

冬期に屋外から室内へ移動後の快適な温熱環境に関する研究

大堀彩^{*}、原田昌幸^{**}、久野覚^{**}名古屋大学工学研究科^{*}、名古屋大学環境学研究科^{**}

Indoor thermal comfort after outdoor-walking in winter

Aya Ohori^{*}, Masayuki Harada^{**}, Satoru Kuno^{**}^{*}Nagoya University (h005201d@mbox.media.nagoya-u.ac.jp)^{**}Nagoya University (harada@davinci.nuac.nagoya-u.ac.jp / kuno@davinci.nuac.nagoya-u.ac.jp)

ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate the effects of outdoor walking on the physiological and psychological responses after entering the air-conditioned room in winter at night. The subjects walked at outdoor for 20 minutes, then stayed in the experimental chamber set at 22.0degC or 25.0degC with a relative humidity of 50%. We categorized outdoor temperature into 3 groups, and searched the relation between outdoor temperature and physiological and psychological responses. The results were as follows: 1) Physiological responses, such as heart rate and blood pressure, were steady immediately after entering the chamber at any conditions; 2) In the cases of low outdoor temperature and indoor air temperature set at 22.0degC, skin temperature of some subjects remained to be low until the end of the experiment. Such subjects felt cold at the first and then comfort after entering the chamber; 3) When indoor temperature was 25.0degC, skin temperature recovered soon; 4) When outdoor temperature was relatively high, subjects felt hot and uncomfortable at 25.0degC. After outdoor walking, the subjects felt comfortable at indoor set at 22.0degC. But there are some subjects skin temperature remained to be low. We may say that the indoor air temperature can be set 22.0degC, when outdoor temperature was above 9.0degC. But when outdoor temperature was under 6.0degC, we must set indoor air temperature higher than 22.0degC.

1.はじめに

冬期に空調された室内と屋外との温度差は 10℃以上になることもあり、身体に負担がかかるとの報告がある¹⁾。一方で、屋外から空調された室内へ入室した場合、この温度差によって心理的には「暖かく」「快適」と感じるであろう。

本論文では屋外曝露によって、入室後の生理反応への影響を探り、さらに生理反応と心理反応との関係を探ることを目的とした。生理反応として外気温の影響を強く受けると考えられる露出した部分の皮膚温度に特に着目し、温冷感および快適感に及ぼす影響を探った。

既往の研究で、石野ら²⁾は通勤状況から入室後の皮膚温度と温冷感および質問による至適温度に関する実験を行った^{注1)}。結果として通勤状態によって異なるが、入室後には19～21℃を好んだ。そして、最終的には 24℃程度を好むことが分かった。この研究では通勤状況が被験者によって異なっていた。また、屋外曝露時の外気温が測定されていなかった。他には屋外から室内へ入室した場合の皮膚温、心理反応について調べた研究がある。吉田ら³⁾は 7℃の屋外設定室から入室し

た場合の心理反応について調査した^{注2)}。結果として入室後 30 分は 25℃と高めにし、その後 22℃設定にした条件での快適感が高かったと報告している。この研究では実際に屋外曝露を行っておらず実際の屋外環境とは異なっている可能性がある。以上2つの実験では屋外曝露から入室後の快適と思われる設定室温が異なっている。

そこで、本研究では実際に屋外曝露を行い、皮膚温度の屋外での変化と入室後の設定室温との関係について心理反応を含めて探り、冬期夜間に屋外から入室した場合、室温はどの程度が良いのかを探ることとした。

2.実験計画

実験は2001年2月5日～3月1日の午後17時30分～20時30分に行われた。実験場所は名古屋大学工学部4号館実験棟にある空調環境実験室および名古屋大学近辺にて行われた。実験室の概要をFig.1に示す。

