

東京のヒートアイランドに関する研究(その2)

—ヒートアイランド改善対策とその効果—

三上岳彦* 若林明子 宇田川満** 伊藤政志**
(* 非常勤研究員 ** 元主任研究員)

要 旨

東京都環境科学研究所では、本稿の第1部でも述べたように、現在の気候状況(現況)を無理なく再現できる数値モデルを開発した。第2部では、都市ヒートアイランド強度の緩和対策の感度分析と各対策ケースの数値シミュレーションについて報告する。

得られた結果をまとめると次のようになる;

- 1) 人工排熱の完全除去と十分な大規模緑地の整備を想定したモデル感度分析の結果、夏季においては、日最高、日平均、日最低気温を約1.8度程度低下させることが明らかになった。
- 2) 熱消費の抑制、大規模緑地の整備および透水性舗装の普及によって、夏季の場合、日最高気温で0.4度、日平均気温で0.2度の気温低下効果があることがわかった。

キーワード: 東京 ヒートアイランド 人工排熱 感度分析 数値シミュレーション 緑地

Urban Heat Island Phenomena in Tokyo : Part 2 - Measures for Reducing Heat Island Intensity and their Effects -

Takehiko Mikami*, Meiko Wakabayashi, Mitsuru Udagawa** and Masashi Ito**
* Associate Researcher ** Ex Chief Researcher

Summary

The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection has developed a numerical model which could reproduce a reasonable present climatic condition as described in Part 1 of this report. In Part 2, we will report the sensitivity analysis of measures for reducing urban heat island intensities and the numerical simulation for each case of measures.

The results are summarized as follows;

- 1) The model sensitivity analysis which assumes the complete removal of anthropogenic heat discharge and the full preparation of large green tracts will lower the daily maximum, mean and minimum temperatures in summer by around 1.8 degrees Celsius.
- 2) Compound measures by the suppressed heat consumption, the spread of large green tracts and the preparation of permeable pavements will lower the daily maximum and minimum temperatures in summer by 0.4 and 0.2 degrees Celsius respectively.

Keywords: Tokyo, anthropogenic, heat emission, sensitivity analysis, numerical simulation, green tract

1 はじめに

東京都環境科学研究所では今回、東京を中心とする広域のヒートアイランド現象を再現する数値モデルとヒートアイランド改善対策を実施した場合の緩和効果を定量的に把握できる気候変化予測モデルを開発したり。本稿ではこのモデルを用いて、ヒートアイランド改善対策の感度分析と対策ケースのシミュレーションを行なった結果等について報告する。

2 ヒートアイランド改善対策の感度分析

(1) 感度分析ケース

都市におけるヒートアイランド改善対策の原理としては、以下の要素があげられる。

- ①人工排熱による大気加熱の抑制
- ②蒸発・蒸散の促進
- ③地表凹凸の改変による大気の成層の調節

これらを実現させるための具体的な手段は、①に関しては、熱エネルギーの多段階利用等による熱効率の向上、家庭における省エネルギー、自動車利用の抑制等がある。また、②については、都市内緑地の整備や透水性・保水性舗装といった社会基盤施設に係る対策や屋上緑化等の民間で推進できる対策が含まれる。なお、③については、一般に凹凸の大きい（構造物の建ち並ぶ）地域では、夜間に非常に安定な成層ができにくいいため、地上気温の低下が小さく、最低気温は高めとなる。従って、建築物の低層化・散在化は夏季の熱帯夜の出現を少なくする効果をもつが、冬季の最低気温を下げることにもなる。

東京都において現在計画されているこれらの対策の効果については、次章で予測することとし、本章では対策効果の限界を知るための感度分析を行う。感度分析は人工排熱と緑地整備を対象とし、以下のようにケースを設定した。

ア. 感度分析ケース

ケース1：人工排熱量の削減

人工排熱抑制による対策効果の極限をみつめるため、シミュレーション地域（全域）における人工排熱量を100%カットした場合を想定した。数値モデルでは、人工排熱は直接大気を加熱するものとみなしており、任意の人工排熱カット率に応じた対策効果をこのシミュレーション結果から推定することができる。ただし、人工排熱による風系の大きな変化がないことを確認することが

