指示を受け取る。
- 1.2 チェックリスト A0 及び A3 を用いて適切な装備を備える。
- 1.3 チェックリスト A0 を用いて機器をチェックする。
- 1.4 気象条件及び予報に関する情報を入手する。
- 1.5 サーベイを行う地域の情報を入手する。
- 1.6 環境分析者／放射線評価者から使用する座標システムの情報を受け取る。

ステップ 2

環境分析者／放射線評価者からの指示に従って：

- 2.1 自動読み取り式線量計の警報を設定する。
- 2.2 適切な個人用防護装置を身につける。

飛行前のチェック

ステップ 3

航空機モニタリングシステムに明らかな物理的な破損がないかどうかを検査する。

ステップ 4

検出器を設置するにあたっては、ヘリコプターや航空機の燃料タンクや他の部品による遮蔽を最小限にするよう、適切な位置を選択する。

ステップ 5

ヘリコプターあるいは固定翼機内での航空機モニタリングシステムの適切な機械的据付けをチェックする。

ステップ 6

ボードネットへの電氣的接続と同様にレーダー高度計、GPS を含む航空機システムの電氣的接続をチェックする。

ステップ 7

測定システムにスイッチを入れる、そして、製造会社から提供されたか、社内で開発された手順書（マニュアル）により基本的機能をチェックする。

ステップ 8

たとえば関心領域、エネルギー幅、測定時間、データ保存サイクルの設定などの測定パラメータを設定する。

注意

あるエネルギー幅で測定率が超えた時、視覚的または聴覚的に警告をする測定率のアラームレベルの設定を考慮する。この機器は迅速な応答時間を持つべきである。（5 秒以内の時間定数）

1 サイクルの測定時間は、検出器の効率、飛行高度又は検出したい線源の放射能強度に依存する。大抵、測定サイクル時間は 1-5 秒である。

ステップ 9

- 9.1 任務のため出発する前に無線のチェックを行う。
- 9.2 GPS システムをチェックする
- 9.3 レーダー高度計をチェックする。そして、必要があれば、機器を校正する。

注意

ヘリコプターあるいは固定翼機の操縦士により行われる手順、すべての必要な許可を含む飛行作業、燃料やオイル、兵站支援などについてはここでは論じない。それらは飛行にあたっての国の規定に順ずるべきである。

パイロットの決定は、In situ ガンマスペクトロメトリチームにおいて義務的なものである。

ステップ 10

日誌には、関連するすべてのデータを記録する。

測定

ステップ 11

サーベイする地域へと飛行して、一連の測定を開始し、環境分析者／放射線評価によってあらかじめ指示された飛行ルートに従う。

その状況や国の監督官庁の要求に依存するものであるが推奨されるべき飛行パラメータは以下の通りである。

- i. 飛行高度：一般的には 90-120 m 上空（ヘリコプターを使用する場合）を飛ぶが地形にもよる（木、建造物、送電線など）。飛行高度は可能な限り一定に保つべきである。建造物のあるような地形ではヘリコプターは建造物に沿って飛ぶように努めるべきである。（安全第一）。翼固定機での飛行高度は通常はもっと高い。
- ii. 飛行速度：使用するヘリコプターあるいは航空機の特徴に従う。殆どの場合ヘリコプターは毎時 60-150km で飛ぶように推奨されている。

ステップ 12

測定システムの出力を連続的に観測する。

注釈

土壌中の天然放射性物質の変化と大雨の時のラドンの娘核種のウォッシュアウトにより、測定された計数率あるいは線量率は 2 倍ほど変動するかもしれない。

ステップ 13

もし、計数率あるいは機器の表示値があらかじめ決めた値（例えば、少なくともバックグラウンドの計数率あるいは線量の 2 倍）を超えれば、異常な値を示した場所に戻り、より正確に位置を探すために搜索格子パターンを小さくする。

注釈

一般的に、イヤホーンは、付加的に補聴器としての役に立つだろう（リニアな計数率を対数デシベルスケールに変換する）。

もし、航空機内にプリンタがあれば、少なくとも最も高い読み値を示す位置で測定されたデータを、地上からの飛行高度とともにその場所の座標（経度、緯度）を含めて出力すべきである。飛行中に使用する带状記録計は有用であろう。

ステップ 14

線源のもっともらしい位置とその推定放射能について環境分析者／放射線評価者に知らせる。環境分析者／放射線評価者の指示に従う。

注釈

ある場合、環境分析者／放射線評価者によって次のような指示が与えられたときには、着陸し、ヘリコプターチーム自らが、携帯線量率計を用いてもっと正確に線源の位置を探ることが適切であるかもしれない。定期的に、測定結果及び位置に対する情報を環境分析者／放射線評価者に報告する。

ステップ 15

すべての線源位置をつきとめるまで搜索を続ける。

サーベイ中のチェック

サーベイ中のチェックは、製造業者による与えられた手順書(マニュアル)に応じて行われるべきである。例えばゲイン、高圧、ピーク位置、スペクトルでのエネルギーシフト等。あるいはサーベイ中に必要なチェックに対して、事情に応じて設定した自らのステップを開発する。

最終着陸のあと

ステップ 16

製造業者による与えられた手順書に従って測定システムの基本機能を再チェックする。日誌にすべての関連データを記録する。

ステップ 17

データは直ちに利用できるような形になっていることを確かめる。すべての測定データのバックアップを作る。

ステップ 18

手順書 A5 を用いてヘリコプターあるいは航空機及び装置の汚染をチェックする。

注意

もし、ヘリコプターが汚染された表面に着陸した場合、汚染を最小限にするように細心の注意をすべきで、航空機内部が汚染されることを防ぐ。汚染された陸地に着陸することは進められない。

スペクトロメータを用いた分析

注釈

加圧型電離箱、比例計数管、GM 検出器など適当な線量率計を使用した場合、ステップ 22 に行く。

これらの装置が使用されたなら、与えられたジオメトリに対しての検出効率は、実験的に適した参考線源上での飛行により実験的に決められるべきである。

ステップ 19

スペクトルにおいて検出されたラインの正味ピーク面積を決定する。

- 19.1 それぞれの関心領域の総カウントを総計する。
- 19.2 ピークの両サイド、3チャンネルバックグラウンドカウントの平均を計算する。
- 19.3 この平均にピーク内のチャンネル数を乗じてピークのバックグラウンド数を求める。
- 19.4 正味のピーク面積を求めるために、ピークの総カウンタ数からピークバックグラウンドカウント数を差し引く。

注釈

上に示したアルゴリズムは、シングルピークのみにも適用される。オーバーラップしたピークはより複雑なアンフォールディング技術とコンピュータの使用が必要となる。

ステップ 20

スペクトルにおいて見出されたエネルギーに基づいて放射性核種を同定する。放射性核種の半減期、ガンマ線エネルギーそしてその放出割合のデータは、信頼できてかつ参照されている放射性核種ライブラリーの電子版あるいは印刷コピーに見出されるだろう。エネルギー、正味のピーク面積、その統計的な計数誤差や関連する放射性核種はプリントアウトしておく（手順 D1 と D2 を参考）。

ステップ 21

線源の放射能は以下の式を用いて評価する。

$$A = \frac{(N - N_b) \cdot 4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 10^{-2}}{t \cdot p_\gamma \cdot \frac{R_o}{\Phi} \cdot e^{-\mu_a \cdot d} \cdot SF}$$

ここで、

- A = 線源の放射能[MBq]
 - N = エネルギーEでのピーク領域の計数値
 - N_b = エネルギーEでのピーク領域のバックグラウンド
 - t = 測定ライブ時間[s]
 - R_o/Φ = 応答関数(手順書 A6a)
 - p_γ = エネルギーEでのガンマ線に対する放出割合
 - μ_a = エネルギーEのガンマ線の空気中線減弱係数[m⁻¹]
 - SF = 遮蔽係数
 - d = 検出器と線源までの距離 ;
- $$d = \sqrt{h^2 + d_o^2}$$
- d_o = 評価された水平距離[m]
 - h = 高度[m]

注意

遮蔽係数(SF)は、測定対象のガンマ線が透過する、ヘリコプターや固定翼機を構成している部品や材質による光子減弱を補正するため、上記の式に導入されている。この係数は、特定の乗り物や測定の配置に対して決める必要がある。複雑な構造は評価の基になる放射線場の円筒状の対称性を歪ませるから、SFの正確な値をえることは難しい。非等方性の影響と全フラックス密度の減弱は、異なった光子エネルギー点線源を用いた測定により、最もよく決定することができるだろう。実験データがない場合、SFは次式で近似することができる。

$$SF = e^{-\mu_x \cdot d_x}$$

ここで、 μ_x はある光子エネルギーに対して与えられた平均線減弱係数で、 d_x は、ガンマ線が通過する物質の平均の厚さである。

ここで注意しなければならないのは一上に述べたような理由のため—SFは相対的に高い不確実性を持ってしか決定できないということである。この係数を使用する主な目的は、汚染について起こりうる過少評価の範囲を明らかにすることである。この意味で μ_x は起こりうる線減弱係数の最高値を、そして、 d_x はガンマ線が横切る最も厚い部分を取ることによって、測定したフラックス密度の減少の下限値を与えることであろう。

線量率計を用いた分析

ステップ 2 2

最も高い値が表示された時、飛行高度での測定されたバックグラウンドの計数率または線量率の差し引きにより正味計数率または正味線量率を決定する。

ステップ 2 3

以下のような表記式を用いて、線源の放射能を評価する。

$$A = \frac{R}{\varepsilon}$$

ここで、

A = 線源の放射能[MBq]

R = 正味計数率及び正味線量率[s⁻¹]

ε = 使用されたジオメトリに対するモニタ効率 (1MBqあたりの計数値[s⁻¹]あるいは1MBqあたりの線量率)

ステップ 2 4

日誌及びワークシート A9 にすべての結果及び関連データを記録する。

フィールドチームメンバー あるいは個人モニタリング ／除染チームにより 実施される	手順 A8	1/2 ページ
	個人モニタリング	

目的

個人の被ばくや対応職員の汚染、とくに野外（フィールド）モニタリングチームの汚染を管理すること。事故地域からの人々に対して、皮膚や衣類の汚染について除染前、除染している間、除染後にモニターすること。放射性ヨウ素の取り込みに対して甲状腺をモニターすること。

考察

事故の鎮静化のために、モニタリングチームや他の緊急時に対応する職員に対して個人の被ばく線量が調べられなければならないし、かつ、彼らの被ばくを制御しなければならない。また、防護処置によって、皮膚や衣類の汚染も、あるいは吸入、経口摂取による汚染あるいは皮膚や外傷を通しての吸収による汚染も最小限にすることができる。

事故の影響を受けた地域内のあるいはその地域から来た一般の人々もまた個別の汚染についてチェックあるいはスクリーニングされる必要があるだろう。

事故地域に入ったモニタリングチームは熱ルミネセンス線量計、フィルムバッジ、リン酸塩ガラス線量計などの個人の線量計を装着することが要求される。直読式の個人線量計は被ばくした線量を直ちに示してくれることから大変望ましい。それとは別に、線量率が上昇している地域に居る時間推定値と線量率メーターの読み値を用いることは個人の線量をコントロールする手助けとなる。放射性ヨウ素の被ばくが考えられるところでは、なるべくなら被ばくの前に、だめならば、被ばく後の出来るだけ早い時期（2，3時間以内）に安定ヨウ素を使用すると、甲状腺への線量を減らす事が出来る。これは個人の防護服、呼吸器防護の使用、汚染制御のための予防処置の適応と共に用いられるだろう。

警戒／制限

常に野外において直面するかもしれない障害に注意を払い、そして必要な予防措置を取りなさい。決して適切な安全装備なしで野外活動をしてはいけない。そしてその装備の使用方法をつねに知っておくこと。

全てのモニタリング活動は汚染が妥当に到達できるくらいに低く維持されるように行なわれるだろう。チームのメンバーは引き返すべきレベルを心得ていること（表 A3）。緊急時作業者の引き返す線量はガイダンスであって線量限度ではない。その適用に当っては判断が必要となる。

一度事故の初期段階が終了したら、（初期段階の間に）受けた全線量は、結果として更に線量を受けるかもしれないような活動を緊急時作業者が許可される前に確定されなければならない。

装備／供給

- 全ての対応チームに共通した装備（チェックリスト A0）
- 個人モニタリングと除染チームの装備（チェックリスト A2）

ステップ1

次の表を用いて適した手順を進める：

ケース	使用手順
個人線量評価—外部	A8a
甲状腺モニタリング	A8b
個人汚染モニタリング	A8c
個人除染モニタリング	A8d

フィールドチームメンバー あるいは個人モニタリング ／除染チームにより 実施される	手順 A8a	1/3 ページ
	個人線量評価-外部	

目的

対応職員の外部放射線被ばくを制御すること。

考察

事故対応においては対応職員に対しての不必要な被ばくを避けること、それらの被ばくを記録し、制御すること、高い線量率の地域に入ることを許可すること、緊急時作業員を守るため時間、距離を考慮し、遮蔽材を使用すること、職員が活動している場所における周辺線量率及び蓄積された線量を知ること、そして、事前に決定された線量限界内において活動することが重要である。

警戒／制限

野外チームは放射線防護に関して訓練されているべきであり、彼らが直面している危険性を理解するべきである。全ての野外チームは手順 A9 に厳密に従うべきである。

装備/供給

- 全ての対応チームに共通した装備（チェックリスト A0）
- 個人モニタリングと除染チームの装備（チェックリスト A2）

ステップ 1

個人情報の詳細、および個人線量計の詳細を個人線量評価フォームに記入する。（ワークシート A5）。

ステップ 2

防護服内側の胸ポケットに個人線量測定サービスの線量計をピンあるいはクリップで止める。

注釈

もし、線量計が汚染されたり、雨で濡れたりする可能性があるならば、プラスチックの防護カバーの中に入れるべきである。

ステップ 3

用いられた直読式線量計のタイプに従って次のステップに進む。

直読式電子線量計

- 3.1. 新しい電池を挿入し、スイッチを入れる。もし、指示があれば事前に決定された作業線量限界で音が鳴るようにアラームを事前にセットする。
- 3.2. 線量計を防護服内側の胸ポケットに入れる。
- 3.3. 聞こえるチーチーとかブザーの頻度に注意。近くの周辺線量率が増加していることを線量計が示すブザーの頻度に注意する。有意な変化に関連させて線量率測定をする。

- 3.4. もし、野外活動中に線量計のアラームが鳴った場合は、直ちに影響を受ける地域から立ち去る。そして、自分の状態や環境を本部に報告する。
- 3.5. (以前に同意されたスケジュールに従って) 定期的に線量計の読み値をチェックし、個人線量評価の記録フォームに詳細を記録する (ワークシート A5)。

クオーツファイバー電子メーター (QFE)

- 3.1. 自分のQFEをQFEゼロ点補正充電器を用いてゼロにする。ゼロ点補正充電器を持っていない場合は、QFEの最初の値を個人線量評価記録フォームに書き入れる (ワークシート A5)。
- 3.2. 線量計を防護服内側の胸のポケットに入れる。
- 3.3. (以前に同意されたスケジュールに従って) 定期的に線量計の読み値をチェックし、個人線量評価の記録フォームに詳細を記録する (ワークシート A5)。
- 3.4. 重要な読み値 (事前に決定されたレベルよりも大きな値) については、直ちに本部に報告すること。

注意

もし、QFE ファイバーを引っ張ったり、ぶつけたりして、放電し、そして間違った高い値を示したならば、環境分析者/放射線評価者に知らせなさい。

線量積算機能を備えた線量率メーター

- 3.1. 影響がある地域に入る前に線量率計のスイッチを入れ、事故地域に滞在中はスイッチを入れたままにする。
- 3.2. 積算線量の読み値を事前に決定された時間間隔で、個人線量記録フォームに定期的に記録する (ワークシート A5)。
- 3.3. いかなる有意な値 (事前に決定されたレベルよりも大きな値) も直ちに本部に報告しなさい。

注釈

幾つかの線量率計は線量積算機能を備えている。これは直読式線量計の代わりのもので用いることが出来る。幾つかのタイプは線量警告レベルをセットすることが出来る。

線量率計

- 3.1. 影響を受けた地域に入る前にあなたの線量率計のスイッチを入れなさい。
- 3.2. 近辺における周辺線量率を定期的に記録し、また、線量率が上昇している地域にいる時間の長さを記録する (ワークシート A5)。
- 3.3. その地域における線量率と滞在時間から、蓄積された線量を個人記録フォームにおいて定期的に推算する (ワークシート A5)。
- 3.4. いかなる有意な値 (事前に決定されたレベルよりも大きな値) も直ちに本部に報告すること。

注釈

もしあなたが直読式線量計を持っていないならば、あなたはあなたの個人被ばくをモニターするために線量率計を用いることが出来る。

注意

もし、手順 A9に明記された線量率や、蓄積線量に到達したならば、直ちに読み値を本部に報告し、環境分析者/放射線評価者の指示に従いなさい。

ステップ4

あなたの野外管理者/監督者の指示に従いなさい。

ステップ5

あなたが交替を完了するに当たっては、あなたの個人の線量記録フォーム（ワークシート A5）に署名し、それを定められた係りに戻す。

個人モニタリング／除染チームにより実施される	手順 A8b	1/2 ページ
	甲状腺のモニタリング	

目的

放射性ヨウ素の取り込みに対しての甲状腺モニタリング

考察

吸入あるいは経口摂取によって取り込まれたヨウ素は、その本来の機能が要求される場所である甲状腺に集積する。身体に取り込まれた放射性ヨウ素も従って甲状腺に集まり、甲状腺癌を引き起こすことがある。もし安定（非放射性）ヨウ素が被ばく前あるいは被ばく後最初の2、3時間のうちに与えられれば、それは甲状腺を防御し（予防法）、放射性ヨウ素の取り込みを減少させ、そしてその結果放射性ヨウ素を急速に身体から排泄させる。ヨウ素による予防法の完全な記載は[11]に示されている。

警戒／制限

野外チームは放射線防護の訓練をするべきであり、彼らが直面する危険性を理解するべきである。全ての野外チームのメンバーは厳密に手順 A9 に従うべきである。

測定チームは医療チームへの補助をする場合を除いては、一般集団に安定ヨウ素を投与することに関与するべきではない。

装備／供給

- NaI(Tl)検出器汚染モニター
- 全ての対応チームへの共通装備（チェックリスト A0）
- 個人のモニタリングと除染チームの装備（チェックリスト A2）

ステップ 1

NaI 検出器汚染モニターで品質管理器具をチェックしなさい（手順 A0）。

ステップ 2

首の横に NaI(Tl)検出器の位置を取り、咽頭隆起と輪状突起（首の前の voice box の付近にある堅い骨—図 A4）の間をモニターしなさい。固定した位置、再現性ある位置を保つため、検出器で首に触れなさい。検出器の汚染をさけるためにプラスチックシートやその辺のティッシュペーパーを用いなさい。

注釈

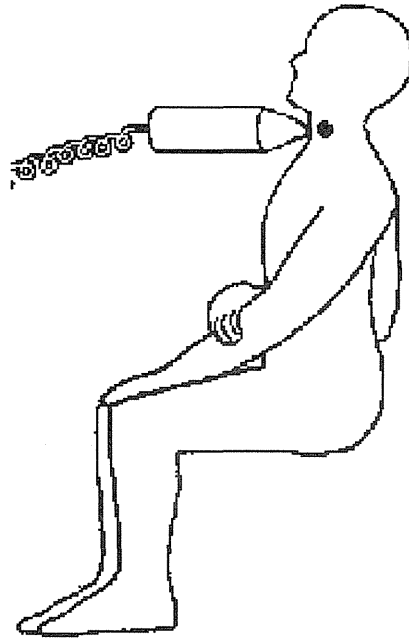
バックグラウンドの抑制のために検出部の鉛コリメータの使用が推奨される。

ステップ 3

ワークシート A6 に線量率計で観察されたカウント率を記録しなさい。甲状腺の検査の間にも観察されたカウント率が“通常”のバックグラウンドのカウント率より高ければ、甲状腺は可能性として放射性ヨウ素を取り込んでしまっていると考えべきである。つまり、もし観察値からバックグラウンドを引いた値が統計学的に有意にプラスであるかどうかということである。その時、被ばく者は安定ヨウ素のタブレットを与えられ、詳しい評価のために適当な医療施設に移されるべきである。もし、甲状腺検査がネガティブであったら解放されるであろう。

図 A4

放射性ヨウ素取り込みに対する甲状腺のスキヤンニング



個人モニタリング/除染チームにより実施される	手順 A8c	1/4 ページ
	個人汚染モニタリング	

目的

個人の皮膚および衣類の汚染検査のため事故エリアから来た個人をモニタリングすること。

考察

漏出または空気中放出が生じた事故エリアに入る緊急隊員は、個人の皮膚および保護服の汚染を汚染されたエリアを離れる際に確認する必要がある。彼らの機器および乗り物もチェックされるべきである(手順 A5)。

さらに、影響を受けたエリアで働くか生活している人は汚染されるかもしれない。そして、汚染が疑われる場合、皮膚および衣類の汚染に対してモニターする必要がある。この検査は現場で、あるいは指定の汚染コントロールあるいは集合地点で、あるいは避難センターへ到着時に行うことができる。避難センターでは全身表面汚染モニターによって迅速かつ高感度な個人の汚染モニタリングができ都合が良い。

警戒/制限

緊急の医療手当での必要な人でしかも汚染しているかもしれない人に対しては、かれらの健康状態と治療を優先しなければならない。例えこのため応急手当担当者、救急車両隊員、救急隊員、或いは他の医療職員が結果的に汚染されることになったとしても。もし、医療隊員が出血している患者を扱うための標準的な個人救護手順を使うならば、汚染コントロール内での援助になる。

使用される汚染モニタリング装置は、皮膚および衣類に対して定められた汚染限度内において問題の汚染物質を検出し測定できる適切なものでなければならない。

ほとんどの汚染モニターがかなり初期に飽和する事実に気付きなさい。

装置/供給

- すべての応答チームへの共通の装置(チェックリスト A0)
- 個人モニタリングおよび除染チームの装置(チェックリスト A2)

ステップ1

手順 A0 を用いて汚染モニターの品質管理検査を実行しなさい。

ステップ2

汚染モニター音声をつける、そして汚染モニターが汚染されるのを防ぐために軽いビニール袋かカバーの中に装着しなさい。検出部の窓はカバーしない。

注釈

次のことは望ましいが、しかし義務ではない。モニターは、丁度許容レベルで有用な結果を提供するために少なくとも 20cm²の有効面積を持っているべきである。

ステップ 3

モニタリングが行われるところでバックグラウンド放射線レベルを定期的に決定して記録しなさい(ワークシート A6)。

注意

線量率計の読み値が「正常なバックグラウンド」読み値と考えられるものに対して 10 倍以上ある場合は、もっと遮蔽された場所を見つけなさい。

ステップ 4

プローブは、人の身体から約 1cm の位置で、彼/彼女に触れないように注意しなさい。

頭の一番上からスタートし、首、襟、肩、腕、手首、手、腕の下、腋の下、側面、脚、ズボンすそ口、そして靴へと側面を下方へプローブを移動させなさい。脚の内側、および身体の反対側を図 A5 の中で示された順序でモニターしなさい。身体の正面と背面をモニターしなさい。足、尻、肘、手および顔へ特別の注意を払いなさい。プローブは、毎秒およそ 5cm の速度で移動されるべきである。どんな汚染も第 1 に音声反応を使用して検知される。騒がしい環境中の場合、イヤホンは音声応答を聞く装置として適切かもしれない。

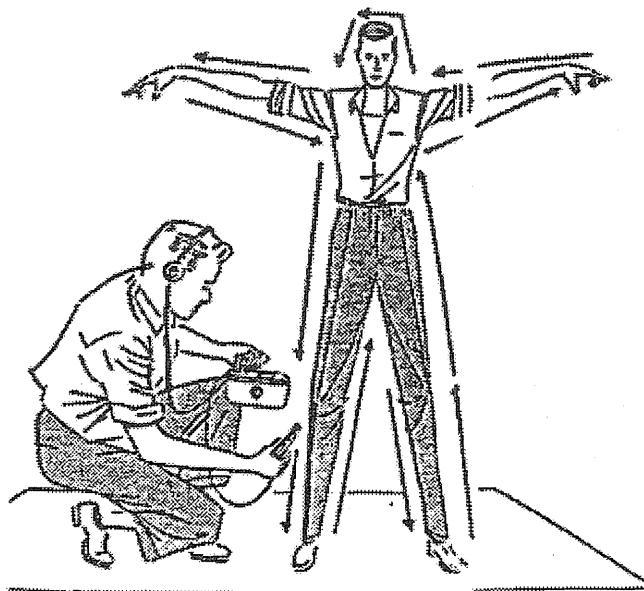
注釈

皮膚および衣類の計測に対しては 100cm^2 の面積にわたる平均が、手は 30cm^2 にわたる平均が、指先は 3cm^2 にわたる平均が求められるであろう。

α 線モニタリングのためには、プローブは人から 0.5cm 以内の位置に置きなさい。しかしながら、通常の衣類の α 線モニタリングは非常に信頼性が低い。

緊急の場合、むき出しになっている皮膚を計測すべきであり、それで被検者は衣類を交換するように求められる。それによって汚染された可能性のある衣類は後にモニターすることができる。被検者は着替えを手伝ってもらうべきであり、重大な汚染が疑われる場合には、汚染が移らないようにするために手袋を与えられるべきである。

図 A5
身体検査の手法



ステップ 5

汚染が検知された場合、ワークシート A6 に結果を記録する。計測した面積(検出器の有効面積)も記録されるべきである。除染は手順 A8d に従って実行しなさい。

表面汚染誘導限度が国の当局によって指定されない場合、以下のデフォルト値が勧められる。

表 A1. 一般的な皮膚および衣類の作業介入レベル[12]

汚染物質	作業介入レベル [Bq/cm ²] ^(a)
一般的 β / γ 線放出核種	4
それほど有毒でない α 線放出核種	
かなり有毒な α 線放出核種	0.4

- (a) これらのレベルを測定しようとするためには、典型的な携帯プローブでは数分を要するであろう。緊急の場合には、次の指示通り行うという条件の下で 100 をこのレベルに掛ける。汚れていないと分かっている衣類に交換し、そして、手を洗い、髪の毛は後方で洗髪する。

注釈

未知の α 線放出核種には 0.4 の制限値を用いる。検出器が α 線と β 線を識別不可能な場合、検出器と線源の間に 1 枚の紙を用いる。読み値が減少した場合、 α 線核種が存在すると考えることができる。

ステップ 6

すべての個人の所有物は時計、ハンドバック、金銭、TLD および武器を含めてモニターされるべきである。汚染された品目は、除染のために袋に入れ、ラベルが付けられるべきである。汚染された個人の衣類は脱ぎ、袋に入れ、ラベルが付けられ、(通常、国家の福祉機関によって)用意された衣服に取り替えられるだろう。

注釈

受領書は押収された品目のために発行される必要があるかもしれない。

汚染および負傷した人の特別の場合

ステップ 7

迅速な汚染評価を行うことにより、患者の評価および初期処置において医療スタッフを支援しなさい。

注意

患者が汚染しているとしても、通常の応急手当を妨害してはならない。

ステップ 8

患者を直ちに病院へ移送する必要がある場合は、モニタリング・チーム員を救急車に同行させるか、あるいは病院で支援出来るようにチームを手配しなさい。

ステップ9

救急車両隊員に汚染レベルの助言をください。除染は病院で実施される必要があるかもしれない。患者は汚染の広がりを最小限にするために病院への移送の間毛布あるいは他の適切なカバーに包むべきである。

注釈

汚染された人を包むために用いられる材料は、熱ストレス／熱発作を避けるように選択する必要があるだろう。

ステップ10

もしその方が相応しいならば、ワークシート A6 を完成し、患者と一緒に持ってゆくように救急車両隊員に渡してください。

個人モニタリング／除染チームにより実施される	手順 A8d	1/3 ページ
	個人除染モニタリング	

目的

個人の除染を必要とする人をモニターすること。

考察

汚染されるようになる緊急隊員は、事故地域を出る際に汚染制御地点で通常は除染されるだろう。事故地域からの他の汚染した人々は、除染制御場所に通常は案内されるだろう。

モニタリング隊員は、事故の規模に依存して、個人の除染を助けるかもしれないし、助けないかもしれない。大きな事故の場合は、個人モニタリング専任のチームおよび除染専任のチームが存在するだろう。小さな事故の場合は、個人モニタリング隊員が除染を補助するだろう。この手順書では、除染中および除染後に達成された除染のレベルをモニタリングによって確かめる必要性を強調する。

全ての個人汚染と汚染された衣類は除去することが望ましい。しかしながら、これが不可能である場合、除染レベルおよび採用された防護処置は、その後に予想される線量評価またはフォローアップ処置のために記録される必要がある。

警告／制限

除染過程で用いた全てのものが使用後には汚染されているかもしれないことに気をつけ、汚染しているものとして取り扱うべきである。汚染が他の領域へ広がるのを防ぐように注意すべきである。

全てのモニタリングは低バックグラウンドの場所で行わなければならない。いかなる場合も放射線による不必要な被ばくを避けねばならない。

装備／供給品

- すべての応答チームへの共通の装備 (チェックリスト A0)
- 個人モニタリングおよび除染チームの装備 (チェックリスト A2)

ステップ 1

装置の品質管理チェックは手順 A0 を用いて行いなさい。

ステップ 2

ワークシート A6 の情報をレビューし、手順 A8c と同様の方法で個人を再度モニターしなさい。

注釈

汚染に対するモニタリングはゆっくり人の表面に検出器を移動させることにより行われるべきである。100cm² の面積で平均化された、通常、ベータ線とガンマ線を加えたレベルで 4Bq/cm² 以上の表面汚染をもつ表面汚染レベルを除染実行すべきレベルであると定義する(表 A1 を参照)。

ステップ3

汚染した人が除染される時、汚染の範囲をモニタリングすることにより除染の効率および経過をチェックしなさい。

注釈

個人除染手引きのために表 A2 を参照しなさい。

ステップ4

追跡サーベイは放射能汚染が除去されたか、汚染のレベルが通常、ベータ線とガンマ線を加えたレベルで $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ あるいはアルファ線レベルで $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 未満、あるいは国の当局によって指定された他のレベル未満であることを確認するために、初期および引き続いての除染努力の後で実行されなければならない。

ステップ5

除染隊員の記録を完成しなさい(ワークシート A7)。

注釈

一般住民に対するモニタリング手順、除染手順および除染様式(ワークシート)は緊急作業員に用いたのと同じものである。

注意

全ての汚染した衣類はその領域の二次汚染を減少させるためにプラスチックか紙袋の中に慎重に置き、適当なタグを付け、安全な場所に保管されなければならない。

表 A2. 個人の除染ガイド

汚染領域	方法*	技法	備考**
皮膚、手および身体	石鹼と冷水	2-3分洗い、放射能レベルをチェックする。 洗浄を2度繰り返す。	洗面台で手、腕、顔を洗う。 身体の他の部分はシャワーを用いる。
	石鹼、柔らかいブラシと冷水 トウモロコシ粉のような乾式研磨剤	濃い泡で軽く圧力を掛ける。2分間3回洗い濯いで計測する。皮膚を壊さないように注意する。	除染後はラノリンまたは手のクリームを使用し、ひび割れを防止する。***
	石鹼粉または同じような洗剤 標準的な工業用皮膚洗浄剤	ペースト状にする。その上に水を加え、優しく擦る。皮膚を壊さないように注意する。	除染後はラノリンまたは手のクリームを使用し、ひび割れを防止する。***
目、耳、口	水をさっと流す	目：顔をひっくり返し優しく水で流す。 耳：綿棒で耳穴の開口部を洗浄する。 口：水で濯ぐ、飲み込まない。	鼓膜を傷めないように注意する；顔をひっくり返しは医療関係者または充分訓練を受けた人が行なうべきである。
毛髪	石鹼と冷水	濃い泡で軽く圧力を掛ける。2分間3回洗い濯いで計測する。	口や鼻からの摂取を最小限にするため毛髪は後方で洗髪すべきである。
	石鹼、柔らかいブラシと冷水	ペースト状にする。その上に水を加え、優しく擦る。皮膚を壊さないように注意する。	口や鼻からの摂取を最小限にするため毛髪は後方で洗髪すべきである。
	散髪／剃髪	頭皮を除染するため毛髪を取り除く。皮膚の除染方法を用いる。	他の方法が失敗した後に用いる。

備考：

- * 最初に掲載した方法から始め、そして必要ならばより厳しい方法へと順番に進める。すべての個人の除染手順において汚染が拡大しないようにあらゆる注意を払うべきである。すべての洗浄処置は汚染領域の周辺から中心部へと行なうべきである。
- ** 傷口の除染はするな；この処置は医者または経験を踏んだ医療スタッフが行なうものである。
- *** 頑固な汚染の場合には障壁クリームでふんだんに覆い、ゴム製の手袋でカバーする。放射能はその後の数時間のうちに皮膚から障壁クリームへとしばしば移動するものである。

注意：

除染に用いる石鹼、ブラシと他の品物（器具）は使用中に汚染するかも知らないので、そのように取り扱うべきである。モニタリングや除染処置が行なわれるいかなる場所においても個人は飲食、喫煙を控えるべきである。

緊急事態対応職員により実施される	手順 A9	1/3 ページ
	救急隊員個人防護手引き	

目的

救急隊員に対して、個人防護のための行動について基礎的な指導手引きを提供する。

考察

救急隊員個人防護手引きを、次の3つの部分について提供する：一般的指導手引き、甲状腺の防護、および救急隊員退却指針である。

一般的指導手引き

ステップ1

以下の一般的指導手引きを常に意識していなくてはならない。

一般的指導手引き

- ㊦ 常に、現場で遭遇するかもしれない障害を意識して必要な用心をすること。
- ㊦ 適切な安全装備なしに現場でいかなる野外活動も決してしてはならない。その装備の使用法を常に知っていないといけない。
- ㊦ 被ばくが合理的に達成しうる限り低くなるように、全ての行動を行うべきである。
- ㊦ 退却レベルを意識する（表 A3）。救急隊員退却線量は指針となるもので制限値ではない。実際に用いるときには、判断が必要である。
- ㊦ 線量率が **1 mSv/h** より高い地域に長く留まってはならない。
- ㊦ 線量率が **10 mSv/h** より高い地域に近づくときは用心しなくてはならない。
- ㊦ 環境分析者／放射線評価者に指示された場合を除いて、線量率が **100 mSv/h** を越える地域に近づくべきではない。
- ㊦ 自身の防護のため、時間、距離、遮蔽を用いる。
- ㊦ 監督者と連絡して、高線量率の地域に立ち入る前に計画をたてる。
- ㊦ 不必要なリスクをおかさない。いかなる汚染地域内でも飲食タバコはしない。
- ㊦ 疑問点があったら、チームのリーダーあるいは調整者に助言を求める。

甲状腺の防護

ステップ 2

現場の管理者／監督者に指図された場合には、安定ヨウ素の錠剤を服用する。(錠剤は装備に入れておくべきである。)

注釈

安定ヨウ素の服用に関して、一回の処置 (100mg ヨウ素) によるリスクは極めて小さい。安定ヨウ素の一回服用後に甲状腺が防護される期間は数日であり、それ以上放射性ヨウ素の被ばくが継続する場合には、この薬物治療を繰り返すことが薦められるだろう。全服用量は、標準服用量の 10 倍量を 1 年あたりで越えないようにするべきである。

もしも甲状腺の線量が 100 mGy 以上低減されるなら、安定ヨウ素の服用が必要となるだろう。

注意事項

ヨウ素による予防が有効であるためには、被ばく前あるいは被ばく後数時間 (約 4 時間) 以内に服用するべきである。被ばく後 8 時間以上経過してからの安定ヨウ素の服用は効果がなく、かえって逆効果を招きかねない。

救急隊員が安定ヨウ素を使用しても、空气中放射性ヨウ素濃度が高い場所に入る際の吸入防護 (活性炭のろ過装置箱) の使用の必要性がなくなることはない。

ステップ 3

錠剤を服用したという事実を、個人線量記録 (ワークシート A5) に記入する。

ステップ 4

被ばくが数日以上継続した場合、服用するようにとの指示があればさらに錠剤を服用する。

救急隊員退却指針

注意事項

救急隊員退却指針は、直読式線量計による積算外部線量として与えられる。緊急隊員は、この数値を超えないようにするために、全ての合理的な努力をすべきである。表 A3 に示した値は、炉心溶融事故による吸入線量を明らかにするために、甲状腺の防護を行った場合について計算してある。注意しなくてはならないのは、皮膚汚染もまた主要な線源になりうることであり、適切な防護服を装備していない場合には、高汚染地域にいる隊員に確定的な健康影響をもたらしかねない。

救急隊員の退却線量は指針として用いるものであり、制限値ではない。実際に用いるときには判断が必要とされる。空気サンプル分析あるいは他の条件 (表 A3 の注釈を参照) の結果、救急隊員の退却線量の指針が表 A3 と大きく異なった場合には、指針を訂正して用いるべきである。

事故の初期段階が終わったら、受けた総線量 (初期段階の期間) を確認しなくてはならず、それまでは、緊急隊員がさらに線量を受けるような仕事に従事することを許すべきではない。

ステップ 5

適切な放射線防護手順に従う。

ステップ 6

表 A3 にある退却線量指針を越えないよう、すべての合理的な努力をするべきである。

表 A3 積算外部ガンマ線量として表現した救急隊員退却線量指針のデフォルト値

業務	EWG(mSv)
1 型： 生命救助作業	250(a,b)
2 型： 重度の損傷の防止 高い集団線量の回避 現場から離れた周辺線量率のモニタリング（ガンマ線量率）	<50(a)
3 型： 短時間の修復作業 緊急の防護作業実施 環境サンプリング	<25(a)
4 型： 長時間の修復作業 事故と直接関係ない作業	職業被ばく指針[13]

- (a) 被ばく前に甲状腺の被ばく抑制を講じているものとする。甲状腺の被ばく抑制を講じていない場合は、EWG を 5 で除する。呼吸に対する防護を講じている場合は EWG に 2 を乗じる。作業者はボランティアであるべきで、被ばくの潜在的な結果について知らされていなくてはならない。
- (b) 正当な理由があればこの線量を超えてもよいが、線量がこのレベル以下であり、確定的影響のしきい値以下に確実になるようあらゆる努力をするべきである。作業者は放射線防護の訓練を受け、直面するリスクについて理解していなくてはならない。

B 節

野外サンプリング

注意：以下に記載する手順は、適用される状況や能力に応じて改訂されるものとする。

空気サンプリングチームにより実施される	手順 B1	1/3 ページ
	空気サンプリング	

目的

空气中放射能濃度についてのデータを取得するために、現地での評価およびその後の実験室での分析用の空気サンプルを集める。サンプリング地点におけるガンマ/ベータ線量率を測定する。

考察

放射性核種の組成や濃度を決定するために、空気サンプルは野外の現場で評価することができ、またその後実験室で再評価を行う。現地からの空気サンプルは、実験室に到着する前に、低レベル放射能、中レベル放射能、高レベル放射能に分類することができ、分析の優先順、サンプルの扱い方、処理手順を決める助けとなる。その結果は吸入による障害を推定するのに用いられ、また地面沈着の可能性を評価するための情報となりうる。地表濃度に対する空气中の相対濃度を求めるために空気サンプルを採取し、そしてそのサンプルを再浮遊率あるいは指標放射性核種の OIL の再計算に用いようとするのならば、代表的な土壌の採取（あるいは指標放射性核種の沈着レベルの他の測定）を、空気サンプルを採取したのと同じ時間、場所で行わなくてはならない。

放射性ヨウ素は微粒子フィルターでは補足されない形態で存在するので、効率的に捕集するには特別のカートリッジ（活性炭あるいはゼオライト）が必要である。こうしたカートリッジを用いる場合の流速は、普通のエアロゾルの場合よりも通常遅くなる。活性炭（TEDA とともに用いる）はヨウ素と希ガスを捕集する。HPGe を用いたガンマ線スペクトル分析では容易にピークを分離できる。こうしたことはヨウ化ナトリウムを用いたガンマ線スペクトル分析では不可能であるが、単一の放射性核種を分析するのであれば、必要十分であろう。不活性ガスが存在する条件で放射性ヨウ素のみを目的として捕集するのならば、シルバーゼオライトが用いられる。しかしシルバーゼオライトカートリッジはたいへんに高価であり、活性炭カートリッジがより一般的に用いられる。

警戒/制限

特別のカートリッジは放射性ヨウ素の存在が予想されるときのみ用いられる。例えば、原子炉の事故、放射性ヨウ素を使用している病院での緊急事態、放射性ヨウ素に関わる輸送中の事故などの場合である。

空気サンプリングチームは放出中にサンプルを採取する必要があり、吸入と共に外部放射線による被ばくの可能性がある、また、体表面汚染による障害の可能性もある。サンプル採取、処理に関わるチーム員は、現場またはサンプルの受け取りや処理を行う場所での作業中には、喫煙、飲食、化粧、その他、微粒子の吸入や摂取を不用意に引き起こしかねない行動は控えるべきである。

チーム員は放射線防護の方法や退却指針について知っているべきである。（手順 A9）

装備/補給品

- すべての対応チームの共通装備（チェックリスト A0）
- 空気サンプリングチームの装備（チェックリスト B2）

注意事項

生命と身体を損なうほどに価値のあるサンプルはない。現場で出くわす可能性のある障害を常に意識して、必要な警戒をしなくてはならない。適切な安全装備なしに現地での作業をしようとしてはならない。その安全装備の使い方を常に精通していなくてはならない。

派遣される前**ステップ 1**

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から、最初の概要説明と最初の任務を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B1 を用いて適切な装備を準備する。
- 1.3. 手順 A0 に従って、機器をチェックする。
- 1.4. 任務に赴く時に、無線のチェックを行う。
- 1.5. 任務に赴く時に、GPS のチェックを行う。

ステップ 2

環境分析者／放射線評価者からの指図に従い、

- 2.1. サーベイ装置をプラスチックで覆い汚染を避ける。空気サンプリングの装備は覆わないこと。
- 2.2. 直読型線量計のアラームをセットする。
- 2.3. 適切な個人防護装備を装着する。

注釈

環境分析者／放射線評価者の受け取る情報、勧告により、緊急事態管理者は甲状腺防護薬剤、防護服、マスクあるいは他の防護装備の使用を行うか決定する。

採取地点の決定**ステップ 3**

環境分析官環境分析官／放射線評価者が必要とする採取地点を見いだす。空気のかたまりの移動を妨げるような障害物のない小区域を見いだす。GPS があるなら、その場所の位置を確認してワークシート B1 に記録する。そうでないなら、場所を確認して地図上に記録し、ワークシート B1 に記録する。

サンプリング**ステップ 4**

- 4.1. 環境分析者／放射線評価者の指図に従って微粒子フィルターあるいはエアロゾルカートリッジを選び、装着する。適切ならばカートリッジにフローの向きを記録する。
- 4.2. 三脚かスタンドあるいは自動車の屋根の上に、(可搬型なら) 高さが約 1 m になるようにエアサンプラーを設置する。直流 12 V のエアサンプラーを用いるのに自動車を動かしておくのは推奨されない。
- 4.3. サンプラーのスイッチを入れ、スタート日時、時間および体積の読み値／流速をワークシート B1 に記録する。
- 4.4. 空気サンプリングはおよそ 10 分間、あるいは環境分析者／放射線評価者が決めた特定の時間おこなう。サンプリング中に周辺線量率測定を行なう。その平均値をワークシート B1 に記録する。

- 4.5. 時間および体積の読み値／流速を記録し、サンプラーのスイッチを切る。
- 4.6. 必要なら、手順 B2 に従って代表的な土壌サンプルを採取する。

注釈

空気サンプリングはプルームの線量率によって異なることがありうる。すなわち、線量率が高いほどサンプリング時間は短くなるであろう。しかしながら、採取する空気サンプルが少なすぎて、必要な検出レベルが高くなってしまわないように、注意をしなければならない。

サンプルの封入とラベリング

ステップ 5

ビニールの手袋をつける。フィルタ／カートリッジを外す。エアフィルターを外すにはピンセットを用いる。それは汚染している可能性があるものとして扱う。

ステップ 6

フィルタ／カートリッジをプラスチック袋に入れて密閉する。サンプルのコード番号をラベルし、そのコードをワークシート B1 に記録する。

現場での測定

ステップ 7

適切な汚染モニターを用い、サンプルから十分に離れたところでバックグラウンドの読み値をとる。バックグラウンドが高すぎてサンプルの測定ができない場合には、バックグラウンドがもっと低い場所に移動する（例えば、車両や建物の中や、プルームの外）。バックグラウンドをワークシート B1 に記録する。汚染モニターのプローブの先端から数ミリメートルのところにフィルタの表面を保持し、数値を読む。測定結果を記録する（ワークシート B1）。

ステップ 8

地点、サンプル番号、フィルタの読み値、装置のバックグラウンドの読み値、装置の校正係数、空気サンプルの開始、終了時間の詳細、空気サンプルの流速を、環境分析者・放射線評価者に報告する。

汚染管理

ステップ 9

手順 A5 および A8 を用いて個人および装備の汚染チェックを行うか、もしくは個人モニタリングおよび除染チームの助力を要請する。再使用前に、フィルタの取り付け部を水源が既知の清浄な水で洗い落とすか、濡らしてふきとる。ピンセットや他のサンプリング用装備も同様に濯ぎ、再使用前に乾かす。

サンプルの引き渡し

ステップ 10

完成したワークシート B1 とともにサンプルをサンプル分析者に引き渡す手配をする。

環境／経口摂取サンプリング チームにより実施される	手順 B2	1/3 ページ
	土壌サンプリング	

目的

汚染の可能性のある土壌のサンプルを集めること。サンプリング地点におけるガンマ線・ベータ線の線量率を測定すること。

考察

初期段階において、土壌サンプリングおよびそれに続く放射性核種濃度の測定は、次の目的のために適した方法である。

- (a) 乾性あるいは湿性沈着による地表汚染のレベルの評価
- (b) 全ての表面上の単位面積あたりの総沈着量レベルを評価するのに役立つ。
- (c) 地域における線量率と線量の時間変化の予測
- (d) その上に、移行係数を用いることで将来の野菜汚染について大まかに評価することができる。
- (e) 地表汚染は後の段階において放射能の再浮遊の源となりうるかも知れず、吸入による障害が生じたり、放射能がさらに分散する原因になるかも知れない。

