

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。

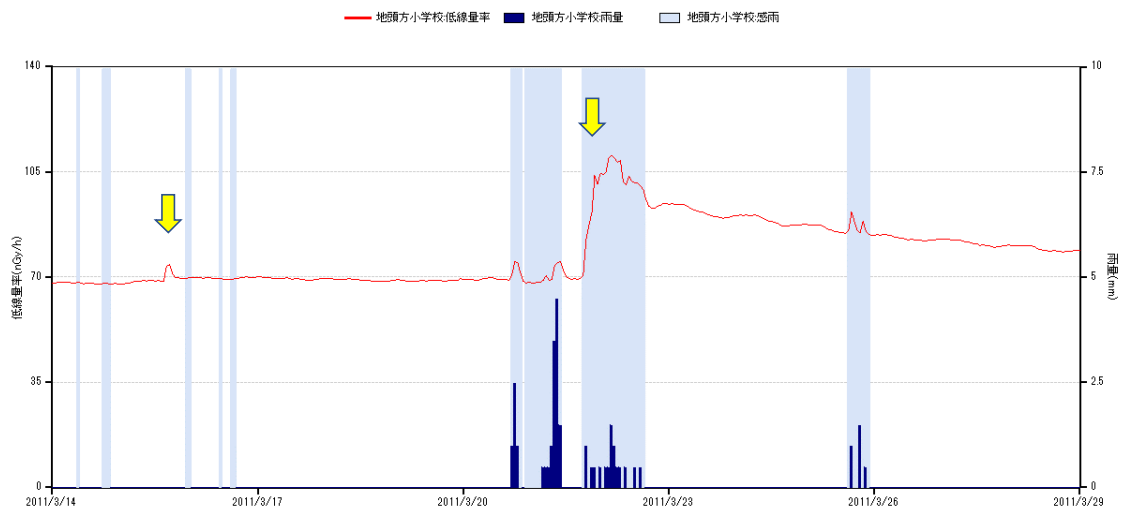
最初のプルームは、降雨がなかったため、通過しただけで線量率は一時的に数 nGy/h 程度上昇したに過ぎなかったが、2回目は降雨により、自然放射性核種とともに、人工放射性核種が降下、地表面に沈着し、トータル線量率では最大約 40nGy/h 上昇した。

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。

【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、桜ヶ池公民館、上ノ原、佐倉三区、白羽小及び地頭方小

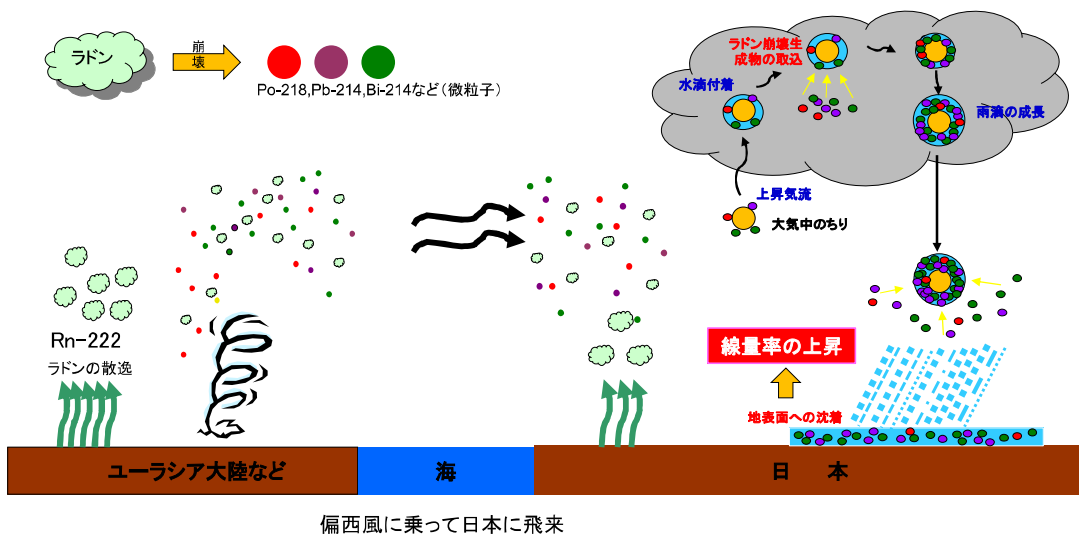
- 技術会の報告値は、10 分間平均値と 1 時間平均値だが、それらは 2 分間平均値から生成される。2 分間平均値は、10 分間平均値及び 1 時間平均値に異常があった場合の分析に用いるほか、緊急時では、放射線量の変動が激しくなるため、2 分間平均値で監視を行うことになる。
- **線量率が測定地点によって違う値を示すのは、地質の違い（土壤中のウラン (U) 系列、トリウム (Th) 系列及びカリウム 40 (K-40) の構成比の違い）や周辺に存在する建物等の有無などが主な原因**である。
- 線量率は常に一定ではなく、日変動及び季節変動がある。その主な要因は、**大気中を浮遊するラドンの崩壊生成物（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 2~3nGy/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、2~3nGy/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。
- 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

