

マグニチュード9.0の巨大地震。それによって引き起こされた未曾有の被害と福島第一原子力発電所での事故の発生は、私たちの社会が“想定外”の規模の災害に備えられていない事実を浮き彫りにしました。5年前の震災と事故による放射性物質の広がり、その後の経過をふりかえります。

LESSON
#311

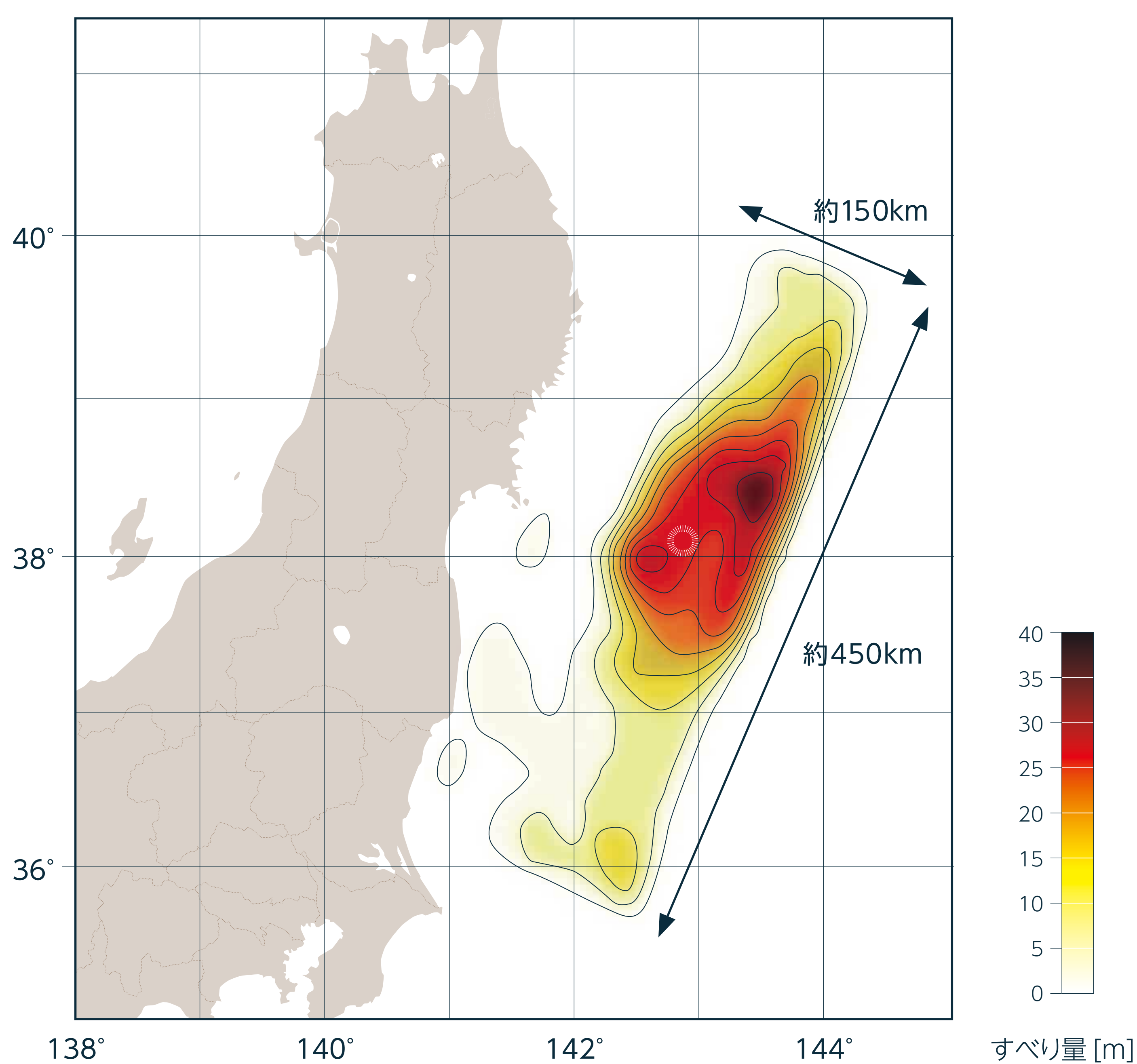
1000年に一度の災害と原発事故

2011年3月11日14時46分

その時、のちに東北地方太平洋沖地震と名づけられる巨大地震が発生しました。地下と地上で起きたことは何か、観測データからみていきます。

海底下の広大な震源域

地震が発生したのは、海水面から深さ24kmにある岩盤と岩盤がぶつかる場所でした。南北に約450km、東西に約150kmという広大な領域で岩盤どうしがずれ、巨大な揺れが生じました。地震の規模を表すマグニチュード(Mw)は9.0を記録し、日本周辺において明治以降、観測史上最大でした。

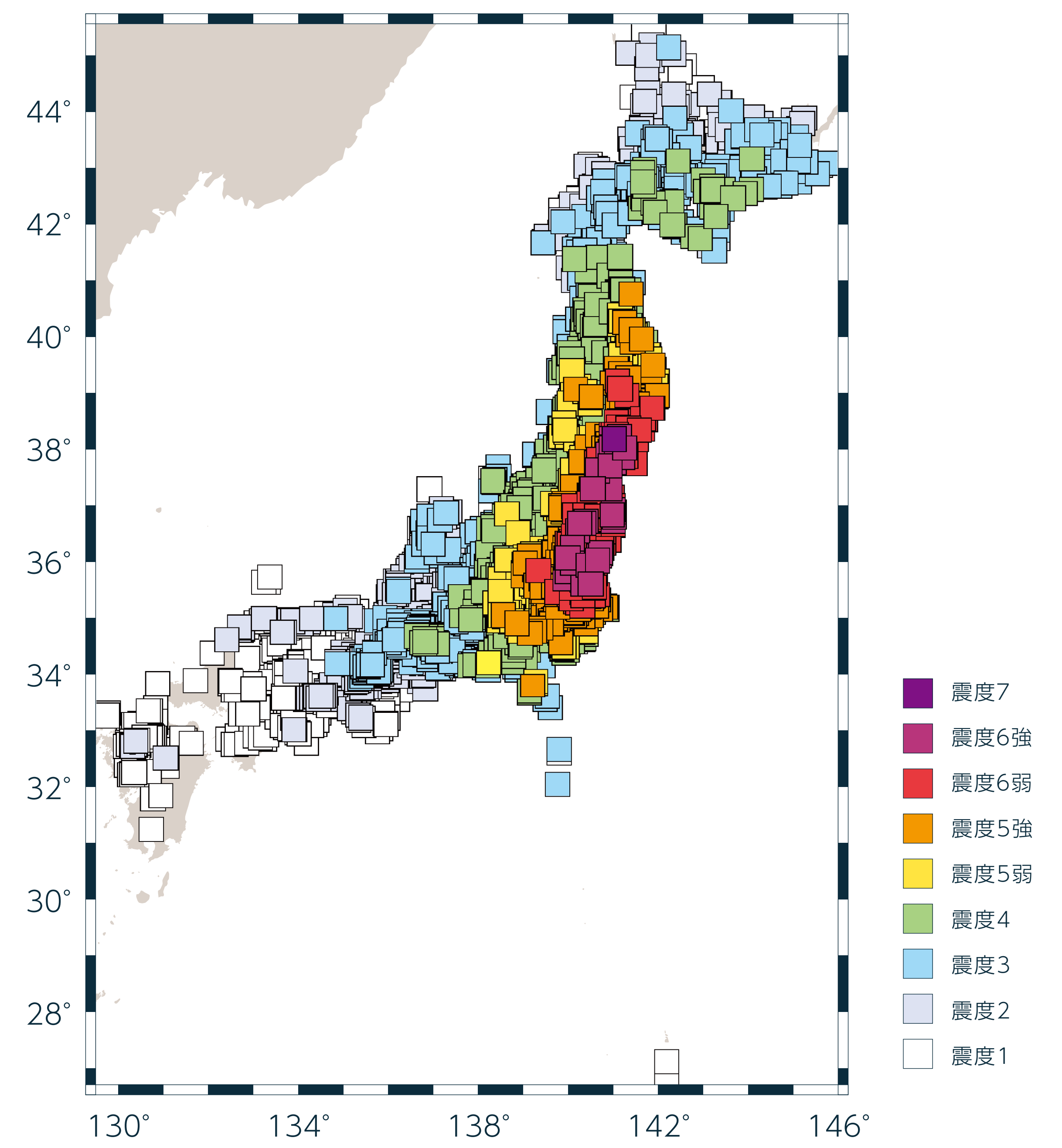


東北地方太平洋沖地震の震源領域

断層面で生じたずれの大きさを色で表したもの。最も大きい場所では37mも動いていた。
(出典：気象庁)

列島全体に広がった揺れ

宮城県栗原市で最大の震度7が観測されたのをはじめ、東日本を中心に広い範囲で震度5以上の揺れが発生しました。関西や九州など、遠く離れた場所でも揺れが感じられ、5分から7分の間、非常に長く続いたことも特徴的でした。



地域ごとの震度分布

(出典：気象庁)

