

# 室内温熱環境の受容に関する研究

鵜飼真成

## 論文要旨

20世紀に入り冷凍空調技術の急速な進歩を引き金に、熱的快適性に関する活発な議論は今日まで至る。室内温熱環境の条件はどのように定めるべきか、また、それをどのように実現するべきか、前者の設計数値目標については被験者実験から得られた温冷感申告値に生理学的知見を加味することで、現行の物理量の確定に至っている。ISOでは不満足者率10%未満(カテゴリーB)、ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.)では不満足者率20%未満の環境を熱的快適域としているが、ここには「最大多数の最大幸福」の視点が存在しており、従来のオフィス等の空気調和は複数の執務者を普遍的集団として捉えることで、その包括的特性を満足させる均一かつ一定の環境提供を目指してきた。

しかしながら、元来の空調システムは印刷工場や紡績工場等の生産空間のために発展した技術であり、人間を対象とする保健空調は産業空調の応用として普及した。産業空調の第一の役割は製品の品質管理を目的とした湿度制御であり、気流の均斉度に関しては殊更重要ではなかった。従って、保健空調に関しても産業空調と同様に対流式の空調が広く普及したものと思われるが、オフィス等人間を対象とした空間の快適環境の創出に、室内の空気そのものを加熱或いは冷却して攪拌するシステムである対流空調を利用したことの弊害として、吹出し口からのドラフトや温熱環境の不均一が発生してしまう。

このような背景から、近年では放射空調や全面床吹出し空調等、室内を面的に制御することで、温熱環境の高い均斉度が実現できるシステムの熱的快適性が注目されているが、空間的な不均一や時間的変動を評価する手法は確立されておらず、空調方式毎の室内温熱環境の快適性は執務者の印象から主観的に評価されている。また、多数の人間が同一空間に共存するオフィス等の室内温熱環境は、執務者それぞれ同一の温冷感をもって成り立つわけではない。着衣の嗜好や業務中の代謝量は個人毎に異なるため、執務者各人の至適温度には齟齬が発生する。従って、温熱環境の均斉度をいくら精密に維持できたとしても、執務者からの「暑すぎる」或いは「寒すぎる」といった非受容申告(いわゆる空調クレーム)の発生が予想される。こういった問題の解決策として、執務者一人一人が温熱環境を自由に選択できるパーソナル空調を併用する手法に期待が高まり、今後は従来の単一的な全体空調の考え方のみならず、局所的な空調とアンビエント空調の双方に関する多角的な熱的快適性に関する議論が必要となる。そのためには、人間を静的な存在として捉え、さらに居住空間の熱的な特性を平均値として便宜的に仮定する従来の姿勢からの脱却が求められる。

室内温熱環境の受容性は、アンビエント空調が提供する温熱環境の均斉度に加えて、執務者各人の着衣の嗜好や代謝量の相違による至適温度の齟齬、さらにタスク域における温熱環境の選択幅が複雑に絡み合うことで形成されると思われるが、その評価手法は確立されていない。従って、温熱受容性の向上が期待される放射空調とパーソナル空調であるが、導入による効果や空間価値の向上が不明瞭であるため、未だに主流の空調システムとして定着はしていない。本論文のテーマは人間を対象とした温熱環境における空間分布と環境選択性を同時に評価できる手法の構築であり、その研究方法としては「温熱環境に対するリアルタイムの非受容に関する調査」、「執務者一人一人が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布に関する調査」、「事務所ビルにおける温熱環境の空間的な不均一と時間変動に関する調査」に大別される。次に、上記の実測調査研究により得られた知見から、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量がどのように定まり、それが非受容というネガティブな評価に繋がるか、というプロセスの評価法を考案し、最後に筆者自身が研究開発に関わったパーソナル空調の評価を行うことで執務者が自由に温熱環境を調整できる意義について考察した。

