

農地土壌の放射能濃度分布図の作成とその利用

農業環境技術研究所 神山和則・高田裕介・小原 洋・谷山一郎
福島県農業総合センター 齋藤 隆

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。これらの物質は風などにより移送された後、降水等によって地表面に降下沈着した。この結果、福島県を中心に広範囲に放射性物質による汚染が発生し、水道水、野菜を中心とした農作物でも放射性物質が検出された。このような汚染はチェルノブイリ原子力発電所の事故においても発生しており、長期間にわたることが知られている。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を進めるために不可欠である。このため、放射性物質による汚染が発生したと考えられる宮城県、福島県、栃木県、群馬県、茨城県および千葉県の農地において、土壌を採取し放射性物質の濃度を測定することにより、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。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。

2. 初期の土壌放射能濃度と空間線量率の調査

1) 文部科学省によるモニタリング

福島第一原発事故直後より、文部科学省が中心となり、福島第一原発の20km以遠の空間線量率のモニタリングが開始され、それに続き土壌中の放射性物質濃度も測定された。これによりおおまかであるが空間線量率の地理的分布が明らかになってきた(文部科学省 2011)。

2) 水田土壌調査

水稻の作付けの可否を明らかにすることが課題となり、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、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)。土壌中の放射性セシウム濃度(Cs134とCs137の合計値)は福島県で9-29,000 Bq/kg、福島県以外の県でND-1,826 Bq/kgの範囲であった(図1)。

一方、原子力災害対策本部では稲の作付けに対する考え方を公表し、避難区域、計画的避難区域、緊急時避難準備区域および玄米が暫定規制値（放射性セシウム濃度が500 Bq/kg）を超える可能性の高い地域の作付け制限が示された。この際に農環研で行われてきた長期モニタリング調査の結果（駒村ら 2005）を基に土壌から玄米への移行率を0.1としたことから、土壌中の放射性セシウム濃度は5,000 Bq/kgが作付け上限値となった。先の土壌調査結果から避難区域、計画的避難区域、緊急時避難準備区域以外の地域における作付け制限は行われなかった。

3) 福島県における空間線量率のモニタリング調査

放射性物質の測定は土壌採取、試料調製、測定という手順で行われ、分析装置も特殊であるため、短時間に多くの測定を行うことは難しい。一方、空間線量率の測定は1地点数分で済むことから、多くの地点で測定を行うことが可能である。空間線量率は放射線の人体への影響を表すこともあり、事故直後から学校や公共の場所など多くの地点で測定された。福島県では4月5～7日にかけて約1,600の学校におけるモニタリングを、12～16日にかけて約1,900地点のメッシュ調査によるモニタリングを行った。これらの結果は、航空機モニタリングによる空間線量率の分布が公表されていない初期における福島県全体の空間線量率の面的な把握に有効な情報となった。

3. 農地における土壌放射能濃度の分布調査と放射性セシウム濃度推定図の作成

水田土壌調査は短期間に行われたため、限られた地点数の調査であった。農地の利用、除染などの取組のためにはできるだけ詳細な放射能濃度分布図が不可欠であったことから、この作成に取り組んだ。前述のとおり、土壌の放射能濃度の測定には多くの時間がかかる。一方、様々な空間線量率のモニタリング調査や航空機モニタリングの結果（文部科学省 2011）が公表され、

