

# 東京およびその周辺域における 気温変動の時間的・空間的構造

三 上 岳 彦

## 目 次

- I はじめに
- II 調査地域と資料
- III 気温変動傾向の地域差
- IV 気温変動の主成分分析
- V 主成分に基づく気候地域区分
- VI おわりに

## I はじめに

都市とその周辺部における気温の水平分布は、都心部を高温の極とする同心円状の構造（ヒートアイランド）によって特徴づけられる。すなわち、都市域の気温変動には、その周辺域を含む広域を支配する変動要因の上に、都市的要因（人口増加、エネルギー消費量の増大など）が重合しており、それらが都市域の気温変動構造をより複雑なものにしている。

都市気温を議論する場合、都市域と非都市域（郊外）の気温差や気温上昇率の差をとる方法がよく用いられる。例えば、Landsberg（1957）は、種々の気候要素の都市と郊外における差をとり、都市気候の特性を論じているが、それによれば、都市域の気温は郊外に較べて、年平均で1～1.5°F、冬季最低気温で2～3°F高くなるという。また、都市内外の気温差や気温上昇率は、都市の発展、膨張にともなって時間的にも変動している（樫根、1960；荒川、1971；加藤・森、1971；三沢、1977など）。しかしながら、非都市域（郊外）の選定は、通常、主観的判断にもとづいてなされるため、非都市域の地域代表性に疑問が残る。選択した観測点に無視できない都市的要因が含まれていたり、都市域との距離が著しく大きかったり、あるいは、観測点周辺の地理的要因（盆地、岬など）によって特異な変動を示す場合には、誤まった結論を

導びく可能性がある。このように、2地点間の気温差をとるという1次元的手法には限界があり、河村(1977)や吉野(1977)が示したような2次元的な広がりをもつ気温分布の経年変化や気温上昇率の地理的分布の分析がなされる必要があろう。

本稿では、東京とその周辺域における気温分布パターンの経年変化を、主として統計的多変量解析を用いて分析し、気温変動の時間的・空間的構造を明らかにするとともに、それらを規定する主要因(広域変動要因, 都市的変動要因)に関する若干の考察を試みる。

## II 調査地域と資料

研究の対象地域としては東京とその周辺域を選んだ。世界最大の都市規模を有するばかりでなく、戦後約30年間という比較的短い期間で急速に都市化が進んだ点で、都市気温変動の研究対象として適当であると考えたからである。

分析に用いた資料は、東京とその周辺域における35地点の区内観測所の月平均最高・最低気

第1図 観測点の配置

- |         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 1. 下妻   | 2. 羽生   | 3. 熊谷   |
| 4. 栗橋   | 5. 土浦   | 6. 槻川   |
| 7. 館野   | 8. 松山   | 9. 杉戸   |
| 10. 水海道 | 11. 野田  | 12. 川越  |
| 13. 越谷  | 14. 龍ヶ崎 | 15. 名栗  |
| 16. 飯能  | 17. 入間川 | 18. 村山  |
| 19. 松戸  | 20. 中新井 | 21. 吉祥寺 |
| 22. 佐倉  | 23. 東京  | 24. 府中  |
| 25. 世田谷 | 26. 青山  | 27. 町田  |
| 28. 都田  | 29. 横浜  | 30. 茂原  |
| 31. 秦野  | 32. 木更津 | 33. 大多喜 |
| 34. 剣ヶ崎 | 35. 鴨川  |         |

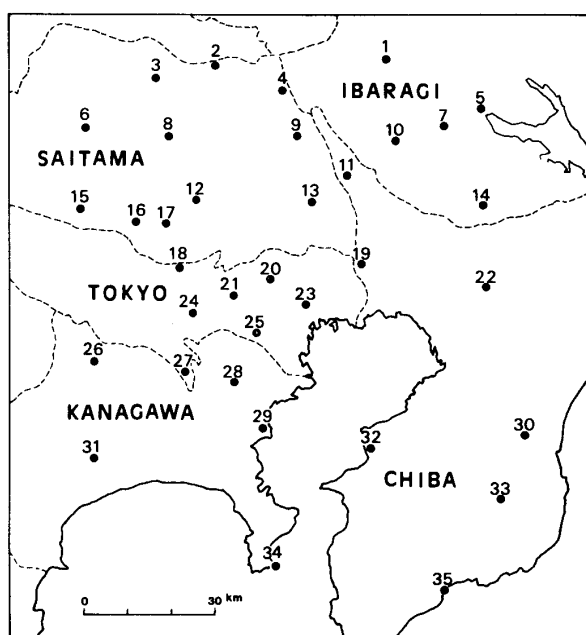


Fig. 1 Location of climatological stations.

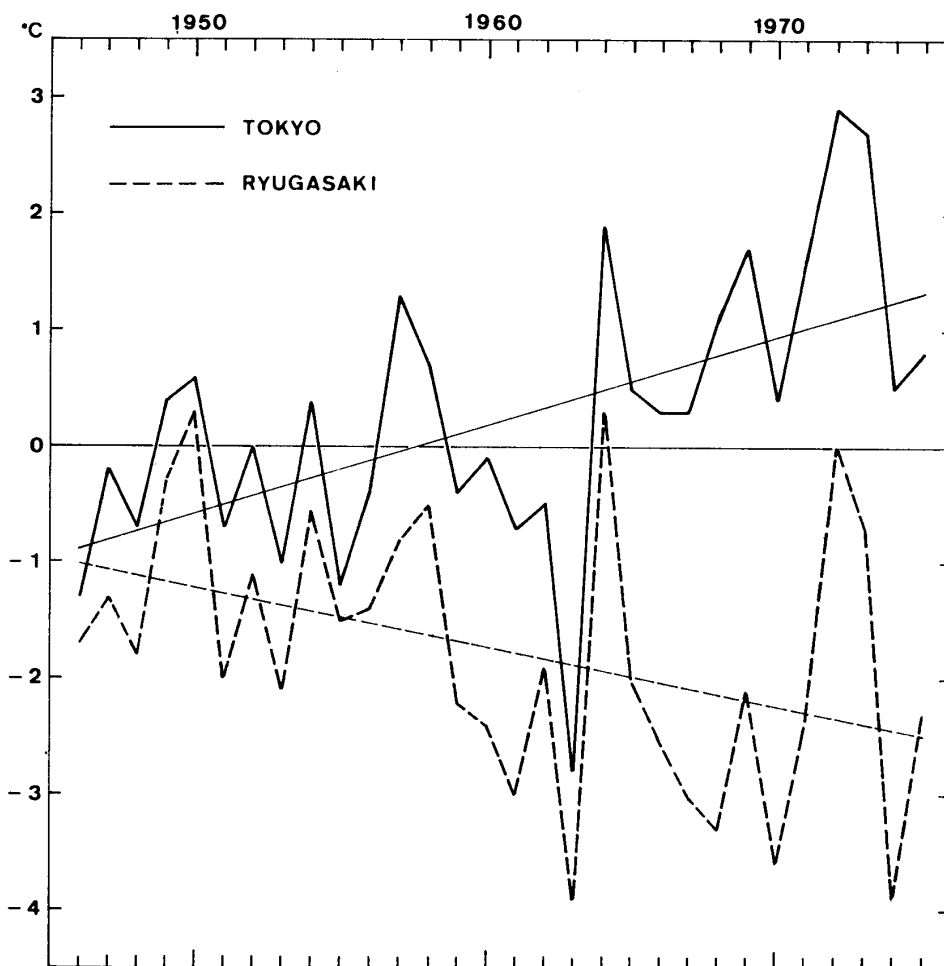
- |                |               |               |
|----------------|---------------|---------------|
| 1. Shimotsuma  | 2. Hanyu      | 3. Kumagaya   |
| 4. Kurihashi   | 5. Tsuchiura  | 6. Tsukigawa  |
| 7. Tateno      | 8. Matsuyama  | 9. Sugito     |
| 10. Mitsukaido | 11. Noda      | 12. Kawagoe   |
| 13. Koshigaya  | 14. Ryugasaki | 15. Naguri    |
| 16. Hanno      | 17. Irumagawa | 18. Murayama  |
| 19. Matsudo    | 20. Nakaarai  | 21. Kichijoji |
| 22. Sakura     | 23. Tokyo     | 24. Fuchu     |
| 25. Setagaya   | 26. Aoyama    | 27. Machida   |
| 28. Tsuda      | 29. Yokohama  | 30. Mobara    |
| 31. Hatano     | 32. Kisarazu  | 33. Otaki     |
| 34. Kengasaki  | 35. Kamogawa  |               |

