

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 (RPL: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。 μGy 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。

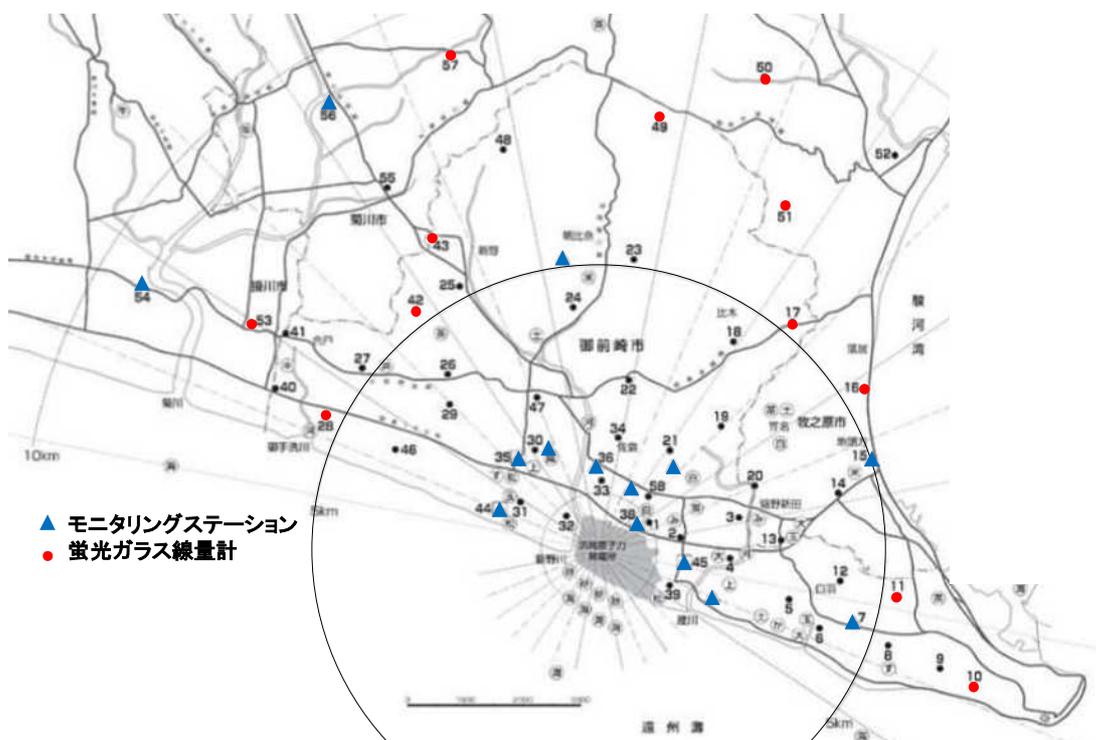
蛍光ガラス線量計による測定



【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

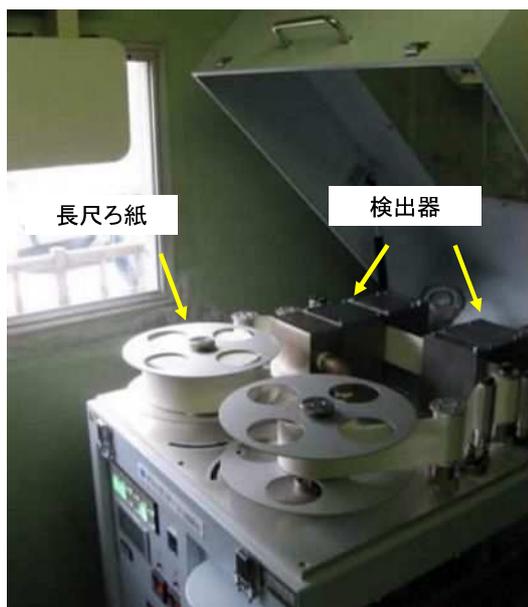


③ 大気中浮遊塵の全 α ・全 β 放射能の測定

【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 α 放射能及び全 β 放射能を測定している。
 - ・全 α 放射能検出器：ZnS シンチレーション検出器
 - ・全 β 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、 α 線と β 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 β 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 β 線を放出するため、 β 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 α 放射能・全 β 放射能比、②集塵中の全 β 放射能及び③集塵終了6時間後の全 β 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。

