

## 通風のある暑熱環境における温熱生理に関する基礎研究

正会員 安浪夕佳\*1  
正会員 細井昭憲\*2  
正会員 辻原万規彦\*3

通風 暑熱順化 熱収支  
発汗量 熱損失 熱負荷

## 1. はじめに

近年、地球温暖化の進行を背景に、地球温暖化対策大綱では温室効果ガス削減のため、夏の室内環境設定温度を 28 とすることを提唱している。現在よりも 2、3 温暖化が進行すると、地球上の生物は絶滅の危機に瀕するとさえ言われている。現在、各国での地球温暖化の緩和策とともに着目されているのが適応策である。なぜならば低温の室内から高温の外気環境にいかに対応していくかが地球温暖化の緩和策をしていく中で重要な意味をもつからである。加えて生物学的に自然的適応が可能であることも適応策を重要視する前提としてあるのである。

適応策にライフスタイルを変化させる手段として、通風による調節方法を検討する。本研究では、暑熱環境における通風利用での熱的ストレスの緩和が、人体の温熱生理に与える影響を被験者実験により明らかにし、通風による室内環境調節の基礎研究とする。

## 2. 研究方法

## 2.1 実験方法

実験は熊本県立大学内の人工気候室を用いて、基準室 (25、50%) に 30 分安静を保ったのち、試験室 (30、50%) に移動し 2 時間滞在させた。すなわち気温にして +5 K の暑熱負荷であり、その後基準室に戻り 30 分回復させた。以下の諸反応より暑熱環境への特性を抽出した。

測定した諸反応は、生理反応として背部の発汗量、核心温として耳内温、7 点法による平均皮膚温である。心理的反応としては、暑熱感・不快感・発汗感で 10 分ごとに申告を行った。期間は 5 月下旬～6 月初旬とした。

被験者は健康な 22 歳の女性 6 名で、それらを 3 名ずつに分け、熱負荷のみの群 (A) と扇風機により気流を与える群 (B) とに構成した。与える気流は 1.0m/s、着衣量は 0.45clo、いずれも椅座安静、読書などの軽作業とした。

## 2.1 解析方法

通風の有無による温熱生理の詳細を知るために、人体熱収支を次式により算出した。

## [ 顕熱損失 ]

$$\text{皮膚 - 着衣外表面間の熱移動} = (t_s - t_{cl}) \times \frac{1}{0.155clo} \times S$$

$$\text{呼吸} = 0.0014 \times \dot{V} \times (34 - t_a) \times S$$

$$\text{放射} = 3.96 \times 10^{-8} \times (1 + 0.2 \times clo) \times \{(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4\} \times S$$

## [ 潜熱損失 ]

発汗による熱損失と不感蒸泄による熱損失については、SET の 2 node model に平均皮膚温の実測値および局所発汗量から推定<sup>(注)</sup>した全身発汗量を代入して求めた。呼吸潜熱は、

$$\text{呼吸} = 1.7 \times 10^{-5} \times \dot{V} \times (5867 - Ph) \times S$$

## 3. 通風の有無による生理反応の比較

## 3.1 耳内温

図 1 に示すように、試験室に移動後 A、B とともに一旦下がり、その後 A は緩やかに上昇を続けるが、B は極めて平坦に推移する。通風により皮膚表面から放熱し、核心温の上昇を抑制している。移動後一旦下がるのは、熱に対する反射により血流が皮膚表面へ移動するためだと推察される。

## 3.2 発汗量

図 2 に示すように、A は発汗量が増加し続けるのに対して、B は平坦な推移でのこぎり上の拍出が見られる。B には明確な発汗潜時は確認できなかった。

なお、B における温冷感は時間経過とともに改善し、快適感では快適側で推移した。

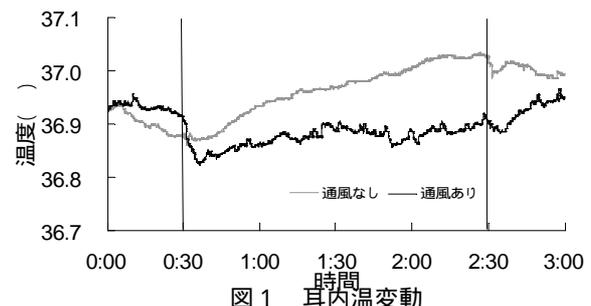


図 1 耳内温変動

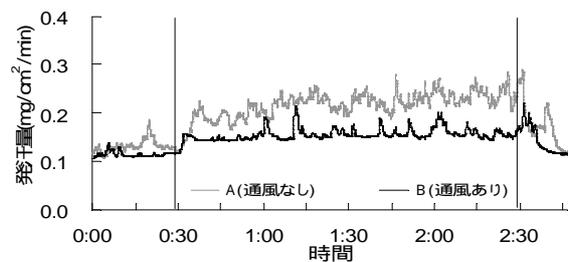


図 2 発汗量変動

Physical thermoregulation in hot environment with cross-ventilation.

