

技術開発成果の概要

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」 (平成16年度～18年度)

- 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。
- 対策を総合的かつ計画的に講ずるために必要な、各種対策効果を定量化するとともにそれらの対策を総合的に講じた場合の効果をシミュレートする技術を開発する。

2

技術開発の目標

ヒートアイランド現象を定量的に把握し、現象の再現
やヒートアイランド対策効果を予測できる
実用的なシミュレーション技術を開発



地球シミュレータによって、現象解明や対策効果を定量化するシミュレーション技術を開発

ヒートアイランド対策、まちづくり等の施策の
評価ツールとして活用

3

技術開発成果の概要

- **ヒートアイランド現象に関する大規模実測調査**(平成17年夏)
 - 「風の道」に関する現象と効果の把握ため、東京都心・臨海部における190箇所の地点において高密度大規模同時気象観測を実施
- **市街地模型の風洞実験による風の挙動の検討**(平成18年夏)
 - 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効果・影響について、ケーススタディによって検証
- **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**
(平成16年度～)
 - 世界最速レベルのスーパーコンピュータによる、都市全域の個々の建物・街路における気温・風速を予測可能なシミュレーション技術を開発
- **地理情報の高度化・活用技術の開発**(平成16年度～)
 - 対策効果シミュレーションに必須な都市全域の詳細な地理情報データを効率的に収集・整備する技術を開発
- **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**(平成18年度)
 - 対策効果シミュレーション技術を、国や地方公共団体等向けに実用化するために、パソコン上でもシミュレート可能なソフトを開発

4

ヒートアイランド現象に関する 大規模実測調査

5

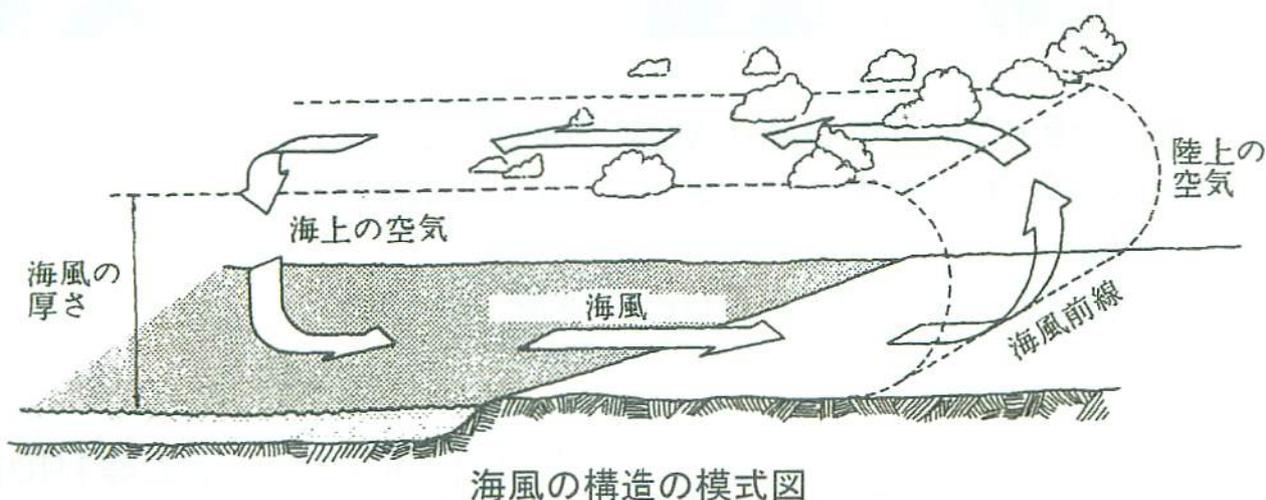
都市周辺には様々な風が存在する



作成：首都大学東京 三上岳彦教授 6

ヒートアイランド対策として有効な海風の活用

- ヒートアイランド対策として「風の道」をつくる、とあるのは、都市上空の海風と同時に都市空間内で風が通り抜けることのできる連続した隙間空間で、一般に「風の通り道」といわれる。
- 日本において「風の道」の必要性があるのは、大都市が海に接近しており、海風の効果が日中の都心の熱さのみならず熱帯夜緩和に役立つと予測されているためである。(尾島2005)



図版出典：T.R. Oke, Boundary Layer Climates, 2nd edition, Methuen, 1987

7

日本の「風の道」とドイツの「風の道」

数百メートルの厚みがある海風に注目する
日本の「風の道」は立体的



地表面付近を流れる山谷風の効果に注目する
ドイツの「風の道」は平面的



8



- 目的
 - 「風の道」に関する現象の調査と効果の定量化
 - 地球シミュレータによるシミュレーションの検証データ
- 調査期間
 - 平成17年7月29日～8月6日に実施
(一部については7月24日から8月27日まで実施)
- 観測点
 - 東京臨海・都心部の4つのエリアの街路・河川・ビル屋上等190箇所
所に温湿度計、気象観測装置を設置して計測

9

各エリアの調査担当

- **東京駅周辺エリア**
 - 早稲田大学理工学部建築学科尾島俊雄研究室・国総研
- **汐留・新橋エリア**
 - 首都大学東京都市環境学部都市環境学科三上岳彦研究室・国総研
- **品川エリア**
 - 早稲田大学理工学部建築学科尾島俊雄研究室・国総研
- **目黒川・大崎エリア**
 - 日本工業大学工学部建築学科成田健一研究室・国総研

※国総研：国土交通省国土技術政策総合研究所

10



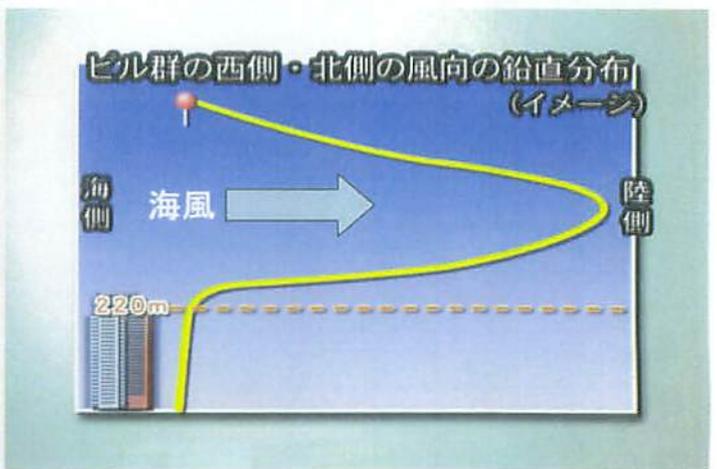
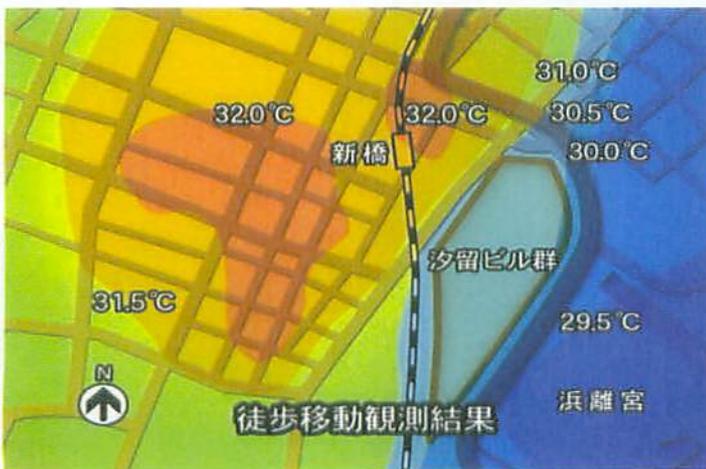
11



東京駅周辺エリア 街路や河川の「風の道」の効果把握

- 海岸から1.5km程度まで街路に沿った海風の流入を確認した。
- 幅員の広い街路の方が、海風が内陸部に流入しやすい。
- 河川上の高架道路により、地表近くの海風の流れが抑制されていることを確認した。

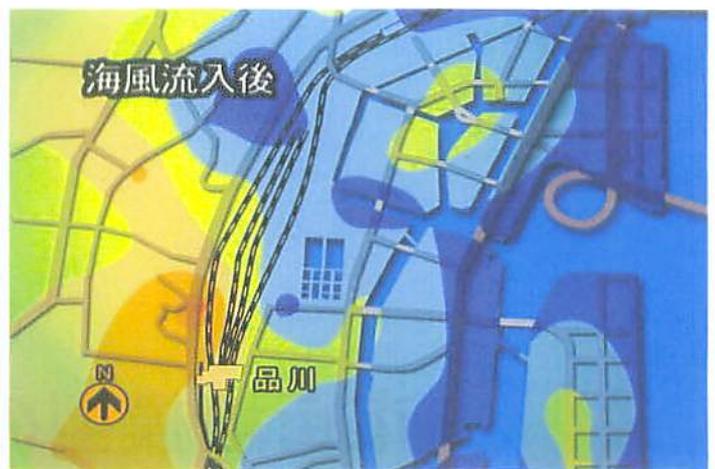
12



汐留・新橋エリア 臨海部の超高層ビル群による熱的影響範囲の把握

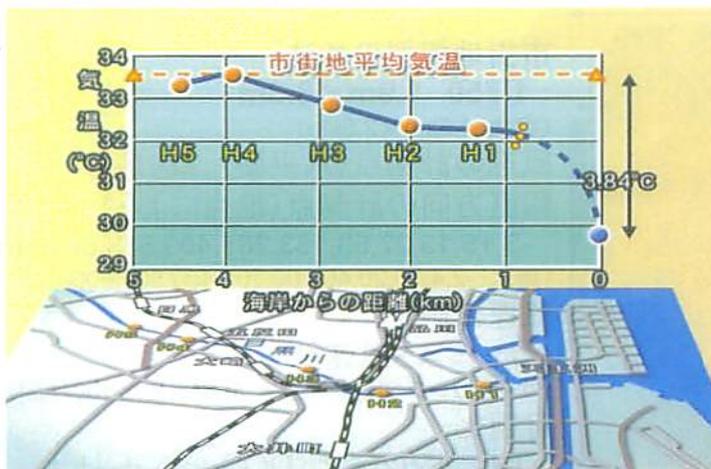
- ビル群の風下側約1kmの範囲で午後に気温上昇を確認した。
- 気温上昇の要因はビル群以外の熱的特性も含まれている。
- 臨海部のビル群の風上側に限らず上空にも内陸に向かう海風の流れを確認した。

13



品川エリア 品川駅周辺における海風の実態を把握

海風の流入によって品川車両基地を東西にまたがる地表近くの風が確認できた。



目黒川・大崎エリア 「風の道」としての目黒川の海風の効果を把握

- 地表近くの海風と市街地との気温差は日中で約4°Cだった。
- 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。
- 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ことがある。

市街地模型の風洞実験による 風の挙動の検討



市街地模型の寸法:

1/750 1.9m × 3.3m

(実大: 1.5km × 2.5km)

風速の計測点(水平面): **229地点**

鉛直方向の計測点(地点による):

-3,+5,13,27,53,133,267,400,533,667mm
(実大: -2.4,10,20,40,100,200,400,500,600m)

風速の測定:

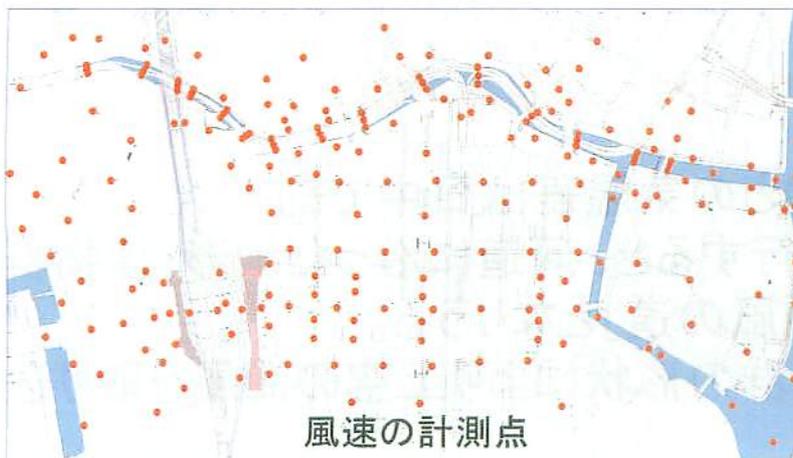
サーミスタ風速計

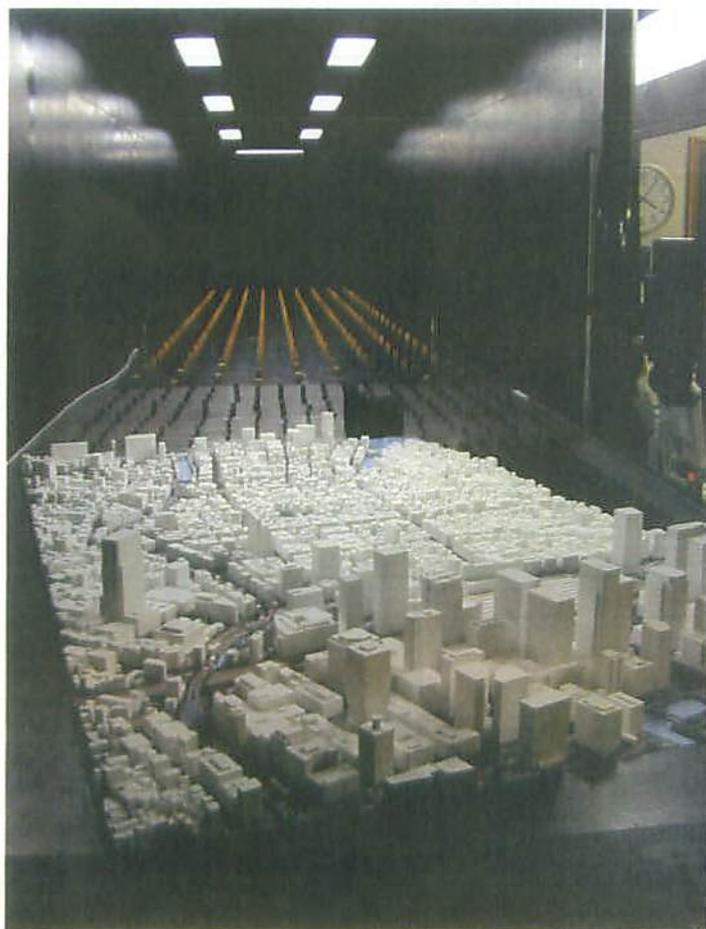
(サンプリング間隔0.1秒、一計測点あたり30秒間)

可視化:

アルゴンレーザ、DOS(トレーサーガス)

小旗による風向の観察





18

日本橋川ケーススタディ検討パターン



現状



Case-1: 高架地下化

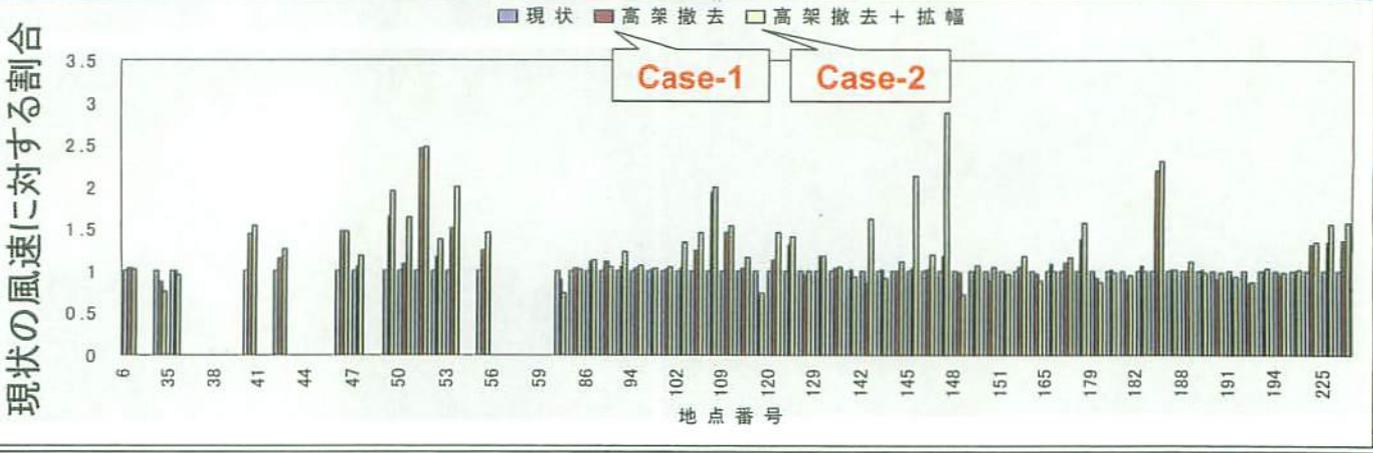
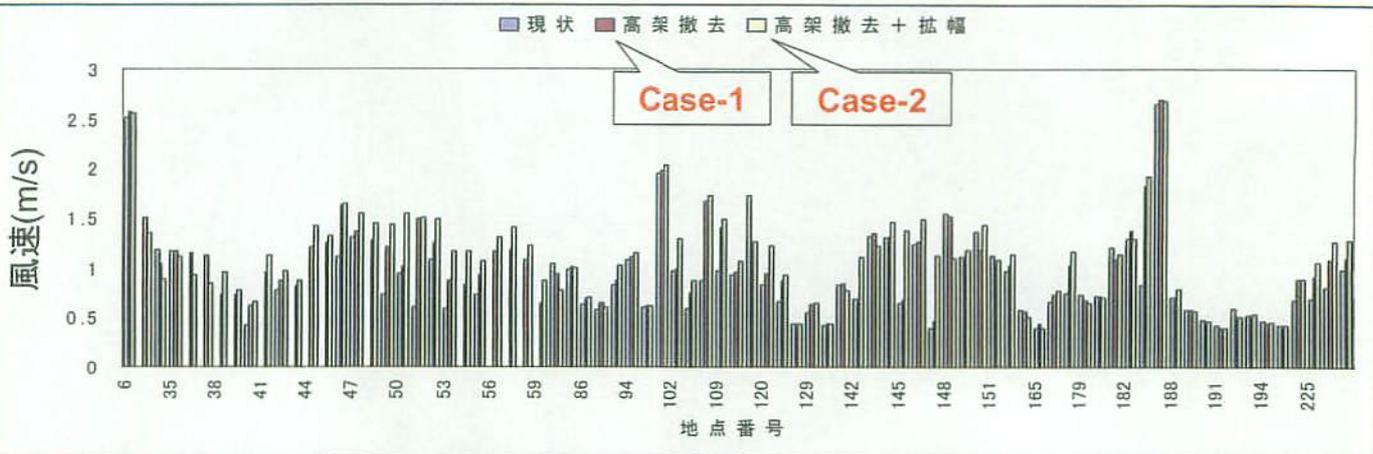
首都高速江戸橋～竹橋間、
約2kmの高架を地下化
(川幅約40～60m)



Case-2: 高架地下化
+ 川沿いの低層・低
容積化

さらに、同区間の川沿いの土
地を低層・低容積化(川幅+
川沿いのオープンスペース
=140m程度)

地上4mにおける日本橋川周辺の開発前後の風速の変化



20

Case-2(高架地下化+川沿いの低層・低容積化)による効果



- Case-1、Case-2ともに現状よりも地上4mにおける風速が増加する傾向が確認できた。
- 風速が10%以上増加した範囲は、河岸から200m程度及んでいる可能性がある。
- 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、気温低下の効果が期待できる。



数値シミュレーションによる、熱を含んだ解析が必要

21

東京駅八重洲口再開発イメージ



(2011年完成予定)

図版出典: http://www.jreast.co.jp/press/2004_1/20040907.pdf (記者発表資料)

22

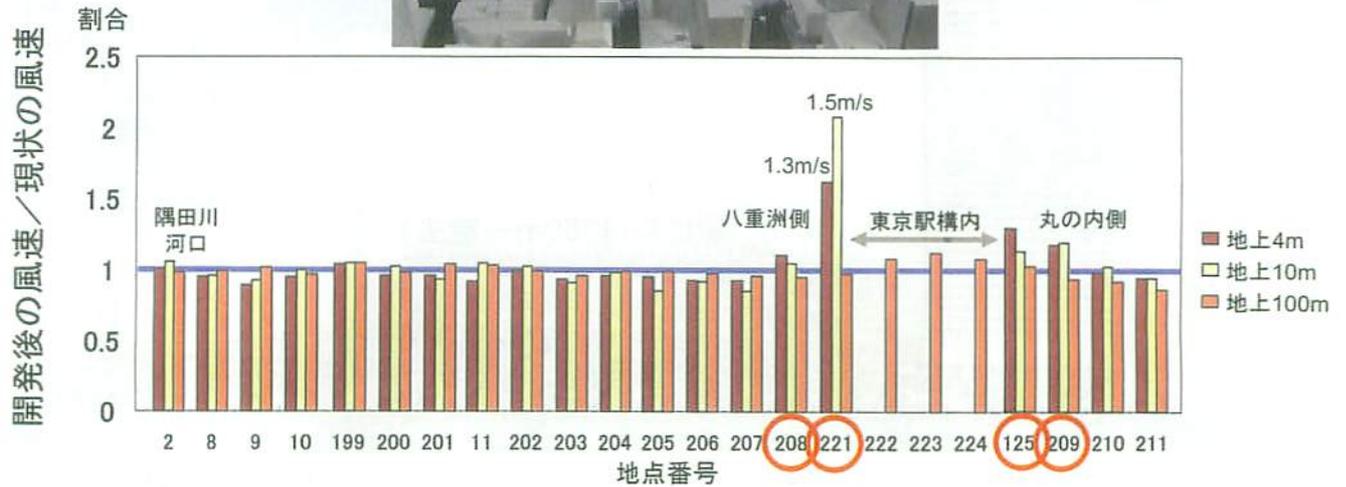
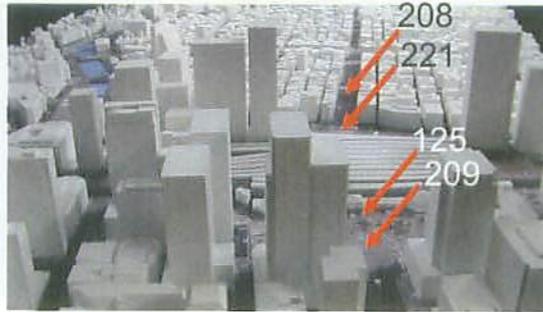
東京駅ケーススタディ検討パターン



