

浜 岡 原 子 力 発 電 所  
周 辺 環 境 放 射 能 調 査

< 解 説 資 料 >

令 和 7 年 6 月

静 岡 県 環 境 放 射 能 測 定 技 術 会



## 目 次

はじめに	1
第 1 環境放射能調査の解説	2
1 調査の目的	2
2 実施機関	2
3 調査の流れ	3
4 日常生活の中の放射線	4
5 測定の実施と実施内容	7
6 測定の方法等	9
7 異常時の対応	10
8 周辺住民等の被ばく線量の評価	12
9 過去の大気圏内核爆発実験の影響	13
10 東電事故等の影響	15
第 2 測定の実際（各測定の詳細）	17
1 空間放射線量率の測定	18
2 積算線量の測定	31
3 大気中浮遊塵の全 $\alpha$ ・全 $\beta$ 放射能の測定	33
4 $\gamma$ 線放出核種の測定	37
5 ストロンチウム 90 の測定	44
6 トリチウムの測定	48
7 プルトニウム 238, 239+240 の測定	51
8 排水の全計数率の測定	53
別記 1 測定値の表示方法	56
別記 2 測定目標値	57
別記 3 品質保証	58
第 3 用語の解説	59

## は　じ　め　に

静岡県においては、「浜岡原子力発電所の安全確保等に関する協定（以下「安全協定」という。）」に基づき、静岡県環境放射能測定技術会（以下「技術会」という。）が「浜岡原子力発電所周辺環境放射能測定計画（以下「測定計画」という。）」を作成し、浜岡原子力発電所周辺 10km 圏内を中心とした環境放射能調査を実施している。

各測定機関が測定を行い、その結果を技術会が検討及び評価するが、この一連の作業を調査と呼んでいる。

この資料は、調査の内容をより深く理解してもらうための解説書である。

# 第1 環境放射能調査の解説

## 1 調査の目的

技術会が行う環境放射能調査は、次に掲げる目的の下、浜岡原子力発電所を中心とした概ね半径10kmの範囲を対象に行っている。

なお、県及び中部電力では、別の事業として、10～30km圏内の環境放射能測定も行っている。

### (1) 周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価

浜岡原子力発電所の周辺住民等の健康と安全を守るため、平常時から、環境における浜岡原子力発電所起因の放射性物質又は放射線による周辺住民等の被ばく線量を推定し、評価する。

### (2) 環境における放射性物質の蓄積状況の把握

浜岡原子力発電所からの影響の評価に資するため、平常時から、浜岡原子力発電所の運転により放出された放射性物質の環境における蓄積状況を把握する。

### (3) 浜岡原子力発電所からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価

浜岡原子力発電所から敷地外への予期しない放射性物質又は放射線の放出を検出することにより、浜岡原子力発電所の異常の早期発見に資する。

また、浜岡原子力発電所から予期しない放射性物質又は放射線の放出があった場合に、その影響を的確かつ迅速に評価するため、平常時モニタリングの結果を把握しておく。

### (4) 緊急事態が発生した場合への平常時からの備え

緊急事態が発生した場合に、緊急事態におけるモニタリングへの移行に迅速に対応できるよう、平常時から緊急事態を見据えた環境放射線モニタリングの実施体制を備えておく。(バックグラウンド測定)

### (5) 補足参考測定

(1)から(4)までの目的を達成する上で参考となるもの、浜岡原子力発電所からの影響を判断する上で参考となるもの、環境中の経時変化を把握する上で有効なもの又は測定技術の維持が必要と考えられるものについては、平常時から測定を行い、その結果を把握しておく。

## 2 実施機関

【測定】 静岡県環境放射線監視センター

中部電力株式会社浜岡原子力発電所

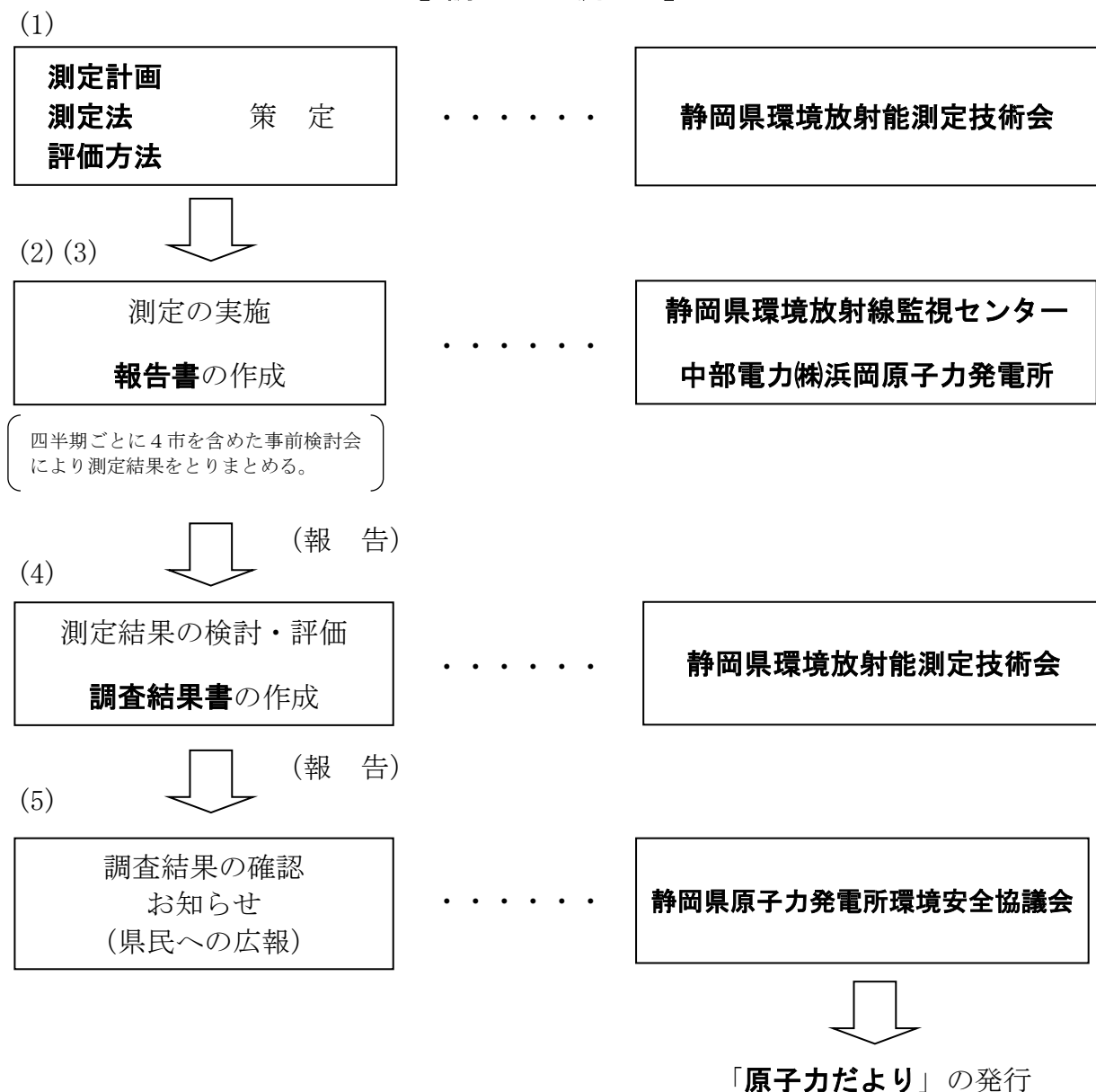
御前崎市、牧之原市、掛川市及び菊川市（試料採取等に協力）

【評価】 静岡県環境放射能測定技術会

### 3 調査の流れ

- (1) 技術会が**測定計画**、**測定法**及び**評価方法**を定める。
- (2) 県（環境放射線監視センター）と中部電力（浜岡原子力発電所）が、測定計画に基づき、測定を実施する。（4市（御前崎市、牧之原市、掛川市及び菊川市）は試料採取等に協力）
- (3) 県及び中部電力は、四半期ごとに測定結果を取りまとめ、4市を加えた測定結果等事前検討会で**報告書**を作成する。
- (4) 県及び中部電力は、技術会において測定結果を報告する。  
技術会は、測定結果に対し、検討及び評価を加えた**調査結果書**を作成する。
- (5) 技術会は、静岡県原子力発電所環境安全協議会に調査結果を報告し、確認を得る。  
協議会は、広報誌「**原子力だより**」で調査結果を4市住民等にお知らせする。

#### 【 調 査 の 流 れ 】



## 4 日常生活の中の放射線

### (1) 空間放射線

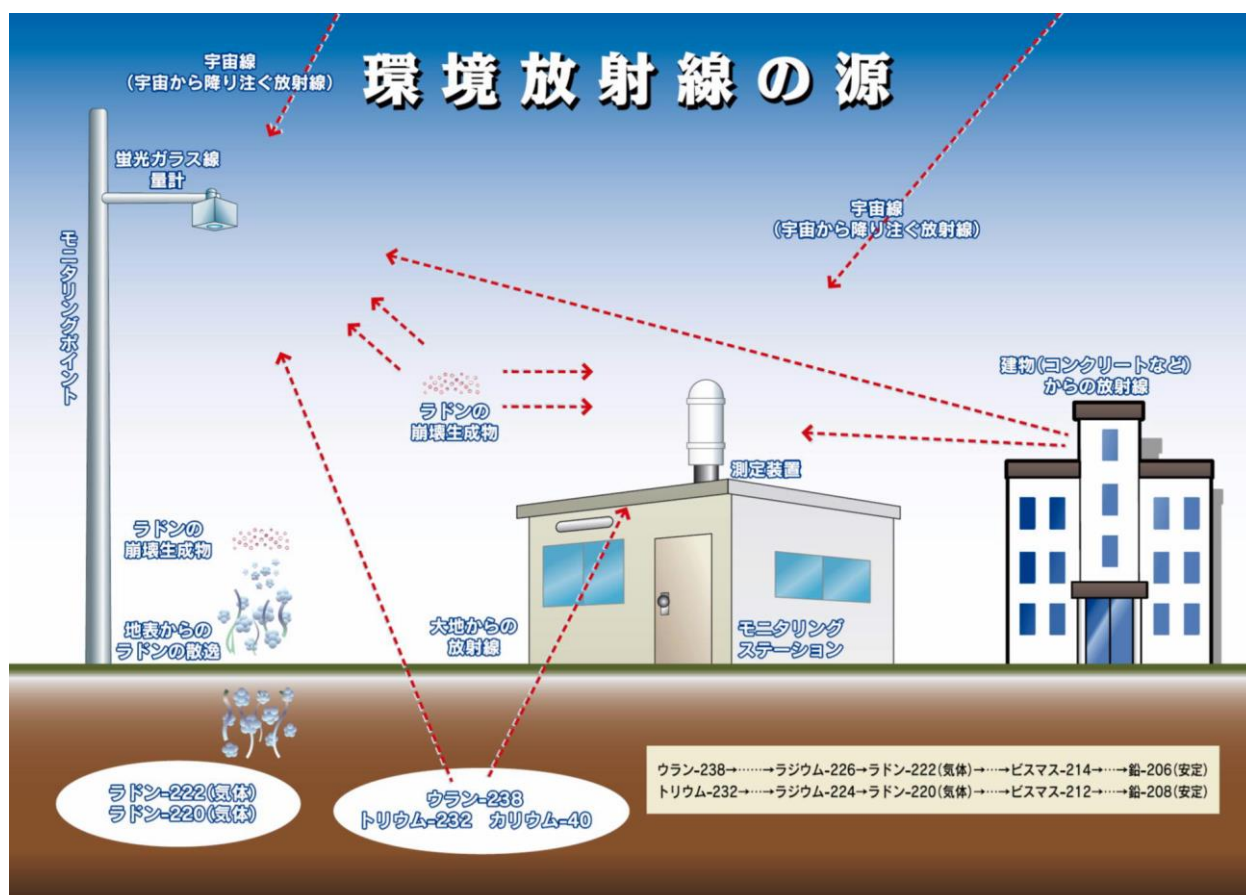
空間放射線は、下図に示したように、①**宇宙線**（宇宙から飛来する高エネルギーの放射線やそれと反応してできる放射線）、②**大地**中の自然放射性核種からの放射線、③**大気**中を浮遊している自然放射性核種（ラドンの崩壊生成物）からの放射線、④測定地点付近にある**建物**の中の自然放射性核種からの放射線、⑤**事故等**による人工放射性核種の影響などから来るものである。

なお、本県が行う線量率の測定は、NaI シンチレーション検出器で行っているが、当該測定器では宇宙線を測定していないため、測定値の中身は②～⑤からなる。その中でも、②が大部分を占めており、測定値に地域差が見られるのは、**土壌中の自然放射性核種濃度が違う**ためである。

土壌中の自然放射性核種は、ウラン（U）系列、トリウム（Th）系列、カリウム 40（K-40）の 3 つの成分からなる。（24、36 ページ参照）

自然放射性核種濃度は一般に基盤地質に依存するといわれており、人体に対する外部被ばくは、主としてこれらの核種に起因する  $\gamma$  線によって生じることになる。

### 空間放射線量の中身（環境放射線の源）



## (2) 環境試料

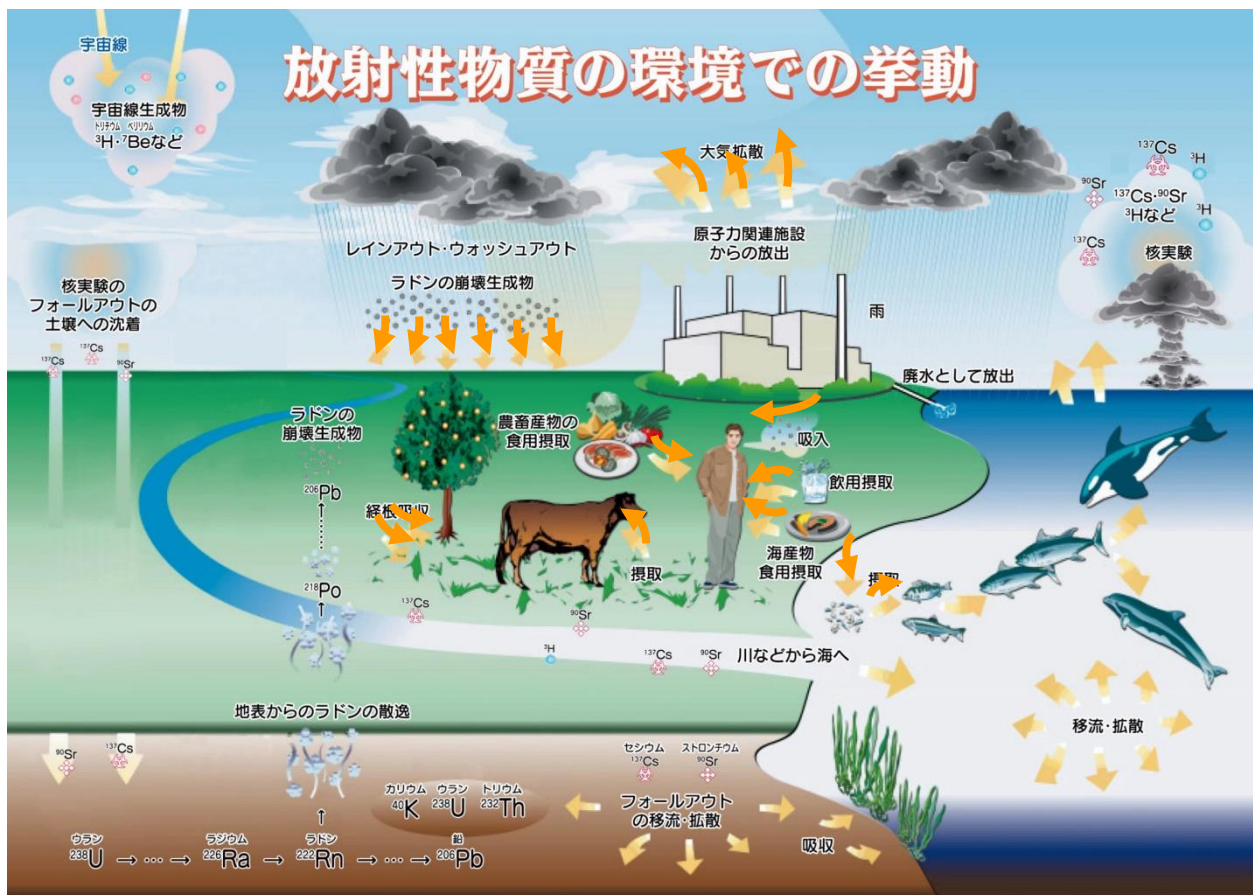
下図に示したように、放射性物質の環境中での挙動は、あたかも大気汚染物質が風や雨などによって環境中を移動し、その後、食物連鎖に乗って植物、動物、人間へ到達する様子に似ている。

食品中の放射性核種は、動植物体を構成する必須元素として含まれている炭素、水素、カリウムなどの放射性同位体 ( $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{40}\text{K}$ ) が主なものである。

このほか、生育地域の土壌から農作物などによって吸収されたウラン、トリウム、ラジウム、ポロニウム、鉛などの自然放射性核種とセシウム 137 やストロンチウム 90 などの人工放射性核種があり、これらは必須元素ではないため、土壌中の放射性核種濃度の地域差や動植物の代謝特性の違いによる種への取り込みの違い、人工放射性核種にあっては降下・沈着した量の違いなどがある。

また、大気や飲料水も同様に、自然放射性核種と人工放射性核種を含有しており、これら環境試料の吸入や摂取が人体への内部被ばくの要因となる。

### 放射性物質の環境での挙動





### (3) 日常生活の中で受ける放射線量

私たちの生活環境中には様々な放射線源が存在し、被ばくによる影響は実効線量（mSv：ミリシーベルト）という単位で計ることになる。

下表のとおり、国民が1年間に受ける被ばく線量は、自然放射線によるものが2.10mSv、人工放射線によるものが3.88mSvと推定されており、人工放射線については医療被ばくによるものが大部分を占めている。

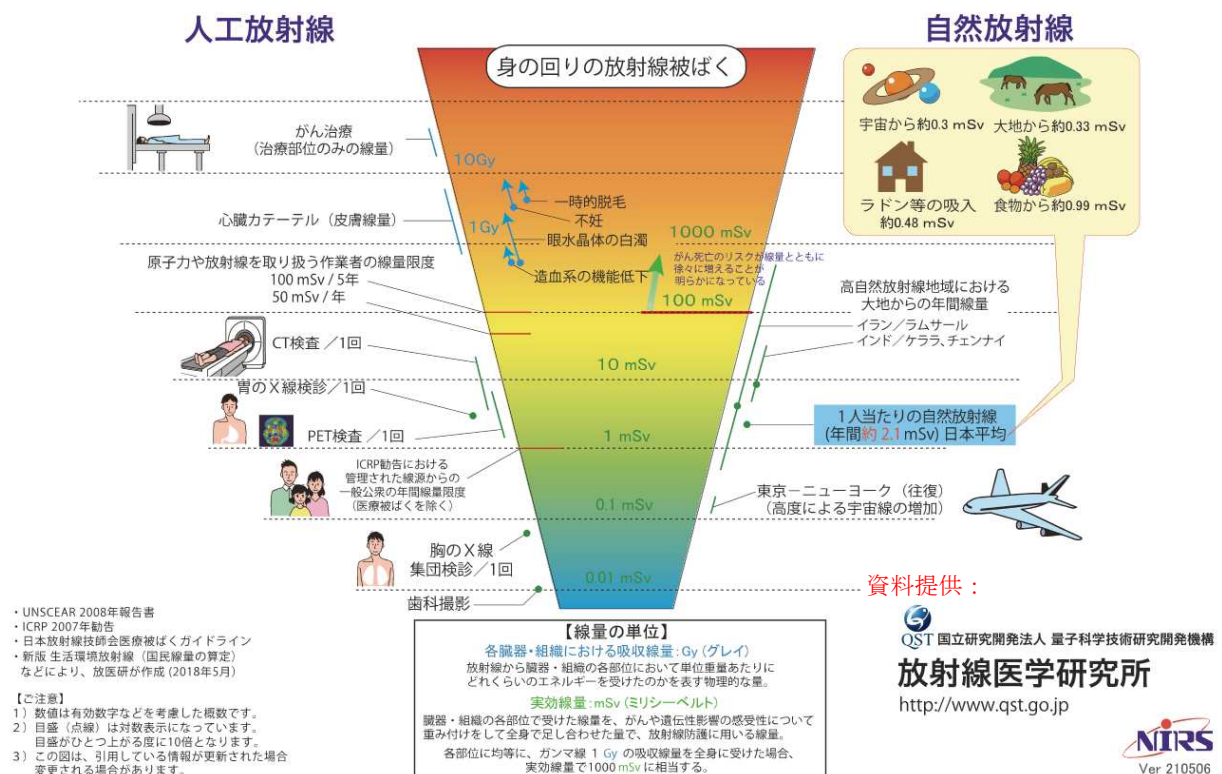
各線源からの国民1人当たりの年間実効線量（mSv/年）

自然放射線		2.10
(内訳) 外部被ばく	宇宙線(0.3)、大地(0.33)	0.63
内部被ばく(吸入)	ラドン、トリウム、喫煙等	0.48
内部被ばく(経口)	鉛210、ポロニウム210、カリウム40等	0.99
人工放射線		3.88
(内訳) 核実験フォールアウト		0.005
職業被ばく		0.0015
医療被ばく		3.87
諸線源による被ばく	(航空機乗客の線量が主体)	0.004
その他	(地球規模のクリプトン85が主体)	0.0001
合 計		5.98

新版 生活環境放射線（国民線量の算定）平成23年12月（(公財)原子力安全研究協会）から引用

(参考) 浜岡原子力発電所周辺地域における自然放射線による外部被ばく線量（大地）は、令和元年度の測定結果から、約0.29mSvと推定される。（建物による線量の低減は考慮していない。）

## 放射線被ばくの早見図



## 5 測定の目的と実施内容

測定は、1 に掲げた目的に応じ、測定計画において実施内容を定め、実施している。

### (1) 「周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価」のための測定

原子力発電所周辺の住民等の被ばく線量は、外部被ばくの実効線量と内部被ばくの預託実効線量の合算によって計算される。

外部被ばくは、人体の外側から受けた放射線による影響をいい、その実効線量はモニタリングステーション等で測定した空間放射線量率の値から算出する。

内部被ばくは、人体の内側で受けた放射線による影響をいい、その預託実効線量は農畜産物や海産生物などの放射能から算出される。これら環境試料の選定にあたっては、生産量などから地域を代表するものか、継続的に採取が可能か、線量評価を行う上で適切なものかなどの点を考慮している。

#### 【測定計画】

実施項目	測定地点・測定試料	放射線の種類
空間放射線量率 (1時間平均値)	モニタリングステーション (14 地点／連続) (NaI シンチレーション検出器等による測定)	γ 線
環境試料中の放射能	大気中浮遊塵、キャベツ、白菜、茶葉、玄米、 しらす、あじ、あおりいか、わかめ、上水など (約 40 地点 測定数約 200／年)	β 線、γ 線

### (2) 「環境における放射性物質の蓄積状況の把握」のための測定

放射性物質の蓄積状況を把握するための採取試料としては、土壌及び海底土が重要である。

採取地点は、発電所からの位置関係を考慮し、定点で採取が可能か、経年的な追跡が可能か、また土壌については土地の利用状況も考慮し、選定している。

#### 【測定計画】

実施項目	測定地点・測定試料	放射線の種類
環境試料中の放射能	土壌 (4 地点／四半期) 海底土 (10 地点／四半期)	γ 線

### (3) 「浜岡原子力発電所からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価」のための測定

発電所から放出される放射性物質の影響を迅速に捉えるためには、連続かつ短時間の測定が必要である。

モニタリングステーションでは、空間放射線量率の測定に加え、大気中の浮遊塵を連続的に採取可能で検出性の高いダストモニタを設置している。モニタリングステーションで取得したデータは、テレメータシステムにより環境放射線監視センターに集約される。

また、海域への放出に対しては、中部電力が設置する放水口モニタのデータをテレメータシステムで取得し、監視している。

#### 【測定計画】

実施項目	測定地点・測定試料	放射線の種類
空間放射線量率 (10 分間平均値)	モニタリングステーション (14 地点／連続) (NaI シンチレーション検出器等による測定)	γ 線
環境試料中の放射能	モニタリングステーション (5 地点／連続) (ダストモニタによる大気中浮遊塵の測定)	α 線、β 線
排水の全計数率	放水口モニタ (4 地点／連続)	γ 線

### (4) 「緊急事態が発生した場合への平常時からの備え」のための測定（バックグラウンド測定）

緊急時モニタリングの結果を適切に評価するためには、平常時における環境試料中の放射能の水準（バックグラウンド）を把握しておくことが重要である。

このため、緊急時モニタリング計画で定めた採取地点についてモニタリングを実施し、緊急事態に備えておくこととしている。

測定は、試料の種類に応じ、γ 線放出核種、トリチウム、ストロンチウム 90、プルトニウムの分析を定期的実施している。（プルトニウム以外はおおよそ 5 年に 1 回の頻度、プルトニウムは 1 回のみ。）

#### 【測定計画】

実施項目	測定地点・測定試料	放射線の種類
環境試料中の放射能	上水、土壌、海水、農畜産物等	α 線、β 線、 γ 線

### (5) 補足参考測定

(1) から (4) までの目的には該当しないが、これらの目的を達成する上で参考となるもの、浜岡原子力発電所からの影響を判断する上で参考となるもの、環境中の経時変化を把握する上で有効なもの又は測定技術の維持が必要と考えられるものについては、平常時から測定を行い、その結果を把握しておくこととしている。

#### 【測定計画】

実施項目	測定地点・測定試料	放射線の種類
環境試料中の放射能	降下物、指標生物（松葉）及び海水（14 地点 測定数 128／年）	γ 線

## 6 測定の方法等

測定は、次表に掲げる測定器を用い、原子力規制庁等が作成した「放射能測定法シリーズ」により行っている。

実施項目	測定器	放射能測定法シリーズ
空間放射線量		
線量率	NaI シンチレーション検出器等	連続モニタによる環境 $\gamma$ 線測定法
環境試料中の放射能		
大気中浮遊塵の 全 $\alpha$ 放射能・全 $\beta$ 放射能	ダストモニタ	全ベータ放射能測定法等
$\gamma$ 線放出核種	ゲルマニウム半導体検出器	ゲルマニウム半導体検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリー
ストロンチウム 90	低バックグラウンド全 $\beta$ 放射能測定器	放射性ストロンチウム分析法
トリチウム	液体シンチレーションカウンタ	トリチウム分析法
プルトニウム 238, プルトニウム 239+240	シリコン半導体検出器	プルトニウム分析法
排水の全計数率	放水口モニタ (NaI シンチレーション検出器)	

各測定法については、17 ページ以降で詳述している。

## 7 異常時の対応

### (1) 測定値の変動と平常の変動幅

測定値は、主に以下の原因により変動が起こりうる。

- ア 試料の採取及び処理方法、測定器の性能、測定方法等の測定条件の変化
- イ 降雨、降雪、雷、積雪等の気象要因並びに地理及び地形上の要因等の自然条件の変化
- ウ 核爆発実験等の影響
- エ 医療及び産業用の放射性同位元素等の影響
- オ 原子力施設の運転状況等の変化

一方、原子力発電所の通常運転時又は運転停止時であって、測定条件等が適切に管理されている場合においては、ウ及びエの原因による測定値の変動を除き、測定値の変動がある一定の中に収まると考えられる。この幅を「**平常の変動幅**」という。

平常の変動幅は、次の方法により設定し、年度ごとに見直している。

#### 【平常の変動幅の設定方法】

測定項目	平常の変動幅の設定方法
① 空間放射線量率	過去5年間の最小値～最大値
② 積算線量	
③ 大気中浮遊塵の全 $\alpha$ ・全 $\beta$ 放射能	
④ 放水口モニタ	
⑤ 環境試料中の放射能（③を除く。）	東電事故前5年間の最小値～最大値

