

総合的なヒートアイランド対策のための技術開発

都市研究部長

後藤 隆之

概要

ヒートアイランド対策に関する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」の技術開発成果について報告する。

今後のヒートアイランド対策が効果的に実施できるように、スーパーコンピュータや実測調査、風洞実験などの科学的手法を駆使して、様々な対策の効果を総合的に予測できるシミュレーション技術を開発し、国や地方公共団体等に向けてパソコンソフトとして実用化を目指すものである。

トピックとして、東京臨海・都心部における大規模実測調査、地球シミュレータによる大規模数値解析、市街地改造による「風の道」に関するケーススタディ、対策効果シミュレーションソフトの開発について紹介したい。

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、大都市中心部等において観測される新しい都市の環境問題の一つとして、緊急に対策を講ずるべき課題となっている。このヒートアイランド現象は、気温上昇の要因となる地表面被覆と人工排熱、地形・気象条件等が相互に影響しあうなどメカニズムが複雑で未解明な部分が多く、科学的知見が十分に得られていない状況にあるため、対策として省エネルギー機器の導入や緑の確保等を個別に講ずるにとどまっているのが現状である。

このような状況を踏まえ、今後のヒートアイランド対策が効果的に実施できるように、その科学的裏付けとなる現象解明と対策の定量的評価手法等の開発を行うため、国土交通省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」を平成16年度から18年度までの3年間にわたって、国土地理院や独立行政法人建築研究所、土木研究所など関係機関、国土交通省関係部局、気象庁、環境省、地方公共団体、大学等と連携（図1）して実施した。

2. 成果の概要

都市空間における効果的なヒートアイランド対策を検討するために、科学的手法を駆使して、様々なヒートアイランド対策効果を予測できるシミュレーション技術を開発した。従来のシミュレーション技術は、主にビル風の予防や耐風設計のために都市空間の風の挙動を予測する技術として開発されてきたが、ヒートアイランド対策の検討には、風の挙動に伴う熱の拡散を組み込むことが必要であり、これらの複雑な現象を都市スケールで再現するには通常のコンピュータの能力では不可能であった。

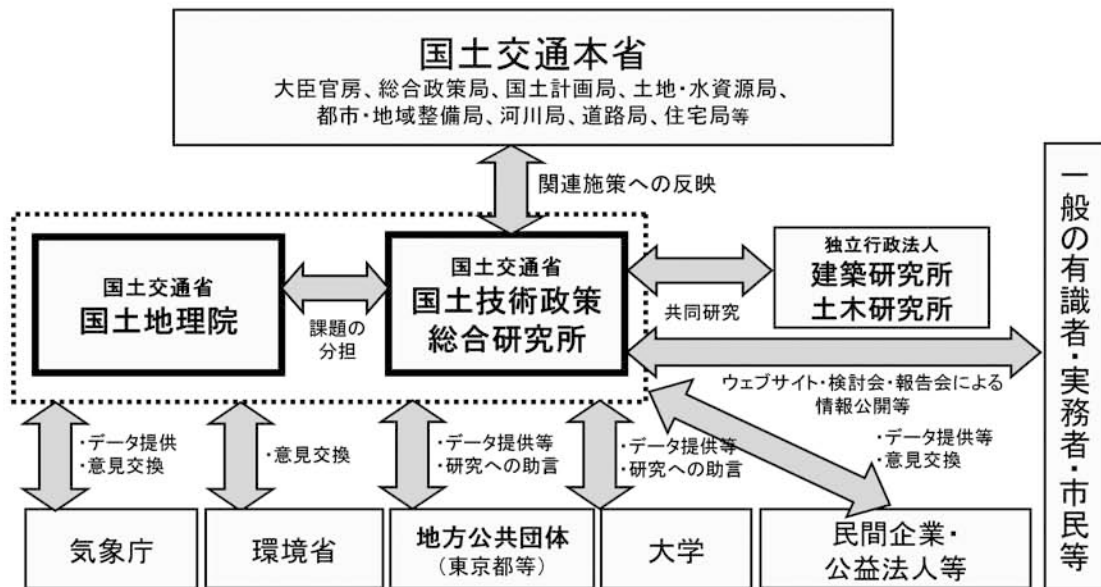


図1 研究の実施体制

そこで、世界最速レベルのスーパーコンピュータ（地球シミュレータ）を用いて、その能力を最大限に活用できるシミュレーション技術を開発した。東京臨海・都心部の10km四方（地表から上空500mまで）を対象に、都市の様々な街並みの気温や風向・風速の分布を個々の建物や街路が見分けられる細かさ（5mメッシュ）で予測できるようになった。

そして東京臨海・都心部で実施した大規模実測調査や、詳細な市街地模型を用いた風洞実験等の結果とシミュレーション結果とを照合したところ、極めて予測精度が高い技術（誤差1℃以内）であることが確認された。

さらに、このシミュレーション技術を国や地方公共団体などに向けて実用化するために、パソコン上でもシミュレート可能なソフトを開発するとともに、シミュレーションの入力データとして必要な地理情報の高度化・活用技術を開発した。

3. 技術開発のトピック

本技術開発は、地域の特性に配慮した効果的なヒートアイランド対策を推進するために、スーパーコンピュータによる大規模数値解析や実測調査、風洞実験などの科学的手法を駆使して、様々な対策の効果を総合的に予測可能なシミュレーション技術を開発し、これをヒートアイランド対策やまちづくり等の施策の評価ツールとして実用化することを目指している。本プロジェクトの技術開発成果は以下の通りである。

3.1 ヒートアイランド現象に関する大規模実測調査

ヒートアイランド対策として重要な要素のひとつとして考えられる、風の効果や影響について、現象の解明と効果の定量化を行うため、平成17年の夏に東京都心・臨海部の街路や河川、ビル屋上等190箇所で、極めて大規模かつ詳細な気象観測を実施した。