23

東京駅八重洲口再開発による風速変化

駅ビル周辺の風速の変化は局所的で、丸の内側駅前の風速は若干増加



地上高さ4,10,100mにおける現状に対する風速増減の割合

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

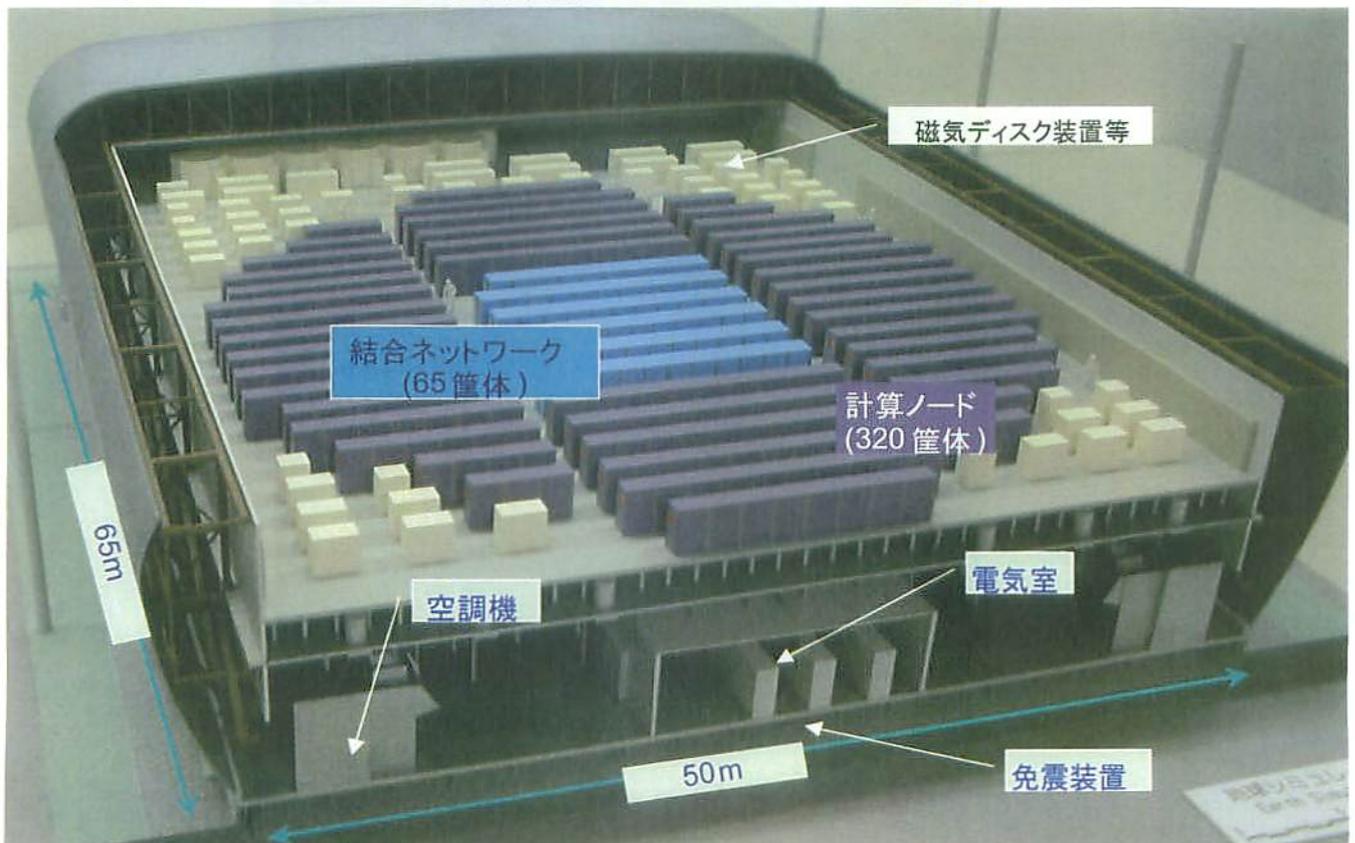
地球シミュレータによる 対策効果シミュレーション技術の開発

- 都市全体の個々の建物のまわりや街路の気温・風速を精緻に予測可能なシミュレーション技術を開発
- 東京都心・臨海部を中心とする10km四方の範囲を、5mメッシュで500mまでの任意の高さの気温・風速の解析が可能に(約5億の計算ポイント)

26

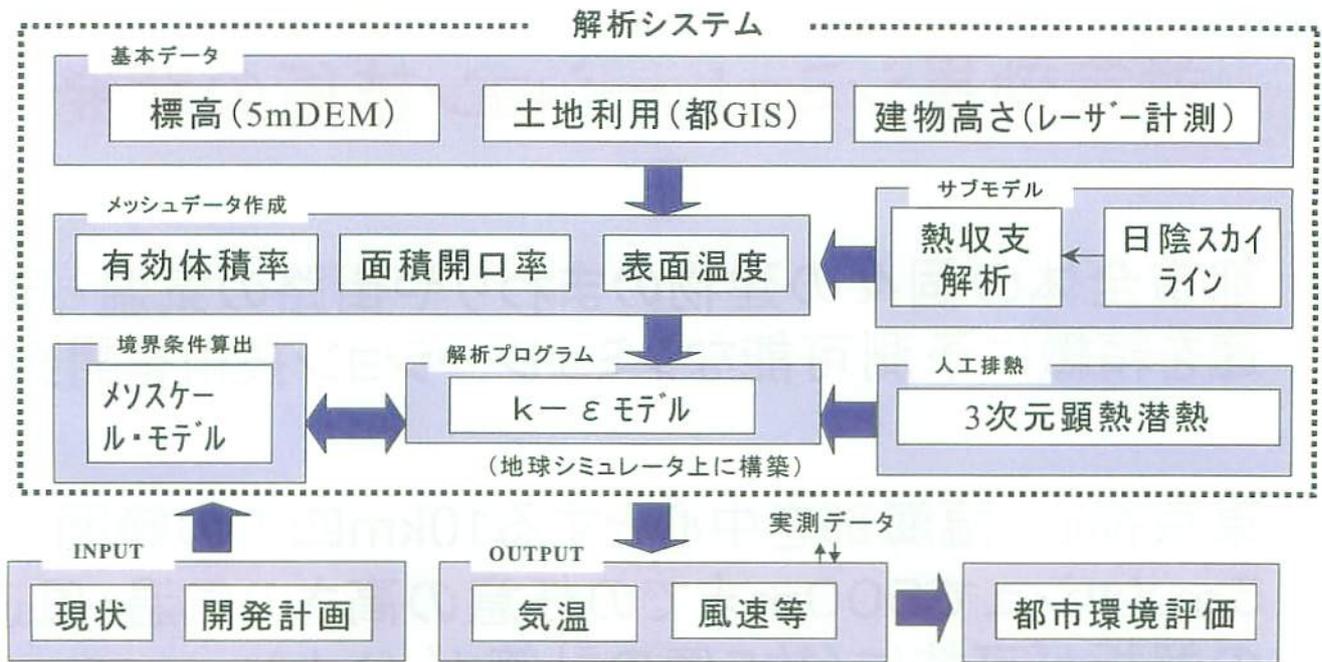
超高速ベクトル並列計算機システム

地球シミュレータ



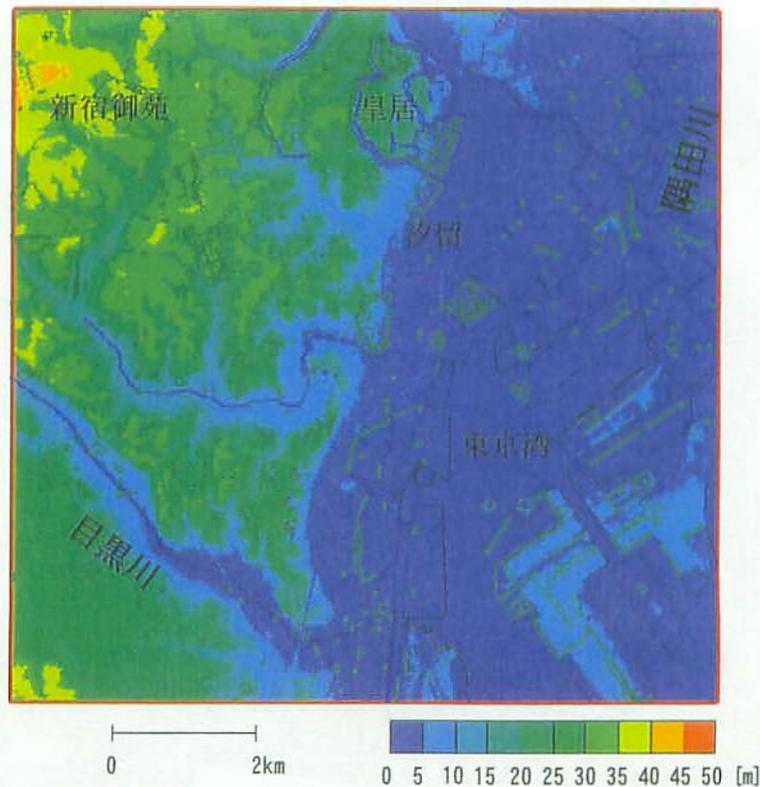
5,120CPU(スパコン640台分相当)の計算能力

27



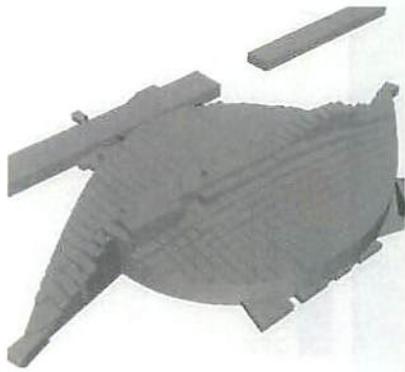
- 最適化現状(2006.9)
- ・計算規模 12.0ノード
 - ・ベクトル化率 98.801%
 - ・並列化効率 63.06%
 - ・ピーク性能 20.3%

解析の流れ

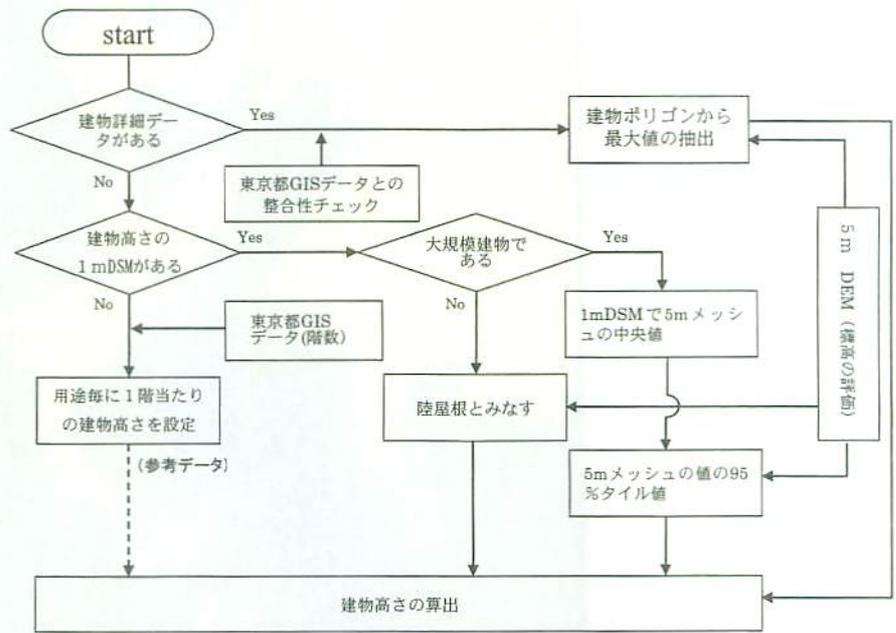


東京臨海部の標高(10km四方)

