

3. 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象

3.1 都市気候モデル

3.1.1 概要

都市気候モデルの概要を図 3.1.1 に示す。都市気候モデルとは、日々の天気予報や防災気象情報の作成に用いているメソモデル（気象庁，2003,2008）に、図 1.2.1 で示すように、大気の状態とともに地形、都市域と草地や森林など土地の利用形態、人工排熱などを入力し、地表面や建築物との熱のやり取り（Aoyagi, T. and N. Seino (2011)）をモデル化したもので、都市における大気の状態をコンピュータ上で精度よく再現することを目的として開発されたものである。水平の解像度は2kmである。

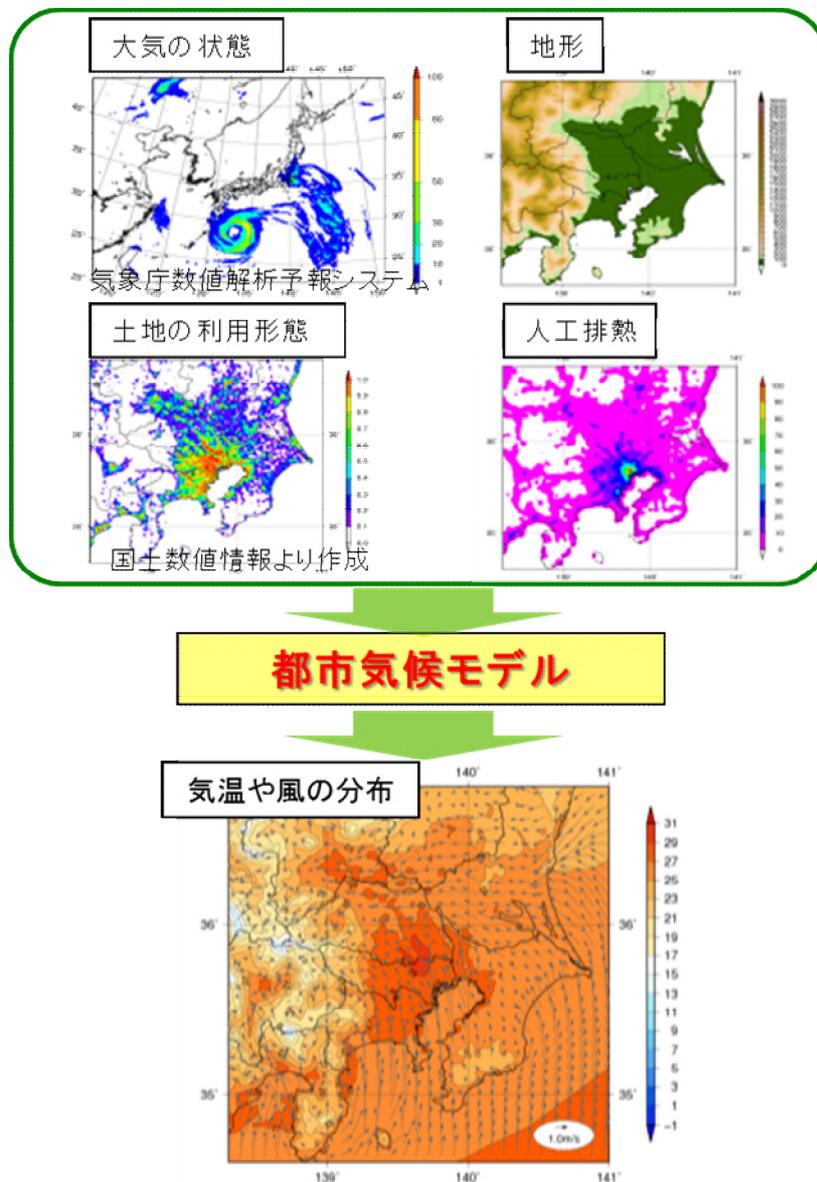


図 3.1.1 都市気候モデルの概要

3.1.2 地形データ

都市気候モデルで用いる地形データを図 3.1.2 に示す。

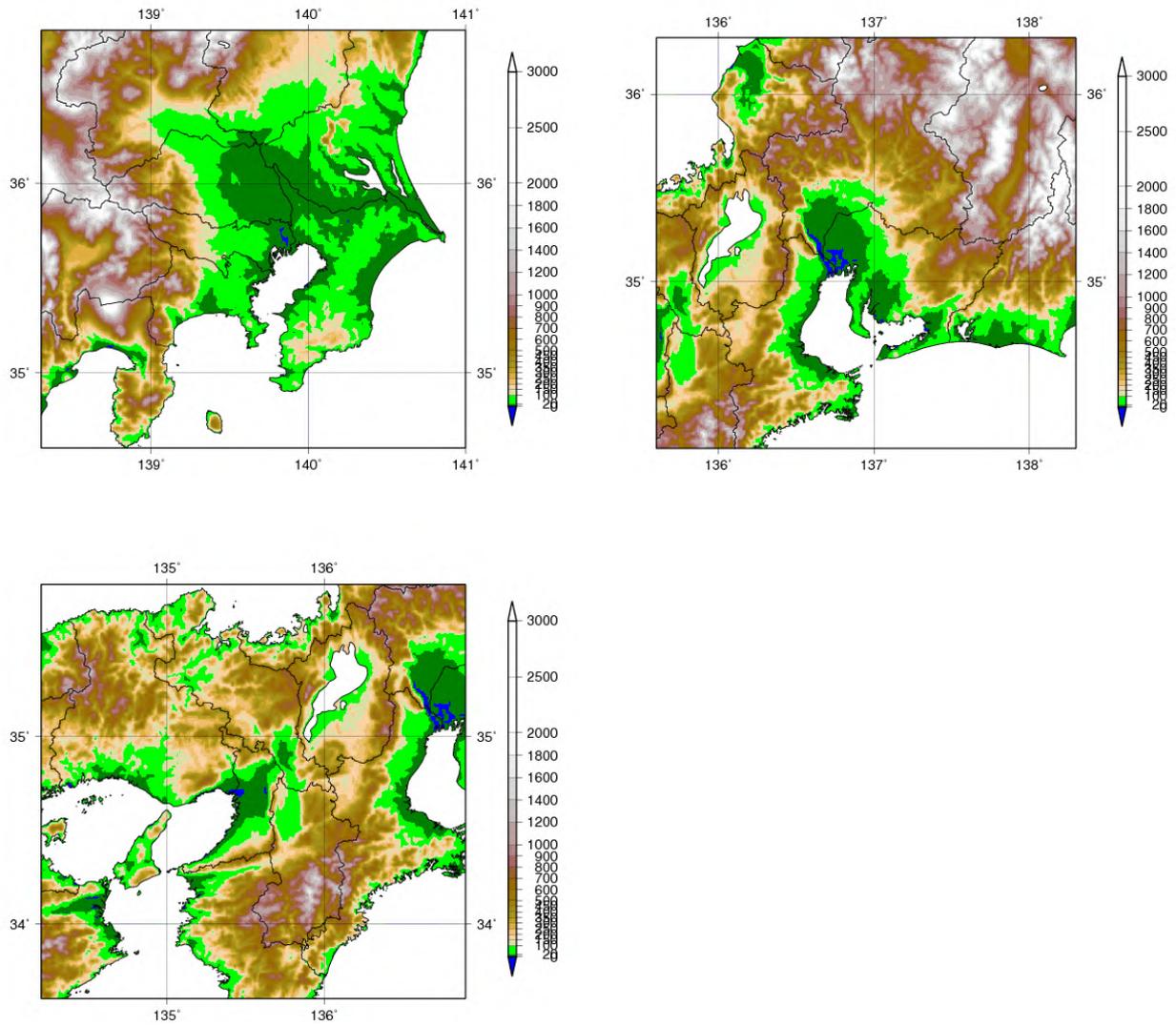


図 3.1.2 関東地方（左上図）、近畿地方（右上図）、東海地方（左下図）における地形図

3.1.3 人工排熱量データ

人工排熱量分布の評価にあたっては、まず関東地方において、妹尾ほか(2004)による人工排熱量データと総務省統計局の人口データや従業者数データ、国土数値情報の土地利用3次メッシュデータをもとに人工排熱量の推定式を求める。そして、この推定式を用いて人口データ等から全国の人工排熱量分布を評価する(図 3.1.3)。本報告のシミュレーションにおいては、すべての地域においてこれらの統計的に評価された人工排熱量分布を与えている。詳細は、萱場ほか(2010)を参考のこと。

