

東京都内の気温分布について (その1)

伊藤 政志 宇田川 満 三上 岳彦
(非常勤研究員)

1 はじめに

最近社会問題化しているヒートアイランド現象を解明し、その緩和対策を模索するために、東京都環境科学研究所では平成2年度からヒートアイランドに関する調査研究を実施しているが、今回、東京都内のヒートアイランド現象の実態把握と気候変化予測モデルのための基礎的なデータを得るために気温の連続測定を1年間行ったので、その結果を報告する。

東京都内の気温分布については、東京都気象月報¹⁾に毎月の気温分布図が公表されているが、これらは気象庁東京管区気象台管内の7地点(AMeDAS システムと同様)をもとにつくられている。しかし、測定地点間隔が非常に粗いため、都市のヒートアイランドの解析、特に地域の特徴をとらえるのは難しい。そこで、松本ら(1989)²⁾は、AMeDASデータと東京都大気汚染常時測定局、都内35か所のデータを用いて東京の気温分布の経年変化を解析した。その後、伊藤ら(1992)³⁾が同様の解析を行った。ところが、東京都大気汚染常時測定局(一般大気環境測定局)は大気汚染測定を主体として設置されているため、気温の測定地点は必ずしも地上でなく、気温の地域代表性があるところで測定されているとはいえない測定地点もある。空間的に精密な調査例としては、移動観測が散見される(Yamashita(1988)⁴⁾、星・斉藤(1992)⁵⁾等)が、特定の期間の調査であることから、季節別、時刻別の情報を得ることは難しい。

そこで、都内の精密な気温分布を得るために、都内およびそれに隣接する地域を5kmメッシュに区切り(都心部は2.5kmメッシュ)、地域代表性を確保し、ノイズを避けるためメッシュの交点の周辺の小学校を選び、百葉箱に自記温度計を設置した。また、季節変化を把握するために、気温の連続測定を1年間行い、データの基本的な解析を行った。

2 調査方法

対象地域： 東京都全域(山岳部を除く)を含む矩形領域(65×35km)

測定地点： 都心部2.5km、周辺部5km間隔に100地点(周辺条件や測定高度が比較的均一と考えられる小学校の百葉箱を主に選定した。)調査地点を図1に示す。

測定期間： 1992年8月1日～1993年7月31日の1年間にわたり15分間隔で測定

使用温度計： データロガー付きサーミスター温度計(IBC製マイクロデータロガー)

(分解能0.1℃、センサー部-20℃まで、本体部0℃まで保証)

温度計のデータ保持期間が3カ月以上であるため、15分毎の瞬間値を3カ月に1度パソコンで回収した。また、温度計の校正を、調査前に設定温度13.8、24.1、33.05℃で、調査後に設定温度3.07、2.93、17.2、24.4、35.1℃で行った。この結果を基準温度計と比較し、調査前後の校正結果を合わせて、一次回帰式による校正直線を作成し、補正式により実測データを補正した。その結果、年間を通して一本の回帰式で補正を行った場合の偏りは、多くの地点で、0.1℃以下であった。

3 データ処理方法

(1) データベースの作成

気温測定データを整理し、異常値の処理や校正等の前処理をした後に、15分値単位のデータベースを作成し、これを基に、1時間値、1日平均値のそれぞれについて、平均値、最高値、最低値のデータベースを作成した。

(2) メッシュデータの作成

メッシュ中点の気温の推定は、実測気温測定値から二次元スプライン補間により、1km毎に推定した。これを基に等温線図を作成した。

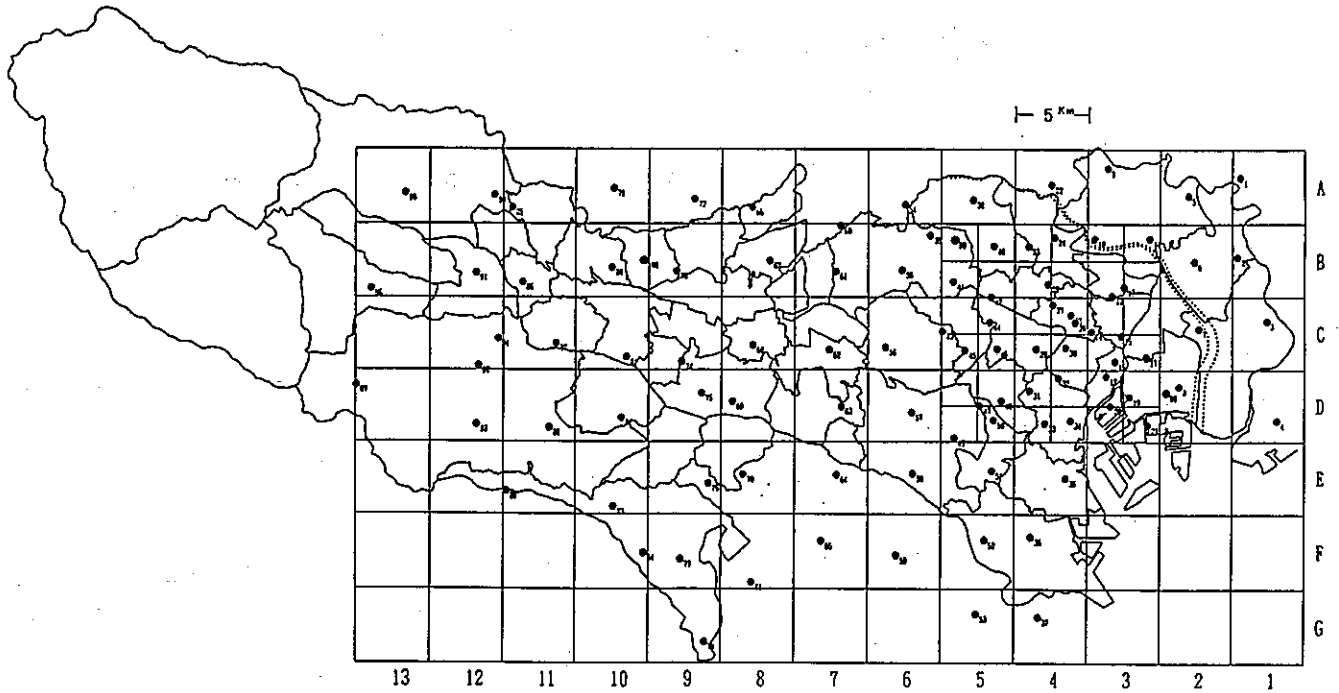


図1 実態調査測定地点位置図

(3) 測定値の補間

100 測定点のなかには長期間欠測となった地点があるので、この場合周辺地点の測定データを用いて距離の逆数に比例する方法で補間した。

(4) 高度補正

対象範囲には、多摩地区の丘陵から山岳部が含まれており海拔高度が同じでないので、 $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ の割合で高度補正を行った。

