

相対湿度の変化に対する生理・心理反応に関する一考察

垣鏑 直^{*1}

^{*1}名城大学理工学部 教授・工博

Consideration of physiological and psychological responses to change in relative humidity

Naoshi KAKITSUBA^{*1}

^{*1}Prof., Meijo university, School of Engineering, Dr.Eng (naoshi@ccmfs.meijo-u.ac.jp)

ABSTRACT: For establishment of the rationale to evaluate effect of change in relative humidity (RH) on physiological and psychological responses, the hypotheses were presented. It was first demonstrated that change in insensible and sensible heat loss in response to change in RH in thermally comfortable conditions may induce decrease or increase in mean skin temperature (MST) as compared with the control values at 60%. It was further demonstrated that change in insensible and sensible heat loss in response to change in RH in warm and hot conditions may induce change in skin wettedness. In addition, higher MST in response to increase in RH in warm and hot conditions is associated with increase in skin blood flow rate. This also appears to be associated with change in thermal sensation.

Key words: relative humidity, insensible and sensible heat loss, skin blood flow, mean skin temperature

要旨: 相対湿度が変化した時の生理・心理反応に関して幾つかの仮説を提唱し、理論的考察を試みた。まず、不感蒸泄域における湿性・乾性放熱の変化とそれに連動した皮膚温の変化を推定した。次に、発汗域における湿性・乾性放熱の変化とそれに連動した皮膚ぬれ面積率の変化を推定した。また、発汗域における皮膚血流量の反応により、高湿になると平均皮膚温が上昇することを証明し、それが高湿で温冷感が暑い側にシフトする一因であることも推定している。

キーワード: 相対湿度, 湿性及び乾性放熱, 皮膚血流量, 平均皮膚温

1. はじめに

ヒトには皮下に温度受容器がある。温度受容器は皮膚温或いは周辺の皮下組織の温度を感知して、求心性の信号を送り、同時に温冷感覚を惹起させる。体温調節系の神経路を介して伝達された受容器からの信号は視床下部で処理された後、効果器からの信号により血管反応、ふるえ、発汗などが誘引される。

外界からの温熱刺激に関しては、前述した体温調節システムがあるが、相対湿度が変化した場合、皮下には湿度に反応する感覚受容器はないので、仮に生理反応が変化したとしても湿度変化に起因する心理反応はないはずである。しかし、我々は日常生活で「蒸し暑い」或いは「からっとして爽やか」と感じ、そう表現している。感じない限り表現できないはずで、ここに生理反応と心理反応に明ら

かな乖離がある。本論は、これまでの著者の研究を中心に湿気を知覚するメカニズムに関して考察を試みた。

2. 相対湿度の変化による放熱への影響

2-1. 仮説の前提

室内での気流性状は概して自然対流領域(0.1~0.2m/sの範囲)である。従って、強制対流域で適応できる熱・物質伝達のアナロジー、つまり、レイス係数は適応できない。強制対流領域では熱伝達が物質伝達を支配することが前提であるが、Kakitsubaら¹⁾が解説しているように、自然対流の場合は物質伝達が支配する。相対湿度が変化した場合、放熱プロセスにおいては湿性放熱量の変化が先行すると仮定して考察を進める。

2-2. 不感蒸泄域における相対湿度の変化によ

る放熱過程

【仮説】

不感蒸泄域における相対湿度の変化に対する放熱の特徴を考察する。湿度が高くなると空気が湿気を含むので駆動力が増し、物資伝達が促進される。つまり、湿気伝達率が大きくなる。また、湿気を含んだ空気の熱伝導率は高くなるので熱伝達も促進される。相対湿度が変化しても皮膚温と環境の絶対湿度差と温度差が不変なら、上記の物理変化により乾性放熱量も湿性放熱量も変化前より増加することになる。

次に皮膚及び皮膚組織の反応に関して考察する。Dermatologyの分野では高湿になると皮下組織の含水率が高くなり、組織の透湿率が高くなることが知られている²⁾。よって、高湿になると皮下組織内の水分拡散が促進され、皮膚面の絶対湿度が高くなる。連動して皮膚面と環境の絶対湿度差は変化前より大きくなる。よって、物理変化と相乗的に作用し、湿性放熱量が増加する。この反応が継続すると皮膚温は低下する。皮膚温が低下すると、一旦増加した乾性放熱量は減少し、湿性放熱量の増加分と相殺するように変化し、皮膚温は相対湿度の変化前より低くなって安定するであろう。つまり、理論上は高湿になると皮膚温は低くなることが予測できる。