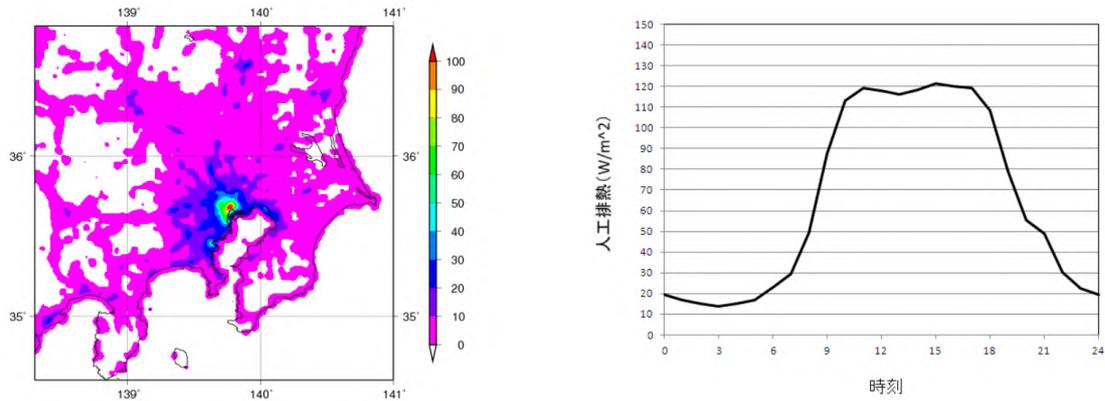


図 3.1.3 シミュレーションで用いる 8 月 15 時の人工排熱量分布 (W/m^2) (左図) と東京 (大手町付近) の 8 月の人工排熱量の 24 時間時系列図 (W/m^2) (右図)

3.1.4 土地利用データと都市域の設定

都市気候モデルで用いる土地利用形態には、国土交通省国土政策局が公開している国土数値情報の土地利用3次メッシュデータ（平成18年度版）を使用している。本データの土地利用種別は、田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地（住宅地・市街地等で建物が密集しているところ）、幹線交通用地（道路・鉄道・操車場などで、面的に捉えられるもの）、その他の用地（運動競技場、空港、競馬場・野球場・学校港湾地区・人工造成地の空地等）、河川地及び湖沼、海浜、海水域、ゴルフ場に分類されている。シミュレーションでは、このうちの建物用地、幹線交通用地、その他の用地の割合が50%（下図では0.5以上）以上を都市域と設定し（図3.1.4）都市域における熱交換を計算する。

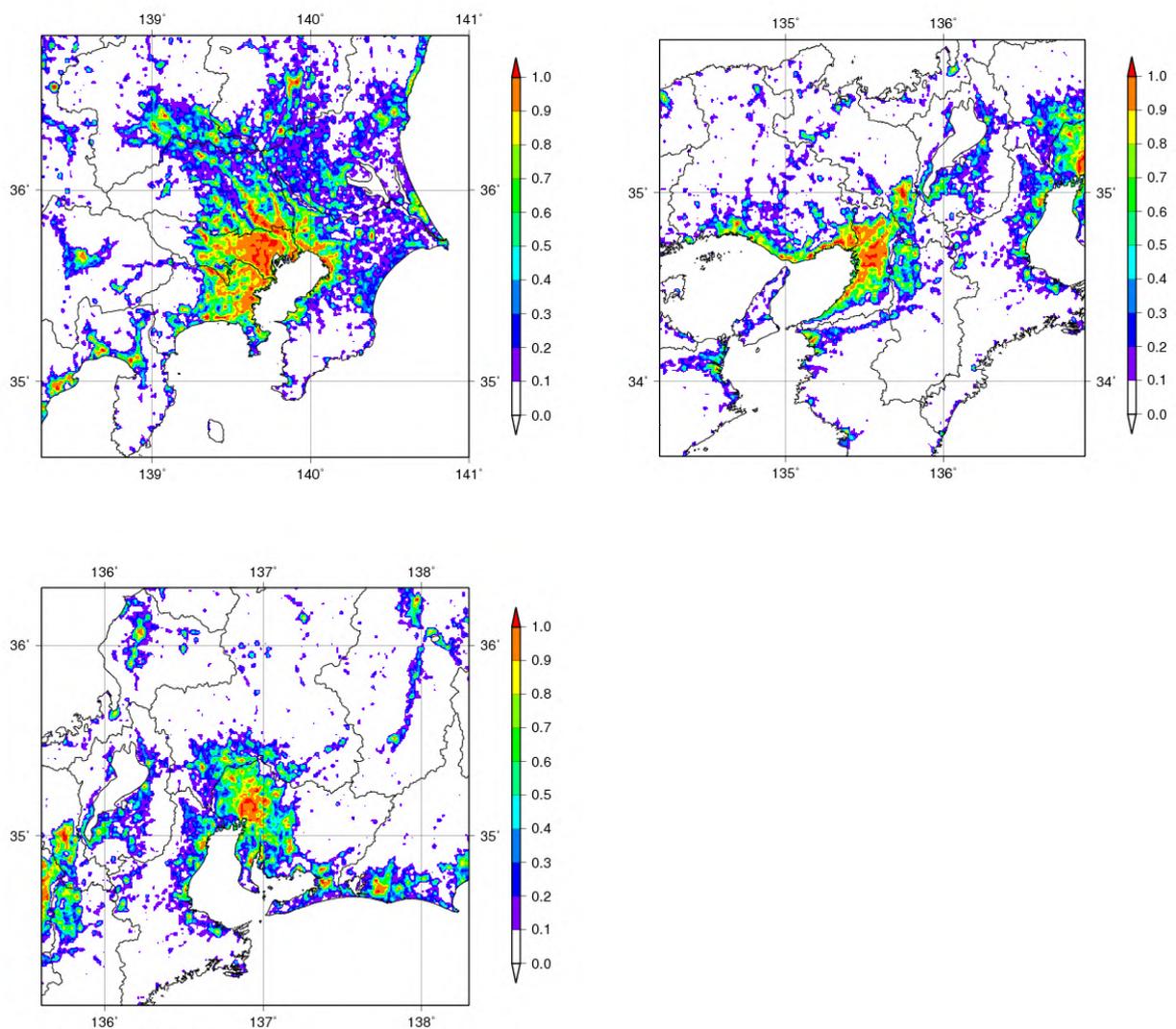


図 3.1.4 関東地方（左上図）、近畿地方（右上図）、東海地方（左下図）における都市気候モデルでの各格子の都市の割合

3.1.5 都市気候の評価方法

都市化による気候への影響を定量的に評価するために、都市の地表面状態や人工排熱を考慮した場合の再現実験を「都市あり実験」、また、都市の影響を除去した場合（都市域の地表面状態を仮想的に草地に置き換え、かつ、人工排熱をゼロにすることで、仮想的に人間が都市を建設する以前の状態に戻す）のシミュレーションを「都市なし実験」として、2つの実験を行い、その差を都市化の影響とみなす（図3.1.5）。

