

放出量推定システムの開発 ―風洞実験データによるコード検証と不確定性評価―

原 智宏、河内昭紀（三菱重工業 長崎研究所）
大浦理路、大場良二、加藤信介（東京大学 生産技術研究所）

1. はじめに

本研究では、原子力発電所事故時の緊急時放射能影響予測のための、早期の放出量推定手法の実現を目指し、放出量推定システムを開発中である。ここでは、同手法を構築し、風洞実験データにより計算コードの妥当性を検証した結果を示す。

2. 放出量推定手法の構築

本研究で開発する放出量推定手法は、単位放出量を仮定して物理モデル（SPEEDI ほか）で計算した結果を観測結果（空間濃度、地表汚染量、空間線量率）と比較して、両者の差が最小となるように放出量を補正する方法である。

即ち、残差法に基づく次の計算式から導かれる連立方程式を解くことにより、各時刻の放出量 q_i が計算される。

$$\pi = \sum_k^N \left\{ \sum_i^M \phi_{ki} q_i - f_k \right\}^2 ; \quad \frac{\partial \pi}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

ここで、 ϕ_{ki} ：観測時刻および地点（k）に対する放出時刻（i）の伝達係数、 f_k ：観測値（k）
 q_i ：放出時刻（i）の放出量、 N ：観測時刻および地点数、 M ：放出時間分割数

3. 計算コードの妥当性検証（Verification）

東海第二原子力発電所の風洞実験データ（図1）により、計算コードの妥当性を検証した。実験で計測した複数地点の濃度値を観測値とみなし、一方、濃度値をベースにした正規拡散式^[1]の計算結果を伝達係数に設定した。観測地点は、風下方向20断面の各断面で横風方向地上に23点あり、合計460点のデータを全て使用した。その結果、放出量 $q=0.97$ （1.0が正解）と推定され、本コードによる計算が妥当であることを確認できた。このときの計算濃度と観測濃度の横風方向の分布を比較したところ、おおそ一致していることを確認した（図2）。このとき、濃度分布の再現計算精度（FAC2）は81%であり、EU 共同研究（COST732^[2]）の目標値（54%）を上回った値であった。FAC2は、観測値と計算値の比が0.5～2.0に入る観測地点数の割合である。

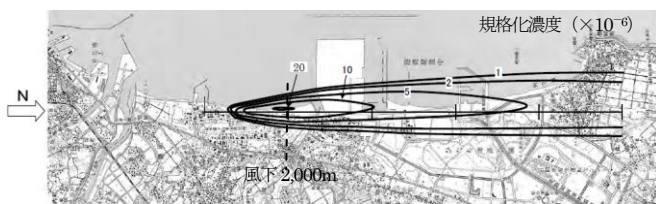


図1 拡散風洞実験での地上濃度コンター

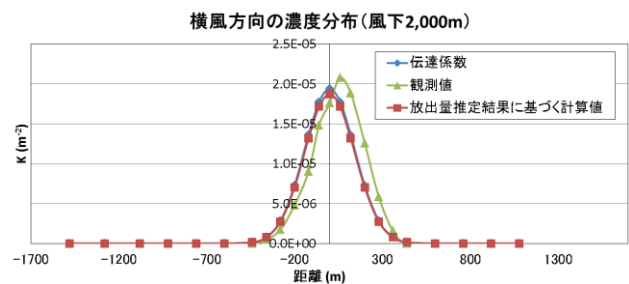


図2 濃度分布の比較（風下2,000mでの横風方向）

※縦軸Kは規格化された濃度

4. 不確定性(Uncertainty)評価 ―風向変化の影響―

気象観測される風向は16方位に分類されてデータ保存されるので、そのデータは実際の風向と最大±11.25度の差が生じる可能性がある。また、発電所の気象観測塔での風向と実際にガスが流れる風向は、地形の影響および時間変化などによってある程度の差がある。そこで、次の手順で、風向変化の影響による放出量推定の不確定性を評価した。