温の観測値で、期間は1946~1975年の30年間である(第1図参照)。地点の分布は必ずしも均質ではないが、これは対象期間中の欠測値が3年以下のデータのみ限定したこと、および期間中に大幅な露場の移動の行なわれた地点を除外したことに起因している。特に神奈川県・千葉

県・東京都西部の観測点では欠測値や観測所の移転が多く、気温分布図を描くには必ずしも充分とは言い難い。近年、区内観測所の移転、廃止が目立つ。省力化と AMeDAS 等に代表される自記観測機器の導入およびその伝達システムの整備によるものであり、短期予報に果す役割は大きいと思われるが、長期間の均質な観測データを必要とする気候変動の研究面からみると、観測の不連続化が惜まれる。

### III 気温変動傾向の地域差

最近30年間の東京（気象庁）と龍ヶ崎の1月最低気温の経年変化を第2図に示す。太線は観測値、細線は期間中の変動に1次回帰直線をあてはめたものである。龍ヶ崎は東京の北東約45



第2図 東京と龍ヶ崎の1月最低気温。直線は最小二乗法による一次回帰直線を示す。

Fig. 2 Time series of minimum temperature in January at Tokyo and Ryugasaki. Regression line is fitted by least squares.

kmに位置しており、都市化の影響をほとんど受けていないと考えられる。東京は顕著な上昇傾向を示すのに対して、龍ヶ崎では逆に明らかな下降傾向が認められ、1940年代には両地点の気温差はほとんどなかったが、最近では3℃以上の差を示すようになってきている。年々の変動についてみると、両地点はかなり平行した変動をしているにもかかわらず、長期的には相反した傾向を示すのは、東京の気温変動に都市の影響が大きく働いているためと考えられる<sup>1)</sup>。因みに、各月の最高・最低気温について両地点の1次回帰係数を比較してみると第1表のようになる<sup>2)</sup>。東京の場合、最低気温は各月とも上昇傾向を示すが、最高気温については月により変動傾向が異なる。一方、龍ヶ崎では、最高・最低気温ともに5、6月を除くほぼ全部の月で下降傾向が認められる。一般に都市気温がもっとも顕著に現れるのは冬季の最低気温であるといわれているが、この表からもそれが裏付けられる。最高気温についても、下降傾向は龍ヶ崎の方が東京よりも顕著であるが、最低気温ほど明瞭な差異は認められない。北半球の平均気温は、1940年代以降低下傾向にあるといわれており (Budyko,

第1表 最高・最低気温の一次回帰係数(℃/年)

Table 1 Linear regression coefficients of maximum and minimum temperature. (℃/year)

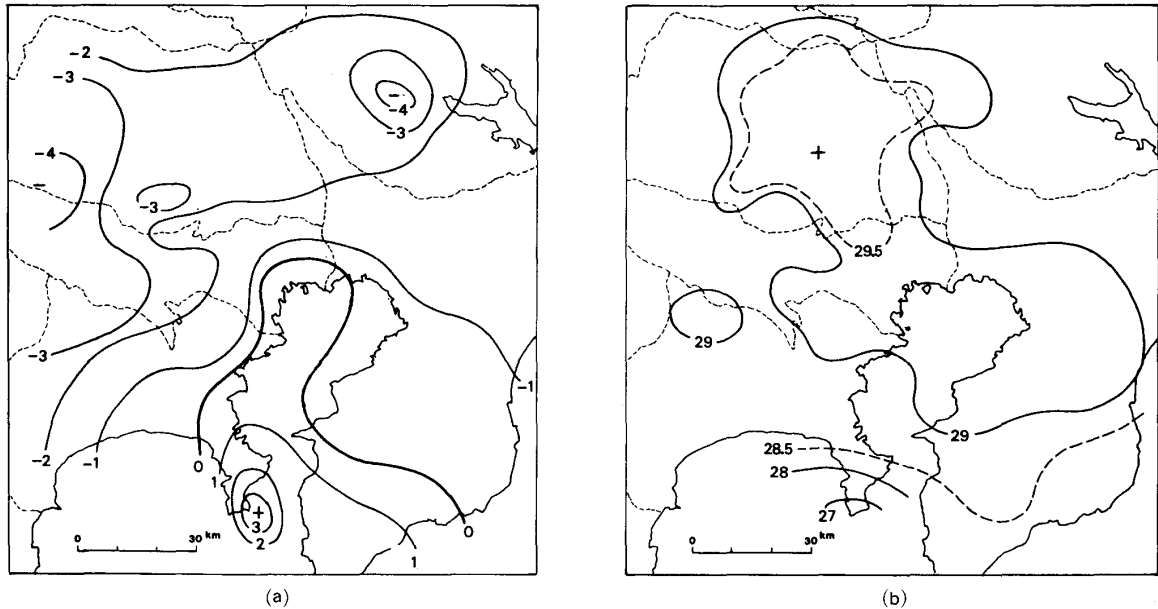
	Maximum temperature		Minimum temperature	
	Tokyo	Ryugasaki	Tokyo	Ryugasaki
Jan.	-0.003	-0.038	0.074	-0.050
Feb.	-0.019	-0.048	0.069	-0.021
Mar.	0.003	-0.034	0.042	-0.032
Apr.	-0.017	-0.035	0.053	-0.016
May	0.015	0.014	0.049	0.006
Jun.	-0.004	0.007	0.023	0.021
Jul.	-0.041	-0.049	0.003	-0.013
Aug.	0.012	-0.017	0.046	0.002
Sep.	-0.016	-0.035	0.021	-0.010
Oct.	-0.009	-0.023	0.028	-0.022
Nov.	0.002	-0.033	0.057	-0.047
Dec.	-0.006	-0.027	0.072	-0.058

1969), 龍ヶ崎の気温変動傾向もそのようなグローバルな気候変動を反映したものと考えられる。一方、東京都心部の気温変動には、明瞭な都市気温成分が含まれており、それは都市域の拡大・膨張と、大都市内部でのエネルギー消費量の増大を示している。しかしながら、前述のごとく、気温変動曲線に含まれる都市的要因を、都市内外の2地点間の比較のみで検出することは困難である。そこで、次節以下では、都市内外の数十地点の観測所のデータを統計的に分析することによって、首都圏における都市気温の空間的・時間的変動の一端を明らかにする。

### 1. 首都圏の気温分布

まず、冬季の最低気温と夏季の最高気温の30年平均分布図を示す(第3図)。1月の最低気温は、東京都心部、横浜および三浦半島、房総半島南部でプラスとなるが、埼玉、東京、神奈川の各都県の西部地域や茨城県の一部では-3℃から-4℃に達し、都心部との気温差が顕著に現れている。東京や横浜の高温は都市の影響が大きいといえるが、半島南部の高温は海洋の影響によるものであろう。7月の最高気温分布は1月の最低気温分布とはかなり異なったパターンを示している。高温域の中心は都心部よりもむしろ埼玉県にあり、29℃の等温線で囲まれる領域が北西から南東方向にのびている点が特徴的である。冬季に比較的高温となる半島南部は逆

に低温域となるのも、冬は温暖で夏は涼しいという海洋性の気候を示しているものであろう。



第3図 (a) 1月平均最低気温分布 (b) 7月平均最高気温分布 単位：℃

Fig. 3 Distribution of mean temperature.

(a) January minimum temperature, (b) July maximum temperature. (℃)

