

FDNSP と関東間の降水箇所による物質。ただし、W モデルのシミュレーションでは消散がより遅いことが示されました。

図9c,dに示された風ベクトル場は、福島中央地域周辺で3月15日の正午まで弱い低気圧運動が発生したことを示しています。これはおそらく太陽熱によるものと思われます。これにより、図9dの太い矢印で示すように、ブルームP2が東京地域の西部に向かって徐々に広がります。風のフィールド

また、3月15日午後にはブルーム P3 を中通り地域に向けて輸送し、その際、南部から北部の地点で $100 \text{ Bq m}^{-3}$ を超える高濃度が連続して観測された (図6、パネル 12:00 から 15:00、図9c,d)。午後遅くに、FDNSP では南東寄りの風が優勢になったため、図に示すように、P3 噴煙の一部が北に迂回して阿武隈山地の縁を通り、北から南に中通り地域に入りました。による

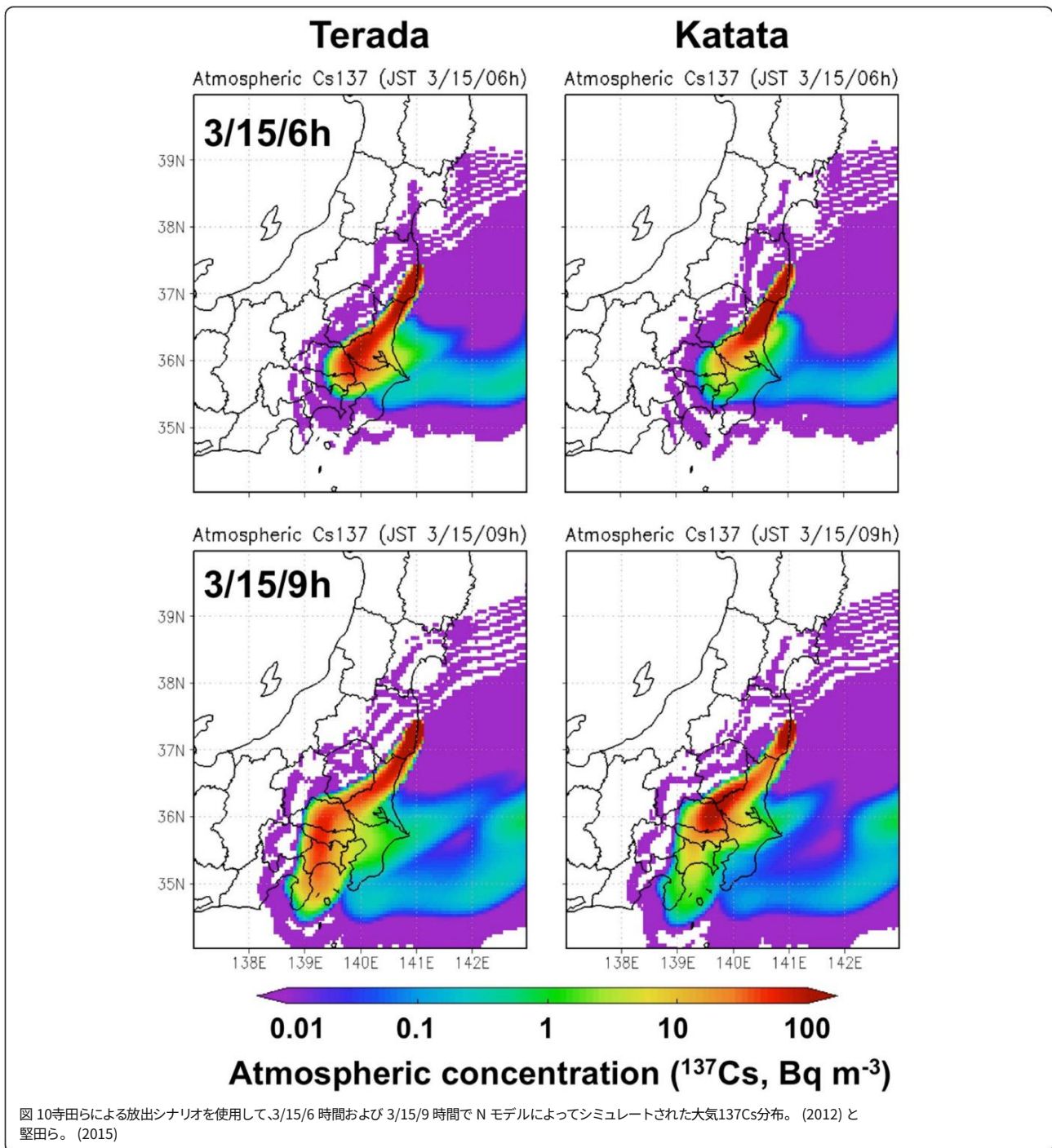


図 6b、パネル 15:00 から 18:00、および図 9e。鶴田ら。(2014) もこの北の分岐を特定しました。しかし、図。6b と 9e は、ブルームが交差していないことを示しています。阿武隈山地、模擬噴煙は中通り地域の SPM サイトで観察された濃度の上昇を説明するには狭すぎます。これ問題はおそらく空間解像度 (3-5 km)、細かいスケールをシミュレートするには粗すぎます

阿武隈山地を横切る噴煙の地形水平移流。

その後、中通りでも雨が降った  
 3月15日の夜、浜通り地方で発生した噴煙は3月16日の朝まで続き、消散した。

P3、図6b、パネル7 :00から9 :00、および図9fに示される。これらの数字は、次のブルーム P4 が、2015 年の間に優勢になった北風によって運ばれたことを示しています。