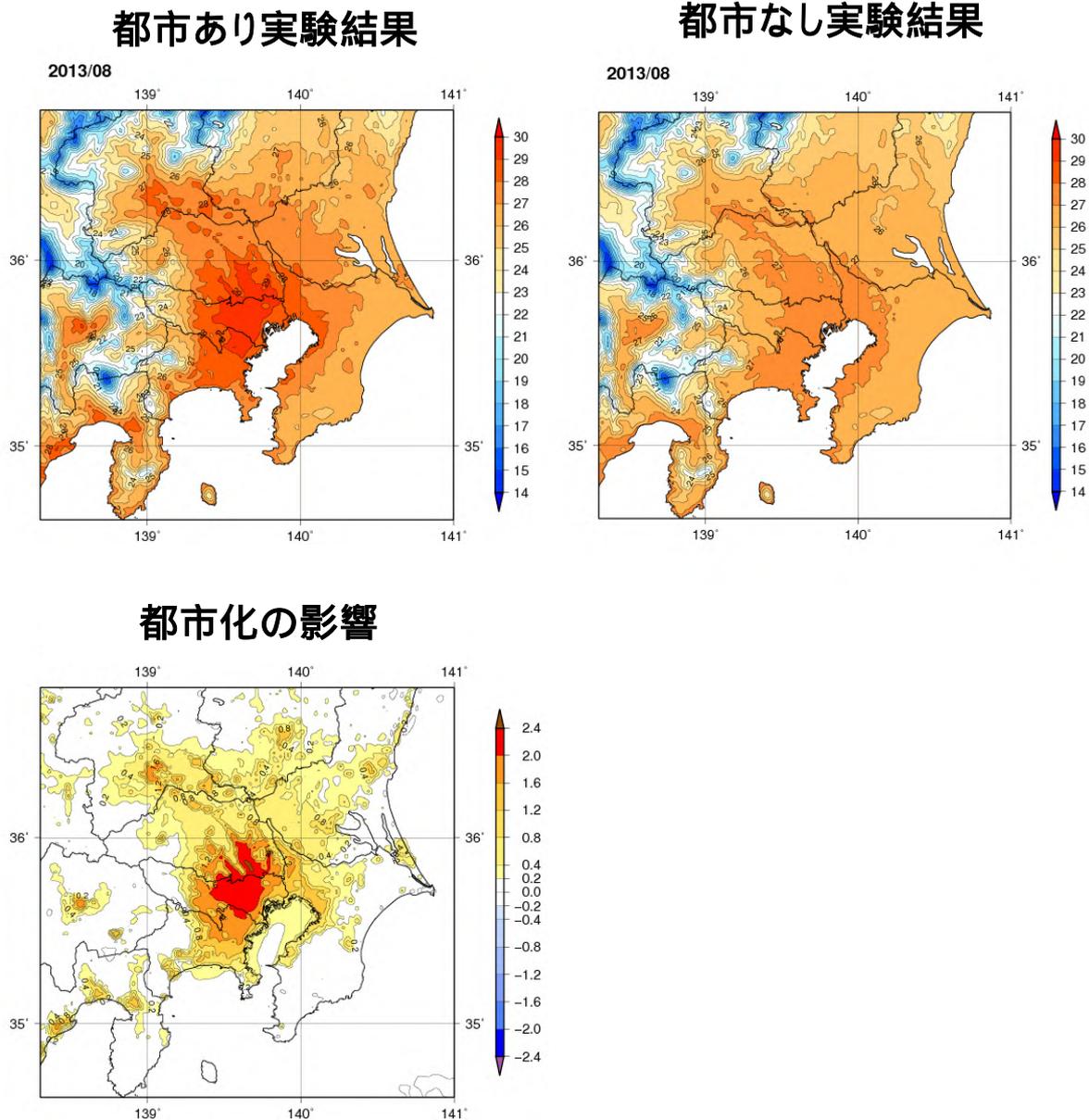


図3.1.5 関東地方を対象にした2013年8月の月平均気温の都市あり実験結果（ ）(左上図)、都市なし実験結果（ ）(右上図)、都市化の影響：「都市あり実験」と「都市なし実験」の差（ ）(左下図)

3.2 これまでのヒートアイランド監視報告から都市気候モデルを用いた解析結果

都市気候モデルを用いた解析結果で、これまでの「ヒートアイランド監視報告」に掲載した内容を示す。

関東や近畿、東海、九州、北海道地方の各都市域では、都市化によって、気温や風向・風速、相対湿度に影響が現れ（図 3.2.1）、その影響の大きさや広がり、都市域の規模や地形などにも依存することがわかった。

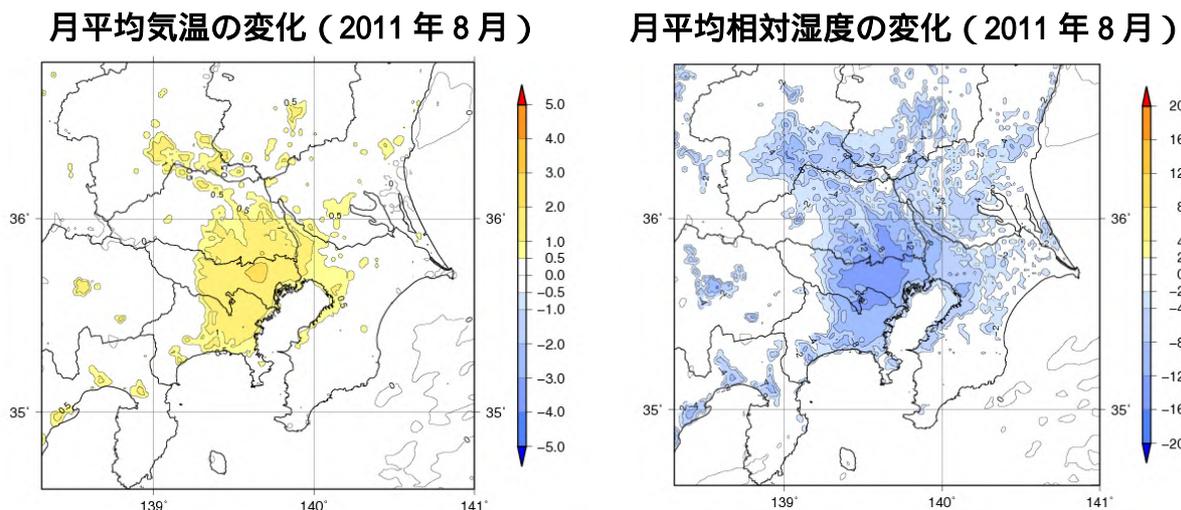


図 3.2.1 2011年8月における都市化の影響による月平均気温の変化（ $^{\circ}\text{C}$ ）（左図）と月平均相対湿度の変化（ $\%$ ）（右図）（「ヒートアイランド監視報告（平成23年）」）

都市化の影響を、土地利用の変化、建物の存在による放射環境の変化、人工排熱の増加の3つの要因にわけてシミュレーションした結果、それぞれの寄与は時間帯によって異なることがわかった。

月平均気温を時間ごとに調べた結果、都市化の影響は、日中に比べて夜間の方が強く現れることがわかった。

月平均気温や相対湿度の変化量は、曇雨天日より晴天日の方が大きく、晴れて風の弱い日は、都市化の影響がより強く現れることがわかった。

過去の数年（平成21～24年の）の8月について、関東地方・近畿地方・東海地方において、都市化の影響を比較した結果、都市の規模や広がり、天候の状態によって違いがみられ、年によって異なることがわかった。

都市化の影響は時間帯によっては高度 1000m 付近にまで及ぶことがわかった。また、高度によって昇温域が異なるとともに、高層におけるクロスオーバー現象¹³による温位の低下が現れることを確かめた(図 3.2.2)。

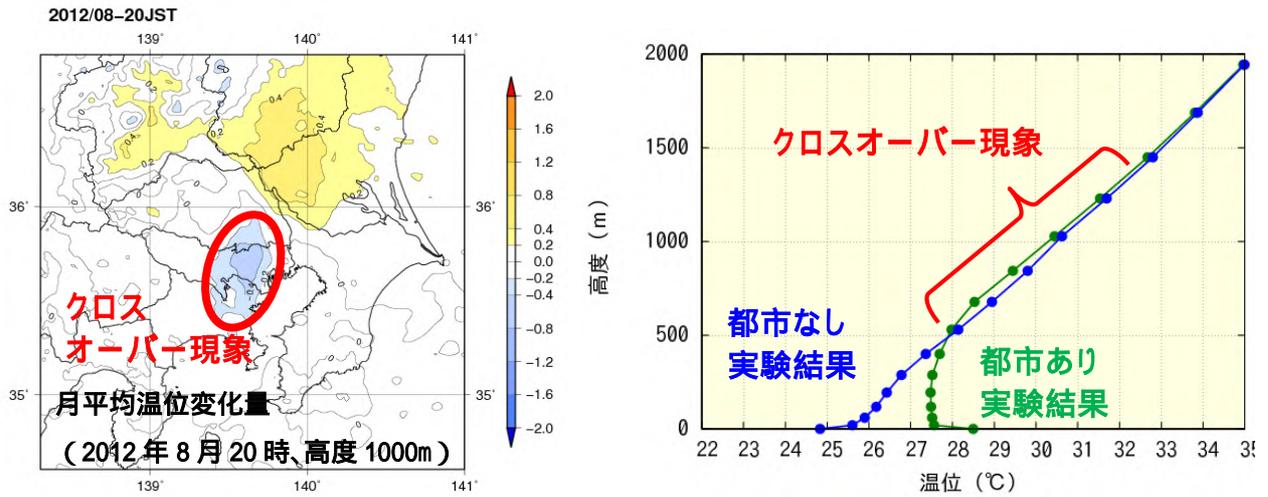


図 3.2.2 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2012 年 8 月 20 時における高度 1000m の都市化の影響による温位の変化()の分布(左図)と平均的な温位の鉛直プロファイル(右図)

緑線は「都市あり実験結果」、青線は「都市なし実験結果」を示している。(「ヒートアイランド監視報告(平成 24 年)」)

¹³ 都市上空の気温(温位)が郊外より低くなる現象。都市の熱で発生した上昇気流により、低い温位の空気が上空に持ち上げられることによって起こる。

3.3 平成 25 年 8 月のヒートアイランド現象

2013 年 8 月の都市化の影響は、2009 年以降の 8 月の中で、最大もしくは最大クラスだった。太平洋高気圧に覆われて高温傾向となる夏ほど、都市化の影響によって、さらに高温となるリスクが高まる。

3.3.1 月平均気温と都市化の影響

2013 年 8 月の関東、近畿、東海地方は、広く太平洋高気圧に覆われ、日照時間が平年より多く、風の弱い日が多かった（1.3 節）ことから、都市化の影響が明瞭に現れた。図 3.3.1 を見ると、関東地方では都心部を中心に神奈川県、茨城県、群馬県にも高温域が広がっている。近畿地方（図 3.3.2）では大阪平野を中心に沿岸部や京都の周辺、東海地方（図 3.3.3）では濃尾平野で気温が周辺に比べて高い。これら気温の高かった地域では、シミュレーションの結果、都市化の影響が強く現れていることが示されている。