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、 γ 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。



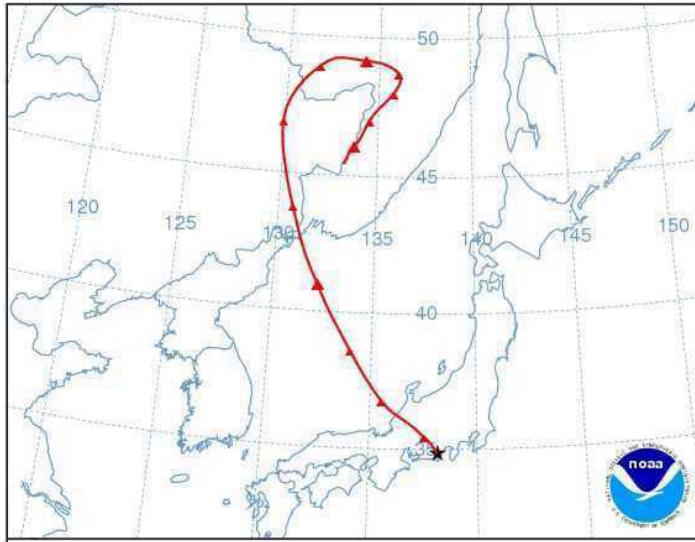


図6 後方流跡線解析

※ 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。

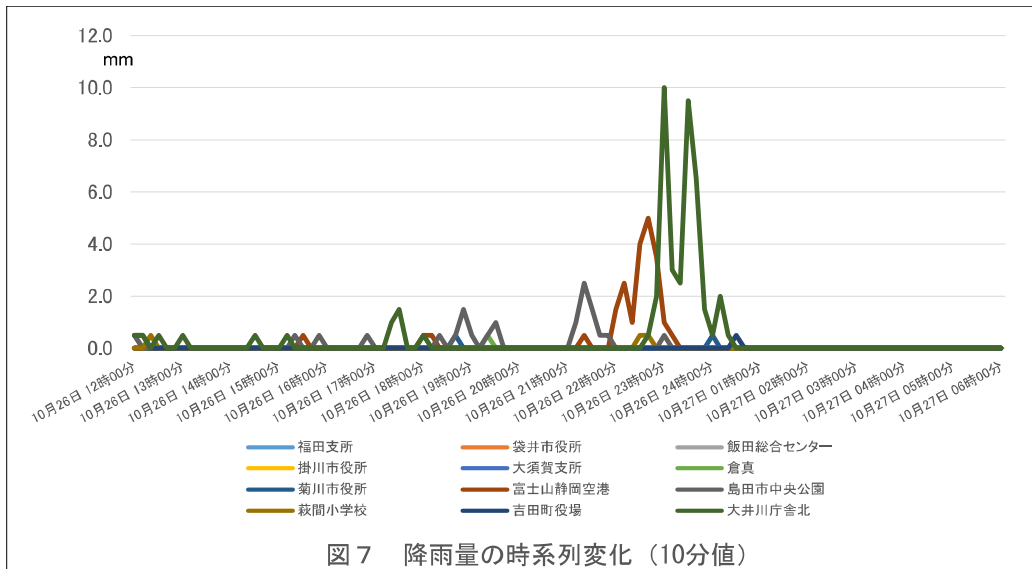
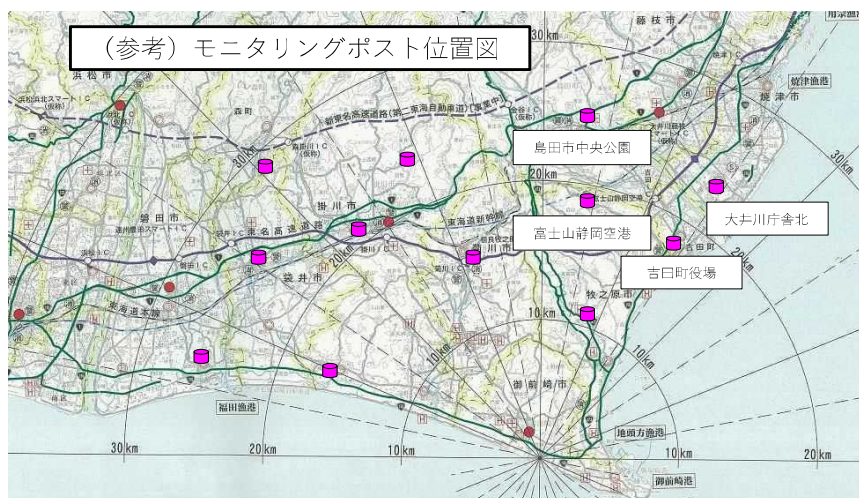


図7 降雨量の時系列変化 (10分値)