## 2. 気温上昇率の地域差

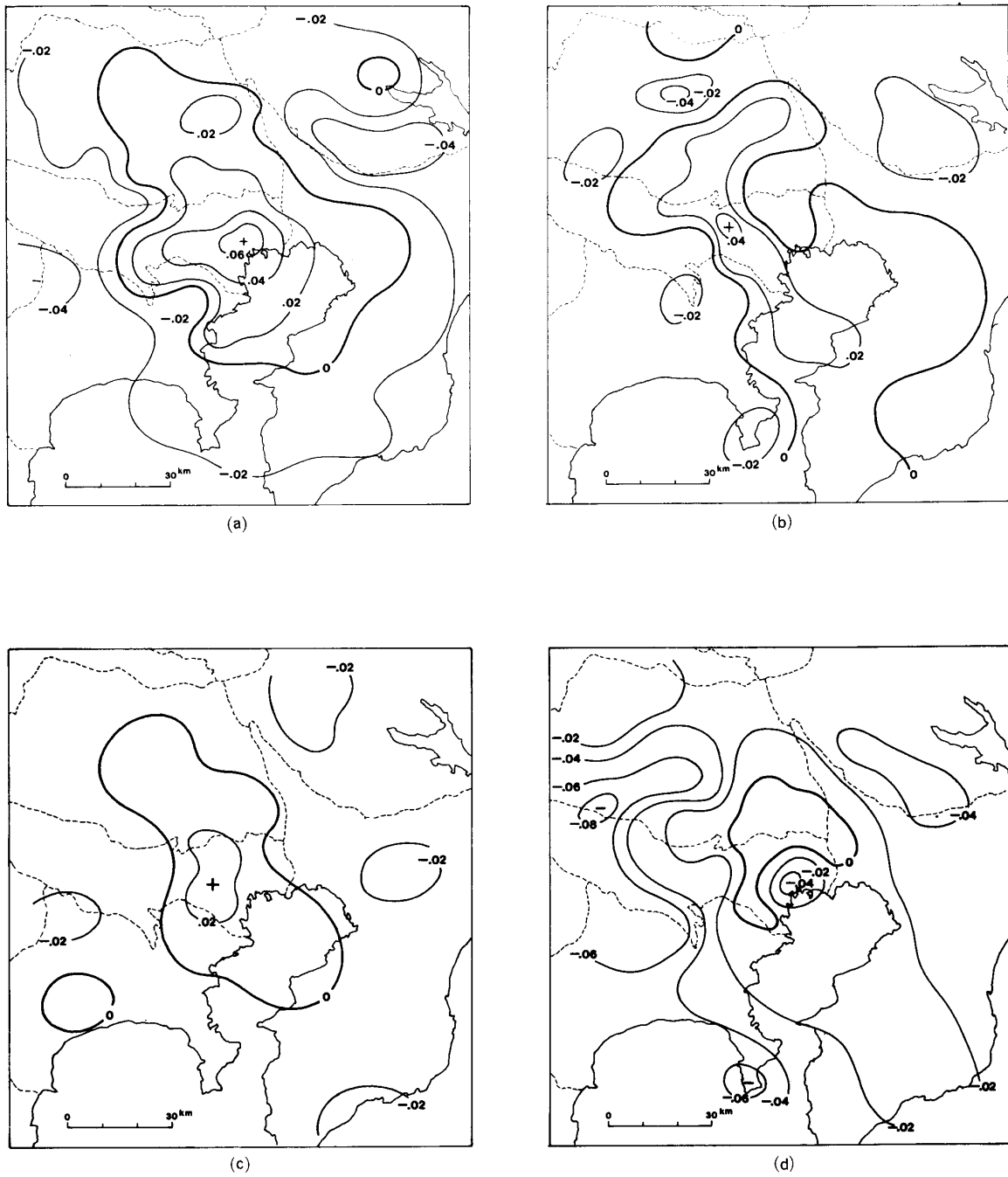
次に第1表で示した気温変動の1次回帰式の傾き、すなわち気温上昇率(℃/年)を対象地域の全観測点について求め、分布図を作成した(第4図)。1月および7月の最低・最高気温の上昇率(回帰係数)分布の特徴を述べる。

### a) 1月最低気温(第4図(a))

東京都心部を高極とする気温上昇傾向域が、北西から南東方向にのびている。傾き0の等値線は、北は埼玉県北部にまで達しているが、東京西部の村山や神奈川県北部の郡田では負(低下傾向)となっており、必ずしも都心からの距離に比例していない。一方、気温が低下傾向を示す観測点は、東京・神奈川の西部、茨城県南部などの平均気温の低い地域と房総半島の太平洋側地域に分布している。

### b) 1月最高気温(第4図(b))

最低気温の場合と大きく異なるのは、上昇傾向の中心が都心部よりもやや西方にずれている点である。高極は吉祥寺の0.051℃/年で、都心部ではわずかではあるが低下傾向を示している。したがって、吉祥寺、世田谷などの都心周辺地域では、1月の場合、最高・最低とも上昇傾向が著しい。これに対して都心部では、最低気温は顕著な上昇傾向を示すが、最高気温はむしろ低下気味であり、都市域の冬季気温変動傾向に「都心型」と「都心周辺型」の2種類のタ



第4図 一次回帰係数分布

(a) 1月最低気温 (b) 1月最高気温 (c) 7月最低気温  
(d) 7月最高気温 (°C/年)

Fig. 4 Distribution of linear regression coefficients.

(a) January minimum temperature, (b) January maximum temperature,  
(c) July minimum temperature, (d) July maximum temperature. (°C/year)

イプのあることが示唆されている。さらに、都市化の影響が比較的小さいと考えられる外縁地域(郊外)では最高・最低気温ともに低下傾向が認められ、後述の半球的な気温変動傾向とほぼ一致する変動を示している。

c) 7月最低気温(第4図(c))

1月に較べると全体的に気温上昇率の絶対値は小さい。気温上昇傾向域は、1月最低気温の場合と同様、埼玉県から東京都区部を経て千葉県の一部に及んでいるが、上昇率のもっとも高い世田谷でも $0.03^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と冬季に比較して小さい。また、高極の中心は、1月最高気温の場合と同じく、都心部よりやや西にずれている。一方、気温低下傾向域が周辺部に広く分布するが、その率(係数)は $-0.02^{\circ}\text{C}\sim-0.03^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であり大きくない。

d) 7月最高気温(第4図(d))

都心周辺域の一部を除いて対象地域全域で負の変化傾向が認められる。特に、都心部が比較的大きな低下傾向( $-0.041^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )を示している点が注目される。このため、都心周辺部に不明瞭ながら一種のドーナツ状の気温上昇傾向域が形成されている。都心部の低温化傾向は、河村(1977)らも指摘しているように、大気中のエアロゾルの増加とも関連があると思われる。非都市地域(郊外)の気温低下傾向はかなり顕著に現れており、東京、神奈川の西部地域では、 $-0.060^{\circ}\text{C}/\text{年}\sim-0.080^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、平均最高気温の低い三浦半島の剣ヶ崎でも、 $-0.061^{\circ}\text{C}/\text{年}$ に及んでいる。

以上の結果をまとめると次のようになる。

- (i) 都心部を高温化の極とするヒートアイランド化現象は、冬季の最低気温にもっとも顕著に現れる。類似のパターンは夏季の最低気温にも認められるが、その規模は冬季に較べて小さく、高温化の中心も都心部からやや西にずれている。
- (ii) 最高気温の場合、冬季・夏季ともに都心部ではやや低下傾向が認められ、周辺部を上昇域がとり囲むパターンを示す。この傾向は、特に夏季に顕著に現れる。
- (iii) 冬季・夏季ともに、都市化の影響のあまり大きくない非都市地域(郊外)では最近30年間の気温(最高・最低)は概ね低下傾向にあるといえるが、これは、半球的な気温低下傾向とも一致している。

#### IV 気温変動の主成分分析

はじめに述べたように、都市域の気温変動には、都市的要因にもとづく変動成分以上に、グローバルな要因が重要な役割をはたしていると考えられる。したがって、都市気温を論ずる場合には、都市的要因にもとづく変動成分を何らかの方法で抽出する必要がある。つまり、都市域における気温が上昇傾向にあったとしても、それがすべて都市的要因(都市変動成分)にも

とづくものであるか、あるいは都市域を含む広い範囲において他の要因（広域変動成分）によってもたらされるものであるのかを区別、分離しなければ、厳密な意味での都市気温を議論することはできない。

そこで、本章では統計的多変量解析の一種である主成分分析を用いて、首都圏の最高・最低気温変動に含まれる広域変動成分と都市変動成分との分離を試みる。

### 1. 主成分の抽出

第2表は1月と7月の最高・最低気温についての分析結果である。<sup>3)</sup> 固有値は省略し、各成分の寄与率と累積寄与率を百分率で表示した。両月とも第1成分と第2成分で全変動の80%以上が説明されることが明らかになった。第1成分の比率が最も高いのは7月最高気温で87%を越

第2表 上位4成分の寄与率と累積寄与率（カッコ内）

Table 2 Percent of variance and cumulative variance for the components 1~4

Component	January		July	
	Minimum temperature	Maximum temperature	Minimum temperature	Maximum temperature
1	77.4(77.4)	75.8(75.8)	79.7(79.7)	87.2(87.2)
2	5.4(82.8)	5.0(80.8)	3.2(82.9)	2.4(89.6)
3	2.6(85.4)	4.7(85.5)	2.7(85.6)	1.9(91.5)
4	2.0(87.4)	2.7(88.2)	2.1(87.7)	1.7(93.2)

えている。第2成分の比率が最も高いのは1月最低気温で5.4%を占めている。概して、第1成分は夏季に高く、第2成分は冬季に高い。いずれにせよ、第1・第2の両成分で80%以上が説明されることと、第3成分以下の固有値が1.0以下になることから、本稿ではこの2つの成分に限定して議論を進めたい。