3月16日の朝、太平洋の低気圧の活動が活発化したためです(図4b)。銚子半島のSPMサイトでは、3月16日午前中の数時間にわたって高濃度が観測されたが、模擬ブルームは標的地域に到達できなかった(図9f)。モデルの失敗について考えられる説明は、シミュレーションされたエアロゾルの高さが実際の高さよりも高かったということです。気象庁の分析によると、3月16日の午前中はかなりのウィンドシアがあり、大気垂直方向のプロファイルが示すように、600メートル以下では北東の風が、600メートル以上では北西の風が優勢であった。気象庁つくば観測点(北緯 36.06 度、東経 140.13 度)を図 11 に示す。宮坂氏(宮坂隆文、東京大学、私信、2015)は、MANAL データを用いた軌道解析により、気団のエアロゾル高さは次のように推定した。関東地方までの到達距離は500m未満である必要があります。ただし、北緯 36.7 度では、模擬エアロゾルは高度 1500 m まで分布しました。その結果、シミュレーションされたエアロゾルは、そのレベルまで上昇すると太平洋地域に輸送されました。これは、ブルームが 1000 hPa の風ベクトルと平行ではないという事実によって示されています。NICAM-SPRINTARS はエアロゾルの垂直輸送を過大評価する傾向があるという報告があります(Goto et al. 2015b)。もう一つの考えられる理由は、3月16日のブルームに沿った早朝の降水量による湿性堆積の過大評価です。シミュレーションでは、図 6b のパネル 3:00 に示されているように、これがわずかに南にシフトし、MANAL の客観的分析よりも大きいことが示されました。

#### 観測値と観測値のもう 1 つの注目すべき違い

モデルでは、ブルーム P2 では、3月15日の夕方から3月16日の朝まで、関東の広い地域で 1 ~ 10 Bq m<sup>-3</sup>の中レベルの濃度が持続的に観察されたというものです(図 6b、パネル3/

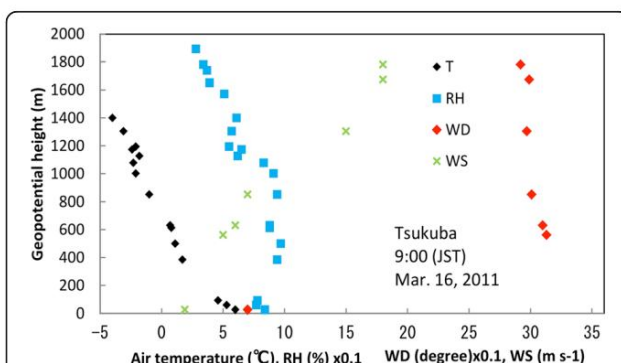


図 11 気象庁つくば観測所の 3/16/9 時間における温度 (T)、相対湿度 (RH)、風向 (WD)、風速 (WS) と地ポテンシャル高さの垂直プロファイル。風向と風速は、気象庁の日常測定プロトコルによって決定される風速分布の標準等圧面と特徴点に対応する高さです。

16/0:00~7:00(図9f)、一方、シミュレーション結果、特にWモデルの結果は、浜通りと関東地域の南部での濃度ははるかに小さいことを示しています。これまでのところ、ブルーム 2 と 4 のモデルの失敗の原因を特定することは困難ですが、これは強くせん断された薄い大気中での輸送を正確にシミュレートすることが難しいためであると考えるのが自然です。

#### 3月18~19

日図 12a,b は、3月18日と19日の短周期現象で観測およびシミュレーションされたブルーム P5 と P6 を示しています。当時、移動性高気圧が日本列島を通過し(図4c,d)、FDNPS付近では弱い風の状態が確立されました。風場の北西方向の成分は、3月18日の15:00頃、高気圧の外側に沿って南西方向に向きを変えました(図示せず)。その後、南西風によるP5ブルームがFDNPSの北側の地点で観測されました。この輸送メカニズムでは、18:00の風のベクトルがブルームに対して比較的垂直であることに注意する必要があります。風ベクトルとブルーム軸との間の同様の斜めの関係は、卓越風向の急速な変化の下で、ブルームP3(図9d)およびブルームP7およびP9(以下の図13b、fに示す)についてもシミュレートされた。これらの現象は、ブルームを適切にシミュレートするには、風向の時間的変化を正確に再現する必要があることを示しています。また、陸海風シミュレーションの高解像度化も必要です。

#### 3月20日から21

日その後の低気圧が3月20日から21日にかけて日本列島を通過しました(図4e,f)。観測された大気中セシウム137濃度と2つのモデルの大気中セシウム137濃度の時系列と降水マップを図7に示し、いくつかの特徴的な時間におけるモデルアンサンブルの結果を図13に示します。これらの図は、図13a(ラベルA)と図7a、パネル6:00に示すように、FDNPSでの3月19日から3月20日の早朝にかけて、卓越した西風がブルームを太平洋に向かって吹き飛ばしたことを示しています。しかし、3月20日の午前中は、低気圧の移動により東風成分が増加しました。これにより、ブルームが浜通りに向かって西に吹き戻され、図7aのパネル9:00から12:00に示すように、浜通りとその沖合地域をカバーする広い分布を持ったブルームP7(図13aでBと表示)が確立されました。、および図13a,b。このブルームの動きは、図13aの太い矢印で示されている。しかし、ブルームP7のシミュレートされた分布は、NモデルとWモデルで大きく異なり、アンサンブル平均の2つの分岐パターン(図13aのAおよびB)をもたらしました。

