

# 大気拡散データベースシステム WSPEEDI-DB —放射性物質の大気拡散を様々な気象・放出条件で即座に計算—

寺田 宏明 永井 晴康  
Terada Hiroaki Nagai Haruyasu

## 1. はじめに

原子力事故等により放射性物質が環境中へ放出されると、放射性物質は大気中を拡散、降下して地表に汚染をもたらす。このような事態に対処するためには、放射性物質の拡散と汚染の状況を正確に把握する必要があり、環境モニタリングによる実測と大気拡散モデルを用いた計算を相補的に用いた予測と評価が有効である。国内の原子力緊急時に、放射性物質の大気拡散予測情報を迅速に提供するための緊急時対応システムとして、旧日本原子力研究所（現在の日本原子力研究開発機構、以降「原子力機構」）は、緊急時環境線量情報予測システム（System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information: SPEEDI<sup>1)</sup>）を開発し、「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」として文部科学省により運用された。その後、原子力機構では、計算範囲の拡大と高度な気象及び拡散計算モデルの使用により予測性能を向上した世界版 SPEEDI（WSPEEDI: Worldwide version of SPEEDI）を開発し、様々な応用研究を行ってきた<sup>2-8)</sup>。筆者らは、2011年3月11日に発生した東日本大震災に起因する東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に対して、このWSPEEDIの活用により様々な対応を実施してきた。この経験に基づき、様々な気象条件や任意の放出条件に対する大気拡散計算結果を即座に取得でき、様々な応用が可能な大気拡散データベースシステム WSPEEDI-DB<sup>9)</sup>を開発した。本稿では、WSPEEDI-DBの開発の経緯と本システムの概要について述べる。

## 2. 開発の背景

筆者らは、福島第一原子力発電所事故に対して、SPEEDIの予測範囲を超える広域についてWSPEEDIを用いた大気拡散予測結果を旧原子力安全委員会に提供した。また、大気拡散計算と環境モニタリングを組み合わせることで、放出量の推定や大気拡散と環境汚染形成過程の解析を行ってきた<sup>10-14)</sup>。この解析において、WSPEEDIによる地形の効果や気象条件を詳細に考慮した拡散計算は、航空機モニタリングで測定された放射性核種の沈着量分布を良好に再現し、高い計算精度を示した。

北朝鮮による地下核実験（2009年5月、2013年2月、2016年9月、2017年9月）が実施された際には、実験直後に原子力規制庁と防衛省が行う高空の大気浮遊じん等の採取・測定を実施する空域決定のための参考情報として、WSPEEDIによる希ガス核種の大気拡散予測情報を提供してきた<sup>15, 16)</sup>。この対応においては、毎日の定時に発せられる気象条件をもとに自動予測計算を行い、あらかじめ多数の拡散計算の結果を作成しておくことで、核実験実施時に即座に予測結果を提供した。

一方、中央防災会議の防災基本計画<sup>17)</sup>においては、「国は、地域防災計画・避難計画に係る具体化・充実化に当たって地方公共団体が大気中放射性物質の拡散計算を活用する場合には、専門的・技術的観点から支援を行うものとする」とされている。これに対して具体的な支援の内容を提案するためには、WSPEEDIによる様々な条件に対する詳細な大気拡

