

ヒートアイランド監視報告  
(平成16年夏季・関東地方)

平成17年3月  
気象庁

## 目 次

1 . はじめに . . . . .	2
2 . 都市気候モデルの概要 . . . . .	3
3 . 夏季に高温が出現する気象条件 . . . . .	7
4 . 「晴天弱風日」の気温・風分布 . . . . .	8
5 . 2004 年夏季の気温・風分布 . . . . .	8
( 1 ) 晴天弱風日 ( 7 月 8 日 ) . . . . .	8
( 2 ) 晴天北風日 ( 7 月 20 ~ 21 日 ) . . . . .	13
6 . 都市気候モデルによるシミュレーション . . . . .	19
7 . 年平均気温、熱帯夜日数等の経年変化 . . . . .	20
( 1 ) 年平均気温等の経年変化 . . . . .	20
( 2 ) 熱帯夜日数等の経年変化 . . . . .	22
8 . 情報を利用するにあたって . . . . .	24
9 . 今後の計画 . . . . .	24
10 . 参考文献 . . . . .	25

## 1. はじめに

近年、都市化の進展に伴い顕著となりつつあるヒートアイランド現象は、気温の上昇や熱帯夜の増加によって生活上の不快感を増大させ、熱中症等の健康への被害を生じさせている。さらに、光化学オキシダント生成の助長や短時間集中豪雨との関連も指摘されており、その緩和・解決へ向けた対策が急がれている。政府は、平成 15 年度末にヒートアイランド現象に関する国、地方公共団体、住民等の対策や取り組みを推進するため「ヒートアイランド対策大綱」を取りまとめ、基本方針と共に今後実施すべき対策を体系的に示した。しかし、現状では、ヒートアイランド対策を推進する前提としてのヒートアイランド現象の実態や発生メカニズムに関する科学的知見は不十分である。

気象庁では、気象研究所において関東地方のヒートアイランド現象に関する調査研究を進めてきた。平成 16 年度からは、同大綱の枠組みに基づき、都市気候モデルを開発して関東地方におけるヒートアイランド現象の監視体制を強化し、その実態把握やメカニズム解明を目指している。気象庁では、この監視の成果をとりまとめ、ヒートアイランド対策の推進およびヒートアイランド現象に関する調査研究の促進や科学的知見の普及・啓蒙等に寄与することを目的に、「ヒートアイランド監視報告（平成 16 年夏季・関東地方）」としてヒートアイランド対策に関わる行政機関や研究機関等に提供する業務を平成 16 年度に開始した。本報告は、ヒートアイランド対策を講じるうえでの基盤的な情報となるものであり、「気象庁ホームページ」にて公表している。

## 2. 都市気候モデルの概要

ヒートアイランド現象に伴う気温や風の空間分布の把握には、気象台・測候所とアメダスの観測網では粗く、より細かな間隔で現象を捉えるシステムが必要である。このため、気象庁では都市気候モデルを開発し、モデルによるヒートアイランド解析システムを構築した。

都市気候モデルは、土地利用形態や人工排熱の効果を取り入れて気温や風の詳細な分布を再現するモデルで、おおむね関東地方をカバーする 200km×200km の範囲を計算領域としている(図1)。土地利用形態は、国土地理院が公開している国土数値情報(1997年)を基に、都市(建物と道路)・森林・水田・草地・裸地・水面の6カテゴリーに分け、各格子ごとにそれぞれの面積割合を与えている(図2)。人工排熱は、土木研究所作成の時間別データ(妹尾など、2004年)を使用している(図3)。計算領域の境界の気象データは、気象庁のメソ数値予報モデルによる一時間ごとの予測値を用いている。このため、実際の気象条件に基づいて地表の気温分布等を再現できることがこのモデルの特徴となっている。

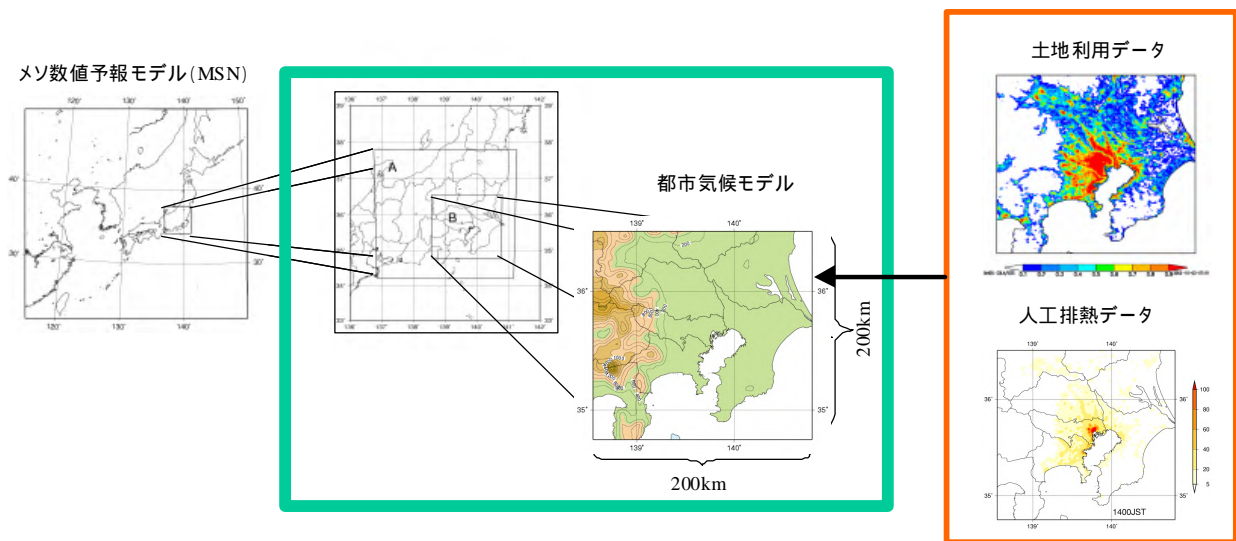


図1 都市気候モデルの計算領域、計算プロセス

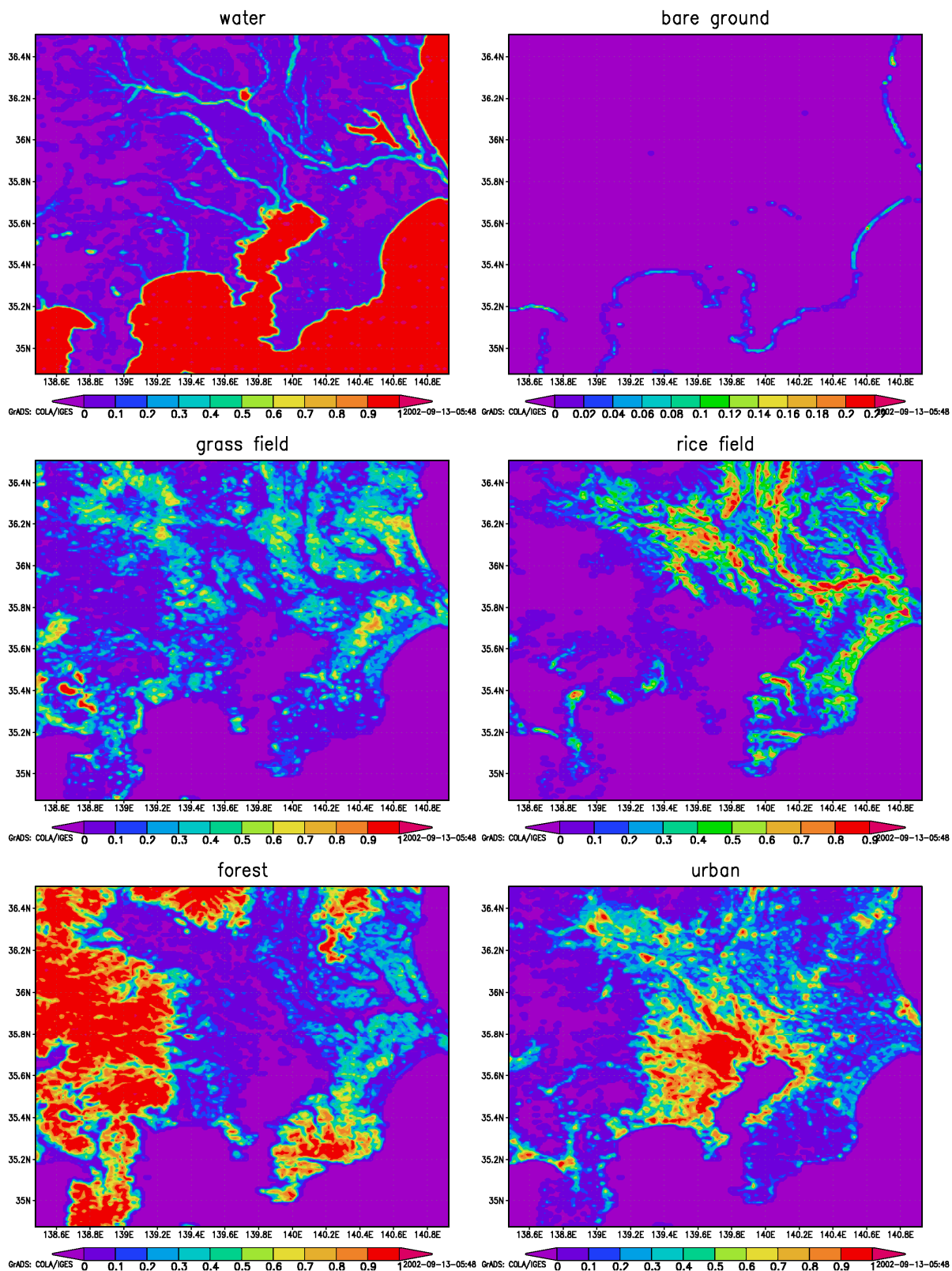


図2 土地利用形態の各カテゴリーごとの面積比率分布

(左上)水面 (右上)裸地 (左中)草地 (右中)水田 (左下)森林 (右下)都市  
 (国土数値情報より気象庁で作図)

