

甲府盆地における夏季夜間のヒートアイランド現象

Urban Heat Island at Typical Summer Nights in Kofu Basin

赤塚 慎*¹ 宇野 忠*¹ 十二村 佳樹*² 杉田 幹夫*¹
Shin AKATSUKA Tadashi UNO Yoshiki JUNIMURA Mikio SUGITA

*¹ 山梨県環境科学研究所 Yamanashi Institute of Environmental Sciences

*² 岐阜大学地域科学部 Faculty of Regional Studies, Gifu University

Corresponding author: Shin AKATSUKA, akats@yies.pref.yamanashi.jp

ABSTRACT

In this study, we tried to examine the actual condition of urban heat island at typical summer nights in Kofu basin by analyzing the nocturnal temperature at fixed observation points. In order to examine the spatial characterization of thermal environment, 38 observation points were divided into four groups, and respectively analyzed the number of hot summer nights day, temperature depression during nights, and mean temperature in each group. In addition, mean nocturnal temperature of each time was mapped by interpolating the data at fixed observation points. From these analyses, it was found that the hotter area remains until early morning and hot summer nights occur more frequently around the center of Kofu basin. On the other hand, in the west and east part of Kofu basin, the number of hot summer nights day is smaller and the range of temperature depression is higher. This is because the ratio of artificial land cover and the effects of rivers and terrain are different from each group.

キーワード: 熱帯夜, 夜間冷却, 定点観測

Key Words : Hot summer nights, Nocturnal cooling, Fixed point observation

1. はじめに

近年, ヒートアイランド現象が注目されており, その問題点の1つとして熱中症の増加が指摘されている. 熱中症の発症には昼間の高温が影響し, 山梨県においては最高気温が 33°C を超えると熱中症が急増することが明らかになっており⁽¹⁾, 熱中症による救急搬送者数も増加傾向にある⁽²⁾. また, 夜間に気温が高くなるほど睡眠中に目が覚めてしまう人の割合が増加し, 熱帯夜の増加が夏季の睡眠環境を悪化させ⁽³⁾, 熱帯夜の増加による睡眠障害が熱中症の発症に影響しているという報告⁽⁴⁾もある. さらに, ヒートアイランド現象は全ての季節において夜間に強く出現し⁽⁵⁾, 特に7, 8月に明瞭に出現すると言われている⁽⁶⁾.

これまで, 気象官署や各自治体の大気汚染常時監視測定局における気温測定や, 小学校等の百葉箱内に設置した温度計による気温測定等の長期定点観測によってヒートアイランド現象の実態を解明する研究⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾が行われているが, それらは日中の暑熱環境に関するものが多く, 夜間に注目したものはまだ少ない. さらに, ヒートアイランド現象緩和を目指した様々な対策が提案・実施され, それらに対する評価が行われているものの, 夜間を対象としたものは殆

どなく, 夜間のヒートアイランド現象緩和策に関する検討は十分に行われていないという指摘もある⁽¹⁰⁾.

以上から, 今後ヒートアイランド現象の緩和対策を検討する際には, 日中だけではなく夜間の暑熱環境を把握することが重要であると考えられる. そこで, 本研究では山梨県甲府盆地に位置する小学校の百葉箱内にデータロガー付サーミスタ温度計を設置し 2008 年から 2010 年の夏季に行った気温測定データを用いて, 甲府盆地における夏季夜間の暑熱環境の実態を明らかにすることを目的とする.

2. 対象地域及び解析手法

2.1 対象地域の概要

本研究では東京に隣接する山梨県の甲府盆地を対象域とする(図1). 甲府盆地は周囲を 1500m~3000m 級の山々に囲まれた東西約 40km, 南北約 30km の盆地であり, 標高は 200m~400m 程度である. 盆地内ではその地形的な要因により, 毎年夏季には酷暑環境が形成される. 表1に甲府気象台における 2008 年から 2010 年までの夏季(7,8,9月)気温概況及び山梨県における熱中症による救急搬送者数の状況を示す.

