

果樹園における歩行型放射能測定システムKURAMA IIによる 放射性物質分布状況の把握

湯田 美菜子・佐藤 守・志村 浩雄・佐藤 信浩¹・小林 康浩¹・奥村 良¹・谷垣 実¹

Mapping of Deposited Radioactivity in Orchards with KURAMA II System

Minako YUDA, Mamoru SATO, Hiroo SIMURA, Nobuhiro SATO¹, Yasuhiro KOBAYASHI¹,
Ryo OKUMURA¹ and Minoru TANIGAKI¹

Abstract

A walk-radioactivity measurement system KURAMA-II was used to evaluate radiocesium deposited on the topsoil in orchards, mainly those of persimmons. KURAMA-II determined the distribution of air radiation in the orchards and contributed mapping of the air dose rate at 1m height by 2m × 2m grid. The concentration of radiocesium in soil estimated by KURAMA-II showed a significant correlation with those of the 5cm depth topsoil samples determined by Ge-detector measurement.

Key Words : walk-radioactivity measurement system, mapping

キーワード : 歩行型放射能測定システム、マッピング

1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性Cs（放射性¹³⁴Csと放射性¹³⁷Csの合計）は、福島県最大の果樹地帯である中通り北部にも降下した。これまでの知見では、降下した放射性¹³⁴Cs+¹³⁷Csは、樹園地の土性に係わらず樹園地の表層から0～3cmの深さにその90%以上が沈積していることが明らかになっている⁶⁾。

果樹園の放射性物質の除去・低減技術のひとつに表土剥土があるが⁴⁾、樹園地全体の一律的な剥土よりは汚染程度の高い箇所を特定しながら剥土することが作業時間短縮や剥土量削減の点から効率的と考えられる。果樹園表層の放射性Csの分布状況を把握する方法として土壤中の放射性Cs濃度の測定があるが、土壤中の放射性Csはほ場内において4～5倍程度の濃度差が存在していることが明らかになっており⁶⁾、精密に分布状況を知るには土壤試料を数多く採取する必要があり、調査には膨大な時間を要する。土壤中放射

性Cs濃度の簡易測定法として空間線量率から推定することが可能であるが⁵⁾、果樹園の空間線量率は土壌及び樹体、周辺環境など様々な線源からの放射線に由来するため、園内の空間線量率の由来ごとにそれぞれ分別測定する必要がある。このため、地上1mの空間線量率に対する土壌及び周辺環境を分別測定することが可能であり、さらに自動でマッピング（地図化）することができる機器の開発・利用が望まれる。このような放射能測定装置としてはグラスゴー大学が開発した歩行型のバックパッキングシステムがあるが¹⁾、測定後の迅速なマッピングには課題があり、この点で実用性に乏しい欠点があった。

本研究では、果樹園の表土に沈積した放射性物質の分布状況を簡便に把握することを目的として京都大学が開発した歩行型放射能測定システムKURAMA II（京都大学特許出願中³⁾、以下「クラマ」という。）により樹の植栽状況と重ねあわせた空間線量率のマッピング方法とその実用性について検討したので報告する。

2 試験方法

(1) クラマによる空間線量率の把握

A 調査場所

福島県伊達市の3地点のカキほ場

- (A) カキほ場1：ほ場面積20a、植栽本数50本、樹齢10年、褐色森林土、傾斜地、標高149m
- (B) カキほ場2：ほ場面積 8a、植栽本数 5本、樹齢70年、褐色森林土、傾斜地、標高89m
- (C) カキほ場3：ほ場面積20a、植栽本数25本、樹齢30年、褐色森林土、平地、標高133m

B 調査方法

調査はクラマを使用し2014年10月及び11月に行った。クラマの機器は、リュックサック内にCsIシンチレーションカウンター（浜松ホトニクス C12137-01製）を2個、DGPS^{**} およびWi-Fiルーター^{***}を各1個組み込んで構成している（図1、2）。

DGPS^{**}：Differential GPSのことで、GPS局の位置情報を受信してより正確な位置を割り出す機能を持っており、誤差はGPSの10分の1といわれる。