P7は12時から13時の間に銚子半島に到着し、ブルームの回転が示すように15時まで徐々に西に広がりました。

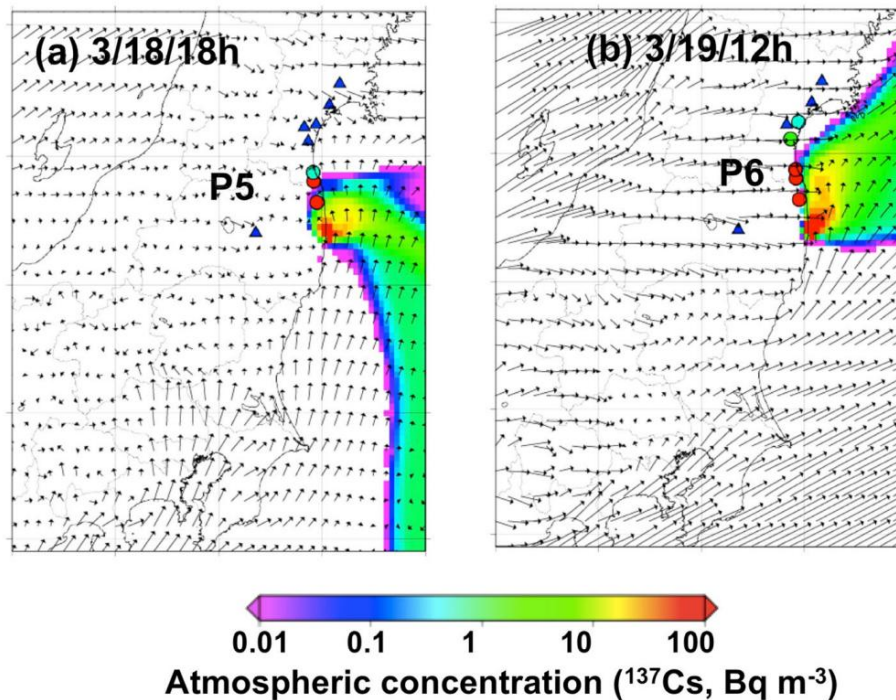


図 12 a 3/18/18 時間および b 3/19/12 時間における大気中セシウム137濃度の観測値 (色付きの円) とモデル アンサンブル平均のマップ。濃度が 10 Bq m<sup>-3</sup>を超えるブルームとして特定された領域は丸で囲まれ、ブルームの名前が付けられます。気象庁-MANALの1000hPaの風ベクトルを重ね合わせたもの

図 7a のパネル 12:00 から 15:00 に示されているように、図 13a の太い矢印で示されている N モデルによるシミュレーションに成功しました。一方、W モデルはこの現象をシミュレートできませんでした。3月20日朝の輸送プロセスには降水が関与していなかったため、この失敗は、(北方への)移動によって示唆されるように、放射源に近い上層大気への輸送が増加した結果であると考えられました。N モデルの結果)FDNPS 周囲の高濃度 (図 7a、パネル 12:00 から 13:00)。

北西輸送は13:00頃に始まり、その夜まで続き、東北地方にブルームP8を形成しました (図7a、パネル15:00から21:00、および図13b,c)。各モデルは中通地域北部へのブルーム P8 の輸送を十分にシミュレートしていますが、どちらも中通海峡に沿って北から南に観察される 137Cs 濃度の連続的増加をシミュレートするには粗すぎます。

ブルーム P7 と P8 は 3月21日の3:00頃に消散し始めました (図 7b、パネル 1:00 から 7:00、および図 13e)。このとき、ブルームP9は、移動システムとオホーツク低気圧の複合効果による北東の風により、関東へ向かい始めました (図4f)。ブルームP9は3月21日午前9時頃に関東地方に到達し、天候に衝突した。

図13fの風ベクトルが示すように、前線は関東地方の南部に位置します。N モデルでシミュレートされたブルームは舌状をしており、千葉県北部の陸地を覆いました。これは観察されたサイトの分布と一致していました

図 7b のパネル 9:00 から 10:00 に示されているように、千葉県と東京湾周辺で100 Bq m<sup>-3</sup>を超える濃度が特徴です。しかし、N型ブルームは短すぎて観測地に到達することなく北方へ移動した。今回の事故でもW型は137Cを関東地方に輸送できなかった。

図には示していないが、堅田らの排出シナリオに変更すると、排出シナリオが変化することがわかった。(2015)では結果は改善されませんでした。別の可能性としては、エアロゾル層の高さが過大評価されていた可能性がある。図 14 は、3月21日9時の気象庁つくば観測所における気象パラメータの鉛直プロファイルを示しています。この図は、地ポテンシャル高さ約300mで強い温度の逆転があったことを示しています。風は反転部の下では北東の風、上では北西の風でした。したがって、モデル化されたエアロゾル層が高すぎて、エアロゾルが北西風によって東に輸送されたと想定できます。これは、関東地方のモデルによって3:00から7:00の時間帯にシミュレートされた降水量がより強かったことも原因である可能性があります (図 13b、パネル 3:00 から 7:00)。これら 2つの理由として考えられるのは、