表1 山梨県における気温及び熱中症発症状況

年	甲府気象台の気温 (°C)					熱中症 搬送者数 (人)
	平均			最高	最低	
	日平均	日最高	日最低			
2008	25.2	30.9	21.5	37.8	14.3	158
2009	24.7	30.0	20.9	37.0	14.6	71
2010	26.5	32.2	22.6	37.5	11.0	340

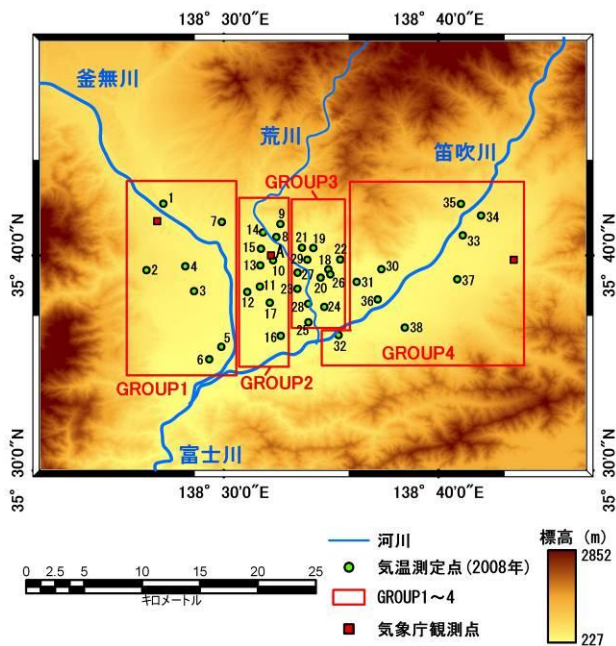


図1 対象地域

2.2 気温測定

甲府盆地に立地する小学校の百葉箱内にデータロガー付サーミスタ温度計(T&D社製RTR-53A)を設置し、10分間隔で自然通風状態において気温を測定した。図1に2008年に行った気温測定の測定点の配置を示し、表2に気温測定の概要を示す。

解析には各年の7月20日～8月31日の43日間のデータを用いることとし、熱帯夜の日数及び夜間冷却を表す指標として夜間下降温度を求めた。本研究では夜間下降温度を「午後6時における気温と翌日の最低気温との差」と定義し、対象地域内にある気象庁観測点(甲府気象台、アメダス勝沼、アメダス韮崎)の全てにおいて午後6時から翌日の午前6時の間に降水現象が観測されなかった日における夜間下降温度を計算した。

表2 気温測定の概要

年	期間	気温測定点
2008	7月14日～9月2日(51日間)	38点
2009	7月10日～9月2日(55日間)	39点
2010	7月15日～9月7日(55日間)	42点

2.3 気温分布図作成

降水現象が観測されなかった日の夜間の各時刻における平均気温分布図を作成する。作成する分布図の時刻は18:00, 21:00, 00:00, 3:00, 5:00であり、各測定点において各時刻の年平均気温を求め、さらにその3年間の平均値から空間補間を行うことで気温分布図を作成する。空間補間にはGIS解析ソフトウェアのGRASS6.3を用い、3年間測定が行われた38地点のデータをスプライン補間法により空間補間を行う。スプライン補間法は、ゴムシートのサーフェスが各測定点の属性値に対応する点(以下、入力点とする)を通過し、サーフェス全体の曲率が最小となるようにゴムシートを曲げるようにして補間を行う。このとき張力パラメータ及び平滑化パラメータの調整が必要となる。張力パラメータはゴムシートの硬さを制御するパラメータであり、張力パラメータの値が大きいとゴムシートは硬いため入力点はその近隣にしか影響を及ぼさない。また、平滑化パラメータはゴムシートと入力点との離れ具合を制御するパラメータであり、平滑化パラメータが0のときゴムシートは入力点を通過する⁽¹¹⁾。そこで、張力パラメータ30通り、平滑化パラメータ7通りの組合せでそれぞれクロスバリデーションを行い、残差の平均二乗誤差(RMSE)から最適なパラメータを決定することとした。本研究では、各測定点での補間後の値が入力点の値にできるだけ近く、入力点の値は周辺にしか影響を及ぼさない、つまり補間された値は遠くの入力点の影響を受けていないような補間を行うため、平滑化パラメータの値ができるだけ0に近く、張力パラメータの値ができるだけ大きく、クロスバリデーションのRMSEができるだけ小さくなることを条件に最適なパラメータを決定した。

