

令和元年6月19日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00543

研究課題名(和文)放射性セシウム沈着量の高位置分解能測定技術開発とマップ作成

研究課題名(英文) Radioactive cesium deposition mapping and development of a high position resolution mapping system

研究代表者

後藤 淳(Goto, Jun)

新潟大学・研究推進機構・助教

研究者番号：90370395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、指向性がある自動車走行サーベイシステムASURAを用いた調査を国道6号線や常磐自動車道などで実施し、道路表面の放射性セシウム沈着量、道路周囲の汚染状況などに関する情報を得た。調査を定期的実施することで放射性セシウム沈着量の環境半減期を導出した。自動車で測定できない山林等での沈着量測定を実施するために、歩行用システムを開発し、調査を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

時間が経過して放射性セシウムの分布が不均一になると、線量率だけでは除染の計画や評価のために不十分で沈着量を測定するべきであるが、線量率と比較して沈着量測定は困難のため、限られた地点のみで広域での測定はほとんど実施されていない。よって、我々がASURA及び開発した歩行沈着量測定システムで得た沈着量分布は除染計画や評価にとって有効であり、また他にない独自のデータである。福島県の被災地では、帰還困難区域以外の除染が完了したが、取り残しや未除染の山林からの流出を心配する声は現在も少なくない。こうした不安を軽減するためには、本研究で実施したような客観的かつ高精度なデータの蓄積と発表が重要である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we performed car-borne survey using ASURA which is a directional car-borne survey system. Distribution of radioactive cesium deposition were measured on Route 6, Joban Expressway, etc.

We also developed a on-foot survey system to measure radioactive cesium deposition in places which are difficult to measure by car-borne survey such as forests.

研究分野：環境放射線

キーワード：福島第一原子力発電所事故 走行サーベイ 歩行サーベイ 放射性セシウム 環境放射線

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災による影響で福島第一原子力発電所において日本の原子力史上、最悪の事故が発生し、広範囲の地域に深刻な汚染被害をもたらした。それから5年(研究開始時点)が経過し、住宅や農地の除染が活発に行われているが、まだ汚染された地域が多く残されている。

各地の汚染状況を調査するために、これまでに様々な手法を用いた調査が実施されてきた。広域のものでは航空機モニタリング、2011年6月頃の福島土壌調査、京大原子炉実験所が開発した KURAMA を用いた原子力機構による調査などが有名であるが、代表者らも GPS 連動型放射線測定システム BISHAMON を独自に開発し、福島県内の自治体(南相馬市など)や住民、カリフォルニア大学ロサンゼルス校の共同研究者と協力して調査を実施し、結果を住民等へ公開(例えば、“5. 主な発表論文等”の“その他”の ~)してきた。2013年度~2014年度には科研費(25870243)の助成により指向性があるガンマ線自動車走行サーベイシステム ASURA (アシュラ、Analytical Sensing Unit for Radio-Activity) を開発し、空間線量率だけでなく、地面の放射性セシウム沈着量や方向別のガンマ線入射割合についての測定も実施できるようになった。これらの測定からは、空間線量率測定では分からなかった詳細な汚染状況の情報が得られている。中でも我々が最も注目しているのが国道6号線道路表面の放射性セシウム沈着量分布調査結果である。

国道6号線は、福島県の海側を縦断する道路で、福島第一原発のすぐ近くも通る事から、事故後に通行禁止になっていたが、2014年からは自動車に限り通行が認められている。6号線は除染が完了している事から放射性セシウムの沈着量は比較的低レベルで場所による変化は少ないと予想していたが、測定結果(図1)は単純ではなかった。縦軸は沈着量(青線、左軸)と線量率(赤線、右軸) 横軸は緯度である。沈着量が37.403度付近から37.411度付近まで急激に上昇していることがわかる。除染後に関わらず管理区域内の表面密度限度(40 Bq/cm²)の倍以上の区間もあり、追加の除染等の処置が必要な場所であると思われる。これまでの我々の調査で、同様に沈着量が急激に変化する箇所は国道6号線の15km程度の範囲だけでも4箇所ある事が分かっており、他の道路でも同様の状況である可能性が高いと考えている。均一に見える舗装道路でさえこのような状況であるので、家の周りや森林の中、農地などはウエザリング効果や除染等の影響でより複雑な汚染状況になっている事が想像され、詳細な沈着量分布調査が必要であると考え、本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究では、現有の指向性がある自動車走行サーベイシステム ASURA で広域の道路上沈着量調査を実施し、広域かつ高位置分解能の沈着量分布を明らかにする。また調査を毎年実施し、経年変化を明らかにする。新たに歩行用沈着量測定システムを開発し、山林等での沈着量調査を実施する。

