

山地の雲や霧がもたらした放射能汚染を解明 —航空機モニタリングと数値シミュレーションによる解析—

眞田 幸尚^{*1} 堅田 元喜^{*2} 兼保 直樹^{*3}
Sanada Yukihisa Katata Genki Kaneyasu Naoki

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故）により大量の放射性Csが東日本の陸面に沈着した。大気エアロゾルに含まれた放射性Csの沈着量分布の形成過程を解明することは、原子力事故時の放射性物質による公衆への被ばく評価に役立つと共に、大気中でのエアロゾルの拡散・沈着過程に関する基礎的な知見を深めることに繋がる。しかしながら、日本の大部分を占める山岳地帯での空間線量率の地上観測データは少なく、地形と沈着量分布の関係については断片的な知見しか得られていない。

事故直後から放射性Csによる地表面の汚染（沈

着）のメカニズムは、様々な研究機関により大気拡散シミュレーションを用いた解析が進められている。これらの結果は、有人ヘリコプターを用いた航空機モニタリング¹⁾による観測結果を概ね再現しているが、福島県南部から栃木県の北西に位置する山間部の汚染はシミュレーションの誤差が大きく、主要な沈着過程は特定されていない²⁾。シミュレーションの高精度化の観点からも、地形と沈着量分布の関係を明らかにすることが求められている。

筆者らは、事故直後から継続的に行われてきた有人ヘリを用いた東日本におけるモニタリングのデータに着目し、地上からの観測が難しい山岳地域の高線量地帯を対象に、日本原子力研究開発機構の大気拡散モデルWSPEEDI-IIによる計算結果¹⁾と比較す

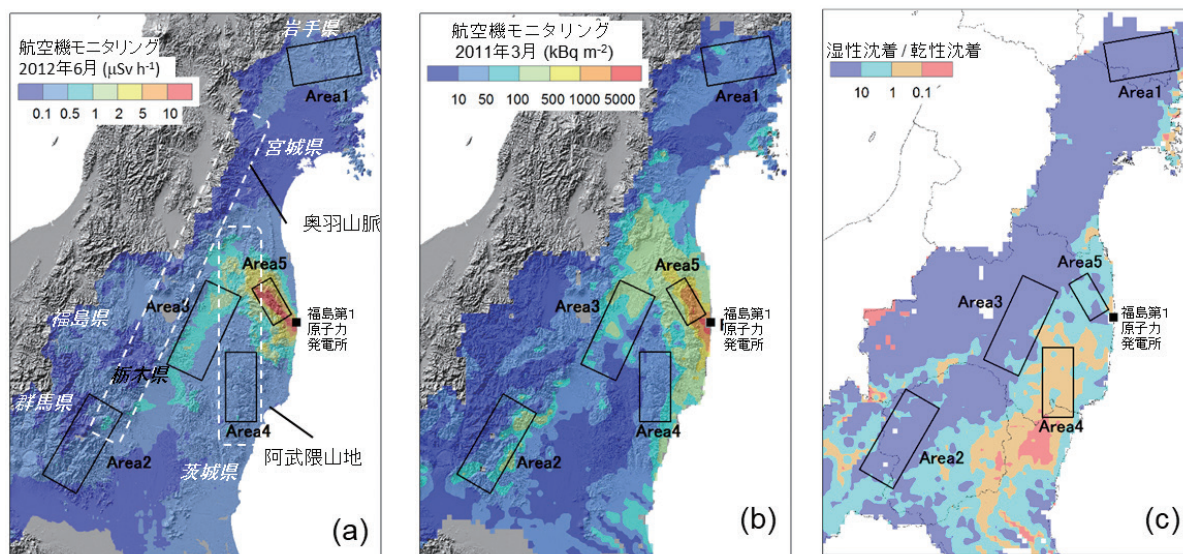


図1 選定した研究対象エリアの位置

背景地図 (a) 航空機モニタリングによる空間線量率分布観測結果 (2012年6月), (b) WSPEEDI-IIによる放射性Csの沈着量 (Cs-137) 再現計算結果, (c) WSPEEDI-IIによる湿性沈着及び乾性沈着による放射性Csの沈着量 (Cs-137) の比。