必要である。

ケース2：人工排熱量の削減+緑地整備（蒸発・蒸散の促進）

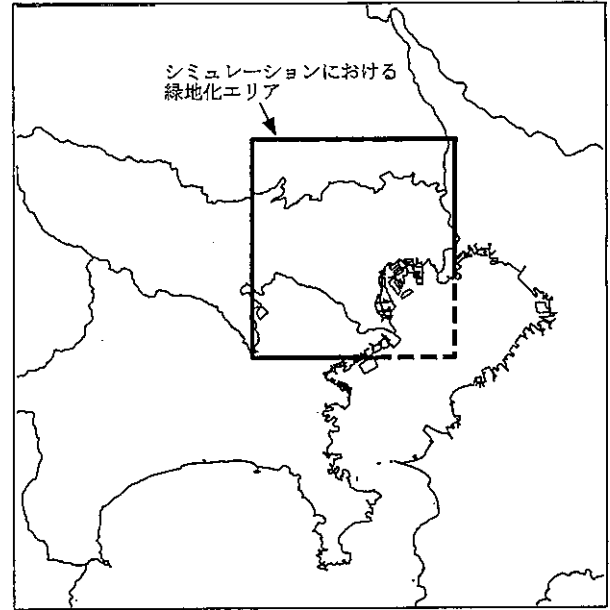


図1 感度分析における緑地化エリア

ケース1の人工排熱量の全面的削減に加えて、図1に示す地域（緑地化エリア）における建物用地を全て樹木・畑なみの蒸発・蒸散能を有する土地形態に変更した場合を想定した。ただし、建物用地以外の都市基盤である道路は現況のままとした。シミュレーションにおける具体的な設定としては、建物用地における平均的な蒸発効率0.05を、樹木、畑地における蒸発効率0.30に変えた。また、アルベード（太陽光の反射率）、土壤熱拡散係数、比熱も樹木、畑地なみに変わるものとした。このケースは、人工排熱抑制と緑地整備の効果の限界を示すと考えられる。

イ. 感度分析結果

人工排熱量削減ケース（ケース1）における日平均気温、日最高・最低気温、日平均相対湿度の現況再現ケースからの差の分布図を作成した。これによって、人工排熱量を完全にカットした場合の気温変化が定量的に表現できる。一例として、夏季の日最高気温と冬季の日最低気温の変化を図2に示す。また、緑地整備をあわせて行ったケース2について、現況再現ケースとの差の分布の例を図3に示す。これらより、感度分析ケースにおける東京都内での気温・湿度の最大変化量は表1のようにま

