

# 乾季デリーにおけるヒートアイランド現象と 土地利用・街区構造との関係性

石坂泰斗<sup>1</sup>・亀卦川幸浩<sup>2</sup>・Manju MOHAN<sup>3</sup>・Bhola Ram GURJAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学 (工) 明星大学大学院理工学研究科環境システム学専攻 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

E-mail: 09mb001@stu.meisei-u.ac.jp

<sup>2</sup>博 (工) 明星大学准教授 理工学部総合理工学科環境・生態学系 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

E-mail: kikegawa@es.meisei-u.ac.jp

<sup>3</sup>Centre for Atmospheric Sciences, Indian Institute of Technology-Delhi, Delhi, India

E-mail: mmohan65@yahoo.com

<sup>4</sup>Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee, India

E-mail: brgurjar@gmail.com

乾燥期におけるデリー市内に数km間隔で27の地上気象要素観測点を設定し観測した結果、都心街区を中心に夜間に高温域が形成された。一方、都市内公園緑地では低温域が形成され、一般的なヒートアイランドの空間分布を確認した。夜間には都市内外で8.5℃、都市内部で8.9℃といった大きな気温差が確認され、都市内部の熱環境の差が大きいたことが示唆された。また、最大ヒートアイランド強度の出現時刻は22～23時頃であった。同じ乾燥期であっても、降水量が少なかった月における観測からヒートアイランド強度の増大を確認した。都市キャノピーにおける天空率と最低気温との間で正の相関がみられ、街区構造と気温変化の特徴の関係性が抽出でき、今後の都市気象数値モデルの検証にも役立つ結果が得られた。

**Key Words :** *urban thermal environment, heat island, heatisland intensity, Delhi, sky view factor, urban canopy, urban micro-scale climates*

## 1. はじめに

今後 20 年程度の間に世界人口の増分の過半に相当する人口増加が予測されるアジアの都市域では、エネルギー消費や廃棄物の急増に伴い、大気・熱環境等の地域環境質の劣化や温室効果ガス排出の増加が進行している。このような背景のもと、本研究ではアジア低緯度域の代表的な巨大都市の一つであるインド国デリーを対象とし、同都市域における気候・熱環境の現況把握を試みた。これらは一般的にヒートアイランド現象として捉えられることが多い。先行研究では既にデリーにおけるヒートアイランド現象が確認されている。例えば、Padmanabhamurty and Bahl (1984) <sup>1)</sup>はデリーにおける3月の最低気温出現時刻の平均ヒートアイランド強度が6℃であることを示した。また、Padmanabhamurty (1979) <sup>2)</sup>はデリーにおける3月のヒートアイランド強度の時間変化から、20時頃と早朝にそのピークがあり、後者のピークの方が大きいことを示した。また、Jauregui (1997) <sup>3)</sup>はデリーと同様の亜熱帯気候で内陸に位置するメキシコ・シティのヒートアイランド強度が日没直後にピークを迎えることを

示した。加えて、Padmanabhamurty (1979) <sup>2)</sup>、Bahl and Padmanabhamurty (1979) <sup>4)</sup>は3月のデリーの地表面被覆別の夜間気温減率を解析し、早朝に大きなピークがあることを示した。更に、建物密集度が異なる市街地や、大規模な公園緑地、裸地等の土地利用が複雑に混在したデリーでは局地的な高温域や低温域が数多く存在し、市街地とそれを取り囲む郊外緑地といった単純な土地利用分布の都市と比較し、ヒートアイランドの形成が分断・抑制されている可能性を指摘した。

しかし、これらの研究結果は1980年代以前のものであり、以後30年程度の間に急速な人口増加と経済成長を遂げた現在のデリー都市圏におけるヒートアイランド現象の実態は不明である。よって、この点を明らかにすると共に、数値シミュレーションにもとづく都市の熱環境の改善と省エネ策の評価に向けて基礎データを取得することが本研究の目的である。