# WSPEEDI-DB

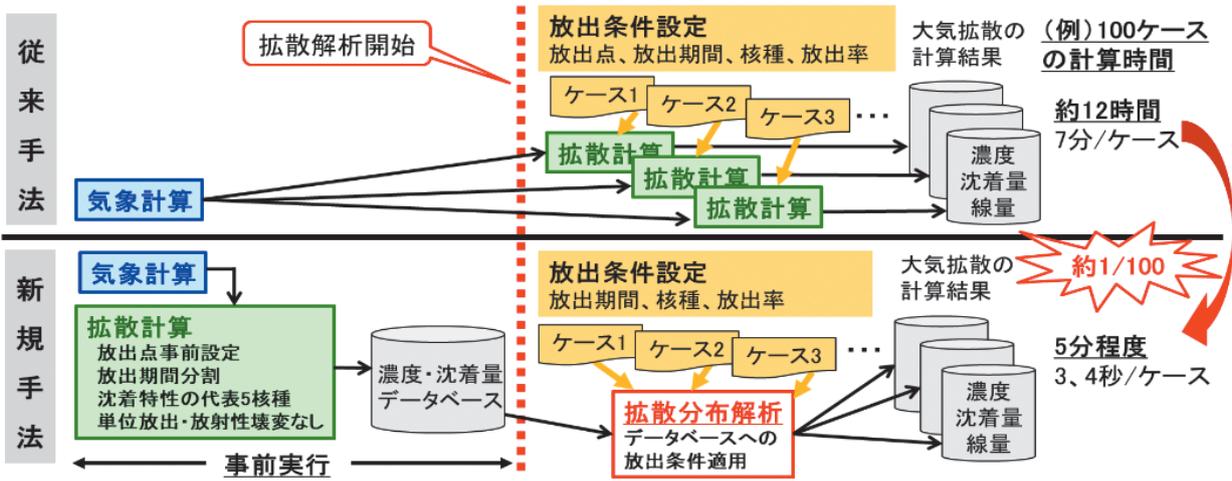
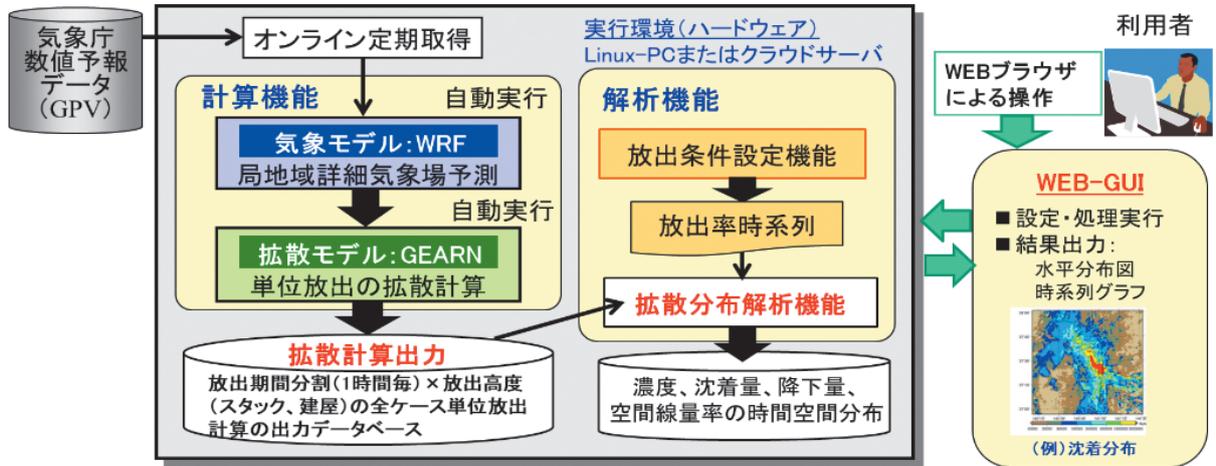


図1 大気拡散データベースシステム WSPEEDI-DB の構成と計算手法

散計算結果を効率的に提供する必要がある。しかし、WSPEEDI で用いる高度な気象及び拡散予測モデルは、従来の SPEEDI のモデルよりも計算時間を要するため（例えば3日先までの計算に数時間）、計算条件を設定してから予測結果を得るまでに時間を要することから、様々な条件の計算結果を比較検討するような利用は困難であった。

そこで、原子力緊急時における多様な大気拡散予測のニーズに対応して、様々な条件に対する詳細な大気拡散計算結果を効率的に提供することを可能とするため、新たな拡散計算手法を開発した<sup>18)</sup>。更に、この計算手法の実行と計算結果を取得するためのユーザーインターフェイスを整備し、大気拡散データベースシステム WSPEEDI-DB<sup>9)</sup>を開発し、無償公開した<sup>19)</sup>。

## 3. 大気拡散データベースシステム WSPEEDI-DB

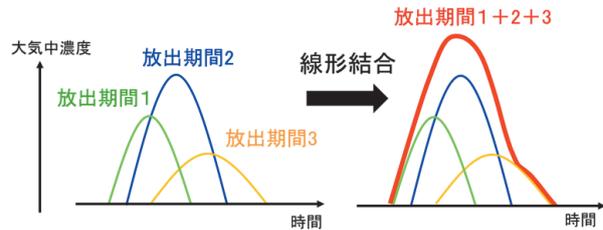
### 3.1 WSPEEDI-DB の概要

図1に、WSPEEDI-DBの全体構成と新たに開発した計算手法と従来手法との比較を示す。新たに開発した計算手法は、図2に示す基本原理に基づいている。本手法は、原子力施設等放出点が定まっている場合に、放出条件のうち放出点以外の放射性核種、放出期間、及び放出率を特定することなく多数の拡散計算を実施して事前に計算結果のデータベースを作成しておき、放出条件を設定するとその条件に基づく予測結果を即座に得ることを可能とするものである。本手法では、以下の手順で計算を行う。