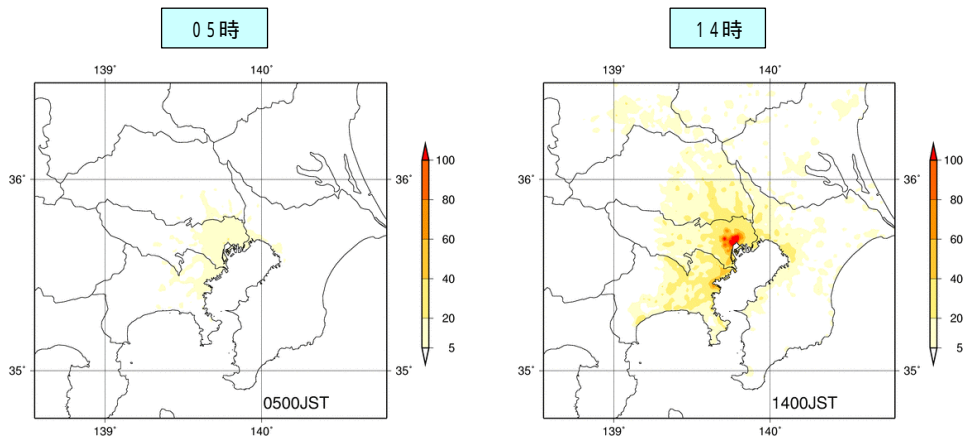


図3 人工排熱分布（単位：W/m<sup>2</sup>）（提供：独立行政法人土木研究所）

これらのデータを都市気候モデルに入力して計算を行い、出力結果をアメダス観測値で補正した後、気温の解析値としている。風は、モデル最下層（およそ標高 15m）での風向風速を示しており、アメダス観測値による補正は行っていない。今回の「ヒートアイランド監視報告」で示す気温・風分布図は、水平解像度（格子間隔）4km の都市気候モデルで得られた解析結果である。

水平解像度 4km の都市気候モデルによる再現精度を見るため、2001～2003 年 7～8 月の「晴天弱風日」（3、4 項参照）における気温の再現性をアメダス観測値と比較した（図 4）。早朝は、都心部で 1 前後、東京湾沿岸部で 0～1 低く、それ以外の地域では 0～2 高くなっている。日中は、東京都とその近辺や茨城県西部で 0～1 高く、その他の地域や房総半島で 0～2 低くなっている。

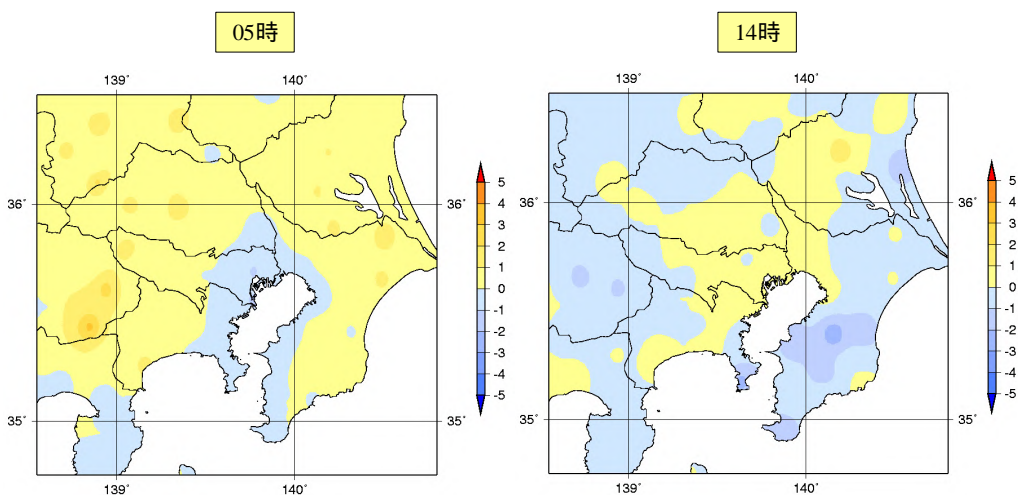


図4 水平解像度 4km の都市気候モデルの再現結果とアメダス観測値との気温差(単位： )  
正（負）の値は再現結果が観測より高い（低い）ことを表す。

水平解像度を1kmに上げた都市気候モデルについても、同様な精度評価を行った(図5)。水平解像度4kmモデルと大筋ではほぼ同じような気温差分布を示し、都市圏スケールで見れば再現精度に差はないことが分かった。

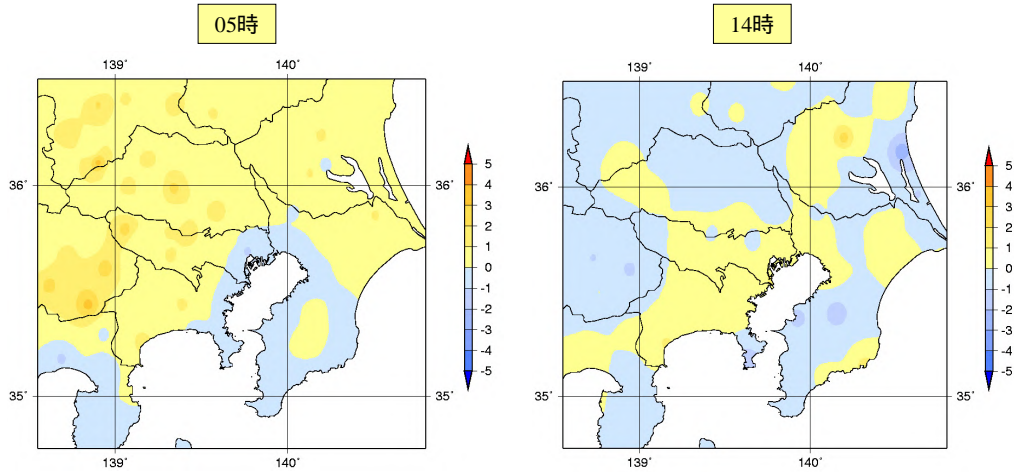


図5 水平解像度1kmの都市気候

モデルの再現結果とアメダス観測値との気温差(単位: )

正(負)の値は再現結果が観測より高い(低い)ことを表わす。

### 3. 夏季に高温が出現する気象条件

一般に、夏季のヒートアイランド現象は「晴れて風が弱い」という気象条件下で顕著に現れると言われるが、関東地方ではそれ以外に「晴れて風が西寄り」あるいは「晴れて風が北寄り」という気象条件下で、高い日最高気温が観測されている（\*）。今回の「ヒートアイランド監視報告」では、この分類に従い、7～8月の「晴天弱風日」、および「晴天西風日」と「晴天北風日」における気温・風分布を再現した。とくに、典型的なヒートアイランド現象が見られる「晴天弱風日」と、2004年の「晴天弱風日」および「晴天北風日」について詳細な記述を行った。

（\*）関東地方では、夏季に高温が現れる気象条件はある程度限定されている。関東地方の8観測地点（宇都宮、前橋、熊谷、水戸、銚子、東京、横浜、館山）のいずれかで日最高気温が36を超えた日は、風速6m/s未満（「風が弱い」と記述）あるいは風速が6m/s以上で風向が「西寄り」（西南西～西北西）か「北寄り」（西北西～北北東）で、それ以外の風向・風速ではほとんど出現していないことが分かっている（藤部、1998）。ただし、ここでの風向・風速は、当日午前9時に観測された全国24官署での海面気圧から東京における気圧傾度を求め、地衡風の関係から算出したもので（いわゆる一般場の風）、必ずしも地上で観測された風向・風速とは一致しない。また、ここでの晴れの日は、都市気候モデルの計算領域（200km×200km）に含まれるアメダス観測点のうち、70%以上の地点で日降水量1mm未満、かつ50%以上の地点で日照時間が7時間以上の日としている。

### 4. 「晴天弱風日」の気温・風分布

夏季の関東地方におけるヒートアイランド現象の典型的な状況を見るため、2001～2003年7～8月の「晴天弱風日」における気温・風分布について述べる。この期間に解析した事例のうち、「晴天弱風日」は23事例で最も多い（全体の約6割）。

2001～2003年7～8月の「晴天弱風日」23事例で平均した気温・風分布を図6に示す。気温を見ると、早朝は、25～26の高温域が東京都心を中心に分布している。一方、日中は、高温域が関東地方の内陸部まで広範囲に広がっている。34～35の高温域が東京都北部から埼玉県を通して北へ延び、群馬県南部まで広がっている。すなわち、関東地方における夏季日中のヒートアイランドは、内陸まで延びた広域的な分布を特徴としている。

風を見ると、早朝は関東平野西側では風が弱く風向も定まっていなかったのに対し、日中は南風が内陸部まで進入している。この南風は太平洋から吹く広域的な海風で、本来は海上の低温な空気をもたらすものだが、都市部で発生する大量の余剰熱によって加熱され、低温な気流としての性質を失うため、都市部から内陸側に延びた広域的なヒートアイランドを形成させたと考えられる。



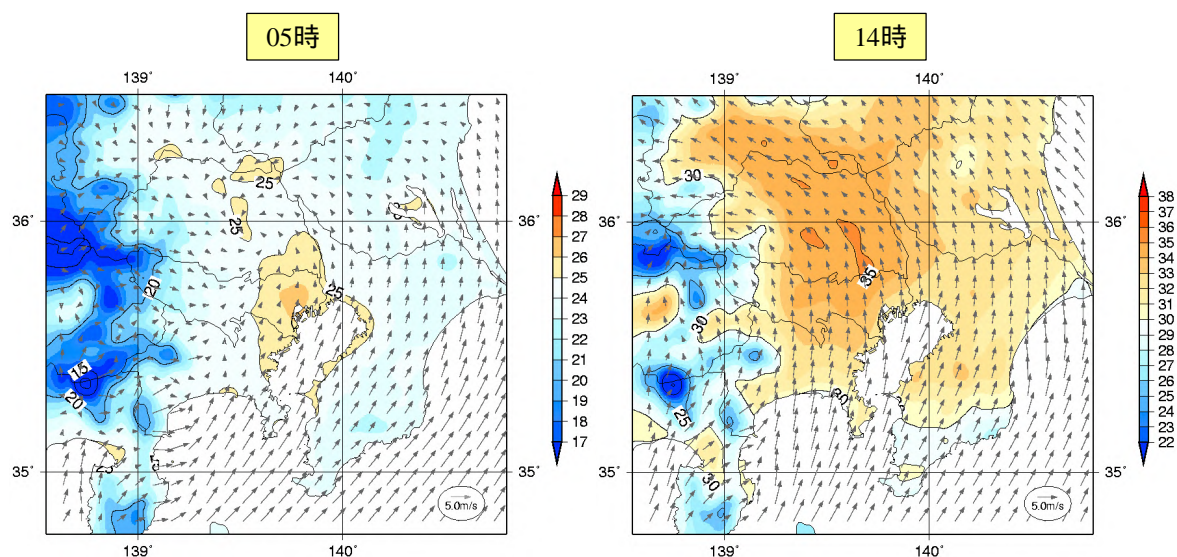


図6 2001～2003年7～8月の晴天弱風日23事例を平均した気温分布（単位：℃）・風分布（05時と14時には、気温の色スケールが異なることに注意）

## 5. 2004年夏季の気温・風分布

関東地方でのヒートアイランド現象の現われ方は、気圧配置、一般場の風向・風速、フェーン現象の有無などの気象条件によって変わる。この点に注目しながら、2004年夏季の事例について気温・風分布の特徴をまとめた。「晴天弱風日」として7月8日、「晴天北風日」として7月20～21日を取り上げた。この2事例については、気温・風分布の日変化についても記述している。ちなみに、2004年の夏は7月を中心に猛暑となり、各地で記録的な高温が観測された。