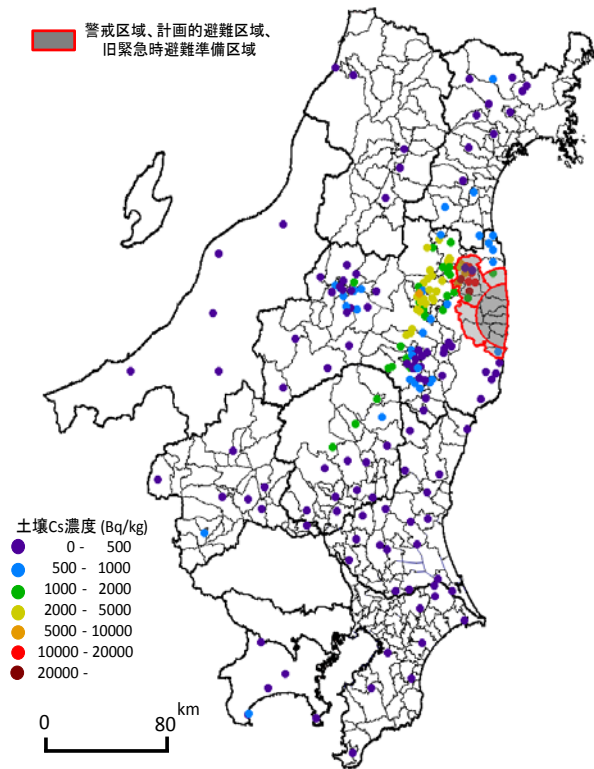


図1 水田土壌の放射性セシウム濃度
(3月31～4月5日土壌採取)

空間線量率の地理的分布が明らかになってきたことから、分布図の作成には空間情報解析の手法を利用して放射能濃度の推定図を作成することとした。

1) 土壌調査

土壌調査は宮城県においては7月15～22日に51地点で、福島県においては5月23日～8月5日に201地点、茨城県においては7月1～15日に44地点、栃木県においては6月20～24日に34地点、群馬県においては7月29日に5地点、千葉県においては7月1～13日に20地点で調査を行った。

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。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あるいはCsIシンチレーションカウンターを用いて、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。

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) 放射能濃度の測定

採取した土壌試料を深さ別に区分した後、5箇所の試料を混合して分析に供した。試料の放射能濃度は「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、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で表示した。濃度は試料採取日の濃度に補正するとともに、土壌試料の採取時期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。なお、農地土壌では、I-131、Cs-134とCs-137が重大な影響を及ぼすと考えられることから、これらの核種について測定した。ただし、I-134はほとんどの地点で検出限界以下であったため、放射能濃度分布図、推定図は放射性セシウム濃度のみを示した。

3) 放射性セシウム濃度推定図の作成方法

限られた実測データによって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放射能濃度推定図を作成した。具体的には以下の通りである。

実測した土壌の放射性セシウム濃度と空間線量率と放射能濃度(放射性セシウム濃度)の回帰直線を作成した。この際に、耕起の有無、農業的土地利用(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

研究所が作成した農耕地のデジタル土壤図を利用した。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(GeoTIFF形式)を用いた。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。

4) 放射性セシウムの分布状況

放射性セシウム濃度は福島第一原発から北西方向の警戒区域、計画的避難区域に10,000Bq/kg 乾土を超える地点が認められ、特に福島第一原発から飯舘村に至るラインで顕著であった(図3)。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るとともに、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