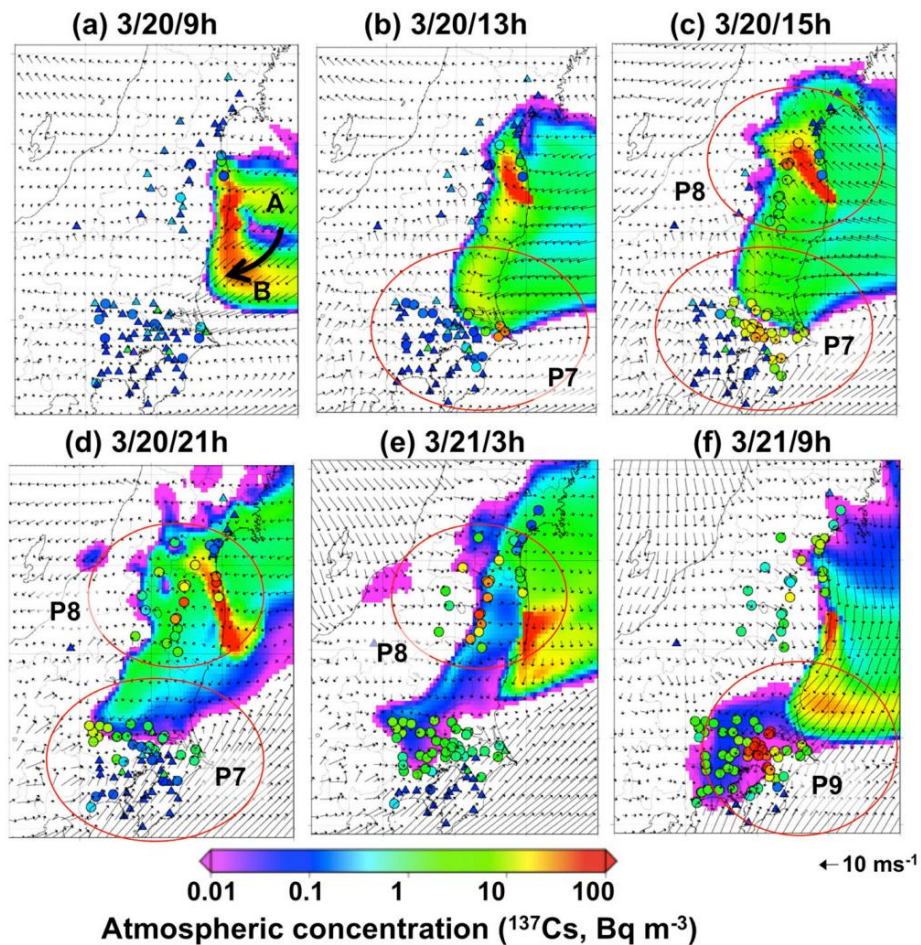


図 13 a ~ f 9 月 20 日から 9 月 21 日までの大気中セシウム 137 濃度の観測マップ (色付きの円) とモデル アンサンブル平均。濃度が  $10 \text{ Bq m}^{-3}$  を超えるブルームとして特定された領域は丸で囲まれ、ブルームの名前が付けられます。気象庁-MANAL の 1000 hPa の風ベクトルを重ね合わせます。P7 ブルームの経路の移動は、パネル a の太い矢印で示されています。ラベル (a,b) の説明は本文を参照してください。

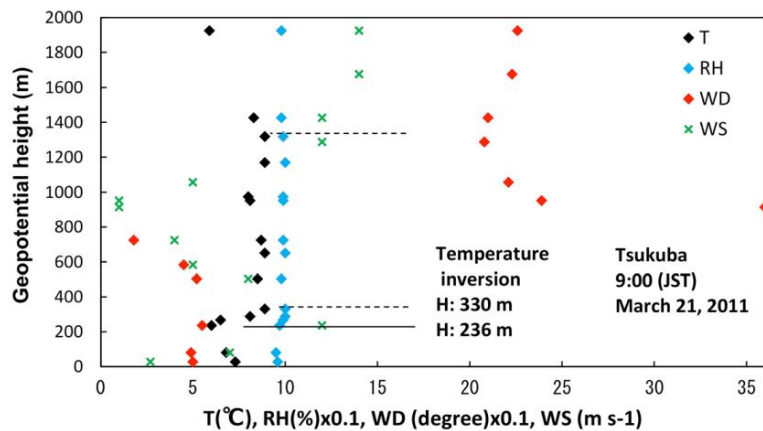


図 14 気象庁つくば観測所の 3/21/9 時間における温度 (T)、相対湿度 (RH)、風向 (WD)、風速 (WS) と地ポテンシャル高さの垂直プロファイル。風向と風速は、気象庁の日常測定プロトコルによって決定される風速分布の標準等圧面と特徴点に対応する高さです。

3月21日の朝に観察されたブルームの持続的な生存とは対照的に、模擬ブルームP7の急速な消散を説明する(図7b、パネル3:00から9:00、および図13e、f)。

#### ブルーム経路と時系列図 15

は、これまでのセクションで分析したブルーム経路の概要を示し、図 16 は、観察の時系列といくつかの地点におけるモデル全体の平均  $^{137}\text{Cs}$  濃度を示しています。

該当するサイトは、鶴田らが定義した東北地方の B、C、E、J、関東地方のサイト 9、12、15 です。(2014)、および新しく追加されたサイト K1、K2、および K3 にもあります。

3月15日の6時間の間に、ブルームP2は関東地方の広い範囲に広がった。図16bのサイト9、K1、K2、およびK3におけるピーク濃度によって示されるように、被覆率は均一ではなく、ブルームは狭かった。しかし、時系列で示され、図9aですでに示唆されているように、シミュレートされた到着時刻は早すぎました。

3月15日午後、地点EとCで時間の経過とともに南から北に連続するピークが示すように、ブルームP3は阿武隈山地を越えて中通り地域に向かって放射性物質を輸送した(図16a)。モデルが粗すぎて

