

屋外スポーツサーフェスのアルベドと表面温度の関係

青木豊明¹⁾

Relationship between Albedo and Surface Temperature of Outdoor Sport Surfaces

Toyoaki AOKI

Abstract

In this research, relationship between albedo and surface temperature of outdoor sport surfaces in Biwako Seikei Sport College were basically investigated. The artificial turf, the natural turf, the all weather track, the clay track, and the artificial sand turf were selected as the outdoor sport surfaces. The relative standard deviations of repetition (n=5) in measuring albedo, were 1.0%, 0.2%, 0.2%, 0.2%, and 0.2% for the above outdoor sport surfaces, respectively. The relative standard deviations of different sites (n=5) in measuring albedo at the same outdoor sport surface, were 5.8%, 1.2%, 0.7%, 1.4%, and 1.2% for the above outdoor sport surfaces, respectively. The large value of 5.8% for the artificial turf seems to be due to less uniformity compared to the other outdoor sport surfaces. There was negative correlation between the albedos and the surface temperatures of the outdoor sport surfaces. The correlation coefficient was -0.775. In the case of the all weather track painted with different colors, the correlation coefficient was -0.985. According to the above results, the surface temperatures among different color surfaces of the same material would be forecasted in high precision by the albedo.

Key words : Albedo, Surface Temperature, Outdoor Sport Surface.

1) 生涯スポーツ学科

1. はじめに

著者は、スポーツ競技者などが競技する外部環境場としてのスポーツサーフェスについての研究をおこなっている^{1,5)}。スポーツサーフェス上の競技者のパフォーマンスには、様々な環境因子が影響すると考えられる。現在、著者が研究をおこなっている外部環境因子としては、温度、弾力性等である。

環境因子の一つである温度に関して、人工芝や全天候型トラックなどの屋外スポーツサーフェスの表面温度が、夏季において65℃付近にまで上昇することを先に報告した²⁾。その中で、屋外スポーツサーフェスの表面温度が太陽光照度と一次に近い比例関係にあることを示した。そのことを詳細に考えれば、表面温度の上昇は、当然、反射した光には影響されず、照射を受けた太陽光エネルギーの内のサーフェスに残存する正味のエネルギーに因ることになる。ある物質の太陽光反射率はアルベドとして定義されている⁶⁾。この定義から物質に残存する太陽光エネルギーは、その物質のアルベドの逆数に関係することになる。

以上のことから著者は、屋外スポーツサーフェスの表面温度が、サーフェスへの太陽光エネルギー全体よりも、それにアルベドを関連させたエネルギーが係わってくる考えた。スポーツサーフェスとアルベドの関係については、現在までのところ、ほとんど研究がなされていない。そこで、スポーツサーフェスとアルベドの関係について基礎検討したので以下に報告する。

2. 研究方法

2.1 測定場所

測定対象とした屋外スポーツサーフェスの概略配置図をFig. 1に示した。人工芝 (A: artificial turf; 以下art. turfと略記) は、SRIハイブリッドの施工したロングパイル型⁷⁾ハイブリッドターフ (LP-65C型) である。ポリエチレン製で芝丈は65mm、底面から20mm厚さで特殊珪砂、さらにその上に20mmの厚さで黒色ゴムチップが、それぞれ充填されている。天然芝 (B: natural turf; 以下natl. turfと略記) は、バミューダグラス種が植栽されている。天然芝の外側に全天候型トラック (C: 400m, 6レイン, all weather

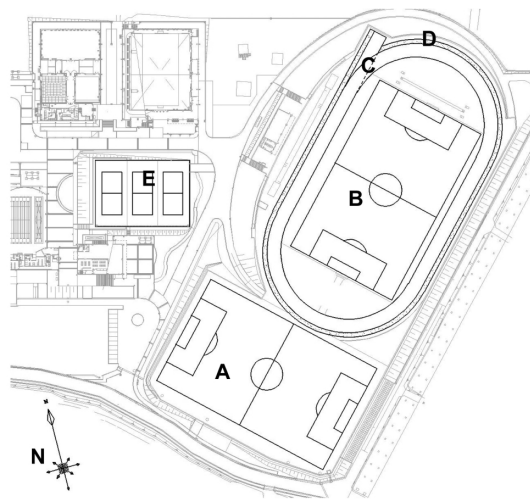


Fig. 1 Schematic diagram of outdoor sport surfaces in Biwako Seikei Sport College.