以下に各章の概要を述べる。

## 第1章 序論

熱的快適性の基準とオフィス建築における空調システムの動向から、放射空調のような熱的偏在の少ない環境を創出できるシステムや、執務者自身の環境を自由に選択できるパーソナル空調のニーズを説明する。また、従来の熱的快適性評価の指標を両システムに適用した際の課題の整理を行うとともに、研究目的と本論の構成を述べた。

## 第2章 空調の温熱的非受容に関する研究

工学的に快適とは「不快でない」という消極的な定義であるため、不快発生時の状況を解き明かすことは、一般的な快適を理解することと関連すると思われる。しかしながら、オフィスのような目的空間において、温熱環境に対する不満やクレーム（非受容申告）に関する情報収集は容易ではない。アンケート調査では執務者の一人一人から直接情報を収集できるというメリットがあるが、オフィスワーカーの瞬間的な不満は顕在化されにくい。そこで、執務者の机の上に置いてクレームを簡単に記録できる装置「オストラコン（非受容申告装置）」を開発し、実際のオフィスで働く執務者が室内温熱環境に対して非受容と感じる瞬間を捉えることで、従来の物理環境調査とアンケート調査からでは抽出できない室内温熱環境に対する不満を考察した。

執務者はASHRAEが示す快適範囲においても非受容を発生している（全1599の非受容申告の内、23.3%が快適範囲内の申告）ことから、温熱環境をいくら精密に維持したところで室内環境に対する不満の根本的な解消には至らないことを示した。また、「暑すぎる」申告は朝の出勤時や外回りからの帰社時に集中し、一方で「寒すぎる」申告は長時間の在室時に発生していた。非受容の背景には2種類の要因が考えられ、外部環境を経た温熱履歴の齟齬を抱えている執務者は空調に瞬発力を求め、環境に順応している執務者は精緻な環境調整を求めていると思われる。

## 第3章 オフィスにおける執務者の要求温度に関する研究

温熱環境に対する不満が発生する背景には、男女の着衣差による至適温度の相違や、執務者各人の代謝量や温熱的履歴が異なる問題が挙げられる。そこで、第3章ではオフィスで働く執務者を対象とした着衣量に関するアンケート調査と代謝量の実測調査の結果から個々の執務者が熱的中立を実現するために必要とする要求温度の分布を導出した。

従来のオフィス等における室内温熱環境の設計条件は、複数の執務者が熱的に中立と感じる物理環境が正規分布に従うと仮定することで、その包括的な特性を満足させる平均値を設計数値目標に掲げてきたと思われる。しかしながら、本研究で得られた要求温度の分布は低い側に歪む非対称の形状であり、その平均値は一般的なオフィスにおける温度の設定値26~27℃よりも大幅に低い24.7℃であった。一方で、要求温度の分布のピークが26.9℃であることから、従来使用されてきた温度設定の目標値は、複数の執務者が熱的中立を実現するために要求する温度の平均値ではなく、実際は最頻値を設備技術者が経験的に選択してきたのだと思われる。要求温度の最頻値を設計数値目標にする弊害としては、たとえ空間的に均一かつ時間的に一定の温熱環境が実現できたとしても、執務者からの「暑すぎる」非受容は「寒すぎる」非受容よりも多く発生し、時には強いクレームに発展することが予想される。

## 第4章 オフィスにおける温熱環境の均斉度に関する研究

空調方式による室内環境の質の違いが存在することは推測されていても、それを実際に比較・評価した事例は見当たらない。温熱環境の空間的な不均一や時間的変動を伴う現実のオフィスにおいては、その度合いを示す手法が確立されていないためか、空調方式毎の室内温熱環境の快適性は執務者の印象から主観的に評価されている。そこで筆者は、温熱環境の経時変化と偏在をリサージュ的に示すことで視覚的に比較可能な手法を考案した。第4章では各種空調方式が導入された4か所の夏期オフィスにおける、机上の温熱環境を平面的に計測することで、温熱環境の偏在及び経時変化を明らかにし、マルチパッケージ型空調システム、躯体蓄熱放射空調、及び全面床吹出し空調の温熱受容性を考察した。

