

WBGT値を用いた緑地内外の夏季における暑熱強度分布の解析

Analysis of the Summer Seasons Heat Stresses around the Wakayama Castle Park by WBGT index

○山田宏之* 養父志乃夫* 中島敦司* 中尾史郎*
Hiroyuki YAMADA*, Shinobu YABU*, Atsushi NAKASHIMA*, Shiro NAKAO*

ABSTRACT : WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index is now the standard index for study of heat stress thermal environments. The purpose of this study is to compare the WBGT distributions with air temperature distributions, relative humidity distributions and absolute humidity distributions around the Wakayama Castle Park. From 8 to 16, August, 2000, nine times of observation has done in mid daytime (12h, 14h). We use two WBGT observation meters (WBGT-101, Kyoto Electronics Manufacturing Co.) for observing 13 points around the Wakayama Castle Park, and use three assmann aspiration psychrometers for observing 36 points at the same area. The results are follows; 1) In the park area, WBGT and air temperatures show lower values as compared with the city area, and at the center area of the park, both values become minimum. The relative humidity and the absolute humidity shows the higher values in the park area and become maximum at the center area. 2) WBGT values in the park area are always under the danger level (29.5 °C).

KEYWORDS : WBGT Index, Open Space, Heat Stress, Wakayama Castle Park

1. はじめに

本研究においては、緑地内外における暑熱強度分布をWBGT値を用いて明らかにすることを主な目的に調査研究を行った。従来は測定機器の性能の関係から、WBGT値のような輻射環境を考慮した湿熱環境指数の平面的な分布を計測するというのは非常に困難であり^{*)}、実際の測定事例というのは皆無であった。本論では、応答速度の速い測定機器を複数用いて、緑地内外の暑熱強度の平面分布特性の一端をを明らかにするとともに、気温や湿度等の平面分布との比較を行った結果を報告する。

調査対象とした和歌山城公園は、和歌山市街地の中央部に位置し、東西に600m、南北に400mほどの広がりをもった緑地である。敷地内には、太平洋戦争時の空襲をも耐えた古木が散在し、樹木密度の比較的高い緑地となっている。また、公園の北側から東側にかけての半周程度は堀で囲まれており、水面の占める面積も大きい。周辺部には和歌山県庁、和歌山市役所等の行政拠点が多く存在し、和歌山市全体から見ても、最も市街化が進んでいる地域に位置し、和歌山城公園は市街地中心部における唯一の大規模緑地となっている。

このような立地条件から見て、和歌山城公園は、市街地内の緑地の微気象緩和効果の研究のために好適な条件を備えているものと言える。

2. 研究方法

2. 1. 測定対象および測定期間

測定対象地は和歌山城公園内と、それに隣接する周辺市街地部分とした。WBGT値の測定点は公園内7カ所、

*和歌山大学システム工学部、Wakayama Univ., Fac. of Systems Engineering

周辺市街地 6 カ所の計 13 カ所を設定した。また、これとは別に、気温および湿度の測定点を公園内 12 カ所、周辺市街地 24 カ所の計 36 カ所に設定した。それぞれの測定位置は図－1 に示す。

測定は 2000 年 8 月 4、8、14、15、16 日の 5 日間行い、それぞれ 12 時と 14 時における平面分布のデータを計測した。なお、8 月 4 日については、天候条件の関係から 14 時の測定のみを行った。測定日は雲量 5 未満の晴天日で日照のある時間帯を選び、典型的な夏の晴天時に計測を行うようにした。

