

セシウム137は、半減期が30年と長いため、原子力発電所の事故等によって環境へ放出された場合、影響が長期化すると考えられます。環境中の放射性物質が作物の可食部（食べている所）に移行する経路は、大きく3つに分けられます。

1つ目は、大気中から直接葉等の可食部の表面等に付くものです。東京電力福島第一原子力発電所事故の直後に、野菜から計測された放射性物質は、大気中に放出された放射性物質が直接葉の表面に付いたものでした。

2つ目は、転流を介した経路です。転流とは、植物体内で、吸収した栄養素や光合成でできた栄養やその代謝産物が、ある組織から他の組織へと運搬されることをいいます。放射性物質が葉や樹皮に付着すると、葉や樹皮が放射性物質を吸収し、植物内で新芽や実の部分に移行することがあります。茶葉やタケノコ、ピワや梅等で比較的高濃度の放射性物質が見つかったのは、こうした移行経路によるものと考えられています。

3つ目は、土壌に含まれている放射性物質が根から吸収される経路です。大気中への放射性物質の放出が終わった後は、農地に降下した放射性物質が根から吸収される経路が主となります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

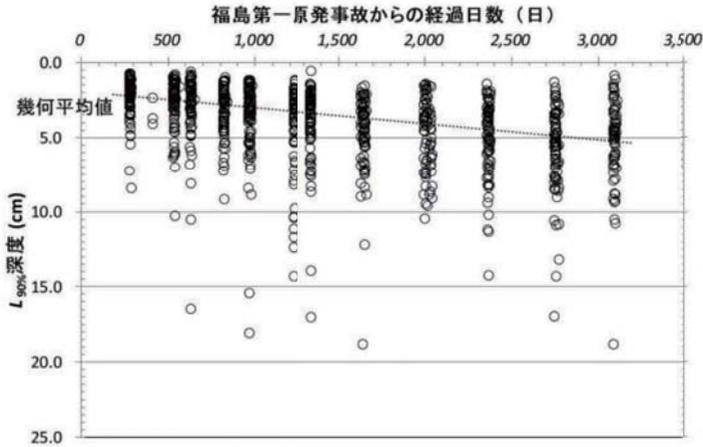


図 2011年12月からの90%深度 $L_{90\%}$ *の経時的な変化データ群（福島県、宮城県南部、茨城県北部 85箇所、非耕作地）
 （参考）90%深度 $L_{90\%}$ ：放射性セシウムの沈着量の90%が含まれる地表面からの深度

出典：2019年度原子力規制庁委託事業「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約」 成果報告書「土壌における放射性セシウムの分布状況」より作成

今回の東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い環境中に放出された放射性セシウムの土壌中の深度分布に関する調査が、2011年度から福島県、宮城県南部、茨城県北部において実施されてきています。

土壌に沈着した放射性セシウムの90%が存在する土壌表面からの深度（90%深度）は、時間の経過と共に僅かずつ状況が変化しており、その幾何平均値は2019年9月時点で4.6cmでした。

除染や深耕やひび割れなどの土壌の性状により、放射性セシウムの分布状況が変わります。土壌中の粘土質の中には、パーミキュライトを含む粘土鉱物やゼオライトなどはセシウムを強く吸着する性質を持っています。セシウムは、これらの粘土質に吸着され、水に溶けにくくなり、土壌に固定されて土壌の表層付近に長期間とどまります（上巻P179「環境中での放射性セシウムの動き：粘土鉱物による吸着・固着」）。