そして、海風（海から吹く涼風）の効果の実態を確認して海風の活用の有効性を解明す

るとともに、ヒートアイランド対策としての「風の道」の性状を分析した。



図2 臨海都市の「風の道」の考え方

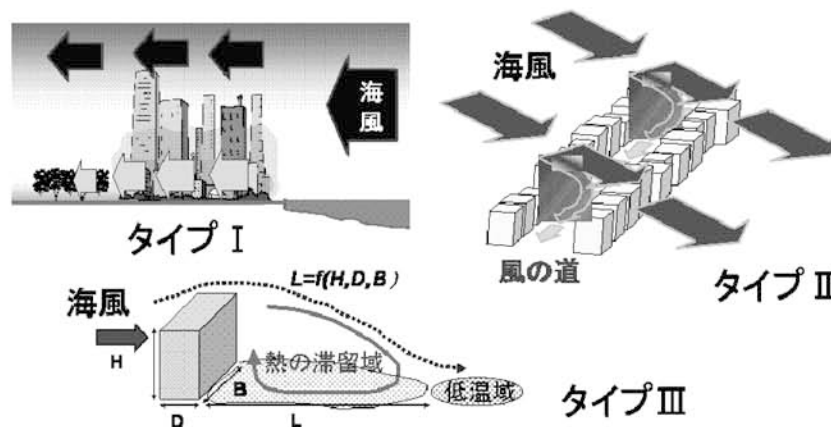
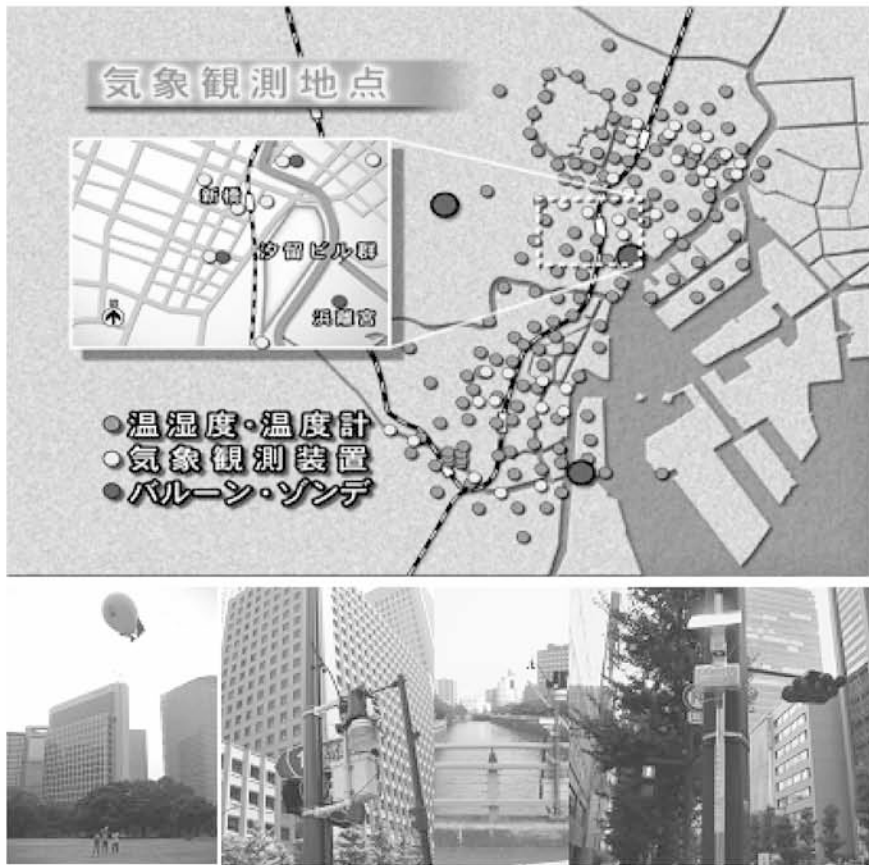


図3 海風による「風の道」の種類

ヒートアイランド対策の一つとして注目されている「風の道」の考え方は、もともとドイツの環境共生型都市計画手法に基づくものである。これは主に内陸都市の大気汚染やヒートアイランド化を緩和するために、周囲の山から流入する風を活用する手法で、この風は地表面近くを流れる山谷風である。

この平面的な山谷風を活用するドイツの「風の道」に対して、数百メートル以上の厚みを持つ海風を活用する日本の「風の道」は立体的なものであると整理した(図2)。さらにこの「風の道」をヒートアイランド対策として都市計画手法と連携させて具体的に検討するために、市街地形態と風の性状による分類を行った。

すなわち、海風が海岸から地表面に沿って街路・河川等を通じて流入する(タイプⅠ)、上空を流れる海風が街路・河川沿いの建物群に誘導されて地表付近を流れる(タイプⅡ)、超高層建物(群)により海風の流入が阻害されて風下側に弱風域が形成されるとともに、上空の冷気の誘引による低温域が形成される(タイプⅢ)の3つに整理して、臨海部の大都市におけるヒートアイランド対策としての「風の道」の考え方を提示した(図3)。



(左から汐留・大手町・大崎・日本橋付近)

図4 東京臨海・都心部における実測調査

以上の「風の道」の考え方に基づいて実測調査を行った。実測調査は、平成17年7月下旬から8月上旬を中心に、東京臨海・都心部において実施した。調査対象地区は東京駅周辺地区、汐留・新橋地区、品川駅周辺地区、目黒川・大崎地区の4地区で、街路や河川、ビル屋上等の合計190箇所気温や風向・風速等の気象観測機器を設置して行った(図4)。

約2週間にわたって24時間の連続観測を行った結果、日中の市街地の気温より4℃程度低く、数百メートルの厚みを持つ海風(海から吹く涼風)について、ヒートアイランド対策としての「風の道」の性状を分析した。「風の道」による涼風が活用できる範囲とその性状は次の通りである。

- ① 海岸から1.5km程度まで街路に沿った海風の流入がある。
- ② 幅の広い街路の方が、海風が内陸部に流入しやすい(図5)。
- ③ 河川上の高架道路により、高架付近の地表近くを流れる海風が抑制される(図6)。
- ④ 海風の風向が河道に平行すると、河道に沿った地形・建物群によって河川は連続した「風の道」となりうる(図7)。
- ⑤ 河道に沿った地形・建物群の形状により上空の海風を取り込む(図8)。



図5 「風の道」としての街路と海風



図6 高架道路下における風速の低下

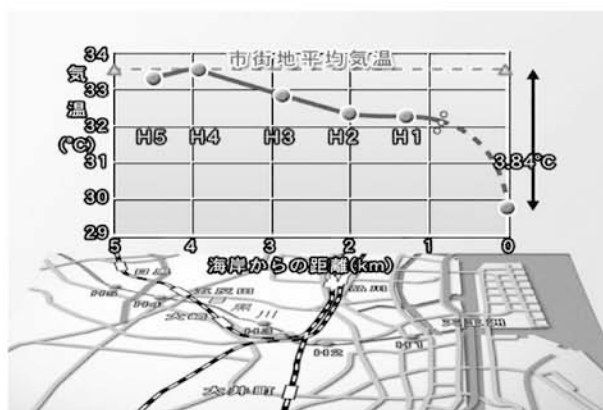


図7 河口からの海風の流入による気温変化



図8 海風の流入と地形・市街地形態

3. 2 市街地模型の風洞実験による風の挙動の検討

ヒートアイランド対策の観点から、市街地改造が都市の風通しに及ぼす影響・効果について、市街地改造（都市再生事業）が計画・検討されている東京駅・日本橋川周辺を1/750で再現した詳細な市街地模型の風洞実験によってケーススタディを行い、市街地改造による風通し効果を定量的に検証した。

風洞実験は、建築研究所の乱流境界層風洞で実施した。風向は前述3. 1の実測調査をふまえて7月31日正午の海風と同じ南東の風向となるように風洞内に市街地模型を設置した（図9、10、11）。

風洞実験の結果と、実測調査の結果との比較を図12に示す。比較の結果、風向・風速について実測値と実験値の傾向が概ね一致していることから、風洞実験の再現性が有意であることが確認できたので、市街地改造による風通し効果について実験を行った。

