

平成 23 年 11 月 15 日 プレスリリース

Universities Space Research Association (USRA)

Norwegian Institute for Air Research (NILU)

国立大学法人東京大学

国立大学法人名古屋大学

## 福島原発から放出されたセシウム 137 の日本全国への沈着量及び土壌中濃度の見積もり - 沈着は広範囲で、特に地形効果により沈着量は場所により大きく異なることが判明 -

発表雑誌:

掲載予定雑誌名:

米国科学アカデミー紀要「Proceedings of the National Academy of Science of the USA (PNAS)」

論文タイトル:

Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident

著者:

Tepei J. Yasunari, Andreas Stohl, Ryugo S. Hayano, John F. Burkhart, Sabine Eckhardt, and Tetsuzo Yasunari

### 1. 概要

Universities Space Research Association (USRA)の安成哲平客員研究員、Norwegian Institute of Air Research (NILU)の Andreas Stohlらの研究チーム、国立大学法人東京大学理学部の早野龍五教授、国立大学法人名古屋大学地球水循環研究センターの安成哲三教授は、ボランティア的国際共同研究として、3月11日の福島原発の事故後大気中に放出されたセシウム 137 の沈着量と土壌汚染を「数値シミュレーション」と「文部科学省(文科省)の観測(定時降下物)」を合わせ、世界で初めて日本全国のセシウム 137 の汚染状況の見積もりを行った。

解析を行った期間は3月20日から4月19日までである。解析期間において、日本列島に沈着したセシウム 137 は解析期間中のみの積算で1PBq以上と見積もられた。セシウム 137 の汚染は福島周辺域に特に広がっており、これまでの文科省の観測結果等と整合的である。福島周辺域に比べ原発からのセシウムの輸送量自体は相対的には少ないもののセシウム 137 は北日本、西日本へまで輸送され沈着している可能性があることが明らかとなった。西日本への汚染程度は東日本に比べ低い、これは日本中部の山岳地域が直接福島原発から汚染大気が西日本へ流れるのを防いだためと考えられる。また西日本では、汚染が低い中でも標高の高いところで、「相対的に」汚染が高い場所があり得るという見積もり結果を得た。これは湿性沈着(降水・降雪・霧など水分を媒体にした沈着)を好むと考えられるセシウム 137 が地形性降雨の影響を受けたからだと考えられる。更に、見積もった積算セシウム 137 沈着量に過去の観測データを元にした経験的換算係数を用いて、日本全国の土壌汚染見積もりも行った。本研究結果は、数値シミュレーションの相対沈着比と定時降下物の観測値を使って絶対値へ換算したもので、広域において観測値を比較的良く反映した汚染分布と考えられるが、単一の大気輸送モデルの空間沈着分布に頼っていること、水平解像度が緯度経度 0.2 度でそれより細かい議論が一切でき

ないこと、福島原発に近い場所の観測データがない及び欠測日があること、モデル自体の不確定要素や観測値の測定における誤差などもあるため、この結果は日本全国各地の汚染状況を直ちに保障するものではない。実際解析期間において、宮城県(観測なし)、福島・山形(欠測日あり)なども絶対値の見積もり誤差に影響を与えていると考えられる。また、解析期間より前の沈着量を考慮できていないため、地域によっては原発事故後の実際の総沈着量は本研究の見積もりより多いと考えられる。本研究成果は、現在まだセシウム 137 の土壌観測が行われてない地域における今後の詳細観測計画の検討や、既に詳細観測が得られている地域のデータ(航空機観測や土壌観測など)と比較するための基礎資料としてのみ使用可能であり、それ以上の議論をすることを目的とはしていない。そのため、本研究結果に関して、本研究結果のみを信じて風評被害を生むような間違った使い方は決してされないように強くここに喚起する次第である。本研究結果及び既存の観測データなどと比較を行い本研究結果の有効な部分について、本研究結果が汚染状況の改善に役立てられることを著者一同強く願っている。

この成果は 2011 年 11 月 14 日の週の米国科学アカデミー紀要「Proceedings of the National Academy of Science of the USA (PNAS)」の Early Edition 版に掲載された。

