

都市温熱環境シミュレータの開発

大成建設株式会社 技術研究所 森川 泰成

1. はじめに

地球環境を保全するという観点から、環境共生都市を実現するための取り組みが近年活発化しており、都市の温熱環境の予測・評価を行うシミュレーション技術が都市計画の施策検討、都市の環境設計に強く求められるようになってきた。本研究は、都市レベルにおける実用的な「温熱環境シミュレータ」の開発を目的としている。

都市の温熱環境は都市を構成する様々な地物、建物群、河川、緑地等からなる「系」とその都市自体を囲む気象等により広域の「系」の複合系である。そこで、本研究は1～数10km程度の広いエリアの温熱環境をマクロに解析できると同時に、このエリア内の任意の小空間の温熱・空気環境も1m以下の分解能で、詳細に予測・評価しうる解析システムを開発することを目標とした。

2. 開発システムの概要

本シミュレータは以下(2-1～2-3)のシステムにより構成される^(注1)。

2-1 熱流体解析システム

熱流体解析ソフトウェアは村上等¹⁾による差分法を用いたk-型2方程式乱流モデルを基本とし、これにコリオリ力、流体体積率、面積開口率の影響を考慮した方程式系を新たに構成した。

本システムでは都市全体の風系を支配している数10km程度の空間から数m程度の建築物周囲の空間を同時に解析・表現するためマルチグリッドシステムを採用した。マルチグリッドシステムにはtwo-way method(たとえばYamada and Bunker(1988)²⁾)とone-way methodがある。本研究では並列処理を利用した迅速な解析を行なうため、one-way methodを採用した^(注2)。本解析手法の特徴を表-1に整理する。なお、各グリッド間の補間の方式は鈴木(1992)³⁾によるマスコンモデルを元に、体積占有率により建物の影響を考慮した手法を開発・採用した。

表-1 本システムにおける解析手法の特徴

- ・流れ場のデータベース化が可能
- ・他のソルバーとの接続が可能
- ・他の流れ場のデータベースとの接続が可能
- ・非同期の並列処理が可能
- ・様々なハードウェアの構成に柔軟に対応できる(SMP, MPP, ネットワーク・クラスタ)
- ・各計算ケースの再計算が容易である(収束性や精度の改善など)
- ・任意の狭領域(数)で任意の階層の計算が無駄なく実行可能

2-2 並列処理システム

本解析では領域分割方式を利用する一方で、マルチグリッドにより分割された各解析領域をそれぞれ単独のCPUに受け持たせることとした。本システムの数値解析部分は以下の組み合わせにより並列実行することができる。

- ・単体プログラムの複数同時実行
- ・MPIで並列化した並列プログラムの実行

マルチグリッドにより分割された複数の解析領域を単体プログラムで複数のCPUで並列に実行させることも、一つの解析領域を並列プログラムで複数CPUで実行させることも可能である^(注3)。

2-3 3次元グラフィック可視化システム

グラフィック可視化プログラムには、Vis 5Dを用いる^(注4)。本研究では2-1で示した解析コードの出力データをVis5Dで表示可能にする変換ソフトウェアを開発することにより、環境シミュレータにグラフィックシステムを加えた。

3. 解析例

3-1 解析系の設定事例

本システムを利用した解析の各グリッドと各グリッド間の連携イメージを図-1に示す。ここでは、マルチグリッドによる解析領域を広領域（グリッド1）から狭領域（グリッド4）まで4階層を設定して解析を行った。最も外側の解析領域は東京都心部を中心とする20km四方である。グリッド1の中に約1.5km四方の領域グリッド2を新宿・墨田・高島平・銀座の4ヶ所設定した。更に銀座を例にとりグリッド3として600m四方を、その内部を更にグリッド4として200m四方の領域を設定した。これらのグリッドの大きさや位置は任意に設定可能である。

3-2 解析結果例

冬期の典型的な西高東低型の気圧配置を仮定して、東京の卓越風向である北北西の季節風をグリッド1のレベルで与えて解析を行った。その結果をグリッド2の銀座の境界条件としてグリッド2内を解析し、更にこの結果をグリッド3の境界条件としてグリッド3内を解析した。これらの結果の例を各々図-2.3に示す。これらの図中に示すベクトルは地上1.5m高さの気流を示したものである。本報では気流結果のみ示したが温度や濃度計算との連成も可能である。

