

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

5.1 概要

5.1.1 解析領域

図 6 0 は解析領域を示したものである。CFD の解析領域をパネル (c) において標高の分布と共に表す。CFD 解析の対象領域は、東京 23 区全域を含む 33km 四方であり、周縁に東京都内市部、神奈川県、埼玉県、千葉県、東京湾の一部を含む。日本平面直角座標第 IX 系(世界測地系)では次に示す範囲である。

Y 座標値(東西方向) : -25,000m ~ 8,000m

X 座標値(南北方向) : -52,500m ~ -19,500m

また、鉛直方向には標高 0m ~ 500m の解析領域を設定している。

実際の解析で使用した領域は 33 km 四方の領域に対して東西南北に袖領域を設定している。袖領域を設定したのは、境界付近において建物が存在する場合、体積占有率が小さくなり、メソスケール解析結果から風速を境界値に与えると連続の式との関係より風速の計算値が境界付近において過大になる恐れがあるから

である。袖領域は東西南北にそれぞれ 1500m ずつとし、袖領域の標高は 33 km 四方の境界付近の標高を用いて地面が連続するよう均一に設定し、地表面は断熱、断湿とした。

袖領域を含めた全体の解析領域は 36000m × 36000m × 500m、格子数 7200 × 7200 × 100 である。格子の総数は 51.84 億 (ただし、袖領域および地盤・建物の占有部分を含む) であり、著者の知る限り都市環境問題の数値解析としては世界最大規模である。

CFD の解析領域(パネル(c))の周辺状況は、メソスケールモデルの解析領域と共に同図のパネル (a)、(b) に示してある。

5.1.2 解析の流れ

今回の解析における全体の流れを図 6 1 に示す。現状もしくは開発計画に即したメッシュデータおよび境界条件を整備して解析プログラムの入力とし、気温、風等の環境要素を出力する仕組みである。本解析システムから得られる環境情報は、都市開発事業者等が地域計画を検討する際の基礎資料になる。

なお、CFD 解析は定常で実施している。その

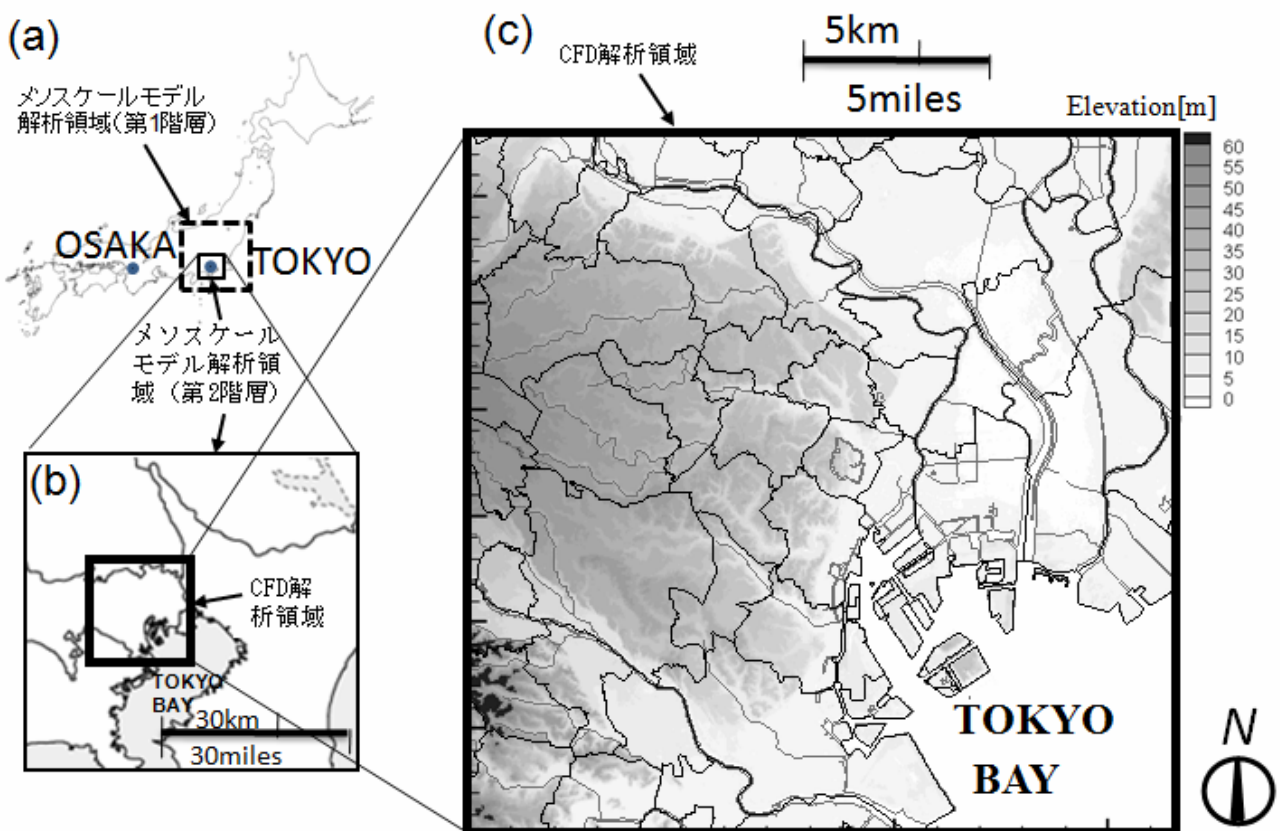


図 6 0 解析領域

際、上空および側面の境界条件として、気温、風速、圧力などの物理量を知る必要があるが、これらはメソスケールモデルによる1日計算を事前に実施しておき、当該日時の物理量を抽出・補間する。地表面や建物表面の日向日陰は、地盤・建物で形成される3次元都市形状と太陽位置から解析セル毎に判定する。1次元熱伝導

非定常モデルから被覆毎、日向日陰毎に表面温度の日変化を求め、当該日時の表面温度を解析セル毎に固定する。

5. 1. 3 計算の実行

33km四方と言う広域を対象とするため、マルチグリッド的な立上げ計算を実施する。

・4倍粗視化ケース：格子幅20m、格子数1800

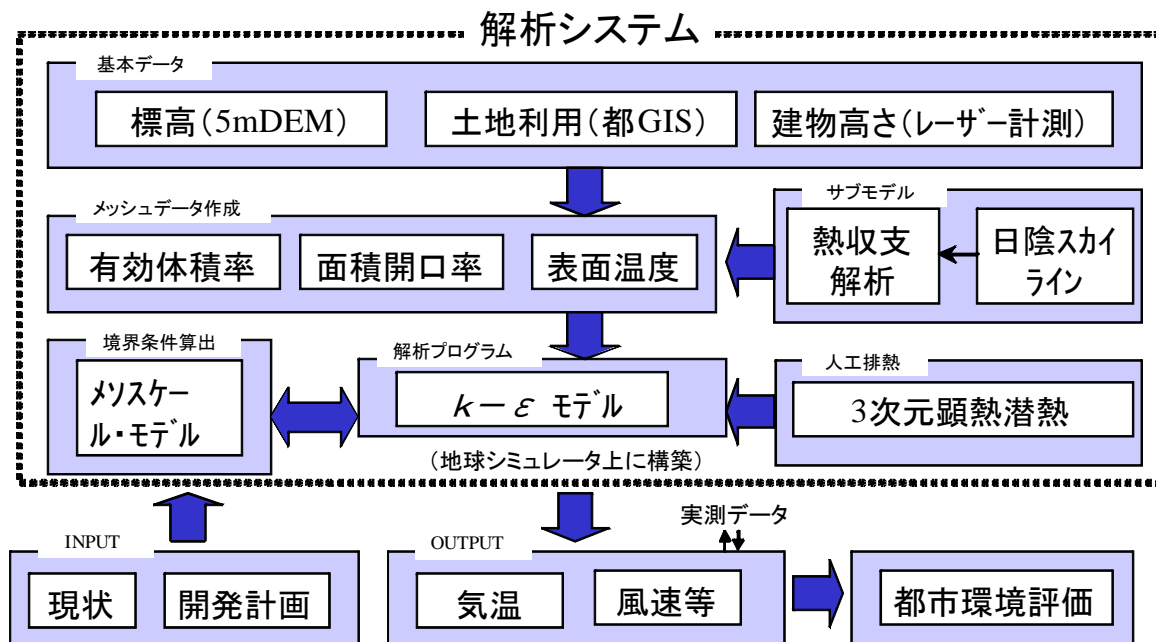


図6-1 解析の流れ

表3-5 「LOCALS」のモデル構成

物理長	力学	完全圧縮モデル/非圧縮モデル
鉛直方向	鉛直方向	非静力学モデル/静力学モデル
水蒸気	水蒸気	水蒸気保存の式
水平座標系	水平座標系	ポーラステレオ座標、またはX-Y座標
鉛直座標系	鉛直座標系	地形準拠座標 Z *
乱流モデル	乱流モデル	MELLOR-YAMADAのLEVEL 2.0
地表面温度	地表面温度	地中7層熱伝導モデル(陸上)/強制復元法(海上)の併用
接地境界層	接地境界層	モニン・オブコフの相似則による運動量、熱量、水蒸気量
放射モデル (短波)	放射モデル (短波)	雲の散乱・吸収(STEPHENSの方法) オゾンによる吸収(Lacis & Hansen, 分布はGREENの関数) 日射の透過率(Kondratyev) 水蒸気による吸収(MaCumber)
放射モデル (長波)	放射モデル (長波)	水蒸気の射出率(Atwater) CO2の射出率(Kondratyev)
初期条件	初期条件	親モデル初期値の空間内挿、各種観測データ
境界条件	境界条件	Sponge Layer(拡散Damping, Rayleigh Damping)
空間差分	空間差分	エネルギー保存スキーム(菊池・荒川)
時間差分	時間差分	Euler-BackwardとImplicit法の併用
降水過程	降水過程	LinのCOLDRAINモデル

備考 放射モデル(短波)、(長波)は大気部分を扱う。

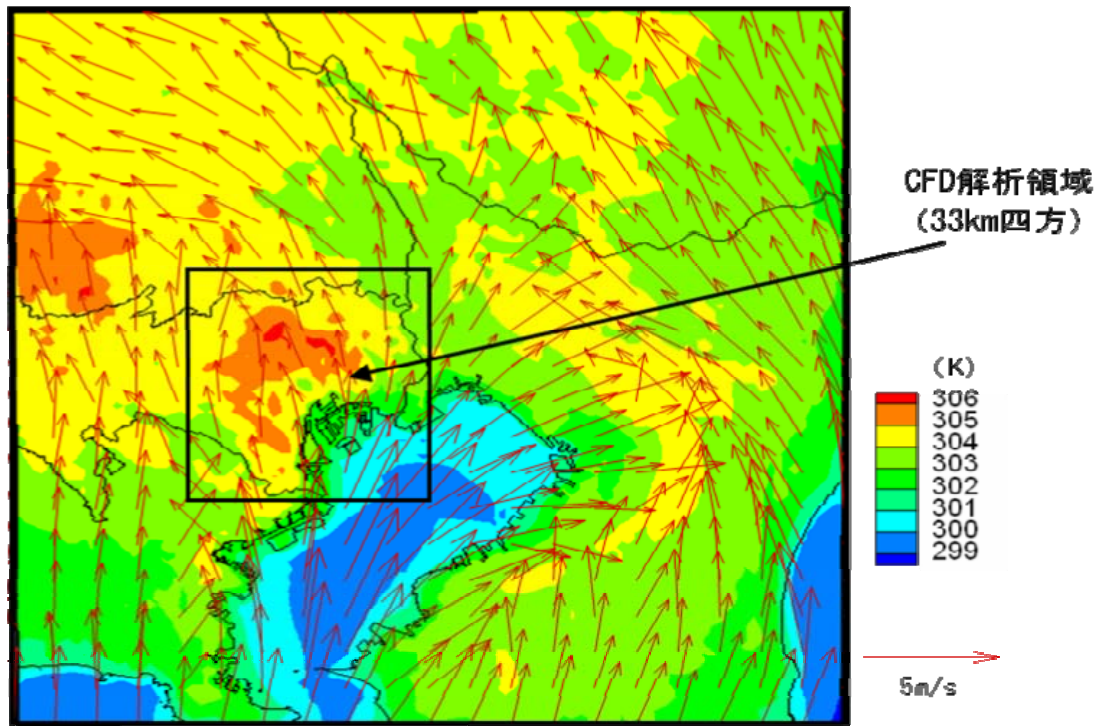


図 6 2 メソスケール解析結果
2005 年 7 月 31 日 14 時 (第 2 階層、地上 10m)

×1800、3000 ステップ

・2 倍粗視化ケース：格子幅 10m、格子数 3600 ×3600、5500 ステップ

最終段階の計算における計算格子幅、クーラン数、計算ステップは次のように設定する。

- ・水平格子幅：5m
- ・鉛直格子幅：地表面第 1 セルを 1m とし、鉛直方向に徐々に拡大した（鉛直格子幅の最大値：10m）。
- ・クーラン数：5
- ・計算ステップ数：3100 ステップ

「地球シミュレータ」での使用ノード数は 300 ノード（30PE×80PE=2400PE）である。計算時間は 16 時間である。

CFD 解析の解析対象日時は 2005 年 7 月 31 日 14 時である。

5. 1. 4 メソスケール解析

上記の CFD 解析を実施するに当たり、境界条件を与えるためメソスケール解析を実施する。用いた計算ツールは「LOCALS (Local Circulation Assessment and Prediction System)」である。「LOCALS」は伊藤忠テクノロジーソリューションズが開発した局地気象評価予測システムであり、約 2 日先までの気象予測、

大気中の物質拡散予測、大気環境アセスメントなどに利用されている⁴⁷⁾。表 3 5 に「LOCALS」のモデル構成を示す。

今回は 2 階層ネスティングによる解析を行っている。第 1 階層は RSM-GPV データを初期値とし、格子間隔 4.5km、水平領域約 300km 四方におけるシミュレーションを実施した。GPV (Grid Point Value) とは気象庁で収集・作成され、(財) 気象業務支援センターを通じてほぼリアルタイムでオンライン配信されている気象予報データである。GPV には解像度や地域が異なるいくつかのモデルがあり、その一つである RSM (Regional Spectral Model) は日本領域で緯度 0.2 度、経度 0.25 度の解像度を有する領域モデルである。

第 2 階層は格子間隔 1km、水平領域約 100km 四方であり、第 1 階層の気温、風速、湿度等の計算結果を 1way の境界条件で与えた。図 6 0 (a) (b) にメソスケール解析を実施した領域を示す。解析対象日は 2005 年 7 月 29 日から 8 月 6 日までの全 9 日間に関東地方においては夏日が連続する期間であった。

図 6 2 は CFD 解析の対象日時 (2005 年 7 月 31 日 14 時) におけるメソスケール解析の結果

を示したものである。

5. 2 解析結果

5. 2. 1 500mメッシュ平均

(1) 平面分布

解析結果が膨大であるため、建物を含む詳細な描画は避けて500mメッシュ平均による分布を検討する。体積占有率を考慮して流体部分について500mメッシュで平均化を行い、解析領域全体の気温分布を表したのが図6-3である。標高の値を参照し、異なる地上高さのデータを抽出・表示している(地上2m、10m、50m、100m)。地上2mにおいて陸上では30~33℃になっているのに対して海上の気温は27~28℃である。南風が吹いているため、北方に高温域が形成されている。

同様にスカラー風速について図6-4に示す。地上2mの分布を見ると、海上では5m/s以上であるのに対して東京23区の風速が全体的に1m/s以下に低下している。地上10mでは低風速の領域が都心を中心にして現れる。地上50m、100mにおいてもその傾向はあまり変わらない。その理由として、建築物の影響が考えられる。

流体の体積占有率の分布について図6-5に示す。地上2mにおいては、体積占有率が60%以下になる領域が多いことがわかる。地上10mでは体積占有率は都心を除くとほとんどが60%以上の値を示す。さらに、地上50m、100mになると全体的に体積占有率の値が90%以上になるが、高層建築物が多数存在する都心ではこれより小さい値を示す。荒川添いにおいても都心ほどではないが、高層建築物の影響で若干数値が小さい箇所が見られる。

図6-6は比湿の平面分布を表したものである。地上2m、10mの比湿は海上の値に比べて小さく、特に都心から下流域にかけて比湿が低下している。地上50m、100mにおいては海上の値がやや小さくなるが、都心から下流域にかけて比湿が低い傾向は変わっていない。

図6-7は鉛直方向の風速の平面分布を表したものである。地上2m、10mでは鉛直方向の風速の値は極めて小さい。地上50m、100mにおいては値が高度と共に大きくなり、卓越風に沿って上昇流と下降流が交互に筋状に連なった分布を形成している。

(2) 鉛直断面分布

鉛直断面分布について4つの断面位置について説明する。具体的には(a) $Y=-22000\sim-21500\text{m}$ 、(b) $Y=-13000\sim-12500\text{m}$ 、(c) $Y=-4000\sim-3500\text{m}$ 、(d) $Y=5000\sim5500\text{m}$ である。地盤もしくは建物については白く表示する。図6-8は気温の鉛直断面分布を南北方向で示したものである。地域毎の温度境界層の発達状況がわかる。図6-9はスカラー風速の鉛直断面分布である。弱風域が地上から上空に形成される場合がある(例えば(c)の $X=-32500\text{m}$ 付近)。そのような箇所では温度境界層の発達が大きい。図7-0は比湿の鉛直断面分布である。海上付近(低高度)の比湿は比較的高いが、陸上では地上から上空に渡って値が低い。

5. 2. 2 気温および風速分布の特徴

(1) 東京23区全域

東京23区全域の気温分布を図7-1に示す。これは、地上10mにおける気温データを間引かずにコンター表示したものであり、建物周辺から地域全体の気温分布が詳細に表現されている。地上10mの高さに存在する建物はGISデータを用いて薄い灰色で着色されている。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。同様の傾向は観測により確認されている。例えば、図7-2は東京都の定点観測網METROS (Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System; 首都圏環境温度・降雨観測システム)による同日同時刻の東京23区の気温分布⁴⁸⁾を示したものであり、臨海部では内陸に比べて気温が1℃程度低い。

気温の計算結果を細かく見ると、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。

(2) 5km四方領域

図7-3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。

(3) 気温場と風速場の関係

鉛直断面の様子を表したのが図 7 4 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り、気象分野では水平ロール渦 (**Horizontal Roll Vortex**) と呼ばれており⁴⁹⁾、その概要を図 7 5 に示す⁵⁰⁾。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現象(縞状の分布構造を伴う流れの状態)の観測事例⁵¹⁾は少なく、今後の研究蓄積が待たれる。

(4) 東京都心臨海部

「地球シミュレータ」による解析結果から東京都心臨海部のデータを抽出して、10km 四方領域における気温、風の状況について述べる。図 7 6 は東京都心臨海部(10km 四方)の建築土地利用を示したものである。この領域における気温、風速の分布を異なる標高で示したのが、それぞれ図 7 7、図 7 8 である。高層市街地において、弱風域が形成されており、その影響が風下域で見られること、また弱風域において周辺より高温になっている様子が見られる。

5. 3 広域 CFD 解析の事例集

「地球シミュレータ」による広域 CFD 解析

から、いくつかの地域について計算結果を建物配置や土地利用と共に 3 次元的に描画する。検討対象とした地域と解析結果の概要は以下の通りである。

・ 隅田川 (図 7 9)

(a) に隅田川周辺領域の土地利用を示す。(b) では、地面付近の風の場合、蛇行する隅田川に沿って流れている様子がわかる。(c) において河川上の気温は周辺より 1~2℃低くなっている。(d) は隅田川周辺を拡大した土地利用である。気温、風速を示したのが (e) である。建物 A の周辺にオープンスペースが確保されており、河川からの風が流入した箇所では気温が低下している。

・ 目黒川 (図 8 0)

(a) に目黒川周辺領域の土地利用を示す。(b) では V の字状の目黒川において右方(海岸方向)と左方(内陸方向)に分岐して風が流れている。(c) に示す目黒川周辺の気温分布では、河川に沿って低温域が形成されており、河岸に位置する大崎などの市街地で気温が周辺より約 1℃低くなっている。

・ 皇居 (図 8 1)

皇居周辺の土地利用を (a) に示す。(b) では、皇居において右方(有楽町)からの風と左方(国会議事堂)からの風が流入している。赤坂御用地から外苑にオープンスペースが形成されており、風が連続的に流れている。(c) の気温分布において、皇居、赤坂御用地、芝公園などの大規模緑地において周辺の市街地より 2℃程度気温が低い。

・ 汐留・有楽町 (図 8 2)

(a) は汐留、有楽町周辺の土地利用である。(b)(c) は地上付近の風速、気温の分布である。隅田川、浜離宮、日比谷公園などの水、緑の空間では気温が低い。また、汐留の超高層ビル群、建物 B (有楽町) の周辺においても緑地と同様に気温が低下している。汐留地区では建ぺい率が低く、海からの風が敷地において流入するため風通しが良い。敷地を通り抜けた風は、汐留周辺の幹線道路や線路上を吹走する風と合流して有楽町に向かう。建物 B (有楽町)

では地上付近において風が周囲に発散しており、ビル壁面において風が吹き下りていることがわかる。その結果、気温が低下している。

(d)(e)は標高約50mの風速、気温の分布である。汐留の超高層ビル群を迂回する強い流れが生じており、建物高さ制限が設けられている銀座地区の上空を通過して有楽町の方面に向かっている。汐留の高層ビル群の後流域では風速が減衰し、新橋の周辺において気温が1℃程度上昇している。超高層ビル群による気温への影響範囲は約1kmであり、超高層建物の高さの約5倍である。

・臨海部のライフライン施設(図83)

臨海部に位置するライフライン施設周辺の土地利用を(a)に示す。(b)(c)は風速、気温の鉛直断面を表したものである。煙突からの排熱によりその箇所の気温上昇が著しいが、地上付近への熱的影響は小さい。一方、建物付近における放熱(人工排熱および対流顕熱)は地上付近の気温場に影響が大きい。

・赤坂・六本木・恵比寿(図84)

(a)は赤坂・六本木・恵比寿の土地利用である。同地域の標高約90mにおける風速、気温の状況を(b)(c)に示す。赤坂、恵比寿、渋谷などの密集市街地では風が収束しており、上昇流が生じている。そのような地域では気温が高く、高温域は卓越風に沿って南北方向に存在し、密集市街地から密集市街地に連なるように分布している。建物Cについては下降流の領域に位置しており、比較的冷たい風が風上から流れてくる。建物Cの周辺土地利用を拡大して示したのが(d)である。(e)の風速、気温の分布図を見ると、周辺に比較して低温であることがわかる。

・新宿・渋谷・四谷(図85)

新宿、渋谷、四谷周辺の土地利用を(a)に示す。(b)は同地区の風の流れと気温である。新宿御苑、代々木公園、青山霊園、神宮外苑などのオープンスペースにおいて風通しが良く、風下の市街地に流入している様子がわかる。(c)(d)はその一部を拡大したものである。代々木公園からの風が市街地に入り込み気温

を低下させている様子や青山霊園から神宮外苑に通る抜ける風の状況がわかる。新宿の超高層ビル群について(e)(f)(g)に示す。超高層ビル群の地上付近(標高約40m)において温度上昇は緩慢で、気温は周辺よりむしろ低くなる傾向が見られる。標高約80mでは傾向が異なり、超高層ビル群とその風下の気温は周辺より高くなる。

5.4 地域類型化

5.4.1 概要

今回の計算結果から地域の特徴を導くために以下の手順で地域の類型化を試みた。

①土地利用、建物用途別床面積、人工排熱(顕熱・潜熱)、地上10mと地上100mにおける気温、風速を500mメッシュで集計する(66×66=4,356メッシュ)。気温、風速のメッシュ平均の算出にあたっては体積占有率で重み付けを行う。

②上で求めた500mメッシュ毎の集計値を用いて主成分分析を行い、主成分毎の寄与率を定量化する。

③主成分得点を用いてクラスター分析を実施し、地域類型化を行う。

5.4.2 主成分分析

分析対象にしたのは24項目である。表36に成分行列の算出結果を一覧する。第5主成分までの累積寄与率は64.9%であった。第1主成分の成分行列は、気温(地上10m)、建ぺい率、建物高さ、オフィス床面積、集合住宅床面積で正の値、スカラ風速(地上10m)、水面面積率で負の値を示すことから、住宅市街地の開発の度合いを代表するものと考えられる。第2主成分の成分行列は、建物高さ、オフィス床面積で正の値、標高、一戸建て床面積で負の値を示すことから、臨海部の高層化を代表するものと考えられる。

主成分得点の分布について第1から第5まで順番に図86から図90に示す。第1主成分得点が高い地域は都心および周辺の住宅地に広く存在する。第2主成分得点については都心と新宿、池袋等の拠点的な箇所で数値が高い。第3主成分得点は湾岸部、河川、緑地において値が大きくなる。

5.4.3 クラスター分析

第1主成分から第5主成分までの得点についてクラスター分析を実施した。クラスター中心を一覧したのが表37である。類型Iは第1、第2主成分得点が高く、都市開発が進んだ地域であると考えられる。類型IIは第3、第4主成分得点が高く、工場の排熱がやや大きい他は成分行列から特徴的な傾向を読み取ることは難しい。

図91は類型化の結果を地理的分布図で表したものである。地理的分布と成分行列を踏まえ、各類型の地域の特徴は以下のように整理することができる。

- 類型I 高層建築物が存在する地域
- 類型II 事務所、住宅、工場の混在地域
- 類型III 緑、河川が多い地域
- 類型IV 戸建て、集合住宅を中心とする市街地
- 類型V 臨海部に立地する工場地域
- 類型VI 海を中心とする地域

5.4.4 上空と地上付近の気温差

(1) 気温差と風速比の関係

図92(a)は気温差と風速比の関係について4,356メッシュを全てプロットしたものである。地域類型毎にプロットの形状を区別している。縦軸は、地上10mの気温から同位置(緯度、経度)の地上100mの気温を引いた値の500mメッシュ平均値である。横軸には、同様に500mメッシュ平均の地上10mの風速に対する同位置(緯度、経度)の地上100mの風速の比率をとっている。次式のように風速比が高まると気温差が小さくなる傾向が見られる。

$$T_{10} - T_{100} = -2.255(U_{10}/U_{100}) + 3.140 \quad (226)$$

$$(r^2 = 0.6119)$$

ここで、 U_{10} : スカラー風速(地上10m) [m/s]、 U_{100} : スカラー風速(地上100m) [m/s]、 T_{10} : 気温(地上10m) [K]、 T_{100} : 気温(地上100m) [K]。

風速比1前後で気温差は1°Cに収束しており、気温低減率と同程度になっている。このような地域は類型VIが該当する。一方、風速比が小さい箇所では上下温度差は4~5°Cに達している。このような地区は類型Iに数多く見られ、都市の高密度化が地域の風通しと気温に影響したと考えられる。

(2) グロス建ぺい率と気温の関係

グロス建ぺい率と気温差の関係を図92(b)に示す。両者の間には明瞭な正の相関関係が見られる。

$$T_{10} - T_{100} = -0.03355 \times \text{グロス建ぺい率}[\%] + 1.115 \quad (r^2 = 0.6803) \quad (227)$$

回帰直線の傾きから、グロス建ぺい率10%の増加は気温差の拡大0.3°Cに相当する。グロス建ぺい率の増加に伴い、建物の高層化も含めて市街地が過密化し、緑地の減少、人工排熱の増大、換気効率の低下等の要因が重なるためと考えられる。

5.4.5 鉛直分布

各類型の代表的な地区における鉛直分布について検討する。今回取り上げたのは以下の地区である。

- 類型I 新宿
- 類型II 板橋
- 類型III 石神井
- 類型IV 足立
- 類型V 施設(湾岸のライフライン施設)
- 類型VI 東京湾

図93は各地区の圧力の鉛直分布を示したものである。水平500mメッシュで平均化しているため、ほぼ静水圧に分布している。もちろん、建物周辺では強い偏在性を伴うと考えられる。また、水平位置により500Pa程度数値が異なる。

図94は体積占有率の鉛直分布である。ここで、地上高さとは各地区の平均標高からの偏差である。新宿を除いて地上30m以上では建物がほとんど存在しないことがわかる。

風速比の鉛直分布を図95に示す。ここで、風速比とは地上100mの風速に対するその高さの風速の比である。施設(V)、東京湾(VI)では地上付近の風速比が他の地区よりも大きく0.5以上の値になっている。新宿(I)の風速比は板橋(II)、石神井(III)、足立(IV)と比べて地表面近傍では大きく、地上30m以上では逆に小さい。

同様に気温差について示したのが図96である。東京湾(VI)において気温低減率相当の温度差が見られる。施設(V)では施設からの排熱により地上30~40m(屋上付近)および

地上 100m（煙突高さ）において温度が上昇している。新宿（Ⅰ）の気温差を見ると、板橋（Ⅱ）、石神井（Ⅲ）、足立（Ⅳ）、施設（Ⅴ）と比べて地表面近傍では最も小さいが、地上 30m 付近で数値が増加しており、地上 30m 以上では他の地区を上回っている。