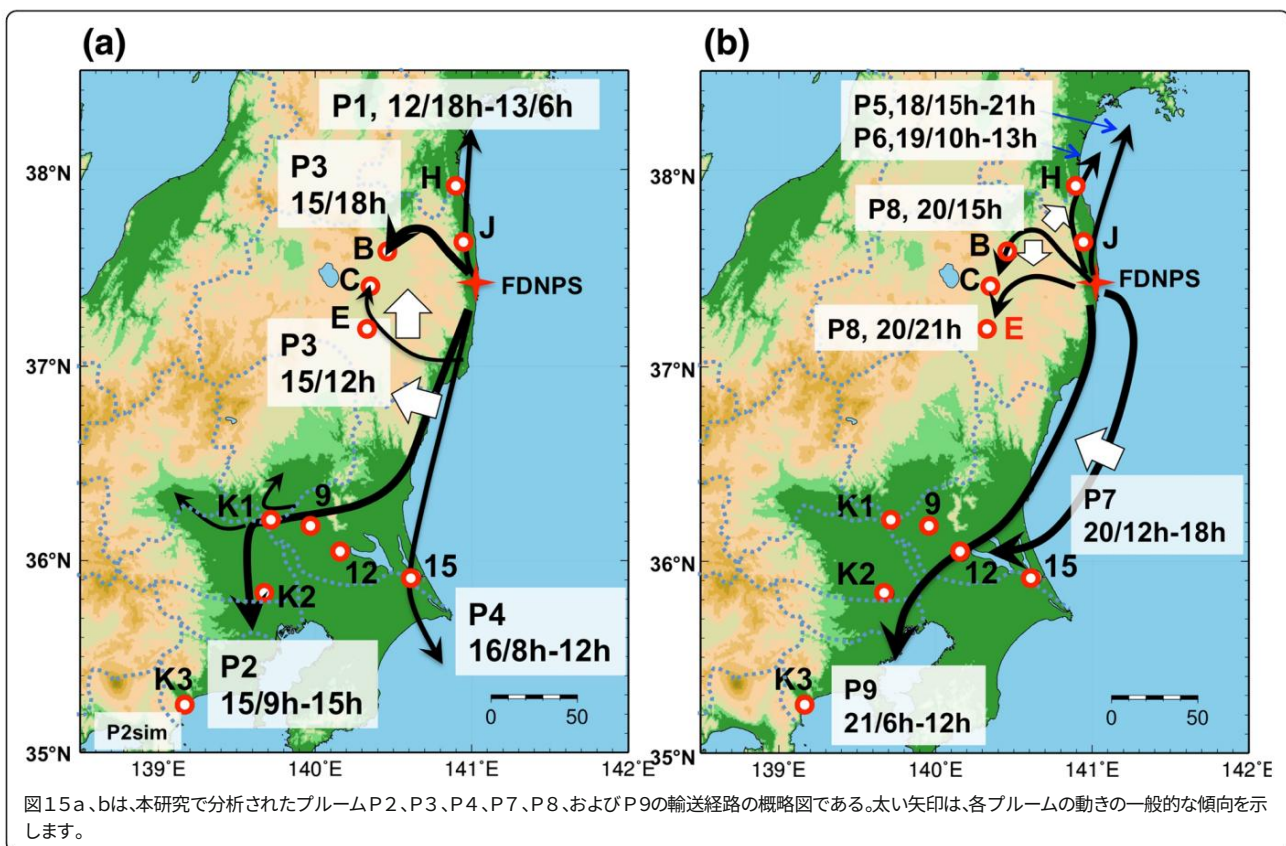
中通り海峡に沿ったブルームの詳細な進行をシミュレーションします。ブルーム P2 と P3 の進行は、図 15 の太い白矢印で示されています。

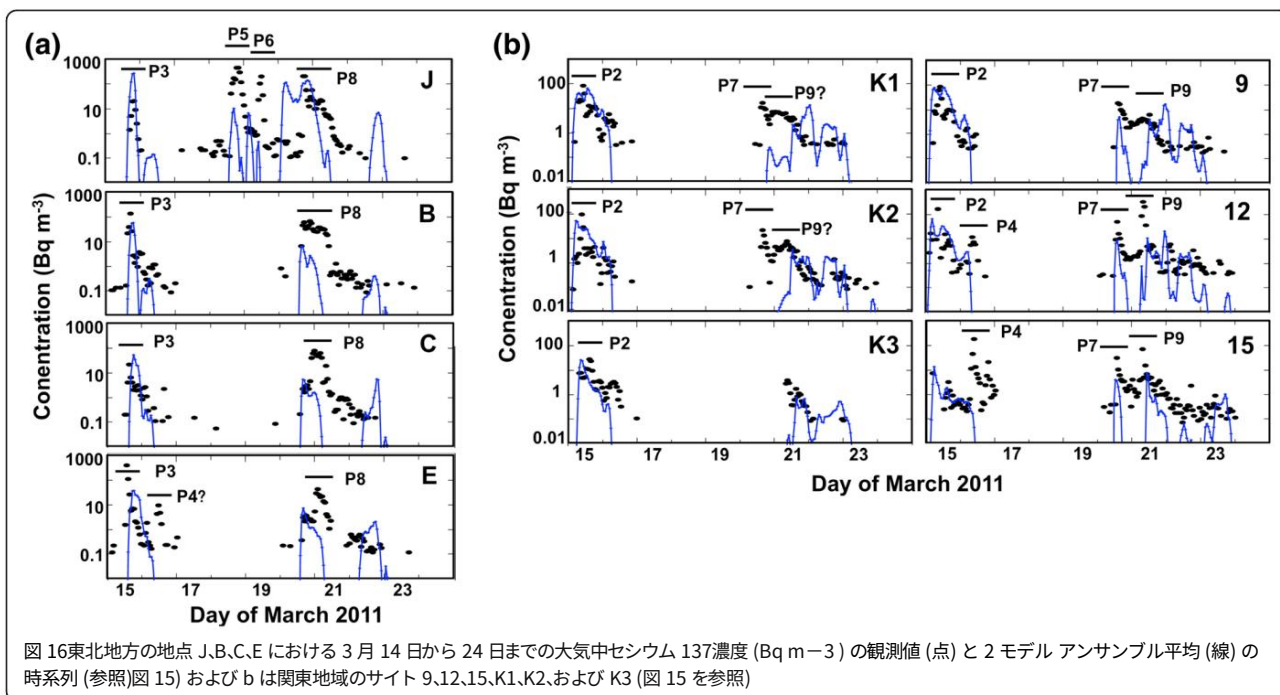
図9fに示すように、ブルームP4は、サイト12と15のピークが示すように、銚子半島で高濃度の $^{137}\text{Cs}$ を生成しましたが、ブルームは関東には到達しませんでした。

3月18日と19日にサイトJで短時間のブルームP5とP6が観測され、モデルによってシミュレーションされましたが、シミュレーションされた到達時間は観測時間より早かったです。さらに、期間中の濃度は大幅に過小評価されていた。