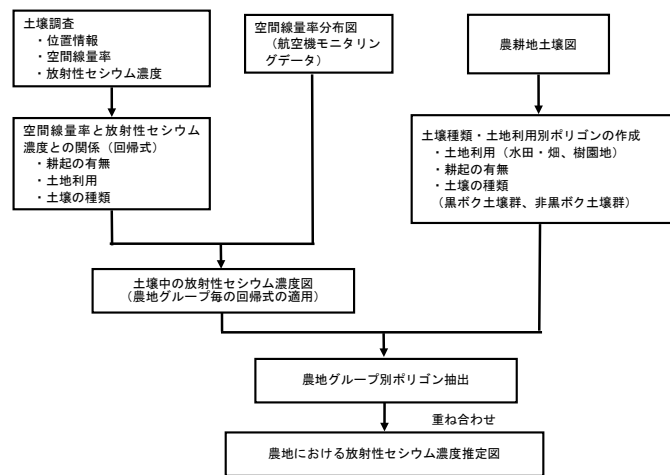


図2 農地における放射性セシウム濃度推定図作成手順
耕起の有無：警戒区域、計画的避難区域を耕起なし、その他の地域を耕起ありとした。

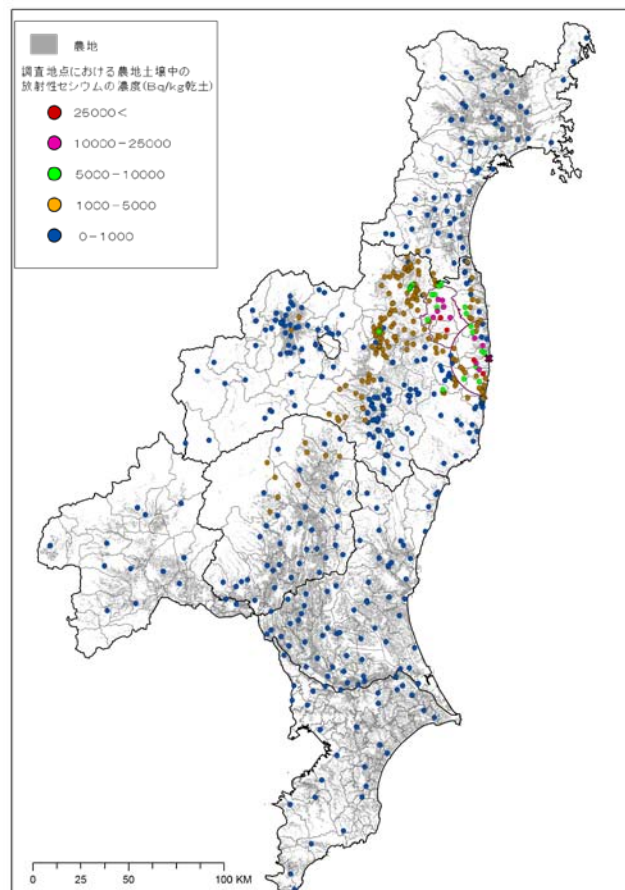


図3 農地土壤の放射性セシウム濃度分布図
(調査地全域)