5. 5 考察

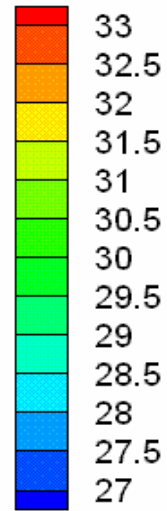
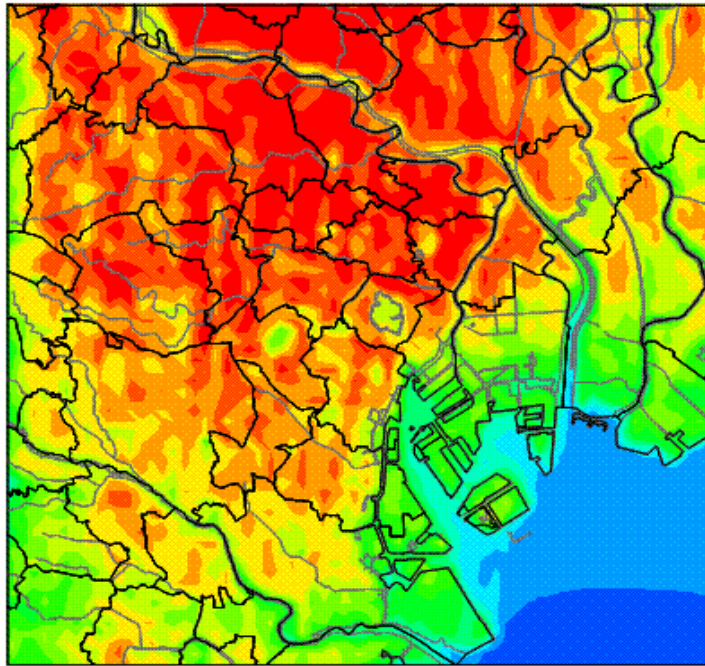
5. 2 の結果から、東京 23 区において筋状に気温が形成される傾向が確認された。これは、直下の土地利用構成と共に大気の 3 次元的流れが気温場に影響していることを意味しており、広域 CFD 解析により都市域の温度場の特性として初めて明らかにされたものである。筋状の高温帯は幹線道路などの高密度地帯において上昇流を誘引し周辺の放出熱をも収束させながら、さらなる温度発展につながる可能性がある。一方、都市内の大規模緑地においては上空の空気を地上に引き込み、風下の周辺領域ににじみだしている様子が計算結果から確認された。これらの事例は都市境界層における熱拡散の動態を、建物レベルの微視的な立場から解明する上で重要な情報を含んでいると考えられる。

次に建物の形態と風通しの関係について考察する。5. 4 で述べた通り、グロス建ぺい率 10% の増加は、上空 100m の気温を基準として地上付近の気温上昇 0.3℃ に相当することが示された。このことは、市街地におけるオープンスペースの創出が風通しと気温低下に有効であることを示唆する。地上部を緑化すれば効果は高まる。5. 3 および 5. 4 の結果から、新宿等の高層市街地の気温は、地上付近では周辺より低くなる傾向が見られた。床面積確保のために、ある程度高層化を図りつつ、地上近傍を解放することで都市の気温低下につながる可能性が考えられる。一方、高層市街地の上空やその風下領域においては温度上昇する場合があるため、その熱的影響についても検討する必要がある。

建物が河川や緑地の周辺に位置している場合は、気温低下に伴い冷房需要を削減する効果が期待される。ただし、風向きや建物配置により気温低下の程度は異なる。特に河川周辺で建物が密集している地域では、河川からの風の通

り抜けが得られていない事例がいくつか見られた。

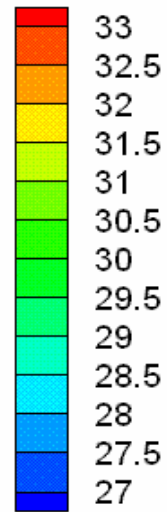
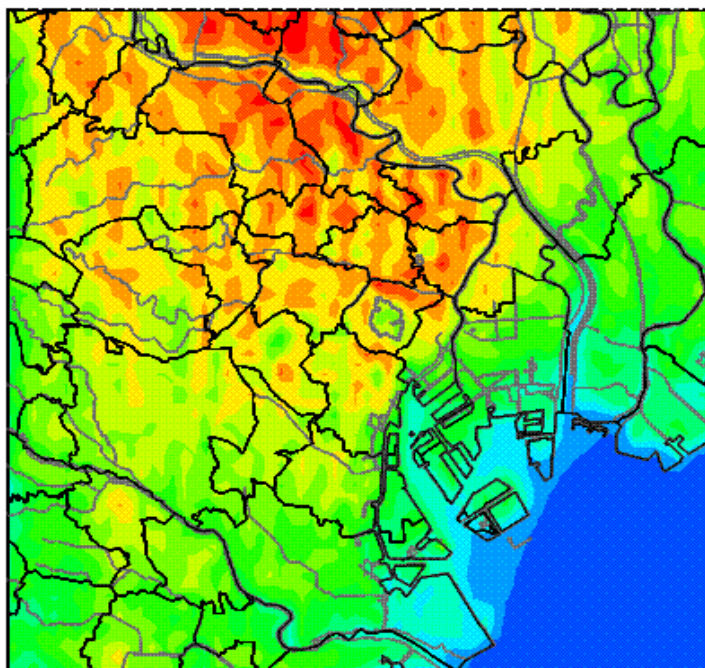
5. 3 のライフライン施設の事例で示した通り、上空における放熱は地上付近の気温にはほとんど影響していない。また、新宿等の地域冷暖房の導入地区においては、放熱が潜熱によって賄われるため建物形態の効果も相まって気温が低下する傾向が見られる。ただし、湿気が上昇する可能性がある。排熱の集約化、潜熱化の影響について検討する必要があると考えられる。



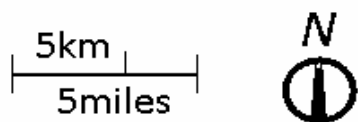
気温[°C]



(a) 地上 2m

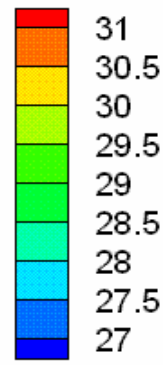
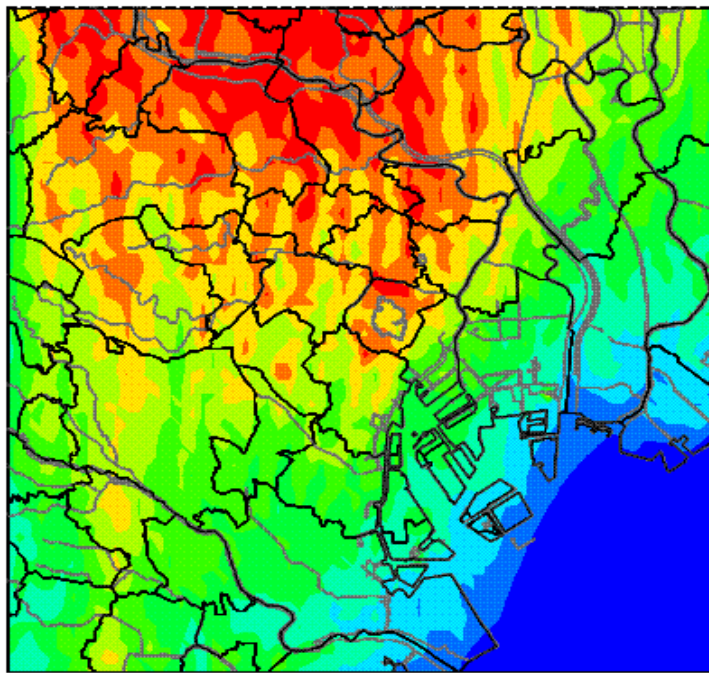


気温[°C]



(b) 地上 10m

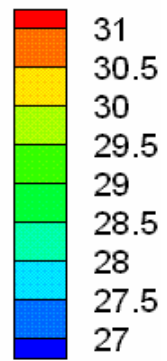
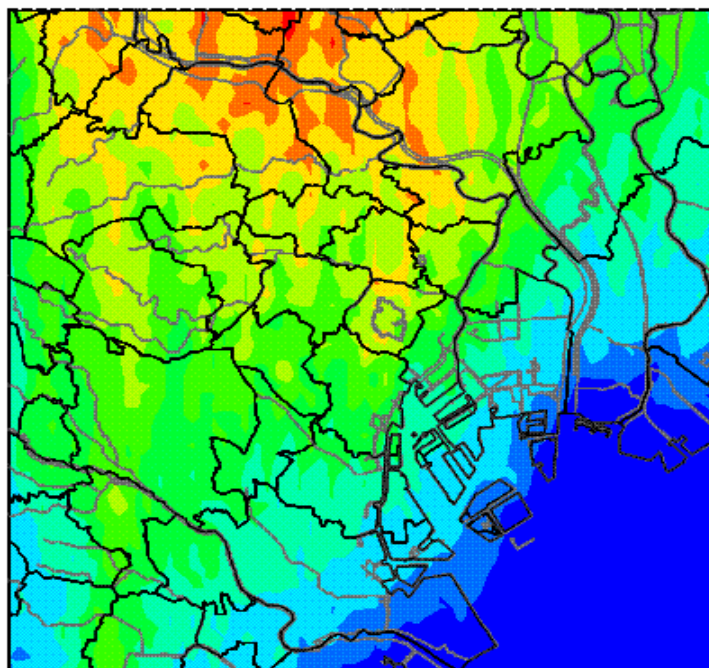
図 6 3 気温の分布 (500m メッシュ平均)
2005 年 7 月 31 日 14 時



気温[°C]



(c)地上 50m



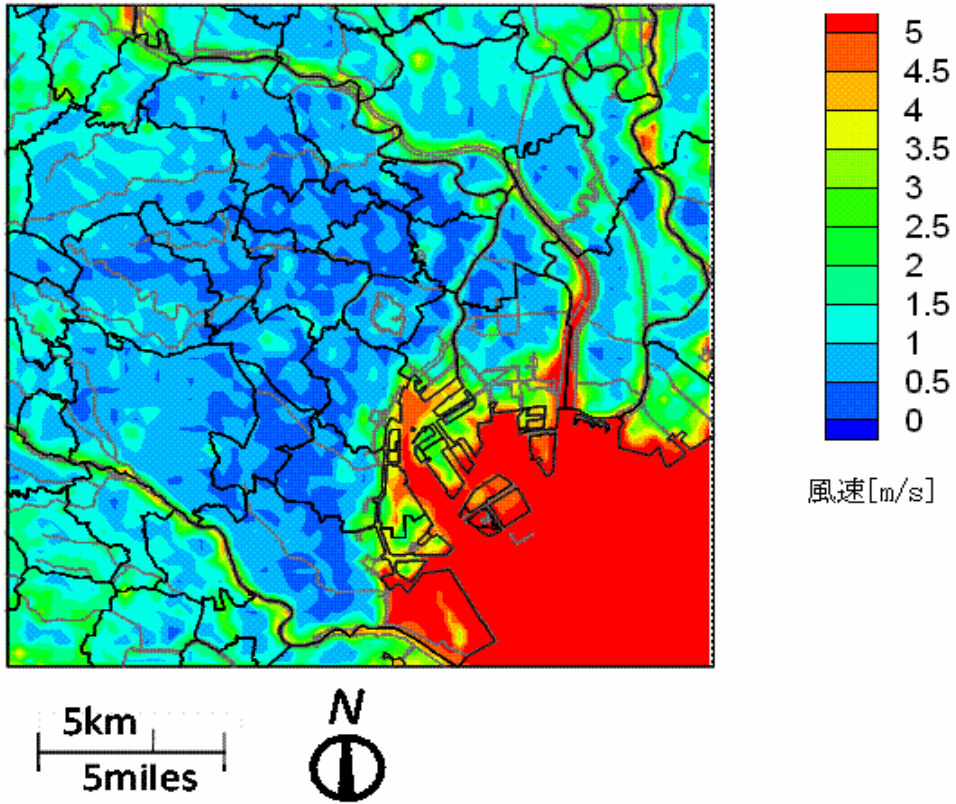
気温[°C]



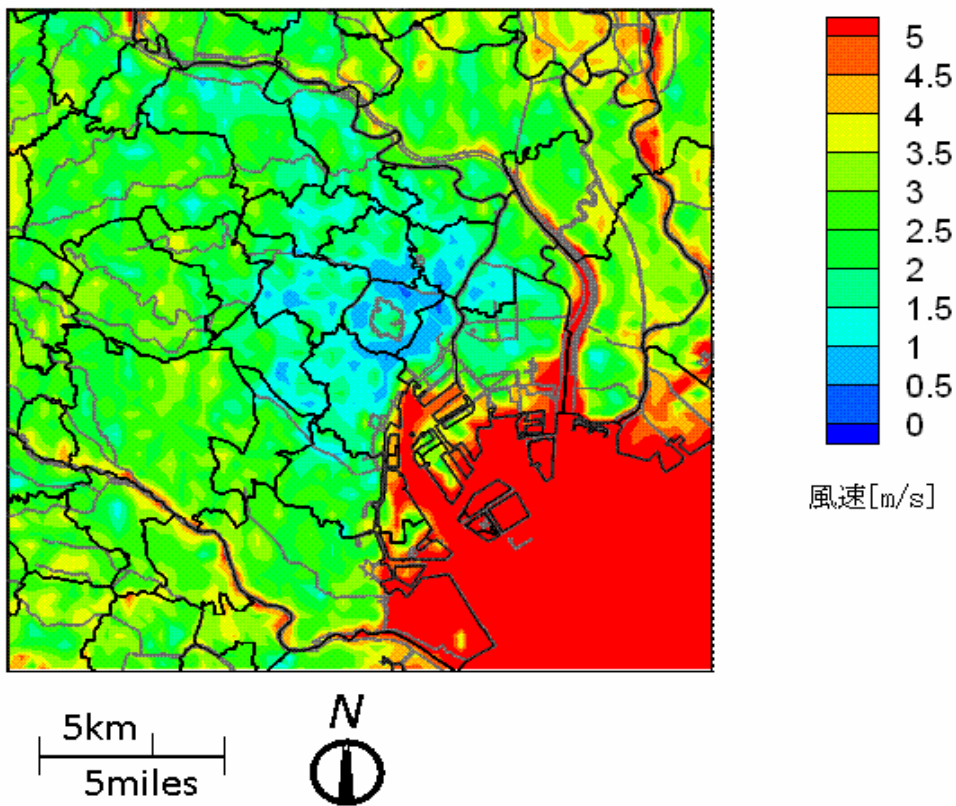
(d)地上 100m

図 6 3 気温の分布 (500m メッシュ平均)
2005 年 7 月 31 日 14 時

続き

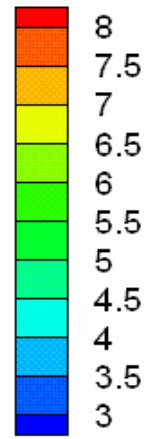
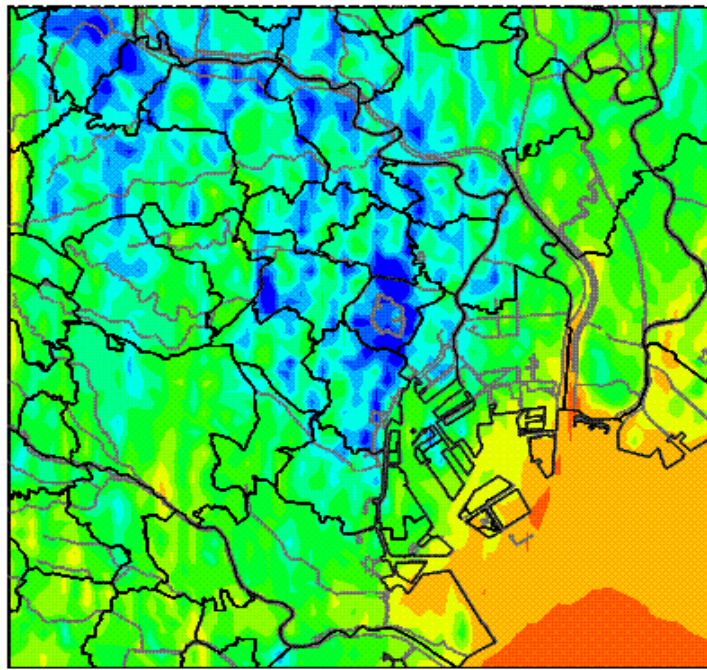


(a) 地上 2m



(b) 地上 10m

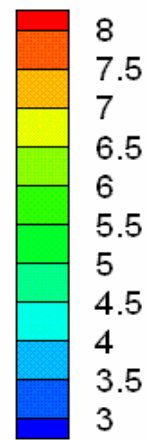
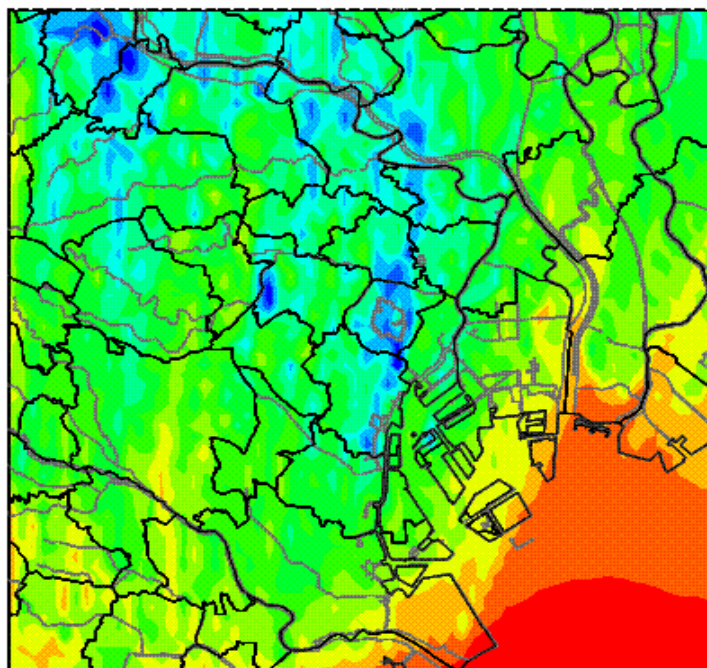
図 6 4 スカラー風速の分布 (500m メッシュ平均)
2005 年 7 月 31 日 14 時



風速[m/s]



(c) 地上 50m

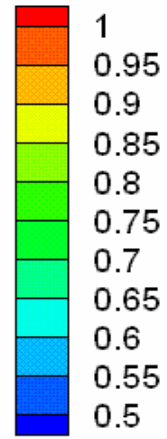
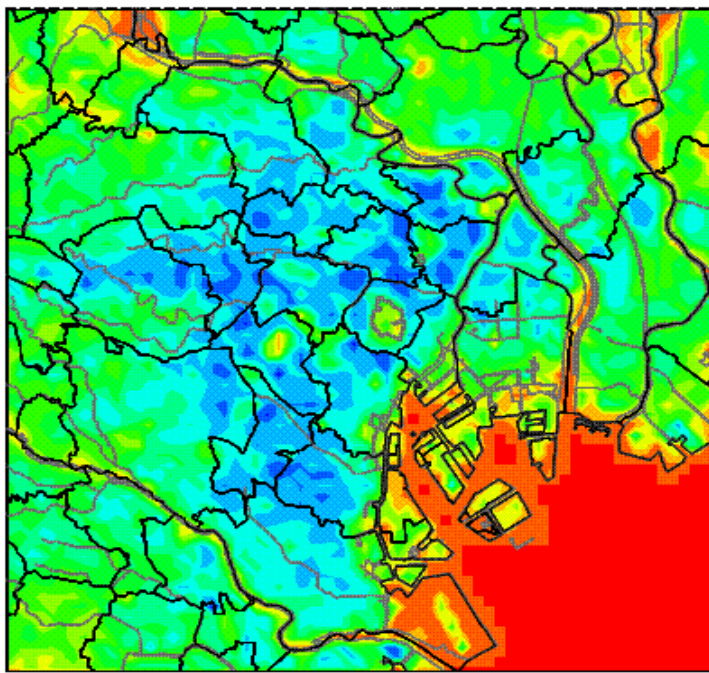


風速[m/s]



(d) 地上 100m

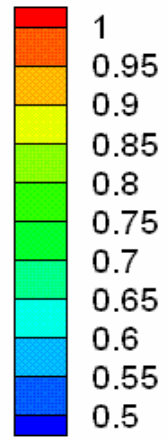
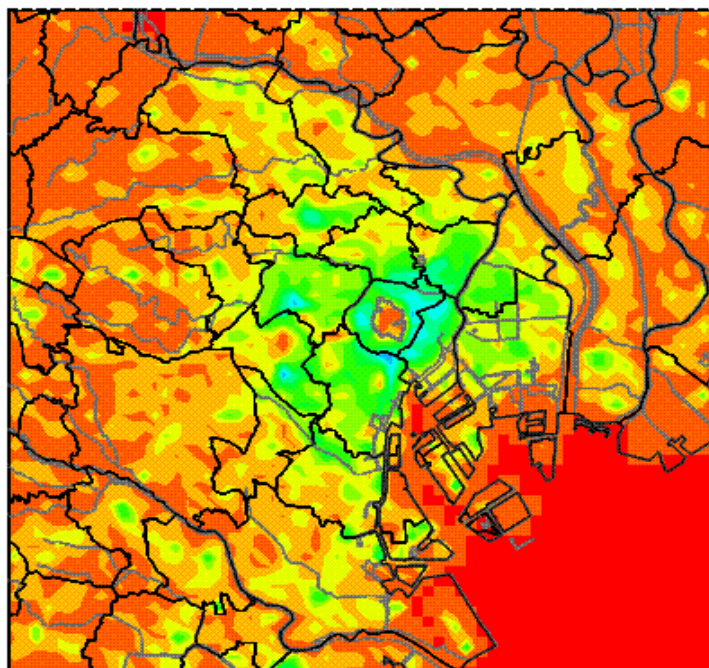
図 6 4 スカラー風速の分布 (500m メッシュ平均) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



体積占有率[-]



(a) 地上 2m

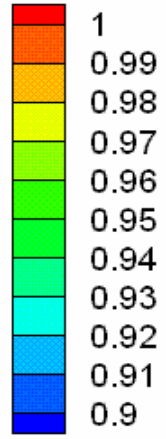
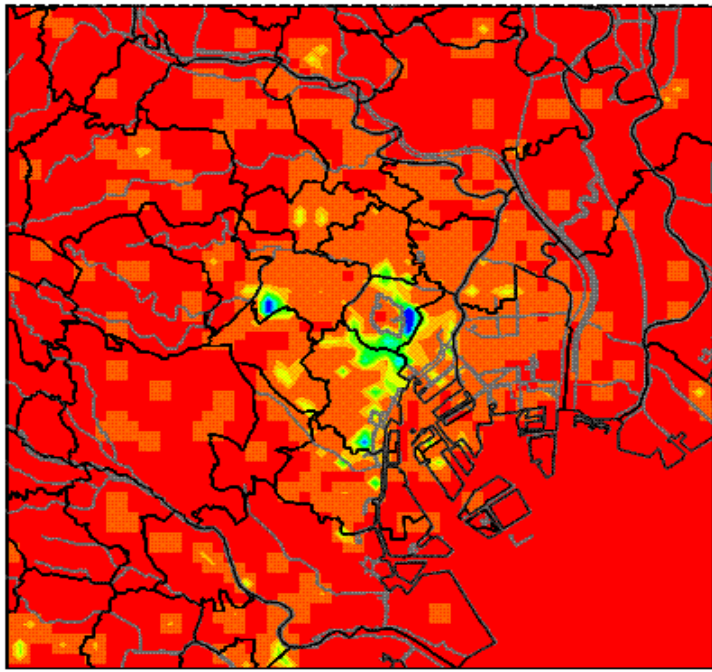


体積占有率[-]



(b) 地上 10m

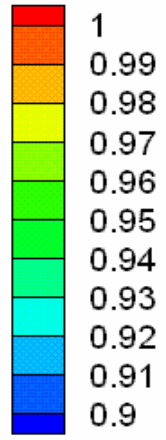
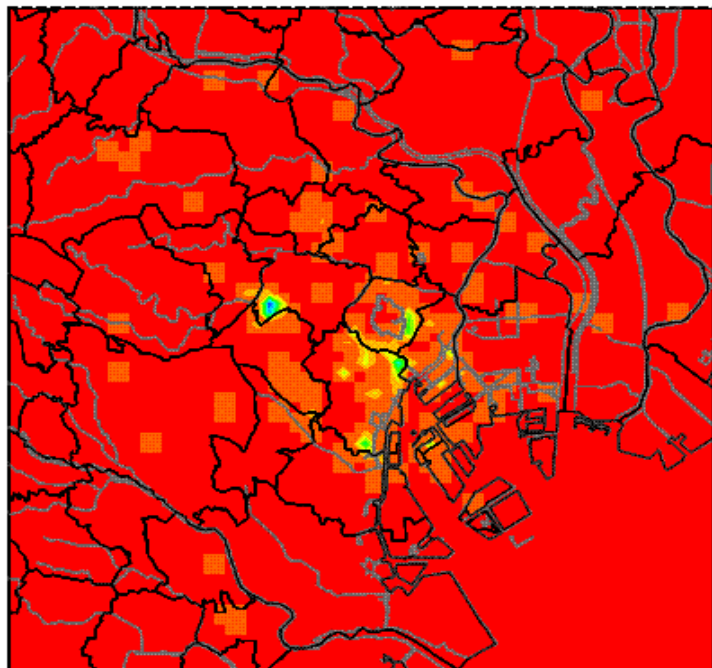
図 6 5 体積占有率の分布 (500m メッシュ平均)
2005 年 7 月 31 日 14 時



体積占有率[-]



(c) 地上 50m

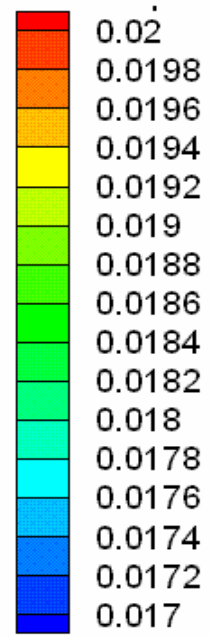
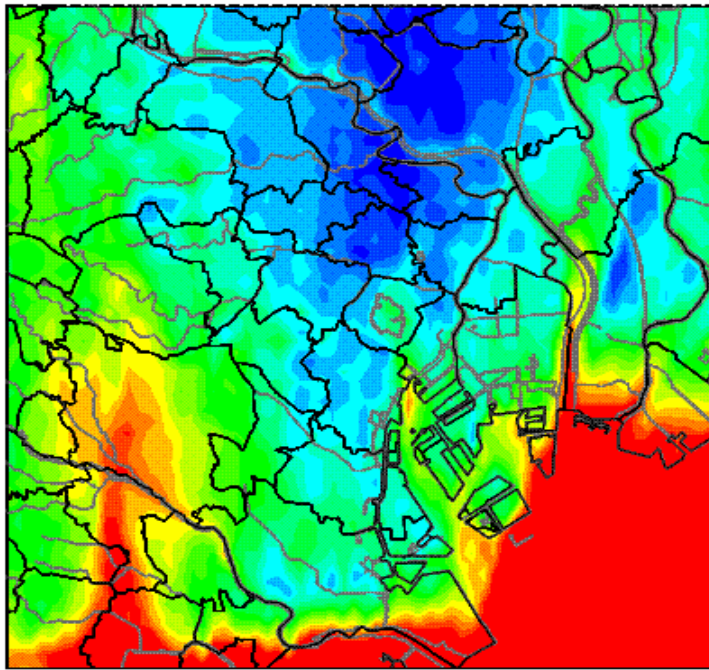


体積占有率[-]

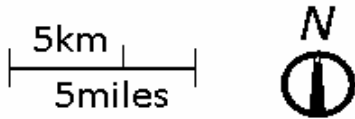


(d) 地上 100m

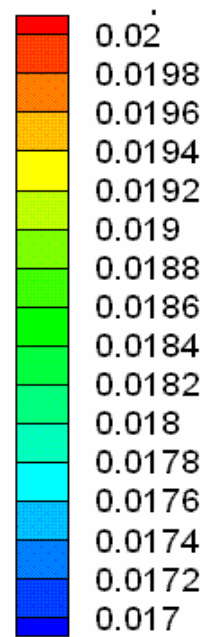
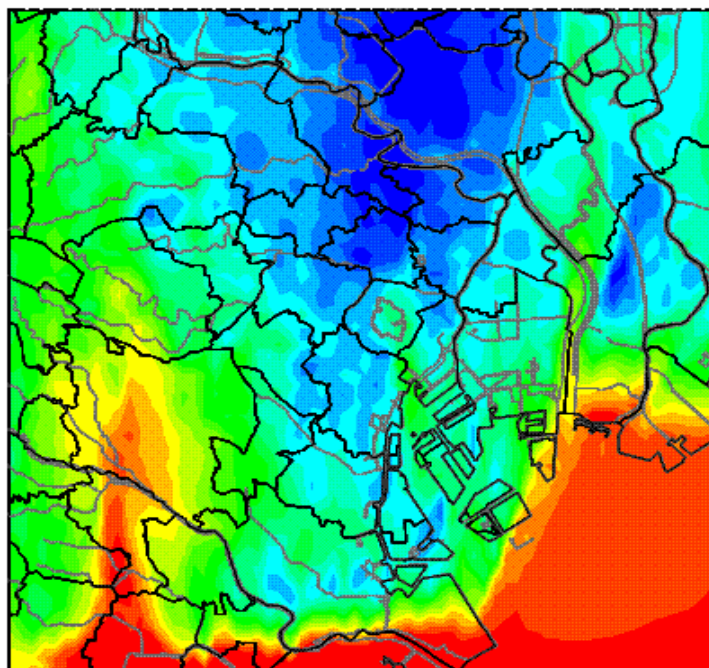
図 6 5 体積占有率の分布 (500m メッシュ平均) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