4 結果と考察

(1) 気温分布の特徴

1) 年間平均気温分布

東京を中心とした気温分布調査としては、1974~1975年に気象庁が行った南関東大気環境調査(1977)⁹⁾があり、冬季の日最低気温は、都心部を中心とするほぼ同心円状の等温線図が描かれると報告されているが、その他のデータ(年平均気温、日最高気温および日最低気温の年平均値)では東京湾岸部が高温になっている。本調査結果について、年間気温統計量からの気温分布は以下に示す特徴が見られた。

① 年平均気温分布では、区部に高温域があり、その中心は千代田、中央、港区周辺にある。周辺部に行くに従って、ゆるやかに気温は減少している(図2-1)。

② 日最高気温の年平均値の分布では、内陸部が高温であり、特に、墨田、板橋、北区や武蔵野、三鷹、調布などに高温の極があり、非常に複雑な気温分布を示している。また、杉並区と都心部や湾岸は相対的に低温域になっている(図2-2)。

③ 日最低気温の年平均値の分布では、港、中央区周辺に高温の極があり、ほぼ同心円状の等温線になっており、それより外側では、等温線は南北に並び東西の気温差が顕著になる。世田谷、杉並、練馬区の東端に比較的等温線の混んでいるところがあり、23区と多摩部の境から立川周辺までは殆ど気温変化はなく、それより西では等温線が混んでおり急激な気温の低下がみられる。また、多摩川の左岸に高温域が西方向に舌状に伸びている。清瀬、東久留米周辺に低温の極が見られるなどの特徴がある。八王子、昭島、武蔵村山あたりから西部では急激に気温が低くなっている(図2-3)。

④ 熱帯夜の日数の分布図(図3)は、日最低気温の年平均値の分布図に似ており、日最低気温の年平均値が 12°C 以上で熱帯夜20日以上、 11°C 以下で熱帯夜5日以下、 10°C 以下で熱帯夜はほとんどない。調査期間の内1993年は冷夏であったため、熱帯夜の出現日数はやや少なくなっている。

