

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年に起きたチェルノブイリ原子力発電所事故（以下「チェルノブイリ事故」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-239¹⁾

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、チェルノブイリ事故の方が放出量が多い。このことについては、チェルノブイリ事故では、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²⁾

核種	半減期	環境への放出量（ $\times 10^{15}\text{Bq}$ ）	
		チェルノブイリ	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	1.5×10^{-2}	1.9×10^{-5}
プルトニウム239	24100年	1.3×10^{-2}	3.2×10^{-6}
プルトニウム240	6540年	1.8×10^{-2}	3.2×10^{-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（1mSv）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 ¹⁾		令和元年度		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	
大気中浮遊塵	7.78	8.21	* ²⁾	0.0086	mBq/m ³
降下物	617	611	*	0.080	Bq/m ²
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。

Ⅱ 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 α ・全 β 放射能の測定	33
4	γ 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 γ 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、 γ 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、低エネルギー領域に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、10nGy/h～10 μ Gy/hであるが、電離箱検出器は最大100mGy/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30nGy/h程高い値となる。
- モニタリングステーション等の環境 γ 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

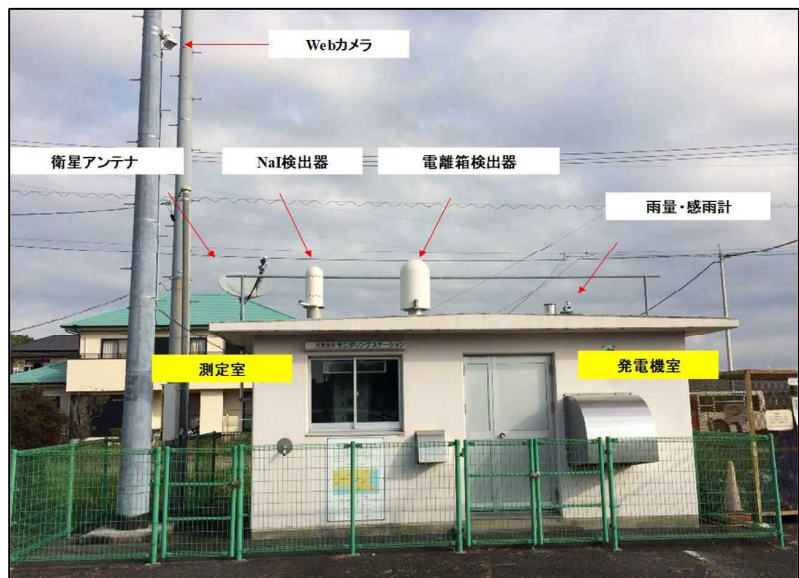
モニタリングステーションは、測定局舎内外に以下の機器を装備した施設である。
併設している非常用自家発電機は、約5日分の燃料を保有している。

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。

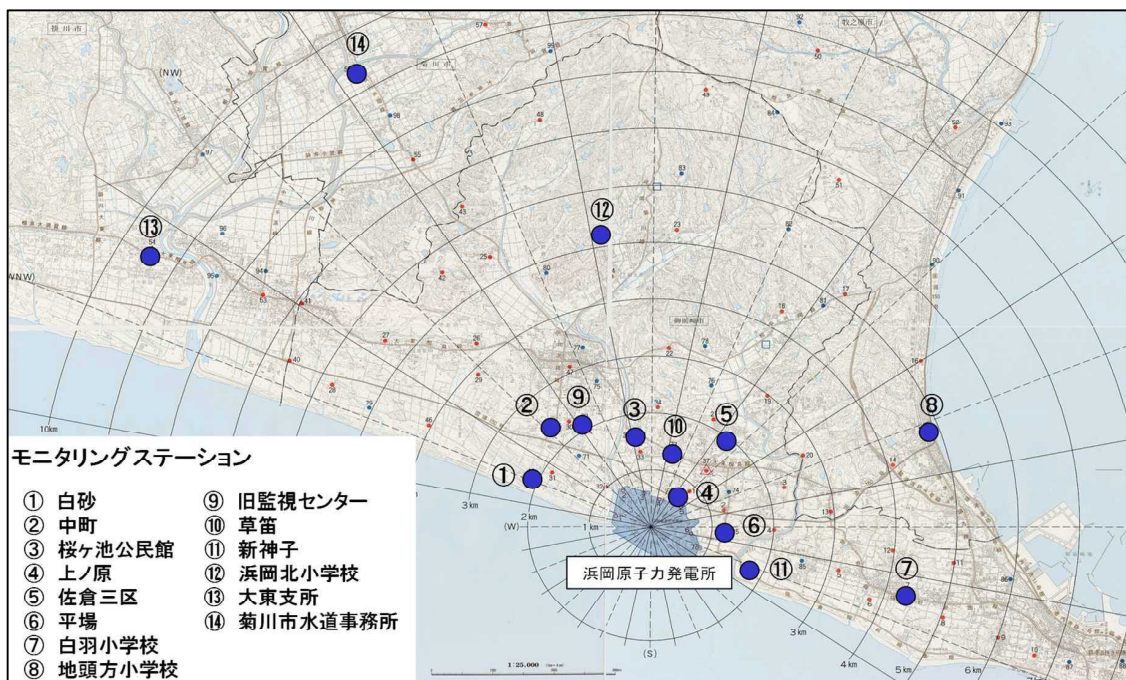
(装備機器)

