

Spatial prediction of radioactive Cs concentration in agricultural soil in East Japan

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2019-12-20
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 高田, 裕介, 神山, 和則, 小原, 洋, 前島, 勇治, 石塚,
	直樹, 齋藤, 隆, 谷山, 一郎
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00003011

# 東日本の農地表層土壌中の 放射性セシウム濃度分布図の作成

# Spatial prediction of radioactive Cs concentration in agricultural soil in East Japan

# 高田裕介\*・神山和則\*・小原 洋\*・前島勇治\*\*・石塚直樹\*\*\* 齋藤 隆\*\*\*\*・谷山一郎\*\*\*\*

(平成26年12月2日受理)

# シノプス

Due to the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station by Tokyo Electric Power Company (FDNPS), the radioactive cesium (Cs) released into the environment. To determine the distribution pattern of the Cs contamination level in agricultural land, we carried out soil survey at 3461 points in East Japan. We measured radioactive Cs concentration in soil using a germanium semiconductor detector, and it was calculated in Bq of dry soil per 1kg (reference date: 5 November 2011). Soil Cs concentration was ranged from the detection limitation to 203,095 Bq/kg, and there was high contamination level in evacuation directive zone. And, soil Cs concentration had a positive correlation with the radiation dose  $(R^2 = 0.89, \text{ sample number } 2199)$ . This linear correlation was affected to some extent by soil surface condition, soil groups and land use type. The linear regression analysis was conducted by each land surface condition, soil type and land use type. We delineated soil Cs concentration map using regression-kriging method that combines regression equations with the ordinary kriging of the regression residuals. The total radioactive Cs concentration in soil was highest in the 20-km evacuation zone surrounding FDNPS, and it tended to be higher in north-west direction from FDNPS than in other direction. Above the contamination level 2 (more than 5,000 Bq/kg) covered about 8,900 ha in Fukushima prefecture, and it mainly distributed in evacuation directive zone.

\*\*\*\* 福島県農業総合センター生産環境部

<sup>\*</sup> 農業環境インベントリーセンター

<sup>\*\*</sup> 土壤環境研究領域

<sup>\*\*\*</sup> 生態系計測研究領域

<sup>\*\*\*\*\* &</sup>lt;sub>元</sub>研究コーディネータ

#### I はじめに

2011年3月11日に発生した東京電力福島第一原子力 発電所(福島第一原発)の事故に伴い、放射性物質によ る汚染が福島県を中心に広範囲に発生した。農地は食料 を生産する場であり、放射性物質による汚染状況を把握 することは、安全な農産物の供給に不可欠であるととも に、農地の除染など今後の営農に向けた取組を進めるた めに不可欠である。農地の放射性物質の汚染状況(土壌 の放射性セシウム濃度)については、前章において宮城 県、福島県、栃木県、群馬県、茨城県および千葉県の範 囲で汚染状況の概略について述べた。しかし、短期間で の緊急調査であったため調査点数は約580地点であっ た。集中的に調査が行われた福島県においても361地点 で、農地面積あたりに換算すると412 haに1点という密 度であった。このため、調査の空白地域も少なからず生 じている。また、広域的な航空機モニタリングの結果か ら、調査を行った県以外の都県についても放射性セシウ ム沈着量が10,000 Bq/m<sup>2</sup>以上の地域が認められたこと から、分布調査を行うことが望ましいことが明らかに なった。

このため、前回調査を行った県に、新たな調査対象都 県として岩手県、山形県、埼玉県、東京都、神奈川県、 新潟県、山梨県、長野県、静岡県を加えるとともに、調 査対象地点を約6倍に増やして、農地における放射性セ シウムの濃度を測定し、詳細な汚染状況の分布の把握を 行った。

