

第 部 ヒートアイランド対策の検討

1. ヒートアイランド現象の実態把握

1.1 現象の把握

1) 気温の上昇

東京都心の気温は地球温暖化よりも早いペースで上昇している。100年間に日本全体では約1℃上昇しているのに対し、東京の平均気温は約3℃上昇している。また、同期間で東京の日最高気温は約2℃上昇したが日最低気温はその倍の約4℃上昇している。

東京都心部と周辺部の最低気温はいずれも上昇しているが、東京都心部の上昇は周辺部に比べて突出している。

地球温暖化による気温の上昇は全地球規模でこの100年間に0.6℃上昇したことがIPCC第3次報告書で報告されている。わが国では、気象庁による全国17カ所の観測地点（都市化の影響の小さい地点）で測定された平均気温が、この100年間に1.1℃上昇したことが報告されている。

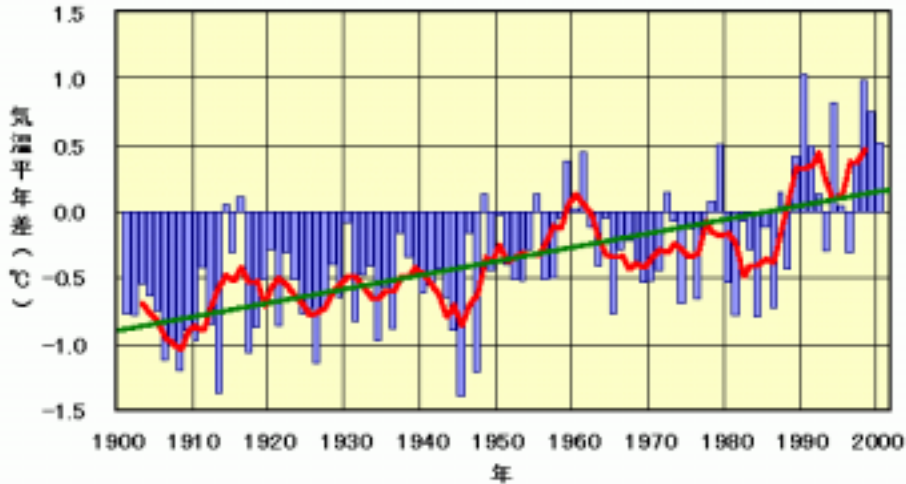


図1 - 1 わが国の年平均地上気温の経年変化(1901～2000年)

出典)20世紀の日本の気象 気象庁編

注)・月平均気温の観測値と平年値(現在は1971～2000年の30年間を平均した値)との差(平年差)を求め、12ヶ月分を平均したものを各年の棒グラフで示している。

・折れ線グラフは5年間の移動平均値、直線は回帰直線で1901年約-0.9℃に対して2000年は約0.2℃を示している。

同様にして、東京气象台(大手町)における日平均気温、日最高気温、日最低気温の月平均値と平年値との差を12ヶ月分平均した値の100年間の推移を図1-2に示す。

まず平均気温を見ると、回帰直線の温度差は1901年と2000年の間で約3℃あり、全国の気温上昇よりも遙かに大きな上昇を見せている。また、日最高気温は100年間で約2℃上昇したのに対して、日最低気温では約4℃と最高気温の2倍の上昇幅となっている。

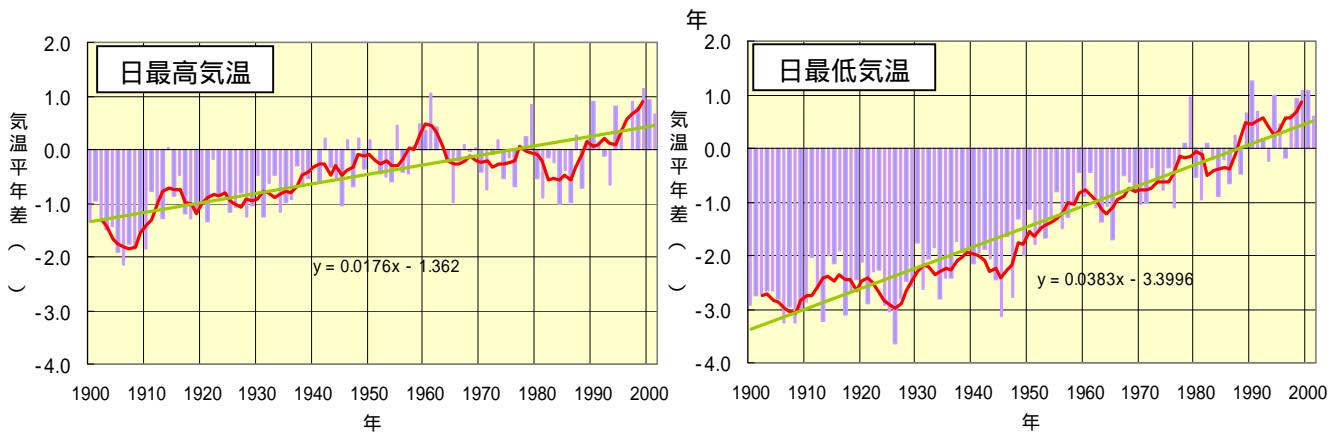
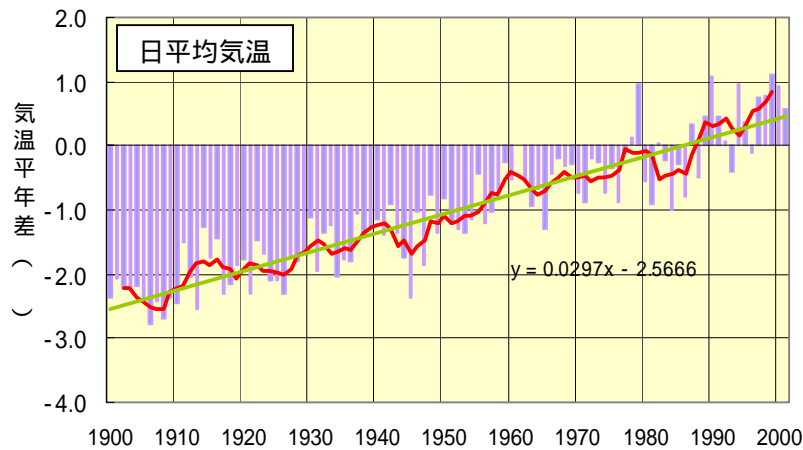


図1 - 2 東京の年平均地上気温の経年変化(1901～2000年):気象庁年報2001より作成

次に、気温の上昇幅が大きい日最低気温で、ここ100年間の変化を東京都心部と熊谷、宇都宮、横浜及び銚子で比較してみると、周辺部は2 前後の上昇に対し、東京都心部はその2 倍の勢いで上昇している。

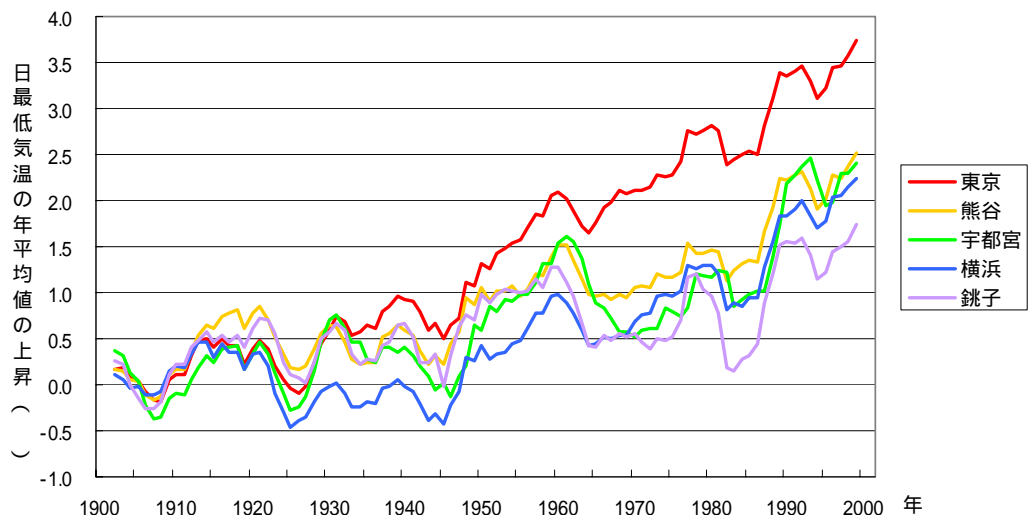


図1 - 3 東京と周辺部の日最低気温の年平均値の変化(5年移動平均)

