

東京におけるヒートアイランドの時空間構造とその長期変動

1. はじめに
2. 資料と解析方法
3. 結果と考察
4. おわりに

三 上 岳 彦*

要 約

一般に、都市中心部では郊外よりも気温が高くなるヒートアイランド現象が認められるが、東京のような大都市ではその規模も大きく顕著になることが予想される。本稿では、まず第1に、東京都環境科学研究所と東京都立大学による共同研究の一環としておこなわれた東京のヒートアイランド実態観測調査の結果をもとに、東京のヒートアイランドの時空間構造を明らかにするとともに、ヒートアイランド形成要因について若干の考察を試みた。その結果、冬季の日最低気温分布では、都心部を中心とする典型的な同心円状の構造が現れたが、夏季の日最高気温分布においては、高温部の中心が内陸側へ移動し、埼玉県境付近がもっとも高温となることがわかった。また、このような時には、都心部・湾岸部の気温はむしろ低下する傾向を示した。

第2に、都心部に位置する気象庁の気温データ(1876-1994)をもとに、ヒートアイランドの長期変動特性を明らかにした。その結果、日最低気温は季節にかかわらず上昇傾向を示すが、日最高気温には明瞭な上昇傾向は認められず、近年はむしろ低下傾向を示す場合も認められた。その結果、気温の日較差は全般に減少傾向を示しているが、これは雲量の長期変動とも密接な関連のあることがわかった。

1. はじめに

一般に都市内部の気温は周辺部よりも高くなりやすく、等温線を描くと島状の高温域が出現することから、ヒートアイランド(熱の島)と呼ばれるが、東京のような巨大都市の場合は、その規模も大きく、都市化の進行とともにヒートアイランドそのものが拡大していくと考えられる。東京の

場合、従来の研究において都心部を中心とするヒートアイランドの存在が確認されているが、都内における気象庁管轄の常時観測点はAMeDASを含めても10地点に満たないため、ヒートアイランドの季節変化や日変化の実態、海陸風との関連などについては十分に解明されていない。

一方、都市の発展にともなって都市内部の気温は上昇し、ヒートアイランド自体も拡大・強化すると考えられる。また、二酸化炭素などの温室効

* 東京都立大学理学部

果気体の増加によって、地球規模の平均気温も上昇しつつあるが、東京のような巨大都市の場合は都市気候の影響の方が明瞭に現れる可能性が高い。東京の年平均気温は最近約100年間で2℃以上も上昇しており、グローバルな平均気温の上昇をはるかに上回っている(伊藤,1992;伊藤ほか,1992)。

最近、日最高気温・最低気温や両者の差である気温日較差の長期変動が、地球規模の温暖化や都市気候との関係で注目されている(Karl et al., 1993; 野口,1994)。従来、気温の長期変動を議論する場合、日平均気温を用いることが多かったが、日最高気温と日最低気温の月平均値や年平均値が異なった長期的変動傾向を示すこともあるため、両者の変動を区別して議論する必要がある。Karl et al.(1993)によれば、最近約40年間に、世界の多くの地域で日最高気温がやや低下傾向にあるのに対して、日最低気温は上昇傾向が顕著であるため、気温の日較差が小さくなる傾向にあるという。都市化の影響も考えられるが、日較差の低下をもたらしている直接的要因はまだ解明されていない。

本稿の目的は、第1に、東京のヒートアイランドの空間構造を気温分布図から明らかにし、その季節変化や日変化の特徴について考察することである。海陸風によるヒートアイランドの変形・移動についても検討する。第2に、都市規模が大きく、長期間の気象データが得られる東京について、過去約120年間の日最高気温、日最低気温および気温日較差の長期変動傾向を明らかにするとともに、変動要因の一つと考えられる雲量の長期変動との関連性を検討することである。

2. 資料と解析方法

東京都環境科学研究所と東京都立大学による共同研究の一環として、1992年8月から1年間、都内100地点で自記温度計(IBC社製マイクロデータロガー)を設置して、気温の連続観測を実施した。温度計は原則として小学校の百葉箱内に設置し、15分間隔で気温を測定しメモリーに記録されたデータを回収して利用した。

次に、東京の気温長期変動の解析に用いたデータは、東京管区気象台(千代田区大手町)の日最高気温と日最低気温の月平均値および雲量の月平均値で、1877年から1994年までの118年間の累年値である。