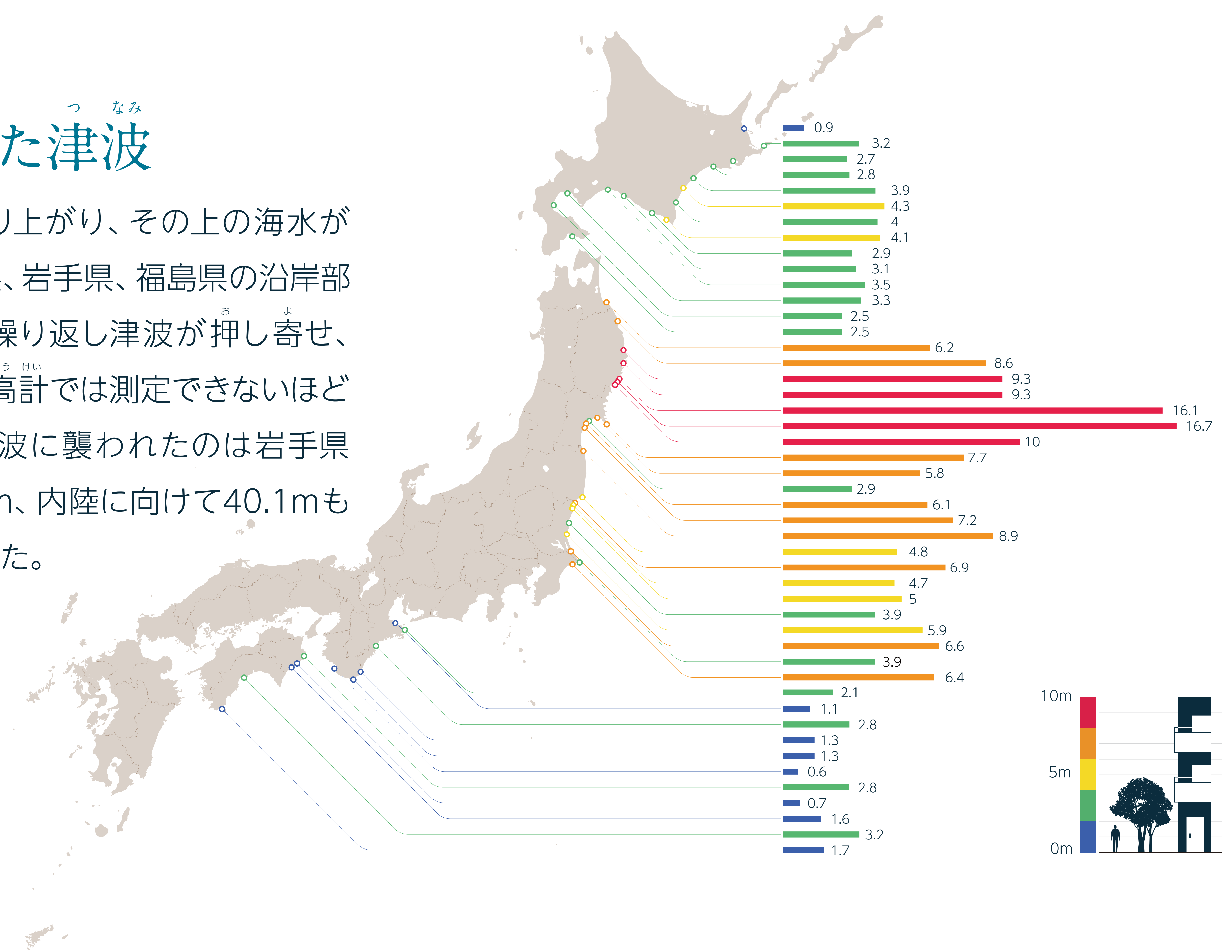
三陸沿岸を繰り返し襲った津波

岩盤のずれによって海底が大きく盛り上がり、その上の海水がもち上がることで津波が発生。宮城県、岩手県、福島県の沿岸部で引き波が観測されたのち、各地に繰り返し津波が押し寄せ、その高さは、各地に設置されていた波高計では測定できないほどでした。後日調査*により、最大の津波に襲われたのは岩手県大船渡市で、高さは海岸付近で16.7m、内陸に向けて40.1mも遡上していたことが明らかになりました。

* 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる

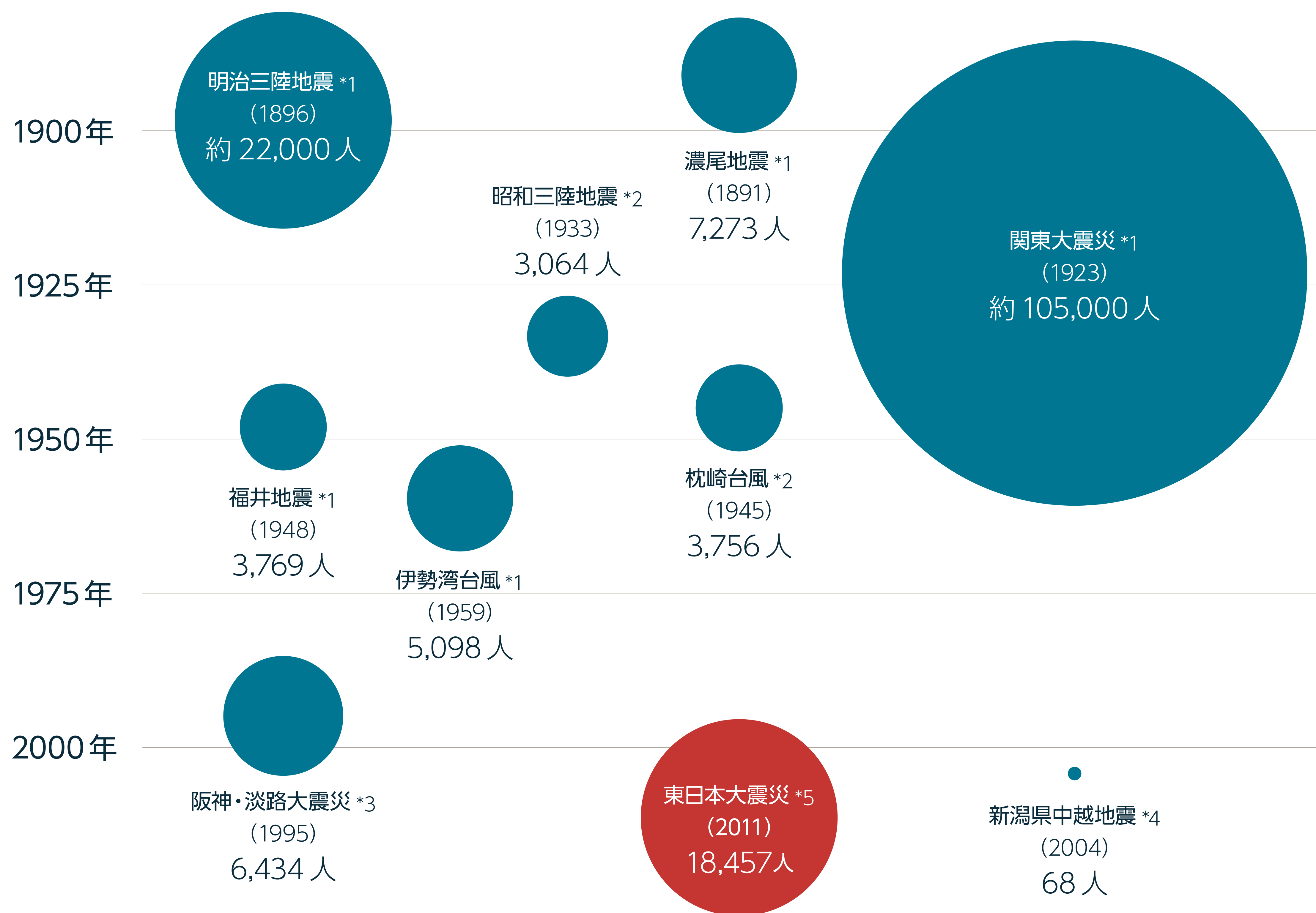
各地に到達した津波の高さ

建物などに残された浸水の痕跡を手がかりに、海岸付近到達時の最大波高を推定したもの。
(出典：気象庁)



ひがい もたらされた被害

東日本一帯を襲った激しい揺れと巨大な津波によって、未曾有の被害がもたらされました。その全貌から、私たちは何を学ぶことができるでしょうか。



人命の損失

東日本大震災における死者・行方不明者数はおよそ1万8千人。明治以降に起きた自然災害の中で3番目に多く、その90%が水死だったと報告されています。一方、1923年(大正12年)の関東大震災では、主に家屋の火災によって10万を超える人々が亡くなりました。阪神淡路大震災では建物の倒壊による圧死が主な死因で、およそ6千5百人が亡くなっています。

明治以降に起こった主な自然災害での死者・行方不明者数

(出典：*1 内閣府報告書シリーズ「過去の防災に学ぶ」、*2 気象庁ウェブサイト、*3 消防庁「阪神・淡路大震災について(確定報)」、*4 消防庁「平成16年新潟県中越地震(確定報)」、*5 警察庁「被害状況と警察措置(平成28年1月8日)」)

物的被害の全貌

10m以上という想定を超える津波は多くの防潮堤・防波堤を破壊し、沿岸部の町を飲み込んでいきました。その結果、生活の基盤である家が流出し、多くの人々が帰る場所をなくし、避難生活を余儀なくされました。道路や鉄道などの交通網が遮断され、流通が止まり、被災地に必要な物資が届かない状況が長く続きました。また、漁港や農地も被害を受け、地域経済に大きなダメージを与えました。