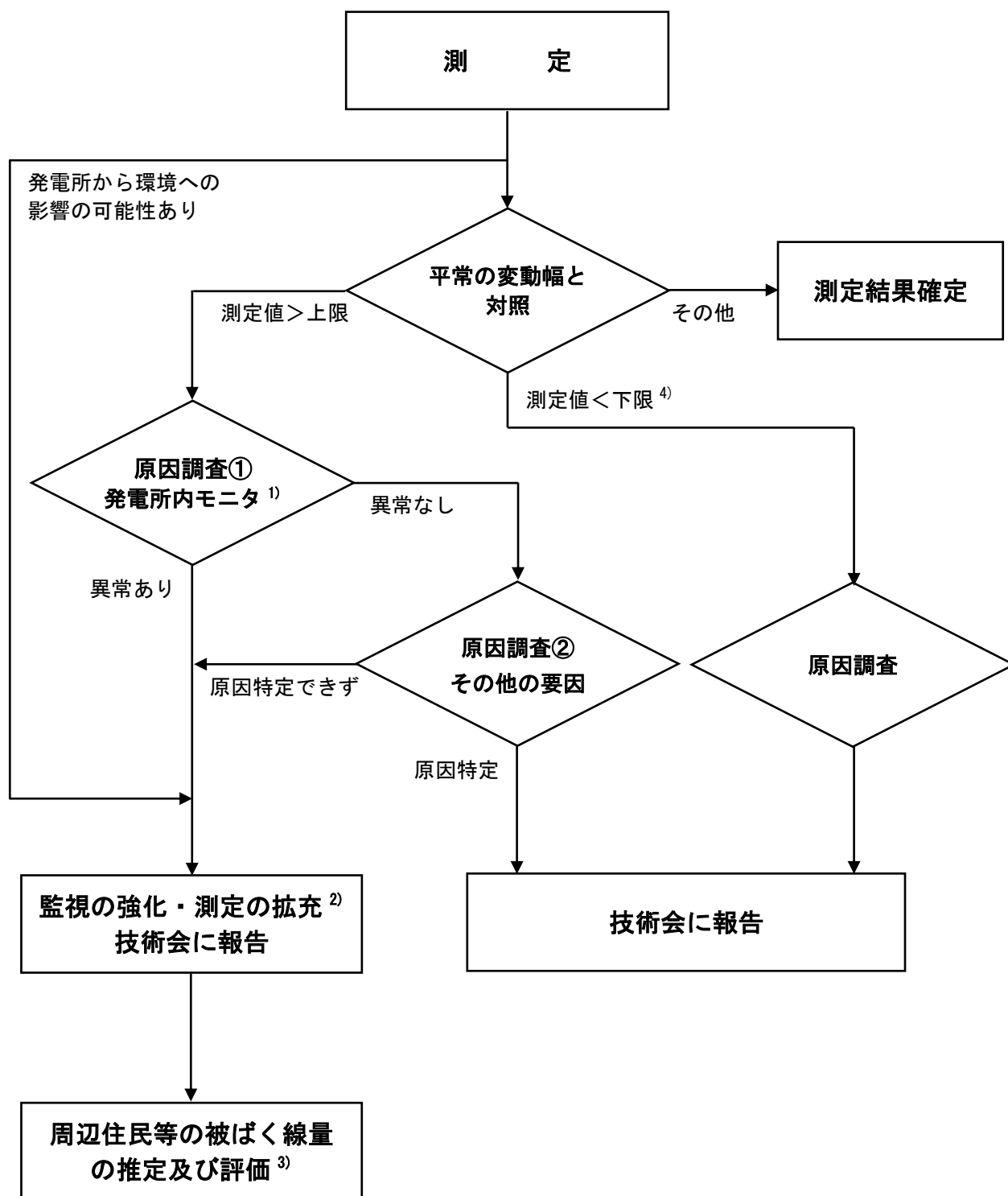
### (2) 異常時の対応方法

測定実施機関は、測定値が平常の変動幅内に収まっているかどうかを確認し、平常の変動幅を上回った場合は、原因調査を行う。（5の(4)及び(5)の測定については、浜岡原子力発電所以外の要因について調査を行う。）

原因調査の結果、浜岡原子力発電所からの影響と判断した場合（影響があった可能性を否定できないと評価した場合を含む。）には、監視の強化や測定の拡充を行うとともに、住民等の被ばく線量の推定及び評価を行うこととなる。

以下に**異常時の対応の流れ**を示す。

【異常時の対応の流れ（５の(1)～(3)の測定）】



注 1) 発電所内の格納容器雰囲気モニタ、燃料交換エリア換気モニタ、モニタリングポスト等をいう。

注 2) モニタリングステーションのデータ確認を頻繁に行うことやダストモニタのろ紙送り間隔を短縮することに加え、可搬型モニタリングポスト等を設置することにより、空間放射線量率等の分布及び経時的变化を把握する。また、発電所の状況に応じ、適当な環境試料を選定し、採取及び測定数を増やすことを行う。

注 3) 技術会が定める「浜岡原子力発電所周辺環境放射能測定に係る測定法及び評価方法」に従って行う。

注 4) 空間放射線量率及び排水の全計数率並びにこれら以外の測定で妥当性に疑いがある場合に限る。

## 8 周辺住民等の被ばく線量の評価

浜岡原子力発電所からの影響を認めた場合に、発電所周辺住民等の被ばく線量を推定し評価することになる。

被ばく線量は、外部被ばくと内部被ばくに区分し、それぞれ空間放射線量率と環境試料中の放射能の測定結果から推定することになる。

1990 年、国際放射線防護委員会（ICRP）は、管理された線源からの公衆の被ばく線量限度（医療被ばくを除く。）を年 1 mSv と勧告した。

このため、平常時モニタリングにおいては、測定結果から周辺住民等の被ばく線量を推定した場合、年 1 mSv よりも十分に低いことを確認する。

なお、国において、発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値を年 0.050 mSv としていることから、「1 mSv よりも十分に低い」ことを示す比較対照値を 0.050 mSv とする。

食品衛生法上の放射性物質（放射性セシウム）の基準は、一般食品で 100 Bq/kg、飲料水で 10 Bq/kg などと設定されている。これは、基準値の食品等を 1 年間摂取し続けたとしても、年間の被ばく線量が 1 mSv を超えないものとして設定されている。

100～200 mSv 以上の線量に対しては、がんになるリスクが上昇するという科学的証拠が存在するが、100 mSv 以下ではがん発症のリスクがどの程度かは不明であるとされる。

国際放射線防護委員会では、低線量・低線量率の場合、がんの死亡確率は 100 mSv あたり約 0.5% 高くなるとして防護を考え、これを念頭に、緊急時被ばくの参考レベルを 20～100 mSv/年、事故後の復旧段階の参考レベル 1～20 mSv/年としている。

平常時の線量限度（年 1 mSv）については、これを超えると危険だとか、ここまでは安全と誤解されることがあるが、前述のとおり、100 mSv 以下のリスクは不明であり、安全と危険の境界線ではない。現実的に可能な範囲でできる限り低く被ばくを抑えることが原則である。

### （参 考）

#### ○ 内部被ばくによる預託実効線量が年 0.05 mSv となる大気及び食品中の放射能

単位：大気（Bq/m<sup>3</sup>）、食品（Bq/kg 生）

種 類	大 気	葉 菜	魚 類	無脊椎動物	藻 類
セシウム 137	0.16	105	53	530	260
ストロンチウム 90		49	24	240	120
トリチウム	24				
1 日あたり摂取量	22.2 m <sup>3</sup>	100 g	200 g	20 g	40 g

（注）1 日当たりの摂取量を 1 年間摂取し続けた場合の放射能。洗浄等による除去は考慮していない。

#### ○ カリウム 40（自然放射性核種）による被ばく線量

（例）1 日にキャベツ（葉菜）100 g を 1 年間食べ続けた場合の内部被ばくによる預託実効線量（カリウム 40 について推定）

約 70 Bq/kg（K-40 令和元年度測定値） ⇒ 被ばく線量 約 0.016 mSv

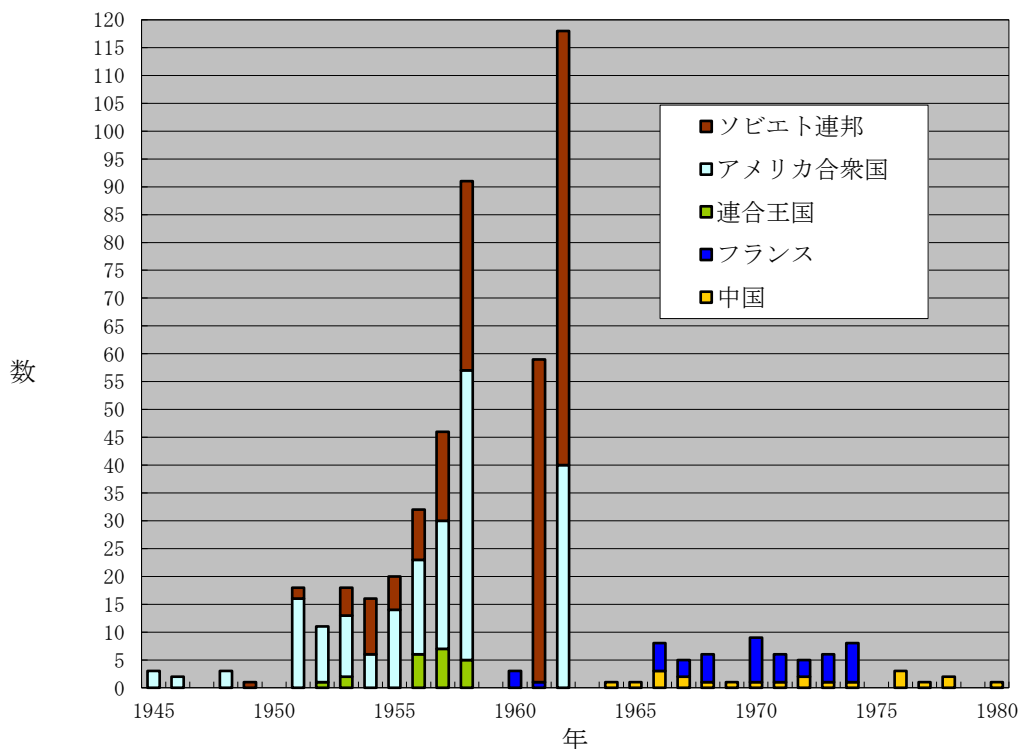
## 9 過去の大気圏内核爆発実験の影響

### (1) 大気圏内核爆発実験

#### ア 実施数

下図に示すとおり、1945 年（昭和 20 年）から 1980 年（昭和 55 年）まで、旧ソ連、米国、イギリス、フランス及び中国により 500 回以上の大気圏内核爆発実験が行われた。

大気圏内核爆発実験の実施数



#### イ 生成される放射性核種

(ア) 核爆発に使われた核物質（ウラン 235 又はプルトニウム 239）、核爆発の型（核分裂のみか核融合を伴うか）によって生成される放射性核種の割合は異なるが、実際にはその差はあまり問題にならない。

(イ) 核爆発実験直後の放射性降下物中の核種は、短半減期の核種の占める割合が大きく、爆発後の経過時間によって、その割合が大きく変わる。

核爆発後数日から 1 週間位までの間に、大気中浮遊塵や降水に検出される主な核種は次のようなものである。

Sr-90, Sr-91, Zr-95, Nb-95, Zr-97, Mo-99, I-131, Te-132, I-132, I-133, Cs-137, Ba-140, La-140, Ce-143, Np-239

(ウ) 中国大陸で行われた大気圏内核爆発実験を例にとると、日本に現れる影響は、通常、爆発後、2～3 日に第 1 の山があり、その後 1 週間から 10 日後に第 2 の山がある。第 1 の山は、大気圏に注入された核分裂生成物が直接到着したものであり、第 2 の山は日本上空を通過後、地球を一周した後に到着したものである。地域差はあるが、一般的に到着時間は西日本が早く、順次東に移動していく。これは、日本上空を流れる偏西風によるものである。

(注) 平常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）から引用



## ウ 我が国の監視体制

### (ア) 経緯

1961 年（昭和 36 年）に再開された米ソの核爆発実験の我が国への影響に対処するため、同年 10 月に閣議決定により内閣に放射能対策本部が設置された。これ以降、同本部を中心に放射能調査が行われてきたが、2003 年（平成 15 年）11 月、緊急事態に対する政府の初動体制に係る閣議決定により、同本部は廃止され、これを受けて同本部が担っていた機能のうち、危機管理・初動体制以外の機能を引き継ぐため、放射能対策連絡会議が設置された。

### (イ) 環境放射能水準調査

現在も、環境放射能水準調査として、原子力規制庁が 47 都道府県や（公財）日本分析センターなどの関係研究機関に業務委託し、核爆発実験や核施設の事故などによる我が国への影響調査を実施している。

調査は、平常時と緊急時に行い、本県の場合、昭和 36 年から現在まで、県内各地で調査を行っている。

## エ 国連科学委員会報告

環境放射能水準調査の結果は、「原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）」に報告され、他の放射線に関する情報と合わせて、報告書にとりまとめられる。

2008 年の報告書によれば、大気圏内核実験により地球環境に放出された人工放射性核種は、トリチウムは 186,000PBq、ストロンチウム 90 は 622PBq、セシウム 137 は 948PBq、プルトニウム 239 は 6.52PBq、プルトニウム 240 は 4.35PBq などと推定されている。（P：ペタは  $10^{15}$ ）

また、報告書では、「大気圏内核実験に起因する一人当たりの実効線量の世界平均の推定値は、1963 年に最も高く（0.11mSv）、そしてその後 2000 年代には 0.005mSv 未満に減少した。外部被ばくは通常、年間線量に最も大きく寄与する。最初は短寿命放射性核種に起因し、その後  $^{137}\text{Cs}$  に起因する。」としている。

## 10 東電事故等の影響

### (1) 東電事故等で検出された核種

東電事故では、2011 年（平成 23 年）3 月 12 日、14 日及び 15 日に放出された放射性物質は、北西から南西の陸地に拡散し、大量の放射性物質が地上に沈着した。

東電事故や 1986 年に起きたチョルノービリ原子力発電所事故（以下「チョルノービリ事故」という。）では、次の核種が検出されている。

H-3, Co-58, Fe-59, Co-60, Zn-65, Kr-85, Rb-86, Sr-90, Sr-91, Y-91, Zr-95, Nb-95, Mo-99, Tc-99m, Ru-103, Ru-106, Ag-110m, Sn-113, Sb-125, Te-127, Te-129, Tc-129m, I-130, Te-131m, I-131, Xe-131, Te-132, I-132, I-133, Xe-133m, Xe-133, Cs-134, Xe-135, Cs-136, Cs-137, Ba-140, La-140, Ce-141, Ce-144, Nd-147, Eu-152, Pb-203, Pu-238, Pu-238+239, Np-239 <sup>1)</sup>

国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）では、2つの事故はともに、放射性物質の放出量から最も深刻な事故であることを示すレベル7と評価されている。

両者の放出量を比較すると、希ガスであるキセノン 133 の放出量が東電事故の方が多いが、発電所の出力規模による炉内存在量の違いによるものと考えられる。

一方、放射性ヨウ素や放射性セシウムなどのより健康影響上の考慮が必要な核種については、チョルノービリ事故の方が放出量が多い。このことについては、チョルノービリ事故では、爆発した炉心が直接大気にさらされる状態になったことが要因の一つとされ、他方、東電事故は格納容器の大規模な破壊を防げたことが放出量抑制の要因の一つと考えられている。

事故による核種ごとの推定放出量の比較 <sup>2)</sup>

核 種	半減期	環境への放出量（ $\times 10^{15}\text{Bq}$ ）	
		チョルノービリ	東 電
キセノン 133	5 日	6500	11000
ヨウ素 131	8 日	～1760	160
セシウム 134	2 年	～47	18
セシウム 137	30 年	～85	15
ストロンチウム 90	29 年	～10	0.14
プルトニウム 238	88 年	$1.5 \times 10^{-2}$	$1.9 \times 10^{-5}$
プルトニウム 239	24100 年	$1.3 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-6}$
プルトニウム 240	6540 年	$1.8 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-6}$

注 1) 平常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）から引用

注 2) 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書（2011 年 6 月）などから引用

## (2) 東電事故の影響

浜岡原子力発電所周辺地域では、過去に行われた核爆発実験等の影響に加え、東電事故の影響により、現在も一部の試料で人工放射性核種が検出されている。

空間放射線量及び環境試料中の放射能の測定結果を基に、事故発生から 2011 年（平成 23 年）度末までに、発電所周辺住民等が受けた被ばく線量を計算したところ、安全側に評価しても、約 0.04mSv（建屋による線量の低減を考慮した場合は約 0.03mSv）であった。

この値は、公衆の年線量限度（1 mSv）よりも十分に低く、健康への影響は心配ないレベルであった。

現在まで事故による追加的な影響はなく、また、測定結果は事故直後の値を上回ることなく漸減傾向を示していることから、事故による健康への影響はほとんどないと考えられる。

### 事故直後と現在の測定値の比較

試 料	測定結果の最大値				単 位
	平成 23 年度 <sup>1)</sup>		令和元年度		
	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	
大気中浮遊塵	7.78	8.21	* <sup>2)</sup>	0.0086	mBq/m <sup>3</sup>
降下物	617	611	*	0.080	Bq/m <sup>2</sup>
上 水	*	*	*	*	mBq/L
土 壌	21.6	28.4	0.87	11.4	Bq/kg 乾土
玄 米	0.076	0.079	*	*	Bq/kg 生
キャベツ	0.056	0.065	*	*	Bq/kg 生
かんしょ	0.13	0.241	*	0.045	Bq/kg 生
みかん	0.96	1.14	*	0.018	Bq/kg 生
茶 葉	44.6	45.5	*	0.18	Bq/kg 生
海 水	4.5	6.1	*	4.1	mBq/L
しらす	0.21	0.21	*	0.082	Bq/kg 生
あ じ	0.21	0.39	*	0.18	Bq/kg 生

注 1) 大気中浮遊塵及び降下物については、平成 23 年 3 月分を含めた値である。

注 2) 「\*」は「検出されず」を示す。

国連科学委員会（UNSCEAR）が発表した 2013 年の報告書によれば、東電事故後 1 年間で公衆が受けた被ばくによる実効線量は、福島県内で 1.0～9.3mSv、近隣県で 0.2～1.4mSv、その他の県が 0.1～0.3mSv と推定されている。（推定は情報不足等により一定の仮定を前提として行われており、その結果には不確かさが含まれているとしている。）

また、国連科学委員会は推定結果から、「事故により日本人が生涯に受ける被ばく線量は少なく、その結果として、今後日本人について放射線による健康影響が確認される可能性は小さい」としている。

## 第2 測定の実際

### ( 各測定の詳細 )

1	空間放射線量率の測定 .....	18
2	積算線量の測定 .....	31
3	大気中浮遊塵の全 $\alpha$ ・全 $\beta$ 放射能の測定 .....	33
4	$\gamma$ 線放出核種の測定 .....	37
5	ストロンチウム 90 の測定 .....	44
6	トリチウムの測定 .....	48
7	プルトニウム 238, 239+240 の測定 .....	51
8	排水の全計数率の測定 .....	53
別記 1	測定値の表示方法 .....	56
別記 2	測定目標値 .....	57
別記 3	品質保証 .....	58

# 1 空間放射線量率の測定

## 【測定法】

- **モニタリングステーション**に設置している **NaI シンチレーション検出器**により、空間放射線量率を 24 時間連続で測定している。データは 2 分間隔で取得し、**テレメータシステム**によって全てのデータが環境放射線監視センターに集約されている。
- 2 分間隔で取得した 2 分間平均値 5 個から 10 分間平均値を、2 分間平均値 30 個から 1 時間平均値を生成する。2007 年（平成 19 年）度にテレメータシステムを更新してから 2 分間平均値の取得を開始した。
- NaI シンチレーション検出器は  $\gamma$  線に対して高い感度を有するため、低い線量率レベルを測定するのに優れている。測定方法は、検出器に入射した放射線を光に変換し、その光を光電子増倍管で増幅し、光の強さに比例したパルス数を数える方式である。出力されるパルス信号には入射放射線のエネルギーとの比例関係があることから、 $\gamma$  線スペクトルを解析することによって定性等が可能となる。線量率の計算には、低エネルギー領域で過大応答を示す特性を補正するため、G(E) 関数法が採用されている。（21 ページ参照）
- 当該検出器には、放射線の種類を識別可能なスペクトロメータを備えている。静岡県のテレメータシステムは、スペクトロメータで解析した**スペクトル**をリアルタイムで収集し、人工放射性核種の影響を弁別することが可能であり、東電事故では放射性プルームの流入を精度良く捉えることができた。
- モニタリングステーションには、この NaI シンチレーション検出器のほかに、原子力災害時の高線量下でも対応可能な電離箱検出器を備えている。NaI シンチレーション検出器による測定範囲は、 $10\text{nGy/h} \sim 10\text{ }\mu\text{Gy/h}$  であるが、電離箱検出器は最大  $100\text{mGy/h}$  まで測定可能である。電離箱検出器は測定可能なエネルギー範囲が広く、宇宙線も測定するため、NaI シンチレーション検出器よりも、約  $30\text{nGy/h}$  程高い値となる。
- モニタリングステーション等の環境  $\gamma$  線連続モニタは、JIS 規格上の性能が確保された機器を装備しており、測定範囲における相対基準誤差については  $\pm 20\%$  となっている。（JIS Z 4325:2008）
- 原子力災害時用の測定器としては、シリコン半導体検出器や GM 計数管検出器なども用いられる。本県では、避難の実施単位ごとに電子式線量計（シリコン半導体検出器）を配備しているほか、緊急時の追加測定用等として可搬型モニタリングポスト（NaI シンチレーション検出器＋シリコン半導体検出器）も所有している。これらは、停電時にはバッテリーで駆動する。

## モニタリングステーション

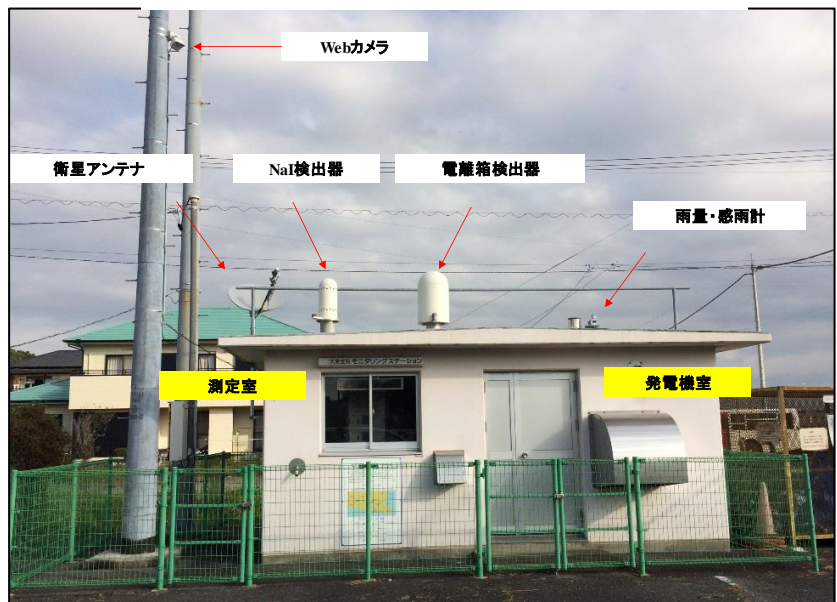
モニタリングステーションは、測定局舎内外に以下の機器を装備した施設である。  
併設している非常用自家発電機は、約5日分の燃料を保有している。

発電所10～30km圏内には、緊急事態への備えとして、東電事故後に「モニタリングポスト」を配備したが、呼び名が異なるだけで、装備や機能は同一である。

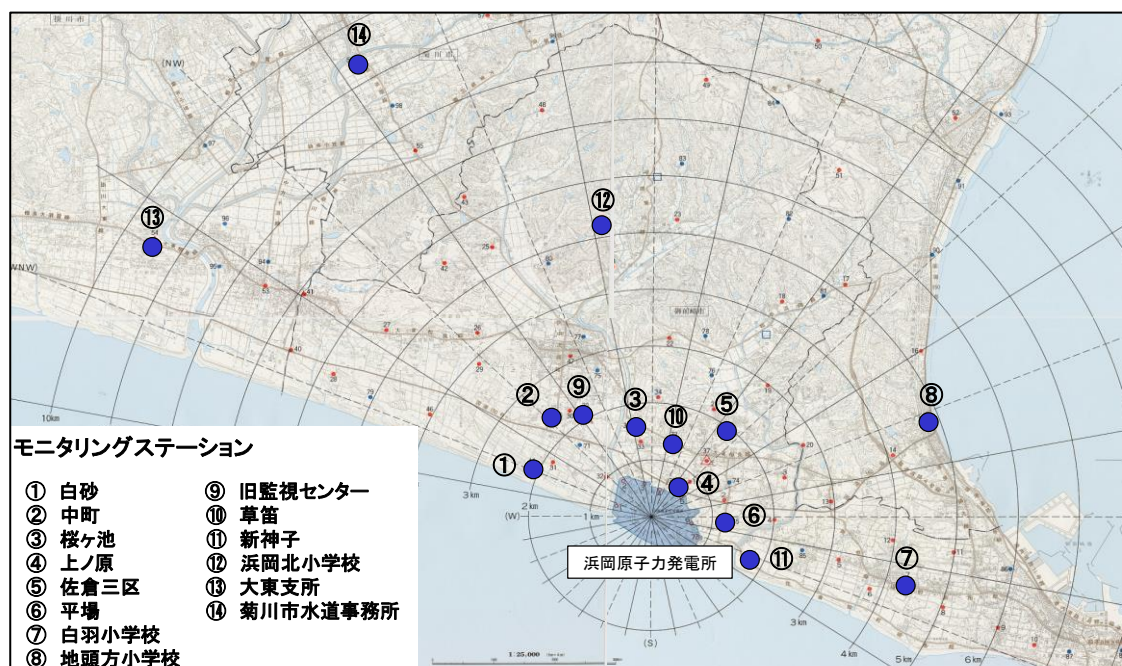
(装備機器)

- NaI シンチレーション検出器（低線量率用）
- 電離箱検出器（高線量率用）
- ダストモニタ（一部の局舎）
- 雨量計及び感雨計
- テレメータ装置
- 無停電電源装置
- 非常用自家発電機
- Web カメラ

