

市街地のガス拡散数値モデルの検証

VALIDATION OF NUMERICAL MODEL FOR HAZADOUS GAS DIFFUSION IN URBAN AREAS

大場 良二、河内 昭紀、原 智宏、米田 次郎：三菱重工長崎研究所

Ryohji Ohba, Akinori Kochi, Tomohiro Hara, Jiro Yoneda: Mitsubishi Heavy Industries, Nagasaki R&D Center

加藤 信介：東京大学生産技術研究所

Shinsuke Kato: University of Tokyo, Institute of Industrial Science,

1. まえがき

文部科学省は、2007年から、安全安心科学技術プロジェクトを開始した。このプロジェクトでは、東京大学、三菱重工、産総研およびアドバンスソフトの共同研究提案が、市街地の有害ガスによるテロ攻撃による被害予測と低減システム開発に関する研究として採択された。このシミュレーション・システムは、自治体、消防および警察などの初期対応機関が使用することを前提に開発されている。したがって、このシステムは、通常のPCを使用して、短時間にガス拡散計算を実施する必要がある。

1時間先の計算に必要な計算時間は、1分以下である。風速分布、ガス濃度、被害者数などの結果は、10分間隔で、画面に表示され、計算中および計算後にユーザが利用可能である。

2. シミュレーション・システム

2.1 システムの説明

このシステム (MEASUREST) は、図 2.1-1 に示すように、気流データベース、拡散モデルおよび被害予測モデルで構成される。広域気象データは、インターネットを通じて、外部から提供される。気流、地形、人口のデータベースも、事前にシステムに保存される。

2.2 気象力学モデル

気象力学モデルの多くは、RAMS, WRF および MM5 などのように、公開コードとして、一般ユーザに提供されている。建物周りの気流を数mメッシュサイズで、計算するために、RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) を次のように改良した。まず、狭域の建物および地形周り気流を精度良く再現するために、RAMS の2次元乱流モデル Mellor and Yamada (1982) を3次元乱流モデル Trini Castelli (2006) に改良した。単独建物周りの気流計算結果は、図 2.2-1 に示すように、ハンブルグ大学の公開風洞実験データベース (<http://www.mi.uni-hamburg.de/Data-Sets.432.0.html>) と比較検証された。

