

ヒートアイランド緩和に資する 都市形態の評価手法の開発

環境研究グループ 上席研究員 足永 靖信

目次

- I はじめに
- II 都市の気温上昇の要因
- III 広域 CFD 解析の意義
- IV 水平 5m 解像度で見る東京 23 区の気温分布
- V 都心再開発とヒートアイランド緩和
 - (1) 日本橋川の事例
 - (2) 東京駅の事例
 - (3) 都市空間の風について
 - (4) 数値シミュレーションによる検討事例
- VI 普及に向けて
- VII おわりに
- 参考文献

I はじめに

近年、東京では、21 世紀の国際都市として都心再生の機運が高まっており、様々な整備事業が進行している。その一方で、都市の高温化現象（ヒートアイランド）は、最近になって様々な対策が実施され始めたものの、なかなかおさまる気配が見られない。過去 100 年間で東京の気温は 3℃ 上昇しており、その主な原因として都市化の影響が指摘されている。IPCC 第 4 次評価書によると、21 世紀中に地球全体の気温はさらに上昇することが確実視されており（1.1～6.4℃）、今後は地球温暖化の影響も相まって都市の暑熱環境はより過酷なものになると予想される。低炭素社会の実現に向けて、都市の高温化抑制をはじめとする都市環境の質向上は重要な視点である。

政府はヒートアイランド対策大綱を 2004 年 3 月に決定¹⁾し、その後、国土交通省の CASBEE-HI²⁾、自治体のヒートアイランド対策ガイドライン³⁾などが作成された。最近では内閣府の環境モデル都市⁴⁾や民間主導のまちづくり協議会⁵⁾などで低炭素都市の構築に向けた現実的な取り組みが展開しつつある。ヒートアイ

ランド対策には、1) 人工排熱の低減、2) 地表面被覆の改善、3) 都市形態の改善、4) ライフスタイルの改善、の 4 つの推進方法がある⁶⁾。このうち、1) 人工排熱の低減、2) 地表面被覆の改善については建材・機器メーカーの技術開発が急速に進んでおり、4) ライフスタイルの改善の話題として打ち水活動などの取り組みが見られる。3) 都市形態の改善については、これまで風の通り道などの対策が指摘されてきたものの、研究情報が不足しており、効果的な対策方法が明らかにされていない状況にある。

建築研究所では、研究プロジェクト「ヒートアイランド緩和に資する都市形態の評価手法の開発」において、都市再開発事業によって都市空間の気温や風などの環境変化を科学的に予測する手法の開発に取り組んでいる（平成 18～20 年度実施）。この研究プロジェクトは、東京の地形、建物配置、排熱、上空の気象条件などをコンピュータ内に仮想的に作成し、スーパーコンピュータの能力を活かしてヒートアイランド現象を詳細かつ広域に数値解析する技術開発を行うことを目的としている。

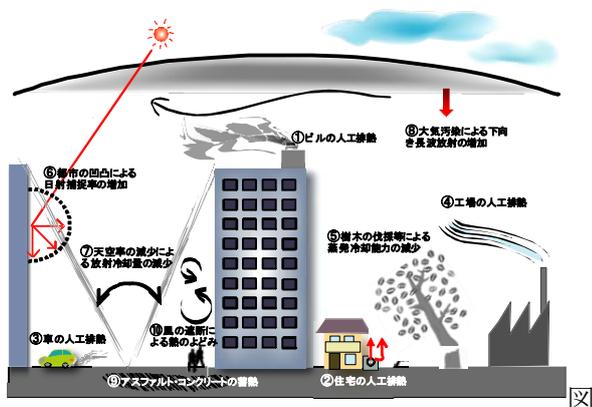
II 都市の気温上昇の要因

ヒートアイランドの発生状況や影響については、既に報告してきたところである⁷⁾が、対策立案において重要になるのは、発生原因の見極めである。図1に都市の気温上昇の要因を示す。

まず、地表面被覆の問題がある。東京23区の地表面の8割近くは建物、道路等の人工的な構造物で被覆されており、水面・公園等の自然要素による被覆割合は2割に満たない⁸⁾。アスファルト、コンクリートの表面温度は夏季の日中に50~60℃に上昇し夜間においても蓄熱効果で温度がなかなか下がらない性質がある。その結果、気温も上がってしまうのである。

2番目の要因は人工排熱である。国土交通省・環境省は、東京23区における建物、交通、事業所等から発生する人工排熱について時空間データベースを整備した⁹⁾。人工排熱の日集計値(8月平均を想定)を調べると東京23区全体で約2,000TJ/日であり、この値を東京8月の日射日総量値と比較すると、快晴日の1割、月平均日の2割に相当する。自然界では大気を暖める対流熱量は太陽放射のせいぜい1割程度¹⁰⁾であり、それを踏まえると都市の人工排熱は大変大きい熱源であると言える。また、人工排熱の中で建物からの発生量が最も大きく、全体の半分を占めていることも指摘されている。

もう1点は都市の風通しである。東京臨海部では屏風状の超高層ビル群が建設されており、環境影響が危惧されている¹¹⁾が、高層建築物がもたらす風の変化が周辺の気温に及ぼす影響は十分解明されていないのが現状である。東京23区には建物が160万棟存在し、平均して4~5階相当の建物が東京23区全体の面積の30%を占有している¹²⁾。建築物は自然地形と共に都市域の凹凸を形成しており、その形態を工夫して都市の風通し改善を図ることが必要である。