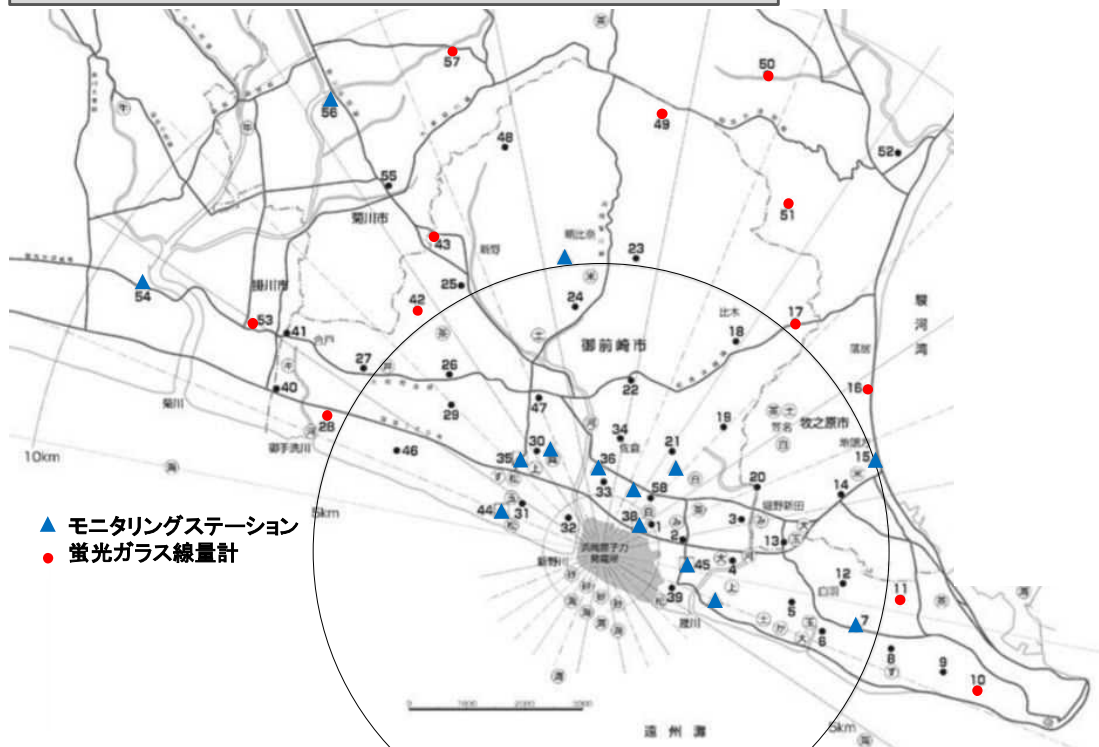


(参考) モニタリングポスト位置図

【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



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。 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



