

能動的衣服気候調節が人体の温熱生理に与える影響 —空調環境 (28°C) の場合—

Effects of active clothing microclimate regulation on human
thermophysiological response in an air conditioned environment of 28°C

堀 雅 子

澤 田 尚 吾

Masako HORI

Shogo SAWADA

福岡教育大学 家政教育講座

福岡市立早良中学校

(平成26年9月30日受理)

Abstract

The purpose of this study was to determine the effects of active clothing microclimate regulation on human thermophysiological response. For the study method, we developed a prototype for a personal chiller and conducted experiments on seven healthy male university students under various conditions. Subjects with a hot environment clothing microclimate (34°C; 80%R.H.) were moved to an air conditioned environment (28°C; 50% R.H.) and allowed to recover their microclimate under the following two conditions: (1) while sitting at rest (experiment N) with no cooling and (2) after 10 minutes of active clothing microclimate regulation with a personal chiller (experiment P; 25°C; 45% R.H.). The results of the two experiments were then compared. The increase in core body temperature was controlled better in experiment P than in experiment N. A lower mean skin temperature was better maintained, and the warm-cold sense of the entire body recovered more quickly in experiment P compared with experiment N. These results indicated that the use of a personal chiller reduced absolute humidity and removed residual moisture from within the clothing of the subjects.

Keywords: active clothing microclimate regulation, thermophysiological response, mean skin temperature, air conditioned environment

1. 緒言

近年, 地球温暖化が加速し, 地球の温度はこの10年で約0.13°C上昇している¹⁾。必然的に夏季における空調使用が増加し, 環境およびエネルギー問題等に多大な影響を及ぼしており, 省エネルギー問題は喫緊の課題である。しかしながら, 熱中症による死亡者数が増加傾向にある²⁾ 現在, 空調使用の制限は難しい状況にあると言えるだろう。

環境省は, 冷房の28°C設定を含めたクールビズを提唱し, 二酸化炭素の排出削減を求めて

いる³⁾。しかしながら, 環境省が提案した冷房28°C設定では, クールビズの衣服であっても不快と感じ, 作業効率も落ちてしまうことが分かっている⁴⁾。これは, 28°Cという気温はヒトが裸体で体温調節が可能である血管調節域に入る温度であり, クールビズといえども着衣状態では暑く感じるからである。したがって, 個人の生活の場での空調使用については, 28°Cよりも低い温度設定が行われている可能性があり, 環境省の提案が受け入れられにくくなっていると考えられる。この問題に関する研究では, 環境面及び28°Cの環境

下での快適感向上を目的とする採涼空間の提案がある⁴⁾。しかしながら、個々人の生活の場の中でこの空間を確保することは、設置場所および費用等の面で難しいのではないだろうか。

そこで本研究では、夏季空調 28℃ 設定に無理なく順応するために、衣服の範囲を広げる形でのパーソナルな空調空間を使用することで、衣服気候を能動的に調節することを試みた。衣服内の気候を調節するために、約 25℃ の冷氣供給と排気を同時に行うことのできるパーソナル冷氣供給装置を試作した。また、ヒトの生活行動に着目し、夏季の外出から帰宅するという生活場面を設定して、屋外環境から 28℃ の夏季空調環境に入る場面においてパーソナル冷氣供給装置を使用して能動的な衣服気候調節を行うことが、人体の温熱生理にどのような影響を与えるかについて検討した。

2. 実験方法

実験は福岡教育大学家政教棟の人工気候室で、平成 25 年 12 月 11 日～平成 26 年 1 月 13 日の間に実施した。ヒトの衣服気候が、暑熱環境での活動状態からそのまま 28℃ 設定の空調環境に移動した場合と、パーソナル冷氣供給装置を経由して移動した場合とでどのように変化するかを比較した。