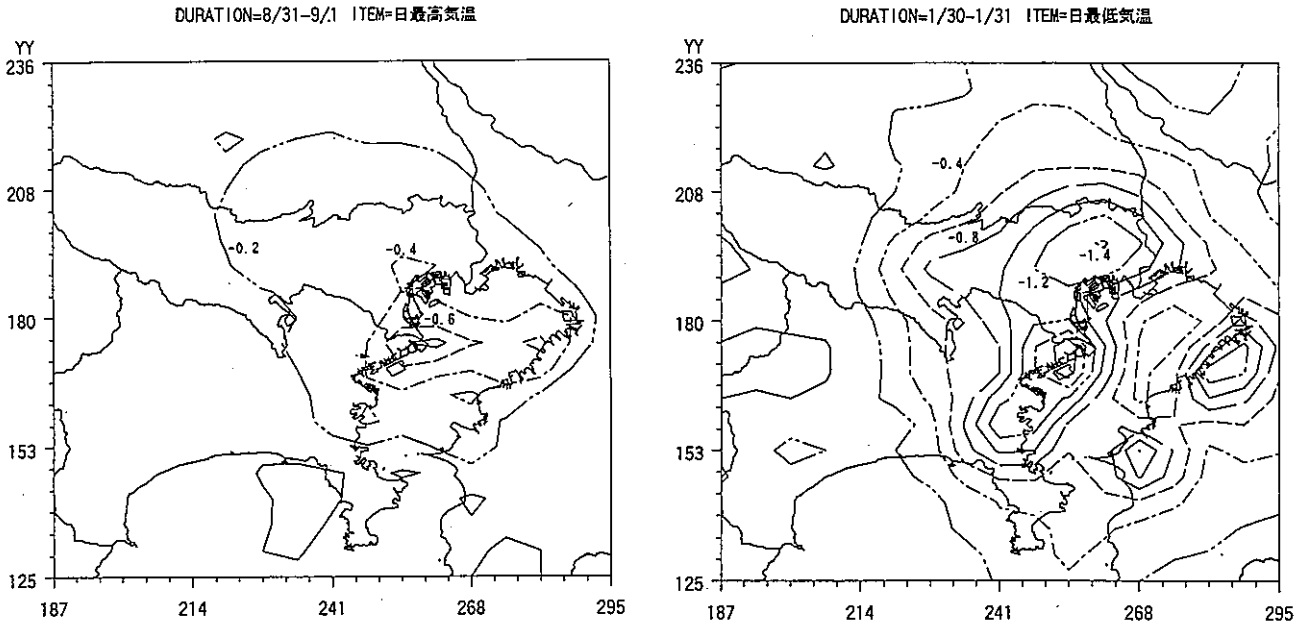


図2 人工排熱量削減ケースの気温変化 (左図：夏季の日最高気温、右図：冬季の日最低気温)

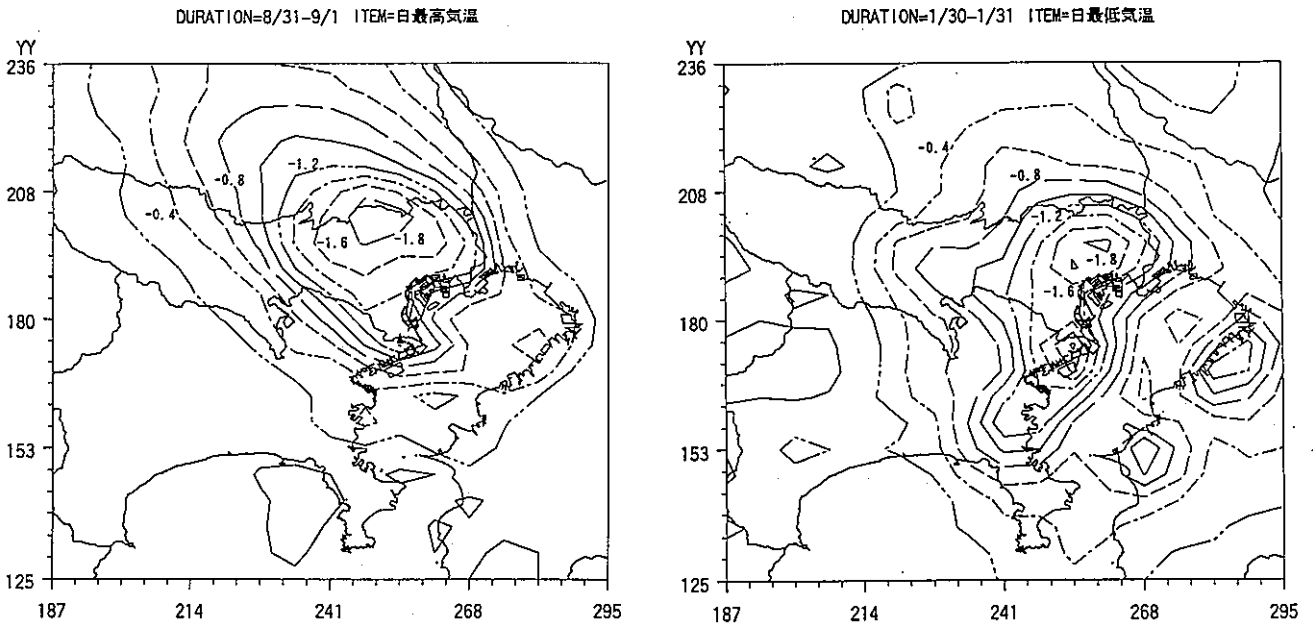


図3 人工排熱量削減+緑地整備ケースの気温変化 (左図：夏季の日最高気温、右図：冬季の日最低気温)

とめられる。各項目の最大効果出現地点はそれぞれ異なることに留意されたい。また、日平均相対湿度の変化量は時刻別相対湿度の日平均値で比較した差を意味する。前述したように、相対湿度に関してはモデルフィッティングが十分でないため、表中の値は参考とみなすべきものである。

次に、個別地点に着目し、東京都及び周辺地域の主な地点における気温推移をケース間で比較した。図4に八

王子(上図)と大手町(下図)の例を示す。気温に及ぼす非線型効果を考慮しなければ、図の排熱削減ケースと緑地整備をあわせたケースの差が緑地整備単独の効果と近似される。その前提にたてば、緑地整備は日中の最高気温の引き下げに、また人工排熱削減は夜間の気温低下に大きな効果をもたらすことがわかる。