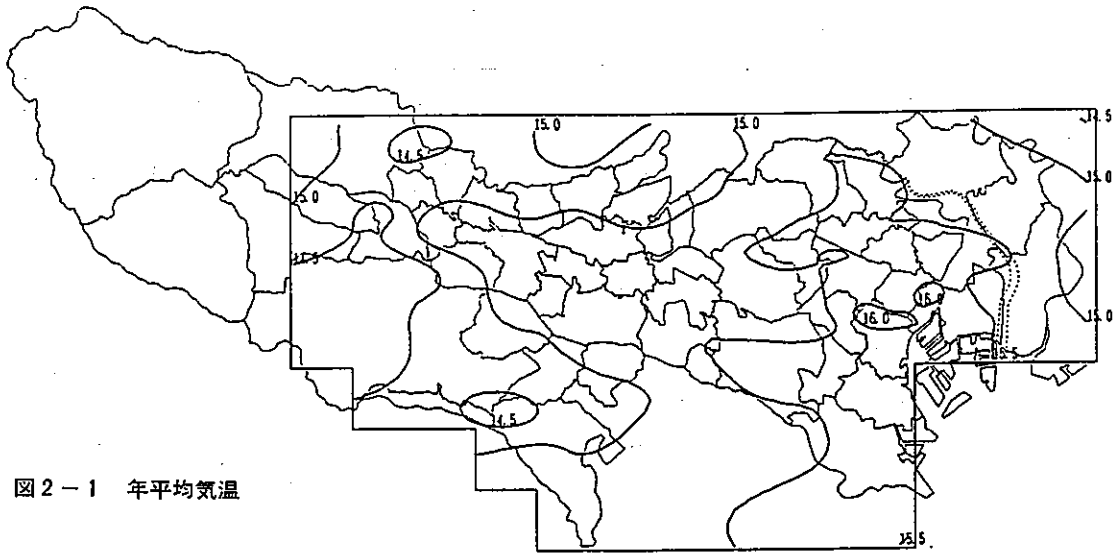


図 2 - 1 年平均気温

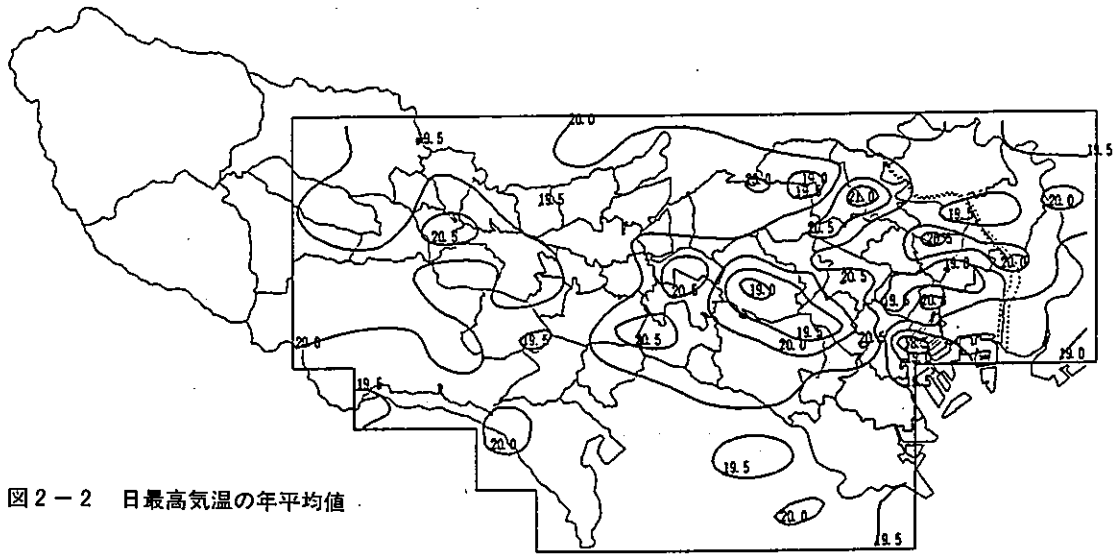


図 2 - 2 日最高気温の年平均値

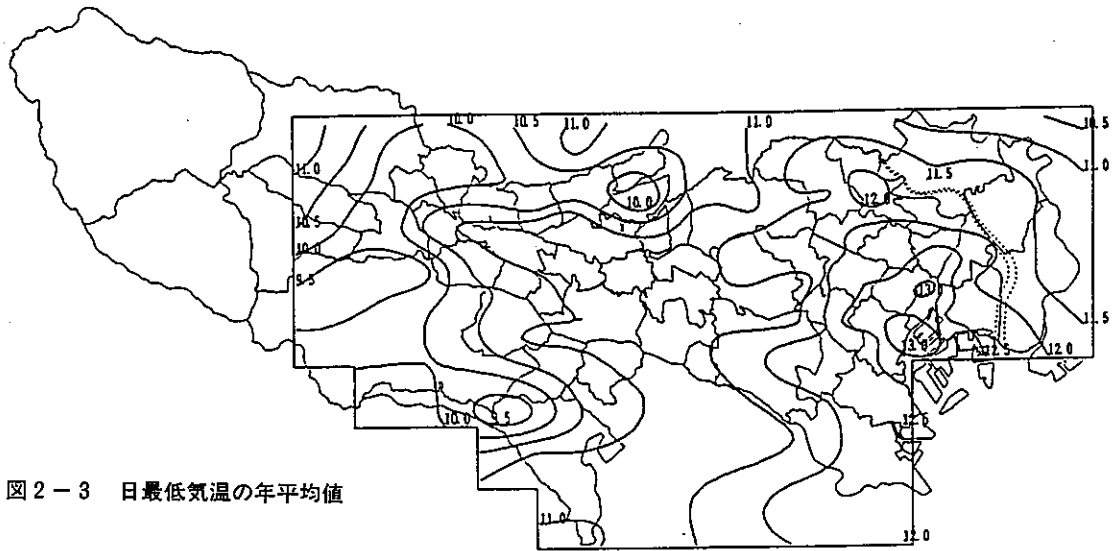


図 2 - 3 日最低気温の年平均値

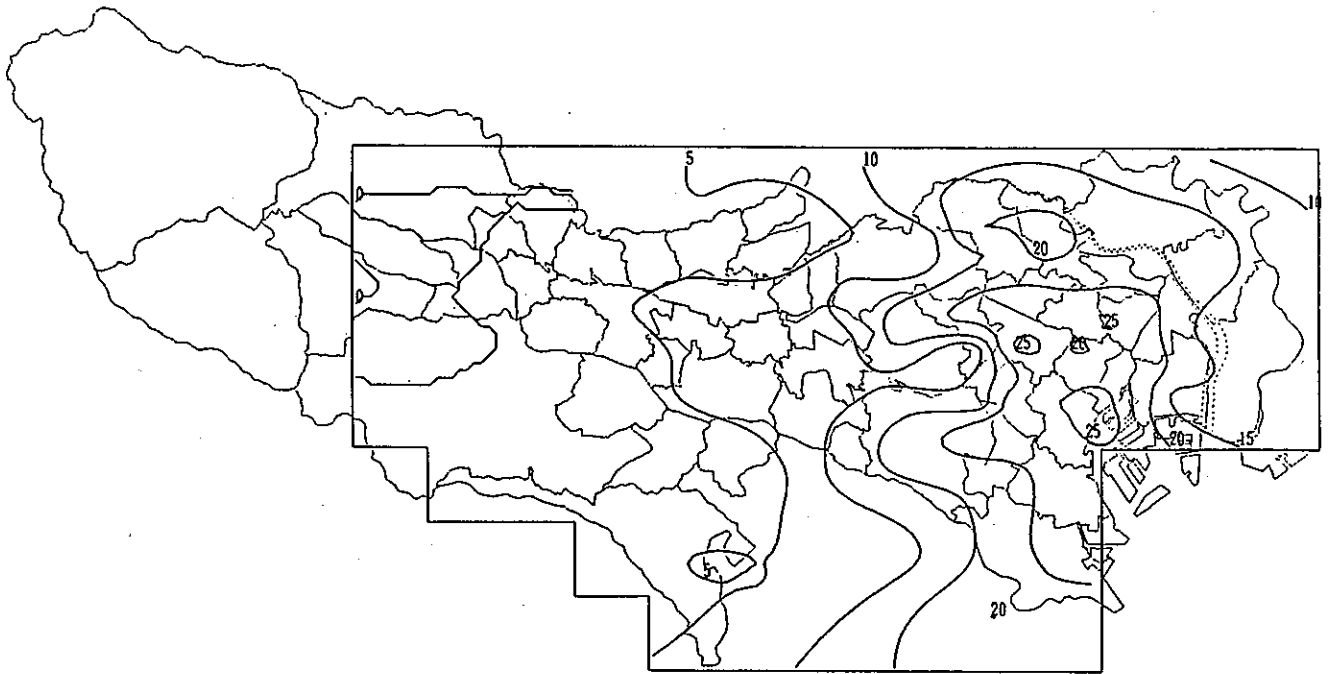


図3 熱帯夜日数 (1992年8月～1993年7月)

2) 季節別気温分布

8月の気温分布(図4)は、日最低气温では都心部が高温域になっており日最低气温の年平均値の分布と酷似しているが都心部と郊外の気温差はあまり大きくない。

また、日最高气温では高温部が都心より北側の内陸部の板橋、北区周辺にみられる。これは、最高气温が記録される午後には、海風が発達するため高温部が北側に移動するものと思われる。平均気温では、日最低气温と日最高气温を平均したような分布となっている。

2月の気温分布(図5)では、日最高气温は複雑な分布をしめしており、杉並区に低温域がありこれを取り巻くように高温域が分布している。また、都心部は低温になっている。日最低气温では都心部にヒートアイランドが明瞭に形成されており、都心と西部の丘陵地との気温差は7℃に達している。日最低气温の年平均値の分布と同様に23区と多摩部の境から立川周辺までは殆ど気温変化はないが、この地域では土地利用形態やエネルギー消費量が均一化されているためと思われる。また、東久留米市および町田市と八王子市の境界に低温の極がある。