

11-N23

市街地における建築・都市環境の総合数値予測

坂本雄三（東京大学）

概要 本研究の目的は、オープンソースソフトウェアを活用した都市街区レベルの建築・都市環境予測コードの開発、および当該コードを使用した実市街地解析技術の開発、解析結果の整備である。現在までの達成状況は以下である：(1)音環境解析コードの MPI 並列化および ParaView によるオンメモリ並列可視化処理が可能となり、解析周波数上限の向上が可能となった。(2)新たな市街地形形状生成手法を開発した。(3)東京大学 HA8000 における OpenFOAM-2.0 の並列化効率を調べた。(4)実市街地における住宅の通風解析において、山岳地帯を含めた大領域から段階的に計算を行うことで、地形形状の影響を考慮した風況計算が可能となった。(5)OpenFOAM の非圧縮性ソルバー icoFOAM における圧力方程式の離散化行列の入力形式に対し、疎行列データ形式と SpMV の実装方式を切り替えることで、ソルバーの時間を劇的に高速化できる可能性があることがわかった。

1. 研究の目的と意義

ヒートアイランド対策、都市道路交通騒音問題など、現在の我が国市街地においては解決すべき建築・都市環境工学的課題が山積している。それら課題の解決には、現状把握としての環境要素マッピング技術、および将来の変化シナリオに対する予測技術が必要である。そのため、都市環境を構成する個々の環境要素に対しては、従来から精力的に多くの研究が行われてきた。例えば、ヒートアイランド対策という最も具体的かつ喫緊の都市スケール問題解決に迫られてきた温熱環境分野では、通風性能指標の全国マップ作成など、本問題に係る研究実績が豊富であり、我が国の研究レベルは欧米の 10 年先を行くと言われる。また音響分野においては、都市における主要騒音源たる道路交通騒音源からの音響伝搬モデルが実街区へ汎用的に適用可能との立場から、日本音響学会による ASJ RTN-Model 2003 といった、モデル式による街区レベルの道路交通騒音予測手法の実用化、大規模数値予測手法の活用による道路際遮音壁の遮音効果予測高精度化などが模索されている。しかしながら、総合的な環境評価には不可欠と考えられる、それら個々の環境要素を統合した統一的なマッピング、予測、データベース化にかかわる手法の研究開発は行われていない。それには、現在に至るまでそれらの研究開発が個々の環境要素ごとに行われており、各環境要素の予測研究に従事する研究者間の交流がほとんど行われてこなかった事が挙げられる。

一方で、国内外における精力的な数値解析技術研究

開発の結果、数値流体解析(CFD)を用いた風・温熱解析、放射熱解析および数値音響解析といった個々の環境要素予測手法がいずれも完成の域に達しつつある。このことを背景に、概ね 2006 年頃から現在までの僅か数年で、以下の 2 点に代表される状況変化が急速に起こりつつある。

1. 総合的環境予測へ関心を拡大する研究者の発生。
これらの研究者に共通する特徴は、各環境要素の予測手法研究開発において先端的な研究能力及び実績を有しながら、総合的な環境予測手法への研究開発の進展を、それら研究実績からの然るべき延長線として捉えている事である。すなわち、出自たる研究分野にかかわらず、目指すべき、と考える方向性が驚く程一致している。
2. 数値予測技術を実装したオープンソースソフトウェア(以下 OSS) の急速な発達。とりわけ、欧州を中心に急速に開発が進む最新の OSS に共通する特徴として、最先端の研究レベル実装が論文発表と同時にそのままオープンソース化されており、商用コードをものぐ非常に高度な数値および物理モデルを実装していること、CFD、音響、熱放射など多種の物理現象を統合的に連成可能なマルチフィジックス機能を実装していることが挙げられる。

以上のごく近年における状況変化を踏まえ、本研究課題では、OSS を活用した都市街区レベルでの風・温熱・放射・音環境の総合環境予測を行う。

本研究の特色は、複数の環境要素予測を統合化され

たオープンプラットフォームの下、横断的に実施する事にある。前述のとおり、これは従前存在しなかった独創的アプローチであり、本研究の新規性の根幹をなすと考える。これによって、各研究項目における研究分野間の相互協力によるシナジー効果的な研究進展を狙う。また本アプローチから期待される結果および波及的な意義は以下である。

1. **学問的貢献:** 都市環境問題の解決を図る上で基礎となるデータの集積、閲覧が可能となる。
2. **文化的貢献:** 本データベースは専門家のみならず一般に幅広く公開される事から、膨大なデータからのデータマイニングなど、斬新なアイデアに基づく新たな事業、研究開発創出の可能性を有する。

ワールドワイドな OSS エンジニアリングへの貢献:

本研究では OSS をベースとした開発を行う性質上、その成果物も必然的に OSS である。研究分担者は既に OSS 海外発信の実績を有していることから、本成果も海外発信の予定である。技術立国日本を支える我が国産業界の研究開発現場で使用されるエンジニアリングコードが、商用・OSS を問わず、悲惨なまでに海外独占である現状を改善する一助となることが期待される。

2. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

- (1) 共同研究を実施した大学名と研究体制: 東京大学
- (2) 共同研究分野: 超大規模数値計算系応用分野
- (3) 当公募型共同研究ならではの事項など: 異分野の研究者が共同研究を通して協働することで、あらたな問題解決手法を開拓できる。また、OSS を用いていることからコードや計算ケースを随時公開しているため、研究の透明性が高く、さらに追試や類似研究への応用などのリサイクルが著しく容易であることなどが挙げられる。

3. 研究成果の詳細と当初計画の達成状況

3.1 風環境評価のための CFD 結果を再活用した実市街地の音環境解析

3.1.1 概要

近年の住環境に対する意識の高まり、都市の高密度化といった社会的状況変化の中で、市街地スケールでの精確な音環境予測の重要性がかってなく高まっている。現在、このような市街地スケールの音環

境予測には、日本音響学会によって提案された ASJ Model (日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会 2009) と呼ばれるマクロ予測モデルが広範に適用されている。しかしながら当該モデルは典型的な音響伝搬ケースにおける伝搬予測を経験的モデル式に基づいて行うものであり、そのようなケースに当てはまらない場合には予測が困難である。また 5 年ごとに繰り返される改訂によってモデルは巧緻を極めつつあり、予測点を定めた点滴予測に関しては現実的な予測モデル適用も、面的に部分布する多数点における予測においては、各点ごとの適用モデル判断が複雑となってきた。

一方で、近年、計算機の急速な高速・大容量化と、干渉、回折といったマクロモデルが本質的に苦手とする複雑な波動音響現象を考慮可能な波動音響数値解析技術の発展によって、従来は考えられなかった市街地スケールでの波動音響解析が現実的となりつつある。

そのような市街地スケールでの波動音響解析に特にフォーカスした手法として、筆者の一人は線形化 Euler 方程式法(Blumrich 2002)による解析コードを、「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」における平成 22 年度までの共同研究で行って来た。本手法は、前述の波動音響現象に加え、自然風の風速プロファイルや、遮音壁・周辺建物等によって生じる気流の乱れによる音響伝搬の変化、いわゆる気象効果を考慮可能であることが大きな特徴であり、解析解の存在する基本的な解析ケースにおける解の妥当性確認、および実スケール市街地における概念実証的粗メッシュ解析を達成したところである。

以上の背景をふまえ平成 23 年度は、以下の課題に取り組む、成果を挙げた。

3.1.2 MPI 並列化の導入による解析周波数上限の向上

平成 22 年度の実スケール市街地における解析では人間の可聴域下限に近い 30 Hz 程度までの解析周波数に留まったため、解析周波数の向上は最優先の課題である。線形化 Euler 法解析において、解析周波数上限は格子幅と反比例の関係に有るため、解析周波数の向上は必然的に細メッシュ化、すなわち解析

規模の大規模化を意味する。例えば解析周波数 1 オクターブの向上には、格子幅を長さスケールで半分、すなわち格子数を倍にする必要があり、3 次元解析では 3 軸方向を考慮して $2^3 = 8$ 倍のセル数となる。

そのため、線形化 Euler 法解析コードおよび、市街地形状から格子を生成するプリプロセッシングコードに、新たに MPI による分散メモリ並列化を導入した。本並列化においては通信レイテンシの隠蔽のような高度な MPI プログラミングは行っていないが、128 プロセッサにおいて 1 ステップ約 26 秒に対し 1024 プロセッサ解析では約 2.8 秒と、概ねプロセッサ数に見合った並列化効率の向上を達成した。

3.1.3 オープンソース可視化ソフトウェアを用いた並列リモートレンダリング

解析の大規模化に伴って、莫大に増加する解析結果データの、可視化などの後処理が問題となる。ここで、オープンソース可視化ソフトウェアの ParaView (Kitware Inc., 2011) は、クライアント・サーバモデルによる大規模データの並列遠隔インタラクティブ可視化が可能である (図 1)。既に T2K システムに導入されている同様な可視化システムとしては AVS/Express PCE が存在するが、ParaView は AVS/Express と比較してさらに、ソフトウェア OpenGL レンダラの OSMesa (off-screen Mesa) (Paul, 2011) との組合せによる一般用計算ノードにおけるレンダリングハードウェアレス可視化、シミュレーションコードから ParaView の機能呼び出す CoProcessing 機能 (図 2)、クロスプラットフォームなどの長が挙げられる。そこで、OSMesa および ParaView を T2K オープンスパコンシステム上でビルドし、遠隔並列リモートレンダリングを試みた。

その結果、ビルドにおいては、T2K クラスタにおいて正式サポートされる MPI バージョン 1 対応 (Moreland, 2011)、および OSMesa 環境におけるコンパイルエラー対応 (Oshima, 2011) のためのソースコード修正を要した。なお、これらのソースコード修正は、ParaView 3.12.0 に取り込まれている。遠隔可視化の実行時に問題となる遠隔サーバへの接続確立については、図 3 のように T2K クラスタのインタラクティブ・ノードを経由した portfwd (da Silva

