



Title	変動風を利用した空調空間の温冷感に関する実験的研究
Author(s)	徐, 国海; 久野, 覚; 齋藤, 輝幸
Description	第8回衛生工学シンポジウム (平成12年11月16日 (木) -17日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 建築環境・エネルギー利用 . 3-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 8, 131-136
Issue Date	2000-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7222
Type	departmental bulletin paper
File Information	8-3-2_p131-136.pdf



3-2

変動風を利用した空調空間の温冷感に関する実験的研究

徐 国海 (山武ビルシステム)、久野 覚、齋藤輝幸 (名古屋大学大学院)

1. はじめに

温暖化防止を目的として、政府は民生部門における省エネルギーとCO₂排出量抑制のため、オフィスの冷房を28°C以上、暖房を20°C以下とする空調温度を努力目標として要請している。これを達成するためには、居住者の温熱快適性に影響する他の要素である湿度、気流、放射などを充分に活用しなければならない。このような状況の下で、夏の室内環境において“そよ風”のような変動気流を活用する考え方は、省エネルギーおよび環境負荷の低減に対して一つの効果的な方法となることが考えられる。

国内外における気流に関する数多い温冷感研究^{1), 2), 3), 4), 5)}から、定常状態すなわち長時間一定条件に暴露した状態においては、特に暑い側において気流が不快なドラフト感をもたらすものではなく、逆に心地良い快適なものであることが示唆された。また、中原ら⁶⁾はタスク・アンビエント空調を提案し、タスク装置からの変動気流を用いることによって、アンビエント域のSET^{*}を28°Cまで緩和した場合でも快適性を得ることができ、省エネルギーが可能であることを明らかにした。しかしながら、これらの研究は、被験者の身体がすべて温熱的に中立となる状態あるいは定常状態から気流のある環境に暴露されており、また、その気流に対する人体生理・心理の経時的反応に関する検討はまだなされていない。

そこで、本研究は、夏期空調空間に変動気流を活用するために、非定常時の人体が気流に暴露される場合の生理・心理の動的評価に注目している。筆者ら⁷⁾は、暑不快環境から気流のある中立環境へ移動した場合に、気流が被験者に与える生理・心理的影響を報告・検討し、中立環境における変動風の有用性を確認した。本論文では、暑不快環境から気流のあるやや暑い環境へ移動した場合の生理・心理反応を調べることを目的としている。つまり、やや暑い環境においても、変動風の有用性を得ることができるかどうかを検討する。また

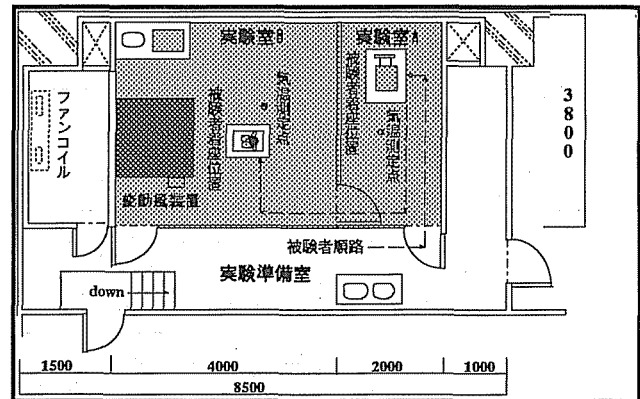


図1 実験室平面図

気流の平均風速、変動振幅の相違による生理・心理反応を把握することも目的としている。

2. 実験概要

2.1 実験室・実験手順および測定項目

実験は、名古屋大学工学部9号館空調環境実験室において全面変動風装置を用いて行われた。図1に実験室の平面図を示す。実験室Aの環境状態は日本の盛夏期を想定した気温34°C、相対湿度60%とした。実験室Bについては、気温30°C、相対湿度50%に設定し、定常風と変動風を与えたやや暑い環境下で実験を行った。被験者は、実験開始前にあらかじめ準備された服装(Tシャツ、長ズボン、靴下着用;推定着衣量0.5clo)に着替えた。実験中被験者は着席安静状態とし、読書等は許可した(推定代謝量1.0met)。被験者は実験準備室で30分間安静にしてから、実験室Aに1時間滞在し、その後実験室Bに移動し、B室にて1時間滞在した。その2時間における実験室内温湿度と生理・心理反応を測定した。