等温線の混んでいるところは、ほぼ23区を同心円状に囲む部分と多摩の丘陵地域にある。これは、排出熱量(上野(1993)⁷⁾)と緑地率(東京都都市計画局(1986)⁸⁾)を参考にすると、前者は排出熱量が50 Tcal/

(500×500 m)/年の前後、後者は緑地面積率が40%前後の境界とほぼ一致している。

従来の研究結果では(例えば河村(1977)⁹⁾)、都心部に高温域があり、それを囲むように海岸線に平行に等温線が描かれており湾岸が高温であることを示している。ところが、今回の調査結果によれば、日最高气温では季節によらず海岸部は相対的に低温であり、日最低气温では等温線は都心を中心とした同心円状であり特に海岸部が高温であるという結果ではなかった。これは、海の影響と比較して人工排熱の影響が非常に大きいことを示唆している。

河村(1977)⁹⁾は、1951年から1970までの1月の最低气温の経年変化を解析している。また、それ以後のデータを解析した松本(1989)¹⁰⁾の結果を参考にすれば、都市域の拡大とともにヒートアイランドの面積が広がっており、ヒートアイランドの境界が不明瞭になってきている。今回の調査結果もこれらのことを裏づけている。また、測定点がまばらなため従来不明確であった多摩地域の気温分布が明らかになった。また、東京におけるヒートアイランドは、二重構造になっており、都心から約35 Kmまで入り込んでいる市街地によって形成されるヒートアイランドの中に特に人工排熱の影響を強く受けている直径15 Km程度の高温域が形成されていることが明らかになった(図5)。

