

人間のアダプティブ性を考慮したパーソナル空調システムの開発 (その6)  
**活動の変化に伴う熱的刺激緩和時間の検討**

パーソナル空調 被験者実験 緩和時間 生理心理

正会員 須藤美音\*1 // 村上周三\*2  
 // 加藤信介\*3 // 宋 斗三\*4

**1.はじめに**

近年 OA 化による室内熱負荷の増加・偏在化やオフィスのパーソナル化などにより、従来の全般空調方式から個別制御可能なパーソナル空調が注目されている。しかし、パーソナル空調の導入により快適性・省エネ性向上が期待されているものの、普及には至っていない。本研究は、人の熱的適応性を空調制御論理に組み込むことによって、従来型パーソナル空調より快適かつ省エネ的な新しいパーソナル空調システムの開発を目的としている。本報では、人の熱的適応性に関する基礎データ取得を目的として、活動変化に伴い生じる熱的不快感を緩和するまでに費やす時間を“緩和時間”と定義し、被験者実験により緩和時間の検討を行う。

**2.被験者実験による活動変化に伴う熱的刺激緩和時間の検討**

オフィス空間では、デスクワークの合間にも立位・歩行などの間欠的な活動が行われ、その後の活動の快適性に影響を及ぼす可能性がある<sup>1)</sup>。温熱生理・心理的な変化は代謝量の変化に対し時間遅れを生じ、様々な活動変化が予想されるオフィスにおいては、たとえ室内温度が一定であり快適域に設定されていたとしても熱的不快感を与え、作業効率の低下を招く可能性がある。従来の全般空調では個人の活動変化に対応が不可能だが、パーソナル空調では活動変化に伴い生じる熱的不快感を効率よく緩和させることができると考えられる。

**2.1 被験者実験概要**

本実験は2003年6月~7月、慶應義塾大学理工学部環境実験室にて行われた(図1)。実験室壁面には暗幕が設置されている。アンビエント空調及びパーソナル空調の設定条件を表1に示す。アンビエント空調は床3箇所からの吹出し、天井吸込み方式とし、平均吹出し風速は0.7m/s、吹出し温度28。パーソナル空調は市販品(米国製)で机上の両端に設置され人体方向に吹出す。吹出し温度26、平均吹出し風速2.5m/s、吹出し風向は水平吹き出しとした。机上にはパソコンを設置し、熱放射の影響を加えた。

図2に実験手順を示す。被験者は実験室環境及び実験器具に十分慣れさせた状態で実験に臨ませた。はじめに被験者に30分間リラックスさせた(雑誌の読書)。この時パーソナル空調は使用しない。次にルームランナー(被験者に向かって右側)で10分間歩行をさせた。歩行後着席し、パーソナル空調をONとして40分間再びリラックスさせた。

実験ケースを表2に示す。case1は歩行速度1.8m/s(高速)、case2は歩行速度を0.9m/s(低速)とし<sup>1)</sup>、歩行後にはパーソナル空調を使用させた。case3では歩行速度1.8m/sとし、歩行後にはパーソナル空調を使用させなかった。

被験者は生理量として皮膚温・代謝量、心理量として温冷感・快適感申告及び実験後不快項目に関するアンケートを行

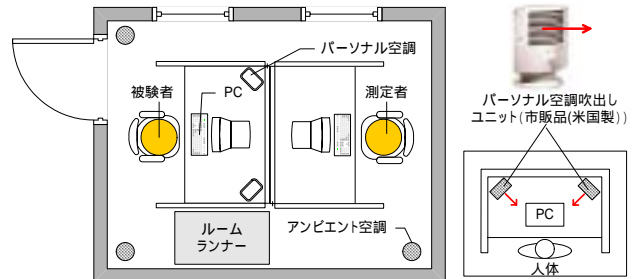


図1 慶應義塾大学理工学部環境実験室

表1 アンビエント空調・パーソナル空調設定条件

アンビエント空調	温度	28
	風速	0.7 m/s
パーソナル空調	温度	26
	風速	2.5 m/s
	風向	水平吹出し

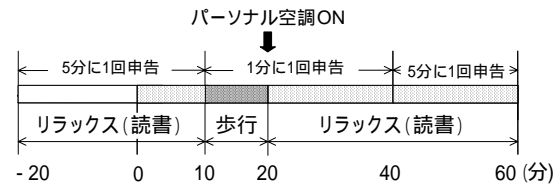


図2 実験手順

表2 実験ケース

	歩行速度	代謝量	パーソナル空調
case1	1.8 m/s (高速)	約 3.8 met	あり
case2	0.9 m/s (低速)	約 2.0 met	あり
case3	1.8 m/s (高速)	約 3.8 met	なし