放射線管理区域では汚染の程度を単位面積当たりの放射能[Bq/m²]を用いて表すが、被災地ではより簡便に測定できる空間線量率[Sv/h]で代用される事が多い。空間線量率は、その場所の危険性を評価するためには重要な量であるが、除染評価やセシウムの挙動を理解するためには優れた指標では無くなってきている。測定地点の放射性セシウムからだけでなく周囲からも影響を受けるので、事故直後のように周囲の沈着量分布が均一であればそれなりに良い近似になるが、時間が経過し沈着量分布が不均一になってくると線量率と沈着量との関係性が低下してしまうためである。このことは図1で沈着量が急増しても、線量率はほとんど変化していないことから明らかである。よって、現状を正確に把握するためにも高い位置分解能の沈着量調査を実施していくことが重要である。

本研究の調査結果から分かりやすいマップを作成し、除染評価などに役立てるとともに、除染後の環境維持状況等を被災地住民に分かりやすく説明し不安を軽減させる事で福島の復興に資する事を目標とする。

3. 研究の方法

本研究で用いる指向性がある自動車走行サーベイシステム ASURA (図2)は、測定方向以外を厚い鉛遮蔽で囲う事で一方向のみに感度を持たせた6台のCsI検出器(自動車の進行方向に対して前後左右上下の6方向に向けて設置)で構成(図3)され、各方向の計数率(散乱線排除のためエネルギー弁別し、車体による遮蔽を各方向別に定めた補正係数で補正した値)から、それぞれの検出器が向けられた方向にある汚染からの寄与を分けて検出(図4)できる。6台の内の下向き検出器は周囲の汚染からの影響を受けずに自動車の真下の狭い領域(2m×2m程度)からのガンマ線のみを検出できるので、シミュレーションで求めた検出効率を用いて道路表面の放射性セシウム沈着量(Bq/cm²)も算出できる。このASURAを用いて国道6号線、常磐自動車道などで調査を実施し、道路上放射性セシウム沈着量分布を明らかにする。また定期

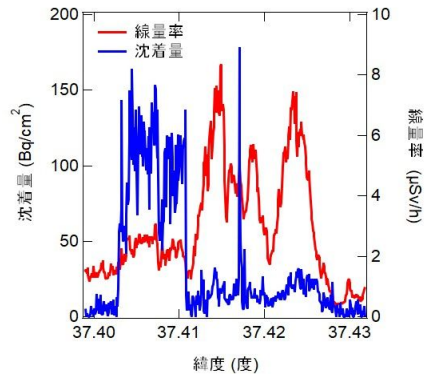


図1. 国道6号線の放射性セシウム沈着量と線量率の測定結果。



図2 . 調査用自動車に搭載した ASURA の写真。

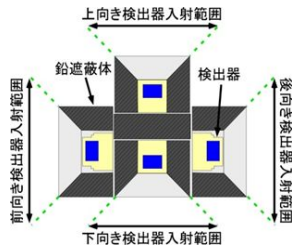


図3 . ASURA の断面図。測定方向以外を鉛遮蔽 (45mm 厚) で囲った 6 台の検出器で構成される。

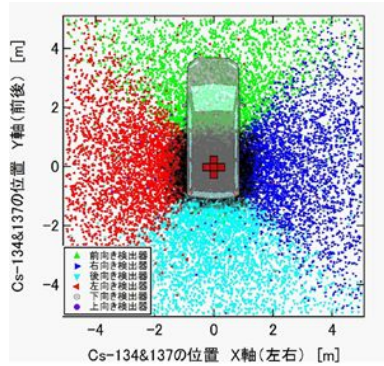


図4 . ASURA の各検出器の検出範囲。地面のランダム位置に発生させた放射性セシウムから放出されたガンマ線をどの検出器が検出したかをシミュレーション (Geant4) で評価した結果。各検出器がそれぞれの向きだけに感度を有している事が分かる。



図5 . 開発する歩行用 ASURA システムのイメージ。測定者の真下の狭い範囲 (図中の白丸程度) からのガンマ線だけに感度を持ち、その範囲の沈着量を求める事が出来る。