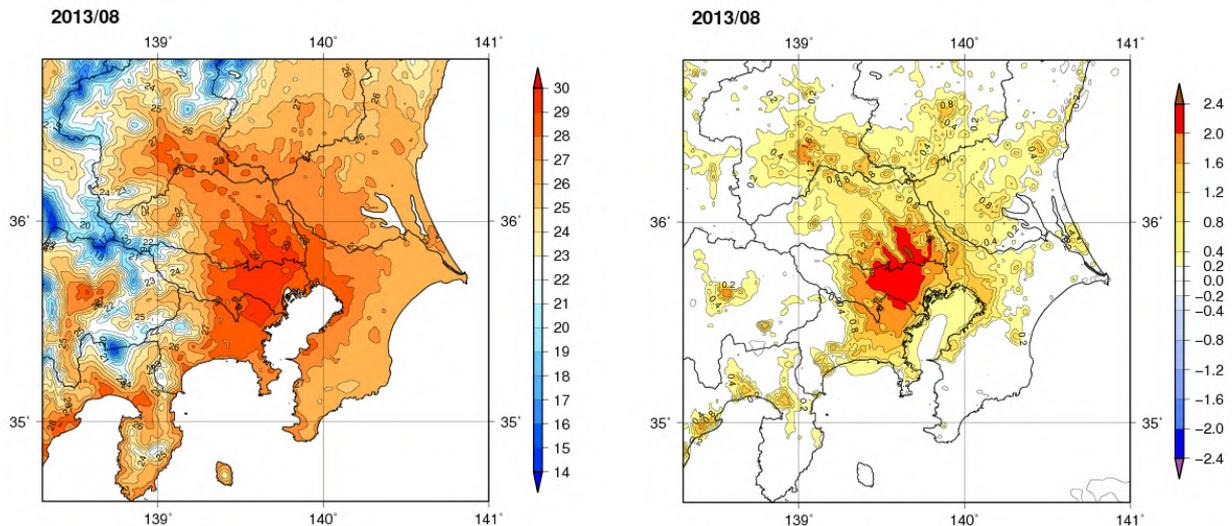


図 3.3.1 関東地方を対象とした 2013 年 8 月の月平均気温の分布（左図）と都市化の影響による月平均気温の変化（右図）

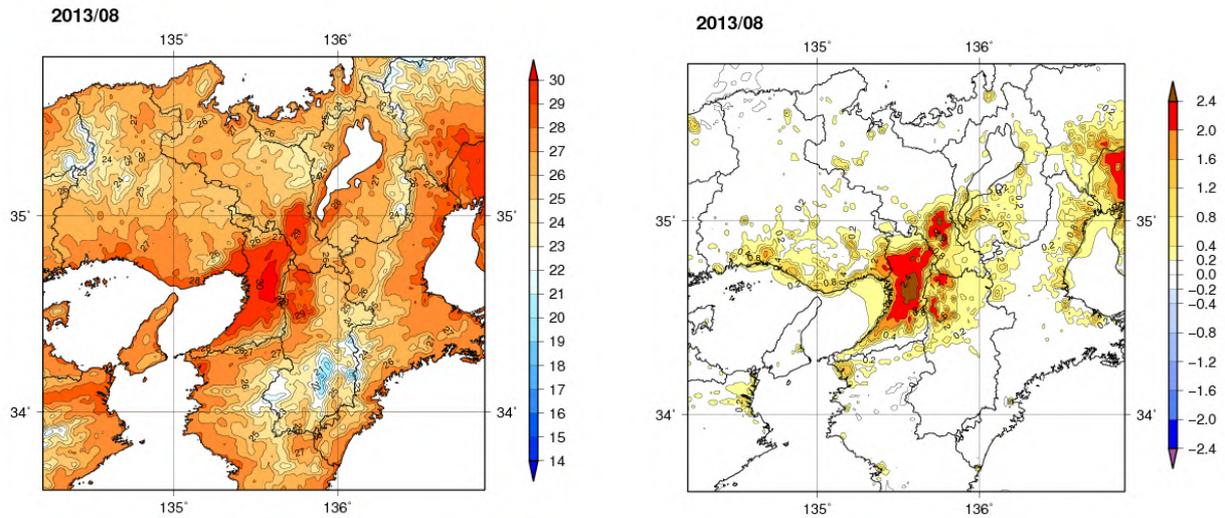


図 3.3.2 近畿地方を対象とした 2013 年 8 月の月平均気温の分布 () (左図) と都市化の影響による月平均気温の変化 () (右図)

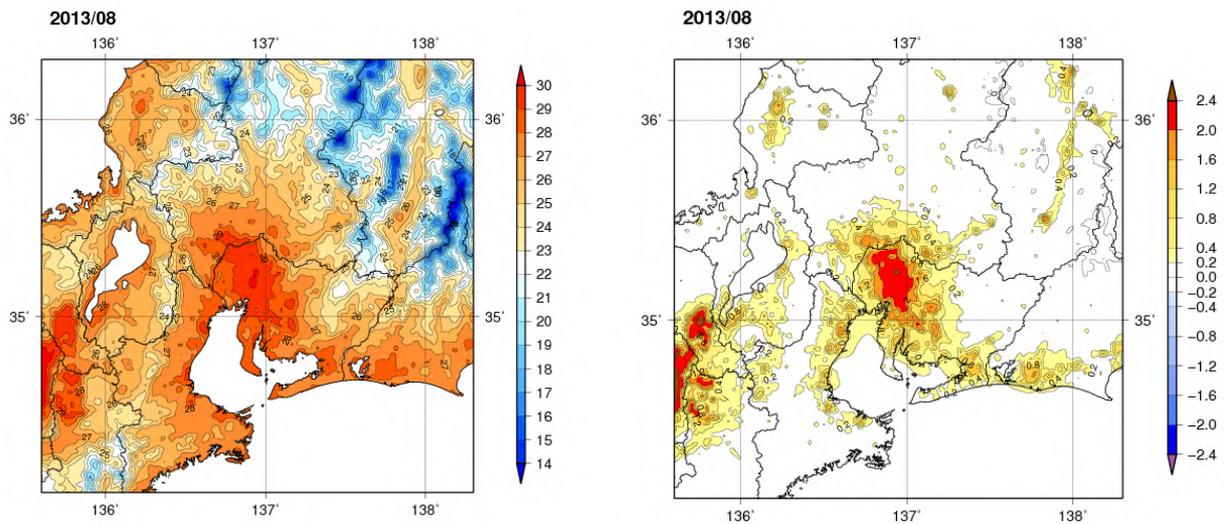


図 3.3.3 東海地方を対象とした 2013 年 8 月の月平均気温の分布 () (左図) と都市化の影響による月平均気温の変化 () (右図)

3.3.2 最近5年の比較

日本の夏季の天候は太平洋高気圧などの大きな規模の気候に依存し、都市化の影響とその広がりに関係がある日照時間や風速、大気の安定度などの年々の違いも大きい。そこで、関東、近畿、東海の各地方について、2009年以降の各年の8月における都市化の影響を比較した(図3.3.4、図3.3.5、図3.3.6)。これによると、都市化の影響は年によって異なり、2013年は5年間の中でいずれの地方でも最大または最大クラスであったことがわかった。この要因として、2013年8月は、太平洋高気圧に覆われることにより都市の影響が現れやすい晴れて風の弱い日が多かったことが考えられる。よって、太平洋高気圧に覆われて高温傾向となる夏ほど、都市化の影響によって、さらに高温となるリスクが高まることが示唆される。

