

### 3. ヒートアイランド現象の事例解析

都市気候モデルを用いた 2011 年 8 月の関東・近畿・東海地方の事例解析から、都市化の影響により、月平均気温は、東京、大阪、名古屋の都心部で、1.0～2.0 程度上昇していたとみられる  
日中に比べて夜間から明け方の気温の上昇が顕著  
相対湿度が低下する  
ことが示された。これらの結果は、観測に見られる都市の気候の特徴と整合的である。また、都市では  
日中の風速が低下する  
地表面温度が上昇する  
特徴が見られ、これらの要因も都市の暑熱環境に影響していると考えられる。

この章では、都市気候モデルによる 2011 年 8 月を対象とした事例解析結果をもとに、盛夏期のヒートアイランド現象の特徴について分析する。

3.1 節では都市気候モデルの概要、3.2 節では関東地方、3.3 節では近畿地方、3.4 節では東海地方の月平均で見たヒートアイランド現象について述べる。3.5 節では、気温と相対湿度について、観測値と比較する。

#### 3.1 都市気候モデルの概要

気象庁では 2006 年度より、都市気候モデルによって晴天日のヒートアイランド現象に関するシミュレーション調査を行い、その結果を毎年「ヒートアイランド監視報告」(気象庁, 2005-2011)として公表している。これまでの都市気候モデルによる調査によって、晴天日における日中のヒートアイランドでは土地利用や海風変化の影響、夜間のヒートアイランドでは建築物の影響が大きいことなどが明らかになってきたところである。

一方、都市気候をより包括的に理解するためには、晴天日だけでなく、曇天・雨天日や深夜から明け方にかけての時間帯のヒートアイランドの影響を調査する必要がある。このため、天候や時間帯によらず都市の気象を精度よく再現することが可能な都市気候モデルを開発し、事例解析を行った。本節では調査に用いた都市気候モデルについて、概説する。より詳細な解説については、Aoyagi, T. and N. Seino (2011) を参照いただきたい。

### 3.1.1 都市気候モデルの改良

従前の都市気候モデルからの主な改良点は、以下の4点である。

#### (1) 水平・鉛直分解能の向上

従前の都市気候モデルと本報告の都市気候モデルの水平・鉛直解像度の違いを表 3.1 に示す。鉛直分解能が 18 層から 50 層に大きく向上し、最上層の高度も 6,000m から 21,801m となっている。また、水平分解能についても、これまでの都市気候モデルでは 4km×4km メッシュであったのに対し、本報告の都市気候モデルでは 2km×2km メッシュに向上している。

表 3.1 従来の都市気候モデルと本報告の都市気候モデルの水平・鉛直解像度の比較

	従来の都市気候モデル	本報告の都市気候モデル
水平格子間隔	4km × 4km	2km × 2km
鉛直層数	18 層	50 層
モデル最上層	6,000m	21,801m
モデル最下層	15m	20m

#### (2) 雲・降水過程の導入

本報告の都市気候モデルでは、日々の防災気象情報の作成に用いているメソモデルと同等の雲・降水過程（気象庁，2008a）を取り入れることにより、曇天日や雨天日におけるヒートアイランド現象の調査が可能となった。

#### (3) 建築物の影響の計算を精緻化

図 3.1 に示すように、建築物の屋上は日中は常に直射日光が当たり夜間は放射冷却を妨げる障害物もないため、日陰を含み放射冷却を妨げる障害物が多い壁面や地表面に比べて表面温度の日較差が大きい。従前の都市気候モデルでは、屋上と壁面の温度が平均化されていたが、本報告の都市気候モデルでは建築物の屋上と壁面の温度を分離することにより、建築物の屋上と壁面の表面温度の違いによる影響が考慮されている。

#### (4) 接地層における鉛直プロファイルの改良

本報告の都市気候モデルでは、メソモデルに用いている安定度を考慮した一般的な接地層の鉛直プロファイルを考慮する手法（気象庁，2008a）を取り入れた。

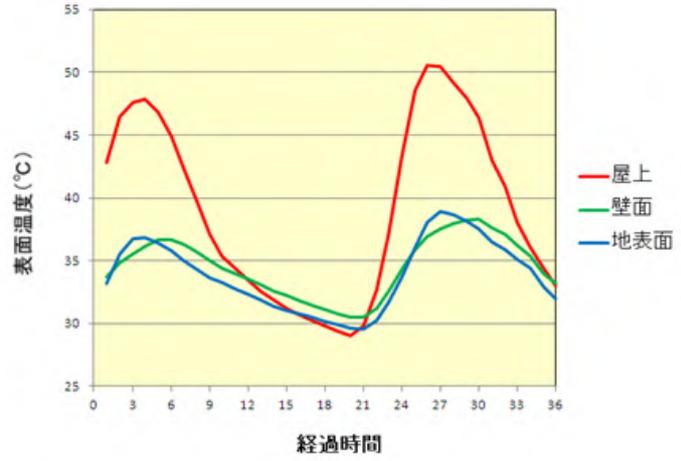
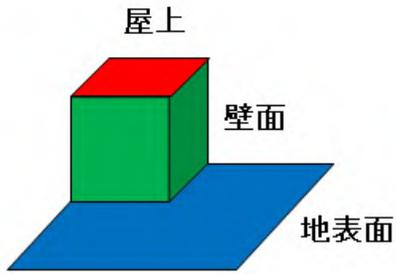


図 3.1 都市気候モデルにおける都市表面温度の分類の模式図(左図)と、その時間変化(右図)。右図は、都市気候モデルによって計算された、東京都心における夏季の午前9時から36時間後までの地表面、建築物の屋上および壁面の気温の変動例を示したもの。横軸は午前9時からの経過時間を示す。

### 3.1.2 都市気候モデルに用いる土地利用形態および人工排熱

都市気候モデルによって都市の気候を精度よく計算するには、建築物や道路などの土地利用形態や、人間活動によって大気中に排出される熱量を入力として与える必要がある。土地利用形態については、国土数値情報の土地利用3次メッシュデータから土地の利用形態を分類し、モデルの地表面の条件として与えている。また、人工排熱については、総務省統計局の人口データや従業者数データおよび国土数値情報の土地利用3次メッシュデータを説明変数とし、妹尾ほか(2004)、鳴海ほか(2002)、名古屋市環境科学研究所による人工排熱データを予報変数とする重回帰分析により求めた毎月の平均的な人工排熱を求める推定式(萱場ほか, 2010)を用いている。これによって、人工排熱データが整備されていない地域でもヒートアイランド現象のシミュレーションが可能となる。

図3.2に推定式より求めた人工排熱の8月15時の分布図および8月の東京(大手町)付近における時間変化を示す。人工排熱は日中に著しく人口が集中する都心部で $120\text{W}/\text{m}^2$ と局所的に非常に高い値となる。これは夏季の太陽南中時における日射エネルギーの約10分の1に相当する。

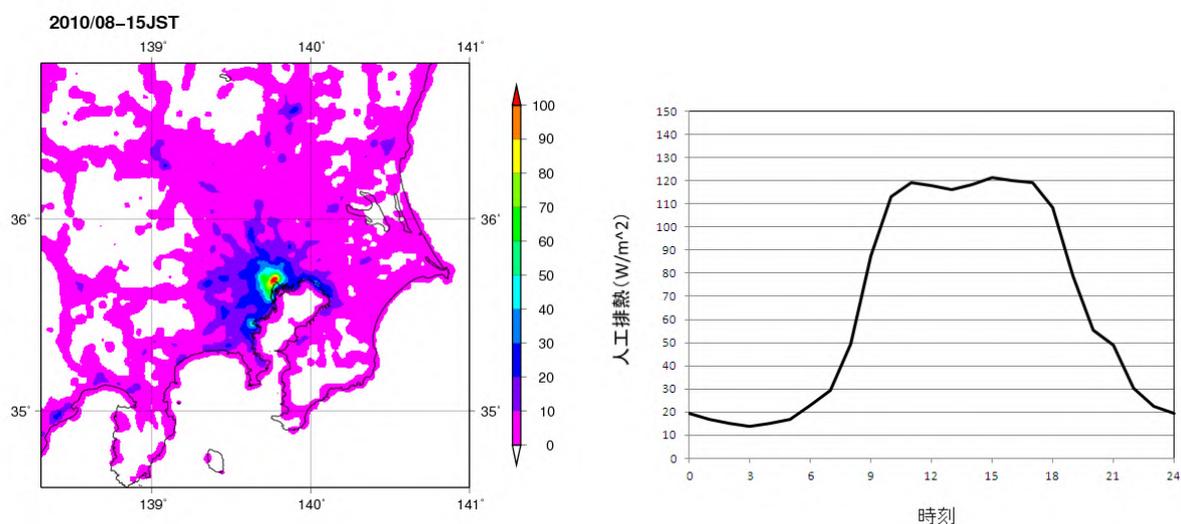


図3.2 都市気候モデルにおける8月15時の推定人工排熱量の分布(左)と、東京(大手町)における8月の人工排熱推定量の日変化(右)

### 3.1.3 都市気候モデルによる都市化の影響の評価

本報告では、ヒートアイランドによる影響の程度を見積もるため、モデルを用いた「都市有り実験」と「都市無し実験」の2つの実験を行い、その気温の差を都市化の影響としている。「都市有り実験」とは、現実の都市の地表面状態や人工排熱をパラメタとしてモデルに与えたシミュレーション実験である。「都市無し実験」とは、都市の地表面状態を仮想的に草地に置き換え、人工排熱をゼロとしたシミュレーション実験である。

本報告の都市気候モデルでは雲・降水過程を含むため、「都市有り実験」と「都市無し実験」で雲や降水の分布に差が生じることで気温の分布にも影響することがある。ところが雲や降水の分布は僅かな気象条件の違いに対する感度が非常に大きいため、個別の事例のシミュレーションに関しては、都市化の影響による系統的な差だけでなく、偶発的な時間発展に起因する差が含まれているものと見なければならない(図 3.3)。このため、個別のシミュレーションの結果のみに基づいて都市化による系統的な影響を評価することは困難である。

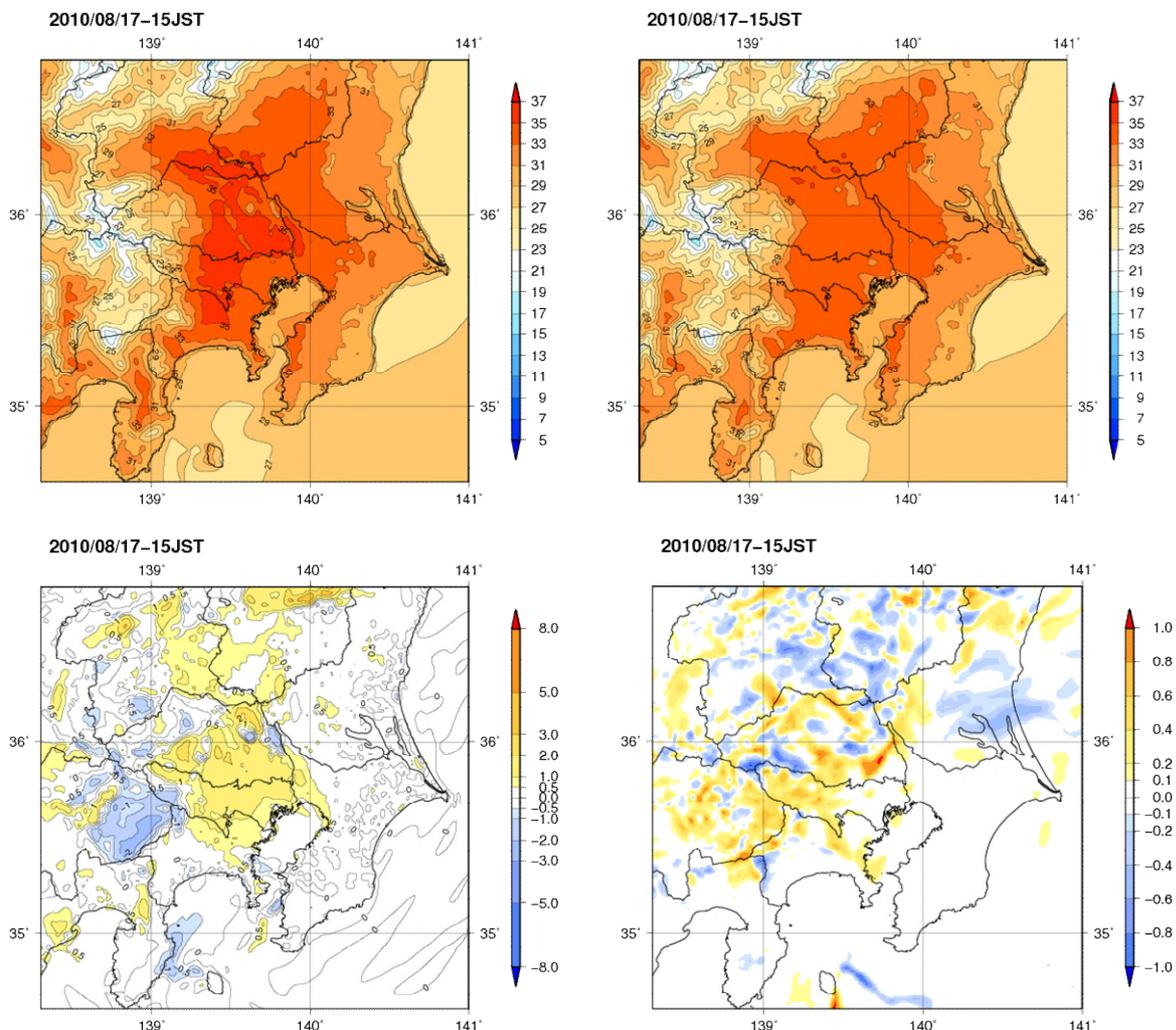


図 3.3 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2010 年 8 月 17 日 15 時の都市有り実験の気温(左上)および都市無し実験の気温(右上)、都市有り実験と都市無し実験の気温差(左下)、都市有り実験と都市無し実験の全雲量の差(右下)の分布図。気温の単位は℃、雲量は 0.0~1.0 の数値で表され、0 は快晴、1 は全天が雲に覆われていることを示す。右下図は都市有り実験と都市無し実験の差であるため、スケールは-1.0~1.0 である。

このような問題に対しては、複数事例にわたる平均を取ることが有効である。平均操作によって偶発的な時間発展に起因する差が打ち消し合い、都市化による系統的な影響が明瞭に現れることが期待される。図 3.3 は特定の日における都市化の影響の見積もり事例であるが、図 3.4 に月平均で見た都市化の影響の見積もり事例を示す。図 3.3 では「都市有り実験」と「都市無し実験」における雲や降水の分布の違いによって都市以外の領域にも大きな気温分布の違いが見られる一方、図 3.4 では雲量の分布の違いが平均化されて非常に小さくなっていることが分かる。

第 2 章で述べた気温や相対湿度の長期的な変化傾向との比較のためには、このようにして、都市化による系統的な影響を取り出す必要がある。本章では、都市気候モデルによる実験結果の月平均で都市化の影響を見積もることとする。

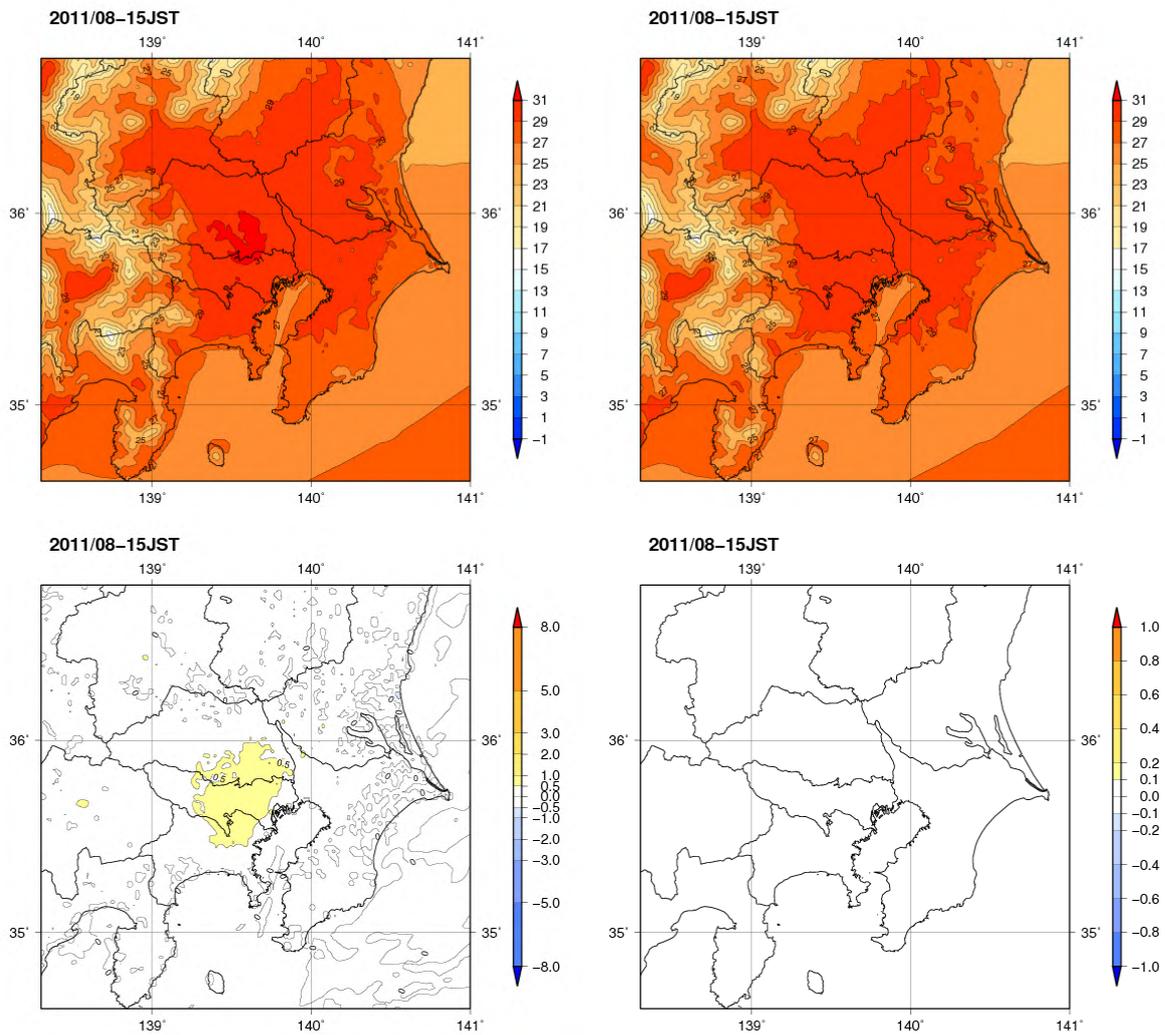


図 3.4 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の各日 15 時について月平均した都市有り実験の気温 (左上)および都市無し実験の気温 (右上)、都市有り実験と都市無し実験の気温差 (左下)、都市有り実験と都市無し実験の全雲量の差 (右下)の分布図。気温の単位は  $^{\circ}\text{C}$ 、雲量は 0.0~1.0 の数値で表され、0 は快晴、1 は全天が雲に覆われていることを示す。右下図は都市有り実験と都市無し実験の差であるため、スケールは -1.0~1.0 である。

### 3.1.4 都市気候モデルの再現精度(観測との比較)

#### (1)月平均気温

本報告で都市気候モデルによるシミュレーションを行った都市の気温について、モデルの再現精度を確認するため、観測データと比較した。東京、横浜、大阪、京都、名古屋における2011年8月平均気温の観測値、統計期間1931～2011年の気温変化率、「都市有り実験」「都市無し実験」における2011年8月の各地点の気温及びその差を表3.2に示す。「都市有り実験」は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測データと比較することができる。観測とシミュレーションとの誤差は東京、横浜、大阪、京都で0.3以下、名古屋で0.7となっている。名古屋でシミュレーション誤差が大きいことについては、2km格子でも都市構造が十分に解像できていない可能性が考えられる。

図3.5に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の月を通した平均気温（「都市有り実験」の結果）及び都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による気温変化の分布図を示す。関東・近畿・東海のいずれの地域でも1以上の昇温域が広がっている。

シミュレーション結果の都市化の影響は「都市有り実験」と「都市無し実験」の差であり、2011年8月の所与の天候条件の下で、都市の存在によって引き起こされる変化のみを抽出しようと試みたものであるが、日射量などの天候条件が異なる他の年/月においては、都市化の影響の現れは異なる可能性がある。一方、観測における100年あたり気温変化率は、地球温暖化等の気候変動に伴う広域的な気温上昇と都市化に伴う局地的な気温上昇の両方を含んでおり、また都市化の進行した時期は都市によって異なるので「都市無し」の時代からの変化が100年あたりの変化率にすべて織り込まれているわけではない。観測データの100年あたり気温変化率と2011年8月の都市化の影響を比較する際には、以上のことに留意する必要がある。

表3.2 各都市における2011年8月平均気温の観測結果とシミュレーション結果との比較

観測の平均気温はシミュレーションの対象期間(8月1日午前9時から31日間)に合わせて算出したものであり、公表されている2011年8月平均気温とは一致しない場合がある。観測の気温変化率は統計期間1931～2011年の気温変化率(表2.1に同じ)を示す。

都市	観測		シミュレーション結果		
	平均気温	100年あたり 気温変化率	都市有り	都市無し	2011年8月の都 市化の影響
東京	27.5	+1.7	27.8	26.3	+1.5
横浜	27.2	+1.5	27.5	26.4	+1.1
大阪	29.0	+2.5	29.2	27.3	+1.9
京都	28.7	+2.4	28.8	27.1	+1.7
名古屋	28.4	+2.4	29.1	27.3	+1.8