湿度が低下すると周辺空気の湿気伝達率も熱伝導率も小さくなり、皮膚温と環境の絶対湿度差と温度差が不変なら放熱量は減少する。皮下組織の透湿率が低くなり、皮膚面の絶対湿度は低下するが、環境側の絶対湿度の低下量とのバランスで、皮膚温と環境の絶対湿度差は変化前後で大きくもなり、小さくもなる。この絶対湿度差の挙動に影響を及ぼす要因に関しては別報で述べる。

絶対湿度差が小さくなる場合、湿性放熱量が減少するので皮膚温は高くなり、温度差が大きくなるので乾性放熱量が増加する。従って、相対湿度の変化前よりやや高くなって安定するであろう。つまり、理論上は低湿になると皮膚温は高くなる。絶対湿度差が大きくなる場合は、湿性放熱量が増加し、皮膚温は低くなる。それに伴い乾性放熱量が減少し、放熱バランスが均衡した時点で安定

するであろう。その場合、相対湿度の変化前よりやや低くなって安定するはずである。もちろん、絶対湿度差が不変ならば皮膚温は変化しない。

【検証】

研究結果の一例を図1～図2に示す³⁾。男性被験者4名を対象に、室温28℃、30℃、32℃で60%に曝露した後に40%或いは80%に曝露した時の平均皮膚温と水分蒸散量を示している。28℃では体冷却の影響があり、高湿及び低湿共に平均皮膚温はやや低下する傾向を示したが、水分蒸散量は高湿になると増加しており、仮説を支持する結果と言える。つまり、不感蒸泄域では相対湿度の変化により皮膚温はあまり変化せず、従って温冷感の変化もない。

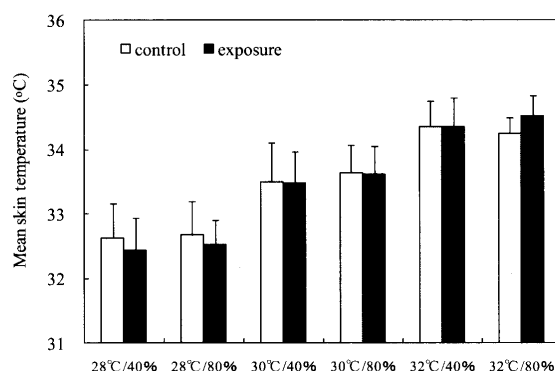


図1. 相対湿度変化時の平均皮膚温の変化

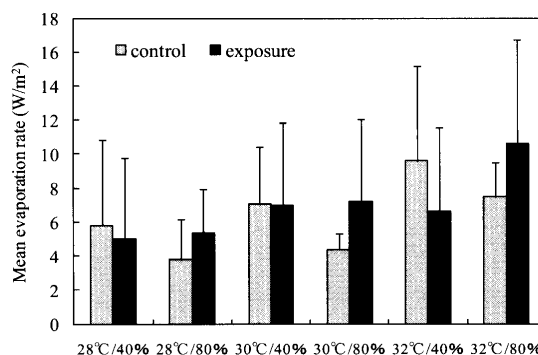


図2. 相対湿度変化時の湿性放熱量の変化
2-3. 不感蒸泄域におけるぬれ面積率の挙動

【仮説】

まず、湿度が高くなった時のぬれ面積率の挙動に関して考察する。皮膚面と環境の間の絶対湿度差は変化前より小さくなるが、湿気伝達率が大きくなるので、環境の最大蒸散能力は変化前とあ

まり変化しない。水分蒸散量は大きくなるのでぬれ面積率は高くなる。逆に湿度が低くなるとぬれ面積率は低くなるはずである。不感蒸泄域では、相対湿度の変化による皮膚温への影響は小さく、ぬれ面積率は高湿になると高くなり、低湿になると低くなる。つまり、一般常識と齟齬はない。

