

## 異なる運動状況における発汗様相

島崎康弘, 橋本直之, 柏木衿香  
岡山県立大学情報工学部

## Perspiration Profile with Various Exercise Situations

Yasuhiro SHIMAZAKI, Naoyuki HASHIMOTO, Erika KASHIWAGI  
Systems Engineering for Sports, Okayama Prefectural University

**Abstract:** The present study addressed perspiration profile over whole body during three kinds of activity level in summer outdoor and indoor sports fields. Since perspiration is the main function for cooling the human body, understanding of perspiration profile leads to better prediction for human thermal condition or human thermal load. Amount of perspiration tended to increase as activity level increased. No clear difference could be found for regional perspiration production among six body region. Measurement amount of perspiration agreed with ASHRAE perspiration model in terms of time dependent changes. There is a strong relationship between perspiration and thirst sensation, and perspiration sensation was not necessarily corresponding to sensible heat loss with evaporation.

**Key words:** Sensible heat loss, Human thermal load, Regional effect, Psychological response, Outdoor

**要旨:** 発汗による冷却機能は暑熱環境下での人体温熱状態に重要な影響を及ぼすことから、屋内外の運動現場において3種類の運動強度における発汗様相を観察した。結果として、運動強度が上がるほど発汗量が増加する、全身6部位での発汗量に大きな差が見られない、測定で得られた発汗量とASHRAEの発汗モデルの経時変化は定性的に一致する、ということがわかった。心理申告に関して、発汗感と口渇感には強い相関関係が見られたものの、それらは発汗蒸発に伴う潜熱量との間に明確な関係は現れなかった。

**キーワード:** 潜熱損失, 人体熱負荷量, 部位差, 心理応答, 屋外空間

## 1. はじめに

暑熱環境においては、発汗による冷却機能が人体温熱状態に及ぼす影響は極めて大きい。そこで、さまざまなスポーツシーンを想定して、屋外4か所および比較として屋内で3種の異なる代謝量の運動を行い、発汗感・口渇感の心理的反応と人体各所の発汗挙動を観察する。

## 2. 方法

## 2.1 発汗の評価

人体熱収支(人体熱負荷)は、人体の温熱状態を知る重要な指標であり、以下の式で表現される。

$$F_{\text{load}} = M - W + R_{\text{net}} - E - C \quad (1)$$

ここで、 $F_{\text{load}}$ は人体熱負荷量、 $M$ は代謝量、 $W$ は機械的仕事量、 $R_{\text{net}}$ は正味ふく射量、 $E$ は潜熱損失量、 $C$ は顕熱損失量である。

発汗量に関して、ASHRAE Handbook (ASHRAE, 2013)に示されている方法により、血流モデルを用いて深部温と平均皮膚温から発汗量を算出することも多い。皮膚温や温熱刺激感受性の部位による差異は過去

も報告されており(例えば、島崎ら, 2012)、汗腺の数も部位による異なる(菅屋ら, 1981)。そこで、人体熱収支の算出、さらには人体温熱状態予測の精度向上のために発汗の部位や絶対量に関する調査を行う。

## 2.2 実験概要

2013年6~10月にかけて、陸上競技場(総社北公園)、サッカーコート(岡山県立大学)、テニスコート(岡山県立大学)、アスファルト路面(岡山県立大学)および体育館(岡山県立大学)にて実験を行った。述べ30名の男性被験者(平均年齢21.1歳)がそれぞれの場所で立位静止、歩行(55 m/min)、走行の運動(167 m/min)を30分間行った。どの運動状況においても、その前後は、準備期、回復期として10分間の立位静止状態とした。実験時の気温は平均31.0℃、湿度は平均53.9%、短波放射量は平均704 W/m<sup>2</sup>(屋外時)、長波放射量は平均522 W/m<sup>2</sup>(屋外時)、風速は平均0.9 m/sであった。

## 2.3 測定項目

環境条件として、気温および相対湿度(T&D TR-73U)、グローブ温度(J型熱電対)、地表面温度(J型熱電対)、風速(Young CYG-81000)、短波放射量お

