

特別講演：座長 高梨祐司

(全国環境研協議会会長＝千葉県環境研究センター長)

放射性物質の大気中での挙動と

シミュレーション

大原利真

(独立行政法人国立環境研究所地域環境研究センター長)



1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災によって発生した、東京電力福島第一原子力発電所(以下、福島原発)の事故によって大量の放射性物質が大気中に放出され、福島県だけでなく、宮城県、関東1都6県、静岡県などの広い範囲で、土壌、水道水、農産物、畜産物、上下水道汚泥など様々な環境汚染を引き起こしている。大気中に放出された放射性物質は、風によって風下に運ばれながら(移流)、風の乱れによって水平・鉛直方向に広がる(拡散)。大気中を輸送される過程において、放射性物質は放射性崩壊して徐々に減衰するとともに、大気中でガスと粒子の両方の状態で存在するヨウ素131のような物質の場合には、ガスになったり粒子になったりする。大気中の放射性物質は、最終的に、風の乱れ等による乾性沈着、もしくは、降水に取り込まれることによる湿性沈着によって大気中から除去され、地表面に負荷される。このようにして大気から地上に落ちた放射性物質のうち、半減期が長い放射性セシウム(セシウム134とセシウム137)が私達の生活と周りの環境に大きな影響を及ぼしている。本講演では、福島原発から放出された放射性物質の大気中の挙動に関するシミュレーション結果について報告する。

2. 放射性物質の広域シミュレーション

風が一定方向に吹いている場合には、放射性物質はブルーム(羽毛)状に大気中を輸送される。これが、いわゆる放射性ブルームである。しかし、風が時空間的に一定・一様に吹くことは少なく、

地形や地表面状態、海陸風や山谷風などの局地風、高低気圧などの影響を受けて複雑に変化する。福島原発周辺でも、低気圧の通過、西側にある山岳や局地風の影響を受けて、放射性物質は大気中を複雑に移流・拡散したと考えられる。放射性物質は、大気中を運ばれる過程において、乾性・湿性沈着によって大気中から除去されるが、一般的に、大気中の粒子は乾性沈着しにくく、湿性沈着しやすい性質がある。このため、大気中で粒子として存在している放射性セシウムは、乾性沈着よりも湿性沈着によって大気中から除去されやすく、その大気濃度が高い所で雨・雪が降り始めた場合に、沈着量が多い地域(いわゆる「ホットスポット」)が出現する。一方、ヨウ素131は乾性沈着しやすいため、放射性セシウムに比べると降水による影響は少ない。

このような放射性物質の複雑な挙動を把握するためには、大気シミュレーションが有効である。以下、化学輸送モデルを用いて放射性物質の広域的な挙動を解析した結果¹⁾について紹介する。

使用したモデルは、米国・環境保護局で開発された大気質モデル CMAQ(Community Multi-scale Air Quality model)である。グリッドは3 km、計算対象領域は関東・南東北地方を含む東西700 km × 南北700 km、計算対象物質はヨウ素131とセシウム137であり、ヨウ素131はガス80%と粒子20%、セシウム137は全て粒子として大気中に存在すると仮定した。CMAQで使用する気象データは、気象庁の数値気象データをもとに地域気象モデルを使用して計算した。また、放出量データには、日本原子力研究開発機構による推計結

果^{2,3)}を使用した。モデルの結果を検証するために、文部科学省が実施した定時降水物モニタリングデータや航空機モニタリングデータなどと比較し、観測された降水量(沈着量)の時空間変化やレベルを、モデルがほぼ再現していることを確認した。しかし、放出条件、気象(風と降水など)、沈着モデルなどの不確実性が大きいことに注意する必要がある。

モデルによって計算されたセシウム137の3月11日～3月29日における地上付近の大気濃度(期間平均値)と積算沈着量の地域分布を図1に示す。放射性物質の影響は福島県以外に、宮城県や山形

県、関東1都6県、静岡県、山梨県、長野県、新潟県など広域に及んでいることがわかる。前述したように、セシウム137は湿性沈着の影響が大きいため、その沈着量は大気濃度と降水量の両方に依存し、大気濃度が高い降水域で沈着量が增大する。このことを反映して、原発周辺だけでなく、風によって放射性物質が輸送され、且つ、降水があった福島県東部、宮城県南部、関東北部・西部などの地域で沈着量が多いホットスポットが計算されている。このような地域分布の特徴は、文部科学省が実施した航空機モニタリングの測定結果⁴⁾と良く一致している(図2)。