3 ヒートアイランド対策ケースのシミュレーション

表1 感度分析ケースにおける最大効果の概要

	気温低下量 (°C)			相対湿度増加量 日平均 (%)
	日平均	日最高	日最低	
ケース1：人工排熱量削減				
夏季 (8月31日～9月1日)	1.0	0.4	1.4	5
冬季 (1月30～31日)	1.4	0.8	1.4	8
春季 (5月26～27日)	0.5	0.3	0.4	2.5
ケース2：人工排熱量削減+緑地整備				
夏季 (8月31日～9月1日)	1.8	1.8	1.6	10
冬季 (1月30～31日)	2.0	1.6	1.8	15
春季 (5月26～27日)	1.6	1.6	1.0	12

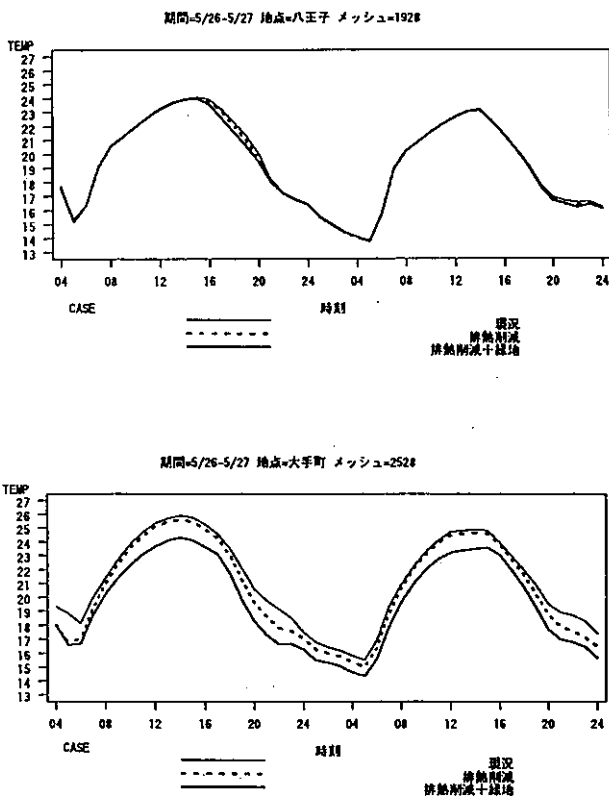


図4 八王子と大手町におけるケース別気温推移

(1) 対策ケースの設定

本章では、東京都における気候緩和関連の施策を前提としたヒートアイランド対策効果予測について述べる。ここで対象とした対策は、以下のとおりである。

1. 熱消費の抑制
2. 都市内緑地整備
3. 道路の透水性舗装の普及
4. 上記の複合対策

以下、それぞれの対策についての基本想定を示す。

ア. 熱消費の抑制

東京都では、地球温暖化対策に関する今後の地域施策をとりまとめている（東京都地球温暖化対策地域推進計画「環境への負荷の少ない東京をめざして」、平成7年6月）。そのなかで、省エネルギー対策は最も重要な施策として位置づけられている。このような省エネルギー対策による具体的な削減効果について、2010年には1990年に対して約6%の省エネルギーが期待できるとされている²⁾。

本対策シミュレーションでは、上記の6%の熱消費削減を想定した。具体的な対策分野は多岐にわたっているが、削減率が比較的小幅であるため、ここでは、一律に削減されることを想定した。また、地球温暖化対策の地域推進に関しては、各自治体において同様に講じられているので、東京都以外の地域においても同様な削減が行われることを想定した。

イ. 緑の倍増計画による緑地整備効果

東京都では、昭和59年に「東京都緑の倍増計画」を策定し、さらに、平成3年には「'91東京都緑の倍増計画」を策定している。この計画における長期基本目標として、

- ①昭和58年度末における既成市街地の樹木本数1億本を21世紀初頭までに2億本まで倍増すること、
- ②平成12年までに一人当たり公園面積を昭和58年度末の3.1㎡から6㎡まで整備すること、
- ③現存するまとまりのある樹林地や水辺等の良好な緑を積極的に保存し、また、社寺林、屋敷林などの身近な緑の保全にも努めること、
- ④都市内の農地を、都市農業の振興を通じて保全すること

が掲げられている。

現況からの熱環境の改善という点では、まとまった公園面積の増大による樹林・草地増大、及び建物用地の地表面性状のうちコンクリート、アスファルト被覆の部分が土壌被覆となること、蒸散効果をもつ樹木が増大することが効果をもつと考えられる。

