

放射能測定法シリーズ

No.15

緊急時における放射性ヨウ素測定法

改訂案

目 次

第 1 章 序 論	3
第 2 章 環境試料の採取・測定試料の調製	5
2.1 試料種類	5
2.2 試料の採取・測定試料の調製	7
2.2.1 大気	7
2.2.2 飲料水	14
2.2.3 土壌	18
2.2.4 各種食品試料（牛乳、葉菜、 その他 農畜水産物等）	21
2.2.5 降下物（雨水）	25
第 3 章 ゲルマニウム半導体検出器による測定	27
3.1 機器の調整及び校正	27
3.2 核データ	31
3.3 測定・解析	33
3.4 データ評価	40
参考	43
参考 A ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリーに関する検討	45
A-1 測定時間と検出下限値	45
A-2 活性炭カートリッジの吸引位置と計数効率について	49
A-3 I-132 のサムピークについて	50
参考 B in-situ 測定	54
参考 C 連続モニタによる放射性ヨウ素の測定	58
参考 D 福島第一原子力発電所事故時における放射性ヨウ素の検出事例	59
参考 E ヨウ素同位体比を用いた I-131 放射能濃度の推定	60
付録	65
付録 A 用語	67
付録 B 参考文献	70

第 1 章 序 論

原子力施設等で異常事態が発生し、放射性ヨウ素が施設外へ大量に放出されたとき、またはその恐れがあるときに、施設周辺における環境試料中の放射性ヨウ素濃度を推定・評価するための迅速測定法として「緊急時における放射性ヨウ素測定法」（昭和52年、科学技術庁）が定められた。その後、測定機器等の改良や単位の変更、さらに防災指針（「原子力施設等の防災対策について」（昭和55年6月、原子力安全委員会決定、平成13年6月改訂））における飲食物摂取制限に関する指標の改訂が行われたことに伴い、これらの事項に対応するため平成14年に改訂が行われた。

平成14年の改訂では、採取試料のスクリーニングを目的として、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いて採取現場で簡易測定（現場測定）を行い、スクリーニングにより選択された試料をモニタリングセンター等の分析所に持ち帰り、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、より精度の高い測定（分析所測定）を行うこととした。また、試料種類として吸入被ばくや摂取制限等を考慮して、大気、飲料水、牛乳及び葉菜の4種類のみとしていた。

しかしながら、平成23年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故（以下「福島第一原発事故」という）を契機に、原子力災害対策指針（原子力規制委員会、令和4年7月6日一部改正）¹⁾が平成24年10月に制定され、これに基づいて緊急時モニタリングが実施されることとなった。現場測定の実施は、福島第一原発事故時の緊急時モニタリングにおいて、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータの校正にI-131標準溶液を用いる必要がある等、準備に時間を要するため、実際に行われることはなく、その後策定された、緊急時モニタリングの内容を定めた「緊急時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）」（原子力規制庁監視情報課、令和3年12月21日一部改訂）²⁾（以下「緊急時補足参考資料」という）に記載されていない。

上記を踏まえ、本測定法の改訂にあたっては、緊急時補足参考資料の記載に沿った緊急時モニタリングを実施するための内容に見直した。

今回の改訂の主な変更点を以下に示す。

- ・測定対象核種については、ゲルマニウム半導体検出器での測定においても「I-131のみを評価する」としていたが、福島第一原発事故の際にはI-132及びI-133についても観測され、緊急時補足参考資料の対象核種としても記載されていることから、I-131と同時に評価することができるI-132及びI-133も記載することとした。
- ・試料種類については、吸入・摂取による内部被ばくを考慮して、大気、飲料水、葉菜及び牛乳としていたが、放出の広がりや影響範囲の把握を目的として測定する土壌及び降下物（雨水）等についても記載した。
- ・試料種類に優先度の設定がなかったが、緊急時における初期モニタリングでは事態の進展とともに、大気、飲料水及び土壌の採取を優先的に行うこととなっているため、優先度を明確に記載した。
- ・大気の採取においては可搬型のアサンプラのみの記載であったが、緊急時補足参考資料において設置が規定されていて、遠隔操作による自動採取が可能なオートサンプルチ

エンジャー付きヨウ素サンプラ及び大気モニタを記載した。

- NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる現場測定については、ゲルマニウム半導体検出器による分析所測定を実施するか否かを判断するためのスクリーニングを目的として記載されていたが、福島第一原発事故の際には準備に時間を要するために実施されなかったことや、緊急時における長時間の試料採取等の屋外作業は作業員の被ばくの恐れや機器の汚染等の懸念があること、現行の緊急時補足参考資料では採用されていないことから、採取した試料は持ち帰ってゲルマニウム半導体検出器で測定することを基本として、削除した。
- 大気中のゲルマニウム半導体検出器による測定では、粒子状のヨウ素を捕集したガラス繊維ろ紙とガス状のヨウ素を捕集した活性炭カートリッジを合わせて測定試料とする記載のみであったが、緊急時補足参考資料ではガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジを分けて測定し、粒子状ヨウ素とガス状ヨウ素の比率を確認することとなっているため、分けて測定する方法を主として記載した。なお、緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器のマシントイムのひっ迫等を考慮し、合わせて測定する方法も併記した。

本測定法の構成は、第1章に序論、第2章として試料の採取からゲルマニウム半導体検出器による測定のための試料調製方法を試料種類ごとに記載し、第3章としてゲルマニウム半導体検出器による測定について記載した。また、参考として、ゲルマニウム半導体検出器による測定・解析に関する検討、福島第一原発事故時における放射性ヨウ素の検出事例やヨウ素同位体比を用いたI-131放射能濃度の推定等について記載した。

なお、本測定法では放射性ヨウ素の採取・測定についての一連の手順を記載しているが、各操作に関する詳細については、以下の放射能測定法シリーズを参照されたい。

・ 試料採取：

No. 16 「環境試料採取法」³⁾

No. 35 「緊急時における環境試料採取法」⁴⁾

No. 36 「大気中放射性物質測定法」⁵⁾

・ ゲルマニウム半導体検出器による測定試料の調製：

No. 24 「緊急時におけるγ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」⁶⁾

・ ゲルマニウム半導体検出器による測定：

No. 7 「ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー」⁷⁾

No. 29 「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトル解析法」⁸⁾

第 2 章 環境試料の採取・測定試料の調製

2.1 試料種類

緊急時における初期モニタリングは、事態の進展状況により、警戒事態、施設敷地緊急事態、全面緊急事態（大気環境への放射性物質の放出前、放出中、放出後）の各フェーズに分けられる。各フェーズで実施されるモニタリングの目的は、原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集、OIL*に基づく防護措置の実施の判断材料の提供及び原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供である。

初期モニタリングの流れは図 2-1 のとおりであり、まず施設敷地緊急事態において大気中放射性ヨウ素の測定が指示され（警戒事態ではその準備）、以後は継続してモニタリングが行われる。その後、全面緊急事態で放射性物質の環境への放出が始まった際には飲料水の採取・分析が行われることとなる。環境中への放射性物質の放出後には、飲料水の他に、土壌やその地域で生産された飲食物の採取・分析が行われる。土壌の採取・分析は、放射性物質の広がりを確認するために行われる。

緊急時における初期モニタリングの実施内容から、大気、飲料水及び土壌の優先度が高い。さらに、緊急時補足参考資料では他の環境試料についても採取することとしており、各種食品試料（牛乳、葉菜、その他農畜水産物等）についても記載した。

なお、降下物（雨水）については、原子力関係事象が発生した際に内閣に設置される放射能対策連絡会議等によりモニタリングの強化が指示された際には、全国の自治体や関係機関において採取した試料をγ線スペクトロメトリーにより測定を行うこととされていることから、本測定法においても記載することとした。

*OIL：Operational Intervention Level の略称で、空間放射線量率や環境試料中の放射性物質濃度等の計測可能な値で表される運用上の介入レベル。

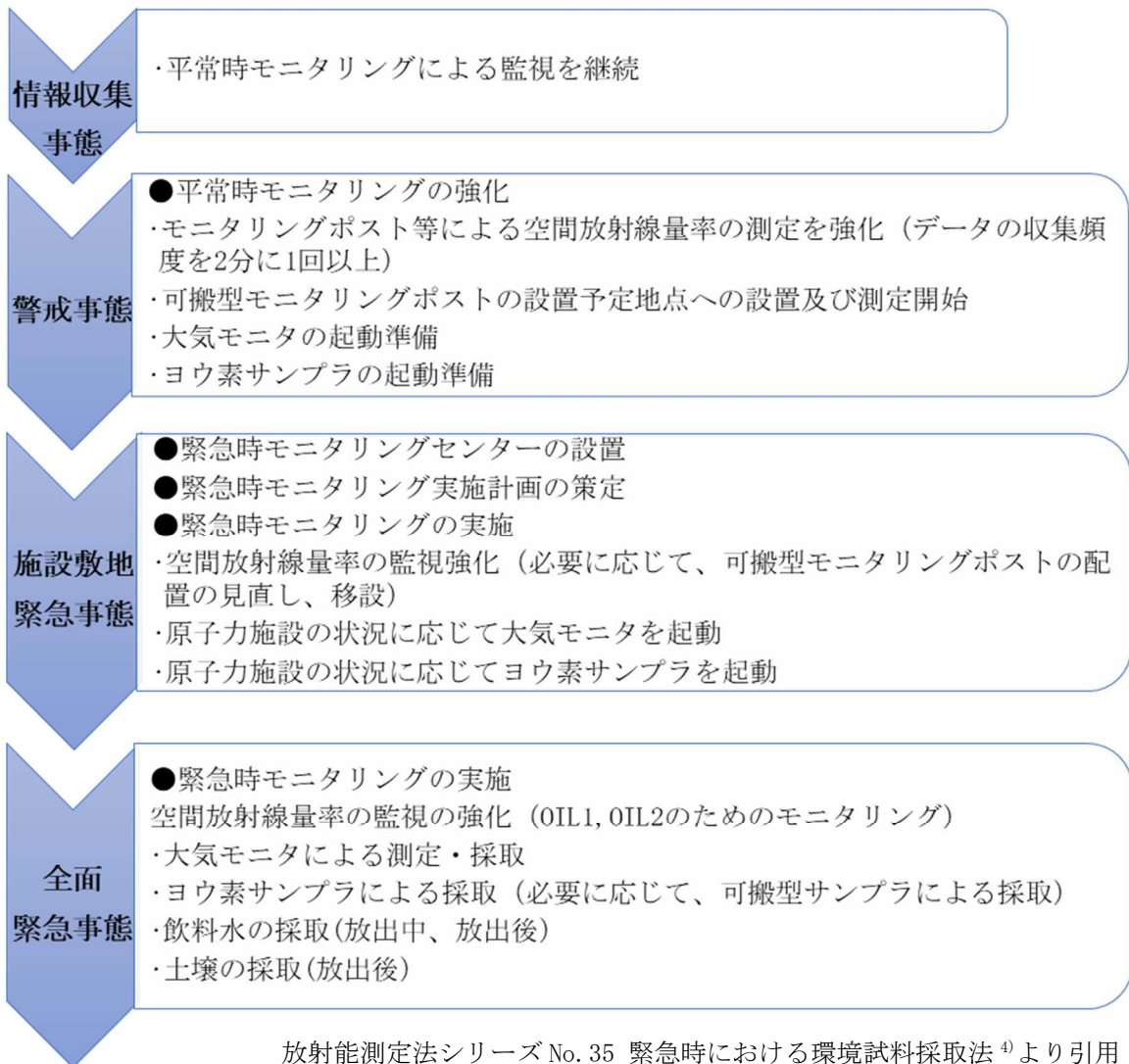


図 2-1 【初期モニタリングの流れ】

2.2 試料の採取・測定試料の調製

各種試料について、試料採取から γ 線スペクトロメトリーのための測定試料の調製までの手順を示す。なお、詳細は、試料採取については放射能測定法シリーズ No. 35「緊急時における環境試料採取法」⁴⁾や No. 36「大気中放射性物質測定法」⁵⁾を、測定試料の調製については No. 24「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」⁶⁾を参照のこと。

試料の採取・測定試料の調製方法と合わせて、測定後の試料の保存方法についても記載した。なお、短期間の保存については再測定等に備えた一時的なものであるが、長期間の保存については放射性ヨウ素の半減期が短い (I-131 の半減期 : 8.0 日等) ことから、減衰して検出されなくなるため、他の放射性核種の分析に用いる等の目的となる。さらに、大気や土壌では、短半減期の放射性ヨウ素が減衰した後に I-129 (半減期 : 約 1600 万年) を分析することにより I-131 放射能濃度を推定する手法が開発されている (参考 E 参照)。

2.2.1 大気

大気中の放射性ヨウ素濃度を測定する主な目的は、原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集及び原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供である。大気の採取は、大きく分けて遠隔による自動採取が可能な固定型 (大気モニタ、オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ) と任意の場所で採取可能な可搬型のサンプラによる採取の2つに区分される。

なお、大気中に放出される放射性ヨウ素は粒子状成分とガス状成分が存在する⁹⁾。そのため大気の採取においては、ガラス繊維ろ紙では粒子状成分を捕集し、活性炭カートリッジではガス状成分を捕集する¹⁰⁾。大気モニタにおいてろ紙 (ガラス繊維ろ紙等) のみで大気を採取する場合には、粒子状成分のみの評価となる点に注意が必要である。

2.2.1.1 オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラによる大気の採取

大気中の放射性ヨウ素濃度の時間変化を把握するため、ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジを装備し、大気を連続的に採取しながら一定の時間ごとに捕集材を交換するオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラを使用する。

【装置概要】

ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジを装備したヨウ素サンプラにより、ガス状及び粒子状の放射性ヨウ素を連続的に採取する。オートサンプルチェンジャーにより設定時間ごとに自動で捕集材を交換することができる。

なお、停電の発生を想定して、電力供給が停止した場合でも非常用発電機やバッテリー等により、ヨウ素サンプラ起動後、3 日以上燃料補給等をせずに連続で稼働できることが求められる。

注) ガラス繊維ろ紙は格子構造がない方が表であり、ちりを捕集する面となる¹¹⁾。

注) 活性炭カートリッジは 50 メッシュの活性炭を塩化ビニル又はステンレス容器に詰め、表裏を不織布又はステンレスメッシュで被覆している。ヨウ素の捕集効率を高めるため、

活性炭にTEDA（トリエチレンジアミン）を10%程度添着している。添着剤としてヨウ化カリウムが用いられることもある¹¹⁾。

【採取条件】

- ・対象とする施設を中心とした16方位のうち1方位又は2方位ごとに、半径5～30 kmの区間に1箇所配置することを基本とする。ただし、設置に当たっては人口分布や自然環境等の実情を考慮して検討する。
- ・採取口の高さ：約1 m（ただし、気象条件等を考慮し、1 m以上とする場合もある）
- ・吸引流量：約50 L/min
- ・結露等による捕集材への影響を避けるため、試料空気の温度は50℃程度に加熱制御したヒーターにより加熱し、相対湿度を低下させる。
- ・大気を一定時間（6時間程度）捕集し、オートサンプルチェンジャーにより一定時間ごとに捕集材（ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジ）を自動的に交換する。

注) オートサンプルチェンジャーは、稼働後5日間以上の採取が必要とされるため、20個以上の捕集材を自動で交換できるように、十分な充填量を確保する仕様にする。

注) 捕集材は平常時からセットしておくこととなるため、特に活性炭カートリッジは吸湿等により吸着能力の劣化が生じることがある。そのため、使用していなくても定期的（通常3ヶ月程度）に交換する必要がある。また、捕集材の格納場所を簡易気密や減圧状態にして、長期保管に耐えられる構造の機種も販売されている。

注) 供試量の例：50 L/min × 360 min = 18,000 L = 18 m³

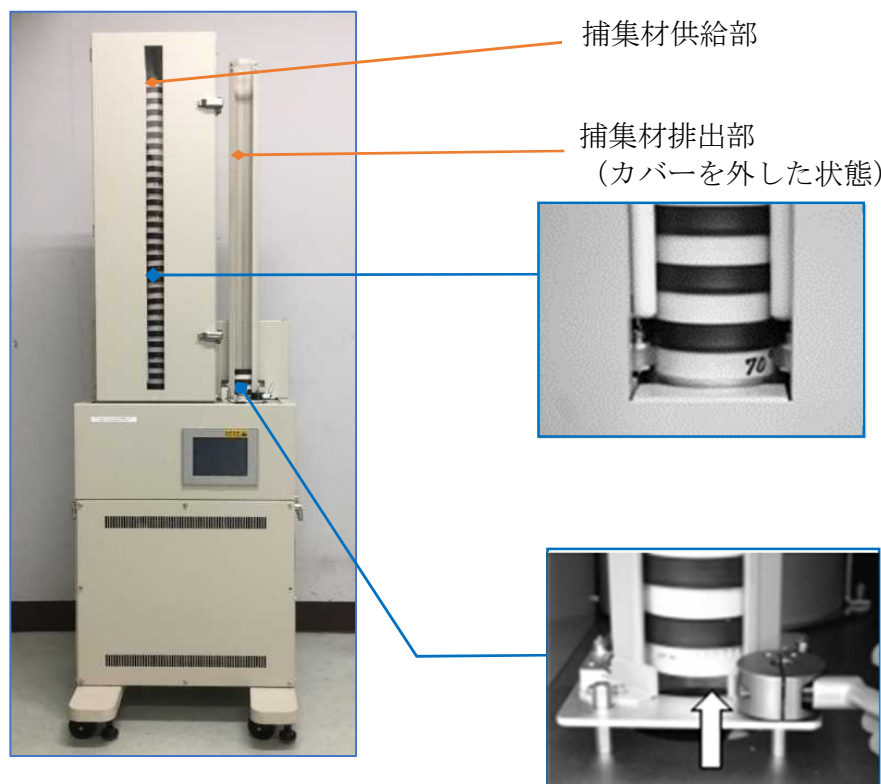


写真 2-1 オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラの例

【試料採取】

- 1) 装置の起動は遠隔操作により行われることが原則である。施設敷地緊急事態においては、事故の進展に伴う施設の状況に応じて、緊急時モニタリング実施計画に基づいて、大気中放射性ヨウ素のモニタリングが実施される。装置の稼働はモニタリングセンター等から開始する。
- 2) 採取後の捕集材については、汚染防止に留意して回収する。数日分の捕集材を回収するが、指示書の発行以降は、指示書に示された期間で回収する。
- 3) 回収した捕集材（ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジ）は吸引時間ごとに組にし、ポリエチレン袋に入れる。
- 4) 識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する）。
- 5) 新たな捕集材をセットし、捕集を再開する。大気の流れや吸引量等を確認し、機器の動作が正常であることを確認する。