警戒／制限

地表の汚染は場所によって、かなり変動するかも知れない（ホットスポット）。地域の線量率の平均は、代表的なサンプリング地点を選ぶのに役に立つ。土壌サンプリングは放出が終わった後で、ブルームが過ぎ去ってから行うものである。放射線の外部被ばくはありえるが、吸入による障害は再浮遊した物質によるもののみだろう。チーム員は、退却指針を理解しているべきである（手順 A9）。

装備／補給品

- すべての応答チームの共通装備（チェックリスト A0）
- 環境・摂取物チームの装備—土壌サンプリング（チェックリスト B2）

注意事項

生命と身体を損なうほどに価値のあるサンプルはない。現場で出くわす可能性のある障害を常に意識して、必要な警戒をしなくてはならない。適切な安全装備なしに現地での作業をしようとしてはならない。その安全装備の使い方を常に精通していなくてはならない。

派遣される前

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から、最初の概要説明と最初の任務を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B2 を用いて適切な装備を準備する。
- 1.3. 手順 A0 に従って、機器をチェックする。
- 1.4. 任務に赴く時に、無線のチェックを行う。
- 1.5. 任務に赴く時に、GPS のチェックを行う。

ステップ 2

環境分析者／放射線評価者からの指図に従い、

- 2.1. サーベイ装置をプラスチックで覆い汚染を避ける。
- 2.2. 直読型線量計のアラームをセットする。
- 2.3. 適切な個人防護装備を装着する。
- 2.4. 使用の合間には、サンプリング用の装備を覆っておく。

注釈

環境分析者／放射線評価者の受け取る情報、勧告により、緊急事態管理者は甲状腺防護薬剤、防護服、マスクあるいは他の防護装備の使用を行うか決定する。

採取地点の決定

ステップ 3

環境分析官環境分析官／放射線評価者が必要とする採取地点を見いだす。GPS があるなら、その場所の位置を確認してワークシート B1 に記録する。そうでないなら、場所を確認して地図上に記録し、ワークシート B1 に記録する。

注意事項

樹木や灌木、その他覆い被さっている物の下ではサンプリングしないこと。道路や排水溝、壕に近接した場所は避けること。裸地の部分が最もよい。

ステップ 4

サンプリング場所の周囲数十メートルで周辺線量率の測定を行う。平均的な周辺線量率をワークシート B2 に記録する。

サンプリング

ステップ 5

土壌が草や雑草、その他の有機物で覆われているなら、短く刈り取り、植物サンプルとして扱う。分別して袋に入れる。

注意事項

沈着が起きたと思われる時間以降に降雪があったなら、採取場所からできるだけ雪を取り除いてからサンプリングを行う。もしも沈着が起きる前に雪が降っていたなら、雪をサンプリングし、それから土壌をサンプリングする。

ステップ 6

ビニール手袋をつける。確認済みの地域で、決められた深さ（例えば 5 cm）からサンプルを採取し、プラスチック袋に入れる。

ステップ7

サンプルを扱うのに用いた用具を、水源が既知の清浄な水で洗い落とし、新しいティッシュペーパーか同等の物でふき取って乾かす。

サンプルの封入とラベリング

ステップ8

植物および土壌サンプルを入れた袋を密閉し、サンプルのコード番号をラベルする。そのコードをワークシート B2 に記録する。

汚染管理

ステップ9

手順 A5 および A8 を用いて個人および装備の汚染チェックを行うか、もしくは個人モニタリングおよび除染チームの助力を要請する。

サンプルの引き渡し

ステップ10

完成したワークシート B2 とともにサンプルをサンプル分析者に引き渡す手配をする。

環境／経口摂取サンプリング チームにより実施される	手順 B3	1/3 ページ
	水サンプリング	

目的

汚染の可能性のある水サンプルの収集のため。

考察

飲料水の水源はかなり多様化している（井戸、地表水、降水、貯水池、公共飲料水の配給システム）。これらの水源のいくつかは有意に汚染しているかもしれないが、大規模な配給システムの浄化プロセスの設備により飲料水はあるレベルまで除染される。

雨水を決められた場所から集めることによって、地上への降下量が評価されるかもしれない。

警戒／制限

サンプリングは、放出の後やブルームが過ぎ去ってから行われると思われるので、深刻な吸入障害はないと考えられる。それにもかかわらず、外部放射線や表面汚染による障害はありえる。サンプルの汚染やクロスコンタミの危険がもっとも容易に起こりうることに主たる注意事項である。

装備／補給品

全てのチームへの共通の装備（チェックリスト A0）

環境／経口摂取チームの装備-水サンプリング（チェックリスト B2）

注意事項

命や手足を失うほど価値のあるサンプルは無い。常に野外で遭遇するかもしれない障害に留意し、必要な安全策をとりなさい。決して適切な安全装備無しにいかなる野外活動も企ててはならない。常にその装備の使用法を知っておくこと。

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から最初の概要説明と指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B2 を用いて適切な機器をそろえる。
- 1.3. 手順 A0 を用いて機器の点検を実地する。
- 1.4. 任務に赴く時には無線をチェックする。
- 1.5. 任務に赴く時には GPS をチェックする。

ステップ 2

環境分析者／放射線評価者からの指示に従い：

- 2.1. 装置類をプラスチックで覆い、汚染を避ける。
- 2.2. 自動読取型線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者／放射線評価者からの情報や提案をふまえて、緊急事態管理者は甲状腺防護薬剤、防護服、マスクや他の防護装置の適用を決断することになるだろう。

採取地点の決定**ステップ 3****井戸水、地表水、降水**

環境分析者／放射線評価者から要請されたサンプル位置を見つけよ。もし GPS があるならば位置合わせをし、ワークシート B3 に記録せよ。そうでないなら、位置を確認し、地図に印をつけ、ワークシート B3 に記録せよ。

飲料水

環境分析者／放射線評価者から要請された配給システムに向かう。処理施設のサンプリングはもともと選択的なものかもしれないが、どの配給システムからサンプリングしてもかまわない。サンプルを採取した住所をワークシート B3 に記録せよ。

サンプリング**ステップ 4**

全てのサンプリングにおいて、容器は採取する水で洗い、その水は容器に水を満たす前に捨てるべきである。

注釈

水サンプルを時間の長さに関係なく、保存しなければならぬ場合は、放射性核種が容器の壁に吸着するのを防ぐため、塩酸 (11 M) をサンプル 1 リットルあたり 10 mL の割合でサンプリングの前か、サンプリング後直ちに容器に加える。分析までの保存期間が長くなればなるほど、水サンプルを酸性にすることがより重要になる。

開放井戸水のサンプリング

井戸より水サンプルを調達する。サンプリング容器を満たす。サンプリングの日付と時間をワークシート B3 に記録する。

地表水 (湖沼、空き地の水) のサンプリング

サンプリング容器を満たすよう、バケツを用いて水を集める。濁度が高かかったり、沈殿物が多い地点は避ける。沈殿物を攪拌したり、サンプルに混ぜたりしない。サンプリングの日付と時間をワークシート B3 に記録する。

降水のサンプリング

- (a) 確認済みの採集地点で、雨水捕集装置を用いて雨水を採集する。周辺線量率を測定する。日付、収集開始時間、周辺線量率をワークシート B3 に記録する。

- (b) 雨水サンプルを雨水捕集装置からサンプリング容器へ戻す時は、周辺線量率を再度測定し、これをワークシート B3 に記録する。メスシリンダーを使用して雨水の総量を測る。サンプリング容器にいっぱいになるまで、あるいはそれ以下の場合は集めたもの全てを移す。日付、収集終了時間、総量をワークシート B3 に記録する。

注意事項

採集は平らな空き地で行うべきである。水たまりから雨水を採集してはいけない。樹木や灌木、その他の覆い被さる物の下で採集してはいけない。道に隣接した地域は避ける。

捕集装置に雪があるときは、水サンプルと共に採集する。

飲料水のサンプリング

サンプリング容器に水道水を集める。サンプリングの日付、時間をワークシート B3 に記録する。

ステップ 5

出所のわかっている清浄な水でサンプリング器具をすすぎ洗いする。

サンプルの包装とラベル付け

ステップ 6

サンプルコードをボトルにラベルし、ワークシート B3 にこのコードを記録する。

汚染防止

ステップ 7

手順 A5 と A8 を用いて個人および装置の汚染をチェックする。あるいは個人モニタリング/除染チームの支援を要請する。

サンプルの配送

ステップ 8

完成したワークシート B3 を添えたサンプルをサンプル分析者へ配送する手配をする。

環境／経口摂取サンプリング チームにより実施される	手順 B4	1/2 ページ
	牛乳サンプリング	

目的

汚染の可能性のある牛乳サンプルの収集のため。

考察

牛乳サンプルは、牧草-牛-牛乳-ヒトの被ばく経路がよく知られているため、放射線緊急事態において大変重要である。原子炉事故において放射性ヨウ素による牛乳の汚染は通常、住民における主要な摂取経路である。適時のサンプル採集と分析が求められる。

大規模な原子炉事故においては、多数の住民集団の摂取を制御することがもっとも重要である。この要請を満たすため、牛乳受け入れおよび引渡し施設、そして加工工場からサンプルを入手することになるだろう。低温殺菌牛乳は一般に多様な地区から収集した牛乳の混合物である。関心のある地域からの牛乳が既知の比率であるサンプルを選択すべきである。最も良いサンプル入手方法は、牛乳買付け仕入れ業者や衛生健康検査官に交渉することである。彼らは通常は別の側面から食品管理についての責務を担っている。

個人の酪農場から局所的に汚染している原乳を採取する場合には、保存食料を与えたのではなく、汚染した地域において牧草を食べさせた乳牛または／そしてヤギからサンプルを採取すべきである。

警戒／制限

これらのサンプリングにおいて特別な個人放射線防護測定は要求されない。おそらく、サンプルの汚染やクロスコンタミの危険が主たる注意事項である。

装備／補給品

- 全てのチームへの共通の装備（チェックリスト A0）
- 環境／経口摂取チームの装備-牛乳サンプリング（チェックリスト B2）

注意事項

命や手足を失うほど価値のあるサンプルは無い。常に野外で遭遇するかもしれない障害に留意し、必要な安全策をとりなさい。決して適切な安全装備無しにいかなる野外活動も企ててはならない。常にその装備の使用法を知っておくこと。

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者/放射線評価者から最初の概要説明と指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B2 を用いて適切な機器をそろえる。
- 1.3. 手順 A0 を用いて機器の点検をする。
- 1.4. 任務に赴く時には無線をチェックする。
- 1.5. 任務に赴く時には GPS をチェックする。

ステップ 2

環境分析者/放射線評価者からの指示に従い：

- 2.1. サーベイ装置をプラスチックで覆い、汚染を避ける。
- 2.2. 自動読取型線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者/放射線評価者からの情報や提案をふまえて、緊急事態管理者は甲状腺防護薬剤、防護服、マスクや他の防護装置の適用を決断することになるだろう。

採取地点の決定

ステップ 3

環境分析者/放射線評価者から要請された施設あるいは個人の酪農場へ向かう。サンプルが採取された場所の住所をワークシート B4 に記録する。もし GPS があるならば位置合わせをし、ワークシート B4 に記録せよ。

サンプリング

ステップ 4

容器に牛乳を満たす。汚染およびクロスコンタミが起こらないように注意を払う。同日中に実験室にサンプルを配送する場合はサンプルを冷蔵する。そうでない場合は防腐剤を添加する。

ステップ 5

サンプリングに使用する全ての器具を清浄な水ですすぎ洗いし、新しいティッシュペーパーか同等の物を用いて拭き取って乾かす。

サンプルの包装とラベル付け

ステップ 6

サンプルコードをボトルにラベルし、ワークシート B4 にこのコードを記録する。

汚染防止

ステップ 7

手順 A5 と A8 を用いて個人および装置の汚染をチェックする。あるいは個人モニタリング/除染チームの支援を要請する。

サンプルの配送

ステップ 8

完成したワークシート B4 を添えたサンプルをサンプル分析者へ配送する手配をする。

環境／経口摂取サンプリング チームにより実施される	手順 B5	1/2 ページ
	ヒトの食物サンプリング	

目的

実験室での分析に供される汚染の可能性のある野菜やくだものサンプルの収集のため。

考察

原子炉事故の初期段階においては、放射性物質のドライあるいはウェット沈着による野菜や果物の表面汚染が消費を規制する基本的な根拠となるであろう。時間が経過した段階においてのみ、植物の放射能取り込みが問題となるだろう。サンプルとして、大気からの沈着にさらされたかもしれない食物を、野外または、市場、流通センターやその他の場所より採集すべきである。

警戒／制限

野菜の表面汚染は消費制限を決めるための決定的要因である。それゆえ、植物の上部、あるいは食用部のみを採集する。

サンプリングは放出が終わり、ブルームが過ぎ去ってからのみ行うべきである。したがって、外部被ばくや表面汚染はありえるが、吸入による障害は再浮遊した物質によるもののみであろう。チーム員は、退去指針を教えられているべきである（手順 A9）。

装備／補給品

- 全てのチームへの共通の装備（チェックリスト A0）
- 環境／経口摂取チームの装備-食物サンプリング（チェックリスト B2）

注意事項

命や手足を失うほど価値のあるサンプルは無い。常に野外で遭遇するかもしれない障害に留意し、必要な安全策をとりなさい。決して適切な安全装備無しにいかなる野外活動も企ててはならない。常にその装備の使用法を知っておくこと。

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から最初の概要説明と指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B2 を用いて適切な機器をそろえる。
- 1.3. 手順 A0 を用いて機器の点検を実地する。
- 1.4. 任務に赴く時には無線をチェックする。
- 1.5. 任務に赴く時には GPS をチェックする。

ステップ 2

環境分析者/放射線評価者からの指示に従い：

- 2.1. サーベイ装置をプラスチックで覆い、汚染を避ける。
- 2.2. 自動読取型線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者/放射線評価者からの情報や提案をふまえて、緊急事態管理者は甲状腺防護薬剤、防護服、マスクや他の防護装置の適用を決断することになるだろう。

採取地点の決定**ステップ 3**

環境分析者/放射線評価者から要請された場所へ向かう。その場所が野外であれば、平らな空き地に場所を見つける。もし GPS があるならば位置合わせをし、ワークシート B5 に記録せよ。そうでないなら、位置を確認し、地図に印をつけ、ワークシート B5 に記録せよ。その地点における周辺線量率を測定し、ワークシート B5 に記録する。

注意事項

たとえそこに野菜が生育していたとしても、樹木や灌木、その他の覆い被さる物の下でサンプリングしてはいけない。道に隣接した地域は避ける。

サンプリング**ステップ 4**

食用部分を少なくとも 1 kg に達するよう、十分なサンプルを採集する。収穫期に達しているかを基準にサンプルを選別する。植物の緑色で葉の部分で採集し、食用部分でなければ根や茎は採集しない。凍結している、していないにかかわらず、野菜とそれに付着しているかもしれない水分を採集することは重要なことである。

ステップ 5

サンプリングに使用する全ての器具を清浄な水ですすぎ洗いし、新しいティッシュペーパーか同等の物を用いてふき取って乾かす。

サンプルの包装とラベル付け**ステップ 6**

サンプルをプラスチックバックに入れ、封印する。サンプルコードをバッグにラベルし、ワークシート B5 にこのコードを記録する。

汚染防止**ステップ 7**

手順 A5 と A8 を用いて個人および装置の汚染をチェックする。あるいは個人モニタリング/除染チームの支援を要請する。

サンプルの配送**ステップ 8**

完成したワークシート B5 を添えたサンプルをサンプル分析者へ配送する手配をする。

環境／経口摂取サンプリング チームにより実施される	手順 B6	1/2 ページ
	飼料用牧草のサンプリング	

目的

実験室分析に供される飼料用牧草の収集のため。

考察

動物飼料用牧草の分析は、牛乳や食肉の汚染における表面汚染の影響を確定するものである。牧草のサンプリングは、牛を牛舎に移動／引き留めるかを決定する初期手段と考えられている。

警戒／制限

サンプリングは放出が終わり、ブルームが過ぎ去ってから行われると考えられる。したがって、外部被ばくや表面汚染はありえるが、吸入による障害は再浮遊した物質によるもののみであろう。チーム員は、退去指針を教えられているべきである（手順 A9）。

装備／補給品

- 全てのチームへの共通の装備（チェックリスト A0）
- 環境／経口摂取チームの装備-飼料サンプリング（チェックリスト B2）

注意事項

命や手足を失うほど価値のあるサンプルは無い。常に野外で遭遇するかもしれない障害に留意し、必要な安全策をとりなさい。決して適切な安全装備無しにいかなる野外活動も企ててはならない。常にその装備の使用法を知っておくこと。

派遣される前に

ステップ1

- 1.1. 環境分析者/放射線評価者から最初の概要説明と指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B2 を用いて適切な機器をそろえる。
- 1.3. 手順 A0 を用いて機器の点検を実地する。
- 1.4. 任務に赴く時には無線をチェックする。
- 1.5. 任務に赴く時には GPS をチェックする。

ステップ2

環境分析者/放射線評価者からの指示に従い：

- 2.1. サーバイ装置をプラスチックで覆い、汚染を避ける。
- 2.2. 自動読取型線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

注釈

環境分析者／放射線評価者からの情報や提案をふまえて、緊急事態管理者は甲状腺防護薬剤、防護服、マスクや他の防護装置の適用を決断することになるだろう。

採取地点の決定

ステップ 3

環境分析者／放射線評価者から要請された場所へ向かう。容易にサンプリングができ、大きな石や木、他のさえぎるものが無い、開かれた平らな場所を選ぶ。選択する場所は、可能ならば、サンプリングする牧草が比較的均一で、牧草の伸びた高さが比較的均一であることが望ましい。道路や排水溝、壕に隣接した場所は避ける。もし GPS があるならば位置合わせをし、ワークシート B6 に記録せよ。そうでないなら、位置を確認し、地図に印をつけ、ワークシート B6 に記録せよ。

ステップ 4

ホットスポット地域でサンプリングしていないことを明確にするため。周辺線量率を測定する。この値をワークシート B6 に記録する。

サンプリング

ステップ 5

サンプリングする場所 (1 m² かそれ以上) に印をつけ、ワークシート B6 に記録する。できれば草で覆われた植生で地上から 2 cm のところまでの牧草から、サンプルを少なくとも 1 kg 採集する。つまり、植物の緑色または葉の部分を集める。よく気をつけ、そして必要ならば、1 kg 集めるまで、場所を拡張する。土壌が混在しないよう注意を払わねばならない。

ステップ 6

各々のサンプリングの後、サンプリングに使用した器具を清浄な水ですすぎ洗いする。

サンプルの包装とラベル付け

ステップ 7

サンプルをプラスチックバックに入れ、封印する。サンプルコードをバッグにラベルし、ワークシート B5 にこのコードを記録する。

汚染管理

ステップ 8

手順 A5 と A8 を用いて個人および装置の汚染をチェックする。あるいは個人モニタリング／除染チームの支援を要請する。

サンプルの配送

ステップ 9

完成したワークシート B6 を添えたサンプルをサンプル分析者へ配送する手配をする。

環境／経口摂取サンプリング チームにより実施される	手順 B7	1/2 ページ
	堆積物サンプリング	

目的

汚染された可能性のある堆積物を採集すること。(堆積物採集)

考察

堆積物汚染は原子力事故の初期段階では主要な関心でも緊急的な関心でもない。にも関わらず、水中に放射性物質が拡散することとなる特殊な放射線事故においては重要なものであろう。

外部被ばく経路の評価のため、及び、海岸、河岸、湖岸、あるいは河川、湖、または、海の底等での堆積による放射性核種の蓄積を検出するために堆積物サンプルは採集されるだろう。これらの堆積物は水だけのモニタリングでは検出されない汚染の存在も明らかにするかもしれない。

採取サンプル（川、湖）の性質及びモニタリングの目的（堆積履歴、新たな堆積物、移動の予測）によって様々なサンプリング技術が利用されるだろう。実際に出会うであろうそれぞれの状況とサンプリング機器に基づいて特定の手順を記述する必要がある。

警戒／制限

個人の汚染によるリスクは放射線障害の主たるものであろう。

装備／補給品

- 全チームに共通な装置（チェックリスト A0）
- 環境／経口摂取チームのための装置（チェックリスト B2）

注意

命や手足を失うほど価値のあるサンプルは無い。常に野外で遭遇するかもしれない障害に留意し、必要な安全策をとりなさい。決して適切な安全装備無しにいかなる野外活動も企 だててはならない。常にその装備の使用法を知っておくこと。

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1. 環境分析者／放射線評価者から最初の概要説明と指令を受け取る。
- 1.2. チェックリスト A0 と B2 を用いて適切な機器をそろえる。
- 1.3. 手順 A0 を用いて機器の点検を実施する。
- 1.4. 任務に赴く時には無線をチェックする。
- 1.5. 任務に赴く時には GPS をチェックする。

ステップ 2

環境分析者／放射線評価者からの指示に従い：

- 2.1. 装置類をプラスチックで覆い、汚染を避ける。
- 2.2. 自動読取型線量計の警報をセットする。
- 2.3. 適切な個人用防護装備を着用する。

サンプリング地点の確認

ステップ 3

環境分析者／放射線評価者から要請されたサンプル位置を見つけよ。もし GPS があるならば位置合わせをし、ワークシート B7 に記録せよ。そうでないなら、位置を確認し、地図に印をつけ、ワークシート B7 に記録せよ。

注釈

水流の妨害物（例えば、大きな岩石）によって生ずる乱流を避けるために、河川では、穏やかな水域あるいは流れのゆっくりした水域でサンプルを採集すべきである。

サンプリング

ステップ 4

特定の手順に従って堆積物サンプルを取る。

ステップ 5

採水の後、採水器具をきれいな水でゆすぐ。

サンプルの包装とラベル付け

ステップ 6

サンプルをプラスチック袋に入れて密閉する。サンプルコードを袋にラベルし、ワークシート B7 にこのコードを記録する。

汚染防止

ステップ 7

手順 A5 と A8 を用いて個人および装置の汚染をチェックする。あるいは個人モニタリング／除染チームの支援を要請する。

サンプルの配送

ステップ 8

完成したワークシート B6 を添えたサンプルをサンプル分析者へ配送する手配をする。

C節

グロスアルファ/ベータ計測

注意：以下に記載する手順は、適用される状況や能力に応じて改訂されるものとする。

放射性同位体分析チームにより実施される	手順 C1	1/4 ページ
	空気・水サンプルのグロスアルファ/ベータ計測	

目的

空気や水のサンプル、特に雨水中のアルファ、ベータエミッタのグロス濃度を同定すること。

考察

ポータブル、もしくは固定方式のサンプル集塵システムで採取したエアフィルタのグロスアルファ、ベータエミッタの分析は、アルファ/ベータガス比例計数装置で行う。エアフィルタと計測容器（プランシエット）の大きさは同じ大きさでなければならない。水サンプルはプランシエット中で蒸発させて計測する。放射能は標準サンプルとの比較で確定し、またすなわち、²⁴¹Am, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs 等 への相当濃度とされる。空気サンプルを通して引かれた空気の量に基づいて行う計算で、単位空気量あたりの粒子濃度を確定することができる。

まとめ	
検体	アルファ/ベータエミッタ
幾何形状	標準的な直径 5cm, 10cm の大きさのプランシエット
サンプルタイプ	エアフィルタもしくは蒸発させた水サンプル
マトリックス	空気中の粒子、水中の溶解固形物
MDA	α線 1Bq, β線 2Bq (検出器の検出効率に依存)
分析時間	1分～100分
精度	±20%よりは良くない

警戒/制限

グロスアルファ/ベータカウンタは、野外空気サンプル測定器で用いるタイプのもの、これは採集する媒質用に準備されたもの、を用いて事前の校正をおこなっておかなければならない。エアフィルタは、これと同サイズの計測容器（プランシエット）に設置すべきである；この際空気サンプリング装置とグロスアルファ/ベータカウンタの計測面積とのある種の調整が必要になる。計測プランシエットにフィットするように大きなフィルタをカットしたりトリミングしたりする事は推奨できない。検出器中のガスの特性は知っていなければならない。使用前に少なくとも 30 日経過した 90%アルゴン、10%メタンであることが望ましい（残留しているラドンと娘核種の壊変のため）。使用するエアフィルタのタイプも重要である；フィルタを分解するような他の分析（即ち、一例を挙げれば Pu の放射化学分析）を行わないのであればグラスファイバーフィルタが用いられる。そうでなければ、紙フィルタやポリカーボネイトフィルタが望ましい。最終的に空気中濃度を確定するには、エアフィルタの集塵効率を製造業者や他の測定方法から得ておく必要がある。

装置/補給品

- グロスアルファ/ベータ比例計測装置
- 計測ガス
- 計測プランシエット、底が平らなステンレス製が望ましい
- プランシエット容器（同サイズのプラスチック製ペトリ皿が望ましい）
- 野外で採集したフィルタを納めておくサンプル用封筒もしくは小さなプラスチック袋
- 標準的な研究室の機材
- ワークシート C 1

サンプルの準備

エアフィルタ

注意

野外からの各エアフィルタは、フィルタ自体の裏側か、フィルタを納める封筒もしくは袋にラベリングしておかなければならない。

ステップ 1

同一のバッチ内で実験する他のサンプルの識別番号と共にログノートやワークシート C 1 に識別番号を記録する。番号が振られていないのであれば、最終結果として単位空気量あたりの放射能を確定するための計算を行うために必要なすべての情報を表すような特定の配色を与える。フィルタを通して吸引した空気の量を記録簿に記録する。この値は空気サンプルの校正より得られた補正された体積でなければならない。

ステップ 2

計測の際にエアフィルタを入れる新しい、底が平らなステンレス製のプランシエットの側面か底に消えないマーカーでラベルする。

注意

プランシエットを再利用することは勧められない。

ステップ 3

きれいなピンセットまたは鉗子で封筒または袋からサンプルを注意深く取り出す。採集した面を上にして、フィルタをプランシエットに入れる。もし、サイズがぴったりの場合、フィルタがプランシエットの底に収まっているかどうかを確かめるためにはピンセットを用いる。

水サンプル

ステップ 4

可能であれば、重量計測を前もって行なった直径 20cm のプランシエットを使って、水サンプルを適量分取したものを蒸発乾固する。

ステップ 5

水サンプル中に溶解していた固体物質の重量を求めるため、蒸発後にプランシエット重量を計測し使用前のプランシエットの重さを引く。適切な補正グラフ (ステップ 6、手順 C1b) から、測定した残渣重量に対する計数効率を求める。これで計数準備完了。

計測/分析

ステップ 6

計測チェンバーにサンプルを入れる。計数は、一サンプル当たり少なくとも 1 分行う。

注釈

良い統計値を得るには計数時間を長くするのがより实际的であるが、緊急の場合には不可能であるかもしれない。

ステップ7

通常の計測日の間に、少なくとも 10 サンプルの計測終了毎に、バックグラウンドとアルファ線とベータ線の標準サンプルを計測しなさい。記録簿においてこの情報を記録しなさい、あるいは、コンピューター・スプレッドシート（また、手順 C1c を参照）において、ひとつのバッチとしてそれを保存しなさい。無作為に 10 個のサンプルからひとつ選択し、そして、もう一度それを計数しなさい。記録簿またはスプレッドシートに重複計測としてこのサンプルを記録しなさい。

ステップ8

空気中のグロス・アルファまたはベータ放射能濃度と以下の表記を用いて最小検出放射能（MDA）を決定しなさい。

注釈

グロス・アルファ/ベータ解析ソフトウェアのスプレッドシートによっても計算することができる。

$$C_G^i = \frac{\frac{N_i}{t_i} - \frac{N_b}{t_b}}{\varepsilon_i \cdot q \cdot V}$$

ここで、

C_G^i = 空気中のグロス・アルファ或いはベータ放射能濃度 [Bq/m³]

i = アルファ或いはベータ線

N_i = サンプルカウント

t_i = サンプル計数時間 [s]

N_b = バックグラウンド計数

t_b = バックグラウンド計数時間

ε_i = アルファ或いはベータ線それぞれの計数効率

q = フィルタ効率（製品特性、デフォルト値 = 1）

V = 空気サンプルの体積 [m³]

アルファ放射能存在下で（ベータプラトー領域において）ベータ放射能を計数する時、ベータエミッタの濃度は次の方程式を用いた計算によって決定することができる。

$$C_G^\beta = \frac{n_\beta - n_\alpha \cdot F_\alpha}{\varepsilon_\beta \cdot q \cdot V}$$

ここで、

n_β = ベータ電圧プラトー領域での正味のベータ計数率（グロス計数率－バックグラウンド計数率）

n_α = アルファ電圧プラトー領域での正味のアルファ計数率（グロス計数率－バックグラウンド計数率）

F_α = アルファ・クロス・トーク係数、ベータ電圧時のアルファ計数/アルファ電圧時のアルファ計数の比

ε_β = ベータ線の計数効率

ステップ 9

以下の表示を使用して 2-シグマ・レベルで、不確かさを算出なさい。

$$2 \cdot \sigma = 2 \cdot C_G^i \cdot \sqrt{\frac{\frac{N_i^2}{t_i^2} + \frac{N_b^2}{t_b^2}}{\left(\frac{N_i}{t_i} - \frac{N_b}{t_b}\right)^2}}$$

ステップ 10

以下に示した式を用いて、空気中のグロス・アルファ/ベータ放射能の最小検出濃度を算出なさい。

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65 \cdot \sqrt{N_b}}{\epsilon_i \cdot q \cdot V \cdot t}$$

ここで、

MDA = 最小検出濃度

t = 計数時間 [s] ; 計数時間はサンプルとバックグラウンドで同じでなければならない。

ステップ 11

全ての結果をワークシート C1 に記録せよ。

放射性同位体分析チームにより実施される	手順 C1a	1/2 ページ
	エアフィルタのための計数機の校正	

目的

エアフィルタのためのアルファ/ベータ線比例計数器を校正すること。

考察

空気サンプリング装置で用いるものと同じタイプ、サイズのエアフィルタを校正標準の準備のために用いるべきである。アルファ線用とベータ線用の標準を別個に準備する。通常、 ^{241}Am をアルファ線校正に、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 混合核種をベータ線校正に用いる。単純な校正についてここでは考察する。校正標準は、校正用線源の取り扱い業者から入手しなくてはならない。二次標準線源を用いることが推奨される。

警戒/制限

ガスフローグロスアルファ/ベータ計数器の窓が十分に薄く、必要とされるデータ品質の目標標準に見合う測定が可能であることを確認する。検出器を通過するガス流速は、機器製造元の仕様に従って決めなくてはならない。使用の前に少なくとも 1/2 時間は検出器にガスを流さなくてはならない。

装備/補給品

- ▶ グロスアルファ・ベータ線比例計数器
- ▶ 標準溶液

標準線源の準備

ステップ 1

装置の製造元の推奨に従って、アルファ線とベータ線の同時計数に適した動作電圧にセットする。この動作電圧をすべての種類の測定、すなわち校正、サンプル計数、バックグランド計数に用いなくてはならない。

アルファ線標準サンプル

ステップ 2

アルファ線標準として、 ^{241}Am の校正線源を準備する。

- 2.1. 滴下した液状の標準溶液が支持器具に触ることがないように、新しいフィルタを空中に保持する。
- 2.2. フィルタ上に、既知放射能の ^{241}Am を一度に少量ずつ滴下し、その水滴がエアサンプラのフィルタホルダでおおわれていない部分に均一に広がっていることを確認する。
- 2.3. 風乾するか、赤外線ランプでゆっくりと乾かす。
- 2.4. フィルタと同じサイズのラベル済み平底プランシエットに移す。
- 2.5. ラベル済みのプランシエットカバーにプランシエットを入れる。プランシエットカバーには放射能と放射性核種が明示されている。
- 2.6. 使用しないときには、このフィルタは乾燥剤入りの広口ビンに保存する。

これでアルファ線源は計数の準備ができた（ステップ4）。

注釈

通常フィルタを空中に保持するには、一般の化学用ガラス器具のためのリング状の台を用いる。一般的な場合には、沈着はフィルタの中心部 75%でおこる。沈着物の形成には小型の点滴システムを用いることが最も適当であり、校正標準を加える前後で重量を正確に測定することができる。使用する校正標準の量は、約 5 分の計数でおおよそ 10,000 カウントとなるようにすべきである。

注意事項

完成した校正用フィルタは、ピンセットでのみ取り扱う。

ベータ線標準サンプル

ステップ 3

ベータ線標準のため、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 混合核種の校正線源を準備する。上記のステップ 2 と同様の方法で新しいフィルタを空中に保持する。前に ^{241}Am の沈着に用いたのと同じフィルタを用いてはならない。

これでベータ線源は計数の準備ができた（ステップ4）。

計数

ステップ 4

両方の標準サンプルを最低 5 分間計数する。

注意事項

アルファ線源の計数において、ベータ線チャンネル内に入るアルファ線の計数が低いことを確認する。ベータ線源の計数において、アルファ線チャンネル内に入るベータ線の計数が低いことを確認する。製造元の手引きには、正常な測定における「相互干渉（クロストーク）」についての仕様があるはずである。もしも測定した相互干渉が仕様の 10-15%以上を超えている場合には、機器の立ち上げ上問題があるかもしれない。

ステップ 5

下記の式を用いて、効率を計算する。

$$\varepsilon_i = \frac{N_s}{t_s \cdot A_s}$$

ここで、

A_s = 校正線源（標準）の実際の放射能[Bq]

N_s = 校正線源の計数

T_s = 校正線源の計数時間[秒]

ステップ 6

全てのデータを記録簿に記録する。

放射性同位体分析チームにより実施される	手順 C1b	1/3 ページ
	水サンプルに対する計数管の校正	

目的

水サンプルに対するアルファ線／ベータ線比例計数管を校正すること

考察

アルファ線標準、ベータ線標準を別々に用意する。 ^{241}Am はアルファ線の校正に、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ はベータ線の校正によく使われる。簡単な校正方法が考察されるであろう。校正標準は校正線源販売業者から入手すべきである。2次標準校正線源を使うことが推奨される。

警戒／制限

ガスフロー型全アルファ線／ベータ線計数管の窓は、求められるデータ品質目標内の測定ができるように十分薄いことを確認する。検出器を通る気体流量率は機器製造業者の取説に従わなければならない。気体は使用の少なくとも30分前に検出器に流し始めるべきである。

機器／必需品

- 全アルファ線／ベータ線比例計数管
- ステンレス製プランシエット；平らな底、ステンレススチール、出来れば直径20cm

試薬

- ^{241}Am 標準水溶液
- $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 標準水溶液
- 硫化カルシウム；固体
- 硝酸；濃
- 硫化カルシウム溶液；2.5%体積当たり水溶液濃度、硫化カルシウムを2.5gとり注意深く熱濃硝酸10mlに加える。水で100mlに希釈する。
- メチルアルコール

標準線源の準備

ステップ1

同時にアルファ線やベータ線の計数をするために機器製造業者推奨の動作電圧にする。この動作電圧は総ての測定（校正、サンプルの計数、バックグラウンドの計数）に使わなければならない。

アルファ線標準

ステップ2

^{241}Am と、いろいろな量の硫化カルシウム溶液で様々な校正標準を用意する。

- 2.1 同じ種類の新しいステンレススチール製プランシエットを用いて、サンプルの場合と同じように台座に識別番号や線源の性質、放射能をタイプで打つ。プランシエットの重さを計る。

- 2.2 残留物が求める質量になるように、適量の硫化カルシウム溶液と共に既知の放射能の ^{241}Am を加える。水又はメチルアルコールを使って混合物がプランシレット中で均一に広がるようにする。

注釈

加えられた校正標準線源の量は約5分以内の計数で10000カウント程度になる様にすべきである。

- 2.3 空気乾燥するかまたは赤外線ランプでゆっくり乾燥させる。

注意

いくつかの固体はプランシレットのへりにゆっくり動くかもしれない。これを避けるためにいくつかの実験室では少量のシリコングリースをプランシレットの高くなった端あたりに塗る。グリースの量は計数器を汚染しない程度でなければならない。放射能を含まない溶液での経験が適切な条件を決めるものである。

- 2.4 残留物の質量を決定するためにプランシレットの重さを再度計る。
2.5 様々な質量の残留物を得るためにステップ2.1から2.4を繰り返す。

注釈

経験より、どのような溶解固形物が特定の水溶液線源サンプルの蒸発後に残るか判るであろう。残留物質量に対する計数効率のプロットは測定されたサンプルの計数効率の決定に用いられる。

- 2.6 使わないときは標準を乾燥器に保管しておく。
アルファ線標準線源はこれで計数する準備が出来た（ステップ4）。

ベータ線標準線源

ステップ3

上のステップ2と同じ方法で ^{241}Am の代わりに $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ を用いて様々な校正標準を用意する。以前にアルファ線標準に使った同じプランシレットを使ってはいけない。

ベータ線標準線源はこれで計数する準備が出来た（ステップ4）。

計数

ステップ4

総ての標準線源を最低5分は計数する。

注意

アルファ線源の計数において、ベータ線チャンネル内に入るアルファ線の計数が低いことを確認する。ベータ線源の計数において、アルファ線チャンネル内に入るベータ線の計数が低いことを確認する。製造元の手引きには、正常な測定における「相互干渉（クロストーク）」についての仕様があるはずである。もしも測定した相互干渉が仕様の 10-15%以上を超えている場合には、機器の立ち上げ上問題があるかもしれない。

ステップ 5

次の式を使い各々の標準の効率を計算する。

$$\varepsilon_i = \frac{N_s}{t_s \cdot A_s}$$

ここで、

A_s = 校正線源の実際の放射能 [Bq]

N_s = 校正線源の計数値

t_s = 校正線源計測時間 [s]

ステップ 6

アルファ線やベータ線の両方について効率と残留物質量のグラフを書く。

ステップ 7

総てのデータを作業日誌に記録する。

放射性同位体分析チームにより実施される	手順 C1c	1/2 ページ
	アルファ線／ベータ線比例計数管の品質管理チェック	

目的

定期的にもた、測定活動を始める前にアルファ線／ベータ線比例計数管の品質管理チェックを行うため。

考察

品質管理チェックは少なくとも四つの測定を含んでいる。:新しく汚染のないフィルターのバックグラウンド測定、既知の放射線源の測定、長時間のバックグラウンド測定そしてサンプルの一部の再測定。空気サンプルに対する IAEA, WHO, EPA, EML やその他の標準設定組織の相互比較への参加が推奨される。

装置／必需品

- 全アルファ線／ベータ線比例計数管
- 新しく汚染のないフィルター
- 空のプランシエット
- 標準線源

毎日

ステップ 1

- 1.1 野外で使うのと同じプランシエットに入れた新しく汚染のないフィルターを少なくとも 30 分計測する。(典型的な毎日のバックグラウンド測定は 60 分から 100 分である)
- 1.2 空のプランシエットを測定。
- 1.3 品質管理チェック日誌に計数を記録し図示する。
- 1.4 機器の測定結果が 1σ の計数誤差を越えた時には判定のために通常の統計学を適用する。

注釈

もしバックグラウンド測定値が仕様書からはずれたら以下のような他の原因を探す。プランシエットが汚染している、計測箱が汚染している、計数ガスを流し足りない、計数ガスが不適切であるか品質が劣っている。

ステップ 2

毎日同じ測定時間で既知放射線源（標準）を測定する。そして結果を分当りまたは秒当りの計数で図示する。通常の統計計算より大きな変動は計測システムに問題があることを示している可能性がある。

注釈

校正線源販売業者から得られた電着線源を使う実験室もあれば、未知であるが幾分高い放射能持つサンプルを使うところもある。

定期的

ステップ3

月に一度長い時間（1000分以上）のバックグラウンド測定を行う。これにより、まずい操作やサンプル準備技術により蓄積された非常に低い汚染レベルを見つけることが出来る。

ステップ4

10%の比率で任意に選ばれたサンプルを再測定する。

ステップ5

総てのデータをアルファ線/ベータ線比例計数管作業日誌に記録しておく。

D節

ガンマ線スペクトロメトリー

注意：以下に記載する手順は、適用される状況や能力に応じて改訂されるものとする。

In-situ ガンマ線スペクトロメ トリーチームにより実施され る	手順 D1	1/5 ページ
	In-situ ガンマスペクトロメトリー	

目的

地表汚染の放射性核種の成分を同定し、地表に付着した放射性核種の表面濃度を決定するため。そしてその放射性核種の濃度は作業介入レベル、OIL6 や OIL7 と比較することが出来る。

考察

ガンマ線スペクトロメータ（地表面から 1m の位置で下向きに置かれた NaI (Tl) 又は HPGe 検出器）で集められたスペクトルはピークパラメータ（ピーク位置と強度）を求めるために分析される。輝線エネルギーは汚染放射性核種の同定に使われる。輝線強度は表面汚染データに変換される。事実上、野外のスペクトルは数百平方メートルの領域に対するものである。この方法では放射性核種の局所的な不均一分布は平均化される。光子エネルギーによる遮蔽されていない検出器は深さ約 30 センチ、半径数百メートルの土壌からの光子束を測定するので測定される線源は基本的に大きな土壌サンプルである。

特別な場合においては現場での連続的なガンマ線スペクトル測定がマッピング目的で必要とされるかもしれない。この種のサーベイは出来れば車に積まれたより丈夫な NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータでしたほうがよい。スペクトルデータは GPS で得られた地理学的な位置と時間と共に保存される。同時データ収集はコンピュータによってなされる。測定しながらの評価や主な成分の表示はサーベイする核種の輝線エネルギーに対して前もって定めたスペクトルの領域 (ROI) での正味ピーク計数を記録することと共に可能である。この作業を行なえるシステムは商品化されている。または主な構成部品 (スペクトロメータ、GPS、PC) からシステムを組み上げる努力により作ることが出来る。

まとめ

検体：	ガンマ線放出核種
幾何学的構成：	地表から 1 m 離しておかれた NaI(Tl) または HPGe 検出器
サンプル種類：	サンプリングは必要としない
マトリックス：	土と空気
MDA：	100Bq/m ² (検出器の効率と放射性核種による)
分析時間：	100-1000 s
精度：	±10 から ±50% (校正の精度と環境条件による)

警戒/制限

スペクトロメータはあらかじめ現地測定のために校正されているべきである。(手順 D1a) 応答は光子のエネルギーや入射角の関数として既知であるべきである。

高汚染地域におけるデッドタイムの問題やスペクトルピークの形状変形は分析結果に致命的な影響を与えるかもしれないことを知っておく。遮蔽により検出器感度を数桁下げると適用範囲を大きく広げることが出来る。

野外において会うかもしれない危険をいつも知っておき、必要な警戒をする。適切な安全用具無しにいかなる野外活動もしてはならない。いつも安全用具の使い方を知っておく。

総てのモニタリング活動は被ばくが達成できる限り最小になるように管理され行なわれなければならない。チームのメンバーは引き返し水準を知っておかねばならない。

機器／必需品

- 総てのチームに共有の機器（チェックリスト A0）
- In-situ ガンマ線スペクトロメトリーチーム用機器（チェックリスト D1）

派遣される前に

ステップ 1

- 1.1 環境分析／放射線評価者から説明と指示を受ける。
- 1.2 チェックリスト A0 と D1 を使って適切な機器を受け取る。
- 1.3 手順 A0 を使って機器を、手順 D3 を使ってスペクトロメータをチェックする。
- 1.4 出発する前に無線のチェックを行う。
- 1.5 出発する前に GPS のチェックを行う。

ステップ 2

環境分析／放射線評価者の命令に従い

- 2.1 汚染しないように機器をビニールで包む。
- 2.2 自己読みとり式線量計の警報をセットする。
- 2.3 適切な個人用防護用具を身につける。

注意

もし Ge 検出器を使うなら検出器のデューワーにある液体窒素の量をチェックし、必要ならば出発前に補充する。もし電池で動作するスペクトロメータなら電池をチェックする。

測定地の同定

ステップ 3

環境分析／放射線評価者によって指定された測定地へ行く。放射性核種の沈着以降に放射能の垂直分布をかき乱すような農作業あるいは他の作業が行われていない場所で障害物から離れた開けた滑らかな平坦な場所を選ぶ。ホットスポットを選ばないようにサーベイメータでチェックする。

ステップ 4

ワークシート D1 に測定地における平均線量率を記録する。後の評価に重要となるかもしれない測定場所に関連したパラメータも記録する。GPS が使用可能ならその場所の位置を求めそれをワークシート D1 に記録する。そうでなければ、位置を確認し、地図上に印を付けると共にワークシート D1 に記録する。

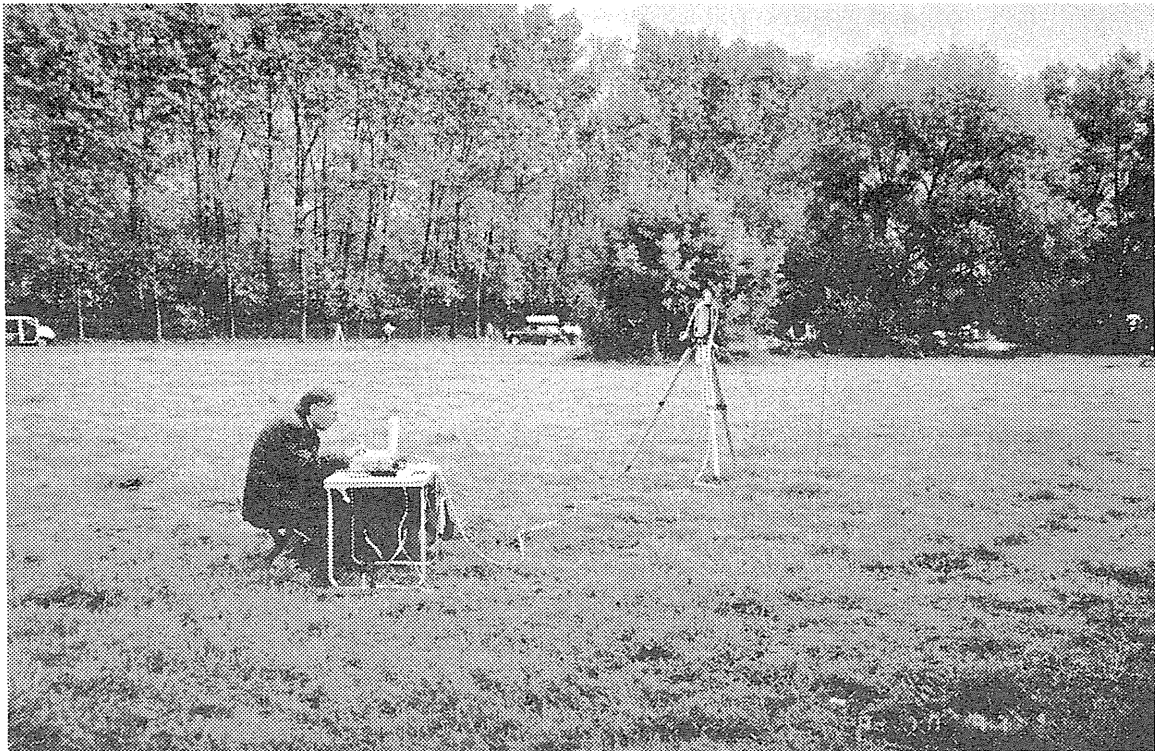
測定

ステップ 5

選んだ場所の中央の測定スタンドに安定した方法で検出器を取り付けスペクトロメータをセットアップする。検出器の頭は下向きで地表面から 1 メートルの位置にする。分析器は数メートル離して置く。スペクトロメータの電子部品に総てのケーブルを繋ぐ。図 D1 は野外の典型的な場所の機器の置き方の例である。