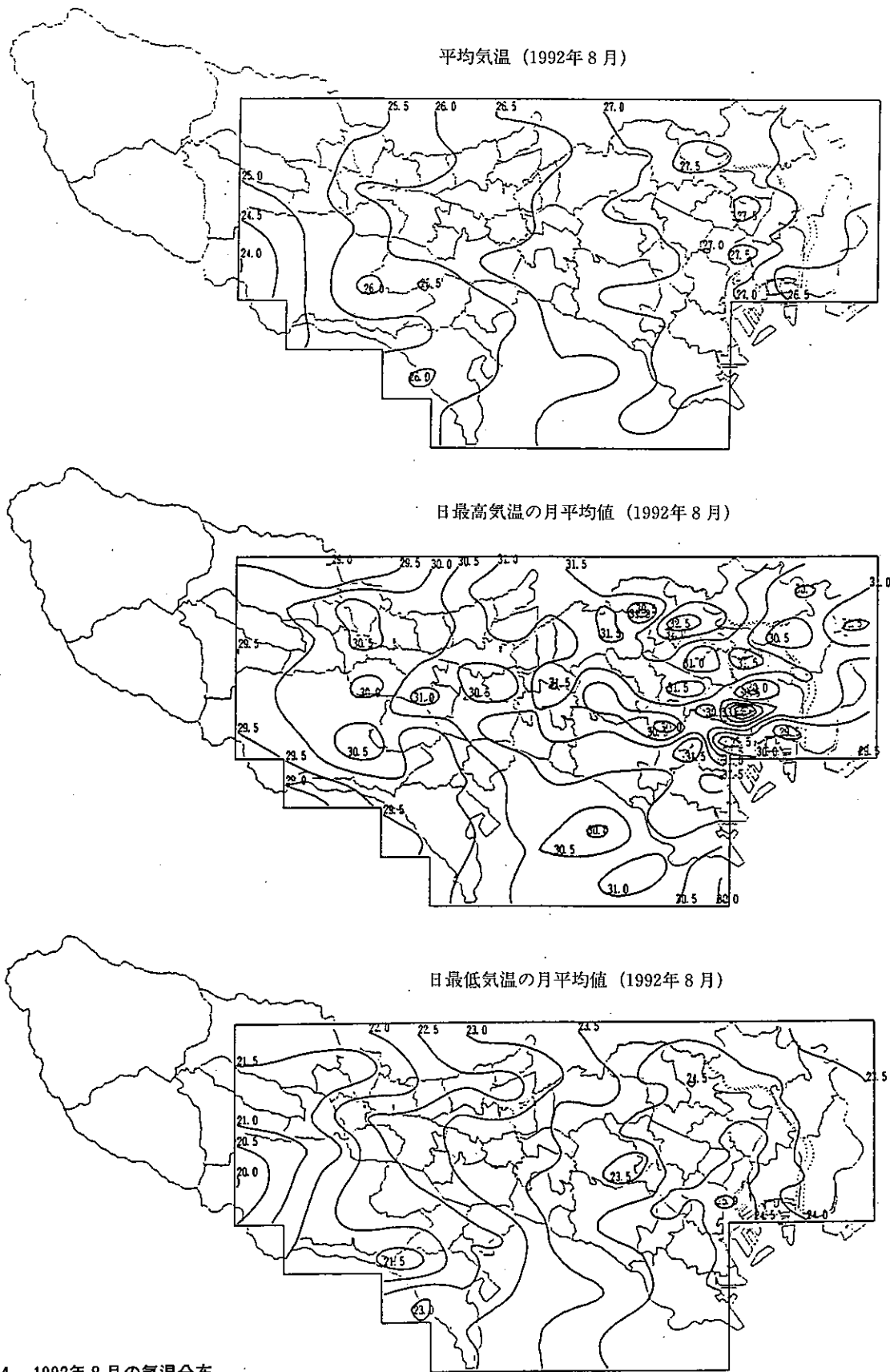


図4 1992年8月の気温分布

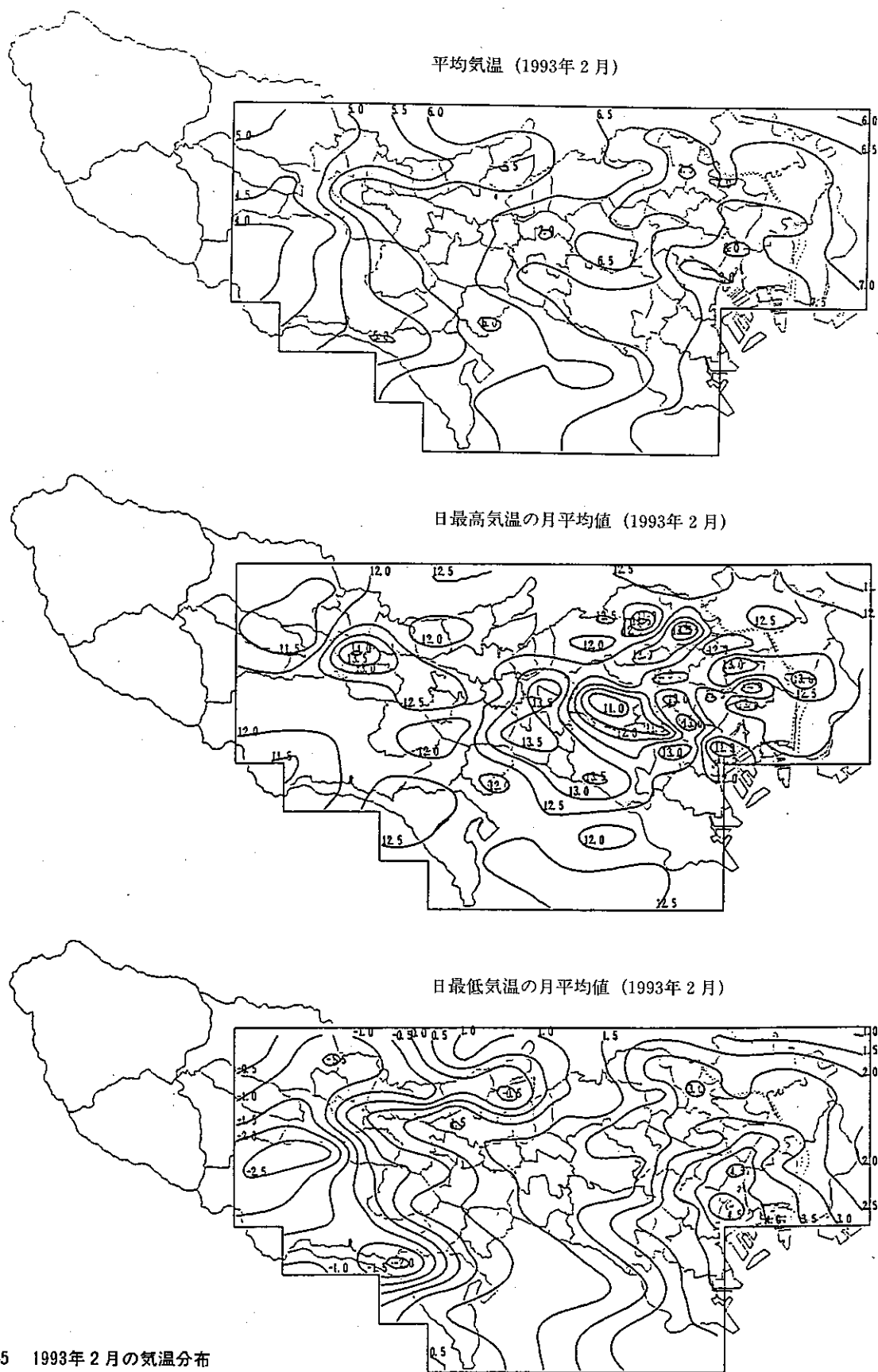


図5 1993年2月の気温分布

(2) 気温統計量解析

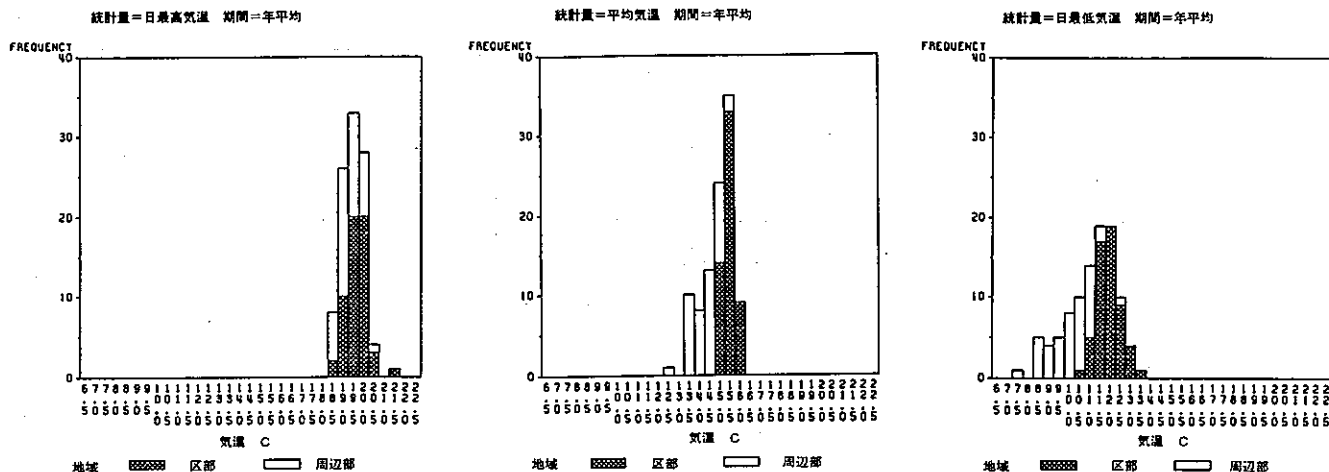


図6 気温統計量の地点数分布

100地点の気温階級別の地点数の分布を図6に示す。日最高気温の平均値は18.5~21.5℃の範囲であり、23区と多摩部を比較すると、区部がやや高めに分布している。日最低気温の平均値は8.5~13.5℃の範囲であり、地域差が明らかになり、区部が高温、多摩部が低温となっている。年平均気温はこの2つの分布の平均的な分布を示している。

年平均気温、日最高気温および日最低気温の平均値との関係を図7に示す。年平均気温と日最低気温の平均値とは比較的良い線型関係にあるが、その他の関係はバラ

ツイテいる。従って、年平均気温は最低気温に大きく依存していると言える。また、日最高気温は季節によってその地域分布が異なるため、このような結果となった。この理由は、海風の発達状況、風系が季節によって異なるためと推測される。

各気温統計量の月別の地点によるバラツキを示したのが図8である。地域による気温較差は、日最低気温、平均気温、日最高気温の順である。日最低気温の地域差は、冬季に顕著になる。

