

# 人体周辺の温熱環境変化を考慮した アダプティブ制御

近本 智行

はじめに

- I. 夏期における屋外からの熱環境変化に対応した人体の快適性に関する基礎検討
  - I. 1. 検討概要
  - I. 2. 実験結果 (表 4、図 1～2)
- II. ホールを対象とした被験者実験による検証
  - II. 1. 検討概要
  - II. 2. 実測時期・測定位置 (図 -3)
  - II. 3. 測定項目及び測定機器概要 (表 -5)
  - II. 4. 測定ケース (表 -6)
  - II. 5. 被験者概要
  - II. 6. 実測結果
  - II. 7. Case1.2 (順応 30 分) と Case2.2 (ショック 30 分) の比較
  - II. 8. Case1.2 (順応 30 分) と Case2.3 (ショック 1 分) の比較
- III. まとめ

## はじめに

人の移動する経路空間は多くの場合、異なる熱環境となっており、人はその変化を知覚し、温熱感として認識している。屋外空間から室内空間への移動はもちろん、室内でも熱・空気の分布が形成されており、適切な空調制御のためにも必要不可欠と考えられる。タスク&アンビエント空調など空間分布を積極的に利用する空調方式を導入するには、この部分の解明は必要不可欠と言える。しかし、現実には、熱環境変化や空間移動の履歴に関する温冷感指標は十分確立されていない<sup>1)</sup>。

本報では、夏期における暑熱な屋外から空調された空間へ移動した場合の温熱環境の変化が、人体の生理や快適性に対しどのように影響するかに関して検討を行った。また、実際のホール<sup>2)</sup>を対象とした検証として、ホールを訪れる人の移動に伴う周辺環境の変化、温冷感の非定常性

に着目した被験者実測を実施した。

このことにより人体の生理量を考慮した制御による省エネ・環境負荷削減の可能性を示す。

## I. 夏期における屋外からの熱環境変化に対応した人体の快適性に関する基礎検討

### I. 1. 検討概要

表-1 に示す熱環境の異なる 3 種類の空間を準備し、それぞれ寒い空間、快適空間、暑い空間と名付ける。移動状態に応じて 3 つのステップを設けて以下の実験を行った (表-2 参照)。

(1) 第 1 ステップ：寒い空間、快適空間、暑い空間それぞれの空間で 30 分間待機し、平衡状態に達した後、周辺環境と生理、温冷感を 30 分間計測する。

(2) 第 2 ステップ：暑い空間で 20 分待機し、オフィスまでの徒歩の移動を想定し 10 分間ルームランナーで歩行する (1.4Met)。暑い空間から快適空間、暑い空間から寒い空間に移動した際の、移動後の空間で感じる周辺環境と生理、温冷感を 30 分間計測する。

(3) 第 3 ステップ：(2) と同様、暑い空間で 20 分待機、10 分歩行の後、寒い空間を 1 分間経過し、快適空間に移動した際の、移動後の空間で感じる周辺環境と生理、温冷感を 30 分間計測する。

表-3 に測定項目及び測定機器を示す。快適感申告、温冷感申告と TOI<sup>3)</sup> を中心に検討を行った。また、被験者は健康な成人男性 5 人とし、着衣量は 0.7 clo (肌着、長ズボン、長袖シャツ)。測定は着座状態で行った。

表-1 空間の設定条件

	寒い空間	快適空間	暑い空間
温度	19 ~ 20℃	24 ~ 26℃	30℃
湿度	70%	55 ~ 60%	65%

表-2 実験ステップ概要

	第 1 ステップ	第 2 ステップ	第 3 ステップ
空間	寒い空間、 快適空間、 暑い空間	暑い→ 快適空間 暑い→ 寒い空間	暑い→寒い →快適空間
時間	それぞれの空間で 30 分待機し、その後 30 分計測	暑い空間で 20 分待機し、10 分間歩行、移動後 30 分計測	暑い空間で 20 分待機し、10 分間歩行、1 分寒い空間で待機し、移動後 30 分計測

