

特集論文

農林技術センター内の空間線量率の推移について

福田直也^{1,2*}・瀬古澤由彦^{1,2}・水田大輝^{1,2}・弦間 洋^{1,2}・田島淳史^{1,2}・瀧川具弘^{1,2}
林 久喜^{1,2}・野口良造^{1,2}・清野達之^{1,2}・加藤盛夫^{1,2}・石川尚人^{1,2}・浅野敦之^{1,2}
秋葉よしえ¹・伊藤 睦¹・伊藤百世¹・大宮秀昭¹・岡田一男¹・片桐孝志¹・軽部 潔¹
酒井一雄¹・齋藤 明¹・佐藤美穂¹・菅原慶子¹・比企 弘¹・松岡瑞樹¹・山本倫成¹
横山和人¹・吉田勝弘¹・本間 毅¹・松本安弘¹・米川和範¹・川崎敏安¹・矢口由典¹
関口正実¹・森 妙子¹・藤谷りつ子¹・塚原真知子¹

¹ 筑波大学農林技術センター
305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
² 筑波大学生命環境系
305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

福島第一原子力発電所事故の影響について、本研究では筑波大学農林技術センター内における空間放射線の推移を調査した。筑波大学農林技術センター内に一辺50m、合計163ヶ所の正方形の測定メッシュを設定し、その中央を基準測定点として空間線量率を計測した。2011年8月の第一回計測時における全メッシュ中央地点の平均空間線量率は0.1 μ Sv/hであり、全体として1.0 μ Sv/h以下の低線量箇所が全メッシュ中約半分となった。しかし、スポット的に高い線量の測定点があり、倒木等の集積地に近いメッシュでは0.590 μ Sv/hとなった。加えて、同じメッシュ内の雨樋下のような特定箇所が高い線量が記録される事例が散見された。その一方で、耕起を行った圃場で周辺よりも空間線量率が低くなる傾向があることが示された。その後、計測毎に空間線量率は低下し、2014年に実施した第六回計測時には、原発事故以前のバックグラウンド値に近いレベルに低減したことが判明し、同一循環系内において放射性物質が徐々に拡散した結果、空間線量率が低下していったと推察された。

キーワード：空間線量率、耕起、土地利用形態、農地、放射性セシウム

緒 言

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、我が国は未曾有の危機に直面した。同発電所からの放射性物質の飛散は広範囲に及び、同発電所がある福島県内だけではなく、日本全域に拡散した。福島第一原子力発電所から約180km離れた筑波大学を含む茨城県南部の一部の地域でも、同事故後に比較的高い空間線量率が観測

されており、様々な核種の放射性物質が降下した可能性がある(Tagamiら2011)。このような放射性物質拡散の影響について文部科学省では、2012年11月に実施した航空機を使った各地域の第6次空間放射線モニタリング結果を公表している(文部科学省2013)。この報告では、2012年11月に実施された第4次モニタリング結果と比較を行ったところ、一年間に40%程度空間線量率が減衰し、放射性物質の半減期から想定される減衰量よりも高いことが判明した。この空間

*連絡者：福田直也 筑波大学生命環境系
305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1
E-mail：fukuda.naoya.ka@u.tsukuba.ac.jp

線量減衰については、降雨などの影響が考えられるとしており、今後も段階的な空間線量率の減衰が予想される。

文部科学省が実施したモニタリングでは航空機を使用し、福島第一原子力発電所から80km圏内では1.85km間隔で、またそれ以外では3km間隔で飛行しながら計測した結果を示しているが、地上の詳細な状況を示すことは、このような調査では難しい。これまでの報道にもあるように、低線量地域と言われた場合でも、ホットスポットと呼ばれる高線量の場所があるなど、同じ地域内であっても空間放射線のレベルは一様ではない。

ホットスポットについては、例えば東京都の町田市の調査結果(2014)では、小学校校庭の雨樋下や清掃後に出た土壌を集積した場所で、環境省が除染基準として定めた1時間当たり0.23 μ Svの環境基準を超える空間線量率を示したことが報告されている。住宅地や公園などの側溝といった水が集まりやすい場所などでもホットスポットが確認されており、公的な除染の対象とされている。農地に関連しても同様に、未耕起の水田や露地圃場表面において多くの放射性セシウムが検出されており、関東近県においても一部水田などから土壌中セシウム濃度が500Bq/kgを超えるような場所が見つかった(農林水産省プレスリリース2012)。しかし、露地圃場のように定期的に耕起されている場所では放射性物質の動態は複雑であり、空間放射線の減衰についても住宅地などとは異なっている可能性がある。

筑波大学農林技術センターでは、「広域被災地の農業復興に向けた放射性物質の移行モニタリングと芝生等被覆作物による土壌中の放射性物質の物理的・生物学的除染と減量化」プロジェクトを実施し、同センター内の空間線量率モニタリングや、土壌や作物などの放射性物質濃度に関する定期的な調査を行ってきた。本プロジェクトでは、農地の空間線量率の経時変化を定量化すると共に、多様な農作物の放射性物質移行係数を明らかにすることを通して、食の安全を担保すると共に、農業復興を支援している。なお本プロジェクトでは、農林技術センター内部における空間線量率の詳細モニタリングを、震災が発生した2011年8月より定期的におこなっており、その後の経緯について把握している。当センターは、水田や食用作物圃をはじめさまざまな農地ならびに建物敷地を有しており、複