モニタリングステーション（大東支所）



モニタリングステーションの位置





## テレメータシステム

テレメータシステムとは、遠隔地で取得している測定地点のデータを、通信回線を利用して連続収集し、一元的に監視するための設備全体をいう。

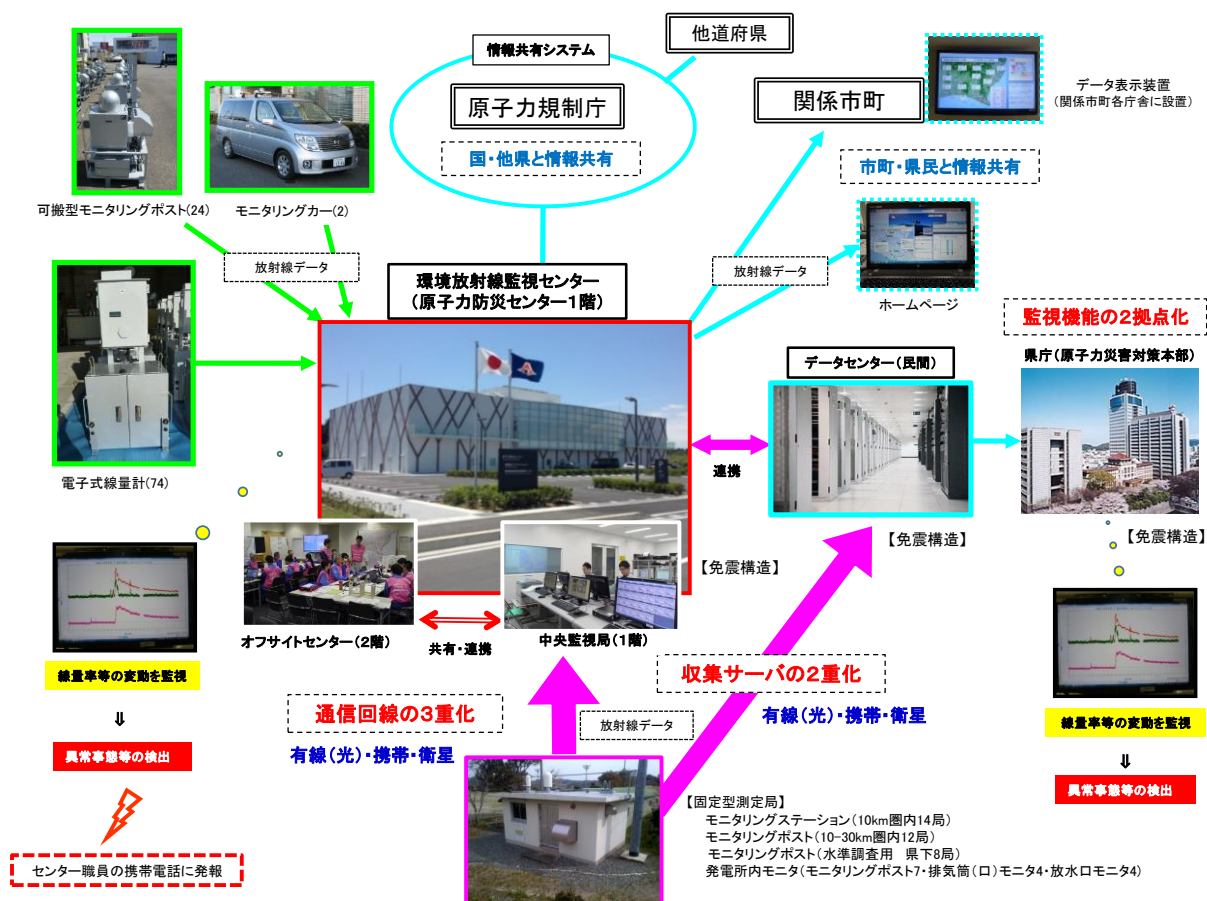
モニタリングステーションなどで測定している線量率等のデータは、テレメータシステムにより環境放射線監視センターに集約され、ホームページや発電所周辺市町に設置しているデータ表示装置へ配信される。また、原子力規制庁の情報共有サーバにも送信し、緊急時における防護措置の判断にも活用される。また、緊急事態にはモニタリングカーや可搬型モニタリングポスト等を稼働させるが、そのデータも収集することができ、同時に監視することができる。

東電事故時、福島県の監視機関では、停電や通信回線の途絶などにより測定局のデータを収集することができず、住民等へ十分な情報発信ができなかったばかりか、福島第一原子力発電所から約5kmの位置にあったため、緊急時モニタリングの活動拠点としての機能を喪失する事態となった。

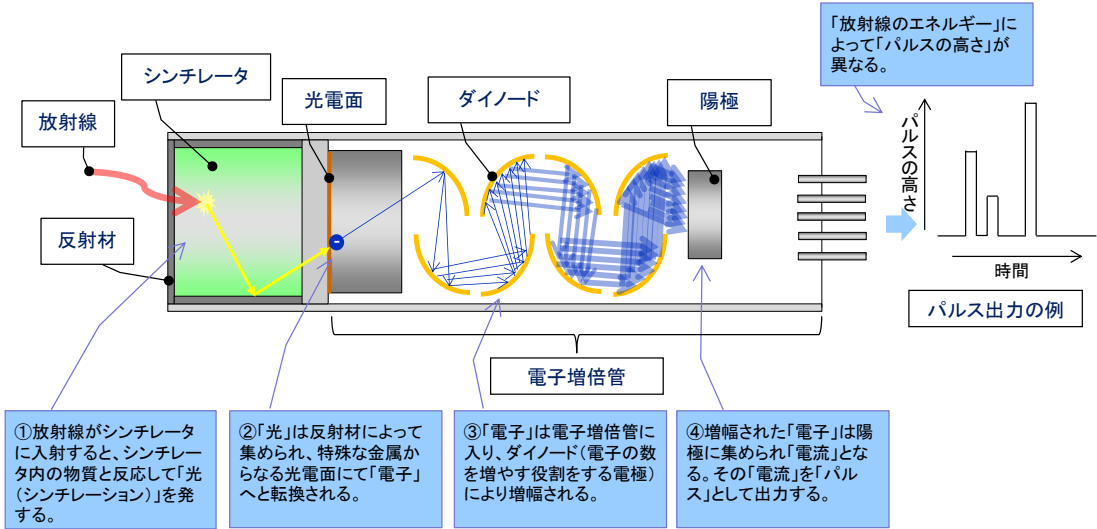
この教訓から、本県では次の対策を講じている。

- (1) 環境放射線監視センターの移転（原子力防災センターの設置）※
- (2) 収集サーバ及び測定機器の耐震性の向上
- (3) 収集サーバの2重化（監視センター及び民間データセンター）
- (4) 通信回線の3重化（有線（光）、携帯及び衛星回線）
- (5) 監視機能の2拠点化（県庁に監視端末を設置）

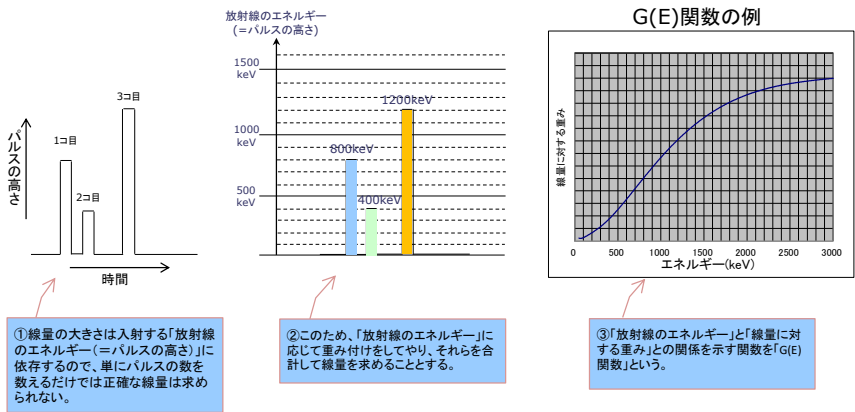
※ 2016年（平成28年）度に浜岡原子力発電所から約20km離れた富士山静岡空港隣接地に、オフサイトセンターと一体化した「原子力防災センター」を建設した。（免震構造 平成28年3月竣工）



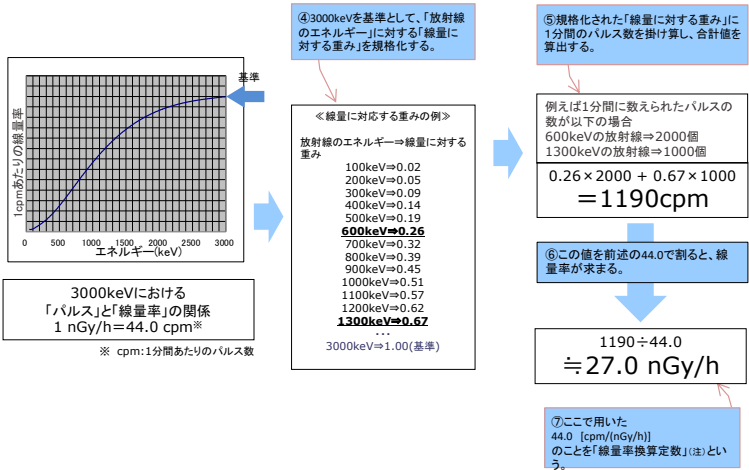
# NaI シンチレーション検出器



## 線量率の計算方法①



## 線量率の計算方法②



(注) 線量率換算定数は、検出器の仕様により異なり、本県では、通常型検出器では44.0cpm/(nGy/h)を、方向特定可能型検出器では40.4cpm/(nGy/h)を用いている。



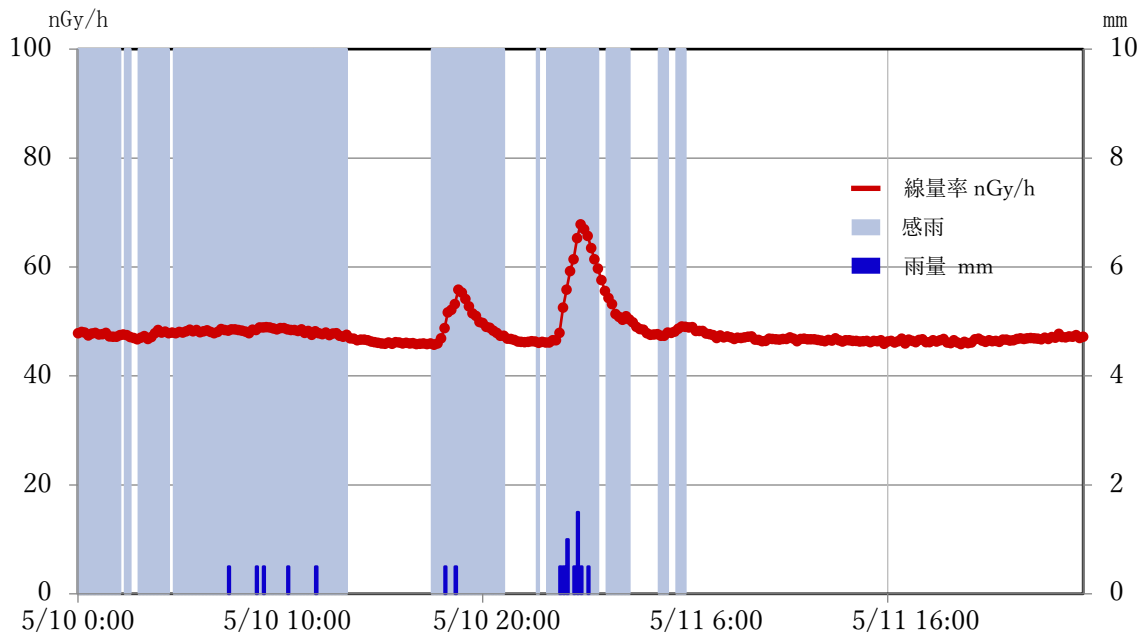
## スペクトル解析

スペクトロメータでは、線量率を自然放射性核種寄与分と人工放射性核種寄与分とに弁別することが可能である。(ゲルマニウム半導体検出器のように高分解能ではないため、核種ごとの定量はできない。)

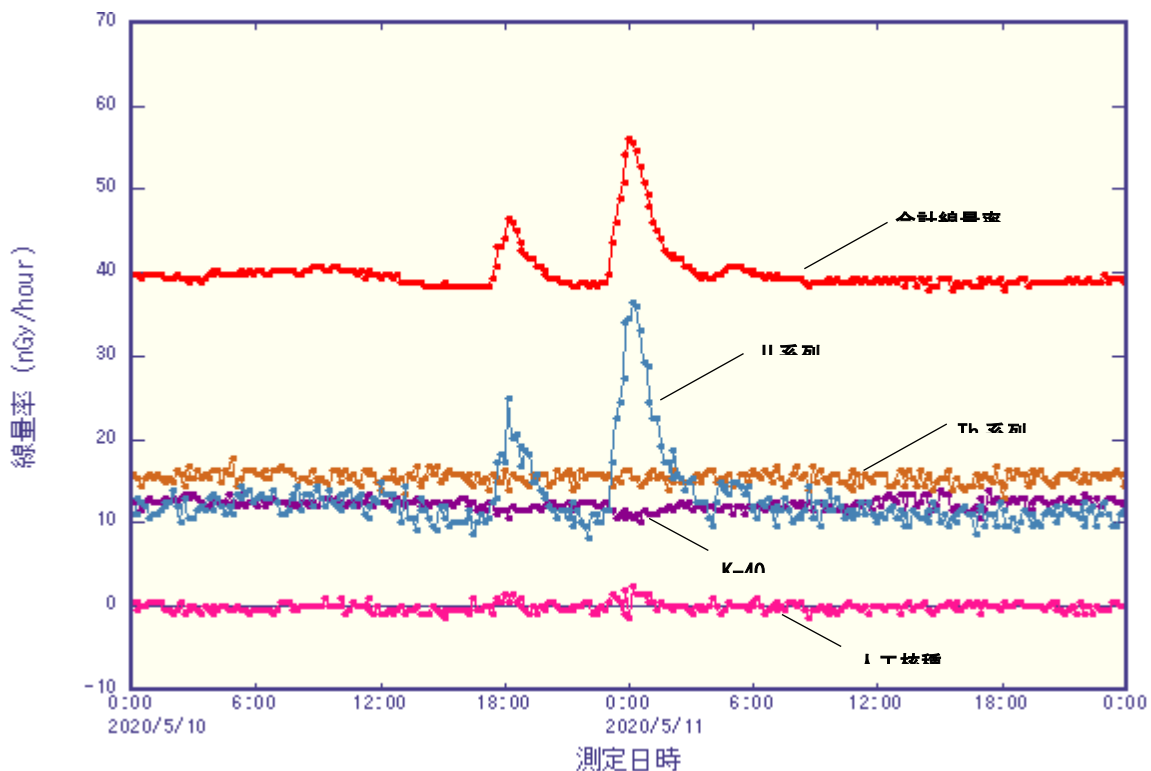
自然放射性核種の線量率については、更に、ウラン (U) 系列、トリウム (Th) 系列及びカリウム 40 (K-40) の3成分に分けることができる。

降雨があると、ウラン系列の線量率が上昇する。

### 降雨による空間放射線量率の変動 (菊川市水道事務所 令和2年5月10日～11日)



スペクトル解析



## 【調査のポイント】

- 発電所周辺 10km 圏内には、空間放射線量率を常時測定しているモニタリングステーションが 14 地点あり、**予期しない放射性物質の放出を早期に検出**できるよう、発電所に近い位置を中心に、各方位それぞれに配置している。
- 発電所から放射性物質の放出があった場合には、線量率の測定結果をもって、**住民等の外部被ばく実効線量を推定・評価**する。
- 線量率の値は地点ごとに異なるが、通常時の降雨がない条件下で約 40～60nGy/h の範囲である。現在の測定値は、**東電事故の影響を検出できないレベル**になっている。

- 14 地点の測定局舎のうち、次のとおり 8 か所が県所有、6 か所が中部電力所有となっている。

県：白砂、平場、旧監視センター、草笛、新神子、浜岡北小、大東支所及び菊川市水道事務所  
中電：中町、桜ヶ池、上ノ原、佐倉三区、白羽小及び地頭方小

- 技術会の報告値は、10 分間平均値と 1 時間平均値だが、それらは 2 分間平均値から生成される。2 分間平均値は、10 分間平均値及び 1 時間平均値に異常があった場合の分析に用いるほか、緊急時では、放射線量の変動が激しくなるため、2 分間平均値で監視を行うことになる。
- 線量率が測定地点によって違う値を示すのは、地質の違い（土壤中のウラン（U）系列、トリウム（Th）系列及びカリウム 40（K-40）の構成比の違い）や周辺に存在する建物等の有無などが主な原因である。
- 線量率は常に一定ではなく、日変動及び季節変動がある。その主な要因は、**大気中を浮遊するラドンの崩壊生成物（自然放射性核種）の濃度が変化するため**である。
- 1 日の変化（日変動）としては、朝方に高く、日中に低くなる変動を示す。この理由は、朝方に大気逆転層が地表面近くまで降りてきて、地中から発生するラドンが大気逆転層で抑えられ、地表面近くに溜まるためである。線量率への影響は 2～3 nGy/h 程度である。
- 1 年の変化（季節変動）としては、秋～冬に高く、春～夏に低い傾向がある（冬場と夏場の差は、2～3 nGy/h 程度）。冬場に高い理由は、ユーラシア大陸で発生したラドンやその崩壊生成物が、北西の季節風によって日本に吹き込むためである。夏場に低い理由は、南よりの季節風が吹くことが多く、南よりの風はラドンが発生しない海上を通過してくるためである。
- 日常の変化では、**降雨によって線量率が一時的に上昇**する。これは、雨粒とともに大気中のラドンの崩壊生成物が地表面付近に落ちてきて溜まるためである。（50nGy/h 以上上昇することもある）。なお、降雨量と線量率の上昇幅に相関関係はなく、台風の接近・通過があっても、必ず線量率が大きく上昇するというわけではない。
- 逆に、降雨によって雨水が測定地点周辺の広い範囲で溜まり続けることにより線量率が下がることもある。これは、地中のラドンの崩壊生成物からの放射線が雨水によって遮蔽されるからである。同様に、大型の車両が測定局舎付近に駐車している場合も、車両が遮蔽体となって線量率が下がることもある。（変化量は、数 nGy/h 程度である。）
- **東電事故による影響**は、人工放射性核種寄与分として最大で 20 数 nGy/h の上昇が見られた。（降雨による自然放射性核種の増加分を加味すると約 40Gy/h の上昇）そ

の後、人工放射性核種の物理減衰以上に、ウェザリング効果（風雨等の自然要因による放射性物質濃度の減衰）等により、1年とは経たない間に、NaI シンチレーション検出器によるスペクトル解析では検出できないレベルとなった。また、可搬型ゲルマニウム半導体検出器による精密測定でも、1 nGy/h 以下になっていることを確認している。

- 現在、東電事故による人工放射性核種は、土壌の測定では検出されているように、なくなっているわけではないが、線量率への寄与はほぼ認められず、**観測される測定値は自然放射線由来と考えてよい**。令和元年度の測定結果から、自然放射線による外部被ばく線量は、年間約 0.29mSv と推定される。（建物による線量の低減は考慮していない。）（日本平均約 0.33mSv，世界平均約 0.48mSv）
- 浜岡原子力発電所周辺においては、東電事故以外にも過去に自然変動（自然放射性核種の変動）以外の要因で線量率が上昇したことがある。測定局舎近隣の工場で行われた X 線非破壊検査、放射性医薬品を投与された患者の接近などがその例としてあり、数百 nGy/h 上昇したこともある。これらは、前述のスペクトロメータによって自然変動と区別することが可能である。

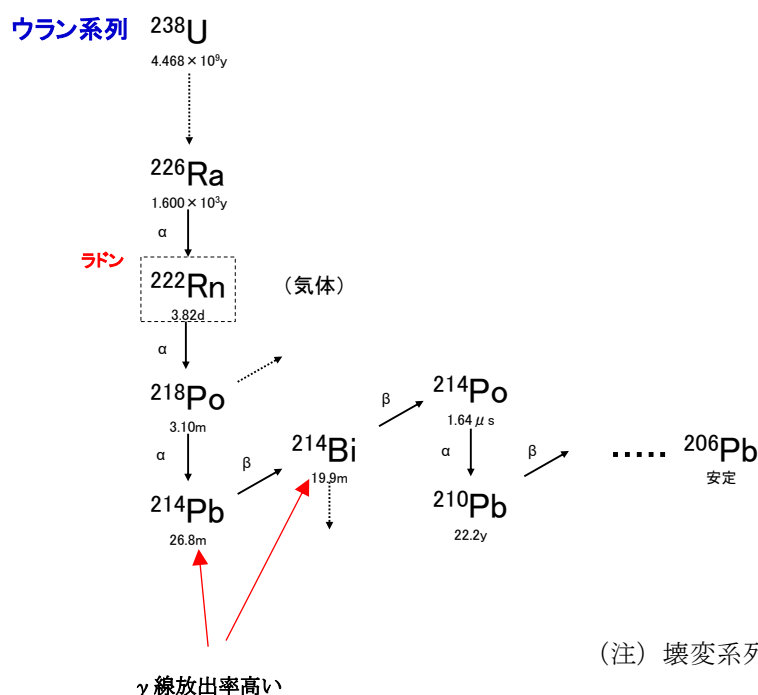
## ラドンの崩壊生成物

地球誕生から現在まで壊変しつくさずに存在するウラン 238 ( $^{238}\text{U}$ ) は、決まった壊変系列にしたがって次々と崩壊する。これを親元素の名前をとってウラン系列と呼ぶ。

これらの崩壊は、土壌中で起こるが、途中で気体の核種であるラドン 222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) が生成し、その一部が大気中へ散逸する。

ラドンは、トリウム系列に属するラドン 220 ( $^{220}\text{Rn}$ )、アクチニウム系列に属するラドン 219 ( $^{219}\text{Rn}$ ) も大気中に存在するが、ラドン 222 が最も線量率への寄与が大きい。

ラドン 222 は、ポロニウム、鉛、ビスマスなどの粒子状物質に変化し、大気中の微細なちりに付着して浮遊しているが、その中で、鉛 214 ( $^{214}\text{Pb}$ ) やビスマス 214 ( $^{214}\text{Bi}$ ) などが線量率の上昇に寄与する。



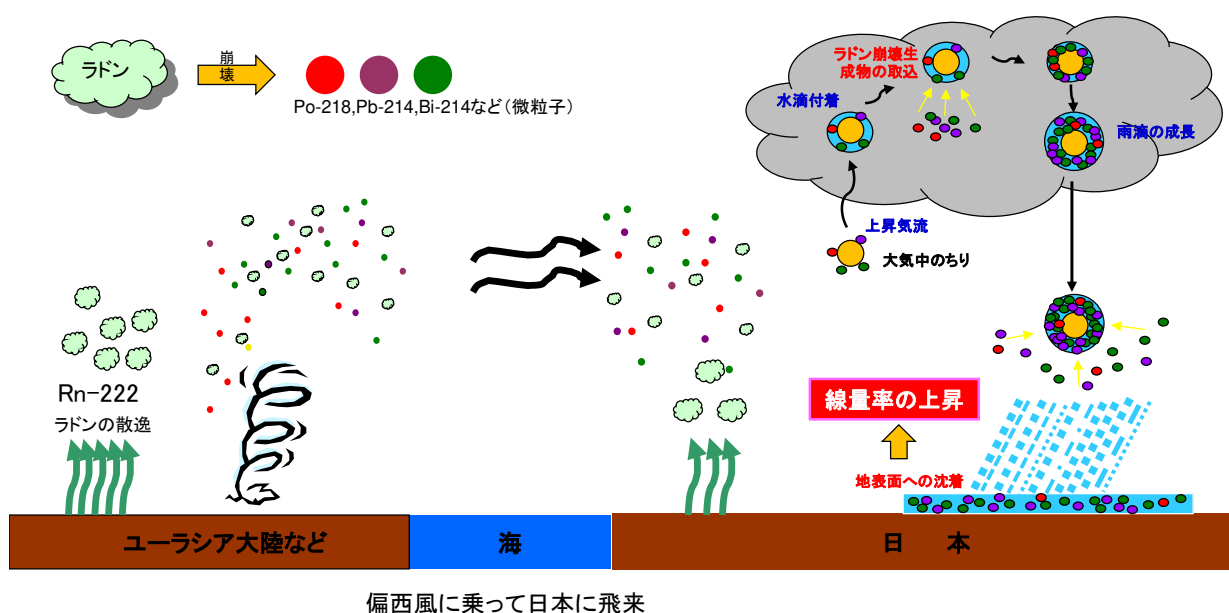
（注）壊変系列の一部を省略して記載している。

## 降雨によって線量率が上昇する仕組み

地中から散逸したラドンは、崩壊し、 $\gamma$ 線を放出する鉛やビスマスに変化する。これらは空気中の塵などに付着して浮遊しているが、上空に積乱雲があると、上昇気流に乗って雲中に取り込まれ、雨滴の核となってラドンの崩壊生成物を更に取り込みながら成長する。

降雨によりこれら雲中及び大気中のラドンの崩壊生成物が地表に降下・沈着することで線量率が上昇する。

ラドンの崩壊生成物の半減期は短いため、雨が収まると、程なくして元の値に戻る。



## 【参 考】 降雨による線量率上昇例（地域差が大きく現れた例）

発電所から 10～30km 圏内には、10km 圏内と同様の固定型測定局（モニタリングポスト）を 12 箇所に設置している。

降雨によって線量率が上昇するのはよくあることだが、観測圏内で地点差が大きく現れた例というのはあまり多くはない。

2013 年（平成 25 年）10 月 26 日 21 時から 24 時頃にかけて、10～30km 圏内に設置している富士山静岡空港局、島田市中央公園局及び焼津市大井川庁舎北局において、線量率が 25～60nGy/h 上昇したが、10km 圏内を含む他の測定局ではほとんど線量率に変化が見られないという事象があった。（表 1 及び図 1 参照）

当該時間帯のスペクトル（図 2）及びその解析結果（図 3～5）、後方流跡線解析結果（図 6）並びに降雨量の時系列変化（図 7）から、線量率が上昇した原因は、大陸由来のラドンとその崩壊生成物濃度が高い空気塊が北西方向から流入し、当該 3 局を含む地域にもたらされた雨によって、ラドン崩壊生成物が地表面に沈着し、線量率の上昇につながったものと考えられる。

このように、線量率の変動を広域で見た場合には、気象条件の変化による違いが大きく現れることがある。

表 1 各測定局の線量率（10 分値）の最大値（平成 25 年 10 月 26 日 21 時～24 時）

測定局	時刻	最大値 (nGy/h)	測定局	時刻	最大値 (nGy/h)
福田支所	21:30, 22:30, 23:40	37.5	菊川市役所	24:00	47.2
袋井市役所	21:40, 22:20	43.9	富士山静岡空港	23:00	109.0
森町飯田総合センター	21:00	40.7	島田市中央公園	21:40	71.3
掛川市役所	21:20	46.1	萩間小学校	22:50	54.2
掛川市大須賀支所	21:20	41.8	吉田町役場	23:40	48.1
掛川市倉真	21:00	45.5	焼津市大井川庁舎北	23:40	110.6
10km 圏内 14 局	21:00～24:00	(各測定局の最大値の範囲) 39.5 ～ 57.0			

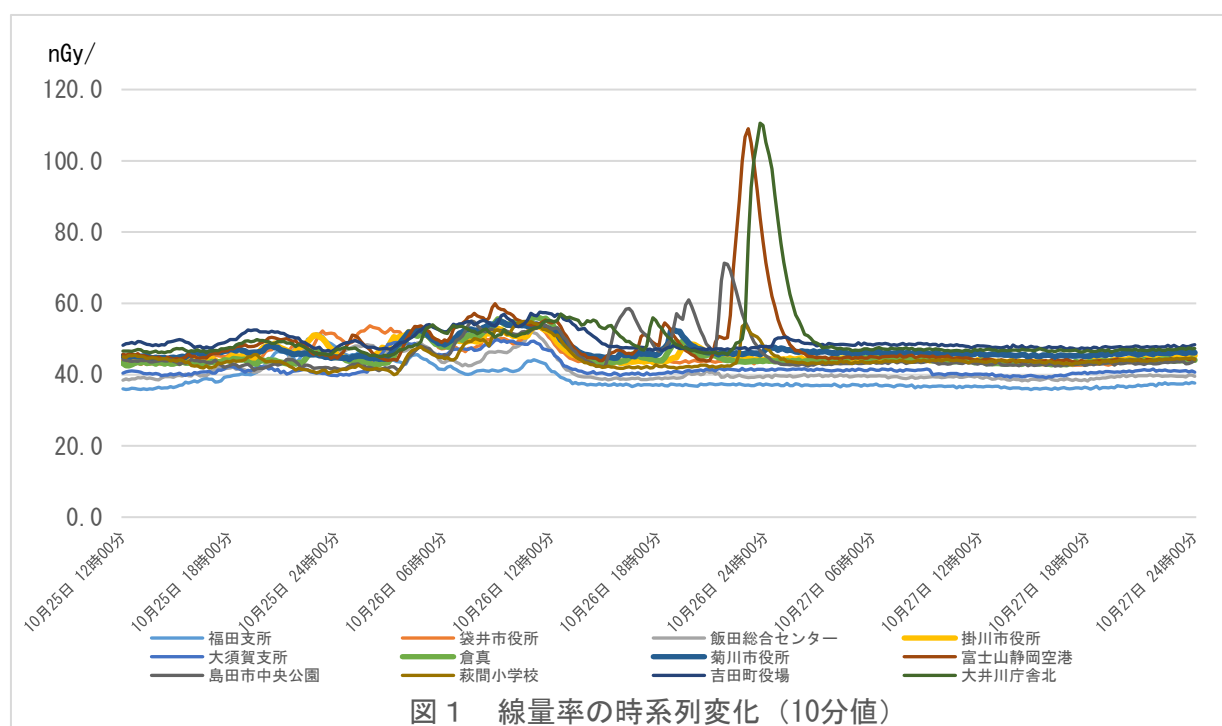


図 1 線量率の時系列変化（10分値）

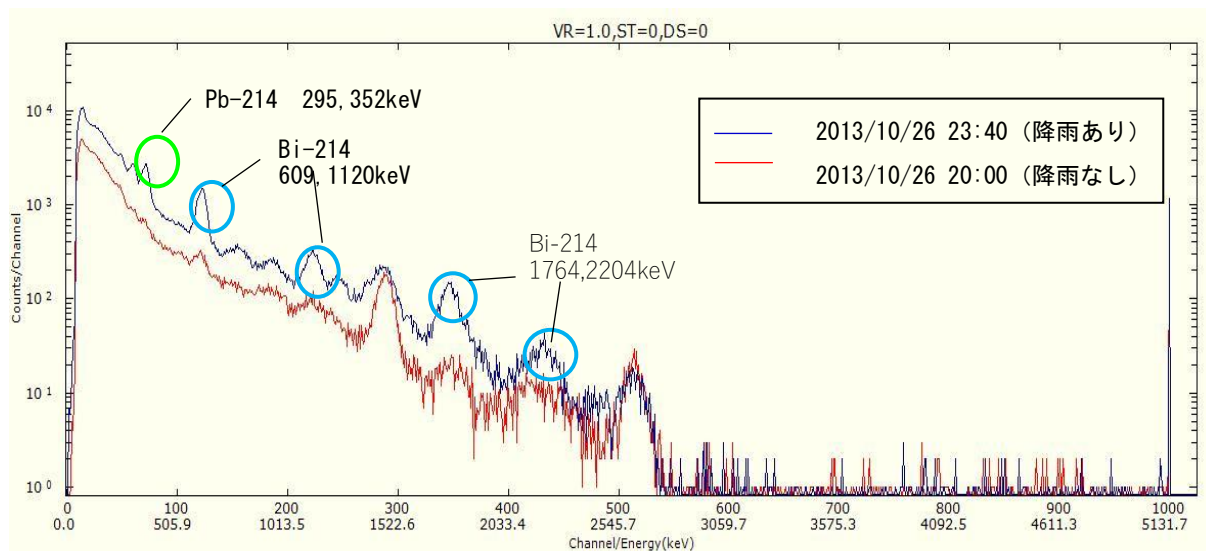


図2 スペクトルデータの比較  
(焼津市大井川庁舎北局)