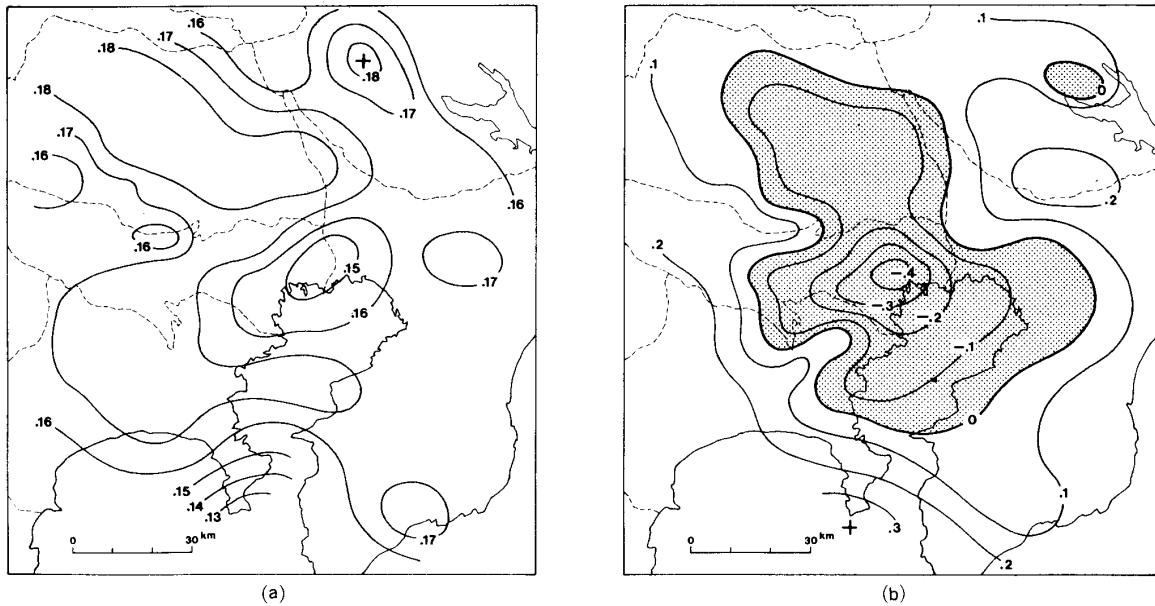
### 2. 主成分の空間的パターン

抽出された各成分を解釈するために、各成分の固有ベクトルの地理的分布図を作成した（第5図～第8図）。

#### a) 1月最低気温（第5図）

第1成分：全変動の77.4%を説明する。全域で正の同符号となっており、地点間の相関がかなり高いことがわかる。このことから、第1成分はグローバルな広域変動成分であることが予測される。地域的にみると、三浦半島の剣ヶ崎の数値が最も低く、この地点での全変動成分の約41%である。<sup>4)</sup> また、東京の都心部もこの成分に対する寄与率は相対的に低く、気象庁では60.1%と、他地点と比較して小さい。一方、埼玉県を中心とする北部から北西部にかけての地域では第1成分の寄与率が高く、80%を越えている。





第5図 1月最低気温の固有ベクトル分布  
(a) 第1成分 (b) 第2成分

Fig. 5 Distribution of eigenvectors for January minimum temperature.  
(a) First component, (b) Second component.

第2成分：全変動の5.4%を説明する。東京の都心部に負域の極があり、北西から南東方向にややびた同心円状に広がっている。非都市地域（郊外）では正域が多くなっている。このパターンは、第4図(a)と非常によく似ており、気温上昇率の最も大きい都心部が第2成分の負域の極に一致しており、気温低下傾向の大きな龍ヶ崎や房総半島、三浦半島南部で正の絶対値が高くなっている。

また、都心部での第2成分の寄与率は、東京（気象庁）で30.1%、世田谷で22.9%とかなり高い値を示しており、この地域では都市変動成分が全変動の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$ に達すると考えられる。

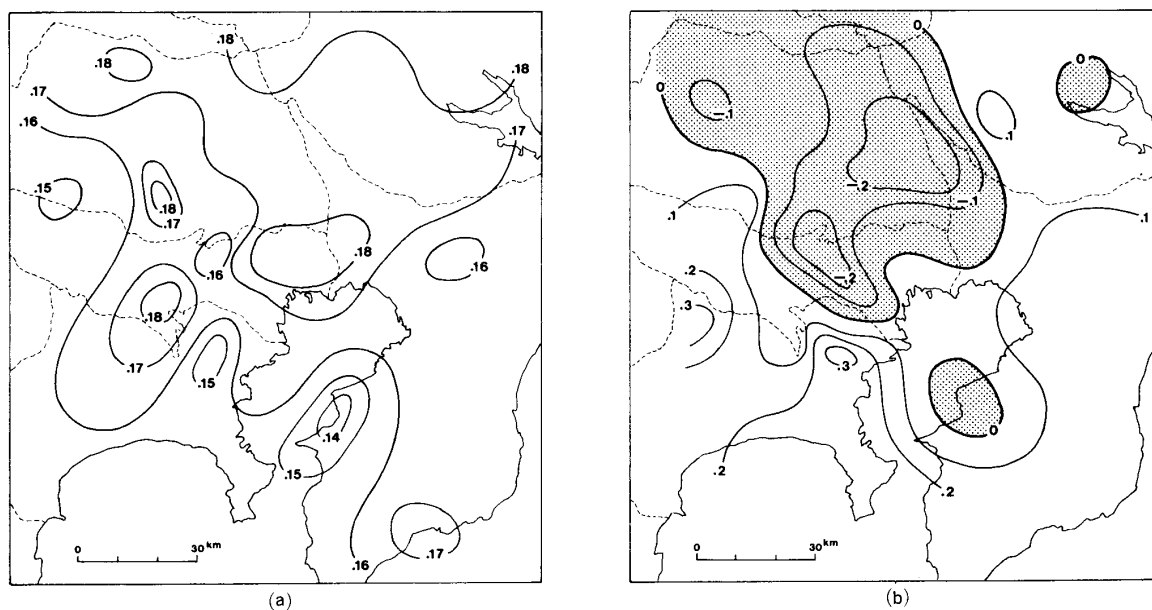
#### b) 1月最高気温（第6図）

第1成分：全変動の75.8%を説明する。最低気温の場合と同じく、全域が正の同符号を示している。木更津、都内などで比較的低い数値をとる反面、東京都区部から埼玉、茨城にかけてやや高い数値が分布する。

第2成分：全変動の5.0%を説明する。負域の範囲は、最低気温の場合よりも北西方向にずれており、埼玉県東部から都心を除く東京都に広がっている。東京の西部から神奈川・千葉・茨城にかけて、負域を包囲するように正域が分布している。

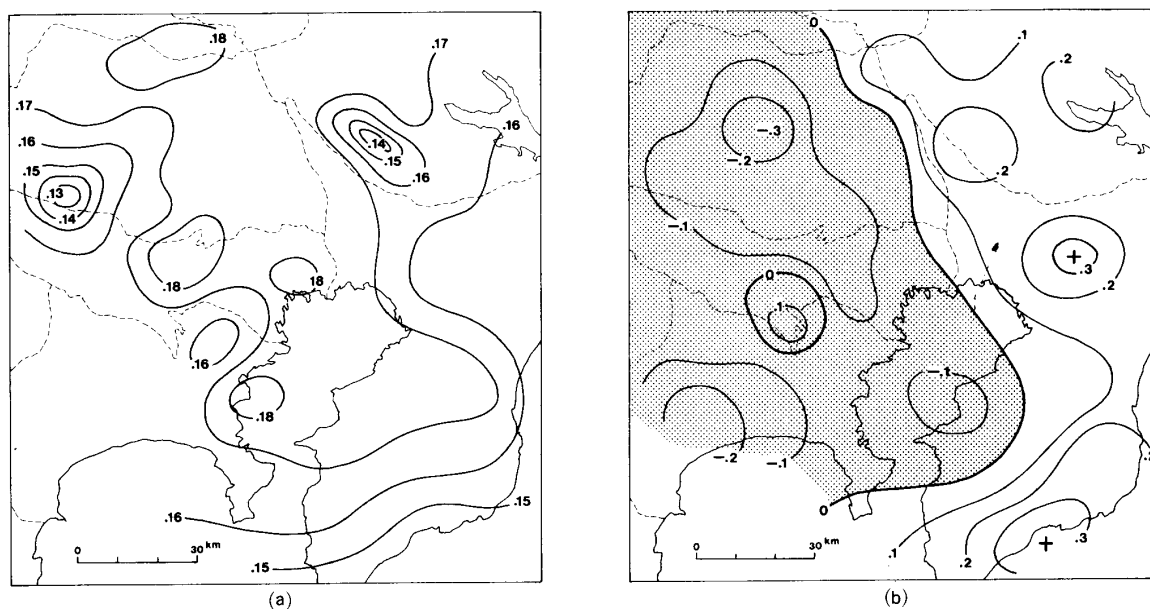
#### c) 7月最低気温（第7図）

第1成分：全変動の79.7%を説明する。埼玉県東部から、東京を経て、千葉県に至る地域で比較的高い数値を示す一方、埼玉県、東京都の西部、神奈川県、千葉県南部、茨城県では相対



第6図 1月最高気温の固有ベクトル分布  
(a) 第1成分 (b) 第2成分

Fig. 6 Distribution of eigenvectors for January maximum temperature.  
(a) First component, (b) Second component.