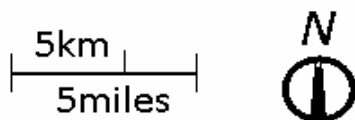
比湿[kg/kg]



(a) 地上 2m

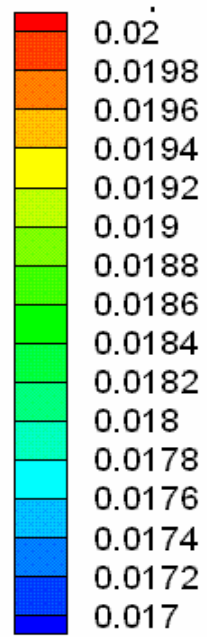
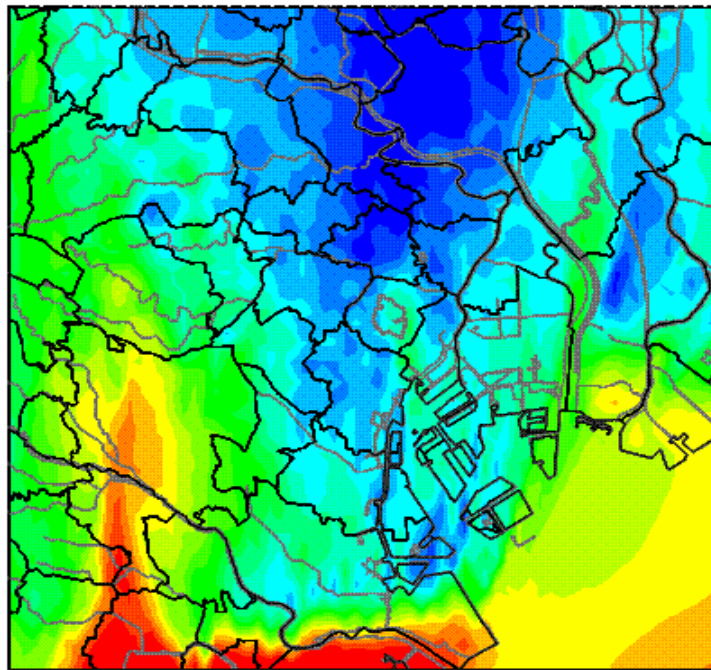


比湿[kg/kg]



(b) 地上 10m

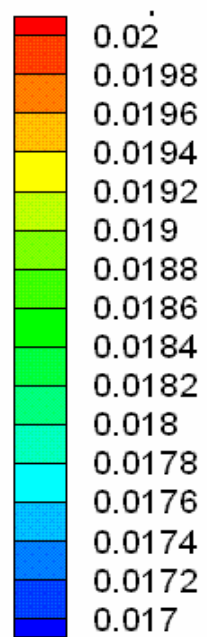
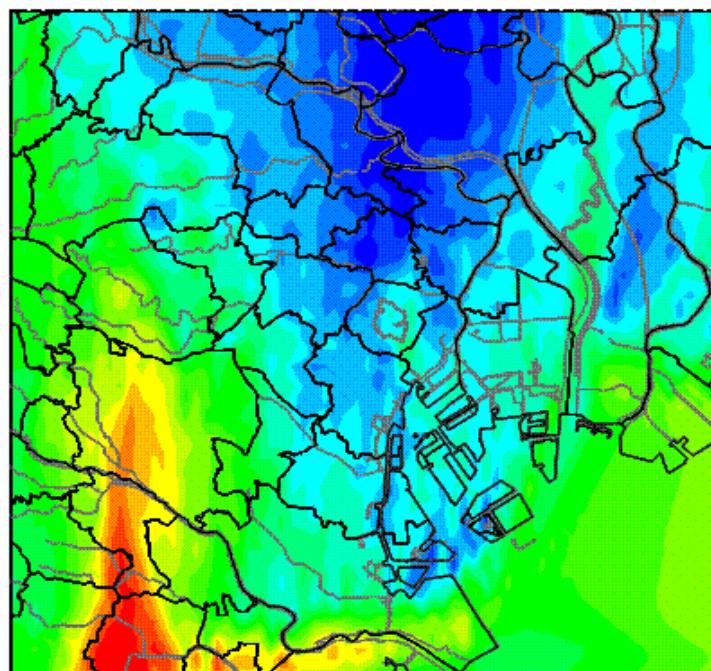
図 6 6 比湿の分布 (500m メッシュ平均)
2005 年 7 月 31 日 14 時



比湿[kg/kg]



(c) 地上 50m

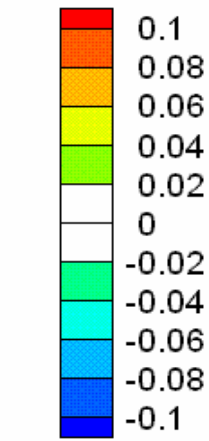
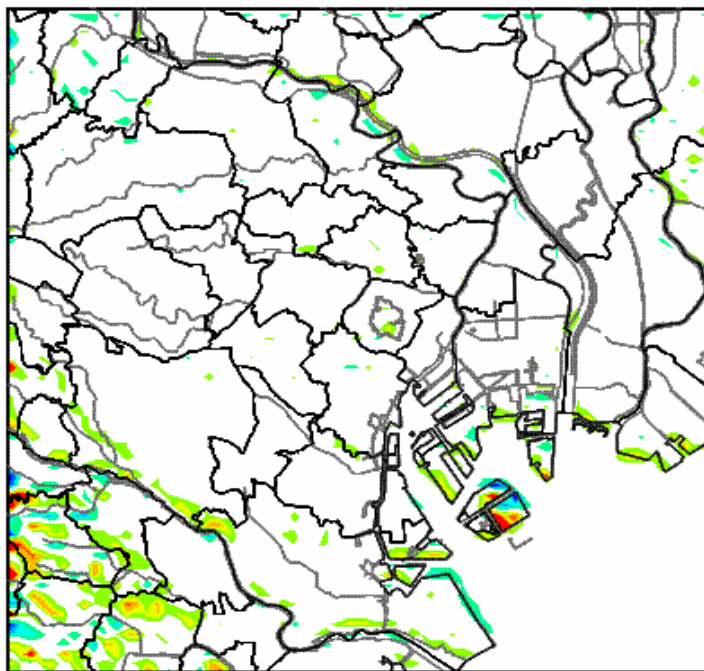


比湿[kg/kg]



(d) 地上 100m

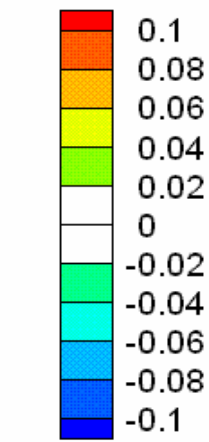
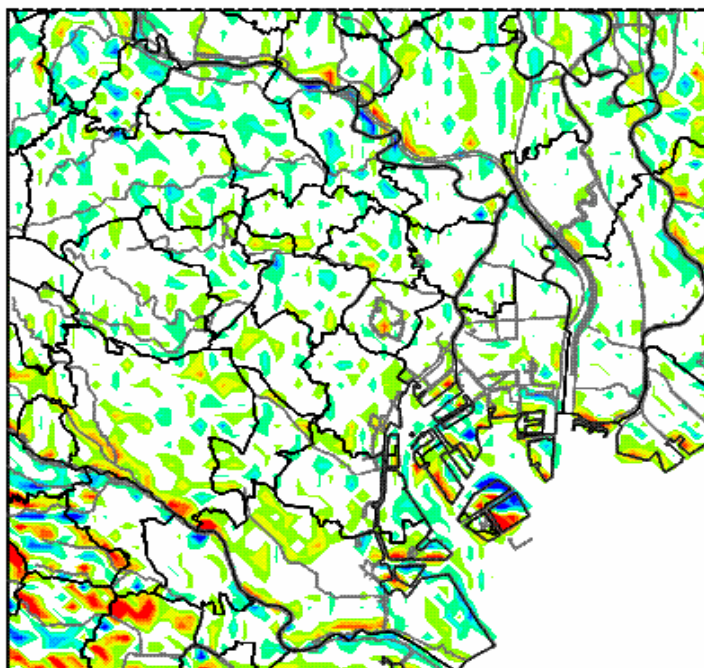
図 6 6 比湿の分布 (500m メッシュ平均) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



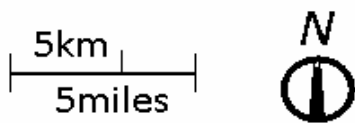
鉛直方向の
風速[m/s]
*上向きを正
とする



(a) 地上 2m

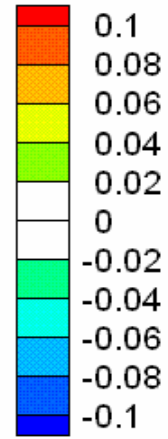
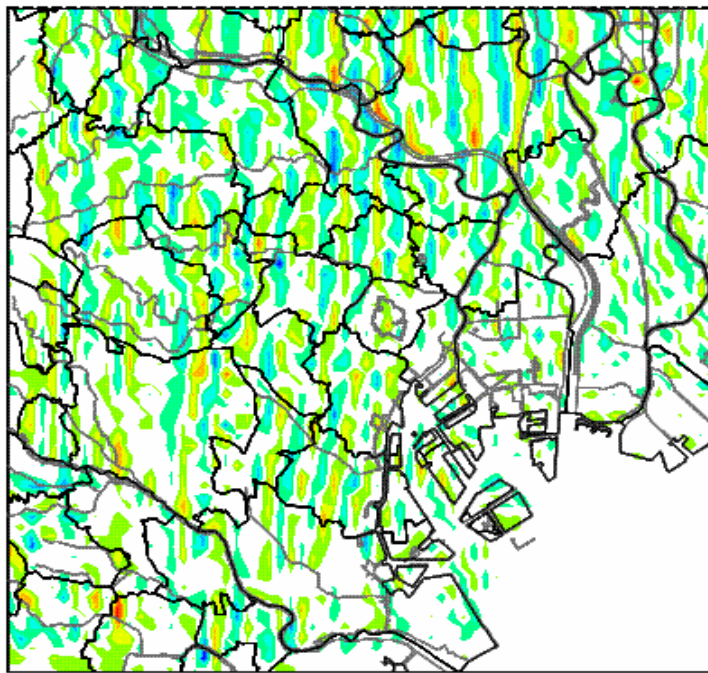


鉛直方向の
風速[m/s]
*上向きを正
とする



(b) 地上 10m

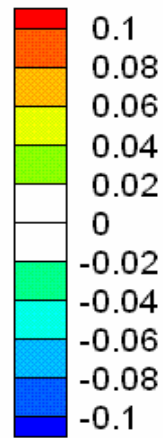
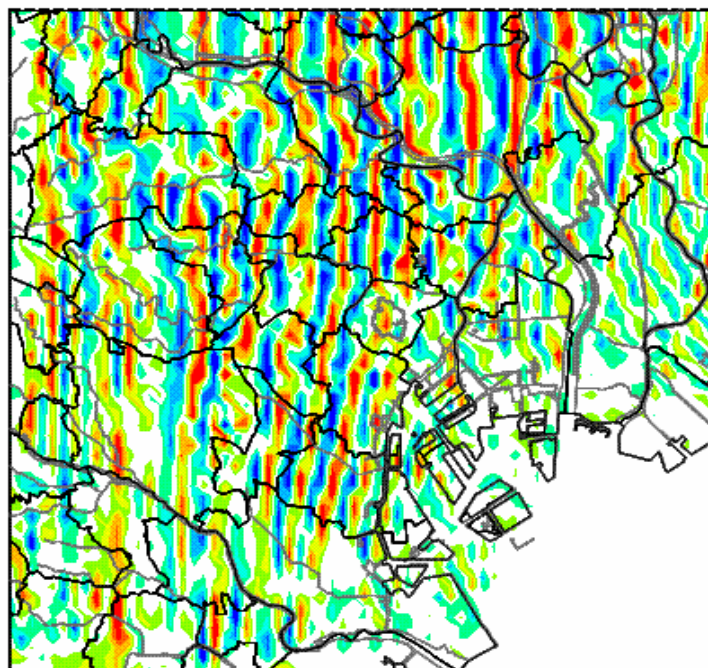
図 6 7 鉛直方向の風速の分布 (500m メッシュ平均)
2005 年 7 月 31 日 14 時



鉛直方向の
風速[m/s]
*上向きを正
とする



(c) 地上 50m

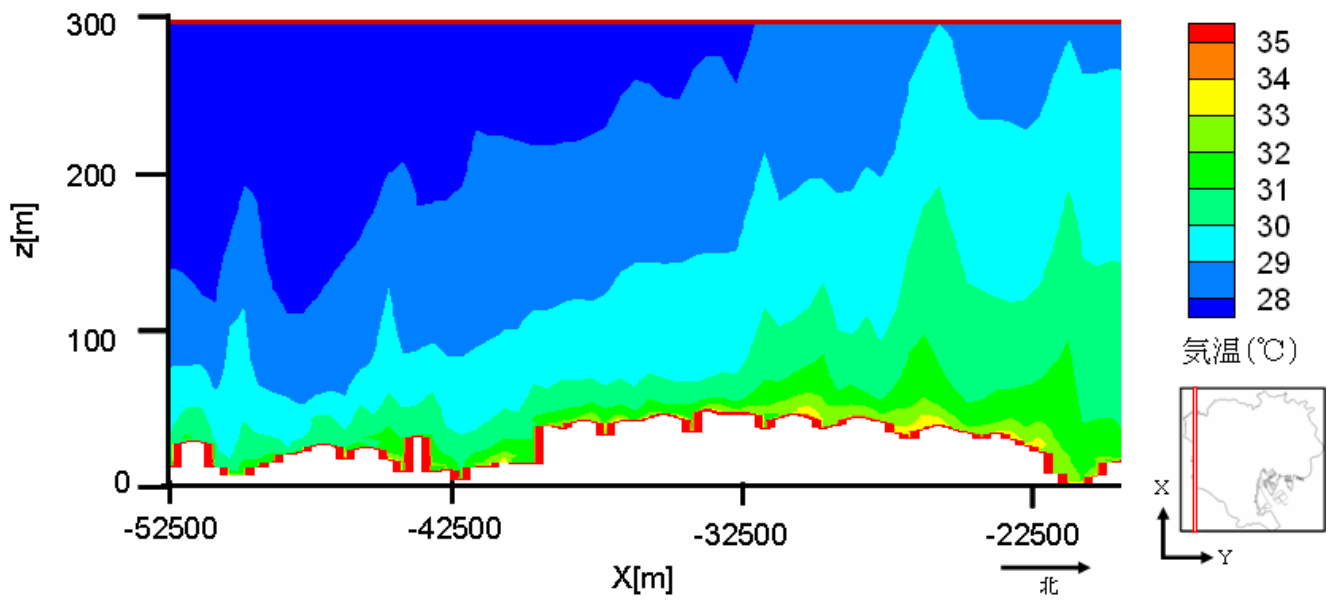


鉛直方向の
風速[m/s]
*上向きを正
とする

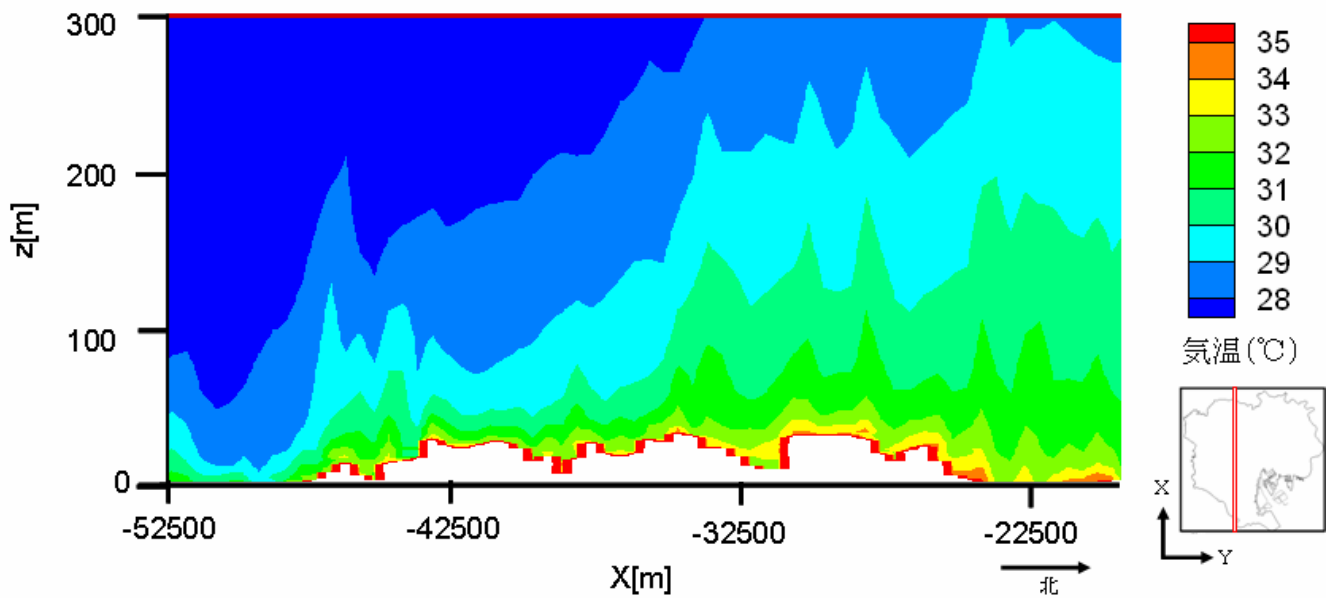


(d) 地上 100m

図 6 7 鉛直風速の分布 (500m メッシュ平均) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

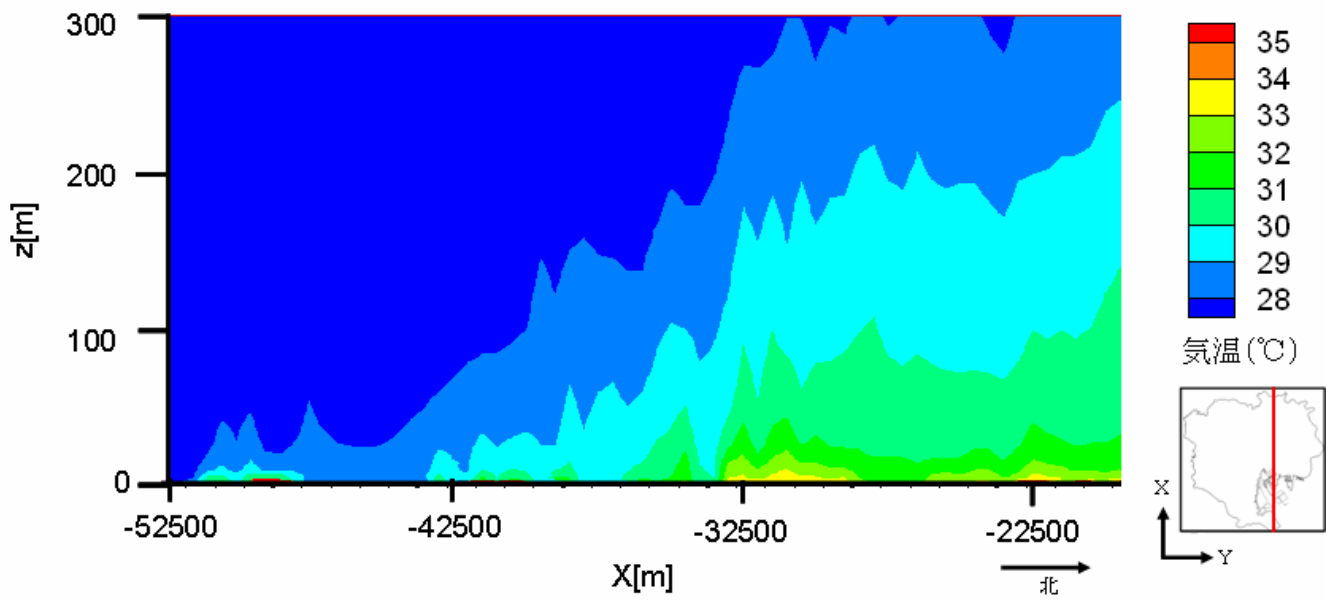


(a) Y=-22000 ~ -21500m

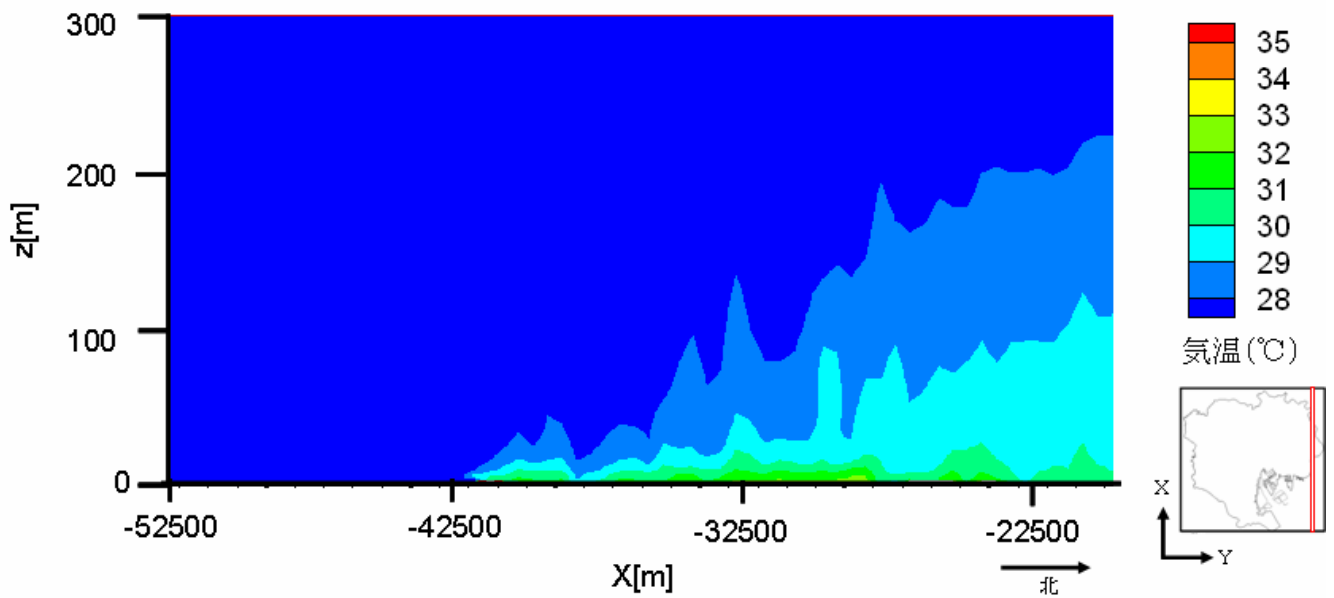


(b) Y=-13000 ~ -12500m

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

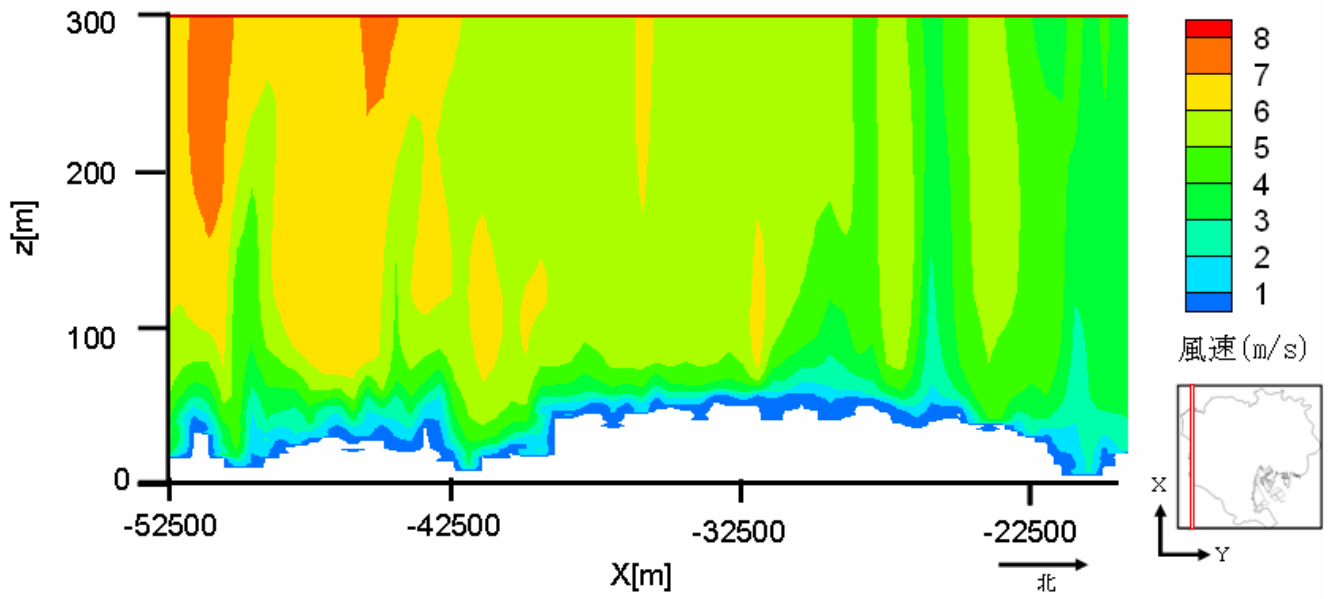


(c) $Y=-4000\sim-3500\text{m}$

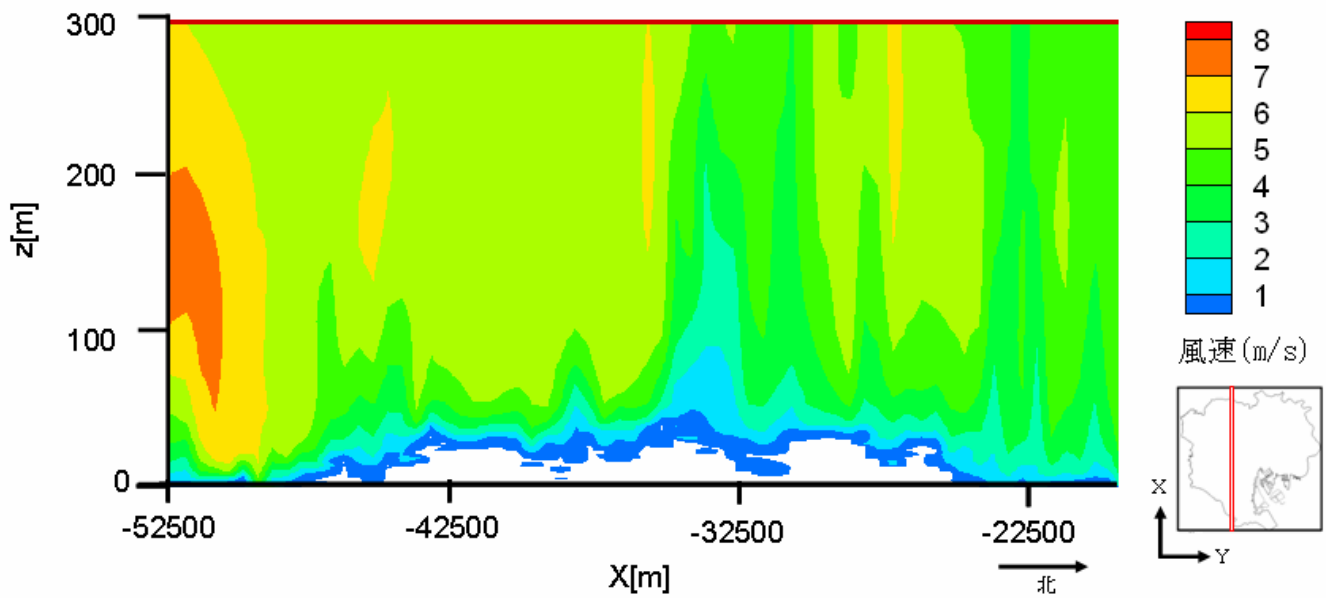


(d) $Y=5000\sim5500\text{m}$

図 6 8 気温の鉛直断面分布 (500m メッシュ平均) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