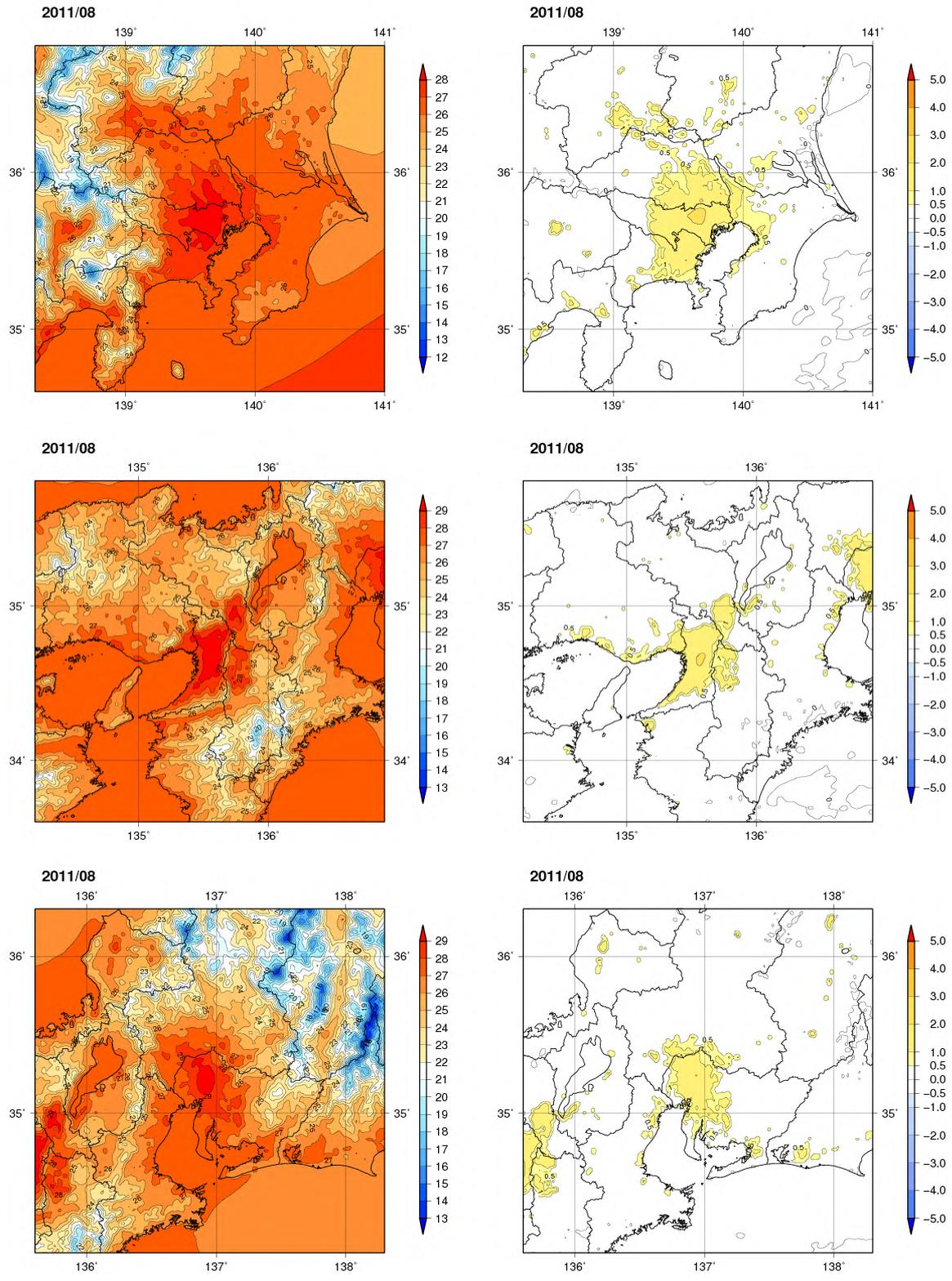


図 3.5 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の平均気温(「都市有り実験」の結果)と都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による気温変化量。

## (2) 月平均相対湿度

本報告で都市気候モデルによるシミュレーションを行った都市の相対湿度について、モデルの再現精度を確認するため、観測データと比較した。東京、横浜、大阪、京都、名古屋における 2011 年 8 月平均相対湿度の観測値、統計期間 1931～2011 年の相対湿度変化率、「都市有り実験」「都市無し実験」における 2011 年 8 月の各地点の平均相対湿度及びその差を表 3.2 に示す。「都市有り実験」は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測データと比較することができる。観測とシミュレーションとの誤差の大きさは東京で 1.4%と小さいの対し、横浜や大阪、京都で 4%前後、名古屋で 8.7%と大きくなっている。名古屋で特にシミュレーション誤差が大きいことについては、気温と同様に、2km 格子でも都市構造が十分に解像できていない可能性が考えられる。

図 3.6 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の月を通した平均相対湿度（「都市有り実験」の結果）及び都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による相対湿度変化の分布図を示す。関東・近畿・東海のいずれの地域でも広範囲に減少域が分布している。

シミュレーション結果の都市化の影響は「都市有り実験」と「都市無し実験」の差であり、2011 年 8 月の所与の天候条件の下で、都市の存在によって引き起こされる変化のみを抽出しようと試みたものであるが、日射量などの天候条件が異なる他の年 / 月においては、都市化の影響の現れは異なる可能性がある。一方、観測における 100 年あたり相対湿度変化率は、地球温暖化等の気候変動に伴う気温や水蒸気量の広域的な変化と都市化に伴う局地的な変化の両方を含んでおり、また都市化の進行した時期は都市によって異なるので「都市無し」の時代からの変化が 100 年あたりの変化率にすべて織り込まれているわけではない。観測データの 100 年あたり相対湿度変化率と 2011 年 8 月の都市化の影響を比較する際には、以上のことに留意する必要がある。

表 3.3 各都市における 2011 年 8 月平均相対湿度の観測結果とシミュレーション結果との比較

観測の平均相対湿度はシミュレーションの対象期間(8月1日午前9時からの31日間)に合わせて算出したものであり、公表されている 2011 年 8 月平均相対湿度とは一致しない場合がある。観測の相対湿度変化率は統計期間 1931～2011 年の気温変化率(表 2.2 に同じ)を示す。大阪は観測所移転の影響があるため変化率を表示していない。

都市	観測		シミュレーション結果		
	平均相対湿度	100 年あたり 相対湿度変化率	都市あり	都市なし	2011 年 8 月の都 市化の影響
東京	70.3	-14.8	71.8	82.7	-10.9
横浜	78.9	-10.8	74.5	83.1	-8.6
大阪	68.7	---	64.9	78.7	-13.9
京都	67.5	-16.7	63.6	76.5	-12.9
名古屋	72.9	-19.6	64.3	78.0	-13.7

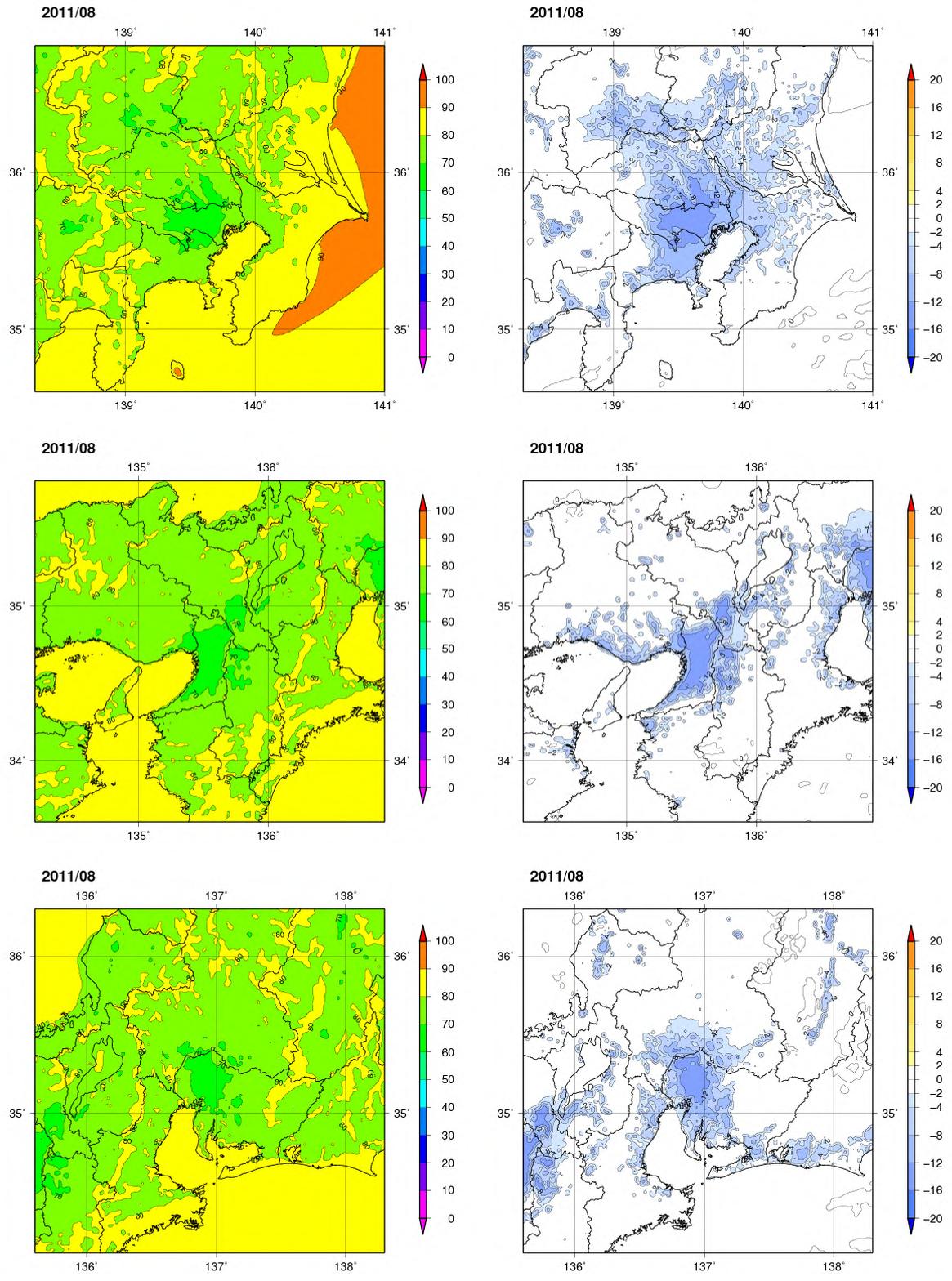


図 3.6 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の平均相対湿度(「都市有り実験」の結果)と都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量

### 3.2 関東地方における 2011 年 8 月のヒートアイランド現象

本節では、都市気候モデルによるシミュレーション結果を元に、関東地方における 2011 年 8 月の月平均のヒートアイランド現象の特徴について解説する。

#### 3.2.1 関東地方の地形と都市構造の特徴

図 3.7 に関東地方の地形と人工被覆率、居住人口、従業者数を示す。関東地方は日本最大の都市圏であり、関東平野の西部を中心に都市圏が形成されている。居住人口は夜間の人口分布、従業者数は日中の人口分布に概ね対応している。平日の日中は図 3.7 右下に見られるように東京都心部に著しく人口が集中するが、夜間は図 3.7 左下に見られるように都心の周辺部にドーナツ状に人口が集中する。

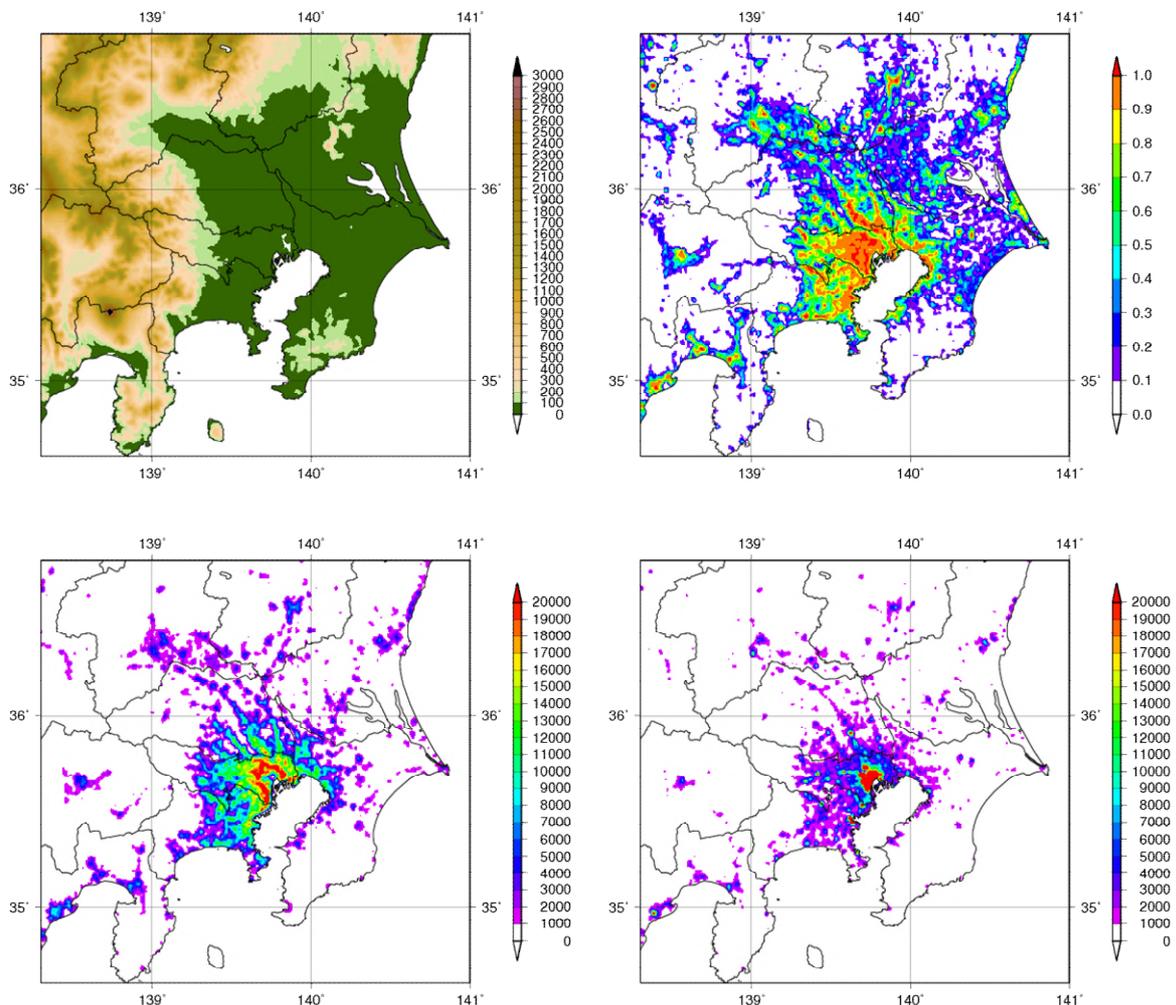


図 3.7 関東地方における標高(左上)、人工被覆率(右上)、居住人口(左下)、従業者数(右下)の分布

人工被覆率は 2006 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュにおける建物用地、幹線交通用地、その他の用地の合計割合。居住人口と従業者数は、総務省統計局地域メッシュ統計より作成。

### 3.2.2 関東地方における 2011 年 8 月の平均気温と風の特徴

図 3.8 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の平均気温と平均風を示す。午前 10 時においては関東平野全体が同程度の温度となっており、都市に対応する島状の気温分布は明瞭でないが、15 時や 20 時では東京都心のやや内陸側を中心にヒートアイランド現象の特徴を示す島状の気温分布が見られ、周辺に比べて気温が高くなっている。このように、晴天日だけでなく曇天日や雨天日を含む月平均気温分布で見ても、ヒートアイランド現象の特徴が現れている。風については、15 時や 20 時では海風が卓越しており、特に 15 時は東京湾から内陸部へ向かう風の流れが顕著である。一方、5 時は冷涼な郊外から高温の都心部へ向かう風が卓越している。

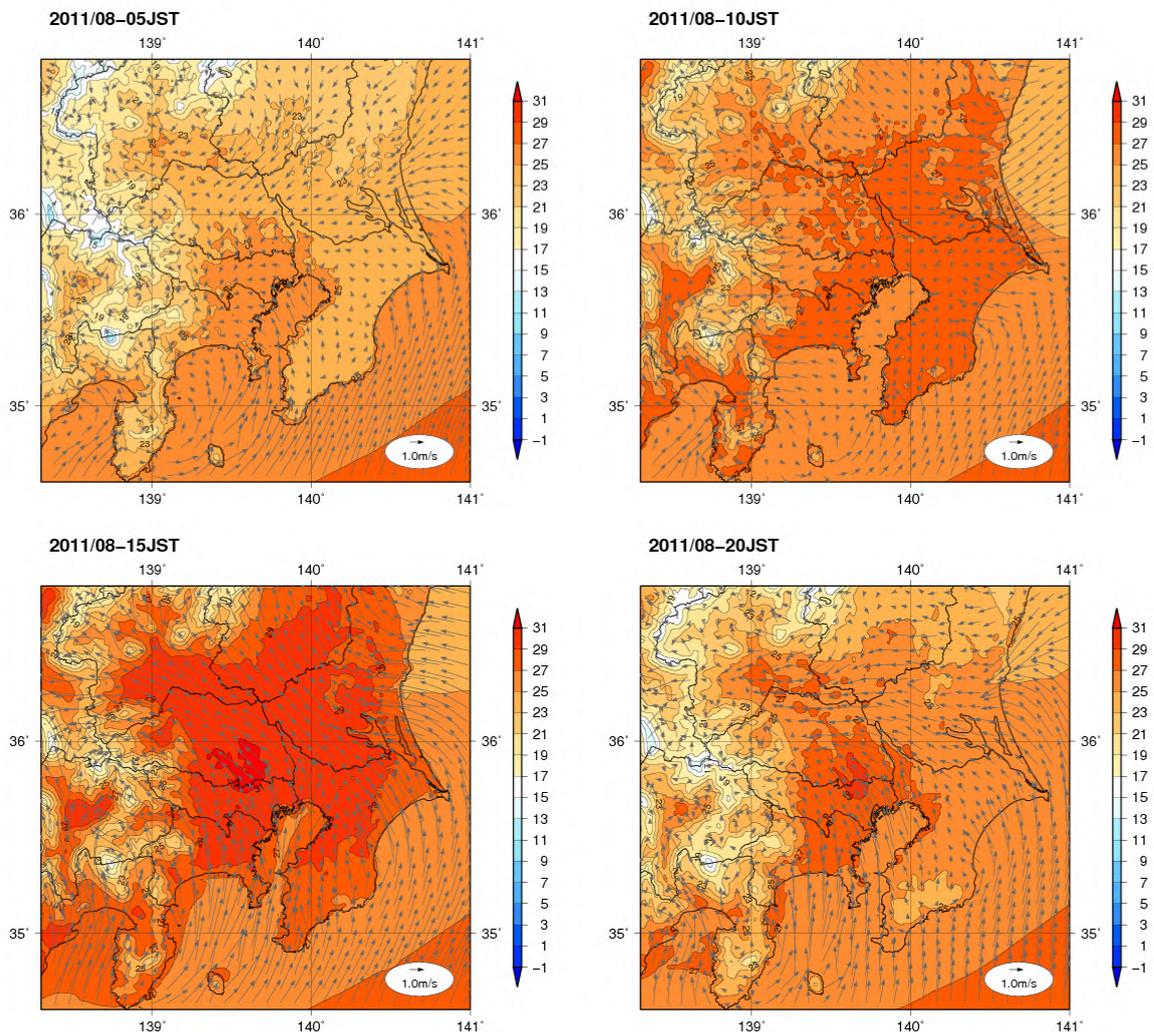


図 3.8 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均気温(陰影)と平均風(矢羽根)の分布。気温の単位は  $^{\circ}\text{C}$ 、風速の単位は  $\text{m/s}$ 。

図 3.9 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による気温の変化を示す。5 時や 15 時、20 時は、都心部のやや内陸側に昇温のピークが見られる。都市化の影響による昇温量は、日中は 0.5 程度のピークであるのに対し、夜間は 3 を超えている。一方、10 時については 0.5 程度と僅かではあるが都市化の影響により全体的に気温が低下している（原因については 3.2.5 節(3)を参照）。都市化の影響による昇温量が日中に小さく、夜間に大きい傾向は第 2 章で観測結果の分析によって得られた結果と同様の傾向である。

これまでの「ヒートアイランド監視報告」における晴天日を対象とした調査と比較すると、曇雨天日を含む月平均で見た日中の昇温量は小さくなっている。曇雨天日は、日射が弱く都市と草地での顕熱・潜熱輸送量の違いが小さくなる、大気の大気対流活動が活発で都市の熱が上空へ拡散しやすく地表面の違いによる影響が小さくなる、こと等のため、晴天日に比べて日中は都市化の影響による昇温が小さい。

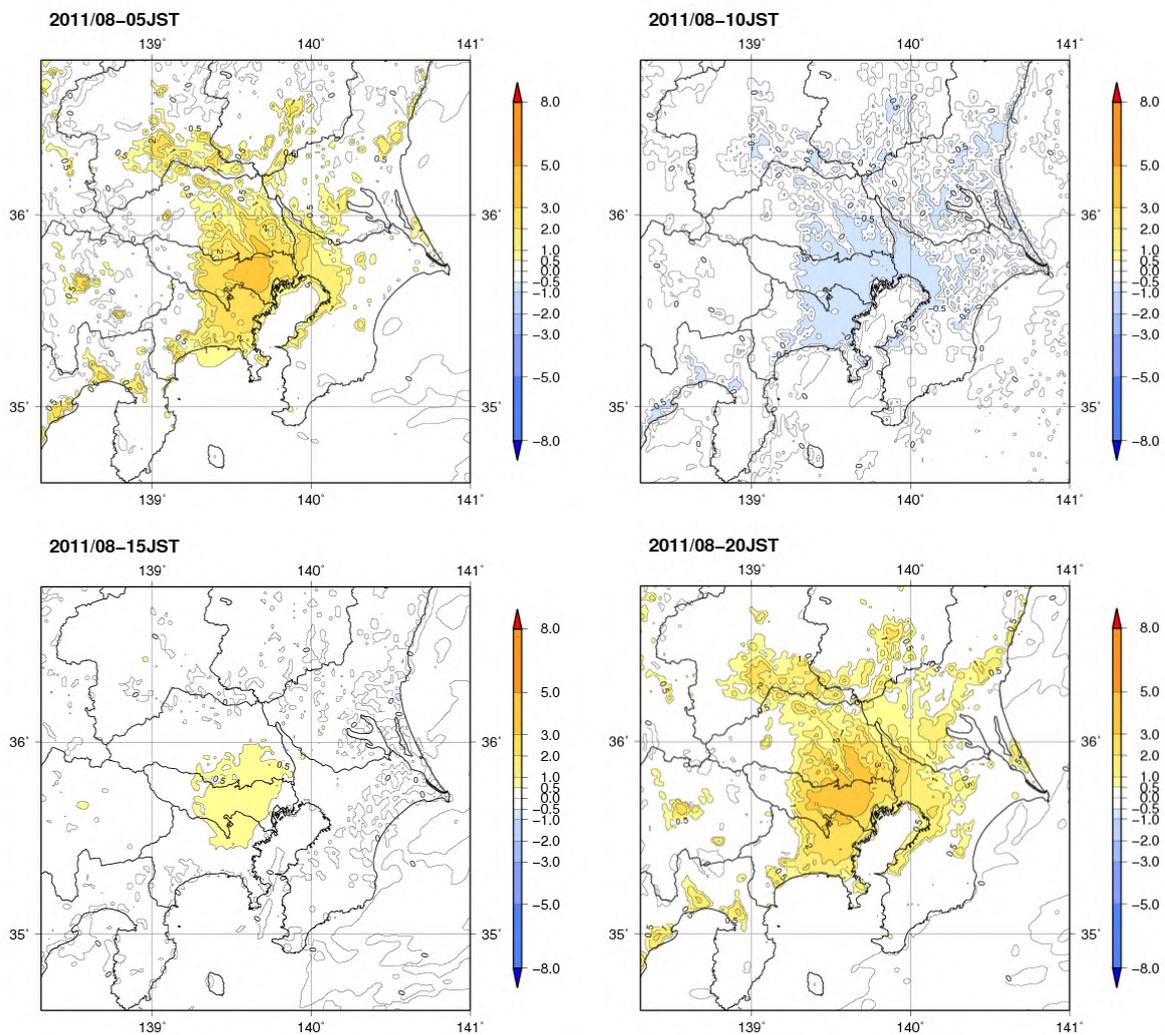


図 3.9 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による昇温量( )の分布

### 3.2.3 関東地方における2011年8月の平均相対湿度の特徴

図 3.10 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の関東地方における時刻別の平均相対湿度を示す。5時、15時、20時では、東京都心の内陸側から埼玉県にかけて島状の相対湿度の低い領域が見られ、周辺部に比べて相対湿度が小さくなっている。しかしながら、10時では都市と都市以外で相対湿度の大きな違いは見られない。