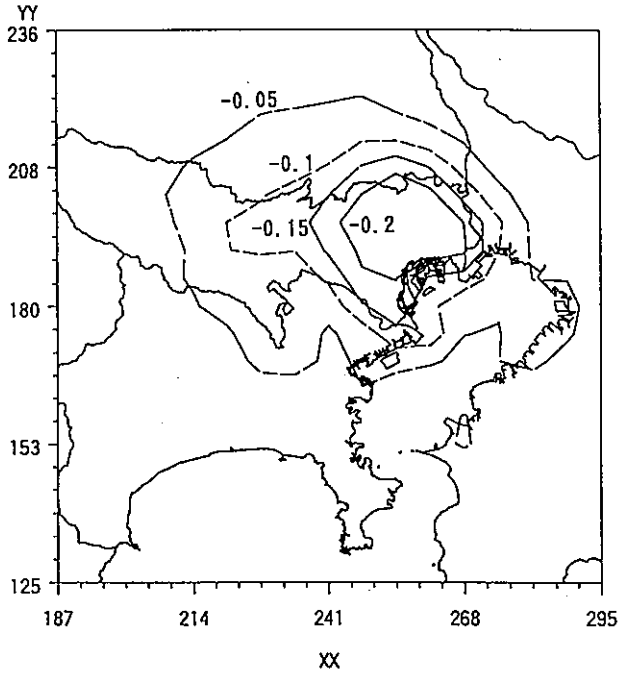
これらの効果を考慮した都市気候変化を予測するためには、①計画により土地利用面積構成が変化するとして扱う方法、②各土地利用における地表面性状が変化するとして扱う方法、が考えられる。

ここでは、以下のシナリオを想定した。

1. 公園整備、市街地内の緑化ともに①の土地利用面積構成の変化として扱う。

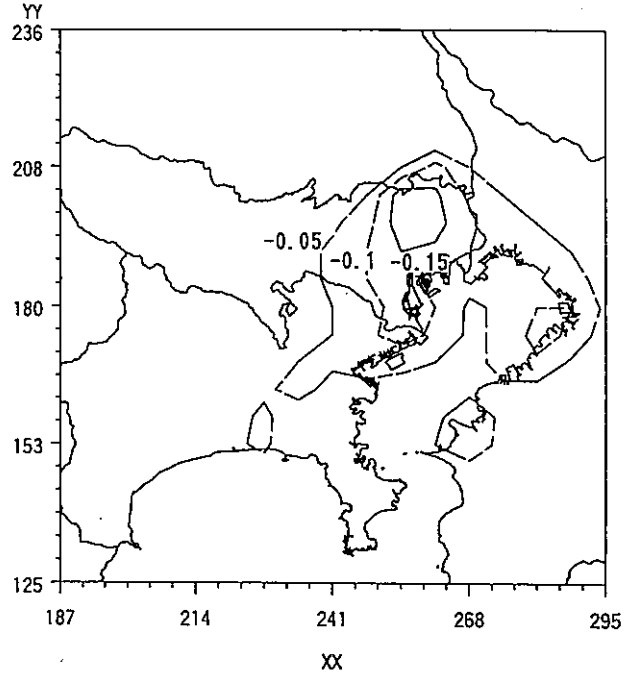
(1) 日平均気温

DURATION=8/31-9/1 ITEM=日平均



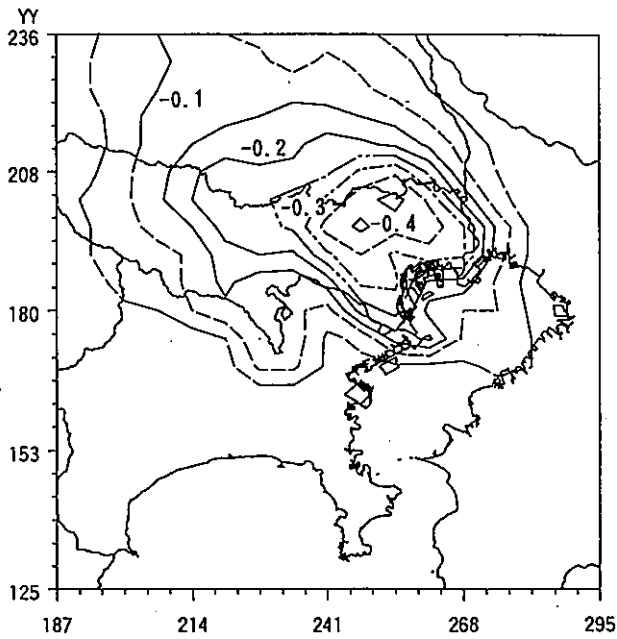
(3) 日最低气温

DURATION=8/31-9/1 ITEM=日最低



(2) 日最高气温

DURATION=8/31-9/1 ITEM=日最高



(4) 日平均相对湿度 (%)

