

ダウンスケール手法による気候変化時の気象場詳細計算と情報可視化・情報展開

杉山 徹（海洋研究開発機構 地球情報基盤センター）

1. はじめに

グローバルな地球温暖化のみならず、夏季のヒートアイランドによるローカルな都市街区での熱環境の悪化が顕著になり、実際に熱中症などの健康被害が発生している昨今、都市部の何が原因でどのような悪環境が生じるかを知り、将来の気候変化への対応策の知見を得ることが、社会的に重要な課題になってきている。しかし、熱・風環境について、非静力やLESモデルにおける詳細計算は、その計算負荷の大きさから挑戦的な研究テーマである。都市のデザイン（開発・再開発）時の環境負荷に関する知見を与えられることから、本モデルを用いることが、実社会から要請が強い一方で、建物形状を区別出来る解像度（数m程度）での計算負荷は高く、パラメータを変えたケース数が限られる。そこで、1回の詳細計算から、出来るだけ多くの情報を取り出すことを目的の1つとして、本研究では2つの手法開発を行っている。

1つは、仮想粒子の軌跡を解析することで「流線・流脈線」を求め、都市内を吹く非定常風の広がりを知る。多数の粒子軌道を追跡することで、流線解析では困難であった現象の発生源や現象の影響範囲を解析することが目標である。A)都市内を吹く風の細かな挙動の把握し、仮想粒子の移動に対応した温度変化を可視化することで、位置と温度の関係性を、B)粒子の個数分布の時間発展を解析することで、都市内で風が収束している箇所、風が滞留している箇所などの抽出をする。

もう1つは、風速場や温度場を個別に解析や可視化するだけでなく、それら両方を組み合わせた同時表現手法または融合可視化手法（詳細は3節）により、風の流れによって気温分布がどのように変化するかを視覚的に捉えることを目標とする。地球シミュレータ上で可視化用にリデザインされた中間ファイルを作成することがこれまでにない研究開発となる。これらを用い、今後の社会実装期にも活躍するツールとして行く。

2. 粒子追跡法による温度解析

本研究では、対象地区として、横浜みなとみらい21地区とし、約5mの解像度で非定常・非静

力の熱・風環境シミュレーションをMSSG（Multi-Scale Simulator for the Geo-environment）モデルで計算をした。シミュレーションによる熱環境研究では、観測的研究に比べ、対象地域の全領域における時々刻々の気象場の情報が得られる。特に、都市形態の複雑化から、都市内の熱・風環境は非定常であるため、このシミュレーションの特徴を生かすことで、都市における諸現象の結果伝播と原因追跡に関する研究が可能となる。

次に、本計算結果を用いて、仮想粒子の軌跡追跡を行った。今回は粒子軌跡計算の精度をより高いものにするために、仮想粒子の移動計算部分において、格子内粒子位置での風速を3次元空間と時間方向に内挿した値から求め、4次精度のルンゲクッタ法を用いた。また、粒子移動の時間ステップ間隔は、CFL条件を満たす固定値とした。

図1に、追跡した粒子の軌跡の例（ビルの間を通り抜けているチューブ管）を示す。チューブの色で、粒子位置における気温を示している。同時に地面付近の気温（時間固定）をカラー等高線で示す。画面右側の白い屋根の建物の右側が公園を挟んで海であり、この時間帯では、海側から陸側に向かって風が流れている。粒子は、その風に乗って、右から左へと移動しており、チューブの色が寒色から暖色に変化していることから、内陸に移動するに伴い空気塊が温まっていく様子が分かる。この例では、ほぼ水平に気流があることが見える。また、気温の分布から、局所的に高温（低温）になっている個所が明瞭にわかる。さらに、気温分布が帯状になる個所（図上部）、渦状になる個所（白い屋根の建物の下流域）があり、風向きとの関係が解析可能となる。

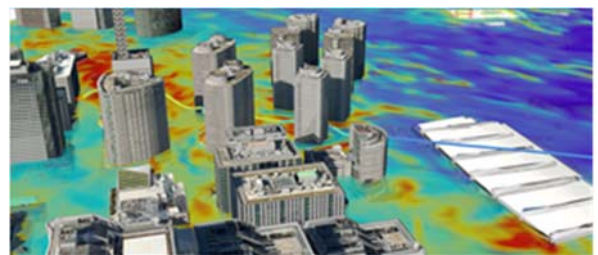


図1. 粒子の軌跡（チューブ）と気温の空間分布

3. 都市街区における気象場の3次元可視化手法

ダウンスケーリングした後の都市街区の気象場データを可視化する場合、建物の複雑な配置や形状を考慮した3次元的な可視化手法、特にボリュームレンダリング(VR)を用いて3次元場の分布を可視化する手法が有効である。本課題においては特に、風速場や温度場を個別に可視化するだけではなく、それら両方を組み合わせた同時表現手法(配色の工夫で複数の場を一つのVRで表現する手法)または融合可視化手法(複数の場それぞれのVRを重ね合わせる手法)により、風の流れによって気温分布がどのように変化するかを捉えることを目標とする。