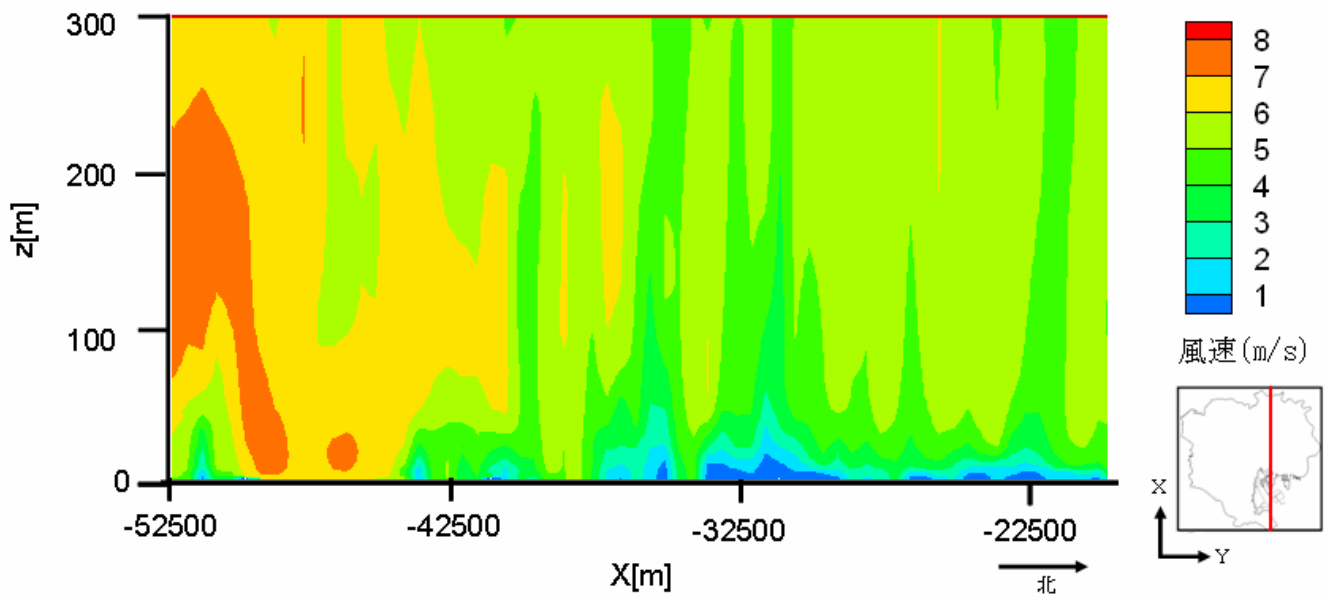


(a) $Y=-22000\sim-21500\text{m}$

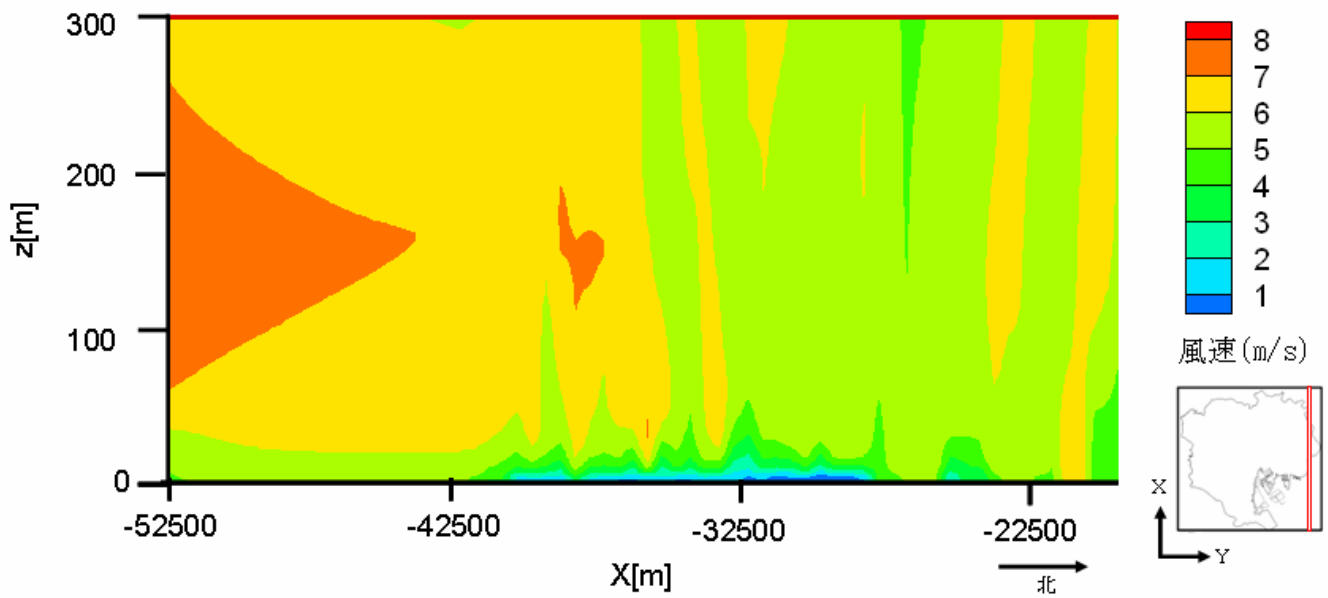


(b) $Y=-13000\sim-12500\text{m}$

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

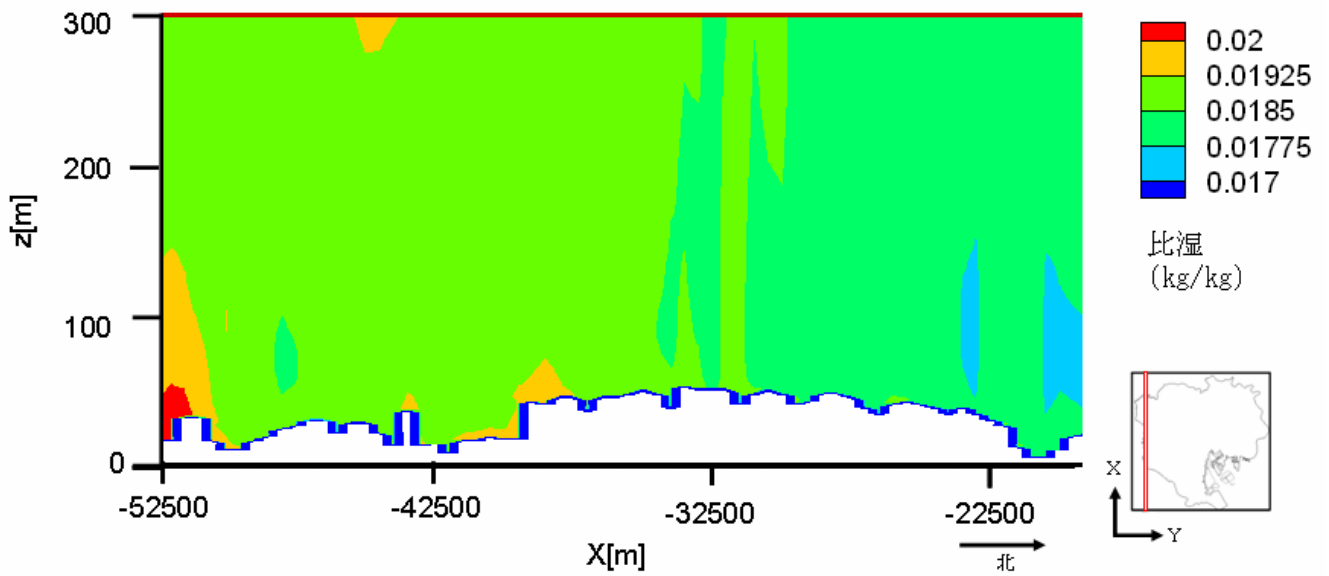


(c) $Y=-4000\sim-3500\text{m}$

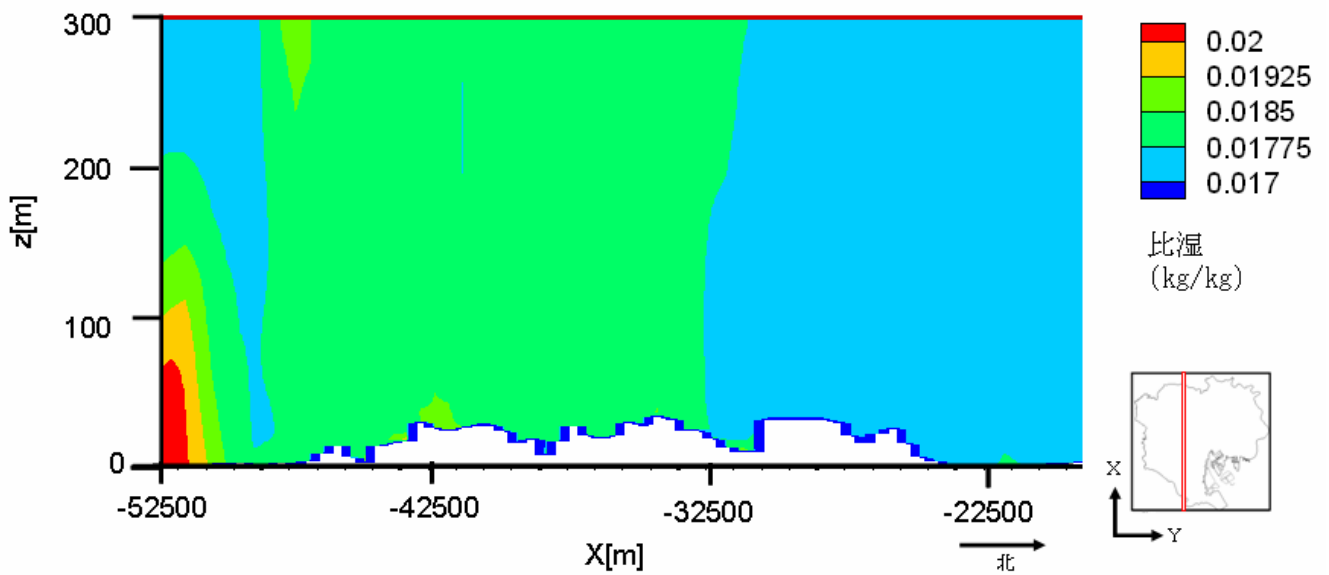


(d) $Y=5000\sim5500\text{m}$

図 6 9 スカラー風速の鉛直断面分布 (500m メッシュ平均) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

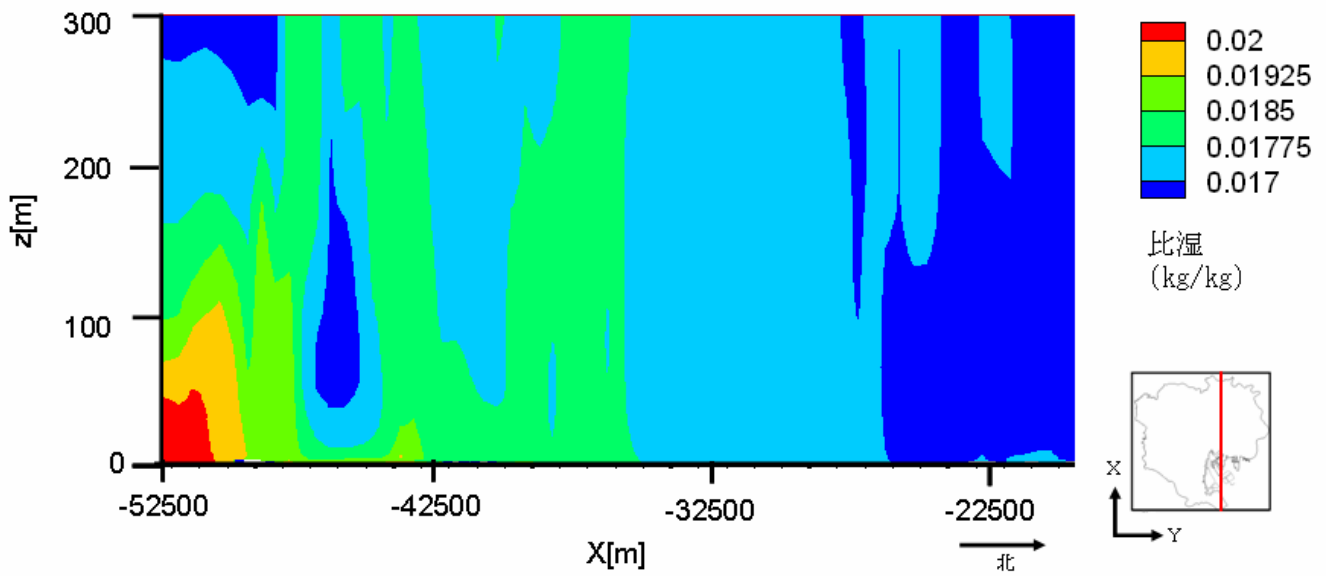


(a) $Y = -22000 \sim -21500\text{m}$

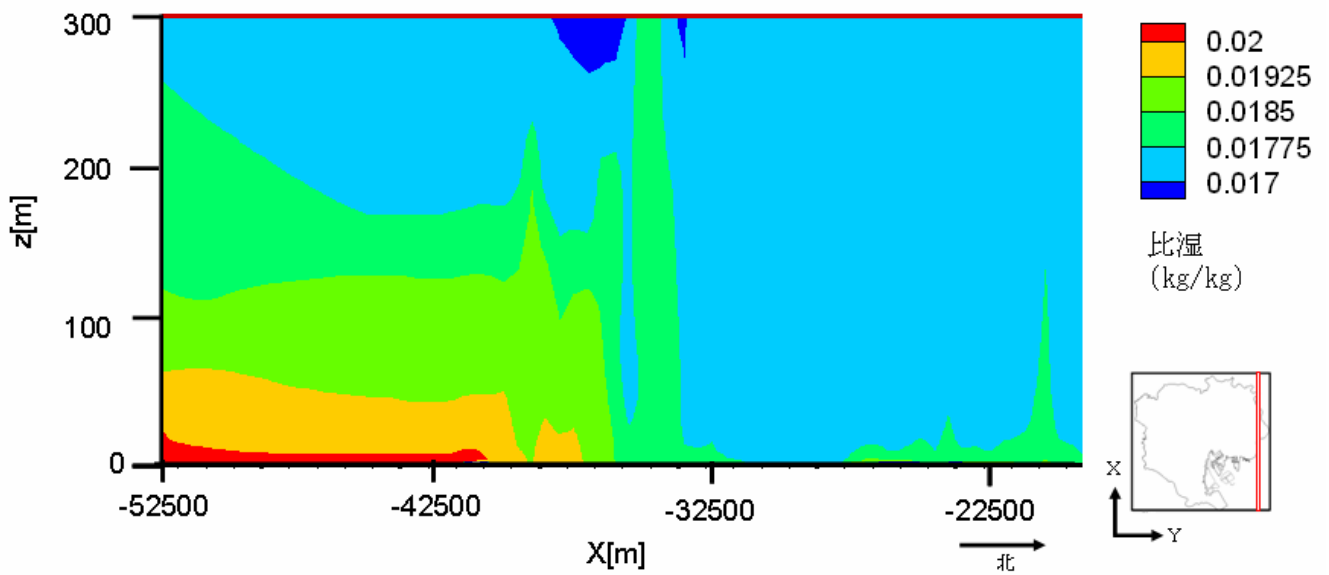


(b) $Y = -13000 \sim -12500\text{m}$

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



(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) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

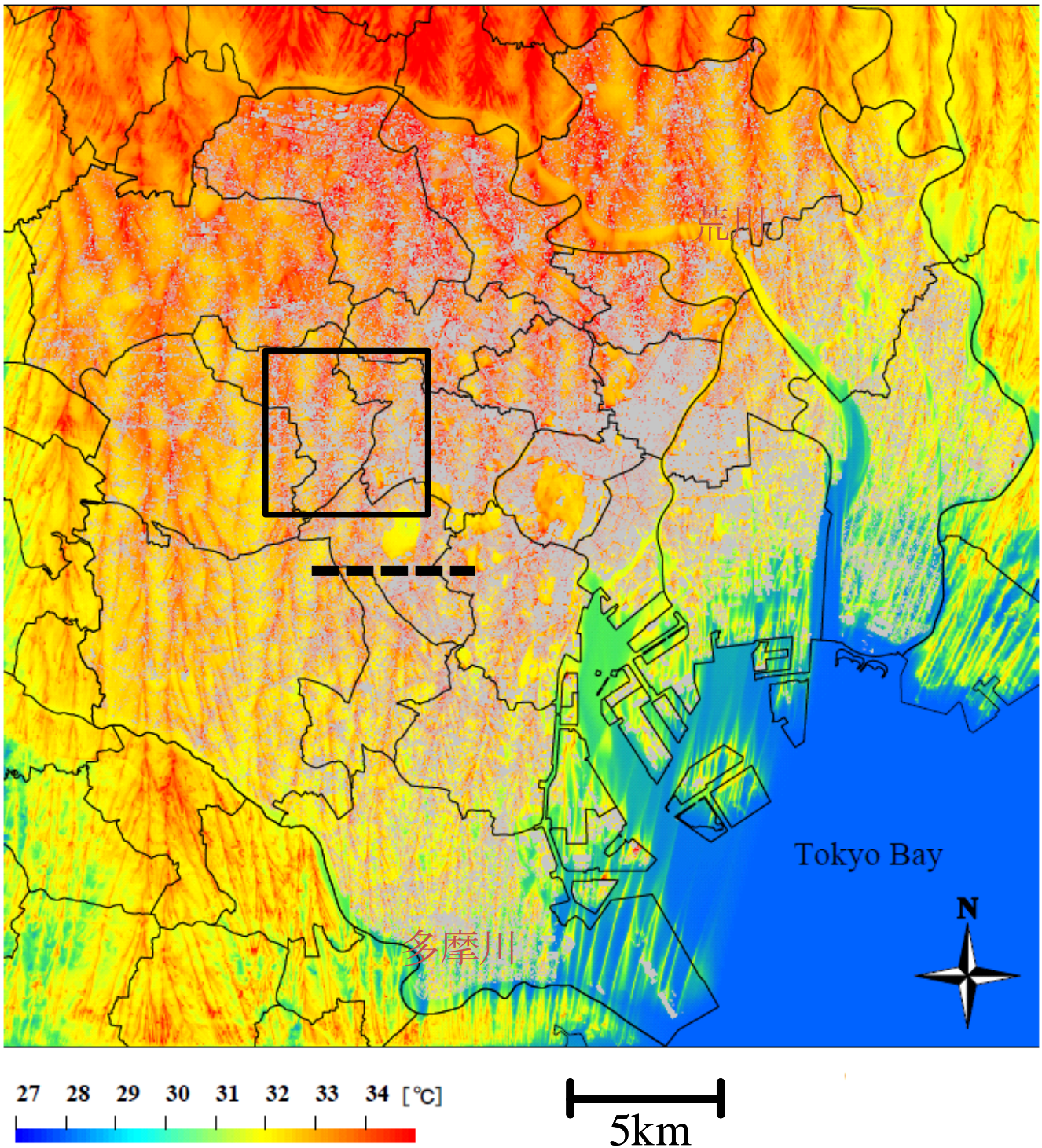


図 7 1 東京 23 区全域の気温分布（地上 10m）
2005 年 7 月 31 日 14 時

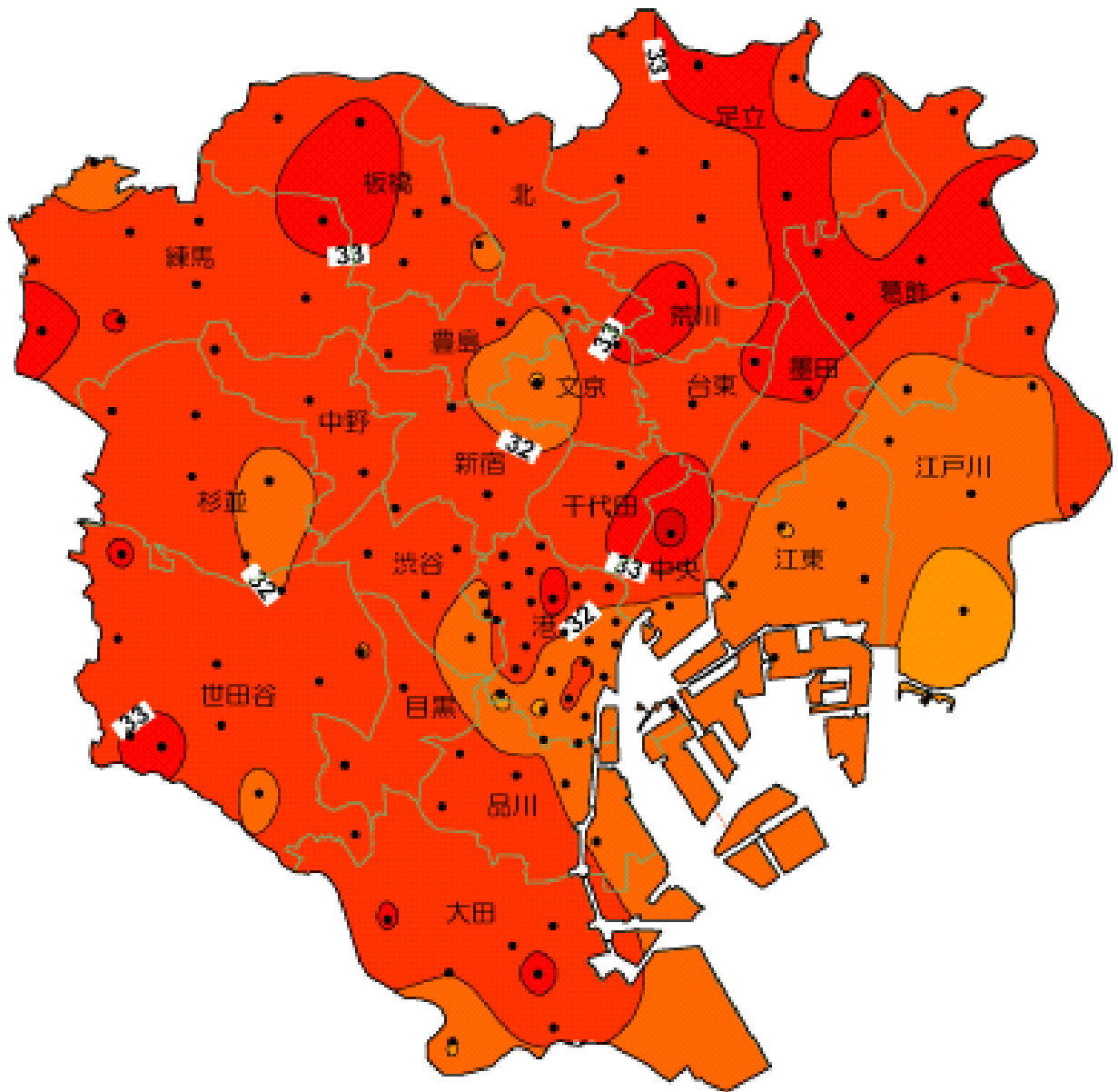
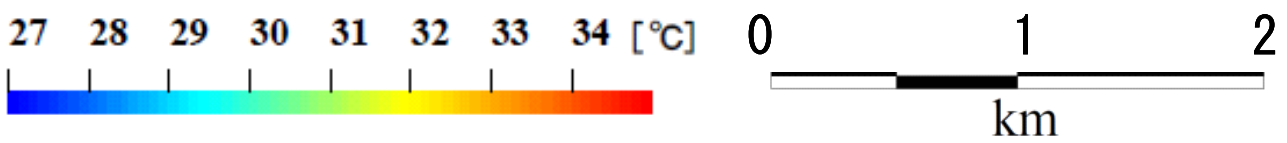
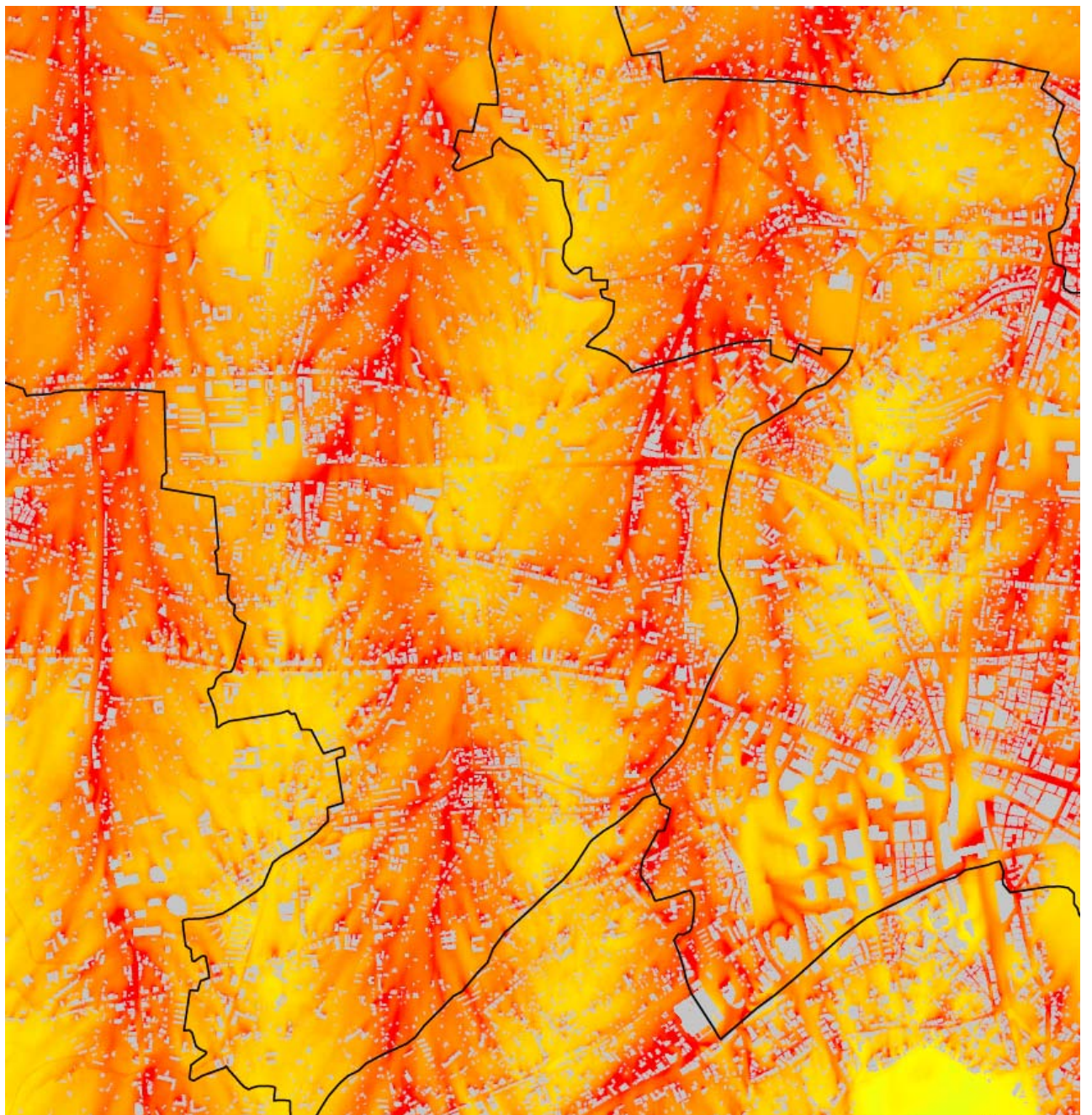
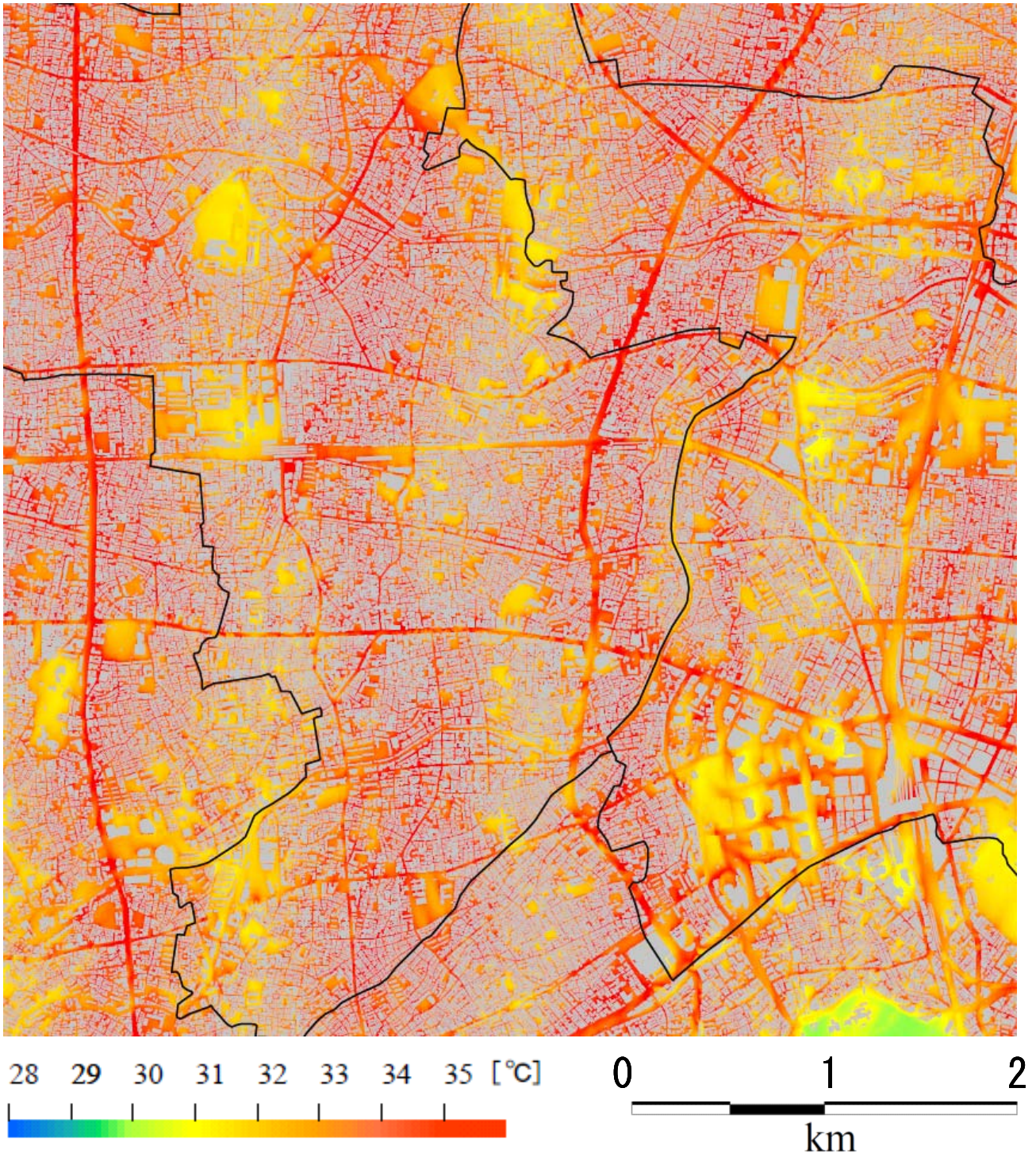


