

1.はじめに

日本では、夏季に熱中症の危険性が高い暑熱環境の下で学生スポーツの全国大会、強化合宿などが行われている。スポーツ活動時の熱中症予防については、中井らの研究において暑熱順化、塩分摂取など活動者自身でできる予防と共に、活動中の環境温度について考慮することが推奨されている¹⁾。また、屋外空間の夏季暑熱環境は、地表面状態により差が生じることが山田らの研究で報じられている²⁾。しかし、使用用途が限定された屋外グラウンドという小空間において、舗装の違いによる暑熱環境の差およびその低減方法について論じられた研究例は多く見られない。本研究では、熱中症予防に優れたグラウンド舗装材の種類とその効果についての知見を得ることを目的として、舗装状態の異なる屋外グラウンド上の夏季暑熱環境をWBGT値によって評価した。また、人工芝グラウンド上の暑熱環境低減方法を提案することを第2の目的として、表面温度低減によるグラウンド上のWBGT値の変化を測定し解析した。

2.材料および方法

(1)測定項目と解析方法

測定項目はWBGT値、気温、黒球温度、相対湿度、地表面温度、日射量である。本研究では、暑熱環境指標にWBGT値を用いた。WBGT値は人体の熱収支に係る気温、湿度、輻射熱、気流の4要素を取り入れた指標である³⁾。算出式は次の通りである。

$$WBGT = 0.7tw + 0.2tg + 0.1ta$$

(tw:自然湿球温度 tg:黒球温度 ta:乾球温度)

暑熱環境の基準については、日本体育協会より提唱されている指標(表1)を用いた。各エリアの測定データについて、各種統計的手法により有意差を検定し、相互の暑熱環境の強度差を求めた。

表1 熱中症予防のための運動指針(川原ら 2006より)

WBGT値	熱中症予防のための運動指針	
31℃以上	運動は原則中止	WBGT値が31℃以上では、皮膚温より気温の方が高くなる。特別の場合以外は運動は中止する。
28～31℃	嚴重警戒	熱中症の危険が高いため激しい運動や持久走など熱負担の大きい運動は避ける。運動する場合には積極的に休息をとり水分補給を行う。体力が低いもの、暑さに慣れていないものは運動中止。
25～28℃	警戒	熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり、水分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休息をとる。
21～25℃	注意	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに運動の合間に積極的に水を飲むようにする。
21℃未満	ほぼ安全	通常は熱中症の危険性は小さいが、適宜水分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

(2)舗装材料について

グラウンドやコートの上層舗装材は、天然材料系の天然芝舗装材とクレイ系舗装材、化学合成材料系の人工芝舗装材に分類できる。

3.異なる舗装状態の屋外グラウンド上の夏季暑熱環境評価

3種の代表的な舗装材が用いられた屋外グラウンドにて、同一条件、同一環境下で暑熱環境を測定し、熱中症危険性の差異を比較した。

(1)測定概要

大阪府吹田市に立地する万博記念公園内の3種類の異なる舗装状態(ロングパイル人工芝、ティフトンとノシバの混合芝、真砂土)の屋外グラウンドを測定地に選定した。測定は2008年8月13日から9月17日の間の5日間、9:00から17:00にかけて行った。

(2)結果及び考察

測定5日間の2312分間の測定データにおいて、各グラウンド上にてWBGT値が運動中止レベルの31℃以上を示した時間の長さは、人工芝グラウンド上で317分、真砂土グラウンド上で311分、天然芝グラウンド上で192分であった。一方、WBGT値が嚴重警戒レベルの28℃以上を示した時間の長さは、真砂土グラウンド上で1539分、人工芝グラウンド上で1494分、天然芝グラウンド上で1363分であった。熱中症危険領域に達する時間が短いほど暑熱状態が抑制された環境であり、熱中症予防に優れているといえる。よって測定結果より、天然芝グラウンド上が最も暑熱環境が抑制された環境であり、天然芝舗装が熱中症予防に最も優れた舗装材であることが明らかになった。また、他舗装材との暑熱環境の差を定量的に示すことができた。