2. 2. 測定方法

測定は京都電子工業（株）製の WBGT 計測器（WBGT-101）を 2 台、大型のアスマン通風乾湿計（佐藤計量器製作所、SK-RHG）を 3 台用いて行った。WBGT 計測器では、WBGT 値、気温、黒球温度、相対湿度、湿球温度のデータが同時に測定できる。WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) は暑熱環境下での熱ストレスを表す環境指標として ISO 7243 に規定されているものであり^{10) 11) 13)}、屋外の暑熱環境の指標としての有効性も実証されている^{12) 14)}。この測器は直径 5 cm の小型グローブ球を用いて温度を測定し、それを通常の 15 cm 球を用いた場合の推定値に変換してグローブ温度を求める構造であるため、通常の WBGT 計測よりも迅速に計測を行うことができる⁹⁾。測定位置は WBGT の標準的な計測法（ISO 7243）に従い¹²⁾、人体の腹部の高さに相当する地上 1.1 m の位置とした。今回の測定においては、緑地内の WBGT 測定地点は全て日陰地を、市街地の測定点は全て日照地を選んで設定している。

アスマン通風乾湿計による測定は、WBGT 測定とできるだけ測定高差を小さくするため、国際規定の下限值である地上高 1.25 m で行った⁴⁾。そして、計測結果から相対湿度および絶対湿度（容積絶対湿度、g/m³）を計算した。測定は 12 時および 14 時から、あらかじめ定めた測定点を 5 名の調査員で順番に測定していく方法で行った。全ての測定点を計測し終わるのに、およそ 45 分間程度を要した。測定の前後で、同一地点の測定値を比較し、著しい差異が生じた場合には補正を行う予定であったが、今回の測定では最大でも 1.0℃を超えない差であったため、時間補正は行わなかった。

2. 3. 解析方法

WBGT 値による暑熱環境の評価については、既報^{16) 18)}と同様、表－1 の値⁹⁾を用いた。測定結果から WBGT 値、気温、相対湿度、容積絶対湿度の分布図を作成し、それらを相互に比較することによって、緑地内外における暑熱環境分布の特性について考察した。

表－1 WBGT の値と熱負荷の評価

WBGT 値	熱負荷の評価
26.5℃	未馴化のときは慎重に運動
28.0℃	長距離走中止。ラグビー練習延期。危険率が特に高いレベル
29.5℃	激しい運動は中止
31.2℃	運動は全て中止

出典：中井他(1990)

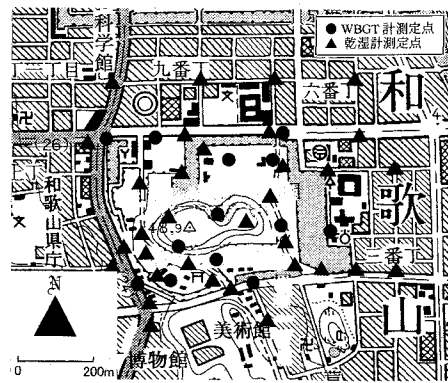
3. 結果および考察

3. 1. 気温分布の測定結果

9 回の測定結果のうち、2000 年 8 月 8 日 12 時の測定結果を図－2 に、8 月 15 日 14 時の測定結果を図－3 に示す。図中、等温線は 0.5℃毎に引いてある。また、図中左側の矢印は、測定時の平均的な風向を示すものである。

8 日 12 時において緑地内で記録された最低の気温は 29.2℃、市街地で記録された最高の気温は 33.9℃であり、最大気温差は 4.7℃となった。緑地内は中央部に向かうほど低温となり、市街地との境界部分で顕著な温度差を生じている。市街地部分では、風下側で 31.5℃以下を示す区域が大きく広がっており、緑地による低温空気のしみ出し^{6) 7)}が影響しているものと考えられる。

15 日 14 時の測定結果では、最大気温差は 5.7℃に達した。市街地部で記録された最高の気温は実に 38.5℃に



図－1 測定点位置図

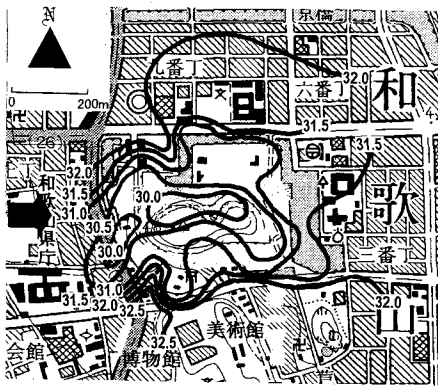


図-2 2000年8月8日12時の気温分布(°C)