## 2. 背景

2011 年 3 月 11 日に起こった東日本大震災後、福島県の東京電力福島原発において事故が発生し、その後放射性物質が大気中に放出された。放射性物質のうち、セシウム 137 は半減期が 30.1 年と長いことから土壌汚染の長期化が懸念されており、日本全国の汚染状況の迅速な見積もりと汚染地域の除染が緊急の課題となっている。現在、文科省でも航空機観測や現地観測などで観測地域を少しずつ拡大しているが、日本全国の汚染状況の把握にはしばらく時間がかかると予想される。そのため、大気中の輸送・沈着を考慮できる数値シミュレーションと文科省定時降下物の観測結果両者を用いて、日本全国の汚染分布状況の見積もりを行うべく研究を行った。見積もりを行った期間は 3 月 20 日～4 月 19 日までである。主に見積もりを行ったものは、セシウム 137 の日沈着量、積算沈着量、及び換算土壌中濃度である。

## 3. 研究方法の概要

大気中の汚染物質(放射性物質も計算可能)の輸送・拡散を計算するために開発されたノルウェーの研究グループによって開発された大気輸送モデル FLEXPART(参照:<http://transport.nilu.no>)と文科省によって全国都道府県で毎日観測(欠測・欠損日もあり)が行われた定時降下物のセシウム 137 日沈着量を用いて見積もりを行った。ヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の客観解析データ(水平解像度全球 1 度、日本領域 0.18 度)のグリッド気象データを使ってモデルランを行った。計算結果のアウトプットは、3 時間ごと、水平解像度緯度経度 0.2 度である。FLEXPART やその他の輸送・拡散モデルにおいて、福島原発からの放射性物質の放出量が依然としてまだまだ不確定であるため、モデルのみによる見積もりは誤差が多く信頼度が低くなる。本研究でも、FLEXPART は放出量一定で計算を行っている。そこで、モデルからの直接計算された沈着量の絶対値を使うことをせずに、毎日の各格子点で計算された沈着量を、日本を含む計算領域内における最大沈着量で割り、相対的な沈着量の指標として日沈着比(Daily Deposition Ratio: DDR)のマップを各日において作成した。その後、文科省定時降下物の観測結果を用いて、各都道府県でセシウム 137 の沈着量が検出限界の値以上かつ DDR が 0 でなかった場合にモデルの DDR と観測点の沈着量を比較し、両者の関係を用いて絶対値への換算を試みた。その関係を計算領域全体に適用すると 1 つの日沈着量マップが作成される。この比較において、観測で沈着があるが DDR

の値が小さい場合、観測値をDDRで割る計算過程があるため、バイアスが大きくなってしまふ。そこで、あらかじめ沈着比に関していくつかしきい値(Deposition Ratio Threshold: DRT)を設定してやり、観測値がある地点で、そのしきい値以下の沈着比はしきい値の値とした。本研究では、議論の結果、DRT=0.005が解析期間中の観測値をもっともよく再現するDRTと考え、3月11日から19日までの影響もある程度反映できるだろうと考えた場合(解析期間に対しては過大見積もりと考えられる場合)のしきい値をDRT=0.001とした(論文参照)。複数の都道府県で沈着が観測された場合は、その数だけの沈着量マップが各日計算される。その複数のマップを各日で平均したコンポジット(合成図)をもっともバイアスの少ない日沈着量(論文内アニメーションVideo S2参照)の見積もりとした。DRT=0.005のケースにおいて、各日の沈着量マップを、4月19日の値として半減期を考慮しながら解析期間中4月19日の分まで日ごとに積算したものが積算沈着量マップである(図1)。更に、過去に観測されたサンプルデータを元に沈着量と土壌濃度の経験的関係を求め、その換算係数( $53 \pm 15 \text{ kg m}^{-2}$ )を使って、積算沈着量を土壌濃度に換算した。この換算係数は、文科省が5 cmの土壌で、土壌密度 $1300 \text{ kg m}^{-3}$ として得られる係数 $65 \text{ kg m}^{-2}$ とおおよそ整合的である。3月20日以前の影響もある程度反映した状態の土壌汚染見積もりとして、DRT=0.001を使って求めた積算沈着量に換算係数 $53 \text{ kg m}^{-2}$ を用いて見積もったセシウム137の全国の土壌中濃度の見積もりマップが図2である。換算係数の変動範囲内での土壌中セシウム137の質量濃度変動量は論文内のアニメーションファイルで見ることができる(論文内Video S4参照)。

