

簡易的な環境放射線測定に関するガイドライン

1. はじめに

東日本大震災を起因とした東京電力（株）福島第一原子力発電所事故が発生して以来、環境中の放射線に対する不安が高まっており、測定機器の取り扱い方法や測定方法等に関する適切な情報が求められています。

この度、一般社団法人日本電気計測器工業会放射線計測委員会は、放射線計測に関する様々な質問、問い合わせに対応するため「環境中の放射線量の測定への対応方針」を検討いたしました。

すでに、文部科学省・日本原子力開発機構の方針として「放射線計測に関するガイドライン」（平成23年10月21日）が出されており、主に放射線測定の実験者が使用するサーベイメータの使用方法が述べられています。しかし、実際には簡易型の測定器も広く普及しており、正しくない方法で測定し、放射線量の評価をする場面も多く見受けられます。放射線計測委員会としては、簡易型の測定器（以降、簡易測定器と称す）を正しく使う測定方法について述べましたので、測定の際にご活用ください。

あくまでもこれは一般的な測定方法ですので、既に各地方公共団体等において、専門家の方々のご意見を踏まえ、異なる方法により測定されていてもそれは誤りではありません。

なお、3項に述べる環境中の放射線測定の手法に関しては、「放射線測定に関するガイドライン」（平成23年10月21日 文部科学省・日本原子力研究開発機構）から抜粋しましたが、特に学校、保育所その他子どもが多く集まる場所における測定にあたっては、「学校等における放射線測定の手引き」（平成23年8月26日 文部科学省・日本原子力研究開発機構）も参考にして下さい。

（参考URL）

「学校等における放射線測定の手引き」（平成23年8月26日文部科学省・日本原子力研究開発機構）

http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/icsFiles/afiefieldfile/2011/09/09/1305069_2.pdf

「放射線測定に関するガイドライン」（平成23年10月21日文部科学省・日本原子力研究開発機構）

http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/1000/108/24/111021Radiation_measurement_guideline.pdf

2. 放射線測定器の種類

2-1. 環境の放射線測定と留意点

放射線測定器の種類には様々なタイプがありますが、環境の放射線測定に関しても適した測定器で正しい手法で測定しなくては、正しい測定結果が得られません。

福島第一原子力発電所事故では、原子炉内部から様々な放射性核種が放射性ガスの形で放出されました。主な内訳は、 ^{85}Kr （クリプトンガス）、 ^{141}Xe （キセノンガス）と揮発性の高い ^{131}I （放射性ヨウ素）、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs （放射性セシウム）などに分類されますが、このうち、クリプトンガスとキセノンガスは、希ガスと呼ばれ、すでに大気中に十分に安全なレベルまで希釈されていることと、化学的に安定した物質ですので、環境中の放射能汚染には影響を及ぼしません。なお、残りの放射性ガスについては、外部に放出された比率が小さいことと、半減期が比較的短いため、環境中の存在確率は低いものと考えられます。

本来、環境中には、様々な放射性核種があることと、原子力事故で放出されたあらゆる放射性核種の汚染を見つけるため、環境中の放射線を測定するためには、60 keV以上のエネルギーレベルを測定する性能が、JIS規格等で求められています。

今回の事故後に急速に普及したシンチレータ式簡易測定器や半導体式簡易測定器の一部には、最低エネルギーの測定限界が200 keV以上からの測定器が多くあり、本来の放射能汚染の測定条件を満たしてはおりません。しかしながら、今回の事故で環境中に広く拡散して問題となっている放射性核種は、放射性セシウム（605、662、796 keV）と放射性ヨウ素（364 keV）です。これらの核種は、簡易測定器でも十分に検出することができます。今回の事故後の対応に限り、環境中の放射線測定は放射性セシウムと放射性ヨウ素の測定を中心に行ってもよいと考えます。

2-2. 環境測定に使用する測定器に求められる条件

放射線測定器の種類と用途について述べます。

環境中の大気や台地には天然の放射性核種が多くあり、日本各地にも平均値で0.02~0.1 $\mu\text{Sv/h}$ 程度の低レベルの自然放射線が存在しています。環境中の放射線レベルは非常に低いことと、「放射線測定に関するガイドライン」に示されている除染が必要な目安として『地表から1mの高さの空間線量率が周辺より1 $\mu\text{Sv/h}$ 以上高い数値を測定した場合』とあることにより、環境放射能を測定するために必要な検出分解能は、0.01 $\mu\text{Sv/h}$ の性能が求められます。