的な調査から沈着量の経時変化を明らかにする。

自動車で立ち入る事が出来ない山林などでの沈着量調査に用いるための歩行用 ASURA システム (図5) を新たに開発する。

4 . 研究成果

(1) 歩行用 ASURA システムの開発

図5 で示した歩行用 ASURA の性能を評価するために実施したシミュレーション結果を図6 に示す。歩行用 ASURA システムの真下を中心とした半径 2.5m の範囲の地面に Cs-137 線源を分布させた状態で沈着量測定を行った場合の各地点からのガンマ線の検出効率をシミュレーションで評価した。想定していた通り、システムの真下の狭い範囲の地面 (2m x 2m 程度) にのみ感度がある事が確認できた。また、シミュレーション結果より、Cs-137 沈着量の検出限界値が 40 Bq/cm² の場合、測定時間は 5 秒程度と見積もられ、歩行サーベイでの調査が可能である事も確認できた。

作製した歩行用 ASURA システムを用いて福島原発事故被災地域にて試験測定を実施した結果の一例を図7 に示す。周囲から入射するガンマ線の影響が取り除けていない場合は、線量率と沈着量の高低は一致した値になるが、図7 ではそのようになっていない場所 (図中灰色丸で囲った範囲など) もあるため、適切に周囲から入射するガンマ線の影響が排除出来ていると判断できる。なお、灰色で囲った場所は、測定地点の道路表面にはほとんど沈着していないが、道路周囲に放射性セシウムが存在しているため線量率が高い値になっていると考えられる。

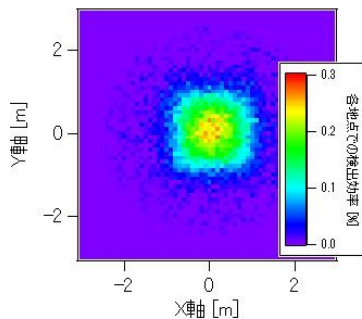
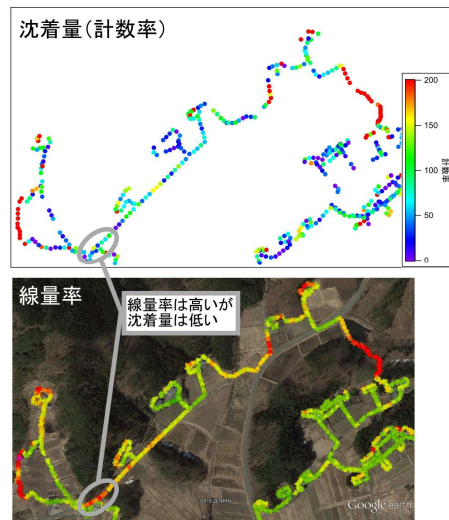


図6 . 歩行用 ASURA システムのシミュレーション結果。真下の地面の狭い範囲にのみ感度を持っている事が確認できた。

図7 . 歩行用 ASURA システム測定結果の例。上のグラフは沈着量に比例する計数率で色分けしたもので、下の地図は同時に測定した線量率の値。灰色丸で囲った範囲は、線量率が高いが沈着量は低レベルであり、周囲から入射するガンマ線の影響が取り除けている事が確認できる。



線量率マップなど衛星写真を用いた図は Google Earth を用いて作成した。以降も同様。

(2) 指向性がある自動車走行サーベイシステム ASURA を用いた調査

本研究では、ASURA を用いて、重点調査地域として定めた国道 6 号線、常磐自動車道などを繰り返し調査するとともに、南相馬市、飯舘村、浪江町などでも調査を実施してきた。国道 6 号線を中心とした、それらの調査から分かった事を紹介する。

道路上で測定した線量率と沈着量の関係

事故当初に放射性セシウムが降り注がれた時点では、線量率が高い場所は沈着量も高かったと考えられるが、一方で ASURA での調査を開始した 2015 年 4 月の時点では、線量率と沈着量の高低が一致しない場所も存在している事が我々の調査結果から分かった(図 8)。これは、除染やウエザリング効果などによって放射性セシウムの分布が変化し一様でなくなったためと考えられる。例えば、第一原発に一番近いところで線量率は最も高くなるが、沈着量は低レベル値が観測されている。これより、この地点では道路表面に放射性セシウムはほとんど存在していない一方で、道路周囲には多量に存在しているという状況が考えられ、よってこの地点では道路自体の除染は意味が無く、線量率を下げたためには道路周囲の除染が必要である事が分かる。