表1に実験中の測定項目および測定方法を示す。本論文では、生理量として皮膚表面温、舌下温、心拍数および体重減少量を測定した。体重減少量に関して、実験開始直前、A室からB室へ移動する時、実験終了時の計3回の体重を測定した。評価用紙への記入については、実験室Aに入った直後に第1回目の心理評価をしてもらい、その後A

表1 測定項目および測定方法

測定項目		測定方法
物理量	乾球温度	アスマン乾温計 20秒間隔
	湿球温度	
	グローブ温度	サーミスタ 精度 0.3°C 20秒間隔
	上下温度分布	
	周壁温度	
	吹出・吸込み空気温度	
	全面変動風装置の風速	型超音波風速計
生理量	皮膚温(9点)	サーミスタ
	舌下温	精度 0.1°C 20秒間隔
	心拍数	ハートレートモニター 1分間隔
	体重減少量	電子天秤 最小目盛 1g
心理量	寒暑感	1:非常に寒い~7:非常に暑い
	涼暖感	1:非常に涼しい~7:非常に暖かい
	快適感	1:非常に不快な~7:非常に快適な
	気流の快適さ	1:もっと弱くして~5:もっと強くして
	気流の強さにたいする希望	1:もっと遅くして~5:もっと速くして
	気流の変動周期に対する希望	1:もっと下げて~5:もっと上げて

表2 被験者の属性(カッコ内の数字は標準偏差)

属性	性別	人数(人)	年齢(才)	身長(cm)	体重(kg)
大学生	男	8	22.9	170.0	65.7
大学院生			(1.55)	(5.74)	(7.46)

室では 10 分間隔で心理評価を行った。実験室 B へ移動後は、移動直後に第 1 回目の心理評価を行い、その後 5 分間隔で心理評価を行った。被験者は各実験ごとに異なる健康な男子大学生・大学院生 8 人を選んだ。表 2 に実験 III の被験者の身体的特徴を載せる。

2.2 設定条件・各実験の流れ

各実験における設定条件を表 3、実験 II・III の気流条件の概念図を図 2 に載せる。実験 I の気流

条件については、実験 II の条件 1 および 2 と、実験 III の条件 3 と同様である。既報⁷⁾と同様に、同じ実験の各条件間で結果を比較するため、便宜的に SET* を条件設定の参考として用いた。表 3 中の SET* は、すべて平均風速を用いて計算したものである。また、変動風はすべて矩形波である。

ここで、実験 I・II・III の流れ、および本論文で示す実験条件設定に関して説明する。既報⁷⁾の結果では、同じ平均風速(同じ SET*)である定常風と変動風条件を比べると、変動風条件の方がより快適、より涼しいことが示された。この結果から、同じ平均風速(0.4m/s)の気流条件で、やや暑い環境へ移動した場合においても変動風のメリットが得られるかどうかを確認するため、また平均風速がやや高めの変動風条件(条件 3 : 平均風速 0.55m/s)が生理・心理に与える影響を調べるため、実験 I (1995 年夏期、被験者 8 人)を行った。

実験 I の実現条件が設定条件と少しずれてしまったため、実験 II (1996 年夏期、被験者 8 人)では、同じ設定条件 1・2 で再度実験を行い、また実験 I の条件 3 については室移動の後半 40 分~60 分の時点において、平均風速を 0.55m/s から 0.45m/s へ変える新たな条件 3 を設定し、経時的な変化を調べた。さらに、平均風速を 0.6m/s、矩形波変動風の変動振幅を 0.8m/s とした条件 4 を加えて調査した。