Wi-Fiルーター^{***}：無線（ワイヤレス）でLAN（Local Area Network）に接続できるための機器

クラマの機器一式が入ったリュックサックを背中に背負い（図2）、ほ場全体を速度約1.07m/秒（平地、10m×10mグリッドを50m歩いた場合）で歩行し、一度歩いた地点から約2mの間隔をあけるように歩行した（図3）。進行方向上に樹がある場合はこれを避けて調査し、測定は3秒間隔とした。DGPSにより把握した位置情報ごとの空間線量率を、Wi-Fiルーターを通じて携帯電話回線によりクラウドへ送信した。地上1mの空間線量率（指向性なし）および下向きの空間線量率（指向性あり：厚さ1cmの鉛板のコリメーターでCsIシンチレーションカウンターが測定する方向以外の面を覆ったもの）を測定し、その差分から地表面付近の汚染密度指数^{****}を算出した。

地表面付近の汚染密度指数^{****}：下記の式で算出され、下向きの検出器（指向性あり）の検出した空間線量率のうち、直下の汚染に起因するもの（周囲からの寄与分を差し引いたもの）であり、指数で示したもの⁸⁾。

$$\text{地表面付近の汚染密度指数} = \text{Down- (立体角: 0.4)} \times \text{Up}$$



図1 クラマの仕様

（リュックサックの中身：クラマ本体、バッテリー、CsI2台、Wi-Fiルーター、DGPS（アンテナ部分））



図2 カキほ場をクラマを用いて測定している様子

（クラマを背負い、手にタブレット端末を持ち、クラマ計測値と位置情報のデータを送信している）

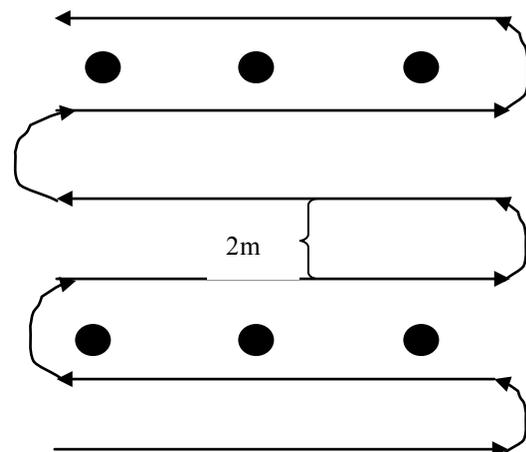


図3 カキほ場をクラマ用いて測定している経路図

（一度測定した地点との間隔は2m、線は歩行経路、●は樹を示す）

Up：指向性なしの検出器の指示値、Down：下向きの検出器（指向性あり）の指示値、

立体角：実効鉛製コリメータの実効的なもの

クラウドからデータをパソコンに取り込み、データを解析するソフトウェア（京都大学原子炉実験所自作）を用いて、グーグルアース（google）上に地上1mおよび地表面付近の相対的な汚染度合の分布を示すマップとして作成した。

(2) クラマ測定値と土壤中放射性Cs濃度の関係

A 調査場所

福島市ユズほ場内5地点および福島県農業総合センター果樹研究所（以下、「果樹研究所」という。）内10地点

- ・ユズほ場：標高約214m、傾斜地、褐色森林土、ほ場周辺に樹高30m近い杉林がある（ユズほ場4点、作業通路1点）
- ・果樹研究所内：標高約103m、平地、褐色森林土（雨除けガラス室内非汚染土壌・剥土後ほ場・ブドウ及びリンゴほ場各1地点、カキほ場・作業通路・樋下各2地点）

B 調査方法

調査は2014年12月に実施した。調査者がクラマを背負い上記の15地点の空間線量率を測定した。測定地点ごとにクラマが入ったリュックサック直下の土壌を直径83mmの円筒形採土器採土管で深さ5cmを採取した。土壌は生土を混和後U8容器に充填して分析試料とし、Ge半導体検出器で放射性Cs濃度を測定した。土壌中の水分含有率は、採取した土壌を105℃に設定した恒温乾燥機で1昼夜乾燥後、重量を測定で求めた。また、乾物重あたりの放射性Cs濃度を求めた。なお、これら土壌中放射性Cs濃度の測定は材料科学技術振興財団に依頼した。