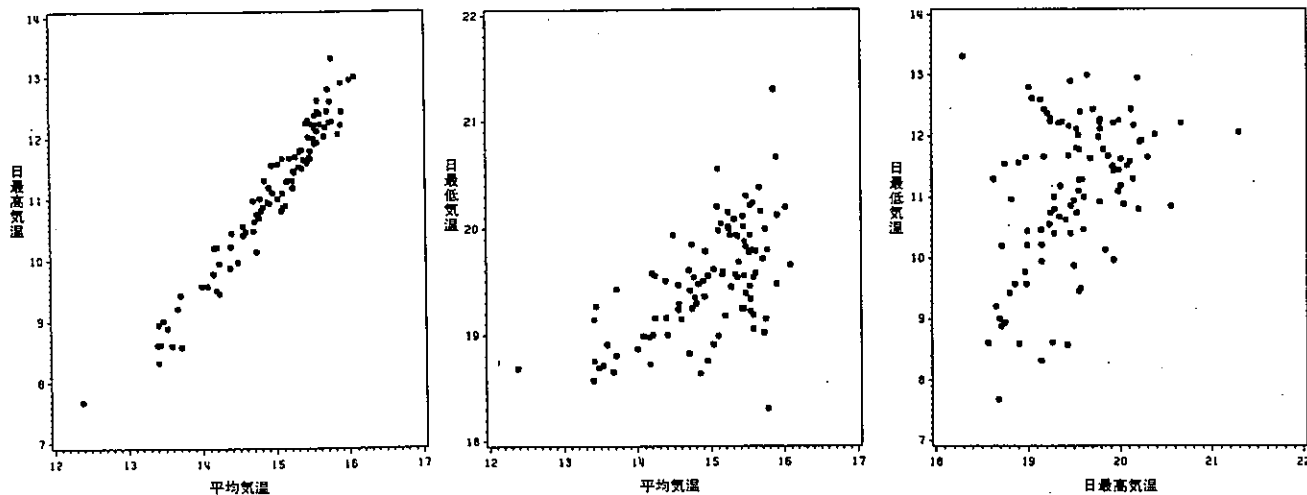


図7 気温統計量間の関係

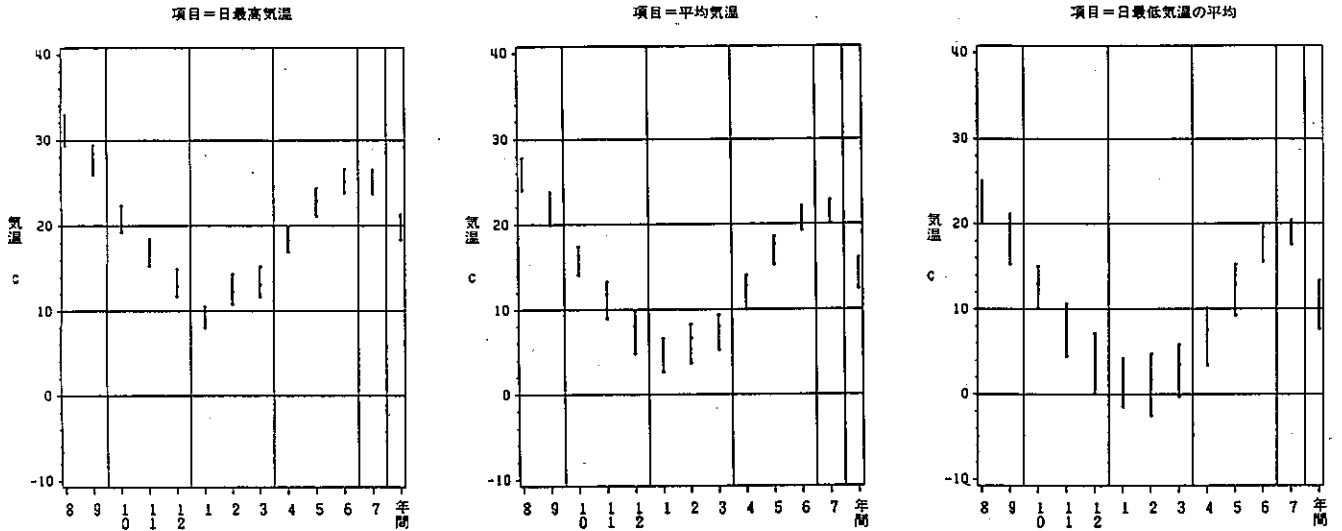


図8 月別気温統計量の推移 (100地点の平均と最大・最小)

(3) 分散分析の結果

上述したように、気温統計量は時刻、季節、地域によってそれぞれの特徴を持っている。この定性的な性質を定量的に表現するために、分散分析モデルを適用した。気温は、季節、時刻、風や日射などの気象条件により変化する。これらの要因との関係をみるため、気温を月の効果、地点の効果および地点×月の交互作用として表現する分散分析モデルによる解析を行った。ある月*i*、ある地点*j*の気温測定値*x_{ij}*は、次のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 x_{ij} &= \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \\
 \sum_i \alpha_i &= 0 \quad \sum_j \beta_j = 0 \\
 \sum_i (\alpha\beta)_{ij} &= 0 \quad \sum_j (\alpha\beta)_{ij} = 0 \\
 \varepsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2)
 \end{aligned}$$

どの月も同じような空間分布ならば、交互作用項($\alpha\beta$)_{ij}は小さくなり、月によって異なる空間分布を示す場合には交互作用項が大きくなる。従って、交互作用項の大きさは空間分布の安定性の指標となる(新藤(1987)¹⁰⁾)。上記のような分散分析モデルによる解析結果は以下に示すとおりである。

- 1) 気温そのものでみると、平均値、日最高値、日最低値とも月の効果が圧倒的に大きい。
- 2) 基準点を都心のNo.16(中央区日本橋 久松小学校)にとって、気温差を解析した。(図9)

- ① 地点と月の効果を比較すると、平均値、日最高値、日最低値とも月の効果が地点効果より大きい。
- ② 交互作用項(地点×月)の効果はいずれも最小であり、気温差統計量=MODEL(月、地点)が成立する。ただし、このモデルの平均誤差(ROOT MSE)は、表1のとおりである。

表1 分散分析モデルの平均誤差

	MSEの平方根	全データの標準偏差
月平均気温	0.25°C	0.86 °C
日最高気温	0.33	0.74
日最低気温	0.41	1.40

- ③ 日最高気温については交互作用項の寄与が比較的に大きい。年間平均に対する各月平均の相関係数を見ると、日最高気温について、年間平均値との相関が低下するのは、1、2月と5～7月である。日最高気温については、年間平均値との相関が各月とも高い。
- 3) 日最低気温については、比較的簡明な地域構造であると考えられる。
- 4) そこで、とりあえず日最低気温偏差について主成分分析を行ってみた。