東日本大震災における主な被害状況

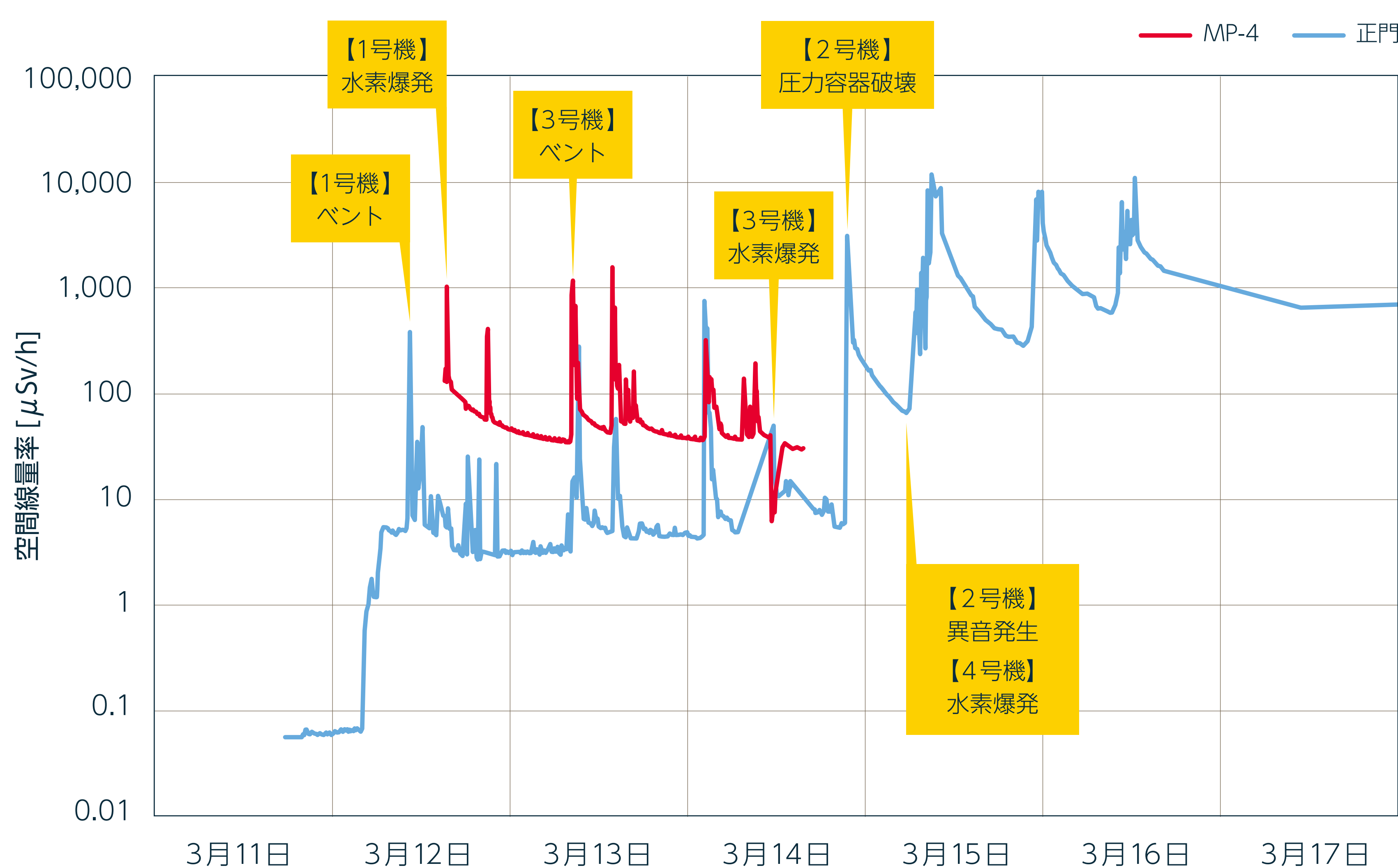
(出典：*1 警察庁「被害状況と警察措置(平成28年1月8日)」、*2 内閣府「平成25年版防災白書」、*3 農林水産省「aff(2011年5月号)」、*4 東北の鉄道震災復興誌編集委員会「よみがえれ!みちのく鉄道」、*5 国土交通省ウェブサイト)

1-3 も ほう しゃ せい ぶつ しつ 漏れ始めた放射性物質

地震による激しい揺れと津波による浸水をきっかけに、福島第一原子力発電所の原子炉は、制御不能の状態に陥ります。そして放射性物質の放出が始まりました。

ぜん でん げん そう しつ 全電源喪失からメルトダウンへ

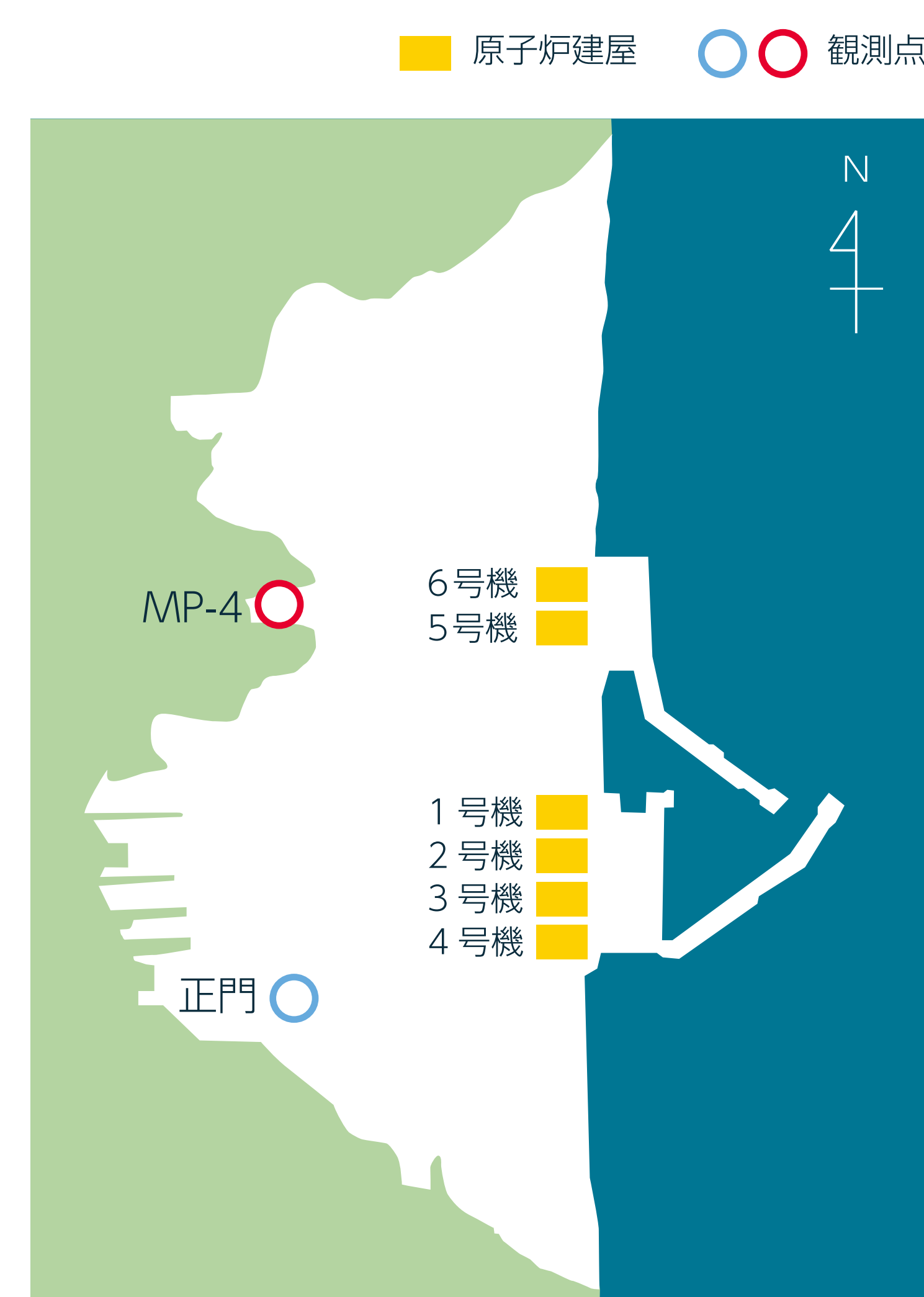
地震発生時、原子炉ではすぐに制御棒が挿入され、核分裂の連鎖反応は止まりました。しかし、燃料棒内では核分裂で作られた放射性物質から熱が発生し続けるため、冷やさなければなりません。ところが、津波によって電源が失われたために、冷却水が注入できず、燃料棒の溶融（メルトダウン）が起こります。原子炉は損傷して放射性物質を閉じ込める機能を失い、建屋の外壁は水素爆発により吹き飛び、大量の放射性物質が外に放出されました。そして、発電所内では放射線の空間線量が通常の数10万倍にも増えたことが観測されました。



福島第一原子力発電所内の放射線量の推移

電源喪失により機能しなくなった装置に代わり、移動式モニタリングカーによる空間線量率の測定が所内数カ所で続けられた（グラフではそのうちの2点を抜粋）。3月12日午前、格納容器の気体を外部に逃がす「ベント」という作業を1号機で行ったため、空間線量率が上昇。その後、燃料棒の表面と水蒸気が反応して生じた水素による水素爆発が続いて起き、空間線量率が上昇した。

（出典：東京電力）



福島第一原子力発電所内地図

（東京電力のデータをもとに改変）

用語解説

シーベルト (Sv)

放射線量を、それが生物に与える影響の大きさで表した単位。
1000μSv (マイクロシーベルト) = 1mSv (ミリシーベルト)
1000mSv = 1Sv

空間線量率

計測する空間の単位時間当たりの放射線量のこと。例えば、0.03μSv/hの空間に2時間いると、0.06μSvの放射線量を浴びることになる。

風に乗って運ばれた放射性物質

放出された放射性物質は風に乗って広い範囲に運ばれ、環境を汚染しました。放射性物質の種類ごとに、どのような影響を与えたのかをみていきます。

原子炉から放出された放射性物質の顔ぶれ

放出されたさまざまな放射性物質は、運転中の原子炉内でウランの核分裂によって生み出されたものです。化学的な性質や半減期、放出量の違いによって、それぞれの物質が人体や環境に及ぼす影響の範囲も大きく異なっています。

元素名	半減期	放出量 [Bq]
ヨウ素 (I) 133	約 20.8 時間	4.2×10^{16}
テルル (Te) 132	約 3 日	8.8×10^{16}
キセノン (Xe) 133	約 5 日	1.1×10^{19}
ヨウ素 (I) 131	約 8 日	1.6×10^{17}
セシウム (Cs) 134	約 2.1 年	1.8×10^{16}
セシウム (Cs) 137	約 30 年	1.5×10^{16}