#### 4. 結果と考察

解析期間中の日本列島全体へのセシウム 137 の合計沈着量は  $1\text{PBq}$  以上と見積もられ、特に東日本への沈着量が多く、 $1000 \text{ MBq km}^{-2}$  以上の場所が広範囲に見られた(図 1)。また、解析期間において場所によって大きくことなるが、西日本では  $250 \text{ MBq km}^{-2}$  程度までの沈着量が、北日本(岩手以北)において  $25000 \text{ MBq km}^{-2}$  程度までの沈着量が場所によってはありそうなことが見積もられた。本研究では、解析期間前のセシウム 137 沈着は考慮できていないこと、定時降下物のデータを使っており福島原発にごく近い場所の観測がないこと、福島県の観測データも 3 月 27 日より前のデータは利用できないこと、観測値自体の誤差(例えば捕集効率の影響や検出限界)などを考えると、これらの期間中に沈着があった福島原発近辺の地域においては、図 1 のセシウム 137 の積算沈着量見積もりは過小見積もりと考えられる。そのため、本研究の見積もりは、汚染の下限に近いと考えられる。沈着分布のパターンに関して、単一の輸送・拡散モデルの空間パターンに依存していることもここに強調しておく。また、本研究の水平解像度が緯度経度  $0.2$  度であるため、 $0.2$  度以下の細かい沈着量の変動などは一切議論できない。より細かい地域の議論においては、既存及び今後の詳細な観測や数値シミュレーションなどとともに本研究結果と比較を行い、検証をする必要がある。

セシウム 137 の日本全国各地の沈着量は、特に地形効果によって大きく規定されることが示唆された(図 1~3 の比較)。例えば、飛騨・越後山脈や関東山地があることにより、直接的な汚染大気の流れが防がれ、西日本が比較的低汚染となったと考えられる。また、北西日本も奥羽山脈があることによって、太平洋側より汚染が抑えられたと考えられる。ただ、比較的低汚染の西日本でも、汚染度が地域的にかなり異なることが本研究の結果から示唆された。特に、標高の高い山岳地域においては、ホットスポット的に、例えば、中国・四国山地などで、平地よりも「相対的に」汚染が高くなる地域がありうるという結果が示された。これはおそらく、セシウム 137 が降水による湿性沈着を好むと考えられるため(論文中の Fig.1C、Fig.1D、Video S2、Video S3 参照)、低気圧や前線に関連した地形性降雨の影響によって標高の高いところで多く沈着したからではないかと考えられる。一方北海道においては夕張や日高山脈の辺りで標高の高い低いに関わらずやや道内で広域の低度の汚染が見られ

た。また、道東の一部において「相対的に」汚染が高い場所も見られた。この北海道での分布は、福島からの汚染物質が、期間中に太平洋上を北上し、直接流入する地表付近から対流圏下層での大気輸送パターンに因っていることが示唆された。

これらの結果は、各都道府県内一か所で測定された定時降下物で検出された値を FLEXPART のモデルによる沈着比分布マップに反映して、日本列島全体について世界で初めて詳細に見積もったものである。しかしながら、単一モデルによる空間パターン依存や、モデル自身の空間解像度やプロセスの不確定性に起因する誤差や、定時降下物観測自体の誤差などもあるため、本研究結果は、日本列島全体での汚染の分布を暫定的に見積もったものであり、汚染度をその精確な量も含めて確定したものではない。今後詳細な観測を各都道府県で「必ず」行い、その結果と合わせて議論を進めることが必要である。