図 D1

In-situ ガンマ線スペクトロメトリーを行う野外の典型的な場所



所見：写真は低汚染環境を示している。高汚染地域においては個人用防護服を用いるであろうし、機器もまた汚染しないように保護される。J.Stefan Institute , Slovenia 提供

ステップ 6

スペクトロメータのスイッチを入れ基本的な機能とデッドタイムをチェックする。測定時間をセットする。検出器の効率と汚染の状態によって推奨される測定時間は 100-1000 秒の範囲で選ばれるべきである。

注釈

もしデッドタイムが 20%以上あったら入力計数率を小さくするため適切な遮蔽をほどこし、測定範囲を広げる。遮蔽は結果を評価において考慮されることを知っておかなければならない。

ステップ 7

設定時間の間のデータ取得を開始する。測定が止まったら集めたスペクトルを適切なファイル名（同定コード）で保存する。ワークシート D1 にそのほかの必要なデータを記録する。

分析

注釈

多くの場合、野外における迅速な結果を得るために最新式分析器の内蔵ピーク面積評価が使われる。顕著なピークは基準スペクトルで同定され適切な関心領域が設定される。ある分析器では濃度を即座に読み出すために正味ピーク面積や計数時間、校正因子 Cf を使えるようにファンクションキーがプログラムされている。

さらに完全な評価のためにスペクトル分析プログラムを動かすため小型コンピュータを分析器に接続する。もし望むなら、電池駆動式のノート型計算機を使って全体的に可搬のシステムが構成できる。以下は標準的な手動によるデータ評価の順番である。

ステップ 8

スペクトルの顕著なピークのまわりにエネルギー帯（関心領域）を設定し、ピークのエネルギーを決める。

注釈

NaI(Tl)スペクトロメータを使うときは通常表 D1 に載せられた放射性核種（核系列）は高エネルギー側の輝線のみを使い同定することが出来る。

HPGe システムについて、もしピークの位置が表のエネルギーと 2keV 以上違っていたら、手順 D2a を使ってスペクトロメータのエネルギースケールを再校正する。NaI(Tl)システムに対しては±10keV である。

ステップ 9

付加的なピークについてスペクトルを視覚的にチェックする。それらのピークのまわりに関心領域を設定しピーク位置（エネルギー）を決定する。そして適切な放射性核種ライブラリまたは付録 IV を使ってピークを同定する。

注釈

もし使えるなら、スペクトルに存在するピークの同定のため、そして、見出された重要な輝線に関心領域を設定するために自動検索が実行できる。

ステップ 10

以下のアルゴリズムを使って正味ピーク面積を計算する。

- 10.1 それぞれの関心領域の計数を総て足し合わせる。
- 10.2 ピークの両側の 3 チャンネルでバックグラウンド計数の平均を計算する。
- 10.3 ピークにおけるバックグラウンドの計数を得るために、この平均値にピークのチャンネル数をかける。
- 10.4 正味ピーク面積を得るためにピークの全計数からピークのバックグラウンド計数をひく。

注釈

以上のアルゴリズムは単独ピークにたいしてのみ適用できる。重なっているピーク的面積を決定するにはより高度な展開技術とコンピュータの利用が必要である。

ステップ 11

次式で地表の放射性核種濃度を計算する。

$$C = \frac{10 \cdot (N - N_b)}{t \cdot C_f \cdot p_\gamma}$$

ここで、

- C = 測定された放射性核種の表面濃度 [kBq/m²]
- N = エネルギーEにおけるピークの計数
- N_b = エネルギーEにおけるピークのバックグラウンド計数
- t = 測定のライブ時間 [s]
- C_f = エネルギーEにおける検出器校正因子 [cm²] —手順 D1a の結果
- P_γ = エネルギーEにおけるガンマ線輝線に対する放出確率

ステップ 1 2

ワークシート D1 に測定や分析パラメータ及び結果を記録する。次の測定場所に移動する。

汚染管理

ステップ 1 3

車や人を定期的に検査し、読み値、時間、場所をそれぞれワークシート A4a や A5 に記述する。

ステップ 1 4

任務の至る所でそして終わりに手順 A5 や A8 を使って人や機器のモニタリング（汚染検査）を実行する。
または個人モニタリング除染チームに支援を要請する。

In-situ ガンマスペクトロメ トリチームチームにより実施 される	手順 D1a	1/6 ページ
	In-situ 測定のためのスペクトロメータ 校正	

目的

in-situ 測定のためのスペクトロメータを校正すること

考察

in situ ガンマ線スペクトロメータ測定の解釈、すなわち、環境での放射性核種濃度へのスペクトルの光電ピーク強度の換算はこれらの数量が比例しているという仮定に基づいていることと土壤中のある所定の放射性核種分布について—換算係数は検出器固有の効率値と線源-検出器のジオメトリーを特徴付ける環境中輸送係数を使って計算することができるという仮定に基づいている。環境サンプルの実験室分析（ここでは校正のために標準放射線源が通常使われる）と異なり、in situ ガンマ線スペクトロメトリは検出器の効率校正測定と光子輸送計算の組合せを必要とする。

土壌の上/土壌中の放射性核種の分布は通常前もっては分かっておらず、普通は一定のモデルの濃度分布関数が近似的に用いられる。ほとんどの場合、土壌中の人工放射性核種の分布は深さと共に指数関数的に減少すると記述することができるだろう。この場合の関連パラメータは単位面積当たりの緩和質量パラメータ ρ/α である。原子炉事故直後は、土壌中の放射性核種の時間依存分布と深い土層中への移行は重要ではない。単位面積当たりの緩和質量パラメータ (ρ/α) に対して推奨される平均値は $0.3\text{g}/\text{cm}^2$ である。表面分布を仮定すると、放射性核種の地上濃度は、最高 2 の係数で過小評価されるかもしれない[14]。新しいフォールアウトの場合、放射性物質の分布は水平面に一様に分布すると仮定され、全てが地表面上に留まっている。すなわち土壌の深層中への浸透は考慮に入れない。

校正の基礎は 60 年代初期に H.L.Beck 他[14]によって始めて紹介され、そして[10]において修正された方法である。ある所定の核種の表面濃度(A_s)に対する特有のガンマ線の正味のピーク計数率 (R_f) の比率は別に決定し得る 3 つの係数の積として表すことができる。

$$C_f = \frac{R_f}{A_s} = \frac{R_f}{R_0} \cdot \frac{R_0}{\Phi} \cdot \frac{\Phi}{A_s}$$

ここで、

C_f = 検出器校正係数

R_0/Φ = 応答係数；検出器軸に沿って（つまり、検出器前面に垂直）検出器に入射するエネルギー E の単位一次光子線束密度によるピーク計数率

R_f/R_0 = 角度補正係数；検出器の角度応答を考慮するために必要とされる補正係数

Φ/A_s = 幾何学的因子；単位濃度あるいは放射性核種の降下量インベントリ当たりの検出器位置における全体の光子線束密度

ここで濃度は単位体積当たりの放射能、単位質量当たりの放射能あるいは単位表面積当たりの放射能のどれであってもよい。

角度補正係数は直径と長さが同等のゲルマニウム検出器では 1 に近い。

警戒/制限

In-situ 測定のためのスペクトロメータ校正は事前になされるべきである—どんな使用についても

装備/補給品

- スペクトロメータ
- 値付けされた標準点線源

ステップ 1

手順 D2a を使ってエネルギー校正を行なう。

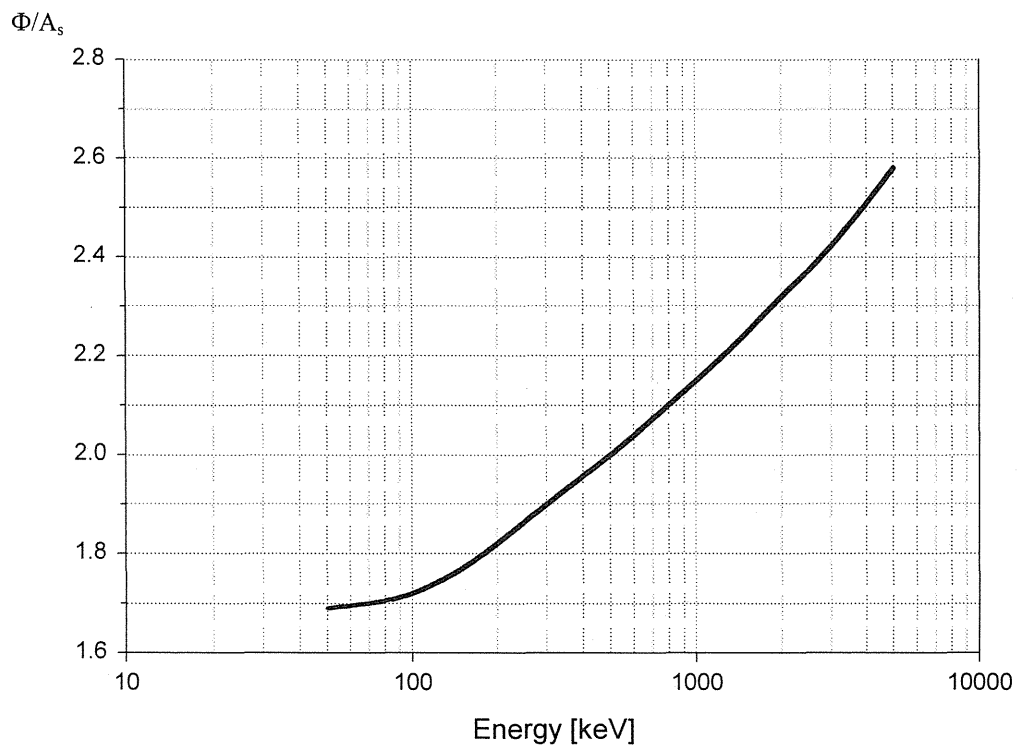
幾何学的因子 Φ/A_s

ステップ 2

図 D2 を使ってスペクトル中のエネルギー E のピークに対して係数 Φ/A_s を決定する。

図 D2

光子エネルギーの関数で表した表面線源分布の場合の地上 1 m に対する Φ/A_s



注釈

図 D2 で示された値は土壌中への浸透のない平らな表面上の様な放射性核種分布に対応している；浮遊放射能からの寄与はこのモデルでは考慮されていない。

応答係数 R_0/Φ

ステップ 3

値付けされた標準線源[9]を使用する校正測定によって係数 R_0/Φ を決定する。

- 3.1 少なくとも 1メートル離れた距離で、検出器面に垂直に入射するように線源を置く。データ収集を始める。

注釈

線源は、検出器の前面で平行に近い光子ビームを作るように合理的な距離をとって検出器の対称軸に沿って置かれるべきである。

線源放射能と検出効率に依存するピーク計数強度を考慮して測定時間は決められるべきである。考慮されるピークに対して良好な計数の統計値（統計誤差が 5%より小さいように）が得られるように十分な時間が残っていないなければならない。

- 3.2. 結晶の実効中心の位置における衝突しない光子の線束密度を計算する：

$$\Phi = \frac{A \cdot p_{\gamma}}{4\pi r^2} e^{-\mu_a x} e^{-\mu_h y}$$

ここで

- A = 使われた線源の放射能の強さ
 p_{γ} = エネルギー E のガンマ線の放出確率
 μ_a = エネルギー E のガンマ線の空気に対する減弱係数[cm^{-1}]
x = 線源ホルダーと検出器前面のキャップの間の空気の距離[cm]
 μ_h = 線源ホルダーでの減弱係数[cm^{-1}]
y = ガンマ線が検出器に行く途中で通り過ぎる線源ホルダーの距離[cm]
r = 線源から結晶実効中心までの距離[cm]
i. E > 1MeV のガンマ線に対しては結晶実効中心はおよそ結晶の幾何学的な中心にある。
ii. E < 0.1MeV のガンマ線に対しては実効中心はおよそ結晶表面にある。
iii. 上記の二つの値の間のエネルギー範囲に対しては結晶の吸収係数に基づいて平均透過率を推定しなければならない。

$$r = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1 - e^{-\mu d} (\mu d + 1)}{1 - e^{-\mu d}} + d_0 + x$$

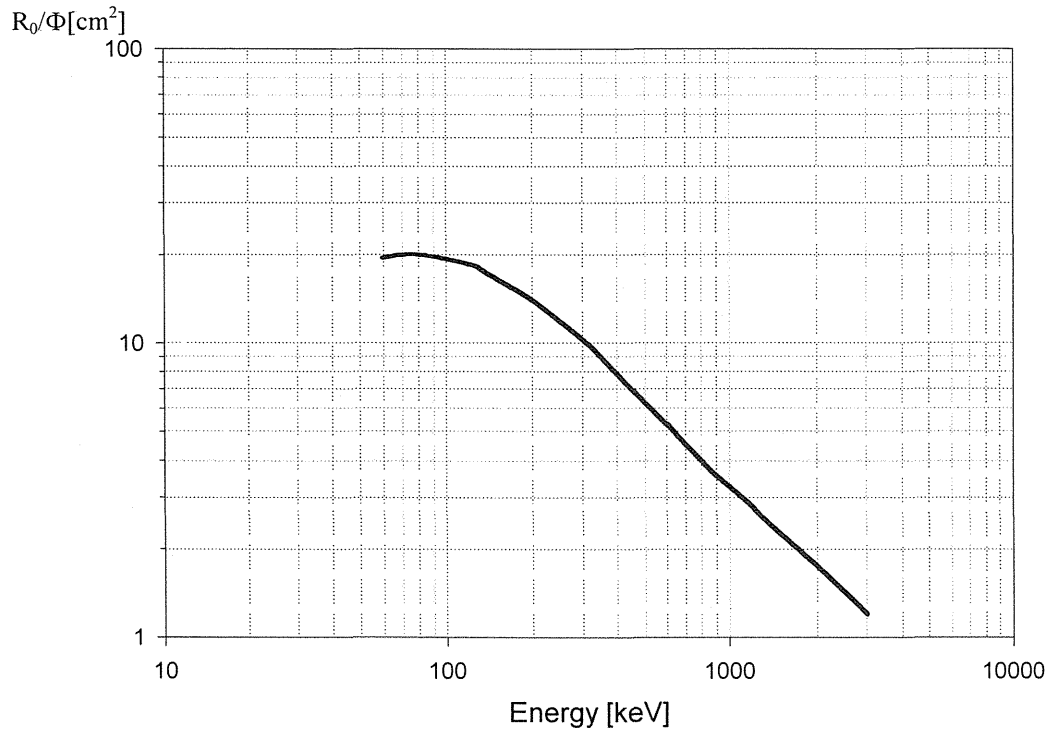
- μ = エネルギー E における Ge 検出器での減弱係数[cm^{-1}]
d = Ge 結晶層厚[cm]
 d_0 = キャップから結晶への距離[cm]

- 3.3. スペクトルを収集して、そして全吸収ピーク計数率を決定する。
3.4. 線源が無い状態でスペクトルを収集し、以前に計測された計数率からバックグランドエミッタによるピークへのどんな寄与でも引き算をする。

- 3.5. R_0/Φ を決定するために修正された計数率を線束密度で除する。
- 3.6 様々なエネルギーについてこの測定を実行する。測定は同時であったり、別々に行なわれたりする。
- 3.7 両対数スケールの図表上にエネルギーに対して R_0/Φ の値をプロットして、データになめらかなカーブをフィットさせる。

図 D3

相対効率 22% の Ge 検出器に対する典型的な応答係数



注釈

スペクトロメトリのために使用する Ge 検出器には2つの異なった主要なカテゴリーがある。入射放射線側の外表面として、いわゆるP型検出器はより厚い、n型のはより薄い不感層を持っている。不感層での減弱は、特に低いエネルギー領域で光電ピーク効率の低減につながる。この理由で一般にn型検出器は低いエネルギーガンマ線とX線に応用の範囲を拡大するため軽い素材（例えばBe）の薄い窓で作られている。そのためにn型検出器はより繊細で壊れやすく、特別な注意を払って *in situ* 測定に使われるべきである。それらは共に利用可能であるけれども、もし選択が可能であるならより強固で丈夫なP型検出器を優先すべきである。

角度補正係数 R_f/R_0

ステップ 4

光子入射角 (θ) の関数として検出器計数効率の変化を測定し、そして、[14]からの角度線束分布データを使うことによって角度補正係数を決定する。

- 4.1. 入射角 $\theta=0^\circ$ (検出器前面に垂直に入射した) と $\theta=90^\circ$ の間で 10° 間隔で結晶に対して少なくとも 1m 以上の固定距離においた点線源を使って正味のピーク計数率 (ピーク領域のどんなバックグラウンド計数率でも差し引いたピークの計数率) $R_f(\theta)$ を測定する。
- 4.2. 初期位置で得られた計数率 R_0 で $R_f(\theta)$ を除する。角度に対しての相対的な応答 $R_f(\theta)/R_0$ をプロットして、データに滑らかなカーブをフィットさせる。
- 4.3. 次の式を数値的に評価する：

$$\frac{R_f}{R_0} = \int_0^{\pi/2} \frac{\Phi(\theta) R_f(\theta)}{\Phi R_0} d\theta$$

角度線束分布データ $\Phi(\theta)/\Phi$ は [14] で見出すことができる。

- 4.4. いくつかの他のエネルギーのために上記の手順を繰り返して、エネルギーに対して R_f/R_0 の結果値をプロットする。データ点に滑らかなカーブをフィットさせる (図 D4 を見なさい)。

ステップ 5

対応する 3 つの係数を乗ずることによって、異なったエネルギーにおいての検出器校正係数を計算する。

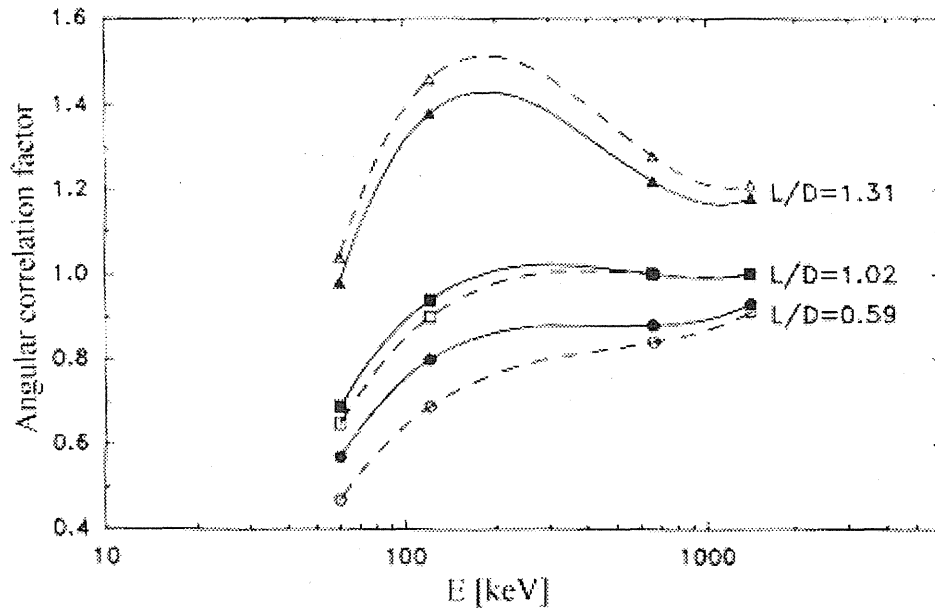
$$C_f = \frac{R_f}{R_0} \cdot \frac{R_0}{\Phi} \cdot \frac{\Phi}{A_s}$$

両対数スケールに C_f 対エネルギーをプロットし、滑らかなカーブによってデータポイントをフィットさせる。すべての C_f ポイントを記録し、スペクトロメータ記録簿に図表を保存する。

注釈

もし適切なソフトウェアを持つコンピュータが *in-situ* 測定の評価のために使用されるなら、これらの係数をこのタイプの測定ジオメトリーの効率データとして入力して、保存し、使用することは賢明である。

図 D4
Ge 検出器に対する角度相関係数



注釈

この係数（エネルギーの関数として）は、非常に検出器形状（短い円板状あるいは細長い棒状であるかによって）に依存しており、そのためにどんな状況にでも適用可能である図を与えることは難しい。図は深さに対して一様分布（——）、平面分布（---）の線源に対し、3つの異なった形状を示す。LとDはそれぞれ結晶の長さおよび直径を表す。

In-situ ガンマ線スペクトロメトリチームにより実施される	手順 D1b	12 ページ
	緊急事態の場合の敏速な校正	

目的

前もって校正されていないスペクトロメータを緊急事態に *in-situ* 測定で使用する場合の敏速な校正を行なうこと。

考察

放射線緊急事態で使用前に詳細なスペクトロメータ校正（手順 D1a）を行なうことは望ましいけれども、しかしながら、特殊な *in-situ* 応用のために未校正のシステムを使われなければならないということがたまたま起きるかもしれない（研究所、大学、食物管理研究室などの、事故でもなければ他の目的のために使用されるポータブルかあるいは輸送可能なガンマスペクトロメータ）。測定の前、間あるいは後でさえ敏速な校正は放射性核種汚染レベルの評価を助けることができる。次の手順はスペクトロメータ校正係数 C_f を得るために適用されるべきである。

警戒/制限

通常 *in-situ* ガンマスペクトロメトリ以外の目的のために使われる Ge 検出器は野外測定のために必要とされるジオメトリーで適用することができないかもしれない。検出器を測定位置（地表面に向ける）に回すとき、液体窒素がこぼれる危険にいつも注意すること。

以下に示す敏速な校正をした測定の精度は、係数 2 の推定内にある。

装備/補給品

- スペクトロメータ
- 値付けされた標準点線源

ステップ 1

図 D2 から対象エネルギーに対する Φ/A_s を決定する。

ステップ 2

中間のエネルギー範囲内のガンマ線を持つ適度に長い半減期のガンマ点線源を選ぶ（ ^{137}Cs の 662keV 線は良い選択の一つである）。

ステップ 3

手順 D1a のステップ 3.1 から 3.5 に従って、このガンマ線のために R_0/Φ を決定する。

ステップ 4

図 D3 のコピーを作って、得られた R_0/Φ 値をプロットする。新しいカーブが新たに記入された点にフィットするように、効率曲線に平行なカーブを描く。

ステップ 5

新しい効率曲線から対象エネルギーに対する R_0/Φ を決定する。

ステップ 6

R_f/R_0 を対象エネルギーに対して 1 とし、そして手順 D1a の式を使って C_f を計算する。

同位体分析チームにより実施される	手順 D2	1/4 ページ
	実験室ガンマ線スペクトロメトリ	

目的

OIL s や一般的なアクションレベル (GAL s) と比較することができるように、空気、土壌、食物、水、牛乳あるいは他のいかなるサンプルでもガンマ線放出核種濃度を決定すること。

考察

この測定技術はバラエティに富む多様なサンプルの中に存在する 50keV から 2000keV の範囲のエネルギーを持つガンマ線放出放射性核種の濃度を決定するために使われる。しかしながら、経験不足の使用者に必要な詳細を提供することはこの刊行物の範囲を越えているから、使用者はガンマ線分光学の若干の事前の訓練と経験を持っていることが期待される。実験方法の詳細は [15] で見いだすことができ、そして環境放射能研究への応用に関するもっと多くの議論が [16] で検討されている。

どんなサンプル測定でも実行される前にスペクトロメータは校正されるべきである。エネルギー校正のために手順 D2a を、そして効率校正のために手順 D2b を用いる。

適切に処理されたサンプルについて、遮蔽された測定配置にあるガンマ線スペクトロメータによって測定されたスペクトルはピークの位置と強さについて分析される。ピークのエネルギーが放射性核種識別のために使われ、そしてピークの強さが放射性核種濃度に変換される。

低い放射能のサンプルのために決めた測定ジオメトリーは、より高い放射能の他のサンプルに対して不十分であることが判明するかもしれないので、広範囲の放射能の強さのサンプルを測ることのできるより多くの柔軟性を備えた異なった検出器-サンプル配置を定めることは良いことである。

すべての異なった種類のスペクトロメータ、サンプルタイプあるいは測定ジオメトリーに対する手順の各ステップについて詳細な記載をすることは難しい。従って、ただ手順の概要だけを記載する。

まとめ

解析：	ガンマ線放出核種
ジオメトリー：	サンプルタイプに適応した標準サンプル形状、2つの位置（遠近）で
サンプルタイプ：	エアフィルタ、土壌、草、食物、水、牛乳
マトリックス：	サンプルタイプに依存
MDA：	0.01-1Bq（検出器効率、バックグラウンドと測定時間に依存）
解析時間：	100-1000s
精度：	±5 から±20%（ジオメトリー、検出器効率、校正精度、汚染のレベル、核種などに依存）

警戒/制限

実際の測定行為のためには限定されたそのスペクトロメータとそれを用いるであろう測定ジオメトリーの条件を反映するように手順は改定されなくてはならない。

校正の後では、システム設定・調整も測定ジオメトリーも変えてはいけない。

放射能の強さの異なるサンプルは別々に扱われなければならない、そして高い放射能サンプルは低い放射能サンプルのための検出器において計測されるべきではなく、逆もまた同様である。スペクトロメータとその周囲にいかなる汚染も起こさないように十分な注意をすべきである。

サンプルと測定パラメータと共に、スペクトロメータ自身に関する全データを、スペクトロメータ作業記録に残すことが強く推奨される。

装備/補給品

- NaI(Tl)シンチレーション検出器そして/あるいは Ge 半導体検出器 (HPGe を推奨)
- 信号処理エレクトロニクス (評価のために PC への直結が推奨される)
- 遮蔽された測定場所
- 異なったサンプルタイプと測定ジオメトリーに対して最適化されたサンプル容器
- 値付けされた標準点線源

測定

ステップ 1

スペクトロメータ手引きを使ってスペクトロメータが適切にセットされていることをチェックする。汚染を避けるために測定場所の内部、特に検出器自身をプラスチックあるいはアルミホイルで保護する。

ステップ 2

スペクトロメータのスイッチを入れる。手順 D3 を使ってその基本的な機能をチェックする。

ステップ 3

選ばれた点線源でエネルギー校正をチェックする。もしそのピーク位置が特有のエネルギーの 2keV 以内でないなら、手順 D2a を使ってスペクトロメータのエネルギースケールを再度校正する。

ステップ 4

サンプル測定について測定時間を予想されるように設定し (緊急事態ならば一般に 100-1000 秒)、測定チャンバにサンプルを入れずにバックグラウンド測定を始める (あるいはもし利用可能ならばブランクと共に)。後の評価とサンプル測定の補正のためにバックグラウンドスペクトルを識別コードの下に保存する。スペクトロメータ作業記録に適切な記録を保存する。

ステップ 5

スペクトロメータ作業記録で、少なくとも次のデータを記録する。

- i. サンプルのタイプと識別コード
- ii. サンプルと測定ジオメトリー
- iii. サンプルの質量とマトリックス

- iv. サンプルの日時と時間
- v. バックグラウンドスペクトルの識別コード

ステップ 6

前もって決定された位置に準備されたサンプルをサンプル容器に入れ、測定時間を設定し、そしてデータ収集を始める。不感時間をチェックし、もし必要であるなら、例えば、もし不感時間が 10% 以上であるなら、事前に決定された次の位置（より高い）にサンプル容器を置く。

注釈

測定時間は測定されるサンプルの数、検出器効率、予想される放射能の強さなどに依存する。

ステップ 7

識別コードと共にの下に計測されたスペクトルを保存する。スペクトロメータ作業記録とワークシート D2 に測定ライブタイムを記録する。もしスペクトルそして／あるいはピーク形状に疑問を抱いたなら、メモを書き付ける。

ステップ 8

測定のために準備されたすべてのサンプルについてステップ 5 から 7 を繰り返す。

解析

注釈

利用可能なたいのスペクトロメータシステムにおいて最近では、もう 1 つのサンプルの測定が続いている間に、保存されているスペクトルの分析を行なうことができる。

たいの市販のスペクトロメトリシステムあるいは評価ソフトウェアプログラムは後続のステップに対する内蔵の機能を持っている。

ステップ 9

手順 D1 のステップ 10 を使ってスペクトルを評価し、見いだされた光電ピークの正味のピーク面積を決定し、バックグラウンドの光電ピーク強度の補正をする。

ステップ 10

スペクトルで見いだされたエネルギーに基づいて放射性核種を同定する。核種、半減期、ガンマ線強度とそのエネルギーといったデータが、信頼できる参照放射性核種ライブラリの電子媒体、あるいは印刷されたコピーから入手できるかもしれない。エネルギーと正味のピーク面積、そして付随の統計上の計数誤差を印刷する。

ステップ 11

式を使ってサンプル中の放射性核種濃度を計算しなさい。

$$C = \frac{(N - N_b)}{t \cdot p_\gamma \cdot \epsilon \cdot Q} \cdot e^{\frac{0.693 \cdot \Delta t}{T_{1/2}}}$$

同位体分析チームにより実施される	手順 D2a	1/2 ページ
	エネルギー校正	

目的

ガンマ線スペクトロメータのエネルギー校正を実施、もしくはチェックすること

考察

ガンマ線スペクトルの重要な特性は、ピークの位置とその強度である。ピーク位置データはガンマ線エネルギーの同定に用いられるが、これは、チャンネル-エネルギー相関関係が既知の場合、すなわちシステムがエネルギーに対し校正されているときに可能である。

チャンネル-エネルギー相関関係はかなり安定であり、校正測定により容易に決定することができる。この関係は、ガンマスペクトロメトリの対象エネルギー範囲（50 - 2000 keV）では直線に近い。ほとんどの最新のスペクトロスコープシステムは、校正を自動的に実行する内蔵機能を装備している（より高次の多項式を校正測定データにあてはめることにより、直線性からのずれを補正する機能がしばしば用意されている）。実現方法の幅広い多様性にもかかわらず、それらは全て、洗練度の高い機器やソフトウェアの支援が得られない使用者によっても実施することのできる共通の単純な手順に基づいている。

警戒/制限

全てのシステムの設定と調節とをエネルギー校正の決定の前に行い、新しい校正が実施されるまでそれらを維持することは本質的に重要である。システム構成要素の設定の小さな変更がエネルギー目盛りに直接影響する可能性がある。

設備/補給品

- スペクトロメータ
- 保証されたガンマ線放出点線源

ステップ 1

少なくとも2つの十分に離れたエネルギー（200 keV より下に一つ、1000 keV よりも上に一つ）が容易に測定できるように、対象エネルギー範囲（50 - 2000 keV）のガンマ線エネルギーを伴う既知核種を含む線源を選ぶ。

注釈

日常作業では、 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{152}Eu 、 ^{133}Ba のエネルギー校正用線源が、この目的にしばしば用いられる。

ステップ 2

エネルギー校正に用いる各ガンマ線ピークラインに対し、想定計数率が十分高く、適度な計数時間（100 から 1000 秒）で明確に決定できるピーク（少なくとも 1000 カウント）が計数されるような位置に線源を置く。

ステップ 3

関心ピークに対し十分な計数値（すくなくとも 1000）を得るために必要な時間、データ収集を開始する。

ステップ 4

手計算、あるいはスペクトロメトリシステムが供給する機能を使い、ピークの最大値の位置を 10 分の 1 チャンネルの精度で求める。

手計算による方法

ピークの前後に関心領域の上下限を設定する。a を下限の、b を上限のチャンネルとし、 N_i を i チャンネルの計数値とする。ピーク位置 p を求めるために次の式を計算する。

$$p = \frac{\sum_{i=a}^b i \cdot N_i}{\sum_{i=a}^b N_i}$$

ステップ 5

核データライブラリから得られるエネルギーに対し、対応するピークの位置を正方眼紙にプロットし、方眼紙上のそのデータに直線を当てはめる。

注釈

より高い精度を得るため、スペクトロスコーピシステム内蔵機能は、より高次の多項式を当てはめることもある。

電子系統の設定（印加電圧、増幅器のパルス整形時間、等々）が一定に保たれている限り、校正は安定していると想定される。周囲の温度のような環境パラメータが利得の安定性に影響する可能性が（特に NaI(Tl)検出器の場合）ある。その影響は、行なうことになるかも知れない補正のために調べるべきである。

ステップ 6

データおよび校正関数をスペクトロメータ記録簿に記録する。

同位体分析チームにより実施される	手順 D2b	1/5 ページ
	効率校正	

目的

ガンマ線スペクトロメータの効率校正を実施すること

考察

計数効率を求める際に考慮すべき基本的な要点は、(a)サンプル計数配置（計数ジオメトリ）、(b)校正方法、(c)校正用線源、および(d)効率解析式、である。

サンプル計数配置（計数ジオメトリ）

日常的な再現可能なサンプル分析のためには、計数に用いられるサンプル容器は、利用できるサンプル物質の量と容器内のサンプルのジオメトリから得られる感度との両方を考慮して選択しなければならない。実際には、測定されるサンプルマトリックスに応じて、実際のジオメトリをもつ数種類の容器を選択することが推奨される。サンプル容器のいくつかの例をあげると、フィルター測定用にシールのできるプラスチック袋、液体、固体の両方に用いるマリネリビーカー、ネジぶた付きのプラスチック円筒容器（びん、広口びん）、ペトリ皿、そして、少容量の土壌や灰化サンプルに用いる種々の寸法のアルミニウム容器、等々があげられる。一般的に、容器の寸法は、検出器と遮へい体の寸法によく適合しているべきである、すなわち、高すぎたり小さすぎたりしないようにしなければならない。

校正方法

今日、数種類の理論的な効率校正方法が用いられている。しかしながら、環境測定のためには、たとえより多くの労力や時間がかかろうとも、効率校正は実験的に決定することが推奨される。実際に使う校正用標準は、各計数配置に対し、値付けられた適切な標準校正用線源、もしくは国家標準にトレーサビリティをもつ標準保存溶液から調整されなければならない。これら実験室で用いられる標準の組成は、密度およびマトリックスに関して、分析する実際のサンプルに可能な限り近いことが必要である。各測定形状において、体積、および／あるいは高さは、標準と分析サンプルとで同じでなければならない。

校正用線源

効率校正の標準として用いるために、適切な放射性核種が選択されなければならない。適切な長さの半減期をもつ値付けされた混合放射性核種溶液がいくつかの定評ある供給者から入手できる。標準線源と共に供給される保証書には、正確な絶対ガンマ線放出率が記載されているべきである。保証書にはまた標準に関する次の特性が記載されているべきである。

- i. 放射能の不確かさ
- ii. 基準日
- iii. 純度
- iv. 質量もしくは体積
- v. 化学組成
- vi. 半減期の値
- vii. 全ての壊変形式に対する放出確率

もしも ^{60}Co 、 ^{88}Y 、 ^{133}Ba 、 ^{152}Eu のようにカスケードを形成する転移によって崩壊し、複数のスペクトルを生ずる放射性核種が効率校正に用いられるならば、同時計数によるサム効果によって生ずる計数損失（あるいは利得）に対する補正に多大な注意が払われなければならない。

表 D1 に、計数効率校正にしばしば用いられる放射性核種のリストを示す。これらの放射性核種を適切に選択し組み合わせることによって効率曲線は対象エネルギー範囲（通常、50–2000 keV）に亘り決定することができる。校正点は、それぞれの間の内挿が正確に行われるようエネルギー範囲を適切にカバーしていなければならない。最低エネルギーよりも下方への外挿は、計数効率が低エネルギーで急激に変化するので（図 D4 参照）多大な注意を払って行われなければならない。実施された校正範囲よりも低いエネルギーを放出する放射性核種の測定のためには、それらの核種に固有の校正を行うことが推奨される。

表 D1 効率校正にしばしば用いられる放射性核種のリスト

放射性核種	半減期	E [keV]	放出確率 P_γ
^{22}Na	950.4 d	511.00	1.807
		1274.54	0.9994
^{46}Sc	83.80 d	889.28	0.99984
		1120.55	0.99987
^{51}Cr	27.71 d	320.08	0.0985
^{54}Mn	312.5 d	834.84	0.99975
^{57}Co	271.84 d	122.06	0.8559
		136.47	0.1058
^{60}Co	1925.5 d	1173.24	0.9990
		1332.50	0.999824
^{109}Cd	436 d	88.03	0.0368
^{137}Cs	30.0 a	661.66	0.850
^{139}Ce	137.65 d	165.853	0.800
^{141}Ce	32.50 d	145.44	0.489
^{203}Hg	46.612 d	279.20	0.813
^{241}Am	420.0 a	59.54	0.360

備考：半減期は日（d）および年（a）で与えられている；1年＝365.25日

効率解析式

関心エネルギー範囲において十分な数のデータが実験的に取得されたならば、効率をエネルギーの関数として表す方法を選ぶ必要がある。X軸にエネルギー、Y軸に効率をプロットした対数グラフを使うことができる。もっとも、効率を、ガンマ線エネルギーの関数として何らかの解析的な数学形式で表すことの方がしばしばより有用であり望ましいのではあるが。このタイプの表現法は容易にプログラム化でき、また自動データ解析に適している。

効率データを解析的な数式にあてはめるために最小二乗フィッティングの手順が使われる。解析式を選択においては、実測データからの系統的なずれを持ち込むかもしれない数式を避けるべく注意しなければならない。一般的に受け入れられており、かつ簡単な効率を決定するための式は次のような式である。

$$\ln \epsilon = a_1 + a_2 \ln E$$

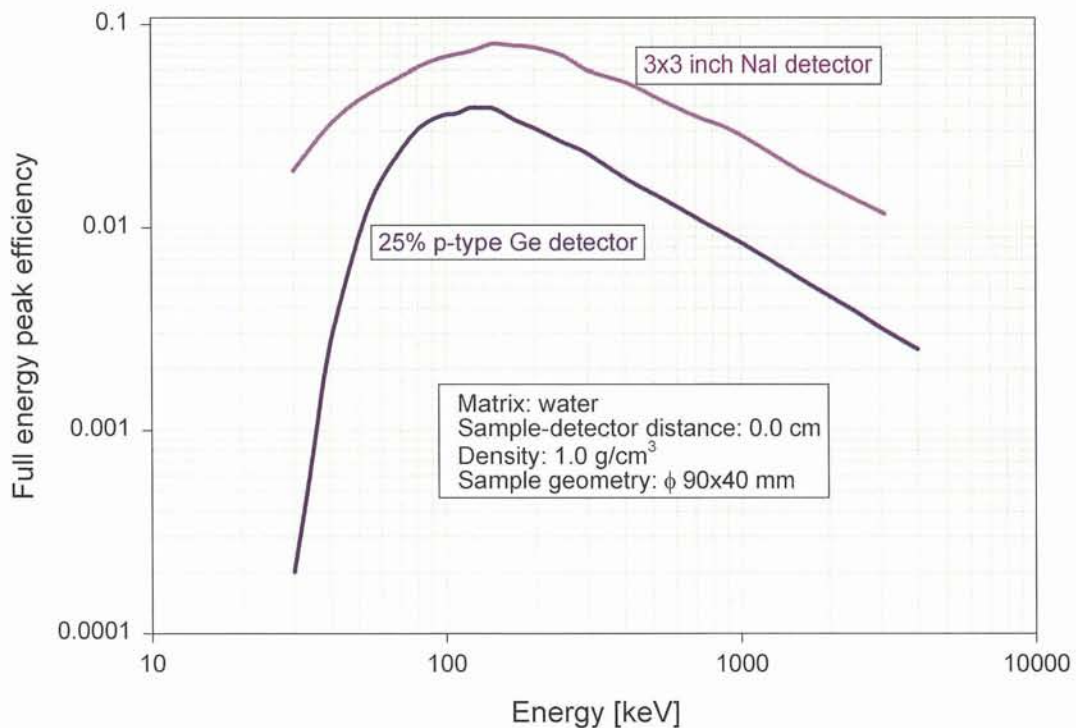
ここで、

- ln = 自然対数
- ϵ = 全エネルギー光電ピーク絶対効率
- a_1, a_2 = フィッティングパラメータ
- E = 対応するガンマ線ピークラインのエネルギー (keV)

この数式は、200 keV から 3000 keV のガンマ線エネルギーの効率を決定するために適切である。より低いエネルギーに対しては、別の数式を見つけなければならない、あるいは要求される値は、効率対エネルギーのグラフ表示から求めることができる。図 D5 に、Ge 検出器と NaI(Tl)検出器に対する典型的な効率曲線が与えられている。

図 D5

Ge ガンマ線スペクトロメータおよび NaI(Tl)ガンマ線スペクトロメータの典型的な効率曲線



警戒／制限

システムの正確な効率校正は、サンプル中に存在する放射性核種を定量するために必要である。全ての定量的な結果の正確さは校正に依存するので、この校正を多大な注意を払って実施することは本質的に重要である。また、全てのシステムの設定と調節とを効率の決定の前に行い、新しい校正が実施されるまでそれらを維持することも本質的に重要である。システム構成要素の設定の小さな変更が計数効率に小さくても直接的に影響する可能性がある。

設備／補給品

- スペクトロメータ
- 値付けされた基準ガンマ線放出線源 - 標準

注意事項

スペクトロメータはエネルギー校正がなされていなければならない（手順書 D2a）

ステップ 1

日常測定で用いたいと思うジオメトリを設定する。容積の大きいサンプルのための容器を選び、検出器に対する再現可能なサンプルの位置を設定する。

注釈

少なくとも二つの位置（一つは近い距離、他の一つは高放射能サンプルのための離れた距離）を定めることが推奨される。いくつもの実験室用標準を作成する必要性を減らすためジオメトリの数を最少にすることを試みる。サンプル調整法は、サンプルが、設定したジオメトリの一つに対応して調整されるように計画されるべきである。

ステップ 2

値付けされた基準線源あるいは混合放射性核種標準保存溶液を用いて、設定したジオメトリに対する実験室用標準を作成する。

注釈

材料組成と密度が予定しているサンプルに可能な限り類似しているマトリックスを使用するように注意が払われるべきである。

ステップ 3

調整した実験室用標準をあらかじめ決めた位置に置き、効率校正に用いるピークラインの各々に対し、良好な統計精度の正味のピーク計数値（少なくとも 10000 カウント）を計数するために必要な時間データ取得を開始する。

ステップ 4

識別コードをつけてスペクトルを保存し、全測定パラメータをスペクトロメータ記録簿に記録する。

ステップ 5

選択した他のサンプル位置についてステップ 3 と 4 を繰り返す。

ステップ6

校正用に調整した全ての実験室用標準に対してステップ3から5を繰り返す。

ステップ7

スペクトルを評価し、校正のために選んだピークラインの正味のピーク面積を決定する。

ステップ8

次の式を用いてスペクトロメータの効率を計算する。

$$\varepsilon = \frac{(N - N_b)}{t \cdot A \cdot p_\gamma} e^{\frac{0.693 \cdot \Delta t}{T_{1/2}}}$$

ここで、

- N = エネルギーEのピークの計数値
- N_b = エネルギーEのピークのバックグラウンド計数値
- t = 計数ライブタイム [秒]
- A = 調整された実験室用標準の、保証書に記載された基準日における放射能 [Bq]
- p_γ = エネルギーEのガンマ線の放出率
- Δt = 保証書に記載された基準日からの経過時間 [日]
- T_{1/2} = 放射性核種の半減期 [日]

ステップ9

効率データを、両対数グラフ上でエネルギーに対してプロットし、および/あるいは、(利用できるならば) 効率計算を実行するために提供されているソフトウェアにエネルギーと効率のデータを入力する。データポイント間に滑らかな曲線を当てはめる。

ステップ10

スペクトロメータ記録簿に全てのデータを記録し、図を保存する。

同位体分析チームにより実施される	手順 C2c	1/1 ページ
	緊急事態における迅速校正法	

目的

緊急事態のサンプル測定に用いられる、それまで未校正状態であったスペクトロメータの迅速な校正を実施すること

考察

放射線緊急事態に、使用に先立って詳細なスペクトロメータ校正（手順 D2b）を実施することは望ましいことではあるが、しかしながら、サンプル分析用には校正されていないシステム（研究所、大学などの、事故でなければ他の目的に使用される可搬型ガンマ線スペクトロメータ、ガンマ線スペクトロメータ）を使用しなければならない事態が発生するかもしれない。測定の前、あるいは後でさえ迅速な校正はサンプル中の放射性核種濃度の評価に役立つ。

設備／補給品

- スペクトロメータ
- 放射能既知の基準サンプル

ステップ 1

放射能（濃度）が既知である成分を少なくとも一つ含むサンプルを調整する。

注釈

容積の大きいサンプルに対して KCl は潜在的によい材料である。なぜならばカリウムの含有量、したがって ^{40}K の放射能が容易に計算できるからである。

ステップ 2

放射能が既知である核種の固有のエネルギー、 ^{40}K の場合は 1460 keV、に対するスペクトロメータの効率を手順書 D2b にしたがって決める。

ステップ 3

図 D4 のコピーをとり、効率の値をプロットする。新しくプロットした点にフィットするように、新しい曲線を、対応する効率曲線に対して平行に引く。

注釈

校正パラメータを得るために、手順書 D2b で考察した単純な解析式を測定点にフィットさせることができる。

ステップ 4

関心のあるエネルギーの効率を、新しい効率曲線から内挿、外挿によって決める。

同位体分析チームにより実施される	手順 D3	1/2 ページ
	スペクトロメータの品質管理チェック	

目的

定期的に、そして測定活動の前にスペクトロメータシステムの品質管理チェックを実施すること。

考察

放射線緊急事態においてスペクトロメータシステムが正しく機能することは、本質的に重要とあってよい。それゆえに、スペクトロメータは定期的に点検されなければならない。問題の複雑さゆえに、方法の正確さを完全に評価することはいつも可能とは限らない。それゆえに、簡便な品質管理チェックが、緊急時対応計画に組み込まれた一要素として実施されるべきである。スペクトロメータの迅速な品質管理チェックの手順は以下に記載されている。