DURATION=8/31-9/1 ITEM=日平均

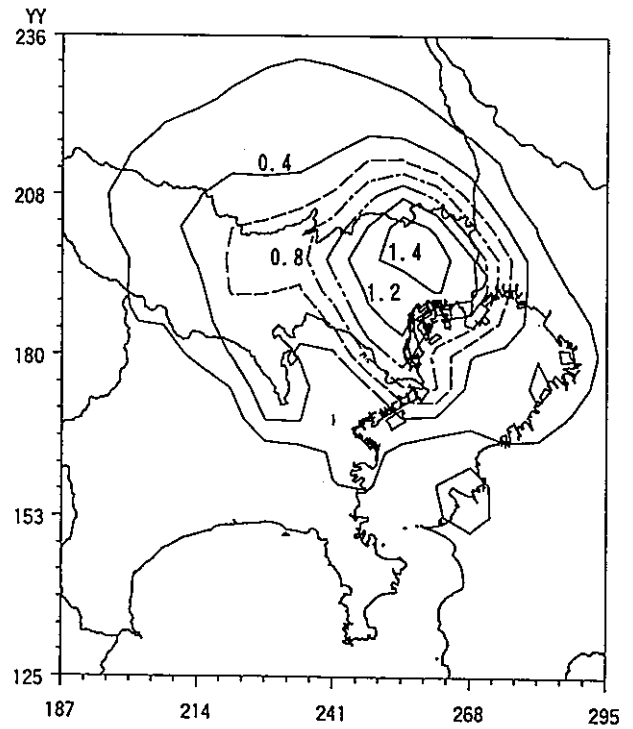


図5 複合対策による気温・湿度変化の分布

2. 公園面積は、東京都全体で2倍の水準になるものとする。ただし、東京都の土地利用ファイルでは公園・運動場が一括した区分となっているので、公園を公園・運動場と読み替え、メッシュ内の公園・運動場面積の小さい側から整備するものとする。この結果、シミュレーションメッシュにおいて、最低で約10%が公園・運動場面積として整備されることが想定された。
3. 既成市街地の樹木本数の増加は、主として建物用地内の緑化によると考える。また、現況の建物用地内の平均緑地面積が7%（昭和62年度の区部に隣接する武蔵野、三鷹、調布、狛江各市の平均）であることから、建物用地内の7%が今後整備の上、樹林地として成熟するものとする。
4. 以上のシナリオは、東京都地域のみにあてはめる。
5. 多摩部は、今後の土地利用の開発に伴い、緑地が減少していくことが考えられるが、このシミュレーションでは、その影響は含めない。

ウ. 道路の透水性舗装の普及

道路の透水性舗装は、地下水かんよう、走行環境の改善、自動車騒音の低減等多くの効果を有するものと考えられているが、現在のところ試験的な施工に留まっております。また、本格的な普及は計画されていない。また、透水性舗装の熱的パラメータも明確ではない。従って、計画を前提とした対策効果予測を行うことはできないが、ここでは、透水性舗装面における蒸発効率が現在のアスファルトの0.05から0.3に増加することを想定し、透水性舗装普及率が道路面積の10%、20%の2段階になった場合の気温変化を検討することとした。

(2) 対策シミュレーション結果

前節で設定した想定に基づき、夏季（8月31日～9月1日）のケースについて対策シミュレーションを実施した。各シミュレーションケースの結果を、日平均気温、日最高・最低気温、日平均相対湿度の現況に対する差の分布図を作成した。図5は、複合対策による気温・湿度変化の分布を示す。個別対策では、緑の倍増計画の効果が大きく、区部北西寄りの地域で0.3℃の日最高気温低下が予測される。省エネルギー対策は、削減率が小さいため、最も効果の大きい最低気温でも都心で0.05℃の低下に留まる。また、道路の透水性舗装の効果は、日最高気温で、0.02℃（10%の普及率）、0.05℃（20%の普及率）と単

