

松山平野におけるヒートアイランドの特性

CHARACTERISTICS OF URBAN HEAT ISLAND PHENOMENON IN MATSUYAMA PLAIN

藤森祥文¹・林 佑亮²・森脇 亮³

Yoshifumi FUJIMORI, Yusuke HAYASHI and Ryo MORIWAKI

¹正会員 工修 愛媛大学助教 理工学研究科生産環境工学専攻(〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

²非会員 工学 四国化成工業株式会社(〒763-8504 香川県丸亀市土器町東8丁目537番地1)

³正会員 工博 愛媛大学准教授 理工学研究科生産環境工学専攻(〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

We observed urban heat island (UHI) phenomenon in Matsuyama plain, Ehime Prefecture. The purpose of this study is to investigate diurnal and seasonal variations of the UHI intensity, and the relationship between UHI and weather condition. The field observation term is from July 2008 to January 2009. In the field observation, we clearly found UHI phenomenon especially in the nighttime. We also found unique diurnal variations of UHI intensity. On sunny and cloudy days UHI intensity is high in the nighttime (20:00-6:00) and in the daytime (12:00-14:00), and is low in the morning and in the early evening in July-September. The maximum value of UHI intensity is 1.8 °C at 23:00 in summer. On rainy days we observed that UHI intensity is reduced. This is probably due to high heat conduction from surface to rainwater, and/or due to latent heat transfer into the atmosphere.

Key Words : Urban heat island, UHI intensity, Field observation, Reduction of UHI by rainfall, Matsuyama plain

1. はじめに

都市域の気温が郊外に比べて上昇するヒートアイランド現象は国内外の都市で多く報告されてきており、一般に人口が多い大都市ほどその傾向が顕著になることが知られている(例えば, Oke¹⁾). 日本ではこの現象における影響は深刻であり, 例えば熱帯性動植物の都市域への侵入など²⁾都市生態系への影響や, 人体への健康被害(夏季の熱中症増加や光化学大気汚染の促進)など³⁾が指摘されている. 日本におけるヒートアイランド研究は東京や大阪などの大都市^{4), 5)}を中心に行われているものの, その発生メカニズムの把握は未だ十分でない. その原因の一つとして, 平野全体にわたって都市化が進行してしまったため, 典型的な郊外を見つけにくく⁶⁾, ヒートアイランド強度(都市中心と郊外の気温差)を明確に把握できないことが考えられる.

本研究で対象とする都市は愛媛県松山市で, 51万人の人口をもち四国では最大の都市である. 松山市では1980年頃から中心街が急速に都市化し, 現在では100km²程度の面積に人口の大部分が集中している. しかし, その周

辺部では水田や畑などが残っており, 土地利用のコントラストが明確である. 図-1は日本の年平均気温と松山気象台の年平均気温を比較したものである. 日本全体の気温上昇が1.1°C/100年であるのに対して, 松山では1.9°C/100年の気温上昇を示している. 松山のほぼ中心部にある松山気象台の気温が上昇していることから, 松山市でヒートアイランドが進行していることが伺える. 以上のように, 松山平野は都市域と郊外の土地利用の違いが明確であるため, ヒートアイランドの研究を遂行するのに適した都市であると考えられるが, これまでヒートアイ