また、もしもそのような活動が国内的あるいは国際的なレベルで組織されているならば、in-situ 測定およびサンプル測定の両方とも相互比較測定演習によって、スペクトロメータシステムは正確さおよび信頼性に関してチェックされるべきである。

警戒／制限

スペクトロメータの校正が行われた後では、システムの設定あるいは調整を変えてはいけない。

設備／補給品

- スペクトロメータ
- 基準ガンマ線放出点線源

スペクトロメータ校正後

ステップ 1

中ほどのエネルギー範囲 (^{137}Cs の 662 keV のピークラインはよい選択である) にガンマ線ピークラインをもつ適度な長さの半減期のガンマ線放出点線源を選ぶ。

ステップ 2

あいまいではなく容易に再現できるようなスペクトロメトリ計測のためのジオメトリを設定する。たとえば、検出器前面からある定められた距離の検出器対称軸上に線源を配置する。

ステップ 3

対象ピークの計数が 10000 カウントを超えるのに必要な時間、スペクトロメトリ計測を行う。スペクトルの形そしてピークラインの形に注意を払う。測定条件と正味のピーク面積をスペクトロメータ記録簿に記録する。

定期的に

ステップ 4

定期的に（毎月）および特別な場合（測定活動の前）に測定を繰り返し、得られたデータをスペクトロメータ記録簿に記録する。

ステップ 5

得られた結果を以前のチェックの結果と比較する。もしも結果が 10%以内の相違であれば、スペクトロメータはほとんどの場合適切に機能している。もしも結果がこの限度を外れていたら、システムの設定と調整をチェックする。全てが多分正常であろうと思われたならば、効率校正を繰り返す。

注釈

信頼できる推定値は、以前の品質管理測定値にフィットさせた指数関数から計算することにより得られる。

同位体分析チームにより実施される	手順 D4	1/3 ページ
	サンプル調製	

目的

野外サンプルを実験室用サンプル（定量分析に適するサンプル）に変形すること。

考察

野外活動中に集めたサンプルは直接に測定できないかもしれない。それゆえに実験室測定に適した形態にすべきである。緊急事態に於いて、迅速な障害評価を容易にしたり介入決定を手助けするためには、正確さが損なわれることになるとしても、簡単で、直接的な物理的方法が好ましい。

- i. サンプル調製は以下により実施されよう
- ii. 異なる構成成分の分別（例えば土壌、石、根、草等）
- iii. 固形物質の粒子形を小さくする
- iv. 乾燥、灰化等により濃度を高くする
- v. サンプルの均一化
- vi. 原サンプルの代表的量（一定量）を分ける。そして、効率校正データが存在する容器やホルダー（ジオメトリ）にサンプルを入れる

実験室で測定したサンプル濃度から元の環境放射性核種濃度を突き止められるように（逆？）、サンプル調製中のサンプル量の変更は、注意深く実施並びに記録しておかねばならない。

警戒／制限

サンプル調製時に主として注意しなければならないことは分析の質と実験室および測定装置の汚染である。サンプルをクロスコンタミから避けるようにお互いよく離しておく。可能であれば、汚染の低いサンプルの調製から開始し、放射性濃度が高くなる順番にサンプルの調製を続ける。作業場の表面に使い捨てのカバー（紙ないしプラスチック）を使用するよう心がける。汚染を招くような各々の調製過程の後には場所の除染を行う。サンプル調製エリアと測定エリアを分ける。

放射線障害の心配が小さくても、大規模汚染後の環境サンプルの処理にあたっては、用心すると共に作業場における放射線防護規則にきちんと従うことが必要である。高い放射能のサンプルを取り扱う時は個人汚染のリスクを最小限にするために手袋、保護服を使用する。

設備／補給品

- サンプルホルダー
- 溢出防止のトレイ
- スケール（物差し）
- 標準実験室道具類（はさみ、スプーン、ナイフ、プラスチック袋等）
- 液体サンプル用ピペット
- ラベル、マーカーペン、アルミ及びプラスチック・フویل
- 汚染除去キット（洗剤、布切れ、ふきとり紙等）
- 皿、トレイ、サンプル混合用の箱

注釈

異なるタイプのサンプルは異なる調製法を必要とする。以下の手順は野外サンプルをすぐ測定できるように実験室サンプルに変えるための一般的なガイドである。あなたが分析しようとする実サンプルのタイプに合った手順を採用しなさい。事故の初期においては土壌サンプルの注意深い調製は通常必要とされない。

ステップ 1

高い放射能を持つものを区別するために野外サンプルを線量率モニターでふるい分ける。別々に処理する。クロスコンタミを避ける。

ステップ 2

野外サンプルを秤量する。主な成分を分けてから各々を秤量する。

注釈

固形の環境マトリックス（土壌、沈殿物、野菜、食物）はまずそのおもな成分に分別する。
根と大きな石は土壌サンプルから除くべきである
収集した野菜を主な部位（根、茎、葉、花、果実）に分ける
集めた食物は可食部のみにする

ステップ 3

実験室サンプルをあらかじめ定めたジオメトリ（サンプル容器）に合うように、ステップ 1 で分別したサンプル成分をホルダーサイズに比べて充分小さい粒形まで切りそろえる。切断は乳棒と乳鉢で砕いたり、ナイフやはさみで切り刻んだり、ブレンダー等を用いたりして行うことができる。

注釈

通常の実験室操作では、固体サンプルは単位乾燥重量当たりの B_q 濃度を得るために乾燥される。緊急事態では、しかしながら、長い乾燥時間はしばしば得られない。この場合は乾燥処理は飛ばして、濃度は単位生（湿）重量当たりの B_q で求める。この値は OILs 値（作業介入レベル値）と比較すればさらに適切なものとなるであろう。

ステップ 4

ステップ 1 で分けたサンプル成分を均一になるまで混合する。この操作はスプーンで混ぜたり、密閉の箱の中にサンプルを入れて振ったり、混合器やブレンダー等を使用することで可能である。

注釈

ステップ 2～3 は液体サンプルに適用してはならない。液体サンプルは均一化されていると見なせる。しかしながら、以下に述べるステップはすべてのサンプルタイプに適用される。

ステップ 5

校正データが存在している、あらかじめ決定されたジオメトリ（サンプルホルダー）に合う原サンプルの代表的な量（一定量）を取る。この一部分のサンプルは実験室サンプルと呼ばれる。このサンプルの大きさ（質量あるいは体積）を測定してワークシート D 2 にデータを記録する。

注意事項

サンプルホルダーの風袋重量に注意を払う。実験室サンプルの正味重量はワークシート D2 に記録されるべきである。

ステップ 6

適当な蓋でサンプルホルダーを閉じる。サンプル物質が溢れたり測定器の汚染を防ぐために、さらにプラスチックフィルムやアルミ箔で包むことが望まれる。サンプルにラベルを糊付けして、下記の項目についてマーカーペンでラベルに記入する。

- i. サンプルコード
- ii. サンプルの大きさ
- iii. サンプル調製日付

注意事項

測定用に準備した実験室サンプルは、調製が後の汚染リスクを最小限にするように調製された作業場から遠く離しておく。

E 節

放射化学分析

注意：以下に記載する手順は、適用される状況や能力に応じて改訂されるものとする。

同位体分析チームにより実施される	手順 E1	1/4 ページ
	単純蒸留法によるトリチウム分析	

目的

水サンプル中のトリチウム (^3H) 濃度を決定すること

考察

集めたサンプルを液体シンチレーションカウンタの分析用に調製する。少量のサンプルは簡単な器具で蒸留し、液体シンチレーションカウンタ用バイアル（ガラスビン）に入れる。液体シンチレーターをサンプルに加える。サンプルを安定させる。その後バックグラウンドサンプルと調製した標準サンプルと共に測定する。液体シンチレーションカウンタはトリチウムの低エネルギー・ベータ線 ($\beta_{\text{max}}=18.6\text{keV}$) 放出を検出する。簡単な計算が体積当たりの放射能を決定するよう実行される。

水サンプル中のトリチウムは多分 T_2O ないし HTO として存在しているであろう。測定に用いるバックグラウンドサンプル水（いわゆる“ゼロ”水）は、非常に深い井戸から採取すべきであり、それで放射能は $<0.5\text{Bq/L}$ である。試薬会社から購入することもできる。緊急事態においては、もっと高い放射能を持つバックグラウンドサンプルを用いることができる。この場合 MDA 値は高いであろう。校正用サンプルは測定サンプルに用いられるものと同じカクテルでもって、同じ測定バイアルに調製すべきである。多くの液体シンチレーションカウンタと共に供与されているクエンチングされていない校正用サンプルを使用すること、あるいは特にこの目的のため購入することは推奨できない。購入した液シンカクテルは業者により設定された（濃度）限界を超えて、サンプルで希釈すべきではない。環境サンプル測定用の望ましいカクテルは 100%（ないしカクテルとサンプルが 50%:50%混合）に希釈することができる。生物分解可能な液シンカクテルは有益であり、推奨される。

まとめ

分析核種：	トリチウム (^3H) ——低エネルギー β 線
方法：	蒸留した水サンプルの液体シンチレーションカウンタ測定
サンプルタイプ：	水、排水
マトリックス：	蒸留サンプルを液体シンチレーションカウンタ用バイアルに入れる。測定カクテルを測定前に加える。
MDA：	4-10Bq/L（検出器効率、バックグラウンドと測定時間に依存）
分析時間：	100 分未満
正確さ：	$\pm 10\%$ よりも良くない（10%を越える）

警戒/制限

液体シンチレーションカウンタによるトリチウム分析用に集めた水サンプルは、ビンが満たされる前に捨てられる測定水サンプルで、前もって共洗いしたガラス製ビン中に集めるべきであり、また酸やホルムアルデヒドで安定化してはならない。プラスチック容器中への捕集は奨められない。

ガラス容器の清浄度は非常に重要である。ガラス容器が完全にきれいでないときクロスコンタミが生じる。ガラス容器の洗浄法は通常の化学実験室の方法に従う。さらにガラス容器の内側の沈殿物を除くために、定期的に強酸で沸騰洗浄することを推奨する。沸騰洗浄用のフラスコは耐用期限があるので定期的に廃棄すべきである。

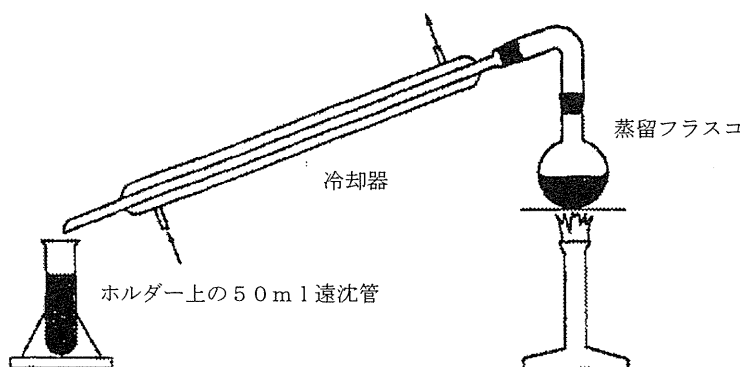
設備／補給品

- 液体シンチレーションカウンタ、コインシデンス型、オートサンプラー付きが好ましい。
自動クエンチング補正、化学ルミネッセンス補正付きが望ましい。さらに液体シンチレーションカウンタが 20ml 液シンバイアルを扱うことができることが推奨される。冷蔵ユニットは必要でない。測定したり、スペクトルを見るためのソフトウェアが入手可能であり、購入するとよい。
- 液体シンチレーションカウンタバイアル、液シンカウンタに合った大きさで、且つ低カリガラスで作られていることが望ましい。
ポリエチレンバイアルはジオキサン液シンカクテルが用いられるときには使用されるかもしれない。プラスチックバイアルは静電気による問題を生じて間違った結果を生じることがあるかもしれない。液体シンチレーションカウンタバイアルは 1 回のみ使用が推奨される。
- 蒸留装置：すり合わせ付きの 250ml ないし 100ml 丸底蒸留フラスコ、パイレックスタイプ；すり合わせ付き連結管（曲管）、摺り合わせ付き冷却器、メスシリンダー、ゴム管、大理石沸石、望ましいタイプの加熱装置（図 E 1）
- ワークシート E 1

試薬

- 水酸化ナトリウムペレット
- 過マンガン酸カリウム；固体
- 水マトリックス内の、非酸性の ^3H 校正用標準、信頼できる販売業者からのもの；3 次標準以下の保証書は推奨できない。
- バックグラウンド（用）サンプル水、できればトリチウム含有が低いもの、深い井戸からあるいは他の証明可能な水源からのもの、認定業者からのもの。この大量の水を水酸化ナトリウムと過マンガン酸カリウムを用いて下記の方法に従い蒸留し、分析用に保存しておく。
- 液体シンチレーションカウンタカクテル、できれば市販のもので且つ 100%までの希釈比で、生物分解可能なもの。
トルエンないしジオキサンカクテルは入手できる。液体シンチレーションカウンタカクテルは文献に従って調整できるが通常一定の品質が得にくいいため推奨できない。

図 E1
トリチウム分析用の蒸留装置



サンプル調製

ステップ 1

100ml のサンプル（あるいは 100ml までならば利用可能ないかなる量でも良い。ただし 30ml 未満は不可）を丸底沸騰フラスコないし蒸留フラスコに入れる。サンプルの量が 100ml ではない場合は、入れた量を正確に測定する。このバッチ（一連のサンプル作成過程）においてバックグラウンド用サンプルを同じように蒸留することは賢明である。

ステップ 2

水酸化ナトリウム 0.5g と過マンガン酸カリウム 0.1g をフラスコに加える（これは水サンプルに含まれる有機化合物を分解する）。沸石を加える。

ステップ 3

連結管（曲管）をフラスコに接続、出口の下で蒸留液を採取するために小さなメスシリンダーないしビーカーを挿入する。

ステップ 4

冷却器をアダプターに接続する。冷却器と水道を図 E1 のようにゴムホースで繋ぐ。

注釈

ある実験室においては、冷却器の上部にゴムホースで接続した乾燥容器をトラップとして置く。「これは突沸事故が起こった時に、実験室への汚染を防ぐ手助けをする。トラップは空気の流れを制限してはならない。トラップは強制的ではないが、実験室の安全のために推奨される。

ステップ 5

加熱装置のスイッチを入れる。サンプルの沸騰を始める。テクニシャンはこの作業が続く間、常に過程を見守ることを推奨する。

ステップ 6

最初の蒸留液 10ml は集めて捨てる。次の 50ml を集める。サンプルの量が少ない場合は 20ml を集める。

注意事項

沸騰フラスコを乾固させてはならない。

ステップ 7

留出液を冷却し、混ぜるためによく渦状に攪拌する。

ステップ 8

サンプルの正確な量を液体シンチレーションカウンタ用バイアルにピペットで移す。できれば 10ml ないし液体シンチレーションカウンタカクテルが維持できる量。

注釈

取り出した量は環境測定にとっては決定要因である、それ故液体シンチレーションカウンタ用バイアルの風袋を測定し、加えた量は重量で測るのが最適である。緊急事態においては、調製時間はできるだけ短いほうが望ましいので、必要量を正確にピペッティングすることで充分である。

ステップ 9

最終容量が (20ml バイアルの場合) 20ml になるように液体シンチレーションカウンタカクテルの正確な量を加える。

ステップ 10

フタをして、キャップの上部にのみラベルをつけ、内容物を混ぜるためにバイアルを振る。バイアルの外側に汚れや指紋をつけないようにする；バイアルを手袋やティッシュで持つことを推奨する。

ステップ 11

一連の測定用にバックグラウンドと校正用標準 (サンプル) を準備する。

注釈

自動測定付きのほとんどの液体シンチレーションカウンタにおいて、1 バッチはラック当たり 10 サンプルである。10 サンプル以上を 1 バッチで測定する場合は、分析者はラック毎に標準サンプルとバックグラウンドを再測定するように測定プログラムを考慮すべきである。

ステップ 12

サンプルを 1 時間暗い所で順応させる。これはある種類のカクテルには実施しなくてもよい。更なる情報についてはカクテルの製造元に相談しなさい。

測定/分析

ステップ 13

サンプルは検出限界に見合う必要な時間測定する。

注釈

“サンプル低計数率棄却” ないし “サンプル高計数率停止” モードの使用により分析の貴重な時間を節約できるし、その利用を奨励する。

ステップ 14

もし時間に余裕があってバッチのカウンタ値が低い時は、全てのサンプルを 2 回ないし 3 回測定し、各サンプルのカウンタ値を平均する。これにより統計的不確実さを減少することになる。

ステップ 15

次の式を用いてトリチウム濃度を決定し、ワークシート E1 を埋める。

$$C_{H-3} = \frac{\frac{N - N_b}{t - t_b}}{\varepsilon \cdot V}$$

ここで

- C_{H-3} = トリチウム濃度 [Bq/L]
- N = サンプルカウンタ数
- t = サンプルカウンタ時間 [s]
- N_b = バックグラウンドのカウンタ数
- t_b = バックグラウンドカウンタ時間 [s]
- ε = 測定効率 (小数で表される)
- V = 測定サンプル量 [L]

同位体分析チームにより実施される	手順 E1a	1/2 ページ
	液体シンチレーションカウンタの校正	

目的

トリチウムエネルギーレベルでの測定器の計数効率を求めること。

考察

95%信頼レベルですべての不確かさが±3%であるような高精度の標準溶液を使用する。

機器/補給品

- ▶ 液体シンチレーションカウンタ
- ▶ ワークシート E1

試薬

- ▶ トリチウム標準溶液
- ▶ シンチレーションカクテル

ステップ 1

サンプル分析にどのサイズのバイアルを使用するか、どの液体シンチレーションカクテルを使用するかを見分ける。

ステップ 2

バッチ計測に使用するための計数標準を準備する。低バックグラウンド蒸留水で希釈された市販のトリチウム線源を用いれば約 100 分の測定で約 10,000 カウント程度のものが得られる。

注釈

もし、多くのサンプルを計測する場合はもっと大量の標準溶液（1000 mL 以上）を準備すれば便利であろう。

ステップ 3

液体シンチレーションカクテルが保持する量にしたがって正確な量の標準溶液をピペットでバイアルに入れる。定量は重量計測によるのが一番良い。放射エネルギーを正確に決定する。

ステップ 4

正確な量の液体シンチレーションカクテルを加え、最終量を 20mL 用のバイアルでは 20mL にする。

ステップ 5

蓋をし、ラベルはバイアルの上のみにつけて内容物を混合するために振り動かす。バイアル外面に指紋や汚れをつけないようにする。バイアルを置き、計測前に少なくとも 1 時間は静置する。手袋あるいはティッシュでバイアルを保持することを推奨する。

ステップ 6

一度バッチ計測サンプルを準備したら、この標準をバッチとして加える。よい統計精度が得られるまで計測を行う（5%以上。）

注釈

一旦よい統計精度が得られたならば、サンプルよりも短い時間で標準を測定することが望ましいかもしれない。このシステムでの経験がこの計測時間を決めるだろう。

ステップ7

以下の式を使って計数効率を計算する。

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_s}{t_s} - \frac{N_b}{t_b}}{A}$$

ここで

- ε = トリチウムにおける液シンの計数効率
- N_s = 標準溶液一定量の計数
- t_s = 標準溶液一定量の計数時間 [秒]
- N_b = バックグラウンドの計数
- t_b = バックグラウンドの計数時間 [秒]
- A = 標準溶液一定量の放射能 [Bq]

ステップ8

ワークシート E1 に計数効率を記録する。全ての関連するデータの記録を液シン計測器記録簿に保管する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E1b	1/2 ページ
	液体シンチレーションカウンタの品質管理チェック	

目的

機器が適切に作動することをチェックし最適の測定条件に調整すること。

考察

クエンチング補正曲線は製造業者の説明書に従って求めなければならない、定期的に更新されなければならない。また、ケミルミネッセンス（化学発光）を検出できるソフトウェアがあることが望ましい。

最も良い測定結果を得るため、製造業者から提供されるトリチウム標準溶液とバックグラウンドサンプルを入手する。

機器／補給品

- 液体シンチレーションカウンタ
- トリチウム標準溶液
- シンチレーションカクテル

ステップ 1

測定するウィンドウ幅あるいはトリチウムピークのチャンネル数を設定する。この設定はマニュアルかソフトウェアのどちらかで行う。

注釈

二つの標準溶液（バックグラウンド溶液とトリチウム標準溶液）からなる一セットを液シン計測器に入れ、トリチウム測定用ウィンドウで計測し計数効率を決める（手順書 E1a）。その後、以下の式を用いて FOM を計算する。

$$FOM = \frac{\epsilon^2 \cdot t_b}{N_b}$$

ここで

- FOM = 性能指数 (figure of merit)
 ϵ = 計数効率
 N_b = バックグラウンドの計数
 t_b = バックグラウンドの計数時間[秒]

ウィンドウを低いエネルギーあるいは高いエネルギー（チャンネル）に動かして計測を繰り返す。FOM が最大のところでウィンドウ設定を見つける。

サンプル計算のため準備される実際の計測標準溶液は少し異なった FOM を与えるかもしれない。したがって少し異なったウィンドウで計測することになるが；そうであるかどうかは経験が示すであろう。

ステップ 2

調整： 2つの標準溶液（クエンチングのないバックグラウンドとトリチウム）からなる一セットを液シン計測器に入れ、“オープンウィンドウ”で計測する。標準溶液は 1-2 分間のプリセット時間で少なくとも 10 回の計測を繰り返す。計数効率（60%以上であるべき）を計算しカイ 2 乗検定を行う。

ステップ3

製造業者から提供された標準溶液とバックグラウンドサンプルは毎日計測し、結果をプロットする。もし標準溶液とバックグラウンドの計数が単純な統計処理により求めた1標準偏差を超えるようであれば検出器に問題が生じているかもしれない。

ステップ4

液シン計測器を作動させ、週単位で液体シンチレーションカウンタソフトウェアに内蔵されているクエンチング曲線を更新する。

ステップ5

定期的に反同時計数ソフトウェアを作動させ、確実に光電子増倍管の平衡がとれているかどうかをチェックする。もし光電子増倍管（PAM管）がテストを通らなかったときには点検のため製造業者に調べてもらう。

ステップ6

定期的にバックグラウンドサンプルを全ての選ばれたチャンネルについて計測し、結果をプロットする。もしバックグラウンド計数が単純統計から導かれた1標準偏差を超えていた場合は検出器に問題が生じているかもしれない。

ステップ7

サンプルを計測する場合は10サンプルの中から1つのサンプルをランダムに取り出して再計測する。

注釈

ある実験室ではサンプル調製の段階で集めた蒸留液からのもうひとつのサンプルも分析を行うだろう。両方の分析は良いデータを保証する。
新たな一連の測定においては適当な標準溶液と未知のバックグラウンドサンプル（新しく準備されたもの）を測定すべきである。

ステップ8

全ての関連したデータの記録（結果）は液シン計測器記録簿に保存する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E2	1/3 ページ
	ストロンチウムの分析	

目的

サンプル中の⁹⁰Srと⁸⁹Srの放射能濃度を測ること。

考察

⁸⁹Srの測定はチェレンコフ光で計測し、⁹⁰Srと⁸⁹Sr両者の測定は液体シンチレーションで計測する。

表 E1 に 95%信頼度レベルでのサンプルの量、典型的な最小検出放射能濃度 (MDA s) 及びおおよその分析時間を示した[17, 18]。

表 E1 ストロンチウム分析における特有のパラメータ

サンプルの種類	サンプルの量	典型的な MDA		単位	分析時間 [時間]
		Sr-89	Sr-90		
浮遊塵	1 m ³	0.3	0.5	Bq/m ³	32
水	1 L	5	10	Bq/L	8
土壌	5 g	350	600	Bq/kg	10
牧草	50 g	5	10	Bq/kg	13
牛乳	50 mL	5	10	Bq/L	10
野菜	50 g	5	10	Bq/kg	13

まとめ

分析核種：	⁹⁰ Srと ⁸⁹ Sr
手順：	放射化学的な分離と液体シンチレーション計測
サンプルの種類：	浮遊塵、土壌／堆積物、水、牛乳、牧草、野菜
マトリックス：	溶解し化学処理したサンプルを測定用カクテルとともに液体シンチレーション計測用バイアルに入れる。
MDA：	表 E1 を参照。
分析時間：	表 E1 を参照
精度：	±15%よりは良くない。

警戒/制限

この方法は少量のサンプル用に作成されたものであり、もっと大量のサンプル用にスケールアップすることはできないだろう。

この手順は、操作する人たちの適切な修得を保証するため定期的実施されるべきである。

もし正しく扱わなければある試薬は有害であるかもしれない；従って、この手順を行う人は十分に訓練されていなければならない、使用を管理しているそれぞれの国の規制に従うべきである。

機器／補給品

- 液体シンチレーションカウンタ
- シンチレーションカクテル
- ワークシート E2

ステップ 1

手順 E2 c を用いて精製用サンプルを準備する。

ステップ 2

あなたの実験室の慣例に従って、手順 E2d または E2e を用いてストロンチウムの精製を行う。

注意事項

液シン計測器は校正し(手順 E2a)、定期的にチェックを行う(手順 E2b)。

ステップ 3

サンプルを液シン計測器に入れ、以前に決定しておいたチェレンコフ光設定で 20 分間計測する。

ステップ 4

10mL のシンチレータを加え、以前に決定しておいた $^{90}\text{Sr}/^{89}\text{Sr}$ 設定で再計測する。

^{90}Y の生成を計算するため中間測定時間を記録する。

ステップ 5

$^{89}\text{Sr}+^{90}\text{Sr}$ の濃度を以下の式を用いて計算する。

$$C_{^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}} = \frac{\frac{N - N_b}{t - t_b}}{\varepsilon_{\text{Sr}} \cdot \eta \cdot Q}$$

ここで

$C_{^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}}$	= ^{89}Sr と ^{90}Sr 、両者を一緒にした濃度 [Bq/unit]
N	= サンプルの計数
t	= サンプルの計数時間[秒]
N_b	= バックグラウンドの計数
t_b	= バックグラウンドの計数時間[秒]
ε_{Sr}	= ^{89}Sr の平均計数効率
η	= 放射化学分離における化学収率
Q	= サンプルの量 [kg, L, m ³]

ステップ6

^{90}Sr の濃度を下の式に従って計算する。

$$C_{^{90}\text{Sr}} = f_Y \cdot \frac{N - N_b}{\varepsilon_Y \cdot \eta \cdot Q} \cdot f'_Y$$

ここで

- $C_{^{90}\text{Sr}}$ = ^{90}Sr の濃度 [Bq/unit]
 N = サンプルの計数
 t = サンプルの計数時間[秒]
 N_b = バックグラウンドの計数
 t_b = バックグラウンドの計数時間[秒]
 ε_Y = ^{90}Y の計数効率
 η = 放射化学分離における化学収率
 Q = サンプルの量 [kg, L, m^3]
 f_Y = ^{90}Y の生成係数
 $f'_Y = 1 - e^{-\ln 2 / T_{1/2} \cdot \Delta t}$
 $T_{1/2}$ = ^{90}Y の半減期
 Δt = ^{90}Y の分離から測定の間中までの時間[秒]
 f'_Y = ^{90}Y の減衰係数
 $f'_Y = e^{-\ln 2 / T_{1/2} \cdot \Delta t}$

ステップ7

^{89}Sr の濃度は差し引きすることで計算する。

$$C_{^{89}\text{Sr}} = C_{^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}} - C_{^{90}\text{Sr}}$$

ステップ8

ワークシート E2 を完成する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E2a	1/2 ページ
	液体シンチレーションカウンタの校正	

目的

それぞれのエネルギーレベルにおいて液シンの計数効率を決定して $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ 設定値を見つけること。

考察

校正のため、95%の信頼レベルで総不確かさが±3%の高精度の標準溶液を用いる。

機器/補給品

- 液体シンチレーションカウンタ
- ^{89}Sr の標準溶液
- ^{90}Sr の標準溶液
- シンチレーションカクテル
- ワークシート E2

ステップ 1

ある一定量の ^{90}Sr 標準溶液(^{90}Y は平衡状態のもの)をピペットで計測用バイアルに入れ、2ml になるまで蒸留水を加える。

ステップ 2

液シンにバイアルを入れて、オープントリチウムウィンドウで十分な統計精度(少なくとも 3%)が得られるまで計測する。計測結果および関連するデータを液シン記録簿に記録する。

ステップ 3

一定量の ^{90}Sr 標準溶液 (^{90}Y を新たに分離したもの) をピペットで計測用バイアルに入れ、2mL になるように蒸留水を加えて、10mL のカクテルと混合する。

ステップ 4

直ちにオープンウィンドウでバイアルの計測を開始する。1 時間以上は計測しない。計測結果を記録する。この計測は ^{90}Sr の計数効率を決定するために必要である。

ステップ 5

5 日後、バイアルを再計測する (^{90}Y の生成したもの)。ステップ 4 の結果をこの計測結果から差し引く。計測結果を液シン記録簿に記録する。この計測は ^{90}Y の計数効率を決定するために必要である。

ステップ 6

これとは別に、一定量の ^{89}Sr 標準溶液をピペットで違う計測用バイアルに入れ、2mL になるまで蒸留水を加える。

ステップ 7

バイアルをオープンウィンドウで十分な統計精度(少なくとも 3%)が得られるまで計測する。計測結果を記録する。この計測は ^{89}Sr のチェレンコフ光による計数効率を決定するために必要である。

ステップ 8

10mL の液体シンチレーションカクテルを加え、よく混ぜる。

ステップ 9

バイアルをオープンウィンドウで十分な統計精度(少なくとも 3%)が得られるまで計測する。計測結果を記録する。この計測は ^{89}Sr の液体シンチレーションの計数効率を決定するために必要である。

ステップ 10

以下の式を使って ^{89}Sr 、 ^{90}Sr および ^{90}Y に対する液シンの計数効率を計算する。

$$\varepsilon_x = \frac{\frac{N_x}{t_x} - \frac{N_b}{t_b}}{A_x}$$

ここで

- ε_x = 放射性核種 x の計数効率
- N_x = 放射性核種 x の標準溶液一定量の計数
- t_x = 放射性核種 x の計測時間 [秒]
- N_b = バックグラウンドの計数
- t_b = バックグラウンドの測定時間 [秒]
- A_x = 放射性核種 x の放射能 [Bq]

ステップ 11

液シン記録簿に計数効率の記録を保管する。

ステップ 12

ワークシート E2 を完成する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E2b	1/1 ページ
	液体シンチレーションカウンタの品質管理チェック	

目的

液シンが正しく作動していることをチェックし、最適な計測条件を調整すること。

考察

液シンの品質管理チェックは、製造業者から提供されたクエンチングしていないトリチウム標準溶液とバックグラウンドサンプル（95%信頼レベルで±3%の精度）を用いて行う。さらに、新しく準備したストロンチウムとイットリウムの標準溶液の計数効率のチェックは定期的に行う。

機器／補給品

- 液体シンチレーションカウンタ
- クエンチングのないバックグラウンドとトリチウムサンプル
- ^{89}Sr の標準溶液
- ^{90}Sr の標準溶液
- シンチレーションカクテル

ステップ1

液シンにクエンチングのないバックグラウンドとトリチウム標準溶液を入れ、オープンウィンドウで計測する。

ステップ2

標準溶液の計測を 10–100 回繰り返す（プリセットタイムは 1-2 分）。

ステップ3

計数効率（60%以上であるはず）を計算し、カイ2乗検定を行う。

ステップ4

毎月ステップ 1-3 を繰り返す。

注釈

新たな一連の計測においては、適当な標準溶液と未知のバックグラウンドのブラインドサンプル（新しく用意したもの）を計測すべきである。

ステップ5

手順 E2a を用いて定期的に液シンの校正をチェックする。

ステップ6

液シン記録簿に全ての関連データの記録を保管する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E2c	1/4 ページ
	サンプルの前処理	

目的

さまざまなサンプルマトリックスをストロンチウムの精製に適している 8M 硝酸溶液に転換させること。

考察

その後の分析するために、いろんなタイプのサンプルの前処理において一定のマトリックスを作る。

機器／補給品

- 電気炉
- 超音波槽
- ガラス製品、 ビーカ、 メスフラスコ、 ガラス棒、 PTFE ビーカ他
- ろ紙；ワットマン No. 42、ワットマン GF/B（ガラス繊維）
- ホットプレート
- ゴム製ポリースマン

試薬

- 硝酸；濃硝酸、8M
- フッ化水素酸；濃フッ化水素酸（40%）
- 硝酸アルミニウム；固体
- 硝酸ストロンチウム；固体
- ストロンチウム担体；10mgSr⁺⁺/mL。水に 2.24g の硝酸ストロンチウムを溶解して、1mL の濃硝酸を加える；メスフラスコに 100mL になるまで水を加える。
- 塩酸；濃塩酸
- 水酸化ナトリウム；5%wt/vol 水溶液
- 炭酸アンモニウム；固体、5% wt/vol 水溶液
- 王水；濃硝酸：濃塩酸、1：4 の混合溶液；必要に応じて作り、保存はしないこと。

注意

よく訓練された職員のみがサンプル前処理操作を行うことができる。危険な化学薬品の扱いには十分に注意すべきである。

エアフィルター

ステップ 1

炎が燃え上がり物質を損失する可能性を避けるために 450°C でゆっくり灰化する。この操作は 24 時間かかるかもしれない。

ステップ 2

8M 硝酸を用いて残留物を定量的に PTFE ビーカに移す。超音波槽あるいはゴム製のポリースマンを用いて、すべての頑固な粒子を押し出して、8M 硝酸で少なくとも 3 回は濯ぐ。

ステップ 3

赤外線ランプ下で乾燥するまで蒸発させる。

ステップ 4

5mL の 40% 塩酸に溶解し、乾燥するまで加熱する。2 度繰り返す。

ステップ 5

10mL の濃硝酸と数 mg の固形の硝酸アルミニウムを加えて乾燥するまで加熱する。さらに 10mL の濃硝酸を加えて乾燥するまで加熱する。

ステップ 6

最小量の 8M 硝酸に溶解する。

ステップ 7

もし同じサンプルでアクチニド分析を行うなら、適当な大きさのメスフラスコに移し一定量まで水で希釈する。溶液の半分を 250mL ビーカーに移し、正確に重量がわかっているストロンチウム担体、約 30mg を加えて精製を続ける(手順書 E2d または E2e)。もし、アクチニド分析を行わないなら、溶液を全部使用してよい。

水

ステップ 8

10mL の塩酸溶液とともに取り出した一定量を酸性化して約 200mL に希釈する。正確に量が分かっているストロンチウム担体、一般的には約 30mg、を加え、かき混ぜる。

ステップ 9

5% の水酸化ナトリウムを加え、pH を 10 ± 0.5 に調整する。

ステップ 10

かき混ぜながら 4g の炭酸アルミニウムを加える。試薬が完全に溶けた後でも少なくとも 10 分間はかき混ぜ続ける。

ステップ 11

吸引ロートでワットマン No42 ろ紙にて濾過し、5% 炭酸アンモニウム溶液で沈殿物を洗浄する。ろ液と洗浄液は廃棄する。

ステップ 12

沈殿物を溶かすために吸引ロートからろ紙を取り除き、8M 硝酸で濡らす。吸引ロートに再び設置して、8M 硝酸で洗浄する。

ステップ 13

250mL のビーカーに溶液を移し、精製処理を行う (手順 E2e あるいは E2d)。

牛乳

ステップ 1 4

2L ビーカに牛乳 50mL を測って入れ、500°C のマッフル炉に 90 分間設置する。

ステップ 1 5

炉から取り出して、少々冷却し；8M 硝酸で灰をちょっと濡して再び炉の中に入れて白い残留物が残るまで置く。通常は約 30 分間。

ステップ 1 6

最小量の 8M 硝酸に灰を溶解し、正確に量がわかっている約 30mg のストロンチウム担体を加える。250mL ビーカに定量的に溶液を移し精製を行う（手順 E2d あるいは E2e）

土壌

ステップ 1 7

よく混合した土壌、約 50g を正確に量って 2L ビーカに入れ、500°C のマッフル炉に入れる。2 時間又は灰化するまで放置する。

ステップ 1 8

灰化した 50 g の土壌に 100mL の王水を加え、沸騰温度近くで 2 時間温浸する。

ステップ 1 9

冷ましてワットマン GF/B ろ紙で濾過して、濃塩酸で洗浄した後、水で洗う。

ステップ 2 0

適当なメスフラスコで既知量にする。よく混合する。

注釈

この原溶液はアクチノイドの分析にも用いることができる。

ステップ 2 1

その溶液の約 1/10 にあたる一定量を 250mL ビーカに正確に量って入れ、約 30 g のストロンチウム担体を正確に加えて殆ど乾固するまで蒸発させる。

ステップ 2 2

50mL の濃硝酸を加えて再び殆ど乾固するまで蒸発させる。50mL の 8M 硝酸を加え、精製を続ける（手順 E2d あるいは E2e）。

草及び野菜

ステップ 2 3

均一なサンプル約 50g を正確に量って 2L ビーカに入れ、500°C マッフル炉に入れ、90 分間放置する。

ステップ 2 4

炉から取り出し、少々冷まし、灰を 8M 硝酸でちょっと濡らし、白い残留物が残るまで再び炉に入れる。

ステップ 2 5

残留物が溶解するまで又は 2 時間のどっちか短い方の時間、沸騰温度近くで 100mL の濃硝酸を用いて残留物を温浸する。

ステップ 2 6

グラスファイバーろ紙で濾過して、8M 硝酸で洗浄し、その後水で洗浄する。残留物の残留放射能をチェックする。残留物は廃棄する。

ステップ 2 7

250mL ビーカーに移し、正確な重量のストロンチウム担体 (約 30mg) を加え、精製を続ける (手順 E2d あるいは E2e)

同位体分析チームにより実施される	手順 E2d	1/3 ページ
	ストロンチウムの精製一硝酸法	

目的

8M 硝酸溶液からストロンチウムを分離すること。

考察

この方法の利点は高純度のストロンチウム分離ができることである。一番不都合な点は発煙硝酸を取り扱うことである。

機器/補給品

- 乾燥用オーブン
- ウォーターバス
- ガラス器具、ビーカー、メスフラスコ、ガラス棒など
- ろ紙；ワットマン GF/B(ガラス繊維)
- ホットプレート
- 50mL チューブを回せる遠心機
- 遠心機用 50mL チューブ
- 液体シンチレーション用バイアルビン
- pH メータ、シングルプローブ
- 氷

試薬

- 発煙硝酸；濃硝酸
- 塩酸；濃塩酸；1M と 6M
- 炭酸アンモニウム；固体
- 硝酸バリウム；固体
- 酢酸アンモニウム；固体
- 酢酸；氷酢酸
- バリウムバッファー液；水に 4.8g の硝酸バリウム、231.2g の酢酸アンモニウム、86.4mL の氷酢酸を溶かして、1 L になるまで水を加えて作ったもの
- 水酸化アンモニウム溶液；1M
- クロム酸ナトリウム；水溶液で 3M
- 鉄製針金
- 鉄担体溶液；5mgFe⁺⁺/mL。 6M の塩酸の最小容量に 5g の鉄製針金を溶かす；1L になるまで水を加えて希釈する。

注意

よく訓練された職員のみがこれらサンプル前処理操作を行うことができる。危険な化学薬品の取り扱いには十分に注意するべきである。

ステップ 1

前処理したサンプルをホットプレートに置き、塩が析出し始めるまで、サンプルを蒸発させる(手順 E2c)。

ステップ 2

直ちに 20mL の水を加える。

ステップ 3

アイスバスで冷やし、67mL の発煙硝酸をかき混ぜながら加える。30 分間かき混ぜ続ける。

ステップ 4

吸引ロートによってガラス繊維ろ紙で濾過し、発煙硝酸で洗う。ろか液と洗浄液は廃棄する。

ステップ 5

吸引ロートからフィルタ＝を除いて、溶かすために沈殿物を水で濡らす。吸引ロートにフィルタ＝をいれて最少体積を維持しながら水で洗う。

ステップ 6

50mL の遠心機用チューブに移して 4mL のバリウムバッファー液を加える。

ステップ 7

1M 炭酸アンモニウム溶液又は 1M 塩酸を用いて pH を 5.5 になるように調整する。

ステップ 8

ウォーターバスで 90 度に温めて、1mL の 0.3M クロム酸ナトリウムをかき混ぜながら滴下する。沸騰ウォーターバス内で 90 分間ほど温める。

ステップ 9

アイスバスで冷やして遠心機で分離する。注意しながらきれいな試験管に上澄みを静かに移して沈殿物は廃棄する。

ステップ 10

1mL の鉄担体溶液を加える。溶液がアルカリ性になるまで濃アンモニア溶液を混ぜながら滴下する。遠心機で分離してきれいな試験管に上澄みを静かに移す。遠心機での分離の中間時刻を記録する。沈殿物は廃棄する。

ステップ 11

2g の炭酸アンモニウムを加え、沈殿物を凝固するためにウォーターバスで温浸する。

ステップ 12

必要なら段階的に、風袋を計測した液体シンチレーションバイアルに溶液を冷やして移す。そして遠心機で分離する。上澄みを注意して他の容器へ移す。そして廃棄する。

ステップ 13

水で洗い、遠心機で分離する。洗浄液は廃棄する。

ステップ 14

一定重量になるまで乾燥用オープンで 110°C で乾燥する。化学回収率を計算するために炭酸ストロンチウムの重量を記録する。

ステップ 15

2mL の 8M 硝酸に溶かして乾燥するまで温める。

ステップ 16

2mL の水に溶かす。サンプルコードでサンプルに印をつける。これでサンプルの計測準備はできた（ステップ 3、手順 E2）。

同位体分析チームにより実施される	手順 E2e	1/2 ページ
	ストロンチウムの精製 —抽出クロマトグラフィ法	

目的

8M 硝酸溶液からストロンチウムを分離すること

考察

硝酸法に比べると、発煙硝酸を用いておらず、より早い方法である。この方法の欠点は相対的に高額な樹脂を用いなければならないことである。

機器/補給品

- 乾燥用オーブン
- 電気炉
- ガラス製品、ビーカー、メスフラスコ、ガラス棒など
- ろ紙；ワットマン No.542
- マグネチックスターラー
- 磁気攪拌子
- 液体シンチレーションバイアル
- pH メーター、シングルプローブ

試薬

- シュウ酸；固体
- 塩酸；濃塩酸
- 炭酸アンモニウム；固体
- 炭酸カルシウム；固体
- カルシウム担体；200mgCa⁺⁺/ml。50g の炭酸カルシウムと水の懸濁液；ゆっくり、かき混ぜながら、炭酸塩を溶かすために十分な量の濃塩酸を加える。水を加えて 100ml とする。
- シュウ酸アンモニウム；0.5%wt/vol 水溶液
- 硝酸；8M
- 水酸化アンモニウム溶液；濃水酸化アンモニウム

注意

よく訓練された職員だけがこれらのサンプルの前処理操作を実施することが出来るということに留意すること。危険な化学物質を扱うときには十分注意するべきである。

ステップ 1

前処理されたサンプル（手順 E2c）を固形物が出始めるまで蒸発させる。そして、少なくとも 4 回水で希釈する。マグネチックスターラーの上において攪拌子を入れる。

ステップ 2

溶液 100ml あたりシュウ酸 3.5g を加え、溶けるまで攪拌する。カルシウム担体約 1ml を加える。

ステップ 3

pH が 5.5-6.0 になるまで攪拌しながら水酸化アンモニウム溶液を加える。攪拌子を取り除き、沈殿物が落ち着くまで待つ。

ステップ 4

ワットマン No. 542 ろ紙を通してから、0.5%シュウ酸アンモニウム溶液でビーカーを洗い、リンスする。ろ過水を捨てる。

ステップ 5

ろ紙を 400ml ビーカーに移し、沈め、500□で二時間処理して灰化する。

ステップ 6

この灰を 8M 硝酸の最小量に溶かす、通常約 30ml.

ステップ 7

溶液を調整されたストロンチウム樹脂 3g のカラム (Eichrom Industries Inc.) を通す (手順 E2f 参照)。全部のサンプルが通過する時間を記録する。ビーカーを少量の 8M 硝酸で洗い、その洗い液をカラムに加えなさい。不溶解物を捨てる。

ステップ 8

カラムを 8M 硝酸 40ml が通るまで洗う。洗い液を捨てる。

ステップ 9

清潔なビーカーの中に 40ml の水でストロンチウムを溶出させ、炭酸アンモニウムを 2g 加え、沈殿物を凝固させるためにウォーターバス中で温浸する。

ステップ 10

冷やしてから、沈殿物をロスしないように上清液を出来る限りたくさん移す。必要とされる段階で、風袋が計算された液体シンチレーションバイアルに移して、遠心分離する。気をつけて上清を移して捨てる。

ステップ 11

水で洗い、遠心分離する。洗い液を捨てる。

ステップ 12

一定の重さになるまで乾燥オープンの中で 110°C で乾燥する。化学収率を計算するために炭酸ストロンチウムの重量を記録する。

ステップ 13

8M 硝酸溶液 2ml に溶かして、乾燥するまで熱する。

ステップ 14

水 2ml に溶かす。サンプルをサンプルコードでマークする。これでカウンティングのためのサンプルが準備できる (ステップ 3、手順 E2) .