【検証】

前出の実験的研究の結果の一例を図3に示す。仮説を支持する結果と言える。

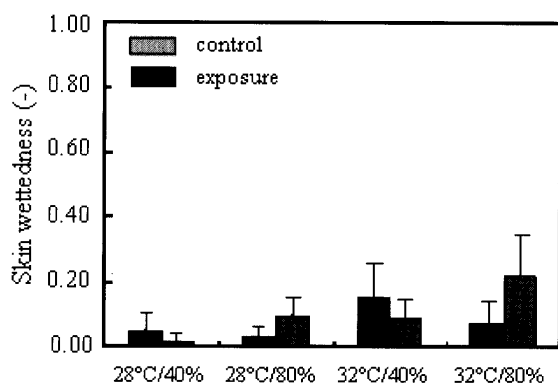


図3. 相対湿度変化時のぬれ面積率の変化
2-4. 発汗域における相対湿度の変化に対する放熱過程

【仮説】

発汗域では、湿性放熱は皮下組織を介した水分拡散のみに依存せず、汗腺からの発汗による水分蒸散にも依存する。前述したが、高湿に移行すると皮下組織の透湿率が高くなり、皮膚面の絶対湿度は上昇する。環境の絶対湿度も上昇するので皮膚面と環境の絶対湿度差は大きくもなり、小さくもなる可能性はあるが、概して絶対湿度差は大きくなるので最大蒸散能力は大きくなる。但し、皮膚面上の汗の蒸発は飽和状態でない限り環境側の最大蒸発能力とは無関係である。

相対湿度の変化前後の皮膚温と気温の差が変化しなかったとしても熱伝達率が高くなるので乾性放熱量は増加するが、後述する皮膚血流量の増加により皮膚温が変化前より高くなるので相乗的に増加する。つまり、理論上は、発汗域で高湿に移行すると皮膚温は高くなり、放熱量も増加し、低湿に移行すると皮膚温は低下し、放熱量は減少することが予測される。

【検証】

研究結果⁴⁾の一例を図4～図5に示す。男性被験者5名を対象に、事前に28℃に曝露し、その後34℃/40%、34℃/70%、36℃/40%、36℃/70%に曝露した時の平均皮膚温と湿性放熱量を示している。平均皮膚温は34℃では湿度間の差はないが、36℃では高湿で高くなっている。また、湿性放熱量は両温度共に70%の方が高い値を示しており、仮説を支持する結果と言える。

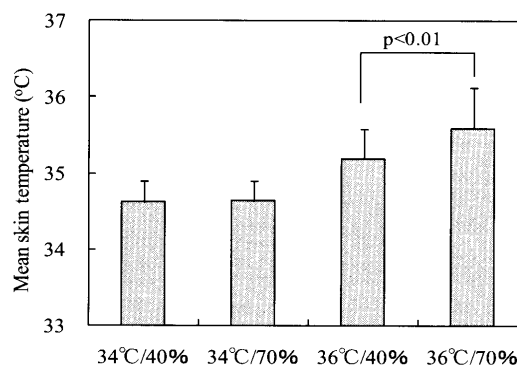


図4. 低湿/高湿条件における平均皮膚温の比較

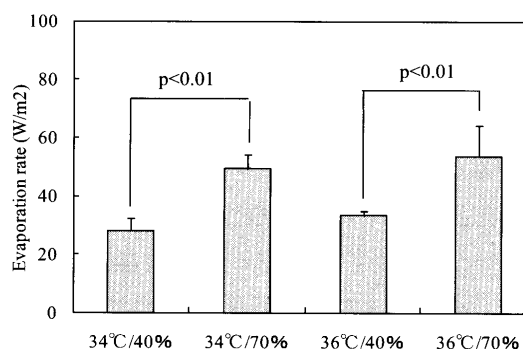


図5. 低湿/高湿条件における湿性放熱量の比較
2-5. 発汗域におけるぬれ面積率の挙動

【仮説】

高湿側に移行した時のぬれ面積率の挙動に関して考察する。前述した様に、皮膚面と環境の間の絶対湿度差は変化前より大きくなり、環境の最大蒸散能力が大きくなる。皮下組織の水分拡散による水分蒸散量は絶対湿度差に比例するので、高湿に移行すると増加する。発汗による蒸発量は環境側の影響は受けないので相対湿度の変化の影響はないと考えて良い。しかし、全体として高湿になると水分蒸散量は増加する。環境の最大蒸