## 2. 観測方法

### (1) 観測期間と観測地点

デリーには主に3つの明瞭な季節がある。4～6月は降水量が少ない高温な夏、7～9月は雨量が多いモンスーン期、11～2月は低温で乾燥な冬である。その間の2～3月は春、10～11月はポストモンスーン期とも呼ばれている。本研究では、インド工科大学大気科学研究中心の研究グループの協力を得て、デリー都市圏において2008年5月25日～5月29日及び2010年3月6日～3月11日の乾燥期に、地上気象要素の多点連続計測を行った。起伏の少ないデリー市内とその周辺に数km間隔で計28の地上気象要素観測点を設定し、加えて3地点では建物屋上に総合気象観測器を設置し、計31の定点で観測を行った(図-1)。観測点の選定は、32km四方のデリー市内を8km四方のグリッドに刻み、各グリッドの土地利用を代表する地点を選択する方法に依った。更に、デリー市内の南部には区域内での地表面被覆の相違が気温・比湿にもたらす微気象スケールの影響を把握すべく、観測点をより密に選定し、高密度観測エリアを設定した。

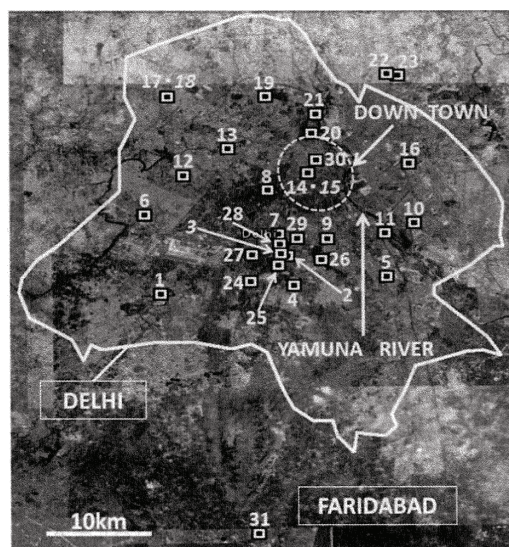


図-1 デリー都市圏の定点観測点。地点3・15・18は総合気象観測器設置場所、その他は地上気象要素観測点。(衛星画像はGoogle Earthより引用)

### (2) 使用測器

2008年の観測にはおんどとりJr.RTR-52, RTR-72を、2010年の観測にはおんどとりJr.RTR-72, RTR-53 (いずれ

もT&D社製)をそれぞれ組み込んだ自作熱環境測定器(重田ほか 2007)<sup>9)</sup>(図-2)と総合気象観測器(Vantage PRO2; Davis社製)(図-3)を用いた。自作熱環境測定器は自然通風式で、地上1.5mに設置した。2008年の観測では1分間隔で乾球・湿球温度を計測した。2010年の観測では気温・相対湿度または湿球温度を1分間隔で計測した。総合気象要素観測器では気温、相対湿度、風向・風速、降水量、日射量について地点3では30分毎、地点15と18では5分毎に計測した。



図-2 自作熱環境測定器



図-3 総合気象要素観測器

### (3) 器差補正

各自作熱環境測定器の系統誤差を減ずることを目的に、観測前にキャリブレーションを行った。キャリブレーションには基準器としてアスマン通風式乾湿計(SK-RHG; 佐藤計量機器製作所; 気象庁検定付)を使用した。器差補正の結果、気温に関しては、2008年の観測では観測値の10分平均を、2010年の観測では1分毎の観測値を補正することで平均 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の精度が確認できた。観測値をもとに比湿も算出し、器差補正をした結果、2008年の観測では平均 $\pm 0.33\text{g/kg}$ 、2010年の観測では平均 $\pm 0.24\text{g/kg}$ の精度が確認できた。

### 3. 観測結果

#### (1) 観測期間中の気象条件

デリーにおける3月と5月は一般に降水量が少なく、特に5月は高温であるといわれている。しかし、2008年5月の観測期間前には断続的な降水があり、観測期間の26日にも9時20分～10時55分に6.8mmの降水があった。気温も平年より低い日が続いた。観測終了2日後に再び雷雨があり、それ以降5日間は晴天が続いた。2010年3月の観測期間中は概ね晴天が続き、安定した天候であったが、3月7日未明に1mm未満の小雨が観測された。その後、4月2日まで降雨は観測されなかった。

