

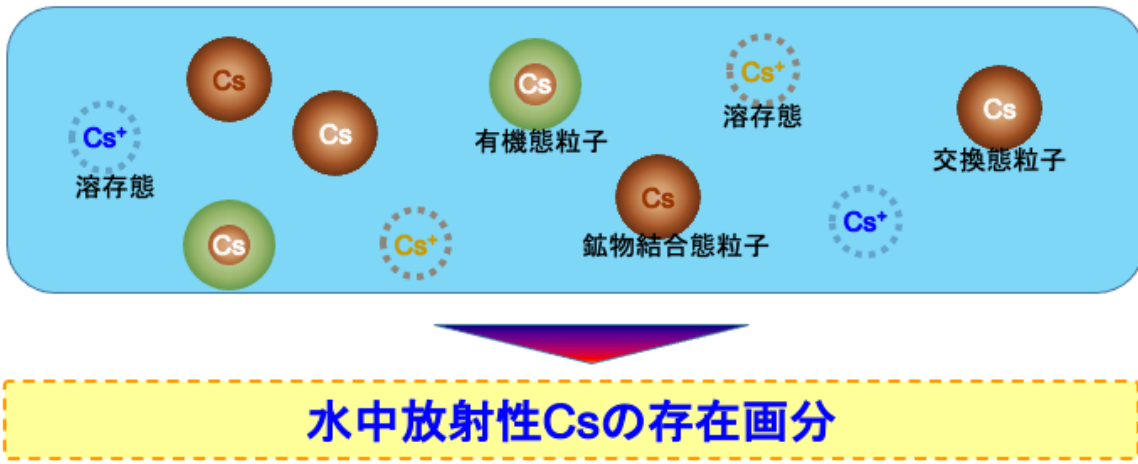
第2章

水中の放射性セシウムの存在形態と濃度レベル

- 2. 1 概要
- 2. 2 河川
- 2. 3 貯水池
- 2. 4 農業用水
- 2. 5 沿岸

本章では、水中の放射性セシウムの存在形態および濃度レベルに関する基本的な情報を提供するため、河川、貯水池、沿岸における既往文献のレビューを行った。

- 環境水中における放射性Csの存在形態は、主に懸濁態と溶存態に分かれる。
- 懸濁態放射性Csは、主に土粒子や有機物などの懸濁物質（SS:suspended solid）に付着（吸着）もしくは固定された形として存在し、溶存態放射性Csは、主にイオン態として存在する。



環境水中における放射性セシウム（Cs）の存在形態は主に溶存態と懸濁態に分かれる。

懸濁態放射性Csは、主に土粒子や有機物などの懸濁物質（SS:suspended solid）に付着（吸着）もしくは固定された形として存在している（懸濁態放射性Csは、操作定義的には、前述したフィルター上に捕捉されるものを指すことが多い）。

溶存態放射性Csは、イオン態が主の存在形態であるが、分析法の定義上孔径0.45 μm のフィルター通過分を溶存態と分類することが多く、孔径0.45 μm 以下のコロイド態や溶存有機物付着態もこの中に含まれる（一般に、孔径0.45 μm のフィルター通過成分を溶存態と定義することが多いが、孔径1.0 μm や0.025 μm のフィルターを通過する成分を溶存態と定義する場合もある）。



環境水中のCsは、溶存態と懸濁態ではその挙動が大きく異なる。溶存態Csは、農作物に吸収されやすいという特徴がある。一方、懸濁態Csの多くは植物等には吸収されにくい、出水に伴って大規模に移動する。

そのため、水中の放射性Cs濃度の定量には、その目的に応じて、全濃度分析と、溶存態・懸濁態を分離した存在状態毎の分析を行う必要がある。

例えば、環境中の放射性Csの農作物への移行の程度を評価するためには、土壌中の放射性Cs濃度だけでなく、農業用水の溶存態放射性Cs濃度のデータが必要である。

長期的なCsの環境動態予測等を行うためには、溶存態Csと懸濁態Csのそれぞれの形態濃度が必要である。

水道水の放射性物質の管理目標値(^{137}Cs と ^{134}Cs の合計値: 10Bq/L)への適合を確認することが目的の場合などは、全濃度分析値(懸濁態濃度及び溶存態の合計値)を用いることとなる。