1 都市が高温化する要因

III 広域CFD解析の意義

都市域には建物、樹木等が複雑に配置されており、都市空間内およびその上空で熱や運動量の輸送が行われている。都市の部品は様々なスケールを有しており、全ての部品を一律に取り扱うことは計算機資源の制約から不可能である。そこで、全ての部品を直接解像することはあきらめ、メッシュ単位で粗視化する行為が通常必要になる。メッシュ幅や解析領域の大きさは目的によるため、それに応じてモデル化が必要である。

数値モデルには大きく、メソスケールモデル、キャノピーモデル、CFD (Computational Fluid Dynamics; 数値流体力学) の3つが存在する。これらの数値モデルのメッシュ解像度、解析領域のスケール(水平方向)を整理したのが図2である。CFDはメッシュ解像度が細かいが解析領域のスケールは狭く、メソスケールモデルはメッシュ解像度が粗いが広域を取り扱いやすい。キャノピーモデルは両者の中間に位置する。現実の建物配置・形状を詳細に扱うにはCFDを使うしか方法はない。メソスケールモデルやキャノピーモデルは原理上、街区の内部を細かく分析するには向いていない。だから、図中にメッシュ解像度10m付近でモデル原理の“gap”があると区別している。この“gap”の克服に向けて、CFDの解析領域の拡張、メソスケールモデルなどの異種モデルとのネスティングが考えられる。後者については数多くの研究事例が見られる¹³⁾ので、本稿では広域CFD解析の可能性について述べる。

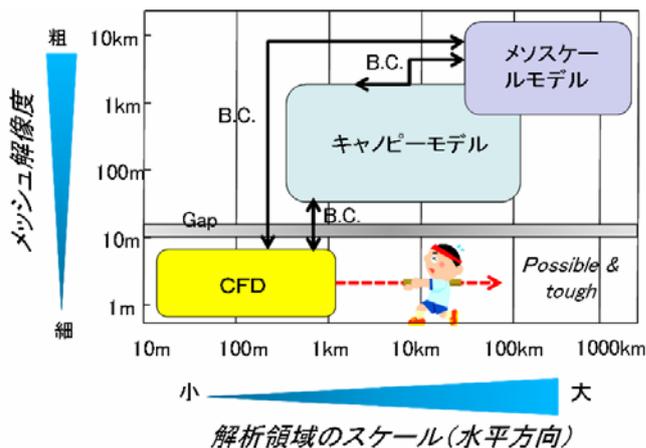


図2 ヒートアイランドの数値モデル

広域CFD解析には2つの視点がある。ひとつは、学術的興味に関するものである。図3に1km四方領域における風、気温の分布を示す。メソスケールモデルを用いる場合であればこの領域は1kmメッシュで代表されることになる。しかし、実際には

数多くの建物、道路がこの地区には存在しており、土地利用、起伏について相当のばらつきが存在する。もし、これらの複雑な3次元形状を考慮して広域の計算を実施したら、都市境界層にどのような現象が見られるのか。これが第一の視点である。

第二の視点は都市設計への応用である。図3を細かく見ると蛇行する河川に沿って風が流れていることがわかる。しかし、蛇行のコーナー部分では風が直進し、そのまま市街地に流入している。そのような場所の気温はその他の市街地に比べて1℃程度低い。そういった低温域は河川の周辺にたくさん見られる。広域のCFD解析から得られる情報は、パッシブ冷却効果を都市デザインに取り入れる上でとても重要である。

