

## 夏季屋外運動中の熱中症原因としての土壌輻射熱観測

田神一美<sup>1</sup>・太田アドリアナ春美<sup>2</sup>・桑沢保夫<sup>3</sup>

屋外スポーツ種目の活動中や屋外作業中には、熱中症のリスクが高まる。熱中症を回避するためには、これらの活動を自粛するのが最善の方法であるが、徹底することができないところが現代社会の問題であり、潜在的な人命軽視につながっている。体育科学専攻に設けられた環境保健学の立場からこの問題にいかにか立ち向かうかは、その存在意義にかかわる大きな課題である。

熱中症は、原因となる熱源を特定できる。労働衛生の分野では、ガラス製造や金属圧延、鍛造、鋳造などの作業場の熱源を熔融ガラス、ガラス熔融炉、銑鉄などと特定し、これらを可能な限り作業場から除去し、遠隔操作を取り入れて作業員と熱源とを隔て、個々の作業員が装着する保護具で遮蔽し、さらに作業場を空調することによって屋内作業による熱中症を根絶させた。夏季の屋外スポーツ活動中の熱源は、特定できているのであろうか？暗黙のうちに「太陽」と断定して思考が停止している可能性はないであろうか。国土交通省と東京都は、都会のヒートアイランド対策のひとつとして、低放射の道路舗装を業界に求めた。これは必ずしも生理学、病理学、衛生学的な論拠を有する提案ではなかったが、われわれの脳に嵐を巻き起こして停止していた思考を動かす効果があった。歩道やグラウンドの表面は熱中症の熱源であるのかもしれない。

輻射熱が人体にどれだけ流れ込んでいくかを、太陽輻射熱と地面輻射熱とを別々に測定できる装置は市販されていない。これを測定するために、恒温水槽と熱流センサーを組み合わせて特許出願中の「人体輻射熱計」を自作した（特願 2004-322045）。これで測定した太陽輻射熱は、300 - 400W/m<sup>2</sup>に達し、人工芝グラウンドと天然土壌グラウンドの地面輻射はそれぞれ 140±10W/m<sup>2</sup>と

67±10W/m<sup>2</sup>となっていることが判明した。これは、地面輻射は無視できない数値で、明らかな熱源である可能性を示している。人体は複雑な形状をし、動作に応じて姿勢を変えるので、このことを考慮した輻射による熱交換量の推定が行われている。これらの中から太陽直射と地面輻射に使える代表的な数式は以下の2式である。

太陽と人体との間の熱交換は、短波長の近赤外線輻射 (**Rs**) を介して行われ、(1)式に従う (Nielsen *et al.*, 1988)。また、地表と人体との間の熱交換は、長波長の遠赤外線輻射 (**Rl**) を介して行われ、(2)式に従う (Krys and Brown, 1990)。

$$R_s \text{ (W/m}^2\text{)} = A_p \times \alpha_k I_m / \sin h - I_{dsk} / 2 \sin h + f_{eff} (S_A - A_{sh}) \times \alpha_k I_{dsk} / 2 \dots \dots \dots (1)$$

但し、 $A_p$ ；太陽光照射面積 (m<sup>2</sup>)、 $\alpha_k$ ；皮膚の近赤外線の吸収効率=0.98、 $I_m$ ；輻射熱強度 (W/m<sup>2</sup>)、 $I_{dsk}$ ；空気による散乱を経て放射される輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)、 $f_{eff}$ ；有効照射面積 (m<sup>2</sup>)、 $S_A$ ；体表面積 (m<sup>2</sup>)、 $A_{sh}$ ；人体への太陽光の照射面積=0.14  $S_A$ 、 $h$ ；太陽の高度 (°)

$$R_l \text{ (W/m}^2\text{)} = \omega_{12} \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma (T_{sk}^4 - T_{gr}^4) \dots \dots \dots (2)$$

但し、 $\omega_{12}$ ；地面輻射被曝面積比=0.5、 $\epsilon_1$ ；皮膚の放射率、 $\epsilon_2$ ；グラウンドの放射率、 $\sigma$ ；ステファン・ボルツマンの定数=5.673×10<sup>12</sup> (W/m<sup>2</sup>/K<sup>4</sup>)、 $T_{sk}$ ；皮膚温 (°K)、 $T_{gr}$ ；グラウンド温度 (°K)

(1)式は放射熱伝導の物理学的な原理、太陽の高度と人体の立位を想定した姿勢まで勘案されている。(2)式は正対する2平面間の放射熱伝導を示すに過ぎないので、歩行運動中の人体への輻射熱伝導量を求めるためには、妥当な補正が必要である。

1 体育科学専攻教授；環境保健学

2 体育科学専攻3年次；環境保健学

3 国土政策研究機構、建築研究所室長

これまでに出版されている補正值としては、0.76 (Fanger, 1970; Horikoshi et al., 1990; Kubaha et al., 2004)、0.6 (Nielsen et al., 1988) や 0.5 (Tanaka et al., 1999) などの数値がある。グラウンドを無限平面と仮定し、360 度全周の熱源から放射熱を受ける夏季日中の屋外運動を想定した補正值として筆者らは、0.8 を提案した。この数値の妥当性を裏付ける根拠として、人体で実測した蓄熱量に一致させるように熱収支モデルを操作した際の解に一致し

ていることを挙げておく。

ここでは結論だけ述べるが、人工芝グラウンドのケースでは輻射による熱流入量は、太陽直射とグラウンド輻射それぞれが、ほぼ同値である。真夏の屋外スポーツや野外労働の場は、北緯 36 度に位置するつくば市周辺であっても、先人の想定や経験以上に過酷な熱環境であり、晴天などの気象条件によっては嚴重な予防策の実施を求めなければならない。