

	ごとうともものぶ
氏名	後藤伴延
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)都市・建築学専攻
学位論文題目	環境並びに在室者条件の変動が温熱快適性に及ぼす影響に関する研究
指導教官	東北大学教授 吉野 博
論文審査委員	主査 東北大学教授 吉野 博 東北大学教授 三橋 博三 東北大学教授 伊藤 邦明 東北大学助教授 持田 灯

論文内容要旨

20世紀初頭に登場して以来、機械的な空調設備は世界中に普及し、様々な建築的工夫に頼るしかなかった室内気候制御の在り方を大きく変容させた。機械的な空調設備の利用によって、室内の温熱快適性は飛躍的に向上したが、一方で、エネルギーの大量消費をもたらし、現在では、民生用エネルギー消費の約1/3を占め、特に、代表的な事務所建築においては、約1/2のエネルギーが空調に使用されている。その結果、空調のみによるものではないが、地球温暖化などの地球環境問題やヒートアイランドなどの都市環境問題が顕在化している。また、このような空調用のエネルギー消費を削減するために建築の断熱・気密化が進み、閉鎖性が高められたことによって、シックビルディング症候群、シックハウス症候群など新たな問題も発生している。さらに、現代人は人工環境下に長年さらされていることから、自律性の体温調節機能が低下しているともいわれている。

以上のように問題が多様化・深刻化する中で、自然換気や熱容量利用などの建築的な(パッシブ)手法が再び見直され、その重要性は益々高まっている。その一方で、これまで機械的な空調設備を用いて享受してきた快適性も無視することはできない。人々の快適性に対する要求は時代とともに高まっており、この快適性を低下させては、どんな手法も実現性を欠くことになる。

現在、温熱快適性の評価に主として用いられている指標は、PMVとSET*の二つである。この二つの指標はともに、人工気象室で行なわれた被験者実験を基礎としており、その実験は、環境条件と被験者条件を長時間一定に保ち、定常状態における温熱快適性を明らかにするものであった。これは、セントラル空調設備を持つ環境における、最適な温湿度設定条件の予測を第一義としていたことによる。このような指標をパッシブ型の温熱環境に適用するにあたっては、温度または湿度の変動に対する評価において有効性を認める既往の研究が存在するのみで、パッシブ型の環境制御を送風機や放射パネルで補助する際のような、複合的な環境変動に対する評価や、空調環境と異なり室温の修正などが容易に行なえない環境で特に重要になる、在室者条件(代謝量・着衣量)の変動に対する評価などに関して検証した例はあまりない。また、PMVやSET*において、在室者は環境を感受するだけの存在として捉えられているが、実際には、環境に対して自ら適応して変化する存在でもある。これは、パッシブ型の緩やかな環境制御にとって、従来の指標が見落としている大変重要な事柄である。

以上のことから、本論文では、複合的な環境変動、在室者条件の変動、在室者の適応性の三点に注目

し、これらと温熱快適性との関係について検討を行なった。

本論文は、全5章から構成された。

第1章では、研究の目的、背景および既往の研究について述べ、本研究の位置づけを示した。

第2章では、温湿度など環境条件の変動に対して、既往の指標により快適性を予測しながら気流や放射を制御し、被験者実験によってその有効性を検証した。実験では、気流や放射を調節するために天井扇と冷水パネルを用い、既往の指標としてPMVを用いた。また、人体に生じる生理的変化と直接の関係を持たないPMVを用いた制御との比較のため、非定常状態をも対象とした人体生理モデル—2 node model から平均体温 T_{mb} の変化を予測し、これに応じて制御することも試みた。

その結果、環境条件の変動に対して、天井扇や冷水パネルを制御する場合、PMV が制御指標として十分に適用でき、人体の生理的変化を考慮した T_{mb} を制御指標とするよりも有効であることが明らかになった。また、本章では、天井扇と冷水パネルの問題点を互いに補完しあう制御法についても提案された。

第3章では、在室者の代謝量や着衣量は1日の間で頻繁に変化しており、この変化の傾向によって目標とすべき環境条件が規定されてくることから、代謝量や着衣量の変化に対する温熱感覚の非定常応答を被験者実験によって検討した。

実験の結果、代謝量の増加・減少に対して、温冷感に変化直後から直ちに上昇・下降を始め、指数関数的に変化することが明らかになった。また、上昇局面における温冷感の変化の速さは運動負荷の影響は受けないが、室温に影響を受けることが分かった。一方、下降局面における温冷感の変化の速さは、直前の運動の負荷にもその継続時間にも影響を受けず、室温条件が異なってもほぼ一定であった。加えて、椅子座と歩行運動の間で代謝量が増加する場合、歩行運動から異なる負荷の歩行運動へと代謝量が増加する場合との温冷感変化に差がないことも明らかになった。