上記の月平均データ(最高・最低気温の日平均値)を12ヶ月平均して年平均値を求めるとともに、各季節別の平均値を求めた。季節区分は、12月・1月・2月の平均値を冬季、3月・4月・5月の平均値を春季、6月・7月・8月の平均値を夏季、そして9月・10月・11月の平均値を秋季とし、冬季については1月・2月を含む年で表示した。例えば、1993年12月は1994年の冬季に含まれる。

気温日較差は、単純に日最高気温の平均値から日最低気温の平均値を差し引いて求めた。東京のデータは1876年から得られるが、冬季については1875年12月のデータが得られないため、1877年から1994年までの118年間を分析の対象とし、長期変動傾向をみるために、11年間の移動平均値をあわせて求めた。

3. 結果と考察

3.1 東京のヒートアイランドの時空間構造

(1) 日最低気温の年平均値分布の特徴

図1は、日最低気温の年平均値の分布を示している。都心部がもっとも気温が高く、13℃以上になっている。一方、西の郊外では10℃以下になっている。等温線を見ると、都心部を中心に23区内ではほぼ同心円状のパターンになっているが、市部にはいると西に向かってゆるやかに気温が低下し、三多摩地域で急激な気温の低下が認められる。このような詳細な都内の気温分布は、今回の観測によってはじめて明らかになった。

(2) 気温分布の季節変化

気温分布は、季節や時間帯によっても大きく変化すると考えられる。ここでは、冬季の最低気温と夏季の最高気温について、それぞれの空間分布の違いを検討する。図2は、冬季(1992年12月)における日最低気温の月平均値の分布を示してい