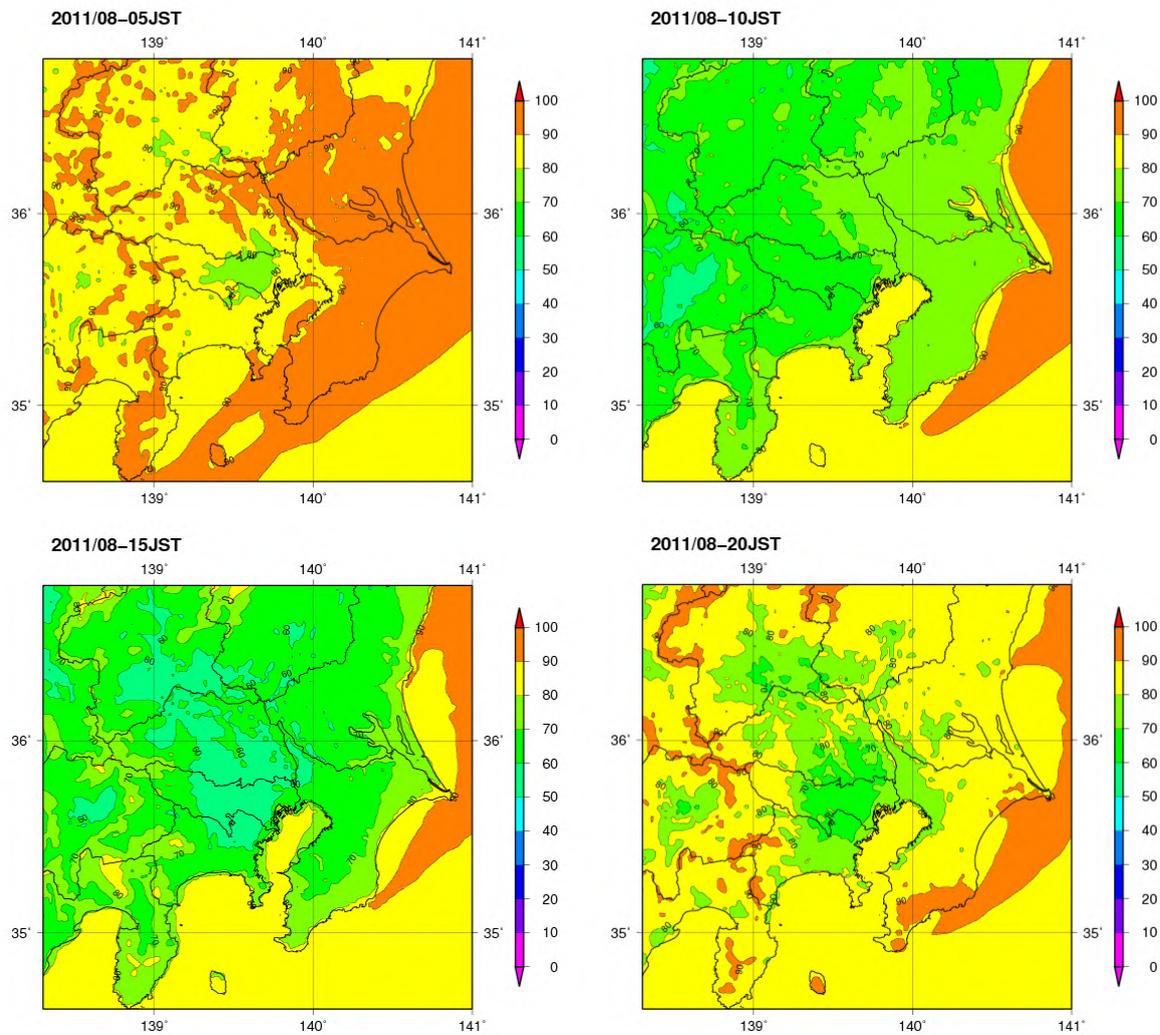


図 3.10 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の平均相対湿度(%)の分布

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量を図3.11に、水蒸気圧変化量を図3.12に示す。図3.11を見ると、相対湿度は5時、15時、20時で東京都心の内陸側から埼玉県にかけて低下しており、20時では相対湿度の低下量が-20%以上と非常に大きな領域も見られる。図3.9と比較すると、相対湿度の低下量は気温の低下量が大きい5時や20時が顕著で気温の上昇と対応しているが、これは第2章で述べたように気温の上昇に伴って飽和水蒸気圧が増加することによると考えられる。一方、図3.12を見ると、水蒸気圧は10時、15時、20時に減少量が大きい。20時は飽和水蒸気圧の上昇と水蒸気圧減少の両方の影響が重なって、相対湿度の低下量が大きくなっているとみられる。また、15時は昇温量は小さいにも関わらず相対湿度の低下量は大きくなっており、水蒸気の減少による寄与が大きいと考えられる。都市における相対湿度と水蒸気圧の低下は、第2章の観測データに見られる傾向と整合的である。

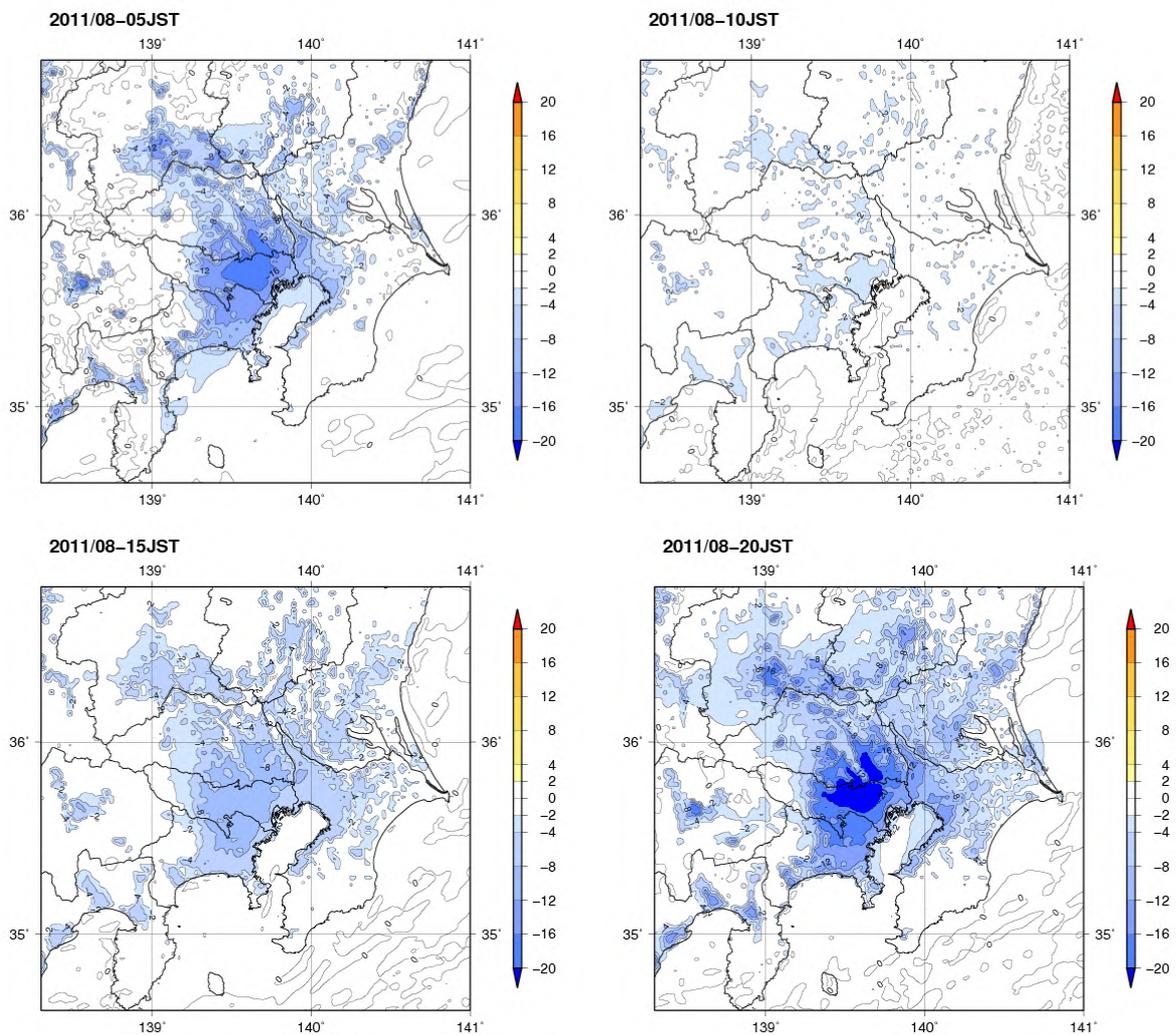


図3.11 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による相対湿度変化量(%)の分布

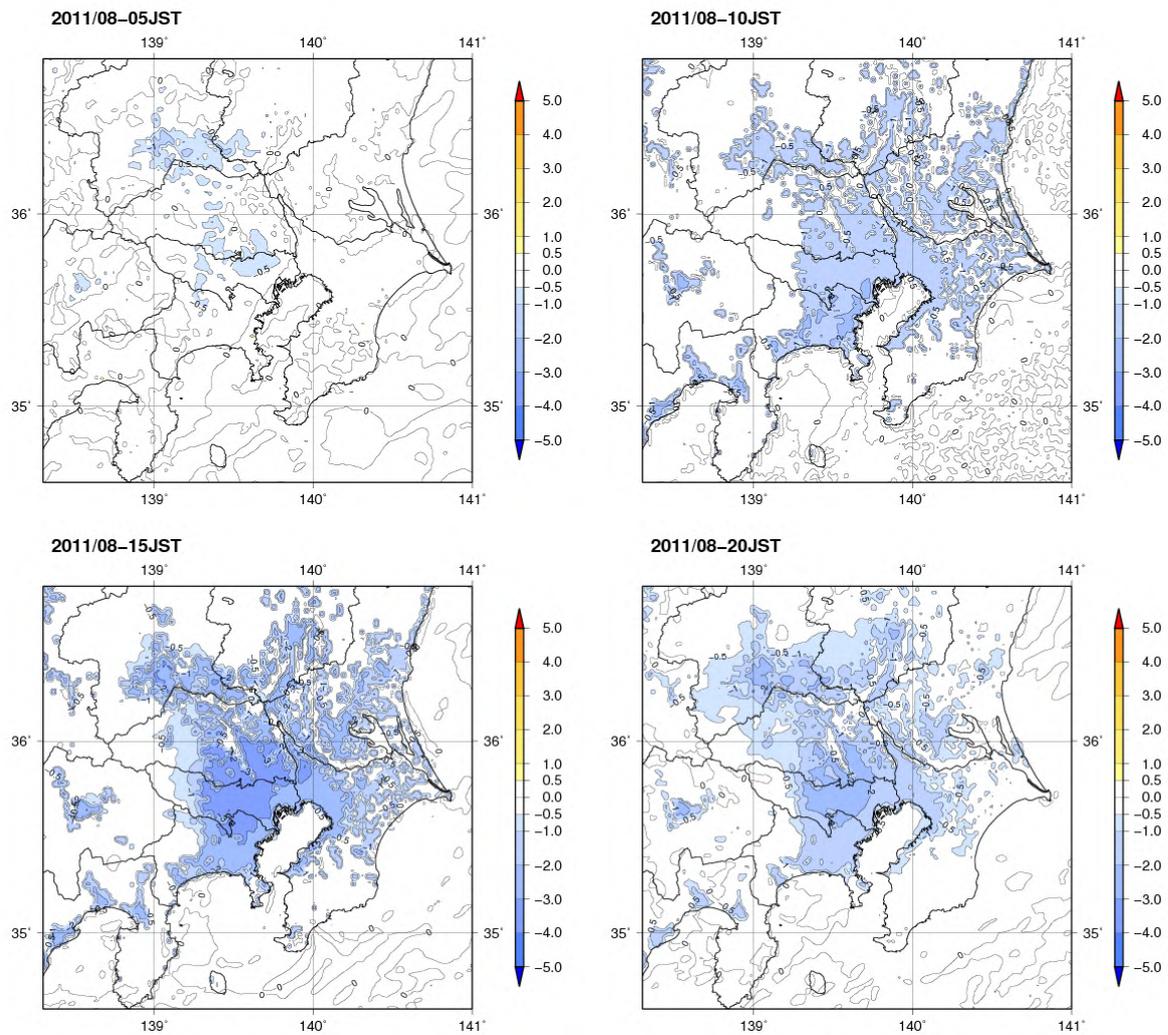


図 3.12 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による水蒸気圧変化量(hPa)の分布

### 3.2.4 東京における気温と相対湿度の日変動

図 3.13 に東京における気温と相対湿度の時間変化を示す。都市有り実験（緑線）は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測結果（赤線）と比較することができる。都市有り実験と観測は概ね一致しており、両者の誤差は、気温が概ね $\pm 1$  未満、相対湿度が概ね $\pm 5\%$ 未満と高い精度でシミュレーション出来ていると考えられる。気温は観測に比べて日中にやや低めで夜間に高めとなる傾向がある。

都市有り実験と都市無し実験（青線）の差が都市化の影響による変化量である。気温は夕方から都市化による昇温量が拡大し、夜間から明け方にかけて最も大きく、日の出と共に急激に小さくなっている。相対湿度についても同様に日中に都市化の影響が小さく夜間に大きい傾向が見られるが、気温の日変動に比べると都市化の影響の出現が数時間程度早い傾向が見られる。

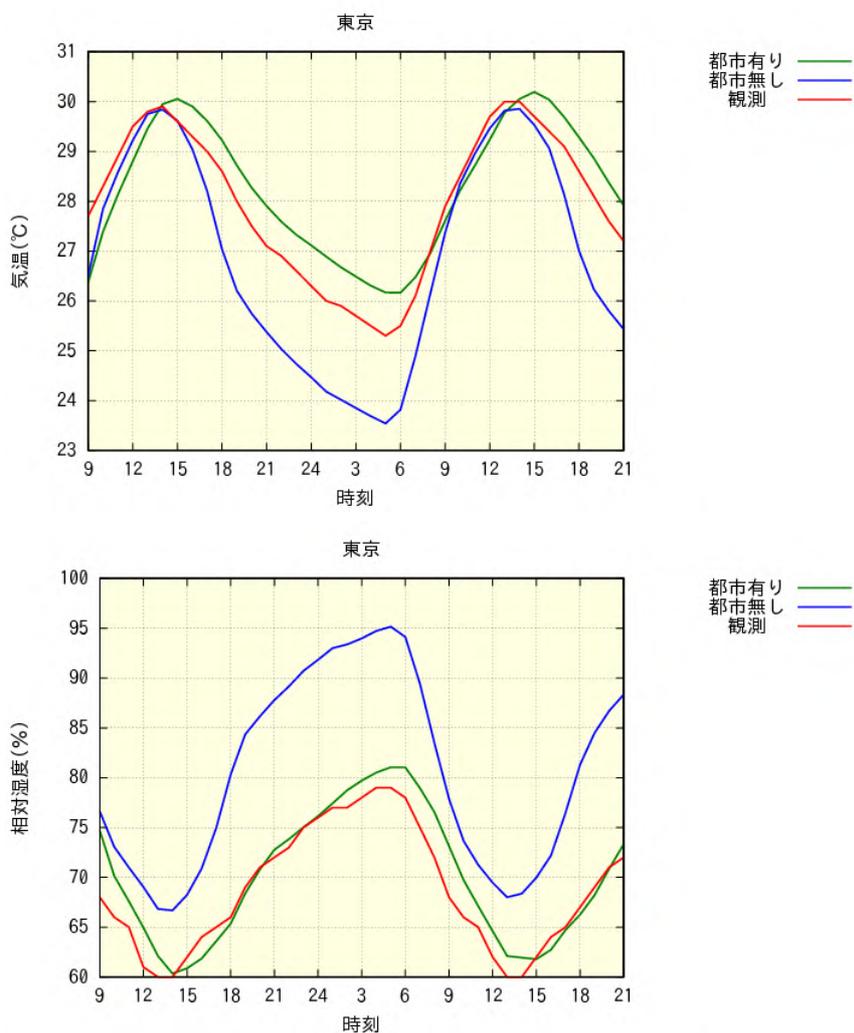


図 3.13 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における東京の気温(上段)と相対湿度(下段)の日変動の観測との比較。横軸は時刻を表す。緑線は都市有りのシミュレーション、青線は都市無しのシミュレーション、赤線は観測に見られる変動。緑線と赤線の一致が良いほど、シミュレーションの精度が高いと考えられる。緑線と青線の差が都市化の影響を表し、気温については全般に上昇、相対湿度については低下の方向に変化している。

### 3.2.5 関東地方におけるヒートアイランド現象に伴う様々な気候変化

#### (1) 風速

図 3.14 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による風速の変化量を示す。15 時は風速の減少が大きく、都心部からやや内陸部で風速の減少量が大きくなっている。図 3.8 と見比べると東京湾からの海風を妨げる風の変化をしており、これまでのヒートアイランド監視報告で述べてきたように、都市化の影響で風速が減少して冷涼な海風の内陸への進入が妨げられていることが示唆される。

一方、夜間は風速の減少が小さく、20 時では風速が増加している領域も見られる。これは都市と郊外の気温差が大きくなることで、空気の密度差による風が生じるためと考えられる。

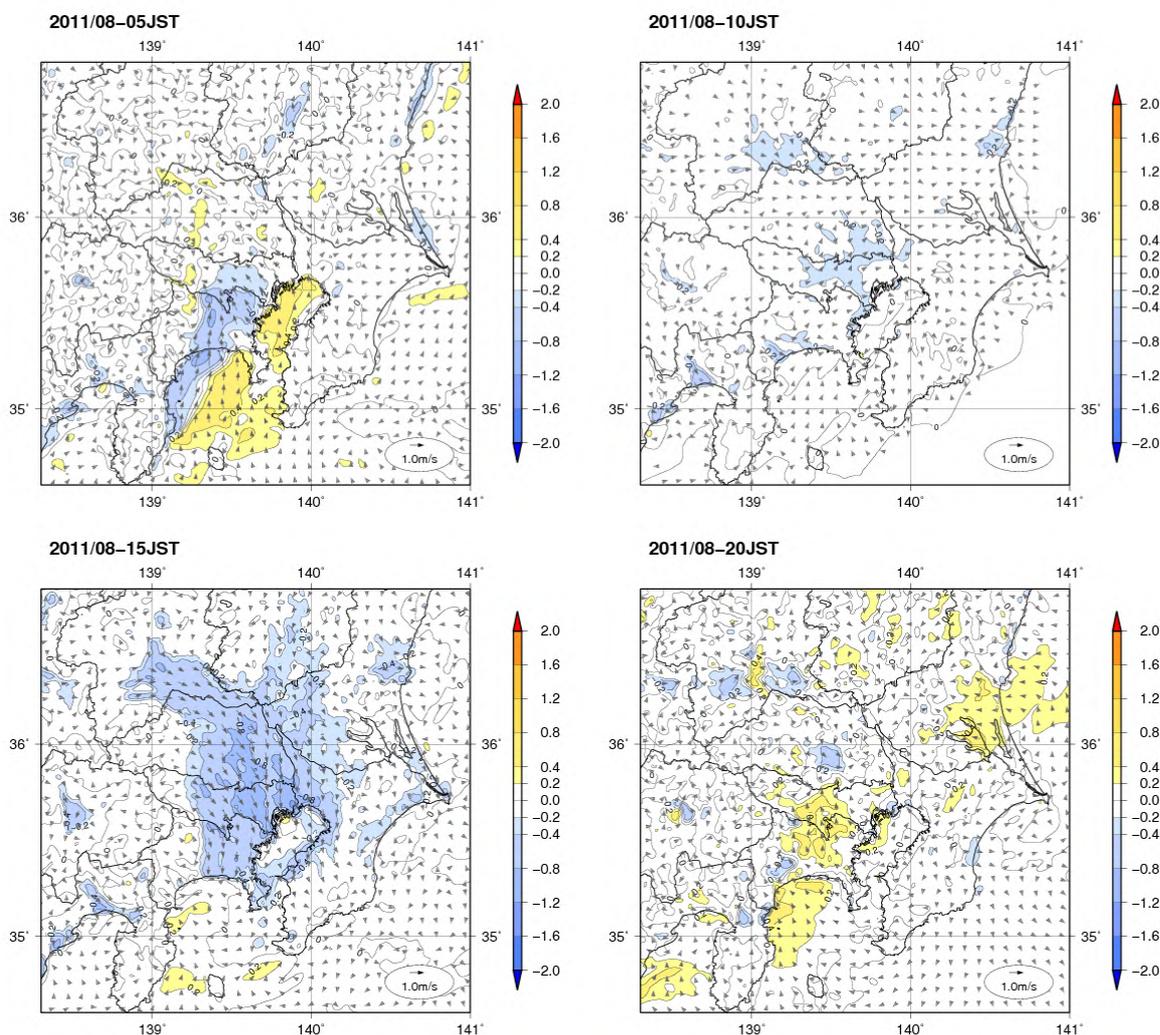


図 3.14 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による風速変化量(陰影)と風の変化(矢印)の分布。単位は m/s である。