A: Artificial turf, B: Natural turf, C: All weather track,
D: Clay track, E: Tennis court.

track；以下all trackと略記）と，その外周にクレイトラック（D：clay track）が，奥アンツーカーによって施工された。全天候型トラック（TOP ACE-CB）は，表層の4mmがポリウレタン製で，その下に空隙式のゴムチップ層が9mmとつづき，さらにその下は開粒度のアスファルトとなっている。クレイトラックは，最上層にわずかの砂を置いた土層が100mmと，その下に100mm厚さの碎石層からなっている。テニスコート（E：artificial sand turf；以下sand turfと略記）は，奥アンツーカーによって施工された砂入り人工芝（D120型）である。50mmのアスファルト層の上に19mm丈のポリプロピレン製の人工芝が敷かれ，その芝の間に砂が入れられている。

2.2 測定法

アルベド測定器の概略図をFig. 2に示した。まず測定対象のスポーツサーフェス上でアルベド測定器を組み立てる。アルベドメーター（A；クリマテック製CPR-PCR-01型）は上下二枚の同じ熱電堆センサー（径20mm）からなる。上部センサーは太陽光入射エネルギーに感応し，他方，下部センサーはスポーツサーフェスからの反射エネルギーに感応する。感応微細電圧は支持管（B）内の出力線を伝わり，支持台（C）を介して試作した増幅器（D）に入力される。ここで100倍増幅

した出力が電圧計（E）に表示され，この測定値を読み取った。また測定値に関する以下の議論の中で，バラツキを表す標準偏差（std）を平均値（ave）で割った変動係数を百分率化した相対標準偏差（RSD：relative standard deviation）を使用した。この算術処理により，バラツキを相対的に比較化しやすいと考えたためである。

測定日は，特に断らない限り2004年8月から2006年8月までの晴れた日を選んだ。屋外スポーツサーフェスのアルベド測定時に表面温度も放射温度計（堀場製UT-02F型）を用いて測定した。

Fig. 3は，びわこ成蹊スポーツ大学のびわこフィールド中央部の天然芝上で標準白板を置いて，アルベドメーターの校正をおこなっている写真である。

3. 結果および考察

3.1 熱電堆センサー最適位置

上部と下部熱電堆センサーの内，上部センサーに関してはサーフェスからの高さによる太陽光入射エネルギーの違いは無いと考えられる。それは上部センサーから太陽までの距離，正確には対流圏界面までの距離が，上部センサーを縦方向に動かす距離よりも非常に長いため入射エネルギーはほとんど変わらない。しかし，下部センサーの受ける反射光は，サーフェス面積が高さにより変化するため，

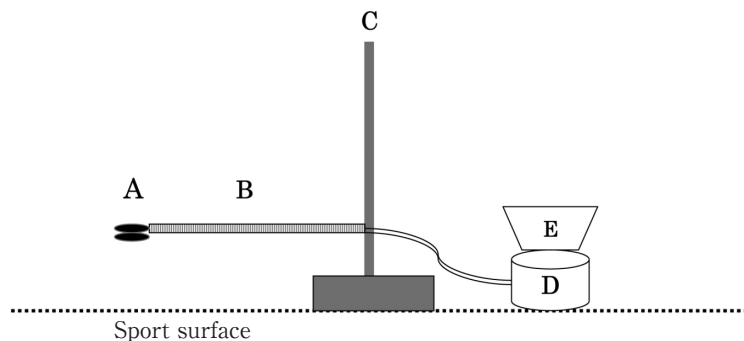


Fig.2 Schematic diagram of albedo meter

A：thermopiles sensor, B：support tube, C：support column, D：amplifier, E：display.