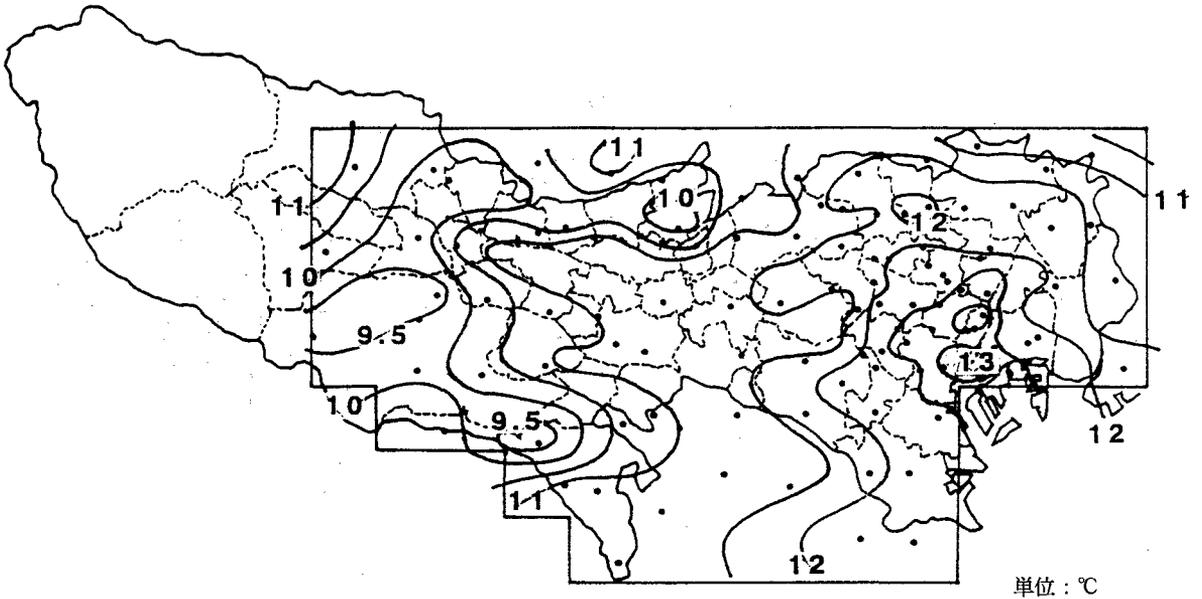


図1 東京（気象庁）における日最低気温の年平均値の分布（1992. 8. 1～1993. 7. 31）

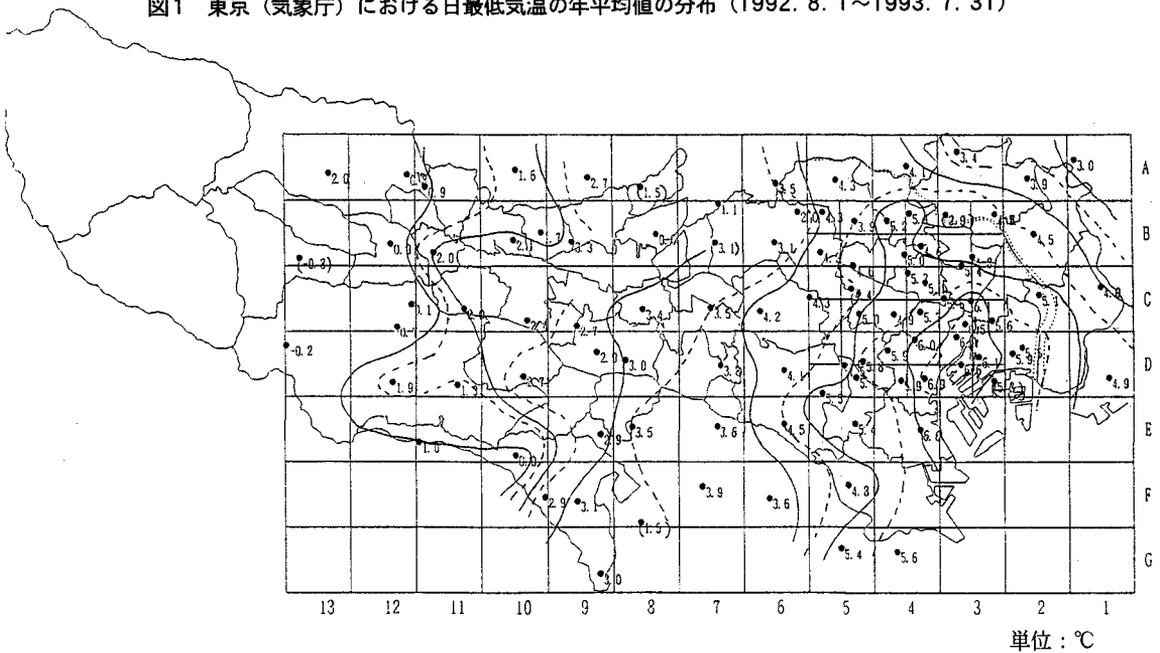


図2 冬季（1992年12月）の日最低気温分布

る。日最低気温は、通常は夜半から早朝にかけて出現することが多い。都心部で6℃以上となっているのに対して、西の郊外では2℃以下になっており、ヒートアイランド強度（都心の高温部と郊外の低温部との最大気温差）は4℃以上に及ぶ。

図3は、夏季（8月）における日最高気温の月平均値の分布を示している。冬の最低気温でヒート

アイランドの中心になった都心部・湾岸部は、30℃以下と比較的低温で、ヒートアイランドの中心は23区の北部から内陸部および目黒区付近に移動していることがわかる。また、西の郊外でも30℃以下になっている。このように、年間でもっとも気温が高くなる夏季の日中は、最低気温時のような都心部を中心とする同心円状ヒートアイランド構