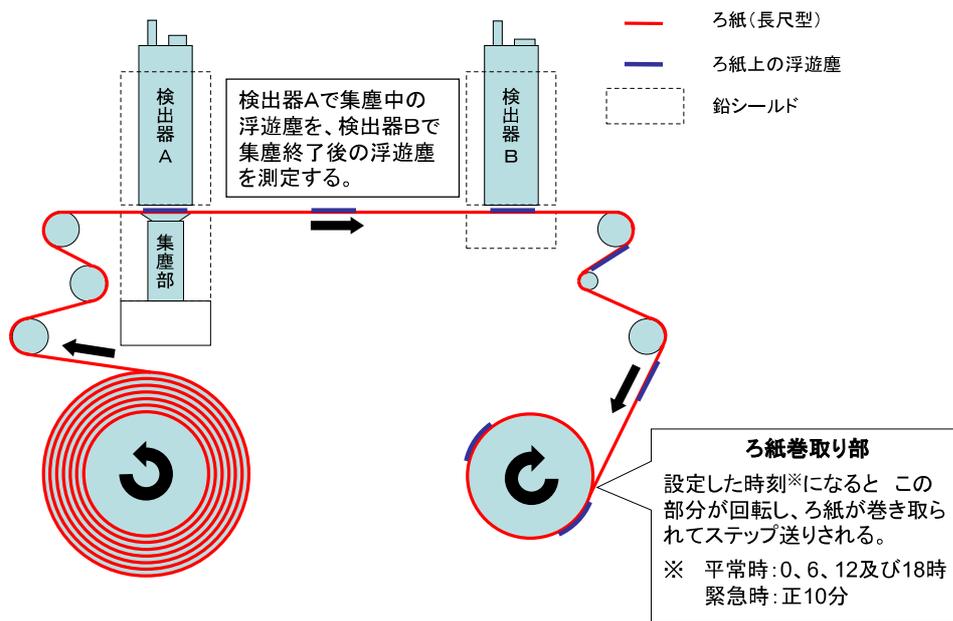
ダストモニタ



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】

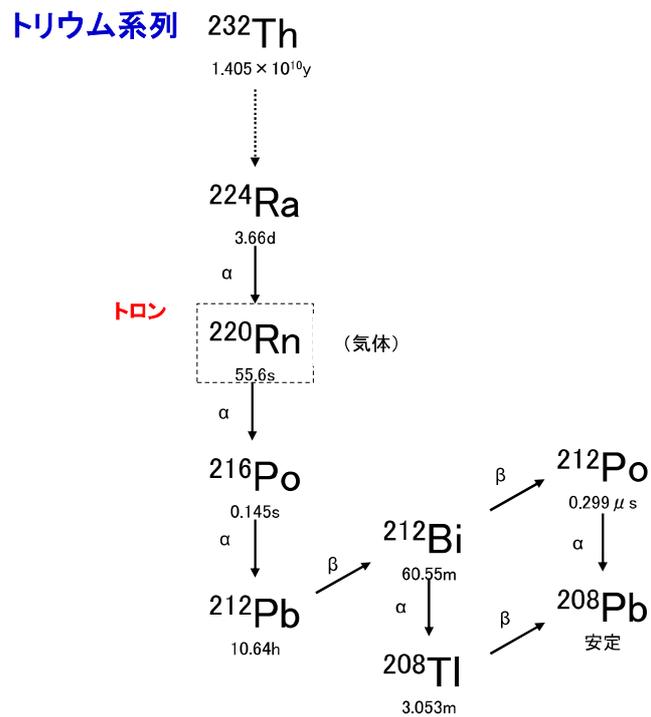
- 発電所からの予期しない放射性物質の放出の早期検出を目的に、発電所周辺 10km 圏内の 14 か所のモニタリングステーションのうち、5 か所にダストモニタを設置し測定を行っている。
 - 平常時の測定値は、おおよそ次のとおりである。現在の測定値は、**東電事故の影響を検出できないレベル**になっている。
 - (1) 集塵中の全 α 放射能・全 β 放射能比 2~4 前後
 - (2) 集塵中の全 β 放射能 30Bq/m³ 以下
 - (3) 集塵終了 6 時間後の全 β 放射能 (参考) 1Bq/m³ 以下
 - 集塵したろ紙は、1 か月分まとめて回収し、 γ 線の核種分析も行っている。
-
- 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 β 線を放出する。自然放射性核種も β 線を放出するが、**自然放射性核種が増えた場合は、全 α 放射能と全 β 放射能がほぼ同じ割合で増えるので、放射能比 (全 β 放射能 / 全 α 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 β 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 α 放射能・全 β 放射能比と (2) 集塵中の全 β 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 α 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 α 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 β 放射能の値が、(2) 集塵中の全 β 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 β 放射能は、(1) 集塵中の全 α 放射能・全 β 放射能比と (2) 集塵中の全 β 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 α 放射能及び全 β 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 β 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**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き存在するトリウム 232 (^{232}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、土壤中で起こるが、途中で気体の核種であるトロン (^{220}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。