Fig.3 Photograph of albedo meter on natural turf in BSSC.

高さに依存すると考えられる。そこで、どの程度の高さが、他の種々の因子の妨害を受けずにサーフェスからの反射光を受けるのに適切か、以下で検討した。

Fig. 2 の支持管の長さは50cmに固定した。サーフェスから下部熱電堆センサー表面まで

の高さを15, 30, 60cmと変えてアルベドを測定した。その結果、60cmの場合、支持台の影響を受け、また15cmの場合、センサー自身のサーフェスへの影の影響が大きかった。しかし、30cm高さ場合、両方の影響を1%以下に抑えることができた。

以上の結果より支持管の長さは50cm、サーフェスから下部熱電堆センサー表面までの高さを30cmに設定した。この条件下で下部センサーは、ほぼ半径30cmの範囲のサーフェスの反射光を受けると見積もられた。

3.2 測定値の精度

組み立てられたアルベドメーターからのデータを用いて議論するためには、測定値の精度を明らかにする必要がある。そこで、各屋外スポーツサーフェス上の同じ場所でアルベドの繰り返し測定 (n=5) をおこなった。

結果をTable 1 に示した。表中でin, out, %はそれぞれ太陽光入射エネルギー出力 (mV), 反射エネルギー出力 (mV), アルベド (%) の値である。5回の読み取った測定値、平均値、標準偏差、および相対標準偏差 (%) が測定項目毎に示されている。人工芝の場合のアルベド測定値の相対標準偏差は

Table 1. Repetition of data in measuring albedo with meter

field		ave	std	RSD,%
art.turf	in	524	526	526
	out	36	37	36
	%	6.9	7.0	6.8
natl.turf	in	507	507	508
	out	124	124	124
	%	24.5	24.5	24.4
all track	in	531	532	532
	out	156	157	157
	%	29.4	29.5	29.5
track	in	534	534	534
	out	190	190	190
	%	35.6	35.6	35.6
sand turf	in	556	556	556
	out	127	127	127
	%	22.8	22.8	22.8

Table 2. Albedo on different site (n=5) in the same sport surface

field						ave	std	RSD,%
art.turf	6.9	6.8	6.2	6.1	6.0	6.4	0.37	5.8
natl.turf	24.5	25.0	25.3	24.6	24.9	24.9	0.29	1.2
all track	29.5	29.9	29.7	29.6	29.3	29.6	0.20	0.7
clay track	35.6	34.9	35.1	35.6	34.3	35.1	0.49	1.4
sand turf	22.8	22.6	22.2	22.2	22.1	22.4	0.27	1.2

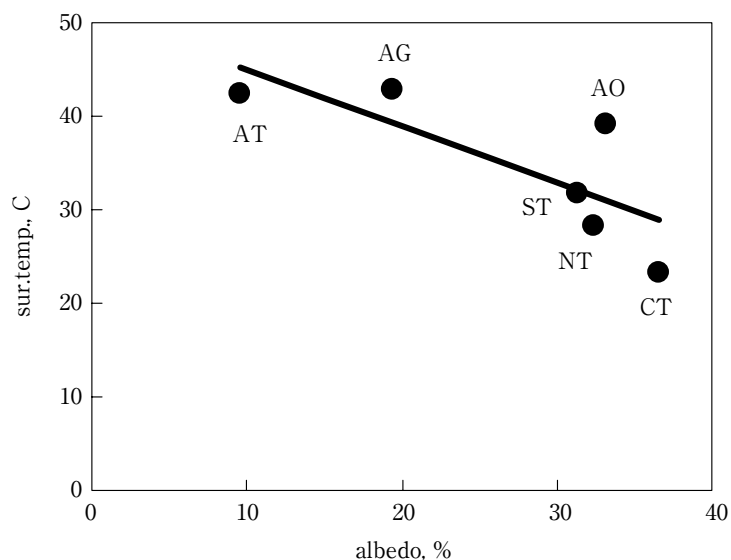


Fig. 4 Correlation between albedos and surface temperatures of outdoor sport surfaces (Oct. 24, 2004).

