

資料 1 - 2

浜岡原子力発電所 周辺環境放射能調査結果

第 176 号

解 説 資 料

調査期間 平成 29 年 10 月～平成 29 年 12 月

平成 30 年 2 月

静岡県環境放射能測定技術会

目 次

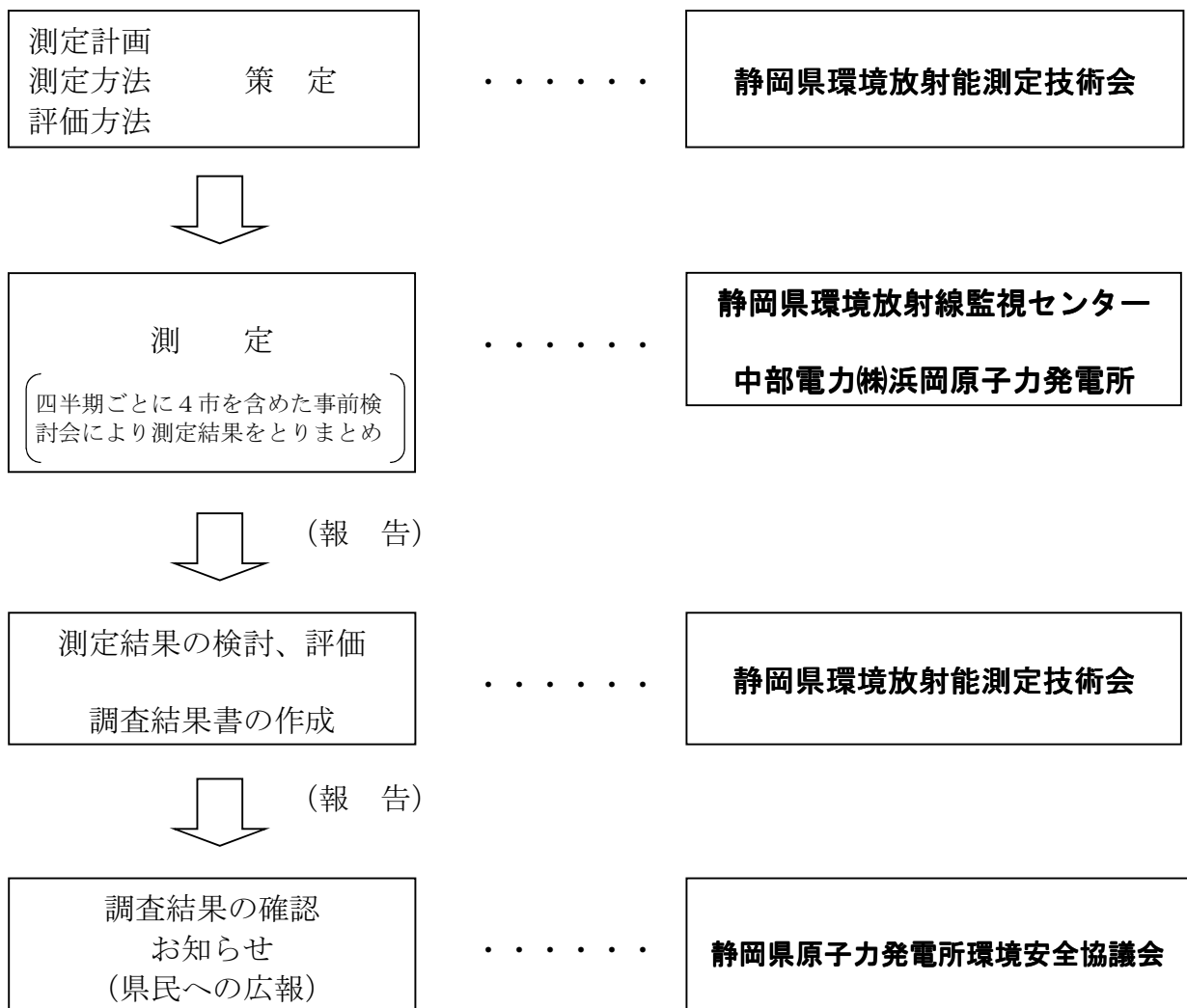
はじめに	1
I 調査結果のまとめ	2
II 調査概要	3
1 調査目的	3
2 評価方法	3
III 調査結果	4
1 空間放射線量	4
(1) 空間ガンマ線測定装置による線量率	5
(2) 蛍光ガラス線量計 (RPLD) による積算線量	14
2 環境試料中の放射能	15
(1) 全アルファ・全ベータ放射能	16
(2) 核種分析	18
(3) 検出された核種の由来の推定	26
IV 参考資料	31
1 測定値の表示方法について	31
2 過去の核爆発実験について	32
3 東京電力(株)福島第一原子力発電所事故等の影響について	34
4 モニタリングステーション設置機器一覧	36
5 用語の解説	37

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」に基づき、静岡県環境放射能測定技術会が「浜岡原子力発電所周辺環境放射能測定計画」を策定し、昭和47年度から浜岡原子力発電所周辺の環境放射能調査を実施している。

この資料は、平成29年度第3四半期に各測定機関が実施した測定結果について、静岡県環境放射能測定技術会が検討、評価した結果を取りまとめた「調査結果」をより深く理解するためのものである。

【調査の流れ】



I 調査結果のまとめ

平成 29 年度第 3 四半期の調査では、浜岡原子力発電所からの環境への影響は認められなかった。

なお、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を起因とする東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故や過去に行われた核爆発実験等により放出された人工放射性核種が検出されたが、健康への影響は心配ないレベル*であった。

※ 平成 29 年度第 3 四半期の測定結果を基に外部被ばくと内部被ばくによる実効線量を推定したところ、公衆の年線量限度 1mSv を十分下回る値であった。(図 1) (34~35 頁参照)

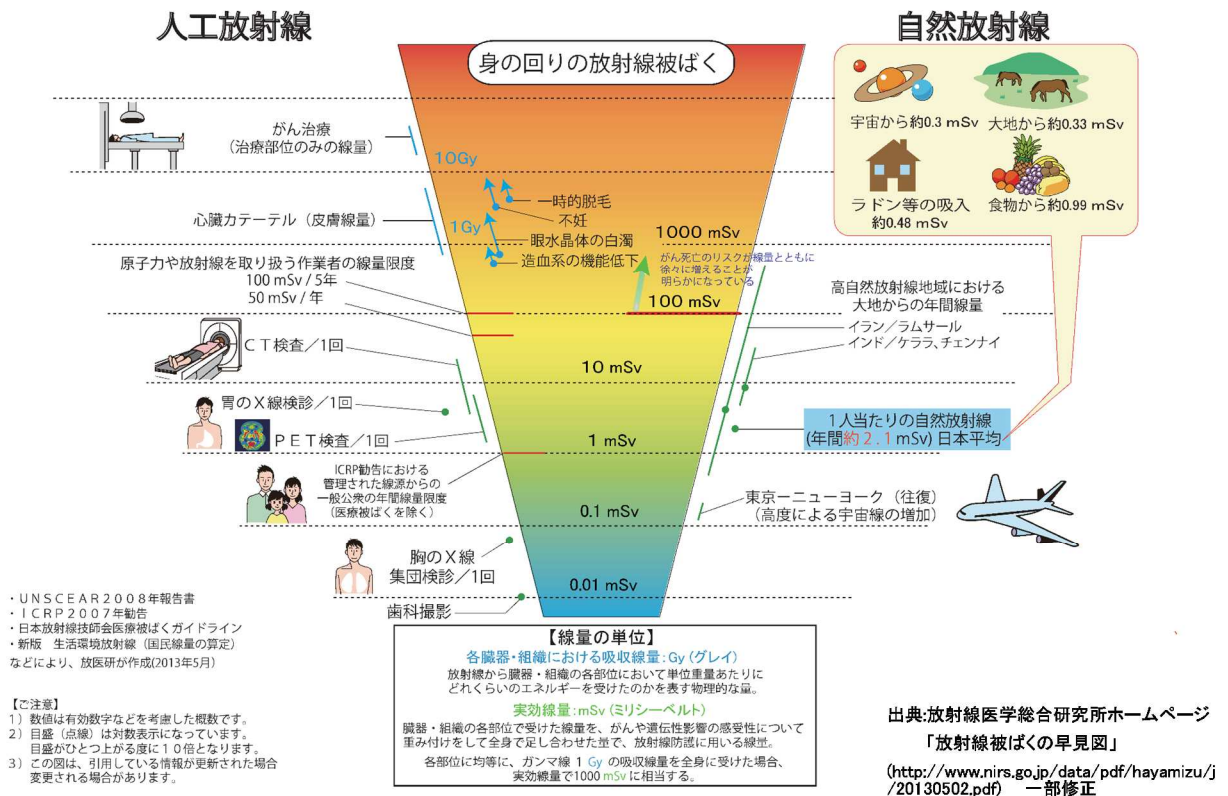


図 1 日常生活と放射線

(参考)

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		2.1
(内訳) 外部被ばく	宇宙線、大地	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

II 調査概要

1 調査目的

調査の目的は、当技術会が定めた測定計画において以下のとおりとしている。

(1) 周辺住民等の線量の推定及び評価

原子力発電所の周辺住民等の健康と安全を守るため、環境における**原子力発電所に起因する放射性物質又は放射線による周辺住民等の被ばく線量が1年間の線量限度1mSvを十分に下回っていることを確認すること。**

(2) 環境における放射性物質の蓄積状況の把握

原子力発電所からの影響の評価を適切に行うため、原子力発電所の運転により原子力発電所から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こと。

(3) 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

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、原子力発電所の異常の早期発見に資するとともに、平常時の調査結果を把握することにより、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こと。

(4) 異常事態又は緊急事態が発生した場合における環境放射線モニタリングの実施体制の整備

原子力災害対策特別措置法に基づく異常事態又は緊急事態が発生した場合に、平常時モニタリングの強化及び緊急時モニタリングへの移行に迅速に対応できるよう、平常時からこれらの事態を見据えた環境放射線モニタリング実施体制を整備しておくこと。

2 評価方法

評価は、当技術会が定めた「平成29年度環境放射能調査結果の評価方法（平成29年6月）」に基づいて行なっている。

評価の手順は以下のとおりである。

(1) 個々の測定データが、平常の変動幅の範囲内にあるかどうかを判定する。

平常の変動幅とは、過去10年間（平成13年4月1日から平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震発生前まで）の自然放射線や過去の核爆発実験等でもたらされた放射性物質の変動範囲をいい、当該期間の「最大値と最小値の範囲」で表している。この10年間では、発電所の影響はないと評価しており、平常の変動幅の範囲内かどうかをまず確認する。

なお、最近測定を開始し、過去10年分の測定結果の蓄積がない測定項目については、測定開始から東北地方太平洋沖地震発生前までの変動範囲や他の測定地点の測定データなどを参考に平常の変動幅を設定する。