同位体分析チームにより 実施される	手順 E2f	1/1 ページ
	ストロンチウムのための樹脂カラムの準備	

目的

希釈された硝酸溶液（8M まで）からのストロンチウムの分離に適した樹脂カラムを準備すること。

考察

この樹脂はストロンチウム用の非常に特別なものであるが、樹脂 1g 当り、Sr 約 12mg しか保持できない。この樹脂は高価ではあるが、サンプルの放射能が低ければ、最大 5 回まで再利用が出来る。

機器/補給品

- 直径 1cm のイオン交換カラム
- ろ紙、直径 1cm に切ったワットマン GF/A

試薬

- 硝酸；8M
- ストロンチウム樹脂；Eichrom Industries Inc.から入手できる。

ステップ 1

直径 1cm のイオン交換カラムに高さが 5.5cm になるまで十分なストロンチウム樹脂の水溶性懸濁液を加える。樹脂の表面まで排水する。

ステップ 2

樹脂カラムの上部を GF/A ガラスファイバー紙の小さな円盤状のもので栓をする。これは樹脂の浮揚を防ぐ。

ステップ 3

8M 硝酸 40ml を通すことによってカラムを調整し、GF/A 栓の表面まで排水する。カラムはこれでサンプルを加えるための準備が完了（ステップ 7、手順 E2e）。

同位体分析チームにより実施される	手順 E3	1/2 ページ
	プルトニウム分析	

目的

さまざまなサンプル母材マトリックス中のプルトニウムのアルファ線放出同位体の濃度を決定すること。

考察

この手順にはイオン交換法による硝酸媒体からのプルトニウム同位体の分離手順が含まれている。これらの状況下では求められるサンプルのサイズが小さいため、マトリックスの影響は殆ど除去される。それゆえ、この方法をより大きなサンプルに対して拡大することは不可能であるかも知れない。表 E2 に、95%信頼レベルを下に、サンプルのサイズ、典型的な最小検出放射能濃度 (MDAs)、そして分析のためのおおよその時間が示されている[17,18]。

表 2 プルトニウム分析のための特徴的なパラメーター

サンプルの種類	サンプルの量	典型的な MDA	単位	分析時間 [時間]
		$^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$		
空気中の粒子	1 m ³	0.003	Bq/m ³	36
水	1 L	0.1	Bq/L	10
土壌	5 g	0.3	Bq/kg	16
牧草	50 g	0.1	Bq/kg	19
牛乳	50 mL	0.1	Bq/L	12
野菜	50 g	0.1	Bq/kg	19

まとめ

分析物	プルトニウムのアルファ線放出同位体
手順	イオン交換による硝酸媒体からのプルトニウム同位体の分離
サンプルタイプ	空気中の粒子、土壌/沈殿物、水、牛乳、草、野菜
マトリックス	硝酸溶液
MDA	表 E2 参照
分析時間	表 E2 参照
精度	±10%～±15%

警戒/制限

この方法は示されたように小さなサイズのサンプルに対応するようにデザインされている。したがって大きなサンプルに対して拡大することは出来ないかも知れない。

この手順は操作を実施する人が十分経験していることを保証するために定期的に実施されるべきである。

いくつかの化学物質は正確に使用されなければ有害であるかも知れないから、この手順を用いる人たちは適切に訓練されなければならないし、これらの使用を取り締まっている国の適切な規制の要求に従わなければならない。

機器／補給品

- α スペクトロメーターシステム

ステップ 1

手順 E3c に従ってサンプルを準備する。

ステップ 2

スペクトロメーターが汚染されていないことをチェックするために短時間バックグラウンドを測定する。

注 意

もし長時間のバックグラウンドの測定が利用できない場合を除いて、バックグラウンドの差っぴきにこのバックグラウンドのスペクトラムを用いてはいけない

ステップ 3

適切なカウント統計精度が達成できるまでサンプルを測定する

ステップ 4

次の数式でプルトニウム放射能を計算する。

$$A_{\text{Pu}} = \frac{A_{\text{spike}} \cdot (R_{\text{Pu}} - R_{\text{b}}) \cdot p_{\text{Pu}}}{(R_{\text{spike}} - R_{\text{b}}) \cdot p_{\text{spike}}}$$

ここで

- A_{Pu} = Pu の放射能[Bq]
- A_{spike} = スパイクした放射性核種、たとえば ^{242}Pu [Bq]の放射能
- R_{Pu} = Pu のピークにおけるカウント率[cps]
- R_{spike} = スパイクピークのカウント率[cps]
- R_{b} = バックグラウンドのカウント率[cps]
- p_{Pu} = ^{239}Pu の分岐確率 ($p_{\text{Pu}}=0.73, 5.157\text{MeV}$ に対して)
- p_{spike} = スパイクした放射性核種 の分岐確率

ステップ 5

すべての関連データと結果をスペクトロメーター記録簿に記録し、保存する。ワークシート E3 を完成させる。

同位体分析チームにより実施される	手順 E3a	1/2 ページ
	アルファスペクトロメーターの校正	

目的

アルファスペクトル測定システムのエネルギー校正を決定すること

考察

アルファスペクトルのキーとなる特徴はピークの位置と強さである。ピーク位置のデータはアルファ放射線のエネルギーを同定するのに用いられる、それはチャンネルエネルギーの対応がわかっているならば行われる。つまり、システムがエネルギーに対して校正されている場合である。

チャンネルエネルギーの対応は相当に安定であり、校正測定によってたやすく決定できる。その相関関係は対象とするアルファスペクトル測定のエネルギー範囲（4–8 MeV）では直線的に近いものである。最近のスペクトルシステムは自動的に校正を行う機能が装備されている（直線から外れた場合の補正はしばしば、校正のための測定データに対してより高い次元の多項式をフィットさせることによってなされる）。幅広い種々の方法が用いられているが、それらは全て、複雑な機器やソフトウェアのサポートを持たないいかなるユーザーでも実施できる簡単な同じ手順を基にしている。

収率を決定できるもの（ ^{243}Pu , ^{243}Am , 適切な Cm 同位体）は国家標準をもつ研究所から得なければならないので、従って、値付けされているべきである。収率を決定できるものを用いて、その一定量、計量した量をサンプルに添加し、既知の放射能と比較することによってサンプルの放射能濃度は計算される。したがって、スペクトル測定システムは効率校正を必要としない。

警戒／制限

全てのシステムの設定や調整はエネルギー校正を決定する前になされ、そして新しい校正が取られるまで維持されるということが重要である。システムを構成しているものの小さな設定変更はエネルギーの尺度に直接影響するかもしれない。

機器／補給品

- アルファスペクトロメーター
- 3種類のピーク線源（ ^{243}Pu , ^{243}Am , ^{244}Cm ）

ステップ 1

線源をスペクトロメーターに置く

ステップ 2

対象ピークにおける十分な数のカウント（少なくとも 1000）を集めるのに必要とされる時間を設定してデータの獲得を始めなさい。

ステップ 3

チャンネルの十分の一の正確性でピークの位置を、マニュアルによって、あるいはスペクトル測定システムが提供する機能を用いて決定する。

マニュアルによる方法

対象領域の限界をピークの周囲にセットする。a と b をそれぞれ、その低い限界と高い限界のチャンネルとする。Ni をチャンネル i におけるカウントの数とする。ピークの位置 p を得るために、次の式を計算する。

$$p = \frac{\sum_{i=a}^b i \cdot N_i}{\sum_{i=a}^b N_i}$$

ステップ 4

核種ライブラリーから得られるエネルギーに対して対応するピークの位置をリニアスケールのグラフにプロットして、データに直線をフィットさせる。

注釈

スペクトロメーターシステムに装備されている機能はよりよい精度のためにより高い次数の多項式を適用させるかもしれない。

校正は電気システムの設定（高圧、増幅、ピーク成形時間など）が変わらずにいればいるほど安定している。周辺の気温といった環境のパラメーターなどはゲインの安定性に影響を与えるかもしれないし、その影響については必要に応じて補正ができるように研究されるべきである。

ステップ 5

スペクトロメーター記録簿にデータとエネルギー校正関数を記録する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E3b	1/1 ページ
	スペクトロメータの品質管理チェック	

目的

アルファスペクトロメータの汚染とエネルギーシフトをチェックすること。

考察

バックグラウンドの定期的なチェックにより、起こりえるかもしれない汚染が直ちに明らかになり、それにより結果が間違っているかもしれないサンプルの識別が可能になる。それで、それらのサンプルはもし必要ならば再度測定することができる。エネルギー校正の定期的なチェックにより校正がドリフトしていないことが保証される。

機器／補給品

- アルファスペクトロメータシステム
- 三つのピーク線源 (^{239}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)
- ステンレス鋼ディスク

ステップ1

電着に用いる型式のブランク2.5cmステンレス鋼ディスクを用いてバックグラウンドを少なくとも1000分計測する。少なくとも毎月バックグラウンド計測を繰り返し、もし検出器の汚染が疑われる場合にはより頻繁に計測する。

ステップ2

エネルギー校正を毎週実行する。もし校正値がドリフトしている疑いが少しでもあれば直ちに校正を行う。

ステップ3

スペクトロメータ記録簿にバックグラウンド、エネルギー校正パラメータそして全ての関連のある記録を保管する。

同位体分析チームにより実施される	手順 E3c	1/6 ページ
	サンプル調整	

目的

さまざまなサンプルマトリックスを陰イオン交換に適している8M硝酸溶液に転換させること。

考察

もし、サンプルに対するアメリシウムと（又は）キュリウムの分析が必要ならば、 ^{242}Pu デターミナントと同じように適切な収量デターミナントを同時に加えなくてはならない。アメリシウム/キュリウム分析には手順 E4 が用いられる。

電着のステップはサンプル調整における最も決定的なステップである。ステンレス鋼ディスクの表面に着色した斑紋あるいは輪形のないことが保証されねばならない。この表面の汚れはアルファスペクトロメータによる計測の際に影響を与えるかもしれない。

図 E2 はサンプル調整の全体工程図である。

機器／補給品

- 電着槽
- 電着用電源
- ステンレス鋼ディスク
- 電気炉
- 超音波槽
- ガラス製品、ビーカ、メスフラスコ、ガラス棒、PTFEビーカ他
- ろ紙； ワットマン No. 42、ワットマン GF/B（ガラス繊維）
- ホットプレート
- ゴム製ポリースマン
- pHメータ、シングルプローブ

試薬

- ^{242}Pu の標準溶液
- ^{243}Am の標準溶液
- 必要に応じ ^{242}Cm あるいは ^{244}Cm の標準溶液（手順 E4 における議論を見よ）
- 硝酸；濃硝酸、8M
- フッ化水素酸；濃縮フッ化水素酸（40%）
- 硝酸アルミニウム；固体
- 鉄製針金
- 鉄担体溶液；5 mg Fe^{++}/ml 。6M の塩酸の最小容量に5 g の鉄製針金を溶かす；1L になるまで水を加えて希釈する
- 塩酸；濃塩酸；6M
- 亜硝酸ナトリウム；固体
- 水酸化アンモニウム溶液；濃縮水酸化アンモニウム
- 王水；濃硝酸：濃塩酸が1：4の混合溶液；必要に応じて作り、保存はしないこと
- ヨウ化水素酸；濃縮ヨウ化水素酸（ひとたび開封したならば冷蔵庫中に貯蔵し、三ヶ月以内に使用すること）
- 硫酸；濃硫酸
- メッキ溶液；緩衝溶液処理された硫化アンモニウム。濃硫酸60 mLを約700 mLの水に常に攪拌しながら注意深く加える。硝酸溶液が冷めたらpHが5.3になるまで水酸化アンモニウム溶液を加え調整する。1Lになるまで水を加えて希釈する；使用する直前にpHをチェックし再調整する
- メタノール

サンプルの前処理

エアフィルタ

ステップ 1

炎が燃え上がり物質を損失する可能性を避けるために450°Cまでゆっくりと昇温し灰化する。この操作は24時間かかるかもしれない。

ステップ 2

8M 硝酸を用いて残留物を定量的にPTFEビーカーに移す。頑固に付着している粒子も超音波槽とゴム製ポリースマンを用いてすべて取り除き、8M 硝酸で少なくとも3回はすすぐ。

ステップ 3

赤外線ランプ下で乾燥するまで蒸発させる。

ステップ 4

5mLの40%フッ化水素酸に溶解させ、乾燥するまで加熱する。これを2度繰り返す。

ステップ 5

10mLの濃硝酸と数mgの固体硝酸アルミニウムを加えて乾燥するまで加熱する。さらに10mLの濃硝酸を加えて乾燥するまで加熱する。

ステップ 6

最小量の8M硝酸に溶解させる。

ステップ 7

もし同じサンプルでストロンチウム分析を行うなら、適当な大きさのメスフラスコに移し、一定量まで8M硝酸で希釈する。溶液の半分を250mLビーカーに移す。もしストロンチウム分析を行わないならば、溶液を全部使用してよい。

ステップ 8

(必要に応じて) 重量により正確に量のわかっている ^{242}Pu 、 ^{243}Am 、そして適切なCm収量デターミネントを加えて最終サンプル調整 (ステップ 26) へ進む。

水

ステップ 9

取り出した一定量を10mL塩酸により酸性化し、約200mLに希釈して鉄担体10mLを加える。(必要に応じて) 重量により正確に量のわかっている ^{242}Pu 、 ^{243}Am 、そして適切なCm収量デターミネントを加える。よく混ぜる。

ステップ 10

水酸化アンモニウム溶液を加え、pHを 10 ± 0.5 に調整する。

ステップ1 1

ワットマンNo.42 ろ紙を用いて吸引ロートでろ過し、水で沈殿物を洗浄する。ろ液と洗浄液は廃棄する。

ステップ1 2

沈殿物を溶かすために吸引ロートからろ紙を取り除き、8M硝酸で湿らせる。ろ紙を吸引ロートに再設置して8M硝酸で洗浄する。

ステップ1 3

溶液を250mLビーカーに移し、最終サンプル調整（ステップ2 6）へ進む。

牛乳

ステップ1 4

2Lビーカーに牛乳50mLを量って入れ、500°Cのマッフル炉内に90分間設置する。

ステップ1 5

炉から取り出して少々冷まし、8M硝酸で灰をちょっと湿らせ、白い残留物が残るまで再び炉に入れる。その時間は通常約30分間である。

ステップ1 6

最小量の8M硝酸に灰を溶解させる。250mLビーカーに溶液を定量的に移す。（必要に応じて）重量により正確に量のわかっている²⁴²Pu、²⁴³Am、そして適切なCm収量デターミナントを加えて最終サンプル調整（ステップ2 6）へ進む。

土壌

ステップ1 7

よく混合した土壌、約50gを正確に量って2Lビーカーに入れ、500°Cのマッフル炉に入れる。2時間あるいは灰化するまで放置する。

ステップ1 8

灰化した50gの土壌に100mLの王水を加え、沸騰温度近くで2時間温浸する。

ステップ1 9

冷ましてワットマンGF/Bろ紙でろ過し、濃塩酸で洗浄した後、水で洗う。

ステップ2 0

適当なメスフラスコで既知量にする。よく混合する。（この原溶液はストロンチウム分析にも用いることができる）。

ステップ2 1

その溶液の約1/10にあたる一定量を250mLビーカーに正確に量って入れる。（必要に応じて）重量により正確に量のわかっている²⁴²Pu、²⁴³Am、そして適切なCm収量デターミナントを加え、ほとんど乾固するまで蒸発させる。

ステップ 2 2

10mLの濃硝酸を加えて再びほとんど乾固するまで蒸発させる。8M硝酸50mLを加えて最終サンプル調整（ステップ 26）に進む。

草及び野菜

ステップ 2 3

均一なサンプル約 50g を正確に量って 2L ビーカに入れ、500°Cマッフル炉に入れる。90 分間放置する。

ステップ 2 4

炉から取り出し、少々冷まし、灰を 8M 硝酸でちょっと濡らし、白い残留物が残るまで再び炉に入れる。その時間は通常 60 分から 90 分間である。

ステップ 2 5

残留物を最小量の 8M 硝酸に溶解させる。（必要に応じて）重量により（必要に応じて）正確に量のわかっている ^{242}Pu 、 ^{243}Am 、そして適切な Cm 収量デターミナントを加えて最終サンプル調整（ステップ 26）へ進む。

最終サンプル調整

ステップ 2 6

亜硝酸ナトリウム約 100mg を加え、茶色い発煙が放出されなくなるまで加熱して沸騰させる。その後、溶液を冷ます。

ステップ 2 7

前もって準備したイオン交換カラム（手順E3d）を通過させる。少量の8M硝酸でビーカをすすぎ、洗液をカラムに加える。カラム10個分量の8M硝酸でカラムを洗浄する。もし必要ならばアメリカウムと（又は）キュリウムの分析のために抽残液と洗液を採集する（手順 E4）。

ステップ 2 8

カラム10個分量で、又は溶出液が無色になるまで濃塩酸でカラムを洗浄する。溶出液は廃棄する。

ステップ 2 9

2%のヨウ化水素酸を含むカラム10個分量の濃塩酸を通過させ、プルトニウムをカラムからきれいなビーカへと溶出する。ホットプレート上で乾固するまで蒸発させる。

ステップ 3 0

残留物を溶解させるために濃塩酸を数滴加える。乾固するまで蒸発させる。

ステップ 3 1

残留物を溶解させるために濃硝酸を数滴加える。乾固するまで蒸発させる。

ステップ 3 2

白い残留物が得られるまでステップ30とステップ31を繰り返す（通常このステップは必要ない）。

ステップ 3 3

メッキ溶液に溶かし、メッキ槽に加える（電着槽の例として図 E3を見よ）。500mAの電流で、2～3時間かけて、2.5cmのステンレス鋼ディスク上に電気メッキする。

ステップ 3 4

1mLの濃アンモニア水を加えて電気メッキを一分間続ける。電流を切る；すばやくメッキ槽を空にしてディスクを取り外す。

ステップ 3 5

メッキされたディスクをまず水で洗浄し、次にメタノールで洗浄する。乾燥させアルファスペクトロメトリ用に提出する（手順 E3）。

図 E3
電着槽の例

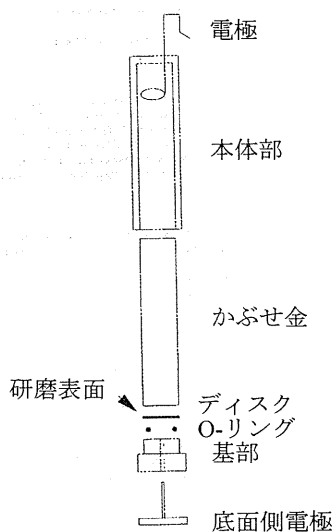
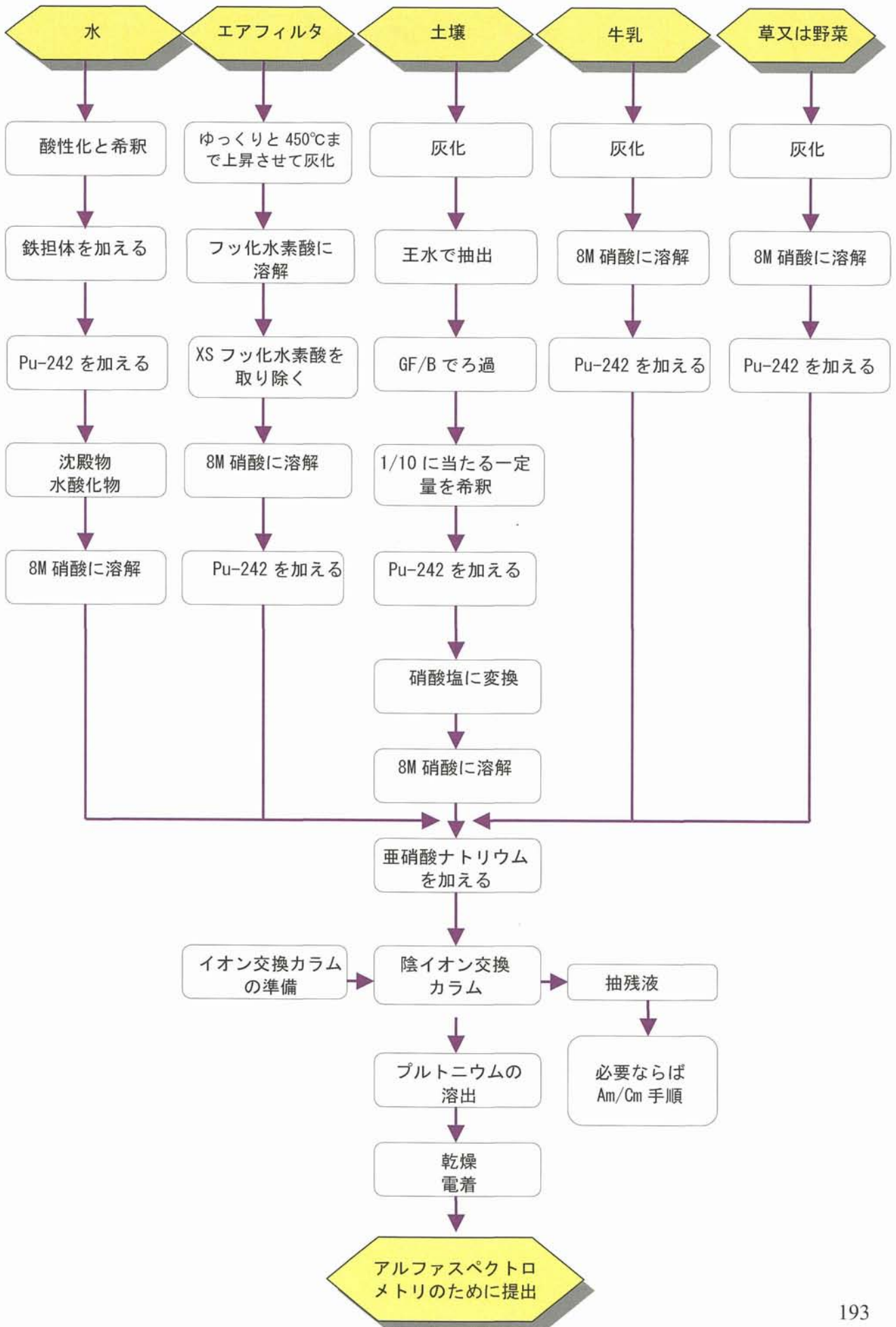


図 E2

プルトニウム分析の場合の全体工程表



同位体分析チームにより 実施される	手順 E3d	1/1 ページ
	プルトニウム分離のための イオン交換カラム	

目的

8M硝酸溶液からのプルトニウム分離に適したイオン交換カラムを準備すること。

考察

このカラムは溶液からプルトニウムを取り除き、アメリシウムとキュリウムは通過させる。

機器／補給品

- 直径1cmのイオン交換カラム

試薬

- 陰イオン交換樹脂；Dowex AG 1X8, 100—200 mesh
- 硝酸；8M硝酸

ステップ 1

陰イオン交換樹脂（Dowex AG 1X8, 100—200 mesh 又はその相当品）を水で懸濁液にする。

ステップ 2

空の直径1cmイオン交換カラムにカラム高が8cmになるように懸濁液を加える。樹脂の表面の位置まで水を排水する。

ステップ 3

8M硝酸60mLを通過させることでカラムの調子を整え、樹脂の表面まで排水するようにする。このカラムは今、サンプルを加える準備が整ったことになる（ステップ 27、手順E3c）。

同位体分析チームにより実施される	手順 E4	1/3 ページ
	アメリカシウム／キュリウムの分析	

目的

早急に評価されなければならない放射線緊急事態に対応できるように環境/食物サンプルのサンプリングチームにより集められた種々のサンプルマトリックスにおける放射能濃度を測定すること。

考察

^{241}Am は γ 線放出体であり、事故後に残るかもしれない濃度を γ 線スペクトロメトリーにより検出できる。しかしながら、とりわけ核物質に関係した事故では、キュリウムの放射性核種も存在する可能性がある。回収率が必ずしも同じではないけれども、アメリカシウムに対する手法は、キュリウムに対しても同様に用いられる。従って、両元素に対する収率決定子が必要となる。もし存在するかあるいは存在するかもしれないキュリウムの特定の放射性核種が判っていれば (^{242}Cm または ^{244}Cm)、収率決定子にはそれ以外の核種を用いなくてはならない。何が存在するかを決める初期の測定はキュリウムの収率決定子無しに実施すべきである。必要ならば、この最初のサンプルの回収率は同じマトリックスのその後の分析から推測することも可能である。

この手法は、ほぼどのようなマトリックスからのアメリカシウム及びキュリウム溶液に対しても広く適用出来る。出発物質はプルトニウム定量用の陰イオン交換カラムからの溶残液である (手順 E3)。陰イオン交換によるプルトニウムの除去はプルトニウム分析が要求されなくとも実施されなくてはならない。アメリカシウムとキュリウムはTRU樹脂とTEVA樹脂 (Eichrom Industries Inc.) による抽出クロマトグラフィーによって分離される。このような状況では必要とされるサンプルサイズが小さいため、マトリックスの影響はほぼ除外される。そのため、この方法をより大きなサンプルに対して拡大することは出来ないかもしれない。

このような樹脂の利用は従来の手法に比べると最近新しく採用された方法である。しかし、この方法を用いると、操作する側にとっても、また、分析実時間もかなりの時間節約となる。そして放射線事故直後にはこれが重要なのである。

表E3 に、サンプルサイズと信頼度レベル 95%における代表的な最小検出放射能濃度 (MDA)、そして分析のためのおおよその時間を示す[17, 18]。

表E3. アメリカシウム／キュリウム分析に特有のパラメータ

サンプルタイプ	サンプルサイズ	代表的なMDA	単位	分析時間 (h)
エアボーン粒子	1m ³	0.003	Bq/ m ³	48
水	1L	0.1	Bq/L	24
土壌	5g	0.3	Bq/kg	26
草	50g	0.1	Bq/kg	29
ミルク	50mL	0.1	Bq/L	26
野菜	50g	0.1	Bq/kg	29

まとめ

分析物	アメリカシウムとキュリウムのアルファ線放出放射性核種
手順	抽出クロマトグラフィーによるアメリカシウムとキュリウムの分離
サンプルタイプ	エアボーン粒子、土壌／沈殿物、水、ミルク、草、野菜
マトリックス	硝酸溶液
MDA	表 E3 参照
分析時間	表 E3 参照
精度	±10%～±15%

予防/制限

この方法は示されたような小さなサイズのサンプルに対応するように考えられており、より大きなサンプルに対して拡大することは出来ないかもしれない。

この手順はオペレータが適切な経験をつめるよう、定期的に練習されるべきである。アルファ線スペクトロメータの校正と品質管理チェックには手順 E3a と E3b をそれぞれ用いる。

いくつかの化学物質は正しく扱われなければ有害であろう。そのため、この手順を用いる人たちは十分に訓練されなければならないし、これら化学物質の使用を定めている国の規制要求にも従うべきである。

機器/補給品

- アルファ線スペクトロメータシステム
- ワークシート E3

ステップ 1

プルトニウム分離時の溶残液を蒸発させる。(ステップ 27, 手順 E3 c)

ステップ 2

手順 E4 a によりサンプルを調製する。

ステップ 3

計数値が適切な統計量になるまでアルファ線スペクトロメータで調製サンプルを測定する。

ステップ 4

次式を用いてアメリカシウムとキュリウムの放射能を計算する。

$$A_x = \frac{A_{\text{spike}} \cdot (R_x - R_b) \cdot p_x}{(R_{\text{spike}} - R_b) \cdot p_{\text{spike}}}$$

ここで

A_x = アメリカシウムまたはキュリウムの放射能 [Bq]

A_{spike} = スパイク用放射性核種、例えば ^{243}Am または ^{242}Cm の放射能 [Bq]

- R_x = アメリカシウムまたはキュリウムのピーク計数率 [cps]
- R_{spike} = スパイク用放射性核種のピーク計数率 [cps]
- R_b = ピーク部のバックグラウンド計数率 [cps] *1
- p_x = アメリカシウムまたはキュリウムに対する放出割合
- p_{spike} = スパイク用放射性核種に対する放出割合

*1 訳者注：原著はバックグラウンド計数率であるが表現が不正確であるため加筆した

放射性核種	α 線エネルギー [MeV]	放出割合
Am-241	5.487	0.852
Cm-242	6.113	0.738
Cm-244	5.805	0.764

ステップ 5

すべての関連データと結果をスペクトロメータ記録簿に記録し、保存する。ワークシート E3 を完成させる。

同位体分析チームにより実施される	手順 E4a	1/2 ページ
	サンプル調製	

目的

種々のマトリックスを分析に適した溶液に変換すること。

考察

この分析はプルトニウムとともに行われることもある。

機器/補給品

- 電着槽
- 電着用電源
- ステンレス円板
- ガラス製品、ビーカー、メスフラスコ、ガラス棒、PTFE 製ビーカー等
- ホットプレート
- pH メーター、シングルプローブ

試薬

- 過酸化水素；濃過酸化水素
- アスコルビン酸；0.8Mの水溶液で、必要に応じて作り直す
- 硝酸；濃硝酸、8Mと 12M
- 蟻酸；0.1M
- チオシアン酸アンモニウム；0.1Mの蟻酸中に 2Mと 0.1Mの蟻酸中に 1Mのもの
- 塩酸；濃塩酸、4Mと 9M
- 水酸化アンモニウム溶液；濃水酸化アンモニウム
- 硫酸；濃硫酸
- メッキ溶液；緩衝溶液処理された硫化アンモニウム。常に攪拌しながら濃硫酸 60mL を約 700mL の水に注意深く加える。硫化アンモニウム溶液が冷めたら、pHが 5.3 になるまで水酸化アンモニウム溶液を加える。1L になるまで水を加えて希釈する；使用する直前に pH をチェックし再調整する。
- メタノール

ステップ 1

プルトニウム分離時（ステップ 2 手順 E3 c）の溶残液を蒸発乾固させる。8MのHNO₃ 5mL に溶かし、カバーガラスで蓋をしてホットプレート上でゆっくりと暖める。もし、固形物が溶けなければ過酸化水素を数滴加えて数分間ゆっくりと煮る。

ステップ 2

15mL の水と、作りたての 0.8Mアスコルビン酸溶液 1mL を加える。もし青く着色したら、色が消えるまでアスコルビン酸溶液を加え、さらに 1mL 程余計に入れる。

注意

全容積が 30mL を超えてはならない。

ステップ 3

準備したTRU樹脂カラム（手順 E4b）にサンプル溶液を加え、樹脂の上端部まで排水する。ビーカーとカラムを 2Mの硝酸 10mL で洗う。

ステップ4

カラムを9Mの塩酸4mLで洗い、樹脂を塩化物に変換し、この溶出液とステップ5で作ったものを一緒にする。

ステップ5

アメリカウムとキュリウムを4Mの塩酸15mLで溶出する。溶出液とステップ4での洗浄液を一緒にして低加熱ホットプレートで蒸発乾固させる。

ステップ6

0.1M蟻酸に混ぜた2Mチオシアン酸アンモニウム10mLで残留物を溶かし、用意したTEVA樹脂カラム(手順E4c)を通過させる。計10mLの0.1M蟻酸に混ぜた1Mチオシアン酸アンモニウムを用い、少しずつ、数回に渡りビーカーとカラムを洗浄する。

ステップ7

2Mの塩酸15mLでアメリカウムとキュリウムを10mLの濃硝酸が入った50mLビーカーへ溶出する。

注意

チオシアン塩はNO_xの茶色い煙を上げて分解するため、この手順はドラフト内で行わなければならない。

ステップ8

溶出液をホットプレート上で殆ど乾く位まで蒸発させ、硝酸2mLを加え再度蒸発させる。この操作を2回繰り返す。チオシアン塩の分解によって出来た少量の硫酸が残る。

ステップ9

メッキ液に溶かし、メッキ槽に入れる(図E3参照)。500mAの電流で2~3時間、2.5cmのステンレス円板上に電気メッキする。

ステップ10

1mLの濃アンモニア水を加え、電気メッキを1分間行う。

ステップ11

電流を切る。素早くメッキ槽を空にして、ステンレス円板を取り出す。

ステップ12

メッキされた円板を水で洗った後、メタノールで洗う。乾燥させ、アルファ線スペクトロメトリーに回す(ステップ3、手順E4)。

同位体分析チームにより実施される	手順 E4b	1/1 ページ
	アメリカシウム/キュリウム用 TRU 樹脂カラム	

目的

アメリカシウムとキュリウムの最初の精製に適したイオン交換カラムを準備すること。

考察

プルトニウム除去後、アメリカシウムとキュリウムの精製は2段階ある。これはその最初の段階である。

機器/補給品

- 直径 0.7cm のイオン交換カラム
- ガラス繊維ろ紙；直径 0.7cm に切った Whatman GF/A

試薬

- プレフィルター材；Eichrom Industries Inc.
- TRU 樹脂；Eichrom Industries Inc.
- 硝酸；2M

ステップ 1

直径 0.7cm のイオン交換カラムに 0.6cm の沈殿した層が出来るまでプレフィルタ材の懸濁液を加える。

ステップ 2

2.6 cm の沈殿した層が出来るよう TRU 樹脂の懸濁液を加え、樹脂の表面まで排水する。

ステップ 3

樹脂の浮き上がりを防ぐため、樹脂層上部をガラス繊維ろ紙（GF/A）の小さな円盤で栓をする。

ステップ 4

2M の硝酸 3mL を通すことによってカラムを調整する。これでカラムはサンプルを加えるための準備が完了する（ステップ 3、手順 E4a）。

同位体分析チームにより実施される	手順 E4c	1/1 ページ
	アメリカシウム/キュリウム用 TEVA 樹脂カラム	

目的

アメリカシウムとキュリウムの最後の精製に適したイオン交換カラムを準備すること。

考察

アメリカシウムとキュリウムはこの手順によりさらに精製される。

機器/補給品

- 直径 0.7cm のイオン交換カラム
- ガラス繊維ろ紙；直径 0.7cm に切った Whatman GF/A

試薬

- TEVA 樹脂；Eichrom Industries Inc.
- 蟻酸；0.1M
- チオシアン酸アンモニウム；0.1M蟻酸中に 2Mのチオシアン酸アンモニウムを混ぜたもの。

ステップ 1

直径 0.7cm のイオン交換カラムに、2.6 cm の沈殿した層が出来るまで TRU 樹脂の懸濁液を加える。

ステップ 2

樹脂の浮き上がりを防ぐため、樹脂層上部をガラス繊維ろ紙 (GF/A) の小さな円盤で栓をする。

ステップ 3

0.1M蟻酸中に 2Mのチオシアン酸アンモニウムを混ぜたものを 4mL 通過させることによってカラムを調整し、樹脂の表面まで排水する。これでカラムはサンプルを加えるための準備が完了する (ステップ 6、手順 E4a)。

F 節

基本的なデータ評価

注意：以下に記載する手順は、適用される状況や能力に応じて改訂されるものとする。

環境分析者及び放射線評価者 により実施される	手順 F1	1/1 ページ
	野外モニタリングのデータ評価	

目的

ある一定の場所と時間における一連の測定値から、野外で測定されたD量〔周辺線量（率）〕の最尤値を計算すること。

考察

ほとんどの場合、D量の測定はある一定の場所で何回か行われる。測定期間中Dが有意に変化しないと仮定すれば、独立に測定された一連の D_j 値 ($j=1, m$) は統計的性質を持つ。そのような一連の測定値の頻度分布は通常、対数正規分布に従い、最尤値Dはこの分布の幾何平均となる（手順F2参照）。しかし、起こりうるすべての不確かさを考慮に入れると、単純算術平均が代表値Dとなり得る。

ステップ1

ある一定の場所と時間におけるD量の算術平均を計算する。

$$\bar{D} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m D_j$$

ここで

\bar{D} = D量の最尤値

m = 測定回数

ステップ2

\bar{D} の不確かさ σ を下記の式を用いて計算する。

$$\sigma = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{j=1}^m (\bar{D} - D_j)^2}$$

ステップ3

$\bar{D} \pm \sigma$ の形で、結果を適切なワークシートに記録する。

同位体分析チームにより実施される	手順 F2	1/2 ページ
	放射性核種濃度データ評価	

目的

一連の測定値から、放射性核種の濃度の最尤値を計算すること。

考察

ほとんどの場合、環境における放射性核種の代表的濃度値を求めるために幾つかのサンプルが分析される。

サンプリング期間中にAが有意に変化しないと仮定すれば、独立に測定された一連の放射能 A_j ($j=1, m$) は統計的性質を持つ。そのような一連の測定値の頻度分布は通常、対数正規分布に従い、濃度の最尤値はこの分布の幾何平均となる。

しかし、起こりうるすべての不確かさを考慮に入れると、単純算術平均（手順F1 参照）もまた、代表値として使い得る。

ステップ1

短期間にフィルターの同一面に集められた m 個のフィルターサンプルすべてに対し、下記の式を使って放射性核種濃度 (C_j) を計算する。

エアフィルター

$$C_j = \frac{A_j}{q \cdot V_j}$$

ここで

- C_j = j 番目のフィルターにおける放射性核種濃度 [Bq/m³]
- A_j = j 番目のフィルターにおける放射能 [Bq]
- V_j = サンプルした空気量 [m³]
- Q = フィルターの捕集効率

水

$$C_j = \frac{A_j}{V_j}$$

ここで

- C_j = j 番目の水サンプルにおける放射性核種濃度 [Bq/l]
- A_j = j 番目の水サンプルにおける放射能 [Bq]
- V_j = サンプルした水の量 [l]

土壌

$$C_j = \frac{A_j}{S_j}$$

ここで

C_j = j 番目の放射性核種表面密度 [Bq/m²]

A_j = j 番目の現場土壌における放射能 [Bq]

S_j = j 番目のサンプル面積 [m²]; 例えば採取したコアサンプル数掛けるサンプル面積

その他

$$C_j = \frac{A_j}{Q_j}$$

ここで

C_j = j 番目のサンプルにおける放射性核種濃度 [Bq/unit]

A_j = j 番目のサンプルにおける放射能 [Bq]

Q_j = j 番目のサンプルの数 [unit]

ステップ 2

下式を用いて一連のデータについて幾何平均を計算することにより、ある一定の時間におけるサンプリング地点における放射能濃度の最尤値 (\bar{C}) を決定する。

$$\bar{C} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m C_j}$$

ここで

\bar{C} = 放射性核種濃度の最尤値

m = サンプル数

ステップ 3

\bar{C} 値の不確かさ σ を下式により計算する。

$$\sigma = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{j=1}^m (\bar{C} - C_j)^2}$$

ステップ 4

$\bar{C} \pm \sigma$ の形で、結果を適切なワークシートに記録する。

ワークシート

注意：以下に記載するワークシートは、適用される状況に応じて改訂されるものとする。

記入者： 対応チーム	ワークシート A0	No. _____
	測定器品質管理チェック記録	

検査者氏名： _____

提出先： 環境分析者／放射線評価者

対応チーム： _____
(チーム番号あるいはコード番号)

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

検査線源： _____
(種類とコード)

任務前の検査

日付： _____ 時間： _____

校正に関する履歴札： 正常 期限切れ-環境分析者に相談

再校正済み

電池： 正常

電池切れ

電池交換済み

高電圧： 正常

不良

正常値に修正済み

「ゼロ」機能： 正常

不良

「ゼロ」機能修正済み

読み値： 正常

不良

合格

不合格

備考：

任務終了時の検査

日付： _____ 時間： _____

合格

不合格

備考：

署名： _____

記入者： 環境サーベイチーム	ワークシート A1	No. _____
	周辺線量率記録	

実施者氏名： _____
(チームリーダー氏名)

提出先： 環境分析者 / 放射線評価者

環境サーベイチーム： _____ 日付： _____
(チーム番号あるいはコード番号)

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

ナビゲーション装置の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

測定地点	緯度	経度	時間	周辺線量率 (μSv/h)				備考
				腰高位置		接地高位置		
				β+γ	γ	β+γ	γ	

β+γ=窓解放時の読み値
γ=窓閉時の読み値
腰高位置=地上約1メートルの高さ
設置高位置=地上約3センチメートルの高さ
測定地点=測定場所の説明、即ち、住所、市町村、高速道路、農地、地域、距離など(該当する場合)

PG=地上のプルーム
PE=上空のプルーム
PP=プルーム通過-地面の汚染

注意：SI単位を使用しない測定器の場合は、正しい変換式 $1 \text{ R/h} \approx 10 \text{ mSv/h}$ を使うこと。
実用的なヒント：10倍して単位を 10^{-3} 倍下げる。(例) 2.5 mR/h は 25 μSv/h である。

チームリーダー署名： _____

記入者 環境サーベイチーム	ワークシート A2	No. _____
	環境モニタリング用 TLD 野外データシート	

実施者氏名： _____

提出先： _____

□環境分析者／放射線評価者

(チームリーダー氏名)

環境サーベイチーム： _____

(チーム番号あるいはコード番号)

機種の種類： _____

モデル番号： _____

シリアル番号： _____

TLD の種類： _____

測定地点	緯度	経度	TLD no.	設置		周辺線量率 (μSv/h)		回収		周辺線量率 (μSv/h)		備考
				日付	時間	γ	β+γ	日付	時間	γ	β+γ	

測定地点＝地点コード、あるいは測定地点の説明

注意：SI 単位を使用しない測定器の場合は、正しい変換式 [R/h ⇐ 10 mSv/h を使うこと。実用的なヒント：10 倍して単位を 10⁻³ 倍下げる。(例) 2.5 mR/h は 25μSv/h である。

チームリーダー署名： _____

記入者： 環境サーベイチーム	ワークシート A3	No. _____
	線源モニタリング・データシート	

実施者氏名： _____
(チームリーダー氏名)

提出先： 環境分析者 / 放射線評価者

環境サーベイチーム： _____ 日付： _____
(チーム番号あるいはコード番号)

ガンマ線量率

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

線源からの距離 (m)	線量率 (mSv/h)		備考
	γ	$\beta+\gamma$	

アルファ線、ベータ線計数率

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

測定地点	計数率 (cps)		備考
	α	$\beta+\gamma$	

$\beta+\gamma$ =窓解放時の読み値

γ =窓閉時の読み値

注意：アルファ線、ベータ線は、表面付近の計数率を測定する。SI単位を使用しない測定器の場合は、正しい変換式 $1\text{R/h} \approx 10\text{mSv/h}$ を使うこと。実用的なヒント：10倍して単位を 10^{-3} 倍下げる。(例) 2.5mR/h は $25\mu\text{Sv/h}$ である。

チームリーダー署名： _____

記入者： 環境サーベイチーム又は 個人モニタリング/除染チーム	ワークシート A4	No. _____
	汚染サーベイデータシート	

検査者氏名： _____

提出先： 環境分析者/放射線評価者

チーム番号： _____ 日付/時間： _____ / _____

調査項目

機材 調査対象 調査領域 その他

特定内容： _____
(機器の種類、対象、領域、ID 番号があれば記載、領域位置等)

使用した汚染モニターについて：

種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

測定地点	初回調査		除染後		備考
	読み値 (cps)		読み値 (cps)		
	α	$\beta+\gamma$	α	$\beta+\gamma$	
バックグラウンド					

スミア

サンプリング箇所	拭き取った面積 [□□ ²]	日付/時間	スミアコード	備考

備考：スミアサンプルはサンプル分析者に届けること。

注意：車輛に関してはワークシート A4a を使用すること。

合格 不合格-除染が必要

押収品 有り 無し 有りの場合、以下にその理由を記述すること。

記述欄：

チームリーダー署名： _____

記入者： 環境サーベイチーム又は 個人モニタリング/除染チーム	ワークシート A4a	No. _____
	車両汚染サーベイデータシート	

検査者氏名： _____

提出先： 環境分析者/放射線評価者

チーム番号： _____ モニタリング地点： _____

車両登録番号： _____ 運転者の氏名： _____

車両の種類
 乗用車 トラック バン バス その他 _____
(名称を記載)

使用した汚染モニターについて：
種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

日付/時間： _____ 初回調査 / 除染後

測定領域	初回調査 読み値 (cps)		除染後 読み値 (cps)	
	α	β+γ	α	β+γ
バックグラウンド				
A. 前バンパー				
B. 後ろバンパー				
C. 右前タイヤ又は泥よけ				
D. 右後ろタイヤ又は泥よけ				
E. 左前タイヤ又は泥よけ				
F. 左後ろタイヤ又は泥よけ				
G. グリル				
H. その他の外装部品 (名称)				
a.				
b.				
c.				
I. 吸気フィルター				
J. 内装部品 (名称)				
a.				
b.				
c.				

