

【放射能ミニ特集】

農地土壌の放射性セシウム濃度分布図の作成

A Distribution Map of Radio Cesium Concentration in Farmland Soils

神山和則*・高田裕介*・小原 洋*・谷山一郎**・齋藤 隆***

Kazunori Kohyama, Yusuke Takata, Hiroshi Obara, Ichiro Taniyama, Takashi Saito

1. 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、放射性物質が大気中に放出された。これにより福島県を中心に放射性物質による汚染が広範囲で発生し、水道水や野菜を中心とした農作物でも放射性物質が検出された。事故の初期は放射性ヨウ素（ ^{131}I ）が汚染の主体であったが、半減期が7日間と短いためその影響は時間の経過とともに減少した。その後、汚染の主体は放射性セシウム（ ^{134}Cs と ^{137}Cs ；以後、セシウムをCsと記す）となった。 ^{134}Cs と ^{137}Cs の半減期はそれぞれ2年、31年と長いため長期間の影響が懸念されている。

農地においては水稻の作付けの可否を明らかにすることが課題となり、2011年3月末から4月上旬に水田土壌の放射能濃度調査が宮城県14地点、山形県5地点、福島県165地点（計画的避難区域¹、緊急時避難準備区域を含む）、茨城県18地点、栃木県13地点、群馬県8地点、千葉県10地点、神奈川県5地点、新潟県5地点で実施された（一部、水田以外の場所を含む）。土壌中の放射性Cs濃度（ ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値）は福島県で9～29,000 Bq/kg、福島県以外の県で検出下限値以下（ND）～1,826 Bq/kgの範囲であった。

農地は食糧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みを進めるためにも必要となる。このため、数回にわたり東日本における農地の放射性セシウムの濃度分布図が作成された。本報告は2011年5月から8月にかけて、宮城県、福島県、栃木県、群馬県、茨城県、千葉県において、農地土壌を採取し放射性Csの濃度を測定することにより、農地の汚染状況を明らかにするとともに、その面的な分布の把握を行った結果を示した。なお、本調査は戦略推進費により農環研、福島県を中心に宮城県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県の協力によって行われた。

（¹規制区域は事故当初は警戒区域・計画的避難区域、緊急時避難準備区域が設定された。その後、緊急時避難準備区域の解除を経て避難解除準備区域・居住制限区域、帰還困難区域に再編された。本稿では調査時に設定されていた規制区域で示した。）

*農業環境インベントリーセンター，**研究コーディネータ，***福島県農業総合センター

*Natural Resources Inventory Center, **Principal Research Coordinator, ***Fukushima Agricultural Technology Centre
インベントリー，第11号，p2-9（2013）

2. 方法

1) 調査方法

2011年5月23日～8月5日にかけて355地点(うち福島県201地点)で実施した。

調査対象圃場は水田、普通畑、樹園地または4月以降に更新した草地とし、これらの圃場について圃場の対角線の交点となる中心1点及び中心と圃場の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(図1)。圃場の位置はGPSを用いて決定した。また、同時にNaIシンチレーションサーベイメータ等を用いて、調査地点の1mおよび1cm高さにおける空間線量率を測定した。

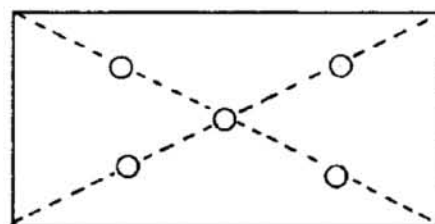


図1 試料採取位置の見取り図

○：採取位置

土壌はライナー付き土壌試料採取器(5cm径)を用いて30cm深まで採取した。レキ層、盤層などにより30cmまで採取器を挿入できない場合は、その深度までとした。

2) 放射性Cs濃度の測定

採取した土壌試料を深さ別(0～15cm、15～20cm、20～25cm、25～30cmの4層)に区分した。ただし、樹園地などで作土層がない場合は、0～5cm、5～10cm、10～15cm、それ以下の4層に区分した。1地点5箇所の試料を水田、畑では0～15cmまで、樹園地では0～5cm、5～10cm、10～15cmまたは0～15cmをそれぞれ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。土壌中の放射能濃度は「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、(独)農業環境技術研究所、日立協和エンジニアリング(株)および(財)九州環境管理協会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、試料採取日の濃度に補正して、乾土1kgあたりのBqで表示した。また、試料採取日はそれぞれ異なることから、2011年6月14日を基準日として補正した値も同時に示した。