### （1）晴天弱風日（7月8日）

2004年7月8日の午前5時と午後2時の気温・風分布を図7に示す。この日は、太平洋高気圧に覆われて晴れ、風が弱かった。日中の最高気温は、東京で35.1℃、熊谷で37.6℃を観測した。

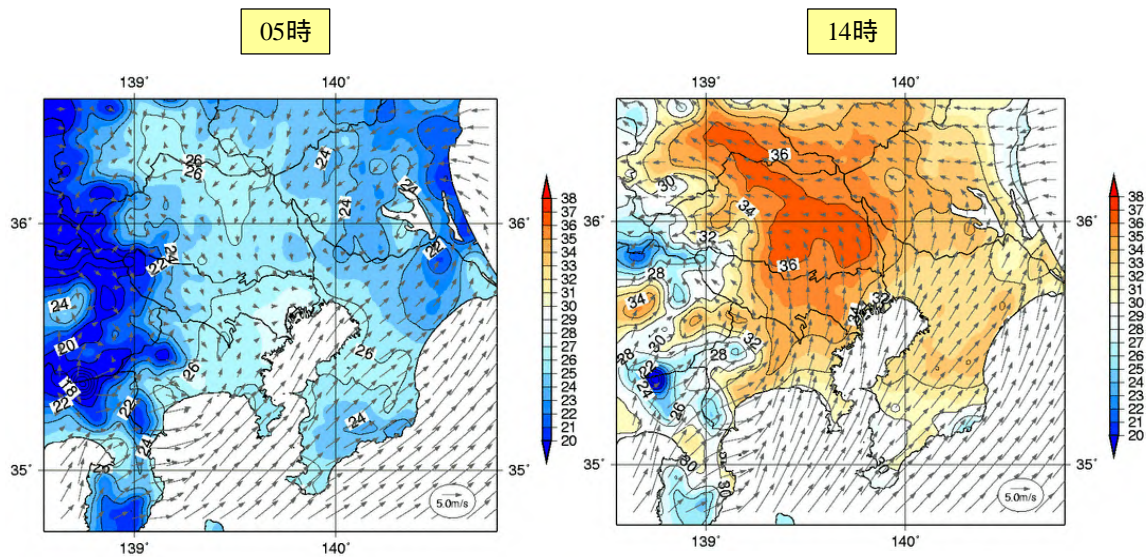


図7 晴天弱風日・2004年7月8日の気温分布（単位：℃）・風分布  
（05時と14時では、気温の色スケールが異なることに注意）

早朝は、25℃以上の領域が関東平野の西半分と房総半島に広がり、東京都心から横浜にかけては27℃以上となっている。気温分布は典型的な晴天弱風日の分布（図6）と似ているが、房総半島中央部に26℃以上の高温域が見られる。

日中は、関東のほぼ全域で30℃以上となり、36℃以上の高温域が埼玉県から群馬県南部まで延びている。気温分布は典型的な晴天弱風日の分布（図6）と似ているが、茨城県の太平洋沿岸には冷涼な東風が吹き込み、28℃以下に気温を下げている。

日変化を見るため、8日午前1時から1時間ごとの気温・風分布を図8に示す。気温分布を見ると、午前2時から午前6時まで大きな変化はないが、午前8時に神奈川県と房総半島中央部で30℃以上の高温域が現れる。30℃以上の高温域は、午前9時に一気に広がって群馬県南部まで延び、その後、昇温しながら関東の全域に広がっていく。最も高温域の気温は午後2時に36℃に達し、午後4時まで同じ値が維持される。午後5時から高温域はゆっくりと衰弱を始めるが、午後6時に34～35℃の高温域が関東北部に、午後9時になっても30℃以上の高温域が東京都北部～群馬県南部に残っている。

風分布の日変化を見ると、広域的な海風（南風）の内陸部への進入は、高温域の広がりに遅れて進行する。南風は、午前9時に神奈川県、午前11時に東京都まで進入し、午後1時には埼玉県へ達する。内陸部へ進入した南風は、その後強まり、午後5時頃まで維持される。この南風は、午後7時頃からゆっくりと弱まっていくが、埼玉県では午後9時頃、東京都では午後11時頃まで残っている。



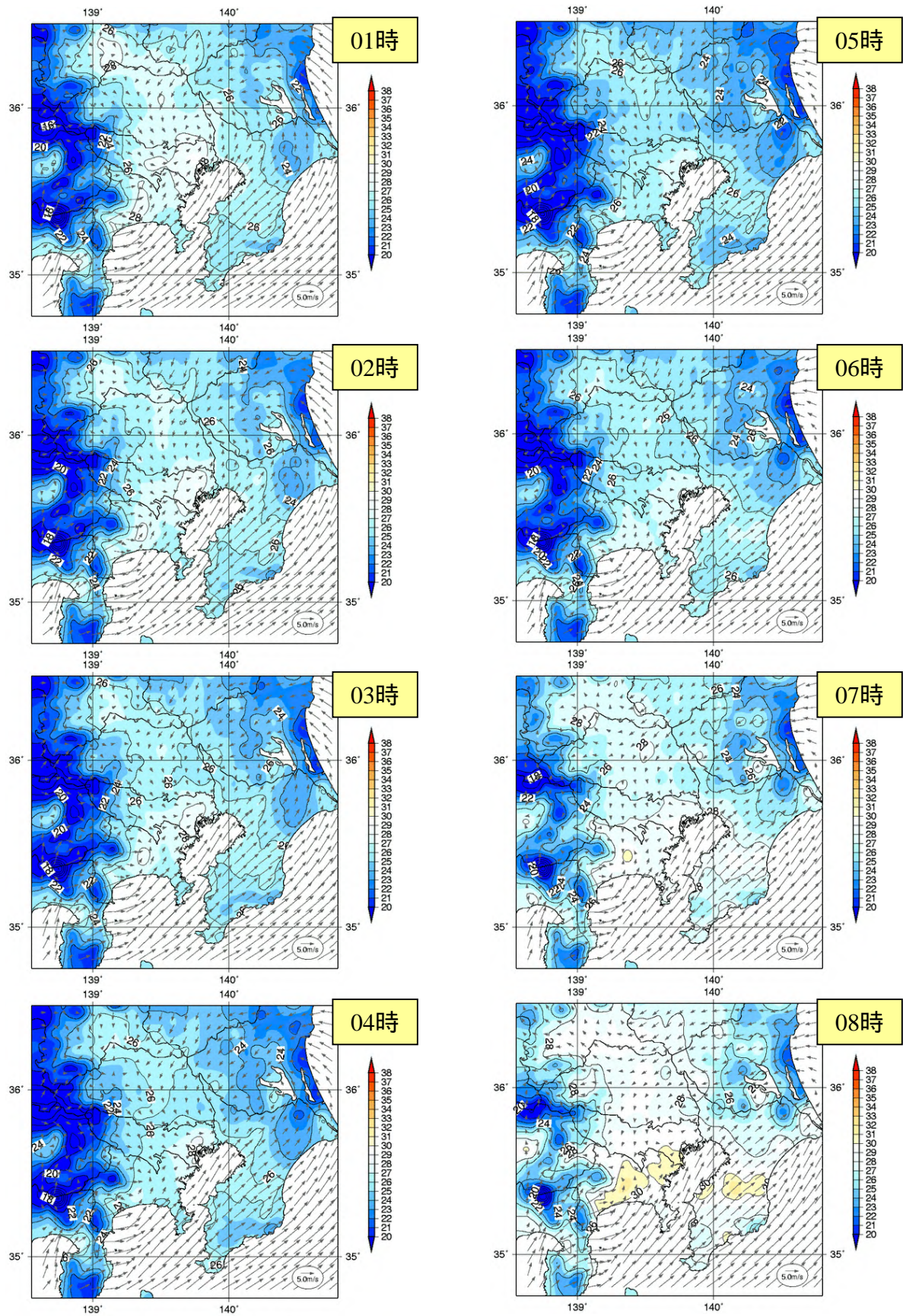


図8 2004年7月8日・毎時の気温分布(単位: )、風分布(01時~08時)