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

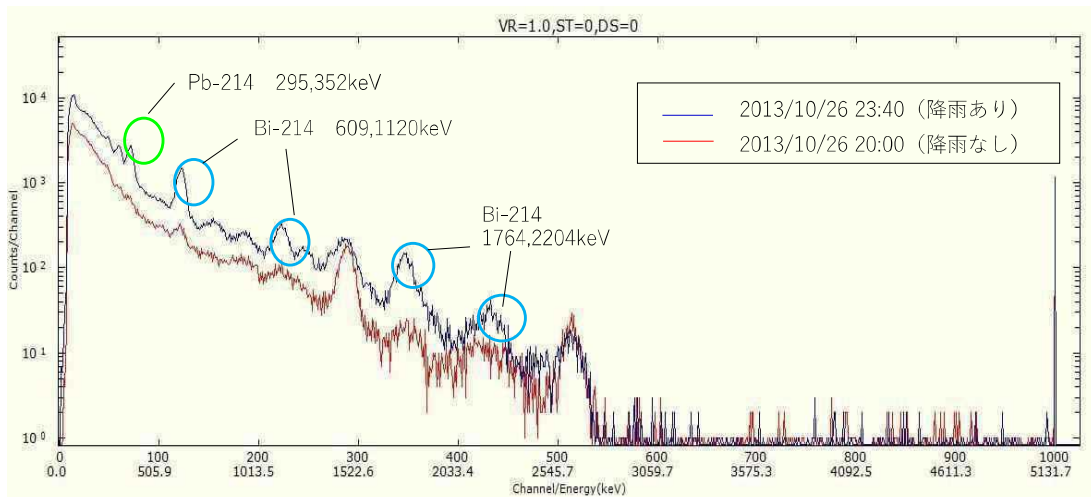


図2 スペクトルデータの比較
(焼津市大井川庁舎北局)

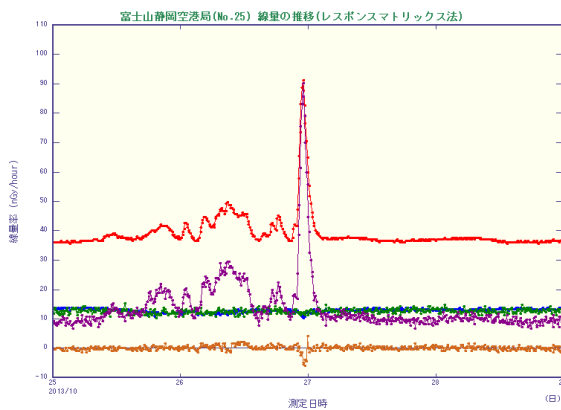


図3 スペクトル解析結果
(富士山静岡空港局)