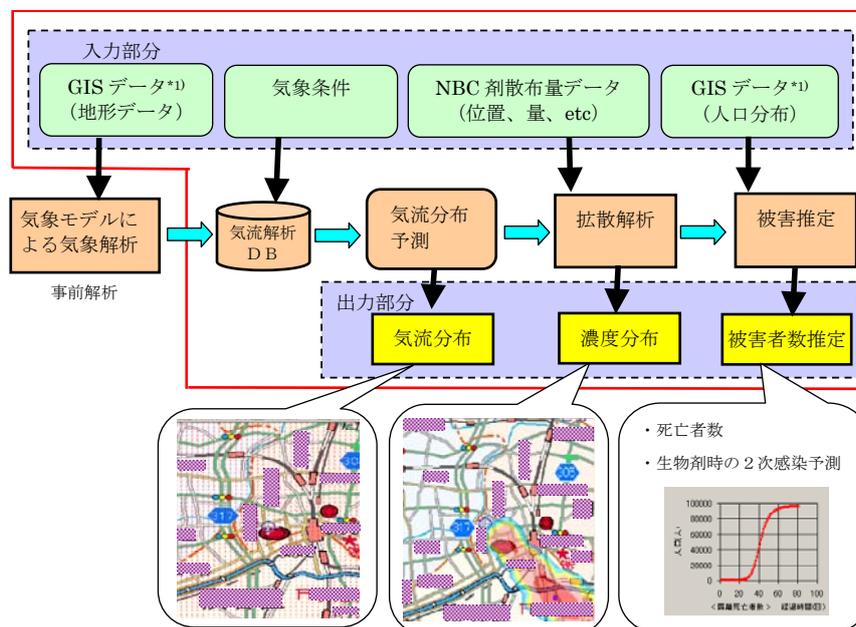


図 2.1-1 文部科学省安全安心プロジェクトで開発中のシステム構成

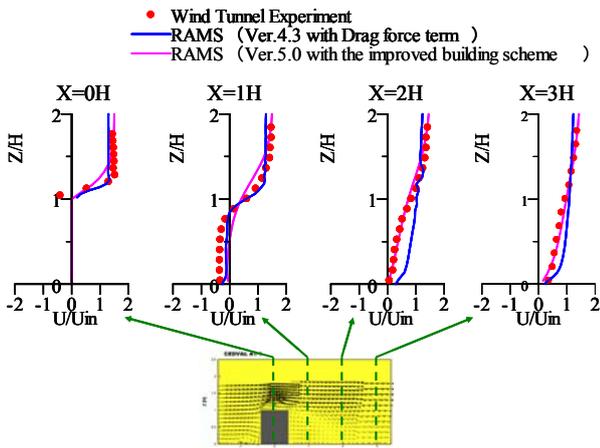


図 2.2-1 RAMS 計算結果とハンブルグ大学の公開風洞実験データベースとの比較

次に、気流データベース計算システム (DCSAF : Database Computing System of Air Flow) を三菱重工で開発した。この計算システムは、次の順序で実行される。

- 1) 対象地点で、1年間 (8760時間) の非定常な気象変化を広域グリッド (10 km四方以上) で再現計算する。
- 2) 1年間の気象再現計算結果から、16 方位×3 安定度=48 ケースの気流データベースを選定する。
- 3) 広域グリッドの気流データベースについて、狭域グリッド (数 km四方=数 10mメッシュ×40) の定常な気流分布を計算する。
- 4) 現地で観測された気象データと同化させる条件で、狭域の非定常な気流の時間変化を、48 ケースの気流データベースの線形結合計算で計算される。(図 2.2-2)

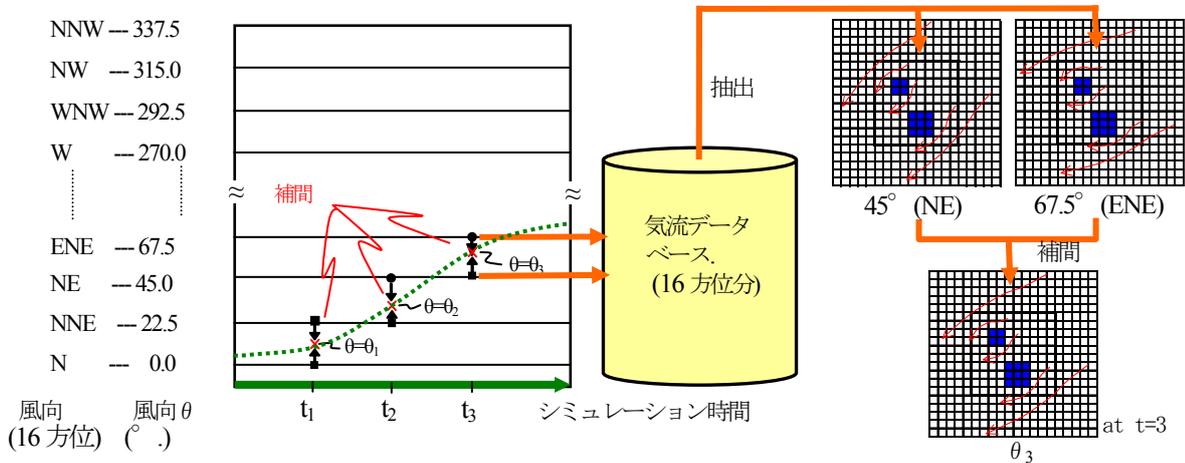


図 2.2-2 気流データベースを使った非定常な気流変化の計算方法

計算時間は、メッシュサイズに反比例するので、詳細メッシュの計算は、膨大な計算時間を必要とする。しかしながら、DCSAF 法は、計算時間が従来の方法よりも、約 1/100 削減されている。(表 2.2-1)

表 2.2-1 PC を使用した場合の計算時間 (計算時間は、広域グリッド(100m<)、狭域グリッド(100m>)および両者併用の場合である)