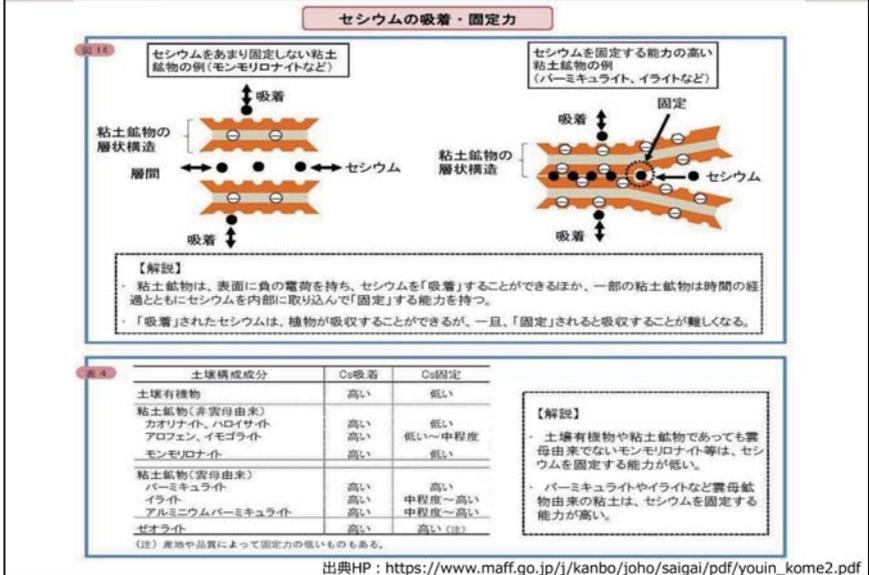
これにより、放射性セシウムが土壌の表層付近にあることで、地表面よりも深くに根を生やしている植物では、物理的に根と放射性セシウムが隔てられていることとなります。

1986年に起こったチェルノブイリ原子力発電所事故の影響調査では、事故後14年経過しても、事故により降ったセシウム137の約80%が、表面から10cm内の所にとどまっていることも分かっています。（国際原子力機関（IAEA）国際チェルノブイリフォーラム報告書（2006年））

本資料への収録日：2017年3月31日

改訂日：2022年3月31日

長期的影響 環境中での放射性セシウム動き：粘土鉱物による吸着・固定



4.4 長期的影響

セシウムはカリウム等と化学的に同じような性質（1価の正電荷）を持っていることから、表面に負の電荷を持つ粘土鉱物に吸着されやすい性質があります。さらに、一部の粘土鉱物は時間の経過と共に吸着したセシウムを「固定」する能力を持ち、一度固定されたセシウムは水に溶け出しにくいことが分かっています。

今回の事故により環境中に放出された放射性セシウムは、時間の経過と共に土壌中の粘土鉱物による吸着・固定が進み、作物に吸収されにくくなっています。（上図）

なかでも、パーミキュライトやイライト等の雲母鉱物由来の粘土はセシウムを固定する能力が高いことが分かっています。（下表）

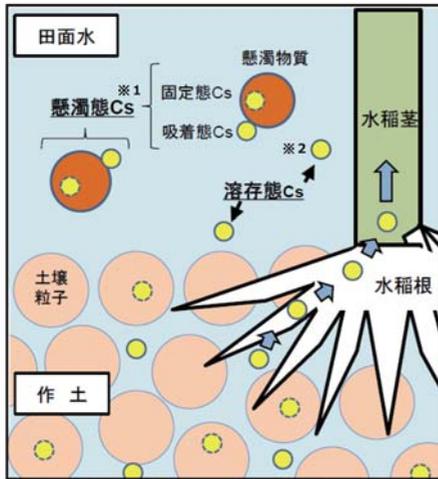
これまでの調査研究の結果から、福島県内の河川において、河川水中の放射性セシウム濃度は、徐々に減少する傾向が確認されています。また、森林等から河川に流入する放射性セシウムの濃度も、時間と共に減少する傾向が確認されています¹。

1. 原子力規制庁委託事業「平成26年度東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発」事業 成果報告書

本資料への収録日：2017年3月31日

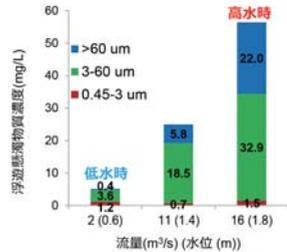
長期的影響 環境中での放射性セシウム動き：水中から植物への移行

水中のセシウムの形態のイメージ図



※1：「懸濁態」放射性物質が土粒子や有機物に吸着・固定された状態。
懸濁態のセシウムは水稻の根や茎から直接吸収されることはほとんどない。
※2：「溶存態」放射性物質が水中に溶け出した状態。