2-1. 実験の手順

実験のタイムスケジュールを図 1 に示す。

被験者は気温 28℃、50%R.H. の環境状態に保たれた人工気候室内にて実験衣を着用するとともに、センサーを装着した。測定開始後 5 分間は安静椅座状態を保った。その後、衣服気候の状態を暑熱環境での活動状態に近づけるために、サイクルエルゴメーターで運動負荷をかけた。運動負荷量に関しては被験者ごとに事前に調査し、運動開始後約 3 分で心拍 120/分 に到達するようにした。その心拍を維持して運動し、開始 13 分後に終了させた。その後パーソナル冷氣供給装置を利用した場合と利用しなかった場合との 2 条件で比較を

行った。

パーソナル冷氣供給装置を利用した実験 (P 実験) では、運動終了後に気温 25℃、45%R.H. のパーソナル冷氣供給装置内へ移動し、10 分間椅座状態で回復をはかった。10 分経過後、28℃、50%R.H. の人工気候室内へ戻り、安静椅座状態のまま、回復を図った。パーソナル冷氣供給装置を利用しない実験 (N 実験) では、運動終了後、28℃、50%R.H. の人工気候室内で安静椅座状態のまま、回復をはかった。

パーソナル冷氣供給装置は図 2 に示す通りで、冷氣供給源として、スポットクーラー (YAMAZEN YMS-18, 720W, 冷風温度は 25℃, 風速 11.5m/s) を使用し、排気装置としては掃除機 (株式会社オーム電機, サイクロンクリーナー, TV-1000, 800W, 風速 10.5m/s) を用いた。装置本体は、テント生地 (ポリエステル 100%) を使用し、中に小型の椅子を置いて大人 1 人が座れる大きさとした。実験の様子は図 3 に示す通りである。

2-2. 被験者

被験者は、福岡教育大学の健康な男子大学生 7 名である。身体的特徴は、表 1 に示す通りで、平均年齢 21.7 ± 0.9 歳 (平均 \pm SD), 身長 174.9 ± 4.2 cm, 体重 66.9 ± 5.2 kg, B.S.A. (Body surface area = $H0.725$ (cm) \times $W0.425$ (kg) \times 0.007184) 1.8 ± 0.08 m², B.M.I. (Body mass index = weight/height²) 21.9 ± 1.4 kg/m² である。被験者は約 800kcal の同一メニューの昼食終了後、1 時間おいて実験の準備を開始した。

2-3. 実験衣

男性の一般的なクールビズスタイルとして⁵⁾、上半身はノースリーブの形の肌着シャツ (綿 100%) に半袖開襟シャツ (綿 82%, ポリエステル 12%) を着用し、下半身はパンツの上に長ズボン (ポリエステル 100%), 靴下 (綿 100%) を使用した。

