

デリーにおけるヒートアイランド現象 の影響評価

小川 洸一¹・亀卦川幸浩²・Manju Mohan³・B.R. Gurjar⁴

¹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: 08mb001@stu.meisei-u.ac.jp

²博 (工) 明星大学准教授 理工学部環境システム学科 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

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

³Centre for Atmospheric Sciences, Indian Institute of Technology-Delhi, Delhi, India

E-mail: mmohan65@yahoo.com

⁴Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee, India

E-mail: brgurjar@gmail.com

インド共和国デリー都市域を対象に、ヒートアイランド現象の実態把握を目的として、同都市域において地上気象要素の多点計測を行った。その結果、商業、工業、住宅地域のような建物密度が高く、地表面が人工物でおおわれている地域で高温であった。そして、公園などの緑地地域で低温であった。また、同時刻のデリー都市域内で気温差をとりヒートアイランド強度として調べた。その結果、ヒートアイランド強度は、最大 8.9℃に達し、夜間のヒートアイランド強度は早朝まで持続していた。なお、降水中の気温を観測していることから、降水と気温変化の関係について解析した。その結果、降水後の気温回復は測定地点により異なり、各地点における地表面の熱物性等の特性の違いを反映しているものと推察された。

Key Words : urban thermal environment, urban heat island, anthropogenic heat, delhi

1. はじめに

ヒートアイランド現象は都市化の影響を受けて発生する都市域の高温化現象である。都市化の影響としては、地表面がアスファルトやコンクリートに覆われることによる水分の蒸発散量の減少、ビルなどの高層建築物による蓄熱効果や風速の減少、経済活動の集中による人工排熱の増加が挙げられている。都市域の気温上昇は、日本では夏季において冷房エネルギー需要の増加を起こす。これは、人工排熱の量を増やすことになり、都市の気温上昇に拍車をかける悪循環が起こる。また、ヒートアイランド現象による気温の上昇は、光化学スモッグなどの大気汚染の増加や熱中症などの健康被害を助長することになるため、人口の密集している我が国の大都市では、対策を要する都市型環境問題の一つとして位置付けられている。

本研究では、以上のヒートアイランド現象についてアジアに目を転じ、蒸暑気候下での今後の人口増加に伴い更なる高温化と熱環境の悪化が懸念されるアジア低緯度

域の代表的なメガシティの一つとして、インド共和国デリーを対象に現地での都市気象観測を行った。インド共和国は、過去50年（1955年～2005年）で人口が約2.8倍増加して、2005年に日本と同程度の人口密度になり、今後も人口増加と共に都市域への人口集中が続くと予測されている¹⁾。同国の首都ニューデリーが立地するデリー都市域は北緯28.61°、東経77.23°に位置する内陸の都市である。その気候は、年平均気温が約25℃、年積算降水量が約780mm程度であり、東京と比べると月平均気温は1年を通して平均約9℃高く、年積算降水量は687.6mmほど少ない²⁾。

デリーには特徴的な3つの季節がある。それは、気温が高く降水のほとんどない夏季（4月、5月、6月）、気温が高く降水量の多いモンスーン期（7月、8月、9月上旬）、気温が低く乾燥している冬季（11月下旬、12月、1月、2月上旬）である。その間の2月と3月は春季、10月と11月はポストモンスーン期とも呼ばれる。