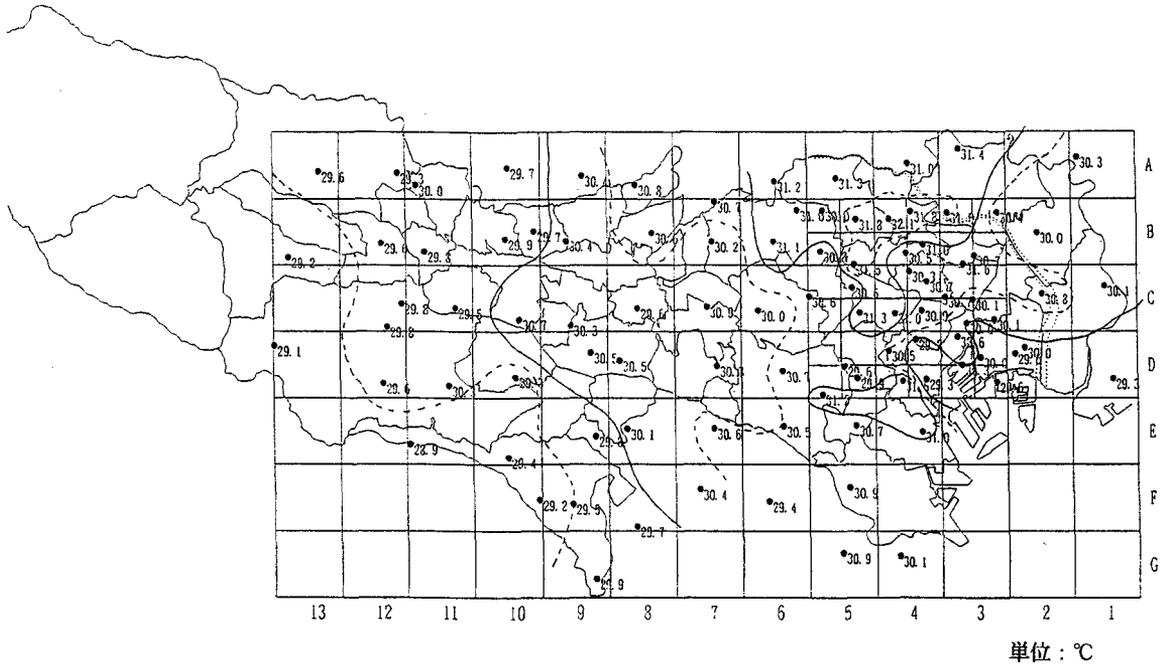


図3 夏季（1992年8月）の日最高気温分布

造がまったく見られない点に特徴がある。特に興味深いのは、千代田区・中央区・港区といった都心部・湾岸部がむしろ低温域になっている点である。これは、後述するように、東京湾からの海風の移流による冷却効果が大きく寄与していると考えられる。

(3) 海風の移流効果に関する考察

夏季の日最高気温に見られた高温部の移動は、この季節に卓越する東京湾からの海風と密接な関連があると考えられる。藤野ほか（1996）は、東京と周辺部の夏季の風系を三つに分けてそれぞれ異なって形成される気温分布に対する都市の効果を見積もるために、数値モデルによる現象再現実験を試みている。それによると、午前中に弱い北風が卓越し、日中から午後にかけて海風が発達し南よりの風が吹く日には、午前8時の気温分布でみると都心部を中心とするヒートアイランドが出現するが、午後3時には東京湾からの南よりの海風の影響を受けて、高温部が埼玉県方面に移動し、湾岸部はむしろ低温域になるという結果を得ている。

このことから、夏季の日中に南よりの風が卓越する気象条件下では、主として東京湾からの海風の移流による冷却効果によって、都心部・湾岸

部に低温域が形成されるとともに、高温部が東京都北部から埼玉県方面の内陸部へ移動することが予想される。

3. 2 東京の気温長期変動の特性

(1) 気温日較差の長期変動傾向

図4は気温日較差の年平均値の長期変動を示している。1870年代以降、年々の変動をくり返しなが

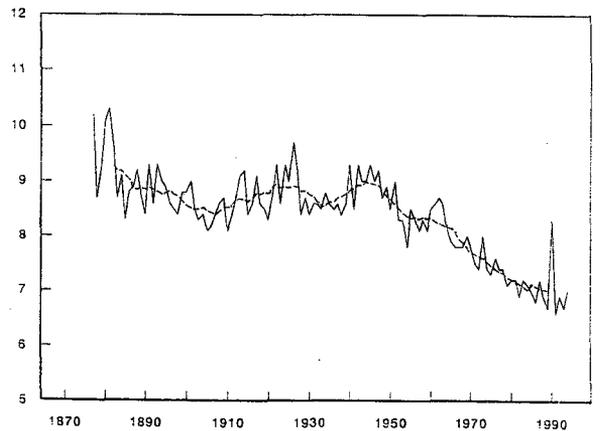


図4 東京（気象庁）における気温日較差の年平均値（°C）の長期変動（1887 - 1994年）
（破線は11年移動平均値）

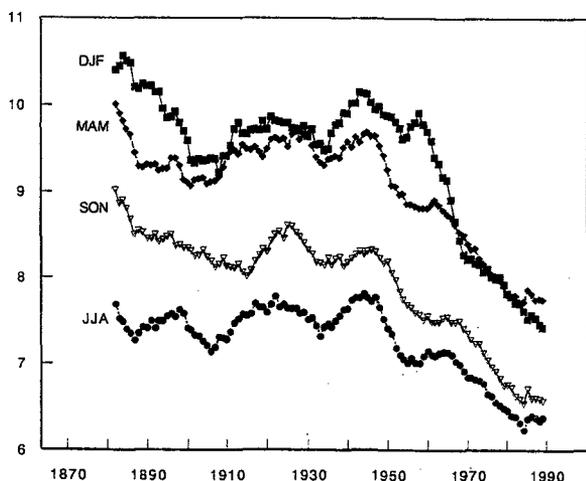


図5 東京（気象庁）における季節別の気温日較差（°C）の長期変動（11年移動平均値）
 DJF：冬（12, 1, 2月） MAM：（3, 4, 5月）
 JJA：（6, 7, 8月） SON：（9, 10, 11月）