## 5. 本研究にもとづく今後の方策の提案と利用についての留意事項

本研究結果によって、福島原発事故によるセシウム 137 の沈着が福島周辺だけではなく、日本全国で広範囲にわたり、比較的 low 濃度であるが、一定程度のセシウム 137 の沈着がありそうであること、またその分布は地形や地理的条件に強く依存していることが推定された。本研究の結果と示唆される問題点を踏まえ、今後の方策として以下のことを提案したい。(1)本研究結果やこれまでなされた観測データを合わせて、汚染の激しい場所は、データを活用して優先的に除染を行うこと;(2)福島周辺だけでなく、どの都道府県においても土壌サンプル中のセシウム 137 の測定をさらに強化すること(観測によって本当に汚染が少ないか検証すること)。特に、山地や地形的に汚染度が相対的に高い可能性があるため、そのような地域での測定を積極的に行っていただきたい。(3)また、それらの全国各都道府県での土壌観測を定期的に行い、それを長期間継続して行いデータを蓄積することで、国内全体でのセシウム汚染の長期変化も把握しながら除染などの計画を行っていただきたいこと。(4)また今後、様々な観測結果やシミュレーション結果の比較・検証・モデル入力などに本研究結果を有効に利用していただければ幸いである。

最後に、本研究の結果は、汚染の実態の更なる検証のための一資料として活用すべきであり、新たな風評被害を生むような使いかたは絶対にしていただきたくない。このことは、メディアの方々を含め、強くお願いしたい。本論文の結果が、全国の汚染状況把握や今後の除染計画の基礎資料として関係者各位に有効に使っていただけることを強く願っている。

(追記)本研究は、ボランティア的に行われた国際共同研究である。国を超えた研究業務であるため、特に米国で研究業務を行っている主著者である安成哲平の所属においては必ず USRA(客員研究員)と記載していただくよう強く願います。本プレスリリースも、日本人共著者ら主体による日本サイドの研究者によるプレスリリースであることを明記しておく。また、著者全員が本業の傍ら完全ボランティア的に行った仕事であるため、本業との兼ね合いで対応などが遅れる場合があるがご了承ください。

お問い合わせ先:

(本研究全般について)

Universities Space Research Association (USRA)/

Goddard Earth Sciences and Technology and Research (GESTAR).

Visiting Research Associate, 安成哲平

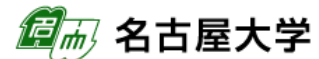
電話: +1-410-730-2656 (USRA 事務局) E-mail: tyasunari at usra.edu (at を@に変える)

(11月2日から12月13日まで職場不在のため、その間はメールのみの対応となります。)



国立大学法人 名古屋大学 地球水循環研究センター 教授 安成哲三

電話: 052-789-3465 E-mail: yasanari at hyarc.nagoya-u.ac.jp (at を@に変える)



(FLEXPART シミュレーション全般について)

Norwegian Institute for Air Research (NILU)

Senior Scientist, Andreas Stohl

電話: +47-6389-8035 E-mail: ast at nilu.no (at を@に変える)