第7図 7月最低気温の固有ベクトル分布  
(a) 第1成分 (b) 第2成分

Fig. 7 Distribution of eigenvectors for July minimum temperature.  
(a) First component, (b) Second component.

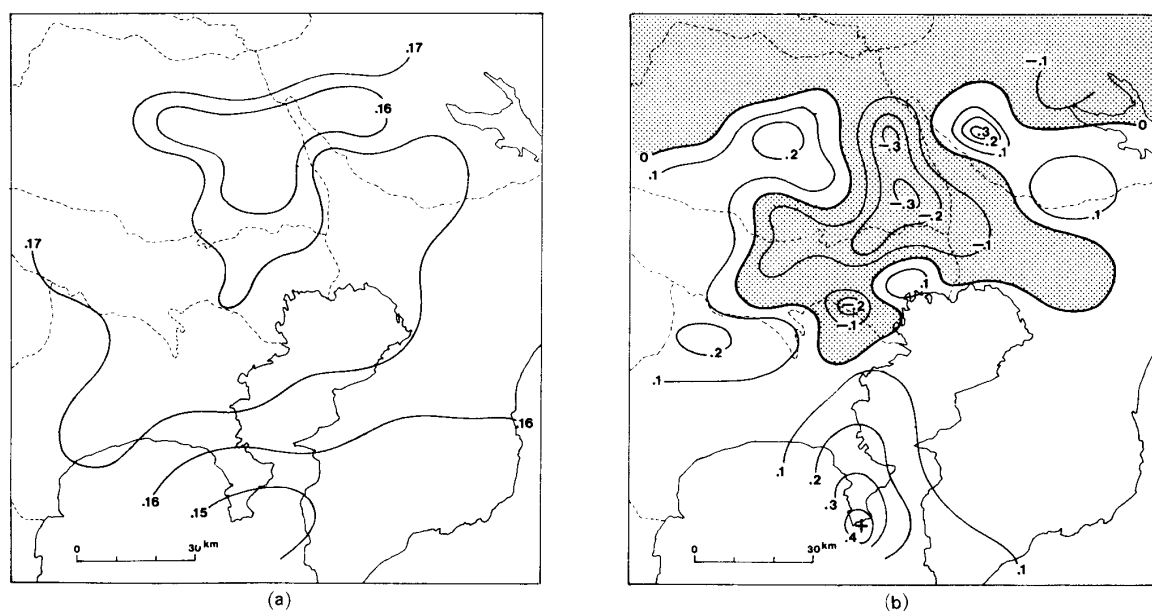
的に低い数値となっている。この成分に対する寄与率が最も高いのは横浜 (94.4%) で最も低いのは埼玉県西部の名栗 (46.4%) である。

第2成分：全変動の3.2%を説明する。巨視的にみると、対象地域の東半部が正、西半部が負のパターンになっているが、それぞれの中心は多極化しており、1月最低気温にみられるような都心部を中心とする同心円状の構造は認められない。

d) 7月最高気温(第8図)

第1成分：全変動の87.2%を説明する。分析した中では最も寄与率が高く、地点間の相間が高いことがわかる。また、地域的な数値のバラツキも小さく、三浦半島の剣ヶ崎の寄与率が66.9%と最も低い、その他の地域では、大きな差は認められない。

第2成分：全変動の2.4%を説明する。巨視的には対象地域の北半部が負、南半部が正のパターンを示す。詳細にみると、東京の都心部は正域となっているが、その周囲を負域がとり囲み、さらにその外側の地域に正域が分布する構造が認められる。このパターンは、第4図(d)で示した気温上昇率分布(1次回帰式の係数分布)と類似しており、気温低下傾向がこの成分の正域にはほぼ対応している。

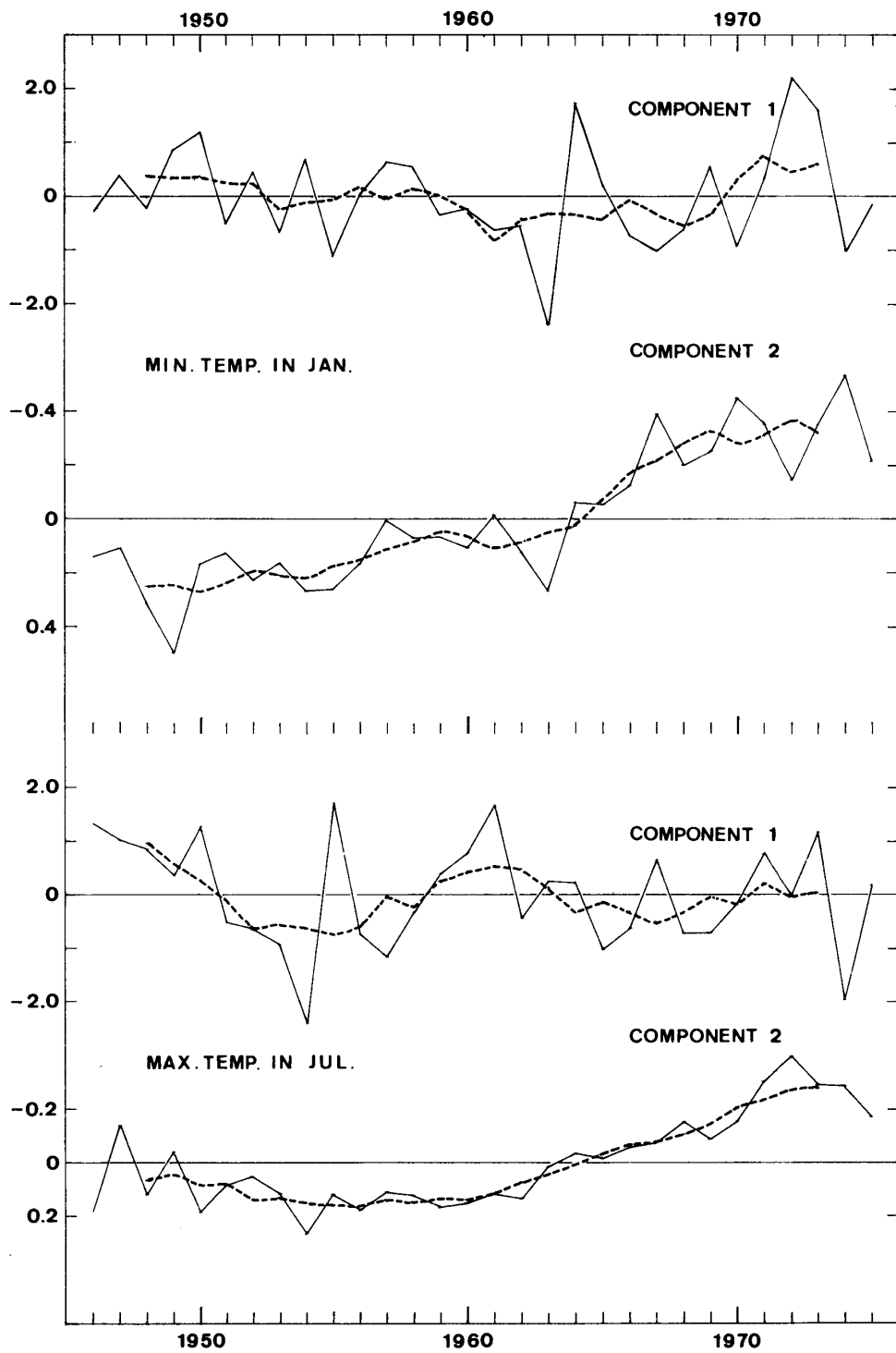


第8図 7月最高気温の固有ベクトル分布  
(a) 第1成分 (b) 第2成分

Fig. 8 Distribution of eigenvectors for July maximum temperature.  
(a) First component, (b) Second component.

