

FACT 1 わかったこと

減少する 陸域の放射性物質

Reduction of radioactivity on land

放射線量の減少と避難指示区域の縮小

地震と津波に襲われた東京電力福島第一原子力発電所では、高温の核燃料を冷却し続けることができなくなり、それによって原子炉が破壊され、大量の放射性物質が放出されました。放出されたもののうち一部はガス状で、また一部は空気中の微粒子に付着して運ばれたほか¹⁾²⁾³⁾、1000分の1 mm から数分の1 mm の大きさの粒で飛んで行ったものもありました⁴⁾。

それら放射性物質は、放射線を出しながら減少していくとともに、人々の生活圏では除染が行われ、また風雨によって洗い流される効果によっても、陸地の放射線の量は下がりました。そして、避難指示地域も、縮小されてきています。

Reduction of radioactivity and shrink the Evacuation zone

At the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, hit by the earthquake and tsunami, nuclear fuel in high temperature could not be cooled down, destroyed the nuclear reactor and released a large amount of radioactive materials. They were gaseous, or attached with fine particles in the air¹⁾²⁾³⁾, or in grains with a size of 1/1000 to a fraction of a millimeter⁴⁾.

The amount of radioactive materials declined due to physical decay, decontamination, and the "rinse" effect by wind and rain. The area designated as an evacuation zone became smaller.

どじょう 土壌と強く結びつくセシウム

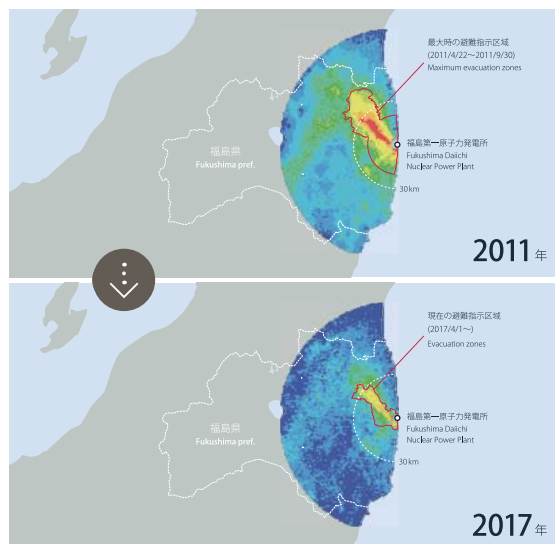
放射能汚染を受けた農林畜産物は出荷停止などを余儀なくされ、生産者は大きな被害を受けました。半減期の短い放射性物質が姿を消す中で、半減期約30年のセシウム137 (¹³⁷Cs)の大半は残り続けています。その後の調査で、地表に降り積もった放射性セシウムの多くは、土壌粒子と強く結びついて動かない状態となっており、水に溶けて植物に吸収されるものの割合は少ないことがわかりました。さらに肥料であるカリウムを与えることにより、作物のセシウム吸収を抑制する対策がとられています。

Cesium strongly bonds with soil particles

Some agriculture products in Fukushima suffered shipping suspension due to the radioactive contamination. As other radioactive materials with a short half-life disappear, ¹³⁷Cs with a half-life of 30 years continues to remain. Recent research has revealed that most of the radioactive cesium is strongly captured by soil particles and only a part of the cesium is transferred to plants. Plus, additional measures using potassium fertilization has drastically suppressed the transference level to plants.

原子炉から放出された大量の放射性物質は、東日本の広い地域に降りました。その汚染の様子は、その後7年の間に、大きく変化してきました。

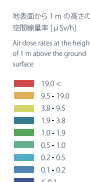
The distribution of radioactive materials spread in the eastern part of Japan has been drastically changing during the seven years.



空間線量率と避難指示区域の変化
福島第一原子力発電所から80 km 圏内における、地上1 m での空間線量率 (1 km 四方この年間平均値) の空間分布⁵⁾、および避難指示区域 (赤枠) の推移。

Changes in air dose rates and designation of evacuation zone

This is the averaged air dose rate per 1 km square, of 1 m above ground level, within 80 km from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant⁵⁾. The evacuation zone is indicated with a red line.

