

地表面構成素材の異なる建築外部空間における夏季暑熱環境に関する研究

Study on the summer seasons heat stresses in outdoor space on the different ground composition materials

峰村 太輔 ¹	山田 宏之 ²	小木曾 裕 ³
Taisuke MINEMURA	Hiroyuki YAMADA	Yutaka KOGISO
中尾 史郎 ²	中島 敦司 ²	養父 志乃夫 ²
Shiro NAKAO	Atushi NAKASHIMA	Shinobu YABU

ABSTRACT: WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index is the standard index of the thermal environments for the study on heat stress now. The purpose of this study is to compare the heat stresses of sunny place and tree shade, or building shade. From 12 to 15, August 2002, twenty-eight times of observation has done in daytime (11h-16h). We observed thermal environment of outdoor space where eight kinds of ground composition materials by using two WBGT observation meters (WBGT-101, Kyoto Electronics Manufacturing Co.). The results follows; 1) At the sunny place, the highest temperature observed was 31.7°C in WBGT index. WBGT index values are always in the danger level (31.2°C). Except for one place, WBGT index values in tree shade and building shade are always under the caution level (30.0°C). It is important to use the tree shade and building shade, in order to avoid the danger of heat stresses on summer. 2) Judging from WBGT index value at sunny place, the hottest place appears on the wood deck and the lawn is a good material to reduce the summer seasons heat stresses in the sunny place.

KEYWORD; Heat Stresses, WBGT Index, Ground Composition Materials, Tree Shade, Building Shade

1. はじめに

近年のヒートアイランド現象をはじめとする都市化に伴う夏季の暑熱状態は、スポーツ時や労働時だけでなく日常生活を行っている場面においても熱中症などの暑熱障害を起こす危険性が高い環境となっている。そのため、暑熱環境の問題は、居住環境として都市計画を行う際の改善すべき重要な事項となっている。夏季の暑熱障害予防の対策としては、緑陰などにより日射を遮蔽することが有効であり^{1) 2)}、このことは経験的にも知られている。

この暑熱障害予防措置に用いられる熱ストレスの評価に関する指標としては多くのものが用いられてきた。なかでも輻射環境を考慮した WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) は、暑熱環境の指標として国際規格 ISO7243 に規定され、日本産業衛生学会では労働時に高温許容基準を示す湿熱指標として用いられており³⁾、スポーツ時においても熱中症予防のための指標として採用されている^{4) 5)}。また、最近では WBGT が夏季における屋外の暑熱環境評価の指標として有効であることも報じられている^{1) 6)}。

近年、都市の建築外部空間においては、景観性や利用空間としての機能性が考慮されたランドスケープデザインのために、地表面及びその周辺空間を構成する素材が多種存在する。しかし、これらの空間を対象とした緑陰などの日射遮蔽装置と夏季暑熱環境の関係についての報告は少ない。

¹⁾ 和歌山大学大学院システム工学研究科 Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

²⁾ 和歌山大学システム工学部 Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

³⁾ 都市基盤整備公団 Urban Development Corporation

そこで本研究は、都心近郊に位置する都市型生活空間である集合住宅において、地表面構成素材の異なる様々な建築外部空間の温熱環境を測定することにより、日射遮蔽装置として考えられる建物や樹木などによって形成された日陰地と日向地との暑熱環境の差を比較し、人体への危険性を把握し、今後のランドスケープデザインを行う際の基礎的資料を得ることを目的に研究を行った。

本研究で対象とした東京都中央区臨海部の高層集合住宅は、東京都の都市開発諸制度に基づき、住宅市街地整備総合支援事業として実施された「大川端リバーシティ 21」及び、職、住、遊の複合空間の形成を図る市街地再開発事業として実施された「晴海アイランドトリトンスクエア」である。これらは、共にオープンスペースの確保を図るなどの快適な居住環境を目指して整備された都市型集合住宅であり、夏季暑熱環境に関する研究のケーススタディとして適しているといえる。