(2) 平常の変動幅を上回った場合、以下の項目について原因調査を行うとともに、原子力発電所の影響の有無について評価をする。

- ・ 測定器の健全性や測定法の妥当性（下限を下回った場合にも調査する。）
- ・ 自然放射線の変動
- ・ 周辺環境の変化
- ・ 核爆発実験等の影響など

(3) 発電所の影響がある場合

- 線量の評価（年線量限度1mSvとの比較）
- 蓄積状況の把握

(4) 平常の変動幅の上限を超えていない場合、「浜岡原子力発電所からの環境への影響は認められない」と評価する。

(1) 空間ガンマ線測定装置による線量率 — 13 地点* (モニタリングステーション)

【測定及び評価結果】

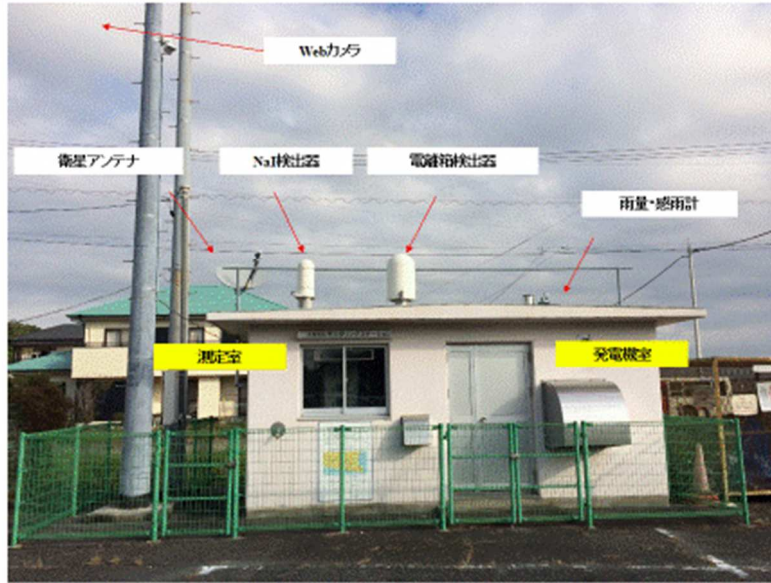
- 短期評価（1時間平均値）では、12月に佐倉三区局で平常の変動幅の下限を下回ったときがあったが、それ以外は全て平常の変動幅の範囲内であった。佐倉三区局で平常の変動幅の下限を下回った原因は、測定装置の一時的な不具合によるものと考えられる。
- 長期評価（3ヶ月間平均値）では、全ての地点で平常の変動幅の範囲内であった。

※ 白羽小学校局が移設工事のため、欠測となっている。(代替測定実施)

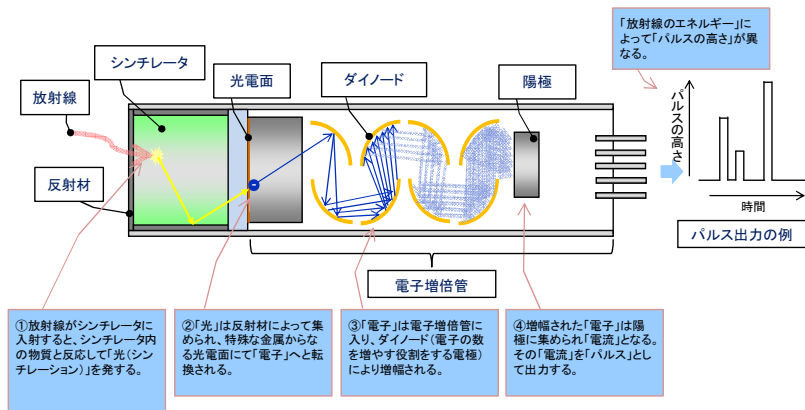
【測定法の解説】

- 発電所周辺 10km 圏内には、モニタリングステーションを 14 地点に設置している。モニタリングステーションは、空間ガンマ線測定装置を含め多くの機器を備えている。(IV 参考資料 4 (36 頁))
- 線量率は、空間ガンマ線測定装置 (NaI(Tl)シンチレーション検出器) による測定値である。NaI(Tl)シンチレーション検出器は低いレベルの放射線を測定する能力が優れている。線量率の測定方法は、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、パルスとして数える方式である。(6 頁参照)
また、NaI(Tl)シンチレーション検出器には、放射線の種類と量を測定することができるスペクトロメータが設置されている。静岡県の環境放射線監視テレメータシステム (9 頁参照) 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、人工放射性物質の影響を弁別することが可能であり、東電事故による人工放射性物質の影響を精度良く捉えることができた。(7 頁参照)
- また、発電所近傍の測定局 (5 局) には、ガンマ線の飛来方向を特定することが可能な検出器 (方向特定可能型検出器) を導入している。これにより、非破壊検査による線源の照射や放射性医薬品投与患者の接近など、発電所由来ではない変動を区別する手助けとなっている。(8 頁参照)
- なお、NaI(Tl)シンチレーション検出器による測定範囲は、 $10\text{nGy/h} \sim 10\ \mu\text{Gy/h}$ 程度であるが、これ以上の線量率になると正しく測定できないため、高線量率測定用に電離箱式検出器(IC)が設置されている。電離箱式検出器は最大 100mGy/h 程度まで測定可能である。

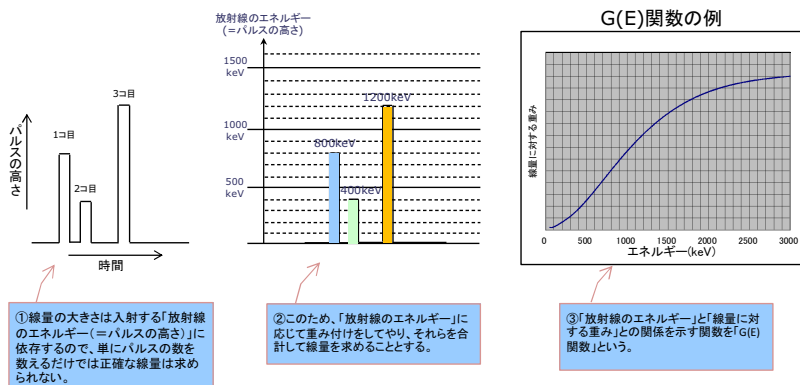
線量率の測定(モニタリングステーション)



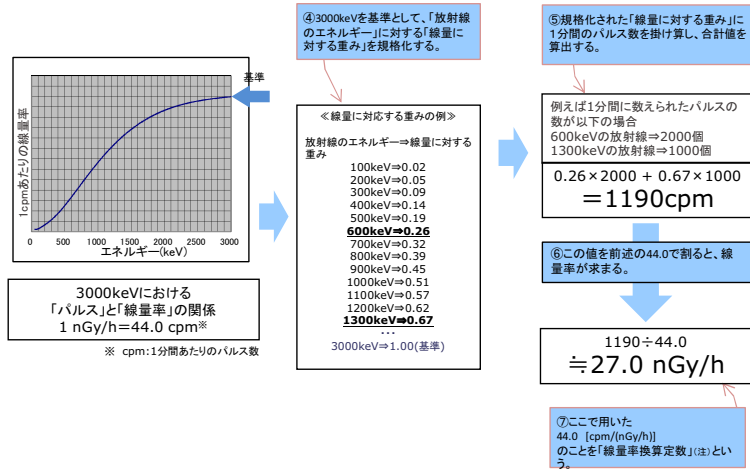
NaIシンチレーション検出器の動作のしくみ



線量率の計算方法①

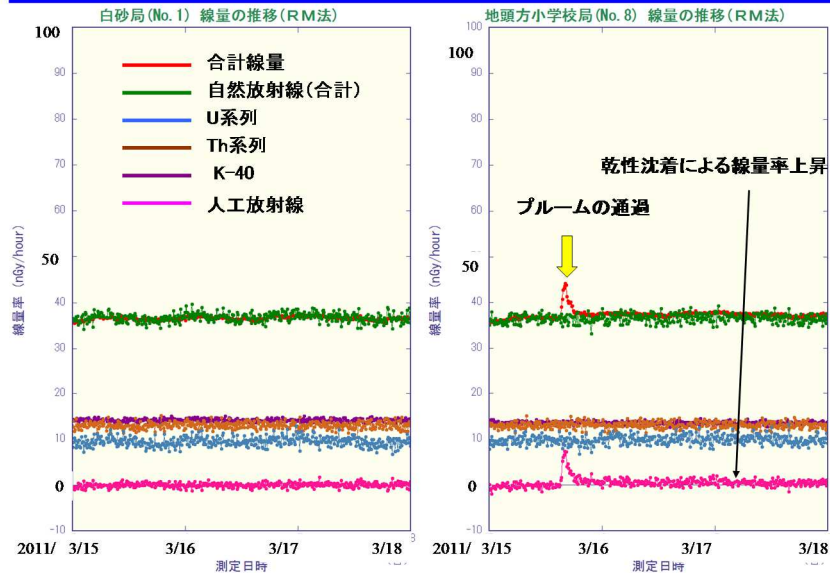


線量率の計算方法②

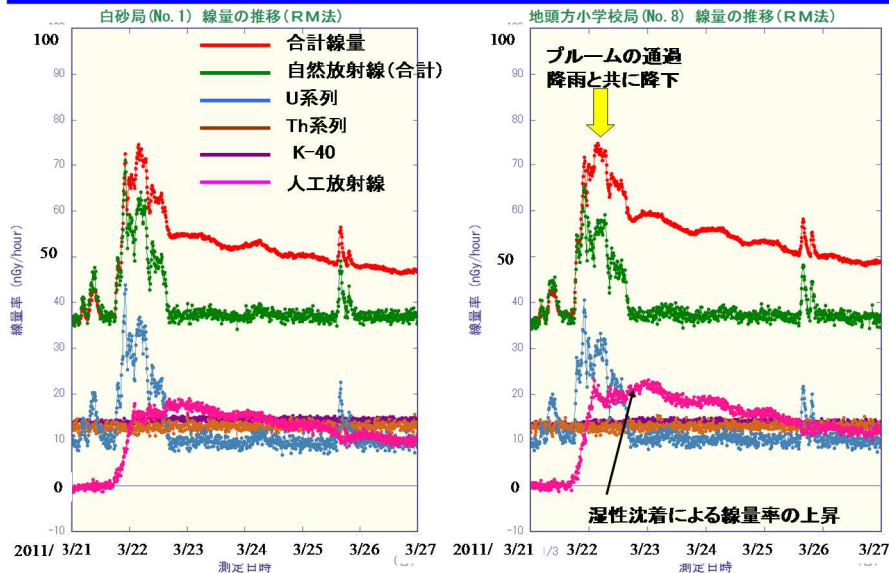


(注)線量率換算定数は、検出器の仕様により異なり、本県では、通常型検出器では44.0cpm/(nGy/h)を、方向特定可能型検出器では40.4cpm/(nGy/h)を用いている。