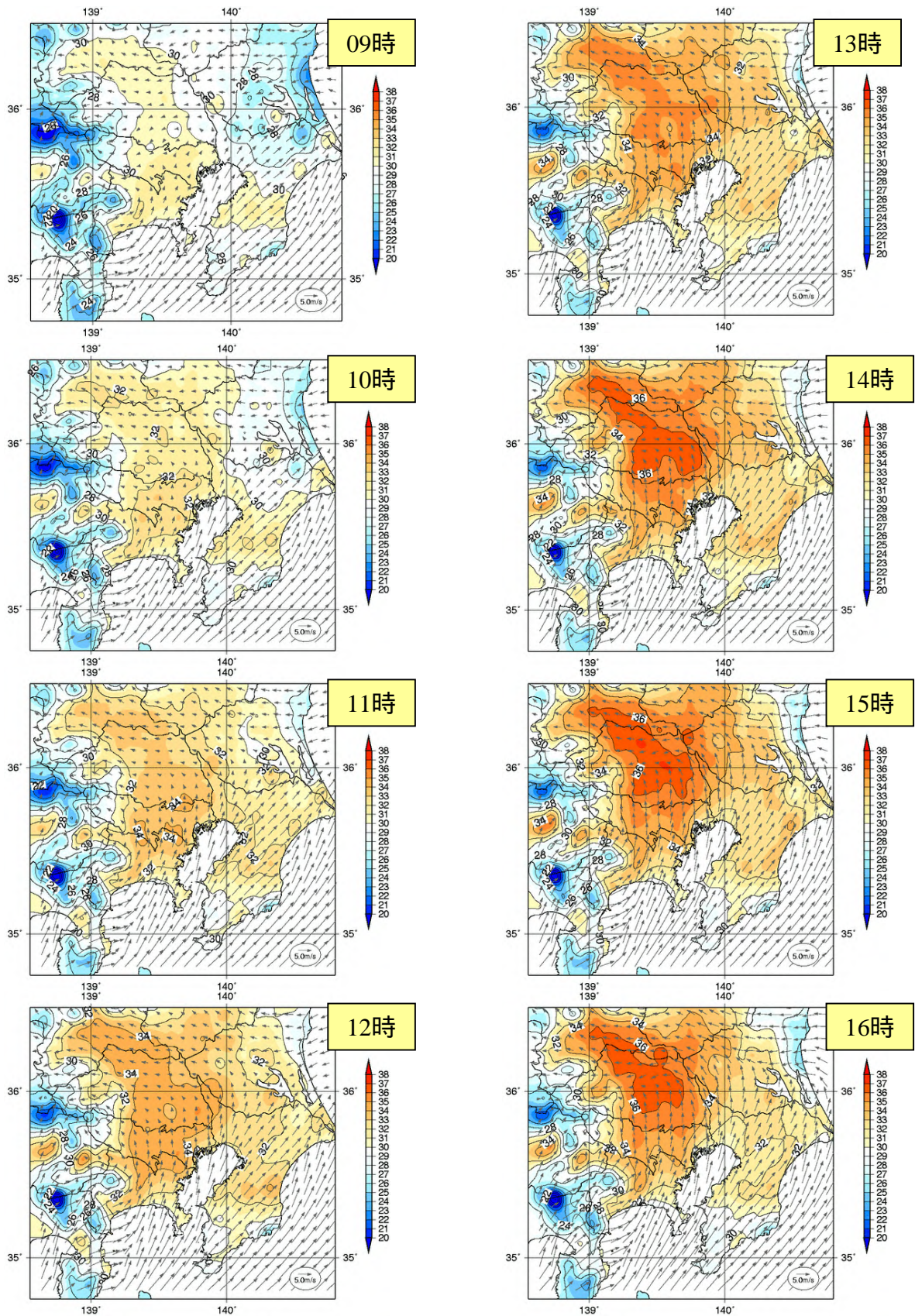


図8 2004年7月8日・毎時の気温分布(単位: )、風分布(09時~16時)



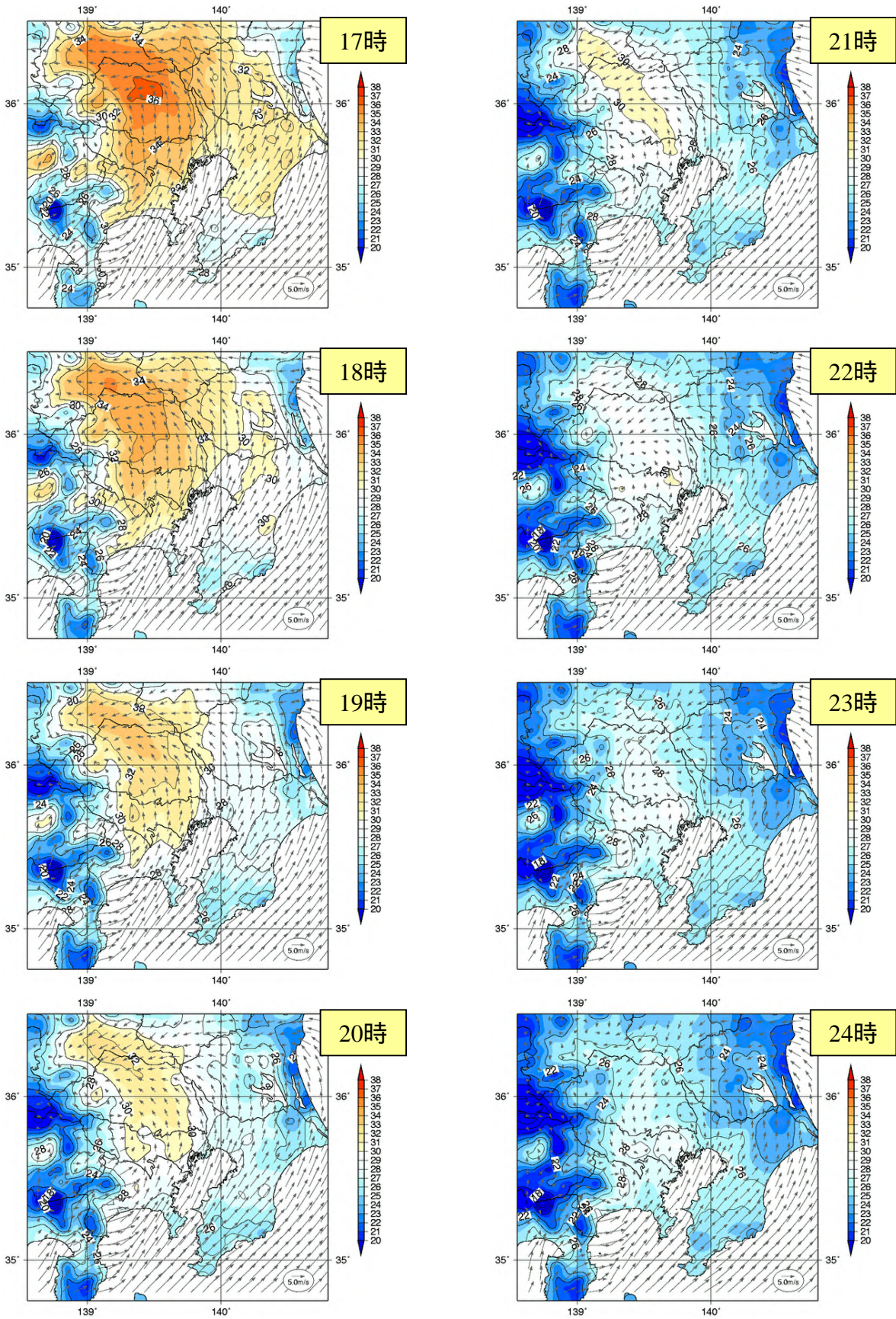


図8 2004年7月8日・毎時の気温分布(単位: )、風分布(17時~24時)



(2) 晴天北風日(7月20~21日)

2004年7月20日午前5時・午後2時と21日午前5時の気温・風分布を図9に示す。20日は北寄りの風によるフェーン現象の影響で、東京の日最高気温は39.5を観測してこれまでの高い記録を更新した。また、21日にかけて、熱中症で搬送される患者が多発している。

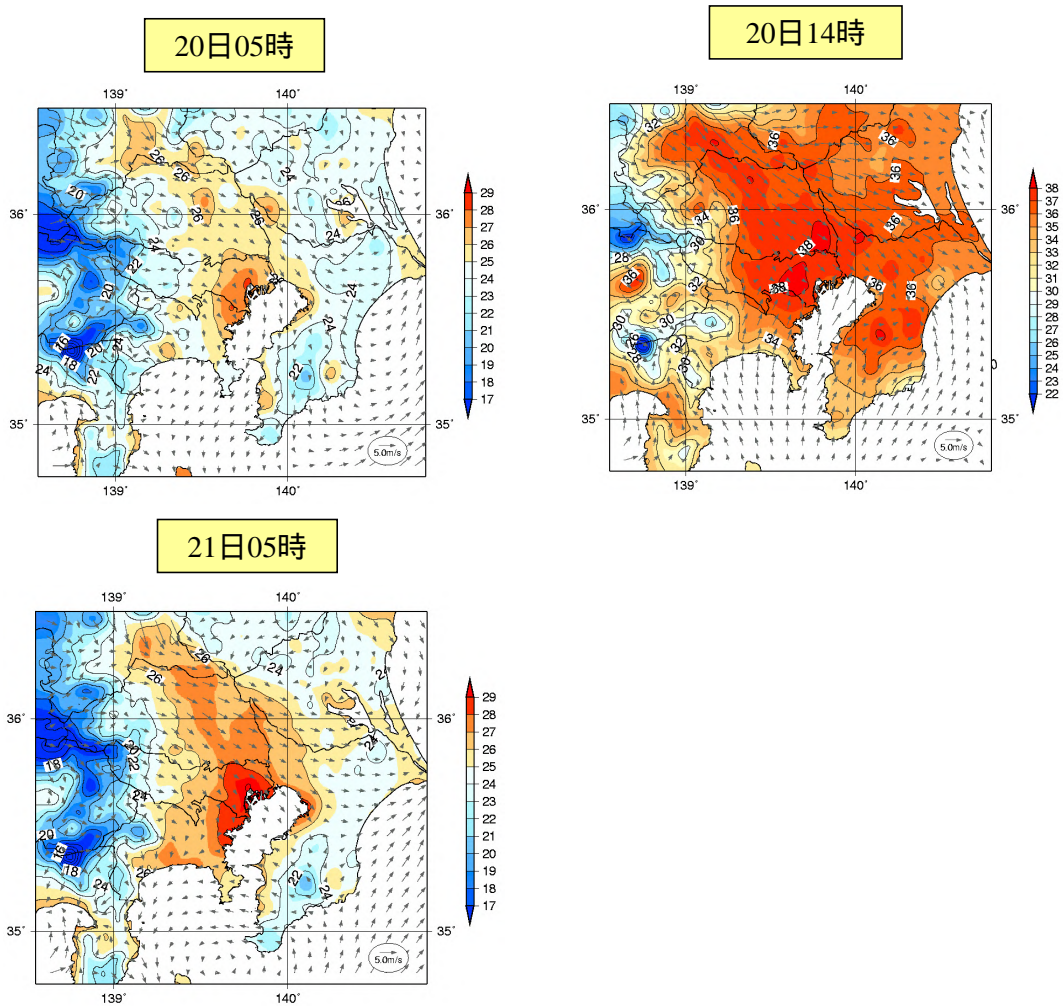


図9 晴天北風日・2004年7月20~21日の気温分布(単位: )・風分布  
(05時と14時では、気温の色スケールが異なることに注意)