実験 III (1997 年夏期、被験者 8 人)では、各条件を同一 SET* とし、条件 1(定常風)と条件 2~4(変動風)の平均風速を 0.55m/s とした。また、矩形波変動風の振幅はこれまでの 0.4m/s、0.5m/s から

表3 各実験の設定条件および計測結果

実験番号・条件番号		温度&湿度	気流(変動振幅・平均風速)		SET*(°C)	計測結果		
						温度&湿度	平均風速(m/s)	SET*(°C)
実験 I (95年夏期)	A室	34°C, 60%	Still air		35.1	34.6°C, 52.6%	Still air	34.7
	B室	30°C, 50%	条件1	定常風 0.4m/s	27.0	30.4°C, 67.9%	0.40	28.5
			条件2	変動風 0.2-0.6m/s, 0.4m/s		31.1°C, 69.0%		29.5
			条件3	T=30s 0.3-0.8m/s, 0.55m/s	26.5	30.0°C, 66.6%	0.55	27.4
実験 II (96年夏期)	A室	34°C, 60%	Still air		35.1	34.5°C, 55.6%	Still air	35.1
	B室	30°C, 50%	条件1	定常風 0.4m/s	27.0	30.3°C, 49.3%	0.40	27.3
			条件2	変動風 0.2-0.6m/s, 0.4m/s		30.6°C, 48.1%		27.5
			条件3	T=30s 0.3-0.8 → 0.2-0.7m/s, 0.55 → 0.45m/s	26.5 → 26.9	30.1°C, 45.8%	0.55 → 0.45	26.5 → 26.8
			条件4	0.2-1.0m/s, 0.6m/s	26.4	30.1°C, 44.8%	0.60	26.3
実験 III (97年夏期)	A室	34°C, 60%	Still air		35.1	34.2°C, 54.7%	Still air	34.7
	B室	30°C, 50%	条件1	定常風 0.55m/s	26.5	30.0°C, 48.7%	0.55	26.6
			条件2	変動風 0.4-0.7m/s, 0.55m/s		30.0°C, 48.9%		26.6
			条件3	T=30s 0.3-0.8m/s, 0.55m/s		30.2°C, 49.4%		26.8
条件4	0.3-0.8 → 0.4-0.7m/s, 0.55m/s	30.1°C, 47.2%	26.6					

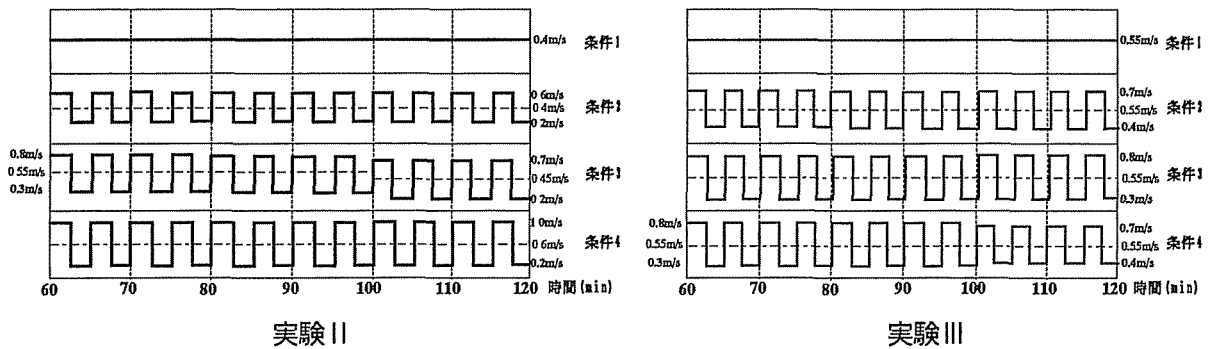


図2 気流条件の概念図(但し、変動周期は全て30s)