#### Ⅱ 調査・研究方法

#### 1. 農地土壌の放射性セシウム濃度測定用試料の採取

放射性セシウム濃度測定用農地土壌試料の採取は、前 章とほぼ同様の方法で行った。前章の結果から火山灰が 母材である黒ボク土壌群グループ(黒ボク土、多湿黒ボ ク土、黒ボクグライ土)と他の土壌群グループ(岩屑土、 砂丘未熟土、褐色森林土、灰色台地土、グライ台地土、 赤色土、黄色土、暗赤色土、褐色低地土、灰色低地土、 グライ土、黒泥土、泥炭土)では、表層土壌中の放射性 セシウム濃度と1m高さの空間線量率との関係性が異な ることが明らかになったため、両者を的確に区別する方 法として活性アルミニウムテスト(アロフェンテスト) を調査項目に加え、呈色程度を-、+、++および++ +の4段階に分けて記載し、++以上の呈色で黒ボク土 壌群グループと判定した。なお、調査地点数は3461地点 であり、調査は2011年10月から2012年1月までの間に 行った。

調査対象圃場の対角線の交点となる中心1点および中 心と圃場の4隅を結ぶ線上の中間点4点の計5箇所を土 壌採取地点とした。土壌はライナー付き土壌試料採取器 (5 cm 径)を用いて30 cm深まで採取した。レキ層、盤 層などにより30 cmまで採取器を挿入できない場合は、 その深度までとした。また、NaIシンチレーションサー ベイメータあるいはCsIシンチレーションカウンターな どを用いて、圃場内の土壌採取地点の1mおよび1 cm高 さにおける空間線量率を測定した。

採取した土壌試料を0~15 cmと15~30 cmの2層に 区分し、分析のための試料とした。作土層の厚さにかか わらず深さを固定したのは、作土層の厚さが判然としな い場合に放射性物質の下層への混入を避けるためであ る。1地点5箇所で採取した0~15 cmの試料を混合し、 重量を測定した後、篩などを用いて均一にして放射能濃 度測定に供した。また、一部を水分測定に用いた。

土壌中の放射性セシウム濃度は「緊急時における食品 の放射能測定マニュアル」(厚生労働省医薬局食品保険部 監視安全課 2002)に従い、(財)九州環境管理協会、 農環研、福島県農業総合センターにおいてゲルマニウム 半導体検出器を用いて測定した。測定時間は1,000~ 10,000秒とし、乾土1kgあたりのBq(2011年11月5日 を基準日)で表示した。なお、基準日は文部科学省によ る第4次航空機モニタリングの測定結果(文部科学省、 2011)と比較できるように設定した。

### 2. 2011年度における湛水田圃場の分布図の作成

地目水田の内、全国で約1/3の圃場で水稲を作付して いないことが知られており(農林水産省、2010)、年々 それら圃場の分布状況は変化している。そのため、2011 年度において湛水した水田圃場(湛水田圃場)の分布状 況を把握するため衛星画像を用いた。解析は図2に示す フローチャートで以下のように行った。本報告では、 RARDARSAT-2画像の4シーンを用いた。これらの衛星 画像は2011年6月7日、9日、19日および26日に撮影さ れた(空間分解能は10.2-8.2 m×7.7 m、入射角は31.27 度)。

まず、圃場図(水土里ネット,2006)を用いて農地の 抽出を行った。この圃場図には地目情報が入っていない ため、農耕地土壌図(高田ら,2011)の地目情報を用い て抽出した圃場の地目を判定した。幾何補正を行った衛 星画像を用いて、調査地域内の全圃場の平均後方散乱係 数を算出した。後方散乱係数の閾値を現地調査の結果を



図2 2011年度の湛水田圃場の抽出方法

基に設定して2011年度における湛水田圃場と湛水をし ていない地目水田圃場を区分した。また、現地踏査を 2,597 圃場で行った結果、本操作によって作成した湛水 田圃場分布図の正答率は77.1%であった。湛水田圃場分 布図の作成は福島県、宮城県および栃木県において行っ た。他の都県については農耕地土壌図(高田ら,2011)の 地目情報を用いて、地目水田圃場を抽出し、抽出した全 ての圃場で2011年は水田利用されているものと仮定し た。

#### 3. 放射性セシウム濃度分布図の作成

放射性セシウム濃度分布図をより精度高く作成するた め、本報告では回帰クリギング法を用いた。回帰クリギ ング法とは、先ず、土壌中の放射性セシウム濃度を独立 変数とし、空間線量率を従属変数とした回帰分析を行 う。得られた回帰式と文部科学省が作成した航空機サー ベイによる1m高さの空間線量率図を用いて放射性セシ ウム濃度回帰図を作成し、各調査地点の実測値と回帰に よる予測値との誤差を算出する。この回帰誤差をクリギ ング法で図化したものを用いて各回帰図を補正する。本 手法により、高精度で土壌特性値の地図化が可能である ことを Lopez-Granados et al. (2002) および Takata et al. (2007) は報告している.

