

# 目次

1	はじめに	1
2	広域CFD解析の理論式	12
2. 1	解析モデル	12
2. 2	差分による数値解析	18
2. 3	表面温度の設定	27
3	計算プログラムの最適化	37
3. 1	最適化に関わる条件	37
3. 2	必要になる計算機資源の推定	37
3. 3	計算プログラムの診断	39
3. 4	最適化の作業内容	42
3. 5	最適化の行程	44
4	入力データの作成	49
4. 1	データ整備の概要	49
4. 2	地盤および建物の高さ	49
4. 3	建物等幾何データのメッシュ整備	60
4. 4	土地利用	62
4. 5	日射到達高さ	66
4. 6	人工排熱	67
5	東京23区全域を対象にした気温、風速分布の大規模数値解析	86
5. 1	概要	86
5. 2	解析結果	89
5. 3	広域CFD解析の事例集	90
5. 4	地域類型化	91
5. 5	考察	93
6	得られた成果と今後の課題／謝辞	148
	参考文献	149
	研究発表等（平成16～21年度）	152
	付録説明：東京ヒートマップについて	158
	執筆者／研究参画者	160
	付録：東京ヒートマップ（CD-ROM）	

## 図表一覧

- 図 1 都市が高温化する要因
- 図 2 ヒートアイランドの数値モデル
- 図 3 隅田川周辺の気温と風（地上10m）
- 図 4 体積占有率が小さくなる典型例
- 図 5 実質的な格子
- 図 6 日陰域の簡易判別
- 図 7 建物壁面と日射向きの配置パターン
- 図 8 日陰判定の事例
- 図 9 葉1枚を含む微小領域における放射の透過
- 図 1 0 葉面の配置と有効表面積
- 図 1 1 地表面温度の日変化（2005年7月31日、東京）
- 図 1 2 加速率と最大経過時間（最大経過時間が大きなものを矢印で表示）
- 図 1 3 加速率と平均ベクトル長（最大経過時間が大きなものを矢印で表示）
- 図 1 4 ロードインバランス(16CPU)（ICCG(+BiCGSTAB)関連を矢印で表示）
- 図 1 5 ロードインバランス(64CPU)（ICCG(+BiCGSTAB)関連を矢印で表示）
- 図 1 6 領域分割法
- 図 1 7 領域分割法における通信処理
- 図 1 8 配列の「使い廻し」の例
- 図 1 9 動的割当機能を利用する例
- 図 2 0 最適化の行程
- 図 2 1 300ノード利用申請（960プロセス）
- 図 2 2 300ノード利用申請（2,400プロセス）
  - (a) 戸越
  - (b) 汐留
- 図 2 3 データ整備範囲
- 図 2 4 1mDSMの分布事例
- 図 2 5 5mメッシュ分解した建物に高さを設定した例（東京ドーム周辺）
- 図 2 6 大規模な建物における建物高さの詳細化の例
  - (a) 建物階数データに基づく従来の方法
  - (b) 1mDSMデータを用いる今回の方法
- 図 2 7 CADデータを適用した地区
  - (a) 汐留地区
  - (b) 建物配置
- 図 2 8 MAPCUBE建物（一般建物）と東京都GIS建物の水平位置の比較
- 図 2 9 CADとGISを組み合わせた都市幾何形状の3次元表現（CFD解析結果を含む）
- 図 3 0 用途別建物平均階高
- 図 3 1 用途別延床面積規模別平均階高
- 図 3 2 建物の分布（4階以上）
  - (a) 住宅地図データ
  - (b) 東京都GISデータ
- 図 3 3 開口率・体積占有率の計算例（左：球体の場合、右：直方体の場合）
- 図 3 4 開口率・体積占有率の計算例
  - (a) 開口率（東西南北）
  - (b) 開口率（上下）、体積占有率
- 図 3 5 汐留付近における体積占有率分布の例（ $k=10$ ）
- 図 3 6 密接した建物の屋上面および壁面
- 図 3 7 詳細化した建物の屋上の一部
- 図 3 8 街区区域より作成した道路オブジェクト
- 図 3 9 建物排熱の推計フロー
- 図 4 0 事業所排熱（地上、煙突）の推計フロー
- 図 4 1 建物各棟からの顕熱分布例（14時）その1
- 図 4 2 建物各棟からの顕熱分布例（14時）その2

