

## 放射性物質の分析方法について

### 1. 放射線の種類

放射線とは、荷電粒子（ $\alpha$ 線、陽子、重イオン等）、電子（ $\beta$ 線）、中性子等からなる高エネルギー粒子線と、 $\gamma$ 線やX線の波長の短い電磁波を総称したものである。一般には、物質を通過する際にその相互作用により物質を直接あるいは間接に電離する能力を有する電離放射線を放射線と呼んでいる。

$\alpha$ 線はHe原子核であり、その飛程は非常に短い（通常は紙や数cmの空気層で止まる）一方で、透過性が低く周囲の狭い範囲に大きなエネルギーを付与するので内部被曝の影響は大きい。 $\beta$ 線は電子であり、その飛程は $\alpha$ 線よりは長いが $\gamma$ 線よりは非常に短い（通常は数mmのAl板や1cm程度のプラスチック板で止まる）。 $\gamma$ 線は電磁波であり、物質中を通過する際に光電効果、コンプトン効果、電子対生成等によってそのエネルギーを失う。 $\alpha$ 線や $\beta$ 線と比較すると飛程は長いが電離作用は弱い。

### 2. 環境モニタリングで使用される放射性物質の分析方法

#### 2.1 全アルファ放射能測定

##### (1) 目的

環境中の $\alpha$ 線放出核種の濃度を測定し、異状の有無を監視する。核種の判定はできないが、スクリーニング等に使用される。大気に関しては、2.2 全ベータ放射能測定と合わせて $\beta/\alpha$ 比を監視する（天然放射性核種による $\beta/\alpha$ 比はほぼ一定なので、変動があった場合には人工放射性核種の放出が疑われる）ことによって人工放射能の放出の有無を監視するためにも使用される。

##### (2) 測定方法

対象の試料を前処理（電着）し、それをZnS(Ag)シンチレーション計数装置、ガスフロー計数装置、シリコン半導体検出器等によって $\alpha$ 線計測する。

##### (3) 対象核種

U-238、U-234、Th-230、Ra-226、Rn-222、Po-218、Bi-214等。

##### (4) 注意事項

- ・ 核種の同定はできない。

#### 2.2 全ベータ放射能測定

##### (1) 目的

環境中の $\beta$ 線放出核種の濃度を測定し、異状の有無を監視する。核種の判定はできないが、簡便に放射能の汚染状況をチェックできるため、スクリーニング等に使用される。

##### (2) 測定方法

試料水（蒸発濃縮・乾固したもの）や、灰化物、沈殿試料等について、GM計数管（ $\beta$ 線計測可能なもの）で計数する方法が一般的である。ただし、エネルギーの低い $\beta$ 線を放出するH-3やC-14等では、 $\beta$ 線が試料自体による自己吸収や試料と検出器との間の空気層等で吸収されてしまうためにGM計数管では測定が難しい。

### (3) 対象核種

GM計数管を使用する場合は、H-3、C-14等以外の核種。例えば、P-32、Co-60、Sr-89、Sr-90、Y-90、Tc-99、I-131等。

### (4) 注意事項

- ・ GM計数管を使用する場合は、エネルギーの低い $\beta$ 線を放出するH-3やC-14等の測定はできない。
- ・ 蒸発濃縮等の前処理をすることによって、原試料の濃度が低い場合でも検出が可能である。
- ・ 核種の同定はできない。

## 2.3 空間線量率の測定

### (1) 目的

空間線量率を測定し、異状の有無を監視する。空間線量率とは対象とする空間の単位時間当たりの放射線量を示すものであるが、通常の測定対象は $\gamma$ 線及びX線である。

### (2) 測定方法

通常は、固体シンチレータ（放射線があたると蛍光を発する性質を持つもの）の一種であるNaIを用いて $\gamma$ 線の放射を検出するNaIシンチレーションサーベイメータを使用する。

また、放射線の放出源からの距離や放出源の大きさで検出される $\gamma$ 線量が異なるので（点源の場合、線量は距離の二乗に反比例する）、対象の物質に含まれる放射性物質の量への換算はできない。