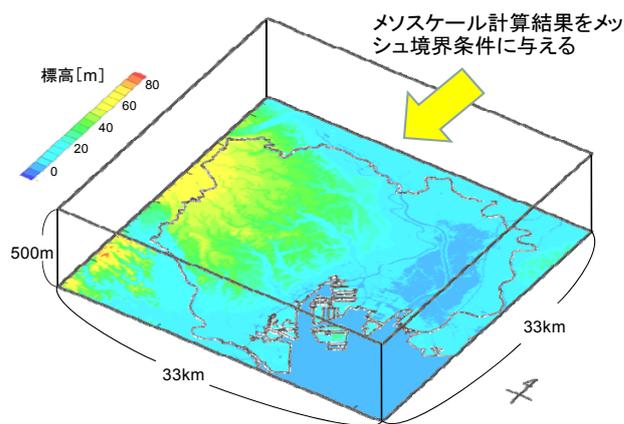


図4 CFD解析領域

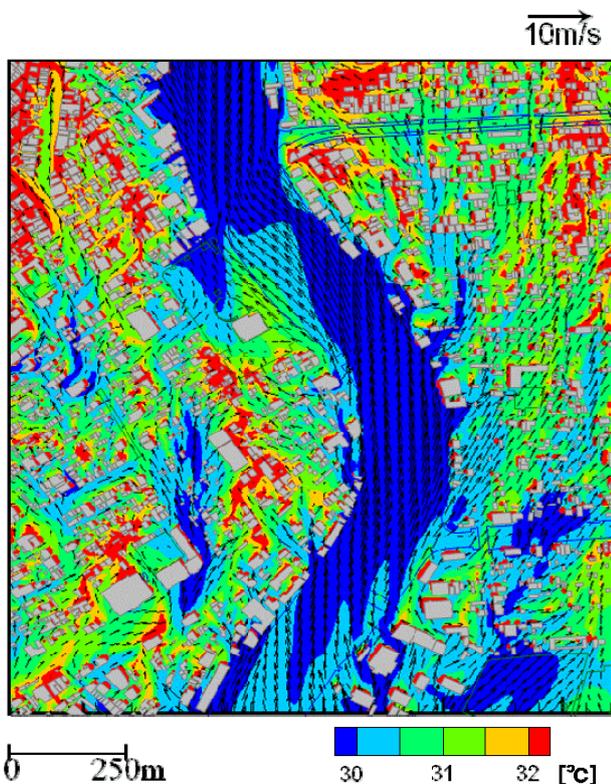


図3 隅田川周辺の気温と風 (地上10m)

IV 水平5m解像度で見る東京23区の気温分布

CFD解析領域を標高分布とともに図4に示す。東京23区全域を含む水平33km四方、鉛直方向の上端は標高500mとする。空間の分割は水平5mメッシュ、鉛直1~10m程度とし、解析対象領域の周囲に1.5kmのバッファー領域を設けている。計算機は地球シミュレータを活用し、総メッシュ数は約50億(バッファー領域を含む)、計算ノード数300で16時間を要した。都市環境を対象にした計算の中では世界最大規模である。

地上近傍における気温分布の計算結果を地上10mにおける気温の計算結果を図5に示す。この時間帯はほぼ南風が卓越しており、北方の風下になるに従い気温が高くなる。特に、練馬から埼玉にかけて気温が高い。一方、解析領域の右側の臨海部では気温が相対的に低いことがわかる。具体的なデータをここでは示さないが、このような傾向はメトロス観測でも見られる。気温分布を細かく見ると、部分的に高温な領域が縞状に形成されていることがわかる。この縞状の高温域 (thermal stripe) は南北に存在しており、地域の風向に沿って分布している。

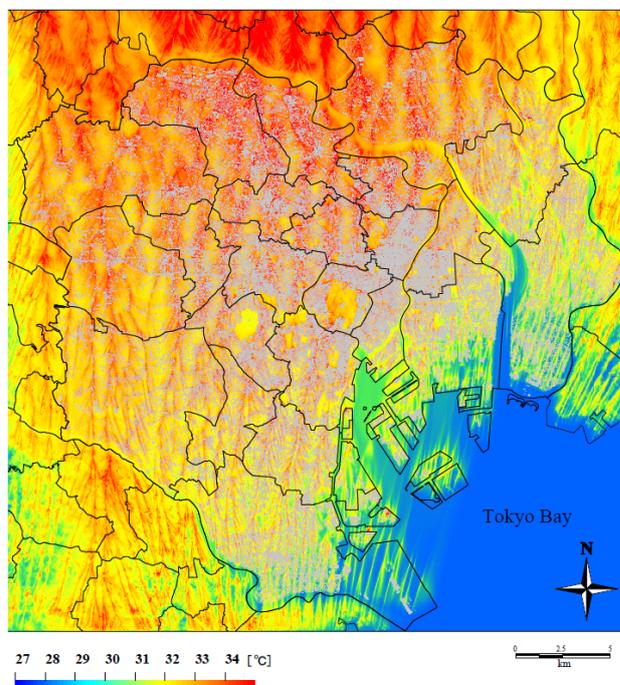


図5 地上10mにおける気温分布 (2005年7月31日14時)

*東京23区内のみ建物を表示

図6は、水平の気温分布について5km四方領域を拡大して示したものである。thermal stripeは地上10m、地上2m共に見られるが、地上10mの方がより明確に現れている。そして、幹線道路沿いにthermal stripeが形成されていることが注目される。幹線道路では交通量が多く、建物も密集する。そのため、人工排熱が大きく、建物壁による風の遮蔽効果も作用する。これらの要因が地域で集積することにより気温形成に影響したと考えられる。また、太いthermal stripeの周辺には細いthermal stripeが引き寄せられるように存在している。太いthermal stripeの周辺に熱が収束することを意味する。

鉛直の様子を表したのが図7である。上昇流と下降流が交互に形成されており、水平方向の渦の大きさは1~2kmである。上昇流が発生する場所の気温は下降流が発生する場所に比べて高い。気温と風速は相互に影響し合っていると言える。通常メソスケールモデルを用いた解析の場合は、計算格子が粗いためここで示したような循環構造を知ることは難しいと考えられる。

不安定な大気中で水平流れが生じる場合、対流の渦が水平方向に発達して組織流れ (Organized Flow) を形成することがある。この現象は、気象分野では水平ロール渦 (horizontal roll vortex) と呼ばれている¹⁴⁾。水平ロール渦の存在は卓越風向に沿って上昇流の領域に形成される筋状の雲により可視化される場合がある。しかし、都市域を対象にしたストリーク構造の観測事例¹⁵⁾は少なく、今後の研究蓄積が待たれる。

V 都心再開発とヒートアイランド緩和

(1) 日本橋川の事例

全国を結ぶ道路の起点として建設された日本橋を擁する日本橋地区は、日本の経済・文化の中心地として古くから発展してきた。日本橋川の上空に首都高速道路が建設されたのは1963年、東京オリンピックが開催された1964年の1年前のことである。それから40年以上経過した2006年9月15日、地元住民をはじめ