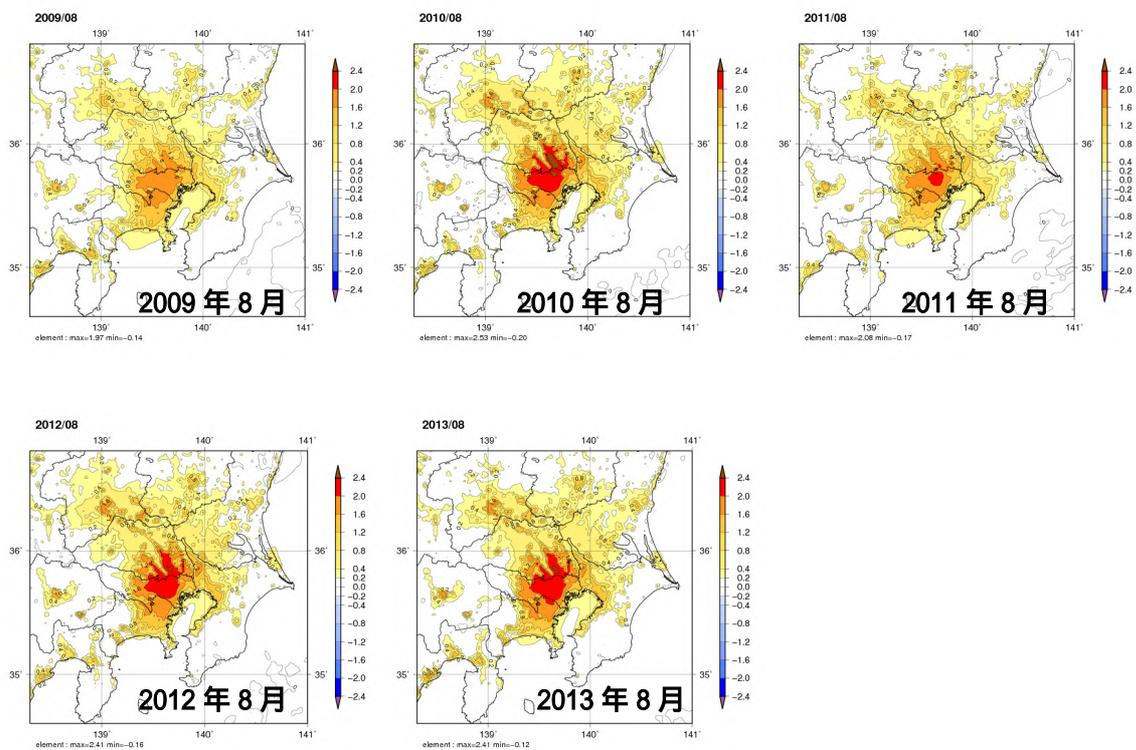


図 3.3.4 関東地方における 2009～2013 年 8 月の都市化の影響による月平均気温の変化 ()

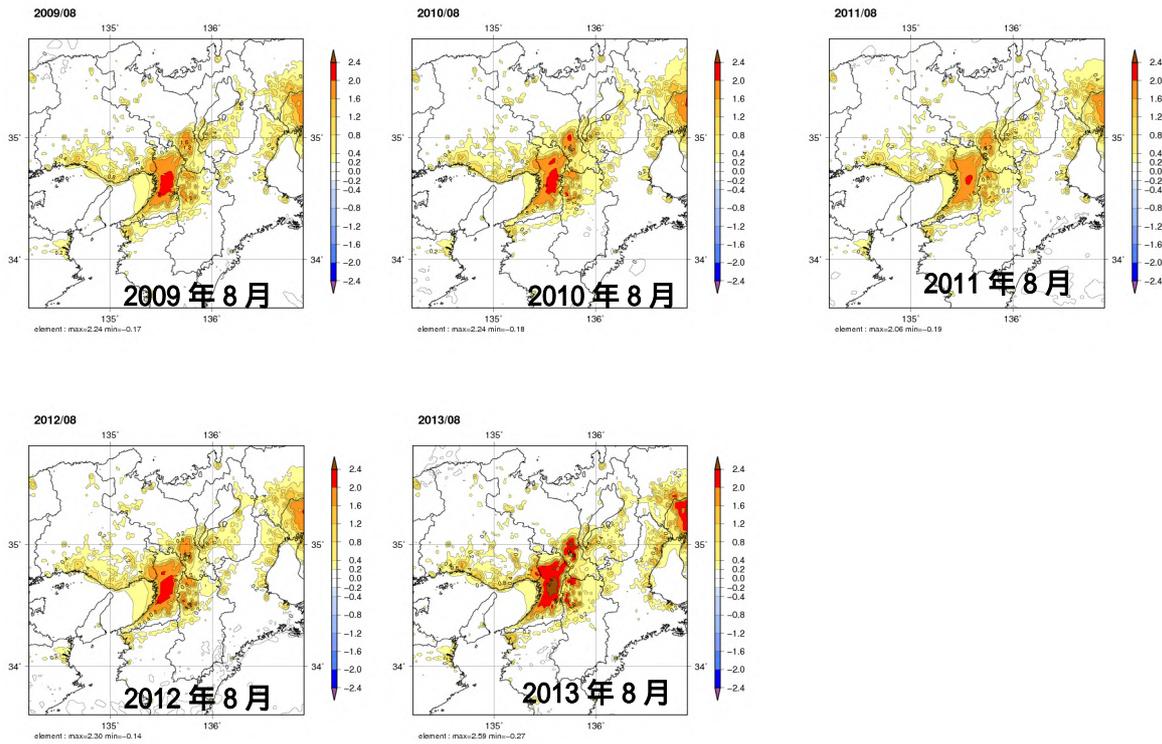


図 3.3.5 近畿地方における 2009～2013 年 8 月の都市化の影響による月平均気温の変化 ()

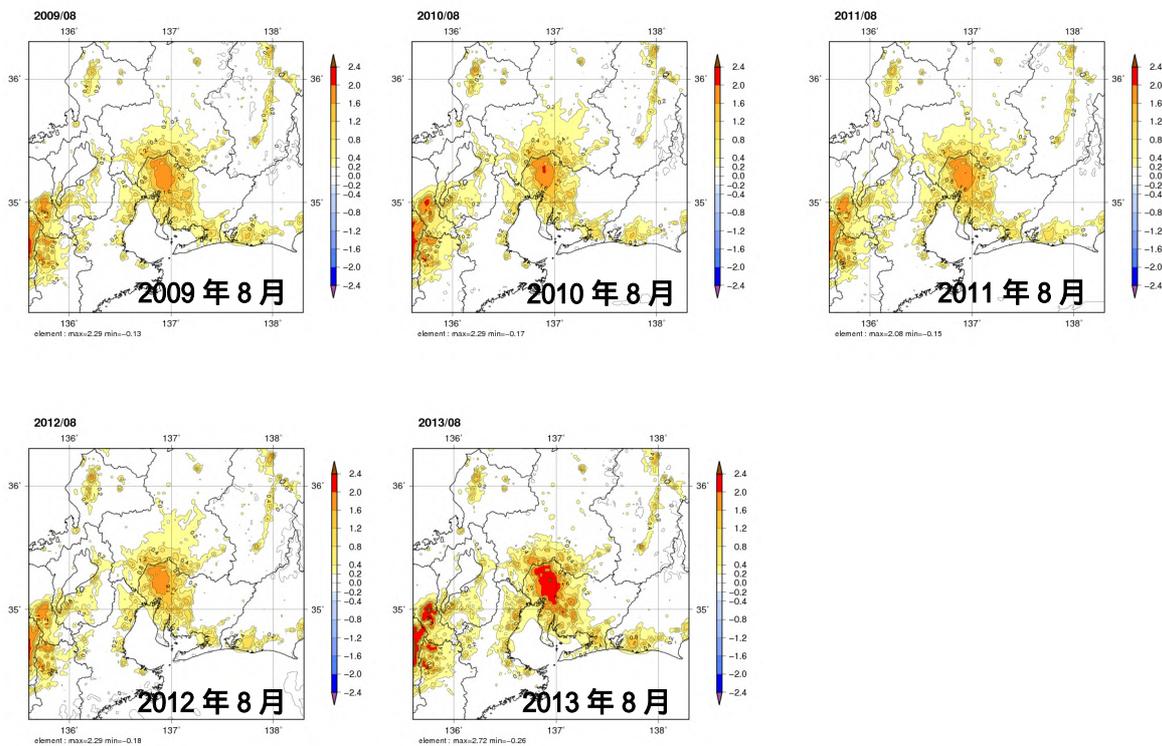


図 3.3.6 東海地方における 2009～2013 年 8 月の都市化の影響による月平均気温の変化 ()

3.3.3 夜間と日中の都市化の影響の違い

都市化の影響を夜間と日中に分けて調べた。夜間(5時)に関しては、関東地方では東京の都心部、近畿地方では大阪平野の内陸部や京都の周辺、東海地方では濃尾平野で大きな昇温域が広がっている一方、日中(15時)に関しては都市化の影響は小さい(図3.3.7)。これは、都市化の影響が、日最高気温を観測する日中より日最低気温を観測する夜間で明瞭であることを示し、2.1.1節の結果と整合する。