- 1) 放出期間を一定の間隔で分割したそれぞれの期

## 【新規手法の基本原則】

- ✓ 放出地点: 事前に設定可能(原子力施設)
- ✓ ある放出条件の計算結果 = **放出期間を分割した計算結果の線形結合**
- ✓ 分割した放出期間ごとに、ある時刻・地点への寄与(ソースレセプター関係)を事前に作成可能



## 【計算手法】

- ✓ 放出期間を分割した単位放出条件(1Bq/h)の計算により出力(濃度、沈着量)をデータベース化
- ✓ 分割期間ごとの放出率を乗じて全放出期間で合算

任意の放出率推移に対する計算結果を即座に作成可能

- ✓ 沈着特性で分類した代表5核種※の壊変なし計算
- ✓ 後から放射性壊変による減衰を計算

任意の放出核種が計算可能

- ✓ 毎日の気象データ取得に合わせた自動実行により過去から数日先までの連続的なデータを蓄積

任意の解析期間で計算可能

※代表5核種: 希ガス、無機ヨウ素ガス、有機ヨウ素ガス、粒子状ヨウ素、その他粒子

図2 新たに開発した計算手法の原理

間について、単位放出条件(1 Bq/h)による大気拡散を計算し、すべての放出期間ケースの結果(大気中濃度と地表沈着量)をデータベースとして保存する(単位放出拡散データ)。計算対象核種(60種)を沈着特性が類似する5種類のグループに分け、それぞれのグループを代表する5核種のみについて計算する。この際に、放射性壊変による減衰がない条件で計算を行い、後で指定した放射性核種の沈着特性に対応する単位放出拡散データに対して放射性壊変による減衰を適用することで、任意の放射性核種の放出に対応可能とした。

- 2) 実際の放出条件が与えられた際には、分割期間ごとの放出条件を単位放出拡散データに適用する。これによって得られる大気拡散計算結果を全放出期間について合算することにより、任意の放出条件に対する大気拡散計算結果を作成可能となる。
- 3) 更に、毎日の気象解析・予報データの更新に合わせて気象計算及び前述の大気拡散計算を定常的に実行し、単位放出拡散データを連続的に蓄積して過去から数日先までの連続的なデータベースを作成することにより、過去から数日先まで任意の

解析期間に対する大気拡散計算結果を得ることが可能となる。

この新規計算手法を適用した試験計算により、放出から24時間後までの大気拡散計算を行う場合、従来手法と同様の計算結果を従来手法(1ケースあたり約7分)の1/100以下の時間(1ケースあたり3~4秒)で取得可能であることを確認し、本手法の妥当性と有効性を実証した。

### 3.2 WSPPEEDI-DBの活用方法

今回開発したWSPPEEDI-DBにより、過去の気象条件に対する様々な仮想放出源情報による大気拡散計算結果を作成することができる。この大気拡散計算結果の活用方法として、以下が挙げられる(図3)。

- 1) 地形や気象の影響による放射性プルームの移動に対する沈着量と空間線量率の分布との関係から、原子力防災訓練時に想定すべき大気拡散事象を把握する。
- 2) モニタリングポスト設置地点とその周辺の計算値を比較することで、地形の特徴や気象条件との関連性を考慮した、より効率的なモニタリング方法について検討する。