合生態系における空間線量率の推移を、局所的かつ経時的に解析できる場である。

本研究では、農林技術センター内の農林業物質循環系を農村生態系のモデルとし、本循環系における空間線量率の推移について調査を実施した結果を基に、福島第一原子力発電所事故からの空間線量率の変動に関して考察する。

方法および材料

当センターにおける空間線量率モニタリングを、第一回計測は2011年8月、第二回計測は2012年4月～5月、第三回計測は2013年1月、第四回計測を2013年7～8月、第五回計測を2014年1月～2月、更に第6回計測を2014年8月～9月に実施した。

空間線量率測定位置について、民間の地図情報サービス(Googleマップ:<https://www.google.co.jp/maps/@36.1193376,140.0956203,1246m/data=!3m1!1e3>)の地図情報を基として、筑波大学農林技術センター筑波地区ならびに実験林地区の敷地を、一辺50mの正方形でカバーするマップを作成した(図1)。このマップでは、合計163ヶ所の正方形の測定メッシュを設定することが可能となり、このメッシュ中央付近を基準測定点とすることとした。空間線量率の計測は、農林技術センター筑波地区全教職員で分担して計測した。測定点については、前述のマップを参照し、更に周囲の建物や地形を目視確認しながら、メッシュ中央付近を確認して計測を行った。

空間線量率の測定には、環境放射線モニタ(PA-1000 Radi, HORIBA)を使用した。測定器の汚れによるコンタミネーションを防ぐために、透明ビニル袋によって計測器を包んだ上で、各測定点において空間線量率の測定を行った。測定点では、計測開始前に地表上5cm程度の高さに環境放射線モニタを2分間保持して測定値の安定化を行った。保持終了後、その状態を維持しながら10秒毎に空間線量率を5回読み取り記録した。さらに、周囲の建物や植生などを観察し、側溝、灌木、腐葉土置き場、樹林、池等の箇所があれば、上記の方法に従いその箇所についても計測した。なお測定には、可能な限り降雨直後などの時間帯を避け、安定的な気象条件時に測定することに務めた。各測定終了後に、各測定結果の平均値を基にして空間線量率マップとして取りまとめを行った。

