

内合22-46

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文審査報告書

論 文 題 目

Evaluation of Thermal Comfort in
Semi-Outdoor Environment

半屋外環境における
熱的快適性評価に関する研究

申 請 者

中野 淳太

Junta Nakano

建設工学専攻 建築環境研究

2003 年 3 月

近年、自然環境を建築に取り入れる設計手法としてアトリウムやテラスといった開放的な空間の採用が多くなっている。室内環境では、通常温熱環境が居住者に合わせて調整されるのに対して、屋外環境では滞在者が自らを環境に適応させることが前提となる。半屋外環境はその中間に位置づけられ、従来とは異なる計画手法が必要となる。意匠的、視覚的効果以外にも、通過者の屋内外移動時の環境変化を緩和させ、建築環境に多様性を与える役割を半屋外環境は担っている。しかし、長期滞在を前提とした空調空間のための熱的快適性評価手法以外には、明確な評価法や設計指針が確立されていない。本論文は、積極的に自然環境要素を導入した建築環境として定義される半屋外環境において、通過及び短期滞在の視点から熱的快適性評価方法を提案することを目的としている。従来用いられてきた人間-熱環境系の定常熱収支モデルに対し、用途を考慮した非定常特性や滞在者の環境適応に着目した点に新規性がある。空調された室内環境との快適条件の比較から、半屋外環境の特性を考慮した熱的快適性評価の重要性を示した研究として意義があるものと評価される。

本論文は6章より構成され、英語で記述されている。以下に審査の要旨を述べる。

第1章「General Introduction」では、通過及び短期滞在を半屋外環境の用途特性としてとらえ、室内温熱環境設計・評価手法の基礎となっている定常温熱環境指標を半屋外環境評価に適用する上での問題点について解説している。従来の定常温熱環境指標は人体と環境との定常熱収支に基づいて熱的快適性をモデル化しているため、複数の空間を移動するような非定常状態には適用できないとしている。また、強要される環境は不快を生じやすいが自らが選択した環境は不満が少ないといった熱的要素以外の心理的影響は考慮していない点を指摘している。一方で、居住者の環境適応を考慮することで指標予測値よりも快適環境範囲が広がることを提唱しているアダプティブモデルという概念があり、この考え方を半屋外環境評価に応用することを提案している。非定常性、環境適応に主眼をおいた新しい評価の必要性を示すことで、本研究の明確な位置づけを行っている。

第2章「Evaluation of Transient Thermal Comfort Using Numerical Thermoregulation Model (6.5 MN)」では、実空間での温熱環境測定結果を境界条件とした数値体温調節シミュレーションにより、半屋外環境を通過する人間の非定常生理学的応答を評価している。解析にはStolwijkモデルを基礎として開発された人体を4層構造の16部位に分割した数値体温調節モデル(6.5 MN)を用いている。そこでは各部位ごとに着衣量、代謝量、温熱環境4要素と曝露時間を入力することによって、非定常状態の生理量及びSET* (標準新有効温度)を予測している。実測調査は兵庫県に位置するアト

リウム空間をエントランスに持つ複合施設を対象とし、屋外環境条件の異なる3季節に渡って行っている。来館者の最終目的地への仮想ルートを設定し、動線上の代表点での環境測定結果を数値体温調節シミュレーションの境界条件として使用している。一方、人体周辺の詳細な温熱環境を連続的に測定するため、床上高さ4点の空気温度、放射温度、気流速度、相対湿度を同時に測定できる移動計測カートを開発している。仮想ルート上におけるアトリウム空間の有無の影響を数値計算により比較した結果、屋内外温度差の大きくなる冬季に入室後の平均皮膚温の急激な変化を緩和する効果が認められたとしている。移動計測カートを用いた実測調査と65MNシミュレーションを組み合わせることにより、実際の環境が通過者の生理量に与える影響を評価するのに有効であることを示している。

