

保水性人工芝システムが熱環境に与える影響に関する基礎的研究

福岡大学工学部 学生員 ○丸山達也
 福岡大学工学部 正会員 手計太一
 福岡大学スポーツ科学部 非会員 乾 真寛

1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象が深刻な問題となっている。ヒートアイランド現象による都市部と郊外の気温差は夜間に最も大きくなると言われており、我が国の中小都市の日最低気温は、2004年までの100年間に約1.5℃上昇しているのに対し、大都市（札幌、仙台、東京、名古屋、京都、福岡）のそれは約3.8℃上昇している¹⁾。また、ヒートアイランド現象により、熱帯夜の発生日数や熱中症患者の増加、エネルギー消費の増大などの社会問題が起きている。さらに、ヒートアイランド現象は集中豪雨を誘発させると考えられており、大規模な災害へと発展する可能性が高い²⁾。現在、ヒートアイランド現象に対して様々な対策や研究がなされている中、福岡大学は2007年に都市熱環境緩和や雨水流出抑制効果を期待して、人工芝サッカーグラウンドを建設した。図-1にその人工芝グラウンドの模式断面図を示す。この人工芝グラウンドは導入実績の少ない保水性人工芝システムであり、廃タイヤを再利用したマットレスの上に、砂とゴムチップが充填された人工芝が敷かれている。システム下部には透水性・保水性のある改良土壌が埋設されている。このような人工芝の大気水象に関する物理特性を明らかにした研究は極めて少ない。そこで本研究では、人工芝と天然芝の大気水象に関する物理特性を明らかにし、人工芝の熱環境緩和効果を検証することを目的とする。

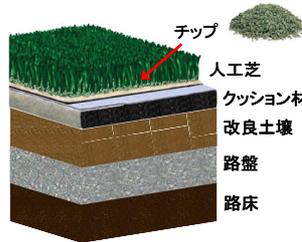


図-1 人工芝グラウンドの模式断面図.

表-1 人工芝と各天然芝の一覧.

| | 人工芝 | 天然芝A | 天然芝B | 天然芝C |
|------|--------------|--------------|---|---------------------------|
| 設置期間 | 2月29日～11月14日 | 2月29日～6月14日 | 6月14日～8月24日 | 8月24日～11月14日 |
| 設置直後 | | | | |
| 乾燥状態 | | | | |
| 備考 | MONDOTURF | 日本芝 ゼクトール | 西洋芝 トルフェスク ケンタッキーブルーグラス ペレニアルライグラス | 西洋芝 チフトン ペレニアルライグラス |

2. 観測・実験方法

(1) 熱伝導率：熱伝導率測定装置 (HC-074, 英弘精機(株)社製) を用いて人工芝素材と天然芝の熱伝導率を測定した。測定装置には、高低温プレートに熱流センサーと温度測定用の熱電対が埋め込まれている。この両プレート間に試料を設置し、試料の上下にて高低温度差をつけ、熱流量と試料の上下の温度を測定する。熱伝導率は次式より算出した。 $\lambda = (Qh + Qc)L/2\Delta T$ 。ここで、 λ は熱伝導率、 Qh は高温側熱流量、 Qc は低温側熱流量、 L は試料の厚さ、 ΔT は高温側サンプル表面温度 (Th) と低温側サンプル表面温度 (Tc) との差である。

(2) 表層温度：人工芝と天然芝の表層温度を測定し、比較することで人工芝の熱環境緩和効果を検討した。本稿において表層温度とは、人工芝において芝表面から深さ5cm、天然芝において土壌面から深さ約1cmの温度とする。1m四方の人工芝と天然芝を日射が遮られることのないように建物の屋上に設置し、2008年2月29日から2008年11月14日まで継続的に表層温度測定を行った。また、人工芝と天然芝には毎朝9時に散水を行っており、解析の際には散水時のデータは使用していない。表層温度測定には3線式白金測温抵抗体センサー (T&D Corporation 社製)、全天日射量測定にはMS-601 (英弘精機(株)社製)、気温・湿度測定にはHOBO H8 Pro (Onset 社製) を使用した。

