

Levy Flight モデルを用いたチェルノブイリにおける Cs-137 大気汚染の拡大予測 Prediction of Diffusion of Cs-137 Atmospheric Contamination near Chernobyl Using Levy Flights

波田 幸宏 [1]; 羽田野 祐子 [2]
Yukihiro Hada[1]; Yuko Hatano[2]

[1] 筑波大・シス情・リスク工学; [2] 筑波大・シス情
[1] Risk Engineering, Tsukuba Univ.; [2] Inst. Eng. Mech & Sys., Tsukuba Univ.

1986年4月26日未明、旧ソ連・ウクライナ共和国にあるチェルノブイリ原子力発電所4号炉にて大きな爆発事故が起こった。この原発事故は、原子炉の炉心が大気に開放状態となり、しかも事故終息まで数日要したため、原子炉内の放射性物質が多量に、そして非常に広範囲に環境へ放出された史上最悪の事故であった。この事故により原発周辺だけでなく、200km以上も離れたところでも高濃度汚染地域が広がった。

さらに、問題となっているのが爆発で放出された Cs-137 である。これは半減期が約30年と長い上に、遠くまで飛んで行き食物にも取り込まれやすいという厄介な特徴がある。Cs-137だけを比べた場合、事故で解放された量は、広島に投下された原子爆弾の数倍といわれている。そのため、再浮遊により未だに汚染は広がり、また原発付近の放射能レベルは測定器が振り切れるほどの高さを示している。

現在、大気汚染や地表汚染に関して拡大予測のモデル式は多く存在する。しかし、どのモデル式も長時間後の汚染の拡大を正確に予測しきれているわけではない。事故等が発生してから早急に、より正確な長期広域拡大予測のできるモデルが必要とされている。この研究の目的は、フラクタルの性質をもつ Levy Flight モデルを用いて、確率論的なアプローチから放射性物質の拡散メカニズムを解明することである。

Levy Flight とは Random Walk の一種であり、ステップ毎のジャンプ距離が長い裾をもつ分布で与えられる。この Levy Flight で用いられる確率分布は $P(r) \propto r^{-D}$ の指数法則で与えられるため分散は無限である。ここで $P(r)$ は確率分布、 r はジャンプ距離、 D はフラクタル次元を表し領域は1以上3以下である。である。中心極限定理によると、分布が有限分散ならば、長時間後 Random Walk の原点からの距離の分布は正規分布となる。一方、分布が無限分散ならば、長時間後 Random Walk の原点からの距離の分布は Levy 分布になる。

私たちはまずはじめに、10000個の粒子に対し、各々に1000ステップの Levy Flight シミュレーションを行い得られた結果を解析した。解析した結果、粒子の1000ステップ後の原点からの移動距離とその地点における粒子の個数には累乗の関係がみられた。また、各ステップにおける全粒子の平均移動距離を調べたところ、ステップ数が増えるにつれ粒子の平均移動距離は累乗に増加していることも分かった。

続いて実際のデータとの比較検証に移る。扱った実測データは、日本原子力研究所より出版された JAERI-Data/Code2002-024 に記載してある原子力発電所4号炉から30km圏内の Cs-137 の大気濃度と堆積量を利用した。Levy Flight シミュレーションと実測データを比較する際に、空間依存性と時間依存性の双方から検証を行った。大気濃度の空間依存性については Levy Flight で良くフィッティングすることができた。しかし、堆積量はそれほど正確にフィッティングできなかった。次に時間依存性についても検証を行った。拡散の時間依存性を調べるために、放射性物質 Cs-137 の事故からの経過時間に対する平均移動距離を算出した。結果、大気濃度も堆積量も平均移動距離は時間に伴い累乗減衰を示した。これは累乗増加を示す Levy Flight シミュレーションとは全く反対の結果であった。原因として、実際の放射性物質はシミュレーション上の粒子とは異なり自然消滅や、植生などによる取り込み、また土壌への浸透などにより全体数そのものが時間にともない減少するということが考えられた。そこで、もともとの Levy Flight のモデル式に私たちの先行研究による減衰モデルを掛け合わせるにより、放射性物質拡散の時空間変動を再現する新しいモデルを提案した。同様に、実測データを新しいモデル式でフィッティングを試みたところ空間、時間ともに精度良く再現することができた。しかしながら、やはり堆積量の空間依存性についてはフィッティングの精度があまり良くなかった。

以上のことから、放射性物質の大気中の拡散は Levy Flight により十分に再現可能であることが分かった。