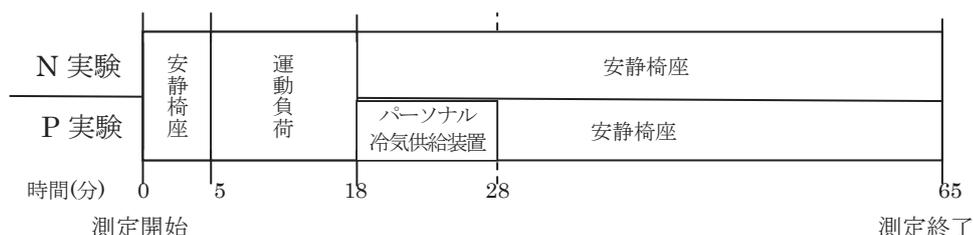


図 1 実験のタイムスケジュール

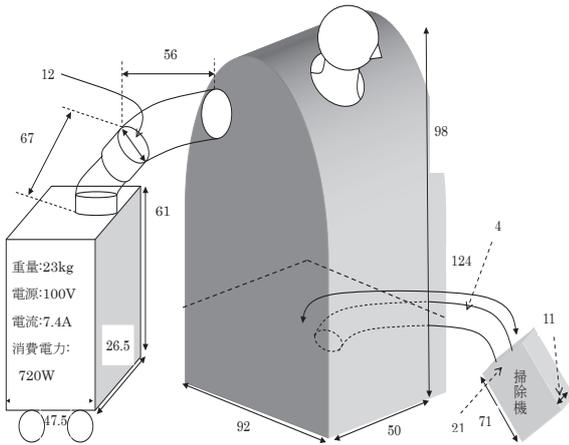


図2 パーソナル冷気供給装置の概略

表1 被験者の身体的特徴

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BSA(m ²)	B.M.I.(kg/m ²)
被験者①	22	173	62	1.74	20.72
被験者②	22	181	70	1.89	21.37
被験者③	23	179	70	1.88	21.85
被験者④	20	175	75	1.90	24.49
被験者⑤	22	177	68	1.84	21.71
被験者⑥	21	171	58	1.68	19.84
被験者⑦	22	168	65	1.74	23.03
平均	21.7	174.9	66.9	1.80	21.9
SD	0.9	4.2	5.2	0.08	1.4

2-4. 測定方法および測定項目

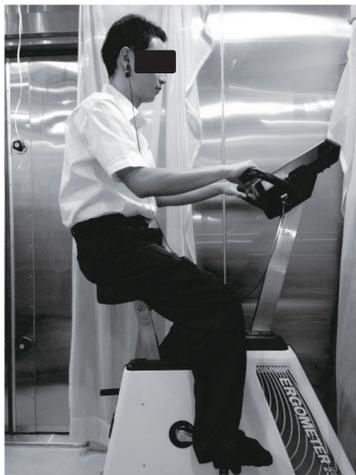
測定は、温度および相対湿度測定用センサーをグラム株式会社製のデータロガーLT8に接続して行った。温度入力分解能は0.01℃で、データは温湿度ともに1分毎に測定した。測定項目は、舌下温、7ヶ所の皮膚温（前額部、上腹部、前腕部、手背部、大腿部、下腿部、足背部）と衣服内温度および相対湿度（最内層、中間層、最外層、背部最内層）である。平均皮膚温の算出法は、Hardy-DuBoisの7点法の公式

$$(\bar{T}_s = 0.07 T_{head} + 0.14 T_{arms} + 0.05 T_{hands} +$$

$0.35 T_{abdomen} + 0.19 T_{thigh} + 0.13 T_{legs} + 0.07 T_{foot}$)を使用した。

全身の温冷感は9段階（-4:非常に寒い, -3:寒い, -2:涼しい, -1:少し涼しい, 0:どちらでもない, 1:少し暖かい, 2:暖かい, 3:暑い, 4:非常に暑い）で点数化して5分毎を基本に、加えて運動終了時、パーソナル冷気供給装置使用中、使用終了時に自己申告させた。

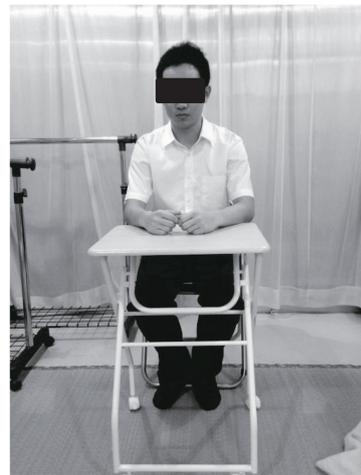
得られたデータは、T-pairedテストにより検定を行い、分析した。



測定開始後5~18分
運動状態



18~28分 (P 実験)
パーソナル冷気供給装置
使用状態



18~65分 (N 実験)
28~65分 (P 実験)
安静椅座状態

図3 実験風景（気温28℃ 50% R.H.の人工気候室内）

3. 結果および考察

パーソナル冷気供給装置を冷気供給装置と略称し、これを利用した実験をP実験、利用しなかった実験をN実験として論じる。グラフはすべて実験タイムスケジュールに従った経時変化で示す。

3-1. 深部体温、皮膚温および全身の温冷感

深部体温として舌下温を測定し、被験者7人分の平均値の経時変化を図4に示す。今回、実験を通して舌下温は問題ない範囲で一定に保たれた。25～35分と55～60分にP実験の方が有意に低い値であった ($P<0.05$)。これは冷気供給装置の影響で、深部体温の上昇が抑えられたと考えられる。