表-3 測定項目及び測定機器

測定項目	測定部位	計測機器
組織酸素化指標 (TOI) <sup>注1)</sup>	前頭部	脳内血流計 (浜松ホトニクス NIRO-200)
脳内の酸素化ヘモグロビン濃度変化 ( $\Delta$ O2Hb)		
脱酸素化ヘモグロビン濃度変化 ( $\Delta$ HHb)		
総ヘモグロビン濃度変化 ( $\Delta$ cHb)		
皮膚表面温度	手の甲	データロガー (キーエンス NR-1000)
体温	脇の下	
室温	各空間	アメニティーメーター (京都電子 AM-100)
PMV (室温、湿度、風速、放射温度)		
PPD (同上)		
快適感申告：最も快適 3、中立 0、最も不快 - 3 の 7 段階評価で調査。温冷感申告：最も寒い - 3、中立 0、最も暑い 3 の 7 段階評価で調査		

## I. 2. 実験結果 (表 4、図 1～2)

### (1) 第1ステップの結果 (熱環境変化なし)

快適感申告、温冷感申告ともに妥当な結果となった (表-4)。各ケースを比較すると、各空間の

表-4 温冷感調査結果

ステップ	第1ステップ			第2ステップ		第3ステップ
	寒	快適	暑	暑→快適	暑→寒	コールドショック
快適感申告	-1.4	2.2	-0.8	1.8	0.0	2.0
温冷感申告	-2.2	0.0	1.2	0.0	-2.2	0.0

TOI 値は温度に比例して高くなり、計測時間を通してその傾向は変わらなかった (寒い空間<快適空間<暑い空間) (図-1、図-2 (1))。被験者間によって多少ばらつきはあるものの、概ね同じ傾向が見られる (図-1)。

### (2) 第2ステップの結果 (熱環境変化あり)

暑い空間→快適空間の移動では、快適感申告 1.8、温冷感申告 0.0 であり、第1ステップの快適空間と概ね一致する結果であった (表-4)。しかし、TOI 値は第1ステップの快適空間での値より小さく、第1ステップの寒い空間に近づいており、心理反応と生理反応の不一致が観測された (図-1、図-2 (1)～(2))。

また暑い空間→寒い空間の移動では、快適感申告 0.0、温冷感申告 -2.2 という結果を示した (表-4)。温冷感申告は第1ステップの寒い空間と一致し、寒いと感じておきながら快適感が損なわれていない。TOI 値は、第1ステップの寒い空間の値より大きく、第1ステップの快適空間に近づいた (図-1、図-2 (1)～(2))。

### (3) 第3ステップの結果 (コールドショック)

暑い空間→寒い空間→快適空間では、快適感申告 2.0、温冷感申告 0.0 と第1ステップの快適空間と概ね一致した (表-4)。TOI 値も第1ステップの快適空間と概ね一致した (図-1、図-2 (1)、(3))。夏期屋外から屋内への移動に関して、コールドショックを与えることで、屋外環境で蓄積された熱を除去し、心

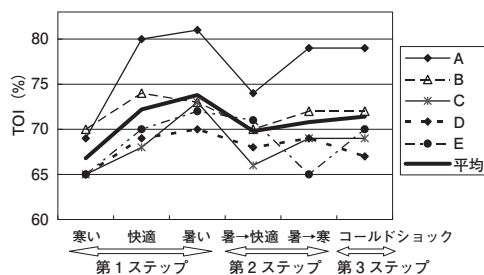
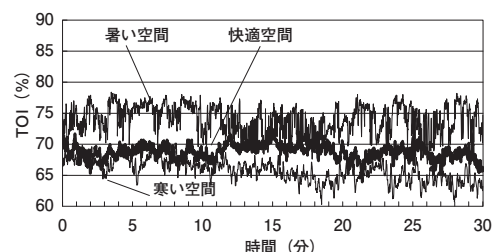
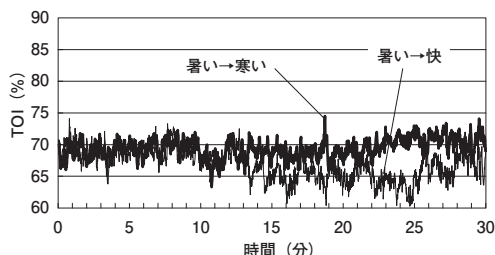