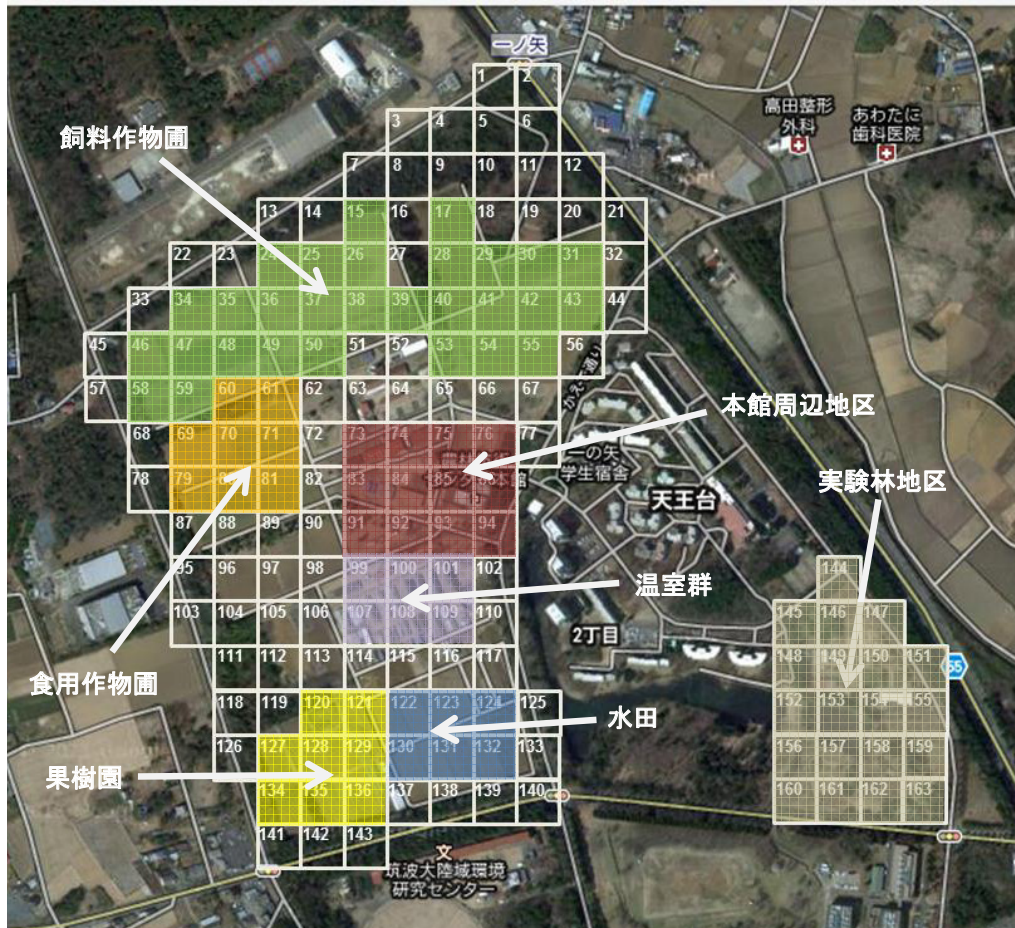


図1 筑波大学農林技術センターにおける空間線量率モニタリングを行うためのメッシュ地図。各正方形の一辺が50mとなっている。

結果および考察

産業総合研究所(2013)の空間線量率モニタリング結果を参照したところ、つくば市内の同研究所における空間線量率のバックグラウンドデータは、 $0.06\mu\text{Sv/h}$ となっている。本調査における、筑波大学農林技術センターつくば地区内の平均空間線量率の推移をまとめたところ、震災から5ヶ月が経過した第一回計測時の、全計測メッシュ中央地点の平均空間線量率は $0.1\pm 0.004\mu\text{Sv/h}$ であり、環境省が示している除染基準以下となった(図2)。しかしながら農林技術センターの平均空間線量率は、先に示した産業総合研究所(2013)の空間線量率バックグラウンドデータと比較しても高く、この時点においては福島第一原子力発電所事故による放射性物質降下の影響があったものと判断される。鈴木(2012)は、東京都23区東部のマッピングデータを基として線量率減衰の予測を行い、バックグラウンドの空間線量率に戻るのには2014年5月と予測した。筑波大学農林技術センターにおける空間線量率は計測毎に減衰しており、2014年

8月から9月に実施した調査時点では $0.066\pm 0.002\mu\text{Sv/h}$ と、鈴木(2012)の予測に近い時期に、原発事故以前のバックグラウンドレベルに戻ったと考えられた。なお、空間線量率の減衰については、各測定回における測定値の標準誤差が、原発事故後の時間の経過とともに収束していく様子からも観察することができる(図2)。

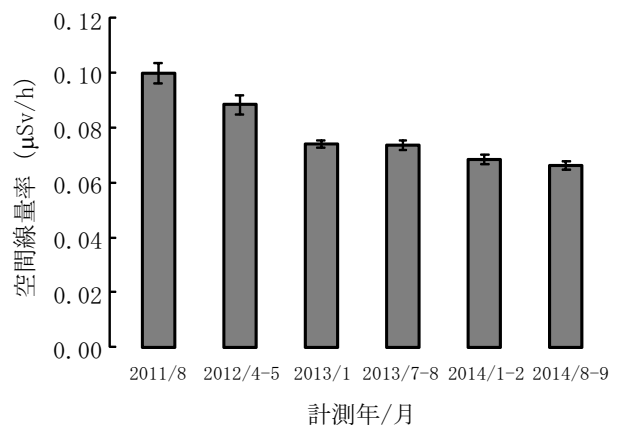


図2 筑波大学農林技術センターにおける空間線量率モニタリング結果における全平均値の推移。図中のエラーバーは標準誤差(n=163)を示す。

2011年8月に実施した調査の結果、空間線量率が、環境省が定める除染基準の $0.23\mu\text{Sv/h}$ 以上となる測定メッシュは、19番メッシュのみであった(図3)。倒木や街路樹残さの集積地がある19番メッシュでは、除染基準を上回る $0.590\mu\text{Sv/h}$ の空間線量率が記録された。この調査が行われた2011年8月時点においては原発事故後5カ月が経過しており、原発事故後に福島第一原子力発電所周辺の土壌表面より検出された ^{131}I (半減期 $T_{1/2}=8.02$ 日)、 ^{134}Cs ($T_{1/2}=2.06$ 年)、 ^{136}Cs ($T_{1/2}=13.2$ 日)、 ^{137}Cs ($T_{1/2}=30.04$ 年)ならびに $^{129\text{m}}\text{Te}$ ($T_{1/2}=33.6$ 日)のうち(Tagamiら2011)、各放射性物質の半減期から判断し、 ^{136}Cs と ^{137}Cs が農林技術センター土壌中に残っていたと推察される。この地点における放射性セシウム濃度を、農林水産省が公開した「農地土壌の放射性セシウム濃度の簡易測定法」(福島県農林水産部2012)を用いて換算したところ、 1728Bq/kg と高濃度に集積されていることが推測された。Koarashiら(2012)は、福島第一原子力発電所事故後の調査において、森林などの落葉における集積寄与率が高いことを示しており、また、Ohashiら

