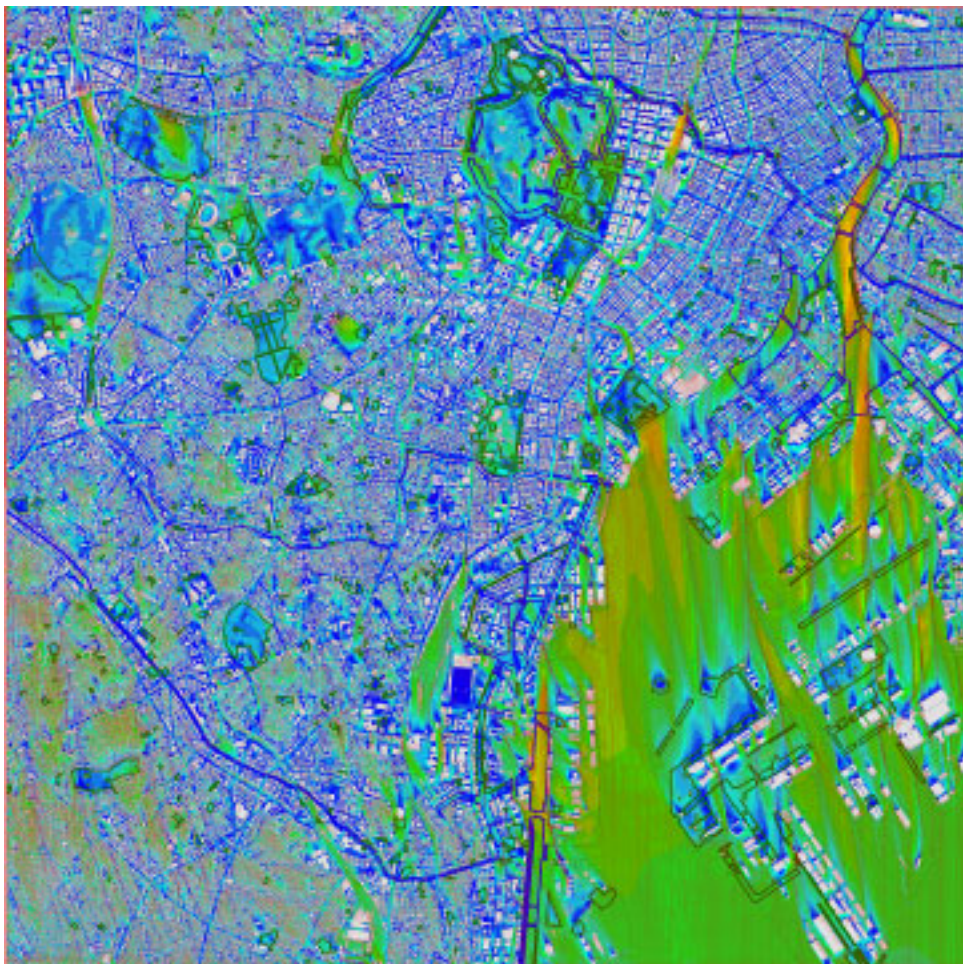


#### 4 . 地球シミュレータによるシミュレーション技術の開発



## 4 . 地球シミュレータによるシミュレーション技術の開発

- 4-1 地球シミュレータによるシミュレーション技術の概要
- 4-2 地球シミュレータによるシミュレーション結果の検証
- 4-3 市街地改造による熱環境改善効果のケーススタディ

## 4 . 地球シミュレータによるシミュレーション技術の開発

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した。

### 4-1 地球シミュレータによるシミュレーション技術の概要

地球シミュレータは、平成 14 年(平成 14 年)3 月に運用を開始した世界最速レベル(当時)のスーパーコンピュータで、神奈川県横浜市にある独立行政法人海洋研究開発機構の地球シミュレータセンターが管理・運営を行っている。

この地球シミュレータは、コンピュータ上に全地球を再現して、地球規模の気候変動や地殻変動などを数値シミュレーションにより解明することを目的に建設されたもので、その計算能力は一般的なスーパーコンピュータ 640 台分に相当する計算能力を持っている(図 4-1-1)。

「風の道」に流入する海風が街路空間にどのように流入するか等の大きなスケールから個別建物の対策といった様々なヒートアイランド対策効果を評価するために、この地球シミュレータを最大限に活用したシミュレーション技術を、独立行政法人建築研究所と共同で開発した。

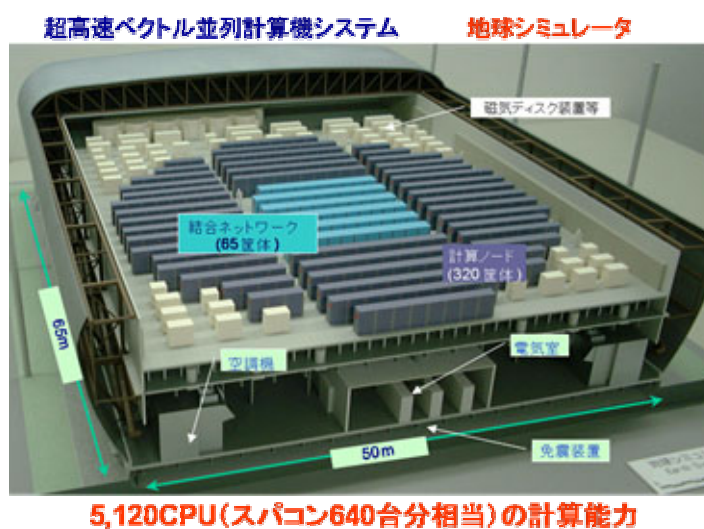


図 4-1-1 地球シミュレータ全体模型写真

この地球シミュレータを用いた解析の流れを図 4-1-2 に示す。解析に使用した計算モデルはパソコン向けの汎用流体プログラムを、地球シミュレータ向けに改良を施し、解析精度を向上させたものである。シミュレーション技術の開発に着手した平成 16 年度(2004 年度)当時の計算領域は、東西 5km、南北 5km であったが、翌年には 10km 四方の計算が可能になり、さらに平成 18 年度(2006 年度)には東京都区部全域をカバーする 30km 四方の計算が可能になった。

## 解析の流れ

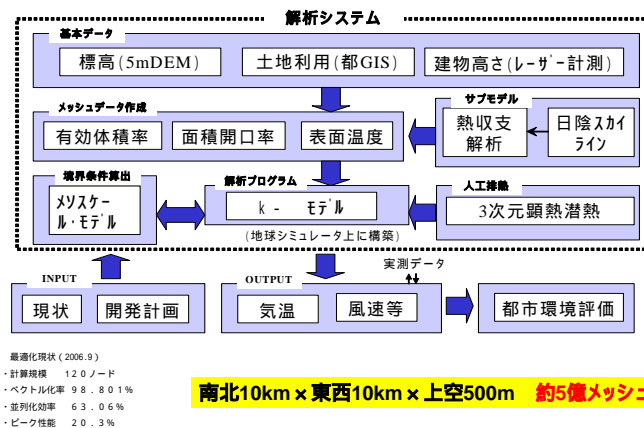


図 4-1-2 地球シミュレータによる解析の流れ

シミュレーションにあたっては、空間的に個別の建物を認識できる単位で計算する必要があることから、平面的には 5m メッシュとし、鉛直方向には超高層ビル周辺の影響や海風の流入等を再現するために、最大高さは標高 500m までとし、地上近くは約 1m 間隔で高度が高くなるにつれ 10m 単位程度で空間を分割した。

以上の空間分割に対応するためには、地形や建物形状について非常に精緻なデータが必要になる。そこで地形については、国土地理院が整備している 5mDEM (数値標高データ) を用いた (図 4-1-3)。