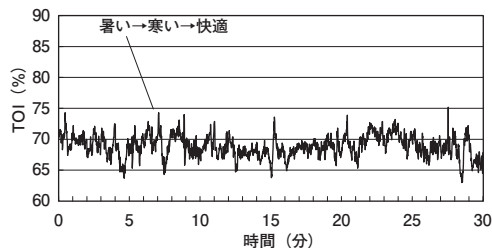
図-1 被験者別 TOI 値比較



(1) 第1ステップの結果



(2) 第2ステップの結果



(3) 第3ステップの結果

図-2 TOI 値の変動結果

理反応と生理反応が一致しやすくなったと考えられる。第2ステップの暑い空間→快適空間と比較すると、快適感申告の値が若干向上し（表-4）、また TOI 値もより第1ステップの快適空間により近づいた結果となった（図-1、図-2（1）～（3））。

## II. ホールを対象とした被験者実験による検証

### II. 1. 検討概要

収容人数 2141 人のコンサート、オペラ双方とも開催可能な大ホール<sup>2)</sup>を対象とし、ホールに訪れる人の移動に伴う周辺環境の変化、温冷感の非正常性に着目し、被験者を用いた実測を行った。実測では、大ホール到着までの経路空間の室温・照度・滞在時間などを変化させ、温冷感・快適感等の調査を行うと共に、生理量変化を計測した。今回、移動に伴う環境変化の影響を心理面、生理面双方から解析可能な実測を実施した。結果は、快適かつ省エネに施設を利用するための最適制御に結びつけることを目的としている。

### II. 2. 実測時期・測定位置 (図-3)

実測は2006年8月22日～25日に実施した。駅から大ホールへ至る移動経路に伴い測定位置を設定した。

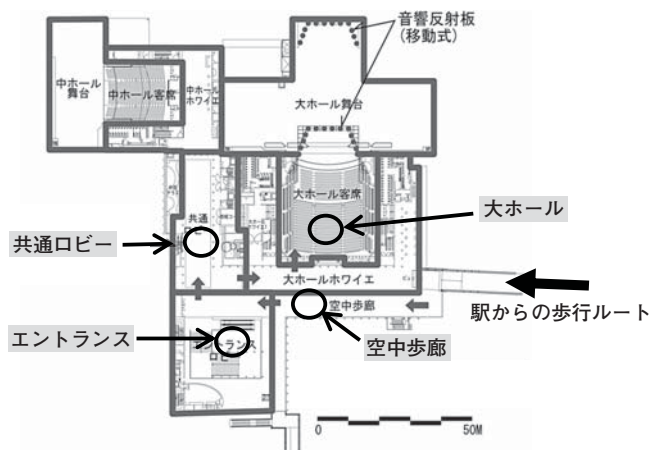



図-3 大ホールへの移動経路及び測定位置

### II. 3. 測定項目及び測定機器概要 (表-5)

移動計測装置を用いて、被験者が感じる周辺環境を移動しながら計測し、人体計測装置を用いて被験者の体温、皮膚温度を計測した。温冷感調査は、事前・中間・終了直前それぞれのアンケートを実施した<sup>4)</sup>。大ホール到着後、脳血流計により

表-5 測定項目および測定機器

	計測項目	計測間隔	計測器	
移動計測装置 	気温	1分	アメニティメータ 101AM (京都電子工業)	
	相対湿度	1分		
	平均輻射温度	1分		
	風速	1分		
	P M V	1分		
	P P D	1分	T10M (コニカミノルタ)	
	照度	1秒		
	全天日射量	1秒		ソーラーエース (英弘精機)
	騒音値	1秒		NL20 (リオン)
	CO <sub>2</sub> 濃度	1秒	GM70 (VAISALA)	
人体計測装置	体温、皮膚温	1分	NR-1000 (キーエンス)	
温冷感調査		10分		
脳血流計	TOI 値、ヘモグロビン濃度変化	1秒	NIRO-200 (浜松ホトニクス)	

血流における組織酸素化指標 (TOI)<sup>3)</sup> 等を測定し、生理反応を確認した。

## II. 4. 測定ケース (表-6)

経路空間の環境を徐々に変化させる「順応」ケース (Case

1.1-1.3)、経路途中で大きな環境変化を与える「コールドショック」ケース (Case 2.1-2.3)、また経路途中で「低照度」を体験させるケース (Case 3.1)、「高照度」を体験させるケース (Case 3.2) を実施した。駅からの歩行を想定し、各ケースとも屋外の空中歩廊で10分間歩行した後、表-6に示す滞在時間で各所に着座し、大ホールへと移動し30分間着座した。共通ロビーは温暖 (28℃)、エントランスは冷却 (22℃) 空間とし、滞在時間を10・30・1分間と変化させ測定を行った。