実験条件として室内設定温湿度を 22℃50%(条件 22 とする)と 25℃50%(条件 25 とする)の2条件とした。屋外曝露は雨

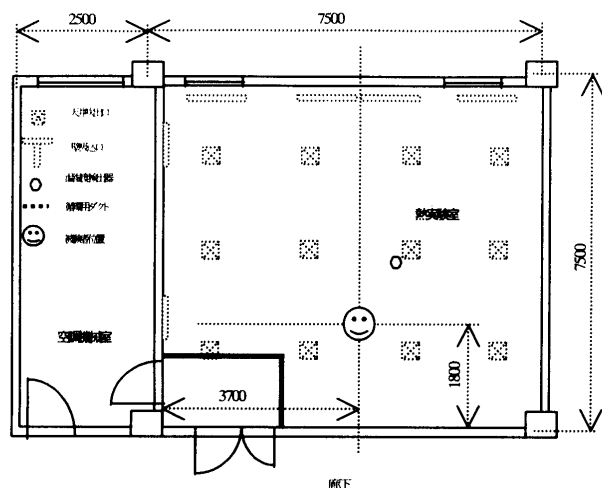


Fig.1 Experimental chamber

Table1 Subjects profile

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Sensitive to heat or the cold
A	174.0	64.0	Sensitive to heat
B	178.0	68.0	Sensitive to the cold
C	173.0	63.5	Sensitive to the cold
D	165.0	58.0	Sensitive to the cold
E	167.5	57.5	neutral
F	176.0	59.0	Sensitive to heat
G	170.0	70.0	Sensitive to the cold

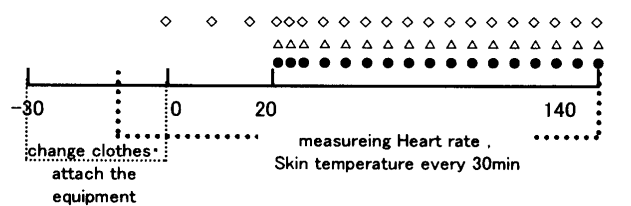
天を避けた。被験者は健康な青年男子7名であった。7名の身体データを示す。1回の実験には1人の被験者が参加した。また、全被験者は全2条件の実験に参加した。

被験者は実験室に30分前に到着し、実験者が用意した実験用着衣に着替えて測定機器装着を行い、約20分安静状態を保った。このときの実験室の室温は設定室温と同じであった。20分経過後に心拍数、皮膚温度の連続測定を開始した。また、同時に血圧測定、熱画像撮影、心理申告も行った。その後、20分間の屋外歩行を行った。屋外歩行時には被験者は0分、10分、18分時に口頭で屋外用の心理申告を行った。被験者は入室後に熱画像撮影、血圧、室内用心理申告を0分、2分、5分、10分に行い、その後室滞在120分まで10分毎に行った。室滞在時には読書が許可されていた。実験スケジュールをFig.2に心理申告項目をTable2に示す。

測定項目は屋外曝露時には物理量として外気温湿度、生理反応として心拍数、8点皮膚温度の測定を30秒ごとに行なった。皮膚温度測定部位は顔、腋下、胸、上腕、大腿、下腿、手甲、手指部であった。平均皮膚温はRamanathanの4点法を用いた。心理反応として各部位の寒暑感、全身の快適感などを3回申告させた。室内滞在時には物理量として実験室温湿度、グローブ温度を測定した。生理反応は心拍数、皮膚温度に加えて血圧測定を行なった。また、サーモカメラを使用

して被験者の皮膚温度の測定を行なった。いずれの測定も心理反応申告を行う直前時に行った。心理反応は身体各部位の涼暖感、寒暑感、全身の快適感などを入室後0分、2分、5分、10分時に、その後は10分間隔で申告させた。

被験者の実験用着衣は室内滞在時には統一された下着・靴下・Tシャツ・セーター・ジーパンであった。重量合計は約1500g、構成別着衣の熱抵抗から推定した着衣の熱抵抗は約0.8cloである。屋外曝露時にはこれにコートを加えた。屋外曝露時の着衣の熱抵抗は推定約1.5cloである。



◇ means subjective responses at outdoor. △ means subjective responses at experimental chamber. ● means taking thermo camera at experimental chamber.