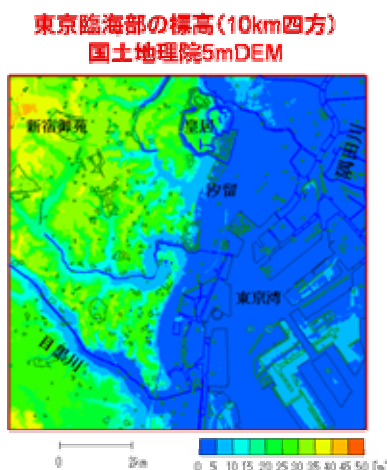


図 4-1-3 東京臨海・都心部の標高 (国土地理院数値標高データ)

建物形状については、政令指定都市等で 1/2,500 地形図等が電子データとして整備され、建物形状や用途、建物構造、建物階数等のデータが整備されている。本研究では東京都都市計画データを用い、建物高さの算定にあたっては、国土地理院の航空レーザー測量データを利用した (図 4-1-4)。これに基づく地区のイメージ例と日向・日陰判定を図 4-1-5 ~ 図 4-1-7 に、これに基づく表面温度の設定値を表 4-1-1 に示す。



## 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

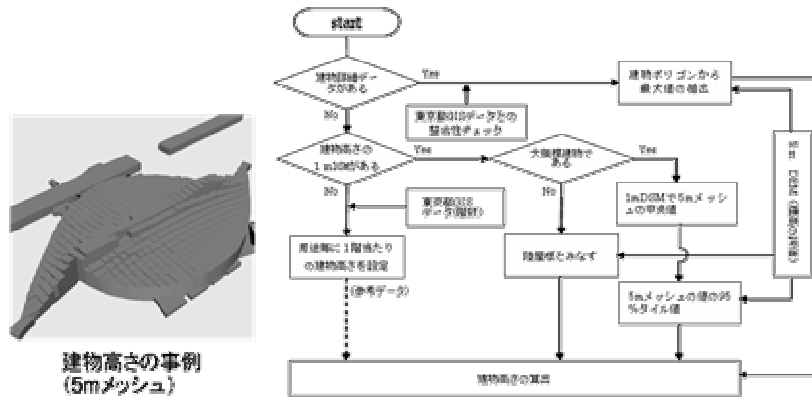


図 4-1-4 航空機レーザー測量データ（国土地理院提供）による建物高さの判別

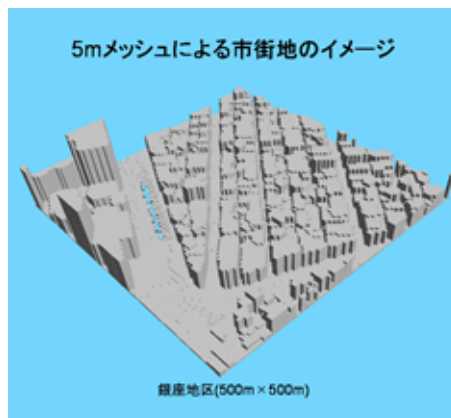


図 4-1-5 5mメッシュによる市街地のイメージ

### 日射到達高さの簡易判定

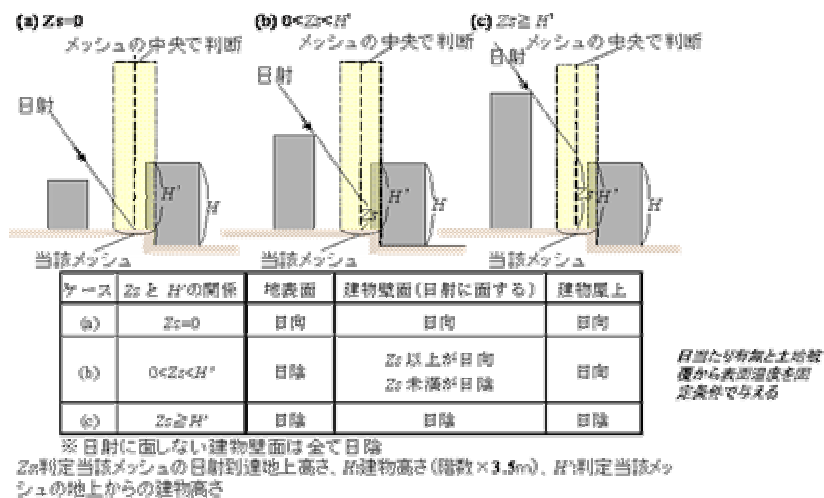


図 4-1-6 日射到達高さの簡易判定

日向・日陰判定例

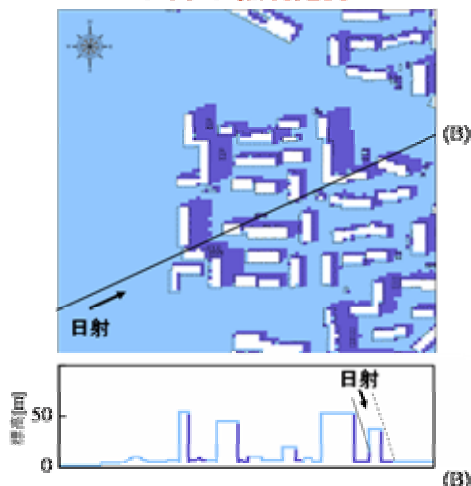


図 4-1-7 日向・日陰判定の例

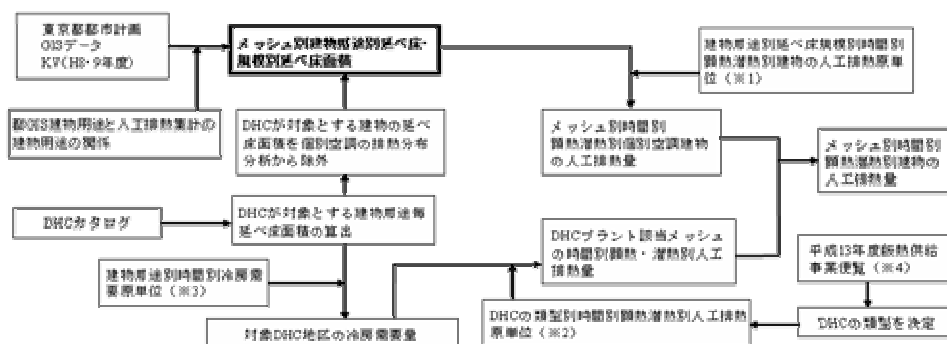
表 4-1-1 地表面・建物の表面温度（入力データ）

地表面・建物表面温度(入力データ)

|            | 日向[°C] | 日陰[°C] |
|------------|--------|--------|
| 1- 建物屋上・壁面 | 58.8   | 34.1   |
| 2- アスファルト  | 58.8   | 34.1   |
| 3- 草地      | 41.2   | 29.0   |
| 4- 水面      | 28.8   | 28.8   |
| 5- 樹木      | 41.2   | 29.0   |

各種人工排熱の算出方法を図 4-1-8～図 4-1-10 に示す。

人工排熱量の算出(建物)