気温・風分布を見ると、20日の日中は、海上の南風が内陸へ進入できず、関東平野では北西の風が支配的で、関東のほぼ全域が35以上である。最も高温の38以上の領域は関東南部にあり、北西の風と海上からの南風が衝突する付近に分布している(東京23区、埼玉県南東部、房総半島中央部)。

翌21日の早朝になっても北西の風によるフェーン現象の影響で、東京都23区~横浜には28~30の高温域が残っている。実際の観測では、東京(大手町)の午前5時の気温は

30.3 であった。

日変化を見るため、20 日午前 1 時から 21 日午前 8 時まで 1 時間ごとの気温・風分布を図 10 に示す。気温分布を見ると、午前 1 時から午前 6 時まで大きな変化はないが、午前 7 時から気温上昇が目立ち始め、午前 8 時には関東平野の西側が 30～31 の高温域で覆われる。午前 10 時には早くも 35～36 の高温域が出現し、時間の経過と共に広がっていく。ピークとなる午後 2～3 時には 36 以上の高温域は関東平野の西側全体と東側の大部分に広がり、38 の高温域が東京都心部や埼玉県南部に存在している。高温域は午後 5 時以降次第に弱まっていくが、午後 9 時になっても関東平野の西側は 30～33 である。関東内陸部が 30 以下となるのは午前 0 時だが、東京都心部は日付が変わっても高いままで、午前 3～6 時でも 30 以上の高温域が残っていた。

風分布の日変化を見ると、関東平野の西側では弱い北西の風が午前 1 時から見られる。この北西の風は、午前 9 時頃から強まり始め、関東平野の東側へも吹き出している。その後、北西の風はさらに強まり、午後 1 時頃から午後 4 時頃まで維持される。海上では、早朝まで相模湾や東京湾で北風、房総半島東側では南風が吹いていたが、午前 9 時頃には相模湾で南風、房総半島東側では北風が変わっている。午後 1 時頃から海上では全般に南寄りの風が卓越し、この南風と関東平野の北西風が東京都や房総半島中央部でぶつかっている。午後 5 時以降、関東平野の北西風は若干弱まり、東側では午後 9 時頃から見られなくなるが、西側では余り衰えることなく翌 21 日の朝も吹き続けている。



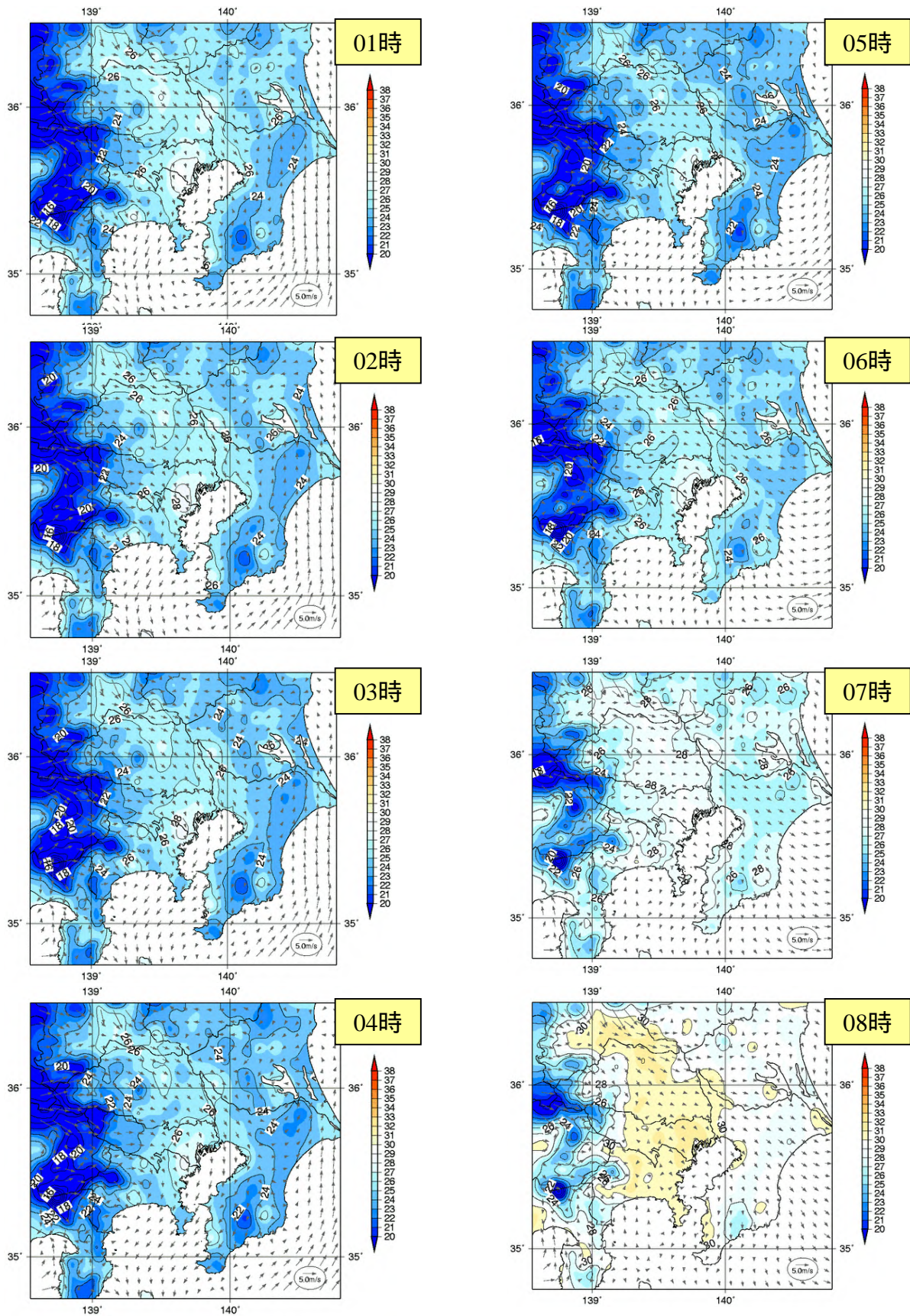


図 10 2004 年 7 月 20 ~ 21 日・毎時の気温分布 (単位: )・風分布 (20 日 00 時 ~ 08 時)



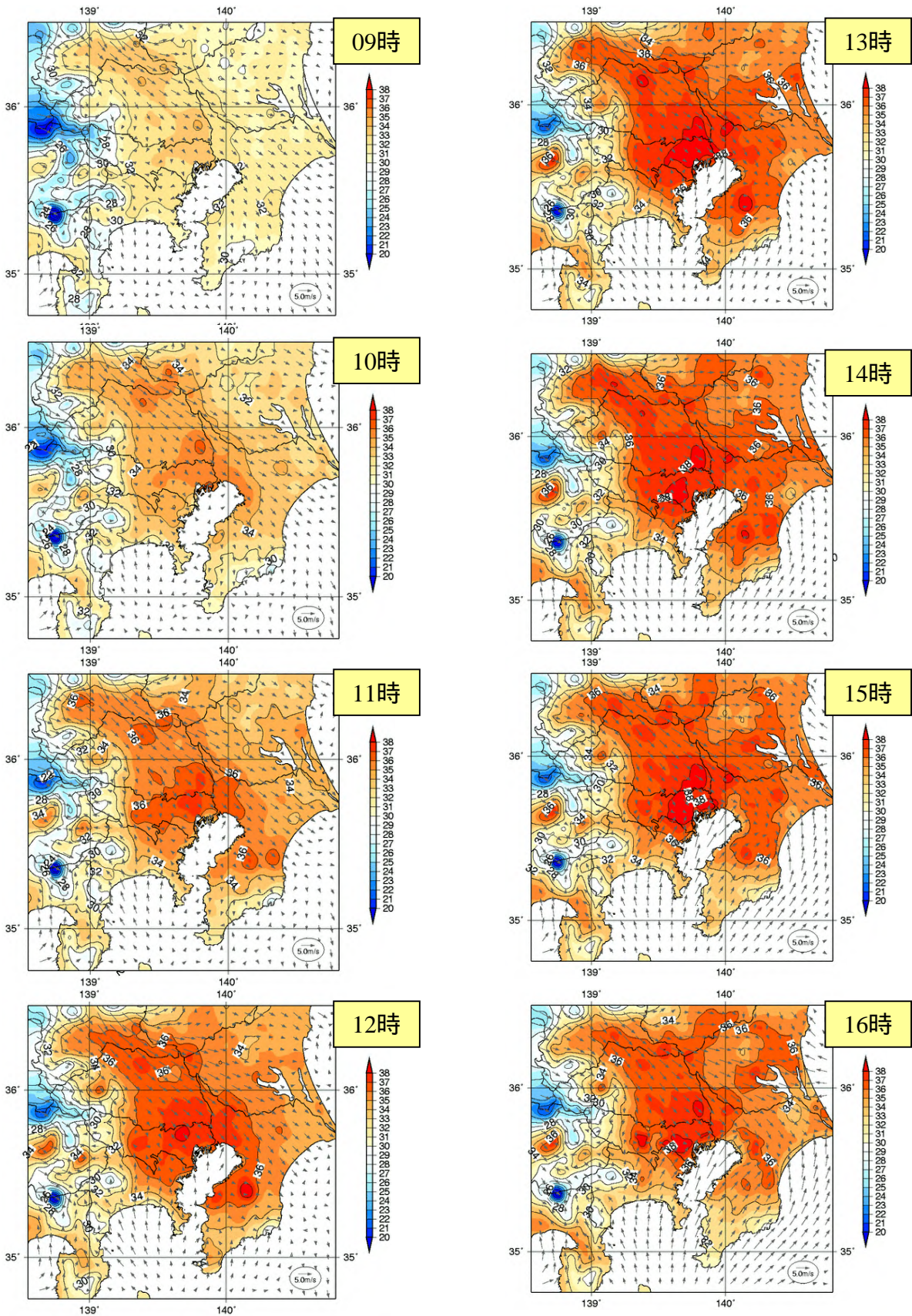


図 10 2004 年 7 月 20 ~ 21 日・毎時の気温分布 (単位: °C)・風分布 (20 日 09 時 ~ 16 時)