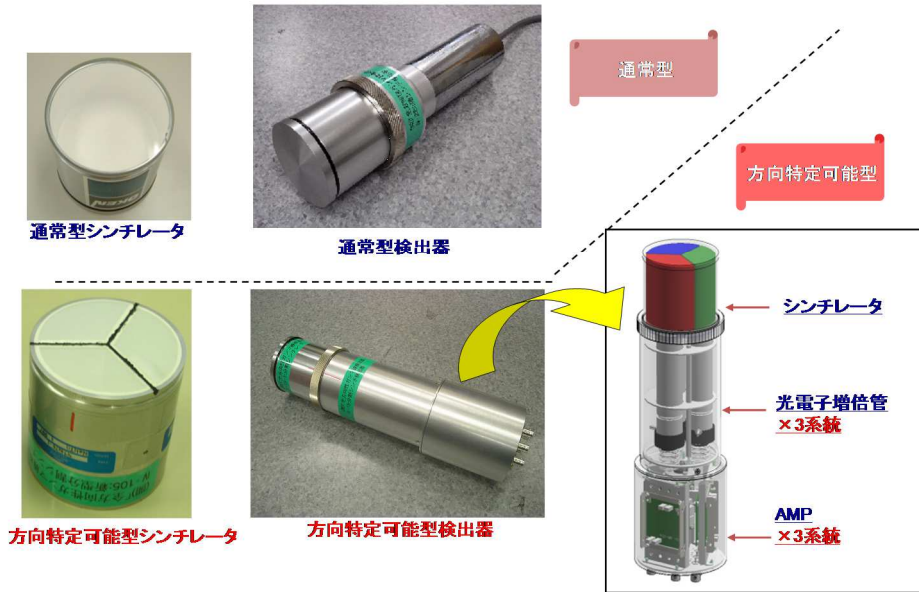
スペクトル解析結果(東電事故直後①)



スペクトル解析結果(東電事故直後②)



通常型検出器と方向特定可能型検出器の違い



【通常型検出器】

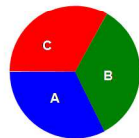
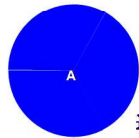
- ・ 直径76.2mm×高さ76.2mmの 円柱型NaI (TI) シンチレータ
- ・ 設置場の放射線量測定は可能だが、飛来方向の情報はない



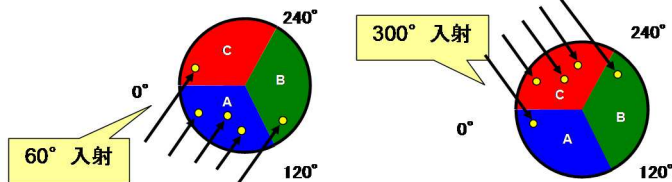
放射線検知で発光

【方向特定可能型検出器】

- ・ 円筒形シンチレータを120° 扇形をした3つに分割



- ・ 各シンチレータの計数値が放射線の飛来方向によって変化



各シンチレータの計数値の比と飛来方向とを関連付けることにより、
ガンマ線の入射角度を特定

この頁の図等は、(株)日立製作所からの提供による。

環境放射線監視テレメータシステムの概要

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収集し、一元的に監視するための設備をいう。

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を介し環境放射線監視センター¹⁾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、福島県の監視機関においては、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、測定局～環境放射線監視センター間の通信回線を3重化²⁾にするとともに、県庁にも収集サーバを設置し、監視機能を2重化している。

- 注1) 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合築で新施設（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）
 テレメータシステムは、平成28年10月から新施設で運用を開始した。
- 2) 衛星無線、携帯回線及び有線回線（光）



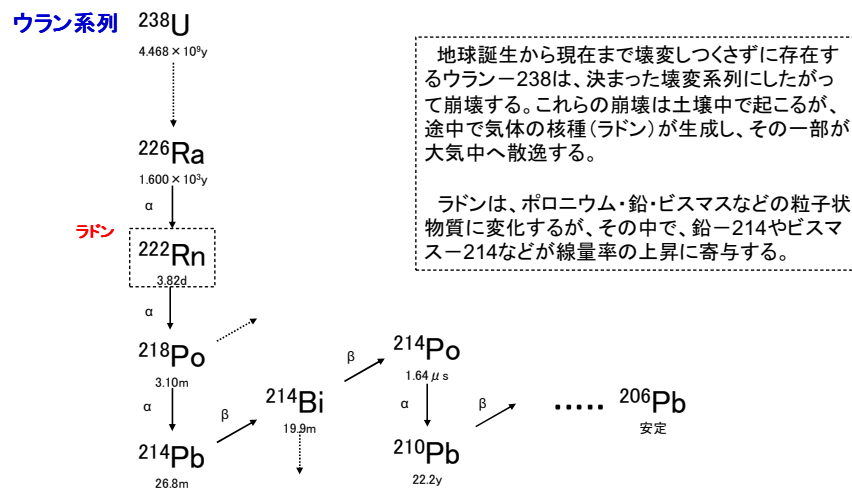
【測定結果の解説】

- 東電事故に起因する人工放射性物質の影響は、スペクトル解析の結果、1nGy/h 以下であることが確認できている。
- 空間線量率の変動は、次に記載のとおり、主に大気中のラドン崩壊生成物の変動（自然変動）によるものである。

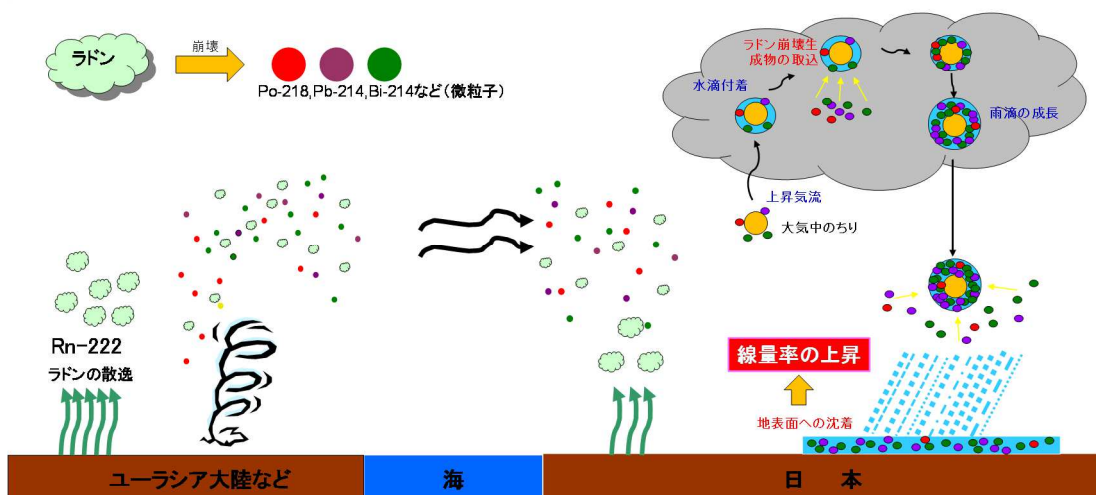
<空間線量率の変動要因>

- 空間線量率は、日変動、季節変動している。その主な原因は、大気中を浮遊するラドンの崩壊生成物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、地面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。空間線量率への影響は 2~3nGy/h 程度である。
- 1 年の変化（季節変動）としては、冬場に高く、夏場に低い傾向がある（冬場と夏場の差は、2~3nGy/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。
- 雨が降ると、雨粒と共にラドンの崩壊生成物が地表面付近に落ちてきて溜まり、空間線量率が上昇する一因となる（最大 40~60nGy/h 程度の上昇）。（11~13 頁）

ラドン崩壊生成物の生成



大気中のラドン及びその崩壊生成物の挙動と線量率上昇の関係



偏西風に乗って日本に飛来

【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。

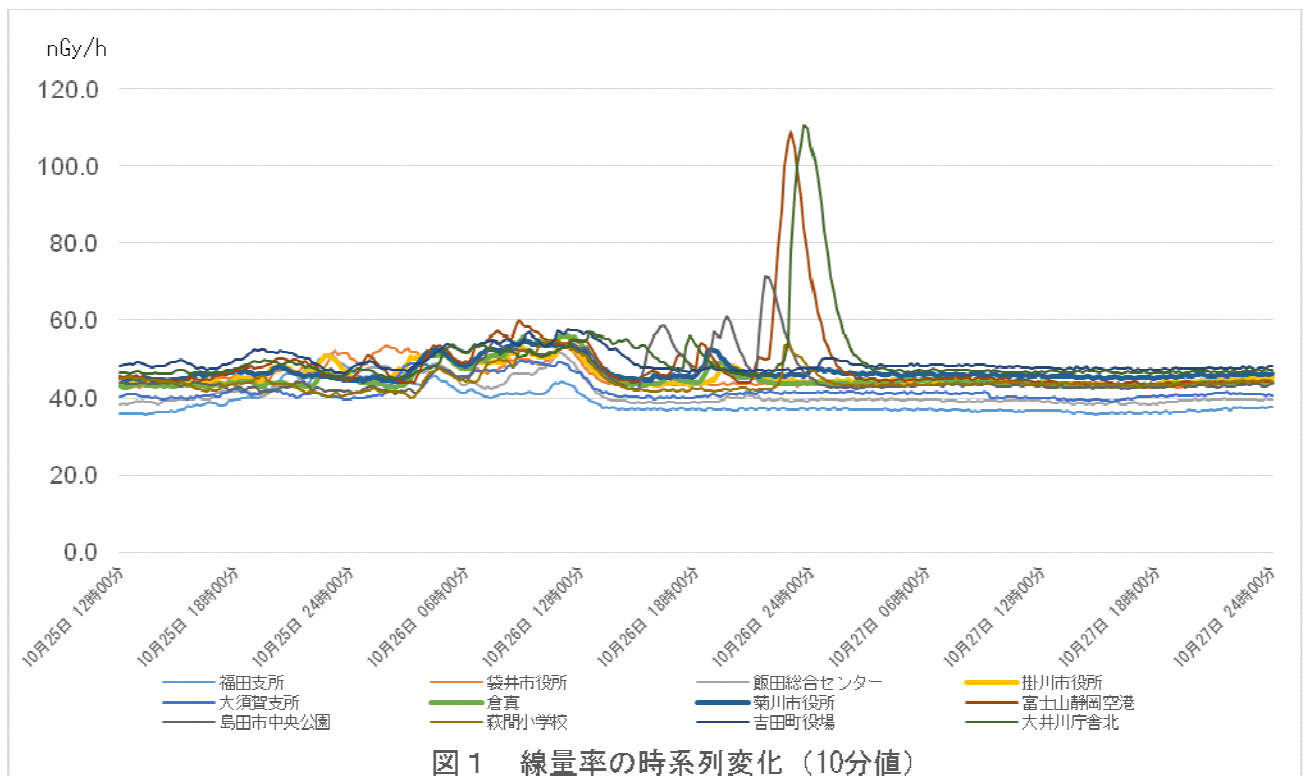
平成25年10月26日21時から24時頃にかけて、10～30km圏内に設置している富士山静岡空港局、島田市中心公園局及び焼津市大井川庁舎北局において、線量率が25～60nGy/h上昇したが、10km圏内を含む他の測定局ではほとんど線量率に変化が見られないという事象があった。（表1及び図1参照）

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	島田市中心公園	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	