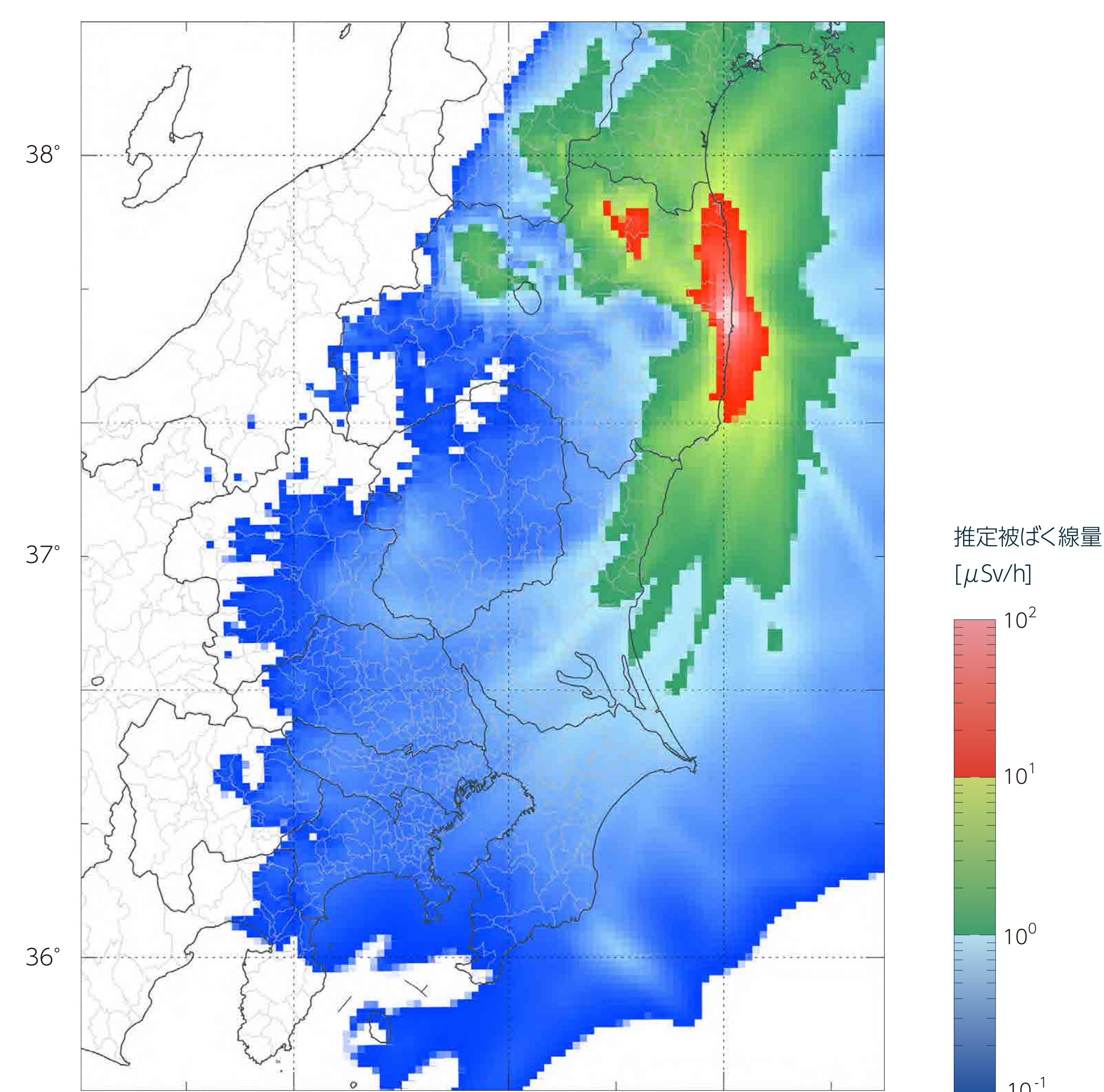
原子炉から放出された主な放射性物質

ベクレル[Bq]は、放射線量とその物質が放射線を出す能力(放射能)で表した単位。

(出典：原子力安全・保安院「東京電力株式会社福島第一原子力発電所及び広島に投下された原子爆弾から放出された放射性物質に関する試算値について」平成 23 年 8 月 26 日)

放射性ヨウ素と内部被ばく

事故直後に最も大量に放出されたのは放射性キセノンでしたが、不活性ガスであるため、被ばくの影響は他のものに比べて無視できるとされています。一方ヨウ素は呼吸によって体内に取り込まれた場合、甲状腺に集まる性質をもち、内部被ばくを生じます。テルル132も、崩壊後はヨウ素132となるために、甲状腺への影響が指摘されています。



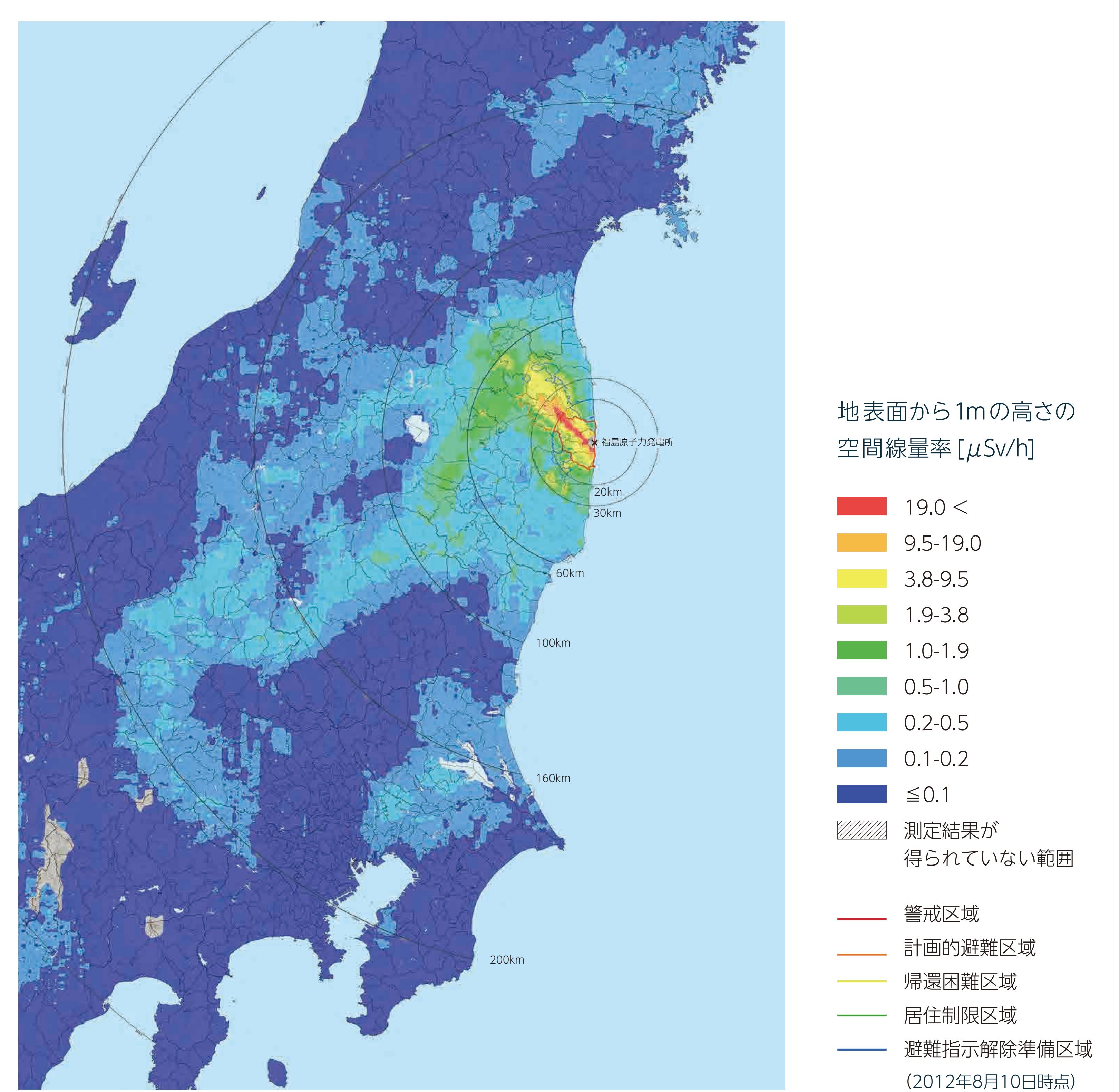
3月12日～31日における被ばく量の推定

大気中に拡散した放射性物質のうちの主なものとして、ヨウ素131、セシウム137、セシウム134からの被ばく量を推定したもの。1日のうち屋外に7時間、それ以外の時間帯は木造家屋にいたと仮定。

(データ提供：国立研究開発法人海洋研究開発機構)

放射性セシウムによって続く長期間の汚染

放射性物質を含んだ空気と雨がぶつかったとき、雨粒は放射性物質を取り込んで、地面に降り注ぎます。それにより、高い濃度で汚染されたホットスポットと呼ばれる場所が、原子炉からの距離と関係なくいくつもつくられました。半減期の短い他の放射性物質が姿を消していく中で、半減期30年のセシウム137は、人の手で取り除かない限り、そこに残り続けます。



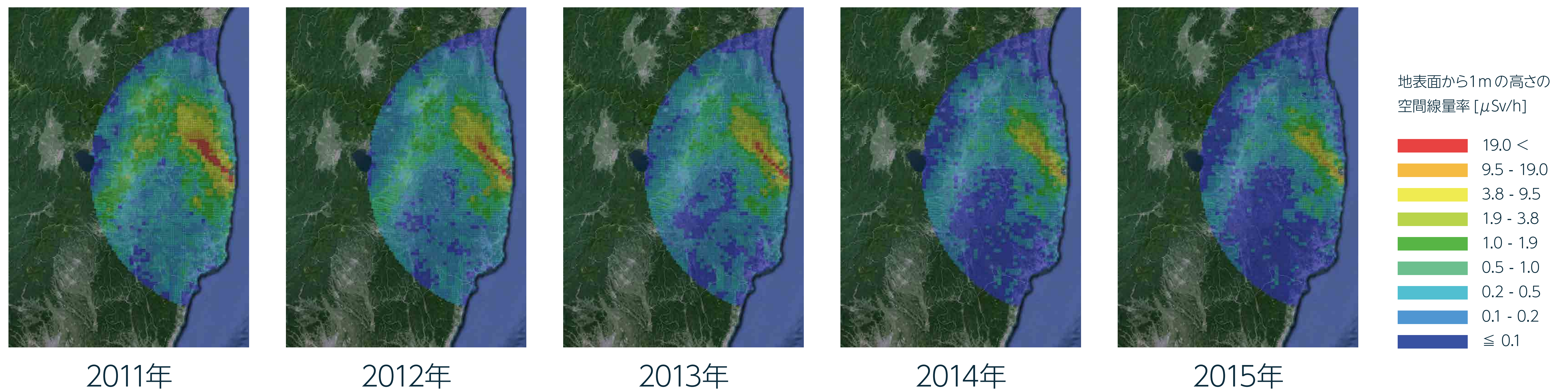
広域空間線量マップ

航空機を使って計測されたガンマ線放射強度分布から推定した、地上1mでの空間線量率。(平成24年5月31日時点へ換算)

(出典：放射線量等分布マップ拡大サイト / 電子国土)