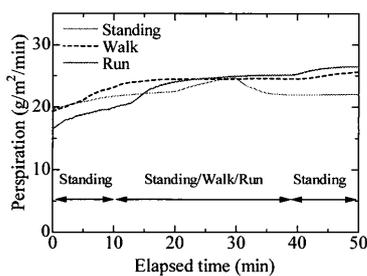


図1 異なる運動での発汗量変化

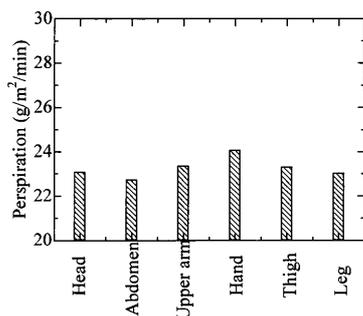


図2 部位別発汗量

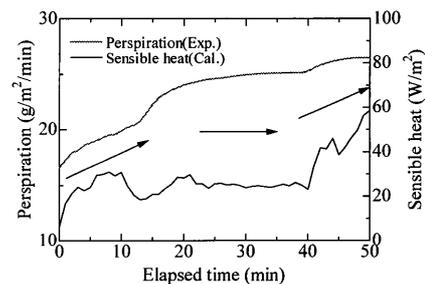


図3 実測量とASHRAEモデルの比較

よび長波放射量 (EKO MR-60), の測定を1分間隔で行った。

人体生理情報として, 皮膚温は, Hardy-Dubois の平均皮膚温算出にならない, 前額, 上腕, 手甲, 腹, 大腿, 下腿, 足甲の7点を, 体内温度としては口腔温をそれぞれサーミスタ (日機装サーモ N542) にて1分間隔で測定した。また, 足甲を除く皮膚温測定と同様の6点の発汗量 (Rousette Strategy SNT-200) を1分毎に測定した。酸素摂取量および二酸化炭素産生量は (S and ME VO2000) は20秒間隔, 心拍数 (Polar RS800CX) は1分間隔で測定し, 人体熱負荷量算出に用いた。

心理的反応として, 口渇感 (0: 渇いていない~2: 渇いている), 発汗感 (0: かいていない~2: かいている) を, 2分間隔で申告してもらった。

### 3. 結果

#### 3.1 発汗の経時変化

一例としてアスファルト路面上での発汗量の経時変化を図1に示す。なお, 発汗量は6部位の平均値とした。どの運動状況においても, 暑熱環境に暴露したために運動開始前でも発汗が観測された。運動強度に応じて発汗量が増大する傾向がみられた。全ての実験は同程度の気温, 湿度, 風速, ふく射の条件であった。

#### 3.2 発汗の部位差

アスファルト路面上での走行実験時の発汗の部位差を図2に示す。なお, 発汗量は実験50分間の平均値とした。汗腺数の多い手で若干の多い発汗量を記録したが, 概してどの部位でも同程度の発汗量であり, 明確な部位差を見るに至らなかった。

#### 3.3 ASHRAEモデルとの比較

アスファルト路面上での走行実験時に得られた発汗量の時間変動を現行のASHRAEの発汗モデルと比較したものが図3である。運動開始前, 運動中, 運動後のそれぞれの期間に, 上昇, 安定, 再上昇の様子を双方から見ることができ, 両者は定性的に一致した。

#### 3.4 発汗と心理申告

発汗感と口渇感の関係をみると相関係数 0.8 を越える関係がみられた。一方, 発汗量と発汗感には明確な関係は現れなかった。全身の熱授受と発汗による放熱の割合など詳細な検討が今後必要である。

#### 3.5 異なる測定場所の影響

アスファルト, サッカーコート (芝), 陸上競技場 (赤タータン), テニスコート (緑コンクリート) はそれぞれ路面の反射率が異なるため, ふく射環境に大きな違いが生じており環境からの受熱量は異なる。しかしながら, 発汗量には個体差の影響もあり, 運動場所が発汗量に及ぼす影響を明確に見るに至らなかった。

### 4. 今後の展望

異なる運動状況, 運動現場における発汗量の測定を行った。発汗量が人体熱状態に及ぼす影響を詳細に検討して, 人体熱モデルに組み込むことを課題とする。

**謝辞** 本研究の一部は, LIXIL 住生活財団の研究助成を受けて行われた。記して謝意を表す。

### 5. 文献

ASHRAE 2013. ASHRAE Handbook –Fundamentals-, ASHRAE.

島崎康弘, 吉田篤正, 佐藤正一朗, 森田武志 2012. 接触熱刺激による局所冷却が温冷感に与える影響. *Thermal Science and Engineering*. 20 (40): 61/67.

菅屋潤孝, 小川徳雄, 朝山正巳, 宮側敏明 1981. 温熱性発汗発現の部位差と発汗能との関係. *日本生気象学会誌*. 18 (2): 72/79.

#### <連絡先>

連絡先氏名 島崎康弘

住所 岡山県総社市窪木 111

所属 岡山県立大学情報工学部

E-mail アドレス shimazaki@ss.oka-pu.ac.jp