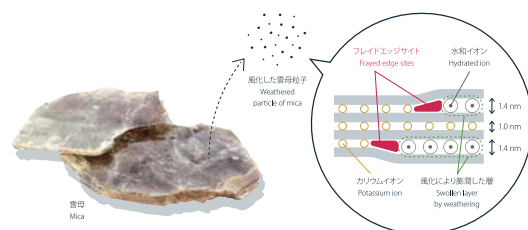
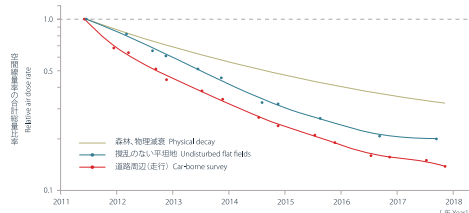


空間線量率の減少の様子

100 mメッシュごとの平均空間線量率 (地上1 m) の、時間経過にもなう減少率の推移を、福島第一原子力発電所から80 km 圏内で平均したものの⁶⁾。

Temporal change of the air dose rate

Averaged temporal change of reduction in air dose rate (1 m above ground level) within 80 km from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant⁶⁾.



セシウムを捕捉する土壌粒子の構造⁸⁾

一般的に福島の土壌には数母由来の鉱物が多く含まれている。セシウムは、その鉱物の層が風化して開いたところ (フレイドエッジ) に、捕捉され、強固に結合された状態で存在している。

Structure of Soil Particles Capturing Cesium⁸⁾

Soil in Fukushima is often rich in many minerals from mica. Most of the cesium on the ground is strongly bonded with soil particles by "frayed edge" – weathered layers of mica particle.

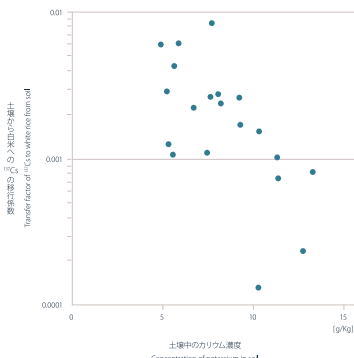
果菜類 Fruit veg	キュウリ Tomato ナス ピーマン	Cucumber Tomato Egg plant Green pepper	※
葉菜類 Leaf-veg	ブロッコリー キャベツ 玉レタス リーフレタス ネギ 春ネギ オウレンソウ	Broccoli Cabbage Leaf lettuce Leaf green onion Scallion	※
根菜類 Root veg	カブ ダイコン ニンジン ジャガイモ	Turnip Radish Carrot Potato	※
米 Rice	白米 玄米	White rice Brown rice	0.016 0.033

土壌中セシウムの作物への移行割合⁷⁾

[移行係数] = [作物 1 kg あたりの ¹³⁷Cs の量] ÷ [土壌 1 kg 中の ¹³⁷Cs の量]。
値が大きい作物ほど、セシウムを取り込みやすい。

Transfer factor of cesium in soil to agricultural products⁷⁾

[Transfer Factor] = [Amount of ¹³⁷Cs per kg of product] ÷ [Amount of ¹³⁷Cs per kg of soil]
Products with higher values have stronger power to absorb cesium.



カリウム施肥による放射能汚染の低減効果⁸⁾

肥料として与えるカリウムの量が多いほど、セシウムの白米への移行割合が少なくなることがわかる。

Reduction of radioactive contamination by potassium fertilization⁸⁾

The more potassium is supplied as a fertilizer, the less the cesium is transported to rice.

引用文献: ¹⁾ Saitoh et al., 2012, Atmos. Chem. Phys., 12, 2311–2343 ²⁾ Kristiansen et al., 2016, Atmos. Chem. Phys., 16, 2525–2561 ³⁾ Kaneyasu et al., 2012, Environ. Sci. Technol., 46, 5720–5728 ⁴⁾ K. Adachi et al., 2013, Sci. Rep., 3, 2554 ⁵⁾ 福島県原子力環境対策課編「平成23年度からの放射能汚染状況」平成23年度版「福島県原子力環境対策課」の放射能汚染状況報告書として発表されている「放射能汚染の分布状況に関する調査」で得られた結果の一環である ⁶⁾ Tsubota et al., 2011, J. Soc. Sci. Plant Nat., 82, 5, 405–418 ⁷⁾ 農業・食品産業技術総合研究機構「Komamura et al., 2005, Molec. Publ. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci., 28, 1–56 ⁸⁾ Tsubota et al., 2002, J. Environ. Radioact., 59, 351