放射線の測定値に基づき、環境や人体への影響を評価しますので、測定結果の取り扱いが重要となります。環境中の放射線レベルは、低レベルなので使用する測定器が基準線源で正しく値付けされていることが重要になります。放射線測定器は精密な機械であり、少なくとも1年程度毎の基準線源による定期的な校正やメンテナンスが望ましいです。メーカーや公的機関の校正証明書がない測定器を使用した場合、せっかく測定したデータも公的には取り扱

われなくなる場合もありますので、測定器の校正は非常に重要になります。

測定器の校正については、購入先にお問い合わせください。

なお、ここに示しました製品は、環境中の放射線測定に使用する測定器に求められる条件に合った一般社団法人日本電気計測器工業会放射線計測委員会に参加しているメーカーの放射線測定器を一例として載せております。

2-3. NaIシンチレータ式サーベイメータ

【測定用途】主として、ガンマ線による低線量率での空間線量率の測定

【測定範囲】 $0.01 \mu\text{Sv/h} \sim 30 \mu\text{Sv/h}$ 以上



NHC7 (富士電機株)



TCS-171B (日立アロカメディカル株)

2-4. シンチレータ式簡易測定器

【測定用途】主として、ガンマ線による低線量率での空間線量率の測定

【測定範囲】 $0.01 \mu\text{Sv/h} \sim 9.99 \mu\text{Sv/h}$ 以上



PDR-111 (日立アロカメディカル株)



Radi PA-1000、PA-1100、
PA-1000H (株堀場製作所)



SV-2000 シリーズ (岩通計測株)

2-5. GM管式サーベイメータ

【測定用途】主として、ベータ線及びガンマ線を放出する放射性物質による線量率の測定

【測定範囲】 $0.3 \mu\text{Sv/h} \sim 300 \mu\text{Sv/h}$



TGS-146B (日立アロカメディカル株)

2-6. 電離箱サーベイメータ

【測定用途】主としてガンマ線を放出する放射性物質による空間線量率の測定

【測定範囲】 $1 \mu\text{Sv/h} \sim 10\text{mSv/h}$ 以上



NHA1 (富士電機株)



ICS-331B (日立アロカメディカル株)

2-7. 半導体式サーベイメータ

【測定用途】主としてガンマ線を放出する放射性物質による空間線量率の測定

【測定範囲】 $0.01 \mu\text{Sv/h} \sim 100\text{mSv/h}$ 以上



NHE (富士電機株)

2-8. 半導体式簡易測定器

【測定用途】主としてガンマ線を放出する放射性物質による空間線量率の測定

【測定範囲】0.01 $\mu\text{Sv/h}$ ~100 $\mu\text{Sv/h}$ 以上



SV-1000 シリーズ (岩通計測株)

2-9. 携帯式ポケット線量計について

被ばく線量の積算値のみを表示するタイプの線量計では、環境中の放射線量を測定できません。取扱説明書をお読みください。



携帯式ポケット線量計

2-10. 食品の汚染検査について

食品中の放射能汚染の程度を示す暫定基準値の閾値は、環境中の放射能汚染に比べてとても小さく、エネルギースペクトル分解能が高い精密な放射線測定器で測定する必要があります。ここで紹介した放射線測定器は、環境中の空間線量を測定することを目的としたサーベイメータですので、食品の汚染検査には適しません。

3. 環境中の放射線量の平均的な状況を把握するための測定法

「当面の福島県以外の地域における周辺より放射線量の高い箇所への対応方針」（平成23年10月21日 内閣府、文部科学省、環境省）においては、地表から1 m高さの空間線量率が周辺より1 μ Sv/h 以上高い数値が測定された箇所を文部科学省に連絡していただく際の目安として示しております。

ご関心をお持ちの区域について、まず、いくつかの箇所で環境中の放射線量の平均的な状況を把握して下さい。

(参考URL)

「当面の福島県以外の地域における周辺より放射線量の高い箇所への対応方針」（平成23年10月21日 内閣府、文部科学省、環境省）

http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/1000/108/25/111021Correspondence_plan_to_a_high_dose_part.pdf