計算手法	100mメッシュ以上	100mメッシュ以下	全
本研究	数分	数秒	数分
従来	10分	200分	数時間

2. 3. 大気拡散モデル

HYPACT (HYbrid PArticle and Concentration Transport) コードは、RAMS と連携した大気拡散コードである。このコードは、Lagrangian 粒子モデルであり、複雑な気流場で質量保存則を満足することができ、遠距離では計算時間短縮のため、差分法と結合することが出来る。ガス濃度計算結果は、日本原子力研究所 (JAERI) が東海村で 1991 年と 1992 年に実施した長期拡散実験結果 (Hayashi,1998) と比較検証した。(図 2.3-1) 気流に対する建物群の効果が、風速と乱流強度に関してよく再現されている。(図 2.3-2)

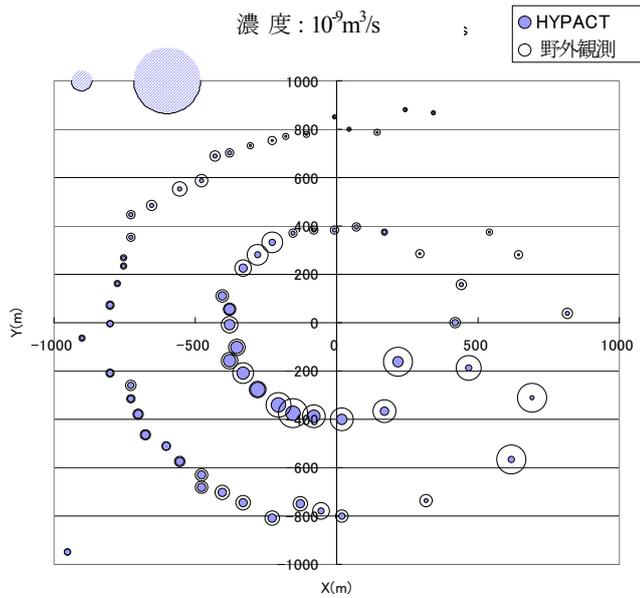


図 2.3-1 測定点における地上濃度の比較（円の大きさが濃度レベルを示している）

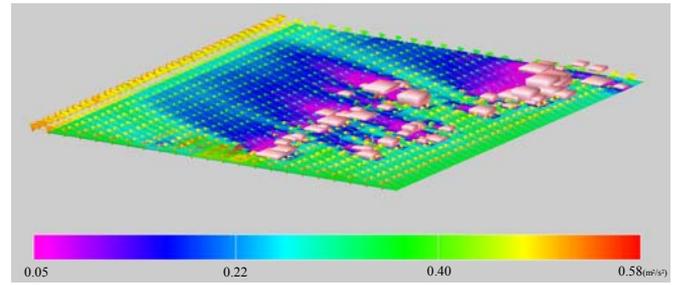


図 2.3-2 建物周りの風速（矢印）と乱流強度（カラーコンター）

3. 緊急時対応システム

3. 1 概要

東京大学、三菱重工、産総研およびアドバンスソフトで構成される共同研究組織は、2007年に、文部科学省の安全安心プロジェクトとして採択されたテロ攻撃被害予測・低減システム開発研究を実施している。各年度の研究計画を表 3.1-1 に示す。研究完了後の開発成果概要を図 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 年度ごとの研究計画

研究開発課題	H19	H20	H21
①屋外拡散予測システム高度化	高速計算技術開発	風洞実験、屋外実験データでの検証計算、モデル改良	自治体CBR被害対処訓練で実証試験
②屋内拡散予測システム実用化	基本部の開発	システム完成、実規模実験での検証計算、プラットフォーム作成	
③検証試験	風洞試験・実規模試験の予備実験	風洞検証試験・実規模検証試験	
④避難誘導支援システム実用化	システムの構築	システムの検証	
年度目標	基礎技術開発	技術検証	技術実証