参考文献 3) の掲載図を和訳後、一部改編

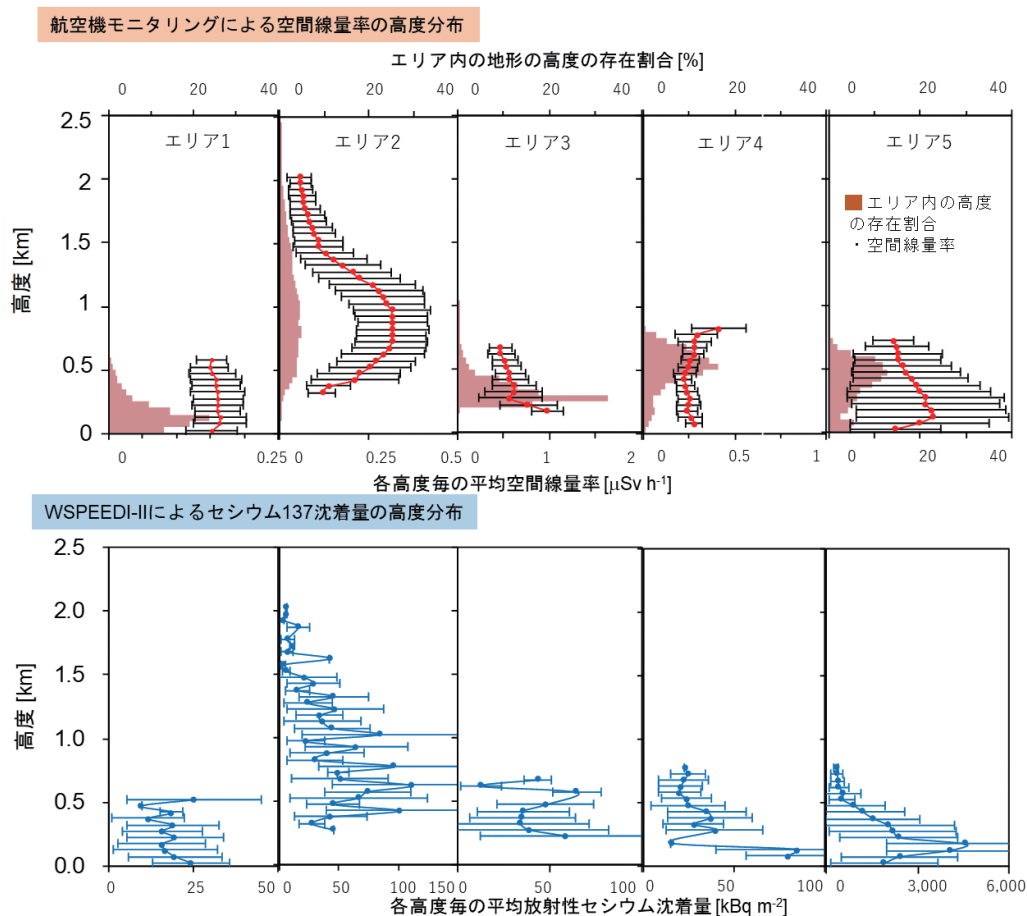


図2 実測結果（航空機モニタリング）と再現計算結果（W-SPEEDI-II）の鉛直分布の比較結果

上図：航空機モニタリング結果によるエリア内の空間線量率の高度分布（棒グラフはエリア内における地形の海拔高度の存在割合）

下図：W-SPEEDI-IIによる放射性Cs沈着量の高度分布

参考文献3)の掲載図を和訳後、一部改編

ることによって、地形と沈着過程の関係を考察した³⁾。本稿では、その研究によって明らかにされた山地にもたらされた放射能汚染の沈着過程を解説する。

2. 使用したデータと研究対象地域

本研究では、図1に示した2012年6月に測定された航空機モニタリングによる解像度250mの空間線量率の観測結果及びW-SPEEDI-IIを用いた大気拡散シミュレーションによる解像度3kmの乾性・湿性・霧水沈着量の計算結果を用いた。降雨の有無の判別には、レーダーアメダスによる降水強度分布の観測結果を用いた。山間部（斜面）における航空機モニタリング結果の精度は、空間線量率の地上観測データ⁴⁾と比較することで検証した。