2.4 夜間の風向・風速

対象地域内にある気象庁観測点の風向・風速データを用いて解析期間の夜間(18:00～翌日6:00)のベクトル平均風を求める。風向・風速データは10分値であるため、解析期間全体の18:00～翌日6:00までの10分値データをベクトル平均したベクトル平均風と、18:00～翌日6:00までの間に降水現象が観測されなかった日のベクトル平均風をそれぞれ求めることとした。

2.5 地域的特徴の把握

甲府盆地では、夏季晴天日には河川に沿った明確な風系が形成されていることが明らかになっている⁽¹²⁾。解析対象地内には主要な河川として釜無川、笛吹川、荒川の3つの河川が流れており、荒川は笛吹川へ合流し、さらに釜無川と笛吹川が盆地の南端で合流し富士川となり太平洋へと注いでいる。そこで、図1において赤枠で示すようにこれら3つの河川を基に気温測定点を4つのグループに分けて、甲府盆地における夜間の暑熱環境の地域的特徴を検討する。各グループは甲府盆地の西から

- (1) GROUP1：釜無川沿いにある気温測定点
- (2) GROUP2：釜無川と荒川の間にある気温測定点
- (3) GROUP3：荒川沿いにある気温測定点
- (4) GROUP4：笛吹川沿いにある気温測定点

とした。

一方、夜間のヒートアイランド現象の要因として人間活動の活発化による人工排熱量の増加、都市の凹凸構造化に伴う放射冷却の減少、熱容量の増加、アルベドの減少などが挙げられる⁽¹³⁾。特に、熱帯夜の増加は日中の太陽エネルギーを蓄え、夜間になっても大気に熱を放出し続ける蓄熱量の大きい人工被覆面の増加の影響が大きいと考えられる⁽¹⁴⁾。そこで、各気温測定点及びその周辺の土地被覆状態を衛星リモートセンシングデータから求め、各グループの土地被覆状態の特徴と暑熱環境の特徴との関係を検討することとした。本研究では、土地被覆状態を表す指標として正規化植生指標(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)、正規化建物指標(NDBI: Normalized Difference Built-up Index)⁽¹⁵⁾及び市街地化指標(BUAI: Built-Up Area Index)⁽¹⁶⁾をそれぞれ用い、各気温測定点を中心とした半径300mのエリアの平均値を計算した。なお、各指標の計算にはUSGS(アメリカ地質調査所)からダウンロードした2003年9月2日に撮影された地形補正済みLandsat7 ETM+ LIT データを用い、DN(デジタルナンバー)から放射輝度に変換した後、以下の式を用いてそれぞれ計算した。

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (1)$$

$$NDBI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \quad (2)$$

$$BUAI = NDBI - NDVI \quad (3)$$

3. 結果及び考察

3.1 熱帯夜日数

各気温測定点及び気象庁観測点において解析期間内に熱帯夜が記録された日数を表3に示す。本研究で行った気温測定と、気象庁が行っている気温測定とは測定条件が異なるため単純に比較することは難しいが、甲府気象台で記録された熱帯夜日数と本研究の気温測定点における平均熱帯夜日数は、いずれの年もほぼ同じであった。また、最も多く熱帯夜を記録した測定点の熱帯夜日数は甲府気象台の2倍以上であり、甲府盆地内には最大で甲府気象台で毎年記録される熱帯夜日数の2倍程度の熱帯夜が実際に記録されているエリアがあることが示唆された。

3.2 夜間冷却

各気温測定点および気象庁観測点における2008年から2010年までの解析期間内の夜間下降温度をそれぞれ計算したところ、気温測定点の平均値及び気象庁観測点にお

表3 熱帯夜が記録された日数

年	気温測定点			気象庁観測点		
	最大 (日)	最小 (日)	平均 (日)	甲府 (日)	勝沼 (日)	韮崎 (日)
2008	17	0	9.68	10	2	0
2009	8	0	3.10	3	0	0
2010	30	1	18.24	17	6	0