3-1. 平均的な空間線量率の測定法

- 1) 校正済みのNaIシンチレータ式サーベイメータ、シンチレータ式簡易測定器、半導体式サーベイメータ、または、半導体式簡易測定器を用いてガンマ線の空間線量率を計測します。

3-1-1. NaIシンチレータ式サーベイメータでの空間線量率を計測時の注意点

- 1) 計測時には、くぼみ、建造物の近く、樹木の下や近く、建造物からの雨だれの跡・側溝・水たまり、草地・花壇の上、石塀近くの地点での測定は避けます。
 - * ここでは、平均的な空間線量の測定が目的であるため。
- 2) 地表から1 m高さを計測します。
- 3) プローブ（検出部）は地表面に平行にし、体からなるべく離します。
- 4) 本体およびプローブ（検出部）をビニール、食品包装用ラップ等で覆い、測定対象からの汚染を避けます。
- 5) 時定数は最低10秒とし、指示値が安定するのを待ってから計測値（あるいは、測定値）（ μ Sv/h）を読み取ります。時定数の3倍間隔で3回以上の測定を行い、平均値を計算します。なお、時定数または応答時間は、測定器により異なりますので、取扱説明書を参照ください。
- 6) 記録紙に記入します。

3-1-2. 半導体式サーベイメータにおける空間線量率を計測時の注意点

- 1) ～3) は、上記と同じです。
- 4) 本体をビニール、食品包装用ラップ等で覆い、測定対象からの汚染を避けます。
- 5) 指示値が安定してから最低10秒間隔で測定値（ μ Sv/h）を読み取ります。（1点での測定回数は10回以上としてその平均値を測定結果とします。）

6) 記録紙に記入します。

3-1-3. シンチレータ式簡易測定器における空間線量率を計測時の注意点

1) ~ 3) は上記と同じです。

4) 本体をビニール、食品包装用ラップ等で覆い、測定対象からの汚染を避けます。

5) 測定開始から60秒待って計測値(あるいは、測定値) ($\mu\text{Sv/h}$) を読み取ります。

60秒毎に測定値を読み取ります(1点での計測回数は3回以上として、その平均値を測定結果とします)。

6) 記録紙に記入します。

3-1-4. 半導体式簡易測定器における空間線量率を計測時の注意点

1) ~ 4) は上記と同じです。

5) 測定開始から240秒待って計測値(あるいは、測定値) ($\mu\text{Sv/h}$) を読み取ります。

240秒毎に測定値を読み取ります(1点での計測回数は3回以上として、その平均値を測定結果とします)。

6) 記録紙に記入します。

3-2. 空間線量が高く測定された場合の措置

ご関心をお持ちの区域について、いくつかの箇所で空間線量率を測定し、その結果、周辺より放射線量の高い箇所(地表から1m高さの空間線量率が周辺より $1\mu\text{Sv/h}$ 以上高い数値が測定された箇所)が発見された場合には、文部科学省にご連絡下さい。また、その原因となっているポイントを特定すべく、次章を参考に、「除染等のために比較的高い放射線量の原因となっているポイントを特定するための測定」を実施して下さい。

3-3. 除染等のために比較的高い放射線量の原因となっているポイントを特定するための測定法

周辺より比較的高い放射線量の原因となっているポイントを特定し、当該場所に近づくことを避けたり、除染を計画したりするための測定方法です。

3-3-1. 高い線量率が予測されるポイント

A. 雨水が集まる場所及びその出口

建物の雨樋(軒樋、集水器、呼び樋、豎樋)、豎樋から直接排水されている犬走り、側溝、集水マス、屋上・プール等屋外の排水口、雨だれが落ちている場所などが該当します。放射性物質(セシウム)は土や落ち葉に付着しやすいため、これらがたまりやすい軒樋、集水器、屋外の排水口、側溝、集水マスの泥土や底面などは、重点的に測定します。

B. 植物及びその根元

樹木の葉・幹・根、根元付近の土、花壇・植栽、芝・草地、コケ、落ち葉だまり、屋外に置いてある堆肥などが該当します。特に、高木の広葉樹の根元やコケが生えているところで、高い空間線量率が確認されることが多いです。幹の周囲が均一に汚染されているわけではないため、1周全面を測定します。