放射能汚染に向きあう Getting along with radioactivity

FACT 2 わかったこと

広がり薄まる 海域の放射性物質

Lessening of concentration in the sea

事故前の人工放射性物質の存在

人工放射性物質との付き合いは、人類が原子力利用を開始した1940年代に始まりました。特に大気中での核実験によって、大量の人工放射性物質が環境中に放出され、北太平洋を中心に放射能汚染は世界中の海に広がっていました。そこへ福島原発由来の放射性物質が加わり、海水に溶け込み、海底に降り積もり、さらには海洋生物に取り込まれました。

Artificial radioactivity material that existed before the Fukushima nuclear disaster

Artificial radioactive materials emerged in the 1940s when humans started using nuclear power. Due to nuclear tests in the atmosphere, a large amount of artificial radioactive material spread to the oceans around the world mainly, in the North Pacific Ocean. Radioactive material from the Fukushima accident were then added, dissolved in seawater, precipitated on the ocean floor, and further incorporated into marine organisms.

広がり薄まる北太平洋の放射性物質

原発事故後、福島沖の海水から、放射能濃度の急激な上昇が観測されました。それは大気中に放出された放射性物質が、風に乘って運ばれて海上に降ったことによるものと、放射能汚染水が直接海へ漏れ出すことによって起きました。その後、放出量が抑えられたため、福島近海の放射能濃度も降下していましたが、福島第一原子力発電所からの小規模な放射能漏えいは現在でも続いています。放出された放射性物質のうち、海水に溶け込んだものは、海流に乗って北太平洋の東方へ運ばれるとともに、下へ沈み込む流れに沿って下方へも移動しながら、海水中へ広く拡散していきました。福島事故により、北太平洋全体に存在している放射性セシウムの総量は事故前から22%～27%増加したと見積もられています¹⁾。

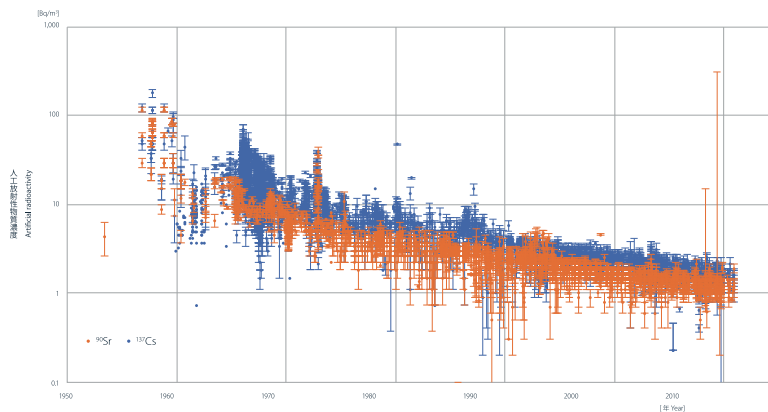
Spread and diluted radioactivity in the North Pacific Ocean

After the accident, a sharp rise in radioactivity concentration was observed from seawater off Fukushima. This was caused by the radioactive material transported by the wind, or released directly and contaminated the water. As the release amount began to be suppressed, the concentration of radioactivity in the waters near Fukushima also declined, but small-scale leakage continues even now. Among the released radioactive materials, those dissolved in seawater were transported to the eastern part of the North Pacific Ocean with ocean currents, moved downward with the seawater subduction, and extensively diffused. The total amount of radioactive cesium present throughout the North Pacific was estimated to increase by 22-27 % after the accident²⁾.

引用文献：*1: Aoyama and Hirose, 2004, HAM database and update *2: Aoyama et al., 2016, J. Oceanogr. 72, 66-76
*3: 東京電力 *4: 公益財団法人海洋生物圏環境研究所 *5: 一般財団法人電力中央研究所

原発から放出された放射性物質のうち、全体のおよそ4分の3は、海へと降り注ぎました。事故前から事故直後、そして7年の間に、海の放射能環境が、どのように変化したのかを見ていきます。

Approximately three quarters of the radioactive materials released from the nuclear reactor ended up in the ocean. Let's see the changes of the ocean's radioactivity environment before the accident, during the 7 years, and into the future.