VR手法は、全データを一旦デスクトップPCなど可視化用計算機環境に移した上で、一つの共有メモリ上に1ステップ分のデータを置き、丸ごとデータ処理して画像生成するのが一般的である。しかしVRは他の可視化手法に比べて画像生成コストが高い手法であるため、気象場の時間発展を追跡するような時系列データの処理では膨大な画像生成時間を要する。特に本課題においては、1ジョブ当たり3~4テラバイトにおよぶ大容量のデータを可視化することが要求されており、そのような画像生成処理コストのみならずデータ転送時間や可視化用計算機環境の共有メモリ容量、ストレージ容量の点でも困難に直面する。これらの問題を回避するにはESを含む大規模並列環境で直接実行可能なVR可視化手法の適用が必要である。

VR手法を分散並列化して、並列計算機の複数ノードで部分画像を生成し、画像重畳することで可視化を達成する手法はこれまでもいくつか存在する。しかし、各ノードでのレンダリング処理におけるロードバランシングや各ノードで生成された画像を重畳する処理におけるノード間転送などの可視化処理の周辺でかかる余分な処理コストや、インタラクティブ性の維持の可否、どの処理の段階で配色や特徴強調に関する伝達関数を適用させるかなどの可視化処理の本質に関する問題がある。特に本課題で目標とする同時表現および融合可視化においては(多次元の)伝達関数の設計および実装が重要な鍵となるため、インタラクティブ性の欠如は可視化作業遂行における大きな障害となり得る。

上記に掲げた問題の大部分を一挙に解決する手

法として、気象場の3次元分布に基づいて確率的にサンプリングした仮想粒子データを用いる粒子ベースVR手法が期待されている(注:2節の仮想粒子とは、概念・実態共に異なる)。粒子ベースVR手法の重要な特徴は、(最終的な可視化の解像度に依存するが)大規模な気象場データのサイズと比べて可視化に供される粒子データサイズを十分に小さくすることができる点である。図2に本課題で開発を実施するサーバ=クライアント型粒子ベースVR手法の概念図を示す。並列計算機の各ノードで気象場から粒子データ生成し、それをメタデータとして可視化用計算機に転送して遮蔽・粒子投影処理をすることによって、大規模VR可視化を実現させることが期待できる。遮蔽・粒子投影処理は一般的なVR処理(レイキャスティング法)と比べて計算コストが低くインタラクティブ性の確保が期待できるため、試行錯誤を含む同時可視化のための多次元伝達関数の設計も容易になると考えられる。また粒子ベースVR手法は複数の場の融合可視化にも特に有効であることが知られている。

そこで本課題では、ES環境下で気象場データから仮想粒子を生成する処理および生成された粒子データを集めてVR処理を連携させたプログラムシステムの開発をする。またそれを通して、全体の可視化処理コストを抑えながら気温場と風速場を同時に可視化することで、都市街区における熱の移動を視覚的に捉える3次元可視化手法の確立を目指す。風速場のVR可視化には、速度の大きさ(スカラ場)の可視化だけでなく、風速度(ベクトル場)の直接的表現を目指し3次元線積分畳み込み法を参考にした独自手法の開発も検討する。

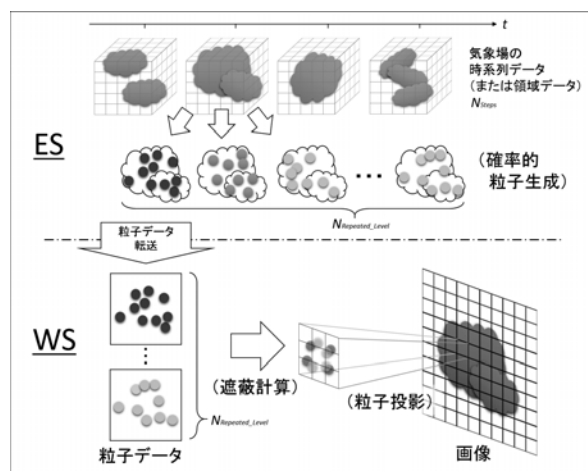


図2. サーバ=クライアント型粒子ベースボリュームレンダリング手法の概念図