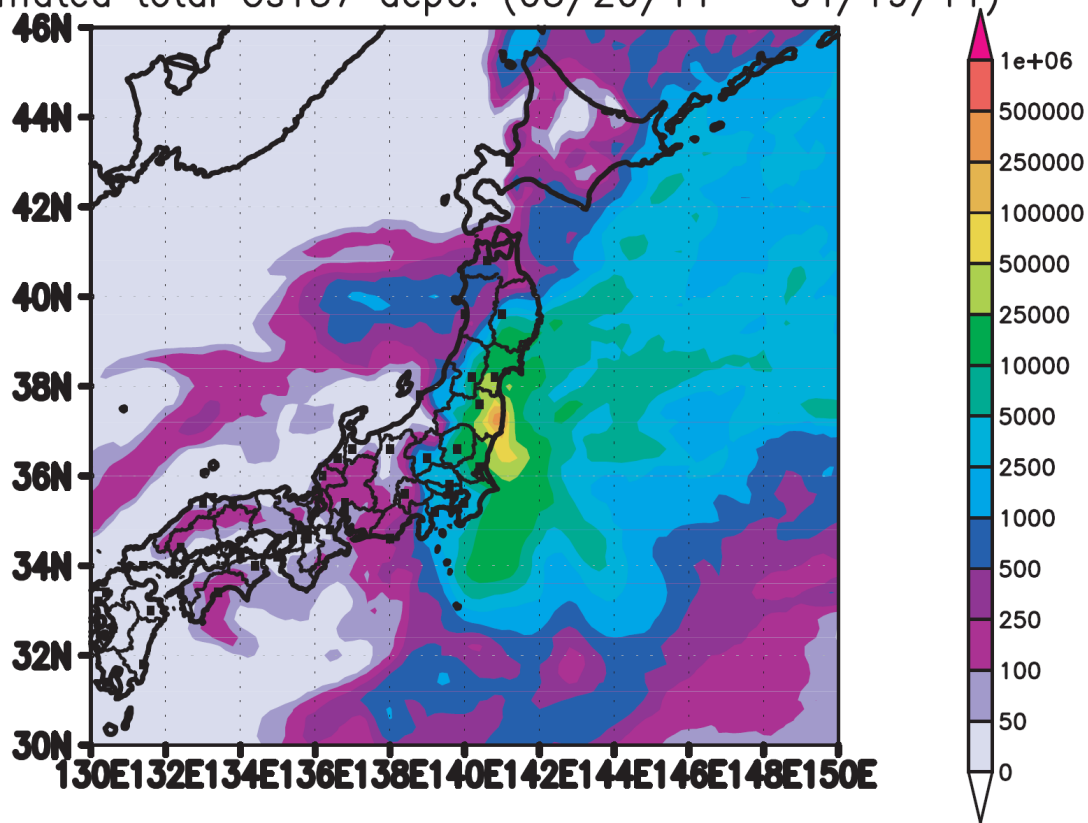
(土壌換算係数について)

国立大学法人 東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 教授 早野龍五

電話・FAX: 03-5841-4235 E-mail: hayano at phys.s.u-tokyo.ac.jp (at を@に変える)



Estimated total Cs137 depo. (03/20/11 - 04/19/11)



(MBq km<sup>-2</sup>)

図1: DRT=0.005 を使って見積もった、解析期間中(3月20日から4月19日)のセシウム137の積算沈着量分布。各都道府県の黒いボックスは定時降水物の測定地点を示す。宮城県の観測点においては解析期間中定時降水物の観測がないため、大気中放射線量の観測点をプロットしてある。

Estimated Cs137 concentration in soil (DRT = 0.001; CC = 53)