## (2) 地表面温度

図 3.15 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による地表面温度<sup>10</sup>の変化量を示す。地表面温度は日中・夜間を問わず上昇が見られる。特に 15 時頃は昇温量がピークであり、東京都心の内陸側に 6 以上の領域が広範囲に見られる。一方、図 3.9 で示したように気温の上昇量は夜間の方が大きい。これは日中は大気境界層における対流活動が活発で、都市の熱が上空へ拡散され易いためと考えられる。

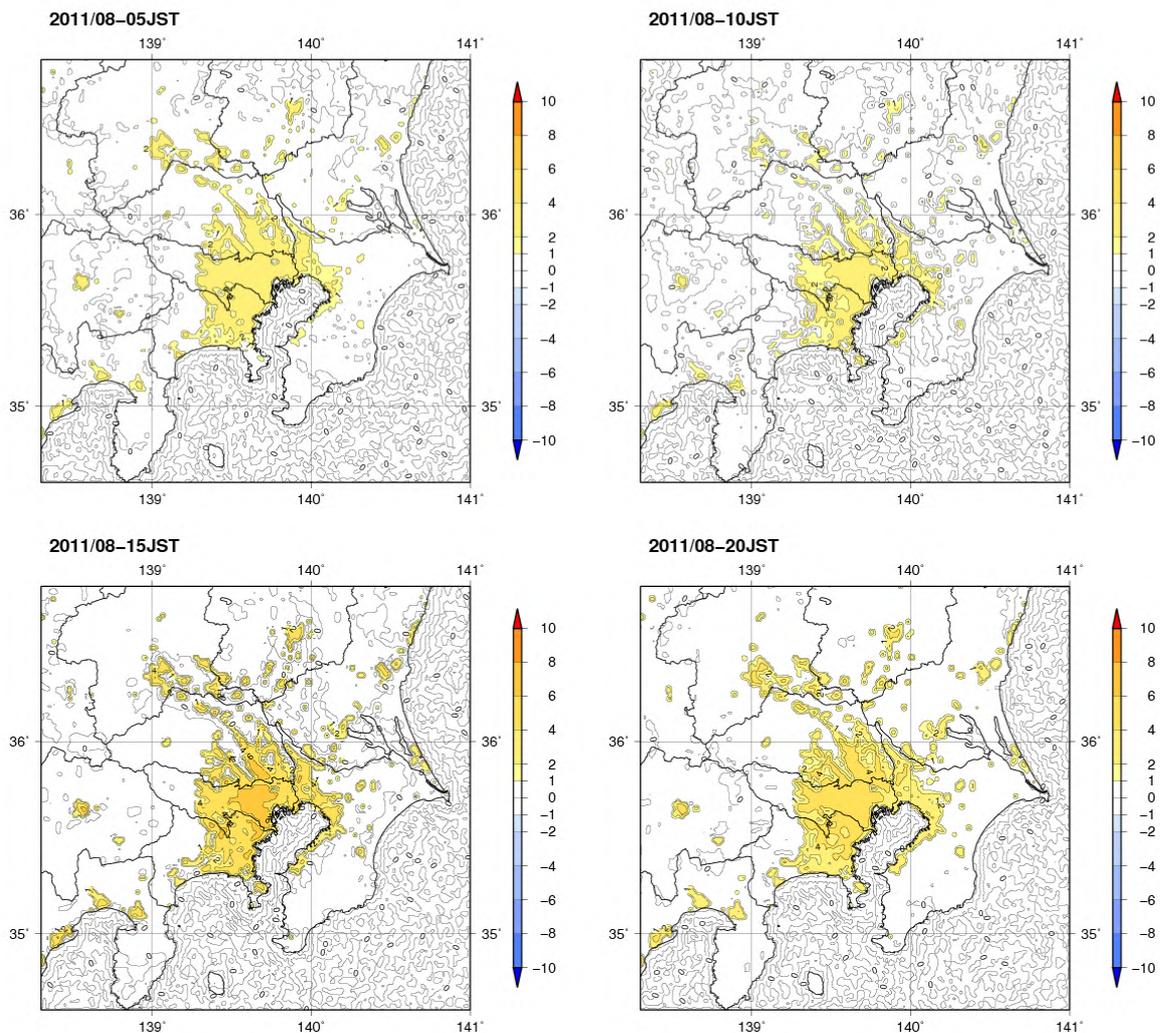


図 3.15 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による地表面温度変化量( )の分布

<sup>10</sup> ここで述べる地表面温度とは、日向のアスファルトばかりでなく、日陰となる部分や都市に存在する草地や水面などを含む全ての地表面温度を平均化したものである。日向のアスファルト上などでは局所的に更に地表面温度の上昇が著しいと考えられる。

図 3.16 に都市気候モデルにより見積もられた 2011 年 8 月の東京大手町付近における平均的な地表面温度と観測を行っている高さ（地表面から約 1.5m）における気温の関係を示す。夜間は地表面温度と気温が同程度であるのに対し、日中は気温に比べ地表面温度が非常に高くなっている。ヒートアイランド現象は、気温の上昇量としては第 2 章で述べたように夜間の方が顕著であるが、地表面温度の上昇量としては日中の方が著しく大きい。地表面温度が高くなると、輻射熱の増加により、観測される気温の上昇量以上に人体が感じる体感温度は高くなる（環境省, 2005）。

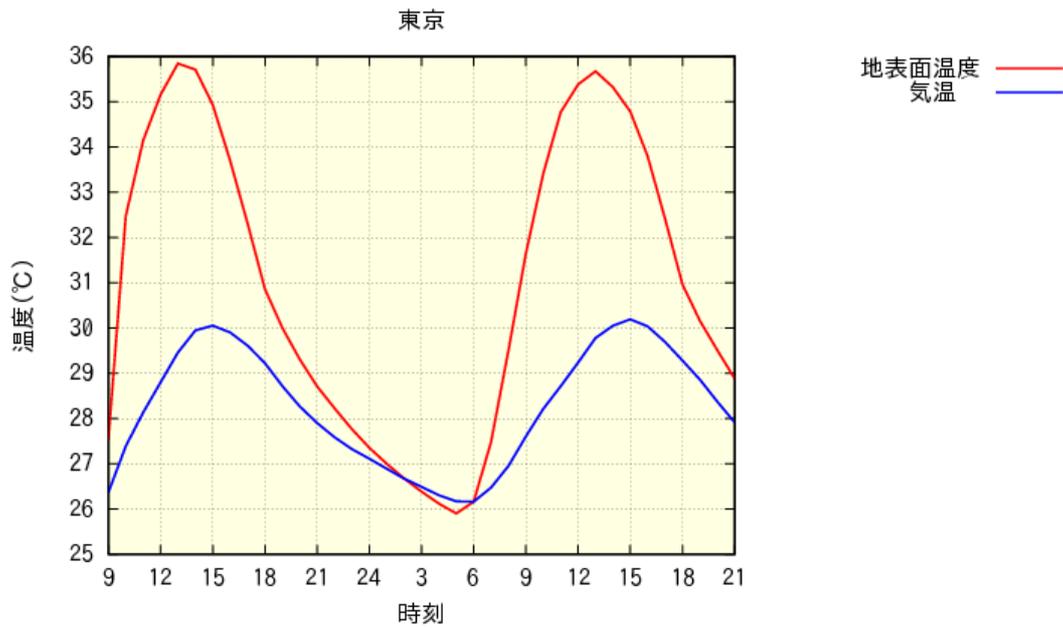


図 3.16 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東京大手町付近における地表面温度と気温の平均的な時間変化。横軸はシミュレーション開始時刻である 09 時からの経過時間である。

### (3) 顕熱フラックスと潜熱フラックス

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による顕熱フラックス<sup>11</sup>の変化量を図3.17に、潜熱フラックス<sup>12</sup>の変化量を図3.18に示す。潜熱フラックスは10時、15時と日中に著しく減少している。これは地表面が草地から人工被覆になることで地表面や植物からの水分の蒸発散が減少するためである。日中の大きな潜熱フラックスの減少は3.2.3節で述べた水蒸気の低下要因になっていると考えられる。一方、顕熱フラックスは10時は減少しており、15時や20時では顕著に増加している。10時の顕熱フラックスの減少については、コンクリートなどは熱容量が大きいので、草地に比べて暖まりにくいことが要因と考えられる。図3.9で10時に都市化の影響によって気温が低下しているのは、このような顕熱フラックス減少による影響と考えられる。午後の時間帯に見られる顕熱フラックスの増加は、コンクリートなどに蓄積された熱が次第に放出されることが要因と考えられる。

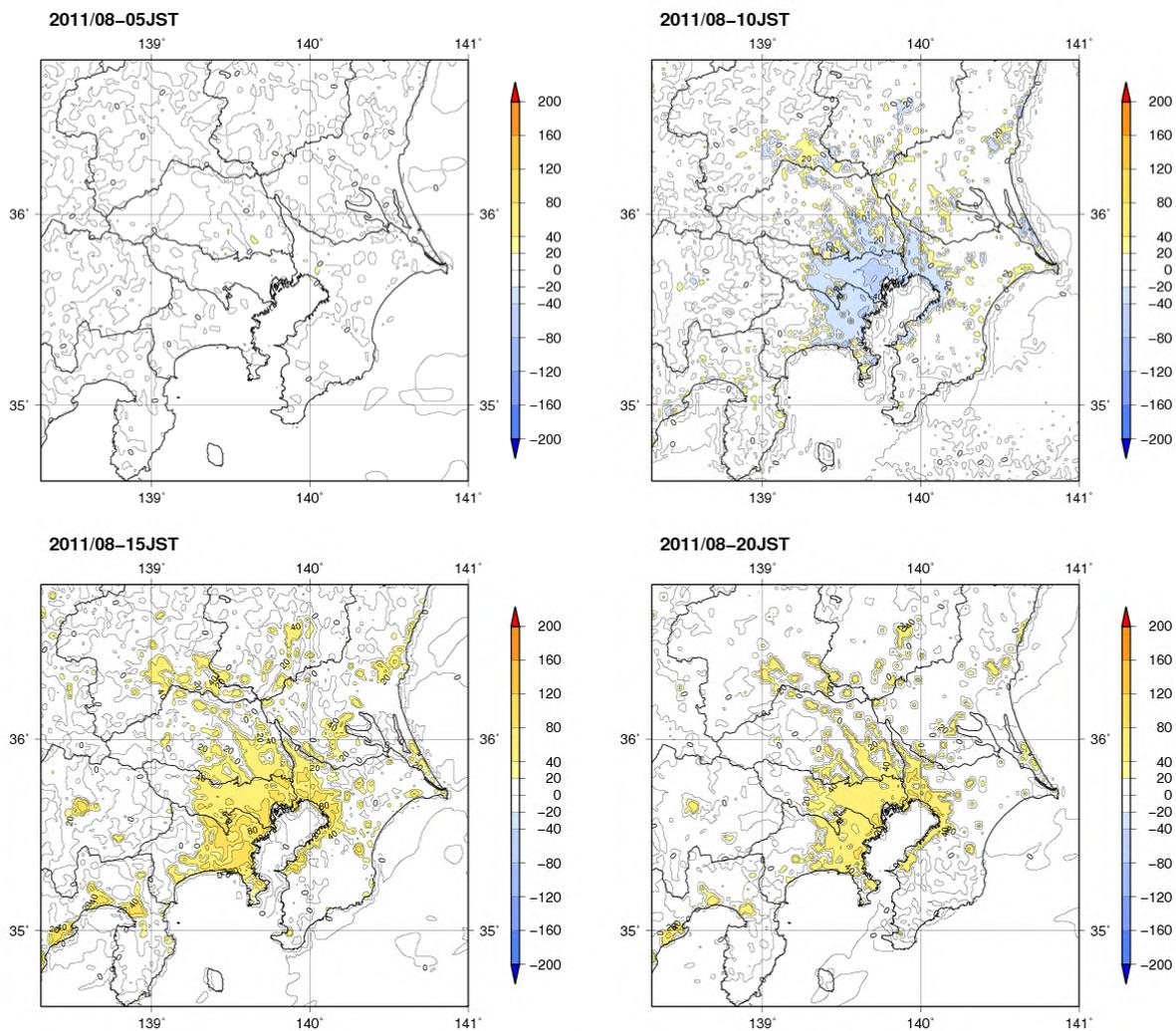


図3.17 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による顕熱フラックス変化量(W/m<sup>2</sup>)の分布

<sup>11</sup> 顕熱フラックス：地表面から大気に直接伝わる熱量のこと。

<sup>12</sup> 潜熱フラックス：地表面から水分が蒸発するとき水蒸気が奪う熱量のこと。

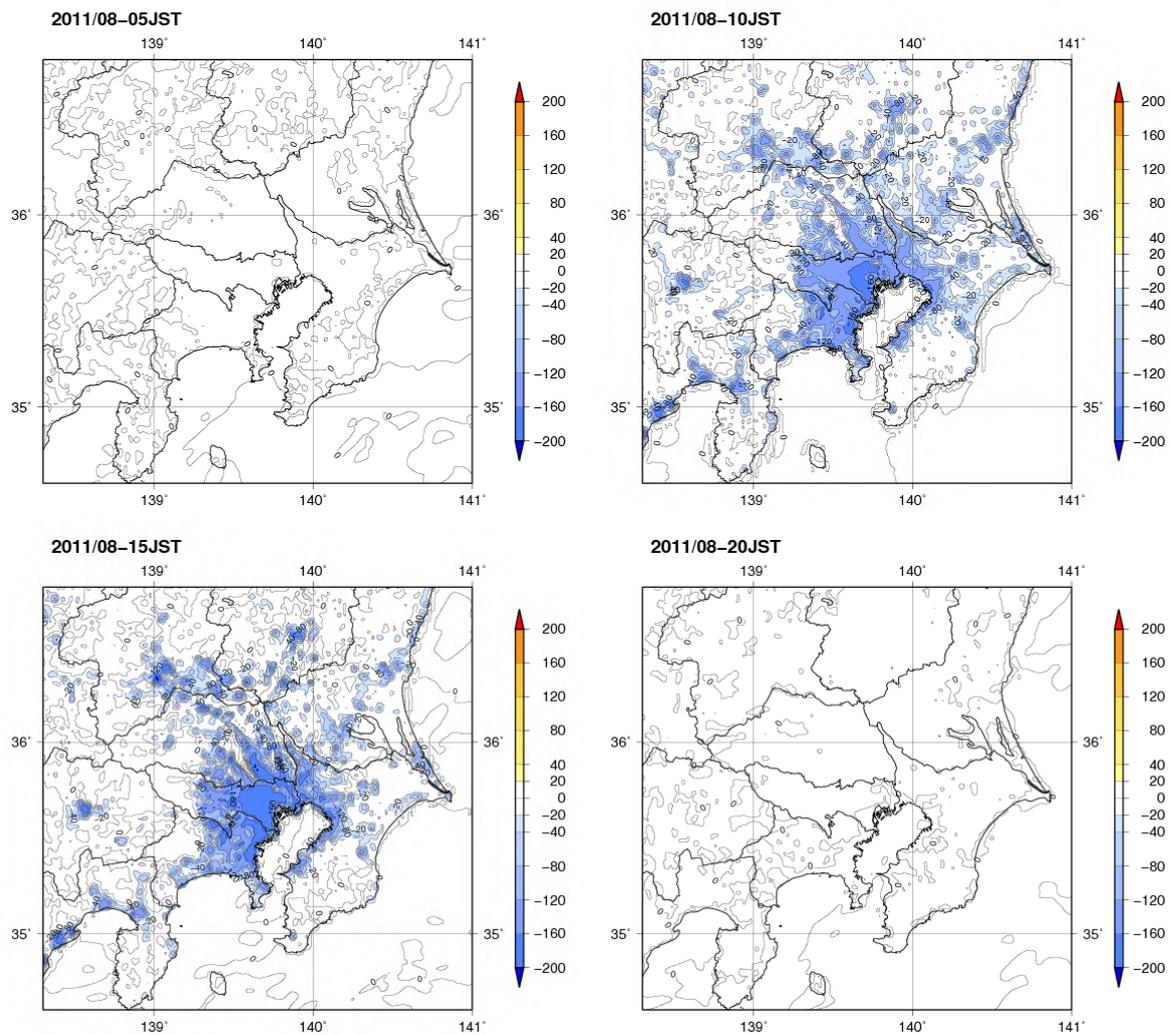


図 3.18 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による潜熱フラックス変化量( $W/m^2$ )の分布

### 3.3 近畿地方における 2011年 8月のヒートアイランド現象

本節では、都市気候モデルによるシミュレーション結果を元に、近畿地方における 2011年 8月の月平均のヒートアイランド現象の特徴について解説する。

#### 3.3.1 近畿地方の地形と都市構造の特徴

図 3.19 に近畿地方の地形と人工被覆率、居住人口、従業者数を示す。近畿地方は日本第二の都市圏である。大阪平野や京都盆地を中心に都市圏が形成されている。居住人口は夜間の人口分布、従業者数は日中の人口分布に概ね対応している。夜間の人口は、大阪平野や京都盆地に広く分散している（図 3.19 左下）が、日中の人口は大阪市や京都市の都心部に著しく集中する（図 3.19 右下）。

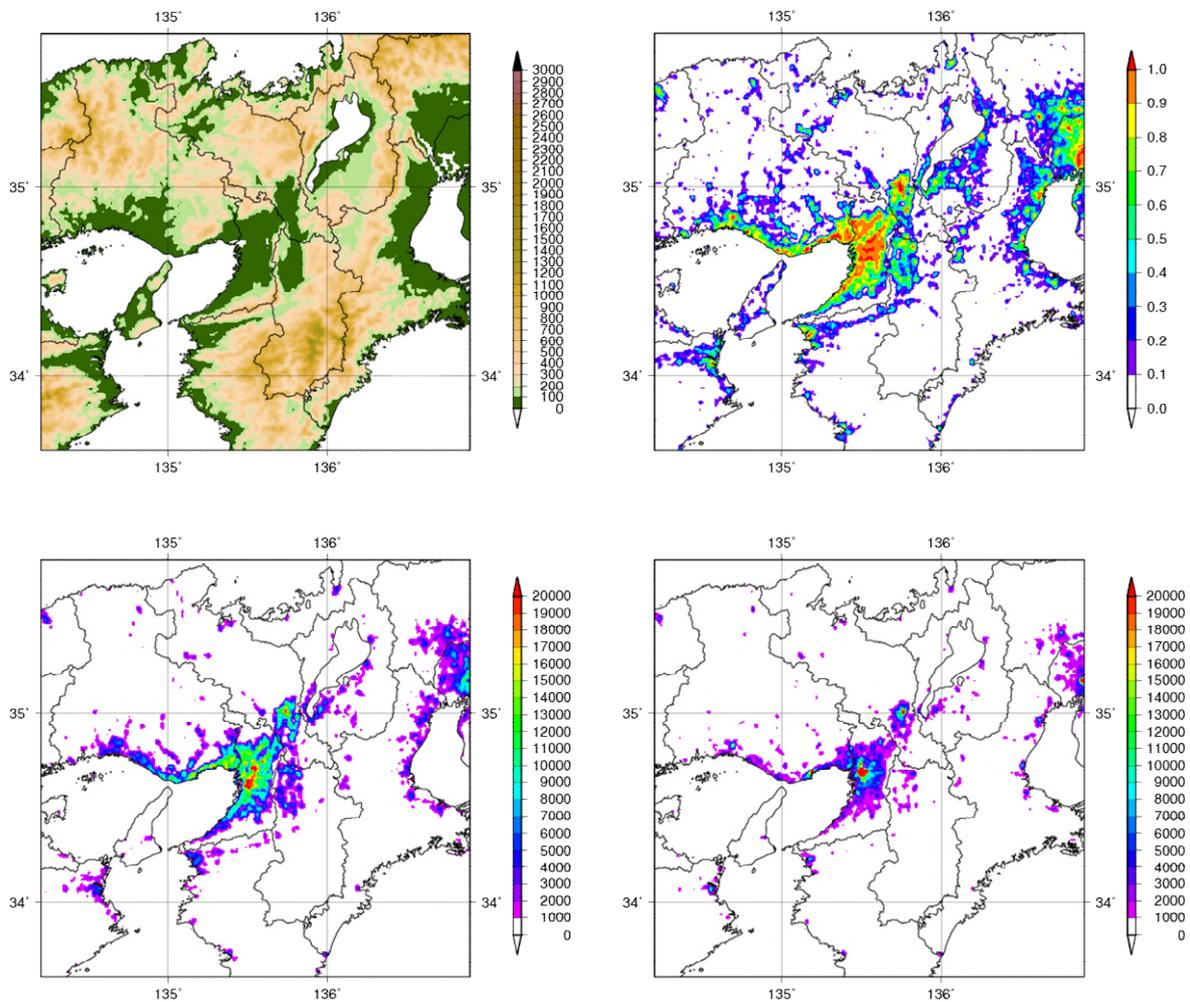


図 3.19 近畿地方における標高(左上)、人工被覆率(右上)、居住人口(左下)、従業者数(右下)の分布

人工被覆率は 2006 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュにおける建物用地、幹線交通用地、その他の用地の合計割合。居住人口と従業者数は、総務省統計局地域メッシュ統計より作成。

### 3.3.2 近畿地方における 2011 年 8 月の平均気温と風の特徴

図 3.20 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における時刻別の平均気温と平均風を示す。5 時や 15 時、20 時では大阪市や京都市の都心部で気温が高く、ヒートアイランド現象の特徴を示す島状の気温分布のピークが見られる。風については、15 時や 20 時は大阪湾から大阪都心部へ進入する海風が顕著であるが、明け方は風が弱まっている。