それでは、放射性物質は、いつ東日本に沈着したのか? 図3はセシウム137の都県別の沈着量と大気濃度の時間変化を示す。モデル結果によると、沈着したのは3月15日～16日と3月21日以降の数日の2期間で集中している。即ち、福島原発周辺において、高濃度の放射性ブルームが通過し、更に、その通過と降水帯のタイミングが合った2期間に、大量の放射性物質が沈着したと考えられる。また、大気中に放出されたセシウム137のうち、28%がモデル領域内の陸上に沈着したこ

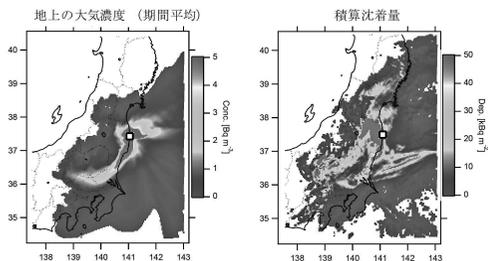


図1 3月11-29日におけるセシウム137の大気濃度(地上近くの平均濃度)と積算沈着量の地域分布

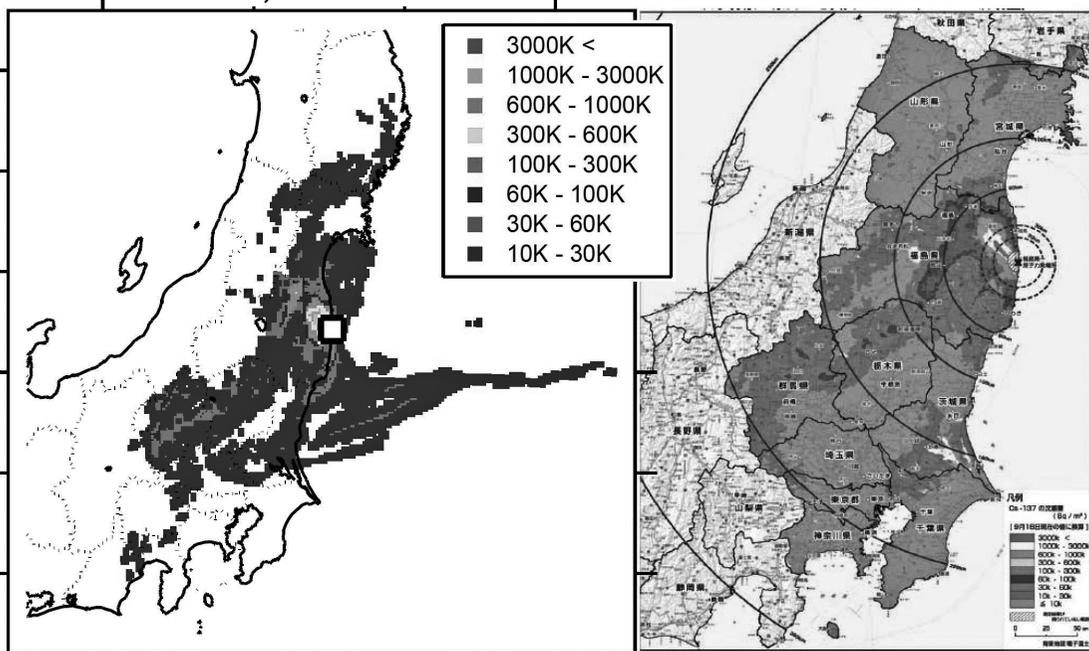


図2 セシウム137積算沈着量のモデル計算結果(左)と文部科学省の航空機モニタリング結果(右)
(単位はBq/m²で、カラースケールは両図で同じ)