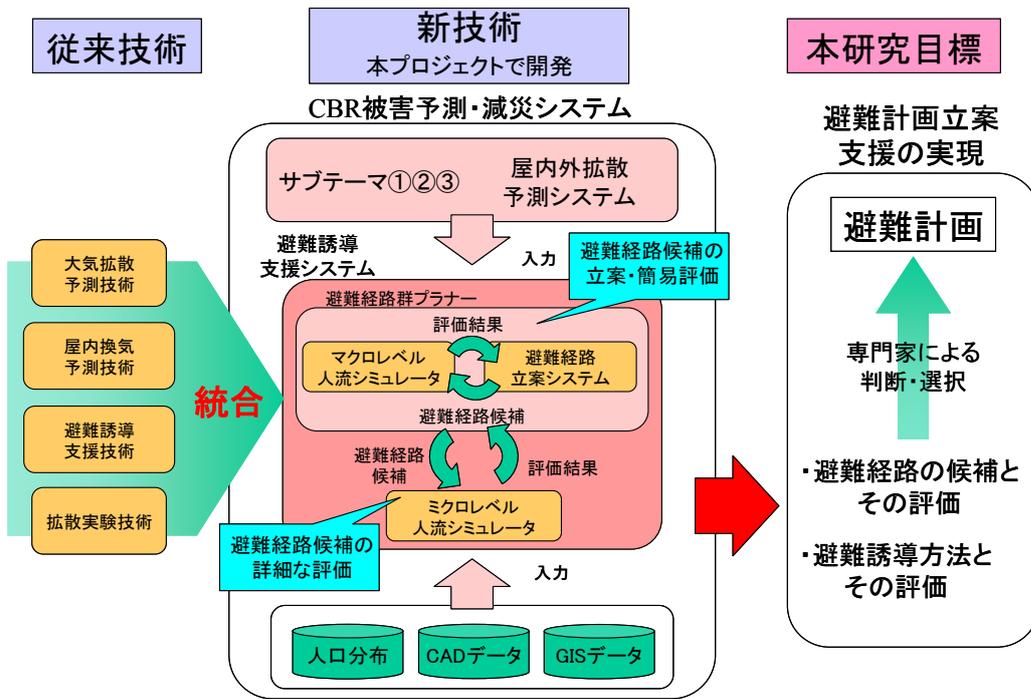


図 3. 1-1 MEXT 研究完了後の研究成果イメージ

3. 2 屋外ガス拡散予測結果

屋外ガス拡散予測システムでは、ガス濃度および被害者数計算結果が地図上に表示される。

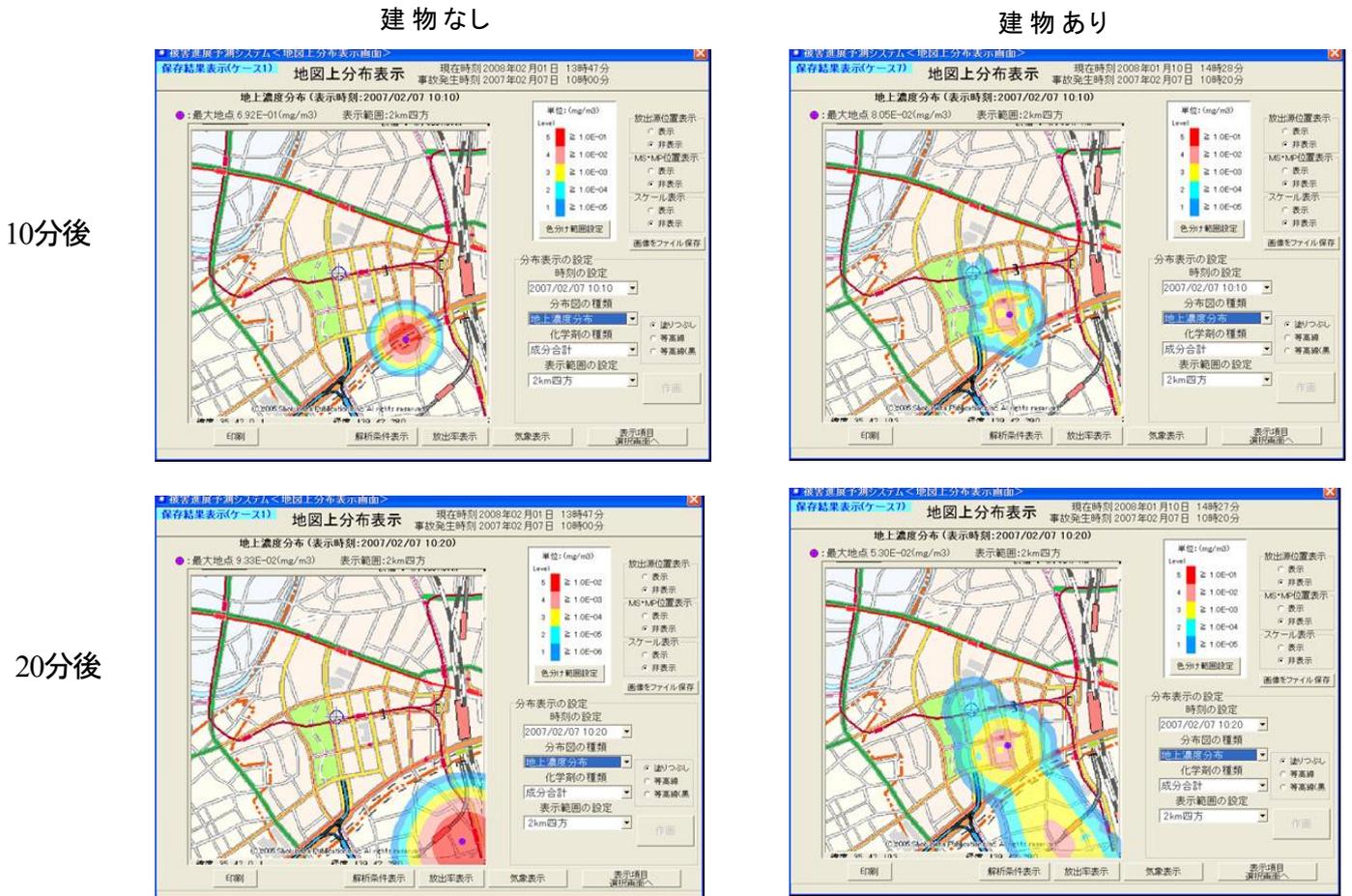


図 3. 2-2 瞬間的にガスが放出された場合の建物有無によるガス濃度分布の比較結果 (カラーコンターは、ガス濃度レベルを示す)