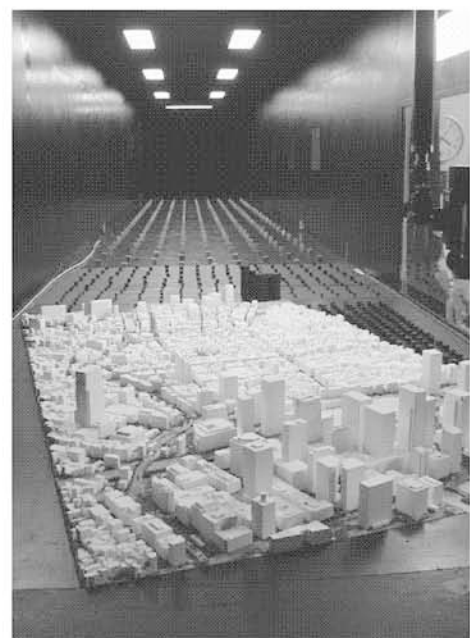


図9 風洞内部と市街地模型

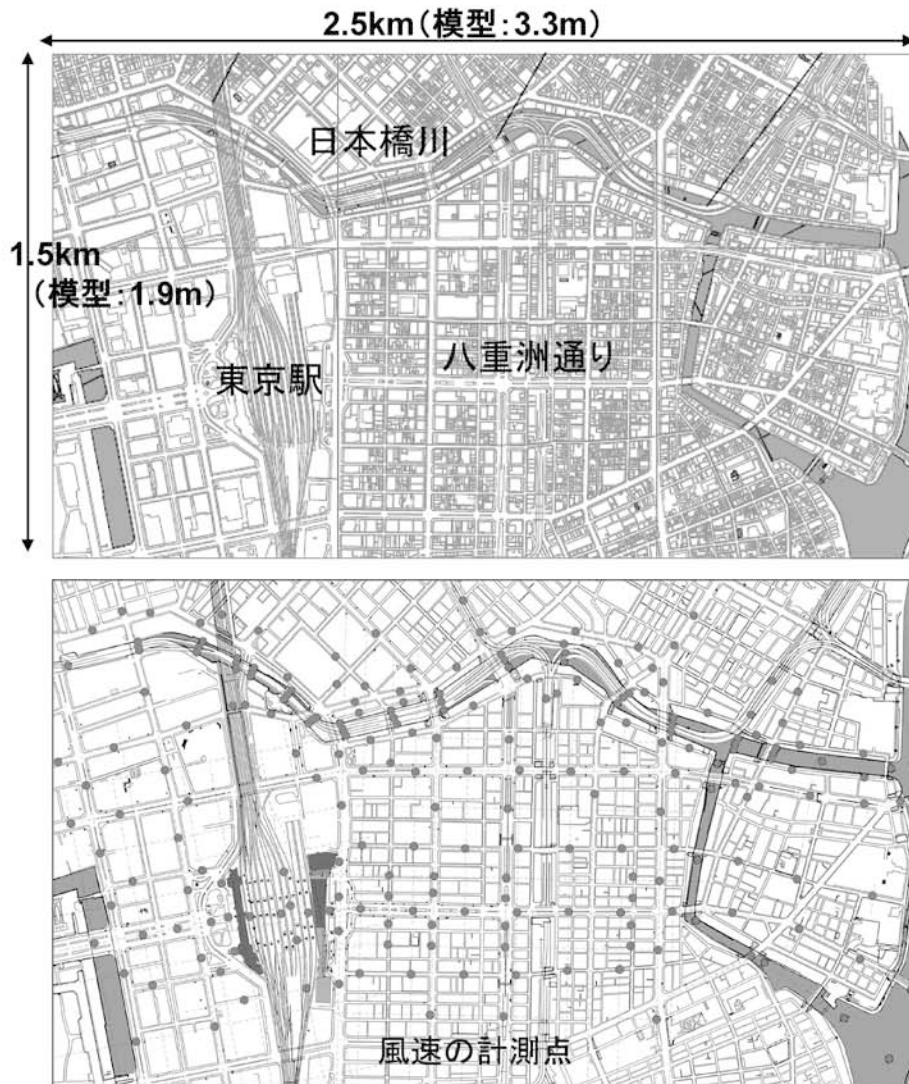


図 10 市街地模型の範囲と計測点



図 11 市街地模型（東京湾側から俯瞰）

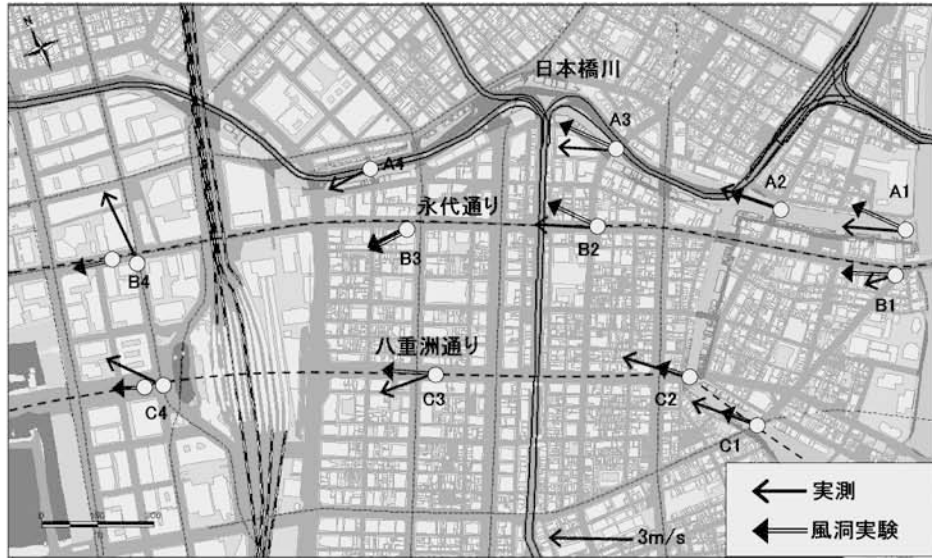


図 12 風洞実験と実測調査による風速・風向の比較

図 13 は日本橋川周辺の市街地の現状と、都市再生事業の検討案を市街地模型で再現したものである。検討案では、日本橋川に沿って架かる江戸橋から竹橋間の首都高を地下化するとともに、河岸建物の低層・低容積化を図るものである。図 14 は、それぞれについて風洞実験を行い、地上 4m 相当の高さにおける風速変化を整理したものである。

これによると、市街地改造により風速が現状よりも 10% 以上増加した範囲は、日本橋川から約 200m の範囲まで及んでいる。このように風速が増加したことは、その地点を流れる海風による換気が促進されたと考えられ、風速の増加による快適性の向上に加えて、気温低下の効果も期待できる。



現 状

検討パターンの設定は、日本橋川に空を取り戻す会（日本橋みち会議）資料、日本橋みちと景観を考える懇談会資料による。

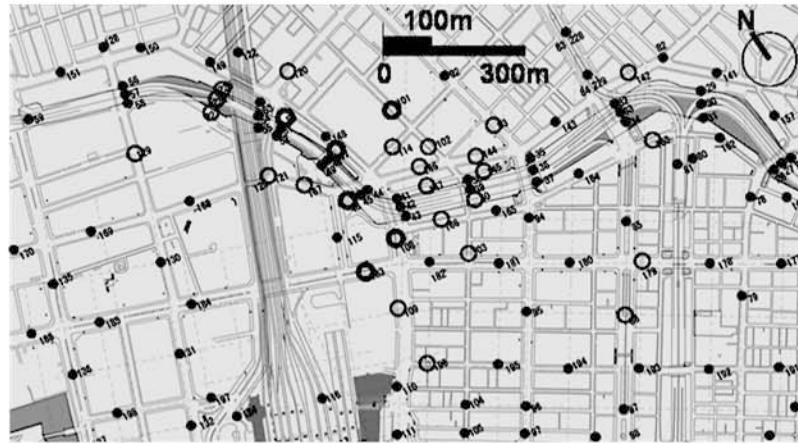


検討案

高架地下化＋河岸建物の低層・低容積化

首都高速江戸橋～竹橋間の高架を地下化＋同区間の川沿いの土地を低層・低容積化（川幅＋河岸のオープンスペース＝140m程度）

図 13 日本橋川周辺の市街地改造の検討案



- 風速が10%以上増加した地点
- 「快適」域にシフトした地点
- 風速変化が小さい地点

図 14 日本橋川周辺の市街地改造による風速変化

図 15 は、2013 年に完成予定の東京駅八重洲口の開発計画を市街地模型で再現したものである。現在進行中のこの計画では、既存の高さ約 50m の駅ビルが撤去され、その両側に高さ 200m のツインタワーが建設されるもので、これにより海側の八重洲通りから内陸側の皇居に向けて、いわば大きな隙間空間が作られる。そこで、この開発による風通し効果について、開発前後の風速の変化を風洞実験によって予測した。