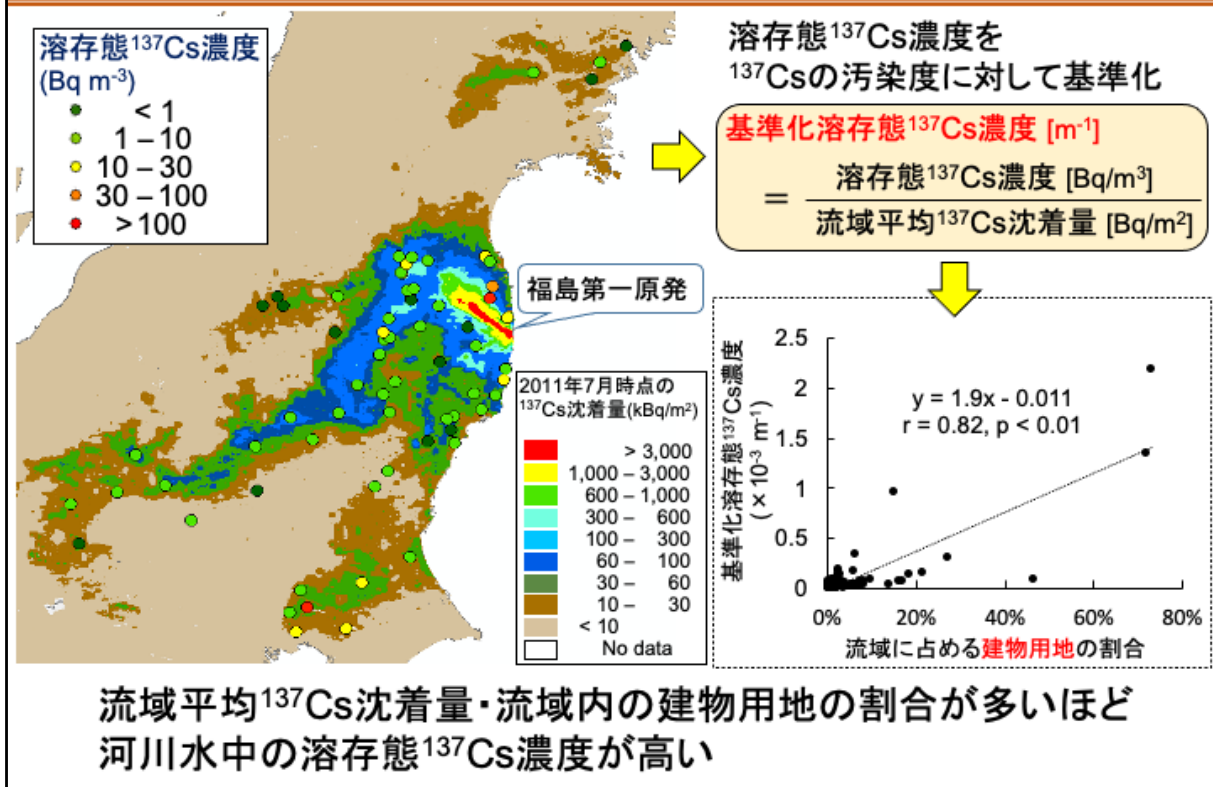
水中の懸濁態放射性Csおよび溶存態放射性Csの濃度測定のため具体的な濃縮方法については、6章および7章で詳述する。

第2.2節



河川

2.2節では、河川に係わるの放射性セシウムの存在形態と濃度レベルについて説明する。

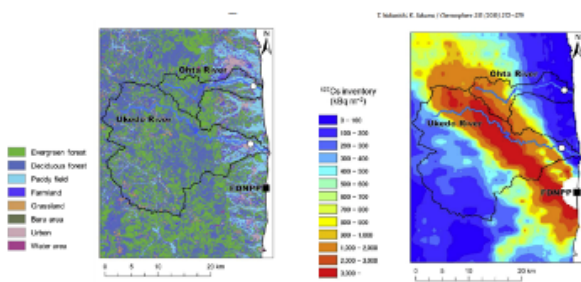


岩手県～千葉県における環境省 震災対応モニタリングの対象地点で、2017年8月～9月にて河川水中の溶存態¹³⁷Cs濃度をPBカートリッジ法を用い計測した。

基準化溶存態¹³⁷Cs濃度との回帰分析にあたっては、共存溶存物質・水質(pH, EC)・土地利用・土壌組成・地形影響を説明変数とした重回帰分析を行い、最もp値が低かった変数が建物用地の割合であった($p = 1.4 \times 10^{-5}$)。