農林水産省は農地の汚染状況に応じた除染技術の開発 に取り組んでおり、放射性セシウム濃度を5,000 Bq/kg 以下(汚染度1)、5,000~10,000 Bq/kg(汚染度2)、 10,000~25,000 Bq/kg(汚染度3)および25,000 Bq/kg 以上(汚染度4)の4段階に分けて除染技術の適用の考え 方を示している(農林水産省,2011)。そのため、農地表 層土壌中の放射性セシウム濃度分布図についても、上記 汚染度レベル別に農地を区分し、農耕地土壌図(高田ら, 2011)の地目情報を用いて、水田および畑ごとに汚染度 レベル別の分布面積を算出した。

なお、一連の空間分布の解析などにはGISソフトウェ アであるArcView Ver 10(ESRI社)およびその拡張機能 であるSpatial Analyst(ESRI社)ならびに Geostatistical Analyst(ESRI社)を使用した。

#### 4. 地図化精度評価

前章で採取した土壌試料のうち、<sup>134</sup>Csおよび<sup>137</sup>Csが いずれも検出限界値以上であった214地点(図1c)につ いては、本章において、地図化精度を評価するための試 料として用いた。これら試料の表層土壌中の放射性セシ ウム濃度についても基準日を2011年11月5日とした。

精度評価用試料を用いて2乗平均平方根誤差および平 均誤差を地図化精度評価の指標として算出した。

#### Ⅲ 結果および考察

#### 1. 都県別の農地表層土壌中の放射性セシウム濃度

研究対象地域である東日本各地の農地表層土壌中(深 さ0-15 cm)で放射性セシウムが検出された(表1)。な お、農地表層土壌中の放射性セシウム濃度が検出限界値 以下の場合は検出限界値の1/2の値を採用して、各都県 の最小値および平均値を算出した。最も放射性セシウム 濃度が高かったのは旧規制区域内(図1;旧警戒区域、 旧計画的避難区域、旧緊急時避難準備区域)であり、次 いで福島県(旧規制区域外)、栃木県、宮城県の順であっ た。最も高い放射性セシウム濃度(203,000 Bq/kg)を示 した地点は大熊町にあり、福島第一原発から約3 km南 西に位置した。<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの都県別の平均の比 (<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs)の範囲は0.62~0.80であり、概して、調査 対象地域の西側で低い傾向であった。

#### 2. 放射性セシウム濃度と空間線量率との関係

農地表層土壤中の放射性セシウム濃度と1 m高さの空 間線量率との関係性を図3に示した。なお、土壌表面か ら放出される y 線は雪や圃場に溜まった水の影響を強く 受けるため(長岡ら1992,藤村2012)、そのような調査地 点は本解析から除外した。また、<sup>134</sup>Csが検出限界値以下 の地点についても本解析から除外した。さらに、現地調 査の際に空間線量率の測定がされていない地点などを合 わせると、本解析から除外した地点数は1,262地点で あった。