YASUNAMI Yuka, HOSOI Akinori and TSUJIHARA Makihiko

#### 4. 人体熱収支から得られた知見

図3に人体の熱収支を示す。安静時には100W近傍の放熱量が熱負荷をかけると減少し、回復時には増加する。これは放熱量が減少し、人体にとって蓄熱状態となり、回復時にこれを解消しようとするためだと考えられる。

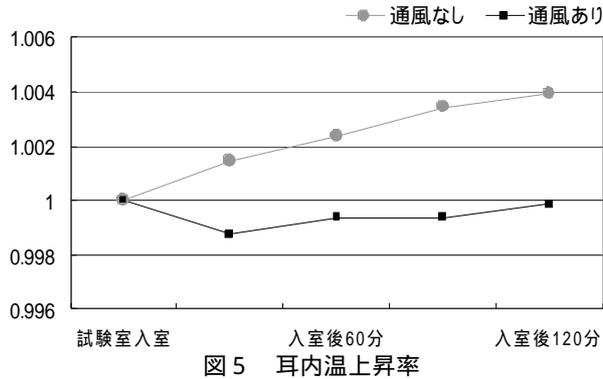
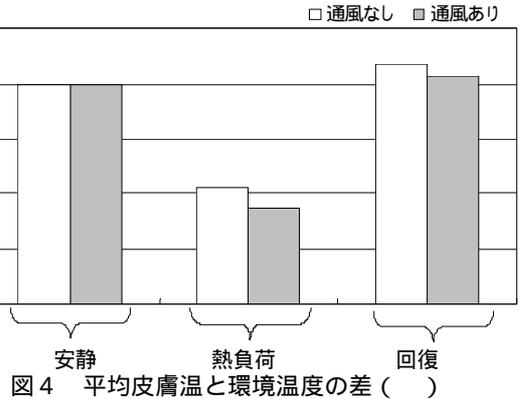
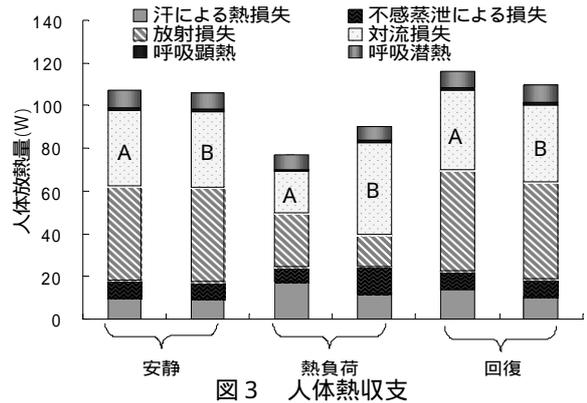
対流成分については、Bの効果で増加する。Aでは40%ほど減少する。これは皮膚温と環境温度の差が小さくなるためである(図4)。一方、BでもAと同様に、温度差の観点からすれば対流損失が小さくなると考えられるが、通風により対流熱伝達係数が増大する効果が大きく、対流損失が基準室よりもさらに増える結果になったと考えられる。

放射成分については、熱負荷を与えることで基準室の3~5割まで減少する。対流と同様に、基準室に比べ試験室の方が人体の皮膚温と環境温度との差が小さくなるためである(図4)。また通風により皮膚温が低く保たれるBの方がその減少はより顕著である。

発汗成分は発汗と不感蒸泄に分けられるが、Aでは発汗の出現により発汗による放熱量が増加し、Bでは不感蒸泄による放熱量が増加する。これはルイスの関係から、対流熱伝達係数が大きくなるほど潜熱伝達係数も大きくなるため、不感蒸泄量が増加したと考えられる。

試験室から基準室に移動した後の回復の経過を見てみると、Aは発汗による影響が継続し、そのため放熱量も基準室と比べて大きくなっている。BはAよりも速やかに初期の状態への回復が見られる。すべての成分において基準室とほぼ同様の値を示している。

図5に示す耳内温上昇率(任意時間後の耳内温/入室時耳内温)において、Aは緩やかに上昇する。Bは通風により耳内温の上昇が抑制され平坦な推移をたどるが、若干の上昇傾向がある。すなわち、熱負荷時には、A、Bともに安静時より放熱量が減少し、蓄熱状態にあるが、Aの放熱減少量がより大きいことと対応していると考えられる。



#### 記号表

$T_{sk}$ : 平均皮膚温( )  $S$ : 人体の表面積( $m^2$ )  $t_{cl}$ : 着衣外表面温度( )  $t_a$ : 空気温度( )  $c_{lo}$ : 着衣量(clo)  $tr$ : 放射温度( )  $Ph$ : 外部水蒸気圧(pa)  $M$ : 代謝量(Met)

注) 全身発汗量  $S_{H0} = 0.0875 \times Esk + 0.9125 \times Esk$  ( $mg \cdot cm^2/min$ )  
 $Esk$ : 局所発汗量 背上部以外の体表面積の比

#### [参考文献]

- 1) 日本生理人類学会計測研究部会: 人間科学計測ハンドブック, p215, 1996
- 2) 吉村寿人: ヒトの適応能, 共立出版, p47, 1977

#### 5. まとめ

暑熱環境で通風をした場合、人体にどのように影響するか検討を行った。

- 1) 皮膚温と環境温度の差が対流、放射の増減に影響する。
- 2) 対流では温度差よりも対流熱伝達係数に依存する。
- 3) 通風した方が、熱負荷からの回復が速やかである。
- 4) 通風により生理的、主観的に快適性は向上する。

通風による快適性は向上するため、更なる通風利用の検討が期待される。

\*熊本県立大学 助手・修士(工学)

\*\*熊本県立大学環境共生学部 講師・博士(工学)

\*\*\*熊本県立大学環境共生学部 准教授・博士(工学)

\*Assistant, Prefectural University of Kumamoto, M. Eng.

\*\* Senior Lecture, Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.

\*\*\*Assoc. Prof., Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.