2.2.1.2 大気モニタによる大気の採取

大気モニタはろ紙等に大気を吸引し、大気中の放射性物質濃度の時間的な変化を把握することにより、大気モニタ設置地点周辺における放射性プルームの有無を判断する。また、大気を吸引したろ紙等をゲルマニウム半導体検出器により測定することで、大気中の放射性物質濃度及びその核種組成の詳細な変化の把握に資する。なお、大気モニタで用いる捕集材はろ紙のみであることから、評価可能な放射性ヨウ素は粒子状ヨウ素のみとなる。

本測定法では大気モニタで採取したろ紙等をゲルマニウム半導体検出器により測定することで粒子状の放射性ヨウ素を評価する手法について記載する。集じんしながらの測定等の詳細については放射能測定法シリーズ No. 36「大気中放射性物質測定法」⁵⁾を参照のこと。

【装置概要】

ろ紙等を装備した連続集じん・連続測定装置により、粒子等を空気とともにポンプで吸引してろ紙等に捕集し、放射能検出部で全 α 、全 β 放射能のいずれか又は両方の測定を行う。捕集するろ紙はガラス繊維ろ紙やメンブレンろ紙が用いられ、一定の時間（1時間程度）ごとに自動でろ紙送りされるため、長尺ろ紙が用いられる。

なお、停電の発生を想定して、電力供給が停止した場合でも非常用発電機やバッテリー等により、大気モニタ起動後、3日以上燃料補給等をせずに連続で稼働できることが求められる。

【採取条件】

- ・対象とする施設を中心とした16方位の各方位に対し、半径5～10 km、10～20 km及び20～30 kmの各区間に1箇所配置することを基本とする。ただし、設置に当たっては人口分布や自然環境等の実情を考慮して検討するが、各方位とも大気モニタが同一直線上に配置されないよう留意する。
- ・採取口の高さ：約1 m（ただし、気象条件等を考慮し、1 m以上とする場合もある）
- ・吸引流量：約50 L/min

- ・結露等による捕集材への影響を避けるため、試料空気の温度は 50 °C 程度に加熱制御したヒーターにより加熱し、相対湿度を低下させる。
- ・大気を一定時間（1 時間程度）捕集し、自動でろ紙送りされる。

注) 供試量の例 : 50 L/min × 60 min = 3,000 L = 3 m³



写真 2-2 大気モニタの例

【試料採取】

オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラと同様の手順でろ紙を回収するが、大気モニタのろ紙は長尺ろ紙のため、ロールごと回収するか、捕集済みの部分のみを切り取って回収する。

2.2.1.3 可搬型のサンプラによる大気の採取

任意の場所で大気の採取ができる可搬型サンプラについて記載する。可搬型のサンプラにはハイボリウムエアサンプラとロウボリウムエアサンプラの 2 種類があるが、放射性ヨウ素を対象とした場合にはロウボリウムエアサンプラを用いる。

【装置概要】

ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジを装着し、数日程度の連続捕集が可能である。吸引量は 20～100 L/min で調整が可能な装置である。

【試料採取】

- 1) 採取地点において、空気の流れに支障がないように、サンプラを設置する。なお、設置に当たっては、サンプラの吸引口が地上から約 1 m の高さになるように調整する。

注) 雨滴を吸引すると、ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジの捕集性能が低下するので、雨天の場合には屋根のある場所等で捕集し、サンプラに雨滴が入らないようにする。周囲に屋根のある場所がない場合には、傘等をさして、雨滴を吸引しないようにする。

注) 電源に可搬型発電機を使用する場合や、複数のサンプラを併用する場合は、互いの排気が影響しないよう配慮する。

注) 積算流量に影響するため、風に対してどの向きで設置するか、あるいは風向によらず放出源に向ける等、設置方向の基準を事前に決めておく。

2) 吸引口にガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジをセットする。ガラス繊維ろ紙は格子構造がない方が表であり、ちりを捕集する面となる。

3) 採取を開始したら、時刻と採取流量を記録し、目的の積算流量になるまで大気を採取する。

注) 集じん器の流量は 50 L/min 程度に設定する。流量が 50 L/min である場合、20 分間採取すると積算流量は 1,000 L (= 1 m³) となる。なお、採取流量や積算流量は指示書等に記載がある場合は、それに従う。

4) 目的の積算流量に到達したら集じん器を止め、その時刻を記録する。

5) ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジを集じん器から取り外し、重ねてポリエチレン袋に入れる。



写真 2-3 ローボリウムエアサンプラの例

2.2.1.4 大気の測定試料の調製

大気を採取したガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジを測定試料に調製する方法を示す。

1 試料につき、ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジが 1 組になっているが、粒子状とガス状の比率を求めするため、それぞれを別々に測定する方法を基本とする。ただし、測定試料数の関係でマシンタイムがひっ迫している場合には、1 つの試料として一緒に測定することもある。なお、その場合でも別々に測定する試料を決めておき、それ以外の地点の試料は一緒に測定することで、比率の算出と測定試料数の低減の両立を図ることとする。

また、大気モニタで採取したろ紙についてもゲルマニウム半導体検出器による測定を行うため、大気モニタのろ紙を測定試料に調製する方法も示した。なお、大気モニタで採取した試料はろ紙のみであることから、粒子状の放射性ヨウ素のみが対象となる。

大気試料の採取後、測定試料の調製及び測定まで期間が空く場合には、吸湿対策として、採取した試料はデシケーター等に保管するとよい。

【ガラス繊維ろ紙の測定試料調製】

1) 小型容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は貼付した後、小型容器の風袋重

量をはかり記録する。

- 2) ガラス繊維ろ紙は**大気の吸引面（ちりの付着面）**を下にして、小型容器の底に隙間がでないようにしっかり押し込む。（写真 2-4 及び写真 2-5）
- 3) 小型容器に蓋をして、試料の高さをはかり記録する。
- 4) 容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取った後、小型容器の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
- 5) 測定器への汚染を防止するため、小型容器にポリエチレン袋を被せ、空気を抜き、容器の底にシワが寄らないように口を結んで封入し、測定試料とする。（写真 2-6）



写真 2-4 小型容器への試料の充填

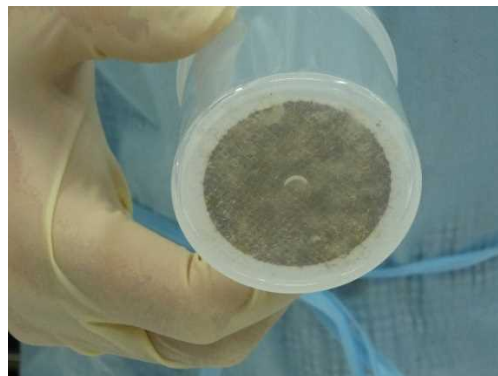


写真 2-5 **吸引面**を底面に向けた充填の例



写真 2-6 ポリエチレン袋で覆った小型容器

【活性炭カートリッジの測定試料調製】

緊急時においては、捕集材からの汚染を防止するため、活性炭カートリッジから捕集材を取り出さず、そのまま測定することを基本とする。ただし、活性炭カートリッジの形状に対応するゲルマニウム半導体検出器の効率がない場合の解析方法については、3.1 機器の調整及び校正の項を参照のこと。**なお、活性炭カートリッジは内部の不均一を考慮し安全側評価となるよう、大気の吸引面（大気が導入される上流側）が検出器側になるように設置して測定する。**

- 1) 測定器への汚染を防止するため、活性炭カートリッジにポリエチレン袋を被せ、空気を抜き、検出器面側の底にシワが寄らないように口を結んで封入し、測定試料とする。
なお、ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジをまとめて測定する場合には、活性炭カートリッジの吸引面（検出器側）にガラス繊維ろ紙を挿入して、**合わせて**ポリエチレン袋に

封入する。

【大気モニタで採取したろ紙の測定試料調製】

大気モニタで採取したろ紙は長尺ろ紙である。ここではオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラの採取間隔に合わせて6時間分を切り取り、小型容器に充填する手順を示す。なお、さらに細かい時間間隔で測定することもある。詳細については放射能測定法シリーズNo. 36「大気中放射性物質測定法」⁵⁾を参照のこと。

1) 小型容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は貼付した後、小型容器の風袋重量をはかり記録する。

2) 切り取ったろ紙は、安全側評価となるように集じん面が小型容器底面に近づくように折りたたんで充填する。(写真 2-7)

注) 集じん面間の相互汚染を防止するため、切り取ったろ紙をポリエチレンフィルム等で保護することが望ましい。

注) 1時間分ごとに切り分けて、重ねて充填してもよい。その場合には集じん面を下に向けて充填する。

3) 小型容器に蓋をして、試料の高さをはかり記録する。

4) 容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取った後、小型容器の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。

5) 測定器への汚染を防止するため、小型容器にポリエチレン袋を被せ、空気を抜き、容器の底にシワが寄らないように口を結んで封入し、測定試料とする。

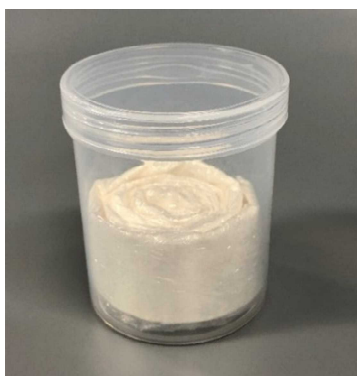


写真 2-7 6時間分に切り取った長尺ろ紙を充填した例
(集じん面が底に近づくよう細長く折ってロール状に小型容器に充填した例)

【測定後の試料の保管（短期間・長期間共通）】

- ・測定が終了した試料は必要に応じて放射化学分析等を行うことがあるため、汚染等に注意して保管する。
- ・測定が終了した試料は、袋のまま別のポリエチレン袋やコンテナ等の容器に入れて保管する。

2.2.2 飲料水

飲料水に移行した放射性物質は、飲料水の摂取により人体に移行するため、その放射能濃度を把握することは、被ばく線量を評価する上で重要である。飲料水の採取・分析は、原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集及び住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供の他、防護措置の実施の判断材料の提供を目的として実施する。初期モニタリングにおいて、飲料水の採取は優先的に実施する。

2.2.2.1 飲料水の採取

放射性物質の飲料水への影響を把握するため、放射性物質の放出が確認された場合には、速やかにPAZ*及びUPZ**内にある水源等から供給される飲料水のうち、汚染される恐れのある上水道や簡易水道等を対象として採取・分析を行う。

*PAZ：Precautionary Action Zone 予防的に防護措置を準備する区域

**UPZ：Urgent Protective Action Planning Zone 緊急防護措置を準備する区域

採取候補地点や優先順位については、集水域や配水系統等の地域の状況を考慮して、あらかじめ定めておく。さらに、水源地周辺の空間放射線量率が高い場合には、その水源を利用している対象地点の採取頻度や地点数を増やす等をして、重点的にモニタリングを実施する。

なお、放射性物質の放出中はモニタリング要員の安全確保のため、屋内の蛇口から採取することを基本とする。

【飲料水の採取】

- 1) 採取場所の蛇口または取水口を大きく開き、1分以上放水する。
 - 2) 採取容器を水道水で共洗いする。共洗いの排水は採取に影響しない場所に捨てる。
 - 3) 蛇口または取水口から容器に2 L以上、直接採取する。
- 注) ゲルマニウム半導体検出器による測定では、小型容器又はマリネリ容器を用いるため、2 L程度を採取する。その他、放射化学分析等を行う場合には、それぞれの分析供試量を考慮して、採取量を増やす必要がある。
- 注) 初期モニタリングにおいては、迅速性が優先されるため、添加剤は添加しない。なお、試料の測定まで数日を要する等で添加の指示があった場合には、放射性ヨウ素の容器内壁への付着を防ぐために、チオ硫酸ナトリウムを1 L当たり80～100 mg添加する（放射性ヨウ素用とそれ以外の核種用とは、分けて採取するとよい）⁴⁾。
- 4) 採取容器に蓋をし、周囲をペーパータオル等で拭き取る。
 - 5) 採取時刻、採取の状況について記録する。
 - 6) 試料が入った容器に識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する）。
 - 7) ビニールテープ等で蓋を密封し、ポリエチレン袋（＝内袋）に入れる。更にもう一重の袋掛け（＝外袋）をし、試料を梱包する。

放射性物質の放出の状況による飲料水の採取については表 2-1 のとおり。

表 2-1 初期モニタリングにおける飲料水の採取

	放出中	放出後（収まった直後）
採取場所	<ul style="list-style-type: none"> ・表流水等、放射性物質により比較的容易に汚染される UPZ 内（PAZ を含む）の水源等から供給される浄水場の浄水又は公的施設（役場、支所等）内の蛇口水を採取する。 ・屋外に出ることなく採取可能な場所を対象とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・表流水等、放射性物質により比較的容易に汚染される UPZ 内（PAZ を含む）の水源等から取水している全ての浄水場の浄水（浄水の採取が困難な場合は原水）を採取する。
採取頻度	1 日 1 回以上	1 日 1 回以上
採取量	原則 2 L 以上	原則 2 L 以上
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・採取者の被ばくを避けるため、原則として浄水場等に所在する者が採取する。 ・市町村ごとに 1 箇所程度の浄水場を選定する。合併等で範囲が広い場合には複数箇所を選定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・浄水場の施設管理者を始めとする適切な者が採取できる体制を構築する。 ・全ての浄水場での採取が困難な場合は、給水人口が多い浄水場及び周辺の空間放射線量率が高い水源から取水している浄水場等を優先する。

緊急時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）²⁾より

飲料水の水源は多岐（河川水、地下水等）にわたっており、大規模な給水システムには浄化の過程が存在するため、蛇口水はある程度除染された状態の試料となる可能性がある。

なお、緊急時モニタリングにおいて飲料水を採取する蛇口または取水口については事前に決定し、図面や写真で明示しておくことが望ましい。

2.2.2.2 飲料水の測定試料の調製

緊急時において飲料水を測定試料に調製する方法及び保存方法について示す。なお、測定容器として、マリネリ容器又は小型容器を用いる場合のそれぞれについて記載した。

【マリネリ容器を用いる場合】

- 1) マリネリ容器用内袋を、マリネリ容器内に隙間なく装着する（測定容器内壁への汚染を避けるため、使い捨ての内袋を使用する）。
- 2) マリネリ容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は貼付した後、マリネリ容器及び蓋並びに内袋の風袋重量をはかり記録する。
- 3) 試料をよく混合し、2) で用意したマリネリ容器に移し入れ標線に合わせる。（写真 2-8）
標線に合わせるときはピストン式ピペットを利用するとよい。
- 4) 試料とともにマリネリ容器及び蓋の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
- 5) マリネリ容器内袋の口にビニールテープを用いて封をする。なお、ビニールテープの代わりに輪ゴムや結束バンド等を用いてもよい。（写真 2-9）
- 6) マリネリ容器に蓋をし、蓋の接合部にビニールテープを巻いて封をする。（写真 2-10 及び写真 2-11）
- 7) マリネリ容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。

8) 測定器への汚染を防止するため、マリネリ容器をポリエチレン袋に入れ、十分空気を抜きながら口を結んで封入し、測定試料とする。(写真 2-12)



写真 2-8 マリネリ容器への試料の充填



写真 2-9 内袋をビニールテープで閉じる



写真 2-10 ビニールテープによる蓋の固定



写真 2-11 ビニールテープによる蓋の固定



写真 2-12 ポリエチレン袋で覆ったマリネリ容器

【小型容器を用いる場合】

- 1) 漏れ防止のため、小型容器のねじ部分にシールテープを巻く。(写真 2-13)
- 2) 小型容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は貼付した後、小型容器の風袋重量をはかり記録する。
- 3) 試料をよく混合し、2) で用意した小型容器に約 80 g を移し入れる。(写真 2-14)
液量を調整するときはピストン式ピペットを利用するとよい。
- 4) 小型容器に蓋をして、試料の高さをはかり、記録する。

- 5) 容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。
- 6) 小型容器の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
- 7) 測定器への汚染を防止するため、小型容器にポリエチレン袋を被せ、空気を抜き、容器の底にシワがよらないように口を結んで封入し、測定試料とする。（写真 2-15）



写真 2-13 ねじ部分をシールテープで巻く作業



写真 2-14 試料を入れた小型容器



写真 2-15 ポリエチレン袋で覆った小型容器

【測定後の試料の保管】

・短期間

- 1) マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。
- 2) 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。
- 3) 腐敗しないよう低温下で保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫又は冷暗所がよい。

・長期間

- 1) 腐敗しないよう低温下で保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫又は冷暗所がよい。

2.2.3 土壌

初期モニタリングにおける土壌試料の採取は、大気環境への放射性物質の放出後に実施され、汚染された可能性のある試料を集めて測定し、原子力災害により地上に沈着した放射性物質の広がりや核種組成に関する情報を得ることを目的とする。放射性核種組成の把握は防護対策のための関連情報の把握や、半減期等による線量率の減衰予測評価などに用いられることがある。

2.2.3.1 土壌の採取

土壌試料の採取地点は空間放射線量率や大気中放射性物質濃度の測定地点等を考慮して、以下の地点とする。

- ・固定観測局設置地点、電子式線量計設置地点等のうち 0IL2 の基準を超過した地点
- ・大気モニタ設置地点等の大気中放射性物質濃度を測定している地点
- ・in-situ 測定を実施した地点(必要に応じて α 線放出核種及び β 線放出核種の分析を実施)

採取頻度については次のとおりとする。

1 回目：放射性物質の放出が停止し、地上に放射性物質が沈着した後速やかに実施

→2 回目：1 回目の採取の 1 週間後を目安に実施

→3 回目以降：2 回目に採取した試料の測定結果を踏まえて、採取計画を検討して実施

土壌の採取においては採取面積と採取深度を記録することが重要である。特に、緊急時における空間放射線量率と地表面に沈着した放射性核種との関連性の確認のために、面積当たりの核種インベントリーが必要となる。また、線量率と放射性核種濃度の関連性について、IAEA 等の換算係数が利用できる利点もある。なお、放射性物質の放出直後の地表への沈着状況は、福島第一原発事故においては、未耕作土壌の場合、概ね 5cm 未満の土壌表面に留まっていたこと¹²⁾から、表層土壌を採取すれば沈着した放射性核種のインベントリーがほぼ把握でき、初期の汚染分布状況が把握できる。このように、沈着初期には放射性核種が土壌表面に沈着している可能性が高いため、採取深度が深くなると試料重量当たりの放射能濃度(Bq/kg)が下層の土壌で希釈されて低めに算出される傾向があるため、初期の汚染分布状況の把握を目的とする場合は、採取深度を表層とすることが適切である。

以下に、土壌試料の採取の一例として、 γ 線スペクトロメトリーで使用する小型容器を用いて採取する方法を示す。なお、代表性をより考慮した場合の 1 地点あたりの採取数や採土器等の採取器具を使用する方法等の詳細は、放射能測定法シリーズ No. 35「緊急時における環境試料採取法」⁴⁾を参照のこと。