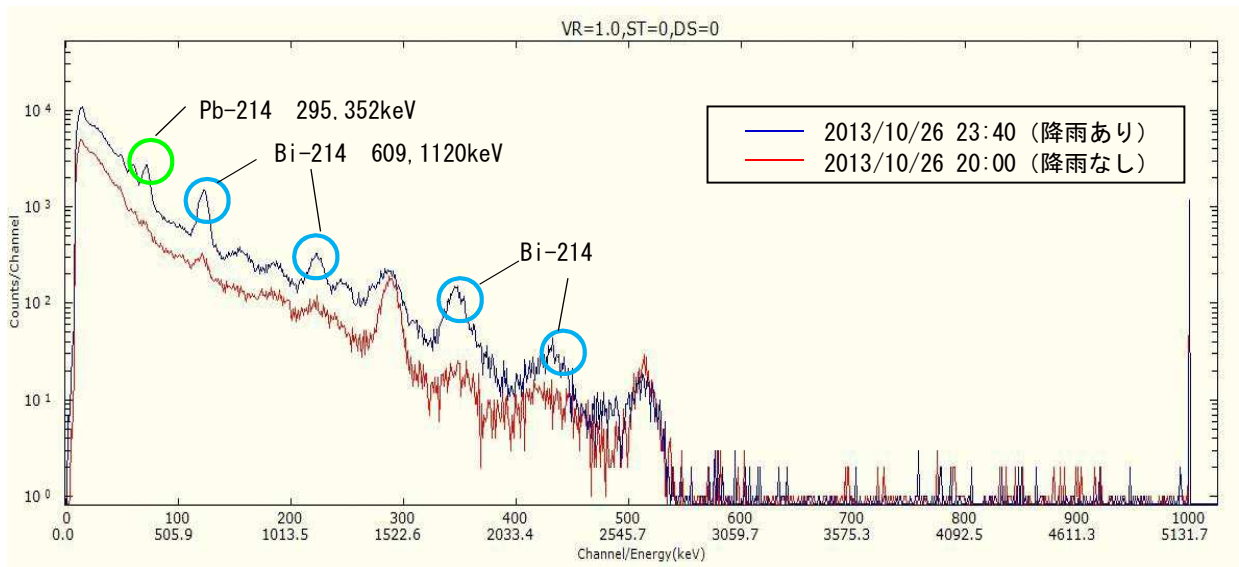


図2 スペクトルデータの比較
(焼津市大井川庁舎北局)

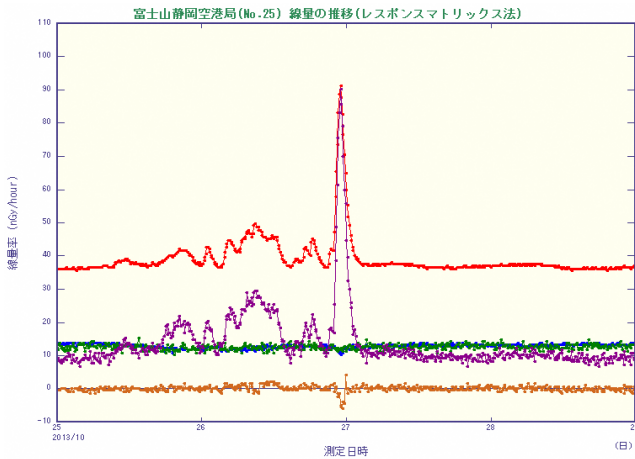


図3 スペクトル解析結果
(富士山静岡空港局)

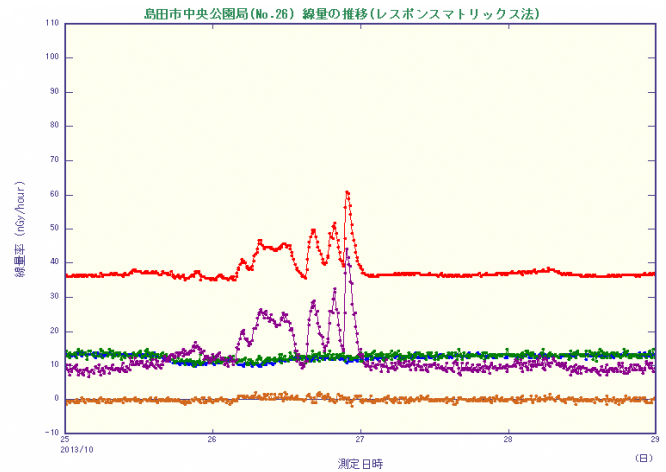


図4 スペクトル解析結果
(島田市中央公園局)

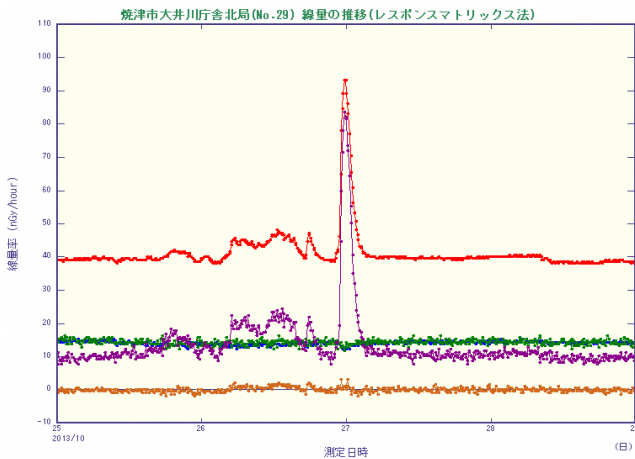
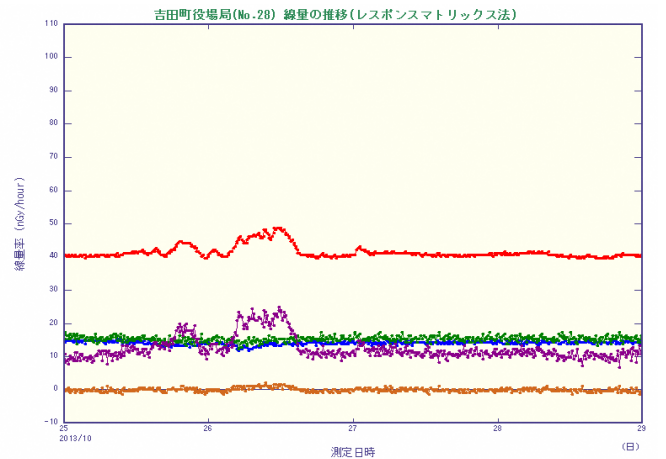


図5 スペクトル解析結果
(焼津市大井川庁舎北局)



(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}U から ^{222}Rn (希ガス) を経て ^{206}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}Th から ^{220}Rn (希ガス) を経て ^{208}Pb (安定) に至る自然放射性核種の崩壊系列

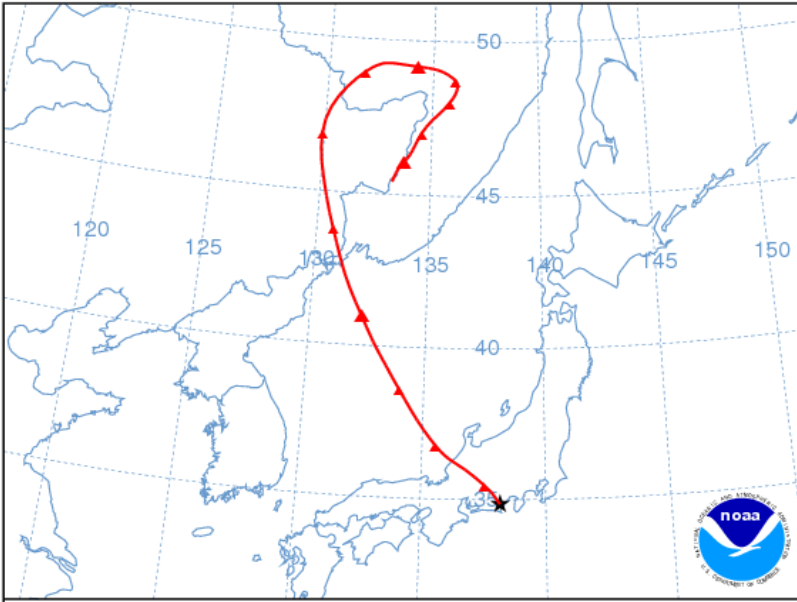


図6 後方流跡線解析

※ 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。

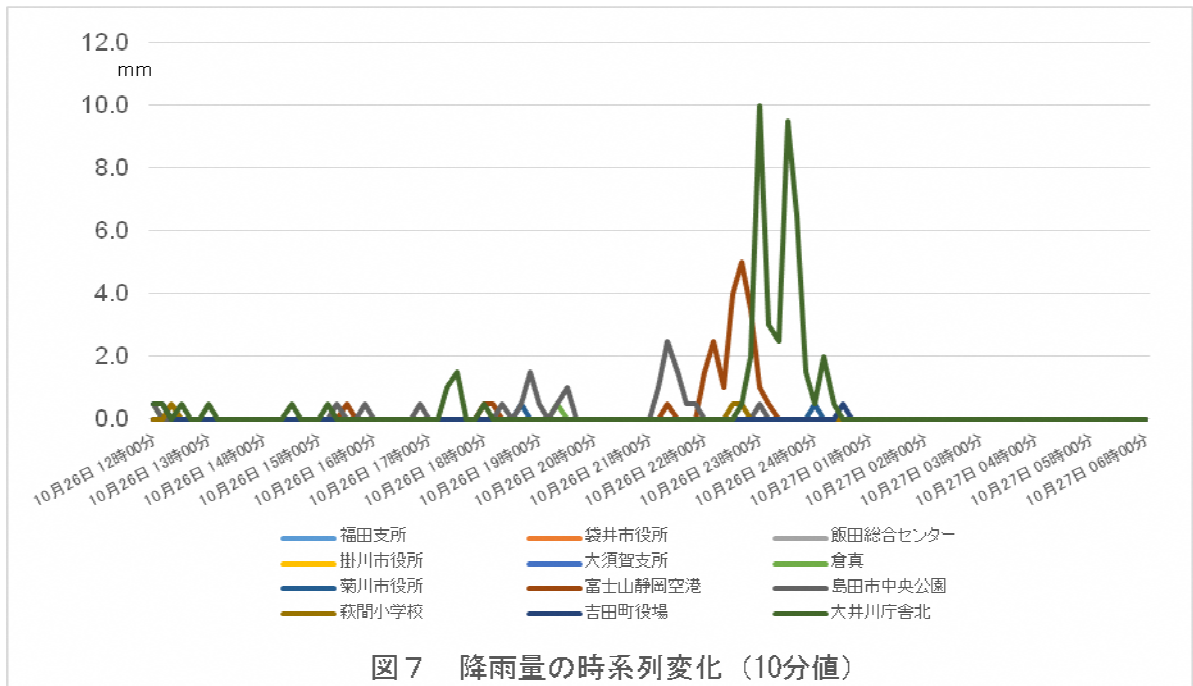


図7 降雨量の時系列変化 (10分値)



(2) 蛍光ガラス線量計 (RPLD) による積算線量 — 57 地点 (モニタリングポイント)

【測定及び評価結果】

- 洗井、薄原前及び芹沢の 3 地点で平常の変動幅の上限を超過した。それ以外の地点は平常の変動幅の範囲内であった。
- 平常の変動幅の上限を超過した原因は、自然変動 (自然放射性核種の変動) と考えられる。