0.3m/sにし、同じ平均風速で異なる変動振幅を持つ二つの変動風条件(条件2・3)を設定した。そして、条件4は実験IIの条件3と同じ考え方で、室移動後40分で変動振幅を0.5m/sから0.3m/sに変更した。

表3の右は環境計測の結果を示す。表3の結果を見ると、湿度制御上の問題によって実験Iで実現された温湿度は、設定条件より少し高くなってしまったが、他の各実験では、ほぼ設定条件を満たすものであったと思われる。

3. 実験結果および考察

以降の各実験に関する生理・心理反応結果は、すべてそれぞれの実験に参加した被験者8人の平均データを用いたものである。

3.1 生理反応

図3に実験II・IIIの平均皮膚温・舌下温の経時変化をそれぞれ示す。実験室Aに入室後、平均皮膚温は急激に上昇し、15分前後で安定状態となり、その後安定状態をそのまま維持する傾向を示した。実験室Bに移動直後皮膚温は急激に低下し、その後緩やかに上昇した。室移動後40分程度でほぼ安定状態になり、その後実験室Aと同様にそのまま安定状態を維持した。異なる気流条件間における平均皮膚温の差はあまり大きくなかった。

舌下温は実験室Aに入室後急激に上昇し、その後も緩やかに上昇を続けた。そして実験室Bへ移動直後若干上昇し、その後緩やかに下降した。違う気流条件間で舌下温の有意な差はなかった。

心拍数については、個人差が大きく、はっきりとした気流条件の相違による影響が現れていると

は言えない結果であった。例として実験IIIの心拍数の経時変化を図4に示す。全体の傾向としては、実験室Aに入室後、高い心拍数が見られ、その後徐々に低下し、気流のある実験室Bに移動してから実験終了までに、有意な減少を示している。

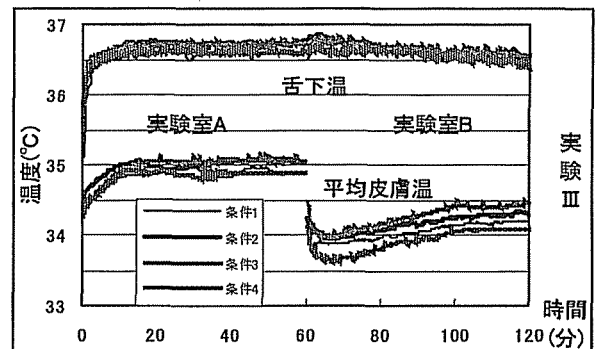
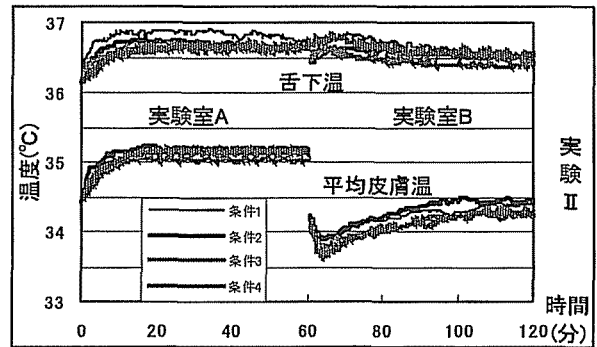