#### (2) 土地利用分類

都市気候は単に「都市」と「郊外」の単純な土地利用区分と気温の比較のみでは、その都市気候の特性の詳細を表現できない可能性がある。そこで、Stewart and Oke<sup>9)</sup>が提案した土地利用分類にもとづくLocal Climate Zone（以降LCZ）の解析手法を適用した。都市域を各種の土地利用パラメータにもとづき、19種類の土地利用に分類し、その各土地利用の分類域毎に都市気候を評価しようとする方法である。分類は観測点を中心とする半径250mの領域の土地利用パラメータにもとづいた。分類の結果を表-1に示す。LCZの定義は表-1に示した天空率、建蔽率、roughness class<sup>7)</sup>（粗度長別に階級分けしたもの）の他にアルベド、熱慣性、人工排熱もある。しかし、アルベドと熱慣性は実測値がなく、人工排熱はその推計値が多く観測点で定義の閾値より小さかったため、対象としなかった。LCZの分類における人工排熱の閾値は先進国を対象としたためと考えられる。表-1には分類の際、Stewart and Okeの定義と整合しないながらも最終的な分類結果に至った理由も示してある。表中の下線付き数値は定義と不一致であった項目である。川辺地の分類はLCZには掲げられていなかったが、解析に加えた。

表-1 観測点の土地利用分類結果。土地利用項目のAは密集中心ビル街、Bは非密集ビル街、Cは密集住宅街、Dは非密集住宅街、Eはオープンスペース、Fは森林、Gは川辺地を指す。

| 地点<br>No. | 天空<br>率      | 建蔽率<br>(%) | roughness<br>class | 土地<br>利用 | 決定理由            |
|-----------|--------------|------------|--------------------|----------|-----------------|
| 1         | 0.801        | 30-40      | 6                  | E        | -               |
| 2         | <u>0.465</u> | 40-50      | 6                  | D        | 樹木が多かった<br>事を考慮 |
| 4         | 0.868        | 50-60      | 6                  | D        | -               |
| 5         | 0.835        | 30-40      | 6                  | E        | -               |
| 6         | 0.953        | 20-30      | 6                  | E        | -               |
| 7         | 0.748        | 50-60      | 8                  | B        | -               |

|    |              |              |   |   |                                     |
|----|--------------|--------------|---|---|-------------------------------------|
| 8  | 0.382        | 0-10         | 8 | F | -                                   |
| 9  | <u>0.187</u> | 50-60        | 7 | D | 自動車や壁に近<br>すぎ、解析より<br>除外            |
| 10 | 0.810        | 70-80        | 6 | C | 周辺に数軒低層<br>建物が存在                    |
| 11 | 0.728        | 10-20        | 5 | G | -                                   |
| 12 | 0.657        | 70-80        | 7 | B | -                                   |
| 13 | 0.895        | 70-80        | 7 | B | -                                   |
| 14 | <u>0.963</u> | <u>40-50</u> | 7 | B | 観測点が道路の<br>中央                       |
| 16 | 0.617        | <u>30-40</u> | 7 | B | サンプル写真 <sup>9)</sup> と<br>比較し、妥当    |
| 17 | 0.606        | <u>30-40</u> | 7 | B | サンプル写真 <sup>9)</sup> と<br>比較し、妥当    |
| 19 | 0.476        | 80-90        | 6 | C | -                                   |
| 20 | <u>0.258</u> | 60-70        | 7 | B | 付近に大きな樹<br>木が存在                     |
| 21 | 0.996        | 20-30        | 6 | G | -                                   |
| 22 | 0.970        | 70-80        | 7 | D | 観測点より開け<br>た場所で天空率<br>を撮影           |
| 23 | 0.947        | 20-30        | 5 | E | -                                   |
| 24 | 0.754        | <u>30-40</u> | 7 | B | 建物が高かった                             |
| 25 | <u>0.496</u> | 0-10         | 8 | F | 樹木が多い場所<br>壁や建物に近す<br>ぎ、解析より除<br>外  |
| 26 | <u>0.261</u> | <u>40-50</u> | 6 | C | サンプル写真 <sup>9)</sup> と<br>比較し、妥当    |
| 27 | 0.912        | <u>10-20</u> | 6 | E | 緑地内でも開け<br>た場所                      |
| 28 | <u>0.878</u> | 0-10         | 4 | F | 測器の設置方法<br>が不適切であつ<br>た為、解析より<br>除外 |
| 29 | <u>0.322</u> | 50-60        | 7 | D | -                                   |
| 30 | 0.344        | 80-90        | 7 | A | -                                   |