実験の結果、開発によって東京駅八重洲口から丸の内に向けて風速が増加し、丸の内において最大 30% 風速が増加したことから、市街地改造による風通し効果が確認された（図 16）。

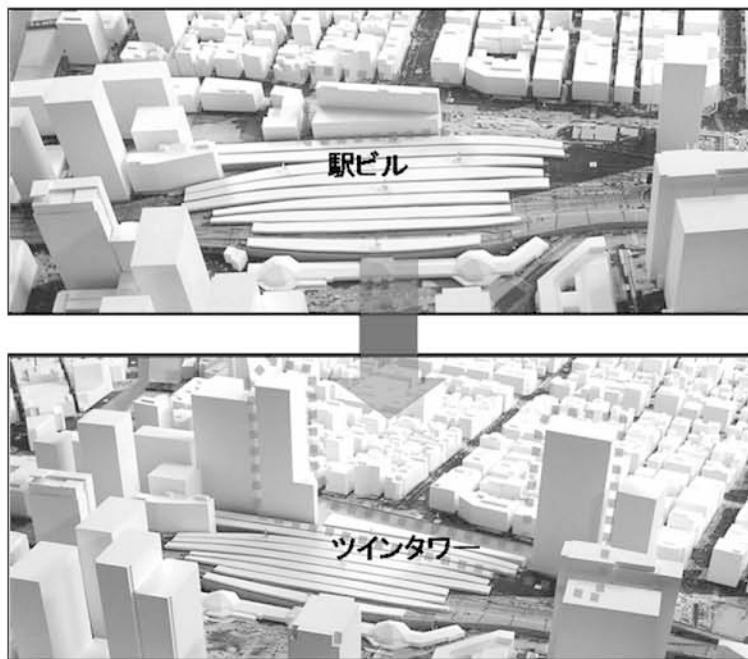


図 15 東京駅八重洲口の開発計画

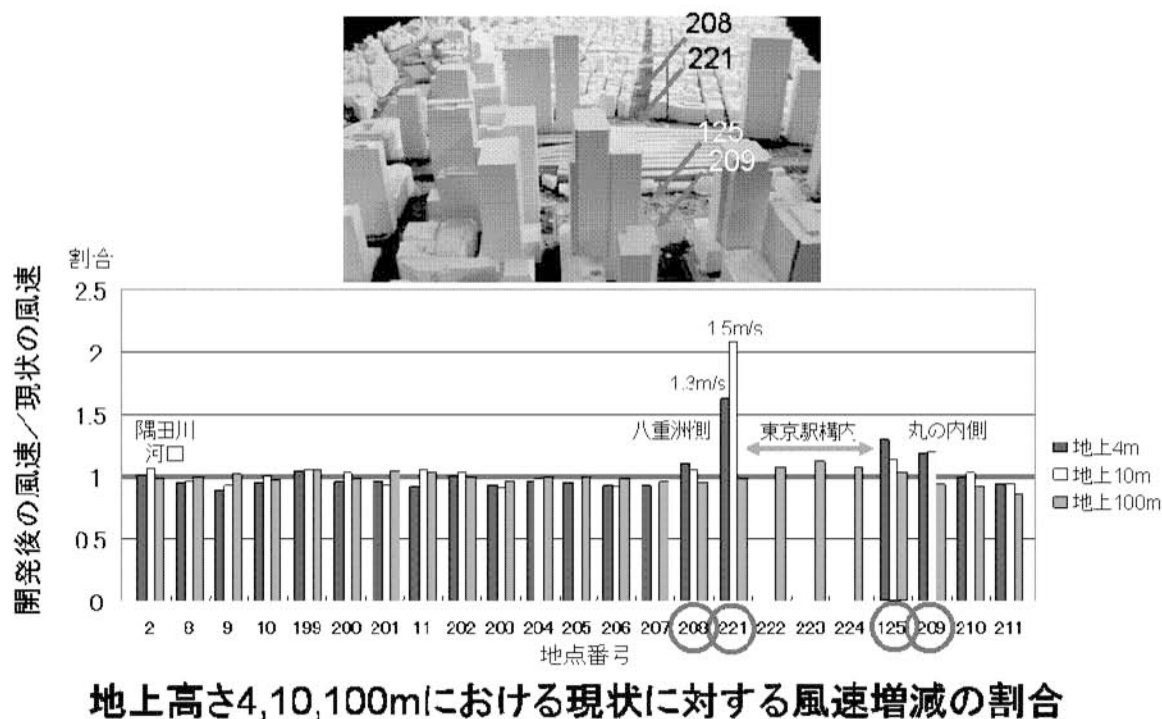


図 16 東京駅八重洲口の開発による風速変化

3. 3 地球シミュレータによる対策効果シミュレーション技術の開発

様々なヒートアイランド対策効果を評価するために、世界最速レベルのスーパーコンピュータ（地球シミュレータ：図 17）を最大限に活用したシミュレーション技術を、平成 16 年度から 18 年度までの 3 年間にわたって、独立行政法人建築研究所と共同で開発した。

成果として、都市全体の様々な街並みの気温や風の流れの計算が、5 m メッシュで地上 500m まで可能になった（図 18、19、20、21）。

シミュレーション結果と前述 3. 1 の大規模実測調査のデータとを比較した結果、1℃ 以内の誤差で真夏の昼間の建物周辺や幹線道路等の街路の気温が予測可能となった（図 22）。

また風向・風速についても、前述 3. 2 の風洞実験結果並びに 3. 1 の実測調査の結果とシミュレーション結果とを比較したところ、風向・風速についても概ね一致した（図 23）。

以上を踏まえて、対策効果のシミュレーションのケーススタディとして、前述 3. 2 の風洞実験で検討した東京駅・日本橋川周辺を対象に、市街地改造（図 24）によって生じた「風の道」等によって風向・風速に変化が生じることを定量的に示した（図 25、26）。

図 27 は、風速の増加により都心部に形成される熱だまりが解消されることで、市街地改造による気温低下を示したもので、広範囲にわたって気温低下が認められ、シミュレーション結果によると、最大 2℃ 程度気温の低下が期待できる。

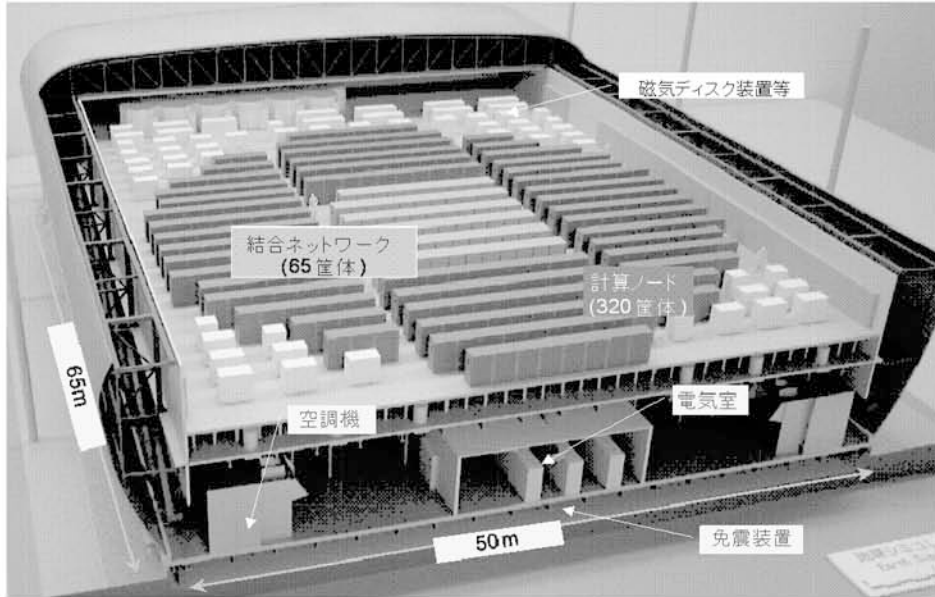


図 17 地球シミュレータ外観（独立行政法人海洋研究開発機構）



図 18 地球シミュレータによる東京臨海・都心部 10km 四方のシミュレーション結果
（2005 年 7 月 31 日 14 時の地上高さ 10m の風向・風速分布を再現したもの）