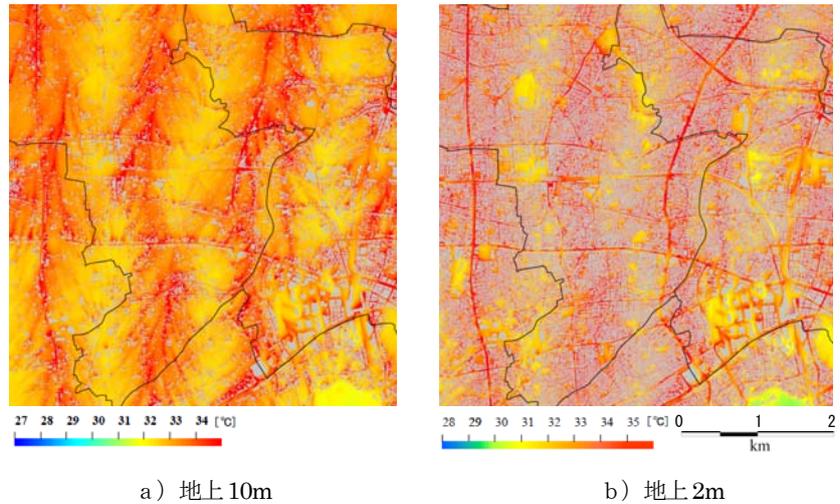


図6 水平の気温分布

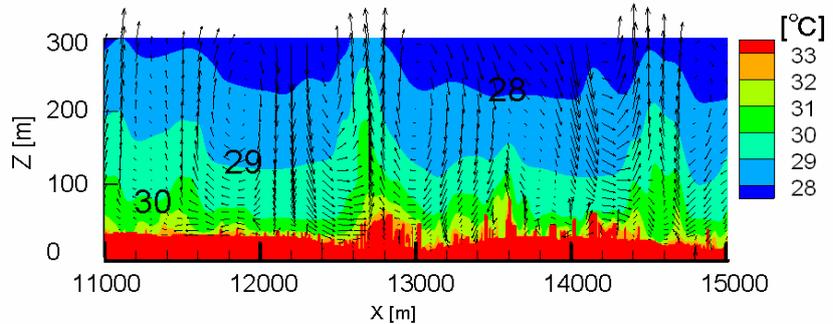


図7 風速および気温の鉛直断面分布 (主風向は紙面手前から奥へ)

めとした有識者などによって構成されている「日本橋川に空を取り戻す会」(日本橋みち会議)¹⁶⁾が首相に提言を行った。それは図1に示す日本橋地域の将来構想を含むものであった。河川と景観の復活に向けた内容になっており、日本橋および日本橋川の上空を覆っている首都高速道路高架部分の撤去・地下化及び日本橋川周辺に立地する建物の低建ぺい率・低層化の計画が具体的に検討されている。この壮大な計画には土地代、地下工事費等5千億円を要するとされる。本格的な工事実施に至るためには国、自治体の協力などが必要であり課題も多いが、現在は地元NPOを中心として建物オーナーに対して建物配置など地道な調整が行われていると聞く。

(2) 東京駅事例

東京駅周辺の大規模再開発事業「Tokyo Station City」が始動したのは2006年である。JR東日本などが事業体となり、丸の内側にある駅舎の復元、八重洲口側にある駅ビル(鉄道会館)の撤去、ツインタワー(「グラントウキョウノースタワー」、「グラ



図 8 日本橋地域の将来図（一部抜粋）

出典：日本橋川に空を取り戻す会



図 9 八重洲口開発イメージ（一部抜粋）

出典：JR 東日本

ントウキョウサウスタワー」及びタワーを結ぶ歩行者デッキ「グランルーフ」の建設などを行う。これらは2013年までに竣工予定である。再開発後のイメージ（図9）を見ると、駅ビルの撤去により八重洲通りから東京駅、そして皇居方面に見通しが良くなっていることがわかる。地域の建築面積が減る一方で床面積は増加しており、建物を高層・スリム化して地面が解放されている。

（3）都市空間の風について

今回のシミュレーション結果を風洞実験¹⁷⁾および現場観測¹⁸⁾の結果と比較する。それぞれの評価高さは数値シミュレーション地上3.5m、現場観測地上3~4m、風洞実験地上4m（相当）である。2005年7月31日12時の現場観測値データを用い、風洞実験は南東の卓越風条件で実施することにより、数値解析との整合性にできるだけ配慮した。図10は現場観測、風洞実験、数値計算の3つの手法による結果を比較したものである。現場観測では現実の状況を知ることができるが、計測の空間密度がどうしても低くなる。風洞実験では計測の空間密度などを人工的に設定できるが、熱の影響など物理的に取り扱えない要素が

存在する。数値計算では熱の影響などを考慮しながら空間分布に関わる詳細な検討ができるが、モデル検証が必要である。したがって、完全な立証方法は元来存在しない。しかし、これらの異なる3つの手法から都市空間の風の流れる特徴をある程度絞り込めるのではないかと発想したわけである。日本橋川や八重洲通りにおける風の流れ状況を見ると、3つの手法から得られた各々の結果の傾向はほぼ一致しており、河川や街路をつたって流れる風が存在すると言える。なお、国土交通省の総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」では上空の風の流れと共に都市空間において連続的に形成される風の流れを、「風の道」と称している。