図9

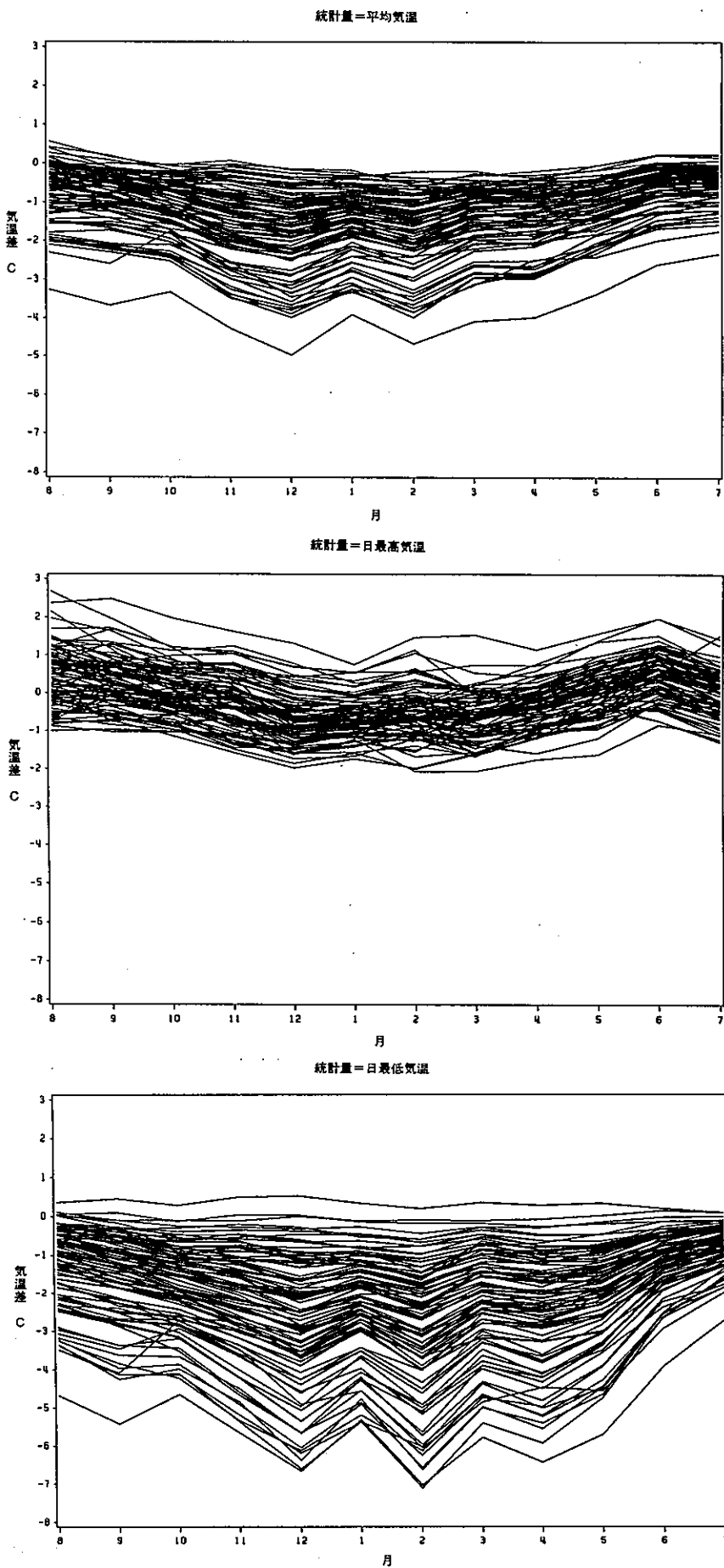


図9 気温差の月別変化 (地点 No.16に対する気温差)

(4) 日最低気温の主成分分析結果

最も地域較差の大きい日最低気温の変動状況を要約することを目的して、主成分分析を行った。

変数を 99 地点の日最低気温と都心測定点(No.16、3 C3)の日最低気温の差、サンプルを 365 日とし、相関マトリックスにより計算を行った。

固有ベクトルの地域分布より第1主成分は、各地点と都心の平均的な気温差(ヒートアイランド強度と仮称する)を表していると考えられ、76%の寄与率であった。その他の成分は、第2主成分(臨海部と内陸の変動の違い。スコアがマイナス側で臨海部が相対的に高温)、第3主成分(北東領域と南西領域の変動の違い。スコアがマイナス側で南西側が相対的に高温)などである。スコアの月平均値の推移(図10)より、ヒートアイランド強度は冬季に強いこと、春季に臨海部が相対的に高温になること、冬季に北東側で相対的に高温になることが分かる。

表2 雲量とヒートアイランド強度の関係

雲量	八王子と都心の気温差(°C)
0~2	7.0
2~4	6.5
4~7	5.5
7~10	4.0
平均値	5.0

$$HII = -0.93 - 0.15 CL + 0.34 W (N=365, R=0.71)$$

CL: 雲量

W: 東西成分風速(西成分がプラス m/sec)

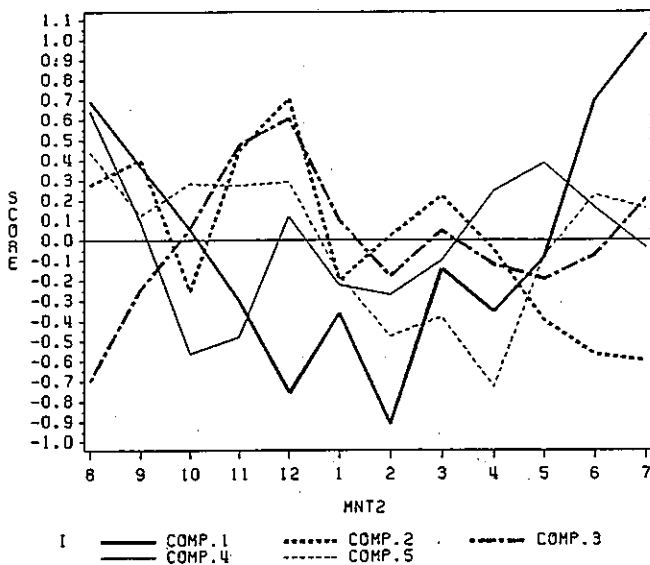


図10 日最低気温の主成分スコアの月変化

第1~第3主成分の経日平均値の一例を図11に示す。また、第1主成分と気象要素の関係を図1に示す。雲量と八王子と都心の気温差の関係を表2に示すが、雲量が少ないほど気温差が大きい。従って、静夜で地域平均風が西風系の場合にヒートアイランド強度が大きくなる傾向が見られると言える。そこで、第1主成分スコアに負号をつけたものHIIを雲量と風の東西成分による重回帰式を求めた結果、次のようになった。(図12)

4 おわりに

今回の調査により、東京都内の気温分布の解析結果から以下のような特徴が明らかになった。

- 1) 日最高気温の分布は、複雑で内陸部に高温域があり、特に夏期は、北部の高温が著しい。東京湾岸は概して低温である。
- 2) 日最低気温の分布は、都心を中心とするヒートアイランドがみられ、特に冬期に顕著である。ヒートアイランドの境界は、23区を囲む線と八王子東部と武蔵村山市を結ぶ線の二重構造になっている。
- 3) 年平均気温と日最低気温の年平均値とは、比較的良好な線型関係にある。
- 4) 日最低気温と都心の日最低気温の差を変数とした主成分分析の結果、静夜で地域平均風が西風系の場合にヒートアイランド強度が大きくなる傾向がみられた。

気温分布を決定する要因の主なものは、排出熱量、緑地率、海陸分布や地形などであるが、気温とこれらの定量的な関係や海陸風などの気象条件との関係を今後明らかにする必要がある。また、気温と熱汚染源等との因果関係を解明し、ヒートアイランドを緩和する熱汚染源対策、緑化対策及び都市計画などの効果を判定するために数値解析モデルの作成が有効な手段となる。