スメア

サンプリング箇所	拭き取った面積 [cm ²]	日付/時間	スメアコード	備考

備考：スメアサンプルはサンプル分析者に届けること。

車両の没収 有り 無し 有りの場合、以下にその理由を記述すること。
記述欄： _____

チームリーダー署名： _____

記入者： 野外チーム員又は 個人モニタリング/除染チーム	ワークシート A5	No. _____
	個人線量計測記録	

対応者氏名： _____ 日付： _____

提出先： 緊急時管理者 時間： _____

チーム員氏名： _____ 測定チーム登録番号： _____

個人 ID 番号： _____

TLD 又はフィルムバッジ番号： _____
(野外では読まない)

直読式個人線量計を利用した場合

線量計の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

読みとった日付	読みとった時間	読み値 [mSv]	読み取り時の位置

ガンマ線量率計を利用した場合

線量計の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

測定位置	線量率 [mSv/h]	所用時間 [min]	予想される累積線量 [mSv]

安定ヨウ素剤使用記録

日付	時間	使用量	備考	イニシャル

署名： _____

記入者： 個人モニタリング/除染チーム	ワークシート A6	No. _____
	個人汚染管理記録	

検査者氏名： _____ 日付： _____

提出先： 緊急時管理者 時間： _____

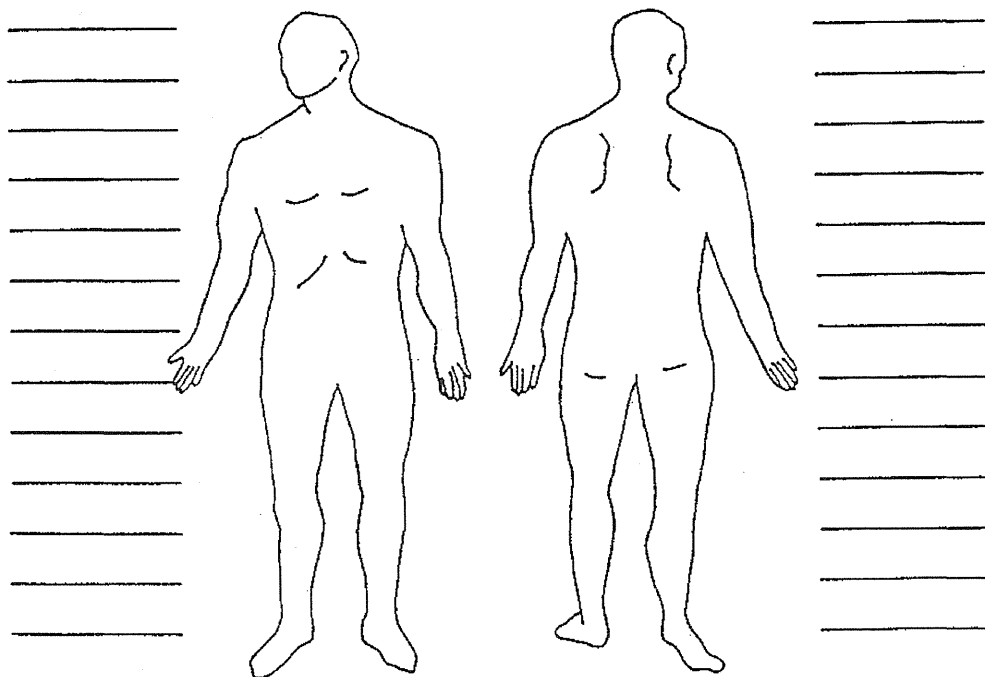
個人名： _____ 参照番号： _____

住所： _____

性別： 男 女 緊急時作業者 避難者
 一般公衆

汚染検査

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____
バックグラウンド読み値： _____ 測定器の有効表面積： _____ [cm²]



備考：図中の線上に読み値を記入する。読み値の測定位置を矢印で示す。バックグラウンドより高い場合のみ記録する。

除染処置の必要性： 必要 不要

甲状腺検査の結果： _____ [_____] (正味計数率) (単位)
医療機関での更なる検査の必要性： <input type="checkbox"/> 必要 <input type="checkbox"/> 不要

検査者署名： _____

記入者： 個人モニタリング/除染チーム	ワークシート A7	No. _____
	個人除染記録	

実施者氏名： _____

提出先： 緊急時管理者

個人名： _____ 参照番号： _____

住所： _____

生年月日： _____ 性別： 男 女

傷病の有無： 有り 無し 具体的に： _____

医療処置の有無： 有り 無し 具体的に： _____

除染を開始した日時： _____

バックグラウンドの読み値： _____ [cps]

汚染した身体部位	初回汚染レベル [cps]	除染方法と使用品目	最終読み値 [cps]

除染が完了した日時： _____

備考： _____

返還しなかった身のまわり品： _____

除染処置実施者： _____
(署名)

除染を受けた個人： _____
(個人の署名)

記入者： 環境サーベイチーム	ワークシート A8	No. _____
	地表汚染のための航空機サーベイ結果	

検査者氏名： _____
(チームリーダー氏名)

提出先： 環境分析者 / 放射線評価者

環境サーベイチーム番号： _____ 日付： _____

乗組員氏名： 機長 : _____

副操縦士 : _____

航空機関士 : _____

調査区域： コード (グリッド) 番号 : _____ 領域 : _____ [km²]

飛行条件

平均高度 : _____ [m] 飛行速度 : _____ [km/h]

飛行路線の間隔 : _____ [m] 飛行路線数 : _____

飛行路線の長さ : _____ [km]

気象条件 : _____
(状況を記載)

エアボーンモニタリングシステムについて：

種類 : _____ モデル番号 : _____ シリアル番号 : _____

検出器の種類：

データファイル (コード) :	スペクトル :	高度データ :	GPS データ :
-----------------	---------	---------	-----------

対象領域の調査結果まとめ

指標となる 放射性核種	表面汚染 [kBq/m ²]			備考
	最大値	平均値	最小値	

注意：各放射性核種につきフォールアウトマップを作成する。

署名 : _____

記入者： 環境サーベイチーム	ワークシート A9	No. _____
	線源モニタリングのための 航空機サーベイ結果	

検査者氏名： _____
(チームリーダー氏名)

提出先： 環境分析者 / 放射線評価者

環境サーベイチーム番号： _____ 日付： _____

乗組員氏名： 機長 : _____
副操縦士 : _____
航空機関士 : _____

調査区域： コード (グリッド) 番号 : _____ 領域 : _____ [km²]

飛行条件
平均高度 : _____ [m] 飛行速度 : _____ [km/h]

飛行路線の間隔 : _____ [m] 飛行路線数 : _____

飛行路線の長さ : _____ [km]

気象条件 : _____
(状況を記載)

エアボーンモニタリングシステムについて：
種類 : _____ モデル番号 : _____ シリアル番号 : _____

検出器の種類：

データファイル (コード) :	スペクトル :	高度データ :	GPS データ :
-----------------	---------	---------	-----------

対象領域の調査結果まとめ

線源	測定地点		発見した時間	放射性核種	計数率又は線量率 の最大値	放射能 [MBq]
	緯度	経度				

備考：

署名： _____

記入者： 空気サンプリングチーム	ワークシート B1	No. _____
	空気サンプリング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリング実施者氏名： _____

サンプリング日付： _____

サンプリング地点： _____ GPS： 緯度 _____ 経度 _____
(地図コード)

フィルターの種類： _____

開始時刻： _____

開始時の流量／流量率： _____ [L]/[L/min]

終了時刻： _____

終了時の流量／流量率： _____ [L]/[L/min]

サンプルコード： _____

サンプリング中の平均線量率[μ Sv/h]

腰高位置		地表位置	
$\beta+\gamma$	γ	$\beta+\gamma$	γ

線量率モニターの種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

現場でのフィルターの計数値
バックグラウンドの読み値[cps]： _____ フィルターの読み値[cps]： _____

汚染モニターの種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリング チーム	ワークシート B2	No. _____
	土壌サンプリング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリング実施者氏名： _____

サンプリング日付： _____ サンプリング時間： _____

サンプリング地点： _____ GPS： 緯度 _____ 経度 _____
(地図コード)

土壌サンプル採取の領域： _____ [cm] × _____ [cm] 深さ： _____ [cm]

土壌の種類： 砂 芝地 森林 山 泥炭地や腐葉土地

土壌サンプルコード： _____

植物採取： 有り 無し

植物の種類： _____

植物サンプル採取の領域： _____ [cm] × _____ [cm]

植物サンプルコード： _____

サンプリング中の平均線量率[$\mu\text{Sv/h}$]

腰高位置		地表位置	
$\beta+\gamma$	γ	$\beta+\gamma$	γ

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリング チーム	ワークシート B3	No. _____
	水サンプリング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリング実施者氏名： _____

サンプリング日付： _____ サンプリング時間： _____

サンプリング地点： _____ GPS： 緯度 _____ 経度 _____
(地図コード)

<input type="checkbox"/> 井戸	サンプル採取総量： _____ [L]
-----------------------------	---------------------

<input type="checkbox"/> 地表水	サンプル採取総量： _____ [L]
<input type="checkbox"/> 河川 <input type="checkbox"/> 湖 <input type="checkbox"/> 小川 <input type="checkbox"/> その他： _____	(具体的に)
水系の名称： _____	

<input type="checkbox"/> 降雨	
採取開始日付： _____	周辺線量率： _____ [μSv/h]
採取終了日付： _____	周辺線量率： _____ [μSv/h]
降雨総量： _____ [L]	サンプル採取面積： _____ [m ²]

<input type="checkbox"/> 飲料水	サンプル採取総量： _____ [L]
サンプル採取地点の住所： _____	

サンプルコード： _____

サンプリング中の平均周辺線量率： _____ [μSv/h]
(腰高位置でのβ+γ)

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリング チーム	ワークシート B4	No. _____
	ミルクサンプリング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリング実施者氏名： _____

サンプリング日付： _____ サンプリング時間： _____

サンプリング地点住所： _____
(酪農家の名前と住所)

GPS： 緯度 _____ 経度 _____

牛乳

やぎ乳

搾乳の日付： _____ 時間： _____

サンプルとして搾乳した量： _____ [L]

飼料の種類：

牧草

保管飼料

その他： _____
(具体的に記載)

餌となった草地の位置： _____

GPS： 緯度 _____ 経度 _____

サンプルコード：

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリング チーム	ワークシート B5	No. _____
	食品サンプリング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリング実施者氏名： _____

サンプリング日付： _____ サンプリング時間： _____

サンプリング地点住所： _____
(農家、市場等の名前と住所)

GPS： 緯度 _____ 経度 _____

サンプルの種類： _____

サンプル採取の領域： _____ [cm] × _____ [cm]

サンプルコード： _____

サンプリング中の平均線量率[$\mu\text{Sv/h}$]

腰高位置		地表位置	
$\beta+\gamma$	γ	$\beta+\gamma$	γ

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリ ング チーム	ワークシート B6	No. _____
	牧草サンプリ ング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリ
ング実施者氏名： _____

サンプリ
ング日付： _____ サンプリ
ング時間： _____

サンプリ
ング地点住所： _____
(農家、市場等の名前と住所)

GPS： 緯度 _____ 経度 _____

サンプ
ルの種類： _____

サンプ
ル採取の領域： _____ [cm] × _____ [cm]

サンプ ルコード：

サンプリ
ング中の平均線量率[μ Sv/h]

腰高位置		地表位置	
$\beta+\gamma$	γ	$\beta+\gamma$	γ

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリング チーム	ワークシート B7	No. _____
	堆積物サンプリング記録	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプリング実施者氏名： _____

サンプリング日付： _____ サンプリング時間： _____

サンプリング地点住所： _____ GPS： 緯度 _____ 経度 _____
(地図コード)

サンプリング方法： _____ サンプルの大きさ： _____

河川 湖 小川 その他： _____
(具体的に)

水系の名称： _____

サンプルコード： _____

備考：

署名： _____

記入者： アイソトープ分析チーム	ワークシート C1	No. _____
	大気と水の グロスアルファ/ベータ測定結果	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

グロスアルファ/ベータ比例計数管

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

校正実施者氏名： _____ 日付： _____

使用したアルファ線標準線源： _____ 使用したベータ線標準線源： _____

アルファ線標準線源計数率： _____ [cps] アルファ線効率： _____

ベータ線標準線源計数率： _____ [cps] ベータ線効率： _____

バックグラウンド計数率： _____ [cps]

サンプルの準備処理

準備処理実施者氏名： _____ 日付： _____

分析

測定及び評価実施者氏名： _____ 日付： _____

測定結果

サンプル 識別コード	サンプル量 [m ³]	グロスアルファ線 濃度 [Bq/m ³]	グロスベータ線 濃度 [Bq/m ³]	MDA [Bq/m ³]

注意：結果は C_G±σの形式で記入すること。

備考：

署名： _____

記入者： In-situ ガンマ線スペクトロメ トリチーム	ワークシート D1	No. _____
	In-situ ガンマ線スペクトロメトリ結果	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： 環境分析者 / 放射線評価者 時間： _____

測定実施者氏名 : _____

日付： _____ 時間： _____

測定位置： _____ GPS： 緯度 _____ 経度 _____
(地図コード)

検出器の種類： _____ 計数時間： _____

環境条件： _____
(地勢、気温、降雨等)

測定中の平均周辺線量率： _____ [μSv/h]
(腰高位置でのβ+γ)

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

スペクトルコード (ファイル名) : _____

測定結果

放射性核種	エネルギー [keV]	濃度 [kBq/m ²]	線量率 [nGy/h]

注意：結果は C±σ の形式で記入すること。

署名： _____

記入者： アイソトープ分析 チーム	ワークシート D2	No. _____
	ガンマ線スペクトロメトリ結果	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

サンプルの準備処理

サンプルの種類： _____ サンプルコード： _____ サンプルの量： _____
(採取したサンプルの総量)

準備処理実施者氏名： _____ 実験施設： _____
(実験施設名)

サンプル準備処理の詳細： _____
(例：乾燥、粉碎、蒸発乾燥等)

準備処理後のサンプル量： _____ サンプルジオメトリー： _____
(計数用に準備処理)

分析

測定実施者： _____

測定日： _____ 時間： _____ 参照日： _____ 時間： _____

スペクトルコード (ファイル名) :

測定結果

放射性核種	放射能 [kBq]	濃度 [kBq/]

注意：結果は $A \pm \sigma$ 又は $C \pm \sigma$ の形式で記入すること。
備考：

署名： _____

記入者： アイソトープ分析チーム	ワークシート E1	No. _____
	トリチウム分析結果	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

液体シンチレーションカウンタ

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

校正実施者氏名： _____ 日付： _____

LSC の ^3H 計数効率： _____

計数窓幅： _____ Figure of Merit : _____ 日付： _____

バックグラウンド計数率： _____ [cps] 日付： _____

サンプルの準備処理

準備処理実施者氏名： _____ 日付： _____

分析

測定実施者： _____ 日付： _____

測定結果

サンプル 認識コード	トリチウム濃度 [kBq/L]	備考

署名： _____

記入者： アイントープ分析チーム	ワークシート E2	No. _____
	ストロンチウム分析結果	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

液体シンチレーションカウンタ

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

校正実施者氏名： _____ 日付： _____

LSC の ^{89}Sr 計数効率： _____

LSC の ^{90}Sr 計数効率： _____

LSC の ^{90}Y 計数効率： _____

バックグラウンド計数率： _____ [cps] 日付： _____

サンプルの準備処理

準備処理実施者氏名： _____ 日付： _____

分析

測定実施者： _____ 日付： _____

測定結果

サンプル 認識コード	サンプルの種類	ストロンチウム濃度 [Bq/]		ファイル名
		^{89}Sr	^{90}Sr	

備考：

署名： _____

記入者： アイソトープ分析チーム	ワークシート E3	No. _____
	アルファ線スペクトロメトリ結果	

作成者氏名： _____ 日付： _____

提出先： サンプル分析者 時間： _____

アルファ線スペクトロメータ

測定器の種類： _____ モデル番号： _____ シリアル番号： _____

エネルギー校正実施者氏名： _____

日付： _____

サンプルの準備処理

サンプルの種類： _____ サンプルコード： _____ サンプルの量： _____
(採取したサンプルの総量)

準備処理実施者氏名： _____ 日付： _____

スパイク放射性核種： _____ 使用した放射能： _____ [Bq]

分析

測定及び評価実施者： _____ 日付： _____

スペクトルコード (ファイル名)： _____

測定結果

放射性核種	放射能 [Bq]	濃度 [Bq/]
²³⁹ Pu/ ²⁴⁰ Pu		
²⁴¹ Pu		
²⁴¹ Am		
²⁴² Cm		
²⁴⁴ Cm		

注意：結果は $A \pm \sigma$ 又は $C \pm \sigma$ の形式で記入すること。

備考：

署名： _____

機材チェックリスト

注意：以下に記載するチェックリストは、適用される状況に応じて改訂されるものとする。

記入者： 担当の対応チーム	チェックリスト A0	1/1 ページ
	全てのチームに共通の機材	

検査者氏名： _____

日付： _____

チーム： _____
(チーム名又はコード)

時間： _____

項目	個数	合格	不合格	備考
放射線サーベイ機器				
低レンジガンマ線サーベイ機器				
アルファ/ベータ汚染モニター又はプローブ				
汚染モニターの検査用線源				
個人用防護用具				
各チーム員の自動読み取り線量計				
各チーム員の永久線量計				
全身防護服---チーム員1人当たり3組				
オーバーシューズ---チーム員1人当たり3組				
ビニール及び厚手の木綿手袋				
甲状腺防護剤---3日分				
救急手当用品				
一般的な用具				
携帯用無線通信機器				
携帯電話				
各チーム員用の認識札				
各チーム員用の懐中電灯				
予備の電池 (測定器及び懐中電灯用)				
方位磁石あるいはGPS				
10倍の双眼鏡				
ビニールシート及びポリ袋				
ティッシュペーパー				
測定用の地図				
セロテープ及び警告板				
ワークシート A0				
事務用具				
測定器操作マニュアル				
手順マニュアル				
メモ用紙				
油性ペン				
記録簿				

備考：

署名： _____

記入者： 環境サーベイチーム	チェックリスト A1	1/1 ページ
	環境サーベイチーム用機材	

検査者氏名： _____ 日付： _____

チーム： _____ 時間： _____
(チーム名又はコード)

機材チェックリスト A0： チェック済み

項目	個数	合格	不合格	備考
放射線サーベイ機器				
中レンジガンマ線サーベイ機器				
高レンジガンマ線サーベイ機器				
遠隔検出ガンマ線プローブ				
中性子線量率計				
個人用防護用具追加項目				
防塵マスク				
フィルター付き全面マスク				
用具類追加項目				
放射線警告用のラベルと警告板				
メジャー (50メートル)				
秒針付き腕時計				
ワークシート A1				
ワークシート A2				
ワークシート A3				
ワークシート A4				
ワークシート A8				
ワークシート A9				
マニュアル類				
測定器操作マニュアル				
手順マニュアル				

備考：

署名： _____

記入者： 個人モニタリング/ 除染チーム	チェックリスト A2	1/1 ページ
	個人モニタリングと除染チーム用機材	

検査者氏名： _____ 日付： _____

チーム： _____ 時間： _____
(チーム名又はコード)

機材チェックリスト A0： チェック済み

項目	個数	合格	不合格	備考
放射線サーベイ機器				
アルファ線/ベータ線汚染モニター				
Nal プローブ付き汚染モニター				
個人用防護用具追加項目				
防塵マスク				
フィルター付き全面マスク				
用具類追加項目				
ビニールシート				
タオル				
石けん、洗浄剤				
ブラシ				
ゴミ袋				
警告ラベルと警告板				
汚染した機材用の札				
電源				
ワークシート A4				
ワークシート A5				
汚染した人に配る説明書				
除染用具				
測定器操作マニュアル				
手順マニュアル				
水用タンク				
加圧水スプレー				
ウェット・ドライ両用掃除機				

備考：

署名： _____

記入者： 環境サーベイチーム	チェックリスト A3	1/1 ページ
	航空機サーベイ用機材	

検査者氏名： _____ 日付： _____

チーム： _____ 時間： _____
(チーム名又はコード)

機材チェックリスト A0： チェック済み

項目	個数	合格	不合格	備考
サーベイ機器				
線量率モニター				
検出器				
MCA				
適切なソフトウェア				
電子部品				
GPS ナビゲーションシステム				
データ記録システム				
データ通信システム				
ケーブル類一式				
個人用防護用具追加項目				
フィルター付き全面マスク				
用具類追加項目				
検査用線源一式				
液体窒素				
その地域の一般用地図				
広域地図				
電子化した地図データ				
ワークシート A8				
ワークシート A9				
マニュアル類				
インストラクションマニュアル				
手順マニュアル				
変換係数表 (ハードコピー)				
放射性核種辞典 (ハードコピー)				

備考：

署名： _____

記入者： 空気サンプリングチーム	チェックリスト B1	1/1 ページ
	空気サンプリング用機材	

検査者氏名： _____ 日付： _____

チーム： _____ 時間： _____
(チーム名又はコード)

機材チェックリスト A0： チェック済み

項目	個数	合格	不合格	備考
サンプリング用機材				
可搬型エアースンプラー、低流量 - 12V				
可搬型エアースンプラー 電源/発電器駆動				
エアロゾルフィルター				
チャコール (又はゼオライト) カートリッジ				
三脚				
個人用防護用具追加項目				
防塵マスク				
フィルター付き全面マスク				
用具類追加項目				
ストップウォッチ				
ピンセット				
電源				
ワークシート B1				
マニュアル類				
機器操作マニュアル				
手順マニュアル				

備考：

署名： _____

記入者： 環境／食物サンプリング チーム	チェックリスト B2	1/1 ページ
	環境／食物サンプリングチーム用機材	

検査者氏名： _____ 日付： _____

チーム： _____ 時間： _____
(チーム名又はコード)

機材チェックリスト A0： チェック済み

項目	個数	合格	不合格	備考
サンプリング用機材				
小型シャベル				
移植ごて				
ひも				
ろうと				
ステンレス製円先ばさみ				
土壌サンプリング機器				
ナイフ、スプーン				
メジャー				
個人用防護用具追加項目				
防塵マスク				
用具類追加項目				
ポリ袋				
サンプル用タグ				
防腐剤				
水あるいは牛乳用のポリタンク				
機器類洗浄用の水				
ワークシート B2				
ワークシート B3				
ワークシート B4				
ワークシート B5				
ワークシート B6				
ワークシート B7				
マニュアル類				
機器操作マニュアル				
手順マニュアル				

備考：

署名： _____

記入者： In-situ ガンマスペクトロメ トリチーム	チェックリスト D1	1/1 ページ
	In-situ ガンマ線スペクトロメトリ チーム用機材	

検査者氏名： _____ 日付： _____

チーム： _____ 時間： _____
(チーム名又はコード)

機材チェックリスト A0： チェック済み

項目	個数	合格	不合格	備考
測定機材				
検出器				
電子部品				
MCA				
ノートブック型パソコン				
適切な評価用ソフトウェア				
データベース (放射線核種辞典、変換係数表)				
個人用防護用具追加項目				
用具類追加項目				
検出器保持具 (三脚)				
標準点線源セット				
予備の電池				
液体窒素				
予備のケーブル一式				
定格の電機メーター				
マニュアル類				
機器操作マニュアル				
手順マニュアル				
変換係数表 (ハードコピー)				
放射性核種辞典 (ハードコピー)				

備考：

署名： _____

付録

付録 I

モニタリングチーム案

表 II にモニタリングチーム案、最小スタッフ数、必要な訓練を示す。実践では、個別の役割にそれぞれのチームを用いるより、ひとつの特別チームが表 II の職務の 1 つもしくはそれ以上を実行することになるかもしれない。実際には「チーム」は複数の組織からなり、「チーム」間が一部重複することもありうる。モニタリングチーム数は緊急事態の規模により決定され、1 チームから大規模数のチームにまでおよぶ可能性がある。

野外チームリーダーは各チームについて指名しなければならない。また、環境・経口摂取サンプリングチームは現地ガイドと一緒に行くことを薦める。

予防策：

- ヨウ化カリウム (KI) を摂取すると、ヨウ素化合物に過敏な隊員は呼吸停止に陥るかもしれない。そのためチームは、原子炉事故対応の準備の際に、甲状腺ブロッキング剤に対する事前選別を行う必要がある。
- 人工呼吸器や SCBA が支給されるのならば、適合テストおよび、またはその他の性能を定めなければならない。

表 II. モニタリングチーム案、スタッフ数、必要訓練

チーム	目的	最小スタッフ数	必要な基礎訓練	必要な特殊訓練	リフレッシュ訓練頻度
環境サーベイチーム	1. プルーム、大地沈着、線源からの γ ・ β 線量率の測定 2. 汚染モニタリング 3. 環境線量計測 4. 未知の状態の評価	2	1. 放射線の基礎 2. 職業被ばくの放射線防護	1. 線量率及び表面汚染の測定技術 2. 緊急時対応のシナリオ 3. 手順書 A0,A1～A5,A9	半年毎 ^(a)
空気サンプリングチーム	1. 実験室で分析するための空気サンプルの収集 2. γ ・ β 線量率の測定 3. 汚染モニタリング 4. 空気サンプルの野外評価	2	1. 放射線の基礎 2. 職業被ばくの放射線防護	1. 空気サンプリング技術 2. サンプル管理 3. 線量率測定技術 4. 空気サンプルの野外評価 5. 手順書 A0,A9,B1	半年毎 ^(a)
In-situ ガンマ線スペクトロメトリチーム	1. 特に大地汚染した放射性核種の決定 2. 大地汚染が OIL を上回るかどうかの決定 3. 紛失線源の空間探索 4. γ ・ β 線量率の測定	2	1. γ 線スペクトロメトリ 2. 保健物理 3. 基礎的な原子核分野の電子技術	1. 線量率測定技術 2. エアボーンサーベイ技術 3. 手順書 A0,A6, A7,A9,D1,D3	半年毎 ^(a)
個人モニタリング／除染チーム	1. 個人と測定機器の汚染モニタリング 2. 甲状腺モニタリング 3. 個人線量計測 4. 人及び測定機器の除染	3	1. 放射線の基礎 2. 職業被ばくの放射線防護	1. 汚染モニタリング技術 2. 甲状腺モニタリング技術 3. 除染技術 4. 線量評価 5. 手順書 A0,A8,A9	毎年
環境・経口摂取サンプリングチーム	1. 汚染した土壌、植物、食品、水のサンプルの収集 2. γ ・ β 線量率の測定	2	1. 放射線の基礎 2. 職業被ばくの放射線防護	1. サンプリング技術 2. サンプル管理 3. 線量率の測定技術 4. 手順書 A0,A9,B2～B7	毎年
放射性同位体分析チーム (実験室)	1. サンプル中の放射性核種濃度の定量 2. グロス α ・ β 線源汚染の評価 3. 食品、水、ミルクのサンプルが GAL を越えるかどうかの決定	5	1. γ 線スペクトロメトリ 2. α 線スペクトロメトリ 3. 放射化学 4. 基礎的な原子核分野の電子技術 5. グロス α / β 線測定	1. サンプルの調製技術 2. サンプル管理 3. データ評価 4. QA/QC の測定 5. 手順書 A8,C1, D2～D4,E1～E5	毎年

(a) 日常的に同種の作業をしている人は年 1 回のリフレッシュ訓練で十分

付録 II

測定機器

放射線測定機器が使われる時の状況（野外、地域、実験室の条件）や使用目的（放射線サーベイ、個人モニタリング、 $\alpha/\beta/\gamma$ の計測）によって、必要となるものや放射線測定器の特徴が異なる。事実、放射線測定機器は種々あるため、表 II 1 には機器の主な分類の大要だけをまとめる。

表 III. 測定機器の主な分類の概要

機器	目的	参考手順書	利点	欠点	相対費用
フィルムバッジ	γ , β 線検出; 個人線量計測	A8a	簡便、混合放射線場で適応可能	線量範囲が限定、再利用不可、実験室でのみ読み取り可	\$
TLD	γ , X 線検出; 環境線量計測; 個人線量計測	A3, A8a	簡便、再利用可能、信頼性あり	エネルギー依存性あり、実験室でのみ読み取り可	\$\$
電子線量計	γ , X 線検出; 個人線量計測	A8a	直接読み取り可能、警告音の設定可能		\$
エネルギー補償型 GM 計数管	γ , β 線検出; 線量率モニタリング; プルーフムサーベイ	A1, A2, A3, A4	速い応答、簡便、壊れにくい	エネルギー範囲が限定、高線量率で数え落とすかもしれない	\$
薄窓 GM 計数管	γ , β , X 線検出; 汚染サーベイ	A4, A5	速い応答、簡便、ある程度壊れにくい	β 線のエネルギー範囲が窓厚に依存、高線量率で飽和するかもしれない	\$
端窓 GM 計数管	α , β 線検出; 汚染サーベイ	A4, A5	速い応答、コンパクト	壊れやすい、大きさに制限、バックグラウンド計数が多い、 α 核種の最小検出可能放射能に限界あり	\$
比例計数管	α , β 線検出; 汚染モニタリング; 計測	C1	能率的	窓が破損しやすい	\$
常圧型電離箱	β , γ 線検出; 線量率モニタリング; プルーフムサーベイ	A1, A2, A3, A4	線量計測に優れた特徴	感度に制限 (最小 $1 \mu\text{Sv/h}$)、環境状態に影響される	\$\$
可圧型電離箱	γ 線検出; 線量率モニタリング	A1, A2, A3, A4	高感度、60keV 以上で良好	エネルギー応答に制限、重い、加圧容器の危険、応答が遅い	\$\$
液体シンチレーション検出器	β 線検出; トリチウム分析	E1	低エネルギー β 線に高効率	放射化学サンプルの調製が必要	\$\$\$
シンチレーション検出器	γ , X 線検出; 広範囲の汚染 (特定核種)、甲状腺モニタリング、サンプルのスペクトロメトリ	A1, A2, A4, A5, A6, A7, A8b, D1, D2	核種特定の情報、高効率、速い応答	分解能に制限、温度による不安定性	\$\$
HPGe スペクトロメータ	γ , X 線検出; 広範囲の汚染 (特定核種)、サンプルのスペクトロメトリ	D1, D2	放射性核種の構成成分の詳細情報	デリケート、複雑、使用に特別な訓練が必要	\$\$\$

注釈:

- \$ 安価 (1000US\$まで)
- \$\$ 中間的価格 (10000US\$まで)
- \$\$\$ 高価 (100000US\$まで)

付録 III

全地球測位システム

全地球測位システム（GPS）は環境モニタリングにおいて、サンプリングや測定場所を特定するため、そして、あるいは乗用車、ヘリコプター、固定翼機で移動しながらの連続モニタリングするときに、効果的なナビゲーションの手助けとなる。

文民用では±100mの位置決めができる精度であれば市販のGPSナビゲーション装置で達成できる。精度はまたGPS装置から見えている衛星の数に依存する。GPS装置は少なくとも2衛星が見えていないと作動しない。丘陵やビルは信号の受信をさえぎる場合がある。ヘリコプターの回転翼は操作に影響するかもしれない。したがって設置するには妥当で適切な場所を選ぶよう注意を払うべきである。乗用車にGPS装置を取り付けるには、屋根に乗せるアンテナが必要である。

軍事目的では精度はもっと高い。リファレンスステーションを用いて修正して精度を向上することが可能である（差分GPS）。この照合修正信号はリファレンスステーションから（一部の国に限られるが、ラジオ局から）得ることができる。後者の方法は地質調査が行われている国で特に有用である。

GPSは適切な地図と共に用いられるべきである。したがって対応する（適切な）座標軸を選ぶことが重要である。

GPSナビゲーション装置は、ユーザーがいかなる地図上でも存在位置に印を付けることができるようにする。また、使用するシステムによってはユーザーの現在位置、速度、高度を計算できる。行程は受信機のメモリに蓄積された一連の位置座標である。GPS装置は500行程まで保存する容量をもっているであろう。このシステムは全世界で、24時間、天候に関わりなく、操作することができるだろう。適切な（ふさわしい）ソフトウェアがあれば、地図上にルートを描くことができる。

GPSを使うときの訓練はきわめて重要である。

付録 IV

放射性核種データ

α 、 β 、 γ 線放出核種について以下に核データを示す（表参照）：

- 半減期
- 壊変 r に対するエネルギー E_r
- 壊変 r に対する絶対放出確率 p_r

半減期は年(a)、日(d)、時間(h)、分(min)で、エネルギー E_r は keV で示す。1 年は 365.25 日とする。

β 線のエネルギーは連続スペクトルの分布を示すので、平均エネルギー E_β と最大エネルギー E_β^{\max} を示した。表IV 2には β 線放出核種についてX線のみ放出する核種のデータを示す。

表IV 3で、 γ 線放出の壊変スキームを示すもの（核種の記号の隣に+のマークを付けた）は娘核種のガンマ線エネルギーも示した。ただし放出の確率は放射平衡にあると仮定する。

U-235系列と一部のU-238系列を起源とする放射性核種の放出確率は放射能平衡について再計算しておらず、各自の半減期と共にリストに載せる。放射能平衡に言及するならば、壊変分岐比（壊変系列の中での）を考慮する必要がある。

データは主として文献 [16] より引用した。

表 IV1. アルファ線放出核種

Radionuclide	Half life	Energy E [keV]	Emission probability P_α
U-234	2.457 10^5 a	4774.8	0.725
		4722.6	0.0275
U-235	7.037 10^8 a	4400	0.57
		4374	0.061
		4368	0.123
		4218	0.062
U-238	4.468 10^9 a	4197	0.77
		4150	0.23
Pu-238	87.7 a	5499.07	0.715
Pu-239	2.411 10^4 a	5456.3	0.285
		5156.6	0.733
		5143.8	0.151
Pu-240	6.563 10^3 a	5105.0	0.115
		5168.17	0.7351
		5123.68	0.2639
Pu-242	3.735 10^5 a	4900.5	0.770
		4856.2	0.230
Am-241	432.0 a	5485.60	0.852
		5442.90	0.131
Cm-242	162.94 d	6112.77	0.738
		6069.42	0.262
Cm-244	18.10 a	5804.82	0.764
		5762.70	0.236

表 IV2. ベータ線放出核種

Radionuclide	Half-life	E_β^{\max} [keV]	E_β [keV]	E_β [keV]	Emission probability P_x
H-3	12.35 a	18.60	5.68		
C-14	5730 a	156.48	49.47		
P-32	14.29 d	1710.40	695.00		
S-35	87.44 d	167.47	48.80		
Fe-55	2.75 a			K_α 5.9	0.278
				K_β 6.5	
Ni-63	96 a	65.87	17.13		
Sr-89	50.5 d	1492	583.10		
Sr-90	28.7 a	546.00	195.80		
Y-90	64.1 h	2284	934.80		
I-125	59.3 d			K_α 27.4	1.140
				K_β 31.0	
Pb-210	22.3 a	16.50	4.15 (80%)		0.258
		63.00	16.13 (20%)		
		E total:	6.51		

表 IV3. ガンマ線放出核種

Nuclide	Half-life	E_{γ} [keV]	P_{γ}	Nuclide	Half-life	E_{γ} [keV]	P_{γ}
Be-7	53.17 d	477.61	0.1032	Kr-85m	4.48 h	151.18	0.753
Na-22	950.4 d	511.00	1.807			304.87	0.141
		1274.542	0.9994	Sr-85	64.85 d	514.01	0.984
Na-24	0.62323 d	1368.63	0.99994	Kr-87	1.272 h	402.58	0.495
		2754.030	0.99876			673.87	0.0191
K-40	1.277 10^9 a	1460.81	0.1067			845.43	0.073
Ar-41	1.827 h	1293.64	0.9916			1175.40	0.0112
Sc-46	83.80 d	889.280	0.99984			1740.52	0.0205
		1120.55	0.99987			2011.88	0.0290
Cr-51	27.71 d	320.08	0.0985			2554.8	0.093
Mn-54	312.5 d	834.84	0.99975			2558.1	0.039
Mn-56	0.10744 d	846.75	0.989	Kr-88	2.84 h	165.98	0.0310
		1810.72	0.272			196.32	0.260
		2113.05	0.143			362.23	0.0225
Co-56	77.3 d	846.75	0.9993			834.83	0.130
		977.42	0.0144			1518.39	0.0215
		1037.820	0.1411			1529.77	0.109
		1175.09	0.0227			2029.84	0.0453
		1238.26	0.6670			2035.41	0.0374
		1360.21	0.0427			2195.84	0.132
		1771.40	0.1550			2231.77	0.034
		2015.35	0.0302			2392.11	0.3460
		2034.91	0.0788	Y-88	106.66 d	898.04	0.946
		2598.55	0.1720			1836.06	0.9924
		3202.24	0.0324	Kr-89	3.16 min	220.90	0.200
		3253.52	0.0798			497.5	0.066
		3273.20	0.0189			576.96	0.056
		3451.42	0.00954			585.80	0.166
Co-57	271.84 d	122.06	0.8559			738.39	0.042
		136.47	0.1058			867.08	0.059
Co-58	70.78 d	511.00	0.300			904.27	0.072
		810.78	0.9945			1324.28	0.0306
Fe-59	44.53 d	142.54	0.0100			1472.76	0.069
		192.35	0.0270			1530.04	0.033
		1099.25	0.561			1533.68	0.051
		1291.57	0.436			1693.7	0.044
Co-60	1925.5 d	1173.24	0.9990			2012.23	0.0156
		1332.50	0.999824			2866.23	0.0174
Zn-65	243.9 d	511.00	0.0286			3532.9	0.0134
		1115.55	0.504			3923.0	0.0041
Se-75	119.76 d	121.12	0.173	Sr-89	50.5 d	909.2	0.0000976
		136.00	0.590	Zr-95	64.09 d	724.20	0.440
		198.60	0.0147			756.73	0.543
		264.65	0.591	Nb-95	35.0 d	765.80	0.9980
		279.53	0.252	Mo-99 +	2.7476 d	140.47	0.0495
		303.910	0.0134			181.06	0.0603
		400.65	0.1156			366.42	0.0122
Kr-85	3.909 10^3 d	514.01	0.00434			739.50	0.1231

Nuclide	Half-life	E_γ [keV]	P_γ	Nuclide	Half-life	E_γ [keV]	P_γ
		777.92	0.0433			383.85	0.0892
Tc-99m	0.25025 d	140.47	0.8897	Cs-134	754.2 d	475.35	0.0151
Ru-103	39.272 d	497.08	0.909			563.23	0.0834
		610.33	0.0565			569.32	0.1538
Ru-106 +	372.6 d	511.85	0.2047			604.70	0.976
		616.17	0.00735			795.85	0.854
		621.84	0.0995			801.93	0.0864
		1050.47	0.01452			1038.57	0.00998
Ag-108m	127 a	433.93	0.905			1167.94	0.0180
		614.37	0.898			1365.15	0.0302
		722.95	0.908	Xe-135	0.3796 d	249.79	0.9013
Ag-110m	249.79 d	657.75	0.9465			608.19	0.029
		677.61	0.1068	Xe-135m	15.36 min	526.57	0.812
		706.670	0.166	Xe-137	3.83 min	455.51	0.312
		763.93	0.224	Cs-137	30.0 a	661.66	0.850
		884.67	0.734	Xe-138	14.13 min	153.75	0.0595
		937.48	0.346			242.56	0.0350
		1384.27	0.247			258.31	0.315
		1475.76	0.0397			396.43	0.063
		1505.00	0.1316				0.203
Cd-109	463 d	88.03	0.0365			1768.26	0.167
In-111	2.8049 d	171.28	0.9093			2004.75	0.0535
		245.39	0.9417			2015.82	0.123
Sn-113 +	115.1 d	255.12	0.0193			2252.26	0.0229
		391.69	0.649	Ce-139	137.65 d	165.85	0.800
Te-123m	119.7 d	158.96	0.840	Ba-140	12.751 d	537.38	0.2439
Sb-124	60.20 d	602.72	0.9783	La-140	1.6779 d	328.77	0.2074
		645.82	0.0744			487.03	0.4594
		722.78	0.1078			815.83	0.2364
		1691.02	0.4752			1596.49	0.9540
		2091.0	0.0547	Ce-141	32.50 d	145.44	0.489
Sb-125	1008.1 d	176.33	0.0679	Ce-144 +	284.45 d	133.54	0.1109
		380.44	0.01520			696.51	0.0134
		427.89	0.294			1489.15	0.00279
		463.38	0.1045			2185.66	0.00700
		600.56	0.1778	Nd-147	10.98 d	91.11	0.282
		606.64	0.0502			531.03	0.123
		635.90	0.1132	Eu-152	4939 d	121.78	0.2837
		671.41	0.0180			244.69	0.0751
I-125	59.3 d	35.49	0.0667			344.27	0.2658
I-131	8.021 d	364.48	0.816			411.11	0.02234
		636.97	0.0712			443.91	0.0280
		722.89	0.0178			778.89	0.1296
Xe-131m	11.84 d	163.93	0.0196			963.38	0.1462
Xe-133	5.245 d	79.62	0.0026			1085.78	0.1016
		81.00	0.377			1112.02	0.1356
Xe-133m	2.19 d	233.18	0.103			1407.95	0.2085
Ba-133	3842 d	53.16	0.0220	Yb-169	32.032 d	109.78	0.175
		79.62	0.0261			118.19	0.0186
		81.00	0.340			130.52	0.1128
		276.39	0.0710			177.21	0.2244
		302.85	0.1833			197.95	0.360
		356.01	0.623			261.07	0.0168

Nuclide	Half-life	E_γ [keV]	P_γ
		307.73	0.1010
Hf-180m	0.2300 d	215.25	0.817
		332.31	0.945
		443.18	0.831
		500.71	0.139
Ta-182	114.43 d	84.68	0.0263
		100.11	0.1423
		113.67	0.0187
		116.41	0.00445
		152.43	0.0695
		156.38	0.0263
Ta-182	114.43 d	179.39	0.0309
		198.35	0.0144
		222.10	0.0750
		229.32	0.0364
		264.07	0.0362
		1121.28	0.3530
		1189.04	0.1644
		1221.42	0.2717
		1230.87	0.1158
Ir-192	73.831 d	295.96	0.286
		308.46	0.298
		316.51	0.828
		468.07	0.477
		588.59	0.0451
		604.41	0.0819
		612.47	0.0531
Au-198	2.696 d	411.80	0.9547
Hg-203	46.612 d	279.20	0.813
Bi-207	32.2 a	569.70	0.9770
		1063.66	0.7408
		1770.24	0.0687
Pb-210	22.3 a	46.50	0.0418
Ra-226 +	1600 a	186.21	0.0351
		241.98	0.0712
		295.21	0.1815
		351.92	0.351
		609.31	0.446
		768.36	0.0476
		934.06	0.0307
		1120.29	0.147
		1238.11	0.0578
		1509.23	0.0208
		1764.49	0.151
		2118.55	0.0117
		2204.22	0.0498
		2293.36	0.00301
		2447.86	0.0155
Th-232 +	1.405 10 ¹⁰ a	59.0	0.0019
		105.0	0.016
		129.08	0.0223
		146.1	0.0021
		154.2	0.0090

Nuclide	Half-life	E_γ [keV]	P_γ
		209.28	0.0381
		238.63	0.435
		240.98	0.0404
		270.23	0.0344
		278.0	0.0233
		300.09	0.0327
		321.7	0.00245
		328.0	0.0310
		338.32	0.1126
		409.51	0.0195
		463.00	0.0450
		562.3	0.0089
		570.7	0.00213
		583.0	0.307
		727.0	0.0735
		755.18	0.0104
		763.13	0.0073
		772.17	0.0145
		785.46	0.0107
		794.70	0.0434
		835.5	0.0153
		860.37	0.0455
		911.07	0.266
		964.6	0.052
		969.11	0.1623
		1459.30	0.0078
		1588.00	0.0326
		2614.66	0.356
Am-241	432.0 a	59.54	0.360

表 IV4. ガンマスペクトロメータで計測したスペクトルにみられるバックグラウンドガンマ線エネルギー

E_γ [keV]	Nuclide	Decay Chain	E_γ [keV]	Nuclide	Decay Chain
53.2	Pb-214	U	934.1	Bi-214	U
75.0	Pb-212	Th	950.0	K-40	single escape
75.0	Pb-214	U	964.1	Bi-214	U
75.0	Tl-208	Th	964.4	Ac-228	Th
77.1	Pb-212	Th	1000.7	Pa-234m	U
87.2	Pb-212	Th	1035.5	Ac-228	Th
	Pb-214	U	1052.0	Bi-214	U
92.9	Th-234		1078.6	Bi-212	Th
99.5	Ac-228	Th	1120.3	Bi-214	U
129.1	Ac-228	Th	1155.2	Bi-214	U
154.2	Ac-228	Th	1238.1	Bi-214	U
186.2	Ra-226	U	1281.0	Bi-214	U
	U-235		1377.7	Bi-214	U
209.3	Ac-228	Th	1385.3	Bi-214	U
238.6	Pb-212	Th	1401.5	Bi-214	U
242.0	Pb-214	U	1408.0	Bi-214	U
270.2	Ac-228	Th	1460.8	K-40	
278.0	Tl-208	Th	1495.8	Ac-228	Th
295.2	Pb-214	U	1501.5	Ac-228	Th
300.1	Pb-212	Th	1509.2	Bi-214	U
328.0	Ac-228	Th	1512.8	Bi-212	Th
338.3	Ac-228	Th	1538.5	Bi-214	U
351.9	Pb-214	U	1543.4	Bi-214	U
409.5	Ac-228	Th	1556.9	Ac-228	Th
438.8	K-40	double escape	1580.2	Ac-228	Th
463.0	Ac-228	Th	1583.2	Bi-214	U
511.0	Tl-208	Th	1588.0	Ac-228	Th
511.2		annihilation	1592.5	Tl-208	Th /double escape
562.3	Ac-228	Th	1599.3	Bi-214	U
583.0	Tl-208	Th	1620.6	Bi-212	Th
609.3	Bi-214	U	1624.7	Ac-228	Th
665.5	Bi-214	U	1630.4	Ac-228	Th
703.1	Bi-214	U	1638.0	Ac-228	Th
727.0	Bi-212	Th	1661.3	Bi-214	U
755.2	Ac-228	Th	1667.4	Ac-228	Th
763.1	Tl-208	Th	1684.0	Bi-214	U
768.4	Bi-214	U	1693.1	Bi-214	U /single escape
772.1	Ac-228	Th	1729.6	Bi-214	U
782.0	Ac-228	Th	1764.5	Bi-214	U
785.5	Bi-212	Th	1838.3	Bi-214	U
785.9	Pb-214	U	1847.4	Bi-214	U
794.7	Ac-228	Th	2103.5	Tl-208	Th /single escape
806.2	Bi-214	U	2118.6	Bi-214	U
830.5	Ac-228	Th	2204.2	Bi-214	U
835.5	Ac-228	Th	2447.9	Bi-214	U
840.0	Ac-228	Th	2614.7	Tl-208	Th
860.4	Tl-208	Th			
893.4	Bi-212	Th			
904.5	Ac-228	Th			
911.1	Ac-228	Th			

U decay chain of ^{238}U .
 Th decay chain of ^{232}Th .