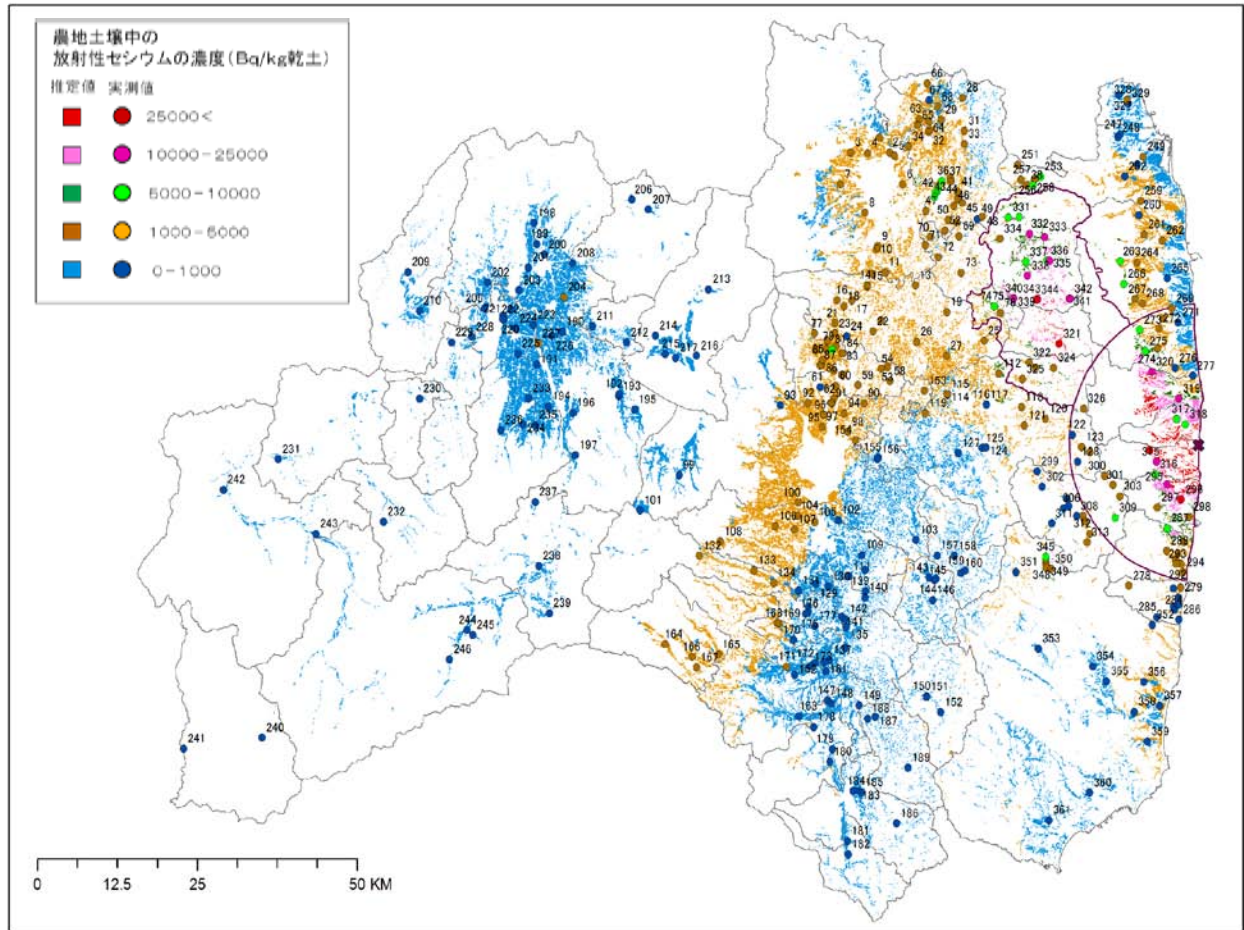


図4 福島県の農地土壌中の放射性セシウム濃度分布推定図

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。

5) 福島県の放射性セシウム濃度推定図

福島県では、福島第一原発が立地する浜通りで農地土壌中の放射性セシウム濃度は最も高かった（図4）。とくに警戒区域および計画的避難区域において農地土壌中の放射性セシウム濃度は高かった。なお、コメの作付け基準である土壌中の放射性セシウム濃度が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、土壌中の放射性セシウム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。福島県会津地方に分布する農地のほぼ全てにおいて、放射性セシウム濃度は1,000 Bq/kg 乾土以下であると推定された。

福島県農地土壌中の放射性セシウム濃度区分ごとに推定した分布面積を算出した結果、土壌中の放射性セシウム濃度が5,000 Bq/kg 乾土を超えると推定される農地の分布面積は8,300 ha

であり、福島県の田畑の総面積の約 6% を占めた。

表 1 農地土壌除染技術適用の考え方（農水省 2011）

4. 農地土壌の放射能濃度分布図の利用

1) 除染対策

農林水産省は土壌の放射性セシウム濃度に応じた農地除染の技術的な考え方を整理した（表 1）。すなわち、土壌の放射性セシウム濃度が 5,000 Bq/kg 以下の農地では既に耕作が行われている場合が多いので農作物への移行低減対策や空間線量率低減対策を講じること、5,000～10,000 Bq/kg の農地につい

土壌の放射性セシウム濃度	畑	水田
5 5,000 Bq/kg	農作物への移行を可能な限り低減する観点、また、空間線量率を下げる観点から、必要に応じて○反転耕、○移行低減栽培技術を適用。	
5,000 Bq/kg ～ 10,000 Bq/kg	地下水位 低い場合（数値は検討） ●表土削り取り ○反転耕	地下水位 高い場合（数値は検討） ●表土削り取り
	低地土 ●表土削り取り ●水による土壌攪拌・除去 ○反転耕（耕盤が壊れる）	低地土以外 ●表土削り取り ●水による土壌攪拌・除去（低地土より効果低） ○反転耕（耕盤が壊れる）（地下水位が低い場合のみ適用）
10,000 Bq/kg ～ 25,000 Bq/kg	●表土削り取り	●表土削り取り
25,000 Bq/kg 5	●表土削り取り 5cm以上の厚さで削り取り。ただし、高線量下での作業技術の検討が必要。（例えば土ほこりの飛散防止のための固化剤の使用）	●表土削り取り 5cm以上の厚さで削り取り。ただし、高線量下での作業技術の検討が必要。（例えば土ほこりの飛散防止のための固化剤の使用）