散能力の水分蒸散量の増分のバランスでぬれ面積率の変化量が決まるが、概して水分蒸散量の増分が大きいのでぬれ面積率は変化前より大きくなる。低湿側に移行した場合は低くなる。

【検証】

研究結果⁴⁾の一例を図6に示す。高湿条件でぬれ面積率は高くなり、低湿条件で低くなっている。仮説が支持されていると言える。

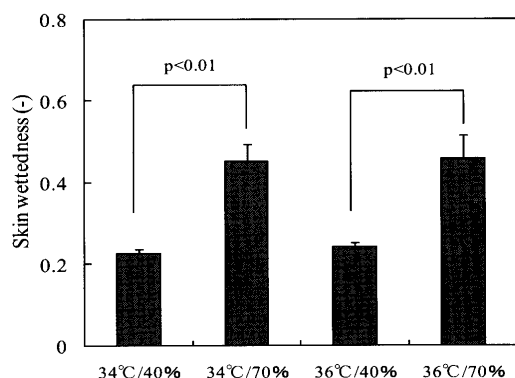


図6. 低湿/高湿条件におけるぬれ面積率の比較

3. 発汗域における生理反応と心理反応の関連性

【仮説】

相対湿度が変化すると、皮膚や皮下組織の透湿抵抗が変化することは前述した。相対湿度の変化で皮膚及び皮下組織の性状が変わると、末梢の皮膚抵抗も変化する可能性がある。例えば、高湿に移行した場合、含水率が増え組織の柔軟性が向上することにより末梢血管抵抗が低下したとすると、結果的に末梢の血流量が増加する(この反応は中枢とは無関係な反応である)。連動して皮膚温が上昇したなら温冷感は暑い側に移行するはずである。但し、皮下組織の性状が変化する条件がある。不感蒸泄域では相対湿度が変化しても性状に変化は生じないが、発汗域では明確に変化するであろう。

【検証】

研究結果⁴⁾の一例を図7に示す。平均皮膚温が高い条件で指尖線血流量が有意に増加しており、仮説を支持する結果と言える。発汗域での指尖線血流量の変化を報告した先行研究⁵⁾でも、高温側で平均皮膚温に比例して指尖線血流量

が増加する傾向が報告されている。

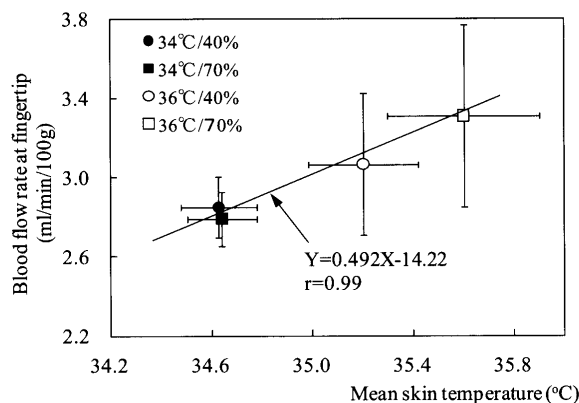


図7. 指尖血流量の変化

発汗域では不感蒸泄域と異なる生理反応を呈し、循環系の反応を伴って皮膚温を変化させる。湿度が高くなると皮膚血流量が増加し、連動して皮膚温が上昇するので、暑い側を申告しても不思議ではない。しかし、「暑い」と「蒸し暑い」はやはり異なる。残念ながら、皮膚温の変化だけでは説明できない。

4. まとめ

相対湿度の変化による生理・心理反応に関して考察した。紙面の都合上、他の研究者の研究事例を紹介できなかったが、さらに考察を進める予定である。

謝辞

名城大学大学院理工学研究科修士の功刀宗司君と卒業研究生の岩瀬義明君の協力に謝意を表す。

参考文献

- 1) N.Kakitsuba, K.R.Bondi: Aviat. Space Environ. Med., 58(3):227-236
- 2) I.H.Blank: J. Invest. Dermat., 18:433-440, 1952
- 3) 功刀崇司, 垣鏑直: 第32回人間生活環境系会議シンポジウム報告集, 47-49
- 4) 山北康晃, 垣鏑直: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 613-614, 2010
- 5) 岡村篤信, 垣鏑直: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 823-824, 2001

《連絡先》

垣鏑 直

〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口

1-501 名城大学理工学部環境創造学科

Email: naoshi@ccmfs.meijo-u.ac.jp