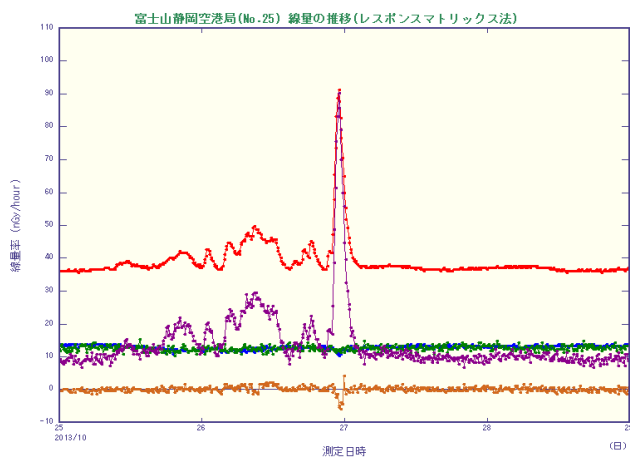


図3 スペクトル解析結果  
(富士山静岡空港局)

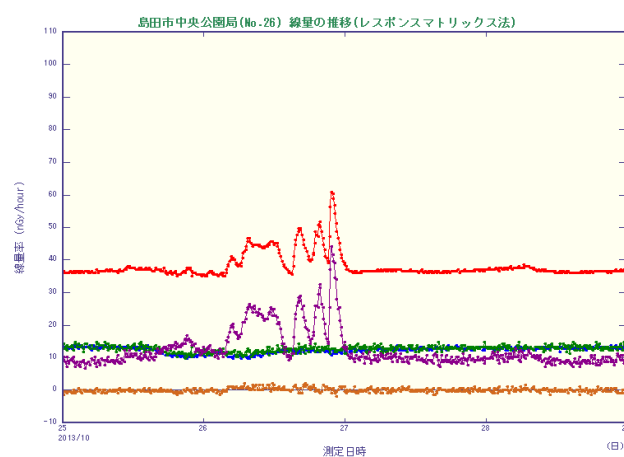


図4 スペクトル解析結果  
(島田市中央公園局)

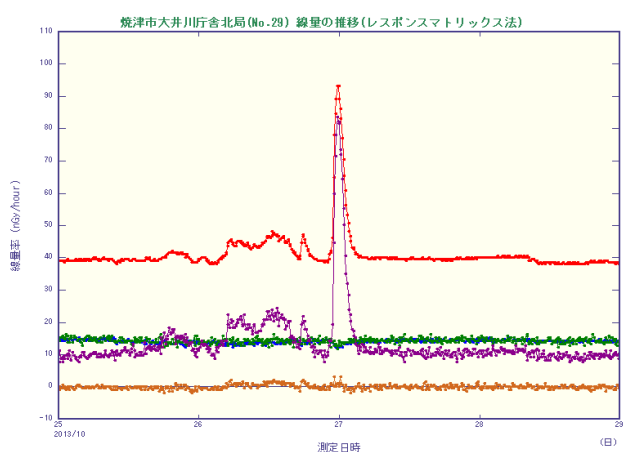
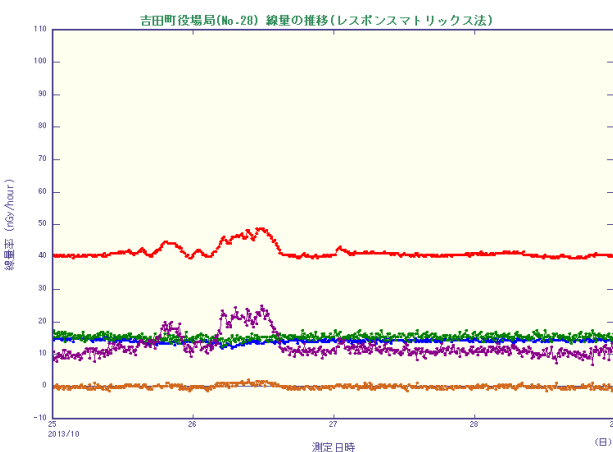


図5 スペクトル解析結果  
(焼津市大井川庁舎北局)



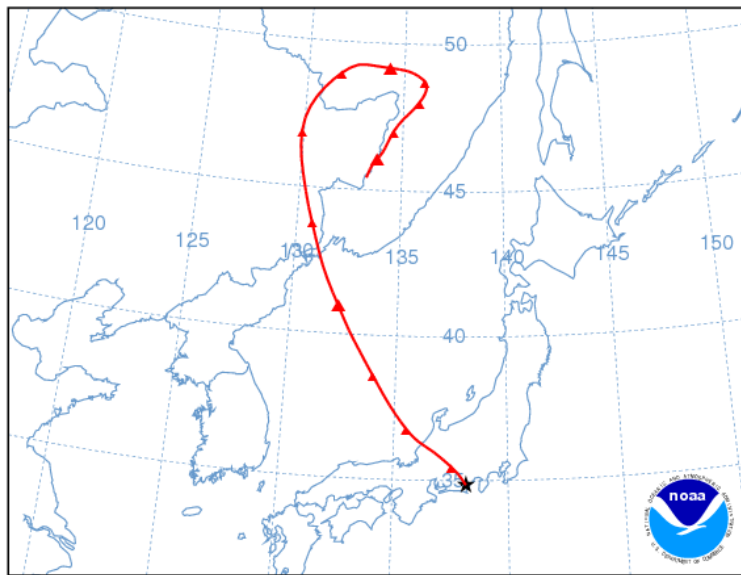
(参考) スペクトル解析結果  
(吉田町役場局)

— 合計線量 — U 系列※1 — Th 系列※2 — K — 人工核種

※1 U (ウラン) 系列:  $^{238}\text{U}$  から  $^{222}\text{Rn}$  (希ガス) を経て  $^{206}\text{Pb}$  (安定) に至る自然放射性核種の崩壊系列

※2 Th (トリウム) 系列:  $^{232}\text{Th}$  から  $^{220}\text{Rn}$  (希ガス) を経て  $^{208}\text{Pb}$  (安定) に至る自然放射性核種の崩壊系列





※ 2013 年 (平成 25 年) 10 月 26 日  
21 時に島田市中央公園局の地点に  
到達した大気がどのような経路を  
通ってきたかを、米国海洋大気庁  
の HYSPLIT Model を用いて解析  
した。左図は、72 時間前からの軌  
跡を示したものである。

図 6 後方流跡線解析

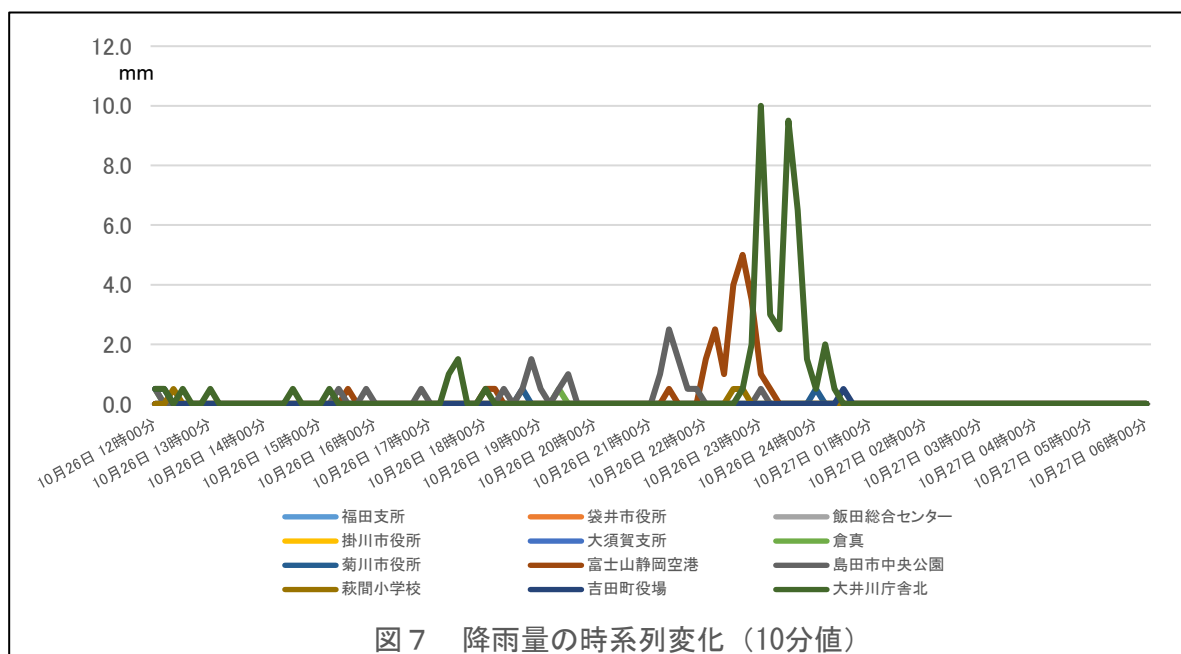
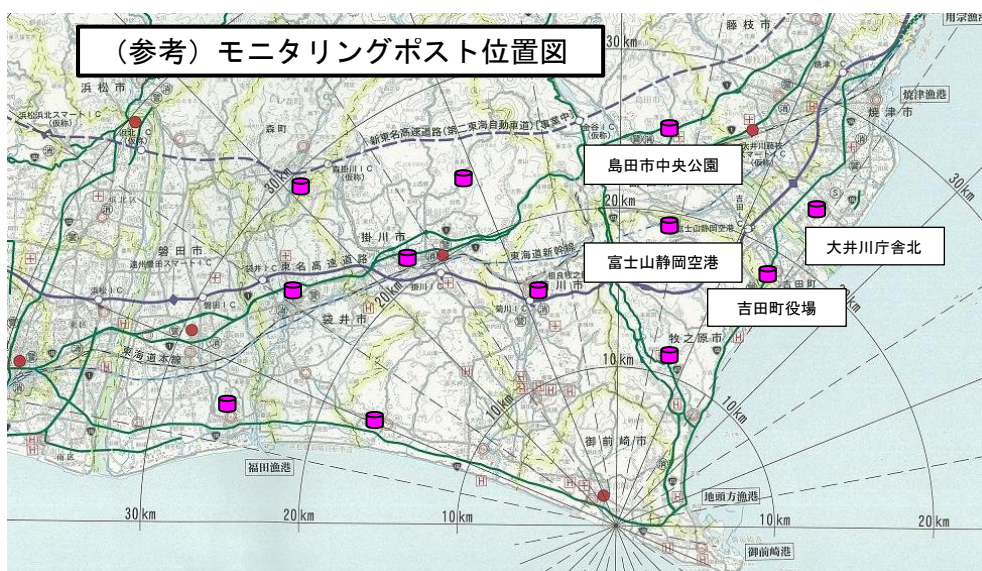


図 7 降雨量の時系列変化 (10分値)



## 東電事故の影響

東電事故では、浜岡原子力発電所周辺地域において、2011年3月15日と3月21日から22日にかけての2回のプルームの流入があったことがスペクトロメータで確認できた。

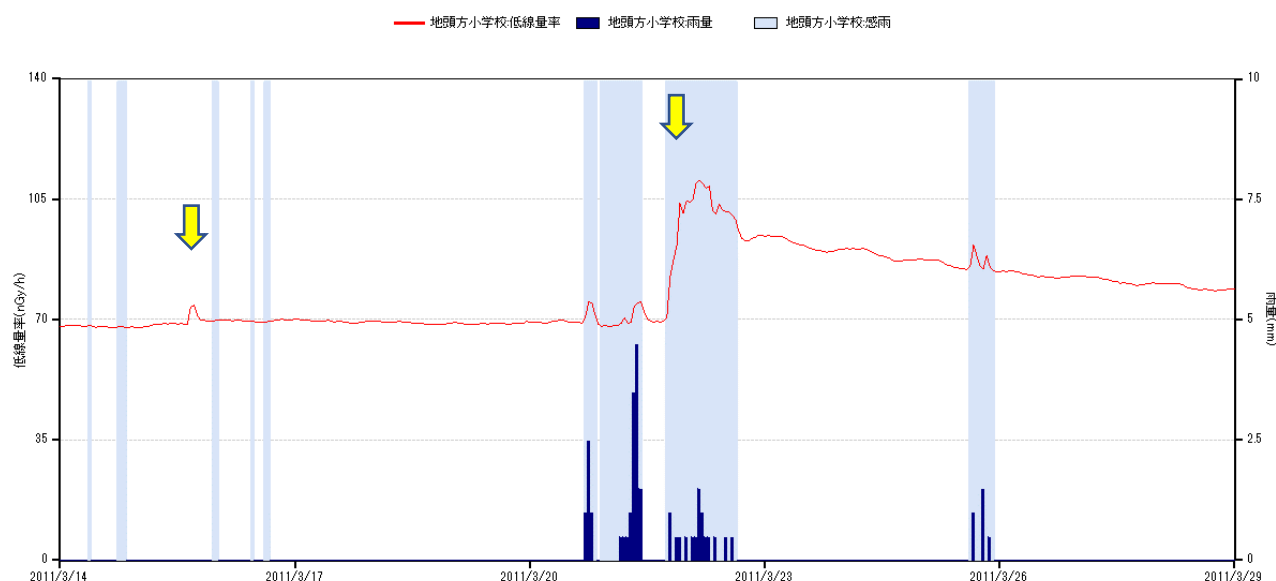
最初のプルームは、降雨がなかったため、通過しただけで線量率は一時的に数 nGy/h 程度上昇したに過ぎなかったが、2回目は降雨により、自然放射性核種とともに、人工放射性核種が降下、地表面に沈着し、トータルの線量率では最大約 40nGy/h 上昇した。

次ページのスペクトル解析の結果、人工放射性核種寄与分としては 20 数 nGy/h であったことを確認した。

線量率は、その後、短半減期核種の減衰により、徐々に減少した。

当時の気象データから、2回目のプルームは北東方向から流入したと推定され、各局舎の測定値からも東に位置する局舎の方が上昇幅は大きかった。

### 東電事故後の線量率の推移（地頭方小学校局）



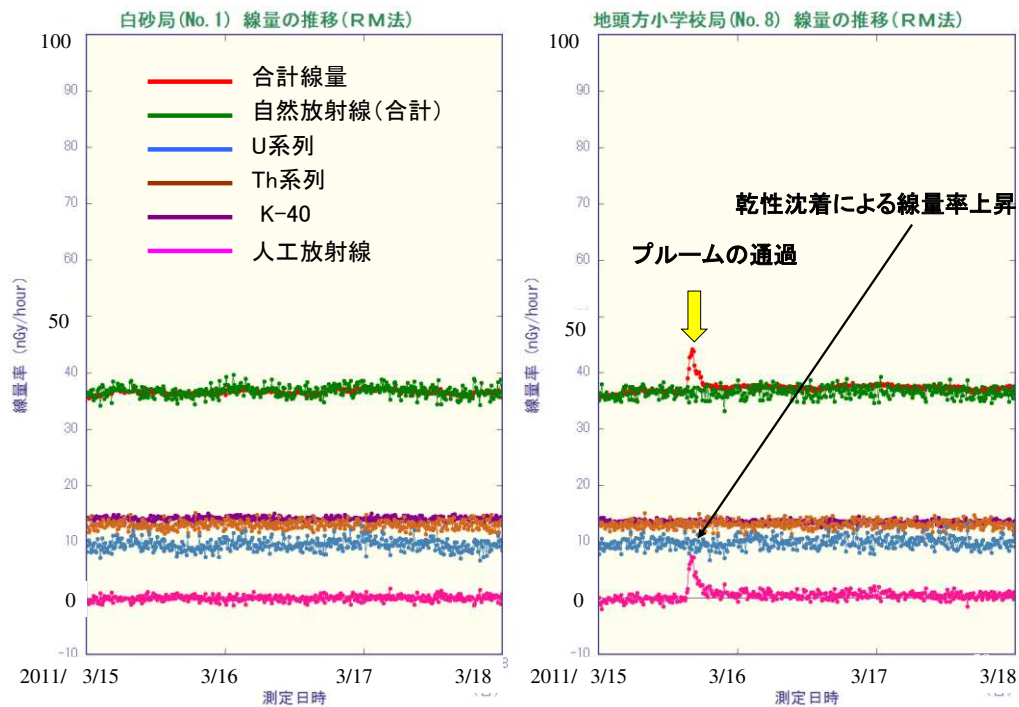
↓ プルームの流入による線量率の上昇

(注) 線量率の測定値には、宇宙線寄与分として 28nGy/h が加算されている。

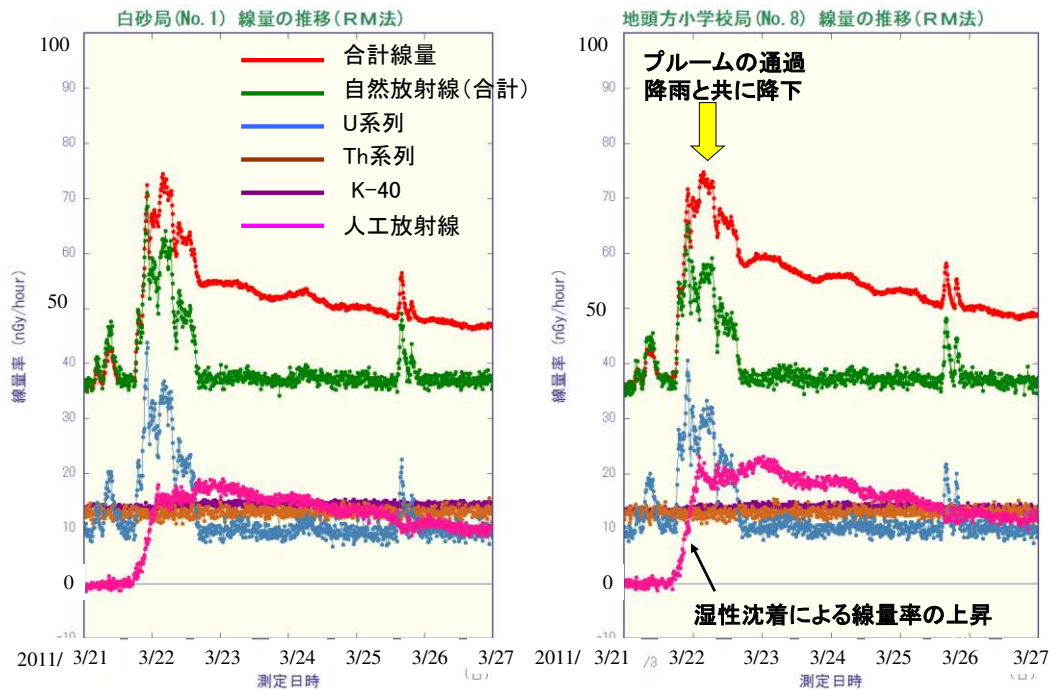
平成 23 年度の測定から、この加算を廃止した。



## スペクトル解析結果（3/15～17 白砂局及び地頭方小学校局）



## スペクトル解析結果（3/21～26 白砂局及び地頭方小学校局）



## 2 積算線量の測定

### 【測定法】

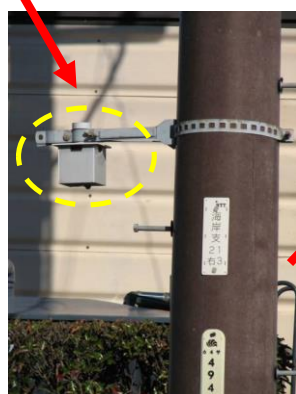
- 積算線量の測定は、**蛍光ガラス線量計**（RPLD:Radiophotoluminescence glass Dosimeter）により3か月間の累積線量を測っている。
- 蛍光ガラス線量計は、銀活性リン酸塩ガラスを用いた測定素子からなり、電離放射線により蛍光中心を生じ、これを紫外線で刺激すると、オレンジ色の蛍光を発する。蛍光の強さは線量に比例することから、蛍光の強さを計測することにより、長期間にわたる線量の積算値を測定することができる。
- 測定素子は、ウレタンケースに入れ、防湿袋で密封した上で、測定地点（電柱）に設置する。3か月後、素子を回収し、次の回の素子を取り付けるということを繰り返す。
- 電源を必要としないため自然災害の影響を受けにくい、リアルタイムで測定値を確認することはできない。 $\mu\text{Gy}$  オーダーの変化がある場合に適している。
- 蛍光ガラス線量計を採用したのは、平成14年度からで、それまでは熱ルミネッセンス線量計（TLD:Thermophotoluminescence Dosimeter）を使用していた。蛍光ガラス線量計は、繰り返し読取りができることとフェーディング（蛍光中心の一部が常温で自然に消滅してしまう現象）がほとんどないという点で熱ルミネッセンス線量計よりも優れている。

### 蛍光ガラス線量計による測定



蛍光ガラス線量計素子  
(RPLD)

容器に収納し電柱に設置



RPLD設置容器



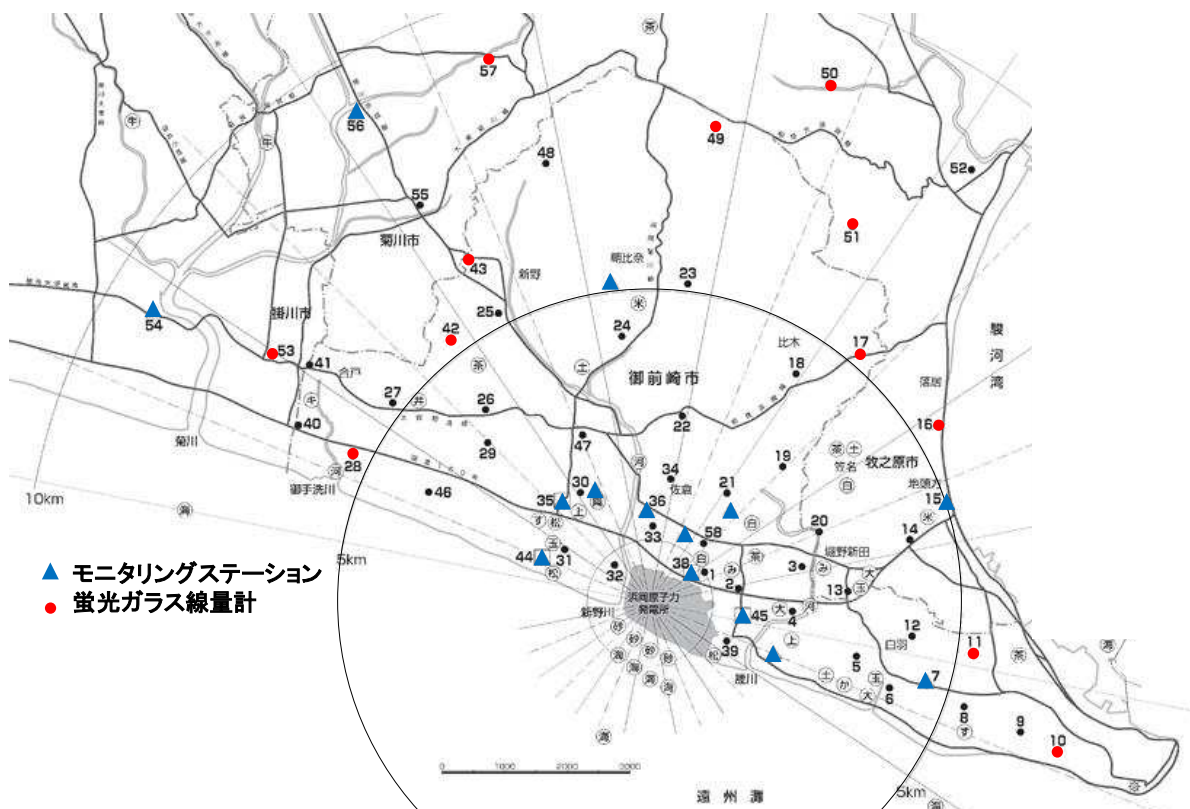
RPLD読取装置

3ヶ月後回収し、積算線量を読み取り

## 【調査のポイント】

- 発電所周辺 10km 圏内には、蛍光ガラス線量計を設置している**モニタリングポイント**が 12 地点あり、各方位それぞれに配置している。(モニタリングステーションと重ならないように配置している。)
- 平常時における 90 日間の積算線量は、概ね 0.12~0.17mGy の範囲である。現在の測定値は、**東電事故の影響を検出できないレベル**になっている。
- 積算線量の測定結果は、**線量率により外部被ばく線量を推定・評価する際の参考**として用いる。
- 令和 2 年度から、**線量率による外部被ばく線量を推定・評価する際の参考**と位置づけ、測定地点を減らし、12 地点とした。(従来は 57 地点)
- 測定地点による測定値の違いは、空間放射線量率と同様に、**地質の違いや周囲に存在する建物等の有無などが原因**である。
- 3 か月ごとに、設置した蛍光ガラス線量計を回収するが、測定の作業工程上、設置日数を統一することができないため、90 日間の値に換算して、四半期ごとの比較ができるようにしている。
- 最近の測定で平常の変動幅を上回ることがあったが、東電事故以降、継続して上回っているわけではないことから、人工放射性核種が蓄積しているということではない。また、空間放射線量率で確認しているとおり、新たに人工放射性核種が供給されたということではないことから、主として**自然変動（自然放射性核種の変動）**によるものである。(有効数字 2 桁にするとときの四捨五入の結果という要素が加わる場合もある。)