出典)気象庁年報2001より作成

注)1900年から1909年の10年間の平均値を基準として基準値からの上昇分を示した。

図より 1930 年代には東京の最低気温が周辺よりも高くなる現象が見られ、既にヒートアイランド現象が始まっていたと考えられる。戦争を挟んで 1950 年頃から再び東京の最低気温は上昇し、1970 年代には周辺都市よりも約 1.5 多く上昇している。1990 年以降は周辺都市も最低気温が上昇し、関東平野全体の都市が高温化していると推察される。しかしこの中でも東京の最低気温は突出しており、依然としてヒートアイランド現象を形成していることがうかがえる。

2) 昼間の高温化

東京 23 区内の夏季の 30 以上時間数は、ほぼ 300 時間以上になっており、特に板橋など東京の北部では 400 時間を越えている。一方で皇居周辺及びその北側では 250 時間程度と短くなっている。

都市のヒートアイランド現象は最高気温の上昇として捉えることもできるが、都市で生活する人々が年々厳しくなる夏の暑さを実感するのは、恐らく最高気温よりも高温の中で過ごす時間が昔よりも長くなっているからであろう。

1998 年の 6 月～9 月に 30 を超える気温がどれくらい続いたかを図 1-4 に示した。これを見ると千代田区など一部を除き、東京 23 区はほぼ 300 時間以上となっていることがわかる。特に板橋区など東京の北部や埼玉県の南部にかけて 400 時間以上の地域が見られる。一方、千代田区の皇居を中心とした地区では、皇居の緑や水による効果から周辺地区よりも高温の暴露時間が短くなっている。

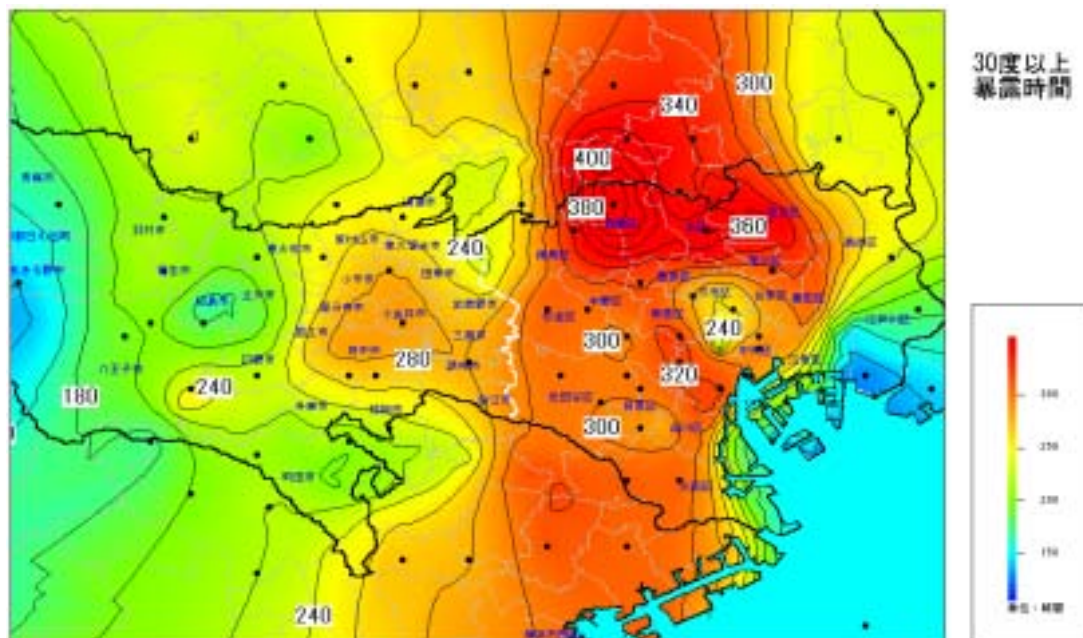


図1 - 4 東京周辺における 30 以上時間数の分布(1998 年 6 月～9 月)

出典)東京都立大学三上研究室提供データより作成

3) 熱帯夜(最低気温が25 以上)

都心部では夕方から夜にかけての気温が下がりにくくなっている。熱帯夜は都心部を中心に出現日数が多くなっているが、墨田区、板橋区なども年間36日以上と多い。

東京における都心(大手町)と郊外(府中)の8月における時刻別平均気温を見ると、最高気温は概ね同レベルにあるが、夕方から夜間、早朝にかけての気温は郊外の方が低く、都心部で気温が下がりにくくなっていることがわかる。

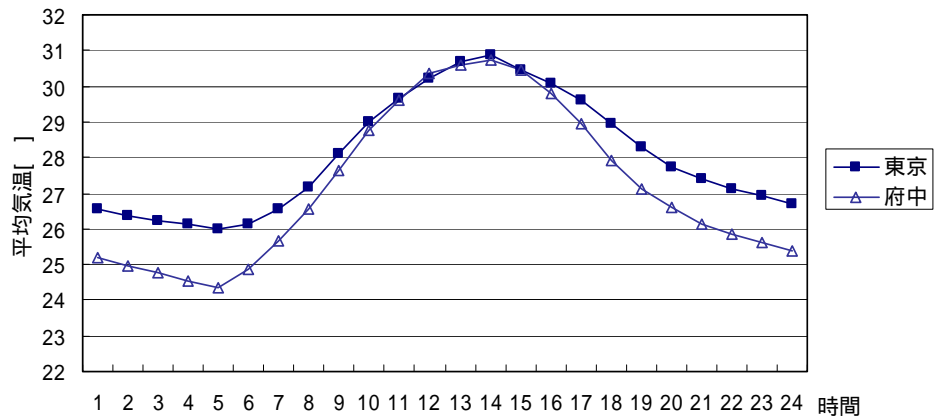


図1 - 5 都心と郊外における8月の平均気温の時刻変動比較(1998~2000年)

出典)アメダス観測年報より作成

1998年の6月から9月に出現した熱帯夜の日数の分布を図1-6に示す。都心部を中心に熱帯夜の出現日数が多くなっている。また、都心部の北東にあたる台東区、墨田区や昼間の高温化が顕著な板橋区でも熱帯夜の出現日数が36日以上となっている。

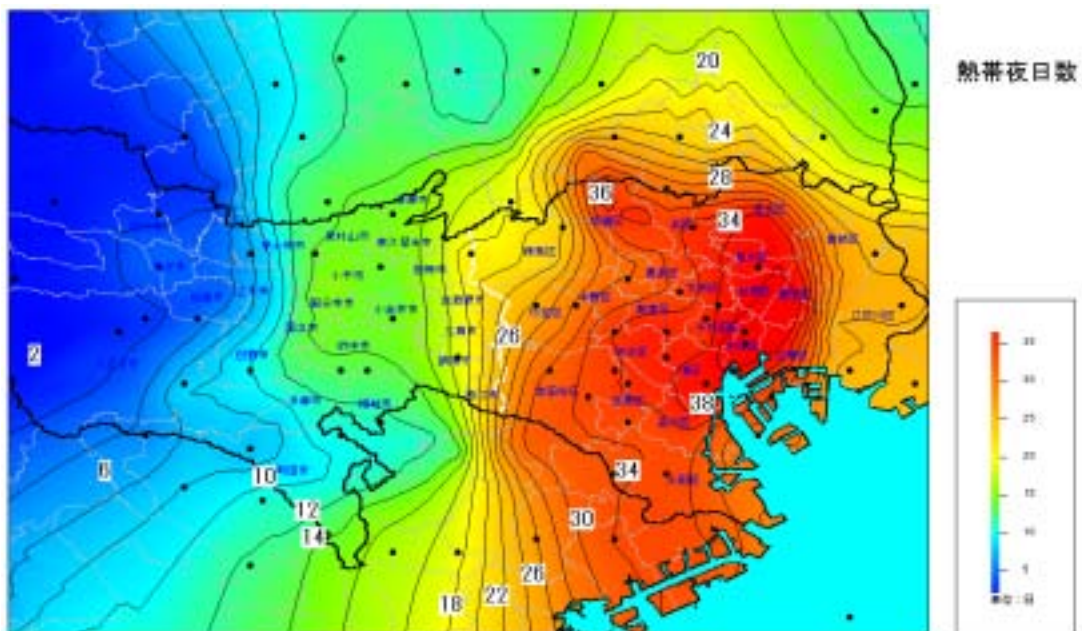


図1 - 6 東京周辺における熱帯夜の出現日数(1998年6月~9月)