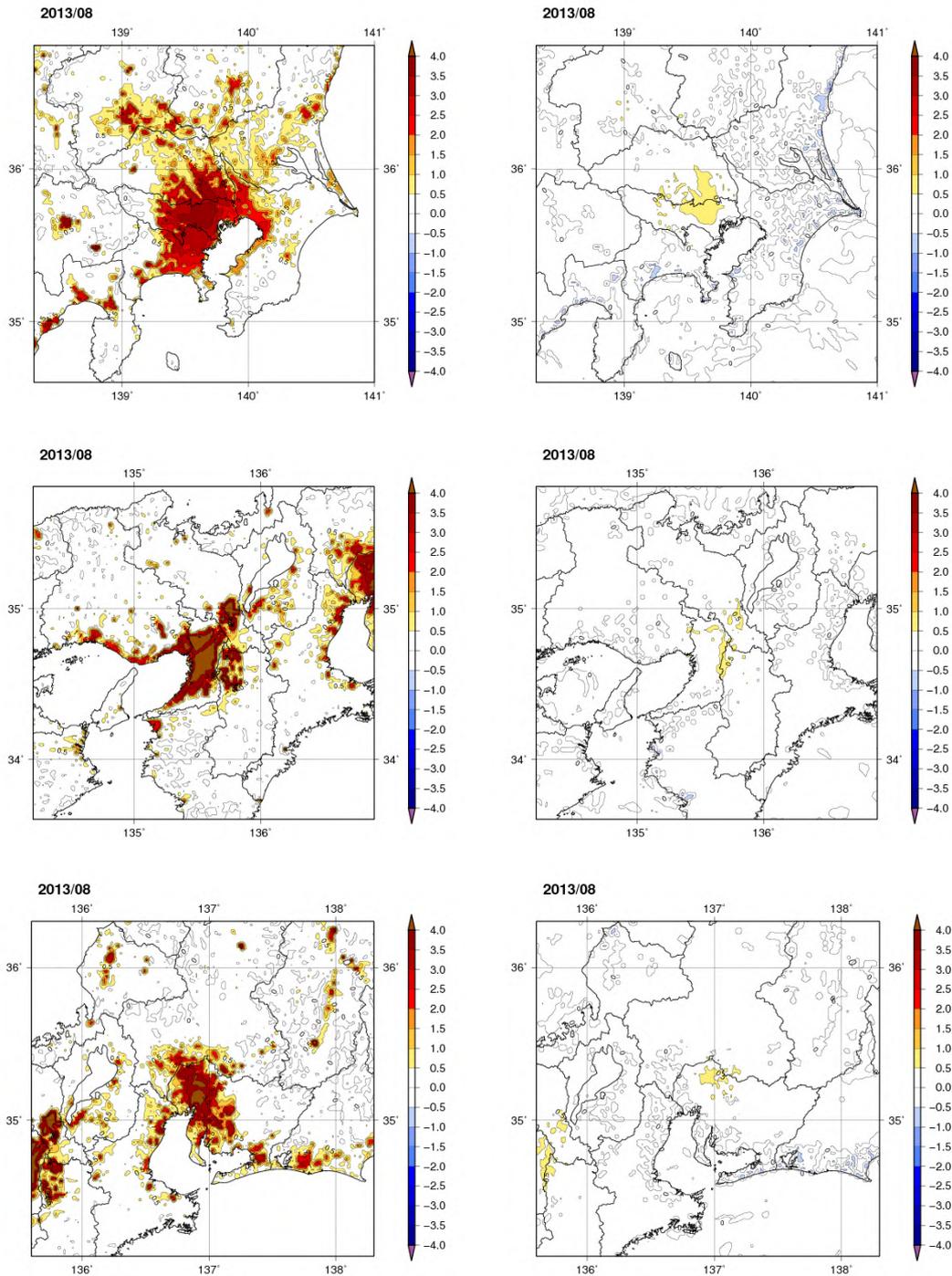


図 3.3.7 2013 年 8 月の 5 時(左図)と 15 時(右図)における都市化の影響による月平均気温の変化()
 関東地方(上段)、近畿地方(中段)、東海地方(下段)を示す。

3.3.4 30 以上となった合計時間

都市化によって夜間においても気温が下がりにくいため、高温となる時間が長くなることが考えられる。そこで、気温 30 以上となった時間を合計すると（図 3.3.8）、関東地方では 200 時間以上となる領域が都心部をはじめ広く現れている。一方、山梨県の甲府や勝沼などでは、40 を超える日最高気温を記録しても、夕方以降は急激に気温が下がるため高温時間の合計は短くなっている。このように、都市域は、夜間も気温が下がりにくいため高温となる時間が長いことが特徴である。

大阪や名古屋周辺では、気温 30 以上の高温時間が最大でそれぞれ 400 時間、360 時間を超えるなど、関東地方よりも顕著となっている。

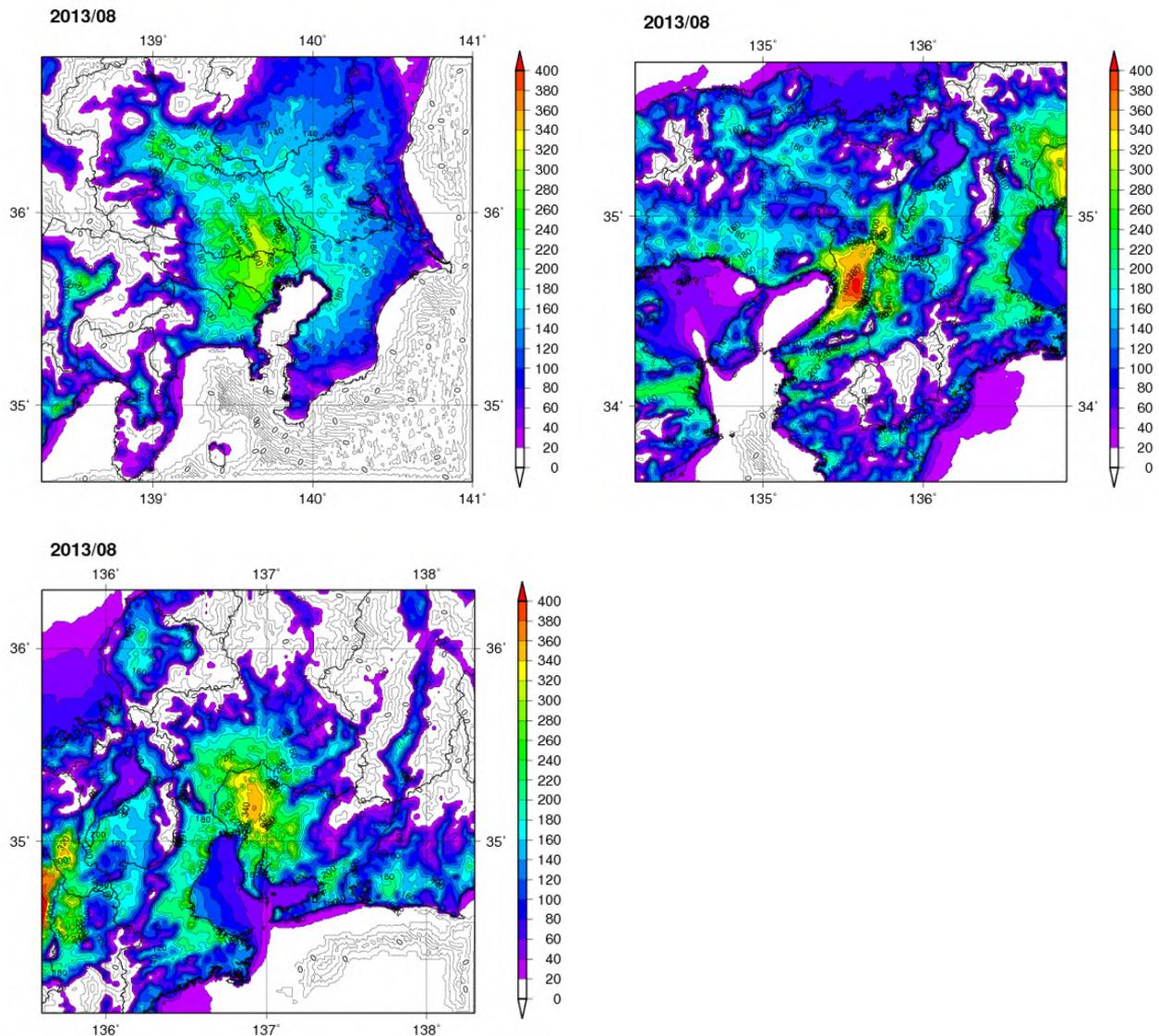


図 3.3.8 2013 年 8 月の気温 30 以上となった時間の合計（時間）

関東地方(左上図)、近畿地方(右上図)、東海地方(左下図)を示す。

3.3.5 日最低気温が最も高かった日について

2013年8月11日、東京では朝方の気温が顕著に高く、通常は午前5~6時頃に日最低気温を観測するのだが、この日は23時49分に日最低気温30.4が観測され(午前5時は31.4)1875年の統計開始以来最も高い日最低気温となった。同様に、大阪でも8月22日に1883年の統計開始以来2番目に高い29.2(5時34分)名古屋でも8月10日に1890年の統計開始以来5番目に高い28.4(5時45分)の日最低気温を観測するなど、大都市では高い最低気温の記録更新が相次いだ。そこで、それぞれの日の5時におけるシミュレーションの結果(図3.3.9、図3.3.10、図3.3.11)から都市化の影響を調べた。平均気温の分布(図3.3.9左)は、約30の領域が東京都を中心に神奈川県や埼玉県にまで広がっており、概ね実況(5時に観測された気温:東京は31.4、練馬は30.0)を再現している。また、この高温域は、都市化の影響が大きかった領域(図3.3.9右)で現れていることから、この日の高温には、都市化の影響も大きく寄与していたと考えられる。近畿地方における8月22日(5時に観測された気温:大阪は29.4、京都は27.4)と東海地方における8月10日(5時に観測された気温:名古屋は28.9、岐阜は28.4)についても、関東地方と同様、都市化の影響のため気温が下がりにくかったと考えられる。