地上10mの気温分布

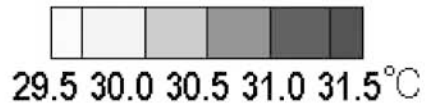
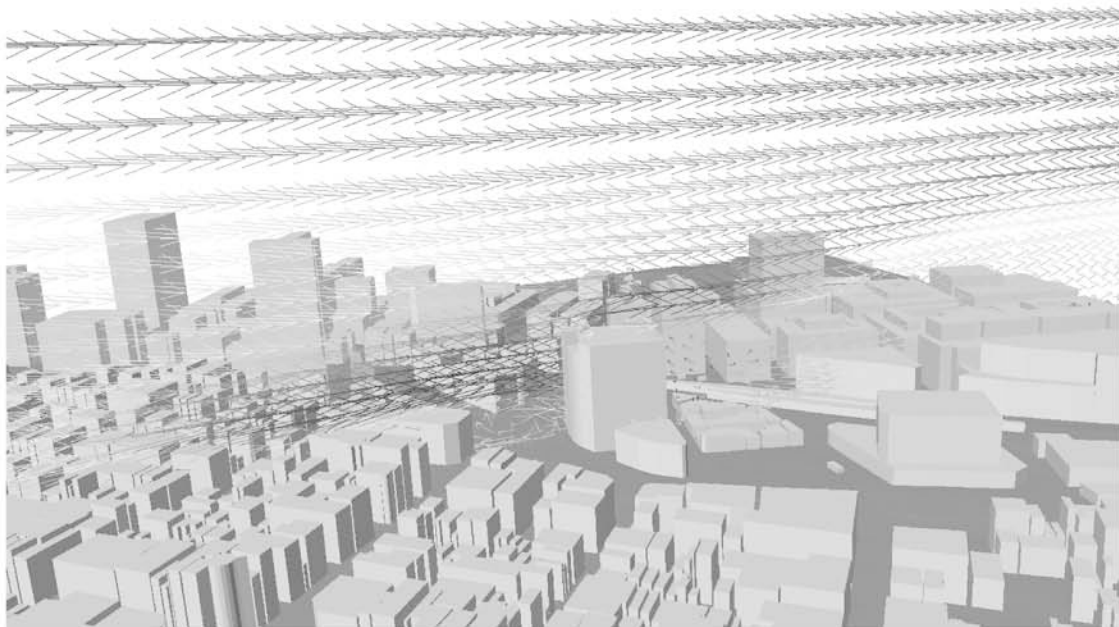


図 19 地球シミュレータによるシミュレーション結果
(10km 四方の計算結果の部分拡大図)



有楽町周辺の風の流れ(2005年7月31日14時)