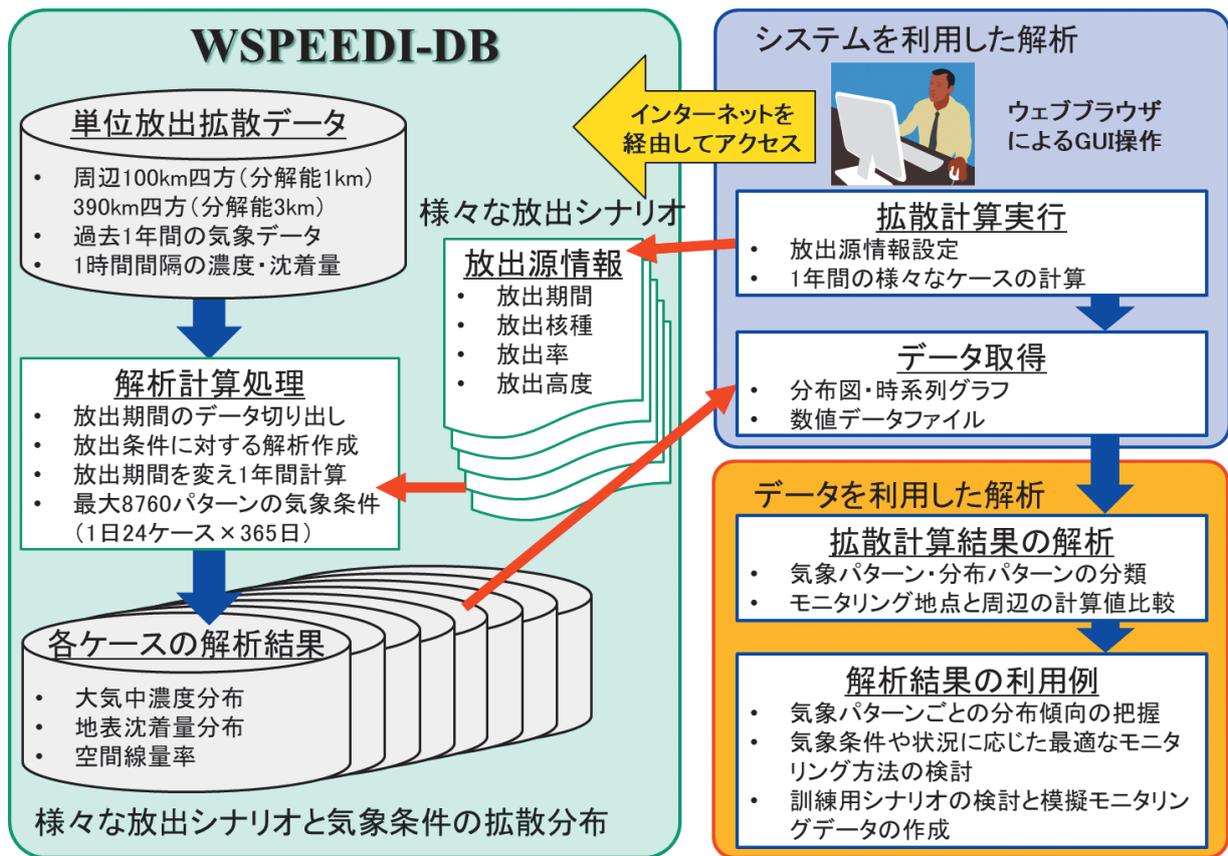


図3 WSPEEDI-DBの活用

3) 過去の実際の気象場に対する想定事故シナリオに基づく拡散計算結果から、モニタリング地点の空間線量率の計算結果を出力し、事故を想定した模擬モニタリングデータを作成して訓練に活用することで、モニタリング実施の手順の確認や問題点の抽出を行う。

本システムで得られる拡散計算結果の活用事例として、島根県原子力環境センターとの共同研究により実施したモニタリング地点の配置の妥当性の検討について述べる<sup>9)</sup>。この検討では、モニタリングポストが設置されていない地点に空間線量率の高い場所がどの程度存在する可能性があるかを調べることで、モニタリングポスト配置の有効性を評価した。まず、島根原子力発電所周辺の100 km 四方(分解能1 km)及び390 km 四方(分解能3 km)の計算領域について、過去1年間(2015年)の気象データを用いた1時間間隔の単位放出拡散データを蓄積してデータベースを作成した。このデータベースから、モニタリングポストが配置されている原発から

30 km 圏内の計算格子の放出24時間後の空間線量率を用いて解析を行った。解析では、モニタリングポスト地点(計180地点)に対応する計算格子の値とそれ以外の計算格子の値を比較し、4つのモニタリング地点に囲まれた範囲の計算値に、モニタリング地点の計算値の最大値より高い値(ホットスポット)が存在する割合とその分布(図4)を調べた。その結果、周辺のモニタリング地点の最大値の2倍以上の値となる計算値が1.2%の割合で存在し、これらの地点の高い空間線量率は、ほとんどが降水により沈着量が大きくなったことに起因することが分かった。したがって、現状のモニタリングポストの配置は、降水がない条件において空間線量率の空間分布を把握するのに有効であると言える。しかしながら、降水時にはモニタリングポストでは把握できないホットスポットが想定され、そのような地域については、可搬型モニタリングポストや走行サーベイ等での機動的な測定により補強することが有効と考えられる。