### (3) 対象核種

$\gamma$ 線を放出するほとんどの核種を測定できる。Be-7、K-40、Co-60、I-131、Cs-134、Cs-137等。

### (4) 注意事項

- ・ 放射線の放出源からの距離や放出源の大きさで検出される $\gamma$ 線量が異なるので、測定点の情報が重要である。
- ・ 核種の同定はできない。

## 2.4 ガンマ線スペクトロメトリ

### (1) 目的

$\gamma$ 線のエネルギースペクトルを測定し、放射性物質の核種や放射能を求める。

### (2) 測定方法

Ge 半導体検出器を利用したものが代表的である。エネルギー分解能に優れており、エネルギースペクトルを精密に測定できるので、核種の同定が可能である。

### (3) 対象核種

$\gamma$ 線を放出するほとんどの核種を同時に測定できる。Be-7、K-40、Co-60、I-131、Cs-134、

Cs-137等。

## 2.5 個別核種の分析法

### (1) 目的

多くの核種が混合している場合でも $\gamma$ 線放出核種についてはスペクトロメトリによって核種を同定しその量を測定することが可能であるが、 $\alpha$ 線のみあるいは $\beta$ 線のみ放出核種の場合にはそれはできないので、検出対象とする核種ごとに試料を前処理して測定することが必要になる。

### (2) 測定方法

文部科学省放射能測定法シリーズでは、対象核種によっては、質量分析（ICP-MS 分析を含む）、化学分析（吸光光度、蛍光光度）等の方法が示されている（下表参照）。特に、環境中のウランやトリウム分析では、ICP-MSによりU-238やTh-232を分析することが多い。

なお、放射性物質の分析では、試料の種類（水、土壌、生物等）によって種々の分離・濃縮操作が必要で、用いた方法によって検出下限値等が異なるため、それぞれに適した方法を用いることが必要である。

### (3) 対象核種

文部科学省放射能測定法シリーズでは、以下のような核種の測定法について記載されている。

Sr-89、Sr-90、Cs-137、I-131、Co-60、Zr-95、H-3、Ru-106、Ce-144、Pu-238、Pu-239、Pu-240、U-234、U-235、U-238、Ra-234、Ra-236、Ra-238、Am-241、C-14、I-129、Cm-242、Cm-243、Cm-244、Np-237

### (4) 注意事項

- 対象核種に合わせた前処理法及び測定法を選択することが重要である。

文部科学省 放射能測定シリーズでの代表的な放射性核種の分析方法の概要

放射性核種	No (*1)	規格・基準	分析方法等
H-3	9	トリチウム分析法	$\beta$ 線計測 (液体シンチレーションカウンタ) 前処理として蒸留(他の核種/塩類の除去)後の試料水を分析に供する。
Co-60	5	放射性コバルト分析法	$\beta$ 線計測 (低バックグラウンド $\beta$ 線計測装置 (GM計数装置)) 前処理として、水酸化物として沈殿、蒸発、溶解、イオン交換樹脂による分離を行う。 (水酸化物沈殿/蒸発/溶解⇒カラム吸着/溶離⇒電着板吸着⇒ $\beta$ 線計数)
Sr-90	2	放射性ストロンチウム分析法	$\beta$ 線計測 試料水を蒸発乾固後、イオン交換法、発煙硝酸法またはシュウ酸塩法等で処理し、低バックグラウンド $2\pi$ ガスフロー計数装置により定量する。 (安定ストロンチウムの分析では ICP-MS も可能)
I-129	4	放射性ヨウ素分析法 (I-131)	$\beta$ 線計測 (牛乳試料のみ) イオン交換分離⇒ $\beta$ 線が計測できる GM 計数管による計測 $\gamma$ 線計測 (空気中じん埃、降水、海水、野菜、牛乳、海藻) NaI シンチレーション検出器又は Ge 半導体検出器による計測
	26	ヨウ素-129分析法	$\beta$ 線又は $\gamma$ 線計測 前処理として、活性炭吸着法又はアルカリ溶液吸収法で濃縮する。(濃縮⇒蒸発/乾燥⇒低バックグラウンド計測装置による $\beta$ 線測定 or $\gamma$ 線スペクトロメトリ) 中性子放射化分析法 原子炉で中性子照射し生成する I-130 の $\gamma$ 線を測定
	32	環境試料中ヨウ素-129迅速分析法	質量分析 ICP-MS による質量分析 前処理として、固相抽出法で分離/生成する。
Cs-137	3	放射性セシウム分析法 (Cs-137)	$\beta$ 線計測 (低バックグラウンド $\beta$ 線計測装置 (GM計数装置)) 試料の種類によって、種々の分離・濃縮等の操作が必要で、例えば、水試料では、蒸発あるいはイオン交換吸着等による分離操作が必要である。 $\gamma$ 線計測 [上記の $\beta$ 線計測による分析法は昭和 51 年改訂版によるもので、現状ではゲルマニウム検出器による $\gamma$ 線計測 (Cs-137 が崩壊して生成される Ba-137m からの $\gamma$ 線) が行われている。]
Pu-239 + Pu-240 + Pu-238	12	プルトニウム分析法	$\alpha$ 線スペクトル計測 (シリコン半導体検出) イオン交換又は溶媒抽出により分離精製⇒ステンレス板に電着⇒シリコン半導体検出
U	14	ウラン分析法	化学分析 (対象の試料の種類で操作が異なる) 分離・精製 (キレート樹脂、水酸化鉄共沈、TBP 抽出、イオン交換) ⇒化学分析 (吸光光度、蛍光光度) $\alpha$ 線スペクトル計測 (シリコン半導体検出) (上記と同様の分離・精製方法) 質量分析 (ICP-MS 分析) 土壌等の固体試料は硝酸溶液で溶解後に測定
Ra	19	ラジウム分析法	(対象の試料の種類で分析方法等が異なる) $\alpha$ 線スペクトル計測 (液体シンチレーション、Zn(S)シンチレーション、電離箱) 荷電粒子測定 ( $2\pi$ ガスフロー比例計数管)  (また、試料の前処理、分離・精製は対象試料の種類により、イオン交換、Ba(Pb)SO <sub>4</sub> 共沈捕集、全分解又は酸抽出、EDTA 洗浄、BaSO <sub>4</sub> 再沈殿、EDTA 又はリン酸分解による溶液化等の前処理、分離・精製が行われる)