#### (3) 土地利用別気温・比湿変化

LCZの土地利用分類別に平均した2008年5月及び2010年3月の気温観測結果をそれぞれ図-4及び図-5に示す（凡例の数字は地点数を示している）。両年共に晴天日の気温変化は昼間よりも夜間に大きな差がみられ、森林やオープンスペースでは気温が大きく低下する。2010年の観測結果は降雨後、晴天日が続いた3月8日以降の最高気温が上昇傾向にあり、日最低気温はビル街・住宅街といった人工被覆面の地域でのみ上昇傾向がみられた。これは日々蓄熱傾向の中、熱容量が大きい地点ほど夜間気温が下がりにくいという特徴が現れたと考えられる。

同様に、2008年5月及び2010年3月の比湿観測結果をそれぞれ図-6及び図-7に示す。両年共乾燥期であるものの、降雨日が多かった2008年5月は2010年3月よりも比湿のレンジが大きく、空気中の水分が多かったことが分かる。両年共、比湿日変化の特徴は蒸発が顕著と考えられる川

辺地で大きい傾向がみられた。また、植生が皆無に等しい密集中層ビル街では若干低い傾向がみられた。

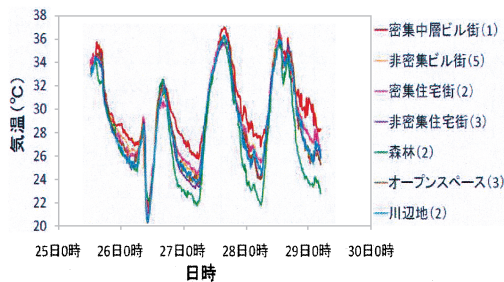


図-4 LCZ別の地上気温変化（2008年5月）

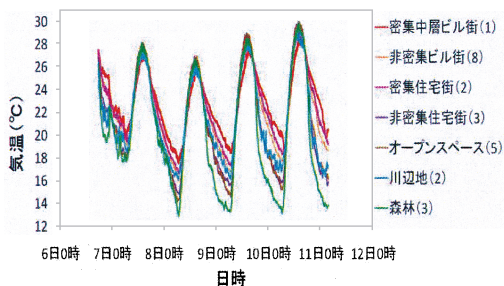


図-5 LCZ別の地上気温変化（2010年3月）

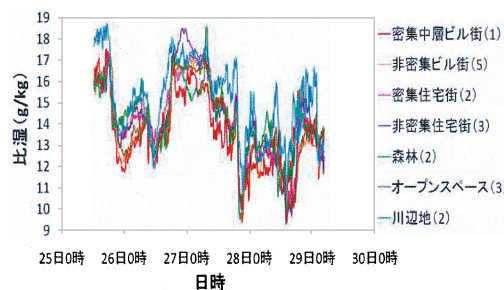


図-6 LCZ別の地上比湿変化（2008年5月）

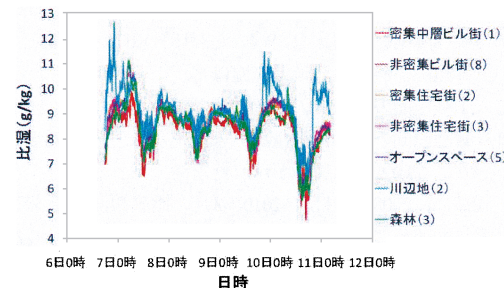


図-7 LCZ別の地上比湿変化（2010年3月）

#### (4) 気温水平分布

2010年3月10日23時におけるデリー都市圏の気温水平分布を図-8に示す。本研究における気温水平分布の空間内挿法には、逆距離加重法を用いた。23時は本研究において都市内気温差が平均的に最も大きかった時間にあたる。都心街区と都市内公園緑地の間における気温差が顕著であり、特に地点30と地点25の間では約10℃の気温差が認められた。都心街区以外の高温域は住宅街とおおよそ対応しており、天空率が大きく、植生も多い自然被覆の観測点ほど気温が低下していた。