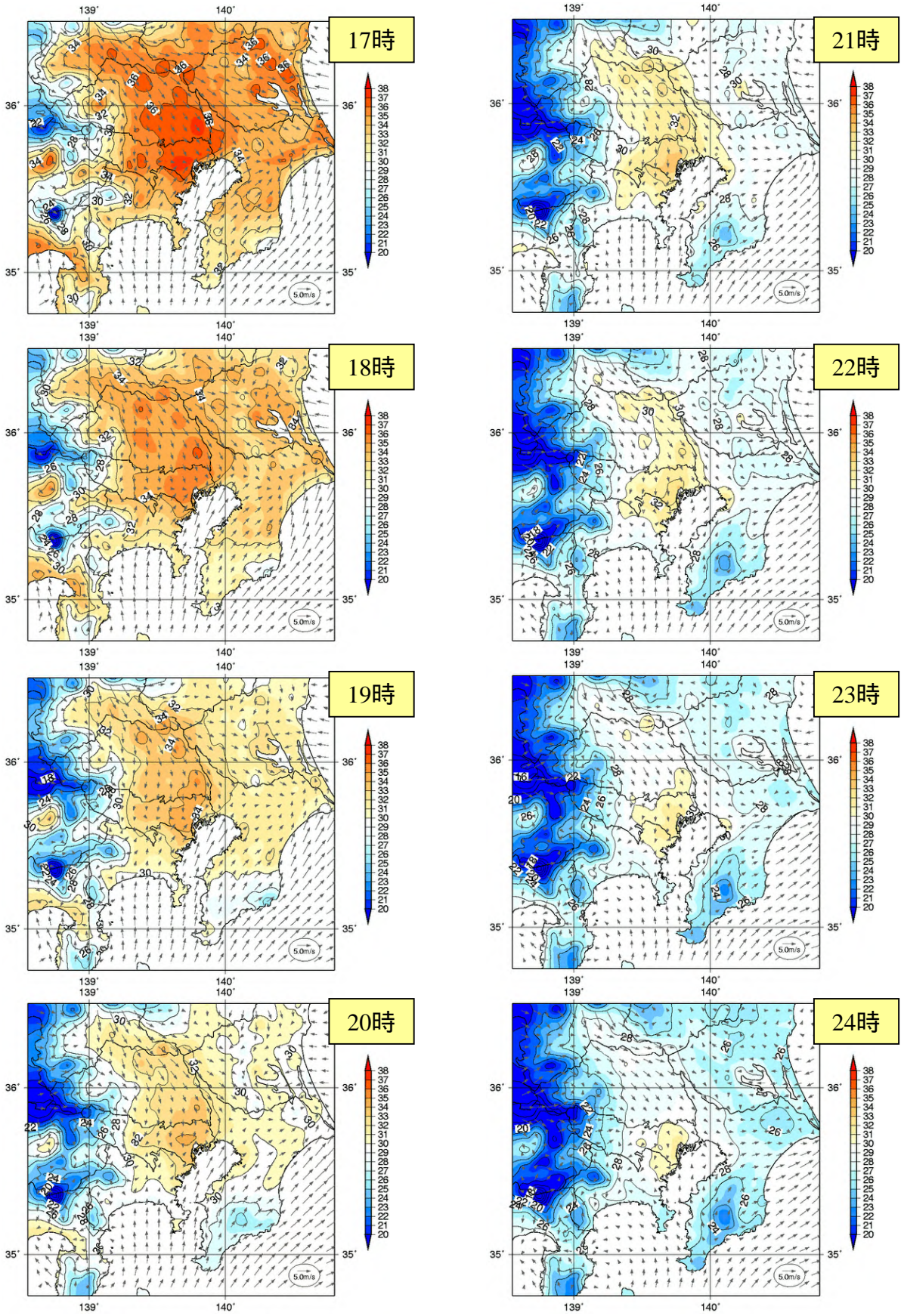


図 10 2004 年 7 月 20 ~ 21 日・毎時の気温分布 (単位: )・風分布 (20 日 17 時 ~ 24 時)



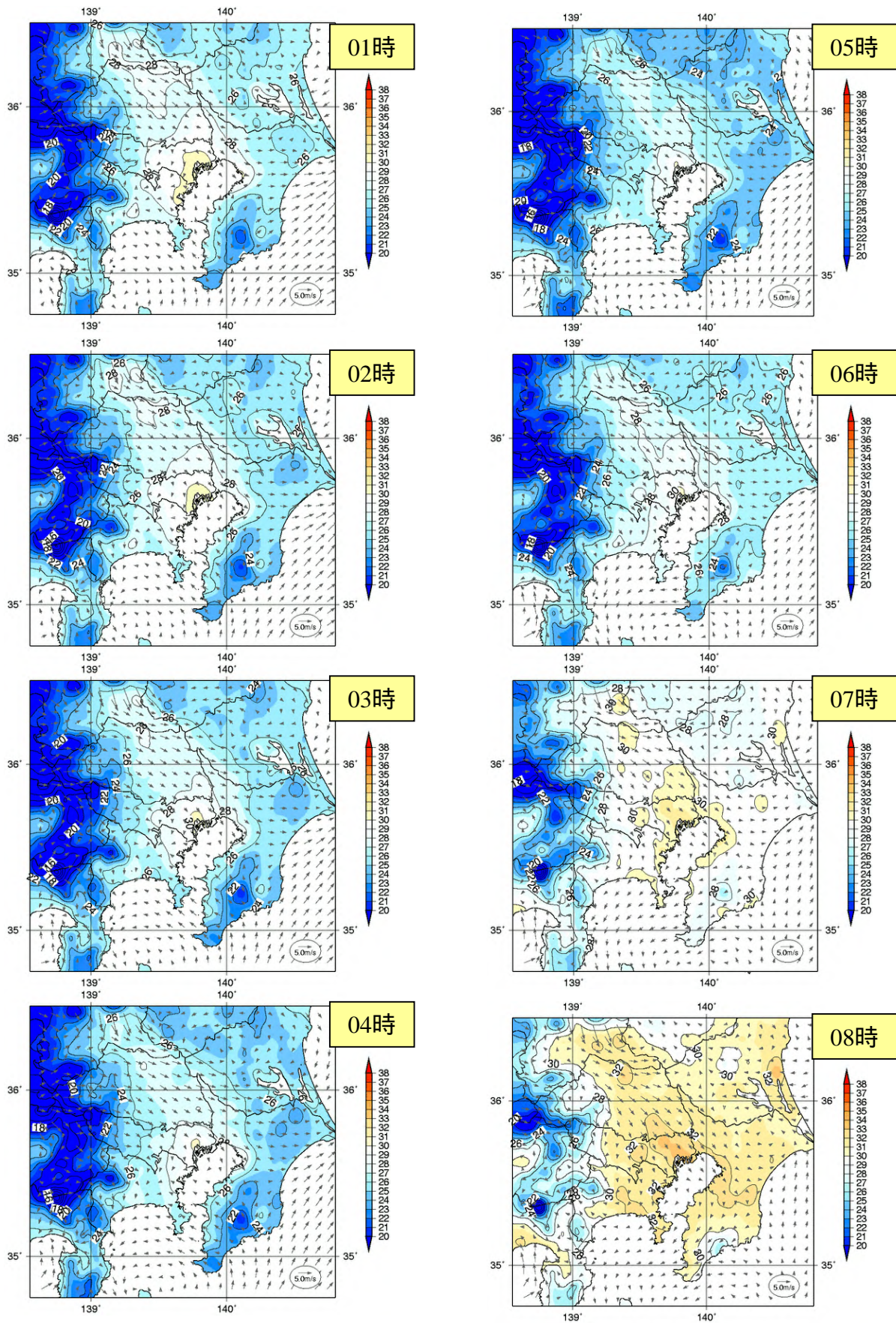


図10 2004年7月20~21日・毎時の気温分布(単位: )・風分布(21日00時~08時)

## 6. 都市気候モデルによるシミュレーション

効果的なヒートアイランド対策を講じるためには、メカニズムの解明を進める必要があり、モデルを用いたシミュレーションはそのための有力な手段である。ヒートアイランド現象のメカニズムを探る第一段階として、土地利用形態での「都市」を取り除き、「人工排熱」をゼロにするという仮想的な条件で、都市気候モデルを用いたシミュレーションを実施した。シミュレーションは、夏の晴れた日を仮定し、無風状態からスタートした。土地利用形態は「都市」カテゴリの面積割合を「森林」、「水田」、「草地」に各カテゴリに3等分して振り分けた。

図 11 に、その結果を示す。基準実験（都市あり、人工排熱あり）では日中に広域的なヒートアイランドが形成されているが、「都市」と「人工排熱」を取り除くと関東地方にヒートアイランド状の高温域は形成されない。早朝においても（図略）、ヒートアイランド状の高温域は全く見られない。基準実験との気温差を見ると、日中の昇温域は関東地方のほぼ全域におよび、約 2~4 の昇温域が関東平野の西側を中心に茨城県や千葉県へ広がっている。この結果から、「都市」と「人工排熱」の効果が、関東地方における広域での昇温をもたらす主たる原因であることが分かる。