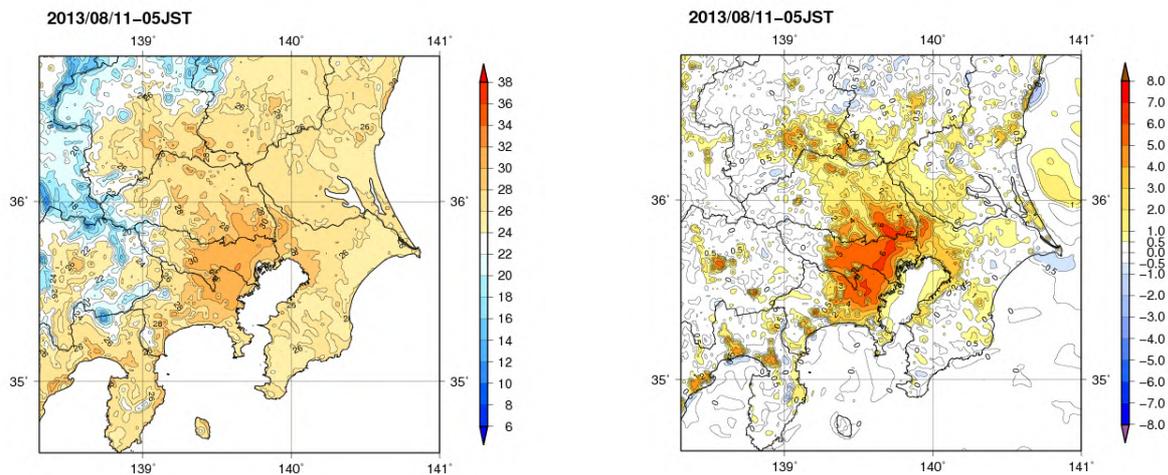


図3.3.9 関東地方を対象とした都市気候モデルの再現実験による2013年8月11日5時の気温(左図)と都市化の影響による気温の変化(右図)

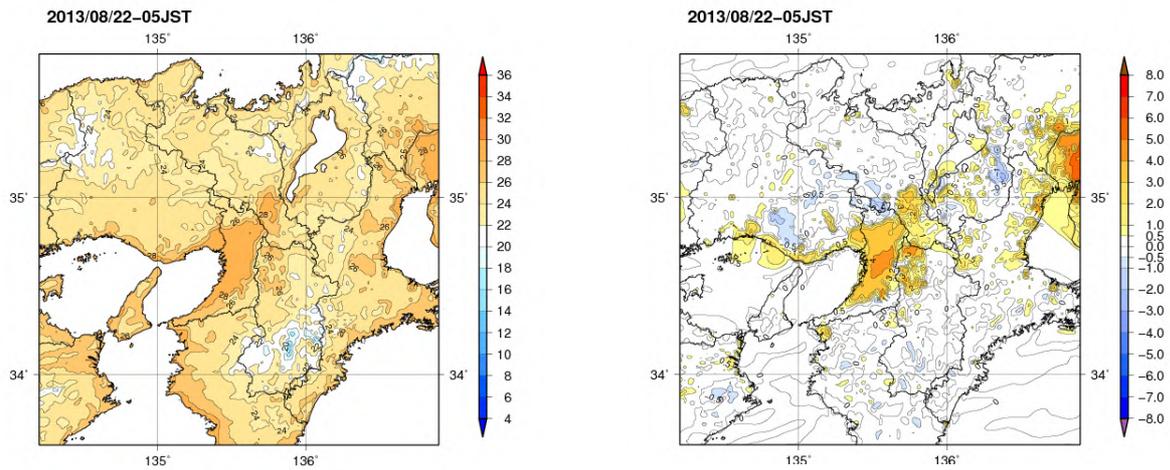


図 3.3.10 近畿地方を対象とした都市気候モデルの再現実験による 2013 年 8 月 22 日 5 時の気温(左図)と都市化の影響による気温の変化(右図)

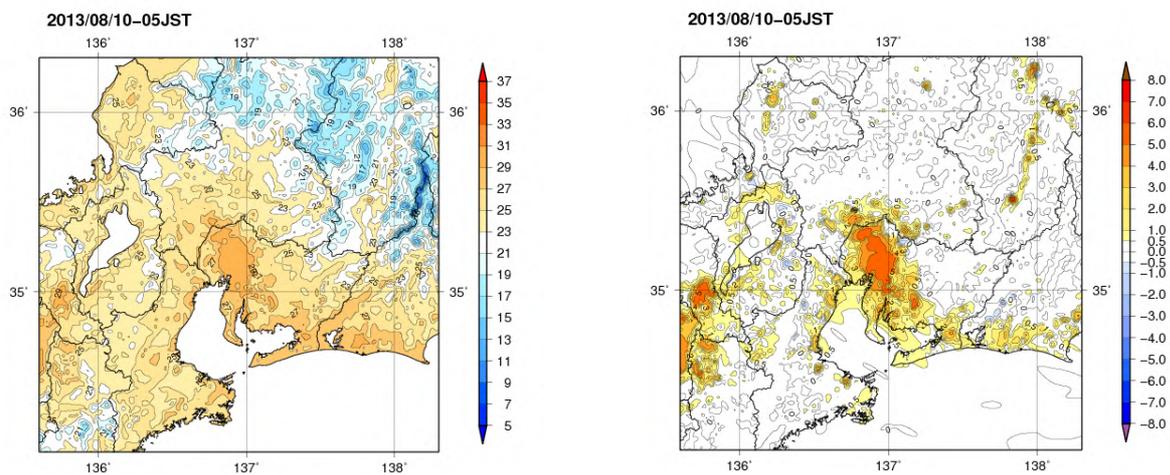


図 3.3.11 東海地方を対象とした都市気候モデルの再現実験による 2013 年 8 月 10 日 5 時の気温(左図)と都市化の影響による気温の変化(右図)

【コラム】関東地方における平成 25 年 8 月 12 日夜の降水について

ヒートアイランド現象と降水との関連性については、以前から活発な研究が行われている重要なテーマである。そこで、本コラムでは「ヒートアイランド監視報告」としては初めて降水現象に与える都市化の影響について解析した例を紹介したい。ただし、今回示す結果は、多くの降水事例の中でも再現性が比較的良好で、かつ、都市化の影響としての降水量が明瞭に表現された数少ない 1 事例に過ぎないことに注意していただきたい。

2013 年 8 月 12 日、関東地方では夕方から夜にかけて大気の状態が不安定となり広く雨が降るとともに、東京（大手町）では雷を観測した。また、練馬では最大 1 時間降水量 49.0mm（18 時 46 分までの 1 時間） 府中では最大 1 時間降水量 37.5mm（19 時 29 分までの 1 時間）を観測する強雨となった。都市気候モデルによる再現実験の結果、18 時から 21 時にかけての 3 時間積算降水量の分布について、都市なし実験結果（右図）でみられなかった東京の都心部から西側にかけての降水が、都市あり実験結果（左図）では再現された。このことは、都市化と降水との関連性を示唆する結果ではあるが、事例によって異なるなど不確実性もあることから、今後もこのような解析事例を蓄積することでさらなる研究に寄与していきたい。

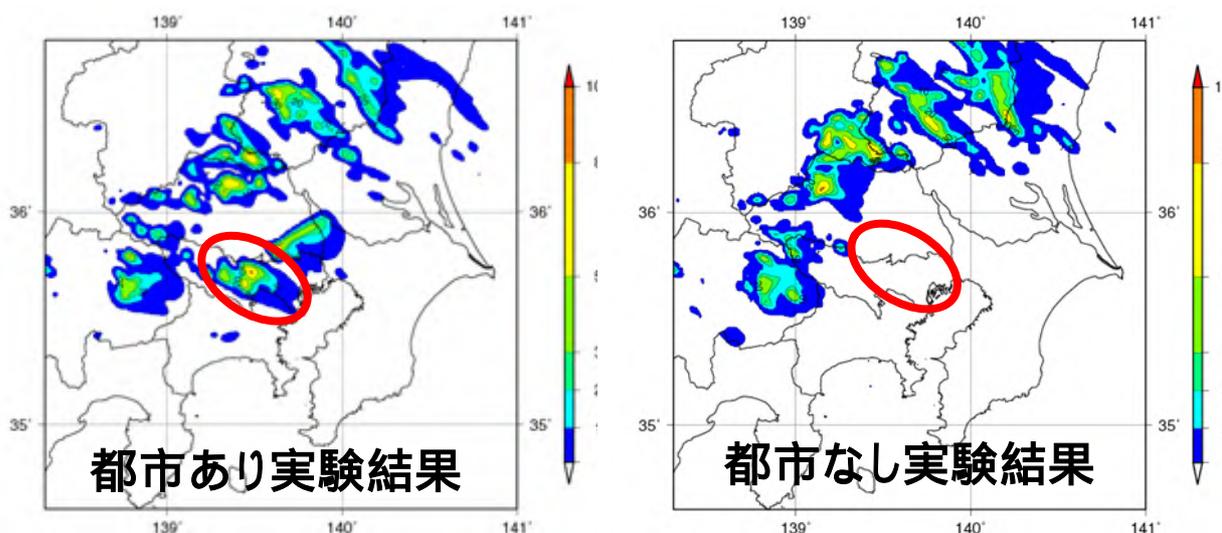


図 2013 年 8 月 12 日 18 時～21 時における都市気候モデルによる 3 時間積算降水量分布（mm）
都市あり実験結果（左図） 都市なし実験結果（右図）