2. 研究方法

2. 1. 測定対象および測定期間

測定は、東京都中央区臨海部の高層集合住宅「大川端リバーシティ 21」内のオープンスペース空間である佃公園 3 ヶ所、石川島公園 2 ヶ所、及び「晴海アイランドトリトンスクエア」内のオープンスペース空間である晴海第一公園 3 ヶ所、晴海第二公園 5 ヶ所の計 13 ヶ所の日向地と日陰地とを対象に計 28 回行った。オープンスペース空間を構成する主要な地表面構成素材と考えられる芝生、地被類、裸地、コンクリート舗装、インターロッキング舗装、土系ブロック舗装、ゴム系舗装、ウッドデッキの 8 種の異なる地表面状態の空間を選定し、温熱環境について検討した。

測定は 2002 年 8 月 12 日から 14 日までの 4 日間行い、測定時刻は、熱中症患者数が最も多く出現する時刻である 11 時から 16 時にかけて、晴天日で日照のある時間帯に実施した。

2. 2. 測定方法

温熱環境の測定項目は、WBGT 値、黒球温度、気温、湿球温度、主要な地表面構成素材の地表面温度の 5 項目である。WBGT 値及び黒球温度測定については、京都電子工業㈱製の WBGT 計測器 (WBGT-101) を 2 基用いて行った。この計測器は直径 5cm の小型グローブ球を用いて温度を測定し、それを通常の 15cm 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。測定位置は WBGT の標準的な計測法 (ISO7243) に従い⁵⁾、人体の腹部の高さに相当する地上 1.2m の位置とした。気温、湿球温度については、㈱佐藤計量器製作所製のアスマン式通風乾湿計 (SK-RHG) を用いて行った。測定位置は、WBGT 測定との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 1.25m で行った⁷⁾。また、地表面温度については、放射温度計を用いて主要構成素材の地表面温度を測定した。

一回の測定にかかる時間は 5~6 分間程度であり、毎正時ごとに日向地と建物や樹木、パーゴラにより日射が遮蔽された日陰地との温熱環境を 2 基の WBGT 計測器で同時に計測し、各々の測定場所を順に測定していく方法で行った。

2. 3. 解析方法

WBGT 値による暑熱環境の評価については、既往研究¹⁾⁸⁾において報告されている値⁴⁾(表-1)を用いた。28.0℃以上になると熱中症等の暑熱障害を引き起こす危険性が高くなり(警戒レベル)、29.5℃以上では激しい運動は避けた方がよく(危険レベル)、31.2℃以上では全運動を避けるべき危険範囲となっている(極危険レベル)。

これらの評価基準をもとに、8 種の異なる地表面構成素材

表-1 WBGTの値と熱負荷の評価

WBGT値	危険度	熱負荷の評価
26. 5℃	注意	未馴化のときは慎重に運動
28. 0℃	警戒	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℃	危険	激しい運動は中止
31. 2℃	極危険	運動は中止

出典：中井他（1990）

からなる 13 空間を対象とした計 28 回の測定結果から、日向地と建物や樹木、パーゴラにより日射が遮蔽された日陰地における暑熱強度の同時比較を行うことにより、人体への危険性の差異について考察した。

3. 結果および考察

3. 1. 日向と日陰における WBGT 値の測定結果

(1) 日向と日陰における WBGT 値の比較

4 日間の測定期間中で WBGT が最高値を記録したのは、8 月 14 日 12 時に晴海第二公園内のウッドデッキで覆われた空間において記録した 31.7℃であった (図-1)。この空間ではパーゴラによる日陰地との同時比較を行った結果、日陰地の WBGT 値は 28.6℃であり、日向地との WBGT 値差は 3.1℃となり、測定期間中最も大きい温度差となった。また、ウッドデッキは 8 種の異なる地表面状態の中で、地表面温度が最高値の 57.8℃を記録した。ウッドデッキの高温化による輻射の増大により、WBGT がその影響を受けた結果であると考えられる。

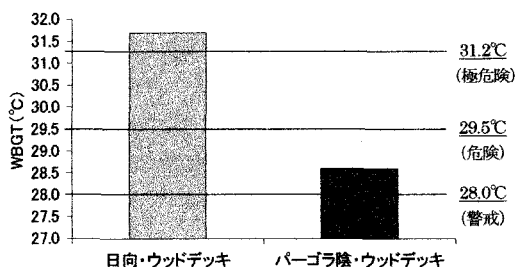


図-1 日向とパーゴラ陰における WBGT 値の比較 (2002.08.14.12時)