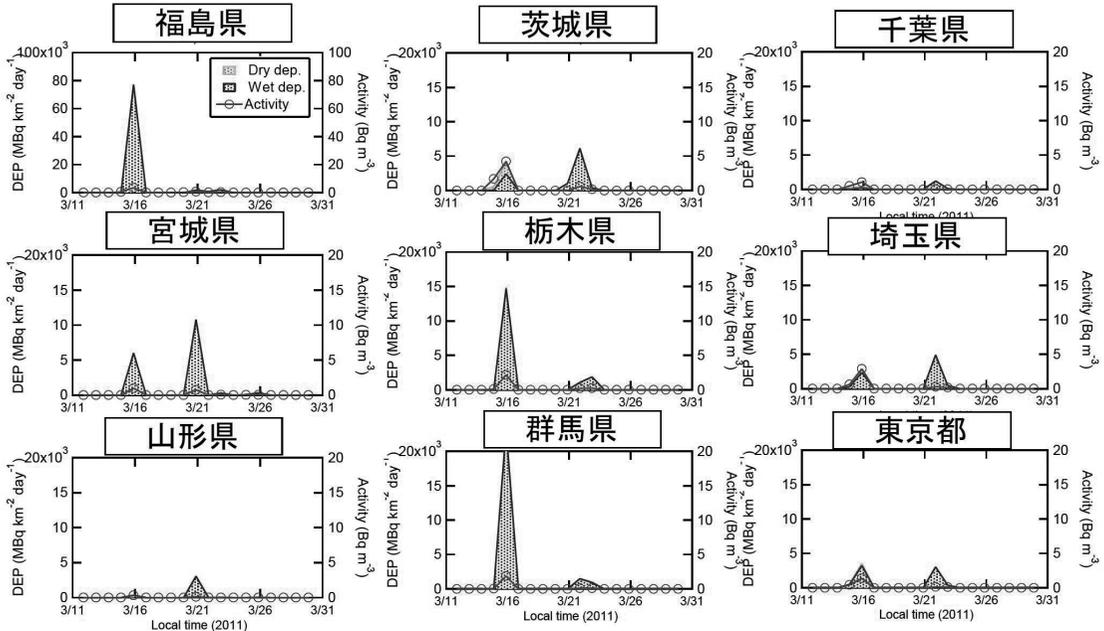


図3 セシウム137の都県別の沈着量と大気濃度の時間変化

(緑色：乾性沈着量，青色：湿性沈着量，赤色：地上の大気濃度)

と、それ以外は海上に沈着したかモデル領域外(ほとんどが太平洋上)に流出したこと、湿性沈着が支配的で乾性沈着は少なかったことなどが明らかとなった。

3. おわりに

現在、文部科学省や学術研究機関などによって放射性物質の測定が進められ、放射能汚染の実態が把握されつつある。また、シミュレーションによって、放射性物質の大気中での挙動や地表面に沈着したメカニズムが明らかになってきた。しかし、様々なデータを統合して、広域的な汚染マップを作成すること、土壌・水・生物・生態系といった様々な環境媒体での放射性物質の蓄積量・移行経路・移行量(即ち、ストック・ルート・フロー)を把握・予測すること、その前提となる放出量の不確かさを小さくすること、といった汚染の全容を把握するための取組みがまだまだ不足している。放射能汚染が非常に深刻な環境問題・社会問題になっていることを踏まえ、測定とモデルによる調査・研究を更に強力に推進し、また、原

子力分野、環境分野、影響分野などの研究者間の連携を強め、更には、関係する研究機関や行政機関、事業者、一般市民の協働によって、放射能汚染の全容解明と汚染低減に向けた取組みを加速する必要がある。

—参考文献—

- 1) Morino, Y., T. Ohara, and M. Nishizawa. Atmospheric behavior, deposition, and budget of radioactive materials from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in March 2011, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G11, doi: 10.1029/2011 GL048689, 2011.
- 2) ㈩日本原子力研究開発機構. 福島第1原子力発電所事故に伴う¹³¹Iと¹³⁷Csの大気放出量に関する試算(Ⅱ)——3月12日から15日までの放出率の再推定——第63回原子力安全委員会資料第5号. 平成23年8月22日. <http://www.nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2011/genan063/siryos5.pdf>
- 3) ㈩日本原子力研究開発機構. 私信.
- 4) 文部科学省. 文部科学省による東京都及び神奈川県航空機モニタリングの測定結果について. 平成23年10月6日. http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/10/1910_100601.pdf
(第38回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集より)