3 試験結果

(1) クラマによる空間線量率の把握

クラマを用いてカキほ場を一定の速度で歩行し空間線量率を測定した結果、測定位置ごとの地上1mの空間線量率および地表面付近の汚染密度指数を連続的に把握することができ、得られたデータをグーグルマップ上に示すことで、簡易に地表の相対的な汚染度合の分布状況を2m×2mのメッシュ単位でマッピングす

ることができた（図4～9）。このときの地上1mの空間線量率は0～0.5 μ Sv/hまで、地表面付近の汚染密度指数は0～0.2まで10段階で表示した。

カキほ場1をクラマで測定し作成した地上1mの空間線量率マップでは、南側は0.15 μ Sv/h程度の部分が多いのに対し、北側は0.4 μ Sv/h以上が多く、ほ場の南北で空間線量率に差があることを確認できた（図4）。同様に地表面付近の汚染密度指数も中央部より南側は10段階中もっとも低い値を示しており（図5）、ほ場の南北で地表面付近の汚染密度指数に偏りがあることがわかるマップを作成できた。カキほ場2においては、南東側（マップ最下部）に地上1mの空間線量率および地表面付近の汚染密度指数が高い場所が存在することがわかった（図6）。カキほ場3では、ほ場の大部分で地上1mの空間線量率は0.5 μ Sv/h以上を示した。西側は空間線量率が0.25 μ Sv/h程度を示す部分が南北に線路上に伸びる部分があった。この場所はアスファルトの道路上であり、ほ場に比べやや空間線量率は低かった（図8）。一方、地表面付近の汚染密度指数は高い値と低い値が入り混じっており、放射性物質の濃度は均一ではなかった（図9）。

(2) クラマ測定値と土壤中放射性Cs濃度の関係

深さ0～5cmの土壤中放射性Cs濃度と、クラマで測定した地上1mの空間線量率およびクラマの値から算出した地表面付近の汚染密度指数との関係を解析した。地上1mの空間線量率および地表面付近の汚染密度指数と深さ0～5cmの土壤中放射性Cs濃度の間に有意な一次相関が認められ、クラマ測定値が表土0～5cmの土壤中放射性Cs濃度を反映していることが明らかとなった。（図10、11）。

4 考察

東京電力第一原子力発電所の事故以降、福島県内の農地における土壤中放射性Cs濃度の分布は佐藤ら⁷⁾によって定期的に調査がなされ、分布状況が明らかになってきた。また、2012年には、車載型の放射能測定器KURAMAが谷垣ら⁹⁾によって開発され、連続的な空間線量率の調査が可能となった。現在では福島県内を毎日走る市バス等に車載型KURAMA-IIが搭載され、福島県のホームページで「福島県における自動車走行サーベイモニタリング」として定期的に観測した結果を閲覧できるシステムが出来上がっている²⁾。本研究に供試したクラマは、果樹園における樹木やほ場の傾斜及び凸凹を含むほ場にも適用でき、持ち運びやすい型に改良されたものである。