研究対象地域として、空間線量率が比較的高い5つの地域（岩手県南部・栃木県西部・福島県中通り・茨城県北部・福島第一原発の北西部；それぞれ800～1,500km²）を選定した。それぞれの地域で、有人ヘリによる空間線量率及びW-SPEEDI-IIの放射性Csの地表沈着量の計算結果を高度厚さ50mの層ごとに平均化し、比較を行った。

3. 沈着過程の推定結果

図2に、航空機モニタリングにより得られた5エリアの空間線量率の標高分布の結果を示す。エリア1とエリア2の汚染は、湿性沈着により形成されたことが大気拡散シミュレーションで示されている²⁾。エリア1の空間線量率は鉛直方向にほぼ一様であ

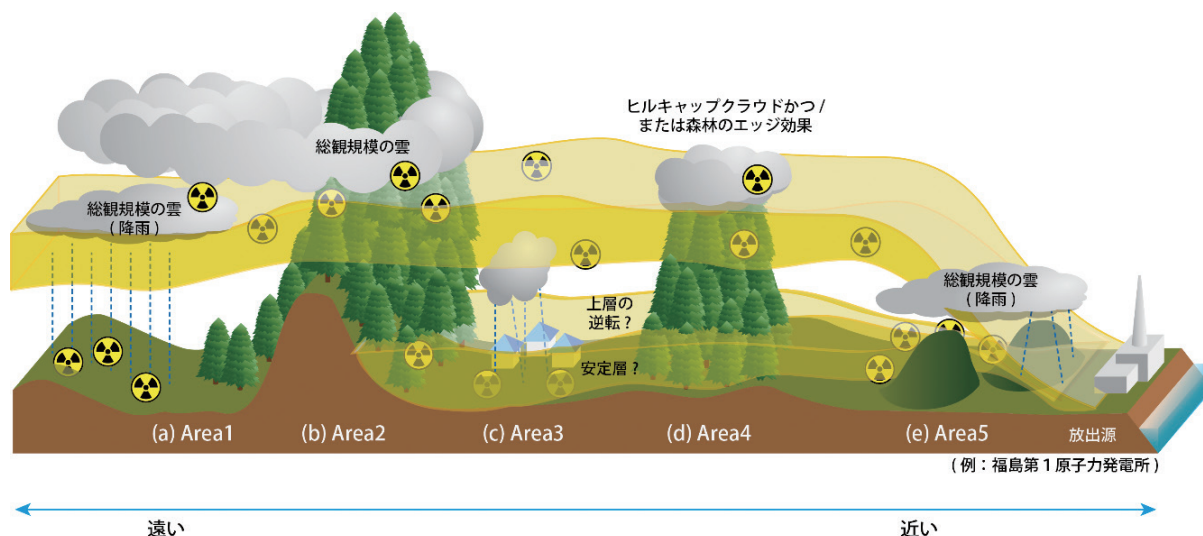


図3 本研究で示された主要な放射性Csの沈着過程の模式図

参考文献3)の掲載図を和訳後、一部改編

り、沈着が起こった2011年3月20日のレーダーアメダスによる降雨強度も平面分布として一様であったことから、福島第一原発から放出された放射性Csが比較的均一な濃度で拡散し湿性沈着したと考えられる。一方、エリア2では、標高800m付近に空間線量率の極大値が観測された。この沈着が起こった2011年3月15日には降水が観測されておらず降雨沈着の可能性は低いと考えられる。地上での測定値から同地域の沈着過程を検証した過去の研究例では、霧水沈着の可能性が示されており⁴⁾、本研究結果もそれを支持するデータが得られた。