図5は平均皮膚温 (MST) の平均値を示す。平均皮膚温の平均は、P実験、N実験ともに運動終了後の18分以降低下しているが、冷気供給装置の影響でP実験の方が大きく低下していると考えられる。N実験での低下は、運動による発汗の影響と考えられる。その後、冷気供給装置を出た28分以降、皮膚温が両実験ともに上昇し、実験終了時には0.34℃の差が示された。また、55、56、59～62、64、65分に、有意差が認められた ($P<0.05$)。冷気供給装置を利用して能動的衣服気候調節を行った時の皮膚温低下が、その後の皮膚温の回復に影響していると考えられる。

図6は、全身温冷感の平均値を示す。全身の温冷感の平均は、平均皮膚温と同様に運動を開始した5分から終了時の18分まで上昇し、P実験では、冷気供給装置利用時の23分、28分に、「涼しい」を、N実験では23分に「少し暖かい」、28分では「どちらでもない」を示した。この時、23、28分に有意差が認められた ($P<0.05$)。P実験では、運動後の発汗状態での冷気供給装置使用で、涼しいと申告したと考えられる。

平均皮膚温の平均と全身の寒暑感覚の平均から、冷気供給装置を利用して能動的衣服気候調節をすると皮膚温を下げ安定的に低く維持できることおよび感覚的にも「涼しい」と感じる事がわかった。さらには、28℃空調での深部体温の上昇傾向を抑制すると考えられる。