- 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。

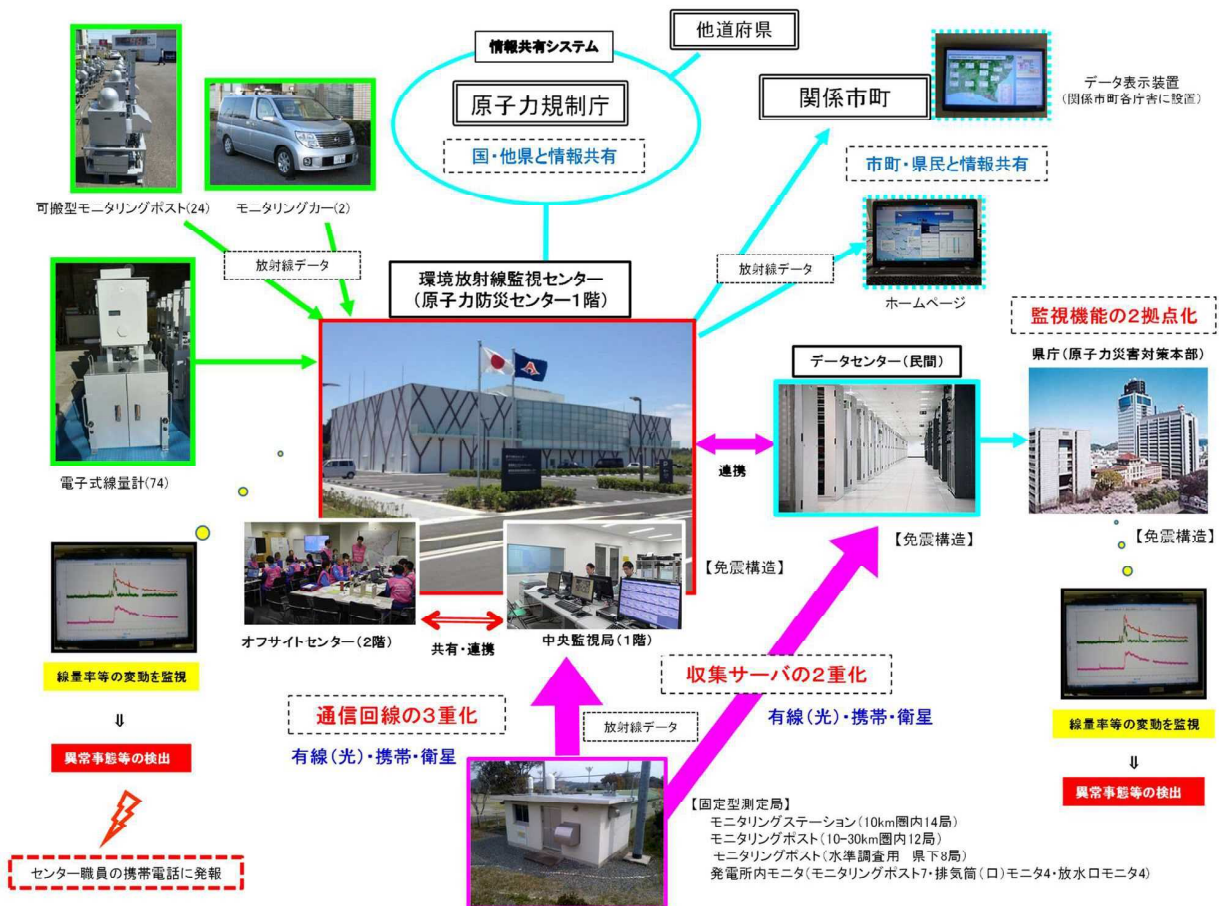
モニタリングステーションなどで測定している線量率等のデータは、テレメータシステムにより環境放射線監視センターに集約され、ホームページや発電所周辺市町に設置しているデータ表示装置へ配信される。また、原子力規制庁の情報共有サーバにも送信し、緊急時における防護措置の判断にも活用される。また、緊急事態にはモニタリングカーや可搬型モニタリングポスト等を稼働させるが、そのデータも収集することができ、同時に監視することができる。