\* 1 : 文部科学省 放射能測定シリーズ No (放射能測定シリーズの全体は参考)に示す

## 【参考】

## 文部科学省 放射能測定シリーズ一覧

No.	書名	制定 (改訂)
1	全ベータ放射能測定法	昭和 51 年 9 月 (2 訂)
2	放射性ストロンチウム分析法	平成 15 年 7 月 (4 訂)
3	放射性セシウム分析法	昭和 51 年 9 月 (1 訂)
4	放射性ヨウ素分析法	平成 8 年 3 月 (2 訂)
5	放射性コバルト分析法	平成 2 年 2 月 (1 訂)
6	NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法	昭和 49 年 1 月
7	ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー	平成 4 年 8 月 (3 訂)
8	放射性ジルコニウム分析法	昭和 51 年 9 月
9	トリチウム分析法	平成 14 年 7 月 (2 訂)
10	放射性ルテニウム分析法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
11	放射性セリウム分析法	昭和 52 年 10 月
12	プルトニウム分析法	平成 2 年 11 月 (1 訂)
13	ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法	昭和 57 年 7 月
14	ウラン分析法	平成 14 年 7 月 (2 訂)
15	緊急時における放射性ヨウ素測定法	平成 14 年 7 月 (1 訂)
16	環境試料採取法	昭和 58 年 12 月
17	連続モニタによる環境 $\gamma$ 線測定法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
18	熱ルミネセンス線量計を用いた環境 $\gamma$ 線量測定法	平成 2 年 2 月 (1 訂)
19	ラジウム分析法	平成 2 年 2 月
20	空間 $\gamma$ 線スペクトル測定法	平成 2 年 2 月
21	アメリカシウム分析法	平成 2 年 11 月
22	プルトニウム・アメリカシウム逐次分析法	平成 2 年 11 月
23	液体シンチレーションカウンタによる放射性核種分析法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
24	緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法	平成 4 年 8 月
25	放射性炭素分析法	平成 5 年 9 月
26	ヨウ素-129 分析法	平成 8 年 3 月
27	蛍光ガラス線量計を用いた環境 $\gamma$ 線量測定法	平成 14 年 7 月
28	環境試料中プルトニウム迅速分析法	平成 14 年 7 月
29	緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法	平成 16 年 2 月
30	環境試料中アメリカシウム 241、キュリウム迅速分析法	平成 16 年 2 月
31	環境試料中全アルファ放射能迅速分析法	平成 16 年 2 月
32	環境試料中ヨウ素 129 迅速分析法	平成 16 年 2 月
33	ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法	平成 20 年 3 月
34	環境試料中ネプツニウム 237 迅速分析法	平成 20 年 3 月

(財)日本分析センターホームページより引用 (<http://www.jcac.or.jp/series.html#2>)