【土壌の採取】

1) 指示された面積が確保できるように採取領域を決める。

注) 採取領域は 1 m²以上とすることが望ましい。

2) 採取する土壌の状況を確認する。

注) 地表が芝生や雑草、積雪等で覆われている場合はそれらを土壌とは別に採取し、その地

点の土壌試料と共通の番号に枝番(-2)として扱うなど工夫をし、測定結果において関連性をもたせた評価が可能となるよう識別すること。

- 3) 採取器具（小型容器：底面積が明らかなもの）を地表に垂直に置き、5 cm程度まで手や足で押し込む（土質が固い場合には2 cmを目標に採取する）。
- 4) 使い捨てのスプーン等を使って、採取器具内の土壌をすくい上げる。
- 5) ネジロの部分に付着した土をペーパータオル等で拭き取ってから採取容器に蓋をし、周囲をペーパータオル等で拭き取り、保管する。
- 6) 採取時刻、採取の状況について記録する。
- 7) 試料が入った容器に識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する）。
- 8) ビニールテープ等で蓋を密封し、ポリエチレン袋（=内袋）に入れる。更にもう一重の袋掛け（=外袋）をし、試料を梱包する。

2.2.3.2 土壌の測定試料の調製

初期モニタリングにおいては小型容器で採取をし、前処理は行わずそのまま測定することを基本とするが、ここでは、前処理をする場合の注意点として記載する（より精度のよい定量を行うことを目的とした場合には、前処理を行って測定を行うことがある）。ヨウ素の揮散や汚染防止等の観点から乾燥処理は行わず、湿土のまま測定試料とし、測定容器は小型容器を用いることとする。

【土壌の測定試料調製】

- 1) 混入している大きな草木、根、石礫等は取り除く。（写真 2-16）
- 2) 試料の入っている袋の上から十分に攪拌し、よく混合する。（写真 2-17）
- 3) 測定容器の風袋重量をはかる。
- 4) 湿土のまま、適量を測定容器に入れる。残りの試料は乾土率の測定に用いる。
- 5) 試料の上面を軽く圧縮して円柱形とし、測定容器に蓋をして充填高をはかり、測定試料とする。（写真 2-18）
- 6) 容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。
- 7) 小型容器の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料重量を求め、記録する。
- 8) 測定器への汚染を防止するため、小型容器にポリエチレン袋を被せ、空気を抜き、容器の底にシワがよらないように口を結んで封入し、測定試料とする。



写真 2-16 異物の除去

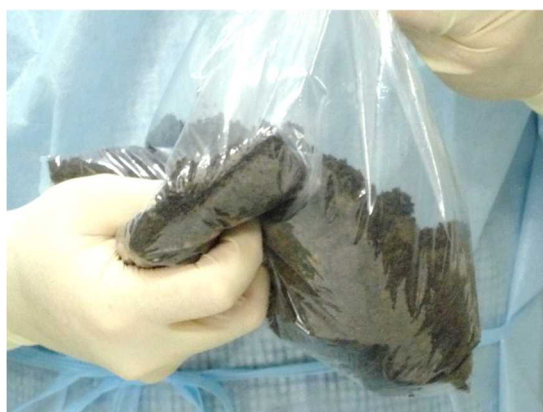


写真 2-17 試料の攪拌・混合



写真 2-18 小型容器への試料の充填

【測定後の試料の保管】

・短期間

1) 小型容器のまま、他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存する。

・長期間

1) 小型容器のまま、他のポリエチレン袋又は容器に入れて保存するか、試料の乾燥処理を行う。ただし、ヨウ素は熱により揮散するため、I-129 を分析する可能性がある場合には湿土のまま冷暗所に保管するか、70℃程度で乾燥を行う¹³⁾⁻¹⁵⁾。

2) 乾燥した試料を保存する場合、ポリエチレン袋又は容器に入れ、デシケーター内等の低湿度の環境下、又は空気になるべく触れないような措置を取って保管する。

2.2.4 各種食品試料（牛乳、葉菜、**その他**農畜水産物等）

緊急時補足参考資料²⁾では、環境試料中の放射性物質濃度の測定について記載しており、環境試料について、降水、土壌等（土壌のほか、陸水、海水、河底土、湖底土、海底土、指標生物等を含む）及び飲食物に分類している。

飲食物については地域の食文化等を考慮し、主に飲食に供されるものや葉菜の代用とされるものとしている。また、環境試料の中では、防護措置の判断材料の提供を目的として、土壌及び飲料水の採取を優先して行うこととしているが、それ以外の環境試料についても、住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供及び環境放射線の状況に関する情報収集を目的として、採取・分析することとしている。

土壌及び飲料水以外の環境試料として必要に応じて採取・分析する牛乳、葉菜、**その他**農畜水産物等について記載する。

A 牛乳

“乳”試料のうち代表的な牛乳試料は、草—乳牛—牛乳—人の被ばく経路でよく知られており、緊急時においては、牛乳への放射性ヨウ素による汚染が、公衆への被ばくの主要経路となるため重要である。

牛乳の採取・分析は、防護措置の実施の判断材料の提供及び原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供を目的として、必要に応じて実施する。

A.1 牛乳の採取

ここでは、牧場等でモニタリング要員が採取する場合の手順について示す。牛乳は、貯蔵された飼料を与えられた乳牛からではなく、採取地点周辺地域の牧草又は水を摂取した乳牛から採取することが望ましい。また、牛乳の採取方法としては、乳牛の合乳（乳牛から搾ったままの原乳4～5頭分を混ぜ合わせたもの）から採取する方法もある。

牛乳を採取する際は、生産者（酪農家）の了解及び協力が必要である。緊急時モニタリング計画を立案する際に、採取の候補として選定した生産者には、平時より緊急時モニタリングに備えて許可を取り協力依頼をしておくことが望ましい。

【牛乳の採取】

- 1) 採取容器を共洗いする（必要に応じて）。共洗いの廃液は、採取に影響しない場所に捨てる。
 - 2) 牛乳を2 L程度採取し、容器に入れる。
 - 3) 採取容器に蓋をし、周囲をペーパータオル等で拭き取る。
 - 4) 採取時刻、採取の状況について記録する。
- 注) 搾乳日が試料採取日と異なる場合は、搾乳日を確認し記録する。
- 5) 試料が入った容器に識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する）。
 - 6) ビニールテープ等で蓋を密封し、ポリエチレン袋（内袋）に入れる。
 - 7) 更にもう一重の袋掛け（＝外袋）をし、試料を梱包する。

注) 振動や衝撃により水分と脂肪分が分離してしまうことがあるので、試料の運搬の際にはできるだけ振動や衝撃を避ける。

8) 梱包、記録類及び写真の確認を行う。

9) 試料を保冷容器に入れる。

A.2 牛乳の測定試料の調製

原乳及び殺菌・均質化等の加工処理をした市販乳について、測定試料に調製する前処理方法及び保存方法については2.2.2.2 飲料水の測定試料の調製を参照のこと。

【測定後の試料の保管】

長期の保管に際して、乾燥・灰化处理を行う場合には汚染等に注意し、灰化した試料は乾燥した土壌と同様の方法で保管する。

B その他食品試料（葉菜、その他農畜水産物等）

葉菜等の採取・分析を初期汚染状況の把握のために実施する場合は、外葉を取り除かずに採取し、その過程において葉表面に沈着した放射性物質がこぼれ落ちたり、周囲に触れたりしないように注意が必要である。また、食品として摂取した場合の内部被ばく評価のために実施する場合は、摂取形態に応じた採取等を行う。その他農畜水産物等（穀類、豆類、キノコ類、肉類、卵類、乳製品、魚介類等）についても、周辺住民等の実際の線量の評価と環境中に放出された放射性物質又は放射線の状況の把握に必要な広範な情報の集積を目的として、必要に応じて採取・分析を実施する。

試料の採取方法としては、畑等で採取する方法、生産者等に依頼して試料を入手する方法、市場で購入する方法がある。モニタリング要員が畑等で試料を採取する方法は、放射能測定法シリーズ No. 16「環境試料採取法」³⁾及び No. 35「緊急時における環境試料採取法」⁴⁾を参照のこと。ここでは、市場等で購入して入手する場合の方法を示す。

B.1 その他食品試料の採取

出荷時期を迎えている作物を採取対象として選定し、試料採取場所における農作物の作付け状況と貯蔵－出荷の方法、その地域における土地の利用状況も記録しておくこと。また、肉試料については、流通経路を生産者に確認するとよい（と畜場等で入手してもよい）。試料を市場で購入する際には、試料の種類、数量、採取場所、採取日等が表記された条件を満たしているものを購入する。

【その他食品試料の採取】

1) 指定された種類、数量、採取場所の試料を入手し、容器に入れる。

注) 可食部分が1 kg（目安）となるように試料を入手する。可食部分の具体例は放射能測定法シリーズ No. 24「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」⁶⁾を参照のこと。

2) 試料に関する情報（試料名、採取場所、採取日、表面洗浄の有無等）を記録する。

- 3) 試料が入った容器に識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する）。
- 4) ビニールテープ等で蓋を密封し、ポリエチレン袋（＝内袋）に入れる。
- 5) 更にもう一重の袋掛け（＝外袋）をし、試料を梱包する。
- 6) 梱包、記録類及び運搬条件の確認を行う。
- 7) 要冷蔵の試料（肉類、乳製品等）は、保冷容器に入れる。

【試料の選定及び採取時の注意事項】

- ・ 作物は、その時期に収穫されるものを選定し、原則として汚染された可能性がある畑等から採取された露地栽培の作物を採取する。また、実際に食するものによる内部被ばくを評価するため、露地栽培の作物に限定せずに測定することもある。
- ・ 試料は同一条件で継続して採取できることが望ましい。
- ・ 入手量は個体全体に対する目的部位(可食部)とそれ以外(骨部等)の割合を考慮して決定する。

B.2 その他食品試料の測定試料の調製

測定容器としてマリネリ容器又は小型容器を用いる場合の方法を示す。本項では代表例のみを示すに留め、詳細については放射能測定法シリーズ No. 24「緊急時におけるγ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」⁶⁾を参照のこと。

【マリネリ容器を用いる場合】

- 1) 試料のうち、食用に供しない部位を取り除き、カッター等を用いて試料を1～2 cm程度に切る。（写真 2-19 及び写真 2-20）
- 2) マリネリ容器用内袋を、マリネリ容器内に隙間なく装着する（測定容器内壁への汚染を避けるため、使い捨ての内袋を使用する）。
- 3) マリネリ容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は貼付した後、マリネリ容器及び蓋並びに内袋の風袋重量をはかり記録する。
- 4) 均質性に留意しながら、試料をマリネリ容器の標線まで隙間なく詰める。（写真 2-21）
- 5) 試料の表面を軽く圧縮し、標線で水平にならした後、試料とともにマリネリ容器及び蓋の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
- 6) マリネリ容器内袋の口にビニールテープを用いて封をする。なお、ビニールテープの代わりに輪ゴムや結束バンド等を用いてもよい。
- 7) マリネリ容器に蓋をし、蓋の接合部にビニールテープを巻いて封をする。（写真 2-22）
- 8) マリネリ容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。
- 9) 測定器への汚染を防止するため、マリネリ容器をポリエチレン袋に入れ、十分空気を抜きながら口を結んで封入し、測定試料とする。



写真 2-19 試料の可食部の例（ピーマン）



写真 2-20 試料の可食部の例（アジ）



写真 2-21 マリネリ容器への試料の充填
（シイタケ）



写真 2-22 ビニールテープによる蓋の固定
（精米）

【小型容器を用いる場合】

- 1) 水分の多い試料は漏れ防止のため、小型容器のねじ部分にシールテープを巻くとよい。
- 2) 小型容器に、試料を識別する番号等のデータを記入又は貼付した後、小型容器の風袋重量をはかり記録する。
- 3) 均質性に留意しながら、薬さじを用いて、試料を小型容器内に隙間なく詰める。
- 4) 試料の表面を軽く圧縮し、水平にならす。（写真 2-23 及び写真 2-24）
- 5) 小型容器に蓋をして、試料の高さをはかり記録する。
- 6) 容器の外側を、純水、エタノール等で湿らせたペーパータオルでよく拭き取る。
- 7) 小型容器の重量をはかり、先の風袋重量を差し引き、測定試料の重量を求め、記録する。
- 8) 測定器への汚染を防止するため、小型容器にポリエチレン袋を被せ、空気を抜き、容器の底にシワがよらないように口を結んで封入し、測定試料とする。



写真 2-23 小型容器への試料の充填
（アスパラガス）



写真 2-24 小型容器への試料の充填
（バター）

【測定後の試料の保管】

- A 牛乳と同様に保管する。

2.2.5 降下物（雨水）

降下物（雨水）は、放射性物質の地表への降下量（MBq/km²）を把握するための重要な試料である。緊急時補足参考資料には降下物（雨水）のモニタリングに関する記載はないが、国内外において環境への放射能汚染及び放射線被ばくのおそれがある事象が発生し、放射能対策連絡会議等により自治体や関係機関にモニタリングの強化の指示があった場合には、降下物（雨水）試料について、定点試料の臨時採取を行う。その際には、環境中の放射線レベルの変動を把握し、公衆に対する措置についての判断材料を得るとともに、公衆の被ばく線量の推定に資することを目的として、空間放射線量率の連続測定の監視強化や大気浮遊じんの核種分析と合わせて、降下物（雨水）の核種分析が実施される。

2.2.5.1 降下物（雨水）の採取

主に全β分析用の降水試料の採取に用いられている降水採取装置（70A-H型、受水面積約500 cm²）又は受水用漏斗（直径25 cm程度）と貯水ビン（直径20 cm、深さ10 cm程度）を組み合わせ用いる。用意できない場合はバット、たらい等の開口部面積がわかる容器で代用してもよい。

【降下物（雨水）の採取】

1) 採取地点に採取容器を設置し、採取開始日時及び採取容器の採取面積を記録する。

注) 採取容器の設置場所は、木や建物の影響を受けない平坦地が望ましい。

2) 所定の時間経過後、試料の総量をポリエチレン容器に移す。

注) 降水がなかった場合、純水を用いて採取容器内を洗浄し、ドライフォールアウト試料として回収する。（写真2-25）

また、採取容器に雪が積もっている場合は、その雪も水と合わせて採取する。雪を採取した場合や水が凍っていた場合は、屋内に輸送後、室温で完全に溶かしてから試料の総量を測定する。

3) 採取終了時刻等を記録する。

4) 試料が入った容器に識別コードを記入したラベルを貼る（あるいは明記する）。

5) ビニールテープ等で蓋を密封し、ポリエチレン袋（＝内袋）に入れる。更にもう一重の袋掛け（＝外袋）をし、試料を梱包する。



写真 2-25 降水がない場合の回収例

2.2.5.2 降下物（雨水）の測定試料の調製

降水採取装置等により採取された降下物（雨水）は、採取された試料の量に応じて測定容器と供試量を選択する。

【降下物（雨水）の測定試料調製】

1) 試料をメスシリンダーに移し入れ、採取量を測定する。

注) 試料溶液中にはちり等が含まれるため、メスシリンダーに移す前には十分に試料溶液を混合し、均一にしておく。

2) 採取量から適切な測定容器を選択する。

3) 試料を測定容器に移す。なお、試料が少量の場合には全量を小型容器に移す。

4) 2.2.2.2 飲料水の測定試料の調製を参考に、マリネリ容器又は小型容器の測定試料を調製する。

5) 試料の採取量と供試量から分取率を次のようにして求める。分取率は放射能計算の際に使用する。

$$\text{分取率 (\%)} = \frac{\text{供試量}}{\text{採取量}} \times 100$$

【測定後の試料の保管】

測定容器に入らなかった分と共に、2.2.2.2 飲料水の測定試料の調製と同様に保管する。

第 3 章 ゲルマニウム半導体検出器による測定

ゲルマニウム半導体検出器による放射性ヨウ素の測定対象核種はI-131、I-132及びI-133とする。これらの核種の半減期はI-131が8.0日、I-132が2.3時間、I-133が21時間と総じて短い。そのため、試料採取後にできるだけ速やかに測定することが原則であるが、緊急時モニタリングにおいては多数及び多種類の測定試料が発生する可能性があるため、優先順位を決めて測定する必要がある。

本章では緊急時における最低限の測定手順及び放射性ヨウ素測定における留意点を記載しているが、ゲルマニウム半導体検出器の調整、校正及び測定手順の詳細については放射能測定法シリーズNo.7「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」⁷⁾及びNo.29「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法」⁸⁾を参照のこと。

3.1 機器の調整及び校正

ゲルマニウム半導体検出器の機器の調整及び校正としては、エネルギー校正及びピーク効率校正、P/T (Peak to Total) 比の校正がある。校正方法については、平常時、緊急時の区別はないが、緊急時に用いることが想定される容器については事前にピーク効率校正を行っておく必要がある。

緊急時に放射性ヨウ素の測定に用いられる容器は、小型容器やマリネリ容器、活性炭カートリッジ等がある。ピーク効率校正を正確に実施するには、使用する容器と同形状で、既知量の放射性核種が複数入った国家標準とトレーサビリティの取れた線源を用いて行う必要がある。平常時に使用している小型容器やマリネリ容器についてはこの方法でピーク効率校正を行っているため、緊急時においても、これらの容器を使用する場合には、ピーク効率校正式をそのまま使用することができる。

しかしながら、大気中の放射性ヨウ素の捕集に用いられる活性炭カートリッジについては、上記校正式をそのまま使用することができないため、以下にその効率校正について記載する。

【活性炭カートリッジのピーク効率校正】

I) 放射能標準体積線源による方法

活性炭カートリッジのピーク効率を正確に得るには、実際に使用する活性炭カートリッジを用いて、複数の放射性核種の既知量を含んだ活性炭カートリッジを作製し、放射能標準線源としてピーク効率校正を行う必要がある。本手法は γ 線スペクトロメトリーにおけるピーク効率校正の最も適切な方法であり、活性炭カートリッジ形状の容器に多核種の既知量を含んだアルミナを充填した密封線源を校正事業者より入手することができるため、国家標準とのトレーサビリティを満たす放射能標準体積線源を用いてピーク効率校正を行うことができる。この線源を用いて小型容器やマリネリ容器と同様の手法でピーク効率校正を行う。

なお、実際に使用する活性炭カートリッジの活性炭に、非密封の放射能標準溶液の既知量を添加してピーク効率校正用の線源を自作した場合には、校正事業者線源の測定を依頼する等により、トレーサビリティを確保することが望ましい。ただし、本手法は非密封の放射

能標準溶液の購入、管理、その取り扱い及び作製した線源の管理等、煩雑な作業が多く、また、品質確保のために作業者の技量が要求されることから、本手法の実施は難点が多い。

活性炭カートリッジ形状の放射能標準体積線源の入手ができない等により、本手法でピーク効率校正が実施できない場合には、次のⅡ)またはⅢ)の代替手法によりピーク効率校正を実施する。

Ⅱ) I-131模擬線源による方法

活性炭カートリッジと似た形状のI-131模擬線源 (Mock Iodine-131) *を用いる方法で、密封線源として市販されているため入手・管理は容易である。しかし、底面に錫 (Sn) フィルタがあるため、実際の活性炭カートリッジよりピーク効率は低くなる。線源と活性炭カートリッジの材質の差に起因して、自己吸収の程度が異なるものの、形状が近く、添加した放射性核種によりI-131に近いエネルギーのピーク効率を得ることができる。