る平均値は表4のようになった。このとき、夜間下降温度は夜間に降水現象が観測されなかった日だけ計算している。表4より、甲府盆地では夜間に降雨が無い場合、平均して5°C程度の温度低下が起こることがわかり、日中の気温が比較的低温熱帯夜が少ない2009年のような場合は、5.5°C程度の温度低下が見られることがわかる。温度低下量に差が現れる要因は、日中の気温が高い場合には、蓄熱量も多く、夜間になっても大気を暖めつけ、さらに冷房使用による人工排熱も加わり、大気の温度低下が抑制されているためであると考えられる。また、周囲に人工被覆面が比較的少ない韮崎ではいずれの年も熱帯夜は記録されず、夜間平均下降温度にもほとんど違いが見られないことから、夜間の温度低下量の差に蓄熱量や人工排熱が影響していることが示唆される。

表4 夜間平均下降温度の期間内平均値

(日数は夜間に降水現象が観測されなかった日数を示す)

年	気温測定点の 平均値(°C)	甲府 (°C)	勝沼 (°C)	韮崎 (°C)	日数 (日)
2008	5.18	4.74	5.25	5.07	30
2009	5.80	5.46	5.82	4.98	23
2010	5.21	4.79	4.79	5.07	30

3.3 夜間の気温分布

クロスバリデーションの結果から、本研究では張力パラメータを65、平滑化パラメータを0に設定し、スプライン補間法により気温分布図を作成した。このときの、各時刻の気温分布図のRMSEは0.03~0.05°Cであった。図2に2008年から2010年の解析期間内で夜間(18:00~翌日6:00)に降水現象が観測されなかった日の各時刻における平均気温分布を示す。図2には、標高500m以下のエリアの気温分布を表示しており、灰色太線の等温線間隔が1°Cで、灰色細線の等温線間隔が0.2°Cである。この図から、甲府盆地中心部には朝方まで島状の高温域が存在しており、甲府盆地における夜間のヒートアイランド現象が確認できる。

本研究では甲府盆地内における夜間の暑熱環境の現状を把握することを目的としているため、気温測定点における観測値をそのまま用いることを重視し、標高補正は行わずに分布図を作成した。なお、標高補正を行った気温データを用いて、同様に張力パラメータ30通り、平滑化パラメータ7通りの組合せでそれぞれクロスバリデーションを行