Marques, 2011) と ssh を組合わせたポート・フォワードイングにより可能であることを確認した。

3.1.4 CoProcessing ライブラリによるシミュレーション・コード内でのオンメモリ可視化処理

本研究における線形化 Euler 法解析は、方程式系およびそれに基づいた解析手法は非常に単純である代わりに、格子点数が膨大となる (~数百億) ことが特徴である。そのため前節で実証した ParaView による遠隔並列可視化によっても、データの保存容量および I/O 負荷が過大となることが見込まれる。一方で ParaView は、前節で述べたとおり、シミュレーション・コードからライブラリとして呼び出すことで、シミュレーション・コード内のデータをメモリ上で受取って、ディスク I/O を介することなく可視化処理を行うことが可能である。これを ParaView では、シミュレーションの前後に付帯処理を行う Pre/Post-Processing に対し、シミュレーション中に行うとの意味で CoProcessing と呼んでいる。

線形化 Euler 法シミュレーション・コードにおいてこの CoProcessing API への対応を行い、シミュレーション・コード内でのオンメモリ可視化が可能であることを確認した (図 4)。

3.1.5 市街地形状生成手法の改善

平成 22 年度までに使用して来た市街地形状生成手法においては、建物を除いた地面形状が平坦地に限定される制約、および建物形状の階段近似による形状再現精度の制約を有していたが、これらの制約の無い形状生成手法を新規に開発した (図 5)。詳細は (大嶋, 2012) を参照されたい。