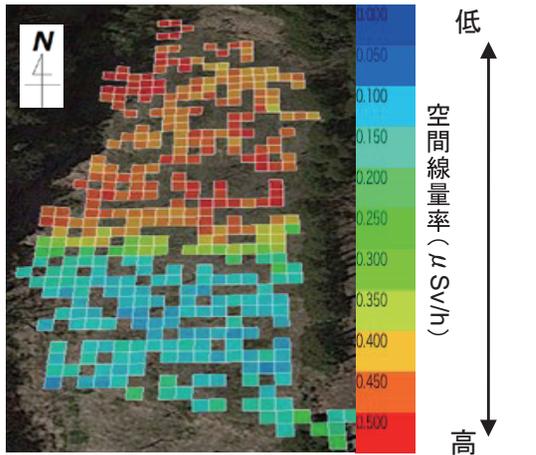


図4 カキほ場1の地上1mの空間線量率の分布状況

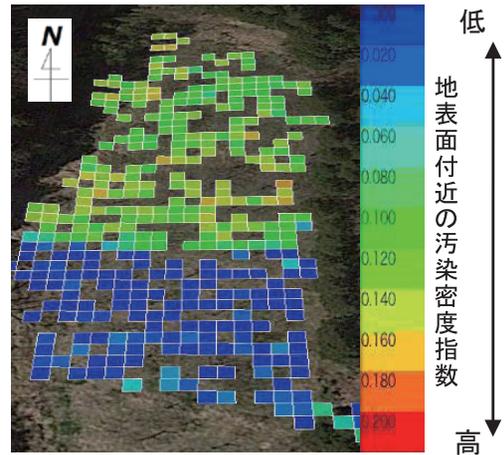


図5 カキほ場1の地表面付近の汚染密度指数の分布状況

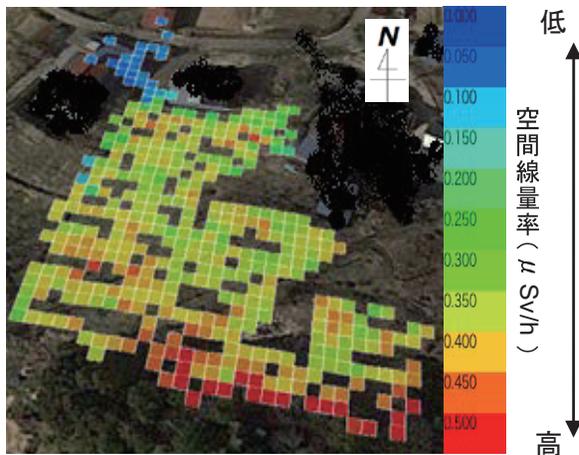


図6 カキほ場2の地上1mの空間線量率の分布状況

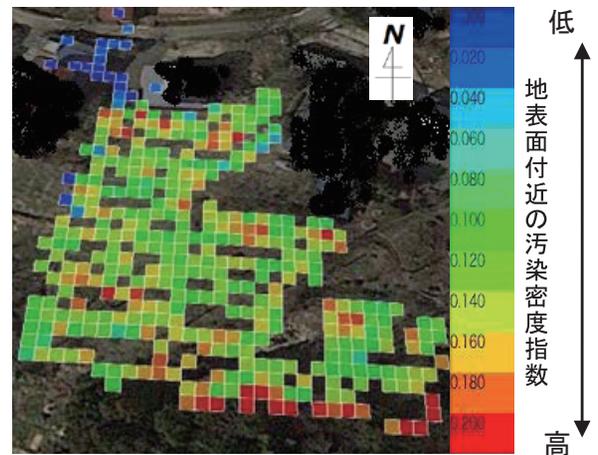


図7 カキほ場2の地表面付近の汚染密度指数の分布状況

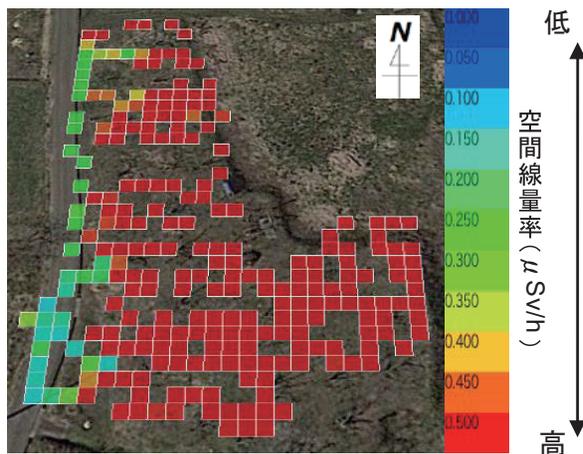


図8 カキほ場3の地上1mの空間線量率の分布状況

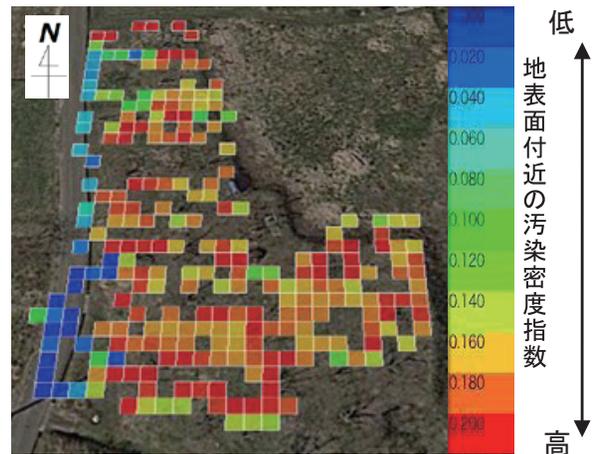


図9 カキほ場3の地表面付近の汚染密度指数の分布状況

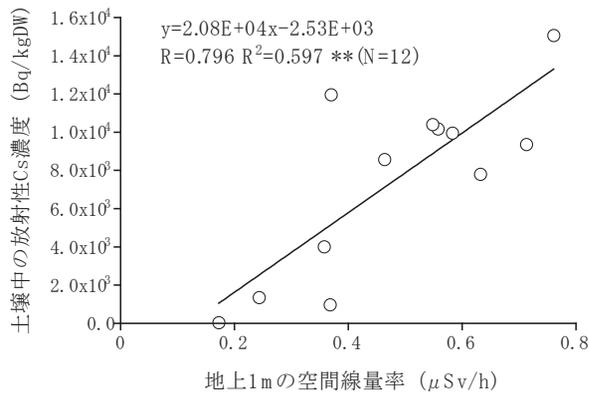


図10 地上1mの空間線量率と土壌(0~5cm)中放射性Cs濃度の関係

クラマを用いてカキほ場の調査を行った結果、2m×2mのメッシュ単位での空間線量率の分布状況を把握することができ、樹の植栽状況とあわせた空間線量のマッピング(地図化)が可能であることがわかった。