2018年段階では、河川水中の溶存態の放射性セシウム濃度多くの地点で 1-10 mBq/Lと非常に低濃度であることがわかった。

Tsuji et. al. (2019) Science of the Total Environment, 697, 134093 より引用。



○流域に高線量区域を含む太田川、請戸川における、形態別の¹³⁷Cs濃度の測定
 ○溶存態¹³⁷Cs濃度には、長期的な減少傾向に加え、夏に高く冬に低くなるという季節変動が認められた。

Temporal variation of ¹³⁷Cs concentration in river water at highly contaminated forest watershed of ¹³⁷Cs .
 Nakanishi et al.,(2019)Chemospher 272-279

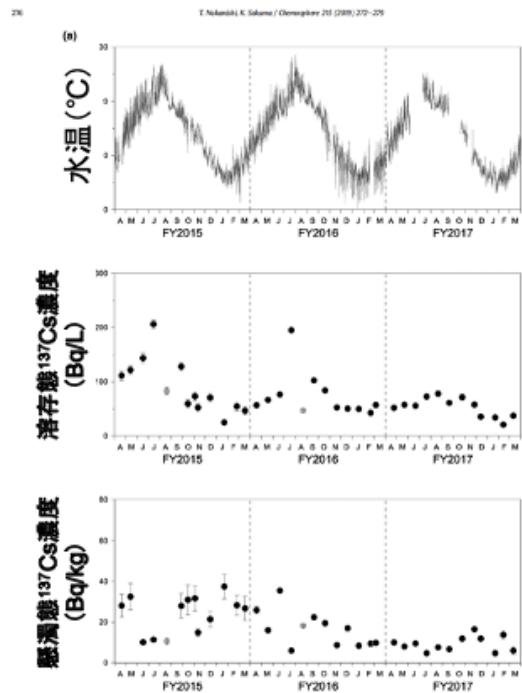
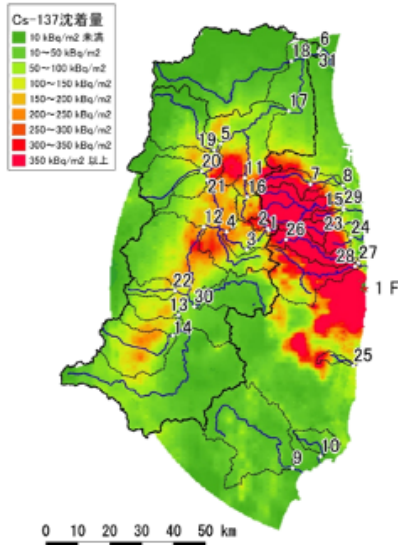


Fig. 8. Temporal variations in (a) water temperature, (b) dissolved ¹³⁷Cs concentration and (c) particulate ¹³⁷Cs concentration at Ohma River. Gray circles in (b) and (c) represent the sample collected under high flow condition. Note that there are some periods lacking water temperature measurements.

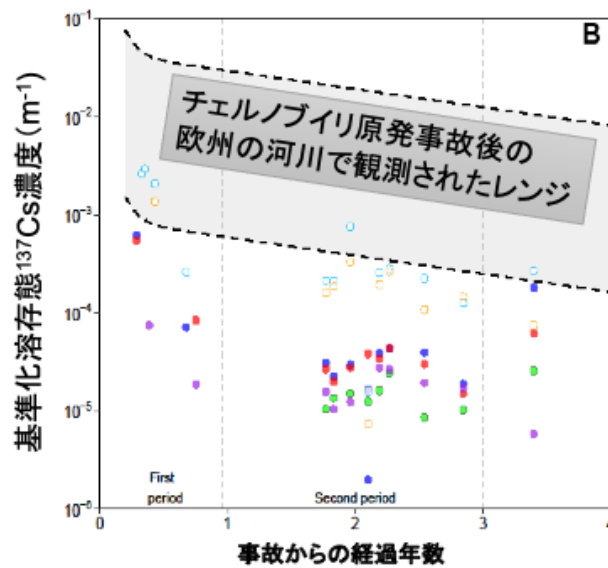
流域に高線量区域を含む太田川、請戸川において、形態別の¹³⁷Cs濃度を測定した。