3-2. 部位別皮膚温

部位別の皮膚温を、頭部を含めた躯幹部と末梢部に分けて示す。

図7は、前額部、上腹部、大腿部のそれぞれの平均値を示す。P実験の前額部は、冷気供給

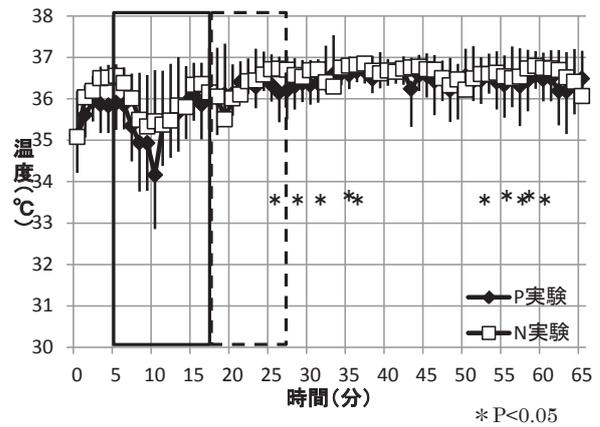


図4 舌下温の平均

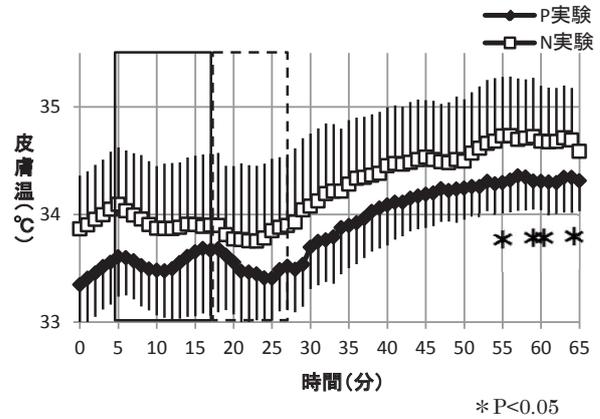


図5 平均皮膚温 (MST) の平均

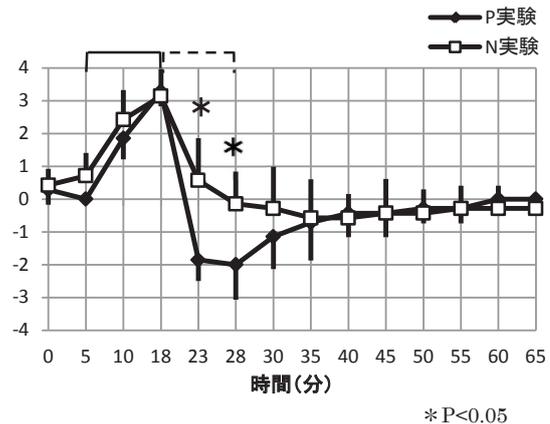


図6 全身温冷感の平均

装置を使用している間は有意に低い値であった ($P<0.05$)。顔面は深部体温を反映し、外気温の影響が出にくい部位であるが、本実験の場合、冷気供給装置の形状により首回り部分からの冷気の影響を受けているのではないかと考えられる。上腹部には差が認められず、共に28℃空調環境で徐々

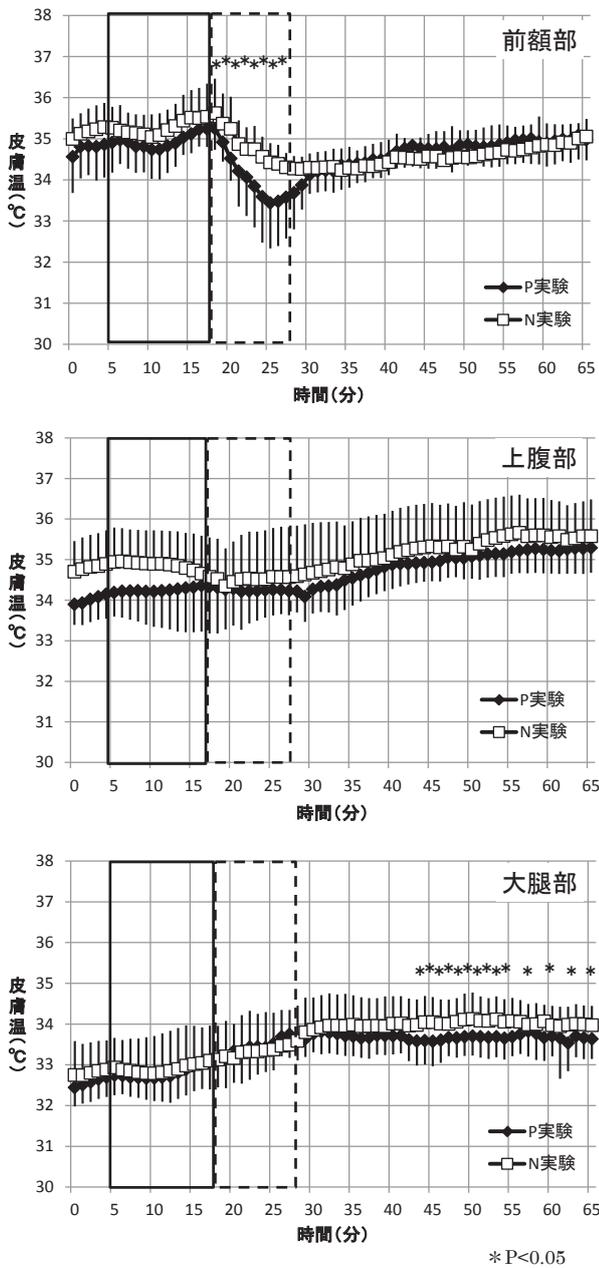


図7 部位別皮膚温（上段：前額部，中段：上腹部，下段：大腿部）の平均

に上昇する傾向があった。大腿部は、実験前半部分では差が認められなかったが、45分過ぎからP実験の方が有意に低い値であった ($P<0.05$)。これは、大腿部は冷気供給装置から出た後の皮膚温の上昇がなかったからであると考えられる。

図8は、前腕部、手背部、下腿部、足背部のそれぞれの平均値を示す。前腕部は、運動終了後PおよびN実験ともに下降している。これは、運動による発汗の影響であり、半袖シャツの実験衣