エリア3は、山間部に囲まれた盆地状の地形である。本地域でも計算結果では、湿性沈着の影響が大きいとされているものの、レーダーアメダスでは降水は明確には観測されていない。航空機モニタリングによる観測結果は地表から2層（地表高100m）までの高度内で空間線量率が突出して高くなっている。この地域における沈着過程を考察する気象データは無いため、明確な言及は難しいが、プルームが谷底を通過した際に観測に掛からない程度の微量な降水により沈着したか、プルーム通過時に霧水が発生していたと考えられる。

エリア4は、再現計算結果で乾性沈着の影響が大きいとされている地域である。航空機モニタリング結果を見ると最大高度の場所の空間線量率が高くなっている。この高度は、この地域の最大高度となる栄蔵室山（最大標高882m）と一致し、乾性沈着

過程のみでこの現象を説明することはできない。この要因についても、考察する気象データが乏しいため推測になるが、山頂部のヒルキャップクラウドか森林・山稜のエッジ効果によるものと推定される。

エリア5は福島第一原発近くに位置し、何度もプルームが通過した地域である。本地域については航空機モニタリング結果及び再現計算結果共に標高150～250m付近に空間線量率のピークが見られた。エリアの西側には阿武隈山地が位置し、山地の谷間には多数の河川が太平洋側に流れている。これらの河川敷の空間線量率は周辺と比較すると顕著に高いことが地上観測や無人機を用いたモニタリング結果で確認されており⁵⁾、プルームが谷間を通過するタイミングで降水があり湿性沈着が起こった可能性が示唆される。

図3に、本研究で解析した5つの地域で示唆された主要な沈着過程を地形の特徴と共にまとめた。最も重要なポイントは、多くの数値シミュレーション研究結果において地表沈着量・沈着域を事実上決定している湿性（降水）沈着だけでなく、雲や霧粒が陸上植生等に直接沈着する過程が重要であると示唆される結果が得られたことにある。大部分の大気拡散モデルではこの沈着過程を考慮していない。ただし、利用できる事故時の山間部における気象データが限られていることが、この現象を定量的に評価することを難しくしている。今後、山間部を含む複雑地形における大気経由の物質沈着について観測的研

究及び数値モデル研究を進めることにより、今回の放射性物質による地表汚染の実態を把握するのみならず、大気環境科学分野で研究されている大気汚染物質による生態系への影響の知見も蓄積することができると考えられる。

4. まとめ

筆者らは、航空機モニタリングと数値シミュレーションを組み合わせた解析手法により、山間部における沈着過程に関する新たな情報を得ることに成功した。本報告のように、事故後に取得されたデータの見方を変えることによって、これまで見えなかった様々な知見が得られる可能性がある。今後も、様々な観点からデータを検討することにより、福島第一原発事故による汚染のメカニズムの理解を進めていく。

参考文献

- 1) Sanada, Y., *et al.*, *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, **4**, 76-80 (2014)
- 2) Katata, G., *et al.*, *Atmos. Chem. Phys.*, **15**, 1029-1070, (2015)
- 3) Sanada, Y., *et al.*, *Sci. Total. Environ.*, **618**, 881-890 (2017)
- 4) Hososhima, M., Kaneyasu, N., *Environ. Sci. Technol.*, **49**, 3341-3348 (2015)
- 5) Sanada, Y., *et al.*, *Explor. Geophys.*, **45**, 3-7 (2014)

(*1 (国研)日本原子力研究開発機構
福島県境安全センター,

*2 茨城大学 地球変動適応科学研究機関,

*3 (国研)産業技術総合研究所
大気環境動態評価研究グループ)