った。皮膚温はQRECの10点法(頭、胸、背、上腕、前腕、手、大腿(2点)、下腿、足)に準じて測定を行った。代謝量は間接測定法に基づき呼吸代謝測定装置を用いて測定を行った。ただし、熱電対・呼吸代謝測定装置は被験者に大きな負荷を与えるため併用は避けた。温冷感申告はASHRAEの7段階スケールに準じて行い、快適感には6段階スケールとした。

被験者は標準的な体格で健康な大学生男性6名、女性6名の計12名。夏のオフィスを想定した着衣とし、男性は0.70clo(半袖シャツ・長ズボン・ネクタイ・靴下・下着)、女性は0.55clo(半袖シャツ・スカート・ストッキング・下着)と統一した。実験中の着衣・姿勢の変更は許可しなかった。また、実験は1日に3回行い、各被験者は全てのケースの実験を同じ時間帯に行った<sup>2)</sup>。

**2.2 実験結果と考察**

図3に(a)平均皮膚温偏差、(b)温冷感申告、(c)快適感申告の男性6名の平均値を示す<sup>3)</sup>。ここで皮膚温偏差とは歩行前のリラックス時(30分間)の最初の10分間の皮膚温平均値に対する偏差とする。

(1)平均皮膚温 全3ケースともに歩行を開始する(この時点

を実験開始後 10 分としている)とすぐに平均皮膚温の低下がみられる。これは、歩行により生じた対流の影響から肌が露出している手や前腕の皮膚温が低下したことや大腿部の発汗が原因である。15 分頃になると皮膚温は上昇する。

歩行終了後 (20 分) case3 (1.8m/s 歩行、パーソナル空調なし) では 40 分で皮膚温は安定し始めるが、前半のリラックス時に比べて男性は約 0.3、女性は約 0.2 皮膚温が高い。この主な原因は下半身の皮膚温の上昇である。これに対し case1 (1.8m/s 歩行、パーソナル空調あり) と case2 (0.9m/s 歩行、パーソナル空調あり) では、歩行終了後平均皮膚温が急激に低下する。case1 では 40 分頃になると平均皮膚温は安定し、前半のリラックス時と比べて、男性では約 0.1、女性では約 0.2 低い。case2 はすぐに皮膚温は安定せず、実験終了時 (60 分) まで緩やかに低下する。これは特に手の皮膚温の低下が影響している。

(2)温冷感申告結果 前半のリラックス時 (0~10 分) は熱的中立状態よりわずかに高い値を示す。歩行を開始 (10 分) すると、case1・case3 (1.8m/s 歩行) ではすぐに『やや暑い (+1)』に、歩行終了時には『とても暑い (+3)』に達する。case2 (0.9m/s 歩行) では歩行終了時に『やや暑い (+1)』に達する。女性の温冷感の変化は男性に比べて勾配が急であり、女性の方が歩行に対し大きな負荷がありより暑く感じている。

歩行終了後 (20 分) case1 ではパーソナル空調を ON にすると急激に温冷感が低下する。歩行終了後から熱的中立状態に達するまで要する時間を“緩和時間”と定義すると、男性・女性ともに緩和時間は約 10 分である。緩和時間に達した後、男性は熱的中立状態のまま安定するが、女性は 40 分になると寒い側の申告になる。case2 では男性の緩和時間は約 5 分、女性の緩和時間は約 3 分。緩和時間に達した後は、男性は 35 分、女性は 30 分頃になると寒い側の申告となった。case3 では徐々に温冷感が低下し、緩和時間は約 20 分である。この結果から、室内歩行により温冷感が上昇し、再びデスクワークに戻ってもしばらくは熱的不快感を覚えると考えられる。

(3)快適感申告結果 前半 (0~10 分) のリラックス時では『やや快適』となる。歩行を開始すると、熱的不快感や疲労から快適感が低下し、歩行終了時 (20 分) になると case1・case3 (1.8m/s 歩行) では『とても不快』に近づき、case2 (0.9m/s 歩行) では『やや不快』に達する。

歩行終了後、パーソナル空調を ON にすると case1 (1.8m/s 歩行)・case2 (0.9m/s 歩行) では急激に快適感が上昇し、緩和時間に到達する頃に『やや快適』に達する。しかし、その後しばらくは快適を保つが、2、3 分程度経過すると快適感は徐々に低下し、case2 では実験終了時 (60 分) になると『やや不快』まで達する。case3 では歩行終了後、快適感は徐々に上昇する。男性は 60 分 (実験終了時)、女性は約 40 分程度で『やや快適』に達する。