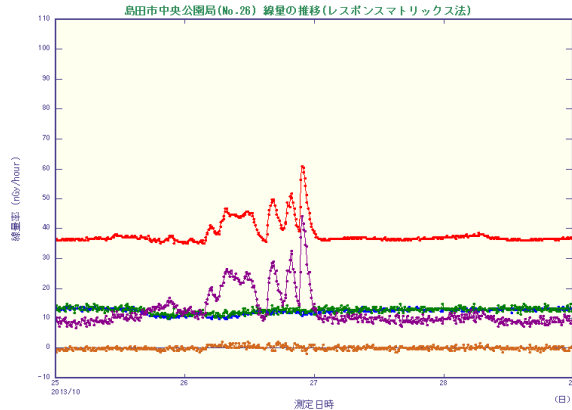


図4 スペクトル解析結果
(島田市中央公園局)

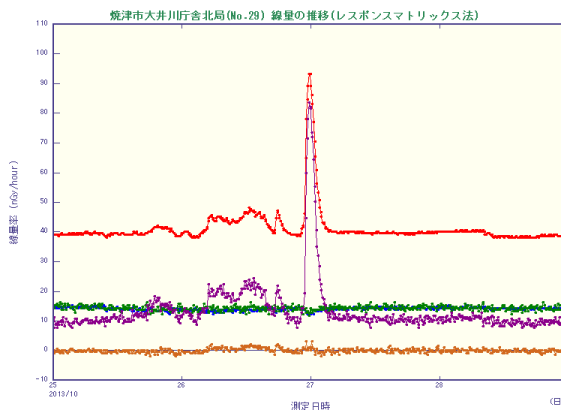
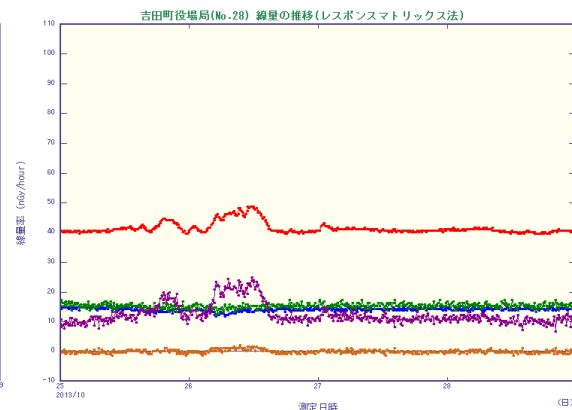


図5 スペクトル解析結果
(焼津市大井川庁舎北局)



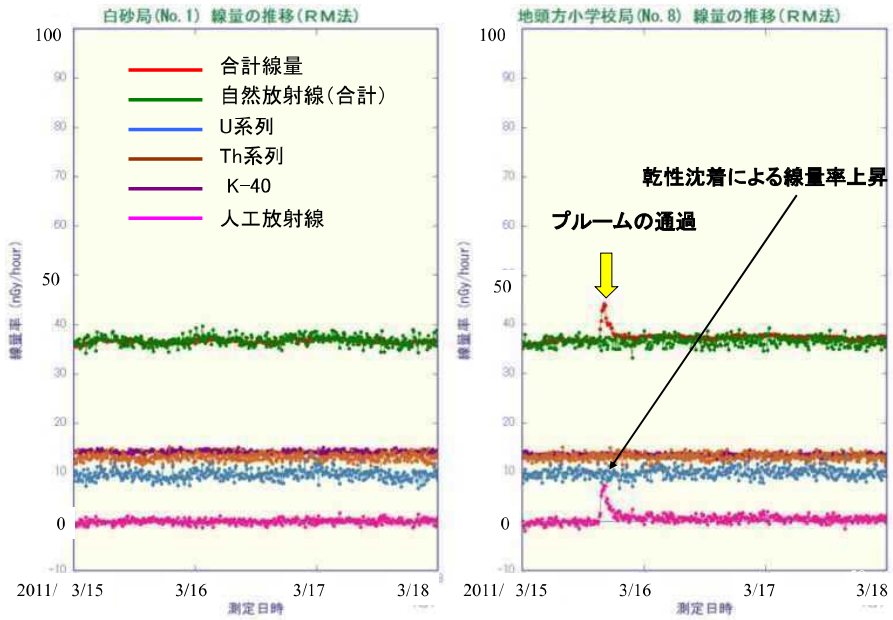
(参考) スペクトル解析結果
(吉田町役場局)