Fig.2 Experiment structure

Table2. voting scales

Outdoor	scale	Experimental Chamber	scale
Thermal sensation (hot-cold)	7	Thermal sensation (hot-cold)	7
Thermal sensation (warm-cool)	7	Thermal sensation (warm-cool)	7
Thermal sensation at body parts (hot-cold)	7	Thermal sensation at body parts (hot-cold)	7
Sweating sensation	5	Thermal sensation at body parts (warm-cool)	7
Skin dry sensation	7	Thermal sensation	13
Feeling thirsty sensation	5	Skin dry sensation	7
Tiredness sensation	5	Prefer indoor thermal condition	5
Feeling air movement	6	Dry sensation	7

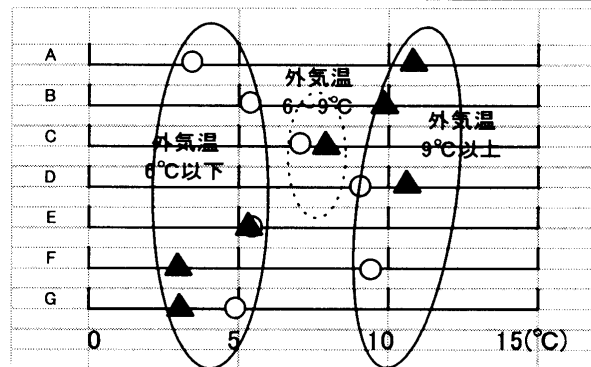


Fig.3 Patterns of outdoor temperature

Table 3 Outdoor temperature and humidity

Subject	temp(°C) (condition22)	Humidity (RH%) (condition22)	temp(°C) (condition25)	Humidity (RH%) (condition25)
A	3.7(0.1)	59.0(0.9)	11.9(0.1)	51.0(0.8)
B	5.8(0.1)	50.0(0.5)	9.6(0.1)	68.0(1.0)
C	6.9(0.1)	74.7(0.5)	8.4(0.1)	37.7(0.7)
D	8.5(0.1)	38.7(1.0)	10.5(0.0)	49.3(0.5)
E	5.8(0.0)	34.9(0.4)	5.5(0.1)	48.8(0.7)
F	8.9(0.1)	81.3(0.8)	3.2(0.1)	52.4(0.7)
G	5.0(0.1)	66.8(0.7)	3.0(0.1)	75.5(0.7)

3.実験結果

3.1 外気温湿度

屋外曝露時の外気温湿度結果を Table3 に示す。屋外曝露時間中の変化は大きく見られなかった。屋外曝露時の外気温は 6℃以下の場合、9℃以上の場合、その中間の場合(6～9℃)があり、以上の 3 つに分けて分析を行った。分けた結果を Fig.3 に示す。相対湿度は 40%から 75%程度であった。

3.2 外気温と皮膚温度の関係

多くの被験者は外気温によって屋外曝露時の各部位の皮膚温度は低下した。特に末端部位の手指温度は入室後にまだ低いままの状態が長く続く場合、すぐに定常に戻る場合、いったん戻った後低下する場合に分かれた。以下に外気温で分けた結果を示す。

①外気温度が 6℃以下であった場合

条件 22 では 4 名、条件 25 では 3 名が該当した。全被験者とも屋外曝露時に手指温は 10℃付近まで低下した。入室後の皮膚温変化を見ると、条件 22 では屋外曝露時にいったん低下した手指部、手甲部、顔部温などが実験時間中に戻らない被験者がいた。被験者 A、E(Fig.4、5 参照)は入室後に特に手指部の皮膚温の戻りが遅かった。一方、条件 22 でも入室後、すぐに上昇した被験者もいた。被験者 B、G は入室後の皮膚温度は 20 分程度でほぼ安定した。条件 25 ではどの被験者もすぐに戻っていた。