図3 平均皮膚温・舌下温経時変化

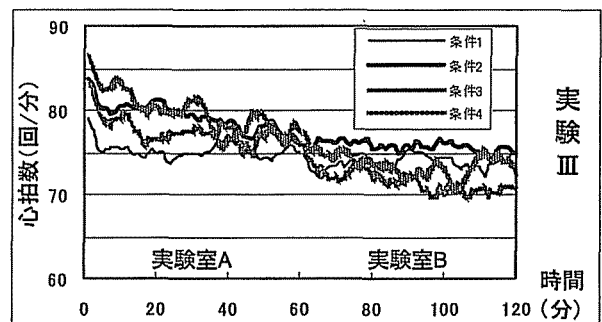


図4 心拍数の経時変化

3.2 心理反応

3.2.1 実験Ⅰ

図5は実験Ⅰの涼暖感・快適感経時変化を示す。涼暖感について、室移動直後から90分時点までの時間帯では、条件2・3(変動風)は条件1(定常風)より涼感が強い傾向を示した。その後3条件間の差はなくなっているが、実験終了直前の15分間において、条件1は中立側へ変化した。涼暖感申告値について、SET*が条件1の定常風より高いにもかかわらず、条件2の変動風は条件1の定常風より長い時間帯において涼しい側になっていた。

快適感について、条件1・2に関し、室移動後最初の15分では、条件1(定常風)と条件2(変動風)との申告に差がなく、ほとんど同様の経時変化を示した。その後条件1(定常風)は中立側に変化し、条件2(変動風)の方がより快適である傾向が見られた。そして、室移動後90分時点から実験終了までは両条件の申告値は差が小さく、ほぼ同じ経時変化を示した。また、図6に示されている気流の快適さの経時変化を見ると、条件2・3(変動風)は条件1(定常風)に比べ、より快適側(1%有意)に評価されており、変動風の有用性が認められた。

一方、平均風速がやや高めめの条件3(変動風)は室移動後から40分経過時まで条件1・2より高い快感(1%有意)を示したが、その後から実験終了までの時間帯において他の条件との差は小さくなった。また、図7の気流の快適さ—気流の強さに対する希望の関係図については、条件3では、気流の快適性を感じているものの、気流を変えなくてよい～やや弱くして欲しいと申告する傾向が見られた。つまり、条件3では気流に対して快適感はあるが、気流がやや強かったと判断される。

3.2.2 実験Ⅱ

図8は実験Ⅱの涼暖感・快適感経時変化を示す。まず涼暖感について、室移動後しばらくの間に、条件1(定常風)と条件2(変動風)、条件3と4(変動風)の申告値にはほとんど差がなく、同じような経時変化を示している。条件1と2の涼暖感申告は、室移動後10分経過時点から35分経過時点までの時間帯において差(1%有意)が見られ、条件1(定常風)より条件2(変動風)の方がより涼感が強