全 28 回における測定の結果、建物や樹木の日射遮蔽装置による日陰地の WBGT 値低減量についてみると、建物陰で覆われた空間では、WBGT 値は日向地より 1.1～2.4℃低減された。また、緑陰で覆われた空間では、日向地より 0.8～3.0℃低減された。この結果から、建物と樹木との間には日射遮蔽装置としての性能に明確な差はみられなかったが、建物陰、樹木緑陰とも WBGT 値は日向地より大きく低減され、熱中症等の暑熱障害を回避するには、直達日射を遮ることが最重要であるといえる。

(2) WBGT 値の経時変化

最も厳しい暑熱環境となった晴海第二公園内の土系ブロック舗装で覆われた空間における、2002 年 8 月 14、15 日の測定結果を図-2、図-3 に示す。日向地における暑熱環境は厳しく、6 回の測定中 5 回 WBGT 値が極危険レベルの 31.2℃以上となり、WBGT 値の最高値は両日の 16 時に 31.6℃を記録した。また、ケヤキ単木の緑陰地において、WBGT 値が危険レベルの 29.5℃を越えたのが 6 回の測定中 4 回あり、15 日の 16 時の測定では最大値が 30.4℃となった。これは、気温が 4 日間の測定期間中で最高の 33.0℃を示し、湿球温度についても 26.0℃と高い値となったためと考えられ、16 時という時間帯においても暑熱障害を引き起こす可能性が十分にある一例といえる。

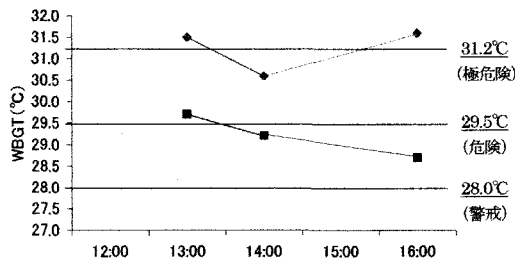


図-2 WBGT 値の経時変化 (2002.08.14)

◆ 日向・土系ブロック舗装 ■ 緑陰・土系ブロック舗装

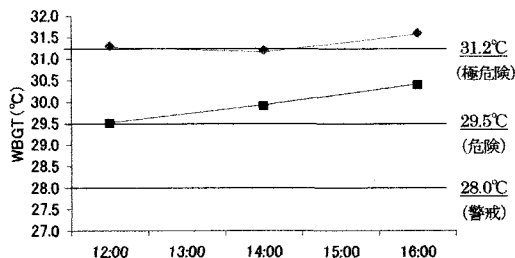


図-3 WBGT 値の経時変化 (2002.08.15)

◆ 日向・土系ブロック舗装 ■ 緑陰・土系ブロック舗装

(3) 危険度別の WBGT 出現率

全 28 回の測定結果より、日向地における危険度別の WBGT 値出現率をみると (図-4)、日向地は全ての測定記録において、警戒レベルである 28.0℃を越える結果となった。そのうち、29.5℃以上の危険レベルに達したのは全 28 回中 15 回 (53.6%)、極危険レベルの 31.2℃以上に達したのは全 28 回中 7 回 (25.0%) となった。

また、日陰地における全 28 回の測定結果から危険度別の WBGT 値出現率をみると (図-5)、最も厳しい暑熱環境となったケヤキ単木の緑陰地以外の建物陰や緑陰の日陰地においては、危険レベルである 29.5℃を越える場所はなく、快適な環境とはいかないまでも、緑陰地、建物陰地ともに日射を遮ることにより危険な値は回避していた。