ては、地目や土壌条件を考慮し、反転耕、水による土壌攪拌、表土削り取りの実施、10,000～25,000 Bq/kg の農地では表土削り取り、25,000 Bq/kg 以上の農地では固化剤等を用いて土埃飛散防止措置を講じた上で 5cm 以上の厚さで表土の削り取りを行うこと、という 4 段階である。前述の推定図によると 5,000～ 10,000 Bq/kg の範囲であると推定される田および畑地の面積はそれぞれ約 2,000 ha および約 800ha、表土の削り取りが必要とされる 10,000 ～ 25,000 Bq/kg の範囲である田および畑地面積はそれぞれ約 2,600 ha および約 800 ha、25,000 Bq/kg 以上の水田および畑地はそれぞれ約 1,6000 ha および約 600ha と推定された。

2) 米の放射能濃度調査

米は国民の主食であることから他の農作物とは異なり、収穫前予備調査、収穫後の本調査の二段階で実施された。予備調査では土壌中の放射性セシウム濃度が 1,000 Bq/kg 以上の市町村では旧市町村ごとに 1 点、その他の市町村では市町村ごとに 5 点という調査点数が示された。また、本調査では予備調査の結果に応じて重点調査区域の設定し調査することも示された。

本調査の結果、宮城県では 8 地点（20－102 Bq/kg）、福島県では 210 地点（6－470 Bq/kg）茨城県では 3 地点（24－85 Bq/kg）、千葉県では 1 地点（46 Bq/kg）で放射性セシウムが検出された（福島県を除き Cs-134、Cs-137 の検出下限値はそれぞれ 20 Bq/kg）。福島県において旧市町村における玄米の放射性セシウム濃度の最大値と土壌の放射性セシウム濃度を地図上にプロットすると、土壌の放射性セシウム濃度が 2,000－5,000 Bq/kg を示す地点が多い中通り北部地

域に玄米の放射性セシウム濃度が検出下限値を超える旧市町村が多く見られた。一方で土壌の放射性セシウム濃度が 500 Bq/kg 未満が多い旧市町村であっても玄米の放射性セシウム濃度が 50-100 Bq/kg を示す場合もあり、土壌と玄米の放射性セシウム濃度の関係は単純ではない。

福島県では本調査後に、暫定規制値 (500 Bq/kg) をこえる放射性セシウム濃度を示す玄米が 9 の旧市町村

で生産されたことが明らかになった。暫定規制値を超えた玄米が生産された水田のほとんどが土壌の放射性セシウム濃度は 3,000 Bq/kg を超えているが、土壌中の濃度が高くても玄米で放射性セシウムが検出されない場合もある (図 5)。福島県と農水省の要因解析 (中間報告) によれば、土壌中の高い放射性セシウム濃度は必要条件に過ぎず、土質、施肥量、栽培管理、周辺環境など複数の要因が複合的に関係している、としている。

5. おわりに

作成した放射性セシウム濃度推定図は概ね妥当と考えられるが、推定値の空間的解像度は航空機モニタリング調査の空間解像度により制限される。このため、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、土壌の放射性セシウム濃度の大小が必ずしも作物中の放射性セシウム濃度へ反映するわけではない。塚田ら (2011) は土壌-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、土壌の粘土鉱物組成はセシウムの固定に深く関与することを示している。一方、佐野ら (2010) は南東北地方の水田土壌について粘土鉱物組成による類型区分をおこない、地理的な分布を示した。このような情報や土壌の粒径組成などを用いて放射性セシウムの可給性を評価することにより、より実用性の高い地図となると考えられる。