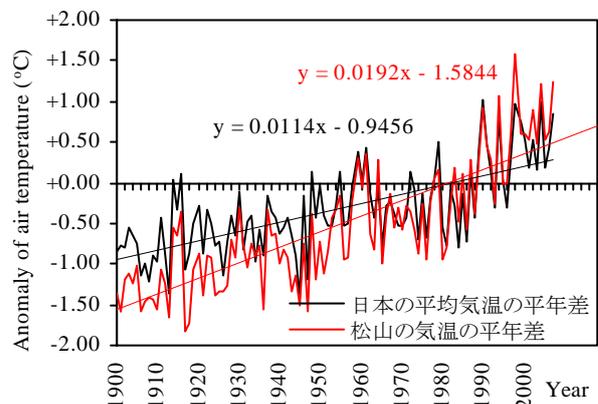


図-1 日本の年平均気温と松山気象台の年平均気温

こともできる。都心部と郊外の代表点の選定は土地利用と空間的バランス、代表点の標高という3つの観点において適切に配置されている。

一方で、都心部の気温を決定する手法としては、領域内の気温の最高値を採用する方法⁷⁾もあるが、ここでは菅原ら⁸⁾と同様にヒートアイランド強度の空間的な代表性を考慮するために、都心部として選定した地点の平均値を採用した。この方法によるヒートアイランド強度は領域内の気温の最高値を採用した場合より小さくなるが、ヒートアイランドの観測誤差を小さくすることに適している⁹⁾。

4. 観測結果と考察

(1) 夏季夜間のヒートアイランド

夏季夜間における松山市とその周辺での気温の空間分布の一例（2008年7月15日21時）を図-3に示す。白色は高温域、黒色は低温域を示す。等温線の間隔は0.2℃である。+印は観測地点。標高150m以上（緑色の領域）は山の等高線で、標高0m以下は海なので青色としている。図-3から明らかなように、気温の高い部分がほぼ松山の中心部に集中し、また郊外に向かうにつれて気温が低くなっている。松山平野において、典型的なヒートアイランド現象が生じていることが観測により初めて明らかになった。同様の現象は冬季夜間にも確認されている。次節でも述べるが、この現象は日没後から顕著に現れ始め、翌日の日の出まで継続的に生じる。一方日中の時間帯には、夜間のような気温分布は不明瞭になる傾向があ

る。このとき最も高い気温を示している観測地点は、番町小学校（都心部の代表地点）で27.6℃である。また、郊外での気温は25℃前後である。其中最も低い気温を示している観測地点は拝志小学校（郊外の代表地点）で24.6℃である。また、松山の中心部から同じ距離を比較したときに東側の標高の高い地域よりも西側の海に近い地域で気温がやや高くなっていることがわかる。