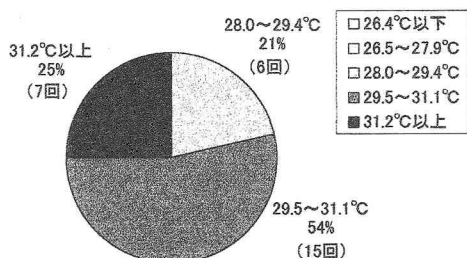


図-4 日向地における危険度別の WBGT 値出現率

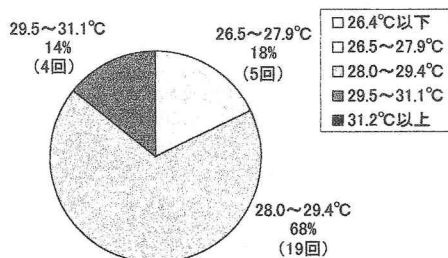


図-5 日陰地における危険度別の WBGT 値出現率

3. 2. 地表面構成素材の異なる空間別の温熱環境の比較

8 種類の異なる地表面構成素材からなる空間のうち、各々地表面状態の異なる 4 空間の WBGT 値、黒球温度と地表面温度の解析を行った。8 月 14 日 12 時に晴海第二公園内で測定した結果として、芝生で覆われた空間における日向地とケヤキ単木による緑陰地の測定結果を図-6、図-7、図-8 に、ゴム系舗装で覆われた空間における日向地とソメイヨシノ単木による緑陰地の測定結果を図-9、図-10、図-11 に示す。また、8 月 15 日 12 時に晴海第一公園内で測定した結果として、土系ブロック舗装で覆われた空間における日向地と建物陰地の測定結果を図-12、図-13、図-14 に示す。そして、8 月 12 日 14 時に佃公園内で測定した結果として、インターロッキング舗装で覆われた空間における日向地とケヤキ単木による緑陰地の測定結果を図-15、図-16、図-17 に示す。

日向地における 4 空間の地表面温度は、芝が 36.6℃だったのに対し、ゴム系舗装で 54.6℃、土系ブロック舗装で 43.2℃、インターロッキング舗装で 44.4℃と高温になっていた。一方、WBGT 値についてみると、芝で 30.2℃、ゴム系舗装で 30.8℃、土系ブロック舗装で 31.2℃、インターロッキング舗装で 30.1℃と、いずれも危険レベルの 29.5℃を超える結果となっていた。ウッドデッキなどの全 8 種類における地表面構成素材別について解析した結果、芝の地表面温度は人工物による被覆面より低温であり、黒球温度や WBGT は地表面温度の影響を受けていると考えられた。

日陰地における地表面温度の測定結果は、ソメイヨシノによる緑陰内の芝で 29.8℃、ケヤキによる緑陰内のゴム系舗装で 38.2℃、建物陰内の土系ブロック舗装で 28.8℃、ケヤキによる緑陰内のインターロッキング舗装で 28.3℃であった。日陰内の地表面温度は日射遮蔽面積や持続時間、日射強度などの影響を受けることから、素材別の地表面温度においては明確な差が見られず、日陰地における黒球温度及び WBGT 値に関しても明確な差は見られなかった。

これらの結果、芝は日向地における暑熱環境の緩和には有効であるが、日陰地においては明確な効果は見られなかった。これは、地表面からの輻射の影響が、他方向からの輻射よりも小さいことや、気温、湿度、気流等の局所差の影響により打ち消されてしまったためと考えられる。

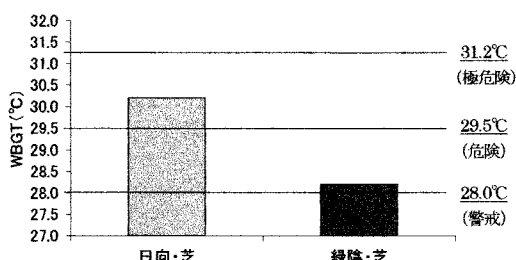


図-6 日向地と緑陰地における WBGT 値の比較
(2002.08.14.12 時)

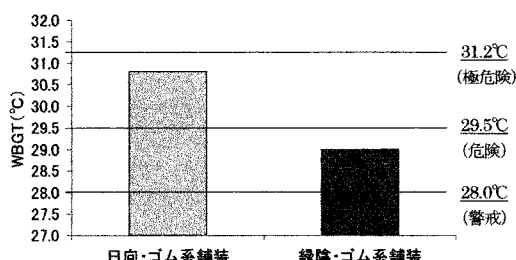


図-9 日向地と緑陰地における WBGT 値の比較
(2002.08.14.12 時)