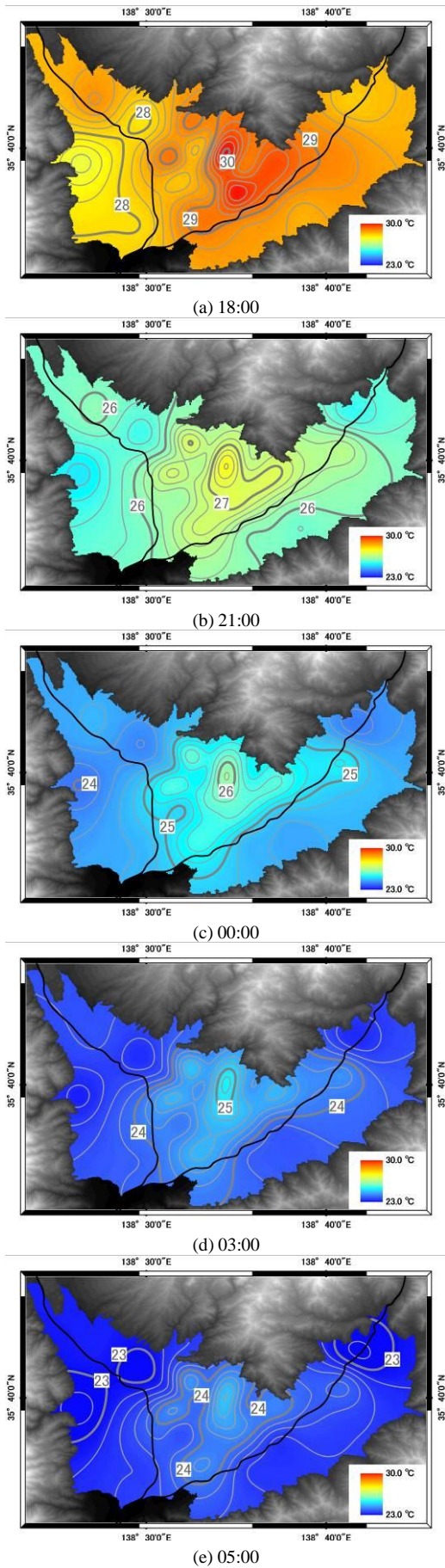


図2 夜間の平均気温分布図

ったところ、各時刻の気温分布図の RMSE の最小値は 0.02~0.04°C であり標高補正を行わない場合とほぼ同じであった。

3.4 夜間のベクトル平均風

気象庁観測点における風向・風速の 10 分値データを用いて、夜間のベクトル平均風を求めた(図3)。図3の左列は解析期間全体の毎日のベクトル平均風をプロットした散布図であり、右段は降水現象が観測されなかった日のみをプロットしたものである。この図から、甲府では西からの風、勝沼では南東からの風、韮崎では南西からの風の出現頻度が高く、甲府での風速は勝沼や韮崎に比べ大きいことがわかる。

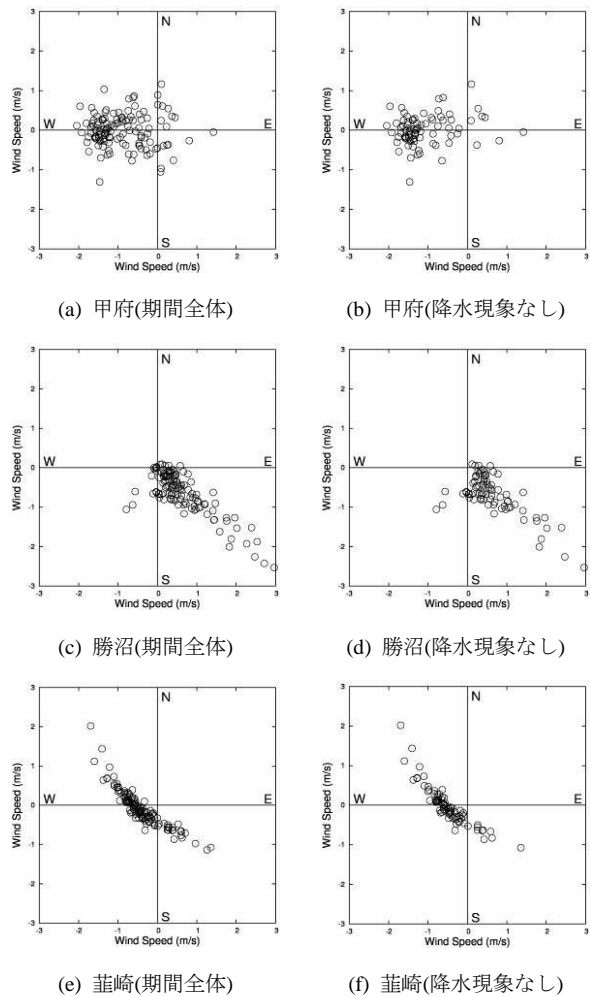


図3 夏季夜間のベクトル平均風の散布図

3.5 地域的特徴の把握

図4に各気温測定点における2008年から2010年の年平均熱帯夜日数を示す。この図から荒川沿いの気温測定点(GROUP3)において熱帯夜が多く記録される傾向にあるこ

とがわかる。この GROUP3 のエリアは甲府市街地中心部に
 対応している。甲府気象台は GROUP2 のエリアに位置して
 おり、3.1 で述べた甲府盆地内において甲府気象台で毎年
 記録される熱帯夜日数の 2 倍程度の熱帯夜が実際に記録さ
 れている可能性があるエリアは GROUP3 のエリア、つまり
 甲府市街地中心部であると考えられる。

次に、図 5 に降水現象が観測されなかった日の甲府気象
 台と各グループにおける夜間平均気温の時間変動を示し、
 図 6 に平均熱帯夜日数と夜間平均下降温度との関係を示す。
 また、表 5 に各グループの NDVI, NDBI, BUAI の平均値を
 それぞれ示し、図 7 に BUAI マップを示す。NDVI は値が大
 きいほど植生が多いことを示す指標であり、NDBI 及び
 BUAI は値が大きいほど人工被覆面が多いことを示す指標
 であるため、GROUP1 と GROUP4 の気温測定点周辺では
 植生が多く人工被覆面が比較的少ないと考えられ、
 GROUP2 と GROUP3 の気温測定点周辺では植生が比較的
 少なく、人工被覆面が多いことがわかる。