(2014)も、樹種によって異なるものの樹体内に放射性セシウムが滞留していることを指摘している。これらの報告は、倒木などを集積したこの地区における高い空間線量率を裏付けしているものと考えられる。放射性物質を含む伐採木を集めた場合、その周辺空間の空間線量率が增大する可能性は今後も高いと言えよう。また、52番メッシュにおいても、 $0.201\pm 0.002\mu\text{Sv/h}$ と、周辺と比較して高い空間線量率が確認された。作付後の植物残さならびに家畜糞尿を集めた堆肥置き場近くである同メッシュの空間線量率が高いことは、事故当時から当センター内部由来となる植物残さおよび家畜糞尿が集積され、当センター内の放射性物質が堆積していた可能性を示している。

農林技術センター内の空間線量率について、利用形態別(図1参照)に観察したところ、本館地区ならびに温室群の周辺では、全体的に $0.1\mu\text{Sv/h}$ を超える空間線量率が確認される箇所が多くなった(図3)。一方、果樹園を含む調査メッシュ群では $0.096\pm 0.008\mu\text{Sv/h}$ (推定放射性セシウム濃度： 281.7Bq/kg)、食用作物圃では

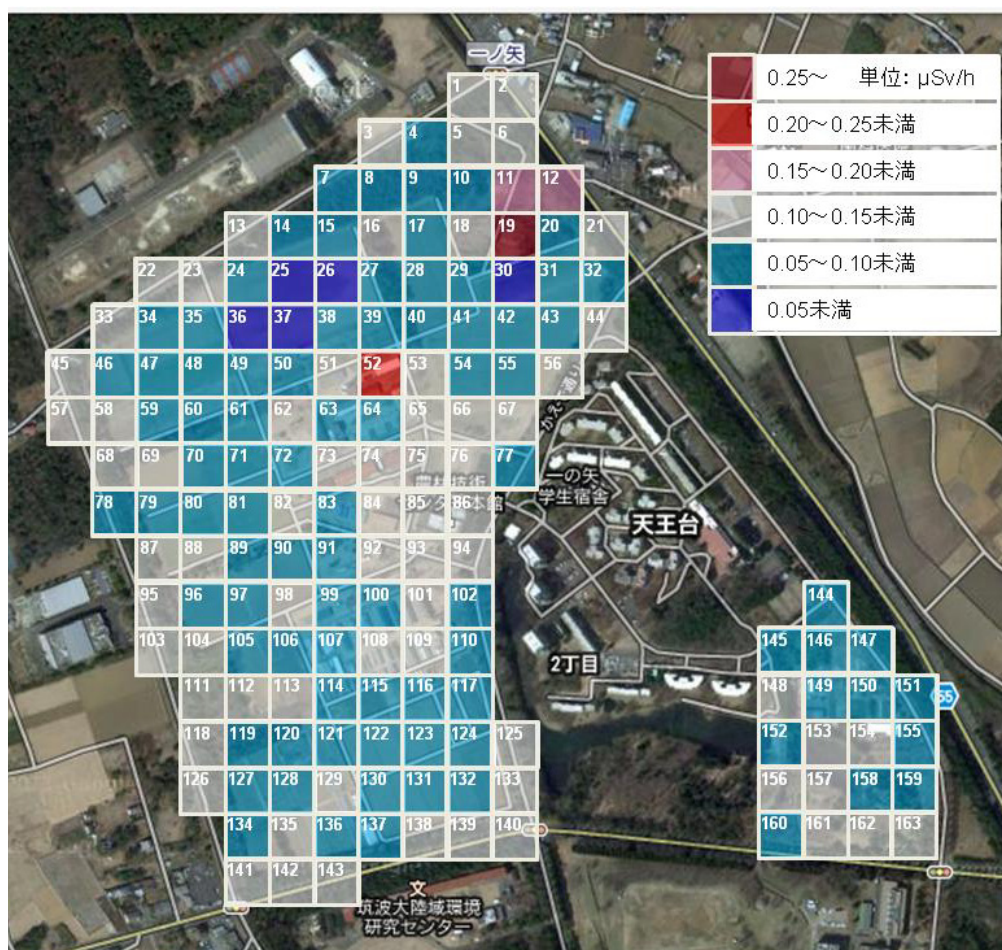


図3 2011年8月に実施した筑波大学農林技術センターにおける空間線量率モニタリング結果

0.070±0.005μSv/h(同:39.5Bq/kg)、飼料作物圃では0.069±0.008μSv/h(同:36.2Bq/kg)となり、利用形態による空間線量率ならびに放射性セシウム濃度に違いがあったものと考えられた。Koarashiら(2012)は、利用形態の違い毎に土地の集積総セシウム量を評価した結果、集積した放射性セシウムの総量に利用形態別に違いはなかったとしている。しかしながら農林技術センター内に関しては、場所別で土壤中に含まれる放射性セシウム濃度の違いに由来する空間線量率に関する違いが存在する可能性が指摘された。放射性セシウムは、土壌表層に沈着した上、土壌下層に移動しにくいとされている(津村ら1984)。一方、藤村(2013)は、試験場内の圃場において耕起および湛水によって空間放射線が減衰することを指摘している。藤村(2013)の指摘のように、空間線量率が比較的低位で記録された圃場に関しては、耕起および作付によって放射性物質が土壤中に拡散し、結果として土壌表面からの影響が減少した結果ではないかと考えられる。なお、当センターにおいて、2011年3月11日から調査が行われた8月までに先に空間