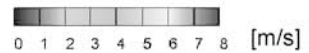


図 20 中・高層市街地の海風のシミュレーション結果



図 21 新橋・汐留付近のシミュレーション結果（風速・風向、地上高さ 10m）

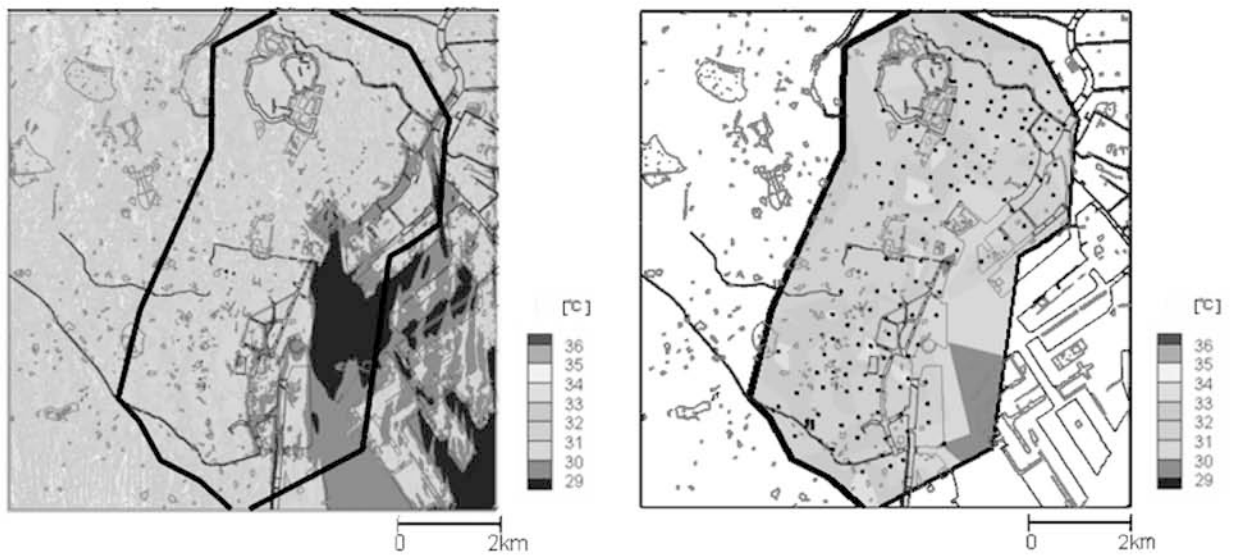


図 22 地球シミュレータによる計算結果（左）と大規模実測調査結果（右）との比較

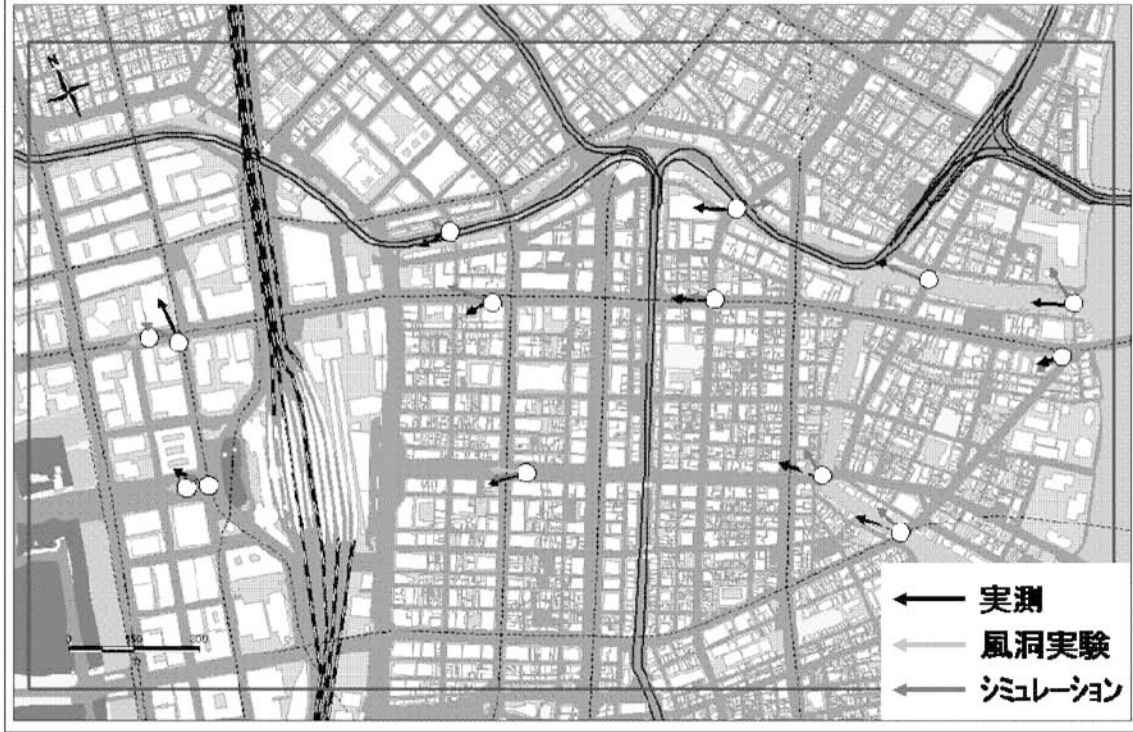
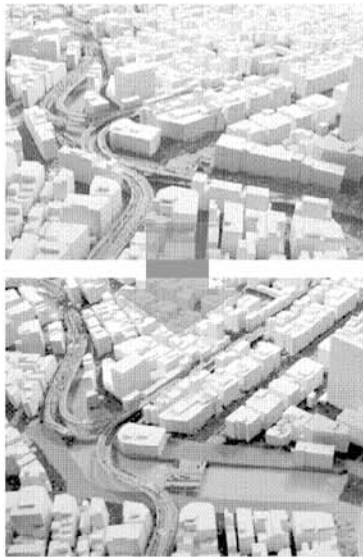
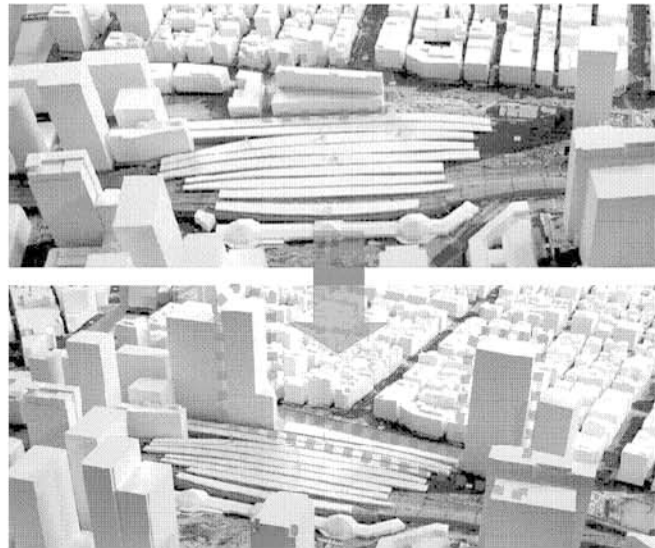


図 23 実測調査と風洞実験、シミュレーションによる風向・風速の比較



日本橋みち会議検討案
(高架地下化・河岸建物低容積化)



東京駅八重洲口開発計画
(駅ビル撤去・ツインタワー建設)

図 24 東京駅・日本橋川周辺の市街地改造のイメージ

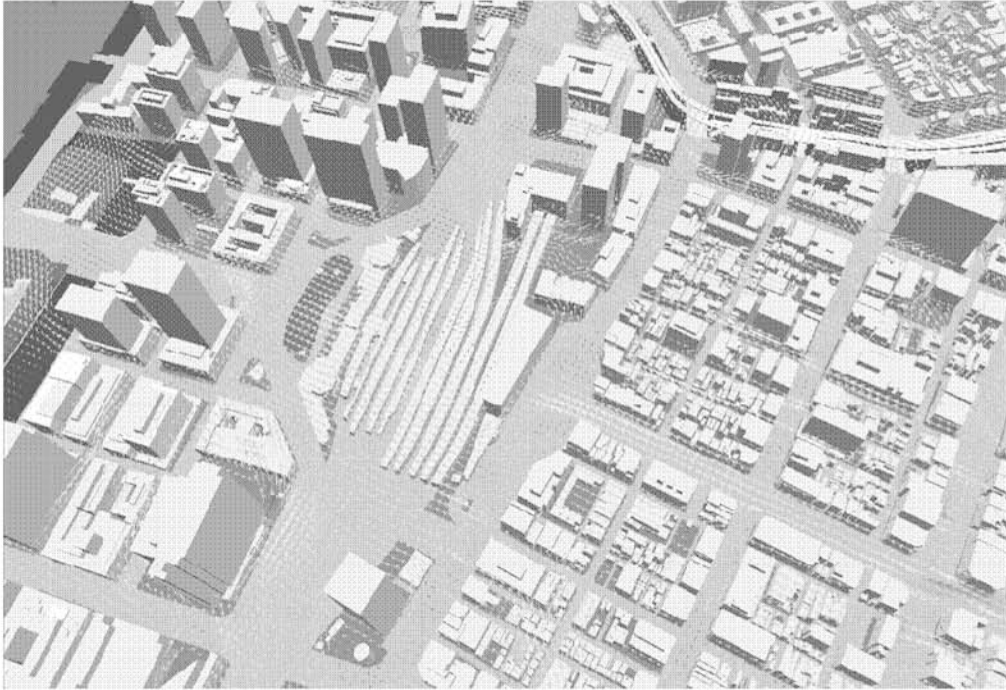


図 25 東京駅周辺の現状の風の流れのシミュレーション結果
(2005年7月31日正午の気象条件で計算、地上高さ30m)

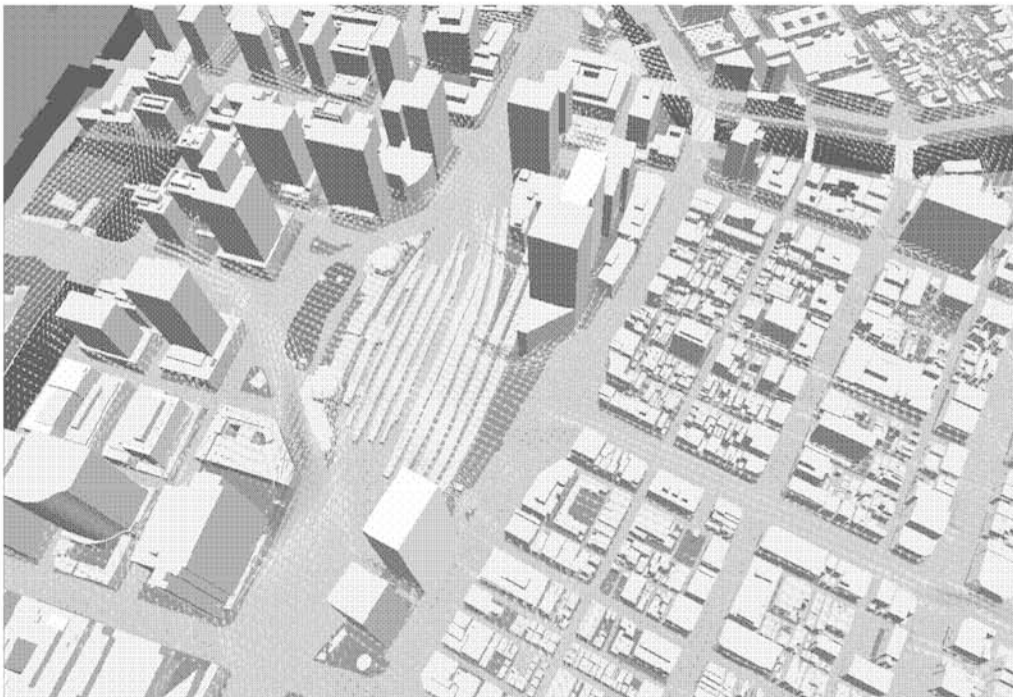


図 26 東京駅周辺の市街地改造後の風の流れのシミュレーション結果
(2005年7月31日正午の気象条件で計算、地上高さ30m)