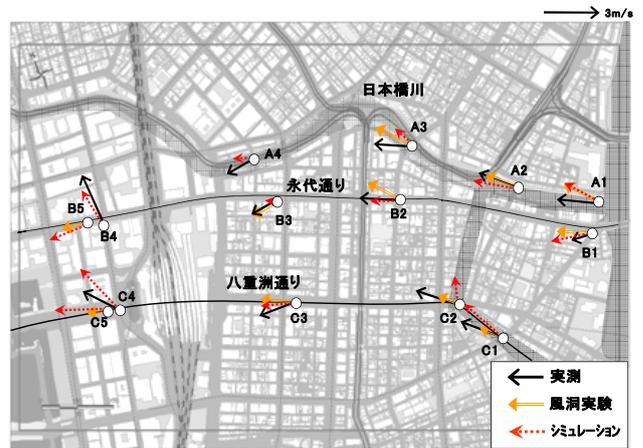


図 10 実測調査・風洞実験との比較（風速・風向）

（4）数値シミュレーションによる検討事例

日本橋地区と東京駅周辺地区を含めた日本橋・八重洲地区の解析領域を設定する。計算緒言は以下の通りである。

- ①計算日時：2005年7月31日正午
- ②計算領域：水平2.5km×1.5km、鉛直500m
- ③メッシュ分割：水平1m×1m、鉛直1m~10m 不等間隔、総メッシュ数約4億（袖領域含）

解析ケースは以下の2ケースを設定した。

- ・ケース1：現況ケース（2000年当時を想定）
- ・ケース2：再開発後ケース（首都高速道路高架分の撤去・地下化、日本橋川周辺建物の低層・低容積率化、東京駅八重洲口駅ビルの撤去、ツインタワーの建設等）

解析領域内の地表面起伏及び土地利用状況は、それぞれ国土地理院の5mDEMと東京都都市計画地理情報システム（以降、東京都GISと称する）より整備する。建物の配置・形状は東京

都 GIS より算出した有効体積率（各解析メッシュ内の流体の体積率）、面積開口率（各解析メッシュ界面（6 方向）の流体に対する開口率）などの 3 次元ポースデータを用いて再現する。人工排熱については、建物、工場、自動車及び鉄道の 4 カテゴリに分けて原単位（建物用途別、産業別）を算出し、各メッシュの有効体積率、面積開口率を考慮しながら当該メッシュ及び周辺メッシュに排熱量を分配する。

図 1 1 は日本橋・八重洲地区の鳥瞰図であり、現在の建物土地利用配置と気温の計算結果が示されている。日本橋川の上空には高架道路が占有しており、その周辺の気温は低く現れている。計画では江戸橋 JCT の左側の高架道路を地下化することから、風通し改善効果が期待される。また、画面右下の隅田川から八重洲通りにかけて低温の空気が流れ込んでいる様子がわかる。駅ビルを撤去することにより八重洲通りから皇居に向かいオープンスペースが連続することになる。

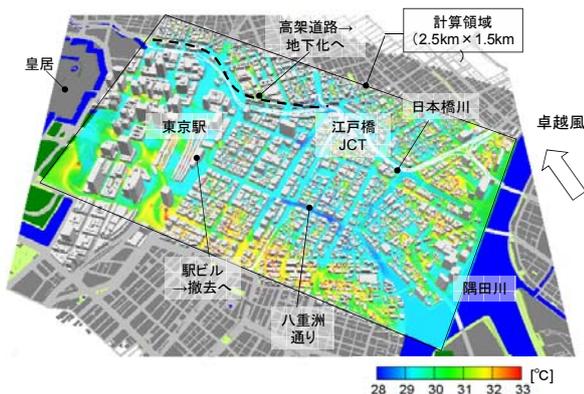


図 1 1 日本橋・八重洲地区の概要
(現況の気温分布と共に示す)

図 1 2 は地上 2m における気温及び風速の解析結果を示す。上段が地区①（日本橋地区）、下段が地区②（東京駅周辺地区）の領域に各々対応する。図中、左側は(1)再開後ケースの気温分布結果、中央は(2)再開後ケースの気温から現況ケースの気温を引いた気温の差分分布、右側は(3)再開後ケースの風速から現況ケースの風速を引いた風速の差分分布である。

再開後ケースの気温分布

図 1 2 左上の図（地区①）について説明する。再開後ケースでは江戸橋 JCT の左側河川上の高架道路が撤去・地下化されており、日本橋川とその周辺で気温が 1℃程度低くなっている。

特に図中囲み線で記載した A、B の領域では気温が低い。河川からの冷気が市街地に流入したためと考えられる。卓越風との関係から河川を右から左に風が遡上しており、河川の蛇行部分で風の慣性力の影響が現れている可能性がある。

図 1 2 左下の図（地区②）を見ると、図中囲み線の a の領域（皇居外苑）は周辺より気温が低い。皇居外苑では水、緑の面積が多いことから妥当な結果であると言える。市中の領域 b、c においても気温が低めに現れている。これらは高層建物の風上側に該当し、ビル壁面の吹き下ろし効果と考えられる。なお、地区②の気温は地区①に比較して総じて高い。