長期的な減少傾向に加え、溶存態¹³⁷Cs濃度が、夏に高く冬に低くなるという季節変動が認められた。

Nakanishi et al. (2019) Chemosphere, 215, 272–279より引用



チェルノブイリ事故後の欧州の河川と比較すると、最も低いレベルかそれより1桁以上低い値で推移している。



Kuchibuto River (Tributary)	● 1 Mizusakai(Miz)	● 2 Kuchibuto_Upper(KU)
Abukuma River (Main river)	● 3 Kuchibuto_Middle(KM)	● 4 Kuchibuto_Down(KD)
Pripyat river (Reference)	○ 5 Fushiguro(Fus)	○ 6 Iwanuma(Iwa)
	△ After Chernobyl accident by UHMI	

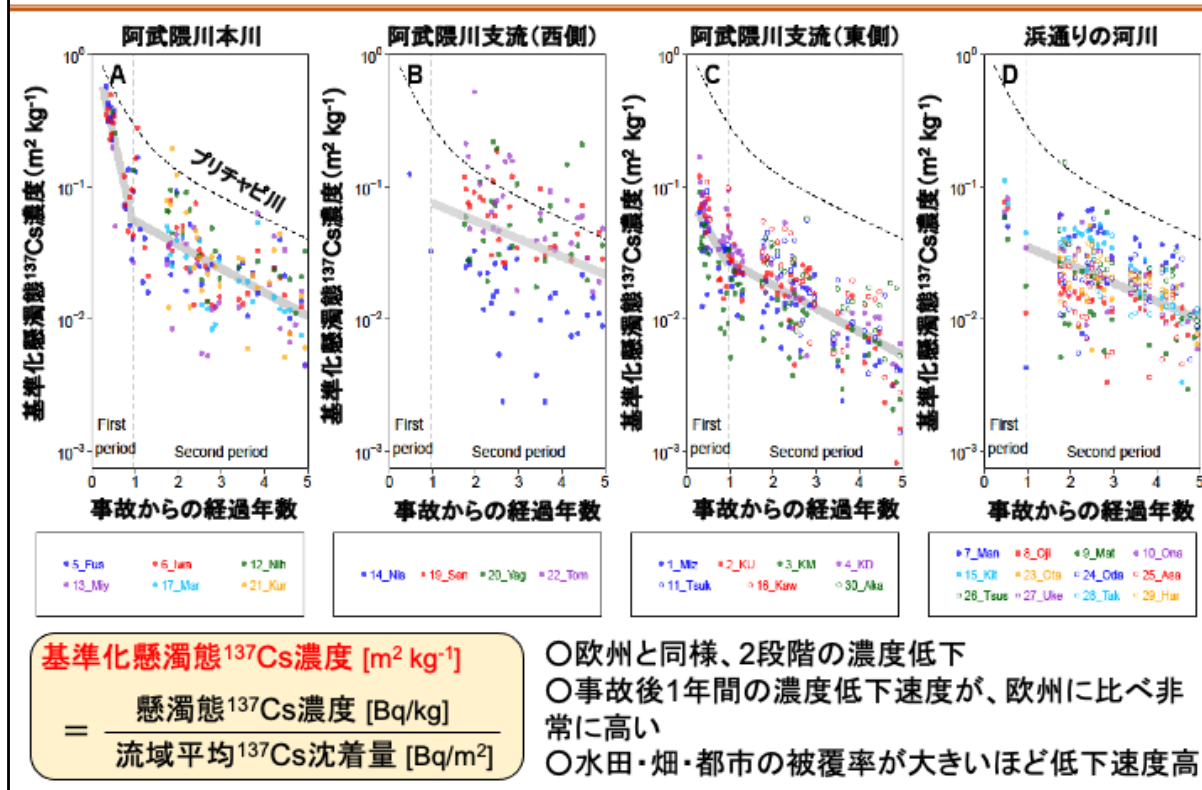
筑波大学・福島県環境創造センターが実施している形態別放射性セシウム濃度の長期モニタリングの結果から、河川における放射性セシウム濃度の長期的な変動の特徴を述べる。