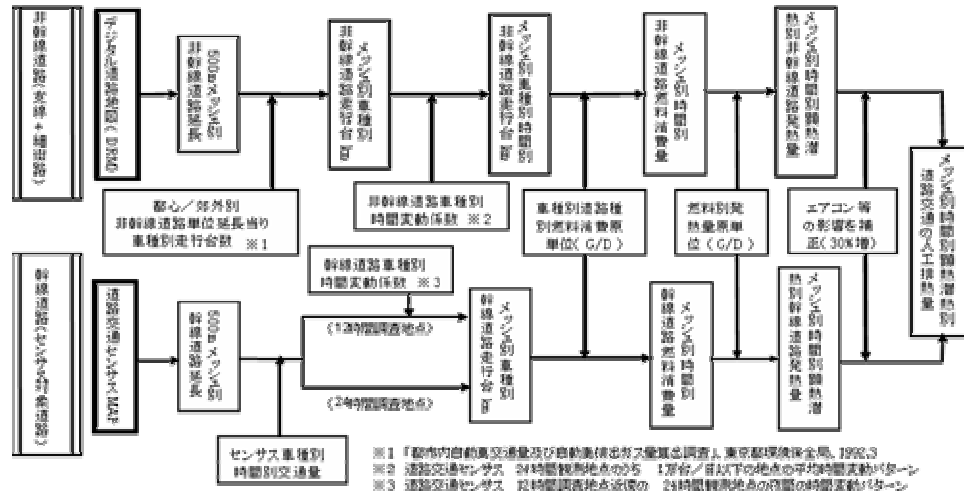


※1 「冷熱源機器の導入割合を考慮した空調システムおよび関連機器の地熱排熱量に関する研究」、足永博洋3名、空気調和・衛生工学会論文集、2002.7  
 ※2 「都市排熱分析のための地熱供給施設の熱代調構造に関する研究」、田口明美他4名、空気調和・衛生工学会学術講演会講演集発表、2002.9  
 ※3 「都市排熱分析のための建物の熱代調構造に関する研究その2」、山本亨他3名、空気調和・衛生工学会学術講演会講演集発表、2001.9  
 ※4 「平成13年度暖熱供給事業便覧」、(社)日本熱供給事業協会

建物の人工排熱量(顕熱・潜熱)の算出方法

図 4-1-8 人工排熱量の算出(建物)

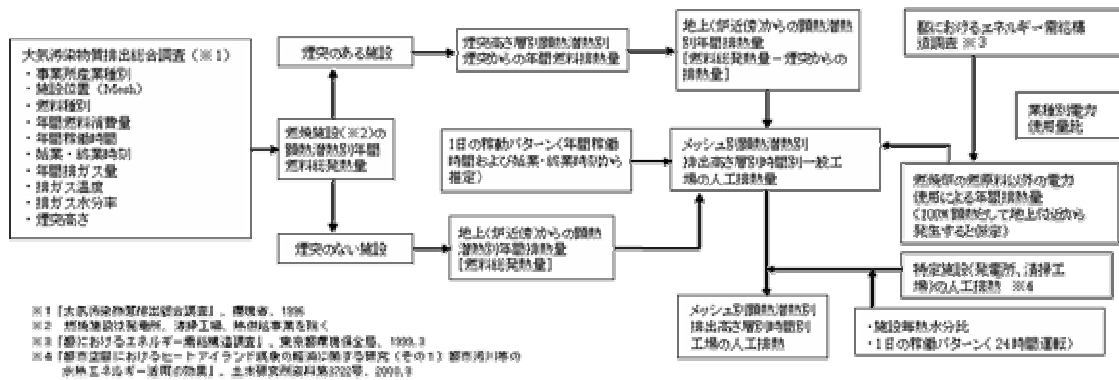
# 人工排熱量の算出(道路交通)



## 道路交通の人工排熱量(顕熱・潜熱)の算出方法

図 4-1-9 人工排熱量の算出(道路交通)

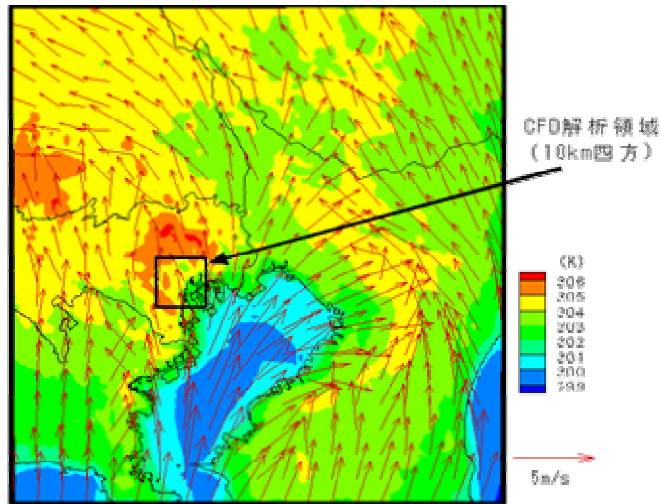
# 人工排熱量の算出(工場)



## 工場の人工排熱量(顕熱、潜熱)の算出方法

図 4-1-10 人工排熱量の算出(工場)

東京臨海・都心部 10km 四方の範囲を計算するにあたり、その周囲の風向・風速・温位等の境界条件は、メソスケールモデルである気象モデル (LOCALS) で 100km 四方程度を計算してこれに与えた (図 4-1-11)。



**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)**

図 4-1-11 メソスケール計算結果 (LOCALS による)