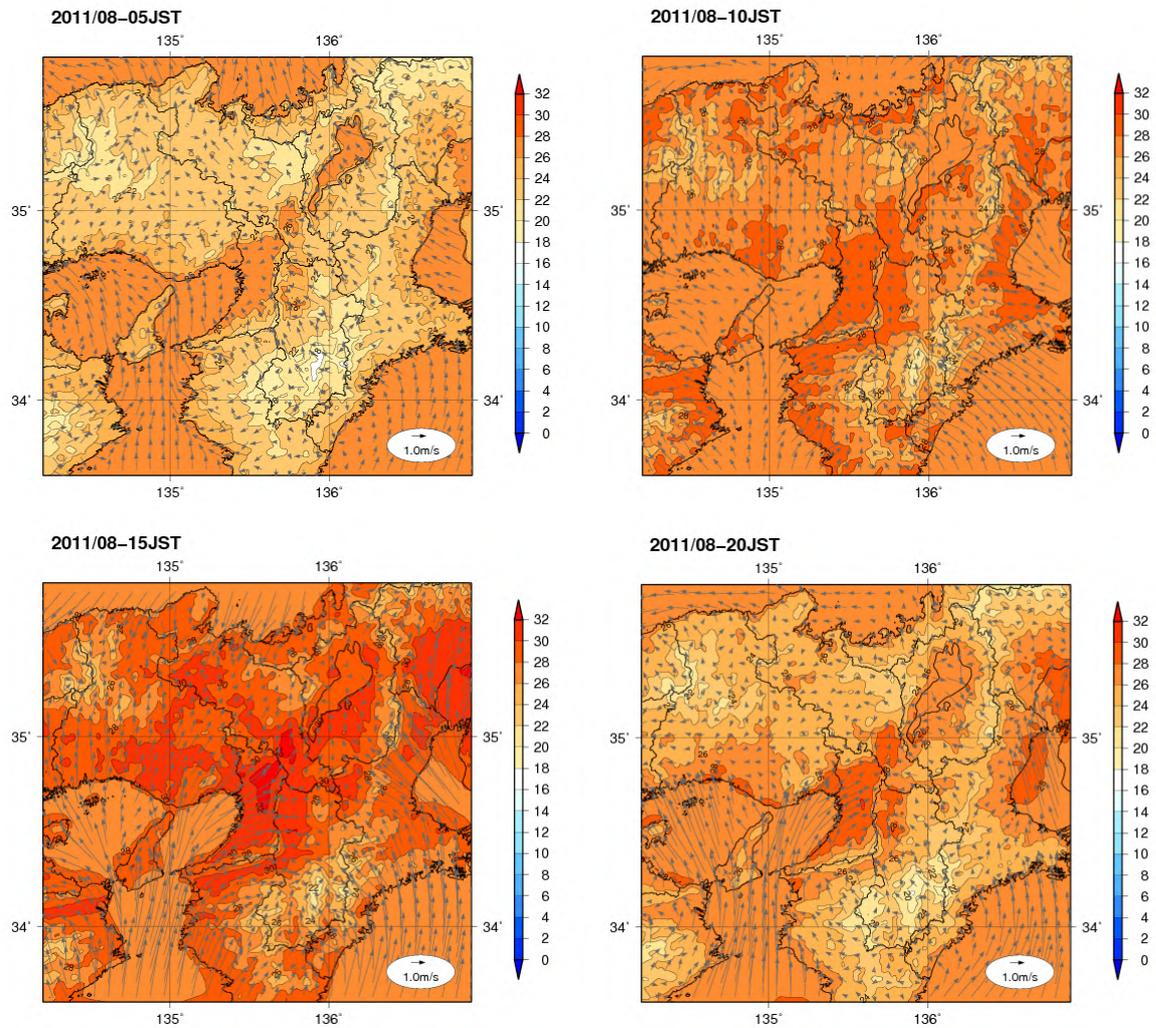


図 3.20 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均気温(陰影)と平均風(矢印)の分布図。気温の単位は℃、風速の単位は m/s。

図 3.21 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における時刻別の都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による昇温量を示す。15 時の昇温量は 0.5 程度と小さい一方、5 時や 20 時の昇温量は 3 以上と関東地方と同程度になっている。夜間は大阪平野のほか、京都市や奈良市などの都市の中心部でも局所的な 3 程度の昇温のピークが見られる。都市化の影響による昇温量が日中に小さく、夜間に大きい傾向は第 2 章で月平均気温の分析によって得られた結果と同様の傾向である。また、20 時では昇温量が大阪湾沿岸部で小さく内陸部で大きいのに対し、5 時では沿岸部でも大きくなっている。これは 20 時では沿岸部で大阪湾からの海風の進入によるヒートアイランド現象の緩和効果が働くが、明け方にはこの効果が弱まるためと考えられる。

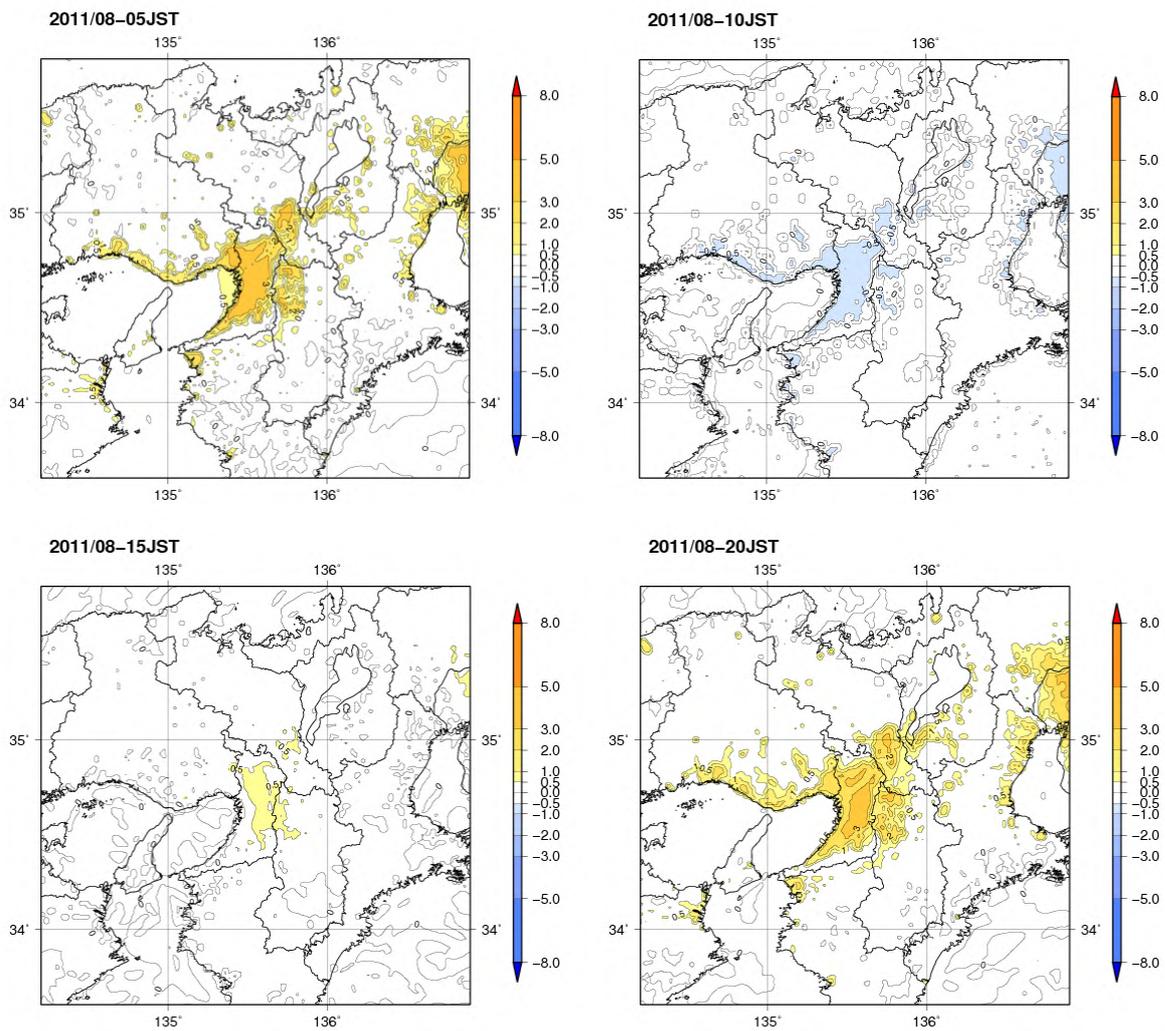


図 3.21 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による昇温量の分布図

### 3.3.3 近畿地方における2011年8月の平均相対湿度の特徴

図 3.22 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の近畿地方における時刻別の平均相対湿度を示す。5時、15時、20時では大阪平野や京都盆地に相対湿度が低い領域が広がっており、都市が周辺部に比べて乾燥している様子が見られる。一方、10時では都市と都市以外で明瞭な違いは見られない。この特徴は関東地方と同様である。

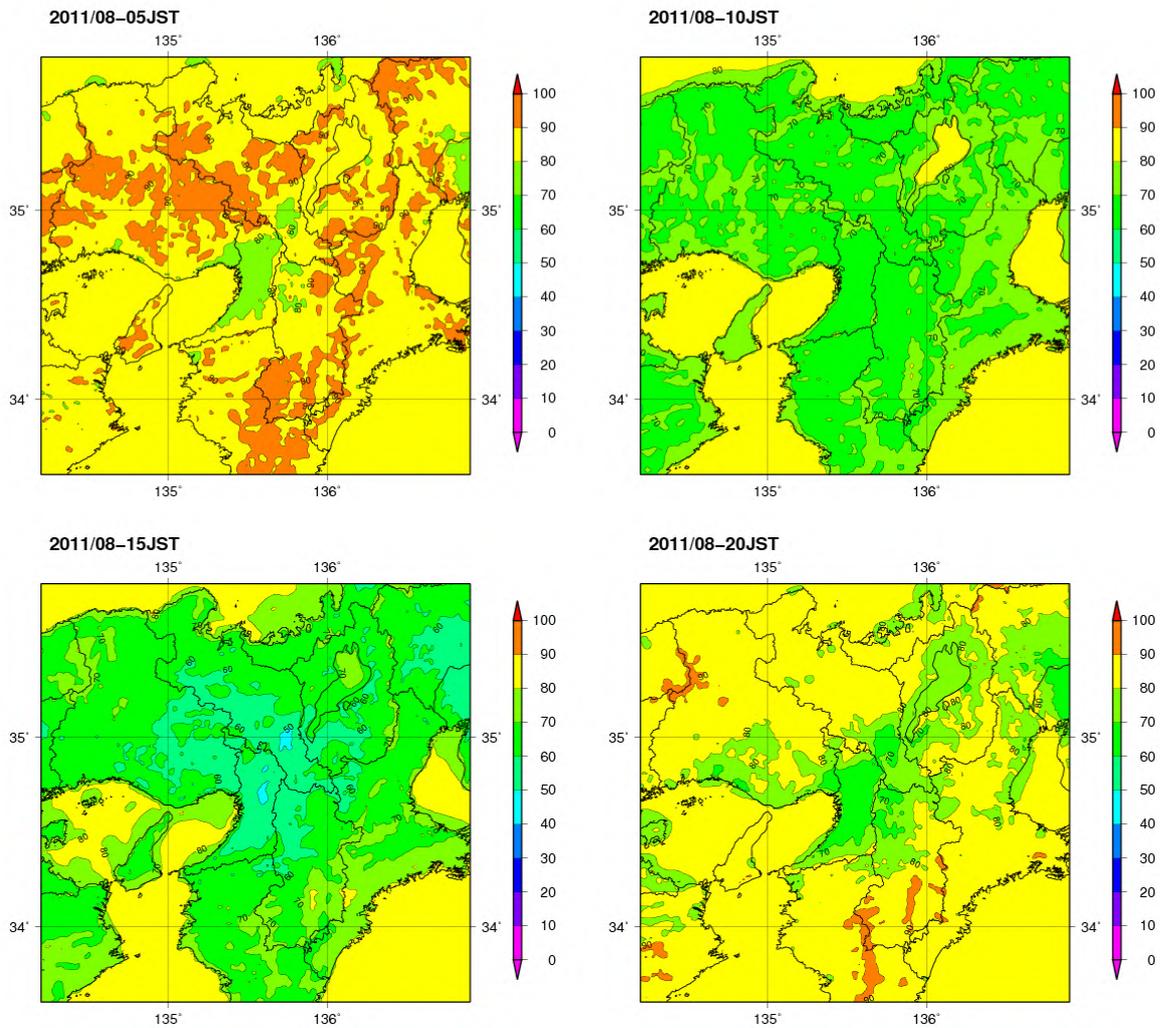


図 3.22 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の平均相対湿度(%)の分布

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の近畿地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量を図3.23に、水蒸気圧変化量を図3.24に示す。図3.23を見ると、相対湿度は5時、15時、20時に相対湿度の低下量が大きく、20時には大阪平野や京都盆地、奈良盆地で-20%以上と非常に大きな領域が見られる。図3.21と比較すると、都市化による昇温量の大きい時刻に相対湿度の低下も大きい傾向があり、気温の上昇に伴って飽和水蒸気圧が増加することによる寄与が大きいと考えられる。一方、図3.24を見ると水蒸気は10時、15時、20時に減少量が大きく、20時は飽和水蒸気圧の上昇と水蒸気圧減少の両方の影響が重なって、相対湿度の減少量が大きくなっているとみられる。また、15時は都市化の影響による昇温量が小さいにも関わらず相対湿度の低下が大きく、水蒸気の減少による寄与が大きいと考えられる。これらの傾向は何れも関東地方と同様であり、第2章の観測データに見られる傾向と整合的である。

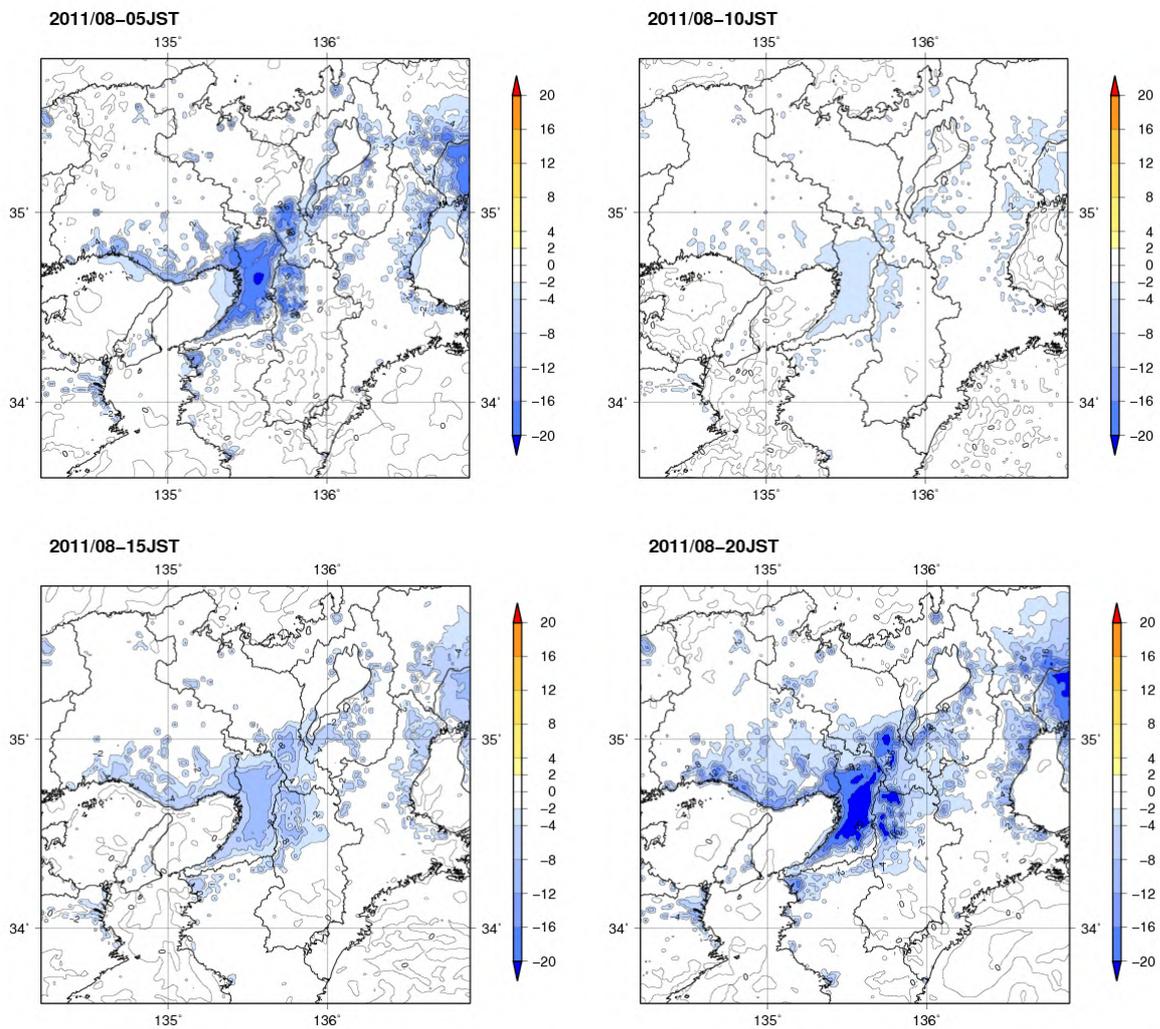


図3.23 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による相対湿度変化量(%)の分布

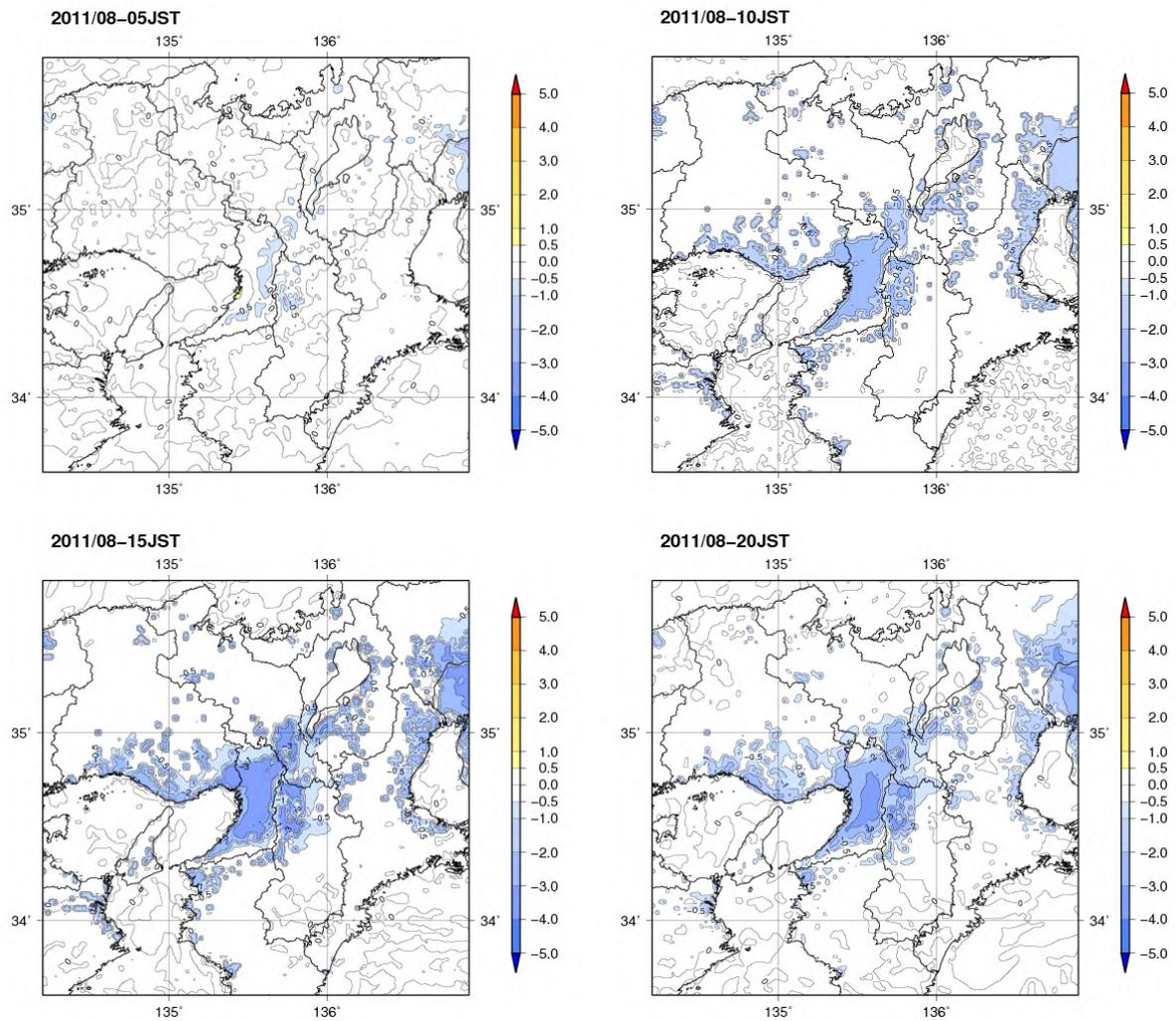


図 3.24 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による水蒸気圧変化量(hPa)の分布

### 3.3.4 大阪における気温と相対湿度の時間変化

図 3.25 に大阪における気温と相対湿度の時間変化を示す。都市有り実験（緑線）は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測結果（赤線）と比較することができる。都市有り実験と観測は概ね一致しており、両者の誤差は気温が概ね $\pm 1$  未満、相対湿度が概ね $\pm 7\%$ 未満と高い精度でシミュレーション出来ていると考えられる。気温は日中に低めで夜間に高めとなる傾向がある。

都市有り実験と都市無し実験（青線）の差が都市化の影響による変化量である。気温は夕方から都市化による昇温量が拡大し、夜間から明け方にかけて最も大きく、日の出と共に小さくなっている。相対湿度についても気温と同様に日中に都市化の影響が小さく夜間に大きい傾向が見られるが、気温の日変動に比べると都市化の影響の出現が時間的に早い傾向がある。これらの特徴は東京と同様である。