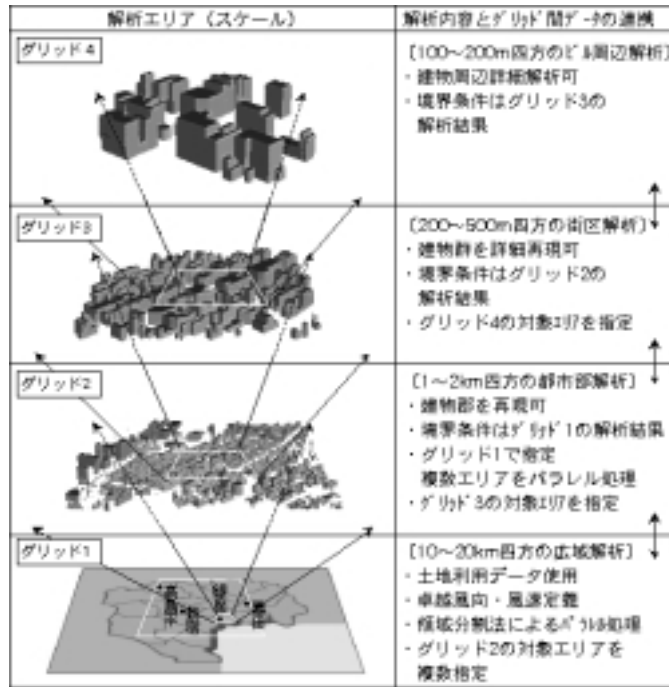


図-1 広域～建物周辺の解析系設定の例

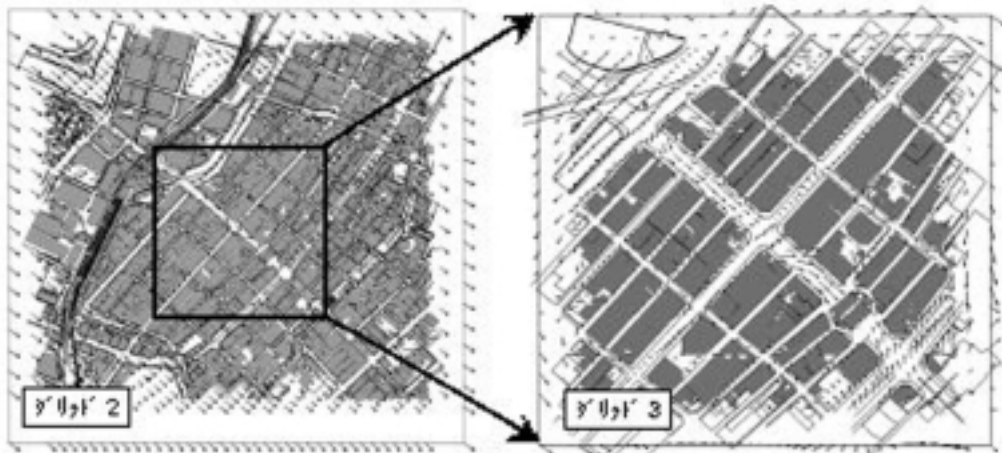


図-2 気流解析結果銀座(約1.5km四方)

図-3 気流解析結果銀座(約600m四方)

4. おわりに

本研究の成果としての都市温熱・環境シミュレータは、今後推進される予定のエコシティモデル事業および環境共生住宅のような都市システムを実現するための、有効な基本技術となることが期待できる。

(注1) 本システムはWindows-NT ベースのパソコン上で稼働させることが可能である。本研究で使用したハードウェアは以下の通りである。

機種：デル・コンピュータ社製 Power Edge 6300 CPU：Intel Pentium 500 MHz 512kB cache × 4 メモリ：4GB, ディスク：72GB RAID-5 UPS：3kVA テープ：DDS-3 × 8 オートローダー, OS：Windows NT 4.0 Server
--

(注2) Two-way methodは狭領域の精密な解析結果を広領域に反映できる利点があるものの、広領域と狭領域の解析を同時に行うため狭領域の解析の細かい時間刻みの影響を受け、全体の解析時間が大きくかかる欠点がある。一方、one-way methodは、広領域の解析結果をデータベースとして保存することにより、広領域の解析領域の範囲内で狭領域の解析を任意に設定し、複数の領域を同時並行して実行することができる利点がある。

(注3) パラレル化については、稼働させるマシンの性能、解析する領域、マルチグリッドの個数によって、最適な高速化の選択ができるように設計を行なっている。並列化は、主に計算の大部分の時間を要する圧力速度同時緩和計算部分に対して行なった。MPIにより並列化を行うことで、実行環境が変更されても容易に移植ができるようにしている。また本システムでは、ポルトガルCoimbra大学のグループが開発、実装したMPIWindows環境で稼働するWMPIを実装している⁴⁾。

(注4) Vis 5Dは、米国ウィスコンシン大学で開発され、GNU General Public Licenseにより公開されている。

参考文献

- 1) 例えば吉田・大岡・村上ほか：対流・放射・湿気連成解析による屋外環境共生空間の緑地効果の検討, 1998.
- 2) Yamada, T. and S. Bunker : Development of a nested grid, second-moment turbulence closure model and application to the 1982 ASCOT brush creek data simulation, Journal of Applied Meteorology, 27, 572-578, 1988.
- 3) 鈴木基雄：変分法による風系推定モデル, 大気環境シミュレーション, pp202, 白亜書房, 1992.
- 4) WMPI from the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal, <http://dsg.dei.uc.pt/wmpi/>