3.4 平成 25 年の月別のヒートアイランド現象

各月において、都市化による高温化、乾燥化（相対湿度の減少）がみられた。
都市化の影響は、冬季（特に 12 月、1 月）で大きく、梅雨時期（6 月）で小さい。

3.4.1 平均気温

2013 年の各月を対象とした都市気候モデルによるシミュレーションの結果（【資料 9】）、都市化の影響は、どの地方でも冬季の 12 月や 1 月で最も大きく、特に大きな領域が広がっている。一方、最も小さかったのは曇りや雨の日が多い梅雨時期の 6 月だった（図 3.4.1）。都市化の影響は年々の気象条件によっても変化するため、常に一定ではないものの、これらの結果は観測値から得られた傾向と概ね整合している（参照【資料 2】）。

また、関東地方では、都市化の影響が最も大きい領域が、5～8 月は東京の北西周辺であるのに対して、11～1 月では東京湾岸付近となっている（図 3.4.1 左上、左下）。これは、関東地方の気候特性として、暖候期は南風、寒候期は北風が卓越する日が多いため、都市域の風下となる地域で影響が大きくなるためと考えられる。

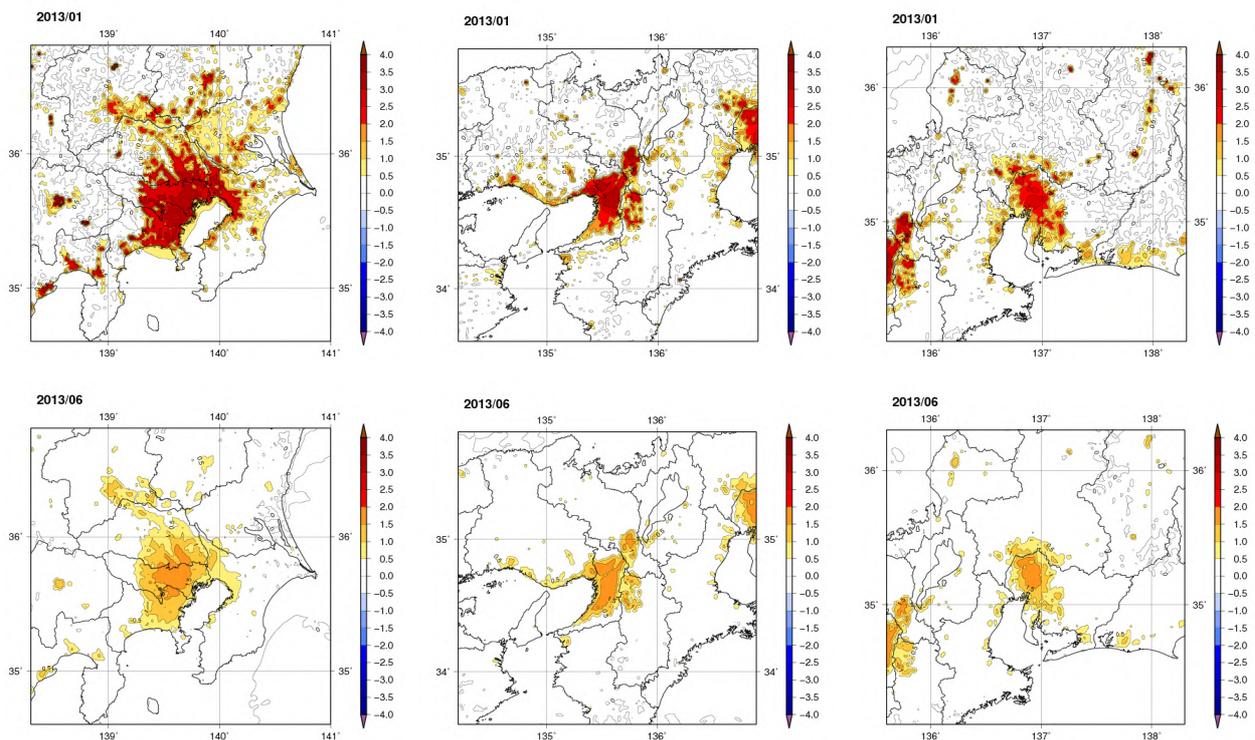


図 3.4.1 都市化の影響による月平均気温の変化（ ）

2013 年 1 月(上段)と 6 月(下段)。関東地方(左図)、近畿地方(中図)、東海地方(右図)。

3.4.2 相対湿度

2013年の各月を対象とした都市気候モデルによるシミュレーションの結果(図3.4.2、【資料10】)どの地方においても、都市化の影響による平均相対湿度の減少量は冬季の12月や1月で最も大きく、特に大きな領域が広がっている。一方、最も小さかったのは、曇りや雨の日が多い梅雨時期の6月だった。これらの結果は、3.4.1節で示した平均気温の傾向と一致している。

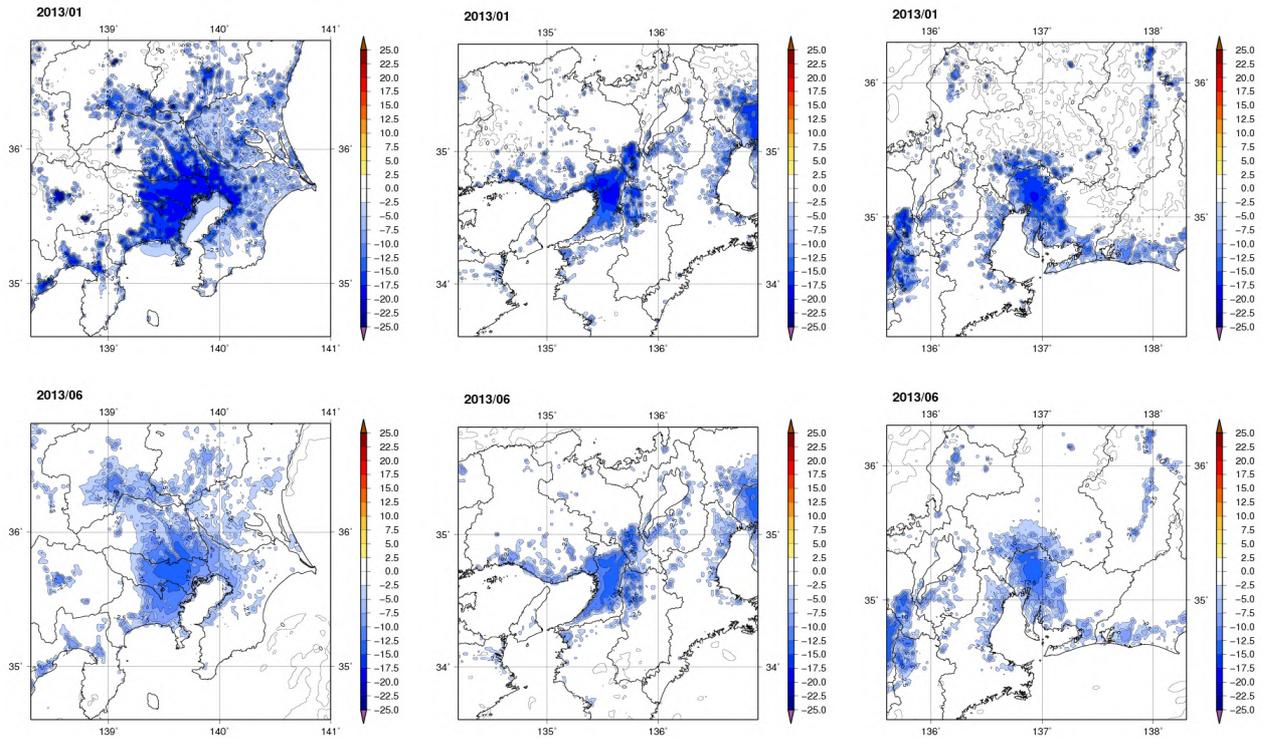


図 3.4.2 都市化の影響による月平均相対湿度の変化 (%)

2013年1月(上段)と6月(下段)。関東地方(左図)、近畿地方(中図)、東海地方(右図)。