3月20日の午後早く、ブルームP7は、図15の太い白矢印で示されているように、ブルームルートの時計回りの回転によって、最初に海洋に、次に陸に向かって長距離輸送されました。図16bに示すように、それは北関東地方の大部分をカバーしていました。

ブルーム P8 は北に運ばれ、阿武隈山地北端の中通り地域に沿って南に方向転換されました。その結果、地点B、C、Eでの時系列観測が示すように、高濃度地域は北から南に移動しました。しかし、モデルはこの現象を示すことができず、中通り地域の地点での濃度を過小評価していました。図7aのパネルにも示されているように、





15:00~21:00.同時に、FDNPS では風向きが北西から北に変わり、太い北東向きの矢印で示すように、P8 の北部がサイト H と J を覆いました。

ブルーム P9 は 3 月 21 日朝に出発し、関東地方南部にある気象前線と衝突するまで南へ進路をとった。シミュレートされたパターンは短すぎて、9:00 のサイト 9, 12, および 15 のピークに対応できませんでしたが、これは、前のセクションで説明した複雑な輸送および沈殿プロセスによるものです。3 月 21 日の地点 K1 と K2 のピークがブルーム P7 からの持続的な尾部によって引き起こされたのか、それともブルーム P9 によって引き起こされたのかを判断することは困難です。図 3 ~ 図 6 に示す分布図。7b および 13d ~ f。

#### 結論前のセク

ションで説明したように、観測データとモデルアンサンブルデータを組み合わせた解析は、ブルームの発達と放射性物質の分布を解析するのに有用な方法であるが、どちらのアプローチも単独では適切ではないことがわかりました。

SPM の観測データはユニークで高密度ですが、輸送メカニズムが複雑で時間の経過とともに変化し、地域の気象条件や地理条件に依存するため、大気中のセシウム 137 の詳細な分布構造を示すには十分ではありません。場合によっては、モデルは SPM サイトでのブルームの正確な位置と到着時間をシミュレートできませんでしたが、空間的および時間的

ブルーム構造の発達が適切にシミュレーションされ、大気中のセシウム 137 がどのように分布するかを理解することが可能になりました。

以下の記述は対象地域と期間に特徴的なものであり、放射性物質の大気輸送に関連している。東アジアの春の分析期間中、移動気圧が定期的に放射性物質を日本にもたらした。陸地エリアで、いくぶん似たブルームの発達パターンを生成します。たとえば、時系列では 2 つのピークが見られます。1 つは 3 月 15 ~ 16 日のブルーム P2 と P3 に続いて P4 によるもので、もう 1 つは 3 月 20 ~ 21 日のブルーム P7 と P8 に続いて P9 によるものです。最初のピーク (3 月 15 ~ 16 日の P3) は、移動性低気圧が日本列島に向かって進むにつれて、風場の北東への変化、その後南東への変化によって引き起こされました。2 番目のピーク (P4 と P9) は、低気圧が日本列島から太平洋に抜けた後の北風によって引き起こされました。エアロゾル層の高さを過大評価した場合、図 1, 2 に示すように、ブルーム P4, P9 は 900 hPa など上層の偏西風により東に偏りました。9 階と 13 階。

将来の課題には、(1) 異なる放出シナリオ、例えば Katata et al. による感度テストを実施するなど、現在の方法を改善することが含まれます。(2015); (2) 異なるモデル層設定に基づくブルームの高さ。(3) 異なるパラメータを使用した湿式堆積プロセス。(4) 阿武隈山脈の北端を横切るおよびそれに沿った物質輸送。課題 4 に関連して、関山らによる報告。(2015) は主張している

放射性物質の水平輸送に関する気象庁の非静水圧モデルの 3 km グリッド シミュレーションと 500 m グリッド シミュレーションの間に有意な差はなかった。ただし、地形波のモデルパラメータ化の違いを考慮すると、これをさらに分析する必要があります。プルーム輸送のより正確な再構成を得るために、モデル アンサンブルの広がりを増やすことも必要です。もう 1 つの興味深い未解決の問題は、3 月 20 日の夕方から 3 月 21 日の朝まで続いた、関東地方の 1 ~ 10 Bq m<sup>-3</sup> の中レベルの濃度の地域です。乾式堆積プロセスを制御する大気垂直成層をシミュレートする場合は、モデルのパフォーマンスを慎重に評価することも重要です。将来の研究では、強いが確率的な降水条件下でのエアロゾルの生存に取り組む必要があります。一方、SCJ (2014) は、評価されたすべてのモデルが弱い降水条件下での湿性堆積を過小評価する傾向があることを示唆しました。したがって、降水速度の非線形パラメータ化を開発する必要がありますがあるかもしれません。

これまでに SPM サンプリング テープ全体の 25% しか分析できていないため、追加の分析が必要です。また、本研究では解明できなかった詳細な大気輸送過程を解明するために、特に浜通り地域における欠落している観測データの収集にもさらなる努力が必要である。

SPM テープの一部は、回収する前にネットワークによって廃棄されました。したがって、大規模な災害が発生した場合には、特別なテープ保存の取り組みが必要になります。今回の研究が今後の研究に役立つことを期待しています。

#### 略語

CMAQ: コミュニティのマルチスケール大気質。FDNPS: 福島第一原子力発電所発電所; JAEA: 日本原子力研究開発機構; JAXA: 宇宙航空研究開発機構; 気象庁: 気象庁; JST: 日本標準時。MANAL: メソスケールの客観的分析データ。文部科学省: 文科省

文化、スポーツ、日本。NICAM: 非静水圧の正二十面体大気モデル。NSW6: 6 つの水カテゴリーを含む NICAM 単一瞬間スキーム。SCJ: 日本学術会議。SPM: 浮遊粒子状物質。SPRINTARS: エアロゾル種のスペクトル放射線輸送モデル。