図 7 2 METROS の観測による東京 23 区の気温分布 (東京都)
2005 年 7 月 31 日 14 時



(a) 地上 10m

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



(b) 地上 2m

図 7 3 気温分布の事例 (図 7 1 の実線で囲んだ矩形領域) 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

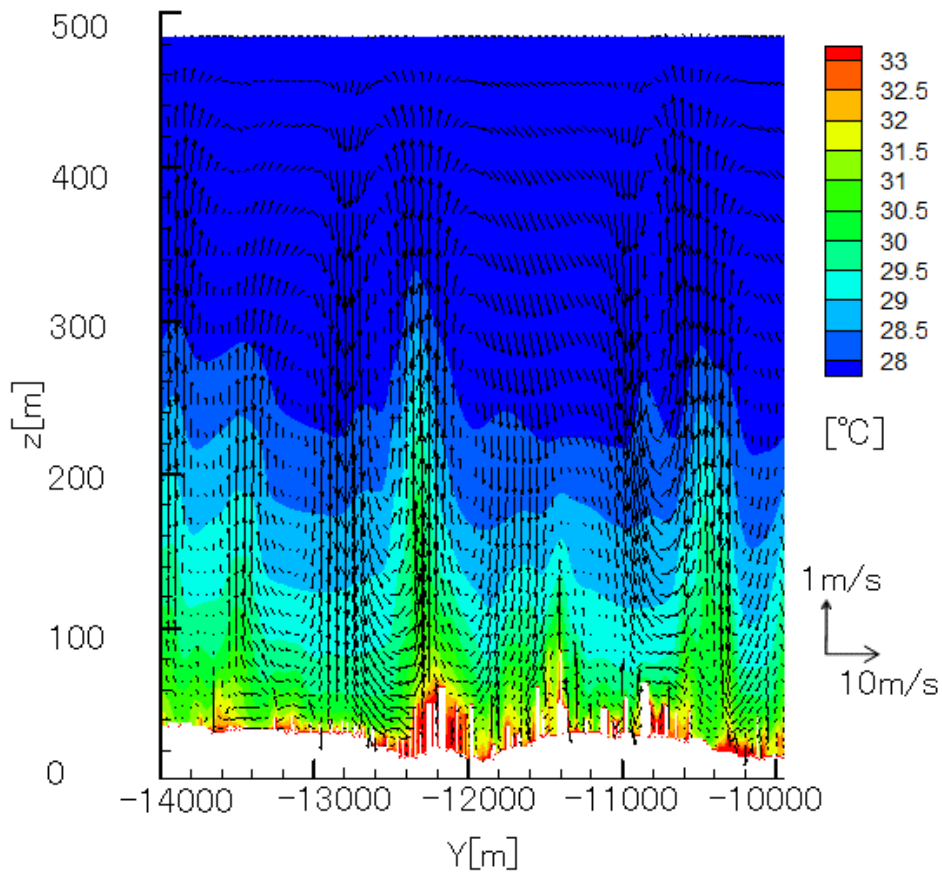


図 7 4 気温、風速の鉛直断面分布 (図 7 1 の点線部分)

2005 年 7 月 31 日 14 時

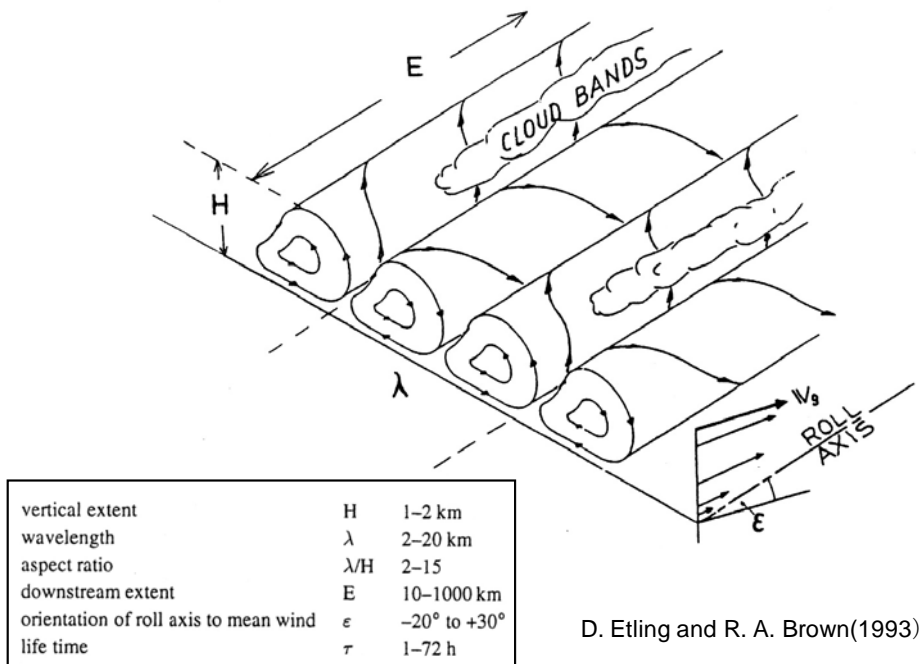
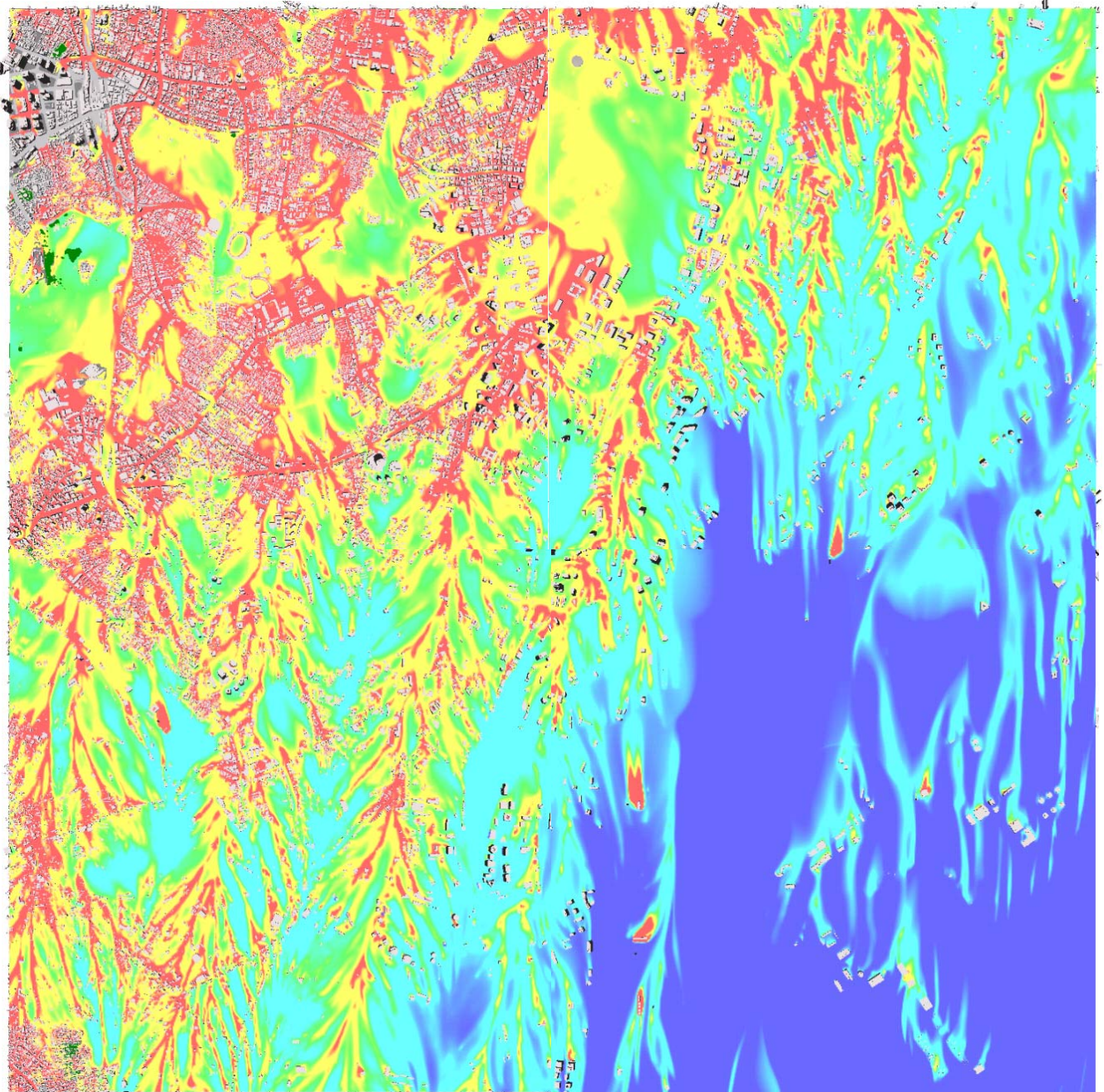


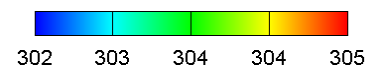
図 7 5 水平ロール渦



图 7 6 東京都心臨海部（10km 四方）

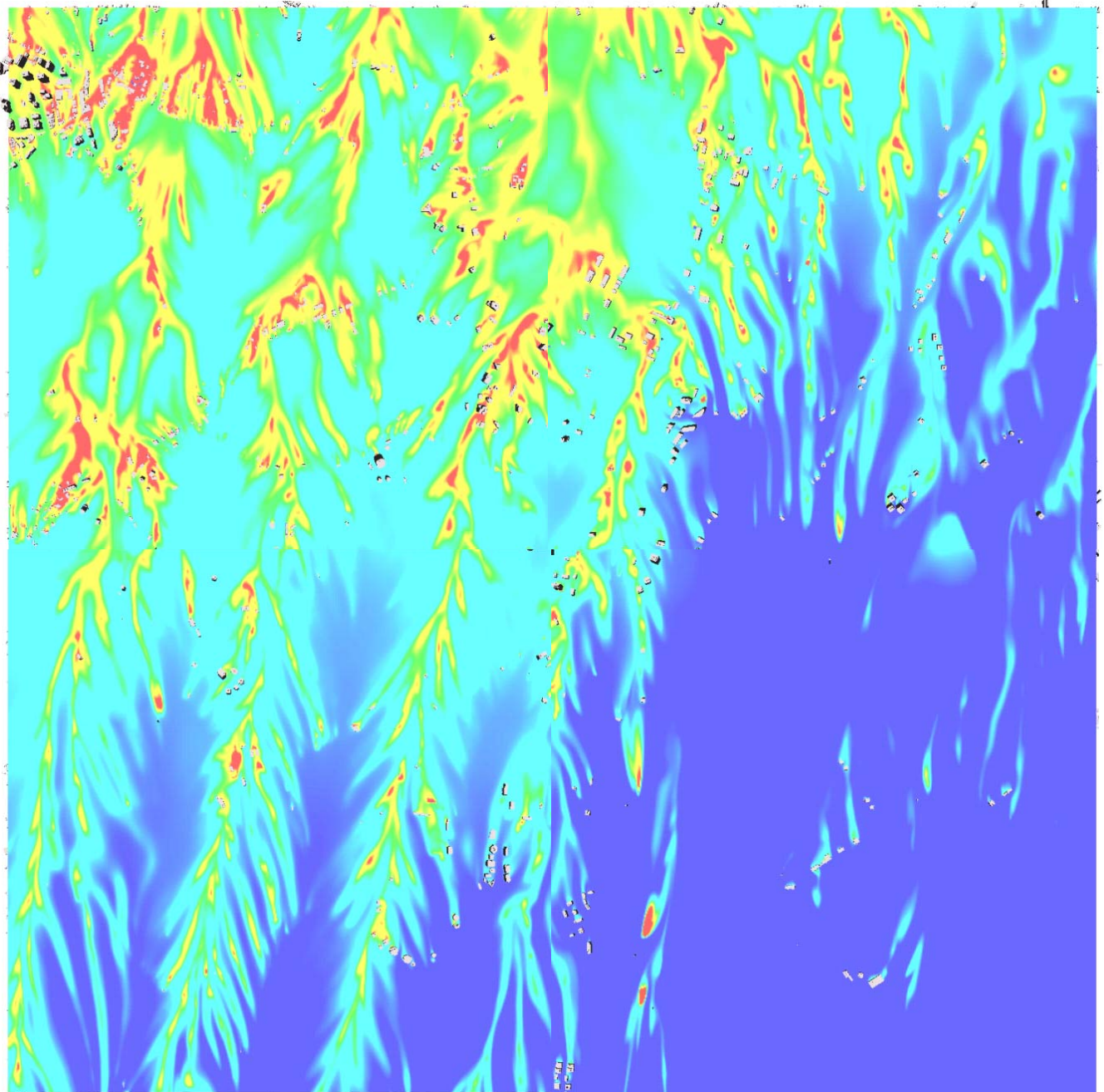


気温 [K]

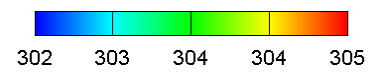


(a) 標高 34.7m

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

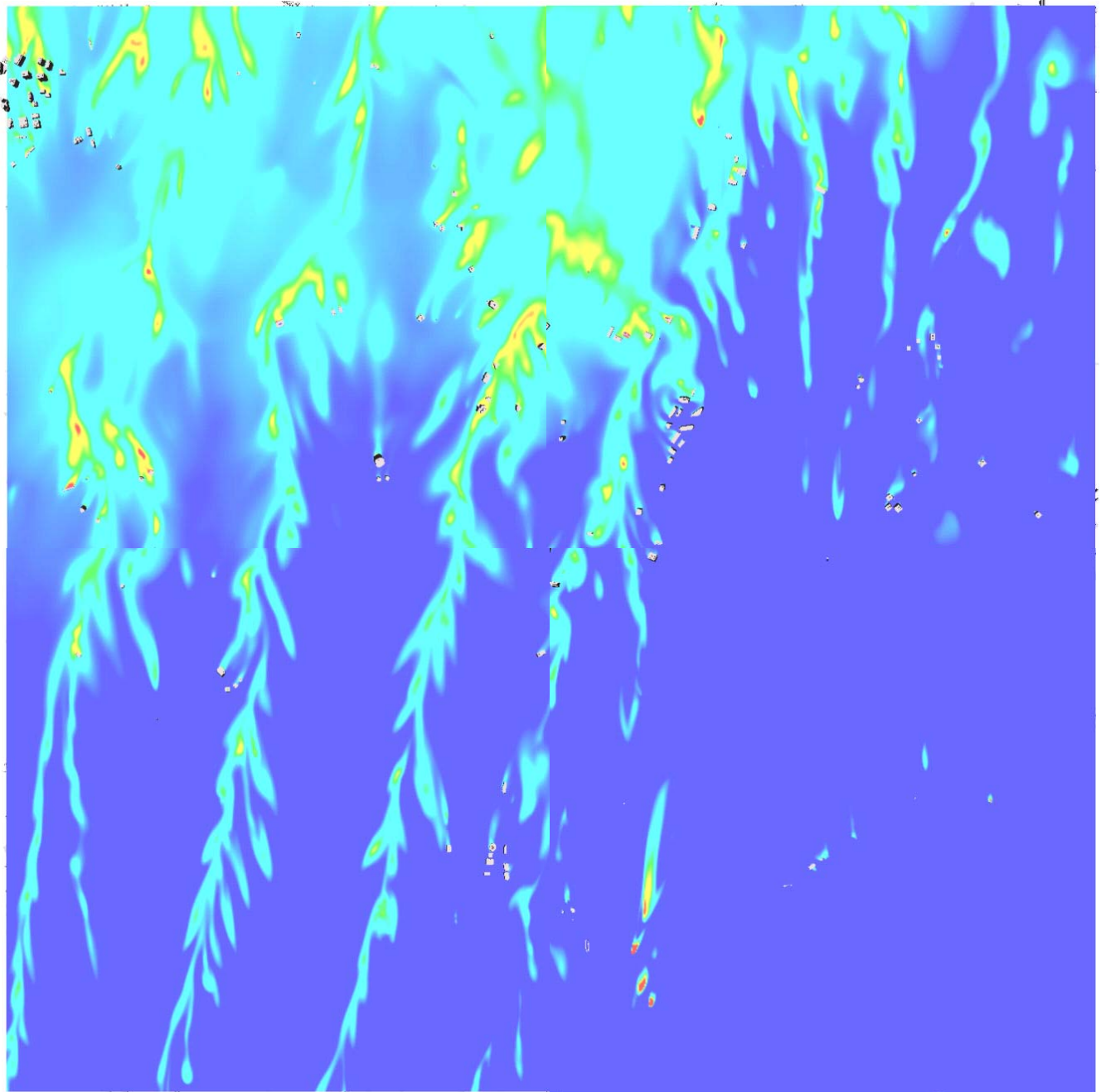


気温 [K]

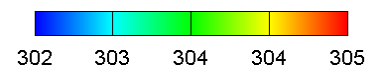


(b) 標高 65.1m

図 7 7 東京都心臨海部 (10km 四方) における気温分布 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

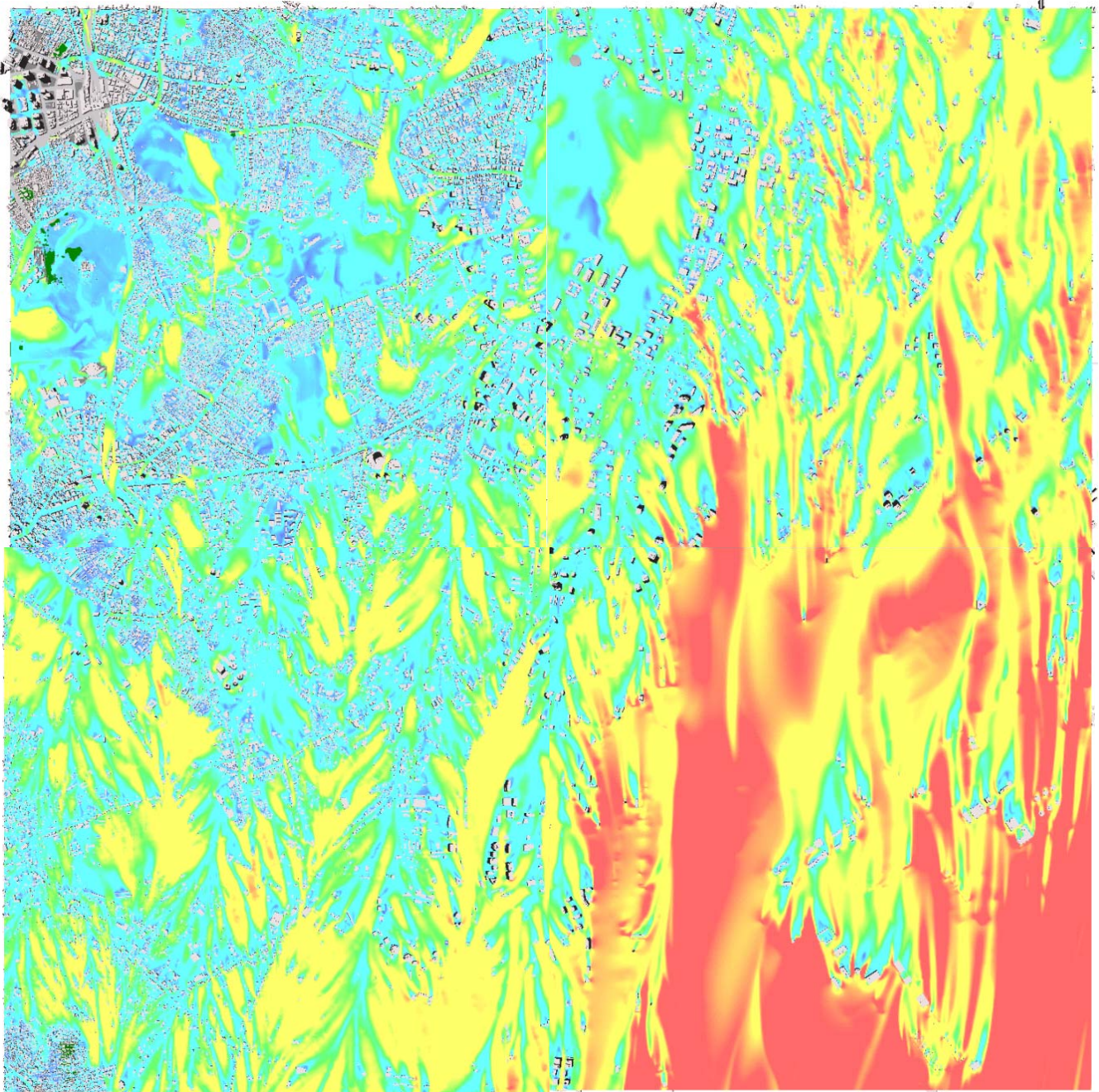


気温 [K]



(c) 標高 112.6m

図 7 7 東京都心臨海部 (10km 四方) における気温分布 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

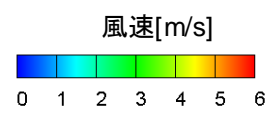
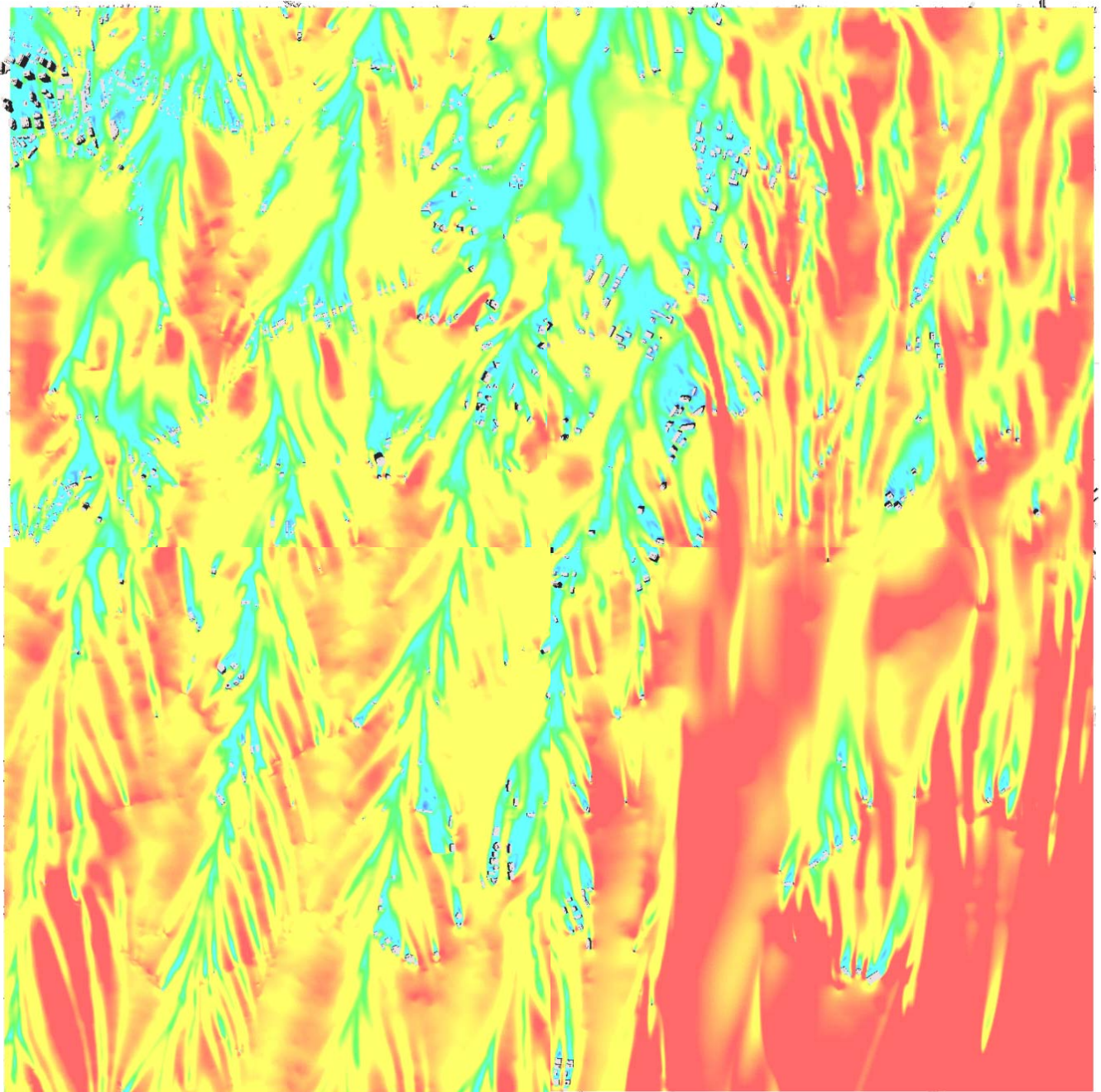


風速[m/s]



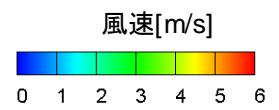
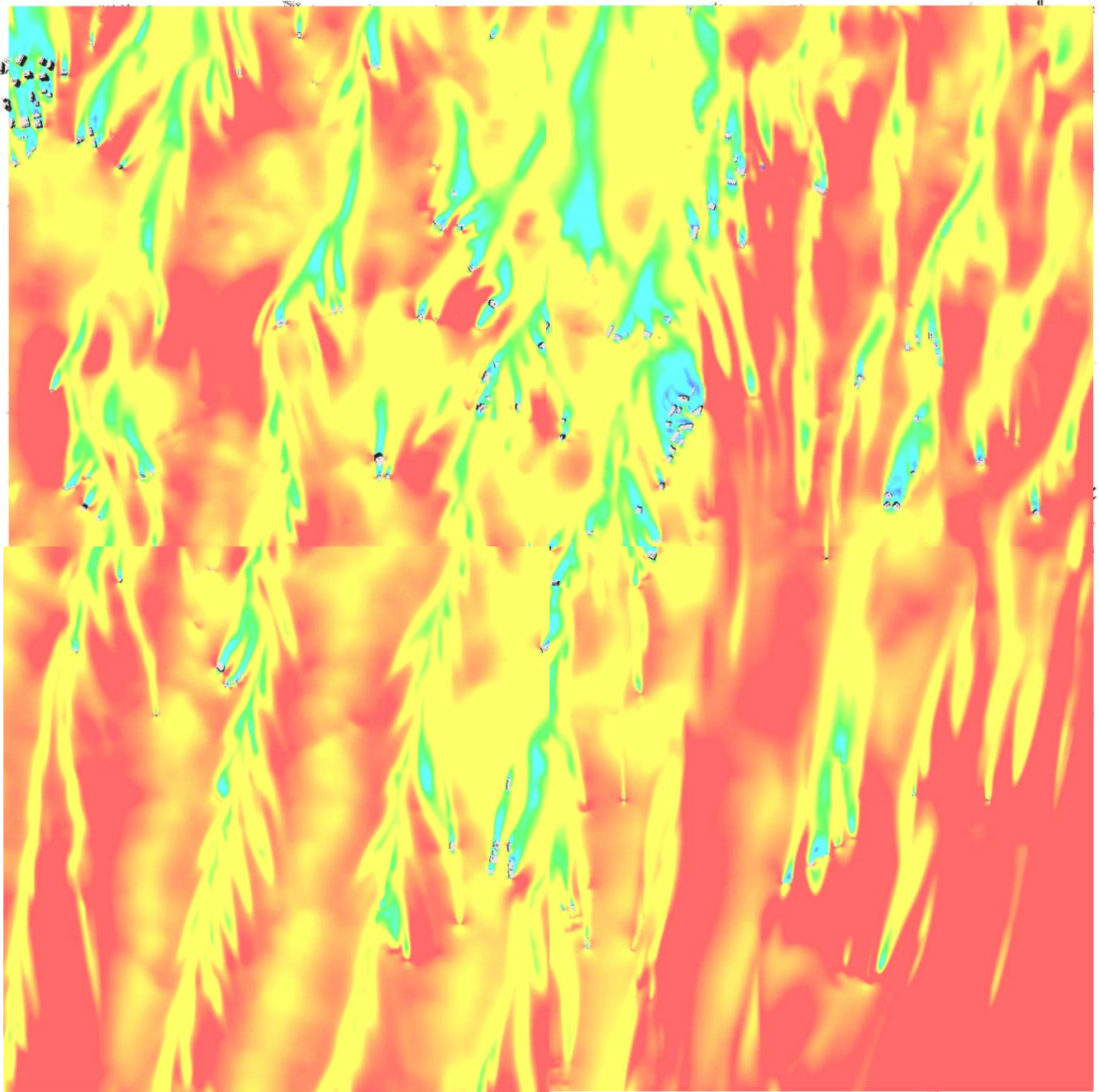
(a) 標高 34.7m