図 6 から GROUP1 の甲府盆地西部釜無川沿いの気温測
 定点では、夜間下降温度が比較的小さいにもかかわらず熱
 帯夜日数は少ないことがわかる。また、図 5 から GROUP1
 の 18:00 の平均気温は他のグループより低いことがわか
 るため、GROUP1 のエリアでは人工被覆面が比較的少なく、
 日中の気温もそれほど上昇しないため GROUP1 では夜間
 下降温度が比較的小さいにもかかわらず熱帯夜日数は少な
 いと考えられる。

GROUP4 の甲府盆地東部笛吹川沿いの気温測定点では、
 夜間下降温度が大きいにもかかわらず、熱帯夜は GROUP2
 とほぼ同程度の日数を記録している。図 5 では、GROUP4
 の 18:00 の平均気温は GROUP2 とほぼ同じであるが、時間
 が経つにつれて GROUP4 の平均気温が低くなっている。し
 たがって、GROUP4 のエリアでは日中の気温が GROUP2
 や GROUP3 のエリアと同程度まで上昇するが、人工被覆面
 が比較的少ないため夜間下降温度が大きく、それにより熱
 帯夜の日数は GROUP2 や GROUP3 よりも少なくなってい
 ると考えられる。

一方、GROUP2 の釜無川と荒川に挟まれたエリアの気温
 測定点では、夜間下降温度が小さく、熱帯夜は多く記録さ
 れる傾向にある。また、GROUP3 の荒川沿い甲府市街地中
 心部の気温測定点では、夜間下降温度が GROUP2 よりも大
 きいにもかかわらず、熱帯夜がより多く記録される傾向に
 ある。これは、GROUP2 及び GROUP3 のエリアは、人工被
 覆面が多く蓄熱量の影響が大きいためと考えられ、NDVI
 値がわずかに大きく、NDBI 値及び BUAI 値がわずかに小
 さい GROUP2 の方が人工被覆面はより少なく、GROUP3 より
 も熱帯夜日数が少なくなっている。また、GROUP3 の夜間
 下降温度は人工被覆面の少ない GROUP1 のそれよりも大
 きくなっている。GROUP3 は甲府市街地中心部に対応して
 おり、GROUP1 や GROUP2 のエリアよりも夜間の人工排熱
 が大きく、都市の凹凸構造に伴う放射冷却の減少がより顕
 著なエリアであることが予想される。それにもかかわらず、

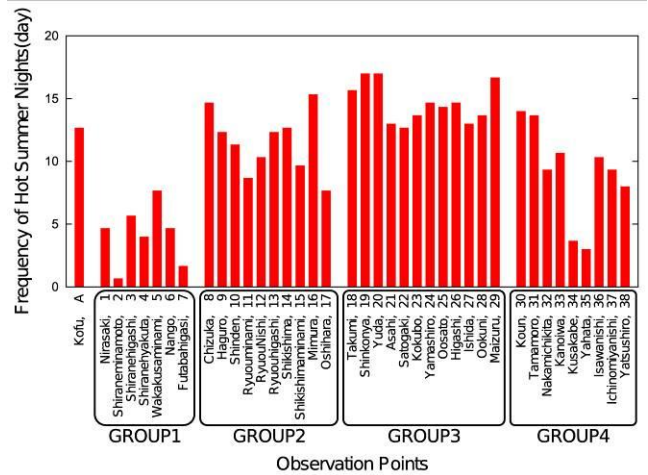


図 4 甲府気象台と各測定点における年平均熱帯夜日数
 (2008 年～2010 年)

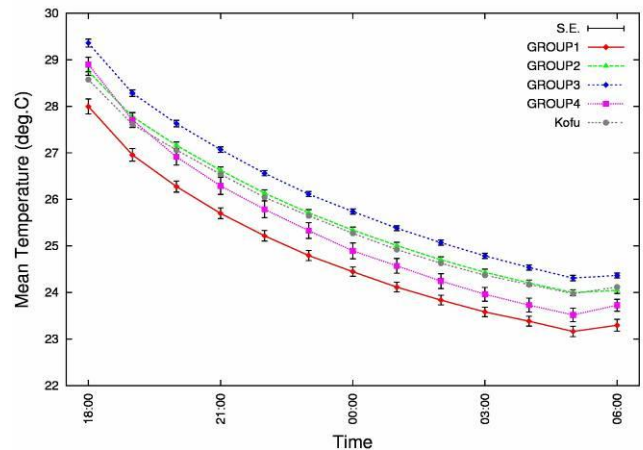


図 5 甲府気象台と各グループにおける夜間平均気温の
 時間変動 (エラーバーは±S.E.(標準誤差)で表示)