3) 農地の放射性Cs濃度分布図

農地の放射能濃度分布図は調査地点の位置情報をもとに、2011年6月14日の基準日の濃度を地図上にプロットすることで作成した。また、これらの地点に加えて、宮城県で4月1日に調査した14地点、福島県で4月1日に調査した134地点および4月15日に調査した26地点、茨城県で4月1～5日に調査した18地点、栃木県で3月31日～4月1日に調査した14地点、群馬県で4月2日に調査した8地点、千葉県で4月2日に調査した10地点の結果もプロットした。これら調査地点の合計は579地点である。3月31日～4月15日の調査では、緯度経度情報を取得しなかったことから、調査地点の住所に基づいて緯度経度を決定した。

4) 農地の放射性Cs濃度推定図

実測したデータにより対象地域全域の分布をカバーすることは困難なため、図2に示した手順により放射性セシウム濃度推定図を作成した。具体的には以下の通りである。

調査結果に基づいて、放射性セシウム濃度と空間線量率の回帰直線を作成した。

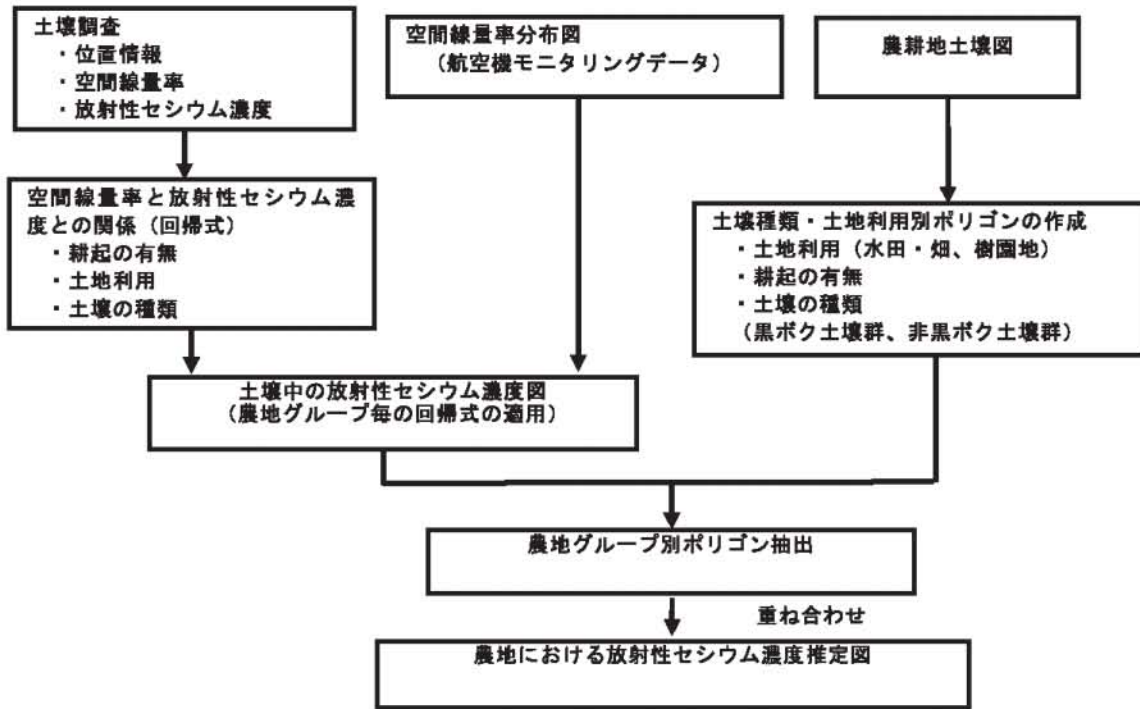


図2 農地における放射性セシウム濃度推定図作成手順
 耕起の有無：警戒区域、計画的避難区域を耕起なし、その他の地域を耕起ありとした。

この際に、耕起の有無、土地利用（水田、畑、樹園地）、土壌の種類について考慮した。

空間的分布に関するデータのうち、土壌の種類、農業的土地利用については農業環境技術研究所が作成した農耕地のデジタル土壌図（高田ら 2009）を利用した（図3）。これに基づいて本地域の土壌を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）と非黒ボク土壌群グループ（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）に区分した。また、空間線量率の分布は文部科学省原子力災害対策支援本部より提供を受けた航空機モニタリングデータ（文部科学省 2011）を用いた（図4）。耕起の有無に関する分布情報がなかったため警戒区域、計画的避難区域、緊急時避難準備区域（解除前）を「耕起なし」、それ以外の地域を「耕起あり」とした。