マルチパッケージ型空調機が導入された空間では、空間的な不均一と時間的変動の程度が大きい結果を確認し

た。従って、たとえ居住空間の平均的な温熱環境が快適域であったとしても、マルチパッケージ型空調機が導入された空間では「暑がり」や「寒がり」といった熱的感受性に特徴のある執務者が熱的偏在のある位置に配置される可能性が、放射空調や全面床吹出し空調より高まり、これは空調の本義である「不快の排除」といった視点では受容性の低下に繋がると解釈できる。

## 第5章 確率論的温熱受容性評価法に関する研究

第1章から第4章までの研究成果を踏まえて、執務者一人一人の温熱環境に対する心理量がどのように定まり、それがクレームというネガティブな評価に繋がるか、というプロセスの評価法を考案した。第5章では、要求温度の分布と温熱環境の不均一性から執務者の温熱受容性を評価できる確率論的温熱受容性評価法の提案を行う。この評価法は、従来扱いが難しいとされていた放射空調のような温熱環境の均斉度に特徴がある空間の評価や、執務者が自由に温熱環境を調整できるパーソナル空調の評価に適用できるものとする。

確率論的温熱受容性評価法を実際の建物に適用した結果、環境温度と要求温度の乖離（変更要求温度）は執務者が温度を下げたい側に歪む非対称の形状であることが示された。変更要求温度分布の非対称性が原因となる非受容を抑制するためには、パーソナル空調の導入は有効な手段になると思われる。

## 第6章 確率論的温熱受容性評価法のパーソナル空調への応用

昨今注目されているパーソナル空調が未だに主流の空調方式として定着しない要因としては、導入による効果や空間価値の向上が不明瞭であることが大きい。また、パーソナル空調に必要な環境選択幅とアンビエント域の基準が体系化されていない点も、システムの導入が進行しない大きな理由である。第6章では、確率論的温熱受容性評価法を用いて、熱的中立を満足する執務者の割合が50%/75%に達するそれぞれ条件において、パーソナル空調に必要な環境制御範囲とアンビエントの設定環境温度について検討した。アンビエント環境の設定温度はそれぞれの条件において異なるが、執務者の50%が熱的中立を実現できる空間を目指す場合、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の空間で2.8℃、温熱的均斉度の高い空間では2.6℃となった。また、執務者の75%が熱的中立を実現できる空間を目指す場合、パーソナル空調に必要な環境制御範囲は対流空調の空間で5.0℃、温熱的均斉度の高い空間では4.4℃となることから、放射空調や全面床吹出し空調の様な静穏なアンビエント温熱環境においては、より小さい能力のパーソナル空調で熱的中立を満足する執務者の割合が向上できると思われる。

## 第7章 総括

本研究の総括を行う。本研究の成果により期待されるのは空調設計思想の抜本的な転換である。これまで使用されてきたPMVやSET\*といった温熱快適性に関する指標は、人体と周囲の環境による熱収支を理論的に追及した後に、定常状態の環境試験室を用いた被験者実験から得られた温冷感申告値と結び付けて評価している。従って、物理的な要素は組み込まれているが、対流空調と比較して放射空調の様な温熱的均斉度の高い環境が快適性向上に及ぼす影響は評価しにくい。また、定常状態を基本としているためパーソナル空調を動的に使用した際の評価も難しいとされている。本研究における知見を集約して考案した確率論的温熱受容性評価法は、個々の執務者を取巻く物理環境要素と、執務者一人一人の生理的要素をそれぞれ確率論的に扱うことで、「不快の排除」という視点を含めた極めて高品位な評価が可能になると考える。

確率論的温熱受容性評価法の応用は、クールスポット等の採涼空間やパーソナル空調に必要な能力を合理的に決めることができるため、執務者の行動履歴・着衣量・代謝量・嗜好などを勘案した動的な設計も可能になると思われる。これは、均一かつ一定の温熱環境提供を標榜する従来の設計思想からの転換であり、多様なオフィスの使い方や執務者一人一人の快適性に対する受容度合いの齟齬に関する問題解決が期待される。