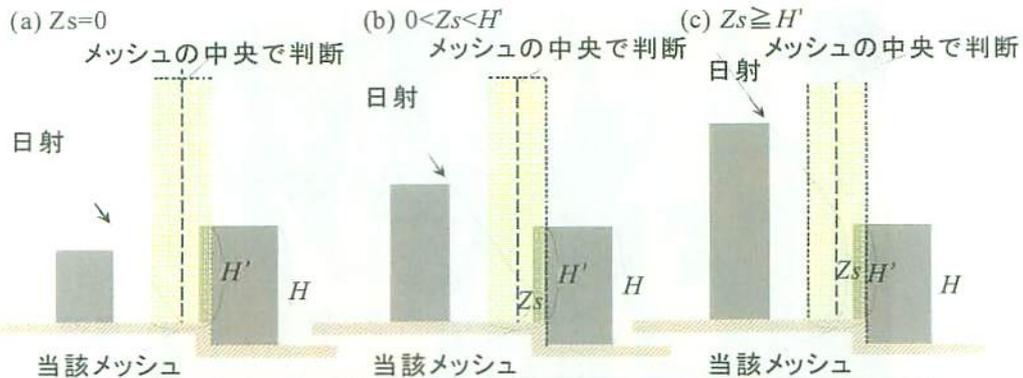
国土地理院5mDEM



建物高さの事例
(5mメッシュ)



航空機レーザー計測データ (1mDSM、国土地理院提供) による建物高さの判別

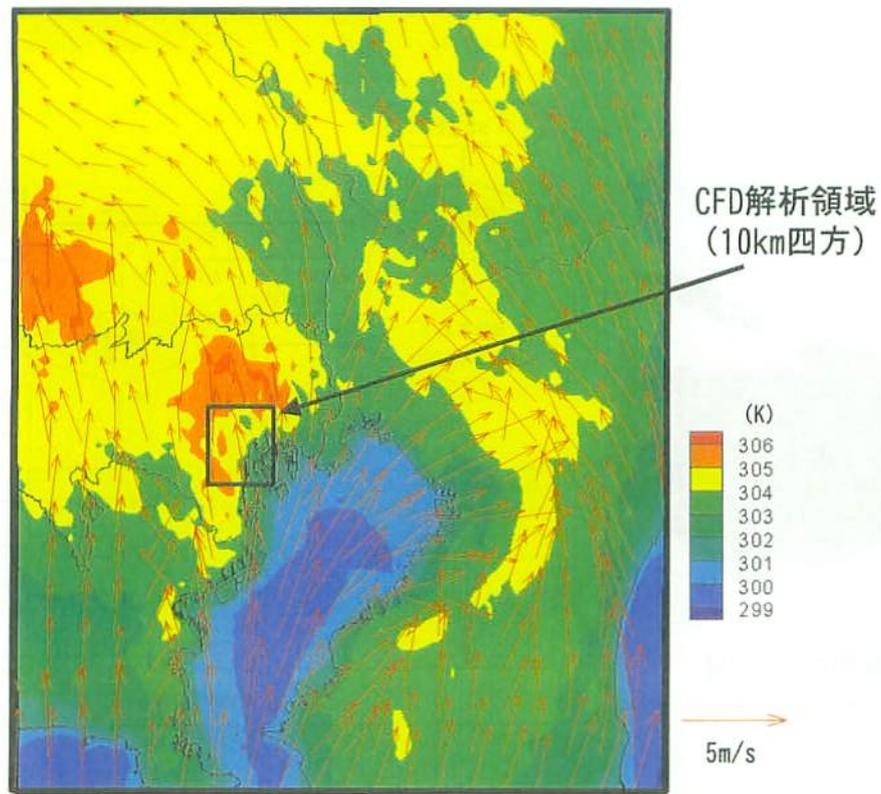


ケース	Z_s と H' の関係	地表面	建物壁面 (日射に面する)	建物屋上
(a)	$Z_s=0$	日向	日向	日向
(b)	$0 < Z_s < H'$	日陰	Z_s 以上が日向 Z_s 未満が日陰	日向
(c)	$Z_s \geq H'$	日陰	日陰	日陰

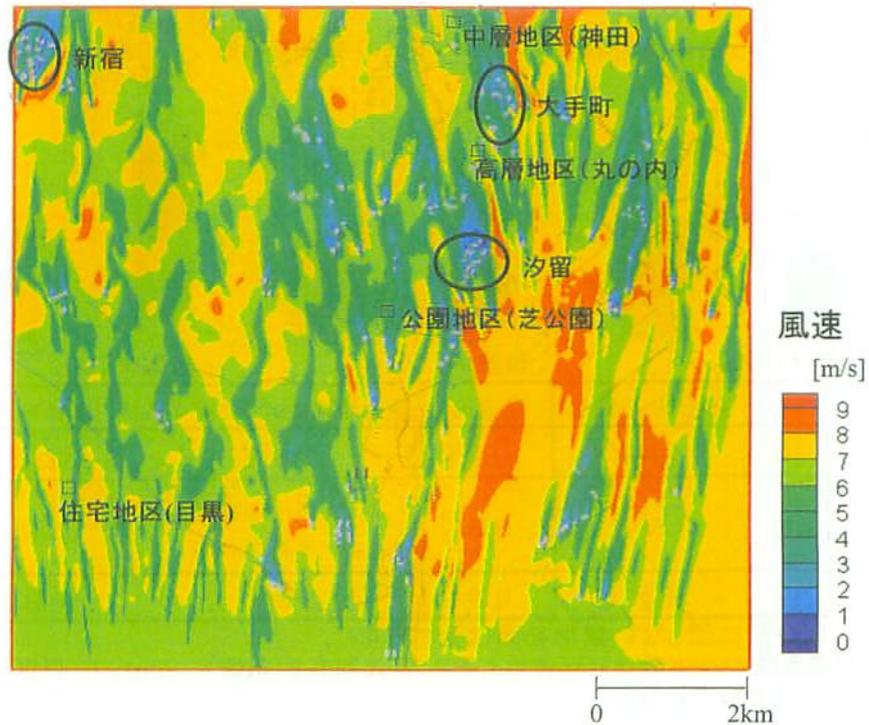
日当たり有無と土地被覆から表面温度を固定条件で与える

※日射に面しない建物壁面は全て日陰
 Z_s : 判定当該メッシュの日射到達地上高さ、 H : 建物高さ (階数 × 3.5m)、 H' : 判定当該メッシュの地上からの建物高さ

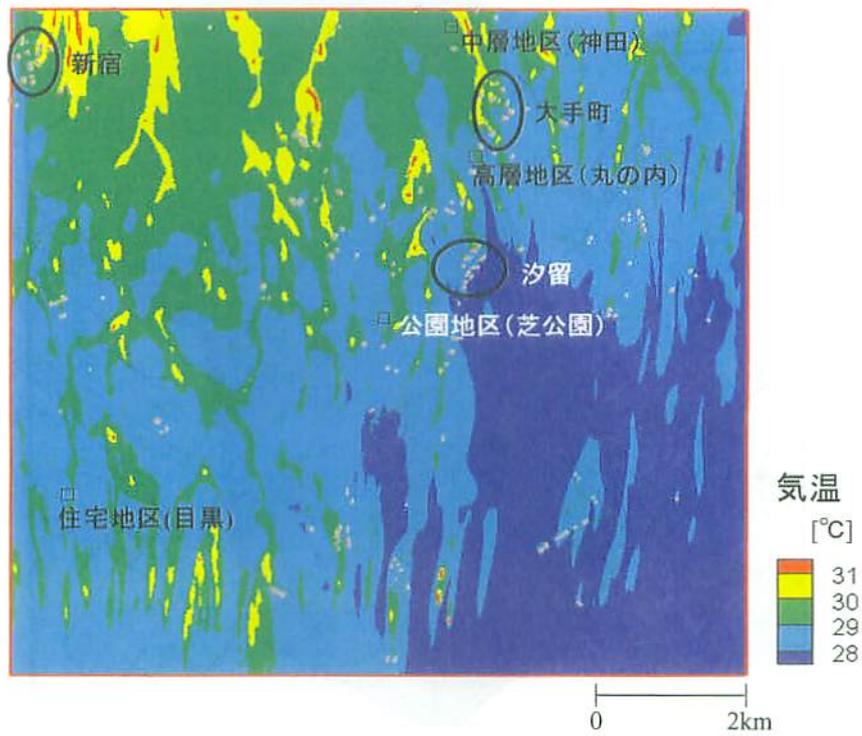
日射到達高さの簡易判定



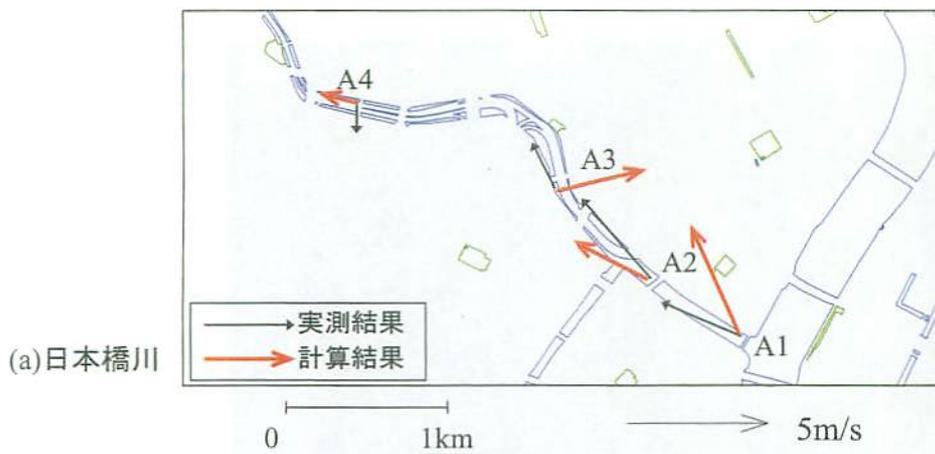
メソスケール計算結果(LOCALSによる)
風速および温位分布 (2005年7月31日14時、地上10m)



地上100mにおけるスカラー風速分布 (2005年7月31日14時)