TEPCO: 東京電力株式会社。UNCEAR: 国連科学原子放射線の影響に関する委員会。UTC: 協定世界時。WRF: 気象調査および予測モデル

#### 謝辞

理学研究所/AICS の富田博司氏と八代博司氏の温かいご支援に深く感謝いたします。また、環境省の要請により提供済み SPM フィルターテープを提供していただいた地方自治体の皆様にも感謝申し上げます。気象庁の天気図を引用させていただきました。気象庁の気象データセットを使用しました。

#### 資金提供

この研究の一部は、環境省/GOSAT2、JST/CREST/EMS/TEEDDA、JAXA/EarthCARE&GCOM-C、文部科学省/科研費/新学術領域 2409、環境省/ERTDF/S-12 および 5-1501、および日本の規制庁。

#### 著者の貢献

TN はモデリングおよび SPM データ分析プロジェクトの主任研究者であり、SCJ モデル比較委員会の委員長であり、組み合わせた分析を設計し、原稿を起草しました。SM、DG、JU、TT、MS は NICAM-SPRINTARS を使用して数値シミュレーションを実施しました。YM と TO は WRF-CMAQ を使用して数値シミュレーションを実施しました。HT、TO、ME は SPM テープの分析を実施しました。共著者全員が結果に関するディスカッションに参加し、元の原稿にコメントしました。著者全員が最終原稿を読んで承認しました。

#### 著者情報

ご連絡、資料請求は TN (terry-nkj@nifty.com) まで。

競合する利益 著者らは、競合する利益がないことを宣言します。

#### 著者詳細

東京大学大気海洋研究所 (AORI)、〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 2-5-1-5  
宇宙航空研究開発機構

構 (JAXA) 地球観測研究センター (EORC)、〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1  
国立研究開発法人

環境学 (NIES)、〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2、日本 4

一般財団法人リモートセンシング技術センター、〒105-0001 東京都港区虎ノ門

3-17-1 九州大学応用力学研究所 〒816-8580 福岡県春日市

春日公園 6-1

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院理工学研究所

受理日: 2016 年 6 月 10 日 受理日: 2017 年 1 月 5 日

Published online: 23 January 2017

#### 参考文献

- Byun DW, Chin JKS (1999) EPA Models-3 Community Multi-Scale Air Quality (CMAQ) モデリングシステムの科学アルゴリズム。米国議員 EPA/600/R-99/030。米国環境保護庁、ワシントン Byun D, Schere KL (2006) 計算上の支配方程式のレビュー Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) モデリングシステムのアルゴリズム、およびその他のコンポーネント。Appl Mech Rev 59:51-77 Dai T, Goto D, Schutgens NAJ, Dong X, Shi G, 中島 T (2014) シミュレート新しいタイプのダイナミックコアと組み合わせたエアロゾル輸送モデルを使用して、地球規模でのエアロゾルの主要な光学特性を研究します。アトモス環境 82:71-82。doi:10.1016/j.atmosenv.2013.10.018
- 後藤 D、大 T、佐藤 M、富田英、内田 J、三澤 S、井上 T、鶴田 裕、上田 K、Ng CFS、高見 A、杉本 N、清水 A、大原 徹、中島 徹 (2015a) ストレッチグリッドシステムを備えた全球非静水圧モデルを日本周辺の地域エアロゾルシミュレーションに適用。Geosci Model Dev 8:235-259。doi:10.5194/gmd-8-235-2015
- 後藤 大、中島 達人、大 達、竹村 達、梶野 正人、松井 宏、高見 亜人、 島山 S、杉本 N、清水 A、大原 T (2015b) 全球モデル相互比較による東アジア上空の模擬硫酸粒子状物質の評価。J Geophys Res Atmos 120(12):6247-6270。土井:10.1002/2014JD021693

JAEA (2012) JAEA 公開ワークショップ「放出と拡散の再構築」

「福島第一原子力発電所事故により放出された物質のプロセス」, 2012 年 3 月 6 日、東京、<http://nsec.jaea.go.jp/ers/environment/envs/FukushimaWS/index.htm>。2017 年 1 月 18 日にアクセス

兼安 直、大橋 英、鈴木 文、奥田 哲、池森 文 (2012) 福島原発事故による放射性セシウムの潜在的な輸送媒体としての硫酸塩エアロゾル。Environ Sci Technol 46:5720-5726。土井:10.1021/es204667h

堅田 G、茅野 M、小林 T、寺田 裕、太田 M、永井 裕、梶野 M、ドラクスラー R、Hort MC、Malo A、Torii T、Sanada Y (2015) 大気分散モデルと改良された堆積スキームおよび海洋分散モデルのシミュレーションを結合することによる、福島第一原子力発電所事故の大気放出の詳細なソースターム推定。アトモス化学物理学 15:1029-1070。doi:10.5194/acp-15-1029-2015 Lin YL, Farley RD, Orville HD (1983) 雲モデルにおける雪原の一括パラメータ化。J クリマ アプリ メテオロロ 22:1065-1092

Mellor GL, 山田 T (1982) 乱流閉鎖モデルの開発

地球物理学流体力学の問題。Rev Geophys 宇宙物理学 20:851-875

Mészáros R, Leelssy Á, Kovács T, Lagzi I (2016) 福島由来の放射性核種の拡散と大気中での均質化の予測可能性. *Sci Rep* 6:19915. 土井:10.1038/srep19915

文部科学省 (2011) 第1回以降の航空機モニタリング結果について  
原子力規制委員会が平成23年4月に文部科学省から取りまとめたものです。 <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/362/list-1.html>. 2011年5月6日にアクセス  
森野 Y, 大原 T, 西沢 M (2011) 2011年3月の福島第一原子力発電所からの大気挙動、沈着、放射性物質の放出量. *Geophys Res Lett* 38:L00G11. 土井:10.1029/2011GL048689

