

学位論文の要旨 (論文の内容の要旨)

論 文 題 目

東南アジア蒸暑地の都市住宅における自然通風の利用と窓の在り方

広島大学大学院国際協力研究科

博士課程後期 開発科学専攻

学生番号 D151422

氏 名 森 博史

本研究の目的は、東南アジア蒸暑地の都市住宅における自然通風の利用実態とその有効性を明らかにするとともに、同地域において省エネルギーと熱的快適性を同時に満足させる窓デザインの方向性を考察することである。エアコンによる冷房用エネルギー消費が急増する東南アジア新興国では、自然換気などのパッシブクーリング手法をできる限り導入し、その消費量をエアコン普及段階から抑える必要がある。月平均気温の年較差が2℃程度と小さい一方で、日最高気温と日最低気温の差が8℃前後ある気候特性を踏まえれば、当地仕様のパッシブクーリング戦略としての有効策は、他地域で研究開発されてきた日射遮蔽などの技術に加えて、「通風・換気の利用促進」により「1日の中での冷房エネルギー消費量を削減」することだと考えられる。この戦略を成功させるためには、開口部を筆頭にした住宅設計へのパッシブクーリング技術の適用と、居住者による適切な窓開閉行動の実施が必要不可欠である。けれども、高温多湿な環境下での開放を前提とする窓の在り方については、これまでほとんど研究されていない。そのため、東南アジア蒸暑地の都市住宅へのパッシブクーリング技術の普及へ向けて、当地における自然通風の利用実態と有効性を検証し、開放を前提とした窓デザインを検討することは重要である。本研究は、近い将来に住宅取得やエアコン購入の中心的存在になると想定される現在の低中所得者層を対象とし、この層へ向けて建設・供給される都市住宅への知見提供を目標としている。本研究の成果は、今後のさらなる研究によって導かれることが期待される同住宅のパッシブクーリング戦略や目標設定に対して、基礎的役割を果たすものである。

本研究では、インドネシアとマレーシアの主要都市を対象として、(1)実際の住宅を用いた被験者実験によって、熱帯において気流が熱帯居住者の熱的快適性に与える影響について考察し、(2)複数の都市における広域調査結果に基づき、熱帯居住者の窓の開閉行動と冷房や扇風機の使用パターンを明らかにした。これらにより、温熱生理および居住者行動の2面において自然通風を利用するパッシブクーリング戦略の有効性を検証した。その後、(3)インドネシアでの実測データを基に作成した通風解析モデルでのケーススタディによって、窓の開放を前提とした場合の窓デザインの最適化を行った。これらの結果から(4)東南アジア蒸暑地の都市住宅において省エネルギーと熱的快適性を両立させる窓の在り方を考察した。

被験者実験は、実際の典型的な都市住宅を想定したマレーシアの実験住宅において熱帯居住者を一定期間住まわせて実施され、実測セクション中の室内環境は室温が平均29.0℃、湿度が平均75.5%、気流速度が平均1.2 m/sであった。温帯居住者を対象に人工気候室を用いて実施された既往研究に比べて、本研究での結果は発汗量が平均1.11 g/minと少なく、平均皮膚表面温度が平均32.5℃および深部体温が平均36.3℃と低かった。これにより、熱帯居住者が実環境に近い状況において温帯居住者より少ない発汗量で効率的に発汗性熱放散を行っていることが確認できた。また、被験者の気流感申告結果にはより強い風速を期待する傾向があり、気流による発汗蒸発に対する感覚面での受容性を確認できた。

一方、大規模調査とデータマイニング手法による居住者の適応行動パターンの抽出結果は、高温多湿な同じ都市にあっても典型的な窓開閉行動パターンが複数存在することを明らかにした。これは、窓開閉行動に気候以外の要因が影響していることを裏付けた。居住者の現状の適応行動パターンは、大勢としては日中の自然通風を利用するパッシブクーリング手法と合致するものであった。しかし、日中の通風利用と夜間換気の実効性を高めるための課題も抽出された。多重ロジスティック回帰分析の結果は、世帯人数、回答者年齢、世帯収入、虫への懸念が行動パターンの違いに最も影響していることを示した。夜間の窓開け阻害要因に虫、セキュリティ、雨への懸念があることが明らかになった。

また、エアコン所有者であっても日中の通風利用の受容性が確認された一方で、世帯当たりエアコン所有台数の増加が冷房使用シーンを空間的・時間的に拡大する傾向が示された。そのため、進行するエアコン普及に対して過度の冷房使用を防ぐためには、冷房使用を寝室夜間に限定する部分冷房の考え方が有効である可能性が示唆された。

窓デザインのケーススタディでは、2面開口の単室空間でのクロスベンチレーションを前提として、室内居住域高さ（床上1.5m）へ風速の減衰なく水平に風を通すことを目標とした場合に、最適な流入側開口部性状を特定した。窓開閉形式5種、窓開き角度2種、開口縦横比5種について検討した結果、横長形状（比率4：1以上）の横軸回転窓を90°全開した場合に最も効果が高く、屋外風速3 m/sの条件で開口中心高さの室内平均風速は開口面平均風速の50%を維持した。この結果は、開口面の中心付近の屋外側に障子が水平に突出することにより、壁面接近流が室内へ誘導され、障子の上下表面付近で風速および直進性が高められることが原因だと考察された。本結果を踏まえ、一般的に住宅の窓に求められる与件も考慮すると、横すべり出し窓、ルーバー窓、上げ下げ窓と窓手摺の組み合わせ、等の窓デザインが有効だと考えられる。

以上の結果を総括すると、東南アジア蒸暑地の都市住宅において自然通風を利用するパッシブクーリング技術を適応することは、居住者の温熱生理および適応行動パターンの観点から有効であると言える。しかし、実践にあたっての課題も明らかになった。通風・換気の利用促進については、居住者の窓開放行動を助長するために阻害要因を解消する開口部設計の改善が必要である。また、世帯間で適応行動パターンが多様であったことから、居住者が適切な行動パターンを理解するように設計者等から情報提供するコミュニケーションも重要である。1日の中での冷房エネルギー消費量削減に向けては、部分冷房の考え方が適切である可能性が示唆されたことから、窓の在り方は「冷房空間で閉じる」「通風のために開く」「換気のために開く」という使い分けの上に検討される必要がある。これまでの窓研究は主に閉時の性能向上に主眼が置かれてきたが、これからは開くことの技術も重要になると考えられる。自然通風利用を前提として冷房範囲を限定する住宅設計が望ましい。通風のために開く窓に適したデザインの方向性について、本研究では適度な屋外風が得られる2面開口可能な条件での検討結果を得た。本結果の実測検証と、異なる立地条件でのさらなる研究が望まれる。