一方、昼間における気温水平分布（図略）からは深夜ほど顕著な気温差は認められなかった。密集ビル街・密集住宅街といった夜間に高温傾向がみられた観測点では、反対に低温域が認められた。これは建物による日陰の影響が考えられ、公園緑地やオープンスペースの観測点よりも、昼間に2℃程度低くなるケースも認められた。

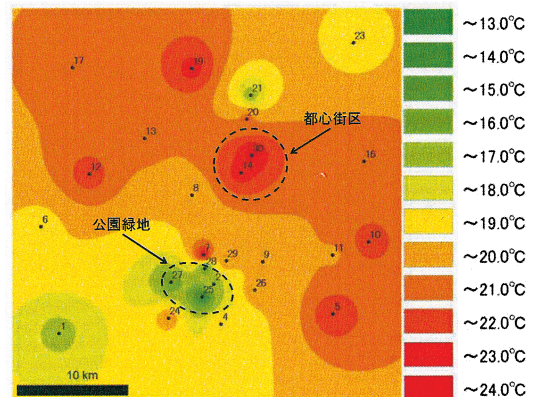


図-8 気温水平分布。図中の数字は地点No.を指す。

#### (5) 天空率と気温変化率の関係

2010年3月の観測では各観測点において天空率の測定を行った。LCZによる土地利用分類結果（表-1）の中から都市キャノピーのみ10地点を抜き出し、天空率と気温減率及び気温上昇率の関係を解析した。気温減率は18時～22時までの1時間毎の平均変化率、気温上昇率は7時～11時までの1時間毎の平均変化率である。いずれも降雨があった7日の日中以前は解析から除外した。天空率と気温減率の関係（図-9）は負の相関がみえており、天空率が大きい地点ほど気温がよく下がることを示している。天空率と気温上昇量の関係（図-10）は正の相関がみえており、午前中は建物の影になる地点の気温上昇が鈍いことを示している。



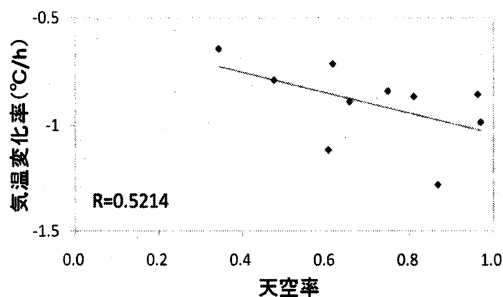


図-9 天空率と気温減率の関係

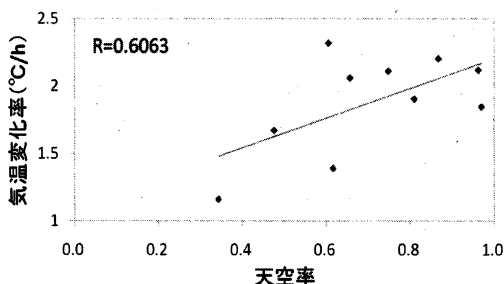


図-10 天空率と気温上昇率の関係

#### (6) 天空率と日最低気温の関係

天空率と気温変化率の関係と同様に、都市キャノピー10地点を対象に解析した。日最低気温は降雨があった7日を除外し、8日以降のデータを平均した。天空率と日最低気温の関係(図-11)は負の相関がみえており、天空率が小さい地点ほど放射冷却の抑制効果が影響していることが示唆される。