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



(b) 標高 65.1m

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 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

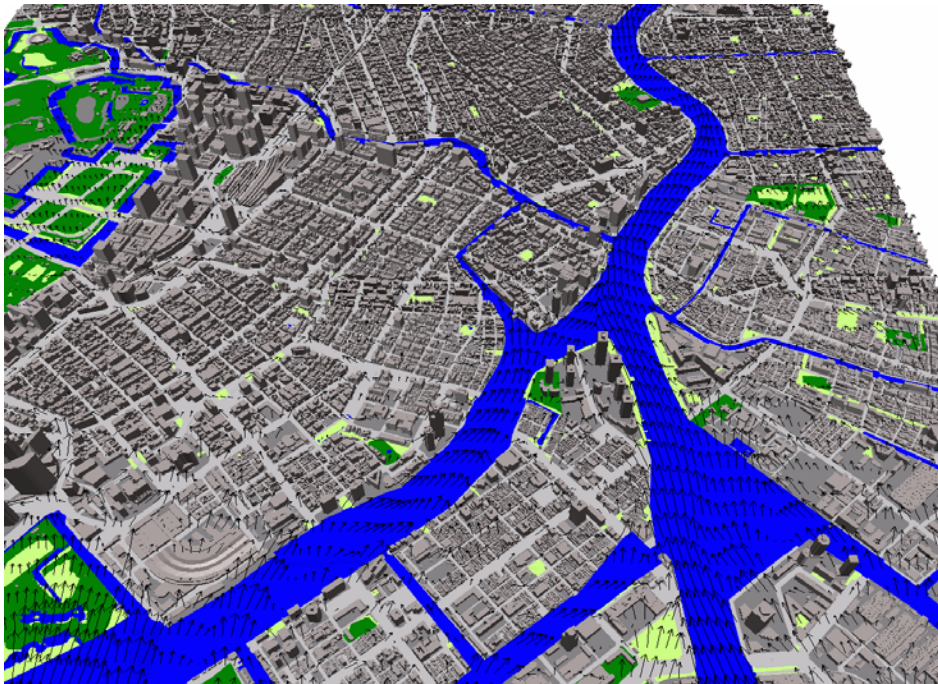


(c) 標高 112.6m

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 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

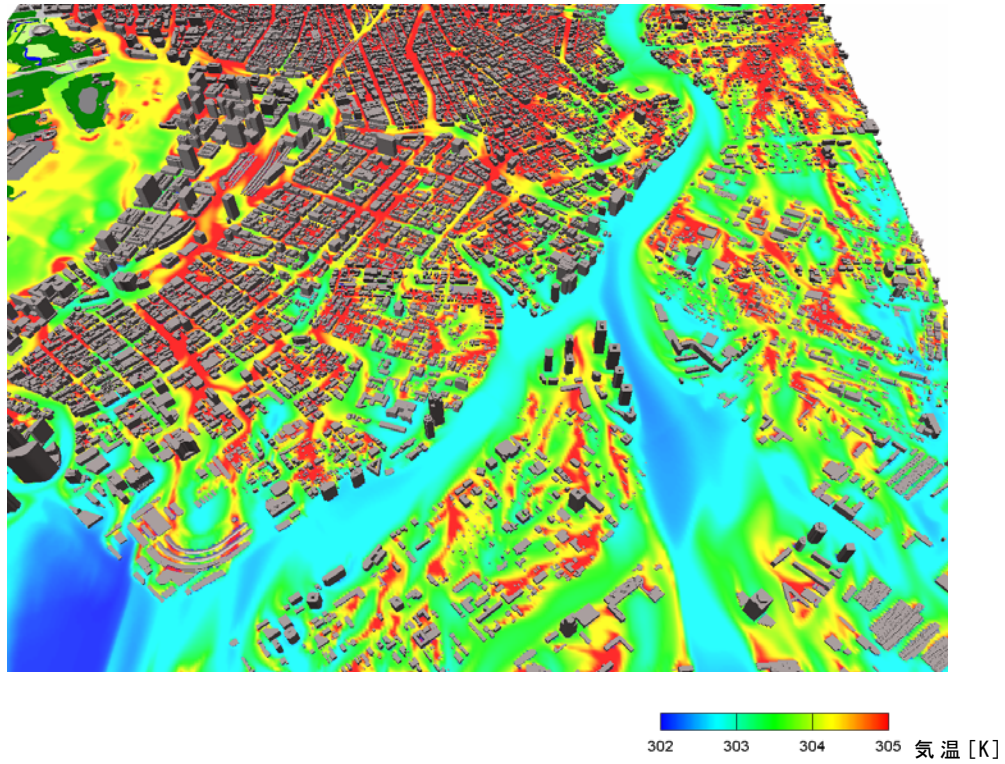


(a) 土地利用



(b) 風速 (標高 11.0m)

図 7 9 隅田川
2005 年 7 月 31 日 14 時

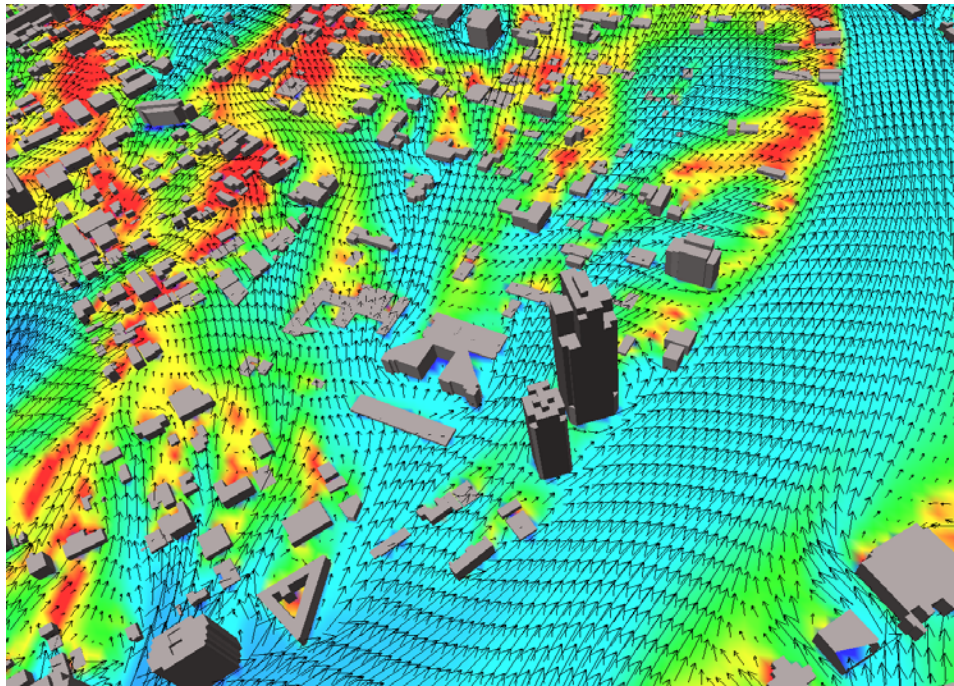


(c) 気温 (標高 11.0m)



(d) 土地利用その2

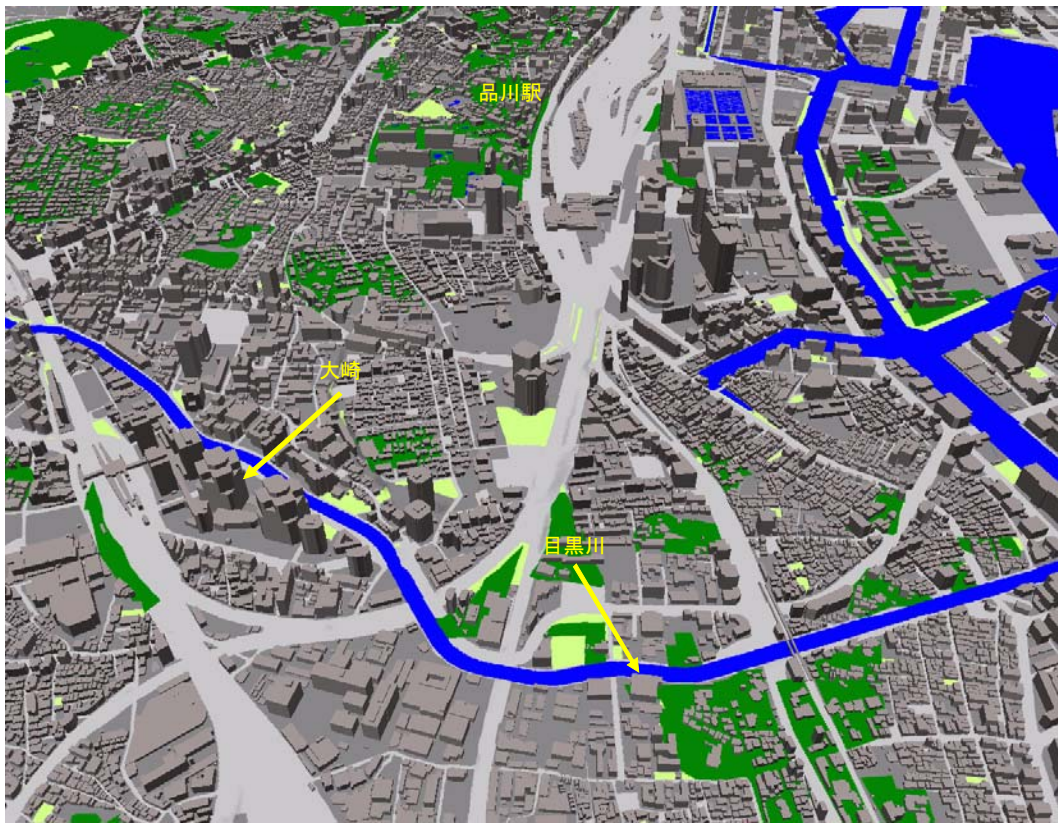
図 7 9 隅田川 続き
2005年7月31日14時



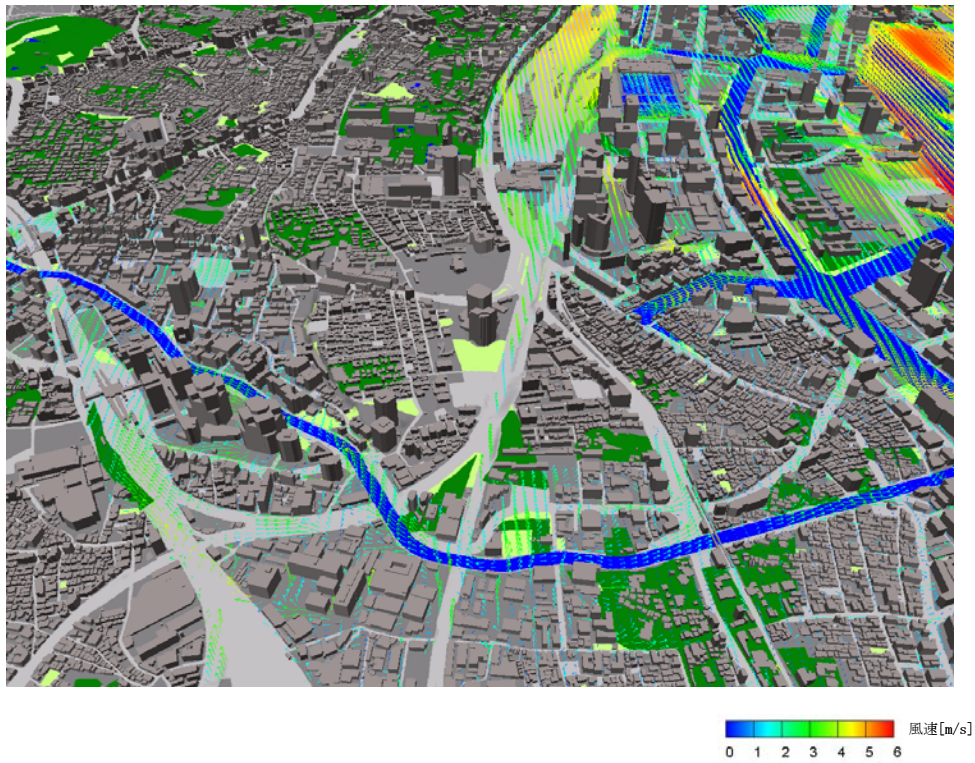
302 303 304 305 気温 [k]

(e) 気温 (標高 21.5m) ・ 風速 (標高 23.2m)

図 7 9 隅田川 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

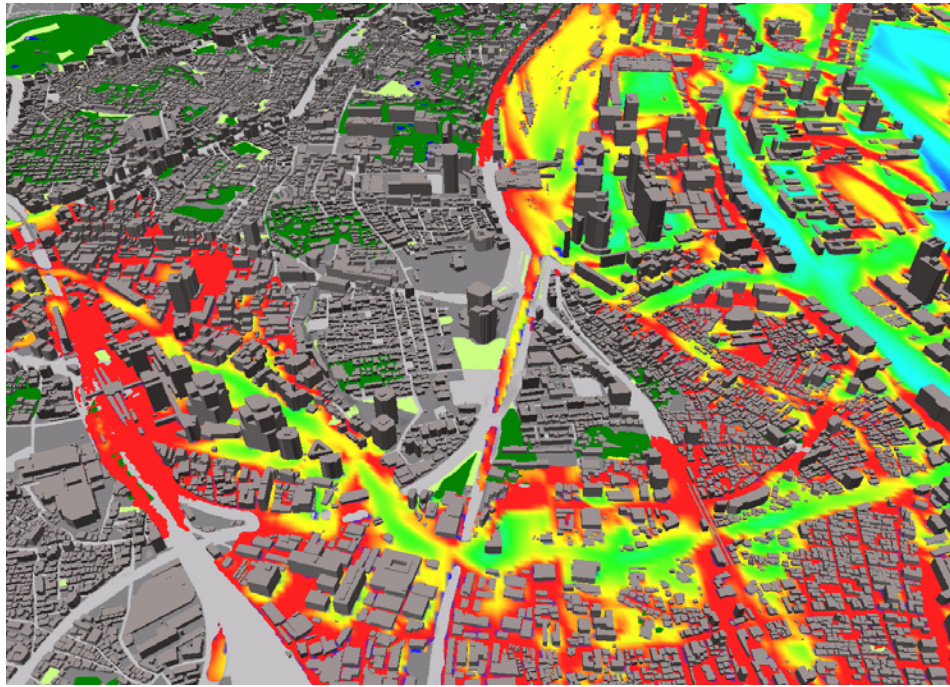


(a) 土地利用



(b) 風速 (標高 3.6m)

図 8 0 目黒川
2005 年 7 月 31 日 14 時



302 303 304 305 気温 [k]

(c) 気温 (標高 3.6m)

図 8 0 目黒川 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



(a) 土地利用

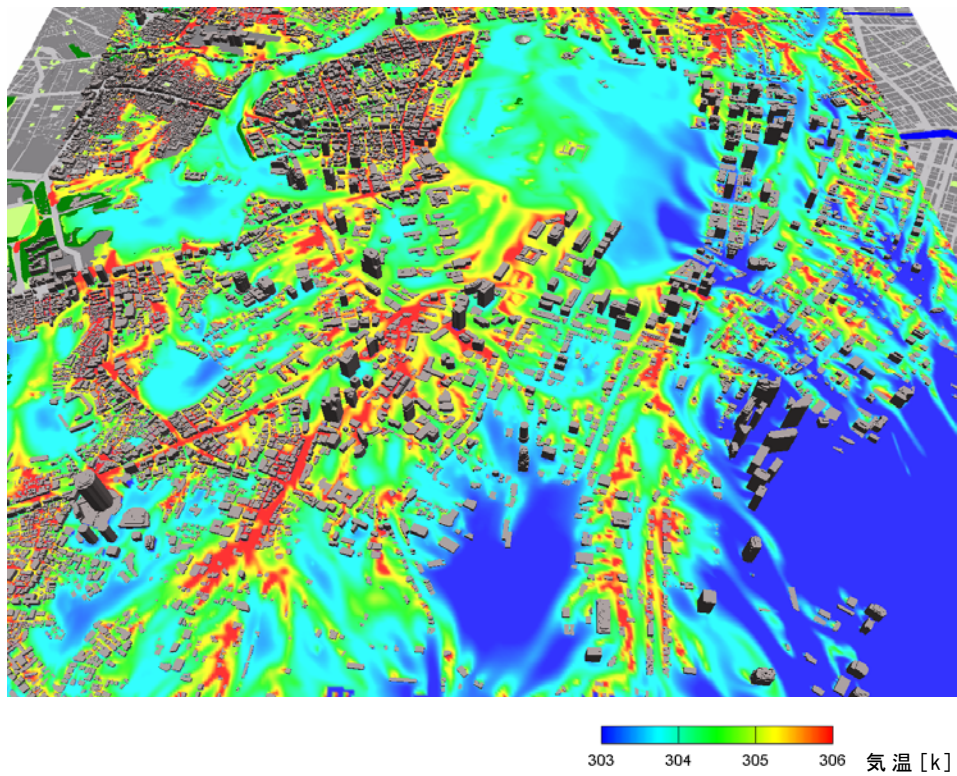


0 1 2 3 風速 [m/s]

(b) 風速 (標高 30.6m)

図 8 1 皇居

2005 年 7 月 31 日 14 時

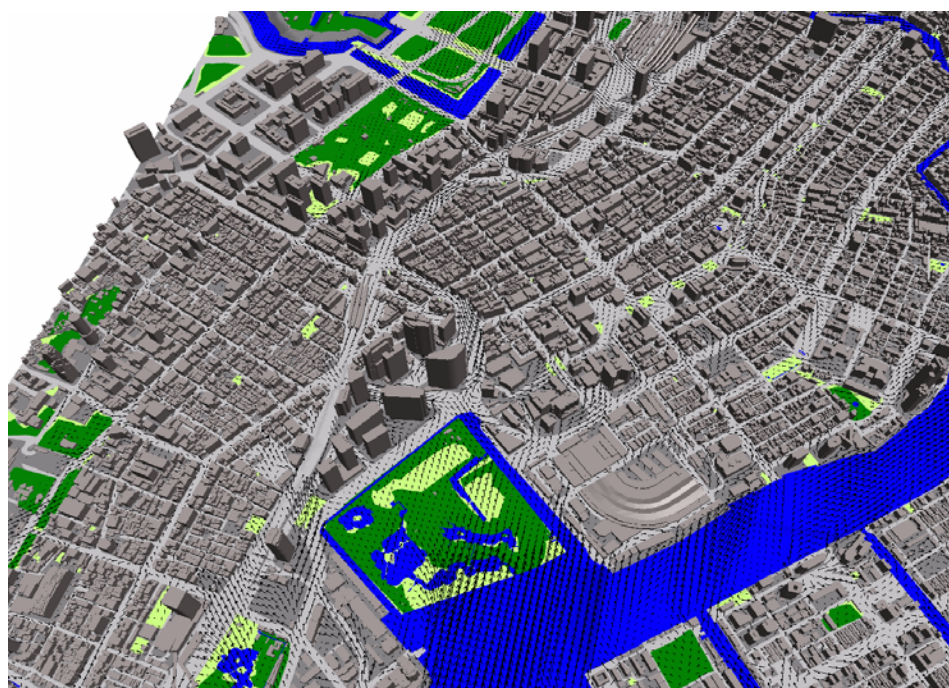


(c) 気温 (標高 30.6m)

図 8 1 皇居 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

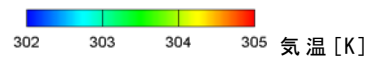
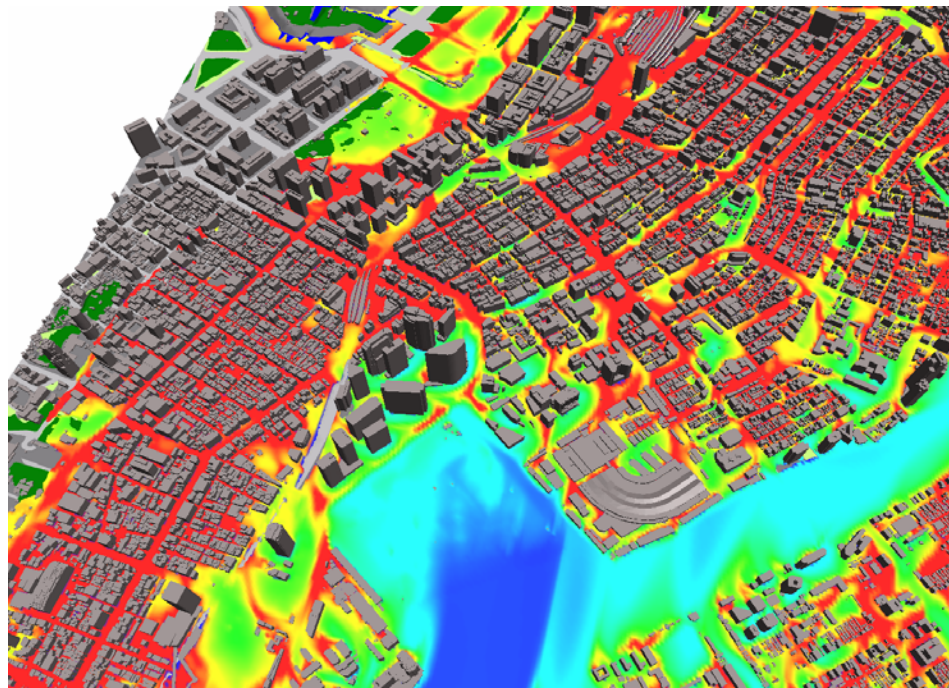


(a) 土地利用

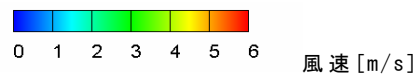
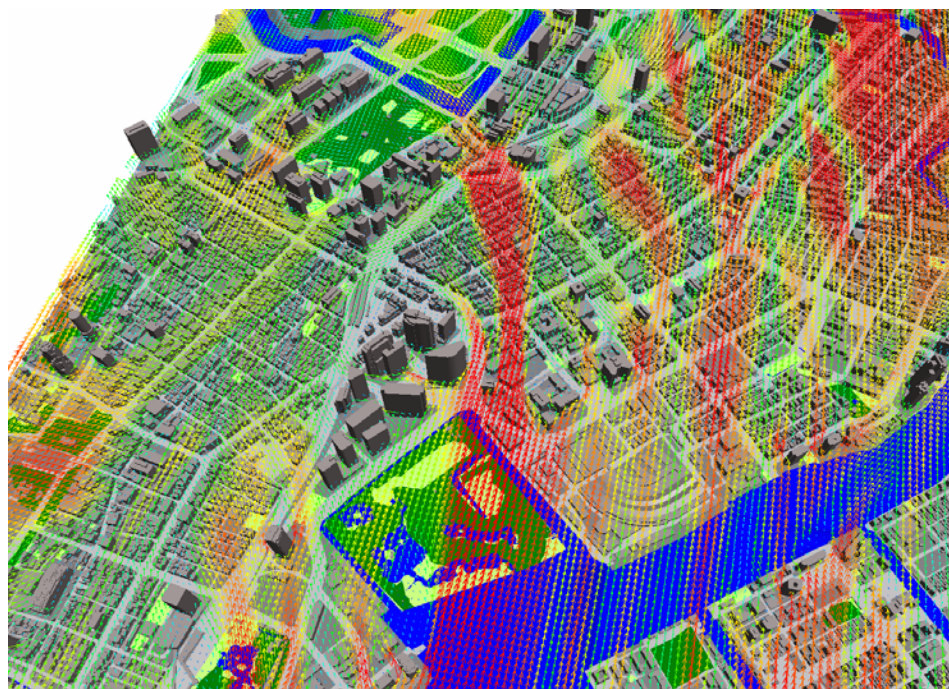


(b) 風速 (標高 3.6m)

図 8 2 汐留・有楽町
2005 年 7 月 31 日 14 時

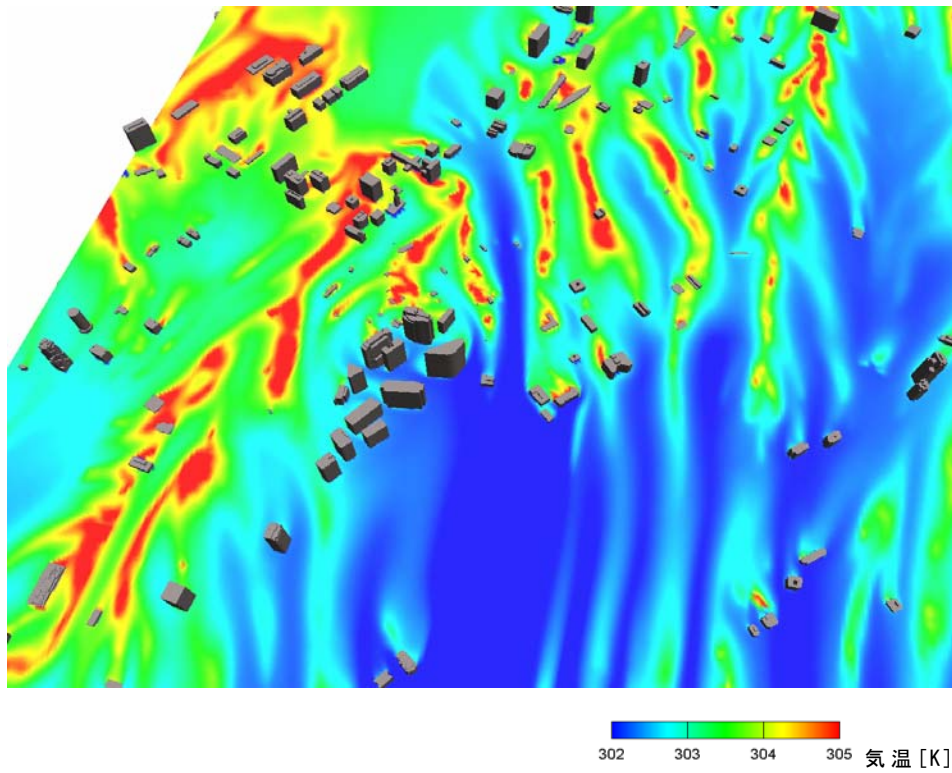


(c) 気温 (標高 3.6m)



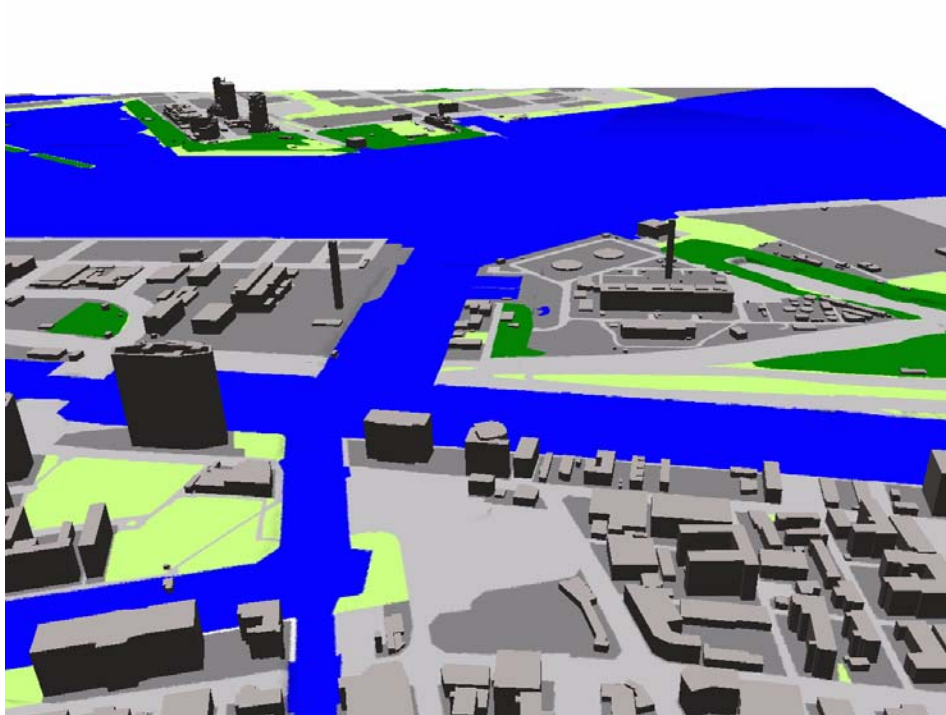
(d) 風速 (標高 48.5m)