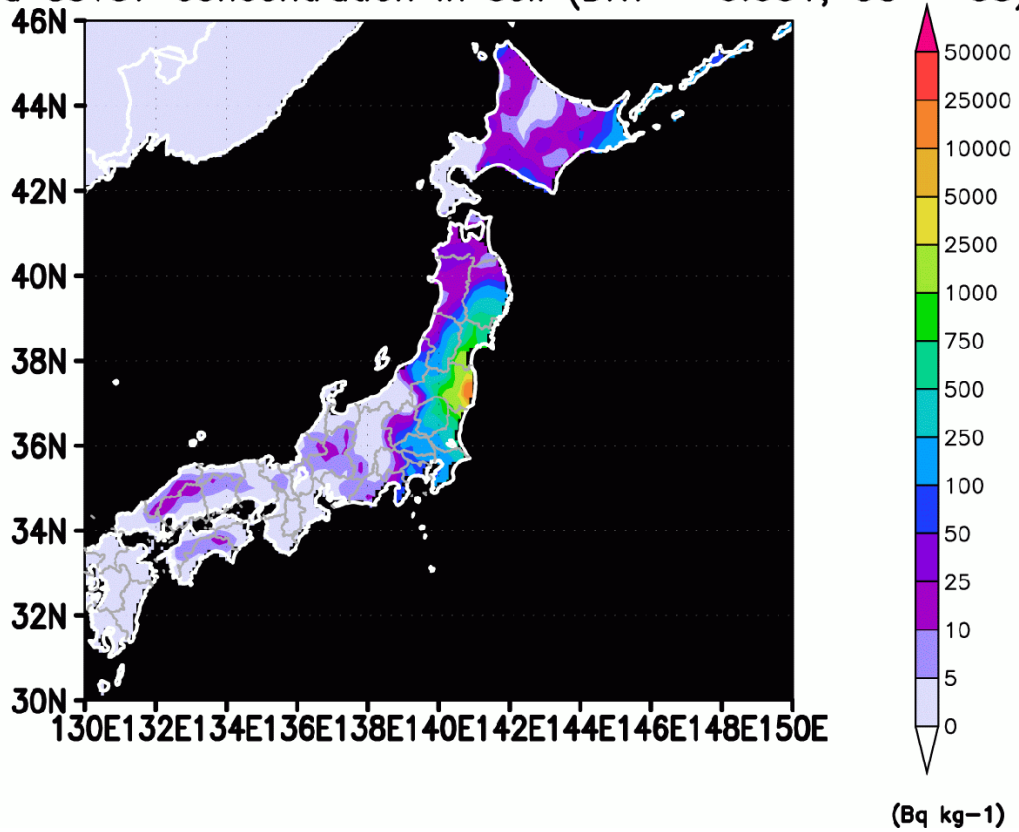


図2: DRT=0.001を用いて見積もった解析期間中積算沈着量を、経験的換算係数  $53 \text{ kg m}^{-2}$ を用いて換算したセシウム 137の全国の土壌中濃度分布。3月20日より前の沈着量もある程度反映したと考えられる場合の汚染見積もりの図である(解析期間に対しては過大見積もりのケース)。

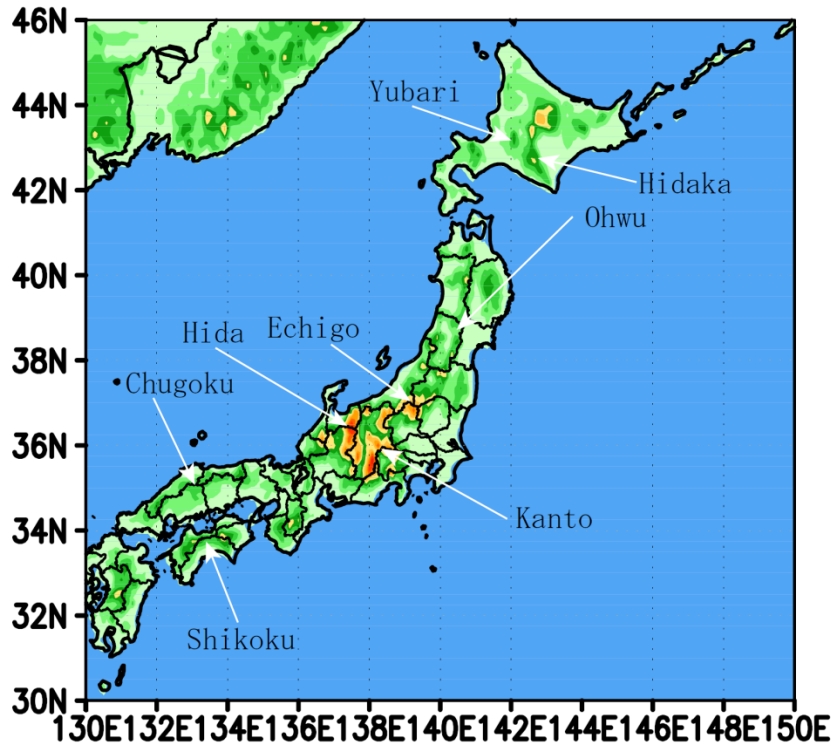


図 3: 日本の標高と山地・山脈名。Merged IBCAO ETOPO5 Global Topographic Data Product の標高データを使用(論文参照)。