であるため前腕は衣服に覆われておらず、汗の蒸発による放熱が短時間で行われたと考えられる。P実験では冷気供給装置の影響もあって皮膚温の下降が28分まで続き、その後28℃空調環境下では徐々に上昇するが、N実験に比べて低いレベルで保たれている。下腿部は、長ズボン着用の影響が考えられ、差が認められなかった。手背部は、25～26、29、35～41分でP実験が有意に低い ($P<0.05$) が、その後は差がなかった。足背部は、29～38分を除きP実験の方が有意に低かった ($P<0.05$)。これは、特に実験後半においてP実験の方が皮膚温が若干ではあるが下降していることが影響していると考えられる。

冷気供給装置を用いることにより、特に末梢部の皮膚温を安定的に低く保つことが出来ると考えられる。

3-3. 衣服気候

衣服気候は、最内層（背部）について述べる。

図9は、背部層の衣服内温度の平均値を示す。両実験ともに、運動終了時の18分まで上昇し、冷気供給装置を利用したP実験では、28分まで大幅に低下し、5℃近く差が表れた。この時、20～30分に有意差が認められた ($P<0.05$)。28分以降、31.5℃まで上昇し、その後その温度帯を維持する結果となった。N実験では、運動終了後徐々に低下したものの、55分から次第に上昇する傾向を示した。

図10は、背部層の衣服内相対湿度の平均値を示す。P実験とN実験の両方ともに、運動開始の5分から上昇し、25分の時点で最も高く、それ以降は徐々に低下し、18～21、36、42～48分に有意差が認められた ($P<0.05$)。相対湿度に関しては、冷気供給装置に入った時に低下したため、N実験の方が高いが、その差は小さかった。これは、P実験の衣服内背部層温度が大きく低下しているためである（図9）。相対湿度には大きな差が認められないが、実際の水分量には差があると考えられるため、容積絶対湿度で比較することとした。

図11は、背部層の衣服内絶対湿度の平均値を示す。両実験ともに、運動中の5～18分まで増加したものの、P実験では、18分以降大きく減少している。N実験では、急激ではなくゆるやかに減少し、45分の時点でP実験とN実験はほぼ同じ値になり、この時、18、20～30、34、35分に有意差が認められた ($P<0.05$)。相対湿度では、P実験とN実験に大きな差はないものの、容積