(2) 気温空間分布の時間変化

ヒートアイランド構造の1日周期の変動を知るために、

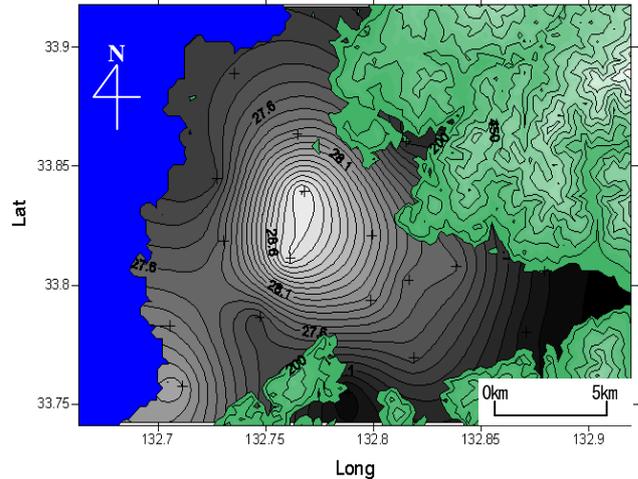


図-3 気温の空間分布の一例（2008年7月15日21時）

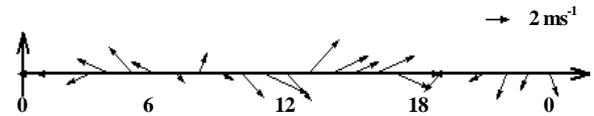


図-4 2008年7月15日の風向および風速

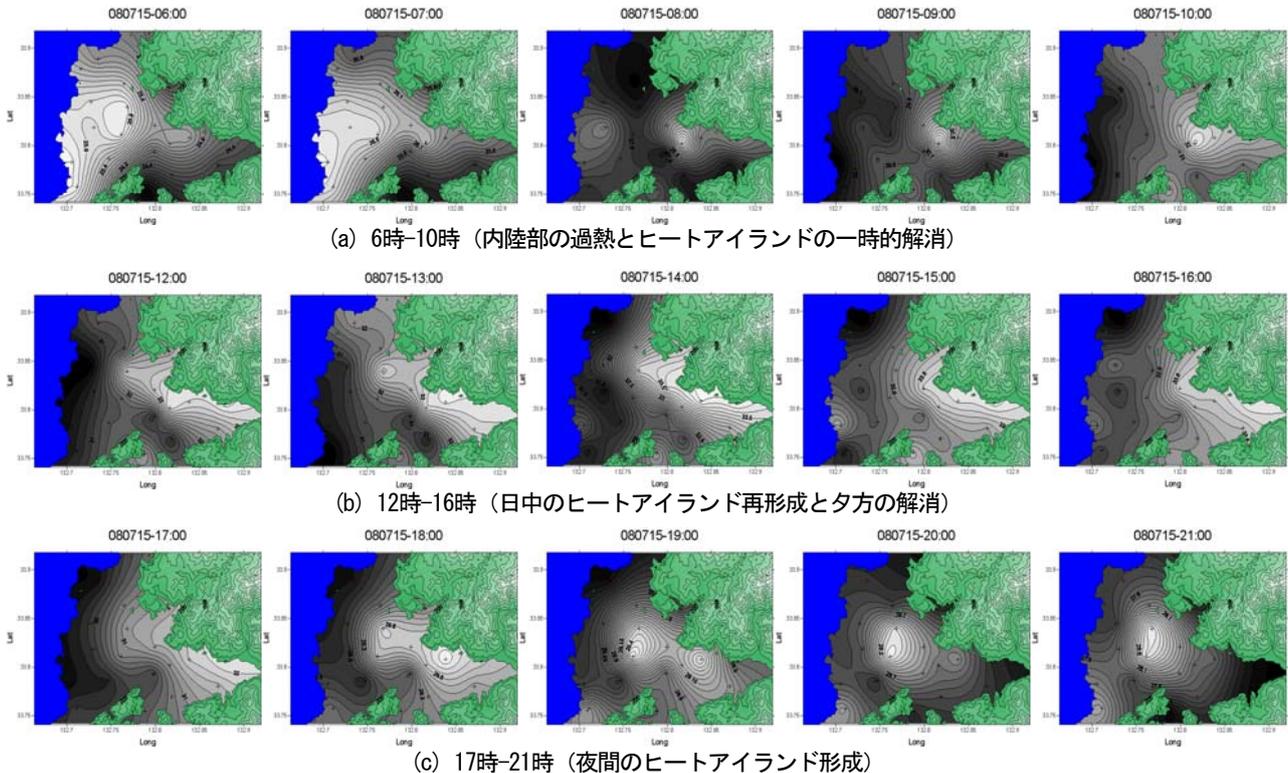


図-5 気温空間分布の時間変化

松山市とその周辺の気温空間分布の時間変化を検討した。図-4に2008年7月15日の松山気象台の風向と風速を示し、図-5(a)～(c)に同日6時00分から21時00分の間における気温分布の時間変化をヒートアイランド現象の形成と解消に分けて考察した図を示す。図-5(a)は内陸部の過熱とヒートアイランド現象の一時的解消を示している。6時00分では都心部で最も気温が高く、海側にかけても気温の高い領域が広がっているが、日の出以降は内陸部が過熱されることで、都心部と郊外の気温差が減少していることがわかる。9時00分から高温域が東へ移動してヒートアイランド構造が崩れる。このとき図-4からわかるように東向きの風(海風)が発生している。平野の都心部から海側にかけて存在した高温域がこの風に影響を受けて東へ移動していくと考えられる。図-5(b)は日中のヒートアイランド再形成と夕方の解消を示している。12時00分には、東に移動した高温域とは別に、都心部に高温期が形成されていることがわかる。この都心部の高温域は日中の間存在し、夕方には解消されていく。図-5(c)は夜間のヒートアイランド形成を示している。夕方に一度解消されたヒートアイランドは17時00分以降、高温域が都心部で形成されはじめ、20時00分には完全なヒートアイランド構造を確認することができる。このとき都心部と郊外の気温差は約1.5°Cである。風向はやや西向き(陸風)を示しており(図-4)、この風とともに郊外の高温域が都心部へ移動することも考えられる。