線量率が低位で記録された圃場では耕起が行われており、反対に、本館地区や温室群周囲など耕起が行われていない場所では、放射性物質の拡散が起これず土壌表面に集積したままとなった結果、空間線量率の値が高くなったものと推察される。

震災から一年が経過した2012年5月に実施した第二回計測時の全計測メッシュ中央地点の平均空間線量率は0.086μSv/hとなり、前回測定時よりも全体的に減少した(図4)。前回調査で高い線量が確認された19番メッシュでも、中央点において空間線量率が0.130μSv/hと低下したが、同メッシュ内の植物残さ集積地の近くで空間線量率を測定したところ、0.264μSv/hとその付近の線量が依然として高いことが確認された。また、実験林地区(図1)の場合、ほとんどのメッシュ中央地点では比較的低位線量であったが、148番メッシュ内の雨樋下(0.529μSv/h)や落ち葉の堆積地(0.299μSv/h)のような特定箇所での高い線量が記録されるケースが散見された。環境省(2012)の報告によると、土や埃が溜まりやすい雨樋や、雨だれ部分に多く放射性物質が

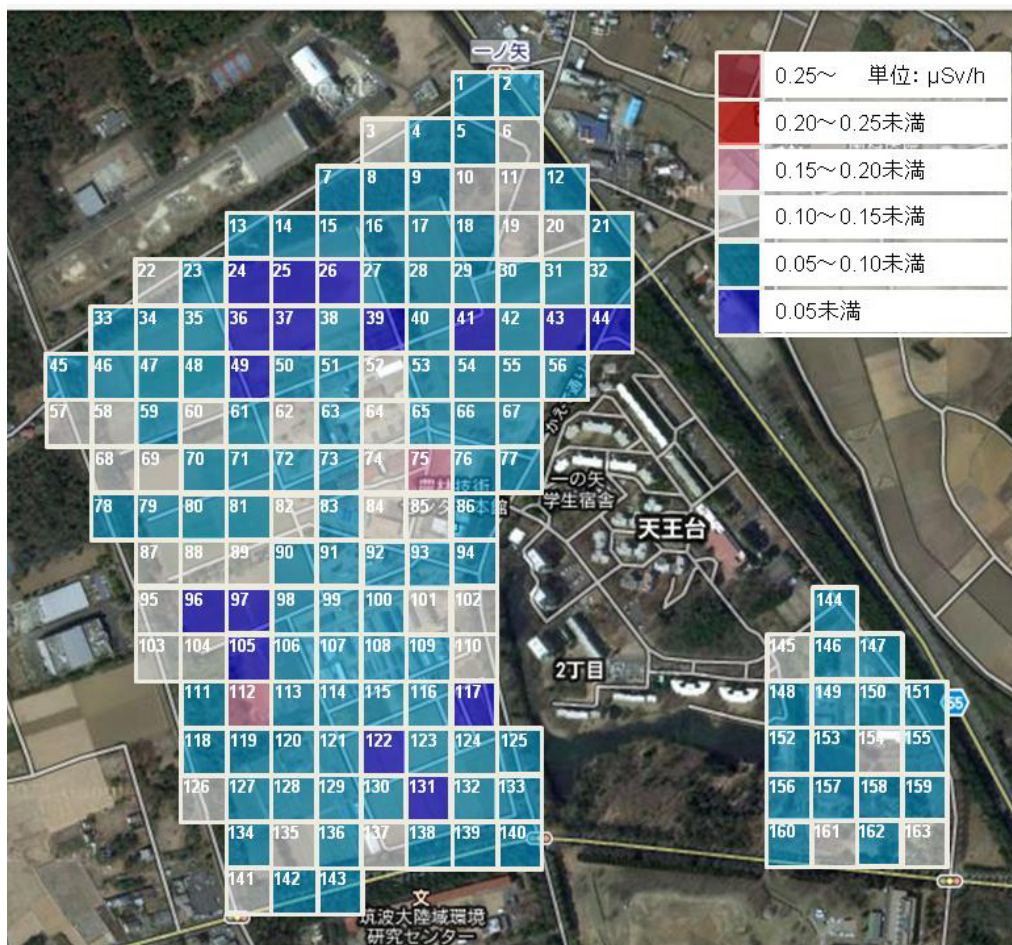


図4 2012年5月に実施した筑波大学農林技術センターにおける空間線量率モニタリング結果

残留することが指摘されている。このよう、除染が行われない場合や、耕起がされていない場所においては、放射性セシウムの減少ならびに拡散が起こらず、結果として空間線量率は高くなるものと考えられる。