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。

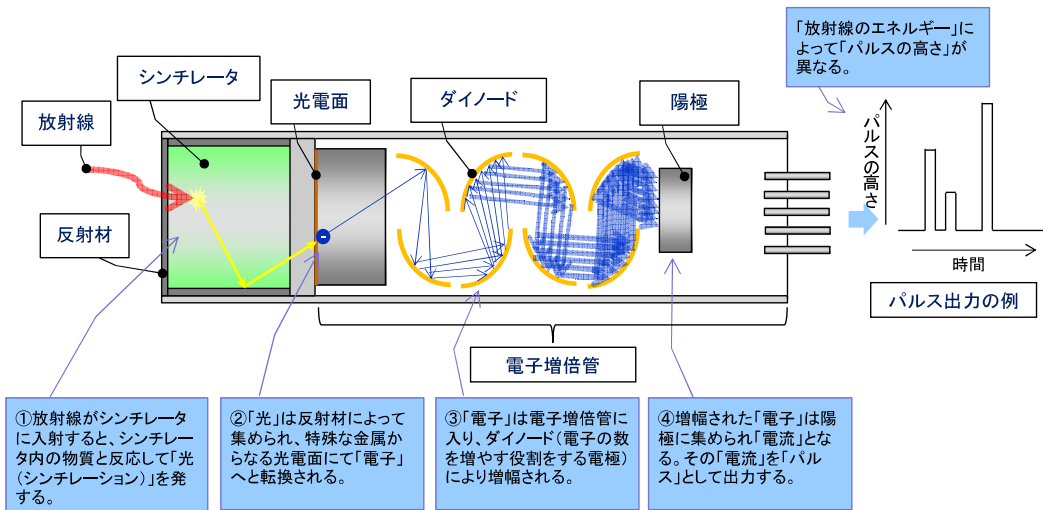
この教訓から、本県では次の対策を講じている。

- 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）

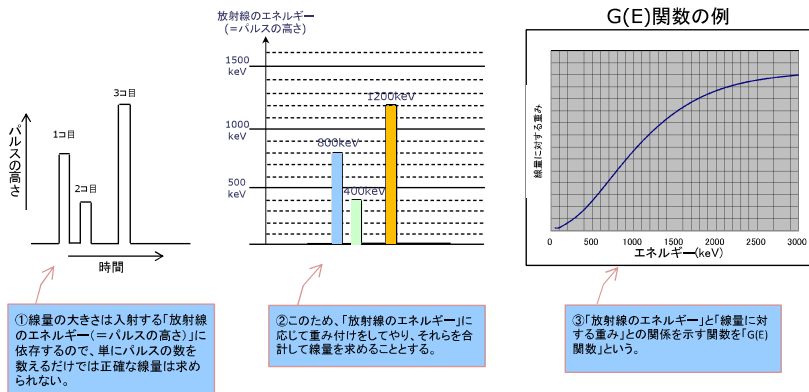
※ 2016年（平成28年）度に浜岡原子力発電所から約20km離れた富士山静岡空港隣接地に、オフサイトセンターと一体化した「原子力防災センター」を建設した。（免震構造 平成28年3月竣工）