2011年～2015年、5年間での変化

人が生活する場所を中心に除染が進められていますが、森林や帰還困難区域内には手がつけられていない場所も広大に残っています。汚染状況の変化をみていきます。



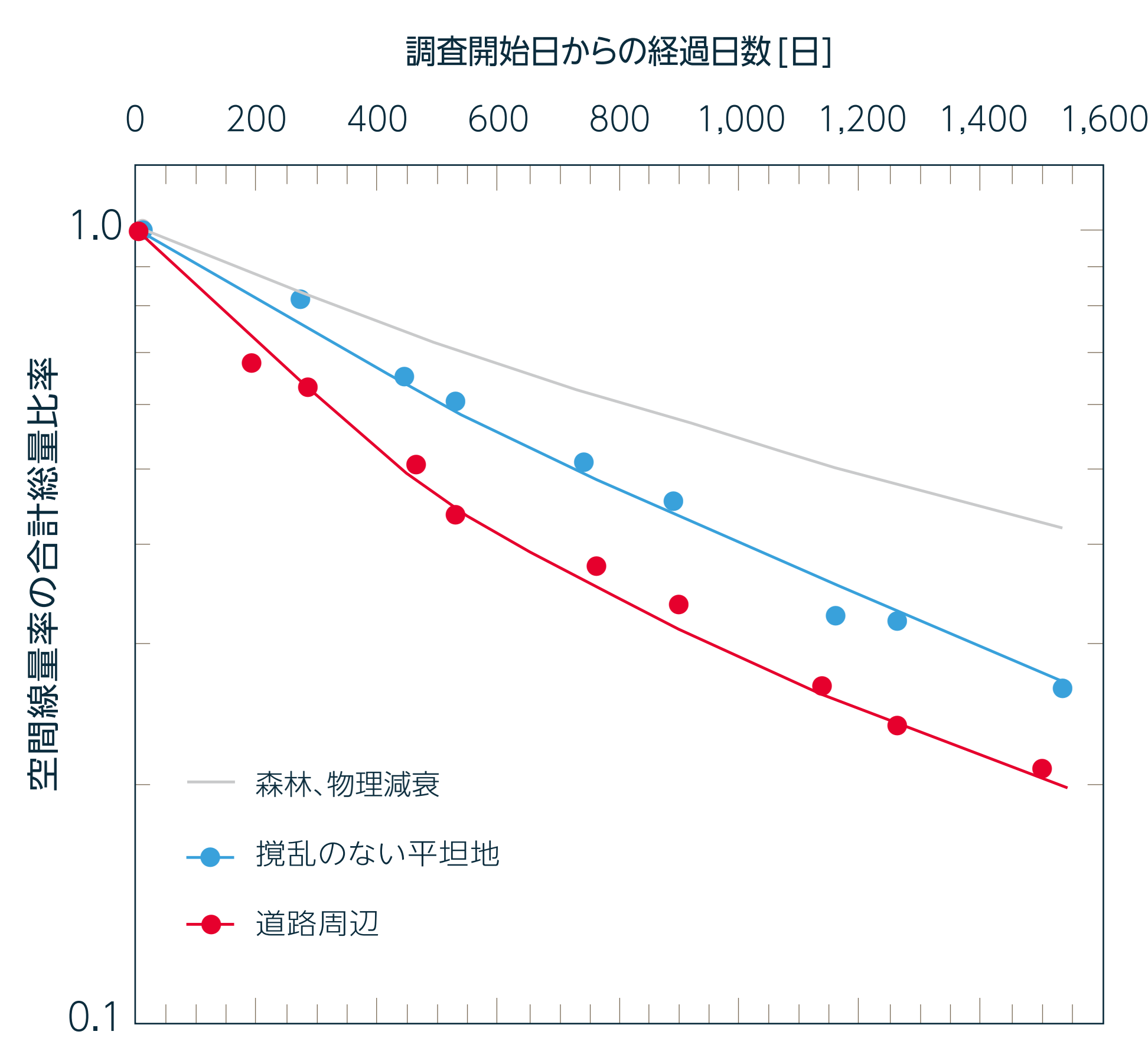
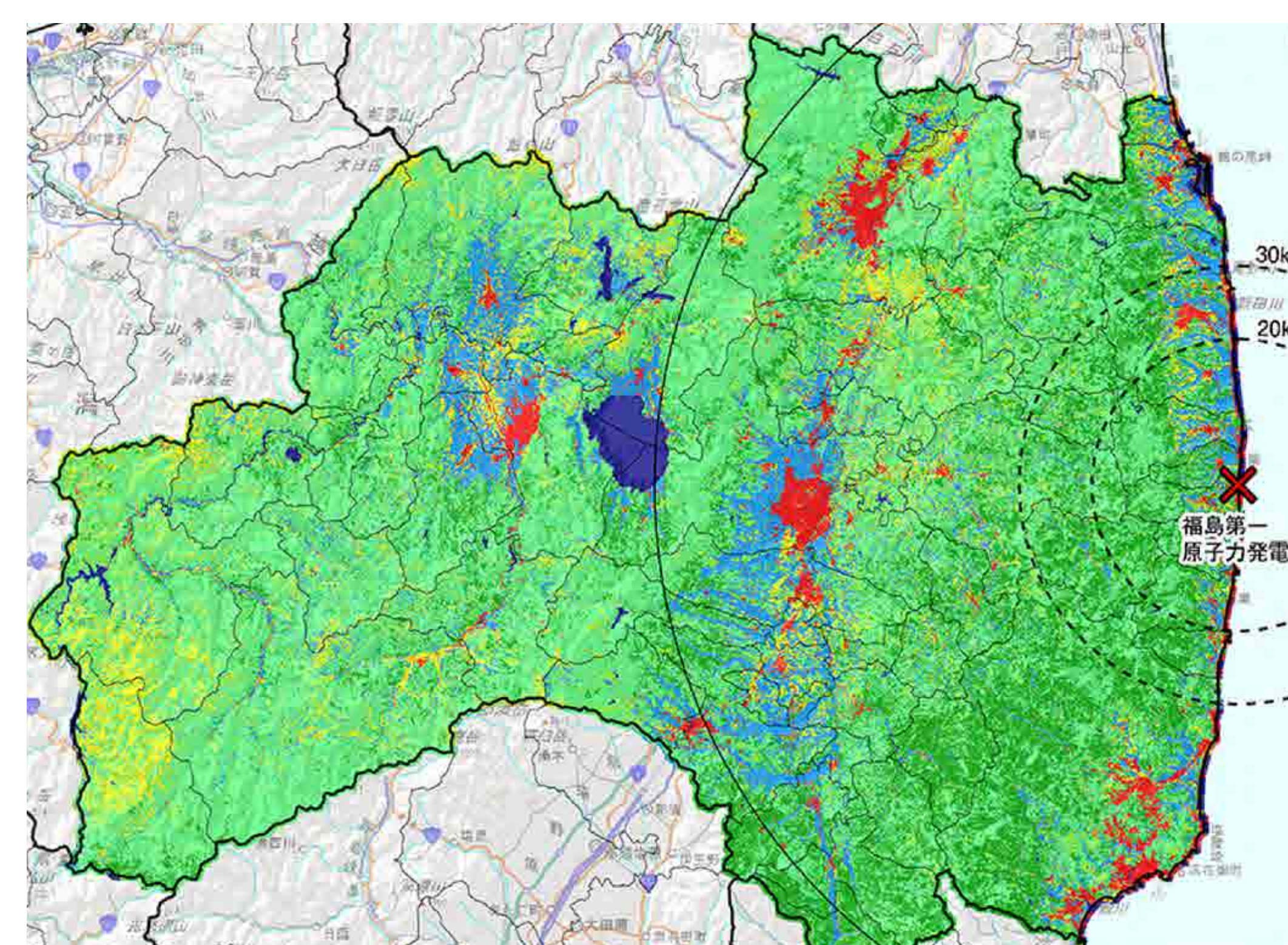
地表1mの空間線量率の変化

福島第一原子力発電所から80km圏内の領域における、1km四方ごとの空間線量率が継続的に測定されている。

(データ提供: 日本原子力研究開発機構*)

空間線量率は徐々に低下

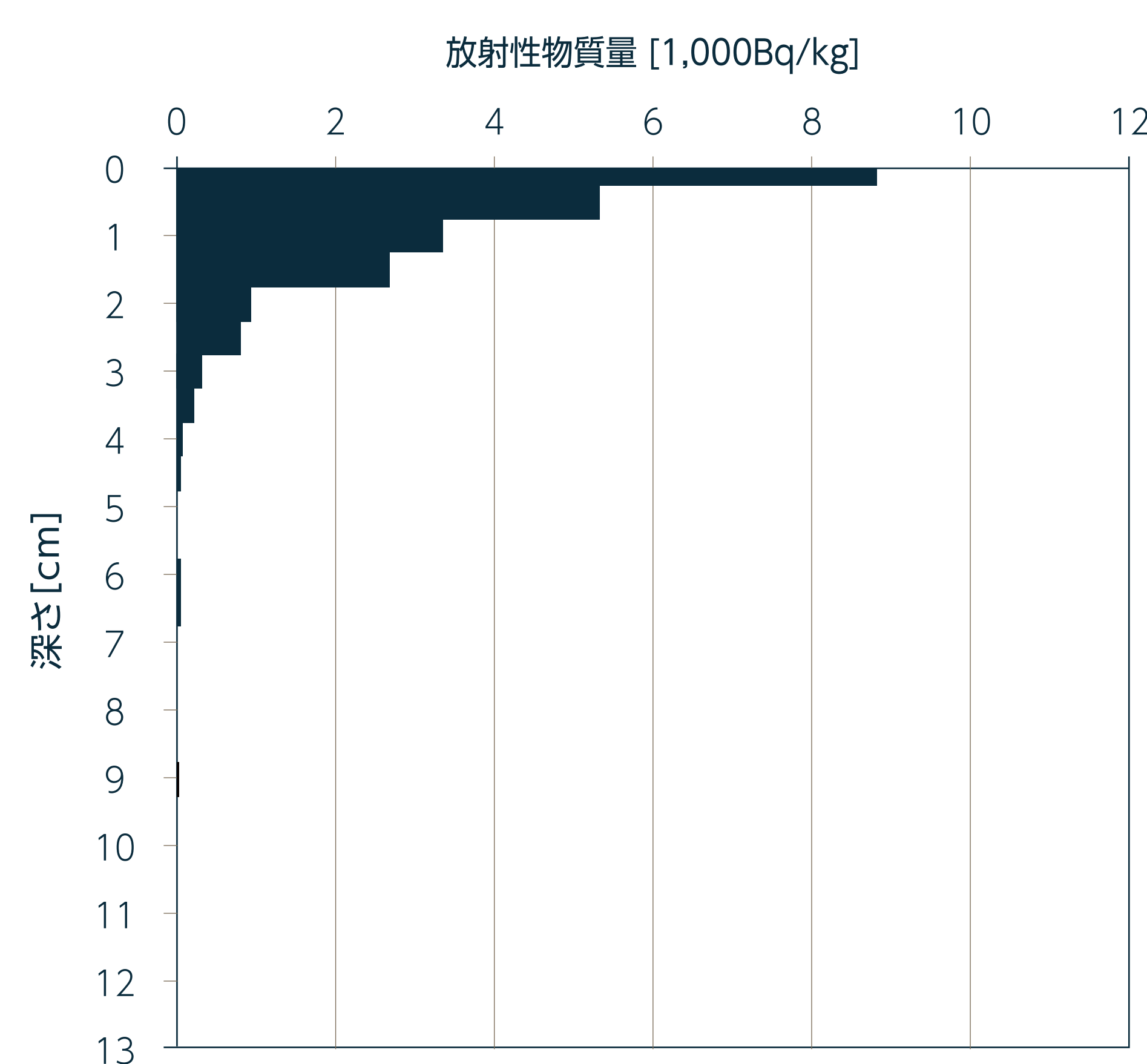
半減期の短い放射性物質がほとんどなくなる中、半減期が30年と長いセシウム137による汚染が続いています。地面に降り積もったセシウムは、土壌に強く吸着してほとんど動きませんが、徐々に深いところへ移動しています。道路周辺では、風雨によって洗い流されるウェザリング効果、人の手による除染作業によって空間線量が下がってきています。