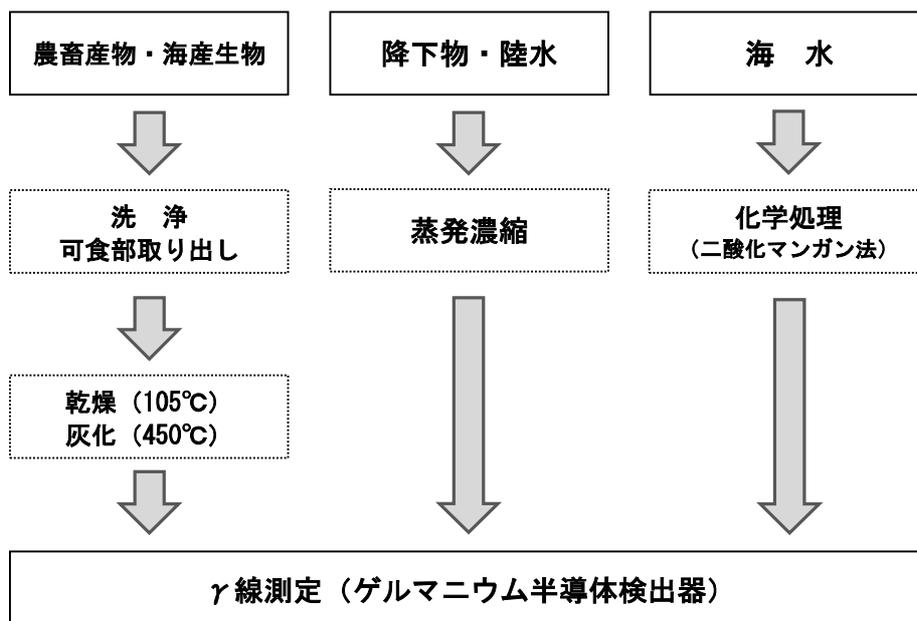
(注) 壊変系列の一部を省略して記載している。

4 γ 線放出核種の測定

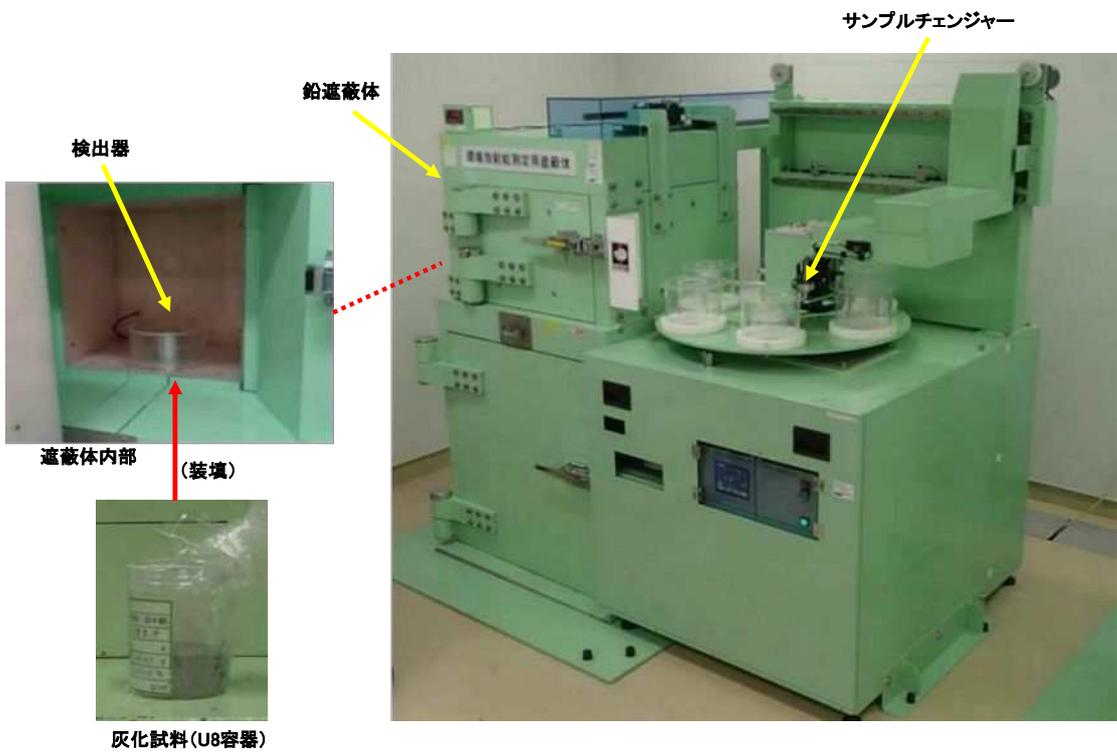
【測定法】

- γ 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 γ 線がゲルマニウムの半導体と相互作用し、 γ 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く。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、 γ 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。**
-
- γ 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}Co)、ヨウ素 131 (^{131}I)、セシウム 134 (^{134}Cs) 及びセシウム 137 (^{137}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}Xe) 等が崩壊し、安定なセシウム 133 (^{133}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}K) 及びカリウム 41 (^{41}K) と微量の放射性同位体である**カリウム 40 (^{40}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、平常時において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 (^7Be)** 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}Te)、セシウム 136 (^{136}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ですが、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 年と長いため、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。