また、伊予市(図-5中、左下部)は第二都市として都市化が進んでいるために、松山の都心部でヒートアイランド構造が見られると同時に伊予市でも気温が高くなっている領域が確認できる。

以上のことより、松山平野では夜間にヒートアイランド現象が発生しているということと、日中にも発生していることが本観測において初めて確認された。

5. ヒートアイランド強度

前章において気温の空間分布とその時間変動をみることで、ヒートアイランド現象の特徴を把握することができた。本章では都心部と郊外の気温を比較し、ヒートアイランド強度をみることによって、より詳細なヒートアイランド構造の検討を行う。図-6はヒートアイランドが

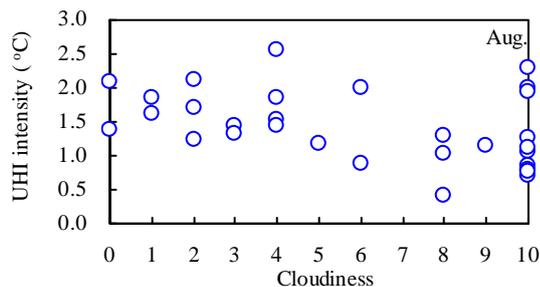


図-6 雲量とヒートアイランド強度の関係

顕著となる8月の無降雨時の21時におけるヒートアイランド強度と雲量の関係である。図からわかるように、雲量とヒートアイランド強度との間に有意な関係性がみられなかったため、本論では晴天と曇天を同一として扱うこととする。

(1) 夏季の晴天日・曇天日におけるヒートアイランド強度の日変化

図-7に夏季の晴天・曇天時の44日分(7月15日～9月30日の中)のデータをアンサンブル平均して得られた都心部と郊外の気温の日変化を示す。都市および郊外ともに夜間下がり続けた気温は6時過ぎに最低気温に達し、その後急激に上昇することがわかる。都市では13時過ぎに最高気温に達するのに対して、郊外は14時過ぎに最高気温に達する。最高気温の気温差は都市が1°C程度高い。都市と比較して郊外は最高気温を維持する時間が長く、夕方の急激な気温低下がみられる。19時頃から都市、郊外ともにゆるやかに気温は低下していく。この結果をもとにヒートアイランド強度 ΔT を示したのが図-8で、これは夏季の晴天・曇天時44日分のヒートアイランド強度の日変化を示している。 ΔT の日変化は特徴的なW型のパターンを示す。 ΔT は夜間(20時～翌6時)と昼(12時～14時)に大きくなり、特に夜間は ΔT が大きい状態が持続している。最大ヒートアイランド強度は1.8°Cで23時頃に生じる。また朝と夕刻の時間帯に ΔT はほぼゼロとなり一時的にヒートアイランドは解消する。このことは上述の空間分布からも確認することができる。