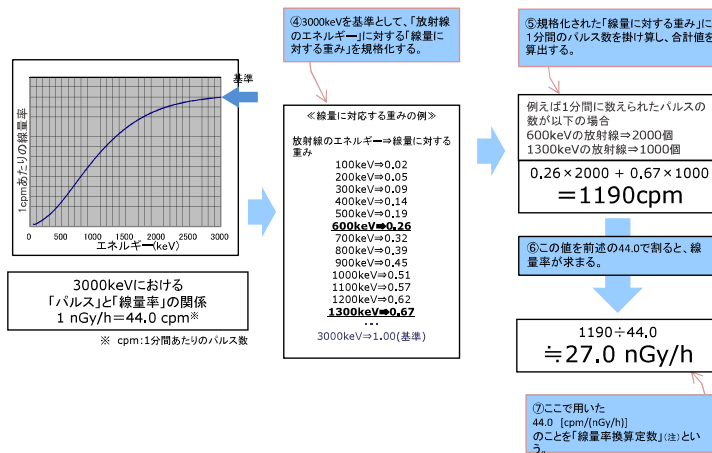
NaI シンチレーション検出器



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。

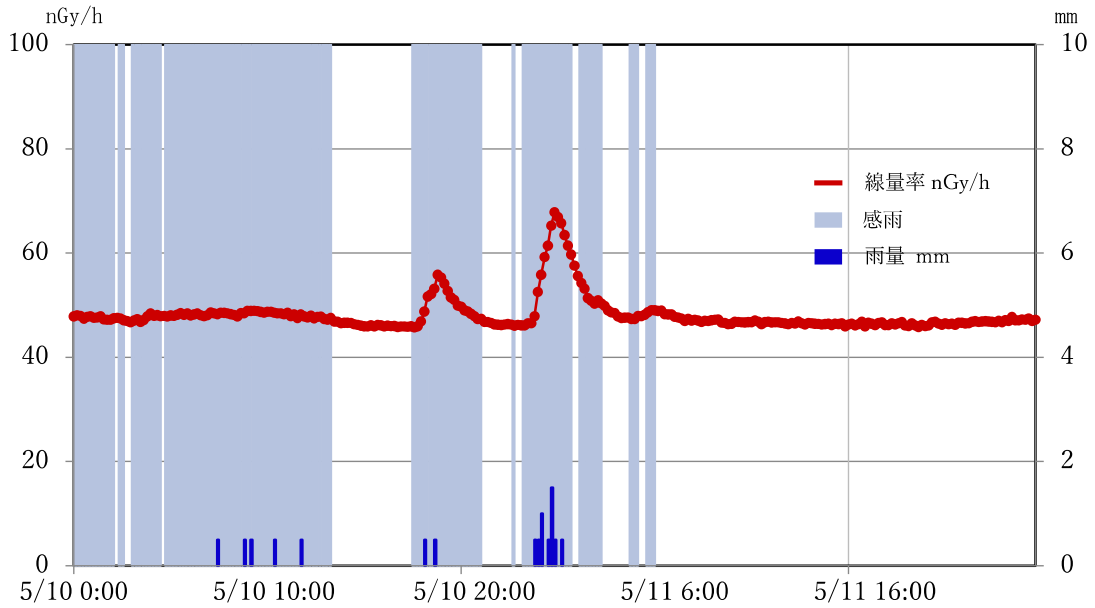
スペクトル解析

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。)

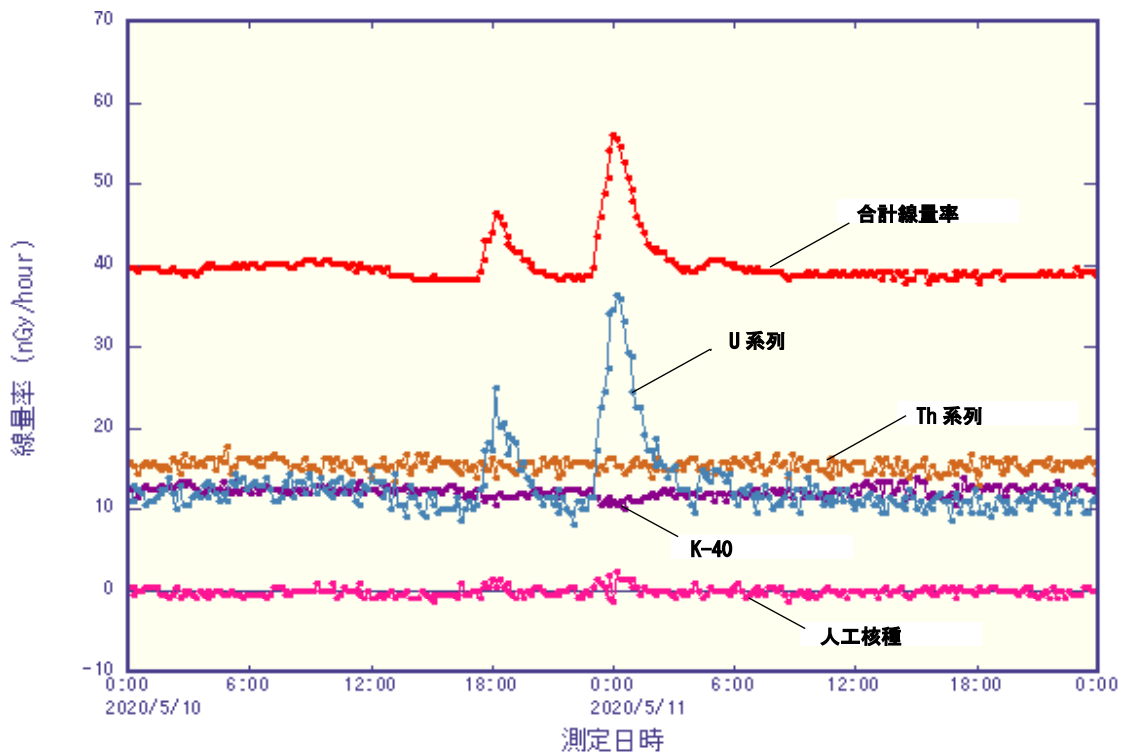
自然放射性核種の線量率については、更に、ウラン (U) 系列、トリウム (Th) 系列及びカリウム 40 (K-40) の3成分に分けることができる。