各グラウンド上の測定データに対して測定日毎にTukey-Kramer法により有意差検定を行ったところ、差の傾向は3種類に分かれた。この傾向の違いは季節・天候条件に起因していると考えられる。特に最も暑熱状態の高い夏季ピーク時の晴天日は、表面温度の差が直接的にグラウンド上の気温の差の原因となっており、表面温度が最も高い人工芝グラウンド上のWBGT値が最も高い値を示した。また、晴天日の翌日の夏季終盤の測定では、人工芝グラウンドよりも表面温度が低いにもかかわらず、真砂土グラウンド上のWBGT値が最も高かった。表面の乾燥により反射率が高くなっており、反射日射(短波放射)の影響が黒球温度の上昇の原因となりWBGT値が高くなっていったと考えられる。一方、季節や天候状況によりWBGT値が最も高い値を示した測定区は人工芝グラウンドと真砂土グラウンドで入れ替わったのに対し、天然芝グラウンド上は5日間通じてWBGT値が最も低い水準であった。

各グラウンドの表面温度とWBGT値の関係について、直線性が良好であった2008年9月17日の例を図1に示す。それぞれに正の相関がみられた。また、人工芝グラウンド、天然芝グラウンドでは、午前と午後で異なる回帰式が求められる傾向が見いだされた。午後後にわか雨が降った2008年8月20日以外は同様の傾向が見られた。なお、人工芝グラウンドは表面温度の振幅が大きい。そのため人為的に調整できる部分も大きく、表面温度低減によるグラウンド上の熱ストレス(WBGT値)の低減も可能であると考えられた。

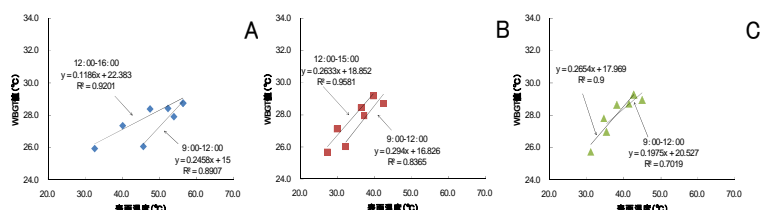


図1 2008年9月17日の表面温度とWBGT値の関係
人工芝グラウンド(A)、天然芝グラウンド(B)、真砂土グラウンド(C)

4.人工芝グラウンド上の暑熱環境低減実験

3章で天然芝舗装が最も熱中症予防効果が高いことが明らかになった。しかし、実際には人工芝グラウンドの需要は高く、普及傾向にある⁴⁾。人工芝グラウンド上の暑熱環境低減が現実的に重要といえよう。そこで、人工芝グラウンドの表面温度低減による熱ストレス(WBGT値)低減を実験により検証した。方法は、ヒートアイランド研究の分野で一般的な散水と表面の高反射化を用いた。

4. 1. 散水実験

表面散水により、人工芝グラウンド上の潜熱輸送の発生および表面温度の低減を試みた。顕熱輸送量の低減、熱放射（長波放射）の低減による熱ストレス（WBGT 値）低減を実験の狙いとした。

(1) 測定概要

測定地として和歌山県和歌山市の屋外フットサル施設を選定した。人工芝コート上に非散水エリアと散水エリア（ともに10m×10m）を設け、一方に100ℓ（1ℓ/m²）の水道水を散水し、両方のエリアの暑熱環境の差を比較した。測定は2008年6月27日から9月8日の間の5日間行った。

(2) 結果および考察

表2に散水実験の結果をまとめたものを示す。5日間の測定中すべての測定日において散水によるWBGT 値の効果は認められた。熱ストレスの原因である相対湿度は散水後上昇したが、気温、黒球温度の低減が大きかったため、総合指標であるWBGT 値の低減が確認されたと考えられる。天候状況によりばらつきはあるが、散水（1ℓ/m²）による低減幅はWBGT 値0.2～0.8℃で、統計的にWBGT 値の低減が確認できた時間は散水後平均66分間であった。また、夏季ピーク時の強い暑熱状況下よりも中程度のWBGT 値が28℃付近の暑熱状況下の方が散水による暑熱環境低減効果が高く、熱中症予防の面でも効果的である傾向がみられた。なお、今回の実験は散水エリアの面積が10m×10mであり、実際のグラウンドと比較して小さい。実際のグラウンド面積ではさらに効果が期待できる。

表2 散水による暑熱環境低減効果のまとめ

	6/27	7/23	7/30	8/11	9/8	平均
WBGT 値最大低減幅(℃)	0.8	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5
表面温度最大差(℃)	12.1	15.1	11.9	15.2	22	15.26
効果持続時間(分)	90	90	30	60	60	66

4.2. 高反射化実験

人工芝表面の反射率を高めることで、日射エネルギーの吸収（正味放射量）を抑え、表面温度の上昇の抑制を試みた。顕熱輸送量の低減、熱放射（長波放射）の低減による熱ストレス（WBGT 値）低減を実験の狙いとした。