前章でも述べたように、土壌中の放射性セシウム濃度 と空間線量率との関係は直線的な関係性(図3a,  $R^2$ =0.89, N=2,199)をもつが、土壌表層の状態、土壌タイプおよ び土地利用タイプなどの違いによってある程度の影響を 受けた。前章と同様に、原発事故後に起耕した圃場と耕 起していない圃場を比較すると、同一の放射性セシウム 濃度であっても耕起した圃場(N=1443, Y=3.9 x 10<sup>-4</sup>X) の方が未耕起であった圃場(N=534, Y=4.8 x 10<sup>-4</sup>X)に 比べて回帰直線(独立変数は表層土壌中の放射性セシウ ム濃度で従属変数は1m高さの空間線量率)の傾きは緩 やかであった(図3b)。また、仮比重が小さいことで知 られる黒ボク土グループ (N=582, Y=3.7 x 10<sup>-4</sup>X) の方 が非黒ボク土グループ (N=1395, Y=3.9 x 10<sup>-4</sup>X)と比 較して回帰直線の傾きの値は小さかった。これらの結果 は前章と一致する結果であった。本報告では更に、水田 と普通畑の回帰直線の傾きの違いにも着目した。回帰直 線の傾きは水田 (N=894, Y=3.6 x 10<sup>-4</sup>X)の方が普通畑  $(N = 549, Y = 3.9 \times 10^{-4} X)$ と比較して緩やかであった。 土壌の水分含量は水田で高いことが考えられ、水による 遮蔽効果の違いが回帰直線の傾きに影響を及ぼしている と示唆された。そこで本報告では、これらの傾向を考慮 して回帰分析を土壌表層の状態毎 (耕起と未耕起)、土壌 グループ毎 (黒ボク土グループと非黒ボク土グループ) および土地利用毎(水田、普通畑、牧草地、樹園地)に 分けて行った。なお、旧規制区域内の水田および普通畑 は全て未耕起圃場であると判断した。

回帰分析の決定係数(R<sup>2</sup>)は0.40~0.99の範囲であり、 旧規制区域内で高く、旧規制区域外で低い傾向であった (表2)。旧規制区域内の圃場は事故後に耕起されておら ず、土壌表層が耕起によるかく乱を受けていないため、 土壌中の放射性セシウム濃度と空間線量率との関係性を より強く示したものと考える。他方、旧規制区域外の樹 園地や牧草地において、土壌中の放射性セシウム濃度と 空間線量率との関係性は比較的弱い傾向であった。樹園 地や牧草地では、水田や普通畑と比較して、植物による 被覆状況の不均一性が大きく、土壌中の放射性セシウム 濃度と空間線量率との関係性が弱かったと推察された。

#### 3. 土壌中の放射性セシウム濃度の空間分布予測

表2で示した10の回帰式(図4a)と文科省が作成した 空間線量率図(図4b:2011年11月5日を基準日として 補正)を用いて、10通りの放射性セシウム濃度分布図を 作成した。その後、地目情報付きの農耕地土壌図(図4c: 高田ら,2011)および衛星画像から作成した湛水田圃場 の分布図を用いて、10通りの放射性セシウム濃度分布図 から条件分け("黒ボク土"かつ"普通畑"かつ"旧規制 区域外(耕起圃場)"など)による空間結合を行い、回帰 式のみから土壌中の放射性セシウム濃度分布図(図4d: 回帰モデル)を作成した。

回帰モデルによる放射性セシウム濃度分布図(図4d) から、表層土壌中の放射性セシウム濃度は旧警戒区域で 最も高く、福島第一原発から北西方向にかけて高い値を



図1 土壤調查·試料採取地点

都県名		고타 고는 米수	<sup>134</sup> Cs			<sup>137</sup> Cs			$^{134}Cs + ^{137}Cs$			<sup>134</sup> Cs/ <sup>137</sup> Cs
		地只奴	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	平均±標準偏差
							(Bq/kg)					
岩手県		160	5	350	69	5	410	92	10	760	160	$0.72\pm0.12$
宮崎県		122	8	1,200	141	6	1,540	190	13	2,740	330	$0.74\pm0.09$
山形県		63	5	110	31	6	170	47	14	267	79	$0.68\pm0.09$
福島県	旧規制区域内	579	11	91,200	4,475	14	112,000	5,570	25	203,000	10,000	$0.80\pm0.05$
	旧規制区域外	1,706	4	3,370	456	4	4,230	580	8	7,610	1,040	$0.77\pm0.08$
茨城県		132	8	350	98	9	430	130	19	760	230	$0.76\pm0.12$
栃木県		207	29	1,290	395	45	1,550	500	79	2,850	900	$0.78\pm0.07$
群馬県		99	7	410	87	9	560	120	17	970	200	$0.75\pm0.11$
埼玉県		70	6	380	40	7	460	56	14	840	95	$0.71 \pm 0.14$
千葉県		103	4	340	96	4	470	120	9	800	220	$0.77 \pm 0.11$
東京都		43	3	140	25	6	190	36	11	320	61	$0.77\pm0.14$
神奈川県		20	6	220	31	7	240	42	13	460	73	$0.74\pm0.14$
新潟県		62	5	66	8	5	84	18	10	150	26	$0.66 \pm 0.10$
山梨県		5	7	10	9	7	16	10	14	25	18	_
長野県		60	5	58	13	5	79	19	11	140	32	$0.62 \pm 0.10$
静岡県		30	4	11	7	5	31	10	10	39	18	_
精度評価月	目データセット	214	13	11,500	490	26	14,700	630	39	26,200	1,120	$0.74 \pm 0.10$