請戸川下流域（請戸川橋）での観測結果（2014年）



高水時の河川水中の浮遊懸濁物質濃度と粒径
河川水中の溶存態および懸濁態セシウム濃度

	低水時	高水時
河川流量	2 m³/s	16 m³/s
溶存態 ¹³⁷ Cs濃度	0.3 Bq/L	0.3 Bq/L
懸濁態 ¹³⁷ Cs濃度	0.1 Bq/L	2.2 Bq/L
溶存態の割合	75%	12%
総 ¹³⁴⁺¹³⁷ Cs濃度	0.6 Bq/L	3.3 Bq/L

出典HP：
https://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/youin_kome2.pdf
<https://fukushima.jaea.go.jp/report/document/pdf/pdf1702/hokokukai11.pdf>
 より作成

田植えの代かきで田に水をはると、セシウムが溶け出した溶存態と土壌粒子などにくっついて浮遊する懸濁態がありますが、土壌に吸着もしくは固定化している状況では、溶存態は極めて少なく、懸濁態の状態では水稻の根や茎から直接吸収されることはありません。（左図）

また、ため池や水路等における水中のセシウムは時間と共に、土壌に吸着もしくは、固定化されます。このため、福島県内の調査結果では、河川の流量が少なく、濁りが少ない状態では、大部分の放射性セシウムは溶存態で存在しますが、その濃度は通常の放射能濃度測定の実検限界（約1ベクレル/L）より低い濃度です。

右の上図に示すように、大雨時など河川の流量が増加（高水時）すると、浮遊懸濁物質の濃度が高くなりますが、この懸濁物質には放射性セシウムが強く吸着されています（懸濁態）。そのため、高水時には溶存態の放射性セシウム濃度はあまり変わらず、懸濁態の放射性セシウム濃度だけが高くなりますが、時間と共に低下します。また、河川の流量の増加に伴い、浮遊懸濁物質の粒径が大きくなり、河川水は濁ります。この濁りはろ過で取り除くことができます。これまでの福島県・請戸川の調査事例では、右下の表に示すように通常時の放射性セシウム濃度は飲料水基準値（10ベクレル/kg）を下回っていますし、高水時でも増加した懸濁態をろ過することにより上澄み水では、放射性セシウムは検出限界（約1ベクレル/L）以下となります。

本資料への収録日：2017年3月31日

改訂日：2019年3月31日

長期的影響 環境中での放射性セシウムの動き：森林土壌からの流出

これまでの調査から、森林土壌から1年間に流出する放射性セシウム137の流出率は、流域の土壌への沈着量の0.02～0.3%程度であることが分かっています。

【表1】流域から河川への放射性Csの流出(流出率)

流域	川 俣 町			筑波山	丸森町
	虎石山流域 ^{※1}	石平山流域 ^{※1}	高太石山流域 ^{※1}	霞ヶ浦流域 ^{※2}	宇多川上流 ^{※2}
調査期間	44～45日間 ^{※3}			21か月間	15か月間
土壌へのCs-137沈着量(kBq/m)	544	298	916	13	170～230
Cs-137流出量 ^{※4} (kBq/m)	0.087	0.026	0.021	0.06	0.22～0.34
土壌へのCs-137沈着量に対するCs-137流出量	0.016%	0.009%	0.002%	0.5%	0.12～0.15%
↓					
Cs-137の年間流出量 ^{※5}	0.13%	0.07%	0.02%	0.26%	0.10～0.12%