【測定法の解説】

- 積算線量の測定は、発電所周辺に 57 箇所、対照地点として県下 4 箇所に、蛍光ガラス線量計 (RPLD: Radiophotoluminescence glass Dosimeter) を設置し実施している。
- 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の心を生じ、これを紫外線で刺激すると、オレンジ色の蛍光を発する。この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。

積算線量の測定 (モニタリングポイント)



【測定結果の解説】

- 空間放射線量に関して言えば、現在では東電事故による人工放射性核種の影響はほとんど認められないレベルである。(1nGy/h 以下)
- 平常の変動幅の上限超過地点数は、平成 23 年度第 1 四半期に 26 地点あったが、その後減少し、平成 26 年度第 2 四半期には全ての地点で平常の変動幅の範囲内に収まった。
- 平成 26 年度第 2 四半期から現在まで間で、平成 28 年度の第 3 四半期に 2 地点、第 4 四半期に 1 地点、平成 29 年度の第 2 四半期に 2 地点、第 3 四半期に 3 地点で平常の変動幅の上限を超過したが、新たに人工放射性核種が供給されたわけではなく、自然変動と考えられた。

2 環境試料中の放射能

測定は、浮遊塵に含まれるアルファ線とベータ線を放出する放射性物質を対象とした**全アルファ・全ベータ放射能**と、環境試料中に含まれる色々な放射性物質の種類と量を測定する**核種分析**について行うこととなっている。

なお、図3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、雨によって環境中を拡散し、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。

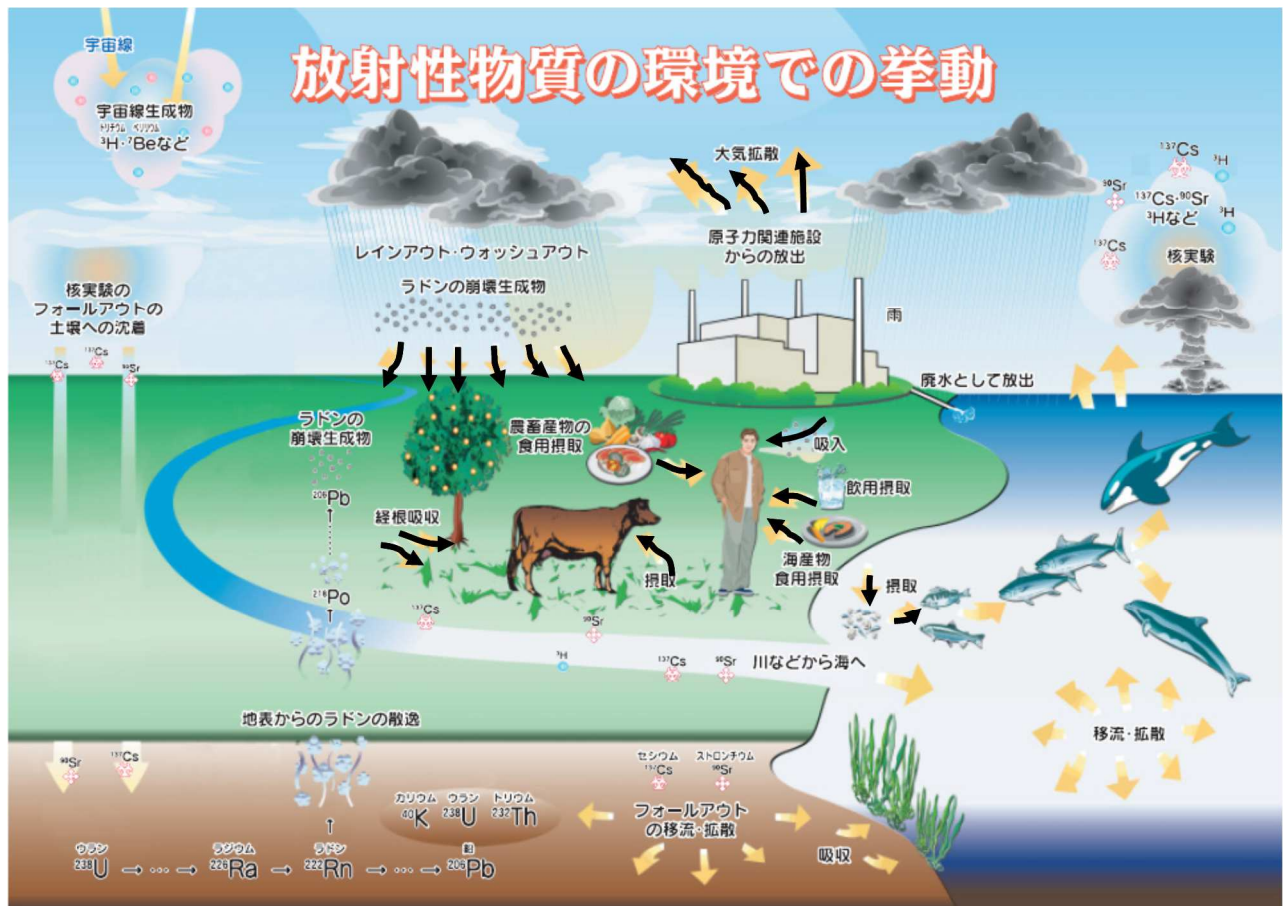


図3 放射性物質の環境での挙動

(1) 全アルファ・全ベータ放射能 — 4地点* (モニタリングステーション)

5箇所のモニタリングステーションに設置しているダストモニタを用い、大気中の浮遊塵の連続測定を行った。

測定は、集塵中の**全アルファ放射能と全ベータ放射能の比及び全ベータ放射能**と、集塵終了後、**6時間**放置して自然の放射能を減衰させた**後の全ベータ放射能**を対象とした。

【測定結果及び評価結果】

○ 全ての地点で平常の変動幅の範囲内であった。

※ 白羽小学校局が移設工事中のため、欠測となっている。(代替測定実施)

【測定法の解説】

○ 14箇所のモニタリングステーションのうち、5箇所（白砂、中町、平場、白羽小学校及び地頭方小学校）において、次の検出器を備えたダストモニタを設置し、全アルファ放射能及び全ベータ放射能を測定している。

・全アルファ放射能検出器：ZnS(Ag)シンチレーション検出器

・全ベータ放射能検出器：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の中には、いくつかの自然の放射性物質が含まれているため、色々なエネルギーのアルファ線やベータ線を放出している。塵を集塵機で連続捕集しながら、アルファ線とベータ線の放射能をそれぞれまとめて同時に測定しており、それぞれ全アルファ放射能、全ベータ放射能という。

○ 全ベータ放射能を全アルファ放射能で割ったものを全アルファ・全ベータ放射能比という。

自然の放射性物質が増えた場合には、全アルファ放射能と全ベータ放射能がほぼ均等に増えるので、比は大きく変わらない。一方、人工の放射性物質が増えた場合には、全ベータ放射能が大きく増えるので、比が大きくなる。また、自然の放射性物質が減少した場合には、全ベータ放射能はバックグラウンドの影響などから、大きく減らないため、比が大きくなる傾向にある。

○ 全アルファ・全ベータ放射能比を連続監視することにより、人工の放射性物質の予期しない増加を迅速に評価することができる。

○ 集塵終了6時間後の全ベータ放射能測定

空気中には、ラドンとその崩壊生成物が含まれている。これらの見かけ上の半減期は約30分なので、集塵終了6時間後には、約1/4000まで減衰する。

一方、人工放射性物質は6時間ではほとんど減衰しないため、集塵終了6時間後の全ベータ放射能濃度が、集塵中全ベータ放射能濃度からそれほど減らないこととなる。

全アルファ・全ベータ放射能測定(ダストモニタ)



サンプラ部・検出部



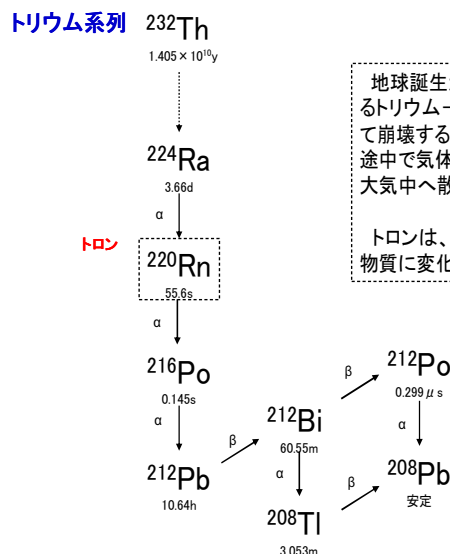
測定部

ダストモニタ

【測定結果の解説】

- 人工放射性核種の影響がない平常時における集塵中全アルファ放射能及び全ベータ放射能は、ラドン崩壊生成物が主要因であると言ってよい。(10 頁参照)
- また、平常時における集塵終了 6 時間後の全ベータ放射能については、トロン崩壊生成物が主要因であると言ってよい。(下図参照)
- 全アルファ・全ベータ放射能比は、人工放射性核種の影響ではなくても、自然変動により大きく上昇する場合がある。
- その例として、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、特に全アルファ放射能濃度が低下し、放射能比が上昇する場合がある。

(参考) トロン崩壊生成物の生成



地球誕生から現在まで壊変しつづかに存在するトリウム-232は、決まった壊変系列にしたがって崩壊する。これらの崩壊は土壤中で起こるが、途中で気体の核種(トロン)が生成し、その一部が大気中へ散逸する。

トロンは、ポロニウム・鉛・ビスマスなどの粒子状物質に変化する。

(2) 核種分析

環境試料（陸水、海水、野菜、魚、土壌など）中の放射性物質の種類と量を測定した。

測定は、測定計画に基づき、①ガンマ線を放出する対象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た機器分析を主体に、②放射化学分析（ストロンチウム-90）及び③液体シンチレーション測定装置を用いたトリチウム分析を行った。

対象核種を表1に示す。

表1 対象核種など

対 象 核 種	測 定 法	生 成 反 応
【ガンマ線放出核種】 ⁵⁴ Mn（マンガン-54） ⁵⁹ Fe（鉄-59） ⁶⁰ Co（コバルト-60） ⁹⁵ Zr（ジルコニウム-95） ⁹⁵ Nb（ニオブ-95） ¹³¹ I（ヨウ素-131） ¹³⁴ Cs（セシウム-134） ¹³⁷ Cs（セシウム-137） ¹⁴⁴ Ce（セリウム-144） ⁴⁰ K（カリウム-40）	ゲルマニウム半導体 検出器を用いた機器 分析	放射化生成物 // // 核分裂生成物 // // 放射化生成物 核分裂生成物 // 自然放射性核種
【ベータ線放出核種】 ⁹⁰ Sr（ストロンチウム-90）	放射化学分析	核分裂生成物
【ベータ線放出核種】 ³ H（トリチウム）	液体シンチレーショ ン測定装置を用いた 分析	自然生成物、核分裂生成物 放射化生成物など

○放射化生成物：

原子炉を構成する金属材料中の微量元素に中性子があたって生成されるものや原子炉冷却水中の重水に中性子があたって生成されるものなど。

○核分裂生成物：

ウラン-235などが核分裂して生成されるもの。

原子炉では、核燃料棒の中にあり、燃料棒に穴が開くなどのトラブルがなければ通常は外に出てこない。また、過去に行われた諸外国の核爆発実験等により、地球環境に放出されたものが今でも存在しており、これは徐々に減少している。