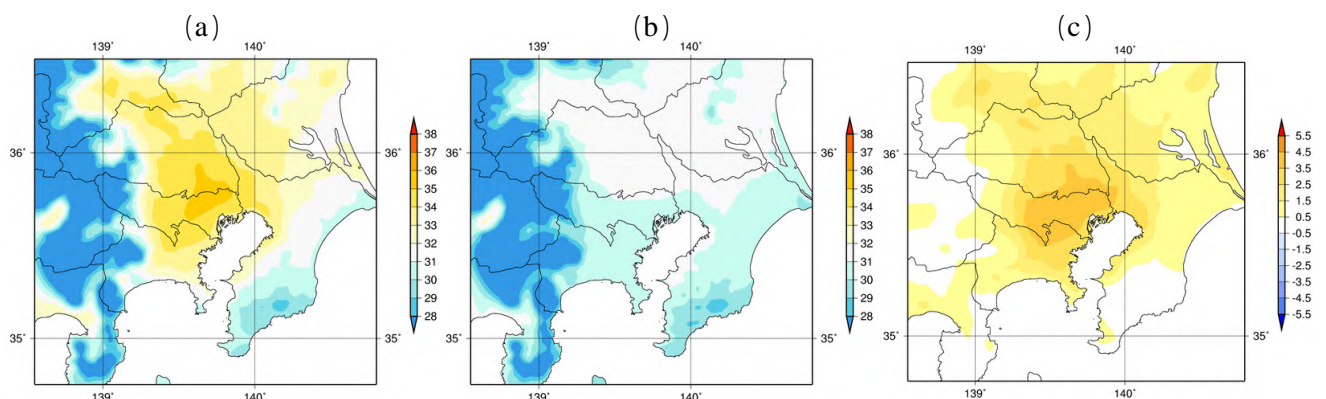


図 11 シミュレーション結果・午後 2 時の気温分布（単位： ）

(a) 基準実験（都市、人工排熱とも有り） (b) 「都市」と「人工排熱」を除いた実験、  
(c) (a) と (b) の気温差



## 7. 年平均気温、熱帯夜日数等の経年変化

過去数10年から100年におよぶ気温等の経年変化から、ヒートアイランド現象の進行を概観することができる。全国の大都市における年平均気温や熱帯夜日数等の経年変化については「20世紀の日本の気候」(気象庁、2002年)のなかで記述しており、本情報では関東地方の7都市における経年変化を示す。6都市(宇都宮、前橋、水戸、東京、千葉、横浜)は県庁所在地で、1都市(熊谷)は地方気象台の所在地である。

### (1) 年平均気温等の経年変化

関東7都市における年平均気温の経年変化を図12に、平均気温(年、1月、8月)、日最高気温(年平均)、日最低気温(年平均)の100年当りに換算した変化量を表1にそれぞれ示す。表1では、比較のため、都市化の影響の小さい中小規模の都市(日本の年平均気温の算出に用いている17地点)で平均した変化量を共に示した。

年平均気温の100年当りの上昇量は、中小都市平均では+1.0であるのに対し、関東地方では+1.1~+3.0と大小の幅がある。中小都市平均の上昇率は地球温暖化等による日本の上昇率を表わしていると考えられることから(「20世紀の日本の気候」)およその見積もりとして、各都市と中小都市平均との上昇率の差が、各都市におけるヒートアイランド現象による上昇分とみられる(中小都市も都市化の影響を多少は受けており、厳密にはこの分を考慮しなければならない)。

1月と8月の平均気温の100年当りの上昇量は、中小都市では差がないが、前橋を除く各都市では8月より1月の方が大きくなっている。また、日最低気温の100年当りの上昇量は、日最高気温の上昇量より大きく、中小都市平均の+1.4(日最高気温の上昇量の2倍)に対し、関東地方では+1.3~+3.9となっている。東京は+3.9と最大で、日最高気温の上昇量の2.2倍となっている。ヒートアイランド現象に伴う郊外との気温差は、夏季より冬季に、日中より夜間に大きくなると言われており、上述の差も同じ結果を示している。

表1 関東地方における100年当りの気温上昇量(千葉はデータ期間が短いため未算出)

都市	データ開始年	100年当りの上昇量( /100年)				
		平均気温			日最高気温 (年平均)	日最低気温 (年平均)
		年	1月	8月		
宇都宮	1901年	+1.7	+1.9	+1.2	+0.6	+2.3
前橋	1901年	+1.8	+1.5	+1.9	+1.4	+1.8
水戸	1901年	+1.1	+1.3	+1.0	+0.4	+1.3
熊谷	1901年	+1.9	+2.0	+1.7	+1.4	+2.1
東京	1901年	+3.0	+3.8	+2.4	+1.8	+3.9
千葉	1967年					
横浜	1901年	+1.7	+2.4	+1.2	+1.7	+2.1
中小都市平均	1901年	+1.0	+1.0	+1.0	+0.7	+1.4

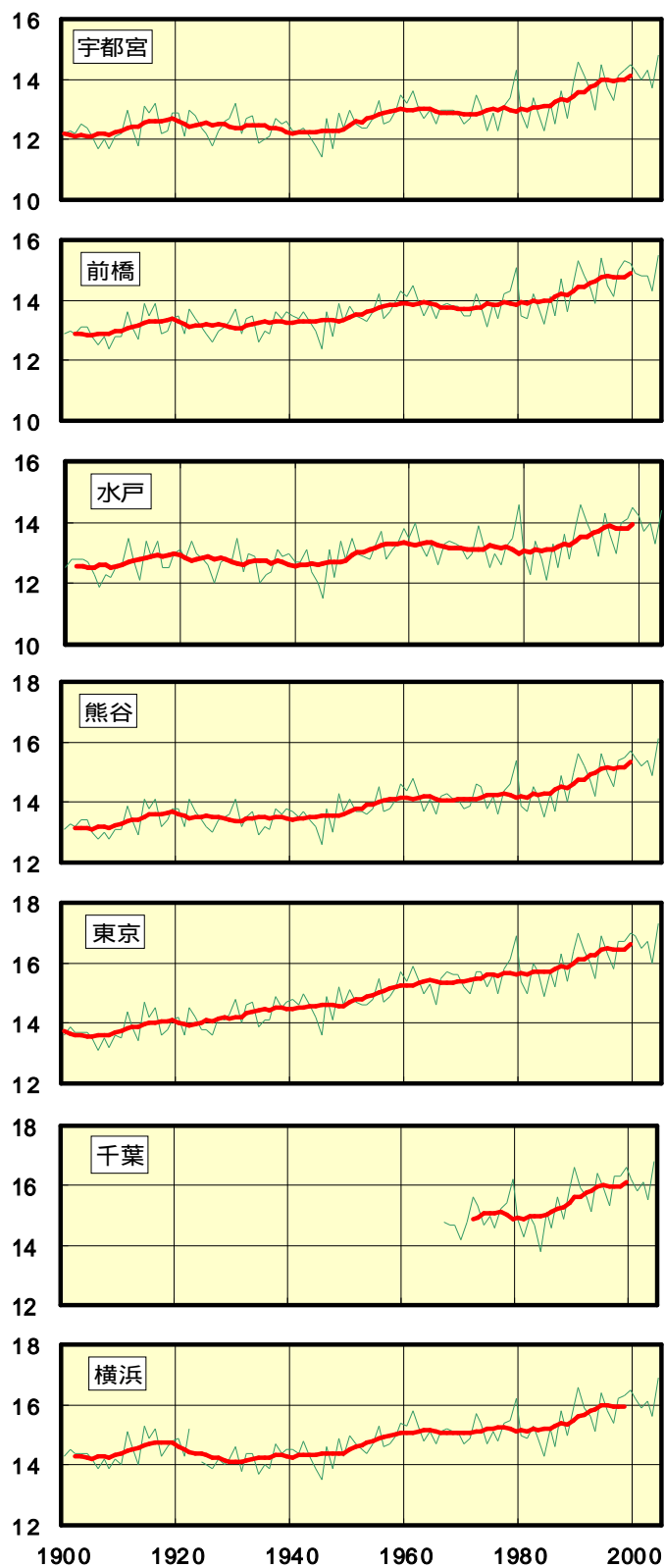


図 12 年平均気温の経年変化

(1901 年以降、千葉は 1967 年以降。折れ線が各年の値、赤線は 11 年移動平均)

(2) 熱帯夜日数等の経年変化

過去からの平均気温等の上昇に伴って熱帯夜（日最低気温が 25 以上の日）の日数、日最高気温が 35 以上の日数、30 以上の積算時間数が増加している。これらの増加は、生活上の不快感や健康被害の増大と関係が深いと見られ、ヒートアイランド現象の指標として監視していく必要がある。図 13～図 16 に、関東地方の 7 都市におけるこれらの年間日数（時間数）と真夏日（日最高気温が 30 以上の日）年間日数の経年変化を示す。