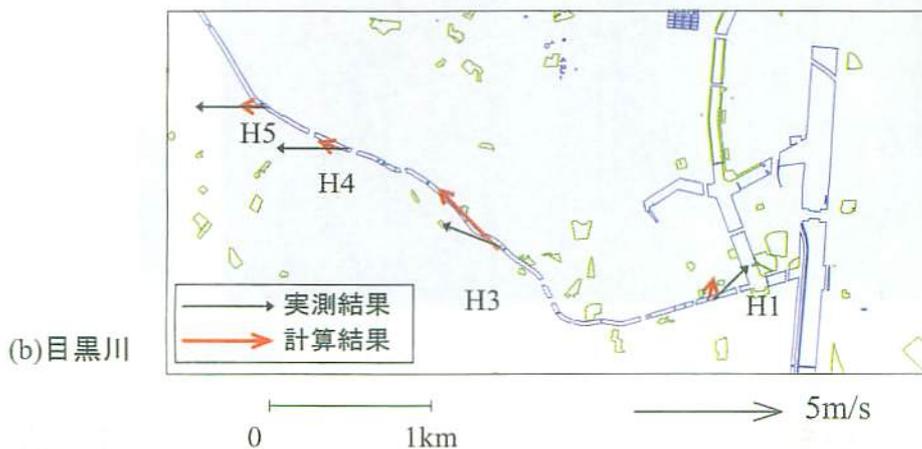


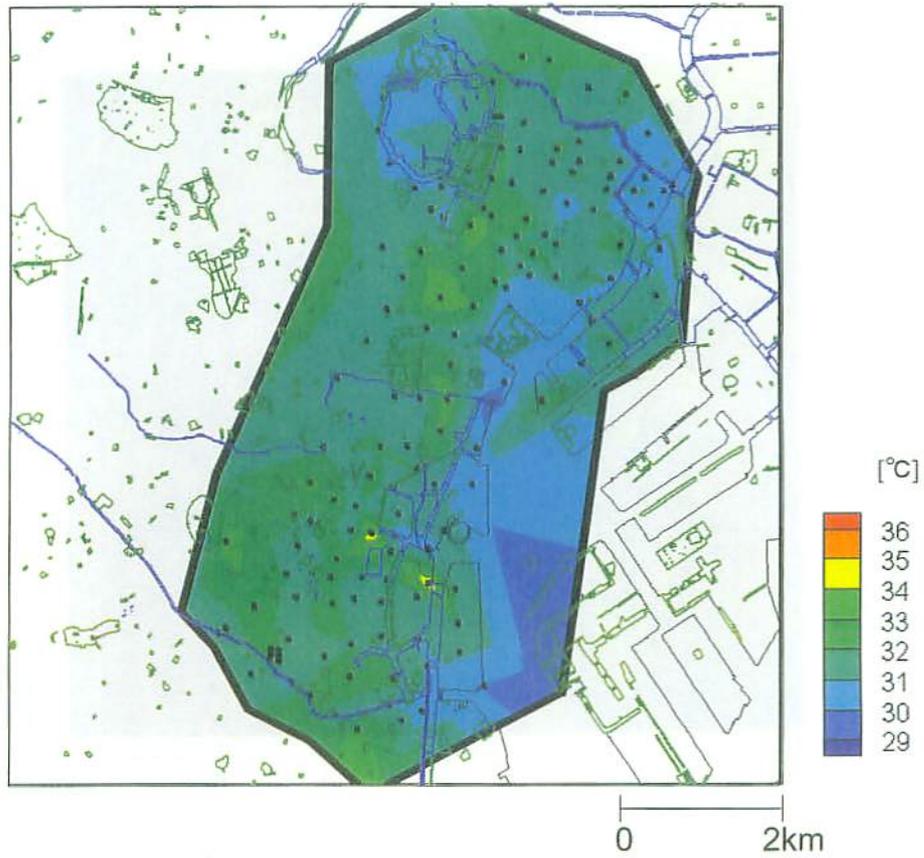
地上100mにおける気温分布(2005年7月31日14時)



河川における
風速の実測結果と解析結果
の比較

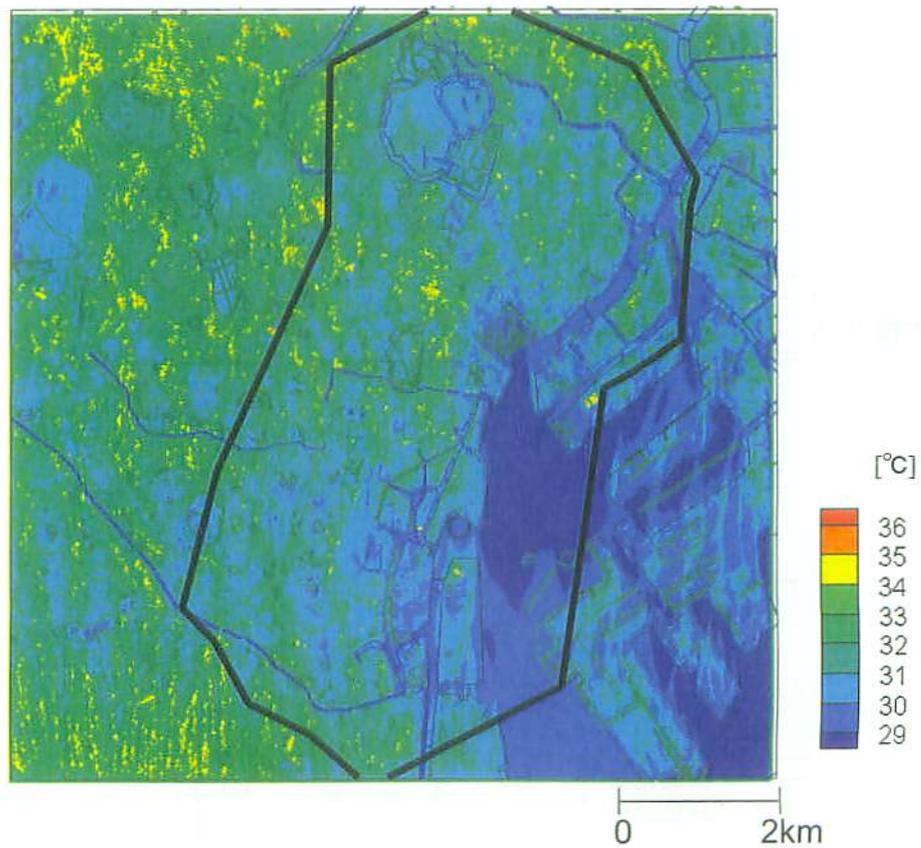
(2005年7月31日14時)





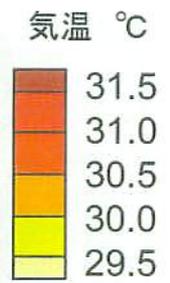
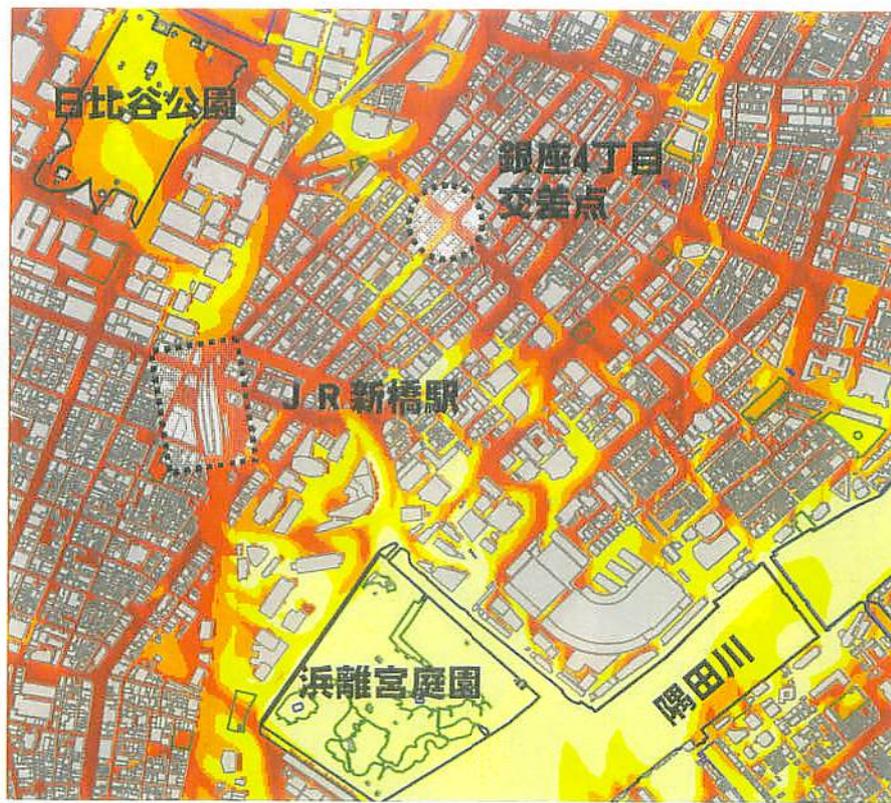
気温分布の実測結果(2005年7月31日14時)

36



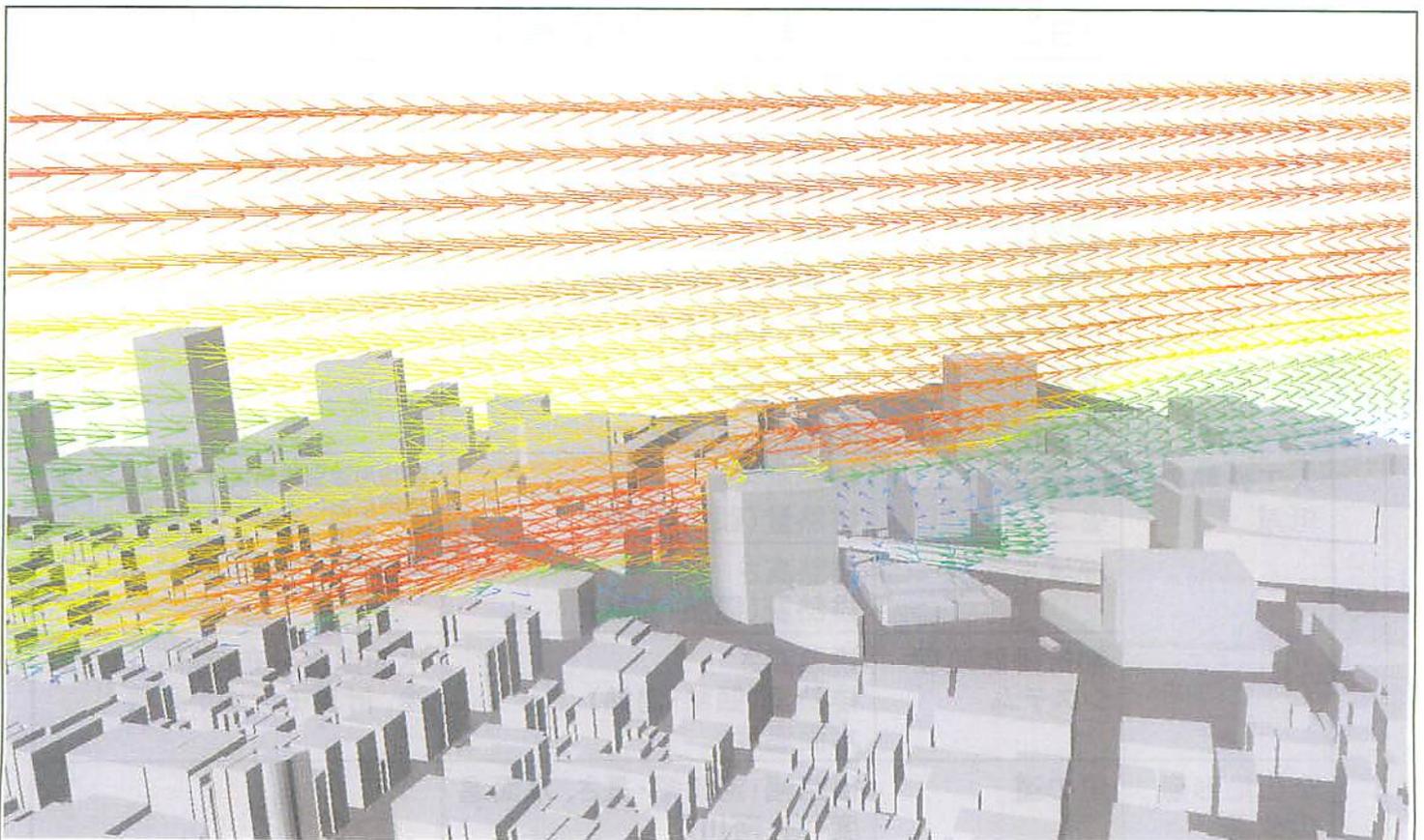
気温分布の数値解析結果(2005年7月31日14時)