出典)東京都立大学三上研究室提供データより作成

(参考) 熱帯夜が発生する日の気象

東京における熱帯夜の出現日数と天候の関係を下表に示す。

	晴		晴以外		合計	
	日数	夕立 (夜雨)	日数	夕立 (夜雨)	日数	夕立 (夜雨)
夏季全体	118日	(1日)	158日	(45日)	276日	(46日)
熱帯夜出現時	72日	(1日)	50日	(17日)	122日	(18日)
熱帯夜出現時以外	46日	(0日)	108日	(28日)	154日	(28日)

表 熱帯夜の出現と天候の関係 (1998～2000年の7～9月)

晴: 東京気象官署データにおいて1日(3時、9時、15時、21時)の平均雲量が8.4以下の日

夕立: 13～24時の間のアメダス雨量が1mm以上かつ1～12時の雨量が0の日

3年間の7～9月の276日のうち、122日(44%)で熱帯夜が発生している。この熱帯夜のうち61%が晴、39%が晴以外と、晴以外の日に出現することも少なくないことが分かる。

また、アメダス東京観測所における同期間の熱帯夜出現日と熱帯夜以外の日の時刻別風況を下図に示す。熱帯夜が出現する日は、一日を通して南西もしくは南の風が卓越している。熱帯夜以外の日と比較すると、熱帯夜の日には特に夜中から昼ごろまで(1時～12時)ほぼ南西の風が吹いているのに対し、熱帯夜以外の日は逆に北よりの風となっている。

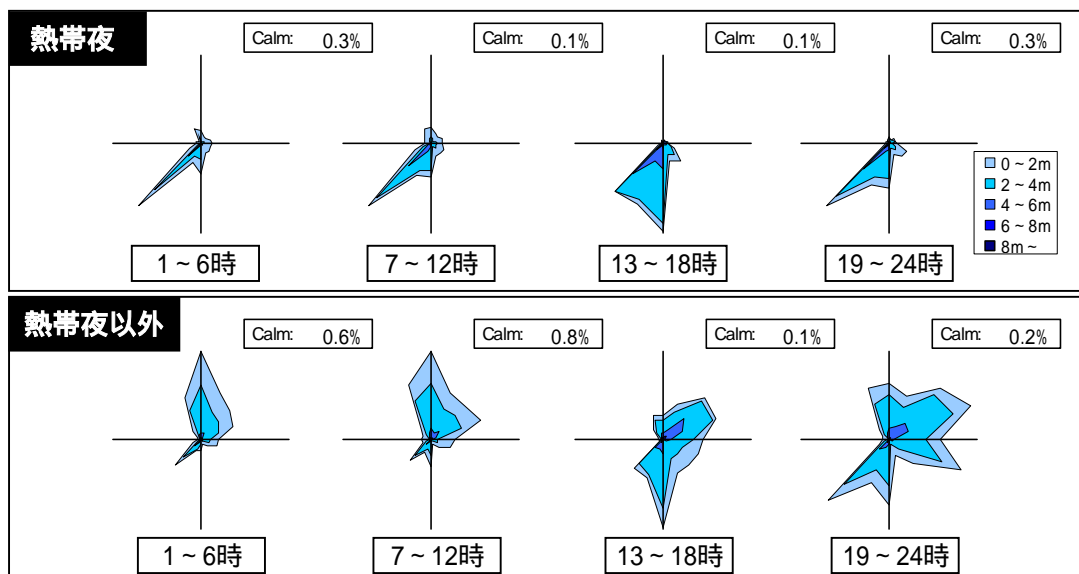


図 東京都心における熱帯夜の出現と風況の関係 (1998～2000年の7～9月)

(アメダス観測年報各年版より作成)

1.2 影響の把握

1) 大気汚染

都市化の進展によるヒートアイランド現象が都市の大気汚染を助長しているという指摘があることから、南関東地域の冬季及び夏季のヒートアイランド発生日に着目して大気汚染現象を解析した。

冬季は、ヒートアイランドが形成されることにより大気安定度が都市キャノピー内で不安定、上空境界層で安定となり、逆転層により蓋をされたダストドーム状の混合層が形成される。このため、都市内で排出された大気汚染物質の拡散が阻害されると考えられ、都心部の窒素酸化物濃度の増加が認められた。

また、夏季には高い気温と強い紫外線により光化学反応が促進されるため、都市内の工場や自動車から排出された窒素酸化物や炭化水素を原因物質とした、光化学オキシダントの生成が促進される。光化学オキシダントは、複雑な移流と光化学反応過程を経て生成されるため、都心部に限らず郊外部にも高濃度域が広がるといった広域大気汚染現象が発生している。都心部のヒートアイランド現象はこうした広域大気汚染の発生に関与していることも考えられる。

南関東地域のヒートアイランド現象と大気汚染の関連を把握するために、1991～2000年度大気汚染常時監視局の気象・大気汚染データを用い、都心部（大手町を中心に10km以内）および都心からの方位を4区分（東西南北）した距離帯毎に常時監視局をグルーピングし、それぞれの気象要素、大気質濃度の平均値・最大値等を時間的・空間的に解析した。

解析対象期間：10 年(1991.4～2001.3)

解析対象範囲：1 都 6 県（栃木県、群馬県、埼玉県、茨城県、千葉県、東京都、神奈川県的一般局約 360 局）

解析対象範囲内の常時監視局分布および距離帯区分を図 1-7 に示す。

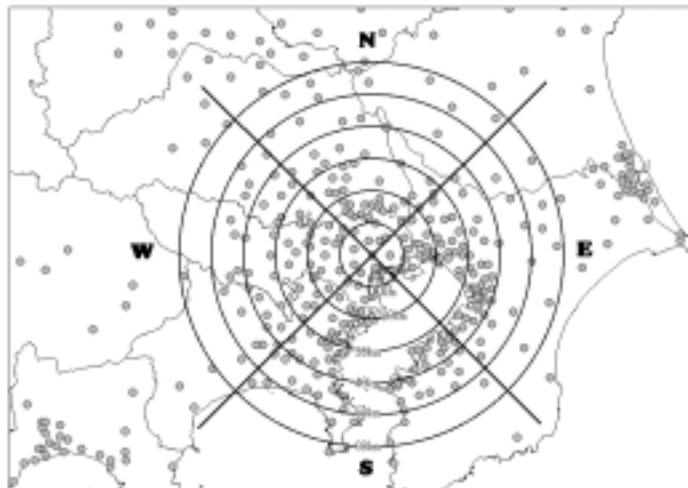


図1-7 解析対象範囲常時監視局分布および距離帯区分

以下ではヒートアイランド強度として、都心部の日最低気温と郊外部（ここでは西部 40～50km 帯とする）の日最低気温の差とした。

冬季のヒートアイランドと大気汚染

1991～2000年度10カ年の方位別・距離帯別の解析から、NO_xが高濃度となった95年度冬季（95年12月～96年2月）に着目して、冬季のヒートアイランドと大気汚染の関連を解析した。10カ年のNO_x月間最大値（日平均值）の変動を見ると、96年2月に鋭いピークが見られる。

気温は2月に向けて徐々に下がっているが、1月15日前後及び2月13日前後に異常な高温日が見られ、2月13日前後にNO_x濃度の日平均值・最大値ともに高濃度が出現している。

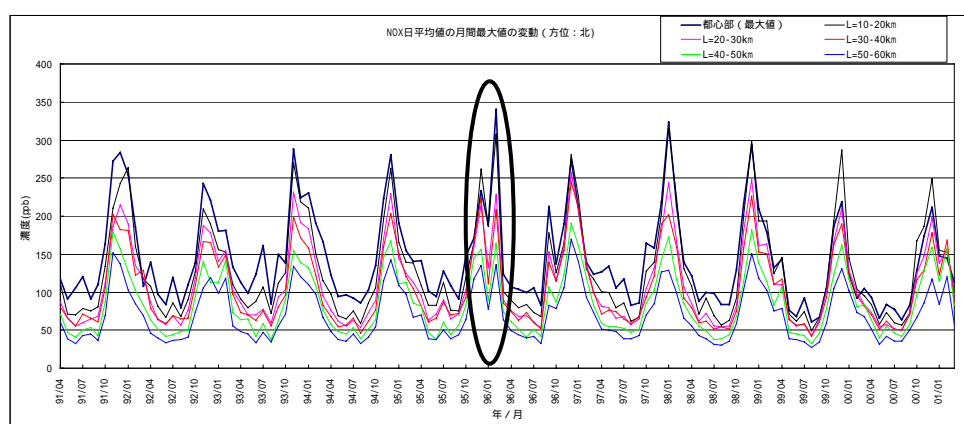


図1-8 距離帯別・NO_x日平均値の月間最大値の変動(方位:北)