表1 都県別の農地表層土壌中の放射性セシウム濃度

放射性セシウム濃度が検出限界値以下の場合は検出限界値の1/2の値を採用して、各都府県の最小値および平均値を算出した。 平均<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Csの算出時には<sup>134</sup>Csまたは<sup>137</sup>Csが検出限界となる地点を除いた。



図3 農地表層土壌中(0~15 cm)の放射性セシウム濃度と1 m高さの空間線量率との関係、a)全サンプルの関係性、 b)未耕起圃場と耕起圃場との比較、c)黒ボク土壌群グループと非黒ボク土壌群グループとの比較、d)水田と普通畑との比較

表2 土壌中の放射性セシウム濃度を独立変数として、空間線量率を従属変数とした回帰分析の結果

地域	回帰式番号	土地利用	土壌グループ	回帰式	$\mathbb{R}^2$	Ν
	1	水田および普通畑	黒ボク土	$Y = (2.88 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X}$	0.89	99
旧規制区域内	2	水田および普通畑	非黒ボク土	$Y = (4.33 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X}$	0.90	435
(未耕起)	3	樹園地	-	$Y = (3.56 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X}$	0.99	14
	4	牧草地	-	$Y = (5.69 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X}$	0.90	27
	5	水田	黒ボク土	$Y = (3.30x \ 10^{-4}) \ X + 0.050$	0.83	264
	6	水田	非黒ボク土	$Y = (3.79 \ x \ 10^{-4}) \ X + 0.027$	0.78	630
旧規制区域外	7	普通畑	黒ボク土	$Y = (3.88 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X} + 0.015$	0.78	219
(耕起)	8	普通畑	非黒ボク土	$Y = (4.04 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X} + 0.023$	0.79	330
	9	樹園地	-	$Y = (6.19 x 10^{-4}) X$	0.54	161
	10	牧草地	_	$Y = (9.46 \text{ x } 10^{-4}) \text{ X}$	0.40	24

Y:1m高さの空間線量率 (µSv/h)、X:土壌中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg)



図4 回帰クリギングモデルによる農地表層土壌中の放射性セシウム濃度分布図の作成、a)土壌グループ、土地利用な どで10に分類した1m高さの空間線量率と農地表層土壌中の放射性セシウム濃度の回帰式、b)1m高さの空間線量 率(文部科学省,2011)、c)土壌タイプ、d)回帰モデルによる農地表層土壌中の放射性セシウム濃度分布図、 e)回帰残差、f)回帰クリギングモデルにより補正した農地表層土壌中の放射性セシウム濃度分布。

表3 回帰モデル予測残差の空間依存性解析結果

回帰式番号	モデル	ナゲット	シル	Q值	レンジ (km)	$\mathbb{R}^2$	ラグ
1	指数型	$3.24 \ge 10^7$	$1.32 \ge 10^8$	0.76	54.6	0.36	有効ラグ;20km、ラグ間隔;2km
2	指数型	$6.00 \ge 10^6$	$5.58 \ge 10^7$	0.89	15.2	0.85	有効ラグ;20km、ラグ間隔;2km
5	球型	$4.30 \ge 10^4$	$6.97 \ge 10^5$	0.94	108	0.98	有効ラグ;70km、ラグ間隔;7km
6	指数型	$2.25 \ge 10^5$	$4.50 \ge 10^5$	0.50	26.4	0.71	有効ラグ;70km、ラグ間隔;7km
7	指数型	$1.94 \ge 10^5$	$4.15 \ge 10^5$	0.53	24.7	0.48	有効ラグ;70km、ラグ間隔;7km
8	指数型	$1.91 \ge 10^5$	$3.81 \ge 10^5$	0.50	272	0.78	有効ラグ;70km、ラグ間隔;7km