図 3.2-2 の結果は、ガス拡散に及ぼす市街地建物の滞留効果を示している。建物形状に関する市街地 GIS データベースに基づいて、主要な建物は、図 3.2-3 に示すように四角形で近似される。

a) GIS データに基づく詳細表示

b) 四角形近似された計算上の建物

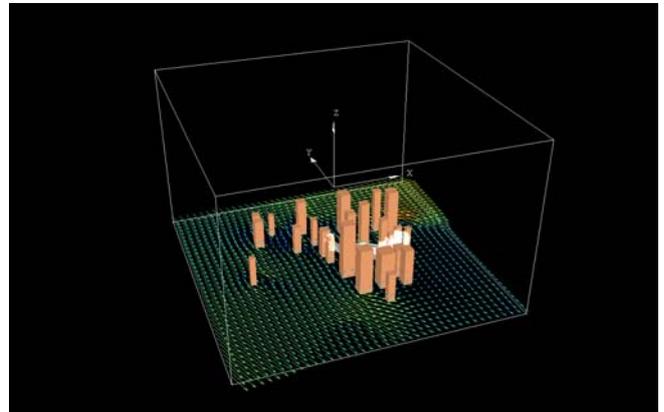
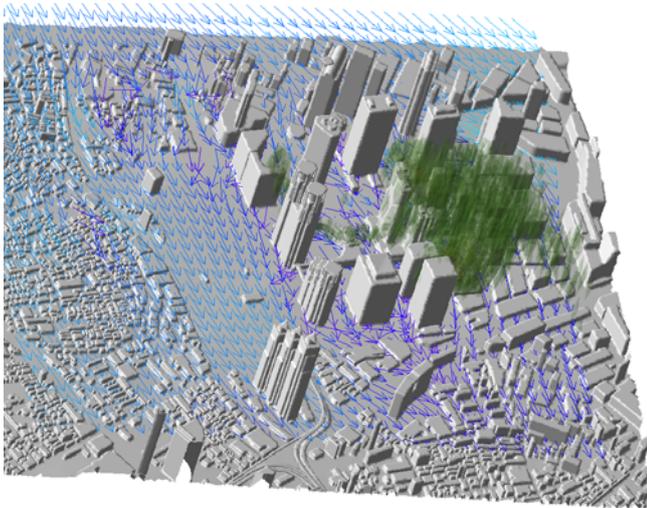