沈着量が急激に変化する理由

図 9 に示したように国道 6 号線では沈着量が急激に変化する場所が数カ所存在している。現地及び衛星写真で確認したところ、沈着量に変化する場所では道路舗装の色の違い(つまり道路舗装の時期が異なる)があることが分かった。道路補修区間(2015 年に磐城国道事務所にお問い合わせ)を沈着量のグラフに重ねると概ね一致することが確認できる。これらにより、震災によるダメージなどで道路補修を行った区間は低沈着量であるが、一方、震災当時の舗装が残されている区間には高沈着量の区間が残されている事が分かった。

なお、常磐自動車道の常磐富岡 IC 以南には国道 6 号線と同様に道路補修の有無によって沈着量が急激に変化する区間が存在している。(常磐富岡 IC 以北は、高線量率の場所はあるが、沈着量は低レベルである。これは震災後に建設されたためと考えられる。)

通行などで汚染は広がるのか

放射性セシウムが沈着している道路を自動車が行き交うことによって汚染が広がる事を心配する声は少なくない。一方、我々が 2015 年と 2018 年に測定した沈着量分布を比較すると、沈着量が急激に変化する位置が変わっていないことがわかる(図 10)。もし、通行によって広がるのであれば、進行方向に広がっていくはずであるが、そのような傾向はみられないので、2015 年以降については通行による汚染の広がりはほとんどないと結論付けることができる。なお、2015 年以前のデータは存在しないため、自動車の通行で汚染が広がられたかどうかについては我々のデータから判断することができない。

路面の材質による違い
路面の材質によって、ウエザリング効

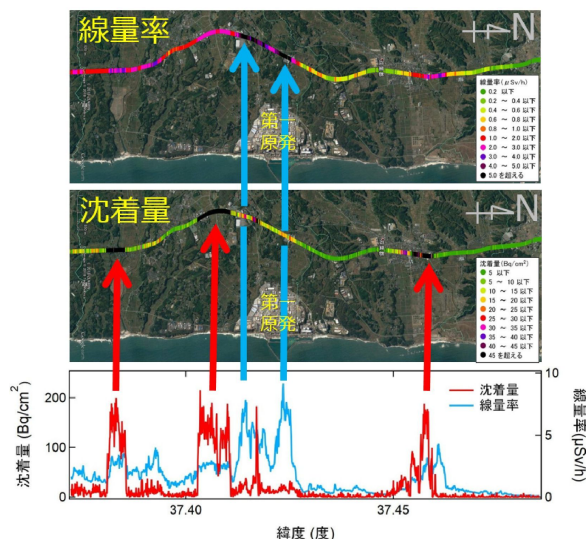


図 8 . 国道 6 号線の線量率と沈着量。線量率と沈着量の高低は必ずしも一致しない。これは除染やウエザリング効果で分布が一様でなくなったためと考えられる。

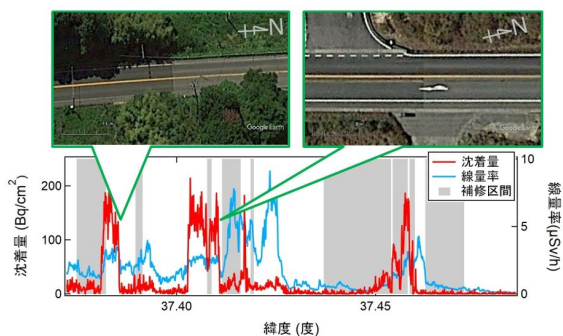


図 9 . 沈着量が急激に変化する場所には、道路舗装の区切り(古い舗装が高沈着量)が存在する。

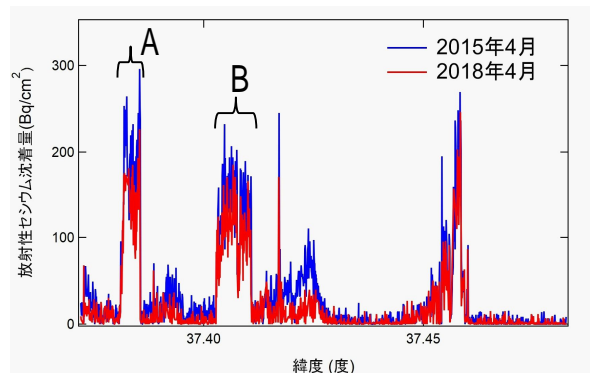


図 10 . 国道 6 号線における 2015 年と 2018 年の沈着量分布の比較。急激に変化する場所が変わっていないため、自動車の通行等での移動はほとんどないと考えられる。