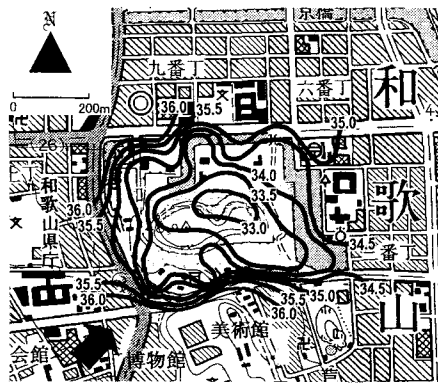


図-3 2000年8月15日14時の気温分布(°C)

達している。これは測定期間中に記録された最も高い値である。しかし、この時刻には、後述するように夏季としては異常に低い湿度状態となっており、計測者の体感的には、さほど強い熱ストレスは感じられなかった。緑地内の気温分布は8日12時の結果と概ね同様の傾向であるが、風向の関係から、8日に見られたような緑地の東側への低温空気のしみ出しは顕著ではなかった。

これら以外の測定結果についても、緑地内での気温分布の形状は概ね似た形となったが、市街地部分での気温分布は測定日によって様々に変化した。市街地への低温空気のしみ出しは、比較的強い西風が吹いた時に現れる傾向にあった。

3. 2. 相対湿度分布の測定結果

9回の測定結果のうち、2000年8月8日12時の測定結果を図-4に、8月15日14時の測定結果を図-5に示す。図中、等値線は2.0%毎に引いてある。

8日12時においては、緑地内で記録された最高の湿度は73.7%、市街地で記録された最低の湿度は56.7%であり、最大湿度差は17.0%となった。緑地内は中央部に向かうほど高湿となり、市街地との境界部分、風上側で顕著な湿度差を生じている。市街地部分では、風下側で高湿を示す傾向が比較的明瞭に認められた。これは気温の場合と同様の傾向である。

15日14時の測定結果では、緑地内で記録された最高の湿度は28.0%、市街地で記録された最低の湿度は19.7%であり、最大湿度差は8.3%であった。これらの数値は他の測定日と比較しても明らかに小さく、夏季の

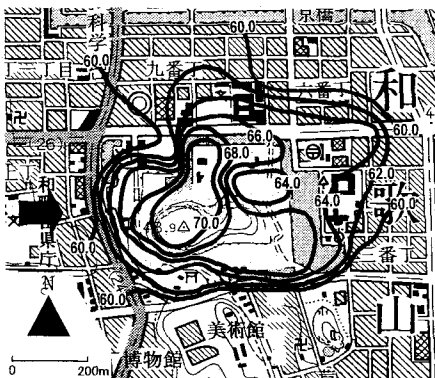


図-4 2000年8月8日12時の相対湿度分布(%)

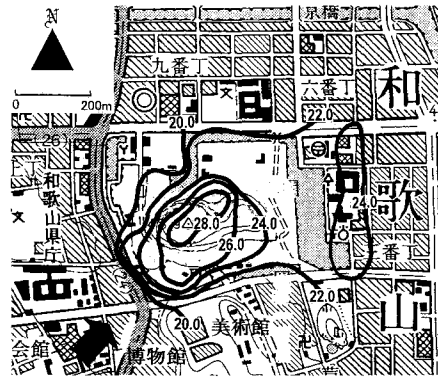


図-5 2000年8月15日14時の相対湿度分布(%)

相対湿度値としては普通ではないと言える。緑地内の湿度分布は8日12時の結果と概ね同様の傾向であるが、この相対湿度分布図からは、風下側への湿潤な空氣の滲み出しが認められる。