第3章「Transient Thermal Comfort Succeeding a Short Walk in a Buffer Space from Outdoor to Indoor」では、非定常時の生理量と心理反応の相関に着目した被験者実験を行っている。居住者が室内から屋外に出て戻って来るという行程を想定し、途中にある緩衝空間の温熱環境が歩行移動後の熱的快適性に与える影響を検討している。延べ120名の男女被験者を用いた実験では、着衣量の少なさや発汗により環境変化が人体に及ぼす影響が大きいと考えられる夏季を屋外条件として想定している。人工気候室は3室に分けられ、仮想室内空間が $25^{\circ}\text{C} \cdot 50\%rh$ 、仮想屋外空間が $32^{\circ}\text{C} \cdot 70\%rh$ に制御された。仮想緩衝空間は室温を22、25、28 $^{\circ}\text{C}$ 、通過時間を3、5、10分とし、全ての組み合わせについて実験を行っている。実験の結果、緩衝空間の温熱環境条件は通過者の生理量に大きく影響を与え、温度設定が高く通過時間が長いほど入室時の衣内水蒸気圧及び皮膚温が高く、定常になるまで長い時間を要したことを確認している。皮膚温などの生理量で観察された設定環境条件の差は心理量である温冷感、快適感にはほとんど影響を与えず、30分以上経過すると緩衝空間の環境条件が熱的快適性に与える影響は小さいことを示している。

第4章「Differences in Perception of Indoor Environment Between Japanese and Non-Japanese Workers」では、半屋外環境の比較対象として、長時間の滞在を強いられる室内にて温熱環境が居住者の快適性に与える影響について検討を行っている。夏季から3季節に渡って日本人、外国人執務者の混在する都内オフィスにおいて実測調査を行っている。温熱環境及び室内空気環境測定と同時に居住快適性に関するアンケートを配布し、全実測を通じて延べ406人の回答を得ている。執務者の属性の相違および頻繁な設定室温変更のため不安定な温熱環境が形成されており、74%の執務者がオフィスを不快と回答していた。快適感と温冷感申告値に強い相関が見られ、日本人女性と外国人男性の間では 3.1°C の中立温度差を確認している。中立温度

に差のある執務者が混在している場合は室温調整がさらなる不快の要因となる実態を明らかにしている。環境適応を制限され、滞在を強いられる環境では快適状態からの少しのずれも大きな不快につながることを示している。

第5章「Thermal Comfort Condition in Semi-Outdoor Environment for Short-Term Occupancy」では、用途がほぼ同じで環境制御レベルの異なる半屋外環境にて、短期滞在という点から空間の使用状況、滞在者の環境適応、熱的快適特性の違いについて調査を行っている。東京都内の空調されたアトリウム2箇所と空調されていない半屋外環境2箇所を対象とし、四季に渡って10～18時の時間帯で各個所各季節4日間、計64日間の実測調査を行っている。滞在状況を把握するため、滞在時間及び滞行者数が記録された。滞行者を対象としたアンケートと同時に回答者周辺の詳細な温熱環境を測定するため、熱放射計を改良した移動計測カートを用いている。全調査を通じて延べ2248人のアンケート回答及び対応する温熱環境のデータが得られている。非空調環境では日平均外気温が下がるにつれて滞在人数、滞在時間が線形に優位に減少することが明らかになっている。また、着衣量はいずれの空間でも滞在温熱環境より日平均外気温と高い相関が見られている。定常温冷感指標 PMV により予測された年間中立温度は空調アトリウム、非空調環境共に概ね一致しているが、80%の滞行者が満足する快適環境範囲には差が見られたとしている。空調アトリウムでは PMV より導かれる PPD (予想不満足者率) 快適範囲の約2倍、非空調空間では約3.5倍広いことを確認している。半屋外環境では滞行者の環境適応が積極的に行われており、結果的に快適環境範囲も広くなることを示している。

第6章「Conclusive Summary」では、各章の結果を要約している。

以上を要するに、本論文は半屋外環境の熱的快適性評価を目的とし、通過及び短期滞在という用途特性から半屋外環境評価の新しい手法について示したものである。本論文は建築環境学の発展に大きく寄与するものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。

2003年2月

審査員(主査)	早稲田大学理工学部	教授	工学博士	(早稲田大学)	田邊 新一
	早稲田大学理工学総合研究センター				
		客員教授	工学博士	(早稲田大学)	木村 建一
	早稲田大学理工学部	教授	工学博士	(早稲田大学)	尾島 俊雄
	早稲田大学理工学部	教授	工学博士	(早稲田大学)	長谷見雄二