阿武隈川水系と福島県浜通の河川の計30地点で、形態別の放射性Cs濃度を測定した。このうち6地点は、2011年6月からの長期観測地点である。

事故後4年間の、阿武隈水系の6つの観測点における基準化溶存態 ^{137}Cs 濃度 (Bq L⁻¹ /Bq m⁻²)の時間変化を示す。(濃縮方法はAMP法)

チェルノブイリ原子力発電所事故後の欧州の河川に比べ、最も低いレベルかそれより1~2桁低い値で推移していることがわかる。

Taniguchi et al. (2019) Environmental Science and Technology, 53(21), 12339–12347 より引用(グラフを一部改変)



事故後5年間の、基準化懸濁態 ^{137}Cs 濃度の経時変化を示す。(浮遊砂サンプリング法で捕集されたもの。)

比較のため、グラフにはチェルノブイリ原発事故後のプリチャピ川の基準化懸濁態 ^{137}Cs 濃度の低下傾向を点線で記載した。

事故後1年間に急激な濃度低下が見られ、2年目以降も緩やかな濃度低下が続いている。阿武隈川本川のグラフに見られるように、事故直後1年間の濃度低下速度が、プリチャピ川と比べ著しく

高かった。この傾向は、流域の土地利用別被覆率において、水田・畑・都市の割合が高い河川ほど顕著に認められた。

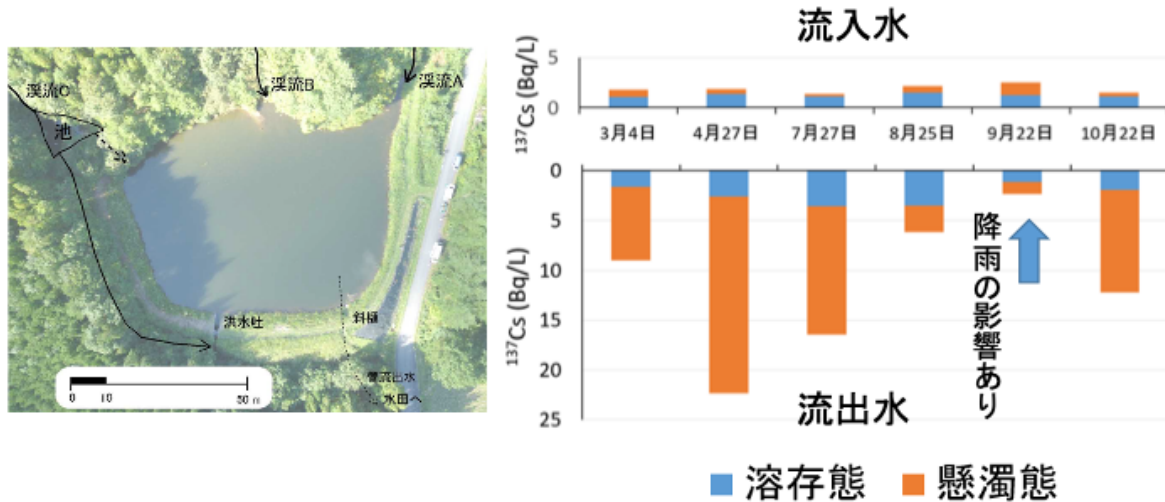
Taniguchi et al. (2019) Environmental Science and Technology, 53(21), 12339–12347 より引用(グラフを一部改変)

第2.3節

貯水池

2.3節では、貯水池に係わるの放射性セシウムの存在形態と濃度レベルについて説明する。

帰還困難区域内のため池で、流入・流出水に含まれる ^{137}Cs を比べると、流出水の方が懸濁態ならびに溶存態とも全般に濃度が高かった。底質に蓄積した ^{137}Cs の溶出ならびに流出の影響である。



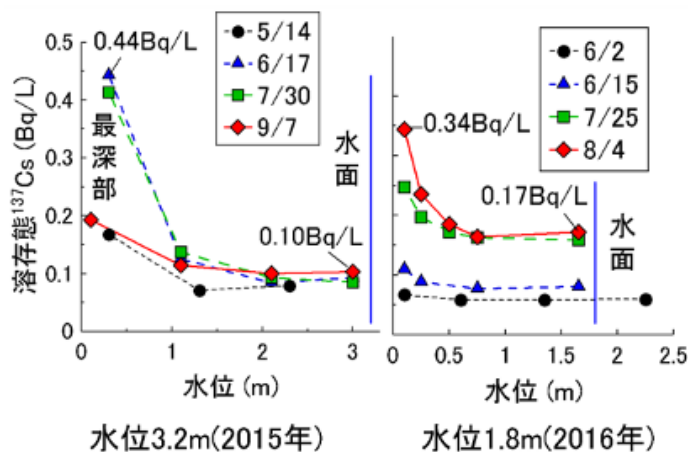
ため池の流入水と流出水中の ^{137}Cs 濃度(2016年)