### モニタリングポイント（蛍光ガラス線量計）の配置

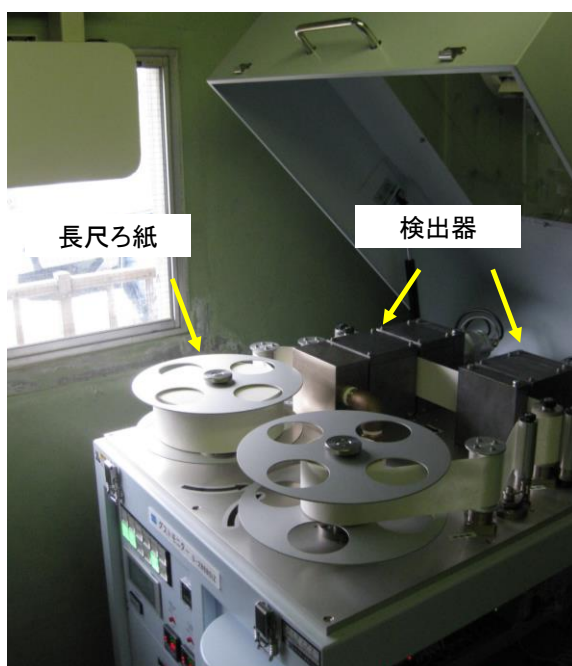


### ③ 大気中浮遊塵の全 $\alpha$ ・全 $\beta$ 放射能の測定

#### 【測定法】

- 次の検出器を備えた**ダストモニタ**により、大気中浮遊塵の全 $\alpha$ 放射能及び全 $\beta$ 放射能を測定している。
  - ・ 全 $\alpha$ 放射能検出器：ZnS シンチレーション検出器
  - ・ 全 $\beta$ 放射能検出器：プラスチックシンチレーション検出器
- 大気中に浮遊している塵には、粒子状の放射性物質が付着している。ダストモニタは、大気中の塵を連続でろ紙上に捕集しながら、 $\alpha$ 線と $\beta$ 線の放射能をそれぞれ同時に測定している。ろ紙は6時間間隔で自動的に送られ、集塵終了6時間後の $\beta$ 線も測定している。これは、ラドンの崩壊生成物を減衰させた状態で測定するためである。
- 人工放射性核種の多くが $\beta$ 線を放出するため、 $\beta$ 線の変化を捉えるための測定法である。測定値は、①集塵中の全 $\alpha$ 放射能・全 $\beta$ 放射能比、②集塵中の全 $\beta$ 放射能及び③集塵終了6時間後の全 $\beta$ 放射能の3つを2分間隔で取得している。各局舎のデータはテレメータシステムで環境放射線監視センターに集約している。
- 放射性物質に対する感度の高い測定がリアルタイムで可能であり、空間放射線量率と同様に、放射性物質の放出の早期検出に有効である。ダストモニタは、2000年（平成12年）度に整備し、試験運用後、2002年度から正式に測定を開始した。

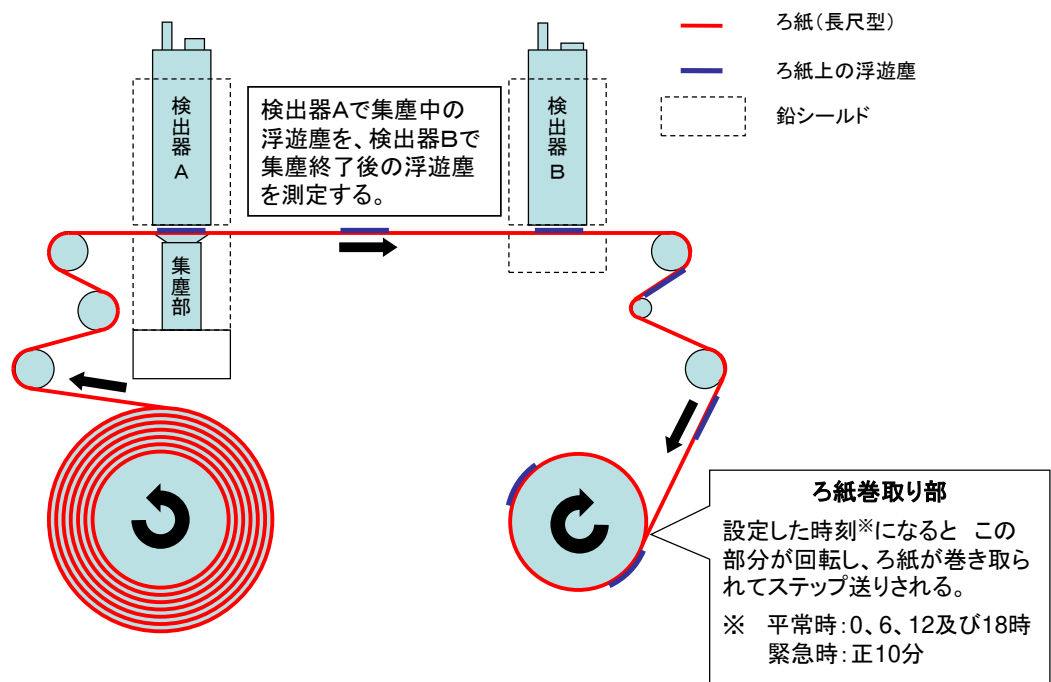
#### ダストモニタ



サンプラ部・検出部



測定部



ダストモニタの内部機構



## 【調査のポイント】

- 発電所からの予期しない放射性物質の放出の早期検出を目的に、発電所周辺 10km 圏内の 14 か所のモニタリングステーションのうち、5 か所にダストモニタを設置し測定を行っている。
  - 平常時の測定値は、おおよそ次のとおりである。現在の測定値は、東電事故の影響を検出できないレベルになっている。

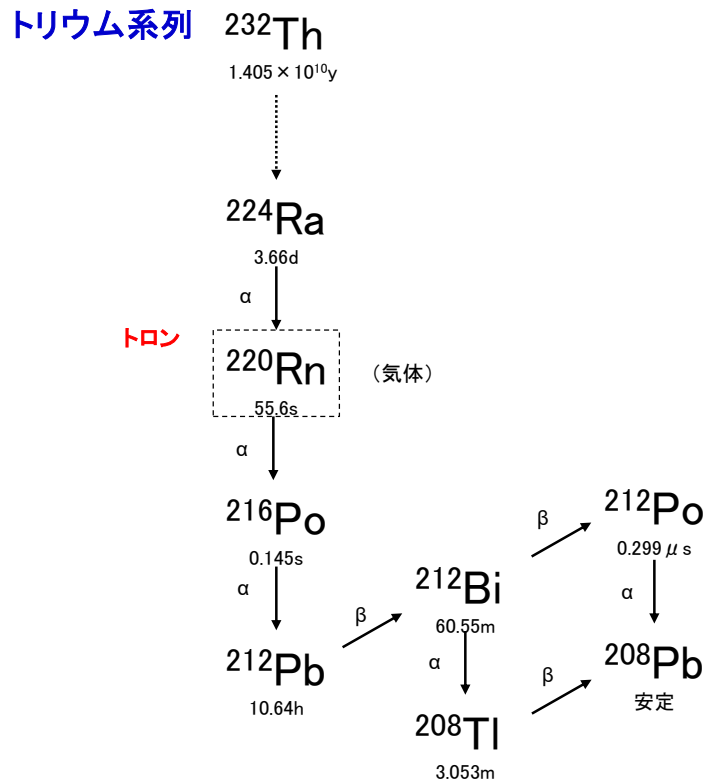
(1) 集塵中の全 $\alpha$ 放射能・全 $\beta$ 放射能比	2～4 前後
(2) 集塵中の全 $\beta$ 放射能	30Bq/m <sup>3</sup> 以下
(3) 集塵終了 6 時間後の全 $\beta$ 放射能 (参考)	1Bq/m <sup>3</sup> 以下
  - 集塵したろ紙は、1 か月分まとめて回収し、 $\gamma$  線の核種分析も行っている。
- 
- 5 か所のうち、県が測定を行っているのが 2 か所 (白砂及び平場)、中部電力が測定を行っているのが 3 か所 (中町、白羽小学校及び地頭方小学校) である。
  - 人工放射性核種の多くが  $\beta$  線を放出する。自然放射性核種も  $\beta$  線を放出するが、自然放射性核種が増えた場合は、全  $\alpha$  放射能と全  $\beta$  放射能がほぼ同じ割合で増えるので、放射能比 (全  $\beta$  放射能 / 全  $\alpha$  放射能) は大きく変わらない。一方、人工放射性核種が増えた場合には、全  $\beta$  放射能が大きく増えるので、放射能比が大きくなる。
  - つまり、人工放射性核種の放出があった場合には、(1) 集塵中の全  $\alpha$  放射能・全  $\beta$  放射能比と (2) 集塵中の全  $\beta$  放射能の測定値が同時に大きくなる。
  - 一方、自然放射性核種が減少するときは、量的に少ない全  $\alpha$  放射能の方が割合として大きく減る場合があり、そのときは比が大きくなることがある。
  - この例として、関東の東の海上に太平洋高気圧が停滞する夏場において、ラドンの崩壊生成物濃度が低い海洋性の空気塊が継続的に流入することにより、特に全  $\alpha$  放射能が低下し、放射能比が上昇することがある。
  - 空気中の自然放射性核種であるラドンとその崩壊生成物は、見かけ上の半減期が約 30 分なので、集塵終了 6 時間後には、約 1/4000 まで減衰することになる。一方、主要な人工放射性核種は 6 時間ではほとんど減衰しないため、(3) 集塵終了 6 時間後の全  $\beta$  放射能の値が、(2) 集塵中の全  $\beta$  放射能の値からそれほど減らないこととなる。
  - (3) 集塵終了 6 時間後の全  $\beta$  放射能は、(1) 集塵中の全  $\alpha$  放射能・全  $\beta$  放射能比と (2) 集塵中の全  $\beta$  放射能が同時に大きく変化した場合の参考として確認する。
  - 人工放射性核種の影響がない平常時においては、集塵中の全  $\alpha$  放射能及び全  $\beta$  放射能の値は、ラドンの崩壊生成物からの放射線が主たるものである。
  - また、集塵終了 6 時間後の全  $\beta$  放射能については、見かけ上の半減期が約 11 時間であるトロン<sup>①</sup>の崩壊生成物からの放射線が主たるものである。

## トロンの崩壊生成物

地球誕生から現在まで壊変しつづさに存在するトリウム 232 ( $^{232}\text{Th}$ ) は、決まった壊変系列にしたがって次々と崩壊する。これを親核種の名前をとってトリウム系列と呼ぶ。

これらの崩壊は、土壌中で起こるが、途中で気体の核種であるトロン ( $^{220}\text{Rn}$ ) が生成し、その一部が大気中へ散逸する。

トロンは崩壊し、ポロニウム、鉛、ビスマスなどの粒子状物質に変化する。



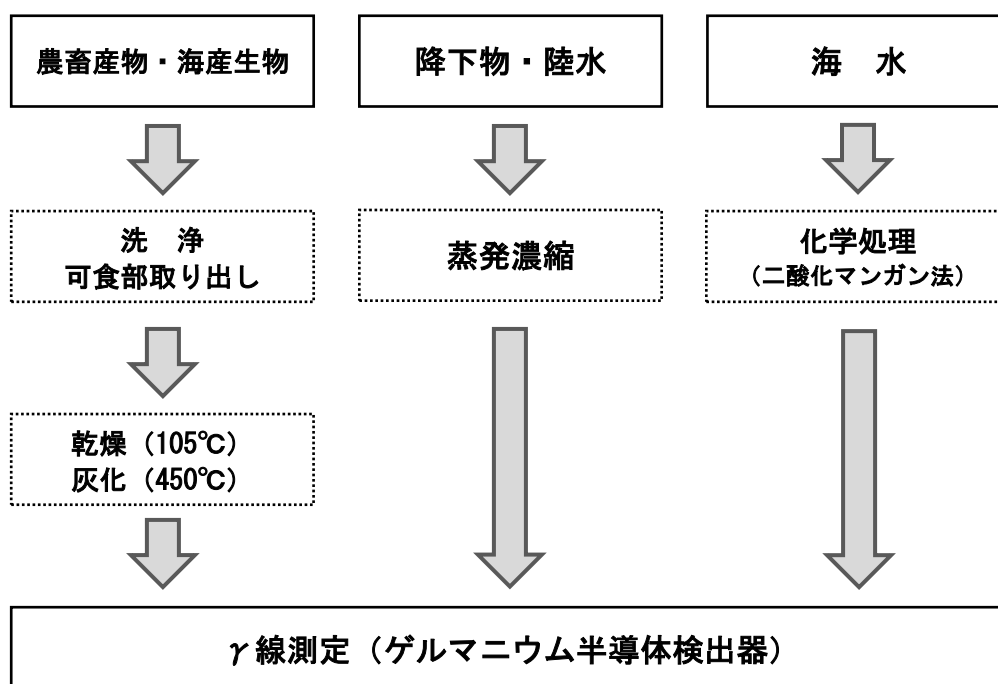
(注) 壊変系列の一部を省略して記載している。

## 4 $\gamma$ 線放出核種の測定

### 【測定法】

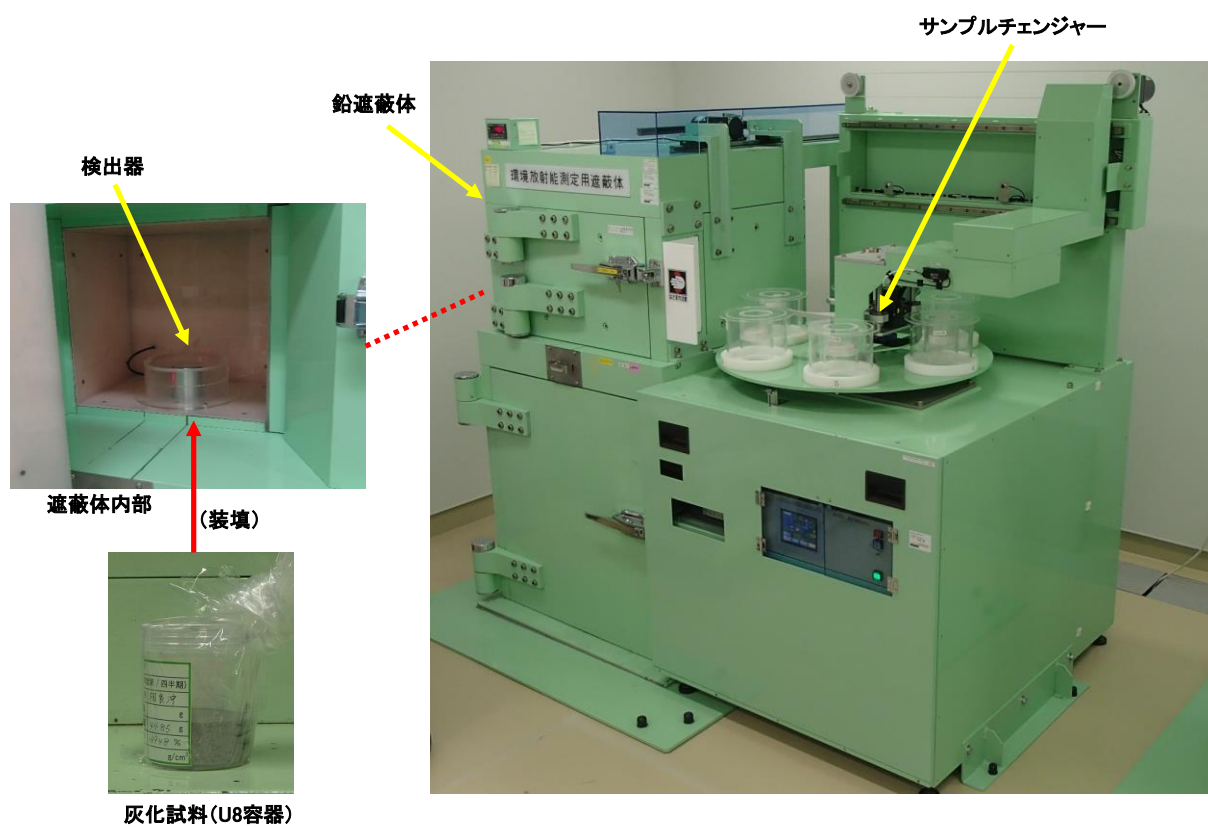
- $\gamma$ 線を放出する多数の核種を一度に測定できる**ゲルマニウム半導体検出器**を用いて測定する。
- 試料から出た $\gamma$ 線がゲルマニウムの半導体と相互作用し、 $\gamma$ 線のエネルギーに応じた電気パルスを発生する。この電気パルスを多重波高分析装置で解析する。
- ゲルマニウム半導体検出器はエネルギー分解能に優れているため、解析によって得られるスペクトルは核種同定が可能な明瞭なピークとなって表示される。
- 採取した環境試料は、その形態に応じて前処理（乾燥、灰化、蒸発濃縮、化学処理など）を行うことにより減容し、U8 容器と呼ばれる専用の容器に充填する。  
（前処理を行わず、試料をそのまま専用の容器（マリネリ容器）に詰めて測定する場合もある。）
- 平常時は環境試料に含まれる放射性物質の量が非常に少ないため、前処理による減容に加えて、長時間（数万秒）の測定を行うことで、検出可能レベルを下げている。食品衛生法での測定は数 Bq/kg を検出できればいいため、前処理等を行わないが、本法ではそれよりも2～3桁低いレベルを検出することが可能である。

### 分析・測定の流れ（例）





## ゲルマニウム半導体検出器



## 【調査のポイント】

- 地域を代表する生産物を中心に試料を採取しており、令和元年度の実績で 29 種類の試料を合計 73 地点で採取し測定を行っている。
  - 測定結果は、 $\gamma$ 線放出核種以外の核種と合わせて、住民等の内部被ばく預託実効線量を推定・評価するための材料となる。
  - 飲食物以外に、放射性物質の蓄積状況の把握や緊急事態への備えなどを目的に、土壌、海底土、海水、降下物なども測定を行っている。（緊急事態への備えを目的とした測定は、5 年に 1 回程度の頻度で実施する。）
  - **東電事故や過去の核爆発実験等の影響**から、人工放射性核種が検出されることがあるが、食品衛生法の基準（放射性セシウム 食品：100Bq/kg、飲料水：10Bq/kg）よりも相当低い水準（農畜産物で 0.5Bq/kg 生以下）である。現在は、多くの試料が「検出されず」となっている。
  - 事故以降に観測された放射能は、経年的に漸減傾向を示しており、特異的なものではない。
- 
- $\gamma$ 線を放出する人工核種は非常に多くあり、それらはゲルマニウム半導体検出器で検出可能だが、発電所からの影響を評価する上で、コバルト 60 ( $^{60}\text{Co}$ )、ヨウ素 131 ( $^{131}\text{I}$ )、セシウム 134 ( $^{134}\text{Cs}$ ) 及びセシウム 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) を特に着目すべき核種とし、その測定値を調査結果書で報告している。これ以外の人工放射性核種については、検出された場合に、その測定値を記載する。
  - コバルト 60 は半減期が約 5 年で、原子炉の構成材料の腐食金属が放射化（中性子を捕獲）して生成するため、原子炉水中に存在する。（放射化生成物）  
ヨウ素 131 とセシウム 137 は核分裂反応によって生成し、通常は燃料被覆管内に保持される。半減期は、ヨウ素 131 が約 8 日、セシウム 137 が約 30 年である。  
（核分裂生成物）  
セシウム 134 は半減期が約 2 年で、核分裂によって直接的に生成するのではない。原子炉内でキセノン 133 ( $^{133}\text{Xe}$ ) 等が崩壊し、安定なセシウム 133 ( $^{133}\text{Cs}$ ) が生成した後、セシウム 133 に減速した中性子が捕獲されて、セシウム 134 が生成する。（放射化生成物）
  - 天然のカリウムは、主として安定のカリウム 39 ( $^{39}\text{K}$ ) 及びカリウム 41 ( $^{41}\text{K}$ ) と微量の放射性同位体である**カリウム 40 ( $^{40}\text{K}$ )**（存在比約 0.012% 半減期約 12.5 億年）から構成されている。カリウム 40 は自然放射性核種だが、半減期が長く、ほとんどの試料に含まれ、平常時には単位量あたりの放射能は人工放射性核種よりも相当高い。また、同じ種類の試料であれば、地点が変わっても大きくは変わらない。このため、測定の妥当性を見るための参考として、自然放射性核種の測定値も報告対象としている。（大気中浮遊塵及び降下物の場合は、宇宙線生成核種であるベリリウム 7 ( $^7\text{Be}$  半減期約 53 日) を報告対象としている。）
  - 東電事故の直後には、浜岡原子力発電所周辺において、ヨウ素 131、セシウム 134、セシウム 137、テルル 129m ( $^{129\text{m}}\text{Te}$ )、テルル 129 ( $^{129}\text{Te}$ )、セシウム 136 ( $^{136}\text{Cs}$ )、銀 110m ( $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ) などの人工放射性核種が検出された。
  - 事故後も検出が長く続いた核種は、セシウム 134 とセシウム 137 である。その理由は、セシウムは揮発性が高いため、多量に放出され拡散したことと、半減期が

長いためである。セシウムは、化学的性質がカリウムと似ており、体内に入ると、主に筋肉に移行するため全身に分布することになる。セシウムは、物理学的半減期は長い、排泄されやすい性質もある。

- 農産物等の中で、事故により比較的大きい値を検出した試料は、茶葉、みかん、松葉などであったが、これは**放射性降下物を葉面から吸収したことが主な要因**である。
- セシウムは、**土壌中の粘土鉱物等に強く吸着するため、経根吸収による寄与はあまり大きくないが、根菜類がやや高めの値になる傾向にある**。また、セシウムの化学的挙動はカリウムに近いことから、もともとカリウムを多く含むものは高めの値になる傾向にある。
- 海産生物では、魚類や肉食性の底棲生物等でやや高めの値となるが、個体の大きさなどによる違いも大きい。
- 大気中浮遊塵や降下物中に放射性セシウムが検出されることがある。これらは大気中の放射性物質を含有している試料ではあるが、現在観測される放射性セシウムは、事故直後に環境へ供給され、**一旦地表面に沈着したものが再浮遊したもので、新たに福島第一原子力発電所等から供給されたものではない**。再浮遊は、土壌が乾燥した状態にある場合などに、土壌粒子が舞い上がる現象で、風や湿度などの気象条件や周辺環境の状況（建設工事、交通量、農作業等）などの影響を受ける。
- セシウム 137 は半減期が約 30 年と長い、過去の核爆発実験等の影響に東電事故の影響が加わり、検出される期間が長く続く。セシウム 134 は半減期が約 2 年だが、令和元年度の調査でも、土壌でセシウム 134 が検出された。農畜産物等では、茶葉のセシウム 134 が 2018 年（平成 30 年）度まで検出が続いた。
- 大気圏内核爆発実験によって生じた核分裂生成物等は、大気の大気圏（高度約 15km まで）又は成層圏（高度約 15km から約 55km まで）に入り、その後少しずつ地表へ降下する。大気圏内核爆発実験は 1980 年まで行われた。
- 緊急事態への備えとして行う測定は、緊急時モニタリングの結果から、環境への影響を適切に評価するため、平時の水準を把握しておくことが目的である。
- 人工放射性核種が検出され、平常の変動幅を上回った場合は、浜岡原子力発電所内モニタの測定結果を確認することにより、発電所からの影響かどうかを判断することになるが、検出された当該核種の経年変化の状況、空間放射線量率等の他の測定結果、他の核種の検出状況などもその裏付けとなる。

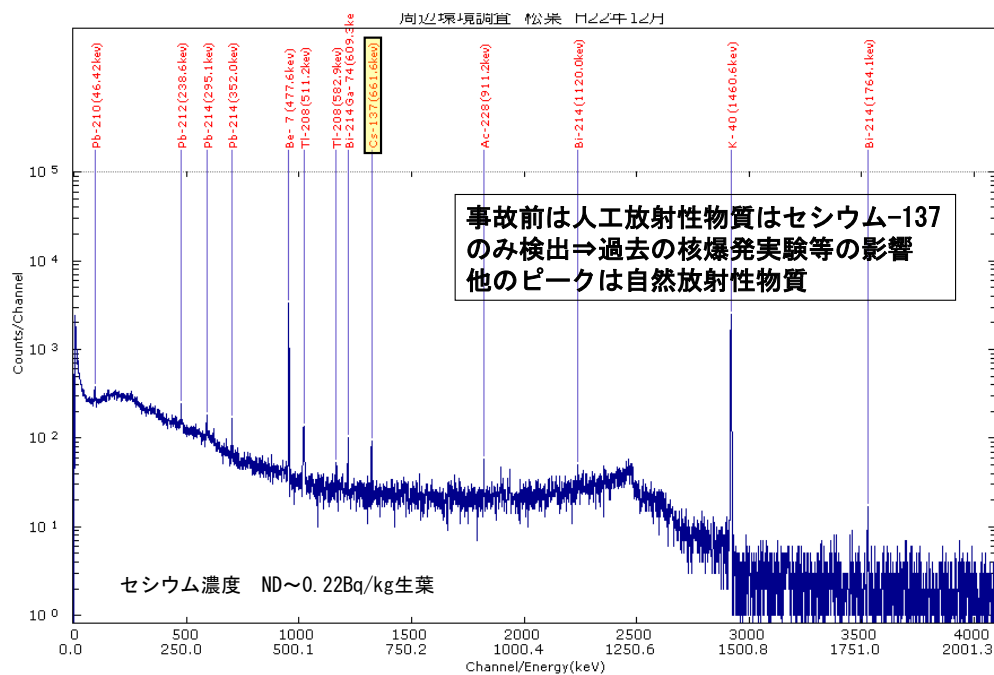
## 東電事故等の影響①

東電事故前でも、人工放射性核種であるセシウム 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) が検出されていた。これは、過去に行われた大気圏内の核爆発実験などの影響によるものである。

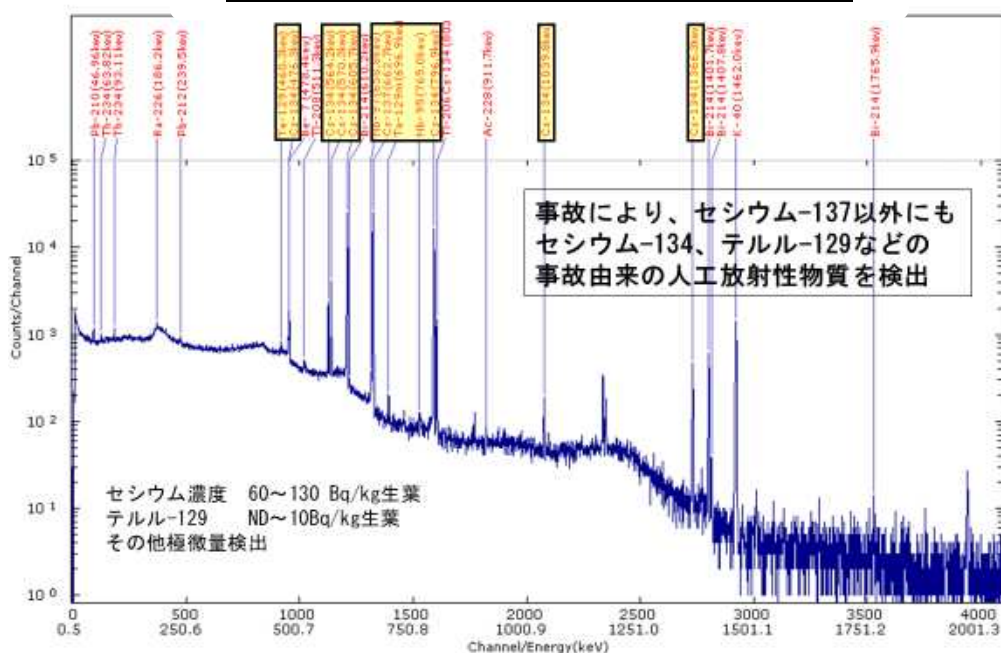
東電事故直後はセシウム 137 以外にも多くの人工放射性核種が検出されたが、1 年後には短半減期の核種は「検出されず」となり、セシウム 134 ( $^{134}\text{Cs}$  半減期約 2 年) とセシウム 137 (半減期約 30 年) のみとなった。