*I-131 模擬線源

NaI (Tl) シンチレーション検出器の校正用に作られ、NaI (Tl) シンチレーション検出器で測定したときに、I-131 とほぼ等しい γ 線スペクトルを示すよう、半減期の長いBa-133 及びCs-137 を含む密封線源。イオン交換樹脂に吸着固定させた放射性物質をジュラルミン製カプセルに封入したもの。底面にはBa-133 の81 keV の γ 線をカットするために厚さ1 mmの錫 (Sn) フィルタが挿入されている。

図3-1にI-131模擬線源をゲルマニウム半導体検出器で測定した γ 線スペクトルを、図3-2に得られたピーク効率曲線を示した。測定によって得られた各ピークの正味の計数率と、線源の成績書に記載されている添加核種の放射能量から計算したエネルギーごとの γ 線放出率の比を取ることでピーク効率を算出し、その近似曲線を引くことでピーク効率曲線を作成する。

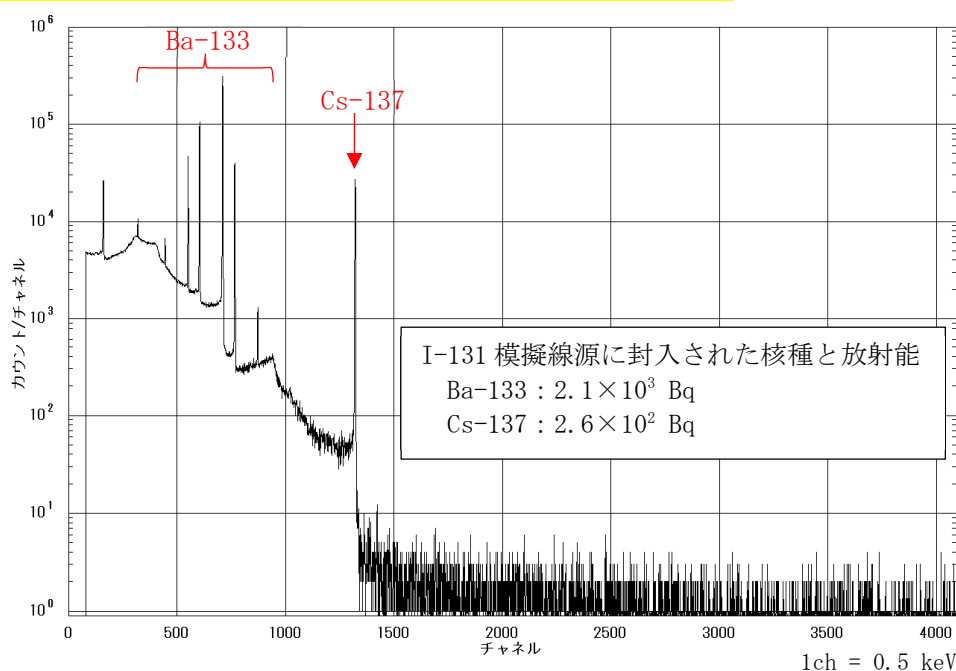


図3-1 I-131模擬線源をゲルマニウム半導体検出器で測定した γ 線スペクトル
(Ge相対効率：28 %、測定時間：15,000 秒)

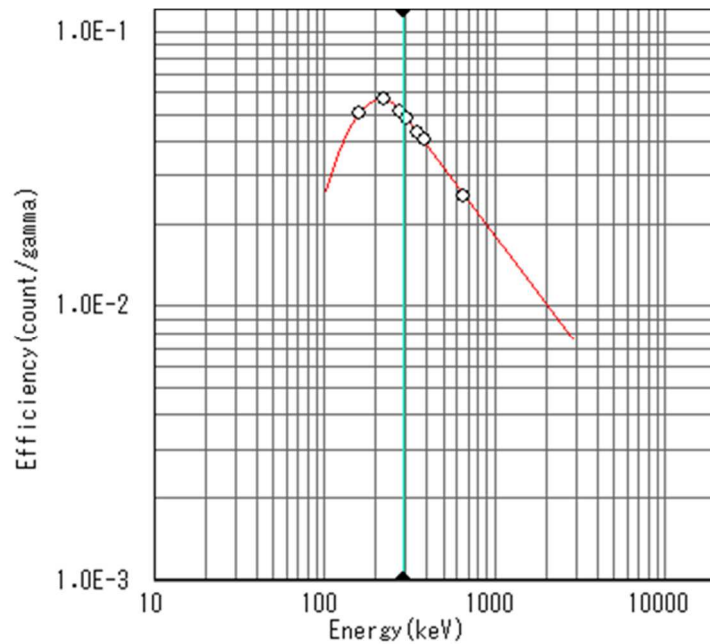


図3-2 I-131模擬線源から導出したピーク効率曲線

Ⅲ) ピーク効率変換を使用する方法

小型容器等の既存のピーク効率を基に、シミュレーションにより活性炭カートリッジの形状でのピーク効率を計算する方法である。既存の効率を利用するため、カートリッジ形状の線源を用意せずに効率を得ることができる。ただし、使用するピーク効率変換プログラムの妥当性の確認を事前に行うことが求められる点に注意が必要である。適切に設定することができれば最も正確なピーク効率を得られるが、計算手法の習得や妥当性を確認することから、ピーク効率の取得には難易度が高い方法である。詳細については放射能測定法シリーズNo.7「ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー」⁷⁾を参照のこと。

なお、緊急時においてⅠ)～Ⅲ)のいずれの手法でも対応できない場合に限り用いる方法として、普段使用している小型容器の効率をそのまま使用する方法がある。

活性炭カートリッジの厚さを試料の充填高に見立てて小型容器として解析を行う方法であるが、標準線源と試料の形状が大きく異なるため、ゲルマニウム半導体検出器におけるピーク効率校正の原則からは外れる方法である。そのため、有意な値が検出された場合には、後日改めてⅠ)～Ⅲ)のいずれかの方法で取得したピーク効率を用いて再解析を行うものとする。

本方法を用いる際、過小評価を避け安全側の評価を行うためには、活性炭カートリッジよりもピーク効率が小さい容器を使用することが望ましい。通常、上げ底が付いている容器、底面に厚みのある容器、直径がカートリッジよりも大きいといった特徴を持つ小型容器のピーク効率を使用するのであれば、安全側の評価となる。

上記の代替手法で得られたピーク効率の比較例を表3-1に示した。

表3-1 活性炭カートリッジのピーク効率の簡易的な校正方法と得られる効率の一例

ピーク効率の 簡易的な校正方法	ピーク効率 (%)		
	I-131 (364.5 keV)	I-133 (529.9 keV)	I-132 (667.7 keV)
I-131模擬線源による方法	4.17	3.10	2.59
ピーク効率変換による方法*	4.98	3.57	2.90
小型容器**の効率***を用いる方法	4.55	3.28	2.68

* 充填高30 mmの小型容器**の容積線源を元にEFFTRANで変換を行った。

** 小型容器は直径約50 mm、高さ約50 mm、内容量約100 mLのものを使用した。

*** 試料密度1.096 g/cm³、充填高20 mmとして計算した。

3.2 核データ

緊急時においては、放射性ヨウ素のみならず、多数の人工放射性核種が環境中へ放出されるため、緊急時用の核データライブラリが必要となる。核データライブラリの作成は煩雑な作業を伴うことから、緊急時になってからでは作成する時間的な余裕がないことが想定されるため、事前に準備しておくことが必要である。なお、緊急時用の核データライブラリの作成については、放射能測定法シリーズ No. 29「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法」⁸⁾を参照のこと。

ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリーで使用する核データ（半減期、 γ 線エネルギー及び放出率）はデータベースや文献等の核データ集から入手することができる。近年インターネットで公開されているものもあり、以下にいくつかを列記する。

- Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF)
<https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>
- Decay Data Evaluation Project (DDEP)
<http://www.lnhb.fr/nuclear-data/>
- Evaluated Nuclear Data File (ENDF)
<https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm>
- Joint Evaluated Fission and Fusion (JEFF) Library
<http://www.oecd-nea.org/dbdata/>

核データはそれぞれの核データ集によって値が異なることや、同一の核データ集であってもデータの更新によって値に違いが生じることがある。これは核データの評価方法や核データ集が参照するデータが異なるためである。その結果、使用する核データによって算出した結果が変わってしまうため、使用した核データを明らかにしておくことが必要である。

γ 線スペクトロメトリーでは、解析で以下のことを行っている。

- ① 標準線源の検定値 (Bq) から核データを用いて γ 線強度 (γ/s) を求め、ピーク計数率 (cps) からピーク効率を求める。
- ② 試料の測定結果のピーク計数率 (cps) からピーク効率を用いて γ 線強度 (γ/s) を求め、核データを用いて放射能 (Bq) を求める。

核データは放射能から γ 線強度（またはその逆）の換算に用いられる。したがって、①、②で用いる核データは同一の核データ集から引用されたものであることが望ましく、同一の核データ集から引用されたものであるなら、換算に差異は生じないため、特に最新のデータにこだわる必要はない。また、これらの観点から解析用の核データを更新する際にはピーク効率の再計算が必要となるため注意すること。

次に、放射性ヨウ素の核データを表 3-2 に示す。なお、表 3-2 中の核データは以下に従って掲載した。

- 1)核データの出典は2022年9月時点でのENSDFである。
- 2)放出率1%以上のものについて掲載した。
- 3)半減期単位として、Dは日、Hは時間を示す。

表 3-2 放射性ヨウ素の核データ

核種名	半減期	半減期の標準不確かさ*	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギーの標準不確かさ* (keV)	放出率 (%)	放出率の標準不確かさ** (%)	主な生成反応
¹³¹ I	8. 0252	0. 0006	D	80. 1850	0. 0020	2. 62	0. 04	fission ¹³² Xe (n, p)
				284. 305	0. 005	6. 12	0. 07	
				364. 489	0. 005	81. 5	0. 80	
				636. 989	0. 004	7. 16	0. 10	
				722. 911	0. 005	1. 77	0. 03	
¹³² I	2. 295	0. 013	H	262. 90	0. 100	1. 28	0. 10	¹³² Te → fission ¹³² Xe (n, p)
				505. 79	0. 030	4. 94	0. 20	
				522. 65	0. 090	16. 0	0. 50	
				547. 20	0. 200	1. 14	0. 08	
				621. 2	0. 300	1. 58	0. 20	
				630. 190	0. 020	13. 3	0. 04	
				650. 50	0. 200	2. 57	0. 20	
				667. 7141	0. 0020	98. 70		
				669. 80	0. 200	4. 6	0. 60	
				671. 40	0. 200	3. 5	1. 00	
				727. 0	0. 300	2. 2	0. 60	
				727. 2	0. 300	3. 2	0. 60	
				728. 40	0. 200	1. 6	0. 40	
				772. 600	0. 010	75. 6	1. 30	
				780. 00	0. 200	1. 18	0. 04	
				809. 50	0. 200	2. 6	0. 30	
				812. 00	0. 200	5. 5	0. 40	
				876. 60	0. 200	1. 04	0. 04	
				954. 55	0. 090	17. 6	0. 50	
				1136. 000	0. 020	3. 01	0. 14	
				1143. 30	0. 200	1. 35	0. 06	
1172. 90	0. 200	1. 09	0. 07					
1290. 80	0. 200	1. 13	0. 05					
1295. 10	0. 200	1. 88	0. 07					
1372. 07	0. 130	2. 47	0. 10					
1398. 57	0. 100	7. 01	0. 20					
1442. 56	0. 100	1. 40	0. 05					
1921. 08	0. 120	1. 23	0. 06					
¹³³ I	20. 83	0. 08	H	510. 530	0. 004	1. 83	0. 06	fission
				529. 872	0. 003	87. 0	2. 30	
				706. 578	0. 008	1. 51	0. 05	
				856. 278	0. 007	1. 24	0. 04	
				875. 329	0. 005	4. 51	0. 13	
				1236. 441	0. 006	1. 51	0. 05	
				1298. 223	0. 005	2. 35	0. 07	

* 標準不確かさとは包含係数k=1の不確かさを指す。

** ¹³¹Iの80. 1850 keVにおける放出率を例にあげると、放出率2. 62 %、放出率の標準不確かさ0. 04 %は、2. 62±0. 04 (%)の放出率となる。

3.3 測定・解析

第2章で調製した測定試料をゲルマニウム半導体検出器で測定する。緊急時は平常時と異なり、測定においては検出器の汚染やデッドタイムの増加等、解析においては複雑なγ線スペクトルや核種の誤認等に注意する。

事故初期時（多核種検出時）においては、測定時間は10分以上とし、デッドタイムが大きい（10%以上）試料の場合には供試量を減らすか、測定試料を検出器から遠ざけて測定する等によりデッドタイムの低減を図る。ただし、測定試料を検出器から遠ざける場合には、あらかじめその位置でピーク効率を取得しておく必要がある。

【測定時間と定量可能レベル】

測定時間と定量可能レベルについては表3-3及び表3-4を参考とするが、あくまでも目安の一つであり、測定試料中に含まれる放射性核種の種類や濃度によって大きく変動することがある。なお、I-131、I-132及びI-133は半減期が数時間から8日と短いため、試料を採取してから測定するまでの経過時間にも注意が必要である。

表3-3及び表3-4に示した定量可能レベルは、放射能測定法シリーズNo.24「緊急時におけるγ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」⁶⁾から一部抜粋して引用した。定量可能レベルの算出に当たっては、福島第一原発事故後の環境試料をマリネリ容器又は小型容器に詰めて実測したスペクトルを利用し、各測定時間での検出下限値を計算した。なお、ゲルマニウム半導体検出器の相対効率は一般的に用いられている30%程度のものを用いている。

飲食物については、摂取制限の判断の目安であるOIL6の基準（表3-5）が定められており、この基準値より定量可能レベルが低くなるよう測定条件を決定する必要がある。飲料水や牛乳を小型容器で10分間測定した場合、その定量可能レベルは350 Bq/kgであり、OIL6の基準（300 Bq/kg）を超過したかを判断することができないため、容量を増やすか測定時間を延ばす必要がある。ただし、表3-3及び表3-4に示した定量可能レベルは計算の基となるスペクトルに多くの放射性核種が含まれているため、実際の試料ではより低い検出下限値となる場合もある。なお、測定時間と定量可能レベルについての詳細を参考A-1に記載した。

表3-3 マリネリ容器（2 L）を用いた場合の測定時間と定量可能レベルの関係

試料名	供試量	I-131定量可能レベル				単位
		測定時間				
		10分間	30分間	1時間	10時間	
降下物 降水	2000 g	110	70	50	20	Bq/kg
飲料水 牛乳	2000 g	110	70	50	20	
土壌	3100 g	80	50	30	10	
野菜類	1000 g	200	120	80	30	
肉類 卵 魚介類	1900 g	120	70	50	20	

表 3-4 小型容器 (50 mm φ × 50 mm) を用いた場合の測定時間と定量可能レベルの関係

試料名	供試量	I-131定量可能レベル				単位
		測定時間				
		10分間	30分間	1時間	10時間	
大気	1 m ³	6	4	3	0.8	Bq/m ³
	10 m ³	0.6	0.4	0.3	0.08	
	1000 m ³	0.006	0.004	0.003	0.0008	
降下物 降水	89 g	350	200	150	50	Bq/kg
飲料水 牛乳	89 g	350	200	150	50	
土壌	140 g	240	140	100	30	
野菜類	47 g	610	350	250	80	
肉類 卵 魚介類	86 g	360	210	150	50	

表 3-5 OIL6 (初期設定値)

核種	飲料水・牛乳・乳製品	野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他
放射性ヨウ素	300 Bq/kg	2,000 Bq/kg

原子力災害対策指針¹⁾より

3.3.1 試料の測定

ゲルマニウム半導体検出器による測定については、緊急時においても平常時と同様な手順で実施するが、検出器や遮へい体内の汚染に注意が必要である。

測定手順については図 3-3 のフロー図に示した。詳細については放射能測定法シリーズ No. 29 「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトル解析法」⁸⁾を参照のこと。

【大気試料の測定】

オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ等により採取された大気は、ガラス繊維ろ紙（粒子状ヨウ素）と活性炭カートリッジ（ガス状ヨウ素）が測定試料となる。回収したガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジはそれぞれ別々に測定を行う。粒子状ヨウ素とガス状ヨウ素のそれぞれの放射能濃度を求め、両者を合算することで核種ごとの全放射性ヨウ素の濃度を算出する。別々で測定を行うことにより、粒子状とガス状の組成比率を求めることができるため、その比率を用いて、大気モニタのろ紙のみで採取した測定結果からガス状の放射性ヨウ素濃度を算出し、核種ごとの全放射性ヨウ素濃度を推定する。

なお、緊急時においては測定試料数の増加等によりマシンタイムがひっ迫する状況も考えられるので、その場合には必ずしも全ての試料を別々に測定する必要はない。ただし、別々に測定する試料を決めて、粒子状とガス状の比率を継続して把握できるように留意する。

大気試料の測定では、2.2.1.4に記載された方法により、ガラス繊維ろ紙は小型容器に充填し、活性炭カートリッジはそのまま測定試料とする。活性炭カートリッジは吸引面を下側（検出器側）に向けて測定を行う。活性炭カートリッジは内部の活性炭に吸着する放射性ヨウ素が均一に分布していないことから、両面を測定して平均する方がより正確ではあるが、緊急時に操作が煩雑になることや吸引面を検出器側にした場合の方が測定結果は大きくなり安全側評価になることから、両面での測定は行わない。なお、カートリッジの測定面と測定値についての詳細を参考 A-2 に記載した。

【その他の試料の測定】

大気以外の試料については、いずれもマリネリ容器又は小型容器での測定となるため、通常の測定手順にて測定を行う。土壌試料については、採取面積と採取深度を記録し、後にそれらと測定値の関係性を評価できるようにすることが重要である。

測定

←①測定試料が測定対象であることの識別確認

- ・測定試料容器と採取記録票や台帳等の記載を照合して、間違いがないことを確認する。
- ・試料の取り違いを防ぐために、必要に応じて担当者等に確認する。

←②検出器のエンドキャップ上に測定試料を設置

- ・効率校正用の標準線源と同一のジオメトリであることを確認する。
- ・検出器が汚染しないように注意する。

←③前回測定した γ 線スペクトルの消去（保存済みであることを確認後に）

←④測定時間（プリセットタイム）の設定（10分～1時間が目安）

←⑤測定開始

- ・測定開始時刻を記録する。
- ・マルチチャンネルアナライザー（又は PC）の測定開始時刻と実際の時刻を確認する。
- ・測定時間（ライブタイム）が増えていることを確認する。
- ・デッドタイムを確認する。
10 %以上の場合、必要に応じて供試量を減らす等の措置を講じる。
- ・着目ピークのドリフトが起きていないことを確認する。
時間間隔（10分～30分に1回程度）を空けて再確認する。
- ・低エネルギー領域に幅広いピークがないことを確認する。
- ・短時間のうちに人工放射性核種のピークが確認された場合は、試料調製担当者に相互汚染の警告をする。