図 3.2-3 建物、ガス体（緑色）および風速ベクトル（青色）の3次元表示

3.3 市街地拡散実験結果との比較検証

図 3.3-1 に示す米国オクラホマ市街地で実施された野外拡散実験と同じ建物および気象条件で気流拡散計算を行い、野外実測結果と計算結果の比較検証を行っている。

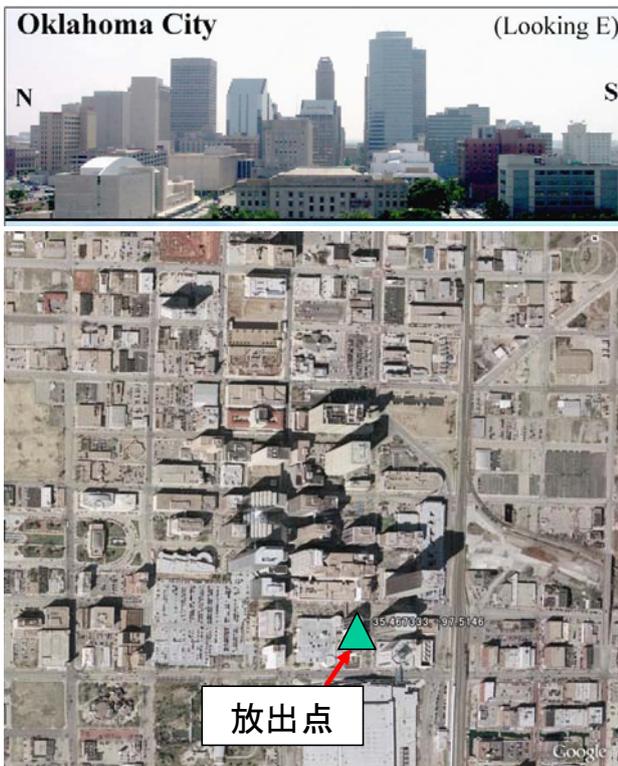


図 3.3-1 オクラホマ市街地拡散実験の建物およびガス放出点（30分間放出）

オクラホマ市街地拡散実験は、30分間放出の非定常拡散実験であるので、図 3.3-2 b) に示すような濃度相関だけでは、精度検証が困難であり、濃度の時間変化も考慮した新たな精度検証法を検討中である。

a) 濃度分布計算結果



b) 計算結果と実験結果の相関

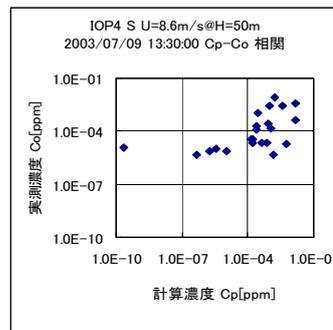


図 3.3-2 オクラホマ野外実験と計算値の比較 (IOP4 2003/7/9 13:30)

4. まとめ

本研究で開発した市街地ガス拡散予測モデルについて、つぎの事項を確認した。

- 1) 気流データベースを利用した新たな数値計算技術を用いて、従来の気象モデルによる計算時間を、1/数100に短縮することが出来た。
- 2) 従来、気象モデルでは困難であった数mメッシュの格子幅で建物周りの気流・拡散現象を、流体力学モデル(CFD)と同程度の精度で計算可能である。
- 3) 従来、流体力学モデル(CFD)で計算困難であった非定常な気流中の市街地ガス拡散現象を、気象モデルで計算可能となった。