### 3. 主成分の時間的変動

第9図は1月最低気温と7月最高気温の第1・第2両成分(主成分スコア)の時系列を示したものである。<sup>5)</sup>各成分スコアの絶対値が大きいほど前述の主成分パターンに類似した気温分布が現れる。各年の気温分布は、ほぼこの上位2成分の合成されたものとして考えることもできる。



第9図 主成分スコア時系列

上図：1月最低気温 下図：7月最高気温

Fig. 9 Time series of component scores for January minimum temperature (upper) and July maximum temperature (lower).

#### a) 1月最低気温

第1成分：1960年頃まではあまり顕著な変化は認められないが、1960年代から70年代にかけては年々の変動が大きくなり、全体として、60年代は負、70年代前半は正の値をとる傾向が認められる。

第2成分：1960年代中頃までは正、それ以降は負という明瞭な変化傾向を示す。<sup>6)</sup>特に、1960年代後半の傾きが著しく大きくなっている点が注目される。1970年代には横ばい状態となっている。

以上の、第1、第2両成分の時間的変動傾向と、前述の空間的パターンから、30年間の気温分布パターンの変動を年代別に要約すると次のようになる。

1940年代前半は比較的温暖であったが、第2成分が負であることから明らかなように、都市部では現在よりも低温で、都心と郊外の気温差は小さかった。1950年代から60年代にかけて、広域の気温は低下傾向を示す一方、都市域の気温は上昇傾向を示すようになった。1960年代中頃を境に、都市域の気温は著しく上昇し、郊外（非都市域）との気温較差も拡大した。1970年代にはいり、広域の気温は再び温暖化の傾向を示す一方、第2成分の値も横ばい状態となることにも示されているように、都市域での高温化傾向も頭うちになったと考えられる。

#### b) 7月最高気温

第1成分：1950年代と1960年代後半に負の値、1940年代後半と1970年代前半に正の値をとる傾向が認められる。

第2成分：1950年代から1960年代初めにかけて正の値が持続したが、その後は次第に負の値を示すようになり、70年代初めにその極に達したあと、絶対値はやや低下の傾向にある。正から負へ転じた時期は1960年代中頃で1月の場合とほぼ一致している。

以上を、1月の場合と同様に年代別に概括してみたい。

1940年代は全域で比較的高温であった。1950年代は前半を中心にかなり低温となることが多かったが、1月の場合と異なり、都心部は正偏差で、むしろその周辺部が負偏差となるパターンを示した。1960年代以降、広域の気温は年々の変動をくり返しながらもやや低温化傾向にあったが、60年代中頃を境に都心部の気温が負偏差(低温)、その周辺部が正偏差、さらに外縁が負偏差というドーナツ状構造を示すようになり、その傾向は1970年代始めにもっとも強まったと考えられる。

### 4. 主成分の解釈

抽出された主成分は、空間的にも時間的にも、ある程度の規則性をもって変動しており、これらを気候学的・地理学的側面からさらに詳しく解釈することは意義があると考えられる。そこで、本節では1月最低気温と7月最高気温について、第1・第2両成分のもつ意味を考察す

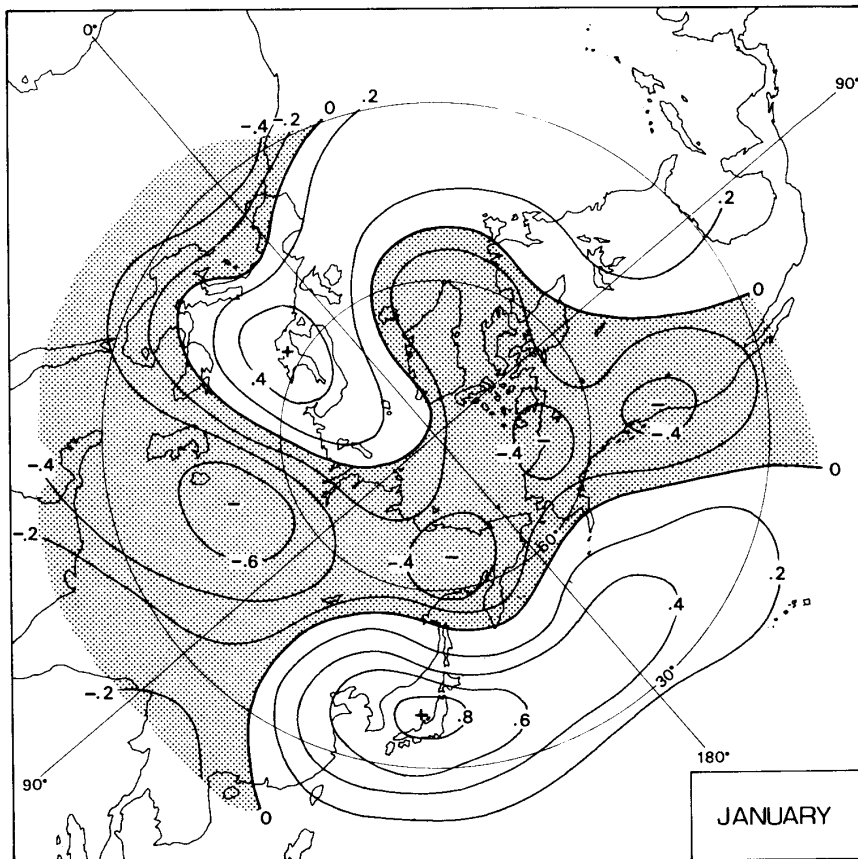
る。

第1成分の空間的分布の特徴は、前述のように全域が正の同符号となっている点であり、対象域を含む広い範囲を支配する気候学的要因によって規定されると考えることができるので、本稿では主として北半球500mb面高度場との関連を検討する。

第2成分は空間的にも時間的にも特徴ある変動を示すが、対象地域内の気温偏差分布を逆転させる要因、とりわけ都市部と非都市部とにおける気温変動傾向に差異をもたらす要因によって規定されると思われる。

#### a) 第1成分の動的考察

1月最低気温の場合：第10図は第1成分のスコアと北半球197格子点の500mb面高度との同時相関係数を求めて作成したものである。前述のように、第1成分は広域の気温変動を支配する要因と関連が深いことが想定されたが、この図によってそれが裏付けられる。すなわち、正相関域が日本付近から太平洋にかけての地域と、ヨーロッパから北アメリカ南東部に至る地



第10図 1月最低気温の第1成分と500mb面高度との同時相関図(1946—1975)

Fig. 10 Simultaneous correlation fields between the first component scores of January minimum temperature and the 500 mb heights in January, 1946—1975.

域にみられる一方、負相関域がユーラシア大陸中央部からシベリア北東部を経て北アメリカ西半部に分布する。前者、すなわち正相関域は冬季の主要なトラフ（偏西風波動の谷）に、また後者も主要なリッジ（偏西風波動の尾根）にはほぼ一致している。このことから、次のような総観過程を考えることができる。

まず、関東地方全域が低温となる場合、すなわち、成分スコアが負で、しかもその絶対値が大きい場合を想定してみよう。この場合、北半球500mb面では、前記の正相関域で高度が負偏差となるから、偏西風波動の谷は深まり、いわゆる波数3のパターンが形成、強化され、低指数型の循環パターンとなる。したがって、日本、ヨーロッパ、北アメリカ南東部を中心とする地域に極寒気が流入しやすくなる。特に、相関係数0.8以上を示す日本付近では低温化がより一層明瞭に現われる。しかし、このような時には、シベリア、北アメリカ西部などでは逆に高温となりやすい（三上、1978参照）。1963年にその典型例をみることができる。

次に、関東全域が高温化する場合を考えてみよう。この場合、成分スコアは正で、しかもその絶対値は大きくなる。北半球500mb面では、正相関域で高度が上昇し、負偏差域で高度が低下する。すなわち、偏西風波動の振幅が小さくなり、半球的に高指数型の循環パターンが形成される。したがって、極寒気は高緯度地方に蓄積されるが、日本付近では寒気の南下が阻まれ高温化しやすくなる。1964年、1972年などがその典型例である。