空間分布の解析などにはGISソフトウェア（ArcView Ver 10 および Spatial Analyst ESRI 社）を使用した。

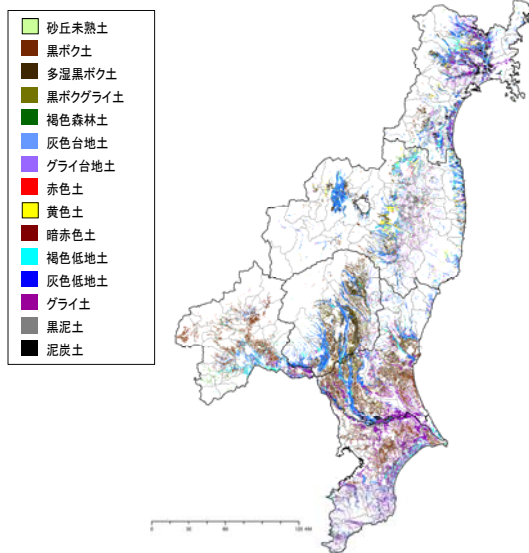


図3 調査対象地域の農耕地土壌図

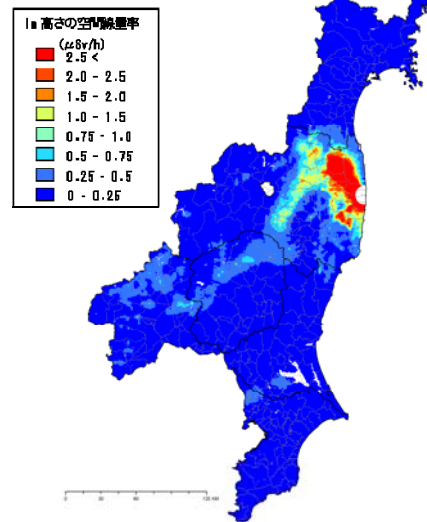


図4 調査対象地域の高さ1mの空間放射線量率(μSv/h)

高さ1mの空間放射線量率は文部科学省が公開した航空機サーベイの結果であり、2011年9月18日時点を基準日として補正している。

3. 結果および考察

1) 農地土壌中の放射性Cs濃度の実測値とその分布状況

宮城県 (65 地点)、福島県 (361 地点)、茨城県 (62 地点)、栃木県 (48 地点)、群馬県 (13 地点) および千葉県 (30 地点) の農地土壌中の Cs-134、Cs-137 の測定結果およびこれらの合計値を表1にそれぞれ示した。

宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県の農地土壌中の放射性セシウム濃度はそれぞれ 24~2,214 Bq/kg 乾土、検出限界以下の値から 30,231 Bq/kg 乾土、検出限界以下の値から 648 Bq/kg 乾土、検出限界以下の値から 4,097 Bq/kg 乾土、55~688 Bq/kg 乾土、19~800 Bq/kg

表1 県別の調査地点数と放射性Cs濃度の最小値、最大値

県名	地点数					放射性Cs濃度 (水田)		放射性Cs濃度 (水田以外)	
	合計	水田	畑	草地	樹園地	最小値	最大値	最小値	最大値
宮城県	65	14	49	0	2	96	670	24	2210
福島県	364	183	157	0	24	ND	30,200	ND	24,900
茨城県	62	15	42	0	5	89	480	ND	650
栃木県	48	26	22	0	0	47	4,090	ND	1,860
群馬県	13	1	11	0	1	140		55	688
千葉県	30	4	26	0	0	34	239	19	800
合計	582	243	307	0	32				

※1 放射性Cs濃度 (Bq/kg)は2011年6月14日を基準日とした値。

※2 データ採取地点の選定に際し放射性Cs濃度の高い地域を重点化した自治体もあり、各自治体における平均的・代表的な濃度分布を示すものではない。

※3 土壌中の放射性セシウム濃度値は、有効数字 (2桁のものは2桁、3桁のものは上から2桁、4桁以上のものは上から3桁) にしている。

乾土の範囲であった。また、検出限界値以上であったサンプルの平均値はそれぞれ 312 Bq/kg 乾土、2,710 Bq/kg 乾土、238 Bq/kg 乾土、516 Bq/kg 乾土、217 Bq/kg 乾土であった。