手順①：観測値を±11.25度だけ、横風方向に移動させた濃度分布と風向変化のない伝達係数から計算される濃度分布を比較して、放出量を推定する。

手順②：放出量推定結果を用いて計算した濃度分布と風向変化を与えた観測濃度分布の差（FAC2）を不確定性尺度と

する。

計算の結果、放出量 $q=0.03$ (1.0 が正解) と推定され、FAC2 は 3% であった。このケースは、風洞実験での計測時間が野外観測での 3 分間相当であり、濃度の拡がり幅が小さい為、風向変化による影響が大きい (図 3 (a))。そこで、観測時間を 1 時間相当と仮定して観測値および伝達係数を正規拡散式により作成し、放出量を再計算すると、放出量は $q=0.94$ (1.0 が正解)、FAC2 は 72% と改善された。このケースでは、濃度の拡がり幅が大きくなるのに伴って風向変化による影響が小さくなっている (図 3 (b))。以上の 2 ケースから、風向変化の影響を考慮して観測時間を 3 分間から 1 時間に変更することで、各観測地点における伝達係数と観測値の差が小さくなり、その結果、放出量推定精度が向上することが分かった。以上の計算条件と計算結果をまとめて、表 1 に示す。

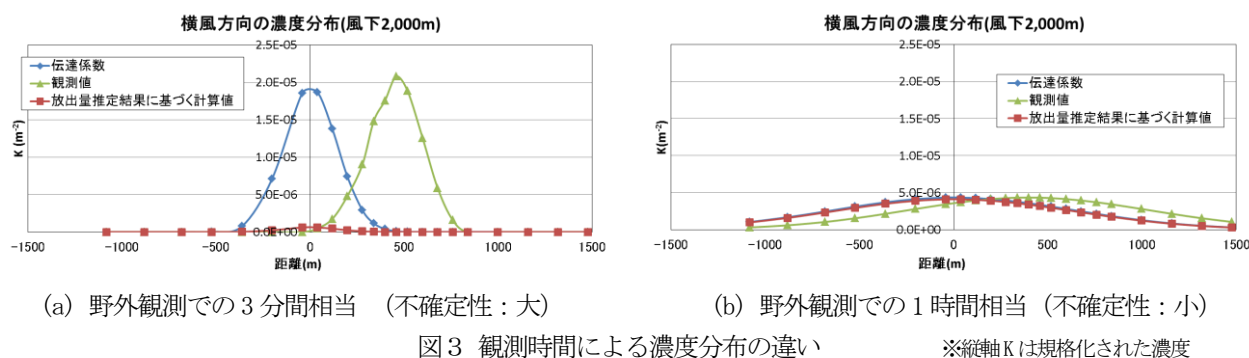


表 1 計算結果まとめ

目的	観測時間	伝達係数	観測値	放出量推定結果 (濃度推定誤差)
①プログラム 妥当性確認(Verification)	3 分間	正規拡散式 計算値 (N 風向)	風洞実験結果 (N 風向)	97% (FAC2=81%)
②風向変化に起因する 不確定性確認	3 分間	正規拡散式 計算値 (N 風向)	風洞実験結果 (N 風向+11.25°)	3% (FAC2=3%)
③風向変化に起因する 不確定性評価	1 時間	正規拡散式 計算値 (N 風向)	正規拡散式計算値 (N 風向+11.25°)*1	94% (FAC2=72%)

*1: 東海第二原発は平坦地に位置し、風向変化による濃度分布変化が小さいので、N 風向の正規拡散式計算値を 11.25° だけ風向を変化させて、観測値として使用した。

5. まとめ

原子力発電所事故時の緊急時放射能影響予測のために重要となる放出量推定手法を開発し、風洞実験データに基づく正規拡散式を伝達係数として放出量推定計算を行った結果、放出量は 0.97 (真値は 1.0) となり、計算コードが妥当であることを検証できた (Verification)。また、不確定性のファクターの一つである風向変化の影響について検討した結果、観測データの平均時間を 1 時間程度にすることで、各観測地点における伝達係数と観測値の差が小さくなり、その結果、放出量推定精度が向上することが分かった。

今後、ベルギー-MOL 試験炉 Ar41 野外拡散実験を対象に放出量推定手法の物理的妥当性を検証(Validation)し、更に、東京電力株式会社福島第一原発事故における種々の観測データにより同手法の実現象に対する適用性を確認する予定である。

謝辞

本研究は、平成 25 年度文部科学省原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブにより実施された「原子力発電所事故時の放出量および再飛散量推定手法高度化に関する研究」の成果である。日本原子力発電(株)には、放出量推定システム検証の為に風洞実験データを提供いただいた。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 岡本ら、地熱発電所冷却塔排気拡散予測法の開発、三菱重工技報 Vol.24 No.6, 1987
- [2] Rex Britter and Michael Schatzmann, Model Evaluation Guidance and Protocol Document, COST Action 732, 2007