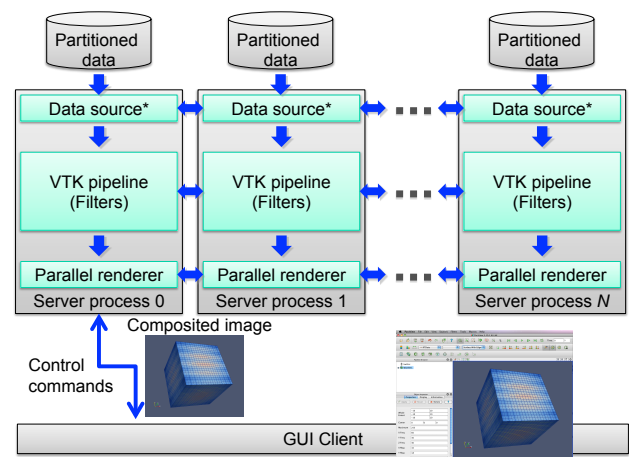


図 1 ParaView の並列リモート実行モデル

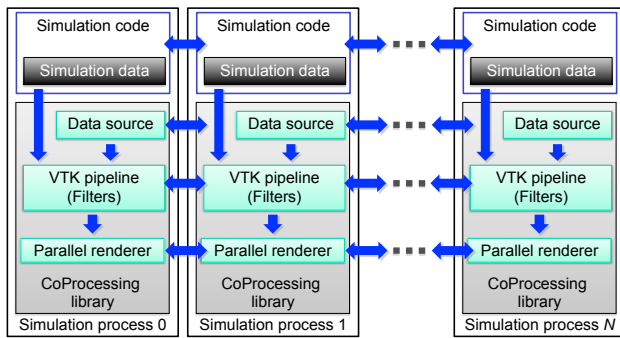


図 2 CoProcessing の実行モデル

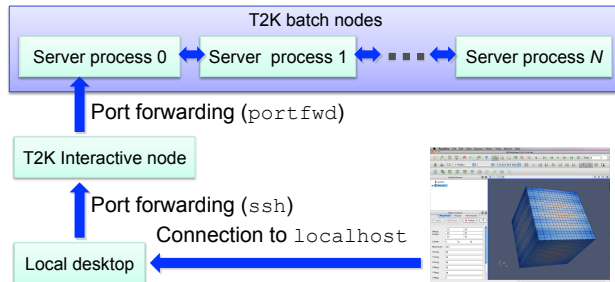


図 3 ParaView サーバへのリモート接続

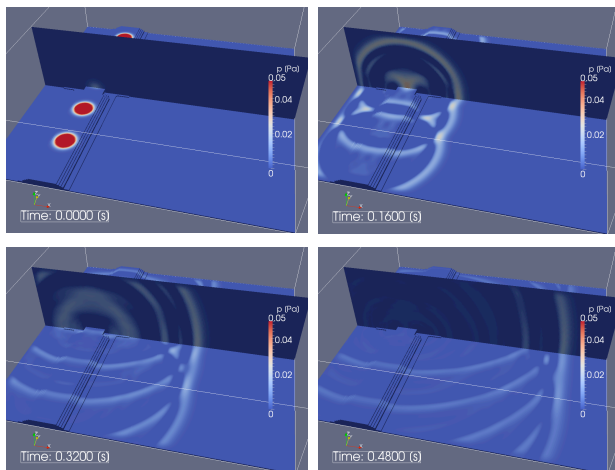


図 4 CoProcessing による出力画像

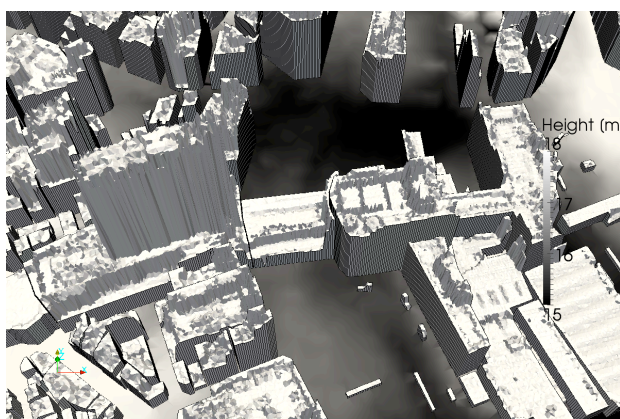


図 5 新形状生成手法による市街地形状

参考文献

日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会、道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2008”、日本音響学会誌、Vol. 65、No. 4、pp. 179-232、2009

Reinhard Blumrich, and Dietrich Heimann, A linearized Eulerian sound propagation model for studies of complex meteorological effects, J. Acoustical Society of America, Vol. 112, No. 2, pp. 446-455, 2002

Kitware Inc., ParaView - Open Source Scientific Visualization, <http://paraview.org/>, Retrieved on Dec. 3, 2011

Brian Paul et al., The Mesa 3D Graphics Library, <http://www.mesa3d.org/>, Retrieved on Dec. 3, 2011

Ken Moreland, Work around when MPI_IN_PLACE not available, <http://paraview.org/Bug/view.php?id=12682>, Retrieved on Dec. 4, 2011

Takuya Oshima, could not open source file "GL/gl.h" compiling vtkIceTSynchronizedRenderers.cxx, <http://paraview.org/Bug/view.php?id=12711>, Retrieved on Dec. 4, 2011

Everton da Silva Marques, Portfwd, <http://portfwd.sf.net/>, Retrieved on Dec. 4, 2011

大嶋拓也、平栗靖浩、今野雅、線形化 Euler 法による屋外音響伝搬解析のための数値地形情報を用いた形状生成および格子生成、日本音響学会騒音振動研究会資料、N-2012-10、2012

3.2 OpenFOAM-2.0 の並列化効率と実市街地の風環境解析

3.2.1 OpenFOAM-2.0 の並列化効率

本研究では風・温熱・放射環境の解析に、OSS の OpenFOAM を用いているが、2011 年 6 月に OpenFOAM の Version 2.0 がリリースされ、本研究に必要な形態係数放射解析ライブラリが追加された。そこで本年度では最初に、昨年度迄用いていた Version 1.7 に加え、Version 2.0 を東京大学の HA8000 クラスタシステムにインストールし、その並列化効率を詳細調べた。図 6 に OpenFOAM 付随の Tutorial ケースである channel395 の一様乱流チャンネル流を、格子が $512 \times 256 \times 256 =$ 約 3,400 万、圧力ソルバーが PCG で解析した場合の高速化率と並列化効率を示すが、

64 ノード(1024 コア)計算でも並列化効率が 85%以上出ている。なお、並列化効率は 4 ノードの計算時間をベースに算出している。なお、より少ない格子数や圧力ソルバーとして AMG を用いた場合の検討も行なっている。計算条件を含めた詳細は(今野、2012)を参照して頂きたい。