←⑥測定情報の記録

←⑦測定終了

- ・測定を停止する（プリセットタイムをセットしなかった場合）。
- ・測定終了していることを確認する（プリセットタイムをセットした場合）。
- ・必要に応じて、ライブタイムと測定終了時刻を記録する。
- ・測定した γ 線スペクトルを保存する。

←⑧測定試料の取り出し

- ・ジオメトリ（測定試料と検出器の位置関係）を確認する。
- ・取り出した測定試料と記録の照合をする。

←⑨測定試料の保管

- ・所定の場所に保管する。
- ・可能であれば、放射能濃度の高い試料は別に保管する。
- ・必要に応じて、検出器の汚染チェックを行う。
放射能濃度が高い試料の測定後は、汚染確認用のバックグラウンドを測定して、汚染のチェックを行う。

解析

図 3-3 試料の測定手順フロー

(放射能測定法シリーズ No. 29 「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法」⁸⁾ より引用)

3.3.2 スペクトル解析

最近の市販ソフトウェアを用いたスペクトル解析では、使用者が簡易的な操作を実行することにより、測定した γ 線スペクトルに対して、ピークサーチ、核種の同定、定量、解析帳票の出力等ができる。

市販ソフトウェアは平常時、緊急時の区別なく使用することができるが、緊急時の γ 線スペクトルでは、多数の人工放射性核種由来の γ 線ピークが観測される。使用する解析用核データライブラリと照合できずに不明ピーク扱いとなる場合や、放出率の小さい γ 線ピークやサムピークも観測される場合があり、注意が必要である。さらに、ベースラインの統計変動に起因して、解析上検出と判定されることがある。

総じて、市販ソフトウェアで自動解析された出力帳票をそのまま報告するのではなく、 γ 線スペクトルを目視で確認することが緊急時の γ 線スペクトル解析では重要となる。

解析手順については図 3-4 のフロー図に示した。詳細については放射能測定法シリーズ No. 29 「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法」⁸⁾を参照のこと。

【放射性ヨウ素の解析】

γ 線スペクトルから I-131、I-132 及び I-133 のピークを確認し定量する。定量に用いるピークは基本的には放出率の大きいピークを採用する。表 3-6 に各核種の主要な定量ピークを示す。

表 3-6 放射性ヨウ素の主要な定量ピーク

核種	半減期	エネルギー (keV)	放出率 (%)
I-131	8.0252 日	364.489	81.5
I-132	2.295 時間	667.7141	98.70
		772.600	75.6
I-133	20.83 時間	529.872	87.0

I-131 の定量ピークは他の人工放射性核種と比較してエネルギーが低く、I-131 より高エネルギー側にある Cs-137 (661.7 keV) や I-132 等が多く含まれていると、それらの放射性核種が放出する γ 線のコンプトン散乱による影響により、 γ 線スペクトルのベースラインが高くなり、I-131 が不検出となる場合があるため注意が必要である。

γ線スペクトル

←①測定試料情報の登録

- ・試料名、試料の種類、採取場所、試料採取開始・終了日時、測定容器、供試量（単位含む）、試料高さ、密度、測定試料材質、測定担当者名等を登録する。

←②各種校正ファイルの登録

- ・エネルギー校正（半値幅とγ線エネルギーの関係式含む）ファイルを登録する。
- ・相対効率もしくはP/T比ファイルとカスケードファイルを登録する。
- ・効率校正ファイルを登録する。

←③解析条件の設定

- ・解析用核データライブラリを選択する。
- ・ピークサーチ感度（通常は3）を選択する。
- ・減衰補正の条件を選択する。
採取開始もしくは終了日時、採取期間の中間、減衰補正しない、等からいずれかを選択する。
- ・ピーク領域の計算方法を選択する。
コベル法もしくは関数適合から選択する。
- ・バックグラウンド補正ファイルを登録する。
補正用のバックグラウンドスペクトルを選択する。

←④解析の実行

←⑤解析結果の帳票出力

- ・ピークサーチ結果、ピーク定量結果、γ線スペクトル図などを出力する。

←⑥解析結果の確認

- ・解析結果の帳票の記載事項を確認する。
- ・γ線スペクトル上の着目ピーク（K-40やCs-137等）がドリフトしていないことを確認する。
- ・検出された人工放射性核種を確認する。
γ線スペクトルを拡大してγ線ピークの形状を確認する。
（ベースライン計数の統計変動により検出と判定していないかを確認する。）
- ・放出率の小さいγ線ピークについても確認を行い、同定の精度を高める。
- ・逐次的に壊変する核種の場合は、親核種もしくは子孫核種のγ線ピークも確認する。
- ・他の放射性同位体によるγ線ピーク（例：放射性ヨウ素）を確認する。
- ・不明ピークについては、エネルギー順の核データを参照して、同定を行う。
必要に応じて、同定した核種の核データを解析用核データライブラリに登録して、再解析を行う。

評価

図 3-4 測定したγ線スペクトルの解析手順フロー

（放射能測定法シリーズNo. 29「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトル解析法」⁸⁾より引用）

I-132 については、3.2 核データで示したように、複数の γ 線を放出し、サムピークを生成する核種であるため、サム効果補正やサム効果による不明ピークの発生に注意する。I-132 のサムピークについての詳細は参考 A-3 に記載した。

なお、I-132 は半減期が 2.3 時間で表 3-6 の 3 核種の中で半減期が最も短い核種であるが、核分裂生成物として生じる Te-132 (半減期 3.2 日) の子孫核種でもあり、両者は過渡平衡の関係にある (図 3-5 及び図 3-6)。そのため、放射性物質が環境中に放出された場合、半減期が 21 時間の I-133 よりも長い期間存在する。さらに、I-132 は過渡平衡核種であり、測定時点の放射能比が過渡平衡状態における放射能比であるとは限らないため、安易に減衰補正を適用すると過大評価や過小評価となる場合がある⁸⁾。そのため、減衰補正を行っていない測定時の放射能濃度で報告することを基本とし、必要とされる理由がある場合には減衰補正した値を報告する。いずれの場合も、報告値には、減衰補正の有無、減衰補正を行った場合はその理由と方法 (測定時刻、補正先時刻等を含む) を付記する。

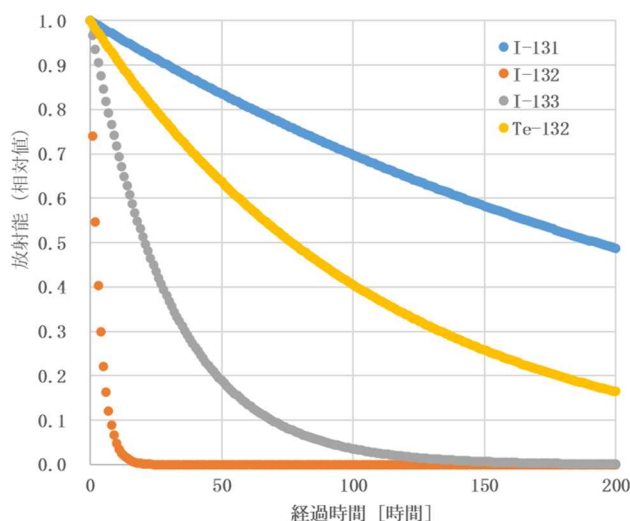


図 3-5 各放射性核種の半減期で減衰した場合の放射能の時間変化

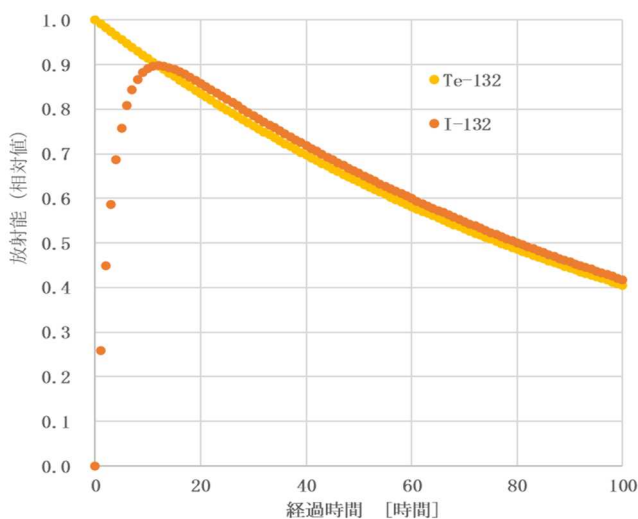


図 3-6 Te-132 及び I-132 (過渡平衡) の放射能の時間変化

3.4 データ評価

【大気試料】

オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ等で採取した大気は、粒子状のヨウ素はガラス繊維ろ紙に、ガス状のヨウ素は活性炭カートリッジにそれぞれ捕集され、回収したガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジをそれぞれゲルマニウム半導体検出器で測定することにより粒子状及びガス状の放射性ヨウ素濃度を得ることができる。両者を合算することにより、核種ごとの全放射性ヨウ素濃度を算出し、被ばく線量評価に活用する。

一方、大気モニタではろ紙のみで大気を採取するため、ろ紙により粒子状のヨウ素を捕集することはできるが、ガス状のヨウ素は捕集できない。このため、大気モニタのみを設置している地点では、次の手順で核種ごとの全放射性ヨウ素の濃度を算出し、被ばく評価に活用する。

- 1) オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ等で採取した試料のゲルマニウム半導体検出器による測定結果から、粒子状の放射性ヨウ素とガス状の放射性ヨウ素との比率を算出する。
- 2) 回収した大気モニタのろ紙をゲルマニウム半導体検出器で測定することにより、粒子状の放射性ヨウ素濃度を測定する。
- 3) 上記 1) で算出した粒子状の放射性ヨウ素とガス状の放射性ヨウ素との比率及び上記 2) で測定した粒子状の放射性ヨウ素濃度から、核種ごとの全放射性ヨウ素の濃度を算出する。

大気中の放射性ヨウ素における粒子状及びガス状の比率は時間的及び空間的に一定ではないことがあるため、大気モニタの結果から比率を用いてガス状の放射性ヨウ素を算出する際には、大気モニタとオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラで試料を採取した時間及び場所をできるだけ合わせる必要がある。比率の基となるオートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラの試料の採取時間に合わせて近くの場所で採取された大気モニタの測定結果を使用する。

【飲料水、食品試料】

空間放射線量率が $0.5 \mu\text{Sv/h}$ を超える地域においては、OIL6 に基づく防護措置の実施を判断するため、その地域で生産された飲食物中の放射性核種濃度を測定する。OIL6 は、1 週間以内を目途に飲食物中の放射性核種濃度の測定を行い、基準を超えるものについては摂取制限を迅速に実施する際の基準となる。

OIL6 の基準値を超過した場合には摂取が制限されることから、飲食物をゲルマニウム半導体検出器により測定した場合には、OIL6 の基準とも比較する必要がある。

【土壌試料】

土壌の分析結果は、地上に沈着した放射性物質による地表面の汚染の広がりを把握する目

的のため、重量当たりの放射能濃度 (Bq/kg) の他に、単位面積当たりの沈着量 (Bq/m²) でも評価する。そのため、土壌試料の採取においては、採取面積及び採取深度についても記録しておく必要がある。

測定試料重量から求めた単位重量当たりの放射能 (Bq/kg) を用いて、単位面積当たりの沈着量 (Bq/m²) を次式により算出する。

なお、緊急時における初期モニタリングにおいて不確かさを評価することは非常に煩雑な作業となるため、ここでは放射能濃度計算に伴い算出される計数誤差を標準偏差として記載した。

$$A_S \pm \Delta A_S = (A_W \pm \Delta A_W) \times W \times \frac{1}{S} \times 10^4$$

A_S : 1 m² 当たりの沈着量 (Bq/m²)

ΔA_S : A_S の計数に基づく標準偏差

A_W : 試料 1 kg 当たりの放射能濃度 (Bq/kg)

ΔA_W : A_W の計数に基づく標準偏差

W : 採取試料重量 (kg)

S : 採取面積 (cm²)

参 考

参考 A ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリーに関する検討

ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーにより、放射性ヨウ素を測定する場合の測定・解析のための参考データを示す。

A-1 測定時間と検出下限値

本測定法における **I-131** の定量可能レベルは表 3-3 及び表 3-4 として示しているが、これらは放射能測定法シリーズ No. 24 「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」⁶⁾ から一部抜粋したものである。一部の試料種について図にしたものを図 A-1-1 に示した。

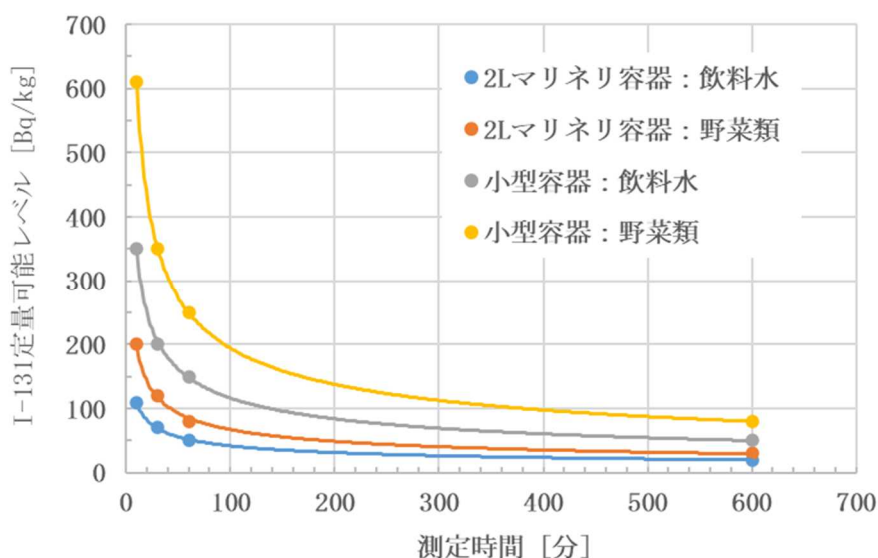


図 A-1-1 飲料水及び野菜類の I-131 定量可能レベル (表 3-3 及び表 3-4 より)

これらの数値は福島第一原発事故後に採取した環境試料をマリネリ容器 (2 L) 又は小型容器 (100 mL:50 mm ϕ \times 50 mm) に詰めて、相対効率 30 %程度のゲルマニウム半導体検出器で測定したスペクトルを基に、種々の測定時間及び各試料種類について計算して求めた検出下限値を定量可能レベルとしている。

定量可能レベルの計算に用いたスペクトルの一例を図 A-1-2 及び図 A-1-3 に示した。これらの解析結果を基に、定量可能レベルを算出した。なお、検出下限値は放射能測定法シリーズ No. 7 「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」⁷⁾ に記載の方法に従って計算したものである。

計算に用いたスペクトルの測定試料には放射性核種が多数、多量に含まれており、スペクトルのベースラインが高くなっているため、定量可能レベルも高くなっている。しかしながら、必ずしも測定試料の放射能濃度がこの程度まで高いとは限らず、I-131 及び Cs-137 を用いて作製した模擬試料による検討 (Ge 相対効率: 30 %) では、より低い検出下限値となっている (表 A-1-1)。

表 A-1-1 模擬試料による I-131 の定量可能レベルの検討結果

試料名	供試量	容器	定量可能レベル
			測定時間 10分
大気	0.25 m ³	小型	6 Bq/m ³
飲料水	2 L	2 Lマリネリ	2 Bq/L
牛乳	2 L	2 Lマリネリ	2 Bq/L
葉菜	0.5 kg	0.7 Lマリネリ	6 Bq/kg

今回の定量可能レベルの計算結果は、福島第一原発事故後に採取した環境試料のスペクトルを採用して、他の試料について求めたものである。また、緊急時の汚染状況等により測定試料に含まれる放射性核種の種類やその濃度によっても変動するため、ここに示した結果は一つの目安である。

参考として、基準のスペクトルよりは放射性核種濃度の低い試料の測定結果を図 A-1-4 及び図 A-1-5 に示した。

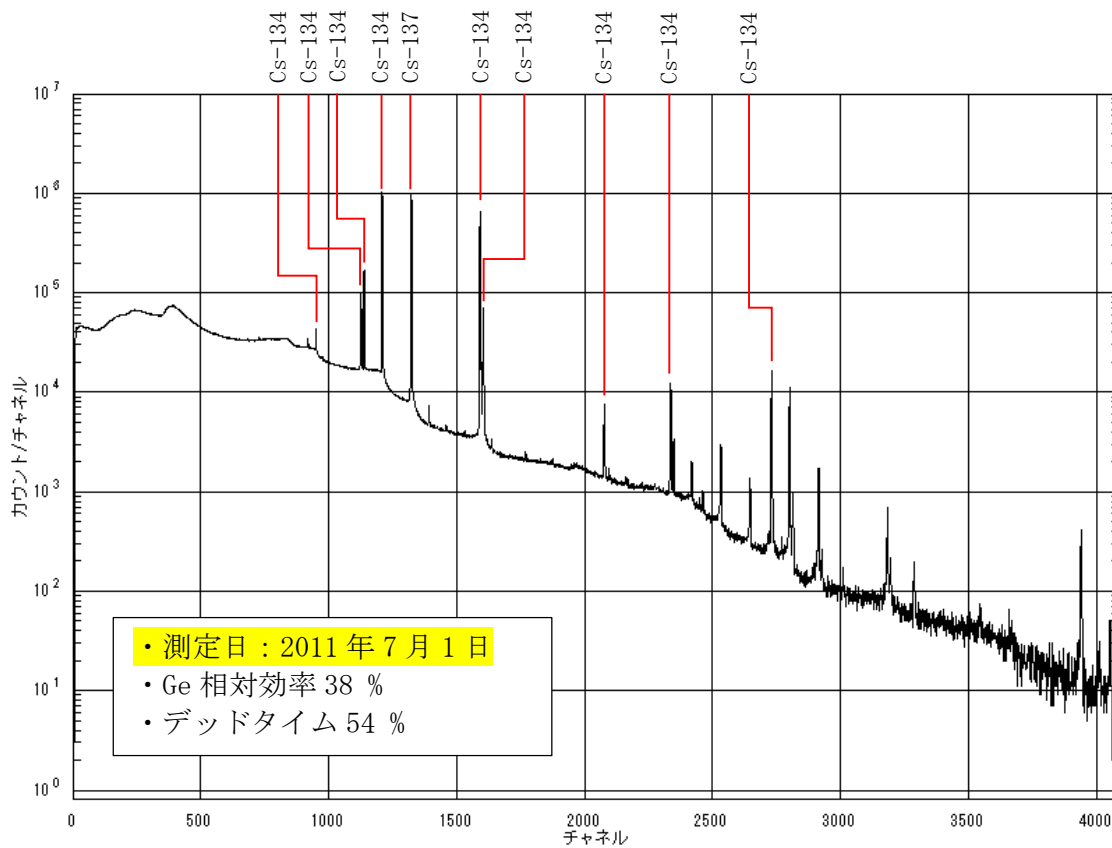


図 A-1-2 2 L マリネリ容器の定量可能レベルの計算に使用した γ 線スペクトル (降下物)