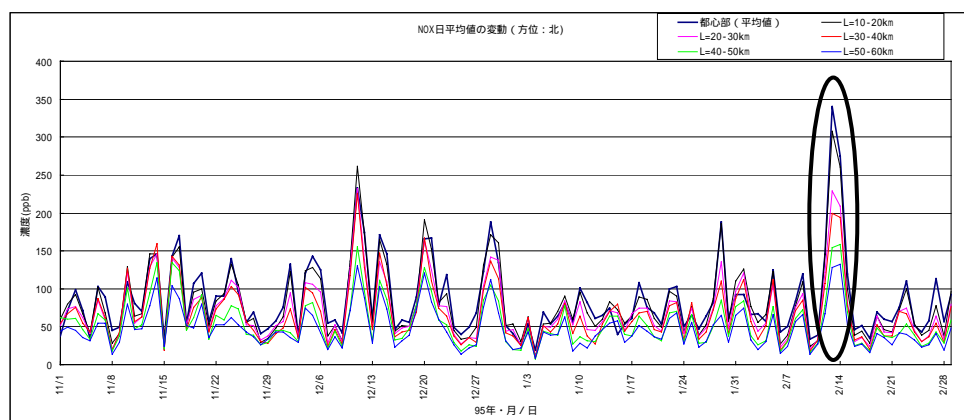


図1-9 距離帯別・NO_x濃度日平均値の変動(冬季:1995年11月～96年2月)

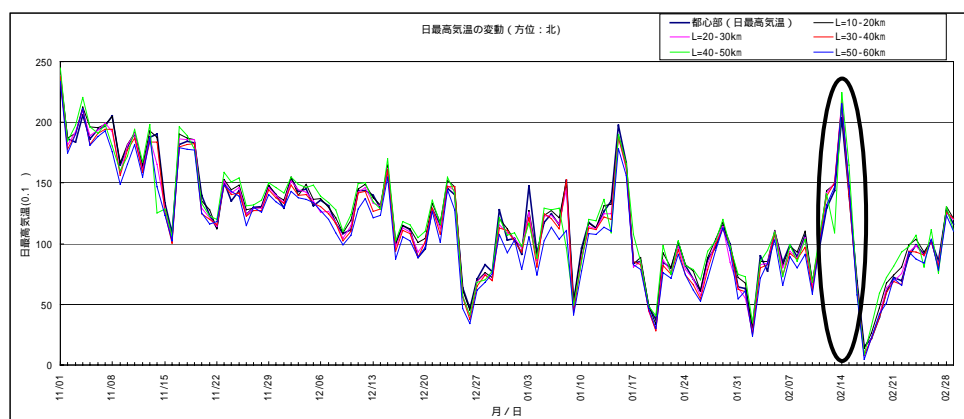


図1-10 距離帯別・日最高気温の変動(冬季:1995年11月～96年2月)

NO_x濃度および気温に特徴的なピークを示した1996年2月13日の気温・汚染質濃度の断面分布を図1-11に示す。

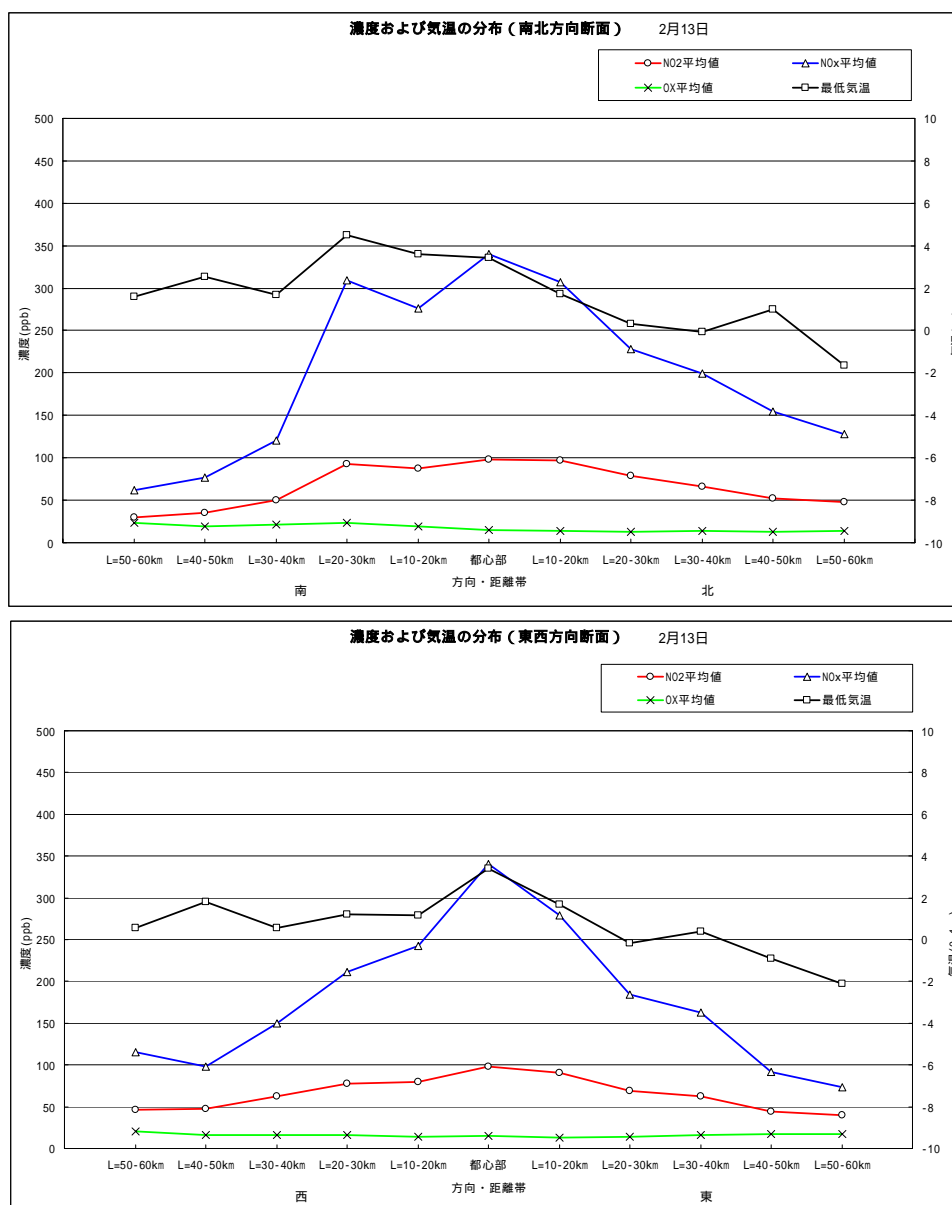
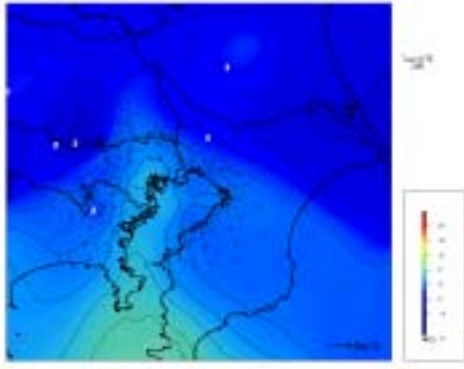


図1-11 1996.2.13における気温・汚染質濃度断面分布

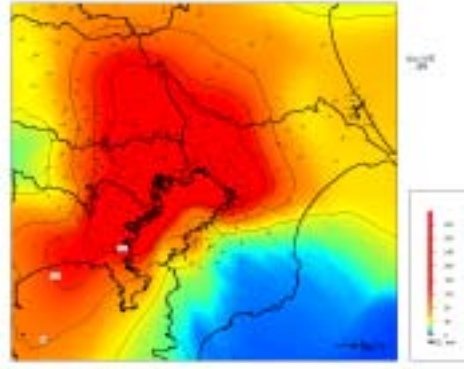
南北・東西断面の気温及び濃度変化を見ると、特に最低気温で都心部が高いヒートアイランド現象が見られ、同時に都心部のNO₂、NO_x濃度が高濃度となっている。ヒートアイランド現象の発生時には、都市内で発生した汚染質が拡散しないダストドーム状態となっていることが推定される。

図1-12には1996年2月13日2時の気温とNO_x濃度の分布を示すが、都心部の気温が相対的に高いこと、また北部や西部の郊外から都心に向けて弱い風が吹いていることなどがわかる。一方、NO_x濃度は都心の高温部と重なるように高濃度となっている。