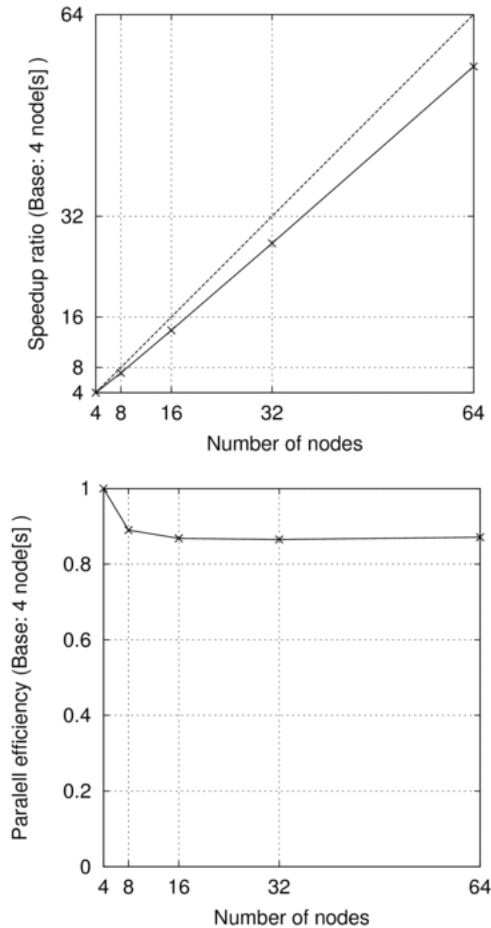


図 6 OpenFOAM-2.0 の高速化率と並列化効率

3.2.2 実市街地の風環境解析用格子生成

3.1.5 節で生成した図 5 の市街地形状を元に風環境解析を行なった。格子は OpenFOAM 附属の snappyHexMesh を用いて生成した。格子数は約 1,340 万であった。解析領域は水平方向 1km 四方、高さ 512m である。上空の最大格子幅は 16m であり、地上まで段階的に格子幅を細かくし、地表面近傍と建物・地表面周辺の格子幅は 1m をした。平成 22 年度までは生成した建物形状が階段状近似であったため、生成格子も建物周辺が 1m 間隔の階段状であったが、平成 23 年度は建物や地表面の境界形状に適合した格子を生成した。一方、後述するが風環境解析が不安定になり、計算安定化が今後の課題となった。

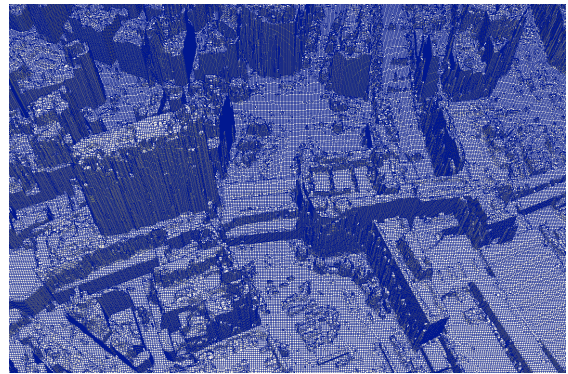


図 7 実市街地の風環境解析用格子

3.3 CFD による実市街地における住宅の通風解析

近年、町屋等の伝統的建築物はその歴史的価値が認められ、保全・再生される傾向にあるが、一般に室内温熱環境水準が低く、冷暖房に過大なエネルギー消費を必要とする。そこで、歴史的価値を出来る限り損なわずに、室内温熱環境水準を向上させることを目標とし、通風による自然換気が利用可能であるか否かについて検証する。

対象は、山に囲まれた低層市街地(図 8)内に位置する町屋であり、CFD を用いて通風量、通風経路等を評価する。本研究で対象とする市街地は四方を山に囲まれており、その地形によって攪乱された複雑な気流が流入していると考えられる。したがって、べき乗則などを用いて作成された一様方向に流入する境界条件では、現実の風況と大きく異なる可能性がある。以上の理由より、本研究ではまず、山岳地帯を含めた大規模領域における CFD を行い、対象とする市街地へのアプローチフローを作成する。そのアプローチフローを用いて、市街地を十分な解像度で分割した格子によって対象建物の風圧係数を算出する。

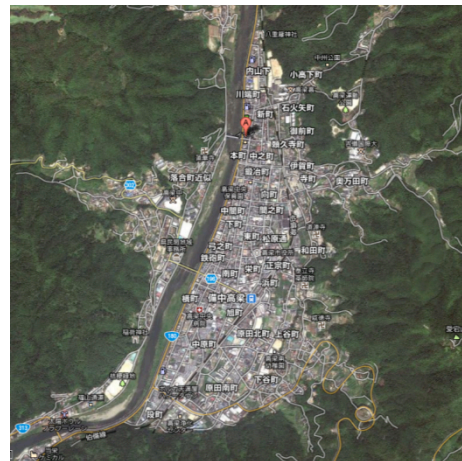


図 8 対象とした低層市街地 (Google Map)

3.3.1 計算領域の概要

図 9 に示すように、建物形状は 3 領域に分割して作成した。

- 1) **小領域** 対象家屋を中心に、3~4 軒の隣家を含む約 50m 四方の領域。建物形状は現地視察を元に、屋根勾配まで再現している。
- 2) **中領域** 小領域をほぼ中心に置く約 350m 四方の領域。形状は航空機からのレーザーによる計測データより作成。2m 角のブロック状に近似している。
- 3) **大領域** 中領域を中心に、東西方向に 4.5km、南北方向に 5.5km の領域。国土地理院が発行する数値標高データ (5m 間隔) を使用して作成した。地表面の起伏のみ再現し、建物等の障害物は含まれていない。領域の四周は流入境界条件設定の簡便化と計算安定化のため、加工してある。

まず大領域のみにて計算を行い、その結果から中領域の境界面における速度・乱流エネルギー・散逸率を抽出する。それを境界条件として中領域・小領域の計算を行う。中領域と小領域は単一のメッシュ中に含まれ、同時に解かれる。