②外気温度が 6～9℃であった場合

被験者 C は条件 22(Fig.6 参照)および条件 25(Fig.7 参照)で当てはまった。屋外曝露時の外気温は条件 22 の方が 1.5℃程度低く、手指温度は 10℃付近まで低下した。入室後に条件 22 では安定状態に戻るまでに 5 分以上かかったが、条件 25 では 5 分未満で速やかに安定した。条件 22 では時間経過と共に低下した。

③外気温度が 9℃以上であった場合

全被験者とも、入室後の設定室温によらず、各部位の皮膚温はすぐに安定状態へ戻った。

以上より外気温度が低いと、露出した末梢部の温度は低下し、設定 22℃では安定状態まで戻らない被験者がいた。外気温度が 10℃以上では入室後、速やかに定常へと至った。

3.3 屋外曝露時および入室後の心拍数および血圧変化

心拍数は屋外曝露時には外気温の高さに関係なく前室滞在時より 20～30 拍程度上昇した。入室後はすぐに低下し、安定した。設定室温による違いは見られなかった。

血圧変化は屋外曝露時の外気温の高さ、入室後の設定室温の違いによる影響は見られず、ほぼ一定していた。

3.4 皮膚温と心理反応について

屋外曝露時に身体各部位、特に抹消部の皮膚温は低下した。室内滞在時はその低下度合いと設定室温によって異なる

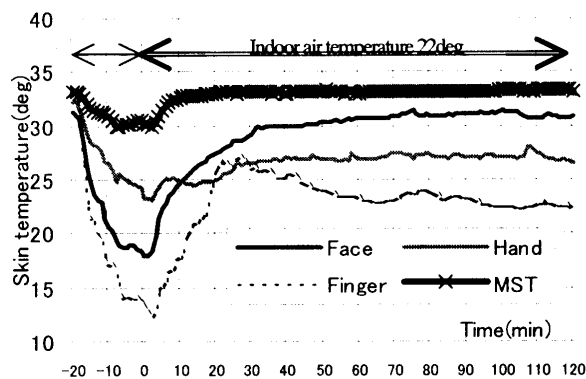


Fig.4 Skin temperature at condition22 (Sub.E)

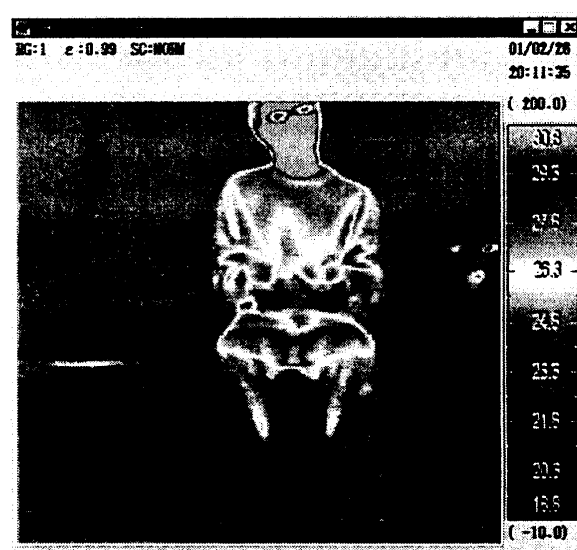


Fig.5 Thermo camera at condition22, 120min (Sub.E)

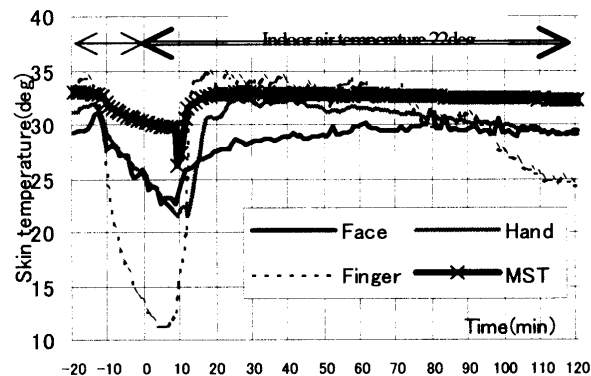


Fig.6 Skin temperature at condition22 (Sub.C)