空間線量率の減少の様子

森林の空間線量率は、物理現象に準じて、ほぼ原子核崩壊のスピードで減少している。一方、農地や居住地ではない平坦な土地ではより速く、道路周辺の環境では、さらに速く減少していることが観察されている。

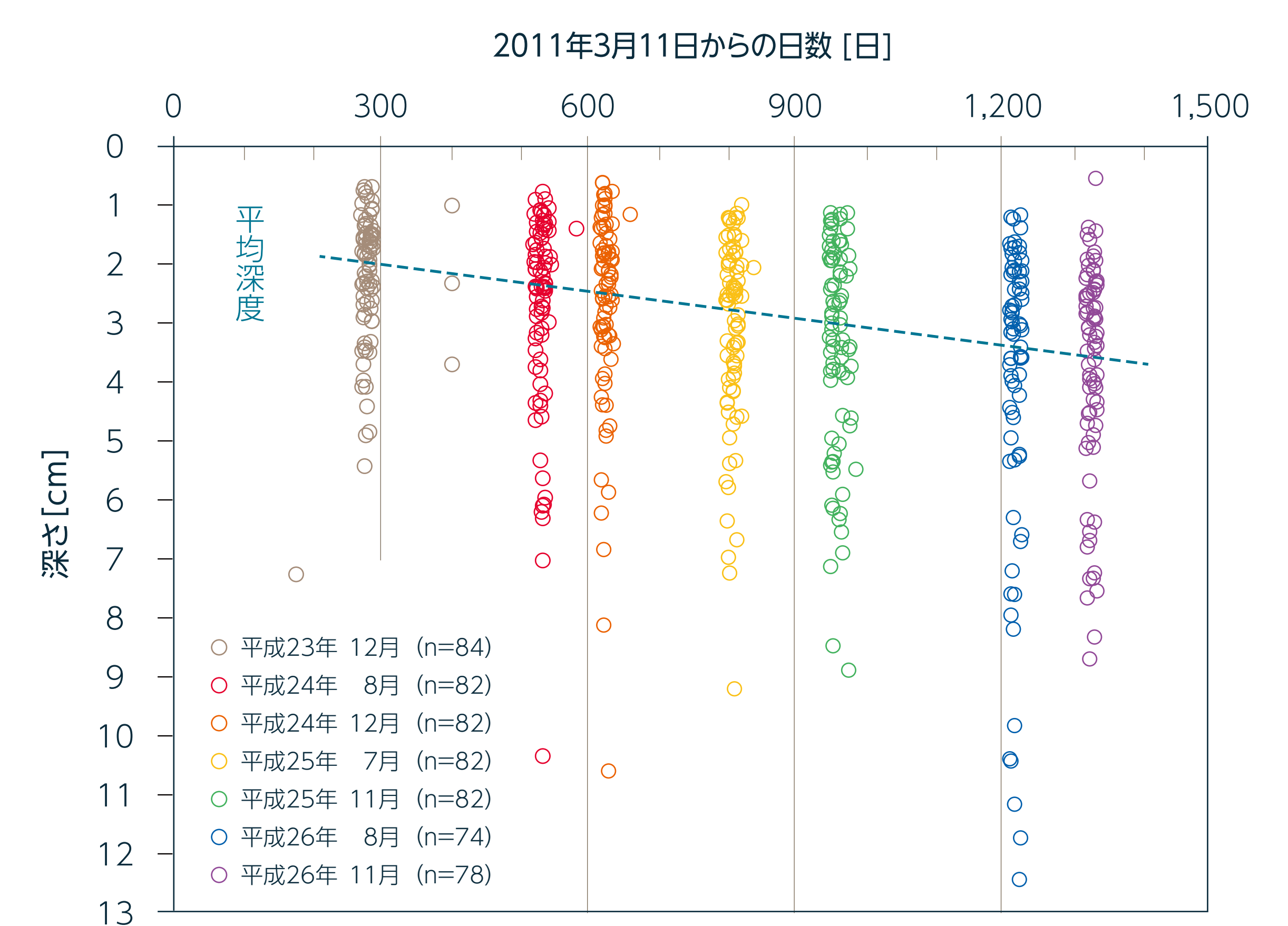
(データ提供: 日本原子力研究開発機構*)



土壌に含まれる放射性セシウムの分布

2011年4月28日に福島県伊達郡川俣町、小綱木付近の土壌を調べたもの。放射性セシウムは土壌に強く吸着され、ほとんどが地面から深さ5cmのところまでに留まっていることがわかる。

(データ提供: 筑波大学 (科研費: 新学術領域研究・放射線環境動態))



放射性セシウムの土壌への浸透

土壌中の放射性セシウムの分布を深さ方向に測り、全体の9割が含まれる深さをプロットしたもの。ひとつの点はある時期における、ある一カ所での測定値を表し、さまざまな場所で時期を変えて測定した。継続変化をみると、放射性セシウムは平均して、1年で約5mmの速さで下方へ浸透していることがわかる。

(データ提供: 日本原子力研究開発機構*)

*本件は、平成23年度から文部科学省にて、平成25年度以降から現在まで原子力規制庁の委託事業として実施されている「放射性物質の分布状況等に関する調査」で得られた成果の一部である。

水素爆発をとらえたカメラ【福島中央テレビ富岡情報カメラ】

あの日誰もが目を疑った光景。福島第一原子力発電所での水素爆発の様子は、福島中央テレビが山中に設置したカメラによって撮影されました。同じように原発監視のため設置されていたカメラのうち、海岸沿いにあったものはすべて、津波と停電によって撮影不能に陥りました。しかし、山側から電源を引いていたこのカメラだけは、唯一原発の様子を撮影し続けることができました。

カメラ設置のきっかけは原子力災害

1986年のチェルノブイリ原発事故を契機に、原発を見張るカメラの必要性が議論され始めました。そして、1999年に起こった茨城県東海村JCOでの臨界事故を受けて、2000年、福島中央テレビは楢葉町にある富岡中継局に情報カメラを設置しました。

水素爆発をとらえることができたのは、いくつかの条件が重なったためでした。カメラの撮影対象は第一原発と第二原発の両方でしたが、老朽化の進んでいる第一原発を定位置として、第二原発など、ほかの場所を撮影した後は必ず第一原発へ戻す運用としていました。当時、地震の影響により操作機能が失われていましたが、カメラは第一原発をとらえ続けました。また、爆発が起きたのが明るい日中で、霧のかかっていない見通しの良い天気だったことも幸いしました。今はデジタルカメラに置き換わり、同じ場所で運用が続けられています。



2014年2月撮影



2015年4月撮影



2016年2月撮影



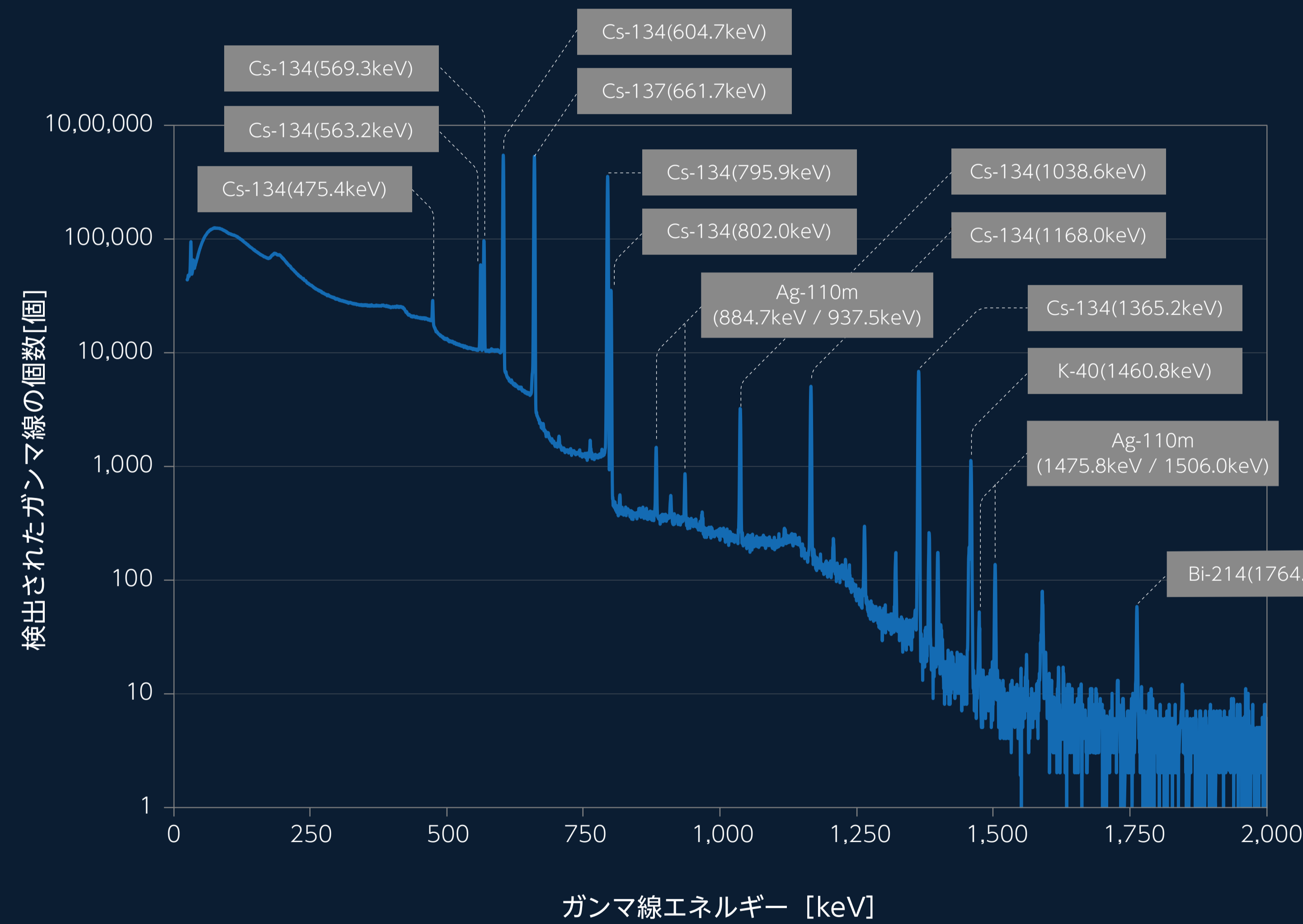
第一原発1～4号機とその周辺の事故後の変化
(原発から2.3kmの地点に設置された第一原発情報カメラから撮影)