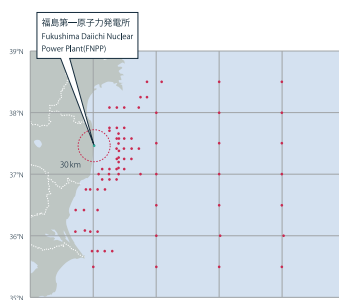
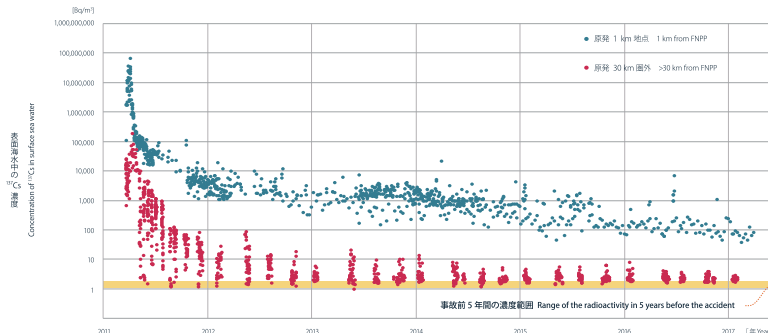


北太平洋の人工放射能濃度の推移

北太平洋の様々な場所で測定された、表面海水中の¹³⁷Csおよび⁹⁰Srの濃度の推移¹⁾。1960年台のピークから、徐々に濃度は低くなり、2011年の福島原発事故直前の表面水中のセシウム137の濃度は1～2 [Bq/m³]、北太平洋全体での存在量は、約69 PBq²⁾と見積もられていた。

Trend of artificial radioactivity concentration in the North Pacific Ocean

Changes in concentrations of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in surface seawater measured in various places in the North Pacific¹⁾. The concentration of ¹³⁷Cs in surface water before the accident in 2011 was 1~2 [Bq/m³]. The total amount of ¹³⁷Cs contained in the North Pacific was estimated at about 69 PBq²⁾.

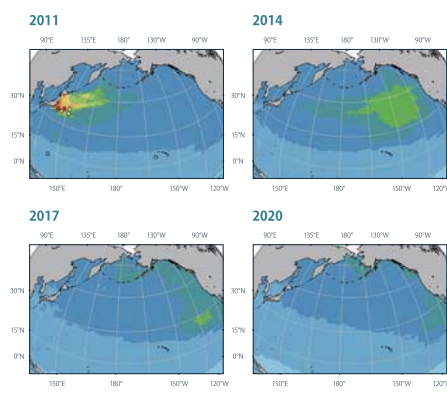


表面海水中の¹³⁷Cs濃度の推移

(上図) 表面の海水1 m³あたりの¹³⁷Csの濃度変化。青点は原発から1 km地点の値¹⁾、赤点で示されているのは、原発から30～350 kmのさまざまな地点(左図)で取水して測定したものの¹⁾。黄色の帯は事故前5年間の¹³⁷Cs濃度の範囲を示している。

Temporal changes in concentration of ¹³⁷Cs in surface seawater

(Above) Concentration changes of ¹³⁷Cs per 1 m³ of surface seawater. The blue points indicate data at a location of 1 km from the nuclear power plant¹⁾. The red points are from various places of 30-350 km from the plant (Left)¹⁾. Yellow indicates the observed range of a 5 year period before the accident.

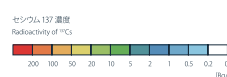


原発事故後の北太平洋における放射性物質分布の変化

福島原発から放出された¹³⁷Csが、海水にとりにまかれたあと、どのように移動・拡散していったのか、そして将来予測をシミュレーション計算により求めたもの³⁾。4つの図は、表面海水のセシウム濃度の、2011年3月、2014年3月、2017年3月、2020年3月それぞれでの月平均分布を表している。

Changes in radioactivity distribution in the North Pacific after the accident

Transportation and diffusion of ¹³⁷Cs in the seawater was resolved with numerical simulation³⁾. The four figures show the monthly average distribution of the cesium concentration of the surface seawater in March from 2011 to 2020.