らも1940年代までは、8.5～9.0°Cの範囲で推移していたが、1950年代以降は顕著な減少傾向を示し、現在では7.0°C程度にまで低下している。

季節別に見ると、図5に示されるように、変動傾向にはやや差異が認められる。日較差の減少傾向が最も明瞭なのは冬季（DJF）で、1950年代までは9.5～10°Cであったのが1960年代以降に急減し、1970年代から現在までは春季（MAM）とほぼ一致した変化を示し、最近では7.5°C程度にまで低下している。春季については、1960年代以前は冬季よりも0.5°C程度低かった。夏季（JJA）は気温日較差がもっとも小さくなるが、1950年代までは7.5°C前後で推移していたのがその後減少傾向を示し、最近の日較差は6.5程度に減少している。118年間を通してもっとも減少傾向が明瞭なのは秋季（SON）で、1920～1940年代を除いてほぼ一方的な日較差の減少傾向が読みとれる。以上のように、日較差の減少傾向は秋季と冬季にもっとも大きく、夏季の減少傾向がもっとも小さい。この結果は、Karl et al.(1993) が示した1951年以降のグローバルな気温日較差の変動傾向とも一致している。

(2) 最高気温と最低気温の変動傾向

気温日較差の減少は、日最高気温が低下傾向にある場合や、日最低気温が上昇傾向にある場合に

もっとも明瞭に現れるが、両者が複合すればさらに顕著な日較差の減少が生ずる。あるいは、日最高気温・日最低気温がともに上昇傾向にあっても、後者の傾向がより大きければ日較差は減少するであろう。両者が低下傾向にある場合でも、日最高気温の低下傾向がより大きければ日較差は減少する。したがって、気温日較差の変動傾向曲線だけからその要因を求めるのは困難である。

そこで、気温日較差の減少傾向がもっとも明瞭な冬季（12～2月）と減少傾向がもっとも緩やかな夏季（6～8月）について、それぞれ日最高気温と日最低気温の長期変動傾向の特性を調べた。