37



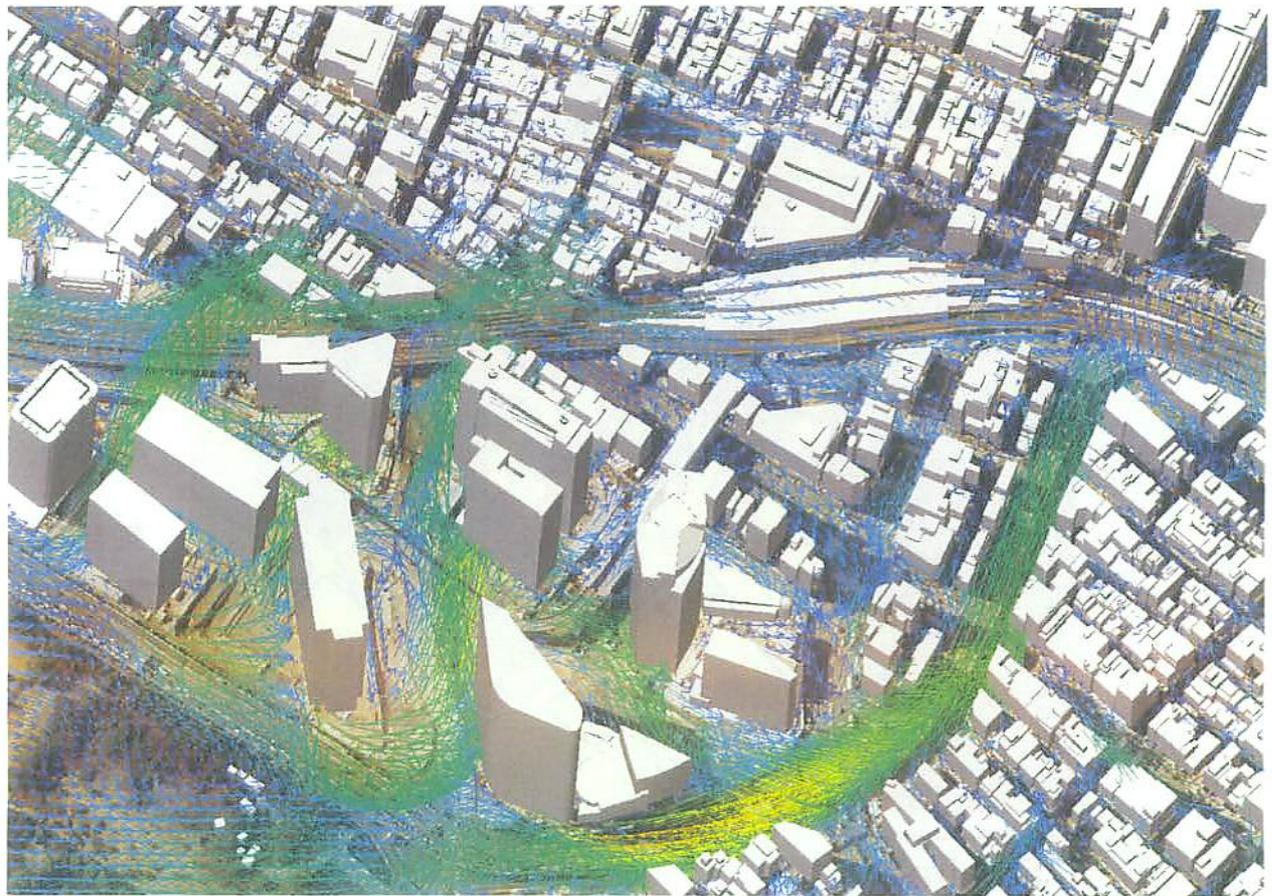
500 [m]

銀座周辺の気温分布(2005年7月31日14時、地上10m)



有楽町周辺の風の流れ(2005年7月31日14時)





風速分布図(2005年7月31日14時、標高10m)

[m/s] 0 1 2 3 4 5 6 7 8 40

シミュレーションによる対策効果の定量化に必要な入力データ

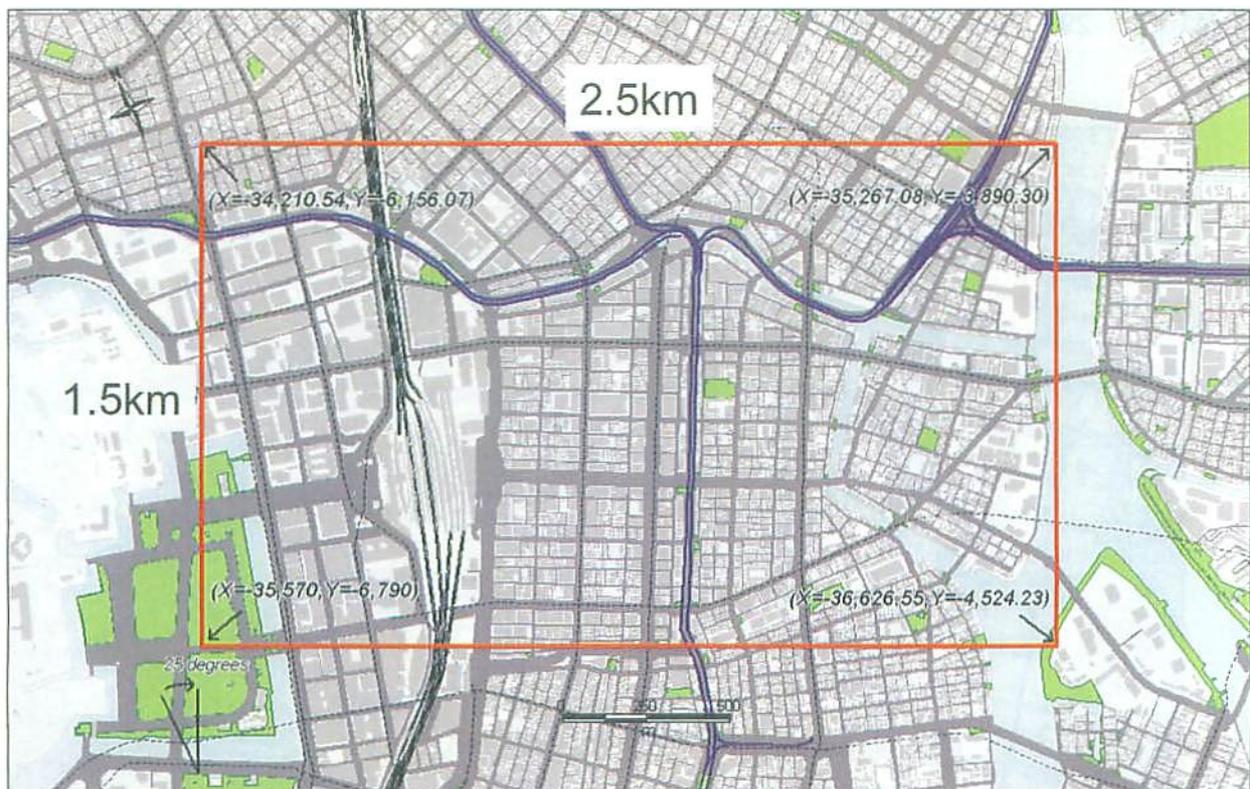
	対策	入力データ	備考
土地被覆の改善	緑化	面積(草地・樹葉) 表面温度、樹木の大きさ	「にじみ出し」効果は別途計算モデル構築が必要
	高反射性建物外皮	面積 表面温度(壁面・屋根面)	壁面緑化も同様
	保水性舗装	面積、表面温度	
	高反射性舗装	面積、表面温度	
	せせらぎ回復	面積、水面温度	
人工排熱の低減	空調システムの省エネ化	排熱高さ 排熱量(顕熱・潜熱)	建物用途別排熱量は『平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書』(国土交通省・環境省)により整備済み
	地域冷暖房	排熱高さ 排熱量(顕熱・潜熱)	
	都市排熱処理システム	排熱高さ 排熱量(顕熱・潜熱) 水面温度	水面温度分布の計算に別途、計算モデルが必要
市街地形態の改善	風の道	街路幅・河川幅・長さ、水面温度(海・河川)	
		高架路面高さ	高架道路の有無の評価

日本橋川・東京駅周辺のケーススタディ

- 市街地改造(高架や駅ビルの撤去、河岸建物の低容積化)によって生じた「風の道」等により、都心部に形成される熱だまりが解消されることで、どの程度気温低下に効果があるか定量的に示す。
- 解析は1mメッシュ、時刻は真夏の正午(南東の風)を想定。

42

解析エリア(日本橋川・東京駅周辺)

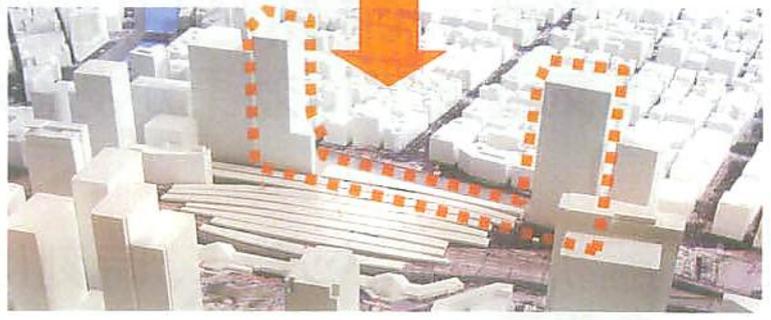


43

市街地改造のイメージ

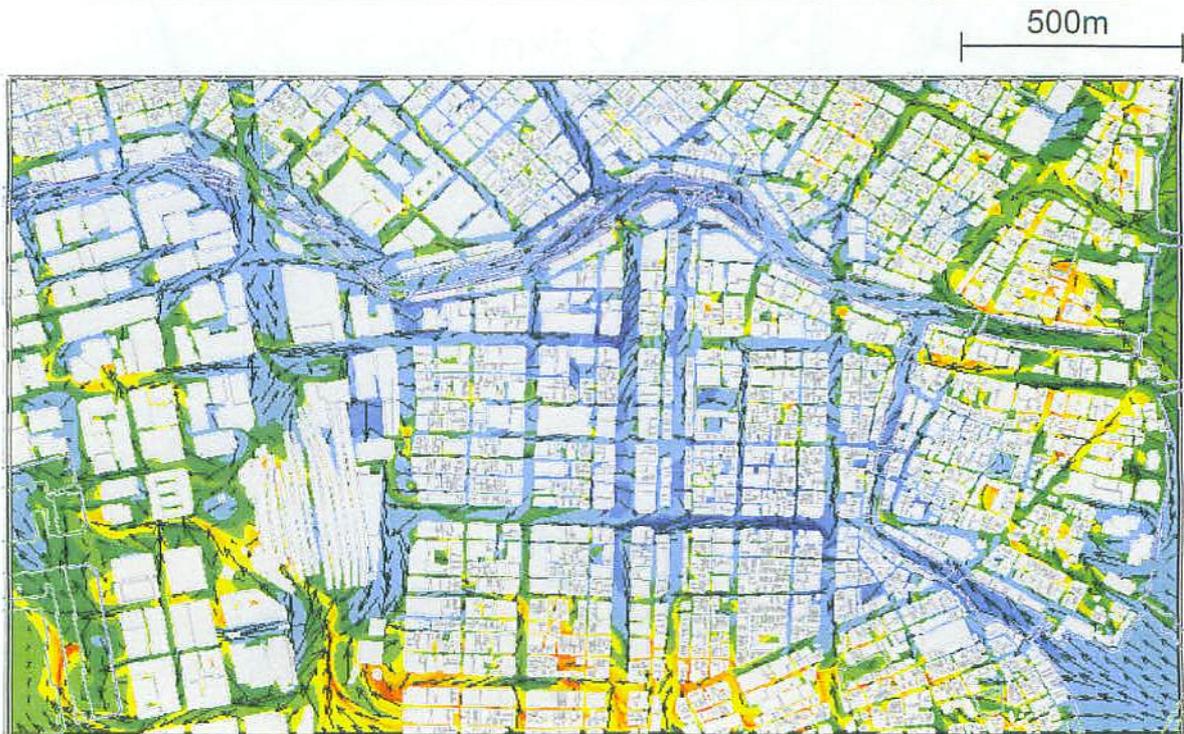


日本橋みち会議検討案
(高架撤去・河岸建物低容積化)