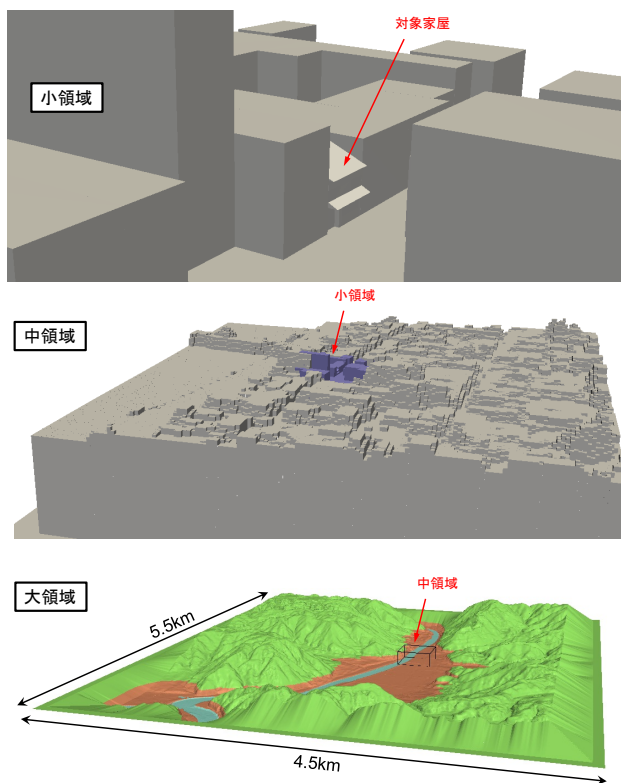


図 9 計算領域

3.3.2 格子生成の概要

格子生成には OpenFOAM(ver. 2.1.x) に付属する負荷分散型並列格子生成ユーティリティである snappyHexMesh を用い、HA8000 の 8 ノード 128 コアを用いて生成した。大領域では地表面に平均厚さ 0.35~1.7m のレイヤーを 3 層挿入し、地表面から離れるにつれて段階的に拡大させ、最大格子幅は 25m とした。中・小領域 (図 10) では、対象家屋付近で約 0.08m、その他は段階的に拡大し、最大 5m である。総格子数は、大領域で 70,149,414、中・小領域で 6,327,905 となった。

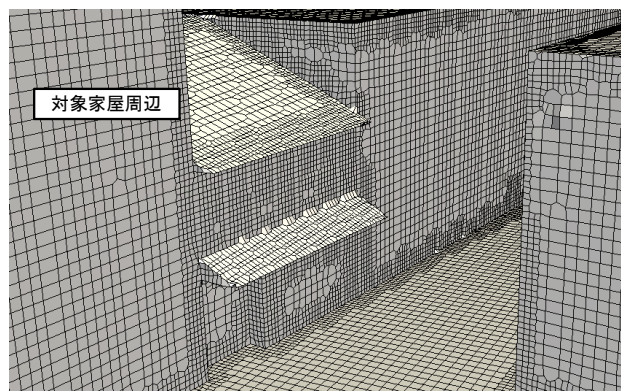
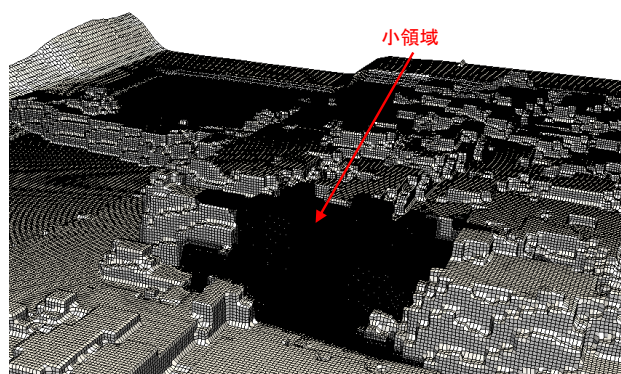


図 10 中・小領域の計算格子

3.3.3 計算結果

まず大領域にて、対数則によって作成した流入風 (風向: 南・北・西) を与えて計算した。大領域の計算結果から、中領域境界面において速度分布を抽出し、対象家屋周辺の風況を計算した。

図 11 に対象家屋付近の風況、対象家屋壁面の風圧係数分布を示す。家屋正面の非常に狭い路地が再現されたことで、隙間風が発生し対象家屋付近の風況に影響を及ぼしている。また、屋根勾配を再現したことで、風圧係数分布にも影響が見られる。