以上の入力データをもとに、地球シミュレータを用いて計算した結果を図4-1-12～4-1-18に示す。

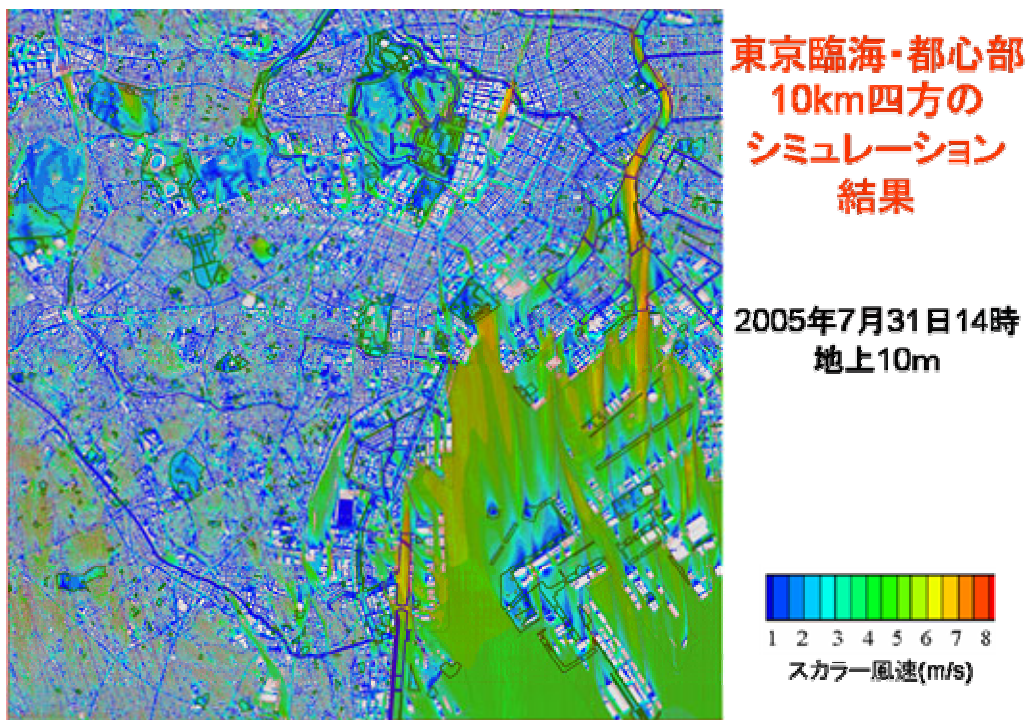


図 4-1-12 東京臨海・都心部 10km 四方の風向・風速のシミュレーション結果



**地上100mにおけるスカラー風速分布**  
(2005年7月31日14時)

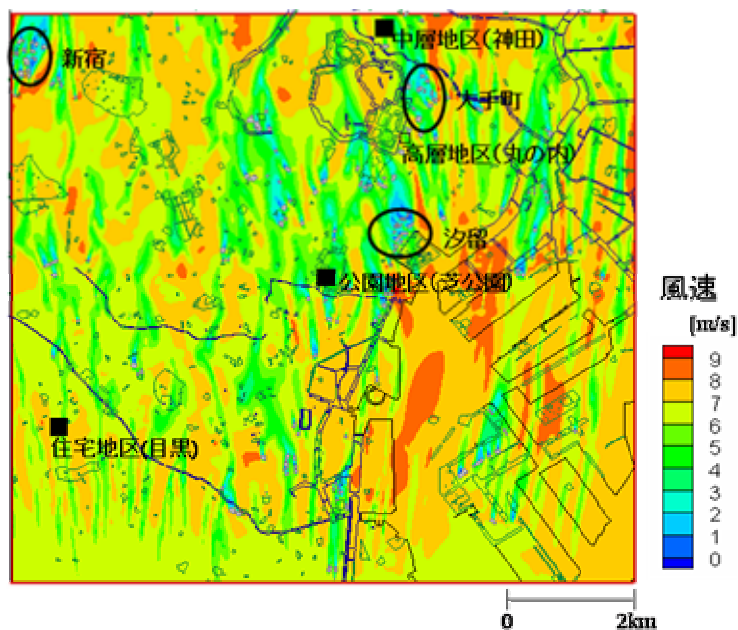


図 4-1-13 地上 100m におけるスカラー風速分布

**地上100mにおける気温分布**  
(2005年7月31日14時)

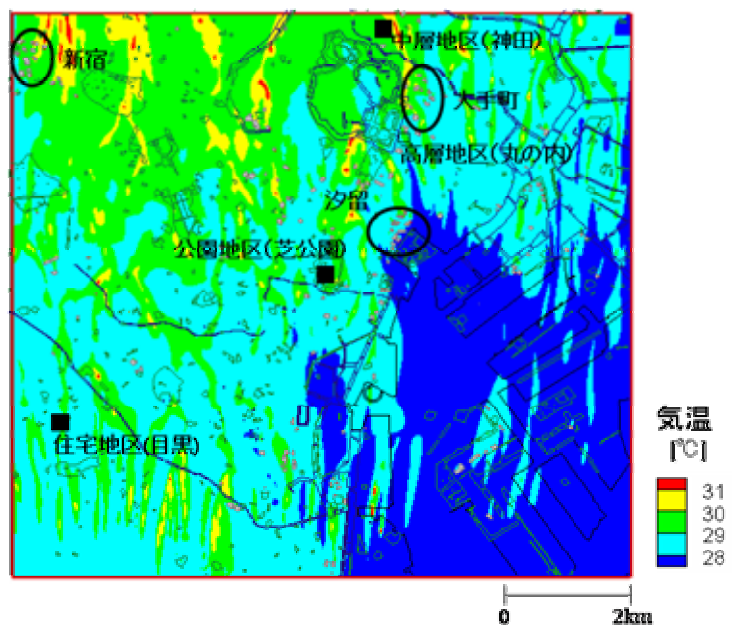


図 4-1-14 地上 100m における気温分布

図 4-1-15 は、図 4-1-14 の様々な地区（高層地区・中層地区・住宅地区・公園地区）における気温分布の鉛直分布を示したものである。このように、広域にわたって精緻に解析できる地球シミュレータによるシミュレーション技術によって、様々な地域特性を持つ地区の熱環境を比較検討することができる。

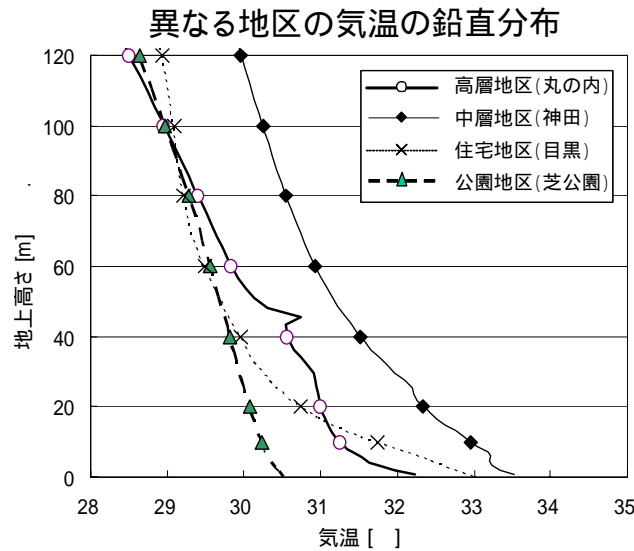


図 4-1-15 各地区における気温の高さ方向の分布

銀座周辺の気温分布(2005年7月31日14時、地上10m)

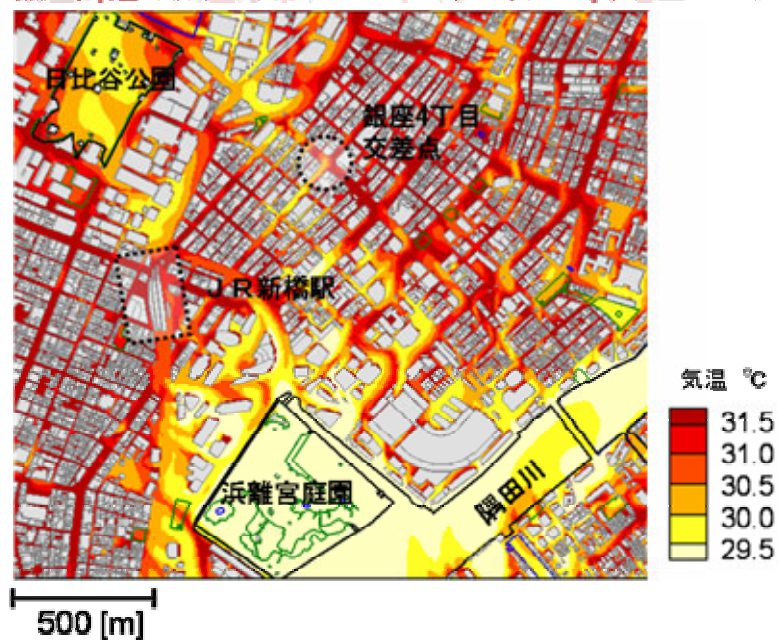
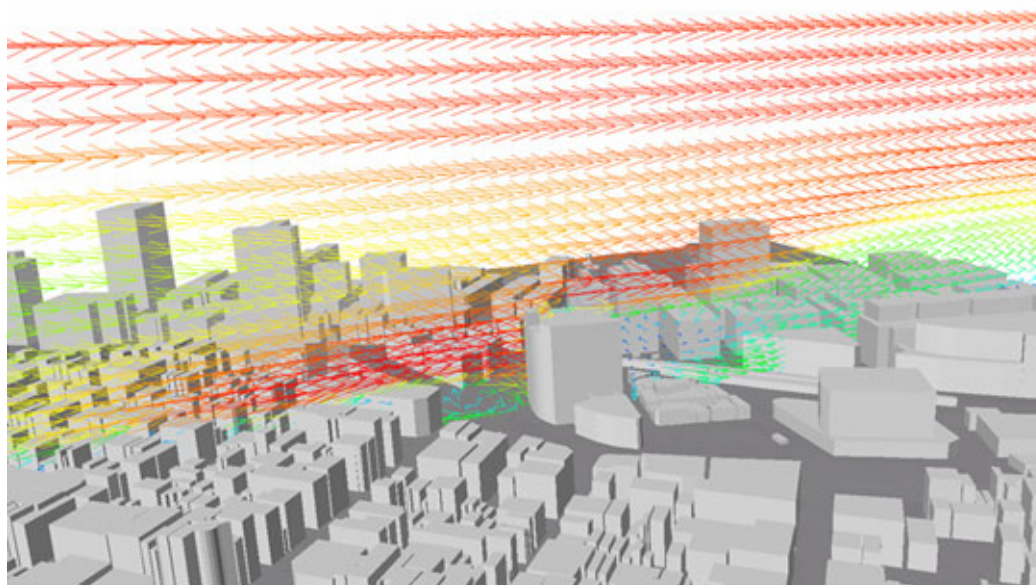
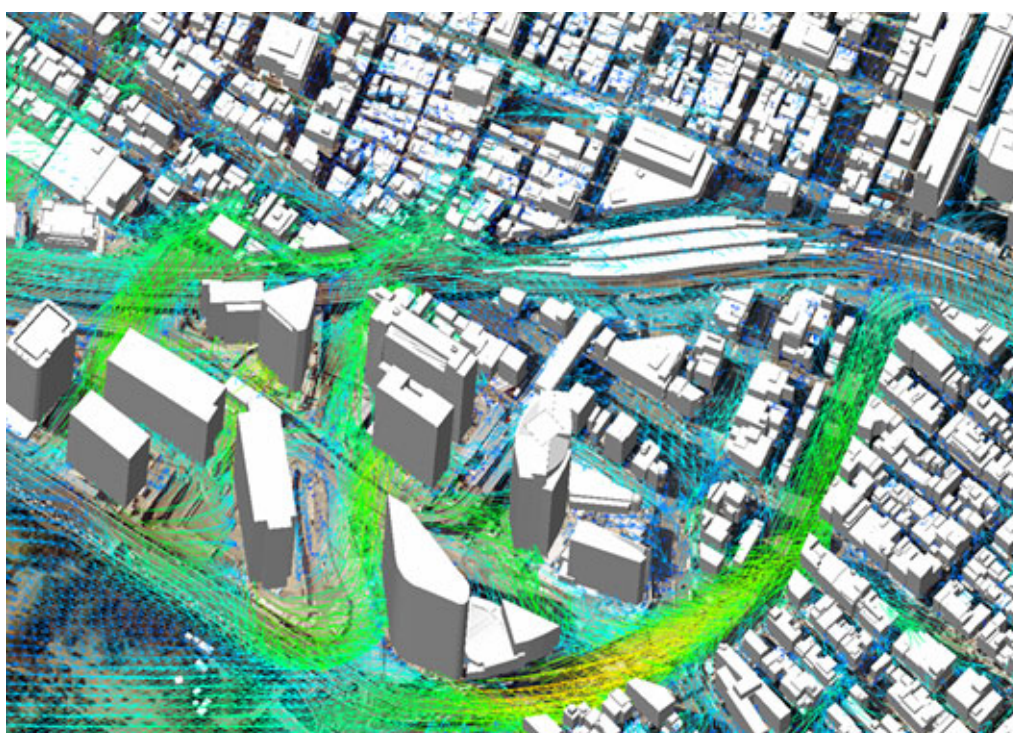