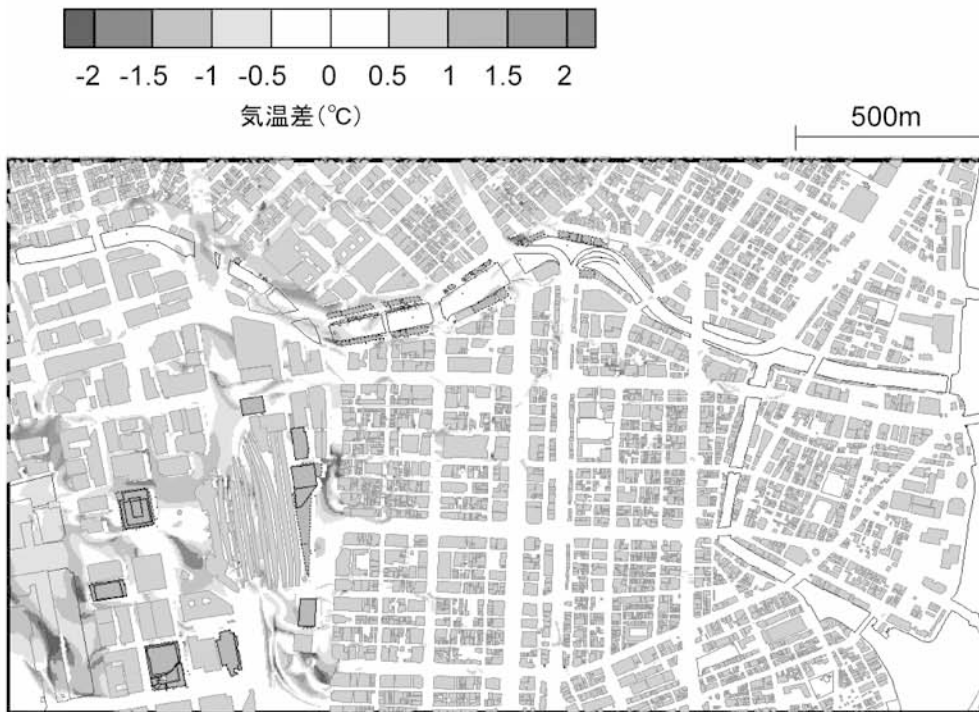


図 27 東京駅周辺の市街地改造による気温変化のシミュレーション結果

3. 4 地理情報の高度化・活用技術の開発

都市全域に及ぶヒートアイランド現象や対策効果のシミュレーションには、ヒートアイランド現象の要因となる土地被覆分布や地物の表面温度、建物等の構造物、樹林、地形といった市街地の凹凸を精緻に再現した3次元データが入力データとして必要不可欠である。

そこで、これらの莫大な地理情報を都市全域にわたって高精度かつ効率的に整備するために、航空レーザ測量等の最新の測量技術を活用した都市3Dデータや植生の3次元構造データ等の取得技術、及び衛星データと既存地理情報を組み合わせた土地被覆データの整備技術を開発した(図28)。

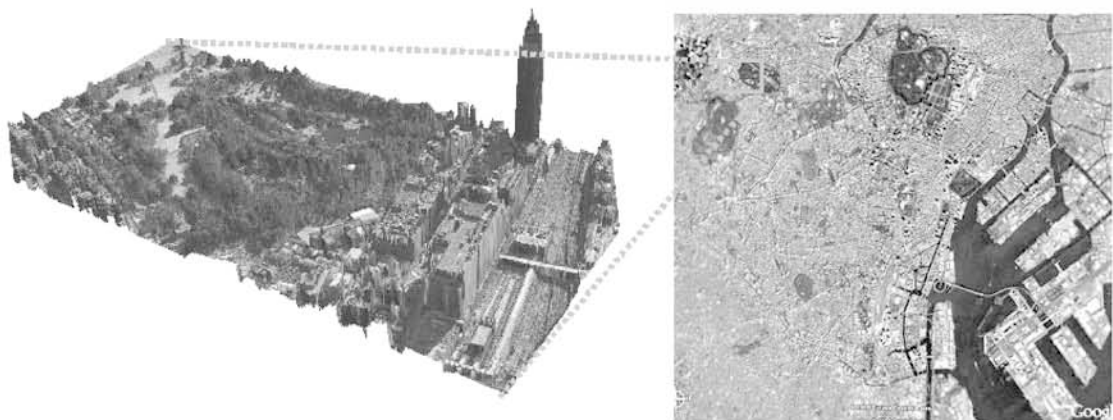


図 28 シミュレーションの入力データとして必要な各種地理情報の整備技術の開発

3. 5 パソコンによる対策効果シミュレーションソフトの開発

前述3. 3の地球シミュレータによる対策効果シミュレーション技術を、国や地方公共団体などに向けて実用化（図29、30）するために、パソコン上でもシミュレート可能なソフトを試作するとともに、東京都新橋・虎ノ門地区を対象に幹線道路整備、屋上緑化、保水性舗装、省エネによる総合的な対策効果のシミュレーションのケーススタディを行った。

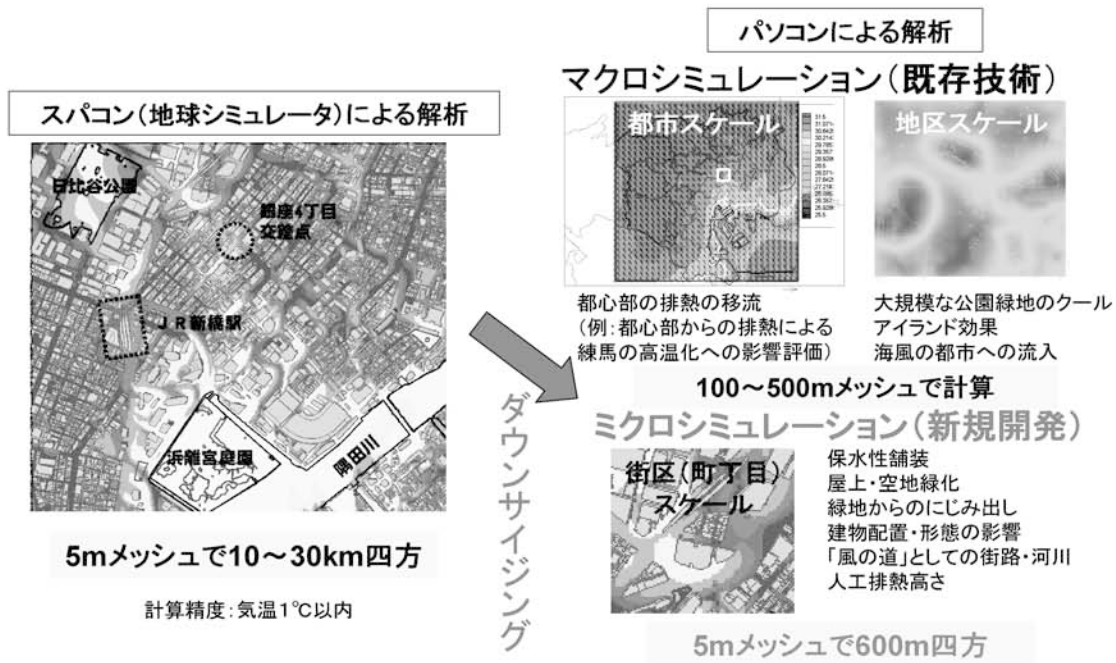


図29 シミュレーション技術のパソコンソフトへの実用化



図30 シミュレーションの手順のイメージ

このシミュレーションソフトは 600m 四方の範囲を 5 m メッシュで高さ 500m までの範囲をパソコン上で計算可能であり、ケーススタディでは対象地区において、ヒートアイランド対策として、屋上緑化、地上緑化（保水性舗装）、省エネによる人工排熱削減、幹線道路整備による風通しの確保について個別の対策効果を予測（図 31）でき、さらにそれらを総合化した効果もシミュレート可能になっている（図 32）。