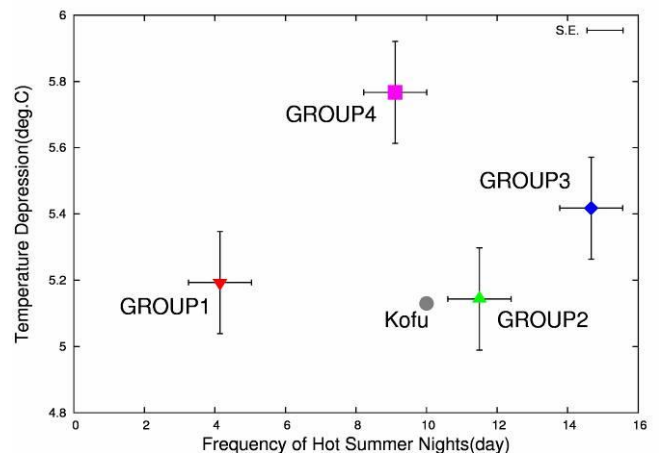


図 6 甲府気象台と各グループにおける熱帯夜日数と夜間
 下降温度との関係
 (エラーバーは±S.E.(標準誤差)で表示)

夜間下降温度が大きいには、河川や地形が関係しているのではないかと考えられる。

表5 各指標の平均値

	NDVI	NDBI	BUAI
GROUP1	0.21	-0.79	-1.00
GROUP2	0.10	-0.75	-0.85
GROUP3	0.02	-0.73	-0.75
GROUP4	0.26	-0.79	-1.05

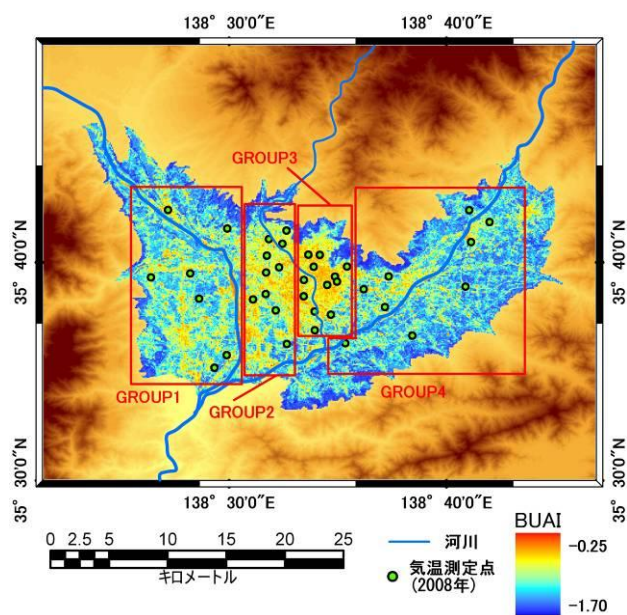


図7 BUAI マップ

4. おわりに

本研究では、甲府盆地に位置する小学校の百葉箱内にデータロガー付サーミスタ温度計を設置し 2008 年から 2010 年の夏季に行った気温測定データを用いて、甲府盆地の夏季夜間の暑熱環境の実態を明らかにすることを試み、以下のような結果が得られた。

- ・甲府市街地中心部では甲府気象台で記録される熱帯夜日数よりも多く熱帯夜が記録されている可能性がある
- ・夜間に降水現象が観測されなかった日の各時刻における平均気温分布図には甲府盆地中心部に朝方まで島状の高温域が存在しており、甲府盆地における夜間のヒートアイランド現象が確認できた
- ・夏季の夜間、甲府では西風、勝沼では南東風、韮崎では南西風の出現頻度が高く、甲府における風速は勝沼や韮崎に比べ大きい
- ・釜無川と荒川に挟まれたエリア及び荒川沿いの甲府盆地中心部では、朝方まで高温域が確認でき、熱帯夜が多く記録される傾向にある。一方、甲府盆地東部笛吹川沿い