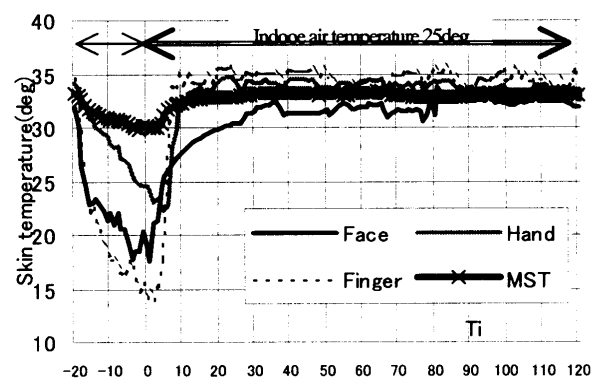


Fig.7 Skin temperature at condition25 (Sub.C)

Time(min)	A	B	C	D	E	F	G
0	やや寒い	どちらでもない	暖かい	やや暑い	やや暑い	やや暖かい	やや暑い
2	やや寒い	やや暖かい	暖かい	やや暑い	やや暑い	暖かい	暖かい
5	やや涼しい	やや暖かい	やや暖かい	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	やや暖かい
10	やや涼しい	やや暖かい	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	やや暖かい
20	やや涼しい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	どちらでもない
30	やや涼しい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	どちらでもない
40	やや涼しい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	暖かい	やや暖かい
50	やや涼しい	やや暖かい	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	やや暖かい	どちらでもない
60	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	どちらでもない
70	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	どちらでもない
80	やや涼しい	やや涼しい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	どちらでもない
90	やや涼しい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	どちらでもない
100	やや涼しい	やや涼しい	やや寒い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	やや涼しい
110	やや涼しい	やや涼しい	やや寒い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	やや涼しい
120	やや涼しい	やや涼しい	やや寒い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	やや涼しい

Fig.8 Thermal sensation vote using 13grade scale (condition)

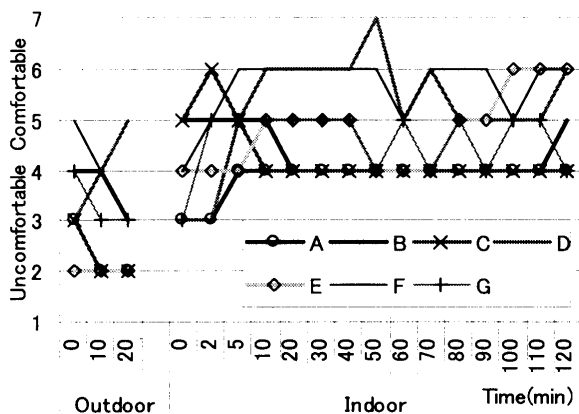


Fig.9 Comfort vote (condition22)

Time(min)	A	B	C	D	E	F	G
0	やや暖かい	暑い	暖かい	暑い	やや暑い	暖かい	暖かい
2	やや暖かい	やや暑い	やや暖かい	やや暑い	やや暖かい	暖かい	暖かい
5	やや暖かい	暑い	やや暖かい	やや暑い	やや暖かい	暖かい	暖かい
10	やや暖かい	やや暑い	やや暖かい	やや暑い	やや暖かい	暖かい	暖かい
20	やや暖かい	やや暑い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	暖かい
30	やや暖かい	やや暑い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	暖かい	暖かい
40	やや暖かい	やや暑い	どちらでもない	やや暖かい	やや暖かい	暖かい	暖かい
50	やや暖かい	やや暑い	どちらでもない	暖かい	やや暖かい	やや暖かい	暖かい
60	やや暖かい	暑い	どちらでもない	やや暖かい	やや暖かい	やや暖かい	暖かい
70	やや暖かい	やや暑い	どちらでもない	暖かい	やや暖かい	やや暖かい	暖かい
80	やや暖かい	やや暑い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	どちらでもない	やや暖かい
90	どちらでもない	やや暑い	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	どちらでもない	やや暖かい
100	やや暖かい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや暖かい	やや暖かい
110	やや暖かい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや涼しい	やや暖かい
120	やや暖かい	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	やや涼しい	やや暖かい