※1：(出典) JAEA・平成24年度放射能測定調査委託事業「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成果報告書
 ※2：(出典)国立環境研究所, 2012.2013
 ※3：3流域の比較可能な2012年10月1日～9・10日, 10月22日～11月3日, 11月29・30日～12月18・19日調査期間(44～45日間)を抽出し合計。
 ※4：○虎石山流域, 石平山流域, 高太石山流域： 流水水における溶存態・SS(懸濁植物質)・粗大有機物(流水水中の葉や枝等)のCs-137の合計。
 ・溶存態：2012年8月, 10月の平常時に於ける溶存態放射性セシウム濃度も流水水の流出量にかけた。
 ・SS・SSサンブラーの放射性セシウム濃度も濃度計の連続データと流量から得られたSSの流量にかけた。
 ・粗大有機物・有機物の放射性セシウム濃度をトラップされた全量にかけた。
 ○霞ヶ浦流域, 宇多川上流： SS由来のCs-137
 ※5：上表のデータより, 土壌への沈着量に対する流出率と調査期間から年間流出率に換算(環境省による試算)。
 その際, 放射性セシウムの自然崩壊や対象期間内の降雨の状況等は考慮していない。

事故当初樹木の葉、枝等に付着した放射性物質は、時間の経過と共に林床の落葉層や土壌に移行し、現状では8割程度が土壌表層部に滞留しており、鉍質土壌によって強く保持されています(上巻 P179「環境中での放射性セシウムの動き：粘土鉍物による吸着・固着」)。

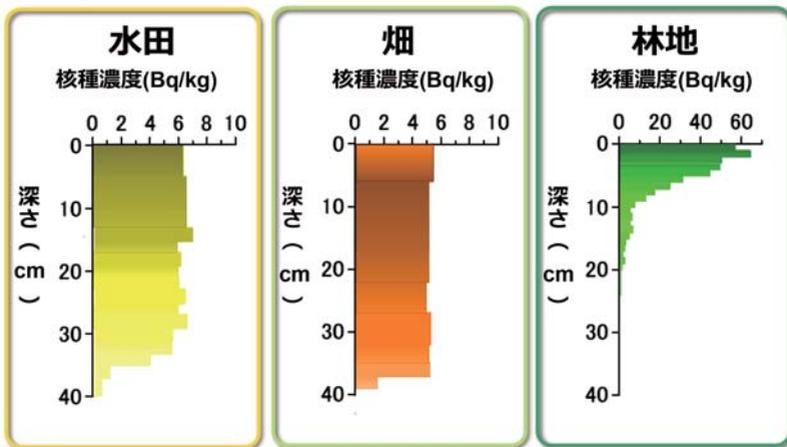
また、これまでの調査から、森林土壌から1年間に流出する放射性セシウム137の流出率は、流域の土壌への沈着量の0.02～0.3%程度であることが分かっています。

参考資料

- ・第16回環境回復検討会資料

本資料への収録日：2017年3月31日

2009年10月に北海道で採取した土壌のセシウム137濃度の深度分布



Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典：木方ら、第52回環境放射能調査成果抄録集（2010年）他より作成

1950年代後半から1960年代前半をピークに多くの大気中核実験が実施されたことから、これに起因する放射性降下物が地球全域に降り注ぎました。2011年3月11日以前の日本で検出されている放射性セシウムやストロンチウム90はこのフォールアウト由来であると考えられます（上巻 P78「大気圏核実験による放射性降下物の影響」）。

2009年に北海道で行われた土壌調査の結果、水田や畑のように耕された土壌では、表面から40cm 深くまでセシウム137が検出されましたが、耕されていない林地では、表面から20cm 内にセシウム137がとどまっていました。

セシウムがどれだけ土壌に強く吸着するかは、土壌の性質にもよりますが、日本の土壌でも、セシウム137が表層にとどまりやすいことが分かっています。

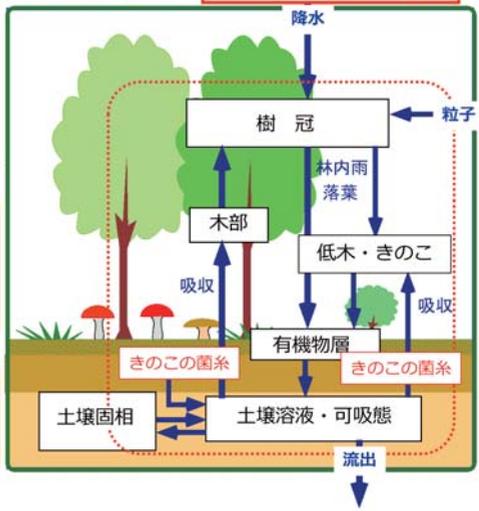
（関連ページ：上巻 P178「土壌中の放射性セシウムの分布の状況」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