C. 雨水・泥・土がたまりやすいところ

水たまりができやすい低くなった地面、縁石や塀際の土だまり、風の吹きだまり場所の土だまり、コンクリートと表土の境、コンクリートやレンガ（地表面）の割れ目・継ぎ目（目地部）、カビや土などがついて黒ずんだ構造物などが該当します。これらの場所は、周囲から雨水が流れ込みやすく、また、泥や土がたまると、その泥土に放射性物質が濃縮しやすいため、または周囲より放射性物質が付着しやすいため、空間線量率が高くなる可能性があります。

D. 微粒子が付着しやすい構造物

錆びた鉄構造物、トタン屋根、茅葺き屋根、麦藁葺き屋根、スタッコ塗装仕上げ外壁などです。

3-3-2. 表面汚染測定方法

(1) 測定装置

GM管式サーベイメータ（GM管式汚染検査計）またはNaIシンチレータ式サーベイメータを用います。

放射性物質が比較的多く付着している汚染ポイントを絞り込むためには、感度が高いGM管式サーベイメータを用いますが、用意できない場合はシンチレータ式簡易測定器等でも代用することは可能です。

また、放射性物質が比較的多く付着している場所付近では、シンチレータ式簡易測定器等を用いて、表面から1cm及び1mの距離における空間線量率を測定します。なお、GM管式サーベイメータは、固有の機器特性を持っているため、正確な空間線量率測定には適さないことがありますのでご注意ください。

(2) 測定方法

測定方法として、1) 汚染ポイントの特定、2) 汚染ポイントの空間線量率測定、3) 汚染ポイント周辺の空間線量率の測定、に分け、その方法を以下に示します。

1) GM管式サーベイメータを用いた汚染ポイントの特定

- ① GM管式サーベイメータの時定数を3秒とし、3cm/秒程度の速度で測定器のプローブ（または、検出部）を移動させ、針が大きく振れる場所を探します。

- ② 針が大きく振れる場所付近では、時定数を10秒とし、1cm/秒程度のゆっくりとした速度でプローブ（または、検出部）を移動させ、放射性物質が多く付着している場所を特定し、安定した時の値を記録します（特定した場所は、石灰等でマークしておきます）。
- ③ ピーク値を示す場所は1ヶ所とは限らないので、周囲にもピーク値を示す場所がないか、慎重に探します。
 - * 測定の際に、プローブ（または、検出部）が測定対象に触れてしまった場合は、紙ワイプ（無い場合はティッシュペーパーでも可）やウェス（普通の布きれでも可）等で拭き取ります。
 - * 検出器先端は破損しやすいため、取り扱う際は注意して下さい。

2) 汚染ポイントの空間線量率測定

NaIシンチレータ式サーベイメータやシンチレータ式簡易測定器を用いて、マークした場所の表面から1cm及び1mの距離における空間線量率を測定します。

●NaIシンチレータ式サーベイメータの場合

- ① NaIシンチレータ式サーベイメータの時定数を10秒とし、測定器のプローブ（または、検出部）を測定対象から1cmの位置で、測定対象に対し垂直に固定し、30秒以上待って安定した時の値を記録します。
 - * 測定の際に、プローブ（または、検出部）が測定対象に触れてしまった場合は、紙ワイプ（無い場合はティッシュペーパーでも可）やウェス（普通の布きれでも可）等で拭き取ります。
- ② 同様に1mの距離における空間線量率を測定します。

●シンチレータ式簡易測定器の場合

- ① シンチレータ式簡易測定器を測定対象から1cmの位置で、測定対象に対し垂直に固定し、60秒待ってから値を記録します。
 - * 測定の際に、測定器が測定対象に触れてしまった場合は、紙ワイプ（無い場合はティッシュペーパーでも可）やウェス（普通の布きれでも可）等で拭き取ります。
- ② 同様に1mの距離における空間線量率を測定します。

3) 汚染ポイント周辺の空間線量率の測定

NaIシンチレータ式サーベイメータやシンチレータ式簡易測定器を用いて、比較的高い放射線量の原因となっているポイントの周辺に、人が通るルートがある場合は、それに沿った空間線量率を測定します（地表から1m高さ）。