再開前後の気温の変化

図 1 2 中央上の図に地区①の気温変化を示す。A、B の領域で共に気温低下が見られたが、A より B において広域かつ大きな温度差が得られている。高架道路の撤去や建物の低容積・低建ぺい率化の効果が上流部より下流部において顕著に現れたためである。しかし、領域 C ではむしろ気温が上昇している。図 1 2 中央下は地区②の気温変化である。領域 a、b、c、d の周辺で 0.5℃以上の気温低下が見られ、特に領域 a では 1～2℃低下している。しかし、これ以外の領域で 0.5℃以上気温が上昇する場合も存在する。

再開前後の風速の変化

図 1 2 右上の風速変化（地区①）を見ると、日本橋川とその周辺領域の風速が全体的に増加している様子がわかる。高架道路や建物といった風の障害物が除去されたためである。気温の上昇が見られた、例えば領域 C では風速が減少している。これは、河川周辺建物の除去により、風の上流域における対岸のビルの壁からの衝突・迂回流が抑制され、河川の蛇行部から市街地に向かう風の流れ込み方が変化したためと考えられる。

最後に、図 6 右下の地区②であるが、領域 b、c、d では風速が増加傾向にあり、気温低下域とほぼ合致していることがわかる。気温の変化は概ねスカラー風速の大小と密接な関係があり、風通しの確保が重要であると言える。

風速変化の状況は大変複雑である。風向風速の変化を詳しく調べると、駅ビルを撤去した場所の両脇に建設された 2 つの高層建物を迂回する流れが生じており（図中の矢印で示す）、その一部は行幸通りに入り込み、領域 d の風速が増加している。また、2 つの高層建物を迂回する流れの一部は、駅ビルを撤去したスペースを通り抜けて東京駅から領域 b でいったん集結し、その後北と西の街路に向かっている。気温が低下している領域 a の風速は予想に反し減少傾向にある。スカラー風速以外の要因、

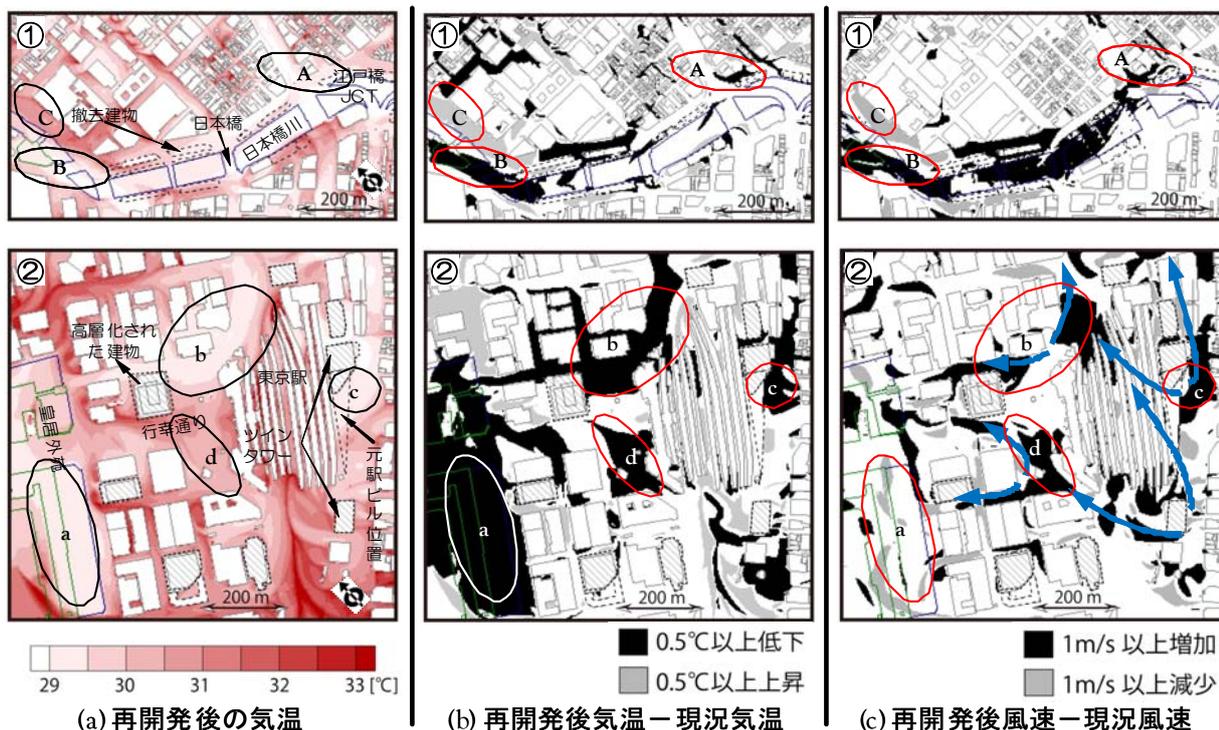


図1-2 地上2mにおける再開発後ケースの気温分布及びケース間の比較
 (再開発で高層化される建物をハッチ表示、除去される建物を点線で示す)

例えば鉛直方向の熱拡散がこの領域の気温低下に寄与しているのかもしれない。

なお、地区①、②を含む解析領域全体 (2.5km×1.5km) の計算結果を集計すると、再開発後ケースでは現況ケースに比較して地上近傍の気温が 30°C以下となる面積が 12ha (地区総面積 375ha のうち、再開発により建築面積は1ha減少)増加した。したがって、再開発計画は総体的に気温低下に寄与していると言える。