分布は時間（年）と共に変化します。 森林中で大きく動く

- 大気からの沈着直後：
 - ・樹冠の葉・枝（一部表面吸収 & 転流）
 - ・土壌有機物層（腐葉土層等）の表面付近
- その後：
 - ・樹冠から土壌有機物層へ
 - ・有機物層からその下の土壌へ
 - ・植物の経根吸収
- 最終的には：
 - ・大部分が土壌有機物層を含めた土壌表層部に蓄積



森林中の放射性物質の分布は年単位の時間経過によって大きく変化すると考えられています。

大気に含まれる放射性セシウムは葉や枝に付着します。葉や枝はやがて枯れて腐葉土のような有機物を含んだ土壌になります。放射性物質の一部は葉や樹皮から吸収され、植物内で新芽や実の部分に移行することもあります。これもいずれは土になります。

有機物の多い土壌では、セシウムを吸着する粘土質に乏しいため、セシウムが植物に吸収されやすい状態にあります。

有機物層にあるセシウムはその下の土壌に徐々に移行し、表層よりも少し深い所に根を張る植物もセシウムを吸収するようになります。

このように、放射性セシウムも安定なセシウムと同様に、植物と土壌との間を循環する過程で土壌の粘土質に固着され、最終的には土壌表層部に蓄積します。

なお、国立研究開発法人森林総合研究所が渓流水を採取してセシウムを計測したところ大部分の渓流水では、セシウムは検出されませんでした。降雨のあった日の一部の濁り水にセシウムが含まれていましたが、その量はごく僅かでした（下巻P30「渓流水中の放射性セシウムの観測結果（2012年）」）。

（関連ページ：下巻P28「森林の空間線量率の変化」、下巻P29「森林内の放射性セシウムの分布状況の変化」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



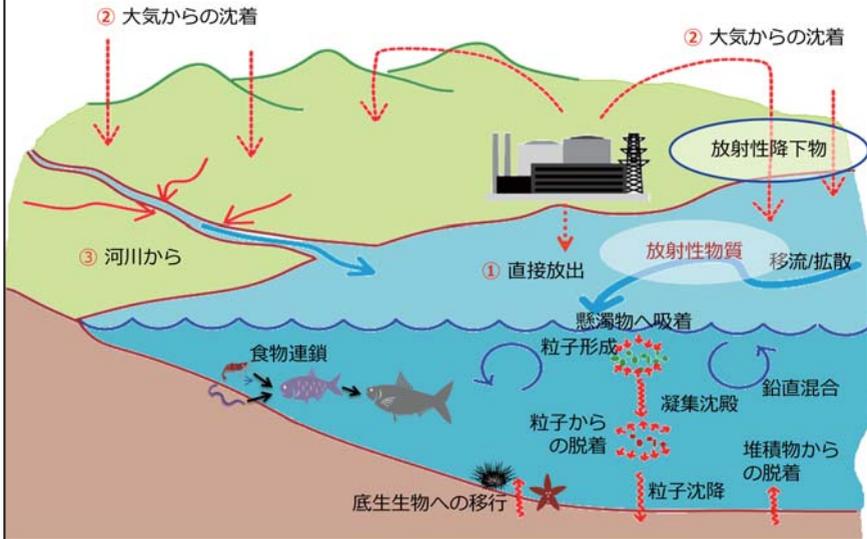
東京電力福島第一原子力発電所事故によって環境中へ放出されたセシウムの分布は時間経過と共に大きく変化しました。事故直後に樹皮や枝葉に付着したセシウムは落葉や降雨等によって林床へと移行し、現在では90%以上が地表から5cmの深さまでにとどまっていることが分かっています。一方で、地表面付近のセシウム減少量が物理減衰による減少よりも大きいことから、僅かに地中方向に移動していることが推測されています。