調査対象全域の農地土壤中の放射性 Cs 濃度の実測値の空間的な分布状況を図5に示した。農地土壤中の放射性 Cs 濃度の実測値は福島県浜通り地方や中通り地方で高く、その空間的な分布状況は文部科学省が行っている空間線量率の地上モニタリングの結果や航空機サーベイの結果と類似の傾向が認められた。

福島第1原発から北西方向の警戒区域、計画的避難区域に 10,000Bq/kg 乾土を超える高い放射性 Cs 濃度を示す場所が認められ、特に福島第1原発から飯館村に至るラインで顕著である。警戒区域、計画的避難区域以外の地域については以下のように要約できる。福島県中通り北部ではこのラインの延長方向で高い値が認められ、5,000Bq/kg 乾土を超える農地も認められた。ライン西側でも 1,000～5,000Bq/kg 乾土の地点が多く分布している。地点数は減少するものの中通り南部から栃木県北部にかけても 1,000～5,000Bq/kg 乾土の地点が分布している。一方、福島県境に近い宮城県南部では数地点で 1,000～5,000Bq/kg 乾土の地点が認められた。福島県西部の会津地域では全般的に 1,000Bq/kg 乾土以下であったが、1,000～5,000Bq/kg 乾土の地点が数地点で認められた。宮城県中部～北部、茨城県、栃木県南部、群馬県および千葉県においては 1,000Bq/kg 乾土以下であった。

2) 土壤中の放射性 Cs 濃度と空間線量率との関係

調査地域の農地を耕起・未耕起、土壌の種類および地目を基に (1)未耕起_黒ボク土壌群グループ、(2) 耕起_黒ボク土壌群グループ、(3) 未耕起_非黒ボク土壌群グループ、(4) 耕起_非黒ボク土壌群グループおよび (5) 樹園地の5グループに分け、それぞれのグループの土壤中の放射性 Cs 濃度と農地土壌調査の際に測定した 1m高さでの空間線量率との関係を図6に示した(樹園地のグラフは省略)。また、表2に回帰式を示した。

各グループにおいて、土壤中の放射性 Cs 濃度と空間線量率は正の相関関係が認められ、土壤中の放射性 Cs 濃度が増加すると空間線量率が増加することが明らかとなった。この関係性を詳細に検討した結果、福島第一原発事故以降に農地を耕起した地点と未耕起であった地点とを比較した際に、同等の土壤中の放射性 Cs 濃度であっても空間線量率は耕起した地点の方が未耕起であった地点よりも低くなった。本結果は、主として耕起土壌と未耕起土壌では放射性 Cs の深度分布が異なるため、空間線量率と土壌中濃度との関係性が異なったためと考えられる。また、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)の仮比重は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)