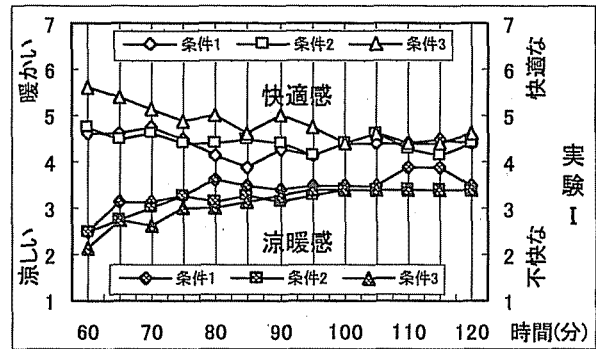


図5 涼暖感・快適感の経時変化

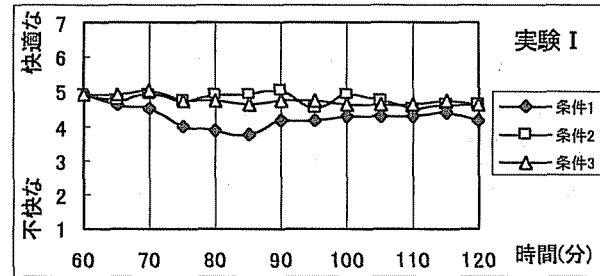


図6 気流の快適さの経時変化

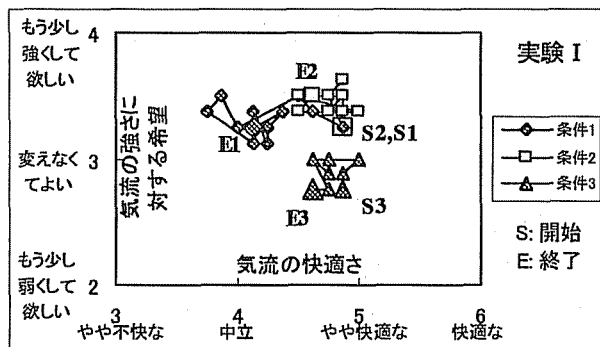


図7 気流の快適さ—気流の強さに対する希望の関係図

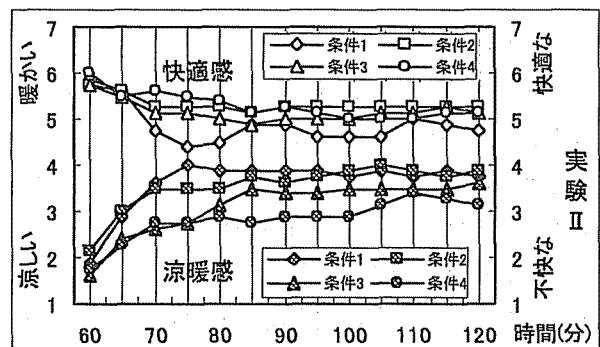


図8 涼暖感・快適感の経時変化

いという結果が示された。その後から実験終了までは両条件の申告値に差がなく、ほぼ同様な経時変化になっている。条件3と4は、室移動後15分経過時点から涼暖感申告の差(1%有意)が大きくなっており、40分経過時点から実験終了までにおいてはその差がやや小さくなるという経時変化を示した。変動風条件間において、平均風速および

変動振幅が大きいほど涼感強い傾向が見られた。以上の各条件の経時変化から、平均風速(SET*)が等しい定常風条件と変動風条件を比べると、変動風条件の方が涼感が強く、そして、変動風条件間では、平均風速および変動振幅の変化が涼感に与える影響は大きいということが分かった。一方、条件3においては室移動後40分の時点で風速を変更したが、涼暖感の経時変化については明確な変化が見られなかった。

次に、快適感(図8を参照)について考察する。全体的に見ると、条件2~4(変動風)は条件1(定常風)に比べて、申告値がより快適側にあり、その差はすべて有意(条件2・4 VS 条件1は1%、条件3 VS 条件1は5%有意)であった。同じ平均風速である条件1(定常風)と条件2(変動風)に対し、変動風の方がより心地良いという評価が確認された。

変動風の条件間について、条件4では室移動後前半の20分間は他の条件に比べるとより快適であるが、その後実験終了まで徐々に快適感が低下している。それに対し、条件2では経時的な変動が小さく、室移動後半の40分間は他条件より快適側にある。すなわち変動風条件について、室移動前半では平均風速および変動振幅の大きい条件がよりよい評価を得ており、後半では逆にそれらの小さい条件がよりよい評価を得た。一方、条件3では、室移動後申告が徐々に中立側へ変化し、平均風速および変動振幅変更後(室移動後40分)から申告値がまた徐々に快適側へ変化するという傾向を示した。つまり、涼暖感が中立になり、生理状態(平均皮膚温)も安定状態になる時点で変動風条件を適当に変えれば、快適感を持続する可能性が示された。

図9は2つの心理評価項目の相互関係について、気流の快適さ-気流の強さに対する希望の関係図を示す。気流の快適さは得られるが、条件4は気流をもう少し弱くして欲しい側であり、条件1・2はもう少し強くして欲しい側である。これらの傾向から、矩形波変動風の振幅については、0.4m/s ぐらいでは弱く、0.6m/s ぐらいではほぼよく、0.8m/s ぐらいでは強すぎると考えられる。また、気流条件を室移動後40分の時点で変更した条件3では、気流の強さに対する希望申告においてほぼ