また、図1-13には同日の18時と22時のNO_x濃度の分布を示す。都心部では高濃度が続いているが、南からの海風により千葉市方面では濃度が低減している様子が見て取れる。

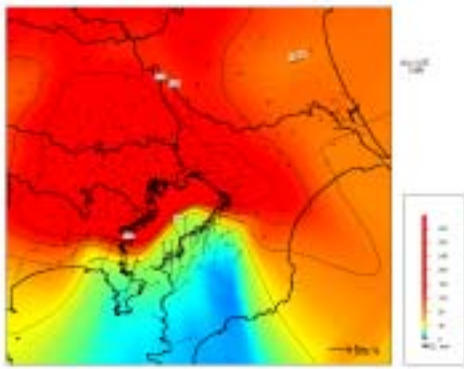


(気温分布)

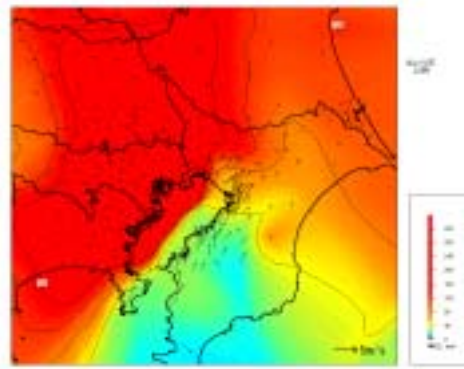


(NO_x 濃度分布)

図1 - 12 1996.2.13 2時の気温・NO_x濃度分布



(18時)



(22時)

図1 - 13 1996.2.13 18時,22時のNO_x濃度分布

夏季のヒートアイランドと大気汚染

1991～2000年度10カ年の方位別・距離帯別の解析から、 O_x が高濃度となった95年度夏季(95年7月～95年9月)に着目して、夏季のヒートアイランドと大気汚染の関連を解析した。

1995年夏は記録的な猛暑であり、7月下旬から8月中旬にかけて日平均気温が30を超え、最低気温も25を下回らない熱帯夜が続いていた。これに伴って、都心部では7月上旬から8月上旬にかけて、 O_x 、 NO_2 、 NO_x ともに高濃度が続いている。

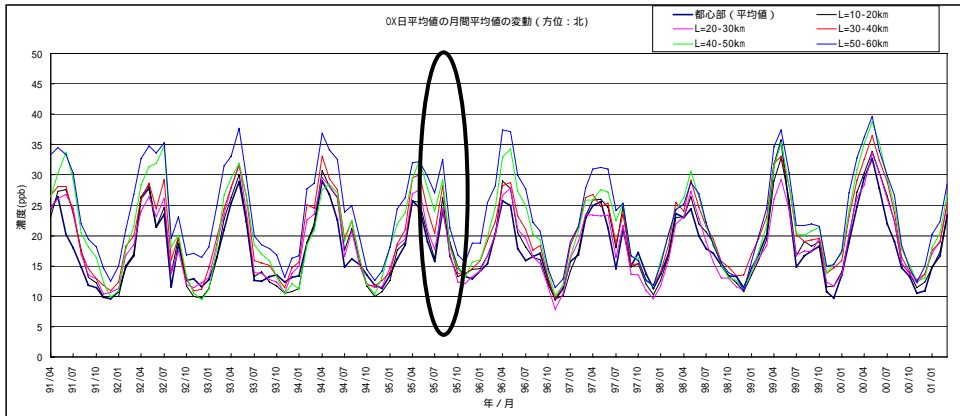


図1-14 距離帯別・ O_x 日平均値の月間平均値の変動

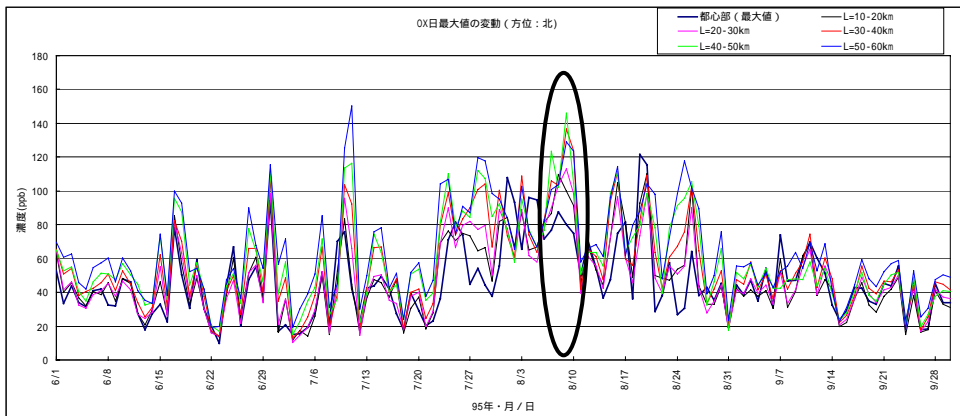


図1-15 距離帯別・ O_x 濃度日最大値の変動(夏季:1995年6月～9月)

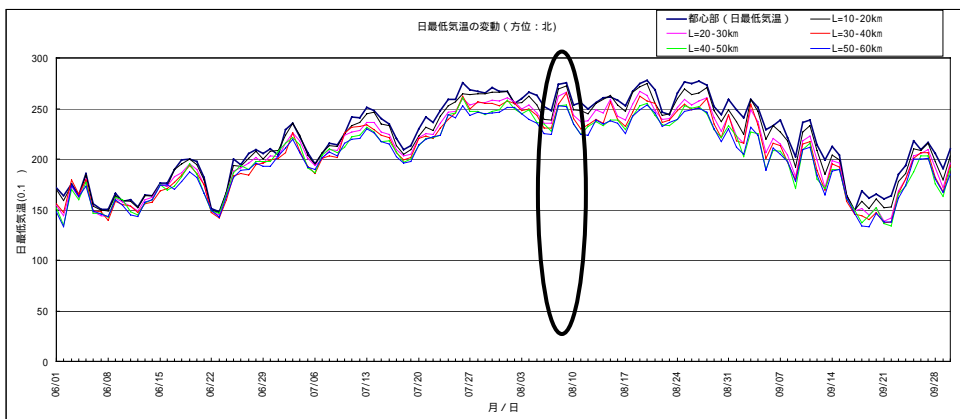


図1-16 距離帯別・日最低気温の変動(夏季:1995年6月～9月)