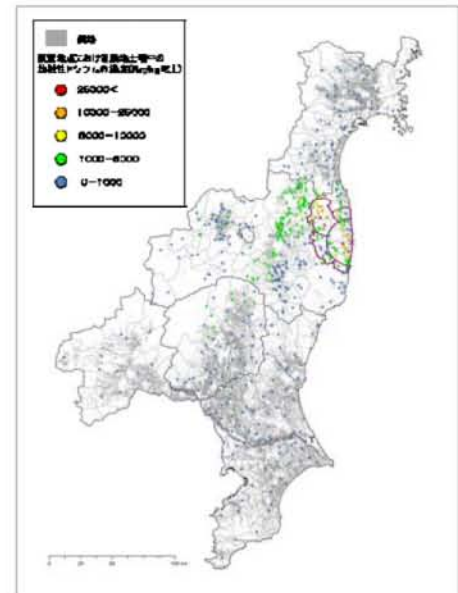


図5 農地土壌の放射性 Cs 濃度分布図

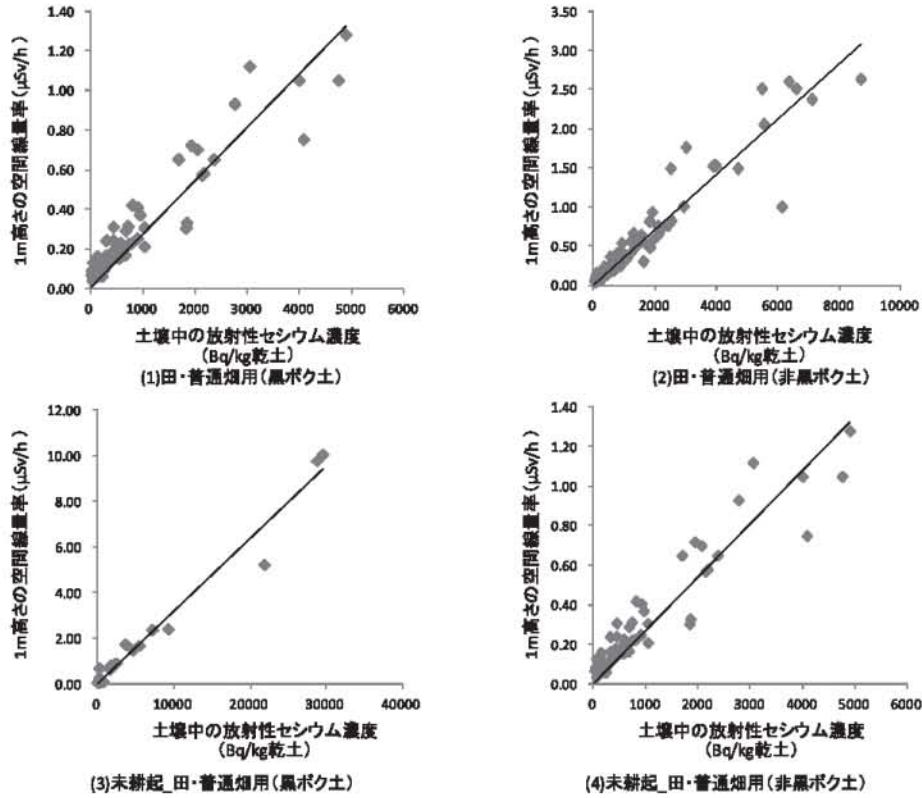


図 6 調査対象地域の農耕地土壤図

表 2 1m高さの空間線量率と土壤中の放射性セシウム濃度との間の回帰式

グループ	サンプル数	回帰式	寄与率
未耕起_黒ボク土壤群	25	$Y = (3.25 \times 10^{-4}) X$	0.97
耕起_黒ボク土壤群	69	$Y = (2.92 \times 10^{-4}) X$	0.89
未耕起_非黒ボク土壤群	79	$Y = (5.87 \times 10^{-4}) X$	0.91
耕起_非黒ボク土壤群	112	$Y = (3.80 \times 10^{-4}) X$	0.92
樹園地	26	$Y = (6.84 \times 10^{-4}) X$	0.92

Y: 1m高さの空間線量率(μ Sv/h)、X: 土壤中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg 乾土)

に比べて小さいことが一般的に知られている。その仮比重の違いによる影響等を受けて、同等の土壤中の放射性 Cs 濃度であっても空間線量率は黒ボク土壤群グループの方が非黒ボク土壤群グループに比べて高かったと考えられる。さらに、樹園地では他の地目に比べて同等の土壤中のセシウム濃度であっても空間線量率は高い傾向である。樹園地では樹木の樹冠などに付着している放射性セシウムの間接的な影響を受けていることや耕起されていないことによって他の地目よりも同等の土壤中の放射性 Cs 濃度であっても空間線量率は高くなったと考えられる。

回帰直線の傾きは、樹園地>未耕起_非黒ボク土壤群グループ>耕起_非黒ボク土壤群グループ>未耕起_黒ボク土壤群グループ>耕起_黒ボク土壤群グループの順であった。なお、各回帰式の決定係数 (R^2) は 0.89~0.97 の範囲であり、グループ分けを行うことで土壤中の放射性 Cs 濃度と空間線量率との関係性をより明確に表すことが可能となった。

3) 農地土壤中の放射性 Cs 濃度推定図

航空機サーベイによる空間線量率図（図4）と表2で示した回帰式を用いて農地グループ別の土壤中の放射性 Cs 濃度図を作成した。農環研が作成したデジタル土壤図（図3）には農地ポリゴン（同じ属性を区画した多角形の領域）ごとに土壤分類、農業的土地利用といった属性情報が付与されているので、これを用いて農地ポリゴンごとに農地グループ分けを行い、対応する農地グループの土壤中の放射性 Cs 濃度図からポリゴンを抽出した。最後に、これらのポリゴンを重ね合わせることで農地土壤中の放射性 Cs 濃度図を作成した。なお、警戒区域、計画的避難区域および緊急時避難準備区域に位置する農地については、原発事故以降の作付けが制限されていたため未耕起であると判断した。その他の地域に分布する農地については全て耕起をしているものと仮定した。