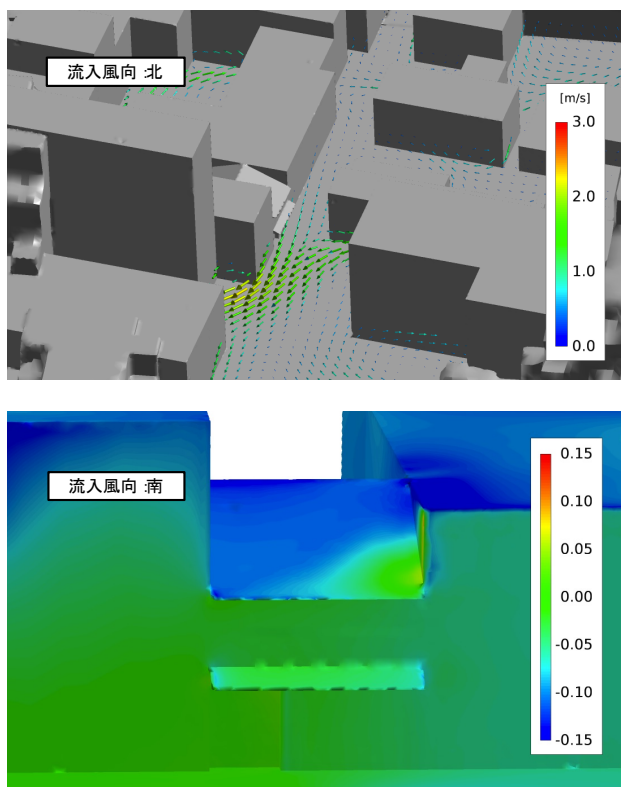


図 11 対象家屋付近の風況・風圧係数

3.4 OpenFOAM の最適化と自動チューニング機構の開発

3.4.1 概要

近年のスパコンはマルチコア CPU、多階層メモリ、GPGPU に代表される演算アクセラレータを用いた複雑な構成になっている。このように複雑化された計算機環境では、計算機環境に特化したデータ構造やコーディング手法を採用しないと高速実行が困難である。一般に高性能化のために、アプリケーションチューニングが必要となるが、このチューニングはハードウェア毎に手動で実行する。したがって、開発工数の増大につながる。また、職人芸的な技術が必要とし、科学的観点とは別のノウハウが必要となる。計算科学を行うアプリケーション開発者がこれを実施することはますます困難である。

以上の背景から、性能チューニングの自動化を目的とした自動チューニング (AT) 技術が研究されている。本プロジェクトでは、OpenFOAM へ AT 技術を適用するためのチューニングの方法論を確立させることを今年度の目的にした。また AT 適用の際のコストを削減するため、ppOpen-HPC プロジェクトで開発している自動チューニング基盤 ppOpen-AT における成

果を活用する。

3.4.2 対象となる問題

OpenFOAM の機能として提供されている icoFoam を用いる。icoFoam は PISO アルゴリズムを用いた非定常非圧縮掃流解析コードである。PISO は流速の予測子から圧力を陰的に求め、得られた圧力を元に流速の修正を行う予測子修正子法的アルゴリズムである。計算時間の大部分は圧力を陰的に求める部分での線形代数ソルバー (疎行列反復解法) で占められている。ソルバー内で最も時間がかかる部分は、行列ベクトル積 (SpMV) と予想されるので、OpenFOAM で用いられている SpMV のコードの調査、および性能の予備評価を行った。

3.4.3 OpenFOAM の疎行列データ形式

OpenFOAM では、疎行列を表現する疎行列データ構造は、疎行列を、上三角、下三角、対角の 3 つに分解し個別に格納している。それぞれの形式は、C00 (Coordinate) 形式と呼ばれる疎行列データ形式を採用している。この C00 形式は、直観的な表現方法でありわかりやすい。その反面、データアクセスに間接参照が 2 回入るために、非連続アクセスになる。これが C00 形式の高速化の障害となる。そこで、間接参照の回数の低減と、データ連続アクセスを実現する疎行列データ構造、および、コーディング手法の確立が必要となる。

3.4.4 試験問題と性能評価結果

試験問題として、チュートリアルの一つである cavity モデルに対し、格子点数を変化させて利用した。東京大学情報基盤センターの T2K オープンスパコン (1 コア、逐次実行のみ) を用いた。計測データは格子点数が 10,000、40,000、90,000、160,000、250,000 の 5 ケースを用いた。

疎行列データ構造、および SpMV コーディング変種として、(1)C00 (オリジナルのもの)、(2)C00 に対する 2 段~8 段のアンローリング、(3)LDU に分解した状態で CRS 形式に変更したもの (CRS)、(4)LDU を一体化し CRS 形式に変更したもの (CRS2)、(5)5 重対角を 5 本の配列に格納したもの (FDS)、を実装し、性能評価を行った。

結果は以下のとおりである。

CRS (LDU 分離型) は、ほぼすべてのケースにおいて性能劣化が見られた。これは、cavity データでは 1 行当たりの非ゼロ成分数が 1 あるいは 2 しかなく、演算量が少ないため、CRS による間接参照数の低下 (間接参照 1 回) の効果が、COO に対して得られないからである。

CRS2 についても、COO に対し性能的に大きな違いは見られなかった。

一方、FDS がすべてのデータサイズにおいて顕著な速度向上 (COO に対し約 10 倍の速度向上) を達成した。この理由は、試験問題が構造格子状態であるので、5 重対角に分解することによって行列データとベクトルデータの両方が 1 次元的に連続アクセスできるようになるからである。