参考文献

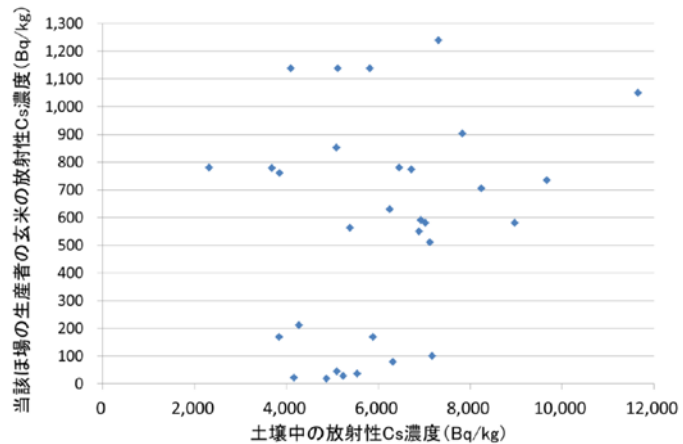


図5 土壌及び米の放射性セシウム濃度の関係
(暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が生産された要因の解析 (中間報告) 福島県・農水省)

- 1) 駒村美佐子ら (2005) わが国の米, コムギおよび土壌における ^{90}Sr と ^{137}Cs 濃度の 1959 年から 2000 年にわたるモニタリング調査、農環研資料 28 : 1-56
- 2) 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
- 3) 佐野大樹ら (2010) 南東北地方の代表的な水田土壌の粘土鉱物組成、ペドロジスト 54 : 83-92
- 4) 塚田祥文ら (2010) 土壌-作物系における放射性核種の挙動、土肥誌 82 : 408-418

【空間線量率のモニタリング調査結果】

文部科学省 (2011) モニタリングカーを用いた固定測定点における空間線量率の測定結果、

http://radioactivity.mext.go.jp/ja/monitoring_around_FukushimaNPP_monitoring_out_of_20km/

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/

【土壌の放射能濃度の調査結果】

宮城県 (2011) 土壌の放射性物質検査結果、

http://www.pref.miyagi.jp/noenkan/result_radio/H23soil.html

山形県 (2011) 放射性物質に係る農用地の土壌分析調査について、

<http://www.pref.yamagata.jp/ou/norinsuisan/140027/dojyobunseki.html>

福島県 (2011) 主要な農作物の生育情報・技術情報、

<http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyuu/seiikugijyutsujyohou.html>

茨城県 (2011) 県内農用地の土壌調査結果(4月8日)【農産課】、

http://www.pref.ibaraki.jp/important/20110311eq/20110408_20/index.html

栃木県 (2011) 福島第 1 原子力発電所事故に伴う放射性物質の県内水田土壌への影響調査の結果、

http://www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/houshanou_suiden.html

群馬県 (2011) 【4月8日】放射性物質汚染に対する土壌安全検査について (技術支援課)、

<http://www.pref.gunma.jp/houdou/f1000020.html>

千葉県 (2011) 水田土壌の放射性セシウム濃度の調査結果について、

<http://www.pref.chiba.lg.jp/annou/h23touhoku/suidendojo.html>

神奈川県（2011）県内の農用地土壌の放射能濃度について、

<http://www.pref.kanagawa.jp/prs/p224408.html>

新潟県（2011）4月15日 県内の水田土壌中の放射性物質の調査結果について、

<http://www.bousai.pref.niigata.jp/contents/538/002280.html>

農林水産省（2011）農地土壌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>

【農地の除染に関連する HP】

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>

【米の放射性セシウム濃度に関連する HP】

農林水産省（2011）農産物に含まれる放射性セシウム濃度の検査結果（随時更新）、

http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/s_chosa/index.html

農林水産省（2012）福島県における米の放射性セシウム濃度の緊急調査結果（随時更新）、

http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/s_chosa/kome_kinkyu_chosa.html

福島県（2012）放射性セシウムを含む米が生産された要因の解析（中間報告）、

http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyuu/05gensiryoku/240112_tyukan.pdf