(4)人体不快項目 パーソナル空調の使用により不快を感じた被験者に対し、その原因に関するアンケート調査を行った。

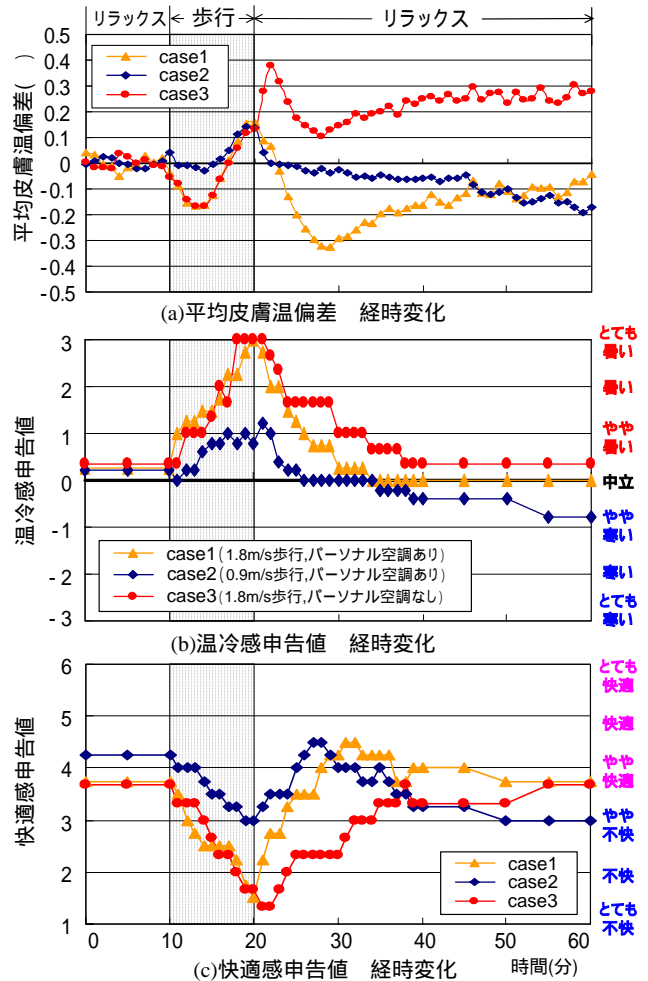


図3 活動の変化における変化 (男性)

その結果、最も多かった回答は『目が乾く』で、特にコンタクトレンズ使用者は不快を訴えていた。他には着衣の覆われていない顔面や腕等の部位で『気流感』に対する不満や、『汗がひいた後に寒い』、『息苦しい』等の回答が多く見られた。

### 5.まとめ

1)活動の変化により生じる熱的不快感を効率よく緩和するためにパーソナル空調を用い、歩行終了後から熱的中立状態に達するまでの時間“緩和時間”について提案を行った。2)パーソナル空調を使用した場合、0.9m/s 歩行時の温冷感に関する緩和時間は男性は 5 分、女性は 3 分。1.8m/s 歩行時の緩和時間は約 10 分であった。パーソナル空調を使用しなかった場合、1.8m/s 歩行時の緩和時間は約 20 分となり、パーソナル空調使用時の方が圧倒的に緩和時間が短い。3)熱的中立状態到達後 2、3 分に経過すると快適感申告値が低下傾向にある。その原因は、目の乾燥の影響や寒さによる不快感が原因となる。

**[謝辞]** 本研究の一部は文部科学省の科研費の助成を得ている。  
**[注]** (1) 歩行速度は ASHRAE の代謝量の表による一般的な速度を参考とする (2) 概日リズムより、実験の時間帯によって人間は生理的・心理的な変動を生じるが、本実験ではそれらの有意な差は確認されていない。(3) 女性の結果は男性とほぼ同じ傾向を示すため、図は省略する。  
**[参考文献]** (1) 須藤ら:高温多湿気候におけるアダプティブ空調システムに関する研究 (その 7), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2002.9. (2) 金子ら:人間のアダプティブ性を考慮したパーソナル空調システムの開発 (その 3), 日本建築学会学術講演梗概集, 2003.9

\*1 慶應義塾大学大学院 大学院生  
 \*2 慶應義塾大学 教授、工博  
 \*3 東京大学生産技術研究所 教授、工博  
 \*4 東京大学生産技術研究所 助手、工博

Graduate School, Keio University  
 Prof., Keio University, Dr. Eng  
 Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.  
 Research Associate, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.