なお、東電事故の影響で、環境中に放出された核分裂生成物が検出された。

○自然放射性核種：

地球ができた時から存在するもの。

○自然生成物：

宇宙線が大気中の酸素や窒素と衝突して生成されるもの。

① 機器分析（ガンマ線放出核種） — 51 地点

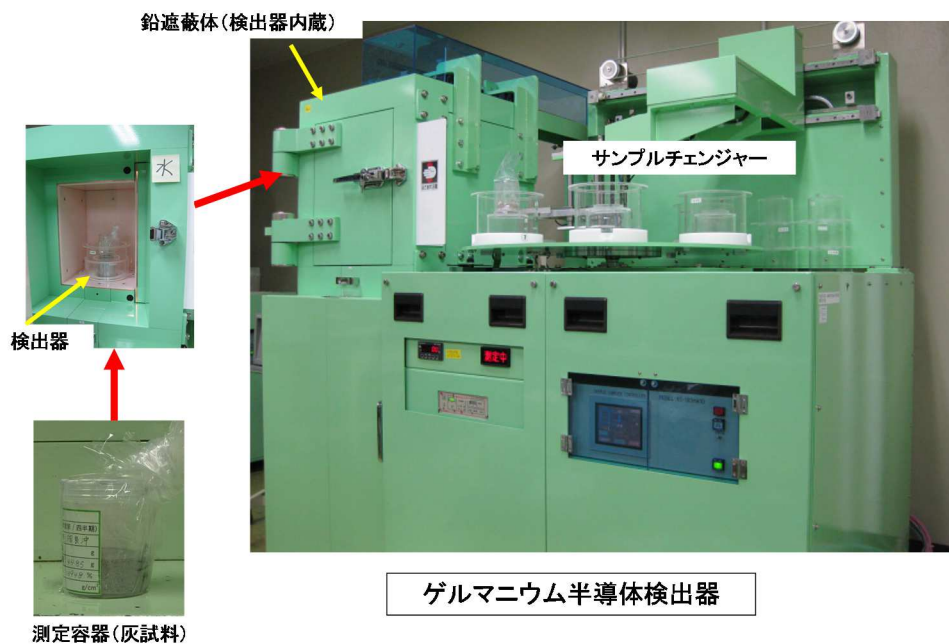
【測定及び評価結果】

- セシウム-134、セシウム-137 が平常の変動幅の上限を超えて検出されたのは以下の7地点の試料であった。
- 上限超過の原因は、セシウム-134 については東電事故の影響、セシウム-137 については過去の核爆発実験等の影響に東電事故の影響が加わったためと考えられる。
- 陸上試料（4/23 地点）
浮遊塵（2/4 地点）、土壌（1/3 地点）、みかん（1/2 地点）
- 海洋試料（3/28 地点）
海底土（1/10 地点）、かさご（1/1 地点）、いせえび（1/1 地点）

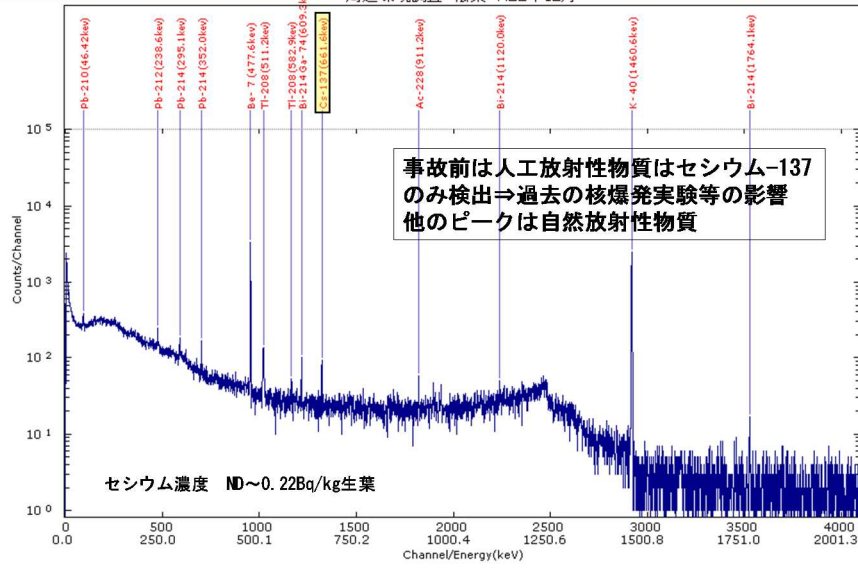
【測定法の解説】

- 機器分析に用いるゲルマニウム半導体検出器は、多種類のガンマ線放出核種の種類と量を一度に測定することができる測定器である。基本的には、試料から出たガンマ線がゲルマニウムの半導体と相互作用を起し、ガンマ線のエネルギーに応じた電気パルスが発生する。この電気パルスを多重波高分析器で解析する。
- 食品衛生法に基づく検査では試料を調製せずに測定しているが、本調査では試料を灰化して密度を高め、長時間の測定を行うことにより測定誤差を小さくし、より精度の高い測定を行っている。そのため、食品衛生法に基づく検査と比べ、検出限界値は2～3桁ほど低い。

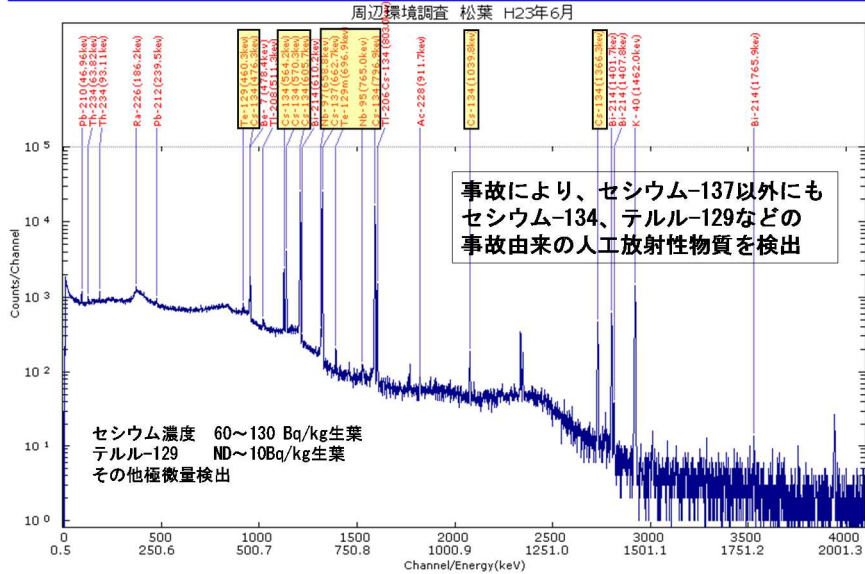
機器分析（ゲルマニウム半導体検出器）



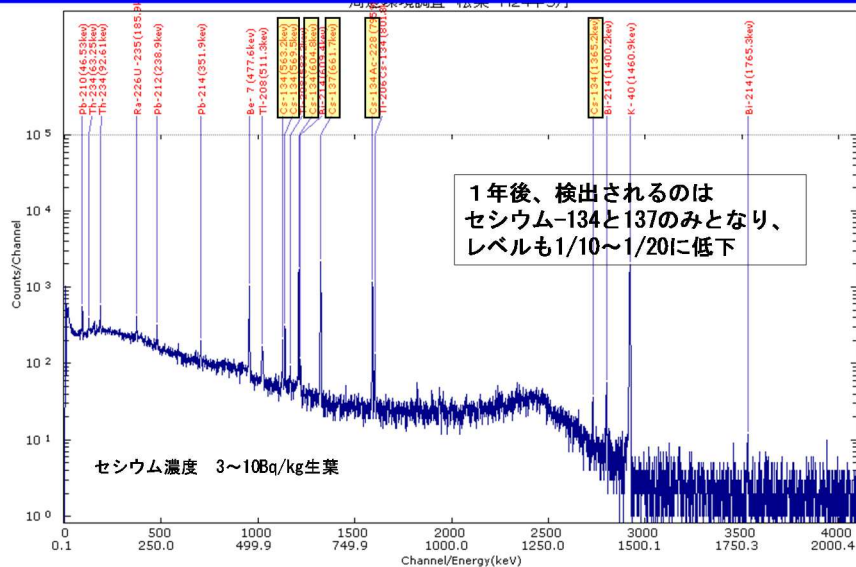
東電事故前の測定結果(H22.12 松葉)



東電事故後の測定結果(H23.6 松葉)



東電事故1年後の測定結果(H24.3 松葉)



【測定結果の解説】

- 平成29年度第3四半期もこれまでと同様に、事故の影響と見られるセシウム-134やセシウム-137が一部の試料で検出されている。
- 平常の変動幅の上限を超過した地点数は、前年度同期（8/49地点）とほぼ同じだが、他の試料を含め放射能値は全体的に漸減傾向にある。

【東電事故の影響】

- 事故直後は、放射性テルルや銀等の測定対象外の核種も検出されたが、現在、環境試料から検出される人工放射性核種はセシウム-134及びセシウム-137の2つだけになっている。これらの放射性セシウムが検出される理由は、セシウムは比較的沸点が低く揮発しやすいため、事故によって放出される量が格段に多くなるのと、比較的長い半減期（セシウム-134は約2年、セシウム-137は約30年）を持つためである。
- 東電事故の影響に伴うセシウム-134とセシウム-137の放射能比（セシウム-134/セシウム-137）は、事故直後は1程度であったが、時間の経過とともに半減期にしたがって低下している（図4参照、2015年3月末の時点で0.2程度）。このことは、現在は福島第一原子力発電所において新たな核分裂反応に伴う放射性セシウムの放出がないことを示唆している。
- 環境試料中の濃度は、試料の種類によっても異なる。植物種については、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。
- 永年作物である茶葉と松葉は、事故直後のフォールアウトを葉面吸収の形で大きく受けた影響が残っているため、他の試料と比較して高くなっている。
- 海産生物については、肉食性の底棲生物等で高めの値となるが、個体の大きさなどによる違いも大きい。