果や除染による放射性セシウムの移動の仕方が異なることが想像されるが、ASURA の調査からもそのことが示唆される結果が得られている。例えば、すぐ近くにあるアスファルト道路と砂利道で沈着量が大きく異なっている場所があることがわかっている（砂利道の方が高沈着量）。また、アスファルト舗装の種類（排水性舗装かどうかなど）によっても傾向が異なることを示唆するデータも得られているので、今後、研究を進めてより明確な結論を得たいと考えている。

高位置分解能測定

自動車走行サーベイでは、GPS で十分な位置精度が得られたとしても、高位置分解能では1点当たりの測定時間（距離÷速度）が短くなってしまいうため、統計の問題で分解能向上が難しい。低速度走行で走行出来れば統計は稼げるが、国道6号線などの幹線道路や高速道路では現実的でない。我々は、これを解決するために、繰り返し測定した結果を足し合わせて解析する手法を開発した。この手法で得られた結果の例を図11に示す。国道6号線で測定した左向き検出器の結果であり、グリッド間隔は10mで解析した。青線は北上（下り車線）、赤線は南下（上り車線）を通行した時の結果であり、その時の左向き検出器はそれぞれ西（青線）と東（赤線）を向いていることになる。実線は2018年11月、点線は2018年1月に実施した調査結果であり、両者がよく一致していることから再現性は問題ない。計数率は東向きと西向きで大きく異なっている場所があるなど複雑に変化しており、線源分布や地形などが影響していると考えている。なお、矢印で示した箇所には、交差点や駐車場入口などのアスファルト舗装が存在していることにより計数率が低下していると考えられるが、ASURA ではこのような微細な影響も検出することができる。

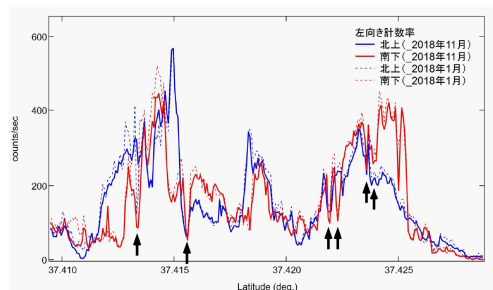


図11．国道6号線における高位置分解能調査結果の例。左向き検出器の計数率変化。

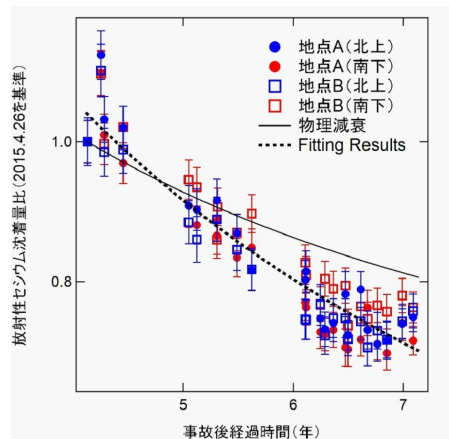


図12．国道6号線の高沈着量区間における沈着量経時変化。

環境半減期

国道6号線の高沈着量区間（図10に示したAとBの2カ所）における沈着量の経時変化を図12に示す。AとBの2カ所に対してそれぞれ上り車線（南下）と下り車線（北上）の結果がプロットされているが、減衰の傾向は一致している。また、このグラフより道路上の沈着量が実線の物理減衰よりもわずかに早い速度で減衰していることがわかる。

環境半減期は、早い成分と遅い成分の2成分に分けて評価されることが一般的であるが、ASURAのデータは事故4年以後のデータしかないので遅い成分のみを考慮してFittingすると、遅い成分の環境半減期が 11 ± 1 年と求めることができる（図12の点線）。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

住民と大学・研究機関との連携による放射線計測と試験栽培：福島県飯舘村大久保外内地区、石井 秀樹、服部 正幸、棚橋 知春、小松 知未、後藤 淳、内藤 航、上坂 元紀、原田 直樹、野中 昌法、守友 裕一、福島大学地域創造、査読無、29(1)、8570-8580、2017年9月

〔学会発表〕(計10件)

指向性がある自動車走行サーベイシステム ASURA の開発と測定例の紹介、後藤淳、高橋剛、千石周、遠藤史、近藤達也、吉田秀義、第6回「原発事故被災地域における放射線量マッピングシステムの技術開発・運用とデータ解析に関する研究会」および第390回生存圏シンポジウム「第8回東日本大震災以降の福島県の現状及び支援の取り組みについて」 2018年12月11日