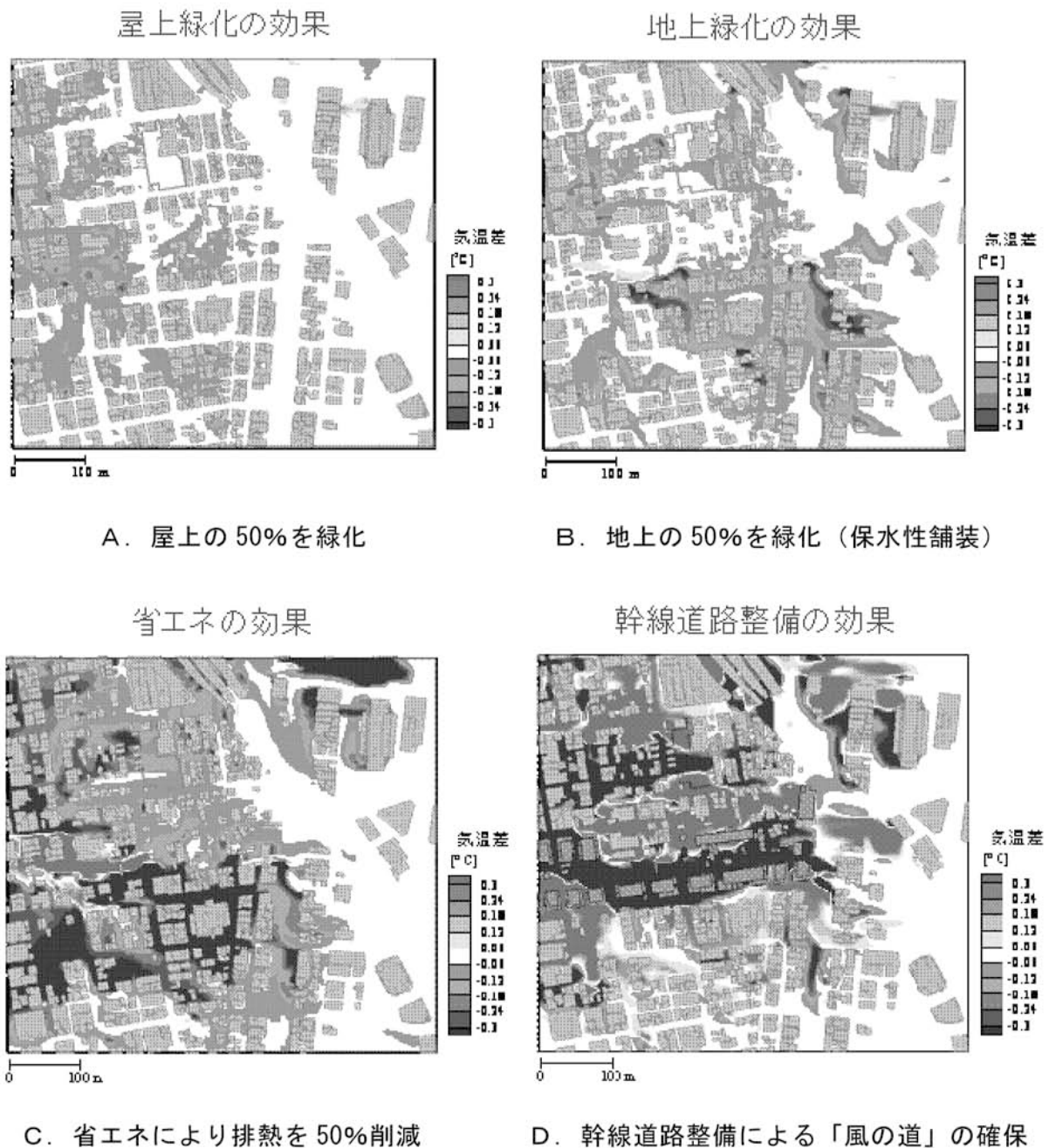


図 31 開発したパソコンソフトによる各種ヒートアイランド対策効果

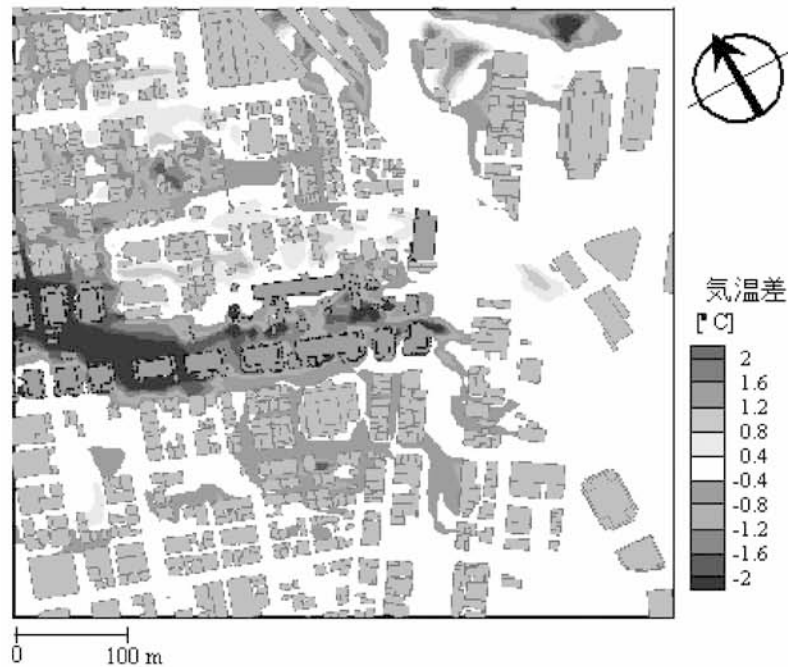


図 32 開発したパソコンソフトによる総合的な対策効果

4. 技術開発成果の普及に向けて

技術開発成果として、地球シミュレータによる対策効果シミュレーション技術を国や地方公共団体などに向けて実用化するために、パソコン上で様々なヒートアイランド対策の効果を検討可能なシミュレーションソフトを開発した。

引き続き、本技術開発プロジェクトで開発したこのパソコンソフトを、より使いやすく改良して、国や地方公共団体、まちづくりNPO、民間事業者等向けに実用的な評価ツールとして提供することを目指している。

さらに、昼夜間を通じた対策効果や体感評価、地域特性に応じた対策メニューの整理、都市計画運用指針への展開等に関する検討も行う予定である。

謝辞

本技術開発プロジェクトの推進にあたって設置された検討会において、以下の学識経験者の委員の皆様から多大なる御助言を受けました。ここに記して謝意を表します。

尾島俊雄座長（早稲田大学教授）、花木啓祐委員（東京大学大学院教授）、梅干野晃委員（東京工業大学大学院教授）、丸田頼一委員（千葉大学名誉教授）、三上岳彦委員（首都大学東京大学院教授）、成田健一臨時委員（日本工業大学教授）

東京臨海・都心部の大規模実測調査は、早稲田大学尾島研究室、首都大学三上研究室、日本工業大学成田研究室の多大な御協力を頂きました。また気象観測装置の設置にあたり、ご理解・御協力頂きました関係各位に記して謝意を表します。

付記

本技術開発プロジェクトの内容や技術開発成果、5回にわたって開催された検討会資料、並びに記者発表資料等は、下記のウェブサイトにおいて公開している。

<http://www.nilim.go.jp/lab/jeg/heat.htm>