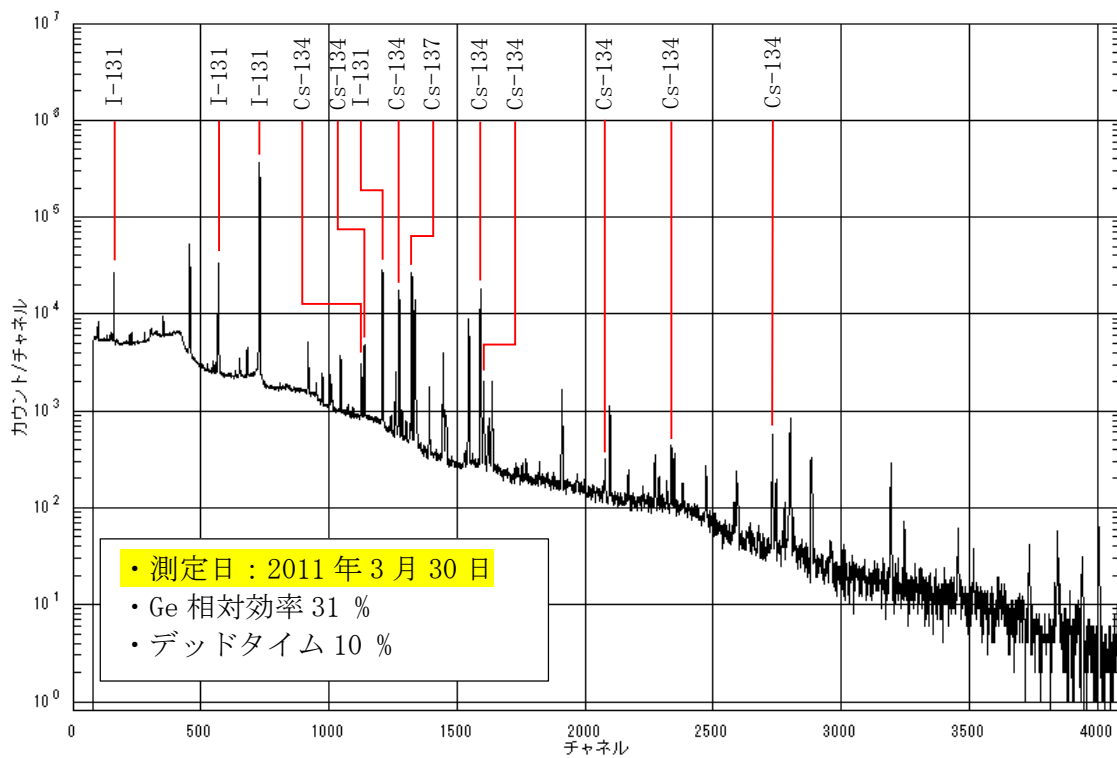


図 A-1-3 小型容器の定量可能レベルの計算に使用した γ 線スペクトル (土壌)

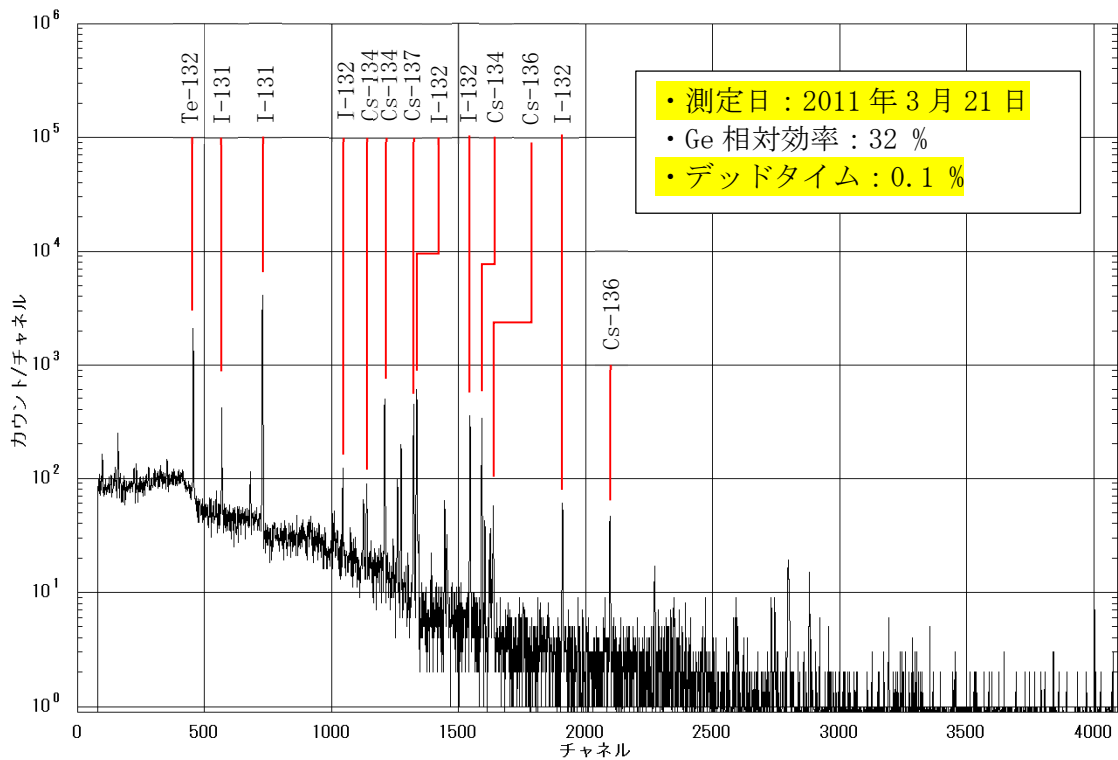


図 A-1-4 葉菜類の γ 線スペクトル (小型容器)
 (供試量: 約40 g、測定時間: 60分、I-131検出下限値: 30 Bq/kg)

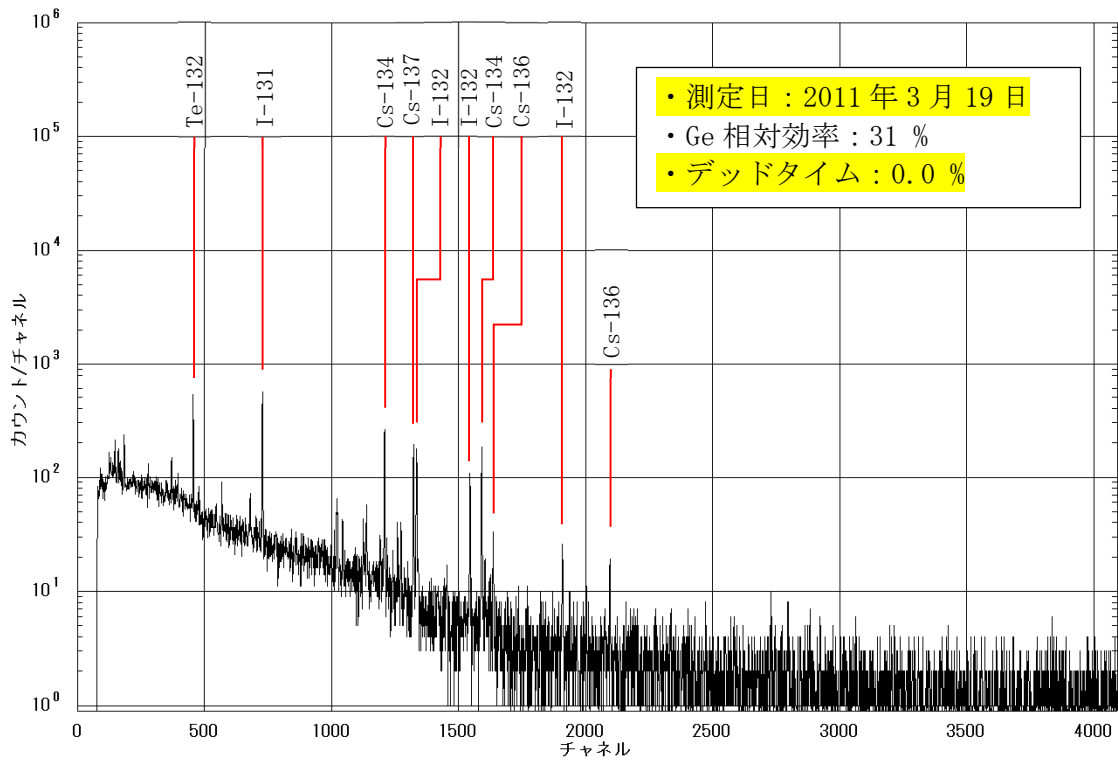


図 A-1-5 水道水の γ 線スペクトル (2 L マリネリ容器)
 (供試量: 2 L、測定時間: 330分、I-131検出下限値: 0.2 Bq/L)

A-2 活性炭カートリッジの吸引位置と計数効率について

活性炭カートリッジを用いるガス状ヨウ素の捕集において、ヨウ素は吸引面側の活性炭層（上流側）から吸着されるため、深さ方向に分布を持って吸着される。ヨウ素が吸着する層の厚さとそのヨウ素濃度は、吸引量及び流速等で変化する。このため、活性炭カートリッジ内に捕集されたヨウ素の分布は一樣とはいえず、捕集条件等により変化する。平常時ではゲルマニウム半導体検出器を用いて、このような試料の定量を行う場合には、活性炭を別容器に移して攪拌し、均一にした後に測定を行う方法が用いられてきた。しかし、緊急時においてこの方法は、手間がかかる上、周囲を汚染するリスクも大きい。このことから、活性炭カートリッジを直接測定する方法とその定量結果の偏りについて検討した。

活性炭カートリッジ（内径：52 mmφ、厚さ 18 mm）を想定し、小型容器（内径：48 mmφ）を用いて、各試料厚（吸着層の厚さに相当）1～18 mm に対する効率と、吸着層 18 mm（容器の上面からヨウ素が吸着した場合）に対する計数効率を算出した。なお、一般的なゲルマニウム半導体検出器として相対効率：27 %で、I-131 の 364 keV における計数効率とした。結果を図 A-2-1 に示す。

これらの結果から、吸引面を検出器に向けて測定した場合、試料厚 1～18 mm のピーク効率は 5.6～3.8 % と約 1.5 倍の違いが見られた。吸引面を検出器の反対に向けて測定した場合においても、効率 2.5～3.8 % と約 1.5 倍の違いが見られた。両者の平均をとった場合は、4.1～3.8 % と約 1.1 倍しか差が見られない結果となった。これは、ヨウ素を吸着させた活性炭カートリッジ内の活性炭を一旦取り出して均質化し、カートリッジに戻して測定した結果と比較した場合と同程度であった¹⁰⁾。

このことは、活性炭カートリッジの両面から測定を行い、その平均値を求めることで、10 % 以下の偏りで放射性ヨウ素を定量できることを示している。

しかしながら、緊急時におけるモニタリングにおいては、1 試料に対して測定を 2 回（粒子状ヨウ素を捕集したガラス繊維ろ紙を含めると 3 回）行わなければならないことは作業として煩雑であり、検出器のマシントイムの問題もあることから、本測定法では正確さは劣るものの、吸引面を検出器に向けて測定する安全側評価になる方法を採用した。

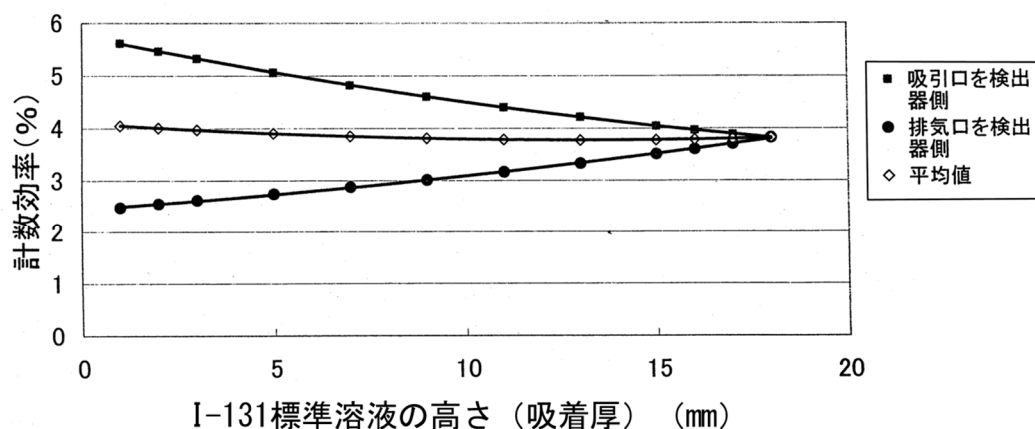


図 A-2-1 活性炭カートリッジの吸着層の違いによる I-131 (364 keV) の計数効率

A-3 I-132 のサムピークについて

本項は放射能測定法シリーズNo. 29「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法」⁸⁾の解説Bより引用したものである。

半減期2.3時間のI-132は複数の γ 線を放出し、サムピークが検出される代表的な人工放射性核種である。I-132の壊変に伴う主な γ 線を表A-3-1に示した。

表 A-3-1 I-132 の壊変に伴う主な γ 線

γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)
262.9	1.28	780.0	1.18
505.8 【①】	4.94	809.5	2.6
522.7 【②】	16.0	812.0 【⑨】	5.5
547.2	1.14	876.6	1.04
621.2	1.58	954.6 【⑩】	17.6
630.2 【③】	13.3	1136.0 【⑪】	3.01
650.5	2.57	1143.3	1.35
667.7 【④】	98.70	1172.9	1.09
669.8 【⑤】	4.6	1290.8	1.13
671.4 【⑥】	3.5	1295.1	1.88
727.0	2.2	1372.1	2.47
727.2 【⑦】	3.2	1398.6 【⑫】	7.01
728.4	1.6	1442.6	1.40
772.6 【⑧】	75.6	1921.1	1.23

注1：核データの出典は ENSDF（2017年10月時点）である。

注2：放出率1%以上で2000 keV以下の γ 線を掲載した。

注3：放出率が3%以上の γ 線をエネルギー順に①～⑫の番号を付与した。

注4： γ 線エネルギーは小数点以下1桁、放出率は小数点以下2桁で示した。

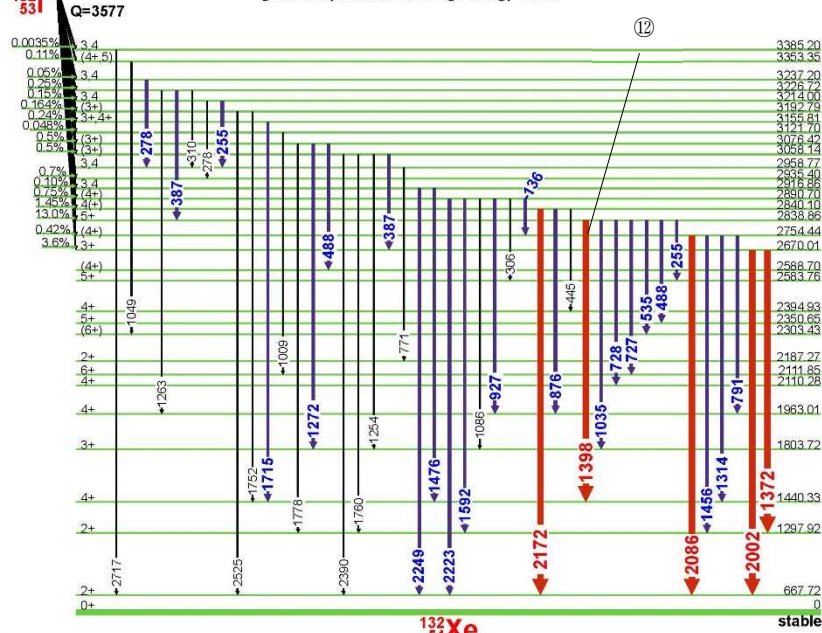
なお、 γ 線のエネルギーによって、放出率の小数点以下2桁目がない場合は、小数点以下1桁で示した。

I-132の壊変図を図A-3-1に示したが、I-132は多数の γ 線を放出することから、カスケード状に放出される γ 線のエネルギー遷移のパターンが複雑となる。放出率が小さい γ 線はサム効果を起こす確率が低くなることから、簡略化するために、表A-3-1に示した放出率が3%以上の γ 線である①から⑫の γ 線について考慮することとする。エネルギーの低い順に付与した①から⑫の番号の組み合わせにより、 γ 線スペクトル上にサムピークとして出現する可能性について判定した結果を表A-3-2に示した。

2.2 hr.

¹³²I(2.2 hr.) Decay Scheme

gamma-rays emitted from high energy levels

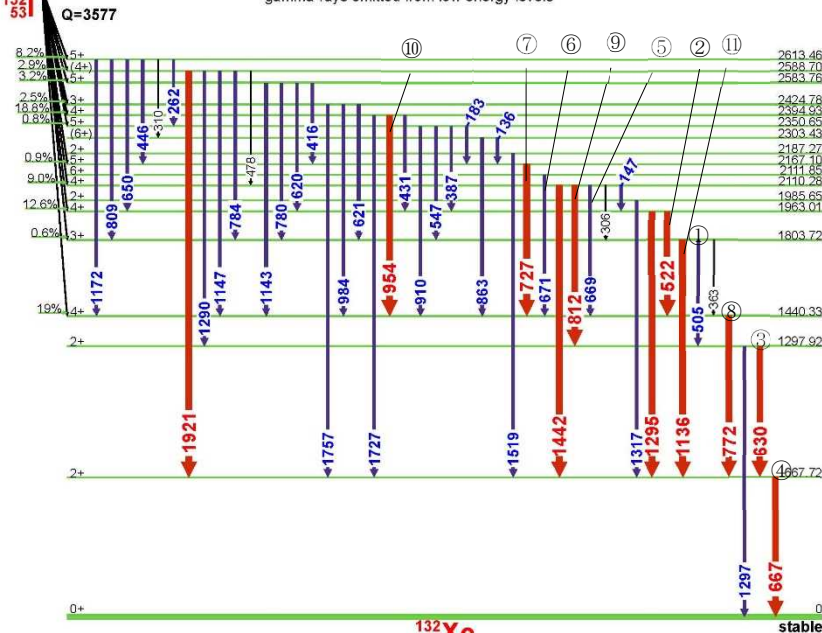


¹³²₅₄Xe
Table of Contents

2.2 hr.