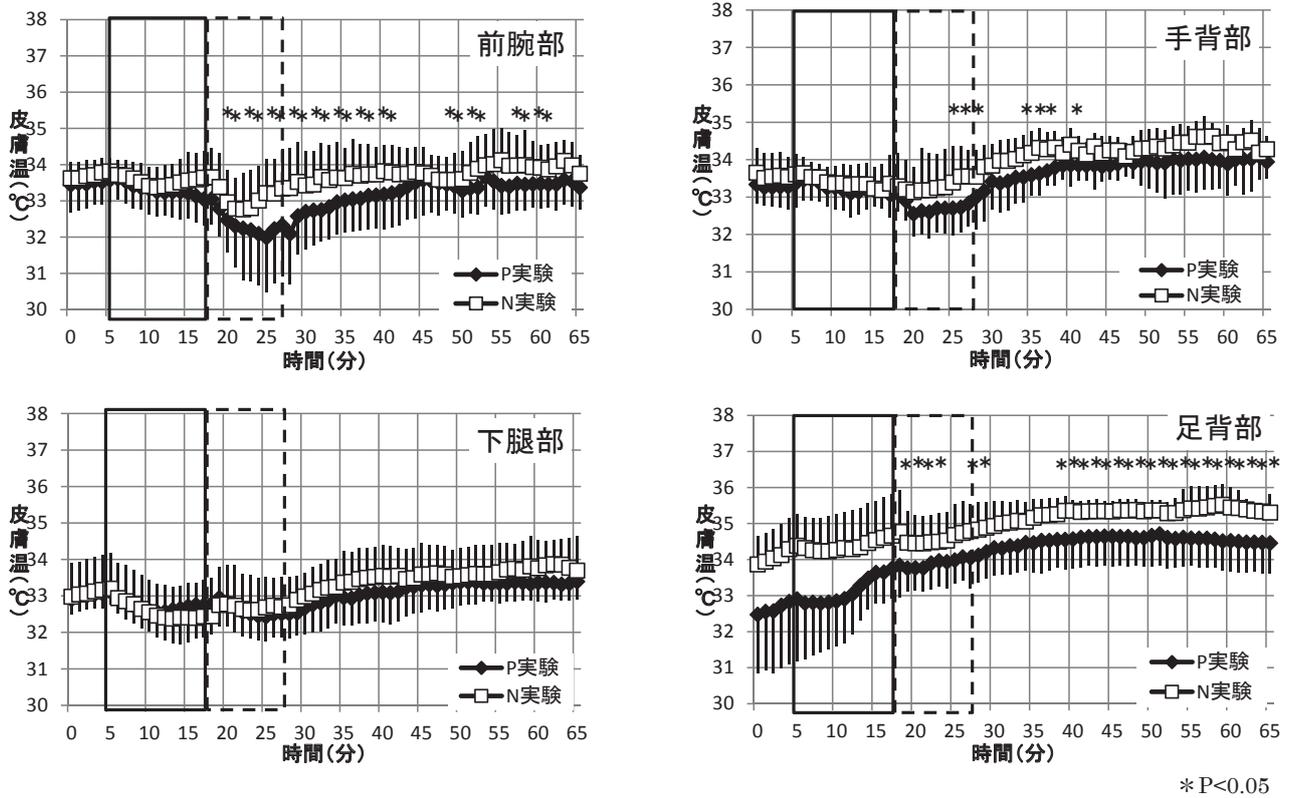


図8 部位別皮膚温（上段：前腕部，手背部 下段：下腿部，足背部）の平均

絶対湿度は、18分から28分の間大きく低下しているため、冷気供給装置の利用で能動的に衣服気候を調節することで、衣服内温度及び衣服内絶対湿度を下げる事ができ、その後の衣服内温度の上昇も抑制できたと考えられる。

図12は、衣服表面の絶対湿度の平均値を示す。P実験では大きな変化は認められず、28～38分には有意に低い値であった ($P < 0.05$)。N実験では運動時の汗が衣服に吸収され、その後徐々に蒸発したと考えられる。絶対湿度の結果から、P実験では冷気供給装置の利用で衣服内に残留している余分な水分も取り除くことができたため、28℃空調空間に移動しても絶対湿度が大きく変化しなかったのではないかと考えられる。

4. まとめ

本研究では、冷気供給装置を利用して能動的に衣服気候を調節することで、以下の結果が得られた。

- ・ 深部体温の上昇を抑えることができた。
- ・ 平均皮膚温を効果的に下げ、全身の温冷感を早期に改善することができた。

- ・ 末梢部皮膚温を安定的に低く保つことができた。
- ・ 衣服内温度を一気に低下させることが、その後の28℃空調環境に順応しやすくさせたと考えられる。
- ・ 衣服内絶対湿度を低下させ、余分な衣服内残留水分を取り除くことができたと考えられる。

今回製作したパーソナル冷気供給装置はさらに改良を加える必要があるが、コストも低く、利用時間も短時間で抑えることができるため、エネルギー消費及び環境への負荷も抑えることができる。また、閉じられた空間内で給気と排気の両方を同時に行うことから、近年問題になっているPM2.5や花粉を衣服から取り除くことも可能性として考えられる。

夏季空調環境(28℃)は、その環境にいても少し暑いと感じ、衣服を着用したヒトにとって快適な温度帯ではない。夏季の暑熱環境から28℃空調環境に順応するために、10分間という短時間ながらパーソナル冷気供給装置を利用して能動的に衣服気候を調節することで、深部体温上