調査地全域の農地土壤中の放射性セシウム濃度推定図を図7に示した。

福島第一原発が立地する浜通りで農地土壤中の放射性 Cs 濃度は最も高く、次いで中通りおよび会津地方の順であった。とくに警戒区域および計画的避難区域において農地土壤中の放射性 Cs 濃度は高かった。なお、5,000 Bq/kg 乾土を超えると推定される農地の95%以上は警戒区域および計画的避難区域の両区域に集中していた。中通り地方では、土壤中の放射性 Cs 濃度が帯状に高くなる傾向が認められ、その濃度範囲が1,000~5,000 Bq/kg 乾土であると推定される農地が多かったが、5,000 Bq/kg 乾土を超える農地もあった。福島県中通り地方で認められた帯状の汚染域は宮城県南東部から栃木県中部にまで達していた（図7）。

福島県において農地土壤中の放射性 Cs 濃度区分ごとに分布面積を推定した結果、土壤中の放射性 Cs 濃度が5,000 Bq/kg 乾土を超えると推定される農地の分布面積は8300haであり、福島県の田畑の総面積の約6%を占めた。

4. おわりに

作成した放射性 Cs 濃度分布図により汚染状況を概観することが可能になった。しかし、小面積で分布する地域（ホットスポット等）を表現することは困難である。このような地域においては詳細な空間線量率調査を実施するなど、空間解像度の向上を図る必要がある。また、土壤の放射性 Cs 濃度の大小が必ずしも作物中の放射性 Cs 濃度へ反映するわけではない。塚田ら（2011）は土壤-作物系における放射性核種の挙動についてまとめており、その中で、土壤の粘土鉱物組成は Cs の固定に深く関与することを示している。佐野ら

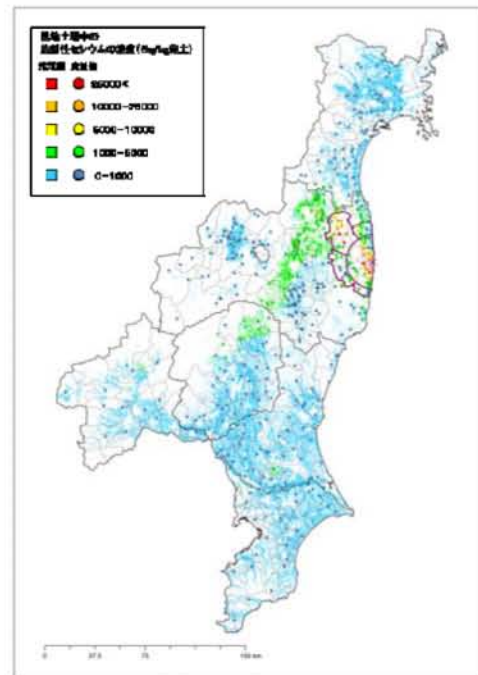


図7 農地土壤の放射性 Cs 濃度推定図

（2010）は南東北地方の水田土壤について粘土鉱物組成による類型区分を行い地理的な分布を示したが、こうした粒径組成や粘土鉱物組成などの情報を整備し放射性 Cs の挙動を評価する必要がある。

参考文献

- 1) 厚生労働省医薬局食品保険部監視安全課 (2002) 緊急時における食品の放射能測定マニュアル、1-39
- 2) 文部科学省 (2011) 文部科学省 (米国エネルギー省との共同を含む) による航空機モニタリング結果、http://radioactivity.mext.go.jp/ja/monitoring_around_FukushimaNPP_MEXT_DOE_airborne_monitoring/
- 3) 佐野大樹ら (2010) 南東北地方の代表的な水田土壤の粘土鉱物組成、ペドロジスト 54:83-92
- 4) 高田裕介ら (2009) 1992 年の農耕地分布に基づくデジタル農耕地土壤図の作成、土肥誌 80:502-505
- 5) 塚田祥文ら (2010) 土壤-作物系における放射性核種の挙動、土肥誌 82:408-418

【関連する HP の URL】

農林水産省 (2011) 農地土壤の放射性物質濃度分布図の作成について、
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110830.htm>

<図 3、4、5、7 は PDF 版ではカラー表示されている。>

問い合わせ先

農業環境インベントリーセンター 神山 和則

電話：029-838-8272、 e-mail: kohyama@affrc.go.jp