図 4-1-16 地球シミュレータによる地上 10m の気温分布（部分拡大図）



有楽町周辺の風の流れ(2005年7月31日14時) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 [m/s]

図 4-1-17 有楽町周辺の風の流れ



風速分布図(2005年7月31日14時、地上10m) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 [m/s]

図 4-1-18 汐留・新橋周辺の風の流れ



#### 4-2 地球シミュレータによるシミュレーション結果の検証

前節で計算した地球シミュレータによる計算結果を検証するために、シミュレーション結果と同じ日時（2005年7月31日14時）に実施された先述の大規模実測調査結果とを比較した（図4-2-1、図4-2-2）。

気温分布の数値解析結果(2005年7月31日14時)

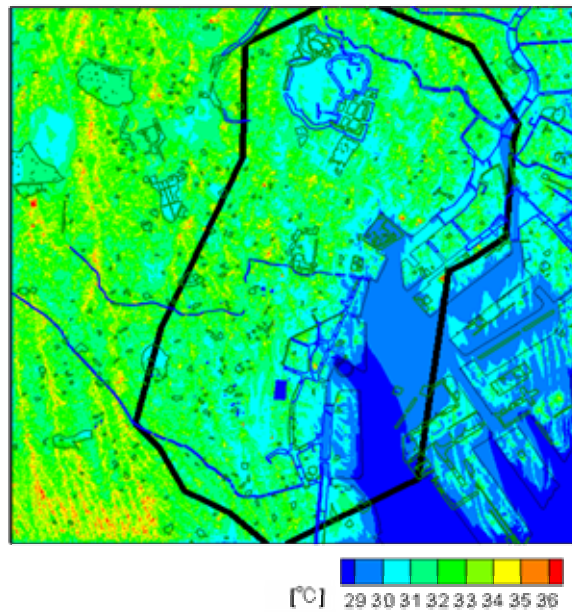


図 4-2-1 気温分布の数値解析結果（2005年7月31日14時の条件で計算）

気温分布の実測結果(2005年7月31日14時)

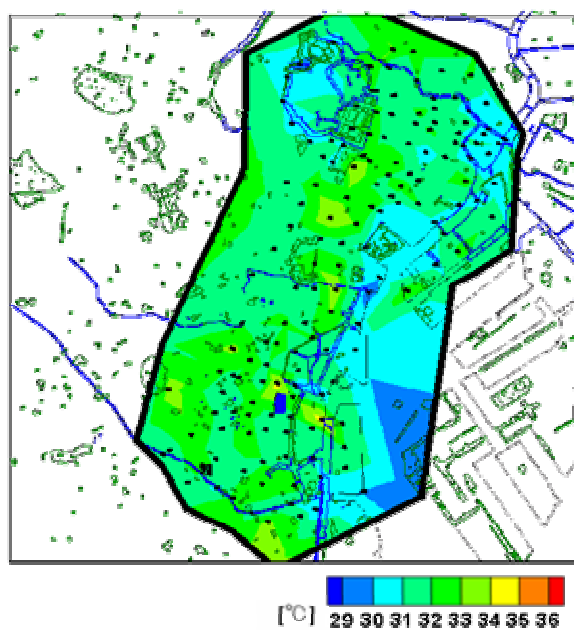


図 4-2-2 気温分布の実測調査結果（2005年7月31日14時）



比較の結果、RMS 誤差として 1 以内で計算結果と実測調査結果が一致した。これは都市の気温分布のシミュレーション結果としては非常に良好な結果である。

さらに、日本橋川・目黒川の河川近傍の風の流れについて、シミュレーション結果と実測調査結果とを比較した結果、概ねある一定範囲で一致するが、局地的な建物等の影響により大きく異なることもあり得ることがわかった（図 4-2-3）。

### 河川近傍の風向・風速に関する実測と計算の比較

(2005年7月31日14時)

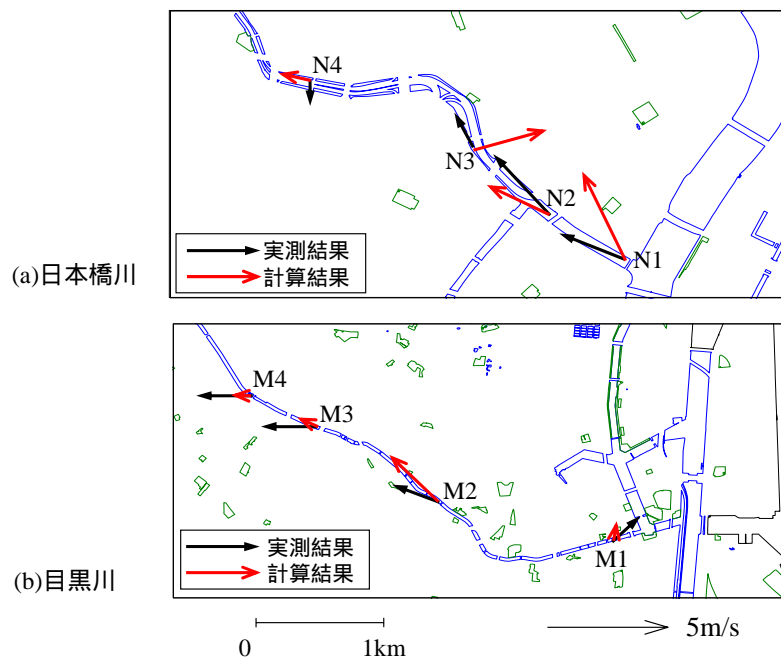


図 4-2-3 河川近傍の風向・風速に関する実測と計算との比較

### 4-3 市街地改造による熱環境改善効果のケーススタディ

以上の成果を踏まえて、対策効果のシミュレーション(表 4-3-1)のケーススタディとして、第3章の風洞実験において市街地改造による風の流れの変化を検討した東京駅・日本橋川周辺を対象に、市街地改造によって生じた「風の道」等による気温及び風向・風速の変化を定量化する。