着衣量の増加・減少に対する温冷感は、1~5分以内に定常レベルに達することが分かった。このような温冷感の応答を、既往の研究で明らかにされている温湿度のステップ変化に対する温冷感と比較すると、着衣量が増加する時は、温湿度が上昇する時とほぼ同じである。一方、温湿度が低下する時の温冷感がオーバーシュートするのに対し、着衣量が減少する時、温冷感は直ちに定常レベルへと達し、そのような傾向はみられない。これは着衣が変化する時に、熱的に敏感な部位の皮膚温が変化しないためと考えられる。

また、本章では、代謝量変化に対する非定常温冷感について、PMV を利用して予測する方法を提案し、着衣量変化に対する非定常温冷感については、PMV による予測の有効性を指摘した。

第4章では、緩やかな環境制御の可能性を秘めた人々の温熱適応性について、日本における実態を把握するためにオフィスや教室の実測調査を行なった。

オフィスにおける実測調査の結果、着衣が任意である場合は、外気温が低下するにつれて着衣量が徐々に増加する傾向がみられた。一方、スーツを着用している場合は夏季と秋季の間に明確な差はあるが、同一季節中の着衣量の変化はみられなかった。また、外気温に影響を受けやすい、窓の開閉が在室者の希望に沿って行なえる、着衣量が任意で微調節が行ないやすいなどの特徴を持つオフィスでは、そうでないオフィスよりも快適範囲が広がった。さらに、温暖側の快適範囲が、夏季よりも秋季の方が広くなる傾向がみられた。

教室における実測調査の結果、着衣量は、外気温の低下に対してオフィスよりも顕著に増加することが明らかになった。この要因として、教室は、オフィスよりも室温が外気温の影響を受けやすいため、屋外から室内への移動の前後で着衣の調節があまり行なわれないこと、日常の経験から秋季における寒さを予想してあらかじめ着衣量を増加させていること、などが挙げられる。また、寒冷側の快適範囲が、夏季よりも秋季の快適範囲は広くなる傾向がみられたが、室温が20℃以下となる場合には、受容度の大幅な低下が認められた。

以上のように本章では、空調性能、在室者による操作性、着衣条件、季節などによって温熱適応性が変化し、快適範囲の広さに影響を及ぼすことが明らかになった。また、もう一つ注目すべきことは、オフィス、教室ともに、実測によって推定された至適温度は、PMVによって予測される至適温度とほぼ等しかったことである。

第5章は、結論であり、本研究の総括を行ない、今後の課題と展望について言及した。

論文審査結果の要旨

本論文は、省エネルギーや快適性向上のニーズに対応した、パッシブ型の室内温熱環境制御の設計や運用のための基礎資料を得ることを目的として、環境変動および在室者条件の変動と温熱快適性の関係を実験的に明らかにしたものである。

現在、温熱快適性の評価のために主として用いられている指標は、PMVとSET*の二つである。この二つの指標はともに、環境条件と被験者条件を長時間一定に維持した人工気象室で行われた実験を基礎としており、定常状態における温熱快適性を明らかにするものであった。これは、空調設備を持つ空間における、最適な温湿度環境の制御を目的としていたことによる。しかし、このような指標は、複合的な環境変動に対する評価や、窓開け換気を行って環境調整するような場合に適用できるかどうかについて明らかにされていなかった。また、PMVやSET*においては、在室者は環境に対して受身の存在として捉えられているが、実際には、環境に対して自ら適応して変化する存在でもある。これは、パッシブ型の緩やかな環境制御にとって、従来の指標が見落としている大変重要な点である。以上のことから、本論文では、複合的な環境変動、在室者条件の変動、在室者の適応性の三点に注目し、これらと温熱快適性との関係について検討を行なっている。

まず、PMVにより快適性を予測しながら天井扇や冷水パネルを制御するシステムを作成し、様々な環境変動の条件下で運転を行なった。被験者を用いてその快適性を検証し、PMVによる快適性予測が十分に有効であることを明らかにした。

次に、在室者側の要素である代謝量・着衣量の変化に対する温熱感覚の非定常応答を明らかにするため、人工気象室を用いた被験者実験を行なった。これにより、代謝量の増加・減少に対して、温冷感の変化直後から指数関数的に上昇・下降することを明らかにし、その温冷感変化を予測するモデルを提案した。また、着衣量の増加・減少に対する温冷感については、変化後1~5分以内に定常レベルに達することから、PMVによる予測が有効であることを明らかにした。

さらに、在室者の環境適応性についての実態を把握するために、オフィスや教室の実測調査を行った。これにより、空調性能、在室者による操作性、着衣条件、季節などによって在室者の適応性が変化すること、そして、それらの条件が快適範囲の幅に影響を及ぼしていることを明らかにした。

以上要するに、本論文は、パッシブ型の温熱環境設計を支援するために、従来の快適性評価指標の有効性とその適用範囲を明らかにしたものである。本論文の成果は、空調偏重の現状を脱し、より省エネかつ快適な室内環境を実現するために有益な資料となるものであり、建築環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。