VI 普及に向けて

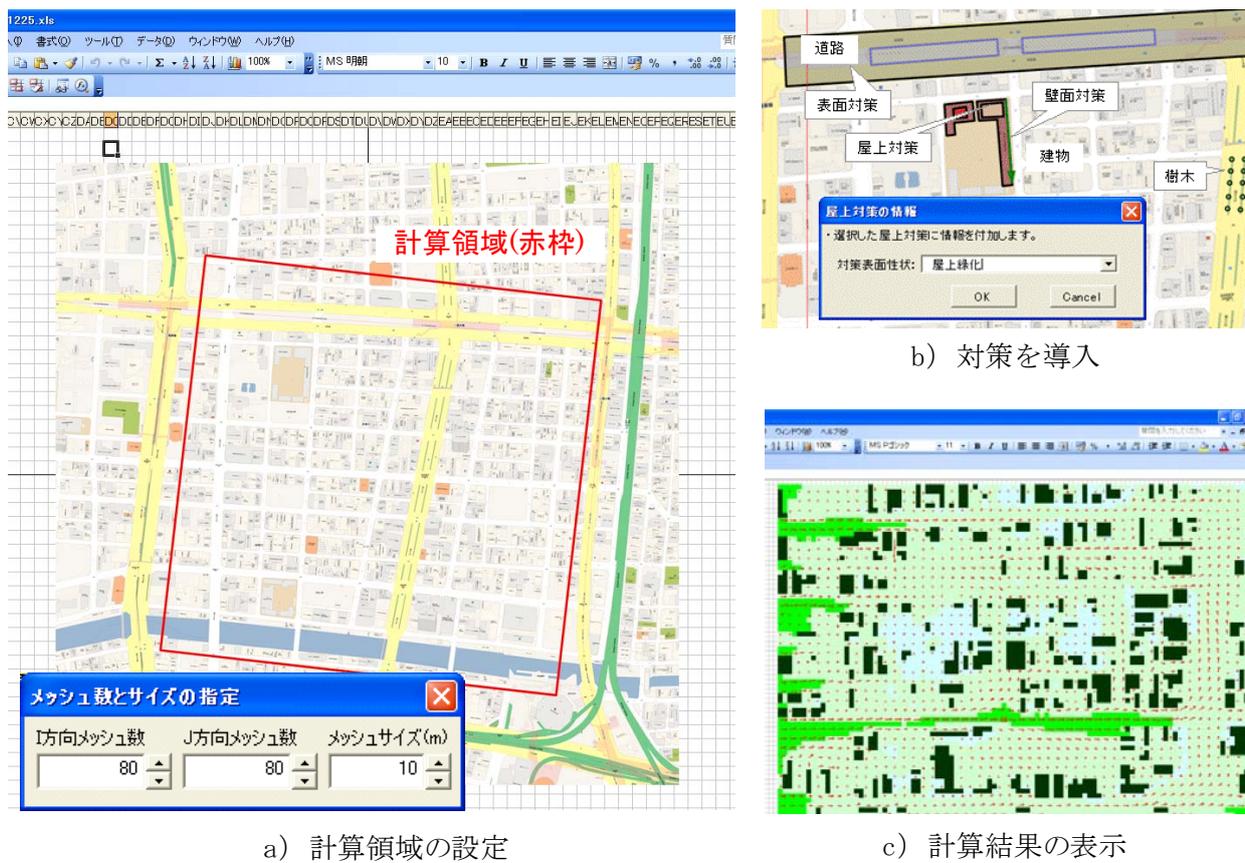
高分解能の計算結果は大画面で見たいものである。コンピュータを使えば自在な縮尺で表示できるが、ディスプレイの大きさに制限があるので地域全体を判読できるような表示は難しい。一方、都市計画基本図のように大判の用紙へ出力しておけば、デジタル処理のような融通はきかないものの、会議のテーブル上に地図を広げれば数人で一緒に細部を目視できるので計画の討議を行うには適している。

建築研究所は、図1-3に示す「東京ヒートマップ」を作成し

た。「東京ヒートマップ」は、地球シミュレータによる計算結果をA0版でカラー印刷したものである。持ち運びを考慮してA4サイズの折りたたみ式としている (ミウラ折り)。地図を広げると、東京23区全域の気温分布 (地上10m) を一望できる。裏面を使って風の状況についても詳細に描かれている (都心10km四方、地上10m)。



図1-3 東京ヒートマップ (建築研究所)



a) 計算領域の設定

b) 対策を導入

c) 計算結果の表示

1

図1-4 パソコンソフトの完成イメージ

建築研究所は国土技術政策総合研究所と共同でパソコンソフトの開発を進めている。この取り組みを一言で言えば、地球シミュレータの解析プログラムをパソコンのデスクトップに移植するものである。パソコンソフトを自治体等に公開することにより、当該地域における各種ヒートアイランド対策について具体的な評価が可能になる。パソコン上への移植作業は終了しており、地球シミュレータとほぼ一致した数値計算結果が得られることを確認している。もちろん、パソコン版であるため地球シミュレータの場合とは異なり制約もある。例えば、解析領域は最大でも500～600m四方にとどまる。