ただし FDS 形式は、非構造計算格子には適用できない。したがって、OpenFOAM が受け付けるすべての入力データに対して適用することはできない。AT 技術を導入し、入力行列の特性に応じ自動的に疎行列データ構造の変換と、SpMV のコーディング手法を切り替える必要がある。

4. 今後の展望

4.1 波動音響解析手法による市街地スケールの音環境解析

現在の進捗状況としては、3.1 節に記したように解析コードの MPI 並列化および ParaView によるオンメモリ並列可視化処理が可能となり、新たな形状生成手法が開発された段階である。以上により、解析周波数上限の向上、すなわち解析の大規模化に向けた個々の要素技術が揃ったところと言える。

平成 24 年度課題では引き続き、これらの道具立てを活用して、大規模解析による市街地スケール音環境解析の有用性を実証していく。

4.2 実市街地の風・温熱・放射環境解析

平成 23 年度に新たに開発した新形状生成手法で生成した詳細な市街地形状で風環境解析を行った。しかし、現状では解析領域の境界付近に尖った建物がある場合、風向によっては境界付近で気流計算が非常に不安定になり発散する。このため 3.3 節で行なったように地表面のみを再現した大領域と市街地形状を滑らかに接続し、安定した風環境解

析が行う必要があり、今後の課題としたい。また、OpenFOAM-2.0 から加わった形態係数放射解析ライブラリの性能評価を行い、市街地における風・温熱・放射環境予測を実施する予定である。

4.3 CFD による実市街地における住宅の通風解析

山岳地帯を含めた大領域から段階的に計算を行うことで、地形形状の影響を考慮した風況計算が可能であることを示したが、検討した流入風向は 3 風向にとどまった。今後は、流入風向を 16 風向まで増やし、対象家屋周辺の風況データベースを整備する。また、この風況データベースを用いて対象家屋内部の通風 CFD 計算を、改修手法毎にケース分けして行うことで、改修手法の評価を行う。

4.4 OpenFOAM における AT 機構の実現

本稿で示した予備評価結果により、OpenFOAM における入力行列によっては、疎行列データ形式と SpMV の実装方式を切り替えることで、ソルバーの時間を劇的に高速化できる可能性がある。そこで、入力データに合わせたデータ構造の自動切り替え機能を含む AT 機構を実現する。そのために、OpenFOAM で採用されている snappyHexMesh の特性を考慮し、構造格子と非構造格子との疎行列データ形式を切り分け、本稿で示した FDS 形式と CRS 形式とを同時に使う方法で高速化する AT 機構について、その設計とプロトタイピングを進める。

5. 研究成果リスト

(1) 学術論文 (投稿中のものは「投稿中」と明記)

- Takuya Oshima, Masashi Imano, Yasuhiro Hiraguri, Yoshikazu Kamoshida, Linearized Euler simulations of sound propagation with wind effects over a reconstructed urban terrain using digital geographic information, Applied Acoustics, 投稿中

(2) 国際会議プロシーディングス

- Takuya Oshima and Masashi Imano, Unified automatic mesh generation of urban terrain for linearized Euler simulations using digital geographic information, Proc. Inter-Noise 2011 (Osaka), No. 429662, 2011

(3) 国際会議発表

- Takuya Oshima and Masashi Imano, Unified automatic mesh generation of urban terrain for linearized Euler simulations using digital geographic information, Proc. Inter-Noise 2011 (Osaka), No. 429662, 2011
- Satoshi Ito, Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri: Implementation of ppOpen-AT into OpenFOAM, Proceedings of VECPAR2012, 2012 (Accepted) (A Poster)

(4) 国内会議発表

- 大嶋拓也、今野雅、屋外音場数値解析のための数値地形情報を用いた市街地形形状生成および格子生成、日本音響学会講演論文集(秋季)、No. 1-2-3、2011
- 大嶋拓也、平栗靖浩、今野雅、線形化 Euler 法による屋外音響伝搬解析のための数値地形情報を用いた形状生成および格子生成、日本音響学会騒音振動研究会資料、N-2012-10、2012
- 小野、酒井、野口、内山、隅田：特色ある地方都市の街並・建築群の保全・再生への環境工学的アプローチ(その4)周辺地形の影響を考慮したCFD、日本建築学会学術講演論文集、2012.9(発表予定)
- 伊東聰、大島聡史、片桐孝洋：ppOpen-AT における OpenFOAM 高速化の取り組み、第 17 回計算工学講演会 予稿集、(発表予定)、2012 年

(5) その他(特許, プレス発表, 著書等)

- 今野雅：HA8000 クラスタシステムでの OpenFOAM-2.0 の並列化効率、スーパーコンピューティングニュース、Vol.14、No.1、2012 年

謝辞: OpenFOAM の最適化と自動チューニング機構の適用に関し、科学技術振興機構、研究領域「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」領域の採択課題「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境」(代表者：中島研吾教授)の成果を利用して行われた。特に本稿の成果は、伊東聰特任助教の研究によるものである。