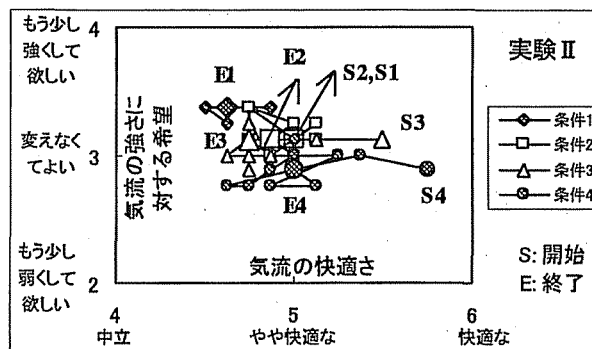


図9 気流の快適さ-気流の強さに対する希望の関係図

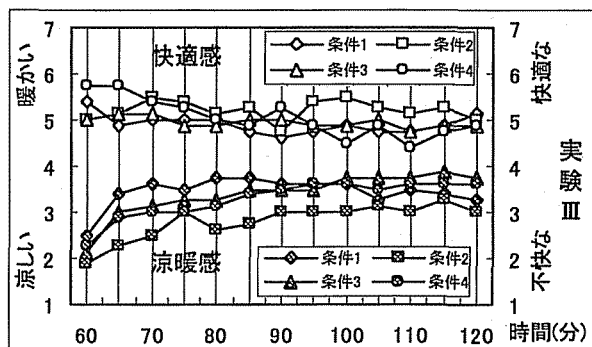


図10 涼暖感・快適感の経時変化

変えなくて良いと申告をしている。これは条件変更後に、上述の快適感の申告が持続していることと一致し、室移動後ある時点で気流条件の変更が必要かつ有効な方法であると考えられる。

3.2.3 実験III

図10は実験IIIの涼暖感・快適感経時変化を示す。涼暖感について、条件1(定常風)と条件2~4(変動風)に関して、条件2・3は条件1に比べ、室移動後30分まで涼しい側であり(5%有意)、その後差が小さくなっている。条件2~4については、矩形波変動風の振幅が小さい条件2が、最も涼しい側に評価され、平均風速が等しくても条件3・4に比べ涼暖感申告の差(1%有意)が見られた。この結果から、同じ平均風速である矩形波変動風の振幅は、涼感への影響が大きいと考えられる。また、室移動後40分の時点で風速を変更した条件4では、変更後に明確な差が見られず、条件3の経時変化とほぼ同様であった。

次に、快適感について検討する。経時変化の図を見ると、条件1(定常風)は、室移動後30分までの間に申告が徐々に中立側に変化し、変動風条件よりも中立側になっているが、その後実験終了ま

において、快適側へ緩やかに変化する傾向が見られた。一方、室移動後半において、条件2の申告は他の条件に比べ最も快適側に評価された。変動振幅が0.3m/sである条件2は、4条件の中で涼暖感と快適感が共に良い評価の得られることが分かった。また、室移動後40分の時点で変動振幅のみを変更した条件4は、特に快適であるという評価は得られなかった。

図11は2つの心理評価項目の相互関係に関する涼暖感-気流の快適さの関係図を示す。条件1(定常風)は条件2~4(変動風)より、涼暖感申告が中立側にシフトしている。変動風条件間について、平均風速が等しいにも関わらず、矩形波変動風の振幅が小さい条件2の申告は、より涼しくて快適側になっている。

4. まとめ

やや暑い環境条件において気流が人体に及ぼす生理・心理的な影響を調べるために、1995年夏期から1997年夏期にかけて合計3回の温冷感実験を行った。これらの一連の実験から得られた主な結果は次の通りである。

生理反応について

○平均皮膚温の経時変化は、室移動直後に急激に低下し、その後緩やかに上昇した。室移動後から平均皮膚温が安定状態になるまでの時間は、本論文の一連の実験結果からおおよそ40分前後であることが分かった。