図 8 2 汐留・有楽町 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

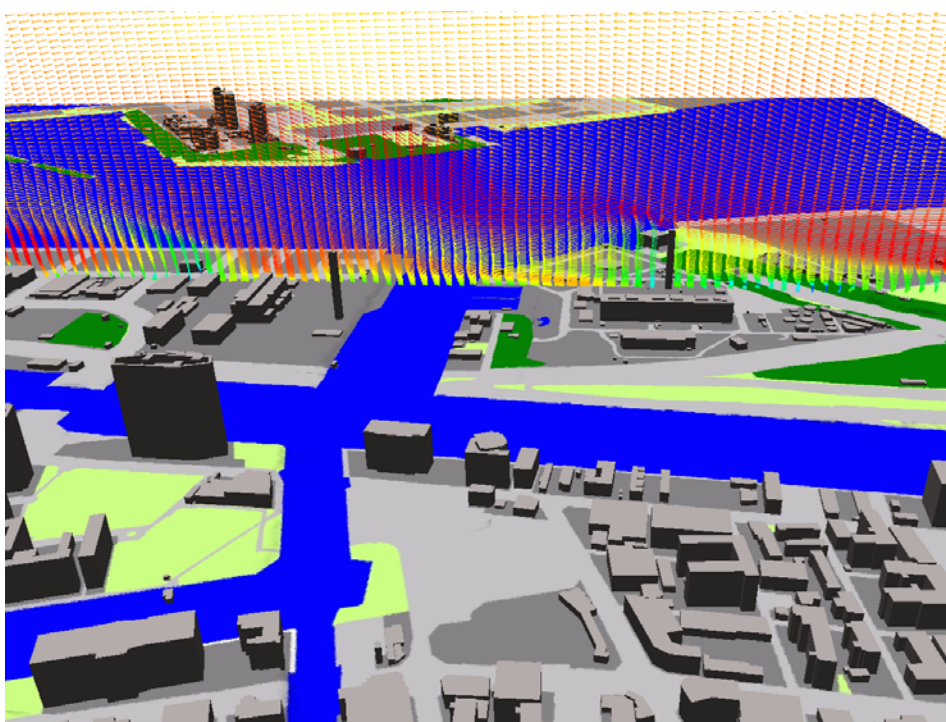


(e) 気温 (標高 48.5m)

図 8 2 汐留・有楽町 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

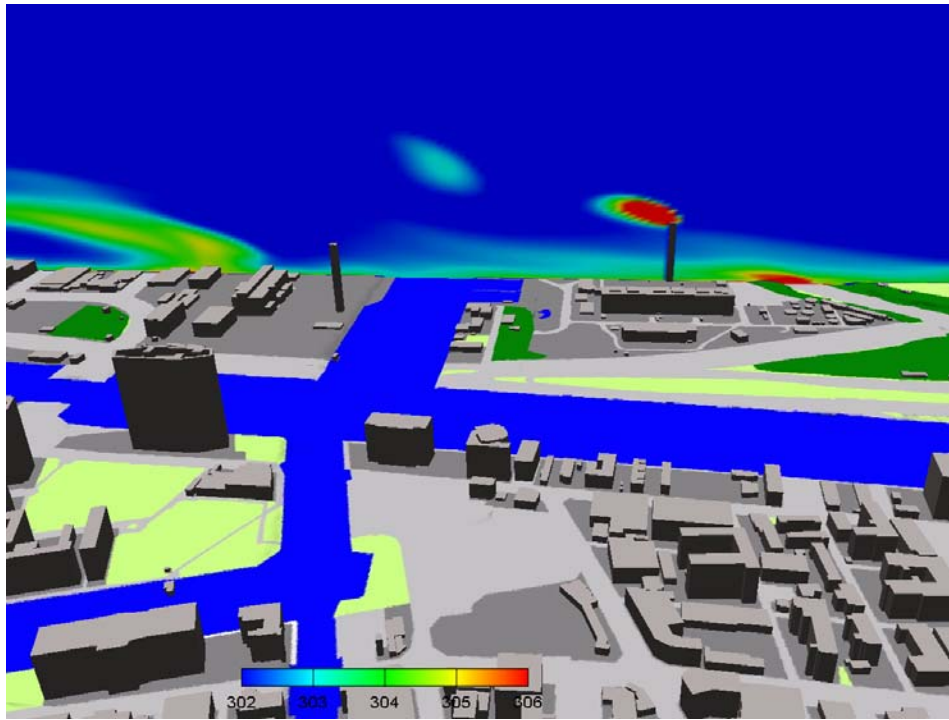


(a) 土地利用



(b) 風速

図 8 3 臨海部のライフライン施設
2005 年 7 月 31 日 14 時

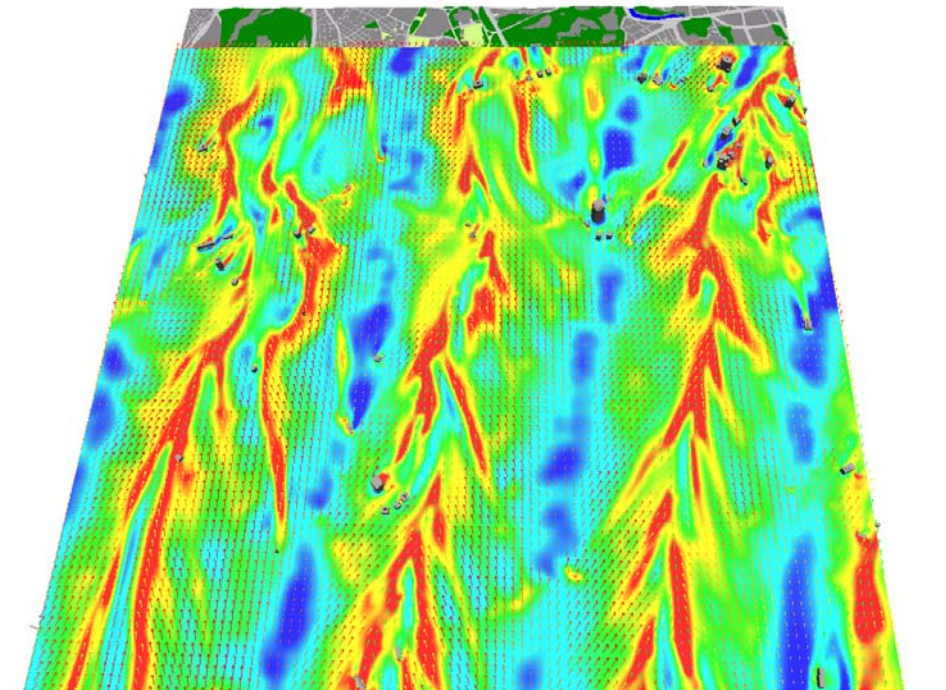


(c) 気温

図 8 3 臨海部のライフライン施設 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



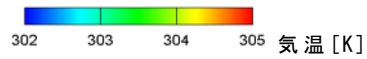
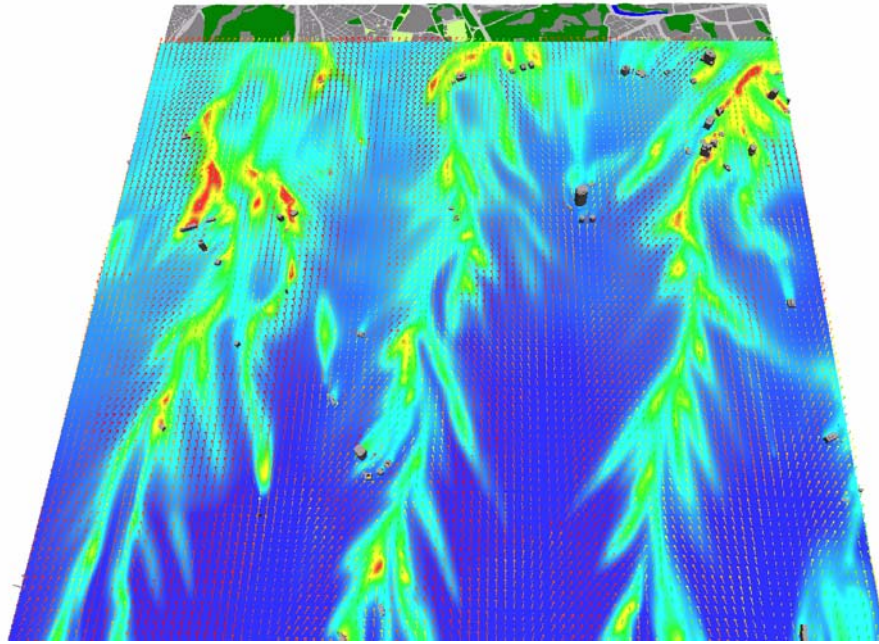
(a) 土地利用



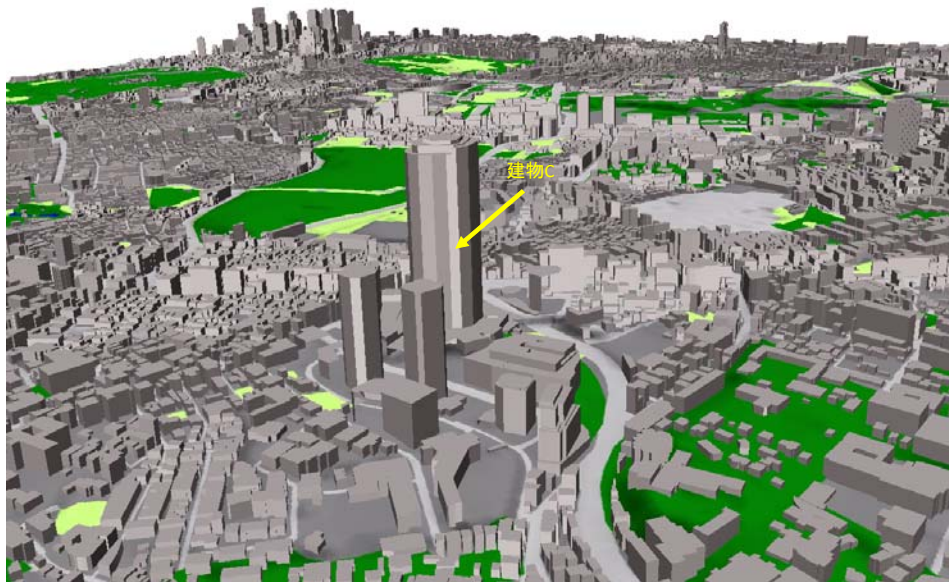
-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 鉛直風速 [m/s]

(b) 風速ベクトル (u, v) (標高 92.3m) ・ 鉛直風速 (標高 88.6m)

図 8 4 赤坂・六本木・恵比寿
2005年7月31日14時

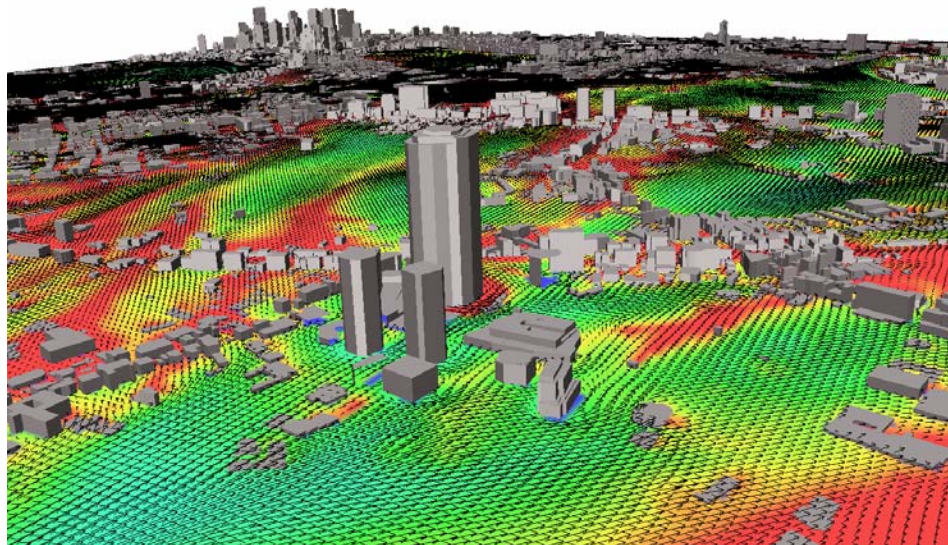


(c) 風速ベクトル (u, v) (標高 92.3m) ・ 気温 (標高 88.6m)



(d) 土地利用その 2

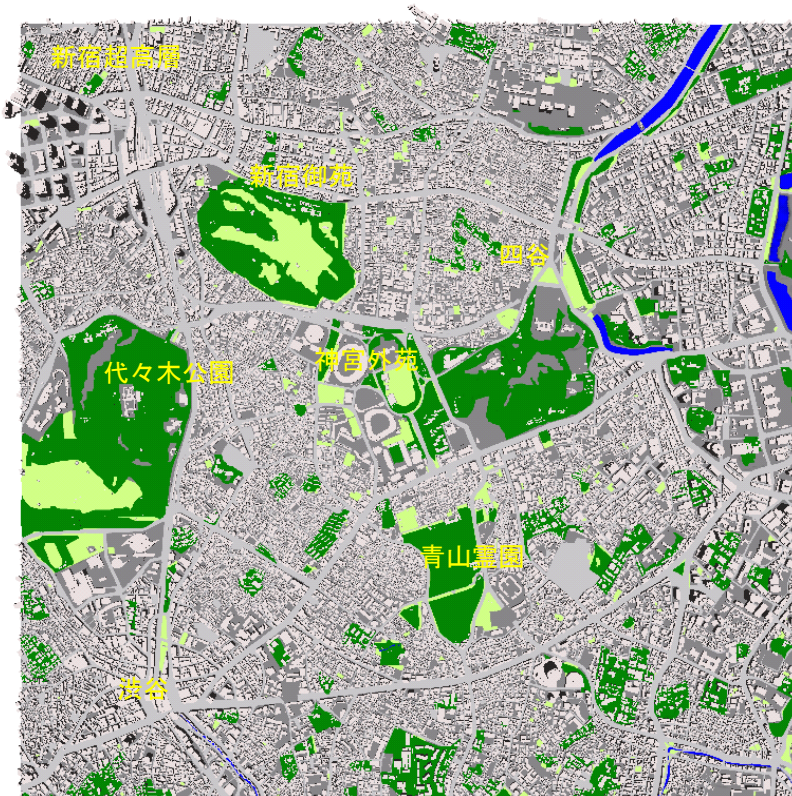
図 8 4 赤坂・六本木・恵比寿 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



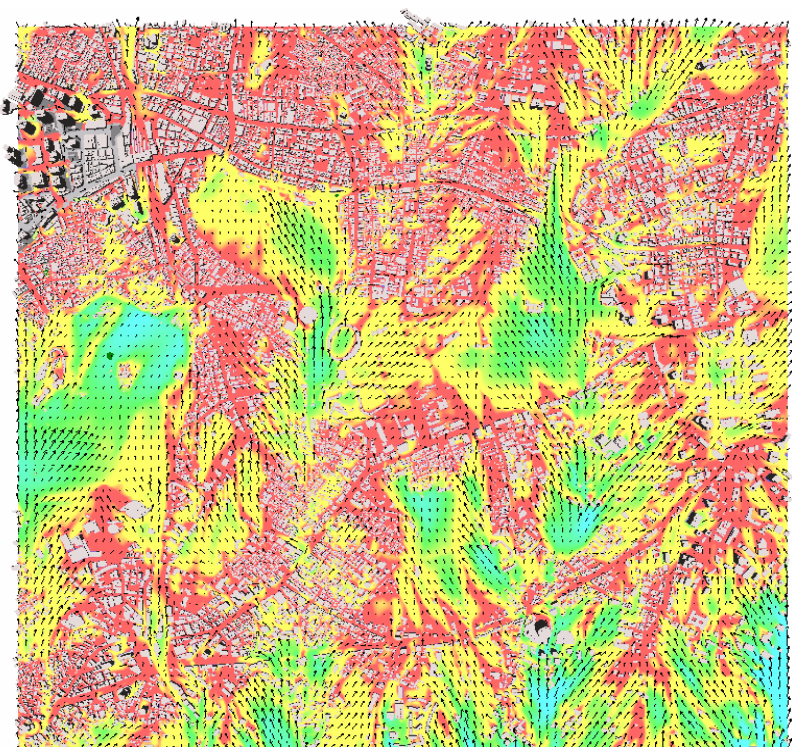
302 303 304 305 気温 [K]

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

図 8 4 赤坂・六本木・恵比寿 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



(a) 土地利用



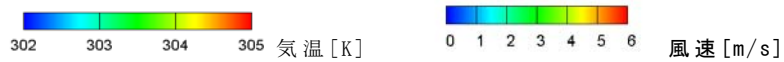
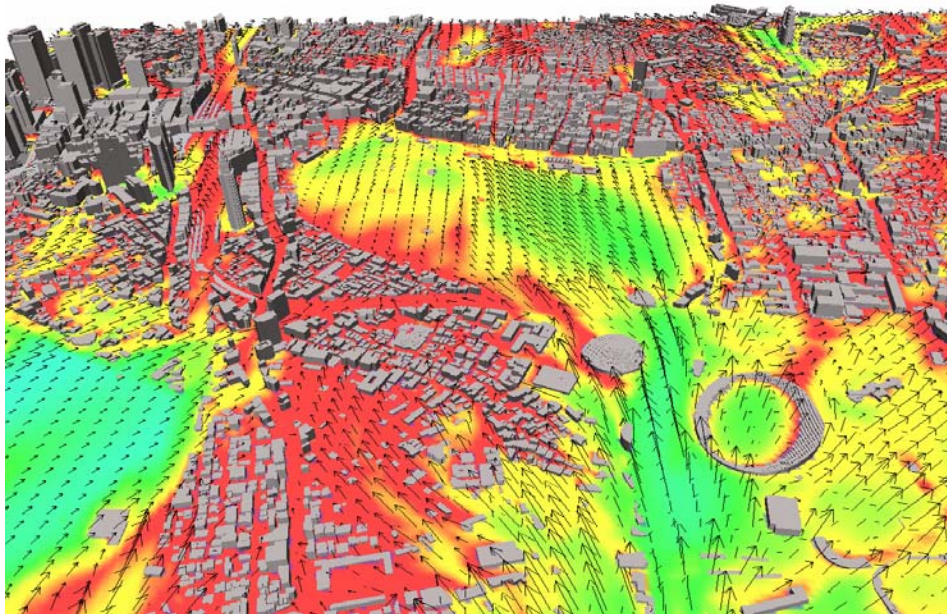
302 303 304 305 気温 [K]

(b) 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

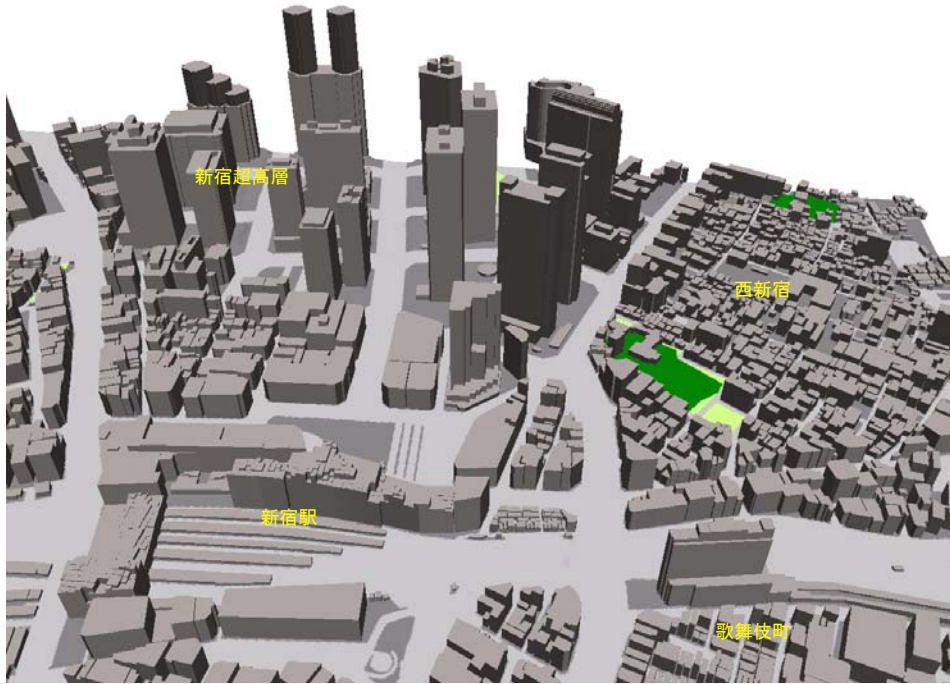


(c) 土地利用 2

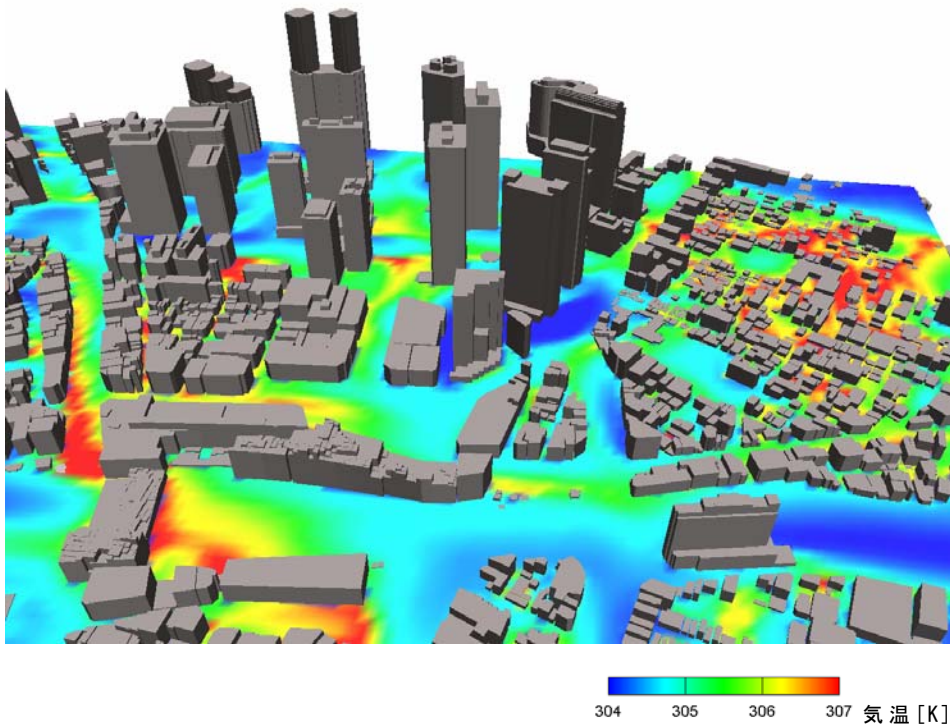


(d) 風速ベクトル (u, v) (標高 39.0m)・気温 (標高 36.8m)

図 8 5 新宿・渋谷・四谷 続き
2005年7月31日14時

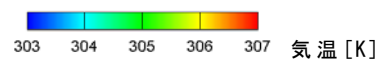
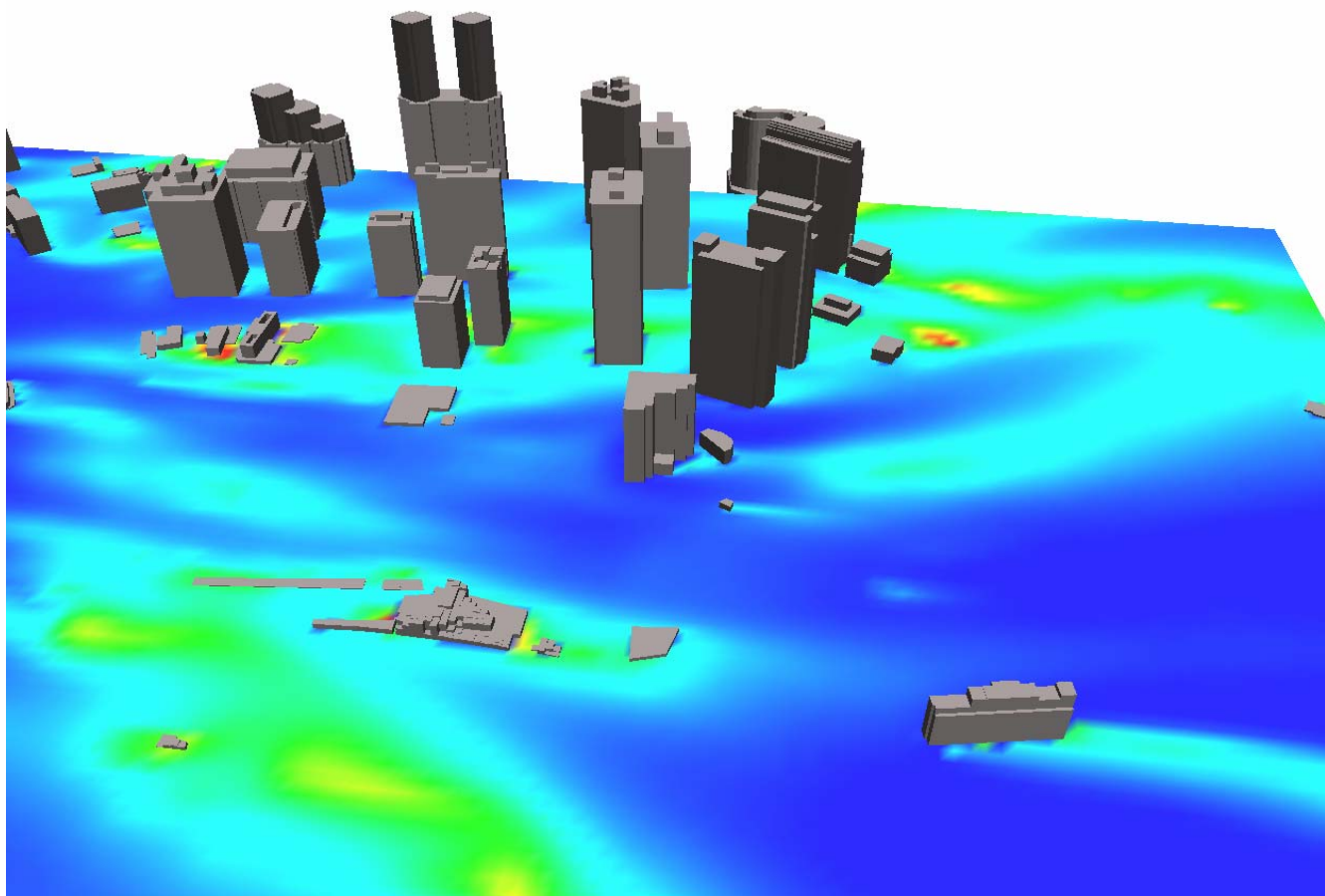


(e) 土地利用 3



(f) 気温 (標高 41.3m)

図 8 5 新宿・渋谷・四谷 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時



(g) 気温 (標高 77.9m)

図 8 5 新宿・渋谷・四谷 続き
2005 年 7 月 31 日 14 時

表 3 6 主成分分析による成分行列

主成分	1	2	3	4	5
気温 (地上10m)	0.8566	-0.3716	0.0951	-0.0258	-0.0296
スカラー風速 (地上10m)	-0.9222	0.2019	-0.0476	0.0169	-0.0425
気温 (地上100m)	0.7346	-0.4140	0.1934	-0.1499	-0.0170
スカラー風速 (地上100m)	-0.7602	0.2759	-0.2221	0.1590	0.0080
標高	0.3603	-0.4462	0.0062	-0.1580	0.2628
建ぺい率	0.8210	-0.1962	-0.2801	0.3429	0.0573
草地面積率	-0.0446	-0.2511	0.5044	-0.5882	-0.0497
水面面積率	-0.7931	0.3583	-0.0958	0.0376	0.0329
樹木面積率	0.1282	-0.3098	0.2863	-0.4499	0.2150
建物高さ	0.6882	0.4433	0.2064	-0.0669	0.0516
オフィス床面積	0.5254	0.6829	-0.0010	-0.1615	0.1310
学校床面積	0.3983	0.0188	-0.0943	0.0750	0.3111
商業床面積	0.4313	0.3422	-0.1788	0.0167	0.1485
ホテル床面積	0.2702	0.4360	0.0289	-0.1722	0.2392
一戸建て住宅床面積	0.4757	-0.5777	-0.3033	0.2862	0.0124
集合住宅床面積	0.6182	-0.0996	-0.2824	0.3187	-0.0275
その他用途床面積	0.2642	0.0849	-0.0770	0.0836	0.3232
排熱対象外床面積	0.0648	0.2213	0.3554	0.2389	-0.1681
建物排熱 (顕熱)	0.7004	0.5686	-0.1380	-0.0213	0.1478
建物排熱 (潜熱)	0.4043	0.6623	0.0004	-0.2130	0.2640
工場排熱 (顕熱)	0.0461	0.1091	0.6734	0.5557	0.1289
工場排熱 (潜熱)	0.0233	0.0860	0.6577	0.5269	0.1160
自動車排熱 (顕熱)	0.5987	0.2904	0.0244	-0.0515	-0.6542
自動車排熱 (潜熱)	0.5828	0.2896	0.0312	-0.0534	-0.6663
固有値	7.357	3.271	1.817	1.692	1.448
累積寄与率[%]	30.7	44.3	51.9	58.9	64.9

表 3 7 類型毎のクラスター中心

	類型 I	類型 II	類型 III	類型 IV	類型 V	類型 VI
第1主成分得点	2.22715	0.23511	-0.05368	0.46807	-0.21228	-1.60617
第2主成分得点	3.43060	0.78479	-0.52247	-0.26647	2.33531	0.76730
第3主成分得点	-0.08655	4.30356	0.79634	-0.36192	17.73289	-0.29621
第4主成分得点	-1.05411	3.34843	-1.04121	0.41279	14.36207	0.17105
第5主成分得点	1.05533	-0.23183	0.06921	-0.13280	3.01716	0.08423