これら以外の測定結果について検討すると、緑地中心部での高湿、市街地での低湿といった基本的な形は同様であったが、緑地内の湿度分布形状の偏り、市街地の湿度分布とも、測定日、時刻による差異が比較的大きく現れた。

3. 3. 容積絶対湿度の測定結果

2000年8月8日12時の測定結果を図-6に、8月15日14時の測定結果を図-7に示す。図中、等値線は 0.5 g/m^3 毎に引いてある。

8日12時においては、緑地内外での最大湿度差は 1.8 g/m^3 となった。緑地内は中央部に向かうほど概ね高湿となるが、気温、相対湿度ほど顕著ではない。風上側、風下側での差異は、ほとんど認められなかった。

15日14時の測定結果では、緑地内で記録された最高の湿度は 10.0 g/m^3 、市街地で記録された最低の湿度は 7.6 g/m^3 であり、最大湿度差は 2.4 g/m^3 であった。相対湿度と同様に、これらの数値は夏季の値としては極めて低い。緑地内の湿度分布は8日12時の結果と概ね同様の傾向であるが、この相対湿度分布図からは南東側の堀付近での高湿度化が認められる。

これら以外の測定結果について検討すると、緑地中心部での高湿、市街地での低湿といった基本的な形は同様であったが、いずれの場合も、気温や相対湿度のように顕著な差は生じていなかった。

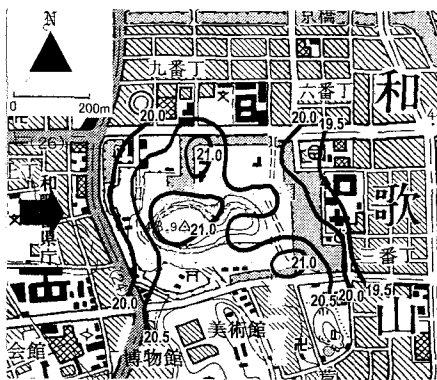


図-6 2000年8月8日12時の容積絶対湿度分布 (g/m^3)

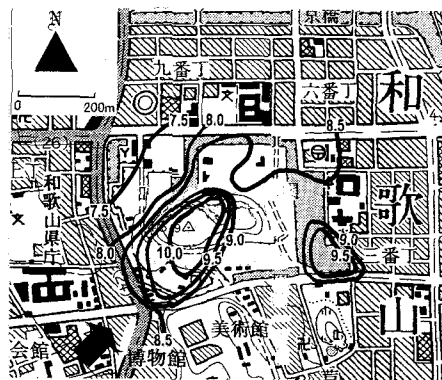


図-7 2000年8月15日14時の容積絶対湿度分布 (g/m^3)

3. 4. WBGT値の測定結果

2000年8月8日12時の測定結果を図-8に、8月14日12時の測定結果を図-9に、8月15日14時の測定結果を図-10にそれぞれ示す。図中、等値線は 0.5°C 毎に引いてある。WBGT値は、緑地内については全て日陰地で測定し、緑地外では全て日照地で測定するように調査地点を設定したため、これらの図は、緑地内は全て日陰、緑地外は全て日照地と仮定した場合の等値線を示すものである。従って、実際に存在する緑地内の日照地や緑地外の日陰地は、これらの等値線では表現されないことになる。

8日12時において、緑地内で記録された最低のWBGT値は 28.0°C 、市街地で記録された最高のWBGT値は 30.9°C であり、最大のWBGT値差は 2.9°C となった。緑地内は中央部に向かうほど低温となり、市街地との境界部分での温度差は、あまり顕著には現れない。風向との関係で見ても、風上側、風下側の差異は認められず、WBGT値に関しては、緑地周辺部への影響が小さいという結果になった。