朝、太陽が昇ると熱容量の小さい郊外においては、す

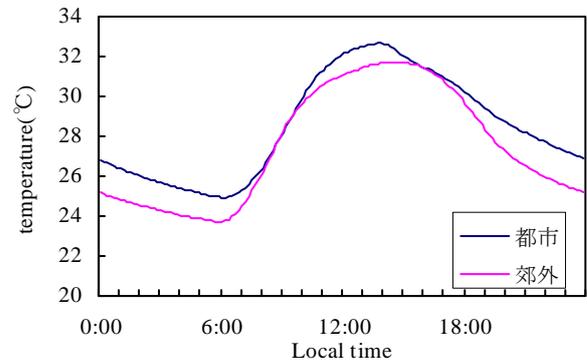


図-7 夏季の都市と郊外の気温の日変化

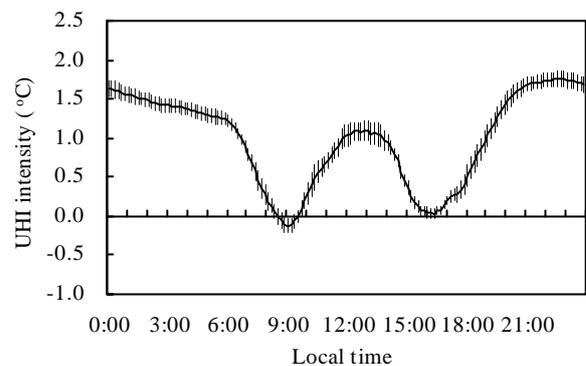


図-8 夏季のヒートアイランド強度の平均日変化

ぐに気温が上昇するが、熱容量の大きい都心部は気温の上昇が遅いので朝の ΔT は小さくなると考えられる。しかし、現段階では都心部や郊外において熱容量を測定しておらず、要因を確定するに至っていない。夜間に ΔT が大きくなるのは天空率に依存するところが大きい¹⁰⁾。天空率の高い郊外では気温が下がりやすくなる。しかし、都心では建物密度が高く天空率が小さく放射冷却が阻害されるため、郊外より気温が下がりにくく、ヒートアイランド強度が大きくなったと考えられる¹¹⁾。

(2) 冬季の晴天日・曇天日におけるヒートアイランド強度の日変化

図-9に冬季の晴天・曇天時の22日分（12月1日～1月12日の中）のデータをアンサンブル平均して得られた都心部と郊外の気温の日変化を示す。図から冬季も夏季と同様の挙動を示すことが確認された。夏季では15時前後で都市と郊外の気温が同程度となっていたが、冬季は都市の気温が高い状態である。この時間以外でも全体的に都市での気温が郊外よりも常に高いということが特徴であるといえる。また図-10に冬季のヒートアイランド強度の日変化を示す。冬季のヒートアイランド強度も夏季と同様の変動を示すが、夕方以降から22時頃にかけて下がる傾向があることが夏季と異なる点である。しかし、傾向は一致しており、松山平野では冬季でもヒートアイランドが発生しているということが本研究で明らかになった。

夏季、冬季におけるヒートアイランド強度のグラフには標準偏差の誤差バーを付けてある。この大きさは ΔT

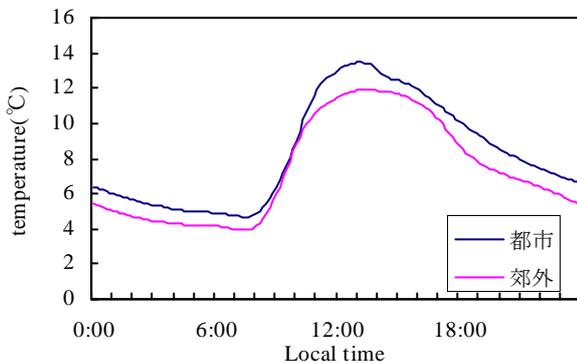


図-9 冬季の都市と郊外の気温の日変化

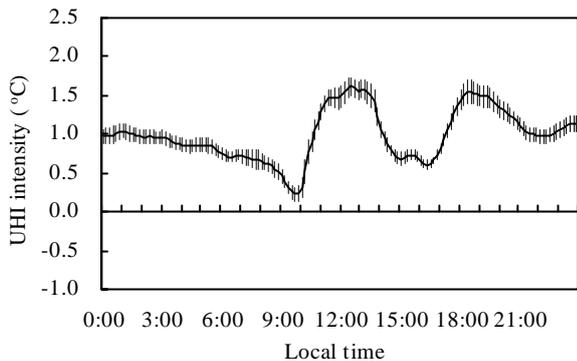


図-10 冬季のヒートアイランド強度の平均日変化

の日変動に比べて十分小さく、このことから松山平野ではこのW型の特徴的なヒートアイランド現象がほぼ毎日のように生じていることがわかる。ヒートアイランド強度のこのような特徴的なW型の日変化パターンは、筆者らの知る限り、他に事例はなく、興味深い結果である。本研究で得られたヒートアイランドの挙動を説明することは簡単ではなく、先述したように都市と郊外の熱容量、天空率、人工排熱などの差異、および局地風との関係などを考慮して多面的に検討する必要がある。