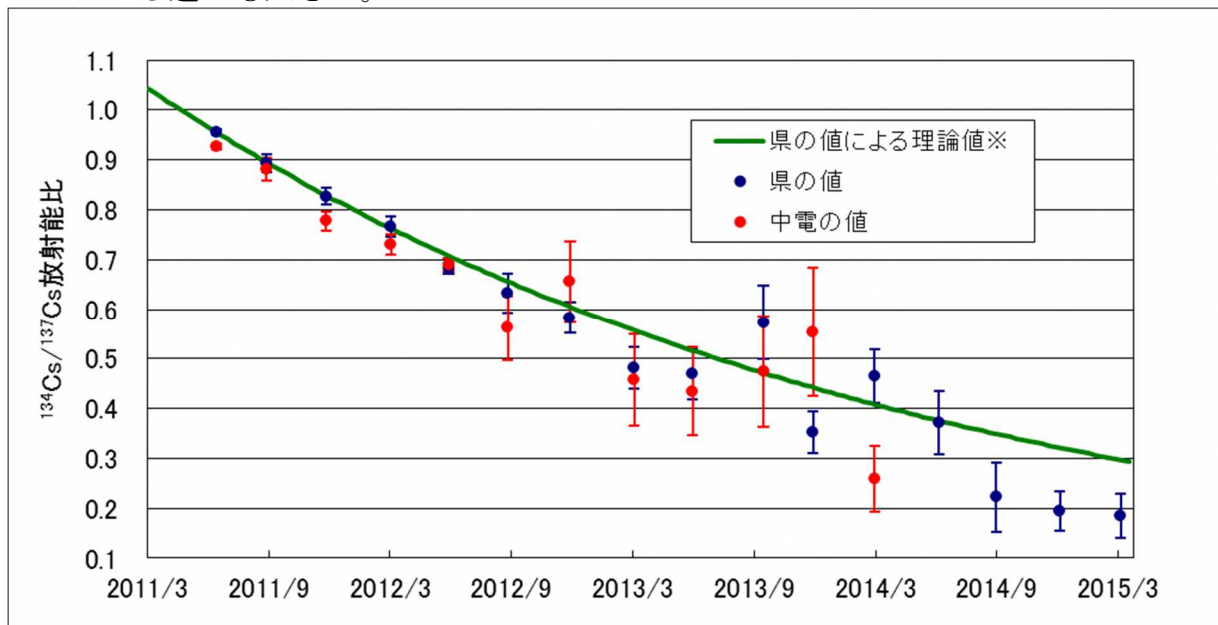


図4：東電事故の影響による放射性セシウムの放射能比の推移（平場前の松葉の例）

図中に示す誤差は、計数に伴う統計誤差（ 1σ ）。

※ 平成23年6月に採取した試料の測定値（両者の平均値）に基づいて計算した。

【降下物及び浮遊塵中の放射性セシウムの由来】

東電事故から6年以上が経過した現在も、降下物や浮遊塵中には放射性セシウムが検出されることがある。

この放射性セシウムの由来は、①福島第一原子力発電所からの放出、②過去の核爆発実験等の影響、③東電事故により地表面に沈着したものの再浮遊の3つが考えられる。

東京電力による福島第一原子力発電所1～4号機原子炉建屋からの追加的放出量の評価では、現在の放射性物質の放出は周辺監視区域外の空気中の濃度限度以下であり、その影響はほとんどないと考えてよい。

また、東電事故前の測定結果では、放射性セシウムは検出されておらず、過去の核爆発実験等の影響はないと考える。

地表面に降下した放射性セシウムのほとんどは、土壌表面から数センチのところに吸着していることが分かっており、土壌が乾燥した状態にある場合に、土壌粒子が空間へ舞い上がることがある。**(再浮遊)**

これらのことから、**浜岡原子力発電所周辺の降下物や浮遊塵中に検出される放射性セシウムは、ほとんどが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、再浮遊したことによるもの**と考えられる。

再浮遊という現象は、風、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）などが影響する。

② 放射化学分析（ストロンチウム-90） — 5 地点

【測定結果】

- 全ての地点で「検出されず」であった。

【測定法の解説】

- ストロンチウム-90 は、純ベータ線放出核種であるため、ゲルマニウム半導体検出器等を用いた核種分析が不可能である。その理由は、ベータ線は連続エネルギーを持ち、ガンマ線のようなピークを形成しないため、ピーク解析が出来ないためである。
- このため、ストロンチウムを化学的に単離して低バックグラウンドガスフロー測定装置による測定法が用いられる。

放射化学分析(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ベータ線測定装置

【測定結果の解説】

- 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 は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。
ストロンチウムはセシウムと比較すると揮発しにくいため、東電事故によるストロンチウム-90 の影響は遠方には及んでいない*と考えられる。

※ 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/km²）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。（0.30～6.0MBq/km²）

【東電事故によるストロンチウム 90 の影響について】

農産物中に検出されるセシウム 137 は過去の核爆発実験等の影響に加え、東電事故の影響が大きく寄与していると考えられる。一方、**ストロンチウム 90 については、以下の理由から、過去の核爆発実験等の影響が主であり、東電事故による影響は極めて小さいと考えられる。**

1 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 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。

2 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。

3 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¹⁾のストロンチウム 90 の降下量は事故前²⁾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）

4 葉面からの吸収により、フォールアウトの影響を直接的に受けたと考えられる茶葉については、セシウム 137 が顕著に増加したものの、ストロンチウム 90 についてはほとんど変化が見られない。また、農産物全般にわたり、事故発生から現在まで、農産物中のストロンチウム 90 に蓄積傾向は認められない。

なお、セシウム 137 が経年的に大きく減少しているのに比べ、ストロンチウム 90 の変化は大きくないが、これは**土壌中におけるストロンチウムとセシウムの存在形態が異なっており、ストロンチウムの方が植物体へ移行しやすい状態である**ためと考えられる。（セシウムは土壌に強く吸着している。）

※ 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。

③ トリチウム分析 — 10 地点

【測定結果】

- 全ての地点で平常の変動幅の範囲内であった。

【測定法の解説】

- トリチウムは、純ベータ線放出核種であるため、ゲルマニウム半導体検出器等を用いた核種分析が不可能である。
また、エネルギーが 18.6keV と小さいため、トリチウムの分析は、環境試料からトリチウムを含む水分を回収し、液体シンチレータ（キシレンなどを母材とした有機溶媒）と混合させ、液体シンチレーション測定装置による測定がほぼ唯一の方法である。
- 測定の原理は、液体シンチレータ混合溶液中で発生したベータ線が溶媒を励起し、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て測定する。

トリチウム分析(液体シンチレーション測定装置)



液体シンチレーション検出器



サンプルチェンジャー



測定試料

【測定結果の解説】

- 検出されたトリチウムは**過去に行われた核爆発実験等の影響と自然に生成**されたものが主であると考えられる。
なお、トリチウムの発生源は、①宇宙線による自然生成、②核爆発実験、③原子力施設の3つに大別される。詳細は28頁に示した。
- トリチウムは、原子力発電所から環境に放出^{*1}されているが、浜岡原子力発電所周辺では、自然変動に埋もれるレベルで上昇は認められていない。
東電事故の影響も、浜岡原子力発電所周辺を含めた静岡県下では、トリチウムの測定値に有意な上昇は認められていない^{*2}。

※1 沸騰水型原子炉よりも加圧水型原子炉からの放出が多く、福井県等では環境中におけるトリチウムの上昇が観測されている。

※2 平成23年6月に静岡市内で、平常の変動幅の上限を超過したが、東電事故の影響はゼロではないものの、基本的には自然変動によるものであると評価した。
(平成23年度第2回技術会)

(3) 検出された核種の由来の推定

【セシウム-134, 137 及びストロンチウム-90】

○生成原因

ウラン-235 などの核分裂性物質の核分裂により人工的に生成され、過去に行われた諸外国の核爆発実験等や原子力施設からの放出などがある。

○由来の推定

(1) 核爆発実験等の影響

① 長い半減期（セシウム-137 及びストロンチウム-90）

セシウム-137 とストロンチウム-90 は、半減期がそれぞれ約 30 年と約 29 年と長く、国連科学委員会報告（2008 年）にあるように、核爆発実験等によって地球環境に放出されたものが現在も存在し、徐々に減少している。（図 5、図 6 及びIV 参考資料 2）

② 全国の状況（環境放射能水準調査）

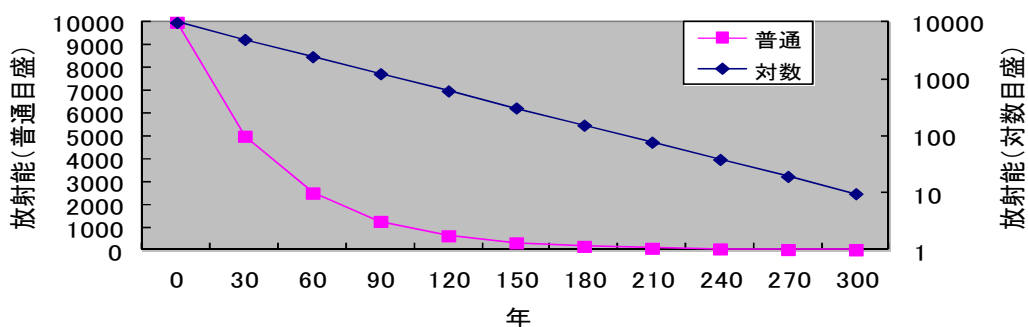
全国の環境放射能水準調査でも、いろいろな環境試料から同じレベルで検出されている。（図 7 及び図 8）

（環境放射能水準調査：国が行っている核爆発実験等の影響調査）

(2) 原子力発電所事故等の影響

東電事故では、原子炉内の核燃料棒中に存在する、放射性核種（核分裂生成物や放射化生成物：18 頁参照）が全国的に検出された。6 年が経過した現在でも、長半減期核種であるセシウム-137 のほか、セシウム-134（半減期約 2 年）も検出されている。

図5 半減期 30年の例



現在、半減期が30年の核種が10000あったとすると、30年後には半分の5000になり、60年後にはその半分の2500になる。更に、90年後にはその半分の1250となる。同じ30年でも減少する量が少なくなるためゼロにはならず、半減期の10倍(300年)経過すると、約1000分の1になる。

⇒ 固有の半減期で減少する。

一方、環境に放出された放射性物質は、畑にまかれた農薬や肥料と同じように、ある一定の場所に留まらず、環境中での希釈、拡散、濃縮などによってもその量が増減する。

⇒ 環境中で移動する。

このため、環境中の放射性物質は、両者が相まって減少し、固有の半減期のとおりには減少しない。茶葉の例を図6に示す。(放射性セシウム：Cs-134, 137の合計)