放射能汚染に向きあう

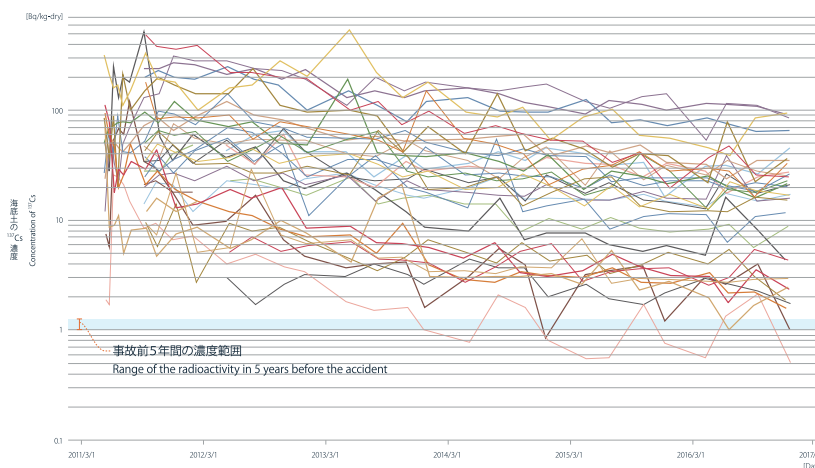
Getting along with radioactivity

海底土中の放射能濃度の低下

原発から海洋へ放出された放射性物質のうち、粒子状の物質に吸着したものは、沈殿して海底土を汚染しました。さまざまな場所で海底土を採取して放射能濃度を測定したところ、場所ごとに大きくばらつきながらも、全体的には時間とともに徐々に低下する傾向を示していました。この濃度低下は、①セシウム吸着粒子が流される、②セシウム吸着粒子からセシウムが海水へと溶け出す、③セシウム吸着粒子がより深い所へ移動することによるものと考えられています。

Decline of the concentration in the marine sediment

Among the radioactive materials leaked, some bonded onto particulate matter deposited on the sea floor. The cesium concentration in the marine sediment varies from place to place, but shows the overall tendency to decrease. The decline of the concentration can be attributed to (1) displacement with the particles onto which cesium bonded, (2) leaching cesium into sea water, (3) moving into a deeper area.

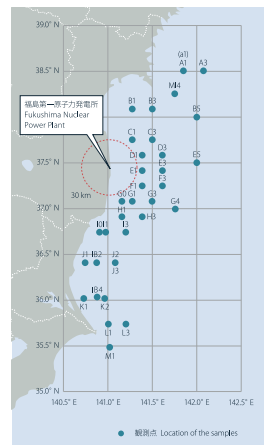
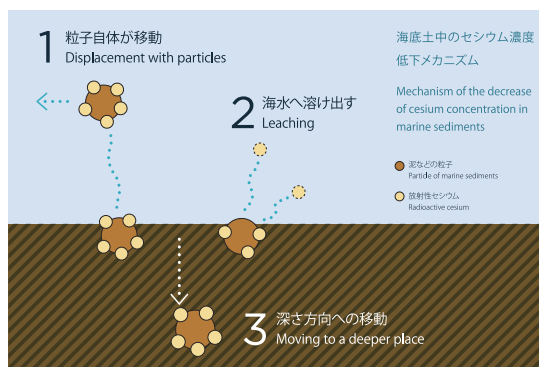


海底土の放射能濃度の推移^{*1}

(左図) 海底土を厚さ 3 cm 中の¹³⁷Cs 濃度の推移を場所ごとに示している。青色の帯は事故前 5 年間の¹³⁷Cs 濃度の範囲を示している。(右図) 海底土の採取地点。