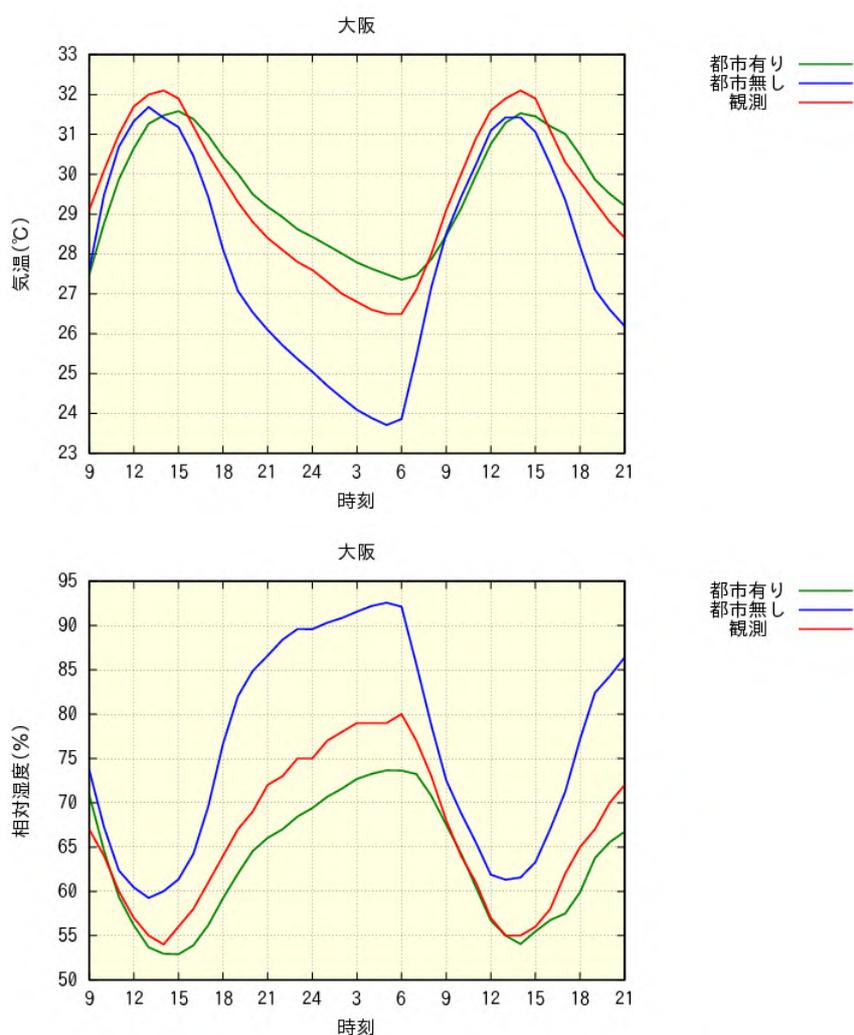


図 3.25 観測と都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における大阪の気温(上段)と相対湿度(下段)の日変動の観測との比較。横軸は時刻を表す。緑線は都市有りのシミュレーション、青線は都市無しのシミュレーション、赤線は観測に見られる変動。緑線と赤線的一致が良いほど、シミュレーションの精度が高いと考えられる。緑線と青線の差が都市化の影響を表し、気温については全般に上昇、相対湿度については低下の方向に変化している。

### 3.3.5 近畿地方におけるヒートアイランド現象に伴う様々な気候変化

#### (1) 風速

図 3.26 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による風速の変化量を示す。風速の変化量は 5 時と 15 時が大きくなっている。風向を見ると 5 時は大阪湾から大阪平野への風の変化、15 時は大阪平野から大阪湾への風の変化が生じており逆方向である。前者は夜間に内陸部から大阪湾へ向かう陸風が弱められているもの、後者は大阪湾から内陸部へ向かう海風が弱められていると考えられる。一方、20 時については風速の増加が見られる。これは都市と郊外の気温差が大きくなることで、空気の密度差による風が生じているものと考えられる。関東地方の図 3.14 と比較すると、15 時ばかりでなく 05 時も風速減少が顕著である点に違いが見られる。

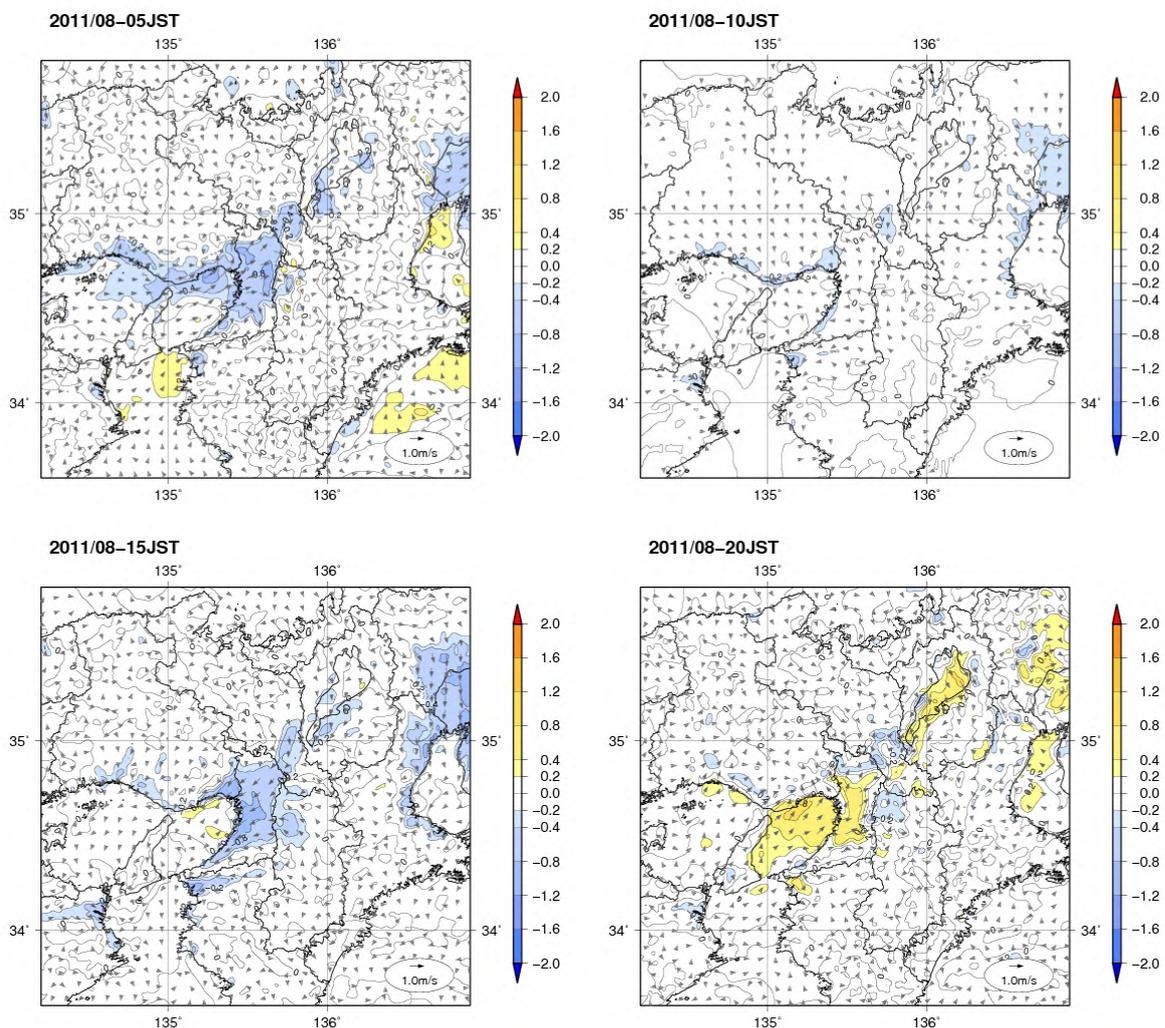


図 3.26 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による風速変化量(陰影)と風の変化(矢印)の分布。単位は m/s である。

## (2) 地表面温度

図 3.27 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による地表面温度の変化量を示す。地表面温度は日中・夜間とも上昇しており、夜間に比べて日中の上昇量が大きくなっている。15 時では 6 以上の昇温域が大阪平野全体に広がっている。一方、気温に関しては図 3.21 で示したように 15 時の気温の上昇量は小さい。これらの特徴は関東地方と同様であり、日中は大気境界層における対流活動が活発で熱が拡散されやすいためと考えられる。

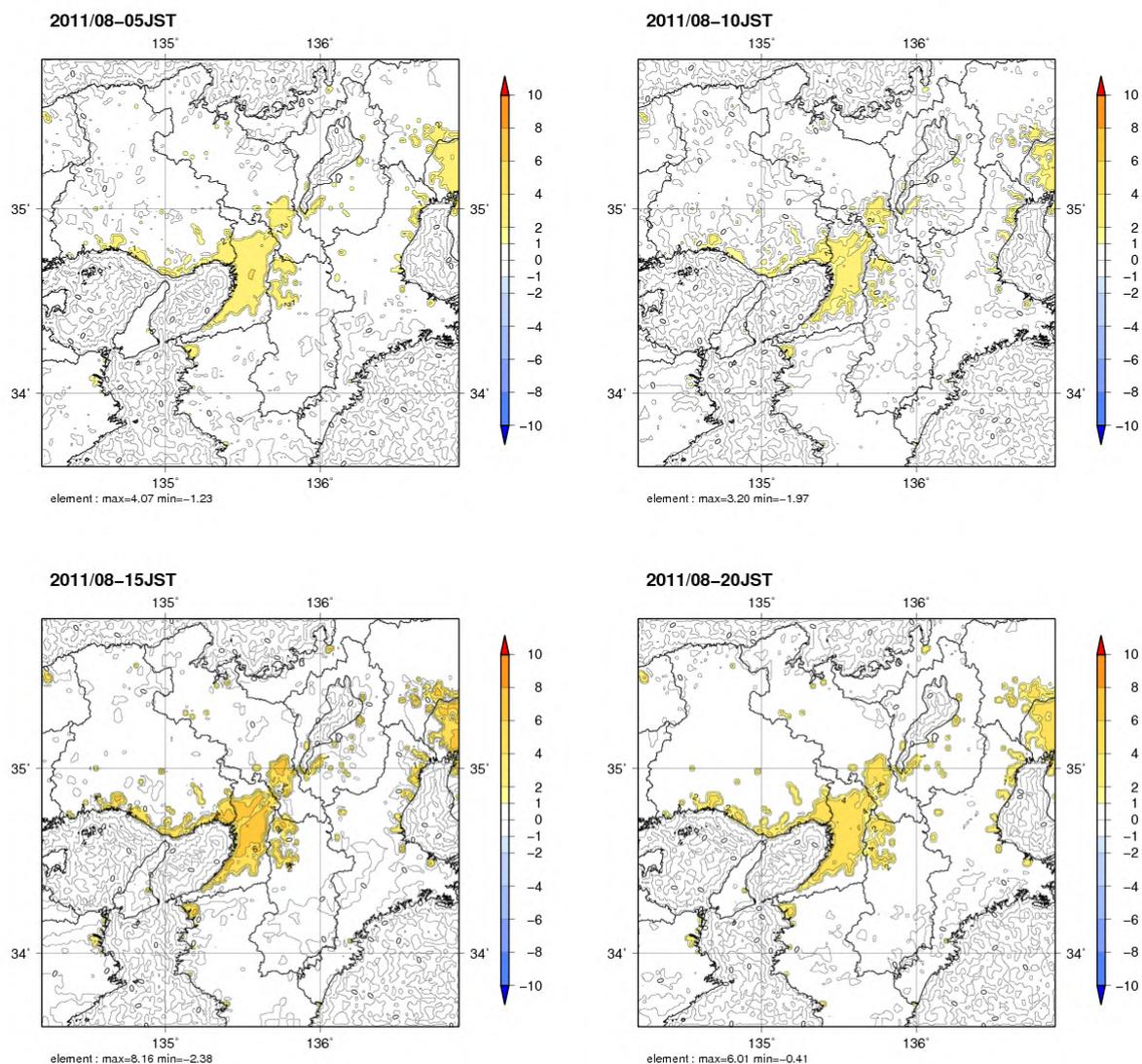


図 3.27 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による地表面温度変化量( )の分布

### (3) 顕熱フラックスと潜熱フラックス

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の近畿地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による顕熱フラックスの変化量を図3.28に、潜熱フラックスの変化量を図3.29に示す。潜熱フラックスは10時、15時と日中に著しく減少している。これは関東地方と同様に、地表面が草地から人工被覆になることで地表面や植物からの水分の蒸発が減少するためである。図3.18の関東地方と比較すると、近畿地方の潜熱フラックスの減少量の方がやや大きい。これは、関東地方に比べて近畿地方の方が平均気温が高く、大気中に含みうる水蒸気量(飽和水蒸気圧)が大きいためと考えられる。

一方、顕熱フラックスは、10時に減少しており、15時や20時で顕著に増加している。これらは関東地方と同様の傾向である。10時の顕熱フラックスの減少については、コンクリートなどの熱容量が大きく草地に比べて暖まりにくいことが要因と考えられる。図3.21で10時に都市化の影響によって気温が低下しているのは、このような顕熱フラックス減少による影響と考えられる。午後の時間帯に見られる顕熱フラックスの増加は、コンクリートなどに蓄えられた熱が放出されることが要因と考えられる。

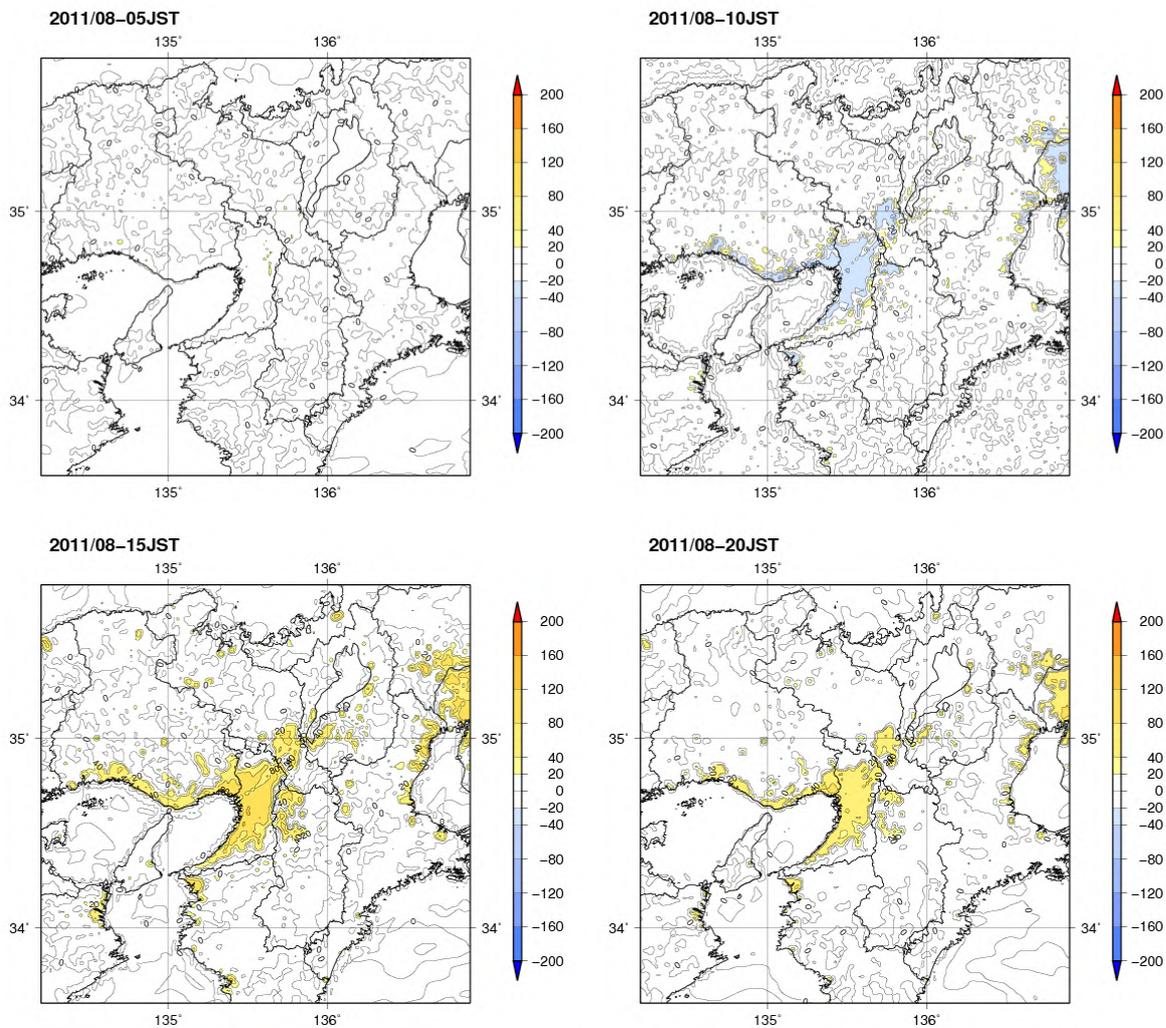


図3.28 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による顕熱フラックス変化量( $W/m^2$ )の分布

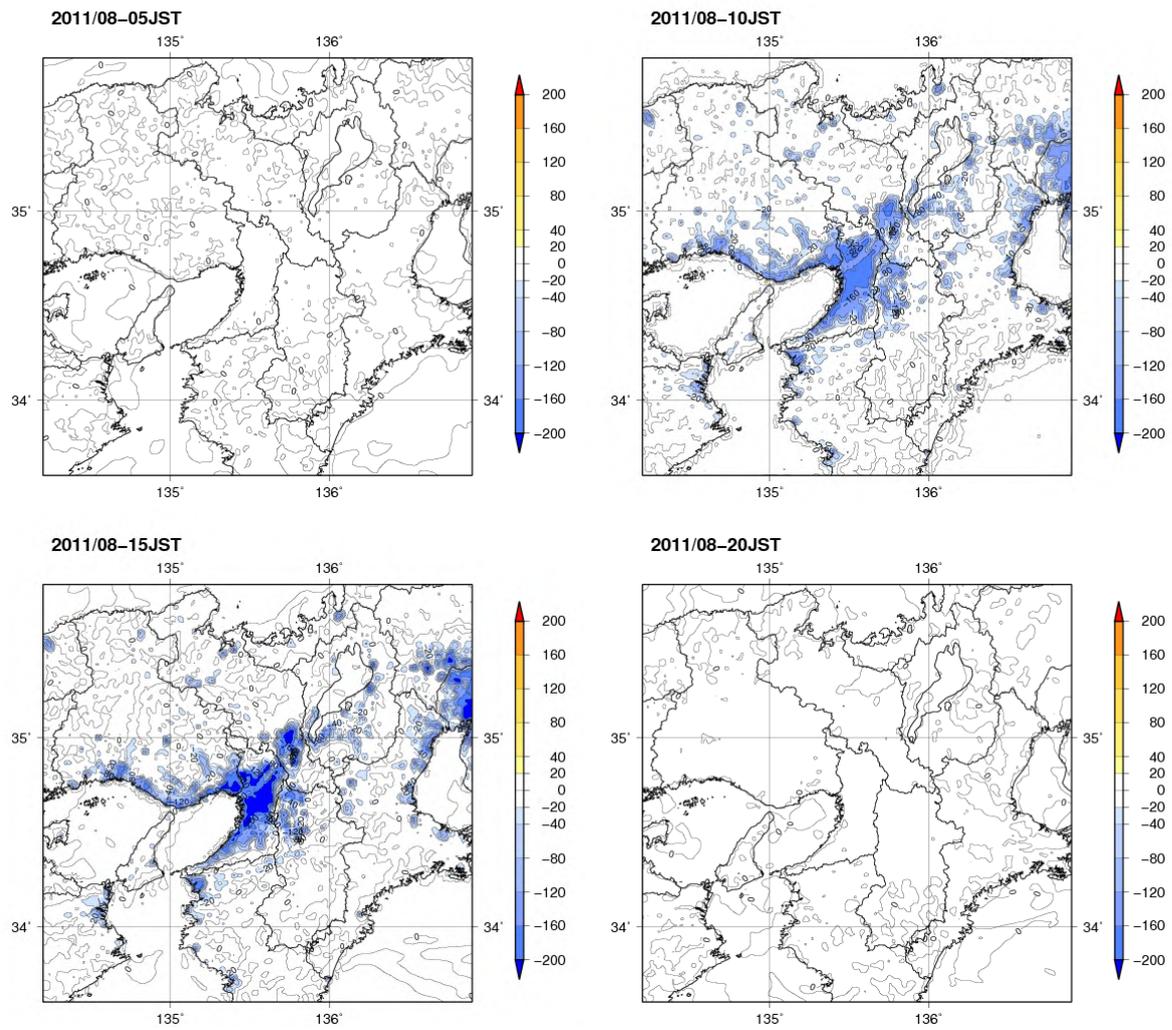


図 3.29 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による潜熱フラックス変化量( $W/m^2$ )の分布

### 3.4 東海地方における 2011年 8月のヒートアイランド現象

本節では、都市気候モデルによるシミュレーション結果を元に、東海地方における 2011年 8月の月平均のヒートアイランド現象の特徴について解説する。

#### 3.4.1 東海地方の地形と都市構造の特徴

図 3.30 に東海地方の地形と人工被覆率、居住人口、従業者数を示す。東海地方は関東地方、近畿地方に次ぐ日本第三の都市圏である。濃尾平野を中心に名古屋都市圏が形成されているほか、東海道の幹線沿いに岡崎市や浜松市などの中小都市が点在している。居住人口は夜間の人口分布、従業者数は日中の人口分布に概ね対応している。夜間の人口は名古屋市とその周辺に広く分散している（図 3.30 左下）が、日中の人口は名古屋市の中心部に著しく集中する（図 3.30 右下）。