表4 回帰モデルおよび回帰クリギングモデルの地図化精度評価

	Ν	回帰モデル	回帰クリギングモデル
二乗平均方眼誤差	214	790	760
平均誤差	214	-220	-100

示した。本傾向は文科省が作成した空間線量率分布図と 一致した。次に試料採取地点ごとに、回帰モデルの予測 残差を実測値と予測値から算出した(図4e)。なお、回 帰予測残差の算出は<sup>134</sup>Csおよび<sup>137</sup>Csの両方ともが検出 限界値以上の値を示した地点のみで行った。

回帰予測残差は福島第一原発から半径80 km 圏内にお いて低い値を示した。また、回帰予測残差は調査地域北 部で高く、南部で低い傾向を示したが、栃木県北部では 回帰予測残差は高い値を示した。回帰予測残差の空間依 存性を評価するために十分なサンプル数がある回帰式 1、2、5、6、7および8について、指数タイプか球形タ イプのモデル式を当てはめ、セミ・バリオグラムのパラ メータを算出した(表3)。なお、回帰式3、4、9および 10についてはサンプル数が限られていたため、回帰予測 残差の空間依存性の評価は行っていない。

回帰予測残差のナゲットおよびシルは、放射性セシウ ム濃度の高い旧規制区域内の方が旧規制区域外(耕起圃 場)よりも高かった。また、空間依存度を示すQ値は旧 規制区域内の方が旧規制区域外に比べて高かった(回帰 式5を除く)ことから、回帰予測残差は旧規制区域内に おいて高い空間依存性を示した。予測残差の空間依存性 は現地調査の際に用いたシンチレーション・サーベイ メータの機種間の違い、航空機モニタリングの実施期間 の違い、地形要因などによって影響を受けていることが 示唆された。

算出したセミ・バリオグラムのパラメータを用いたク リギング法により、回帰式毎に回帰予測残差の地図化を 行った。そして、回帰モデルによる放射性セシウム濃度 分布図(回帰式1, 2, 5, 6, 7および8)と回帰予測残 差の地図をそれぞれ足し合わせることで、新たな放射性 セシウム濃度分布図を作成した。回帰クリギング法で作 成した分布図(回帰式1,2,5,6,7および8)、回帰モ デルで作成した分布図(回帰式3,4,9および10)、地 目情報付きの農耕地土壌図および湛水田圃場の分布図を 用いて条件分けによる空間結合を行い、土壌中の放射性 セシウム濃度分布図(回帰クリギング法)を作成した。

回帰モデルおよび回帰クリギングモデルの予測精度の 評価結果を表4に示した。二乗平均平方根誤差(RMSE) および平均誤差(ME)は回帰クリギングモデルの方が 回帰モデルよりも絶対値が小さくなった。本結果は回帰 クリギングモデルの方が回帰モデルと比較して精度良く 地図化を行えたことを示している。

# 4. 農地土壌除染技術適用の考え方に基づく除染対象農 地の分布面積

農地表層土壌中の放射性セシウム濃度区分ごとの分布 面積を表5に示した。

土壌中の放射性セシウム濃度が5,000 Bq/kgを超える と推定される農地の分布面積は8,900 haであり、その全 てが福島県内に分布していた。これは福島県の田畑の総 面積の約6%を占める結果となった。また、5,000 Bq/kg を超過する農地の92%は旧規制区域内に分布していた。

農林水産省は農地の汚染状況に応じた除染技術の開発 に取り組んでおり、放射性セシウム濃度を5,000 Bq/kg 以下(汚染度1)、5,000~10,000 Bq/kg(汚染度2)、 10,000~25,000 Bq/kg(汚染度3)および25,000 Bq/kg 以上(汚染度4)の4段階に分けて除染技術の適用の考え 方を示している(農林水産省,2011)。水による土壌撹