表 4-3-1 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

| 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)<br>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<br>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<br>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<br>排熱量(顕熱・潜熱)         |   |
|                              | 都市排熱処理システム  | 排熱高さ<br>排熱量(顕熱・潜熱)<br>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  |

図 4-3-1 は、東京駅八重洲口並びに日本橋川周辺の市街地改造のイメージを示したものである(詳細は第3章 3-3 参照)。これらを風洞実験と同様に、地球シミュレータ上でも再現した。

### 市街地改造のイメージ

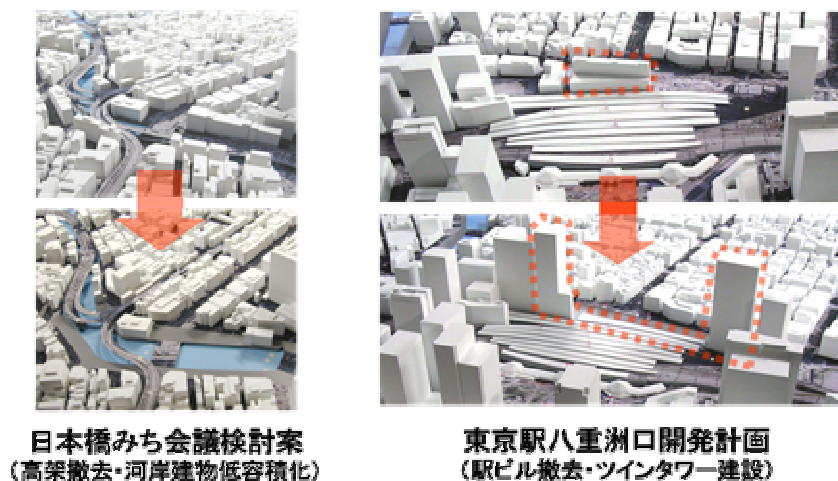


図 4-3-1 市街地改造のイメージ

地球シミュレータによる解析エリアを図 4-3-2 に示す。解析エリアは第 3 章の風洞実験における市街地模型と同じ水平面 2.5km×1.5km の範囲を 1m メッシュに分割した。また、鉛直方向は水面から高さ 500m までを対象に、地上付近は約 1m 間隔で上空に向かって徐々に間隔を大きくして地上 500m 付近は約 10m 間隔となるように 100 分割した。

### 解析エリア(日本橋川・東京駅周辺)

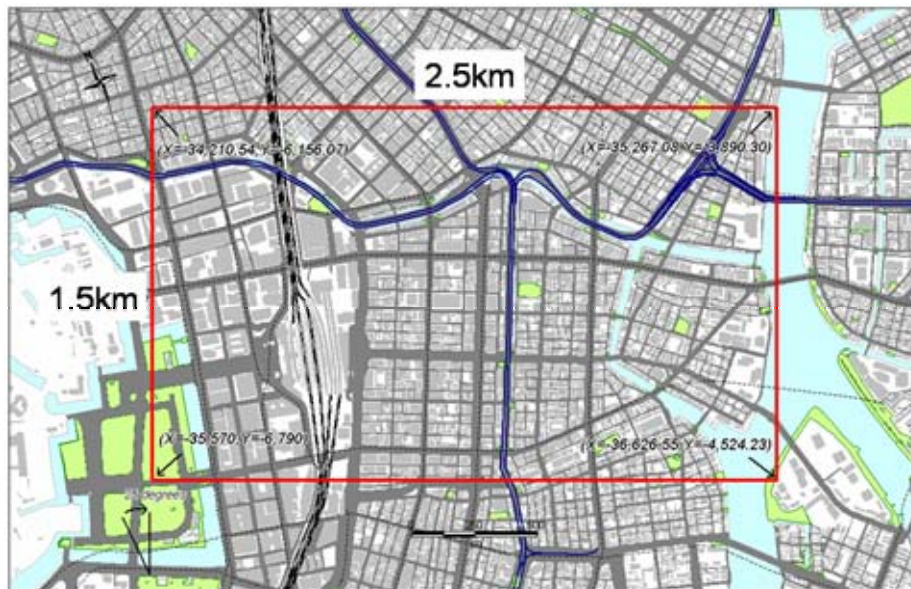
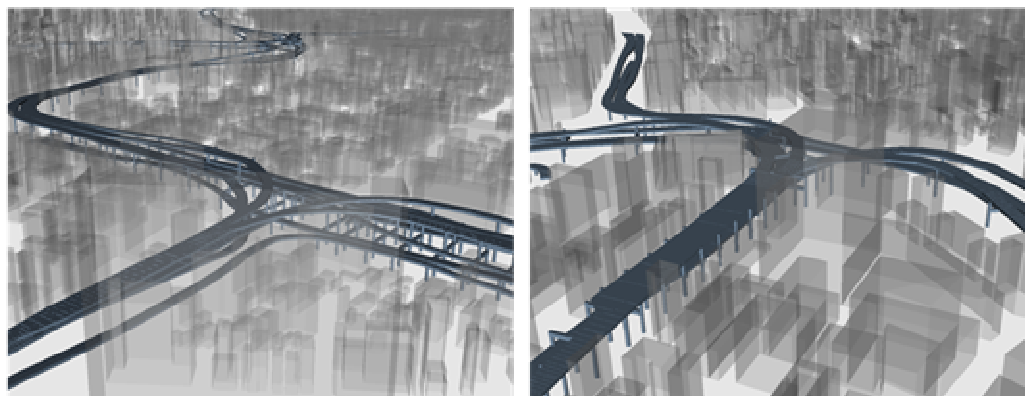


図 4-3-2 地球シミュレータによる解析エリア

なお、日本橋川周辺については、河川上の首都高速道路の高架を精緻に再現する必要があるため、道路しゅん工図を参考に、3次元データを別途作成した(図 4-3-3)。

### 高架道路の3次元データの入力



首都高2号箱崎JCT付近

首都高1号線江戸橋JCT付近

図 4-3-3 高架道路の3次元データの整備

解析は、現状（2003年頃）としての図4-3-4に示すケースと開発後として図4-3-1の市街地改造のイメージを反映した図4-3-5の2つのケースについて実施した。開発後の建物形状・配置は風洞実験と同じとし、境界条件は2005年7月31日正午の気象条件とした。

### 現状ケース



図 4-3-4 現状ケース

### 開発後ケース

(東京駅八重洲口開発、日本橋川高架撤去+河岸建物低容積化)