セシウムは特定の粘土鉱物に強く吸着する性質があり、水中にはほとんど溶け出しません（上巻P179「環境中での放射性セシウムの動き：粘土鉱物による吸着・固着」）。また、風等による大気中への再飛散も現在ではほとんどないことが分かっています。これらのことから、森林から生活圏へのセシウムの流入は少ないことが予想されています。

上の図は、森林に降下・沈着したセシウムが上流から河口にあるダム湖に流れ込むまでの過程をイラストで示したものです。2つの拡大図は林床とダム湖底質をそれぞれ表しており、どちらもセシウムが土壌表層に堆積していることが分かります。

セシウムは、急流においては土粒子に吸着した状態で下流へと運搬され、緩流においては堆積する傾向にあります。また、上流にダム湖がある場合、セシウムがダム湖によってせき止められるため、下流へのセシウムの流出が少ない傾向にあります。さらに、台風や大雨等によってダム湖水位が高くなった場合においても、ダムの放流口付近の底質の流速が遅いため、堆積土壌の巻き上げはほとんど起こらないことが分かっています。

「(海洋への)直接放出」、「大気からの沈着」は事故当時の状況を表しています



東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の海洋中の分布は、時間経過によって大きく変化します。放射性物質が海洋に運ばれる経路には、①発電所からの海洋への直接の流入、②風に乗って運ばれた放射性物質の海洋への降下、③陸に降下した放射性物質の河川や地下水を介した海への運搬の3つのルートが考えられます。ただし、セシウムの場合、土壤中に強く吸着されることから、地下水と共に移行して海に達することはほとんど考えられません。

海水中の放射性セシウムの濃度は、事故直後急激に上昇しましたが、1～2か月のうちに海流に乗って流されたり、拡散したりすることで下がりました。海産物の放射性セシウムの濃度は海水中の濃度と関係があり、海水中の濃度の低下と共に海産物の濃度も低下しました。また、放射性セシウムの一部は海底に沈降したため、海底付近にいる魚類（底魚）への移行が懸念されましたが、調査研究の結果、ヒラメ・マダラ等の底魚の放射性セシウムの濃度は福島沖を含めて低下しています。この理由としては、放射性セシウムが底泥中の粘土に強く吸着されること及び、海底土から底生生物へのセシウム移行率は小さく、粘土に吸着されたセシウムが海産物の体内に取り込まれにくいことが挙げられます（出典：水産庁、水産物の放射性物質の検査に係る報告書、2015年）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

$$\text{濃縮係数} = (\text{海産生物中の濃度}) / (\text{海水中の濃度})$$

生物の種類	濃縮係数※ (セシウム)
イカ・タコ	9
植物プランクトン	20
動物プランクトン	40
藻類	50
エビ・カニ	50
貝類	60
魚	100
イルカ	300
トド	400



現在の海水セシウム濃度は、事故前と同レベル
(0.001~0.01ベクレル/リットル)である。

※ 濃縮係数は、下記IAEA文献による推奨値

出典：国際原子力機関（IAEA）Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, 2004より作成

濃縮係数とは、海産生物が一定の濃度の海水に長期間置かれた場合の、海産生物中の濃度と海水中の濃度の比率を表したもので、放射性物質の海産生物への蓄積の度合いを示しています。

セシウムの濃縮係数を比べると、プランクトンより魚、魚よりは魚を捕食する大型哺乳類のほうが高いことが分かります。

セシウムについても生物濃縮はありますが、水銀やカドミウムのように生物体への蓄積が続くことはほぼなく、海水中のセシウム濃度が下がれば低下していくと考えられています。

なお、表中の濃縮係数は国際原子力機関（IAEA）による推奨値です。現在、海水中のセシウム濃度は、東京電力福島第一原子力発電所港湾内を除き、事故前とほぼ変わらない濃度（0.001~0.01ベクレル/L）まで下がっています（下巻P44「海水の放射能濃度の推移」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日