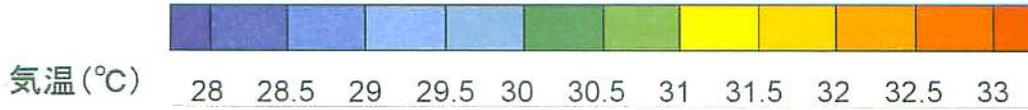
東京駅八重洲口開発計画
(駅ビル撤去・ツインタワー建設)

現状ケース — 地上5mでの気温と風向風速



風速10 m/s →

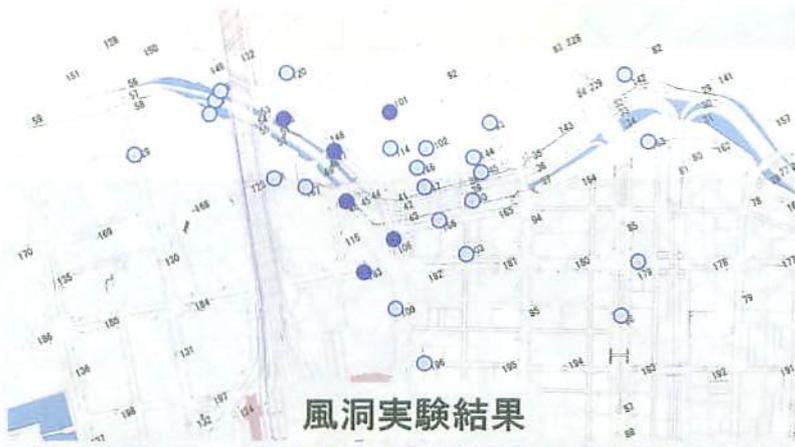
開発後ケース - 地上5mでの気温と風向風速



地上5mでの気温偏差図 (開発後ケース)-(現状ケース)



風洞実験結果との比較

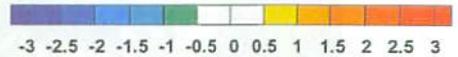


- 風速が増加して「快適」になった地点
- 風速が10%以上増加した地点



- 風速が増加して「快適」になった地点
- 風速が10%以上増加した地点

風速差(m/s)



実測調査・風洞実験との比較(風速・風向)

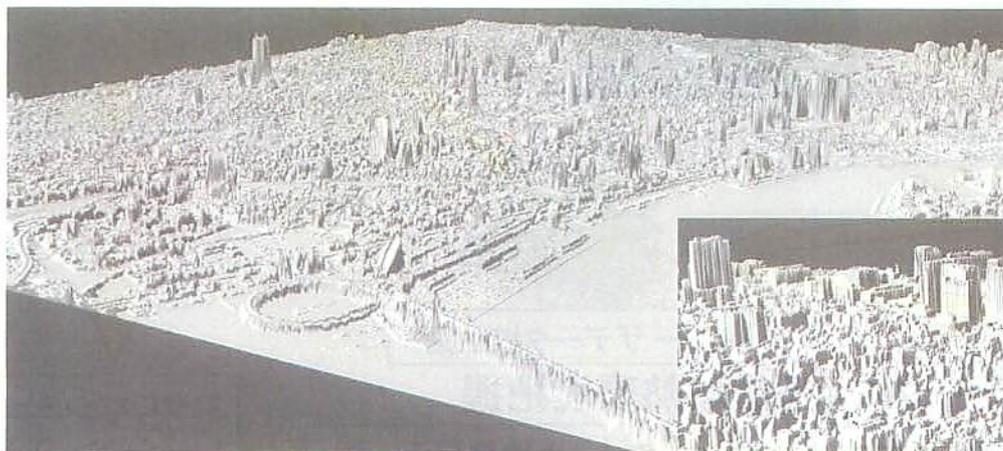


地理情報の高度化・活用技術の開発

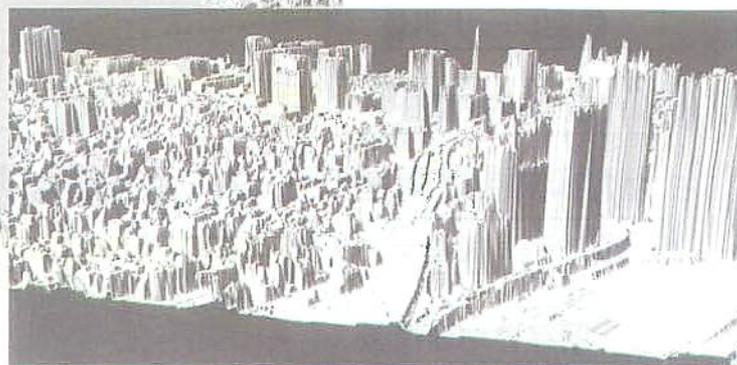
50

地図に表示されていないデータの収集・整備

- 高架(高速道路、鉄道等)の高さ・形状
- 屋上工作物等の配置
- 樹木の形状・分布、都市全域の土地被覆、表面温度等

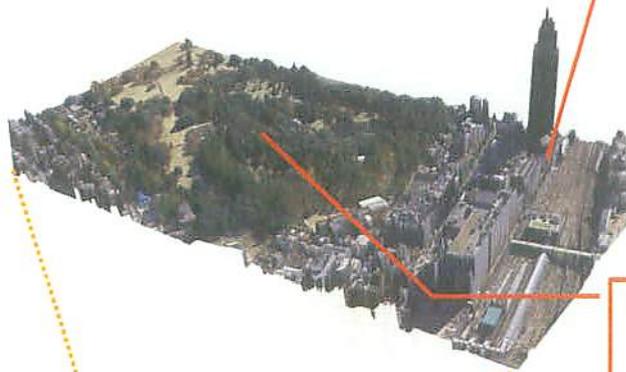


提供: 国土地理院



51

技術開発上の課題と対応



1. 航空レーザ測量等による市街地の把握

都市の複雑・微細な性状 (3Dデータ、熱、土地被覆) を表す地理情報を効果的に把握する手法の確立

2. 航空レーザ測量等による植生の把握

植生の三次元構造と熱環境緩和効果との関連づけと対策への知見の反映



3. 地球観測衛星データによる広域熱環境の把握

都市圏スケールで緑や地物の実態を表す土地被覆情報や、熱環境を概観できるマップを開発

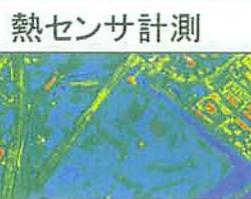
52

入力データとしての地理情報の高度化

☆ 航空レーザ測量等による市街地の把握

航空レーザ測量・
空中写真撮影

3Dデータ・正射画像



熱センサ計測

ミクロなシミュレーションの入力データ・検証に利用

☆ 航空レーザ測量等による植生の把握

航空レーザ測量

現地検証調査

レーザデータ植生図



境界条件設定・
精度検証で相互補完

☆ 地球観測衛星データによる広域熱環境把握

地球観測衛星データ

既存の地理情報

土地被覆データ



マクロなシミュレーションの入力データ・検証に利用

53

まとめ

- 地理情報はヒートアイランドのシミュレーション及び対策立案を支える情報として必須
- ヒートアイランド調査研究・対策立案が抱える技術課題に対して以下の技術開発を実施
- **マイクロシミュレーションに必要なデータの取得技術開発**
 - 都市3Dデータ取得方法の開発と評価
 - 詳細な都市熱分布の取得方法の開発
- **植生の熱環境緩和機能の把握**
 - 植生の三次元構造の把握と類型化
 - 三次元構造と熱環境緩和機能の関連の把握
- **都市圏スケールにおける熱環境の把握**
 - 緑や地物の分布を示す土地被覆情報の取得の高度化
 - 熱環境を概観できる都市圏熱環境マップの試作

54

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

対策効果シミュレーションソフトの開発

都市全体の解析が可能な地球シミュレータによるシミュレーション技術を、**パソコンで利用できるように実用化(ダウンサイジング)する。**

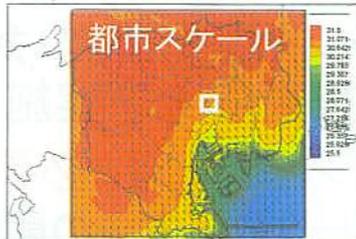
パソコンによる解析

スパコン(地球シミュレータ)による解析

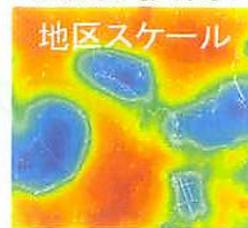


- 5mメッシュで都市全スケール(10~30km四方)の範囲が解析できる。
- 精度:気温1°C程度

マクロシミュレーション(既存技術)



都市スケール
都心部の排熱の移流
(例:都心部からの排熱による
練馬の高温化への影響評価)



地区スケール
大規模な公園緑地のクール
アイランド効果
海風の都市への流入

100~500mメッシュ単位で計算

ダウン
サイ
ジング

マイクロシミュレーション(新規開発)



精度:気温2~3°C以内

(観測データの整備等により精度向上が可能)

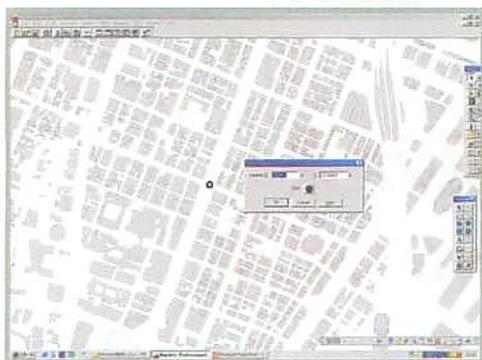
- 保水性舗装
- 屋上・空地緑化
- 緑地からのにじみ出し
- 建物配置・形態の影響
- 「風の道」としての街路・河川
- 人工排熱高さ

5mメッシュ単位で600m四方

56

シミュレーションに必要なソフトの構成

GISソフト(市販品)



- 標高データ
- 土地利用に関するGISデータ
- 建物高さ
(以上のデータをもとにメッシュデータ作成、日照判定等を行う)
- 境界条件(別途入力)

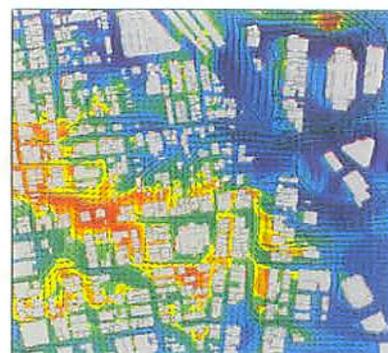
新規開発するソフト

対策評価シミュレーションソフト

500m四方の範囲の
気温分布、風向・風速
分布を5mメッシュで、
高さ500mまで計算



可視化ソフト(市販品)