汚染度	放射性セシウム濃度範囲	水田 (ha)	普通地、牧草地、 樹園地(ha)	捎	<b>進奨される除染技術</b>
1	5,000 Bq/kg以下	99,400	528,000	表土はぎ取り、反転耕、作物 除去	物吸収抑制技術、水を用いた表層細土画分の
				畑	水田
2	5,000 - 10,000 Bq/kg	2,100	1,200	地下水位が高い場合 表土はぎ取り 地下水位が低い場合 表土はぎ取り、反乗	<ul> <li>表土をはぎ取り</li> <li>水を用いた表層細土画分の除去;</li> <li>黒ボク土での適用は困難</li> <li>反転耕;</li> <li>地下水位が低い場合のみ</li> </ul>
3	10,000 - 25,000 Bq/kg	2,000	1,000	表土はぎ取り	表土はぎ取り
4	25,000 Bq/kg以上	1,800	800	表土はぎ取り 表土の飛散防止が必要	表土はぎ取り 表土の飛散防止が必要

表5 放射性セシウム濃度別の農地分布面積と推奨される除染技術(農林水産省,2011)

拌・除去、表土削り取り、反転耕による除染が推奨され る汚染度2の田および畑地の面積は、それぞれ約2,100 ha および約1,200 haである。表土の削り取りが必要とされ る汚染度3の田および畑地面積はそれぞれ約2,000 haお よび1,000 haあり、固化剤などを用いて土壌飛散防止措 置を講じたうえで5 cm以上の厚さで表土を削り取るこ とが推奨される汚染度4の水田および畑地はそれぞれ約 1,800 haおよび約800 haであると推定される。

#### 5. 摘要

東京電力福島第一原子力発電所(福島第1原発)の事 故により、放射性セシウムが周辺環境中に放出された。 このため、セシウムによる農地土壌の汚染状況を明らか にし、農地除染計画の作成に資するため、3,461点におい て調査を実施することで東日本における農地表層土壌中 のセシウム濃度分布図の作成を行った。土壌中のセシウ ム濃度は調査地点で測定した空間線量率と正の相関関係 が認められた(R<sup>2</sup>=0.89, n=2,199)。この関係は事故後 の耕転状況、土壌の種類、地目によって影響を受けるこ とが明らかとなったことから、空間線量率から農地表層 土壌中のセシウム濃度を推計するための回帰式を10に 類型化した。これら回帰式と文部科学省が作成した航空 機サーベイによる1m高さの空間線量率図を用いて、回 帰クリギング法により農地表層土壌中のセシウム濃度分 布図を作成した。土壌中のセシウム濃度は福島第1原発 の20km圏内において高く、また、福島第1原発の北西方 向にかけて高セシウム濃度地帯が認められた。表層土壌 中のセシウム濃度が5.000 Bq/kgを超過する汚染度2以 上の農地の分布面積は8,900 haであると推定され、その ほとんどが旧規制区域内に分布していた。

## 参考文献

- 藤村恵人(2013):農耕地における耕起および湛水 が空間線量率に及ぼす影響,福島県農業総合セン ター研究報告,放射性物質対策特集号,27-28
- Lopez-Granados F., M. Jurado-Exposito, S. Atenciano, A. Garcia-Ferrer, M.S. Orden and L. Garcia-Torres (2002):Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant Soil*, **246**, 97-105.
- 文部科学省(2011):文部科学省による第4次航空機 モニタリングの測定結果について、http://radioactivity. nsr.go.jp/ja/contents/5000/4901/24/1910\_1216.pdf、 (accessed 2015-1-5)
- 4) 長岡 鋭・坂本隆一・堤 正博・斉藤公明・森内 茂 (1992):積雪による地殻 y 線線量率の減衰 (II),保 険物理,27,113-121
- 5) 農林水産省(2008):土壤保全調查事業成績書,農 林水産省,東京,pp.1-483
- 農林水産省(2011):農地土壌の放射性物質除去技術(除染技術)について、http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110914.htm、(accessed 2013-11-5)
- Takata Y., S. Funakawa, K. Akshalov, N. Ishida and T. Kosaki (2007) : Spatial prediction of soil organic matter in northern Kazakhstan based on topographic and vegetation information. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 289–299
- 高田裕介・小原 洋・中井 信・神山和則 (2011):
   1973年から2001年までの地目改変に伴う土壌群分 布面積の変動特性の解析,日本土壌肥料学雑誌,82, 15-24