- 図 4 3 建物各棟からの潜熱分布例 (14時) その 1
- 図 4 4 建物各棟からの潜熱分布例 (14時) その 2
- 図 4 5 建物各棟からの排熱の排出位置 (その 1)
- 図 4 6 建物各棟からの排熱の排出位置 (その 2)
- 図 4 7 自動車排熱 (消費エネルギーベース) の推計フロー
- 図 4 8 5mメッシュ別路面高さ (自動車排熱高さ) の例
- 図 4 9 5mメッシュ別路面高さ (自動車排熱高さ) の例
- 図 5 0 5mメッシュ別の自動車顕熱 (14時) の例
- 図 5 1 5mメッシュ別の自動車顕熱 (14時) の例
- 図 5 2 地表面近傍における人工排熱 (顕熱14時) の例
- 図 5 3 地表面近傍における人工排熱 (顕熱14時) の例
- 図 5 4 断面位置
- 図 5 5 5mメッシュ別人工排熱量 (顕熱14時) の例 (西→東方向の鉛直断面) (1)
- 図 5 6 5mメッシュ別人工排熱量 (顕熱14時) の例 (西→東方向の鉛直断面) (2)
- 図 5 7 5mメッシュ別人工排熱量 (顕熱14時) の例 (西→東方向の鉛直断面) (3)
- 図 5 8 5mメッシュ別人工排熱量 (顕熱14時) の例 (西→東方向の鉛直断面) (4)
- 図 5 9 5mメッシュ別人工排熱量 (顕熱14時) の例 (西→東方向の鉛直断面) (5)
- 図 6 0 解析領域
- 図 6 1 解析の流れ
- 図 6 2 メソスケール解析結果 2005年7月31日14時 (第2階層、地上10m)
- 図 6 3 気温の分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) 地上2m
  - (b) 地上10m
  - (c) 地上50m
  - (d) 地上100m
- 図 6 4 スカラー風速の分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) 地上2m
  - (b) 地上10m
  - (c) 地上50m
  - (d) 地上100m
- 図 6 5 体積占有率の分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) 地上2m
  - (b) 地上10m
  - (c) 地上50m
  - (d) 地上100m
- 図 6 6 比湿の分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) 地上2m
  - (b) 地上10m
  - (c) 地上50m
  - (d) 地上100m
- 図 6 7 鉛直方向の風速の分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) 地上2m
  - (b) 地上10m
  - (c) 地上50m
  - (d) 地上100m
- 図 6 8 気温の鉛直断面分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) Y=-22000~-21500m
  - (b) Y=-13000~-12500m
  - (c) Y=-4000~-3500m
  - (d) Y=5000~5500m
- 図 6 9 スカラー風速の鉛直断面分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時
  - (a) Y=-22000~-21500m
  - (b) Y=-13000~-12500m
  - (c) Y=-4000~-3500m
  - (d) Y=5000~5500m

- 図 7 0 比湿の鉛直断面分布 (500mメッシュ平均) 2005年7月31日14時  
 (a)  $Y=-22000\sim-21500\text{m}$   
 (b)  $Y=-13000\sim-12500\text{m}$   
 (c)  $Y=-4000\sim-3500\text{m}$   
 (d)  $Y=5000\sim5500\text{m}$
- 図 7 1 東京23区全域の気温分布 (地上10m) 2005年7月31日14時
- 図 7 2 METROSの観測による東京23区の気温分布 (東京都) 2005年7月31日14時
- 図 7 3 気温分布の事例 (図 7 1 の実線で囲んだ矩形領域) 2005年7月31日14時  
 (a) 地上10m  
 (b) 地上2m
- 図 7 4 気温、風速の鉛直断面分布 (図 7 1 の点線部分) 2005年7月31日14時
- 図 7 5 水平ロール渦
- 図 7 6 東京都心臨海部 (10km四方)
- 図 7 7 東京都心臨海部 (10km四方) における気温分布 2005年7月31日14時  
 (a) 標高34.7m  
 (b) 標高65.1m  
 (c) 標高112.6m
- 図 7 8 東京都心臨海部 (10km四方) におけるスカラー風速分布 2005年7月31日14時  
 (a) 標高34.7m  
 (b) 標高65.1m  
 (c) 標高112.6m
- 図 7 9 隅田川 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速 (標高11.0m)  
 (c) 気温 (標高11.0m)  
 (d) 土地利用その2  
 (e) 気温 (標高21.5m) ・ 風速 (標高23.2m)
- 図 8 0 目黒川 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速 (標高3.6m)  
 (c) 気温 (標高3.6m)
- 図 8 1 皇居 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速 (標高30.6m)  
 (c) 気温 (標高30.6m)
- 図 8 2 汐留・有楽町 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速 (標高3.6m)  
 (c) 気温 (標高3.6m)  
 (d) 風速 (標高48.5m)  
 (e) 気温 (標高48.5m)
- 図 8 3 臨海部のライフライン施設 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速  
 (c) 気温
- 図 8 4 赤坂・六本木・恵比寿 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速ベクトル ( $u, v$ ) (標高92.3m) ・ 鉛直風速 (標高88.6m)  
 (c) 風速ベクトル ( $u, v$ ) (標高92.3m) ・ 気温 (標高88.6m)  
 (d) 土地利用その2  
 (e) 風速ベクトル ( $u, v$ ) (標高39.0m) ・ 気温 (標高36.8m)
- 図 8 5 新宿・渋谷・四谷 2005年7月31日14時  
 (a) 土地利用  
 (b) 風速ベクトル ( $u, v$ ) (標高39.0m) ・ 気温 (標高36.8m)  
 (c) 土地利用2