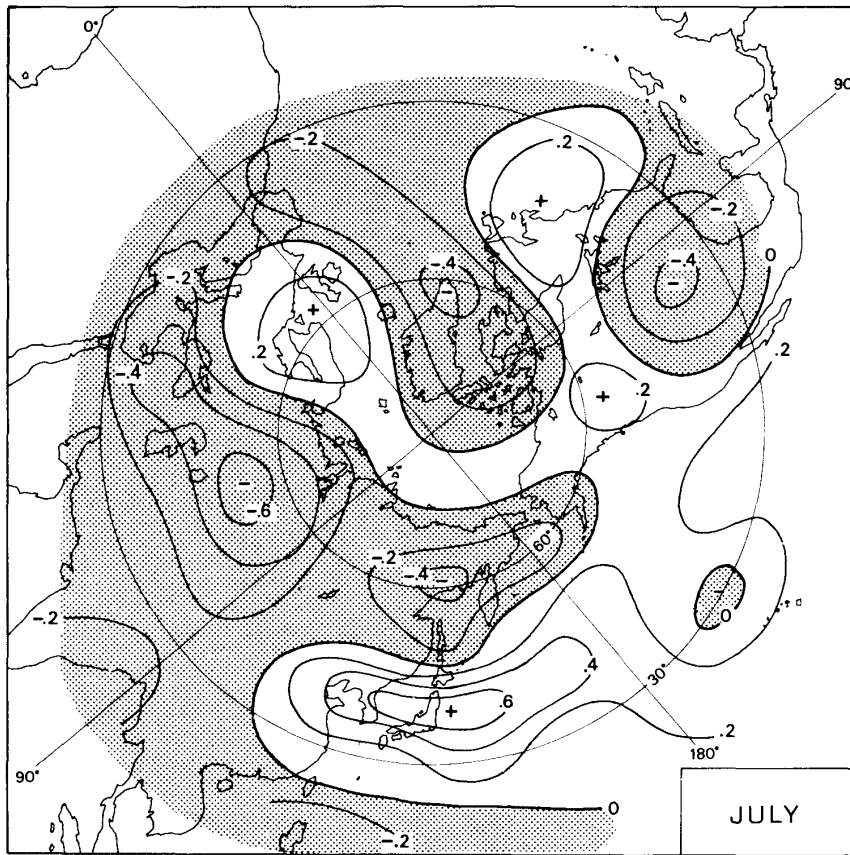
以上のように、1月最低気温の第1成分は、半球的な大気大循環の変動と密接に関連していることが明らかになった。

7月最高気温の場合：1月の場合と同様に、第1成分と500mb面高度との同時相関図を作成した（第11図）。全体的なパターンは、1月のそれと類似している。北アメリカにおける正・負両相関域が1月の場合よりも東にずれている点と、半球的に高相関域が1月に較べて小さい点に差が認められるが、冬季・夏季の循環パターンの相異を考慮すれば、両者はむしろよく似ていると言えるだろう。

まず、7月最高気温が関東全域で高くなる場合を想定する。この場合、日本付近を中心とする北太平洋西部域では500mb面高度が上昇する一方、オホーツク海周辺域では高度の低下が起こり、両者の境界域では前線帯が北偏し、日本列島は北太平洋高気圧の支配下にはいり全国的に高温化する。1955年、1961年、1973年などがその典型例といえよう。

次に、関東全域が低温化する場合を考察する。500mb面高度場は、上記とは逆に、日本付近で負偏差、オホーツク海で正偏差となり、偏西風帯の南下と北太平洋高気圧の衰退、さらにオホーツク海付近にはブロッキング高気圧の形成も想定される。したがって、全国的に気温は低下する。典型例としては、1954年、1974年をあげることができる。

#### b) 第2成分の都市気候学的考察



第11図 7月最高気温の第1成分と500mb面高度との同時相関図(1946—1975)

Fig. 11 Simultaneous correlation fields between the first component scores of July maximum temperature and the 500 mb heights in July, 1946—1975.

第2成分の地理的分布の特徴は、対象地域内における符号の逆転によって表現される。第1成分が関東全域からさらに日本全域におよぶ広域の変動成分であるのに対して、第2成分は局地的な変動成分であるといえよう。特に、都市域と非都市域(郊外)の変動傾向に差異をもたらす要因と密接な関連をもつと考えられる。

1月最低気温：都心部を中心とする同心円状のパターンから類推されるように、冬季最低気温の第2成分は、都市的要因と非都市的要因に支配される地域を分離する変動成分と考えることができる。この場合成分の意味づけや解釈にあたっては、都市の拡大・発展を表わす何らかの指数(人口密度、エネルギー消費量など)との相関関係を分析・検討する必要があるが、それについては別の機会に論じたい。ここでは、成分の地理的パターンと時間的変動の特徴を記すにとどめる。

第5図(b)で示したように、東京都心部を中心に、主として北西方向と南東方向に長円形に広がる「都市気温変動域」が分布し、その周辺部には、これとは逆の変動傾向を示す「非都市



気温変動域」がひろがる。また、第9図で示したように、第2成分の変動傾向は、1960年代中頃を境に不連続的に変化しているが、その要因としては、高度経済成長に基づく都市域でのエネルギー消費量の増大や首都圏への人口集中などが考えられる。

7月最高気温：冬季の場合と同じく、局地的要因に支配される成分といえる。1月最低気温の第2成分との相異点は、都心部を中心とする同心円状の構造が認められず、むしろ都心部、都心周辺部、非都市部といった3重の構造になっていることである。このため、都心部の気温変動傾向は、見かけ上、非都市域（郊外）のそれと相関が高くなっている。判断材料をもち合わせていないので確言はできないが、都市中心部における大気汚染等が地表面への到達放射量を弱め、最高気温の上昇を抑制ないし下降へと導びく可能性を示唆している。都市化の影響を受けにくい地域での気温低下傾向は、より広域における気候変動と結びついていると考えられる。いずれにせよ、冬季の第2成分に比較すると、夏季の第2成分は寄与率が半分以下であり、成分の解釈にはさらに厳密な検討が必要とされる。

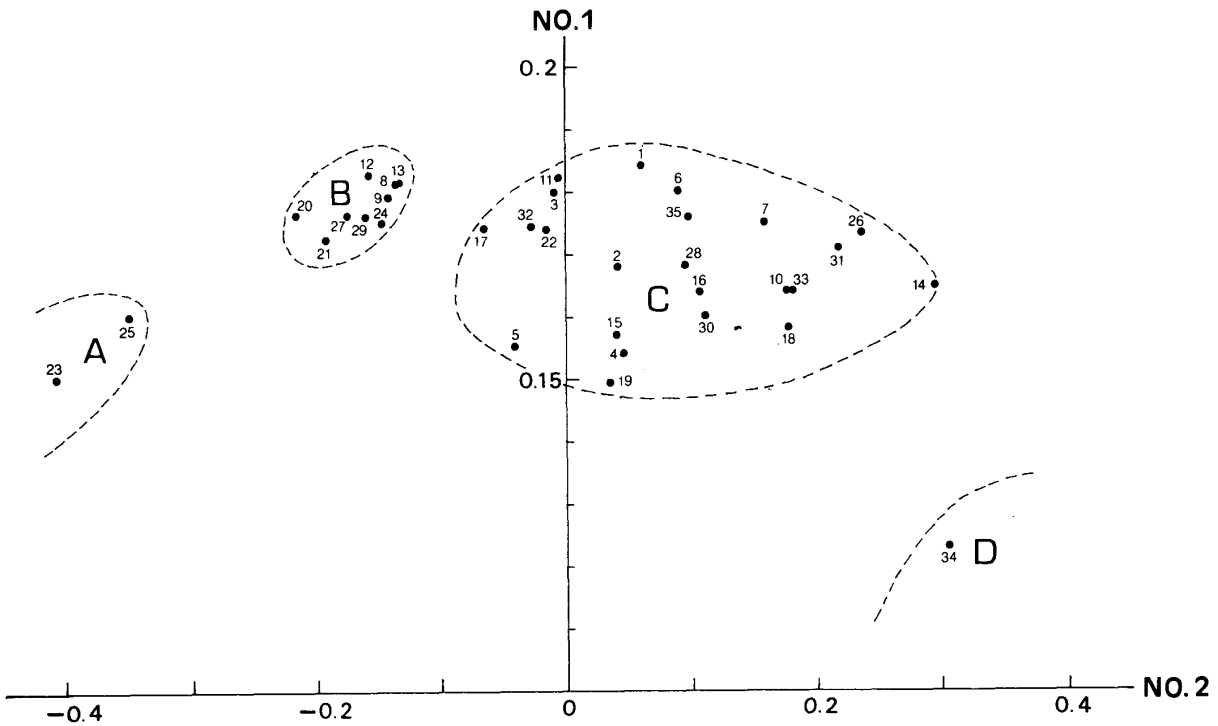
## V 主成分にもとづく気候地域区分

これまでの分析から、都市およびその周辺域の気温変動には主要な2つの変動成分が存在することが明らかになった。すなわち、第1は都市・非都市を含めた広い範囲を同時に支配する変動成分であり、全変動の75%以上を占める。第2は、局地的な変動成分であり、主として都市域と非都市域とを分離する要因に規定されるが、その説明率は5%（冬季）ないし2~3%（夏季）と第1成分に較べると著しく小さい。