14日12時の測定結果では、最大のWBGT値差は 6.3°C に達した。市街地部で記録された最高のWBGT値は 33.2°C であり、これが今回の全測定を通じてのWBGT値の最高値であった。このときの市街地部の測定点では全て 30.0°C を越えており、熱的に危険度の高いレベルにまで達していたと言えよう。また、緑地と市街地との境界部分での差は、8日の結果とは異なり非常に顕著であった。

15日14時の測定結果では、最大のWBGT値差は2.8℃であった。この差は全測定中で最も小さな値である。市街地部に記録された最高のWBGT値は27.2℃であり、8日12時の緑地内の最低WBGT値よりも更に低い値である。このように、15日14時に気温の測定値は全測定中最高を記録したにもかかわらず、市街地のWBGT値は逆に全測定中の最低を記録している。これは前述した相対湿度の低さが主原因と考えられ、人体への熱負荷の低減、という視点からの評価を行う際には、WBGTのような、輻射、湿度をも含めた温熱環境指数を用いて評価することが必要であることを示す端的なデータと言えよう。

今回の測定範囲では、相対湿度が高い条件下で緑地内外のWBGT値差が大きくなる傾向であったが、WBGT値は、気温、露出した湿球温度、グローブ温度の3つの値の加重平均値として表される指標のため¹³⁾、輻射、風速等の影響も強く受ける。従って、湿度の影響だけを取り上げて論じるのは適当ではないと考え、今回は詳細な解析を行わない。WBGT値はあくまで、それ単独で評価すべきものであり、緑地内外でのWBGT変化の一般的な傾向を記述するためには、より多くの測定事例を積み重ねていく必要があるだろう。

盛夏の酷暑期間中であるにもかかわらず、全測定結果を通じて緑地内のWBGT値が危険度の高まる29.5℃を上回ることとはなく、緑地内の日陰地における暑熱環境の緩和効果は十分であると言えるであろう。

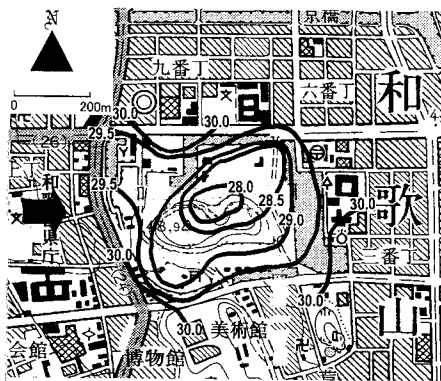


図-8 2000年8月8日12時のWBGT値分布(℃)

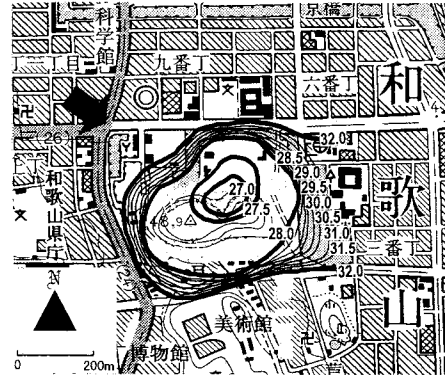


図-9 2000年8月14日12時のWBGT値分布(℃)

4. 総合考察

緑地内外における気温、相対湿度、絶対湿度の分布特性と、WBGT値の分布特性を比較すると、緑地内外で明瞭な差異が生じること、緑地中心部へ向かうに従って値が変化し、概ね同心円状の分布形を示すことなどが共通する特徴である。従って、緑地内は低温、高湿、低熱負荷であり、それは緑地中心部へ向かうほど顕著になる、という結論になる。これは、従来から得られている知見^{1) 6) 7) 16)}と整合する結論であり、WBGT値に関しても、従来からの気温、湿度等の微気象測定結果から推察される結果に近い結論と言えよう。