— 合計線量 — U 系列※1 — Th 系列※2 — K — 人工核種

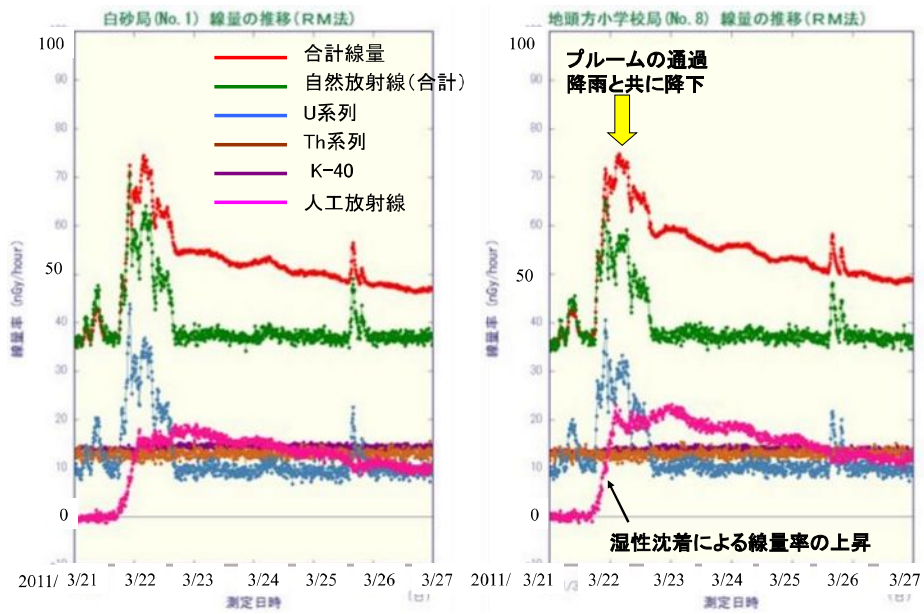
※1 U (ウラン) 系列: ^{238}U から ^{222}Rn (希ガス) を経て ^{206}Pb (安定) に至る自然放射性核種の崩壊系列

※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

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)



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、1nGy/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。

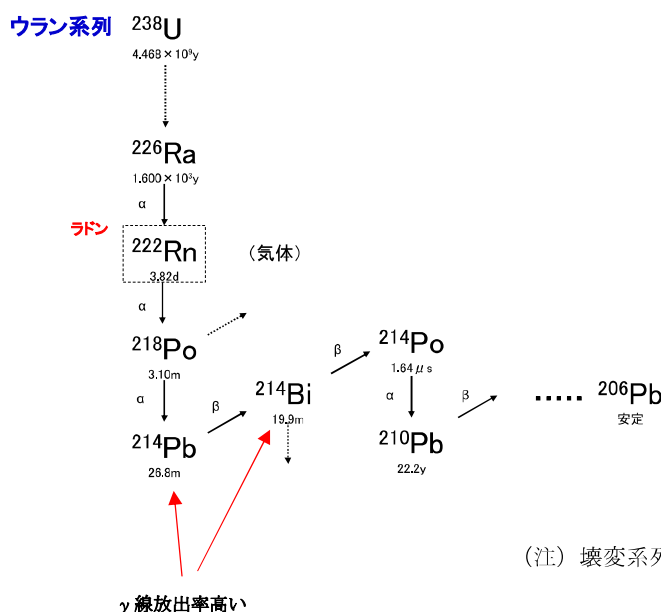
ラドンの崩壊生成物

地球誕生から現在まで壊変しつづき存在するウラン 238 (^{238}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}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}Rn)、アクチニウム系列に属するラドン 219 (^{219}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}Pb) やビスマス 214 (^{214}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。

【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	