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（土壌中のウラン（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

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。

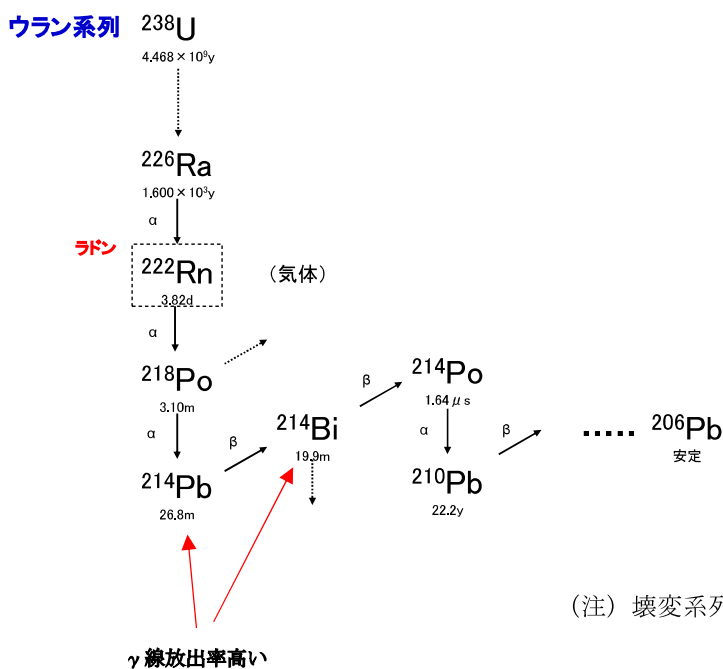
ラドンの崩壊生成物

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。



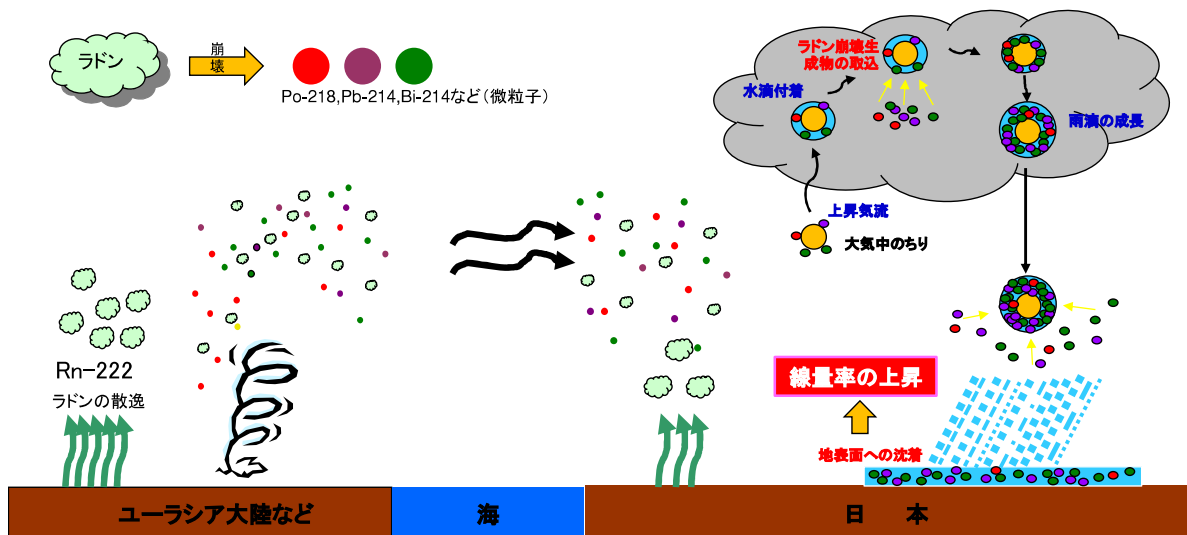
(注) 壊変系列の一部を省略して記載している。

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。



偏西風に乗って日本に飛来