水位を低く管理したため池(大熊町)において、ため池への流入水と流出水に含まれる、 ^{137}Cs 濃度を形態別に調べた結果、降雨時を除くと、流出水に含まれる ^{137}Cs は、懸濁態で流入水の28倍(平均)、溶存態で2.1倍(同)であった。したがって、明らかにため池に蓄積した ^{137}Cs の流出が生じている。

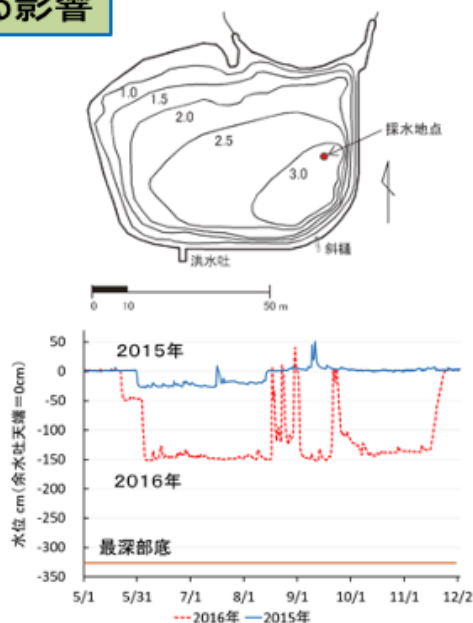
また、原発被災地では、ため池の除染作業が進められているが、高い放射性Csが蓄積した底質の除去は、効果が大きいことが推察される。

久保田富次郎ほか, 農村工学研究所技報, 217, 85-100, 2015 より引用(ため池の写真)

水位管理が溶存態¹³⁷Csの動態に与える影響



溶存態¹³⁷Csの鉛直分布



ため池の水位管理状況

ため池の水位管理が溶存態¹³⁷Cs濃度の鉛直分布に与える影響を調べるため、阿武隈山地の帰還困難区域に立地する同じたため池において、異なる年度で管理水位を変えて得られた溶存態¹³⁷Cs濃度の鉛直分布を示す。

その結果、管理水位を満水状態の3.2mで管理した場合、水面近傍の溶存態¹³⁷Cs濃度は0.10Bq/Lであったが、水位を1.8mで管理した場合、水面近傍の溶存態¹³⁷Cs濃度は、0.17Bq/Lと高くなった。また、どちらの場合も鉛直分布をみると夏季の水温が上昇する時期の底層において溶存態¹³⁷Cs濃度がより高くなっていることがわかった。

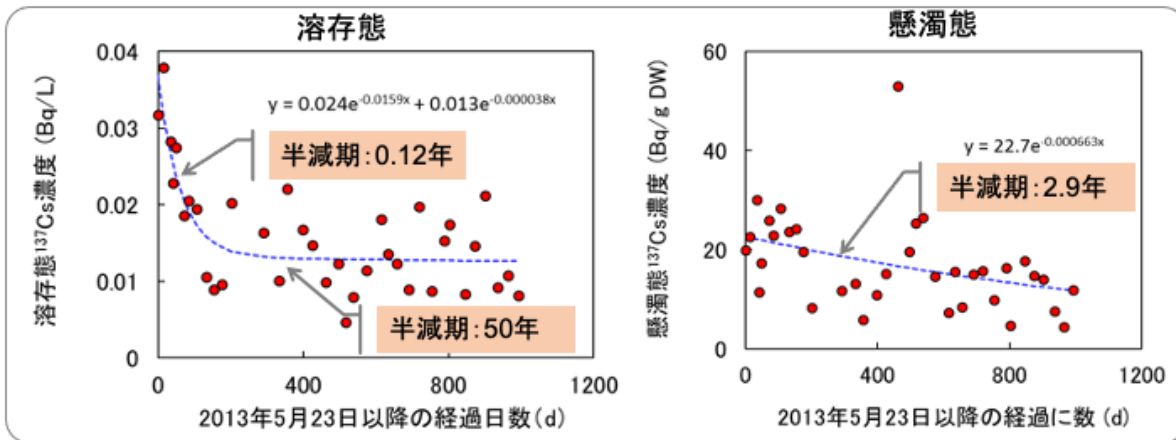
久保田富次郎ほか, 農村工学研究所技報, 217, 85-100, 2015 より引用(ため池の図)