### ゲルマニウム半導体検出器による測定結果

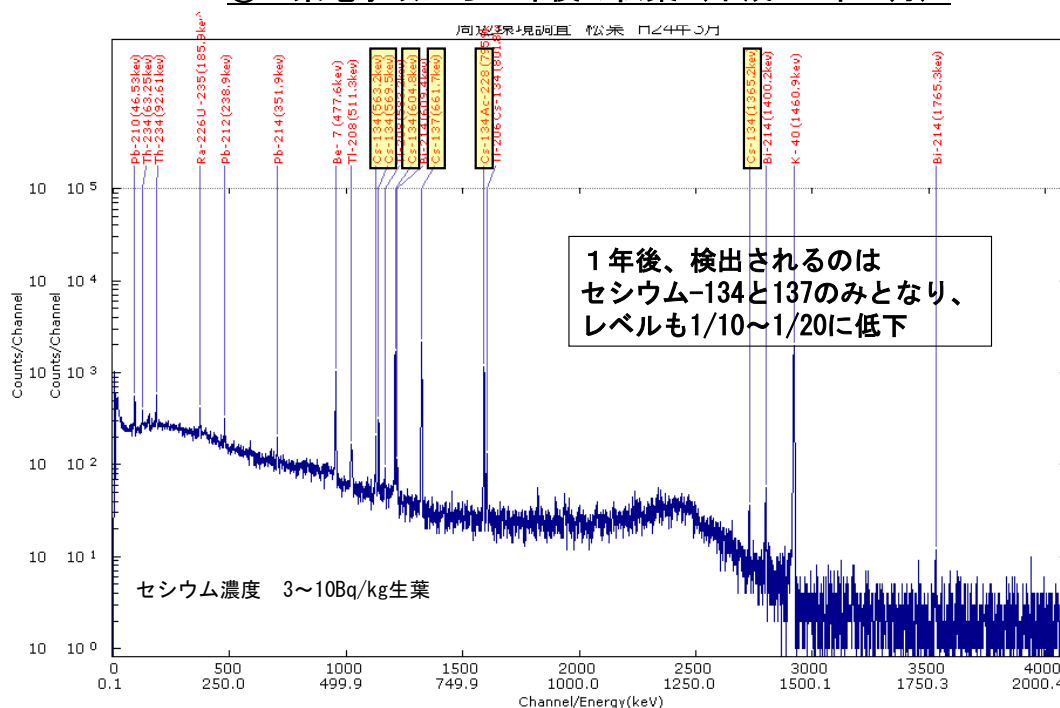
#### ① 東電事故前の松葉（平成 22 年 12 月）



#### ② 東電事故直後の松葉（平成 23 年 6 月）



### ③ 東電事故から1年後の松葉（平成24年3月）

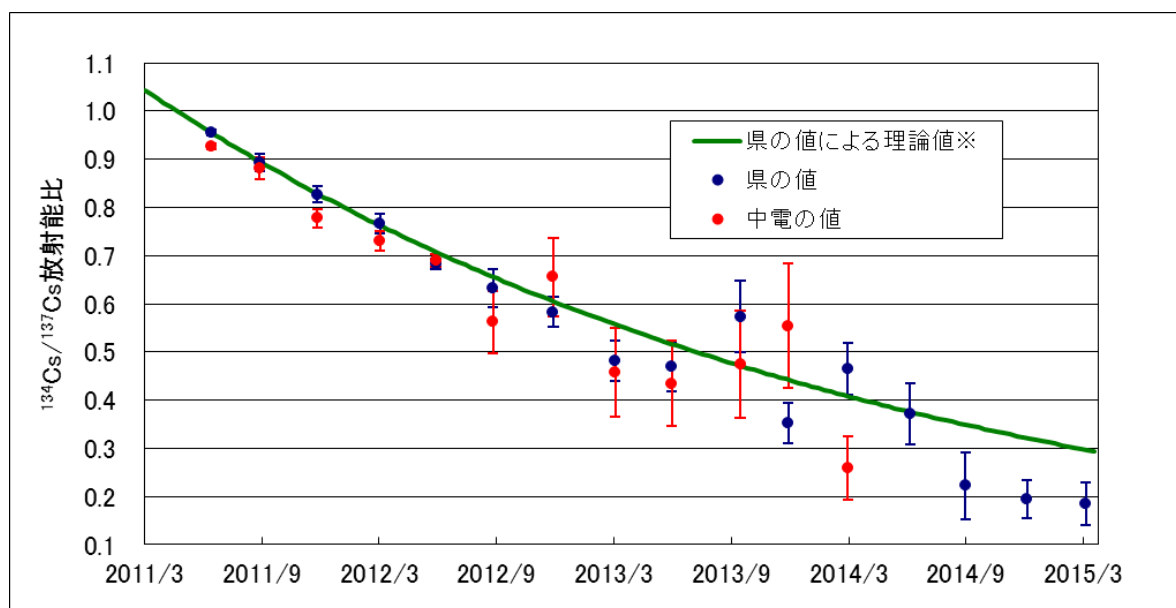


### 東電事故等の影響②

東電事故によって放出されたセシウム134とセシウム137の比は1：1であった。

図は浜岡原子力発電所周辺で採取した松葉の比（セシウム134／セシウム137）の推移だが、半減期の違いによる理論値とほぼ同等であり、このことは、福島第一原子力発電所から新たな核分裂反応による放射性物質の流入はなかったということを示唆するものである。（2015年3月の時点で0.2程度。2015年6月にはセシウム134は「検出されず」となった。）

### 放射性セシウムの放射能比の推移（平場前の松葉）



図中に示す誤差は、計数に伴う統計誤差（1σ）

※ 理論値は、2011年6月に採取した試料の測定値（両者のうちの最大値）に基づいて計算した。

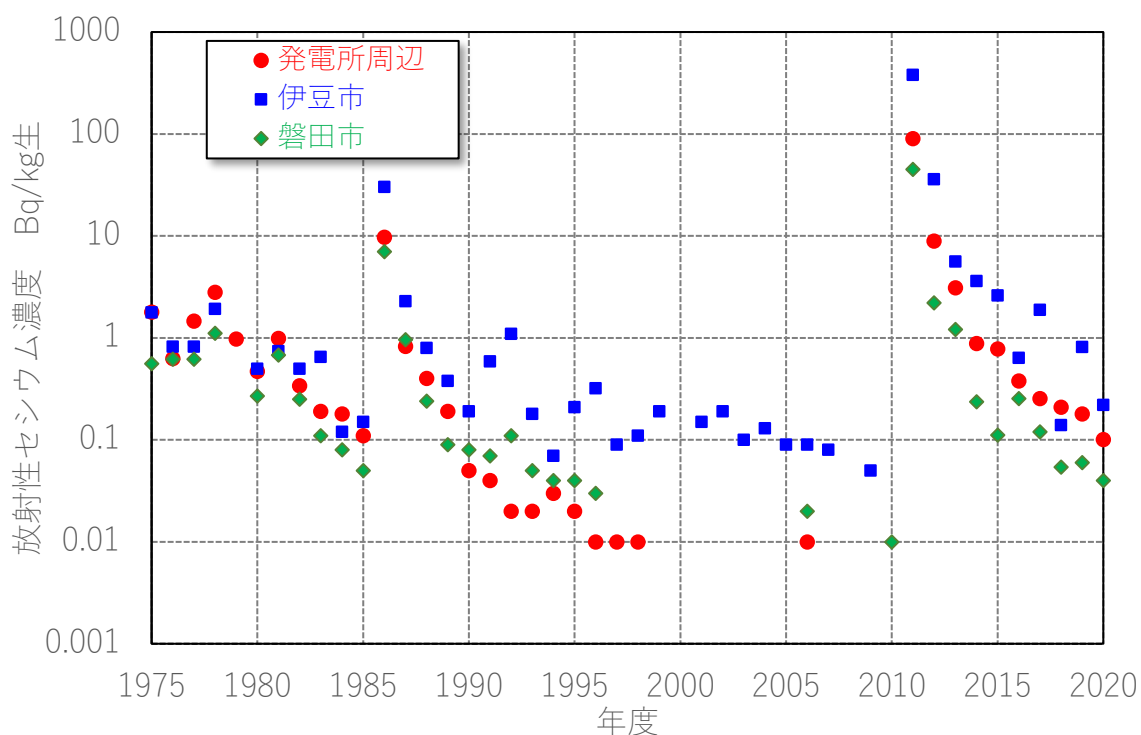
### 東電事故等の影響③

図は県内で採取された茶葉中の放射性セシウム（セシウム 134 とセシウム 137 の和）の推移である。

1940 年代から 1980 年まで行われた大気圏内の核爆発実験と 1986 年に起きたチェルノブイリでの事故による影響を受け、その後漸減傾向を示していたところに、東電事故が発生し再び増加した。

現在、セシウム 134 は「検出されず」となり、セシウム 137 も事故直後と比べ、数百分の一以下に減少している。検出はされてはいるが、漸減傾向にある中でのものであり、特異的なものではない。

#### 茶葉中の放射性セシウム濃度の推移

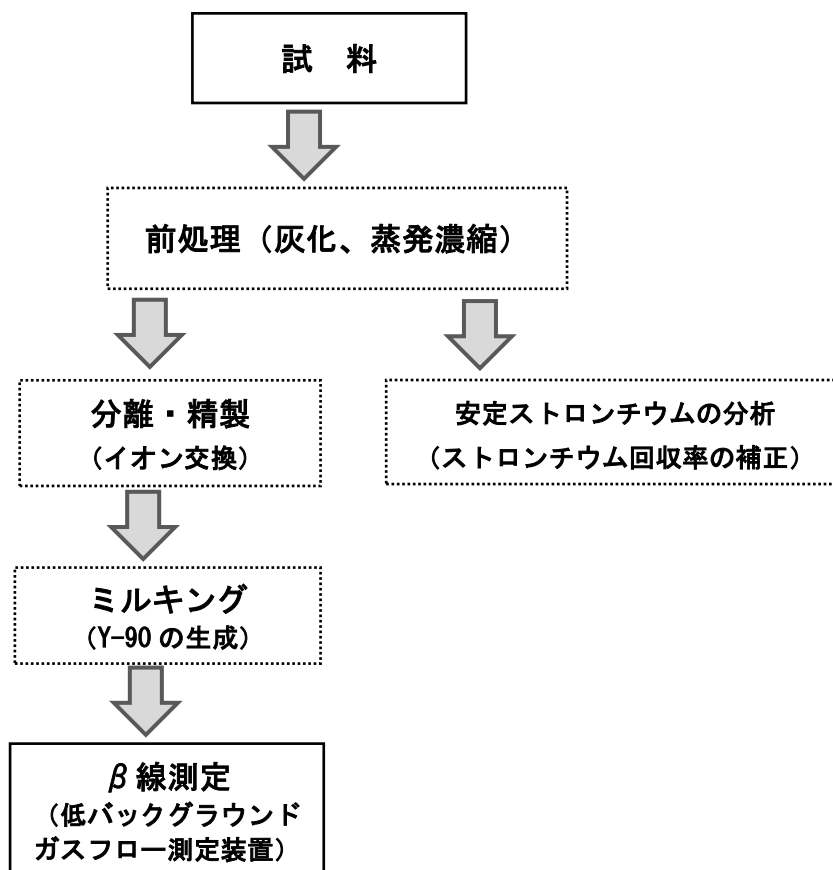


## 5 ストロンチウム 90 の測定

### 【測定法】

- ストロンチウム 90 ( $^{90}\text{Sr}$  0.546MeV 半減期約 29 年) は  $\beta$  線しか放出しないため、ゲルマニウム半導体検出器を用いた測定ができない。また、 $\beta$  線は連続エネルギーを持ち、 $\gamma$  線のようなピークを形成しないため、ピーク解析による同定ができない。
- このため、ストロンチウム 90 を化学的に単離し、 $\beta$  線の放射能を測定する。実際には、ストロンチウム 90 から生成される娘核種のイットリウム 90 ( $^{90}\text{Y}$  2.282MeV 半減期約 64 時間) が放出する  $\beta$  線の方がエネルギーが強く、測定がしやすいため、この放射線を測定する。
- 分析手順としては、ストロンチウム 90 を分離し、すでに共存しているイットリウム 90 を除去してストロンチウム 90 だけの状態にしてから放置する。ストロンチウム 90 の半減期がイットリウム 90 よりも非常に長いため、十分な時間（通常 2 週間）放置すると**放射平衡**が成立し、ストロンチウム 90 と生成したイットリウム 90 の放射能が同じになる。
- このようにして、イットリウム 90 を分離し、その放射能を求めることによって、ストロンチウム 90 の放射能が分かることになる。このように放射平衡にある娘核種を親核種から分離する化学操作を「**ミルキング**」という。測定器は、**低バックグラウンドガスフロー測定装置**を用いる。

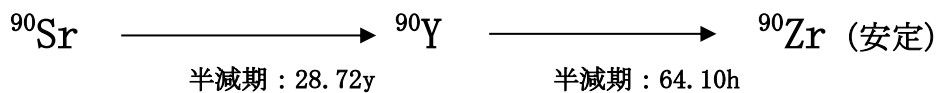
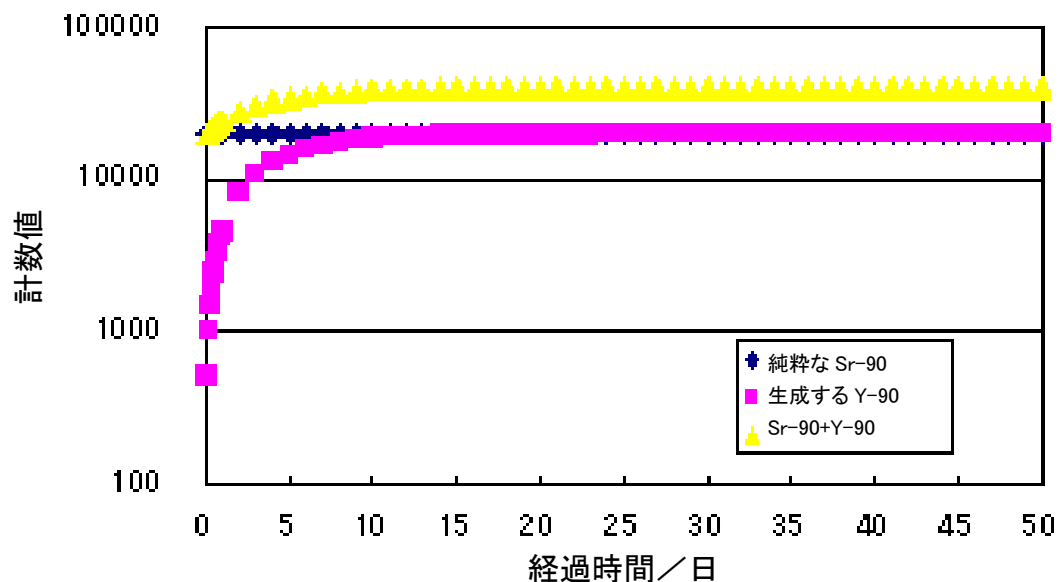
### 分析・測定の流れ（例）



## 放射平衡とミルクング

ストロンチウム 90 とイットリウム 90 の放射平衡によるイットリウム 90 の生成曲線は図のとおりであり、2週間で 97%が生成され、それ以降はほとんど変化しない。このため、ミルクングまでの放置期間は2週間を目安にしている。(理論上ではイットリウム 90 が最大放射能を示す時期は、スカベンジから 31.9 日後である。)

### イットリウム 90 の生成曲線



## 低バックグラウンドガスフロー測定装置



測定試料



低バックグラウンドガスフロー測定装置



## 【調査のポイント】

- 地域を代表する生産物を中心に試料を採取しており、令和元年度の実績で9種類の試料を合計14地点で測定している。
  - 飲食物以外に、**緊急事態への備え**としてバックグラウンドを把握することを目的に、土壌の測定も行っている。（5年に1回程度の頻度で実施する。）
  - 東電事故後、一部の試料でストロンチウム90が検出されているが、事故前と同程度（農畜産物で0.2Bq/kg生以下）であり、この地域においては**事故によるストロンチウム90の影響は極めて小さかった**と考えられる。
- 
- ストロンチウム90は核分裂反応によって生成される。測定値は、**事故直後でも、事故前とほとんど変わらないレベルであるため、東電事故の影響は極めて小さく、主には過去に行われた核爆発実験等の影響**と考えられる。
  - ストロンチウム90は放射性セシウムと同じく、原子炉内の存在量が多い。しかし、セシウムよりも揮発性が低く、事故による放出はあったものの、静岡県への影響は小さかったと考えられる。ストロンチウムは、化学的性質がカルシウムと似ており、体内に入ると、骨に蓄積する。
  - 農産物中に検出されるストロンチウム90は、セシウム137と比べると、経年的な減少傾向は大きくは見られない。これは、セシウムが土壌粒子に強く吸着されるのに対し、**ストロンチウムは土壌との親和性は高くなく、根からの吸収が大きいため**であると考えられる。  
  
※ 土壌中では、ストロンチウムは水和水を伴った水和イオンとして存在するためサイズが大きく、粘土鉱物の構造体に入り込みにくいとされる。一方、セシウムは水和しにくい性質のイオンとして存在し、イオンの正電荷中心と粘土の負電荷との距離が近くなり、相互作用が強く働くことで土壌に強く吸着されやすいとされる。
  - 緊急事態への備えとして行う測定は、緊急時モニタリングの結果から、環境への影響を適切に評価するため、平時の水準を把握しておくことが目的である。

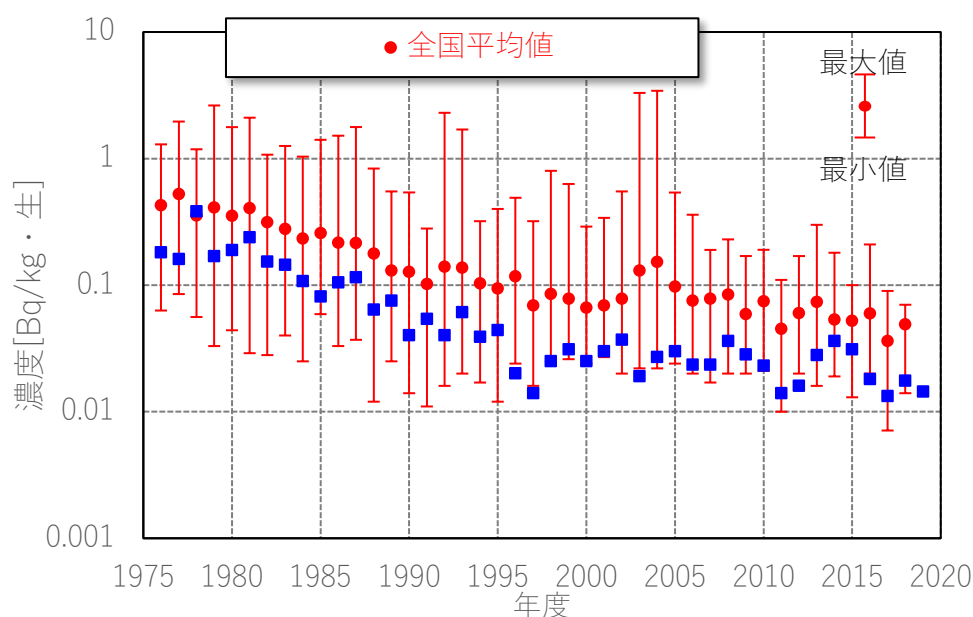
## 東電事故等の影響

東電事故後の測定では、環境試料から検出されるストロンチウム 90 に有意な上昇は認められていない。検出されたストロンチウム 90 については、以下の理由から、東電事故による影響は極めて小さく、主に過去に行われた核爆発実験等の影響と考えられる。

- ストロンチウム 90 は揮発性が低いため、セシウム 137 と比べると福島第一原子力発電所敷地外への飛散量は大きくない。
  - ※1 2011 年（平成 23 年）6 月に原子力安全・保安院が試算した放射性物質の放出量によれば、東電事故によるストロンチウム 90 の放出量はセシウム 137 の 1/100 程度とされている。
  - ※2 日本原子力研究開発機構の調査では、福島第一原子力発電所周辺 80km 圏内の多くの箇所において、ストロンチウム 90 の沈着量はセシウム 137 の 1/1000 程度であった。
  - ※3 福島第一原子力発電所から 80km 圏外においても、明らかに事故由来と判断される放射性ストロンチウムは確認されなかったとしている。（2013/3/1 日本原子力研究開発機構「「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」の報告書の概略版について」）
- 国が各自治体に委託している環境放射能水準調査の月間降下物の調査（測定は（公財）日本分析センター）では、東電事故前 11 年間の値（ND～0.30MBq/km<sup>2</sup>）より高い値が検出された自治体は、東北～関東地方の 10 都県であった。（2011 年 12 月までの測定結果 0.30～6.0MBq/km<sup>2</sup>）
- 他自治体等が実施した福島県周辺地域における土壌及び農産物の調査結果からは、東電事故由来と明確に判断できる放射性ストロンチウムは確認できていない。
- 静岡市で採取している降下物の過去の測定結果（環境放射能水準調査）から、事故後<sup>1)</sup>のストロンチウム 90 の降下量は事故前<sup>2)</sup>の核爆発実験等による降下量の約 1/7100 と非常に小さい。

- 1) 事故後（の降下量）：2011 年 3 月～2014 年 3 月（の放射能の累積）
- 2) 事故前（の降下量）：1963 年 5 月～2011 年 2 月（の放射能の累積）

## 大根中の Sr-90 濃度の推移

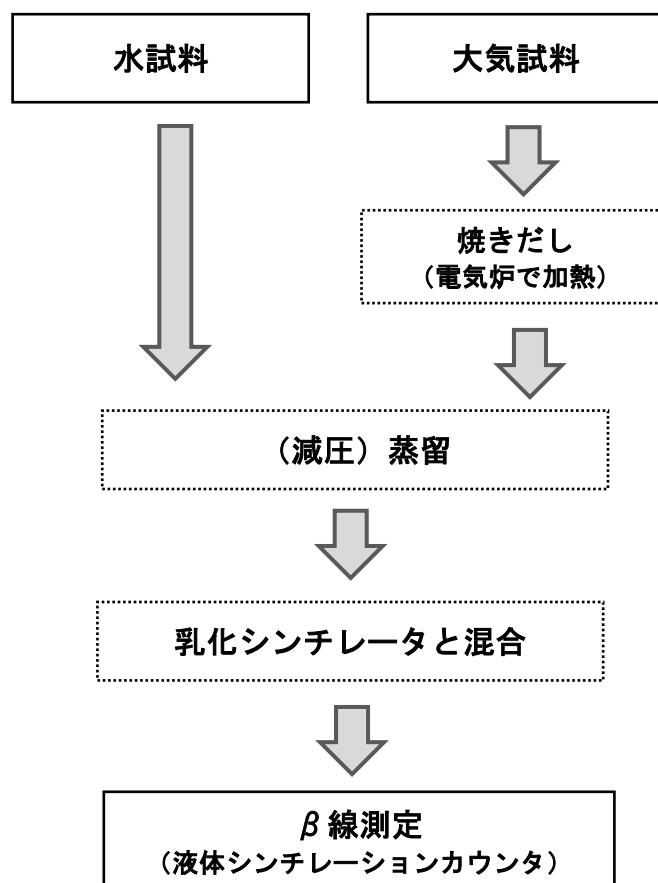


## ⑥ トリチウムの測定

### 【測定法】

- トリチウム ( $^3\text{H}$ ) は、水素の一種（同位体）で、化学的には水素と同じ性質を持つため、環境中では主に水や水蒸気中に存在する。水素の同位体には、重水素、三重水素があり、三重水素のことを別名トリチウムと呼んでいる。
- トリチウムは、ストロンチウム 90 と同じように  $\beta$  線しか放出しない核種で、エネルギーが 18.6keV と非常に小さく、通常の  $\beta$  線測定器では放射線が届かず測定できない。このため、環境試料からトリチウムを含む水分を回収し、蒸留後、乳化シンチレータ（ジイソプロピルナフタレンを主成分とした有機溶媒）と混合させ、**液体シンチレーションカウンタ**で測定する方法がほぼ唯一である。
- 測定の原理は、液体シンチレータ混合溶液中で発生した  $\beta$  線が溶媒を励起し、そのエネルギーが溶質に移行して発光する。この光を光電子増倍管で増幅し、電気信号として取り出して測定する。液体シンチレータ混合溶液は専用の測定容器（100mL テフロンバイアル）に入れるが、この容器自体が言わば検出器とも言える。

### 分析・測定の流れ（例）



## 液体シンチレーションカウンタ



液体シンチレーションカウンタ



サンプルチェンジャー

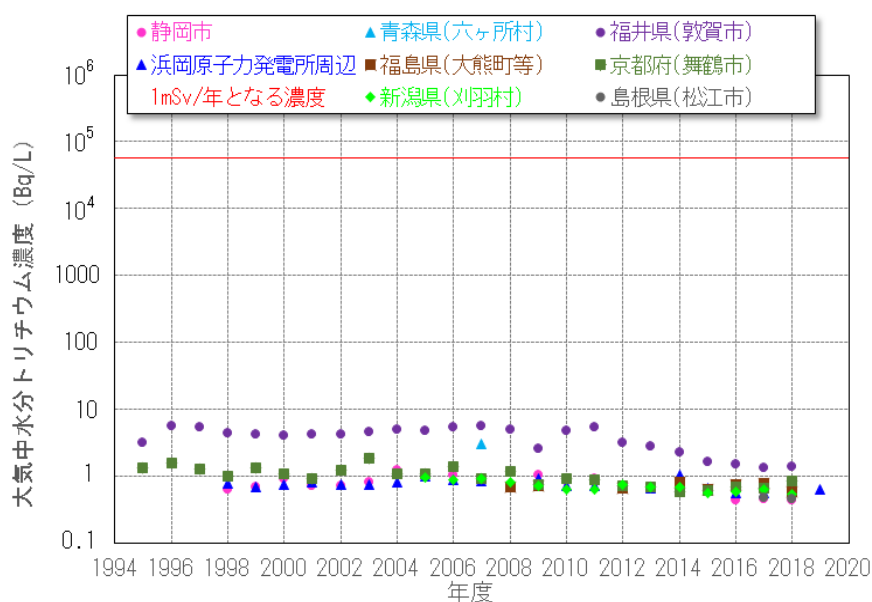


測定試料

## 【調査のポイント】

- トリチウムは体内に蓄積されにくく、エネルギーも低いため、環境レベルのトリチウムを摂取しても人体への影響は極めて小さい。しかし、発電所からは平常時でもトリチウムの放出があるため、大気中水分、陸水及び海水を対象に継続的な測定を行っているものである。
  - 大気中水分は、14 か所のモニタリングステーションのうち、4 か所に捕集装置を設置し、1 か月分を捕集後、測定している。
  - 東電事故後、一部の試料でトリチウムが検出されているが、事故前と同程度（飲料水で1 Bq/L 以下）であり、この地域においては事故によるトリチウムの影響は極めて小さかったと考えられる。
- 
- トリチウムの起源は、① 自然生成、② 過去に行われた核爆発実験等の影響、③ 原子力施設からの放出の3つが主なものである。
  - 自然生成は、宇宙線が、大気中の窒素原子や酸素原子に衝突することで起こるものである。国連科学委員会の報告書（2008 年）によれば、自然生成により地球全体で毎年 72PBq 生成され、1, 275PBq が存在するとしている。また、報告書では、核爆発実験等により地球環境に放出された量は 186, 000PBq だったとしている。  
(P : ペタ :  $10^{15}$ )
  - 発電所由来のトリチウムとしては、原子炉水中に重水素が放射化されたものと燃料被覆管から浸出したものが存在する。また、燃料プールからの蒸発により原子炉建屋内にも存在する。
  - トリチウムの半減期は約 12 年で、現在は大気圏内核爆発実験等によって放出された人工のトリチウムは減少し、発電所由来のトリチウムも割合としては小さい（年間約  $10^{11}$ Bq）ため、平常時の観測値は、宇宙線により生成された自然起源のトリチウムが大部分を占めるものと考えられる。
  - 中部電力によれば、令和元年度に浜岡原子力発電所から放出した放射性気体廃棄物及び液体廃棄物中のトリチウムから実効線量を推定したところ、 $1 \times 10^{-4}$ mSv 以下（1 mSv の 1 万分の 1 以下）であったとしている。