カキほ場1においては、中央部より南側(マップ下部)を表土約5cmまで剥土しており、クラマで測定し作成した地上1mの空間線量率マップでは、南側は0.15μSv/h度の部分が多いのに対し、北側は0.4μSv/h以上が多く、表土剥土による空間線量率の低減効果を確認できた(図4)。同様に地表面付近の汚染密度指数も中央部より南側は10段階中もっとも低い値を示しており(図5)、表土剥土後の土壌中放射性Cs濃度の低減効果を示すマップを作成できた。カキほ場2においては、南東側(マップ最下部)に地上1mの空間線量率および地表面付近の汚染密度指数が高い場所が存在した。この場所の南東側には杉林が存在し、杉の枝葉や樹皮に付着している放射性Csが周辺の空間線量率および地表面付近の汚染密度指数に関与していると思われる。(図6)。カキほ場3では、ほ場の大部分では地上1mの空間線量率は0.5μSv/h以上を示したが、西側に南北に伸びるアスファルトの道路上はほ場より空間線量率が低く0.25μSv/h程度を示していた。アスファルトの道路は風雨により放射性Csが洗い出されるため、ほ場より空間線量率が低くなったと考えられ、クラマによっても空間線量率の分布を正確に示している(図8)。一方、地表面付近の汚染密度指数は高い値と低い値が入り混じっており、地表面に降下した放射性物質の濃度は均一でないことを示す結果が得られた(図9)。

また、Ge半導体検出器により測定した表土0~5cmの土壌中放射性Cs濃度とクラマにより測定し算出した地上1mの空間線量率と地表面付近の汚染密度指数には相関があることがわかった。クラマは機器の特