(1) 測定概要

測定地として滋賀県蒲生郡の積水樹脂（株）滋賀工場内の試験場を選定した。試験場には15m×20mの2面の人工芝コートが隣接設置されている。それぞれ従来型人工芝、高反射型人工芝で舗装されている。測定は、2008年9月1日から9月11日の間の3日間10:00から16:00にかけて行った。

(2) 結果および考察

表3に高反射化実験の結果をまとめたものを示す。まず、3日間の測定中2日間は高反射型人工芝エリアでのWBGT 値低減効果は認められず、むしろ悪化させる結果となった。残りの1日についても従来型人工芝エリアと同等であった。効果が認められなかった2日間は、ともに乾燥した快晴日であった。表面温度はいずれの日も常に高反射型人工芝エリアが従来型人工芝エリアを下回っており、高反射型人工芝エリア上の方が、気温および熱放射（長波放射）は小さかったと考えられる。しかし、反射日射（短波放射）の影響が上回り黒球温度が上昇した結果、総合指標であるWBGT 値は従来型人工芝

人工芝エリア上を上回る結果となったものと考えられる。今回の実験では夏季ピーク時の常にWBGT 値が28℃以上を示すような暑熱状況や種々の気象状況の下での測定データがないため、今後それらのデータの解析をもって高反射型人工芝の暑熱環境低減効果の検討をする必要があるといえよう。この点については今後の課題である。

表3 従来型人工芝エリアと高反射型人工芝エリアの比較

従来型人工芝エリアと高反射型人工芝エリアの比較				
従来型人工芝エリア-高反射型人工芝エリア	9/1	9/9	9/11	平均
WBGT 値の最大差(℃)	0.4	-0.9	-1.0	-0.5
WBGT 値の平均値の差(℃)	0.2	-0.7	-0.7	-0.4
表面温度の最大差(℃)	8.7	8.1	8.0	8.3
表面温度の平均値の差(℃)	5.7	6.5	6.1	6.1
				合計
31℃以上を示した時間の差(分)	6	0	0	6
28℃以上を示した時間の差(分)	2	0	-91	-89

5. 総合考察

本研究の結果を要約すると次のようになる。①代表的な3種の舗装材が用いられたグラウンド上の夏季暑熱環境を熱中症予防のための運動指針を基準として評価したところ、測定期間中、天然芝グラウンド上が最も暑熱環境が抑制されていた。よって天然芝舗装が熱中症予防に最も優れていると考えられた。他にも比較材料として人工芝グラウンド、クレーグラウンドについても定量的に検証した。②散水による人工芝グラウンド上の暑熱環境低減効果が確認できた。効果の持続時間は散水後66分間で、WBGT 値の低減幅は0.2～0.8℃であった。③表面の高反射化による人工芝グラウンド上の暑熱環境低減効果は得られなかった。むしろ黒球温度の上昇により、WBGT 値を平均で0.4℃上昇させる結果となった。

以上のことから、屋外グラウンドの暑熱環境抑制による熱中症予防を考えた場合は、舗装材に天然芝を用いることが最も望ましいといえる。この結果は、現在社会的に注目を集める校庭芝生への推進材料の1つになるといえよう。

また、天然芝導入の代価措置として普及が進む人工芝グラウンドは、表面温度の上昇が問題とされているが、日中1時間間隔で散水（1ℓ/m²）を行うことにより、熱環境を天然芝グラウンド上と同等まで抑制することが可能と考えられる。天然芝への散水は、養生を目的とする場合、一日当たり5～10ℓ/m²必要とされている⁴⁾。この量と比較すれば、夏季に熱中症予防を目的とした人工芝グラウンドへの散水は、量的には現実的であると考えられる。しかし、1時間間隔での散水は、グラウンド使用の妨げとなる可能性があり、実行は困難であると予想される。方法については今後検討が必要であろう。将来的に、人工芝の性能を維持したうえで、表面散水した状態と同等の顕熱輸送量、熱放射（長波放射）の低減効果を常に得られる構造を有する資材が開発されれば、人工芝グラウンド上でも天然芝グラウンド上並みの熱中症予防効果を得ることが可能と考えられる。

6. 引用文献

- 1) 川原貴他 (2006) : スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック (平成18年度改訂版), 日本体育協会
- 2) 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), 543-546
- 3) 中井誠一他 (2007) : 高温環境とスポーツ・運動—熱中症の発生と予防対策—, 29-33, 篠原出版社
- 4) 日本体育施設協会屋外体育施設部会 (2005) : 屋外体育施設の建設指針平成17年改訂版, 5-6, 体育施設出版