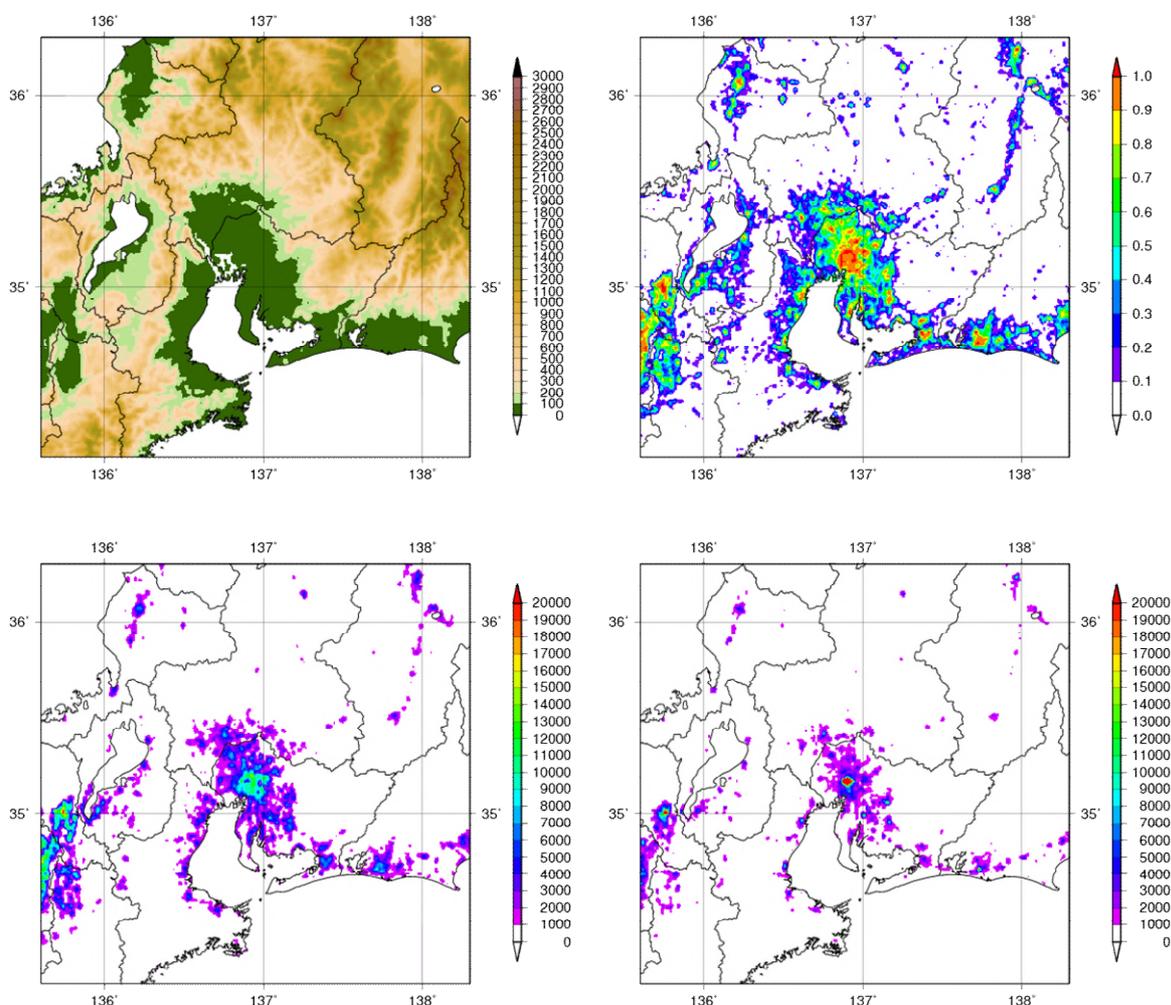


図 3.30 東海地方における標高(左上)、人工被覆率(右上)、居住人口(左下)、従業者数(右下)の分布

人工被覆率は 2006 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュにおける建物用地、幹線交通用地、その他の用地の合計割合。居住人口と従業者数は、総務省統計局地域メッシュ統計より作成。

### 3.4.2 東海地方における 2011 年 8 月の平均気温と風の特徴

図 3.31 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時別の平均気温と平均風を示す。5 時、15 時、20 時は名古屋市を中心に濃尾平野の広い範囲で周辺に比べて気温が高く、ヒートアイランド現象を示す島状の気温分布となっている。風については、10 時～20 時にかけて伊勢湾から吹き込む南西の海風がみられ、15 時は風速が大きくなっている。

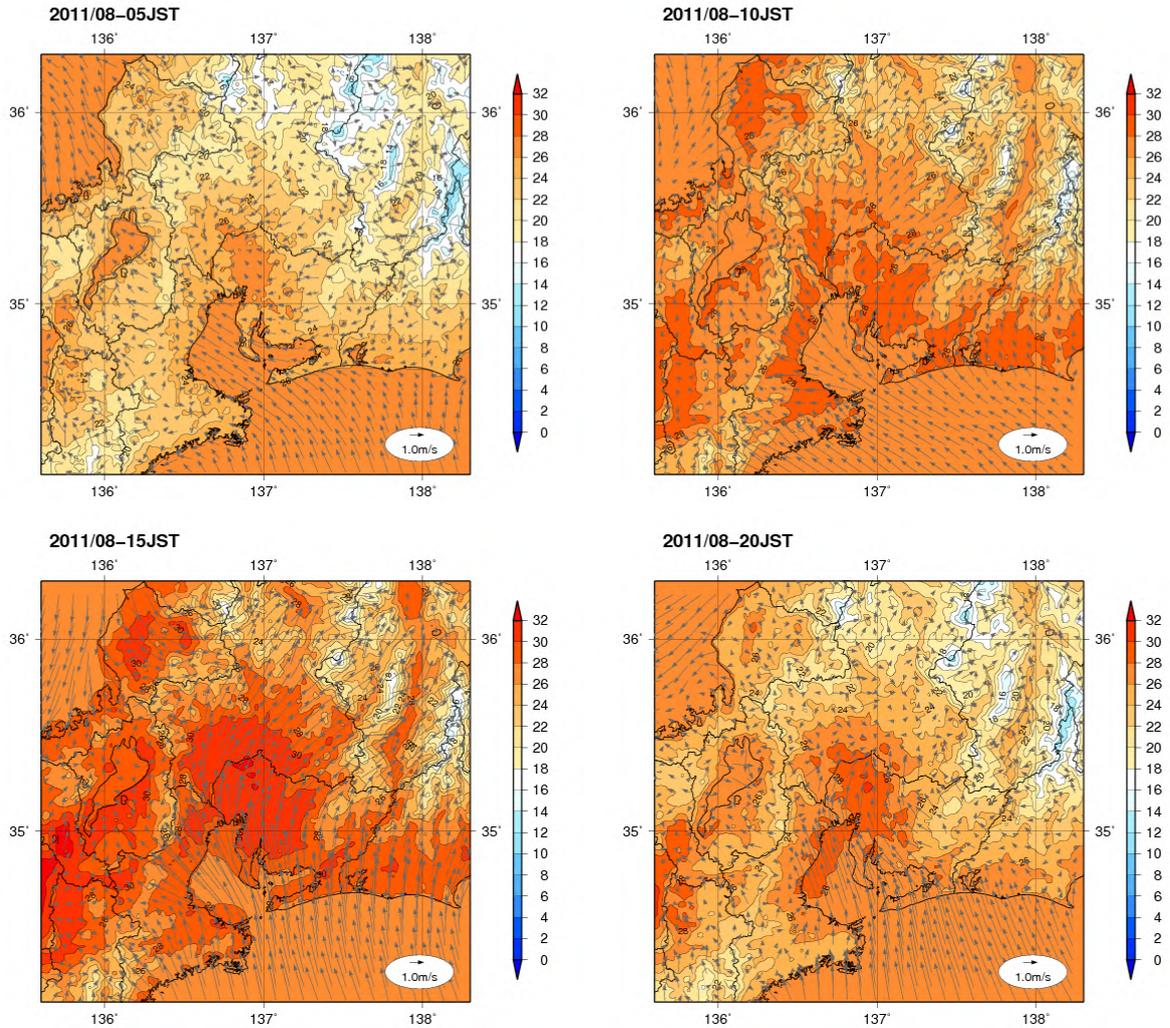


図 3.31 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均気温(陰影)と平均風(矢印)の分布。気温の単位は  $^{\circ}\text{C}$ 、風速の単位は  $\text{m/s}$ 。

図 3.32 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時刻別の都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による昇温量を示す。5 時や 20 時の都市化の影響による昇温量は名古屋市を中心に 3 を超えている。一方、15 時はやや北西の内陸部にピークがあり、昇温量も 0.5 程度と小さくなっている。15 時は大気の混合が強く、都市の熱が盛んに拡散されているものと考えられる。都市化の影響による昇温量が日中に小さく、夜間に大きい傾向は第 2 章で月平均気温の分析によって得られた結果と同様の傾向である。

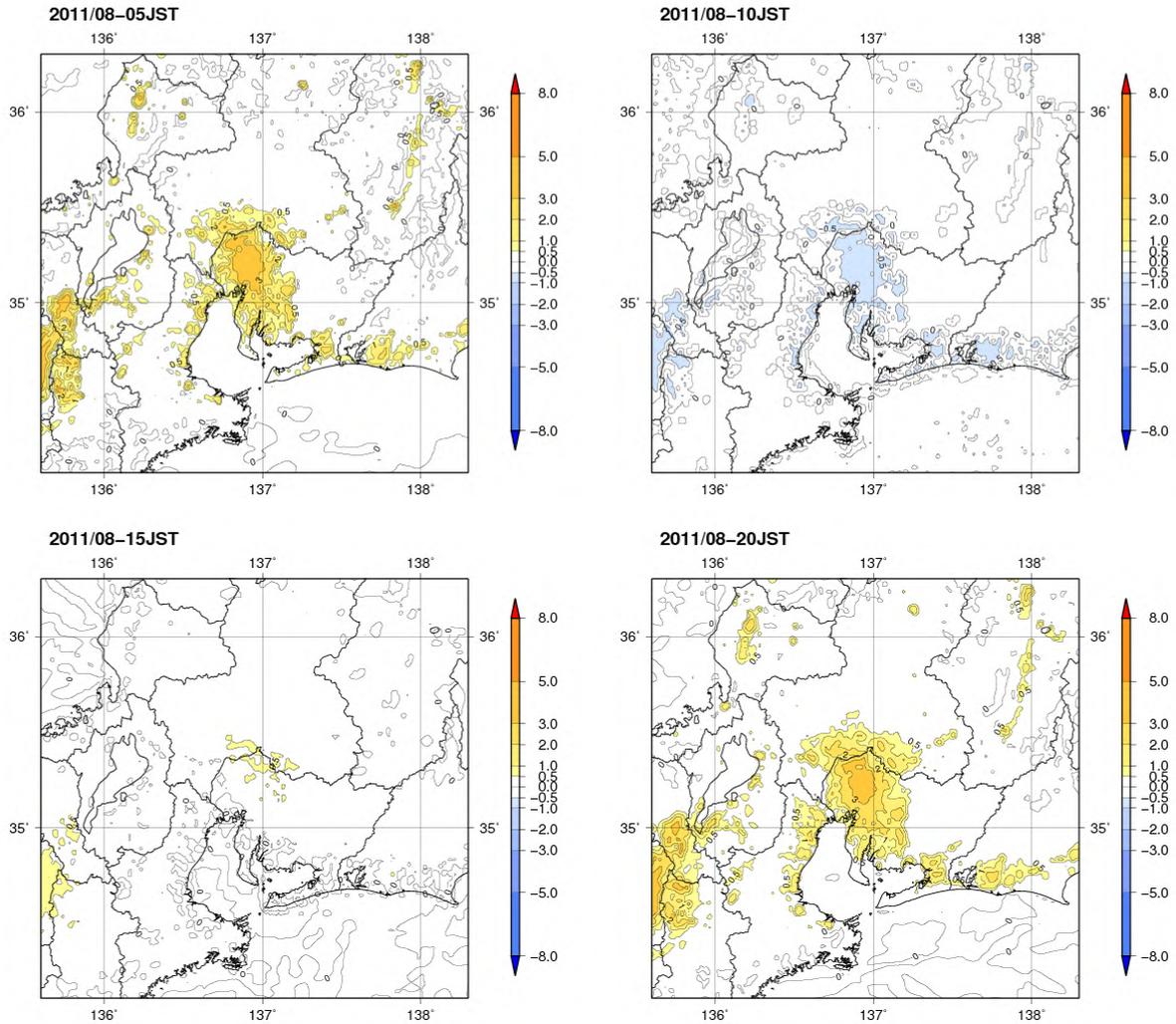


図 3.32 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による昇温量( )の分布

### 3.4.3 東海地方における 2011 年 8 月の平均相対湿度の特徴

図 3.33 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時刻別の平均相対湿度を示す。5 時、15 時、20 時では、名古屋市を中心に濃尾平野の相対湿度が小さくなっており、都市が周辺部に比べて乾燥している様子が分かる。しかしながら、10 時では都市と都市以外で相対湿度の違いはほとんど見られない。これらの特徴は、関東地方や近畿地方と同様である。

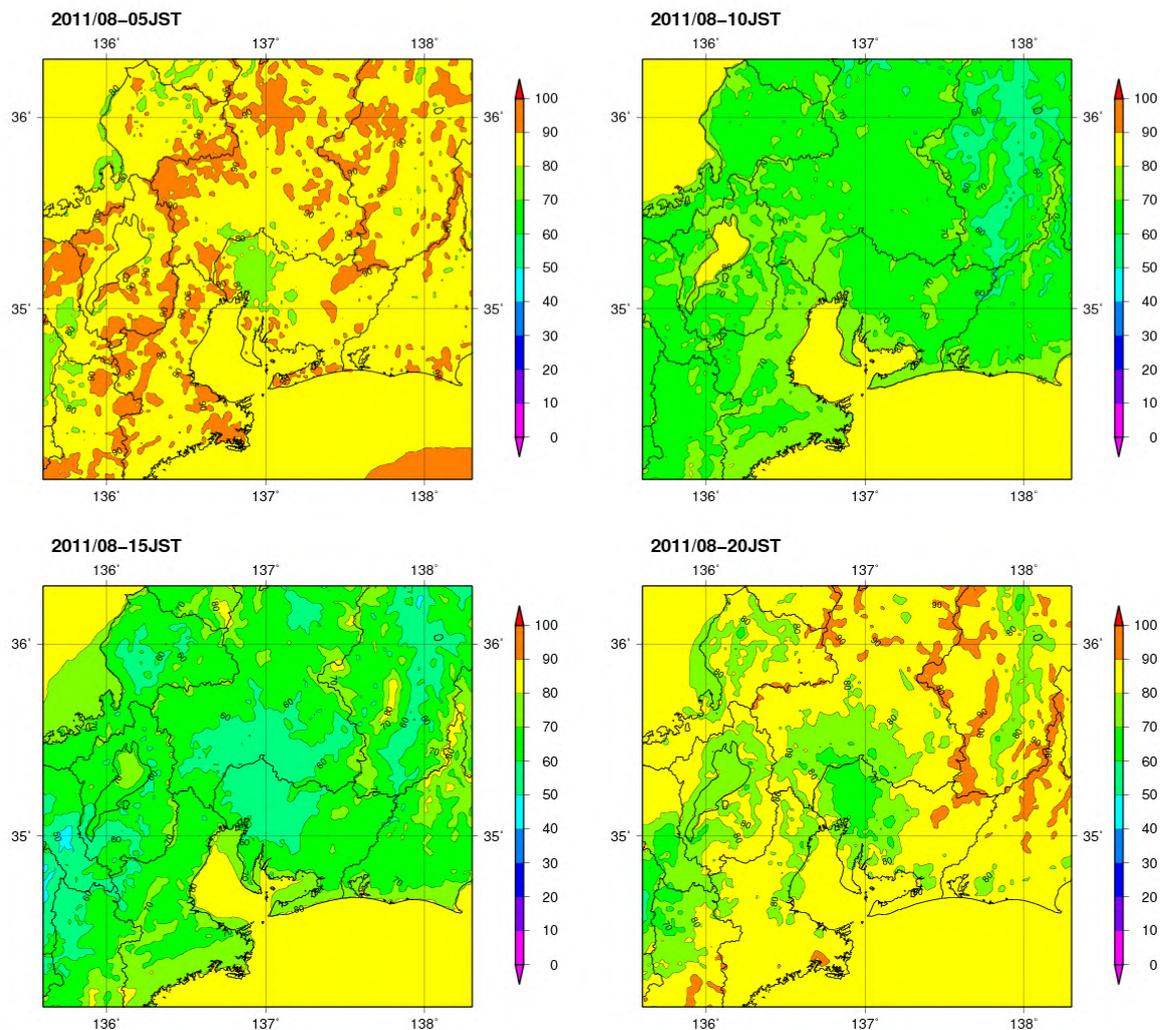


図 3.33 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均相対湿度(%)の分布

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の東海地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量を図3.34に、水蒸気圧変化量を図3.35に示す。図3.34を見ると、相対湿度は5時、15時、20時に低下量が大きく、名古屋市を中心に濃尾平野の広い範囲で相対湿度が低下している。相対湿度の低下量は20時が最も大きく、名古屋市の中心部では-20%を超えている。図3.30と比較すると、相対湿度の低下が都市化による昇温量の大きい時刻に大きく、気温の上昇に伴って飽和水蒸気圧が増加することによる寄与が大きいと考えられる。一方、図3.35を見ると、水蒸気圧は10時、15時、20時に大きく減少しており、20時の大きな相対湿度の低下については、飽和水蒸気圧の上昇と水蒸気圧減少の両方の影響が重なって、相対湿度の減少量が大きくなっているとみられる。また、15時は都市化の影響による昇温量が小さいにも関わらず相対湿度の低下が大きく、水蒸気の減少による寄与が大きいと考えられる。

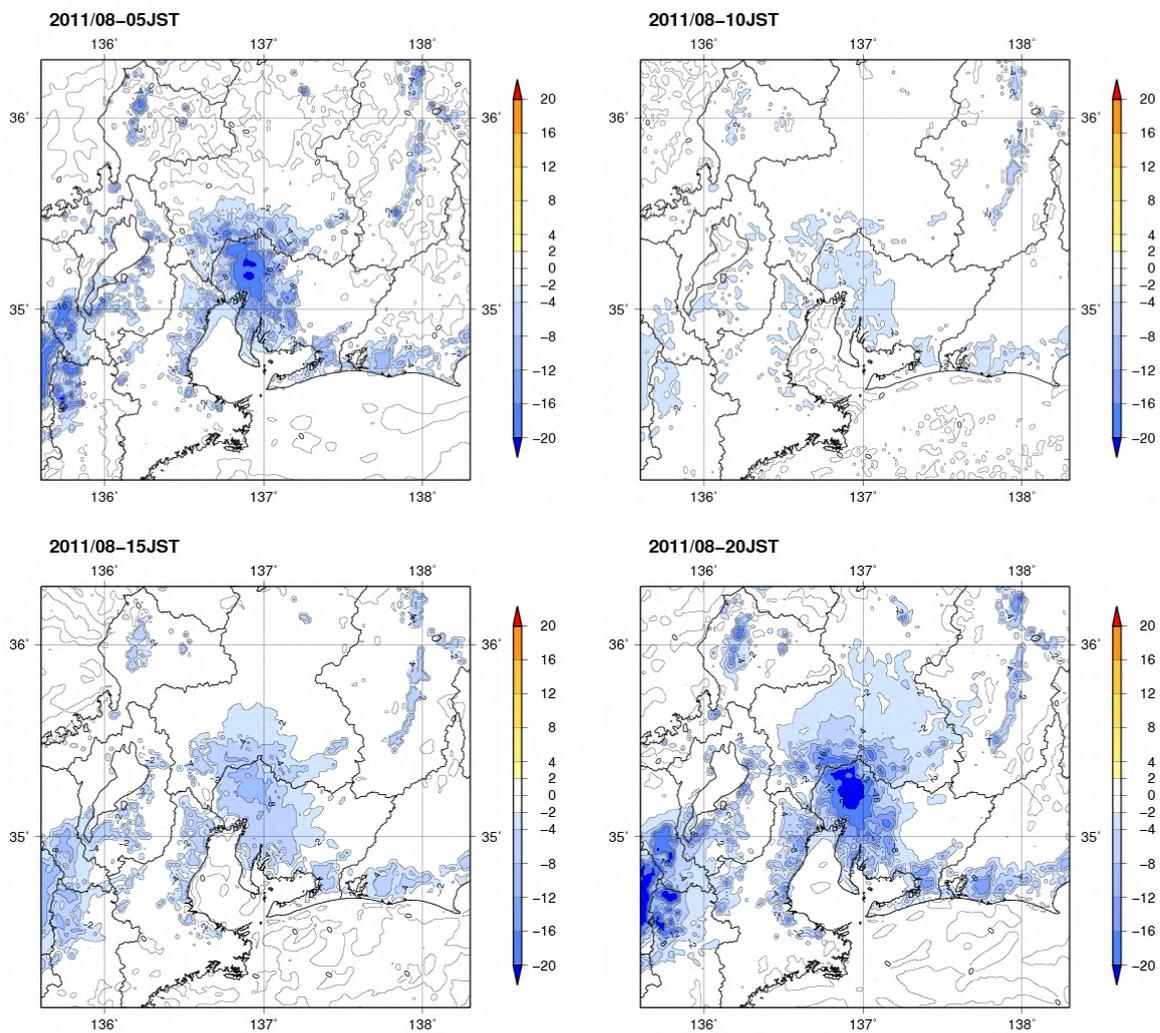


図 3.34 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による相対湿度変化量(%)の分布

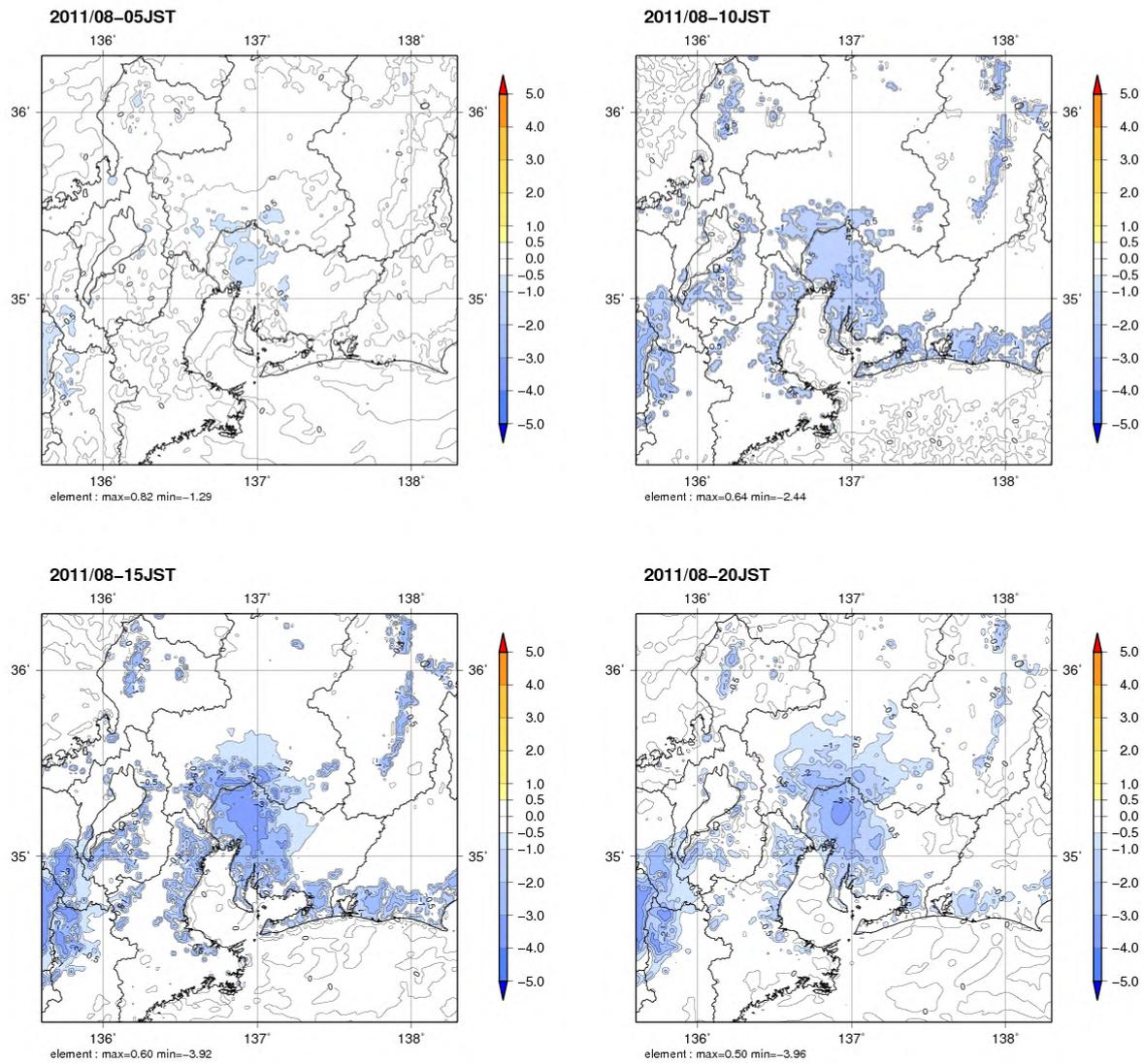


図 3.35 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による水蒸気圧変化量(hPa)の分布

### 3.4.4 名古屋における気温と相対湿度の時間変化

図 3.36 に名古屋における気温と相対湿度の時間変化を示す。観測と比較すると、誤差は気温が概ね  $\pm 1.5$  未満、相対湿度が概ね  $\pm 10\%$  未満と、東京や大阪に比べると大きい。気温は夜間にやや高温よりに計算される傾向がある。