放射線の測定とKURAMAシステム

環境に放出された放射性物質の種類と量を調べる放射線測定の原理と、測定装置のひとつ、KURAMAシステムを紹介します。

放射性物質と放射線測定

放射性物質は、種類ごとにきまったエネルギーのガンマ線を出すことがわかっています。そこで、放出されるガンマ線のエネルギーと明るさを測定することで、放射性物質の種類と量を知ることができます。



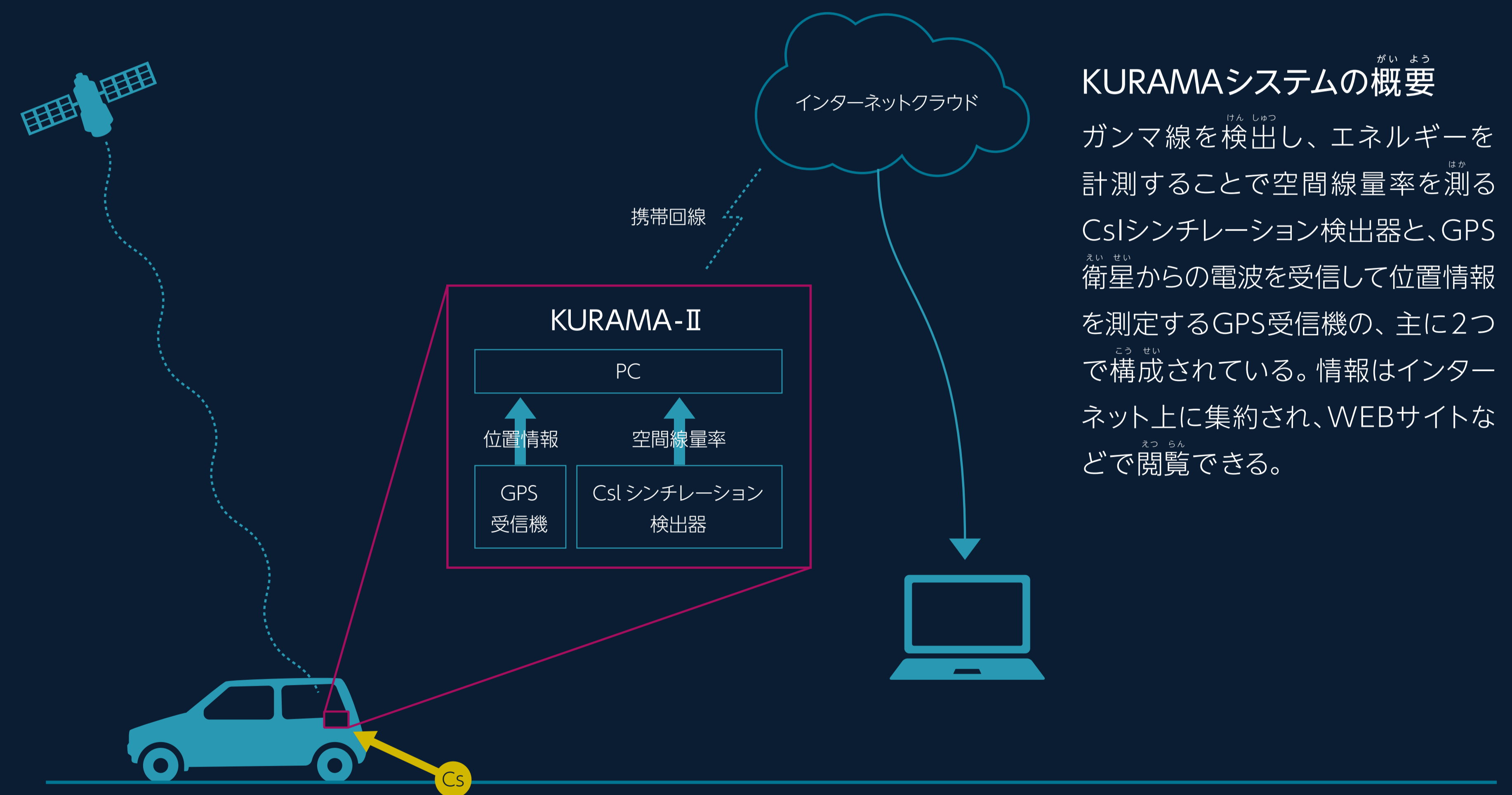
福島第一原子力発電所由来の放射性物質で汚染された土壌のガンマ線スペクトル

事故から9カ月後の2011年12月に測定された、汚染土壌から出るガンマ線のエネルギー頻度分布。放射性物質の種類ごとに同じエネルギーを放出するので、それぞれの物質ごとに鋭いピークを示す。半減期の長いセシウム(Cs134とCs137)や、原子炉制御棒に含まれ、中性子が当たることにより放射化した銀(Ag110m)からガンマ線が多く放出されている。カリウム(K40)やビスマス(Bi214)は天然に存在する放射性物質。

(データ提供: 日本原子力研究開発機構)

KURAMAシステムとその活用

KURAMA (Kyoto University RAdiation MApping) は、乗用車で走りながら、環境中のガンマ線の空間線量率と位置情報を同時に測定するためのシステムとして開発されました。福島第一原子力発電所の事故後、広い範囲での詳細な空間線量率マップをつくるために活用されています。2013年からは、公共交通機関や輸送機関にKURAMA-IIを積み、生活エリアに密着した詳細な測定が実施されています。



KURAMAシステムの概要

ガンマ線を検出し、エネルギーを計測することで空間線量率を測るCsIシンチレーション検出器と、GPS衛星からの電波を受信して位置情報を測定するGPS受信機の、主に2つで構成されている。情報はインターネット上に集約され、WEBサイトなどで閲覧できる。



路線バスの後部に搭載されたKURAMA-II

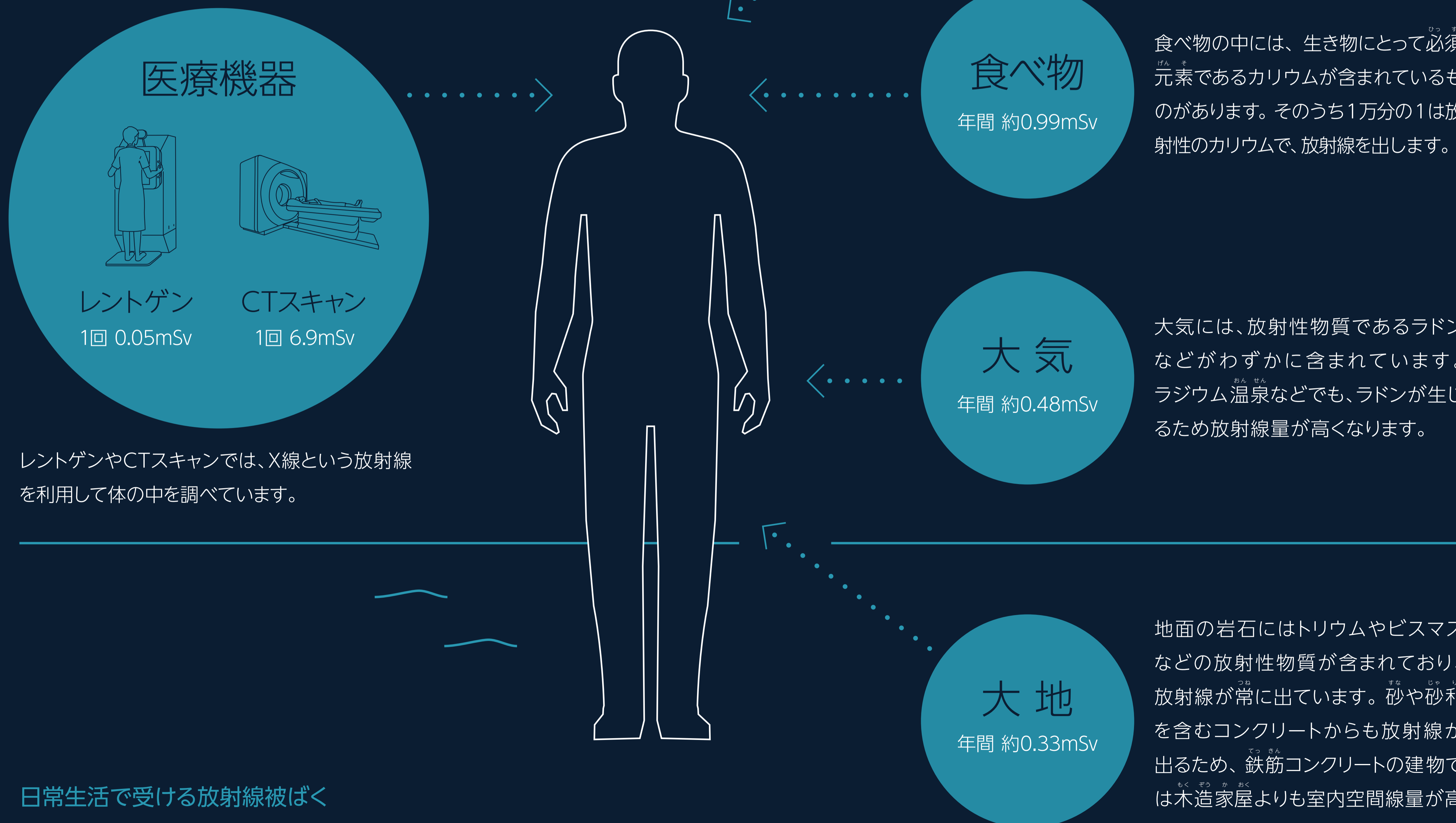
2013年から福島県内の路線バスにKURAMA-IIを搭載し、空間線量率を計測している。測定された空間線量率は、日本原子力研究開発機構によりマップ形式でWEB上に公開されている。