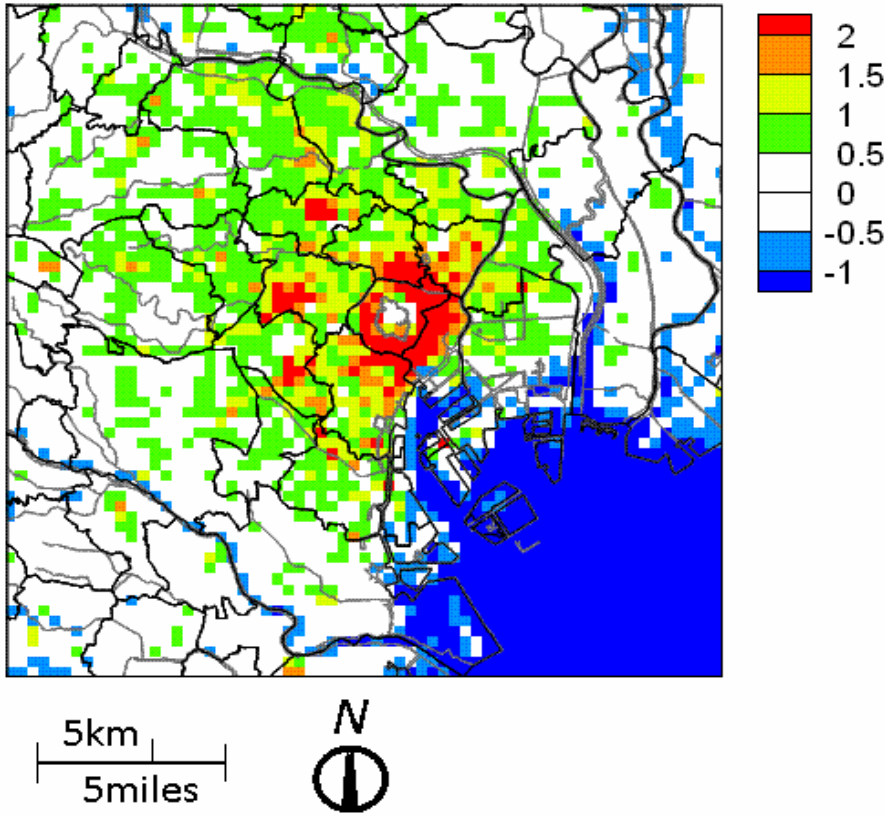


図 8 6 第 1 主成分得点の分布

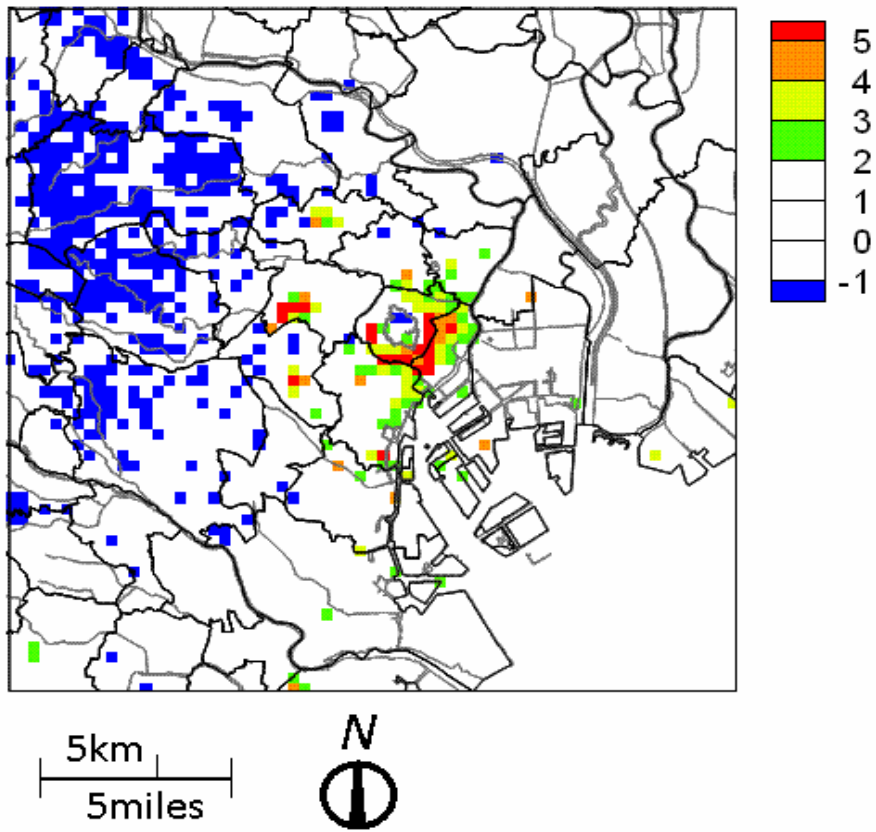


図 8 7 第 2 主成分得点の分布

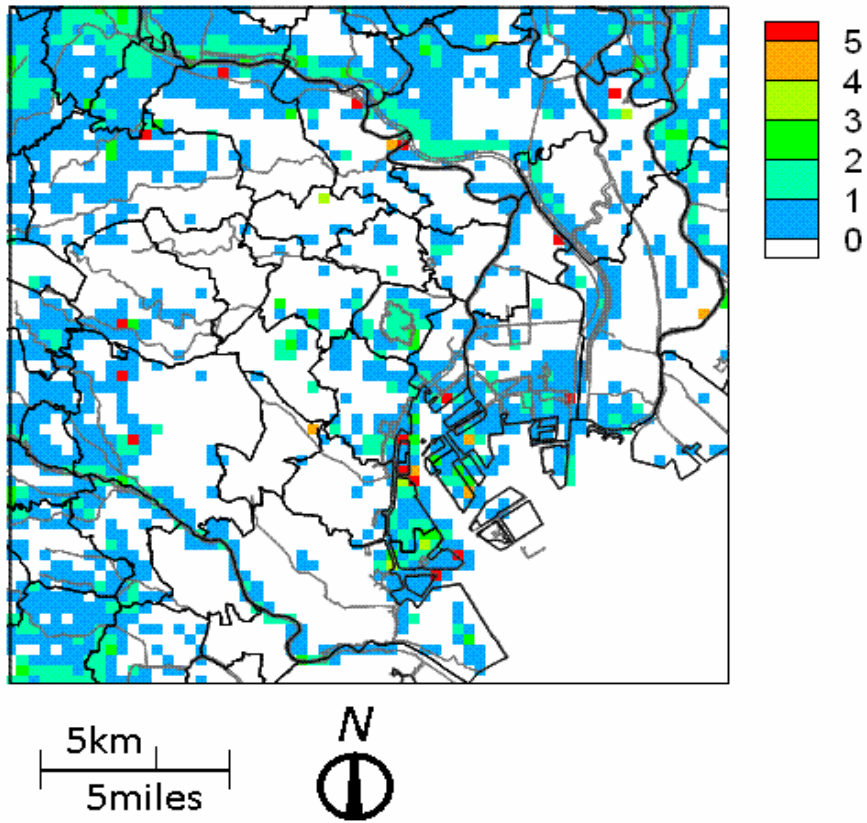


図 8 8 第 3 主成分得点の分布

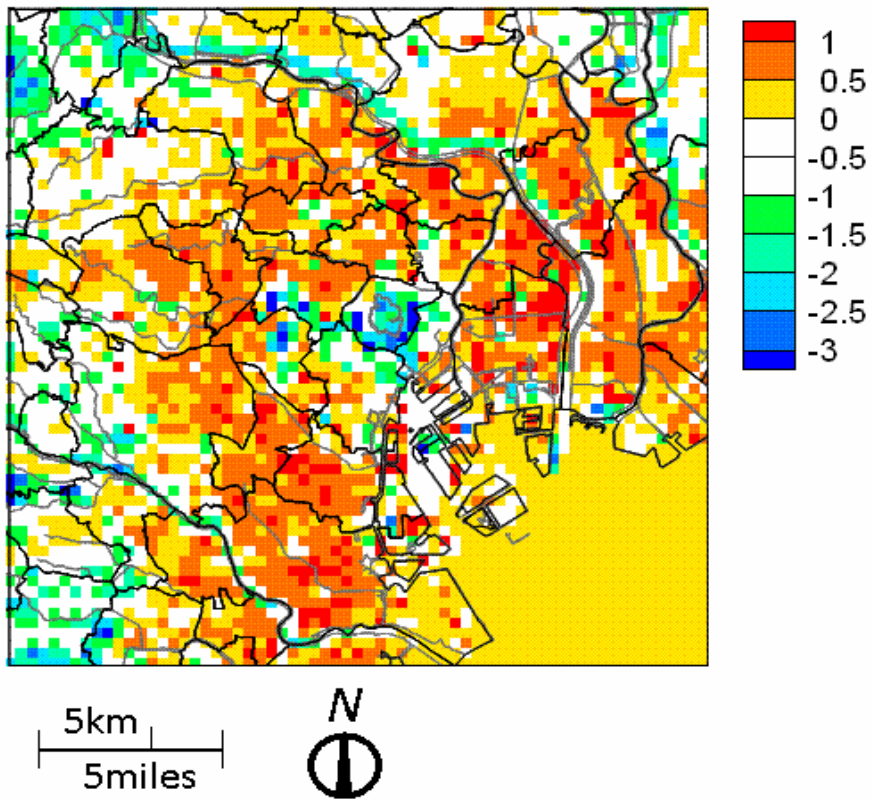


図 8 9 第 4 主成分得点の分布

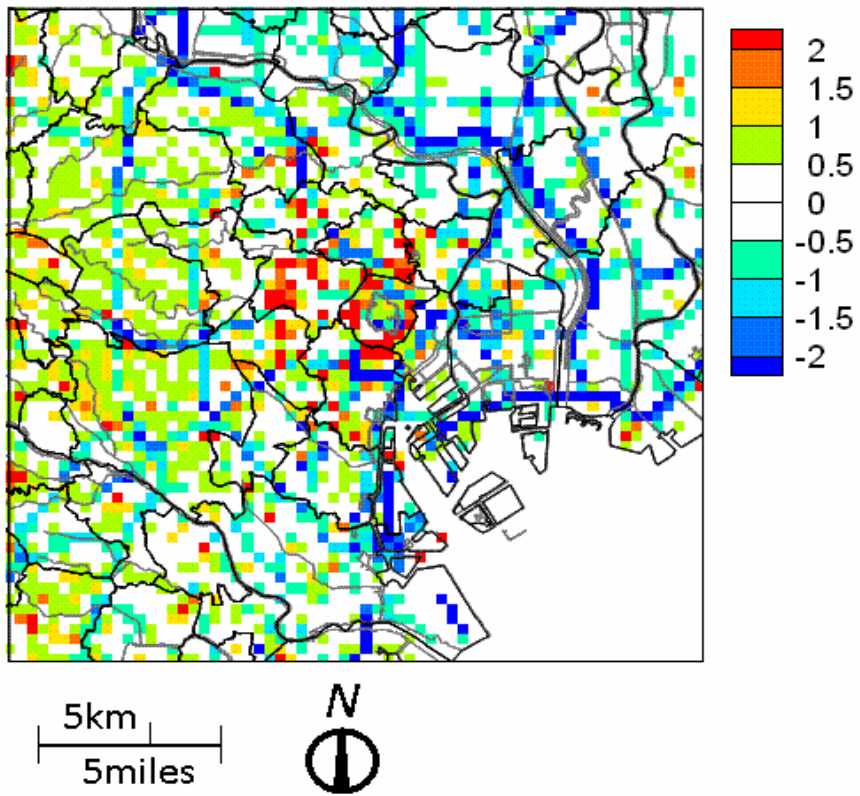


図 9 0 第 5 主成分得点の分布

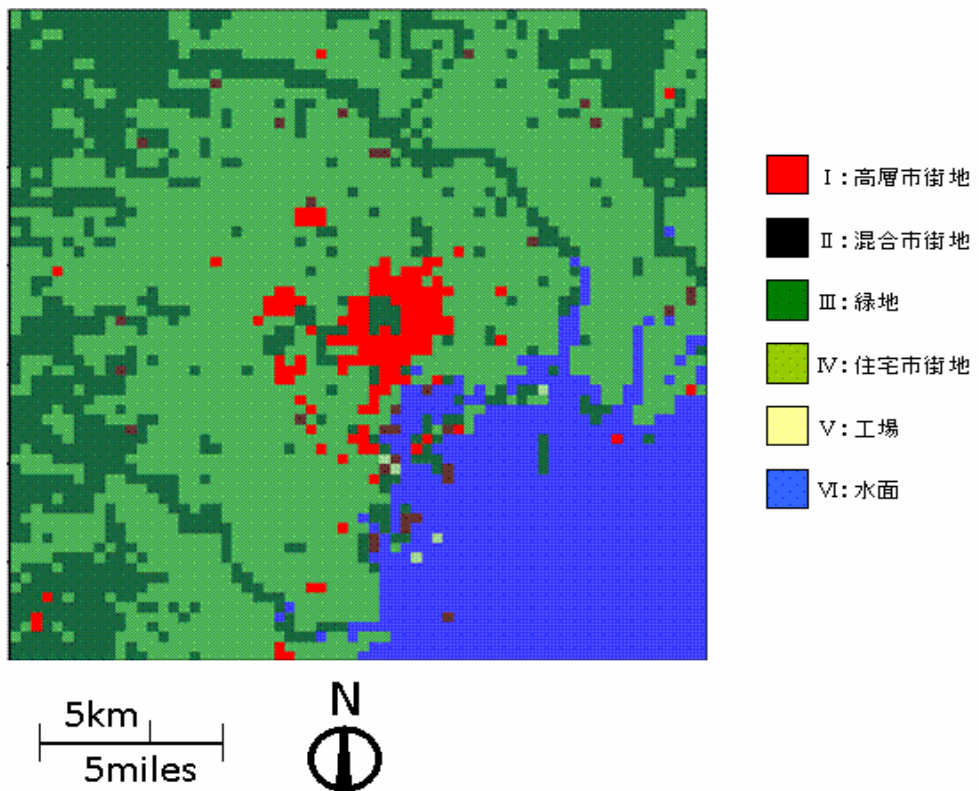
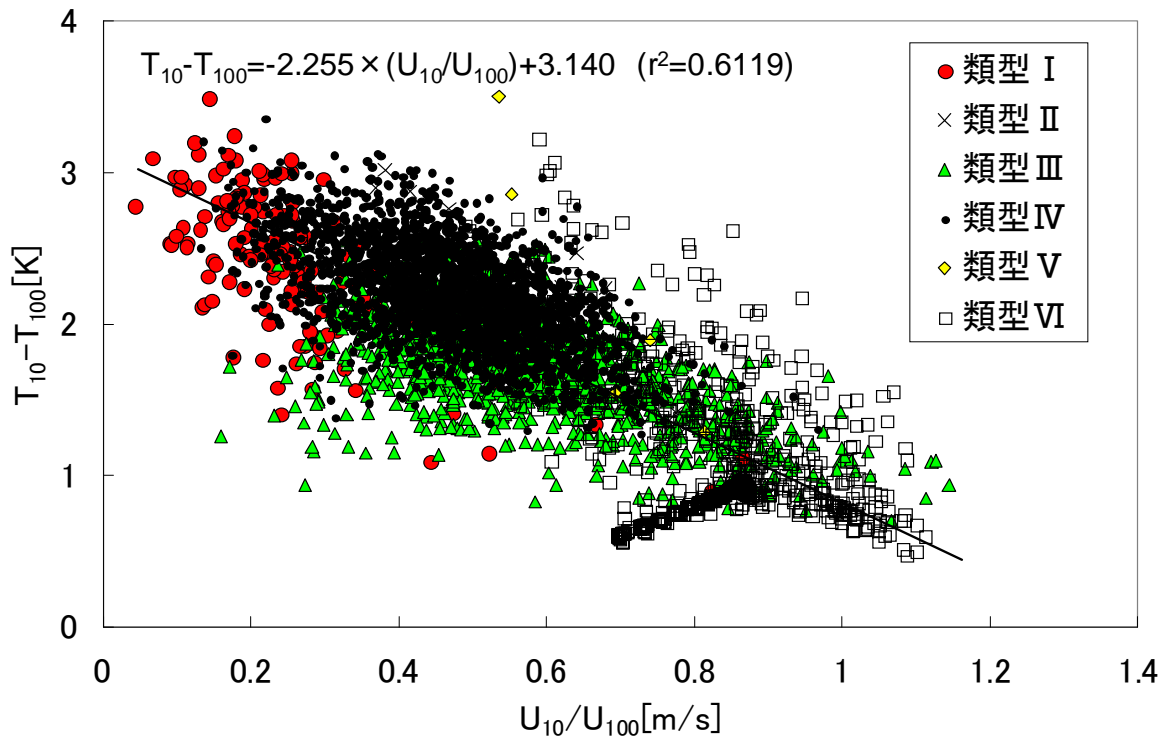
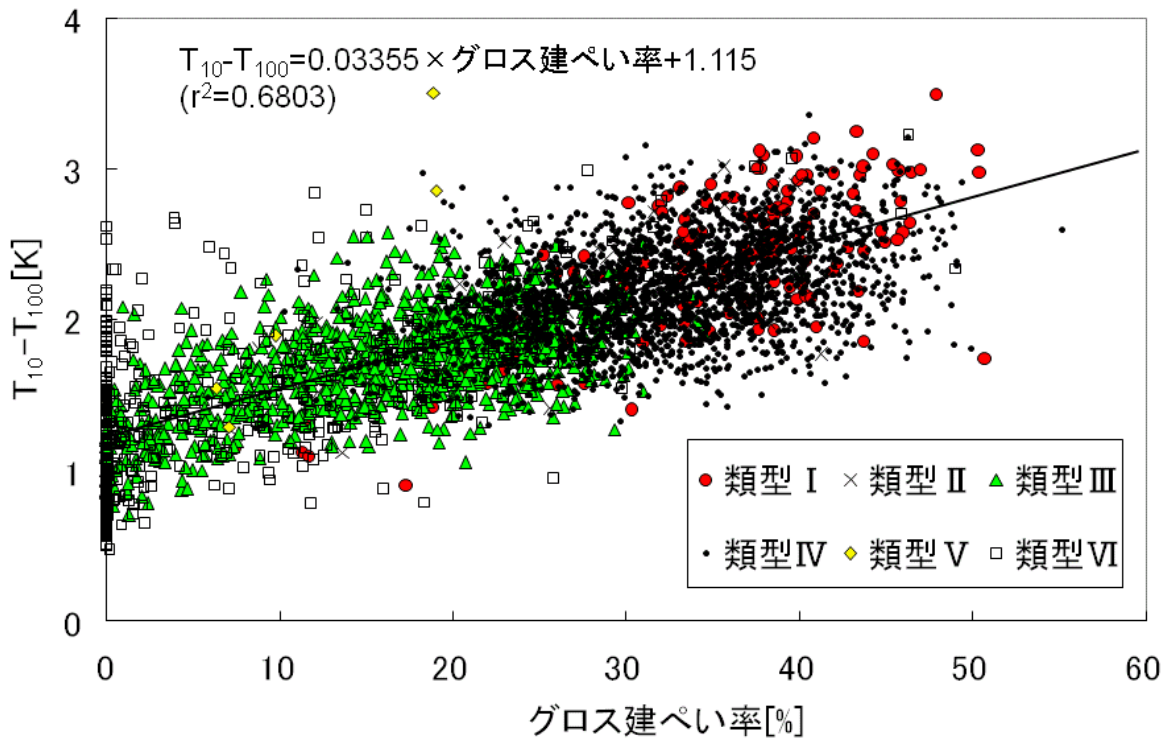


図 9 1 クラスター分析による地域類型



(a) 気温差と風速比



(b) 気温差と建ぺい率

U_{10} : スカラー風速 (地上 10m)、 U_{100} : スカラー風速 (地上 100m)
 T_{10} : 気温 (地上 10m)、 T_{100} : 気温 (地上 100m)

図 9 2 上空と地上付近の気温差

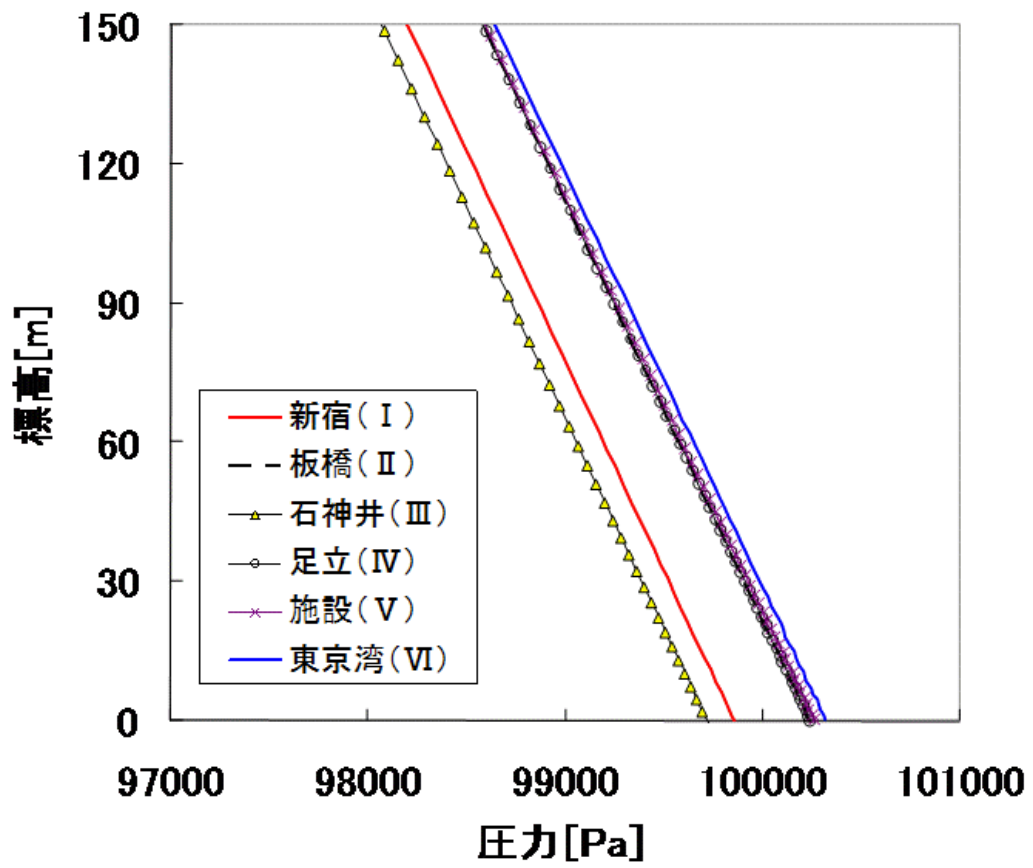


図 9.3 圧力の鉛直分布

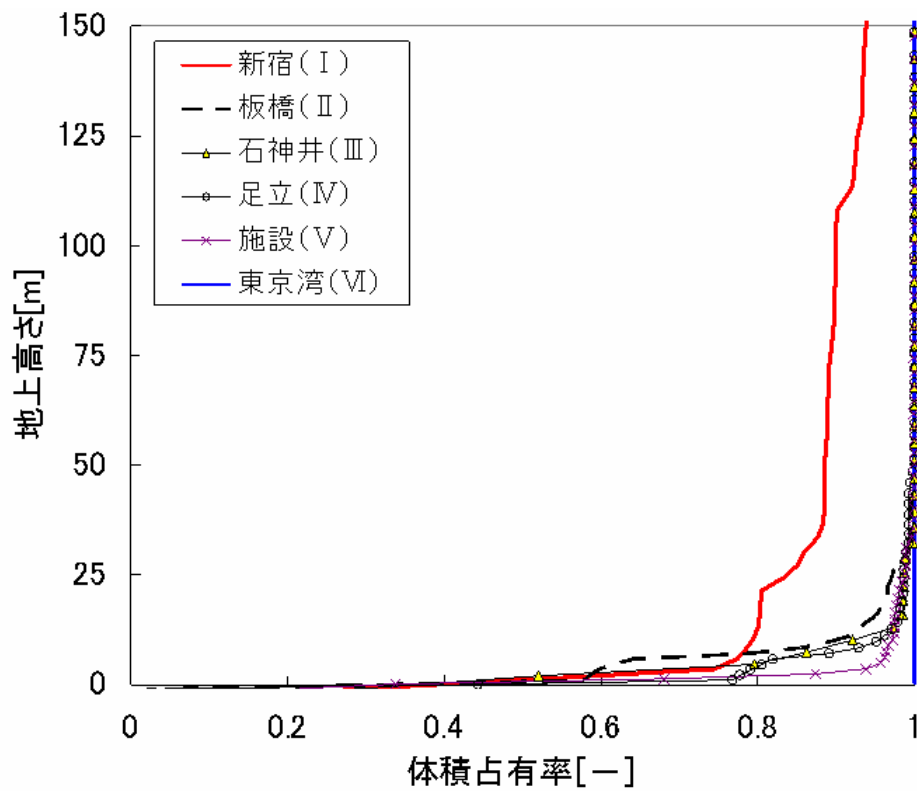


図 9.4 体積占有率の鉛直分布

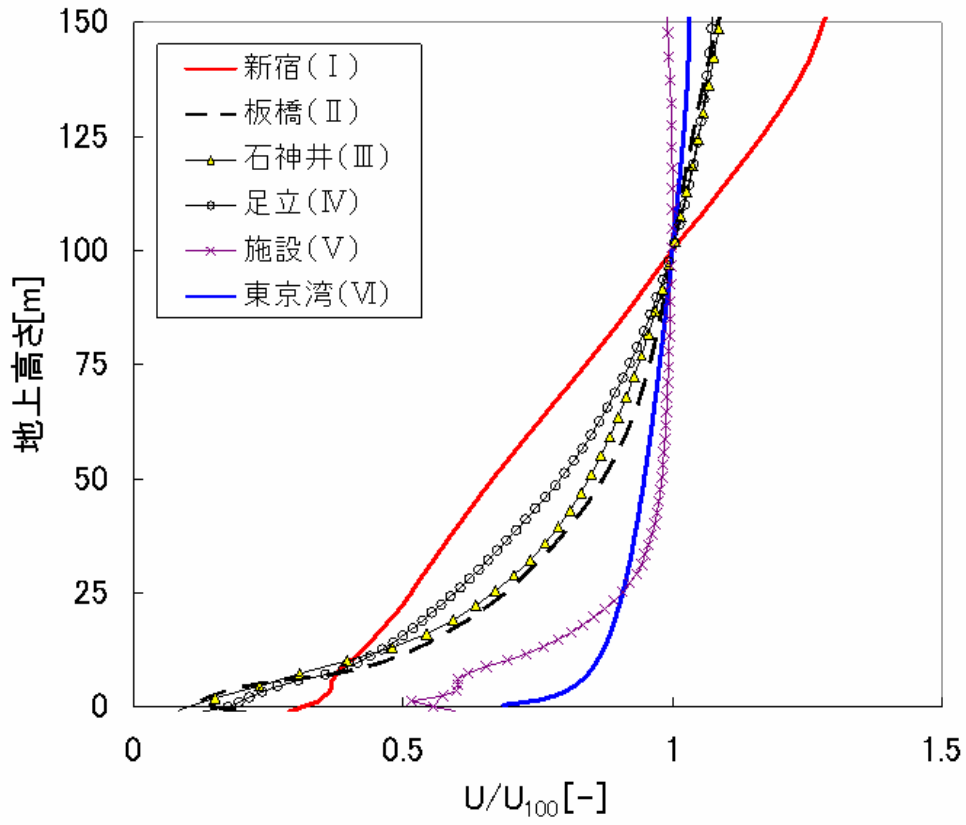


図 9.5 風速比の鉛直分布

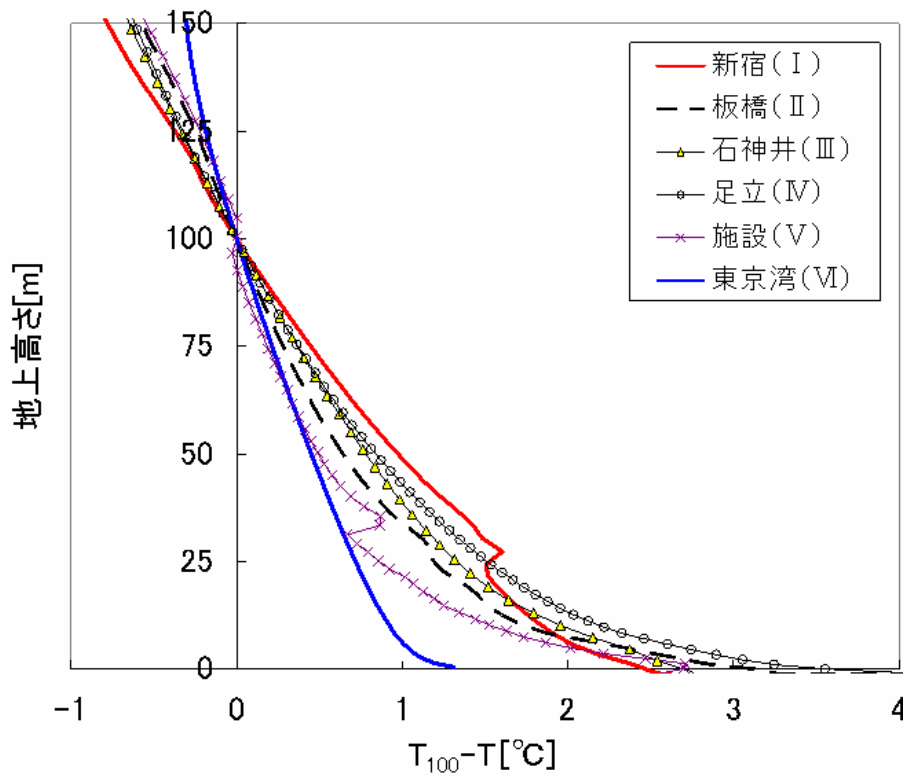


図 9.6 気温差の鉛直分布