都市有り実験と都市無し実験の差は、都市化の影響による変化量と考えられる。気温は夜間に都市化の影響による昇温量が大きく、15 時以降に急激に昇温量が大きくなり、日の出と共に小さくなっている。相対湿度についても気温と同様に日中に小さく夜間に大きい傾向が見られる。しかし、相対湿度は 15 時より前から低下量が大きくなっており、気温に比べると相対湿度の低下は時間的に早い傾向がある。これらの特徴は東京や大阪と同様である。

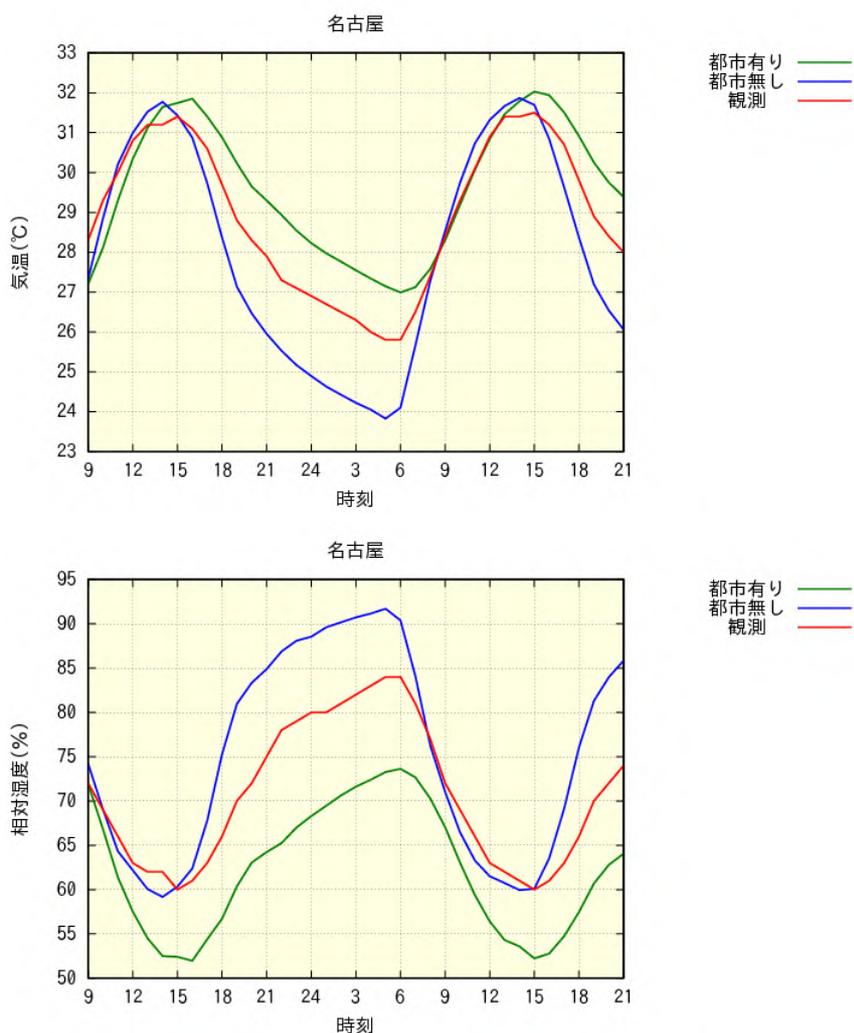


図 3.36 観測と都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における名古屋の気温(上段)と相対湿度(下段)の日変動の観測との比較。横軸は時刻を表す。緑線は都市有りのシミュレーション、青線は都市無しのシミュレーション、赤線は観測に見られる変動。緑線と赤線の一致が良いほど、シミュレーションの精度が高いと考えられる。緑線と青線の差が都市化の影響を表し、気温については全般に上昇、相対湿度については低下の方向に変化している。

### 3.4.5 東海地方におけるヒートアイランド現象に伴う様々な気候変化

#### (1) 風速

図 3.37 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による風速の変化量を示す。5 時、10 時、15 時は風速の減少が大きく、日中は伊勢湾からの都市部への冷涼な風の進入を妨げ、夜間は山間部から都市部への冷涼な陸風の進入を妨げる風の変化が見られる。20 時は風速の増加が見られるが、これは都市と郊外の気温差が大きくなることで、空気密度差による風が生じるためと考えられる。図 3.14 の関東地方や図 3.26 の近畿地方と比べると、10 時にも風速の減少がみられる点に違いがある。

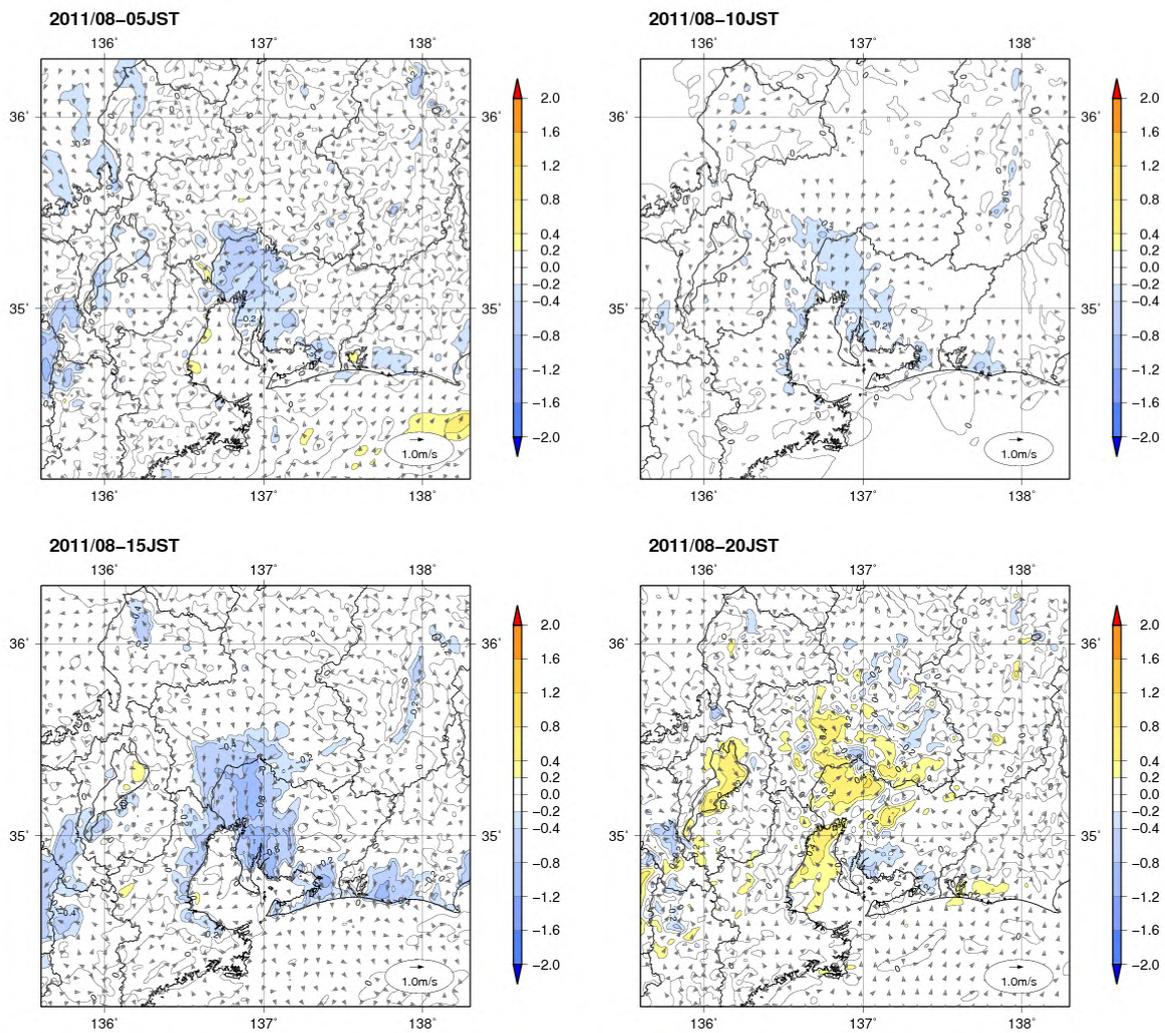


図 3.37 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による風速変化量(陰影)と風の変化(矢印)の分布。単位は m/s である。

## (2) 地表面温度

図 3.38 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による地表面温度の変化量を示す。地表面温度は日中・夜間と問わず上昇しており、15 時頃がピークで 6 以上の昇温域が濃尾平野の広い範囲で見られる。一方、気温に関しては図 3.32 で示したように 15 時の気温の上昇量は小さい。これらの特徴は関東地方や近畿地方と同様であり、日中は大気境界層における対流活動が活発で熱が拡散されやすいためと考えられる。

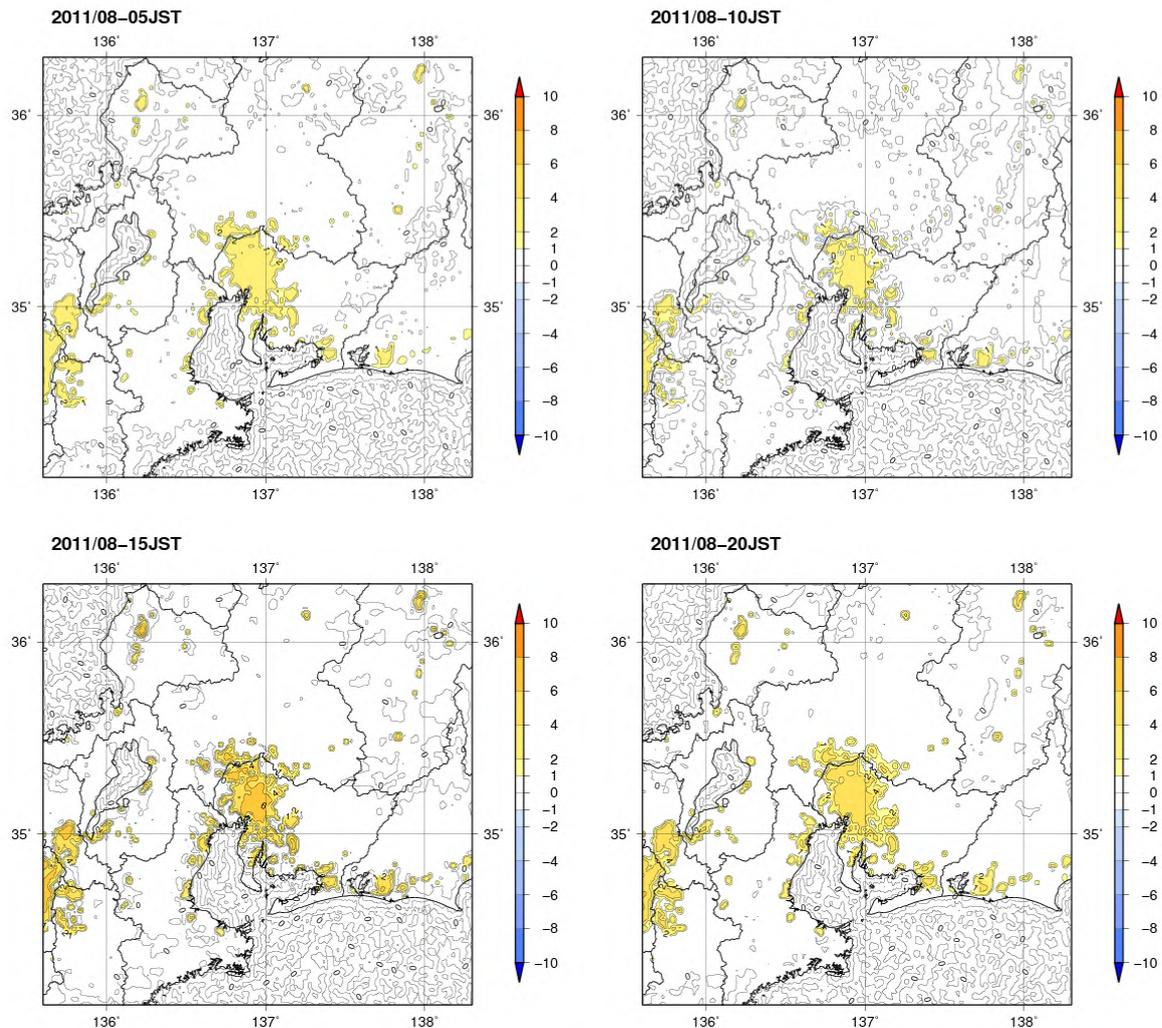


図 3.38 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による地表面温度変化量( )の分布

### (3) 顕熱フラックスと潜熱フラックス

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の東海地方における時別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による顕熱フラックスの変化量を図3.39に、潜熱フラックスの変化量を図3.40に示す。潜熱フラックスは10時、15時と日中に減少が大きい。これは地表面が草地から人工被覆になることで、地表面や植物からの水分の蒸発が著しく減少するためである。一方、顕熱フラックスは10時に減少しており、15時や20時に増加している。10時の顕熱フラックスの減少については、コンクリートなどは熱容量が非常に大きいため、草地に比べて暖まりにくいことが要因と考えられる。図3.9で10時に都市化の影響によって気温が低下しているのは、このような顕熱フラックス減少による影響と考えられる。午後の時間帯にみられる顕熱フラックスの増加は、コンクリートなどに蓄えられた熱が放出されることが要因と考えられる。これらの特徴は関東地方や近畿地方と同様である。

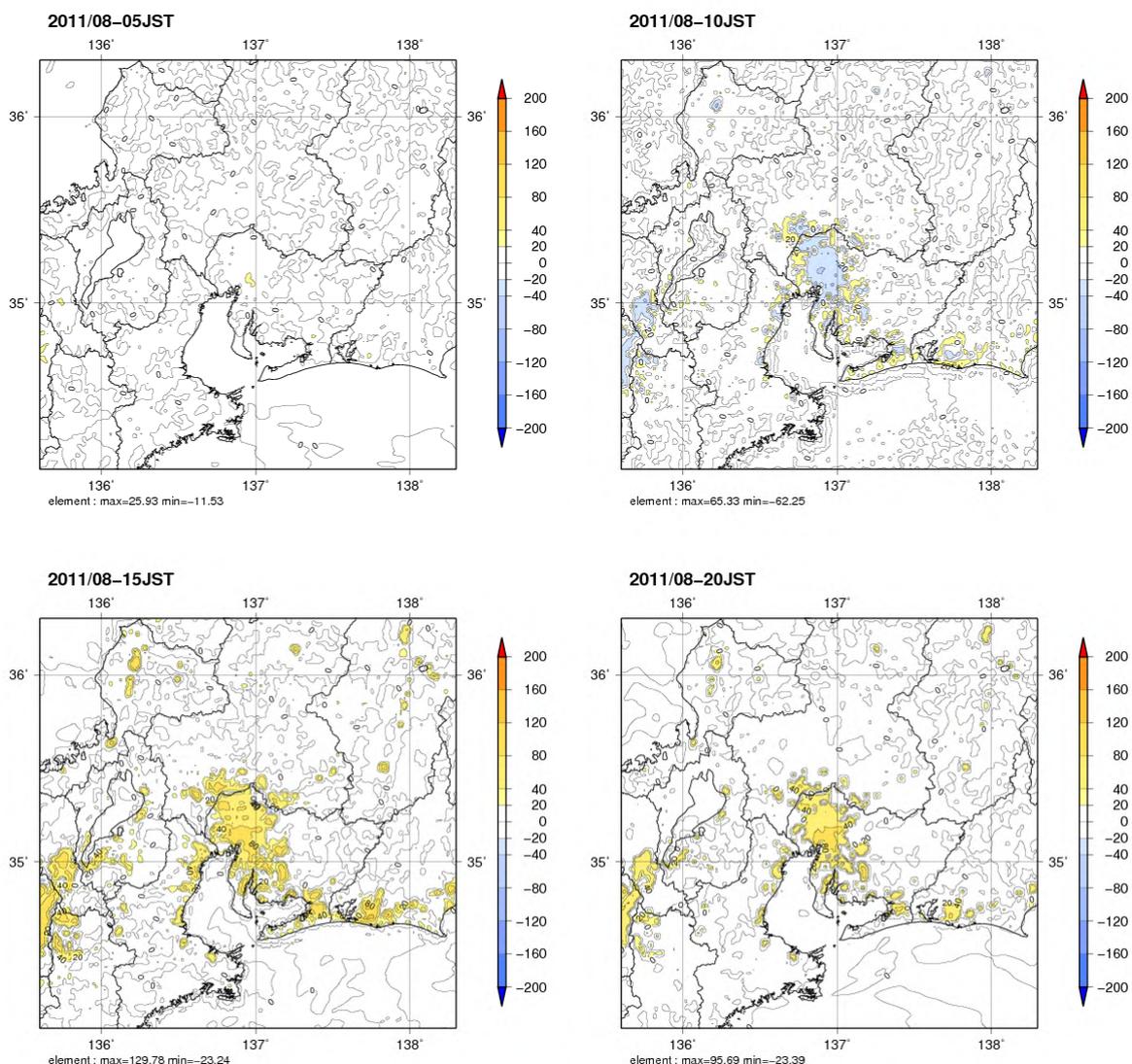


図 3.39 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による顕熱フラックス変化量( $W/m^2$ )の分布

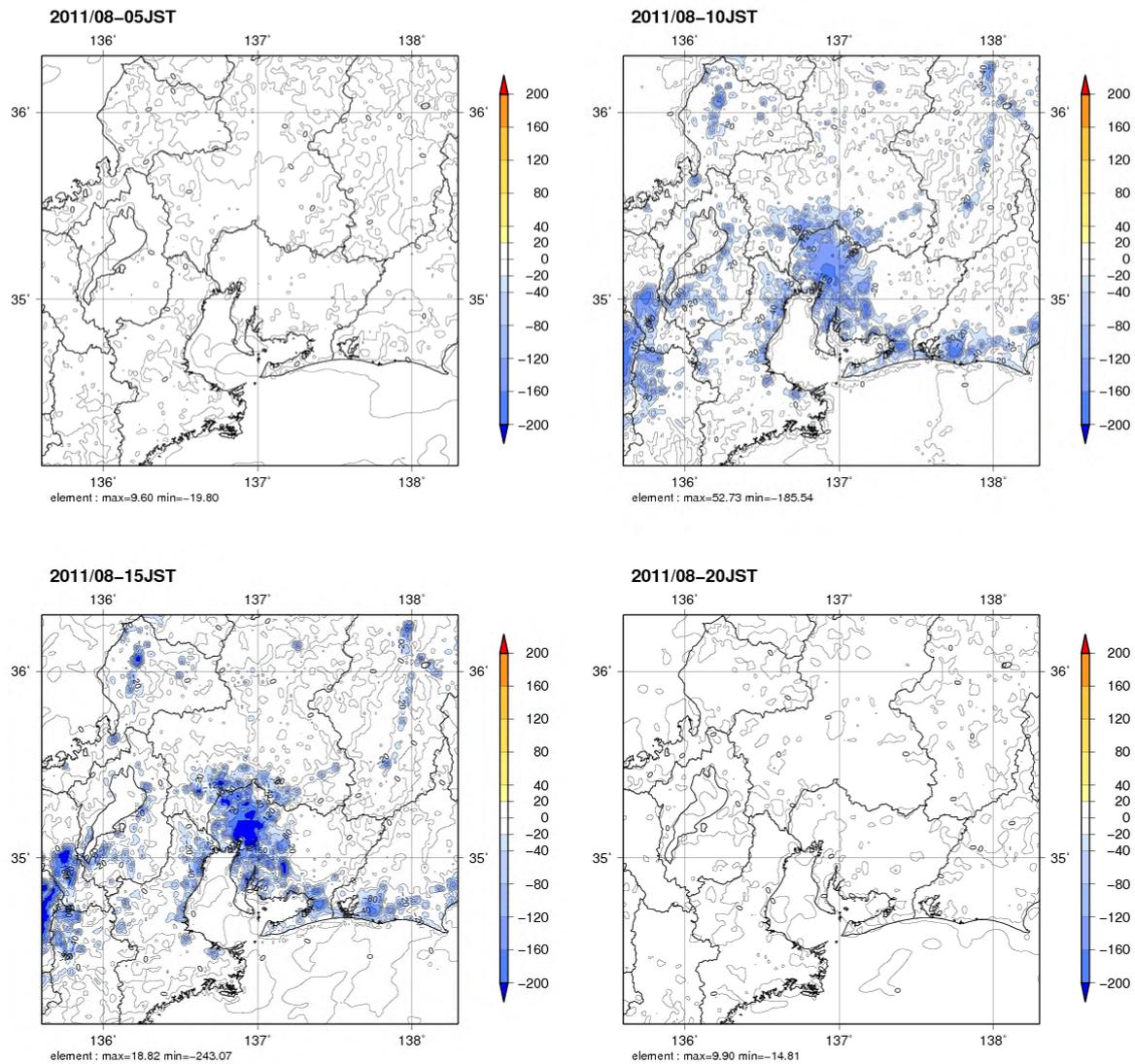


図 3.40 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による潜熱フラックス変化量( $W/m^2$ )の分布