●NaIシンチレータ式サーベイメータの場合

- ① NaIシンチレータ式サーベイメータの時定数を3秒とし、プローブを地表から1m

高さの位置で横向きにして、ゆっくりとした速度でルート沿いを歩き、針が大きく振れる場所を探します。

- ② 針が大きく振れる場所付近では、時定数を10秒とし、さらにゆっくりとした速度で歩いて、最も高い値を記録します。
- ③ その場所を石灰等でマークするとともに、地表から1m高さの空間線量率を測定し、記録します。
- ④ プローブを横向きにして測定する場合は、プローブに示されている実効中心線を測定位置に合わせます。
- ⑤ マーキング地点を写真や絵で記録しておき、除染後に効果を確認する際に、測定場所が正確に再現できるようにしておきます。

●シンチレータ式簡易測定器の場合

- ① シンチレータ式簡易測定器を、地表から1m高さの位置で地表面に水平にして、表示更新の時間（10秒）毎にあわせてゆっくりとした速度でルート沿いを歩き、指示が大きく変化する場所を探します。
- ② 指示が大きく変化する場所付近では、60秒毎に、さらにゆっくりとした速度で歩いて、最も高い値を記録します。
- ③ その場所を石灰等でマークするとともに、地表から1m高さの空間線量率を測定し、記録します。
- ④ マーキング地点を写真や絵で記録しておき、除染後に効果を確認する際に、測定場所が正確に再現できるようにしておきます。

(3) 留意点

A. 雨水が集まるところ及びその出口

構造物や、土、落ち葉の堆積している場所は、高い空間線量率を示す場所を目視で特定しやすいですが、水が集中する集水器や樋出口付近では、土等の堆積が少ない場所でも高い空間線量率を示すことがあるため、注意が必要です。

また、軒先近くに樹木がある場合、それらに付着した放射性物質の影響を受け、正確な測定ができなくなる可能性があります。そのような時は、測定器のプローブ側面を薄い鉛板で巻き、測定端面における周囲からの放射線の影響を排除して空間線量率を測定します。

B. 植物及びその根元

根元の土の部分は総じて高い空間線量率を示しますが、根元を除染した後に再び木の上部から放射性物質が流下・付着することのないよう、幹や葉への付着状況も可能な限り把握しておくことが望ましいです。特に高木の周囲では、ピーク値を示す場所が複数ポイント存在することが多いため、周囲にもピーク値を示す場所がないか、慎重に探します。

また、植栽が密集している場所では、周囲の植栽に付着した放射性物質の影響を受ける

可能性があるため、測定器のプロープ側面を薄い鉛板で巻き、周囲からの放射線の影響を排除して測定します。

C. 雨水・泥・土がたまりやすいところ

コンクリート等の割れ目・継ぎ目（目地部）、土だまり等は目視で特定しやすいですが、雨水や泥がたまりやすい場所は特定しにくいです。そのため、雨が降った後に水たまりが残しやすい場所や風の吹きだまりをあらかじめ調査しておく、場所を絞り込みやすいです。

D. 微粒子が付着しやすい構造物

周囲に植栽がある場所では、植栽に付着した放射性物質の影響を受ける可能性があるため、測定器のプロープ側面を薄い鉛板で巻き、周囲からの放射線の影響を排除して測定します。

3-3-3. 比較的高い放射線量の原因となっているポイントが特定された場合の対応

(1) 高い放射線量を測定した場合の対応

放射線量測定の結果、周辺より放射線量の高い箇所（地表から1 m高さの空間線量率が周辺より1 μ Sv/h 以上高い数値が測定された箇所）が発見された場合、文部科学省にご連絡いただくとともに、可能な範囲で除染を行っていただき、文部科学省は、地方公共団体と連携して、状況に応じて再計測や実地検証等を行うこととなっています。

また、その結果、地表から1 m高さの空間線量率が周辺より1 μ Sv/h 以上高い箇所で除染が容易でない放射能汚染があると確認された場合（東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に起因する放射能以外の線源による可能性が高い場合を除く）に文部科学省は、環境省及び内閣府原子力被災者生活支援チームに連絡を行い、市町村の要望を踏まえ、除染支援が行われることとなります。

(2) 簡易な除染

可能な場合には、簡易な除染（側溝の泥の除去、落ち葉の回収、樹木の剪定、水による洗浄、ブラッシング等）を実施して下さい。簡易な除染により生じる土砂、汚泥等の廃棄物等の一時保管する場合には、①まとめて地下に置く方法、②山積みにする方法等が考えられます。