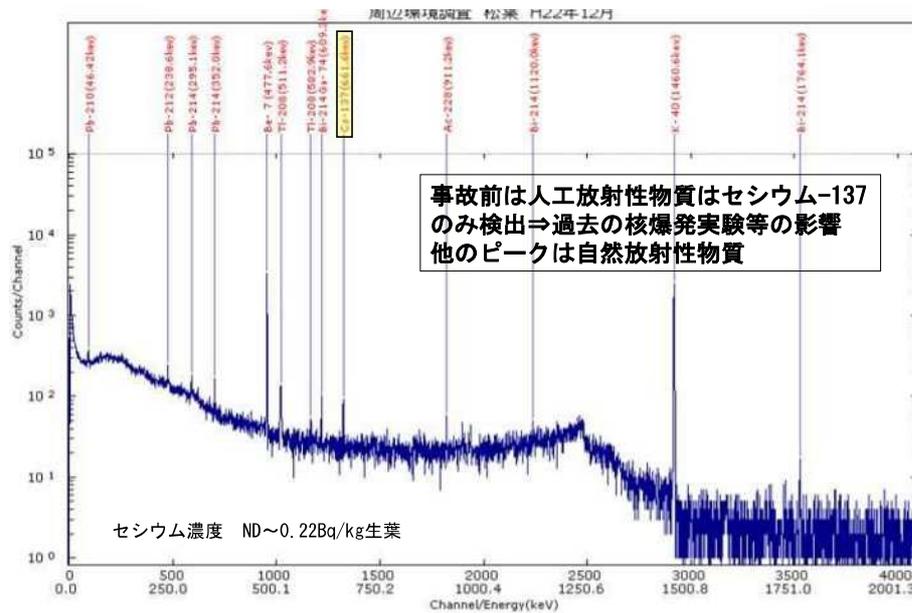
東電事故等の影響①

東電事故前でも、人工放射性核種であるセシウム 137 (^{137}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。

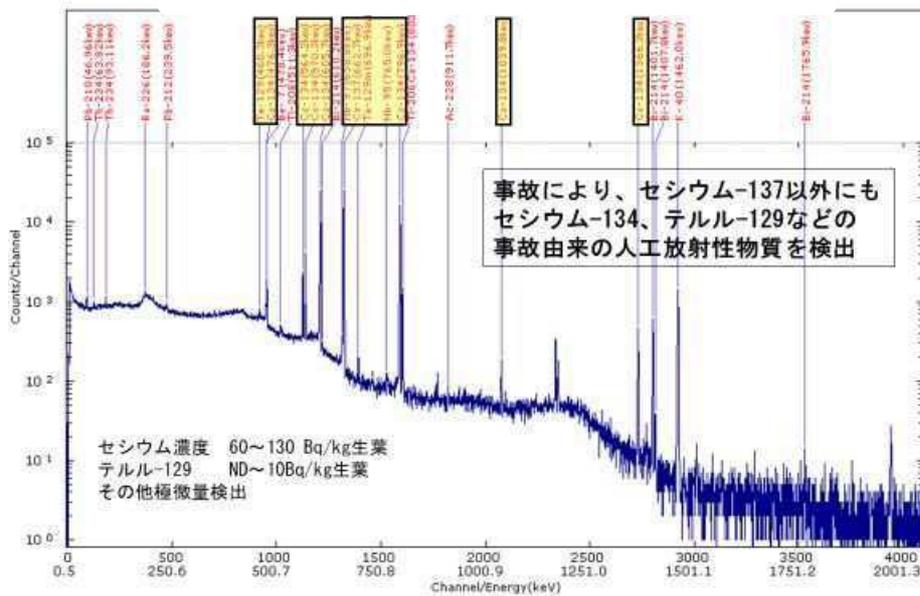
東電事故直後はセシウム 137 以外にも多くの人工放射性核種が検出されたが、1年後には短半減期の核種は「検出されず」となり、セシウム 134 (^{134}Cs 半減期約2年) とセシウム 137 (半減期約30年) のみとなった。

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）



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