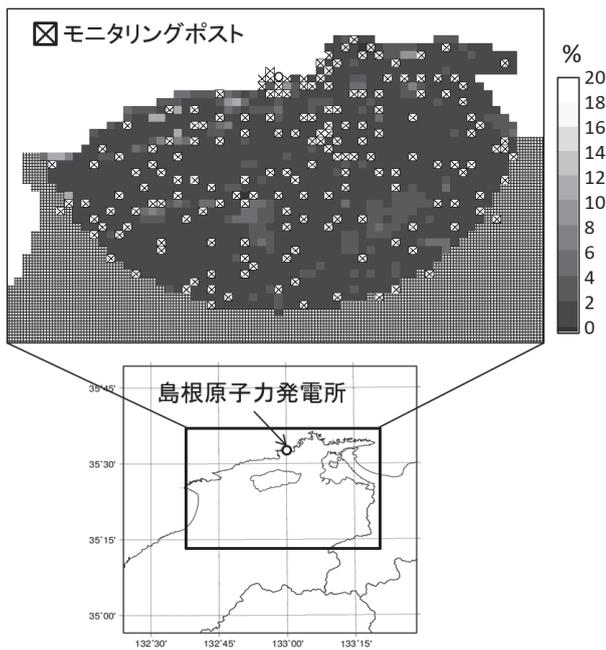


図4 島根原子力発電所周辺のモニタリングポスト配置の妥当性評価結果

上図の濃淡は、空間放射線量率の計算値が、周辺の4つのモニタリング地点の計算値の最大値より2倍以上高い値となった割合(%:図右スケール)を示す

## 4. 今後の展開

放射性物質の大気拡散状況は、対象とする地域の地形や気象条件により大きく異なるため、地域の特性を考慮して大気拡散計算結果を活用することが有効である。今後は、島根原子力発電所以外の原子力施設に対してWSPEEDI-DBを適用することで、様々な活用方法の検討を予定している。更に、本システムの拡張として、本計算手法と環境モニタリングで得られる実測値を組み合わせて解析することにより、実測値を最も整合的に再現する放出条件を推定し、現実に即した放射性物質の時間空間分布を再構築することが可能となることに注目し、環境モニタリングの測定値からの逆解析により放出条件を推定する機能の開発を進めていく予定である。更に、毎日の気象解析・予報データの更新に合わせた定常実行により予報計算から解析計算に更新されるまでのデー

タベースを保存しておき、それらと比較することで気象予測計算に起因する大気拡散計算の不確かさの情報取得する手法の開発への展開を予定している。

## 参考文献

- 1) Imai, K., *et al.*, JAERI-1297, Japan Atomic Energy Research Institute, 89pp (1985)
- 2) Furuno, A., *et al.*, *Atmos. Environ.*, **38**, 6989-6998 (2004)
- 3) Terada, H., *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **41**(5), 632-640 (2004)
- 4) Terada, H. and M. Chino, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **42**(7), 651-660 (2005)
- 5) Terada, H., and M. Chino, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **45**(9), 1-12 (2008)
- 6) 寺田ほか, 日本原子力学会和文論文誌, **7**(3), 257-267 (2008)
- 7) Furuno, A., *et al.*, *Agric. For. Meteorol.*, **133**, 197-209 (2005)
- 8) Terada, H., *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **50**, 1198-1212 (2013)
- 9) Terada, H., *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **57**, 745-754 (2020)
- 10) Chino, M., *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **48**, 1129-1134 (2011)
- 11) Katata, G., *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, **109**, 103-113 (2012)
- 12) Katata, G., *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, **111**, 2-12 (2012)
- 13) Terada, H., *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, **112**, 141-154 (2012)
- 14) Katata, G., *et al.*, *Atmos. Chem. Phys.*, **15**, 1029-1070 (2015)
- 15) 中西ほか, JAEA-Technology 2013-030, 日本原子力研究開発機構, 105pp.(2013)
- 16) 石崎ほか, JAEA-Technology 2018-007, 日本原子力研究開発機構, 43pp.(2018)
- 17) 中央防災会議, 防災基本計画 (2020) [http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon\\_basicplan.pdf](http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basicplan.pdf)
- 18) 寺田ほか, JAEA Data/Code 2017-013, 日本原子力研究開発機構, 31pp.(2018)
- 19) 日本原子力研究開発機構, 原子力機構プログラム等検索システム PRODAS, <https://prodas.jaea.go.jp/>

((国研) 日本原子力研究開発機構)