* $P < 0.05$

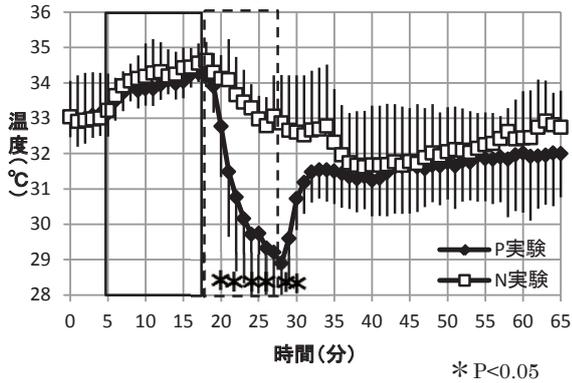


図9 衣服内温度の平均（背部層）

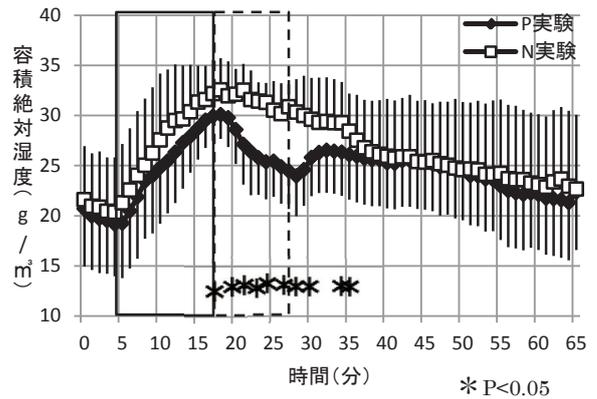


図11 衣服内絶対湿度の平均（背部層）

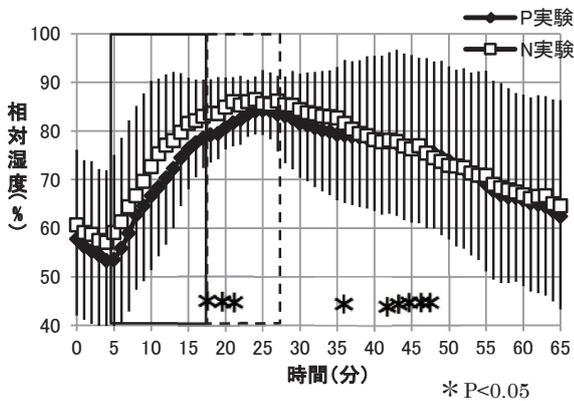


図10 衣服内相対湿度の平均（背部層）

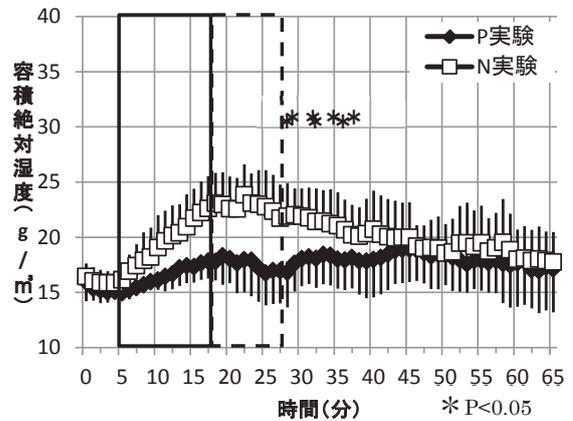


図12 衣服表面絶対湿度の平均

昇の抑制，末梢部皮膚温及び温冷感を効果的に改善することができると分かった。また，運動後の余分な汗を取り除くこともできたと考えられる。このことは，屋内空調環境下での残留汗の蒸発による放熱の増加に起因する体温の急激な低下や冷房障害を防ぐことにもつながるのではないだろうか。

今回の実験により，能動的に衣気候を調節することが人の健康に寄与することが示唆された。

参考・引用文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター JCCA (Japan Center for Climate Change Actions) <http://www.jccca.org/>
- 2) 独立行政法人 国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies
- 3) 環境省 SUPERCOOLBIZ 2013 <http://www.challenge25.go.jp/practice/coolbiz/coolbiz2013/index.html>
- 4) 岩田香織，夏季屋外から入室後における採涼空間利用に関する研究 他，空気調和・衛生工学会論文集，185, 1-9, 2012
- 5) 松山朋子，堀雅子，福岡県下における夏期ビジネススタイルファッションの実態と傾向，福岡教育大学紀要，第57号，第5分冊，161-169, 2008