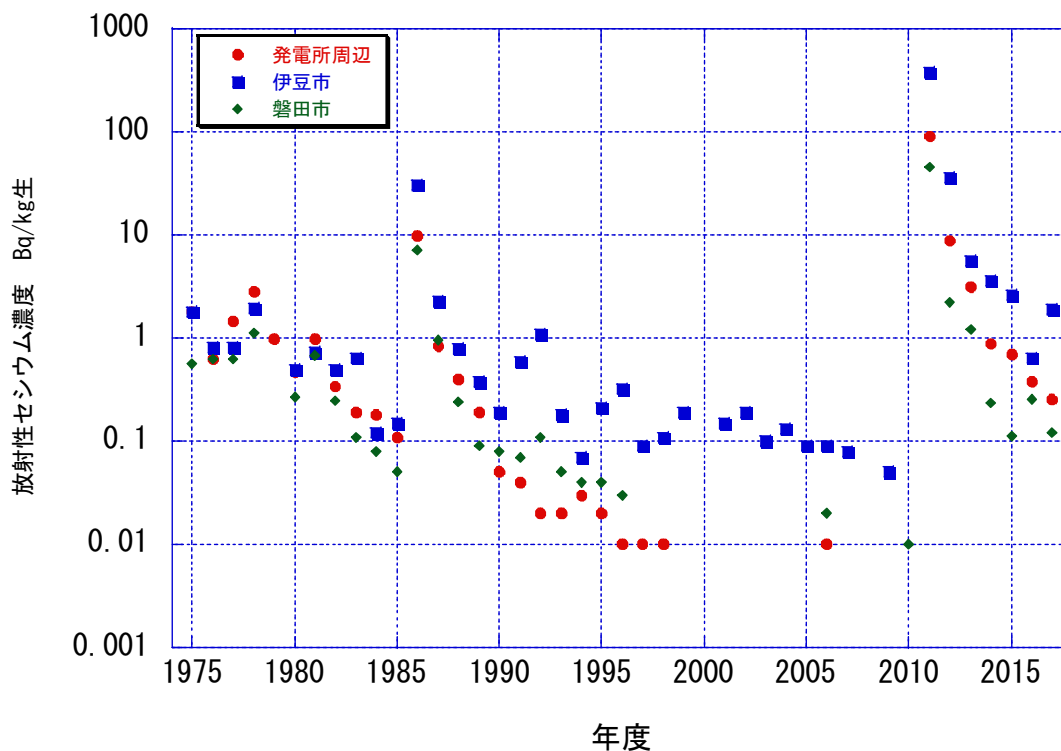


図6 茶葉中の放射性セシウム濃度の推移

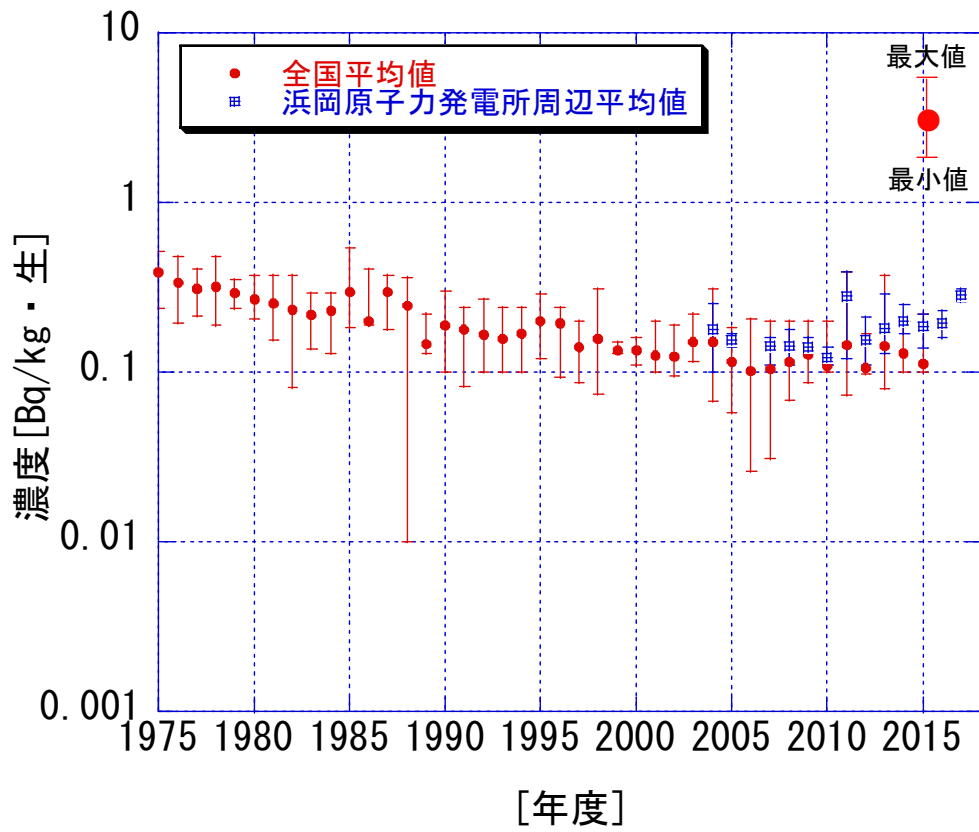


図7 あじ中の Cs-137 濃度

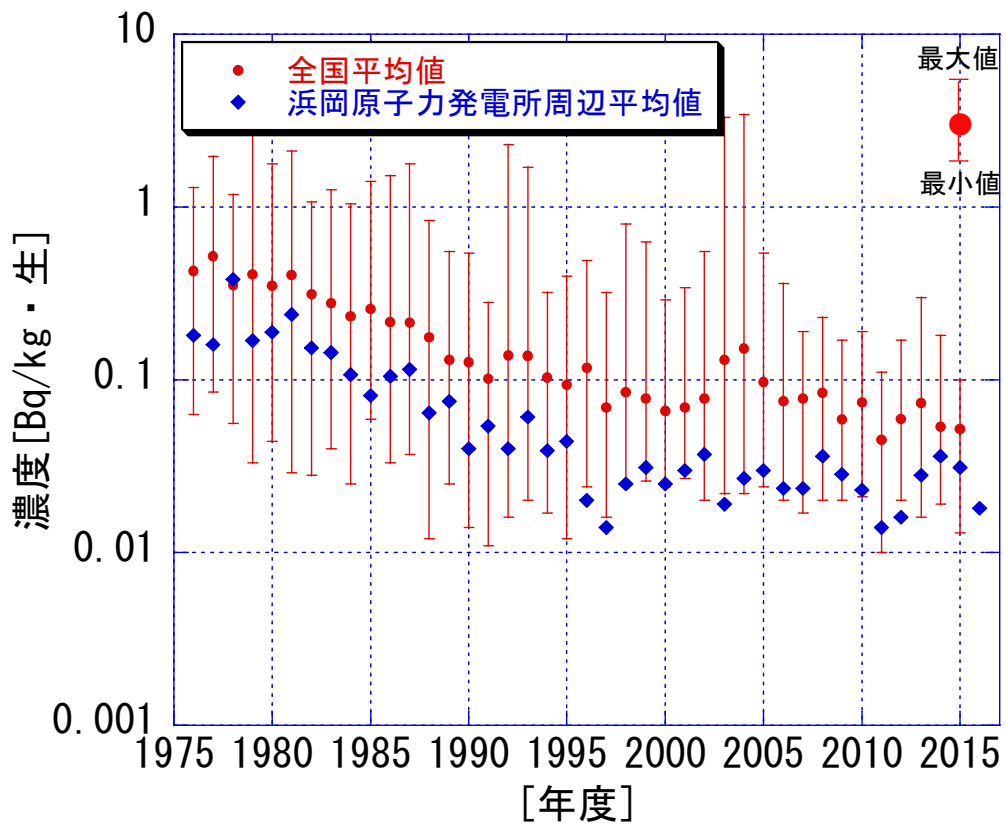


図8 大根中 Sr-90 濃度

【トリチウム】

○生成原因

- ・大気中の酸素や窒素に宇宙線が衝突して**自然に生成**される。
- ・ウラン-235などの核分裂性物質の核分裂などにより**人工的に生成**されるほか、**過去に行われた諸外国の核爆発実験等**や**原子力施設からの放出**などがある。

○由来の推定

(1) 自然生成

大気中の酸素や窒素に宇宙線が衝突して生成される。国連科学委員会報告(2008年)では、地球全体で**毎年 72PBq 生成され、1, 275PBq が存在する**とされている。
(P : ペタ : 10^{15})

(2) 核爆発実験等の影響

半減期が約 12 年と比較的長く、国連科学委員会報告(2008年)にあるように、**核爆発実験等によって地球環境に放出されたものの量が非常に多く、現在でも存在し、徐々に減少している。**

地球環境に放出された量 : 186, 000PBq

(3) 原子力発電所の影響

浜岡原子力発電所からは、年間約 10^{12} Bq (液体廃棄物及び気体廃棄物) 放出されているが、発電所周辺のトリチウム濃度は、一般環境における濃度と同じレベルにある。

○他県の観測状況 (図 9)

○トリチウムの人体への影響

トリチウムの放射線は、エネルギーの非常に低いベータ線のみを放出する核種であり、外部被ばくはほとんど無視できる。また、呼吸によって吸い込んだり、水に含まれるトリチウムを飲んだりした場合でも普通の水と同じように排泄されることから、人体に蓄積される可能性は低い。

(参考) 地球上の存在比

1990 年現在、自然生成、核爆発実験及び原子力施設によって地球上に存在する。

トリチウムの比率は、文献から推定するとおよそ 1 : 50 : 0.02 と推定される。

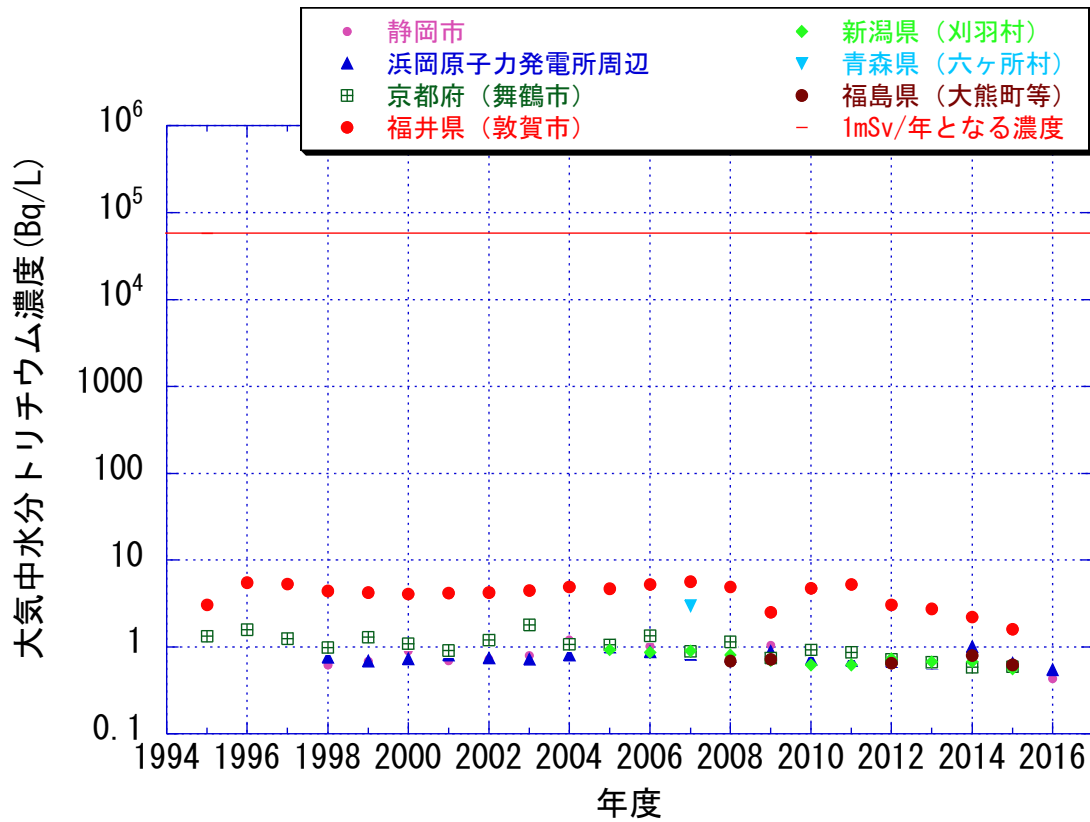


図9 大気中水分トリチウム濃度（年平均値）

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、京都府である。