## 大気中水分トリチウム濃度の推移



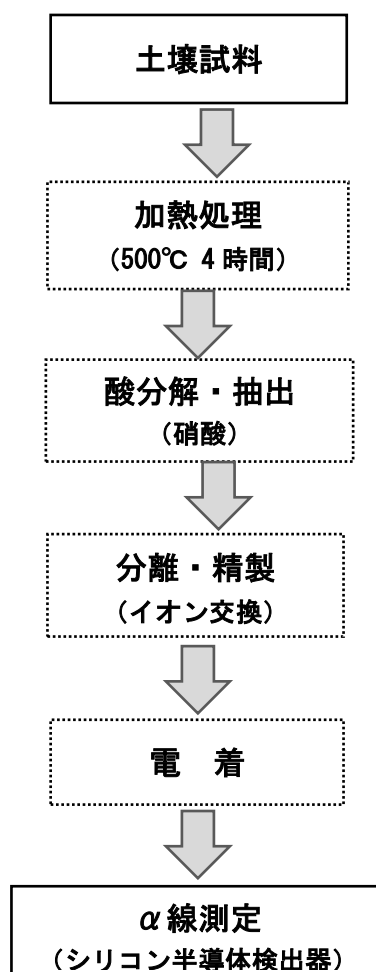
(注) 全国の自治体で大気中水分に含まれるトリチウムを監視しデータを公開しているのは、青森県、福島県、新潟県、福井県、静岡県、京都府、島根県である。

## 7 プルトニウム 238, 239+240 の測定

### 【測定法】

- プルトニウム 238 ( $^{238}\text{Pu}$ ) 及びプルトニウム 239+240 ( $^{239+240}\text{Pu}$ ) の測定は、 $\gamma$ 線を放出する核種に比べて、測定前の試料調整等に相当な時間を要する。また、核燃料物質に相当する標準溶液を使用するため、国から使用許可を受けた施設でないと測定ができないことから、本県では民間の分析機関へ委託している。
- 分析方法は、対象試料を前処理（加熱・酸分解）・濃縮後、イオン交換樹脂でプルトニウムを分離精製し、ステンレス板上に電着して測定試料とする。測定はシリコン半導体検出器を用い、プルトニウムの $\alpha$ 線スペクトルにより定量する。
- プルトニウム 239 ( $^{239}\text{Pu}$ ) とプルトニウム 240 ( $^{240}\text{Pu}$ ) は、それぞれの核種が放出する $\alpha$ 線のエネルギーがほぼ等しく、区別して定量することができないため、両方の核種の合計として定量する。
- 緊急時の迅速分析法として、ICP-MS を用いた方法がある。試料をマイクロウェーブ分解装置を用いて加圧分解し、ミニカラムを用いて、硝酸系及び酢酸系の2種類のカラムを通すことで、プルトニウムを分離・精製し、試料溶液中のプルトニウムを ICP-MS で定量する。

### 分析・測定の流れ（例）



## 【調査のポイント】

- プルトニウムは、過去の核爆発実験等の影響により、わずかだが環境中に存在する。また、原子炉内にも存在するため、土壌中のプルトニウムを事前に把握しておくことで、緊急事態への備えとする。
  - 土壌採取地点は、緊急事態における採取候補地として「静岡県緊急時モニタリング実施要領」で定めている場所である。発電所 10km 圏内では 5 か所が選定されている。
  - 令和 2 年度から調査を開始しているので、平常の変動幅は定めていない。
- 
- プルトニウムは、原子番号 94 の原子で、94 個の陽子と 140～150 個程度の中性子から構成される原子核を持っており、全ての同位体が不安定（放射性）である。
  - 消化管では吸収されにくいので、食べ物を介して体内へ取り込まれるよりも、呼吸と共に肺から取り込まれた場合に問題となり、肺から血管に入り血流によって移動し、骨や肝臓に沈着する。プルトニウムはこうした器官内で  $\alpha$  線を出すため、肺がん、白血病、骨腫瘍、肝がんを引き起こす可能性がある。
  - 原子炉内では、ウラン 235 の核分裂により生成した中性子がウラン 238 に吸収されてプルトニウム 239 が生成する。更に、プルトニウム 239 の一部は、中性子を吸収してプルトニウム 240 になる。プルトニウム 239 や 240 と比べて少ないが、プルトニウム 238 も原子炉内に存在する。
  - 現在環境中に存在するプルトニウムは、主に過去の大気圏内核爆発実験によって放出されたものである。中でもプルトニウム 239 は、半減期が長く、長期間環境中に残留することになる。プルトニウム 238 も核爆発実験で環境に放出されたが、放射性同位体熱電気転換器（RTG:Radioisotope thermoelectric generator）を搭載した人工衛星の大気圏内再突入によってもたらされたものもある。
  - プルトニウム 239+240（半減期 プルトニウム 239：2411 万年、プルトニウム 240：6563 年）に対するプルトニウム 238（半減期 約 88 年）の土壌沈着量の比率を事前に調査しておくことで、万が一のときに、発電所からの影響があったかどうかを確認することが可能となる。
  - 事故後、日本原子力研究開発機構が福島第一原子力発電所から 100km 圏内で行った調査では、同位体比（Pu-238/Pu-239+240）が 0.030～2.5 程度であったとされ、事故前に全国で行われた調査の平均 0.031 を上回る箇所が見られた。  
（2013/3/1 「「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」の報告書の概略版について」）
  - 緊急事態における土壌採取候補地は、UPZ 圏内の空間放射線量率及び大気モニタの測定地点で、88 地点ある。5 年で全数を測定することを目標としている。

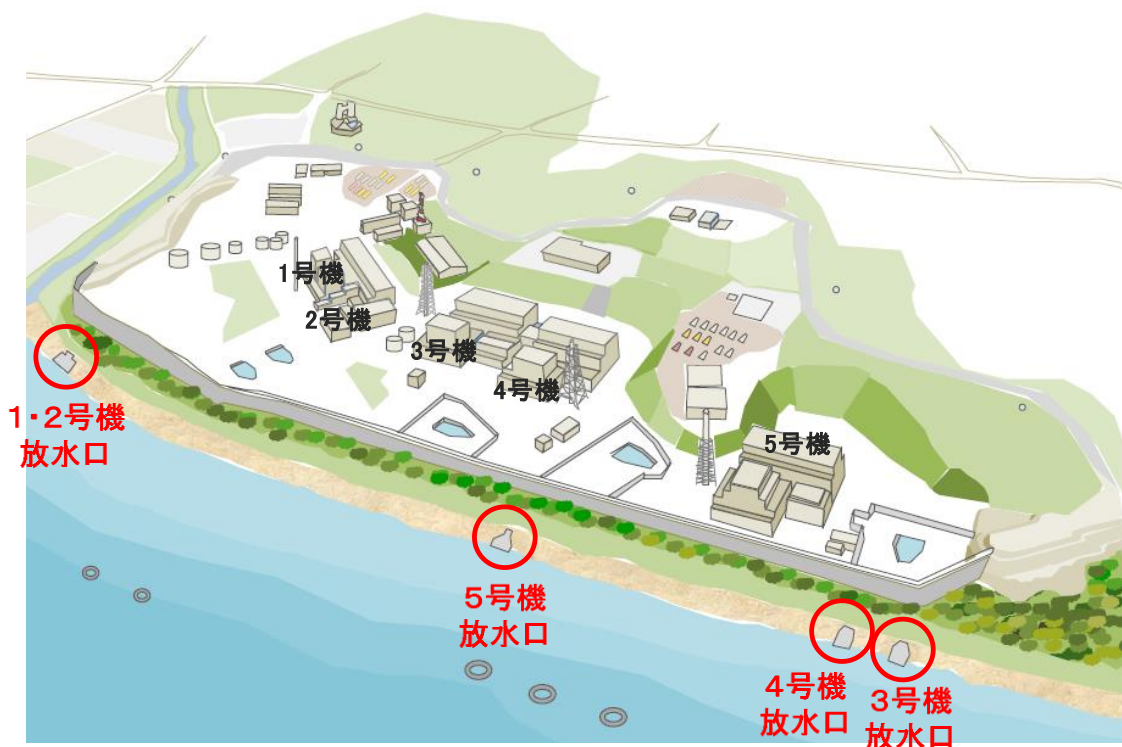


## ⑧ 排水の全計数率の測定

### 【測定法】

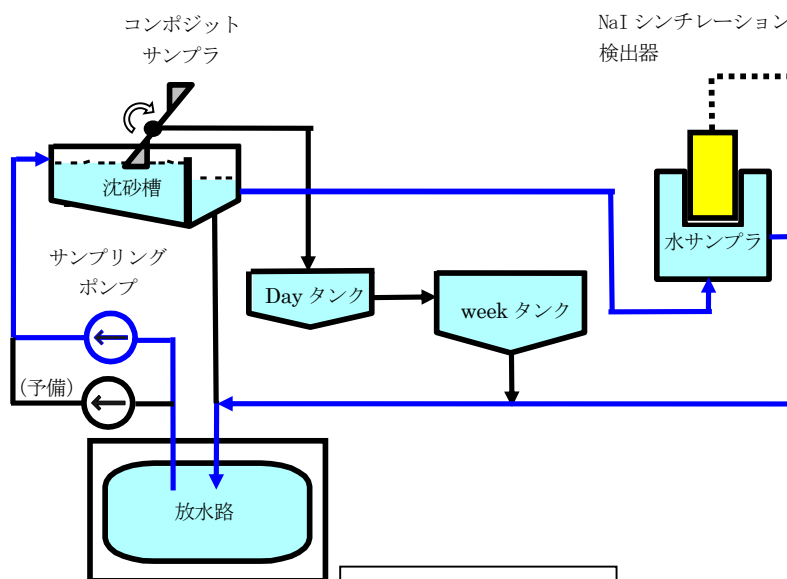
- 発電所内で発生した排水（放射性液体廃棄物、洗濯水等）をタービンで使用した蒸気冷却用海水とともに海域へ放出する際、放水路を流れる排水の一部を取り出し、 $\gamma$ 線の計数率を測定する。この測定に使用する装置を**放水口モニタ**と呼んでいる。
- 放水口モニタは、放水路を流れる排水の一部を取り出すサンプリング装置、水サンプラ、NaI シンチレーション検出器等で構成される。
- 放水路から取り出した排水は、沈砂槽で砂をある程度沈降させ、検出器を装備した水サンプラ内へ導入し、連続で $\gamma$ 線を測定する。放水路を流れる排水が少なくなっても、停止することなく測定し続けている。
- また、沈砂槽の水は、コンポジットサンプラで一定周期毎にサンプリングし、Day タンクに1日分、Week タンクに1週間分のサンプル水を溜めている。放水口モニタの測定値に異常があった場合、Day タンク又は Week タンクのサンプル水の放射能を測定することにより、異常の有無を確認することができる。
- 測定値は、検出器に入射した $\gamma$ 線の1秒間あたりの数（計数率）を意味する「cps」（count per second の略）という単位で表示される。
- データは、浜岡原子力発電所の中央制御室で監視・記録されるとともに、テレメータシステムにより県環境放射線監視センターへ送信される。

### 放水口の位置

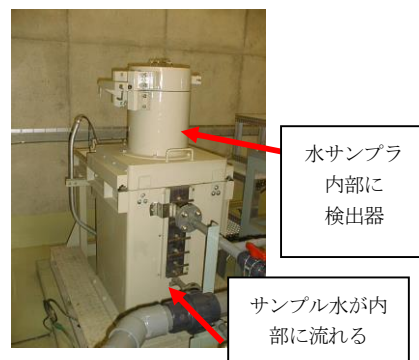
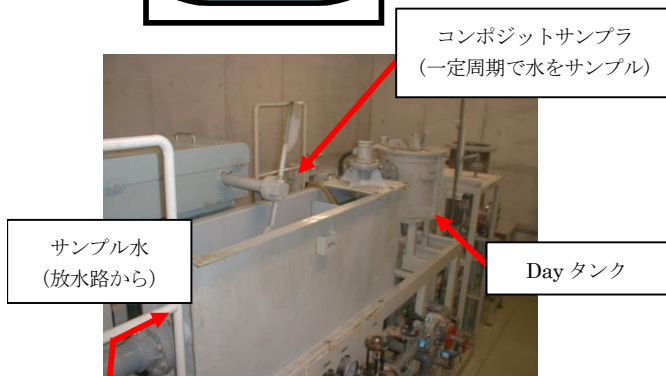
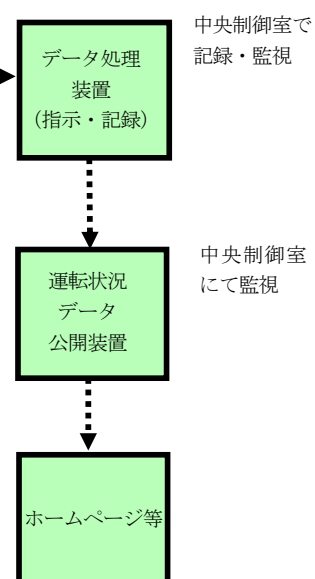


## 放水口モニタの構成

### 【サンプリング装置】



### 【モニタ】



## 【調査のポイント】

- 陸域だけでなく、**海域への予期しない放射性物質の放出を早期に検出するための測定が必要だが、敷地外での測定が困難なため、中部電力が実施する放水口モニタの測定を平常時モニタリングに位置付けている。**
  - 発電所敷地内には4か所の放水口モニタがある。中部電力では、従来から防災目的で放水口モニタによる排水の連続測定を行っていたが、令和2年度から技術会における測定計画に組み入れた。
  - 測定値は、降雨がない通常時で約5～10cpsの範囲である。**降雨等による自然放射性核種の変動によって測定値が上昇することがある。**
- 
- 発電所敷地内の雨水は、一般排水桝を通じて放水路に流入する。排水に雨水が流入すると、雨水中の自然放射性核種の影響により、放水口モニタの値が上昇することがある。(数10cpsとなることもある。)
  - プラントの状態によって、放水路を流れる排水の流量に大きな差がある。プラント運転中又は休止中では排水の流量が多いため、雨水の流入があっても希釈効果は大きくなる。一方、プラント廃止措置中の1，2号機では排水の流量が少ないため、降雨の影響を受けやすい。
  - 特に、1，2号機放水口モニタは、次の理由から降雨の影響を受けやすく、他のプラントよりも測定値が上昇する傾向がある。
    - 雨水を含む発電所敷地内の約70%の一般排水の流入や一般河川からの流入がある。
    - 廃止措置中のプラントであるため、冷却用海水の量が少ない。
  - サンプル水の砂の量は、海の荒れや台風等により異なるため、毎週、放水口モニタを停止して沈砂槽の砂の堆積状況を確認している。水サンプル内の砂の堆積による測定値の上昇や配管内の砂の堆積によってサンプル水の汲み上げができなくなると、砂の除去のために、数日間、放水口モニタを停止し、清掃を行う。

## 別記 1 測定値の表示方法

環境試料中の放射能の測定値については、当技術会が定める評価方法において「原則として有効数字 2 桁」で記載することとしている。

この「原則として」にしている理由は、有効数字 2 桁にした場合に、標準偏差の 1 桁目が放射能値の 2 桁目よりも低位になることがあるため、放射能値を「標準偏差の有効数字 1 桁目まで記載する」※ことにより、有効数字が 3 桁以上になる場合があるためである。

放射能値と標準偏差の表記の仕方は、以下の 3 パターンがある。

### (パターン 1) 放射能値 2 桁 ± 標準偏差 1 桁

(例)  $0.04154 \pm 0.008818 \Rightarrow 0.042 \pm 0.009 \Rightarrow 0.042$  (測定値)

### (パターン 2) 放射能値 2 桁 ± 標準偏差 2 桁

(例)  $0.09938 \pm 0.01352 \Rightarrow 0.099 \pm 0.014 \Rightarrow 0.099$  (測定値)

### (パターン 3) 放射能値 3 桁以上 ± 標準偏差 1 桁

(例)  $74.72 \pm 0.7039 \Rightarrow 74.7 \pm 0.7 \Rightarrow 74.7$  (測定値)

※ 過去には、測定値の表記を全て有効数字 2 桁で統一していた時期があったが、2008 年（平成 10 年）度第 2 回の技術会において、当時の顧問から、国の「環境放射線モニタリング中央評価専門部会」において示された、「標準偏差の有効数字 1 桁目までを記載する」との考え方を採用すべきとの指摘を受けて対応したものである。（パターン 3 の例のケースに適用）

## 別記2 測定目標値

モニタリングの目的を実現するため、現在の技術的水準を踏まえ、最低限測定することが必要な検出可能レベル（検出下限値）を「**測定目標値**」として設定している。測定目標値の一部を以下に示す。

### (1) 周辺住民等の被ばく線量の推定及び評価

#### ア ゲルマニウム半導体検出器による機器分析

試料	測定目標値				単位	供試量
	Co-60	I-131	Cs-134	Cs-137		測定時間
農産物・海産生物	0.2	—	0.2	0.4	Bq/kg 生	灰 40g 相当 50,000 秒
農産物・海産生物 (直接法)	—	0.8	—	—	Bq/kg 生	$2 \times 10^3 \text{cm}^3$ 相当 20,000 秒

#### イ 放射性ストロンチウム分析

試料	測定目標値	単位	供試量
	Sr-90		測定時間
農産物・海産生物	0.2	Bq/kg 生	灰 10g 相当 80 分

### (2) 環境における放射性物質の蓄積状況の把握

#### ゲルマニウム半導体検出器による機器分析

試料	測定目標値	単位	供試量
	Cs-137		測定時間
土壌・海底土	3	Bq/kg 乾土	100g 乾土 50,000 秒

### (3) 緊急事態が発生した場合への平常時からの備え

#### ア ゲルマニウム半導体検出器による機器分析

試料	測定目標値			単位	供試量
	Co-60	Cs-134	Cs-137		測定時間
土壌	3	3	3	Bq/kg 乾土	100g 乾土 50,000 秒

#### イ 放射性ストロンチウム分析

試料	測定目標値	単位	供試量
	Sr-90		測定時間
陸水	0.4	mBq/L	100L 80 分
土壌	0.4	Bq/kg 乾土	100g 乾土 80 分

#### ウ トリチウム分析

試料	測定目標値	単位	供試量
	H-3		測定時間
陸水・海水	1	Bq/L	50mL 10 分×20 回×3 サイクル

#### エ プルトニウム分析

試料	測定目標値		単位	供試量
	Pu-238	Pu-239+240		測定時間
土壌	0.04	0.04	Bq/kg 乾土	50g 乾土 24 時間

## 別記3 品質保証

測定実施機関は、得られたデータの品質が客観的に見て、適切なレベルに維持されていることを保証するため、次のことを行っている。

### 1 定期的な保守点検等

使用している測定器については、定期的に保守点検を行い、性能が適切に維持されていることを確認する。また、性能等が適切に維持可能な時期において測定器を更新する。

校正については、国家標準とトレーサブルな校正用線源や校正用機器を使用する。

### 2 精度管理

放射能測定の精度管理として、定期的に、分析専門機関である（公財）日本分析センターとの間で ISO/IEC17043：2010「適合性評価-技能試験に対する一般要求事項」（JIS Q 17043：2011）に準じ、分析の妥当性を確認する。

また、空間放射線量率の測定については、定期的に実用線源を用いた確認校正（JIS Z 4511:2005）を行う。

### 3 職員の教育訓練

測定に携わる職員については、モニタリングに係る知識及び技能を取得するため、OJT による訓練の実施や外部機関の研修を受講する。

### 4 委託先調査

前処理や分析の一部については、民間機関へ委託しているため、当該委託先における品質保証体制の適切性等について調査する。

## 第3 用語の解説

以下は、「浜岡原子力発電所周辺環境放射能調査結果」を理解する上で必要となる用語について解説したものである。

### 〔ア行〕

#### IAEA（国際原子力機関）

International Atomic Energy Agency の略称。  
「国際原子力機関」の項を参照。

#### ICRP（国際放射線防護委員会）

International Commission on Radiological Protection の略称。  
「国際放射線防護委員会」の項を参照。

#### ICP-MS

Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry の略称。  
重金属の測定などに使われる汎用的な測定装置。原子をイオン化し、その質量と電荷を利用して原子の種類や同位体を識別し、個別に検出する。

#### INES（国際原子力・放射線事象評価尺度）

International Nuclear and Radiological Event Scale の略称。

#### $\alpha$ （アルファ）線

$\alpha$  壊変（原子番号が2減少、質量数が4減少）によって原子核から放出される  $\alpha$  粒子。運動エネルギーを持った He-4 の原子核である。

#### UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation の略称。  
「（原子放射線の影響に関する）国連科学委員会」の項を参照。

#### 1 時間平均値（線量率）

1 時間当たりの空間放射線量の平均をいう。実際の測定は、2 分間隔で実施しているため、継続した 30 回分を平均して算出している。

#### ウォッシュアウト

大気中の塵埃に付着して浮遊している放射性物質が降雨により洗い落とされ、雲の下  
の空間から放射性物質が除去される現象をいう。

#### 宇宙線による自然生成

宇宙線とは、銀河系や恒星、太陽において電磁場で加速されることによって生成された高速の素粒子や重粒子等が、宇宙から地球上へ降り注ぐ放射線をいう。高エネルギーの宇宙線は、大気圏へ侵入するときに、大気中の原子核と種々の反応を起こし、中性子やミュー粒子等の二次宇宙線を生成する。さらに、これらが大気中の原子核と衝突することで、トリチウム、ベリリウム7等の反応生成物を生じさせる。



## **液体シンチレーションカウンタ**

低エネルギーのベータ線を放出する放射性核種の量を測る測定装置である。試料を液体シンチレータ（キシレン、トルエン等の有機溶媒中に蛍光体を溶かし込んだもの）と混合すると、放出された放射線のエネルギーに応じた光がシンチレータから発生するので、これを電気信号に変換し測定する。

## **NaI シンチレーション検出器**

モニタリングステーションに設置し、空間放射線量率を高感度で測定する装置。放射線検出器にヨウ化ナトリウムの結晶（少量のタリウムを含む）を使用している。この結晶に放射線（主にガンマ線）が当たると蛍光を発生し、この光を光電子に変換して電気信号として測定する。

## **エリアモニタリング設備等**

発電所内の格納容器雰囲気モニタ、燃料交換エリア換気モニタ、モニタリングポスト等のことをいう。

格納容器雰囲気モニタは、原子炉格納容器に設置している電離箱検出器で原子炉から放出される $\gamma$ 線を測定し、中央制御室で監視している。（測定範囲  $10 \sim 10^8 \text{mSv/h}$ ）

燃料交換エリア換気モニタは、使用済燃料貯蔵エリアに設置しているシリコン半導体検出器で使用済燃料貯蔵プールから放出される $\gamma$ 線を測定し、中央制御室で監視している。（測定範囲  $10^{-3} \sim 10 \text{mSv/h}$ ）

なお、発電所のモニタリングポストは、モニタリングステーションと同様の設備で発電所周辺敷地境界付近の空間放射線量率を測定し、中央制御室で監視している。

## **〔力行〕**

## **壊変**

「崩壊」の項を参照。

## **核種**

原子核の種類の意味。一般に、核種は原子番号と質量数によって一義的に決まる。

## **核種分析**

環境試料中に含まれる放射性核種の種類と量を調べること。本調査では、ゲルマニウム半導体検出器を用いた機器分析によってセシウム 137 等のガンマ線を放出する放射性核種の種類と量を、放射化学分析によってストロンチウム 90 の量を、液体シンチレーション測定装置を用いた分析によってトリチウムの量をそれぞれ測定している。

## **核爆発実験等の影響**

1940 から 60 年代にかけての諸外国の核爆発実験や旧ソ連時代の 1986 年にチョルノービリ原子力発電所の事故によって大量の人工放射性物質が環境中に放出され、我が国にも放射性降下物が降下した。このため、環境の放射能レベルが上昇したが、大気圏内核爆発実験が中止されてからは減少している。しかし、ストロンチウム 90 やセシウム 137 といった半減期の長いものは、近年でも日本中で環境試料から検出されていた。

また、東電事故によっても大量の人工放射性物質が環境中に放出された。この事故により、東日本を中心とした各地において、ヨウ素 131 等の短寿命核種が事故直後に検出され、セシウム 134 及びセシウム 137 等の長寿命核種は現在でも検出されている。

## **確定的影響と確率的影響**

確定的影響は、身体に影響が現れる放射線の被ばく量（しきい値）がある影響のことをいい、「脱毛、不妊、白内障」などが挙げられる。しきい値以下であれば、放射線によって影響が引き起こされることはない。

一方、確率的影響はしきい値がなく、どんなに低い被ばく量でも被ばく量の増加に応じて影響が現れる確率も増加すると仮定するような影響のことをいい、「がん、遺伝障害」が挙げられる。また、その影響で発生した症状の重さは、受けた放射線量とは無関係である。

## **核分裂生成物**

核分裂によってできた核種又はそのような核種（核分裂片）から放射性崩壊によってできた核種のことをいう。FP（Fission Products）とも略称される。核分裂によって生成される核種は主に質量数が 90 と 130 前後の核種が多く、代表的なものとして、ストロンチウム 90、ヨウ素 131、セシウム 137 などがある。

## **カリウム 40 (<sup>40</sup>K)**

原子番号 19、質量数 40、半減期約 13 億年の自然放射性核種。天然のカリウム中にその同位体として約 0.012%含まれるため、人間の体内や動植物中等、カリウム元素が存在するあらゆる場所に存在して、放射線を放出している。

なお、カリウムは人間の必須栄養素であり、人体中の濃度はほぼ一定に保たれているため、カリウム 40 の濃度もほぼ一定である（数十ベクレル／キログラム）。体内に存在する放射性核種の中で最も放射能が大きいいため、内部被ばく線量への寄与も大きい。

## **γ（ガンマ）線**

エックス線や光と同じ電磁波である。多くの放射性原子核は、壊変後、励起状態の原子核になる。励起状態にある原子核が、より低いエネルギーの励起準位（又は基底準位）に遷移する際に放出される電磁波はγ線である。物質への透過力が極めて大きいので、遮蔽するためには、厚い鉄や鉛等の原子番号が高く質量と密度の大きい物質が必要である。この性質を利用して機器や建造物の非破壊検査が行われる。人間に対しては、外部被ばくの主な原因となる。人工放射性核種のうちコバルト 60 やセシウム 137 等がγ線を放出する。自然放射性核種ではカリウム 40 やビスマス 214 等がγ線を放出する。

## **機器分析**

放射性核種が放出するγ線は特有のエネルギーを持つため、γ線のエネルギーごとの量を調べることで、放射性核種の種類とその放射能を知ることができる。このγ線の測定にゲルマニウム半導体検出器が用いられ、その分析法を機器分析という。

## **緊急事態**

原子力災害対策指針（原子力災害対策特別措置法第 6 条の 2 の規定により原子力規制委員会が原子力災害対策の円滑な実施を確保するために定めた指針）に基づく警戒事態、施設敷地緊急事態及び全面緊急事態をいう。

## **緊急時モニタリング**

原子力災害対策指針（原子力災害対策特別措置法第 6 条の 2 の規定により原子力規制委員会が原子力災害対策の円滑な実施を確保するために定めた指針）に基づく施設敷地緊急事態及び全面緊急事態（放射性物質又は放射線の異常な放出又はそのおそれがあるとき）に実施する環境放射線モニタリングのことをいう。

## **空間放射線**

空間を飛び交う放射線のことである。着目している空間に存在している放射性核種から放出される場合と、着目している空間外から入射してくる場合があるため、必ずしも空間中の放射性核種の濃度には依存しない。主に、外部被ばくに寄与する $\gamma$ 線、宇宙線等が考慮される。

## **グレイ (Gy)**

吸収線量（人体や物質に対して、単位質量当たりに吸収された放射線のエネルギー量）を表す単位。放射線被ばくによる確定的影響の度合いを推定するために用いることがある。

物質 1 キログラム当たり 1 ジュールのエネルギーが吸収された場合、1 グレイ (Gy) の吸収線量があったとして定義する。

空間放射線量は、空気に対する吸収線量を測定する。

ミリグレイ (mGy) は、グレイの千分の一である。

ナノグレイ (nGy) は、グレイの十億分の一である。

## **蛍光ガラス線量計 (RadiophotoLuminescence glass Dosimeter, RPLD)**

空間放射線量の積算線量測定に用いられる装置（線量計）である。

RPLD の素子は銀イオンを含むリン酸ガラスで構成されており、これに放射線が当たると、そのエネルギーを吸収、蓄積する。この状態の素子に紫外線を当てると、吸収した放射線量に応じた蛍光を発生する。この蛍光を光電子に変換して電気信号として測定することにより、吸収した放射線量を知ることができる。

## **ゲルマニウム半導体検出器**

$\gamma$  線の検出に用いられる検出器である。波高分析装置と組み合わせることにより得られる $\gamma$ 線スペクトルを解析することにより、 $\gamma$ 線放出核種の種類と量を精密に調べることができる。