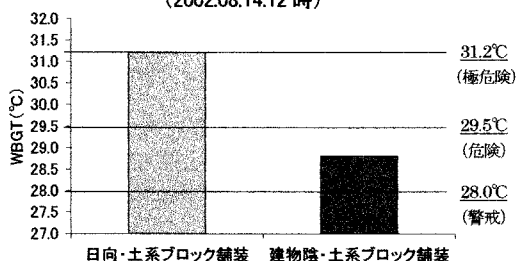


図-12 日向地と建物陰地における WBGT 値の比較
(2002.08.15.12 時)

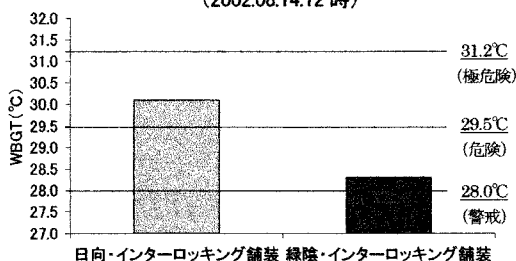


図-15 日向地と緑陰地における WBGT 値の比較
(2002.08.12.14 時)

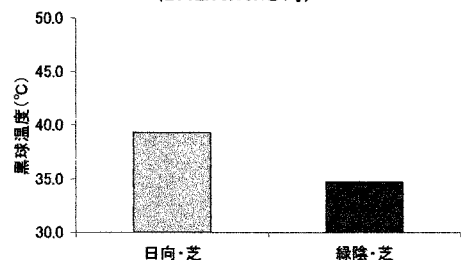


図-7 日向地と緑陰地における黒球温度の比較
(2002.08.14.12 時)

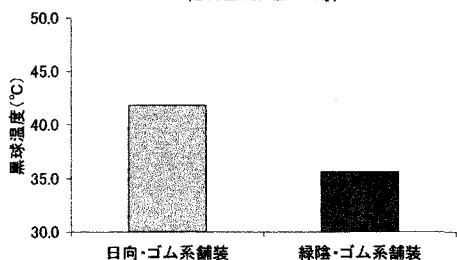


図-10 日向地と緑陰地における黒球温度の比較
(2002.08.14.12 時)

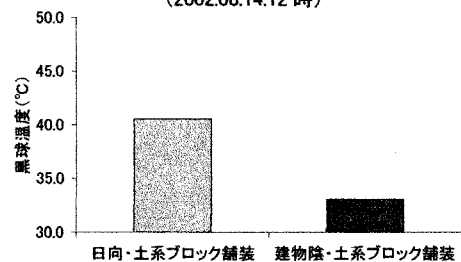


図-13 日向地と建物陰地における黒球温度の比較
(2002.08.15.12 時)

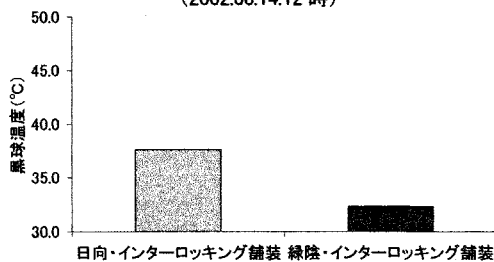


図-16 日向地と緑陰地における黒球温度の比較
(2002.08.12.14 時)

4. まとめ

本研究では、温熱環境調査として WBGT、黒球温度、地表面温度、気温、湿球温度の5項目の測定を行ったが、気温や湿球温度には、地表面構成素材の異なる空間内の日向地と建物陰や緑陰の日陰地との同時比較において明確な差がみられなかった。これは、緑陰の微気象に関する研究事例^{9) 10)}で、樹木緑陰内における気温は、真夏の日中においても1℃くらいしか低くなく、相対湿度は緑陰内が約3%高くなり、樹木緑陰は不快指数をわずかに低減させるに過ぎないという報告結果からもいえる様に、緑地による暑熱環境の軽減効果の評価を行う場合には、気温と湿球温度測定だけでは不十分であるといえる。