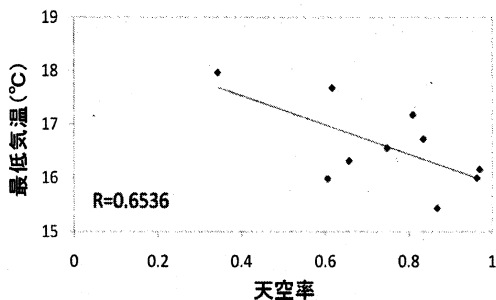


図-11 天空率と最低気温の関係

#### (7) ヒートアイランド強度

一般にヒートアイランド強度とは都市-郊外の気温差を指すが、都市と郊外の測定地点の選定方法には厳密

な定義はない。本研究では両年共に、観測期間中の最低気温・最高気温の出現頻度がそれぞれ最も高い地点を選定し、その両地点間の気温差をヒートアイランド強度とした。2008年5月の選定地点は地点30(密集中層ビル街)ー地点28(森林)、2010年3月は地点30ー地点25(森林)であった。また、2010年3月の観測ではデリー都心の南南西約40km付近の農場(地点31)に「郊外」と位置づけた観測点を設け、地点30ー地点31もヒートアイランド強度とした。更に、2008年の観測と同地点間の比較を2010年の観測でも行った。以上の結果を日毎に最大ヒートアイランド強度としてまとめたものを表-2に示す。両年共、観測期間初日の降雨以降は徐々にヒートアイランド強度が増大していった。初日を除いたヒートアイランド強度は地点30ー地点28の場合、2010年3月は2008年5月より平均で0.4℃高かった。最低気温・最高気温の出現頻度がそれぞれ最も高い地点間の場合も、2010年3月は2008年5月よりも平均で2.0℃高かった。これは降水量の季節的变化によって雨季よりも自然被覆土壌中の水分が少なくなる乾季において、ヒートアイランド強度が増大することを示したデリーと同様の(亜)熱帯気候都市における既往研究<sup>9)</sup>を支持する結果となった。2010年3月における地点30ー地点25及び地点30ー地点31の8日以降の最大ヒートアイランド強度の平均は都市内部の比較である地点30ー地点25で平均0.4℃高かった。このことから都市内部の熱環境の差が大きいたことが示唆された。ヒートアイランド強度が日々増大傾向であった2010年3月の観測終了以降も翌月2日まで晴天が継続していたことから、ヒートアイランド強度はより増大していた可能性も考えられる。

都市内外で比較した地点30ー地点31のヒートアイランド強度の時間変化はPadmanabhamurty (1979)<sup>2)</sup>が示したデリーにおける3月の快晴日のヒートアイランド強度の時間変化とは大きく異なる結果となった(図-12)。観測場所が同じではない為、厳密な比較は困難であるが、2010年3月のヒートアイランド強度は1979年のものよりもレンジが大きい。また、当時のように夜のはじめ頃と早朝の大きなピークがみられない。Padmanabhamurty and Bahl (1982)<sup>9)</sup>とPadmanabhamurty (1979)<sup>2)</sup>は自動車排熱が早朝から増え始めることによって早朝のヒートアイランド強度のピークを説明した。他方で、当時みられた早朝の大きなピークは、郊外の地域で早朝に地上付近が上空よりも低温となる逆転層がよく発達していたとも考えられる。これは夜間気温減少率の経時変化にも同様の傾向がみられる。Padmanabhamurty (1979)<sup>2)</sup>はデリーにおいて夜間気温減率を市街地(図-13)及び地表が緑面である地域(図-14)について示している。両者共に日没後と早朝にピークがみられる。本研究では市街地である

観測点を13地点、地表が緑面である観測点を7地点選定し、日毎に平均したものを当時と比較した。市街地の気温減率は日没後がピークであり、早朝にかけて気温減率は小さくなっていく。デリーと同様の亜熱帯気候であるメキシコ・シティの気温減率のピークは日没後1時間で最大を迎える<sup>10)</sup>という同様の傾向がみられた。緑面被覆の気温減少率は日没後市街地よりも大きく、地表面の熱容量が小さいという特性が現れている。時間変化の特徴は両者共早朝のみ異なり、1979年の文献値のような大きなピークが現れなかった。これはヒートアイランド強度の経時変化と同様に、当時の早朝に発生していた接地逆転層が現代のデリーでは形成されにくくなっている可能性を示唆している。