○舌下温は実験室Bへ移動直後若干上昇し、その後緩やかに下降した。各条件間では、舌下温に差は見られなかった。

○心拍数に関しては、個人差が大きいものの、全体の傾向としては、実験室Aに入室直後、高い心拍数が見られ、その後徐々に低下し、実験室Bに移動してから実験終了までに有意な減少を示した。

心理反応について

○同じ平均風速(或は同じSET*)である変動風条件は定常風条件より、涼暖感・快適感共に良い評価が得られた。本論文の一連の実験結果から、変動風の有用性を確認した。

○やや暑い環境条件下で、許容される変動風条件の最大平均風速は0.55~0.60m/s程度、また矩形

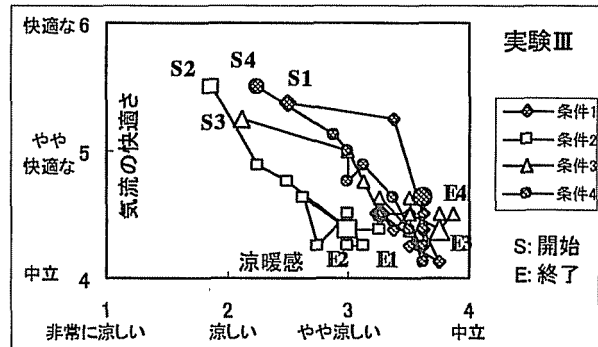


図11 涼暖感 - 気流の快適さの関係図

波変動風の最大振幅は0.8m/s程度までであることが示された。

○実験IIIの同じ平均風速である条件2(0.4-0.7m/s)と条件3(0.3-0.8m/s)を比較した結果、振幅が小さい0.3m/sの条件2の方がより強い涼感と高い快適感を示した。

○実験IIの結果からは、室移動後半で、変動風条件の平均風速と変動振幅を共に変えると、良い快適感申告が持続される傾向が示された。一方、実験IIIの結果からは、同じ平均風速である変動風条件に対し、同時点で変動振幅のみを変更する場合は、特に良いという評価が得られなかった。気流条件を途中で変更させることによる効果に関して、今後更に詳しく検討する必要があると考えている。

結論として、やや暑い環境条件下でも、変動風をうまく利用すれば、涼感・快適感を得ることができ、夏期に変動気流を空調空間に活用することが可能であると思われる。

参考文献

- 1) Rohles, F.H.; Woods, J.E.; and Nevins, R.G.: The effects of air movement and temperature on the thermal sensations of sedentary man, ASHRAE Transactions, Atlanta, Georgia, Vol. 80, Pt. 1, pp. 101-119, 1974
- 2) McIntyre, D.A.: Preferred air speeds for comfort in warm conditions, ASHRAE Transactions, Atlanta, Georgia, Vol. 84, Pt. 2, pp. 264-277, 1978
- 3) Fanger, P.O.; Ostergaard, J.; Olesen, S.; and Lund Madsen, T.H.: The effect on man's comfort of a uniform air flow from different directions, ASHRAE Transactions, Atlanta, Georgia, Vol. 80, Pt. 2, pp. 142-157, 1974
- 4) Tanabe, S.; Kimura, K.: Importance of air movement for thermal comfort under hot and humid conditions, Proceedings of the Second ASHRAE Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 95-103, 1989
- 5) 久保博子 他3名: 蒸暑環境における好まれる気流速度の人体影響に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集, No. 442, pp. 9-16, 1992
- 6) 中原信生(研究代表者): 変動風によるパーソナル空調システムに関する研究報告書、1992-1993年度民間との共同研究(A)、名古屋大学工学部&中部電力(株)電気利用技術研究所、1994
- 7) 徐国海、久野寛、水谷慎吾、齋藤輝幸: 変動風環境における生理・心理反応に関する研究-暑不快環境から気流のある中立環境へ移動した場合の温冷感実験-、日本建築学会計画系論文集, No. 519, pp. 47-53, 1999