震災からほぼ二年が経過した2013年1月に実施した第三回計測時には、 $0.1\mu\text{Sv/h}$ を超える測定箇所は14ヶ所のみとなった(図5)。前述のように148番メッシュでは、調査中央地点の空間線量率で比較的低いレベルであった。また、前年度の調査において、同メッシュで高い空間線量率を示した落ち葉堆積地においても、この時点における調査では $0.127\mu\text{Sv/h}$ と、経年に伴い低下したことが確認された。また、先の調査で高い空間線量率が記録されていた19番メッシュに関しても、この回の調査時には当初あった倒木などの残さが持ち出されていたこともあり、周辺の空間線量率が減少したものと考えられる。しかし、2013年7月から8月の第四回、また2014年1月から2月に実施した第五回計測時には、18番メッシュの林内で $0.2\mu\text{Sv/h}$ 近くの空間線量率が記録された。このメッシュでは、測定地点

である林内に倒木などを粉碎処理したチップがマルチされており、外部から持ち込まれた樹木チップに付着した放射性物質に由来する高い空間線量率となった可能性がある。

東日本大震災より3年が経過した2014年8月から10月に実施した第六回の調査では、各測定メッシュ中央における空間線量率の平均値が $0.066\mu\text{Sv/h}$ となり、事故以前のバックグラウンド値程度に減衰したことが示唆された。図6に示したように、全163カ所中、94%に相当する154カ所において $0.1\mu\text{Sv/h}$ 以下の空間線量率となった。その一方で18番メッシュでは空間線量が $0.26\mu\text{Sv/h}$ と、前回調査に引き続き依然として高く、林内のチップの影響が残っていると考えられた。

今回の調査を通じて、福島第一原子力発電所事故後の、環境基準を上回る空間線量率を示したメッシュは、倒木や植物残さの集積所近くや堆肥場などの近くに確認することができ、その他は、雨樋排水口や落ち葉堆積地至近などで高い空間線量率が確認される結果となった。しかしながら、こういったホットスポットの至近で