(3) 熱容量：地表面温度に影響を及ぼす物理特性の一つとして、人工芝と天然芝の熱容量の算出を行った。算出には次式に示す夜間の放射冷却の熱収支式を用いた³⁾。 $Rn_0 = \sigma T_0^4 - L_0$ 。ここで、 Rn_0 は夕方の方の正味放射量、 σ はステファン・ボルツマン定数、 T_0 は夕方の方の表層温度、 L_0 は夕方の方の大気の下向き長波放射量である。夜間において表層温度は低くなるため、正味放射量は0に近づく。そのときの放射冷却で下がりうる最低温度の極限値を T_{RAD} とすると、放射最大冷却量は次式で表される。 $DT_{MAX} = T_0 - T_{RAD}$ 。しかし、実際の地表層は熱容量 $c_G\rho_G$ 、熱伝導率 λ_G をもつため、放射最大冷却量までには下がらず夜間冷却量は次式で表される。 $T_0 - T_S = DT_{MAX} \times P(x)$ 。ここで、 T_S は日の出の時刻における表層温度、 $P(x)$ は時間変化の関数、 x は無次元の時間であり、次式より熱容量の算出を行った。 $x = (4\sigma T_0^3)^2 t / c_G\rho_G\lambda_G$ 。なお、算出期間は2008年2月29日から2008年11月14日であり、人工芝と各天然芝の一覧を表-1に示す。

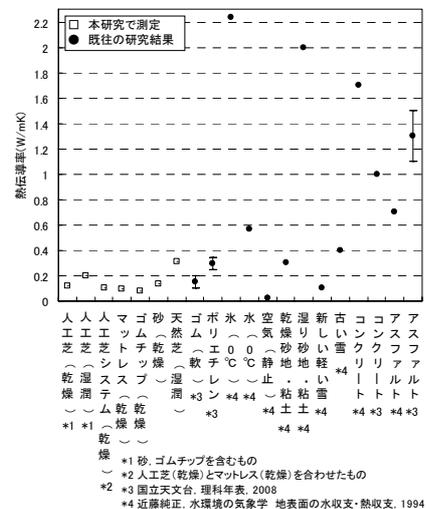


図-2 人工芝素材と天然芝の熱伝導率測定結果と既往研究結果との比較.

(4) **蒸発量**：人工芝と天然芝からの蒸発量の時間変化を実験的に検討した。底面から排水できる 12cm 四方のアクリル容器の模型に、人工芝と天然芝が飽和状態になるまで散水し、重量を測定することで蒸発量を算出した。重量測定には精密天秤 (PB-S, METTLER TOLEDO 社製) を使用し、表層温度測定には熱電対センサー (HOBO U12, Onset 社製) を使用した。全日射量、気温、湿度の測定には先述した機器を使用し、測定は 1 分毎に行った。また、土壌を含めた人工芝と天然芝からの蒸発量を把握するために、底面から排水できる 20cm 角の模型を作成した。人工芝グラウンドと同程度の転圧を掛けた改良土壌を二種類 (Type A と B) と比較対象として一般の真砂土 (Type C) を準備した。これら三種類の模型が飽和状態になるまで散水し、外気にさらし重量を毎日 12 時に測定することで 1 日あたりの蒸発量を算出した。

(5) **アルベド**：先述した 1m 四方の人工芝を利用してアルベドの測定を行った。観測は 2008 年 8 月 5 日から 2 日間と 2008 年 8 月 15 日から 3 日間行い、アルベド計はそれぞれ人工芝表面から高さ 5cm と 10cm の位置に設置した。アルベド測定は照度計 (ML-020S-O, 英弘精機(株)社製) を使用し、1 分毎に計測した。

3. 観測・実験結果

(1) **熱伝導率**：図-2 は人工芝素材と天然芝の熱伝導率測定結果と既往の研究結果から得られた種々の物質の熱伝導率を比較したものである。ここで、人工芝とは砂とゴムチップが充填されたものであり、人工芝システムとはマットレスの上にその人工芝を敷いたものである。人工芝と天然芝の熱伝導率は、ともに都市部の代表的な地表面であるアスファルトやコンクリートの熱伝導率よりも非常に小さく、人工芝や天然芝は地中に放射熱を伝えにくいと言える。

(2) **表層温度**：図-3 は 2008 年 7 月 14 日から 19 日までの人工芝と天然芝の表層温度、気温、全日射量、比湿の時系列である。人工芝の表層温度は天然芝のそれと比較すると、日中において約 1°C 高いものの、夜間において約 2°C 低い。このことから、人工芝は夜間における熱環境抑制効果が期待できると考えられる。

(3) **熱容量**：図-4 は人工芝と天然芝の熱容量の時系列である。人工芝の熱容量の平均値は $2.39 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ であり、天然芝の熱容量は芝の種類によってばらつきがあり、 $3.2 \sim 4.1 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ 程度であった。人工芝や天然芝の熱容量は、コンクリートの熱容量 $2.1 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ 、アスファルトの熱容量 $1.4 \times 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ よりも大きい結果が得られた。