図 4-3-5 開発後ケース



現状及び開発後の地上5mにおける気温と風向・風速分布の計算結果を、それぞれ図4-3-6と図4-3-7に示す。

### 現状ケース - 地上5mでの気温と風向風速

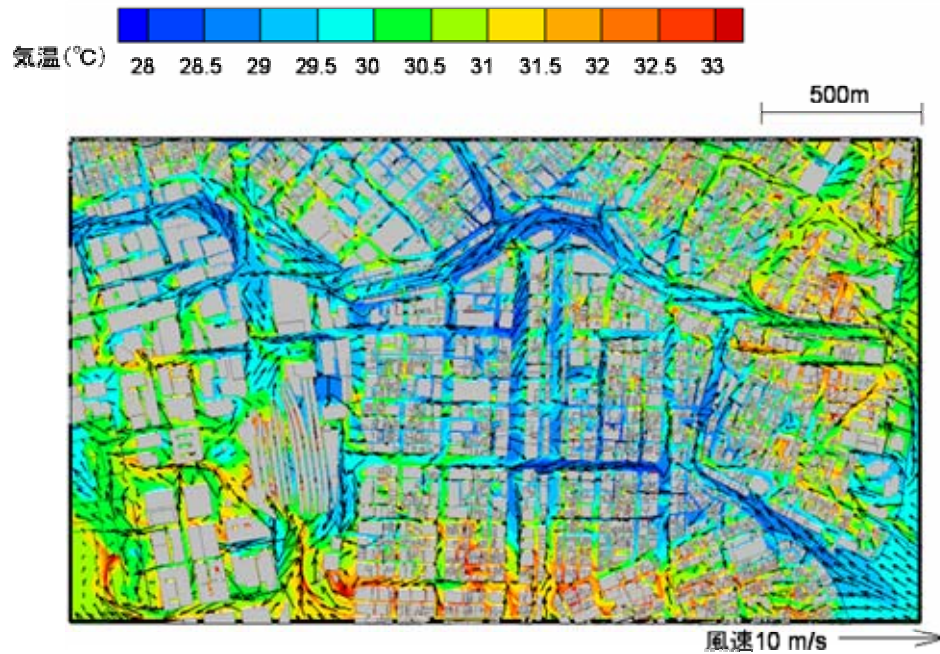


図4-3-6 現状ケースのシミュレーション結果（地上5mでの気温と風向・風速）

### 開発後ケース - 地上5mでの気温と風向風速

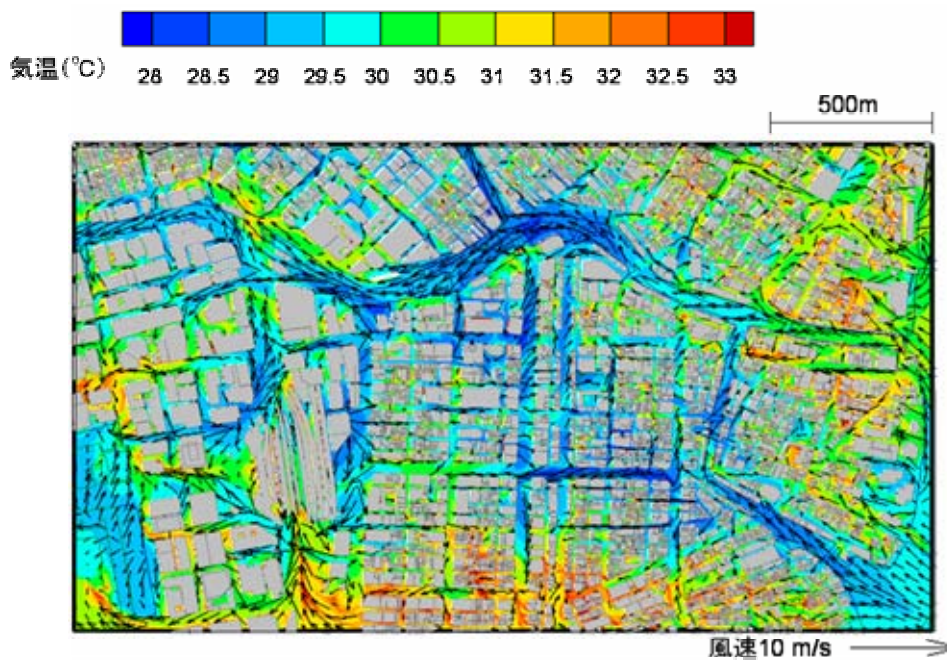


図4-3-7 開発後のシミュレーション結果（地上5mでの気温と風向・風速）

図 4-3-8、図 4-3-9 は、地上高さ 30m における風速分布を立体的に表示したものである。現状と開発後を比較すると、新規に建設された超高層ビル周辺や東京駅構内、行幸通りにおいて風速の増加が確認できる。

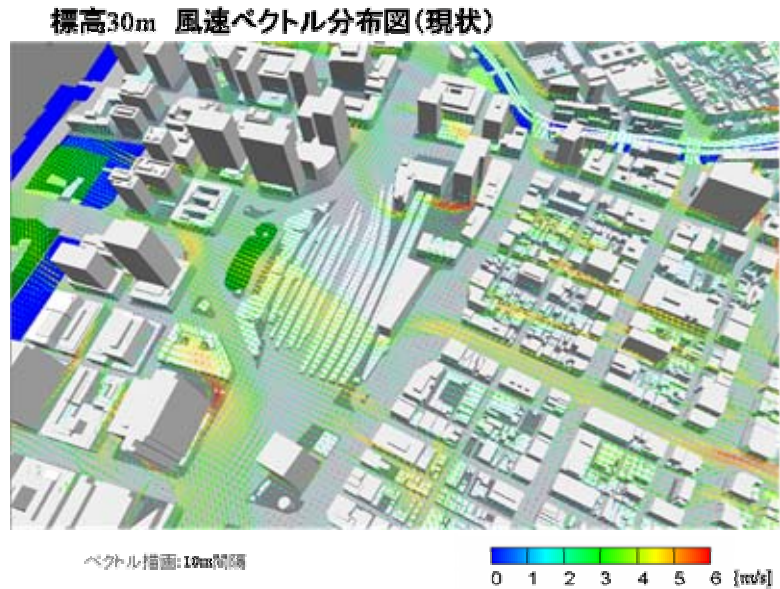


図 4-3-8 風速ベクトルの分布図（現状・地上高さ 30m）

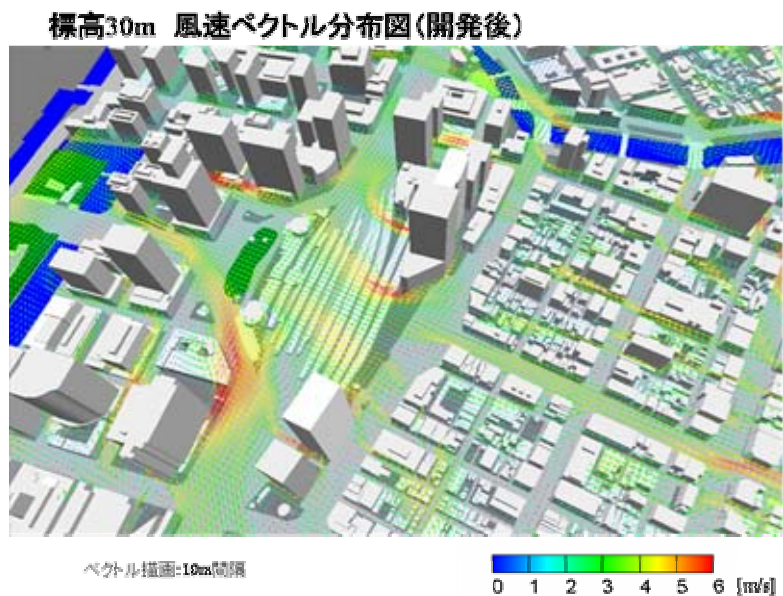


図 4-3-9 風速ベクトルの分布図（開発後・地上高さ 30m）

図 4-3-10、図 4-3-11 は、開発後と現状の地上 5m における気温差並びに風速差を示したものである。双方を比較すると、図 4-3-11 で風速が増加しているところは図 4-3-10 が示すように気温が低下する傾向がみられる。また、開発に伴う風速の増加により局地的に形成