当面、除染に関する留意事項、廃棄物等の一時保管方法の詳細等については、「福島県内（警戒区域及び計画的避難区域を除く）における生活圏の清掃活動（除染）に関する基本的な考え方」（平成23年7月15日原子力災害対策本部）を参照して下さい。

（参考URL）

「福島県内（警戒区域及び計画的避難区域を除く）における生活圏の清掃活動（除染）に関する基本的な考え方」（平成23年7月15日原子力災害対策本部）

<http://www.meti.go.jp/press/2011/07/20110715009/20110715009.html>

迅速な除染が困難な場合は、当面の対策として、囲いや柵を設けて立ち入りを制限する等の措置をとることは、被ばくを抑制する観点から有効であると考えられます。

(3) 簡易な除染後の再測定

簡易な除染を行った後、3-3-2項の(2) 1)～3)に従い、再測定を行い、空間線量率が低下しているかどうか確認して下さい。

また、当初、地表から1m高さの空間線量率が周辺より1 μ Sv/h以上高い数値が測定された箇所についても、再測定を実施して下さい。

4. 各種測定機器のメンテナンス

4-1. サーベイメータのメンテナンス等について

(1) 保守上の留意点

各種サーベイメータは、測定環境により検出器の感度変化や電気回路の部品劣化により、指示値が正しい値からずれを生じることがあります。そのため、定期的(年1回以上)に校正(指示値のずれを修正)し、精度を確保することが望ましいです。

また、日常点検として、電池残量、ケーブル・コネクタの破損、スイッチの動作等の点検、及びバックグラウンド計数値の測定(バックグラウンドが大きく変化しない同一の場所で測定を行い、過去の値と比較して大きな変化が無いことを確認)を実施し、異常・故障の判断の目安にします。

校正については、購入先にお問い合わせ下さい。

(2) サーベイメータの測定値の取り扱い

空間線量率用サーベイメータに校正定数が記されたシールが貼付されている場合は、サーベイメータの指示値にその校正定数を乗ずることによって正しい空間線量率を求めることができます。

【参考資料1】放射線測定器の比較表

測定器の種類	検出器	測定対象					外観
		個人 被ばく	空間線量		汚染検査		
			高	低	物品	食品	
NaI シンチレータ式 サーベイメータ	NaI シンチ レータ	×	×	◎	○	×	
シンチレータ式 簡易測定器	CsI シンチ レータ	×	×	○	○	×	
GM管式 サーベイメータ	GM管	×	○	○	◎	×	
電離箱式 サーベイメータ	電離箱	×	◎	○	×	×	
半導体式 サーベイメータ	半導体	×	○	○	×	×	
半導体式 簡易測定器	半導体	×	○	○	○	×	
携帯式 ポケット線量計	半導体	◎	×	×	×	×	

◎：最適 ○：適 ×：不可

【参考資料 2】環境中に含まれる主な放射性核種

放射線の核種		主なエネルギー	半減期	備 考
核 分 裂 で 生 成	90Sr (ストロンチウム)	(β) 546keV	28.79年	GM管式サーベイで検出 シンチレータ式検出器は検出不可
	90Y (イットリウム)	(β) 2280keV	64.1h	90Srの娘核種 GM管式サーベイで検出 シンチレータ式検出器は検出不可
	131I (ヨウ素)	(γ) 364keV	8.02日	シンチレータ、GM管式サーベイで検出可能
	134Cs (セシウム)	(γ) 605keV (γ) 796keV	2.07年	シンチレータ、GM管式サーベイで検出可能
	137Cs (セシウム)	(γ) 662keV	30.1年	
	141Ce (セリウム)	(γ) 145keV	32.5日	シンチレータ、GM管式サーベイで検出可能
	239Pu (プルトニウム)	(α) 5157keV	24000年	GM管式サーベイで検出可能
天 然 に 存 在	14C (炭素)	(β) 156keV	5730年	宇宙線の核反応で生成され、大気中に存在
	40K (カリウム)	(γ) 1461keV	13億年	食品に含まれる
	222Rn (ラドン)	(α) 5490keV	3.8日	ラジウムから放出され、大気中に存在
	226Ra (ラジウム)	(α) 4784keV (γ) 186keV	1600年	鉱物に含まれる
	232Th (トリウム)	(α) 4012keV	140億年	鉱物に含まれる