(4) **蒸発量**：図-5 は人工芝と天然芝からの蒸発量の時系列である。日中における人工芝の蒸発量は天然芝のそれと比較して 1/4 程度であった。また、実験開始直後から 24 時間の蒸発量を算出すると、人工芝が約 1.5mm、天然芝が約 5mm であった。また、土壌を含めた人工芝と天然芝からの蒸発量は土壌の違いによる変化は見られず、人工芝を被せた模型の蒸発量は天然芝を被せた模型のそれと比較すると 1/4 程度であった。実験開始直後、全日射量に関わらず蒸発量が大きく、降雨翌日は蒸発量が大きくなる傾向にあった。

(5) **アルベド**：図-6 は人工芝のアルベドと既往の研究結果から得られた種々の地表面のアルベドを比較したものである。人工芝のアルベドは 0.02~0.11 程度であった。これは、アスファルトやコンクリートのアルベドよりも小さい。また、人工芝のアルベドは芝生のアルベドの 1/4 程度であった。従って、人工芝は輻射熱の抑制効果があると考えられる。

4. 結論

本研究は、人工芝の持つ熱環境緩和効果を科学的に検討することを目的とし、人工芝と天然芝における大気水象に関する物理特性を明らかにした。その結果、本研究対象人工芝は地中に放射熱を伝えにくく、熱帯夜の緩和、輻射熱の抑制などの熱環境抑制効果があることが明らかになった。また、人工芝は天然芝よりも維持管理費が安価であることから、本研究対象人工芝は長期的なヒートアイランド現象緩和対策の一つに値すると考えられる。

謝辞：本研究の遂行に際し、クリヤマ株式会社、英弘精機株式会社、株式会社シーマコンサルタントに多大な協力をして頂いた。合わせてここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：異常気象レポート 2005, pp.312-323,2005.
- 2) 環境省：平成 17 年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査, 2005.
- 3) 近藤純正：水環境の気象学 - 地表面の水収支・熱収支 -, 朝倉書店, 350pp,1994.

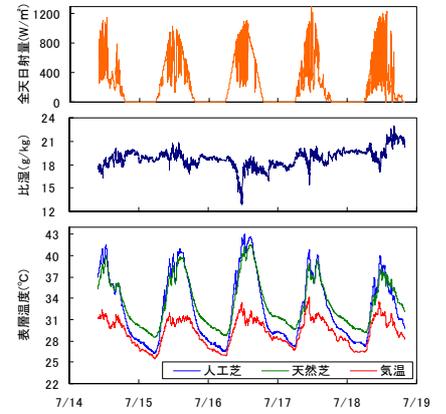


図-3 2008 年 7 月 14 日から 19 日までの人工芝と天然芝の表層温度、気温、全日射量、比湿の時系列。

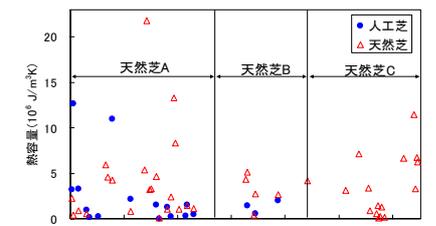


図-4 人工芝と天然芝の熱容量の時系列。

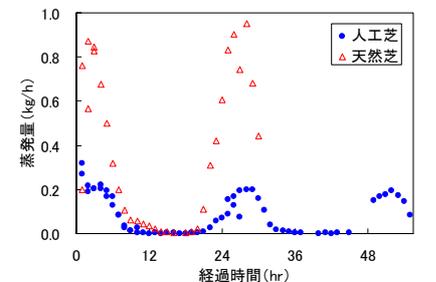
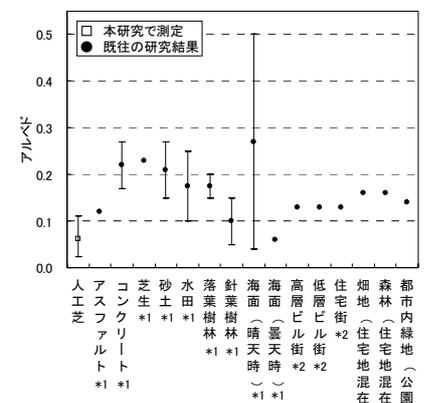


図-5 人工芝と天然芝からの蒸発量の時系列。



*1 近藤純正. 地表面に近い大気の科学. 2000
*2 菅原広史. 都市構造物と大気境界層の熱交換. 博士論文. 2001

図-6 人工芝のアルベド測定結果と既往研究結果との比較。