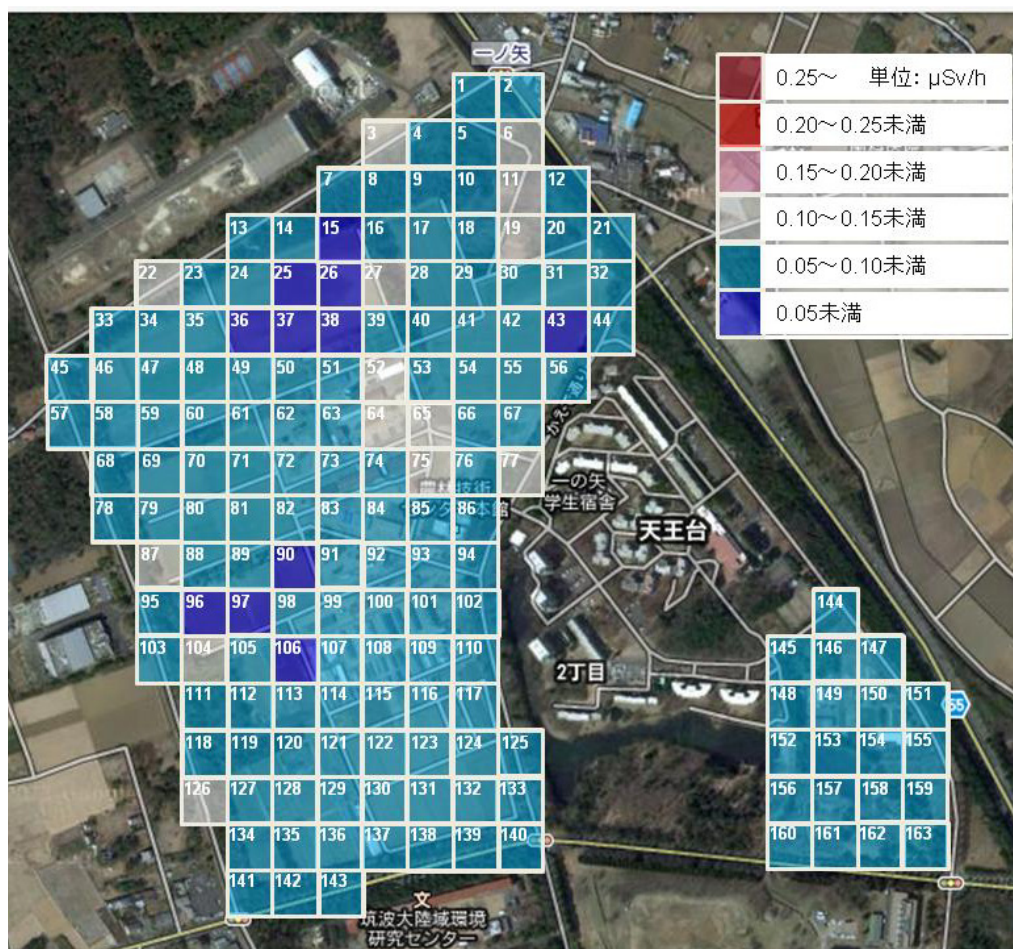


図5 2013年1月に実施した筑波大学農林技術センターにおける空間線量率モニタリング結果

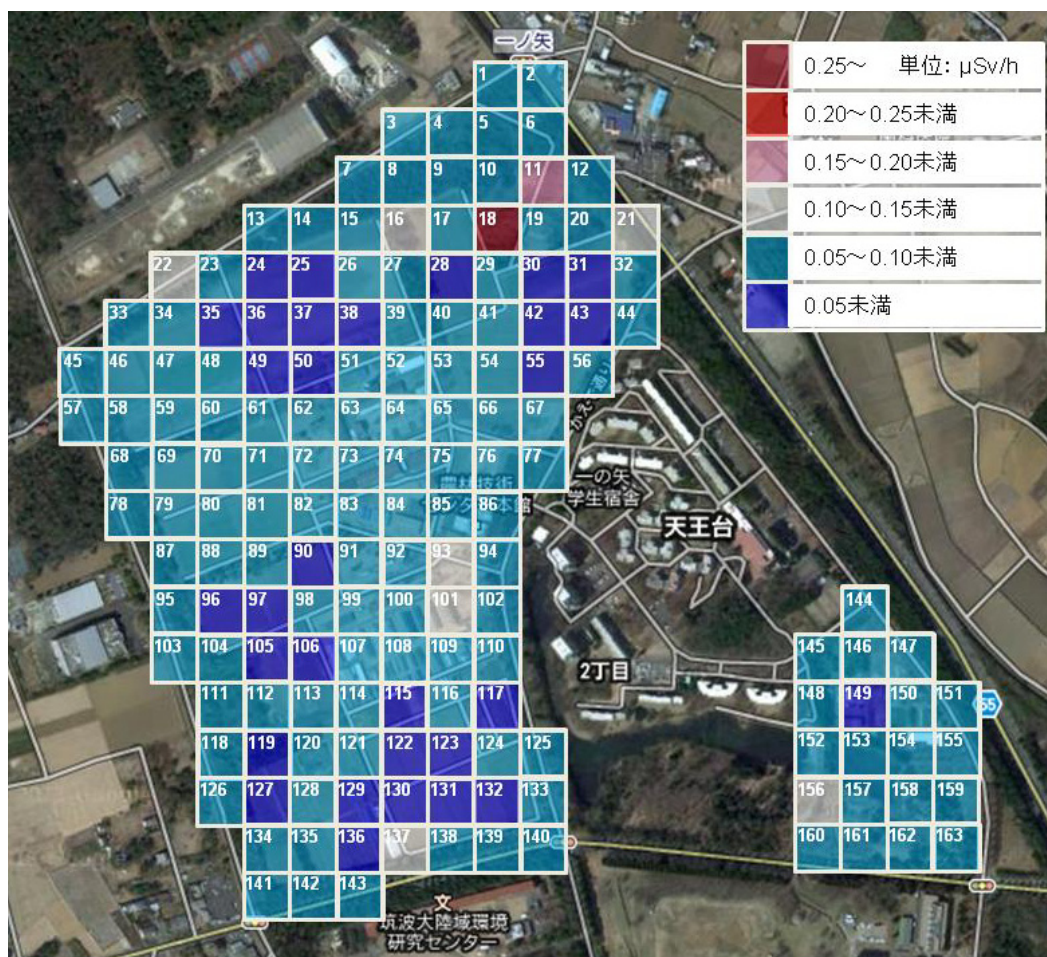


図6 2014年8月から10月に実施した筑波大学農林技術センターにおける空間線量率モニタリング結果

は高い空間線量率となる一方、数メートル以上離れた場合にはそのレベルは環境基準以下であり、健康に対する直接的な影響はないものと考えられる。なお、当初の調査時において空間線量率が高かった堆肥場周辺に関しては、その後も同様に農林技術センター内に由来する植物残さが持ち込まれていたものの、高い空間線量率は記録されなかった。この堆肥場からの堆肥は、同センター内の圃場へ施用されており、センター内土壌で広く放射性物質が拡散した結果、その循環の中で空間線量率が減衰していったものと考えられる。更に、同じ地区内であっても空間線量率に関しては場所による違いがあり、耕起などの利用形態による影響があった。特に耕起を繰り返した場合、土壌内での放射性物質の拡散が起これ、結果として、その周辺空間線量率が低減したのであろう。耕作地における反転耕起などの方法は、宮城県農業振興課・農産園芸環境課・畜産課(2012)が示しているように土壌中の放射性物質濃度を低減させ、さらに周辺の空間線量率を低減させる有効な方法の一つではないかと考えられる。

引用文献

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 放射性物質対策号27-28.

福島県農林水産部(2012) 農業土壌の放射性セシウム濃度の簡易算定法. 農業技術情報26:1-2.

環境省「水・大気環境局除染チーム」(2012) 警戒区域、計画的非難区域等における除染モデル実証事業報告の概要 (<http://josen.env.go.jp/material/download/pdf/model004.pdf>).

Karashi J., Atarashi-Andoh M., Matsunaga T., Sato T., Nagao S., Nagai H (2012) Factors affecting vertical distribution of Fukushima accident-derived radiocesium in soil under different land-use conditions. *Science of the Total Environment*, 431:392-401.