第2.4節

農業用水

2.4節では、貯水池に係わるの放射性セシウムの存在形態と濃度レベルについて説明する。

伊達市小国の例



2013年5月から8月における懸濁態中¹³⁷Csの存在形態割合

存在割合 (%)	平均値	最小値		最大値
交換態	1.2	0.90	—	1.5
有機物結合態	2.9	1.8	—	4.5
強固結合態	96	94	—	97

2013年から約3年にわたり調査した伊達市小国における灌漑水の溶存態と懸濁態¹³⁷Cs放射性濃度の経時変化を示す。

溶存態¹³⁷Cs濃度は、調査を開始した2013年初期は比較的速やかに減少したが、その後の減少率は緩慢であった。一方で、懸濁態¹³⁷Cs濃度は速やかに減少していた。

懸濁態¹³⁷Csの95%以上が強固結合画分として存在し、懸濁態放射性Csからイネへの移行が限定的であることが明らかになった。

採取地点
市町村区分
 南相馬市(16)、飯館村(13)、富岡町(5)、浪江町(5)、
 双葉町(5)、大熊町(4)、郡山市、相馬市、伊達市、二
 本松市、川内村、楡葉町の54地点
利用区分
 ため池(42)、ダム(2)、河川(10)
原発からの距離
 50 km圏内、51地点；20 km圏内、27地点
採取時期
 2014/4/7～2014/10/16

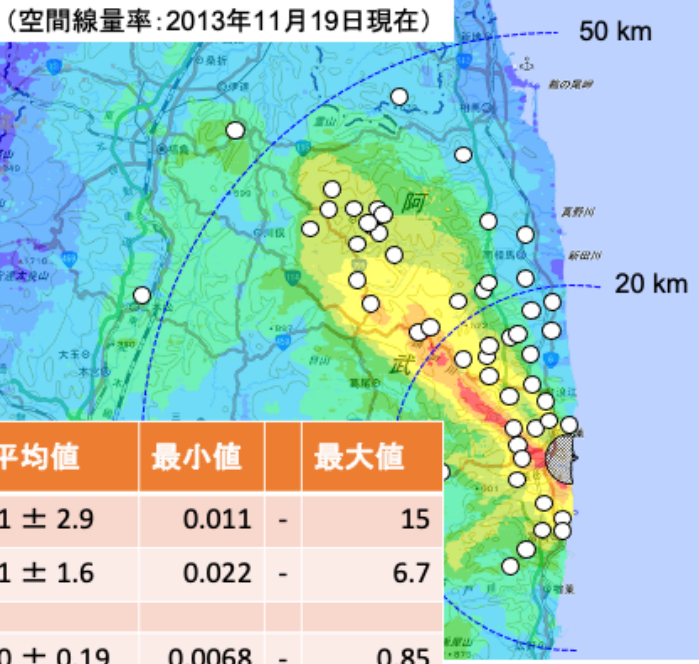


表 農業用水の濃度(単位:Bq/L)

試料採取地点	存在形態	N	平均値	最小値	最大値
20 km圏内	懸濁態	27	1.1 ± 2.9	0.011	15
	溶存態		1.1 ± 1.6	0.022	6.7
20-80 km圏内	懸濁態	27	0.20 ± 0.19	0.0068	0.85
	溶存態		0.22 ± 0.23	0.0075	1.1