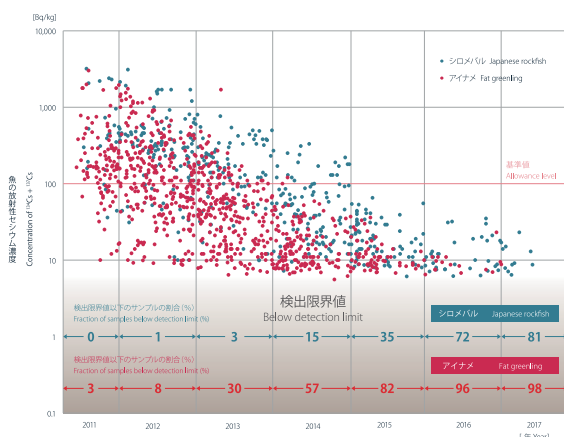
Change of radioactivity concentration in marine sediment^{*1}

(Left) The ¹³⁷Cs concentrations in sediments within 3 cm from the sea floor are shown for individual sample positions. The blue band indicates a range of the ¹³⁷Cs concentrations 5 years before the accident. (Right) Sediment sampling positions.



2016 年以降基準値超えの海産物はない

海洋生物を捕獲して、その放射性セシウムの濃度を測ることも、事故後継続的に行われています。事故直後には高濃度に汚染されていた状態から、あらゆる生物種で汚染度が時間とともに低下し、2016 年以降は食用として出荷が禁止される基準値を超えた海産物は発見されていません。また、海底土の汚染が、食物連鎖の過程で海洋生物に濃縮されるのではないかと懸念がありましたが、実験により、海底土は汚染されていても、セシウムがそこから離れて海洋生物にとりこまれることは、ほとんどないことがわかりました。



福島沖で捕獲された魚の放射能濃度の推移^{*2}

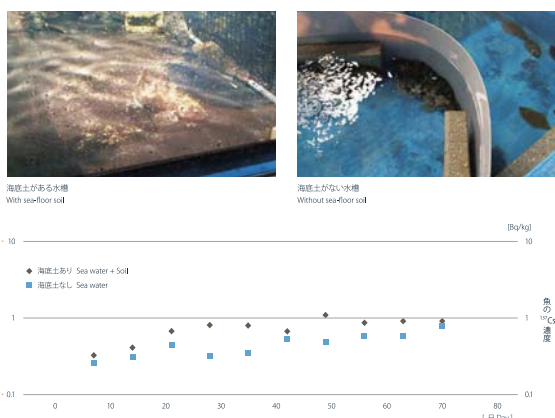
●印：福島県による農水産物放射能モニタリングで測定された、シロメバエとアイナメの可食部中の放射性セシウム濃度。1 つの●は、十分な精度で測定できる量まで同種の魚を集めた 1 検体を示す。数字：濃度が検出限界値以下であった検体数の割合。

Change of radioactive concentration in fish caught off Fukushima^{*2}

The concentration of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs in the edible section of Japanese rockfish and Fat greenling. Each symbol indicates one specimen that gathered the same kind of fish, up to the measurable amount with sufficient accuracy. Numerical figures show fraction of samples below the detection limit.

No marine products exceeding the allowance level after 2016

Capturing marine organisms and measuring their radioactive cesium concentration has also been continuously carried out after the accident. As time passes, the degree of pollution of all marine products has fallen, and after 2016 no marine products exceeded the clearance level. There was also a concern that the cesium in the sediment might be condensed in marine organisms via the food chain. However, experiments showed that cesium will seldom detach from the sea-floor soil and be absorbed by life forms.



汚染海底土を使ったアイナメの飼育実験^{*3}

汚染海底土のある環境で育てたアオゴカイを、アイナメに餌として与えながら飼育して、アイナメの可食部中の¹³⁷Cs 濃度を 1 週間ごとに測定した。アイナメの飼育環境は、汚染海底土のある環境と、ない環境とを用意して比較。汚染海底土がある水槽で育てたアイナメの方が、ないものに比べてわずかに濃度が高いが、いずれも 1 Bq/kg-wet 以下の値で推移した。

Breeding experiments on Fat-greenling with contaminated sea-floor soil^{*3}

Fat-greenlings were raised and fed with rag-worms grown in the contaminated sea-floor soil. The concentration of ¹³⁷Cs in their edible portion was measured every 7 days. For the experiment, a water vessel with contaminated sea-floor soil and one without soil were used for comparison. In either case, cesium concentrations were found to be below 1 Bq / kg - wet.

放射能汚染に向きあう

Getting along with radioactivity