表 IV5. エネルギーで示したガンマ線のエネルギーリスト

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/ 100 decays	Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/ 100 decays
13.60	Pu-239	4.40	122.06	Co-57	85.59
13.85	Ba-140	1.20	123.14	Eu-154	40.50
14.41	Co-57	9.54	123.80	Ba-131	29.05
22.16	Cd-109	86.00	129.30	Pu-239	0.64
24.94	Cd-109	17.00	133.02	Hf-181	41.00
26.35	Am-241	2.40	133.54	Ce-144	10.80
27.40	Sb-125	61.92	134.25	W-187	8.56
29.97	Ba-140	10.73	136.00	Se-75	58.98
31.00	Sb-125	12.89	136.25	Hf-181	6.90
31.82	Cs-137	1.96	136.48	Co-57	10.61
32.19	Cs-137	3.61	140.51	Te-99m	88.90
35.50	Sb-125	4.28	142.65	Fe-59	1.02
36.40	Cs-137	1.31	143.21	Np-237	0.42
42.80	Eu-154	28.47	143.76	U-235	10.93
46.52	Pb-210	4.05	145.44	Ce-141	48.44
49.41	Np-239	0.10	151.17	Kr-85m	75.08
51.62	Pu-239	0.27	158.20	Xe-135	0.29
59.54	Am-241	35.90	162.64	Ba-140	6.21
59.54	U-237	33.48	163.33	U-235	5.00
60.01	Eu-155	1.14	16.93	Xe-131m	1.96
63.29	Th-23	43.83	164.10	Ba-139	22.05
67.75	Ta-182	42.30	165.85	Ce-139	79.95
67.88	Np-239	0.90	172.62	Sb-125	0.18
72.00	W-187	10.77	176.33	Sb-125	6.79
79.62	Xe-133	0.60	176.56	Cs-136	13.59
80.11	Ce-144	1.60	181.06	Mo-99	6.52
80.18	I-131	2.62	185.72	U-235	57.50
81.00	Ba-133	32.92	186.21	Ra-226	3.28
81.00	Xe-133	37.00	192.35	Fe-59	3.08
86.50	Np-237	12.60	196.32	Kr-88	26.30
86.54	Eu-155	30.80	205.31	U-235	5.03
86.79	Th-160	13.20	208.01	U-237	21.67
88.03	Cd-109	3.61	208.36	Lu-177	11.00
91.10	Nd-147	27.90	209.75	Np-239	32.70
92.38	Th-234	2.73	216.09	Ba-131	19.90
92.80	Th-234	2.69	220.90	Kr-89	20.40
94.67	Pu-239	0.37	228.16	Te-132	88.20
97.43	Sm-153	0.73	228.18	Np-239	10.79
97.43	Gd-153	27.60	233.18	Xe-133m	10.30
98.44	Pu-239	0.59	234.68	Zr-95	0.20
100.10	Ta-182	14.10	236.00	Th-227	11.05
103.18	Gd-153	19.60	238.63	Pb-212	44.60
103.18	Sm-153	28.30	240.98	Ra-224	3.95
105.31	Eu-155	20.50	241.98	Pb-214	9.00
106.12	Np-239	22.86	244.70	Eu-152	7.51
112.95	Lu-177	6.40	248.04	Eu-154	6.59
121.12	Se-75	17.32	249.44	Ba-131	2.80
121.78	Eu-152	28.32	249.79	Xe-135	89.90

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/100 decays
252.45	Eu-154	0.10
255.06	Sn-113	1.82
256.25	Th-227	6.71
258.41	Xe-138	31.50
258.79	Pb-214	35
264.66	Se-755	9.10
273.70	Bi-214	0.18
274.53	Pb-214	0.33
276.40	Ba-133	7.32
277.60	Np-239	14.20
279.19	Hg-203	81.55
279.54	Se-75	25.18
282.52	Yb-175	3.10
284.29	I-131	6.06
293.26	Ce-143	42.00
295.21	Pb-214	19.70
295.94	Eu-152	0.45
298.57	Th-160	26.90
300.09	Pb-212	3.41
302.85	Ba-133	18.71
304.84	Ba-140	4.30
304.86	Kr-85m	13.70
312.40	K-42	18
314.20	Pb-214	0.79
319.41	Nd-147	1.95
320.08	Cr-51	9.83
328.77	La-140	20.50
329.43	Eu-152	0.15
333.03	Au-196	22.85
334.31	Np-239	2.04
338.40	Ac-228	11.40
340.57	Cs-136	48.55
344.28	Eu-152	22.67
345.95	Hf-181	12.00
351.92	Pb-214	38.90
355.73	Au-196	86.90
356.01	Ba-133	62.58
358.39	Xe-135	0.22
361.85	I-135	0.19
362.23	Kr-88	2.28
363.50	Kr-88	0.49
363.93	Cs-138	0.24
364.48	I-131	81.24
365.29	Cs-138	0.19
367.79	Eu-152	0.87
373.25	Ba-131	13.30
375.05	Pu-239	0.16
380.44	Sb-125	1.52
383.85	Ba-133	8.89
387.00	Bi-214	0.37
389.10	Bi-214	0.41
391.69	Sn-113	64.16
396.32	Yb-175	6.50

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/100 decays
400.66	Se-75	11.56
402.58	Kr-87	49.60
405.74	Bi-214	0.17
407.99	Xe-135	0.36
411.12	Eu-152	2.27
411.80	Au-198	95.51
413.71	Pu-239	0.15
414.70	Sb-126	83.30
416.05	Eu-152	0.11
426.50	Bi-214	0.11
427.89	Sb-125	29.44
433.95	Ag-108m	90.70
434.56	Xe-138	20.30
439.90	Nd-147	1.20
443.98	Eu-152	3.12
454.77	Bi-214	0.32
462.10	Pb-214	0.17
462.79	Cs-138	30.70
463.38	Sb-125	10.45
469.69	Bi-214	0.13
474.38	Bi-214	0.12
477.59	Be-7	1.03
479.57	W-187	21.13
480.42	Pb-214	0.34
482.16	Hf-181	83.00
487.03	La-140	45.50
487.08	Pb-214	0.44
488.66	Eu-152	0.42
496.28	Ba-131	43.78
497.08	Ru-103	89.50
497.50	Kr-89	6.80
503.39	Eu-152	0.16
510.57	I-133	1.84
511.00	Co-56	18.60
511.00	Cu-64	37.10
511.00	Na-22	90.00
511.00	Y-88	0.40
511.00	Zn-65	2.83
511.85	Ru-106	20.60
513.99	Kr-85	0.43
513.99	Sr-85	98.30
526.56	Xe-135m	80.51
529.89	I-133	87.30
531.02	Nd-147	13.09
533.69	Pb-214	0.19
537.32	Ba-140	24.39
546.94	Cs-138	10.76
551.52	W-187	4.92
554.32	Br-82	70.60
555.61	Y-91M	56.10
557.04	Ru-103	0.83
559.10	As-76	45.00
563.23	Cs-134	8.38

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/100 decays
563.23	As-76	1.20
564.00	Sb-122	71.20
564.02	Eu-152	0.49
566.42	Eu-152	0.13
569.32	Cs-134	15.43
569.67	Bi-207	97.80
580.15	Pb-214	0.37
583.19	Tl-208	85.77
585.80	Kr-89	16.90
586.29	Eu-152	0.46
591.74	Eu-154	4.84
595.36	I-134	11.16
600.56	Sb-125	17.78
602.73	Sb-124	97.80
604.70	Cs-134	97.56
606.64	Sb-125	5.02
608.19	Xe-135	2.87
609.31	Bi-214	43.30
610.33	Ru-103	5.64
616.20	Ru-106	0.70
618.28	W-187	6.07
619.07	Br-82	4.31
621.79	I-134	10.59
621.84	Ru-106	9.81
635.90	Sb-125	11.32
636.97	I-131	7.27
645.86	Sb-124	7.38
652.30	Sr-91	2.97
652.90	Sr-91	8.02
653.00	Sr-91	0.37
656.48	Eu-152	0.15
657.05	As-76	6.17
657.71	Rb-89	10.10
657.76	Ag-110m	94.64
661.66	Cs-137	85.21
665.45	Bi-214	1.25
666.31	Sb-126	99.60
667.69	I-132	98.70
671.15	Eu-152	0.23
675.89	Au-198	0.80
685.74	W-187	26.39
685.90	Nd-147	0.81
692.60	Sb-122	3.90
695.00	Sb-126	99.60
696.49	Ce-144	1.48
697.00	Sb-126	29.00
697.49	Pr-144	1.48
698.33	Br-82	27.90
702.63	Nb-94	100.00
703.11	Bi-214	0.47
715.76	Eu-154	0.18
719.86	Bi-214	0.41
720.50	Sb-126	53.80

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/100 decays
722.79	Sb-124	10.76
722.89	I-131	1.80
722.95	Ag-108m	91.50
723.30	Eu-154	19.70
724.20	Zr-95	44.10
727.17	Bi-212	7.56
739.50	Mo-99	13.00
749.80	Sr-91	23.60
752.84	Bi-214	0.13
756.73	Zr-95	54.50
763.94	Ag-110m	22.20
765.79	Nb-95	99.79
768.36	Bi-214	5.04
772.60	I-132	76.20
772.91	W-187	3.98
773.67	Te-131m	38.06
776.49	Br-82	83.40
777.88	Mo-99	4.62
778.91	Eu-152	12.96
785.46	Bi-212	1.26
785.91	Pb-214	1.10
786.10	Bi-214	0.32
793.75	Te-131m	13.82
795.85	Cs-134	85.44
801.93	Cs-134	8.73
810.77	Co-58	99.45
815.80	La-140	23.50
818.50	Cs-136	99.70
834.83	Mn-54	99.98
834.83	Kr-88	13.10
839.03	Pb-214	0.59
845.44	Kr-87	7.34
846.70	Co-56	99.93
846.75	Mn-56	98.87
847.02	I-134	95.41
852.21	Te-131m	20.57
856.70	Sb-126	17.60
860.56	Tl-208	12.00
863.96	Co-58	0.68
871.10	Nb-94	100.00
873.19	Eu-154	11.50
875.37	I-133	4.40
879.36	Th-160	29.50
884.09	I-134	64.88
884.69	Ag-110m	72.68
889.26	Sc-46	99.98
898.02	Y-88	9.50
904.27	Kr-89	7.30
911.07	Ac-228	27.70
925.24	La-140	7.09
937.49	Ag-110m	34.36
954.55	I-132	18.10
964.13	Eu-152	14.62

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/100 decays
966.16	Th-160	25.00
969.11	Ac-228	16.60
989.03	Sb-126	6.80
996.32	Eu-154	10.30
1001.03	Pa-234m	0.59
1004.76	Eu-154	17.89
1009.78	Cs-138	29.80
1024.30	Sr-91	33.40
1031.88	Rb-89	59.00
1037.80	Co-56	14.09
1043.97	Br-82	27.40
1048.07	Cs-136	79.72
1050.47	Ru-106	1.73
1063.62	Bi-207	74.91
1072.55	I-134	14.98
1076.70	Rb-86	8.78
1087.66	Au-198	0.16
1099.25	Fe-59	56.50
1112.12	Eu-152	13.56
1115.52	Zn-65	50.74
1120.29	Bi-214	15.70
1120.52	Se-469	9.99
1121.28	Ta-182	35.00
1128.00	Ru-106	0.40
1131.51	I-135	22.50
1140.20	Sb-122	0.57
1167.94	Cs-134	1.81
1173.24	Co-60	99.90
1177.94	Th-160	15.20
1189.05	Ta-182	16.30
1212.92	As-76	1.44
1216.08	As-76	3.42
1221.42	Ta-182	27.10
1228.52	As-76	1.22
1230.90	Ta-182	11.50
1235.34	Cs-136	19.78
1236.56	I-133	1.44
1238.11	Bi-214	5.94
1238.30	Co-56	66.95
1248.10	Rb-89	43.00
1257.00	Sb-122	0.77
1260.41	I-135	28.60
1274.45	Eu-154	35.50
1274.51	Na-22	99.95
1291.60	Fe-59	43.20
1293.64	Ar-41	99.16
1298.33	I-133	2.27
1317.47	Br-82	26.90
1318.00	Fe-59	pair peak
1332.50	Co-60	99.98
1345.77	Cu-64	0.48
1368.53	Na-24	99.99
1377.82	Bi-24	45.06

Energy [keV]	Radionuclide	Intensity/100 decays
1384.30	Ag-110m	24.28
1408.01	Eu-152	20.85
1420.50	Ba-139	0.30
1435.86	Cs-138	76.30
1457.56	I-135	8.60
1460.75	K-40	10.70
1472.76	Kr-89	7.00
1489.15	Ce-144	0.30
1524.00	K-42	17.90
1529.77	Kr-88	11.10
1573.73	Nb-94	0.15
1596.48	Eu-154	1.67
1596.49	La-140	95.49
1642.40	Cl-38	32.80
1674.73	Co-58	0.52
1678.03	I-135	9.50
1690.98	Sb-124	47.30
1740.52	Kr-87	2.04
1764.49	Bi-214	17.00
1768.26	Xe-138	16.70
1770.23	Bi-207	6.85
1771.40	Co-56	15.51
1791.20	I-135	7.70
1810.72	Mn-56	27.19
1836.01	Y-88	99.35
2004.75	Xe-138	12.30
2015.82	Xe-138	5.35
2090.94	Sb-124	5.58
2113.05	Mn-56	14.34
2167.50	Cl-38	44.00
2185.70	Ce-144	0.77
2195.84	Kr-88	13.30
2196.00	Rb-89	13.60
2204.22	Bi-214	4.98
2218.00	Cs-138	15.20
2323.10	Sb-124	0.24
2392.11	Kr-88	35.00
2554.80	Kr-87	9.23
2558.10	Kr-87	3.92
2570.14	Rb-89	10.00
2598.50	Co-56	16.74
2614.53	Tl-208	99.79
2753.90	Na-24	99.84

表 IV6. ガンマ線スペクトルメトリにおける考えられる妨害

Nuclide	E_γ [keV]	P_γ	Half-life [d]	Interfering nuclide	E_γ [keV]	P_γ	Half-life [d]
Cr-51	320.084	0.0985	27.71	Np-239	315.88	0.013	2.35
				Rh-105	319.24	0.196	1.50
				Nd-147	319.4	0.022	11.06
				Ra-223	324.1	0.040	U-235
				Rn-219	324.1	0.040	U-235
Mn-54	834.843	0.99975	312.5	Bi-211	831.8	0.033	U-235
				Pa-234	831.8	0.057	U-238
				Pb-211	831.8	0.030	U-235
				Ac-228	835.6	0.015	Th-232
Co-57	122.0614	0.8559	271.84	Np-239	117.7	0.063	2.35
				Np-239	120.7	0.023	2.35
				Ra-223	122.4	0.011	U-235
				Rn-219	122.4	0.011	U-235
Co-58	810.775	0.9945	70.78	Pa-234	806.2	0.033	U-238
Fe-59	1099.251	0.561	44.53				
	1291.569	0.436	44.53				
Co-60	1173.238	0.999	1925.5				
	1332.502	0.999824	1925.5				
Zn-65	1115.546	0.504	243.9	Bi-214	1120.4	0.136	U-238
				Sc-46	1120.545	1.000	83.80
Zr-95	724.199	0.440	64.09	Sb-126	720.4	0.560	12.5
				Ce-143	722.0	0.045	1.40
				Sb-124	722.78	0.1126	60.2
				Sb-127	723.0	0.018	3.85
				Bi-212	727.17	0.065	Th-232
				La-140	751.79	0.0441	1.6779
Nb-95	756.729	0.543	64.09				
	765.8	0.998	35.0	Ag-110m	763.928	0.224	249.79
				Bi-214	768.7	0.042	U-238
Mo-99/ Te-99m	140.466	0.8896	(2.7476)	Co-57	136.4743	0.1058	271.84
				U-235	143.78	0.097	2.57×10^{11}
				Rn-219	144.3	0.032	U-235
				Ra-223	144.3	0.032	U-235
				Ce-141	145.4442	0.489	32.5
	181.057	0.0603	2.7476	Sb-125	176.334	0.0689	1008.1
				Cs-136	176.75	0.132	13.7
				U-235	185.72	0.54	2.57×10^{11}
				Pa-234	186.0	0.019	U-238
				Ra-226	186.211	0.0351	584400
	366.421	0.0122	2.7476	I-131	364.48	0.816	8.021
				Pa-234	369.8	0.034	U-238
				Pa-234	742.8	0.029	U-238
	739.5	0.1231	2.7476	Ag-110m	744.26	0.0464	249.79
				Te-131m	773.7	0.46	1.25
777.921	0.0433	2.7476	782.7	0.067	1.25		
Ru-103	497.080	0.909	39.272	Cd-115	492.29	0.081	2.23
Ru-106/ Rh-106	621.84	0.0995	(372.6)	Ag-110m	620.35	0.0277	249.79
	1050.47	0.01452	(367)	Cs-136	1048.1	0.80513.7	
Ag-110m	657.749	0.94652	49.79	Sb-126	656.2	0.028	12.5
				Cs-137	661.66	0.850	10958
				Pa-234	880.8	0.130	U-238
				Pa-234	883.2	0.120	U-238
				Sc-46	889.277	1.000	83.8
	1384.27	0.247	249.79				
Sb-124	602.72	0.9792	60.2	Sb-125	600.557	0.178	1008.1
				Sb-127	603.6	0.0423.85	
				Ir-192	604.414	0.0819	73.831
				Cs-134	604.699	0.976	754.2

Nuclide	E_γ [keV]	P_γ	Half-life [d]	Interfering nuclide	E_γ [keV]	P_γ	Half-life [d]
				Sb-126	605.0	0.024	12.5
				Sb-125	606.641	0.0502	1008.1
	1691.02	0.488	60.2				
Sb-125	176.334	0.0689	1008.1	Cs-136	176.75	0.132	13.7
				Mo-99	181.057	0.0603	2.7476
	427.889	0.2933	1008.1	Ba-140	423.69	0.0315	12.751
				Bi-211	426.9	0.019	U-235
				Pb-211	427.1	0.019	U-235
	600.57	0.178	1008.1	La-140	432.55	0.0299	1.6779
				Sb-124	602.72	0.9792	60.2
				Sb-127	603.6	0.042	3.85
				Ir-192	604.414	0.0819	75.1
				Cs-134	604.699	0.976	754.2
				Sb-126	605.0	0.024	12.4
	635.895	0.1132	1008.1	I-131	636.973	0.0712	8.021
I-131	364.48	0.816	8.021	Tl-210	360.0	0.040	U-238
				Mo-99	366.421	0.0122	2.7476
				Pa-234	369.8	0.034	U-238
Cs-134	604.699	0.976	754.2	Sb-125	600.557	0.178	1008.1
				Sb-124	602.72	0.9792	60.2
				Sb-127	603.6	0.042	3.85
				Ir-192	604.414	0.0819	73.831
				Sb-126	605.0	0.024	12.5
				Sb-125	606.641	0.0502	1008.1
				Bi-214	609.3	0.412	U-238
	795.845	0.854	754.2	Te-131m	793.6	0.159	1.25
				Tl-210	795.0	1.000	U-238
				Ac-228	795.0	0.039	Th-232
				Pa-234	796.6	0.039	U-238
				Sn-125	800.5	0.010	9.62
Cs-137	661.66	0.850	10958	Ag-100m	657.749	0.9465	249.79
				Ce-143	664.0	0.050	1.40
				Te-131m	665.0	0.035	1.25
				Bi-214	666.0	0.022	U-238
				Sb-126	666.2	1.000	12.5
Ba-140/ La-140	162.9	0.0621	12.751	Te-123m	158.96	0.840	119.7
				U-235	163.36	0.045	2.57×10^{11}
				Cs-136	164.04	0.045	13.7
	328.77	0.2074	(12.751)	Ra-223	324.1	0.04	U-235
				Rn-219	324.1	0.04	U-235
				Ac-228	328.3	0.026	Th-232
				Th-227	329.7	0.023	U-235
				Pa-231	329.9	0.01	U-235
	487.03	0.4594	(12.751)	Ir-192	484.578	0.032	73.831
	537.38	0.2439	12.751				
	815.83	0.2364	(12.751)	Ag-110m	818.02	0.073	249.79
				Cs-136	818.48	1.000	13.7
				Pa-234	819.7	0.027	U-238
	1596.49	0.954	(12.751)				
Ce-141	145.4442	0.489	32.5	Tc-99m	140.466	0.8896	2.7476
				U-235	143.78	0.097	2.57×10^{11}
				Rn-219	144.3	0.032	U-235
				Ra-223	144.3	0.032	U-235
				Te-131m	149.7	0.242	1.25
Ce-144	133.544	0.1109	284.45	Ac-228	129.1	0.021	Th-232
				Pa-234	131.2	0.200	U-238
				Co-57	136.4743	0.1058	271.84

$\Delta E_\gamma = \pm 5$ keV; $t_r = > 1$ d; $p_\gamma = > 0.01$

表 IV7. 種々の原子力事故時に放出される特有の放射性核種

Nuclear accident scenario	Radionuclides of importance ^(c)		
	In the first day ^(a)	In the first week ^(b)	Long term
Reactor meltdown with or without failed containment	Y-90, Sr-91, Y-93, Nb-96, Zr-90, Mo-99, Rh-105, Pd-109, Ag-111, Pd-112, Cd-115, Sn-121, Sn-125, Sb-126, I-131, I-132 , Te-131m, Te-132, I-133, I-135 , La-140, Pr-142, Ce-143, Pr-143, Ba-146, Nd-147, Pm-149, Pm-151, Eu-152m, Sm-153, Sm-156, Eu-157, Np-239	Rh-86, Sr-89, Y-90 , Y-91, Nb-95, Zr-95 , Nb-96, Mo-99, Tb-160, Ru-103, Rh-105, Ag-111, Pd-112, Cd-115, Cd-115m, Sn-121, Sb-124, Sn-125, Sb-127, I-131, Te-131m, Te-132, I-133, Cs-136, Ba-140, La-140 , Ce-141, Ce-143, Pr-143, Nd-147, Pm-149, Pm-151, Sm-153, Np-239	H-3, Sr-89, Sr-90 , Y-91, Nb-93m, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Ag-110m, Cd-113m, Cd-115m, Sn-121m, Sn-123, Sb-124, Sb-125, I-129, Cs-134, Cs-137 , Ce-141, Ce-144 , Pm-147, Tb-160, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Pu-241, Cm-242 , Pu-242, Am-243, Cm-244
Reactor meltdown with particle containment	H-3, Rb-88, Sr-89, Sr-90, Y-90, Sr-91, Y-91, Ru-103, Ru-105, Ru-106, I-121, I-123, I-132, I-134, I-135, Cs-136, Cs-138, Cs-139, Ba-139, Ba-140, La-140	H-3, Sr-89, Sr-90, Ru-103, Ru-105, Ru-106, I-131, I-133, Ba-140, La-140	H-3, Sr-89, Sr-90, Tc-99, Ru-103, Ru-106, I-129, I-131, Cs-137
Nuclear fuel reprocessing plant release	Sr-90, Nb-95, Zr-95, Tc-99, Ru-103, Ru-106, I-129, I-131, Cs-134, Cs-137, Ce-141, Ce-144, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Pu-241, Cm-242, Pu-242, Am-243, Cm-244		
Plutonium fuel reprocessing plant release	Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Pu-241, Pu-242		

- (a) Radionuclides with half-lives of 6 hours and greater
 (b) Radionuclides with half-lives of about 1 day and greater
 (c) Bold type denotes radionuclides are of major concern.

表 IV8. 原子炉事故時に放出される特有のガンマ線放出核種

Radionuclide	Half life [days]	Energy E [keV]	Emission probability P_{γ}
Cr-51	27.706	320.08	0.0986
Mn-54	312.3	834.84	0.999758
Co-57	271.79	122.06	0.8560
		136.47	0.1068
Co-58	70.86	810.78	0.9945
Co-60	1925.5	1173.24	0.99857
		1332.50	0.99983
Fe-59	44.54	1099.25	0.561
		1251.57	0.436
Zn-65	244.26	1115.55	0.5060
Zr-95	64.26	724.20	0.4417
		756.73	0.5446
Nb-95	34.975	765.81	0.9981
Mo-99	2.7476	140.47	0.905
		739.50	0.1231
Tc-99m	0.25028	140.47	0.8906
Ru-103	39.272	497.08	0.909
Ru-106	372.6	621.84	0.0995
(Rh-106)		1050.47	0.0147
Ag-110m	249.79	657.76	0.953
		884.69	0.732
		937.49	0.346
Sb-124	60.20	602.73	0.9789
		722.78	0.108
		1690.98	0.476
Sb-125	1007.7	427.88	0.297
		463.38	0.1048
		600.60	0.1773
		635.95	0.1121
Sb-127	3.85	473.61	0.247
		685.7	0.353
		784.0	0.145
I-131	8.0207	284.30	0.0620
		364.48	0.816
I-132	0.0956	522.65	0.160
		667.72	0.987
I-133	0.867	529.87	0.87
		875.33	0.451
Te-129	0.04833	459.52	0.077
Te-129m	33.6	695.84	0.030
Te-132	3.204	228.16	0.88
Cs-134	754.28	604.72	0.9763
		795.86	0.854
Cs-136	13.16	340.55	0.422
		818.51	0.997
		1048.07	0.80
Cs-137	1,102 E4	661.66	0.851
Ba-140	12.751	537.31	0.2439
La-140	1.6779	328.76	0.206
		487.02	0.455
		1596.21	0.954
Ce-141	32.501	145.44	0.480
Ce-144	284.893	133.52	0.1109

付録 V

作業介入レベル

国際指針[5,13]では、緊急にまた長期にわたり防護措置を公衆に強いることになる一般介入レベル (GIL) と、食品の流通をコントロールする一般アクションレベル (GAL) を指定している。防護措置が被害よりも便益をもたらす、すなわち、線量を防ぐことによるリスクの回避が防護措置を行うことによってこうむる不利益よりも大きくなるように、これらのレベルは選択される。したがって、このレベルよりのかなり低い値で、もしくはかなり高い値で防護措置を施せば、公衆や作業者に与える全体のリスクが増加することを意味する。

GIL や GAL は緊急事態の最中に利用されるようには設計されていない。野外で速やかに測定できないし、施設の状況も分からない。しかし、計画の一部として作業介入レベル (OIL) を設定するのに用いられるべきである。これらは緊急事態の最中でも、たとえばブルーム内や沈着物からの周辺線量率、沈着物や食料品中の目印となる放射性核種濃度の測定が容易にでき、それに基づいて防護措置の必要性について速やかに確定できる。

表 V 1 に、デフォルト値で計算するときの仮定と共に、原子炉事故[3]に対する作業介入レベルを示した。もし環境における測定値が OIL を超えたら、防護措置として文献[3]を参照すること。実際のサンプル分析に基づく OIL 値は文献[3]に指示する手順を用いてできる限り速やかに再計算すべきである。

表 V1. 原子炉事故における作業介入レベル

対象	OIL	デフォルト値	デフォルト値計算に用いた仮定の概要	
プルーム内の周辺線量率	OIL1	1 mSv/h ^(a)	炉心溶融事故により閉じ込められずに放出したと仮定し、結果として外部被ばく線量の10倍の吸入線量となる。プルームに4時間曝され、措置により50mSv回避できる。炉心破損の情報があれば OIL 1 = 10mSv/h とする。	
	OIL2	0.1 mSv/h	炉心溶融事故により閉じ込められずに放出したと仮定し、結果として外部被ばく線量の200倍のヨウ素吸入による甲狀腺線量となる。プルームに4時間曝され、措置により100mSv回避できる。	
	OIL3	1 mSv/h	措置により50mSv回避で計算。1週間の被ばく期間、壊変、避難、部分滞在による線量の減少はおおよそ75%。	
	OIL4	0.2 mSv/h	措置により30日間で30mSv回避で計算。事故4日後に典型的な炉心溶融の放射性核種混合物の大地汚染、部分滞在、壊変、天候による線量の減少は50%。運転停止後2-7日は有効なはず。	
	OIL5	1 μSv/h	沈着物により上記のバックグラウンド線量率の地域で生産された食料品やミルクがGALを越える汚染があるだろうと仮定。多くの炉心溶融事故の場合、加工前の直接汚染した食品や汚染した牧草を食べた牛からのミルクの場合にはこれは正しい。	
大地沈着物中の目印となる放射性核種濃度		ミルク	注釈：ヤギのミルクはOIL6とOIL7に0.10を掛けること	
I-131	OIL6	10 kBq/m ²	2 kBq/m ²	計算仮定：a)I-131はコントロールされる、新鮮な核分裂生成物混合体について妥当であるはず（運転停止後1-2ヶ月の間） b) 食料品は直接汚染しているか牛は汚染した牧草を食べている、c) 食料品は汚染を減らすため加工されることなく直ちに消費される。
Cs-137	OIL7	2 kBq/m ²	10 kBq/m ²	計算仮定：a)Cs-137はコントロールされる、古い核分裂生成物混合体について妥当であるはず（使用済み燃料や炉心放出、運転停止後2ヶ月以上） b) 食料品は直接汚染しているか牛は汚染した牧草を食べている、c) 食料品は汚染を減らすため加工されることなく直ちに消費される。
食料品、ミルク、水中の目印となる放射性核種濃度		一般的な食料品	ミルクと水	
I-131	OIL8	1 kBq/kg	0.1 kBq/kg	計算仮定：a)I-131は新鮮な核分裂生成物混合体から回避されるようコントロールされる（運転停止後1-2ヶ月の間） b) 食品は直接汚染し、そして、汚染を低減する加工なしにすぐに消費される。
Cs-137	OIL9	0.2 kBq/kg	0.3 kBq/kg	計算仮定：a)Cs-137は古い核分裂生成物混合体から回避されるようコントロールされる（運転停止後使用済み燃料や炉心放出が2ヶ月以上） b) 食品は直接汚染し、そして、汚染を低減する加工なしにすぐに消費される。

(a) 炉心破損の情報があれば OIL1 = 10 mSv/h とする。

付録 VI

サンプリング計画と方法

以下に述べることはサンプリング計画と方法に関する検討と提案である。文章は 1997 年 9 月のオークリッジ連合大学専門家訓練プログラムからの抜粋である。

空気サンプリング

環境空気のサンプリングは放射性核種の周辺濃度測定のために行われる。

放射性核種の中には（例えば希ガスや寿命の非常に短い放射性核種）サンプリングしたり分析するのが難しいものがあるので、それらの濃度は間接的に評価されなければならないであろう（例えば TLD 等によって）。

原則としてサンプリング場所は以下のように選ばれる。

- i. 施設の境界線に沿って
- ii. もっとも地表濃度（または沈着）が高いと予見される住宅地
- iii. もっとも地表濃度（または沈着）が高いと予見されるところから 15 キロメートル以内の町／集落
- iv. もっとも平均地表濃度が高いと予見される施設外の場所

一般に最も高い地表濃度を持つ位置は計算機で大気拡散計算を行うことによって予見される。

サンプリング場所は地形の急激な変化（例えば崖や丘）または普通でない局所的気象条件を作り出すその他の物体（例えば建物、往来、樹木など）から離れているべきである。

サンプリング場所は近くの大きな物体（建物や樹木など）の風下より風上であるべきである。サンプリング場所が大きな物体の風下になってしまう場合、その物体の高さの少なくとも 5 倍以上離れていることが推奨される。サンプリング器と障害物（例えば建物）の距離は障害物がサンプリング器の上に突き出ている高さの少なくとも 2 倍であることが推奨される。また、もし樹木がサンプリング器より上に突き出ている高さの 2 倍の距離がとれないときは樹木の枝端から最低 10 メートルは取ることが推奨される。もしサンプリング場所が建物の屋上であるときにはサンプリング器はどの壁からも少なくとも 2 メートル離れていないとしない。また加熱炉や焼却炉の煙突から十分離れていないとしない。

空気ポンプの漏れ試験

漏れ試験はフィルタをフィルタと同じ大きさに切った薄いプラスチック片に置き換え、流量メータのすぐ下流にバブラー／インピンジャーを据え付け、ポンプのスイッチを入れて行うことができる。バブラー／インピンジャーの溶液を通る気泡の流れは漏れを表す。より簡単な（雑な）やり方は以前に述べたようにサンプリングヘッドを封じてポンプのスイッチを入れることである。もし流量計が気体の流れを検知したら漏れが存在する。さらに念入りな方法は圧力測定計（例えば U 字管液柱計）をサンプリングラインにつなぎ流量計の下流の系を封じ真空を作り出すことで行われる。1 分程度真空が維持できなければ漏れが存在する。サンプリング装置は普通極端な低圧力に耐えるようには設計さ

れていないので漏れ試験のあいだ利益より害が大きくなるように注意しなければならない。

検出出来ない漏れは誤差の大きな原因である。これらの誤差を最小にするため流量計の上流には高品質の物質を使い、出来るだけ接続部分を減らし、屈伸自在の配管を避けるべきだ。屈伸自在の配管は伸びる、そして環境条件においては金属配管より劣化しやすくラインが負圧になるので潰れて平らになってしまう。

フィルタ、流速、ポンプ

フィルタのタイプ

環境の空気サンプリングにおいてもっともよく使われるフィルタはガラスファイバーフィルタである。なぜなら高い流速でも、また、環境空気サンプリングに関連した埃の大量の取り込みでも低い圧力低下を維持しているからである。フィルタを通してのより低い圧力低下は空気移動についての負荷を軽減し原則的に流量計の読み値をより正確にする。ガラスファイバーフィルタもアルファ線計数に関して相対的に低い潜り込み減少を示す。ガラスファイバーフィルタの大きな欠点は放射化学分析において必要な先行条件である化学分解しにくいことである。セルロースフィルタは凸凹していて化学分解されやすい。セルロースフィルタは残念ながら沢山の欠点を持っている。微粒子はフィルタの深さ方向の至る所で集められる、それはアルファ線計数において重大な潜り込み減少をもたらす。さらにその上、収集効率は表面速度の低下に伴いかなり落ち込む。メンブランフィルタは放射化学分析に関して容易に分解される。そして、このフィルタは表面蓄積であるのでアルファ線計数において最小の潜り込み減少を示す。重大な問題は環境における周辺空気はかなり汚いことがあるのでこれがメンブランフィルタを横切った際の圧力低下がかなり増加をもたらすことである。圧力低下を最小にするために大き目の気孔径、例えば3から5マイクロメートルのメンブランフィルタを使用する。大き目を使用することは集塵効率に非常に小さな影響しか与えない。なぜならば、粒子はフィルタの部分におけるふるい分け作用ではなく衝突や遮断、拡散によって集められるからである。

フィルタサイズと流速

サンプリングの手順は要求される分析の方法や頻度に依存する。アルファ線やベータ線を計数するために使われる検出器（例えばガスフロー比例計数管）は比較的高い効率（例えば30から40%）を持っている。個々の放射性核種の分析に使われる検出器システム（例えばガンマ線スペクトリシステム）はより低い効率（例えば数パーセント）しか持っていない。それ故により高い放射能のサンプルが要求される。

もし個々の放射性核種に対して頻繁な同位体分析が求められるなら、十分な放射能のサンプルを得るために高い流速と大きなフィルタを使う必要があるかもしれない。小さなフィルタの利点は切り刻む必要がある大きなフィルタのようではなく典型的な計数管（ガスフロー比例計数管、GM管またはシンチレーター）で直接分析できることである。適切なフィルタとフィルタホルダの組み合わせを使用するように注意すること。

一般にヨウ素は活性炭で捕集される。銀沸石は希ガスの低い保持率を示すが定常的に使うには値段が高すぎる。分析は通常 γ 線スペクトロメトリーで行われる。

公衆に対して放射性ヨウ素からの線量が有意になるかもしれないところでは様々な種類のヨウ素の評価（元素状、有機状そしてHOI）をすることが求められるだろう。この評価はつぎに示すサンプリングによって行うことができる。元素状ヨウ素に対して粒子フィルタやヨウ化カドミウム缶、HOIに対してヨウ化フェノール缶、有機ヨウ素に対して銀沸石缶でサンプリングできる。ヨウ素のすべての形態は吸入され易く、また、吸収され易いが、元素状ヨウ素のみは土壌や野菜に沈着することによって食物連鎖に取り込まれる傾向がある。

水の吸収はヨウ素の捕集効率に影響するので活性炭缶は非常に乾燥した気候以外では1週間以上使用しないようにしなければならない。さらにヨウ素131の短い半減期(8日)はむしろ迅速なサンプリングと分析を必要とする。使わない間はずっと活性炭缶は気密の入れ物に入れ密封しておくべきである。

希ガス

希ガス(ゼノン、クリプトン、アルゴン)は活性炭で集めることが出来る。しかし、もし空气中濃度が低い場合、この方法は低い効率と低い濃度のため実用に向かない。

たいていの施設ではTLDで測定された環境照射線量率は希ガス濃度を、少なくとも部分的には反映していると仮定している。

空気1立方メートルのオーダーの体積は適当なスチールの入れ物に圧縮によって集めることができる。それで、希ガス濃度は標準的なガンマ線スペクトロメータで測定できる。

複雑であるが低温で空気の大きな体積を集めることが可能である。そして、希ガスはクロマトグラフカラムで分離し、放射能は液体シンチレーション計測で測定される。

別の選択肢はサンプリングするよりも環境PING(粒子、ヨウ素、希ガスモニター)を利用して希ガスをモニターすることである。この装置で空気は粒子を取り除くためにフィルタを通され、活性炭によりヨウ素を取り除かれ、通気型検出器は空気の流れの中に残されたと仮定される放射性物質のみに応答する。通気型電離箱の応答は施設から放出されていることが知られている混合気体で校正しなければならない。

トリチウム

HTOのかたちの環境中トリチウムは普通シリカゲルへ吸着させることによって集められる。推奨される方法は空気をシリカゲルの詰まった 3×30 cmのスチールまたはガラス製(プラスチックではない)円筒に1分当たりだいたい0.1リットルの流率で吸引することである。HTOは蒸留で集められ液体シンチレーション計測で分析される。代替の捕集方法としてはモレキュラーシーブやエチレングリコールまたは水を使ったバブラー、そして、コールドトラップを使った濃縮がある。

トリチウムガス(HT)はこれらの方法では捕集されない。しかし、公衆への線量を考慮する限りにおいてはほとんど重要ではない。

水サンプリング

地表水

地表水は小川、川、湖、池などに関するものである。ここで使われる言葉は必ずしも浅いところから集められたサンプルを意味するわけではない。

サンプリング場所—一般的

- i. 利用されている場所、例えば娯楽場所、公衆水道水取水口など。
- ii. 動物(例えば家畜)によって水が使われている場所または利用のために取水されている場所。
- iii. 作物に灌漑する水を得ている場所。

川や小川、入り江でのサンプリング場所

もっとも考えなければならないことは水中における放射性核種の濃度がサンプリング点において一様かどうかである。もし一様であるなら混合の必要無しに代表的なサンプルを得ることが出来る。サンプリング場所を選ぶには次のことを考えるだろう。

- i. 一般に小川／川を横切った濃度は下流に向かうほどより一様になる。そうであっても放出点からかなり下流でも混合はまだ不完全でありえる。特にゆっくり動く大きな水のかたまりでは。
- ii. 川における放射性核種の濃度は乱流の下流ではより一様になるであろう。（例えば白濁水）
- iii. 濃度は川の曲がりくねった場所の下流でより一様になるであろう。
- iv. 断面の変化している川ではより一様になるであろう。（例えば幅や深さが変化している）
- v. また、放射性核種は別の川との合流点の下流より上流でよりうまく混合しているように思われる。そうであっても合流点のすぐ上流は避けるべきである。

バックグラウンドサンプルは通常施設放出地点の上流から取られる。海岸近くの川で行うときは注意を要する。サンプルは潮流の影響を避けるため十分上流でサンプリングされなければならない。

河口又はその近くの水から代表サンプルを採取することは淡水と塩水の温度や密度が異なり層構造を作ることがあるために難しいかもしれない。水サンプルに対して塩分分析が実行されるべきである。潮流の作用によって起こりえる濃度の一時的な変化は条件をさらに複雑にする。そのような場所ではサンプル数を増やすこととサンプリング時間を潮流条件に関連させることが必要になるであろう。一般的に、水サンプルは潮だるみが続いている時に採取する。

小川に沿って多くのサンプルを採取するときは次のように集められるだろう。

- i. 流れに注目すべき物理的な変化が起こっている場所
- ii. そのような特徴を次のように分類する、ダムや堰、合流点、放出点、河口など

小川が相対的に狭く水がよく混ざっているところでは小川の中央で中ぐらいの深さのサンプル収集点1カ所で十分である。もしサンプルが小川の中央ではなく川岸から集めるのなら、流速が最も大きい曲がり目の外側の川岸から集めるのがもっとも良い。

より大きくあまりうまく混合していない川に対して地域的な（一時的とは反対の意味の）混合物が要求される。これは各垂直成分について表面直下から集められたサンプルと中ぐらいの深さから集められたサンプル、底の直上から集められたサンプルからなる少なくともひとつの垂直成分の混合物からなる。

水がよく混合してないような大きな川に対しては川や流れに沿って与えられた位置で集める1サンプルとして、3-5個の垂直成分を集めることがしばしば推奨される。時々、サンプリング点として、川を横断する等距離の点（例えば4分点）が指定される。これは多くの場合良いかもしれないが、特に大きな川ではサンプリング点は川の流量を反映すべきである。

湖や池のサンプリング場所

湖や池では川や小川よりあまり混合が起こらないし層状になる傾向にある。より多くの数のサンプルが自由に流れている水よりも必要となる。この層状化は基本的には温度による。結果として、そのことは水温プロファイルの決定と異なる層から別々にサンプルを採取するのに役立つ。

- i. 小さな貯水池や池ではもっとも深い地点での単一の垂直混合サンプルで十分であるかもしれ

ない。自然の池では、これは通常中央付近である。人造湖では一番深い点は中央よりはむしろダム付近である。

- ii. 湖や大きな貯水池では数個の垂直混合サンプルが必要となる。それらはひとつの横断面から、複数の横断から、または格子点からサンプリングされるだろう。

バックグラウンドサンプルは施設の放出に影響されない地点で施設から離れてサンプリングすべきである。そのような位置が見つからない場合は施設の影響を受けない同様な近くの水系から取るべきである。

流れの状態と濃度の可変性

水中濃度は流れの流量や池の水位により変化する。二つの川の合流点の下流に行くと希釈により濃度が低くなる。大量の雨や雪解けの後、水量が増加し濃度は低くなる。流れの流量や水の深さも評価しなければならない。浮遊物が特定の距離を移動するのにどのくらいかかるかを計時するのは流れの流量を評価する一つの安価な（特によいわけではないが）方法である。流れの表面の水流は深い部分より幾分遅いという問題がある。加えて表面の物体は風の影響を受けることがある。もしこの方法を使うならばグレープフルーツのような生物分解可能なものを使うのは悪い選択ではない。

水中放射性核種濃度は水系への表面流失の増加や堆積物の再巻き込み、貯水池の氾濫のために雨や雪解けの後に増加することもある。

サンプリング

サンプリング道具は前もって清潔にされた袋に、あるいは包まれているべきである。使い捨てできるラテックス又はビニールの手袋を付けるべきであり、そして、サンプリング場所毎に替えるべきである。

サンプリングは通常ボートから行う。次に良い場所は橋や棧橋であろう。全く望ましくないのは岸から水をサンプリングすることである。水中を歩くことは出来るだけ避けるべきである。水中を歩いてサンプリングしなければならないときは堆積物が乱されないように最善の注意を払う。サンプリング器はサンプリング地点の下流から入れて入れた後で上流に動かすべきである。

➤ 水の汲み上げ

サンプルの容器は開口部を上流に向けて水中に入れる。全体の操作は出来る限り水を乱さぬように注意して行うべきである。容器を完全に水中に入れるべきである。水面上のごみを捕集できないようにすべきである。そうではあるが、底近くからサンプリングするときは堆積物を集めないようにそれらを乱さぬように注意すべきである。

小さな容器でサンプルを集め、そして、サンプル容器に移すことも可能である。これはかなりの自由度がありサンプル容器の外壁が汚染するのを防ぐ。台所で使われているようなステンレススチール製の柄杓やすくいさじはうまく機能する。明らかにこの採集技術はサンプル容器に直接集めるよりもサンプルが空気に触れることが多くなる。蒸発しやすい物質をかなり失うことになるかもしれない。

延長ポールに採集容器を付けることで岸からの到達距離をのばすことも簡単である。

水面下のサンプル捕集器は今述べた技術と非常によく似た方法を使用する。これらの装置ではポールに取り付けられた封をされたビンが適当な深さまで沈められる。ビンのふたに付けられた制御棒はビンを開け水が満たされれば封をするのに使われる。

➤ ペリスタルティックポンプ

サンプリング場所で据え付けられた電源が使えないときは電池や発電機で蠕動ポンプの電力を供給することができる。このポンプの欠点は約6メートル以上の深さではサンプルを採集出来ないことである。

それらは水面下の水サンプルを集めるのに役立つだけでなく表面サンプルを集めるときに流れや池を横切る方向にサンプリング地点を広げるのに秀でている。

ポンプへの取り入れラインは負圧下で動作するので壁厚の太いテフロン（または他の適切な物質）にする必要がある。ポンプからの放出ラインは医療品質のシリコンチューブでよいだろう。横にのぼすために取り入れラインは支持のためのバーや棒に取り付けられる。流れている水の水面下のサンプルを採取するときサンプルを望む深さから集めるために取り入れラインの終端に重りを加えることが必要かもしれない。

単一の混合サンプルを採取している間には必要ではないが別の場所でサンプリングをする前にはサンプリングラインを変えたりきれいにする必要がある。新しいチューブを使う時でさえ実際のサンプルを集める前に数リットルの水をシステムに流すことが普通である。加えてサンプルはサンプリング容器のふちを流れ落ちるようにサンプリングすべきである。これは蒸発しやすい成分が空気に触れることとその損失を少なくする。

➤ 特別なサンプリング器

そのような装置は流れや湖の特定の深さから水サンプルを得るのに通常使われる。モニタリング井戸からサンプルを採取するにはあまり頻繁に使われない。第一に支持ケーブルにサンプルを採取する深さを特定する印が付けられる。それが沈められたとき水が自由にサンプリング器を通り過ぎる。指定した深さで重りのあるメッセンジャーがケーブルを落ちていく。それがサンプリング器にたどり着いたらサンプリング器の底や頭で栓／ストッパーを閉じ水を内部に封じるトリップ機構が働く。メッセンジャーは失いやすいので野外で利用できる余分を持っていることが賢明である。沈めるときにサンプリング器を水が通り抜けるのでサンプルにクロスコンタミが生じているかもしれないことが議論となるだろう（あまり納得がいくようにではなく）。

装置を空にするために底の栓は閉めたまま上のストッパーを開く。それで、サンプルは上から注ぎ出される。ある装置では底のストッパーを通して穴を開け、そしてサンプルがそこから排水できるようにある種のバルブを取り付けるという改造がなされる。

これらのサンプリング器の問題点は非常に多くの構成部品を持っていてきれいにするのが困難なことである。

地下水

地下水は地表水と連続体である。実際、湧水湖や湧水川などは地上にやってきた地下水の可視的な発現と考えることができる。地下水はすべての永続する流れや地球の淡水の90%、飲み水の50%の源である。地下水の源は雨である。