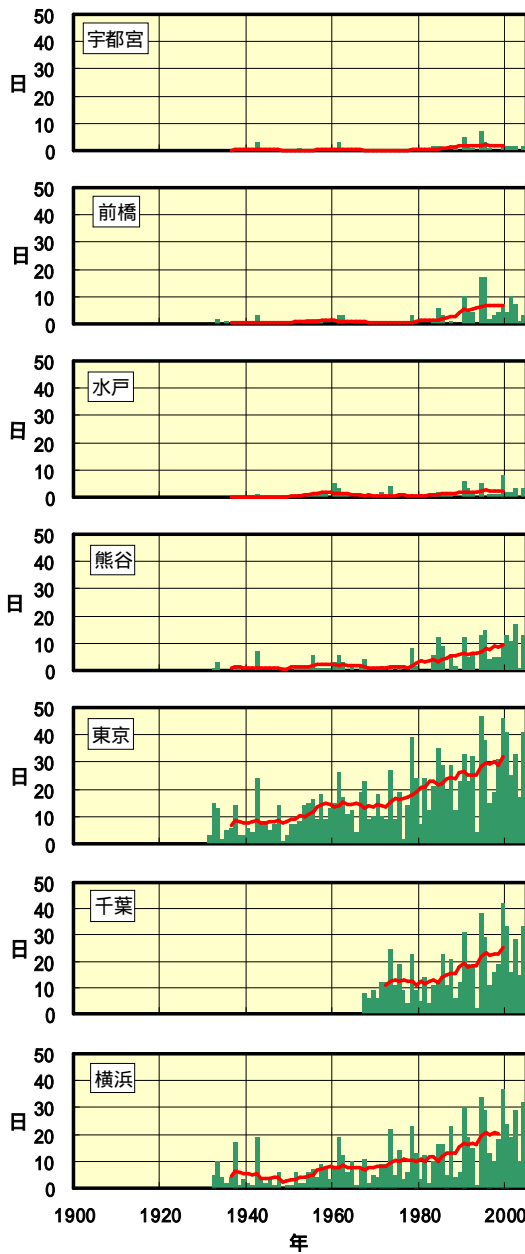


図 13 熱帯夜の年間日数の経年変化  
（1931 年以降、千葉は 1967 年以降。棒グラフが各年の値、赤線は 11 年移動平均）

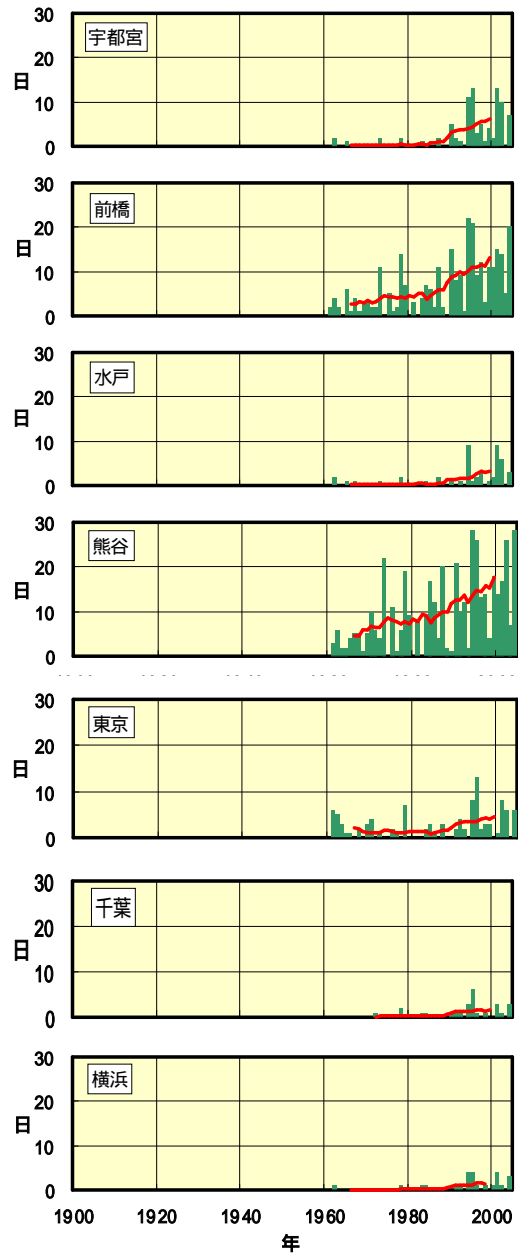


図 14 日最高気温 35 以上の年間日数の経年変化  
（1961 年以降、千葉は 1967 年以降。棒グラフが各年の値、赤線は 11 年移動平均）

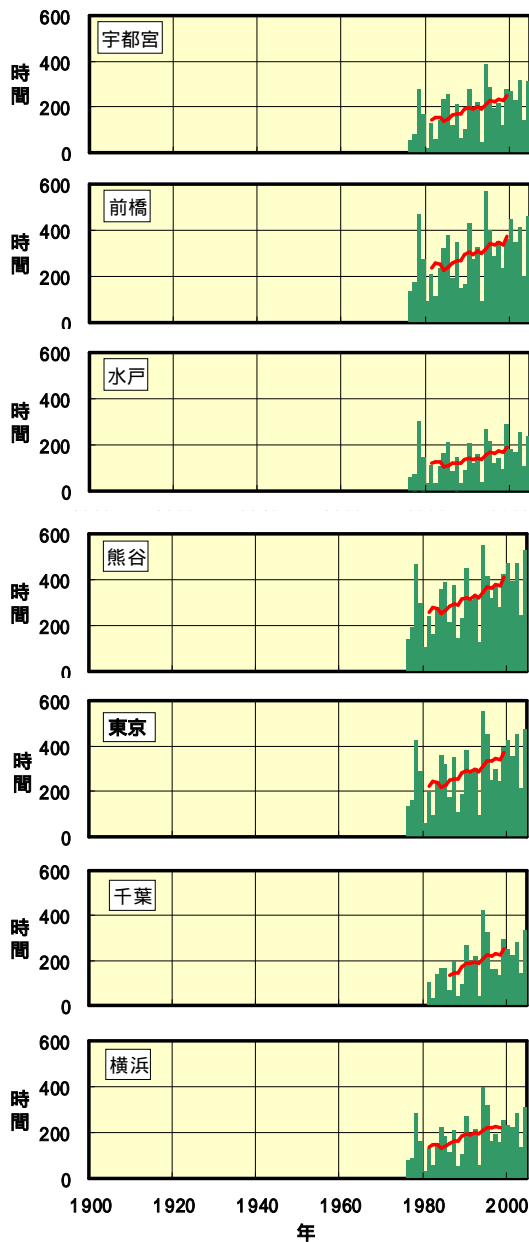


図 15 30 以上の年間積算時間数  
(1976 年以降、千葉は 1981 年以降。棒グラフが各年の値、赤線は 11 年移動平均)

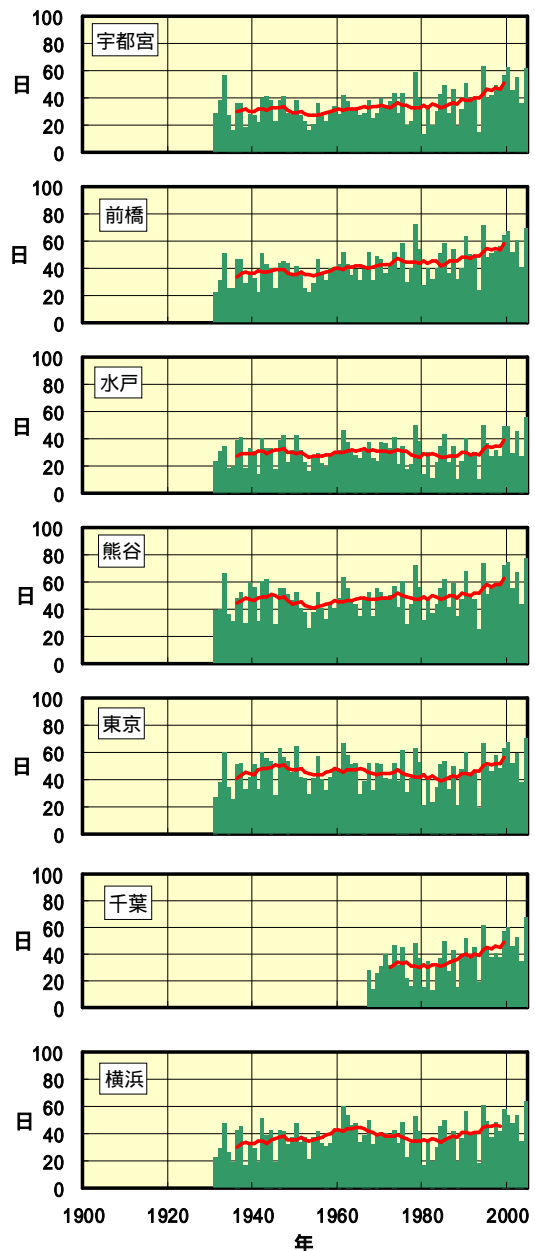


図 16 真夏日の年間日数  
(1931 年以降、千葉は 1967 年以降。棒グラフが各年の値、赤線は 11 年移動平均)

熱帯夜の年間日数は、関東南部で顕著に増加している。東京、横浜における最近 10 年間の平均値(1995～2004 年)はそれぞれ 30.6 日、22.1 日で、30 年前の 10 年間の平均値(1965～1974 年)(東京：13.8 日、横浜：7.5 日)と比べて 2～3 倍に増えている。

日最高気温が 35 以上の年間日数は、関東南部では目立った増加は見られないが、前橋と熊谷では顕著な増加傾向があり、宇都宮と水戸では最近約 10 年間に急激な増加が見られる。この原因として、ヒートアイランド現象に加え、関東地方にフェーン現象をもたらす



気圧配置の出現頻度が最近多くなっている可能性が指摘されている（藤部、1998）。

30 以上の年間積算時間数は、統計可能な期間が短いため長期的な傾向を判断することは出来ないが、1976 年以降に関しては明らかな増加傾向がある。前橋、熊谷、東京における最近 10 年間の平均値（1995～2004 年）は、それぞれ 352 時間、394 時間、355 時間で、19 年前の 10 年間の平均値（1976～1985 年）と比べ約 1.5 倍に増えている。

真夏日の年間日数は、宇都宮、前橋では緩やかに増加しているが、他の都市では大きな変化傾向が見られない。千葉では増加傾向が見られるが、データ期間が短いことを考慮すると、他の都市と同じ期間（1931 年以降）については何とも言いえない。

## 8．情報を利用するにあたって

本情報に掲載した再現結果には、都市気候モデル特有の系統誤差が含まれている（図 4 参照）。気温はアメダス観測値による補正を行っているので、実際の誤差はこれより小さくなるが、同じ傾向の誤差は残る。風についても同様で、再現結果には誤差が含まれている。従って、再現された気温・風分布図は、系統誤差を含んだものであることに注意が必要である。

また、ここで開発した都市気候モデルには降水過程が含まれていないため、気温・風分布の再現ではすべての日を対象とすることはできず、3 項で述べた客観的な基準で選ばれた事例のみを扱っている。このため、選ばれた事例のサンプリングの問題も含まれていることに注意願いたい。

以上のような注意点があるものの、ヒートアイランド現象に含まれる複雑な熱収支等の諸過程をモデル化し、合理的に気温・風分布等を再現できる都市気候モデルは、ヒートアイランド現象の監視とメカニズム解明へ向けた定量的な評価には欠かせない。本報告に掲載した再現結果は、観測結果や他のモデルによる計算結果と比較して妥当な結果が得られていると判断できる。本報告に掲載した資料を、今後のヒートアイランド対策や調査研究の基礎的な資料として活用していただきたい。

## 9．今後の計画

今後は、ヒートアイランド現象の再現精度向上のため、地表面過程などモデルの改良、人工排熱などのデータの更新、他の観測データの収集などに取り組むとともに、ヒートアイランド現象の立体的な構造把握、人工排熱や都市形態などさまざまな要因の寄与度の評価を行い、効果的なヒートアイランド対策の策定に資する情報提供に向けた調査を実施していくこととしている。

## 10. 参考文献

気象庁、2002：20世紀の日本の気候、平成14年3月、気象庁

妹尾 泰史, 神田 学, 木内 豪, 萩島 理, 2004: 潜熱割合を考慮した人工排熱時空間分布の推計と局地気象に対する影響, 水工学論文集, 48

藤部 文昭, 1998: 関東内陸域における猛暑日数増加の実態と都市化の影響についての検討、天気、vol.45、8月号、643-653