AT : art.turf, AG: all track (green), ST : sand turf, NT : natl.turf,
AO : all track (orange), CT : clay track.

1%程度で、他の屋外スポーツサーフェスでは0.5%以下であった。通常の一般的な測定の精度から判断しても、本法の測定の繰り返し精度は高いと考えられる⁸⁾。

次に、同じ屋外スポーツサーフェス内における5箇所測定し、測定場所の違いによるアルベドの変化を調べた。この場合も各箇所繰り返し測定 (n=5) をおこなった。Table 2に得られた結果を示した。表中には、屋外スポーツサーフェス毎に場所を変えて測定した5箇所 (各値は5回の測定の平均値) の測定値、平均値 (ave)、標準偏差 (std)、および相対標準偏差 (RSD, %) が示されている。

人工芝のアルベド測定値のバラツキは相対標準偏差5.8%で、他の屋外スポーツサーフ

ェスに比べてかなり大きかった。この理由としては、人工芝の充填物として入れられている黒ゴムチップが、人工芝上に不均一に散らばっているため、太陽光の反射が場所により変動するためと考えられる。他方、全天候型トラックの相対標準偏差は0.7%で最も小さかった。それはトラック表面をポリウレタンの有機高分子化合物で均一に表面処理をおこなっているため、太陽光の反射が均一になったためと思われる。その他の検討した屋外スポーツサーフェスの相対標準偏差は1%程度であった。

3.3 アルベドと表面温度の関係

上節までの結果より、本アルベド測定器の信頼度は高いと考えられる。そこでFig. 1に

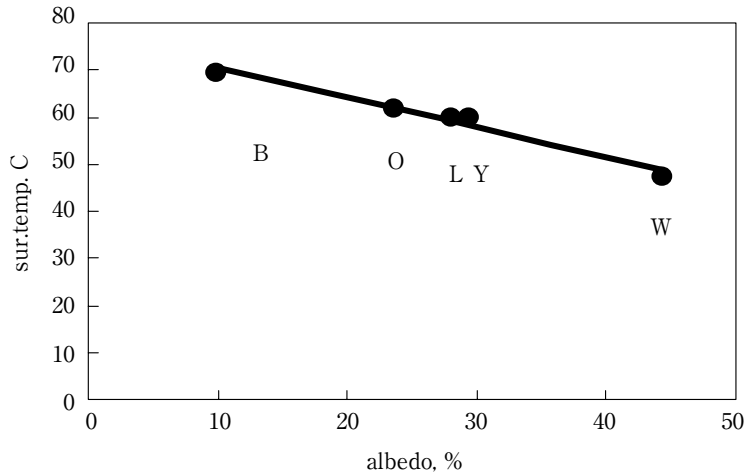


Fig. 5 Correlationship between albedo and surface temperature on various colors of all weather track (Aug.25,2006).

B : black, O : orange, L : blue, Y : yellow, W : white.

示した大学内の屋外スポーツサーフェスのアルベド測定に適用した。全天候型トラックは、オレンジ色が主たるトラック部の色であるが、一部、緑色の部分もあるため両方のトラック部に適用した。また、同時に表面温度も測定した。

Fig. 4には、屋外スポーツサーフェスのアルベド (%) と表面温度の相関図を示した。アルベドと表面温度の間には、相関があると思われる。そこで回帰式と相関係数 (R) を算出し、次式に示した。

$$Y = -0.603X + 50.9 \quad (1)$$

$$R = -0.775 \quad (2)$$

ここでXはアルベド (%), Yは表面温度 (°C) をそれぞれ示す。両方の間には、相関係数の値から、比較的強い負の相関⁹⁾があった。

次に同じ屋外スポーツサーフェスに種々の色を塗布した場合、相関はどのようになるかを検討した。色の違いは、太陽光スペクトルの反射波長の違いに因るものであるから¹⁰⁾、結果として表面温度が異なると考えられる。適用した場合は全天候型トラック (元の色はオ