## **計数誤差**

放射性核種が放射線を放出して他の物質に変化する現象を放射性壊変というが、この現象は確率的現象の一つで、ある 1 個の放射性核種がいつ壊変するか予測できない。

そのため、同じ試料を同じ時間だけ測定しても、毎回同じ数の放射線が検出されるわけではなく、必ずばらつきがある。このばらつきを計数誤差又は統計誤差という。この誤差は 1 回の測定で統計学的に推定することができ、検出された放射線の数（計数値）の平方根及び測定時間から求められ、これを一般的に計数誤差という。計数値を  $N$ 、測定時間を  $t$  とすると、 $\sqrt{N/t}$  となる。

## **計数率**

放射線を計数装置（測定器に入射した放射線の数进行数える装置）で測定したときの単位時間あたりの数（カウント数）をいう。1 分間あたりの計数率は cpm と表記し、1 秒間あたりの計数率は cps と表記する。

### **検出されず (ND : Not Detected)**

放射能の測定結果は、一般的に「放射能  $X_A \pm$  標準偏差  $\sigma$ 」で表記される。

試料及びバックグラウンドの放射能の測定には、ゆらぎ（標準偏差）が存在する。

通常の測定では、試料 A の放射能濃度  $X_A$  は、見かけの放射能濃度  $X$  からあらかじめ測定したバックグラウンド値  $X_{BG}$  を引いたものであり ( $X_A = X - X_{BG}$ )、このときの標準偏差  $\sigma$  には、試料 A のゆらぎと試料 A を測定したときのバックグラウンドのゆらぎ、更にあらかじめ測定したバックグラウンドのゆらぎが含まれる。

放射能を検出したと判断するためには、有意にバックグラウンドを超える測定値が検出されたことを示す必要があるが、これらのゆらぎを考慮し、標準偏差  $\sigma$  の 3 倍以上 ( $X_A \geq 3 \sigma$ ) の測定値が検出されれば、99.86%以上の確率で放射能を「検出」したと判断してよい。

当技術会の環境放射能調査においては、 $3 \sigma$  を検出下限値とし、測定結果が  $3 \sigma$  未満 ( $X_A < 3 \sigma$ ) の場合には「検出されず」と表記している。

### **検出限界未満 (LTD : Less Than Detection Limit)**

試料の放射能が極めて低いレベルにある場合は、試料 A のゆらぎは、測定器の持つバックグラウンドのゆらぎ  $\sigma_b$  に埋もれるため、標準偏差  $\sigma$  は  $\sqrt{2} \sigma_b$  と近似できる。

(環境放射線モニタリング指針)

当技術会では、全  $\alpha$  放射能・全  $\beta$  放射能については、集塵開始直後は放射能濃度が極めて低いレベルにあることから、「検出」の判断に  $3 \sigma$  ではなく、 $3\sqrt{2} \sigma_b$  を使用している。 ( $X_A \geq 3\sqrt{2} \sigma_b$  の場合、「検出」されたと判断している。)

よって、「検出されず」 ( $X_A < 3 \sigma$ ) と区別し、「検出限界未満」 ( $X_A < 3\sqrt{2} \sigma_b$ ) と表記している。

なお、ここでの「検出限界未満」は、 $\sigma_b$  にあらかじめ長時間測定したバックグラウンドの値を使用しているため、通常の化学物質の機器分析等における「不検出」の考え方と同様といえる。

### **降雨等による自然放射線の変動**

一般に、雨が降ると地表付近の空間線量率は増加する。これは、塵に付着して大気中を浮遊しているラドン及びトロン（トリウム系列のラドン、 $^{220}\text{Rn}$ ）の崩壊生成物が、雨と共に地表に降下してくるため、地表付近の放射性核種の濃度が高くなり、空間放射線の量が増えるためである。一方では、降雨前にすでに存在していた放射性核種からの放射線が地上表面水の増加により遮へいされるために、空間線量率がむしろ減少する場合もある。

### **降下物**

降水及び重力による降下により、地表に沈降する塵をいう。

気体元素以外の放射性核種は、大気中に放出されると周囲を浮遊する塵に付着する。したがって、本調査では 1 か月毎に採取し放射能測定をしている。

### **国際原子力機関 (IAEA)**

世界平和・健康及び繁栄のため原子力の貢献を促進すること、また、軍事転用されないための保障措置を実施することを目的に 1957 年に設立された国際機関である。

## **国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）**

国際原子力機関（IAEA）と経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）が定めた尺度で、原子力発電所等の事故・トラブルについて、それが安全上どの程度のものかを表す国際的指標のこと。

東京電力福島第一原子力発電所の事故は、チョルノービリ原子力発電所と同じ、最も深刻な事故であることを示すレベル 7（放射線影響としてヨウ素 131 と等価となるように換算した値として数万テラベクレル（ $10^{16}$ Bq オーダーを超える値に相当する））と評価されている。

## **国際放射線防護委員会（ICRP）**

専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際組織。

放射線防護の基本は、この国際放射線防護委員会によって国際的視野で考察され、また絶えず検討されている。国際放射線防護委員会の見解は、世界的に権威あるものと認められ、各国の放射線防護に関する基準や勧告はほとんど全てこれに基づいている。日本でも、関係法令は全て、国際放射線防護委員会の勧告、報告の精神と数値を原則的に受け入れて制定されている。

## **（原子放射線の影響に関する）国連科学委員会（UNSCEAR）**

1955 年の国連総会で設立された国連の委員会で、加盟国が任命した科学分野の専門家で構成されている組織。

電離放射線による被ばく線量とその影響を評価し報告することが役割となっている。世界各国の政府と関連する組織が、放射線リスクの評価と防護措置を定めるための科学的根拠として、UNSCEAR の解析結果を活用している。

## **コバルト 60 ( $^{60}\text{Co}$ )**

原子番号 27、質量数 33 の放射性核種。半減期 5.3 年で崩壊する。原子炉の金属材料中に存在する安定核種のコバルト 59 が中性子を吸収することにより生成する。体内に取り込まれると、肝臓、脾臓、下部消化器等に集積される。放射線源として、非破壊検査や食品の殺菌、植物の品種改良、医療用としても用いられる。

## **〔サ行〕**

## **G(E) 関数荷重演算方式**

NaI シンチレーション検出器は、そのままの状態では放射線のエネルギーの大きさによって入力に対する応答が異なる。この性質のことをエネルギー特性といい、実際の測定器では G(E) 関数を使用した電子回路によって補償されている。

NaI シンチレーション検出器による線量率の計算では、放射線のエネルギーの大小によって線量への寄与が異なることから、エネルギーごとに出力の重み付けをし、それらを合算して線量率を得ている。この方式を G(E) 関数荷重演算方式と呼んでおり、この重み付けの役割を果たすのが G(E) 関数である。

## **実効線量**

放射線の照射が人体に与える影響度は、照射される部位（組織や臓器）によって大きく異なる。このことを考慮に入れて、身体各組織が受けた線量（等価線量）にそれぞれ定められた加重係数（組織加重係数）を乗じて合計したものを実効線量という。実効線量は、確率的影響のリスクを全身を対象として考慮するために用いる。

単位はシーベルト（Sv）で表す。

## **実効線量係数**

摂取した放射性物質の量（放射性核種ごとの放射能）と組織や臓器が受ける線量の大きさとの関係が分かれば、放射性物質の量に対応した被ばく線量を計算することができる。この摂取した放射性物質の量と被ばく線量の関係を表す係数を実効線量係数といい、単位は Sv/Bq（1 Bq を経口又は吸入により摂取した場合の預託実効線量）で表す。

## **自然放射性核種（天然放射性核種）**

放射性核種のうち、天然に存在するもの。地球ができたときから存在しているものや自然に常に生成しているものがある。主なものに、人間の体内や動植物中等多くの場所に存在するカリウム 40 や、岩石等に多く含まれるラジウムの崩壊によって生成するラドン等があげられる。

## **自然放射線**

自然環境に存在する放射線。大地や生物に含まれる自然放射性核種や宇宙線に起因する放射線のこと。自然放射線によって人体が受ける線量値は、日本平均で約 2.1 ミリシーベルト／年（世界平均 約 2.4 ミリシーベルト）と言われている。

## **指標生物**

放射性物質の生体濃縮の速度や度合いが大きく、かつ、その地域で容易に採取できる生物が存在すれば、その放射能監視を行うことが環境のレベルの変動を迅速に把握する上で簡便かつ有効な場合がある。このような生物をいい、通常食用に供さないか、あるいは食物連鎖へのつながりが少ないと考えられる生物であってもよく、陸上では松葉、ヨモギ等、海洋ではホンダワラ、カジメ等が知られている。

## **シーベルト（Sv）**

実効線量や等価線量等、放射線の人体への影響を表す単位。  
ミリシーベルト（mSv）は、シーベルトの千分の一である。

## **10 分間平均値（線量率）**

10 分間当たりの空間放射線量の平均をいう。実際の測定は、2 分間隔で実施しているため、継続した 5 回分を平均して算出している。

## **シリコン半導体検出器**

放射線とシリコン結晶との相互作用により二次電子が発生する。この二次電子の電離作用によって電子正孔対が生成され、高電圧を印加することによって陽極と陰極に集荷して電流が流れる。信号はパルスとして出力され、換算係数を乗ずることによって線量率を算出する。電離箱と同等の測定原理を有するため、「固体電離箱」とも呼ばれる。

## **ストロンチウム 90 ( $^{90}\text{Sr}$ )**

原子番号 38、質量数 90 の放射性核種。半減期 28.7 年で崩壊してイットリウム 90（半減期 64.1 時間）という放射性核種になる。化学的にはアルカリ土類金属に属するため、環境では同じ族の元素であるカルシウム等と同様の挙動をし、生物体内の骨に沈着しやすい。過去の核爆発実験等で環境中に大量に放出され、半減期が長いことから現在でも全国的に検出されている。

## スペクトル

放射線のエネルギー分布又はパルス波高（パルス信号の最大の高さ）分布をいう。

## 積算線量

空間放射線量の積算値で、通常3か月間の積算線量を測定している。空間放射線量率のように、放射線量の連続的変化は把握できないが、一定期間内における外部被ばく線量を推定するための参考として用いる。本県では、感度及び取り扱いの容易さから、蛍光ガラス線量計を用いている。

## セシウム 134 (<sup>134</sup>Cs)

原子番号 55、質量数 134 の放射性核種。半減期 2.1 年で崩壊する。化学的にはセシウム 137 と同じ挙動を示す。東電事故でセシウム 137 等と共に環境中に大量に放出され、事故直後にはほとんどの環境試料中にセシウム 137 と同程度の放射能が検出された。半減期に応じて徐々に減少しているが、現在の調査でも検出されることがある。

## セシウム 137 (<sup>137</sup>Cs)

原子番号 55、質量数 137 の放射性核種。半減期 30.2 年で崩壊する。安定核種のコバルト 59 が中性子を捕獲して生成する。化学的にはアルカリ金属に属するため、環境では同じ族の元素であるカリウム等と同様の挙動をし、生物体内の筋肉をはじめとして、全身に分布する。過去の核爆発実験や東電事故等で環境中に大量に放出され、半減期が長いことから現在でも全国的に検出されている。

## ZnS シンチレーション検出器

硫化亜鉛に銀を微量添加した粉末結晶をシンチレータ（蛍光体）とした検出器。光の透過に不透明であるが蛍光効率が高いため、シンチレーション光が透過する程度の薄い膜状にして、透過力の小さいα線を始めとした重荷電粒子の測定に用いられる。

## 全α放射能・全β放射能測定

ダストモニタで行う測定である。吸引ポンプにより大気中の浮遊塵をろ紙上に集め、集めた塵から放出されるα線及びβ線を連続して同時測定する。集塵中は全α放射能・全β放射能比及び全β放射能濃度を、また、ラドンの崩壊生成物等の影響がほぼなくなった集塵終了6時間後に全ベータ放射能濃度を測定している。

東電事故の影響を最も感度良く、迅速に捉えた。

## 全β放射能測定

環境試料から放出されるβ線を測定する。核種分析と異なり、放射性核種の種類を調べることはできないが、天然及び人工放射性核種の多くはβ線を放出しているので、環境試料の中に含まれるおおよその放射エネルギーがわかる。全β放射能測定は、過去との関連において、相対的な放射能レベルの変動を把握するのに有効である。

## 線量率換算定数

NaI シンチレーション検出器に入射したγ線はパルスとして出力され、電子回路の中でパルス波高値（エネルギーの大きさに相当）に応じたG(E)関数によって線量の値付けがされる。これらのパルスは更に3 MeV 相当の線量ごとにまとめられ、まとめられたパルス数を測定器側からテレメータ側に出力している。線量率換算定数は、単位時間当たりのパルス数（計数率）から線量率に換算するための定数のことをいう。



## 〔タ行〕

### **大気安定度**

大気中に放出された放射性物質の拡散予測に用いられ、風向・風速とともに重要な気象パラメータの一つである。拡散の度合いを示す指標で、A～G に分類される。A は大気が不安定であり、放射性物質は拡散される。G は大気が安定しており、放射性物質は拡散されにくい。

### **大気中浮遊塵**

大気中に浮遊している微少なチリのことであり、大気中の放射性物質濃度を求めるため、ダストモニタにより、ろ紙上に捕集され、集塵中と集塵終了6時間後の全 $\alpha$ 放射能及び全 $\beta$ 放射能の測定を行う。

また、 $\gamma$ 線放出核種の同定を行うために、約1か月ごとにろ紙を回収し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて集塵した試料の核種分析を行っている。

### **ダストモニタ**

大気浮遊塵に含まれる放射能を測定する装置。ロールろ紙を6時間間隔で移動させ、浮遊塵を連続的に捕集し、測定する。ZnS(Ag)シンチレータ及びプラスチックシンチレータが、集塵部と集塵終了6時間後のろ紙が位置する場所にそれぞれ設置されていて、全 $\alpha$ 放射能と全 $\beta$ 放射能を連続して同時測定することができる。

### **チェルノブイリ原子力発電所事故（チェルノブイリ原子力発電所事故）**

ウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所4号機（キーウ市北方約130km）で旧ソビエト連邦時代の1986年4月26日に起きた原子炉事故である。蒸気爆発と水素爆発で炉心が損傷し、建屋の一部が吹き飛び、また減速材の黒鉛による火災が起り、大量の放射性物質が放出され、地球規模での放射能汚染をもたらした。原因は、原子炉の設計上の問題点と操作員の規則違反操作によるものであった。

### **低バックグラウンドガスフロー測定装置**

放射化学分析に伴う試料の $\beta$ 線測定に用いられ、放射線による気体の電離作用を利用して放射線を検出する測定器で、低レベルの放射能を測定する場合に、検出器の周囲に遮へいを設けたり、試料からの放射線と測定装置外から入射した放射線を選別できる電子回路を利用したりする等の対策を施して、バックグラウンド計数を極力減少させた測定装置のことをいう。検出器が比例計数管の場合は、PRガス（アルゴン90%＋メタン10%）を流しながら測定する。

### **電子式線量計**

緊急時用の連続モニタで、シリコン半導体検出器を装備している。元々は、個人被ばく線量計（積算線量計）であったものを、線量率計として活用している。

線量率の演算は、収集したパルスにセシウム137の662keVから算出した換算係数を用いて線量率に換算する方法が一般的である。

### **電離箱検出器**

放射線の電離作用を利用して放射線を検出する測定器で、放射線と電離箱壁との相互作用によって発生した二次電子が電離箱内の気体中を通過する際にプラスイオンと電子に電離され、高電圧を印加することによって、それぞれ陰極と陽極に集荷して電流が流れる。この電流値から線量率に換算される。

## **同位体（同位元素又はアイソトープ）**

原子番号は元素に固有であり、同じ元素であれば、その原子核に含まれる陽子の数は等しい。同じ元素であっても、原子量（質量数）が異なる（中性子の数が異なる）ものを同位体（同位元素又はアイソトープ）という。

## **等価線量**

同値の吸収線量であっても、放射線の種類やエネルギーにより人体に対する影響の現れかたは異なる。照射により人体組織に与えられる影響を、同一尺度で定量するため、組織・臓器にわたって平均し、線質について加重した吸収線量を等価線量という。等価線量は、確率的影響のリスクを各組織・各臓器を対象として考慮するために用いる。単位はシーベルト（Sv）で表す。

## **東電事故**

2011 年（平成 23 年）3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に起因した東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故のこと。炉心溶融や水素爆発によって原子炉压力容器や原子炉建屋が損壊し、原子燃料に含まれる大量の核分裂生成物が環境中へと放出された。

放出された放射性物質は、大気輸送と降雨に伴う地表面への降下により、日本各地の地表面に降下物として沈着した。そのため、降下物試料や農畜海産物等の環境試料の調査において、その影響が現在も見られている。

## **トリチウム（ $^3\text{H}$ ）**

原子番号 1、質量数 3 で、水素（H）の放射性の同位元素で、三重水素とも呼ばれる。半減期 12.3 年で崩壊し、極めてエネルギーの低いベータ線を放出する。空気と宇宙線との反応により、自然生成される。通常は水蒸気又は水の形で存在することが多い。過去の核爆発実験でも大量に放出された。

## **トロンの崩壊生成物**

トロン（トリウム系列に属するラドン 220）は、地殻中に存在するトリウム 232 が多段階的に崩壊を繰り返すことで生成される自然の放射性核種である。トロンは、希ガスであるため、生成すると一部が地表面から大気中へと散逸する。

散逸したトロンは崩壊し、ポロニウム、鉛、ビスマス等へと変化し、周囲に存在する大気浮遊塵に吸着する。

トロンの崩壊生成物の見かけ上の半減期は約 11 時間であるため、大気が安定している場合など、トロンが拡散しにくい気象条件では、集塵修了 6 時間後の全ベータ放射能濃度が高くなる場合がある。

## **〔ナ行〕**

## **年線量限度**

放射線・放射能を扱う施設が遵守しなければならない業務従事者や一般公衆に与える放射線被ばくの 1 年間の制限値である。

国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告により公衆の年線量限度は 1 ミリシーベルトとされている。

国内では、事業所境界の線量限度や排気及び排水の基準について、年 1 ミリシーベルトを基に設定している。

## 〔ハ行〕

### バックグラウンド（測定）

測定対象以外からの放射線による寄与分をバックグラウンドという。

浜岡原子力発電所周辺環境放射能調査では、緊急事態に備え、緊急時モニタリングの結果を適切に評価できるよう、平常時における発電所周辺環境の放射線量及び放射能の水準を把握しておくための測定をバックグラウンド測定と呼んでいる。

### 半減期

放射性核種の崩壊によって、放射能が半分になるまでの時間をいう。半減期が長いほど、その放射能は減少しにくい。半減期の 10 倍の時間が経過すれば、放射エネルギーはおよそ 1000 分の 1 になる。

### 被ばく

人体が放射線を受けること。体の外にある放射性核種からの放射線を受ける外部被ばくと体の中に取り込んだ放射性核種からの放射線を受ける内部被ばくとがある。被ばくの度合いは線量で表す。

### 標準偏差

統計において、データのばらつきあるいは散らばりの程度を表す一つの尺度。

データが  $n$  個あるとき、平均  $\bar{X}$  は次式で示される。

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_1 + \dots + X_1)}{n}$$

また、次式で示す  $S^2$  を分散と定義し、この分散の平方根  $S$  を標準偏差という。

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

放射線計測の場合、放射性核種の崩壊に伴う放射線放出が、常に一定の時間間隔で繰り返される事象ではなく、偶発的な事象であるため、計数は一定値ではなく常にばらつきが生じる。このばらつきの程度が標準偏差で表され、計数の平方根で求められる。これを計数誤差（統計誤差）と呼ぶこともある。

### フォールアウト

核爆発実験等によって生成された人工放射性核種が、大気中に拡散し、塵埃などとともに、地上に降下する放射性降下物をいう。

### プラスチックシンチレーション検出器

ポリスチレン等（溶媒）にターフェニル等（溶質）を溶かした固溶体をシンチレータ（蛍光体）とした検出器。蛍光減衰時間が短く、 $\beta$  線、 $\alpha$  線、陽子線等の荷電性放射線の短い時間の測定に用いられる。

## **プルトニウム**

原子番号 94 の元素で、自然界には存在しない放射性核種である。体内に取り込まれると、骨や肝臓に集積される。ウランの核反応により生成し、プルトニウム自体が核分裂することから原子燃料として再利用することができる。環境中のプルトニウムは、主として、過去の大気圏内核爆発実験による放射性降下物に由来するものである。

## **平常時モニタリング**

原子力施設の平常時の周辺環境における空間放射線量率及び放射能を把握しておくことにより、緊急時モニタリングに備えておくとともに、原子力施設の異常を早期に検出し、その周辺住民及び周辺環境への影響を評価することをいう。

## **平常の変動幅**

平常の変動幅は、環境放射能測定結果をスクリーニングし、原因調査に移行するための基準として設定される。平常の変動幅を上回ったとしても、直ちに安全性を判断するものではない。

## **ベクレル**

放射能を表す単位。

ある物質中で 1 秒間に 1 個の原子核が崩壊した時に、その物質には 1 ベクレル (Bq) の放射能があると定義する。

例えば、1 Bq/kg 生とは、生試料 1 kg あたりに、平均して 1 秒間に 1 個が崩壊する量の放射性核種が含まれることを示す。

## **$\beta$ (ベータ) 線**

崩壊によって原子核から電子が外に飛び出す場合があり、その電子の流れをいう。物質の透過力は $\gamma$ 線ほど大きくない。ストロンチウム 90 やトリチウムはこの $\beta$ 線のみを放出する核種である。中性子が過剰の原子核は $\beta^-$ 線 (電子)、陽子が過剰な原子核は $\beta^+$ 線 (陽電子) を放出する傾向があり、核分裂生成物の多くは中性子過剰であるため、 $\beta^-$ 線を放出するものが多い。

## **ベリリウム 7 ( $^7\text{Be}$ )**

原子番号 4 の元素で、宇宙線と大気上層の窒素や酸素との核破砕反応によって恒常的に生成される自然放射性核種 (半減期約 53 日) である。大気中の塵に付着し、降雨等によって地表に降下するため、環境放射能調査では、大気中浮遊塵や降下物の測定上の指標として用いている。

## **崩壊**

不安定な原子核が、放射線を出し、他の原子核に変わることを。たとえば、ウラン 238 は多段階的に崩壊を繰り返すことによって、最後に安定な鉛 206 となる。崩壊の機構や放出する放射線の種類により、 $\alpha$ 崩壊、 $\beta$ 崩壊、電子捕獲、核分裂、核異性体転移等がある。壊変ともいう。

## **放射化学分析**

化学的方法によって、環境試料中に含まれる目的の放射性核種が属する元素を選択的に分離し、その放射能を調べる。透過力の弱い $\alpha$ 線やエネルギーによる分別が困難な $\beta$ 線を測定する場合に、測定試料の減容や妨害放射性元素の除去を目的として行われる。本調査においては、放射化学分析によってストロンチウム 90（イットリウム 90）を単離し、低バックグラウンドガスフロー測定装置で測定している。

## **放射化生成物**

安定核種に中性子を照射させると核反応が起こり、放射性核種が生成される。これを放射化といい、生成された核種を放射化生成物という。原子炉内では構造材が放射化されて、コバルト 60 やマンガン 54 などが生成される。

## **放射性核種**

地球上のすべての物質は原子でできており、原子は原子核とその周りにある電子で構成されている。原子核は陽子と中性子で構成されている。

原子核には、安定な原子核と不安定な原子核が存在し、安定な原子核は「安定核種」といい、不安定な原子核は原子核が壊れる（壊変する）ときに放射線を放出するため、「放射性核種」といわれる。「放射性物質」と同義で使われることもある。

## **放射性物質**

放射線を出す能力、すなわち「放射能」をもつ物質をいう。放射性物質、放射線及び放射能の関係を電球に例えると、「電球」が放射性物質、電球から出る「光線」が放射線、電球の「光を出す能力」が放射能に対応する。

## **放射線**

直接又は間接に空気を電離する能力をもつもので、 $\gamma$ 線やX線等の電磁波と、 $\alpha$ 線や $\beta$ 線等の粒子線とがある。

## **放射線量**

一般的に、放射線被ばくの量や物質が放射線から吸収したエネルギー量の程度の総称として使われる。単に、線量とも呼ばれる。なお、法令では、放射線の防護のために用いる実効線量等のいろいろな線量の総称としている。

## **放射能**

放射性核種が崩壊して放射線を出す性質又は能力をいう。放射性核種の量を示す言葉として用いられることもある。単位は、ベクレルで表す。

## **放射平衡**

ある放射性核種（親核種）が崩壊して生成する核種（娘核種）が放射性核種である場合、娘核種の放射能は時間とともに増加し、半減期の5倍程度以後は親核種の放射能と一定の関係になる。親核種の半減期に比べて娘核種の半減期が極めて短い場合は、永続平衡となり、両核種の放射能は等しい。そうでない場合は、娘核種の放射能は親核種の放射能より大きくなる。

## **放水口モニタ**

発電所で発生した排水（放射性液体廃棄物、洗濯水等）を冷却用海水とともに海域へ放出する際、放水路を流れる放水の一部を取り出して排水中の $\gamma$ 線の計数率を測定する設備である。浜岡原子力発電所の4か所の放水口に設置している。

## **〔マ行〕**

### **マイクロウェーブ分解装置**

テフロン系の密閉容器に試料を入れ、酸を加えて、マイクロ波により加熱分解する装置をいう。

### **モニタリングポイント**

積算線量を測定するため、積算線量計を内装した収納箱を設置した場所（地点）のことをいう。

### **モニタリングステーション・モニタリングポスト**

線量率の連続モニタに加えて、ダストモニタや気象状況を調べる観測装置等を備えた野外測定設備である。

発電所周辺 10km 圏内の 14 箇所（ダストモニタは、うち 5 箇所）に設置しているものをモニタリングステーションといい、10km 以遠に設置しているものをモニタリングポストという。名称は異なるが、装備している機器や機能に差はない。

## **〔ヤ行〕**

### **ヨウ素 131 ( $^{131}\text{I}$ )**

ヨウ素の放射性同位体の一つで、質量数が 131 の同位体を指す。半減期が約 8 日で $\beta$ 線及び $\gamma$ 線を放出する。体内に取り込まれると、甲状腺に集まりやすい性質がある。

### **預託線量**

放射性物質摂取後 50 年間（子供に対しては摂取時から 70 歳までの年数）に受ける内部被ばくの量を実効線量又は等価線量で表現したものをいい、それぞれ預託実効線量又は預託等価線量という。モニタリングにおいては、年度内に摂取した放射性核種による預託実効線量（または等価線量）を当該年度内の外部被ばくによる実効線量（または等価線量）と合算し、被ばく線量の推定を行っている。

## 〔ラ行〕

### ラドンの崩壊生成物

ラドン（ウラン系列に属する  $^{222}\text{Rn}$ ）は、地殻中に存在するウラン 238 が多段階的に崩壊を繰り返すことで生成される自然の放射性核種である。ラドンは、希ガス元素であるため、生成すると一部が地表面から大気中へと散逸する。

ラドンの半減期は 3.8 日で、ポロニウム、鉛、ビスマス等の放射性の崩壊生成物へと変化し、周囲に存在する大気浮遊塵に吸着する。中でもラドンの崩壊生成物である鉛 214 やビスマス 214 は、大気中濃度が比較的高く、かつ、 $\gamma$  線を放出することから、空間放射線量に対する寄与が大きく、環境放射線モニタリングにおいて重要な核種である。特に、降雨の時は、これらを含む浮遊塵が地表に沈着するため、地表付近の空間線量率が大幅に増加することがある。一方で、これらの見かけ上の半減期は約 30 分と短いため、数時間が経過すると、その寄与は大幅に減少する。

ラドンの崩壊生成物に起因する空間放射線量の寄与は、大陸性の気団が到来する時に大きく、ラドンとその崩壊生成物をあまり含まない海洋性の気団が到来する時に小さくなる傾向がある。そのため、空間放射線量の増減やダストモニタによる測定結果が、大気の流れ線解析の結果から説明できることがある。

### レインアウト

雲中で雨滴に取り込まれた放射性物質が、雨滴の落下により雲中から除去される現象をいう。