デリーを対象としたヒートアイランド現象の研究は1970年～80年代に行われ、幾つかの観測事例が存在する。

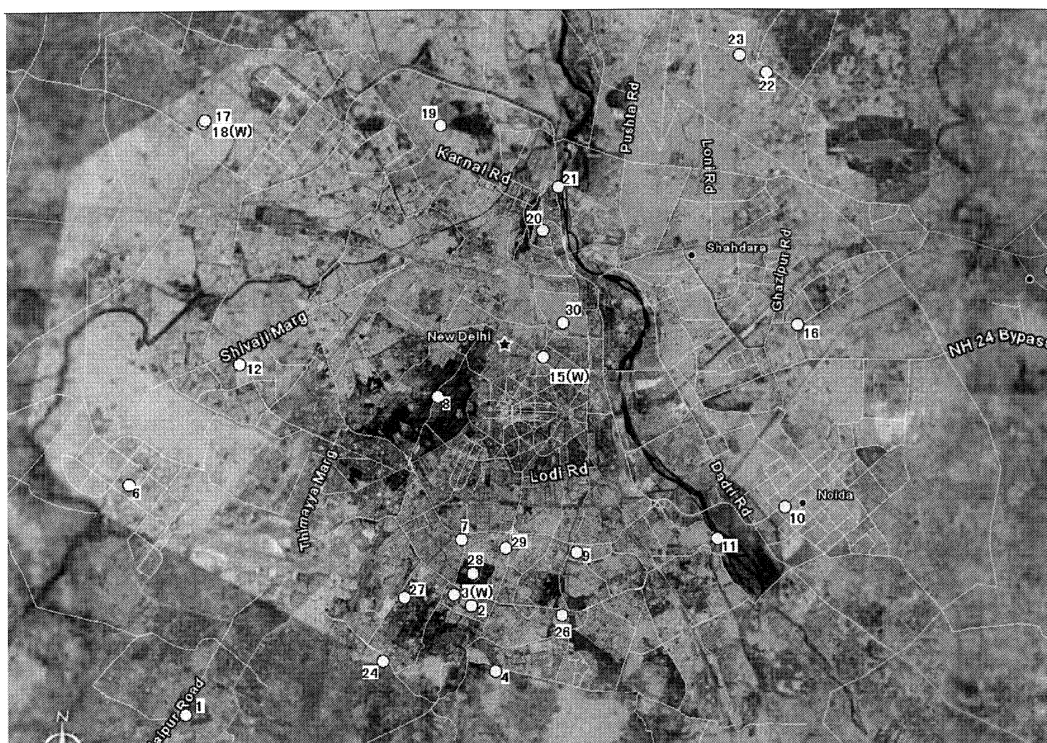


図 - 1 測定地点の配置 (衛星画像は Google Earth より引用)

しかしながら、それ以降の研究事例は存在せず、その後の経済成長と共に急激な都市域の拡大を遂げたデリーの近年におけるヒートアイランド現象の実態は不明である。

以上の背景のもと、本研究では、ヒートアイランド現象とその環境影響の緩和が重要となる可能性の高いアジア低緯度都市域について、今後のヒートアイランド対策の検討に向けた基礎データの取得を目的として、デリー都市域をフィールドとしヒートアイランド現象の実態観測を行った。

2. 観測方法

(1) 観測期間と測定地点

観測は、2008年5月25日～5月29日に行った。天候の変化は、実測値に影響を与える。そのため、降水量が少なく天候の安定している5月を対象期間に選択した。また、本研究では、夏季を対象に観測値を取得したが、冬季においても、今後、観測予定である。

測定点は、デリー都市域の地上気象要素を高密度に定点観測するために、全30地点に自動気象測器を設置した図-1に測定点の配置を示す。測定点の選択は、都心のニューデリーを中心にして32km四方の範囲を考え、その中を8km×8kmの水平間隔で格子状に16分割し、それぞれの格子内を代表する土地利用状態の場所を主観的に決定し、1格子につき最低1カ所に測定器を設置した。更に、

より小スケールの土地利用・被覆の相違が地上気象に与える影響も捉えるべく、インド工科大学デリー校キャンパスの周囲12km四方内の小範囲に土地利用を考慮して、地点間の距離を縮め、より高密度の測定点配置をとったを行った。

(2) 使用測器

今回、観測に使用した自動気象測定器は、自作熱環境測定器 (重田他, 2007) (図-2) と総合気象観測システム (Vantage ProII, DAVIS社製) (図-3) の2種類である。

自作熱環境測定器には、サーミスタ式温度計 (ワイヤレスデータロガーRTR-52またはRTR-72; T&D社製) を内蔵し、センサー部分が日射を直接受けないように放射シールドを取り付け、地上1.5mの高さに設置した。サンプリングを1分間隔とし、自然通風で観測を行った。この自作熱環境測定器のうち、RTR-52を使用したタイプは19地点に設置し、放射シールド内に2つのサーミスタ式温度計を、それぞれ乾球温度と湿球温度の計測用に取り付けた。乾球温度計はそのまま使用し、湿球温度計についてはセンサー部分を湿らしたガーゼを巻いて、水の入った容器から毛細管現象により水分補給を常に行い測定した。気温を乾球温度で表し、相対湿度は乾球温度と湿球温度を用いて算出した。また、RTR-72を使用したタイプは、8地点に設置し、1つのデータロガーで温度と相対湿度を同時に測定した。

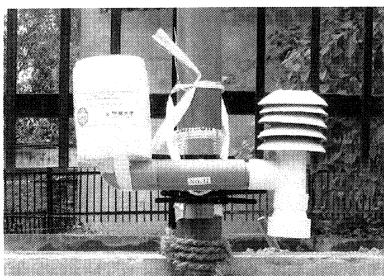


図 - 2 自作熱環境測定器

また、気温や湿度以外の気象条件を観測するために、総合気象観測システムを設置した。インド工科大学キャンパス内の建物屋上の1地点と、デリーの都心業務系街区と住宅街区の二つの建物屋上の2地点、計3地点に設置した。インド工科大学の総合気象観測システムは、気温および風速を30分間隔で観測した。そのほかの2地点では、気温、風速の他に相対湿度、風向、降水量、全日射量を5分間隔で計測した。