のエリアは人工被覆面が比較的少ないため夜間下降温度が大きく、それにより熱帯夜の日数は甲府盆地中心部よりも少ない。また、甲府盆地西部釜無川沿いのエリアは人工被覆面が比較的少なく、日中の気温もそれほど上昇しないため夜間下降温度が比較的小さいにもかかわらず熱帯夜日数は少ないと考えられる

なお、本研究では甲府盆地における夜間の風向・風速の大きな傾向の把握を行ったが、夜間の気温分布と風向・風速との関係の検討は行わなかった。甲府市街地中心部の夜間の暑熱環境には河川や地形が関係し、それに伴う風の影響も大きいと予想されるため、よりマイクロなスケールで風向・風速の測定を行い、気温分布との関係を検討することが今後の課題である。

謝辞

山梨県における熱中症による救急搬送者数のデータは山梨県総務部消防防災課から提供していただきました。また、気温測定にご協力いただいた各小学校の関係者の皆様に、記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 入来正躬・橋本眞明, 熱中症発症の地域差 - 山梨県と北海道の比較から -, 日本生気象学会雑誌, 43(2006), pp.23-33.
- (2) 十二村佳樹・渡辺浩文, 甲府盆地における都市熱環境と熱中症の実態に関する研究 その3 2004年から2009年に発生した熱中症の実態精査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2010), pp.905-906, 富山.
- (3) 環境省, ヒートアイランド対策ガイドライン, (2009), pp.146.
- (4) 仲井誠一, 熱中症死亡数と気象条件 - 日本における21年間の観察 -, 日本生気象学会雑誌, 30(1993), pp.169-177.
- (5) 飯澤功・矢島新・梅谷和弘・小野耕作・鮎村尚紀・伊藤文・酒井敏, 京都市におけるヒートアイランド現象の観測 - 地域レベルの熱慣性と、郊外から都市部への移流 -, 日本気象学会大会講演予講集, 91(2007), p.161, 東京.
- (6) 榊原保志・原芳生・加藤俊洋, 越谷市南東部における臨時定点観測によるヒートアイランド強度の特徴, 天気, 43(1996), pp.537-543.
- (7) 奥津千里・佐俣満夫・白砂裕一郎・下村光一郎・井上友博, 横浜市内の気温観測調査 - 2008年夏季の観測結果 -, 横浜市環境科学研究所報, 33(2009), pp.9-11.
- (8) 榊元慶子・谷口一郎・野邑奉弘, 2005年の大阪市域における気温分布の特徴とヒートアイランドの発生状況, 日本ヒートアイランド学会論文集, 1(2006), pp.30-35.
- (9) 横山仁・安藤晴夫・大久保さゆり・赤坂郁美・高橋一之, 夏季における東京都内の気温分布について - 2007年~2009年における観測結果 -, 東京都環境科学研究所年報, (2010), pp.45-49.
- (10) 長沼慶幸・村上周三・大岡龍三・岩村裕也・小野剛司, ヒー

トアイランド緩和方策が夜間の屋外温熱環境に及ぼす影響の検討, 2005 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 76(2005), pp.449-452

- (11) M. Neteler and H. Mitasova, *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach* (2008), Springer, New York.
- (12) 神田学・角井充, 甲府盆地における夏季晴天日の風系及び気温分布の解析, 天気, 42(1995), pp.763-771.
- (13) 日下博幸, 2次元都市気象モデルによる夜間のヒートアイランド形成機構の解明, 電力中央研究所報告, N05069(2006), pp1-11.
- (14) 宮崎ひろ志, ヒートアイランド抑制のための都市の蓄熱分布推定 - リモートセンシングを用いた蓄熱分布推定手法の基礎的研究 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2002), pp.555-556, 石川.
- (15) Y. Zha, Y. Gao and S. Ni, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 24(2003), pp.583-594.
- (16) C. He, P. Shi, D. Xie and Y. Zhao, Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach, *Remote Sensing Letters*, 1-4(2010), pp.213-221.

(Received March 31, 2011, Accepted June 20, 2011)