図6（a）に冬季の日最高気温と日最低気温の変動曲線を示す。最高・最低気温ともに1940年代ま

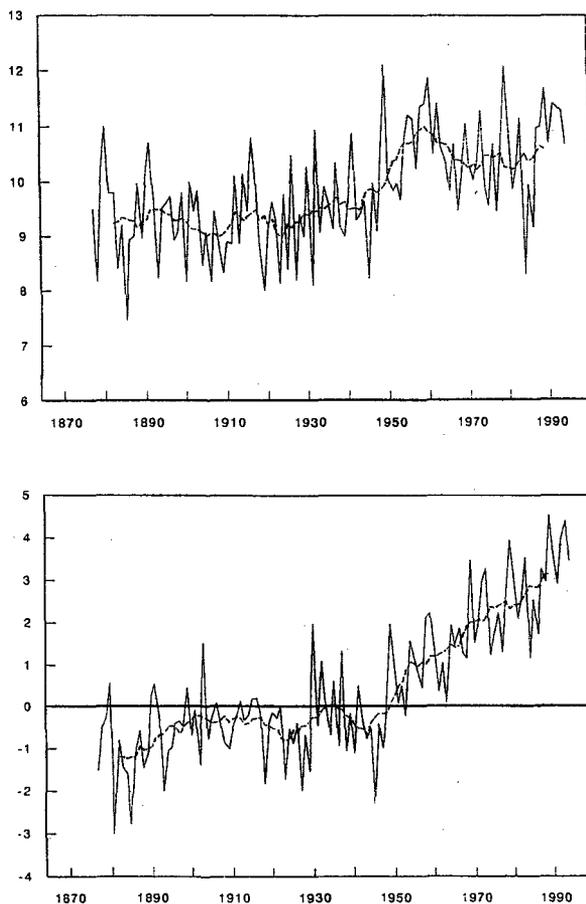


図6（a） 冬季（12～2月）の日最高気温（上図）・日最低気温（下図）の長期変動（1887～1994年）
 （単位は°C、破線は11年移動平均値）

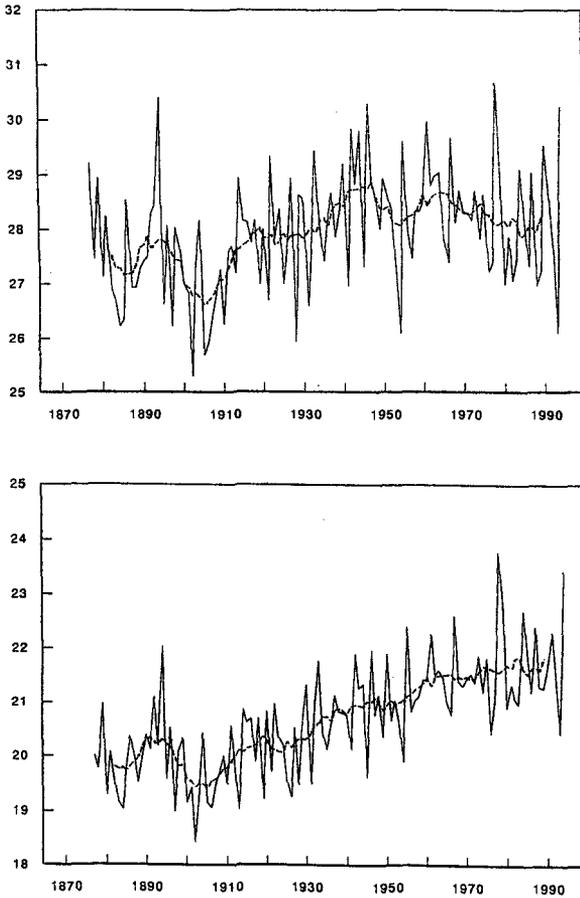


図6 (b) 夏季(6~8月)の日最高気温(上図)・日最低気温(下図)の長期変動(1887~1994年)
(単位は℃, 破線は11年移動平均値)

では大きな変化は認められないが、1950年代以降、日最低気温の上昇が著しい。1950年以前の冬季最低気温の平均値は大半が氷点下であったが、1950年代以降はプラスに転じ、最近では3℃前後まで上昇している。一方、日最高気温は1940年代から50年代にかけて約1℃程度上昇したが、その後はやや低下の傾向にある。したがって、1960年代以降は日最高気温が低下、日最低気温が顕著な上昇を示すことによって、気温日較差の減少が一段と明瞭になっている。

図6 (b) は夏季の日最高気温と日最低気温の変動傾向を示しているが、冬季とはやや異なった傾向を示している。冬季の場合、日最低気温の上昇

傾向は1950年代以降に現れたが、夏季の場合は1900年頃から上昇傾向が始まり、1960年代以降はむしろ上昇傾向が緩やかになっている。一方、日最高気温は1940年代までは日最低気温と類似の変動傾向を示していたが、1950年代以降は緩やかながら低下の傾向にある。したがって、気温日較差は前述のように1950年代以降は減少傾向を示している。

(3) 気温日較差と雲量の関係

これまで見てきたような気温日較差の長期的変動の要因はいくつか考えられる。Karl et al. (1993) は、世界各地の気温日較差の変動に影響を及ぼすと考えられる要因として、局地効果(ヒートアイランド、灌漑、砂漠化)と気候効果(積雪面積、風速、雲量、日射量など)を挙げ、気候効果の中では雲量が気温日較差の変動ともっとも関係が深いとしている。都市化にともなうヒートアイランド現象の影響については、都市の規模が大きくなるほど日最低気温を上昇させる効果が強まるが、グローバルに見た場合、気温日較差の減少傾向との関連性は不明瞭であるとしている。また、近年問題になっている二酸化炭素等の増加による温室効果の影響については、特に低層の雲量の増加が、間接的に温室効果ガスの増加や大気中のエアロゾルの増加と結びついているのではないかと推論している。いずれにせよ、多くの要因が重なって気温日較差を減少させていると考えられるが、ここでは長期間のデータが得られる雲量の変動との関係を検討する。

図7は、東京における気温日較差(実線)と雲量(破線)の長期変動傾向(11年移動平均値)を、(a)年、(b)冬季、(c)夏季についてそれぞれ示している。年平均の気温日較差と雲量の変動傾向をみると、1950年代までは、雲量が増加すると気温日較差が減少し、雲量が減少すると気温日較差が増大するというように、両者の間には逆相関が認められたが、最近40年間ほどについては、気温日較差の急激な減少と並行して雲量も緩やかに減少している。

気温日較差の減少が著しい冬季(b)についてみると、全体的な変動傾向は年平均の場合と類似し

ているが、雲量は1930年代に減少した後、変動を繰り返しながらやや増加の傾向が読みとれる。一方、夏季(c)の場合、1960年頃までは、気温日較差と雲量に明瞭な逆相関が認められるが、1960年代以降は両者の関係は不明瞭である。