最後に今回の調査に百葉箱を利用して下さった小学

校 100 校および気温分布図の作成やデータ解析計算に協力された(財団法人)計量計画研究所の神成陽容氏に深く感謝いたします。

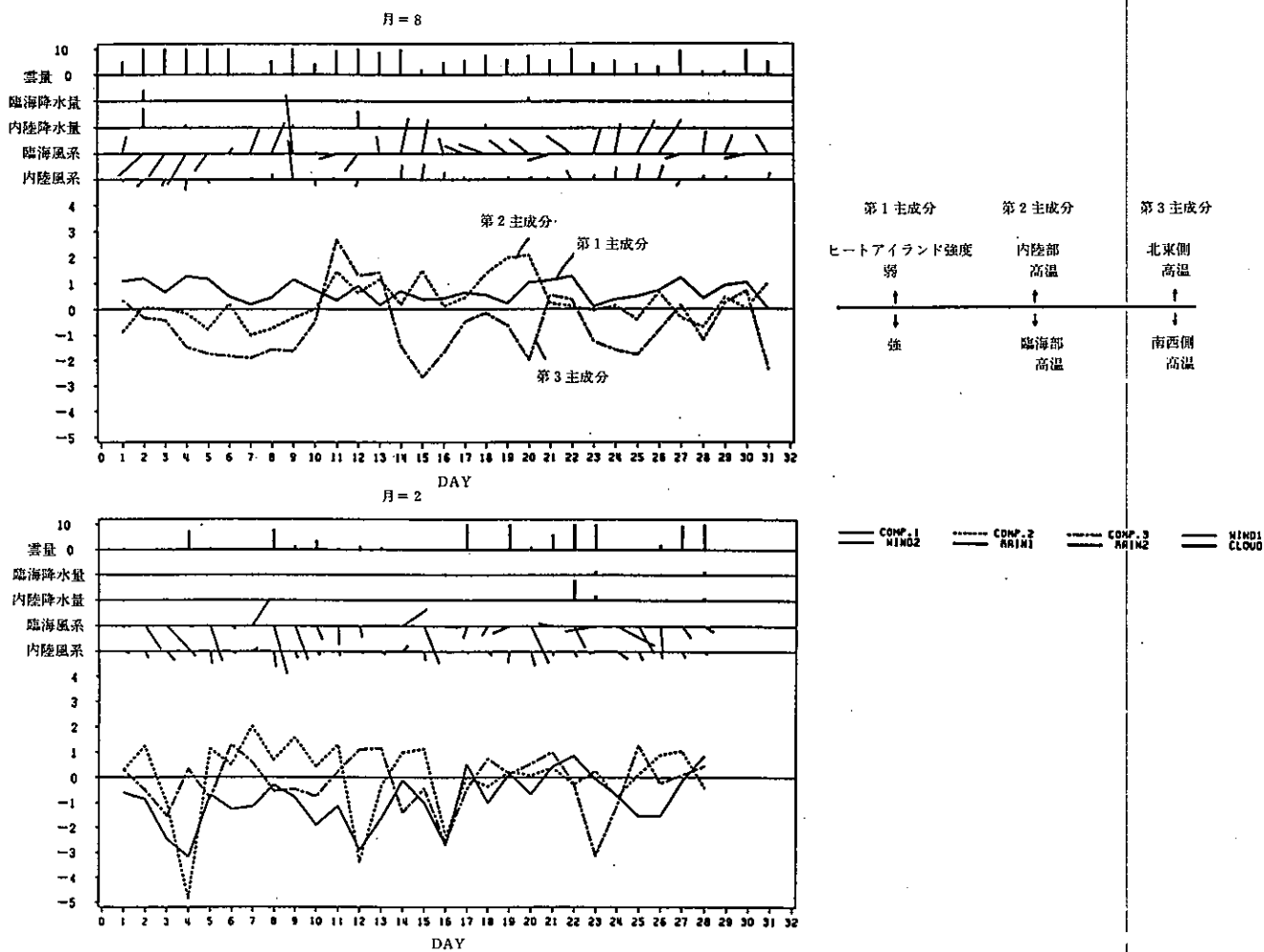


図11 日最低気温地域偏差主成分スコアの推移

図 12

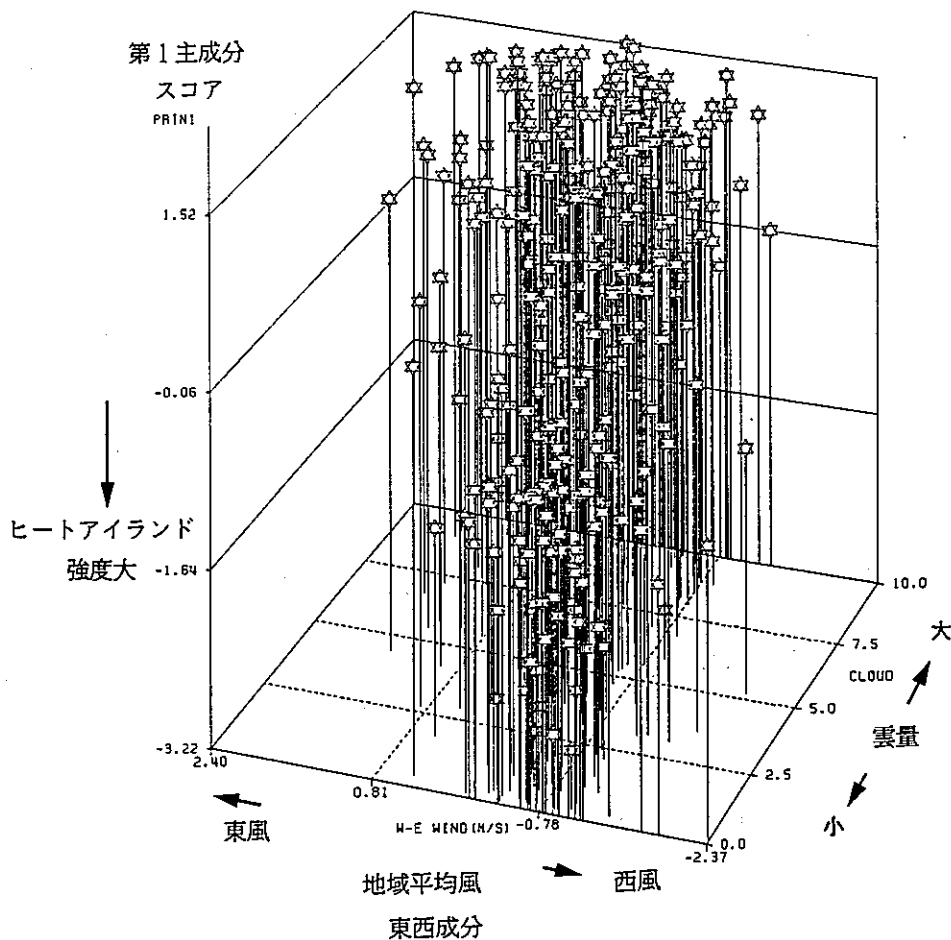


図12 ヒートアイランド強度と地域平均風・雲量の関係

参考文献

- 1) 東京管区気象台：東京都気象月報(1988-1993).
- 2) 松本淳他(1989)：最近の東京における都市気温分布の変化について，東京都環境科学研究所年報，1991,p 11-17.
- 3) 伊藤政志、宇田川満、早福正孝(1992)：最近の東京における都市気温分布の変化について(その2)、東京都環境科学研究所年報，1992,p 39-43.
- 4) Yamashita,S.(1988)：Some Studies of Heat Island in Japan-With Special Emphasis of the Climatological Aspects, Geographycal Review of Japan Vol. 61(Ser.B) No.1, 1-13.
- 5) 星秀俊、齊藤武雄：東京の都市温暖化(ヒートアイランド)の現状と未来予測の研究、東北大学工学部機械工学科平成3年度卒業研修論文(1992).
- 6) 気象庁：南関東大気環境調査報告書、気象庁(1977).
- 7) 上野英雄：東京崩壊、世界1993年8月、144-149(1993).
- 8) 東京都都市計画局：東京の土地利用(1986).
- 9) 河村武：都市気候の分布の実態、気象研究ノート第133号 p26-47(1977).
- 10) 新藤純子他：NO₂濃度の空間分布構造の安定性、大気汚染学会誌、Vol.22(2),127-136,(1987).