¹³²I(2.2 hr.) Decay Scheme

gamma-rays emitted from low energy levels



¹³²₅₄Xe
Table of Contents

注：γ線のエネルギー遷移を示す矢印は、γ線スペクトル上のピーク及びベースライン領域より求められている感度指標で色分けされている。
赤>青>黒>の順でγ線スペクトル上のピークが確認しやすいことを示している（放出率の順ではない）。

図 A-3-1 I-132 の壊変図

出典：Online Spectrum Catalogs for Ge and Si(Li), Idaho National Laboratory
(URL : http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ge/catalog_ge.shtml)

表 A-3-2 I-132 の壊変に伴う γ 線のサムピーク出現判定表

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
①			※1	※4								
②				○				※2				
③				※2					※2			
④					○	○	○	○	○	○	○	※3
⑤								※2				
⑥								※4				
⑦								○				
⑧										※4		※3
⑨												
⑩												
⑪												
⑫												

※1：⑪の γ 線と同等のエネルギー遷移

※2：他の γ 線と同等のエネルギー遷移

※3：2000 keV 以上

※4：他の γ 線によるエネルギー遷移と区別が難しい。

表A-3-2より、 γ 線スペクトル上に出現するサムピークのエネルギーとしては次のとおりとなる。なお、I-132は1727.2 keVの γ 線を放出し、サムピーク（⑧+⑩）と区別するのは難しいが、 γ 線の放出率が0.067 %であることから、サムピークとして以下に記載している。

- 1190.4 keV (②+④)
- 1337.5 keV (④+⑤)
- 1339.1 keV (④+⑥)
- 1394.9 keV (④+⑦)
- 1440.3 keV (④+⑧)
- 1479.7 keV (④+⑨)
- 1499.8 keV (⑦+⑧)
- 1622.3 keV (④+⑩)
- 1727.2 keV (⑧+⑩)
- 1803.7 keV (④+⑪)

上記に示したサムピークが一部出現した γ 線スペクトルを図A-3-2に示す。

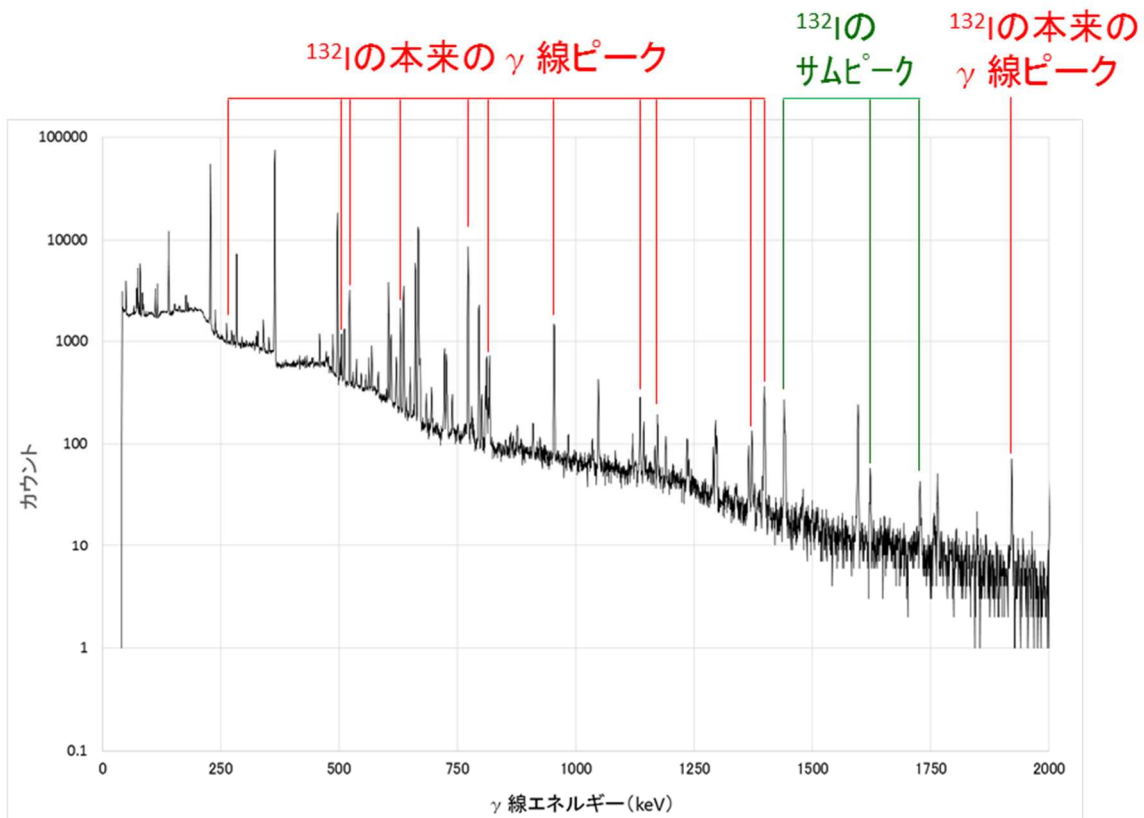


図 A-3-2 I-132 のサンプピークが出現した γ 線スペクトル
 (チョルノービリ原子力発電所事故時に採取した大気浮遊じん)

図A-3-1に示したI-132の β^- 壊変後のエネルギー遷移は、ほぼ全て667.7 keV (放出率98.70%)のエネルギー遷移を経由する。このため、上記以外にもサンプピークが出現することが考えられるので、667.7 keVの γ 線と放出率が3%以下の γ 線との組み合わせによるサンプピークを考慮すべき場合もある。

参考 B in-situ 測定

in-situ測定は、放射性物質が環境中に放出された後に、地表に沈着した放射性物質の特定、放射能濃度や空間放射線量率を任意の場所で測定することができ、放射性核種の面的な分布を把握することができる。

現地でリアルタイムの測定結果が得られることから機動性及び迅速性に優れており、地表面全体を対象として測定を行うため、測定地点周辺の平均的な測定結果を得ることができる。そのため、土壌を採取して施設に持ち帰って測定する場合に生じる試料の不均一や代表性の問題も解消できる利点がある。

in-situ測定により放射性ヨウ素を測定するためには、放射性ヨウ素から放出される γ 線のエネルギー情報が必要であるため、ゲルマニウム半導体検出器やNaI(Tl)シンチレーション検出器等による γ 線スペクトロメトリーが有効である。

以下に、in-situ測定に用いられるゲルマニウム半導体検出器及び種々のシンチレーション検出器について示す。

なお、ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定についての詳細は、放射能測定法シリーズNo. 33「ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定法」¹⁶⁾を参照のこと。

【ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定】

in-situ測定で使用するゲルマニウム半導体検出器は施設等で通常使用している据え置き型の機器と基本的には同様であるが、屋外での測定となることから運搬及び設置が容易に行えるようコンパクトな設計となっている。

通常のゲルマニウム半導体検出器と同様にエネルギー校正やピーク効率校正を行う必要があるが、地表面全体から入射する γ 線を測定するため、ピーク効率校正には角度依存性を考慮する必要がある。また、屋外で測定を行うことから、測定機器類の養生を行い、機器の汚染に注意する。



図B-1 液体窒素冷却式in-situ測定用ゲルマニウム半導体検出器の例

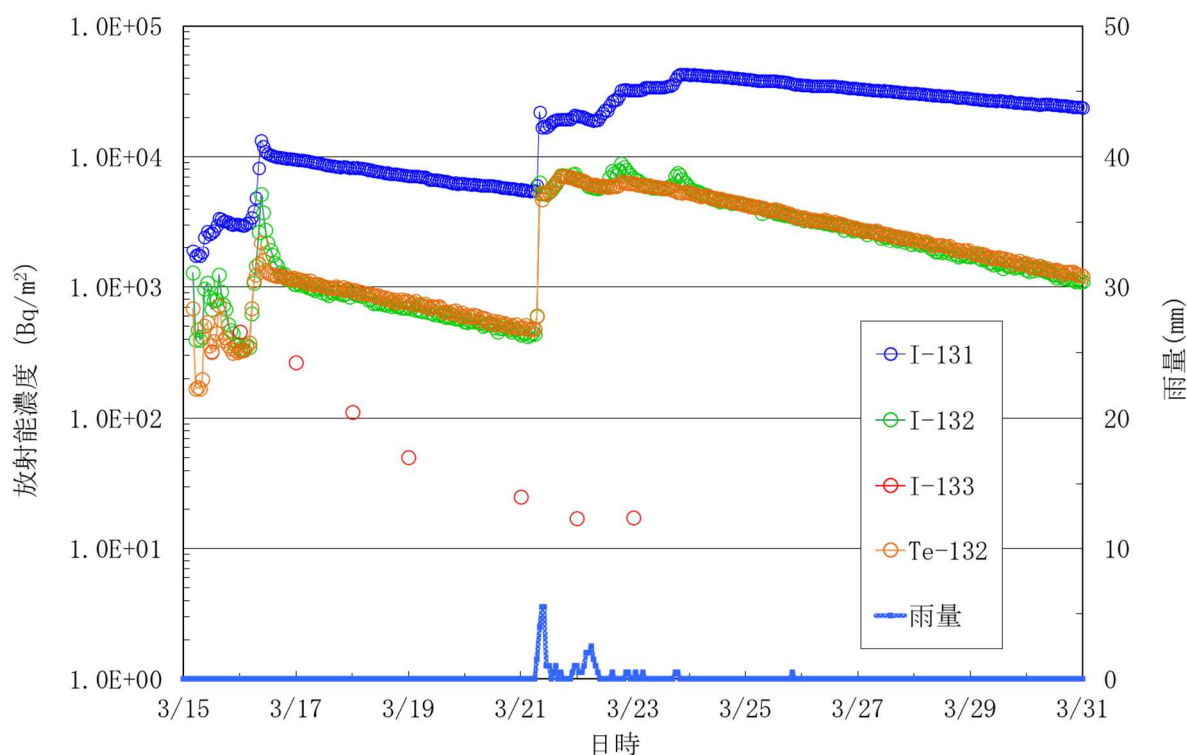
Beck らが開発したHASL*の方法（以下「HASL方式」という）を用いることにより、地表面に沈着した放射性物質について放射能濃度（単位面積当たりの放射能：Bq/cm²）及び空間放射線量率を算出することができる。

*HASL：Health and Safety Laboratory

（現在はNUSTL：National Urban Security Technology Laboratoryに改称）

HASL方式では、周囲の地形、放射性物質の土壌中における鉛直分布、検出器設置高さ（1 m）等の幾つかの条件を仮定した上で放射能濃度及び空間放射線量率を算出する。解析する上では土壌中の浸透度が重要となるが、放射性ヨウ素の場合では、その半減期の短さから浸透する前に減衰すると仮定して、地表面分布のみを考慮する。

HASL方式を用いて、2011年3月に千葉県千葉市において測定した放射性ヨウ素等の沈着量の評価例を図B-2に示す。3月15日から放射性ヨウ素等が検出され、3月21日には大気中に存在していた放射性ヨウ素が降雨により地表面に沈着し、放射能濃度の上昇が見られた。本法では、放射性ヨウ素が全て地表面に沈着していることを仮定して計算しているため、大気中に存在する放射性ヨウ素（ガス状及び粒子状）からの寄与がある場合には適切に評価することが困難である。



*データは1時間値で、プロットがない期間は不検出である。

*ゲルマニウム半導体検出器：地上約1 m高さに設置、相対効率約25 %

図B-2 千葉県千葉市における放射性ヨウ素等の沈着量の評価例

【可搬型スペクトロメータの例】

γ 線スペクトルを得るための検出器としてはNaI(Tl)シンチレーション検出器がよく用いられるが、その他の材質のシンチレータを使用した検出器も市販されている。

材質としてはハロゲン化合物を含む無機シンチレータが多く、有機シンチレータに比べて発光効率や吸収係数が高く、光電効果の割合が大きい等の利点がある。一方で、材質によっては潮解性を持っている場合があり、衝撃に弱い等の取り扱い上の難点もあるが、近年では潮解性がなく密度の大きい材質の検出器が実用化されている。表B-1に主なシンチレータの特性を示した。

なお、いずれの材質の検出器でも、エネルギー分解能についてはゲルマニウム半導体検出器には及ばないものの、冷却の必要がないため可搬性に優れている。

表B-1 主なシンチレータの特性

材質	密度 (g/cm ³)	相対発光強度*
NaI(Tl)	3.67	100
CsI(Tl)	4.51	45～50
SrI ₂ (Eu)	4.59	210
LaBr ₃ (Cs)	5.29	130

*NaI(Tl)を100として相対値で示した。

表B-1のシンチレーション検出器の特徴は以下のとおりである。

• NaI(Tl) :

エネルギー分解能が良く、入手しやすいため、 γ 線を測定する検出器としてよく用いられる。温度変化に弱く、潮解性があるため密封金属容器に封入されて使用される。エネルギー分解能はCs-137の662 keVのピークで約8 %程度である。

• CsI(Tl) :

結晶は劈開面のない立方晶構造で比較的硬度が低いため、割れにくく衝撃に強い特性を持っている。そのため、振動や環境変化の大きい場所で使用することが可能である。エネルギー分解能はNaI(Tl)と同程度である。

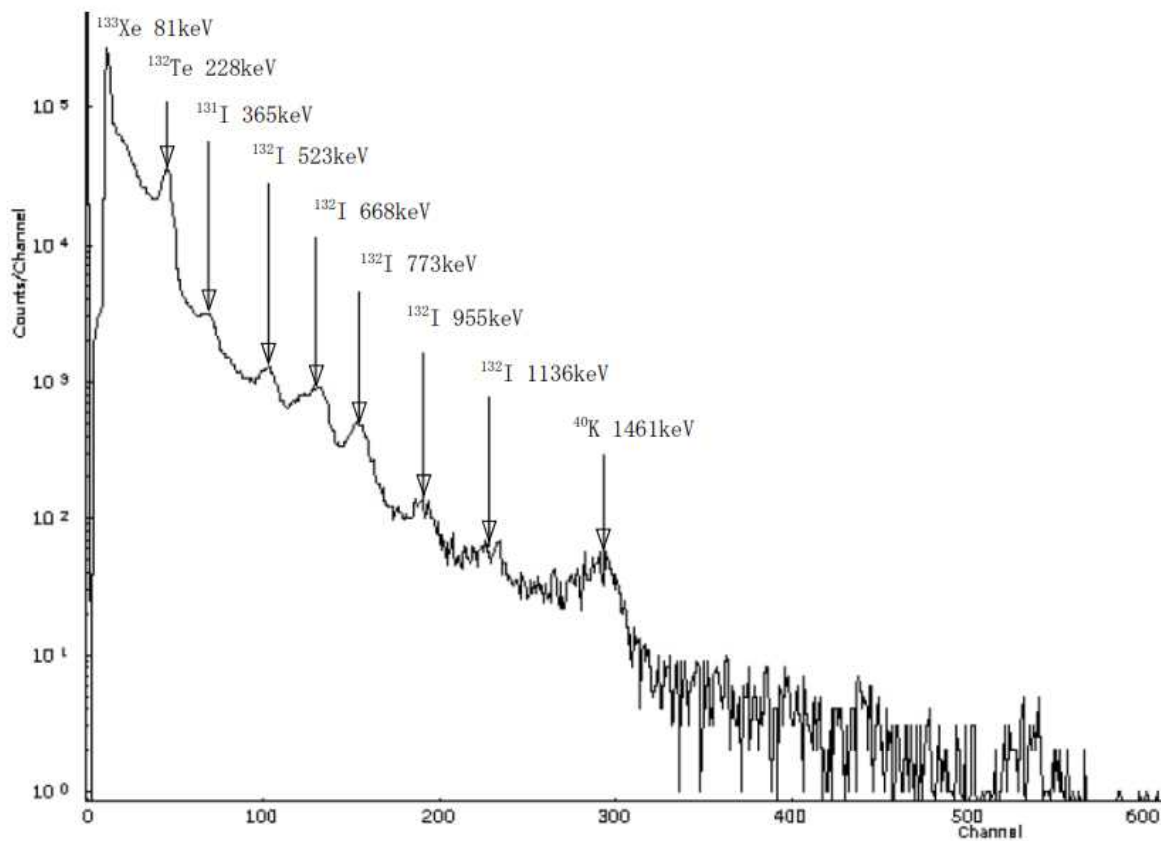
• SrI₂(Eu) :

高発光出力と4 %以下のエネルギー分解能を有するシンチレータで、検出器固有の自己放射能（セルフドーズ）がないため低バックグラウンドとなっている。

• LaBr₃(Cs) :

エネルギー分解能がNaI(Tl)の約2倍優れており、温度安定性も高い。減衰時間が短いため、高計数率場での測定にも適している。

可搬型ではなく固定型のモニタリングポストに設置したNaI(Tl)シンチレーション検出器のデータではあるが、福島第一原発事故時に測定されたスペクトルを図B-3に示す。I-131及びI-132等のピークを確認することができる。



放射能測定法シリーズNo. 17 「連続モニタによる環境γ線測定法」¹⁷⁾より

図B-3 東京電力福島第一原子力発電所周辺における
2011年3月13日のNaIスペクトル (600 秒測定)

参考C 連続モニタによる放射性ヨウ素の測定

オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラに検出器を組み合わせて、大気の採取から放射性ヨウ素の測定までを連続的に行う装置としてヨウ素モニタがある。検出器にはNaI(Tl)シンチレーション検出器やゲルマニウム半導体検出器等が用いられている。

本測定法では、オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラで捕集したガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジを回収し、分析所等のゲルマニウム半導体検出器で精密測定することを原則としているが、ヨウ素モニタは採取と同時に測定するため、迅速に放射性ヨウ素濃度を把握することが可能である。ただし、NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いる場合には定量性に乏しいこと、ゲルマニウム半導体検出器を用いる場合には導入費用が大きくなること及びゲルマニウム結晶の冷却が必要であることに留意する必要がある。

【ヨウ素モニタの例】



写真C-1 ヨウ素モニタの例

検出器：2” φ×2” NaI(Tl)シンチレーション検出器

測定対象：I-131等

捕集材：活性炭カートリッジ等

検出限界： 3.7×10^{-7} Bq/cm³ (I-131換算)

参考 E ヨウ素同位体比を用いた I-131 放射能濃度の推定

I-131は物理学的半減期が約8.0日であるため、原子力施設からの放射性物質の放出後の時間が経過するほど、その放出量や沈着量を評価することが困難になる。そのため、ヨウ素の同位体で物理学的半減期が約1600万年と長いI-129を指標にして、I-131放射能濃度を推定する手法の研究¹⁸⁾が福島第一原発事故後に行われているので紹介する。

研究の背景として、福島第一原発事故後の2011年6月に約2200地点（1地点5試料）の土壤試料が採取・分析され、そのほとんどから放射性セシウムが検出されたが、I-131については既に多くが減衰しており、検出されたのは421試料であったため、放射性物質の分布状況を把握するためのマップも放射性セシウムに比べて粗いものとなった（図E-1）。このI-131の分布状況マップを精緻化する試みとして、不検出の地点のI-131濃度をI-129濃度から推定する手法の開発が行われた。