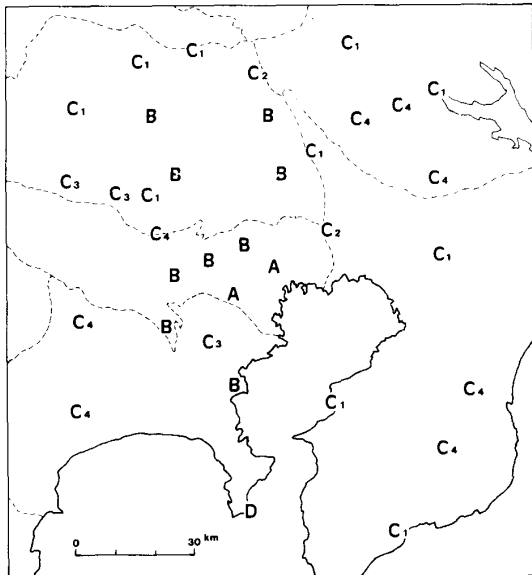
本稿のはじめにも述べたように、従来の都市気候研究、とりわけ都市気温に関する研究では、都市と郊外の気温差を議論することがよく行なわれるが、都市と郊外の境界は必ずしも明確でなく、主観的・定性的判断にもとづく場合が多い。そこで、都市気温がもっとも明瞭に現れる1月最低気温の主成分分析にもとづいて対象地域の気候地域区分を試みる。

まず、1月最低気温の主成分分析の結果得られた第1成分と第2成分の固有ベクトル散布図を作成した（第12図）。図上で相互の距離の近い地点は類似の変動傾向を示し、距離が遠くなるほどその類似度は小さくなる。縦軸に第1成分、横軸に第2成分をとった場合、都市的変動要因に支配される割合は、第1象限では小さく、第2象限では大きい。そこで地点の散布状態にもとづいて、AからDまでの4つのグループに分類した。Cについては、第3成分の散布状態（図省略）を考慮して、さらにC<sub>1</sub>からC<sub>4</sub>に小区分した。この結果を地図上に示したのが第13図である。各気候地域の特徴をまとめると次のようになる。

A地域：東京（気象庁）と世田谷がこれに該当する。30年間の気温上昇傾向が周辺地域に比較して著しく大きい。都市気温変動域の核心をなす地域である。



第12図 1月最低気温の固有ベクトル散布図 縦軸：第1成分 横軸：第2成分  
 Fig. 12 Scatter diagram of eigenvectors for two components.



第13図 1月最低気温の主成分分析にもとづく気候地域  
 Fig. 13 Climatic region based on P. C. A. of January minimum temperature.

B地域：図上ではA地域をとり囲むように分布しており、東西方向よりも南北方向にのびるパターンを示している。都市気候の影響を受け、30年間の気温変動には上昇傾向が認められる。いわば都市近郊型の気温変動地域といえるだろう。

C地域：C<sub>1</sub>～C<sub>4</sub>の4地域に細分できるが、C<sub>1</sub>は第2成分の寄与率が小さく、30年間の気温変動には明確な傾向が認められない。都市域から非都市域への漸移地域と考えられる。C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>は第3成分を考慮して区分したが、地理的には主としてB地域に隣接した地域に分布することがわかる。C<sub>4</sub>ではかなり明瞭な気温低下傾向が認められ、都市的要因を受けにくい非都市型の気温変動を示している。

D地域：この地域に該当するのは剣ヶ崎（三浦半島）のみである。第1成分の寄与率がかなり低く、他地域とはかなり異質の気温変動傾向を示す地域といえよう。岬という海にかこまれた条件が影響しているものと思われる。

## VI おわりに

東京とその周辺域における気温変動には、半球的な循環パターンの変動によって説明できる広域の変動成分と、都市的要因等に支配される局地的変動成分とが寄与していることが明らかになった。特に、冬季の最低気温には、都心を中心に同心円状ないし南北方向にのびる楕円状の都市気温変動域と周辺非都市域とにおいて、明らかに異なった変動傾向が認められる。このような都市域を中心とする気温分布パターンは、従来からヒートアイランドと呼ばれ、日本を含む世界の諸都市で研究がすすめられてきているが、変動傾向の差異にもとづいて都市気温域を設定しようとする試みはあまりなされていない。今回の報告のような比較的狭い地域での気温分布パターンを扱う場合、観測点の密度や分析期間中の地点の移動・廃止など多くの問題点があり、適用可能地域が限定される。はじめにも述べたように、メソスケールの気候を議論するのに十分な数の観測点と長期間にわたって均質な観測データの蓄積が何よりも必要とされるであろう。

本研究には昭和53年度文部省科学研究費（研究代表者：西川 治，課題番号：358089）の一部を使用した。また、本研究で行なった計算には東京大学大型計算機センターのHITAC 8800/8700を使用した。

## 注

- 1) 東京（気象庁）の露場は、1966年に移転しているが、それによる補正は行っていない。気象庁(1971)：日本気候表（その1）においても、東京は移転による接続統計ができなくなった地点に含まれていない。加藤：森（1971）は、移転による気温の上昇を0.4~0.5℃（冬季）と見積もっているが、仮に上昇分を差し引いても、明らかな上昇傾向を示す。
- 2) 吉野（1977）も、1941~1970年の30年間について、東京の気温上昇率を1次回帰係数で示している。
- 3) 一般に、全変動中で最大の変動成分が第1成分として抽出され、次に残余の変動のうちで最大のものが第2成分として求まる。以下、同様にして、第3成分以下の変動成分が求まる。本研究の場合、変数が35（地点）であるから、計算上は第35成分まで求まることになる。
- 4) 各変数（地点）の各変数全体変動に対する寄与率は、次式から求められる。
$$q_{ij} = \lambda_{ij} \times l_{ij}^2 \times 100 (\%)$$
ここで、 $q$ は寄与率、 $\lambda$ は固有値、 $l$ は固有ベクトルを表わす。因みに、1月最低気温の固有値は、第1成分が27.1、第2成分が1.9である。
- 5) 本稿では、冬季の最低気温と夏季の最高気温の2例についてのみ、その時間的変動を検討する。
- 6) グラフを見やすくするために、第2成分の時系列は、上方を負、下方を正にとってある。

文 献

- 荒川秀俊 (1971) : 気温と湿度の経年変化にあらわれた都市発展の影響, *天気*, **18**, pp. 471—473.
- 加藤久雄・森幾也 (1971) : 大都市における気温上昇について, *天気*, **18**, pp. 597—601.
- 河村武 (1977) : 都市気候の分布の実態, *気象研究ノート*, **133**, pp. 204—225.
- 榎根勇 (1960) : 東京における都市域の拡大にともなう気温の上昇, *天気*, **7**, pp. 269—274.
- 三上岳彦 (1978) : 北半球における気候変動の地域差に関する動気候学的研究, *地理学評論*, **51**, pp. 38—59.
- 三沢正 (1977) : 東京における「都市温度」の永年変化, *東北地理*, **29**, p. 238.
- 吉野正敏 (1977) : 日本および外国の諸都市における気候の変化, *気象研究ノート*, **133**, pp. 1—25.
- Budyko, M. I. (1969) : The effect of solar radiation variations on the climate of the earth, *Tellus*, **21**, pp. 611—619.
- Landsberg, H. E. (1957) : Review of climatology, 1951—1955. *Met. Monograph*, **3**.

# Secular Variations in Temperature Patterns in and around the Tokyo Metropolitan Area

by

Takehiko MIKAMI

## Contents :

- I Introduction
- II Study area and used data
- III Regional difference of temperature trend
- IV Principal component analysis of temperature fields
- V Climatic division based on P.C.A.
- VI Concluding remarks

Temporal and spatial structure of temperature variations in and around the Tokyo metropolitan area was studied using statistical methods. Principal component analyses of maximum and minimum temperature fields in January and July were applied to the data set of 35 climatological stations during the period 1946-1975.

As a result, more than 80 percent of the cumulative variance was explained by the first and second components. Spatial eigenvector patterns indicate that the first component is related to the variations in global circulation patterns and that the second component is connected with the urbanization in the metropolitan area, especially in case of minimum temperature fields in January. Time series of the second component scores show remarkable change around the mid 1960's. This is also in parallel with the rapid urbanization in this period.