以上の解析結果から、東京における気温日較差

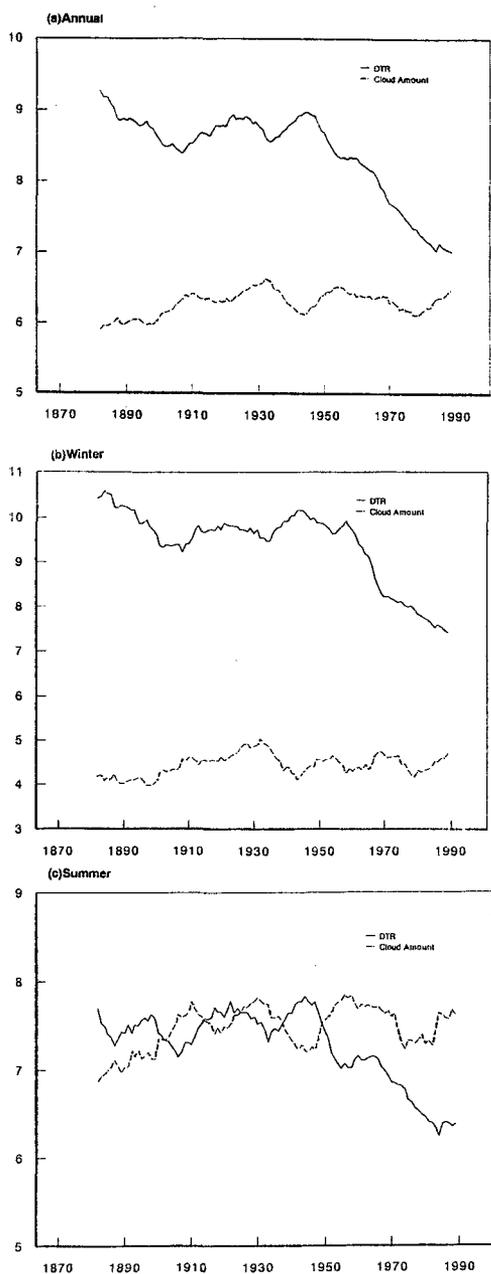


図7 東京(気象庁)における気温日較差(実線)と雲量(破線)の長期変動傾向(11年移動平均値)
上図：年平均 中図：冬季 下図：夏季

と雲量の長期変動との間には、Karl et al.(1993)が指摘するような逆相関は、季節や年代によっては必ずしも明瞭でないことが判明した。そこで、両者の関係が大きく変化したと考えられる1950年を境に、気温日較差と雲量、日最低気温の関係を検討してみた。図8は、1877~1950年の期間について、気温日較差と雲量の年平均値の関係をプロットしたものである。決定係数(相関係数の平方)が

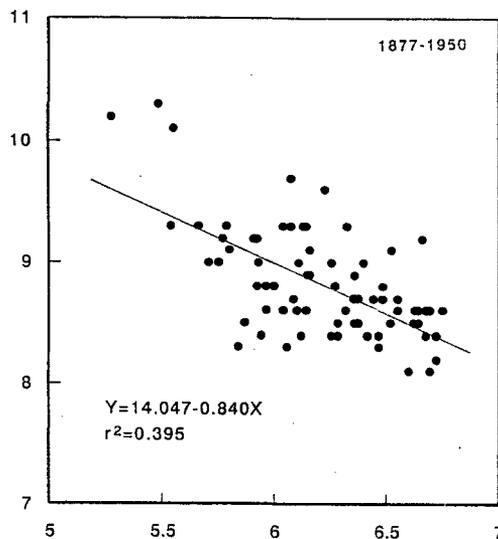


図8 1950年代以前の東京における年平均気温日較差(タテ軸)と雲量(ヨコ軸)の関係(1877-1950年)

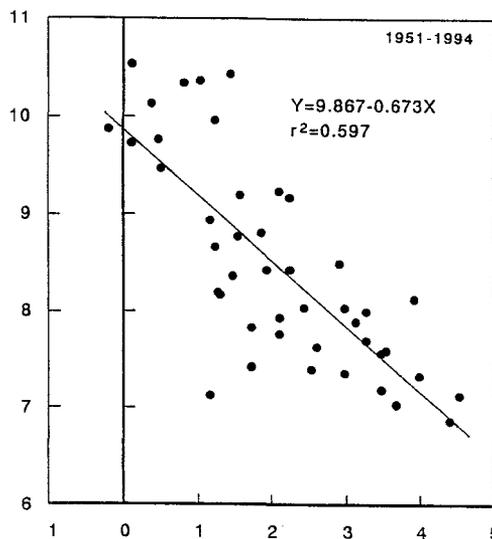


図9 1950年代以降の東京における年平均気温日較差(タテ軸)と日最低気温(ヨコ軸)の関係(1951-1994年)