E.1 I-129の分析方法

2011年6月に採取された土壤試料（福島第一原発から概ね80 km圏内）について、I-129を分析した。

土壤からのヨウ素の分離は加熱により揮発分離させ、トラップ溶液に捕集する方法とした。このトラップ溶液の一部からICP質量分析計によりI-127濃度を測定し、残りのトラップ溶液を化学処理してヨウ化銀（AgI）を調製し、加速器質量分析法（AMS：Accelerator Mass Spectrometry）にて測定（I-129/I-127原子数比）を行う方法^{15)、19)}を採用した。

E.2 I-131濃度の算出

I-129の分析結果からI-131の沈着量を求めるために必要なI-131/I-129濃度比は、福島第一原発事故が発生した2011年にI-131が検出された試料についてI-129を分析して求めたI-131/I-129濃度比である「9368」を用いた。その結果、I-129とI-131濃度の間には良い相関が見られた（相関係数0.84）¹⁸⁾。また、I-129の深度分布より、そのほとんどが表層5 cmに保持されていることから、表層土壤中のI-129を分析することによりI-131沈着量を推定できることが分かった。一方で、この手法には最大で35 %程度の誤差が含まれることも報告されている。

I-129の分析結果からI-131の降下量（Bq/m²）を求める方法の概要は以下のとおり。

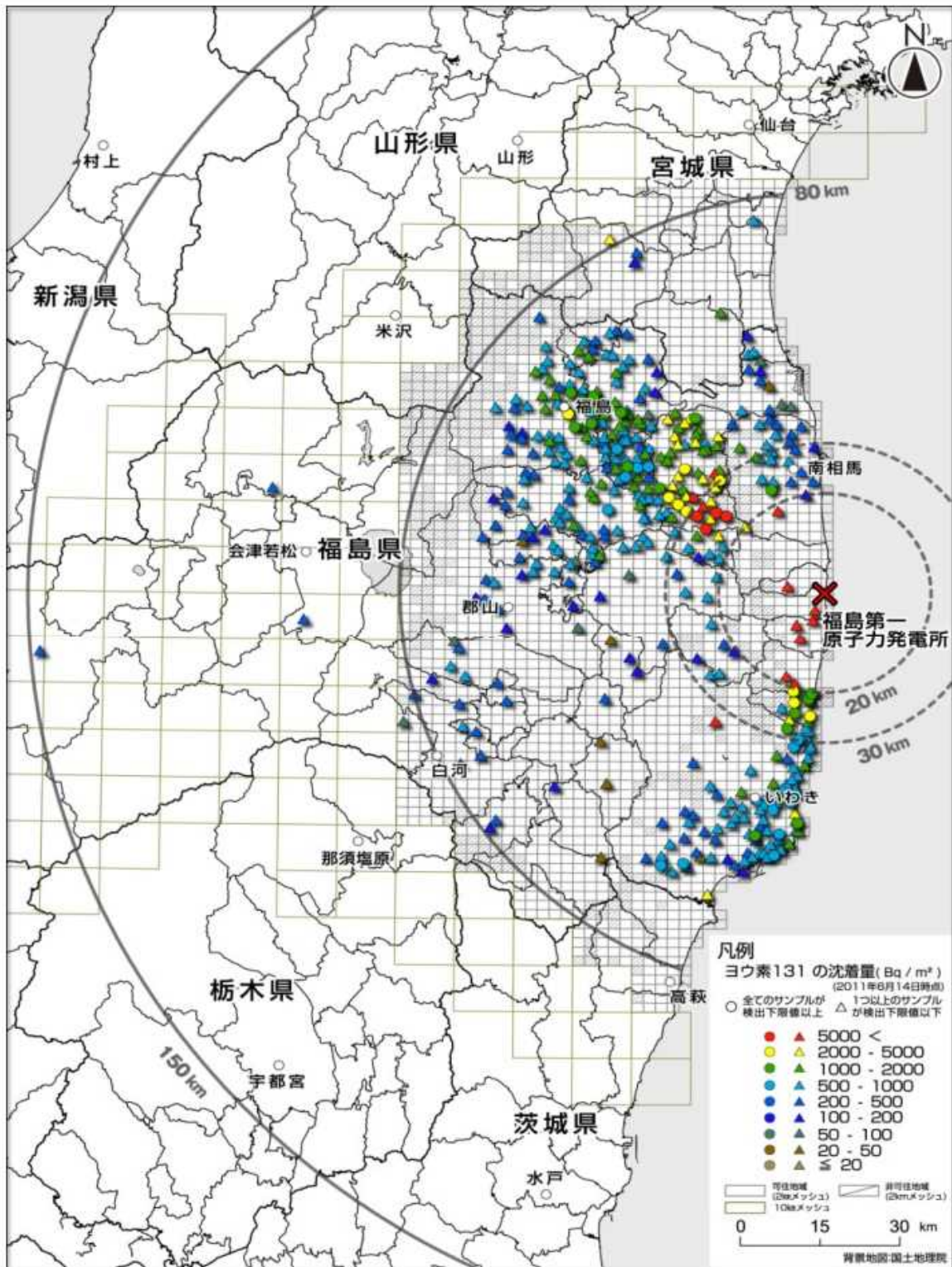
- 1) 土壤中のI-129濃度（重量比）を放射能濃度（mBq/kg）に換算
- 2) I-129の放射能濃度（mBq/kg）より、I-129の沈着量（Bq/m²）を算出
なお、放射能濃度から沈着量へは、採取表土5 cm（小型容器入り）の重量と、小型容器の面積を考慮し、単位面積当たり（1 m²）のI-129放射能濃度に換算した。
- 3) 上で求めたI-129の沈着量に前述のI-131/I-129濃度比を掛け、I-131の沈着量（Bq/m²）を算出した（減衰補正は2011年6月14日の時点）。

E.3 土壌採取場所におけるI-131の平均的な沈着量の推定

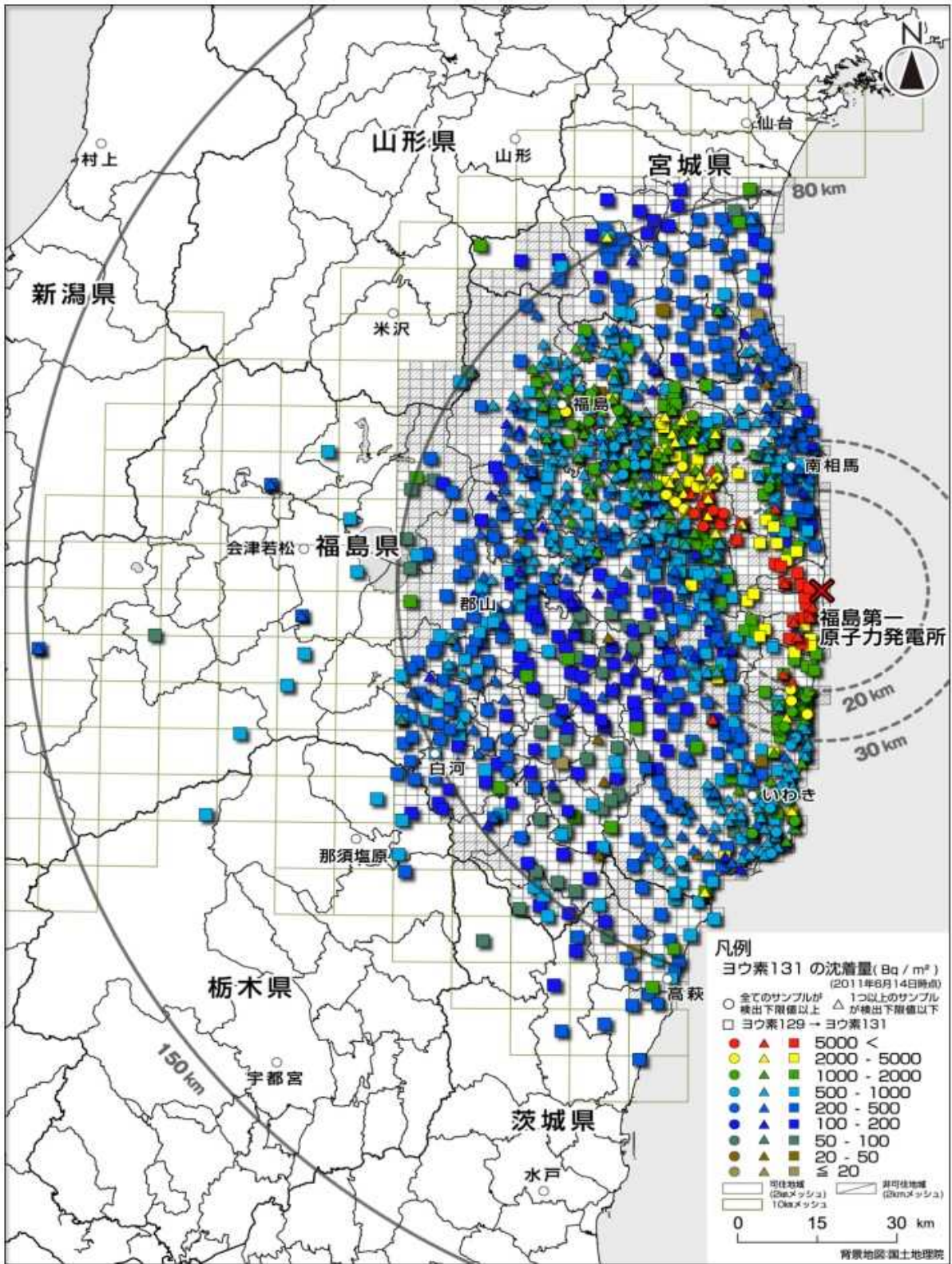
ゲルマニウム半導体検出器での測定においては、各測定地点で原則5試料を測定し、その平均値を取っているが、I-129の分析は手間と時間がかかることから、各測定地点で1試料のみを選んで分析を行った。そのため、測定地点内のばらつきを補正するため、採取試料のCs-137沈着量と各地点5試料のCs-137沈着量の平均値との比を求め、各地点におけるI-131の平均的な沈着量を推定した。つまり、当該試料のI-131沈着量に、以下のファクター（F）を掛け合わせて、I-131の平均的な沈着量を求めた。

$$F = \text{「各地点5試料のCs-137沈着量の平均値」} / \text{「当該試料のCs-137沈着量」}$$

以上の手法により得られたI-131沈着量を用いることでI-131分布マップの充実化が図られた。図E-1に、直接I-131が検出された421試料の分布マップを示した。この図に、I-129から推定した741試料のI-131沈着量を合わせた1162試料の分布マップを図E-2に示した。



図E-1 平成23年6月の調査で測定されたヨウ素131沈着量マップ(Bq/m²) 18
 (減衰補正：平成23年6月14日)



図E-2 ヨウ素129から再構築したヨウ素131沈着量を図E-1に重ねたマップ(Bq/m^2) 18
(減衰補正：平成23年6月14日)

付 録

付録A 用語

本測定法で使用している用語の定義を示す。

用語	説明
緊急時モニタリング	原子力災害対策指針に基づく施設敷地緊急事態及び全面緊急事態に実施する環境放射線モニタリング
情報収集事態	放射性物質の放出の有無等を確認する段階
警戒事態	原子力施設における異常事象の発生又はそのおそれがあるため、情報収集や、緊急時モニタリングの準備、施設敷地緊急事態要避難者の避難等の防護措置の準備を開始する必要がある段階
施設敷地緊急事態	原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性のある事象が生じたため、原子力施設周辺において緊急時に備えた避難等の主な防護措置の準備を開始する必要がある段階
全面緊急事態	原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性が高い事象が生じたため、重篤な確定的影響を回避（最小化）するため及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置を実施する必要がある段階
OIL	Operational Intervention Level（運用上の介入レベル）の略称
オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ	ガラス繊維ろ紙及び活性炭カートリッジを一定の時間ごとに交換しながら、 粒子状 及び ガス 状の放射性ヨウ素を連続的にサンプリングする機器
ゲルマニウム半導体検出器	ゲルマニウムの半導体としての特性を利用してγ線スペクトロメトリーを行うための機器
可搬型サンプラ	可搬型のダストサンプラ 本測定法では、ロウボリウムエアサンプラとハイボリウムエアサンプラに大別される
ロウボリウムエアサンプラ	吸引量 20～100 L/min 程度で、数日～1 週間程度、大気浮遊じんを捕集する機器
ハイボリウムエアサンプラ	吸引量 200～2000 L/min 程度で、短時間に多量の大気を吸引して大気浮遊じんを捕集する機器
大気モニタ	大気浮遊じん中の放射能濃度を連続測定するための機器であり、緊急時に使用する機器 測定原理はダストモニタと同じであるが、 本測定法においては、大気モニタは緊急時のために増設した機器を指し、短い時間間隔で迅速に大気中放射性物質濃度を測定する仕様となっている
ガラス繊維ろ紙	本測定法においては、粒子状ヨウ素の捕集材
活性炭カートリッジ	本測定法においては、ガス状ヨウ素の捕集材
放射性ヨウ素	ヨウ素の放射性同位体の総称
粒子状ヨウ素	放射性ヨウ素のうち、 固体状のものをいい、ガラス繊維ろ紙により捕集される

ガス状ヨウ素	放射性ヨウ素のうち、気体状のものをいい、活性炭カートリッジにより捕集される
半減期	ある基準とする時刻における放射能に対して、放射能が1/2になる時間 半減期は核種に固有の値であり、短いもので1秒よりはるかに長く、長いもので数十億年以上である 半減期を T 、経過時間を t 、基準時 ($t = 0$) の放射能を A_0 とすると、時間 t における放射能 A は次のように表される $A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \text{または、} \quad A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$ なお、 $\ln(2) \approx 0.693$ であり、半減期と壊変定数 λ の関係は、 $T = \ln(2)/\lambda$ である
内部被ばく	放射性物質を吸入摂取、経口摂取等により体内に取り込み、体内にある放射線源から放射線を受けること
γ 線スペクトロメトリー	ゲルマニウム半導体検出器等を用いて γ 線スペクトルを測定する技術及びスペクトルを解析して放射能を決定する方法 γ 線スペクトロスコピー (spectroscopy) ともいわれる
スペクトル	放射線のエネルギー分布またはパルス波高分布をいうが、一般的には後者をいうことが多い α 線や β 線の場合は、そのエネルギー分布にほぼ相似なスペクトルを示す。 γ 線スペクトルの場合は、本来は検出器の有感体積内で吸収された高速二次電子のエネルギー分布となる。しかし、実際に観測される γ 線スペクトルは、二次電子のエネルギーから出力パルスの波高への変換過程において、統計的変動や雑音等種々の「ゆらぎ」のために広がったパルス波高分布となる。
ピーク効率	α 線スペクトルあるいは γ 線スペクトル測定において、ピークの正味計数率から算出した計数効率をいう 最も基本的な定義としては、ピークの正味計数率を n 、線源から放出される測定対象の放射線の強度を I とすると、ピーク効率は $\varepsilon = \frac{n}{I}$ と表される γ 線スペクトル解析では、最も重要な定量因子である。放射線エネルギー及び測定試料のジオメトリに依存する他に、自己吸収やサム効果等複雑な補正因子を含むこともある
計数効率	測定値 (計数率) から放射能または放射線強度を決定するため用いる定数をいう 放射能を A (Bq) 、測定する放射線の放出率を I_γ 、正味計数率を N (s^{-1}) とすると計数効率 ε は $\varepsilon = \frac{N}{A \cdot I_\gamma}$ と表される この関係には、幾何学的効率が含まれているが、検出器のみの効率 (検出効率ともいう) をいうときは幾何学的効率を含まない場

	合がある
サムピーク	<p>γ線スペクトロメトリーにおいて、複数のγ線が検出器にほぼ同時に入射し検出され、それらγ線のエネルギーの総和に相当する信号が出力されることで生じるピーク</p> <p>1回の壊変事象で複数のγ線を放出する核種では、サムピークが顕著にみられる（例：Cs-134、I-132）</p> <p>また、高濃度の放射性核種を含む試料の測定では、異なる原子核の壊変事象に伴い放出されたγ線（例：Cs-134+Cs-137、Cs-137+Cs-137）が偶発的にほぼ同時に検出されて生じるランダムサムによるピークもみられる</p>
検出下限値	測定試料と測定条件（測定器、測定時間等）が決められたとき、分析対象となる核種について検出できる最小量（値）
定量可能レベル	<p>試料種、供試量及び測定時間等の一連の分析条件が共通の場合に定量が可能とみられるレベルを検出下限値の経験値の蓄積を基に設定したもの</p> <p>本測定法においては、福島第一原発事故後に採取された環境試料をマリネリ容器又は小型容器に詰めて、実測したスペクトルを利用し、環境試料の種類、測定時間ごとに検出下限値を計算した結果を定量可能レベルとした</p>

付録B 参考文献

- 1) 原子力災害対策指針（令和4年7月6日一部改正）
- 2) 緊急時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）（令和3年12月21日一部改訂）
- 3) 放射能測定法シリーズNo. 16「環境試料採取法」（昭和58年制定）
- 4) 放射能測定法シリーズNo. 35「緊急時における環境試料採取法」（令和3年制定）
- 5) 放射能測定法シリーズNo. 36「大気中放射性物質測定法」（令和4年制定）
- 6) 放射能測定法シリーズNo. 24「緊急時における γ 線スペクトロメトリーのための試料前処理法」（平成31年改訂）
- 7) 放射能測定法シリーズNo. 7「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」（令和2年改訂）
- 8) 放射能測定法シリーズNo. 29「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法」（平成30年改訂）
- 9) 吉田芳和ら, 放射性ヨウ素のモニタリング, 保健物理, 9, 233-241, (1974).
- 10) 小嵐淳ら, 排気中放射性ヨウ素のモニタリング手法の検証（再評価）と高度化への提言, JAEA-Technology, 2010-039, (2010).
- 11) 加藤正平ら, 活性炭繊維を用いた空气中放射性ヨウ素モニタリング用フィルタの開発, 保健物理, 21, 9-15, (1986).
- 12) 文部科学省原子力災害対策支援本部, 「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果報告書 放射線量等分布マップ 関連研究に関する報告書（第2編）」, (2012)
- 13) 放射能測定法シリーズNo. 32「環境試料中ヨウ素129迅速分析法」（平成16年制定）
- 14) 武石稔ら, 環境試料中の ^{127}I 及び ^{129}I の中性子放射化分析法, 保健物理, 22, 39-45, (1987).
- 15) H. Matsuzaki, et al. “Development of ^{129}I -AMS system at MALT and measurements of ^{129}I concentrations in several Japanese soils”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 259, 721-726, (2007).
- 16) 放射能測定法シリーズNo. 33「ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定法」（平成29年改訂）
- 17) 放射能測定法シリーズNo. 17「連続モニタによる環境 γ 線測定法」（平成29年改訂）
- 18) 村松康行ら, ヨウ素129の定量を通じたヨウ素131の土壌濃度マップの精緻化, 「平成25年度東京電力（株）福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」事業成果報告書, 1, 74-83, (2013).
- 19) Y. Muramatsu, et al. “AMS analysis of ^{129}I in Japanese soil samples collected from background areas far from nuclear facilities”, Quaternary Geochronology, 3, 291-297, (2008).