こうした中、 O_x 濃度日最大値（時間値）で特徴的なピークを示した 1995 年 8 月 9 日の気温・汚染質濃度の断面分布を図 1-17 に示す。

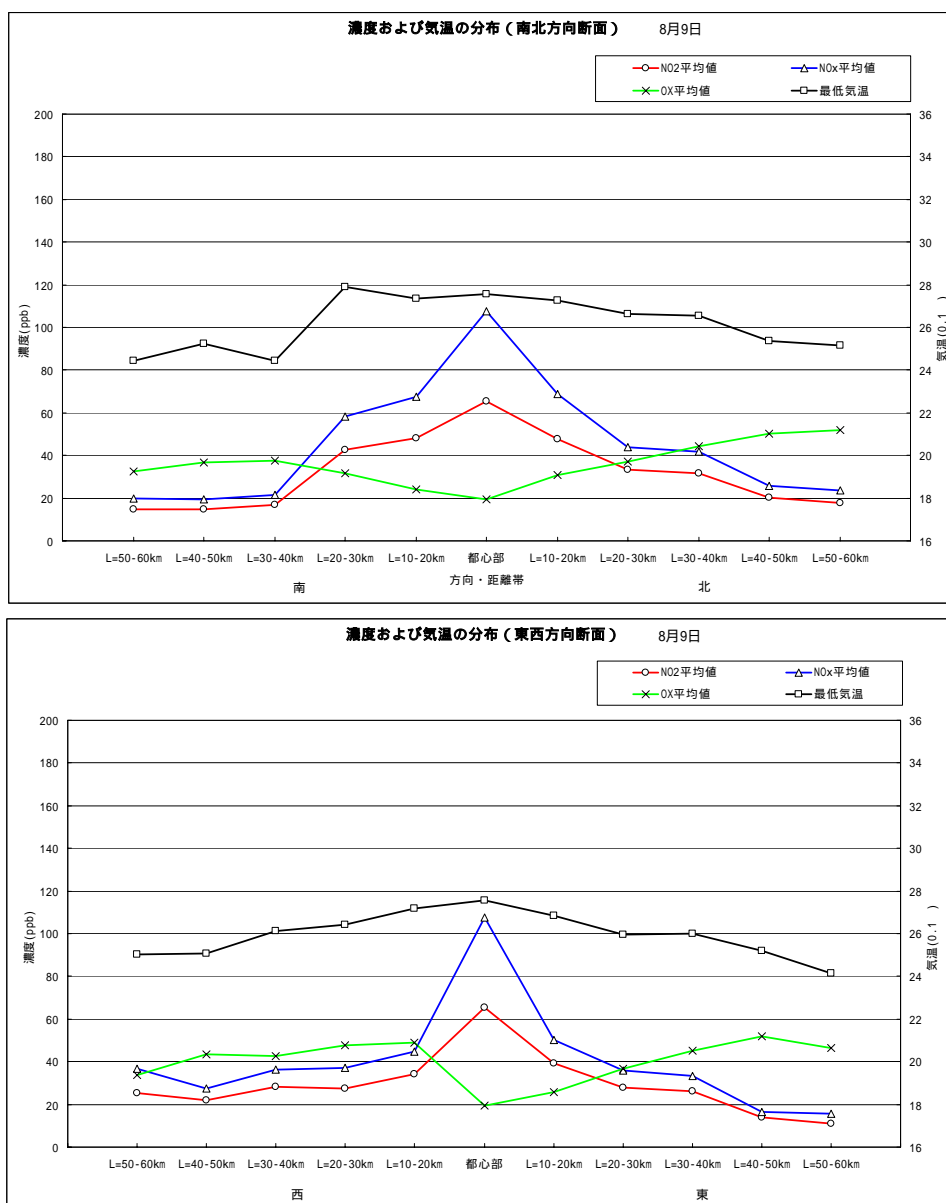
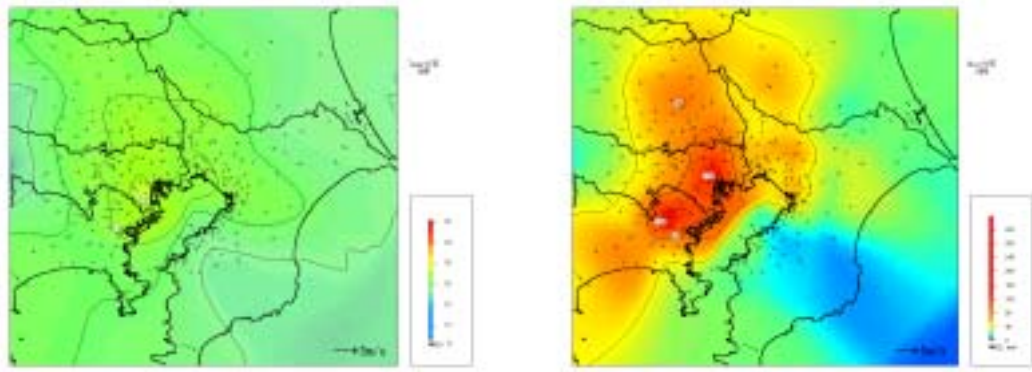


図 1 - 17 1995.8.9 における気温・汚染質濃度断面分布

この日のヒートアイランド強度は約 3 であり、 NO_2 、 NO_x では都心部をピークとして距離帯が離れるに従って濃度が低減している（アイランド状を示している）のに対し、 O_x は逆に距離帯が遠いゾーンほど濃度が高いことがわかる。この傾向は、特に北・埼玉県方面で顕著である。

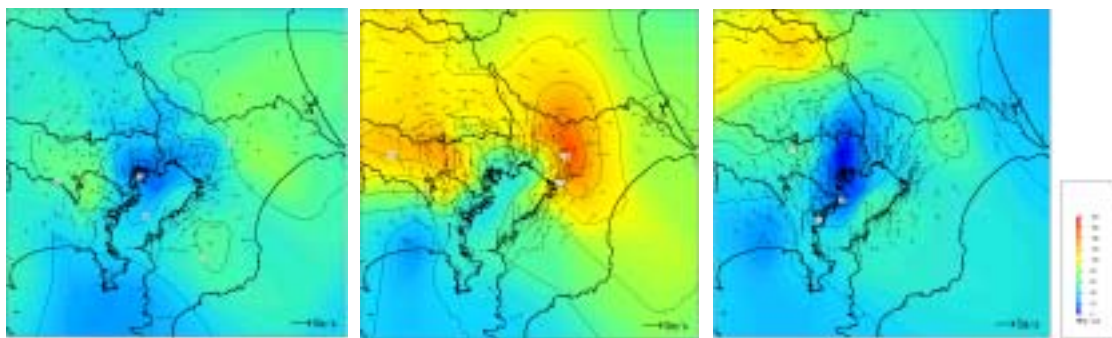
図 1-18 は 8 月 9 日 6 時の気温と NO_x 濃度の分布を示すが、都心部に高温部が残るヒートアイランドが形成されており、この高温部と重なるように NO_x が高濃度となっている。これに対し O_x は、図 1-19 の時間別濃度分布の推移に示すように、都心部では濃度が低く、千葉 茨城 埼玉へと高濃度地域が遷移している。都心部で発生した一次汚染物質が、移流・反応過程を経て高濃度 O_x を生成する広域汚染を引き起こしていることが考えられる。



(気温分布)

(NO_x 濃度分布)

図1 - 18 1995.8.9 6 時の気温・NO_x 濃度分布



(10 時)

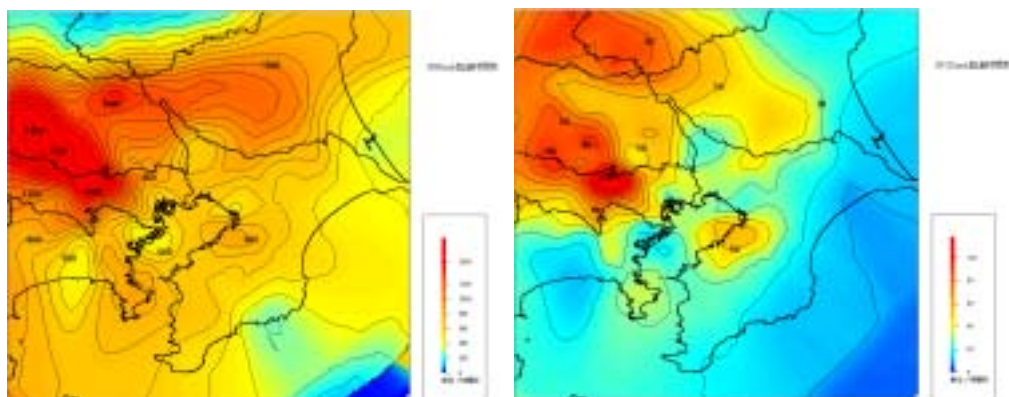
(14 時)

(18 時)

図1 - 19 1995.8.9 のO₃ 濃度分布の推移

O_x は環境基準(60ppb)、注意報レベル(120ppb)、警報レベル(240ppb)が時間値で設定されている。図1-20には南関東における1991～2000年度10カ年の環境基準(60ppb)超過時間数、および注意報レベル(120ppb)超過時間数の分布を示す。60ppb超過時間数は東京西部小平市付近から埼玉県南部飯能市付近にかけてピークとなり、120ppb超過時間数では東京西部小平市付近に110時間(/ 10カ年)以上のピークを持つとともに、栃木県・群馬県南部県境付近にも80時間(/ 10カ年)以上のピークが出現している。

都心部では40時間(/ 10カ年)以下であり、ここでもO_xが複雑な移流と反応過程を経て郊外部で高濃度となるといった広域大気汚染をもたらしていることがわかる。



(60ppb 超過時間数)

(120ppb 超過時間数)

図1 - 20 O_x 濃度基準超過時間数分布(1991～2000年度)

図1-21には日最高気温の平均値と光化学オキシダントが120ppbを越えた日数の関係を示すが、日最高気温の平均値と高濃度発生日数には強い正の相関が見られ、高温化が光化学オキシダント発生の大きな要因となっていることは明らかである。

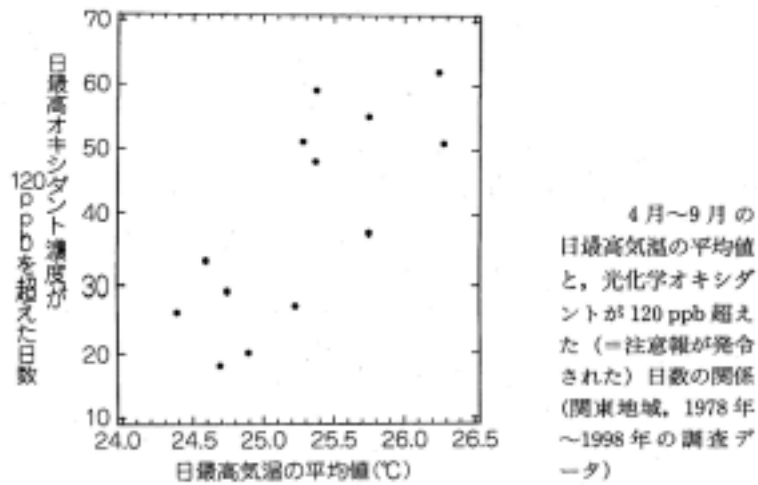


図1 - 21 日最高気温の平均値と光化学オキシダントが120ppbを越えた日数
(関東地域 1978年～1998年、4月から9月)