## II. 5. 被験者概要

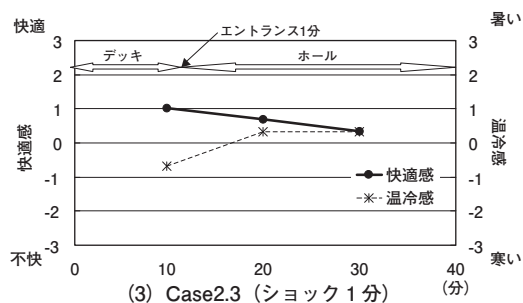
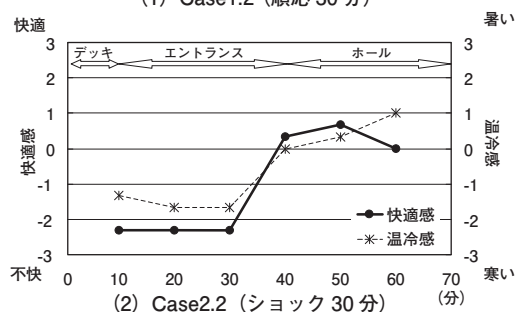
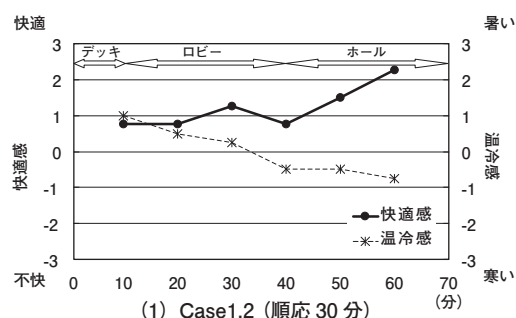
被験者は健康な男性 (21 ~ 23 歳) 4 名とした。着衣量は夏期のコンサートホールに適した服装 0.7clo (薄手の長袖シャツ、長ズボン) に統一した。

## II. 6. 実測結果

快適感・温冷感申告値を図-4に、TOI値の結果を図-5に示す。最も結果が明確に現れたCase1.2 (順応 30分滞在) とCase2.2 (コールドショック (以下、ショック) 30分滞在)、Case2.3 (ショック 1分滞在) の比較結果を示す。

表-6 測定ケース (図中の数字は滞在時間 [分])

Case	概略	空中歩廊	エントランス	共通ロビー	大ホール
		32℃	22℃ Case 4.2 : 27℃	28℃ Case 4.1 : 25℃	26℃
Case 1.1	順応	10	—	10	30
Case 1.2		10	—	30	30
Case 1.3		10	—	1	30
Case 2.1	コールド ショック	10	10	—	30
Case 2.2		10	30	—	30
Case 2.3		10	1	—	30
Case 3.1	低照度	10	—	10	30
Case 3.2	高照度	10	10	—	30



(時間はデッキで歩行開始した時間を0分として表示している)

図-4 快適感・温冷感調査の結果

## II. 7. Case1.2(順応 30分)と

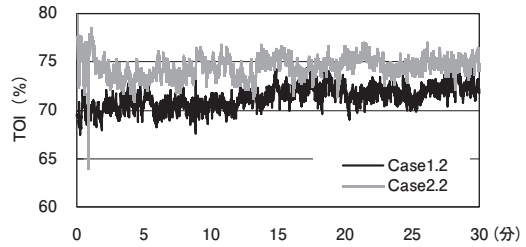
### Case2.2(ショック 30分)の比較

Case1.2 (順応) はホールでの温冷感  
は涼しい側 (-0.5 → -0.8) の傾向が  
見られるのに反し (図-4 (1)), Case2.2  
(ショック) では暖かい側 (0.0 → 1.0)  
の傾向が見られる (図-4 (2))。またホール  
で着座後、Case1.2 (順応) では快適  
感が高まり (0.8 → 2.2) (図-4 (1))、  
Case2.2 (ショック) ではあまり大きな  
変化はなく (0.3 → 0.0)、また決して高  
い値ではない (図-4 (2))。温冷感申告  
の値から被験者はホールで暖かさを感じ  
ていて、その結果、快適感が伸び悩  
んでいると思われる。

