

## チェルノブイリ原子力発電所事故による放射性核種濃度の大気長期広域運命予測 Mathematical analysis of the concentration of radioactive aerosol from the Chernobyl accident

太田 健介<sup>1\*</sup>  
Kensuke Ota<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科

<sup>1</sup> University of Tsukuba, graduate school

近代における重要な大気汚染の事例の1つとして、チェルノブイリ原子力発電所事故における放射性核種による周辺環境の汚染問題がある。

事例を紹介すると、1986年4月26日に旧ソ連、ウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所4号炉にて大きな爆発があった。この原発事故は、原子炉の炉心が大気に開放状態となり、さらに事故終息までに数日を要したため、放射性核種が多量に、そして非常に広範囲に飛散したという歴史上最悪な原発事故となってしまった。

過去に大気拡散現象に関する研究は多くなされてきた。しかし、それらの研究は避難や一時的な安全性を目的としたもので、適用範囲はせいぜい数年程度のものである。しかし、現在も問題となっている半減期の長い汚染物質、半減期30.7年のCs、半減期28.78年のSrなどがある状況では長期的にかつ広域な空間分布を予測できる大気拡散予測モデルを改めて考える必要がある。

また、今回の放射性核種は特異性が大きいので、大気中でのトレーサーとして考える事ができ、大気拡散の基礎的知見を得ることができる。そしてその結果を他の物質にも応用し、二酸化炭素などの長期広域拡散予測を得る事も可能であると考えられる。

先行研究として用いられているものとして以下のものがある。

$$C(t) = A \exp(-\text{phyt}) t^{\gamma} (-)$$

この予測モデルは定点における濃度の時間変化を記述したものであり、この予測モデルのパラメータは2つありAと $\gamma$ がある。Aはその地点に降り積もった放射性核種の量、 $\gamma$ はその地点での環境の浄化作用である。また、phyはそれぞれの放射性元素の崩壊定数であり、Cs、Srなどで違う値をとる。

先行研究ではCsのフィッティングが精度よく追従できていてSrと他元素でも精度よくフィッティングできている事が示された。よって他の様々な放射性物質をフィッティングする事で、この地域の安全性を確認する事が出来ると我々は考える。

だが、この予測式にも問題点がある。このモデル式には時間による濃度変化というのはいま表現できているが、空間的な濃度分布に関してうまく記述できていない。実現象では拡散という見地から絶対的に空間の濃度分布というものを解析しなければならない。よって私は空間分布を予測するために数理解析を行う。

空間分布の解析にあたり移流方程式からスタートするのであるが、ここでこの移流方程式の解析解を出すために様々な仮定をおいた。まず1つ目にObukhovが提唱した乱流の自己相関関数というものをを用いて再浮遊元素の確率密度関数の関係性を用いた。それによって時間変化において変化する拡散係数が打ち出された。

そして2つ目に環境の浄化作用というものに着目したのであるが河川、植物、海などによる浄化作用の中でチェルノブイリ近郊では植物の浄化作用が一番支配的であり時間に反比例して取り込み率が減っていていることに着目した。それによって時間関数は冪乗の項が打ち出された。最後にKappor, Gelharなどによって処されている数学的処理をおくことにより空間分布を定数とした場合上記の先行研究で用いられている解析解になることがわかった。

しかし、空間分布においては導出されたのは、ガウス型の解析解であった。このガウス型の解析解が表すものとしては通常拡散の挙動のみであり、IAEA発行のチェルノブイリの放射性元素とフィッティングを行うとうまく濃度分布が記述できないことがわかった。

このことにより現在研究している内容として2つのアプローチがある。まず1つ目として確率密度関数関数から空間分布を予測する方法でありモンテカルロ法の1つであるLevy Flightモデルを考えた。このLevy Flightモデルはランダムウォークモデルのジャンプ距離が一定ではなく距離の頻度が冪乗型になっているものである。この方法での妥当性は決定係数が常に高い値を示し有効な予測法と考えられる。しかしこの方法では実現象を予測する際には適していないことが伺えたが、今回このLevy Flightモデルと支配方程式の関係を導出した。それは非整数階微分という1階微分や2階微分の知識を応用し非整数階にも微分作用素が適用できるとした数学的なアプローチでそれを用いると支配方程式に記述できることがわかった。

また2つ目のアプローチとして支配方程式で解析に用いた自己相関関数をSreenivasanが提唱する空間の自己相関関

数を定義するアプローチなどを解析した。それによると、拡散係数が時間と空間の関数となっており今回の現象に予測できる可能性が大いにあることを打ち出された。

よって今回の解析によりチェルノブイリ事故のように点源瞬間放出の場合の解析解を得ることが出来、それを連続放出や線源面現放出を考えるにあたりグリーン関数としてこの解析解を用いることにより異常拡散を表現できる大気輸送モデルを完成できる可能性があることが打ち出された。

キーワード: 放射性エアロゾル, 大気輸送モデル, 異常拡散, 数理解析, 非整数階微分

Keywords: Radioactive aerosol, Atmospheric transport model, Anomalous diffusion, Mathematical analyze, Fractional derivative