出典)若松・篠崎「広域大気汚染」p167、裳華房、2001年

ヒートアイランド現象による高温化によって、都市部はNO_x等「原材料」の豊富な、巨大な光化学反応槽になっているとも考えられ、都市部のヒートアイランド現象は光化学オキシダントによる広域大気汚染の「きっかけ」となっていることが考えられる。

2) 熱中症による搬送人員数

ヒートアイランド現象による都市の気温上昇は、熱中症など人の健康に影響を及ぼしていると考えられる。

ヒートアイランド現象による都市生活空間の気温上昇は、人が高温に暴露される時間や寝苦しい熱帯夜を増加させるなど、人の健康に影響を与えることが懸念される。

東京都内の7月～9月における高温及び日射病による搬送人員数の経年変化を見ると（図1-22）、90年代にその数が増加していることがわかる。また、搬送人員数と同期間の熱帯夜の日数、搬送人員数と同期間の30 以上時間数との関係を見ると（図1-23）、有意な相関が見られ、熱中症と高温化には何らかの関係があることが推察される。

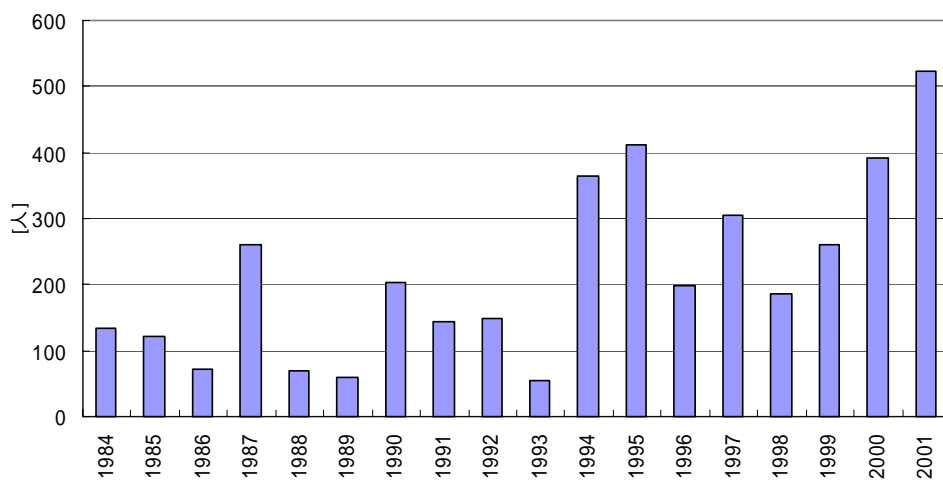


図1 - 22 高温及び日射病による搬送人員数

出典)東京消防庁提供資料より作成

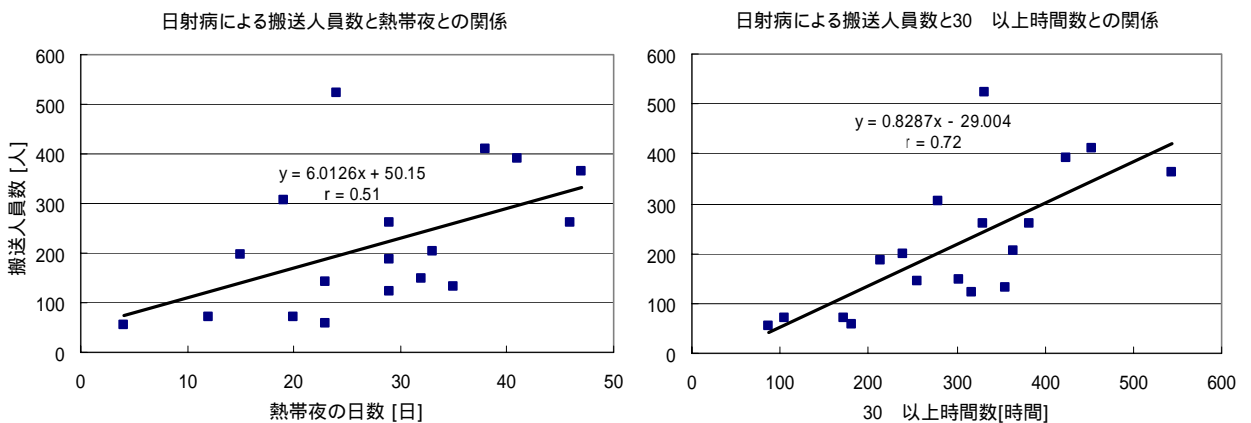


図1 - 23 搬送人員数と熱帯夜の日数、30 以上時間数との関係

出典)東京消防庁提供資料、気象庁年報2001年、アメダス観測年報から作成

3) 植物におよぼす影響

都市のヒートアイランド現象の進行は、人間だけでなく、生態系にも様々な影響を与えている可能性がある。

都市のヒートアイランド現象が進むことにより、人間への影響だけでなく、動植物に対する生態影響が懸念される。ここでは、仙台と名古屋における桜の開花日と、各周辺地域における開花日の差の推移を見た。

図 1-24 は、仙台及び名古屋における桜の開花日と、周辺地域の桜の開花日との差（例：宮古の桜の開花日(4/20) - 仙台の桜の開花日(4/12) = 8 日）を経年的に見たものである。これを見ると、仙台は 1980 年代後半から、名古屋では 1970 年代からそれぞれの周辺都市に比べて桜の開花日が早くなっていることがわかる。各都市の熱帯夜の出現頻度の経年変化（平成 12 年度「ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について」報告書 P.12 参照）などと比較すると、都市のヒートアイランド現象が生態にも影響を与えていることが推察される。