(3) ヒートアイランド強度と降雨の関係

図-11は夜間に降雨を観測した2008年10月10日と夏季晴天日のヒートアイランド強度 ΔT （図-7）の日変化を比較したものである。棒グラフは10分間雨量である。晴天日は夜に ΔT が大きくなるが、10月10日は降雨を観測した時間帯に ΔT が小さくなっており、降雨が継続している間は、 ΔT も減少を続けている。また図-12は日中に降雨を観測した2008年8月19日の観測結果で、図-10と同様に、夏季晴天日の ΔT との比較と10分間雨量を示している。8月19日においては、9時30分頃から合計6mmの降雨を記録している。晴天日のアンサンブル平均では9時から正午過ぎにかけてヒートアイランド強度は増加傾向にあるが、8月19日は降雨を観測した時点以降から17時頃までヒートアイランド強度の増加が抑えられていることがわかる。17時以降はアンサンブル平均と同様の傾向を示している。これらのように降雨によってヒートアイランド強度が減少することが確認できる。この現象は

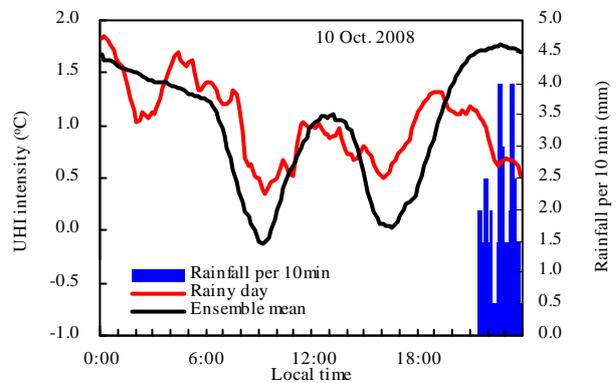


図-11 2008年10月10日降雨時と夏季晴天日のヒートアイランド強度の比較

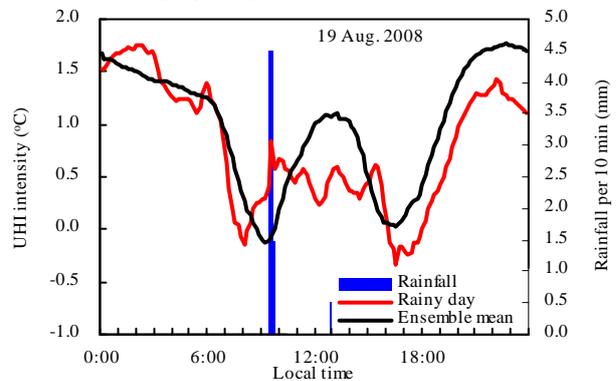


図-12 2008年8月19日降雨時と夏季晴天日のヒートアイランド強度の比較

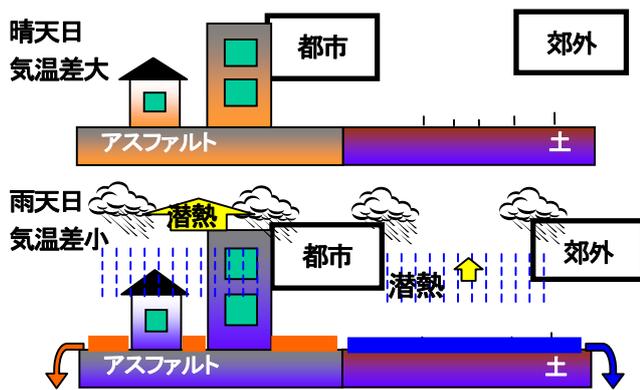


図-13 降雨時にヒートアイランド強度が小さくなるメカニズムの概念図

メキシコでも報告されているが、そのメカニズムには言及されていない¹²⁾。この現象が起こる理由として、①雨水は熱伝導率が大きいため、地表面が雨水に覆われることにより地表の熱が伝導されやすくなること、②温度が高い都市部の方が、潜熱によって熱が地表から奪われやすくなること、によって、相対的に温度の高い都心部がより効率的に冷却され、その結果、都心部と郊外の気温差が小さくなったと考えられる(図-13)。この現象を理解する上で重要な事例が木内ら¹³⁾によって観測されている。木内らは夏季夕方(19時頃)の降雨時において下水道の流量と水温を計測している。このとき降雨による下水道流量の増加とともにその水温も上昇することを観測している。つまり、雨水によって地表の熱が輸送されていることが示唆されている。松山における2008年10月10日、8月19日でも同様の現象が起こっていると考えることができる。