計算結果(任意の断面
における気温・風速、風
向分布)を表示

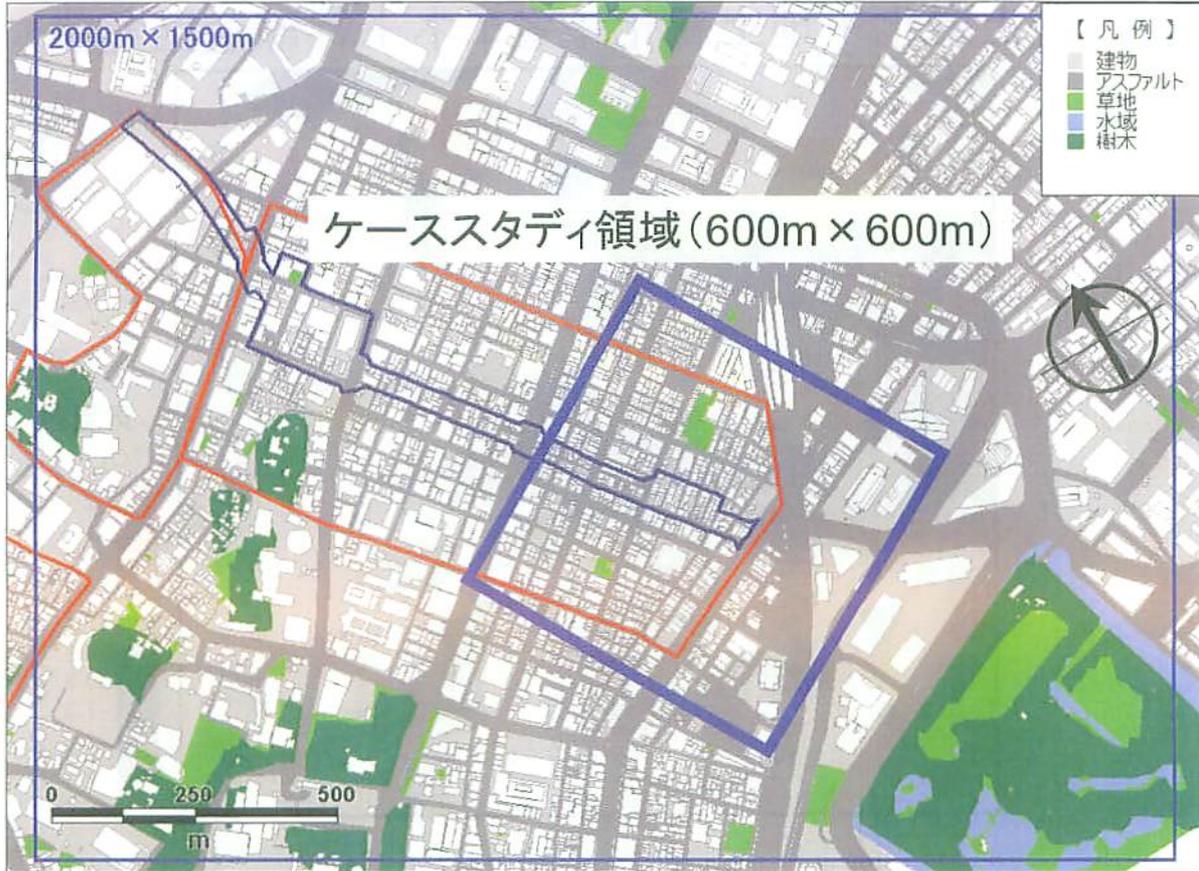
与条件
データ
入力

計算
結果
データ
出力

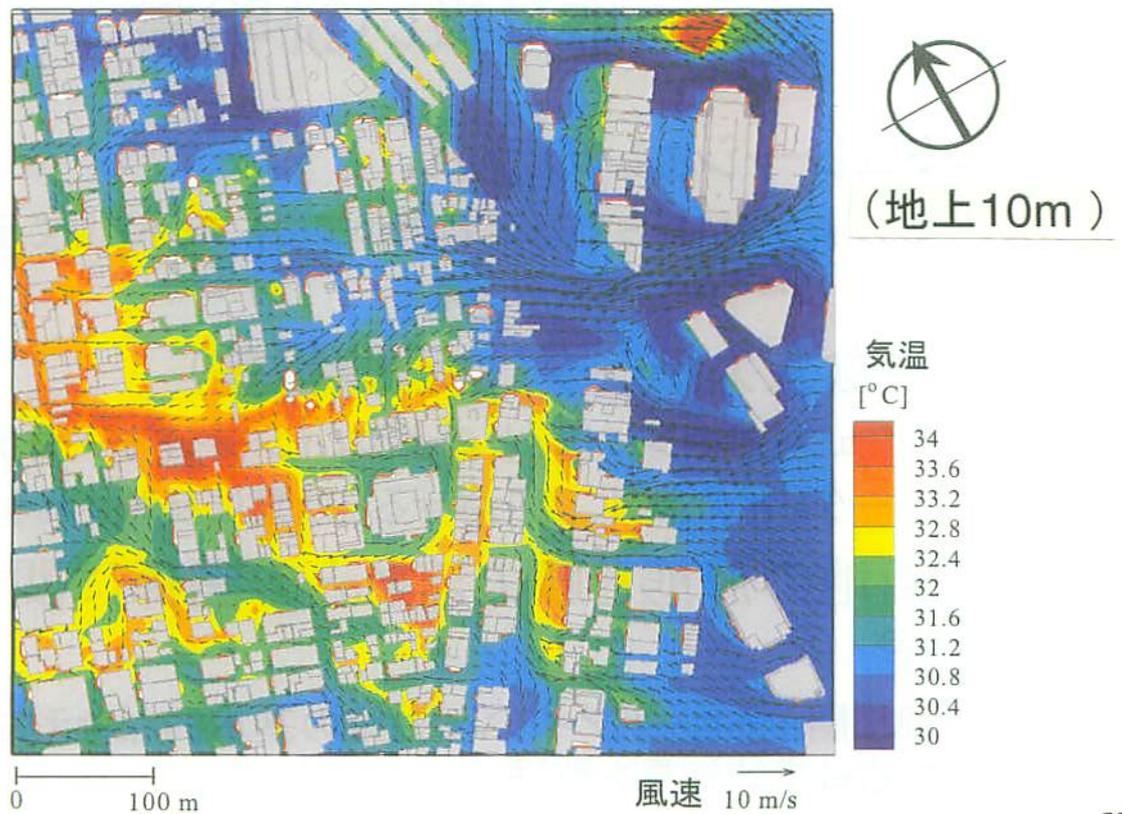
すべてを1台のパソコン上で実行可能

57

総合的な対策評価のケーススタディ

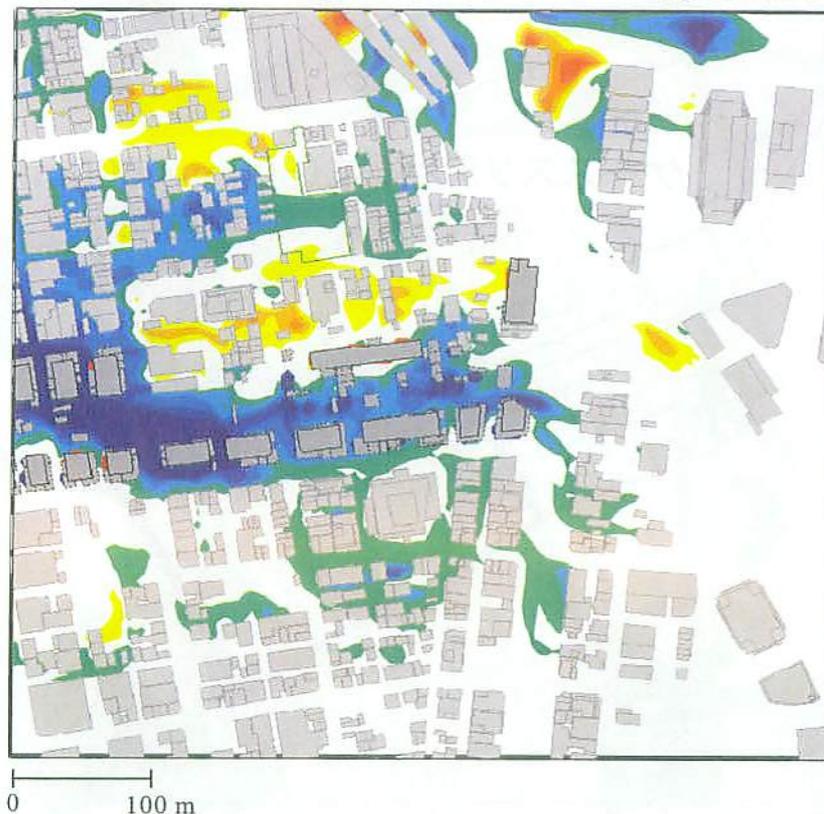


気温・風速のシミュレーション結果



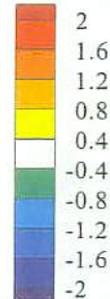
総合的な対策効果

(屋上緑化＋地上緑化＋省エネ＋幹線道路整備)



(地上10m)

気温差
[°C]



0 100 m

60

対策効果シミュレーションソフト 取り扱い説明書



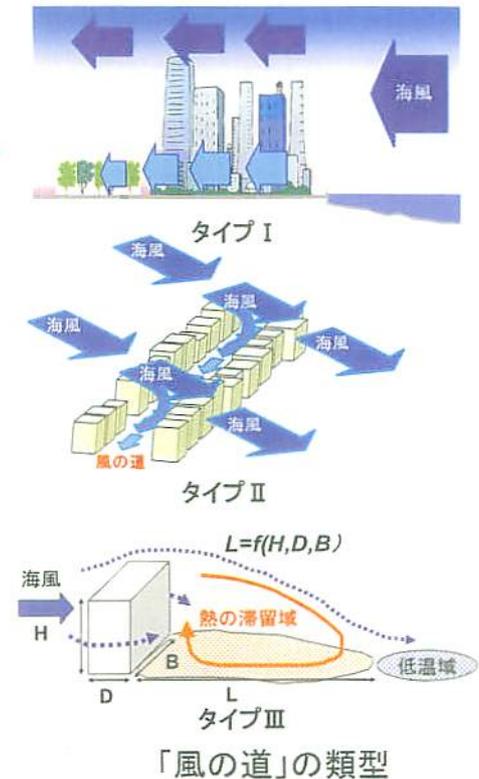
- シミュレーションの流れ
 - どのようなかたちで対策効果がアウトプットとして示されるのか
 - シミュレーションの限界、等
- 必要な入力データ(地理情報等)
 - シミュレーションには、どのようなインプットデータが必要か？
 - データをどのように変化させると効果に反映されるのか
- 市街地の形態と風の流れとの関係に関する知見の整理
 - 風に関するヒートアイランド対策の基本的な考え方と、その根拠となる科学的知見を整理

61

市街地の形態と風の流れとの関係に関する 知見の整理

シミュレーションや実測調査、風洞実験、並びに既往の知見に基づいて都市スケールでの風に関するヒートアイランド対策の基本的な考え方と、その根拠となる科学的知見を整理する。

例えば、右の「風の道」の種類の考え方とそれに基づいた街路幅や建物高さ、建物の配置と地表近くに流れ込む海風の効果との関係などを定量的に整理する。



62

「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」ウェブサイト

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

63