Fig.10 Thermal sensation vote using 13grade scale (condion25)

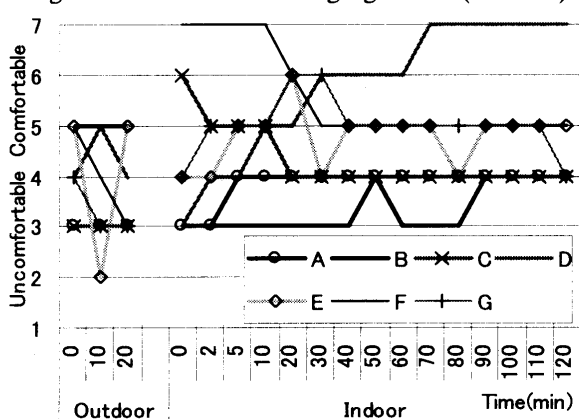


Fig.11 Comfort vote (condion25)

変化を示した。心理反応は末梢部皮膚温の影響を受けている可能性がある。外気温で分類した3つの場合での皮膚温と心理反応の13段階温冷感と快適感との関係を探った。

①外気温度が6℃以下であった場合

条件22で入室後の皮膚温が戻らなかった被験者A、Eは入室直後には「やや寒い」が選択され、徐々に「暖か

い」になった。快適感入室直後から「快適」側であった。皮膚温の戻りが早かった被験者は条件22で、入室直後から「やや暖かい」であった。快適感入室直後に「やや不快」であったが、すぐに「快適」側へと移行し「中立」へ至った。条件25では「暖かい」が続き、「快適」であった。

②外気温度が6～9℃であった場合

入室直後の皮膚温、心拍数の戻りは設定室温による違いは見られなかった。しかし、時間経過と共に条件22では手指温度が低下した。この影響から温冷感で「やや寒い」が後半に申告された。快適感「快適」側であった。

③外気温度が9℃以上の場合

設定室温による皮膚温変化に違いはなかった。心理反応は条件25では入室直後に「暑く不快」であった。

まとめ

屋外曝露時の外気温によって入室後の末梢部皮膚温の戻り方は異なった。また、入室後の設定室温によっても異なった。心理反応の温冷感及び快適感にも違いが見られた。

心理反応の快適感のみに着目すると、外気温が6℃以下と低い場合においても設定室温22℃程度で快適が得られた。しかし、生理反応の皮膚温、特に末梢部温度は外気温が6℃以下では10℃近くまで低下し、設定室温22℃では戻らない場合がある。吉田らは外気温7℃の場合、入室後30分は25℃、その後22℃にするのが最も「快適」であり、設定室温22℃では「不快」側であったと報告している。本研究では「快適」側の申告を得た。これは屋外曝露時の活動量が多かったためであると考えられる。

室内に長時間滞在する居住者と屋外と室内を移動する居住者が混在するようなオフィスでは、パーソナルに空調できることが望ましいが、簡便に対策するために外気温によって設定室温を考慮する方法が考えられる。本研究の結果から外気温が6℃以下の場合には設定室温を高めにし、9℃以上の場合には22℃程度で対応できることが分かった。

注1: 着衣量1.0～0.9clo(屋外では1.3～1.5clo)、屋外曝露時の歩行時間は6～20分、通勤状態は自転車、歩行など様々である。注2: 着衣量0.9clo(屋外では防寒着)、屋外曝露時間は30分、代謝量は1.0met。

本研究は平成12年度科学研究費補助金基盤研究(B)(研究代表者 久野 寛、課題番号12450234)により行った。

〔参考文献〕

1. http://www.tohogaz.co.jp/life/mimiyori/200102_03.html
2. 石野久彌ら: 冬期に外から入室した場合の至適温度に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989
3. 吉田弘正、久野寛ら: 屋外から屋内へ入った場合の熱的快適性について—夏期、冬期の実験、空気調和衛生工学会学術講演会公演論文集、1989