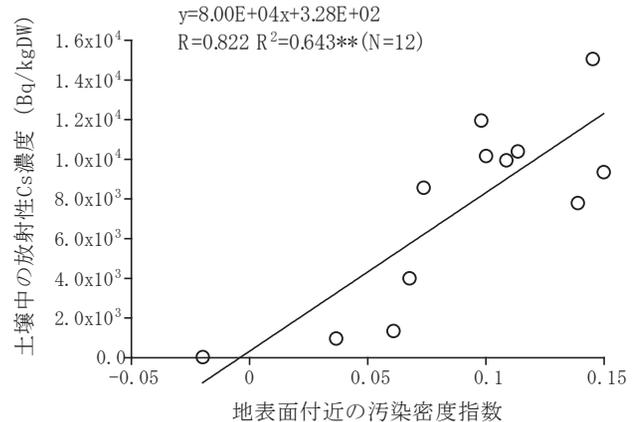


図11 地表面付近の汚染密度指数と土壌(0~5cm)中放射性Cs濃度の関係

性から放射線の由来を周辺環境と土壌等地表面付近の由来のものに分別測定が可能であるが⁸⁾、地表面付近の汚染密度指数が土壌中放射性Cs濃度の相対的な割合を表していることを確認できた。また、クラマ測定値と土壌中放射性Cs濃度の関係を評価する際、局所的に土壌中放射性Cs濃度が極めて高かった樋の直下2地点とユズ園に接続する道路脇の1地点の計3地点を除いた。クラマはコリメータの形状から一定の立体角の範囲の平均的な値を推定しているが、土壌のサンプルは直径83mm円筒形のピンポイントの採取であった。クラマの有効視野内に極めて大きな汚染の偏在がある場合は、すべての土壌を均質に攪拌した上で採取するのとなければ相関評価には不適切なサンプルとなるため排除した。クラマ測定値と土壌中放射性Cs濃度を検定するための測定地点は、大きな汚染の偏在が少なく、周囲の土壌の汚染を代表する場所を選定するなどの配慮が必要と考える。

以上の結果から、クラマは土壌中放射性Cs濃度の汚染程度が高い地点の特定や表土剥土による放射性Cs除去効果の確認まで様々な用途に使用できることが示唆された。

5 摘要

果樹園の表土に沈積した放射性Cs濃度の分布状況を知るための一手法として、歩行型放射能測定システムKURAMA II(クラマ)を用いて、果樹園(主にカキほ場)の空間線量率を測定することにより、2m×2mメッシュ単位での空間線量率の分布状況を把握することができ、樹の植栽状況とあわせたマッピング(地図化)が可能であった。また、クラマ測定値と表土0~5cmの土壌中放射性Cs濃度との間に有意な相関が認められた。クラマを用いて、土壌中放射性Cs濃度

の汚染程度が高い地点の特定や表土剥土による放射性Cs除去効果の確認まで様々な用途に使用できることが示唆された。

謝 辞

本研究の実施にあたり、ほ場を提供し調査に協力してくださった農家の皆様に感謝いたします。

引用文献

- 1) A.J. Cresswell, D.C.W. Sanderson. 2012.Evaluating airborne and ground based gamma spectrometry methods for detecting particulate radioactivity in the environment: A case study of Irish Sea beaches Science of the Total Environment. 437: 285-296.
- 2) 福島県. 2012. 福島県における自動車走行サーベイモニタリング.
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/soukou.html>.
- 3) 国立大学法人京都大学. 2015.特開2015-184189. 放射性物質による汚染分布を測定するための汚染分布測定装置.
- 4) 農林水産省. 2012.農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）作業の手引き 第1版.
- 5) 農林水産省. 2014.農地土壌の放射性物質濃度分布図の作成について.
5.参考<添付資料>【別添4】農地土壌の放射性セシウム濃度の簡易算定法.
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/pdf/141017-04.pdf>.
- 6) 佐藤守・阿部和博. 2012.果樹園における土壌中放射性セシウムの垂直および水平分布. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨：183.
- 7) 佐藤睦人. 2014. 福島県内の農地における放射性セシウムの分布. 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：11-14.
- 8) 谷垣実. 2014.KURAMA-IIの展開と現状. 日本原子力学会秋の大会予稿集（CD-ROM）.
- 9) Tanigaki, M. Okumura, R. Takamiya, K. Sato, N. Yoshino, H. Yoshinaga, H. Kobayashi, Y. Uehara, A. Yamana, H. (2015-05) .Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators. Spectrometers. Detectors and Associated Equipment. 781: 57-64.