今回、WBGT値の分布からは、気温や相対湿度の場合に見られたような緑地周辺へのしみ出しは認められなかった。これはWBGT値の特性として、気温や相対湿度の微小な変化よりも、日射の有無という点に大きく影響される^{16) 18)}ためと推察される。しかし、今回の測定では、緑地内は全て日陰地、緑地外は全て日照地で測定するという割り切った方法を取ったため、このような微小な変化を検証するために十分な測定データを確保できたとは言いがたい面があり、これに関しては、今後、より精密な測定方法を工夫して検証していく必要があるだろう。



図-10 2000年8月15日14時のWBGT値分布(℃)

同時に測定された気温分布図とWBGT値図を比較すると、緑地内外での差、温度の絶対値ともに、全く異なった傾向を示すという結果になった。内外気温差が非常に大きくとも、WBGT値はさほど大きな違いを示さないこともあり、その逆の場合もあった。また、測定期間中最も気温が高い日に、WBGT値の方は逆に最低値を示すなど、その違いが鮮明に現れた。WBGT値は気温、湿度、輻射、風など多数の気象要素の総合評価であるため、このような結果となるのは不思議ではないが、緑地による暑熱環境の軽減効果の評価という視点で考える場合には、気温測定だけでは十分でないことが明らかになったと言えよう。

引用および参考文献

- 1) 藤崎健一郎・半田真理子 (1994) : 公園、街路樹等の植栽が微気象に及ぼす影響 : 造園雑誌, 57(5), p151-156
- 2) 石井昭夫他 (1988) : 屋外気候環境における快適感に関する実験的研究 : 日本建築学会計画系論文報告集, 386, p28-37
- 3) 石崎龍雄他 (1973) : 高温下武装行進における心拍数, 体温の変動について一暑熱及び寒冷による障害の研究, 第3報の2 - : 防衛衛生, 20(9), p367-377
- 4) 気象庁(1993) : 地上気象観測指針 : (社)日本気象協会, p43
- 5) 近藤充輔・荏司栄徳 (1984) : 高温環境の評価に関する一考察 : 産業医学, 26, p180-181
- 6) 丸田頼一 (1973) : 公園緑地内の気象 : 造園雑誌, 37, p33-55
- 7) 丸田頼一 (1983) : 都市気候と公園緑地 : 地理, 28(12), p43-50
- 8) 中井誠一他(1988) : WBGT-Meterの試作と運動時温熱環境の検討, 日本生気象学会誌, 36, p45
- 9) 中井誠一他 (1990) : 夏季運動時温熱環境の実態と温熱指標の比較 : 体力科学, 39, p120-125
- 10) 成瀬哲生・大倉良司 (1988) : 環境計測の実際(4)温熱感の測定法 : 空気調和・衛生工学, 62(9), p67-74
- 11) 日本産業衛生学会 (1984) : 許容濃度等の勧告 (1984) : 産業医学, 26, p399-353
- 12) 日本体育協会 (1993) : スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック
- 13) 田中辰明 (1987) : 国際規格ISO7730一適度な温熱環境・PMVとPDD指標の決定と熱的快適条件の明細 - : 空気調和・衛生工学, 61(3), p53-58
- 14) 寄本 明 (1992) : WBGTを指標とした暑熱環境下運動時の生体応答と熱ストレスの評価 : 体力科学, 41, p477-484
- 15) 山田宏之, 丸田頼一(1990) : 小規模樹林内における夏季の気温の低減について : 造園雑誌, 53(5), p163-168
- 16) 山田宏之(1996) : 各種温熱環境指数を用いた夏季緑陰の温熱環境評価 : ランドスケープ研究, 59(5), p65-68
- 17) 山田宏之他(1999) : 環境共生住宅団地の緑化による微気象緩和効果について : ランドスケープ研究, 62(5), p635-638
- 18) 山田宏之他 (2000) : 異なる地表面状態の屋外空間における夏季暑熱環境の評価 : ランドスケープ研究, 63(5), p543-546