(d) 風速ベクトル ( $u, v$ ) (標高39.0m) ・ 気温 (標高36.8m)

(e) 土地利用 3

(f) 気温 (標高41.3m)

(g) 気温 (標高77.9m)

図 8 6 第1主成分得点の分布

図 8 7 第2主成分得点の分布

図 8 8 第3主成分得点の分布

図 8 9 第4主成分得点の分布

図 9 0 第5主成分得点の分布

図 9 1 クラスタ分析による地域類型

図 9 2 上空と地上付近の気温差

(a) 気温差と風速比

(b) 気温差とグロス建ぺい率

図 9 3 圧力の鉛直分布

図 9 4 体積占有率の鉛直分布

図 9 5 風速比の鉛直分布

図 9 6 気温差の鉛直分布

表 1	本研究資料で使用する記号一覧
表 2	数値解析コードの概要
表 3	熱伝導率の補正值 $\eta$ と実質的な格子幅の比 $r$ の対応
表 4	上空および側方境界条件
表 5	東京の観測データ (2005年7月31日)
表 6	地表面熱収支パラメータの事例 1
表 7	地表面熱収支パラメータの事例 2
表 8	地表面熱収支パラメータ (本研究資料)
表 9	ベクトル性能
表 1 0	並列性能
表 1 1	メモリ使用量 (30km四方を想定)
表 1 2	AMGCG法とICCG法の比較
表 1 3	インバランス状況のサブルーチン比較
表 1 4	並列性能
表 1 5	最大コスト(約40%)を占めるk3d_bcgstbの状況(Rank0)
表 1 6	高コストを占めるサブルーチン (k3d_bcgstb以外)
表 1 7	地域別使用データ
表 1 8	5mDEMと1mDSMによる平均標高の差分の例
表 1 9	用途、延床面積別の建物棟数 (東京23区) 国土地理院1mDSMデータ、東京都GISを用いた場合
表 2 0	川崎市GISの建物用途と東京都GISの建物用途の対応
表 2 1	横浜市GISの建物用途と東京都GISの建物用途の対応
表 2 2	建物用途と建物名称の関係から抽出した用途別キーワードの例
表 2 3	住宅地図データを利用した場合の建物用途と地上階数の設定方法
表 2 4	東京都GISの土地用途コードと土地利用項目の対応
表 2 5	川崎市GISの土地用途コードと土地利用項目の対応
表 2 6	横浜市GISの土地用途コードと土地利用項目の対応 (その1)
表 2 7	横浜市GISの土地用途コードと土地利用項目の対応 (その2)
表 2 8	細密数値情報 (10mメッシュ土地利用) の用途と土地利用項目の対応
表 2 9	人工排熱の排出位置
表 3 0	東京都GISの建物用途と人工排熱用途区分の対応表
表 3 1	川崎市GISの建物用途と人工排熱用途区分の対応表
表 3 2	横浜市GISの建物用途と人工排熱用途区分の対応表
表 3 3	地域冷暖房計画区域の熱源システムおよび供給延床面積
表 3 4	地域冷暖房の熱源システムの分類
表 3 5	「LOCALS」のモデル構成
表 3 6	主成分分析による成分行列
表 3 7	類型毎のクラスター中心