宮城県農業振興課・農産園芸環境課・畜産課(2012) 農産物の放射性物質濃度の低減対策. (<http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/66655.pdf>).

文部科学省(2013) ①第6次航空機モニタリングの測定結果、及び②福島第一原子力発電所から80km圏外の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/7000/6749/24/191_258_0301_18.pdf).

農林水産省プレスリリース(2012)「農地土壌の放射性物質濃度分布地図」の作成について. (<http://www>

- s.affrc.go.jp/docs/press/120323.htm)
- Ohashi, S., Okada, N., Tanaka, A., Nakai, W., Takano, S. (2014) Radial and vertical distributions of radiocesium in tree stems of *Pinus densiflora* and *Quercus serrata* 1.5 y after the Fukushima nuclear disaster. *Journal of environmental radioactivity* 134 : 54-60.
- 産業総合研究所 (2013) 震災関連の研究情報提供 (<https://www.aist.go.jp/taisaku/ja/measurement/>).
- 鈴木敬一 (2012) 福島第一原子力発電所事故後の線量率モニタリング (第5報). 放知研特別寄稿シリーズ1-10.
- 東京都町田市 (2014) 町田市内の空間放射線量の測定について. (<http://www.city.machida.tokyo.jp/iryo/sodan/tonainokankyohousyasen.html>).
- 津村昭人・駒村美佐子・小林宏信 (1984) 壤及び土壌-植物系における放射性ストロンチウムとセシウムの挙動に関する研究. 農業技術研究所報告B 36 : 57-113.
- Tagami, K., Uchida, S., Uchihori, Y., Ishii, N., Kitamura, H., and Shirakawa, Y. (2011) Specific activity and activity ratios of radionuclides in soil collected about 20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Radionuclide release to the south and southwest. *Science of the Total Environment*. 409 : 4885-4888.

Survey on the Change in Air Dose Rate of Radiation at Agricultural and Forestry Research Center

Naoya FUKUDA^{1,2*}, Yoshihiko SEKOZAWA^{1,2}, Daiki MIZUTA^{1,2}
Hiroshi GEMMA^{1,2}, Atsushi TAJIMA^{1,2}, Tomohiro TAKIGAWA^{1,2}
Hisayoshi HAYASHI^{1,2}, Ryozo NOGUCHI^{1,2}, Tatsunori SEINO^{1,2}
Morio KATO^{1,2}, Naoto ISHIKAWA^{1,2}, Atsunori ASANO^{1,2}, Yoshie AKIBA¹
Mutsumi ITO¹, Momoyo ITO¹, Hideaki OMIYA¹, Kazuo OKADA¹
Takashi KATAGIRI¹, Kiyoshi KARUBE¹, Kazuo SAKAI¹, Akira SAITO¹
Miho SATO¹, Keiko SUGAWARA¹, Hiroshi HIKI¹, Mizuki MATSUOKA¹
Tomonari YAMAMOTO¹, Kazuto YOKOYAMA¹, Katsuhiko YOSHIDA¹
Tsuyoshi HONMA¹, Yasuhiro MATSUMOTO¹, Kazunori YONEKAWA¹
Toshiyasu KAWASAKI¹, Yoshinori YAGUCHI¹, Masami SEKIGUCHI¹
Taeko MORI¹, Ritsuko FUJITANI¹ and Machiko TSUKAHARA¹

¹ Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1,
Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

² Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1,
Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

Abstract

When the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident was occurred, the radioactive substances were broadly scattered into a wide area including the south area of Ibaraki prefecture where University of Tsukuba is located, and the rapid elevation of air dose rate was observed on those area. In this study, we investigated the change of air dose rate in Agricultural and Forestry Research Center of University of Tsukuba, as we supposed that the center was a radioactive substances circulating system model in agriculture and forestry field after the nuclear power plant accident. 163 square meshes of 50m for our measurements were set to cover the all area of Agricultural and Forestry Research Center. At the first investigation in August 2011, the air dose rates were less than $1.0 \mu\text{Sv/h}$ in the half of all mesh measurement points and the averaged air dose rate showed relatively low level of $0.1 \mu\text{Sv/h}$. However, there was some “hot spots” that showed a high air dose rate in some meshes. For example, one of the meshes near to the tree residual deposit place, showed a high air dose rate of $0.590 \mu\text{Sv/h}$. In some meshes, though the dose rate at the mesh center spot was a low, but in same mesh, high air dose rates were recorded in some specific points near the rain gutters and so on. In addition, there were differences on air dose rate among the types of land area. In the farm land area that was plowed, the air dose rate tended to become relatively lower than the building and greenhouse areas. The air dose rate has decreased with a progress of the time, and at the sixth investigation held in August 2014, it seemed to become back to background level before the nuclear plant accident, because of the diffusion of radioactive cesium in plowed field in substances circulation system.

Key words: Air dose rate, Farm land, Plowing, Radioactive cesium, Types of land area

*Corresponding Author: Naoya FUKUDA Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan
E-mail: fukuda.naoya.ka@u.tsukuba.ac.jp