表-2 ヒートアイランド強度 (°C)

|                        | 25日～26日 | 26日～27日 | 27日～28日 | 28日～29日 |          |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 地点30-地点28<br>(2008年5月) | 1.37    | 5.39    | 6.50    | 8.86    |          |
| 出現時刻                   | 26日6:10 | 27日1:40 | 28日1:50 | 29日1:40 |          |
|                        | 6日～7日   | 7日～8日   | 8日～9日   | 9日～10日  | 10日～11日  |
| 地点30-地点25<br>(2010年3月) | 7.58    | 6.61    | 8.34    | 9.79    | 10.93    |
| 出現時刻                   | 6日21:23 | 8日6:56  | 9日1:39  | 9日23:07 | 10日23:42 |
|                        | 6日～7日   | 7日～8日   | 8日～9日   | 9日～10日  | 10日～11日  |
| 地点30-地点31<br>(2010年3月) | 7.64    | 7.07    | 8.13    | 8.60    | 10.17    |
| 出現時刻                   | 6日20:55 | 8日5:35  | 9日4:15  | 9日23:20 | 11日0:30  |
|                        | 6日～7日   | 7日～8日   | 8日～9日   | 9日～10日  | 10日～11日  |
| 地点30-地点28<br>(2010年3月) | 6.47    | 4.96    | 7.36    | 7.83    | 9.28     |
| 出現時刻                   | 6日21:56 | 8日6:25  | 9日1:43  | 9日22:52 | 11日1:12  |

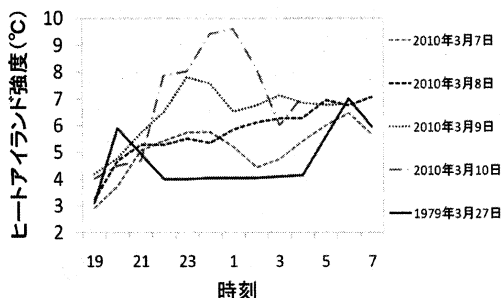


図-12 ヒートアイランド強度の経時変化

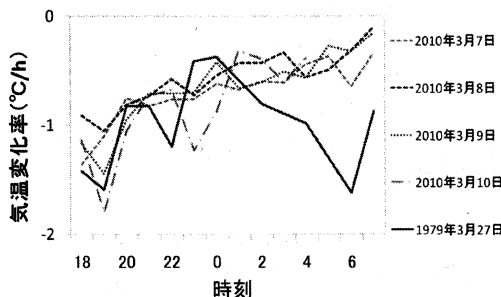


図-13 市街地における夜間気温減率の経時変化

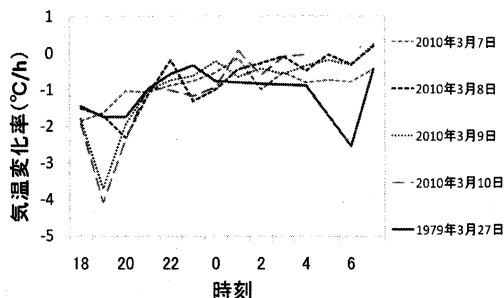


図-14 緑面被覆の夜間気温減率の経時変化

#### 4. まとめ

近年のヒートアイランドの研究事例が乏しインド国・デリーにおいて、現在のヒートアイランド現象の実態を明らかにすることと共に、数値シミュレーションにもとづく都市の熱環境の改善と省エネ策の評価に向けて基礎データを取得することを目的とし、地上気象要素の計測を行った。

地上気象要素測定器の精度を確認した結果、平均 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の精度が確認できた。

局地微気象の観点からみた土地利用分類法により観測点を分類し、解析を行った結果、密集度の高いビル街・住宅街で夜間気温の低下が鈍く、自然被覆で植生の多い都市内緑地やオープンスペースでは顕著な夜間気温の低下が認められた。