懸濁態からのイネへの移行は限定的

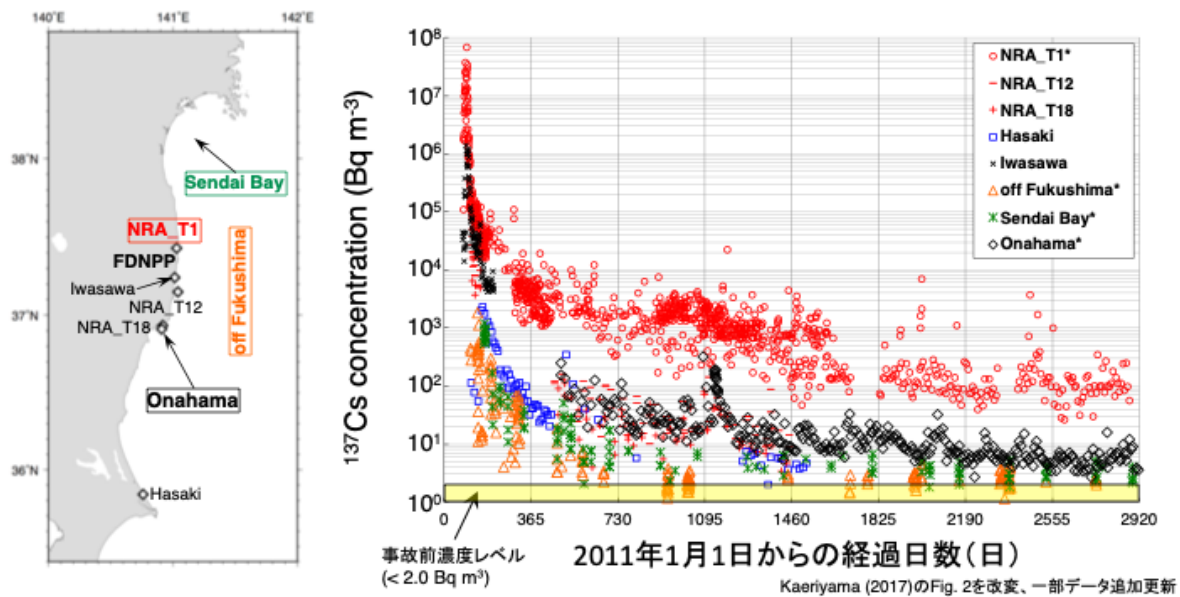
懸濁態放射性セシウムは直接水稻の茎や根から吸収され難いものであり、溶存態放射性セシウムは茎や根を通じて移行しやすいと言われているが、用水中の放射性セシウム濃度は、懸濁物質(SS)の移動が多い降雨時に高くなり、ほとんど懸濁態放射性セシウムとして存在する。

福島原発事故後、土壌中の放射性セシウム濃度と作物への移行係数の解析や農業用水中の放射性セシウムの水稻への影響分析など、さまざまな研究活動が行われ、その成果に基づくカリウム施用による放射性セシウム吸収抑制対策が実施された結果、基準値を超える作物の割合は減少した。

第2.5節

沿岸

2.5節では、沿岸に係わるの放射性セシウムの存在形態と濃度レベルについて説明する。



溶存態放射性セシウム： Kaeriyama (2017)を基に一部データを更新

- ・近傍海域(T1, T12, T18, およびIwasawa)では事故直後の2011年4月に溶存態¹³⁷Cs濃度が最大で 10^8 Bq m⁻³まで上昇したが、半年ほどで濃度が数桁低下。
- ・福島県沖では南向きの流れが卓越するため、福島第一原発の北部よりも南部にて¹³⁷Cs濃度が高い傾向が続く。
- ・東西方向への海水の輸送は限定的であるため沖合の¹³⁷Cs濃度は沿岸部に比べ常に低く、事故から3年目には事故前レベル(~ 2 Bq m⁻³)まで低下。
- ・2018年においても、¹³⁷Cs濃度は福島第一原発近傍および南部沿岸で事故前に比べて高い濃度で推移しており、モニタリングの継続が必要。

懸濁態放射性セシウム： 河川を經由し海洋へ輸送される懸濁態放射性セシウムの挙動 (Kakehi et al., 2016; Takata et al., 2015)。

- ・河川水中では放射性セシウムの多くが懸濁態として存在するのに対し、塩分が30を超えるとその存在割合は著しく低下し、多くの場合20%以下である。
- ・河川懸濁物の多くが河口域に沈積することに加えて、塩分の増加に伴い懸濁態放射性セシウムの30～40%が脱離するためと考えられる。
- ・ただし、荒天時等に一時的に懸濁態放射性セシウムの存在割合が増加する場面がある。このため、沿岸水の溶存態セシウムの分析時は、事前に試料水をろ過することが強く推奨される。