独では大きな効果を示さない。これらの結果、複合対策では緑の倍増計画の効果が卓越し、都内の最大効果は日平均気温で0.2℃、日最高気温で0.4℃、日最低気温で0.15℃が期待される（図5）。

(3) 対策による気候変化の推定

前節で述べたシミュレーション結果は、典型的な夏季の1日を対象としたものである。夏季において、その他の日も対策により同様の気温変化を示すとみなすと、真夏日日数（日最高気温30℃以上の日数）、熱帯夜日数（最低気温25℃以上の日数）といった、実生活上でわかりやすい気候指標についての変化が推定できる。図6の上図は、100地点の気温観測及び常時観測局の測定気温に基づく真夏日の日数である（期間は1992年8月～1993年7月。6kmメッシュに内挿した毎時気温により作成）。

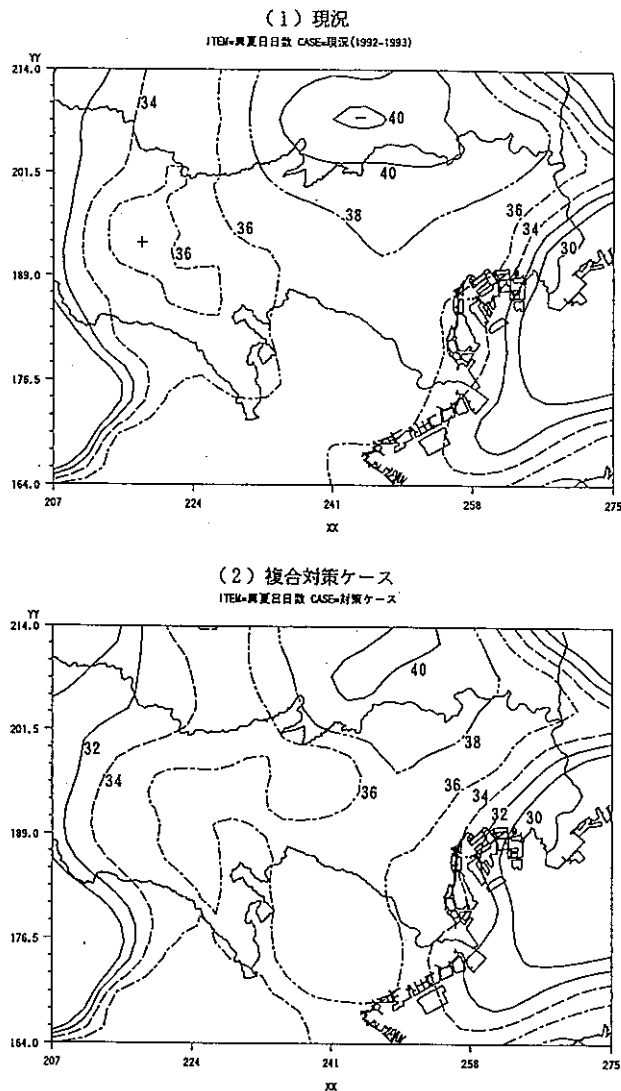


図6 真夏日日数分布の現況（上図）と複合対策ケース（下図）の比較

真夏日日数は内陸寄りで多くなる傾向がある。これに対して、図6の下図は、複合対策ケースで得られた日最高気温低下量分布をベースとして推定された対策ケースにおける真夏日日数の分布を示す。緑の倍増計画を始めとする対策により、都内北部でみられた真夏日40日の地域は解消される。また、効果の大きい地域では、真夏日が約2日減少する。