(3) 器差補正

自作熱環境測定器個別の系統誤差を減ずるために、測定器の設置前にキャリブレーションを行い、その結果を用いて実測値の器差補正を行った。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）を使用して、自作熱環境測定器の乾球・湿球温度、または、気温・湿度を測定して、その10分平均値を器差補正した。その結果、ほぼ全測器について気温に関しては、 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の精度が確保された。この結果を用いて、観測後の実測値についても、同じように10分平均値の器差補正を行い、解析に使用した。湿度については、乾球・湿球温度を使うタイプは器差補正した10分平均値から相対湿度を算出した。また、相対湿度を測定するタイプは相対湿度の10分平均値を器差補正した。以上の気温・相対湿度より比湿を算出して解析に盛り板比湿を算出して解析に用いた。

3. 観測結果

(1) 気象条件

デリーにおける5月は、一般に気温が高く、空気は乾燥した状態である。しかし、観測期間中に断続的な降水があり、気温は平年より低かった。

図-4に観測期間中の気象条件の時系列示す。気温と風速は、インド工科大学内の総合気象観測システムによる2008年5月の実測値（日平均値）である。また、全日射量は、インド工科大学内のものとは別の2地点での



図 - 3 総合気象観測システム

測定結果であり、観測期間内における1時間平均値であらわしている。気温変化から、観測前の18日から21日の間に気温が低下して、観測期間中は気温の回復過程にあったことがわかる。また、降水量は、26日にしか観測されていないが、25日にも測器の検出限界を下回る微量の降水があった。降水時には、一般にヒートアイランド現象は発達しにくくなるが、それでもなお気象要素の時間変化は、土地利用によって異なる子とが予想される。

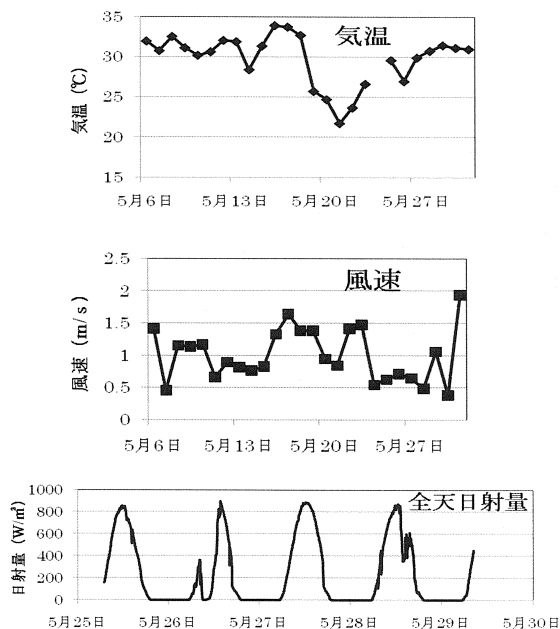


図 - 4 観測日における気温、風速、全日射量

(2) 気温分布

デリー都市域内の気温分布の例と観測点の分類を図-5と表-1に示す。図-5は、観測期間中の晴天日であった2008年5月27日の15時と、翌28日の3時の地上気温分布である。

観測期間を通して、地点30と地点7で高温であった。両地点とも建物が密集している地点で、日中においては水分の蒸発散が少ない分だけ顕熱として大気を暖め、夜

間には大きな蓄熱効果により気温が下がりにくくなる。
また、低温域については、公園に設置した地点8が観測期間を通して低温だった。これは、建物がなく植生や池があることで、日中の気温が上がりやすく、夜間は下がりやすいためと考えられるが、公園である地点28は26日に気温が高く観測された。

今回観測して得た気温分布図には、ニューデリーとオールドデリーの都心街区を中心にして高温域の形式が認められた。特に、地点7や地点30のような建築密度の大きい都市キャノピー内の観測地点では高温になっていた。デリー全体で高架道路や鉄道等のインフラは、なお整備途上にあり、今後の都市開発の進行を考えると、ヒートアイランド現象の更なる進行が懸念される。

表-1 地点の分類

Classification	Station No.
i). Urban Built Up Areas	
Dense Canopy	30
Medium Dense Urban Canopy -1	6, 7, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 20
Medium Dense Urban Canopy -2	4, 13, 24, 26, 29
Less Dense Urban Canopy	1, 2
Industrial Area	22
ii). Green Areas	8, 25, 28
iii). Open Areas	23, 27
iv). Riverside areas	11, 21