5. 今後の課題

従来、環境アセスメントなどに利用されている大気拡散モデルは、基本的に、定常な気流中の拡散現象を予測対象としている。これらの大気拡散モデルについては、濃度分布の比較および相関図によって、その予測精度を検証され

てきた。とくに、欧州では、EU標準のCOST732(2007)として、定常拡散モデルの評価手法が定式化されており、詳細な報告書も公開されている。

しかし、本研究で予測対象とする市街地の非定常拡散現象については、次の課題について、今後、検討が必要であり、欧米の大学(ドイツ/ハンブルグ大学、英国 Surrey 大学など)と共同で、新たな検証手法の検討を進めている。

1) 濃度時間変化

市街地テロなどのガス拡散現象は、瞬間または短時間ガス放出現象であり、時間の平均化効果が少ないので、風洞実験および野外実験で、複数回、実験しないと平均的な濃度分布が得られない。そのため、濃度変動の出現確率関数(PDF)か時空間平均した濃度について、拡散モデルの予測精度を検証する必要がある。

2) 気象時間変化

野外の気象は、時間・空間で複雑に変動しており、拡散モデルの初期・境界条件を一義的に設定することが困難である。そのため、数値気象予測および地球温暖化予測では、初期・境界条件を変化させた複数条件の計算を行い、それらの結果からアンサンブル平均値を求めて、気象を予測する手法が用いられている。

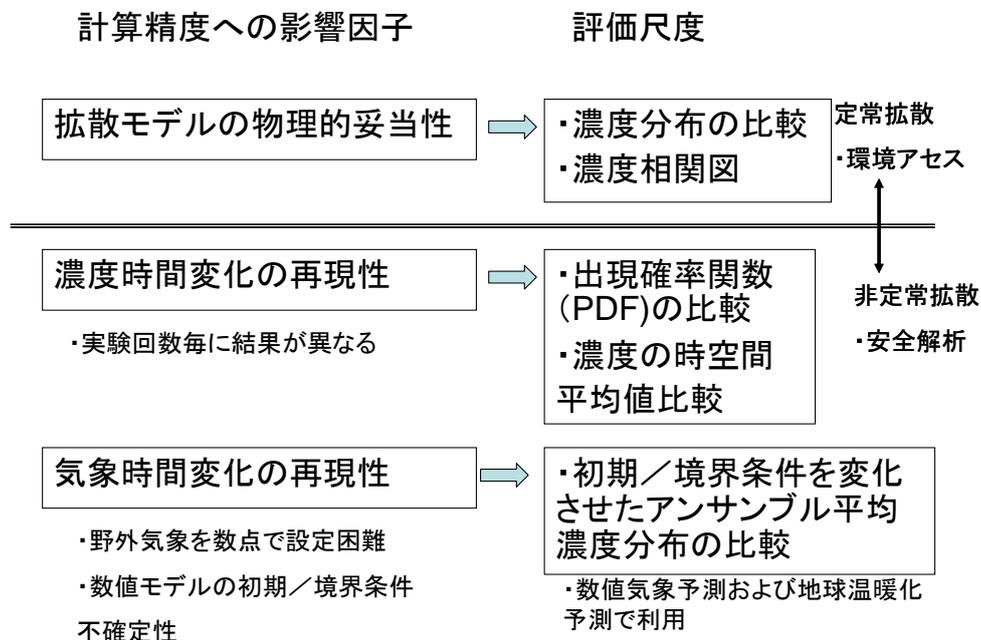


図5-1 非定常拡散モデルの検証手法

参考文献

- 1) 林ほか、東海村長期拡散実験(1991,1992)、日本原子力研究所、JAERI-Data/Code 98-026,027,028,029
- 2) Rex Britter and Michael Schatzmann, MODEL EVALUATION GUIDANCE AND PROTOCOL

DOCUMENT, EU標準 COST Action 732:ISBN 3-00-018312-4(2007)