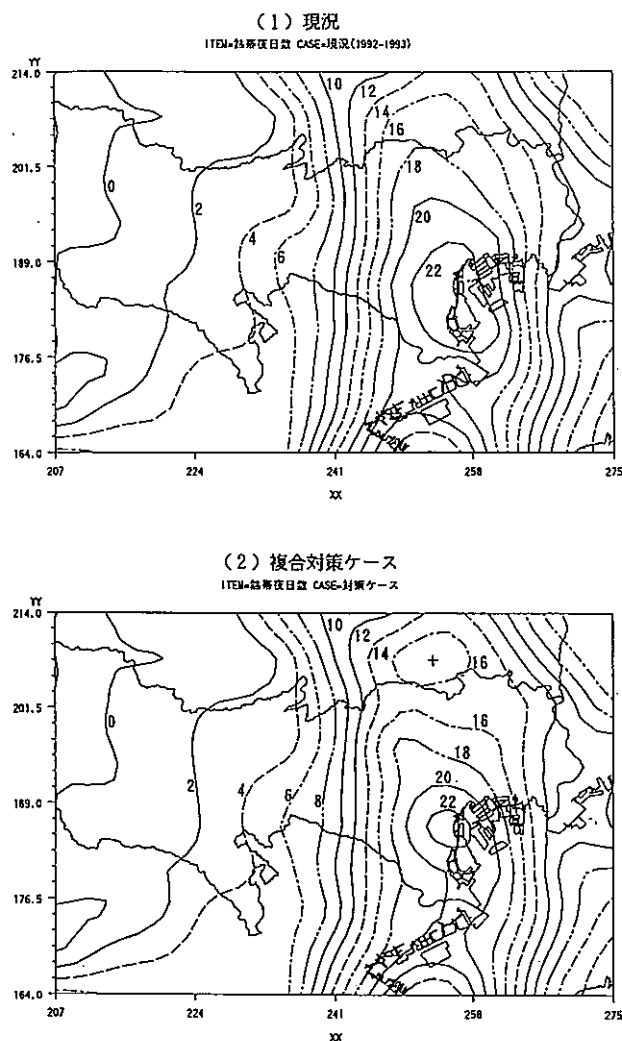


図7 熱帯夜出現日数分布の現況(上図)と複合対策ケース(下図)の比較

同様に、図7の上図は、100地点の気温観測及び常時観測局の測定気温に基づく熱帯夜の出現日数である。熱帯夜出現日数は都心部で多くなる分布を示す。これに対し、図7の下図は、複合対策ケースで得られた日最低気温の低下量分布をベースとして推定された対策ケースにおける熱帯夜出現日数の分布を示す。複合対策ケースの気候的な効果として、区部臨海部で熱帯夜日数が最大2日ほど減少することが推定される。対策シミュレーション

における最低気温の低下量は0.2℃程度のものであるが、熱帯夜出現日数で評価した場合には十分意義をもつ気候緩和効果であるといえる。

4. まとめと今後の課題

本調査では、数値モデルによりヒートアイランド現象を再現し、種々の対策による気候緩和効果を予測した。主要な結果を以下に列挙する。

1) 完全な排熱除去と十分な緑地整備を想定した極限モデル感度分析の結果、夏季の気温低下効果は、日平均気温、日最高気温、日最低気温で最大1.8℃程度みこまることがわかった。これは、ヒートアイランド対策の効果の限界を示すものと考えられた。また、日最高気温に対する効果は緑地整備で大きく、日最低気温に対する効果は排熱除去で大きいことがわかった。

2) 現在、東京都において計画されている関連施策を参考として、夏季における対策シミュレーションを実施し、以下の結果を得た。

①地球環境対策に関する地域施策として講じられる省エネルギー対策の効果は、エネルギー削減量が6%と少ないことから、日最低気温において0.05℃程度の効果に留まる。

②緑の倍増計画が今後順調に実施され、公園面積が増加するとともに、宅地に成熟した樹林が形成されることを想定すると、都北部の内陸寄りにおける日最高気温が0.4℃程度低下する効果が期待される。

③その他の対策として、道路の透水性舗装を検討対象としたが、都における本格的な計画がないことから、ここでは感度分析的な検討をおこなった。その結果、道路面積に対し、20%の範囲で透水性舗装を行った場合でも、最高気温低下の効果は、0.05℃程度に留まった。

④上記の対策をあわせた複合対策による対策効果は、日最高気温については、北部で最大約0.4℃、日最低気温については、都心部で最大約0.2℃程度の効果となることがわかった。これらの気温低下効果を、真夏日日数、熱帯夜出現日数といった気候値に換算すると、効果の大きい地域では、真夏日日数、熱帯夜出現日数とも年間で2日程度減少する効果が推定された。

今後、モデルの改良により、さらに踏み込んだ対策検

討が可能となるものと考えられる。

引用文献

- 1) 三上岳彦ら：東京のヒートアイランドに関する研究
（その1） - 数値モデルの作成と現況再現シミュレ
ーション - , 東京都環境科学研究所年報1997, p. 38-
48
- 2) 富士総合研究所：地球温暖化対策地域推進計画に係
る基礎調査報告書(1995)