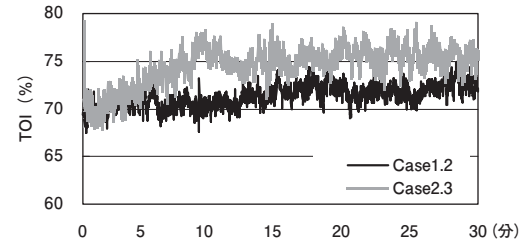
TOI 値では Case2.2 (ショック) が  
Case1.2 (順応) を終始上回っている (図  
-5 (1))。Case2.2 ではコールドショック  
を 30 分間与えることで、体が冷え寒さを感じたため、血流が活発となり、ホール移動後も続く  
この生理反応により暖かさを感じ、それに伴い快適性向上が阻害されたのではないかと考えら  
れる。30 分間のコールドショックは、ショックを与える時間中の不快感も発生するため、適正  
な刺激とは言えない。

## II. 8. Case1.2 (順応 30分) と Case2.3 (ショック 1分) の比較

次に Case1.2 (順応 30分) とコールドショックを 1 分間に縮めた Case2.3 (ショック 1分) の  
比較を行う。温冷感では Case2.3(ショック)では Case2.2(ショック 30分)と比べ中立側になっ  
たが (-0.7 → 0.3) (図-4 (3))、Case1.2 (順応) より暖かい側となった。また、快適感では  
Case2.2 (ショック 30分) より快適側であるものの (1.0 → 0.3) (図-4 (3))、ホール着座後に徐々  
に快適感が低減してゆく傾向は変わらない。TOI 値ではホール着座後しばらくは Case2.3(ショッ  
ク) と Case1.2 (順応) は同程度の値を示したが、時間が経過するにつれて Case2.3 の方が高くな  
り、短い刺激であっても影響が表れていると考えられる。但し、ショックの与え方は、今後、  
より詳細な検討が必要と思われる。



(1) Case1.2 (順応 30分) と 2.2 (ショック 30分) の比較



(2) Case1.2 (順応 30分) と 2.2 (ショック 1分) の比較

(時間は大ホール到着後、着座し、計測を開始した時間を 0 分として表示している)

図-5 TOI 値の結果

## III. まとめ

移動経路の違いや、移動しながら感じる周辺環境の変化の違いにより、同じ環境下でも異なる

る生理反応が生じ、その結果、異なる心理反応が観察された。

基礎検討では、夏期屋外から屋内への移動の際、屋外で蓄積された熱により心理反応と生理反応の不一致が観測されたが、コールドショックを与えることで、蓄積された熱を除去し、心理反応と生理反応が一致しやすくなった。

またホールへの経路空間での検証では、コールドショックを与えた場合、ある程度短い時間であっても血流を活発化させ、ホール到達後、暖かさを感じる結果となった。反面、順応させてゆくことで、涼しさを感じやすくなった。対象建物では経路空間にある共通ロビーに豊かな自然光を導入しており、屋外と屋内のバッファ的な空間となっている。この空間を利用した省エネルギー制御が有効である可能性が示された。

#### 注

- 1) 近本他：人間の動的快適感を考慮した空調制御法の検討、建築学会大会 OS、環境工学Ⅱ、pp.1171-1174、2003年8月
- 2) 橋本他：劇場建築の空調性能と室内環境の検討（その1）他、建築学会大会、環境工学Ⅱ、pp.1391-1392、2006年9月
- 3) TOI：ヘモグロビンの酸素飽和度を示し血流が活発に働くにつれ高い値を示す量。今回、周辺環境の変化との関連性が見られたため、生理量の目安に用いた。
- 4) 事前アンケートでは、前日からの行動履歴、環境変化に対する感受性を、中間アンケートでは、暑さ・快適感・明るさ・眩しさ・騒音・匂い・落ち着き・温熱環境・空気環境・光環境・その他周辺環境の計11項目を±3までの7段階で調査した。また終了直前アンケートでは環境変化に対する自覚症状、快適な場所の選定、着衣調節への意識を調査した。