

論文の内容の要旨

放射性物質移流拡散モデルによる湿性沈着量分布の再現に関する研究

Simulation of wet deposition distribution using
an advection-diffusion model for radioactive materials

佐谷茜

大気中の物質による環境影響水循環における役割を明らかにするうえで、大気中の挙動から地表への降下を再現する物質輸送過程モデルにおける降水が与える影響は無視できないものである。こうした過程を明らかにするうえで一つの重要なケースとなるのが 2011 年に発生した福島第一原発事故による放射性物質の大気中への放出である。放出された放射性物質の一部は陸域に拡散し、直接あるいは降水に取り込まれ地表面や河川に沈着していった。環境中に存在する沈着量そのものにも、土壌や河川への流出や再飛散といったリスクがあるが、放射性物質の大気中における動態を把握することが、沈着後の影響評価を行う上で重要である。

そこで本研究では、同位体領域モデル IsoRSM に ^{131}I と ^{137}Cs をトレーサーとして導入し、大気中における挙動と沈着量分布を再現した。特に、放出された放射性物質のうち ^{137}Cs は降水に吸着しやすく湿性沈着過程として降下しやすい核種であり、事故発生直後に東北地方太平洋側や関東地方では降水が観測されていることから ^{137}Cs の湿性沈着過程を詳細に再現することは事故の実態解明にとり重要であるとともに、大気中の物質輸送のうち降水が影響する過程を再現するためのモデル開発という技術開発の観点からも重要である。

しかし、領域大気物質輸送モデルにおいてはいくつかの不確実性があり、特に降水の再現計算における不確実性は無視できないものである。既往研究においては現実に近い値の観測降水データを利用することで高精度化をはかられてきたが、多くは気象場の計算と物質の輸送過程を 2 種のモデルで分けるオフラインシステムを利用しており、降水の不確実性の分析は十分ではなく精度の改善には至っていない。そこで、本研究では気象場と輸送過程を同一のモデルで計算し、かつ出力された湿性沈着量に対して観測降水量による補正をかけることで沈着量を再分布させる、いわば簡易的なデータ同化手法を取り、解像度の高い観測降水量が湿性沈着量分布の再現計算へいかに寄与し精度に影響するかを実験した。

1 章では福島第一原発事故において放射性物質が大気中に放出されるに至った経緯および放出後どのように大気中を輸送され沈着したか本研究の背景となった事象について述べる。さらに、こうした放射性物質による分布状況を把握するための手法として広く使われている物質大気輸送モデルによるシミュレーションを使った既往研究について紹介する。既往研究によって既に事故後の放射性物質の沈着量分布の概況が明らかにされているほか、特に原発から 3 月下旬に首都圏へと放射性プルームが接近したメカニズムについても研

究が進められている。しかし、こうしたシミュレーションに伴う不確実性が高精度化を妨げる要因となっており、主要要因とされる放出量推定値・モデル内の沈着過程・モデルの気象条件についてそれぞれがいかにして不確実性を生みどのように結果に影響しているのかを述べる。特に、気象条件のうち、降水量については本研究で主に扱う湿性沈着過程の再現に大きく関わるため、既往研究において湿性沈着過程の再現精度を向上させるためにどのような気象モデル・気象データが利用されてきたかを詳細に扱う。こうした既往研究の結果から、本研究の目的として気象モデルと物質輸送過程モデルが一体となったモデルを利用し、高解像度の降水量データで湿性沈着量分布を再分布させる手法をとることで降水量の再現精度を向上させることで湿性沈着量分布の再現にどのような影響を与えるかを分析するとし、そしてモデルの再現精度を向上させていくこととした。

2 章では本研究で扱うモデルの詳細と利用した放射性物質の観測データや観測降水量のデータおよびモデルの計算設定を述べる。本研究では IsoRSM とよばれる大気中の水安定同位体の挙動を扱っていたモデルに ^{137}Cs と ^{131}I をトレーサーとして組み込んでいる。このモデルを利用し、事故直後から 3 月末までを計算対象期間に主に関東地方におけるトレーサーとして組み込んだ放射性物質の沈着量分布を再現する。放射性物質の観測データとしては文部科学省から公開されている関東地方 7 地点における定時降下物測定値を使用する。降水量データとして気象庁により公開されている解析降水を使用し、計算した湿性沈着量分布の空間分布を再分布させる際に解析降水の分布に合わせることにした。この再分布手法の詳細についても本章で述べる。本手法では大気中から計算領域内において除去された湿性沈着量の割合は変えず解析降水の分布に応じ空間分布を再分布させている。このため、本手法ではモデルで出力された ^{137}Cs の湿性沈着量、鉛直方向の大気中濃度、そして解析降水量データの値を用いる。

3 章では、4 章以降の前段階として行った沈着過程パラメータの感度実験について述べる。本章の結果は 4 章の実験とは異なる設定を用いているため詳細を改めて述べる。実験の結果、湿性沈着過程のパラメータの感度は乾性沈着過程のパラメータよりも高く、パラメータの値により大気中から放射性物質がより多く降水に取り込まれ沈着濃度が上昇することが再現された。

4 章では主に 2 種の気象条件に関する実験を行った結果を述べる。まず、時空間解像度の異なる大気境界条件を 2 種用意し、それぞれを利用し沈着量分布を再現した。また、それぞれについてさらに、再分布手法を行った場合、行わなかった場合の 2 種のケースを用意し結果を比較した。結果、モデルでの大気境界条件の時空間解像度が細かい場合に観測降水量を用いて ^{137}Cs の湿性沈着量を再分布すると湿性沈着量の分布精度が向上した。また、再分布手法を行わない場合でも、大気境界条件の解像度が粗いものよりも精度は向上した。これは、解像度の高い大気境界条件を利用することで、モデル内で放射性プルームの輸送過程自体をより高精度に再現することが可能となり、実際に放射性プルームが各測定地点に到達した時刻に近いタイミングでシミュレーション上も再現できたと考えられるか

らである。だが、再分布させる手法を適用させても解像度が粗い大気境界条件を用いている場合は湿性沈着量の再現精度は悪化した。このことから、観測降水量を用いて湿性沈着量分布の再現精度を改良する方法はモデルで計算する気象場の再現精度が高いことが前提となるとわかった。だが、こうした新しい手法を用いても、一部の検証地点において日毎の積算沈着量の値自体が観測値より大幅に少ないなどの限界も見られた。さらに、比較検証した対象期間について、高解像度の大気境界条件を用いた場合でも再現精度が著しく低かった日について、文部科学省が公開している測定データの日界が切り替わるタイミングと放射線量が急上昇した時刻がおおむね一致することに着目し、モデル内でわずか数時間程度放射性プルームが到達するタイミングがずれただけでも再現精度が大きく過小評価されてしまう可能性についても指摘した。

5章では得られた結果から、湿性沈着過程の再現を行うにあたりモデル内の気象条件、特に降水量がどのように影響を与えたか、そしてどのような条件下なら向上しうるかを考察したうえで、湿性沈着過程の再現精度の向上のための今後の展望を述べる。