

汚染物質拡散解析コードにおけるアンサンブル計算およびデータ同化手法の高度化

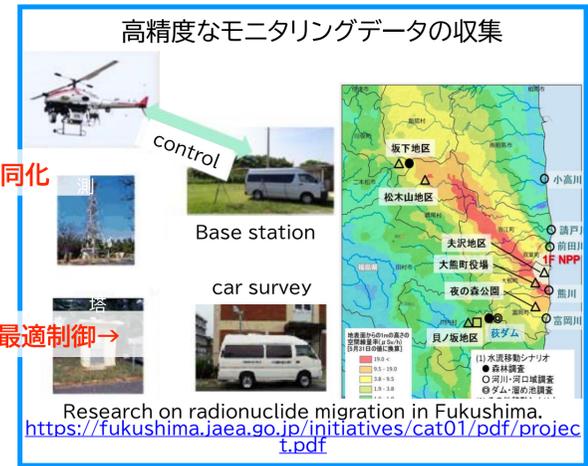
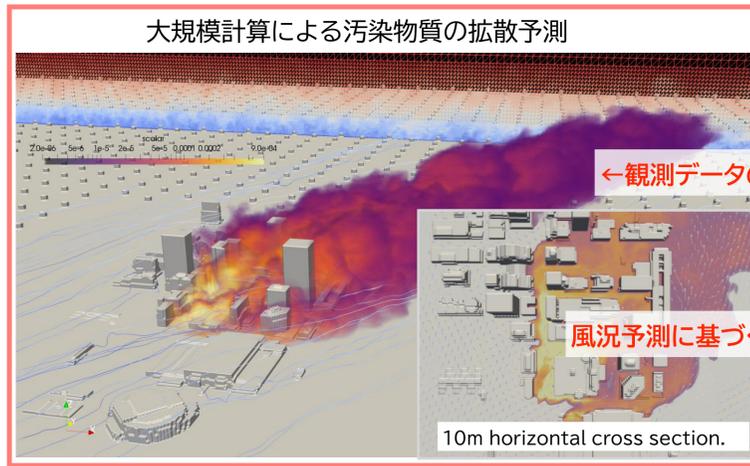


1. 研究背景と研究目的

本研究では、都市部における汚染物質拡散予測および観測との連携による予測システムの強化を目的として、GPUスパコンに適した格子ボルツマン法(LBM)による風況・汚染物質拡散解析コード『CityLBM』の開発を進めている。

- Cumulant LBMに基づく高数値安定性のLES計算
- AMR法(細分化格子)を用いた省メモリ・高速計算
- NVLink / GPU DirectRDMAによるP2P通信
- 都市部の熱対流を考慮した風況解析手法
- 外部の気象計算結果のナッジングデータ同化による入力

これらにより、数mの解像度で、数km四方の計算領域に対するリアルタイム風況解析を実現している。



風況解析と観測の連携による汚染物質拡散予測

2. 共同研究に関する情報

(1)共同研究拠点: 東京工業大学(TSUBAME3.0)

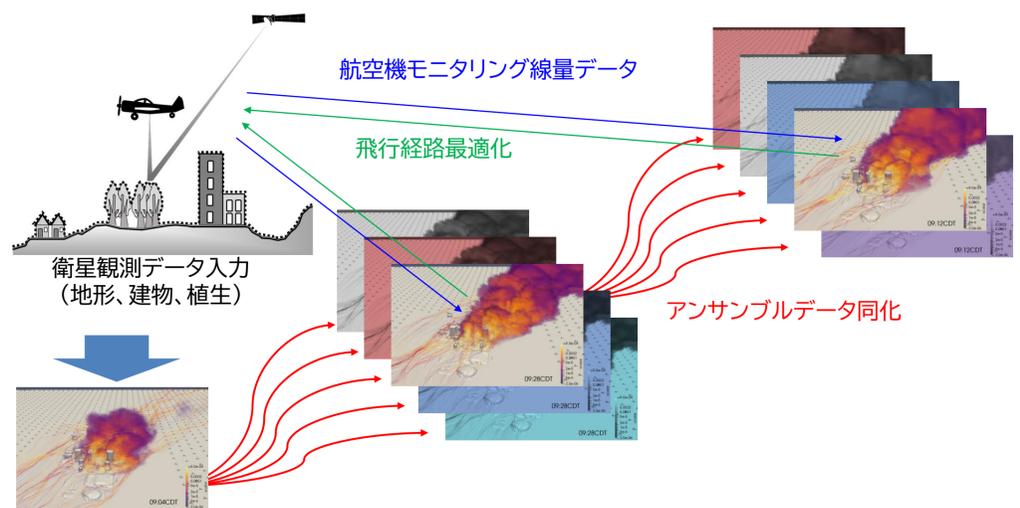
(2)共同研究分野: 超大規模数値計算系応用分野

(3)研究グループ:

代表者	長谷川雄太	(日本原子力研究開発機構)
副代表者	青木尊之	(東京工業大学)
	小野寺直之	(日本原子力研究開発機構)
課題参加者	井戸村泰宏	(日本原子力研究開発機構)
	河村拓馬	(日本原子力研究開発機構)
	真弓明恵	(日本原子力研究開発機構)
	下川辺隆史	(東京大学)
	稲垣厚至	(東京工業大学)
	何暁卿	(東京工業大学)

4. 今後の実施計画

データ同化手法の高度化として、アンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)の導入を進める。高解像度・高精度のデータ同化が可能となり、歩行者のスマートフォンやドローン等から得られるデータを計算に直接反映できるようになる。また、計算の風況予測からドローンの飛行経路最適化を行うなど、計算と観測の双方向に連携することも期待される。



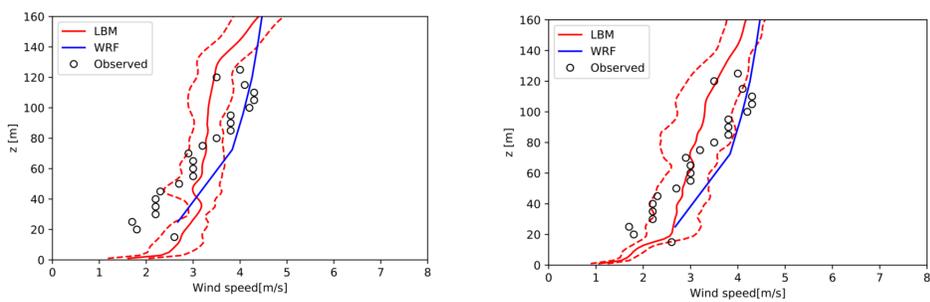
アンサンブルデータ同化による観測との連携の強化

3. 野外拡散実験を対象とした実証計算

野外拡散実験(Joint Urban 2003)を対象として、TSUBAME3.0の36GPUを用いて2m格子・4km四方の計算を行った。

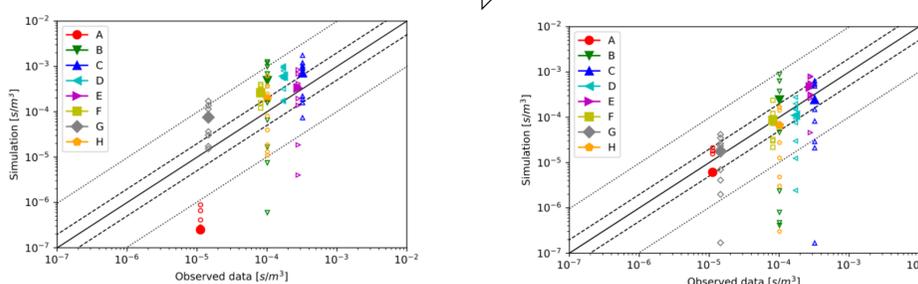
- 9個のアンサンブル計算による、乱流の不確実性を含めた評価
- 数mという高解像度の格子で初めて現れた物理として、樹木の影響を考慮した植生モデルによる外力項の導入

これらにより、FACTOR2(計算・実験値の比が1/2~2)に基づく正答率が70%と、極めて高精度な汚染物質拡散解析を実現した。*



風速の鉛直分布(植生モデルなし)

(植生モデルあり)



トレーサ物質濃度(植生モデルなし)

(植生モデルあり)

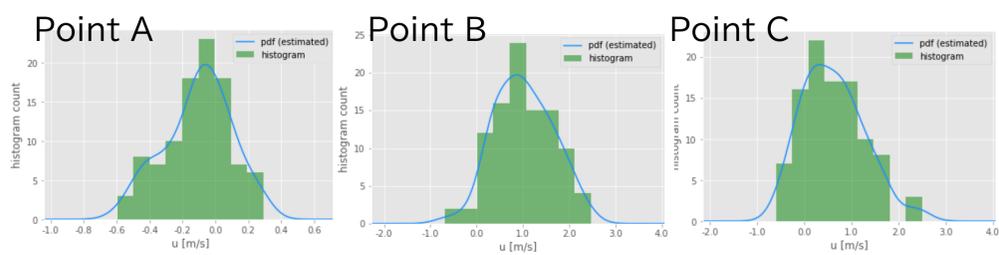
* N. Onodera et al., "Real-time tracer dispersion simulation in Oklahoma City using locally mesh-refined lattice Boltzmann method", submitted to *Boundary-Layer Meteorology* (2020)

EnKFは計算のばらつきが正規分布であることを仮定する。アンサンブル計算の統計的性質を確かめるため、予備計算として4m格子・4km四方・100アンサンブルの計算を実施した。

- 風況は正規分布に近い分布を示す
- 汚染物質濃度は正規分布には従わず、指数分布等に近い分布を示す

汚染物質濃度は正規分布に従わずEnKFの直接の適用は困難と予想されるため、まずは風況を対象として実装を進める予定である。

風況の確率密度分布



汚染物質濃度の確率密度関数