地下水は土壌の粒子間の隙間や固まった物質（岩）にある割れ目、空洞、洞窟などにある。

土壌粒子間の利用できる空間を水が完全に満たしていない上層の土壌は不飽和（通気帯）の地帯である。不飽和地帯の下に土壌粒子間の利用できる空間が完全に水で満たされている飽和（浸潤層）地帯がある。飽和地帯のすぐ上には水が毛管作用によって不飽和地帯へ引っ張り上げられる”フリンジ”の層がある。

帯水層は十分な量の水、例えば泉や井戸を十分維持できる、作り出すことが出来る飽和地帯の一部である。

一般に地下水の流れは地上水よりもゆっくりである。典型的な流速は1日に数センチメートルから数メートルである。それにもかかわらずもし地下の流れがあるのなら洞窟（特に石灰岩地帯において）や裂け目流れ、地上水と同じ程度の速度で大量の水が流れる。

地下水の方向と速度は次の2点に依存する。

- i. 地質学的な透水性。より浸透できる土壌では地下水はより早く動く。一般に土壌の気孔率が高ければより浸透できる。粘土は例外を示す。多穴性ではあるが透水性は低い。
- ii. 水圧勾配。これは地下水面のこぼれ水（オーバーランを起こした）である。

一般に地下水は地表水と同じ方向に流れる。地表水は表面トポロジーに従う傾向があり近くの湖や川に向かって流れる。これは地下水面の表面が通常陸の表面トポロジーに従い、谷よりも岡の下で高くなる、ために起こる。いつも例外はある。ある場合には、地下水面は川の底より下にあり、そして流れの方向は川から地下水面に向かって下に流れる。これらは「失われた流れ」と言われる。

地下水のサンプリング装置は地表水と同じであり得るだろう。

土壌サンプリング

サンプリング計画

汚染している可能性のある場所の環境調査の間の大きな決定の一つはサンプリング地点の選択である。沢山の方法が利用できる。もっとも一般的な4つの方法を利点欠点を含めて詳しく議論する。

サンプリングの判断

サンプリングの判断は以前の経験および／または推測を基にしたサンプリング場所の選択である。選択は現場をよく知っている職員からの提案や汚染の可能性のある物理的な証拠、似たような場所での以前経験を基にしているだろう。

サンプリングの判断はサンプリング者の専門知識に強く依存し、多くの問題を持つ傾向にある。そのような調査の結果は異なった基準が使われていそうなので再現したり確認したりすることが困難である。そのような調査の統計的な基盤も、選んだ場にはサンプリング者の判断によるバイアスが含まれ易いので疑いを免れない。

単純なランダムサンプリング

単純なランダムサンプリングはサーベイする地域全体のサンプリング地点のランダムな選択である。この方法のための要件は各地点が選択される等しい確率を持つことであり、各地点の選択はランダムで独立であるべきである。この方法は狭い地域に有効な統計的に正当なサーベイ方法である。

この方法の主要な弱点はサーベイ地点の中の大きな部分をサンプリングしないかも知れないことである。すなわち、大きな部分がサンプリングされないでいくつかの部分はサンプリング地点がかたまるかもしれないということである。この欠点はその地域を二重にサンプリングすることで修正できるが、これは不必要な費用と努力を必要とすることとなる。

系統的なサンプリング

このサンプリング計画においては格子を調査場所に配置し、サンプルを規則正しい間隔で集める。この種類の調査はその場所全体について適切にサンプリング出来る利点がある。そしてこの方法は格子の出発位置がランダムに選ばれていて放射能がランダムに分布しているならば統計的に正しい。

系統的なサンプリングはもし風や水、人の作った障壁が汚染にパターンを与えるならかなり偏ったものになることがある。例えば排水路が平行に走っているとか。もしサンプリング点がそれをまたいでいると格子の縦軸は完全に失われるかもしれない。系統的なサンプリングは等間隔のパターンが存在しないかまたはその分布を正しく考慮していることが確かであるとの検討がある時にのみ使われるべきである。より詳細なフォローアップ調査で通常ではないパターンや分布を発見するかもしれないので、系統的なサンプリングは通常は地域の予備的な調査に適しているものであろうということに注意せよ。

層化抽出法

層化抽出法は調査場所を予備的な調査に基づいて、大雑把に言って同程度の汚染レベルの領域（または層）に分割することからなっている。そして、サンプルは各々の層内でランダムにあるいは系統立てて集められる。この方法は完全に地域を網羅することと汚染パターンを検出することの両方を可能とする。また、層の慎重な選択は一般に各々の領域の把握がより正確となると共に汚染のレベルの全体的な様子をよりよく示せることとなるだろう。

十分なサンプリング

サンプリングパラメータを適切に決定するために必要なサンプル数は一般に希望する精度と測定に割り当てられた資金との妥協の産物である。必要とするサンプル数を評価するためのガイドラインは参考文献のいくつかに与えられている。これらの評価は通常統計的なパラメータの近似値を与える予備的な調査に基づいている。そして、これらのパラメータは必要な全サンプル数を評価するために使われる。

サンプリング点の選択と棄却

サンプリングのために近づきにくい領域の問題に対処するためにサンプリングに先だって計画が立てられるべきである。一般に、一番近い利用できる点からサンプルを採取することは受け入れることが出来ない。岩のような小さな障害物の場合、付加的な場所のランダムな選定が行われるかもしれない。しかしながら、道路のような大きな障害物の場合、より綿密な見直しが要求されるかもしれない。特に人造の障壁は汚染しているかもしれない領域を遮蔽するため、または封じ込めるために故意に置かれていたのかもしれない。

サンプリング場所

完全な土壌サンプリング場所は滅多に見つからない。妥協が求められる。それにもかかわらず次のようなサンプリング場所選択のための勧告が役立つかもしれない。

- i. 沈着／濃度が最も高いと予言される場所
- ii. 与えられた場所の土壌の濃度と空气中濃度や照射率を関連づけることが望ましいだろう。そのように、環境空気モニタやTLDの置かれた場所の近くで土壌サンプルを採取することは役立つに違いない。植物サンプルや土壌サンプルもしばしば同じ場所で採取される。もちろん、これは様々な測定の相互関係を求めようとするよりも、単に都合が良いということで、しばしば行われる。
- iii. 土壌の典型的な濃度を評価するために空気モニタリングを行うのに良い場所の特徴は土壌サ

ンプルを採取するのに良い場所の特徴でもある。沈着に影響するかもしれない空気の流れを乱すものから離れる（例えば建物、樹木、地形の突然の変化など）。表面流出領域から離れる（急な坂のような）。

- iv. 他方、物質のビルドアップが起こるかもしれないそれらの領域での濃度を評価することは望ましいかもしれない。森林に覆われた場所や表面流出が溜まる場所。
- v. 建築工事や植樹活動やほこりっぽい道路のそばなどによってかき乱されてきていないような領域。
- vi. レクリエーションのための場所、学校、保育所、居住地の近く。
- vii. 耕作地、野菜畑。

選ばれたサンプリング場所はまず棒、石、小石またはその他の散らかっているごみをきれいにする。植物があれば、もっとも一般的な手順では高さ 0.5~1.0 cm に切り込む。これを行ったらサンプリングフォームに書き込んでおく。

表面サンプリング方法

サンプリング法のもっともふさわしい形は汚染の予想される分布に依存するであろう。どちらかと言うとかなりの部分は、これは物質が空気から沈着したかどうかまたは流出や洪水などの結果として土壌に入ってきたかどうかによって依存する。

野外であまりまたは全然きれいにしなくても良い装置を使うことがもっとも良い。例えばステンレススチールのこては丈夫で安価である。あらかじめきれいにされて袋詰めされたこてはそれぞれのサンプリング場所のために野外に持っていくことが出来る。それで、使ったこては袋に詰め、きれいにするために実験室に持ち帰ることが出来る。

サンプリング方法の選択に影響する別の因子は土壌の種類である。柔らかい有機土壌でうまく働く方法はゆるんだ砂または粘土のような土壌でうまく働くとは限らないであろう。そして湿った粘土で十分であることが証明されている方法は乾いて固くなった粘土で全く効果的でないかもしれない。すべての土壌の種類でうまく働くただ一つの方法は無い。標準的な方法を使うのが望ましい。

サンプリング器を地面に入れ抵抗があるときにはそばに移ってサンプリングするのがもっとも良いであろう。岩の中に無理矢理入れようとすることは多くの種類の装置に早く簡単に損傷を与えてしまう。

汚染が大気からの沈着を経て土壌にはいったとき、汚染は水平に均一に（少なくとも短い距離にわたって）分布するだろうし、深さとともに濃度は指数関数的減少を示すだろう。意味のある解析的な結果のためにサンプリング方法は再現可能な方法で正確な大きさのサンプルを集めなければならない。

30cm 離れた 5 つの別々のサンプルがまっすぐな線に沿って取られ混合される。各々のサンプルは 2 段階で集められる。第一に地面と同じ高さになるまで金属の輪を土壌に打ち込む。輪の内側の土壌を使い捨てのスプーンで取り除き袋に入れる。次に輪の外側の土壌を取り除き、輪を土壌に再び入れる。輪の内側の土壌を袋に移す。結果としてサンプルは深さ 5cm のすべてを取る。その方法は砂っぽい土壌に大変適している。固い粘土には非実用的である。

明らかに 2 段階でサンプルを得ることは不必要に複雑である。または、この方法の一般的な別法は一段階で 5cm の深さの輪を地面に打ち込むこととサンプルを採取することを必然的に必要とする。

輪を用いた方法の利点は装置が単純で、きれいにしやすく安価であることである。沢山の数のこれ

らの輪を実験室できれいにしビニール袋に入れ、あるいは、アルミホイルで包み野外に持っていくことが出来る。これは野外で装置をきれいにする必要をなくす。

文 献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for the Development of Emergency Response Preparedness for Nuclear or Radiological Accidents, IAEA-TECDOC-953, IAEA, Vienna (1997).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Procedures for Assessment and Response During a Radiological Emergency, IAEA-TECDOC-draft, IAEA, Vienna (1999).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions During a Reactor Accident, IAEA-TECDOC-955, IAEA, Vienna (1997).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, IAEA-INFCICR/336, IAEA, Vienna (1986).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency, Safety Series No. 109, IAEA, Vienna (1994).
- [6] WINKELMANN et al., Results of Radioactivity Measurements in Germany after the Chernobyl Accident, Rep. ISH-99, 1986, Institute of Radiation Hygiene, Federal Health Office, Germany.
- [7] LETTNER, H., ZOMBORI, P., GHODS-ESPHAHANI, A., GIRZIKOWSKY, R., LAROSA, G., SITTE, H., SCHWEIGER, M., WINKELMANN, I., Radiometric Measurements in Selected Settlements in Byelorussia and the Ukraine, *J. Environ. Radioactivity* **17** (1992) 107–113.
- [8] ZOMBORI, P., NÉMETH, I., ANDRÁSI, A., LETTNER, H., In Situ Gamma-Spectrometric Measurement of the Contamination in Some Selected Settlements of Byelorussia (BSSR), Ukraine (UkrSSR) and the Russian Federation (RSFSR), *J. Environ. Radioactivity* **17** (1992) 97–106.
- [9] US DEPARTMENT OF ENERGY, Environmental Measurement Laboratory Procedures Manual, HASL-300 (1992).
- [10] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Gamma-Ray Spectrometry in the Environment, ICRUM Report 53, ICRUM, USA (1994).
- [11] WORLD HEALTH ORGANISATION, Guidelines For Iodine Prophylaxis Following Nuclear Accidents, WHO Regional Officer for Europe, Environmental Health Series 35 (1989).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces, Technical Reports Series No. 120, IAEA, Vienna (1970).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- [14] BECK, H.L., DECAMPO, I., GOGOLAK, C., In Situ Ge(Li) and NaI(Tl) Spectrometry, USAEC HASL-258 (1972).
- [15] DEBERTIN, K., HELMER, R.G., Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, North-Holland, Elsevier (1988).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment: a Guidebook, Technical Reports Series No. 295, IAEA, Vienna (1989).
- [17] GREEN, N., WILKINS, B.T., An Assessment of Rapid Methods of Radionuclide Analysis for Use in the Immediate Aftermath of an Accident, Monitoring and

- Surveillance in Accident Situations (Chadwick, K., Menzel, H., Eds), Rep. EUR 12557 EN, Commission of the European Communities (1993).
- [18] GREEN, N., HAM, G.J., SHAW, S., Recent Advances in Rapid Radiochemical Methods used at NRPB, Radioactivity and Radiochemistry (in press).
- [19] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
- [20] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources, Rep. 39, ICRUM, Bethesda (1985).

Definitions of terms and acronyms used in this document

**accident**

Any unintended event, including operating error, equipment failure or other mishap, the consequences or potential consequences of which are not negligible from the point of view of *protection and safety*.

action level

see *level*

activity

The rate at which atomic disintegrations occur in a radioactive material.

Mathematically:

$$A(t) = \frac{dN}{dt}$$

where dN is the expectation value of the number of spontaneous nuclear transformations from the given energy state in the time interval dt . The SI unit is the reciprocal second, given the special name becquerel (Bq).¹ 1 Bq = 1 disintegration/s
specific activity: The *activity* of a radionuclide per unit mass of a material. This term is preferred for cases where the radionuclide is intrinsically present in the material (e.g. ¹⁴C in organic materials, ²³⁵U in natural uranium), even if the abundance of the radionuclide is artificially changed. If the radionuclide is present only as *contamination* or as a result of artificial activation, then the term *activity concentration* is preferred.

activity concentration

The *activity* of a radionuclide per unit mass (or per unit volume) of a material or per unit surface area. See also *specific activity*.

acute exposure

see *exposure*.

acute dose

Dose received over a short period of time (e.g. days). See also *dose*.

ambient dose rate

See *dose rate*

annual dose

See *dose*.

assessment

The process, and the result, of analysing systematically the hazards associated with *sources* and practices, and associated *protection and safety* measures, aimed at quantifying performance measures for comparison with criteria.

atomic mass number (A)

¹ The curie (Ci), equal to 3.7×10^{10} becquerels is sometimes used as a unit of *activity*.

The sum of the number of protons and neutrons in the atom.

avertable dose

See *dose*.

averted dose

See *dose*.

B

background (radiation)

Ionizing radiation normally present in the region of interest and coming from sources other than that of primary concern.

becquerel

The specific name for the unit of *activity* of a *radionuclide*. See also *activity*.

boundary

site boundary: The boundary of the site area.

C

calibration

A measurement of, or adjustment to, an instrument, component or system to ensure its accuracy or response is acceptable.

cloud shine

Gamma radiation from radioactive materials in an airborne plume.

committed dose

See *dose*.

competent authority

A national *regulatory body* or international regulatory organization.

concentration

See *activity concentration*.

contamination

The presence of radioactive substances or materials on surfaces, or within solids, liquids or gases (including the human body), where they are not intended.

fixed contamination: Contamination other than *non-fixed contamination*.

non-fixed contamination: Contamination that can easily be removed from a surface.

countermeasure

An *intervention* aimed at alleviating the radiological consequences of an *accident*.

These may be *protective actions* or *remedial actions*, and these more specific terms should be used where possible.

D

decontamination

The complete or partial removal of *contamination* by a physical or chemical process.

deposition

The *contamination* found on or within a few cm of the surface of the ground or on the surface of other material.

deterministic effect

A health effect that is certain to occur - with a severity that increases with increasing *dose* - in an individual exposed to a radiation *dose* greater than some threshold *dose*. The level of the threshold *dose* is characteristic of the particular health effect but may also depend, to a limited extent, on the exposed individual. Examples of *deterministic effects* include erythema and radiation sickness. See also *stochastic effect*.

disposal

See *waste disposal*.

dose

A measure of the energy transferred from radiation to a target. Commonly used without qualification when the context makes the qualifier obvious, or as a general term where different qualifiers could equally validly be used. See also *absorbed dose*, *collective dose*, *effective dose*, *equivalent dose* and *organ dose*.

absorbed dose: The energy transferred from radiation to unit mass of the exposed matter, unit J/kg, given the special name gray (Gy)². Mathematically defined as:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

i.e. the mean energy imparted to the matter in a volume element divided by the mass of the volume element. This term is therefore defined at a point; for the average in a tissue or organ, see *organ dose*. See ICRP Publication 60 [1].

annual dose: The *dose* received from *external exposure* in a year plus the *committed dose* from intakes of radionuclides in that year. Therefore this is not, in general, the *dose* actually received in that year.

avertable dose: A prospective estimate of the *averted dose* expected to result if a specified *countermeasure* or set of *countermeasures* were to be applied.

averted dose: A retrospective estimate of the *dose* prevented by the *countermeasure* or set of *countermeasures* applied, i.e. the difference between the *projected dose* if the *countermeasure(s)* had not been applied and the actual *projected dose*.

collective dose: The total *dose* to a defined population. Unless otherwise specified, the time over which the *dose* is integrated is infinite; if a finite upper limit is applied to the time integration, the *collective dose* is described as 'truncated' at that time. The relevant *dose* is normally *effective dose*, and the unit is the man sievert (man·Sv).

committed dose: The *dose* resulting from an intake of radioactive material, integrated over the 50 years after intake, (or integrated to age 70 years for intake as an infant or child). The relevant *dose* may be *absorbed dose*, *effective dose*, *equivalent dose* or *organ dose*, with units Gy or Sv as appropriate.

effective dose: A measure of *dose* designed to reflect the amount of *radiation detriment* likely to result from the *dose*, calculated as the weighted sum (using *tissue weighting factors* w_T) of the *equivalent doses* H_T in the different tissues of the body, i.e.:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

² The rad, equal to 0.01 gray, is sometimes used as a unit of *absorbed dose*.

Values of *effective dose* from any type(s) of radiation and mode(s) of *exposure* can therefore be compared directly. Unit J/kg, given the special name sievert (Sv)³. See ICRP Publication 60 [1].

equivalent dose: A measure of the *dose* to a tissue or organ designed to reflect the amount of harm caused, calculated as the product of the average *absorbed dose* in the tissue or organ and the appropriate *radiation weighting factor*. Values of *equivalent dose* to a specified tissue from any type(s) of radiation can therefore be compared directly. Symbol H_T , unit J/kg, given the special name sievert (Sv). See ICRP Publication 60 [1].

organ dose: The average *absorbed dose* in a tissue or organ, i.e. the total energy imparted in a tissue or organ divided by the mass of the tissue or organ.

projected dose: The *dose* that would be expected to be received if a specified *countermeasure* or set of *countermeasures* — especially no *countermeasures* — were to be taken.

dose coefficient

The *committed effective dose* from intake, by a specified means (usually ingestion or inhalation), of unit *activity* of a specified radionuclide in a specified chemical form. Values are specified in the BSS [13]. Formerly termed dose per unit intake.

dose equivalent

A measure of the *dose* to a tissue or organ designed to reflect the amount of harm caused, calculated as the product of the average *absorbed dose* in the tissue or organ and the appropriate *quality factor*. Superseded by *equivalent dose* (see *dose*) as a primary quantity recommended by ICRP, and in the calculation of *effective dose*. However, the definitions of a number of operational *dose* quantities still refer to this term.

ambient dose equivalent: A directly measurable proxy for *effective dose* for use in *environmental monitoring of external exposure*. Defined by ICRU [2] as the *dose equivalent* that would be produced by the corresponding aligned and expanded field in the ICRU sphere at a depth d on the radius opposing the direction of the aligned field, symbol $H^*(d)$ [2]. The recommended value of d for *strongly penetrating radiation* is 10 mm.

dose rate

A measure of the rate at which energy is transferred from radiation to a target. Commonly used without qualification when the context makes the qualifier obvious, or as a general term where different qualifiers could equally validly be used, e.g. *absorbed dose rate*, *equivalent dose rate*.⁴



effective dose

See *dose*.

effective dose equivalent

See *dose equivalent*.

³ The rem, equal to 0.01 sievert, is sometimes used as a unit of *equivalent dose* and *effective dose*.

⁴ Although *dose rate* could, in principle, be defined over any unit of time (e.g. an *annual dose* is, technically a *dose rate*), in Agency documents the term *dose rate* is used only in the context of short periods of time, e.g. *dose per second* or *dose per hour*.

effective half-life

See *half-life*.

emergency action level

See *level*.

emergency exposure

See *exposure*.

emergency plan

A set of procedures to be implemented in the event of an *accident*.

emergency planning zone

The *off-site* area around an *authorized facility* for which planned *protective actions* are described in the *emergency plan*.

emergency worker

Person performing emergency services.

emergency worker guidance

Total *dose* personnel should make every attempt not to exceed while performing emergency services.

environmental monitoring

See *monitoring*.

equivalent dose

See *dose*.

evacuation

The removal of persons from locations where *projected doses* are high, as an immediate *protective action* in an emergency *intervention* situation.

exposure

The act or condition of being subject to irradiation.⁵

acute exposure: A descriptive term for *exposure* occurring within a defined (short) period of time.

emergency exposure: *Exposure* received during an emergency situation. This may include unplanned *exposures* resulting directly from the emergency and planned *exposures* to persons undertaking actions to mitigate the emergency.

external exposure: *Exposure* from a *source* outside the body.

internal exposure: *Exposure* from a *source* inside the body.

occupational exposure: All *exposures* of *workers* incurred in the course of their work, with the exception of *excluded exposures* and *exposures* from *exempt practices* or *exempt sources*.

potential exposure: *Exposure* that is not certain to occur but that may result from an event or sequence of events of a *probabilistic* nature, including *accidents* and events influencing the integrity of a *waste repository*.

⁵ The term *exposure* is also used in radiodosimetry to express the amount of ionization produced in air by ionizing radiation.

public exposure: *Exposure incurred by members of the public from radiation sources, excluding any occupational or medical exposure and the normal local natural background radiation but including exposure from authorized sources and practices and from intervention situations.*

exposure pathway

The routes by which radioactive material can reach or irradiate humans.

external exposure

See *exposure*.

F

fixed contamination

See *contamination*.

G

generic intervention level (GIL)

The generic level of *avertable dose* at which specific *protective action* or remedial action is taken in an *emergency exposure* situation or a *chronic exposure* situation. Values are specified in the BSS [13].

generic action level (GAL)

The level of *activity concentration* above which remedial actions or protective actions should be carried out in chronic exposure or emergency exposure situations.

gray

The name for the unit of absorbed *dose*; see also *dose*.

ground shine

Gamma radiation from radioactive materials deposited on the ground.

guidance level

See *level*.

H

half-life

The time taken for the *activity* of a radionuclide to halve as a result of radioactive decay. Also used with qualifiers to indicate the time taken for the quantity of a specified material (e.g. a radionuclide) in a specified place to halve as a result of any specified process or processes that follow similar exponential patterns to radioactive decay.

biological half-life: The time taken for the quantity of a material in a specified tissue, organ or region of the body (or any other specified biota) to halve as a result of biological processes.

effective half-life: The time taken for the *activity* of a radionuclide in a specified place to halve as a result of all relevant processes.

hot spot

Localized areas where *dose rates* or *contamination* as a result of *deposition* are much higher than in the surroundings.

I

immersion

To be surrounded or engulfed by the radioactive cloud.

individual monitoring

See *monitoring*.

inhalation dose

Committed dose resulting from inhalation of radioactive materials and subsequent deposition of these *radionuclides* in body tissues.

internal exposure

See *exposure*.

intervention

Any action intended to reduce or avert *exposure* or the likelihood of *exposure* to *sources* which are not part of an authorized practice (or an exempt practice), or which are out of control as a consequence of an *accident*.

intervention level

See *level*.

isotope

Nuclide of a particular element that contain the same number of protons but different number of neutrons.

marker isotope: An isotope contained in deposition or sample that is easily identified in the field or laboratory. It is used to determine areas of concern before performing a comprehensive isotopic analysis.

L

level

action level: In general, the value of a specified measurable quantity above which a specified action will be taken. Most commonly used to mean a level of *dose rate* or *activity concentration* above which *remedial actions* or *protective actions* should be carried out in *chronic exposure* or *emergency exposure* situations.

guidance level: A level of a specified quantity above which appropriate actions should be considered. In some circumstances, actions may need to be considered when the specified quantity is substantially below the guidance level.

intervention level: The level of *avertable dose* at or above which a specific *protective action* or *remedial action* is taken in an *emergency exposure* or *chronic exposure* situation.

operational intervention level: A calculated value (e.g. *ambient dose rate* or *activity concentration*) measured by instruments or determined by laboratory analysis that correspond to a *GIL* or *GAL*.

limit

The value of a quantity that must not be exceeded.

dose limit: A *limit* on the total *annual effective dose* to an individual (or the average *annual effective dose* over a specified number of years) or the *annual equivalent dose* to a tissue or organ from specified *sources*. The BSS [13] specify dose limits for *workers* and *members of the public*.

M

member of the public

In a general sense, any individual in the population except when subject to *occupational exposure* or *medical exposure*. For the purpose of verifying compliance with the annual *dose limit* for *public exposure*, the representative individual in the relevant critical group.

monitoring

The measurement of radiological or other parameters for reasons related to the *assessment* or control of *exposure*, and the interpretation of such measurements. Also used in nuclear safety for the periodic or continuous determination of the status of a system.

environmental monitoring: *Monitoring* in which the parameters measured relate to characterizing an environment allowing the possible *exposure* in that environment to be estimated.

individual monitoring: *Monitoring* in which the parameters measured relate to the *exposure* that a specific individual (most commonly a *worker*) is receiving.



natural exposure

See *exposure*.

non-fixed contamination

See *contamination*.

nuclear installation

A nuclear fuel fabrication plant, nuclear reactor (including subcritical and critical assemblies), research reactor, nuclear power plant, spent fuel storage facility, enrichment plant or reprocessing facility.

nuclide

Any *isotope* of an atom, a nuclear species.



occupational exposure

See *exposure*.

off-site

The area outside the *site boundary*.

on-site

The area within the *site boundary*.

operational intervention level (OIL)

See *level*.



plume (atmospheric)

The airbourne “cloud” of material released to the environment, which may contain radioactive materials and may or may not be invisible.

projected dose

See *dose*.

protection

radiation protection or **radiological protection**: Used in two slightly different ways. For the more general usage — protection against radiological hazards — see *protection and safety*. The term *radiation protection* is also often used in the context of operating *nuclear installations* to refer specifically to those measures related to the control of *occupational exposure*, as distinct from prevention and mitigation of *accidents*, the control of discharges or waste management.

protection and safety

The protection of people against *exposure* to ionizing radiation or radioactive materials and the safety of radiation *sources*, including the means for achieving this, and the means for preventing *accidents* and for mitigating the consequences of *accidents* should they occur.

protective action

An *intervention* intended to avoid or reduce *doses* to *members of the public* in *chronic exposure* or *emergency exposure* situations. See also *remedial action*. Also used in nuclear safety, for a protection system action calling for the operation of a particular safety actuation device.

Q

quality assurance

All those planned and systematic actions necessary to provide adequate confidence that an item or service will satisfy given requirements for quality.

quality factor

A number by which the *absorbed dose* in a tissue or organ was multiplied to reflect the *relative biological effectiveness* of the radiation, the result being the *dose equivalent*. Superseded by *radiation weighting factor* in the definition of *equivalent dose* by ICRP, but still defined, as a function of *linear energy transfer*, for use in calculating the *dose equivalent* quantities used in *monitoring*.

R

radiation weighting factor

A number by which the *absorbed dose* in a tissue or organ is multiplied to reflect the *relative biological effectiveness* of the radiation in inducing *stochastic effects* at low *doses*, the result being the *equivalent dose*. Values are specified by ICRP as a function of unrestricted *linear energy transfer*. See also *quality factor*.

radiation protection; radiological protection

See *protection*.

radioactive half-life

See *half-life*.

radioactive decay

Transformation of unstable isotopes into a more stable form, accompanied by the emission of particles and/or gamma rays.

radioiodine

One or more of the radioactive isotopes of iodine.

radionuclide

A nucleus (of an atom) that possesses properties of spontaneous disintegration (radioactivity). Nuclei are distinguished by both their mass and atomic number.

relocation

The removal of *members of the public* from their homes for an extended period of time, as a *protective action* in a *chronic exposure* situation.

remedial action

Action taken to reduce *exposures* that might otherwise be received, in an *intervention* situation involving *chronic exposure*. Actions applied to people in any type of situation would normally be considered *protective actions* rather than *remedial actions*. See also *protective action*.

S**sealed source**

See *source*.

sheltering

A *protective action* whereby *members of the public* are advised to stay indoors with windows and doors closed, intended to reduce their *exposure* in an *emergency exposure* situation.

site boundary

See *boundary*.

sievert

The name for the unit of *equivalent dose*. See also *dose*.

source

Anything that may cause radiation *exposure* - such as by emitting ionizing radiation or by releasing radioactive substances or materials - and can be treated as a single entity for *protection and safety* purposes. For example, materials emitting *radon* are *sources* in the environment, a sterilization gamma irradiation unit is a *source* for the *practice* of radiation preservation of food, an X ray unit may be a *source* for the *practice* of radiodiagnosis; a *nuclear power plant* is part of the *practice* of generating electricity by nuclear fission, and may be regarded as a *source* (e.g. with respect to *discharges* to the environment) or as a collection of *sources* (e.g. for occupational *radiation protection* purposes). In common usage, the term *source* (and particularly *sealed source*) tends to carry the connotation of a fairly small intense radiation source, such as might be used for medical applications or in industrial instruments.

natural source: A naturally occurring *source* of radiation, such as the sun and stars (*sources* of cosmic radiation) and rocks and soil (terrestrial *sources* of radiation).

sealed source: Radioactive material that is (a) permanently sealed in a capsule, or (b) closely bounded and in a solid form. The term *special form radioactive material*, used in the context of *transport* of radioactive materials, has a very similar meaning.

unsealed source: Any *source* that does not meet the definition of a *sealed source*.

source term

An expression used to denote information about the actual or potential release of radioactive material from a given *source*, most commonly in the case of an *accident*. This may include information about the radionuclides present, and the composition, quantity, rate and mode of release of the material.

stable iodine

Iodine which is comprised of only non-radioactive isotopes of iodine. See also *thyroid blocking agent*.

stochastic effect

A health effect, the probability of occurrence of which is greater for a higher radiation *dose* and the severity of which (if it occurs) is independent of *dose*. *Stochastic effects* may be somatic effects or hereditary effects, and generally occur without a threshold level of *dose*. Examples include cancer and leukaemia. See also *deterministic effect*.

survey

radiological survey: An evaluation of the radiological conditions and potential hazards associated with the production, use, transfer, release, disposal, or presence of radioactive material or other *sources* of radiation.

**thyroid blocking agent**

A substance which prevents or reduces the uptake of radioactive iodine by the thyroid. Usually stable potassium iodide (KI) is taken orally for this purpose.

tissue weighting factor

Numbers by which the *equivalent dose* to tissues or organs are multiplied to account for their different sensitivities to the induction of *stochastic effects* of radiation. Values for use in the calculation of *effective dose* are specified by ICRP [1].

turn back guidance

An integrated dose reading on a self reading dosimeter indicating that an emergency worker dose guidance has been exceeded and that the emergency worker should leave the areas where further significant dose is possible.

**waste disposal**

The emplacement of *radioactive waste* in an appropriate facility with no intention of retrieving it.

記 号

Symbol	Unit	Description
A	Bq MBq	activity; activity of the source, radionuclide activity; subscripts specify the radionuclides; sometimes A_s is used for surface activity concentration
C	Bq/m ³ Bq/L Bq/kg Bq/m ²	activity concentration; concentration of radionuclide(s) in samples or on surfaces; subscripts specify either specific radionuclide or group of radionuclides e.g. G specify gross α or β ; superscripts specify type of emitted radiation e.g. α , β or γ ; bar over C means average concentration or best estimate; for surface activity concentration A_s is used sometimes
C_f	cps/(Bq/m ²) cps/(Bq/m ³) cps/(Bq/kg)	detector calibration factor at energy E
d	m cm	distance; subscripts specify distances; sometimes letters r, x or y are also used for a distance
D	μ Sv/h mSv/h	dose rate
E	keV MeV	energy; subscripts specify either type of radiation (α , β , γ) or one value in a specified set of energies; superscript <i>max</i> stands for maximum value
F_α	-	alpha cross talk factor/the ratio of alpha counted at the beta voltage/alpha counted at the alpha voltage
f_Y	-	build up factor for Y-90
f'_Y	-	decay factor for Y-90
h	m	altitude above ground
N	-	number of counts; subscripts specify those counts: b – background counts, s – calibration source counts, i – one value in a specified set
n	s ⁻¹ cps	net count rate; subscripts specify the net count rate for example n_α denotes net alpha count rate
R	s ⁻¹ cps	count rate; subscripts specify count rates from different measurements
R_o/ϕ	cm ²	detector response factor
R_f/R_o	-	detector angular correction factor
p	-	emission (transition) probability for a specified type of radiation at energy E; subscripts specify the type of radiation: α , β , γ or r in general; sometimes letter p is used for peak position in the spectrum
q	-	filter efficiency
Q	kg m ³ L	sample quantity
SF	-	shielding factor
$T_{1/2}$	h, days, years	radionuclide half-life
t	s	time; measuring or counting time (live time); subscripts specify time: b – background counting time, c - or s – calibration or standard source counting time; i – sample counting time (in a set of samples), v – sampling time
V	m ³	volume

Symbol	Unit	Description
ε	($\mu\text{Sv/h}$)/MBq cps/MBq	detector efficiency for the given energy E; monitor efficiency, counting efficiency; subscripts specify types of efficiency
η	-	chemical yield (of radiochemical separation)
σ	-	uncertainty; standard deviation
ϕ/A_s	-	detector geometrical factor
Φ	$\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$ Bq/ cm^2	flux density
μ	m^{-1} cm^{-1}	linear attenuation coefficient for gamma rays at energy E; subscripts specify different media for example a – for air

略 語

cpm	counts per minute
cps	counts per second
CS	contour search
EWG	emergency worker turn back dose guidance
FOM	figure of merit
GAL	generic action level
GIL	generic intervention level
GM	Geiger-Muller
GPS	global positioning system
HPGe	high purity germanium
LS	line search
LSC	liquid scintillation counter
MDA	minimum detectable activity
OIL	operational intervention levels
PS	penetration search
PT	parallel track search
PTFE	polytetrafluoroethylene
ROI	region of interest
QA	quality assurance
QC	quality control
QFE	quartz fibre electrometer
TEDA	triethylenediamine
TLD	thermoluminescence dosimeter
WC	window closed
WO	window open

CONSULTANTS MEETING
Vienna
22–26 September, 1997

- Martinčič, R. J. Stefan Institute, Slovenia
(*Scientific Secretary*)
- Poyarkov, V. European Center of Technology Safety, Ukraine
- Pucelj, B. J. Stefan Institute, Slovenia
- Zombori, P. KFKI Atomic Energy Research Institute,
Hungarian Academy of Science, Hungary
- Woods, D. Radiation Protection Services,
Australian Nuclear Science and Technology Organization, Australia

CONSULTANTS MEETING
Vienna
8–12 December, 1997

- Dempsey, G.D. Radiation Indoor Environments National Laboratory,
US Environmental Protection Agency (EPA), United States of America
- Green, N. National Radiological Protection Board, United Kingdom
- Martinčič, R. J. Stefan Institute, Slovenia
(*Scientific Secretary*)
- Zombori, P. KFKI Atomic Energy Research Institute,
Hungarian Academy of Science, Hungary
- Winkelmann, I. Federal Office of Radiation Protection, Germany
- Woods, D. Radiation Protection Services,
Australian Nuclear Science and Technology Organization, Australia

CONSULTANTS MEETING
Vienna
8–20 March, 1998

- Martinčič, R. J. Stefan Institute, Slovenia
(*Scientific Secretary*)
- Poyarkov, V. European Center of Technology Safety, Ukraine
(Second week)

Schelenz, R. Jägerweg 41,
(Second week) Bad Herrenalb, Germany

Zombori, P. KFKI Atomic Energy Research Institute,
Hungarian Academy of Science, Hungary

Winkelmann, I. Federal Office of Radiation Protection, Germany

Woods, D. Radiation Protection Services,
(First week) Australian Nuclear Science and Technology Organization, Australia

CONSULTANTS MEETING
Vienna
11–15 January, 1999

Green, N. National Radiological Protection Board, United Kingdom

Martinčič, R. J. Stefan Institute, Slovenia
(*Scientific Secretary*)

Puchta, H. European Commission, XI, Luxembourg

CONSULTANTS MEETING
Vienna
10–14 May, 1999

Martinčič, R. J. Stefan Institute, Slovenia
(*Scientific Secretary*)

COMMENTS RECEIVED

March 1998 to January 1999

Amundsen, I.	Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås, Norway
Beetz, J.	Landesumweltamt Bradenburg, Neuedorf am See, Germany
Breznik, B.	NPP Krško, Krško, Slovenia
Burgess, P.H.	National Radiation Protection Board, Chilton, Didcot, United Kingdom
Burns, K.	International Atomic Energy Agency Laboratories, Austria
Cooper, M.	Australian Radiation Laboratory, Yallambie, Victoria, Australia
Crick, M.	International Atomic Energy Agency, Austria
Cruz Suárez, R.	International Atomic Energy Agency, Austria
Diamond, V.	Nuclear Safety Bureau, Miranda, Australia
Fry, F.A.	National Radiation Protection Board, Chilton, Didcot, United Kingdom
Holland, B.	Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Menai, Australia
Hurley, B.	US Department of Energy, Las Vegas, Nevada, United States of America
Lee, D-M.	KINS, Republic of Korea
McKenna, T.	US Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Murith, C.	Swiss Federal Office for Public Health, Fribourg, Switzerland
Nandakumar, A.N.	Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India
Nogueira de Oliveira, C.	International Atomic Energy Agency, Austria
Pryke, D.	Joint Food Safety and Standards Group, MAFF, London, United Kingdom
Raghavendran, C.P.	Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India
Sinclair, M.C.	State of Illinois Department of Nuclear Safety, Springfield, Illinois, United States of America
Solomon, S.	Australian Radiation Laboratory, Yallambie, Victoria, Australia
Wernli, C.	Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland
Wrixon, A.	International Atomic Energy Agency, Austria
Youngman, M.	National Radiation Protection Board, Chilton, Didcot, United Kingdom

索引

A

accident	
area.....	48, 73, 76, 80, 84
medium to large scale	16
nuclear, reactor.....	12, 17, 63, 93, 102, 104, 108, 132, 266
radiological	11, 108
small scale.....	14
adsorption efficiency	143
air sampler	22, 94, 113, 114, 117

B

background	
count rate.....	69, 72, 78, 115, 136, 184, 197
counting time	115, 162, 164, 165, 168, 169, 171
measurement	31, 141, 187
natural	67
of instrument.....	27, 95
sample	159, 165, 166, 172
spectrum.....	141, 184
suppression.....	78

C

calibration	
accuracy	56, 67, 127, 140
certificate	35
efficiency	140, 146, 147, 149, 153, 154, 185
energy.....	64, 66, 133, 140, 141, 144, 185, 187
factor	22, 95, 130, 138
of spectrometer.....	138, 151, 152
rapid	138, 151
source	117, 118, 119, 121, 122, 146
standard.....	30, 117, 118, 119, 120, 146, 159, 162
collection efficiency	269
contamination	
air	22
check	39, 41, 43, 44, 54, 95, 98, 101, 103, 105, 107, 109, 131
control of.....	48, 73, 80, 84
cross	55, 99, 115, 154, 155, 271, 273
ground.....	28, 41, 55, 96, 127
level.....	22, 83, 275
personal.....	18, 54, 73, 80, 84, 108, 154
removable.....	49, 53
skin and clothing.....	73, 80, 88
soil.....	59, 63
spread of.....	18, 21, 54, 83
surface.....	17, 22, 23, 49, 52, 55, 64, 80, 82, 84, 93, 99, 104, 106, 127
survey.....	27, 28, 43
counting efficiency	115, 120, 136, 146, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170, 171, 172

D

decontamination	
efficiency of.....	18, 54
personal.....	84, 85
surface.....	18
deposition	
dry	22

from the plume	16, 42, 104, 277
ground	16, 93, 99
wet	22, 96, 104
detector	
calibration	60, 63, 64, 66, 131, 132, 136
efficiency	56, 66, 67, 69, 71, 113, 127, 129, 132, 134, 140, 142, 159
Geiger-Muller	21, 25, 28, 66, 70, 269
high purity Ge	23, 25, 28, 55, 56, 63, 93, 127, 128, 130, 132, 134, 135, 137, 138, 141, 148, 257, 306
ionisation chamber	21, 70
liquid scintillation counter	24, 159
NaI(Tl)	23, 28, 39, 55, 56, 66, 67, 78, 127, 130, 141, 145, 148, 306
proportional counter	21, 24, 25, 28, 66, 70, 117, 119, 122, 123, 269
dose	
emergency worker turn back guidance	37, 40, 45, 49, 56, 67, 73, 87, 88, 89, 93, 96, 104, 106, 128
estimate	23, 84
external	28, 88
inhalation	88
integrated	76
limit	75
personal	73, 76, 88
total	28, 73, 88
dose rate	
ambient	16, 23, 37, 38, 40, 41, 43, 45, 49, 75, 76, 95, 97, 100, 101, 105, 107, 205, 266
external	18
gamma	46
gamma/beta	93, 96
neutron	19
dosimeter	
direct reading	23, 73, 75, 76
film badge	23, 73
QFE	23, 76
TLD	23, 43, 73, 276
dosimetry	
environmental	42
personal	75, 76, 77
service	23
E	
efficiency calibration	146
efficiency curve	138, 148, 151
emergency	
communication	17
planning for	66, 266
preparedness for	152
radiological	102, 138, 151, 152, 195
worker	28, 37, 73, 75, 85, 87, 88
evaluation	96
field monitoring data	205
for in-situ	136
manual	143
method	61
on-line	127
procedure	56
programme	59, 142
radionuclide concentration data	206
F	
filter collection efficiency	206
filter efficiency	115

G

GPS.....	17, 251
guidance	
personal decontamination	85
personal protection.....	87
turn back	17, 28, 37, 40, 45, 49, 56, 67, 73, 87, 88, 89, 93, 96, 104, 106, 128

I

inhalation hazard.....	17, 93, 96, 99, 104, 106
instrumentation	
air sampler.....	22
analytical equipment	24
beta counting shield	23
contamination monitors.....	21
in-situ gamma spectrometers	22
personal dosimeters.....	23
radiation monitoring equipment.....	19

L

laboratory	
analysis.....	51, 93, 104, 106, 132
equipment.....	24, 113
mobile	24, 25, 27

M

measurement	
aerial.....	27, 28, 55
airbourne gamma spectrometry.....	56
ambient dose rate	16, 95, 97
americium/curium analysis	195
background.....	31, 141, 187
field	30, 31, 138
in-situ	127, 132, 133, 138
in-situ gamma.....	27, 40, 63, 127, 132, 138
radiochemical analysis	26, 27, 30, 269
strontium analysis	189, 190
surface contamination	18
thyroid.....	73
tritium analysis.....	159
mobile laboratory	
performing analyses	26
sample preparation	27
monitoring	
aerial.....	28, 45, 64, 66, 67
airial	67, 68
alpha.....	21, 81
beta+gamma contamination	21
contamination.....	18, 21, 51, 80
environmental	17, 42
equipment.....	19
in emergency.....	23
organization	11
personal	84
personal contamination	80
programme	11, 12
radiation instruments.....	18
response	12
route	40
surface.....	50, 53

O

OIL 11, 26, 37, 127, 266

P

photo peak efficiency 143
plume survey 37
protective action 17, 24, 28, 45, 49, 55, 66, 84, 266
 guidance 28
 thyroid blocking 37, 38, 41, 42, 46, 50, 88, 94, 97, 100, 103, 105, 107

Q

QA and QC
 field measurement 29
 instrumental analyses 30
quality control check 29, 30, 31, 35, 36, 78, 80, 84, 122, 152, 153, 172, 196

R

radioiodine uptake 73, 78
radiological hazard 35, 108, 154
radionuclide
 composition 40, 93, 127
 concentration 28, 60, 96, 131, 132, 140, 142, 143, 151, 154, 206, 207, 271
 deposition 22, 93, 128
 distribution 132, 134
 half-life 60, 71, 138, 142, 143, 150, 152, 169, 252, 270
 library 130, 143
 marker 93, 266

S

sample
 air 18, 88, 93, 94, 95, 113, 114, 115, 117, 122
 analysis 17, 18, 146, 151, 163, 266
 background 159, 165, 166, 172
 blind 166, 172
 changer 25, 160
 environmental 26, 132, 154
 field 154, 155
 ground 28, 55
 high activity 26, 141
 laboratory 154, 155, 156
 matrices 146, 173, 183, 188, 195
 pasture 106
 precipitation 101
 preparation 18, 24, 25, 26, 27, 31, 123, 149, 154, 166, 173, 177, 180, 188, 189, 190, 191
 representative 271
 sediment 109
 smear 53
 soil 27, 95, 97, 98, 127, 207, 276
 vegetation 30, 97, 104, 155
 voluminous 149, 151
 water 25, 29, 100, 101, 113, 114, 119, 159, 206, 271, 273
sampling
 air 39, 94, 95, 113, 117, 268, 269
 drinking water 101
 environmental 18, 24
 equipment 95, 97, 101
 field 22
 ground 28, 55
 human food 104
 in-plume air 16

milk	102
pasture	106
programme	11, 12
protocol	24, 269
sediment	108
simple random	275
soil	16, 93, 96, 276
strategy	24, 268
stratified	275
sufficiency of	276
surface	276
surface water	100
systematic	275
water	99, 100
smear efficiency	53
source	
for calibration	117, 118, 119, 121, 122, 146
for checking	35, 36
lost	14, 24, 44
point	60, 63, 64, 72, 133, 136, 138, 141, 144, 152
reference	66, 71, 134, 149
spectrometer	
airbourne gamma	56, 57, 63
alpha	187, 188, 196
gamma	18, 24, 25, 56, 63, 64, 127, 138, 140, 144, 146, 151, 270
scintillation	127, 130
spectrum	
background	141, 184
peak	23, 127, 128, 132
shape distortion	143
staff qualification	
Air Sampling Team	18
Emergency Manager	17
Environmental Analyst - Radiological Assessor	17
Environmental and Ingestion Sampling Team	18
Environmental Survey Team	18
In-situ Gamma Spectrometry Team	18
Isotopic Analysis Team	18
Personal Monitoring and Decontamination Team	18
Protective Action Manager	17
Sample Analyst	17
survey	
aerial	18, 40, 63
contamination	27, 28, 43
follow-up	85
thyroid	78