0.395で、それほど高いとは言えないが、両者の間には負相関が認められる。したがって、少なくとも都市化の影響があまり強くない1940年代以前については、気温日較差の変動に雲量の増加・減少が影響していたと考えられる。

一方、最近では都市のヒートアイランドの強化によって、特に冬季の日最低気温は顕著に上昇しており(例えば、三上,1979;小元,1988;野口,1994)、それが気温日較差の減少に大きく寄与している可能性が高い。図9で示すように、1951年以降に限れば、冬季の気温日較差と日最低気温の間には高い負相関(決定係数0.597)が認められる。換言すれば、最近の冬季気温日較差の著しい減少は、伊藤ほか(1992)でも指摘しているように、ヒートアイランドの強化にともなう日最低気温の急激な上昇が大きく寄与していると言える。

4. おわりに

以上、東京のヒートアイランドについて、気温連続観測に基づいて時空間構造の一端を明らかにし、東京湾海風の移流効果についても若干の考察を試みた。また、東京における気温日較差の長期変動傾向について、日最高気温・日最低気温や雲量の長期変動ともあわせてその実態を明らかにし、日較差減少の要因について若干の考察を行なった。今回は、東京に焦点をあてて解析を試みたが、他の都市についても同様の解析を行なう必要がある。気温日較差の変動に関しては、形成要因は複雑であり、今後は雲量だけでなく他の気象要素との関係についても検討していきたい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、元東京都環境科学研究所の宇田川満・伊藤政志の両氏には、観測およびデータ処理等で全面的なご協力を頂いた。記して感謝の意を表したい。

なお、本研究の一部は平成8年度・科学技術庁“戦略的基礎研究推進事業”(代表:久保幸夫)によるものである。

参 考 文 献

- 1) 藤野 毅・浅枝 隆・和気亜紀夫「夏季の都心部周辺における気温分布特性に関する数値実験」、『地理学評論』69A, p. 817-831, 1996.
- 2) 伊藤政志「ヒートアイランド」、『環境管理』no.16, 東京都環境保全局, p. 75-81, 1992.
- 3) 伊藤政志・宇田川満・早福正孝「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, 1992.
- 4) Karl et al. *A new perspective on global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature*, Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 74, pp. 1007-1023, 1993.
- 5) 野口泰生「日最高・最低気温の永年変化に与える都市化の影響」、『天気』vol. 41, p. 123-135, 1994.
- 6) 三上岳彦「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」、『東京大学教養学部人文科学科紀要』no. 69, p. 30-49, 1979.
- 7) 小元敬男「都市と気候—人間活動と気候変化—」、『気象研究ノート』no. 162, p. 403-423, 1988.

Key Words (キー・ワード)

Heat Island (ヒートアイランド), Diurnal Temperature Range (気温日較差), Sea breeze (海風), Cloud Amount (雲量)

Urban Heat Island Phenomena and their Long Term Variations in Tokyo

Takehiko Mikami*

*Department of Geography, Tokyo Metropolitan University
Comprehensive Urban Studies, No. 60, 1996, pp. 77-85

Urban heat island phenomena, which are known as high temperature occurrences in the central part of a city, would be estimated to become much greater in a big city as Tokyo. This paper aims at clarifying the spatial and temporal structure of urban heat island phenomena in Tokyo. As there have been only several meteorological stations in Tokyo, it has been difficult to gain detailed isothermal charts which show both temporal and spatial patterns of urban heat island phenomena in Tokyo. Annual mean daily minimum temperature patterns show typical urban heat island phenomena in Tokyo, where the center of high temperatures can be seen in downtown Tokyo. However, in case of daily maximum temperature patterns, the center of heat island moves to northern inland area, whereas low temperature appears in downtown and bayside areas.

An attempt was made to clarify long term variations in daily maximum and minimum temperatures, and diurnal temperature ranges in Tokyo for the last 120 years. The results show that daily minimum temperatures have increased rapidly since 1950s, and that diurnal temperature ranges have decreased remarkably since 1940s.