レンジ色) である。この表面に黒、青、黄、白色の塗料を塗布した。測定して得られた表面温度とアルベド測定値の相関図をFig. 5に示した。Fig. 4に比べて、より相関が強いと思われる。

回帰式と相関係数 (R) を算出し、次式に示した。

$$Y = -0.630X + 76.7 \quad (3)$$

$$R = -0.985 \quad (4)$$

この場合も両方の間には負の相関があり、相関係数の値から、非常に強い負の相関⁹⁾があった。

以上の結果から、材質が同じであれば色の違うサーフェスの表面温度の違いは、アルベド (%) によってかなりの信頼度で推定可能と考えられる。

4. まとめ

今回、屋外スポーツサーフェスの表面温度が、サーフェスへの太陽光エネルギー全体よりも、それにアルベドを関連させたエネルギーが係わってくると考え、アルベドと表面温度の関係について基礎検討した。適用した屋

外スポーツサーフェスとしては、本学の人工芝、天然芝、全天候型トラック、クレイトラック、砂入り人工芝である。

アルベド測定法の繰り返し測定精度は、人工芝の場合、相対標準偏差は1%程度で、他の屋外スポーツサーフェスでは0.5%以下であった。通常の一般的な測定精度から判断しても、本法の測定精度は高いと考えられる。

同じ屋外スポーツサーフェス内における5箇所測定し、測定場所の違いによるアルベドの変化を検討した。人工芝のアルベド測定値のバラツキは相対標準偏差5.8%で、他の屋外スポーツサーフェスに比べてかなり大きかった。この理由としては、人工芝の充填物として入れられている黒ゴムチップが人工芝上に不均一に散らばっていたためと考えられる。他方、全天候型トラックの相対標準偏差は0.7%で、最も小さかった。それはトラック表面をポリウレタンの有機高分子化合物で均一に表面処理をおこなっているからと思われる。その他の検討した屋外スポーツサーフェスの相対標準偏差は1%程度であった。

屋外スポーツサーフェスのアルベド(%)と表面温度の相関を検討した結果、両方の間には、比較的強い負の相関があった。全天候型トラック表面に黒、青、黄、白色の塗料を塗布し、アルベド(%)と表面温度の相関を検討した。この場合、両方の間には、非常に強い負の相関があった。このことより、材質が同じであれば色の違うサーフェスの表面

温度の違いはアルベド(%)によってかなりの信頼度で推定可能と考えられる。

引用文献

- 1) 青木豊明, 松田保, 豊田一成 (2005) キッズのスポーツ環境・・・特に人工芝の表層温度に焦点をあてて・・・, びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, vol.2, pp.93-98.
- 2) 青木豊明 (2005) 有機ポリマー製の屋外スポーツサーフェスは熱い, Training Journal, No.312, pp.38-39.
- 3) 青木豊明 (2006) 新規衝撃試験機を用いる屋外スポーツサーフェスの衝撃度の評価, びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, vol.3, pp.71-77.
- 4) 青木豊明 (2006) 屋外スポーツサーフェスの衝撃度の比較, Training Journal, No.320, pp.32-33.
- 5) 青木豊明 (2007) 屋外スポーツサーフェス高温化抑制の試み, 月刊体育施設, No.460, pp.56-59.
- 6) 近藤純正 (2000) 地表面に近い大気の科学, 東京大学出版会, pp.40-45.
- 7) 青木豊明 (2007) からだにやさしい人工芝, スポーツの百科事典 (分担執筆), 丸善, pp.103-104.
- 8) J. N. Miller, J. C. Miller, 訳者: 宗森信, 佐藤寿那 (2004) データのとり方とまとめ方, 第二版, 共立出版, pp.25-49.
- 9) 岩淵千明編著 (2000) データの処理と解析, 福村出版, pp.116-119.
- 10) 照明学会編 (1987) 光をはかる, 日本理工出版, pp.47-67.