解析ツールの普及に当たって、移植作業だけでは十分ではないこともわかってきた。入力データ作成の一連の作業では、メッシュデータを作成したり境界条件を与えたり様々な準備が必要であり、そのために複数のデータ処理作業を事前に実施し、各種データを計算プログラムの様式に合うように加工しなければ計算に入ることができない。このような複雑なデータ処理はユーザーにとって負担でしかなく、この問題に興味を抱く人であっても煩雑さにまいってしまい、多くは挫折してしまう。プ

ラットフォームを一元化して計算に至る手順を大幅に簡素化する必要がある。また、プラットフォームを一元化するにしても、高価な汎用ソフトの購入を前提としたシステム設計だと、自治体向けに展開が難しく、経費面も考慮しなくてはならない。そこで、普及が進んでいるエクセル上に、入力データの作成から計算および結果の出力に至る一元的な管理が可能なマクロ・システムを構築することにした。

現在開発中のパソコンソフトの画面イメージを図1-4に示す。「a) 計算領域の設定」ではエクセルのワークシート上で解析領域のメッシュ数などを入力する。ワークシートのセルがそのまま計算メッシュに相当している。地域のBMP画像を下絵として、建物や道路の配置関係を描画ツールで描いていき、ポリゴンの属性として建物高さ、構造などを与えていく。「b) 対策の導入」において、ポリゴンの属性で、屋上緑化や高反射材料などの対策項目も選択可能である。計算結果はワークシートにセルごとに数値が表示され、「c) 計算結果の表示」のように地域的な分布状態を簡便に知ることができる。インターフェースの強化につれて、より身近な存在になるであろう。

VII おわりに

本報では地球シミュレータを用いた東京23区全域のCFD解析の結果を紹介した。都市環境に関する計算としては世界最大規模である。気温分布が縞状に高温化して形成されることから、水平ロール渦の存在を示唆するものであり、興味深い結果が得られたと考えられる。一方、この計算手法を都市計画に反映するには、海風の流入による気象緩和効果を効果的に取り込むための都市形態の検討を今後も継続して進める必要がある。

日本橋・八重洲地区を対象にして、都市再開発が地域の気温、風に及ぼす変化に関するスタディーの結果についても示した。都市再開発による気温の変化を建物単位で把握することが可能になり、工学モデルとしての実用的価値をあらためて確認することができた。

今後の課題として、室内側へ向かう熱の流れを迫えるような建物モデルの開発をあげることができる。個々の建物が置かれる屋外の熱環境の状態に応じて室内熱負荷を経時的に分析することができれば、地域全体で熱負荷を積み上げていくシミュレーションモデルに展開する可能性も秘めている。そうなれば、地域エネルギーシステムの定量的な評価に役立つに違いない。

参考文献

- 1) ヒートアイランド対策関係府省連絡会議：ヒートアイランド対策大綱、2004.3
- 2) 建築物総合環境性能評価システム CASBEE-HI（ヒートアイランド）評価マニュアル2006年度版、財団法人建築環境・省エネルギー機構、2006.7
- 3) 例えば、東京都環境局：ヒートアイランド対策ガイドライン、2005.7、大阪府：ヒートアイランド対策ガイドライン、2005.7、2007.3
- 4) 例えば、
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/siryoku/pdf/081107kankyo.pdf>
- 5) 例えば、大手町・丸の内・有楽町地区まちづくり懇談会：大手町・丸の内・有楽町地区まちづくりガイドライン 2008、2008.9
- 6) 文献1)
- 7) 建築研究所講演会テキスト（BRI-H13, H15, H16, H18）
- 8) 東京都都市計画地理情報システムによる
- 9) 国土交通省・環境省：都市における人工排熱制御によるヒ

ートアイランド対策調査報告書、2004.3

- 10) 例えば、尾島俊雄編：都市の設備計画、鹿島出版会、1973.6
- 11) 日本学術会議「土木工学・建築学委員会」：対外報告 民生用エネルギー消費量削減に関する政策提言、2007.5
- 12) 足永靖信、東海林孝幸：東京23区の用途毎建物高さの集計—航空機レーザー計測データを活用した場合—、空気調和・衛生工学会論文集、No. 115、pp. 51-54、2006.10
- 13) 例えば、村上周三、持田灯、加藤信介：風力発電サイト立地選定のための局所的風況予測システム LAWEPS の開発、日本流体力学会数値流体部門誌、第10巻、第4号、pp. 300-307、2002.11
- 14) 小倉義光：メソ気象の基礎理論、東京大学出版会、1997.3
- 15) 藤吉康志、山下和也、藤原忠誠、中西幹郎：雲科学とLES—ドップラーライダーを用いた大気の流れの観測—、気象研究ノート、第219号、pp. 141-165、2008.11
- 16) 日本橋川に空を取り戻す会、伊藤滋、奥田碩、中村英夫、三浦朱門：日本橋地域から始まる新たな街づくりにむけて、2006.9
- 17) 鍵屋浩司他：東京臨海・都心部におけるヒートアイランド現象の実測調査と数値計算（その13～その15）、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.9
- 18) 尾島俊雄・鍵屋浩司他：東京臨海・都心部におけるヒートアイランド現象の実測調査と数値計算（その1～その10）、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9