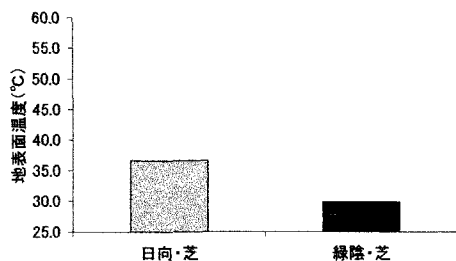


図-8 日向地と緑陰地における地表温度の比較
(2002.08.14.12 時)

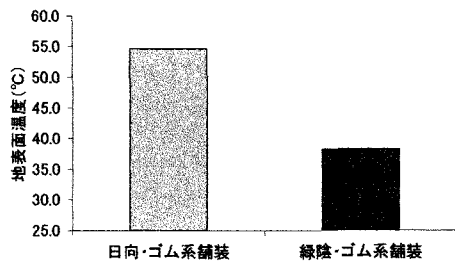


図-11 日向地と緑陰地における地表温度の比較
(2002.08.14.12 時)

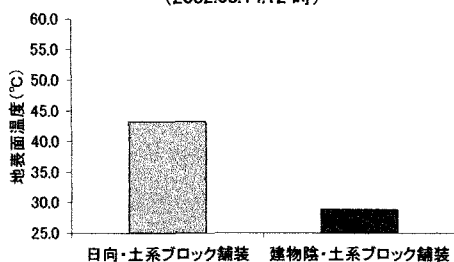


図-14 日向地と建物陰地における地表温度の比較
(2002.08.15.12 時)

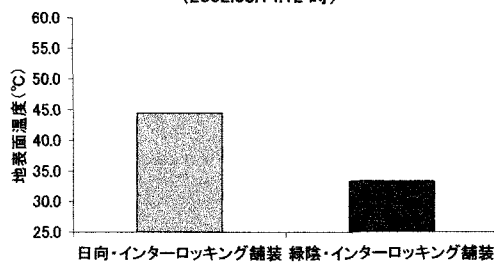


図-17 日向地と緑陰地における地表温度の比較
(2002.08.12.14 時)

WBGT 値は気温、湿度、輻射、気流などの気象要素を総合的に評価した指標であり、その特性としては、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¹⁾⁸⁾。本研究結果においても、日向地における暑熱環境は厳しく、WBGT 値は、地表面構成素材の種類に関係なく警戒レベルの 28.0°C を常に越える空間となり、極危険レベルの 31.2°C 以上となる環境も多く現れた。しかし、建物陰や緑陰などの日陰内では、WBGT 値は快適な環境とはいかないまでも危険な値となることはなかった。このことから、都市において熱的な危険性を回避するためには、夏の直達日射を遮ることが最重要であり、建物日陰や緑陰配置の問題は、ランドスケープデザイン上、重要であると考えられた。

【引用文献】

- 1) 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), p.65-68
- 2) 大村 寧他 (1997) : 暑熱環境における WBGT の雲, 藤だな, 樟, 日傘およびパラソルなどの Shade 依存性 : 日本衣服学会誌, 46(1), p.51-56
- 3) 日本産業衛生学会 (1983) : 許容濃度等の勧告 : 産業医学, 25, p.288-305
- 4) 中井誠一他 (1990) : 夏季運動時温熱環境の実態と温熱環境の比較 : 体力科学, 39, p.120-125
- 5) 日本体育協会 (1999) : スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック : p.15
- 6) 寄本 明他 (1992) : WBGT を指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価 : 体力科学, 41, p.477-484
- 7) 気象庁 (1993) : 地上気象観測指針 : (社) 日本気象協会, p.43
- 8) 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), p.543-546
- 9) 近藤三雄他 (1983) : 樹木、芝生の微気象調節効果に関する実証的研究 : 造園雑誌, 46(3), p.161-175
- 10) 中山敬一他 (1990) : 緑陰の微気象と快適性に関する研究 : 造園雑誌, 54(1), p.1-6