身の回りの放射線

私たちは普段から放射性物質にかこまれて生活しています。何からどのくらいの放射線をあびているかをみていきます。

自然放射線と医療放射線

私たちは日常生活の中で、宇宙から飛んでくる宇宙線や大地、空気、食べ物などに含まれる物質から、年間約2.1mSvの自然放射線をあびて(被ばくして)います。レントゲンやCTスキャンなどの医療行為によっても被ばくします。

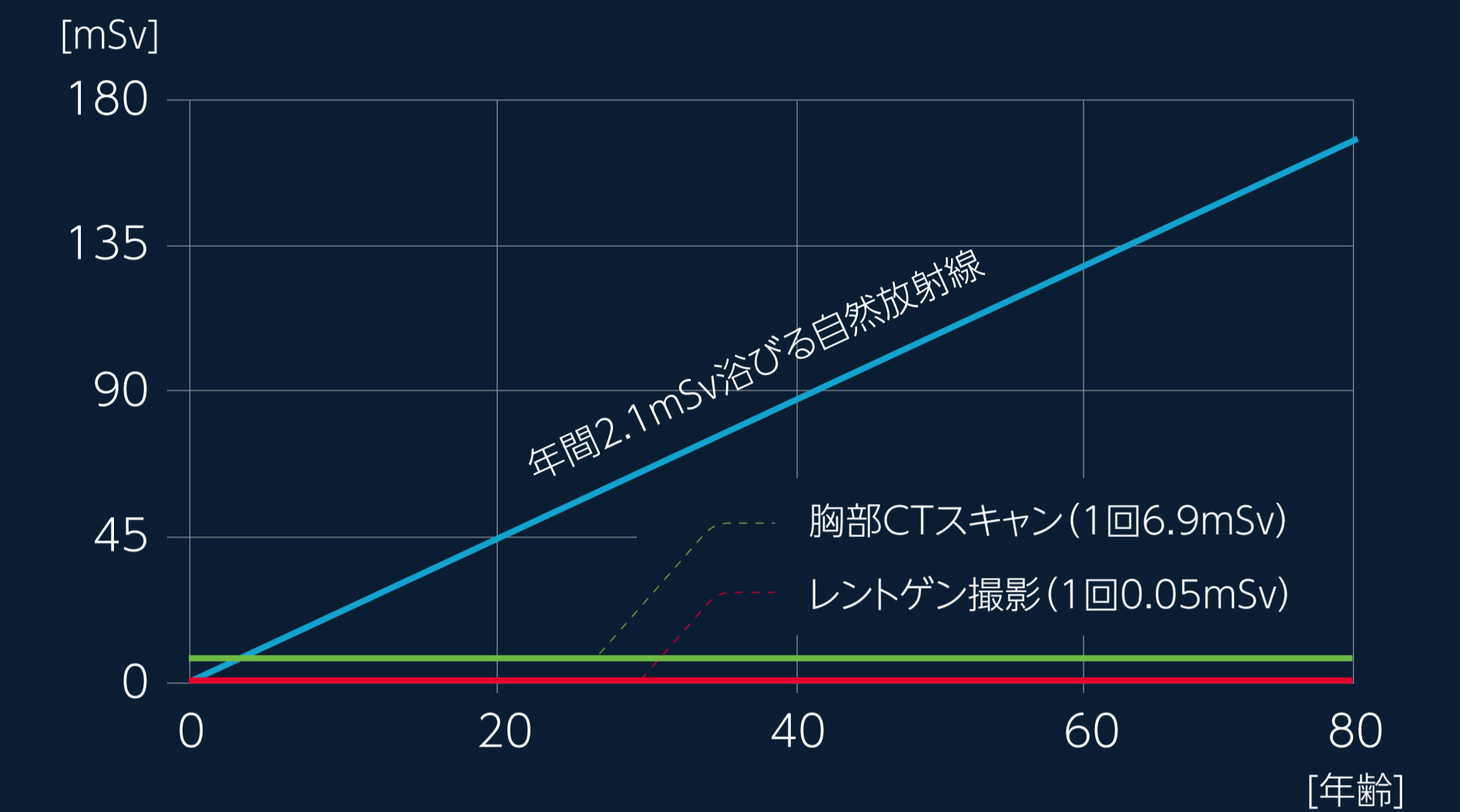


宇宙から地球にやってくる高いエネルギーをもった水素の原子核と上空の大気が反応し、ミュー粒子が生成され、地上に降り注いでいます。

食べ物の中には、生き物にとって必須元素であるカリウムが含まれているものがあります。そのうち1万分の1は放射性のカリウムで、放射線を出します。

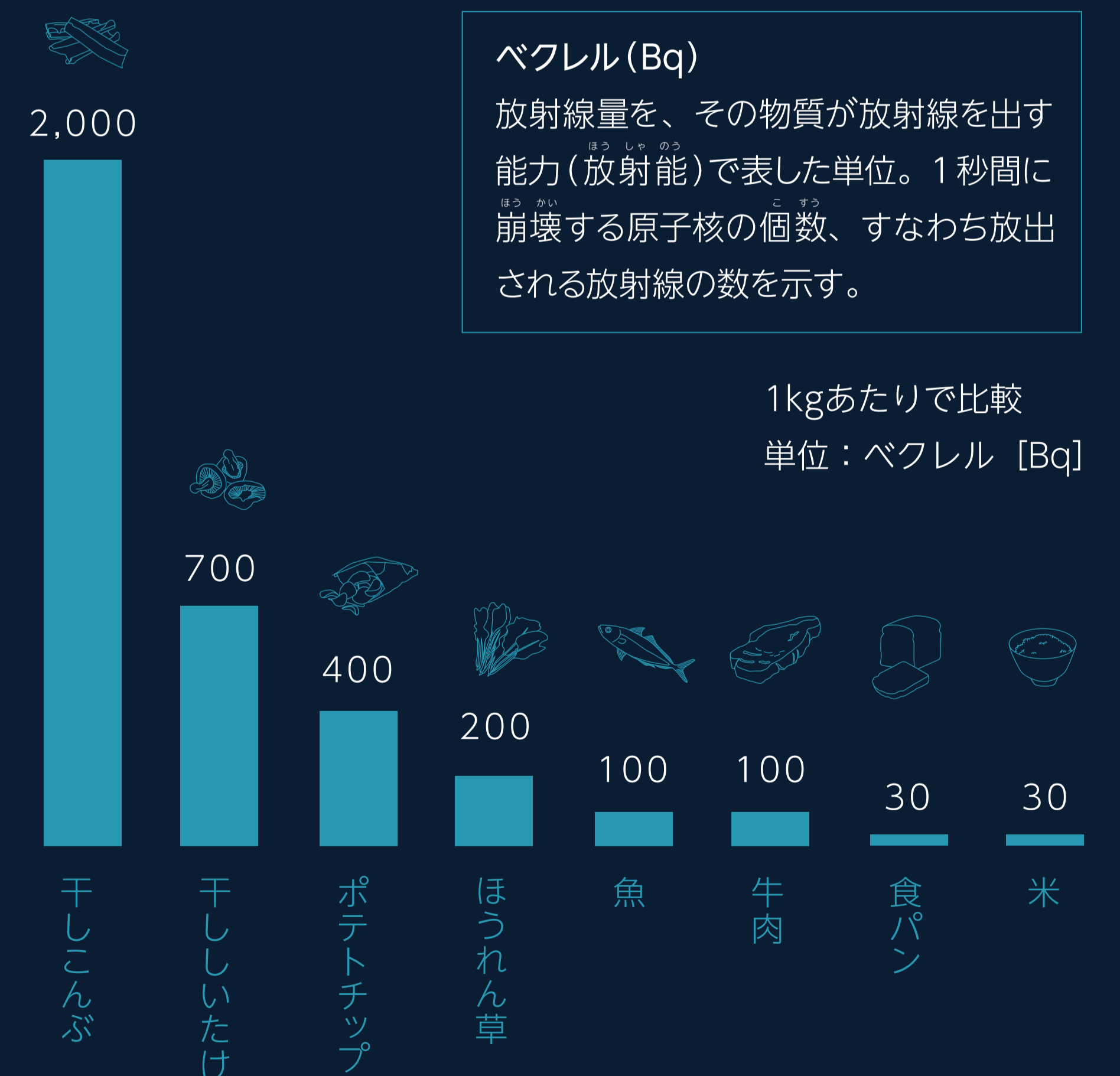
大気には、放射性物質であるラドンなどがわずかに含まれています。ラジウム温泉などでも、ラドンが生じるため放射線量が高くなります。

地面の岩石にはトリウムやビスマスなどの放射性物質が含まれており、放射線が常に出ています。砂や砂利を含むコンクリートからも放射線が出るため、鉄筋コンクリートの建物では木造家屋よりも室内空間線量が高くなります。



生涯被ばく量

常にあび続ける自然放射線に加え、ときどき受ける医療放射線の量を積み上げたものが、一人ひとりが一生涯で受ける放射線被ばく量となる。



身近な食べ物に含まれる放射性物質の量

(出典：原子力安全研究協会「生活環境放射線データに関する研究」)

日常生活で受ける放射線被ばく

(出典：放射線医学総合研究所「放射線被ばくの早見図(2013年5月改訂版)」)