一方、比湿は地点間の大きな差は認められなかったが、川沿いでやや増加、密集中層ビル街でやや減少する傾向がみられた。

都市キャノピーにおける天空率と気温の関係性を明らかにするため、相関関係を解析した。夜のはじめ頃の気温減率は建物密集域ほど小さい傾向が認められ、建物密集域は最低気温も高い傾向が認められた。日の出後の気温上昇率も建物密集域ほど小さい傾向が認められた。

ヒートアイランド強度は都市内外で $8.5^{\circ}\text{C}$ 、都市内部で $8.9^{\circ}\text{C}$ と、都市内部の熱環境の差が大きいことが認められた。2008年5月と2010年3月は同じ乾季であるが、降水量が多かった2008年5月に観測されたヒートアイランド強度は2010年3月よりも $2.0^{\circ}\text{C}$ 低かった。

1970年代の先行研究と比較した結果、ヒートアイランド強度と地表面被覆別の夜間気温減率に認められた早朝のピークは本研究の観測ではみられず、デリーの都市気候の変遷を示唆した。

都市キャノピーにおける天空率と最低気温・気温

変化率との間で合理的な相関がみられ、街区構造と気温変化の特徴の関係性が抽出でき、今後の都市気象数値モデルの検証にも役立つ結果が得られた。

#### 参考文献

- 1) Padmanabhamurty, B. and Bahl, H. D., 1984, Isothermal and isohyetal patterns of Delhi as a sequel of urbanization. *Mausam*, 35, 4
- 2) Padmanabhamurty, B. 1979, Isotherms and isohumes in Pune on clear winter nights : a meteorological study. *Mausam*, 30, 134-138.
- 3) Jauregui E., 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31 (22) : 3821-3831, DOI : 10. 1016/S1352-2310 (97) 00136-2.
- 4) Bahl, H. D. and Padmanabhamurty, B., 1979 : Heat island studies at Delhi. *Mausam*, 30, 119-122.
- 5) 重田祥範・大橋唯太・亀卦川幸浩・井原智彦：東京・大阪における街区気象と需要エネルギーの計測 (1)，日本気象学会2008年度秋季大会講演予稿集，第94号，pp. 201, 2008.
- 6) Lain Stewart and Tim Oke, 2009. Classifying urban climate field sites by “Local Climate Zones” : The case of Nagano, Japan
- 7) Davenport, A.G., C. S.B. Grimmond, T. R. Oke & J. Wieringa, 2000 : Estimating the roughness of cities and sheltered country. Proceedings 12th Conference on Applied Climatology, Asheville, NC, American Meteorological Society, Boston, pp. 96-99.
- 8) Winston T. L. Chow and Matthias Roth, 2006. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *Int. J. Climatol.* 26 : 2243-2260, DOI : 10. 1002/joc. 1364
- 9) Padmanabhamurty B, Bahl HD. 1982. Some physical features of heat and humidity islands at Delhi. *Mausam* 33 (2) : 211-216.
- 10) Jauregui E. 1986b. The urban climate of Mexico City. *Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas, World Climate Programme, WMO Publication No.652. World Meteorological Organisation : Geneva ; 63-86.*

## HEAT ISLAND PHENOMENON IN DELHI AND ITS RELATION WITH LAND USE AND URBAN CANOPY STRUCTURE IN DRY SEASON

Yasuto ISHIZAKA, Yukihiro KIKEGAWA, Manju MOHAN and Bhola Ram GURJAR

The surface meteorological observations were conducted at 28 sites in Delhi during dry season. As a result, It was found that the higher temperature regions were formed in downtown at nighttime. On the other hand, the lower temperature regions were found in the park green space in the city, and the spatial distribution of surface air temperatures resulting from heat island effects was confirmed. A smaller spatially difference in surface air temperature of 8.5°C between inside and outside of the city was compared with that indicated of 8.9°C within the city at nighttime. It suggested that the difference in the thermal environment within the city is significant. Moreover, the appearance time of maximum heat island intensity was found at 10~11 P.M.. It was confirmed the increase of heat island intensity in the month when precipitation was a little in the dry season. The relation of the urban canopy morphology and diurnal change in temperature was extracted because the correlation was found between sky view factors and the minimum temperatures in the urban canopies, and useful results for the verification of the numerical model was obtained for the future study.