森野裕子、大原哲也、渡辺雅美、林真司、西沢正美 (2013) 福島第一原子力発電所事故による放射性セシウムの沈着のエピソード分析. *Environ Sci Technol* 47:2314–2322. doi:10.1021/es304620x 中島哲也、大原拓也、植松正人、恩田裕志 (編)  
(2014) 福島第一原子力発電所事故による放射性環境汚染: 地球科学の視点. 東京大学出版会、東京

中西正、新野裕 (2004) 改良された Mellor-yamada レベル3 モデル  
凝縮物理学: その設計と検証. *結合層メテオロール* 112:1–31  
大浦裕、海老原正、鶴田英、中島隆、大原隆、石本正、澤畑英、勝村裕、新田 W (2015) 2011年3月に収集された浮遊粒子状物質中の放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$  および  $^{137}\text{Cs}$ ) の大気中濃度の時間別データベース 東日本の大気汚染監視所99か所で実施. *J Nucl Radiochem Sci* 15(2):1–12 佐藤 M, 松野 T, 富田 H, 三浦 H, 那須野 T, 伊賀 S (2008) 全球雲分解シミュレーション用の非静水圧正二十面体大気モデル (NICAM). *J コンピューティング物理学* 227:3486–3514

SCJ (2014) 東京電力福島第一原子力発電所事故の結果として環境に放出された放射性物質の輸送と沈着のモデル比較に関するレビュー. 日本学術会議総合合成工学委員会報告書、[http://www.jpg.org/scj/report/20140902scj\\_report\\_e.pdf](http://www.jpg.org/scj/report/20140902scj_report_e.pdf).

2014年1月18日にアクセス

関山 TT, 国井正、梶野正、新堀哲 (2015) 水平解像度 15km, 3km, 500m グリッドモデルを使用した福島原発事故の大気シミュレーションの依存性. *J Meteorol Soc Jpn* 93:49–64 Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang XY, Wang W, Powers JG (2008) Advanced Research WRF バージョン3の説明.  
NCAR/TN.475 + STR. 国立大気研究センター、ボルダー スマッカー H、フルバ K、ボンカ H (1993) 雲の下でのエアロゾルの掃気  
粒子: 粒子結合放射性核種 - 実験的. *アトモス環境* 27(4): 605–618. 土井:10.1016/0960-1686(93)90218-N  
Sportisse B (2007) 乾式堆積をモデル化するためのパラメータ化のレビュー  
そして放射性核種の除去. *アトモス・エンビロン* 41:2683–2698. 土井:10.1016/j.atmosenv.2006.11.057  
Stohl A, Seibert P, Wotawa G, Arnold D, Burkhardt JF, Eckhardt S, Tapia C, Vargas A, Yasunari TJ (2012) 福島第一原子力発電所からセシウム 137 とセシウム 137 が大気中に放出一原子力発電所: ソースタームの決定、大気拡散、堆積. *アトモス化学物理学* 12: 2313–2343. 土井:10.5194/acp-12-2313-2012

竹村 哲、岡本 英、丸山 裕、沼口 亜、日暮 亜、中島 哲 (2000) さまざまな起源のエアロゾルの光学的厚さ分布の全球三次元シミュレーション. *J Geophys Res* 105:17853–17873 竹村 隆、中村 裕、瀧川 正、近藤 裕、里村 隆、宮坂 哲、

中島 T (2011) 福島第一原子力発電所から放出された大気粒子の地球規模の輸送の数値シミュレーション. *ソラ* 7: 101–104. doi:10.2151/sola.2011-026 Terada H, Katata G, Chino M, Nagai H (2012)

福島第一原子力発電所事故中の放射性核種の大気放出と拡散、パート II: ソースタームの検証と分析地域規模の大気拡散の影響. *J 環境放射性物質* 112:141–154

富田 洋、佐藤 正 (2004) 正二十面体グリッドを用いた非静力学的地球規模モデルの新しい力学枠組み. *Fluid Dyn Res* 34:357–400 鶴田 H, 大浦 Y, 海老原 M, 大原 T, 中島 T (2014) 稼働中の大気汚染監視ステーションのフィルターテープを分析することにより、福島事故直後の時間ごとの大気放射性核種の最初の検索. *Sci Rep* 4:6717. doi:10.1038/srep06717 内田 純、森 正、鈴木 和、佐藤 正、中村 裕、中島 哲 (2015) 誤りと

非静力学ストレッチグリッド地球循環モデルのエネルギー収支解析. *月天気啓示* 144:1423–1447. 土井:10.1175/MWR-D-15-0271.1

Wang W, Bruyère C, Duda M, Dudhia J, Gill D, Lin HC, Michalakes J, Rizvi S, Zhang X, Beezley JD, Coen JL, Mandel J (2012) ユーザーズ ガイド: Advanced Research WRF (ARW) バージョン 3.3 モデリングシステム. <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>. 2016年6月12日にアクセス

安成 TJ, ストール A, 早野 RS, ブルクハルト JF, エックハルト S, 安成 T (2011) 福島原発事故による日本の土壌のセシウム137の沈着と汚染. *PNAS* 108:19530–19534. doi:10.1073/pnas.1112058108 弓本 和人、森

野 泰、大原 哲也、大浦 裕也、蛭原 正樹、鶴田 裕、中島 哲也 (2016) 航空機によって監視された堆積マップによって制約された、福島第一原子力発電所事故のセシウム 137 ソースタームの逆モデル化. *J 環境放射性物質* 164:1–12

論文をジャーナルに投稿すると、**SpringerOpen**<sup>®</sup> 次の特典が受けられます。

- 7 便利なオンライン提出
- 7 厳格なピアレビュー
- 7 受理後即時公表
- 7 オープンアクセス: 論文はオンラインで自由に入手可能
- 7 フィールド内の高い視認性
- 7 記事の著作権の保持

次の原稿を [springeropen.com](http://springeropen.com) に提出してください