される熱だまりが解消されて広範囲にわたって気温低下が認められ、日本橋より上流の河岸や丸の内を中心に最大2 程度の気温低下が確認された。

### 地上5mでの気温偏差図（開発後ケース）-（現状ケース）

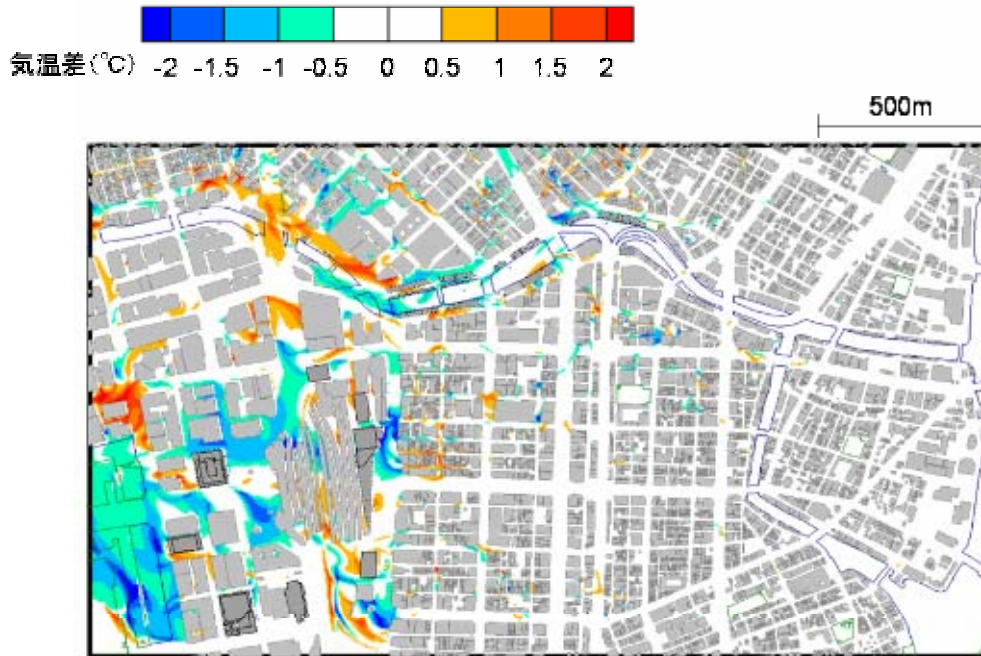


図 4-3-10 開発前後の気温の変化（地上 5m）

### 地上5mでの風速偏差図（開発後ケース）-（現状ケース）

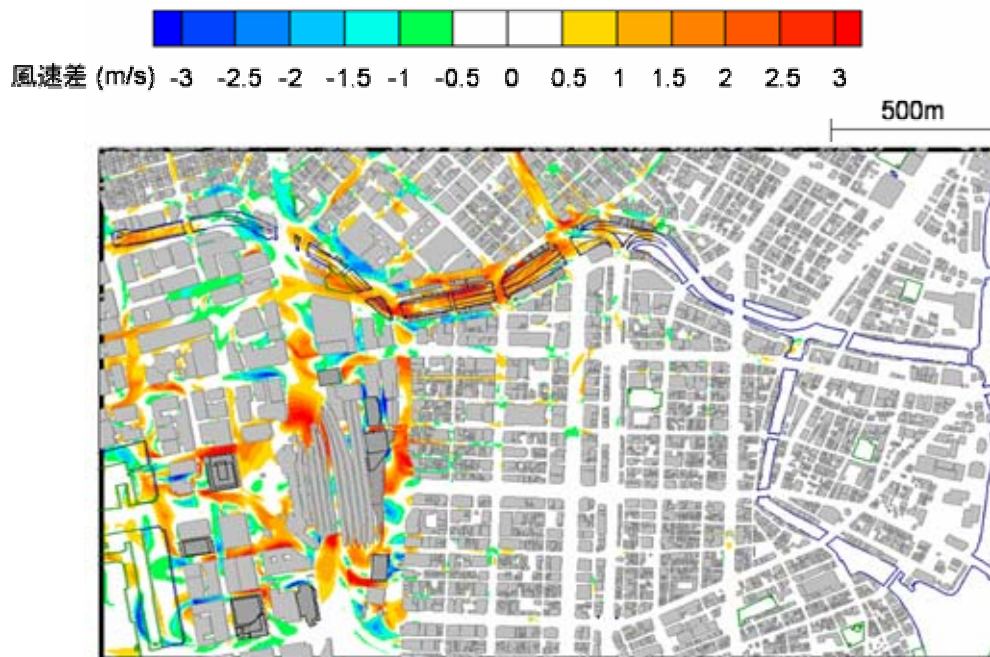


図 4-3-11 開発前後の風速の変化（地上 5m）

なお、シミュレーション結果の妥当性を検証するために、風洞実験結果並びに大規模実測調査の結果と、シミュレーション結果とを比較したところ、概ね一致することが確認された（図 4-3-12、図 4-3-13）。

### 実測調査・風洞実験との比較（風速・風向）



図 4-3-12 数値解析結果と実測調査並びに風洞実験結果との比較（風向・風速）

### 風洞実験結果との比較

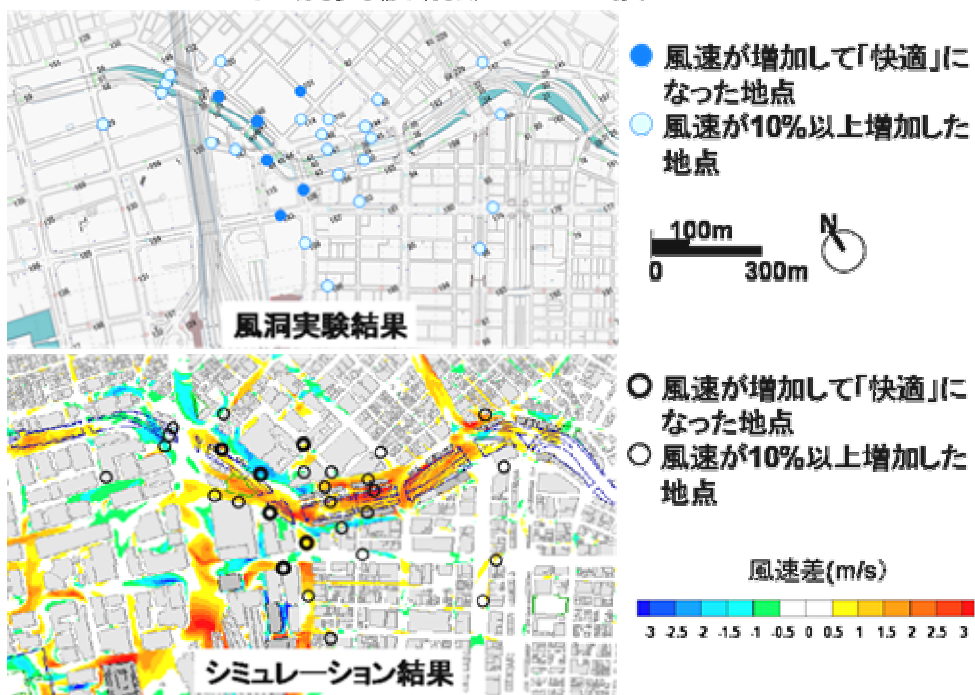


図 4-3-13 シミュレーション結果と風洞実験結果との比較