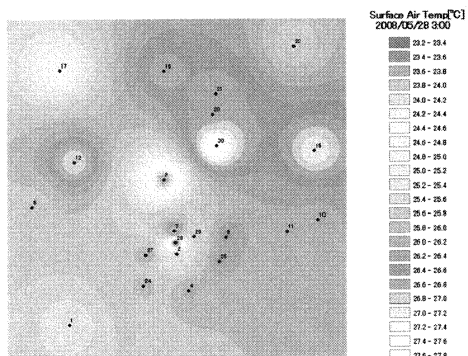
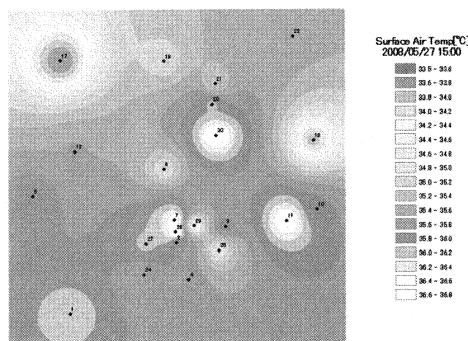


図 - 5 2008年5月27日15時（上段）と
28日3時（下段）の水平気温分布

(3) ヒートアイランド強度

ヒートアイランド現象の指標として、ヒートアイランド強度がある。これは、一般に都市内外の気温差で与えられる。今回は、観測期間中に最高気温が計測された地点30と、最低気温を観測した地点28の気温差をヒートアイランド強度（地点30の気温－地点28も気温）として、図-6にその時系列を示した。

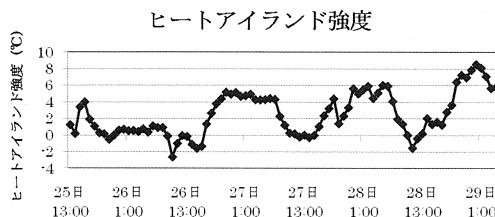


図-6 観測期間内のヒートアイランド強度

ヒートアイランド強度の時間変化は、降雨後27日以降をみると、日没後急激に強まり最大になった後緩やかに低下していく。ヒートアイランド強度は、5℃以上に達し、最大ヒートアイランド強度は8.9℃であった。また、天気の良い日だった27日と28日の朝のヒートアイランド強度は、夜間の6時まで持続している。

(4) 降水後からの気温回復

図-6より、降水のあった2008年5月26日以降、夜間のヒートアイランド強度が日ごとに増していることが分かる。これは、降水による水分補給が地表面熱収支にもたらす影響を示唆するものである。この節では、他の地点も含め降水と夜間気温の関係述べる。

地点ごとに、27日の日最低気温を基準にして、その後の日最低気温の増減量を算出したところ、ほとんどの地点で上昇して、最大で+1.8℃、最小で-0.8℃の変化であり2.6℃の差があった。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、デリー都市圏におけるヒートアイランド現象は、都市気候による高温域が見られたものの、明瞭なヒートアイランドの形成は見られなかった。今後、都市開発の進行で人工被覆面の拡大により、デリー都市域内の更なる気温上昇が心配される。また、公園では低温域があらわれていて、クールスポットによるヒートアイランド対策が期待できる。デリー都市域内の気温差でヒートアイランド強度を算出したところ、最大で8.9℃になり、朝6時まで持続した。また、降水後の気温回復は、場所により異り、この点を今後詳しく解析することで各地点における地表面の特性をより明確化できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) United Nations Population Division: World Urbanization Prospects, The 2007 Revision, United Nations, 2008.
- 2) 国立天文台: 理科年表 平成16年, pp.294-295, 丸善株式会社, 2003.
- 3) 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.
- 4) Oke, T. R.: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Jour. Of Royal Meteor. Soc.*, 108, 1-24, 1982.
- 5) Krishna Nand, Maske S.J., 1981. Mean heat island intensities at Delhi- Assessed from urban climatological data, *Mausam*, 32, 269-272.

ASSESSMENT OF URBAN HEATISLAND INTENSITIES OVER DELHI

Yukihiro KIKEGAWA, Yukitaka OHASHI, Yoshinori SHIGETA, Tomohiko IHARA,
Minoru TAGAWA and Tatsuya INOUE

A field campaign was undertaken during summer, May 2008 to understand the latest intensity and dynamics of heat-island phenomena in Delhi. Surface meteorological observations were performed using multisite ground based mini weatherstations and meteorological towers. Urban heat island effects were found to be most dominant in areas of dense built up infrastructure and intense human activity. Higher magnitude of UHI observed during day hours in summer is expected to increase cooling energy requirements in tropical cities such as Delhi and further strengthen the UHI leading to vicious cycle problem.