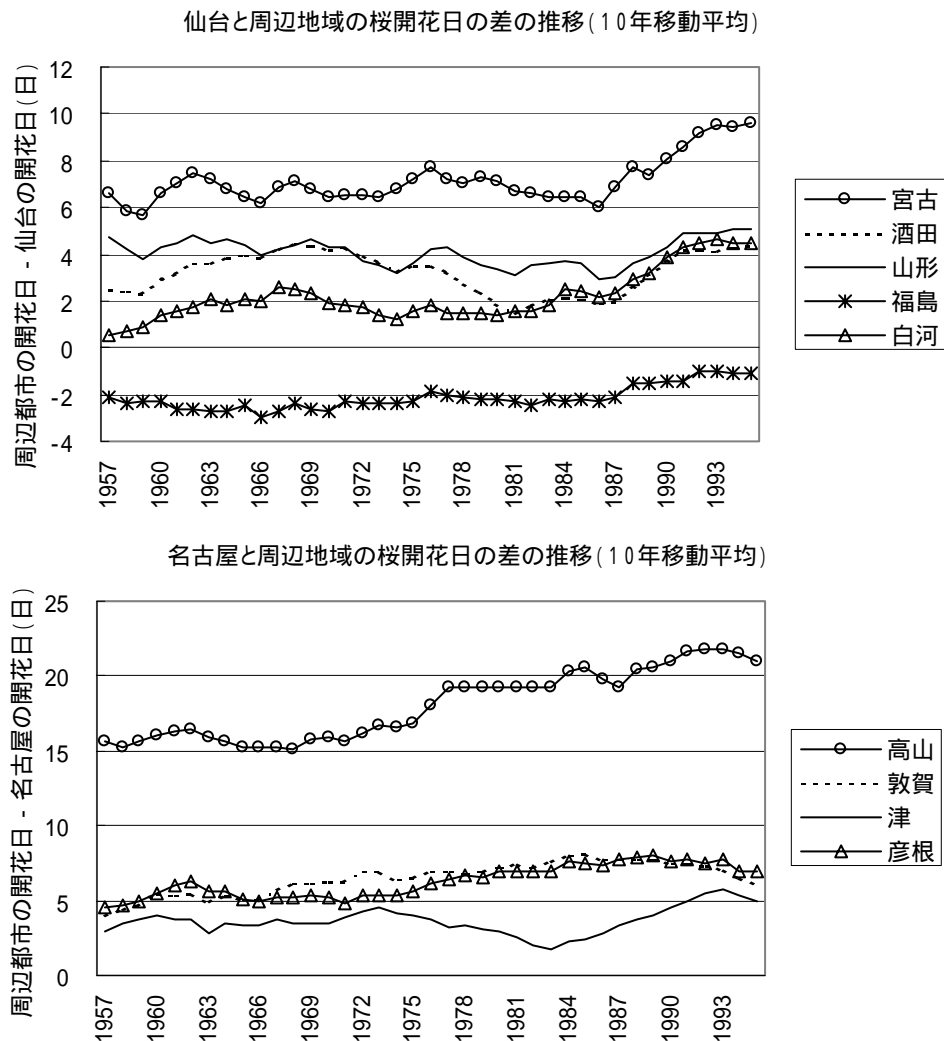


図 1 - 24 仙台(上)と名古屋(下)における周辺地域との桜の開花日の差の推移

出典) 気象庁「生物季節観測値」(2000 年版)より作成

4) エネルギー消費に及ぼす影響

1年のうちでも夏季は最大消費電力が大きく、夏季の1日のうちでは最高気温を記録する昼に消費電力が最大になる。これは特に冷房機器の普及と暑熱の増加によるものと考えられるが、冷房使用の増加による排熱やCO₂の増加が推定される。

夏季に冷房負荷が集中して電力需要を押し上げることはよく知られている。

1970年代ころから電力需要に季節的な変化が見られ、2000年では最も低い4月とピークの8月では1.4倍以上の違いがある(図1-25左図)。この違いは特に夏季における冷房機器の使用の増大によるものと考えられ、1日のうちでも最高気温を記録する14時ごろに消費電力が最大になる(図1-25右図)。

単位：10万kW

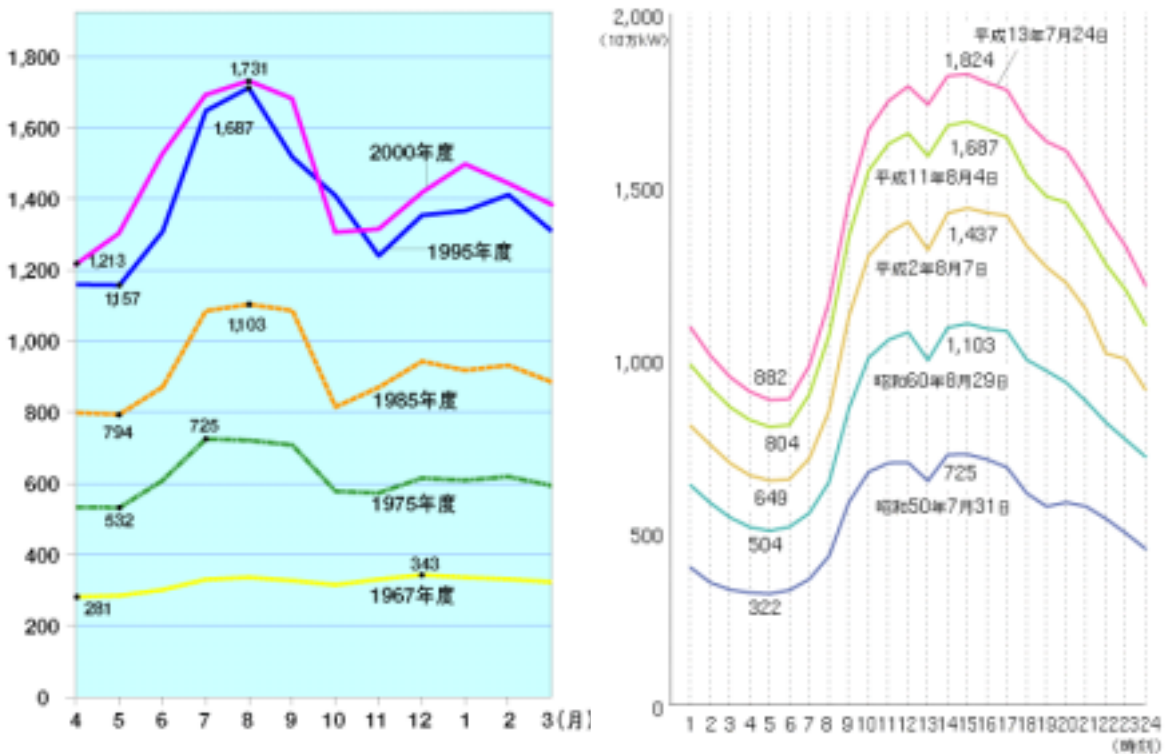


図1 - 25 月ごとの最大電力の変化(左図)と夏季の消費電力の時間変化(右図)

出典)電気事業連合会HP

夏季の最大電力と気温との間には密接な関係があり、気温が1℃上昇することによって増加する最大電力を「気温感応度」という。しかし、この気温感応度については未だ検討事例が少なく、都市のヒートアイランド現象による消費電力の増加を一般的に述べることは現状では難しい。しかしながら、冷房使用の増大は周辺大気への排熱を増大させ都市全体の熱効率を低下させることが予想され、また、昼間のピーク電力を担っている火力発電からのCO₂排出量の増加を招いていると考えられる。

次ページに、特性が異なる気温感応度に関する解析事例を紹介する。また、気温の上昇に伴うエアコンの利用率の変化を調査した事例も併せて紹介する。

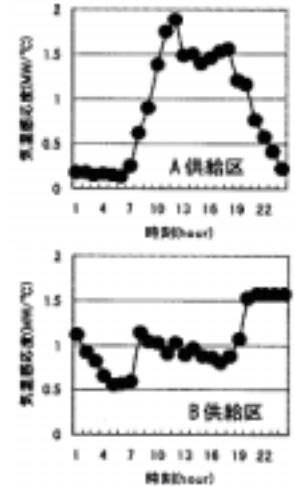
(紹介) 電力消費に関する気温感応度の地域特性に関する研究

研究の概要

夏季の気温上昇が地域の電力消費量に及ぼす影響を検討することを目的として、大阪府内における電力供給データを基に気温感応度に関する解析を行った。

結果の概要

- 時刻別電力供給データから、時刻別気温感応度の算出を試みた。その結果、A 供給区（大阪市中心部、業務系用途中心地区）では夜間や早朝に気温の影響をほとんど受けない一方で、日中の影響が顕著に示された。B 供給区（吹田市北西部、住宅用途中心地区）では、起床時間帯や夜間団らん時の気温感応度が高かった。
- 特性の大きく異なる2地区の解析を行ったことで、昇温に伴う電力消費構造の変化について地域特性を明確化することができた。



出典

岸本卓也、鳴海大典、下田吉之、水野稔

日本建築学会大会大会学術講演梗概集（中部）、環境工学 D-1、pp.-、2003 年 9 月公表予定

(紹介) 戸建住宅の夜間冷房利用率に関する実態調査

研究の概要

ヒートアイランド現象の環境インパクトの一つである夜間の寝苦しさや冷房の必要性を評価する指標として、住宅における夜間の冷房使用実態に着目し、大阪府下の気象条件の異なる3地区の戸建住宅において、夜間の冷房機器使用実態を調査した。

結果の概要

22時から6時の時刻別気温とエアコン利用率の指数近似による回帰を行った。

その結果、外気温が26℃付近からエアコンを利用する世帯が増え始め、27℃を超えると概ね半数の世帯でエアコンを利用することが示された。また、熱帯夜の定義温度である25℃付近では利用率が20%程度であることが示された。

本研究で作成された外気温から時刻別エアコン利用率を予測する回帰モデルを用いることにより、ヒートアイランド対策によって期待されるエアコンのエネルギー削減効果を予測することが可能となった。

時刻	a	時刻	a
22	0.3915	3	0.3968
23	0.3899	4	0.3944
24	0.4057	5	0.3848
1	0.4046	6	0.3878
2	0.4017	-	-

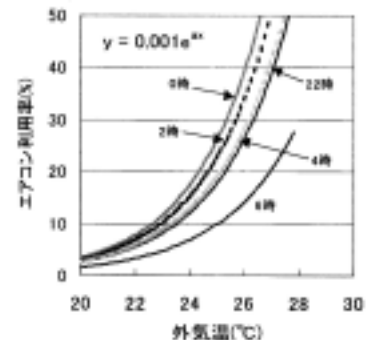


図9 時刻別回帰曲線

出典

森藤奈央、水野稔、下田吉之、鳴海大典

日本建築学会近畿支部研究報告集、第43号(環境系)、pp.- 389-392、2003年6月公表予定