福島における放射性物質の分布状況調査 (3)自動車走行サーベイシステム ASURA による道路表面の放射性セシウム沈着量の経時変化、後藤淳、高橋剛、千石周、吉田秀義、近藤達也、日本原子力学会 2018年秋の大会 2018年9月5日 日本原子力学会

ASURAで測定した放射性セシウムの分布、後藤淳、第57回放射化学夏の学校 2018年8月27日

自動車走行サーベイシステム ASURA を用いた国道6号線調査について、後藤淳、高橋剛、千石周、吉田秀義、環境放射能除染学会 第7回研究発表会 2018年7月3日 環境放射能除染学会

常磐自動車道における放射線の分布状況調査 (4) ASURA を用いた道路上の放射性セシウム沈着量調査、後藤淳、高橋剛、遠藤良、福島優希、吉田秀義、日本原子力学会 2018 年春の年会 2018 年 3 月 26 日 日本原子力学会

ASURA を用いた最近の調査の紹介、後藤淳、高橋剛、遠藤良、福島優希、吉田秀義、西方真弓、菖蒲川由郷、内藤眞、第 5 回「原発事故被災地域における放射線量マッピングシステムの技術開発・運用とデータ解析に関する研究会」 2018 年 2 月 27 日 京都大学原子炉実験所

自動車走行サーベイシステム ASURA を用いた道路上の放射性セシウム沈着量調査、後藤淳、高橋剛、遠藤良、天谷吉宏、菖蒲川由郷、吉田秀義、内藤眞、日本原子力学会 2017 年春の年会 2017 年 3 月 28 日 日本原子力学会

自動車走行サービス ASURA によるホットスポットの位置推定、遠藤良、高橋剛、上林智徳、後藤淳、内藤眞、第 4 回原発事故被災地域における放射線量マッピングシステムの技術開発・運用とデータ解析に関する研究会 2017 年 1 月 10 日 京都大学原子炉実験所

ASURA を用いた放射性セシウム沈着量調査、後藤淳、高橋剛、遠藤良、天谷吉宏、菖蒲川由郷、吉田秀義、内藤眞、第 4 回原発事故被災地域における放射線量マッピングシステムの技術開発・運用とデータ解析に関する研究会 2017 年 1 月 10 日 京都大学原子炉実験所

福島第一原発所事故被災地で用いるための指向性がある自動車走行サーベイシステム ASURA の開発、後藤淳、日本放射化学会 若手の会 2016 年 9 月 10 日

〔図書〕(計 1 件)

BISHAMON の軌跡 II (福島支援 5 年間の記録)、内藤 眞、青木 萩子、野中 昌法、後藤淳 et al. (担当:共著、範囲:「指向性がある自動車走行サーベイシステム ASURA」など)、新潟日報事業社、2016 年 11 月、401 ページ、ISBN:4861326400

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

新聞報道:「放射線量方向別に測定 新大・後藤助教 新システム開発」、新潟日報、2016 年 4 月 10 日 1 面

新聞報道:「汚染源特定に効果 福島で活用 地面沈着量多い場所も」、新潟日報、2016 年 4 月 10 日 32 面

ホームページ:「Web-map」(UCLA の Y. Kawano 氏らとの共同で作成)

<http://www.bishamon.org/minamisoma>

ホームページ:「市内通学路放射線量率測定結果」南相馬市 HP

https://www.city.minamisoma.lg.jp/portal/safety/hoshasenmonitoringuekka/kankyo_monitoring/5/3887.html

ホームページ:「市内学校敷地放射線量率の測定結果」南相馬市 HP

https://www.city.minamisoma.lg.jp/portal/safety/hoshasenmonitoringuekka/kankyo_monitoring/5/3896.html

ホームページ:「放射線の一種であるガンマ線を方向別に測定する新システムを開発しました」新潟大学 HP

<https://www.niigata-u.ac.jp/news/2016/17093/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 谷垣 実

ローマ字氏名: (TANIGAKI Minoru)

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 複合原子力科学研究所

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 90314294

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 菖蒲川 由郷, 高橋 俊博, 天谷 吉宏, 吉田 秀義, 高橋 剛, 泉川 卓司

ローマ字氏名: (SHOBUGAWA Yugo, TAKAHASHI Toshihiro, AMAYA Yoshihiro, YOSHIDA Hidenori, TAKAHASHI Takeshi, IZUMIKAWA Takuji)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。