以上が降雨時にヒートアイランド強度が小さくなるメカニズムであると考えられるが、図-11を詳しく見ると降雨を観測する前の段階(19時頃)からヒートアイランド強度が小さくなり始めている点は着目すべきである。これは降雨前において、雲が発達したために放射冷却が阻害されたため、郊外の気温が晴天時より下がらず、都心部との気温差が小さくなった可能性が考えられる。また、降雨は松山気象台におけるデータであるが、近年では都市域において局所的な降雨もみられることから、気象台1点の降雨のみによらず、平面的にどのように降雨があったのかを確認することも必要であると考えられる。これらは当日の雲の平面的な分布や、レーダー降雨を調査するなどし、更なる検討が必要である。

6. おわりに

本研究は松山平野においてヒートアイランド現象の把握を目的として、長期的かつ平面的広範囲に気温の同時観測を行った。観測によって次の結果が得られた。

(1) 松山においてヒートアイランド現象の存在を明らかにした。

(2) ヒートアイランド強度(ΔT)は特徴的なW型の日変化パターンを持つことが明らかになった。夜間と正午

付近で ΔT は大きくなる。

(3) 降雨によってヒートアイランド現象が大きく緩和されることが明らかになった。

ただし、本研究で得られたヒートアイランドの挙動を説明することは簡単ではなく、都市と郊外の熱容量、天空率、人工排熱などの差異、および局地風との関係などを考慮して多面的に検討する必要がある。

謝辞：本研究は文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)(課題番号：20760332)による財政的援助を受けた。また、観測には小学校に協力していただいた。ここに合わせて謝意を表す。

参考文献

- 1) Oke T.R.: *Boundary Layer Climates*, Methuen & CO., LTD, London, pp.372, 1978.
- 2) 吉野正敏, 山下脩二: 都市環境学事典, 朝倉書店, pp.232-251, 1998.
- 3) 環境省: 平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について報告書, pp.15-21, 2001.
- 4) 日下博幸, 大庭雅道, 鈴木智恵子, 林陽生, 水谷千亜紀: 冬季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド:予備観測の結果, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.4, pp.10-14, 2009.
- 5) 久田由紀子, 杉原祐司, 松永信博: 福岡都市圏における夏季のヒートアイランド構造, 水工学論文集, 第48巻, pp.181-186, 2004.
- 6) 山下脩二: 日本におけるヒートアイランドの特徴とその形成要因について, 日本生気象学会雑誌, 23(1), pp.11-18, 1986.
- 7) Oke T.R.: *City size and the urban heat island*, Atmospheric Environment, Vol.7, pp.769-779, 1973.
- 8) 菅原広史, 池東旭, 遠峰菊郎: ヒートアイランド強度算定のための都市気温分布の検討—ソウル(韓国)の例—, 天気, Vol.52, pp.119-128, 2005.
- 9) 榎原保志, 森田昭範: 長野県白馬村におけるヒートアイランドの日変化・季節変化, 天気, Vol.49, pp.901-911, 2002.
- 10) 榎原保志, 三枝あかね: 晴天日と曇天日のヒートアイランド強度の違いと夜間ヒートアイランドの成因, 天気, Vol.49, pp.533-540, 2002.
- 11) 鍋島美奈子, 古崎靖朗, 中尾正喜, 西岡真稔: 移動観測によるヒートアイランド現象の実測 大阪平野の夜間気温分布, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.1, pp.23-29, 2006.
- 12) Jauregui E.: *Heat island development in Mexico City*, Atmospheric Environment, Vol.31, No.22, pp.3821-3831, 1997.
- 13) 木内豪, 中山有, 森脇亮, 神田学: 集水域における水・熱輸送の実態解明とモデリング—久が原水文気象観測データに基づいて—, 水工学論文集, 第48巻, pp.175-180, 2004.

(2009. 9. 30受付)